DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การนำทางด้วยคิวอาร์โค้ดสำหรับขนส่งอัตโนมัติภายในคลังสินค้า

ปริญญา บูรณ์เจริญ

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ปีการศึกษา 2565

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

QR CODE NAVIGATION FO AUTOMATIC TRANSPORT VEHICLES INSIDE WAREHOUSE

PRINYA BOONCHAROEN

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Engineering
Department of Computer Engineering,
College of Innovative Technology and Engineering
Dhurakij Pundit University
Academic Year 2022

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

หัวข้อสารนิพนธ์	การนำทางด้วยคิวอาร์โค้ด สำหรับรถขนส่งอัตโนมัติภายในคลังสินค้า
เสนอโดย	นายปริญญา บูรณ์เจริญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์	ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.....คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

วันที่ 15 เดือน กรกฎาคม พ.ศ 2566

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

หัวข้อสารนิพนธ์ การนำทางด้วยคิวอาร์โค้ดสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติภายในคลังสินค้า
ชื่อผู้เขียน ปริญญา บูรณ์เจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชัยพร เขมะภาตะพันธ์
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

คลังสินค้าเป็นพื้นที่สำหรับจัดเก็บสินค้าจำนวนมาก ซึ่งต้องอาศัยแรงงานคนในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ภายในพื้นที่เป็นจำนวนมาก จึงมักเกิดข้อผิดพลาดในการดำเนินการเป็นประจำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างต้นแบบจำลองของรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท สำหรับรับส่งสินค้าภายในคลังสินค้าเพื่อใช้งานทดแทนแรงงานคน โดยนำชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็กมาพัฒนาเป็นโรบอทสำหรับรับส่งสินค้าและสร้างสภาพแวดล้อมและกำหนดการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยให้โรบอทสามารถดำเนินการต่าง ๆ ได้โดยอัตโนมัติ

สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย สัญญาณจราจร ได้แก่ ป้าย QR Code ของสถานี ป้าย QR Code ของสินค้า เส้นถนน เส้นหยุด และเส้นเลี้ยว ส่วนทรัพยากรที่เลือกใช้ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เซ็นเซอร์อินฟราเรด เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ บอร์ด Raspberry Pi และกล้องเว็บแคม รวมไปถึงระบบฐานข้อมูล กระบวนการตรวจจับสัญญาณจราจรและการควบคุมการใช้เส้นทางพร้อมกันของโรบอทจำนวนมาก

เกณฑ์และเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการตรวจจับสัญญาณจราจร เป็นการนำทรัพยากรที่เลือกใช้มาตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่กำหนดขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 6 ประเภทคือ การตรวจจับป้ายสินค้า การตรวจจับป้ายสถานี การตรวจจับเส้นถนน การตรวจจับเส้นหยุด การตรวจจับเส้นเลี้ยว และการหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือการให้ทาง

ผลการทดสอบพบว่า โรบอททั้ง 2 คัน สามารถเดินทางรับส่งสินค้าได้โดยอัตโนมัติ โดยอาศัยทรัพยากรและสภาพแวดล้อมที่กำหนดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้สามารถเดินทางตามทิศทางได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

คำสำคัญ: โรบอท, รถขนส่งอัตโนมัติ, ระบบฝังตัว, ราสเบอร์รี่พาย

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Thematic Paper Title	QR CODE NAVIGATION FOR AUTOMATIC TRANSPORT VEHICLES INSIDE WAREHOUSE
Author	Prinya Booncharoen
Thematic Paper Advisor	Dr. Chaiyaporn Khemapatapan
Program	Master of Engineering (Computer Engineering)
Academic Year	2022

ABSTRACT

A warehouse is an area for storing a large number of products. Which requires human labor to carry out various activities within a lot of space. Therefore, there are often errors in the operation on a regular basis.

The purpose of this research is to build a model of Automatic Transport Vehicles or Transport Robot. To replace human labor by using a small car assembly to develop a Transport Robot and create an environment and select the relevant resources for support to perform various actions automatically.

The relevant environment includes traffic signs including QR Code labels for product signs, QR Code labels for station signs, road line, stop line and turn line. The resources used include electronic devices such as Small DC Electric Motors, Infrared Sensor, Raspberry Pi Board and Webcam together with Database System, The Process of Detecting Traffic signs and Routing control with Twin Robots.

Criteria and conditions used in The Process of Detecting Traffic signs. It is the use of selected resources to check the established environment. It is divided into categories: Product labels detection, Station labels detection, Road detection, Stop line detection, Turn line detection and Avoiding Obstacles or Giving Way.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

The experimental results showed that Twin Robots can automatically travel and transport. It can make efficient use of the environment and resources that have been established. Thus making it possible to travel in the correct direction and safely.

Keywords: Robot, Automatic Transport Vehicle, Embedded System, Raspberry Pi

Advisor

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับการช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ ในการให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ รวมไปถึงการติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบสารนิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาและกรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไข และให้แนวคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตรที่ให้คำปรึกษาและดำเนินการด้านเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสอบและการวิจัยในครั้งนี้ รวมไปถึงเพื่อนๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่ช่วยเหลือกันตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา พี่ชาย และภรรยา ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแรงผลักดันทำงานวิจัยให้สำเร็จได้ในที่สุด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไปในการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ต่อไป

ปริญญา บูรณ์เจริญ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญ..... ซ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1
   - 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
   - 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
   - 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2
   - 1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 3
   - 1.5 สมมติฐานของการวิจัย..... 4
   - 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5
   - 2.1 QR Code..... 5
   - 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 17
   - 3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของโรบอท..... 17
   - 3.2 การวิเคราะห์และออกแบบเส้นทางการเดินทางของโรบอทภายในคลังสินค้า..... 20
   - 3.3 การกำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง..... 21
   - 3.4 การวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด..... 24
   - 3.5 การกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขการทำงานของโรบอท..... 24
   - 3.6 การติดตั้งระบบและการเขียนโปรแกรม..... 43
   - 3.7 การตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพ..... 44

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4. ผลการวิจัย..... 45
4.1 การตรวจจับ..... 45
4.2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทาง..... 51
4.3 การเดินทาง..... 56
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 59
5.1 การวิเคราะห์การทำงานของระบบ..... 59
5.2 สรุปผลการวิจัย..... 59
5.3 อภิปรายผล..... 59
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา..... 61
5.5 สรุป..... 62
บรรณานุกรม..... 63
ภาคผนวก..... 65
ก รายการวิดีทัศน์ ผลการทดสอบการทำงานของโรบอท..... 66
ประวัติผู้เขียน..... 72

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 สถานีหรือจุดสังเกตในการเดินทางจากสถานีเริ่มต้นไปถึงปลายทางและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น..... 23

4.1 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับเส้นถนน..... 45

4.2 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับเส้นหยุด..... 46

4.3 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจเส้นเลี้ยว..... 46

4.4 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับข้อมูลสินค้า..... 48

4.5 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจข้อมูลสถานี..... 50

4.6 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3..... 52

4.7 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการให้ทางที่บริเวณทางแยก C2..... 53

4.8 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการให้ทางที่บริเวณทางแยก C3..... 54

4.9 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการหยุดรอ เมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้า 55

4.10 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 1 รหัส PD001 (ไปและกลับ)..... 56

4.11 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 2 รหัส PD002 (ไปและกลับ)..... 57

4.12 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 3 รหัส PD003 (ไปและกลับ)..... 57

4.13 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 4 รหัส PD004 (ไปและกลับ)..... 58

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของสัญลักษณ์ QR Code..... 5
2.2 ส่วนประกอบของการตรวจจับข้อมูลบนชั้นวาง (Shelves)..... 7
2.3 ป้าย QR Code บนเพดานเพื่อใช้นำทางให้กับโรบอท..... 8
2.4 เส้นทางข้อมูลและป้าย QR Code..... 8
2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย..... 9
2.6 โรบอทและอุปกรณ์..... 10
2.7 พิกัดจากการเปลี่ยนแปลงมุม Finding Pattern..... 10
2.8 ข้อมูลการเดินทางในรูปแบบเมทริกซ์..... 11
2.9 การพิจารณาจุดกึ่งกลางของป้าย QR Code ทั้ง 2 ตัว กับจุดกึ่งกลางรูปภาพ..... 12
2.10 ตำแหน่งปัจจุบันของโรบอท ที่อยู่ใกล้กับ QR Code ตัวที่ 1 มากกว่าตัวที่ 2 และมีระยะห่างระหว่าง QR Code ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 เท่ากับ Xเมตร..... 12
2.11 การคำนวณระยะห่างระหว่างโรบอทและ QR Code 12
2.12 ต้นแบบของโรบอทและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 13
2.13 ตัวอย่างของค่าพิกัดที่กำหนดให้กับจุดต่างๆ บนเส้นทาง..... 13
2.14 โรบอทและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง..... 14
2.15 ตัวอย่างกล้องอุตสาหกรรม (a) MER-030-120UM and (b) Computar H0514- MP2 15
2.16 QR Code และ การจัดรูปแบบของเส้นทางแบบกริด..... 15
2.17 ขั้นตอนการหาทิศทางจากมุมของป้าย QR Code 16
2.18 พิกัดตามการหมุนของป้าย QR Code กับพิกัดเริ่มต้น $O(x_0,y_0)$..... 16
3.1 ชุดประกอบรถยนต์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก..... 17
3.2 ผังโครงสร้างของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง..... 18
3.3 ผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บนโรบอท..... 19
3.4 ผังของระบบที่ติดตั้ง..... 20
3.5 สถานีเริ่มต้น สถานีปลายทาง และสภาพแวดล้อมของการเดินทาง..... 20
3.6 ตัวอย่างสินค้าทั้ง 4 รายการ..... 21
3.7 จุดรับสินค้า S และจุดส่งสินค้า B1 B2 B3 และ B4..... 22
3.8 รหัสของสถานีหรือทางแยกและทิศทางในการใช้เส้นทาง..... 22
3.9 สถานีสำหรับส่งสินค้าแต่ละรายการสินค้า..... 23

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.10 โครงสร้างของฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด..... 24
3.11 ขนาดของป้าย QR Code ที่ใช้ติดบนบรรจุภัณฑ์ของสินค้า..... 25
3.12 ขนาดของป้าย QR Code ที่ใช้ติดบนเส้นทาง..... 25
3.13 เทปกาว PVC สีดำ ขนาดความกว้าง 1.8 ซม. ใช้สำหรับติดพื้นเพื่อทำเป็นเส้นทาง..... 26
3.14 ขนาดและระยะห่างของเส้นหยุดและเส้นเลี้ยว..... 27
3.15 ผังของเส้นหยุดและเส้นเลี้ยวทั้งหมด..... 27
3.16 การติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท..... 28
3.17 ความกว้างและระยะของการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรด..... 28
3.18 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นทาง..... 29
3.19 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นหยุด..... 30
3.20 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นเลี้ยว..... 30
3.21 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับป้ายสถานี..... 31
3.22 การจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนหน้าของโรบอท..... 31
3.23 ระยะของการถ่ายภาพที่ทำให้ได้รูปภาพที่มีรายละเอียดครบถ้วน..... 32
3.24 ตัวอย่างรูปภาพของป้ายสถานีที่ได้รับจากกล้องเว็บแคมที่ด้านหน้าของโรบอท..... 32
3.25 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับป้ายสินค้า..... 33
3.26 การจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนท้ายของโรบอท..... 33
3.27 ระยะห่างระหว่างหน้ากล้องและด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ที่ติดป้าย QR Code..... 34
3.28 ขนาดขอบเขตหรือมิติที่กล้องสามารถตรวจจับ..... 34
3.29 ตัวอย่างรูปภาพของป้ายสินค้าที่ได้รับจากกล้องเว็บแคมที่ด้านท้ายของโรบอท..... 34
3.30 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ที่ด้านหน้าและด้านหลังของโรบอท..... 35
3.31 ผังของเงื่อนไขในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของการเดินหน้า..... 37
3.32 ผังของเงื่อนไขในการเลี้ยวขวาหรือซ้าย..... 38
3.33 ผังของเงื่อนไขในการถอยหลัง..... 39
3.34 พื้นที่ในการเริ่มต้นทำงานของโรบอท (ซ้าย) และการจัดวางโรบอทบนเส้นถนน (ขวา).... 39
3.35 ผังของสถานีหรือทางแยกทั้งหมด โดยเจาะจงลักษณะของทางแยก A3, C2 และ C3.... 40
3.36 ผังของเงื่อนไขในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือการให้ทางที่สถานี A3 และ C2..... 41
3.37 ผังของเงื่อนไขในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือการให้ทาง ขณะเดินทางไปที่สถานี C3..... 42
3.38 หน้าจอของโปรแกรม Raspberry Pi Imager สำหรับเขียนไฟล์ติดตั้งลงบน SD Card.... 43

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.1 หน้าจอแสดงผลการตรวจจับสถานี S และถ่ายภาพป้ายสินค้า..... 47
4.2 ตัวอย่างรูปภาพจากการตรวจจับป้าย QR Code ของสินค้า..... 47
4.3 หน้าจอแสดงผลการตรวจจับป้ายสถานี..... 49
4.4 ตัวอย่างรูปภาพจากการตรวจจับป้ายสถานี..... 49
4.5 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3..... 51
4.6 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณที่ทางแยก C2..... 52
4.7 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและให้ทางที่บริเวณที่ทางแยก C3..... 53
4.8 การหยุดรอ เมื่อพบสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหน้า..... 55
4.9 การกระจายสินค้าของโรบอททั้ง 2 คัน..... 56

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คลังสินค้า เป็นพื้นที่สำหรับจัดเก็บสินค้าจำนวนมาก ซึ่งมีมูลค่ามหาศาลประกอบกับการดำเนินการ หรือกิจกรรมต่าง ๆ ถูกขับเคลื่อนโดยใช้แรงงานคนเป็นหลัก และอาจมีการนำเครื่องจักรเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกบ้าง เช่น รถโฟล์คลิฟท์ แต่ก็ต้องอาศัยความชำนาญของแรงงานในการใช้งานเครื่องจักรเหล่านั้นเพิ่มเติม จึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับแรงงานและเครื่องจักรเพิ่มขึ้น

การดำเนินการภายในคลังสินค้าส่วนใหญ่มักเป็นการดำเนินการ หรือการทำงานแบบซ้ำเดิมทุกวัน เช่น การรับเข้าสินค้า และการจ่ายสินค้า ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมากในการดำเนินการทั้งหมด โดยจำนวนของแรงงานมักจะสัมพันธ์กับขนาดของสถานที่กล่าวคือ เมื่อสถานที่ของคลังสินค้ามีขนาดใหญ่มากขึ้น จำนวนของแรงงานคนก็ต้องเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและปัญญาประดิษฐ์ ทำให้มีการพัฒนารถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอทขึ้นมาเพื่อใช้งานทดแทนแรงงานคน ทำให้การดำเนินการมีความรวดเร็วและลดข้อผิดพลาด อีกทั้งยังช่วยทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงานและเครื่องจักรลดลงด้วย แต่ด้วยความซับซ้อนของระบบกลไกต่างๆ และค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้การพัฒนาโรบอทยังถูกจำกัดอยู่แค่ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เท่านั้น

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองของรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท เพื่อดำเนินการรับส่งสินค้าภายในคลังสินค้า และการสร้างสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำทางและสนับสนุนการเดินทางของโรบอทให้สามารถเดินทางจากต้นทางไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

การออกแบบคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและทรัพยากรที่สามารถนำมาช่วยส่งเสริมการทำงานของโรบอทให้สามารถดำเนินการไปได้อย่างถูกต้อง และสามารถนำไปพัฒนาและต่อยอดการใช้งานได้จริง โดยเลือกใช้ชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นทรัพยากรที่สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเป็นรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท และทำการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ เพิ่มเติม เช่น บอร์ด Raspberry Pi เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic Sensor) เซ็นเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) และกล้องเว็บแคม เป็นต้น

การจำลองสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่สามารถส่งเสริมให้การทำงานของโรบอทมีประสิทธิภาพ เช่น สัญญาณจราจร ซึ่งประกอบด้วยป้าย QR Code ของสินค้า ป้าย QR Code ของสถานี เส้นถนน เส้นหยุด และเส้นเลี้ยว ทั้งนี้เพื่อรองรับกับการใช้งานโรบอทมากกว่า 1 ตัว ภายในสถานที่เดียวกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการจัดระเบียบการใช้เส้นทาง และการหลบหลีกเส้นทางหรือให้ทางซึ่งกันและกันเพื่อให้การเดินทางมีความปลอดภัยและสะดวกรวดเร็ว

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การสร้างการมองเห็น (Computer Vision) ให้กับโรบอท เป็นกระบวนการสำคัญที่นำมาใช้ในการทำงานของโรบอท ทำให้โรบอทเสมือนมีสายตาในการมองเห็นรายละเอียดต่างๆ ด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นการสร้างการวิเคราะห์และการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ซึ่งเป็นทรัพยากรที่ติดตั้งทั้งหมดไปตรวจจับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น เพื่อส่งเสริมการทำงานของโรบอทให้สามารถเดินทางไปตามทิศทางได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

การสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับสัญญาณจราจรให้กับโรบอท จัดว่าเป็นการสร้างการมองเห็นรูปแบบหนึ่ง เพื่อให้โรบอทสามารถวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่พบเจอและปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง โดยเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ถูกกำหนดขึ้นมาพร้อมกับวิธีการปฏิบัติตนเมื่ออยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นการดำเนินการหรือบูรณาการระหว่างทรัพยากรและสภาพแวดล้อมทั้งหมดเข้าด้วยกัน โดยการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องไปตรวจจับสภาพแวดล้อมที่พบเจออย่างต่อเนื่องและนำมาตรวจสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด หากตรงกับเงื่อนไขใดจะดำเนินการปฏิบัติตามวิธีการที่กำหนดขึ้นมาจนเสร็จสิ้น

เกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดนำมาเขียนเป็นคำสั่งด้วยภาษาไพธอน และโอนย้ายไปฝังลงในบอร์ด Raspberry Pi ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลหรือจัดว่าเป็นศูนย์กลางการควบคุมการทำงานทั้งหมด ซึ่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ทั้งหมด เช่น เซ็นเซอร์อินฟราเรด เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และกล้องเว็บแคม เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นศูนย์กลางข้อมูลหลักหรือฐานข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการทำงานของโรบอท

ในส่วนท้ายของงานวิจัยมีการดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและประเมินประสิทธิภาพการทำงานของโรบอท โดยพิจารณาจากการดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดเพื่อให้สามารถเดินทางไปตามทิศทางที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและมีความปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองของรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท โดยใช้อุปกรณ์ที่ราคาประหยัด

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองการนำทางหรือควบคุมการเดินทางให้กับโรบอท โดยใช้ QR Code

1.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในการเดินทางของโรบอท

1.2.4 เพื่อสร้างแบบจำลองของการจัดการและควบคุมทิศทางแบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 โรบอทที่ใช้ในงานวิจัย เป็นชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็กจำนวน 2 คัน ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ

1.3.2 สภาพแวดล้อมและเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้น เพื่อรองรับการเดินทางของโรบอทจำนวน 2 คันพร้อมกัน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1.3.3 การตรวจจับป้าย QR Code บนบรรจุภัณฑ์สินค้าและเส้นถนน ใช้งาน Library ของภาษาไพธอน ในการวิเคราะห์และถอดรหัสข้อมูล โดยใช้หลักการประมวลผลภาพ (Image Processing)

1.3.4 การถ่ายภาพป้าย QR Code ดำเนินการ โดยใช้งานกล้องเว็บแคม (Web Camera) จำนวน 2 ตัว เพื่อแบ่งเป็นส่วนการทำงาน

- กล้องตัวที่ 1 ใช้ตรวจจับภาพป้าย QR Code ที่บรรจุภัณฑ์สินค้า
- กล้องตัวที่ 2 ใช้ตรวจจับภาพป้าย QR Code ที่พื้นถนน

1.3.5 สินค้าทั้งหมดมีจำนวน 4 รายการ โดยแต่ละรายการมีพื้นที่ในการจัดเก็บที่แตกต่างกัน

1.3.6 สินค้าทั้งหมดมีขนาดและน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เท่ากัน

1.3.7 ถนนหรือเส้นทางทั้งหมดถูกเชื่อมโยงถึงกันทุกเส้นทาง

1.3.8 สถานีสำหรับรับสินค้ากำหนดไว้เพียง 1 จุด คือ สถานีเริ่มต้น

1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็ก เพื่อใช้เป็นต้นแบบของโรบอท ซึ่งประกอบด้วยโครงของตัวรถหรือคัชชี ล้อรถ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก

1.4.2 บอร์ด Raspberry Pi รุ่น Zero เพื่อใช้เป็นหน่วยประมวลผลหรือศูนย์กลางการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งหมด

1.4.3 ชุดควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์รุ่น L298N เพื่อใช้สำหรับควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์

1.4.4 เว็บแคม (Web Camera) จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับถ่ายภาพป้าย QR Code

1.4.5 แบตเตอรี่รุ่น ICR18650 ขนาด 3.7 โวลท์ จำนวน 3 ก้อน เพื่อใช้เป็นพลังงานจ่ายให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด

1.4.6 เซ็นเซอร์ (Sensor) ประกอบด้วย

- เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic Sensor) จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง
- เซ็นเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor) จำนวน 3 ตัว เพื่อใช้สำหรับตรวจจับเส้นทึบ

1.4.7 ป้าย QR Code สำหรับติดที่บรรจุภัณฑ์ของสินค้าและเส้นถนน

1.4.8 เทปกาว PVC สีดำ ขนาดความกว้าง 1.8 ซม.

1.4.9 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้

1.4.10 โวลท์มิเตอร์ดิจิทัล

หมายเหตุ: อุปกรณ์ทั้งหมดต้องใช้ 2 ชุด เพื่อใช้ประกอบและติดตั้งเป็นโรบอทจำนวน 2 คัน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1.5 สมมติฐานของการวิจัย

เมื่อจัดวางสินค้าลงบนกระบะของโรบอทหรือรถขนส่งอัตโนมัติที่จุดรับสินค้า โรบอทสามารถอ่านป้าย QR Code ที่บรรจุภัณฑ์ของสินค้าได้โดยอัตโนมัติ และสามารถเดินทางนำส่งสินค้าไปยังพื้นที่จัดเก็บสินค้ารายการนั้นได้อย่างถูกต้อง โดยใช้ป้าย QR Code ที่ติดบนพื้นของเส้นทางเพื่อนำทางไปยังสถานีปลายทางได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เข้าใจหลักการ กระบวนการ และเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมที่มีรูปแบบซ้ำเดิมเป็นประจำในสถานที่ต่างๆ

1.6.3 การพัฒนาต่อยอดจากรถของเล่นธรรมดาให้เป็นรถขนส่งอัตโนมัติที่มีประโยชน์มากขึ้น

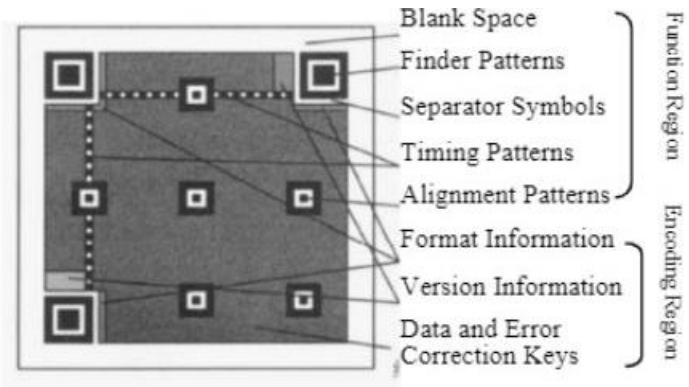
1.6.4 สามารถนำต้นแบบของงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอด เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและเพิ่มความสามารถที่สูงขึ้น

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 QR Code

คิวอาร์โค้ด (QR Code: Quick Response Code) คือแถบรหัสของบาร์โค้ดแบบ 2 มิติ ที่พัฒนาต่อยอดมาจากบาร์โค้ดแบบ 1 มิติดั้งเดิม เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการอ่านที่ง่ายขึ้นและรวดเร็ว (ณัฐวุฒิ บุญโรจน์วงค์ และ กชกร พระพรตระการ, 2560) ซึ่งถูกคิดค้นโดยบริษัทย่อยของโตโยต้า ชื่อว่า เดนโซ เวฟ ในปี 1994 เพื่อใช้ติดตามชิ้นส่วนอะไหล่ประกอบยานยนต์ (Tiwari, 2016) ซึ่ง Chen และคณะ (2012) ได้สรุปเรื่องโครงสร้างของสัญลักษณ์ QR Code โดยกล่าวว่า QR Code มีโครงสร้างของสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมและมีพื้นที่รอบๆ เป็นพื้นที่ว่าง (Blank Space)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสัญลักษณ์ QR Code

ที่มา: Chen และคณะ (2012)

โครงสร้างของสัญลักษณ์ QR Code แยกส่วนประกอบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นพื้นที่ที่มีการเข้ารหัสข้อมูลและส่วนที่เป็นพื้นที่ของฟังก์ชั่น ซึ่งประกอบด้วย

- Blank Space เป็นพื้นที่ว่างรอบสัญลักษณ์ เพื่อแยกขอบเขตของสัญลักษณ์ออกจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ
- Finder Pattern เป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสที่อยู่ตามมุม โดยกระจายอยู่ตามมุมทั้งหมด 3 มุม ทำหน้าที่บ่งบอกตำแหน่ง ขนาด และแนวระดับหรือความเอียง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- Separator Symbols เป็นพื้นที่ว่างเพื่อคั่นกลางระหว่าง Finder Pattern และส่วนของพื้นที่ที่มีการเข้ารหัสข้อมูล

- Timing patterns เป็นส่วนที่กำหนดความหนาแน่นของข้อมูลและแสดงตำแหน่งสำหรับอ้างอิง

เครื่องมือในการตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลจากรูปภาพป้าย QR Code ชื่อว่า Pyzbar ซึ่งเป็นแพ็คเกจหรือเครื่องมือเสริมในภาษาไพธอนที่พัฒนาโดย L. Hudson เพื่อตรวจจับและตรวจสอบความถูกต้องของป้าย QR Code โดยจะทำหน้าที่วิเคราะห์และตีความจากรูปภาพที่มีป้าย QR Code ปรากฏอยู่ โดยประสิทธิภาพของการวิเคราะห์และตีความขึ้นอยู่กับ แสง มุม และขนาดของป้าย QR Code ที่ปรากฏรายละเอียดอยู่ภายในรูปภาพ (Ferano *et al*., 2022) โดยตัวอย่างคำสั่งของภาษาไพธอนในการใช้งานโมดูล Pyzbar เพื่อถอดรหัสข้อมูลออกจากรูปภาพ QR Code (Bansal, 2021) มีดังนี้

1. นำเข้าโมดูล Pyzbar และ PIL เพื่อให้สามารถเรียกใช้งานฟังก์ชั่นต่างๆ ที่บรรจุอยู่ในแต่ละโมดูลได้

```
from pyzbar.pyzbar import decode
from PIL import Image
```

2. เปิดไฟล์รูปภาพ QR Code ที่มีอยู่ในระบบ โดยการเรียกใช้งานฟังก์ชั่น open (จากโมดูล PIL)

```
img = Image.open("qrcode_image.jpg")
```

3. กำหนดตัวแปรเพื่อรับข้อมูลจากการถอดรหัส และเรียกใช้งานฟังก์ชั่น decode เพื่อถอดรหัสจากรูปภาพ

```
all_info = decode(img)
```

เมื่อนำตัวแปรรับข้อมูลมาแสดงผลจะพบรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

```
[Decoded(data=b'00123456789101112133', type='CODE128',
rect=Rect(left=28, top=0, width=2114, height=885), polygon=[Point(x=28, y=1),
Point(x=28, y=885), Point(x=2142, y=884), Point(x=2142, y=0)])]
```

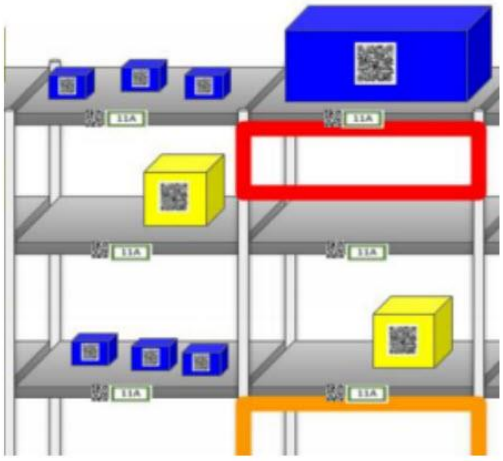
4. คัดกรองข้อมูลเฉพาะที่ใช้งานและนำมาแสดงผล

```
for i in all_info:
print(i.data.decode("utf-8"))
```

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Saha และคณะ (2019) นำเสนอวิธีการตรวจจับ QR Code และข้อความจากป้ายชื่อที่ติดอยู่ที่หน้าชั้นวาง (Shelves) ของแต่ละชั้น โดยป้ายชื่อจะประกอบด้วย QR Code และข้อความที่เป็นรหัสของชั้นวาง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของการตรวจจับข้อมูลบนชั้นวาง (Shelves)

ที่มา: Saha และคณะ (2019)

การดำเนินการของงานวิจัยนี้ มีการตรวจสอบความถูกต้องของการจัดวางบรรจุภัณฑ์บนชั้นวางภายในคลังสินค้า โดยใช้เครื่องบินไร้คนขับ (Drone) แบบสี่ใบพัดรุ่น Parrot Bebop 2 และติดตั้งกล้องตาปลา (Fisheye) ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการสั่นสะเทือน

เครื่องมือในการดำเนินการ ประกอบด้วย

- ระบบ ROS (Robot Operating System)
- ZBar Library (Open CV) เพื่อใช้ในการตรวจจับและถอดรหัส QR Code
- Tesseract Library เพื่อใช้ในการตรวจจับข้อความและแปลงเป็นตัวอักษร
- เครื่องบินไร้คนขับ (Drone) แบบสี่ใบพัดรุ่น Parrot Bebop 2
- กล้องตาปลา (Fisheye) ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันการสั่นสะเทือน

งานวิจัยมีการดำเนินการติดตั้งระบบ ROS ในระบบปฏิบัติการ Ubuntu และติดตั้ง Library ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเมื่อมีการบินจะมีการเชื่อมต่อกับกล้องตาปลาเพื่อตรวจจับภาพแบบเรียลไทม์และทำการวิเคราะห์รายละเอียดของภาพที่ได้รับ โดยจะทำการตรวจจับป้ายชื่อของชั้นวางและป้าย QR Code ที่บรรจุภัณฑ์ของสินค้าจากนั้นจะประมวลผลข้อมูลออกมาเป็นไฟล์ CSV

เนื่องจากรูปภาพที่ได้จากกล้องตาปลาจะมีลักษณะเป็นภาพมุมกว้างและมีความโค้งหรือบิดเบี้ยว จึงต้องตั้งค่าพิเศษเพิ่มเติมโดยใช้ camera_calibration package ของ ROS เพื่อทำการแก้ไขรูปภาพให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นปกติ โดยใช้กระบวนการ Pre-processing ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการถัดไป

การวิเคราะห์รายละเอียดของรูปภาพดำเนินการโดยใช้งาน Zbar Library ในการตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลจากป้าย QR Code และใช้งาน Tesseract library ในการตรวจจับข้อความและแปลงเป็นตัวอักษร

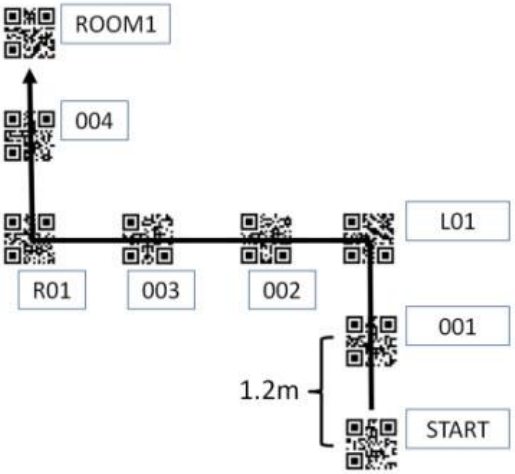
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2.2.2 Suriyon และคณะ (2011) นำเสนอวิธีการนำทางให้กับโรบอท โดยใช้ป้าย QR Code ติดไว้บนเพดาน เพื่อระบุตำแหน่งของสถานที่

ภาพที่ 2.3 ป้าย QR Code บนเพดาน เพื่อใช้นำทางให้กับโรบอท

ที่มา: Suriyon และคณะ (2011)

การดำเนินการของงานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยสร้างเส้นทางการเดินทางให้กับโรบอท โดยใช้ป้าย QR Code ติดบนเพดานอย่างต่อเนื่อง โดยมีระยะห่างระหว่างป้าย QR Code เท่ากับ 1.2 เมตร ตลอดเส้นทาง ซึ่งข้อมูลที่บรรจุภายในป้าย QR Code มี 2 ประเภทคือ 1) ชื่อของสถานที่ เช่น START และ ROOM 1 และ 2) ทิศทางในการเดินทาง เช่น Rxx หมายถึง เลี้ยวขวา Lxx หมายถึง เลี้ยวซ้าย



ภาพที่ 2.4 เส้นทาง ข้อมูล และป้าย QR Code

ที่มา: Suriyon และคณะ (2011)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การตรวจจับป้าย QR Code ในแต่ละจุดจะได้รับข้อมูลกลับมา 3 ประเภทดังนี้

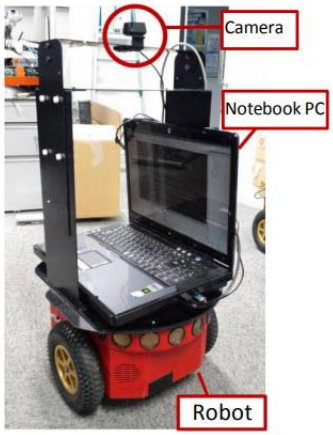
1. มุม คือ การหมุนหรือองศาของป้าย QR Code ที่ตรวจจับได้ในขณะนั้น เนื่องจากระหว่างการเดินทางของโรบอท อาจมีการเอียงหรือเบี่ยงเบนจากเส้นตรง จึงต้องปรับองศาในการเดินทางต่อไปด้วยข้อมูลที่ได้รับ

2. พิกัด คือ ตำแหน่ง X Y ในขณะนั้น

3. ข้อมูลที่ได้จากการถอดรหัส คือ ชื่อสถานที่ หรือ ทิศทางในการเดินทาง

เครื่องมือในการดำเนินการ ประกอบด้วย

- รถยนต์เคลื่อนที่ 3 ล้อ ขนาดเล็ก รุ่น Pioneer-3 ของ Activ Media
- โน๊ตบุ๊ค
- กล้องเว็บแคม



ภาพที่ 2.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

ที่มา: Suriyon และคณะ (2011)

2.2.3 Sneha และคณะ (2019) นำเสนอวิธีการนำทางด้วยการระบุตำแหน่งปัจจุบันและหาระยะทางที่สั้นที่สุดให้กับโรบอท โดยใช้ป้าย QR Code ติดบนเพดานเพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบัน

เครื่องมือในการดำเนินการ ประกอบด้วย

- ชุดประกอบรถยนต์เคลื่อนที่ 2 ล้อ
- บอร์ด Raspberry Pi รุ่นที่ 4
- ชุดกล้องเว็บแคมสำหรับติดตั้งบนบอร์ด Raspberry Pi รุ่นที่ 4

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาพที่ 2.6 โรบอทและอุปกรณ์

ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

การดำเนินการของงานวิจัยนี้ มีการสร้างต้นแบบของโรบอทและติดตั้งบอร์ด Raspberry Pi รุ่นที่ 4 และติดตั้งชุดกล้องเว็บแคมเพื่อตรวจจับป้าย QR Code ที่ติดบนเพดาน โดยกำหนดความหมายของป้าย QR Code ตามการหมุนป้ายที่แตกต่างกัน

การตรวจจับป้าย QR Code ใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Pyzbar ซึ่งเป็น Package ของภาษาไพธอนในการทำงาน โดยจะตอบกลับมาเป็นข้อมูล 3 รูปแบบคือ 1) ข้อมูล 2) พิกัดของ QR Code และ 3) พิกัดของรูปทรง

ภาพที่ 2.7 พิกัดจากการเปลี่ยนแปลงมุม Finding Pattern

ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จากภาพที่ 2.7 มีการกำหนดความหมายให้กับค่าพิกัดในแต่ละรูปแบบ โดยที่ (a) กำหนดความหมายเป็น North คือให้เดินทางไปทางทิศเหนือ (b) กำหนดความหมายเป็น East คือ ให้เดินทางไปทางทิศตะวันออก (c) กำหนดความหมายเป็น West คือให้เดินทางไปทางทิศตะวันตก และ (d) กำหนดความหมายเป็น South คือให้เดินทางไปทางทิศใต้

การนำทาง (Navigation) ใช้วิธีการแปลงข้อมูลจากภาพแผนผังของเส้นทางเป็นกราฟที่มีลักษณะเป็นโหนด โดยแต่ละโหนดจะเป็นจุดที่มีการติดป้าย QR Code ที่เพดาน และมีการนำอัลกอลิทึม Dijkstra มาใช้หาเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางจากต้นทางไปถึงปลายทาง และจากตำแหน่งปัจจุบันไปที่ตำแหน่งถัดไป โดยข้อมูลที่ตอบกลับมาจะมีลักษณะเป็นแบบเมทริกซ์

		0	1	2	3
		N	E	W	S
0	N	S	R	L	T
1	E	L	S	T	R
2	W	R	T	S	L
3	S	T	L	R	S

Where S – Straight, T - Backward, L - Left Turn
R - Right Turn

ภาพที่ 2.8 ข้อมูลการเดินทางในรูปแบบเมทริกซ์

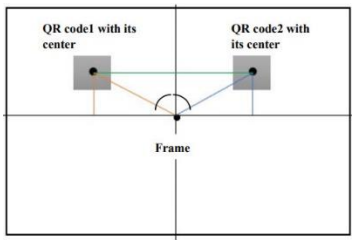
ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

จากภาพที่ 2.8 เป็นข้อมูลในการเดินทาง โดยนำตำแหน่งปัจจุบันและตำแหน่งถัดไปมาตรวจสอบในตารางเมทริกซ์ เช่น ปัจจุบันอยู่ที่ตำแหน่งทางทิศตะวันออก และตำแหน่งถัดไปอยู่ทางทิศเหนือ พบว่าจะต้องเดินทางไปทาง L (ซ้าย) เป็นต้น

การหาตำแหน่งปัจจุบัน (Localization) ใช้วิธีการตรวจสอบรายละเอียดจากรูปภาพที่มีการตรวจพบป้าย QR Code ตั้งแต่ 1 หรือ 2 ป้าย อยู่ในรูปภาพนั้น โดยพิจารณาระยะห่างระหว่างจุดต่างๆ ในรูปภาพและนำมากำหนดเป็นมาตราส่วนเพื่อใช้กับระยะทางจริงในการขับเคลื่อนโรบอท โดยมีรายละเอียดดังนี้

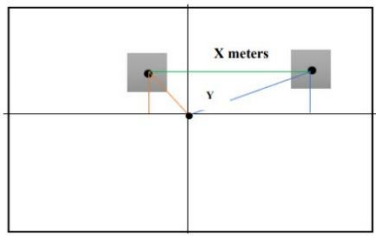
1. เมื่อตรวจพบป้าย QR Code จำนวน 2 ป้ายในรูปภาพ จะนำหลักการของวิธีสามเหลี่ยม (Triangulation Method) มาพิจารณาจุดต่างๆ ของรูปภาพ โดยพิจารณา 3 จุด ได้แก่ จุดกึ่งกลางของป้าย QR Code ตัวที่ 1 และตัวที่ 2 และจุดกึ่งกลางของรูปภาพ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 2.9 การพิจาณาจุดกึ่งกลางของป้าย QR Code ทั้ง 2 ตัว กับจุดกึ่งกลางรูปภาพ

ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

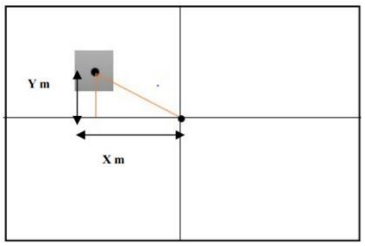


ภาพที่ 2.10 ตำแหน่งปัจจุบันของโรบอทที่อยู่ใกล้กับ QR Code ตัวที่ 1 มากกว่าตัวที่ 2 และมีระยะห่างระหว่าง QR Code ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2 เท่ากับ X เมตร

ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

จากภาพที่ 2.10 สามารถหาระยะห่างระหว่างโรบอทกับ QR Code โดยใช้ค่าของ X – (ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ QR Code ตัวที่ 1 และจุดกึ่งกลางของรูปภาพ) และค่าของ X – (ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ QR Code ตัวที่ 2 และจุดกึ่งกลางของรูปภาพ)

2. เมื่อตรวจพบป้าย QR Code จำนวน 1 ป้ายในรูปภาพ



ภาพที่ 2.11 การคำนวณระยะห่างระหว่างโรบอทและ QR Code

ที่มา: Sneha และคณะ (2019)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2.2.4 Chawaphan และคณะ (2021) นำเสนอวิธีการนำทางด้วยการตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันให้กับโรบอท โดยใช้ป้าย QR Code ติดบนพื้นเพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบัน

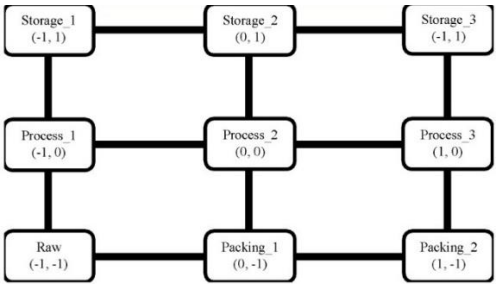
ภาพที่ 2.12 ต้นแบบของโรบอทและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ที่มา: Chawaphan และคณะ (2021)

เครื่องมือในการดำเนินการ ประกอบด้วย

- Android Tablet ยี่ห้อ Samsung รุ่น N5100
- บอร์ด Arduino Uno R3
- โมดูล Bluetooth รุ่น HC-06
- ชุดประกอบรถยนต์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก 3 ล้อ
- เซ็นเซอร์อินฟราเรด 4 ชุด
- Application บนแท็บเล็ต

การดำเนินการของงานวิจัยนี้มีการจำลองต้นแบบของโรบอทและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการตรวจจับป้าย QR Code และเส้นทาง โดยกำหนดสถานที่หรือตำแหน่งสำหรับติดป้าย QR Code ไว้ทั้งหมด 9 จุด โดยแต่ละจุดจะกำหนดค่าพิกัดจริงไว้ล่วงหน้า



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างของค่าพิกัดที่กำหนดให้กับจุดต่างๆ บนเส้นทาง

ที่มา: Chawaphan และคณะ (2021)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เส้นทางของโรบอทกำหนดเป็นเส้นทึบสีดำ โดยติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดจำนวน 4 ตัว ที่บริเวณด้านหน้าของโรบอทเพื่อทำหน้าที่ตรวจจับเส้นทึบอย่างต่อเนื่อง โดยบริเวณที่ติดตั้งเซ็นเซอร์จะเว้นพื้นที่ตรงกลางเท่ากับขนาดของเส้นถนน

เงื่อนไขในการตรวจจับ มีดังนี้

1. เมื่อเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัว ตรวจไม่พบเส้นทึบ แสดงว่าอยู่บนเส้นถนนให้โรบอทเดินหน้า
2. เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจพบเส้นทึบ 2 หรือ 3 ตัวพร้อมกัน แสดงว่าตรวจพบสถานีโรบอทจะหยุดเดินและอ่านป้าย QR Code ด้วยแท็บเล็ต และถอดรหัสเป็นข้อมูลพิกัดของตำแหน่งปัจจุบัน และส่งค่าไปที่บอร์ด Arduino ผ่านทาง Bluetooth จากนั้นจะนำพิกัดของตำแหน่งปัจจุบันไปคำนวณหาทิศทางในการเดินทางต่อไป

การหาทิศทางในการเดินทางจะนำพิกัดของตำแหน่งที่เกี่ยวข้องมาคำนวณ ได้แก่ พิกัดของตำแหน่งที่ผ่านมาล่าสุด พิกัดของตำแหน่งปัจจุบัน และพิกัดของตำแหน่งปลายทาง

2.2.5 Zhang และคณะ (2015) นำเสนอวิธีการนำทางและการตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันของโรบอทโดยใช้ป้าย QR Code

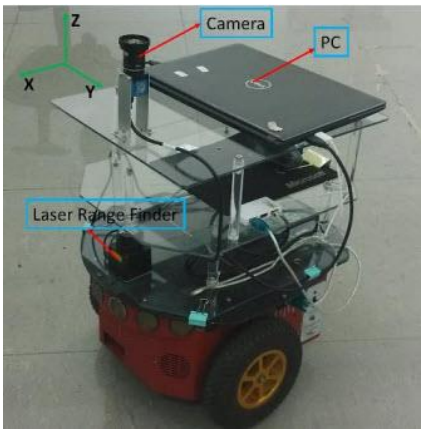
เครื่องมือในการดำเนินการ ประกอบด้วย

- รถยนต์เคลื่อนที่ 3 ล้อ ขนาดเล็ก
- กล้องอุตสาหกรรม โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) Mercury series camera made by Daheng (IMAVISION)

2) Frame rate is 120fps, the pixel size is 5.6um x 5.6um, the focal length is 3.5mm, the exposure time is also adjustable

- โน๊ตบุ๊ค



ภาพที่ 2.14 โรบอทและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การดำเนินการของงานวิจัยนี้มีการใช้กล้องอุตสาหกรรมที่มีคุณภาพสูงติดตั้งไว้กับโรบอท ซึ่งจะสามารถตรวจจับภาพป้าย QR Code ได้ในขณะที่โรบอทกำลังเคลื่อนที่ แต่กำหนดความเร็วไม่ควรเกิน 2.5 m/s. ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถตรวจจับ QR Code ได้

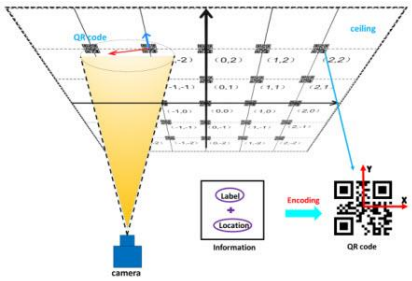
ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างกล้องอุตสาหกรรม (a) MER-030-120UM and (b) Computar H0514-MP2

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)

วิธีการที่นำเสนอ มีดังนี้

1. Calibration การตั้งค่าระยะของกล้องอย่างละเอียด เนื่องจากกล้องอุตสาหกรรมสามารถปรับค่ารับแสงได้

2. การจัดรูปแบบของเส้นทางแบบกริด เป็นการรักษาระยะห่างของแต่ละจุด เพื่อให้แต่ละเฟรมของรูปภาพที่กล้องตรวจจับ จะต้องมีป้าย QR Code อย่างน้อย 1 ป้าย อยู่ในเฟรมของรูปภาพนั้น เพื่อใช้ตรวจสอบทิศทางจากมุมของป้าย QR Code ได้ตลอดเวลา



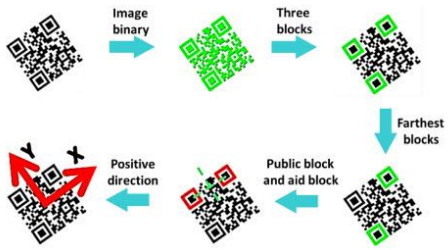
ภาพที่ 2.16 QR Code และการจัดรูปแบบของเส้นทางแบบกริด

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)

3. ตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลจากป้าย QR Code ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือของภาษาไพธอน ชื่อว่า ZBar Library และ Open CV Library

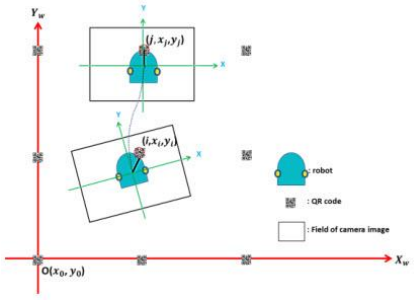
4. ตรวจจับทิศทางจากมุมหรือการจัดวางของป้าย QR Code จากรูปภาพ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 2.17 ขั้นตอนการหาทิศทางจากมุมของป้าย QR Code

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)



ภาพที่ 2.18 พิกัดตามการหมุนของป้าย QR Code กับพิกัดเริ่มต้น $O(x_0,y_0)$

ที่มา: Zhang และคณะ (2015)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีการนำความรู้จากการศึกษาในเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประกอบและทำการเรียงลำดับความสำคัญของการดำเนินการ โดยกำหนดเป็นขั้นตอนและมีรายละเอียดของการดำเนินการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของโรบอท

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบเส้นทางการเดินทางของโรบอทภายในคลังสินค้า ตั้งแต่สถานีเริ่มต้นไปจนถึงสถานีปลายทาง

3.3 การกำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลสินค้า ข้อมูลสถานี ข้อมูลถนน ข้อมูลการเดินทาง

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด

3.5 การกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการทำงานของโรบอท

3.6 การเขียนโปรแกรมและการติดตั้งระบบ

3.7 การตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพ

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของโรบอท

โครงสร้างของต้นแบบที่นำมาพัฒนาเป็นรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท เป็นชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์พื้นฐาน ได้แก่ โครงของตัวรถหรือคัชชี ล้อรถ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดให้สามารถดำเนินการตามจุดประสงค์ที่กำหนด

ภาพที่ 3.1 ชุดประกอบรถยนต์เคลื่อนที่ ขนาดเล็ก

ที่มา: https://www.conrad.com/p/joy-it-robot-carriage-arduino-robot-car-kit-01-robot03-1573542

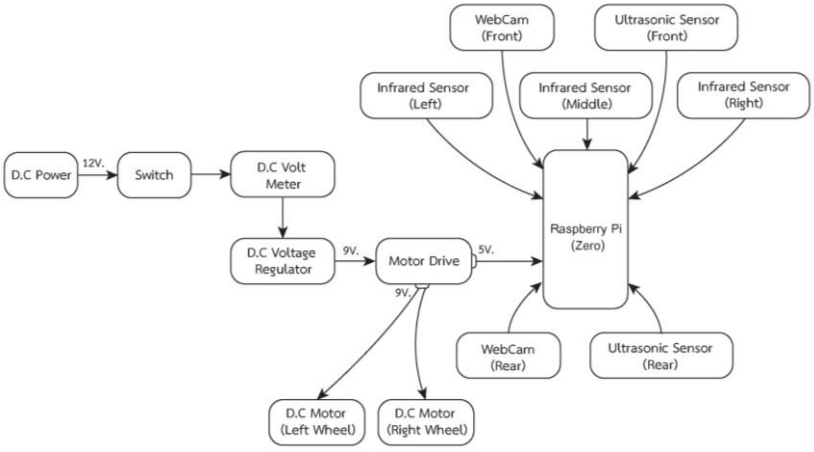
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

อุปกรณ์พื้นฐานของชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็ก มีดังนี้

1. โครงของตัวรถและอุปกรณ์ จำนวน 1 ชุด
2. ล้อรถ จำนวน 4 ล้อ
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 4 ตัว
4. รางสำหรับใส่แบตเตอรี่ ขนาด 3.7 โวลท์ ขนาด 3 ก้อน จำนวน 1 ชิ้น
5. แบตเตอรี่ ขนาด 3.7 โวลท์ จำนวน 3 ก้อ
6. อุปกรณ์สำหรับควบคุมมอเตอร์ (Motor Driver Module) จำนวน 1 ชิ้น

การพัฒนาต่อยอดดำเนินการโดยการเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่สำคัญ เพื่อใช้ในการทำงานและควบคุมการทำงานตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด ซึ่งประกอบด้วย

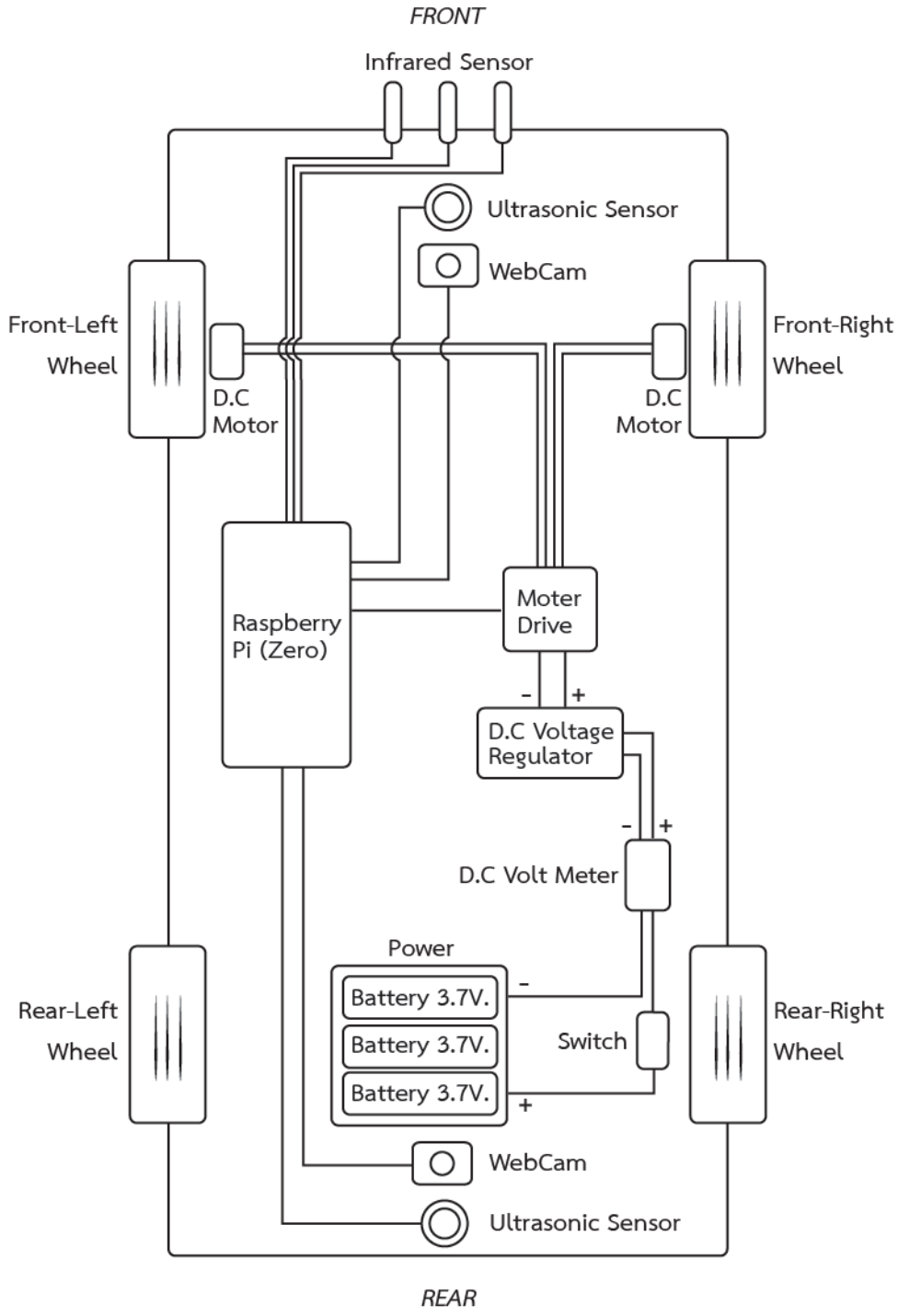
1. บอร์ด Raspberry Pi รุ่น Zero จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้สำหรับเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมด และสามารถติดตั้งหรือฝังโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาลงไปในบอร์ดได้
2. อุปกรณ์สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงอัตราที่กำหนด
3. มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ตัว เพื่อใช้สำหรับวัดค่าและแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าแบบเรียลไทม์
4. เซ็นเซอร์อินฟราเรด จำนวน 3 ตัว เพื่อใช้สำหรับตรวจจับเส้นทึบสีดำ ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงเส้นทางหรือถนนในการเดินทางของโรบอท
5. เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของโรบอท
6. กล้องเว็บแคม จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับถ่ายภาพป้าย QR Code ที่ติดบนบรรจุภัณฑ์สินค้าและบนพื้นถนน



ภาพที่ 3.2 ผังโครงสร้างของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

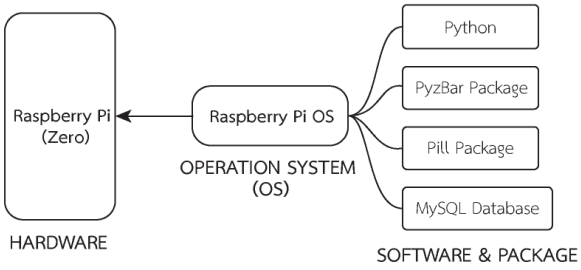
การประกอบและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การควบคุมเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 ผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ บนโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

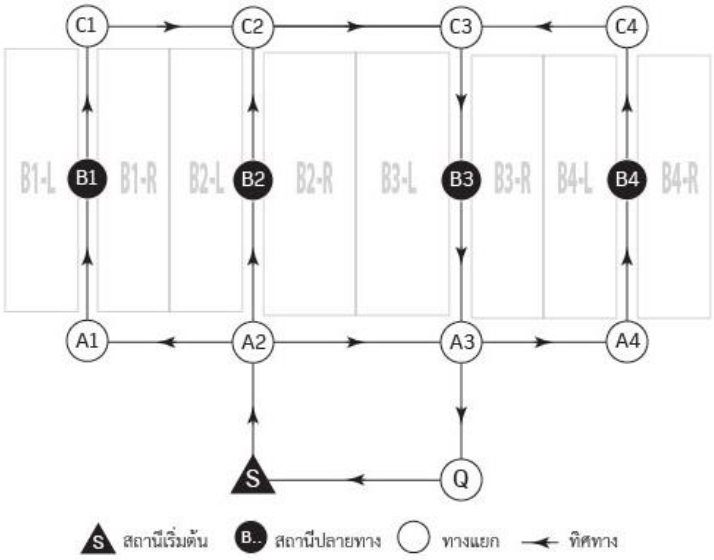
จากภาพที่ 3.3 บอร์ด Raspberry Pi จะเป็นศูนย์กลางการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ จะมีการเชื่อมต่อมาที่บอร์ดโดยตรง อีกทั้งมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการและโปรแกรมที่สำคัญลงในบอร์ด Raspberry Pi ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ผังของระบบที่ติดตั้ง

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบเส้นทางการเดินทางของโรบอทภายในคลังสินค้า

เส้นทางสำหรับเดินทางหรือเคลื่อนที่ของโรบอทภายในคลังสินค้า ผู้วิจัยทำการออกแบบโดยจำลองสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องโดยพิจารณาถึงจุดสำคัญต่างๆ ตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดหมายปลายทาง และจากจุดหมายปลายทางกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งต้องสามารถเข้าถึงพื้นที่ต่างๆ ภายในคลังสินค้าให้มากที่สุด และมีการกำหนดสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พื้นที่สำหรับจัดเก็บสินค้า จุดสำหรับรับหรือส่งสินค้า จุดสำหรับตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันในขณะนั้นและการจำกัดทิศทางของแต่ละเส้นทาง โดยแต่ละจุดจะมีการติดป้าย QR Code ซึ่งมีข้อมูลของสถานที่จัดเก็บไว้



ภาพที่ 3.5 สถานีเริ่มต้น สถานีปลายทาง และสภาพแวดล้อมของการเดินทาง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จากภาพที่ 3.5 ประกอบด้วยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในคลังสินค้า ได้แก่

1. พื้นที่จัดเก็บสินค้า B1-L, B1-R, B2-L, B2-R, B3-L, B3-R, B4-L และ B4-R

2. เส้นทางเดินหรือการเคลื่อนที่ของโรบอท ซึ่งจะมีทิศทางในการเดินทางกำหนดขึ้นมาเพื่อควบคุม

3. สถานีต่างๆ หรือจุดที่มีการติดป้าย QR Code บนพื้นถนน ซึ่งประกอบด้วยจุดที่มีการรับหรือส่งสินค้า จุดที่ใช้สำหรับควบคุมทิศทาง เช่น การเลี้ยวขวา เลี้ยวซ้าย และการเดินหน้า ซึ่งจากภาพที่ 3.5 จะแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมและสามเหลี่ยม โดยมีความหมายดังนี้

- S คือ สถานีเริ่มต้น
- B1, B2, B3 และ B4 คือ สถานีปลายทางสำหรับส่งสินค้า
- A1, A2, A3, A4, C1, C2, C3, C4 และ Q คือ ถนนซึ่งเป็นทางเลี้ยวหรือทางแยกเพื่อใช้สำหรับควบคุมทิศทางการเดินทางของโรบอท เช่น หยุด เลี้ยวขวา และเลี้ยวซ้าย

3.3 การกำหนดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในการเดินทางของโรบอท ประกอบด้วย ข้อมูลสินค้า ข้อมูลสถานีหลัก ข้อมูลสถานีทางแยก และข้อมูลการเดินทาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ข้อมูลสินค้า

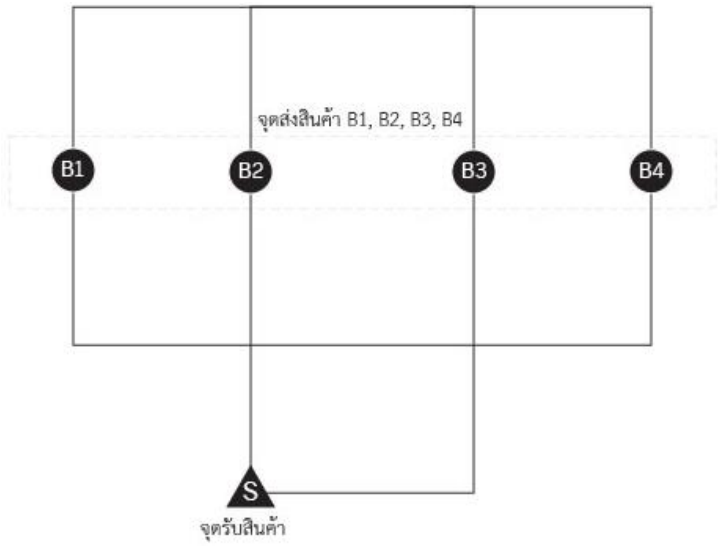
รายการสินค้ามีทั้งหมด 4 รายการ โดยมีการกำหนดเป็นรหัสสินค้า คือ PD001, PD002, PD003 และ PD004 โดยบรรจุภัณฑ์ของสินค้าทั้ง 4 รายการ จะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมและมีขนาดความจุ คือ 250 มล. เหมือนกัน และติดป้าย QR Code ที่บริเวณด้านบนของบรรจุภัณฑ์

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างสินค้าทั้ง 4 รายการ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3.3.2 ข้อมูลสถานีหลัก

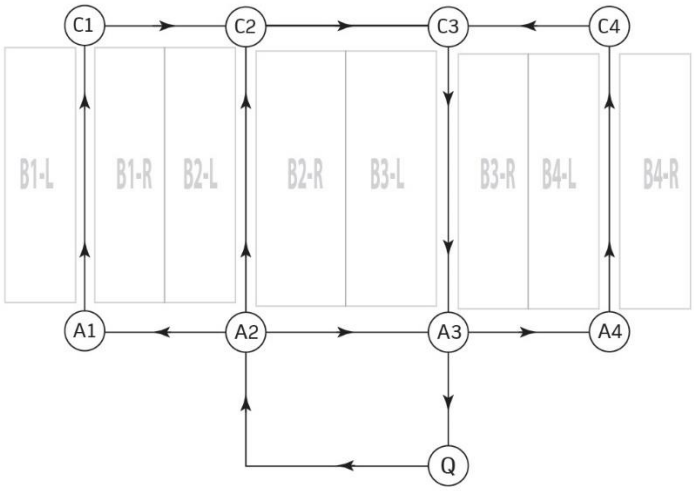
คือ ข้อมูลของจุดต่างๆ บนเส้นทาง ซึ่งเป็นสถานีสำหรับรับและส่งสินค้า โดยกำหนดสถานี S เป็นจุดสำหรับรับสินค้า และสถานี B1, B2, B3 และ B4 เป็นจุดสำหรับส่งสินค้า



ภาพที่ 3.7 จุดรับสินค้า S และจุดส่งสินค้า B1 B2 B3 และ B4

3.3.3 ข้อมูลสถานีทางแยกและทิศทางการใช้เส้นทาง

ผู้วิจัยกำหนดรหัสของถนนทางแยกต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้อ้างอิงและควบคุมทิศทางในการเดินทางของโรบอท จากนั้นจึงนำไปสร้างเป็นป้าย QR Code เพื่อติดบนพื้นถนน ทั้งนี้มีการกำหนดทิศทางในการใช้เส้นทางในแต่ละเส้นทางดังภาพที่ 3.8



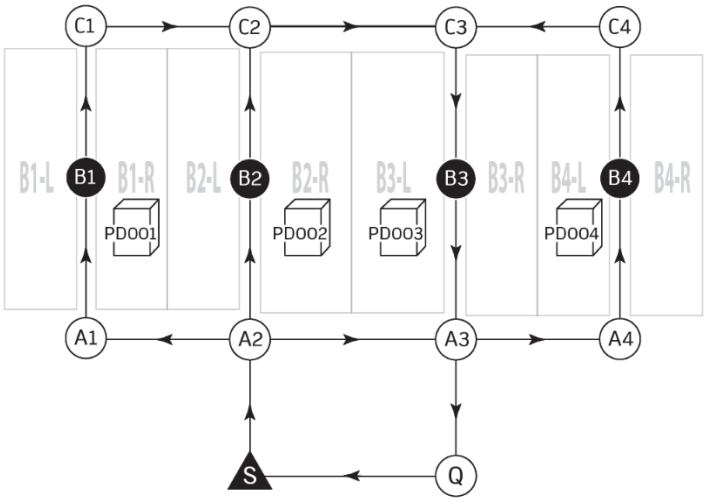
ภาพที่ 3.8 รหัสของสถานีหรือทางแยกและทิศทางในการใช้เส้นทาง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จากภาพที่ 3.8 เป็นถนนหรือเส้นทางที่ใช้การเดินทางของโรบอท โดยแต่ละเส้นทางจะมีการจำกัดทิศทางในการเดินทางแบบทิศทางเดียว (One Way)

3.3.4 ข้อมูลการเดินทาง

ผู้วิจัยกำหนดรายละเอียดของทิศทางในการเดินทางตั้งแต่จุดเริ่มต้นไปจนถึงสถานีปลายทาง ซึ่งเป็นสถานีสำหรับส่งสินค้าในแต่ละรายการ โดยกำหนดสถานีที่เกี่ยวข้องทั้งขาไปและขากลับ โดยมีรายละเอียดของการใช้เส้นทางดังนี้



ภาพที่ 3.9 สถานีสำหรับส่งสินค้าแต่ละรายการสินค้า

ตารางที่ 3.1 สถานีหรือจุดสังเกตในการเดินทางเพื่อเดินทางจากสถานีเริ่มต้นไปถึงปลายทาง และกลับมาที่สถานีเริ่มต้น

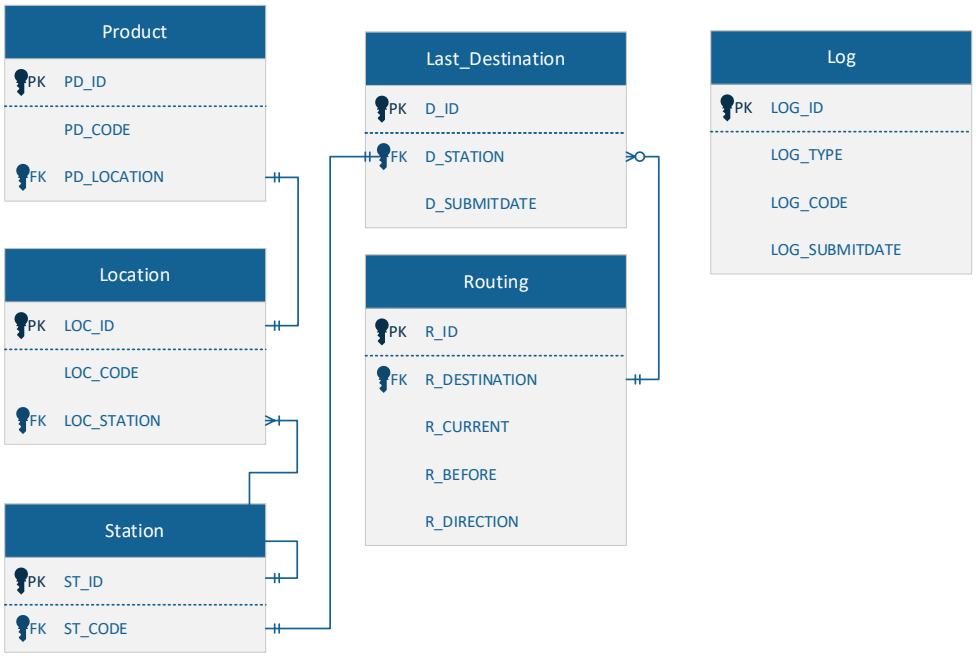
ที่	รหัสสินค้า	พื้นที่จัดเก็บสินค้า	สถานีส่งสินค้า	เส้นทางขาไป	เส้นทางขากลับ
1	PD001	B1-R	B1	S, A2, A1, B1	C1, C2, C3, B3, A3, Q, S
2	PD002	B2-R	B2	S, A2, B2	C2, C3, B3, A3, Q, S
3	PD003	B3-L	B3	S, A2, B2, C2, C3, B3	A3, Q, S
4	PD004	B4-L	B4	S, A2, A3, A4, B4	C4, C3, B3, A3, Q, S

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด

เนื่องจากข้อมูลเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินการและเดินทางของโรบอท ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลตามที่ได้กำหนดขึ้นในข้อ 3.3 ทั้งหมด รวมถึงข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เช่น ประวัติการทำงานหรือดำเนินการ (Log) ย้อนหลังทั้งหมด เป็นต้น โดยจะทำการจัดเก็บหรือบันทึกไว้ที่ฐานข้อมูล เพื่อให้โรบอทสามารถตรวจสอบข้อมูลและบันทึกกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้

ทั้งนี้มีการเลือกใช้งานและติดตั้งฐานข้อมูล MySQL ลงในบอร์ด Raspberry Pi เพื่อจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด โดยมีรายละเอียดการออกแบบโครงสร้างของฐานข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด

3.5 การกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขการทำงานของโรบอท

3.5.1 ป้าย QR Code

การทำงานและการเดินทางของโรบอทภายในคลังสินค้าถูกควบคุมทิศทางและนำทางด้วยป้าย QR Code โดยลักษณะของป้าย QR Code ที่กำหนดขึ้นมาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ป้ายQR Code สำหรับติดบนบรรจุภัณฑ์ของสินค้าและป้ายสำหรับติดบนพื้นถนน

- ป้าย QR Code สำหรับติดบนบรรจุภัณฑ์สินค้า จะมีข้อมูลเป็นรหัสของสินค้าบรรจุไว้โดยจะติดป้าย QR Code บริเวณด้านบนของบรรจุภัณฑ์ โดยจะมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.9 X 0.9 ซม. และพื้นที่สีขาวโดยรอบขนาดความกว้าง 0.15 ซม.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาพที่ 3.11 ขนาดของป้าย QR Code ที่ใช้ติดบนบรรจุภัณฑ์ของสินค้า

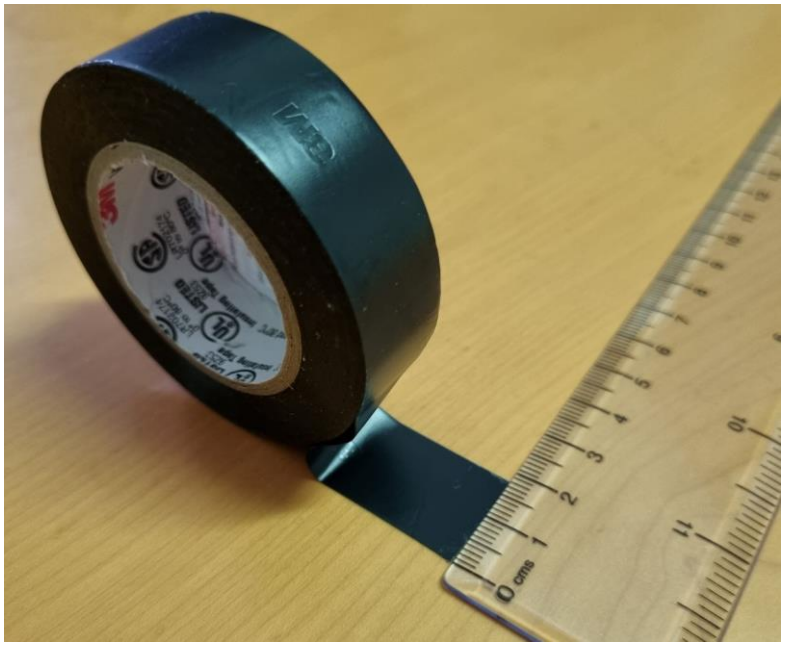
- ป้าย QR Code สำหรับติดบนพื้นถนน จะมีข้อมูลเป็นรหัสของสถานีบรรจุไว้ในแถบ QR Code นั้น โดยจะติดป้าย QR Code ที่บริเวณสถานีเริ่มต้น สถานีปลายทาง และทางแยกต่างๆ โดยจะมีขนาดความกว้างและความยาวเท่ากับ 2.8 X 2.8 ซม. และพื้นที่สีขาวโดยรอบขนาดความกว้าง 0.5 ซม.

ภาพที่ 3.12 ขนาดของป้าย QR Code ที่ใช้ติดบนเส้นทาง

3.5.2 เส้นทางหรือถนน

เส้นทางหรือถนนที่กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับควบคุมทิศทางในการเดินทางหรือเคลื่อนที่ของโรบอท โดยใช้เทปกาว PVC สีดำ ขนาดความกว้าง คือ 1.8 ซม. ติดบนพื้นเป็นแนวเส้นตรงตลอดเส้นทางที่ใช้สำหรับเดินทางของโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.13 เทปกาว PVC สีดำ ขนาดความกว้าง 1.8 ซม. ใช้สำหรับติดพื้นเพื่อทำเป็นเส้นทาง

3.5.3 เส้นหยุดและเส้นเลี้ยว

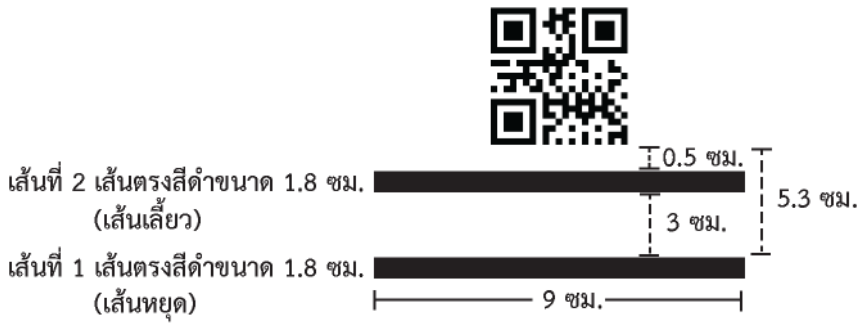
การควบคุมการหยุดและการเลี้ยวของโรบอทเป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของการเดินทางที่ควบคุมการทำงานด้วยการหมุนของมอเตอร์ โดยส่วนของการหยุดสามารถควบคุมโดยหยุดการจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ ส่วนการเลี้ยวสามารถควบคุมโดยการสลับการหมุนของล้อทั้ง 2 ข้าง ให้หมุนไปในทิศทางตรงข้ามกัน ทำให้สามารถควบคุมการหยุดและการเลี้ยวได้ตามที่ต้องการ

ในการเดินทางตามเส้นทางหรือถนนของโรบอท จะต้องกำหนดสัญญาณหรือสัญลักษณ์ขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการหยุดและการเลี้ยวของโรบอท เพื่อให้การเดินทางสามารถดำเนินไปได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ในการหยุดและการเลี้ยวขึ้นมา โดยมีรายละเอียดดังนี้

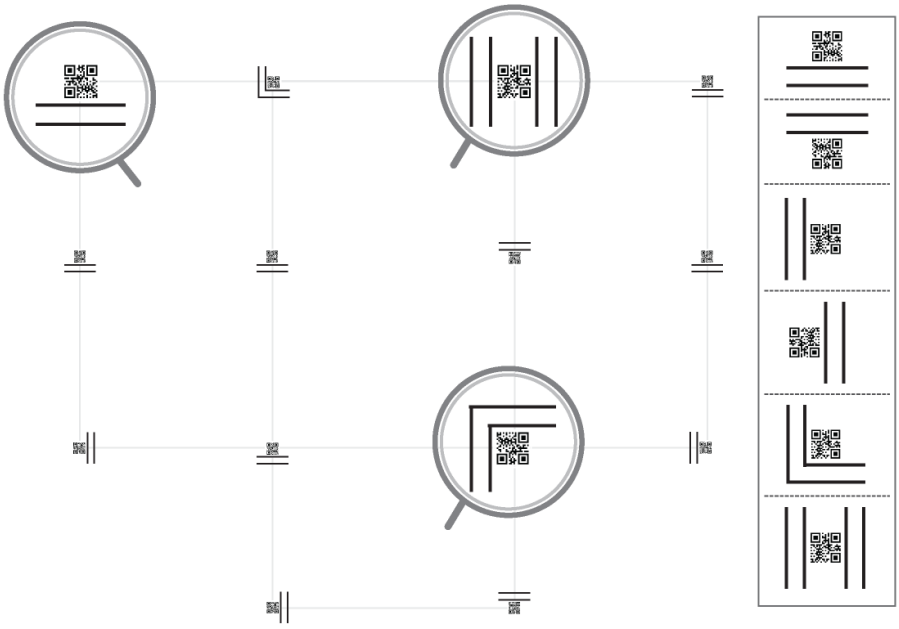
เส้นหยุด เป็นสัญญาณควบคุมที่กำหนดขึ้นมาเพื่อหยุดการเดินทางของโรบอท เพื่ออ่านป้าย QR Code ของสถานี โดยลักษณะของเส้นหยุดจะเป็นเส้นตรงทึบสีดำ ขนาดความกว้าง 1.8 ซม. และความยาว 9 ซม. ติดอยู่บนพื้นถนนในแนวตัดขวางกับเส้นถนน โดยจะแสดงสัญญาณก่อนที่จะถึงป้าย QR Code ของสถานี ในระยะห่าง 5.3 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่กล้องเว็บแคมที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท สามารถถ่ายภาพป้าย QR Code โดยมีรายละเอียดที่ครบถ้วน

เส้นเลี้ยว เป็นสัญญาณควบคุมที่กำหนดขึ้นมาเพื่อเริ่มต้นของการเลี้ยวของโรบอท ซึ่งจะถูกใช้งานเมื่อได้รับการตอบกลับมาจากระบบฐานข้อมูลให้มีการเปลี่ยนทิศทางเป็น R (เลี้ยวขวา) หรือ L (เลี้ยวซ้าย) เท่านั้น โดยลักษณะของเส้นเลี้ยวจะเหมือนกับเส้นหยุดทุกประการ แต่จะมีระยะห่างใกล้กับป้ายสถานีมากกว่า โดยมีระยะห่างเพียง 0.5 ซม.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.14 ขนาดและระยะห่างของเส้นหยุดและเส้นเลี้ยว



ภาพที่ 3.15 ผังของเส้นหยุดและเส้นเลี้ยวทั้งหมด

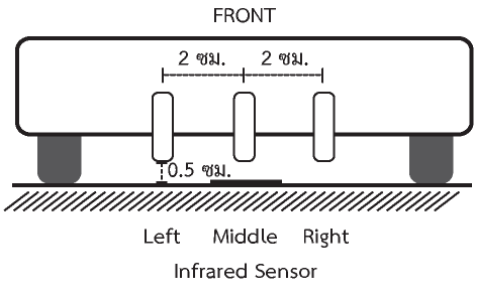
3.5.4 การตรวจจับ

การตรวจจับ คือ การเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อควบคุมและดำเนินการตามที่กำหนด เมื่อเกิดเหตุการณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไข โดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ การตรวจจับเส้นทาง การตรวจจับเส้นหยุด การตรวจจับป้ายสถานี การตรวจจับป้ายสินค้า และการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

(1) การตรวจจับเส้นทาง

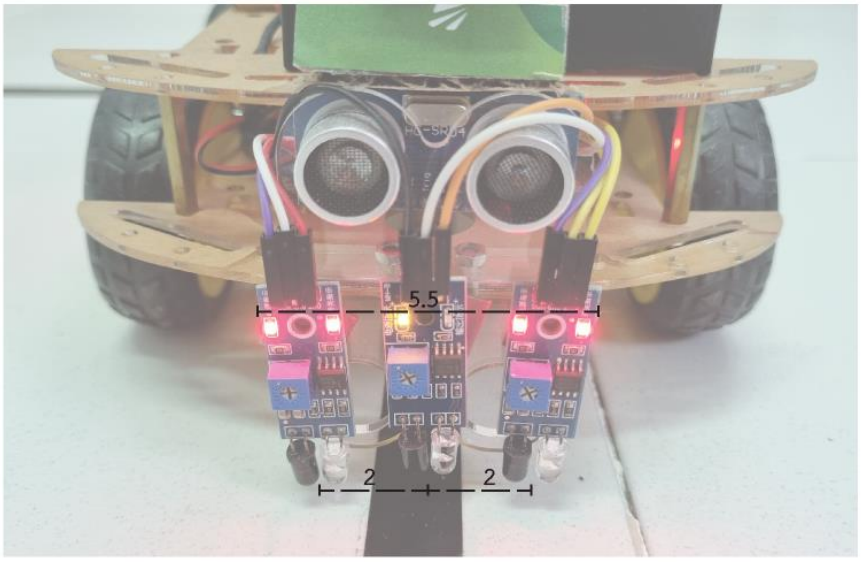
เส้นทางหรือถนนสำหรับโรบอทเป็นแนวเส้นตรงทึบสีดำ ซึ่งติดบนพื้นถนนอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการควบคุมทิศทางในการเดินทาง โดยอาศัยเซ็นเซอร์ที่มีคุณสมบัติในการตรวจจับเส้นทาง ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นทึบนั่นคือ เซ็นเซอร์อินฟราเรด โดยทำการติดตั้งที่บริเวณด้านหน้าของโรบอทเป็นจำนวน 3 ตัว

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.16 การติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท

จากภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรดจำนวน 3 ตัว ที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท โดยเซ็นเซอร์ตัวกลางจะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้างด้านหน้าของโรบอท และมีระยะห่างระหว่างพื้นถึงปลายหลอดอินฟราเรดเท่ากับ 0.5 ซม. ส่วนเซ็นเซอร์อินฟราเรดด้านซ้ายและด้านขวาจะมีระยะห่างจากเซ็นเซอร์อินฟราเรดตัวกลาง โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของตัวกลางมาที่จุดกึ่งกลางของตัวซ้ายและตัวขวาข้างละ 2 ซม.



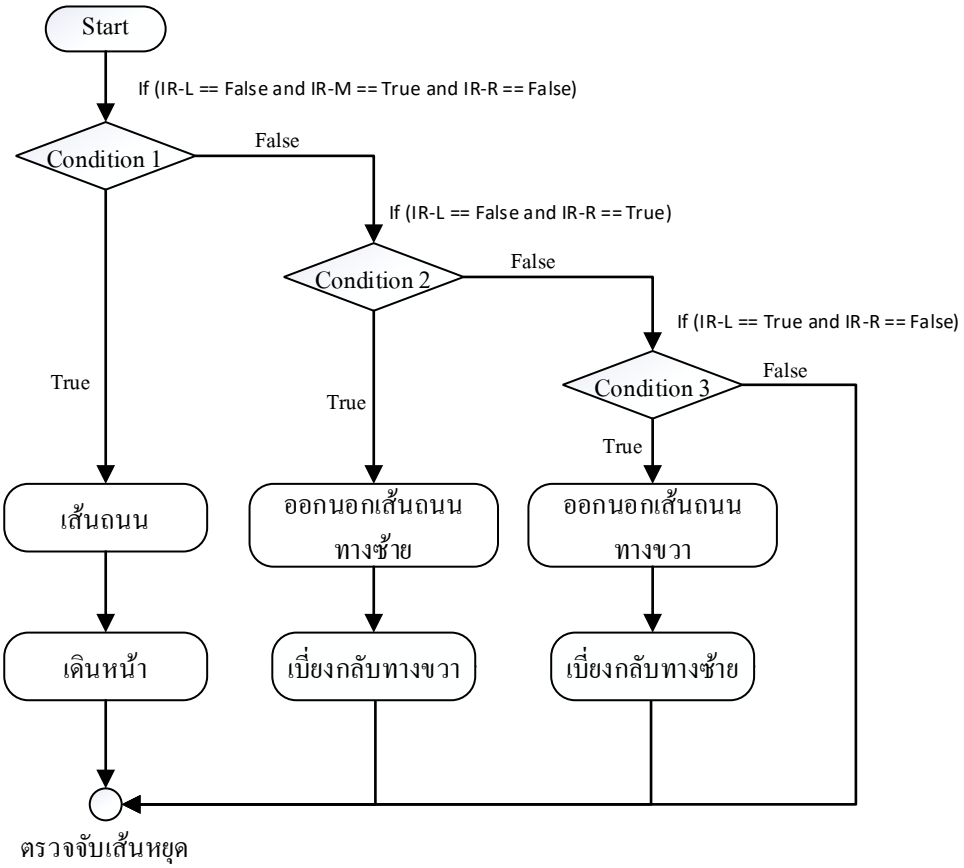
ภาพที่ 3.17 ความกว้างและระยะของการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรด

เกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจจับเส้นทาง มีดังนี้

1. เมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดในตำแหน่งซ้าย (IR-L) และขวา (IR-R) ตรวจไม่พบเส้นทึบ และตำแหน่งกลาง (IR-M) ตรวจพบเส้นทึบ แทนความหมายว่าในขณะนั้นโรบอทกำลังอยู่บนเส้นทางที่ถูกต้อง
2. เมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดในตำแหน่งซ้ายตรวจไม่พบเส้นทึบ และตำแหน่งขวาตรวจพบเส้นทึบ แทนความหมายว่าในขณะนั้นโรบอทกำลังออกนอกเส้นถนนทางซ้าย ต้องดำเนินการแก้ไขโดยการให้โรบอทเบี่ยงหรือสไลด์กลับทางขวา

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3. เมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดในตำแหน่งซ้ายตรวจพบเส้นทึบและตำแหน่งขวาตรวจไม่พบเส้นทึบ แทนความหมายว่าในขณะนั้นโรบอทกำลังออกนอกเส้นถนนทางขวา ต้องดำเนินการแก้ไขโดยการให้โรบอทสไลด์กลับทางซ้าย



ภาพที่ 3.18 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นทาง

(2) การตรวจจับเส้นหยุดและเส้นเลี้ยว

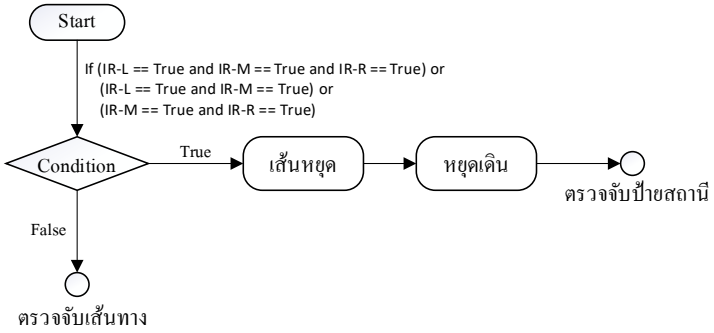
เส้นหยุดและเส้นเลี้ยว เป็นสัญญาณควบคุมที่กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการหยุดเดินและการเริ่มต้นการเลี้ยวของโรบอท โดยกำหนดเป็นแนวเส้นทึบสีดำติดบนพื้นถนนในแนวตัดขวางกับเส้นถนน

การหยุดเดินทางของโรบอท จะเกิดขึ้นเมื่อถึงสถานีหลักหรือสถานีทางแยกต่าง ๆ เพื่อตรวจจับป้ายสถานี หรือป้าย QR Code ที่ติดบนพื้นถนน ซึ่งกระบวนการตรวจจับป้ายสถานีนั้น จะต้องมีการถ่ายรูปและถอดรหัสเป็นข้อมูลออกมา ซึ่งประสิทธิภาพของภาพถ่ายเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การถอดรหัสข้อมูลเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหยุดเดินชั่วคราวเพื่อทำการถ่ายรูปป้าย QR Code ของสถานี

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจจับเส้นหยุด มีดังนี้

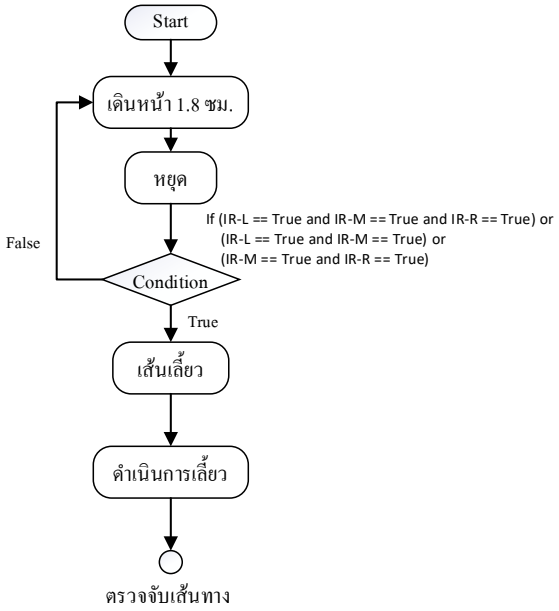
เมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดทุกตำแหน่งตรวจพบเส้นทึบ หรือตำแหน่งซ้ายและกลาง หรือตำแหน่งกลางและขวาตรวจพบเส้นทึบ ให้แทนความหมายว่าในขณะนั้นโรบอทกำลังอยู่บนเส้นหยุด



ภาพที่ 3.19 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นหยุด

เกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจจับเส้นเลี้ยว จะมีความคล้ายคลึงกับการตรวจจับเส้นหยุด แต่มีความแตกต่างที่การตรวจจับเส้นเลี้ยวจะเกิดขึ้นในภายหลังเมื่อออกจากเส้นหยุดแล้ว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อมีการเดินทางต่อโดยออกจากเส้นหยุดจะมีการตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์อินฟราเรด โดยเมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดทุกตำแหน่งตรวจพบเส้นทึบ หรือตำแหน่งซ้ายและกลาง หรือตำแหน่งกลางและขวาตรวจพบเส้นทึบให้แทนความหมายว่า ในขณะนั้นโรบอทกำลังอยู่บนเส้นเลี้ยว



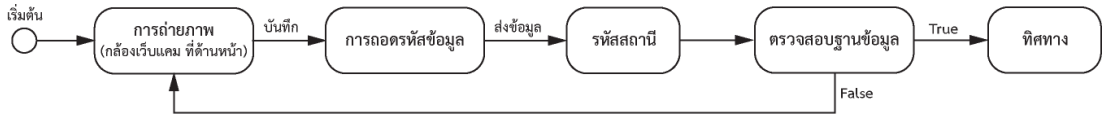
ภาพที่ 3.20 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นเลี้ยว

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(3) การตรวจจับป้ายสถานี

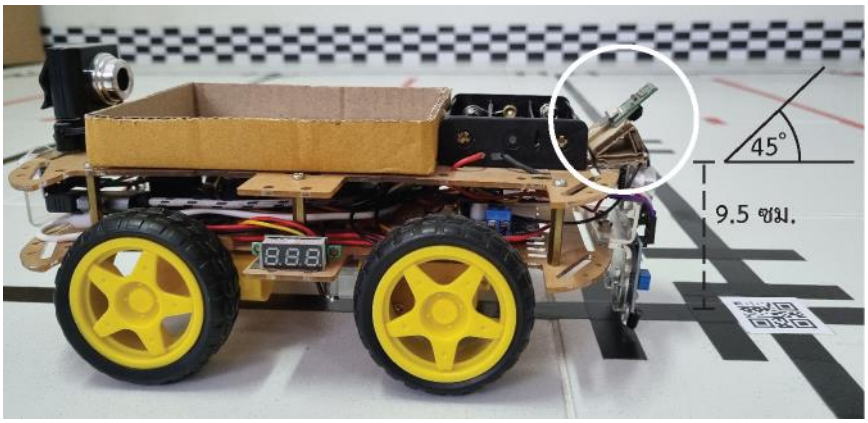
ป้ายสถานี คือ ป้าย QR Code ที่ติดบนพื้นถนนเพื่อใช้ตรวจสอบสถานที่หรือตำแหน่งที่อยู่ในขณะนั้น โดยรหัสของสถานีจะถูกบรรจุไว้ในป้าย QR Code ซึ่งจะต้องใช้กระบวนการในการตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลออกมาเพื่อนำไปตรวจสอบและขอข้อมูลทิศทางในการเดินทางต่อไป

การตรวจจับป้ายสถานีจะเกิดขึ้นหลังจากตรวจพบเส้นหยุด โดยมีกระบวนการในการตรวจจับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การถ่ายภาพ การถอดรหัสข้อมูล และการตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล



ภาพที่ 3.21 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับป้ายสถานี

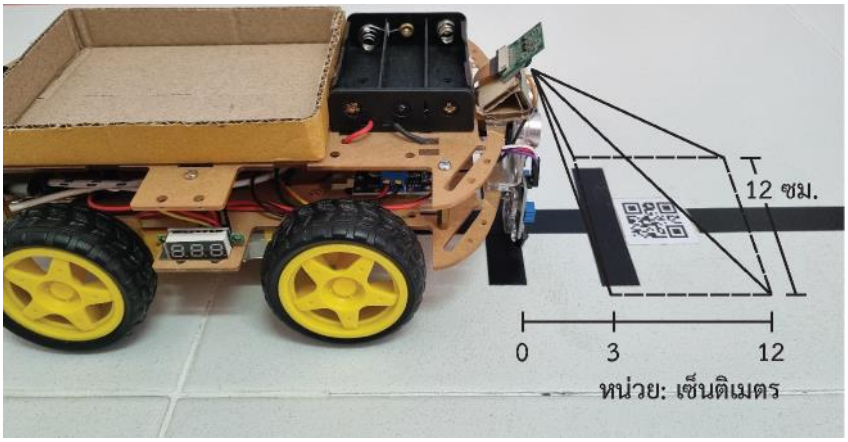
ขั้นตอนที่ 1 การถ่ายภาพ ดำเนินการโดยใช้กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งอยู่ที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท เพื่อทำการถ่ายภาพและบันทึกไฟล์เก็บไว้ในระบบ



ภาพที่ 3.22 การจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนหน้าของโรบอท

จากภาพที่ 3.22 เป็นการจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนหน้าของโรบอท โดยมีมุมเอียงที่ 45 องศา และมีความสูงจากพื้นเท่ากับ 9.5 ซม.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.23 ระยะของการถ่ายภาพที่ทำให้ได้รูปภาพที่มีรายละเอียดครบถ้วน

จากภาพที่ 3.23 แสดงระยะของการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคมที่บริเวณด้านหน้าของโรบอท ซึ่งทำให้ได้รูปภาพที่มีรายละเอียดครบถ้วน โดยมีรายละเอียดตั้งแต่ระยะห่างจากเส้นหยุดไป 3 ซม. ถึง 12 ซม. และความกว้างของรูปภาพจะมีรายละเอียดตั้งแต่จุดกึ่งกลางของเส้นถนนไปด้านซ้ายและด้านขวาข้างละ 6 ซม.

ภาพที่ 3.24 ตัวอย่างรูปภาพของป้ายสถานีที่ได้รับจากกล้องเว็บแคมที่ด้านหน้าของโรบอท

ขั้นตอนที่ 2 การถอดรหัสข้อมูล ดำเนินการตามคำสั่งที่กำหนดไว้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python และฝังไว้ในบอร์ด โดยในคำสั่งจะกำหนดให้มีการใช้เครื่องมือ Pill Package ในการดึงรูปภาพจากป้ายสถานีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และใช้เครื่องมือ Pyzbar Package ในการวิเคราะห์รายละเอียดของรูปภาพและถอดรหัสเป็นข้อมูลออกมา

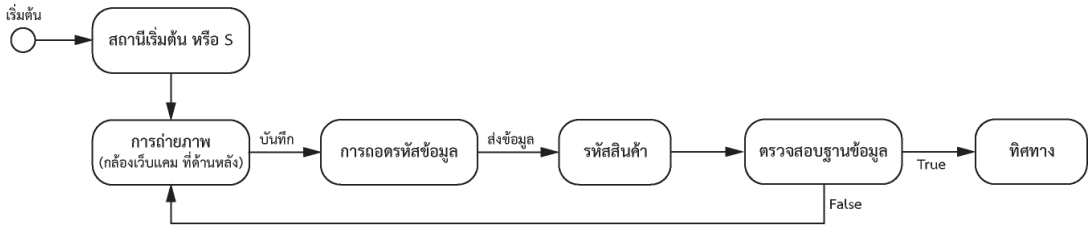
ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูล ดำเนินการโดยการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาตรวจสอบในฐานข้อมูลเพื่อขอรับทิศทางในการเดินทางต่อไป หากตรวจพบข้อมูลจะได้รับการตอบกลับด้วยข้อมูลทิศทางในการเดินทาง เช่น G (ตรงไป) R (เลี้ยวขวา) L (เลี้ยวซ้าย) S (หยุด) และ D (หยุดรอส่งของและตรงไป) แต่หากไม่พบข้อมูลจะมีการดำเนินการใหม่อีกครั้งตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 จนถึง 3 ตามลำดับ และจะดำเนินการวนไปตามลำดับจนกว่าจะได้ข้อมูลออกมา ทั้งนี้การไม่พบข้อมูลสามารถเกิดขึ้นเมื่อโรบอทหยุดนอกขอบเขตที่กำหนดหรือหยุดผิดตำแหน่ง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(4) การตรวจจับป้ายสินค้า

ป้ายสินค้า คือ ป้าย QR Code ที่ติดบนบรรจุภัณฑ์ของสินค้าเพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูลของสินค้าจากระบบฐานข้อมูล โดยภายในป้ายจะมีรหัสของสินค้าบรรจุไว้ ซึ่งจะต้องใช้กระบวนการในการตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลออกมา เพื่อนำไปตรวจสอบและเทียบกับข้อมูลที่มีในระบบฐานข้อมูล

การตรวจจับป้ายสินค้าจะเกิดขึ้นหลังจากที่หยุดที่สถานีเริ่มต้นหรือสถานี S โดยจะมีกระบวนการในการตรวจจับแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การถ่ายภาพ การถอดรหัสข้อมูล และการตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูล ซึ่งจะมีกระบวนการคล้ายกับการตรวจจับป้ายสถานี แต่มีความแตกต่างกันที่ตำแหน่งของกล้องเว็บแคมที่ติดตั้งจะอยู่ที่บริเวณด้านท้ายของโรบอท



ภาพที่ 3.25 ผังเงื่อนไขของการตรวจจับป้ายสินค้า

ขั้นตอนที่ 1 การถ่ายภาพ ดำเนินการโดยใช้กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งที่บริเวณด้านท้ายของโรบอท ทำการถ่ายภาพและบันทึกไฟล์เก็บไว้ในระบบ

ภาพที่ 3.26 การจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนท้ายของโรบอท

จากภาพ 3.26 แสดงการติดตั้งหรือการจัดวางกล้องเว็บแคมที่ส่วนท้ายของโรบอท เพื่อทำการถ่ายภาพป้าย QR Code ของสินค้าที่ติดบนบรรจุภัณฑ์ที่นำมาวางบนกระบะของโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาพที่ 3.27 ระยะห่างระหว่างหน้ากล้องและด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ที่ติดป้าย QR Code

กล้องเว็บแคมที่ติดตั้งบริเวณด้านท้ายของโรบอท มีระยะห่างจากพื้นชั้นบนไปถึงจุดกึ่งกลางของเลนส์กล้อง เท่ากับ 3 ซม. และเมื่อวางบรรจุภัณฑ์สินค้าลงบนกระบะ โดยหันด้านที่มีป้ายสินค้าหรือป้าย QR Code ไปทางหน้ากล้อง จะมีระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของเลนส์ถึงป้ายสินค้า เท่ากับ 3.5 ซม.

ภาพที่ 3.28 ขนาดขอบเขตหรือมิติที่กล้องสามารถตรวจจับ

พื้นที่ของรูปภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องเว็บแคมที่บริเวณด้านท้ายของโรบอท มีขนาดความกว้าง 2.2 ซม. และความยาว 1.6 ซม.

ภาพที่ 3.29 ตัวอย่างรูปภาพของป้ายสินค้าที่ได้รับจากกล้องเว็บแคมที่ด้านท้ายของโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ขั้นตอนที่ 2 การถอดรหัสข้อมูล ดำเนินการตามคำสั่งที่กำหนดไว้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python และฝังไว้ในบอร์ด โดยในคำสั่งจะกำหนดให้มีการใช้เครื่องมือ Pill Package ในการดึงรูปภาพป้ายสถานีที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และใช้เครื่องมือ Pyzbar Package ในการวิเคราะห์รายละเอียดของรูปภาพและถอดรหัสเป็นข้อมูลออกมา

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล ดำเนินการโดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาตรวจสอบในระบบฐานข้อมูลเพื่อขอรับทิศทางในการเดินทางต่อไป หากตรวจพบข้อมูลจะได้รับการตอบกลับด้วยข้อมูลทิศทางการเดินทาง เช่น G (ตรงไป) R (เลี้ยวขวา) L (เลี้ยวซ้าย) S (หยุด) และ D (หยุดรอส่งของและตรงไป) แต่หากไม่พบข้อมูลจะมีการดำเนินการใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ โดยจะดำเนินการวนไปจนกว่าจะได้ข้อมูลออกมา ทั้งนี้การไม่พบข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีสินค้าวางบนกระบะของโรบอทหรือมีการจัดวางสินค้าที่ผิดตำแหน่ง

ทั้งนี้เมื่อตรวจพบข้อมูลจะมีการบันทึกประวัติเก็บไว้ในระบบเพื่อใช้อ้างอิงในการตรวจสอบจุดหมายปลายทางต่อไป

(5) การตรวจจับสิ่งกีดขวาง

สิ่งกีดขวาง คือ วัตถุ หรือ สภาพแวดล้อม ที่มาบดบัง ขวางกั้น จนไม่สามารถเดินทางต่อไป ซึ่งในระหว่างการเดินทางของโรบอทมีโอกาสที่จะมีสิ่งกีดขวางเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยสามารถเกิดขึ้นที่บริเวณด้านหน้าในขณะที่กำลังเดินทางไปข้างหน้าและที่ด้านหลังในขณะที่กำลังถอยหลัง

เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ มีคุณสมบัติในการตรวจวัดระยะห่างของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่มาบดบังหรือขวางกั้นได้ ผู้วิจัยจึงนำมาติดตั้งที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของโรบอทเพื่อตรวจวัดระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์และวัตถุที่มากีดขวาง โดยตำแหน่งที่ติดตั้งจะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของโครงสร้างของโรบอทที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลัง และมีระยะความสูงจากพื้นถนนถึงจุดกึ่งกลางของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ เท่ากับ 6.5 ซม.

ภาพที่ 3.30 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ที่ด้านหน้าและด้านหลังของโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกส์ จะมีการส่งข้อมูลของระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์กับสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าและด้านหลังมาอย่างต่อเนื่อง โดยจะถูกนำไปกำหนดเป็นเงื่อนไขในการเดินทางหรือหยุดเดินทางต่อไป

3.5.5 การเดินทางหรือการเคลื่อนที่

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อนการเดินทางหรือการเคลื่อนที่ของโรบอท ซึ่งจะต้องได้รับพลังงานไฟฟ้าแบบกระแสตรงตั้งแต่ 3 ถึง 6 โวลท์ จึงจะสามารถทำงานได้ โดยเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบสูงขึ้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหมุนได้ 2 ทิศทางคือ หมุนไปทางซ้ายหรือข้างหน้า และหมุนไปทางขวาหรือถอยหลัง โดยการเปลี่ยนทิศทางในการหมุนของมอเตอร์ สามารถทำได้โดยการสลับขั้วของการจ่ายไฟฟ้าจากบวกเป็นลบหรือจากลบเป็นบวก

เกณฑ์และเงื่อนไขในการทำงานถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนการเดินทางของโรบอทให้สามารถเดินทางไปตามทิศทางที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง โดยมีข้อกำหนดและรายละเอียด ดังนี้

ข้อกำหนด

(1) พลังงานไฟฟ้า กำหนดให้ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 6 โวลท์ เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นค่าแรงดันสูงสุดที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กสามารถใช้งานได้

(2) การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลัง ถูกควบคุมเป็นรอบ (Loop) โดยในแต่ละรอบกำหนดให้เคลื่อนที่ไปในระยะทาง 1.8 ซม. และหยุด ทั้งนี้เพื่อให้สัมพันธ์กับขนาดของความกว้างของเส้นหยุดที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 1.8 ซม. เหมือนกัน ทำให้สามารถหยุดการเดินทางของโรบอทได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเจอเส้นหยุด

(3) การเดินทางหรือเคลื่อนในระยะทาง 1.8 ซม. เกิดจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์เป็นระยะเวลา 0.11 วินาที และกำหนดค่า Duty Cycle ของสัญญาณ PWM เท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์

(4) การหยุดเดินทางแบบกระทันหัน ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยการหยุดจ่ายไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เพราะถึงแม้จะหยุดจ่ายไฟฟ้าแล้ว การหมุนของมอเตอร์จะยังคงมีแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ทำให้มอเตอร์ยังคงหมุนต่อไปอีกระยะหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถกำหนดระยะทางในการหยุดนิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มเติมข้อกำหนดในการหยุด โดยให้มอเตอร์หมุนแบบย้อนทิศทางหรือย้อนศร เป็นระยะเวลา 0.02 วินาที เพื่อตัดกำลังของแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นในขณะนั้นทำให้การหยุดแบบกระทันหัน สามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากข้อกำหนดข้างต้น จะเห็นว่ามีการกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ในระยะทางสั้นๆ ทำให้สามารถควบคุมการหยุดเมื่อพบสิ่งกีดขวางหรือเส้นหยุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้นอกจากการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์แล้ว ยังต้องมีการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเพื่อประเมินและดำเนินการตามเงื่อนไข ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- เส้นถนน เป็นการตรวจสอบว่าในขณะนั้นโรบอทยังคงอยู่บนเส้นถนนอย่างถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้องจะต้องดำเนินการตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ถูกต้อง เช่น เบี่ยงซ้าย เบี่ยงขวา และหยุด แล้วจึงจะสามารถเดินทางต่อไป ทั้งนี้เพื่อควบคุมทิศทางในการเดินทางตามเส้นถนนได้อย่างถูกต้อง

- เส้นหยุด เป็นการตรวจสอบว่าในขณะนั้นตรวจพบเส้นหยุดหรือไม่ หากพบเส้นหยุดจะต้องหยุดเดินทางและดำเนินการตามเงื่อนไขที่กำหนดให้เรียบร้อยแล้วจึงจะเดินทางต่อไป

- สิ่งกีดขวาง เป็นการตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่มาบดบังการเดินทางที่อาจจะเกิดขึ้นที่บริเวณด้านหน้าในกรณีที่กำลังเดินไปข้างหน้า หรือบริเวณด้านหลังในกรณีที่กำลังถอยหลัง เพื่อที่จะหยุดการเดินทางและดำเนินการตามเงื่อนไขที่กำหนดให้เรียบร้อยแล้วจึงจะเดินทางต่อไป

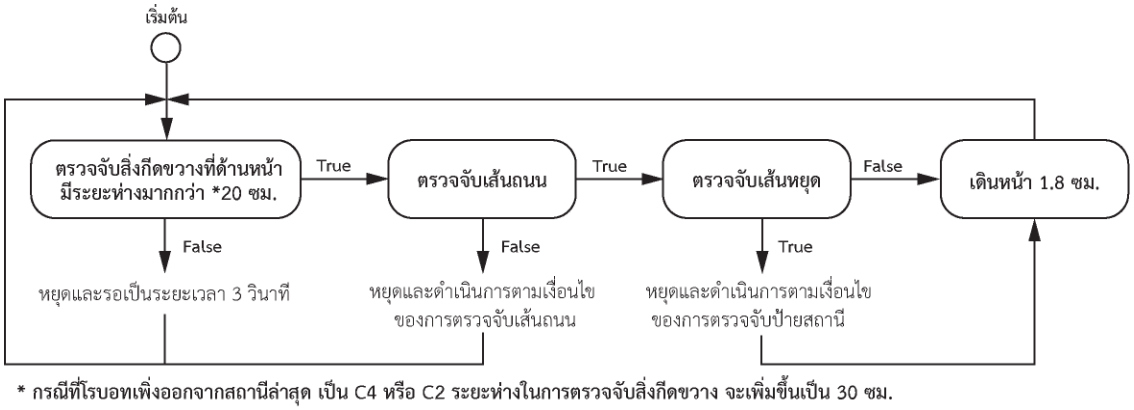
ทิศทางของการเดินทางหรือการเคลื่อนที่ของโรบอทมี 3 รูปแบบ คือ การเดินหน้า การเลี้ยวขวาหรือเลี้ยวซ้าย และการถอยหลัง โดยแต่ละรูปแบบจะมีเกณฑ์และเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

การเดินหน้า คือการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ารอบละ 1.8 ซม. โดยก่อนการเคลื่อนที่จะมีการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องและดำเนินการตามลำดับของเกณฑ์และเงื่อนไข ดังนี้

- การตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้า จะต้องมีระยะห่างมากกว่า 20 ซม. หากน้อยกว่านั้นจะต้องหยุดการเดินทางและพักการทำงาน (Sleep) เป็นระยะเวลา 3 วินาที จากนั้นจะทำการตรวจซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะไม่พบสิ่งกีดขวางหรือมีค่ามากกว่า 20 ซม. จึงจะดำเนินการตรวจสอบในหัวข้อถัดไป

- การตรวจจับเส้นถนน หากไม่พบว่าเป็นเส้นถนนจะต้องหยุดการเดินทางและดำเนินการตรวจจับเส้นถนนตามข้อกำหนดและเงื่อนไขของการตรวจจับเส้นถนน แต่หากพบว่าเป็นเส้นถนนให้ดำเนินการตรวจสอบในหัวข้อถัดไป

- ตรวจจับเส้นหยุด หากพบว่าเป็นเส้นหยุดจะต้องหยุดการเดินทางและดำเนินการตรวจจับป้ายสถานีตามข้อกำหนดและเงื่อนไขของการตรวจจับป้ายสถานี แต่หากไม่พบว่าเป็นเส้นหยุดจึงจะสามารถเดินหน้าต่อไป



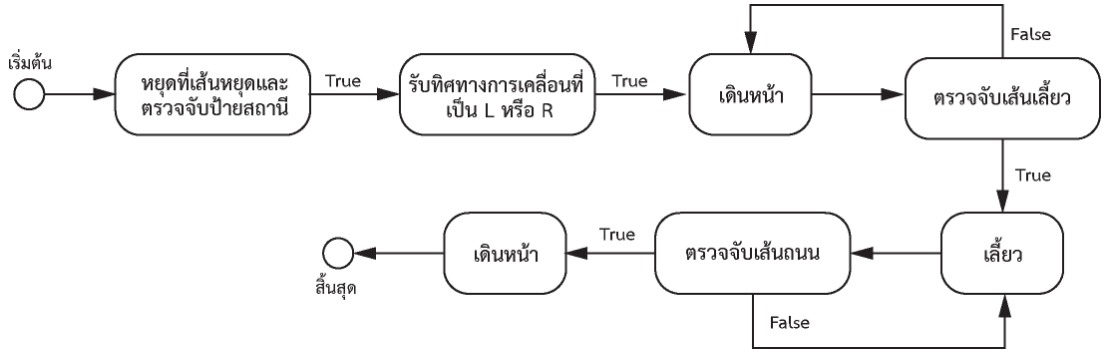
ภาพที่ 3.31 ผังของเงื่อนไขในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของการเดินหน้า

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การเลี้ยวขวาหรือเลี้ยวซ้าย จะเกิดขึ้นหลังจากที่หยุดอยู่ที่เส้นหยุดและทำการตรวจจับป้ายสถานี จากนั้นเมื่อได้รับข้อมูลทิศทางการเดินทางจากในระบบเป็น R (เลี้ยวขวา) หรือ L (เลี้ยวซ้าย) จะมีการเลี้ยวเกิดขึ้น โดยการเลี้ยวจะเกิดขึ้นเมื่อเดินทางออกจากเส้นหยุดไปจนถึงเส้นเลี้ยวจึงจะเริ่มต้นการเลี้ยวไปตามทิศทางที่ได้รับมา ซึ่งมีเกณฑ์และเงื่อนไขในการจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อให้เกิดการเลี้ยวที่ถูกต้อง ดังนี้

- การเลี้ยวขวา จะจ่ายไฟฟ้าแบบสลับขั้วให้กับมอเตอร์ด้านขวา เพื่อให้เกิดการหมุนแบบถอยหลัง ส่วนมอเตอร์ด้านซ้ายจะหมุนไปข้างหน้าตามปกติ
- การเลี้ยวซ้าย จะจ่ายไฟฟ้าแบบสลับขั้วให้กับมอเตอร์ด้านซ้าย เพื่อให้เกิดการหมุนแบบถอยหลัง ส่วนมอเตอร์ด้านขวาจะหมุนไปข้างหน้าตามปกติ

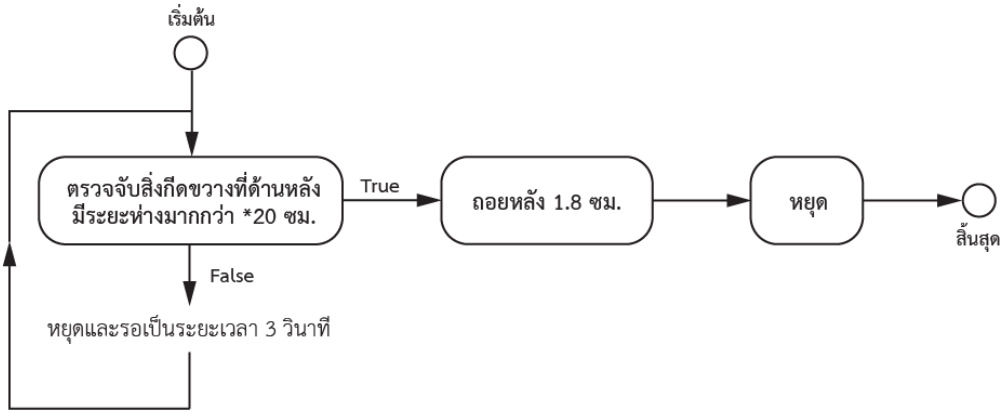
หลังจากตรวจพบเส้นเลี้ยว จะจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อทำการเลี้ยวเป็นระยะเวลา 0.2 วินาที และหยุดจ่ายไฟฟ้า จากนั้นจะทำการตรวจสอบเส้นถนนและสิ่งกีดขวาง หากยังไม่พบเส้นถนนจะดำเนินการจ่ายไฟเพื่อทำการเลี้ยวต่อไปจนกว่าจะพบเส้นถนนที่ถูกต้อง จึงจะกลับมาสู่การเดินหน้าตามปกติ



ภาพที่ 3.32 ผังของเงื่อนไขในการเลี้ยวขวาหรือซ้าย

- การถอยหลัง คือการเคลื่อนที่ไปข้างหลังรอบละ 1.8 ซม. โดยก่อนการเคลื่อนที่จะมีการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องและดำเนินการตามลำดับของเกณฑ์และเงื่อนไข โดยจะดำเนินการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่ด้านหลัง ซึ่งมีระยะห่างมากกว่า 20 ซม. หากน้อยกว่านั้นจะต้องหยุดการเดินทางและพักการทำงาน (Sleep) เป็นระยะเวลา 3 วินาที จากนั้นจะทำการตรวจซ้ำอีกครั้งจนกว่าจะไม่พบสิ่งกีดขวางหรือมีค่ามากกว่า 20 ซม. จึงจะดำเนินการถอยหลังต่อไป

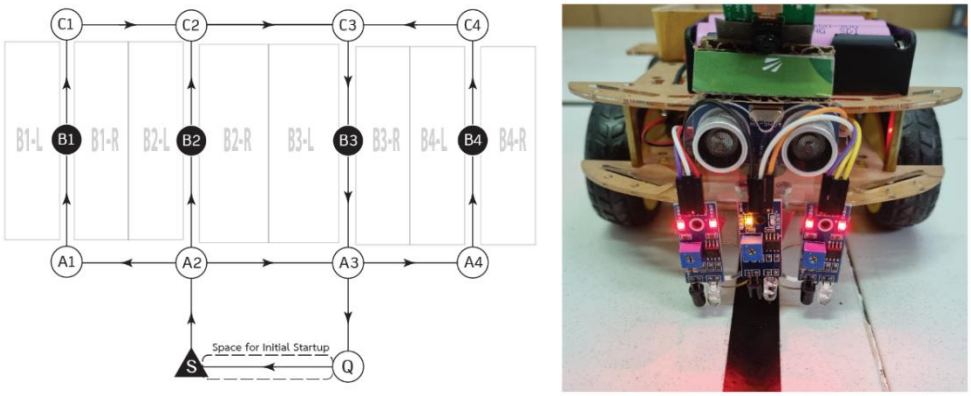
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.33 ผังของเงื่อนไขในการถอยหลัง

3.5.6 พื้นที่สำหรับการจัดวางหรือเริ่มต้นทำงานของโรบอท

พื้นที่สำหรับการการจัดวางหรือเริ่มต้นทำงานใหม่ของโรบอท กำหนดให้ใช้พื้นที่ของเส้นถนนตั้งแต่สถานี Q จนถึง สถานี S เพื่อทำการรีเซ็ตข้อมูลที่ค้างในระบบและเริ่มต้นทำงานใหม่โดยทำการจัดวางโรบอทลงบนเส้นถนน โดยให้เซ็นเซอร์อินฟราเรดตำแหน่งกลางที่อยู่ด้านหน้าของโรบอทอยู่ตรงกับเส้นถนน



ภาพที่ 3.34 พื้นที่ในการเริ่มต้นทำงานของโรบอท (ซ้าย) และการจัดวางโรบอทบนเส้นถนน (ขวา)

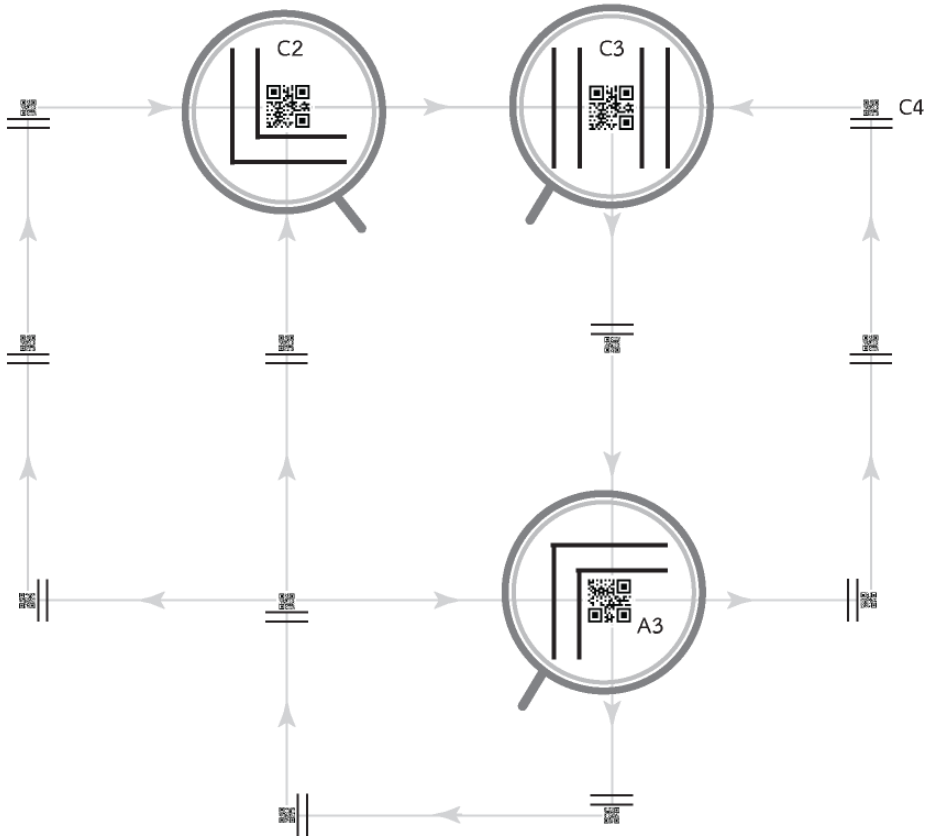
จากภาพที่ 3.34 เป็นการจัดวางโรบอทลงบนเส้นถนนในช่วงระหว่างสถานี Q ถึง สถานี S ซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่สำหรับเริ่มต้นทำงานของโรบอท โดยต้องจัดวางให้เซ็นเซอร์อินฟราเรดตำแหน่งกลางอยู่ตรงกับเส้นถนนหรือเส้นทึบสีดำจึงจะสามารถเดินทางหรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้

3.5.7 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทาง

การเดินทางของโรบอทมากกว่า 1 คัน ภายในบริเวณคลังสินค้ามีโอกาสที่จะเกิดการปะทะกันตามบริเวณทางร่วมแยกต่างๆ จึงมีความจำเป็นจะต้องควบคุมและกำหนดการใช้เส้นทาง โดยกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการทำงานขึ้นมาเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางและให้ทางที่บริเวณสถานีต่างๆ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สถานีหรือทางแยก A3, C2 และ C3 เป็นพื้นที่ ที่โรบอทสามารถเดินทางมาบรรจบพร้อมกันที่บริเวณนี้ เนื่องจากเป็นทางร่วมแยกที่เชื่อมต่อหลายเส้นทางจึงกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการดำเนินการขึ้นมาเพื่อหลบหลีกและให้ทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

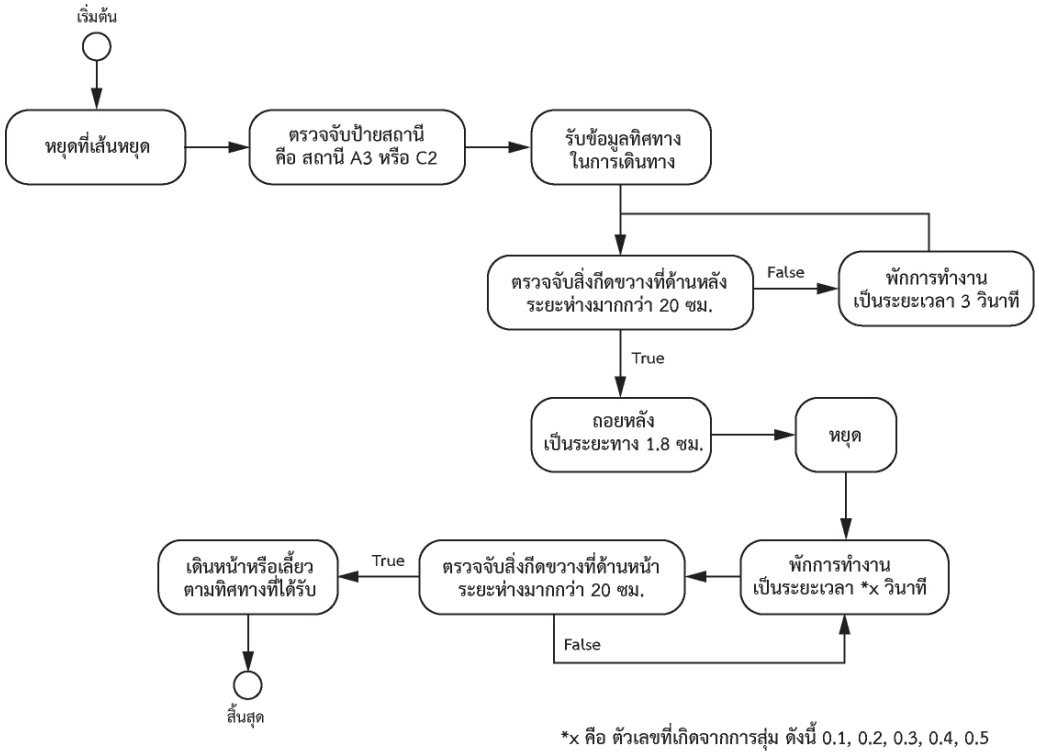


ภาพที่ 3.35 ผังของสถานีหรือทางแยกทั้งหมดโดยเจาะจงลักษณะของทางแยก A3, C2 และ C3

การกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการดำเนินการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของเส้นทาง โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานีหรือทางแยก A3 และ C2 และกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสถานี C3 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยสถานีหรือทางแยก A3 และ C2 ซึ่งทั้ง 2 สถานี จะมีลักษณะของเส้นหยุดเป็นรูปตัว L เหมือนกัน และมีลักษณะเป็นทางร่วมแยกที่โรบอทสามารถเดินทางมาบรรจบพร้อมกัน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์



ภาพที่ 3.36 ผังของเงื่อนไขในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือการให้ทางที่สถานี A3 และ C2

จากภาพที่ 3.36 เป็นเกณฑ์และเงื่อนไขในการดำเนินการของการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและให้ทางเมื่อถึงสถานี A3 หรือ C2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

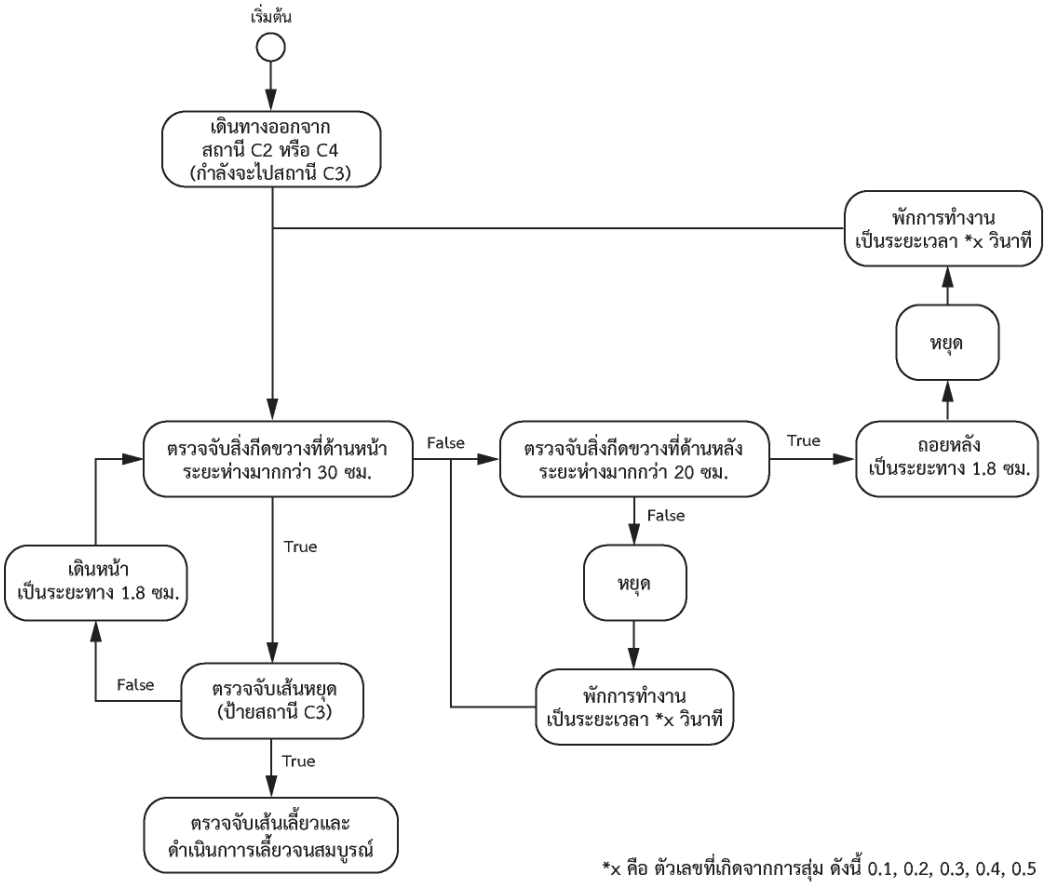
เมื่อตรวจพบสถานี เป็นสถานี A3 หรือ C2 และได้รับทิศทางในการเดินทางจะมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหลังในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางจะถอยหลังเป็นระยะทาง 1.8 ซม. และหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที จากนั้นจะทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. และเดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

ในกรณีที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าจะมีการหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาทีอีกครั้ง และดำเนินการตามลำดับจนกว่าจะได้เดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

จากเงื่อนไขของกลุ่มที่ 1 ที่กล่าวมาข้างต้น จะมีส่วนของการถอยหลังและหยุดพักการทำงานเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที ซึ่งระยะเวลาในการหยุดพักชั่วคราวนี้กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่มีการเดินทางมาถึงสถานีหรือทางแยกนั้นพร้อมกัน จึงต้องกำหนดให้ทั้งสองฝ่ายทำการถอยหลังและหยุดพักการทำงานตามระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน จากนั้นเมื่อฝ่ายใดที่พักการทำงานโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าจะสามารถกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขและจะเดินทางผ่านไปได้ ส่วนอีกฝ่ายเมื่อกลับมาทำงานและตรวจสอบเงื่อนไขแล้วพบสิ่งกีดขวาง นั่นคือ ฝ่ายตรงข้ามกำลังเดินผ่านจะต้องทำการพักการทำงานต่ออีกหนึ่งรอบ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยสถานีหรือทางแยก C3 เพียงสถานีเดียว ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากสถานีอื่นๆ โดยเป็นทางแยกที่ทั้ง 2 ฝ่าย เมื่อมาถึงพร้อมกันจะมีลักษณะเป็นการหันหน้าชนกัน ซึ่งทั้ง 2 ฝ่ายจะต้องเลี้ยวไปใช้เส้นทางเดียวกัน โดยในการเลี้ยวของฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งจะมีส่วนของโครงสร้างด้านหน้าของโรบอทที่จะล้ำเส้นหรือขอใช้พื้นที่ของฝ่ายตรงข้ามเพิ่มเติมนั่นหมายความว่า ฝ่ายตรงข้ามจะต้องถอยหลังเพื่อให้พื้นที่ โดยจะต้องถอยหลังไปจนกว่าอีกฝ่ายจะดำเนินการเลี้ยวจนเสร็จสิ้นจึงจะสามารถกลับมาเดินทางไปข้างหน้าต่อไป



ภาพที่ 3.37 ผังของเงื่อนไขในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือการให้ทางขณะเดินทางไปที่สถานี C3

จากภาพที่ 3.37 เป็นเกณฑ์และเงื่อนไขในการดำเนินการของการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการให้ทางเมื่อกำลังเดินทางไปที่สถานี C3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อเดินทางออกจากสถานี C2 หรือ C4 เพื่อมุ่งหน้าไปที่สถานี C3 จะมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหน้า โดยเปลี่ยนแปลงจากปกติที่ 20 ซม. เป็น 30 ซม. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางและยังไม่พบเส้นหยุดจะเดินหน้าต่อไปจนกว่าจะพบเส้นหยุดซึ่งเป็นสถานี C3 จากนั้นจะเดินหน้าต่อไปจนพบเส้นเลี้ยวและดำเนินการเลี้ยวจนสมบูรณ์ และเดินหน้าต่อไปตามลำดับ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ในกรณีที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้า จะมีการถอยหลังเป็นระยะทาง 1.8 ซม. และหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที

จากนั้นจะย้อนกลับไปตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าและดำเนินการตามลำดับใหม่อีกครั้งจนกว่าจะไม่พบสิ่งกีดขวางและเดินหน้าไปจนถึงสถานี C3

จากเงื่อนไขของกลุ่มที่ 2 ที่กล่าวมาข้างต้น จะมีส่วนของการถอยหลังและหยุดพักการทำงานเป็นระยะเวลาที่เกิดจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาตามที่กำหนดไว้ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที ซึ่งระยะเวลาในการหยุดพักการทำงานนี้กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่มีการเดินทางมาถึงสถานีหรือทางแยกนั้นพร้อมกัน จึงต้องกำหนดให้ทั้งสองฝ่ายทำการถอยหลังและหยุดพักการทำงานตามระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน จากนั้นเมื่อฝ่ายใดที่พักการทำงานโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าจะสามารถกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขและเดินทางผ่านไปได้ ส่วนอีกฝ่ายเมื่อกลับมาทำงานและตรวจสอบเงื่อนไขแล้วพบสิ่งกีดขวาง นั่นคือ ฝ่ายตรงข้ามกำลังเดินเข้ามาก็จะต้องทำการถอยหลังและหยุดพักการทำงานชั่วคราวต่อไป

3.6 การเขียนโปรแกรมและการติดตั้งระบบ

บอร์ด Raspberry Pi เป็นเสมือนอุปกรณ์ควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบ จึงกำหนดให้มีการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspberry Pi OS ฝังลงไปในบอร์ด โดยการดาวน์โหลดไฟล์ติดตั้งของระบบปฏิบัติการจากเว็บไซต์ทางการของ Raspberry Pi และทำการบันทึกไฟล์ติดตั้งลงบนอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล SD Card และนำไปเสียบเข้าที่บอร์ดเพื่อติดตั้งและใช้งาน

ภาพที่ 3.38 หน้าจอของโปรแกรม Raspberry Pi Imager สำหรับเขียนไฟล์ติดตั้งลงบน SD Card

ในช่วงเริ่มต้นก่อนทำการบันทึกไฟล์ติดตั้งลงบน SD Card สามารถเลือกกำหนดค่าการเชื่อมต่อต่างๆ ล่วงหน้า เช่น Username Password และการเปิดสิทธิ์การใช้งานรีโมทผ่านช่องทาง SSH VNC และการเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi เป็นต้น โดยการตั้งค่าเหล่านี้สามารถดำเนินการในภายหลังได้ แต่จะต้องเชื่อมต่อบอร์ดเข้ากับจอมอนิเตอร์ เมาส์ และคีย์บอร์ด จึงจะสามารถเข้าไปตั้งค่าได้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การติดตั้งซอฟท์แวร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในบอร์ด Raspberry Pi และเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้วิจัยล้วนเป็นส่วนสำคัญ โดยซอฟท์แวร์หรือแพ็คเกจสำคัญที่จะติดตั้งลงในบอร์ด Raspberry Pi หลังจากติดตั้งระบบปฏิบัติการเรียบร้อย ได้แก่ ฐานข้อมูล MySQL (Pymysql Package), Pyzbar Package, PIL Package และ GPIO Package

ส่วนซอฟท์แวร์ที่จะติดตั้งลงบนเครื่องของผู้วิจัยซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการ Windows 10 เพื่อใช้ในเขียนโปรแกรมและเชื่อมต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ประกอบด้วย Visual Studio Code, Putty และ Fire Zilla

หลังจากติดตั้งระบบปฏิบัติการและซอฟท์แวร์ที่สำคัญเรียบร้อย ทำการเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi เข้ากับจอมอนิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบ ได้แก่ เมาส์ และคีย์บอร์ด เพื่อตั้งค่าสิทธิ์การใช้งานต่างๆ เช่น Username Password และเปิดสิทธ์การใช้งานรีโมทผ่านช่องทาง SSH VNC และการเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi

ผู้วิจัยดำเนินการเขียนโปรแกรมหรือคำสั่งตามเงื่อนไขที่กำหนดด้วยภาษาไพธอนบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Studio Code และบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .py จากนั้นจึงนำไปอัพโหลดหรือฝังเข้าไปในบอร์ด Raspberry Pi โดยใช้โปรแกรม Fire Zilla

การทดสอบคำสั่งหรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Putty เพื่อรีโมทไปที่บอร์ด Raspberry Pi จากนั้นจึงทำการเรียกโปรแกรมขึ้นมาประมวลผล

3.7 การตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพ

หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ในขั้นตอนสุดท้ายจะต้องมีการทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพของการทำงานของโรบอท ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

เกณฑ์ในการตรวจสอบความถูกต้องและประเมินประสิทธิภาพถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจสอบรายละเอียดของกระบวนการทำงานทั้งหมด เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

(1) ความถูกต้องและประสิทธิภาพในการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ เส้นถนน เส้นหยุด เส้นเลี้ยว ป้าย QR Code ของสินค้า และป้าย QR Code ของสถานี

(2) ความถูกต้องและประสิทธิภาพในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3, C2 และ C3

(3) ความถูกต้องและประสิทธิภาพในการเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นของรายการสินค้าทั้งหมด

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการ เกณฑ์ และเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้นมาในบทที่ผ่านมา สามารถนำมาทดสอบและตรวจสอบการทำงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ในตอนต้น โดยสามารถแสดงรายละเอียดผลการดำเนินการตามที่จะกล่าวถึงในบทนี้

หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนและเงื่อนไขที่กำหนด สามารถแสดงผลการดำเนินการและการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำงานตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นมา โดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก คือ การตรวจจับ การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และการเดินทาง ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ ดังต่อไปนี้

4.1 การตรวจจับ

การดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำงานของโรบอทในการตรวจจับแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อย่อย คือ การตรวจจับเส้นถนน การตรวจจับเส้นหยุด การตรวจจับเส้นเลี้ยว การตรวจจับป้ายสินค้า และการตรวจจับป้ายสถานี โดยแต่ละหัวข้อย่อยสามารถแสดงผลการดำเนินการ ดังนี้

4.1.1 การตรวจจับเส้นถนน

การตรวจจับเส้นถนน ตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดโดยทำการทดสอบบนเส้นถนนทางตรงเป็นระยะทาง 3 เมตร สามารถแสดงผลจากการดำเนินการและการตรวจสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับเส้นถนน

ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

เมื่อปล่อยโรบอทลงบนเส้นถนน โดยจัดวางให้เซ็นเซอร์อินฟราเรด ตำแหน่งกลางอยู่ตรงกับเส้นถนน โรบอทสามารถเดินทางไปข้างหน้าได้อย่างถูกต้อง และเมื่อมีการเดินทางออกนอกเส้นถนนทางด้านซ้ายหรือด้านขวา โดยตรวจสอบจากเซ็นเซอร์อินฟราเรดที่ตำแหน่งทางซ้ายและขวาตามเงื่อนไขที่กำหนด โรบอทสามารถที่จะเบี่ยงซ้ายหรือขวากลับมายังเส้นถนนปกติได้อย่างถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

4.1.2 การตรวจจับเส้นหยุด

การตรวจจับเส้นหยุด ตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนด โดยทำการทดสอบบนเส้นทางเป็นจำนวน 10 เส้นทาง สามารถแสดงผลจากการดำเนินการและการตรวจสอบได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับเส้นหยุด

ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

เมื่อโรบอทเดินทางมาถึงเส้นหยุด สามารถใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรด ตรวจจับเส้นหยุดซึ่งเป็นเส้นทึบ โดยดำเนินการตามเงื่อนไข คือ ใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรดทั้ง 3 ตำแหน่ง หรือที่ตำแหน่งซ้ายและกลาง หรือที่ตำแหน่งกลางและขวา ตรวจพบเส้นทึบพร้อมกันโรบอทสามารถหยุดการเดินทางอยู่ที่เส้นหยุดนั้นได้อย่างถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง

4.1.3 การตรวจจับเส้นเลี้ยว

การตรวจจับเส้นเลี้ยว ตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนด โดยทำการทดสอบให้โรบอทเคลื่อนที่ไปหยุดที่สถานีที่จะต้องมีการเลี้ยวเป็นจำนวน 10 สถานี สามารถแสดงผลจากการดำเนินการและการตรวจสอบดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับเส้นเลี้ยว

ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

เมื่อโรบอทเดินทางออกจากเส้นหยุดและตรวจพบเส้นเลี้ยว โดยใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรดตรวจจับเส้นเลี้ยวซึ่งเป็นเส้นทึบโดยดำเนินการตามเงื่อนไขคือ เซ็นเซอร์อินฟราเรดทั้ง 3 ตำแหน่ง หรือที่ตำแหน่งซ้ายและกลาง หรือที่ตำแหน่งกลางและขวาตรวจพบเส้นทึบพร้อมกัน โรบอทสามารถเริ่มต้นการเลี้ยวและดำเนินการเลี้ยวจนสมบูรณ์ได้อย่างถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

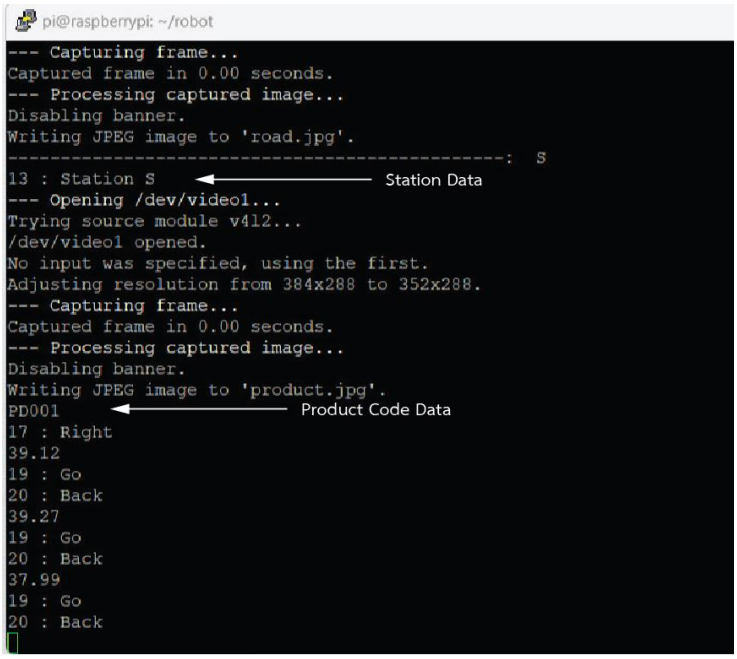
การตรวจจับป้ายสินค้า คือ การตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลจากป้าย QR Code บนบรรจุภัณฑ์ของสินค้าที่บรรจุรหัสของสินค้าไว้ภายในแถบสีของ QR Code และนำข้อมูลที่ได้ไปตรวจสอบที่ระบบฐานข้อมูลเพื่อรับการตอบกลับเป็นรหัสของสถานีปลายทางและบันทึกข้อมูลไว้ที่หน่วยความจำ

เกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจจับป้ายสินค้า ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การถ่ายภาพป้ายสินค้า การถอดรหัสข้อมูล และการตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล

ผลการดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนด ในการตรวจจับป้ายสินค้า มีดังนี้

(1) การถ่ายภาพป้ายสินค้า

a) เมื่อโรบอทตรวจพบสถานี S หรือสถานีเริ่มต้น โรบอทสามารถเริ่มต้นดำเนินการถ่ายภาพป้ายสินค้าและจัดเก็บไว้ที่พื้นที่จัดเก็บตามที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 4.1 หน้าจอแสดงผลการตรวจจับสถานี S และถ่ายภาพป้ายสินค้า

b) รูปภาพจากการตรวจจับด้วยกล้องเว็บแคม สามารถเก็บรายละเอียดของป้าย QR Code ได้อย่างครบถ้วนและชัดเจน

ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างรูปภาพจากการตรวจจับป้ายสินค้า

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(2) การถอดรหัสข้อมูล

โรบอทสามารถนำรูปภาพที่บันทึกไว้ล่าสุดมาวิเคราะห์และถอดรหัสข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยใช้เครื่องมือ Pyzbar Package และ Pill Package ของภาษา Python

(3) การตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล

โรบอทสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการถอดรหัสไปตรวจสอบที่ฐานข้อมูลและได้รับข้อมูลเป็นสถานีปลายทาง ซึ่งเป็นพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้านั้นได้อย่างถูกต้อง

ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับข้อมูลสินค้าพบว่า เมื่อผู้วิจัยนำสินค้าวางบนกระบะของโรบอทครั้งละ 1 รายการ เป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยหันด้านที่มีป้าย QR Code ไปทางด้านท้ายของโรบอทที่มีกล้องเว็บแคมเพื่อให้โรบอทดำเนินการตามขั้นตอนที่กำหนดไว้และบันทึกผลการทดสอบ โดยข้อมูลการทดสอบสามารถตรวจสอบจากหน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ในขณะนั้น ซึ่งผู้วิจัยทำการเขียนคำสั่งและฝังไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้ต้องทำการรีโมทผ่านโปรแกรม Putty ไปที่บอร์ดควบคุม (Raspberry Pi) เพื่อทำการตรวจสอบและทำการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับข้อมูลสินค้า

ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

จากผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับป้าย QR Code ของสินค้าโรบอททั้ง 2 คัน เมื่อผู้วิจัยนำสินค้าทั้งหมด 4 รายการ มาทยอยวางครั้งละ 1 รายการ บนกระบะของโรบอทและบันทึกผล โดยมีการวนซ้ำในบางรายการสินค้ารวมจำนวน 10 ครั้ง โรบอททั้ง 2 คัน สามารถตรวจจับข้อมูลของสินค้าได้อย่างถูกต้องทุกรายการ ทั้งนี้มีการใช้ระยะเวลาในการตรวจจับข้อมูลของสินค้าแต่ละรายการไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากการจัดวางสินค้าในตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน ทำให้กล้องเว็บแคมทำการโฟกัสไปที่ป้าย QR Code ของสินค้า มีความชัดเจนที่แตกต่างกัน และเมื่อจัดวางตรงตำแหน่งรูปภาพของ QR Code ที่ถ่ายได้จะมีความคมชัด ทำให้สามารถถอดรหัสและตรวจจับข้อมูลภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว แต่หากจัดวางไม่ตรงตำแหน่ง ทำให้การตรวจจับมีความล่าช้าและอาจต้องมีการขยับตำแหน่งเพิ่มเติมบ้างเล็กน้อย

4.1.5 การตรวจจับป้ายสถานี

การตรวจจับป้ายสถานี คือ การตรวจจับและถอดรหัสข้อมูลจากป้าย QR Code ที่บรรจุรหัสของสถานีหรือทางแยกต่างๆ ไว้ภายในแถบสีของ QR Code และนำข้อมูลที่ได้ไปตรวจสอบที่ระบบฐานข้อมูลเพื่อได้รับการตอบกลับเป็นข้อมูลทิศทางในการเดินทางต่อไป

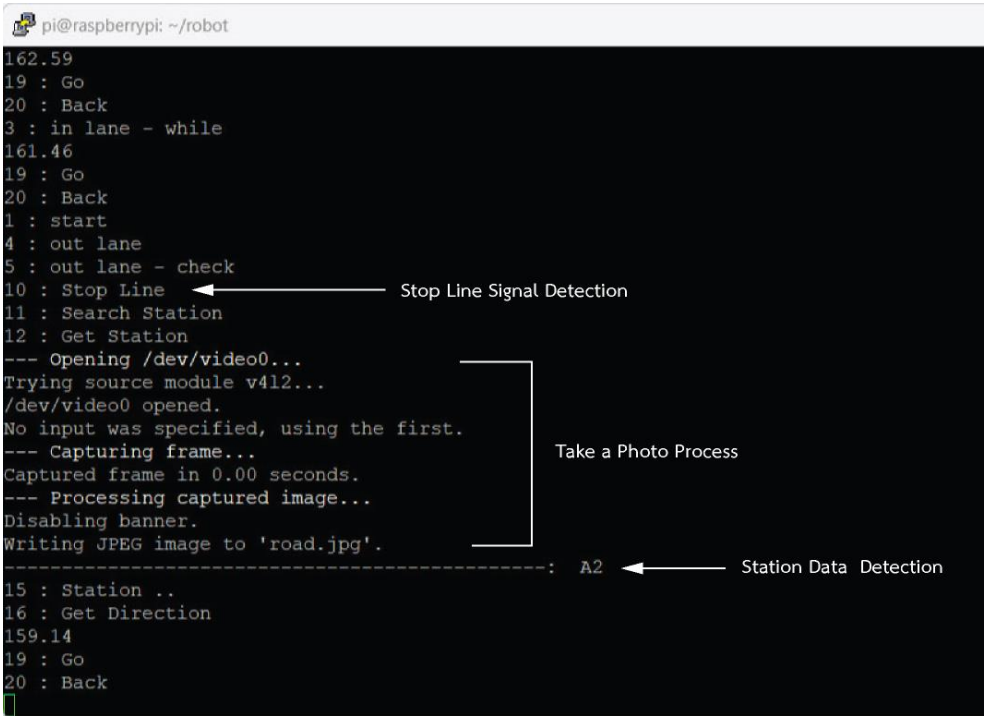
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจจับป้ายสถานี ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การถ่ายภาพป้ายสถานี การถอดรหัสข้อมูล และการตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล

ผลการดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดในการตรวจจับป้ายสถานี มีดังนี้

(1) การถ่ายภาพป้ายสถานี

a) เมื่อโรบอทตรวจพบเส้นหยุดและหยุดนิ่งเรียบร้อย โรบอทสามารถเริ่มต้นดำเนินการถ่ายภาพป้ายสถานีและจัดเก็บไว้ที่พื้นที่จัดเก็บตามที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง



ภาพที่ 4.3 หน้าจอแสดงผลการตรวจจับป้ายสถานี

b) รูปภาพป้ายสถานีจากการถ่ายด้วยกล้องเว็บแคม สามารถเก็บรายละเอียดของสัญลักษณ์ QR Code ได้อย่างครบถ้วนและชัดเจน

ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างรูปภาพจากการตรวจจับป้ายสถานี

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(2) การถอดรหัสข้อมูล

โรบอทสามารถนำรูปภาพที่บันทึกไว้ล่าสุดมาวิเคราะห์ และถอดรหัสข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยใช้เครื่องมือหรือ Package ของภาษา Python ตามที่กำหนด

(3) การตรวจสอบข้อมูลจากระบบฐานข้อมูล

การขอรับทิศทางในการเดินทางจากระบบฐานข้อมูล จะต้องส่งข้อมูลของสถานีปัจจุบันที่ตรวจพบพร้อมทั้งข้อมูลสถานีปลายทางร่วมด้วย จึงจะได้รับข้อมูลทิศทางในการเดินทางต่อไปกลับมา ซึ่งโรบอทสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการถอดรหัส และข้อมูลปลายทางที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำส่งมาตรวจสอบที่ระบบฐานข้อมูลเพื่อรับทิศทางในการเดินทางต่อไป

ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับข้อมูลสถานี พบว่า เมื่อผู้วิจัยจัดวางโรบอทที่เส้นหยุดของแต่ละสถานีเป็นจำนวน 10 สถานีที่แตกต่างกัน เพื่อให้โรบอทดำเนินการตามขั้นตอนที่กำหนดและบันทึกผลการทดสอบ โดยข้อมูลการทดสอบได้จากการตรวจสอบจากหน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ในขณะนั้น ซึ่งผู้วิจัยทำการเขียนโปรแกรมฝังไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้ต้องทำการรีโมทผ่านโปรแกรม Putty ไปที่บอร์ดควบคุม (Raspberry Pi) เพื่อตรวจสอบและทำการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.5 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับข้อมูลสถานี

ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

จากตารางผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการตรวจจับป้ายสถานีของโรบอททั้ง 2 คัน เมื่อผู้วิจัยจัดวางโรบอทที่เส้นหยุดบริเวณสถานีต่างๆ จำนวน 10 สถานีที่แตกต่างกันและบันทึกผล ผลปรากฏว่าโรบอททั้ง 2 คัน สามารถตรวจจับข้อมูลของสถานีได้อย่างถูกต้องทุกสถานี ทั้งนี้อาจมีการใช้ระยะเวลาในการตรวจจับข้อมูลของแต่ละสถานีไม่เท่ากัน อันเนื่องจากการหยุดนิ่งของโรบอทในขณะนั้น หากมีการสั่นไหวเพียงเล็กน้อยจะทำให้รูปภาพป้ายสถานีไม่ชัดเจน และเมื่อถอดรหัสข้อมูลออกมาจะได้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ต้องมีการวนซ้ำไปดำเนินการใหม่อีกครั้ง ซึ่งเมื่อโรบอทมีการหยุดนิ่ง รูปภาพป้าย QR Code ที่ถ่ายได้จะมีความคมชัด ทำให้สามารถถอดรหัสและตรวจจับข้อมูลภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

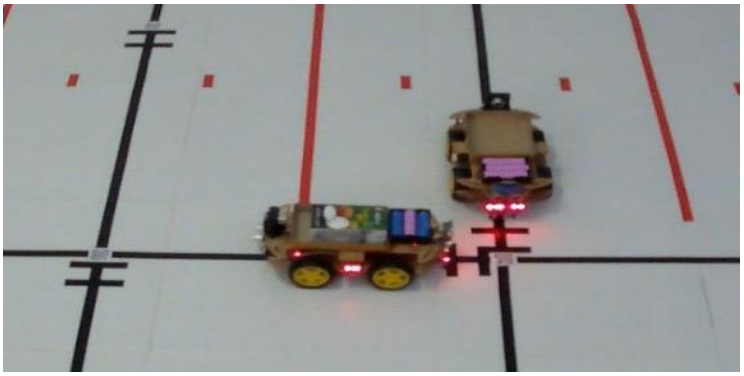
4.2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทาง

การดำเนินการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโรบอทในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทาง เมื่อต้องใช้เส้นทางร่วมกันและมีโอกาสที่จะปะทะกันในบริเวณสถานีหรือทางแยกสำคัญ ประกอบด้วย A3, C2 และ C3 ซึ่งแต่ละสถานีมีการกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขในการดำเนินการตามแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

การประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ แบ่งเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

1) การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3
2) การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก C2
3) การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณก่อนถึงทางแยก C3
4) การหยุดรอมื่อพบสิ่งกีดขวาง

4.2.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3



ภาพที่ 4.5 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดเมื่ออยู่ที่สถานี A3 จะมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหลังในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางจะถอยหลังเป็นระยะทาง 1.8 ซม. และหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที จากนั้นจะทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. และเดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

ในกรณีที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าจะมีการหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาทีอีกครั้ง และดำเนินการตามลำดับ จนกว่าจะได้เดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

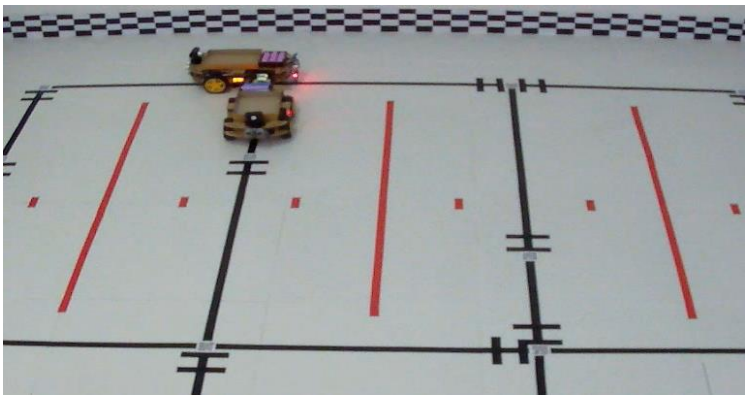
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก A3

ครั้งที่ / สถานการณ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
1. เมื่อคันที่มาทางบน มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**
2. เมื่อคันที่มาทางซ้าย มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**
3. เมื่อทั้ง 2 ทาง มาถึงทางแยกพร้อมกัน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	**100**

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นมาที่บริเวณทางแยก A3 สามารถทำให้โรบอททั้ง 2 คัน สามารถหลบหลีกและให้ทางแก่ฝ่ายตรงข้าม โดยไม่มีการปะทะกัน และสามารถเดินทางผ่านไปได้อย่างปลอดภัยและถูกต้อง

4.2.2 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณทางแยก C2



ภาพที่ 4.6 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการให้ทางที่บริเวณที่ทางแยก C2

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดเมื่ออยู่ที่สถานี C2 จะมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหลังในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางจะถอยหลังเป็นระยะทาง 1.8 ซม. และหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที จากนั้นจะทำการตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าในระยะห่างมากกว่า 20 ซม. และเดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

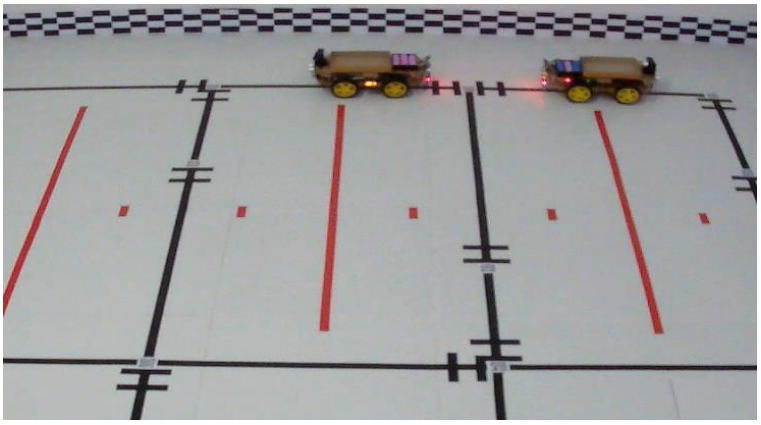
ในกรณีที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าจะมีการหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาทีอีกครั้ง และดำเนินการตามลำดับจนกว่าจะได้เดินหน้าหรือเลี้ยวต่อไป

ตารางที่ 4.7 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการให้ทางที่บริเวณทางแยก C2

ครั้งที่ / สถานการณ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
1. เมื่อคันที่มาทางซ้าย มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
2. เมื่อคันที่มาทางล่าง มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
3. เมื่อทั้ง 2 ทาง มาถึงทางแยกพร้อมกัน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นมาที่บริเวณทางแยก C2 สามารถทำให้โรบอททั้ง 2 คัน สามารถหลบหลีกและให้ทางแก่ฝ่ายตรงข้าม โดยไม่มีการปะทะกัน และสามารถเดินทางผ่านไปได้อย่างปลอดภัยและถูกต้อง

4.2.3 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและให้ทางที่บริเวณก่อนถึงทางแยก C3



ภาพที่ 4.7 การหลบหลีกสิ่งกีดขวางและให้ทางที่บริเวณที่ทางแยก C3

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดเมื่ออยู่ที่บริเวณก่อนถึงสถานี C3 จะเริ่มตรวจสอบการเดินทางตั้งแต่ออกจากสถานี C2 หรือ C4 ซึ่งเป็นสถานีสุดท้ายก่อนที่จะมุ่งหน้าไปที่สถานี C3 โดยจะมีการตรวจจับสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหน้าในระยะห่างมากกว่า 30 ซม. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางและยังไม่พบเส้นหยุดจะเดินหน้าต่อไปจนกว่าจะพบเส้นหยุดซึ่งเป็นสถานี C3 จากนั้นจะเดินหน้าต่อไปจนพบเส้นเลี้ยวและดำเนินการเลี้ยวจนสมบูรณ์ และเดินหน้าต่อไปตามลำดับ

ในกรณีที่ตรวจพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าจะมีการถอยหลังเป็นระยะทาง 1.8 ซม. และหยุดพักการทำงานชั่วคราวเป็นระยะเวลาแบบสุ่ม โดยสุ่มจากตัวเลข 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที จากนั้นจะย้อนกลับไปตรวจสอบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าและดำเนินการตามลำดับใหม่อีกครั้ง จนกว่าจะไม่พบสิ่งกีดขวางและเดินหน้าต่อไปจนถึงสถานี C3

การดำเนินการที่บริเวณนี้ จะมีส่วนของการถอยหลังและหยุดพักการทำงานเป็นระยะเวลาที่เกิดจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาตามที่กำหนดไว้ คือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 วินาที ซึ่งระยะเวลาในการหยุดพักการทำงานกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่มีการเดินทางมาถึงทางแยกพร้อมกัน จึงต้องกำหนดให้ทั้งสองฝ่ายทำการถอยหลังและหยุดพักการทำงานตามระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน จากนั้นเมื่อฝ่ายใดที่พักการทำงานโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าจะสามารถกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขและเดินทางผ่านไปได้ก่อน ส่วนอีกฝ่ายเมื่อกลับมาทำงานและตรวจสอบเงื่อนไขแล้วพบสิ่งกีดขวาง นั่นคือ ฝ่ายตรงข้ามกำลังเดินผ่านเข้ามาก็จะต้องทำการถอยหลังและหยุดพักการทำงานชั่วคราวต่อไป

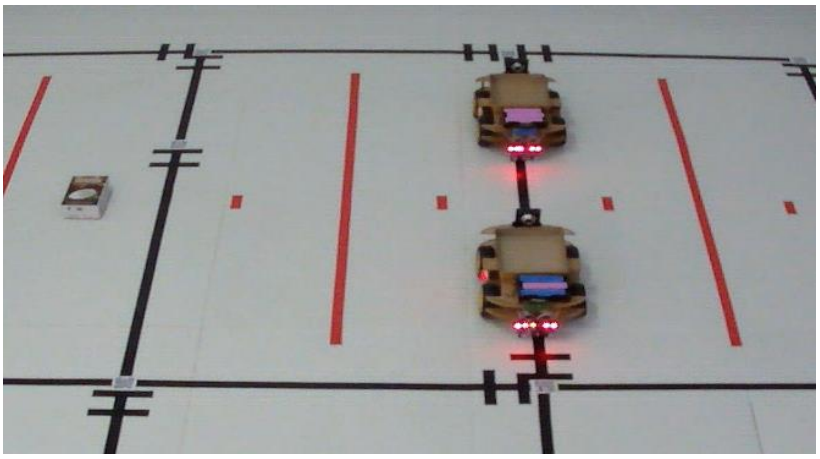
ตารางที่ 4.8 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการให้ทางที่บริเวณทางแยก C3

ครั้งที่ / สถานการณ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
1. เมื่อคันที่มาทางขวา มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
2. เมื่อคันที่มาทางซ้าย มาถึงทางแยกก่อน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
3. เมื่อทั้ง 2 ทาง มาถึงทางแยกพร้อมกัน											
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดในแต่ละสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นมาที่บริเวณทางแยก C3 สามารถทำให้โรบอททั้ง 2 คัน สามารถหลบหลีกและให้ทางแก่ฝ่ายตรงข้าม โดยไม่มีการปะทะกัน และสามารถเดินทางผ่านไปได้อย่างปลอดภัยและถูกต้อง

4.2.4 การหยุดรอเมื่อพบสิ่งกีดขวางหรือขณะเดินทางตามโรบอทคันอื่น



ภาพที่ 4.8 การหยุดรอเมื่อพบสิ่งกีดขวางที่บริเวณด้านหน้า

ผลการดำเนินการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานในการหยุดรอเมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าในระยะน้อยกว่า 20 ซม. ซึ่งสามารถเกิดขึ้นเมื่อกำลังเดินทางโดยใช้เส้นทางร่วมกันกับโรบอทคันอื่น หรือเมื่อโรบอทคันก่อนกำลังหยุดส่งของ หรือหยุดรอรับสินค้า โดยการหยุดรอจะรอเป็นระยะเวลา 3 วินาที และจะดำเนินการตรวจสอบใหม่อีกครั้ง จนกว่าสิ่งกีดขวางนั้นจะหายไปจึงจะสามารถเดินทางต่อไป

การตรวจสอบสามารถดำเนินการโดยการนำสิ่งของมาวางขวางที่บริเวณด้านหน้าของโรบอทหรือนำโรบอทอีกคันหนึ่งมาจอดขวางในขณะที่กำลังเดินทางจากนั้นจึงทำการบันทึกผล

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการหยุดรอเมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้า

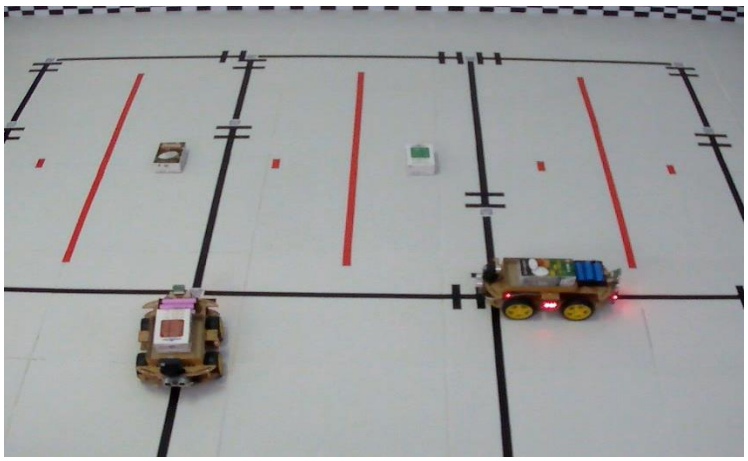
ครั้งที่ / รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ความถูกต้อง (%)
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

การดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นในการหยุดรอของโรบอท เมื่อพบสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้าในระยะน้อยกว่า 20 ซม. โรบอททั้ง 2 คัน สามารถหยุดรอจนกว่าสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้านั้นจะหายไปจึงจะเดินทางต่อไป โดยสามารถดำเนินการตามเกณฑ์และเงื่อนไขได้อย่างถูกต้อง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

4.3 การเดินทาง

การดำเนินการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโรบอทในการเดินทางหรือเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่กำหนดตั้งแต่ออกจากสถานีเริ่มต้น หรือสถานี S ไปจนถึงสถานีปลายทาง (ขาไป) และจากสถานีปลายทางกลับมายังสถานีเริ่มต้น (ขากลับ) โดยทิศทางในการเดินทางสัมพันธ์กับสินค้าที่กำลังบรรทุกอยู่ในขณะนั้น



ภาพที่ 4.9 การกระจายสินค้าของโรบอททั้ง 2 คัน

ผู้วิจัยทำการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางที่โรบอทเลือกใช้ในการเดินทางหรือเคลื่อนที่นำส่งสินค้าทั้งหมด โดยจะเดินทางนำส่งสินค้ารอบละ 1 รายการสินค้า โดยในขณะเดินทางนำส่งสินค้าแต่ละรายการจะตรวจสอบการเดินทางโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลการเดินทางที่กำหนดไว้ที่ระบบฐานข้อมูล ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 1 รหัส PD001 (ไปและกลับ)

Travel / รายการ	ขาไป				ขากลับ							ความถูกต้อง (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
สถานี	*S*	*A2*	*A1*	*B1*	*C1*	*C2*	*C3*	*B3*	*A3*	*Q*	*S*	-
Direction	*R*	*L*	*R*	*D*	*R*	*G*	*R*	*G*	*G*	*R*	*W*	-
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เมื่อ R คือ เลี้ยวขวา, L คือ เลี้ยวซ้าย, D คือ หยุดเพื่อส่งสินค้าตามระยะเวลาและออกตรงไป, G คือ ตรงไป และ W คือ หยุดเพื่อรอรับสินค้า

จากตารางผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางที่โรบอทใช้ในการเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น โรบอททั้ง 2 คัน สามารถเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นโดยใช้ทิศทางตามที่กำหนดไว้ที่ระบบฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยสินค้ารายการที่ 1 รหัสสินค้า PD001 สถานีปลายทางอยู่ที่ สถานี B1

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 2 รหัส PD002 (ไปและกลับ)

Travel / รายการ	ขาไป			ขากลับ						ความถูกต้อง (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
สถานี	S	*A2*	*B2*	*C2*	*C3*	*B3*	*A3*	*Q*	S	-
Direction	*R*	*G*	*D*	*R*	*R*	*G*	*G*	*R*	*W*	-
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

เมื่อ R คือ เลี้ยวขวา, L คือ เลี้ยวซ้าย, D คือ หยุดเพื่อส่งสินค้าตามระยะเวลาและออกตรงไป, G คือ ตรงไป และ W คือ หยุดเพื่อรอรับสินค้า

จากตารางผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางที่โรบอทใช้ในการเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น โรบอททั้ง 2 คัน สามารถเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นโดยใช้ทิศทางตามที่กำหนดไว้ที่ระบบฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยสินค้ารายการที่ 2 รหัสสินค้า PD002 สถานีปลายทางอยู่ที่สถานี B2

ตารางที่ 4.12 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 3 รหัส PD003 (ไปและกลับ)

Travel / รายการ	ขาไป						ขากลับ			ความถูกต้อง (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
สถานี	S	*A2*	*B2*	*C2*	*C3*	*B3*	*A3*	*Q*	S	-
Direction	*R*	*G*	*G*	*R*	*R*	*D*	*G*	*R*	*W*	-
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เมื่อ R คือ เลี้ยวขวา, L คือ เลี้ยวซ้าย, D คือ หยุดเพื่อส่งสินค้าตามระยะเวลาและออกตรงไป, G คือ ตรงไป และ W คือ หยุดเพื่อรอรับสินค้า

จากตารางผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางที่โรบอทใช้ในการเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น โรบอททั้ง 2 คัน สามารถเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นโดยใช้ทิศทางตามที่กำหนดไว้ที่ระบบฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยสินค้ารายการที่ 3 รหัสสินค้า PD003 สถานีปลายทางอยู่ที่สถานี B3

ตารางที่ 4.13 ผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของการเดินทางรับส่งสินค้ารายการที่ 4 รหัส PD004 (ไปและกลับ)

Travel / รายการ	ขาไป					ขากลับ						ความถูกต้อง (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
สถานี	*S*	*A2*	*A3*	*A4*	*B4*	*C4*	*C3*	*B3*	*A3*	*Q*	*S*	-
Direction	*R*	*R*	*G*	*L*	*D*	*L*	*L*	*G*	*G*	*R*	*W*	-
โรบอท 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100
โรบอท 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	100

เมื่อ R คือ เลี้ยวขวา, L คือ เลี้ยวซ้าย, D คือ หยุดเพื่อส่งสินค้าตามระยะเวลาและออกตรงไป, G คือ ตรงไป และ W คือ หยุดเพื่อรอรับสินค้า

จากตารางผลการประเมินและตรวจสอบความถูกต้องของทิศทางที่โรบอทใช้ในการเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น โรบอททั้ง 2 คัน สามารถเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นโดยใช้ทิศทางตามที่กำหนดไว้ที่ระบบฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยสินค้ารายการที่ 4 รหัสสินค้า PD004 สถานีปลายทางอยู่ที่สถานี B4

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการประเมินและการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการทำงานของโรบอทในบทที่ผ่านมา สามารถนำมาอภิปรายผลและแสดงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อสรุปผล แสดงข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ ในการต่อยอดและปรับปรุงงานวิจัยต่อไปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1 การวิเคราะห์การทำงานของระบบ

การนำทางหรือการเดินทางตามทิศทางด้วยป้าย QR Code สามารถทำให้โรบอทเดินทางจากสถานีต้นทางไปถึงสถานีปลายทางและเดินทางกลับมาที่สถานีต้นทางได้อย่างถูกต้อง โดยใช้การตรวจจับป้าย QR Code ร่วมกับระบบฐานข้อมูล ซึ่งเป็นเสมือนเข็มทิศในการบอกทิศทางในการเดินทางให้กับโรบอท

เกณฑ์และเงื่อนไขที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้งานกับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถทำให้การเดินทางของโรบอทดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถูกนำไปใช้ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น เส้นถนน เส้นหยุด เส้นเลี้ยว ป้ายสินค้า และป้ายสถานี ทั้งนี้ในกระบวนการตรวจจับมีการติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่มีคุณสมบัติในการดำเนินการตามที่กำหนด และสามารถเขียนคำสั่งเพื่อเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานได้

5.2 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการดำเนินการวิจัย สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ดังนี้

5.2.1 สามารถสร้างแบบจำลองของรถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอท โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ราคาประหยัดได้ตามที่กำหนด

5.2.2 สามารถสร้างแบบจำลองการนำทางหรือควบคุมการเดินทางให้กับโรบอท โดยใช้ QR Code ได้ตามที่กำหนด

5.2.3 สามารถสร้างแบบจำลองของสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเพื่อสนับสนุนการเดินทางของโรบอทได้ตามที่กำหนด

5.2.4 สามารถสร้างแบบจำลองการจัดการและการควบคุมทิศทางแบบอัตโนมัติให้กับโรบอทได้ตามที่กำหนด

5.3 อภิปรายผล

จากผลการดำเนินการวิจัย สามารถสรุปประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

5.3.1 สีของพื้นถนน ควรจะเป็นสีขาวล้วนหรือสีดำล้วนทั้งหมด ไม่ควรมีสีลวดลาย เพราะจะทำให้การตรวจจับเส้นทึบของเซ็นเซอร์อินฟราเรด มีความผิดพลาดและความแม่นยำน้อยลง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

5.3.2 ระยะห่างระหว่างเส้นหยุดกับป้าย QR Code ของสถานี เป็นระยะห่างที่กล้องเว็บแคมที่บริเวณด้านหน้าของโรบอทสามารถถ่ายภาพป้าย QR Code ที่สามารถเก็บรายละเอียดของสัญลักษณ์ QR Code ได้อย่างครบถ้วน โดยเป็นระยะที่การโฟกัสมีความคมชัด ทำให้การตรวจจับและการถอดรหัสข้อมูลมีประสิทธิภาพ

5.3.3 ประสิทธิภาพและคุณภาพของมอเตอร์ เป็นสิ่งที่ทำให้การกำหนดค่าต่างๆ อาจมีความแตกต่างกัน เช่น เมื่อควบคุมหรือกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากันและกำหนดค่าของ PWM ที่เท่ากัน แต่เมื่อทดสอบกำลังของมอเตอร์ในการเคลื่อนที่ของโรบอท 2 คัน พบว่า การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของโรบอททั้ง 2 คัน สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในระยะทางที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับความชำนาญและความแม่นยำของผู้วิจัยเอง หรือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ไม่เท่ากัน หรือ น้ำหนักรวมของโรบอทแต่ละคันไม่เท่ากัน จึงทำให้การทำงานแตกต่างกัน ดังนั้นควรต้องมีการตั้งค่าหรือปรับจูนการขับเคลื่อนให้เท่ากันตามระยะที่กำหนดร่วมด้วย

5.3.4 การหยุดหมุนของมอเตอร์เพียงระงับการจ่ายไฟก็สามารถทำให้มอเตอร์หยุดนิ่งได้ แต่เมื่อมีวัตถุหรืออุปกรณ์ต่อพ่วงเพิ่มเติมเข้าไป การหยุดนิ่งจะไม่สามารถเกิดขึ้นในขณะนั้น แต่การหมุนจะยังคงดำเนินต่อไปโดยธรรมชาติตามแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ทำให้การควบคุมการหยุดนิ่งไม่มีประสิทธิภาพและควบคุมยาก หากต้องการควบคุมการหยุดนิ่งให้เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องควบคุมโดยการตัดแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นในขณะนั้นออกไป โดยใช้วิธีการกำหนดการจ่ายไฟแบบสลับขั้วจากเดิมเพื่อให้เกิดการหมุนแบบย้อนกลับไปอีกซักระยะเวลาสั้นๆ ตามที่กำหนด

5.3.5 การเดินทางของโรบอทถูกขับเคลื่อนด้วยการจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง และเมื่อปล่อยให้มีการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์สูงขึ้น และควบคุมการหยุดนิ่งได้ยากขึ้น จึงต้องมีการกำหนดให้เกิดการเดินทางหรือเคลื่อนที่ในระยะสั้นๆ แต่มีความต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมการหยุดนิ่งมีความแม่นยำขึ้น โดยกำหนดการจ่ายไฟฟ้าเป็นรอบ รอบละ 0.11 วินาที และหยุดจ่ายไฟเป็นระยะเวลา 0.2 วินาที เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของโรบอทเป็นระยะทาง 1.8 ซม. ในแต่ละรอบ

5.3.6 การเดินทางของโรบอทถูกควบคุมด้วยการหมุนของมอเตอร์ที่ติดอยู่กับล้อทั้งหมด 4 ล้อ ซึ่งโดยปกติจะต้องใช้มอเตอร์ควบคุมทั้ง 4 ล้อ ซึ่งจะทำให้ใช้พลังงานสูงขึ้น ผู้วิจัยจึงถอดมอเตอร์ของล้อหลังทั้ง 2 ข้างออก และปล่อยให้เกิดการหมุนอย่างอิสระ คงเหลือไว้เพียงมอเตอร์ที่ติดกับล้อหน้าทั้ง 2 ล้อ เพื่อประหยัดพลังงานและสามารถควบคุมการหยุดนิ่งให้มีประสิทธภาพมากขึ้น

5.3.7 ต้นแบบของโรบอทที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นชุดประกอบรถยนต์ขนาดเล็กที่ล้อหน้าทั้ง 2 ข้างไม่สามารถหมุนเพื่อหันซ้ายและขวาได้ การเลี้ยวของโรบอทในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ที่ควบคุมล้อซ้ายและขวาให้หมุนไปในทิศทางที่ตรงข้ามกัน และกำหนดความเร็วเพิ่มเติม จึงจะทำให้การเลี้ยว สามารถดำเนินการไปได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้จะต้องเผื่อพื้นที่จำนวนมากในการตีวงเพื่อทำการเลี้ยวจนกว่าการเลี้ยวจะสมบูรณ์

5.3.8 การเลือกใช้เครื่องมือ Library ของภาษาไพธอน ในการควมคุมการถ่ายภาพจากกล้องเว็บแคมมีให้เลือกเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละเครื่องมือมีคุณสมบัติและความสามารถในการจับภาพโดยใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกและทดสอบการใช้งาน เพื่อประเมินความรวดเร็วและประสิทธิภาพในการนำมาใช้งาน

5.3.9 แรงดันไฟฟ้า เป็นสิ่งที่ต้องควบคุม เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่แบบก้อน ขนาดแรงดัน 3.7 โวลท์ จำนวน 3 ก้อน มาต่อพ่วงกันซึ่งในขณะที่แบตเตอรี่บรรจุไฟเต็มพิกัดและเป็นแบตเตอรี่ที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนสามารถบรรจุแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 4.2 โวลท์ ซึ่งจะเกิดแรงดันของพลังงานไฟฟ้าที่มีปริมาณสูงมาก ทำให้การหมุนของมอเตอร์หมุนได้อย่างรวดเร็วมาก แต่เมื่อผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง เมื่อแรงดันของพลังงานไฟฟ้าลดลง ความเร็วของมอเตอร์ก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้การควบคุมการเดินทาง เช่น การหยุด การถอย การออกตัวเดินทาง จะมีความอืดหรือผิดเพี้ยนไปทำให้การควบคุมมีความยากขึ้น ผู้วิจัยจึงเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมแรงดันของไฟฟ้าเพื่อควบคุมแรงดันให้คงที่และกำหนดค่าคงที่คือ 9.5 โวลท์ ทำให้สามารถควบคุมการเดินทางมีประสิทธิภาพขึ้น

5.3.10 กล้องเว็บแคมที่ใช้ในงานวิจัย มีการกำหนดระยะโฟกัสแบบคงที่จากโรงงานผู้ผลิต ซึ่งไม่สามารถปรับค่าได้จึงต้องหาระยะในการถ่ายภาพเพื่อให้ได้รูปภาพที่มีรายละเอียดของป้าย QR Code ครบถ้วน และต้องมีการทดสอบและปรับจูนขนาดของป้าย QR Code ที่ใช้ติดที่บรรจุภัณฑ์ของสินค้าและพื้นของเส้นถนน เพื่อให้การตรวจจับป้ายสินค้าและป้ายสถานีมีประสิทธิภาพ

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

บรรจุภัณฑ์ของสินค้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดและรูปร่างที่เหมือนกันทั้งหมด ทำให้การกำหนดขนาดของ QR Code และตำแหน่งในการติดป้ายบนบรรจุภัณฑ์ สามารถใช้ขนาดของ QR Code และตำแหน่งที่ติดป้ายเหมือนกันทั้งหมด ซึ่งในสถานการณ์จริงบรรจุภัณฑ์ของสินค้ามีเป็นจำนวนมาก และมีขนาดที่หลากหลาย หากสามารถพัฒนาให้รองรับกับบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน และสามารถจัดวางบนกระบะในตำแหน่งที่แตกต่างกันจะช่วยขยายขีดความสามารถของโรบอทให้เพิ่มมากขึ้น

การตรวจจับป้าย QR Code ที่บรรจุภัณฑ์ของสินค้าและถนน จะต้องหยุดนิ่งเพื่อทำการถ่ายภาพให้ได้รูปภาพที่มีรายละเอียดของป้าย QR Code ครบถ้วน จึงทำให้ต้องมีการกำหนดสภาพแวดล้อมต่างๆ เพิ่มขึ้นมาในงานวิจัยนี้ เพื่อทำให้โรบอทหยุดนิ่งและทำการถ่ายภาพตามลำดับ หากสามารถพัฒนาให้โรบอทสามารถตรวจจับป้าย QR Code โดยที่ไม่ต้องหยุดนิ่ง หรือตรวจจับจากภาพเคลื่อนไหวแบบเรียลไทม์ จะทำให้การเดินทางของโรบอทมีความรวดเร็วมากขึ้น

การบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน จะทำให้การเคลื่อนที่หรือการเดินทางในแต่ละรอบมีการใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการนำรายการสินค้าที่มีน้ำหนักเท่ากันมาใช้ในการทดลอง จึงทำให้ระยะของการเดินทางเป็นไปตามเกณฑ์และเงื่อนไขที่กำหนดไว้ทุกรายการ ซึ่งการกำหนดการใช้พลังงาน เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้าจะสามารถใช้ร่วมกันได้ทั้งหมด แต่ในสถานการณ์ของความเป็นจริงรายการสินค้าจะมีเป็นจำนวนมากและน้ำหนักของสินค้าแต่ละรายการจะแตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นที่ต้องจะกำหนดเกณฑ์และเงื่อนไขอื่นๆ เพิ่มเติม และอาจจะต้องเพิ่มระบบฐานข้อมูลน้ำหนักของสินค้าร่วมด้วย เพื่อคำนวณหาปริมาณ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การใช้พลังงานที่เหมาะสม มิเช่นนั้นเมื่อสินค้ามีน้ำหนักเบาโรบอทจะสามารถเคลื่อนที่ได้เร็ว แต่เมื่อสินค้ามีน้ำหนักมากขึ้น จะทำให้โรบอทเคลื่อนที่ได้ช้าลงหรืออาจไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เลย ในกรณีที่มีน้ำหนักมากเกินไป

สถานีสำหรับรับหรือส่งสินค้าในงานวิจัยนี้ จะทำได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น กำหนดให้สถาน S เป็นสถานีสำหรับรับสินค้าเพียงอย่างเดียว และสถานีอื่นๆ กำหนดให้เป็นสถานีสำหรับส่งสินค้าเพียงอย่างเดียว หากสามารถต่อยอดให้สามารถดำเนินการได้ทั้งสองรูปแบบ เช่น ทั้งรับและส่งสินค้าได้ทุกสถานีจะทำให้ความสามารถของโรบอทเพิ่มสูงขึ้น

5.5 สรุป

รถขนส่งอัตโนมัติหรือโรบอททั้ง 2 คัน สามารถดำเนินการแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยป้าย QR Code และสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่กำหนดขึ้น เพื่อสนับสนุนการเดินทางหรือนำทางให้กับโรบอทในการรับส่งสินค้าภายในคลังสินค้าได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บรรณานุกรม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บรรณานุกรม

[1] ณัฐวุฒิ บุญโรจน์วงค์ และกชกร พระพรตระการ, *ความหลากหลายของคิวอาร์โค้ด,* สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมาร, (2560). 6 (1), น. 117-126.

[2] A. Sneha, V. Sai Lakshmi Teja, Tusar Kanti Mishra and Kuppili N. Satya Chitra. (2019). QR Code based Indoor Navigation system for Attender Robot. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 6 (21).

[3] Debjoy Saha, Ganesh Shiridi Balaji Udayagiri, Parakh Agarwal, Biswajit Ghosh and Somesh Kumar. (2019). Warehouse Management Using Real-Time QR-Code and Text Detection. International Micro Air Vehicle Competition And Conference.

[4] Francisco Calvin Arnel Ferano, Jan Keane Olajuwon and Gede Putra Kusuma. (2022). QR Code Detection and Rectification Using Pyzbar and Perspective Transformation. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 100 (21).

[5] Huijuan Zhang, Chengning Zhang, Wei Yang and Chin-Yin Chen. (2015). Localization and navigation using QR code for mobile robot in indoor environment. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE Xplore).

[6] Isha Bansal. (2021, July 19). The pyzbar module: Decoding Barcodes in Python. Ask Python. [Online]. https://www.askpython.com/python-modules/pyzbar-module

[7] Sumit Tiwari. (2016). An Introduction To QR Code Technology. International Conference on Information Technology.

[8] Tansuriyavong Suriyon, Higa Keisuke and Boonmee Choompol. (2011). Development of Guide Robot by Using QR Code Recognition. The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering.

[9] Thanarat Chawaphan, Duangkamol Angboonta and Myo Min Aung. (2021). A study of QR code for Identifying Location and Navigation in Mobile Robot. International Journal of Latest Engineering Research and Applications, 6 (1), pp. 10-17.

[10] Weibing Chen, Gaobo Yang and Ganglin Zhang. (2012). A Simple and Efficient Image Pre-processing for QR Decoder. International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาคผนวก

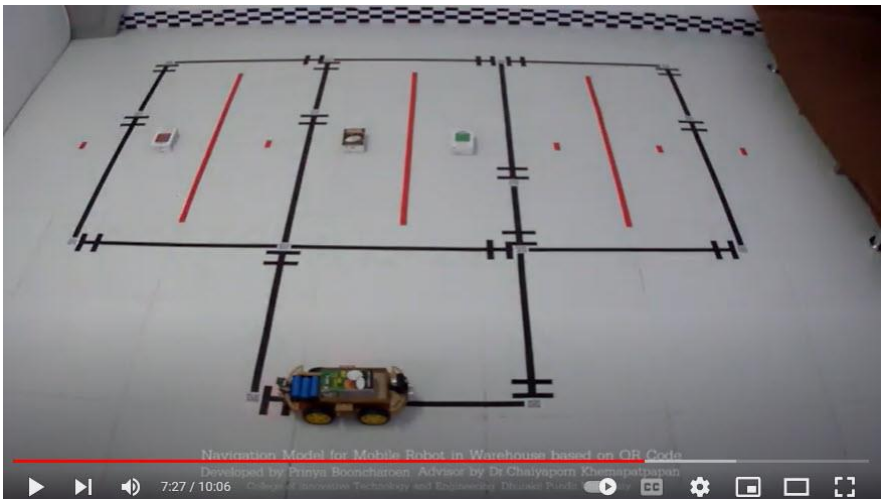
DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ภาคผนวก ก

รายการวิดีทัศน์ ผลการทดสอบการทำงานของโรบอท

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

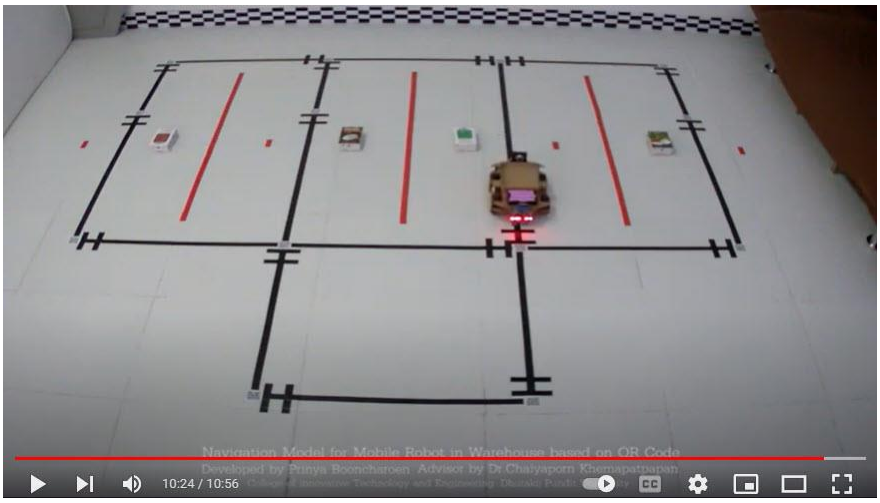
1. การเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นของโรบอท คันที่ 1



ภาพที่ 1 การเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นของโรบอท คันที่ 1

ที่มา: https://youtu.be/f88TqhdFlaY

2. การเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นของโรบอท คันที่ 2

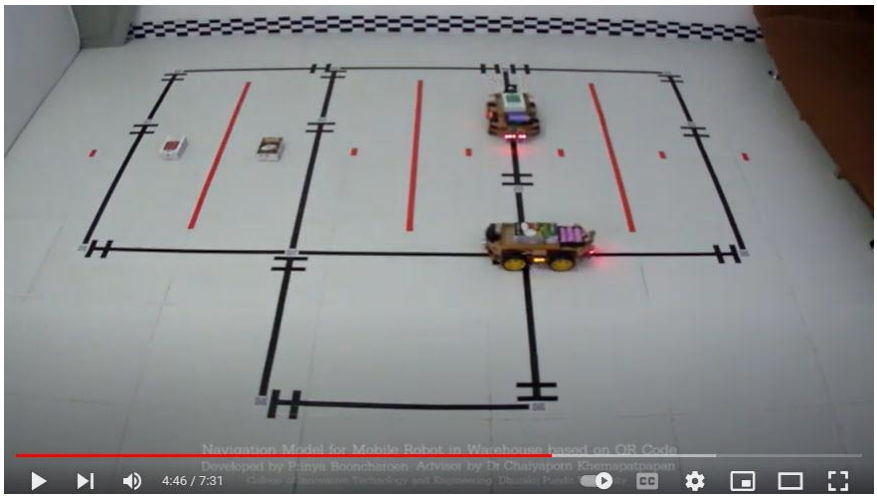


ภาพที่ 2 การเดินทางนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้นของโรบอท คันที่ 2

ที่มา: https://youtu.be/BQrVP5P--Mk

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

3. การเดินทางพร้อมกันของโรบอททั้ง 2 คัน ในการนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น

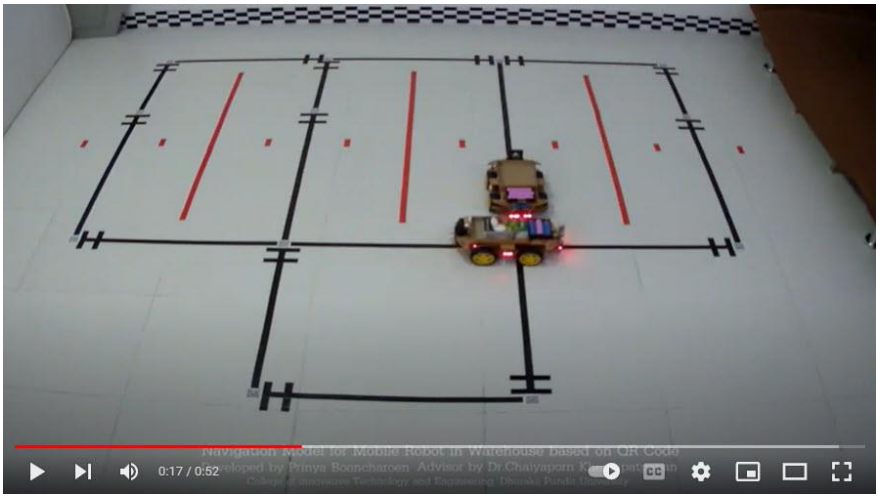


ภาพที่ 3 การเดินทางพร้อมกันของโรบอททั้ง 2 คัน ในการนำส่งสินค้าและกลับมาที่สถานีเริ่มต้น

ที่มา: https://youtu.be/yRRw9Gehvv8

4. การให้ทางของโรบอท ที่บริเวณทางแยก A3

4.1 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก A3 แบบที่ 1 คือเมื่อฝั่งด้านบนสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน

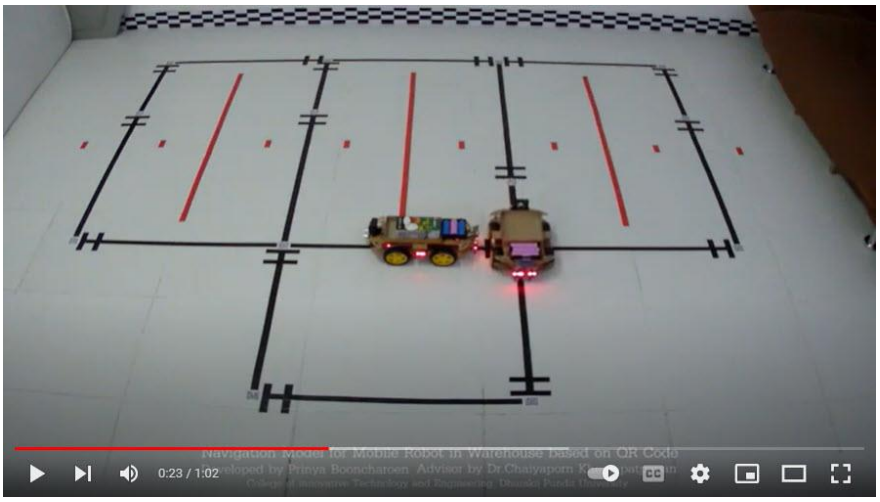


ภาพที่ 4 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก A3 แบบที่ 1 (เมื่อฝั่งด้านบนสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/SoRb3qhMp78

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

4.2 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก A3 แบบที่ 2 คือเมื่อฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน

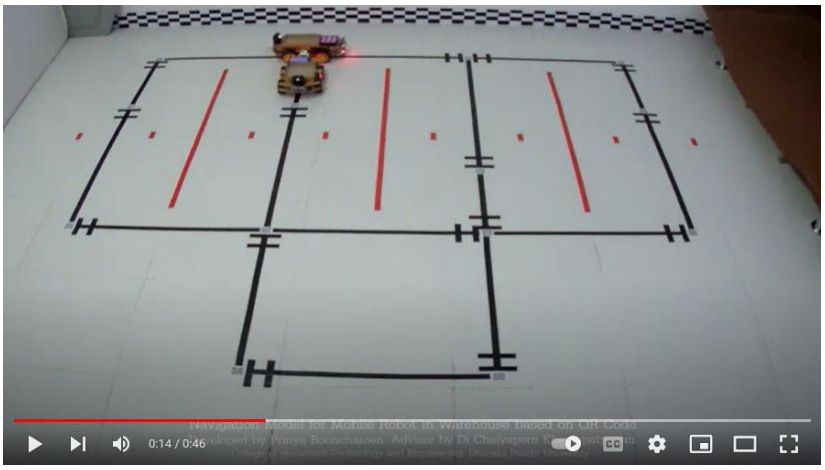


ภาพที่ 5 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก A3 แบบที่ 2 (ฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/0Q4EqaLn6QQ

5. การให้ทางของโรบอท ที่บริเวณทางแยก C2

5.1 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C2 แบบที่ 1 คือ เมื่อฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน

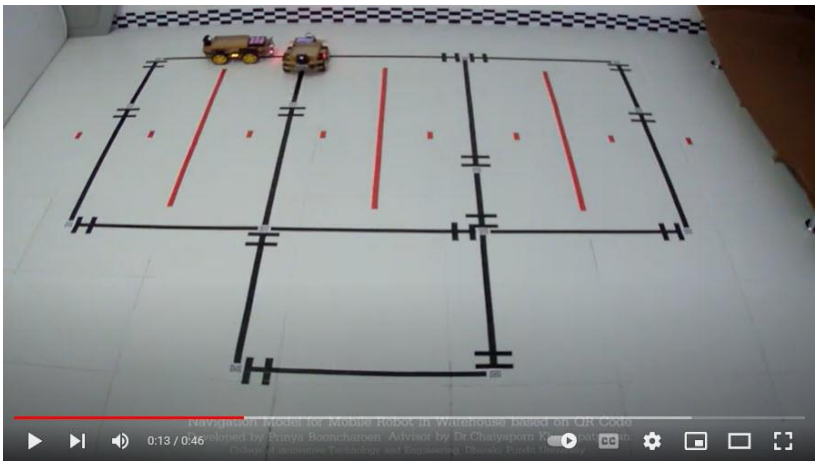


ภาพที่ 6 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C2 แบบที่ 1 (เมื่อฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/ZenlQ3IJ7WY

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

5.2 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C2 แบบที่ 2 คือเมื่อฝั่งด้านล่างสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน

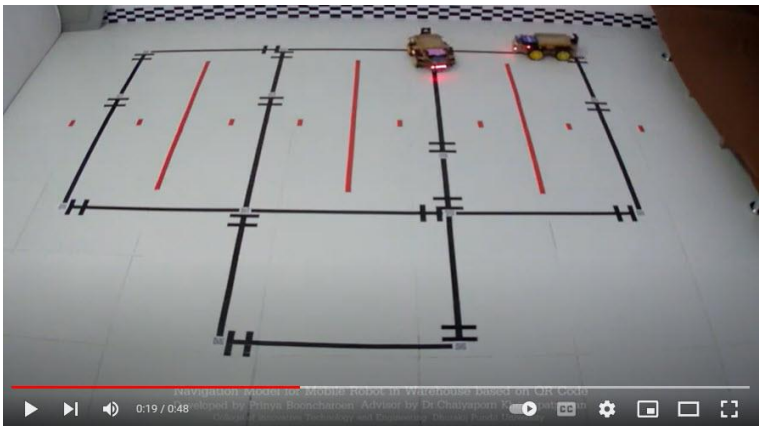


ภาพที่ 7 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C2 แบบที่ 2 (เมื่อฝั่งด้านล่างสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/KTtlp2DLeww

6. การให้ทางของโรบอท ที่บริเวณทางแยก C3

6.1 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C3 แบบที่ 1 คือ เมื่อฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน

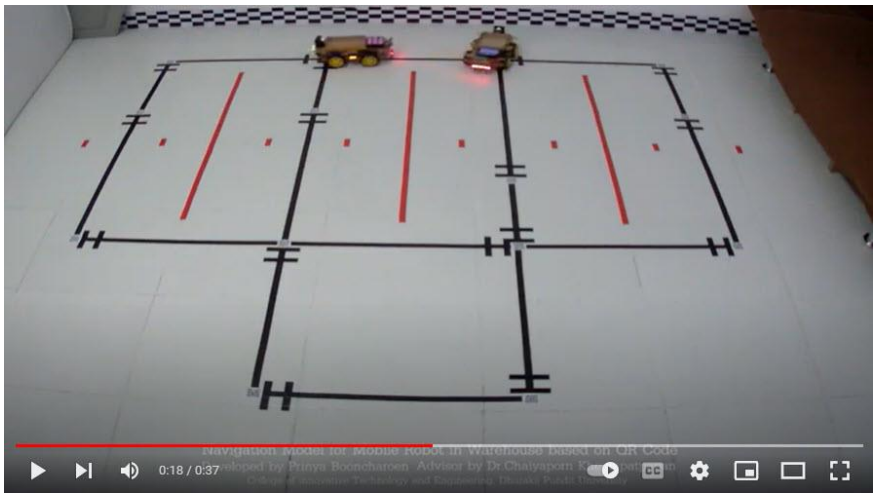


ภาพที่ 8 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C3 แบบที่ 1 (เมื่อฝั่งด้านซ้ายสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/E6bkXd2xzG4

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

6.2 การให้ทางของโรบอท ที่บริเวณทางแยก C3 แบบที่ 2 คือ เมื่อฝั่งด้านขวาสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน



ภาพที่ 9 การให้ทางของโรบอทที่บริเวณทางแยก C3 แบบที่ 2 (เมื่อฝั่งด้านขวาสามารถเดินทางผ่านไปได้ก่อน)

ที่มา: https://youtu.be/R7N__0NLmIg

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล ปริญญา บูรณ์เจริญ

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 - ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีทางการศึกษา/การศึกษาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา

ประสบการณ์ทำงาน

ปัจจุบัน - Software Engineer Morethantec Technology