



ระบบการจดจำสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทยบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตของ
สรรพสิ่งโดยใช้กล้องเว็บแคม



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยนวัตกรรมการดิจิทัลเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2567



**IOT-BASED THAI LICENSE PLATE RECOGNITION
SYSTEM USING WEB CAMERA**



**BY
SIWAKRON PHONSAWANG**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
COLLEGE OF DIGITAL INNOVATION TECHNOLOGY**

**GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2024**

วิทยานิพนธ์เรื่อง

ระบบการจดจำสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทยบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ตของ
สรรพสิ่งโดยใช้กล้องเว็บแคม

โดย

ศิวากร ผลสว่าง

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2567

ผศ. ดร.มินนภา รักษ์หิรัญ
ประธานกรรมการสอบ

ผศ. ดร.กานต์ ขงศิริวิทย์
กรรมการ

รศ. ดร.ปณิธิ เนดินันท์
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ศ. ดร.สือจิตต์ เพ็ชรประสาน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
22 กรกฎาคม 2567

Thesis entitled

**IOT-BASED THAI LICENSE PLATE RECOGNITION
SYSTEM USING WEB CAMERA**

by

SIWAKRON PHONSAWANG

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Science in Information Technology

Rangsit University
Academic Year 2024

Asst. Prof. Meennapa Rukhiran, Ph.D.
Examination Committee Chairperson

Asst. Prof. Karn Yongsiriwit, Ph.D.
Member

Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Prof. Suejit Phetprasarn, Ph.D.)

Dean of Graduate School

July 22, 2024

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ. ดร. ปณิธิ เนตินันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาแนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ภรรยา ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์นี้ โดยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ห่วงใย และให้กำลังใจผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านในโครงการปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ (M.S.I.T.) มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้กำลังใจในการศึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ กองบัญชาการกองทัพไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้ารับการศึกษานในหลักสูตรปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ (M.S.I.T.) มหาวิทยาลัยรังสิต

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ทุกท่าน ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์นี้ โดยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ห่วงใย และให้กำลังใจผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา จนทำให้การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ศิวากร ผลสว่าง

ผู้วิจัย

6508411 : ศิวากร ผลสว่าง
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ระบบการจดจำสำหรับป้ายทะเบียนภาษาไทยบนพื้นฐานอินเทอร์เน็ต
 ของสรรพสิ่งโดยใช้กล้องเว็บแคม
 หลักสูตร : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันท์

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์และเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรในระบบการจดจำป้ายทะเบียน (LPR) เป็นแนวทางที่เป็นเอกลักษณ์ของความก้าวหน้าในเทคโนโลยี การศึกษานี้เน้นวิเคราะห์ผลกระทบของระยะทางและความเร็วของวัตถุต่อประสิทธิภาพของ LPR แบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยี Small Board Computer (SBC) เช่น Raspberry Pi 4 และเว็บแคมความละเอียดสูง การวิจัยนี้ทดลองจำลองสถานการณ์การใช้งานปกติของ LPR และทดสอบอย่างละเอียดด้วยการทำซ้ำร้อยครั้งในมุม ความเร็ว และระยะทางที่หลากหลาย เพื่อประเมินความแม่นยำ การเรียกคืน และคะแนน F1 ของระบบ ผลลัพธ์ยืนยันว่ามุมกล้องที่เข้าใกล้ 180 องศาช่วยลดความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำ การลดความเบลอของการเคลื่อนไหวและการปรับปรุงความชัดเจนของภาพช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจดจำอย่างมีประสิทธิภาพ ที่แต่ละ 10 เมตร มีความแม่นยำมากกว่าสำหรับการรู้จำอักขระที่มีความละเอียดสูง การศึกษานี้เสนอเพิ่มเติมความเข้มข้นในการใช้เทคโนโลยี SBC ในการจดจำป้ายทะเบียนแบบเรียลไทม์บน IoT สำหรับการใช้งานจริง โดยเน้นที่ความปลอดภัยในการจอดรถ การควบคุมการจราจร และการเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติโดยเฉพาะ (วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 61 หน้า)

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสิ่งต่าง ๆ, การจดจำป้ายทะเบียน, ระบบแอลพีอาร์, คอมพิวเตอร์บอร์ดขนาดเล็ก, OCR, Raspberry Pi, OpenCV, PyTesseract, Webcam

6508411 : Siwakron Phonsawang
 Thesis Title : IoT-Based Thai License Plate Recognition System
 Using Web Camera
 Program : Master of Science Information Technology
 Thesis Advisor : Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.

Abstract

The application of computer vision and machine learning technology by machinery is considered cutting-edge in the advancement of License Plate Recognition (LPR) systems. This research examines the impact of distance, object speed, and camera angles on the real-time efficiency of LPR frameworks deployed on Internet of Things (IoT) platforms, specifically utilizing Small Board Computers (SBC) like the Raspberry Pi 4 with high-resolution webcams and advanced OpenCV algorithms. The study aims to simulate typical LPR system scenarios and extensively test them through hundreds of iterations in various angles, speeds, and distances. By leveraging the computational capabilities of SBCs and high-resolution image capture, the experiments rigorously evaluate accuracy, recall, and F1 scores. Results emphasize that near 180-degree camera angles reduce errors and enhance accuracy by mitigating motion blur and improving image clarity, particularly for high-resolution character recognition at shorter distances (approximately less than 10 meters). This research significantly strengthens the case for real-world implementation of SBC-based real-time LPR on IoT for enhanced parking security, traffic control, and automated toll collection, with a focus on practicality and efficiency.

(Total 61 pages)

Keywords: Internet of Things, License Plate Recognition, LPR Systems, Mini Board Computers, OCR, Raspberry Pi, OpenCV, PyTesseract, Webcam

Student's Signature Thesis Advisor's Signature

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1	บทนำ
	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	1
1.2	วัตถุประสงค์การวิจัย
	3
1.3	คำถามการวิจัยและสมมติฐานการวิจัย
	3
1.4	กรอบแนวคิดการวิจัย
	3
1.5	นิยามศัพท์
	4
บทที่ 2	แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	6
2.1	อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT: Internet of Things)
	6
2.2	ราสเบอร์รี่พาย 4 (Raspberry Pi 4) และความแม่นยำ
	10
2.3	Image Processing
	13
2.4	OCR Image to Text
	14
2.5	การรับรู้ป้ายทะเบียน
	16
2.6	ภาษาไพทอน (Python)
	18
2.7	โปรแกรม Thonny Python IDE
	19
2.8	ระบบปฏิบัติการราสเบียน (Raspbian Operating System)
	20
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	ระเบียบวิธีการวิจัย
	23
3.1	ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)
	23
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย (Hardware)
	25
3.3	ระบบ และภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการทำวิจัย (Software)
	26
3.4	การใช้งานโปรแกรมภาษาไพทอน (Python)
	27
3.5	การออกแบบ
	29
3.6	ขั้นตอนการทดลอง
	32
3.7	การรวบรวมข้อมูล
	33
3.8	การประเมินข้อมูล
	35
บทที่ 4	ผลการวิจัย
	37
4.1	ผลลัพธ์และการวิเคราะห์
	37
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ
	47
5.1	สรุปผลการวิจัย
	50
5.2	ข้อเสนอแนะ
	51
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก	ชุดคำสั่งซอฟต์แวร์
	58
ประวัติผู้วิจัย	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ประโยชน์ของ Raspberry Pi ในเทคโนโลยี SBC สำหรับระบบ LPR	12
2.2	ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบ LPR	13
3.1	สรุปส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษานี้	29
4.1	รวบรวมข้อมูลจากการทดลองภาคปฏิบัติ	37
4.2	สรุปการวิเคราะห์ข้อมูล	39
4.3	ผลกระทบของปัจจัยภายนอกต่อประสิทธิภาพของระบบ LPR	41
4.4	ผลลัพธ์ ANOVA ของตัวแปรจำนวนมากที่มีอิทธิพลต่อระบบ LPR	46



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เซ็นเซอร์ (Sensor)	8
2.2 แอกชูเอเตอร์ (Actuator)	8
2.3 หน่วยประมวลผล (Process Unit)	9
2.4 แหล่งพลังงาน (Power Unit)	9
2.5 ส่วนประกอบของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	10
2.6 ส่วนประกอบของ พอร์ตเชื่อมต่อรับค่า (Input) - ส่งค่า (Output) จำนวน 40 ขา	11
2.7 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล	14
2.8 กระบวนการแปลงรูปภาพเป็นข้อความ (OCR)	15
2.9 ภาษาไพทอน (Python)	18
2.10 โปรแกรม Thonny Python IDE	19
2.11 ระบบปฏิบัติการราสเบียน	20
3.1 กรอบงาน LPR ที่ ใช้ IoT	24
3.2 บอร์ด Raspberry Pi 4 Model B	26
3.3 กล้อง Logitech C922 Pro Stream Webcam	26
3.4 หน้าจอโปรแกรม Thonny Python IDE	28
3.5 สถาปัตยกรรมระบบโดยรวมและขั้นตอนการทำงานของระบบ LPR ที่ขับเคลื่อนด้วย IoT	30
3.6 ระเบียบวิธีวิจัยด้วยการตั้งค่ากล้องในมุมต่าง ๆ	33
3.7 ข้อมูลที่รวบรวมจากระบบ LPR บน Raspberry Pi 4 ในการทดลองภาคปฏิบัติ 180 องศา มุมจากระยะต่าง ๆ	34
3.8 ข้อมูลที่รวบรวมจากระบบ LPR บน Raspberry Pi 4 ในการทดลองภาคปฏิบัติ 165 องศา มุมจากระยะต่าง ๆ	35
4.1 ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนในมุมต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนที่ระยะต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC	43
4.3	ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนที่ความเร็วต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC	44



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีเทคโนโลยีที่น่าสนใจมากมายในระบบจดจำป้ายทะเบียน (LPR) เนื่องจากมีประโยชน์ใช้สอยกว้างขวางในโดเมนต่าง ๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยของสิ่งอำนวยความสะดวก การจัดการจราจร และการเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ ความสามารถในการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยความแม่นยำและมีประสิทธิภาพกลายเป็นความสามารถที่จำเป็นสำหรับอุตสาหกรรมและหน่วยงานภาครัฐจำนวนมากในระดับโลก เนื่องจากการพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานและฮาร์ดแวร์เฉพาะทาง ระบบ LPR ทั่วไปจึงมักมีราคาแพงและไม่เหมาะสำหรับการปรับใช้ขนาดเล็ก ในทางกลับกัน เนื่องจากคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีความก้าวหน้า ความสนใจจึงเพิ่มขึ้นในการพัฒนาระบบ LPR แบบเรียลไทม์โดยใช้แพลตฟอร์มที่ยืดหยุ่นและราคาไม่แพง เช่น Raspberry Pi สำหรับการนำระบบ LPR แบบเรียลไทม์ไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความสามารถและทรัพยากรที่จำกัด Raspberry Pi มอบเทคโนโลยีโซลูชันที่มีขนาดกะทัดรัดและราคาประหยัดในการประมวลผลงานภาพที่ซับซ้อนไปพร้อม ๆ กัน

แม้จะมีความก้าวหน้าอย่างมากใน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์และการเรียนรู้ของเครื่องจักร แต่การพัฒนาระบบ LPR ที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนแพลตฟอร์มที่มีทรัพยากรจำกัดโดยใช้คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว Small Board Computer (SBC) ยังคงมีความท้าทายความสามารถของระบบ SBC ในเรื่องความแม่นยำ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การสื่อสาร และความล่าช้าในการประมวลผลได้รับการตรวจสอบและทดสอบด้วยชุดข้อมูลป้ายทะเบียนต่าง ๆ ในช่วงกลางวันและเย็นและแบบเรียลไทม์ ข้อกังวลที่น่าสังเกตคือข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพที่แท้จริงของการออกแบบและการใช้งาน SBC ที่ใช้ Raspberry Pi ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากความสามารถในการคำนวณที่จำกัดของแพลตฟอร์ม โซลูชัน LPR แบบเรียลไทม์ที่มีอยู่ถูกขัดขวางในการประเมินเชิงปฏิบัติและการเผยแพร่ข้อบกพร่องและข้อบกพร่องที่สำคัญในหลายโดเมน และยังไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในโลกแห่งความเป็นจริง ข้อจำกัดของ LPR มักทำให้ความเร็วในการประมวลผลลดลง และความแม่นยำลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์แบบเรียลไทม์หรือสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณการรับส่งข้อมูลสูง ระบบ LPR จะแสดงภาพที่ได้มาโดยการเล็ง

กลิ้งไปที่ป้ายทะเบียนอย่างแม่นยำ ตามด้วยการดำเนินการประมวลผลภาพและการจดจำผ่านกราฟิกการ์ด อย่างไรก็ตาม วิธีการที่นำเสนออื่นไม่สามารถทำได้สำหรับการนำความยืดหยุ่นไปใช้จริงในสถานการณ์จริง ซึ่งการมองเห็นป้ายทะเบียนที่ชัดเจนถือเป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนี้ อัลกอริทึม LPR แบบเรียลไทม์ในปัจจุบันที่นำมาใช้กับ Raspberry Pi อาจขาดการปรับให้เหมาะสมที่เพียงพอสำหรับประสิทธิภาพของทรัพยากร ส่งผลให้การใช้ทรัพยากรฮาร์ดแวร์คือประสิทธิภาพและความไร้ประสิทธิภาพในความสามารถในการประมวลผล นอกจากนี้ ความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมมักเป็นบ่อนทำลายความยืดหยุ่นและความแม่นยำของระบบ LPR ที่ใช้งานบน Raspberry Pi ความแม่นยำของ LPR รวมถึงความผันผวนของสภาพแสง มุมเอียง สภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย ความเร็วของยานพาหนะ การบดบัง การวางแนวของจาน การแบ่งส่วนอักขระสากล และการจดจำอัลกอริทึม

ระบบ LPR ใช้การผสมผสานระหว่างวิธีการจดจำรูปแบบ อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องจักร และเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อแยกและถอดรหัสอักขระตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ถูกจับด้วยระบบออปติคัลประสิทธิภาพของระบบ LPR ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่แม่นยำที่สำคัญหลายประการ ซึ่งประกอบด้วยแง่มุมกระบวนการรับรู้ที่หลากหลาย ระบบ LPR จะต้องดำเนินการด้วยความแม่นยำสูงเพื่อให้ระบบระบุและติดตามยานพาหนะอัตโนมัติทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพ แม้จะมีความต้องการด้านประสิทธิภาพที่เข้มงวดของแอปพลิเคชันในโลกแห่งความเป็นจริง แต่ก็ยังมีช่องว่างด้านการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจและการแก้ปัญหของปัจจัยพื้นฐานที่แม่นยำซึ่งมีอิทธิพลต่อการพัฒนาและการใช้งานระบบ LPR แบบเรียลไทม์ใน SBC ดังนั้น การประเมินประสิทธิภาพและการนำระบบ LPR ไปใช้โดยใช้เทคโนโลยี SBC บนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi จึงมีรายละเอียดอยู่ในการศึกษานี้ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ จะมีการประเมินความเป็นไปได้และประสิทธิผลของการใช้ Raspberry Pi สำหรับ LPR แบบเรียลไทม์และการตรวจจับ การวิจัยนี้พยายามที่จะสร้างระบบ LPR ที่ทั้งประหยัดและปรับขนาดได้ ด้วยการใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องและไลบรารีโอเพ่นซอร์สโดยมีการใช้งานที่เป็นไปได้ตั้งแต่การจัดการที่จอดรถไปจนถึงการบังคับใช้กฎหมาย

การใช้งานระบบ LPR แบบเรียลไทม์แพร่หลายมากขึ้นในโดเมนต่าง ๆ รวมถึงที่จอดรถ การขนส่ง การรักษาความปลอดภัย และการเฝ้าระวัง การทำความเข้าใจว่าพารามิเตอร์เชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเหล่านี้อย่างไรเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบและการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบปัจจัยผลกระทบของมุกกล้อง ความเร็วของวัตถุ และระยะทางต่อประสิทธิภาพความสามารถของเทคโนโลยี LPR แบบเรียลไทม์บน SBC โดยใช้แพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4

1.3 คำถามการวิจัยและสมมติฐานการวิจัย

จากสมมติฐาน เป้าหมายหลักของงานนี้คือการทดสอบและพัฒนากระบวนการตรวจจับแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์แบบเรียลไทม์ตาม Internet of Things (IoT) ใช้ภาษา Python บนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi โดยใช้กล้องนำเข้าข้อมูลเพื่อตรวจจับ จึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจและมีความสำคัญ เนื่องจากการนำเทคโนโลยีการรู้จำแผ่นป้ายทะเบียน License Plate Recognition (LPR) มาใช้ในหลาย ๆ แอปพลิเคชันและระบบต่าง ๆ ด้วยการตรวจจับและบันทึกข้อมูลทะเบียนรถที่เข้าออกในสถานที่นั้น ๆ

คำถามที่ 1: การเปลี่ยนมุกกล้องส่งผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับป้ายทะเบียนอย่างไร

คำถามที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างระยะกล้องถึงวัตถุและประสิทธิภาพของการตรวจจับป้ายทะเบียนคืออะไร

คำถามที่ 3: มีการกำหนดค่ากล้องที่เหมาะสมที่สุดในแง่ของมุม ความเร็วของวัตถุ และระยะทางที่เพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดของการตรวจจับป้ายทะเบียนโดยใช้ Raspberry Pi 4

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษานี้มีส่วนสนับสนุนที่สำคัญหลายประการในโดเมนของระบบ LPR ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการปรับใช้เทคโนโลยี SBC บนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4 อย่างชัดเจน ด้วยการสำรวจผลกระทบของมุกกล้อง ความเร็วของวัตถุ และปัจจัยระยะทางอย่างเป็นระบบต่อความแม่นยำในการตรวจจับป้ายทะเบียนแบบเรียลไทม์ การศึกษานี้ให้ การรับรู้ที่มีประสิทธิภาพของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ LPR ใน SBC ที่ใช้งานได้จริง ด้วยการตั้งค่ากล้องเว็บ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการกำหนดค่ากล้องเว็บในการใช้งานจริง ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับเทคโนโลยี

LPR แบบเรียลไทม์ที่เชื่อถือได้มากขึ้น ประหยัดต้นทุน และมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และความสามารถในการใช้เทคโนโลยี SBC สำหรับระบบ LPR แบบเรียลไทม์โดยใช้ฮาร์ดแวร์ที่คุ้มค่า ด้วยการให้คำมั่นสัญญาว่าจะมีความสามารถในการจ่าย ประสิทธิภาพ และความสามารถในการเข้าถึงของแพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4 ได้ ซึ่งจะเป็นการขยายการเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวไปสู่ แอปพลิเคชันและผู้ใช้ที่หลากหลายมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ จึงขยายขอบเขตของแอปพลิเคชันและผู้ใช้ที่ได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีเหล่านี้ นอกจากนี้ การวิจัยในอนาคตเพื่อประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของระบบ LPR แบบเรียลไทม์โดยใช้เทคโนโลยี SBC บน Raspberry Pi และแพลตฟอร์มที่เกี่ยวข้องจะพบว่าการทดลองและวิธีการที่กำหนดขึ้นในการศึกษานี้มีคุณค่า

1.5 นิยามศัพท์

ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) เป็นคอมพิวเตอร์เล็กขนาดพกพาที่ถูกออกแบบมาเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ในด้านการโปรแกรมมิ่งและการพัฒนาเทคโนโลยี โดยเป็นโปรเจกต์ที่พัฒนาโดยมูลนิธินวัตกรรม Raspberry Pi Foundation ในสหราชอาณาจักร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการศึกษาทางเทคโนโลยีให้เข้าถึงได้ง่ายและราคาไม่แพง ทำให้ผู้เรียนและนักพัฒนาสามารถศึกษาและทดลองสร้างโปรเจกต์ต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและเร็วด้วยระบบปฏิบัติการ Linux ที่รองรับ Raspberry Pi มีรุ่นต่าง ๆ ที่มีความสามารถและสเปกต่างกัน เช่น Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi 3, Raspberry Pi 4 เป็นต้น ซึ่งมีความสามารถที่หลากหลายในการใช้งาน เช่น เป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์, เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัว, เครื่องเล่นสื่อ, หรือแม้กระทั่งเครื่องควบคุมโปรเจกต์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ด้วยเหตุนี้ Raspberry Pi ได้รับความนิยมและการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายกลุ่มคนทั้งนักพัฒนา นักเรียน นักศึกษา และผู้สนใจในด้านเทคโนโลยีทั่วไป

ภาษาไพทอน (Python) เป็นภาษาการเขียนโปรแกรมระดับสูง ที่นำข้อดีของภาษาต่าง ๆ มารวมไว้ด้วยกัน ถูกออกแบบมาให้เรียนรู้ได้ง่าย และมีไวยากรณ์ที่ช่วยให้เขียนโค้ดสั้นกว่าภาษาอื่น ๆ มีความสามารถใช้นิพจน์ข้อมูลแบบไดนามิก จัดการหน่วยความจำอัตโนมัติ สนับสนุนกระบวนทัศน์การเขียนโปรแกรม (Programming Paradigms) ประกอบด้วย การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (OOP : Object Oriented Programming) การเขียนโปรแกรมเชิงคำสั่ง (Imperative Programming) การเขียนโปรแกรมเชิงฟังก์ชัน (Functional) และการเขียนโปรแกรมเชิงกระบวนการ มีลักษณะเป็นภาษาสคริปต์ที่ทำงานร่วมกับภาษาอื่นได้ มีไลบรารีมาตรฐานมากมาย

และใช้อินเตอร์เฟซแปลภาษาโปรแกรมให้ทำงานบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย ทั้งบน Windows, MAC, Linux และ Unix นอกจากนั้นยังเป็นโปรแกรมแบบ Open Source ที่นำใช้ได้ฟรี เหมาะสำหรับโปรแกรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เช่น การสร้างเกม เฟรมเวิร์กพัฒนาเว็บ โปรแกรมที่ใช้กราฟิกติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) งานคำนวณทางวิทยาศาสตร์และสถิติ งานพัฒนาซอฟต์แวร์ และซอฟต์แวร์ควบคุมระบบ เป็นต้น

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หมายถึง การนำอุปกรณ์ทรอนิกส์มาเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ราสเบอรี่ หมายถึง ระบบปฏิบัติการชนิดหนึ่งที่ถูกรวบรวมมาเพื่อใช้งานกับราสเบอรี่พาย โดยเฉพาะ

ผู้บุกรุก หมายถึง บุคคล (จำลอง) ที่พยายามเข้ามายังที่พำนักโดยไม่ได้รับอนุญาต

โอเพนซีวี Open Source Computer Vision (OpenCV) เป็นโครงการซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สที่เน้นการพัฒนาเครื่องมือและไลบรารีสำหรับการประมวลผลภาพและวิดีโอดิจิทัล โดยเฉพาะในด้านการทำความเข้าใจภาพ การตรวจจับวัตถุ การแข่งขันวิดีโอ และการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ OpenCV มีความยืดหยุ่นและสามารถใช้งานกับภาษาโปรแกรมหลายภาษา เช่น C++, Python, Java และมีการรองรับระบบปฏิบัติการหลายแพลตฟอร์ม เช่น Windows, Linux, macOS, Android, และ iOS โดย OpenCV ได้รับความนิยมมากในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และในการพัฒนาแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นทางคอมพิวเตอร์ เช่น ระบบตรวจจับใบหน้า ระบบติดตามวัตถุ การสร้างภาพถ่ายที่มีการปรับแต่ง ฯลฯ

พายเทสเซอร์แรคต์ (PyTesseract) เป็นไลบรารี Python ที่ใช้สำหรับการแปลงภาพและเอกสาร PDF เป็นข้อความ โดยใช้ Tesseract OCR (Optical Character Recognition) ซึ่งเป็นเครื่องมือการจดจำตัวอักษรและเลขที่เป็นโอเพนซอร์ส ซึ่งถูกพัฒนาโดย Google. การใช้ PyTesseract จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถดึงข้อความจากภาพหรือเอกสาร PDF ได้อย่างอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยี OCR เพื่อแปลงภาพให้กลายเป็นข้อความที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งมีการใช้งานแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ เช่น การสแกนเอกสาร, การจดจำตัวอักษรในภาพ, การแปลงข้อความในภาพเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้งานได้โปรแกรมอื่น ๆ และอื่น ๆ อีกมากมาย

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาระบบ License Plate Recognition (LPR) โดยใช้ภาษาโปรแกรม Python บน Raspberry Pi มีความเกี่ยวข้องกับหลายทฤษฎีและเทคโนโลยีต่าง ๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถทำงานได้

- 2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT: Internet of Things)
- 2.2 ราชเบอร์รี่พาย 4 (Raspberry Pi 4) และความแม่นยำ
- 2.3 Image Processing
- 2.4 OCR Image to Text
- 2.5 การรับรู้ป้ายทะเบียน
- 2.6 ภาษาไพทอน (Python)
- 2.7 โปรแกรม Thonny Python IDE
- 2.8 ระบบปฏิบัติการราสเปียน (Raspbian Operating System)
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT: Internet of Things)

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หรือ Internet of Things นั้นประกอบด้วยคำสำคัญสองคำคือคำว่า “Internet” หมายถึง ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่เชื่อมต่อและสื่อสารจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งได้ หรือจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์หนึ่งไปยังอีกเครือข่ายคอมพิวเตอร์หนึ่งได้ ส่วนคำว่า “Thing” นั้นหมายถึง สรรพสิ่งทุกอย่าง วัตถุหรือสิ่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ โทรศัพท์ โดรน เก้าอี้ ปากกา ดินสอ เสื้อผ้า รองเท้า ฯลฯ (วิวัฒน์ มีสุวรรณ, 2559)

Buyya และ Dastjerdi (2016) อธิบายเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสรุปได้ว่า เป็นกระบวนการ (วิธีคิด วิธีปฏิบัติ ตัวแบบ รูปแบบ กรอบแนวความคิด และ แนวทางการศึกษา) ที่ว่าด้วยการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ประโยชน์ให้สามารถเชื่อมต่อกับมนุษย์ได้ โดยอาศัยโครงสร้างพื้นฐานทางการสื่อสารโทรคมนาคมหรืออินเทอร์เน็ต เพื่อการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุดรวมทั้งการบริการและเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของมนุษย์ เช่น อุปกรณ์ทาง

การแพทย์ ตู้เย็น กล้องถ่ายภาพและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่เชื่อมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งกระบวนการนี้ก็จะนำไปสู่การสร้างสรรคนวัตกรรมจะสร้างให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่าง ๆ กับมนุษย์สามารถทำได้ง่ายขึ้น สะดวกขึ้น (วิวัฒน์ มีสุวรรณ, 2559)

Lutz (2016) ได้อธิบายเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งว่าเป็นระบบที่จะเข้ามาเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์โดยเป็นระบบที่ให้อัตโนมัติหรือสิ่งของสามารถสื่อสาร เชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรอื่น ๆ ได้ Scully และ Luet (2016) โดยพื้นฐานแล้ว อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งคือ แนวความคิดที่อธิบายการเชื่อมต่อ (Connecting) กับวัตถุทางกายภาพใด ๆ หรือ “สิ่ง (Thing)” ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งการเชื่อมต่อกับวัตถุต่าง ๆ แบบนี้ ส่งผลกระทบสำคัญ ในการจัดการข้อมูลหรืออุปกรณ์จำนวนมากมาย ที่ต้องปรับเปลี่ยนให้สามารถเชื่อมต่อหรือสื่อสารกันได้ ดังนั้น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจึงเป็นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาฝังไว้ในสิ่งต่าง ๆ เพื่อเก็บรวบรวม และแลกเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ สามารถสื่อสารหรือเชื่อมโยงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะไม่ติดต่อกับมนุษย์โดยตรง แต่จะมีอยู่ในสิ่งแวดล้อม อาคาร สถานที่ ถนน ไร่ ไร่นา ฯลฯ ทุกอย่างสามารถเชื่อมต่อได้ ซึ่งบางครั้งเรียกว่า “Smart Objects” (วิวัฒน์ มีสุวรรณ, 2559)

เดชฤทธิ์ มณีธรรม (2563) ได้ให้ความหมายของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งไว้ว่า การที่อุปกรณ์หรือสิ่งต่าง ๆ ได้ถูกเชื่อมโยงเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไม่ว่าจะเป็นการสั่งการเปิดไฟฟ้าง่ายในบ้าน ด้วยอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการเกษตร อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจนกลายมาเป็นระบบอัจฉริยะต่าง ๆ เช่น ระบบอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart Device) ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) ระบบเครือข่ายอัจฉริยะ (Smart Network) ระบบบริหารจัดการยานพาหนะอัจฉริยะ (Smart Transportation) เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ประกอบด้วย

1) เซ็นเซอร์ (Sensor) หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสถานะต่าง ๆ และจะถูกแปลงค่าให้อยู่ในรูปของดิจิทัลเพื่อนำไปประมวลผลจากระบบที่มีความสามารถในการตรวจจับความเคลื่อนไหวจากการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของค่าอินฟราเรด



รูปที่ 2.1 เซ็นเซอร์ (Sensor)

ที่มา : Envirementalb, 2020

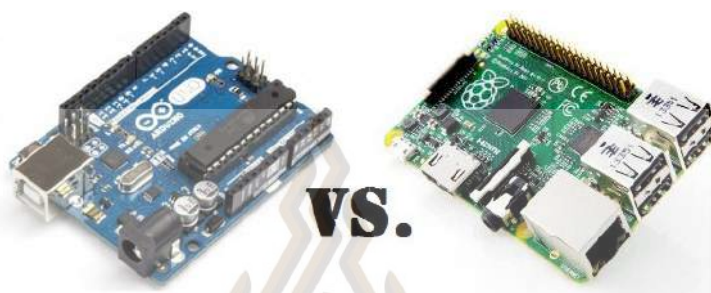
2) แอกชูเอเตอร์ (Actuator) หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตอบสนองค่าที่ได้จากการประมวลผลจากเซ็นเซอร์ (Sensor) ออกมาให้อยู่ในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่รูปธรรม เช่น ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า, ควบคุมการ เปิด/ปิด ของหลอดไฟ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แอกชูเอเตอร์ (Actuator)

ที่มา : Researchgate, 2019

3) หน่วยประมวลผล (Process Unit) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประมวลผลค่าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ (Sensor) เพื่อส่งต่อไปยังแอกชูเอเตอร์ (Actuator) โดยปัจจุบันมีหน่วยประมวลผลที่ใช้งานในด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง อยู่เป็นจำนวนมากเช่น บอร์ดอาดูโน้ หรือ บอร์ดราสเบอร์รี่พาย ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการทดสอบระบบในครั้งนี้



รูปที่ 2.3 หน่วยประมวลผล (Process Unit)

ที่มา : Circuitdigest, 2016

4) ระบบเครือข่าย (Network) หมายถึงตัวกลางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเซ็นเซอร์ (Sensor) และ แอกชูเอเตอร์ (Actuator) หรือระหว่างระบบกับผู้ใช้งาน โดยในปัจจุบันมีทั้งเครือข่ายแบบสาย และ เครือข่ายแบบไร้สาย ที่ผู้พัฒนาสามารถเลือกใช้งานได้ตามความเหมาะสมของระบบงาน



รูปที่ 2.4 แหล่งพลังงาน (Power Unit)

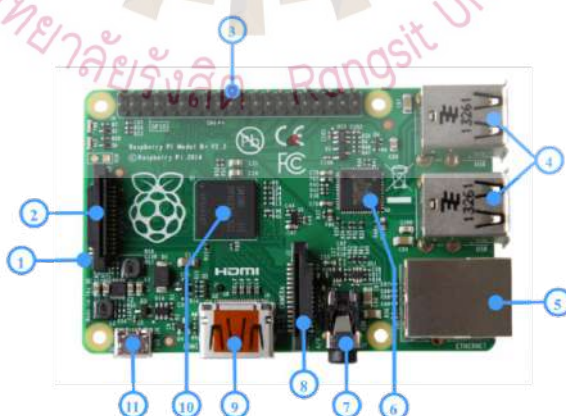
ที่มา : Dzone, 2021

5) แหล่งพลังงาน (Power Unit) หมายถึงแหล่งของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ มีทั้งแบบกระแสไฟฟ้าตรง (DC) และ กระแสไฟฟ้าสลับ (AC) ซึ่งในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เป็นทางเลือกในการใช้งานอย่างหลากหลาย เช่น พลังงานจากไฟฟ้าบ้านเมือง, พลังงานจากแบตเตอรี่ รวมไปถึงแหล่งพลังงานจากธรรมชาติที่เข้ามาเป็นทางเลือกและลดข้อจำกัดด้านพลังงานในการพัฒนางานด้านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง อีกด้วย

2.2 ราสเบอร์รี่พาย 4 (Raspberry Pi 4) และความแม่นยำ

ราสเบอร์รี่พาย เป็นคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดขนาดเล็ก ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยองค์กรการกุศลของสหราชอาณาจักร ชื่อว่า มูลนิธิราสเบอร์รี่พาย ที่ทำงานเพื่อนำพลังด้านดิจิทัลเข้าสู่ผู้ใช้งานทั่วโลก ซึ่งราสเบอร์รี่พายเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง ราคาประหยัด สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงานด้านเอกสาร ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้อีกด้วย อีกทั้งยังมีชุมชนออนไลน์พัฒนาแหล่งข้อมูลฟรี เช่น บทความ, ตัวอย่างโครงการ เพื่อช่วยให้ผู้คนเรียนรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และวิธีการทำสิ่งต่าง ๆ กับคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นใช้งานด้านทั่วไป หรือ ทักษะการเขียนโปรแกรม ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเรียนรู้โดยเฉพาะการเขียนโปรแกรม

บอร์ดราสเบอร์รี่พาย รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น ราสเบียน (Raspbian) ฟิโดรา (Fedora) และ อาร์ชลินุกซ์ (Arch Linux) เป็นต้น โดยติดตั้งบน เอสดีการ์ด (SD Card) บอร์ดราสเบอร์รี่พาย นี้ถูกออกแบบมาให้มีหน่วยประมวลผลกลาง หน่วยประมวลผลกราฟิกส์ และ หน่วยความจำสำรอง อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อพอร์ตเอนกประสงค์ (GPIO) ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

ที่มา: Raspberrypi, 2024

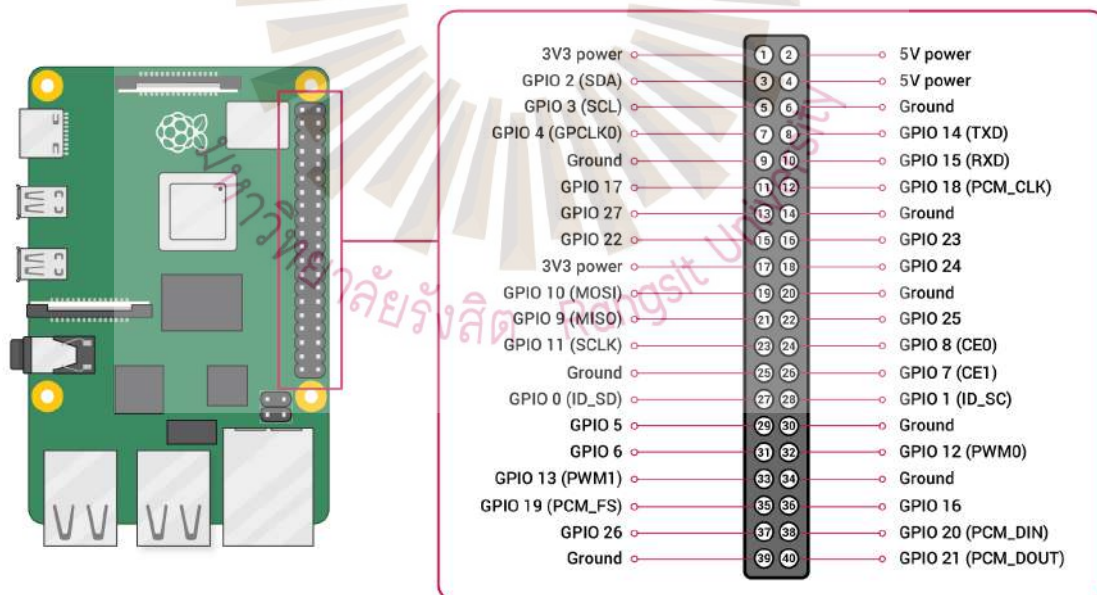
- 1) ช่องใส่เอสดีการ์ด (SD Card) สำหรับติดตั้งระบบปฏิบัติการและจัดเก็บข้อมูล
- 2) พอร์ตเชื่อมต่อแบบ DSI สำหรับเชื่อมต่อจอภาพ
- 3) พอร์ตเชื่อมต่อรับค่า (Input) - ส่งค่า (Output) จำนวน 40 ขา ของ GPIO, SPI, I2C, I2S

และ UART

- 4) พอร์ตเชื่อมต่อ USB 2.0 จำนวน 4 พอร์ต
- 5) พอร์ตเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบมีสาย (LAN) ความเร็ว 10/100 Mbps
- 6) ชุดควบคุมพอร์ตเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบมีสาย (LAN Controller)
- 7) พอร์ตเชื่อมต่อแจ็คขนาด 3.5 mm สำหรับต่อสัญญาณเสียง
- 8) พอร์ตเชื่อมต่อแบบ CSI สำหรับเชื่อมต่อกับโมดูลกล้อง
- 9) พอร์ตเชื่อมต่อแบบ HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง เพื่อเชื่อมต่อกับจอภาพที่มีขั้วแบบ HDMI เช่น โทรทัศน์ หรือ จอมอนิเตอร์
- 10) ชิพหน่วยประมวลผลกลางแบบ Quad Core 1.2 GHz Broadcom BCM2837 64

bit CPU

- 11) พอร์ตเชื่อมต่อแบบ Micro USB สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับบอร์ด



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของ พอร์ตเชื่อมต่อรับค่า (Input) - ส่งค่า (Output) จำนวน 40 ขา

ที่มา: Raspberrypi, 2024

การรับ-ส่ง ข้อมูลต่าง ๆ ของบอร์ด Raspberry Pi จะมีการใช้งานผ่านพอร์ต. พอร์ตเชื่อมต่อรับค่า (Input) - ส่งค่า (Output) จำนวน 40 ขา ที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อแบบ General Purpose Input/Output (GPIO), Serial Data (SDA), Serial Clock (SCL), General Purpose Clock (GPCLK), Serial Peripheral Interface Bus (SPI), Inter-Integrated Circuit (I2C), Inter-IC Sound (I2S) และ Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) รวมไปถึงการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรง (DC) ที่มีขนาดแรงดันแบบ 3 โวลต์, 5 โวลต์ และ การเชื่อมต่อ Ground โดยรูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของพอร์ตเชื่อมต่อรับค่า (Input) - ส่งค่า (Output) จำนวน 40 ขา บนราสเบอร์รี่พาย

Raspberry Pi ได้กลายเป็นแพลตฟอร์มการแข่งขันด้านการประมวลผลแบบเอดจ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับแอปพลิเคชัน LPR ภายใต้ขนาดที่กะทัดรัด ความคุ้มค่า และความสามารถในการคำนวณที่เพียงพอ Raspberry Pi สามารถจัดการการปรับใช้ระบบ LPR ในสภาพแวดล้อมที่ทรัพยากรการประมวลผลแบบเดิม ๆ ทำไม่ได้หรือมีราคาแพงมาก ด้วยการใช้การคำนวณสำหรับการรวมเซ็นเซอร์และพลังการประมวลผลที่แข็งแกร่งเพื่อดำเนินการอัลกอริทึมเครื่องนำหน้าทำให้ Raspberry Pi สามารถใช้ประโยชน์จาก LPR ได้ วิธีการนี้ช่วยลดเวลา ลดการใช้แบนด์วิดท์ด้วยการประมวลผลข้อมูลภายในเครื่อง และการตอบสนองแบบเรียลไทม์ของระบบ LPR ได้รับการปรับปรุงในสภาพแวดล้อมแบบไดนามิก ตามรายละเอียดในตารางที่ 2.1 Raspberry Pi มีข้อดีมากมายเมื่อใช้ในการประมวลผลแบบ Edge สำหรับระบบ LPR

ตารางที่ 2.1 ประโยชน์ของ Raspberry Pi ในเทคโนโลยี SBC สำหรับระบบ LPR

ผลประโยชน์	คำอธิบาย
ลดค่าใช้จ่าย	ความสามารถในการจ่ายของ Raspberry Pi ทำให้อุปกรณ์เป็นตัวเลือกที่คุ้มค่าสำหรับโครงการ LPR
ขนาดกะทัดรัด	Raspberry Pi ขนาดที่เล็กทำให้สามารถรวมเข้ากับการติดตั้งต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดายโดยไม่มีปัญหาเรื่องพื้นที่
การใช้พลังงานต่ำ	อุปกรณ์นี้ประหยัดพลังงานและเหมาะสำหรับการทำงานต่อเนื่องโดยไม่ต้องเสียบปลั๊กไฟ
การประมวลผลแบบเรียลไทม์	ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลภายในเครื่องที่ลดเวลาตอบสนองทำให้การตัดสินใจเร็วขึ้น
ความยืดหยุ่น	รองรับภาษาและเฟรมเวิร์กการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย ในขณะที่เดียวกันก็ให้โซลูชันที่ปรับแต่งตามความต้องการ

ที่มา: Yo Nutchanon, 2023

อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของระบบ LPR มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่หลากหลาย ความแม่นยำสูงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการระบุยานพาหนะที่เชื่อถือได้ การเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน และเพิ่มมาตรการรักษาความปลอดภัย มีหลายปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบบ่อยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ LPR ปัจจัยเหล่านี้รวมถึงคุณภาพของฮาร์ดแวร์ กล้อง ความซับซ้อนของการประมวลผลภาพและอัลกอริทึมการจดจำ และสภาพแวดล้อม เช่น แสง สภาพอากาศ และความเร็วของยานพาหนะ ความสำคัญของความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการออกแบบระบบเชิงกลยุทธ์ในการปรับปรุงความแม่นยำของ LPR แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของระบบ LPR

ปัจจัย	ผลกระทบต่อความแม่นยำของ LPR
คุณภาพของภาพ	ความละเอียดและความคมชัดที่สูงขึ้นช่วยให้การจดจำแม่นยำยิ่งขึ้น
สภาพแวดล้อม	แสง สภาพอากาศ และสิ่งกีดขวางอาจส่งผลต่อคุณภาพของภาพ
มุมกล้องและระยะห่าง	มุมที่ไม่ถูกต้องหรือระยะห่างที่มากเกินไปอาจทำให้แผ่นภาพเบลอหรือบดบังได้
ความเร็วของยานพาหนะ	ความเร็วที่สูงขึ้นอาจทำให้ภาพเบลอ ส่งผลให้ความแม่นยำลดลง
ประสิทธิภาพของอัลกอริทึม	ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมจะกำหนดความสำเร็จในการจดจำ

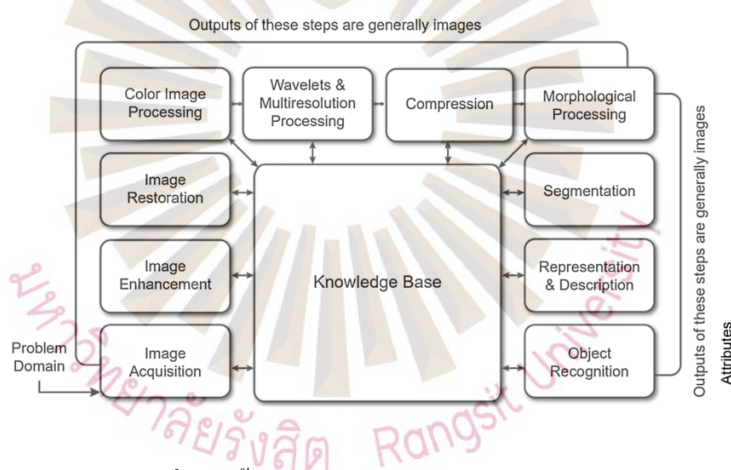
ที่มา: Digitalcom, 2022

2.3 Image Processing

Image Processing คือ การนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์หรือชิปประมวลผลอัจฉริยะมาใช้ในการประมวลผลภาพ และยังต้องทำการประมวลผลภาพร่วมกับเลนส์ได้อย่างลงตัว โดยในขณะที่เลนส์ทำการจับภาพได้แล้วนั้น ตัวโปรแกรม Image Processing ก็จะเข้าไปวิเคราะห์รูปภาพที่เลนส์จับได้ทันที ด้วยการหาจุดโฟกัสที่เหมาะสมของภาพ และทำการให้แสงหรือชดเชยแสงเข้าไปเพิ่มเติม เพื่อให้ภาพที่ถ่ายออกมาานั้น มีความคมชัด ยิ่งไปกว่านั้น เทคโนโลยี Image Processing นั้นยังถูกบรรจุเอาไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันในการตกแต่งรูปต่าง ๆ ที่เราใช้กันอยู่ในชีวิตประจำวันอีกด้วย

หลักการทำงานของ Image Processing นั้นเริ่มต้นที่การนำรูปภาพที่ต้องการประมวลผลภาพเข้าไปในระบบ จากนั้นตัวซอฟต์แวร์จะทำการวิเคราะห์รูปภาพ แล้วคอมพิวเตอร์จึงเปลี่ยนมันให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัล จะได้ข้อมูลทั้งขนาดและรูปร่างที่ต้องการเตรียมเอาไว้ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ เช่น การปรับปรุงคุณภาพของภาพ, การกำจัดสัญญาณอื่นๆ ที่รบกวนภาพ, การสร้างภาพใหม่ด้วยการซ้อนทับภาพ, การแบ่งส่วนภาพ, และการตรวจจับขอบภาพ

สรุป Image Processing คือ เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ มีหลักการทำงานง่ายๆ เพียงส่งภาพเข้าไปในระบบ ตัวโปรแกรมก็จะทำการวิเคราะห์และประมวลผลต่อไป โดยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) นั้นมีความสามารถหลายอย่าง ทั้งปรับปรุงคุณภาพของภาพเก่า สร้างภาพใหม่ที่สมบูรณ์มากขึ้น บีบอัดภาพ และคุณสมบัติอื่น ๆ อีกมากมาย ที่สำคัญคือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับใบหน้า ซึ่งสามารถช่วยประหยัดต้นทุนในกลุ่มสายงานด้านอุตสาหกรรมและการผลิตได้เป็นอย่างดี



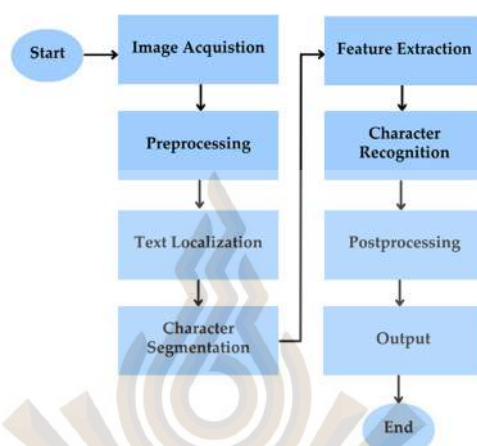
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล

ที่มา: Augmented Human Research, 2020

2.4 OCR Image to Text

OCR เป็นโซลูชันทางเทคโนโลยีที่ใช้ในการแปลงเอกสารที่สแกน ข้อความที่พิมพ์หรือเขียนด้วยลายมือจากรูปภาพหรือแหล่งภาพอื่น ๆ ให้เป็นข้อความที่สามารถอ่านได้เทคโนโลยี OCR ได้กลายเป็นเครื่องมือที่ขาดไม่ได้ในอุตสาหกรรมและการใช้งานจำนวนมาก รวมถึงการแปลงเอกสารเป็นดิจิทัล การแยกข้อมูล และการจดจำข้อความ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8 กระบวนการแปลง

รูปภาพเป็นข้อความ (OCR) ต้องใช้ขั้นตอนต่อไปนี้ การได้มาของรูปภาพ การประมวลผลภาพ
 ถ่วงน้ำหนัก การแปลข้อความ การแบ่งส่วนอักขระ การแยกคุณลักษณะ การจดจำอักขระ และการ
 ประมวลผลภายหลัง



รูปที่ 2.8 กระบวนการแปลงรูปภาพเป็นข้อความ (OCR)

ที่มา: Boonrod, 2023

ดังที่ปรากฏในรูปที่ 2.8 กระบวนการ OCR เริ่มต้นด้วยการรับรูปภาพที่มีข้อความโดยใช้
 อุปกรณ์สแกน กล้อง หรืออุปกรณ์สร้างภาพอื่น ๆ รูปภาพที่ใช้ในการจดจำอาจประกอบด้วยภาพ
 หน้าจอ ภาพถ่าย เอกสารที่สแกน หรือเฟรมที่ดึงมาจากสตรีมวิดีโอ

ในขั้นตอนต่อไปนี้ รูปภาพจะถูกประมวลผลล่วงหน้า ก่อนการประมวลผล OCR จะมีการ
 ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพและความชัดเจนของภาพที่อินพุต ในการรู้จำ
 อักขระ มีการดำเนินการต่อไปนี้ การปรับคอนทราสต์ การแก้ไขการเอียง ไปนาระยะของภาพ
 และการลดสัญญาณรบกวน รูปภาพที่ประมวลผลล่วงหน้าจะช่วยเพิ่มความแม่นยำของ OCR โดย
 การปรับการมองเห็นขอบเขตข้อความให้เหมาะสม

อัลกอริทึมการตรวจจับข้อความช่วยในการแปลขอบเขตข้อความเพื่อการประมวลผล
 เพิ่มเติม และระบุส่วนที่สนใจซึ่งมีข้อความภายในภาพที่ป้อนเข้า ตรวจสอบรูปภาพเพื่อระบุส่วนที่มี
 แนวโน้มสูงที่จะมีข้อความ รวมถึงบล็อกข้อความ ย่อหน้า หรือคำแต่ละคำ

การแบ่งส่วนเป็นขั้นตอนสำคัญ โดยเกี่ยวข้องกับการแบ่งขอบเขตข้อความที่ตรวจพบ ออกเป็นอักขระแต่ละตัวเพื่อช่วยในการจดจำ ซึ่งตรงไปตรงมาในภาษาต่าง ๆ เช่น ภาษาอังกฤษ โดย มีการเว้นวรรคและรูปร่างของอักขระที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ภาษาต่างๆ เช่น อารบิก จีน หรือไทย ซึ่งมีโครงสร้างอักขระที่ซับซ้อนจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ในภาษาอาหรับ อักขระจะ เปลี่ยนรูปร่างขึ้นอยู่กับตำแหน่งในคำ จำเป็นต้องใช้เทคนิคเฉพาะทางเพื่อจัดการกับความซับซ้อน ดังกล่าว

OCR เป็นขั้นตอนต่อมา อัลกอริทึม OCR ตรวจสอบอักขระที่แบ่งส่วนเพื่อระบุและแปลง เป็นข้อความที่เครื่องอ่านได้ ซึ่งทำได้โดยจับคู่รูปร่างอักขระกับเทมเพลตอักขระหรือโมเดลภาษาที่ กำหนดไว้ล่วงหน้า เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการจดจำสูง ระบบ OCR สมัยใหม่จึงใช้เทคนิคการ เรียนรู้เชิงลึก เช่น CNN และ RNN โมเดลเหล่านี้ได้รับการฝึกฝนเกี่ยวกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ของ รูปภาพข้อความที่มีคำอธิบายประกอบ ทำให้สามารถจดจำอักขระได้หลากหลายด้วยความแม่นยำสูง

การประมวลผลภายหลังถือเป็นขั้นตอนที่หก ด้วยการใช้เทคนิคหลังการประมวลผล ผลลัพธ์ OCR จะได้รับการปรับปรุง แก้ไขข้อผิดพลาด และปรับปรุงคุณภาพของข้อความที่จดจำได้ กระบวนการนี้อาจเกี่ยวข้องกับการใช้อัลกอริทึมตรวจสอบการสะกด กฎการตรวจสอบเฉพาะ สำหรับภาษา หรือวิธีการแก้ไขตามบริบท การประมวลผลภายหลังมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุง ความแม่นยำและความชัดเจนของเอาต์พุต OCR ซึ่งรับประกันว่าข้อความที่ระบุจะคล้ายกับสถานะ เริ่มต้น

กระบวนการนี้จะเสร็จสิ้นเมื่อได้หมายเลขป้ายทะเบียนที่ได้รับการยอมรับและจัดรูปแบบ แล้ว การทดสอบผลลัพธ์ที่เป็นบวกและลบจะดำเนินการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบ โดยจะแยกแยะความแตกต่างระหว่างหมายเลขป้ายทะเบียนที่ระบุอย่างถูกต้องและไม่ถูกต้อง

2.5 การรับรู้ป้ายทะเบียน

การจดจำป้ายทะเบียนอัตโนมัติ หรือที่เรียกว่า LPR เป็นความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ อำนาจความสะดวกในการระบุ การตรวจจับ และการตีความป้ายทะเบียนรถยนต์โดยอัตโนมัติ การได้มาของภาพ การประมวลผลล่วงหน้า การแปลป้ายทะเบียน การแบ่งส่วนอักขระ การรู้จำ อักขระด้วยแสง (OCR) และการประมวลผลภายหลัง ล้วนเป็นส่วนประกอบของ LPR แต่ละขั้นตอน

ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมและเทคนิคที่แตกต่างกันเพื่อดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากรูปภาพที่ถ่ายโดยกล้องกับยานพาหนะ โครงสร้างพื้นฐานริมถนน หรือระบบเฝ้าระวังที่อยู่กับที่ หลักการของ LPR ประกอบด้วยแนวทาง อัลกอริทึม และวิธีการที่หลากหลายซึ่งได้มาจากการศึกษาหลายแขนง ระบบ LPR ยังคงได้รับการปฏิบัติโดยการพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ และการเรียนรู้ของเครื่องจักร ซึ่งช่วยให้โซลูชันการระบุยานพาหนะมีความแม่นยำ เชื่อถือได้ และมีประสิทธิภาพมากขึ้นพร้อมการใช้งานจริงที่หลากหลาย สำหรับหลายขั้นตอน

ระบบ LPR สามารถแสดงได้ดังนี้ ในระหว่างขั้นตอนการรับภาพของ LPR กล้องจะจับภาพดิจิทัลของยานพาหนะและป้ายทะเบียน ความแปรผันของมุมมอง สภาพแสง คุณภาพของภาพ และความละเอียด อาจเป็นอุปสรรคต่อขั้นตอนการประมวลผลที่ตามมา วิธีการประมวลผลล่วงหน้าถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับป้ายทะเบียนและเงื่อนไขการจดจำโดยการกำจัดสัญญาณรบกวน แก้ไขการบิดเบือน และปรับระดับความสว่างจากภาพที่ถ่ายให้เป็นปกติ ขั้นตอนการแปลป้ายทะเบียนเกี่ยวข้องกับการระบุพื้นที่เฉพาะที่น่าสนใจภายในภาพที่ได้มาซึ่งมีโอกาสมิมีป้ายทะเบียน เทคนิคการประมวลผลภาพทั่วไปที่ใช้ในการบรรลุผลนี้ ได้แก่ การตรวจจับขอบการวิเคราะห์รูปร่าง และการดำเนินการทางสัณฐานวิทยา เพื่อการแปลป้ายทะเบียนที่แม่นยำและเชื่อถือได้ จึงมีการนำอัลกอริทึมจำนวนมากมาใช้ เช่น การจับคู่เทมเพลต การเข้าใกล้หน้าต่างแบบเลื่อนและโมเดลการตรวจจับวัตถุที่ใช้การเรียนรู้เชิงลึก เมื่อระบุป้ายทะเบียนแล้ว การแบ่งส่วนอักขระจะดำเนินการเพื่อแยกและแยกอักขระป้ายทะเบียนแต่ละรายการเพื่อการจดจำ ระยะนี้ขึ้นอยู่กับการถอดรหัสที่แม่นยำของอักขระตัวอักษรและตัวเลขที่ปรากฏบนป้ายทะเบียน นอกเหนือจากแบบอักษรแล้ว อัลกอริทึมการแบ่งส่วนอักขระจะต้องรองรับขนาดอักขระที่เปลี่ยนแปลงได้ ระยะห่างและการบิดเบือนที่เกิดจากเอฟเฟกต์ หรือสัญญาณรบกวนของภาพ OCR เป็นระยะสรุปของ LPR ซึ่งในระหว่างนั้นจะมีการดึงหมายเลขป้ายทะเบียนโดยการจดจำและตีความอักขระที่แยกออกมา อัลกอริทึม OCR จำแนกและถอดรหัสอักขระอย่างแม่นยำผ่านเทคนิคการจดจำรูปแบบ โมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง และอัลกอริทึมการประมวลผลภาษา ระบบ OCR ได้รับความแม่นยำในการจดจำสูงโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก รวมถึงโครงข่ายประสาทเทียมแบบหมุนวน (CNN) และเครือข่ายประสาทที่ึกซึ้ง (RNN) ซึ่งได้รับการฝึกฝนเกี่ยวกับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยภาพป้ายทะเบียนที่มีคำอธิบายประกอบ เทคนิคหลังการประมวลผลจะปรับแต่งผลลัพธ์ OCR แก้ไขข้อผิดพลาด และเพิ่มความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบ LPR อาจใช้ กฎการตรวจสอบตาม บริบท อัลกอริทึมการตรวจสอบการสะกด หรือแบบจำลองทางสถิติในขั้นตอนนี้เพื่อกรองผลบวกและตรวจสอบความถูกต้องของหมายเลขป้ายทะเบียนที่เป็นที่รู้จัก

ดังนั้น ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ข้อกำหนดเบื้องต้นของฮาร์ดแวร์ ประสิทธิภาพการคำนวณ สถาปัตยกรรมระบบ และตัวชี้วัดการประเมินประสิทธิภาพ ความแม่นยำ ความเร็ว และความสามารถในการปรับขนาดในการออกแบบระบบ LPR เพื่อตอบสนองความต้องการของแอปพลิเคชันเฉพาะและสถานการณ์การใช้งาน

2.6 ภาษาไพทอน (Python)

ไพทอน คือ ภาษาระดับสูงที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมที่มีความสามารถในระดับสูงไม่แพ้ภาษาอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ถูกสร้างขึ้นโดยนักพัฒนาโปรแกรมชื่อ Guido van Rossum เป็นชาวดัตช์ (Dutch) ประเทศเนเธอร์แลนด์ เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2499 ภาษาไพทอนได้รับอิทธิพลมาจากภาษา ABC ซึ่งมีความสามารถในการจัดการเกี่ยวกับข้อผิดพลาดของโปรแกรม (Exception Handling) ได้ดี และดึงเอาความสามารถเด่น ๆ ของภาษาระดับสูงอื่น ๆ มาประยุกต์ดัดแปลงใช้กับไพทอนด้วย ส่งผลให้ภาษาไพทอนเป็นที่นิยม และใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นภาษาที่สามารถเรียนรู้ได้ง่าย รวดเร็ว รูปแบบการเขียนโปรแกรมมีความกระชับ และมีประสิทธิภาพสูง จากการนำเอาคุณลักษณะเด่น ๆ ของภาษาอื่น ๆ มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดนี้เอง ไพทอนจึงถูกเรียกว่าเป็นภาษาที่มีหลายกระบวนทัศน์ หรือหลายมุมมอง (Multi-Paradigm Languages) ซึ่งเป็นการผสมผสานรวมเอาแนวความคิดในการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบต่าง ๆ เข้าไว้ด้วยกันให้อยู่ในตัวของไพทอน คือ Object-Oriented Programming, Structured Programming, Functional Programming และ Aspect-Oriented Programming



รูปที่ 2.9 ภาษาไพทอน (Python)

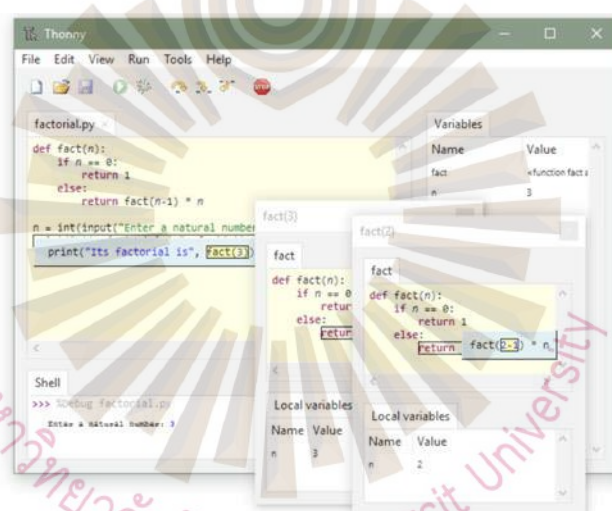
ที่มา: Mindphp, 2024

ไพทอนถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform Independent) กล่าวคือสามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการตระกูลวินโดวส์ (Windows NT, 2000, 2008, XP, 7,

8, 8.1, 10) ตระกูลยูนิกซ์-ลินุกซ์ (Unix, Linux, xBSD) และตระกูลแมคคอส (Macintosh) โดยระบบปฏิบัติการ เหล่านี้ติดตั้งเพียงโปรแกรมแปลภาษาให้เป็นภาษาเครื่องของสถาปัตยกรรมนั้น ๆ เท่านั้น

ภาษาไพทอนเป็นซอฟต์แวร์เสรี (Open Source Software) เหมือนภาษาพีเอชพี (PHP) ทำให้ทุกคนสามารถนำไพทอนมาพัฒนาโปรแกรมได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และคุณสมบัติความเป็นซอฟต์แวร์เสรี ทำให้มีโปรแกรมเมอร์ทั่วโลกเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ไพทอนมีความสามารถสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้สามารถครอบคลุมงานในลักษณะต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง (สุชาติ คุ้มมะณี, 2558)

2.7 โปรแกรม Thonny Python IDE



รูปที่ 2.10 โปรแกรม Thonny Python IDE

ที่มา: Thonny, 2021

Thonny Python IDE คือ Integrated Development Environment (IDE) ที่มีประสิทธิภาพที่ขอดีเยี่ยมและใช้งานง่ายอีกโปรแกรมหนึ่ง ที่ถูกติดตั้งไว้บนระบบปฏิบัติการราสเบียนเหมาะสำหรับการเรียนการสอนด้านการเขียนโปรแกรมโดยเฉพาะ ด้วยคุณลักษณะเด่นด้านการจำลองให้เห็นภาพของเวิร์กโฟลว์ การพิจารณาค่าสิ่งที่เกิดขึ้น และโหมดสำหรับอธิบายแนวคิดของการอ้างอิง Thonny Python IDE จึงเหมาะสำหรับผู้ที่กำลังจะเริ่มเขียนโปรแกรม หรือผู้ที่พัฒนาโปรแกรมอยู่แล้ว อีกทั้งยังใช้งานได้ฟรีและเปิดให้ใช้งานส่วนขยายต่าง ๆ ได้อีกด้วย

2.8 ระบบปฏิบัติการราสเบียน (Raspbian Operating System)

ระบบปฏิบัติการราสเบอรี่พาย หรือ ราสเบียน เป็นระบบปฏิบัติการที่มีพื้นฐานมาจากระบบปฏิบัติการเดเบียน ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยมูลนิธิราสเบอรี่พาย ตั้งแต่ปี ค.ศ.2015 เพื่อนำมาใช้เป็นระบบปฏิบัติการหลักของอุปกรณ์ในตระกูลราสเบอรี่พาย โดยมีลักษณะเด่นคือขนาดที่มีความกะทัดรัดของระบบปฏิบัติการ โดยราสเบียนในยุคแรกถูกพัฒนาขึ้นจากกลุ่มโปรแกรมเมอร์อิสระที่มีชื่อว่า Mike Thompson และ Peter Green ซึ่งมีการเผยแพร่ครั้งแรกหลังจากเสร็จสมบูรณ์เมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2012



รูปที่ 2.11 ระบบปฏิบัติการราสเบียน

ที่มา: Raspbian, 2021

ราสเบียนได้รับการปรับปรุงเรื่อยมาเพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานในกลุ่มผลิตภัณฑ์ ราสเบอรี่พาย โดยมีชิพยี่ห้อ ARM ติดตั้งอยู่บนราสเบอรี่พายทุกตัว ที่มาพร้อมกับ LXDE (Abbreviation for Lightweight X11 Desktop Environment) ในการใช้งานเดสก์ท็อป (Desktop) พร้อมกับธีมที่เป็นเอกลักษณ์ในการเลือกใช้งาน รวมทั้งเว็บเบราว์เซอร์โครเมียม (Chromium) ในเวอร์ชันแบบน้ำหนักเบา (Lightweight) ที่ออกแบบมาให้ใช้ทรัพยากรของเครื่องน้อยลง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

Kumar, Tiwari และ Zymbler (2019) ได้ศึกษาเรื่องความสำคัญและการนำเอาอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้งาน รวมทั้งการใช้งานอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้านข้อมูลขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

Rukhiran, Netinant และ Elrad (2020) ได้ศึกษาเรื่องการหาค่าของความละเอียดของภาพและระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มอัตราความแม่นยำ สำหรับระบบจดจำใบหน้า บนพื้นฐานของระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Jisha, Jyothindranath และ Kumary (2017) ได้ศึกษาเรื่องการนำเอาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มาใช้ในการติดตามนักเรียนที่โดยสารรถโรงเรียน โดยใช้เทคโนโลยี RFID/GPS /GSM/GPRS ร่วมกัน นอกจากการติดตามแล้ว ยังใช้อัลกอริทึมการทำนายเพื่อคำนวณเวลามาถึงของรถโรงเรียนด้วย ผู้ปกครองสามารถตรวจสอบเส้นทางรถเมล์อย่างต่อเนื่องและคาดการณ์เวลาที่จะมาถึงของรถบัสผ่านแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์

Marot และ Bourennane (2017) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาและประเมินผลหลักสูตรโครงการของนักศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย ในการสร้างห่วงโซ่ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ที่สำหรับแอปพลิเคชัน สำหรับประมวลผลภาพแบบดิจิทัล เพื่อกระตุ้นความสนใจและความคิดริเริ่มในการเรียนรู้ของนักเรียน โดยการใส่รหัสเบอรรี่พาย และโปรแกรมประมวลผลภาพ

Majumder และ Joshua (2020) ได้ศึกษาเรื่องระบบรักษาความปลอดภัยอัจฉริยะ IoT สำหรับบ้านอัจฉริยะ โดยมีรหัสเบอรรี่พาย ทำหน้าที่เป็นระบบรักษาความปลอดภัย ที่ทำงานร่วมกับโมดูลกล้อง แบบ No Infrared (No IR) เพื่อบันทึกวิดีโอและถ่ายภาพ นอกจากนี้ยังใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว อินฟราเรดแบบพาสซีฟ เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว อีกทั้งยังสามารถทำการจำแนกประเภท การจดจำใบหน้าร่วมกับอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น ระบบสามารถแจ้งผู้ให้บริการในกรณีฉุกเฉินได้ และมีระดับความเที่ยงตรงที่ 95.5% และความแม่นยำที่ 91%

Singh, Gupta และ Mittal (2019) ได้ศึกษาเรื่อง ระบบความปลอดภัยภายในบ้านที่ใช้ต้นทุนต่ำ โดยใช้เพียงอุปกรณ์บลูทูธบนสมาร์ตโฟน เชื่อมต่อกับระบบภายในบ้านผ่านแอปพลิเคชันที่สามารถสแกนดวงตา ใบหน้า ทำทางร่างกาย มือ หรือการควบคุมด้วยเสียง โดยระบบเหมาะกับกลุ่มผู้ใช้งานที่เป็นผู้สูงอายุและผู้ป่วยอัมพาต ที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเอง

Salman และ Rasheed (2021) ได้ศึกษาเรื่องประตูอัจฉริยะสำหรับผู้ทุพพลภาพผ่านการจดจำใบหน้าและเทคนิคการสั่งงานด้วยเสียง ที่มีความคุ้มค่า ประสิทธิภาพสูง ปลอดภัย และใช้งานง่าย เพื่อแทนที่การใช้ RF I-Cards และรหัสผ่าน โดยใช้ OpenCV ร่วมกับ รหัสเบอรรี่พาย ทำงานบนแอปพลิเคชันของแอนดรอยด์

Munir, Ehsan, Raza และ Mudassir (2019) ได้ศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ของระบบบ้านอัจฉริยะ โดยใช้เทคโนโลยีที่ไม่ผูกขาดและเทคโนโลยีแนวใหม่ ได้แก่ การจดจำใบหน้าในระบบความปลอดภัย และการรู้จำคำพูดในระบบอัตโนมัติ โดยใช้ราสเบอร์รี่พาย และ OpenCV ซึ่งอาจกลายเป็นการประโยชน์สำหรับคนพิการ ผู้สูงอายุ และคนเป็นอัมพาต



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

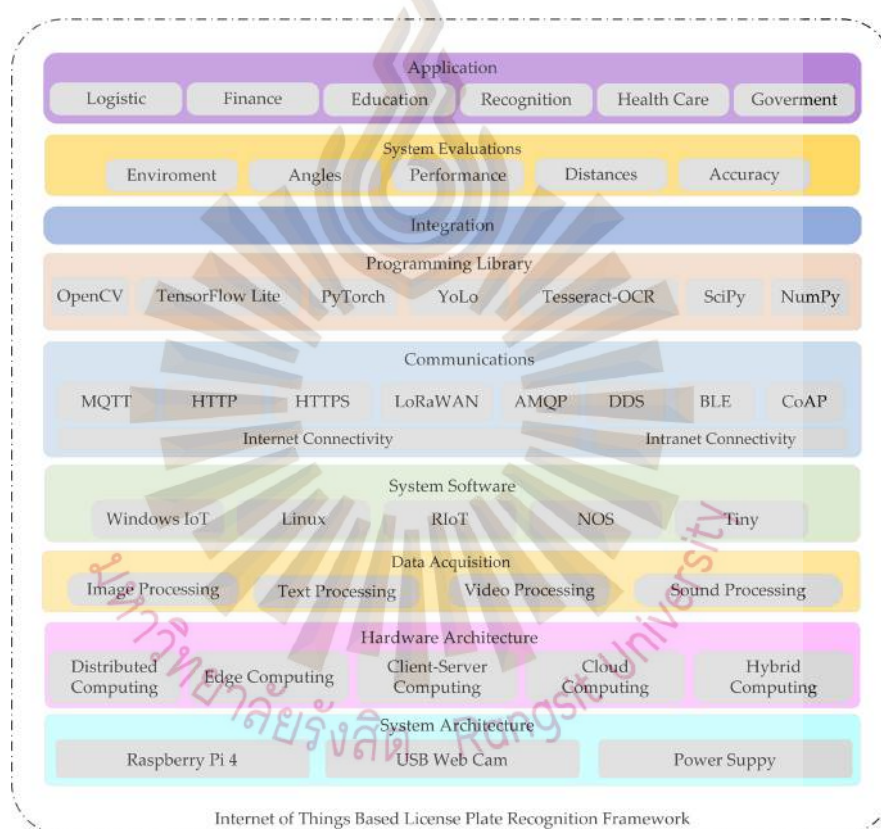
3.1 ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยใช้บอร์ดควบคุม Raspberry Pi 4 ร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อพัฒนาระบบ License Plate Recognition (LPR) การรับรู้และจดจำแผ่นป้ายทะเบียนแบบ Real-Time ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ใช้ Python บน Raspberry Pi 4 โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ความแม่นยำในการตรวจจับรับรู้แผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ระยะทาง, ความเร็วของวัตถุ และมุมมองในการทดสอบความแม่นยำ

การออกแบบกรอบงาน LPR ที่ใช้ IoT กรอบงาน LPR ที่นำเสนอเป็นแบบอิง IoT และรวมเอาสถาปัตยกรรมที่ซับซ้อน สถาปัตยกรรมนี้ปรับปรุงฟังก์ชันการทำงานของ LPR ในด้านต่างๆ เช่น โลจิสติกส์ การเงิน การศึกษา และภาครัฐ รูปที่ 3.1 แสดงภาพความอ่อนไหวของเทคโนโลยี LPR กรอบการทำงานได้รับการประเมินตามสภาพแวดล้อม มุมกล้อง และประสิทธิภาพของระบบ เพื่อรับประกันความแข็งแกร่งและความน่าเชื่อถือในสถานการณ์การปฏิบัติงานต่างๆ ซอฟต์แวร์และไลบรารีการเขียนโปรแกรมที่จำเป็น เช่น OpenCV, TensorFlow Lite และ PyTorch เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้งานต่างๆ ตั้งแต่การประมวลผลภาพไปจนถึงการเรียนรู้ของเครื่องงานเหล่านี้จำเป็นสำหรับการบรรลุ LPR ที่แม่นยำ

โปรโตคอลการสื่อสาร เช่น MQTT, HTTP และ LoRaWAN รับประกันการรับส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ระหว่างอุปกรณ์ IoT และเซิร์ฟเวอร์ โปรโตคอลเหล่านี้อำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตและอินเทอร์เน็ต และปรับปรุงความยืดหยุ่นในสภาพแวดล้อมเครือข่ายต่างๆ ระบบเข้ากันได้กับหลายแพลตฟอร์ม รวมถึง Windows IoT และ Linux สามารถประมวลผลข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เช่น วิดีโอและเสียง ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบันทึกและประมวลผลข้อมูลที่ครอบคลุมในระบบ LPR

สถาปัตยกรรมนี้ใช้เว็บแคม Raspberry Pi 4 และ USB ซึ่งนำเสนอโซลูชันราคาประหยัดสำหรับความต้องการประมวลผลแบบเรียลไทม์ การกำหนดค่านี้ อำนวยความสะดวกให้กับโมเดลการประมวลผลแบบกระจายและคลาวด์ โดยเสนอตัวเลือกการปรับใช้ที่ปรับขนาดได้และยืดหยุ่น ซึ่งรองรับความต้องการด้านการคำนวณที่แตกต่างกันและความพร้อมใช้งานของทรัพยากร นอกจากนี้ การผสมผสานองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น แหล่งจ่ายไฟและเว็บแคม USB รับประกันว่าระบบสามารถจัดการการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.1 กรอบงาน LPR ที่ใช้ IoT

เฟรมเวิร์ก ระบบ LPR ที่ใช้ IoT ที่ซับซ้อนนี้ได้รับการพัฒนาโดยเฉพาะโดยใช้สถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มความแม่นยำ ผลผลิต และความยืดหยุ่น กรอบงานที่นำเสนอใช้สถาปัตยกรรมการประมวลผลที่ทันสมัย โลบาริการเขียนโปรแกรมที่เชื่อถือได้ และโปรโตคอลการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ เพื่อตอบสนองข้อกำหนดที่เข้มงวดของแอปพลิเคชัน LPR แบบเรียลไทม์ วิธีการที่ครอบคลุมนี้ไม่เพียงแต่ปรับปรุงความสามารถทางเทคโนโลยีของระบบ LPR เท่านั้น แต่ยังขยาย

ประโยชน์ใช้สอยในภาคส่วนต่าง ๆ อีกด้วย ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในด้านการรับรู้ภัย
ทะเบียน

แต่ละเลเยอร์ภายในกรอบงาน LPR ที่ใช้ IoT ที่เสนอนั้นเป็นอินเทอร์เน็ตแบบโมดูลาร์ ซึ่ง
ปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างส่วนประกอบและเทคโนโลยี เลเยอร์ซอฟต์แวร์ของเฟรมเวิร์กมี
ความสำคัญเนื่องจากสร้างโปรโตคอลการสื่อสารที่เป็นมาตรฐานที่เข้ากันได้กับอินเทอร์เน็ต
แอปพลิเคชันและอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ เฟรมเวิร์กช่วยให้กำหนดค่าได้ง่ายระหว่างการใช้งาน
สถาปัตยกรรมที่นำเสนอช่วยให้สามารถปรับแต่งและสอบเทียบได้อย่างแม่นยำในทุกระดับ
ปรับปรุงความสามารถในการตอบสนองข้อกำหนดด้านความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพ
ความสามารถ LPR แบบเรียลไทม์ สถาปัตยกรรมระบบรวมเอาโมเดลฮาร์ดแวร์ที่หลากหลายและ
รวมกล้องเว็บ USB ที่ล้ำสมัยเข้าด้วยกันอย่างลงตัวเพื่อให้แน่ใจว่าการประมวลผลข้อมูลที่เชื่อถือได้
การออกแบบนี้มีความจำเป็นสำหรับการใช้เทคโนโลยี LPR อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรับประกันว่า
ระบบสามารถปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ความสามารถในการจดจำภาพ และแสดงให้เห็นถึง
ความเชื่อมโยงระหว่างส่วนประกอบที่สำคัญแต่ละส่วนในแง่ของความสามารถในการขยายขนาด
ของระบบ LPR ในระยะยาว

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย (Hardware)

3.2.1 บอร์ด Raspberry Pi 4 Model B

บอร์ด Raspberry Pi 4 Model B ดังรูปที่ 3.1 Raspberry Pi 4 Model B 4GB
RAM คือ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีความเร็วโปรเซสเซอร์ที่เพิ่มขึ้น 4 เท่า มีประสิทธิภาพการ
ทำงานของมัลติมีเดียที่ยอดเยี่ยม พร้อมหน่วยความจำที่มากขึ้น รวมถึงการเชื่อมต่อที่พัฒนาให้ดีขึ้น
Raspberry Pi 4B โดดเด่นด้วยโปรเซสเซอร์ 64 บิตแบบ 4 แกน ทำงานที่ความเร็ว 1.5GHz รองรับ
การแสดงผลแบบสองจอความคมชัดสูงสุด 4K ที่อัตรา 60 fps มีหน่วยความจำแรมสูงสุด 4GB,
LAN ไร้สายที่รองรับทั้งคลื่น 2.4 และ 5.0GHz, บลูทูธ 5.0/BLE, เครือข่าย True Gigabit Ethernet,
USB 3.0 และการใช้งานเทคโนโลยี PoE



รูปที่ 3.2 บอร์ด Raspberry Pi 4 Model B

3.2.1 กล้อง Logitech C922 Pro Stream Webcam

กล้อง Logitech C922 Pro Stream Webcam มีเลนส์แก้วโฟกัสอัตโนมัติและมุมมองแนวทแยง 78 องศา ทั้งคู่รองรับวิดีโอ Full HD 1080p ที่ 30 เฟรมต่อวินาที และวิดีโอ HD 720p ที่ 60 เฟรมต่อวินาที กล้องเว็บแคมนี้มีขนาดดังต่อไปนี้: ความสูง: 44 มิลลิเมตร ความกว้าง: 95 มิลลิเมตร ความลึก: 71 มิลลิเมตร ความยาวสายเคเบิล: 1.5 เมตร และน้ำหนัก: 162 กรัม



รูปที่ 3.3 กล้อง Logitech C922 Pro Stream Webcam

3.3 ระบบ และภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการทำวิจัย (Software)

3.3.1 Raspbian OS

ระบบปฏิบัติการ Raspbian OS เป็นระบบปฏิบัติการที่มีสำหรับ Raspberry Pi ที่รวบรวม Linux OS, Windows OS และ Raspberry Pi OS เข้าไว้ด้วยกัน ในทางกลับกันระบบปฏิบัติการ Raspberry Pi เป็นระบบปฏิบัติการที่ได้รับการยอมรับอย่างเป็นทางการ และเหมาะสม

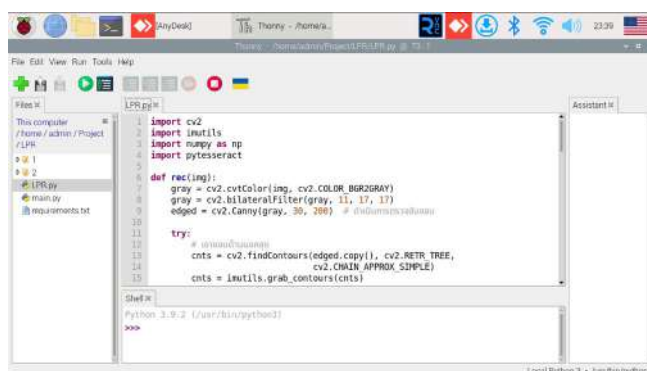
สำหรับการพัฒนาและปรับใช้ระบบตรวจจับท่าทางมือ Raspberry Pi OS เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการติดตั้งระบบปฏิบัติการบนการ์ด microSD ที่เข้ากันได้กับ Raspberry Pi 4 ระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่เข้ากันได้กับ Raspberry Pi 4 ก็มีให้สำหรับนักพัฒนาด้วยเช่นกัน การศึกษานี้ใช้ Desktop ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Raspberry Pi (Legacy) Kernel Linux 6.1.21-v8+, 64bit

3.3.2 ภาษาไพทอน และแพ็คเกจ (Python and Package)

ภาษาไพทอน (Python) เป็นภาษาโปรแกรมระดับสูงที่เป็นที่รู้จักและใช้งานทั่วไป สร้างขึ้นในปี 1991 Python อนุญาตให้โปรแกรมเมอร์แสดงแนวคิดโดยใช้บรรทัดของคำสั่งน้อยกว่าภาษาอย่างเช่น C หรือ Java Python มีระบบ Dynamic และการจัดการหน่วยความจำอัตโนมัติ และรองรับรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย เช่น การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ เชิงฟังก์ชัน และเชิงขั้นตอน นอกเหนือไปจากไลบรารีต่าง ๆ มีตัวแปล Python สำหรับระบบปฏิบัติการต่าง ๆ ทำให้โค้ด Python สามารถทำงานในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ OpenCV เป็นไลบรารีฟรีที่มี API การมองเห็นของคอมพิวเตอร์หลายร้อยรายการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแอปพลิเคชันการประมวลผลภาพตามเวลาจริง คุณลักษณะบางอย่างของ OpenCV เพื่ออำนวยความสะดวกในการประมวลผลข้อมูล รวมถึงการตรวจจับวัตถุ การปรับเทียบกล้อง การสร้าง 3 มิติใหม่ และอินเทอร์เฟซการประมวลผลวิดีโอ อินเทอร์เฟซหลักของ OpenCV เขียนด้วยภาษา C++ แต่ก็ยังรองรับภาษา C, Python, Java และ MATLAB เป็นต้น การศึกษานี้ใช้ระบบรู้จำท่าทางมือโดยใช้ภาษาโปรแกรม Python และไลบรารี OpenCV ที่จำเป็นสำหรับจุดประสงค์นี้

3.4 การใช้งานโปรแกรมภาษาไพทอน (Python)

การใช้งานโปรแกรมภาษาไพทอน ในการทดสอบการทำงานของระบบ การรับรู้และจดจำแผ่นป้ายทะเบียนแบบ Real-Time ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ผู้วิจัยเลือกใช้งานโปรแกรม Thonny Python IDE ที่ใช้ในการออกแบบและใช้งานโปรแกรมภาษาไพทอน โดยแสดงรายละเอียดของการ ใช้งานดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 หน้าจอโปรแกรม Thonny Python IDE

รายละเอียดของชุดคำสั่งที่สำคัญในการใช้งานโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 Import cv2 หมายถึง คำสั่งที่ใช้ในการนำเข้าโมดูล OpenCV (Open Source Computer Vision Library) เข้าสู่โปรแกรม Python เมื่อ Import OpenCV เข้าสู่โปรแกรม Python สามารถใช้ฟังก์ชันและเมทอดที่ OpenCV ให้ได้ เพื่อทำงานกับภาพและวิดีโอ ซึ่ง OpenCV เป็นไลบรารีที่มีความสามารถในการประมวลผลภาพและวิดีโออย่างกว้างขวาง ซึ่งมักจะใช้ในงานด้านการมองเห็นคอมพิวเตอร์ เช่น การแยกแยะวัตถุ (Object Detection), การติดตามวัตถุ (Object Tracking), การทำนิยามของภาพ (Image Segmentation), การจดจำใบหน้า (Face Recognition), การแปลงสี (Color Conversion), การลบพื้นหลัง (Background Subtraction)

3.4.2 Import Imutils หมายถึง การนำเข้าโมดูล Imutils ซึ่งเป็นโมดูลที่ช่วยในการปรับปรุงและประมวลผลภาพอย่างง่ายใน OpenCV (Open Source Computer Vision Library) โดยมากจะใช้สำหรับการปรับขนาดภาพ (Resizing), การหมุนภาพ (Rotating), การตัดภาพ (Cropping), การแปลงสี (Color Conversion), การแสดงผลภาพ (Displaying Images) และฟังก์ชันอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพที่ใช้งานได้ง่ายและสะดวกขึ้น. การใช้ Imutils เป็นที่นิยมในการพัฒนาโปรแกรมการแยกแยะวัตถุ (Object Detection), การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning), การทำระบบสื่อสารภาพ (Image Communication Systems), และงานด้านการประมวลผลภาพอื่น ๆ ในภาษา Python ที่ใช้ OpenCV ในการทำงาน

3.4.3 Import Numpy as np หมายถึง คำสั่งในภาษา Python ที่ใช้ในการนำเข้าโมดูล NumPy และทำการตั้งชื่อให้โมดูลนี้เป็น "np" เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงโมดูลและใช้งานฟังก์ชันหรืออ็อบเจกต์ที่มีอยู่ใน NumPy ได้โดยสะดวก เช่น ถ้าต้องการเรียกใช้ฟังก์ชัน numpy.array()

สามารถเรียกใช้งานได้โดยการพิมพ์ `np.array()` แทน ซึ่งช่วยลดความยากลำบากในการพิมพ์และทำให้โค้ดมีความสั้นและอ่านง่ายขึ้นได้ และยังช่วยลดความผิดพลาดในการพิมพ์ชื่อโมดูลด้วย ดังนั้นการนำเข้าโมดูล NumPy ด้วยคำสั่ง `import numpy as np` เป็นที่นิยมในการใช้งาน NumPy ในภาษา Python โดยทั่วไป

3.4.4 Import Pytesseract หมายถึง คำสั่งที่ใช้ในการนำเข้าโมดูล Pytesseract เข้าสู่โปรแกรม Python Pytesseract เป็นเครื่องมือแปลงข้อความ OCR (Optical Character Recognition) ที่ใช้ในการแปลงข้อความจากภาพหรือเอกสารที่สแกนเป็นข้อความที่สามารถใช้งานได้ ในโปรแกรม Python โดย Pytesseract มีการใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพสูง โดยภายใน Pytesseract ใช้ Tesseract OCR Engine ซึ่งเป็นโครงการโอเพนซอร์สที่เชี่ยวชาญในการแปลงภาพเป็นข้อความ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการอ่านข้อความจากเอกสารที่สแกน เช่น ใบเสร็จ, หนังสือ, หรือเอกสารอื่น ๆ

3.5 การออกแบบ

การออกแบบทั้งหมดรวมส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ไว้ในกรอบงานแบบรวมที่เอื้อต่อการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 การออกแบบระบบจัดลำดับความสำคัญของความสามารถในการขยายขนาดและความยืดหยุ่น ช่วยให้สามารถปรับปรุงในอนาคต เช่น การรวมกล้องเพิ่มเติมหรือการอัปเดตส่วนประกอบของระบบโดยไม่จำเป็นต้องออกแบบงานใหม่

ตารางที่ 3.1 สรุปส่วนประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนประกอบ	ข้อมูลจำเพาะ	คำอธิบาย
Hardware	Raspberry Pi 4	8GB RAM
	Logitech C922	Full HD 1080p, Autofocus
	Webcam	
Operating System	Raspbian OS	64 bit
Libraries and Tools	Pytesseract	OCR สำหรับการจดจำข้อความที่หลากหลาย
	OpenCV	การประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง

Raspberry Pi ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้มีความสามารถในการประมวลผลที่แข็งแกร่งและมีหน่วยความจำเพียงพอสำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ เป็นหน่วยประมวลผลกลางที่ดูแลการจัดการสตรีมข้อมูลหลายรายการพร้อมกัน

ช่วยให้สามารถบันทึกวิดีโอที่มีความละเอียดสูง ซึ่งจำเป็นสำหรับการจับภาพป้ายทะเบียนที่คมชัดและซับซ้อน คุณสมบัติโฟกัสอัตโนมัติรับประกันความคมชัดในระยะและสถานการณ์แสงต่างๆ

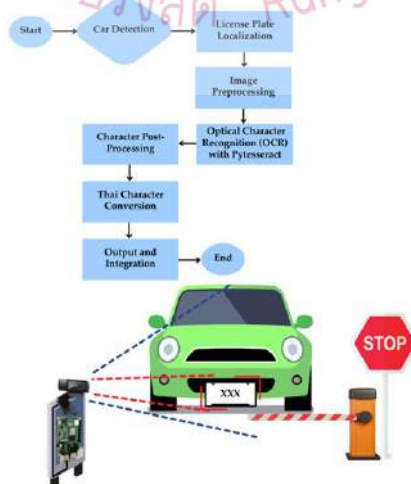
ได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับฮาร์ดแวร์ Raspberry Pi รองรับการทำงานหลายอย่างพร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพ และเข้ากันได้กับไลบรารีจำนวนมากสำหรับการประมวลผลภาพและ OCR

มีความเชี่ยวชาญในการระบุและวิเคราะห์ข้อความที่ดึงมาจากภาพ ซึ่งออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อจัดการกับความซับซ้อนของอักษรไทยที่พบในป้ายทะเบียนได้อย่างมีประสิทธิภาพรับประกันความแม่นยำในการระบุตัวอักษรแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมก็ตาม

ใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลวิดีโอและรูปภาพเบื้องต้น โดยมีเครื่องมือสำหรับการตรวจจับวัตถุ รวมถึงป้ายทะเบียนและรูปภาพก่อนการประมวลผลเพื่อเพิ่มความแม่นยำของ OCR

การศึกษานี้ใช้ Raspberry Pi 4 พร้อม RAM ขนาด 8GB เพื่อใช้ระบบ LPR ที่ใช้ IoT ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อระบุป้ายทะเบียนของไทย Raspberry Pi 4 นำเสนอหน่วยความจำจำนวนมากและพลังการประมวลผลที่ได้รับการปรับปรุง ทำให้เหมาะสำหรับการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์และการจดจำตัวอักษรที่สำคัญสำหรับระบบ LPR Raspberry Pi 4 ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Raspbian เวอร์ชัน 64 บิต การศึกษานี้ใช้เว็บแคม Logitech C922 Pro Stream ซึ่งสามารถจับภาพและวิดีโอคุณภาพสูงที่มีความละเอียดสูงสุด 1080p ที่อัตราเฟรม 30 เฟรมต่อวินาที การศึกษานี้ใช้ไลบรารี Pytesseract ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เชื่อถือได้ ซึ่งออกแบบมาเพื่อการจดจำข้อความในภาพอย่างชัดเจน สำหรับ OCR ของป้ายทะเบียนไทย ไลบรารีนี้จัดการรูปแบบและขนาดแบบอักษรที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญสำหรับการตีความการออกแบบตัวพิมพ์ที่หลากหลายที่พบในป้ายทะเบียนของไทยอย่างแม่นยำ ด้วยการรวม Pytesseract เข้ากับอินพุตภาพความละเอียดสูงจาก Logitech C922 ระบบจึงสามารถแยกและตีความข้อความป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและจากหลายมุมมอง

รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นกระบวนการระเบียบวิธีของระบบ LPR ที่ขับเคลื่อนด้วย IoT ซึ่งออกแบบมาเพื่อระบุและตรวจสอบป้ายทะเบียนรถยนต์ของไทยโดยเฉพาะ แผนภาพนี้แสดงภาพรวมโดยละเอียดของกระบวนการตามลำดับ โดยเริ่มจากการตรวจจับรถยนต์เบื้องต้นและสิ้นสุดด้วยการรวมข้อมูลเอาต์พุตสุดท้าย ทุกขั้นตอนในกระบวนการมีความสำคัญอย่างยิ่งในการระบุตัวตนและการจัดการข้อมูลป้ายทะเบียนที่แม่นยำ ขั้นตอนการทำงานประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญหลายขั้นตอน รวมถึงการตรวจจับรถยนต์ การแปลป้ายทะเบียน การประมวลผลภาพล่วงหน้า และ OCR โดยใช้ Pytesseract ซึ่งได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อจัดการอักขระภาษาไทย



รูปที่ 3.5 สถาปัตยกรรมระบบโดยรวมและขั้นตอนการทำงานของระบบ LPR ที่ขับเคลื่อนด้วย IoT

รูปที่ 3.5 แสดงลำดับขั้นตอนในระบบ LPR ที่ใช้ IoT อัลกอริทึมของระบบประกอบด้วย ส่วนประกอบต่อไปนี้

การตรวจจับยานพาหนะ: ขั้นตอนแรกช่วยให้แน่ใจว่าระบบที่นำเสนอขึ้นเปิดใช้งาน เฉพาะเมื่อตรวจพบรถยนต์เท่านั้น กระบวนการเปิดใช้งานนี้จัดลำดับความสำคัญของความสนใจ ป้องกันการประมวลผลและข้อผิดพลาดที่ไม่จำเป็น ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบและ ลดทริกเกอร์ที่ผิดพลาด ส่งผลให้มีการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของขั้นตอนต่อ ๆ ไป

การแปลป้ายทะเบียน : การแปลป้ายทะเบียนเกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งที่แม่นยำของ ป้ายทะเบียนภายในรูปภาพอย่างแม่นยำ กระบวนการนี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าซอฟต์แวร์ OCR จะ วิเคราะห์เฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องของภาพเท่านั้น แนวทางนี้ช่วยลดโอกาสที่จะตีความข้อความหรือ สัญลักษณ์ใกล้เคียงโดยไม่ตั้งใจโดยเป็นส่วนหนึ่งของป้ายทะเบียน ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำ ของข้อมูลที่บันทึกไว้ในการจัดจำ

การประมวลผลภาพล่วงหน้า : กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคุณภาพของภาพโดย การปรับสิ่งต่าง ๆ เช่น การเพิ่มคอนทราสต์ การทำให้เป็นมาตรฐาน และการปรับขนาด การ ปรับเปลี่ยนเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถของระบบ OCR ในการอ่านป้ายทะเบียนได้อย่าง แม่นยำ คุณภาพของภาพที่ได้รับการปรับปรุงส่งผลให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นในการรู้จำอักขระ จึง เพิ่มความน่าเชื่อถือของกระบวนการรู้จำ โดยทำให้มั่นใจว่าอักขระมีความชัดเจนและมีโครงสร้างที่ เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

ทำ OCR โดยใช้ Pytesseract : กระบวนการสำคัญนี้จะแปลงข้อมูลภาพให้เป็นข้อความที่ สามารถอ่านได้ Pytesseract ซึ่งเป็นเครื่องมือ OCR ขั้นสูง ช่วยให้สามารถดึงข้อมูลตัวอักษรและ ตัวเลขจากป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำ Pytesseract แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำเป็นพิเศษในการ แปลงรูปภาพเป็นข้อความในสถานะที่หลากหลาย ทำให้มั่นใจได้ถึงความน่าเชื่อถือและความถูกต้อง สูงในการดึงข้อมูล

การแปลงอักขระไทย : การแปลงนี้จำเป็นในภูมิภาคที่ใช้อักขระที่ไม่ใช่ภาษาละติน เช่น ภาษาไทย ขั้นตอนนี้ช่วยให้แน่ใจว่าการตีความข้อมูลยังคงถูกต้องแม่นยำในชุดอักขระต่าง ๆ

รับประกันว่าอักขระต่าง ๆ ได้รับการเข้าใจและนำเสนออย่างถูกต้องในระบบ โดยรักษาความสมบูรณ์และการบังคับใช้ของข้อมูลในบริบทท้องถิ่น

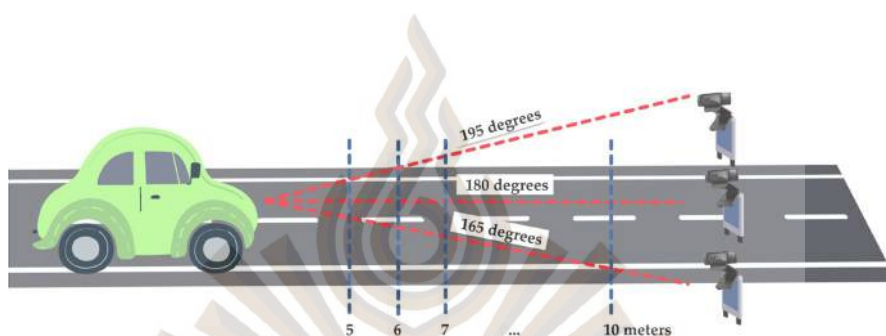
ผลลัพธ์และการบูรณาการ : ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการเกี่ยวข้องกับการจัดรูปแบบและการรวมข้อมูลเข้ากับการรับส่งข้อมูลหรือระบบรักษาความปลอดภัยที่ครอบคลุมมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการปฏิบัติงาน

3.6 ขั้นตอนการทดลอง

เปรียบเทียบวิธีวิจัยออกแบบมาเพื่อประเมินอิทธิพลของมุมกล้อง ความเร็วของวัตถุ และระยะห่างอย่างเป็นระบบต่อประสิทธิภาพของการตรวจจับป้ายทะเบียน โดยใช้แพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4 ในการดำเนินการตรวจสอบที่ประยุกต์นี้ จะมีการดำเนินการตามลำดับการทดลองที่จัดขึ้น โดยแพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4 ได้รับการตั้งค่าด้วยโมดูลกล้องที่สามารถจับภาพสำหรับการตรวจจับป้ายทะเบียนโดยเฉพาะ มีการเลือกมุมกล้องที่หลากหลาย รวมถึง 180° , 165° , 150° , 195° และ 210° เพื่อประเมินผลกระทบต่อความแม่นยำในการตรวจจับ ความเร็วของวัตถุได้รับการควบคุมและจำแนกเป็นช่วงต่าง ๆ ตั้งแต่ 5 กม./ชม. ถึง 10 กม./ชม. นอกจากนี้ ระยะห่างระหว่างกล้องและวัตถุยังได้รับการแก้ไขเพื่อจำลองสถานการณ์การทำงานที่หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในระหว่างขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล รูปภาพป้ายทะเบียนจะถูกจับภาพโดยใช้มุมกล้อง ความเร็วของวัตถุ และระยะทางที่หลากหลาย เพื่อให้มั่นใจถึงความสม่ำเสมอและความน่าเชื่อถือ แต่ละเงื่อนไขการทดลองจะถูกจำลอง 100 ครั้ง ภาพที่ได้มาระหว่างการทดลองจะถูกทำเครื่องหมายและใส่คำอธิบายประกอบด้วยข้อมูลที่ต้องการเพื่อการประเมิน หลังจากนั้น ประสิทธิภาพของการตรวจจับป้ายทะเบียนจะได้รับการประเมินโดยใช้ตัวชี้วัด เช่น ความแม่นยำในการตรวจจับ ผลบวกและผลลบ การวัดประสิทธิภาพได้รับการคำนวณสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองเพื่อวัดอิทธิพลของเงื่อนไขที่แตกต่างกันที่มีต่อความแม่นยำในการตรวจจับ

จากนั้น จะทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อยืนยันความสัมพันธ์และความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์เชิงพื้นที่ (มุมกล้อง ความเร็วของวัตถุ และระยะทาง) และประสิทธิภาพการตรวจจับ การวิเคราะห์การถดถอยสามารถดำเนินการเพื่อระบุการตั้งค่ากล้องที่เพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับให้เหมาะสมที่สุด ท้ายที่สุดแล้วผลการวิจัยที่ได้รับจากการทดลองจะถูกวิเคราะห์เพื่อตอบคำถามและเป้าหมายการวิจัย การวิเคราะห์จะดำเนินการเพื่อพิจารณาว่ามุมกล้อง ความเร็วของวัตถุ และ

ระยะทางส่งผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจจับป้ายทะเบียนอย่างไร จากผลลัพธ์ที่ได้ สามารถให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงการออกแบบและการทำงานของระบบ LPR ที่ใช้ Raspberry Pi 4 ได้ วิธีการที่พิถีพิถันถือเป็นสิ่งสำคัญในการรับประกันว่าระบบ LPR มีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพในทางทฤษฎีในสถานการณ์จริง ความเข้มงวดด้านระเบียบวิธีของระบบจะพิจารณาถึงความแปรผันที่อาจเกิดขึ้นในสภาวะแวดล้อมและความต้องการในการปฏิบัติงาน ซึ่งรับประกันว่าประสิทธิภาพของระบบจะเชื่อถือได้และใช้ได้กับสถานการณ์ในชีวิตจริง



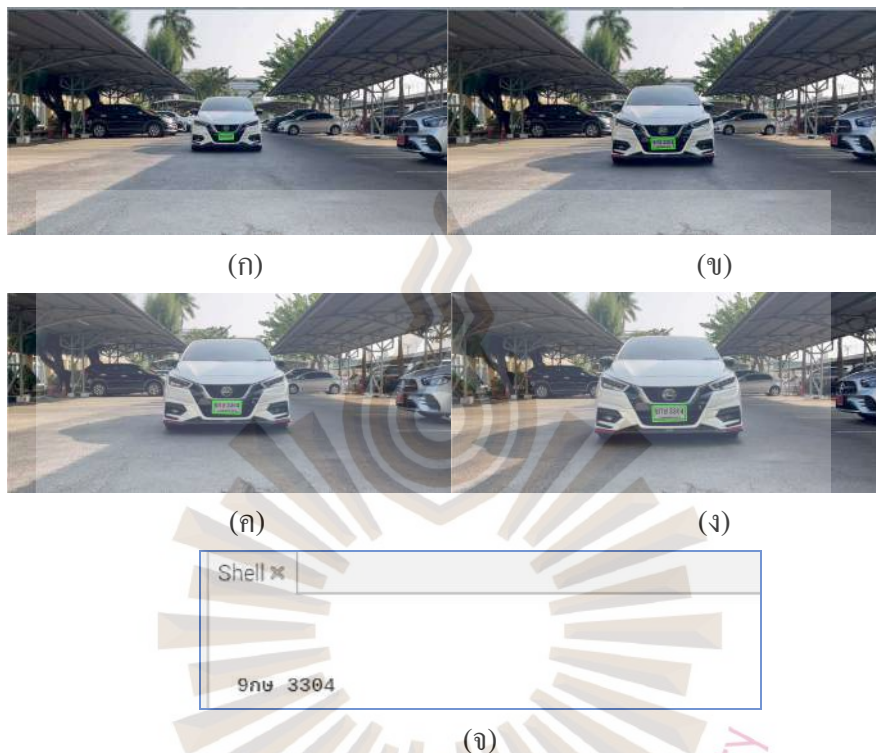
รูปที่ 3.6 ระเบียบวิธีวิจัยด้วยการตั้งกล้องในมุมต่าง ๆ

3.7 การรวบรวมข้อมูล

กระบวนการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวข้องกับการทดสอบระบบ LPR ทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการตรวจจับและจดจำป้ายทะเบียนไทยภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ผู้เขียนได้จัดการตัวแปรหลายตัวในระหว่างขั้นตอนการทดสอบเพื่อทำการศึกษา ในระหว่างการทดสอบแต่ละครั้ง ระบบ LPR จะถูกเปิดใช้งาน และรวบรวมข้อมูลเพื่อระบุความสามารถของระบบในการระบุป้ายทะเบียนไทยได้อย่างแม่นยำ เมื่อตรวจพบป้ายทะเบียนแล้ว ระบบจะดำเนินการระบุตัวอักษรที่แสดงบนป้ายทะเบียน ความแม่นยำในการรู้จำอักขระได้รับการประเมินโดยการพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วของยานพาหนะ ระยะห่างจากกล้อง และมุมที่สัมพันธ์กับกล้อง

ผลการสุ่มตัวอย่างประเมินระบบ LPR ที่ใช้งานบน Raspberry Pi 4 อย่างละเอียดผ่านการทดลองเชิงปฏิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่ได้จากการถ่ายภาพจากมุมมองและระยะทางที่แตกต่างกันโดยใช้ระบบ LPR ในสถานการณ์จริง รูปที่ 3.7 (ก)–(ง) ภาพที่ได้รับจากระยะตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 5 เมตร วางตำแหน่งกล้องไว้ที่มุมองที่ 180 องศา รูปภาพเหล่านี้แสดงภาพป้ายทะเบียนที่บันทึกไว้ในระยะทางต่าง ๆ ช่วยให้สามารถประเมินความสามารถของระบบในการ

จดจำอักขระที่ระยะห่างต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ รูปที่ 3.7 (จ) แสดงให้เห็นผลลัพธ์ของ LPR สำหรับขั้นตอน OCR บนป้ายทะเบียนไทย โดยแสดงให้เห็นความสามารถของระบบในการแยกและจดจำอักขระจากป้ายทะเบียนที่ตรวจจับได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.7 ข้อมูลที่รวบรวมจากระบบ LPR บน Raspberry Pi 4 ในการทดลองภาคปฏิบัติ 180 องศา มุมจากระยะต่าง ๆ (ก) 10 เมตร (ข) 7 เมตร (ค) 6 เมตร (ง) 5 เมตร (จ) ผลลัพธ์ OCR

ประสิทธิภาพของระบบ LPR บน Raspberry Pi 4 ได้รับการประเมินอย่างละเอียดผ่านข้อมูลที่ได้จากการทดลองเชิงปฏิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 การทดลองเกี่ยวข้องกับการจับภาพในมุมคงที่ 165 องศา และระยะห่างที่แตกต่างจากป้ายทะเบียนเป้าหมาย ภาพในรูปที่ 3.8 (ก)–(ง) แสดงให้เห็นป้ายทะเบียนที่ถ่ายได้ทีระยะห่างต่าง ๆ 10 เมตร 8 เมตร และ 5 เมตร การแสดงภาพเหล่านี้แสดงให้เห็นป้ายทะเบียนในระยะทางต่าง ๆ นอกจากนี้ ภาพที่ถ่ายด้วยมุมที่แม่นยำ 195 องศา จากระยะ 5 เมตรจะแสดงในรูปที่ 3.8 (ง) ภาพนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกอันมีค่าเกี่ยวกับความสามารถของระบบในการทนต่อมุมกล้องที่แปรผัน ผลลัพธ์ของขั้นตอน LPR สำหรับ OCR แสดงในรูปที่ 3.8 (จ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถดึงและระบุอักขระจากป้ายทะเบียนที่ตรวจจับได้สำเร็จด้วยความแม่นยำ



รูป ที่ 3.8 ข้อมูลที่รวบรวมจากระบบ LPR บน Raspberry Pi 4 ในการทดลองภาคปฏิบัติ 165 องศา มุมจากระยะต่าง ๆ: (ก) 10 เมตร (ข) 8 เมตร (ค) 5 เมตร (ง) 195 องศา ที่ 5 เมตร (จ) ผลลัพธ์ OCR

3.8 การประเมินข้อมูล

ความแม่นยำ ซึ่งใช้ในการประเมินข้อมูลของการศึกษานี้บนระบบ LPR ที่ใช้ IoT แสดงถึง สัดส่วนของป้ายทะเบียนที่ระบุอย่างถูกต้องที่เกี่ยวข้องกับจำนวนป้ายทะเบียนทั้งหมดที่ระบุ ตามภาพประกอบ ในสถานการณ์ที่ระบบระบุป้ายทะเบียน 90 จาก 100 ป้ายได้อย่างถูกต้อง ความแม่นยำจะอยู่ที่ 90% Recall ประเมินความสามารถของระบบในการค้นหาป้ายทะเบียนทุกคัน ตัวอย่างเช่น อัตราการเรียกคืนคือ 90% หากระบบระบุป้ายทะเบียน 90 รายการจาก 100 รายการได้ อย่างถูกต้อง คะแนน F1 เป็นหน่วยเมตริกที่ผสมรวมความแม่นยำและการเรียกคืนโดยการคำนวณ ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก ดังนั้นจึงทำให้เกิดความสมดุลระหว่างทั้งสองสูตรนี้มีความสำคัญเมื่อต้องสร้าง สมดุลระหว่างการเรียกคืนจำนวนแผ่นสูงสุดที่ระบุและรับรองการระบุที่แม่นยำ

ความแม่นยำคือหน่วยเมตริกที่คำนวณเป็นอัตราส่วนของผลบวกที่แท้จริงต่อผลรวมของผลบวกจริง (TP) และผลบวกหลง (FP) กล่าวอีกนัยหนึ่งคือวัดความแม่นยำของการระบุเชิงบวกที่ทำโดยระบบ การคำนวณนี้ดังที่แสดงในสมการที่ 1 เป็นส่วนพื้นฐานของการประเมินระบบ LPR ที่ใช้ IoT

$$\text{ความแม่นยำ} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3-1)$$

การเรียกคืนถูกกำหนดโดยการหารจำนวนผลบวกจริงด้วยผลรวมของผลบวกหลง (FN) และผลบวกจริง (TP) ดังแสดงในสมการที่ 2 สูตรจะประเมินความสามารถของระบบในการระบุทุกกรณีที่เกี่ยวข้อง

$$\text{การเรียกคืน} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3-2)$$

สมการที่ 3 คำนวณคะแนน F1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกของการเรียกคืนและความแม่นยำ วัตถุประสงค์ของการกำหนดสูตรคือเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการเรียกคืนและความแม่นยำ

$$\text{คะแนน F1} = 2 * \left(\frac{\text{ความแม่นยำ} * \text{การเรียกคืน}}{\text{ความแม่นยำ} + \text{การเรียกคืน}} \right) \quad (3-3)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

ชุดข้อมูลที่ตรวจสอบประกอบด้วยผลลัพธ์ของการทดลองที่ดำเนินการโดยใช้ระบบ LPR ที่แนะนำซึ่งรวมเข้ากับ Raspberry Pi 4 พร้อมด้วยกล้องที่สามารถจับภาพที่ความละเอียด 1080p วัตถุประสงค์ของการกำหนดค่านี้คือเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ LPR ในช่วงระยะทาง (5–10 เมตร) มุม (135–225 องศา) ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของกล้อง และความเร็วของวัตถุ (5–15 กม./ชม.)) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รวบรวมข้อมูลจากการทดลองภาคปฏิบัติ

มุม (องศา)	ความเร็ว (กม./ชม.)	ระยะทาง (เมตร)	จริง ด้านบวก (TP)	เท็จ ด้านบวก (FP)	จริง เชิงลบ (TN)	เท็จ เชิงลบ (FN)	การทดสอบ	ความแม่นยำ	การเรียกคืน	คะแนน F1
180	<5	5	83	12	0	5	100	0.874	0.943	90.71%
180	<10	5	74	18	0	8	100	0.804	0.902	85.06%
180	<15	5	53	34	0	13	100	0.609	0.803	69.28%
165	<5	5	78	17	0	5	100	0.821	0.940	87.64%
165	<10	5	72	19	0	9	100	0.791	0.889	83.72%
165	<15	5	66	22	0	12	100	0.750	0.846	79.52%
150	<5	5	61	31	0	8	100	0.663	0.884	75.78%
150	<10	5	58	33	0	9	100	0.637	0.866	73.42%
150	<15	5	57	30	0	13	100	0.655	0.814	72.61%
135	<5	5	59	32	0	9	100	0.648	0.868	74.21%
135	<10	5	48	40	0	12	100	0.545	0.800	64.86%
135	<15	5	47	40	0	13	100	0.540	0.783	63.95%
195	<5	5	46	48	0	6	100	0.489	0.885	63.01%
195	<10	5	43	48	0	9	100	0.473	0.827	60.14%
195	<15	5	41	46	0	13	100	0.471	0.759	58.16%
210	<5	5	44	49	0	7	100	0.473	0.863	61.11%
210	<10	5	41	50	0	9	100	0.451	0.820	58.16%
210	<15	5	40	50	0	10	100	0.444	0.800	57.14%
225	<5	5	39	52	0	9	100	0.429	0.813	56.12%

ตารางที่ 4.1 รวบรวมข้อมูลจากการทดลองภาคปฏิบัติ (ต่อ)

มุม (องศา)	ความเร็ว (กม./ชม.)	ระยะทาง (เมตร)	จริง ด้านบวก (TP)	เท็จ ด้านบวก (FP)	จริง เชิงลบ (TN)	เท็จ เชิงลบ (FN)	การทดสอบ	ความแม่นยำ	การเรียกคืน	คะแนน F1
225	<10	5	38	55	0	7	100	0.409	0.844	55.07%
225	<15	5	37	54	0	9	100	0.407	0.804	54.01%
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	<5	10	39	52	0	9	100	0.429	0.813	56.12%
225	<10	10	38	55	0	7	100	0.409	0.844	55.07%
225	<15	10	37	54	0	9	100	0.407	0.804	54.01%

ตารางที่ 4.2 นำเสนอบทสรุปที่ครอบคลุมทั้งหมดของตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพหลักสำหรับระบบ LPR แบบเรียลไทม์ตลอดทั้ง 126 สถานการณ์การทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยระยะทาง ความเร็ว และมุมที่แตกต่างกัน วัดมุมเฉลี่ย 172.62 องศา แสดงช่วง 135 ถึง 225 องศา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.15 เมตร และระยะเฉลี่ย 8.83 เมตร แสดงว่าระยะทดสอบจัดกลุ่มค่อนข้างใกล้เคียง ค่าเฉลี่ย ผลบวกที่แท้จริงแสดงความแปรปรวนอย่างมาก โดยมีค่าต่ำสุด 15 และสูงสุด 90 สำหรับค่าเฉลี่ย 49.65 ซึ่งบ่งชี้ถึงอัตราการเรียนรู้ที่สูงโดยทั่วไปซึ่ง SBC นำไปใช้ในทางปฏิบัติ จำนวนเฉลี่ยของผลบวกถวคือ 31.83 ซึ่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง 82 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบทำการระบุวัตถุที่ไม่ใช่ป้ายทะเบียนผิดเป็นระยะๆ ในลักษณะเป็นป้าย ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบ ผลลัพธ์นี้เป็นความท้าทายที่ต้องแก้ไขเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการตั้งค่าระบบ ค่าลบที่แท้จริงยังคงเป็นศูนย์กลางอย่างสม่ำเสมอตลอดการทดสอบทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่คาดการณ์ไว้ในสถานการณ์ที่การตรวจจับจำกัดอยู่เพียงป้ายทะเบียนเท่านั้น ผลบวก ซึ่งสูงสุดที่ 60 และมีค่าเฉลี่ย 16.31 ดึงความสนใจไปที่ป้ายทะเบียนที่ถูกต้องถูกจำกัดโดยฮาร์ดแวร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของระบบ ซึ่งนำเสนออุปสรรคอีกประการหนึ่งที่ต้องเอาชนะ ตัวชี้วัดความแม่นยำ ซึ่งระบุสัดส่วนของป้ายทะเบียนที่ระบุอย่างแม่นยำกับจำนวนการระบุโดยรวม มีค่าต่ำสุด 0.943 และค่าสูงสุด 0.591 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประมาณ 60% ของป้ายทะเบียนที่ระบุได้รับการจดจำอย่างแม่นยำโดยเฉลี่ย

อย่างไรก็ตาม สามารถปรับปรุงการลดผลบวกถวได้ ค่าเฉลี่ยการเรียกคืนคือ 0.692 ซึ่งเป็นปริมาณความสามารถของระบบในการระบุผลของแท้ทุกอัน แนะนำว่าประมาณ 70% ของผลจริงในสถานการณ์การทดสอบสามารถตรวจพบได้ ความแปรปรวนปรากฏชัดในค่าการเรียกคืน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ 0.25% ถึง 1.000% ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดสอบ แม้ว่าตารางจะไม่ได้ระบุ

คะแนน F1 ไว้อย่างชัดเจน ซึ่งคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิกของความแม่นยำและการเรียกคืน แต่ก็สามารถอนุมานได้ว่าคะแนนนั้นขึ้นอยู่กับทั้งสองเมตริก มีความสัมพันธ์ที่สำคัญมากขึ้นระหว่างค่าความแม่นยำและการเรียกคืนกับคะแนน F1 ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบมีความสมดุลและมีประสิทธิภาพมากขึ้นใน กรณีนี้ เพื่อให้มั่นใจถึงความสอดคล้องตลอดกระบวนการทดสอบ จึงมีการจัดการการทดสอบแต่ละครั้งจำนวน 100 ตัวอย่างเป็นประจำ โดยสรุป แม้ว่าระบบการจดจำป้ายทะเบียนจะแสดงประสิทธิภาพที่น่ายอกยิ่งในการระบุป้ายทะเบียนที่ถูกต้องอย่างถูกต้อง แต่ก็พบกับอุปสรรคในรูปแบบของทั้งผลบวกหลงและผลลบหลง ตัวชี้วัดสำหรับความแม่นยำและการเรียกคืนระบุว่า แม้ว่าระบบจะแสดงประสิทธิภาพ แต่ก็มีส่วนการค้นบางอย่างที่อาจดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อระบุสาเหตุของอัตราบวกหลงและลบหลงที่เพิ่มขึ้น เพื่อปรับปรุงความแม่นยำโดยรวมและความน่าเชื่อถือของระบบ

ตารางที่ 4.2 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติ	มุม (องศา)	ระยะทาง (เมตร)	จริง ด้านบวก (TP)	เท็จ ด้านบวก (FP)	จริง เชิงลบ (TN)	เท็จ เชิงลบ (FN)	การทดสอบ	ความแม่นยำ	การเรียกคืน
Count	126	126	126	126	126	126	126	126	126
Mean	172.62	8.83	49.65	31.83	0	16.31	100	0.591	0.692
SD	27.50	2.15	18.52	16.76	0	10.52	0	0.209	0.165
Min	135	5	15	2	0	0	100	0.091	0.250
25 th	150	7	37	18	0	10	100	0.433	0.585
50 th	180	10	48	28	0	15	100	0.588	0.697
75 th	180	10	63	45	0	23	100	0.747	0.815
Max	225	15	90	82	0	60	100	0.943	1.000

ตารางที่ 4.3 นำเสนอบทสรุปที่ครอบคลุมทั้งหมดของตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพหลักสำหรับระบบการจดจำป้ายทะเบียนตลอดทั้ง 126 สถานการณ์การทดสอบที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยระยะทาง ความเร็ว และมุม วัดมุมเฉลี่ย 172.62 องศา แสดงช่วง 135 ถึง 225 องศา “ค่าเฉลี่ย” เป็นค่าทางสถิติที่แสดงถึงแนวโน้มศูนย์กลางของชุดข้อมูล ในกรณีนี้ จะระบุมุมที่พบบ่อยที่สุดที่สังเกตได้ในสถานการณ์การทดสอบ “ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน” คือการวัดปริมาณความแปรผันหรือการกระจายตัวในชุดของค่า กรณีนี้อยู่ที่ 2.15 เมตร แสดงว่าทดสอบระบบในระยะต่าง ๆ จากป้ายทะเบียน จากความใกล้ชิดของระยะทดสอบกับค่าเฉลี่ย สามารถอนุมานได้ว่าประสิทธิภาพของระบบยังคงสม่ำเสมอตลอดระยะทางต่าง ๆ

True Positives (TP) ระบุปริมาณปริมาณป้ายทะเบียนที่ระบุอย่างถูกต้อง ผลบวกของ False Positives (FP) หมายถึงปริมาณของวัตถุที่ไม่มีป้ายทะเบียนซึ่งจัดประเภทอย่างไม่ถูกต้องว่าเป็นป้ายทะเบียน True Negatives (TN) แสดงถึงจำนวนวัตถุที่ไม่มีป้ายทะเบียนซึ่งได้รับการจำแนกประเภทอย่างถูกต้อง ค่าลบที่แท้จริง False Negatives (FN) แสดงถึงปริมาณของป้ายทะเบียนที่ถูกกฎหมายซึ่งถูกมองข้าม การทดสอบดำเนินการโดยการนำเสนอระบบด้วยวัตถุป้ายทะเบียนและวัตถุที่ไม่ใช่ป้ายทะเบียนที่หลากหลายในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน การทดสอบให้ผลลัพธ์เชิงบวกที่แท้จริง โดยมีค่าเฉลี่ย 49.65 ขึ้นต่ำ 15 และสูงสุด 90 ซึ่งบ่งชี้ว่ามีอัตราการจดจำสูงโดยเฉลี่ย แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากก็ตาม ข้อมูลเปิดเผยค่าเฉลี่ยของผลบวกของ 31.83 โดยมีช่วง 2 ถึง 82 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบจัดประเภทวัตถุที่ไม่ใช่ป้ายทะเบียนเป็นป้ายทะเบียนอย่างผิดพลาดเป็นระยะ ๆ ซึ่งอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบ อย่างต่อเนื่อง ไม่มีผลลบจริงในทุกการทดสอบ ซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นในสถานการณ์ที่การตรวจจับจำกัดอยู่ที่ป้ายทะเบียนเท่านั้น False Negatives ซึ่งมีคะแนนรวมโดยเฉลี่ยหกสิบคะแนนและมากที่สุดสิบหกการ ดึงความสนใจไปยังสถานการณ์ที่มีการมองข้ามป้ายทะเบียนที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำของระบบ

ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำซึ่งคำนวณเป็นสัดส่วนของป้ายทะเบียนที่ระบุอย่างถูกต้องต่อจำนวนโดยรวมของการระบุที่เป็นบวกคือ 0.591 ซึ่งหมายความว่าประมาณ 60% ของแผ่นที่ระบุได้รับการระบุอย่างแม่นยำโดยเฉลี่ย ค่าสูงสุดที่บันทึกไว้คือ 0.943 ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบสามารถบรรลุความแม่นยำในระดับสูงภายใต้เงื่อนไขบางประการ อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อลดการเกิดผลบวกเท็จให้เหลือน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยการเรียกคืนคือ 0.692 ซึ่งเป็นปริมาณความสามารถของระบบในการระบุเพศของแท็กอื่น แนะนำว่าประมาณ 70% ของเพศจริงในสถานการณ์การทดสอบสามารถตรวจพบได้ ซึ่งหมายความว่าระบบมีศักยภาพในการตรวจจับส่วนสำคัญของป้ายทะเบียน ความแปรปรวนปรากฏชัดในค่าการเรียกคืน ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ 0.25% ถึง 1.000% ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดสอบ

เนื่องจากเป็นวิธีการฮาร์โมนิกในการเรียกคืนและความแม่นยำ คะแนน F1 จึงเป็นค่าเดียวที่ให้การประเมินประสิทธิภาพของระบบอย่างเท่าเทียมกัน ในบริบทของระบบจดจำป้ายทะเบียน คะแนน F1 ที่สูงกว่าบ่งบอกถึงระบบที่สมดุลและมีประสิทธิภาพมากขึ้น แม้ว่าจะไม่ได้ระบุไว้อย่างชัดเจนในตาราง แต่ก็สามารถสรุปการพึงพามาตรikทั้งสองได้ มีความสัมพันธ์กันมากขึ้นระหว่างความแม่นยำและการเรียกคืนกับคะแนน F1 ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบมีความสมดุลและมีประสิทธิภาพมาก

ขึ้นในกรณีนี้ เพื่อให้มั่นใจถึงความสอดคล้องตลอดกระบวนการทดสอบ จึงมีการจัดการการทดสอบแต่ละครั้งจำนวน 100 ครั้งเป็นประจำ

โดยสรุป ระบบการจดจำป้ายทะเบียนได้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในระดับที่น่าสังเกต ในการระบุป้ายทะเบียนที่ถูกต้องอย่างถูกต้อง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่ยืดหยุ่นได้ อย่างไรก็ตาม ก็เจออุปสรรคทั้งแบบผลบวกและผลลบลง ประสิทธิภาพของระบบระบุได้จากเมตริกความแม่นยำและการเรียกคืน อย่างไรก็ตาม มีสถานการณ์เฉพาะที่สามารถปรับให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการตรวจสอบเพิ่มเติมเพื่อทำความเข้าใจสถานการณ์ที่ส่งผลให้อัตราผลบวกและผลลบลงสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบ ความเชี่ยวชาญและข้อมูลเชิงลึกของคุณมีค่าอย่างยิ่งในกระบวนการนี้

ตารางที่ 4.3 ผลกระทบของปัจจัยภายนอกต่อประสิทธิภาพของระบบ LPR

ปัจจัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าที่เหมาะสม	ผลกระทบต่อประสิทธิภาพ
มุมกล้อง (องศา)	135	225	180	มุมที่ใกล้ถึง 180 องศาจะให้ความแม่นยำสูงกว่า โดยลดการบิดเบือนเปอร์สเปกทิฟให้เหลือน้อยที่สุด
ความเร็วรถ (กม./ชม.)	5	15	≤ 10	ความเร็วที่ต่ำลงจะช่วยเพิ่มความคมชัดของภาพและลดภาพเบลอจากการเคลื่อนไหว มีความแม่นยำในการจดจำ
ระยะทาง (เมตร)	5	10	≤ 10	ระยะทางที่สั้นกว่าจะทำให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งสำคัญมากสำหรับการรู้จำอักขระที่มีความละเอียดสูง

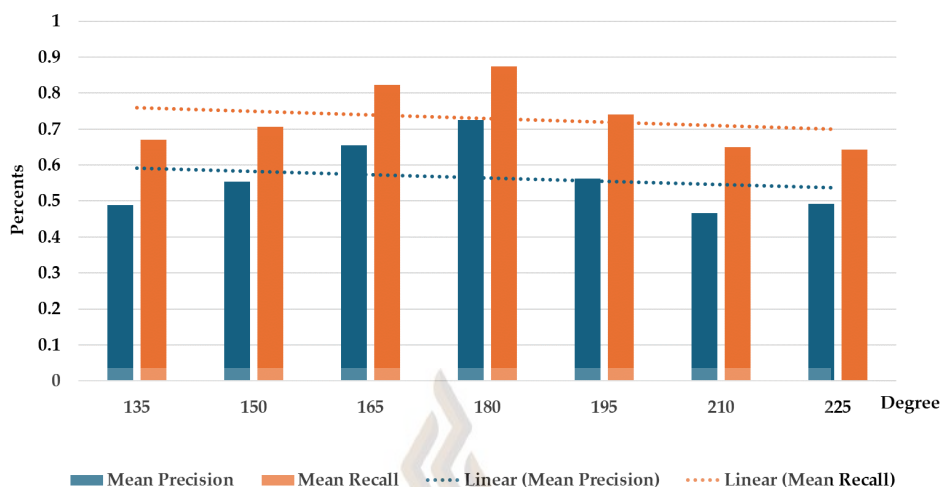
ตารางที่ 4.3 ไม่เพียงแต่นำเสนอการศึกษาเท่านั้น แต่ยังเน้นย้ำถึงความสำคัญ ผลการวิจัยพบว่าระบบ LPR แบบเรียลไทม์เมื่อรวมเข้ากับ SBC เช่น Raspberry Pi จะได้รับประสิทธิภาพสูงสุดที่มุมมอง 180 องศา มุมนี้ซึ่งป้ายทะเบียนอยู่ตรงหน้ากล้อง จะให้มุมมองที่แม่นยำที่สุด ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการระบุป้ายทะเบียนและการตรวจจับของระบบ ความแม่นยำและการเรียกคืนที่ลดลงอย่างมากที่มุมมองภาพ 135 และ 210 องศา ยังเน้นย้ำถึงบทบาทที่สำคัญของมุมมองต่อความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบ LPR

การวิจัยยืนยันข้อสรุปและเน้นย้ำถึงศักยภาพของ SBC ในงานจดจำภาพ เส้นแนวโน้มเชิงเส้นในกราฟแสดงให้เห็นว่าการเบี่ยงเบน 180 องศาในมุมมองจะลดความแม่นยำและการเรียกคืนลงอย่างมาก โดยเน้นถึงความสำคัญของการรักษาดำแหน่งกล้องที่เหมาะสมที่สุด การวิเคราะห์ทางสถิติให้หลักฐานเพิ่มเติมว่า SBC สามารถจัดการงานการจดจำภาพที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้

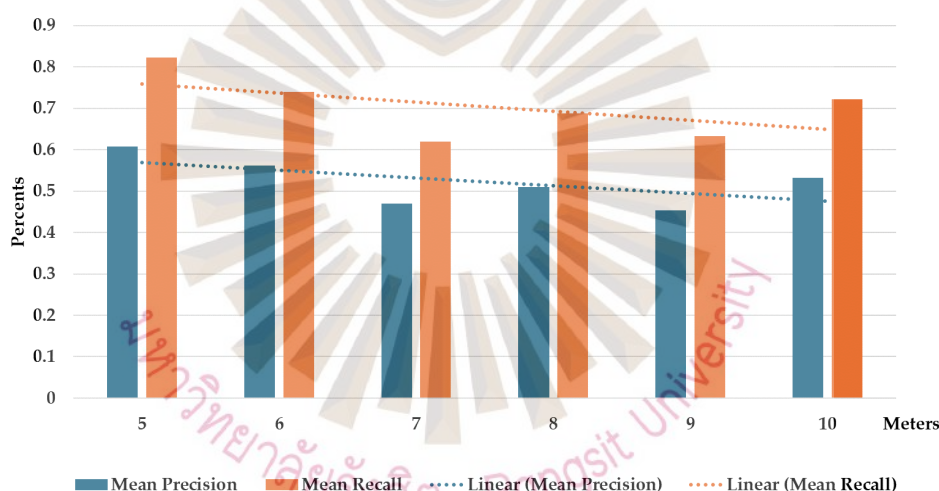
จะมีความสามารถในการคำนวณที่จำกัด เนื่องจากการกำหนดค่าระบบได้รับการปรับให้เหมาะสมอย่างเหมาะสม ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่า SBC สามารถเป็นโซลูชันที่ใช้งานได้จริงและคุ้มค่า สำหรับงานจดจำป้ายทะเบียนผ่านเทคนิคการกำหนดค่าที่พิถีพิถัน เช่น การรักษามุมมองในอุดมคติ

ค่าเฉลี่ยความแม่นยำและการเรียกคืนของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ในระยะทางที่แตกต่างกัน ซึ่งใช้งานบน SBC ได้รับการอธิบายอย่างมีประสิทธิภาพในรูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยการเรียกคืนสำหรับแต่ละระยะทางจะแสดงด้วยแถบสีส้ม ในขณะที่ความแม่นยำเฉลี่ยจะแสดงด้วยสีน้ำเงินบาร์ เส้นแนวโน้มแบบจุดเน้นย้ำแนวโน้มในประสิทธิภาพโดยรวม แผนภูมินี้แสดงให้เห็นถึงการค้นพบที่น่าสนใจ: ประสิทธิภาพสูงสุดจะสังเกตได้ที่ระยะ 5 เมตร โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำและการเรียกคืนที่สอดคล้องกันที่ประมาณ 0.607 และ 0.823 การค้นพบนี้บ่งชี้ว่าระบบที่ใช้ SBC ประสบความสำเร็จในการจัดการการแลกเปลี่ยนระหว่างการระบุป้ายทะเบียนที่แม่นยำและการตรวจจับที่ครอบคลุมในระยะที่เหมาะสม การค้นพบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการปรับระบบให้เหมาะสม

เส้นแนวโน้มเชิงเส้นของแผนภูมินี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของระยะห่างต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านความแม่นยำและการเรียกคืนด้วยระยะทางที่เพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์นี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการรักษาระยะห่างในอุดมคติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ LPR ที่ใช้ SBC แม้จะมีความสามารถในการคำนวณที่จำกัดของคอมพิวเตอร์บอร์ดขนาดเล็ก Raspberry Pi แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการได้รับความแม่นยำเป็นพิเศษในงาน LPR โดยการปรับการกำหนดค่าระบบให้เหมาะสม ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ผลลัพธ์ที่ได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของระยะทางและการกำหนดค่าทางกายภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถของ SBC สำหรับงานการรับรู้ภาพที่ซับซ้อน ต้องกำหนดค่า SBC อย่างเหมาะสม รวมถึงการรักษาระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อทำหน้าที่เป็นโซลูชันที่เชื่อถือได้และคุ้มค่าสำหรับระบบ LPR ในโลกแห่งความเป็นจริง



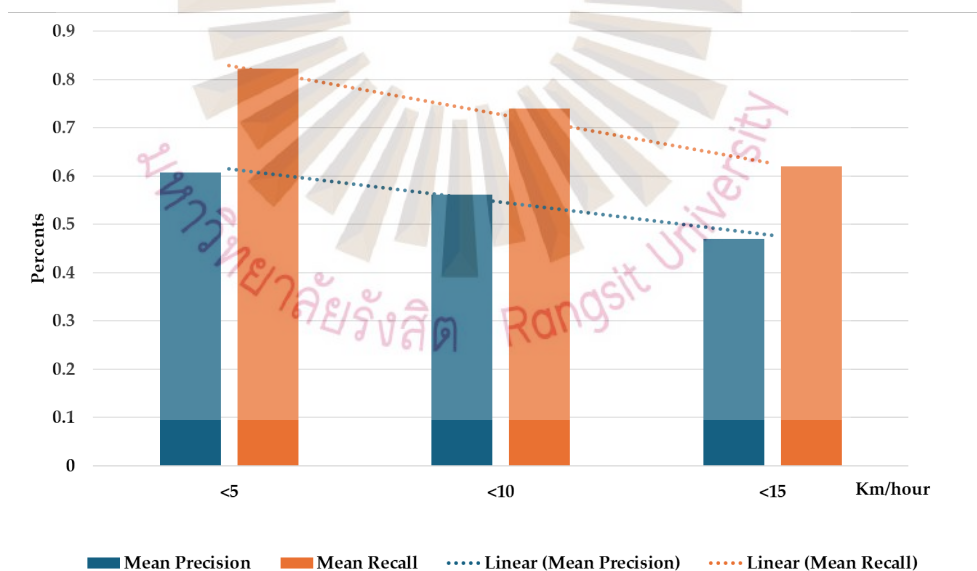
รูปที่ 4.1 ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนในมุมต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC



รูปที่ 4.2 ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนที่ระยะต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC

ค่าเฉลี่ยความแม่นยำและการเรียกคืนของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ที่ทำงานด้วยความเร็วต่าง ๆ บน SBC เช่น Raspberry Pi แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ความแม่นยำจะแสดงด้วยแถบสีน้ำเงิน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยการเรียกคืนสำหรับหมวดหมู่ความเร็วแต่ละประเภท (< 5 Km/h, <10 Km/h, <15 Km/h) แสดงด้วยแถบสีส้ม เส้นแนวโน้มแบบประแสดงถึงรูปแบบที่ครอบคลุมอย่างแม่นยำและจดจำพร้อมกับความก้าวหน้าของความเร็วของยานพาหนะ ระบบได้รับค่าเฉลี่ยความแม่นยำและค่าการเรียกคืนสูงสุด ประมาณ 0.607 และ 0.823 ตามลำดับ ที่ความเร็วต่ำกว่า 5 กม./ชม. สิ่งนี้บ่งชี้ว่าระบบที่ใช้ SBC มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสร้างสมดุลการตรวจจับที่ครอบคลุมกับการระบุป้ายทะเบียนที่แม่นยำที่ความเร็วต่ำ

ผลลัพธ์เน้นถึงความสำคัญของความเร็วของยานพาหนะในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ LPR ที่ใช้ SBC เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ความแม่นยำและการเรียกคืนจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ความแม่นยำลดลงเล็กน้อยสังเกตได้ที่ความเร็วต่ำกว่า 10 กม./ชม. ในขณะที่การเรียกคืนจะคงค่าไว้ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม ที่ความเร็วเกิน 15 กม./ชม. ความแม่นยำและการเรียกคืนยังคงลดลง ซึ่งบ่งชี้ว่าประสิทธิภาพของระบบลดลงเมื่อเร่งความเร็ว ผลลัพธ์นี้ได้รับการสนับสนุนจากเส้นแนวโน้ม ซึ่งบ่งชี้ว่าความแม่นยำและการจดจำจะลดลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์เหล่านี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบตามความเร็วของยานพาหนะ แม้ว่าจะมีข้อจำกัดด้านการคำนวณของ SBC แต่ระบบก็มีระดับความแม่นยำที่สูงขึ้นในขณะที่ทำงานด้วยความเร็วที่ลดลง ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพฮาร์ดแวร์อย่างเหมาะสม การจัดแสดงแสดงให้เห็นว่า SBC สามารถจัดการการกำหนดการรับรู้ภาพที่ซับซ้อนได้อย่างเชี่ยวชาญ ดังนั้นจึงทำให้เกิดความละเอียดที่เป็นไปได้และประหยัดสำหรับแอปพลิเคชัน LPR แบบเรียลไทม์ในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม เพื่อรักษาประสิทธิภาพสูงสุดไว้ จำเป็นต้องพิจารณาการขยายความเร็วของยานพาหนะและรับประกันว่าระบบได้รับการกำหนดค่าให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่คาดการณ์ไว้



รูปที่ 4.3 ความแม่นยำเฉลี่ยและการเรียกคืนที่ความเร็วต่าง ๆ ของระบบ LPR โดยใช้ SBC

ตารางที่ 4.4 นำเสนอผลสรุปเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับผลกระทบที่มุม ระยะทาง และความเร็ว มีต่อความแม่นยำและการเรียกคืนของระบบ LPR

ตารางที่นำเสนอเป็นการสรุปผลลัพธ์ของการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ดำเนินการเพื่อยืนยันอิทธิพลของตัวแปรอิสระต่าง ๆ ที่มีต่อหน่วยวัดประสิทธิภาพของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ (ความแม่นยำและการเรียกคืน) ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) มุม (องศา) และระยะทาง (เมตร) เป็นตัวแปรอิสระที่ถูกตรวจสอบ ตัวแปรตามภายใต้การตรวจสอบ ตัวแปรอิสระที่สอดคล้องกัน ค่า F-Statistic และ p-values นัยสำคัญทางสถิติของผลลัพธ์จะแสดงในแต่ละแถวของตาราง

ผลกระทบของมุมของป้ายทะเบียนต่อความแม่นยำ ตามที่ระบุโดย F-Statistic 10.25 และ p-values 0.0001 มีนัยสำคัญทางสถิติ F-Statistic ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ความสำคัญโดยรวมของแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่ามุมป้ายทะเบียนมีอิทธิพลต่อความแม่นยำอย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกัน การเรียกคืนจะได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากมุม ตามที่ระบุโดย F-Statistic เท่ากับ 8.47 และ p-values เท่ากับ 0.0015 ผลลัพธ์เหล่านี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของมุมในการทำให้แน่ใจว่าระบบจับป้ายทะเบียนทั้งหมดได้อย่างแม่นยำ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงลึกที่สำคัญสำหรับการพัฒนาและการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ LPR แบบเรียลไทม์

ยิ่งไปกว่านั้น ระยะห่างระหว่างกล้องกับป้ายทะเบียนถือเป็นปัจจัยด้านประสิทธิภาพที่สำคัญสำหรับระบบ ค่าความแม่นยำ F-statistic อยู่ที่ 12.56 และ ค่า p-values เท่ากับ 0.00001 สำหรับตัวแปรระยะทางบ่งชี้ถึงผลกระทบที่มีนัยสำคัญอย่างมาก การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าระยะทางที่เฉพาะเจาะจงสามารถช่วยให้กล้องจับภาพได้ชัดเจนและมีรายละเอียด ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแม่นยำของระบบ ระยะทางยังมีอิทธิพลต่อการเรียกคืนอย่างมีนัยสำคัญ ตามที่ระบุโดย F-Statistic เท่ากับ 9.68 และ ค่า p-values เท่ากับ 0.0003 การค้นพบนี้ย้ำถึงศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพที่สำคัญโดยการปรับระยะห่างในการจับเฟรม ซึ่งเป็นช่องทางที่มีแนวโน้มสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ

ความเร็วซึ่งจัดเป็นตัวแปรตัวเลข มีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ ความแม่นยำของระบบในการระบุป้ายทะเบียนได้รับผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดจากความเร็ว โดยเห็นได้จาก F-Statistic เท่ากับ 7.89 และ ค่า p-values เท่ากับ 0.0021 ผลลัพธ์

นี้แสดงให้เห็นว่าความเร็วของยานพาหนะมีส่วนทำให้เกิดภาพเบลอหรือความผิดเพี้ยนของภาพอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเร็ว ซึ่งต่อมาส่งผลต่อความแม่นยำของระบบ ในทำนองเดียวกัน การเรียกคืนแสดงความสัมพันธ์อย่างมากกับความเร็ว โดยเห็นได้จาก F-Statistic เท่ากับ 11.33 และค่า p-values เท่ากับ 0.00003 ค่าเหล่านี้บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับป้ายทะเบียนทั้งหมดอย่างแม่นยำนั้นได้รับผลกระทบจากความเร็วของยานพาหนะที่เดินทาง

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ ANOVA ของตัวแปรจำนวนมากที่มีอิทธิพลต่อระบบ LPR

ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ	F-Statistic	p-values	เชิงสถิติความสำคัญ
ความแม่นยำ	มุม (องศา)	10.25	0.0001	สำคัญ
การเรียกคืน	มุม (องศา)	8.47	0.0015	สำคัญ
ความแม่นยำ	ระยะทาง (เมตร)	12.56	0.00001	สำคัญ
การเรียกคืน	ระยะทาง (เมตร)	9.68	0.0003	สำคัญ
ความแม่นยำ	ความเร็ว (ตัวเลข)	7.89	0.0021	สำคัญ
การเรียกคืน	ความเร็ว (ตัวเลข)	11.33	0.00003	สำคัญ

ผลลัพธ์ ANOVA ที่นำเสนอด้วยความชัดเจนในตาราง ยืนยันได้อย่างชัดเจนว่าความแม่นยำและการเรียกคืนระบบ LPR ได้รับอิทธิพลอย่างมากจากมุม ระยะทาง และความเร็ว ผลลัพธ์เหล่านี้ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติสูง ไม่เพียงแต่มิฉะนั้นนักเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบโดยตรงด้วย โดยแนะนำว่าการปรับเปลี่ยนตัวแปรอิสระเหล่านี้แม้เพียงเล็กน้อยก็สามารถนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพที่สำคัญสำหรับระบบ SBC ได้ ข้อมูลเชิงลึกนี้ชี้ให้เห็นถึงทิศทางที่มีแนวโน้มสำหรับการตรวจสอบและความก้าวหน้าเพิ่มเติม ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ในการใช้งานจริง

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยมุ่งเน้นไปที่ผลบวกที่แท้จริงเท่ากับหรือมากกว่า 70% ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบ LPR แบบเรียลไทม์ภายใต้สถานการณ์ที่เหมาะสม เกณฑ์นี้ทำหน้าที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่ชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบในการระบุป้ายทะเบียนอย่างถูกต้องอย่างน้อย 70% ค่าเฉลี่ยความแม่นยำและการเรียกคืนช่วยให้ประเมินประสิทธิภาพของระบบได้ครอบคลุมมากขึ้น ในกรณีเหล่านี้ โดยทั่วไปความแม่นยำเฉลี่ยจะสูงกว่า ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบระบุเพลตจำนวนมากได้อย่างแม่นยำ และลดผลบวกหลงให้เหลือน้อยที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทำนองเดียวกัน การเรียกคืนเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่าระบบได้ปรับปรุงความสามารถในการระบุเพลตจริงส่วนใหญ่ในสถานการณ์การทดสอบ ซึ่งยืนยันความเชื่อถือได้ในสภาวะที่เอื้ออำนวย การค้นพบนี้ตอกย้ำถึงลักษณะที่สำคัญของการปรับระบบ SBC ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน LPR ในทางปฏิบัติ ซึ่งแม้แต่แผ่นผลบวกหลงหรือแผ่นที่ถูกลมองข้ามก็อาจส่งผลกระทบต่อสำคัญได้

ความแม่นยำที่ได้รับการปรับปรุงที่สังเกตได้ในสภาวะที่เหมาะสมไม่เพียงแต่ตอกย้ำศักยภาพของการนำระบบ LPR ไปใช้โดยใช้ SBC เช่น Raspberry Pi เท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มความมั่นใจในความสามารถของระบบอีกด้วย ตัวอย่างเช่น เมื่อทดสอบภายใต้สภาพแสงที่หลากหลายและขนาดป้ายทะเบียน (ระยะทาง) Raspberry Pi จะรักษาอัตราบวกที่แท้จริงเกิน 70% อย่างสม่ำเสมอ แม้จะมีผลการประมวลผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่สำคัญกว่าและมีราคาแพงกว่า แต่ Raspberry Pi ก็สามารถบรรลุผลลัพธ์ที่น่าสังเกตได้เมื่อกำหนดค่าและปรับให้เหมาะสมอย่างเหมาะสม ประสิทธิภาพที่สม่ำเสมอในสถานการณ์ที่มีอัตราบวกที่แท้จริงสูงเป็นข้อพิสูจน์ถึงความสามารถของ Raspberry Pi ในการจัดการงานการรับรู้ภาพที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการปรับตัวและลักษณะความประหยัดของ SBC ทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลาย โดยที่ข้อจำกัดด้านพื้นที่และการเงินมีความสำคัญสูงสุด

ผลการศึกษาแสดงหลักฐานที่น่าสนใจว่าระบบ LPR แบบเรียลไทม์ที่ใช้ Raspberry Pi สามารถปรับแต่งได้อย่างละเอียดเพื่อให้ได้การเรียกคืนและความแม่นยำที่ยอดเยี่ยม ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดการระยะทาง มุม และตัวแปรสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้น ความยืดหยุ่นโดย

ธรรมชาติของคุณลักษณะนี้ช่วยเพิ่มความมั่นใจในการใช้งานจริงในกรณีที่สถานการณ์อาจแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราบวกที่แท้จริงที่เพิ่มขึ้นกับความแม่นยำและการเรียกคืนที่เพิ่มขึ้น เน้นย้ำถึงความสำคัญของการกำหนดค่าระบบในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม โดยสรุป การวิเคราะห์นี้สนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้คอมพิวเตอร์บอร์ดขนาดเล็ก (เช่น Raspberry Pi) เพื่อพัฒนา ระบบจดจำป้ายทะเบียนที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถรักษาประสิทธิภาพสูงสุดแม้จะมีทรัพยากรจำกัดก็ตาม

การมีส่วนร่วมทางทฤษฎี

มีความก้าวหน้าทางทฤษฎีที่สำคัญด้วยการนำระบบ LPR แบบเรียลไทม์ไปใช้งานในบริบทของ IoT บนเทคโนโลยี SBC ที่ประสบความสำเร็จ การบูรณาการนี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี LPR สามารถเป็นองค์ประกอบสำคัญของเมืองอัจฉริยะได้อย่างไร โดยมีส่วนทำให้ที่จอดรถมีประสิทธิภาพมากขึ้น การจัดการจราจร การเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ และโปรโตคอลความปลอดภัยที่ได้รับการปรับปรุง งานวิจัยนี้ให้การวิเคราะห์โดยละเอียดเกี่ยวกับกลไกที่ระบบ LPR แบบเรียลไทม์สามารถปรับกระบวนการตัดสินใจให้เหมาะสม และปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในเมืองที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ประโยชน์จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเรียลไทม์เมื่อรวมเข้ากับโครงสร้างพื้นฐาน IoT แอปพลิเคชันที่พัฒนาบนเทคโนโลยี SBC โดยเฉพาะการประมวลผลข้อมูลปริมาณมากในท้องถิ่นเพื่อลดเวลาแฝง ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมผ่านความสามารถที่เพิ่มขึ้นของแพลตฟอร์มที่ใช้ Raspberry Pi การวิจัยนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบแบบเรียลไทม์และการดำเนินการบังคับใช้กฎหมายโดยทันที ซึ่งข้อจำกัดด้านเวลาจะทำให้การส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์แบบรวมศูนย์ไม่สามารถทำได้ การมีส่วนร่วมช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรที่มีความสามารถและสถาปัตยกรรมระบบในระบบนิเวศ IoT ผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยยกระดับการสนทนาทางทฤษฎีเกี่ยวกับความสมดุลที่เหมาะสมที่สุดระหว่างพลังการประมวลผลบนอุปกรณ์โดยใช้เทคโนโลยี SBC และข้อกำหนดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบรวมศูนย์ การศึกษานี้มีส่วนสนับสนุนทางทฤษฎีขั้นพื้นฐานโดยการพัฒนาและปรับปรุงอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการจดจำภาพในสถานการณ์ทำงานที่หลากหลาย ในการจัดการกับปัญหาต่างๆ เช่น แสงที่แปรผัน ความเร็วของยานพาหนะที่หลากหลาย และมุมมองมองเห็นป้ายทะเบียนที่แตกต่างกัน งานนี้มีส่วนช่วยให้มีความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับพฤติกรรมของอัลกอริทึมในการถอดรหัสข้อมูลภาพที่ซับซ้อน

ผลกระทบเชิงปฏิบัติ

การนำระบบ LPR ไปใช้จริงจำเป็นต้องให้ความเอาใจใส่อย่างระมัดระวังต่อปัจจัยหลายประการที่ส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพ ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการลดผลบวกและผลลบลงให้เหลือน้อยที่สุด ถือเป็นข้อกังวลหลัก ระบบ LPR จะต้องมีความแม่นยำเพื่อป้องกันผลกระทบทางกฎหมายและทางสังคมอันเป็นผลมาจากการระบุตัวผู้ขับขี่ที่บริสุทธิ์อย่างไม่ถูกต้อง หรือการละเลยผู้บุกรุกที่เกิดขึ้นจริง เพื่อรักษาความสม่ำเสมอในการปฏิบัติงาน ระบบเหล่านี้จะต้องสามารถปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน รวมถึงสถานการณ์สภาพอากาศและสภาพแสงที่ผันผวน

การบูรณาการเทคโนโลยีมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ LPR ตำแหน่งและคุณภาพของกล้องเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากจะต้องสามารถถ่ายภาพที่ชัดเจน ไร้สิ่งกีดขวางจากมุมต่าง ๆ และด้วยความเร็วสูง ความสามารถในการประมวลผลแบบเรียลไทม์ของระบบเหล่านี้มีความสำคัญเท่าเทียมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการทำงานที่สำคัญ เช่น การบังคับใช้กฎหมายและการตรวจสอบการจราจร ฮาร์ดแวร์ที่ยืดหยุ่นและซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์มีความจำเป็นเพื่อรับประกันความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้น

ความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลถือเป็นข้อพิจารณาเบื้องต้นในการใช้ระบบ LPR จากมุมมองทางกฎหมายและจริยธรรม ระบบเหล่านี้รวบรวมข้อมูลที่ซับซ้อนเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการใช้โปรโตคอลความปลอดภัยที่เข้มงวดเพื่อป้องกันการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต การปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับความเป็นส่วนตัวในท้องถิ่นไม่ได้เป็นเพียงคำแนะนำเท่านั้น แต่ยังจำเป็นในการป้องกันผลกระทบทางกฎหมายและรักษาความเชื่อมั่นของสาธารณชน

นอกจากนี้ ความคุ้มค่ายังเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา การลงทุนในการดำเนินงานและการเริ่มต้นอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ซึ่งครอบคลุมถึงการจัดซื้อฮาร์ดแวร์ การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการจัดการข้อมูล ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การรักษาความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้น การจัดการจราจรที่ดีขึ้น และการบังคับใช้กฎหมายที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะต้องเพียงพอที่จะพิสูจน์ให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายเหล่านี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ครอบคลุมอย่างกว้างขวางว่าการตรวจสอบและความก้าวหน้าของระบบ LPR ที่ขับเคลื่อนด้วย IoT แสดงถึงความก้าวหน้าที่สำคัญในการสร้างระบบนิเวศทางเทคโนโลยีขั้นสูง และเห็นแนวโน้มมากขึ้นในด้านการขนส่งและการบริหารเมืองใหญ่อย่างไร งานวิจัยนี้เน้นย้ำถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของ โซลูชัน LPR แบบเรียลไทม์ที่ได้รับการปรับปรุงด้วย IoT โดยใช้เทคโนโลยี SBC นอกจากนี้ การศึกษานี้เป็นตัวอย่างความพยายามที่สำคัญมากขึ้นในการปรับปรุงและยกระดับวิธีการที่เทคโนโลยี SBC สามารถเสริมมาตรการรักษาความปลอดภัย ปรับปรุงการดำเนินงาน และลดความซับซ้อนของงานประจำในยุคที่การบูรณาการระบบอัตโนมัติและการเชื่อมต่อมีความสำคัญมากขึ้น การขยายสาขาของการสืบสวนประเภทนี้อยู่เหนือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทันที ซึ่งบ่งชี้ถึงรากฐานที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยี SBC ที่กำลังจะมาถึง

Raspberry Pi 4 เป็นตัวอย่างหนึ่งของเทคโนโลยี SBC ที่ใช้สำหรับการศึกษการตรวจจับป้ายทะเบียนแบบเรียลไทม์ ตอบคำถามเกี่ยวกับปัจจัยที่มีประสิทธิภาพของมุกกล้อง ความเร็วของวัตถุ และระยะห่างจากกล้องถึงวัตถุ การค้นพบนี้ช่วยให้เราเข้าใจการกำหนดค่าระบบ LPR แบบเรียลไทม์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแอปพลิเคชัน SBC ในโลกแห่งความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ต้องการการเฝ้าระวังที่แข็งแกร่งและยืดหยุ่น การศึกษาพบว่ามุกกล้องมีผลกระทบอย่างมากต่อความแม่นยำในการตรวจจับป้ายทะเบียนของระบบ การบิดเบี้ยวและการบิดเบือนจะลดความแม่นยำในมุมที่สูงชัน ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่ามุมใกล้ตรงใกล้กับแนวตั้งฉาก ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจดจำ โดยยืนยันว่าการเบี่ยงเบนเชิงมุมน้อยที่สุดจากมุมมองด้านหน้าหรือด้านหลังของยานพาหนะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในการตรวจจับ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระยะห่างจากกล้องถึงวัตถุส่งผลโดยตรงต่อการตรวจจับป้ายทะเบียน ระยะห่างที่มากเกินไปจะลดความชัดเจนของภาพ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง อย่างไรก็ตาม ระยะทางที่ใกล้มากเกินไปอาจไม่สามารถทำได้ การศึกษานี้ค้นหาช่วงระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดเพื่อความชัดเจนของภาพและการใช้งานจริง การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการตั้งค่าระบบควรพิจารณาช่วงระยะทางเพื่อให้ LPR มีประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้ การศึกษาได้ตรวจสอบว่าประสิทธิภาพของระบบ LPR แบบเรียลไทม์บนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4 ได้รับการปรับให้เหมาะสมตามมุกกล้อง ความเร็ว และระยะทางหรือไม่ การกำหนดค่าที่ลดความแปรผันของความเร็วให้ใช้มุมใกล้ตั้งฉากและรักษาระยะห่างปานกลางเพื่อปรับปรุงการตรวจจับ การกำหนดค่าเหล่านี้ให้ภาพที่แม่นยำที่สุดและผลการตรวจจับป้าย

ทะเบียนที่เชื่อถือได้ ซึ่งบ่งชี้ว่าการปรับปรุงเหล่านี้ร่วมกันจะดีกว่า การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระบบ LPR แบบเรียลไทม์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนแพลตฟอร์มราคาประหยัด เช่น Raspberry Pi 4 จำเป็นต้องมีการตั้งค่าตำแหน่งกล้องที่ได้รับการปรับแต่งอย่างดีเพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ การค้นพบของคำถามในการวิจัยเป็นแนวทางโดยละเอียดสำหรับการเฝ้าระวังยานพาหนะอัตโนมัติและการใช้งานและการพัฒนาด้านการจัดการในอนาคต และสร้างแรงบันดาลใจให้เกิดความหวังสำหรับความก้าวหน้าและนวัตกรรมในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์ของ Raspberry Pi อาจส่งผลกระทบต่อความเร็วและความแม่นยำในการประมวลผล และคุณภาพของกล้องอาจทำให้ภาพในการศึกษาระบบ LPR ผิดเพี้ยนไป การเปลี่ยนแปลงของแสงและสภาพอากาศจะต้องได้รับการสำรวจอย่างเต็มที่ ซึ่งอาจจำกัดการใช้งานระบบในโลกแห่งความเป็นจริง ความหลากหลายและขนาดชุดข้อมูลที่มากขึ้นอาจจำกัดความสามารถทั่วไปของการศึกษาในภูมิภาคและรูปแบบของเฟลท การทดลองยังมีช่วงความเร็วที่จำกัดและอาจไม่มีการจำลองความเร็วบนทางหลวง เนื่องจากขนาดตัวอย่างที่เล็ก งานทางสถิติจึงมีจำกัด และอัลกอริทึมบางอย่างอาจทำงานได้ดีในบางแอปพลิเคชันเท่านั้น การวิจัยในอนาคตควรแก้ไขปัญหาเหล่านี้ด้วยฮาร์ดแวร์ที่แข็งแกร่งเช่น Raspberry Pi รุ่นใหม่ขึ้น ความหลากหลายของชุดข้อมูล และสถานการณ์การประมวลผลแบบเรียลไทม์ เพื่อปรับปรุงการใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบ LPR หลายพื้นที่จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงความสามารถและการยอมรับของระบบ LPR การประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องที่ได้รับการปรับปรุงสามารถเพิ่มความแม่นยำได้ โดยเฉพาะในสภาวะที่ยากลำบาก การวิจัยอัลกอริทึมขั้นสูงที่สามารถปรับให้เข้ากับยานพาหนะรุ่นใหม่ รูปแบบป้ายทะเบียน และมุมมองที่คลุมเครือได้อย่างรวดเร็วจะปรับปรุงความน่าเชื่อถือวาทกรรมสาธารณะและการวิจัยเชิงจริยธรรมเกี่ยวกับเทคโนโลยีเฝ้าระวัง เช่น ระบบ LPR ก็มีความสำคัญเช่นกัน

บรรณานุกรม

- ซัชชัย คุณบัว. (2562). *IoT: สถาปัตยกรรมการสื่อสาร Internet of Things*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดบุ๊ค จำกัด (มหาชน).
- ทำความเข้าใจกับกล้อง LPR หรือ License Plate Recognition Camera. (2557). สืบค้น 9 เมษายน 2567, จาก <https://www.digitalcom.co.th/?p=246312#>
- วิวัฒน์ มีสุวรรณ. (2559). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา Internet of Things on Education. *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม*, 8(2), 83-92. สืบค้นจาก <https://so04.tci-thaijo.org>
- สุชาติ คุ้มมะณี. (2561). เชี่ยวชาญการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน [Programming expert with Python]. สืบค้นจาก <https://www.theconfig.me/p/programming-expert-with-python.html>
- Abdel-Basset, M., Hawash, H., Chakraborty, R. K., Ryan, M., Elhoseny, M., & Song, H. (2021). ST-DeepHAR: Deep learning model for human activity recognition in IoHT applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 8, 4969–4979. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3033430>
- Al-batat, R., Angelopoulou, A., Premkumar, S., Hemanth, J., & Kapetanios, E. (2022). An end-to-end automated license plate recognition system using YOLO based vehicle and license plate detection with vehicle classification. *Sensors*, 22(9477). <https://doi.org/10.3390/s22239477>
- Boonrod, A. (2023, September 15). OCR เทคโนโลยีเพื่อการบริหารข้อมูลดิจิทัลสำหรับธุรกิจ. Retrieved from <https://visai.ai/th/blogs/9/ocr-data-extraction>
- Assadarat, K., Nappaphol, S., Jiratchaya, S., & Jirapat, S. (2019). An open-source based automatic car detection system using IoT. *International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, Chonburi: Thailand. <https://doi.org/10.1109/JCSSE.2019.8864188>
- Castro-Zunti, R. D., Yépez, J., & Ko, S.-B. (2020). License plate segmentation and recognition system using deep learning and OpenVINO. *IET Intelligent Transport Systems*, 14, 119–126. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0481>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Chen, X., Leng, J., & Jiang, X. (2023). A novel vehicle license plate recognition approach for intelligent transportation systems based on hybrid deep learning models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 145(103777).
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103777>
- Circuitdigest. (2016). *Arduino vs Raspberry Pi: Differences between the two*. Retrieved December 14, 2021, from <https://circuitdigest.com/article/arduino-vs-raspberrypi-difference-between-the-two>
- Connie, L., Kim, O. C., & Patricia, A. (2018). A review of automatic license plate recognition system in mobile-based platform. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 10(3-2), 77–82.
 Retrieved from <https://jtec.utem.edu.my/jtec/article/view/4715>
- Deshpande, M., Veena, M. B., & Ferede, A. W. (2022). Auditory speech based alerting system for detecting dummy number plate via video processing data sets. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(4423744), 1–12.
<https://doi.org/10.1155/2022/4423744>
- Dynamic Intelligence Asia. (2020). *Image processing*. Retrieved From <https://www.dia.co.th/articles/what-is-image-processing/>
- Feng, D., Wang, X., Zhao, Z., & Liang, Y. (2022). A new approach for license plate recognition based on deep learning and edge computing. *IEEE Access*, 10, 103207–103218.
<https://doi.org/10.1109/access.2022.3206614>
- Gandhi, M., Kamdar, J., & Shah, M. (2020). Preprocessing of non-symmetrical images for edge detection. *Augmented Human Research*, 5(10). <https://doi.org/10.1007/s41133-019-0030-5>
- Ghadage, S. S., & Khedkar, S. R. (2019). A review paper on automatic number plate recognition system using machine learning algorithms. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(12). <https://doi.org/10.17577/ijertv8is120398>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ha, P. S., & Shakeri, M. (2016). License plate automatic recognition based on edge detection. In *Proceedings of the 2016 Artificial Intelligence and Robotic* (pp. 09-09 April 2016, Qazvin, Iran). <https://doi.org/10.1109/RIOS.2016.7529509>
- Hezil, N., Amrouche, A., & Bentrchia, Y. (2022). Vehicle license plate detection using morphological operations and deep learning. In *Proceedings of the 2022 International Conference of Advanced Technology in Electronic and Electrical Engineering*, M'sila: Algeria. <https://doi.org/10.1109/ICATEEE57445.2022.10093752>
- Hossain, S. N., Hassan, M. Z., & Masba, M. M. A. (2022). Automatic license plate recognition system for Bangladeshi vehicles using deep neural network. *Proceedings of the International Conference on Big Data, IoT, and Machine Learning. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* (Vol. 95). Springer: Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6636-0_8
- Khan, M. M., Ilyas, M. U., Khan, I. R., Alshomrani, S. M., & Rahardja, S. (2023). License plate recognition methods employing neural networks. *IEEE Access*, 11, 73613–73646. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3254365>
- Koff, S. (2023). *Image processing*. Retrieved from <https://ikki-group.com/what-is-image-processing/>
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: A review. *Journal of Big Data*, 6(111). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Kumawat, K., Jain, A., & Tiwari, N. (2023). Relevance of automatic number plate recognition systems in vehicle theft detection. *Engineering Proceedings*, 59(1, 185). <https://doi.org/10.3390/engproc2023059185>
- Kundrotas, M., Janutėnaitė-Bogdanienė, J., & Šešok, D. (2023). Two-step algorithm for license plate identification using deep neural networks. *Applied Sciences*, 13(4902). <https://doi.org/10.3390/app13084902>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Leng, J., Chen, X., Zhao, J., Wang, C., Zhu, J., Yan, Y., . . . Jiang, X. (2023). A light vehicle license-plate-recognition system based on hybrid edge–cloud computing. *Sensors*, 23(8913). <https://doi.org/10.3390/s23218913>
- Lubna, M. N., & Shah, S. A. A. (2021). Automatic number plate recognition: A detailed survey of relevant algorithms. *Sensors*, 21(3028). <https://doi.org/10.3390/s21093028>
- Mahmood, Z., Khan, K., Khan, U., Adil, S. H., Ali, S. S. A., & Shahzad, M. (2022). Towards automatic license plate detection. *Sensors*, 22(3967). <https://doi.org/10.3390/s22113967>
- Marot, J., & Bourennane, S. (2017). Raspberry Pi for image processing education. In *The 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, Kos: Greece. <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO.2017.8081633>
- Mindphp. (2020). *Python คืออะไร - ภาษา python ใช้ทำอะไร*. Retrieved December 14, 2021, from <https://bit.ly/3etEAYQ>
- Padmasiri, H., Shashirangana, J., Meedeniya, D., Rana, O., & Perera, C. (2022). Automated license plate recognition for resource-constrained environments. *Sensors*, 22(1434). <https://doi.org/10.3390/s22041434>
- Rajebi, S., Pedrammehr, S., & Mohajerpoor, R. (2023). A license plate recognition system with robustness against adverse environmental conditions using Hopfield’s neural network. *Axioms*, 12(424). <https://doi.org/10.3390/axioms12050424>
- Ramos, R., Miranda, P., & Arantes, L. (2022). Smart parking system using IoT and deep learning algorithms for license plate recognition. *Sensors*, 22(1831). <https://doi.org/10.3390/s22051831>
- Raspberrypi. (2024a). *Raspberry Pi 4*. Retrieved January 14, 2024, from <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- Raspberrypi. (2024b). *Raspberry Pi OS*. Retrieved January 14, 2024, from <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>
- Raspbian. (2024). *Welcome to Raspbian*. Retrieved January 14, 2024, from <https://www.raspbian.org>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Rukhiran, M., Wong-In, S., & Netinant, P. (2023). IoT-based biometric recognition systems in education for identity verification services: Quality assessment approach. *IEEE Access*, *11*, 22767–22787. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3253024>
- Rukhiran, M., Sutanthavibul, C., Boonsong, S., & Netinant, P. (2023). IoT-based mushroom cultivation system with solar renewable energy integration: Assessing the sustainable impact of the yield and quality. *Sustainability*, *15*(13968). <https://doi.org/10.3390/su151813968>
- Sa-ngamuang, P., Thamnittasana, C., & Kondo, T. (2007). Thai car license plate recognition using essential-elements-based method, *Asia-Pacific Conference on Communications*, Bangkok: Thailand. <https://doi.org/10.1109/APCC.2007.4433496>
- Selmi, Z., Halima, M. B., Pal, U., & Alimi, M. A. (2020). DELP-DAR system for license plate detection and recognition. *Pattern Recognition Letters*, *129*, 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.11.007>
- Sultan, F., Khan, K., Shah, Y. A., Shahzad, M., Khan, U., & Mahmood, Z. (2023). Towards automatic license plate recognition in challenging conditions. *Applied Sciences*, *13*(3956). <https://doi.org/10.3390/app13063956>
- Sung, J.-Y., Yu, S.-B., & Korea, S.-H. P. (2020). Real-time automatic license plate recognition system using YOLOv4. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics – Asia*, Seoul: Korea (South). <https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia49877.2020.9277050>
- Tang, J., Wan, L., Schooling, J., Zhao, P., Chen, J., & Wei, S. (2022). Automatic number plate recognition (ANPR) in smart cities: A systematic review on technological advancements and application cases. *Cities*, *129*(103833). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103833>
- Thakur, A., Verma, S., & Gupta, S. (2023). Automatic license plate recognition system using deep learning techniques: A comprehensive review. *Advances in Artificial Intelligence*, *2023*(9972174). <https://doi.org/10.1155/2023/9972174>
- Thonny. (2024). *Thonny Python IDE for beginners*. Retrieved January 14, 2024, from <https://thonny.org>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Wang, W., Yuan, Y., & Zhao, X. (2022). End-to-end automatic license plate recognition using improved convolutional recurrent neural networks. *Computational Materials and Continua*, 70, 2429–2444. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020614>
- Weihong, W., & Jiaoyang, T. (2020). Research on license plate recognition algorithms based on deep learning in complex environment. *IEEE Access*, 8, 91661–91675. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2994287>
- Xie, F., Zhang, M., Zhao, J., Yang, J., Liu, Y., & Yuan, X. (2018). A robust license plate detection and character recognition algorithm based on a combined feature extraction model and BPNN. *Journal of Advanced Transportation*, 2018(6737314). <https://doi.org/10.1155/2018/6737314>
- Yo Nutchanon. (2023, February 2). 9 เหตุผลที่ภาคอุตสาหกรรมเริ่มต้นใช้งาน Raspberry Pi. Retrieved from <https://th.cytron.io/tutorial/9-reasons-why-industry-started-to-adopt-raspberry-pi>
- Yogheedha, K., Nasir, A. S. A., Jaafar, H., & Mamduh, S. M. (2018). Automatic vehicle license plate recognition system based on image processing and template matching approach. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications*, Kuching: Malaysia. <https://doi.org/10.1109/ICASSDA.2018.8477639>

ภาคผนวก
ชุดคำสั่งซอฟต์แวร์



```

import numpy as np

import cv2
import LPR as lpr
cap = cv2.VideoCapture(0)
while True:
    ret, frame = cap.read()
    img = lpr.rec(frame)
    cv2.imshow('frame', img)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

import cv2
import imutils
import numpy as np
import pytesseract
def rec(img):
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    gray = cv2.bilateralFilter(gray, 11, 17, 17)
    edged = cv2.Canny(gray, 30, 200)
    try:
        cnts = cv2.findContours(edged.copy(), cv2.RETR_TREE,
                                cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
        cnts = imutils.grab_contours(cnts)
        cnts = sorted(cnts, key=cv2.contourArea, reverse=True)[:10]
        screenCnt = None
        for c in cnts:
            peri = cv2.arcLength(c, True)
            approx = cv2.approxPolyDP(c, 0.018 * peri, True)

```

```

if len(approx) == 4:
    screenCnt = approx
    break
if screenCnt is None:
    detected = 0
else:
    detected = 1
if detected == 1:
    cv2.drawContours(img, [screenCnt], -1, (0, 255, 0), 3)
    mask = np.zeros(gray.shape, np.uint8)
    new_image = cv2.drawContours(mask, [screenCnt], 0, 255, -1,)
    new_image = cv2.bitwise_and(img, img, mask=mask)
    (x, y) = np.where(mask == 255)
    (topx, topy) = (np.min(x), np.min(y))
    (bottomx, bottomy) = (np.max(x), np.max(y))
    Cropped = gray[topx:bottomx + 1, topy:bottomy + 1]
    text = pytesseract.image_to_string(Cropped, lang='tha')
    text = text.rstrip("\n")
    if len(text) > 7:
        i = 0
        temp = text[i]
        while not temp.isdigit() or i == len(text) - 1:
            i += 1
            temp = text[i]
        text = text[i:-2]
        print(text)
except Exception:
    pass
return img

```

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	ศิวากร ผลสว่าง
วัน เดือน ปีเกิด	26 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ, 2558
ทุนการศึกษา	ทุนสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ 100%
ที่อยู่ปัจจุบัน	74/36 ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงรัชดาภิเษก เขตดินแดง กรุงเทพฯ
สถานที่ทำงาน	สถาบันจิตวิทยาความมั่นคง สถาบันวิชาการป้องกัน ประเทศ
ตำแหน่งปัจจุบัน	เสมียน แผนกเอกสารศึกษาและสารสนเทศ กองวิทยาการ สถาบันจิตวิทยาความมั่นคง สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

