

ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน
CAR LICENSE PLATE DETECTION AND REGISTRATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน
CAR LICENSE PLATE DETECTION AND REGISTRATION SYSTEM



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน

CAR LICENSE PLATE DETECTION AND REGISTRATION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาววิศรา ดอกรัก 64010785
2. นายอรุณฤทธิ ปานทอง 64010998


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศ. ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ “ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน” สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ศ. ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยให้ปริญญานิพนธ์นี้ สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ระหว่างการจัดทำ โครงการงาน

ขอขอบคุณคณาจารย์ และนักศึกษาปริญญาโทและนักศึกษาปริญญาเอก ในห้องปฏิบัติการของ ศ. ดร.ชวงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือทางด้านสถานที่ และอุปกรณ์ใน ระหว่างจัดทำปริญญานิพนธ์ จนปริญญานิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจที่สำคัญเสมอมาและที่สำคัญคือสนับสนุนให้โอกาสทางด้านการศึกษาอันมีค่ายิ่งแก่ผู้จัดทำ ผู้จัดทำขออ้อมรับคำแนะนำเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาปริญญานิพนธ์ต่อไป

นางสาววิศรา ดอกรัก
นายอรุณฤทธิ์ ปานทอง
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน
CAR LICENSE PLATE DETECTION AND REGISTRATION SYSTEM

โดย นางสาววิศรา ดอกรัก 64010785
นายอรุณฤทธิ์ ปานทอง 64010998

อาจารย์ที่ปรึกษา ศ. ดร. ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน ด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi 4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและประมวลผลข้อมูล เป็นหน่วยประมวลผลในการคำนวณโปรแกรม และพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษา Python เพื่อประมวลผลภาพของป้ายทะเบียนรถยนต์ผ่านเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับป้ายทะเบียนจะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการบันทึกประวัติการเข้า-ออกของรถยนต์ รวมถึงวันที่ เวลา และสามารถนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อได้ในเชิงธุรกิจ นอกจากนี้ ยังมีระบบลงทะเบียนรถยนต์สำหรับผู้ที่มีสิทธิ์ใช้งาน โดยการลงทะเบียนนี้จะดำเนินการโดยผู้ดูแลระบบที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis presents the development of a license plate detection and registration system using a Raspberry Pi 4 device to enhance the efficiency of data detection and processing. The Raspberry Pi 4 acts as the processor for executing programs and developing software in Python to process images of license plates through image processing techniques. The data obtained from license plate detection will be stored in a database to track the history of car entries and exits, including date, time and the data from the database can be further analyzed for business insights. Additionally, there is a car registration system for authorized users, which can only be managed by authorized administrators.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	IX
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1	
บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ป้ายทะเบียนรถยนต์	3
2.1.1 ป้ายทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทย	3
2.1.2 ลักษณะของป้ายทะเบียนรถยนต์	3
2.1.3 ป้ายทะเบียนรถส่วนบุคคล	4
2.1.4 สีของตัวอักษรและพื้นหลังขึ้นของป้ายทะเบียนรถยนต์	4
2.2 กรอบป้ายทะเบียนรถยนต์	10
2.2.1 กรอบป้ายทะเบียนแบบสแตนเลสโครเมียม	10
2.2.2 กรอบป้ายทะเบียนแบบพลาสติก	11
2.2.3 กรอบป้ายทะเบียนรถยนต์สีเงิน	12
2.2.4 ผลการทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์กรอบสีดำ	12
2.2.5 ผลการทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ไม่มีกรอบ	12
2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	12
2.3.1 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 2	หน้า
2.3.2 ภาพดิจิทัล (Digital Image)	14
2.3.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)	15
2.3.4 ประเภทของภาพ (Types Of Digital Images)	16
2.3.5 การแปลงรูปภาพสีเป็นรูปภาพระดับเทา	19
2.4 OpenCV (Open-source Computer Vision)	19
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการรู้จำอักขระด้วยแสง	20
2.5.1 Tesseract OCR	20
2.6 MySQL	21
2.7 Raspberry Pi	22
2.7.1 Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM	23
2.8 Raspberry Pi Camera	24
2.9 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ	25
2.9.1 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	26
2.9.2 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์	27
2.9.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	28
2.9.4 เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R เฟืองโลหะ 180 องศา	28
2.10 เส้นพลาสติก (Filament)	31
2.11 Arduino Uno R3	33
2.11.1 องค์ประกอบของบอร์ด Arduino Uno R3	35
2.12 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ	36
2.12.1 เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ	37
2.12.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2	
2.13 เส้นพลาสติก (FILAMENT)	39
2.14 โปรแกรมที่ใช้	40
2.14.1 VS CODE (VISUAL STUDIO CODE)	40
2.14.2 VNC (VIRTUAL NETWORK COMPUTING)	41
2.14.3 SHAPR3D	42
2.14.4 ULTIMAKER CURA	43
2.15 ภาษาที่ใช้	43
2.15.1 ภาษาไพธอน (PYTHON)	43
2.15.2 PHP	44
2.15.3 SQL	45
2.15.4 HTML	45
2.15.5 C/C++	47
2.16 วิเคราะห์รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคชาวไทย	47
บทที่ 3	
การออกแบบและการจัดทำปฏิญานินทร์	
3.1 การออกแบบ	51
3.1.1 การออกแบบระบบการทำงาน	51
3.1.2 การออกแบบการทำงานของระบบ	52
3.1.3 การออกแบบส่วนประกอบของอุปกรณ์ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ	54
3.1.3.1 การออกแบบกล่องใส่อุปกรณ์	54
3.1.3.2 การออกแบบฝาปิดของกล่องใส่อุปกรณ์	54
3.1.3.3 การออกแบบตัวยึดกล่อง	55
3.1.3.4 การออกแบบกล่องใส่อุปกรณ์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	หน้า
3.1.3.5 ฝาของกล่องหลักสำหรับใส่จอ	56
3.1.3.6 การประกอบชิ้นงานและอุปกรณ์เข้าด้วยกัน	57
3.1.4 ออกแบบวงจรระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์	57
3.1.5 ออกแบบฐานเก็บข้อมูล	61
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	65
3.2.1 RASPBERRY PI 4	65
3.2.2 RASPBERRY PI CAMERA	66
3.2.3 LED สีเขียวและสีแดง	66
3.2.4 ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม	67
3.2.5 TFT LCD ILI9341	67
3.2.6 ARDUINO UNO R3	68
3.2.7 SERVO MOTOR MG996R	68
3.2.8 สายไฟ	69
3.2.9 จอภาพ (MONITOR)	69
3.2.10 คีย์บอร์ดและเมาส์	70
3.2.11 MICRO SD CARD	70
3.2.12 USB TYPE-C สำหรับไฟเลี้ยง	71
3.2.13 สาย MICRO HDMI	71
3.2.14 เส้นพลาสติก (FILAMENT) สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3	
3.2.15 ขาตั้งกล้อง	72
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	73
บทที่ 4	
ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของ Raspberry Pi Camera	75
4.2 ผลการทดสอบการปรับขนาดรูปภาพเพื่อให้ได้ขนาดภาพที่เหมาะสมกับการใช้งาน	76
4.2.1 ปรับขนาดภาพถ่ายสูงสุดเป็น 2592X1944 พิกเซล	76
4.2.2 ปรับขนาดภาพถ่ายต่ำสุดเป็น 64X64 พิกเซล	78
4.2.3 ปรับขนาดภาพถ่ายเป็น 1280X720 พิกเซล	79
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพ	81
4.3.1 การประมวลผลภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วย OPENCV	81
4.3.2 การแปลงรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จาก RGB เป็นภาพระดับเทา	82
4.3.3 การแปลงรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ	83
4.3.4 การใช้คอนทัวร์ในการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์	84
4.3.5 ตรวจสอบตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการตรวจจับมุมสี่เหลี่ยม	85
4.3.6 การตัดป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพ	86
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ MG996R	87
4.5 ผลการทดสอบการทำงานของจอ LCD SPI โมดูล TFT ILI9341	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
4.6 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของเซอร์โวมอเตอร์กับจอ LCD	89
4.7 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยการถ่ายภาพจากกล้อง	92
4.8 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยการถ่ายวิดีโอจากกล้อง	94
4.9 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต	96
4.10 ผลการทดสอบการทำงานของฐานข้อมูล	97
4.10.1 ผลการทดสอบการลงทะเบียน	98
4.10.2 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับ ได้	98
4.10.3 การส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูล	99
บทที่ 5	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	104
บรรณานุกรม	105
ภาคผนวก ก คำสั่งการตรวจจับ อ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ และบันทึกข้อมูลลงใน ฐานข้อมูล	108
ภาคผนวก ข Arduino ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	124
ภาคผนวก ค หน้าเว็บไซต์แสดงผลข้อมูลการลงทะเบียนของสมาชิกและข้อมูลจากการ ตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยภาษา HTML , PHP และSQL	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ป้ายทะเบียนสีแดง	5
2.2	ป้ายทะเบียน หรือ ทะเบียนประมุล	5
2.3	ป้ายทะเบียนสีขาว - ดำ	6
2.4	ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวสีน้ำเงิน	6
2.5	ป้ายทะเบียนรถกราฟิก สีฟ้า - ตัวหนังสือสีน้ำเงิน	7
2.6	ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม	7
2.7	ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม	8
2.8	ป้ายทะเบียนรถสีเหลือง - ตัวหนังสือสีดำ	8
2.9	ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีขาวหรือสีดำ	8
2.10	ป้ายทะเบียนรถสีส้ม - ตัวหนังสือใช้สีดำ	9
2.11	ป้ายทะเบียนรถพื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว (ไม่สะท้อนแสง) ตัวอักษรเป็นสีดำ	9
2.12	ป้ายทะเบียนรถสีฟ้า (ไม่สะท้อนแสง) ตัวหนังสือสีขาว	10
2.13	กรอบป้ายทะเบียนแบบสแตนเลสโครเมียม	11
2.14	กรอบป้ายทะเบียนแบบพลาสติก	11
2.15	ข้อมูลภาพแบบพิกเซล	14
2.16	ตัวอย่างการแสดงค่าพิกเซลเมตริกซ์	15
2.17	ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	15
2.18	แต่ละ Pixel ที่ถูกกำหนดให้มีค่า 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว)	17
2.19	ระดับแสงของ grayscale 256 ระดับ	17
2.20	ภาพสี (color image)	18
2.21	การแปลงรูปภาพสีเป็นรูปภาพระดับเทา	19
2.22	OpenCV (Open-source Computer Vision)	20
2.23	ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL	22
2.24	Raspberry Pi	22
2.25	Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 Raspberry Pi Camera	25
2.27 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	26
2.28 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์	27
2.29 เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R	29
2.30 สัญญาณ PWM ที่ส่งผลต่อองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์	30
2.31 TFT LCD โมดูลจอแสดงผล ILI9341	32
2.32 บอร์ด Arduino UNO R3	36
2.33 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ	37
2.34 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3	38
2.35 Filament ชนิด Polylactic Acid (PLA)	40
2.36 VS Code (Visual Studio Code)	41
2.37 โปรแกรม VNC (Virtual Network Computing)	41
2.38 หน้าต่างโปรแกรม Sharpr3D	42
2.39 หน้าต่างโปรแกรม Ultimaker Cura	43
2.40 โครงสร้างไฟล์ HTML	46
3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของโครงการ	51
3.2 แผนผังการออกแบบการทำงานของระบบ	52
3.3 โครงสร้าง 3 มิติ ของกล่องใส่อุปกรณ์	54
3.4 ฝาสำหรับกล่องใส่อุปกรณ์	55
3.5 ส่วนยึดกล่อง	55
3.6 โครงสร้างของกล่องหลักสำหรับใส่ จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์	56
3.7 ฝาของกล่องหลักสำหรับใส่ จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์	56
3.8 ประกอบชิ้นงานและอุปกรณ์เข้าด้วยกัน	57
3.9 การเชื่อมต่อวงจรโดยรวมทั้งหมด	61
3.10 หน้าเข้าสู่ระบบของ Admin	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 หน้าการจัดการฐานข้อมูล	62
3.12 บอร์ด RASPBERRY PI 4	66
3.13 กิ่งสำหรับ Raspberry Pi	66
3.14 ไฟ LED	67
3.15 ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม	67
3.16 TFT LCD ILI9341	68
3.17 Arduino Uno R3	68
3.18 Servo Motor MG996R	69
3.19 สายไฟ	69
3.20 จอภาพ	70
3.21 คีย์บอร์ดและเมาส์	70
3.22 Micro SD Card	71
3.23 USB Type-C	71
3.24 สาย Micro HDMI	72
3.25 เส้นพลาสติก (Filament)	72
3.26 ขาตั้งกล้อง	73
4.1 การเชื่อมต่อ Raspberry Pi Camera กับ Raspberry Pi	75
4.2 ตัวอย่างการใช้งาน Raspberry Pi Camera	76
4.3 ขนาดรูปภาพที่เป็น 2592x1944 พิกเซล	77
4.4 ขนาดรูปภาพที่เป็น 64x64 พิกเซล	78
4.5 ปรับขนาดภาพถ่ายเป็น 1280x720 พิกเซล	80
4.6 ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์	82
4.7 ภาพระดับเทา	83
4.8 ภาพขาวดำ	84
4.9 การคอนทัวร์	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 การหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์	86
4.11 การตัดส่วนของป้ายทะเบียนรถยนต์	87
4.12 เซอร์ไวโมเตอร์ เริ่มที่ 0 องศา	87
4.13 เซอร์ไวโมเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา	88
4.14 เซอร์ไวโมเตอร์หมุนไปที่ 180 องศา	88
4.15 ข้อความที่แสดงบนจอ	89
4.16 ตัวควบคุมเซอร์ไวโมเตอร์	89
4.17 ข้อความที่แสดงบนจอ LCD	90
4.18 เซอร์ไวโมเตอร์หมุนไปที่มุม 90 องศา (ไม้กั้นเปิด)	90
4.19 ข้อความที่แสดงบนจอ LCD	91
4.20 เซอร์ไวโมเตอร์หมุนไปที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด)	91
4.21 เซอร์ไวโมเตอร์ยังคงอยู่ที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด)	91
4.22 ฐานข้อมูลในระบบ	97
4.23 ฐานข้อมูลสำหรับลงทะเบียนสมาชิก	98
4.24 ฐานข้อมูลในการบันทึกข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับได้	99
4.25 การส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูล	99
4.26 การส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ Excel	101
4.27 การส่งออกข้อมูลในรูปแบบ กราฟแท่ง	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดคุณสมบัติของ Raspberry Pi 4	24
2.2 รายละเอียดคุณสมบัติของ Raspberry Pi Camera	25
2.3 คุณสมบัติทางเทคนิค เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R	29
2.4 คุณสมบัติทางเทคนิค TFT LCD โมดูลจอแสดงผล ILI9341	32
2.5 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3	33
2.6 คุณสมบัติทางเทคนิค Arduino Uno R3	34
2.7 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3	35
2.8 คุณสมบัติทางเทคนิค เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3	39
2.9 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของ ผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของเพศชาย	48
2.10 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของ ผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของเพศหญิง	49
3.1 การเชื่อมต่อ Raspberry Pi Camera Module กับ Raspberry Pi 4	58
3.2 การเชื่อมต่อ LED สีเขียว และสีแดง กับ Raspberry Pi 4	58
3.3 การเชื่อมต่อ TFT LCD ILI9341 กับ Raspberry Pi 4	59
3.4 การเชื่อมต่อ Arduino Uno R3 กับ เซอร์โวมอเตอร์	60
3.5 ข้อมูลการลงทะเบียน	63
3.6 บันทึกการเข้า-ออก	63
3.7 ข้อมูลผู้ใช้	64
3.8 การตั้งค่าระบบ	65
4.1 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวบนป้ายเลขจากทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายภาพจากกล้องทั้งหมด 10 คัน	93
4.2 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายวิดีโอจากกล้องทั้งหมด 10 คัน	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.3	ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดย รูปภาพจากอินเทอร์เน็ต	96
4.4	รายละเอียดประเภทของไฟล์ปลายทาง	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการจอดรถตามสถานที่ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นลานจอดรถให้เข้า โครงการหอพัก ชุมชนที่พักอาศัยที่ต้องการความปลอดภัย หรือแม้จะเป็นคอนโดมิเนียม โดยปกติแล้วจะมีเจ้าหน้าที่ ที่คอยเปิด-ปิด ไม้กั้น และคอยจดทะเบียนรถยนต์เข้า-ออก จากที่จอดรถยนต์ซึ่งการทำงานจาก พนักงานอาจจะมีโอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ อาจเนื่องมาจากการขาดความรอบคอบ หรือไม่ว่าจะเป็นการทำงานเดิม ๆ ซ้ำเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลเสียแก่ผู้อยู่อาศัยได้ ดังนั้นจึงทำให้เกิดความต้องการทางด้านเทคโนโลยีที่ทำให้มีความปลอดภัยมากขึ้น และความรวดเร็ว ประกอบกับการดำเนินชีวิตอย่างเร่งรีบ และแข่งกับเวลา ต้องการความสะดวกรวดเร็วในการทำงานและการดำเนินชีวิตของผู้คนในปัจจุบันจะต้องเกี่ยวพันกับการเดินทางอยู่เสมอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทนี้จะสามารถเพิ่มความ สะดวกสบาย รักษาความปลอดภัยอย่างมีประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการเดินทางให้ผู้คน โดยใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับมัลติมีเดีย โปรแกรมมากมายที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวช่วยในการประมวลผลข้อมูล ภาพถ่าย และภาพถ่ายวิดีโอ

ทางผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นโอกาสในการทำโครงการ ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน โดยใช้ Raspberry Pi เป็นหน่วยประมวลผลหลักในการควบคุมการทำงานของระบบ และได้มีการเพิ่มเซอร์ไวโมเตอร์ เพื่อจำลองการทำงานของไม้กั้นแบบอัตโนมัติ และเพิ่มความสะดวกในการควบคุมการเข้า-ออก นอกจากนี้ยังใช้ TFT LCD โมดูลจอแสดงผล สำหรับแสดงสถานะของรถยนต์ว่าทะเบียนรถคันดังกล่าวได้ลงทะเบียนไว้ในระบบหรือไม่ พร้อมทั้งมี ไฟ LED สำหรับแจ้งสถานะเพิ่มเติม โดยแสดง ไฟสีเขียวหมายถึงอนุญาตให้รถเข้า และไฟสีแดง หมายถึงไม่อนุญาตให้รถเข้า โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับฐานข้อมูลที่มีการลงทะเบียนไว้ เมื่อระบบตรวจพบว่ารถมีการลงทะเบียน ระบบจะทำการสั่งให้เซอร์ไวโมเตอร์เปิดไม้กั้นพร้อมแสดงสถานะผ่านหน้าจอและไฟ LED แจ้งสถานะอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ระบบยังสามารถบันทึกเวลาเข้า-ออกของรถ และช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาการให้บริการเพิ่มเติมในอนาคต อีกทั้งยังช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ ทำให้ระบบมีความรวดเร็ว แม่นยำ และเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์
- 2) เพื่อศึกษาการสร้างต้นแบบระบบอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์
- 3) เพื่อศึกษาการประมวลผลภาพและการรู้จำอักขระด้วยแสง
- 4) เพื่อแสดงข้อมูลของเจ้าของรถยนต์หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องตามป้ายทะเบียนรถยนต์
- 5) พัฒนาและประยุกต์องค์ความรู้เพื่อใช้พัฒนาระบบการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

- 1) ระบบการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์
 - 1.1 สามารถตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์พร้อมทั้งแสดงผลแบบทันที (Real Time)
 - 1.2 สามารถระบุข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ที่ลงทะเบียนไว้ได้อย่างถูกต้อง
- 2) สำหรับผู้ดูแลระบบ
 - 2.1 สามารถทำงานร่วมกับระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
 - 2.2 สามารถเพิ่ม แก้ไข ข้อมูลการลงทะเบียนของรถยนต์ทั่วไปและรถยนต์ที่เป็นสมาชิกได้
 - 2.3 ข้อมูลทั้งหมดมีความน่าเชื่อถือ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หรือพัฒนาการให้บริการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง “ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน” ได้ทำการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และการลงทะเบียน ในบทนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ของอุปกรณ์และโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง โดยเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ใช้ในการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ และ MySQL ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้รวมทั้งข้อมูลของป้ายทะเบียนรถยนต์ในประเทศไทย ซึ่งมีทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ป้ายทะเบียนรถยนต์

2.1.1 ป้ายทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทย

ป้ายทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทย ออกโดยกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม ซึ่งจะต้องแสดงบนรถยนต์ทุกคัน (ยกเว้นของราชวงศ์ ตำรวจ และทหาร) ตามที่พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522 และพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 กำหนดลักษณะของป้ายทะเบียนมีลักษณะ สี และขนาดที่แตกต่างกันไปตามประเภทของรถ แต่โดยทั่วไปจะมีหมายเลขทะเบียน (ปกติเป็นตัวอักษรสองตัวหรือตัวเลขนำหน้าและตัวเลขสี่หลัก) และจังหวัดที่จดทะเบียนรถ ข้อกำหนดต่าง ๆ นั้นถูกระบุไว้ในกฎกระทรวงคมนาคม ป้ายทะเบียนรูปแบบปัจจุบันเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 สำหรับรถยนต์ส่วนใหญ่ และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในปี พ.ศ. 2540

2.1.2 ลักษณะของป้ายทะเบียนรถยนต์

ป้ายทะเบียนรถยนต์ทุกประเภทมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่มีขนาดและสีแตกต่างกันไปตามประเภทของรถ ป้ายส่วนใหญ่จะแสดงหมายเลขทะเบียนรถซึ่งมักประกอบด้วยตัวอักษรไทยและหมายเลขอารบิก ส่วนจังหวัดที่จดทะเบียนรถจะแสดงอยู่ด้านล่าง พื้นป้ายมีลักษณะสะท้อนแสง ตัวอักษรและตัวเลขถูกปั๊มขึ้นมาจากผิวหน้าของป้ายทะเบียน และป้ายทั้งหมดมีการปั๊มขึ้นด้วยตราประทับที่มีตัวอักษรย่อของกรมการขนส่งทางบก คือ "ขส" ป้ายทะเบียนรูปแบบปัจจุบันอยู่ภายใต้การควบคุมของประกาศกรมการขนส่งทางบก ลงวันที่ พ.ศ. 2554 สำหรับรถโดยสารและรถบรรทุก และตามกฎกระทรวงออกเมื่อ พ.ศ. 2554 สำหรับรถยนต์ประเภทอื่น ยกเว้นอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ที่เป็นแห่งเดียวซึ่งสามารถจดทะเบียนป้ายเป็นชื่ออำเภอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ป้ายทะเบียนรถส่วนบุคคล

ป้ายทะเบียนรถยนต์ รถตู้ รถกระบะ รถสามล้อ รถพ่วง รถบดถนน รถแทรกเตอร์ และรถใช้งานเกษตรกรรม ล้วนใช้รูปแบบเดียวกัน คือมีขนาด 15 × 34 เซนติเมตร (5.9 × 13.4 นิ้ว) พื้นป้ายมีลักษณะสะท้อนแสง ตัวอักษรและตัวเลขถูกปั๊มขึ้นออกจากผิวหน้าของป้ายทะเบียน

หมายเลขทะเบียนประกอบด้วยตัวอักษรไทยหมวดละ 2 ตัว ตามด้วยหมายเลขอารบิก สูงสุด 4 หลัก ตั้งแต่ 1 ถึง 9999 โดยไม่มีเลขศูนย์นำหน้า ตัวอย่างเช่น "กข 1" หรือ "กข 1234" ในกรณีที่หมายเลขทะเบียนรูปแบบนี้ถูกออกใช้จนหมด อาจมีการเพิ่มตัวเลขด้านหน้าตัวอักษรได้ เช่น ในกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 เป็นต้นมา ป้ายทะเบียนจะใช้รูปแบบ "1กข 1234" ส่งผลให้ขนาดตัวอักษรของป้ายทะเบียนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 มีขนาดเล็กลง เพื่อคงขนาดของป้ายทะเบียนไว้

จังหวัดที่จดทะเบียนรถจะแสดงเป็นภาษาไทยใต้หมายเลขทะเบียน ยกเว้น จังหวัด ยะลา ที่สามารถนำรถไปจดทะเบียนที่อำเภอเบตงได้ เนื่องจากมีระยะทางที่ห่างไกลจากอำเภอเมือง ยะลา ซึ่งเป็นที่ตั้งของสำนักงานขนส่ง

2.1.4 สีของตัวอักษรและพื้นหลังขึ้นของป้ายทะเบียนรถยนต์

ในยุคปัจจุบันประเทศไทย จะเห็นได้ว่าในตามท้องถนนมีรถอยู่หลายประเภท รวมไปถึงถึงลักษณะของป้ายทะเบียนรถยนต์ที่มีลักษณะสีของตัวอักษรและพื้นหลังที่ต่างกัน ซึ่งมีทั้งหมดดังนี้

1. ป้ายทะเบียนสีแดง

มีลักษณะพื้นแดงและมีตัวหนังสือสีดำ เป็นป้ายที่เห็นและคุ้นเคยอยู่เสมอเมื่อเวลาที่มีการซื้อรถยนต์มาใหม่ ซึ่งเป็นป้ายที่ออกให้ชั่วคราว ป้ายแดง จะถูกนำมาใช้กับรถยนต์ที่ยังไม่ได้มีการจดทะเบียนตามกฎหมายของกรมขนส่งทางบก ซึ่งป้ายดังกล่าวออกมาเพื่อกำกับเบื้องต้นให้รถยนต์นั้นสามารถใช้งานบนท้องถนนได้ชั่วคราวเท่านั้น และเมื่อวันที่ ๘ สิงหาคม 2560 ที่ กรมการขนส่งทางบกได้เริ่มมาตรการเข้มข้นขึ้น โดยประกาศเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2560 - 31 ธันวาคม 2560 ให้ใช้ป้ายแดง ได้ไม่เกิน 60 วัน (นับจากวันรับรถ) และเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2561 เป็นต้นไป ต้องจดทะเบียนภายใน 31 วัน หากฝ่าฝืนจะมีความผิดตามกฎหมายอาญาฐาน ใช้เอกสารปลอม ซึ่งจะมีโทษจำคุก 6 เดือน - 5 ปี และปรับสูงสุด 10,000 บาท แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ป้ายทะเบียนสีแดง

2. ป้ายทะเบียนกราฟฟิก หรือ ทะเบียนประมูล

ป้ายทะเบียนกราฟฟิก หรือ ทะเบียนประมูล เป็นทะเบียนสวย ที่มีลักษณะพื้นหลังเป็นลวดลายกราฟฟิกและมีตัวหนังสือสีดำ ที่กรมขนส่งทางบกกำหนดให้เป็นทะเบียนรถยนต์ประมูล ซึ่งในแต่ละหมวดอักษร จะมีการประมูลป้ายทะเบียนกราฟฟิก จะมีพื้นหลังเป็นรูปภาพลวดลายที่แตกต่างกัน ซึ่งกรมขนส่งได้กำหนดลวดลายของป้าย ให้มีเรื่องราวที่เป็นเอกลักษณ์สำคัญของแต่ละจังหวัดเข้าไปมีส่วนในพื้นที่ของป้ายทะเบียนรถยนต์ เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างรวมไปถึงการแสดงให้เห็นถึงเรื่องราวเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ที่โดดเด่น ๆ ของแต่ละจังหวัดที่มีจุดเด่นที่ไม่เหมือนกัน ในส่วนของป้ายประมูล ลวดลายของกรุงเทพมหานครนั้น จะเห็นได้ว่าการแสดงลวดลายสัญลักษณ์ที่มีรูปวัดพระแก้ว, อนุสาวรีย์ประชาธิปไตยสะพานพระราม 9 เป็นพื้นหลัง ซึ่งทะเบียนกราฟฟิกของกรุงเทพมหานครจะมี 2 สี แต่ละสีมีลวดลายเดียวกัน ความแตกต่างของ 2 สีคือ ป้ายทะเบียนที่ขึ้นต้นด้วยหมวดอักษร ข ะ ซึ่งจะมีสีเหลืองทอง ส่วนหมวดอื่น ๆ จะมีลักษณะสีชมพู - ม่วง แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ป้ายทะเบียน หรือ ทะเบียนประมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ป้ายทะเบียนสีขาว - ดำ

ป้ายทะเบียนสีขาว - ดำ มีลักษณะพื้นสีขาวและมีตัวหนังสือสีดำใช้สำหรับรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคล ที่ไม่เกิน 7 ที่นั่งเช่นรถเก๋ง, กระบะ 4 ประตูและรถยนต์ทั่ว ๆ ไปที่ไม่ใช่รถบรรทุก แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ป้ายทะเบียนสีขาว - ดำ

4. ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวสีน้ำเงิน

ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวหนังสือสีน้ำเงิน มีลักษณะพื้นหลังเป็นสีขาวสะท้อนแสง และตัวหนังสือ สีน้ำเงิน เป็นป้ายทะเบียนรถที่ใช้สำหรับรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลที่มีที่นั่งมากกว่า 7 ที่นั่ง เช่น รถตู้ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวสีน้ำเงิน

5. ป้ายทะเบียนรถ สีฟ้า - ตัวหนังสือสีน้ำเงิน

ป้ายทะเบียนรถประมุล หรือทะเบียน สีฟ้า - ตัวหนังสือสีน้ำเงิน มีลักษณะพื้นหลังที่มี ลวดลาย มีสีฟ้าอ่อนและตัวหนังสือสีน้ำเงิน เป็นป้ายทะเบียนรถ ที่ใช้สำหรับรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลที่มีที่นั่งมากกว่า 7 ที่นั่ง เช่น รถตู้ โดยกรมการขนส่งทางบกได้นำหมายเลขทะเบียนรถตู้ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด ที่เป็นที่ต้องการและนิยมของหลาย ๆ คนมาทำการประมูล แสดง
 ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ป้ายทะเบียนรถกราฟฟิก สีฟ้า - ตัวหนังสือสีน้ำเงิน

6. ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม

ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม มีลักษณะพื้นหลังสีขาวสะท้อนแสงและ
 ตัวหนังสือสีเขียวเข้มใช้สำหรับรถบรรทุกส่วนบุคคล คือ รถกระบะแคบ (ไม่รวมกระบะ 4 ประตู
 เนื่องจากกรมขนส่งทางบกให้ระบุว่า กระบะ 4 ประตู เป็นรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคล ซึ่งจะไม่สามารถ
 นำมาบรรทุกของได้ หากละเมิด ข้อบังคับถือว่าผิดกฎหมายทันที) แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ป้ายทะเบียนรถสีขาว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม

7. ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม

ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม มีลักษณะพื้นหลังที่มีลวดลายมีสีเขียว
 อ่อนและ ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม ใช้สำหรับรถบรรทุกส่วนบุคคล คือ รถกระบะแคบ (ไม่รวมกระบะ 4
 ประตู เนื่องจากกรมขนส่งทางบกให้ระบุว่า กระบะ 4 ประตู เป็นรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคล ซึ่งจะไม่สามารถ
 นำมาบรรทุกของได้หากละเมิดข้อบังคับถือว่าผิดกฎหมายทันที) แสดงดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีเขียวเข้ม

8. ป้ายทะเบียนรถสีเหลือง - ตัวหนังสือสีดำ

ป้ายทะเบียนรถสีเหลือง - ตัวหนังสือสีดำ มีลักษณะพื้นหลังสีเหลืองสะท้อนแสงและตัวหนังสือสีดำใช้สำหรับรถบรรทุกส่วนบุคคล, รถยนต์รับจ้างที่สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ไม่เกิน 7 คน หรือรถจักรยานยนต์รับจ้างทั่วไปจะใช้ป้ายสีลักษณะนี้ด้วย แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ป้ายทะเบียนรถสีเหลือง - ตัวหนังสือสีดำ

9. ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีขาวหรือสีดำ

ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีขาวหรือสีดำ มีลักษณะพื้นหลังสีเขียวสะท้อนแสงและตัวหนังสือ สีขาวหรือดำ ใช้สำหรับรถที่ใช้ในการบริการทางธุรกิจ, รถบริการทัศนาจร หรือรถบริการให้เช่า แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ป้ายทะเบียนรถสีเขียว - ตัวหนังสือสีขาวหรือสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ป้ายทะเบียนรถสีส้ม - ตัวหนังสือใช้สีดำ

ป้ายทะเบียนรถสีส้ม - ตัวหนังสือใช้สีดำ มีลักษณะพื้นหลังสีส้มสะท้อนแสงและตัวหนังสือสีขาวหรือดำใช้สำหรับรถพ่วง, รถแทรกเตอร์ และรถที่ใช้ในทางการเกษตรกรรม แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ป้ายทะเบียนรถสีส้ม - ตัวหนังสือใช้สีดำ

11. ป้ายทะเบียนรถพื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว (ไม่สะท้อนแสง) ตัวอักษรเป็นสีดำ

ป้ายทะเบียนรถพื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว (ไม่สะท้อนแสง) ตัวอักษรเป็นสีดำ หมายถึงป้ายทะเบียนรถยนต์ของคณะผู้แทนทางการทูต จะขึ้นต้นด้วย ท และตามด้วยรหัสประเทศซีดกลาง และตามเลขทะเบียนรถ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ป้ายทะเบียนรถพื้นแผ่นป้ายเป็นสีขาว (ไม่สะท้อนแสง) ตัวอักษรเป็นสีดำ

12. ป้ายทะเบียนรถสีฟ้า (ไม่สะท้อนแสง) ตัวหนังสือสีขาว

ป้ายทะเบียนรถสีฟ้า (ไม่สะท้อนแสง) ตัวหนังสือสีขาว มีลักษณะพื้นหลังสีฟ้าไม่สะท้อนแสงและตัวหนังสือสีขาว โดยมีอักษรที่มีความหมายดังนี้ อักษร พ ใช้สำหรับรถยนต์ของบุคคลในหน่วยงานพิเศษของสถานทูต อักษร ก ใช้สำหรับรถยนต์ของคณะผู้แทนทางกงสุล อักษร อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สำหรับรถยนต์ขององค์การระหว่างประเทศหรือทบวงการชำนัญพิเศษแห่งสหประชาชาติ หลังจากอักษรข้างต้นแล้วตามด้วยรหัสประเทศ ชีตกลางและตามเลขทะเบียนรถ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ป้ายทะเบียนรถสีฟ้า (ไม่สะท้อนแสง) ตัวหนังสือสีขาว

2.2 กรอบป้ายทะเบียนรถยนต์

รถยนต์ทุกคันไม่ว่าจะเป็นประเภทไหน ต้องมีการขึ้นทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก เพื่อให้ถูกต้องตามกฎหมายพร้อมมีการติดตั้งทะเบียน ซึ่งป้ายทะเบียนถือว่าเป็นทรัพย์สินของทางราชการ

ส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะพบว่ามีการใช้กรอบป้ายทะเบียนทั้งสิ้น น้อยมากที่จะเห็นว่าการเจาะรูพร้อมกับการยึดน๊อตการกระทำเช่นนี้ถือว่าไม่ผิด แต่จะต้องเห็นตัวหนังสือครบทุกตัวทั้งตัวอักษรและตัวเลข แผ่นป้ายทะเบียนห้ามกระทำการใด ๆ ลงไป เช่น สติกเกอร์ ทาสีหรือเขียนด้วยปากกาและอื่น ๆ รวมถึงกรอบป้ายทะเบียนด้วย แต่สำหรับป้ายทะเบียนพิเศษที่เป็นลวดลายที่ออกโดยกรมการขนส่งทางบก ถือว่าไม่ผิดกฎหมาย

2.2.1 กรอบป้ายทะเบียนแบบสแตนเลสโครเมียม

กรอบป้ายทะเบียนประเภทนี้มีความเงางามเห็นแล้วเด่นชัด ทำให้เกิดความสวยงาม การยึดติดเข้ากับตัวรถจะต้องยึดแผ่นตัวรองของกรอบป้ายทะเบียนก่อนแล้วใส่ป้ายทะเบียนเหมือนกรอบป้ายทะเบียนทั่วไป จากนั้นประกบด้วยกรอบป้ายทะเบียนด้านนอกอีกครั้ง บางรุ่นกรอบป้ายทะเบียนแบบสแตนเลสโครเมียมเมื่อยึดติดแล้วจะไม่แน่นพอเวลารถวิ่งอาจเกิดเสียงดัง การยึดกรอบป้ายด้านนอกด้วยน๊อตตัวเล็ก ๆ จะมีโอกาสหายได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 กรอบป้ายทะเบียนแบบสแตนเลสโครเมียม

ในเรื่องของความร้อนหากมีการจอดรถตากแดดจะมีความร้อนที่มากหากร่างกายไปโดนอาจเกิดปัญหาได้ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ทำหากมีคุณภาพที่ไม่ดีจะเกิดสนิมได้ง่ายลักษณะเช่นนี้อาจส่งผลถึงสีรถได้ และบริเวณกรอบป้ายทะเบียนตามขอบจะมีความคมมากอาจต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน

2.2.2 กรอบป้ายทะเบียนแบบพลาสติก

กรอบป้ายทะเบียนประเภทนี้ มีน้ำหนักที่เบา ไม่สะท้อนแสง ไม่เป็นสนิม บริเวณขอบป้ายแทบจะไม่มี ความคม การถอดใส่ป้ายทะเบียนก็ง่ายและเป็นที่ยอมรับอย่างมากและมีความปลอดภัยมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กรอบป้ายทะเบียนแบบพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กรอบป้ายทะเบียนรถยนต์สีเงิน

กรอบสีเงินมีคุณสมบัติสะท้อนแสงสูง เมื่อกำลังจับภาพป้ายทะเบียน อาจเกิดการสะท้อนแสงจากกรอบสีเงินโดยเฉพาะเมื่อมีแสงแดดจ้า ทำให้ส่วนที่เป็นกรอบมีความสว่างเกินกว่าขอบหรือข้อความภายในป้าย แสงสะท้อนนี้อาจทำให้ OCR ตรวจจับตัวอักษรและตัวเลขได้ยาก เนื่องจากการสะท้อนอาจบดบังบางส่วนของข้อความในป้ายทะเบียนได้

2.2.4 ผลการทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์กรอบสีดำ

กรอบสีดำไม่สะท้อนแสงและมีความคมชัดสูงเมื่ออยู่ในภาพถ่าย ทำให้ OCR สามารถแยกขอบของกรอบและขอบตัวอักษรได้ง่ายขึ้น สีดำของกรอบช่วยลดความซับซ้อนจากแสงสะท้อน ทำให้ตัวอักษรในป้ายทะเบียนมีความคมชัดและมีความเปรียบต่างสูงกับพื้นหลัง ทำให้ OCR อ่านตัวอักษรและตัวเลขได้แม่นยำกว่าเมื่อเทียบกับกรอบสีเงิน

2.2.5 ผลการทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ไม่มีกรอบ

ในกรณีที่ป้ายทะเบียนไม่มีกรอบ ภาพที่ได้จะมีเส้นขอบของป้ายทะเบียนชัดเจนกับพื้นหลังโดยตรง การไม่มีกรอบทำให้ภาพมีความซับซ้อนน้อยลง เน้นการตรวจจับที่ข้อความในป้ายทะเบียนอย่างตรงไปตรงมา แต่การไม่มีกรอบก็มีข้อเสียเช่นกัน ซึ่งขอบของป้ายทะเบียนอาจไม่ชัดเจนพอหากพื้นหลังเป็นสีหรือมีลักษณะใกล้เคียงกับสีของป้ายทะเบียน ซึ่งอาจทำให้ OCR สับสนระหว่างข้อความกับพื้นที่พื้นหลัง

2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

2.3.1 ทฤษฎีการประมวลผลภาพ

เป็นการประยุกต์ใช้งานการประมวลผลสัญญาณบนสัญญาณ 2 มิติ เช่น ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวิดีโอ (วิดีโอ) และยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ภาพด้วยแนวความคิดและเทคนิค ในการประมวลผลสัญญาณ สำหรับสัญญาณ 1 มิตินั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยากแต่นอกเหนือจากเทคนิคจากการประมวลผลสัญญาณแล้ว การประมวลผลภาพก็มีเทคนิค และแนวความคิดที่เฉพาะ เช่น (Connectivity และ Rotation Invariance) ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่างจากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติจะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ

การประมวลผลภาพนั้น จะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก (Analog) โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง (Optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญ หรือเลิกใช้ไป ยังมีใช้เป็นส่วนสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เช่น ฮอโลกราฟี แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันราคาถูกลงและเร็วขึ้นมาก การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลทำได้ซับซ้อนขึ้น แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติการประมวลผลภาพดิจิทัล หมายถึง การเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดมากระทำกับภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ความคมชัดหรือการประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลระดับสูง เช่น การจดจำรูปร่าง ลักษณะให้ได้อย่างแม่นยำ การประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ

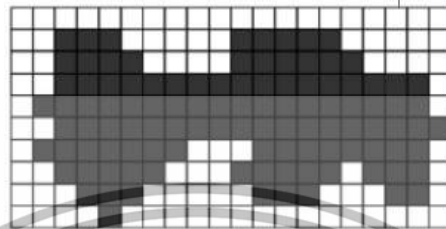
1. การประมวลผลภาพระดับต่ำ (Low Level Image Processing) เป็นการประมวลผลขั้นแรกสุดก่อนที่จะนำไปสู่การประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป นั่นคือหลังจากที่ได้ภาพมา ซึ่งภาพที่ได้จะมีองค์ประกอบต่าง ๆ มากมาย รวมถึงสิ่งที่ไม่ต้องการด้วย ในที่นี้จะเรียกว่า "สัญญาณรบกวน" ซึ่งทำให้ภาพที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ยังไม่สามารถนำไปใช้ในการประมวลผลได้ ดังนั้นการประมวลผลภาพระดับต่ำ จึงต้องมีการกำจัดสัญญาณรบกวนออก การกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) การหาขอบภาพ (Edge Detection) การแปลงไปนารีอิมเมจการแบ่งแยกรูปร่าง วัตถุ (Image Segmentation) เป็นต้น เพื่อหาค่าตัวแปรต่าง ๆ มาอธิบายข้อมูลภาพ และมีวัตถุประสงค์ที่จะนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการประมวลผลภาพระดับสูงต่อไป

2. การประมวลผลภาพระดับสูง (High Level Image Processing) เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพนั้นได้ เช่น การจดจำใบหน้าคน หรืออาจจะเป็นการจดจำตัวอักษร เป็นต้น ความแตกต่างของการประมวลผลภาพระดับต่ำและระดับสูงคือ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผล โดยการประมวลผลระดับต่ำจะใช้ค่าความสว่างหรือความเข้มแสงโดยตรง

ส่วนการประมวลผลภาพระดับสูงข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมวลผลจะถูกแสดงในรูปแบบของสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์เหล่านี้จะแสดงถึงสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพและการใช้ตัวแปรที่ได้จากการประมวลผลภาพระดับต่ำมาอธิบายถึงสัญลักษณ์เหล่านี้ การประมวลผลภาพระดับสูงนั้น ส่วนใหญ่มักจะใช้ทฤษฎีต่าง ๆ เข้ามาใช้เป็นตัวช่วยในการทำงาน หรือเป็นหัวใจของโปรแกรม เช่น ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) โครงข่ายประสาท (Neural Network) อย่างที่กล่าวไปแล้วว่าการประมวลผลภาพระดับสูง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้มาจากการประมวลผลระดับต่ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการประมวลผลภาพระดับต่ำมีความสำคัญมากสำหรับการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพได้ในส่วนการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัลจากที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น ข้อมูลภาพแบบดิจิทัลเป็นภาพที่ถูกตัดแปลงมาจากภาพแบบต่อเนื่อง หรือภาพแอนะล็อก ให้อยู่ในรูปตัวเลขหรือภาพ ดิจิทัลด้วยวิธีการดิจิทัลไทเซชัน (Digitization) โดยภาพแอนะล็อกจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่า จุดภาพ (Pixels) โดยแต่ละพิกเซลจะใช้ (x,y) ในการระบุตำแหน่ง การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงข้อมูลภาพ ดิจิทัลสามารถอธิบายได้ด้วยเมตริกซ์ ($M \times N$) และให้จุดต่าง ๆ ที่อยู่ในเมตริกซ์ เป็นจุดที่พิกัด (x,y) ใด ๆ เป็นส่วนประกอบของภาพ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ข้อมูลภาพแบบพิกเซล

2.3.2 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

ภาพที่แสดงเป็นอาร์เรย์ (Array) หลายมิติ หรือเป็นเมตริกซ์ (Matrix) เซิงตัวเลข ภาพดิจิทัลจะแสดงในลักษณะสองมิติ ซึ่งสามารถนิยามได้เป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x,y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของภาพในแนวแกน X และแกน Y ส่วนแอมพลิจูดของฟังก์ชัน f ที่พิกัดใด ๆ ของภาพ (x,y) แทนค่าความเข้มแสง (Intensity) ของภาพที่ตำแหน่งนั้น ๆ ภาพดิจิทัลจะมีค่าของ x,y และ แอมพลิจูดของ f เป็นค่าจำกัด (Finite Value) ทำให้ภาพนี้เป็นภาพดิจิทัล

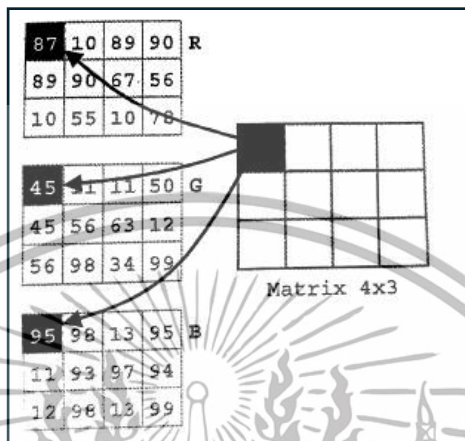
การแสดงภาพดิจิทัลในรูปเมตริกซ์ สามารถทำได้โดยกำหนดให้ภาพมีขนาด $(M \times N)$ ซึ่งหมายถึงมี M แถวและ N คอลัมน์ แต่ละพิกเซล ในตำแหน่ง (x,y) จะมีค่าความเข้มแสงแสดงอยู่ในเมตริกซ์ หากจุดกำเนิดของภาพอยู่ที่ตำแหน่ง (x,y) เท่ากับ $(0,0)$ สมการที่ใช้แทนภาพในรูปเมตริกซ์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.1 ซึ่ง $f(x,y)$ แทนค่าความเข้มแสงของภาพในพิกเซลที่ตำแหน่ง (x,y)

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

โดยค่าที่ $f(x,y)$ จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 เช่น อ่านค่าพิกเซลจากภาพหนึ่งได้ $f(x,y)$ เท่ากับ 10 แสดงว่าจุดพิกเซลนั้นมีความสว่างน้อยมากหรือค่อนข้างจะดำ ถ้าอ่านได้เป็น 255 แสดงว่าจุด พิกเซลนั้นมีความสว่างมากหรือเป็นสีขาว จะช่วยให้เข้าใจการแสดงค่าพิกเซลในเมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

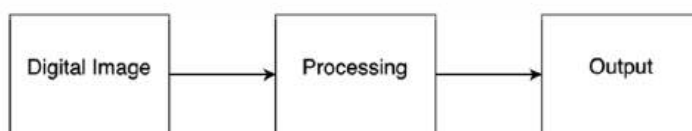
มากขึ้นเริ่มต้นด้วย พิกัด $f(x,y)$ เท่ากับ $f(0,0)$ ค่าของพิกเซลที่ได้ก็จะเป็นการผสมสีระหว่างค่าของแม่สีทั้งสาม ซึ่งได้แก่แดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ซึ่งในที่นี้ก็จะมามีค่าเท่ากับ (87, 45, 95) แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการแสดงค่าพิกเซลเมตริกซ์

2.3.3 ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัล เป็นการคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีเทคนิคและอัลกอริทึมของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้การประมวลผลภาพที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัล คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ การคำนวณและการจัดการสีในระดับ Pixel หรือ Model ของสี มีการเปลี่ยนแปลงของสีได้ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณ เหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัลนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ

1. ภาพเคลื่อนไหว โดยทั่วไปแล้วภาพเคลื่อนไหวคือ ภาพนิ่งที่นำมาแสดงต่อกันแบบต่อเนื่องจะต้องใช้รูปภาพอย่างน้อย 24 รูปต่อหนึ่งวินาที เนื่องจากสายตาของเราเมื่อนำภาพนิ่งมาฉายติดต่อกันมากกว่า 24 รูปต่อหนึ่งวินาทีแล้ว ก็จะมองภาพนั้นว่าเป็นภาพเคลื่อนไหว เพราะสายตาเราแยกไม่ออกเนื่องจากมีความเร็วมากเกินไป แต่หากนำภาพนิ่งมาฉายติดต่อกันน้อยกว่า 24 รูปต่อหนึ่งวินาทีแล้ว เราจะมองเห็นภาพนั้นไม่ต่อเนื่อง

2. ภาพสีหรือภาพนิ่ง ภาพที่นำเข้ามาประมวลผลในคอมพิวเตอร์นั้น ถ้าในระบบ RGB ก็จะใช้ความเข้มแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินความหมายของภาพนิ่งก็คือ มีอยู่เพียงภาพเดียว (ถ้าเป็นภาพเคลื่อนไหวก็จะประกอบไปด้วยภาพนิ่งหลาย ๆ ภาพ) ภาพนิ่งที่นำมาใช้ก็มีอยู่หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น bmp หรือ jpg หรือ png เป็นต้น ส่วนการเลือกใช้นั้นก็แล้วแต่ความเหมาะสม ส่วนใหญ่จะเป็น bmp เพราะไม่ต้องถอดรหัสก่อน เนื่องจากภาพที่เป็น jpg หรือ png มีการบีบอัดภาพให้มีขนาดเล็ก ดังนั้นหากจะนำมาใช้ต้องคลายข้อมูลออกมาก่อนที่จะนำภาพไปประมวลผลต่อไป

2.3.4 ประเภทของภาพ (Types Of Digital Images)

โดยประเภทของภาพมีการจำแนกภาพออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ทฤษฎีภาพขาว-ดำ (Binary Image, 1-bit)

รูปภาพขาว-ดำ คือ รูปภาพที่ประกอบด้วยสีเฉพาะสีขาวและสีดำ ใน Digital Images ภาพจะอยู่ในรูปของแผนตาราง โดยแต่ละช่องจะเป็นส่วนหนึ่งของภาพหรืออักษร เรียกแต่ละจุดหรือช่อง นั้นว่าพิกเซลแต่ละพิกเซลจะถูกกำหนดให้มีระดับของความเข้ม (สีดำและสีขาว) ซึ่งแสดงให้อยู่ในรูปของรหัส Binary (0 และ 1) แต่ละพิกเซลก็จะแทนด้วย Binary Digital (bits) จะถูกเก็บเป็นลำดับในคอมพิวเตอร์ โดยส่วนใหญ่แล้วคอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพขาวดำได้ง่ายกว่า รูปภาพแบบอื่น ๆ เนื่องจากรูปภาพขาวดำมีค่าข้อมูลของสีเพียง 2 ค่าซึ่งแทนด้วย ค่า 0, 1 หรือ 0, 255 โดยที่ 0 แทนสีดำ และ 1 หรือ 255 แทนสีขาว แสดงดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

รูปที่ 2.18 แต่ละพิกเซลที่ถูกกำหนดให้มีค่า 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว)

2. ภาพระดับเทา (Grayscale Image, 8-bit)

Grayscale คือ ภาพขาวดำ ที่แต่ละพิกเซลจะแทนด้วยระดับสีต่าง ๆ โดยปกติภาพทั่วไปที่ประกอบด้วยแสง 3 แสง คือ Red Green Blue (RGB) เพียงพิกเซลเดียว จะนำระดับแสงแต่ละ Channel มาผสมกัน แต่ในกรณี ภาพแบบ Gray Scale นั้น จะมีเฉพาะแสงสีขาวเท่านั้น สมมติถ้า 1 พิกเซลนั้นแทนด้วยค่า 1 Byte (1 Byte คือ 8 บิต) เพราะฉะนั้น 1 Byte จะเก็บระดับแสงได้ 256 ระดับ

ภาพที่มีระดับความเข้มแต่ละพิกเซลสอดคล้องกับความเข้มแสงปกติในระดับสีเทา ซึ่งแต่ละพิกเซลสามารถแสดงเฉดสีจาก 0 (สีดำ) ถึง 255 (สีขาว) [0,255] มีขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ แสดงดังรูปที่ 2.19

รูปที่ 2.19 ระดับแสงของ grayscale 256 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกเซลประกอบไปด้วยระดับของแสง RGB วิธีการที่ง่ายที่สุดในการแปลงภาพสีเป็น Gray Scale นั้นคือการหาค่าเฉลี่ยออกมา ดังสมการที่ 2.2

$$\text{Pixel}(x,y) = \frac{R+G+B}{3} \quad (2.2)$$

Pixel(x,y) = ตำแหน่งของ Pixel ณ ตำแหน่ง x,y

R = ระดับของแสงสีแดง

G = ระดับของแสงสีเขียว

B = ระดับของแสงสีน้ำเงิน

3. ภาพสี (Color Image) หรือ 24-bit RGB color image

ภาพสีที่แต่ละพิกเซลมีส่วนประกอบของเวกเตอร์แทนสีแดง (Red), สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) โดยแต่ละสีสามารถแสดงความเข้มแสงได้ในช่วง [0,255] ทำให้แต่ละพิกเซลสามารถแสดงสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 256 เท่ากับ 16,777,216 แต่ละพิกเซลมีขนาด 24 บิต แสดงดังรูปที่ 2.20



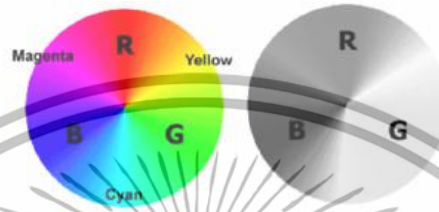
49	55	56	57	52	53	64	76	82	79	78	78	66	80	77	80	87	77
58	60	60	58	55	57	93	93	91	91	86	86	81	93	96	99	86	85
58	58	54	53	55	56	88	82	88	90	88	89	83	83	91	94	92	88
83	78	72	69	68	69	125	119	113	108	111	110	135	128	126	112	107	106
88	91	91	84	83	82	137	136	132	128	126	120	141	129	129	117	115	101
69	76	83	78	76	75	105	108	114	114	118	113	95	99	109	108	112	109
61	69	73	78	76	76	96	103	112	108	111	107	84	93	107	101	105	102
Red						Green						Blue					

รูปที่ 2.20 ภาพสี (color image)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การแปลงรูปภาพสีเป็นรูปภาพระดับเทา

การเปลี่ยนรูปแบบของรูปภาพดิจิทัลจาก ภาพดิจิทัลที่เป็นรูปภาพสี (RGB) แปลงให้อยู่รูปของรูปภาพระดับเทา (Grayscale Image) แสดงดังรูปที่ 2.21 การแปลงภาพจากรูปภาพสีเป็นระดับสีเทา (Gray Scale) และใช้สมการที่ 2.3 ในการแปลง



รูปที่ 2.21 การแปลงรูปภาพสีเป็นรูปภาพระดับเทา

$$Gr(x,y) = 0.2989R(x,y) + 0.5870G(x,y) + 0.1140B(x,y) \quad (2.3)$$

โดย $Gr(x,y)$ แทน ค่าความเข้มของระดับสีเทา ณ ตำแหน่ง (x,y)

$R(x,y)$ แทน ค่าความเข้มของสีแดง ณ ตำแหน่ง (x,y)

$G(x,y)$ แทน ค่าความเข้มของสีเขียว ณ ตำแหน่ง (x,y)

$B(x,y)$ แทน ค่าความเข้มของสีน้ำเงิน ณ ตำแหน่ง (x,y)

2.4 OpenCV (Open-source Computer Vision)

OpenCV เป็นไลบรารีฟังก์ชันการเขียนโปรแกรม (Library of Programming Functions) โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเป้าไปที่การแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์ (Real-Time Computer Vision) เดิมทีแล้วถูกพัฒนาโดย Intel แต่ภายหลังได้รับการสนับสนุนโดย Willow Garage ตามมาด้วย Itseez (ซึ่งต่อมาถูกเข้าซื้อโดย Intel) OpenCV เป็นไลบรารีแบบข้ามแพลตฟอร์ม (Cross-Platform) และใช้งานได้ฟรีภายใต้ลิขสิทธิ์ของ BSD แบบโอเพ่นซอร์ส (Open-Source BSD License) แสดงดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 OpenCV (Open-source Computer Vision)

OpenCV ยังสนับสนุนเฟรมเวิร์กการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning Frameworks) ได้แก่ TensorFlow, Torch/PyTorch และ Caffe

OpenCV ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษา C++ รองรับ Python, Java และ MATLAB/OCTAVE-API สำหรับอินเทอร์เฟซเหล่านี้สามารถพบได้ในเอกสารออนไลน์ ซึ่งมีการรวมไว้หลากหลายภาษา เช่น C#, Perl, Ch, Haskell และ Ruby ได้รับการพัฒนาเพื่อส่งเสริมการนำมาใช้งานโดยผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการรู้จำอักขระด้วยแสง

การรู้จำอักขระด้วยแสง OCR คือ Optical character recognition เป็นกระบวนการทางกลไกหรือทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแปลภาพของข้อความจากการเขียนหรือจากการพิมพ์ ไปเป็นข้อความที่สามารถแก้ไขได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ การจับภาพอาจทำโดยเครื่องสแกนเนอร์ กล้องดิจิทัล

2.5.1 Tesseract OCR

Tesseract OCR เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการรู้จำตัวอักษรหรือที่รู้จักกันคือ Optical Character Recognition (OCR) ซึ่งสามารถแปลงข้อความจากรูปภาพหรือเอกสารที่สแกนมาเป็นข้อความดิจิทัลได้ Tesseract มีความสามารถในการเรียนรู้จดจำได้มากกว่า 100 ภาษา รวมถึงภาษาไทย ไลบรารีนี้ถูกพัฒนาโดย HP Labs ในช่วงปี 1980 และปัจจุบันได้รับการดูแลโดย Google ตั้งแต่นั้นปี 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 MySQL

MySQL คือ ระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ Database Management System (DBMS) แบบข้อมูลเชิงสัมพันธ์ หรือ Relational Database Management System (RDBMS) ซึ่งเป็นระบบฐานข้อมูลที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบตาราง โดยมีการแบ่งข้อมูลออกเป็นแถว (Row) และในแต่ละแถวแบ่งออกเป็นคอลัมน์ (Column) เพื่อเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลในตารางกับข้อมูลในคอลัมน์ที่กำหนด แทนการเก็บข้อมูลที่แยกออกจากกัน โดยไม่มีความเชื่อมโยงกัน ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล (Attribute) ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน (Relation) โดยใช้ RDBMS Tools สำหรับการควบคุมและจัดเก็บฐานข้อมูลที่จำเป็น ทำให้นำไปประยุกต์ใช้งานได้ง่าย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มีความยืดหยุ่นและรวดเร็วได้มากยิ่งขึ้น รวมถึงเชื่อมโยงข้อมูลที่จัดแบ่งกลุ่มข้อมูลแต่ละประเภทได้ตามต้องการ จึงทำให้ MySQL เป็นโปรแกรมระบบจัดฐานข้อมูลที่มีความนิยมสูง

MySQL เป็น Open Source ที่ถูกพัฒนาขึ้นจาก MySQL AB ในประเทศสวีเดน โดยชาวสวีเดน 2 คน คือ David Axmark และ Allan Larsson ร่วมกับชาวฟินแลนด์ Michael Monty Widenius ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 2008 ถูกซื้อกิจการโดย Sun Microsystems และภายหลัง Oracle Corporation ได้เข้าซื้อกิจการในปี ค.ศ. 2010

MySQL มีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่งภาษา Structured Query Language หรือ SQL เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเป็นระบบเปิด (Open System) ที่มีโครงสร้างของภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน และนิยมใช้งานร่วมกับภาษาโปรแกรม PHP รวมถึงภาษาอื่น ๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันกับฐานข้อมูล MySQL ได้หลากหลาย เช่น C, C++, Python, Java เป็นต้น อีกทั้ง MySQL ยังได้รับการออกแบบและปรับให้มีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนา Website และ Web Application ทำให้สามารถรองรับการทำงานได้ทุกแพลตฟอร์ม รวมถึงการอนุญาตให้ผู้ใช้หลายคนสามารถใช้งานพร้อมกันได้ (Multi-user) นอกจากนี้ยังสามารถจัดการและสร้างฐานข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงประมวลผลหลาย ๆ งานได้พร้อมกัน (Multi-threaded) อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ MySQL เป็นตัวเลือกยอดนิยมสำหรับธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ Electronic Commerce (E-Commerce) และเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานสร้างเว็บไซต์ทั่วไป เพราะมีความแม่นยำ ครอบคลุม ช่วยให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือสูง และยังมีโปรแกรมเสริมช่วยจัดฐานข้อมูลที่ใช้งานง่าย เช่น MySQL Admin, phpMyAdmin แสดงดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

2.7 Raspberry Pi

Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมีขนาดใหญ่กว่าบัตรเครดิตเล็กน้อยซึ่งประสิทธิภาพนั้น มีมากกว่าราคาและนับว่าเป็นกระแสที่เปลี่ยนแปลงวงการ Embedded System นอกจากในตัว Raspberry Pi ที่สามารถติดตั้ง OS ลงไปได้แล้วความสามารถในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Sensor ภายนอก อีกทั้งยังทำให้การควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ง่ายขึ้น เกิดความนิยมในการนำไปใช้ในการเรียนการสอนและการทดลองต่าง ๆ

Raspberry Pi นับว่าเป็น Embedded System อีกตัวหนึ่งที่ย่างต่อการพัฒนา และปัจจุบัน Raspberry Pi ได้ออกผลิตภัณฑ์มา 4 แบบดังนี้ model A+, model A, model B+ และ model B ซึ่งสามารถรองรับระบบปฏิบัติการ Linux และ Unix ที่หลากหลายการจดจำหน่วย Raspberry Pi ลิขสิทธิ์ร่วมระหว่างบริษัท Newark elemental 4 (Premier Farnell), บริษัท RS Components และบริษัท Egoman สำหรับจำหน่ายออนไลน์ แสดงดังรูปที่ 2.24



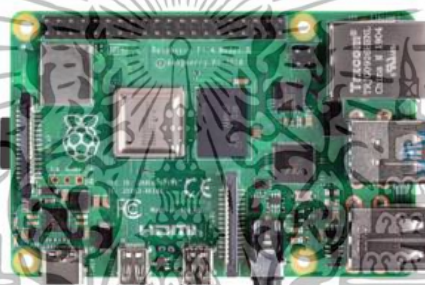
รูปที่ 2.24 Raspberry Pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะใช้งาน Raspberry Pi ได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการก่อน โดยระบบปฏิบัติการที่นิยมนำมาใช้ร่วมกับ Raspberry Pi คือระบบปฏิบัติการ Raspbian โดยเป็นระบบปฏิบัติการที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานกับ Raspberry Pi โดยเฉพาะ โดยระบบปฏิบัติการ Raspbian นั้นเป็นระบบปฏิบัติการในอยู่ในตระกูล Linux

2.7.1 Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM

Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM คือ รุ่นพิเศษของ Raspberry Pi 4 Model B ซึ่งมีความแตกต่างจากรุ่นทั่วไปในเรื่องขนาดแรม (RAM) โดยมี RAM มากกว่า รุ่นทั่วไปถึง 8GB ซึ่งเป็นปริมาณ RAM ที่มากที่สุดในรุ่น Raspberry Pi 4 ที่มีจำหน่าย แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM

การมี RAM 8GB ให้ Raspberry Pi 4 ช่วยให้สามารถรันและจัดการแอปพลิเคชันและงานที่มีการใช้งานหน่วยความจำมากขึ้นได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับงานที่ต้องการประมวลผลหน้าที่ที่ทันสมัยมากขึ้นเช่นการใช้งานเพื่อสร้างเว็บเซิร์ฟเวอร์, เล่นวิดีโอและเกมที่ต้องการประสิทธิภาพสูง หรือการทำงานในสภาพแวดล้อม IoT (Internet of Things) ที่ต้องการประมวลผลข้อมูลมาก ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับงานที่ต้องการประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและการจัดเก็บข้อมูลและแอปพลิเคชันที่มากขึ้นในราคาที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคุณสมบัติของ Raspberry Pi 4

หัวข้อ	รายละเอียด
หน่วยประมวลผล	Broadcom BCM2711, Quad-Core Cortex-A72 (ARM v8) 64 บิต
หน่วยความจำ	1GB, 2GB, 4GB หรือ 8GB LPDDR4 พร้อม ECC แบบ on-die
การเชื่อมต่อ	2.4 GHz และ 5.0 GHz IEEE 802.11b / g / n / ac LAN ไร้สาย, Bluetooth 5.0 พอร์ต True Gigabit Ethernet, พอร์ต USB 3.0 จำนวน 2, พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต
จีพีไอ	ส่วนหัว GPIO มาตรฐาน 40 พิน
วิดีโอและเสียง	จุดต่อ micro-HDMI 2 ตัว รองรับวิดีโอ UHD 4K วงจรถอดรหัส H.265 (4kp60 เฟรมต่อวินาที), และ H.264 (1080p60 เฟรมต่อวินาที), พอร์ต จอแสดงผล MIPI DSI 2 ช่องทางพอร์ตกล้อง MIPI CSI 2 ช่องทาง, เสียงสเตอริโอ 4 ขั้วและพอร์ตวิดีโอประกอบ
มัลติมีเดีย	H.265 (ถอดรหัส 4Kp60); H.264 (ถอดรหัส 1080p60 เฟรมต่อวินาที, เข้ารหัส 1080p30 เฟรมต่อวินาที); กราฟิก OpenGL ES, 3.0
รองรับการ์ด SD	ช่องเสียบการ์ด Micro SD สำหรับโหลดระบบปฏิบัติการและที่จัดเก็บข้อมูล
กำลังไฟฟ้าเข้า	ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ กระแส 3 แอมป์ ผ่านขั้วต่อแบบ USB TYPE-C
ขนาดบอร์ด	88 × 58 × 19.5 มิลลิเมตร

2.8 Raspberry Pi Camera

กล้องสำหรับ Raspberry Pi (Raspberry Pi Camera) เป็นโมดูลกล้องที่ออกแบบมาใช้งานร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi โดย สามารถเชื่อมต่อกับซ็อกเก็ต CAMERA บนบอร์ด ที่มีการเชื่อมต่อแบบ CSI bus ได้ทันที เป็นโมดูลกล้องสำหรับต่อใช้งานร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi ขนาดความละเอียด 8 ล้านพิกเซล สามารถถ่ายวิดีโอระดับ HD แสดงดังรูปที่ 2.26 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 Raspberry Pi Camera

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดคุณสมบัติของ Raspberry Pi Camera

หัวข้อ	รายละเอียด
เซ็นเซอร์	ใช้เซ็นเซอร์ Sony IMX708
ความละเอียดของภาพ	ถ่ายภาพนิ่งได้ความละเอียดสูงสุด 8 ล้านพิกเซล (3280 × 2464 พิกเซล)
ความละเอียดสำหรับวิดีโอ	ถ่ายวิดีโอคุณภาพระดับ HD ความคมชัด 1080p, 720p และ 640 × 480 โดยอัตราการแสดงผล 30 เฟรมต่อวินาทีสำหรับ 1080p, 60 เฟรมต่อวินาทีสำหรับ 720p และ 640 × 480 และ 90 เฟรมต่อวินาทีสำหรับ 640 × 480
ขนาดบอร์ด	25 × 20 × 9 มิลลิเมตร

2.9 Servo Motor

เซอร์โวในทางวิศวกรรมเป็นการควบคุมการขับเคลื่อน (servomechanism) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมมอเตอร์หรือระบบขับเคลื่อนต่าง ๆ ด้วยการตรวจสอบสัญญาณจากระบบขับเคลื่อนและปรับค่าให้ถูกต้องตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่อง โดยปกติระบบ servo จะตรวจสอบข้อผิดพลาดจากสัญญาณตอบกลับเช่น ตำแหน่งทางกล ความเร็วหรือค่าผิดพลาดอื่น ๆ เช่น ข้อผิดพลาดจากระบบหน้าต่างของรถยนต์อาจไม่ได้อยู่ในระบบขับเคลื่อน (none servomechanism) หรือระบบควบคุมเร็วซึ่งใช้การควบคุมแบบปิด (close-loop feedback) ถือว่าอยู่ในระบบขับเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

ลักษณะโครงสร้างของการควบคุมเซอร์โวจะเป็นระบบควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ซึ่งประกอบด้วยโหมดการควบคุม 3 โหมด คือ โหมดการควบคุมแรงบิด (Torque Control Mode) ซึ่งอยู่วงรอบหรือลูปลด โหมดการควบคุมอัตราเร่ง (Velocity Control Mode) และโหมดการควบคุมตำแหน่ง (Position Control Mode) ซึ่งอยู่ลูปลดด้านนอกสุดโดยมีองค์ประกอบสำคัญ แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 โครงสร้างระบบควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ (ส่วนใหญ่) ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และมีองศาการหมุนที่ 0 ถึง ประมาณ 200 องศา(ยกเว้นมีการดัดแปลงให้หมุน 360 องศา) นอกจากนี้ที่เซอร์โวมอเตอร์ทุกรุ่นมีเหมือนกัน ยังมีเซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่นไม่เหมือนกัน

1. แรงบิด (Torque) - เป็นเลขบอกกำลังของเซอร์โวมอเตอร์ ยิ่งตัวเลขนี้มีค่ามาก แสดงว่าเซอร์โวมอเตอร์มีแรงมาก
2. ความเร็วในการหมุน (Speed) - เป็นตัวเลขที่บอกว่าเซอร์โวมอเตอร์สามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้เร็วแค่ไหน ยิ่งตัวเลขมีค่ามาก แสดงว่าเซอร์โวมอเตอร์มีความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งที่เร็วมาก
3. วัสดุที่ใช้ทำแกนหมุน - วัสดุที่ใช้ทำแกนหมุนของเซอร์โวมอเตอร์มี 2 ชนิด คือ พลาสติก และเหล็ก สำหรับแกนหมุนพลาสติกเมื่อใช้งานเซอร์โวมอเตอร์อย่างหนักเป็นเวลานาน จะ

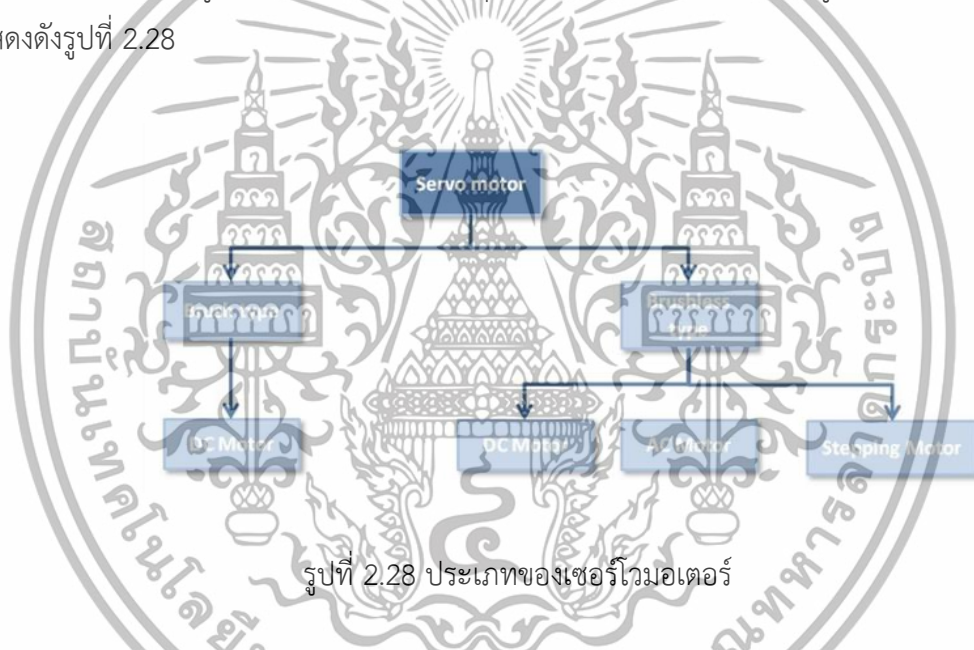
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เฟืองของเซอร์โวมอเตอร์ครูด ดังนั้นหากนำเซอร์โวมอเตอร์ไปใช้งานหนักเป็นเวลานาน จึงควรเลือกแกนเหล็ก เพราะแกนเหล็กมีโอกาสที่เฟืองจะครูดได้น้อยกว่า

4. ขนาดของแกนหมุน - เซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่นจะมีขนาดของแกนหมุนที่ต่างกักัน ตามแรงบิดของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละรุ่น

2.9.2 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์

ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์โดยทั่วไปทั้ง DC และ AC Servo ในเครื่องจักรรุ่นเก่าจะพบว่าจะใช้ DC Servo Motor มากกว่า AC Servo Motor เนื่องจากในอดีตการควบคุมกระแสกระแสสูงนั้นจะต้องใช้ SCRs แต่ปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้พัฒนาขีดความสามารถให้ตัดต่อกระแสสูงและใช้งานความถี่ได้สูงขึ้น จึงทำให้ระบบควบคุมทางเอซีและระบบเซอร์โวได้ถูกนำมาใช้งานมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ประเภทของเซอร์โวมอเตอร์

ซึ่งสามารถแยกประเภทของเซอร์โวได้ดังนี้

1. มอเตอร์ชนิดที่มีแปรงถ่าน (Brush Type)

เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ที่สเตเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร ส่วนโรเตอร์ยังใช้แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์เรียงกระแสเข้าสู่ขดลวดอาร์เมเจอร์เหมือนกับ DC Motor ทั่วไป

2. มอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน (Brushless Type)

เซอร์โวมอเตอร์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย DC Servo (Brushless), AC Servo ซึ่งมีทั้งแบบซิงโครนัสเซอร์โวและอะซิงโครนัสเซอร์โว (การนำเอา Induction Motor เข้ามาใช้เป็นระบบขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์) และ Stepping Servo motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ชุดเฟืองทดรอบ (Gear system) วอลุ่ม โปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer หรือ VR) และวงจรควบคุม (Control Electronics) หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์เริ่มที่วงจรควบคุม เมื่อวงจรควบคุมได้รับข้อมูลองศาที่ต้องการมาแล้ว วงจรควบคุมจะคำนวณว่ามอเตอร์จะต้องหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้ไปสู่องศาที่ต้องการได้ เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน ตัววอลุ่มที่ติดอยู่กับชุดเฟืองมอเตอร์จะตรวจสอบตำแหน่งที่มอเตอร์หมุนไป โดยหากวอลุ่มตรวจพบว่าตำแหน่งที่มอเตอร์หมุนเริ่มใกล้กับองศาที่ผู้ใช้กำหนด วงจรส่วนควบคุมจะเริ่มสั่งให้มอเตอร์หมุนช้าลงเพื่อให้หมุนเข้าใกล้องศาที่กำหนดได้มากที่สุด เมื่อมอเตอร์หมุนได้ตำแหน่งองศาที่ถูกต้องแล้ว วงจรส่วนควบคุมจะตรวจสอบตำแหน่งของมอเตอร์เป็นระยะ ๆ โดยอ่านค่าจากวอลุ่ม หากตรวจพบว่าตำแหน่งผิดเพี้ยนไปจากค่าที่ตั้งไว้ (อาจเกิดจากผู้ใช้เอามือไปหมุนเล่น หรือภาระส่งผลให้ตำแหน่งเคลื่อน) วงจรควบคุมก็จะสั่งให้มอเตอร์หมุนกลับมาให้ได้ตำแหน่งเป็นระยะ ๆ เซอร์โวมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. เซอร์โวมอเตอร์ 180 องศา เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่นิยมใช้งานทั่วไป มีหลายรุ่นหลายขนาด และหลายราคา สามารถควบคุมให้หมุนได้ตามองศาที่ต้องการ โดยหมุนได้ 0 ถึง 180 องศา (ในบางรุ่นหมุนได้สุดที่ประมาณ 200 องศา)
2. เซอร์โวมอเตอร์ 360 องศา เป็นเซอร์โวมอเตอร์ที่ส่วนใหญ่ดัดแปลงมาจากแบบ 180 องศา โดยดัดแปลงวงจรควบคุม และตัดแกนหรือนำเอาวอลุ่มออก เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์สามารถหมุนได้ครบรอบ เซอร์โวมอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถควบคุมองศาได้ ควบคุมได้แค่ความเร็ว และทิศทางการหมุนเท่านั้น นิยมนำมาใช้เป็นมอเตอร์สำหรับรถบังคับ รถวิ่งตามเส้น เพราะอาศัยชุดเฟืองที่เซอร์โวมอเตอร์มีอยู่แล้ว ทำให้ได้แรงบิดที่มากกว่ามอเตอร์กระแสตรงปกติ

2.9.4 เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R เฟืองโลหะ 180 องศา

Servo Motor MG996R เป็นรุ่นที่ถูกอัปเดตจากรุ่น MG995 Servo เฟืองเป็นแบบโลหะ แข็งแรงทนทาน สามารถรองรับน้ำหนักสูงสุดได้ 10 กิโลกรัม มีการปรับปรุง PCB (Print Circuit Board) และระบบควบคุม IC ใหม่ ทำให้แม่นยำยิ่งขึ้น ระบบเกียร์ภายในและมอเตอร์ได้รับการพัฒนาเพื่อลด Dead Band และเพิ่มความแม่นยำในการจัดตำแหน่งศูนย์ สามารถอัปเดตใส่อุปกรณ์ได้หลากหลาย เหมาะสำหรับทำแขนกลหุ่นยนต์ หรือกลไกในการดึง หมุน ที่ต้องการระบุองศา แสดงดังรูปที่ 2.29 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางเทคนิค เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น MG996R

หัวข้อ	รายละเอียด
แรงดันไฟฟ้า	4.8 โวลต์ ~ 6.6 โวลต์
แรงบิดสูงสุด	9.4 กิโลกรัม/เซนติเมตร ที่ 4.8 โวลต์, 11 กิโลกรัม/เซนติเมตร ที่ 6.0 โวลต์
กระแสไฟฟ้า	กระแสขณะไม่มีโหลด 170 มิลลิแอมแปร์ กระแสขณะพักเครื่อง 10 มิลลิแอมแปร์ กระแสขณะหยุดหมุน (Stall Current) 1400 มิลลิแอมแปร์
ความเร็วในการหมุน	0.19 วินาที / 60 องศา ที่ 4.8 โวลต์, 0.15 วินาที / 60 องศา ที่ 6.6 โวลต์
ประเภทเฟือง	เฟืองโลหะ
ช่วงอุณหภูมิการทำงาน	0 องศาเซลเซียส ~ 55 องศาเซลเซียส
ปลั๊ก	แบบ JR (รองรับ JR และ Futaba)
Dead Band Width	1 ไมโครวินาที
ความยาวสายไฟ	30 เซนติเมตร
ขนาด	40.7×19.7×42.9 มิลลิเมตร

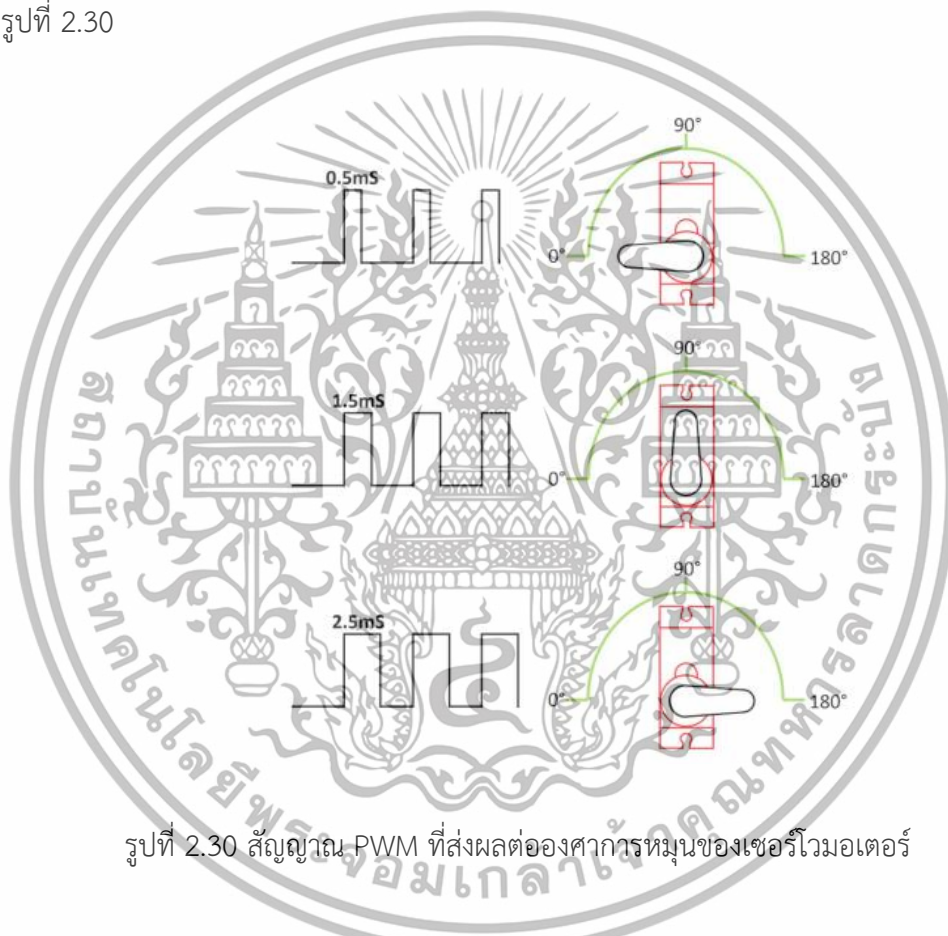
เซอร์โวมอเตอร์มีสาย 3 เส้น ประกอบด้วย

1. Signal (สีส้ม หรือ สีขาว) - สายสัญญาณควบคุมการหมุนแบบ PWM
2. VCC (สีแดง) - สายสำหรับจ่ายไฟบวก 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. GND (สื่อน้ำตาล หรือ สีดำ) - สายสำหรับจ่ายไฟลบ หรือกราวด์ (GND)

การควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์จะทำให้สาย Signal โดยป้อนสัญญาณ PWM ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เข้าไป โดยมีความกว้างพัลส์บวกที่ 0.5 มิลลิวินาที (ค่าต่ำสุด) ถึง 2.5 มิลลิวินาที (ค่าสูงสุด) หรือ 1 มิลลิวินาที (ค่าต่ำสุด) ถึง 2 มิลลิวินาที (ค่าสูงสุด) ตามแต่รุ่นของเซอร์โวมอเตอร์ โดยหากป้อนสัญญาณ PWM ที่มีความกว้างช่วงบวกเข้าไปเท่าค่าต่ำสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 0 องศา หากป้อนสัญญาณ PWM เข้าไปเท่าค่าสูงสุด เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนไปที่ 180 องศา แสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 สัญญาณ PWM ที่ส่งผลต่อองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์

การหาค่าความกว้างช่วงบวกของสัญญาณ PWM จากค่าองศา โดยใช้สมการที่ 2.4

(2.4)

$$\text{Positive pulse} = \frac{\text{Maximum} - \text{Minimum}}{180} \times \text{Desired degree} + \text{Minimum}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ PWM เกิดจากพัลส์บวกและพัลส์ลบ การหาความกว้างพัลส์ลบต้องหาคาบเวลาของสัญญาณก่อน และคาบเวลาของสัญญาณหาได้จากความถี่ โดยใช้สมการที่ 2.5

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.5)$$

โดย T หมายถึง คาบเวลาของสัญญาณ

f หมายถึง ความถี่

คาบเวลาของสัญญาณเกิดจากการนำความกว้างพัลส์บวกมาบวกกับความกว้างพัลส์ลบ ($T = t_1 + t_2$) ดังนั้นหากรู้กว้างพัลส์บวก และรู้คาบเวลาของสัญญาณ ก็จะหาความกว้างพัลส์ลบได้ โดยใช้สมการที่ 2.6

$$t_2 = T + t_1 \quad (2.6)$$

โดย T หมายถึง ความกว้างคลื่น

t_1 หมายถึง ความกว้างพัลส์บวก

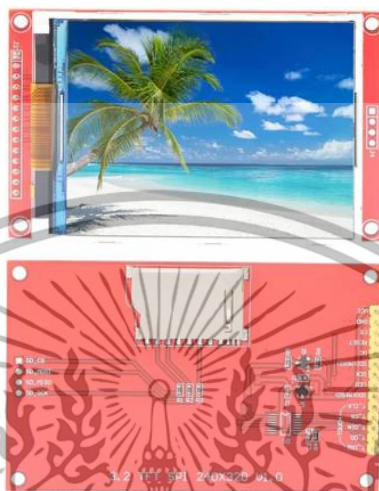
t_2 หมายถึง ความกว้างพัลส์ลบ

2.10 TFT LCD โมดูลจอแสดงผล ILI9341

TFT SPI LCD Touch Color Screen Display Module คือจอแสดงผลชนิด TFT (Thin-Film Transistor) LCD (Liquid Crystal Display) มีชั้นแผ่นฟิล์มหนึ่งที เรียกว่า TFT (Thin-Film Transistor) ประกอบด้วยอาร์เรย์ของทรานซิสเตอร์ MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) จำนวนมาก ทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณไฟฟ้าควบคุมไปยังผลึกเหลว ให้โมเลกุลของแผ่นผลึกเหลวเรียงตัว เพื่อปิดกั้นหรือเปิดทางให้แสงผ่านออกมาสำหรับแต่ละพิกเซลได้ ที่มาพร้อมกับฟังก์ชันหน้าจอสัมผัสและอินเตอร์เฟซแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ช่วยให้การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น โมดูลนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสำหรับการแสดงผลสี ความละเอียดสูง เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการภาพคมชัด แสดง
ดังรูปที่ 2.31 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.31 TFT LCD โมดูลจอแสดงผล ILI9341

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเทคนิค TFT LCD โมดูลจอแสดงผล ILI9341

หัวข้อ	รายละเอียด
แรงดันไฟฟ้า	3.3 โวลต์/5 โวลต์
สีจอแสดงผล	16 บิต RGB สี 65K
SKU	MRB3205
ขนาดหน้าจอ	2.8 นิ้ว
ประเภทหน้าจอ	TFT
ไดรเวอร์ IC	ILI9341
ความละเอียด	320×240 พิกเซล
อินเทอร์เฟซโมดูล	8 บิต หรือ 16 บิต Parallel Interface
อุณหภูมิในการทำงาน	-20 องศาเซลเซียส ~ 60 องศาเซลเซียส
พื้นที่แสดงผล (Active Area)	48.6×64.8 มิลลิเมตร
ขนาด PCB ของโมดูล	57.60×90.73 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 Arduino Uno R3

Arduino อ่านว่า (อาดู-อี-โน้ หรือ อาดูยโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ ข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งใช้ชิป ATmega328 ทำงาน ที่ความถี่ 16 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยเขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดและคุณสมบัติของบอร์ด Arduino UNO R3 ดังตารางที่ 2.5 และตารางที่ 2.6 ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถ ดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3

หัวข้อ	รายละเอียด
Operating Voltage	แรงดันที่บอร์ดใช้ทำงาน ซึ่งเมื่อเสียบสาย USB ต่อ Arduino กับคอมพิวเตอร์ ก็จะมีแรงดันเข้า 5 โวลต์
Input Voltage	แรงดันที่ป้อนเข้าไปเมื่อไม่ได้ต่อ Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์ซึ่งอาจจะเป็นแรงดันจากแบตเตอรี่ หรือ อะแดปเตอร์ซึ่งห้ามต่ำกว่า 6 โวลต์ และไม่เกิน 20 โวลต์ โดยสามารถต่อแบตเตอรี่ที่เข้าที่ขา Vin หรือ ต่ออะแดปเตอร์ที่หัวแจ๊คของบอร์ด
Digital I/O Pins	จำนวนขาใช้งานแบบดิจิทัล (on/off) มีทั้งหมด 14 ขา และ 6 ขา จาก 14 ขา สามารถใช้งานเป็น PWM (Pulse Width Modulation) ได้ Analog Input Pins คือจำนวนขาใช้งานสำหรับรับค่าสวิตช์ หรืออุปกรณ์ควบคุมแบบอนาล็อก (ค่าค่อยๆ เพิ่ม/ค่อยๆ ลด)
DC Current per 10 Pin	ปริมาณกระแสไฟฟ้าของขาดิจิทัลเมื่ออยู่ในโหมด On
MCU Flash Memory	หน่วยความจำหลัก ซึ่งจะเก็บโค้ดทั้งหมดที่เขียนไว้และจะไม่สูญหายถ้าไม่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด เป็นหน่วยความจำที่ควรพิจารณาก่อนเวลาจะเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
SRAM	หน่วยความจำสำหรับเก็บค่าตัวแปรต่างๆ แบบชั่วคราว เมื่อไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลต่างๆก็จะสูญหายไป
EEPROM	หน่วยความจำแบบพิเศษ ที่แม้ไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะไม่สูญหาย Clock Speed ความเร็วของสัญญาณนาฬิกา มีผลต่อการทำงานและประมวผลของบอร์ด

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางเทคนิค Arduino Uno R3

หัวข้อ	รายละเอียด
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328P
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน	5 โวลต์
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	7-12 โวลต์
จำนวนพินดิจิทัล I/O	14 Pin
จำนวนพินอินพุตแบบแอนะล็อก	6 Pin
กระแสไฟฟ้าสูงสุดต่อพิน I/O	20 มิลลิแอมแปร์
หน่วยความจำแฟลช	32 กิโลไบต์
SRAM	2 กิโลไบต์
EEPROM	1 กิโลไบต์
ความถี่นาฬิกา (Clock Speed)	16 เมกะเฮิรตซ์
พอร์ตเชื่อมต่อ USB	Type-B
การเชื่อมต่อ UART	1 ช่อง (สำหรับ Serial Communication)
การเชื่อมต่อ SPI	มี
การเชื่อมต่อ I2C	มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 องค์ประกอบของบอร์ด Arduino Uno R3

บอร์ด Arduino ถือว่าเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยม และใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งบอร์ด Arduino UNO R3 มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.32 และสามารถอธิบายส่วนประกอบของบอร์ดได้ดังตารางที่ 2.7 พอร์ต ICSP (In-Circuit Serial Programming) ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual COM port บน Atmega16U2 ซึ่ง Visual COM port คือพอร์ต USB ที่ถูกกำหนดค่าให้เครื่องคอมพิวเตอร์มองเห็นเป็น COM port

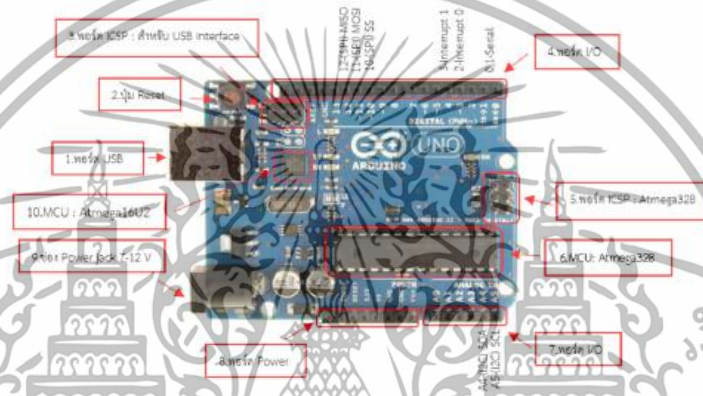
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3

หัวข้อ	รายละเอียด
พอร์ต USB	7 ใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปเดตโปรแกรมเข้า MCU และ จ่ายไฟให้กับบอร์ด
ปุ่ม Reset	เป็นปุ่มสำหรับ Reser โปรแกรมบนบอร์ดให้หยุดการทำงานเดิม และเริ่มต้นทำงานใหม่
พอร์ต ICSP ของ Atmega16U2	เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual COM port บน Atmega16U2 ซึ่ง Visual COM port คือพอร์ต USB ที่ถูกกำหนดค่าให้เครื่องคอมพิวเตอร์มองเห็นเป็น COM port
พอร์ต I/O	เป็น Pin สำหรับรับและส่งสัญญาณที่เป็นดิจิทัลตั้งแต่ขา D0 ถึงขา D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Ix, Rx Serial, Pin 3, 5, 6, 9, 10 และ 11 เป็นขา PWM
ICSP Port ของ Atmega328	เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader ซึ่ง Bootloader คือ Firmware ส่วนหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการอัปเดตโปรแกรม หรือร่างที่เราเขียนเข้าไปใน Flash rom ผ่านทางสาย Serial หรือ USB
MCU (Microcontroller)	เป็นชิปซึ่งเป็นเหมือนสมองของบอร์ดที่ใช้สำหรับการประมวลผลและควบคุม
พอร์ต I/O	เป็น Pin สำหรับรับค่าสัญญาณที่เป็นอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0 - A5
พอร์ต Power	ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์, +5โวลต์, GND, และ Vin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดของบอร์ด Arduino UNO R3 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
ช่อง Power Jack	รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7 - 12 โวลต์
MCU ของ Atmega16U2	เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Atmega16U2

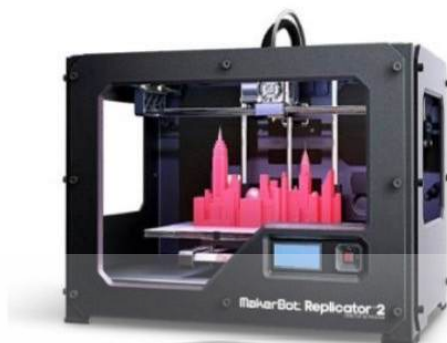


รูปที่ 2.32 บอร์ด Arduino UNO R3

2.12 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3D printer คือเครื่องจักรที่ใช้กระบวนการเติมเนื้อวัสดุ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งการเติมเนื้อหรือพิมพ์วัสดุลงไปในั้นเรียกว่า Additive Process ซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละ Layer หรือทีละชั้น ซึ่งการสร้างแบบทีละชั้น ถูกนำไปเป็นหลักการในการพิมพ์งานของ เครื่องพิมพ์ 3 แสดงดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ต้องมีการสร้างข้อมูล 3 มิติ ในรูปแบบของดิจิทัลที่สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จากการออกแบบร่วมกับการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) นอกจากนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแล้ว ยังสามารถใช้ สแกนเนอร์ 3 มิติ ในการสร้างข้อมูลโดยการอ่านแบบวัตถุจริงที่นำมาทำสำเนา 3 มิติ ได้ไฟล์ดิจิทัลที่สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติโดยทั่วไป คือ ไฟล์ STL

2.12.1 เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยการเติมเนื้อวัสดุเข้าไปทีละชั้น โดยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการในทุกขั้นตอน เทคนิคการเติมเนื้อวัสดุเข้าไปทีละชั้นนี้มีชื่อเรียกว่า Additive Manufacturing (AM) ซึ่งมีชื่อดีกว่าเทคนิคการขึ้นรูปทั่วไปคือ การสูญเสียวัตถุดิบที่น้อยกว่า เทคโนโลยี 3D Printing จำแนกตามกระบวนการที่แตกต่างกันได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. Fused Deposition Modeling (FDM) เป็นการนำวัสดุที่จะใช้ขึ้นรูปมาหลอมละลายเป็นเส้น (Filament) แล้วฉีดออกมาเป็นชิ้นงานขึ้นรูปทีละชั้น ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ราคาถูกหาซื้อได้ง่าย ใช้งานง่ายและใช้ได้กับวัสดุที่หลากหลาย แต่ความละเอียดในการพิมพ์และระยะเวลาที่ใช้ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการพิมพ์แบบอื่น

2. Stereolithography (SLA) เป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติชนิดแรกที่เกิดขึ้น เป็นเทคนิคที่ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต ยิงใส่ผิวเรซินของวัสดุให้เกิดการแข็งตัวทีละชั้น ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง ผิวเรียบ ความเร็วในการพิมพ์ไม่ลดลงเมื่อพิมพ์งานที่ละเอียดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ข้อเสียคือ เรซินเหลวที่ใช้ในการพิมพ์ค่อนข้างสกปรกมีกลิ่นเหม็น และเป็นอันตรายถ้าสูดดมเข้าไปในปริมาณมาก

3. Selective Laser Sintering (SLS) เป็นการใช้แสงเลเซอร์ยิงลงบนพื้นผิววัสดุให้วัสดุเกิดการหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะเลือกยิงเฉพาะจุด ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงคงทนแต่ราคาของเครื่องพิมพ์ยังค่อนข้างสูง และวัสดุที่ใช้กับเครื่องพิมพ์แบบนี้ได้มีค่อนข้างจำกัดเมื่อเทียบกับเครื่องพิมพ์แบบอื่น ๆ

2.12.2 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3

เป็นเครื่องพิมพ์ FDM (Fused Deposition Modeling) จาก Elegoo ที่สามารถพิมพ์รูปแบบการพิมพ์ด้วยปริมาณการพิมพ์ 225×225×280 มิลลิเมตร เซ็นเซอร์ความแม่นยำสูงแบบไม่สัมผัสจะสแกน 63 จุดของแหล่งจ่ายไฟอัตโนมัติ ชดเชยความไม่สม่ำเสมอและความไม่สอดคล้องกันของแพลตฟอร์มการพิมพ์ แกน Z ถูกออกแบบให้มีสกรูนำคู่และไดรฟ์สองมอเตอร์เพื่อการเคลื่อนไหวที่มั่นคงและแม่นยำยิ่งขึ้น ของหัวพิมพ์และโครงสร้างก้านผูกช่วยเพิ่มความเสถียรของโครงแกน Z ฮอร์บอร์ด์เจียบ 32 บิตแกน x/y/z/e ทั้งหมดขับเคลื่อนด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงเพื่อลดประสิทธิภาพ เสียงการพิมพ์ต่ำกว่า 50 เดซิเบล แพลตฟอร์มแม่เหล็ก Pei พร้อมการเคลือบพิเศษและแผ่นเหล็กสปริงเพื่อการยึดเกาะที่แข็งแรงและ สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วถึง 100 องศาเซลเซียส หน้าจอสัมผัสแบบคาปาซิทีฟที่ถอดออกได้ขนาด 4.3 นิ้ว Filament ที่สามารถรองรับ PLA, ABS, TPU, PETG, Wood, Marble แสดงดังรูป 2.34 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.8



รูปที่ 2.34 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางเทคนิค เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Elegoo Neptune 3

หัวข้อ	รายละเอียด
ปริมาณการพิมพ์	225×225×280 มิลลิเมตร
ประเภทหัวฉีด	Direct Drive แบบเฟืองคู่
แกน Z	สกรูคู่พร้อมมอเตอร์
ปรับระดับฐานพิมพ์	ปรับอัตโนมัติแบบตาข่าย 36 จุด
วัสดุฐานพิมพ์	แผ่นแม่เหล็ก PEI
ท่อสำหรับหัวฉีด	ท่อไทเทเนียมอัลลอย
หน้าจอสัมผัส	หน้าจอสัมผัสแบบ capacitive ขนาด 4.3 นิ้ว
พัฒนาระบายความร้อน	พัฒนาระบายความร้อนสองด้าน
ไฟ LED	แถบไฟ LED
กำลังไฟ	360 วัตต์
อุณหภูมิฐานพิมพ์สูงสุด	100 องศาเซลเซียส
ความเร็วในการพิมพ์	30–180 มิลลิเมตร/วินาที
อุณหภูมิหัวฉีดสูงสุด	260 องศาเซลเซียส

2.13 เส้นพลาสติก (Filament)

Filament ชนิด Polylactic Acid (PLA) เนื่องจากเป็นเส้นพลาสติกที่ถูกใช้งานมากที่สุดกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เส้นพลาสติก PLA เป็นเส้นประเภท Biodegradable คือ เส้นที่ทำมาจากพืชเป็นเส้นที่ไม่เป็นภัยต่อสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถย่อยสลายมีความแข็งแรง และเป็นพลาสติกที่เหมาะสม กับพิมพ์งานที่มีขนาดใหญ่ เพราะตัวเส้น มีค่าการหดตัวต่ำ ทำให้พิมพ์ง่าย เกาะฐานพิมพ์ดี นอกจาก พิมพ์ชิ้นงานขนาดใหญ่ได้แล้วยังเหมาะกับพิมพ์งานเล็ก ๆ ที่มีรายละเอียดสูง แสดงดังรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 Filament ชนิด Polylactic Acid (PLA)

2.14 โปรแกรมที่ใช้

2.14.1 VS Code (Visual Studio Code)

Visual Studio Code (Visual Studio Code) เป็นโปรแกรมแก้ไขซอร์สโค้ดที่พัฒนาโดยไมโครซอฟท์สำหรับ Windows, Linux และ macOS มีการสนับสนุนสำหรับการดีบั๊ก การควบคุม Git ในตัวและ GitHub การเน้นไวยากรณ์ การเติมโค้ดอัจฉริยะ ตัวอย่าง และ Code Refactoring มันสามารถปรับแต่งได้หลายอย่าง ให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนธีม แบนพิมพ์ลัด การตั้งค่า และติดตั้งส่วนขยายที่เพิ่มฟังก์ชันการทำงานเพิ่มเติม ซอร์สโค้ดนั้นฟรีและโอเพนซอร์สและเผยแพร่ภายใต้สิทธิ์การใช้งาน MIT ไลเซนส์ที่คอมไพล์แล้วเป็นฟรีแวร์และฟรีสำหรับการใช้ส่วนตัวหรือเพื่อการค้า

Visual Studio Code ใช้โอเล็กตรอนเป็นเฟรมเวิร์คที่ใช้ในการปรับใช้แอปพลิเคชัน Node.js สำหรับเดสก์ท็อปที่รันบนเอ็นจิน Blink แม้ว่าจะใช้เฟรมเวิร์คโอเล็กตรอน ซอฟต์แวร์นี้ไม่ได้ใช้อะตอม และใช้คอมโพเนนต์ตัวแก้ไขเดียวกัน (ชื่อรหัส "Monaco") กับที่ใช้ใน Azure DevOps (เดิมชื่อ Visual Studio Online และ Visual Studio Team Services)

VS Code สนับสนุนการเขียนโค้ดแทบทุกภาษาคอมพิวเตอร์ ได้แก่ JavaScript, C#, Java, Markdown, TypeScript, C++, JSON, Powershell, Python, HTML, PHP และ YAML และยังมีส่วนขยาย (Extension) ภายในพื้นที่ขายของ VS Code Marketplace ให้เลือกใช้ได้อีกมาก แสดงดังรูปที่ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 VS Code (Visual Studio Code)

2.14.2 VNC (Virtual Network Computing)

VNC เป็นระบบแชร์เดสก์ทอปแบบกราฟิกที่ใช้โปรโตคอล Remote Frame Buffer (RFB) เพื่อควบคุมคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นจากระยะไกล ส่งอินพุตคีย์บอร์ดและเมาส์จากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง ถ่ายทอดการอัปเดตหน้าจอแบบกราฟิกผ่านเครือข่าย การใช้งานนิยมสำหรับเทคโนโลยีนี้รวมถึงการสนับสนุนด้านเทคนิคระยะไกลและการเข้าถึงไฟล์บนคอมพิวเตอร์ที่ทำงานจากคอมพิวเตอร์

VNC เป็นอิสระจากแพลตฟอร์ม โดยมีไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์สำหรับระบบปฏิบัติการที่ใช้ GUI จำนวนมากสำหรับ Java ลูกค้าหลายรายอาจเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ VNC ในเวลาเดียวกัน มีหลายตัวแปรของ VNC ซึ่งนำเสนอฟังก์ชันเฉพาะของตนเอง เช่น บางรูปแบบที่ปรับให้เหมาะสมสำหรับ Microsoft Windows หรือเสนอการถ่ายโอนไฟล์ (ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของ VNC ที่เหมาะสม) เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.37



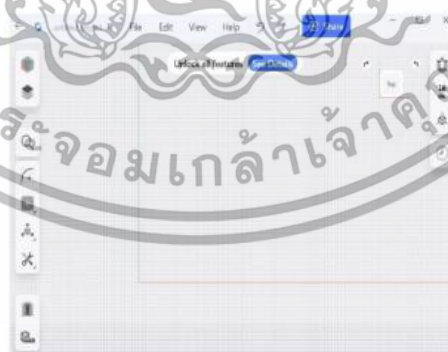
รูปที่ 2.37 โปรแกรม VNC (Virtual Network Computing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3 Shapr3D

เป็นโปรแกรมแก้ไข 3 มิติที่สร้างและแก้ไขการออกแบบ 3 มิติทุกประเภท แอปออกแบบ CAD (Computer Aided Design) นี้สร้างสิ่งต่าง ๆ ตั้งแต่วัตถุขนาดเล็กและเรียบง่าย เช่น รูปทรงเรขาคณิต ไปจนถึงการออกแบบอุตสาหกรรมที่ซับซ้อนหรือโมเดล 3 มิติที่มีชิ้นส่วนต่าง ๆ นับร้อย ข้อได้เปรียบที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของ Shapr3D เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่นที่คล้ายคลึงกันคือช่วยให้สร้างการออกแบบ 3 มิติจากภาพวาด 2 มิติ สามารถใช้เมาส์และคีย์บอร์ด แท็บเล็ตพิเศษหรืออุปกรณ์หน้าจอสัมผัสเพื่อวาด หลังจากสร้างงานออกแบบ 2 มิติแล้ว สิ่งที่ต้องทำคือดึงขึ้นเพื่อเพิ่มวอลุ่มโดยใช้สี่เหลี่ยมต่าง ๆ และเพิ่มความยาวเท่าที่คุณต้องการ ในระหว่างขั้นตอนนี้ยังสามารถสร้างเส้นโค้ง ปรับมุม วัดด้าน และอื่น ๆ ข้อดีอีกอย่างของ Shapr3D คืออินเตอร์เฟซซึ่งใช้งานง่ายมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ใช้แท็บเล็ตที่คล้ายกันอยู่แล้ว ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีบทช่วยสอนฉบับสมบูรณ์ที่ช่วยให้คุณเคยกับคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของโปรแกรมผ่านงานพื้นฐาน 10 อย่างได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเสร็จสิ้นบทช่วยสอน ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่า 15 นาที คุณจะพบว่าการสร้างโมเดล 3 มิติใด ๆ

Shapr3D ให้นำเข้าการออกแบบในรูปแบบ SLDPRT, STL, STEP, IGES, X_T, 2D DWG, 2D DXF, JPG และ PNG และเมื่อส่งออก รูปแบบที่รองรับได้แก่ X_T, STEP, STL, OBJ, 2D DXF, 2D DWG, IGES, 3MF และ SVG ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถสร้างงานออกแบบได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงทำงานต่อกับโปรแกรมที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น AutoCAD, SolidWorks, NX, Catia, Solid Edge, Fusion360, Rhino3D, Onshape และ Sketchup แสดงดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 หน้าต่างโปรแกรม Sharpr3D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.4 Ultimaker Cura

เป็นโปรแกรมสำหรับพิมพ์งาน 3 มิติ ซึ่งมีรากฐานซอฟต์แวร์ ใช้สำหรับการแบ่งส่วนข้อมูล สามารถป้อนรูปแบบไฟล์ STL, 3MF และ OBJ ซึ่งซอฟต์แวร์ตัวแบ่งส่วนข้อมูล 3D นั้น จะซ่อมแซมไฟล์ได้เช่นกันและสามารถทราบเวลาในการพิมพ์และปริมาณวัสดุที่ใช้ในแต่ละครั้ง แสดงดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 หน้าต่างโปรแกรม Ultimaker Cura

2.15 ภาษาที่ใช้

2.15.1 ภาษาไพทอน (Python)

ภาษาไพทอน ถือกำเนิดขึ้นในปี ค.ศ.1989 ถูกพัฒนาขึ้นโดย Guido van Rossum ที่ Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) ประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นภาษาหนึ่งที่ยิยมใช้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งถูกพัฒนาโดยไม่มียึดติดกับแพลตฟอร์ม นั้นหมายความว่า ภาษาไพทอนสามารถใช้งานได้หลายระบบปฏิบัติการทั้ง Unix Linux และ Windows อีกทั้งยังเป็น Open Source ทำให้นักพัฒนาโปรแกรมสามารถใช้ภาษาไพทอนมาพัฒนาโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ของตัวเองได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด ภาษาไพทอนเป็นภาษาระดับสูงจึงทำให้เขียนง่าย ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์อย่างลึกซึ้งเพียงแค่เข้าใจไวยากรณ์ และขั้นตอนการทำงานของภาษาไพทอนก็สามารถพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนได้แล้ว แต่เนื่องจากความเป็นภาษาระดับสูงที่มีข้อดีคือเขียนและพัฒนาได้ง่ายแล้วก็จะมีย่อจำกัดอยู่ข้อหนึ่ง คือ จะทำงานหรือประมวลผลได้ช้าเมื่อเปรียบเทียบกับภาษาอื่น เช่น ซี (C) หรือ ฟอรัทเรน (Fortran)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.1.1 จุดเด่นของ ภาษาไพทอน

1. ไพทอนเป็นภาษาที่มีความยืดหยุ่นสูงมาก ทำให้ง่ายต่อการเขียนโค้ด และมีฟังก์ชันในการใช้งานที่เข้าใจง่ายกว่าภาษาอื่น ๆ
2. ไพทอนเป็น Open source ใช้งานได้ฟรี คนที่ต้องการใช้งานสามารถเริ่มต้นจาก python.org ได้เลย และด้วยความที่ไม่ต้องเสียค่าใช้งาน ทำให้มีผู้ใช้งานหลากหลายจนเกิดเป็น Community ที่ช่วยให้ข้อมูลการใช้งาน Python อีกด้วย
3. มี Tools และ Library Support ที่เข้าถึงได้ง่าย เพราะว่าเป็นภาษาที่ใช้ งานฟรี ทำให้มีคนนำ Python ไปต่อยอดใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ และแชร์การใช้งานข้อมูลของ ตัวเอง เพื่อ ชัพพอร์ทภาษานี้มากขึ้น
4. มีการใช้งานที่หลากหลาย เพราะมี Tools และ Library Support มาก ทำให้ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งาน Python มีความหลากหลาย ครอบคลุมตั้งแต่การสร้างเว็บไป จนถึงการทำ AI เลยทีเดียว

2.15.2 PHP

PHP ย่อมาจากคำว่า PHP Hypertext Preprocessor แต่สมัยก่อนย่อมาจากคำว่า Personal Home Page Tools เป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง ประเภท Scripting Language ซึ่งภาษาประเภทนี้เก็บคำสั่งต่าง ๆ ในไฟล์ที่เรียกว่า Script และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัว แปรชุดคำสั่ง โดยมีรากฐานโครงสร้างคำสั่งมาจากภาษาซี (C Programming Language) ภาษา จาวาสคริปต์ (JavaScript) และ ภาษาเพิร์ล (Practical Extraction and Report Language) PHP สามารถใช้งานได้ผ่านอินเทอร์เน็ต มีความสามารถสูง และมีผู้นิยมใช้เป็นจำนวนมาก

2.15.2.1 ลักษณะของ PHP

ลักษณะของ PHP แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่น ๆ เพราะ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้ในการสร้างเอกสารแบบ HTML สามารถสอดแทรกหรือแก้ไข เนื้อหาได้อัตโนมัติ ดังนั้น PHP จึงเป็นภาษาที่เรียกว่า Server-Side หรือ HTML-Embedded Scripting Language สามารถประมวลผลตามคำสั่งและแสดงผลลัพธ์เป็นเว็บเพจตามที่ต้องการ ถือได้ว่า PHP เป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถสร้าง Dynamic Web Pages (เว็บเพจที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.2.2 จุดเด่นของ PHP

1. PHP เปิดให้ใช้บริการฟรี
2. PHP เป็นโปรแกรม Server-Side Script มีความเร็วสูง รวมถึงมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดี ดังนั้นจึงมีขีดความสามารถไม่จำกัด
3. PHP สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการ (Operating Systems) ที่หลากหลาย เช่น UNIX, Linux, Windows
4. สามารถเรียนรู้ภาษา PHP ได้ง่าย เนื่องจาก PHP มักถูกฝังเข้าไปใน HTML จึงมีโครงสร้างและไวยากรณ์ภาษาที่ไม่ยาก
5. ภาษา PHP มีความเร็วและมีประสิทธิภาพที่ดี โดยเฉพาะเมื่อใช้กับ Apache Xerve เพราะไม่ต้องใช้โปรแกรมจากภายนอก
6. ใช้ร่วมกับ XML (Extensible Markup Language) หรือภาษาที่ถูกใช้ในการสร้าง Format ได้ทันที
7. ภาษา PHP สามารถใช้งานร่วมกับระบบแฟ้มข้อมูลได้
8. สามารถใช้งาน PHP กับข้อมูลตัวอักษรได้อย่างมีประสิทธิภาพ
9. ใช้ PHP กับการประมวลผลภาพได้

2.15.3 SQL

SQL (Structured Query Language) คือ ภาษาโปรแกรมมิ่งที่ใช้ติดต่อสื่อสารและจัดการกับข้อมูลแบบเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) สำหรับ DBMS (Database Management System) ที่เรารู้จักกันดี เช่น MySQL, PostgreSQL, Oracle, MS Server SQL, SQLite เป็นต้น ถึงแม้ว่าแต่ละ DBMS จะมีโครงสร้างหรือฟีเจอร์แตกต่างกันบางส่วน แต่ไวยากรณ์โดยทั่วไปแล้วจะมีความคล้ายคลึงกัน โดยภาษา SQL นั้นถือกำเนิดขึ้นครั้งแรกในปี 1970 หรือมากกว่า 50 ปีมาแล้ว

SQL ถูกใช้ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ มากมายเช่น งานด้านการพัฒนาเว็บ การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น โดยภาษา SQL นั้นไม่ใช่ภาษาโปรแกรมมิ่งโดยทั่วไป เช่น ภาษาอย่าง Python, Java, JavaScript, etc. แต่เป็นภาษาสำหรับจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์โดยเฉพาะ

2.15.4 HTML

HTML ย่อมาจาก (Hyper Text Markup Language) เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมข้อมูลในการสร้างไฟล์เว็บเพจ ถูกกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) และจากการพัฒนาทางด้าน Software ของ Microsoft สามารถทำโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Text Editor ต่าง ๆ เช่น Notepad, Edit plus หรือจะอาศัยโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือช่วยสร้างเว็บเพจ เช่น Microsoft FrontPage, Dream Weaver ซึ่งอำนวยความสะดวกในการสร้างหน้า HTML ส่วนการเรียกใช้งานหรือทดสอบการทำงานของเอกสาร HTML จะใช้โปรแกรม web browser เช่น (IE), Mozilla Firefox, Safari, Opera, และ Netscape Navigator

ไฟล์ HTML เป็นไฟล์รหัส (ASCI) ถูกบันทึกไว้ในรูปแบบเอกสาร (Text File) ที่สามารถสร้างจากโปรแกรม Notepad หรือ Word Processing ทั่ว ๆ ไป ซึ่งลักษณะไฟล์ของ HTML ประกอบไปด้วยแท็ก (Tag) ต่าง ๆ ที่เป็นคำสั่งของ HTML ซึ่งแท็ก (Tag) จะอยู่ภายใต้เครื่องหมาย < และ > โดย แท็ก(Tag) ใน HTML แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. คอนเทนเนอร์แท็ก (Container Tag) ซึ่งประกอบไปด้วย แท็กเปิด และ แท็กปิด โดย ที่แท็กเปิดจะมีเครื่องหมาย / นำหน้า เช่น <H1>...</H1>

2. แท็กเปล่า (Empty Tag) จะประกอบไปด้วยแท็กเปิดอย่างเดียว เช่น <HR> ซึ่งแท็กจะถูกเขียนด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ หรือพิมพ์เล็กก็ได้ จะไม่มีผลต่อการแสดงผลของเว็บ

และโครงสร้างไฟล์ HTML จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวเรื่อง (Head Section) และส่วนเนื้อหา (Body Section) โดยจะมีแท็ก <HTML> และ </HTML> เป็นตัวกำหนดขอบเขตไฟล์ ซึ่งส่วน หัวเรื่องจะมีไว้สำหรับกำหนดข้อมูลเฉพาะของหน้าเว็บ และสำหรับส่วนเนื้อหาไว้กำหนดรายละเอียด ต่าง ๆ ที่ต้องการแสดงบนหน้าเว็บ โดยจะอยู่ภายใต้แท็ก <BODY> และ </BODY> แสดงดังรูปที่ 2.40

```
<HTML>
<HEAD>
  <TITLE> ไล่ชื่อเรื่อง </TITLE>
</HEAD>
<BODY>
  ไล่เนื้อหาที่ต้องการแสดงบนหน้าเว็บ
</BODY>
</HTML>
```

รูปที่ 2.40 โครงสร้างไฟล์ HTML

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.5 C/C++

เป็นภาษา C programming language รุ่นใหม่ เป็นภาษาในการเขียนโปรแกรม ถูกพัฒนาโดย Dr.Bjarne Stroustrup ซึ่งเป็นนักวิจัยอยู่ที่ห้องปฏิบัติการ Bell Labs ประเทศสหรัฐอเมริกาในระหว่างปี พ.ศ. 2525-2528 ภาษา C++ เกิดจากแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพ ภาษา C โดยได้นำความสามารถของภาษา C มาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมภาษาที่มีความเป็น Object Oriented Programming (โปรแกรมเชิงวัตถุ) และนี่เองคือที่มาของภาษา C++ จากการพัฒนานี้ทำให้ทุกสิ่งทีภาษา C ทำได้ ภาษา C++ ก็จะสามารถทำได้ แต่สิ่งที่ภาษา C++ ทำได้ ภาษา C อาจจะทำไม่ได้ โดยภาษา C++ ถูกออกแบบมาสำหรับการทำงานภายใต้สิ่งแวดล้อมระบบปฏิบัติการ UNIX ด้วยภาษา C++ ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (reusability) สามารถทำได้ง่ายขึ้น

2.15.5.1 ข้อดีของภาษา C++

1. ภาษา C++ จะมีการทำงานที่ค่อนข้างเร็วมากเมื่อเทียบกับภาษาอื่น และยังสามารถดำเนินการกับ Hardware ได้
2. ภาษา C++ มีความเป็น Object Oriented Programming และยังเป็น Structure Programming ซึ่งเหมาะที่จะใช้ ศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้น และนอกจากนั้นถ้าหากเราจะเรียนเรื่อง Data Structure หรือ ทางด้าน อัลกอริทึม ในต่างประเทศจะนิยมใช้ C++ ในการสอน รวมถึงการเรียนรู้ถึงระบบการทำงานของระบบปฏิบัติการ

2.16 วิเคราะห์รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคชาวไทย

ข้อมูลนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคชาวไทย และนำมาประยุกต์ใช้กับระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน เพื่อช่วยจัดการพื้นที่ให้เช่าขายของด้านหน้าของลานจอดรถให้เช่า ที่สามารถปล่อยพื้นที่ให้เช่าขายของ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและดึงดูดลูกค้าที่มีศักยภาพสูงสุดและผสมผสานกับการรักษาความปลอดภัย

รูปแบบการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค (Consumer Decision-making Style) หมายถึง ลักษณะการตัดสินใจซื้อสินค้าหรือบริการของผู้บริโภค ที่เป็นทั้งความคิด (Cognition) และความรู้สึก (Affection) มีลักษณะคล้ายคลึงกับการเป็นบุคลิกภาพ (Personality) ของผู้บริโภค (Sproles and Kendall, 1986) รูปแบบการตัดสินใจซื้อขึ้นอยู่กับผู้บริโภคค่อนข้างถาวรไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงง่าย ดังนั้นรูปแบบการตัดสินใจซื้อจึงเป็น ตัวกำหนดทางเลือกในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

เพศและช่วงวัยเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคชาวไทย โดยผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มเพศและช่วงวัยมักมีพฤติกรรมและความชอบที่ต่างกััน ดังตารางที่ 2.9 และ ตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของ

เพศชาย

เพศ	อายุ (ปี)	รูปแบบการตัดสินใจซื้อ
ชาย	21-30	มีความสนใจ ลักษณะเฉพาะเจาะจง เช่น สนใจในสินค้า ประเภทเทคโนโลยี คอมพิวเตอร์ รถยนต์ เป็นต้น รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การใส่ใจในคุณภาพ 2. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า 3. การซื้อ เพราะความเคยชินต่อแบรนด์ และ 4. การซื้อแบบประหยัดเวลาและพลังงาน
	31-40	อยู่ในวัยที่กำลังสร้างความมั่นคงให้กับตนเอง ทำงานหนักและสังสรรค์หนัก อยู่กับแฟนหรือคนรักค่อนข้างมาก อยู่กับเพื่อนน้อยลง และมักจะมีงานอดิเรกเฉพาะเช่น รถยนต์ สินค้าเทคโนโลยี หรือ การออกกำลังกาย เป็นต้น รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การใส่ใจในคุณภาพ 2. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า 3. การซื้อ เพราะความเคยชินต่อแบรนด์ และ 4. การซื้อแบบประหยัดเวลาและพลังงาน
	41-55	ใช้เวลากับครอบครัวมากกว่าการใช้เวลาเพื่อตนเอง ทำกับข้าว ซักผ้า ซื้อของเข้า บ้าน เป็น คนง่าย ๆ ไม่พิถีพิถันในการเลือกแบรนด์ รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การใส่ใจในคุณภาพ 2. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า 3. การซื้อ เพราะความเคยชินต่อแบรนด์ และ 4. การซื้อแบบประหยัดเวลาและพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของ ผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของเพศชาย (ต่อ)

เพศ	อายุ (ปี)	รูปแบบการตัดสินใจซื้อ
ชาย	41-55	นอกจากนี้ยังพบรูปแบบการตัดสินใจ เฉพาะของของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การเป็น ผู้ใช้หลายแบรนด์ในเวลาเดียวกัน 2. การใส่ใจในสไตล์ของตนเอง และ 3. การไม่เห็นความแตกต่างระหว่างแบรนด์

ตารางที่ 2.10 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของ ผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของเพศหญิง

เพศ	อายุ (ปี)	รูปแบบการตัดสินใจซื้อ
หญิง	21-30	ชีวิตประจำวันมีอิสระค่อนข้างสูง การดำเนินชีวิตไม่เร่งรีบมากนัก มักใช้เวลาอยู่กับเพื่อนฝูงเป็นส่วนใหญ่ และยังคงอาศัยอยู่กับครอบครัว ใช้เวลาว่างกับการสังสรรค์กับเพื่อนฝูง การเดินเล่นในห้าง มีบางส่วนที่ให้ความสำคัญกับการออกกำลังกาย มีความตระหนักต่อสุขภาพค่อนข้างต่ำหากเป็นสินค้าที่ชื่นชอบแล้ว แม้จะรู้ว่าไม่ดีต่อสุขภาพก็จะบริโภค รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การซื้อตามกระแสและความแปลกใหม่ 2. การไม่มีความภักดีต่อร้านและแบรนด์ 3. การใส่ใจในคุณภาพ 4. การซื้อเพราะความเคยชินต่อแบรนด์ และ 5. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า
	31-40	มีความเป็นตัวของตัวเองมากขึ้นไม่ใช้สินค้าตามกระแสมากเกินไป ช่วงวัย 21-30 ปี ใช้ชีวิตในแบบของตัวเอง เช่น หุ่มเทให้กับการช้อปปิ้งมาราธอน เล่นโยคะหรือบอดี้เวท ใส่ใจในรายละเอียดเวลาเลือกซื้อสินค้า เป็นผู้บริโภคที่ละเอียดรอบคอบ และอ่านฉลากสินค้า เป็นผู้ซื้อสินค้าอุปโภคบริโภคให้กับคนในครอบครัว ใส่ใจสุขภาพ ระวังระวังตั้งแต่การรับประทานอาหาร การไม่รับประทานของที่ไม่ดีต่อสุขภาพ ตลอดจนพยายามออกกำลังกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 รูปแบบการตัดสินใจซื้อสินค้าของ ผู้บริโภคชาวไทย ในแต่ละช่วงวัยของ เพศหญิง (ต่อ)

เพศ	อายุ (ปี)	รูปแบบการตัดสินใจซื้อ
หญิง	31-40	รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การใส่ใจในคุณภาพ 2. การใส่ใจในแบรนด์ 3. การซื้อเพราะเคยชินต่อแบรนด์ และ 4. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า
	41-55	ผ่านประสบการณ์การทำงานและการใช้ชีวิตมานาน เข้าใจถึงความ ต้องการอันซับซ้อนของตนเอง ไตร่ตรองเพื่อให้ได้สินค้าที่เหมาะสมกับ ตนเองมากที่สุด ด้วยความเสื่อมถอยของร่างกายจึง ต้องคำนึงถึง ผลกระทบของสินค้านั้นต่อสุขภาพ หากเป็นสินค้าที่ไม่มีประโยชน์ก็ จะหลีกเลี่ยง
	41-55	นอกจากนี้ยังเป็นคนที่มีความกังวลระมัดระวังในการซื้อไม่ให้ความสำคัญ ใ้ใจต่อสินค้าง่าย ๆ อีกทั้งยังให้ความสำคัญต่อการปฏิบัติอย่างมี จริยธรรมของแบรนด์ด้วย รูปแบบการตัดสินใจของกลุ่มผู้บริโภค กลุ่มนี้ ได้แก่ 1. การใส่ใจในคุณภาพ 2. การใส่ใจในแบรนด์ 3. การ ไม่มีความภักดีต่อร้านและแบรนด์ 4. การใส่ใจในสังคมและ สิ่งแวดล้อม 5. การใส่ใจในราคาและความคุ้มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

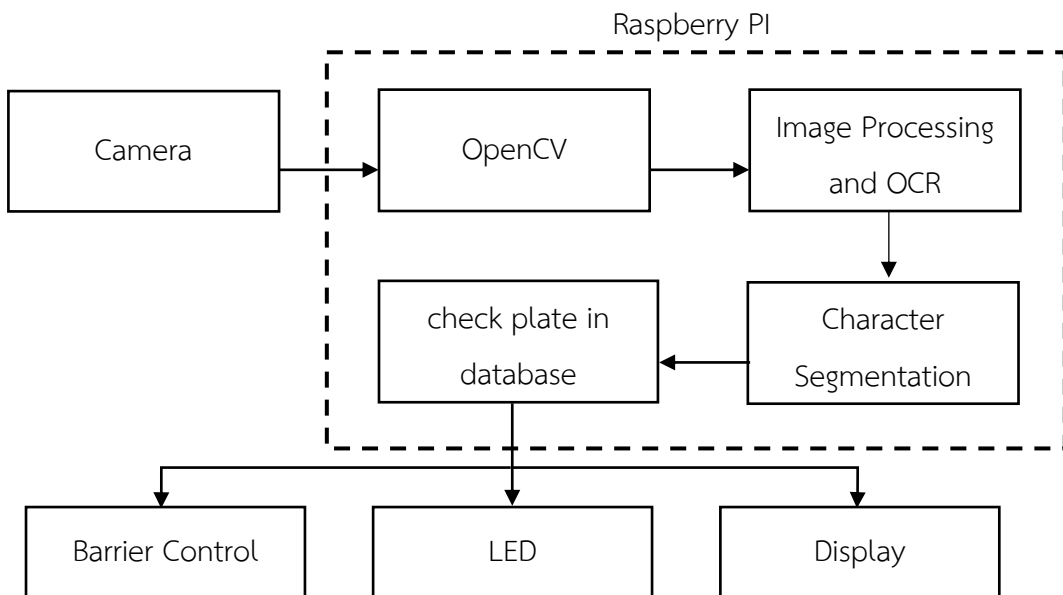
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบระบบการทำงาน

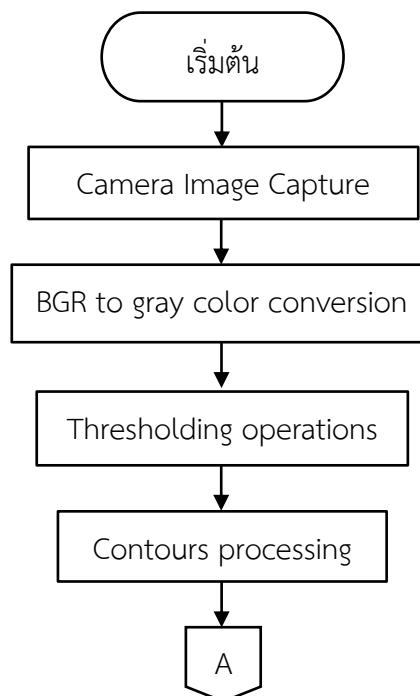
บล็อกไดอะแกรมนี้แสดงภาพรวมการทำงานของระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และการลงทะเบียนโดยระบบนี้จะใช้ Raspberry Pi เป็นหน่วยประมวลผลหลักในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยเริ่มจากการจับภาพรถยนต์ด้วยกล้อง (Raspberry Pi Camera) และใช้ OpenCV ร่วมกับ OCR (Optical Character Recognition) ในการประมวลผลและแปลงข้อความบนป้ายทะเบียนให้อยู่ในรูปแบบที่ตรวจสอบได้ จากนั้นระบบจะทำการแยกตัวอักษร (Character Segmentation) และระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับฐานข้อมูลที่มีการลงทะเบียนไว้หากพบว่าป้ายทะเบียนมีอยู่ในฐานข้อมูลระบบจะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เปิดไม้กั้นพร้อมพร้อมแสดงข้อความบน TFT LCD และเปิดไฟ LED สีเขียว แต่หากไม่พบข้อมูล ระบบจะแสดงข้อความแจ้งเตือนผ่าน TFT LCD และเปิดไฟ LED สีแดง ไม้กั้นจะไม่เปิดดังรูปที่ 3.1

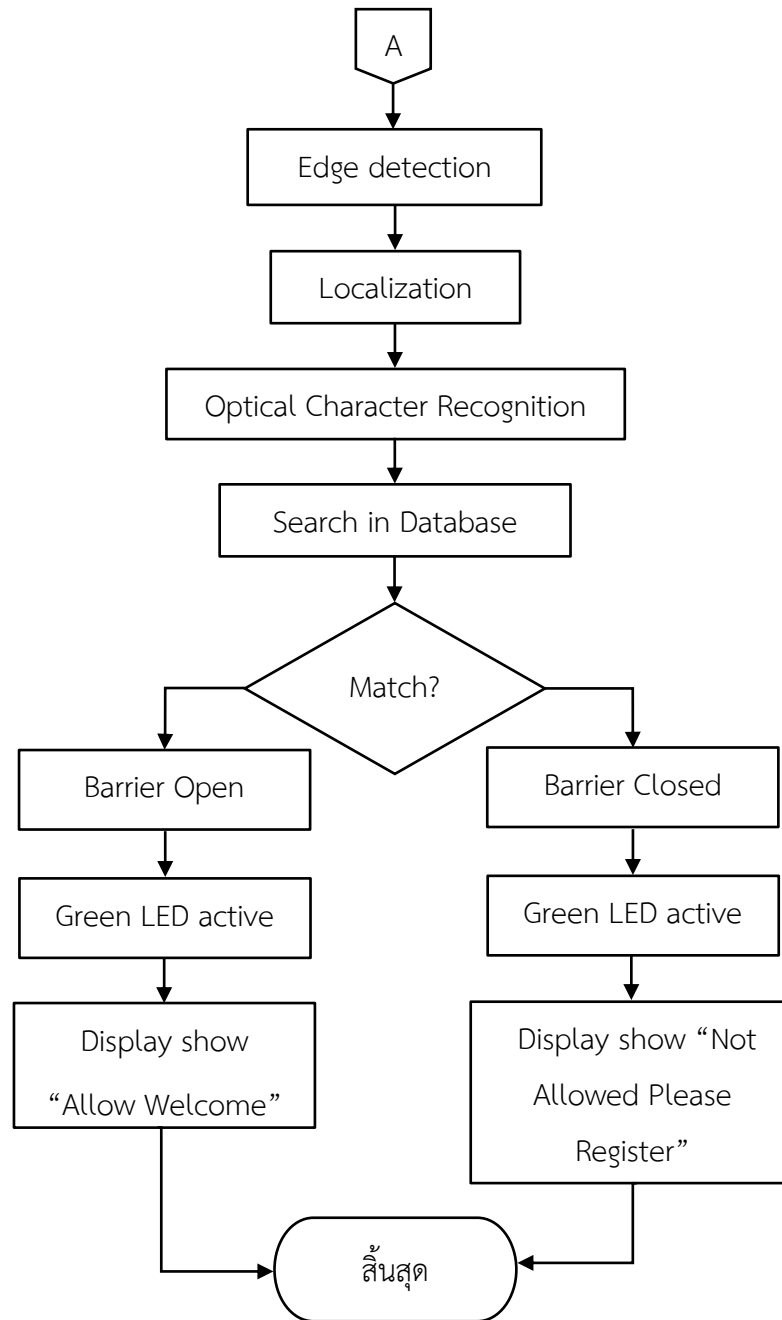


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงภาพรวมของโครงการ

3.1.2 การออกแบบการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และลงทะเบียน ตัวระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi 4 ที่ทำงานร่วมกับ Raspberry Pi Camera โดยใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพ (Image Processing) กระบวนการประมวลผลภาพเริ่มจากการแปลงภาพสี BGR เป็นสีเทาเพื่อลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความชัดเจนของภาพป้ายทะเบียน จากนั้นจะใช้วิธีการ Thresholding และการประมวลผลเส้น Contours และเตรียมความพร้อมสำหรับการตรวจจับขอบ (Edge Detection) ขั้นตอนนี้ช่วยเน้นขอบเขตของป้ายทะเบียนเพื่อให้การแยกแยะตัวอักษรและตัวเลขชัดเจนยิ่งขึ้น ระบบจะระบุตำแหน่งของตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายผ่านกระบวนการ Localization จากนั้นข้อมูลภาพจะถูกส่งไปยัง Tesseract OCR เพื่อทำการแปลงข้อมูลจากภาพเป็นตัวอักษรและตัวเลข ซึ่งทำให้สามารถแปลงข้อมูลจากภาพป้ายทะเบียนให้อยู่ในรูปแบบข้อความ ผลลัพธ์ที่ได้จากการรู้จำตัวอักษรนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลหมายเลขทะเบียนรถที่ได้ทำการลงทะเบียนไว้แล้ว หากข้อมูลตรงกัน ระบบจะทำการเปิดไฟ LED สีเขียวและอนุญาตให้รถยนต์ผ่านได้และระบบจะสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์เปิดไม้กั้น พร้อมแสดงข้อความผ่าน TFT LCD แต่หากข้อมูลไม่ตรง ระบบจะเปิดไฟ LED สีแดง จะแสดงข้อความผ่าน TFT LCD และปฏิเสธการผ่านของรถยนต์โดยไม้กั้นจะไม่เปิดหมายถึงไม่อนุญาต แสดงดังรูปที่ 3.2





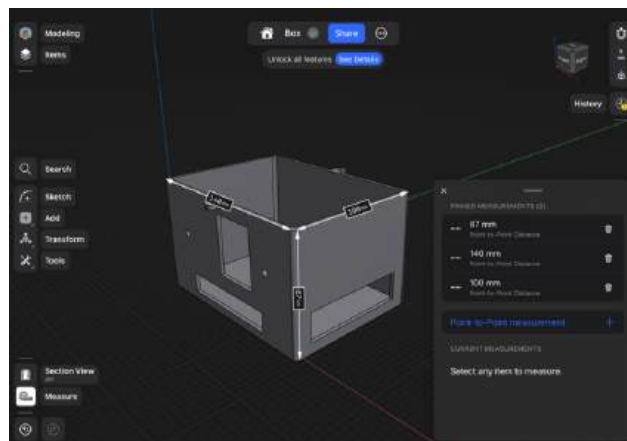
รูปที่ 3.2 แผนผังการออกแบบการทำงานของระบบ

3.1.3 การออกแบบส่วนประกอบของอุปกรณ์ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ

ในส่วนนี้จะทำการออกแบบโครงสร้างของกล่องสำหรับใส่อุปกรณ์ด้วยการพิมพ์ 3 มิติ ผ่านโปรแกรม Shapr3D โดยที่สามารถออกแบบ สร้างและใช้งานได้อย่างสะดวก ซึ่งการออกแบบนั้นจะทำการออกแบบทีละชิ้นส่วนที่อยู่ในโครงสร้าง 3 มิติ โดยจะออกแบบชิ้นงานของกล่องใส่อุปกรณ์ ดังนี้

3.1.3.1 การออกแบบกล่องหลักใส่อุปกรณ์

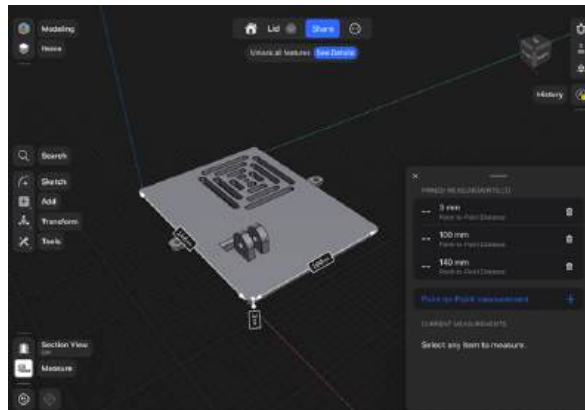
ทำการออกแบบโมเดล 3 มิติสำหรับโครงงานด้วยโปรแกรม Shapr3D โดยวัสดุโครงสร้างทั้งหมดเป็นพลาสมันท์ โครงสร้างของกล่องหลักสำหรับใส่ Arduino Uno R3, Raspberry Pi และ Raspberry Pi Camera กำหนดให้มีขนาดของกล่องมีความกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร สูง 87 มิลลิเมตร โดยการใช้งานออกแบบให้มีช่องสำหรับการใช้งานพอร์ตต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้าง 3 มิติ ของกล่องหลักใส่อุปกรณ์

3.1.3.2 การออกแบบฝาปิดของกล่องหลักใส่อุปกรณ์

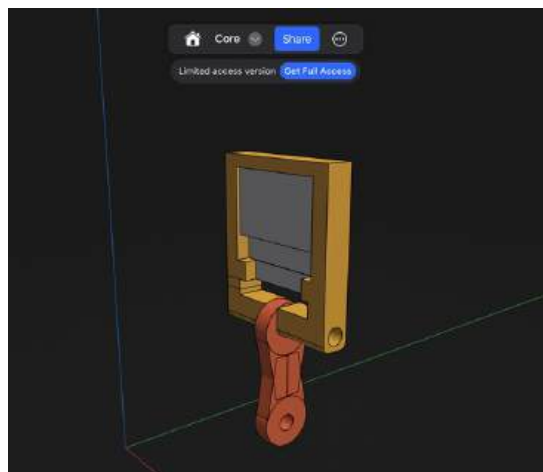
ฝาชของกล่องหลักสำหรับใส่ Raspberry Pi และ Raspberry Pi Camera กำหนดให้มีขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร สูง 3 มิลลิเมตร โดยทำการออกแบบให้มีช่องสำหรับระบายอากาศและส่วนเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi Camera แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฝาสำหรับกล่องหลักใส่อุปกรณ์

3.1.3.3 การออกแบบตัวยึดกล้อง

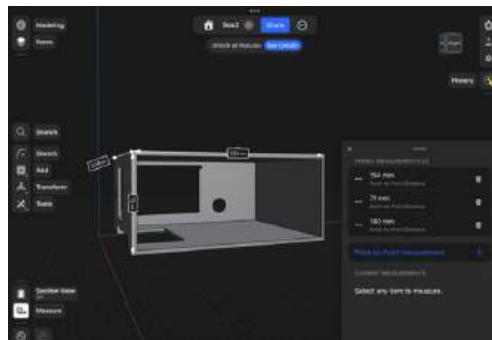
ทำการออกแบบในส่วนของที่ยึด Raspberry Pi Camera ที่สามารถปรับมุมองศาได้ มีขนาดกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร สูง 87 มิลลิเมตร โดยออกแบบให้สามารถปรับมุมและความสูงได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ส่วนยึดกล้อง

3.1.3.4 การออกแบบกล่องใส่อุปกรณ์

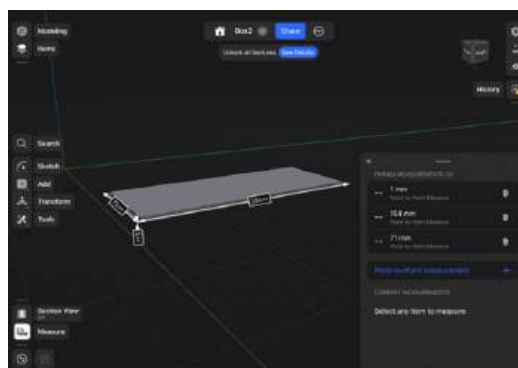
ทำการออกแบบโครงสร้างของกล่องสำหรับใส่จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์ กำหนดให้มีขนาดของกล่องมีความกว้าง 154 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตร สูง 71 มิลลิเมตร โดยการใช้งานออกแบบให้มีช่องสำหรับการใช้งานพอร์ตต่างๆ ออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับใส่จอ LCD ILI9341 และมีช่องสำหรับเซอร์โวมอเตอร์ ที่นำมาทำการจำลองไม้กั้น แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของกล่องหลักสำหรับใส่ จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์

3.1.3.5 ฝาของกล่องหลักสำหรับใส่จอ

ฝาของกล่องหลักสำหรับใส่จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์ กำหนดให้มีขนาดกว้าง 154 มิลลิเมตร ยาว 71 มิลลิเมตร สูง 1 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ฝาของกล่องหลักสำหรับใส่ จอ LCD ILI9341 และ เซอร์โวมอเตอร์

3.1.3.6 การประกอบชิ้นงานและอุปกรณ์เข้าด้วยกัน

เป็นการนำชิ้นงานที่ออกแบบแต่ละส่วนด้วยการพิมพ์ 3 มิติ นำมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์และนำทั้งหมดมาติดตั้งเข้ากับขาตั้งกล้อง แสดงดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 ประกอบชิ้นงานและอุปกรณ์เข้าด้วยกัน

3.1.4 ออกแบบวงจรระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์

การออกแบบวงจรระบบตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.9 ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับบอร์ด Raspberry Pi 4 เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์ โดยใช้ Raspberry Pi Camera ดังตารางที่ 3.1 เชื่อมต่อกับบอร์ดผ่านพอร์ตกล้องสำหรับจับภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ จากนั้นภาพจะถูกประมวลผลเพื่อใช้ในขั้นตอนการรู้จำตัวอักษร ระบบนี้ยังมีการเชื่อมต่อ LED สีเขียวและสีแดงกับขา GPIO ของ Raspberry Pi 4 โดยมีตัวต้านทาน 330 โอห์ม เพื่อควบคุมสถานะของการผ่านหรือห้ามผ่านของรถยนต์ โดย LED สีเขียวจะแสดงเมื่อรถได้รับอนุญาตให้ผ่าน และ LED สีแดงจะแสดงเมื่อไม่อนุญาต ดังตารางที่ 3.2 ทำการเชื่อมต่อจอ LCD

TFT กับ Raspberry Pi 4 ผ่านพอร์ต SPI เพื่อแสดงข้อความแจ้งเตือนให้ผู้ขับขี่ทราบ โดยมี 2 สถานะหลักที่แสดงบน ดังตารางที่ 3.3 และการควบคุมไม้กั้นด้วย Arduino Uno และ Servo Motor MG996R เพื่อให้ระบบสามารถควบคุมไม้กั้นได้โดยอัตโนมัติ Servo Motor MG996R ถูกใช้ในการเปิดและปิดไม้กั้น โดยมี Arduino Uno เป็นตัวกลางที่รับคำสั่งจาก Raspberry Pi 4 ผ่านการสื่อสารแบบ Serial (UART) ดังตารางที่ 3.4 นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi 4 กับ จอภาพเพื่อแสดงการทำงาน และคีย์บอร์ดกับเมาส์สำหรับการควบคุมและตั้งค่าระบบ

ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อ Raspberry Pi Camera Module กับ Raspberry Pi 4

Raspberry Pi Camera Module	Raspberry Pi 4	คำอธิบาย
CSI (Camera Serial Interface)	CSI Camera Port (MIPI CSI-2)	พอร์ตเชื่อมต่อกล้องบนบอร์ด Raspberry Pi 4 ใช้สำหรับถ่ายภาพป้ายทะเบียนรถ

ตารางที่ 3.2 การเชื่อมต่อ LED สีเขียว และสีแดง กับ Raspberry Pi 4

LED	Raspberry Pi 4	คำอธิบาย
LED สีเขียว	GPIO 18 (Pin 12)	ตัวต้านทาน 330 โอห์ม, ต่ออนุกรมกับ LED, จำกัดกระแสป้องกัน LED เสียหาย
LED สีแดง	GPIO 23 (Pin 16)	ตัวต้านทาน 330 โอห์ม, ต่ออนุกรมกับ LED, จำกัดกระแสป้องกัน LED เสียหาย
GND ของ LED สีเขียว	GND (Pin 6)	เชื่อมขั้วลบของ LED ลงกราวด์ของ Raspberry Pi
GND ของ LED สีแดง	GND (Pin 14)	เชื่อมขั้วลบของ LED ลงกราวด์ของ Raspberry Pi

ตารางที่ 3.3 การเชื่อมต่อ TFT LCD ILI9341 กับ Raspberry Pi 4

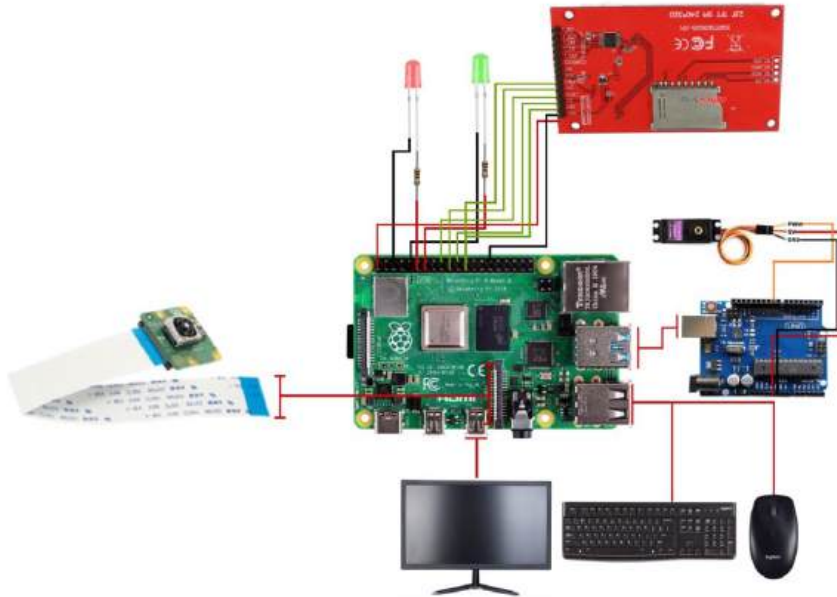
TFT LCD ILI9341	Raspberry Pi 4	คำอธิบาย
VCC	3.3V (Pin 1)	จ่ายไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ ทำหน้าที่เป็นขาเชื่อมต่อไฟเลี้ยงให้กับจอแสดงผล
GND	GND (Pin 6)	ขากราวด์ ทำหน้าที่เป็นขาเชื่อมต่อกับกราวด์ เพื่อให้ไฟฟ้าไหลครบวงจรระหว่าง Raspberry Pi และจอแสดงผล
CS (Chip Select)	GPIO 8 (Pin 24)	เลือกอุปกรณ์ SPI ทำหน้าที่เปิดหรือเลือกการทำงานของจอแสดงผลในระบบ SPI Raspberry Pi จะดึงขา CS เป็น “Low” (0 โวลต์) เมื่อจะสื่อสารกับจอแสดงผล
RESET	GPIO 25 (Pin 22)	ขารีเซ็ตจอ ทำหน้าที่รีเซ็ตการทำงานของจอแสดงผล เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่
DC (Data/Command)	GPIO 24 (Pin 18)	GPIO 24 (Pin 18) ควบคุมโหมดข้อมูล/คำสั่ง ขานี้ใช้ระบุว่าข้อมูลที่ถูกส่งไปยังจอเป็น คำสั่ง หรือ ข้อมูล ถ้าเป็นคำสั่ง (Command) ขา D/C จะอยู่ที่สถานะ “Low” (0) ถ้าเป็นข้อมูล (Data) ขา D/C จะอยู่ที่สถานะ “High” (1) ช่วยให้จอแสดงผลแยกแยะได้ว่าคำสั่งหรือข้อมูลใดที่กำลังถูกประมวลผล
SDI (MOSI)	GPIO 10 (Pin 19)	ส่งข้อมูล SPI ไปยังจอ MOSI ย่อมาจาก Master Out Slave In ขานี้ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก Raspberry Pi (Master) ไปยังจอแสดงผล (Slave)

ตารางที่ 3.3 การเชื่อมต่อ TFT LCD ILI9341 กับ Raspberry Pi 4 (ต่อ)

TFT LCD ILI9341	Raspberry Pi 4	คำอธิบาย
SCK (Clock)	GPIO 11 (Pin 23)	สัญญาณนาฬิกา SPI ใช้สำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาในโหมด SPI สัญญาณนี้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลระหว่าง Raspberry Pi และจอแสดงผลมีความสัมพันธ์กันในเชิงเวลา
LED	5V	จ่ายไฟเลี้ยง แสงพื้นหลัง (Backlight) ทำหน้าที่ควบคุม แสงพื้นหลังของหน้าจอ

ตารางที่ 3.4 การเชื่อมต่อ Arduino Uno R3 กับ เซอร์โวมอเตอร์

Arduino Uno R3	เซอร์โวมอเตอร์	คำอธิบาย
Pin 9	PWM สีส้ม (สัญญาณควบคุม)	ส่งสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์
5V Power Output Pin	5V สีแดง (ไฟเลี้ยงมอเตอร์)	เป็นขาจ่ายไฟเลี้ยง โดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟของ Arduino เซอร์โวมอเตอร์ MG996R ต้องการแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์
GND Pin	GND (กราวด์)	ขา GND คือขาที่ทำหน้าที่เชื่อมกราวด์ระหว่าง Arduino และเซอร์โวมอเตอร์ การเชื่อม GND จะทำให้วงจรไฟฟ้าระหว่าง Arduino และเซอร์โวมอเตอร์ สมบูรณ์ และทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อวงจรโดยรวมทั้งหมด

3.1.5 ออกแบบฐานเก็บข้อมูล

ทำการออกแบบ Database เพื่อเอาไว้จัดเก็บข้อมูล เพิ่มข้อมูล อัปเดตข้อมูล และการลบข้อมูลออกจากฐานข้อมูล เพื่อรับและส่งข้อมูลระหว่างเว็บไซต์ โดยใช้ PHP ในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เช่น หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์ ชื่อเจ้าของ เพศ และ วัน เวลาที่ เข้า-ออก การตรวจสอบการลงทะเบียนของรถยนต์ โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ลงทะเบียนผ่าน admin LicensePlatesRecognitionกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ในDetectLicense

หน้าเข้าสู่ระบบของ phpMyAdmin แสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลแบบกราฟิกที่ทำงานบนเว็บ (Web-based Interface) ซึ่งใช้สำหรับการจัดการฐานข้อมูล MySQL หรือ MariaDB ได้อย่างสะดวก โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องใช้คำสั่ง SQL โดยตรงในหน้านี้มีช่องให้กรอกข้อมูลการเข้าสู่ระบบ (Username และ Password) สำหรับผู้ดูแลระบบเพื่อเข้าถึงฐานข้อมูล หากทำการเข้าสู่ระบบสำเร็จ ผู้ใช้จะสามารถจัดการฐานข้อมูลได้ เช่น การสร้างฐานข้อมูลใหม่ การจัดการตาราง (Tables) การนำเข้าหรือส่งออกข้อมูล และการเรียกใช้คำสั่ง SQL



รูปที่ 3.10 หน้าเข้าสู่ระบบของ Admin

หลักการทำงานของฐานข้อมูล โดยฐานข้อมูลจะมี 2 ส่วน แสดงดังรูปที่ 3.11

1. LicensePlatesRecognition คือ ส่วนที่เอาไว้เพิ่มและลบข้อมูล สำหรับสมาชิกและให้ admin เป็นผู้ดำเนินการทั้งหมด
2. DetectLicense คือ ส่วนที่ได้จากการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยจะนำข้อมูลที่ตรวจจับได้มาเก็บไว้ในส่วนนี้ เช่น หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์ และ วัน-เวลาที่เข้า

Table	Action	Rows	Type	Collation	Size	Overhead
<input type="checkbox"/> DetectLicense		5,544	InnoDB	utf8mb4_general_ci	246.0 KIB	-
<input type="checkbox"/> LicensePlatesRecognition		15	InnoDB	utf8mb4_general_ci	26.0 KIB	-
2 tables	Sum	5,559	InnoDB	utf8mb4_general_ci	256.0 KIB	0 B

รูปที่ 3.11 หน้าการจัดการฐานข้อมูล

ในระบบบริหารจัดการที่จอดรถ เป็นส่วนสำคัญที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลของยานพาหนะที่ได้รับอนุญาตให้เข้าออกพื้นที่ โดยมีหน้าที่หลักในการควบคุมการเข้าถึงและบริหารจัดการรถยนต์ที่อยู่ในระบบ นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการควบคุมการเข้าออกของรถยนต์ภายในพื้นที่จอดรถ โดยใช้ plate_number เป็นหมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์เพื่อระบุแต่ละคัน อีกทั้งยังสามารถกำหนดสถานะการอนุญาตหรือไม่อนุญาต (allowed หรือ blocked) เพื่อควบคุมการเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลการลงทะเบียน

Field Name	Data Type	คำอธิบาย
plate_number	VARCHAR(20) PRIMARY KEY	ทะเบียนรถ (PK)
owner_id	INT	รหัสเจ้าของรถ (FK -> users.id)
vehicle_type	VARCHAR(50)	ประเภทรถ (เช่น รถยนต์, มอเตอร์ไซค์)
status	ENUM('allowed', 'blocked')	อนุญาตให้ผ่านหรือไม่
created_at	TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP	วันที่ลงทะเบียน

ระบบบันทึกการเข้าออกของรถยนต์เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบบริหารจัดการที่จอดรถ ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเข้าและออกของรถยนต์ที่ใช้งานพื้นที่จอดรถ โดยจะบันทึกรายละเอียดการเข้าออก รวมถึงภาพที่บันทึกจากกล้อง ระบบสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการควบคุมการเข้าออก ตรวจสอบย้อนหลัง และจัดเก็บเป็นข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการที่จอดรถอย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 บันทึกการเข้า-ออก

Field Name	Data Type	คำอธิบาย
id	INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT	รหัสบันทึก (PK)
plate_number	VARCHAR(20)	ทะเบียนรถ (FK -> vehicles.plate_number)

ตารางที่ 3.6 บันทึกการเข้า-ออก (ต่อ)

Field Name	Data Type	คำอธิบาย
entry_time	DATETIME	เวลาที่เข้าพื้นที่
exit_time	DATETIME DEFAULT NULL	เวลาที่ออกจากพื้นที่
status	ENUM('in', 'out', 'denied')	สถานะการเข้า-ออก
captured_image	VARCHAR(255)	รูปที่จับจากกล้อง
created_at	TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP	วันที่บันทึก

โครงสร้างข้อมูลสำหรับจัดเก็บรายละเอียดของผู้ใช้ระบบ โดยมี id เป็นรหัสผู้ใช้ที่มีการกำหนดให้เป็น Primary Key และเพิ่มค่าอัตโนมัติ (AUTO_INCREMENT) เพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละผู้ใช้มีรหัสเฉพาะ ไม่ซ้ำกัน ข้อมูลที่บันทึกในตารางนี้ประกอบด้วย name สำหรับจัดเก็บชื่อเจ้าของบัญชี phone สำหรับเก็บหมายเลขโทรศัพท์ และ email สำหรับเก็บที่อยู่อีเมลของผู้ใช้ ทั้งหมดใช้ประเภทข้อมูล VARCHAR เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อความได้อย่างยืดหยุ่น นอกจากนี้ ยังมี created_at ซึ่งเป็น Field ประเภท TIMESTAMP ที่กำหนดค่าเริ่มต้นให้เป็นเวลาปัจจุบัน (CURRENT_TIMESTAMP) โดยอัตโนมัติ เพื่อบันทึกเวลาที่ผู้ใช้ทำการลงทะเบียนเข้าสู่ระบบมีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการข้อมูลผู้ใช้ ช่วยให้สามารถตรวจสอบและเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลผู้ใช้

Field Name	Data Type	คำอธิบาย
id	INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT	รหัสผู้ใช้ (PK)
name	VARCHAR(100)	ชื่อเจ้าของ
phone	VARCHAR(15)	เบอร์โทร
email	VARCHAR(100)	อีเมล
created_at	TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP	วันที่ลงทะเบียน

โครงสร้างข้อมูลที่ใช้สำหรับจัดเก็บค่าการตั้งค่าต่างๆ ของระบบ โดยมี id เป็นรหัสการตั้งค่าที่กำหนดให้เป็น Primary Key และใช้ AUTO_INCREMENT เพื่อให้แต่ละค่าการตั้งค่ามีรหัสเฉพาะที่ไม่ซ้ำกัน Field setting_key ถูกกำหนดให้มีค่าเฉพาะ (UNIQUE) เพื่อใช้เป็นตัวระบุชื่อของ

ค่าการตั้งค่าอื่นๆ และถูกจัดเก็บในรูปแบบ VARCHAR(100) เพื่อรองรับข้อความที่เป็นชื่อการตั้งค่า ส่วน setting_value ใช้ประเภทข้อมูล TEXT เพื่อรองรับค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งอาจเป็นข้อความหรือข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ Field updated_at เป็นประเภท TIMESTAMP และมีการกำหนดให้ค่าเริ่มต้นเป็นเวลาปัจจุบัน (CURRENT_TIMESTAMP) พร้อมกับอัปเดตค่าโดยอัตโนมัติเมื่อมีการแก้ไขข้อมูล (ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP) ช่วยให้ระบบสามารถจัดเก็บและเรียกใช้ค่าการตั้งค่าต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถบริหารจัดการการตั้งค่าระบบได้อย่างยืดหยุ่นและสะดวกในการอัปเดตข้อมูล ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การตั้งค่าระบบ

Field Name	Data Type	คำอธิบาย
id	INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT	รหัสการตั้งค่า
setting_key	VARCHAR(100) UNIQUE	ชื่อค่าตั้งค่า
setting_value	TEXT	ค่าที่ตั้งไว้
updated_at	TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON UPDATE CURRENT_TIMESTAMP	วันที่อัปเดตล่าสุด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปฏิญานิพนธ์นี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 Raspberry pi 4

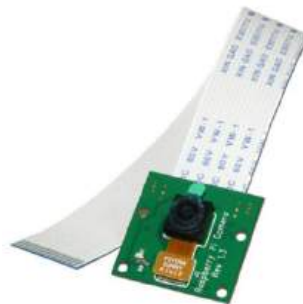
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลหลักของระบบ โดยควบคุมการทำงานทั้งหมด รวมถึงการประมวลผลภาพ การควบคุมไฟ LED และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เพื่อดำเนินงานตรวจจับและยืนยันป้ายทะเบียนรถยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 บอร์ด raspberry pi 4

3.2.2 Raspberry Pi Camera

กล้องที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 ผ่านพอร์ตกล้อง ซึ่งทำหน้าที่ในการจับภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ ภาพที่ได้จะถูกส่งไปประมวลผลใน Raspberry Pi 4 เพื่อดึงข้อมูลตัวอักษรและตัวเลขที่ปรากฏบนป้ายทะเบียนรถยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กล้องสำหรับ Raspberry Pi

3.2.3 LED สีเขียวและสีแดง

ไฟ LED สองสีที่ต่อกับขา GPIO ของ Raspberry Pi ทำหน้าที่แสดงสถานะการอนุญาตให้ผ่าน (LED สีเขียว) หรือไม่อนุญาตให้ผ่าน (LED สีแดง) โดยมีการเชื่อมต่อผ่านตัวต้านทานขนาด 330 โอห์ม เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับ LED แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ไฟ LED

3.2.4 ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม

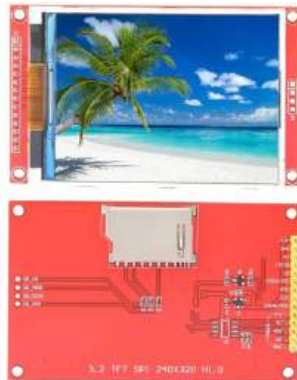
อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดกระแสไฟฟ้าของ LED ทำให้สามารถควบคุมระดับกระแสที่ส่งไปยัง LED ได้อย่างเหมาะสมและป้องกันไม่ให้อายุ LED ใหม่หรือเสียหายจากการรับกระแสไฟมากเกินไป แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ตัวต้านทานขนาด 10 โอห์ม

3.2.5 TFT LCD ILI9341

หน้าจอแสดงผลแบบสีที่ใช้สำหรับแสดงข้อมูลสถานะของระบบ เช่น ข้อความแจ้งเตือนเกี่ยวกับการอนุญาตให้รถยนต์ผ่านหรือไม่ รองรับการเชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เฟซ SPI ช่วยให้สามารถสื่อสารกับ Raspberry Pi หรือ Arduino ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 TFT LCD ILI9341

3.2.6 Arduino Uno R3

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และรับส่งข้อมูลกับ Raspberry Pi ผ่านพอร์ต USB ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการควบคุมการทำงานของไม้กั้นอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 Arduino Uno R3

3.2.7 Servo Motor MG996R

มอเตอร์เซอร์โวที่ใช้สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดของไม้กั้น โดยหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดตามคำสั่งจาก Arduino ทำให้ระบบสามารถควบคุมการเข้า-ออกของยานพาหนะได้อย่างแม่นยำ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 Servo Motor MG996R

3.2.8 สายไฟ

สายเชื่อมต่อใช้สำหรับส่งสัญญาณและจ่ายไฟระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยสายผู้-เมีย ใช้เชื่อมบอร์ดควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น Raspberry Pi กับจอ LED สีเขียวและสีแดง, สายผู้-ผู้ ใช้เชื่อมขา พิน (Male) เช่น Arduino Uno R3 กับเซอร์โวมอเตอร์, และ สายเมีย-เมีย ใช้เชื่อมอุปกรณ์ที่มีช่องเสียบ (Socket - Female) ทั้งสองด้าน เช่น TFT LCD ILI9341 กับ Raspberry Pi แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 สายไฟ

3.2.9 จอภาพ (Monitor)

เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi เพื่อใช้แสดงผลภาพจากการตรวจจับและประมวลผลข้อมูล ช่วยให้ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลที่ระบบทำงานได้แบบเรียลไทม์ แสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 จอภาพ

3.2.10 คีย์บอร์ดและเมาส์

อุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi สำหรับการควบคุมและตั้งค่า รวมถึงการแก้ไขปัญหาหรือการปรับค่าต่าง ๆ ในระบบ ช่วยให้การจัดการระบบทำได้สะดวกและง่ายขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 คีย์บอร์ดและเมาส์

3.2.11 Micro SD Card

การ์ดหน่วยความจำที่ใช้เก็บระบบปฏิบัติการและซอฟต์แวร์ทั้งหมดของ Raspberry Pi 4 ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำหลักในการจัดเก็บข้อมูลและการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 Micro SD Card

3.2.12 USB Type-C สำหรับไฟเลี้ยง

พอร์ต USB Type-C ที่ให้พลังงานไฟฟ้าแก่ Raspberry Pi 4 เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก USB Type-C รองรับการจ่ายไฟที่เสถียรและเพียงพอสำหรับการใช้งานกับบอร์ด Raspberry Pi 4 แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 USB Type-C

3.2.13 สาย Micro HDMI

สายเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi 4 กับจอภาพผ่าน พอร์ต Micro HDMI ซึ่งใช้สำหรับการแสดงผลภาพจากระบบ โดยสามารถแสดงผลการประมวลผลแบบเรียลไทม์ได้ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะของระบบได้อย่างสะดวกและปรับแต่งการทำงานได้ตามต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 สาย Micro HDMI

3.2.14 เส้นพลาสติก (Filament) สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ

วัสดุที่ใช้ในการพิมพ์เคสหรือชิ้นส่วนที่ใช้กับ Raspberry Pi และกล่องผ่านเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ช่วยสร้างโครงสร้างที่แข็งแรงและสามารถออกแบบให้เข้ากับการติดตั้งระบบได้อย่างเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 เส้นพลาสติก (Filament)

3.2.15 ขาตั้งกล้อง

อุปกรณ์ที่ช่วยยึดอุปกรณ์ทั้งหมดไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ ช่วยให้การใช้งานระบบเป็นไปได้อย่างสะดวก มั่นคง โดยสามารถปรับความสูงและมุมของกล้องได้ ทำให้การจับภาพป้ายทะเบียนรถมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ขาตั้งกล้อง

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 ทดสอบ Image Processing โดยใช้ OpenCV กับรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ ที่ทำการ Import รูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์มา

3.3.2 ทดสอบ Image Processing โดยใช้ OpenCV กับรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ ที่ทำการถ่ายด้วยกล้องสำหรับ Raspberry Pi

3.3.3 ทดสอบระบบการอ่านตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยไลบรารี Tesseract OCR โดยใช้รูปภาพที่ทำการแคปจากกล้องสำหรับ Raspberry Pi

3.3.4 ทดสอบระบบการอ่านตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยไลบรารี Tesseract OCR โดยให้ตั้งค่าให้ระบบไม่สามารถอ่านตัวอักษรพิเศษได้ และทำการตั้งค่าให้ระบบ อ่านได้เพียงบรรทัดเดียวเท่านั้น

3.3.5 ทดสอบระบบการอ่านตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วยไลบรารี Tesseract OCR โดยทำการปรับมุมกล้องให้อ่านได้ที่มุมเฉียงออกมาจากข้างรถ ประมาณ 30 องศา ความสูงจากพื้นถึงกล้อง ประมาณ 60-70 เซนติเมตร ระยะห่างจากหน้ารถถึงกล้อง 1.5 เมตร

3.3.6 ทดสอบระบบฐานข้อมูลในการจัดเก็บและการจัดการข้อมูลที่ได้จากการ ตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และจากการลงทะเบียนสำหรับสมาชิก

3.3.7 ทดสอบของระบบที่ทำการแก้ไขและพัฒนาระบบอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ โดย เปลี่ยนจากการกำหนดการแคปภาพ เป็นการเปิดกล้องตลอดเวลาเพื่อให้มีความรวดเร็วในการ ตรวจจับกรอบสี่เหลี่ยมของป้ายทะเบียนรถยนต์

3.3.8 ทดสอบระบบอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ ให้สามารถอ่านตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ได้กับป้ายทะเบียนรถยนต์หลากหลายประเภทมากขึ้น

3.3.9 ทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ MG996R

3.3.9.1 ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นตัวกำหนดให้ตัวเซอร์โวมอเตอร์ทำงาน โดยทำการเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์กับ Arduino

3.3.10 ทดสอบการทำงานของจอ LCD SPI โมดูล TFT ILI9341 ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi โดยตรงผ่าน GPIO และ SPI (Serial Peripheral interface)

3.3.11 ทดสอบการทำงานร่วมกันของเซอร์โวมอเตอร์กับจอ LCD

3.3.11.1 ทดสอบการทำงานในกรณีที่หมายเลขทะเบียนตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล

3.3.11.2 ทดสอบการทำงานในกรณีที่หมายเลขทะเบียนไม่ตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล

3.3.11.2 ทดสอบการทำงานในกรณีที่ไม่มีป้ายทะเบียนผ่านเข้ามา

บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับการทำงานของ การตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์และการลงทะเบียนโดยใช้หลักการการประมวลผลภาพ ผู้จัดทำได้ทำการเก็บผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองและจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วน ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบการทำงานของ raspberry Pi Camera

จากการเชื่อมต่อ Raspberry Pi Camera กับ Raspberry Pi ผ่านพอร์ต CSI (Camera Serial Interface) ซึ่งเป็นพอร์ตพิเศษที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อกับกล้อง การเชื่อมต่อนี้ใช้สายแพร (ribbon cable) ที่มีความยืดหยุ่น เพื่อต่อกล้องเข้ากับพอร์ต CSI ที่อยู่บนบอร์ด Raspberry Pi แสดงดังรูปที่ 4.1



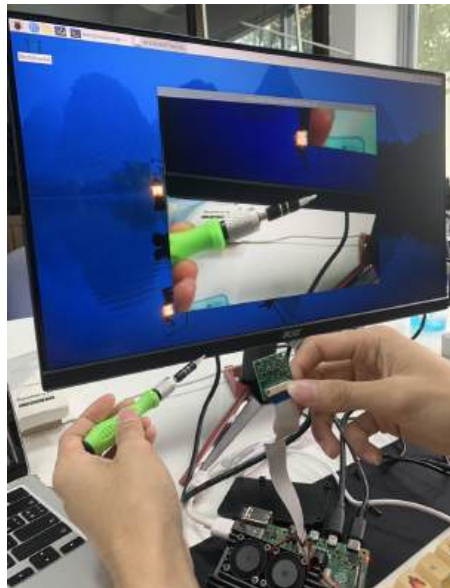
รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อ Raspberry Pi Camera กับ Raspberry Pi

เมื่อต่อกล้องเสร็จแล้ว ต้องติดตั้งไดรเวอร์และซอฟต์แวร์ที่จำเป็น เช่น ใช้คำสั่ง `sudo raspi-config` เพื่อเปิดใช้งานการรองรับกล้อง และอาจต้องติดตั้ง `libcamera` หรือ `picamera` ซึ่งเป็นไลบรารีสำหรับการควบคุมกล้อง

เมื่อติดตั้งซอฟต์แวร์และเปิดการใช้งานกล้องแล้วสามารถใช้คำสั่งพื้นฐานเพื่อถ่ายภาพหรือวิดีโอ เช่น

1. libcamera-still -o image.jpg สำหรับถ่ายภาพ
2. libcamera-vid -o video.h264 สำหรับบันทึกวิดีโอ

สามารถปรับแต่งค่าต่าง ๆ เช่น ความละเอียดของภาพ, ค่า ISO, ความเร็วชัตเตอร์ และการโฟกัสได้ตามต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการใช้งาน Raspberry Pi Camera

4.2 ผลการทดสอบการปรับขนาดรูปภาพเพื่อให้ได้ขนาดภาพที่เหมาะสมกับการใช้งาน

4.2.1 ปรับขนาดภาพถ่ายสูงสุดเป็น 2592x1944 พิกเซล

การปรับขนาดภาพถ่ายของกล้องจากความละเอียดสูงสุดเป็น 2592x1944 พิกเซล หมายถึงการตั้งค่ากล้องให้ถ่ายภาพที่มีจำนวนพิกเซล สูงสุดตามที่กล้องรองรับ ซึ่งส่งผลให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดคมชัด เนื่องจากภาพจะประกอบด้วยพิกเซลจำนวนมาก ส่งผลต่อหลายด้าน เช่น พื้นที่จัดเก็บข้อมูลและประสิทธิภาพในการใช้งานของระบบ

การถ่ายภาพที่ความละเอียด 2592x1944 พิกเซล ให้ภาพที่มีความคมชัดสูง รายละเอียดของวัตถุและฉากจะดูกันที่กไว้อย่างชัดเจนมากขึ้น เพราะภาพประกอบด้วยจำนวนพิกเซลมากกว่าเมื่อเทียบกับภาพความละเอียดต่ำ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขนาดรูปภาพที่เป็น 2592x1944 พิกเซล

เมื่อภาพมีความละเอียดสูงขึ้น ขนาดไฟล์ภาพจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากข้อมูลพิกเซลมากขึ้นต้องการพื้นที่จัดเก็บที่มากกว่า ตัวอย่างเช่น ภาพขนาด 2592x1944 พิกเซล ในรูปแบบไฟล์ JPEG อาจมีขนาดประมาณ 2-3 MB ขึ้นอยู่กับการบีบอัดของภาพ แต่หากเป็นไฟล์ RAW หรือ PNG ที่บีบอัดน้อย ขนาดไฟล์อาจเพิ่มขึ้นถึง 10 MB หรือมากกว่า หากถ่ายภาพจำนวนมากหรือใช้งานระบบที่ต้องการเก็บภาพความละเอียดสูง การใช้ที่จัดเก็บข้อมูล เช่น การ์ด SD หรือ ฮาร์ดไดรฟ์ อาจเต็มเร็วขึ้น และอาจต้องการการจัดเก็บข้อมูลที่มีความจุสูงขึ้น เช่น 64 GB, 128 GB หรือมากกว่า

การถ่ายภาพและการประมวลผลภาพความละเอียดสูงต้องการพลังประมวลผลที่สูงขึ้น ทั้งจากกล้องและจากระบบที่ใช้จัดการภาพ เช่น การประมวลผลภาพบน Raspberry Pi หรือ คอมพิวเตอร์ ในบางกรณีการถ่ายภาพต่อเนื่องด้วยความละเอียดสูงอาจทำให้ระบบทำงานช้าลง หรือเกิดความล่าช้าในการบันทึกภาพ เนื่องจากการถ่ายโอนและการจัดเก็บข้อมูลใช้เวลาเพิ่มขึ้น หากมีการใช้งานการประมวลผลภาพแบบเรียลไทม์

การถ่ายภาพและจัดการภาพความละเอียดสูงจะใช้พลังงานมากขึ้น เนื่องจากต้องประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก การจัดเก็บข้อมูลและการแสดงผลภาพในความละเอียดสูงอาจทำให้การใช้งานพลังงานมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้ Raspberry Pi แบบพกพาหรือการใช้งานที่ต้องการประหยัดพลังงาน

หากต้องการส่งภาพความละเอียดสูงผ่านเครือข่าย เช่น การถ่ายโอนไฟล์ผ่าน Wi-Fi หรือการสตรีมภาพจากกล้องในแบบเรียลไทม์ ขนาดไฟล์ที่ใหญ่ขึ้นอาจทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูล หรือใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายมากขึ้น สำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการความเร็ว เช่น การสตรีมวิดีโอจากกล้อง ความละเอียดสูงอาจไม่เหมาะสม เพราะอาจทำให้เกิดการหน่วงเวลาหรือบัฟเฟอร์

4.2.2 ปรับขนาดภาพถ่ายต่ำสุดเป็น 64x64 พิกเซล

การปรับขนาดภาพถ่ายของกล้องให้มีความละเอียดต่ำสุดเป็น 64x64 พิกเซล หมายถึงการตั้งค่ากล้องให้ถ่ายภาพที่มีจำนวนพิกเซลน้อยที่สุดเท่าที่กล้องรองรับ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดต่ำและความคมชัดลดลงอย่างมาก เนื่องจากจำนวนพิกเซลที่ใช้ในการสร้างภาพมีน้อย โดยการปรับความละเอียดต่ำเช่นนี้มีผลหลายด้าน

ภาพที่มีความละเอียด 64x64 พิกเซล ประกอบด้วยพิกเซลเพียง 4,096 จุด ซึ่งเป็นจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับภาพทั่วไป ภาพที่ได้จะดูหยาบและขาดรายละเอียด เพราะพิกเซลแต่ละจุดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขนาดรูปภาพที่เป็น 64x64 พิกเซล

ขนาดไฟล์ภาพจะเล็กมาก เนื่องจากข้อมูลพิกเซลน้อยกว่า ตัวอย่างเช่น ไฟล์รูปแบบ JPEG ของภาพ 64x64 พิกเซล อาจมีขนาดเพียงไม่กี่ KB (เช่น 10-20 KB) การถ่ายภาพจำนวนมากในความละเอียดนี้จะใช้พื้นที่จัดเก็บน้อยมาก ทำให้สามารถถ่ายภาพจำนวนมากได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องพื้นที่จัดเก็บข้อมูลเต็ม เหมาะสำหรับระบบที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บ เช่น ในอุปกรณ์ฝังตัว (embedded systems) หรือโปรเจกต์ IoT ที่ต้องการประหยัดพื้นที่จัดเก็บ

การประมวลผลภาพในความละเอียดต่ำจะใช้ทรัพยากรน้อยมาก ทั้งในแง่ของพลังประมวลผลและเวลา เนื่องจากข้อมูลที่ต้องประมวลผลมีน้อย การถ่ายโอนข้อมูลก็จะรวดเร็วขึ้น เพราะขนาดไฟล์เล็ก ส่งผลให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วในการประมวลผล เช่น การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ หรือการใช้งานกล้องร่วมกับระบบประมวลผลภาพขั้นพื้นฐาน เช่น การตรวจจับการเคลื่อนไหว

การถ่ายภาพความละเอียดต่ำช่วยประหยัดพลังงานได้มาก เนื่องจากการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลทำได้รวดเร็วโดยใช้พลังงานน้อย เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่หรือระบบที่ต้องการประหยัดพลังงาน เช่น การตรวจจับการเคลื่อนไหวในกล้องรักษาความปลอดภัยที่ทำงานตลอดเวลา

การส่งข้อมูลภาพขนาด 64x64 พิกเซล ผ่านเครือข่ายจะทำได้รวดเร็วและใช้แบนด์วิดท์น้อยมาก ซึ่งเหมาะสำหรับระบบที่ต้องส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตหรือเครือข่ายไร้สายที่มีความเร็วต่ำ การสตรีมภาพแบบเรียลไทม์ที่ความละเอียดต่ำจะไม่เกิดการหน่วงเวลามากนัก และสามารถส่งผ่านเครือข่ายที่มีข้อจำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.3 ปรับขนาดภาพถ่ายเป็น 1280x720 พิกเซล

การปรับขนาดภาพถ่ายของกล้องให้มีความละเอียด 1280x720 พิกเซล (หรือที่เรียกว่า HD หรือ 720p) เป็นขนาดความละเอียดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการคุณภาพของภาพที่ดีพอสมควร แต่ไม่สูงจนเกินไป ซึ่งจะได้ภาพที่มีรายละเอียดชัดเจนพอสำหรับการแสดงผลและการประมวลผลที่ไม่หนักมาก

ภาพที่มีความละเอียด 1280x720 พิกเซล มีพิกเซลทั้งหมดประมาณ 0.9 ล้านพิกเซล (0.9 MP) ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานทั่วไป เช่น การบันทึกวิดีโอเพื่อดูบนหน้าจอขนาดเล็กถึงขนาดกลาง หรือการสตรีมภาพแบบเรียลไทม์ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ปรับขนาดภาพถ่ายเป็น 1280x720 พิกเซล

ขนาดไฟล์ภาพที่ความละเอียด 1280x720 พิกเซล จะไม่ใหญ่จนเกินไป โดยไฟล์ภาพแบบ JPEG อาจมีขนาดประมาณ 200-500 KB (ขึ้นอยู่กับวิธีการบีบอัด) และไฟล์วิดีโออาจมีขนาดไฟล์เล็กกว่าความละเอียดสูงเช่น Full HD หรือ 4K มาก การถ่ายภาพและวิดีโอในความละเอียดนี้จึงประหยัดพื้นที่จัดเก็บได้มากกว่า และสามารถเก็บภาพจำนวนมากขึ้นได้เมื่อเทียบกับความละเอียดที่สูงกว่า ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องเก็บข้อมูลต่อเนื่อง หรือในกรณีพื้นที่จัดเก็บข้อมูลมีจำกัด

การประมวลผลภาพที่ความละเอียด 1280x720 พิกเซล ใช้ทรัพยากรน้อยกว่าความละเอียดที่สูงกว่ามาก ทำให้ระบบประมวลผลสามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น และเหมาะสำหรับการประมวลผลแบบเรียลไทม์ เหมาะสำหรับการใช้งานร่วมกับ Raspberry Pi หรือระบบฝังตัวที่มีทรัพยากรจำกัด เช่น การทำงานในโปรเจกต์ AI หรือ Machine Learning ที่ต้องการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ เช่น การตรวจจับวัตถุ การจดจำใบหน้า หรือการวิเคราะห์ภาพที่ไม่ต้องการรายละเอียดสูงเกินไป

การถ่ายภาพและบันทึกวิดีโอที่ความละเอียด 1280x720 พิกเซล ใช้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ Full HD หรือ 4K การลดการใช้พลังงานนี้ช่วยยืดอายุแบตเตอรี่และลดความร้อนของอุปกรณ์ ทำให้ระบบทำงานได้เสถียรมากขึ้นในระยะยาว

การส่งภาพหรือวิดีโอความละเอียด 1280x720 พิกเซล จะใช้แบนด์วิดท์น้อยกว่า Full HD และ 4K ทำให้เหมาะกับการสตรีมแบบเรียลไทม์ในกรณีที่มีข้อจำกัดของแบนด์วิดท์ เช่น การสตรีมผ่านเครือข่าย Wi-Fi หรือเครือข่ายมือถือ

ดังนั้น การปรับขนาดภาพถ่ายของกล้องให้มีความละเอียด 1280x720 พิกเซล เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน เนื่องจากให้ภาพที่คมชัดในระดับพอเหมาะ ใช้พื้นที่จัดเก็บและพลังงานไม่มาก และสามารถประมวลผลได้รวดเร็ว

4.3 ผลการทดสอบการทำงานของ การประมวลผลภาพ

การทดสอบการประมวลผลภาพสำหรับป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วย OpenCV เป็นการนำเทคนิคประมวลผลภาพมาช่วยในการระบุและอ่านข้อมูลจากป้ายทะเบียนโดยอัตโนมัติ กระบวนการนี้มุ่งเน้นที่การตรวจจับพื้นที่ที่เป็นป้ายทะเบียนในภาพแล้วแปลงข้อมูลนั้นให้เป็นตัวอักษรหรือตัวเลข

4.3.1 การประมวลผลภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วย OpenCV

การใช้ OpenCV สำหรับประมวลผลภาพเริ่มจากการนำเข้าภาพที่ต้องการใช้งาน เช่น ในกรณีนี้คือภาพป้ายทะเบียนรถยนต์ OpenCV เป็นไลบรารีที่มีฟังก์ชันครบถ้วนสำหรับการจัดการภาพ ไม่ว่าจะเป็นการเปิดอ่านไฟล์ภาพ การปรับแต่ง การแปลงรูปแบบ และการแสดงผล ทำให้การทำงานกับภาพเป็นไปได้อย่างราบรื่น

OpenCV สามารถเปิดไฟล์ภาพจากตำแหน่งที่เก็บไว้ และแสดงภาพในหน้าต่างใหม่ได้ทันที ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบภาพนั้นก่อนจะเริ่มขั้นตอนการประมวลผลอื่น ๆ เช่น การปรับปรุงความคมชัด การกรองสี หรือการแยกขอบ เมื่อภาพถูกโหลดเข้าสู่โปรแกรม OpenCV จะเก็บข้อมูลเป็นพิกเซล ทำให้สามารถทำการประมวลผลต่อไปได้อย่างยืดหยุ่น แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพป้ายทะเบียนรถยนต์

4.3.2 การแปลงรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จาก RGB เป็นภาพระดับเทา

การแปลงภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพสี (RGB) เป็นภาพระดับเทา คือการเปลี่ยนจากภาพที่ประกอบด้วยสีแดง (Red), เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ในระบบ RGB ให้กลายเป็นภาพที่มีเฉดสีเพียงขาวถึงดำ ภาพระดับเทาแสดงเฉพาะความเข้มของแสงเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลสี โดยความเข้มที่แตกต่างกันจะสะท้อนในเฉดขาวถึงดำ ช่วยลดมิติของข้อมูลและทำให้ภาพง่ายต่อการประมวลผลมากขึ้น

ในการประมวลผลภาพ ป้ายทะเบียนรถยนต์ที่แปลงเป็นภาพระดับเทานั้นมักจะมีรายละเอียดที่เด่นชัดและมีการลดจุดรบกวนที่มาจากสี ทำให้การประมวลผลขั้นถัดไป เช่น การตรวจจับขอบ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.7

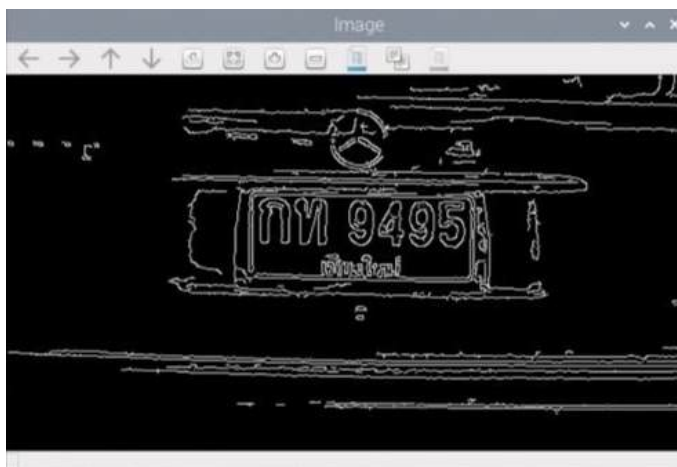


รูปที่ 4.7 ภาพระดับเทา

4.3.3 การแปลงรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพระดับเทาเป็นภาพขาวดำ

การเปลี่ยนรูปภาพป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพระดับเทา เป็นรูปภาพขาวดำ ผ่านกระบวนการ Thresholding เป็นขั้นตอนที่สำคัญในงานประมวลผลภาพ เพื่อช่วยแยกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลังที่ไม่เกี่ยวข้อง โดยขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดค่าขีดจำกัด ที่ใช้ในการเปลี่ยนพิกเซลในภาพระดับเทาให้เป็นสองสี ได้แก่ ขาว (255) และดำ (0)

การดำเนินการเริ่มต้นจากการตรวจสอบค่าความเข้มของแต่ละพิกเซลในภาพระดับเทา ซึ่งค่าความเข้มของพิกเซลจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดที่กำหนดจะถูกเปลี่ยนเป็นสีขาว ในขณะที่พิกเซลที่มีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าขีดจำกัดจะถูกเปลี่ยนเป็นสีดำ ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพที่มีเฉพาะสองสี ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุที่สนใจได้ชัดเจนขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพขาวดำ

4.3.4 การใช้คอนทัวร์ในการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์

การใช้คอนทัวร์ (Contour) เป็นเทคนิคที่สำคัญในงานประมวลผลภาพ โดยเฉพาะในการตรวจจับและระบุตำแหน่งของวัตถุ เช่น ป้ายทะเบียนรถยนต์ คอนทัวร์จะแสดงเส้นรูปร่างหรือเส้นโค้งที่เชื่อมต่อจุดทั้งหมดในภาพที่มีสีหรือความเข้มเท่ากัน การทำงานของคอนทัวร์เริ่มต้นจากการระบุเส้นขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งมักทำได้โดยการแปลงภาพเป็นระดับเทาหรือขาวดำ และใช้เทคนิคเช่น Canny Edge Detection เพื่อสร้างภาพที่มีขอบชัดเจน แสดงดังรูปที่ 4.9

ใน OpenCV มีฟังก์ชัน `findContours()` ที่ช่วยในการตรวจจับคอนทัวร์ในภาพ โดยฟังก์ชันนี้จะค้นหาเส้นขอบในภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว คอนทัวร์ที่พบจะถูกจัดเก็บในรูปแบบลิสต์ โดยแต่ละคอนทัวร์จะประกอบด้วยชุดพิกเซลที่อยู่ติดกัน เมื่อได้คอนทัวร์ทั้งหมดแล้ว สามารถเลือกคอนทัวร์ที่มีลักษณะตรงกับป้ายทะเบียนรถยนต์ เช่น ขนาดหรือรูปทรงที่คาดว่าจะป้ายทะเบียน คอนทัวร์ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม

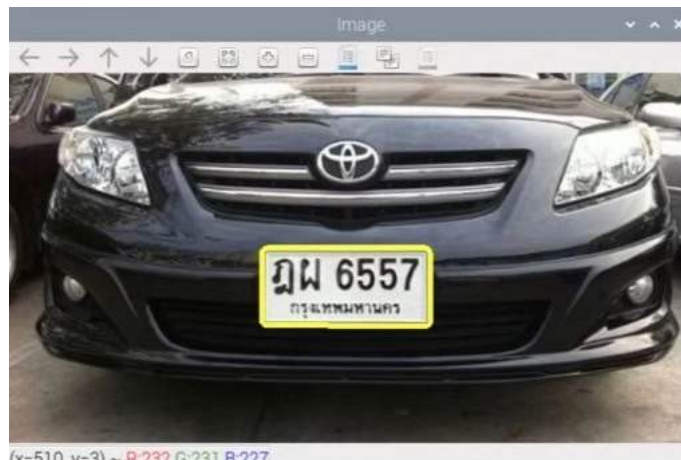


รูปที่ 4.9 การคอนทัวร์

4.3.5 ตรวจสอบตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการตรวจจับมุมสี่เหลี่ยม

การตรวจหาตำแหน่งป้ายทะเบียนรถยนต์เป็นกระบวนการที่สำคัญในงานประมวลผลภาพ โดยเฉพาะในการระบุและอ่านข้อมูลจากป้ายทะเบียน ซึ่งวิธีการที่มีประสิทธิภาพคือการตรวจจับมุมของสี่เหลี่ยมทั้ง 4 มุมของป้ายทะเบียนรถยนต์ การตรวจจับมุมสี่เหลี่ยมสามารถช่วยในการแยกวัตถุและเน้นรายละเอียดที่สำคัญในภาพได้

โดยเริ่มต้นจากการหาคอนทัวร์ เมื่อได้คอนทัวร์ทั้งหมดแล้ว ถัดไปคือการวิเคราะห์รูปร่างของคอนทัวร์เหล่านั้น ซึ่งสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อหาคอนทัวร์ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้วยการตรวจสอบจำนวนมุมและความสมมาตร โดยป้ายทะเบียนรถยนต์มักมีรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีมุมทั้ง 4 มุมเป็นมุมฉาก แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การหาตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์

4.3.6 การตัดป้ายทะเบียนรถยนต์จากภาพ

หลังจากที่ระบุตำแหน่งของป้ายทะเบียนรถยนต์ในภาพได้โดยการตรวจจับมุมสี่เหลี่ยมและวาดกรอบสี่เหลี่ยมรอบๆ ป้ายทะเบียน ขั้นตอนถัดไปคือการตัดภาพเพื่อให้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นป้ายทะเบียนออกมา การตัดภาพนี้เป็นสิ่งสำคัญเพราะจะช่วยให้มีข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการประมวลผลในขั้นตอนถัดไป เช่น การอ่านข้อมูลด้วย OCR

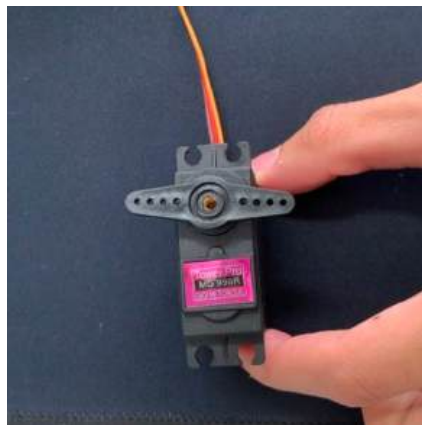
การตัดภาพทำได้โดยการใช้ข้อมูลพิกัดของสี่เหลี่ยมที่เราได้จากการตรวจจับคอนทัวร์ โดยจะใช้พิกัดมุมซ้ายบนและมุมขวาล่างของกรอบสี่เหลี่ยมที่วาดไว้ เพื่อสร้างพื้นที่ที่จะถูกตัดออกจากภาพหลัก การใช้ฟังก์ชันการตัดใน OpenCV จะทำให้สามารถตัดรูปภาพในบริเวณที่กำหนดได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพที่มีเพียงป้ายทะเบียนรถยนต์ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลภายในภาพนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากสามารถมุ่งเน้นไปที่ข้อมูลที่ต้องการได้โดยไม่ต้องมีสิ่งรบกวนจากพื้นหลังหรือวัตถุอื่นในภาพ การตัดภาพนี้จึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้การทำงานต่อไปเป็นไปได้อย่างราบรื่นและแม่นยำ แสดงดังรูปที่ 4.11



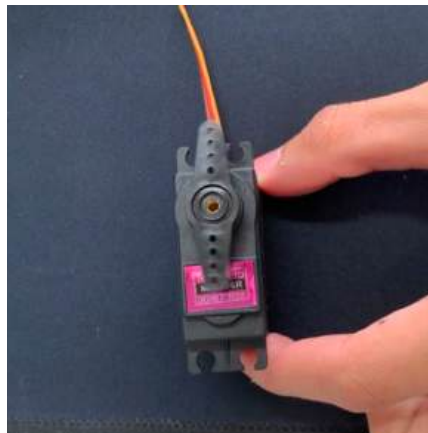
รูปที่ 4.11 การตัดส่วนของป้ายทะเบียนรถยนต์

4.4 ผลการทดสอบการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ MG996R

เซอร์โวมอเตอร์เพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถทำงานได้ การที่จะให้เซอร์โวมอเตอร์ควบคุมลักษณะการหมุนตามที่ต้องการจะต้องมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ทำหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนในลักษณะใด ซึ่งหน้าที่ตรงจุดนี้จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นตัวกำหนดให้กับตัว เซอร์โวมอเตอร์ โดยทำการเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์กับ Arduino แล้วทำการอัปโหลดโค้ดไปยังบอร์ด Arduino โดยให้เซอร์โวมอเตอร์ เริ่มที่ 0 องศา จากนั้นหมุนไปที่ 90 องศา และ 180 องศา ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 4.12, รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.12 เซอร์โวมอเตอร์ เริ่มที่ 0 องศา



รูปที่ 4.13 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา



รูปที่ 4.14 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 180 องศา

4.5 ผลการทดสอบการทำงานของจอ LCD SPI โมดูล TFT ILI9341

จอ LCD SPI ที่เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi โดยตรงผ่าน GPIO และ SPI (Serial Peripheral interface) ในการทดสอบสามารถออกแบบให้แสดงข้อความได้ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การจัดวางข้อความ สีพื้นหลังหรือแม่กระทั่งสีของตัวอักษรที่ต้องการให้แสดงบนจอให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดสอบจะให้แสดงข้อความบนจอว่า “Hello, ILI9341!” ซึ่งจะให้พื้นหลังเป็นสีดำและตัวอักษรเป็นสีขาว แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ข้อความที่แสดงบนจอ

4.6 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของเซอร์โวมอเตอร์กับจอ LCD

เริ่มต้นจากการเชื่อมต่อเซอร์โวมอเตอร์กับ Arduino ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจำลองไม้กั้นที่สามารถหมุนไปที่มุมต่าง ๆ ได้ ในที่นี้จะให้หมุนไปที่ 90 องศา และ 180 องศา ซึ่งจะทำการเริ่มต้นที่มุม 180 องศา โดย Arduino ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไปยังมุมที่ต้องการ โดยรับคำสั่งมุมจาก Raspberry Pi ผ่านการสื่อสาร Serial Port แสดงดังรูปที่ 4.16

```
servomotorArduino | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
servomotorArduino $
#include <Servo.h>
Servo myservo; // ประกาศตัวแปรของ Servo

void setup() {
  myservo.attach(9); // กำหนดขา 9 ควบคุม Servo
  myservo.write(180); // เริ่มต้นที่ 180 องศา
  Serial.begin(9600); // เริ่มการสื่อสาร Serial
}

void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    int angle = Serial.parseInt(); // รับค่ามุมจาก Serial
    if (angle >= 90 && angle <= 180) { // ตรวจสอบว่ามุมอยู่ในช่วง 0-180
      myservo.write(angle); // สั่งให้ Servo หมุนไปยังมุมที่กำหนด
      Serial.println("Servo moved to " + String(angle) + " degrees"); //
    }
  }
}
```

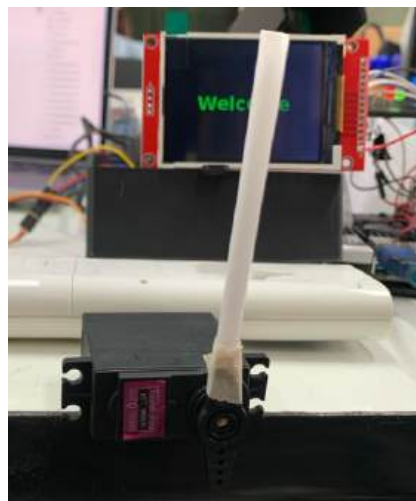
รูปที่ 4.16 ตัวควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

กระบวนการในการทำงานร่วมกันของเซอร์โวมอเตอร์กับจอ LCD เมื่อ Raspberry Pi ตรวจจับป้ายทะเบียน เพื่อทำการตรวจสอบว่าป้ายทะเบียนตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูลหรือไม่ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี

1. กรณีที่หมายเลขทะเบียนตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล จะส่งคำสั่งให้ Arduino เปิดไม้กั้น (เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ 90 องศา) ไฟ LED สีเขียวติด และแสดงข้อความ “Welcome” บนจอ LCD หลังจากผ่านไปในเวลาที่เหมาะสมแล้ว เซอร์โวมอเตอร์จะหมุนกลับไปมุม 180 องศา (ปิดไม้กั้น) แสดงดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ข้อความที่แสดงบนจอ LCD



รูปที่ 4.18 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่มุม 90 องศา (ไม้กั้นเปิด)

2. กรณีที่หมายเลขทะเบียนไม่ตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล เซอร์โวมอเตอร์จะคงอยู่ที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด) ไฟ LED สีแดงติด และแสดงข้อความ “No Entry, Pls. Register” บนจอ LCD แสดงดังรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 ข้อความที่แสดงบนจอ LCD



รูปที่ 4.20 เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด)

3. กรณีที่ไม่มีป้ายทะเบียนผ่านเข้ามา เซอร์โวมอเตอร์ยังคงอยู่ที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด) ซึ่งเป็นมุมเริ่มต้นของการเปิดปิดไม้กั้น ไฟ LED สีแดงติด แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 เซอร์โวมอเตอร์ยังคงอยู่ที่มุม 180 องศา (ไม้กั้นปิด)

4.7 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายภาพจากกล้อง

การอ่านและแปลงข้อมูลตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วย Tesseract OCR เป็นกระบวนการที่นำภาพถ่ายจากกล้องของ Raspberry Pi มาใช้ในการตรวจจับและแปลงข้อความจากภาพเป็นข้อมูลตัวอักษรที่เครื่องสามารถประมวลผลต่อได้ การทดสอบนี้ใช้ภาพจากกล้องที่ติดตั้งบน Raspberry Pi แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งในกระบวนการทดสอบได้กำหนดเงื่อนไขไว้ดังนี้

1. ทดสอบการตรวจจับเพียงครั้งแรก

การตรวจจับตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนจะดำเนินการเพียงครั้งแรกของการตั้งค่าและเริ่มต้นใช้งาน เพื่อให้การทดสอบมีความชัดเจนและเป็นมาตรฐาน ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของ Tesseract OCR ในการอ่านป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำ โดยไม่เกิดการซ้ำซ้อนของข้อมูล

2. ใช้โค้ดการตรวจจับชุดเดียวกันในการทดสอบทั้งหมด

โค้ดที่ใช้ในการตรวจจับป้ายทะเบียนจะเป็นโค้ดเดียวกันในทุกการทดสอบเพื่อรักษาความสม่ำเสมอในการวิเคราะห์ภาพ ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการแปลงภาพ การประมวลผล และการใช้ Tesseract OCR ในการอ่านข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้การทดสอบแต่ละครั้งให้ผลลัพธ์ที่มีมาตรฐานเดียวกัน

3. การตั้งระยะห่างและมุมกล้องให้คงที่

กล้องติดตั้งที่ความสูงจากพื้นประมาณ 65 เซนติเมตร และตั้งกล้องไว้หน้ารถยนต์ โดยมีระยะห่างจากหน้ารถถึงกล้องประมาณ 150 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุดในการตรวจจับป้ายทะเบียน ช่วยให้ Tesseract OCR สามารถอ่านข้อมูลจากภาพได้อย่างแม่นยำ โดยลดการผิดพลาดจากมุมมองหรือระยะที่ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวบนป้ายเลขจากทะเบียนรถยนต์
โดยการถ่ายภาพจากกล้องทั้งหมด 10 คัน

ลำดับ	หมายเลขป้าย ทะเบียนรถยนต์	หมายเลขป้ายทะเบียน รถยนต์ที่ตรวจจับได้	ความถูกต้อง	หมายเหตุ
1		ฐ4004	ถูกต้อง	
2		2ฮ9356	ไม่ถูกต้อง	
3		4กค7437	ถูกต้อง	
4		1กฉ6420	ถูกต้อง	
5		๗๗6955	ไม่ถูกต้อง	
6		3ส683	ไม่ถูกต้อง	
7		7กธ3302	ถูกต้อง	
8		-	ไม่ถูกต้อง	ไม่ตรวจจับป้าย ทะเบียนรถยนต์
9		2ขย729	ถูกต้อง	
10		3กณ5838	ไม่ถูกต้อง	
รวม			ถูกต้อง 5 คัน ไม่ถูกต้อง 5 คัน	อัตราความ ถูกต้อง 50%

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถยนต์จากกล้อง พบว่าระบบสามารถอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ได้ถูกต้อง 5 คันจากทั้งหมด 10 คัน คิดเป็น 50% ความถูกต้อง มี 4 คันที่อ่านผิดพลาด และ 1 คันที่ระบบไม่สามารถตรวจจับป้ายทะเบียนได้ และสาเหตุของความผิดพลาดอาจมาจาก คุณภาพของภาพถ่าย, แสงสะท้อน, ความคมชัดของตัวอักษร, หรือการบิดเบี้ยวของป้ายทะเบียน

4.8 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายภาพวิดีโอจากกล้อง

การอ่านและแปลงข้อมูลตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถยนต์ด้วย Tesseract OCR เป็นกระบวนการที่นำภาพถ่ายจากกล้องของ Raspberry Pi มาใช้ในการตรวจจับและแปลงข้อความจากภาพเป็นข้อมูลตัวอักษรที่เครื่องสามารถประมวลผลต่อได้ การทดสอบนี้ใช้ภาพจากกล้องที่ติดตั้งบน Raspberry Pi โดยการถ่ายภาพวิดีโอและทำการอ่านและแปลงข้อมูลตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถยนต์โดยตรง แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งในกระบวนการทดสอบได้กำหนดเงื่อนไขไว้คล้ายกับข้อ 4.6 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายภาพวิดีโอจากกล้อง ดังนี้

1. ทดสอบการตรวจจับความถูกต้องในการอ่านป้ายทะเบียนทั้งหมด 10 ครั้ง


การตรวจจับตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนจะดำเนินการตรวจจับทั้งหมด 10 ครั้ง เพื่อทดสอบความถูกต้องในการอ่านป้ายทะเบียนของแต่ละคัน และเพื่อให้การทดสอบมีความชัดเจนและเป็นมาตรฐาน ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของ Tesseract OCR ในการอ่านป้ายทะเบียนได้อย่างแม่นยำ

2. ใช้โค้ดการตรวจจับชุดเดียวกันในการทดสอบทั้งหมด

3. การตั้งระยะห่างและมุมกล้องให้คงที่

กล้องติดตั้งที่ความสูงจากพื้นประมาณ 65 เซนติเมตร และตั้งกล้องทำมุมประมาณ 45-60 องศา โดยมีระยะห่างจากหน้ารถถึงกล้องประมาณ 170 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนที่สุดในการตรวจจับป้ายทะเบียน ช่วยให้ Tesseract OCR สามารถอ่านข้อมูลจากภาพได้อย่างแม่นยำ โดยลดการผิดพลาดจากมุมมองหรือระยะที่ไม่เหมาะสม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายวิดีโอจากกล้องทั้งหมด 10 คัน

ลำดับ	หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์	ทดลองตรวจจับ (ครั้ง)	ความถูกต้อง (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (100%)
1		10	10	100%
2		10	10	100%
3		10	10	100%
4		10	3	30%
5		10	9	90%
6		10	10	100%
7		10	6	60%
8		10	10	100%
9		10	10	100%
10		10	10	100%
รวม		100	88	ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 88%

จากตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยการถ่ายวิดีโอ พบว่าระบบทำการตรวจจับป้ายทะเบียนรถยนต์ทั้งหมด 10 คัน โดยทดสอบ 10

ครั้งต่อกัน มี 6 คัน ที่สามารถอ่านป้ายทะเบียนได้ถูกต้อง 100% ตลอดทุกครั้งที่ทดสอบมี 1 คัน ที่ได้รับความถูกต้องต่ำสุดที่ 30% ค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ยของระบบจากการทดสอบนี้อยู่ที่ประมาณ 89%

4.9 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต

การทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต เนื่องจากสถานที่จริง ณ ตอนที่ทำการทดสอบระบบไม่มีป้ายทะเบียนสีแดง ป้ายทะเบียนประมุข ป้ายทะเบียนพื้นหลังขาว – ตัวหนังสือสี และป้ายทะเบียนพื้นหลังสี – ตัวหนังสือดำ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์โดยรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต

ลำดับ	หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์	หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับได้	ความถูกต้อง	หมายเหตุ
1		ผก8534	ถูกต้อง	
2		5กข2662	ถูกต้อง	
3		722711	ถูกต้อง	
4		ล2163	ถูกต้อง	
รวม			ถูกต้อง 4 คัน	อัตราความถูกต้อง 100%

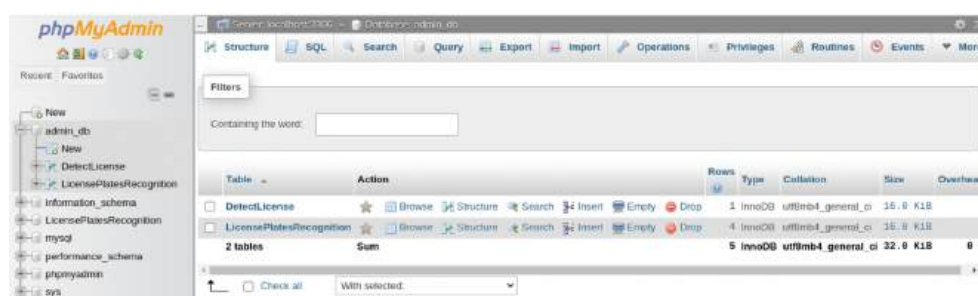
จากตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการอ่านตัวอักษรและตัวเลขจากป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยรูปภาพจากอินเทอร์เน็ตพบว่าระบบสามารถอ่านป้ายทะเบียนได้ ถูกต้อง 4 คันจากทั้งหมด 4 คัน และอัตราความถูกต้องอยู่ที่ 100%

สรุปผลการทดสอบจากตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 การทดสอบการอ่านป้ายทะเบียนรถยนต์สีแดงและอื่น ๆ เป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่มีความสำคัญ ซึ่งเป็นมีความโดดเด่น แต่ก็อาจทำให้การตรวจจับตัวอักษรและตัวเลขมีความซับซ้อนมากขึ้นในบางสภาพแสงหรือการประมวลผล เนื่องจากความต่างของสีพื้นหลังกับสีของตัวอักษรที่อยู่บนป้าย ซึ่งความต่างของสีป้ายทะเบียนมักมีข้อความสีขาวหรือสีดำที่มีความต่างสูงกับพื้นหลัง ทำให้ OCR สามารถแยกตัวอักษรและตัวเลขได้ง่ายขึ้นเมื่อมีแสงที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในบางสภาพแสง โดยเฉพาะแสงที่เข้มเกินไป ซึ่งสีแดงมีการสะท้อนแสงและการจัดการสีที่มีการสะท้อนแสงสูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการสว่างเกินในบางส่วนของภาพ ทำให้ข้อความบางส่วนอาจไม่ชัดเจน

ดังนั้นการอ่านป้ายทะเบียนสีแดงและสีอื่น ๆ อาจประสบปัญหาเรื่องความคมชัดของข้อความและการสะท้อนแสง ซึ่งทำให้ Tesseract OCR หรือระบบอ่านป้ายทะเบียนอื่น ๆ มีความแม่นยำลดลงในสภาพแสงที่ไม่เหมาะสม เช่น แสงจ้า แสงสะท้อน หรือเงาที่ทำให้สีแดงโดดเด่นน้อยลง ในการทดสอบหลายกรณีพบว่าสีแดงหรือสีอื่น อาจทำให้ระบบตรวจจับข้อความทำงานได้ยากขึ้น เนื่องจากสีพื้นหลังเข้มกว่าและมักมีการสะท้อนแสงสูง

4.10 ผลการทดสอบการทำงานของฐานข้อมูล

ผลการทดสอบฐานข้อมูลในระบบนี้เพื่อจัดเก็บและจัดการข้อมูลเกี่ยวกับป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ได้จัดทำไว้ แสดงดังรูปที่ 4.22



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'admin_db'. The 'Structure' tab is active, displaying the table 'DetectLicense'. The table has 2 columns: 'id' (InnoDB utf8mb4_general_ci 15.8 K1B) and 'license_plate' (InnoDB utf8mb4_general_ci 15.8 K1B). The table is summarized as having 2 tables and a total size of 32.0 K1B.

Table	Action	Rows	Type	Collation	Size	Overview
DetectLicense	Browse Structure Search Insert Empty Drop	1	InnoDB	utf8mb4_general_ci	15.8 K1B	
LicensePlatesRecognition	Browse Structure Search Insert Empty Drop	4	InnoDB	utf8mb4_general_ci	15.8 K1B	
2 tables	Sum	5	InnoDB	utf8mb4_general_ci	32.0 K1B	0

รูปที่ 4.22 ฐานข้อมูลในระบบ

4.10.1 ผลการทดสอบการลงทะเบียน

ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลสำหรับลงทะเบียนสมาชิกและข้อมูลป้ายทะเบียน โดยจะเก็บข้อมูลเช่น หมายเลขป้ายทะเบียนรถยนต์ ชื่อสมาชิก และเพศของสมาชิก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ใช้สำหรับการระบุตัวตนของผู้ที่มีสิทธิ์เข้าใช้พื้นที่ในระบบ สมาชิกที่ลงทะเบียนไว้สามารถระบุตัวตนได้ทุกครั้งที่ระบบตรวจจับป้ายทะเบียนได้ ส่วนนี้จะอนุญาตให้ Admin เป็นผู้ดูแลและควบคุมการเพิ่มและลบข้อมูลของสมาชิกและป้ายทะเบียนรถยนต์เท่านั้น ทำให้ข้อมูลของสมาชิกและการเข้าถึงข้อมูลเป็นระบบทำให้มีความปลอดภัย แสดงดังรูปที่ 4.23

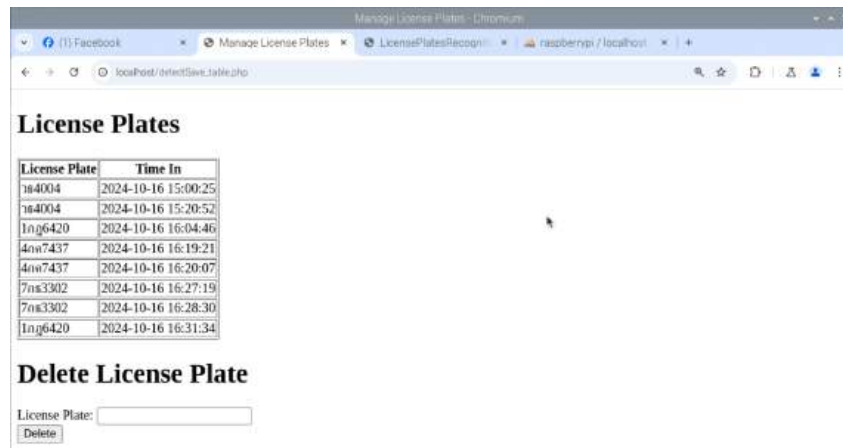
Number	ID	Name	Gender	TimeIN	TimeOUT	Delete
23	สกค7437	ศิริ ศุภโรจน์	ชาย	2024-10-16 15:12:00	2024-10-16 15:45:00	
24	1kgj6420	วิจิตรมา ทนต๊ะอ	หญิง	2024-10-16 18:17:00	2024-10-16 19:08:00	
26	ขศ6683	สมศักดิ์ นีระดีง	ชาย	2024-11-03 16:05:00	2024-11-03 16:05:00	
28	3bnj4326	เดโชชัย นาราปี	ชาย	2024-11-03 16:36:00	2024-11-03 16:37:00	
30	4ขศ6566	พพิชญ์ธนิศา พนิกมณ	หญิง	2024-11-03 16:59:00	2024-11-03 16:59:00	
34	7กญ3603	ณัฐนิชา ฉลาชนพิศุทธิ์	หญิง	2025-01-07 15:59:00	2025-01-07 15:59:00	
35	4ขค4314	นงคณ ใจดี	ชาย	2024-11-03 16:32:00	2024-11-03 16:32:00	
43	สกค3356	ศำราย กันฟ้า	ชาย	2024-11-03 16:50:00	2024-11-03 16:51:00	

8 rows

รูปที่ 4.23 ฐานข้อมูลสำหรับลงทะเบียนสมาชิก

4.10.2 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับได้

ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลในการบันทึกข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับได้ในแต่ละครั้งที่รถเข้ามายังพื้นที่ที่ระบบครอบคลุม ข้อมูลที่บันทึกในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยหมายเลขป้ายทะเบียนที่กล้องตรวจพบ วันที่และเวลาที่ตรวจจับได้ ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติทุกครั้งเมื่อกล้องตรวจจับป้ายทะเบียนได้ในช่วงเวลาที่ยานพาหนะเข้ามาในพื้นที่ ทำให้สามารถบันทึกและติดตามประวัติการเข้า-ออกได้โดยละเอียด ระบบสามารถนำข้อมูลในส่วนนี้ไปวิเคราะห์และออกรายงานการเข้าออกของรถได้อย่างแม่นยำ แสดงดังรูปที่ 4.24



License Plates

License Plate	Time In
1ก4004	2024-10-16 15:00:25
1ก4004	2024-10-16 15:20:52
1ก66420	2024-10-16 16:04:46
4กข7437	2024-10-16 16:19:21
4กข7437	2024-10-16 16:20:07
7กข3302	2024-10-16 16:27:19
7กข3302	2024-10-16 16:28:30
1ก66420	2024-10-16 16:31:34

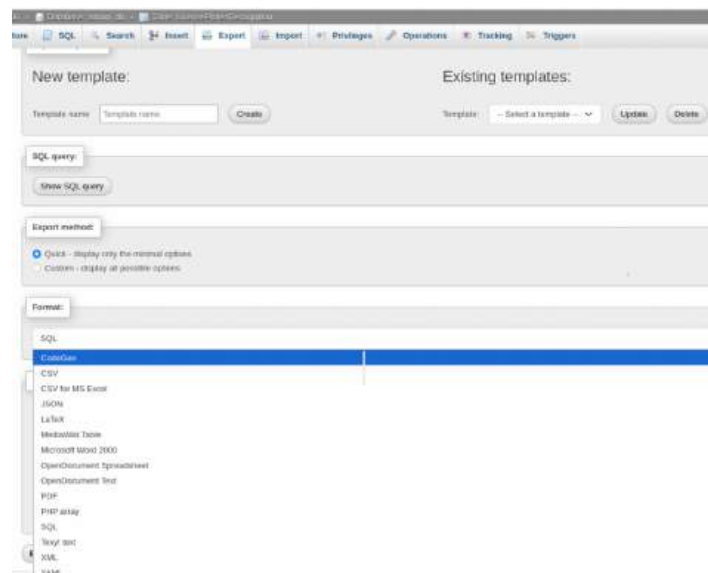
Delete License Plate

License Plate:

รูปที่ 4.24 ฐานข้อมูลในการบันทึกข้อมูลป้ายทะเบียนรถยนต์ที่ตรวจจับได้

4.10.3 การส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูล

การส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูลผ่าน phpMyAdmin โดยสามารถเลือกประเภทของไฟล์ปลายทางได้ แสดงดังรูปที่ 4.25 และรายละเอียดประเภทของไฟล์ปลายทางได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งทำให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อในเชิงวิเคราะห์ธุรกิจหรือการสำรองข้อมูลได้



รูปที่ 4.25 การส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูล

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดประเภทของไฟล์ปลายทาง

ประเภทของไฟล์	รายละเอียด
SQL	ไฟล์คำสั่ง SQL ใช้สำหรับนำเข้าหรือสำรองฐานข้อมูล เช่น MySQL, PostgreSQL
CodeGen	ใช้สำหรับสร้างโค้ดอัตโนมัติจากฐานข้อมูล
CSV	ไฟล์ค่าที่คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค เหมาะสำหรับข้อมูลในรูปแบบตาราง
CSV for MS Excel	CSV ที่ปรับแต่งให้เหมาะสมกับ Microsoft Excel
JSON	รูปแบบข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชัน เช่น API
LaTeX	ไฟล์สำหรับระบบจัดรูปแบบเอกสารทางวิชาการ เช่น วิทยานิพนธ์
MediaWiki Table	รูปแบบตารางที่ใช้ใน MediaWiki (เช่น Wikipedia)
Microsoft Word 2000	ไฟล์เอกสารสำหรับ Microsoft Word รุ่นปี 2000
OpenDocument Spreadsheet	ไฟล์สเปรดชีตที่ใช้กับ LibreOffice Calc และ OpenOffice
OpenDocument Text	ไฟล์เอกสารที่ใช้กับ LibreOffice Writer และ OpenOffice
PDF	รูปแบบเอกสารที่คงรูปแบบเหมาะสำหรับการพิมพ์หรือแชร์
PHP array	ส่งออกข้อมูลเป็นอาร์เรย์ในภาษา PHP
Texy! text	รูปแบบข้อความที่ใช้กับ Texy! สำหรับการแปลงเป็น HTML
XML	รูปแบบข้อมูลที่มีโครงสร้างใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบ
YAML	รูปแบบไฟล์ที่อ่านง่าย ใช้ในการกำหนดค่าซอฟต์แวร์ เช่น Docker, Kubernetes

ในการส่งออกข้อมูลทางคณะผู้จัดทำได้ทำการเลือกประเภทของไฟล์ในการส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูลเป็นไฟล์ Excel ไฟล์ Excel ซึ่งช่วยให้การจัดเรียงและวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น โดยข้อมูลที่ส่งออกมามีโครงสร้างเป็น ตาราง (Spreadsheet) ที่แสดงค่าแต่ละคอลัมน์ชัดเจน แสดงดังรูปที่ 4.26

	A	B	C	D	E	F
1	LPRAge	LPRID	LPRName	LPRGender	LPRTIMEIN	LPRTIMEOUT
2		23 4คค7437	กฤษดิ์ สุดใจดี	ชาย	2024-10-16 15:12:00	2024-10-16 15:45:00
3		24 1กฏ6420	วรัญญา หทยด้อย	หญิง	2024-10-16 18:17:00	2024-10-16 19:08:00
4		26 ขต6683	ชนาตย์ มิ่งคัง	ชาย	2024-11-03 16:05:00	2024-11-03 16:05:00
5		35 4ขอ4314	มงคล ใจดี	ชาย	2024-11-03 16:32:00	2024-11-03 16:32:00
6		28 3ขญ4326	เดโชชัย บารมี	ชาย	2024-11-03 16:36:00	2024-11-03 16:37:00
7		43 4กข3356	สำรวย ล้นฟ้า	ชาย	2024-11-03 16:50:00	2024-11-03 16:51:00
8		30 4ขต6566	ทรัพย์ธนิดา หนักแน่น	หญิง	2024-11-03 16:59:00	2024-11-03 16:59:00
9		34 7กญ3603	ณัฐริษา ฉลาดบริสุทธิ์	หญิง	2025-01-07 15:59:00	2025-01-07 15:59:00

รูปที่ 4.26 การส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ Excel

ข้อดีของการใช้ Excel

1. สามารถจัดเรียงข้อมูล ได้ตามต้องการ เช่น เรียงตามอายุ หรือเวลาเข้า-ออก
2. สะดวกในการตรวจสอบข้อมูล เนื่องจากข้อมูลถูกจัดรูปแบบเป็นระเบียบ
3. สามารถใช้ฟังก์ชันทางสถิติและเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล เช่น Pivot Table ฯลฯ
4. รองรับการนำเข้าข้อมูลสู่ซอฟต์แวร์อื่น ๆ เช่น โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล หรืออื่น ๆ

นอกจากการส่งออกข้อมูลจากฐานข้อมูลผ่าน phpMyAdmin โดยสามารถเลือกประเภทของไฟล์ปลายทางได้แล้วยังสามารถส่งออกข้อมูลในรูปแบบ กราฟแท่ง (Bar Graph) ได้โดยตรงจาก phpMyAdmin โดยกราฟแท่งที่ใช้แสดงผลข้อมูลเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับ จำนวนเพศชาย (ฝั่งซ้าย) และเพศหญิง (ฝั่งขวา) ในแนวแกน X และอายุของผู้ใช้งานในแนวแกน Y แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การส่งออกข้อมูลในรูปแบบ กราฟแท่ง

ข้อดีของการใช้กราฟแท่ง

1. มองเห็นแนวโน้มและการเปรียบเทียบได้ง่าย เช่น ความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้ในแต่ละเพศ
2. เข้าใจข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ความสูงของแท่งกราฟแทนค่าจำนวน
3. สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกได้ เช่น ดูแนวโน้มทางประชากรศาสตร์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้มีเป้าหมายในการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับและลงทะเบียนป้ายทะเบียนรถยนต์ เพื่อใช้ในการจัดการการจราจรในสถานที่ต่าง ๆ เช่น ลานจอดรถให้เข้าโครงการที่พักอาศัย และชุมชนที่ต้องการความปลอดภัย ระบบนี้ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) ระบบนี้ใช้อุปกรณ์ Raspberry Pi 4 เป็นหน่วยประมวลผลในการคำนวณโปรแกรม และพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยภาษา Python และกล้องเพื่อจับภาพป้ายทะเบียนของรถยนต์ที่เข้า-ออกในพื้นที่ จากนั้นจะทำการประมวลผลภาพเพื่อแปลงตัวอักษรและตัวเลขให้เป็นข้อความ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีการลงทะเบียนป้ายทะเบียนไว้ล่วงหน้า หากข้อมูลป้ายทะเบียนที่ตรวจจับตรงกับข้อมูลในฐานข้อมูล ระบบจะอนุญาตให้เข้า-ออกโดยอัตโนมัติ ระบบจะแสดงผลอนุญาตระบบจะแสดงผลบนจอ LCD TFT พร้อมกับเปิดไฟ LED สีเขียว และสั่งให้ Arduino Uno ควบคุม Servo Motor MG996R เพื่อเปิดไม้กั้น แต่หากไม่ตรงกับฐานข้อมูล ระบบจะแสดงข้อความแจ้งเตือนและเปิดไฟ LED สีแดงเพื่อห้ามรถเข้าทำให้การจัดการการเข้า-ออกของยานพาหนะสะดวกและปลอดภัยยิ่งขึ้น ระบบยังสามารถบันทึกข้อมูลการเข้า-ออกของยานพาหนะในแต่ละครั้ง ช่วยให้ผู้ใช้ดูแลสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พื้นที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การตรวจสอบระยะเวลาการจอดของแต่ละคัน ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาระบบให้บริการเพิ่มเติม หรือปรับปรุงการควบคุมการจราจรให้สอดคล้องกับความต้องการของสถานที่ได้ในอนาคต

ในการทดลองระบบตรวจจับตัวเลขและตัวอักษรบนป้ายทะเบียนรถยนต์ครั้งนี้ ได้ทำการทดลองกับป้ายทะเบียนรถยนต์จำนวนทั้งหมด 10 ป้าย และตรวจจับทั้งหมดป้ายทะเบียน 10 ครั้ง โดยจัดวางตำแหน่งและมุมของกล้องให้มีความสม่ำเสมอและเป็นมาตรฐานเดียวกัน ระยะห่างจากหน้ารถยนต์ถึงกล้องตั้งไว้ที่ 170 เซนติเมตร ความสูงจากพื้นถึงกล้องที่ 60 เซนติเมตร และมุมกล้องที่ตรงกับหน้าป้ายทะเบียนรถยนต์ 60 องศา จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของระบบในการจับตัวอักษรและตัวเลขจากภาพป้ายทะเบียนรถยนต์เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่กำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับและลงทะเบียนป้ายทะเบียนรถยนต์ พบว่าระบบยังมีข้อผิดพลาดบางประการที่ควรปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานจริง ปัญหาที่พบหลัก ๆ ได้แก่ ข้อจำกัดในการติดตั้งมุกกล้องที่เหมาะสมกับการตรวจจับป้ายทะเบียนรถ ซึ่งควรอยู่ในช่วงมุมระหว่าง 60-90 องศา หากมุกกล้องนอกเหนือจากนี้ อาจทำให้การตรวจจับตัวอักษรและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถยนต์มีความคลาดเคลื่อนได้ และระบบในปัจจุบันไม่สามารถตรวจจับป้ายทะเบียนรถที่มีพื้นหลังสีแดง ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งานกับป้ายทะเบียนประเภทอื่น ๆ เช่น ป้ายทะเบียนพื้นสีต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงการประมวลผลภาพให้มีความยืดหยุ่นในการตรวจจับป้ายทะเบียนหลายประเภท เพื่อเพิ่มขอบเขตการใช้งานของระบบให้รองรับป้ายทะเบียนที่หลากหลายขึ้น ซึ่งจะทำให้ระบบสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพในสถานการณ์และสภาพแวดล้อมที่หลากหลายยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Chulalongkorn Business Review, “การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.slideshare.net/slideshow/image-processing-67649577/67649577>
- [2] David Watson, “what is Raspberry Pi 4” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.theengineeringprojects.com/2021/03/what-is-raspberry-pi-4-pinout-specs-projects-datasheet.html>
- [3] ETT, “การติดตั้งและทดสอบ Raspberry Pi Camera” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.etteam.com/prod2015/การติดตั้งและทดสอบ%20Raspberry%20Pi%20Camera%20Board.pdf>
- [4] Surabadin Daengdon, “การติดตั้ง Raspberry Pi OS” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://medium.com/@ryu1ea/การติดตั้ง-rasbperry-pi-os-บนบอร์ด-raspberry-pi-7081d5b72e0e>
- [5] Nattakan Chuntra, “ไลบรารี OpenCV” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://medium.com/@natchunn/opencv-คืออะไร-8771e2a4c414>
- [6] ABHISHEK MAURYA, “IMAGE PROCESSING” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.slideshare.net/slideshow/image-processing-67649577/67649577#19>
- [7] ICONEXT WRITER, “เทคโนโลยี OCR” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://iconext.co.th/th/2021/10/11/เทคโนโลยี-ocr-และเหตุผลที่/>
- [8] Pan Park, “Tesseract OCR” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://medium.com/@gnothaigamero/เริ่มต้นใช้งาน-tesseract-ocr-และแนวทางปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์-จากประสบการณ์ใช้งานมาเกือบปี-ecf72ec8d2a8>
- [9] Rattana Thumying, “Binary Image Processing” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://slideplayer.in.th/slide/2106326/#google_vignette
- [10] รณเวท ศรีพวงวงษ์ และ พงษ์พิชญ ภัคทีณรงค์, “การตรวจพจนานุกรมการปลอมแปลงภาพถ่ายดิจิทัลโดยใช้การเปรียบเทียบค่าสีของพิกเซลในภาพ digital images forgery detection by comparing color value of image pixels.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://e->

library.siam.edu/e-journal/wp-content/uploads/2018/12/EJSU-vol15-no29-jul-dec2014-2.pdf

- [11] iBook Engineering, “Binary Image Processing” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ibookengineering.blogspot.com/2015/06/blog-post.html.com/2015/06/blog-post.html>
- [12] Rattana Thumying, “Binary Image Processing” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://slideplayer.in.th/slide/2106326/#google_vignette
- [13] BSTSoft, “Image Processing : การ Convert รูปภาพสีทั่วไปเป็น Gray Scale” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://babsoftsoft.blogspot.com/2015/10/image-processing-convert-gray-scale.html>
- [14] Chuntra, “OpenCV คืออะไร? Medium” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://medium.com/@nnatchunn/opencv-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3-8771e2a4c414>
- [15] Worapong, “Visual Studio Code หรือ VS Code คืออะไร ทำอะไรได้บ้าง” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://webdodee.com/what-is-visual-studio-code-and-how-to-use/>
- [16] Wikipedia contributors, “ชาวสตูดีโอโค้ด. Wikipedia, The Free Encyclopedia” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/ชาวสตูดีโอโค้ด>
- [18] OLS Community, “MySQL คือ อะไร ? โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Open Source ยอดนิยม !” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://blog.openlandscape.cloud/mysql>
- [19] devhub, “ภาษา SQL คืออะไร พร้อมคำสั่งพื้นฐานที่ควรรู้ สำหรับผู้เริ่มต้น” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://devhub.in.th/blog/sql-programming>
- [20] Mindphp, “HTML คืออะไร เอชทีเอ็มแอล ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเว็บเพจ ใช้เขียนโปรแกรม ย่อมาจากอะไร” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2026-html-คืออะไร.html>
- [21] Kruchiangrai, “โปรแกรมควบคุมเครื่องระยะไกล VNC” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.kruchiangrai.net/2019/10/31/โปรแกรม-vnc/>

- [22] Wikipedia contributors, “VNC” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://en.wikipedia.org/wiki/VNC>
- [23] Proto Supplies, “Resistor 10 Ohm 5% 1/4W” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://protosupplies.com/product/resistor-10-5/>
- [24] Thingbits, “MG996R - standard metal gear Servo Motor” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.thingbits.net/products/mg996r-standard-metal-gear-servo-motor>
- [25] Adafruit, “ILI9341 datasheet” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf
- [26] Depa, “เทคโนโลยีที่สำคัญในยุคดิจิทัล: เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<https://www.depa.or.th/th/article-view/3-tech-series-3d-printing>
- [27] Neptune 3 Plus, “ELEGOO EU” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
https://eu.elegoo.com/products/elegoo-neptune-3-plus-fdm-3d-printer-with-larger-build-volume-of-320x320x400mm?srsltid=AfmBOoq-7E0ndEqFAEPUckttG6pWpEhTLt8qEW96e6B_QVNjq6Y-rpFa
- [28] Mindphp, “arduino uno r3 หลักการทำงาน” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<https://www.mindphp.com/forums/viewtopic.php?t=61980>
- [29] Artronshop, “ทุกเรื่องที่คุณควรรู้เกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์และการใช้งาน” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: 2568 จาก <https://www.artronshop.co.th/article/92/ทุกเรื่องที่คุณควรรู้เกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์และการใช้งาน>
- [30] siamhitech, “Servo Motor คืออะไร” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.siam-automation.com/article/7/servo-motor-คืออะไร>
- [31] Mindphp, “C++ คืออะไร” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2183-c++-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html#google_vignette

ภาคผนวก ก

คำสั่งการตรวจจับ อ่านป้ายทะเบียนรถยนต์ และบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล

```
import cv2
import numpy as np
from picamera2 import Picamera2
from datetime import datetime
import pytesseract
import MySQLdb
import RPi.GPIO as GPIO
import re
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
import Adafruit_GPIO as GPIO_TFT
import Adafruit_ILI9341 as TFT
from Adafruit_GPIO import SPI
import time
import serial
# ตั้งค่าการเชื่อมต่อฐานข้อมูล
db = MySQLdb.connect(host="localhost", user="admin", password="1111",
database="admin_db")
cur = db.cursor()
# ตั้งค่า GPIO สำหรับไฟ LED
LED_GREEN_PIN = 27
LED_RED_PIN = 17
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(LED_GREEN_PIN, GPIO.OUT)
GPIO.setup(LED_RED_PIN, GPIO.OUT)
def turn_on_led(led_pin):
    GPIO.output(led_pin, GPIO.HIGH)
```

```

def turn_off_led(led_pin):
    GPIO.output(led_pin, GPIO.LOW)
# ตั้งค่าการเชื่อมต่อกับ Arduino
arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=1)
time.sleep(2) # รอให้ Arduino พร้อม
def move_servo(angle):
    """ส่งคำสั่งมุมไปยัง Arduino เพื่อควบคุมเซอร์โว"""
    if 90 <= angle <= 180:
        arduino.write(f"{angle}\n".encode('utf-8')) # ส่งมุมไปยัง Arduino
        time.sleep(0.5) # รอให้เซอร์โวหมุนเสร็จ
        response = arduino.readline().decode('utf-8').strip()
        print(response) # แสดงผลตอบกลับจาก Arduino
    else:
        print("Angle must be between 90 and 180.")
# ตั้งค่าไม้กั้นให้อยู่ที่ 180° (ปิด)
move_servo(180)
# ฟังก์ชันเปิดไม้กั้น
def open_gate():
    print("Opening gate...")
    move_servo(90) # เปิดไม้กั้นที่ 90°
    time.sleep( # รอ 5 วินาที (เวลาเปิดไม้กั้น)
    close_gate() # ปิดไม้กั้นกลับ
# ฟังก์ชันปิดไม้กั้น
def close_gate():
    print("Closing gate...")
    move_servo(180) # ปิดไม้กั้นกลับที่ 90°
# ตั้งค่าจอ ILI9341
DC = 24

```

```

RST = 25
SPI_PORT = 0
SPI_DEVICE = 0
platform_gpio = GPIO_TFT.RPiGPIOAdapter(GPIO)
spi = SPI.SpiDev(SPI_PORT, SPI_DEVICE, max_speed_hz=64000000)
disp = TFT.ILI9341(DC, rst=RST, spi=spi, gpio=platform_gpio)
disp.begin()
# ฟังก์ชันสำหรับแสดงข้อความบนจอ ILI9341
def display_horizontal_centered_message(message, color="white",
rotation=270, line_spacing=10):
    # สร้างภาพพื้นหลังสีดำ
    image = Image.new("RGB", (disp.width, disp.height), "black")
    draw = ImageDraw.Draw(image)
    # ใช้ฟอนต์ TrueType
    font_path = "/usr/share/fonts/truetype/dejavu/DejaVuSans-Bold.ttf"
    font_size = 38
    font = ImageFont.truetype(font_path, font_size)
    # แบ่งข้อความเป็นหลายบรรทัด
    max_width = disp.height # ความกว้างสูงสุด (แนวตั้งเพราะข้อความจะหมุน)
    words = message.split()
    lines = []
    current_line = ""
    for word in words:
        test_line = current_line + word + " "
        text_width, _ = draw.textsize(test_line, font=font)
        if text_width <= max_width:
            current_line = test_line
        else:

```

```

        lines.append(current_line.strip())
        current_line = word + " "
# เพิ่มบรรทัดสุดท้าย
if current_line:
    lines.append(current_line.strip())
# คำนวณขนาดรวมของข้อความทั้งหมด
total_text_height = sum(draw.textsize(line, font=font)[1] for line in lines)
+ (len(lines) - 1) * line_spacing
# สร้างภาพข้อความแบบหลายบรรทัด
text_image = Image.new("RGB", (disp.height, disp.width), "black")
text_draw = ImageDraw.Draw(text_image)
# กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นให้อยู่ตรงกลางจอ (ทั้งแกน X และ Y)
y_position = (disp.width - total_text_height) // 2
for line in lines:
    text_width, text_height = text_draw.textsize(line, font=font)
    x_position = (disp.height - text_width) // 2 # จัดข้อความให้อยู่ตรงกลาง
แนวนอน
    text_draw.text((x_position, y_position), line, fill=color, font=font)
    y_position += text_height + line_spacing
# หมุนข้อความ
rotated_text_image = text_image.rotate(rotation, expand=True)
# แสดงภาพบนจอ
disp.display(rotated_text_image)
# สร้างวัตถุกล้องและตั้งค่า
picam2 = Picamera2()
config = picam2.create_preview_configuration(main={"size": (1280, 720)})
picam2.configure(config)
picam2.start()

```

```

# ฟังก์ชันปรับสีภาพให้สมจริง
def adjust_color_balance(image):
    lab = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2LAB)
    l, a, b = cv2.split(lab)
    l = cv2.equalizeHist(l)
    lab = cv2.merge((l, a, b))
    balanced_image = cv2.cvtColor(lab, cv2.COLOR_LAB2BGR)
    return balanced_image

# ฟังก์ชันประมวลผลภาพ
def preprocess_image(image):
    gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    edges = cv2.Canny(blur, 50, 150)
    return edges

try:
    while True:
        # จับภาพจากกล้อง
        frame = picam2.capture_array()
        # ปรับสีภาพให้สมจริง
        frame = adjust_color_balance(frame)
        # คัดกรองภาพเพื่อค้นหาป้ายทะเบียน
        processed_img = preprocess_image(frame)
        original_img = frame.copy()
        # ตรวจสอบป้ายทะเบียน
        contours, _ = cv2.findContours(processed_img, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
        contours = sorted(contours, key=cv2.contourArea, reverse=True)[:1] #
เลือกเฉพาะ contour ใหญ่สุด

```

```

for contour in contours:
    approx = cv2.approxPolyDP(contour, 0.018 * cv2.arcLength(contour,
True), True)
    if len(approx) == 4: # ตรวจสอบรูปสี่เหลี่ยม (ป้ายทะเบียน)
        x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
        license_plate = original_img[y:y + h, x:x + w]
        # วาดกรอบรอบป้ายทะเบียน
        cv2.rectangle(original_img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 3)
        # บันทึกภาพป้ายทะเบียน
        license_path = f"/home/pi/Desktop/license-
plates_detected/Maincode/CameraCapture/capnew/capnew17/license_plate
_{datetime.now().strftime('%Y%m%d%H%M%S')}.jpg"
        cv2.imwrite(license_path, license_plate)
        # OCR อ่านป้ายทะเบียน
        gray_plate = cv2.cvtColor(license_plate, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        text = pytesseract.image_to_string(gray_plate, config='--psm 8',
lang='tha').strip()
        filtered_text = re.sub(r'^[ก-ฮ0-9]', "", text)
        time_now = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
        if 3 <= len(filtered_text) <=7:
            print(f"Detected License Plate: {filtered_text}")
            print(f"Time IN: {time_now}")
            # บันทึกข้อมูลในฐานข้อมูล
            cur.execute("SELECT LPRID FROM LicensePlatesRecognition
WHERE LPRID = %s", (filtered_text,))
            result = cur.fetchone()
            if result:
                display_horizontal_centered_message("Welcome", "green")

```

```

        cur.execute("INSERT INTO DetectLicense (DLID, DLTimeIN)
VALUES (%s, %s)", (filtered_text, time_now))
        db.commit()
        turn_on_led(LED_GREEN_PIN)
        turn_off_led(LED_RED_PIN)
        open_gate()
        print("License matched. Opening gate & LED.")
    else:
        display_horizontal_centered_message("No Entry, Pls
registor", "red")
        cur.execute("INSERT INTO DetectLicense (DLID, DLTimeIN)
VALUES (%s, %s)", (filtered_text, time_now))
        db.commit()
        turn_on_led(LED_RED_PIN)
        turn_off_led(LED_GREEN_PIN)
        print("License not matched. Red LED on & Gate remains
closed.")
    else:
        #print("No valid license plate detected.")
        turn_on_led(LED_RED_PIN)
        turn_off_led(LED_GREEN_PIN)
# แสดงผลภาพ
license_img_rgb = cv2.cvtColor(original_img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
cv2.imshow("License Plate Detection", license_img_rgb)
# กด 'q' เพื่อหยุดโปรแกรม
if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
    break

```

```

except KeyboardInterrupt:
    print("Program stopped by user.")
finally:
    # ทำความสะอาดและปิดการทำงาน
    move_servo(180)
    picam2.stop()
    GPIO.cleanup()
    cur.close()
    db.close()
    arduino.close() # ปิดการเชื่อมต่อ Serial
    cv2.destroyAllWindows()

import cv2
import numpy as np
from picamera2 import Picamera2
from datetime import datetime
import pytesseract
import MySQLdb
import RPi.GPIO as GPIO
import re
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
import Adafruit_GPIO as GPIO_TFT
import Adafruit_ILI9341 as TFT
from Adafruit_GPIO import SPI
import time
import serial
# ตั้งค่าการเชื่อมต่อฐานข้อมูล
db = MySQLdb.connect(host="localhost", user="admin", password="1111",
database="admin_db")

```

```

cur = db.cursor()
# ตั้งค่า GPIO สำหรับไฟ LED
LED_GREEN_PIN = 27
LED_RED_PIN = 17
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(LED_GREEN_PIN, GPIO.OUT)
GPIO.setup(LED_RED_PIN, GPIO.OUT)
def turn_on_led(led_pin):
    GPIO.output(led_pin, GPIO.HIGH)
def turn_off_led(led_pin):
    GPIO.output(led_pin, GPIO.LOW)
# ตั้งค่าการเชื่อมต่อกับ Arduino
arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600, timeout=1)
time.sleep(2) # รอให้ Arduino พร้อม
def move_servo(angle):
    """ส่งคำสั่งมุมไปยัง Arduino เพื่อควบคุมเซอร์โว"""
    if 90 <= angle <= 180:
        arduino.write(f"{angle}\n".encode('utf-8')) # ส่งมุมไปยัง Arduino
        time.sleep(0.5) # รอให้เซอร์โวหมุนเสร็จ
        response = arduino.readline().decode('utf-8').strip()
        print(response) # แสดงผลตอบกลับจาก Arduino
    else:
        print("Angle must be between 90 and 180.")
# ตั้งค่าไม้กั้นให้อยู่ที่ 180° (ปิด)
move_servo(180)
# ฟังก์ชันเปิดไม้กั้น
def open_gate():

```

```

print("Opening gate...")
move_servo(90) # เปิดไม้กั้นที่ 90°
time.sleep( # รอ 5 วินาที (เวลาเปิดไม้กั้น)
close_gate() # ปิดไม้กั้นกลับ
# ฟังก์ชันปิดไม้กั้น
def close_gate():
    print("Closing gate...")
    move_servo(180) # ปิดไม้กั้นกลับที่ 90°
# ตั้งค่าจอ ILI9341
DC = 24
RST = 25
SPI_PORT = 0
SPI_DEVICE = 0
platform_gpio = GPIO_TFT.RPiGPIOAdapter(GPIO)
spi = SPI.SpiDev(SPI_PORT, SPI_DEVICE, max_speed_hz=64000000)
disp = TFT.ILI9341(DC, rst=RST, spi=spi, gpio=platform_gpio)
disp.begin()
# ฟังก์ชันสำหรับแสดงข้อความบนจอ ILI9341
def display_horizontal_centered_message(message, color="white",
rotation=270, line_spacing=10):
    # สร้างภาพพื้นหลังสีดำ
    image = Image.new("RGB", (disp.width, disp.height), "black")
    draw = ImageDraw.Draw(image)
    # ใช้ฟอนต์ TrueType
    font_path = "/usr/share/fonts/truetype/dejavu/DejaVuSans-Bold.ttf"
    font_size = 38
    font = ImageFont.truetype(font_path, font_size)
    # แบ่งข้อความเป็นหลายบรรทัด

```

```

max_width = disp.height # ความกว้างสูงสุด (แนวตั้งเพราะข้อความจะหมุน)
words = message.split()
lines = []
current_line = ""
for word in words:
    test_line = current_line + word + " "
    text_width, _ = draw.textsize(test_line, font=font)
    if text_width <= max_width:
        current_line = test_line
    else:
        lines.append(current_line.strip())
        current_line = word + " "
# เพิ่มบรรทัดสุดท้าย
if current_line:
    lines.append(current_line.strip())
# คำนวณขนาดรวมของข้อความทั้งหมด
total_text_height = sum(draw.textsize(line, font=font)[1] for line in lines)
+ (len(lines) - 1) * line_spacing
# สร้างภาพข้อความแบบหลายบรรทัด
text_image = Image.new("RGB", (disp.height, disp.width), "black")
text_draw = ImageDraw.Draw(text_image)
# คำนวณตำแหน่งเริ่มต้นให้อยู่ตรงกลางจอ (ทั้งแกน X และ Y)
y_position = (disp.height - total_text_height) // 2
for line in lines:
    text_width, text_height = text_draw.textsize(line, font=font)
    x_position = (disp.height - text_width) // 2 # จัดข้อความให้อยู่ตรงกลาง
แนวนอน
    text_draw.text((x_position, y_position), line, fill=color, font=font)

```

```

    y_position += text_height + line_spacing
# หมุนข้อความ
rotated_text_image = text_image.rotate(rotation, expand=True)
# แสดงภาพบนจอ
disp.display(rotated_text_image)
# สร้างวัตถุกล้องและตั้งค่า
picam2 = Picamera2()
config = picam2.create_preview_configuration(main={"size": (1280, 720)})
picam2.configure(config)
picam2.start()
# ฟังก์ชันปรับสีภาพให้สมจริง
def adjust_color_balance(image):
    lab = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2LAB)
    l, a, b = cv2.split(lab)
    l = cv2.equalizeHist(l)
    lab = cv2.merge((l, a, b))
    balanced_image = cv2.cvtColor(lab, cv2.COLOR_LAB2BGR)
    return balanced_image
# ฟังก์ชันประมวลผลภาพ
def preprocess_image(image):
    gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0)
    edges = cv2.Canny(blur, 50, 150)
    return edges
try:
    while True:
        # จับภาพจากกล้อง
        frame = picam2.capture_array()

```

```

# ปรับสีภาพให้สมจริง
frame = adjust_color_balance(frame)
# คัดกรองภาพเพื่อค้นหาป้ายทะเบียน
processed_img = preprocess_image(frame)
original_img = frame.copy()
# ตรวจสอบป้ายทะเบียน
contours, _ = cv2.findContours(processed_img, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
contours = sorted(contours, key=cv2.contourArea, reverse=True)[:1] #
เลือกเฉพาะ contour ใหญ่สุด
for contour in contours:
    approx = cv2.approxPolyDP(contour, 0.018 * cv2.arcLength(contour,
True), True)
    if len(approx) == 4: # ตรวจสอบรูปสี่เหลี่ยม (ป้ายทะเบียน)
        x, y, w, h = cv2.boundingRect(contour)
        license_plate = original_img[y:y + h, x:x + w]
        # วาดกรอบรอบป้ายทะเบียน
        cv2.rectangle(original_img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 3)
        # บันทึกภาพป้ายทะเบียน
        license_path = f"/home/pi/Desktop/license-
pates_detected/Maincode/CameraCapture/capnew/capnew17/license_plate
_{datetime.now().strftime('%Y%m%d%H%M%S')}.jpg"
        cv2.imwrite(license_path, license_plate)
        # OCR อ่านป้ายทะเบียน
        gray_plate = cv2.cvtColor(license_plate, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        text = pytesseract.image_to_string(gray_plate, config='--psm 8',
lang='tha').strip()
        filtered_text = re.sub(r'^ก-๙0-9', "", text)

```

```

time_now = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
if 3 <= len(filtered_text) <=7:
    print(f"Detected License Plate: {filtered_text}")
    print(f"Time IN: {time_now}")
    # บันทึกข้อมูลในฐานข้อมูล
    cur.execute("SELECT LPRID FROM LicensePlatesRecognition
WHERE LPRID = %s", (filtered_text,))
    result = cur.fetchone()
    if result:
        display_horizontal_centered_message("Welcome", "green")
        cur.execute("INSERT INTO DetectLicense (DLID, DLTimeIN)
VALUES (%s, %s)", (filtered_text, time_now))
        db.commit()
        turn_on_led(LED_GREEN_PIN)
        turn_off_led(LED_RED_PIN)
        open_gate()
        print("License matched. Opening gate & LED.")
    else:
        display_horizontal_centered_message("No Entry, Pls
registor", "red")
        cur.execute("INSERT INTO DetectLicense (DLID, DLTimeIN)
VALUES (%s, %s)", (filtered_text, time_now))
        db.commit()
        turn_on_led(LED_RED_PIN)
        turn_off_led(LED_GREEN_PIN)
        print("License not matched. Red LED on & Gate remains
closed.")
else:

```

```

        #print("No valid license plate detected.")
        turn_on_led(LED_RED_PIN)
        turn_off_led(LED_GREEN_PIN)

    # แสดงผลภาพ
    license_img_rgb = cv2.cvtColor(original_img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
    cv2.imshow("License Plate Detection", license_img_rgb)
    # กด 'q' เพื่อหยุดโปรแกรม
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
except KeyboardInterrupt:
    print("Program stopped by user.")
finally:
    # ทำความสะอาดและปิดการทำงาน
    move_servo(180)
    picam2.stop()
    GPIO.cleanup()
    cur.close()
    db.close()
    arduino.close() # ปิดการเชื่อมต่อ Serial
    cv2.destroyAllWindows()

```

ภาคผนวก ข

Arduino ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์

```

#include <Servo.h>
Servo myservo; // ประกาศตัวแปรแทน Servo
void setup() {
  myservo.attach(9); // กำหนดขา 9 ควบคุม Servo
  myservo.write(180); // เริ่มต้นที่ 0 องศา
  Serial.begin(9600); // เริ่มการสื่อสาร Serial
}
void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    int angle = Serial.parseInt(); // รับค่ามุมจาก Serial
    if (angle >= 90 && angle <= 180) { // ตรวจสอบว่ามุมอยู่ในช่วง 0-180
      myservo.write(angle); // สั่งให้ Servo หมุนไปยังมุมที่กำหนด
      Serial.println("Servo moved to " + String(angle) + " degrees"); // ส่ง
ข้อความยืนยันกลับ
    }
  }
}

```

ภาคผนวก ค

หน้าเว็บไซต์แสดงผลข้อมูลการลงทะเบียนของสมาชิกและข้อมูลจากการตรวจจับ
ป้ายทะเบียนรถยนต์ ด้วยภาษา HTML , PHP และSQL

แสดงตารางข้อมูลเกี่ยวกับการจดจำป้ายทะเบียน (การลงทะเบียนโดย Admin) # index

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="UTF-8MB4">
<style>
    table, th, td {
        border: 1px solid black;
        border-collapse: collapse;
    }
    p {
        text-align:center;
    }
</style>
<title>LicensePlatesRecognition</title>
</head>
<body>
    <p><a href="insert_form.php" target="_parent"><button>Add
data</button></a>
    <table style="width:100%">
    <tr>
        <th>Number</th>
        <th>ID</th>
        <th>Name</th>
        <th>Gender</th>
        <th>TimeIN</th>
        <th>TimeOUT</th>
        <th>Delete</th>
    </tr>
<?php
require_once('config.php');
```

```

$sql = "SELECT * FROM LicensePlatesRecognition";
$result = mysqli_query($conn, $sql);
$numrows = mysqli_num_rows($result);
while ($row = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $LPRNumber = $row['LPRNumber'];
    $LPRID = $row['LPRID'];
    $LPRName = $row['LPRName'];
    $LPRGender = $row['LPRGender'];
    $LPRTIMEIN = $row['LPRTIMEIN'];
    $LPRTIMEOUT = $row['LPRTIMEOUT'];
    echo
"<tr><td>$LPRNumber</td><td>$LPRID</td><td>$LPRName</td><td>$LPRGender</
td><td>$LPRTIMEIN</td><td>$LPRTIMEOUT</td>";
        echo "<td align='center'><a href='delete.php?Number=$LPRNumber'
onclick=\"return confirm('Are you sure ?');\"><img src='images/icon-delete.png'
height=24 width=24 alt='Delete'></a></td></tr>";
    }
    mysqli_free_result($result);
    mysqli_close($conn);
?>
</table>
<p> <?php echo $numrows; ?> rows
</body>
</html>
หน้าเว็บ HTML สำหรับเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล # insert_from
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="UTF-8">
<style>
    table, th, td {

```

```

        border: 1px solid black;
        border-collapse: collapse;
    }
    p {
        text-align:left;
    }
</style>
<title>Add LicensePlatesRecognition Data</title>
</head>
<body>
    <h1>Add Data</h1>
    <form action="insert.php" method="post">
        ID <input type="text" name="LPRID">
        Name <input type="text" name="LPRName">
        Gender <input type="text" name="LPRGender">
        TimeIN <input type="text" name="LPRTIMEIN">
        TimeOUT <input type="text" name="LPRTIMEOUT">
        <br><br><input type="submit" value="Submit">
    </form>
    <p><a href="index.php" target="_parent"><button>Back</button></a>
</body>
</html>

```

ใช้สำหรับรับข้อมูลจากฟอร์มและเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล # insert

```

<?php
require_once('config.php');
// Get POST data
$LPRID = $_POST['LPRID'];
$LPRName = $_POST['LPRName'];
$LPRGender = $_POST['LPRGender'];
$LPRTIMEIN = $_POST['LPRTIMEIN'];
$LPRTIMEOUT = $_POST['LPRTIMEOUT'];

```

```

// Prepare SQL query
$sql = "INSERT INTO LicensePlatesRecognition (LPRID, LPRName,
LPRGender, LPRTIMEIN, LPRTIMEOUT) VALUES ('$LPRID', '$LPRName', '$LPRGender',
'$LPRTIMEIN', '$LPRTIMEOUT')";
// Execute query
mysqli_query($conn, $sql);
// Close connection and redirect
mysqli_close($conn);
header("Location: index.php");
?>
ส่วนนี้ทำหน้าที่ลบข้อมูลจากฐานข้อมูล # delete
<?php
require_once('config.php');
$LPRNumber = $_GET['Number'];
$sql = "DELETE FROM LicensePlatesRecognition WHERE
LPRNumber=$LPRNumber";
mysqli_query($conn, $sql);
mysqli_close($conn);
header("location: index.php");
ส่วนนี้ใช้ในการจัดการและลบข้อมูลป้ายทะเบียนในฐานข้อมูล admin_db (จากการ
ตรวจจับป้ายทะเบียน) # detectSave_table
<?php
$conn = new mysqli("localhost", "admin", "1111", "admin_db"); // เชื่อมต่อกับ
ฐานข้อมูล admin_db
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
// ตั้งค่า character set เป็น UTF-8
$conn->set_charset("utf8mb4");

```

```

// Handle form submissions
if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {
    if (isset($_POST["delete"])) { // ตรวจสอบว่าเป็นการลบ
        $DLID = $_POST["DLID"]; // รับ DLID จากฟอร์ม
        // ตรวจสอบว่าค่าที่ได้รับจากฟอร์มไม่ว่าง
        if (empty($DLID)) {
            // ใช้ prepared statement เพื่อป้องกัน SQL injection
            $stmt = $conn->prepare("DELETE FROM DetectLicense WHERE
DLID = ?");

            if ($stmt) {
                $stmt->bind_param("s", $DLID);
                if ($stmt->execute()) {
                    // แสดงข้อความหากลบสำเร็จ
                    echo "License plate " . htmlspecialchars($DLID) . " deleted
successfully.";

                } else {
                    // แสดงข้อผิดพลาดหาก execute ไม่สำเร็จ
                    echo "Error executing delete: " . $stmt->error;
                }
                $stmt->close();
            } else {
                echo "Error preparing statement: " . $conn->error;
            }
        } else {
            echo "License plate field is empty!";
        }
    }
}
// ดึงข้อมูลทั้งหมดจากตาราง DetectLicense
$result = $conn->query("SELECT * FROM DetectLicense");
if (!$result) {

```

```

        die("Error fetching data: " . $conn->error);
    }
?>
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Manage License Plates</title>
</head>
<body>
    <h1>License Plates</h1>
    <table border="1">
        <tr>
            <th>License Plate</th>
            <th>Time In</th>
        </tr>
        <?php while ($row = $result->fetch_assoc()): ?>
            <tr>
                <td><?php echo htmlspecialchars($row['DLID']); ?></td>
                <td><?php echo htmlspecialchars($row['DLTimeIN']); ?></td>
            </tr>
        <?php endwhile; ?>
    </table>
    <h1>Delete License Plate</h1>
    <form method="POST" action="">
        <label for="DLID">License Plate:</label>
        <input type="text" id="DLID" name="DLID" required> <!-- ระบุป้าย
ทะเบียนที่ต้องการลบ -->
        <br>
        <button type="submit" name="delete">Delete</button>
    </form>

```

```
<?php $conn->close(); ?>  
</body>  
</html>
```