

แผ่นอัจฉริยะทัศนวัตกรรมสำหรับผู้บกพร่องทางการมองเห็น
SMART VIDINNOVATIVE PAD FOR THE BLIND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องส่งมอบคืนเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

SMART VIDINNOVATIVE PAD FOR THE BLIND



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONG'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อาจารย์ผู้สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

แผ่นอัจฉริยะทัศนวัตกรรมสำหรับผู้บกพร่องทางการมองเห็น

ชื่อนักศึกษา

นางสาวรุ่งรัตน์ สุขสุเมฆ รหัสนักศึกษา 57051020

นางสาวศิริลักษณ์ ทองตรีพันธ์ รหัสนักศึกษา 57051037

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.อนุพงศ์ สรงประภา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ภาณุพล ไชยสินทรโทก	
ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์	
กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
กรรมการ	
รศ.อนุพงศ์ สรงประภา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	แผ่นอัจฉริยะทัศนวัตกรรมสำหรับผู้บกพร่องทางการมองเห็น Smart Vidinnovative Pad for The Blind
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรุ่งรัตน์ สุขสุขเมฆ รหัสนักศึกษา 57051020 นางสาวศิริลักษณ์ ทองตรีพันธ์ รหัสนักศึกษา 57051037
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ปรึกษา	รศ.อนุพงศ์ สรงประภา

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างต้นแบบอุปกรณ์สวมใส่แบบอัจฉริยะที่ช่วยในเรื่องการเดินทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางให้แก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็น โดยทำการประมวลผลข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งไว้มองด้านหน้าและส่งสัญญาณไปยังแผงอาร์เรย์ของมอเตอร์สันขนาดเล็ก ในส่วนแผ่นยึดหุ่นรัดบริเวณหน้าท้องของผู้ใช้ กระตุ้นให้ทราบถึงขอบเขตรูปร่างวัตถุต่าง ๆ แต่ละบริเวณคล้องจองกับภาพที่ปรากฏ

คำสำคัญ : ผู้บกพร่องทางการมองเห็น, อุปกรณ์สวมใส่อัจฉริยะ, การประมวลผลภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Smart Vidinnovative Pad for The Blind
Student	Miss Rungrath Suksumeak Student ID 57051020 Miss Siriluk Thongtreepun Student ID 57051037
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Assoc Prof Anupong Srongprapa

Abstract

This special project is aimed to study, design and produce the smart belt served as the prototype navigation system for helping the poor eye-vision people to avoid the obstacles. The flexible belt is put onto abdominal part of the user. The signal data processing of images from the pixel positions of digital camera mounted at a center of the smart belt is sent to the panel array of the miniature vibration motors. This motor will vibrate in real time in order to display the dimension of the obstacles.

Keywords : Poor eye-vision people, Smart belt, Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์อนุพงศ์ สร่งประภา ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ดีตลอดมา และยังเป็น ผู้เสนอแนะข้อสงสัยรวมถึงตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่จัดทำโครงการ พิเศษ จึงทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการ พิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ ความรู้ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วง และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำแนะนำและเป็นแรงผลักดันที่สำคัญ ให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รุ่งรัตน์ สุขสุเมธ
ศิริลักษณ์ ทองตรีพันธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพ	4
2.1.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล	4
2.1.2 เลนส์	5
2.1.3 เซ็นเซอร์รับภาพ	8
2.1.4 กระบวนการในการสร้างภาพสี	11
2.1.5 Pixy โมดูลกล้องตรวจจับสีและวัตถุ	12
2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล	14
2.2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น	16
2.2.2 การประมวลผลภาพระดับสูง	17
2.2.3 แบบจำลองสี RGB	17
2.2.4 Grayscale Image	18
2.2.5 ภาพขาว-ดำ	18
2.2.6 การแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา	18
2.2.7 การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ	19
2.2.8 การหาขอบภาพ	19
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	22
2.3.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	22
2.3.2 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง	24
2.3.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	24
2.3.4 มอเตอร์สั่นขนาดเล็ก	25
2.4 Raspberry Pi 3 Model B	26
2.4.1 สเปค Raspberry Pi 3 Model B	27
2.5 Arduino Mega 2560	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Mega 2560	27
2.5.2 Power	28
2.5.3 Memory	29
2.5.4 Input and Output	29
2.5.5 ฟังก์ชันอื่น ๆ เพิ่มเติม	29
2.5.6 Communication	29
2.5.7 Programming	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 ศึกษาการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุ ด้วย Raspberry pi 3	30
3.2 ศึกษาการตรวจจับสีของวัตถุ โดยใช้กล้อง Pixy	33
3.3 ออกแบบระบบการทำงาน	36
3.4 ศึกษาการเขียนโค้ดคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino	37
3.4.1 วาด flow chart แสดงขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino เพื่อให้หลอด LED สว่างเมื่อกล้อง Pixy ตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้	37
3.4.2 วาด flow chart แสดงขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino เพื่อให้มอเตอร์สั่นเตือนเมื่อกล้อง Pixy ตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้	39
3.4.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino	41
3.5 ออกแบบและสร้างแผ่น Smart Flexible Pad	43
3.5.1 สร้างต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16	43
3.5.2 สร้างต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16	45
3.5.3 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3x3	48
3.5.4 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 14x22	50
3.6 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง	54
3.6.1 ทดสอบโดยใช้ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	54
3.6.2 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุโดยใช้แผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งขนาดอาร์เรย์ 3x3	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	56
4.1 ผลการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุโดยใช้ Raspberry pi 3	56
4.1.1 ข้อดีของ Raspberry Pi 3	56
4.1.2 ข้อเสียของ Raspberry Pi 3	57
4.2 ผลการตรวจจับสีของวัตถุโดยใช้กล้อง Pixy โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางโดยใช้ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	57
4.2.1 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณตรงกลาง	57
4.2.2 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านบน	58
4.2.3 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านล่าง	59
4.2.4 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านซ้าย	60
4.2.5 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านขวา	61

4.2.6 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในระยะใกล้	62
4.2.7 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในระยะไกล	63
4.3 ผลการตรวจจับสีของวัตถุโดยใช้กล้อง Pixy โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางโดยใช้แผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งขนาดอาร์เรย์ 3x3	64
4.3.1 ข้อดีของกล้อง Pixy	65
4.3.2 ข้อเสียของ Raspberry Pi 3	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก	71
ภาคผนวก ข	78
ภาคผนวก ค	81
ภาคผนวก ง	92
ภาคผนวก จ	99
ภาคผนวก ช	106



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างต้นแบบที่ 2 ใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	45
3.3 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3	48
3.4 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 14x22	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล	5
2.2 เลนส์นูน เลนส์เว้า	5
2.3 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน	6
2.4 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า	7
2.5 เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS	8
2.6 ฟิเลเตอร์ภายใน CCD	9
2.7 การทำงานของ CCD	9
2.8 การทำงานเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS	10
2.9 ลักษณะของการกรองสีด้วยฟิเลเตอร์ที่อยู่บนโฟโตไดโอด	11
2.10 ลักษณะชั้นการวางตัวของฟิเลเตอร์เพื่อแยกสี	11
2.11 โมดูลกล้อง Pixy	12
2.12 ภาพด้านหลังกล้อง Pixy	14
2.13 การแสดงตำแหน่งของพิกเซลบนภาพดิจิทัลด้วยเมทริกซ์	14
2.14 แบบจำลองของภาพด้วยระนาบ	15
2.15 การจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลภาพดิจิทัลลงในเมทริกซ์	16
2.16 ภาพแบบ RGB	17
2.17 ภาพแบบ Grayscale	18
2.18 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ	18
2.19 การแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา	19
2.20 การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ	19
2.21 ภาพดั้งต้น	21
2.22 อนุพันธ์อันดับสองของภาพดั้งต้น	21
2.23 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์	22
2.24 แกนขั้ว	22
2.25 ขดลวดสนามแม่เหล็ก	23
2.26 โรเตอร์	23
2.27 มอเตอร์สันขนาดเล็ก	25
2.28 ภายในมอเตอร์สันขนาดเล็ก	26
2.29 บอร์ด Raspberry Pi 3	26
2.30 บอร์ด Arduino Mega 2560	27
2.31 Pinout ของบอร์ด Arduino Mega 2560	28
3.1 วิธีเปิดโปรแกรม Python 2	30
3.2 เข้าหน้า Python 2 เพื่อเตรียมเขียนโค้ด	31
3.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วย Python 2 และทำการ Run โค้ด	31
3.4 กล้องตรวจจับวัตถุสีเหลือง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใดๆ ทั้งสิ้น คือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5	เปรียบเทียบภาพที่ได้จากการตรวจจับสีของวัตถุและการหาขอบภาพ	32
3.6	หน้าโปรแกรม PixyMon	33
3.7	แสดงการปรับโฟกัสที่เลนส์	33
3.8	แสดงวิธีการ Set สีวัตถุที่ต้องการตรวจจับ	34
3.9	แสดงการตรวจจับสีของวัตถุ	34
3.10	แสดงภาพที่กล้องตรวจจับสีของวัตถุได้	35
3.11	แสดงการ Run default program	35
3.12	ภาพแสดงหลังจากกดเลือก Run default program	36
3.13	หลักการทำงานของเครื่อง	36
3.14	flow chart แสดงขั้นตอนการสว่าง-ดับของหลอด LED	37
3.15	แสดงลักษณะการทำงานของการทำงานการติด-ดับของ LED	38
3.16	flow chart แสดงขั้นตอนการสั่นเดือนของมอเตอร์สั่น	39
3.17	แสดงลักษณะการสั่น-หยุดสั่นของมอเตอร์สั่น	40
3.18	แสดงหน้าของโปรแกรม Arduino	41
3.19	ตัวอย่างโค้ดคำสั่ง	41
3.20	แสดงขั้นตอนการเลือกบอร์ด	42
3.21	แสดงขั้นตอนการเลือกพอร์ต	42
3.22	แสดงการสั่ง Download Code	43
3.23	Schematic ของต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16	44
3.24	การบัดกรีหลอด LED	44
3.25	ต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16	45
3.26	Schematic ของต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	46
3.27	แสดงลักษณะของหลอด LED ที่อยู่บนโครงเสริมขัด	46
3.28	ด้านหน้าของต้นแบบต้นแบบที่ 2 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	47
3.29	ด้านหลังของต้นแบบต้นแบบที่ 2 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	47
3.30	Schematic ของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3	48
3.31	ด้านหน้าของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3	49
3.32	ด้านหลังของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3	49
3.33	Schematic ของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3	52
3.34	แผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 12x22	53
3.35	แสดงลักษณะการต่อวงจร	53
3.36	แสดงลักษณะการสวมใส่ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22	54
3.37	แสดงลักษณะการใช้งานแบบจำลอง	54
3.38	แสดงลักษณะการใช้งานแผ่น Smart Flexible Pad	55
4.1	เมื่อทำการประมวลผลภาพแล้วจอแสดงภาพค้าง	56
4.2	(ก) วัตถุอยู่บริเวณตรงกลาง	57
4.2	(ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ตรงกลาง	58
4.3	(ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านบน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

4.3 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านบน	59
4.4 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านล่าง	59
4.4 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านล่าง	60
4.5 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านซ้าย	60
4.5 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านซ้าย	61
4.6 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านขวา	61
4.6 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านขวา	62
4.7 (ก) วัตถุอยู่ในระยะใกล้	62
4.7 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ในระยะใกล้	63
4.8 (ก) วัตถุอยู่ในระยะไกล	63
4.8 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ในระยะไกล	64
4.9 ยังไม่ปิดตาผู้ทดลอง	64
4.10 ปิดตาผู้ทดลองพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ	65
4.11 ผู้ทดลองเดินหลบออกจากบริเวณที่มีวัตถุวางอยู่	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดวงตาถือเป็นอวัยวะที่สำคัญและซับซ้อน ว่ากันว่าการเรียนรู้และการรับรู้ของคนเรา โดยส่วนใหญ่ประมาณ 70 – 80 % ได้มาจากการมองเห็น แต่มีกลุ่มหนึ่งที่ไม่สามารถใช้สายตาได้เหมือนคนปกติ นั่นก็คือกลุ่มผู้บกพร่องทางการมองเห็น บุคคลเหล่านี้แม้ไม่สามารถใช้สายตาได้เหมือนคนทั่วไปแต่พวกเขาสามารถใช้ประสาทสัมผัสด้านการได้ยิน การดมกลิ่น และการสัมผัสได้ดี แต่ความสามารถเหล่านี้ก็ไม่สามารถแทนที่การมองเห็นได้ ปัจจุบันในประเทศไทยมีจำนวนผู้บกพร่องทางการมองเห็นมากกว่า 180,000 ราย ซึ่งในทางการแพทย์ได้ให้นิยามคำว่าผู้บกพร่องทางการมองเห็นไว้ว่าเป็นผู้ที่มองไม่เห็นหรือ พอเห็นแสง เห็นเลือนราง และมีความบกพร่องทางสายตาทั้งสองข้าง โดยมีความสามารถในการมองเห็นได้ไม่ถึง 1/10 ของคนปกติ หลังจากที่ได้รับ การรักษาและแก้ไขทางการแพทย์ หรือมีลานสายตา กว้างไม่เกิน 30 องศา การบกพร่องทางการเห็น อาจมีสาเหตุใหญ่ ๆ อยู่ 2 ประการ คือ ความผิดปกติของดวงตา ซึ่งเกิดจากความเสื่อมสภาพของกล้ามเนื้อตาเป็นเหตุให้ สายตาสั้น สายตายาว หรือเกิดมีปัญหามาจากการปรับภาพที่เลนส์ในดวงตา เป็นต้น ความผิดปกติอาจเกิดจากอุบัติเหตุ การไม่ถนอมสายตาหรืออาจเกิดจากกรรมพันธุ์ และความผิดปกติของสายตา เกิดจากโรคภัยไข้เจ็บ อุบัติเหตุต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อดวงตา ฤทธิ์ยาบางประเภทตลอดจนใช้ยาผิด โรคบางอย่างที่ไม่สามารถป้องกันได้ เช่น เนื้องอกที่ตา โรคเหล่านี้อาจทำให้ตาบอดหรือมีความบกพร่องทางสายตารุนแรง ความยากลำบากในการดำเนินชีวิตของผู้บกพร่องทางการมองเห็นนับเป็นจุดเริ่มต้นให้ใครหลายคนหันมาให้ความสนใจและคิดค้นประดิษฐ์เครื่องมือซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ช่วยในเรื่องของการเดินทางแก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็น โดยอาศัยการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่ด้านหน้าแล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณเพื่อเตือนผู้ใช้งานทราบและเดินหลบได้ อาทิเช่น ไม้เท้าอัจฉริยะ (Smart Cane) ที่ติดตั้งเครื่องอัลตราโซนิกไว้บริเวณด้ามจับของไม้เท้า เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์ตรวจจับวัตถุที่อยู่ข้างหน้าได้และส่งกลับมา ไม้เท้าจะสั่นเพื่อให้ผู้ใช้ทราบว่าข้างหน้ามีวัตถุ หรือจะเป็น The vOICe ที่ตัวแว่นจะมีกล้องบันทึกภาพ และแปลงภาพเป็นเสียงเพื่อแจ้งว่ามีอะไรอยู่ข้างหน้า รวมทั้งกล้องถ่ายรูปสำหรับผู้บกพร่องทางการมองเห็น (2C3D) ซึ่งตัวกล้องมีรูปทรงกลมแบน ใช้งานคล้ายกับกล้องถ่ายวิดีโอ ด้านข้างมีจอภาพสามมิติลักษณะเป็นฟิสิกเซลสามมิติ สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปตามภาพหรือการเคลื่อนไหวที่มองเห็น แต่อุปกรณ์เหล่านี้ก็ไม่สามารถแทนที่การมองเห็นได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ยังมีความคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ที่ช่วยในเรื่องการเดินทางแก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็นขึ้นอย่างต่อเนื่อง

โดยทางเราได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่กล่าวไปในข้างต้นจึงได้ออกแบบและสร้างแผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยแจ้งเตือนตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าแก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็น ที่มีลักษณะคล้ายเข็มขัดภายในประกอบไปด้วยกล้อง Pixy ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับสีของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านหน้าและทำการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนจอภาพ บอร์ด Arduino Mega 2560 ทำหน้าที่เป็นตัวสั่งการให้มอเตอร์สั่นทำงาน

และแผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งมีมอเตอร์สั่นขนาดอาร์เรย์ 22x14 ที่จะทำหน้าที่สั่นเตือนในค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของวัตถุที่กล้อง pixy ตรวจจับได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางและสามารถเดินหลบหลีกได้

เนื้อหาในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย บทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการทดลองและอภิปรายผล และบทที่ 5 จะเป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ช่วยในเรื่องการเดินทางแก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็น โดยอาศัยการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้า เพื่อเตือนให้ผู้ใช้ทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางและสามารถเดินหลบได้
- 2) ศึกษาขั้นตอนการประมวลผลภาพและการหาขอบภาพโดยใช้ Raspberry pi 3
- 3) ศึกษาการใช้งานกล้อง Pixy, บอร์ด Arduino Mega 2560 และมอเตอร์สั่น เพื่อนำมาออกแบบให้สามารถตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางและส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ใช้รับรู้ได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สามารถนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปใช้ในการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางแล้วทำให้ผู้ใช้ทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางและสามารถเดินหลบได้

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหลักการทํางานของกล้องถ่ายภาพ เซ็นเซอร์รับภาพ กระบวนการเกิดภาพ
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาขั้นตอนการประมวลผลภาพ การตรวจจับภาพ การหาขอบภาพ โดยใช้ Raspberry pi 3 และกล้อง Webcam
- ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้งานกล้อง Pixy เพื่อนำมาใช้เป็นตัวตรวจจับภาพของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง
- ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาการใช้งานบอร์ด Arduino Mega 2560 และการเขียนโค้ดคำสั่ง
- ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาคุณสมบัติและหลักการทำงานของมอเตอร์สั่น
- ขั้นตอนที่ 6 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบโดยใช้หลอด LED
- ขั้นตอนที่ 7 ทดสอบโดยใช้กล้อง Pixy เป็นตัวตรวจจับสีของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง เขียนโค้ดคำสั่งให้บอร์ด Arduino Mega 2560 ส่งข้อมูลตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่ได้จากกล้อง Pixy ไปยังมอเตอร์สั่น
- ขั้นตอนที่ 8 ออกแบบและสร้างตัวแผ่น Smart Flexible Pad โดยใช้มอเตอร์สั่น
- ขั้นตอนที่ 9 ทดสอบ นำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ผล ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาด
- ขั้นตอนที่ 10 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปแบบรายงาน

ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยจะแสดงดังตารางที่ 1.1 ซึ่งใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอน	ระยะเวลาการดำเนินงาน											
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.	พ.ค	มิ.ย	ก.ค
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												
ขั้นตอนที่ 5												
ขั้นตอนที่ 6												
ขั้นตอนที่ 7												
ขั้นตอนที่ 8												
ขั้นตอนที่ 9												
ขั้นตอนที่ 10												

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางในระยะเวลาที่กำหนดได้
- 2) ผู้ใช้งานสามารถทราบตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง และสามารถเดินหลบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกล้องถ่ายภาพ หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล เลนส์ เซ็นเซอร์รับภาพ กระบวนการเกิดภาพ กล้องPixy การประมวลผลภาพดิจิทัล แบบจำลองสี RGB ภาพระดับสีเทา ภาพขาว-ดำ การหาขอบภาพ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ สัน Raspberry Pi 3 และบอร์ด Arduino Mega 2560

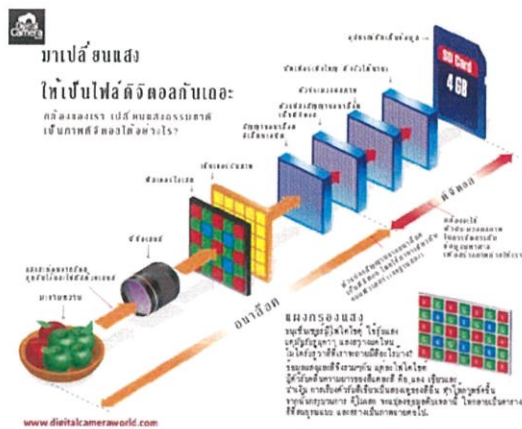
2.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพ

หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพ คือ การที่แสงสะท้อนจากวัตถุเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านช่องเล็ก ๆ ของกล้องสี่เหลี่ยม เกิดภาพของวัตถุนบนฉากรองรับด้านตรงกันข้ามเป็นภาพหัวกลับ อันเป็นหลักการของการสร้างกล้องรูเข็มในสมัยโบราณ ปัจจุบันกล้องถ่ายภาพได้พัฒนาโดยลำดับ เช่น มีการนำเอาเลนส์นูนไปติดตั้งที่ช่องรับแสงที่มีขนาดเล็ก เพื่อช่วยรวมแสงให้เข้าไปในตัวกล้องให้มากขึ้น ทางด้านตรงกันข้ามของเลนส์เป็นตำแหน่งที่ตั้งของฉากรับภาพซึ่งเป็นวัสดุไวแสง (ฟิล์มหรือเซ็นเซอร์รับภาพ) สามารถปรับตัวเลนส์เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนบนฉากรับภาพได้ มีการติดตั้งไดอะแฟรมเพื่อปรับให้เกิดช่องรับแสงขนาดต่าง ๆ รวมทั้งมีส่วนที่เรียกว่าชัตเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิดม่าน เพื่อให้ปริมาณแสงตกกระทบกับฉากรับภาพตามความเหมาะสม และยังมีช่องเล็งภาพเพื่อช่วยในการจัดองค์ประกอบของภาพถ่ายให้เกิดความสวยงาม

2.2.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล

การทำงานของกล้องดิจิทัลเริ่มตั้งแต่แสงส่องตรงไปยังวัตถุสะท้อนเข้าเลนส์ของกล้องถ่ายภาพ ชัตเตอร์จะเปิดเพื่อให้แสงเข้าไปกระทบกับหน่วยรับภาพคือตัวเซ็นเซอร์รับภาพ (CCD หรือ CMOS) ซึ่งแต่ละพิกเซลจะเป็นวัสดุไวแสงเรียกว่าโฟโตไดโอด (Photo Diode) รับค่าของแสงมากบ้างน้อยบ้าง และรับได้เฉพาะขาว-ดำเท่านั้น จากนั้นจะแปลงแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ามากขึ้นอยู่กับแสงที่ได้รับมา ลักษณะของสัญญาณจะเป็นแบบอะนาล็อก (Analogue Signal) จากนั้นจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณให้เป็นรหัสดิจิทัล มีชื่อเรียกว่า ADC (Analogue to Digital Converter) รหัสดิจิทัลจะมีลักษณะเป็นตัวเลขคือ 0 และเลข 1 รหัสดิจิทัลจะถูกนำไปยังหน่วยประมวลผลและเก็บข้อมูลไว้ในการ์ดของหน่วยความจำ (Flash Memory Card) ในลักษณะของ File ภาพแบบต่าง ๆ ตามที่ตั้งค่าไว้เช่น TIFF, RAW และ JPEG

ภาพถ่ายที่เป็นสีธรรมชาติได้ก็เพราะมีฟิลเตอร์ซึ่งเป็นแม่สีของแสงวางไว้หน้า CCD หรือ CMOS อันได้แก่แม่สีแดง (RED) แม่สีเขียว (GREEN) และสีน้ำเงิน (BLUE) ฟิลเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือแบบ ARAY FILTER (Mosaic Capture) ในฟิลเตอร์ดังกล่าวพิกเซลแม่สีทั้ง 3 จะวางสลับกันแต่มีจำนวนไม่เท่ากัน พิกเซลสีเขียวจะมีจำนวนมากกว่าพิกเซลสีแดงรวมกับพิกเซลสีน้ำเงิน ทั้งนี้เนื่องจากดวงตาของมนุษย์มีความไวต่อแสงสีทั้ง 3 ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องเอาข้อมูลที่มีมากกว่าจากพิกเซลสีเขียวเพื่อสร้างภาพให้ภาพให้เห็นเป็นสีที่แท้จริง โยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



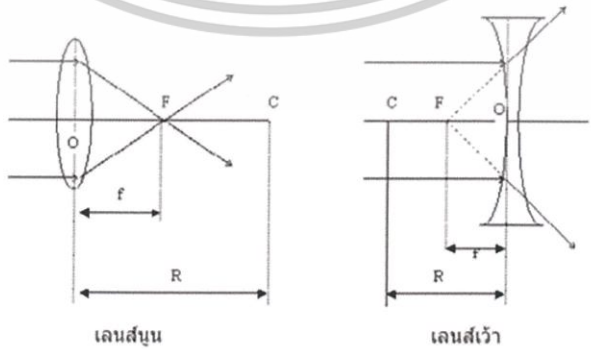
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล
ที่มา : <http://2.bp.blogspot.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561

2.2.2 เลนส์

เลนส์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติก ซึ่งอาจเป็นเลนส์นูนอันเดียวหรือเป็นชุดของเลนส์นูนและเลนส์เว้าที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุด เลนส์ทำหน้าที่หักเหแสงซึ่งสะท้อนจากวัตถุให้ไปตัดกันเกิดเป็นภาพจริงหัวกลับบนระนาบของฉากรับภาพ แก้วทุกชิ้นที่ประกอบกันขึ้นเป็นเลนส์นั้นได้รับการจัดทำขึ้นอย่างประณีตตามทฤษฎีเพื่อรวมแสงและหักเหแสง นอกจากนี้ยังออกแบบมาให้สามารถแก้ไขการเพี้ยนของสีและการคลาดเคลื่อนของรูปทรงให้ถูกต้องตามความเป็นจริง เลนส์ที่ใช้แต่ละกล้อมีขนาดต่าง ๆ กันแบ่งตามความยาวโฟกัสของเลนส์นั้น ความยาวโฟกัสของเลนส์ก็คือ ระยะจากเลนส์ถึงฉากรับภาพ เมื่อโฟกัสวัตถุที่ระยะไกลที่สุด เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสต่างกันจะให้มุมมองของวิวที่ต่างกัน

2.2.2.1 ชนิดของเลนส์

- 2.2.2.1.1 เลนส์นูน คือเลนส์ที่มีลักษณะบริเวณผิวตรงกลางเลนส์หนากว่าบริเวณขอบเลนส์ ทำหน้าที่รวมแสงหักเห
- 2.2.2.1.2 เลนส์เว้า คือเลนส์ที่มีลักษณะบริเวณผิวตรงกลางเลนส์บางกว่าบริเวณขอบเลนส์ ทำหน้าที่กระจายแสงหักเห



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 2.2 เลนส์นูน เลนส์เว้าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่เกิดข้อผิดพลาดและต้องขออภัยเป็นอย่างสูงจากข้าพเจ้าซึ่งขอสงวนไว้

2.2.2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเลนส์

2.2.2.2.1 จุดศูนย์กลางความโค้ง ตามรูปคือจุด C

2.2.2.2.2 จุดกึ่งกลางเลนส์ ตามรูปคือจุด O เป็นจุดที่เมื่อรังสีตกกระทบเลนส์ผ่านจุดนี้แล้วรังสีหักเหจะไม่เบนไปจากแนวเดิม (จะอยู่ในแนวรังสีตกกระทบ)

2.2.2.2.3 จุดโฟกัส ตามรูปคือจุด F เป็นจุดรวมรังสีหักเห

2.2.2.2.4 เส้นแกนमुखสำคัญ ในรูปคือเส้นตรงที่ลากผ่านจุด C F O

2.2.2.2.5 ความยาวโฟกัส f คือระยะจากจุด O ถึงจุด F

2.2.2.3 เมื่อนำวัตถุมาวางหน้าเลนส์จะเกิดภาพ 2 ชนิด คือ

2.2.2.3.1 ภาพจริง คือภาพที่เกิดจากรังสีหักเหของแสงตัดกันจริง ๆ ลักษณะของภาพจริง เอาฉากรับได้จะเกิดหลังเลนส์ หักกลับกับวัตถุ

2.2.2.3.2 ภาพเสมือน คือภาพที่เกิดจากรังสีหักเหของแสงไม่ได้ตัดกันจริง ๆ แต่เสมือนตัดกัน ลักษณะของภาพเสมือน ไม่สามารถเอาฉากรับได้จะเกิดหน้าเลนส์ หัวตั้งเหมือนวัตถุ

2.2.2.4 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน

เลนส์นูนสามารถให้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน และภาพจริงเป็นภาพที่ฉากรับได้เป็นภาพหัวกลับกับวัตถุ ส่วนภาพเสมือนเป็นภาพที่ฉากรับไม่ได้เป็นภาพหัวตั้งเหมือนวัตถุ ภาพจริงที่เกิดจากเลนส์นูนมีหลายขนาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะวัตถุ และตำแหน่งภาพจริงที่จะเกิดหลังเลนส์ ภาพเสมือนที่เกิดจากเลนส์นูนมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุและตำแหน่งภาพเสมือนจะเกิดหน้าเลนส์

ตำแหน่งวัตถุ	การเขียนรังสีแสง	ชนิดภาพ	ขนาดภาพ	ตำแหน่งภาพ
วัตถุอยู่ไกลกว่าระยะอนันต์ $s \rightarrow \infty$		ภาพจริง	เป็นจุด	หลังเลนส์ที่จุด F
วัตถุอยู่หน้า C $2f < s < \infty$		ภาพจริงหัวกลับ	เล็กว่าวัตถุ	หลังเลนส์ระหว่าง C' กับ F'
วัตถุอยู่ที่ C $s = 2f$		ภาพจริงหัวกลับ	เท่าวัตถุ	หลังเลนส์ที่จุด C'
วัตถุอยู่ระหว่าง C กับ F $f < s < 2f$		ภาพจริงหัวกลับ	ใหญ่กว่าวัตถุ	หลังเลนส์เลขจุด C'
วัตถุอยู่ที่ F $s = f$		ภาพไม่ชัด	ใหญ่ที่สุด	ระยะอนันต์
วัตถุอยู่ระหว่าง F กับ O $0 < s < f$		ภาพเสมือนหัวตั้ง	ใหญ่กว่าวัตถุ	หน้าเลนส์เกินระยะวัตถุ

รูปที่ 2.3 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : <http://4.bp.blogspot.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์ให้มีแต่ต้นฉบับและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.5 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า

วัตถุอยู่ไกลมาก (ระยะอนันต์,Infinity) แสงจากวัตถุขนานกับแกนหลัก หักเหผ่านเลนส์เว้า เป็นรังสีปลายบานเข้าสู่ตาผู้สังเกต ผู้สังเกตจะมองเห็นภาพที่จุดโฟกัสเสมือนเป็นภาพเสมือน ขนาดเล็กมาก ข้างเดียวกับวัตถุไม่ว่าวัตถุจะอยู่ที่ใด จะได้ภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ และอยู่ด้านเดียวกับวัตถุ

ตำแหน่งวัตถุ	การเขียนรังสีแสง	ชนิดภาพ	ขนาดภาพ	ตำแหน่งภาพ
วัตถุอยู่ไกลมากที่ระยะอนันต์ $s \Rightarrow \infty$		ภาพเสมือน	เป็นจุด	หน้าเลนส์ที่จุด F
วัตถุอยู่หน้า C $2f < s < \infty$		ภาพเสมือนหัวตั้ง	เล็กกว่าวัตถุ	หน้าเลนส์ระหว่าง F กับ O
วัตถุอยู่ที่ C $s = 2f$		ภาพเสมือนหัวตั้ง	เล็กกว่าวัตถุ	หน้าเลนส์ระหว่าง F กับ O
วัตถุอยู่ระหว่าง C กับ F $f < s < 2f$		ภาพเสมือนหัวตั้ง	เล็กกว่าวัตถุ	หน้าเลนส์ระหว่าง F กับ O
วัตถุอยู่ที่ F		ภาพเสมือนหัวตั้ง	เล็กกว่าวัตถุ	หน้าเลนส์ระหว่าง F กับ O
วัตถุอยู่ระหว่าง F กับ O $0 < s < f$		ภาพเสมือนหัวตั้ง	เล็กกว่าวัตถุ	หน้าเลนส์ระหว่าง F กับ O

รูปที่ 2.4 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า

ที่มา : <http://3.bp.blogspot.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2561

2.2.2.4 สูตรที่ใช้ในการคำนวณการเกิดภาพในเลนส์นูนและเลนส์เว้า

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \tag{2.1}$$

$$m = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \tag{2.2}$$

$$m = \frac{f}{s - f} \tag{2.3}$$

$$m = \frac{s' - f}{f} \tag{2.4}$$

เมื่อ f คือความยาวโฟกัส y คือขนาดวัตถุ m คือกำลังขยาย s คือระยะวัตถุ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 y' คือขนาดวัตถุ R คือรัศมีความโค้งกระจก s' คือระยะภาพ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพจริง m เป็นบวก ภาพเสมือน m เป็นลบ เงื่อนไขการใช้สูตร

1. เลนส์นูนต้อง f ใช้เป็นบวก เลนส์เว้าต้องใช้ f เป็นลบ
2. ภาพจริงใช้ s', y', m เป็นบวก ภาพเสมือนใช้ s', y', m เป็นลบ

2.2.3 เซ็นเซอร์รับภาพ

สิ่งหนึ่งของกล้องดิจิทัลที่มีความสำคัญมาก และทำให้กล้องดิจิทัลแตกต่างจากกล้องใช้ฟิล์มอย่างเห็นได้ชัดเจนนคือ เซ็นเซอร์รับภาพ (Image Device หรือ Image Sensor) ตัวเซ็นเซอร์นี้จะทำหน้าที่รับภาพหรือแสงแทนฟิล์ม บนพื้นผิวของเซ็นเซอร์ถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่าพิกเซล แต่ละพิกเซลจะบันทึกข้อมูล 1 จุดภาพ เมื่อรวมกันหลาย ๆ จุดอัดกันแน่นจะกลายเป็นภาพที่สามารถมองเห็นได้ว่าเป็นภาพอะไร

2.2.3.1 ประเภทของเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์รับภาพที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ CCD (ซีซีดี) และ CMOS (ซีโมส)

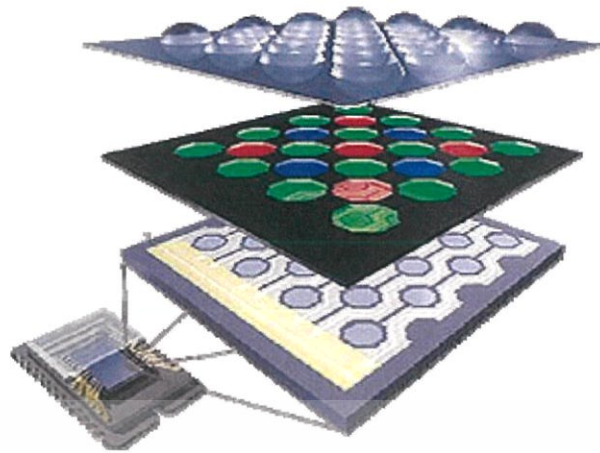


รูปที่ 2.5 เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD และ CMOS

ที่มา : <http://www.bsru.ac.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

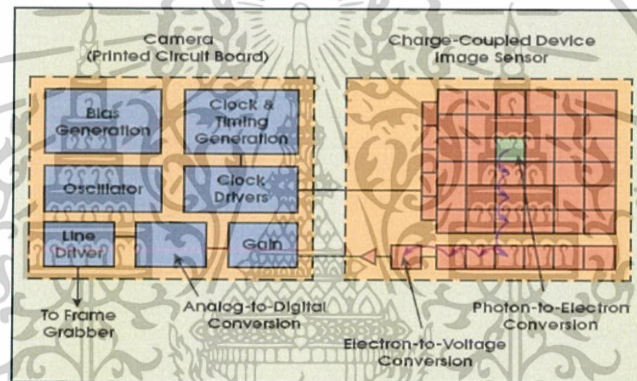
2.2.3.1.1 เซ็นเซอร์แบบ CCD

เซ็นเซอร์รับภาพแบบ CCD ย่อมาจาก Charge Coupled Device โดยปกติ CCD จะรับรู้ได้เพียงว่ามีแสงสว่างมากหรือน้อยเท่านั้นที่มาตกกระทบ ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นสีอะไร ดังนั้นเพื่อให้บันทึกภาพเป็นสีได้จึงเคลื่อนเซ็นเซอร์ด้วยฟิลเตอร์ที่เป็นแม่สีของแสง 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน เมื่อ CCD รับแสงมาแล้วจะเปลี่ยนค่าแสงเป็นประจุไฟฟ้าและแปลงเป็นสัญญาณแอนาล็อก ส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกทีเพื่อนำไปประมวลผลเป็นภาพที่มีสีสันทตามธรรมชาติต่อไป



รูปที่ 2.6 ฟิเตอร์ภายใน CCD

ที่มา : <http://www.bsru.ac.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561



รูปที่ 2.7 การทำงานของ CCD

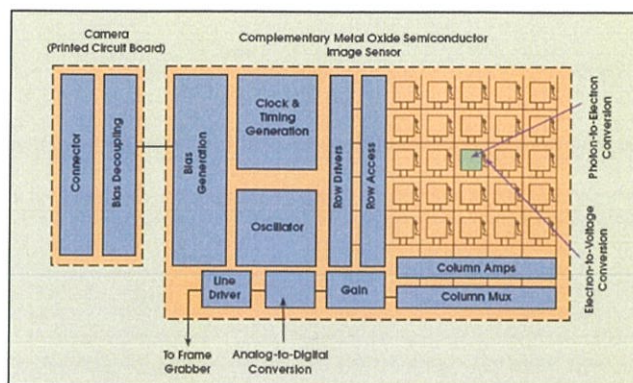
ที่มา : <http://www.bsru.ac.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

2.2.3.1.2 เซ็นเซอร์แบบ CMOS

CMOS ย่อมาจากคำว่า Complementary Metal Oxide Semiconductor ในแต่ละพิกเซลของ CMOS นอกจากจะประกอบไปด้วยตัวรับแสงแล้ว ยังมีส่วนแปลงประจุไฟฟ้าเป็นสัญญาณแอนะล็อกและเปลี่ยนค่าเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ในทันทีโดยไม่ต้องส่งออกไปแปลงเหมือน CCD เมื่อมีวงจรต่าง ๆ ประกอบเข้ามาจึงทำให้พื้นที่ ส่วนรับแสงน้อยลง มีความไวแสงต่ำและเกิดสัญญาณรบกวนในภาพมาก แต่ต้นทุนต่ำกว่าเนื่องจากสามารถรวมทุกอย่างไว้ในวงจรเดียว ดังนั้นเมื่อก่อน CMOS จึงใช้อยู่ในกล้องคุณภาพต่ำ แต่ในปัจจุบัน CMOS ได้รับการพัฒนาในหลาย ๆ ส่วน ทำให้รับแสงได้ไวขึ้นและสัญญาณรบกวนน้อยลง จนทำให้มีการนำ CMOS ไปใช้ในกล้องระดับ

คุณภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การทำงานเซ็นเซอร์รับภาพแบบ CMOS

ที่มา : <http://www.bsru.ac.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

2.2.3.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์แบบ CMOS และ CCD

2.2.3.2.1 ชิพเซ็นเซอร์ CCD ผลิตด้วยเทคโนโลยี IC wafer ดังนั้นต้นทุนการผลิตจึงสูงกว่าชิพเซ็นเซอร์ CMOS ซึ่งผลิตด้วยเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ

2.2.3.2.2 เนื่องจากภายในเซ็นเซอร์ CCD จะมีตัวกรองส่วนที่ทำหน้าที่รับแสงเพียงอย่างเดียว ขณะที่ในเซ็นเซอร์ CMOS จะมีทั้งส่วนที่ทำหน้าที่รับแสงด้วยและแปลงสัญญาณด้วย ดังนั้นในขนาดพื้นที่เท่ากันเซ็นเซอร์ CCD จะมีความไวแสงสูงกว่า CMOS เพราะมีส่วนที่รับแสงได้มากกว่านั่นเอง

2.2.3.2.3 เซ็นเซอร์ CCD มีความเร็วในการทำงานน้อยกว่า CMOS เพราะต้องเสียเวลาส่งสัญญาณไปแปลงค่าอีกต่อหนึ่ง ขณะที่ CMOS ไม่ต้องทำแล้ว เพราะทำเบ็ดเสร็จในตัวเองเรียบร้อยแล้ว

2.2.3.2.4 คุณภาพภาพของชิพเซ็นเซอร์ CCD จะดีกว่า CMOS เพราะในพื้นที่เท่ากัน CCD รับแสงได้มากกว่า จึงมีความละเอียดมากกว่า ให้เส้นแสงที่คมชัดกว่า ให้สีที่เหมือนจริงมากกว่า

2.2.3.2.5 CCD มี Signal to noise ratio สูงกว่า จึงมี noise (สัญญาณรบกวนภาพ) น้อยกว่า CMOS

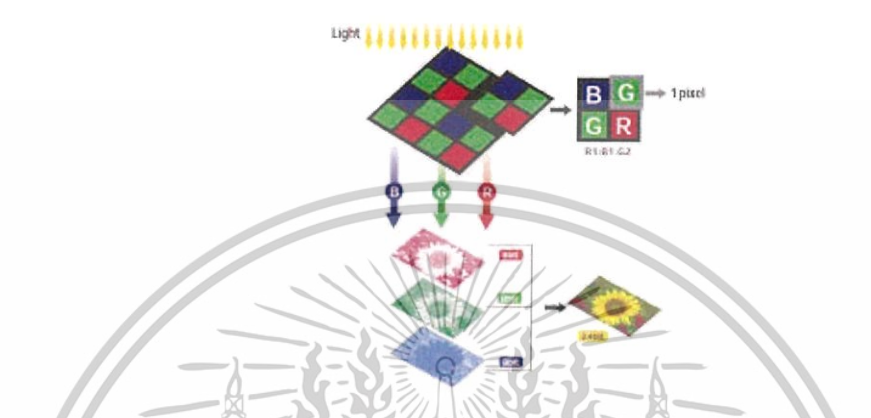
2.2.3.2.6 CCD มีช่วงกว้างในการรับแสงกว้างกว่า คือสามารถรับแสงได้ตั้งแต่แสงเหนือม่วง (Ultraviolet - UV) ไปจนถึงแสงใต้แดง (Infrared - IR)

2.2.3.2.7 CCD ใช้พลังงานมากกว่า CMOS เนื่องจากต้องมีการแปลงสัญญาณเพิ่มขึ้นไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

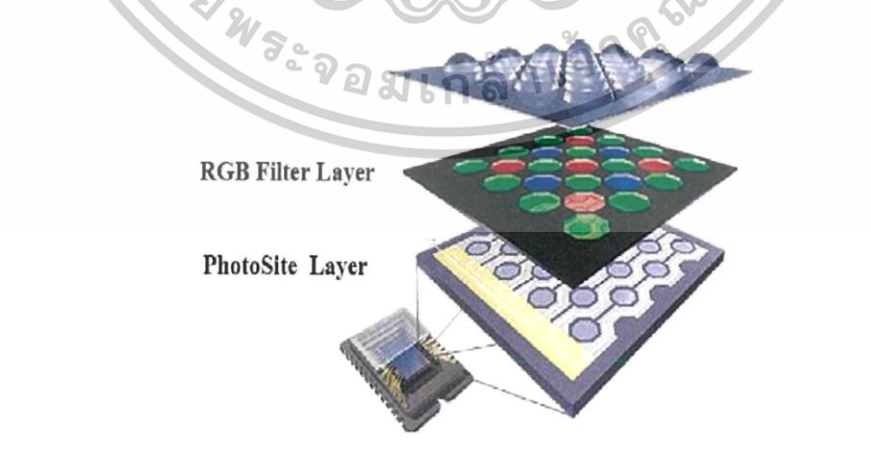
2.1.4 กระบวนการในการสร้างภาพสี

โฟโตไดโอดในเซ็นเซอร์รับภาพเหล่านี้รับปริมาณแสงเข้ามาแล้วสามารถบอกได้ว่าค่าแสงไหนสว่างมาก ค่าแสงไหนสว่างน้อย แล้วทำไมภาพที่เราเห็นจึงเกิดมาเป็นสีกันได้ ในส่วนนี้สิ่งที่ต้องเพิ่มเติมเข้ามาก็คือฟิลเตอร์ ซึ่งฟิลเตอร์มีทั้ง สีแดง เขียว และน้ำเงิน ถูกนำมาวางเป็นตัวกรองด้านหน้าเซ็นเซอร์รับภาพ โดยฟิลเตอร์ยอมให้แสงที่มีสีเหมือนตัวเองผ่านไปได้ แสงที่ไม่เหมือนจึงถูกกันไว้เมื่อรวมข้อมูลหลายๆจุดเข้าด้วยกันทำให้เกิดภาพออกมาเป็นสี



รูปที่ 2.9 ลักษณะของการกรองสีด้วยฟิลเตอร์ที่อยู่บนโฟโตไดโอด
ที่มา : <http://av.jpn.support.panasonic.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

เซ็นเซอร์รับภาพภายในประกอบด้วย โฟโตไดโอดขนาดเล็กจำนวนมาก รับรู้แต่ปริมาณแสงที่ตกลงบนโฟโตไดโอดเท่านั้น นั่นคือเซ็นเซอร์รับภาพมองภาพเป็นขาวดำ แต่ภาพที่เราต้องการเป็นภาพสีจึงต้องมีการใส่ฟิลเตอร์สีไปหน้าโฟโตไดโอดเพื่อแยกภาพออกเป็นขาวดำของแม่สีต่าง ๆ ฟิลเตอร์ที่ใช้หน้าโฟโตไดโอดมีหลายแบบ เช่น ฟิลเตอร์ RGB ซึ่งเป็นแม่สีในระบบแม่สีบวกหรือฟิลเตอร์ CMY เป็นแม่สี ในระบบแม่สีลบเกือบทั้งหมดใช้แบบ RGB หรืออาจใช้ฟิลเตอร์สีใสหน้าแหล่งกำเนิดแสงหรือหน้าเลนส์แล้วถ่ายภาพทีละสี



รูปที่ 2.10 ลักษณะชั้นการวางตัวของฟิลเตอร์เพื่อแยกสี
ที่มา : <http://dtv.mcot.net> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่ใช้ฟิลเตอร์หน้า CCD แบบ RGB เพื่อแยกสีของภาพโดยมีฟิลเตอร์สีเขียวมากกว่าสีน้ำเงินและแดง ฟิลเตอร์ยอมให้แสงที่มีสีเหมือนตัวเองผ่านไปได้แต่กันแสงสีที่ไม่เหมือนตัวเองเอาไว้ โฟโต้ไดโอดสีแดงจะมองเห็นภาพสีขาว เหลือง ม่วง แดง และส้ม มองไม่เห็นเขียว น้ำเงิน และฟ้า โฟโต้ไดโอดสีเขียวจะมองเห็นภาพสี ขาว เหลือง ส้ม เขียว และฟ้า มองไม่เห็นแดง น้ำเงิน และม่วง โฟโต้ไดโอดสีน้ำเงินจะมองเห็นภาพสี ขาว ม่วง ฟ้า น้ำเงิน มองไม่เห็นเขียว เหลือง ส้ม และแดง โฟโต้ไดโอดแต่ละตำแหน่งให้ข้อมูลเพียงสีเดียวเท่านั้น หรือ 1 ตำแหน่งมี 1 ข้อมูล แต่ภาพสีที่สมบูรณ์ต้องมีข้อมูล 3 สีใน 1 ตำแหน่งหรือกล่าวได้ว่าภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์รับภาพ แบบ Color Matrix มีข้อมูลสีเพียง 1 ใน 3 ขาดข้อมูลไป 2/3 ส่วนที่ขาดหายไปจึงต้องทำการจำลองข้อมูล หรือ Interpolated โดยการใช้ข้อมูลจากพิกเซลด้านข้างทั้ง 8 มาคำนวณ เช่น ตำแหน่งของสีเขียว ตัวเองเป็นเขียวสว่าง ด้านข้างเป็นแดงสว่าง และน้ำเงินสว่างแสดงว่าตรงนั้นเป็นสีขาว หรือตำแหน่งของสีแดง ตัวเองเป็นแดงสว่างด้านข้างเป็นเขียวสว่าง และน้ำเงินมืดแสดงว่าตัวเองเป็นสีเหลือง เป็นต้นการที่เซ็นเซอร์รับภาพแบบ RGB หรือ CMY ต้องทำการจำลองข้อมูล ทำให้คุณภาพของเซ็นเซอร์รับภาพชนิดนี้มีคุณภาพสู้แบบอื่น ๆ ไม่ได้ แต่ให้ความสะดวกในการใช้งาน

2.1.5 Pixy โมดูลกล้องตรวจจับสีและวัตถุ

Pixy เป็นโมดูลกล้องตรวจจับแยกแยะวัตถุด้วยสีที่ โดยใช้โมดูล CCD ทำงานร่วมกับแผงวงจรประมวลผลภาพหรือ image processing บางครั้งเรียก Pixy ว่า CMUCAM5



รูปที่ 2.11 โมดูลกล้อง Pixy

ที่มา : <https://inex.co.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญ

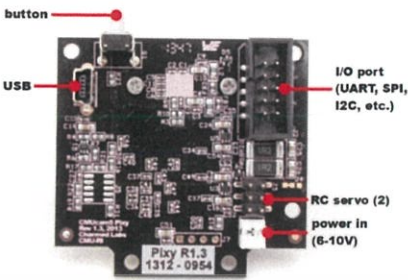
- 2.1.5.1.1 หน่วยประมวลผล : ARM 32 บิต 2 แกน เบอร์ LPC4330
ความเร็ว 204MHz
- 2.1.5.1.2 ตัวตรวจจับข้อมูลภาพ : Omnivision OV9715, 1/4 นิ้ว ความ
ละเอียด 1280 x 800 พิกเซล
- 2.1.5.1.3 มุมการรับภาพของเลนส์ (Lens field-of-view) : 75 องศาใน
แนวนอน และ 47 องศาในแนวตั้ง
- 2.1.5.1.4 ชนิดของเลนส์ : standard M12
- 2.1.5.1.5 ความเร็วในการตรวจจับภาพ : 50 เฟรมต่อวินาที
- 2.1.5.1.6 ตรวจจับสีที่ต้องการได้พร้อมกัน 7 สี : แดง, ส้ม, เหลือง, เขียว,
ฟ้า, น้ำเงิน, ม่วง แยกแยะวัตถุได้ 100 ชั้น
- 2.1.5.1.7 ความต้องการกระแสไฟฟ้า : 140 mA.
- 2.1.5.1.8 ไฟเลี้ยง : +5V จากจุดต่อพอร์ต USB หรือ +6 ถึง +10V ผ่านจุด
ต่อไฟเลี้ยง
- 2.1.5.1.9 หน่วยความจำแรม : 264 กิโลไบต์
- 2.1.5.1.10 หน่วยความจำแฟลช : 1 เมกะไบต์
- 2.1.5.1.11 ขับเซอร์โวมอเตอร์ได้ 2 ตัว : เพื่อใช้ในการหมุนตัวกล้องทั้งใน
แนวนอนและแนวตั้ง
- 2.1.5.1.12 การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ : ผ่านพอร์ต UART,
บัส SPI, บัส I2C, พอร์ตดิจิตอล และพอร์ตแอนาล็อก
- 2.1.5.1.13 การเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ : ได้ทั้ง Arduino,
IPST-SE, Unicon บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ARM ที่มี
พอร์ต SPI
- 2.1.5.1.14 สามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต USB : เพื่อแสดงผลภาพ
และตั้งค่า โดยทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ PixyMon ดาวน์โหลดที่
<http://cmucam.org/projects/cmucam5/files>
- 2.1.5.1.15 ขนาด : 2.1 x 2.0 x 1.4 นิ้ว
- 2.1.5.1.16 น้ำหนัก : 27 กรัม

2.1.5.2 ส่วนที่ใช้ควบคุมและเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ

- 2.1.5.2.1 Button คือปุ่มที่ใช้เลือกวัตถุที่ต้องการตรวจจับ ใช้เริ่มและหยุด
การตรวจจับ
- 2.1.5.2.2 USB คือพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์
อื่น ๆ
- 2.1.5.2.3 I/O Port (UART, SPI, I2C etc.) คือพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อ
กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2.5 Power In (6-10V) คือพอร์ตสำหรับจ่ายไฟเลี้ยง 6-10V โดยสามารถใช้จ่ายไฟเลี้ยงได้หลายช่องทางทั้ง USB และ I/O Port

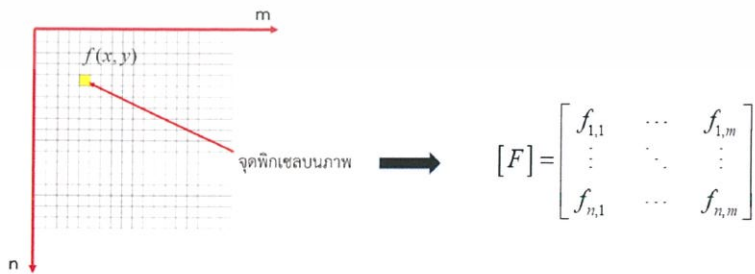


รูปที่ 2.12 ภาพด้านหลังกล่อง Pixy

ที่มา : http://ct.lnwfile.com/_/ct/_raw/ao/j3/at.png สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

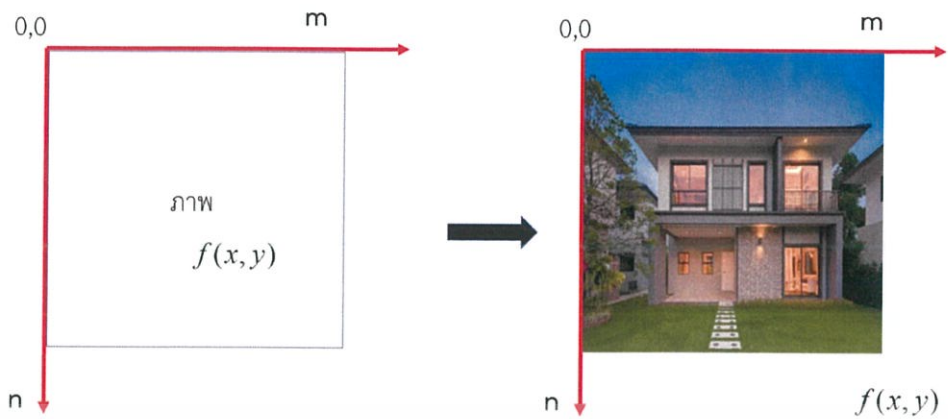
2.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล

ภาพจะถูกจัดเก็บเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital) และทำการจัดเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำในรูปของตัวแปรแบบอาร์เรย์ (array) โดยค่าในแต่ละช่องของอาร์เรย์แสดงถึงค่าความเข้มของแสง (Intensity) ของแต่ละจุดของแต่ละจุดของภาพที่เรียกว่าพิกเซล (Pixel) และตำแหน่งของช่องอาร์เรย์เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพดังแสดงในภาพที่ 2.1 เมื่อนำภาพมาแสดงในรูปของ 2 มิติ ตามแนวแกน x และ y สามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันของภาพสามารถแสดงในรูปของ $i = f(x, y)$ ในรูปของ 2 มิติ โดย i หมายถึง ความสว่างหรือความเข้มของแสง และ (x, y) เป็นพิกัดในแบบจำลองของภาพ (Image Model) ค่าของฟังก์ชัน $f(x, y)$ ดังกล่าวเป็นค่าความเข้ม ซึ่งเปลี่ยนไปตามตำแหน่งหรือพิกัดแบบจำลองภาพ ค่าความเข้มของแสงนี้เป็นค่าดิจิทัลหรือเชิงตัวเลข ดังนั้น เมื่อแสดงเป็นตัวเลขของค่าความเข้มในแต่ละพิกเซลเรียงกันทั้งภาพจะเห็นว่าเป็นเมทริกซ์ สิ่งที่เป็นแบบจำลองต่างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ จุดกำเนิด (Coordinate Origin) ที่ตำแหน่ง $(0,0)$ ซึ่งอยู่ที่จุดซ้ายบนสุดของสเกลต่างจากจุดกำเนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่จุดซ้ายล่างสุด ดังนั้นการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ในการประมวลผลภาพ จำเป็นต้องเปลี่ยนจุดกำเนิดให้ถูกต้องด้วย



รูปที่ 2.13 การแสดงตำแหน่งของพิกเซลบนภาพดิจิทัลด้วยเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : ibdoc.dpu.ac.th/research/130917.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แบบจำลองของภาพด้วยระนาบ

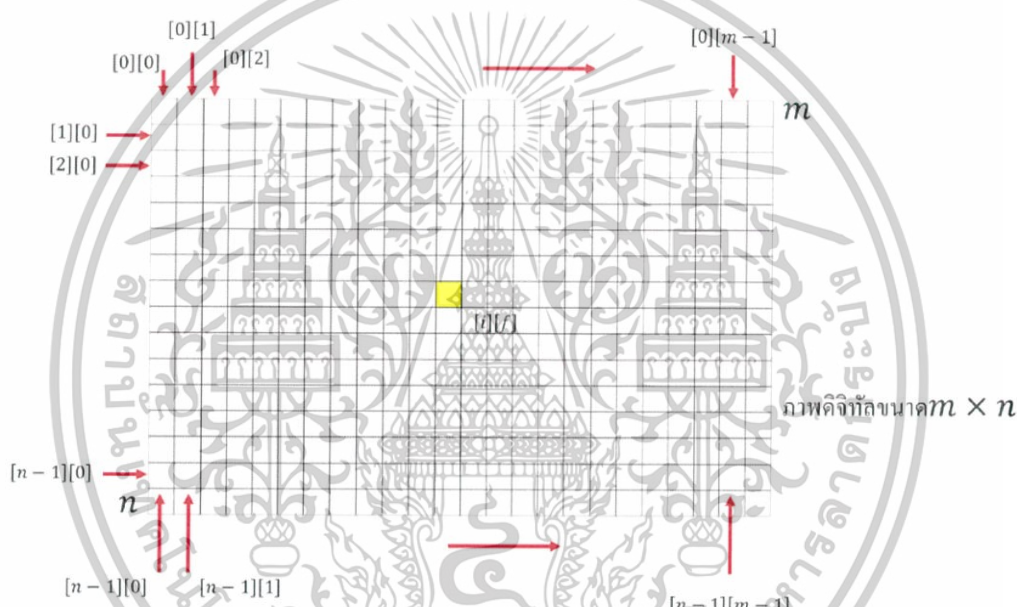
ที่มา : ibdoc.dpu.ac.th/research/130917.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2561

ในหน่วยความจำจะทำการจัดเนื้อที่ในการเก็บภาพ สามารถคำนวณได้จาก $m \times n \times b$ เมื่อ b เป็นจำนวนเต็มแทนจำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ ตัวอย่างถ้า b มีค่าเท่ากับ 8 บิต จะสามารถเก็บความแตกต่างของระดับสีที่เป็นไปสูงสุด 256 ระดับ ค่า m และ n จะเป็นตัวบอกถึง ความละเอียดของภาพ สำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปในระบบ VGA (Video Graphic Array) จะมีขนาด 640×480 , 800×600 และ 1024×768 จุด เป็นต้น การกำหนดความละเอียดจะขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้ ในงานบางอย่างใช้ความละเอียดเพียง 30×50 จุด ก็พอซึ่งความละเอียดนั้นจะขึ้นกับงานที่จะใช้ ในบางงานจะใช้ความละเอียดถึง 1000×1000 จุด ก็ยังไม่พอ จากรูปที่ 2.7 สมมติให้ภาพแทนเป็นตัวแปรชื่อ x เป็นตัวแปรอาเรย์ขนาด $m \times n$ (m แทน แถว และ n แทน คอลัมน์) ที่ใช้เก็บภาพขนาด $m \times n$ จุด และ ค่าของความเข้มของแสง (ค่าความสว่าง) ของจุดภาพในแถวที่ 5 คอลัมน์ที่ 5 จะตรงกับค่าของข้อมูล x เป็นรูปของ (5,4) จะเห็นว่าใช้ตำแหน่งของจุดภาพทั้งสองแกนเป็นตัวชี้ค่าข้อมูลในอาเรย์ ดังแสดงการเรียงตัวของข้อมูลบนอาเรย์ในรูปที่ 2.8 และการกำหนดความละเอียดของภาพ (Image resolution) จากการกำหนดขนาดของพิกเซลตัวอย่างเช่น 1 ไมครอนต่อพิกเซล ($\mu\text{m}/\text{pix}$) 1 มิลลิเมตรต่อพิกเซล (mm/pix) เป็นต้น ในงานที่ต้องการทราบตำแหน่งหรือขนาดของวัตถุที่วัดเป็นค่าจริง เราสามารถที่จะคำนวณได้จาก

$$\text{Resolution} = \frac{\text{Field of vision in Y direction (mm)}}{\text{Number of pixels in Y direction}}$$

โดยปกติแล้วในการเก็บข้อมูลภาพโดยเครื่องมือต่าง ๆ จะเก็บตามมาตรฐานของโทรทัศน์ซึ่งมีอัตราส่วน x ต่อ y เท่ากับ 4:3 สำหรับเครื่องมือเก็บข้อมูลภาพที่ไม่เป็นไปตามอัตราส่วน 4:3 เมื่อนำภาพนี้ไปแสดงในจอภาพมาตรฐาน จะทำให้ภาพที่แสดงนั้นมีขนาดของจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส เช่น ในบางระบบอาจจะใช้ความละเอียดในการแสดง เท่ากับ 640×580 ซึ่งจะทำให้ขนาดของจุดภาพที่ได้มีขนาดของด้านกว้างมีความยาวมากกว่าด้านสูง เมื่อมีการกำหนดให้ขนาดของบิตต่อจุดมากขึ้น จะทำให้จำนวนของสีมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น 1 บิต = 21 จะได้ 4 สี 2 บิต = 22 จะได้ 4 สี ไม่ว่า 4 บิต = 24 จะได้ 16 สี 3 บิต = 24 จะได้ 16 สี 8 บิต = 28 จะได้ 256 สี 16 บิต = 216 จะได้ 65536 สี เป็นต้น

จากคุณลักษณะของภาพดิจิทัลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นการเก็บข้อมูลภาพแบบเมตริกซ์ที่มีถึง 3 ระนาบ (Dimention) การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เป็นการเรียกใช้ขั้นตอนหรือกระบวนการที่มากระทำบนภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่นำไปใช้งาน เช่น การปรับให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น (Enhancement) หรือการบีบอัดข้อมูลภาพ (Compression) เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล หรือการฝังลายน้ำ (Watermark) เพื่อป้องกันการลักลอบการใช้ภาพที่ไม่ได้รับอนุญาต เป็นต้น สำหรับการประมวลผลภาพระดับสูงด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดย นำภาพที่ได้มาจากกล้องหรือ Image Source ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก แล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นรหัสเชิงตัวเลขฐานสอง (Binary) ประกอบด้วยตัวเลข 0 และ 1 ที่สามารถใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณและการประมวลผลข้อมูลภาพ การดำเนินงานวิจัยสำหรับการจัดกลุ่มความหมายของภาพได้มีผู้วิจัยจำนวนมากที่ศึกษาและทำการทดลองโดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ระดับ ดังนี้



รูปที่ 2.15 การจัดเก็บและเรียกใช้ข้อมูลภาพดิจิทัลลงในเมตริกซ์
ที่มา : ibdoc.dpu.ac.th/research/130917.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มิถุนายน 2561

2.2.1 การประมวลภาพเบื้องต้น

สำหรับขั้นตอนการประมวลภาพเบื้องต้น (Image Preprocessing) ในรูปแบบของการหาบริเวณที่ต้องการในรูปแบบอัตโนมัติ ยังคงเป็นงานวิจัยที่ยังหาข้อยุติไม่ได้ โดยเฉพาะที่เป็นลักษณะของระบบเรียลไทม์ (Real Time) ด้วยแล้วนั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณของอัลกอริทึม (Computation Cost of Algorithm) ที่เป็นสิ่งที่จำเป็นค่อนข้างมาก สำหรับระบบเรียลไทม์ ที่มีการแปรเปลี่ยนรูปแบบของพื้นหลัง (Modeling of Background) จะทำให้เกิดกระบวนการในการสกัดวัตถุที่ต้องการขึ้นมา ซึ่งเทคนิคที่เรียกว่า Gaussians Mixture Model เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างประสบความสำเร็จมากแต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีส่วนภาพพื้นหลังที่ไม่มีการแปรเปลี่ยนและยังคงเป็นปัญหาที่ยังต้องมีการแก้ไข ฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงข้ามในส่วนการวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนของพื้นหลังที่ไม่คงที่ และได้มีเทคนิคของฮิสโตแกรม (Histogram

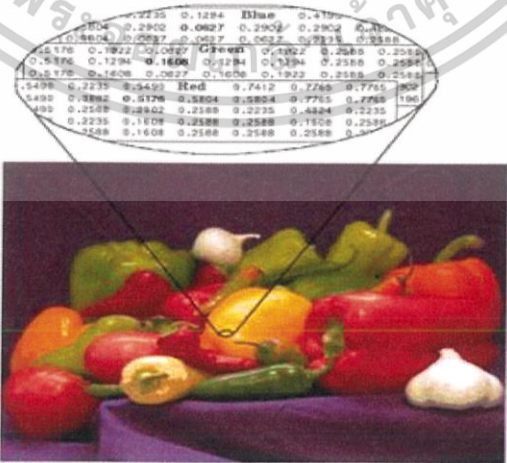
Matching) ที่ไม่ได้มีการนำส่วนของพื้นหลังเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อทำการเปรียบเทียบแต่อย่างใดก็ตาม ด้วยคุณลักษณะของเทคนิคฮิสโตแกรมไม่สามารถที่จะรองรับตำแหน่งของพิกเซล (Pixel Location) ทำให้ยังคงมีปัญหาเมื่อมีวัตถุที่ทับซ้อนกัน จนไม่สามารถที่จะประมวลผลได้อย่างถูกต้อง เทคนิคสหสัมพันธ์ (Correlation) จะมีการทำงานที่ไม่สูญเสียในข้อมูลส่วนของสเปเชียลทำให้สามารถทดแทนวิธีการของฮิสโตแกรมได้ และได้มีการใช้เทคนิคสหสัมพันธ์เพื่อทำการหาขอบของวัตถุซึ่งวิธีการนี้ถูกเรียกว่า Edge-Enhanced Normalized Correlation (EENC) เพื่อทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ที่เกิดจากการทับซ้อนกัน หรือมีปัญหาจากสัญญาณรบกวน หรือวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางจากการหมุน เป็นต้น และการใช้เทคนิค EENC สามารถทำงานได้ดี สำหรับการแมชชีนส่วนของพื้นที่ (Matching Region) พร้อมทั้งยังเป็นเทมเพลต (Template) ที่ใช้ทำงานได้อย่างรวดเร็ว

2.2.2 การประมวลผลภาพระดับสูง

การประมวลผลภาพระดับสูง (High-Level Image Processing) เป็นการใช้ข้อมูลที่เฟเจอร์หรือผลลัพธ์จากการประมวลผลข้างต้นเพื่อผ่านกระบวนการหรืออัลกอริทึมทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพ (Image Understanding) รวมทั้งการหาความหมายของภาพ (Semantic Image) ได้ ดังนั้นการประมวลผลภาพระดับสูงต้องใช้ข้อมูลที่ได้มาจากการประมวลผลภาพระดับต่ำ จะเห็นได้ว่าการประมวลผลภาพระดับต่ำมีความสำคัญมากสำหรับการทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักและเข้าใจภาพได้ โดยส่วนใหญ่กลุ่มนักวิจัยพยายามที่จะข้ามขั้นตอนการประมวลผลภาพระดับต่ำไป เนื่องจากยังไม่มีคุณสมบัติเท่าที่ควรและพยายามที่จะเข้าใช้การประมวลผลภาพระดับสูงอย่างเดียว

2.2.3 แบบจำลองสี RGB

RGB Image หรือ เป็นรูปที่เก็บโดยใช้อาร์เรย์ 3 มิติ ขนาด $m \times n \times 3$ โดยที่ m คือ ความยาว และ n คือความกว้างของภาพในหน่วยพิกเซล ส่วนมิติสุดท้ายนั้น ในแต่ละมิติจะเก็บค่าสีแยกกัน คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)

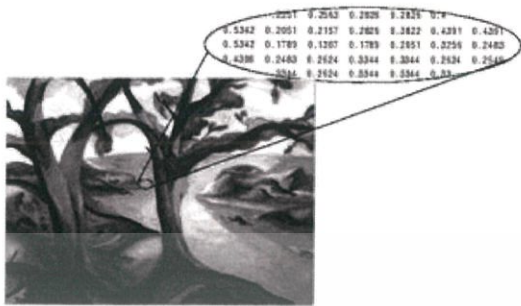


รูปที่ 2.16 ภาพแบบ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารวบรวม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ที่มา : <http://www.mathworks.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2561

2.2.4 Grayscale Image

Grayscale Image เป็นรูปที่เก็บโดยใช้รูปแบบของอาร์เรย์ 2 มิติ โดยค่าที่เก็บจะมีค่าอยู่ในช่วง ๐ ถึง ๒๕๕ ซึ่งระดับของสีขึ้นอยู่กับขนาดของบิตที่ใช้เก็บค่าสี



รูปที่ 2.17 ภาพแบบ Grayscale

ที่มา : <http://www.mathworks.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2561

2.2.5 ภาพขาว-ดำ

Binary image หรือ ภาพขาว-ดำ เป็นรูปที่ใช้เนื้อที่เพียง 1 บิตต่อพิกเซลโดยค่าสีจะมีแค่สองค่าคือ 0 หรือสีดำ และ 1 หรือสีขาว



รูปที่ 2.18 ภาพแบบ Binary หรือ ภาพขาว-ดำ

ที่มา : <http://www.mathworks.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2561

2.2.6 การแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา

ภาพที่รับเข้ามาในขั้นตอนแรกเป็นภาพที่อยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB ดังนั้นแต่ละพิกัด ของภาพประกอบด้วยค่าของเซตที่แสดงถึง ค่าของ R ค่าของ G และค่าของ B ระบบจึงทำการเปลี่ยนให้เป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale) เพื่อทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายเพราะเมื่อแปลงภาพเป็นระดับสีเทาแล้วทำให้แต่ละจุดภาพของภาพจะเหลือเพียงค่าความเข้มของสีมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 เมื่อแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทาได้ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับสีเทา
ที่มา : www.research-system.siam.edu สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

2.2.7 การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ

การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำต้องกำหนดค่าความเข้มที่ต้องการอ้างอิงหรือค่าขีดแบ่ง (Threshold Value) หากค่าระดับสีเทามากกว่าค่าขีดแบ่งให้เป็น 1 (สีขาว) แต่ถ้าค่าระดับสีเทาน้อยกว่าค่าขีดแบ่งให้เป็น 0 (สีดำ) ซึ่งค่าขีดแบ่งผู้ใช้งานเป็นคนกำหนดโดยทั่วไปจึงกำหนดเป็นค่ากลางระหว่าง 0-255 คือ 127



รูปที่ 2.20 การแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาว-ดำ
ที่มา : www.research-system.siam.edu สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

2.2.8 การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพ เป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพเมื่อทราบเส้นรอบวัตถุ เราจะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรูปร่างชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เป็นเรื่องที่ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำ มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วภาพ โดยขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นถ้าหากความเข้มแสงมีความแตกต่างมากจะทำให้ขอบภาพมีความชัดเจน ในทางตรงข้ามถ้าหากมีความแตกต่างน้อยขอบภาพจะไม่ชัดเจน ซึ่งการหาขอบภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Method)

2.4.2 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Method)

2.4.1 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง วิธีการค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (Gradient Operator: ∇) มีหลักการคือบริเวณขอบของวัตถุในภาพ (เมื่อ $P(x, y)$ ฟังก์ชันของภาพ) จะมีค่าเกรเดียนต์ที่สูงการพิจารณาขนาดของเกรเดียนต์ (Gradient Magnitude ($|\nabla P|$)) เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Threshold (T)) ที่กำหนดขึ้น เมื่อค่าของ $|\nabla P|$ มีค่ามากกว่าค่าอ้างอิง แสดงว่าจุดดังกล่าวคือขอบของวัตถุที่ปรากฏในภาพที่จุด $P(x, y)$ การค้นหาขอบของวัตถุโดยใช้อนุพันธ์อันดับหนึ่ง เป็นวิธีแยกส่วนประกอบของภาพและเมื่อความไม่ต่อเนื่องของค่าพิกเซลบริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุกับพื้นหลังและค่าอนุพันธ์ย่อยที่ไม่ต่อเนื่องตามทิศทางของเกรเดียนต์ของแนวแกน X และแกน Y กำหนดค่าได้ตามสมการ

$$\nabla_x P(x, y) = P(x, y) - P(x-1, y)$$

(2.1)

และ

$$\nabla_y P(x, y) = P(x, y) - P(x, y-1)$$

(2.2)

ขนาดของเกรเดียนต์ของ $P(x, y)$ กำหนดค่าได้จาก

$$|\nabla P(x, y)| = \sqrt{(\nabla_x P(x, y))^2 + (\nabla_y P(x, y))^2}$$

(2.3)

เพื่อให้่ายต่อการคำนวณประมาณค่าขนาดของเกรเดียนต์ได้ว่า

$$|\nabla P(x, y)| = |(\nabla_x P(x, y))| + |(\nabla_y P(x, y))|$$

(2.4)

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

- 1.การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection)
- 2.การหาขอบภาพโดยวิธีโรเบิร์ต (Robert Edge Detection)
- 3.การหาขอบภาพโดยวิธีเพอร์วิต (Prewitt Edge Detection)
- 4.การหาขอบภาพโดยวิธีแคนนี่(Canny Edge Detection)

2.4.2 การค้นหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง การค้นหาขอบโดยใช้อนุพันธ์อันดับสอง เปรียบได้กับการหาอนุพันธ์อันดับสองของภาพ เพื่อให้ได้ขอบของภาพโดยภาพที่ผ่านการหาอนุพันธ์อันดับสอง (Laplacian Operator ($\nabla^2 P$)) บริเวณที่เป็นส่วนขอบจะเด่นชัดขึ้นการประมาณค่าของ $\nabla^2 P$ โดยใช้ Mask ดังสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6) ครั้งที่มีการนำไปใช้

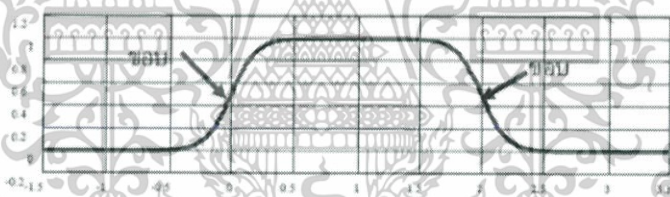
$$Mark(E_x)=\begin{bmatrix} Z_{x1} & Z_{x2} & Z_{x3} \\ Z_{x4} & Z_{x5} & Z_{x6} \\ Z_{x7} & Z_{x8} & Z_{x9} \end{bmatrix}=E_x=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

$$Mark(E_y)=\begin{bmatrix} Z_{y1} & Z_{y2} & Z_{y3} \\ Z_{y4} & Z_{y5} & Z_{y6} \\ Z_{y7} & Z_{y8} & Z_{y9} \end{bmatrix}=E_y=\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

ทำให้ตำแหน่งของบริเวณขอบของวัตถุในภาพคือค่าจุดผ่านศูนย์ (Zero Crossing) ของ $\nabla^2 P$ การหาอนุพันธ์อันดับสอง สามารถหาได้จากสมการที่ (2.7)

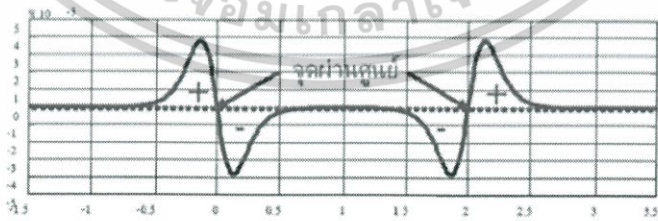
$$\nabla^2 P=\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2} \tag{2.7}$$

การค้นหาค้นหาขอบภาพอนุพันธ์อันดับสอง เมื่อทำ $\nabla^2 P$ ด้วยบริเวณขอบจะมีตำแหน่งเดียวกับค่าจุดผ่านศูนย์ของค่าจาก $\nabla^2 P$ พิจารณาได้จากตำแหน่งที่พิกเซลเปลี่ยนแปลงจากค่าที่เป็นบวกเป็นค่าที่เป็นลบหรือจากค่าที่เป็นลบไปเป็นค่าที่เป็นบวกดังรูป



รูปที่ 2.21 ภาพตั้งต้น

ที่มา : 203.158.166.20/project_manage/data/student/file/55910000000004-0.pdf
สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2561



รูปที่ 2.22 อนุพันธ์อันดับสองของภาพตั้งต้น

ที่มา : 203.158.166.20/project_manage/data/student/file/55910000000004-0.pdf
สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) แบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมพาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2.3.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย
 - เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก

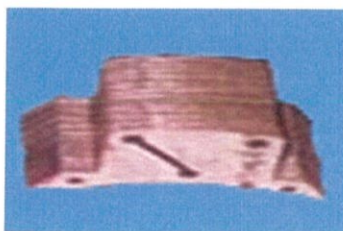


รูปที่ 2.23 ส่วนที่อยู่กับที่หรือสเตเตอร์

ที่มา : <http://202.129.59.73/tn/motor10-52/images/farm.gif>

สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

- ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบาง ๆ กั้นด้วยฉนวน ประกอบเป็นแท่งยึดติดกับเฟรมส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่า ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) เพื่อให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิด ช่องอากาศน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจาก ขั้วแม่เหล็กผ่านไปยัง โรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน

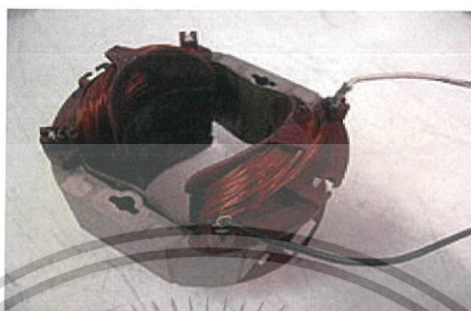


รูปที่ 2.24 แกนขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ที่มา : <https://sites.google.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

ส่วนที่สองขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบแกน ขั้วแม่เหล็ก ขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น



รูปที่ 2.25 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

ที่มา : <https://upload.wikimedia.org> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

2. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์



รูปที่ 2.26 โรเตอร์

ที่มา : <https://ae01.alicdn.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2561

โรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานั้นจะวางอยู่บนแบร็งเพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้
2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลาเป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor action)
4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับารออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้น ๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ

2.3.2 หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์ สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นและกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้นจะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่ตัดกัน ทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ซึ่งวางแกนเพลลาและแกนเพลลานั้นสวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ทำให้อาร์มาเจอรุนได้ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor)

2.3.3 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือมอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมกับอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ชนิดนี้ว่าซีรีย์ฟิลด์ (Series Field) มีคุณลักษณะที่ดีคือให้แรงบิดสูงนิยมใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้าการยกของ เครนไฟฟ้าความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเมื่อไม่มีโหลดความเร็วจะสูงมากแต่ถ้ามีโหลดมาต่อความเร็วก็จะลดลงตามโหลด โหลดมากหรือทำงานหนักความเร็วลดลงแต่ขดลวดของมอเตอร์ไม่เป็นอันตราย จากคุณสมบัตินี้จึงนิยมนำมาใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านหลายอย่าง เช่น เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร ส่วนไฟฟ้า จักรเย็บผ้า เครื่องเป่าผม
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) หรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้ ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะต่อขนานกับขดลวดอาร์มาเจอร์ มอเตอร์แบบขนานนี้มีคุณลักษณะมีความเร็วคงที่ แรงบิดเริ่มหมุนต่ำแต่ความเร็วรอบคงที่ ชันทมอเตอร์ส่วนมากเหมาะกับการทำงานพวกพัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วคงที่และต้องเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) หรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมนี้ นำคุณลักษณะที่ดีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแบบอนุกรมมารวมกัน มอเตอร์แบบผสมมีคุณลักษณะพิเศษคือมีแรงบิดสูง (High starting torque) แต่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่มอเตอร์ไม่มีโหลดจนกระทั่งมีโหลดเต็มที่ มอเตอร์แบบผสมมีวิธีการต่อขดลวดขนานหรือขดลวดชั้นที่อยู่ 2 วิธี

วิธีที่ 1 ต่อขดลวดแบบชั้นขนานกับอาเมเจอร์เรียกว่า ชอทชั๊นท์ (Short Shunt Compound Motor)

วิธีที่ 2 ต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาเมเจอร์ เรียกว่า ลองชั๊นท์คอมปาวด์มอเตอร์ (Long shunt motor)

2.3.4 มอเตอร์สั่นขนาดเล็ก

มอเตอร์สั่น สำหรับงานประดิษฐ์ของเล่น ของใช้ หรือสินค้าต่าง ๆ รูปทรงกลมแบนแรงสั่นเกิดจาก แผ่นขดลวดที่ไม่สมมาตร หมุนรอบแกนบนก้อนแม่เหล็กกลม



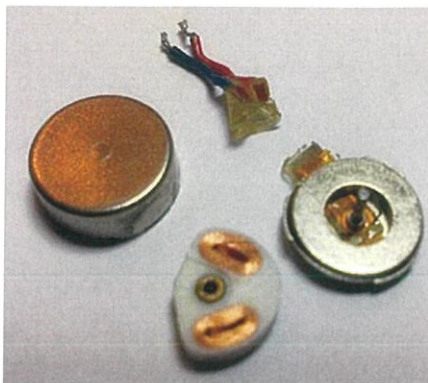
รูปที่ 2.27 มอเตอร์สั่นขนาดเล็ก

ที่มา : <http://fb1-dh.lnwfile.com/s52mt4.jpg> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2561

ข้อมูลจำเพาะ

ชื่อ	: มอเตอร์สั่นสะเทือน
ประเภท	: 0834
ช่วงแรงดันไฟฟ้า	: DC 0.8-3 โวลต์
มอเตอร์เส้นผ่าศูนย์กลาง	: 8 มิลลิเมตร
มอเตอร์ความหนา	: 3.4 มิลลิเมตร
ความยาวสายไฟ	: ประมาณ 10 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	: 50 กรัม

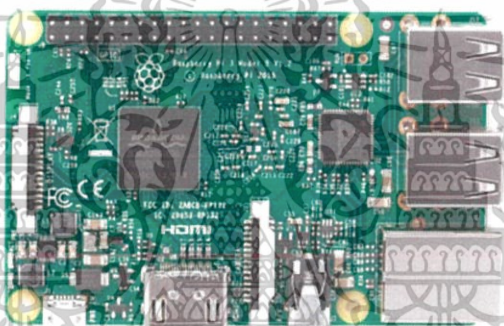
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เอกสารนี้เป็นการนำเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ภายในมอเตอร์สั่นขนาดเล็ก

ที่มา : <https://pantip.com/topic/33989880> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2561

2.4 Raspberry Pi 3 Model B



รูปที่ 2.29 บอร์ด Raspberry Pi 3

ที่มา : https://o.lnwfile.com/_/o/_raw/ri/9o/dg.jpg สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2561

Raspberry Pi 3 เป็นบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็กไม่ว่าจะเป็นการทำงาน Spreadsheet Word Processing ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้ บอร์ด Raspberry Pi 3 รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ

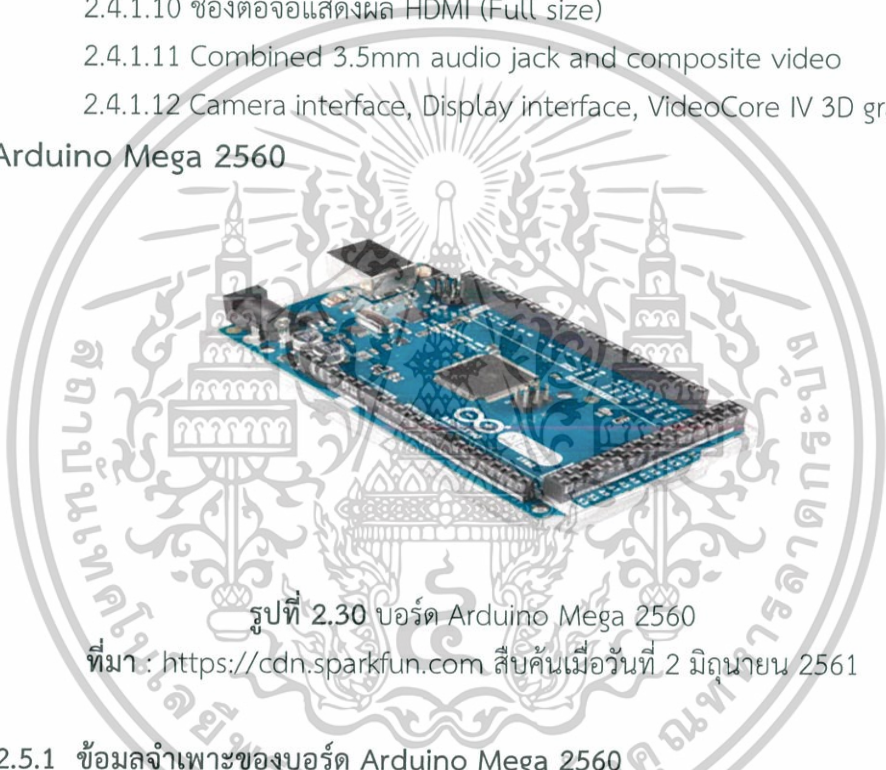
Raspberry Pi 3 Model B เป็น บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ + โมดูลสื่อสารไร้สาย ทำงานร่วมกันเป็น Internet of Things ทำให้สะดวกในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และไม่ต้องเดินสายแลน เช่น การใช้ Arduino ร่วมกับ Wi-Fi Shield หรือ UART Wi-Fi การใช้ Raspberry Pi กับ USB Wi-Fi Dongle เพียงเท่านี้ก็สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายได้ นั้น ไม่นับว่าให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 สเปค Raspberry Pi 3 Model B

- 2.4.1.1 ขนาด 85 x 56 x 17 มม.
- 2.4.1.2 ซีพียู Broadcom BCM2837 64-bit ARM Quad-core 1.2GHz
- 2.4.1.3 แรม 1 GB แชร์กับ GPU
- 2.4.1.4 Wireless LAN 802.11n
- 2.4.1.5 Lan Speed 10/100Mbps
- 2.4.1.6 Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy
- 2.4.1.7 USB 2.0 4 ช่อง
- 2.4.1.8 ช่องใส่ Micro SD card 1 ช่อง
- 2.4.1.9 พิน GPIO 40 ขา
- 2.4.1.10 ช่องต่อจอแสดงผล HDMI (Full size)
- 2.4.1.11 Combined 3.5mm audio jack and composite video
- 2.4.1.12 Camera interface, Display interface, VideoCore IV 3D graphics core

2.5 Arduino Mega 2560



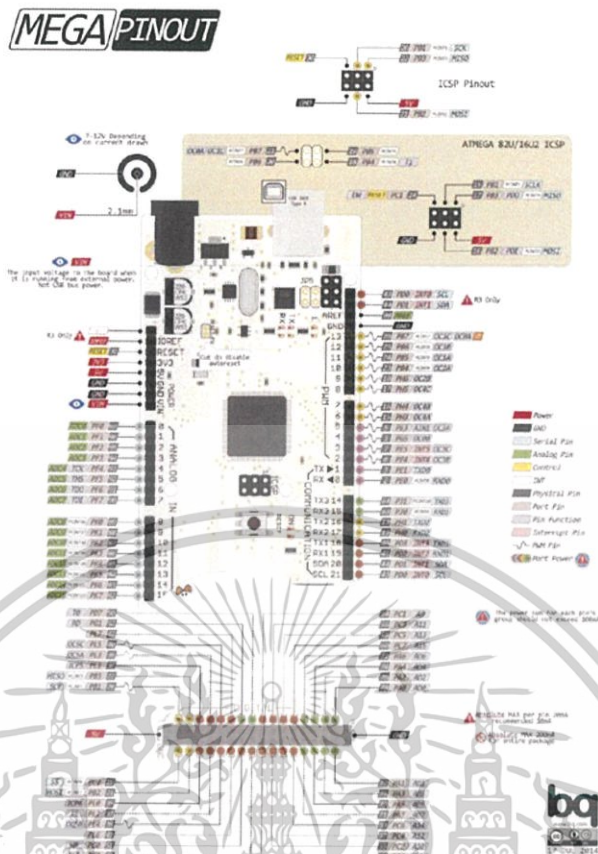
รูปที่ 2.30 บอร์ด Arduino Mega 2560

ที่มา : <https://cdn.sparkfun.com> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2561

2.5.1 ข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Mega 2560

- 2.5.1.1 ชิพไอซีไมโครคอนโทรเลอร์ : ATmega2560
- 2.5.1.2 ใช้แรงดันไฟฟ้า : 5 V
- 2.5.1.3 รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า : 7 – 12 V
- 2.5.1.4 รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า : 6 – 20 V
- 2.5.1.5 พอร์ต Digital I/O : 54 พอร์ต
- 2.5.1.6 พอร์ต Analog Input : 16 พอร์ต
- 2.5.1.7 กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต : 40 mA
- 2.5.1.8 กระแสไฟฟ้ที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V : 50 mA
- 2.5.1.9 พื้นที่โปรแกรมภายใน : 256 KB, 8 KB ใช้โดย Boot Loader
- 2.5.1.10 พื้นที่แรม : 8 KB
- 2.5.1.11 พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM) : 4 KB
- 2.5.1.12 ความเร็ว : 16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ตโดยไม่สงวนลิขสิทธิ์และไม่ได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น



รูปที่ 2.31 Pinout ของบอร์ด Arduino Mega 2560

ที่มา : <https://forum.arduino.cc> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน 2561

2.5.2 Power

บอร์ด Arduino Mega 2560 สามารถรับพลังงานโดยเชื่อมต่อ micro USB connector หรือ power supply จากภายนอก แหล่งจ่ายจากภายนอกสามารถมาได้จาก AC-to-DC adapter หรือจากแบตเตอรี่ โดยต่อเข้ากับ 2.1 mm. center-positive plug ไปยังช่องเสียบแหล่งจ่าย และการต่อเข้ากับแบตเตอรี่สามารถทำได้โดยการต่อเข้ากับ GND และ Vin pin header ของ power connector บอร์ดทำงานได้ในช่วงแรงดัน 6 ถึง 20 volts ถ้าแหล่งจ่ายมีค่าต่ำกว่า 7V. อาจส่งผลให้ 5V. pin มีแรงดันที่ต่ำกว่า 5V. และบอร์ดอาจจะไม่เสถียร ถ้าแรงดันสูงกว่า 12V. อาจส่งผลให้บอร์ด Overheat ทำให้บอร์ดเสียหาย ดังนั้นช่วงแรงดันที่เหมาะสมกับบอร์ดคือ 7V. ถึง 12V.

2.5.2.1 VIN เป็น input voltage ของบอร์ด Arduino โดยใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก

2.5.2.2 5V. เป็น output pin ที่ควบคุม 5V. จากบอร์ด

2.5.2.3 3V3 เป็น 3.3 volt supply สร้างจาก regulator บนบอร์ด ให้กระแสสูงสุด 50 mA.

2.5.2.4 GND เป็น ground pin

2.5.2.5 IOREF เป็น pin ที่ให้ voltage reference กับไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานได้เห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 Memory

มีหน่วยความจำ 256 KB (8 KB ใช้สำหรับ bootloader) นอกจากนี้ยังมีอีก 8 KB สำหรับ SRAM และ 4 KB สำหรับ EEPROM

2.5.4 Input and Output

ในแต่ละ digital pins ทั้ง 54 pins บนบอร์ด Arduino Uno สามารถเป็นได้ทั้ง input และ output โดยจะทำงานที่แรงดัน 5V. และให้กระแสสูงสุด 40 mA.

2.5.5 ฟังก์ชันอื่น ๆ เพิ่มเติม

2.5.5.1 Serial: 0 (Rx) และ 1(Tx); Serial 1: 19(Rx) และ 18 (Tx); Serial 2: 17 (Rx) และ 16(Tx); Serial 3:15 (Rx) และ 14 (Tx) ใช้สำหรับรับ (Rx) และ ส่ง (Tx) TTL serial data โดย pin 0 และ 1 จะถูกเชื่อมต่อไปยัง corresponding pins ของ ATmega16U2 USB-to-TTL serial chip

2.5.5.2 External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), 21 (interrupt 2).

2.5.5.3 PWM: 2 ถึง 13 และ 44 ถึง 46 ให้ output PWM output 8-bits

2.5.5.4 SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ใช้สำหรับรองรับการสื่อสารแบบ SPI โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับ ICSP header ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Uno, Duemilanove และ Diecimila

2.5.5.5 LED 13 : เป็น build-in LED ที่เชื่อมต่อกับ digital pin 13 เมื่อ pin มีค่าเป็น HIGH LED จะติด , แต่เมื่อ pin เป็น LOW LED จะดับ

2.5.5.6 TWI : 20 (SDA) and 21 (SCL). รองรับการเชื่อมต่อแบบ TWI(I2C)

2.5.5.7 บอร์ด Mega2560 มี 16 analog inputs แต่ละ pins ให้ความละเอียด 10 bits

2.5.5.8 AREF. แรงดันอ้างอิง สำหรับ analog input

2.5.5.9 Reset ใช้ในการ reset ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5.6 Communication

สามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์, Arduino ตัวอื่น ๆ หรือ microcontroller ได้ โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด คือ ATmega32U4 จะให้การสื่อสารแบบอนุกรม UART TTL (5V) ซึ่งมีอยู่ใน pins 0 (Rx) และ 1 (Tx) นอกจากนี้ 32U4 สามารถใช้การสื่อสารแบบอนุกรมผ่าน USB และจะปรากฏเป็น COM port เสมือนไปยัง Software แต่อย่างไรก็ตามต้องใช้ไฟล์.inf บนระบบปฏิบัติการ Windows แต่ OSX และ Linux สามารถ recognize ได้โดยอัตโนมัติ

2.5.7 Programming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Arduino Software โดยสามารถใช้ได้ในระบบปฏิบัติการ Windows, Mac OS X และ Linux

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

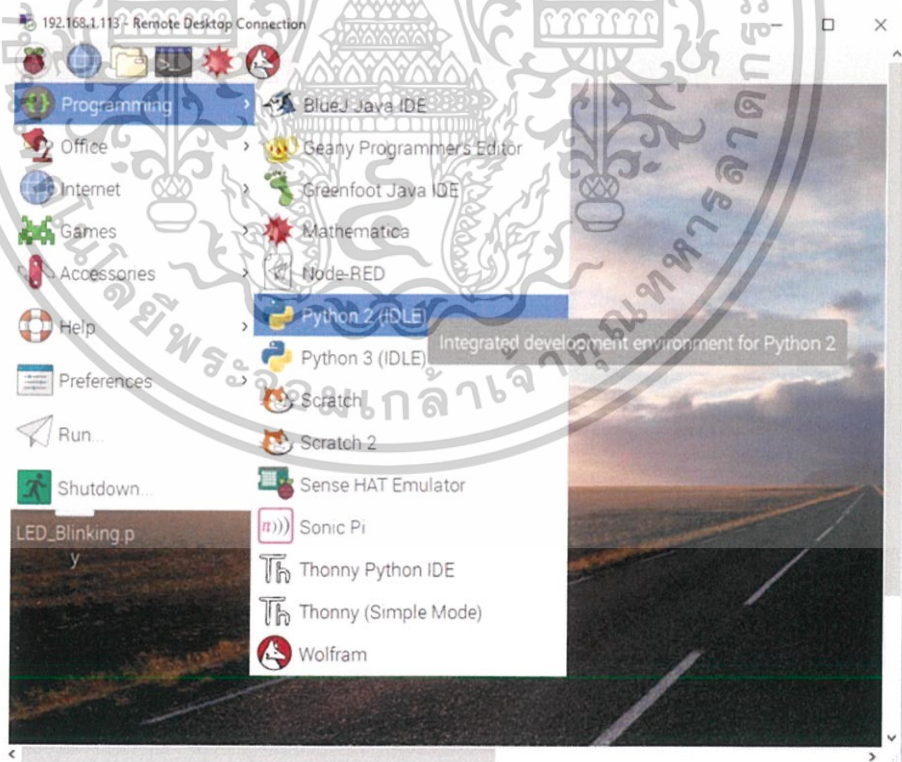
เนื้อหาในบทนี้เป็นกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบและสร้างแผ่นอัจฉริยะ
ทัศนวัตกรรมสำหรับผู้บกพร่องทางการมองเห็น (Smart Flexible Pad) โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน
ดังนี้

- 3.1 ศึกษาการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุ โดยใช้ Raspberry Pi 3
- 3.2 ศึกษาการตรวจจับสีของวัตถุ โดยใช้กล้อง Pixy
- 3.3 ออกแบบระบบการทำงาน
- 3.4 ศึกษาการเขียนโค้ดคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino
- 3.5 ออกแบบและสร้างแผ่น Smart Flexible Pad
- 3.6 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง

3.1 ศึกษาการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุ ด้วย Raspberry Pi 3

ขั้นตอนการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุ ด้วย Raspberry pi 3 โดยใช้โปรแกรม
Python 2

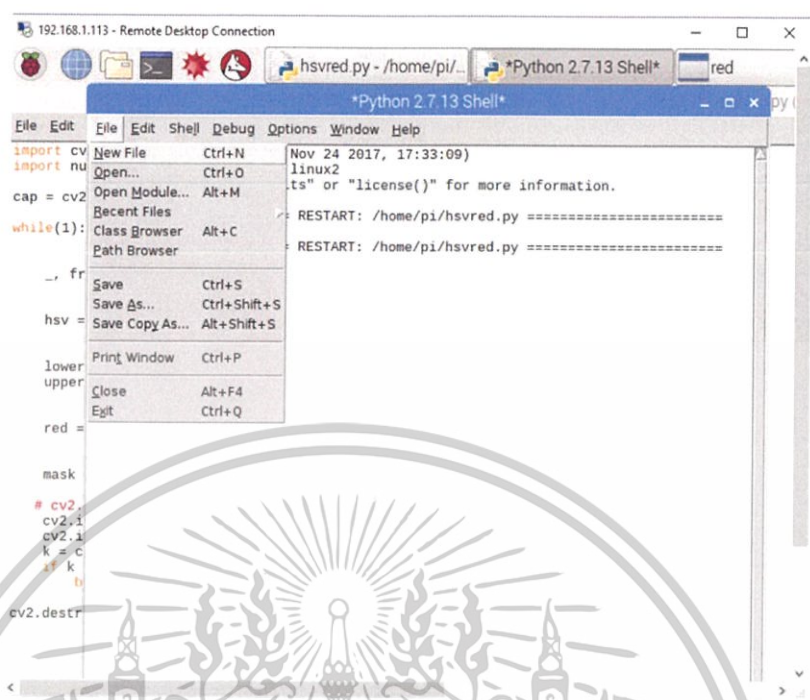
3.1.1 เปิดโปรแกรม Python 2 ดังรูป



รูปที่ 3.1 วิธีเปิดโปรแกรม Python 2

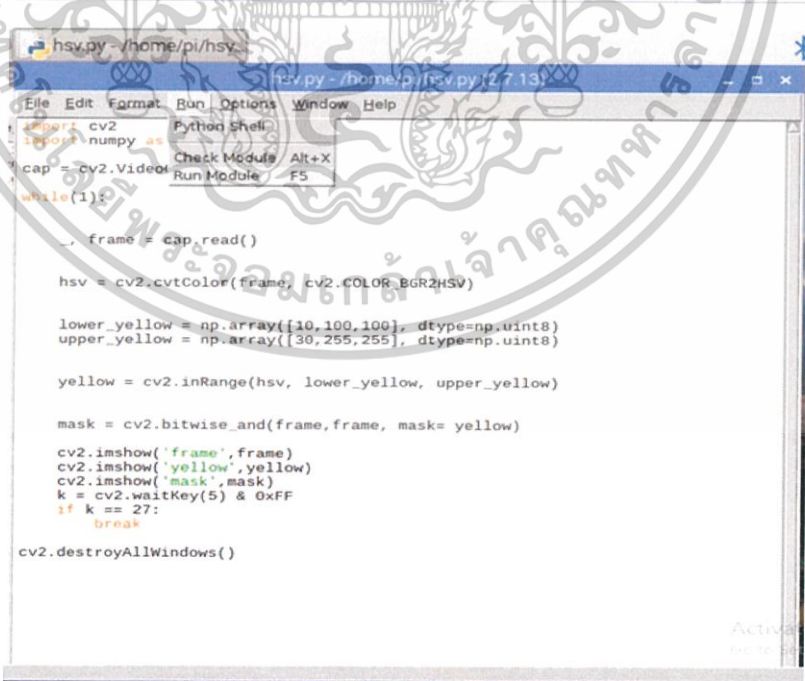
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เมื่อทำการเปิดโปรแกรม Python 2 ไปที่ File → New File แสดงดังรูป



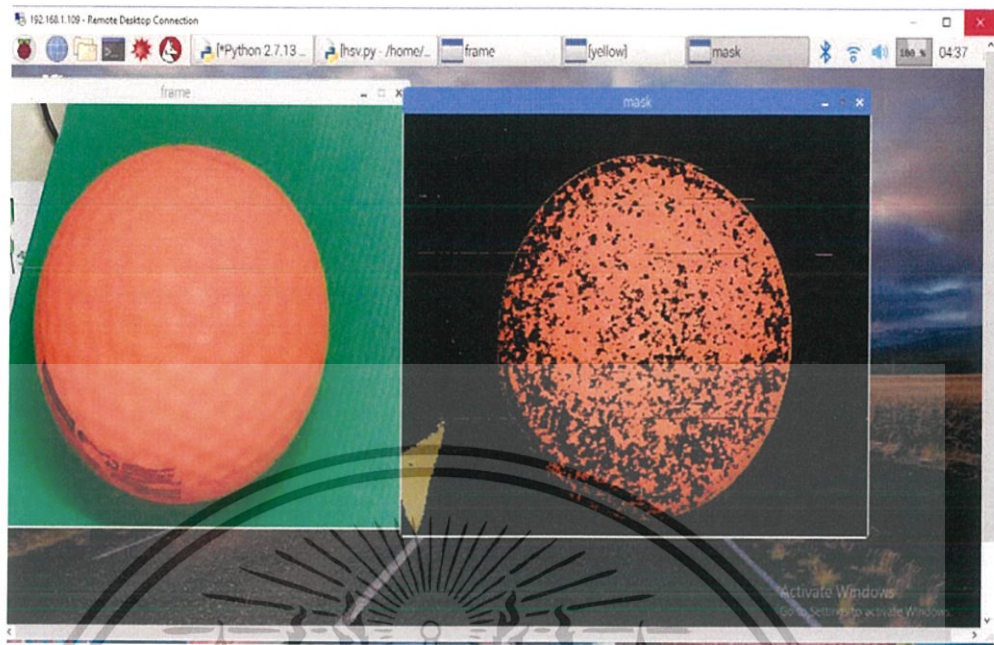
รูปที่ 3.2 เข้าหน้า Python 2 เพื่อเตรียมเขียนโค้ด

3.1.3 เขียนโค้ดคำสั่งให้ตรวจจับวัตถุสีเหลือง เสร็จให้ไปที่ Run → Run Module แสดงดังรูป



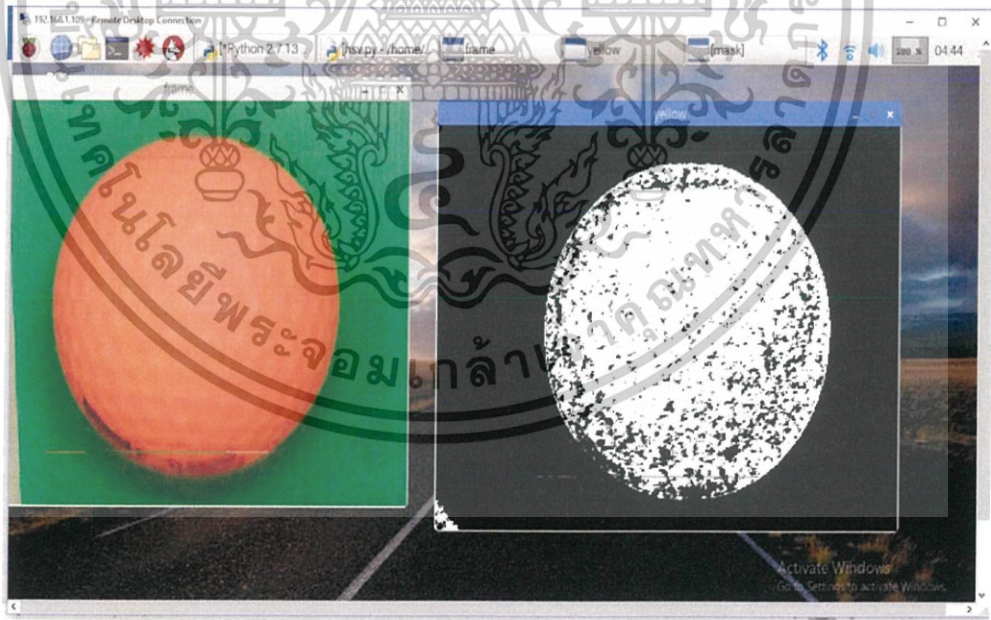
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วย Python 2 ให้ตรวจจับวัตถุสีเหลืองและทำการ Run โค้ดการคำนวณหาพื้นที่สีเหลืองทั้งหมดในภาพ โดยที่ค่าของพื้นที่สีเหลืองที่คำนวณได้จะแสดงในหน้าต่างที่ชื่อว่า 'yellow' ซึ่งหน้าต่างนี้จะแสดงภาพที่ผ่านการกรองสีเหลืองออกแล้ว

3.1.4 เมื่อกด Run คำสั่ง กล้องจะทำการตรวจจับวัตถุที่มีสีเหลือง



รูปที่ 3.4 กล้องตรวจจับวัตถุสีเหลือง

3.1.5 เมื่อกล้องเลือกที่จะตรวจจับสีเหลืองเสร็จจะสามารถหาขอบภาพของวัตถุได้ดังรูป



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบภาพที่ได้จากการตรวจจับสีของวัตถุและการหาขอบภาพ

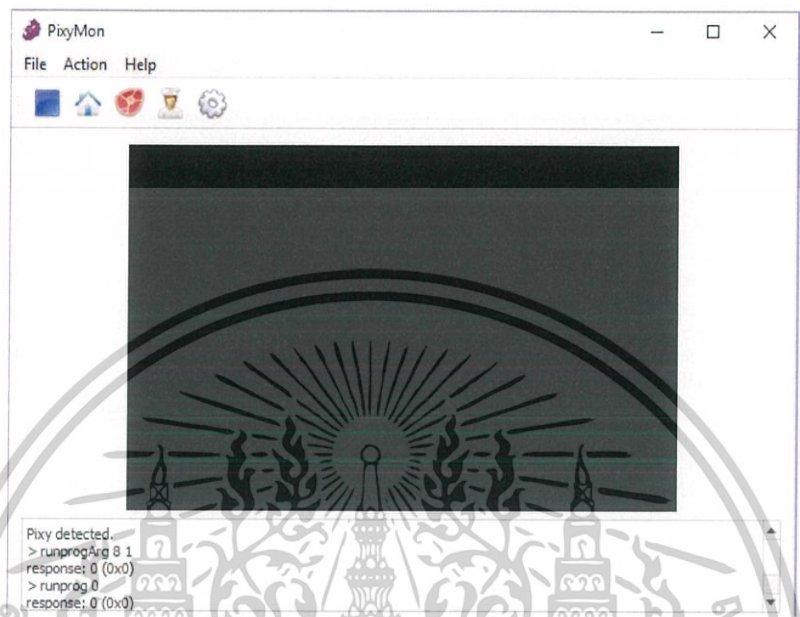
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาการตรวจจับสีของวัตถุ โดยใช้กล้อง Pixy

ขั้นตอนการใช้กล้อง pixy ตรวจจับสีของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง

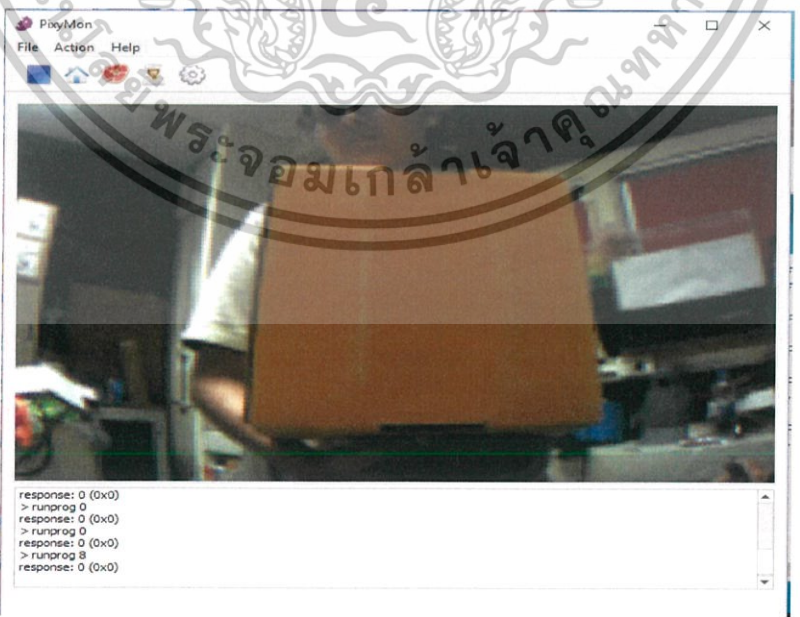
3.2.1 ต่อกล้อง pixy เข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้สาย USB Mini B

3.2.2 เปิดโปรแกรม PixyMon ขึ้นมาดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.6 หน้าโปรแกรม PixyMon

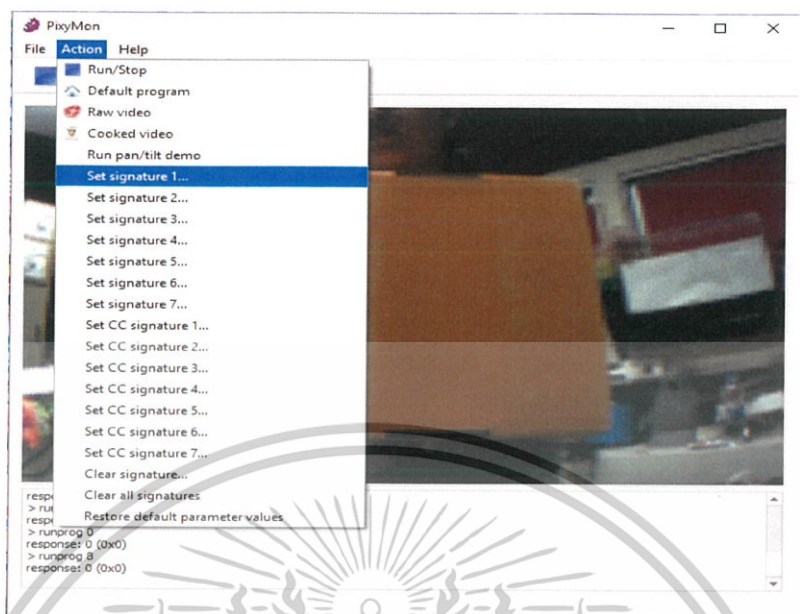
3.2.3 หลังจากนั้นให้ทำการปรับโฟกัสที่เลนส์หน้ากล้องเพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุที่แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงการปรับโฟกัสที่เลนส์

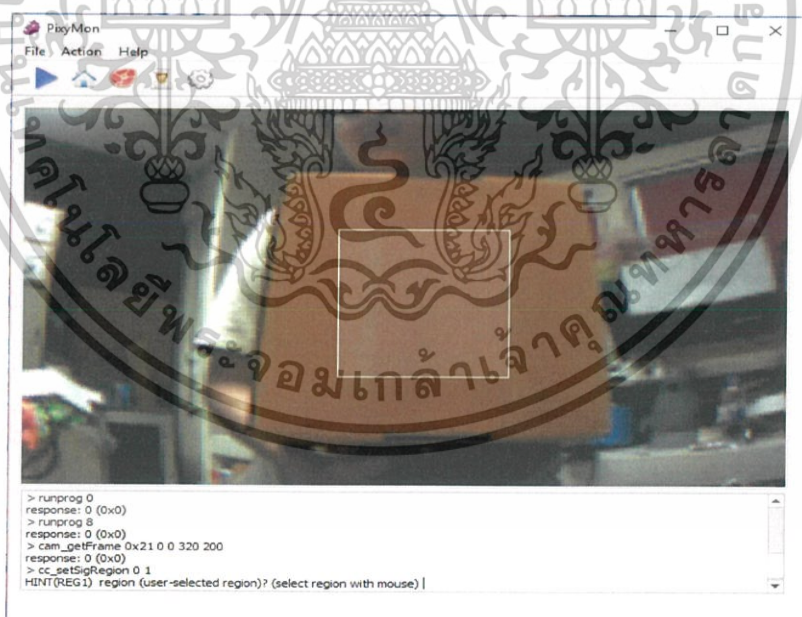
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ต่อมาทดสอบการตรวจจับสีของวัตถุ โดยเลือกที่ Action> Set Signature 1



รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการ Set สีวัตถุที่ต้องการตรวจจับ

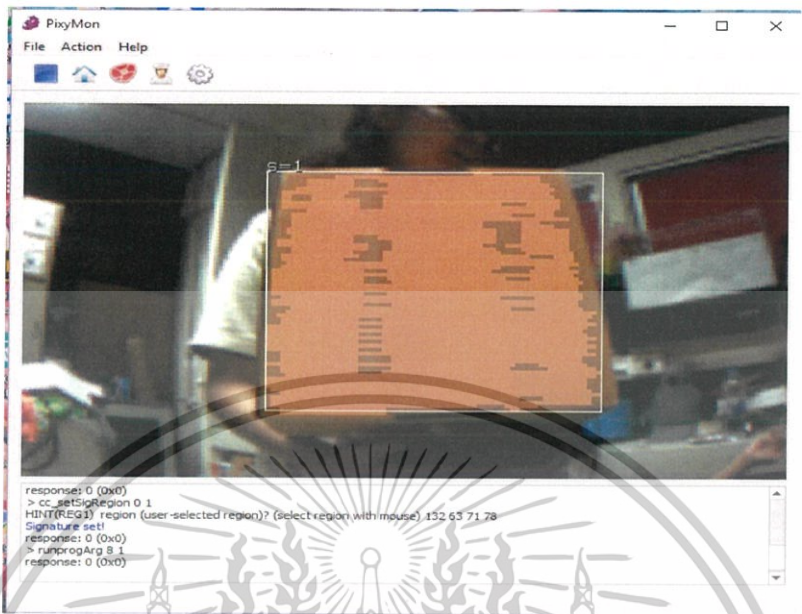
3.2.5 หลังจากภาพหยุดนิ่ง ให้เราเลือกบริเวณสีที่เราต้องการตรวจจับดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.9 แสดงการตรวจจับสีของวัตถุ

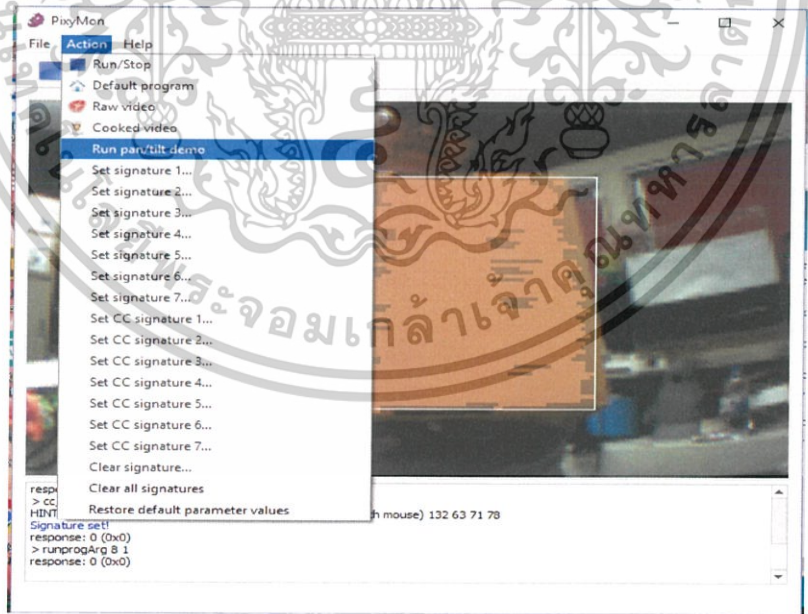
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 เมื่อทำการเลือกสีที่ต้องการ กล้องจะทำการตรวจจับทันที จากภาพด้านล่างจะเห็นได้ว่ามีกรอบสีขาวเมื่อตรวจพบสีที่กำหนดไว้ S=1



รูปที่ 3.10 แสดงภาพที่กล้องตรวจจับสีของวัตถุได้

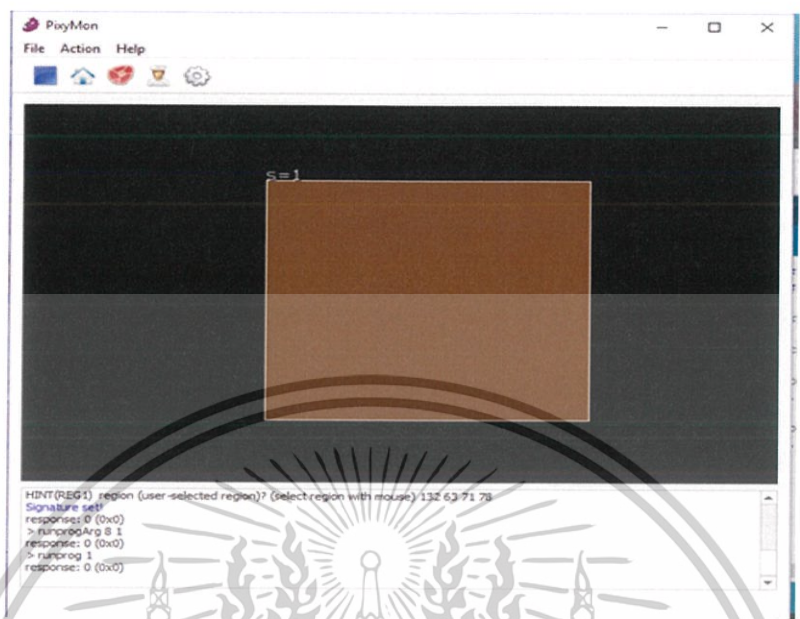
3.2.7 ถัดมาเลือกที่เมนู Action > Run default program ดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.11 แสดงการ Run default program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

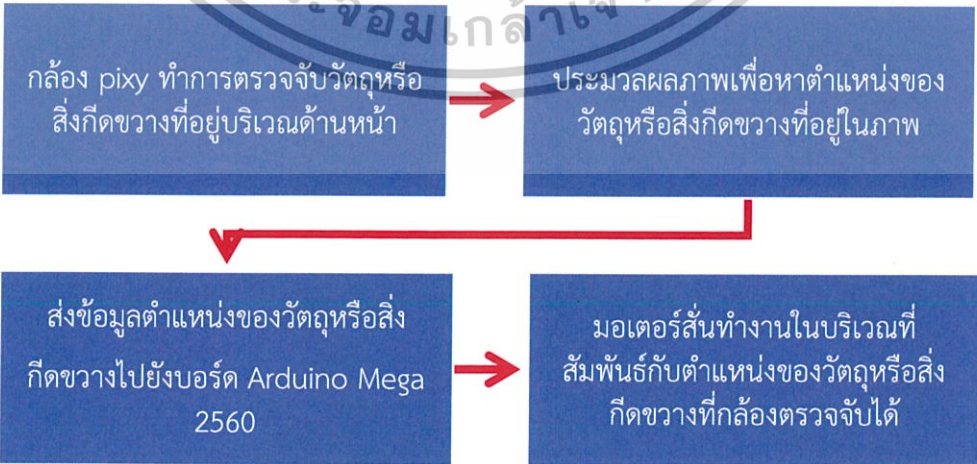
3.2.8 ถัดมาเลือกที่เมนู Action > Run default program ดังภาพด้านล่างเมื่อกดเลือก Run default program จะได้ดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงหลังจากกดเลือก Run default program

3.3 ออกแบบระบบการทำงาน

ออกแบบระบบการทำงานเพื่อให้ตัวแผ่น Smart Flexible Pad สามารถทำงานและระบุตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าของผู้สวมใส่ได้ โดยใช้กล้อง pixy ในการตรวจจับสีของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าและประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่ง pixels ของวัตถุในภาพแบบ real time จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อไปควบคุมการสั่งของมอเตอร์สั่งที่ติดตั้งอยู่บนแผ่น Smart Flexible Pad ที่มีขนาด array 22 x 14 ซึ่งแนบอยู่บนส่วนผิวหนังบริเวณหน้าท้องในลักษณะของเข็มขัดหน้ากว้าง



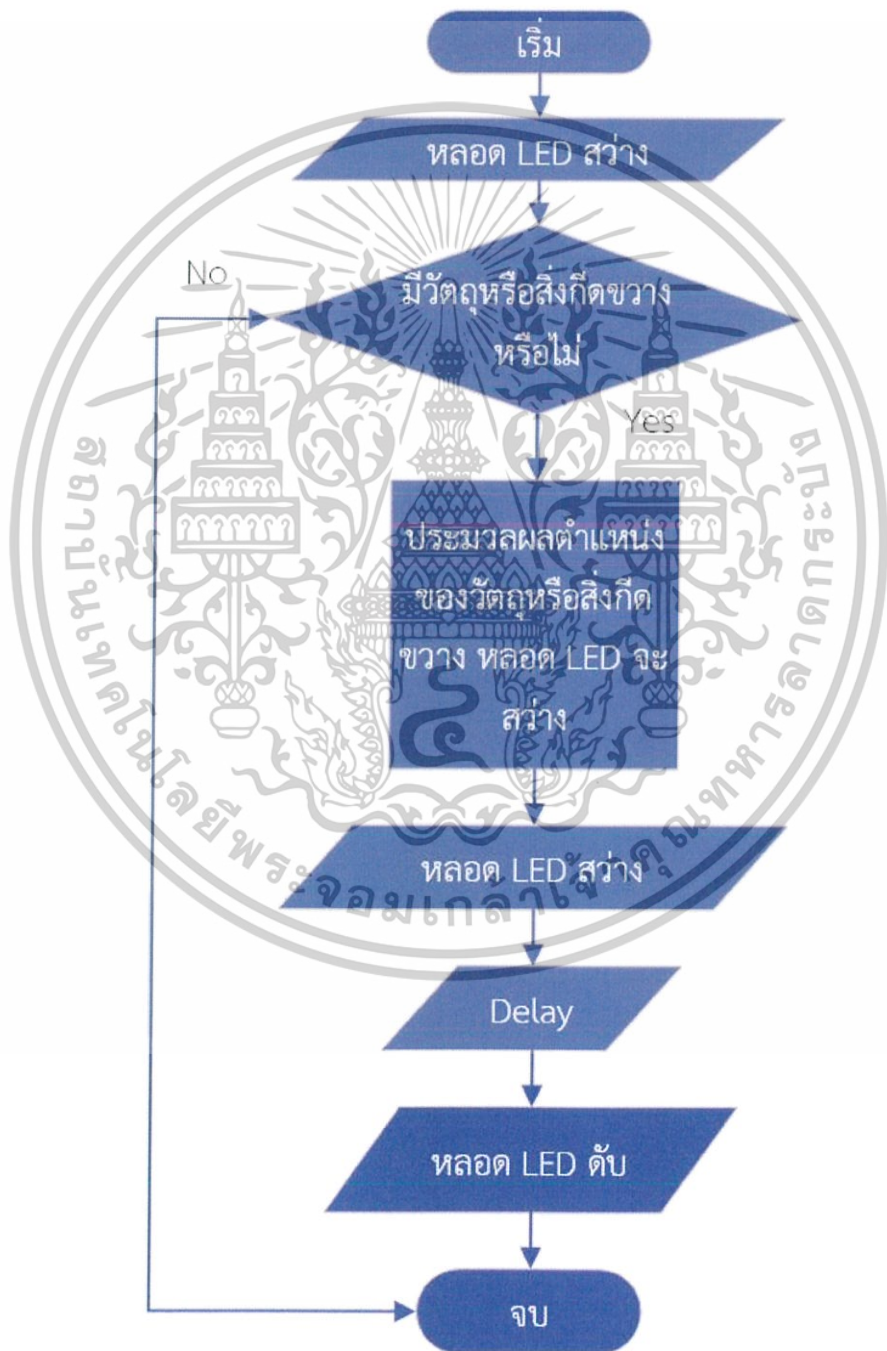
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 หลักการทำงานของเครื่อง

โดยทางเราจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองของตัวแผ่น Smart Flexible Pad โดยใช้หลอด LED แทนมอเตอร์สั่นเพื่อทดสอบหลักการทำงาน แล้วจึงค่อยสร้างตัวแผ่น Smart Flexible Pad ที่ทำจากมอเตอร์สั่น

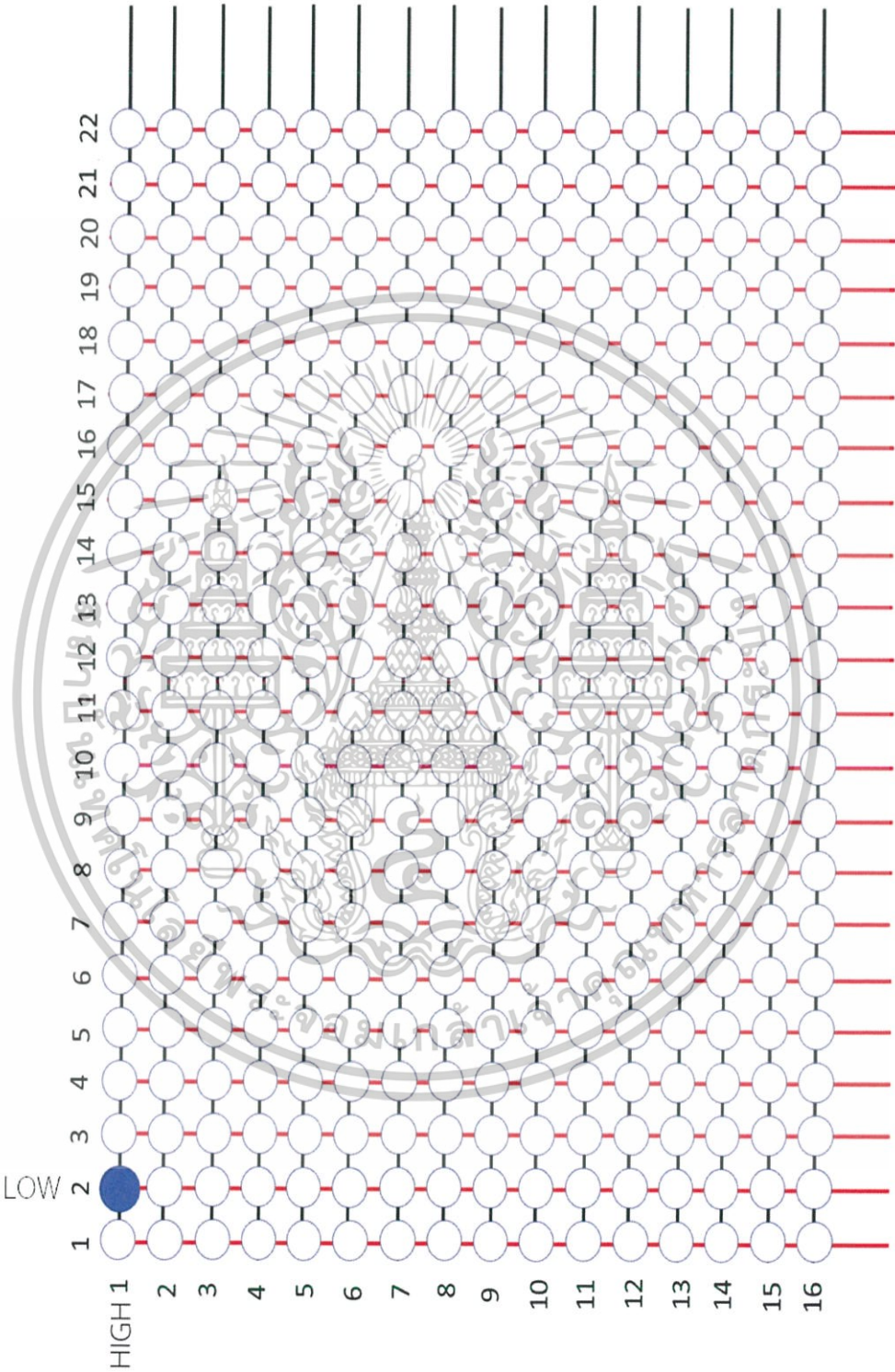
3.4 ศึกษาการเขียนโค้ดคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino

3.4.1 วาด flow chart แสดงขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino เพื่อให้หลอด LED สว่างเมื่อกล้อง Pixy ตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้



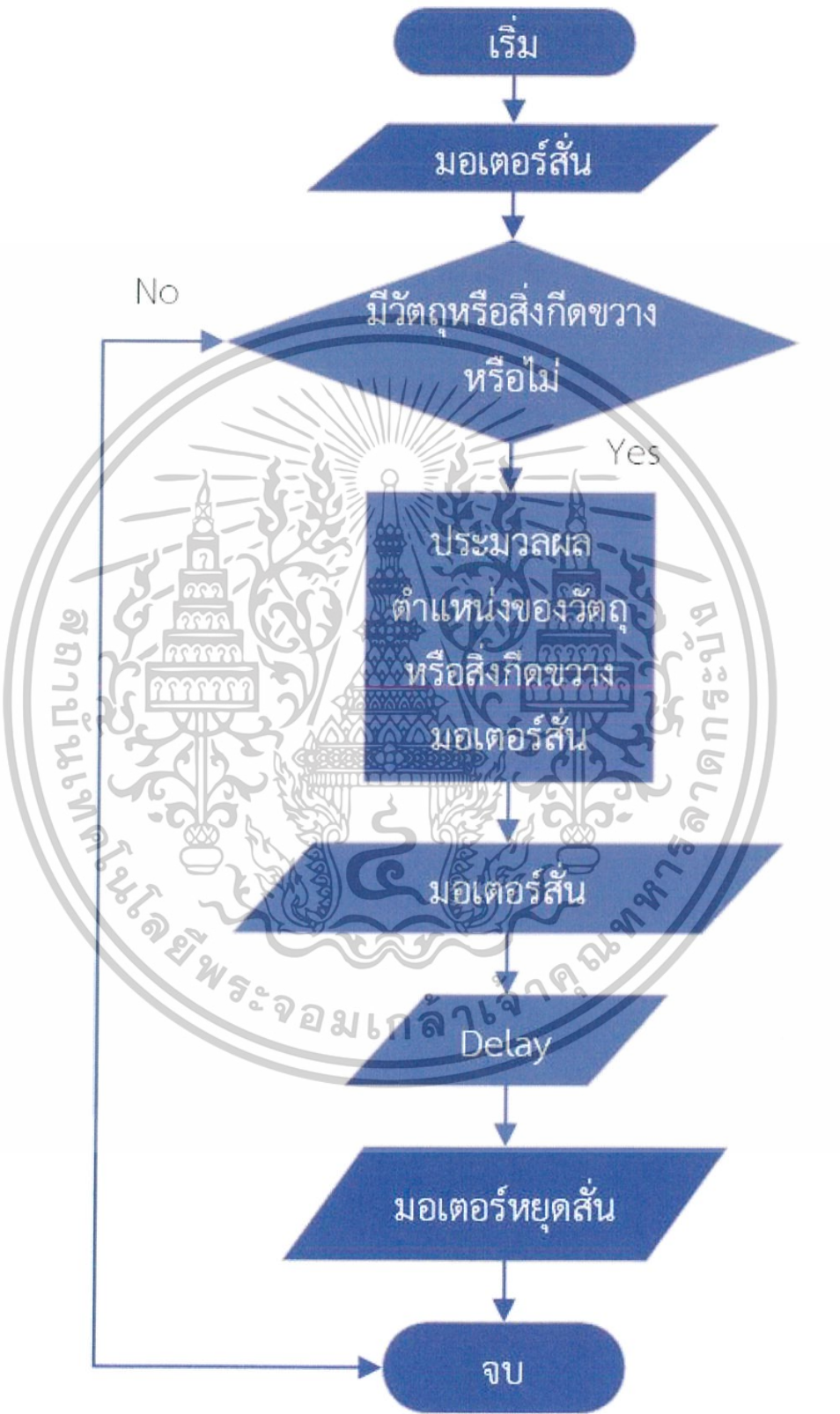
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3.14 flow chart แสดงขั้นตอนการสร้าง-ดับของหลอด LED รั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการให้ไฟ LED แถวที่ 1 หลักที่ 2 ติด ต้องจ่ายไฟให้ LED แถวที่ 1 เป็น HIGH แถวที่เหลือเป็น LOW และจ่ายไฟให้หลักที่ 2 เป็น HIGH หลักที่เหลือเป็น LOW ไฟ LED แถวที่ 1 หลักที่ 2 จึงจะติดได้ดังรูป



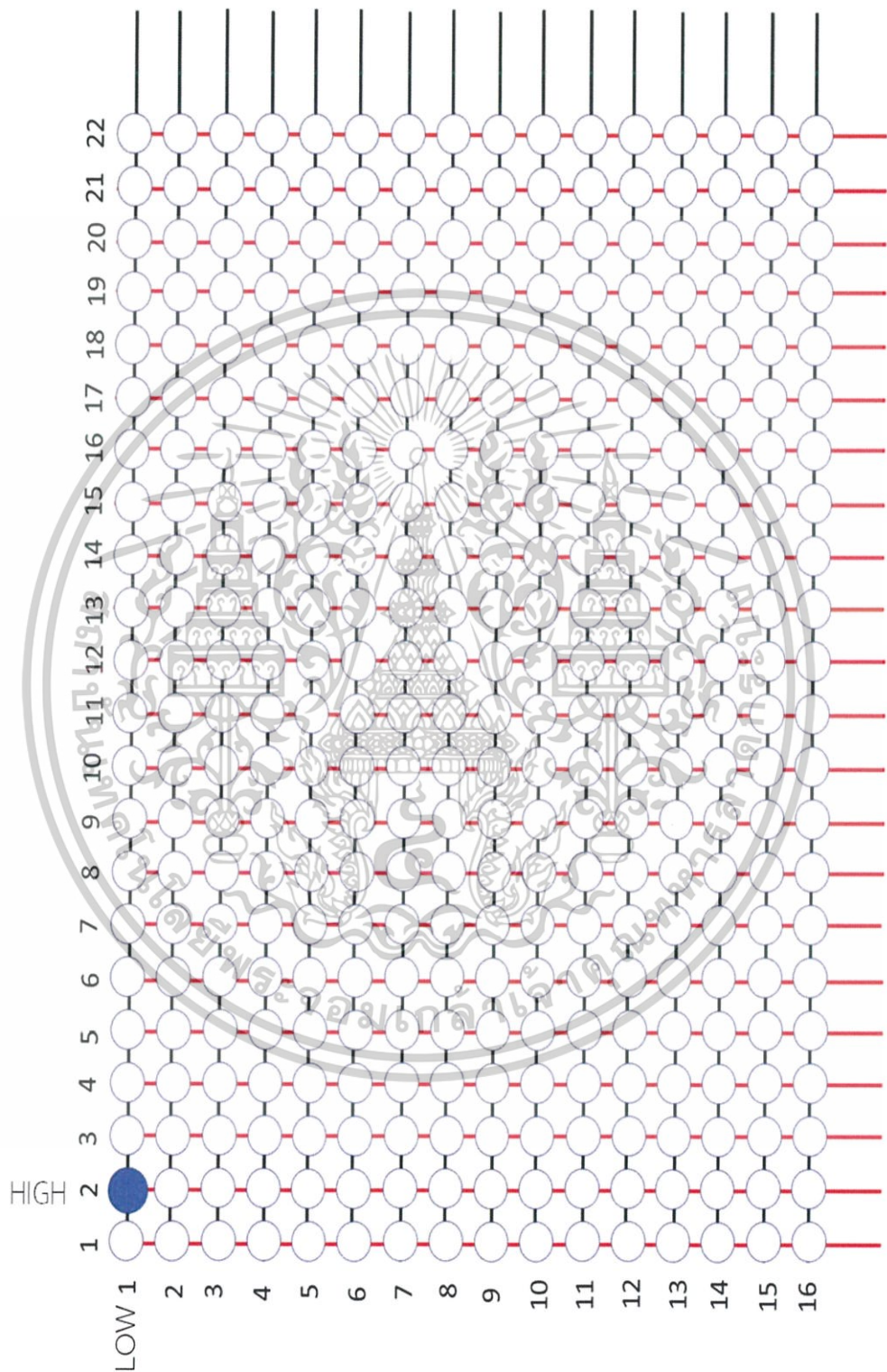
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการสั่งงานการติด-ดับของ LED
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วาด flow chart แสดงขั้นตอนการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรม Arduino เพื่อให้มอเตอร์สั่นเตือนเมื่อก้อง Pixy ตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.16** flow chart แสดงขั้นตอนการสั่นเตือนของมอเตอร์สั่นรั้งที่มีการนำไปใช้

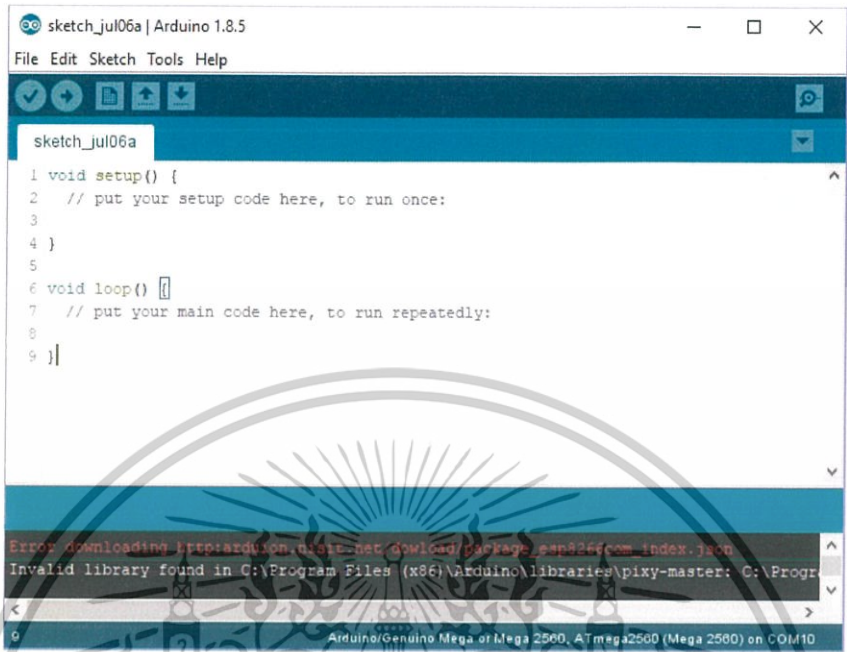
เมื่อต้องการให้มอเตอร์ แกวที่ 1 หลักที่ 2 ติด ต้องจ่ายไฟให้มอเตอร์ แกวที่ 1 เป็น LOW แกวที่เหลือเป็น HIGH และจ่ายไฟให้หลักที่ 2 เป็น LOW หลักที่เหลือเป็น HIGH มอเตอร์แกวที่ 1 หลักที่ 2 จึงจะสั่นได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.17 แสดงลักษณะการสั่น-หยุดสั่นของมอเตอร์สั่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

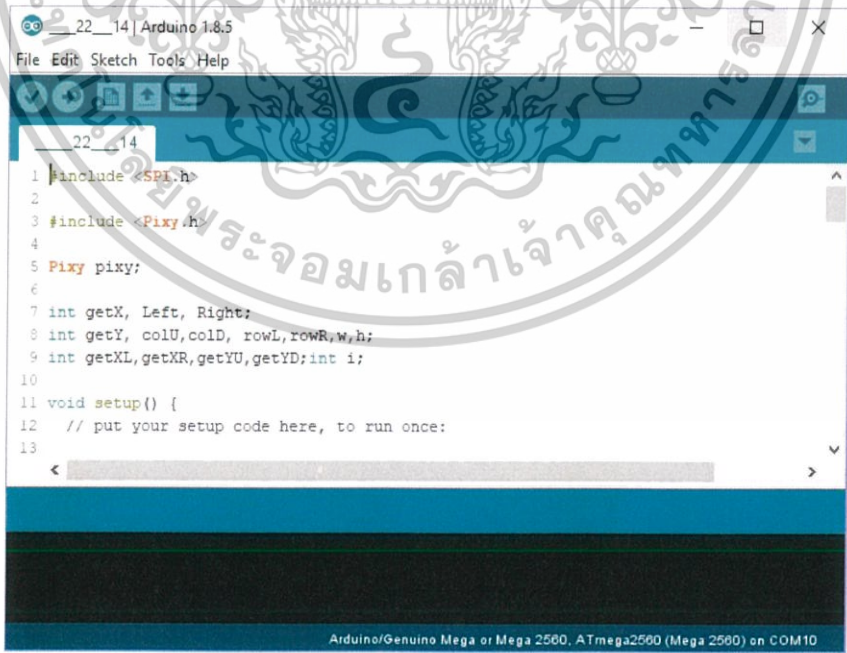
3.4.3 ขั้นตอนการเขียนโค้ดคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino

3.4.3.1 เปิดโปรแกรม Arduino ขึ้นมาดังภาพด้านล่าง



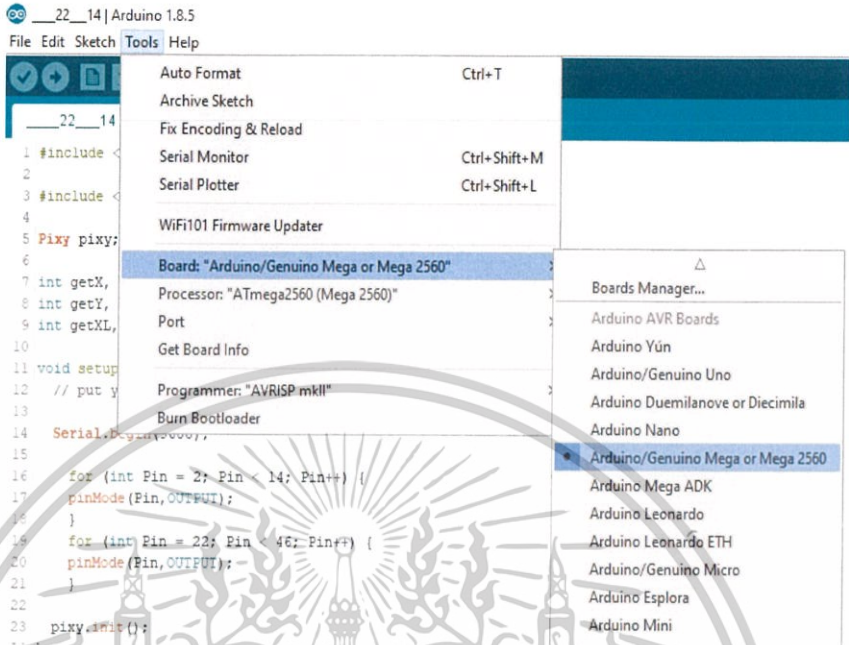
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าของโปรแกรม Arduino

3.4.3.2 ทำการเขียนโค้ดคำสั่ง



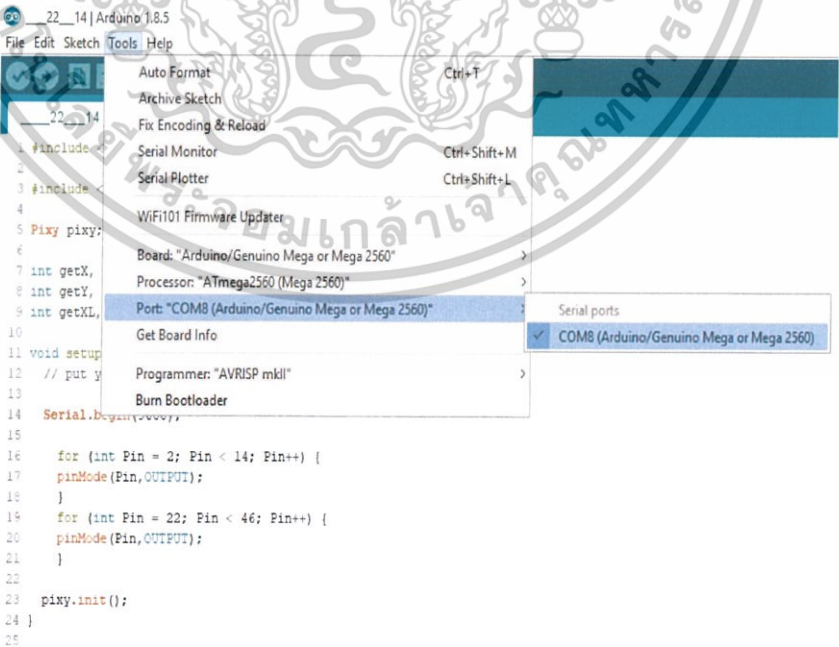
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.19 ตัวอย่างโค้ดคำสั่งอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.3 เมื่อเขียนโค้ดเสร็จ เลือกบอร์ดให้ตรงกับรุ่นที่ใช้งานอยู่จริง โดยคลิกเมาส์ที่ Tools→Board→ชื่อรุ่นของบอร์ด ดังภาพด้านล่าง



รูปที่ 3.20 แสดงขั้นตอนการเลือกบอร์ด

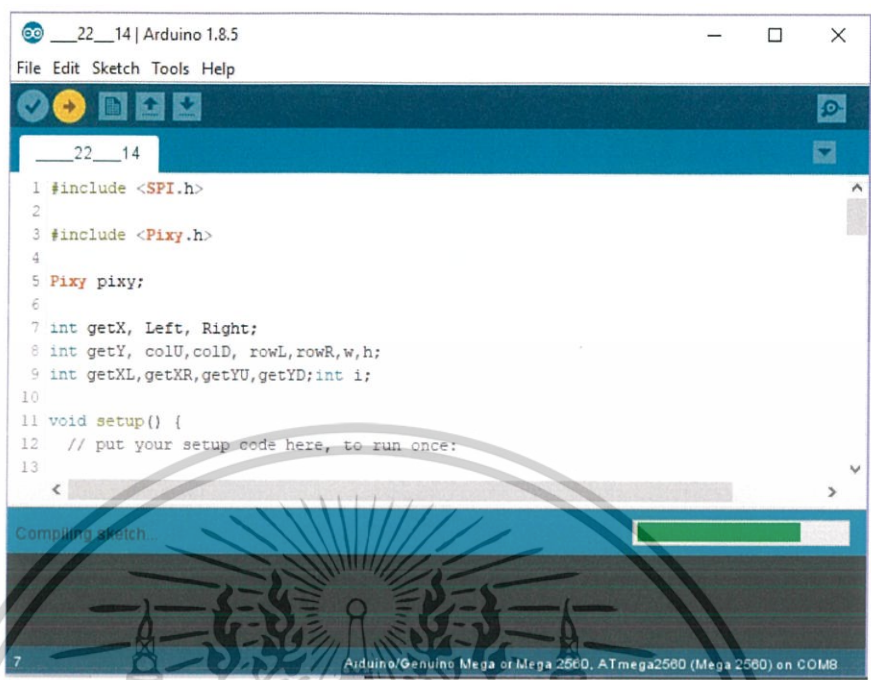
3.4.3.4 เลือกหมายเลขพอร์ต สำหรับติดต่อสื่อสารกับบอร์ด ให้ตรงกับหมายเลข Comport ที่ใช้งานอยู่ ให้คลิกเมาส์ที่ Tools→Serial Port ดังรูป



รูปที่ 3.21 แสดงขั้นตอนการเลือกพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.5 สั่ง Download Code ให้กับบอร์ด ดังรูป



รูปที่ 3.22 แสดงการสั่ง Download Code

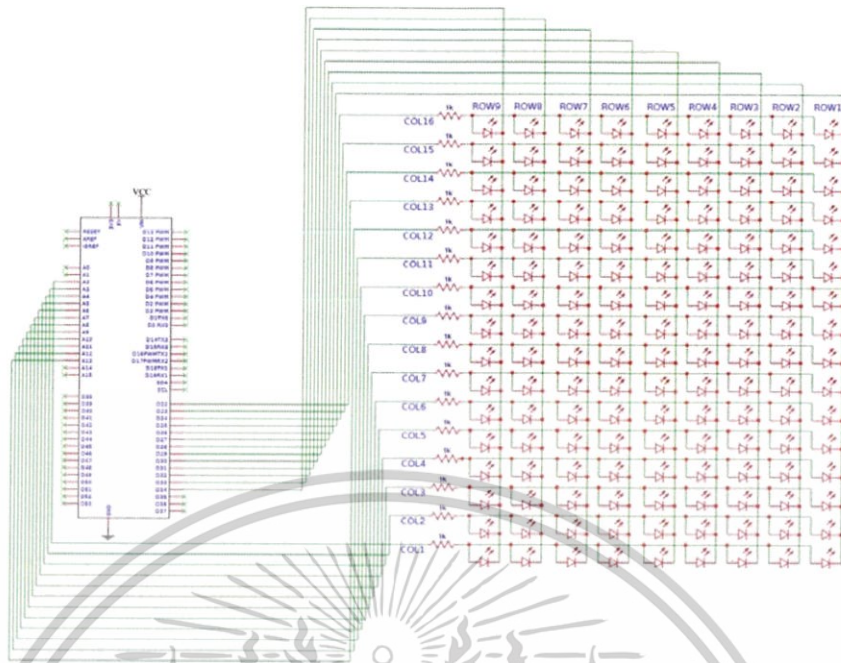
3.5 ออกแบบและสร้างแผ่น Smart Flexible Pad

3.5.1 สร้างต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16 ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16

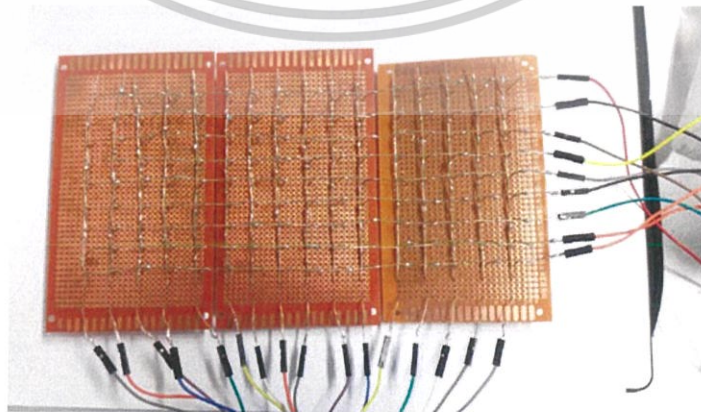
เครื่องมือ อุปกรณ์	จำนวน
1. โมดูลกลิ้ง Pixy	1 ตัว
2. บอร์ด Arduino Mega 2560	1 บอร์ด
3. หลอด LED ขนาด 3 mm. สีแดง	144 ดวง
4. บอร์ดไข่ปลาขนาด 74x140 mm.	3 บอร์ด
5. สาย USB Mini B	1 เส้น
6. สายแพ	1เส้น
7. สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย	25 เส้น
8. Powerbank	1 เครื่อง
9. ตัวต้านทาน 1 k	14 ตัว
10. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



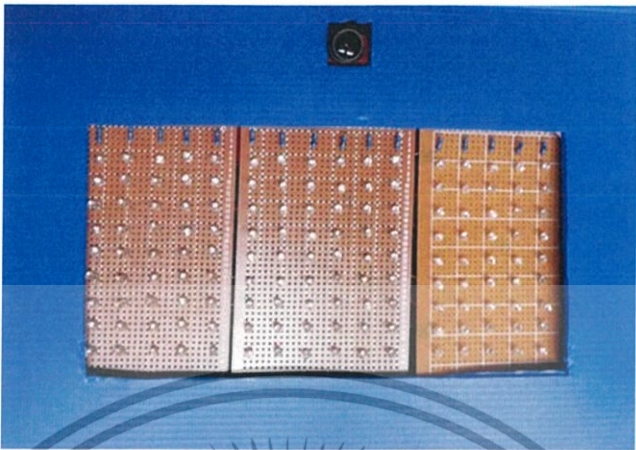
รูปที่ 3.23 Schematic ของต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16

- 3.5.1.1 เตรียมโมดูลกล่อง Pixy 1 ตัว, บอร์ด Arduino Mega 2560 1 บอร์ด, หลอด LED ขนาด 3 mm. สีแดง 144 ดวง, บอร์ดไขปลาขนาด 74x140 mm. 3 บอร์ด, สาย USB Mini B 1 เส้น, สายแพ 1 เส้น, สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย 25 เส้น, Powerbank 1 เครื่อง, ตัวต้านทาน 1 k 14 ตัว, คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- 3.5.1.2 บัดกรีหลอด LED ลงบนบอร์ดไขปลาทั้ง 3 บอร์ด ให้มีจำนวน 9 แถว 16 หลัก โดย บัดกรีขาบวกของหลอด LED ในแต่ละหลักและขาลบของหลอด LED ในแต่ละแถว แบบอนุกรม
- 3.5.1.3 ทำการบัดกรีสายสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 25 เส้นเข้ากับขาของหลอด LED ทั้ง 9 แถว 16 หลัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดรูปที่ 3.24 การบัดกรีหลอด LED ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.5.1.4 ต่อสายสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 36 เส้นเข้ากับขาของบอร์ด Arduino Mega 2560
- 3.5.1.5 ต่อสายแพเข้ากับกล่อง Pixy และ บอร์ด Arduino Mega 2560



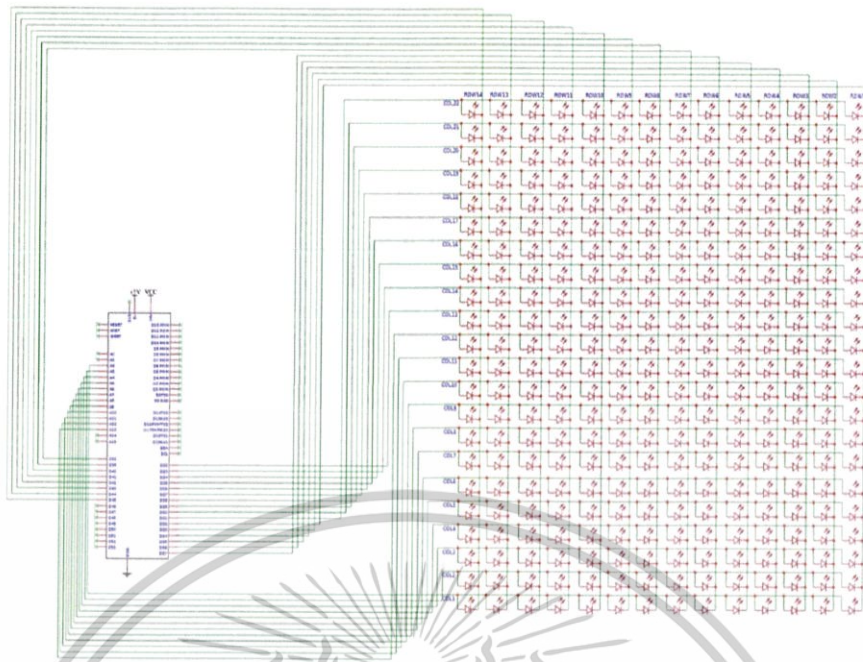
รูปที่ 3.25 ต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16

- 3.5.2 สร้างต้นแบบต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 9x16 ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสร้างต้นแบบที่ 2 ใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22

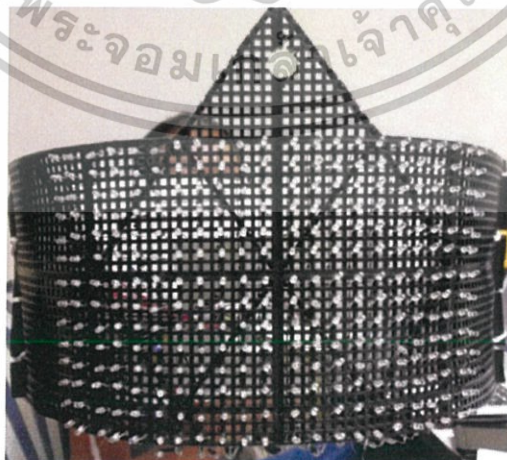
เครื่องมือ อุปกรณ์	จำนวน
1. โมดูลกล่อง Pixy	1 ตัว
2. บอร์ด Arduino Mega 2560	1 บอร์ด
3. หลอด LED ขนาด 3 mm. สีฟ้า	308 ดวง
4. สาย USB Mini B	1 เส้น
5. สายแพ	1เส้น
6. สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย	36 เส้น
7. Powerbank	1 เครื่อง
8. โครกเข็มขัด	1 อัน
9. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



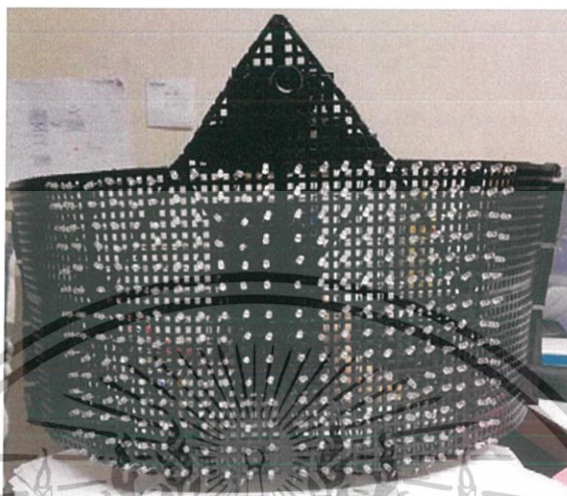
รูปที่ 3.26 Schematic ของต้นแบบที่ 1 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22

- 3.5.2.1 เตรียมโมดูลกล่อง Pixy 1 ตัว, บอร์ด Arduino Mega 2560 1 บอร์ด, หลอด LED ขนาด 3 mm. สีฟ้า 308 ดวง, สาย USB Mini B 1 เส้น, สายแพ 1 เส้น, สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย 36 เส้น, Powerbank 1 เครื่อง, โครงเสริมขัด 1 อัน, คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- 3.5.2.2 บัดกรีหลอด LED ลงบนโครงเสริมขัด ให้มีจำนวน 14 แถว 22 หลัก โดยบัดกรีขาบวกของหลอด LED ในแต่ละหลักและขาลบของหลอด LED ในแต่ละแถวแบบอนุกรม

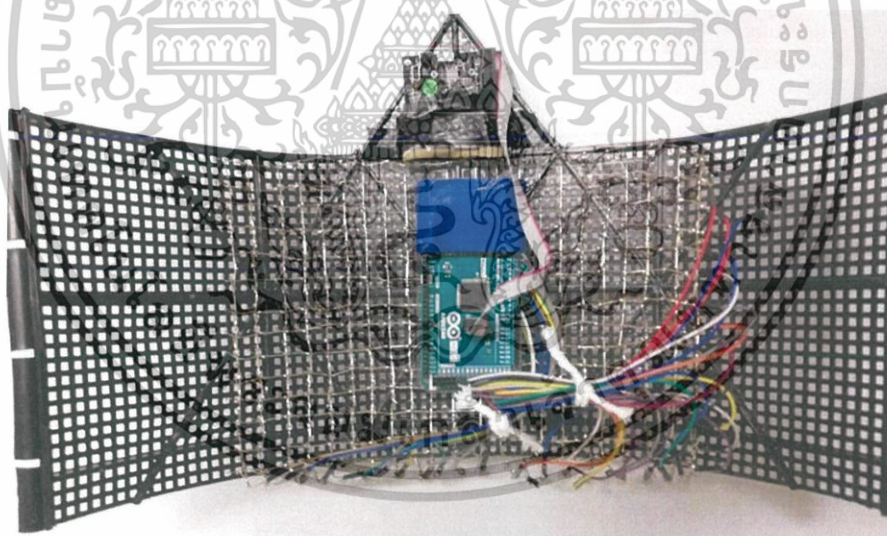


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.27 แสดงลักษณะของหลอด LED ที่อยู่บนโครงเสริมขัดใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.5.2.3 ทำการบัดกรีสายสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 36 เส้นเข้ากับขาของหลอด LED ทั้ง 14 แถว 22 หลัก
- 3.5.2.4 ต่อสายสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 36 เส้นเข้ากับขาของบอร์ด Arduino Mega 2560
- 3.5.2.5 ต่อสายแพเข้ากับกล่อง Pixy และ บอร์ด Arduino Mega 2560



รูปที่ 3.28 ด้านหน้าของต้นแบบต้นแบบที่ 2 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22



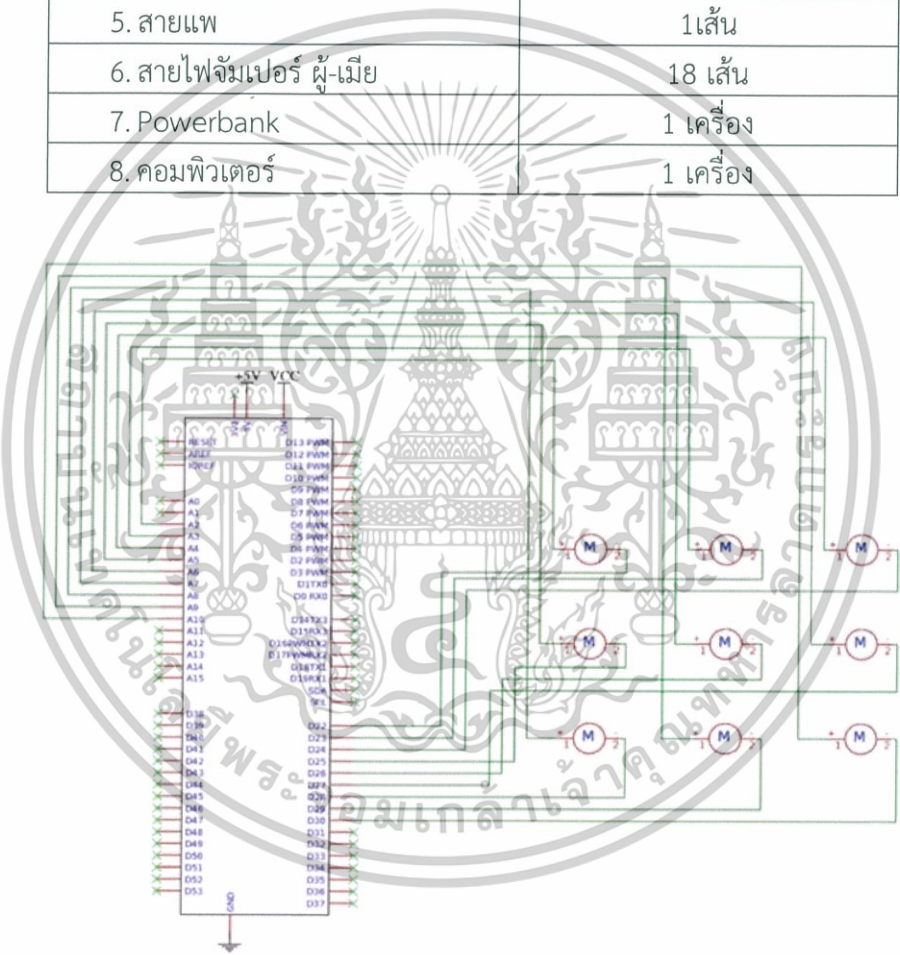
รูปที่ 3.29 ด้านหลังของต้นแบบต้นแบบที่ 2 โดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3
ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3

เครื่องมือ อุปกรณ์	จำนวน
1. ไมโครลูกลอง Pixy	1 ตัว
2. บอร์ด Arduino Mega 2560	1 บอร์ด
3. มอเตอร์สันขนาดเล็ก	9 ดวง
4. สาย USB Mini B	1 เส้น
5. สายแพ	1เส้น
6. สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย	18 เส้น
7. Powerbank	1 เครื่อง
8. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง



รูปที่ 3.30 Schematic ของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3

3.5.3.1 เตรียมไมโครลูกลอง Pixy 1 ตัว, บอร์ด Arduino Mega 2560 1 บอร์ด, สาย USB Mini B 1 เส้น, สายแพ 1 เส้น, สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย 18 เส้น, กาว 1 หลอด, Powerbank 1 เครื่อง, มอเตอร์สันขนาดเล็ก 9 ตัว, แผ่นรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปภายนอกได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.5.3.2 วัดขนาดและระยะของแผ่นรองเมาส์ ที่จะใช้ติดมอเตอร์สั่น โดยแผ่นรองเมาส์ต้องมีจำนวน 3 แถว 3 หลัก จากนั้นใช้ตุ้ตู่เจาะรู
- 3.5.3.3 ติดมอเตอร์กับแผ่นรองเมาส์ด้วยกาว
- 3.5.3.4 บัดกรีขาบวกและขาลบของมอเตอร์สั่นแต่ละตัวเข้ากับสายจัมเปอร์ผู้-ผู้ทั้ง 9 เส้น
- 3.5.3.5 ต่อสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 9 เส้นเข้ากับขาของบอร์ด Arduino Mega 2560
- 3.5.3.6 ต่อสายแพเข้ากับกล่อง Pixy และ บอร์ด Arduino Mega 2560
- 3.5.3.7 ยึดตัวแผ่นรองเมาส์ที่ติดมอเตอร์สั่นเข้ากับกระเป๋าคาดเอว จัดกล่อง Pixy ให้อยู่ตรงกลาง



รูปที่ 3.31 ด้านหน้าของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3



รูปที่ 3.32 ด้านหลังของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 14x22
ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สร้างแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 14x22

เครื่องมือ อุปกรณ์	จำนวน
1. โมดูลกล้อง Pixy	1 ตัว
2. บอร์ด Arduino Mega 2560	1 บอร์ด
3. สาย USB Mini B	1 เส้น
4. สายแพ	1เส้น
5. สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย	36 เส้น
6. Powerbank	1 เครื่อง
7. มอเตอร์สันขนาดเล็ก	308 ตัว
8. แผ่นฟองน้ำ	2 แผ่น
9. ตัดตุ้เจาะรู เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm.	1 ตัว
10. ทรานซิสเตอร์ 2n2222	14 ตัว
11. ทรานซิสเตอร์ 2n3906	22 ตัว
12. ตัวต้านทาน 200 Ω	36 ตัว
13. ถ่าน 3.2 V	1 ก้อน
14. สายไฟจัมเปอร์ ผู้-ผู้	36 เส้น
15. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง

เนื่องจากมอเตอร์สันสามารถจ่ายไฟกลับซ้ำได้ ทำให้ไม่สามารถบังคับทิศทางการไหลของกระแสได้ จึงนำทรานซิสเตอร์ 2N2222 และ ทรานซิสเตอร์ 2N3906 มาช่วยในการไบอัสกระแส เพื่อใช้เป็นตัวบังคับทิศทางการไหลของกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียว

3.5.4.1 หาค่าตัวต้านที่จะนำมาใช้กับทรานซิสเตอร์
จากกฎของเคอชอฟฟ์ จะได้ว่า

$$I_E = I_C + I_B \tag{1}$$

เมื่อ

I_E คือ กระแสอิมิตเตอร์ (Emitter Current) ซึ่งในการทดลองค่า I_E เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้มอเตอร์สันซึ่งมอเตอร์สัน 1 ตัวกินกระแสประมาณ 70mA

I_B คือ กระแสเบส (Base Current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$I_C = \beta I_B \tag{2}$$

เมื่อ

β คือ อัตราขยายกระแสไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้ให้ β มีค่าเป็น 50
แทนค่าสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$I_E = \beta I_B + I_B \tag{3}$$

ดังนั้น

$$I_E = I_B (\beta + 1) \tag{4}$$

จากกฎของกฎของโอห์ม

$$V = IR \tag{5}$$

$$V^+ - V_{BE(ON)} = I_B R_B \tag{6}$$

โดย

V^+ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก บอร์ด Arduino Mega 2560 มีค่า $5V$
 $V_{BE(ON)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ทรานซิสเตอร์เริ่มทำงาน
ซึ่งทรานซิสเตอร์ 2N3906 มีค่า $V_{BE(ON)} = 0.65V$
ส่วนทรานซิสเตอร์ 2N222 มีค่า $V_{BE(ON)} = 0.6V$
 R_B คือ ค่าความต้านทานที่จะนำมาใช้ที่ขาเบส
เมื่อแทนค่า V^+ และ $V_{BE(ON)}$ ลงในสมการที่ (6) จะได้

$$\begin{aligned} 5V - 1.25V &= I_B R_{B1} \\ I_B &= \frac{5V - 1.25V}{R_{B1}} \end{aligned} \tag{7}$$

แทนค่าสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (4) จะได้

$$\begin{aligned} I_E &= \frac{5V - 1.25V}{R_{B1}} (\beta + 1) \\ R_{B1} &= \frac{5V - 1.25V}{I_E} (\beta + 1) \end{aligned} \tag{8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แทน $\beta = 50$ และ $I_E = 70mA$ ลงในสมการที่ (8) จะได้ตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{B1} = \frac{5V - 1.25V}{\left(\frac{70}{1000} A\right)} (50 + 1)$$
$$R_{B1} = 2732.1429\Omega$$

ซึ่งในการทดลองทรานซิสเตอร์ 1 ชุด ต้องใช้กับมอเตอร์ทั้งหมด 14 ตัว ดังนั้นต้องนำค่า R_{B1} มาหาร 14 จะได้

$$R_{B2} = \frac{2732.1492}{14}$$
$$R_B = 195.1535\Omega$$

ตัวต้านทานที่นำมาใช้ควรมีค่าตั้งแต่ $R_B = 195.1535\Omega$ ซึ่งในการทดลองใช้ตัวต้านทาน 200Ω



รูปที่ 3.33 Schematic ของแผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 3X3

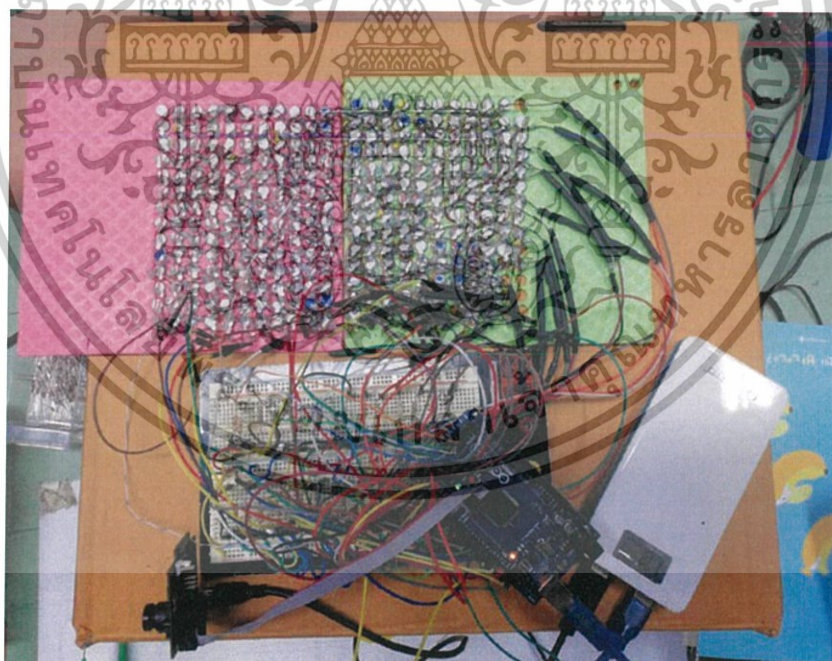
- 3.5.4.1 เตรียมโมดูลกล่อง Pixy 1 ตัว, บอร์ด Arduino Mega 2560 1 บอร์ด, สาย USB Mini B 1 เส้น, สายแพ 1 เส้น, สายไฟจัมเปอร์ ผู้-เมีย 36 เส้น, Powerbank 1 เครื่อง, มอเตอร์สันขนาดเล็ก 308 ตัว, แผ่นฟองน้ำ 2 แผ่น, ตัดตู้เจาะรู เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm.1 ตัว, ทรานซิสเตอร์ 2n2222 14 ตัว, ทรานซิสเตอร์ 2n3906 22 ตัว, ตัวต้านทาน 6.8 kΩ 36 ตัว, ถ่าน 3.2 V 1 ก้อน, สายไฟจัมเปอร์ ผู้-ผู้ 36 เส้น, คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง

3.5.4.2 วัดขนาดและระยะของแผ่นฟองน้ำ ที่จะใช้ติดมอเตอร์สัน โดยแผ่นฟองน้ำทั้ง 2 แผ่นต้องมีจำนวน 14 แถว 22 หลัก และให้แต่ละช่องมีขนาด 1x1 cm. ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับความเห็นชอบจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งแต่ละแผ่นจะต้องมี 154 ช่อง จากนั้นใช้ตัดตู้เจาะรูเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.5.4.3 ติดมอเตอร์กับแผ่นฟองน้ำด้วยกาว บัดกรีขมมอเตอร์เส้นทั้ง 308 ตัว โดยบัดกรีขาบวกของมอเตอร์เส้นในแต่ละหลักและขาลบของมอเตอร์เส้นในแต่ละแถวแบบอนุกรม
- 3.5.4.4 บัดกรีสายสายจัมเปอร์ผู้-ผู้ ทั้ง 36 เส้นเข้ากับขาของมอเตอร์เส้นทั้ง 14 แถว 22 หลัก
- 3.5.4.5 ต่อสายสายจัมเปอร์ผู้-เมียทั้ง 36 เส้นเข้ากับขาของบอร์ด Arduino Mega 2560
- 3.5.4.6 ต่อสายแพเข้ากับกล่อง Pixy และ บอร์ด Arduino Mega 2560



รูปที่ 3.34 แผ่น Smart Flexible Pad ขนาดอาร์เรย์ 12x22



รูปที่ 3.35 แสดงลักษณะการต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

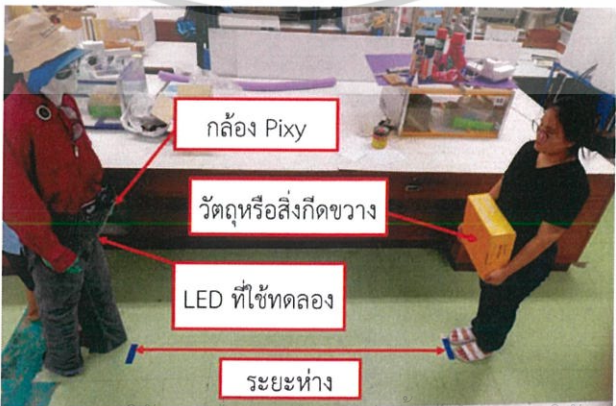
3.6 ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวาง

3.6.1 ทดสอบโดยใช้ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 โดยจะทดสอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 3.6.1.1 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณตรงกลาง
- 3.6.1.2 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านบน
- 3.6.1.3 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านล่าง
- 3.6.1.4 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านซ้าย
- 3.6.1.5 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านขวา
- 3.6.1.6 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในระยะใกล้
- 3.6.1.7 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในระยะไกล



รูปที่ 3.36 แสดงลักษณะการสวมใส่ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในงานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.37 แสดงลักษณะการใช้งานแบบจำลอง

3.6.2 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุโดยใช้แผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งขนาดอาร์เรย์ 3x3

โดยจะทดสอบโดยการให้ผู้ทดลองปิดตาและสวมแผ่น Smart Flexible Pad แล้วเดินหลบหลีกออกจากบริเวณที่มีวัตถุวางอยู่



รูปที่ 3.38 แสดงลักษณะการใช้งานแผ่น Smart Flexible Pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

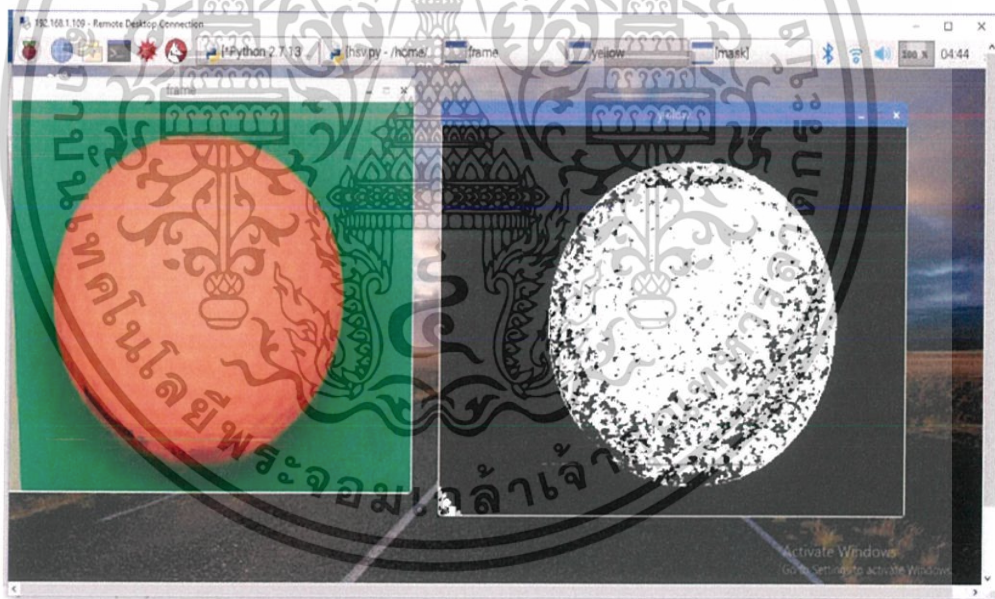
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้เป็นการรายงานผลการทดลองที่ได้จากการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุโดยใช้ Raspberry Pi 3 ผลการตรวจจับสีของวัตถุโดยใช้กล้อง Pixy โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางโดยใช้ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 และทดสอบด้วยแผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งขนาดอาร์เรย์ 3x3 ซึ่งทดสอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

4.1 ผลการตรวจจับสีและการหาขอบภาพของวัตถุโดยใช้ Raspberry pi 3

จากการทดสอบตรวจจับสีและหาขอบภาพโดยใช้ Raspberry Pi 3 เป็นตัวประมวลผลภาพและเขียนโค้ดคำสั่งด้วยโปรแกรม Python 2 ผลที่ได้คือเมื่อทำการตรวจจับสีของวัตถุแบบ Realtime ไปพร้อมกับการหาขอบภาพของวัตถุ Raspberry Pi 3 ประมวลผลภาพไม่ทัน ตัว CPU มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้หน้าจอการแสดงผลภาพค้างตกรูป ไม่สามารถประมวลผลต่อได้ต้องทำการดึงปลั๊กแหล่งจ่ายไฟออกจากบอร์ด จึงเป็นผลให้ผู้ทดลองต้องเปลี่ยนมาใช้กล้อง Pixy เป็นตัวประมวลผลภาพแทน



รูปที่ 4.1 เมื่อทำการประมวลผลภาพแล้วจอแสดงภาพเกิดการค้าง

4.1.1 ข้อดีของ Raspberry Pi 3

- 4.1.1.1 ใช้ซอฟต์แวร์ที่เป็น Open Source ทั้งหมด สามารถหาดาวน์โหลดได้ง่าย
- 4.1.1.2 สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ทั้งแบบ Wi-Fi และ LAN
- 4.1.1.3 สามารถรับส่งข้อมูลผ่าน Bluetooth ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.1.1.4 สามารถตรวจจับวัตถุและตรวจจับสีของวัตถุได้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 4.1.1.5 สามารถตรวจจับขอบภาพได้เป็นรูปร่างตามวัตถุที่ทำการตรวจจับ

- 4.1.1.6 เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับการเริ่มต้นเขียนโปรแกรม
- 4.1.1.7 สามารถทำเป็น Server เพื่อรองรับการร้องขอจากเครื่อง Client ได้
- 4.1.1.8 มี GPIO สามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ต่าง ๆ หรือบอร์ดคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ ได้อย่างอิสระ
- 4.1.1.9 มีทั้งหน้าจอ GUI และ Command Line(Terminal)
- 4.1.1.10 สามารถ SSH (Secure Shell) เข้าไปสั่งงานได้โดยใช้ โปรแกรม Putty

4.1.2 ข้อเสียของ Raspberry Pi 3

- 4.1.2.1 เมื่อใช้งานหนักหรือนาน เช่น ให้ประมวลผลภาพแบบ Realtime นาน ๆ หรือให้ตรวจจับภาพไปพร้อมกับการหาขอบภาพ ตัว CPU จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากประมวลผลภาพไม่ทัน ทำให้หน้าจอการแสดงผลภาพค้าง ไม่สามารถประมวลผลต่อได้
- 4.1.2.1 มีความเร็วค่อนข้างต่ำ (แต่ไม่ช้ามาก เมื่อใช้งานในโหมด command line (Terminal) จะเร็ว)
- 4.1.2.3 การ config บางอย่างจำเป็นต้องใช้คำสั่ง command line

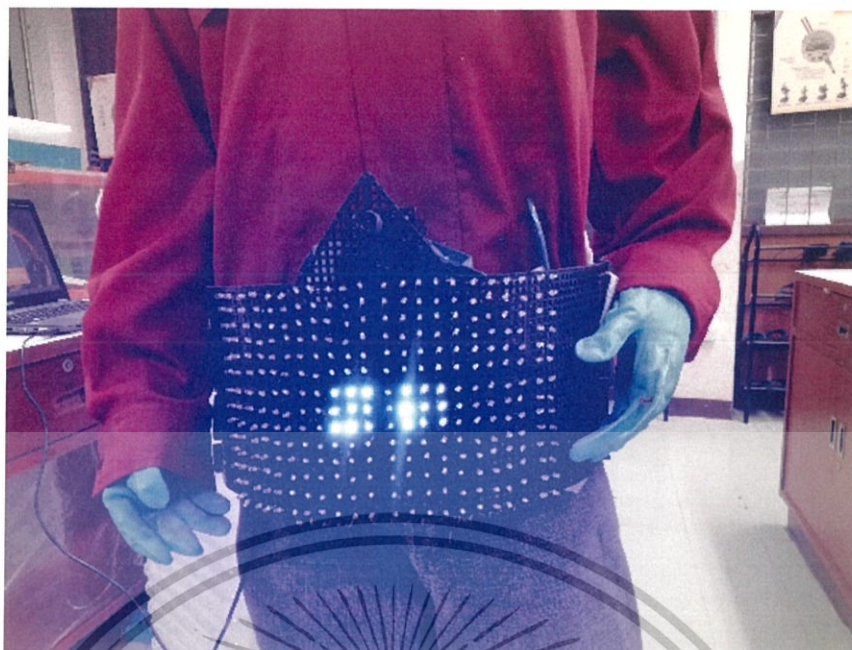
4.2 ผลการตรวจจับสีของวัตถุโดยใช้กล้อง Pixy โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางโดยใช้ต้นแบบที่เป็นหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22

4.2.1 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณตรงกลาง

เมื่อวัตถุอยู่บริเวณตรงกลาง ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) และตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.2 (ข)



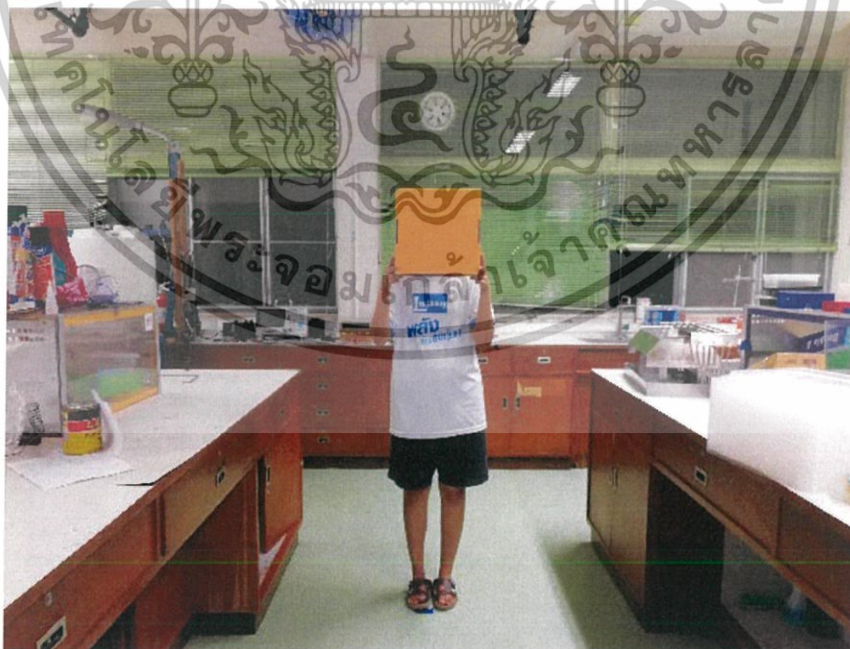
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นปะโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 4.2 (ก) วัตถุอยู่บริเวณตรงกลางของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ตรงกลาง

4.2.2 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านบน

เมื่อวัตถุอยู่บริเวณด้านบน ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.3 (ก) และตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.3 (ข)



รูปที่ 4.3 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านบน

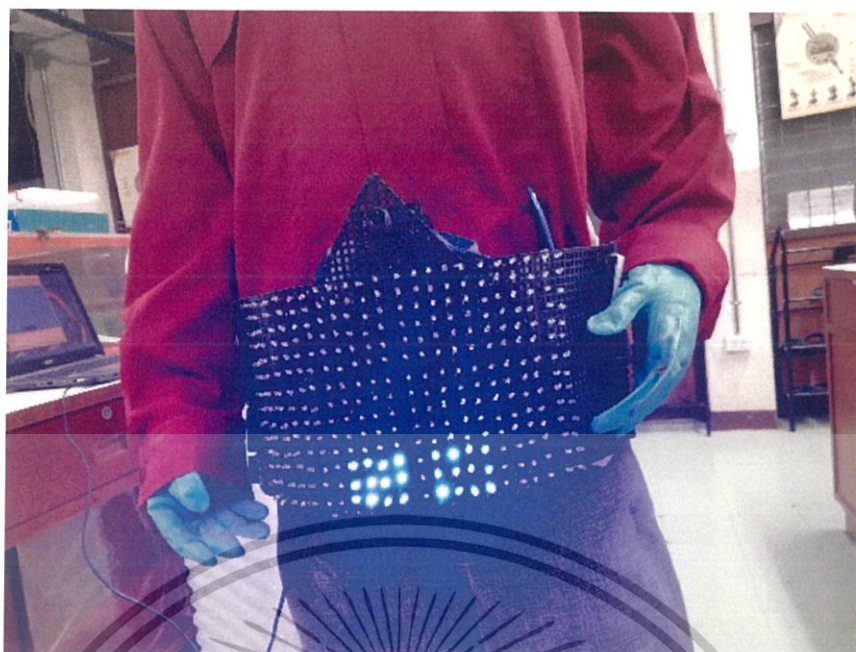
4.2.3 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านล่าง

เมื่อวัตถุอยู่บริเวณด้านล่าง ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) และ ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.4 (ข)



รูปที่ 4.4 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านล่าง

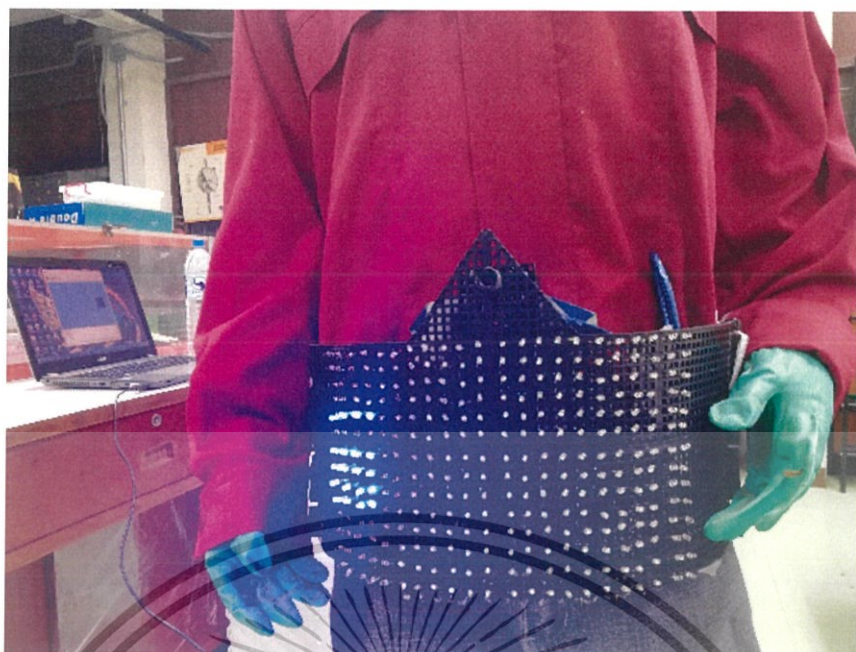
4.2.4 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านซ้าย

เมื่อวัตถุอยู่บริเวณด้านซ้าย ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.5 (ก) และ ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.5 (ข)



รูปที่ 4.5 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านซ้าย

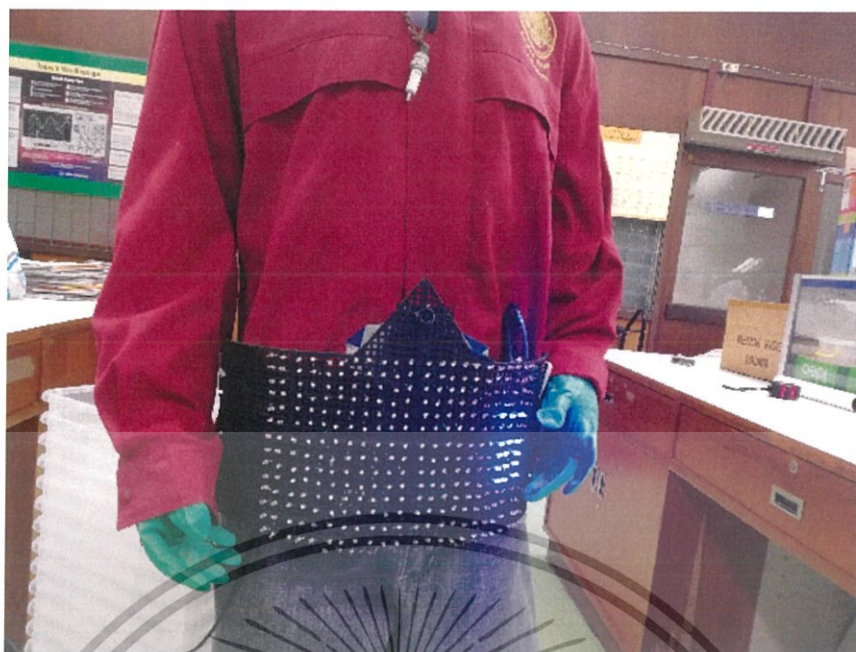
4.2.5 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านขวา

เมื่อวัตถุอยู่บริเวณด้านขวา ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.6 (ก) และ ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.6 (ข)



รูปที่ 4.6 (ก) วัตถุอยู่บริเวณด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ด้านขวา

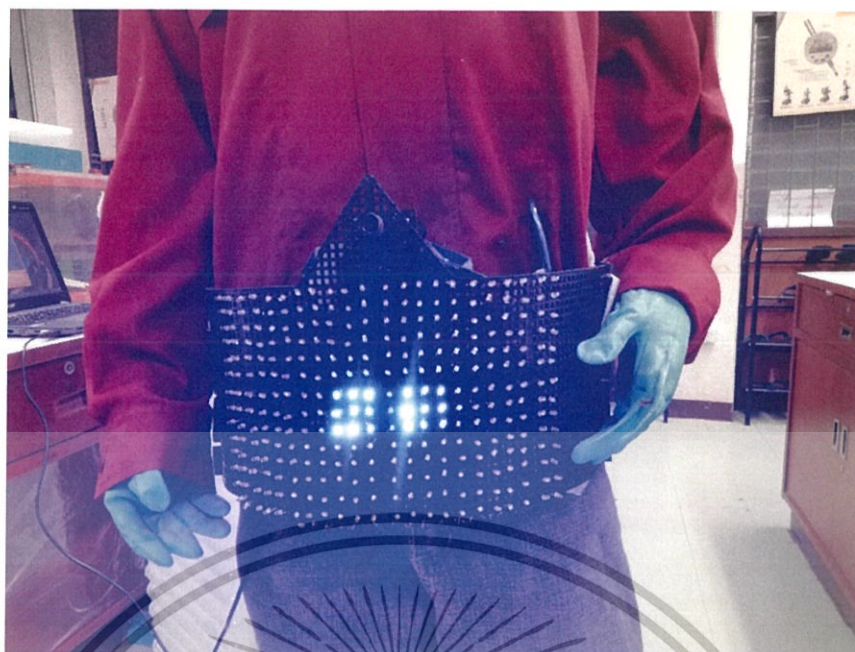
4.2.6 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในระยะใกล้

เมื่อวัตถุอยู่ระยะใกล้ ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) และตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.7 (ข)



รูปที่ 4.7 (ก) วัตถุอยู่ในระยะใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ในระยะใกล้

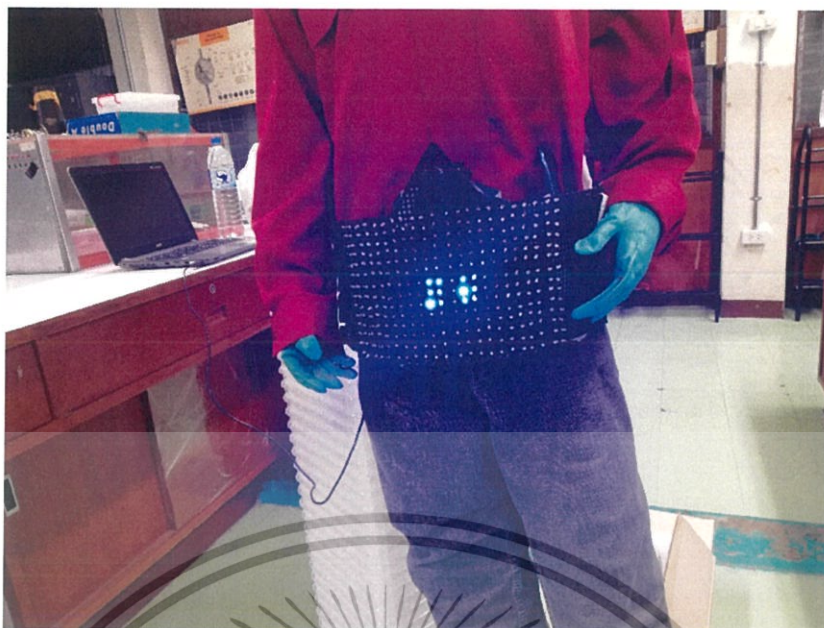
4.2.7 ทดสอบและวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ระยะไกล

เมื่อวัตถุอยู่ระยะไกล ภาพของวัตถุที่ได้จากกล้องจะแสดงดังรูปที่ 4.8 (ก) และตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22 จะแสดงดังรูปที่ 4.8 (ข)



รูปที่ 4.8 (ก) วัตถุอยู่ในระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ข) ตำแหน่งของวัตถุที่ปรากฏบนหลอด LED เมื่อวัตถุอยู่ในระยะใกล้

4.3 ผลการตรวจจับสีของวัตถุโดยใช้กล้อง Pixy โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์ ตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางโดยใช้แผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งขนาดอาร์เรย์ 3x3

ในการทดสอบจะให้ผู้ทดลองปิดตาและเดินหลบหลีกออกมาจากบริเวณที่มีวัตถุวางอยู่โดยอาศัยการสั่นเตือนของมอเตอร์สันที่อยู่บริเวณแผ่น Smart Flexible Pad เมื่อกล้อง pixy ตรวจจับสีของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าและทำการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่ง pixels ของวัตถุในภาพแบบ real time และนำข้อมูลตำแหน่งของวัตถุที่ได้ไปแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 เพื่อนำไปควบคุมการสั่นของมอเตอร์สันที่อยู่บนแผ่น Smart Flexible Pad ที่มีขนาดอาร์เรย์ 3x3 ที่แนบอยู่บนส่วนผิวหน้าบริเวณหน้าท้องในลักษณะของเข็มขัดหน้ากว้าง จากการทดสอบผู้ทดลองสามารถเดินหลบหลีกออกมาจากบริเวณที่มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางออกมาได้อย่างปลอดภัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.9 ยังไม่ปิดตาผู้ทดลอง



รูปที่ 4.10 ปิดตาผู้ทดลองพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ



รูปที่ 4.11 ผู้ทดลองเดินหลบออกจากบริเวณที่มีวัตถุขวางอยู่

4.3.1 ข้อดีของกล้อง Pixy

- 4.3.1.1 สามารถตรวจจับสีของวัตถุได้ง่าย
- 4.3.1.2 ประมวลผลภาพเร็ว เร็วถึง 50 ภาพต่อวินาที
- 4.3.1.3 สามารถตรวจจับวัตถุที่วิ่งด้วยความเร็ว 48 km/hr ได้
- 4.3.1.4 ตรวจจับสีได้พร้อมกัน 7 สี (แดง, ส้ม, เหลือง, เขียว, ฟ้า, น้ำเงิน, ม่วง)
- 4.3.1.5 แยกแยะวัตถุได้ 100 ชิ้น

4.3.2 ข้อเสียของ Raspberry Pi 3

- 4.3.2.1 ภาพที่ตรวจจับได้เมื่อผ่านการประมวลผลจะได้ขอบภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยม ไม่เอกสาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเป็นรูปร่างตามวัตถุที่ตรวจจับเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น
- 4.3.2.2 ตรวจจับได้แค่สีเดียวและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ที่ช่วยแจ้งเตือนและบอกตำแหน่งของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้าแก่ผู้บกพร่องทางการมองเห็น (แผ่น Smart Flexible Pad) ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ทดสอบโดยใช้หลอด LED ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 14x22

ซึ่งใช้กล่อง Pixy เป็นตัวตรวจจับสีของวัตถุที่อยู่บริเวณด้านหน้าและทำการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่บนจอภาพซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นพิกเซล จากนั้นส่งผ่านข้อมูลไปยัง Arduino Mega 2560 เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อไปสั่งการให้หลอด LED สว่างหรือดับ ซึ่งการสว่างของหลอด LED จะสัมพันธ์กับภาพที่ได้จากกล่อง pixy ตรวจจับได้

2. ทดสอบโดยใช้แผ่น Smart Flexible Pad ซึ่งมีขนาดอาร์เรย์ 3x3

โดยให้ผู้ทดลองปิดตาและเดินหลบหลีกวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่อยู่บริเวณด้านหน้า โดยอาศัยการตรวจจับสีของวัตถุจากกล่อง Pixy และการแจ้งเตือนจากการสั่นของมอเตอร์สั่น ซึ่งผลที่ได้คือผู้ทดลองสามารถเดินหลบหลีกวัตถุหรือสิ่งกีดขวางออกมาได้อย่างปลอดภัย

โดยในตอนแรกได้มีการกล่าวไว้แล้วว่าจะมีการใช้มอเตอร์สั่นที่มีขนาดอาร์เรย์ 14x22 แต่เนื่องจากมอเตอร์สั่นสามารถจ่ายไฟกลับชั่วคราวได้ ซึ่งต่างจากหลอด LED ที่มีคุณสมบัติเหมือนไดโอดที่ทำให้กระแสไหลได้ในทิศทางเดียว จึงทำให้ไม่สามารถบังคับทิศทางการไหลของกระแสให้เหมือนกับหลอด LED ได้ จึงมีการนำทรานซิสเตอร์ 2N2222 และทรานซิสเตอร์ 2N3906 มาช่วยในการไบอัสกระแส เพื่อบังคับทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านมอเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียว ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่ามอเตอร์สั่นสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับหลอด LED

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

1. จากการศึกษาและทดลองปัญหาที่พบคือเนื่องจากกล่อง pixy กล่องที่ใช้ในการตรวจจับสีของวัตถุ และไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่มีโทนสีทึบได้ ในการทดลองจึงจำเป็นที่จะต้องใช้วัตถุที่มีสีโทนสว่าง เช่น เขียวสว่างหรือสีเหลืองสว่าง เป็นต้น
2. บริเวณของขอบภาพที่ตรวจจับได้ เมื่อมาแสดงผลบนหลอด LED ที่ใช้ทดสอบหลอด LED จะติด ๆ ดับ ๆ เนื่องจากความเข้มของขอบภาพในแต่ละภาพไม่เท่ากันรวมทั้งมีสัญญาณรบกวนที่มาจากภายนอก เช่น แสงจากหลอดไฟ
3. เมื่อทดสอบโดยใช้มอเตอร์สั่นพบว่ามอเตอร์สั่นสามารถจ่ายไฟกลับชั่วคราวได้ ซึ่งต่างจากหลอด LED ที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลได้เพียงทิศทางเดียว จึงมีการนำทรานซิสเตอร์ 2N2222 และทรานซิสเตอร์ 2N3906 มาช่วยในการไบอัสกระแส เพื่อบังคับทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านมอเตอร์ให้ไปในทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองควรมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะทาง เพื่อให้กล้อง pixy เริ่มจับภาพของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่เข้าสู่ระยะทางที่กำหนด เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ชนสิ่งกีดขวางหากว่ากล้องตรวจจับวัตถุได้ในระยะที่ใกล้เกินไปจะทำให้ผู้ใช้เดินหลบสิ่งกีดขวางไม่ทันซึ่งจะเป็นอันตรายกับตัวผู้ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Monthakan. 2560. โลกของคนตาบอด. [Online].

Available : <http://cfbot.or.th/dsc/index.php/article/15-blind-world>

Readyplanet. 2018. ความบกพร่องทางการเห็น. [Online].

Available : <http://www.specialcenter5.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=539439174>

กองบรรณาธิการ วอยซ์ทีวี. 2014. 'สมาร์ทเคน' ไม่เท่าอัจฉริยะเพื่อคนตาบอด. [Online].

Available : <https://www.voicetv.co.th/read/128249>

Peter B.L. Meijer. 2018. See with your Ears! The vOICe. [Online].

Available : <https://www.seeingwithsound.com/>

Creativecitizen. 2018. 2C3D กล้องถ่ายภาพสำหรับคนตาบอด แม้มองไม่เห็น แต่สัมผัสได้.

[Online]. Available : <https://www.creativecitizen.com/2c3d/>

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมาน เณตระการ. 2548. การถ่ายภาพเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 52. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด 9119 เทคนิค พรินท์ติ้ง.

รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ สมพงษ์. 2539. หลักการถ่ายภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาฝีมือแรงงานกรุงเทพมหานครแห่งชาติ.

PooH Kung. 2008. เล่นสโนว์-เล่นสกีแล้ว. [Online].

Available : <http://www.vcharkarn.com/blog/39841>

Thanasuan Tepsavasd. 2016. เล่นสกีแล้ว เล่นสโนว์. [Online].

Available : <http://www.krusarawut.net/wp/?p=11408>

อรพรรณ ไวกวน. 2018. เล่นสกีบาง และปรากฏการณ์ของแสง. [Online].

Available : <https://orapanwaipan.wordpress.com/>

กรมแผนที่ทหาร. 2018. หน้าที่ของdigital image sensor. [Online].

Available : www.rtsd.mi.th/school/images/knowledge/KM/DigitalImageSensor.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ThaiCCTVclub. 2018. ข้อแตกต่างระหว่าง ชิพ CCD กับ CMOS ในกล้องวงจรปิด. [Online].
Available : <http://www.mastersatcom.com/pages2/CCDvsCMOS.htm>

นัศพ์ชาณัน ชินปัญชธนะ. 2554. การแปลความหมายภาพด้วยวิธีการวัดความคล้ายกันของกราฟแบบจับคู่. [Online]. Available : libdoc.dpu.ac.th/research/130917.pdf

Engineering Educational Solution. 2014. Pixy โมดูลกล้องตรวจจับสีและวัตถุ. [Online].
Available : <https://inex.co.th/shop/pixy.html>

Nextsoftwares. 2014. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล. [Online].
Available : <https://nextsoftwares.wordpress.com>

ประหยัดสิน บุญชูวิทย์และคณะ. 2018. แอปพลิเคชันวิเคราะห์ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) จากรูปภาพ. [Online]. Available : 203.158.166.20/project_manage/data/student/file/559100000000004-0.pdf

Cr-Engineer. 2018. บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. [Online].
Available : http://www.cr-engineer.com/images/pulldown_1304840984/DC%20electric%20motors.pdf

ThaiEasyElec. 2561. รู้จักกับบอร์ด Raspberry Pi. [Online].
Available : <https://www.thaieasyelec.com>

Siriwimon Sunthon. 2557. ศึกษาข้อมูลของบอร์ด Arduino Mega 2560. [Online].
Available : <http://mbeddedweekly.blogspot.com/2014/08/arduino-mega2560.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โค้ดที่ใช้ในการกับหลอด LED

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Pixy.h>
```

```
Pixy pixy;
```

```
int getX, Left, Right;
```

```
int getY, colU,colD, rowL,rowR,w,h;
```

```
int getXL,getXR,getYU,getYD;int i;
```

```
void setup() {
```

```
    // put your setup code here, to run once:
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    for (int Pin = 2; Pin < 14; Pin++) {
```

```
        pinMode(Pin,OUTPUT);
```

```
    }
```

```
    for (int Pin = 22; Pin < 46; Pin++) {
```

```
        pinMode(Pin,OUTPUT);
```

```
    }
```

```
    pixy.init();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    for (int thisPin = 2; thisPin < 14; thisPin++) {
```

```
        digitalWrite(thisPin,HIGH);
```

```
    }
```

```
    for (int thisPin = 22; thisPin < 32; thisPin++) {
```

```
        digitalWrite(thisPin,HIGH);
```

```
    }
```

```
    for (int thisPin = 32; thisPin < 46; thisPin++) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับขอใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

digitalWrite(thisPin,LOW);
}

uint16_t blocks;
blocks = pixy.getBlocks();
if (blocks)

{
    getX = pixy.blocks[0].x; getY = pixy.blocks[0].y;
    Serial.print("MAX x: "); Serial.print(PIXY_MAX_X);
    Serial.print("    MAX Y: "); Serial.print(PIXY_MAX_Y);
    Serial.print("    x: "); Serial.print(getX); Serial.print(" ");
    Serial.print("y: "); Serial.print(getY);

    w = pixy.blocks[0].width/2;
    h = pixy.blocks[0].height/2;

    getXL = getX - w;
    getXR = getX + w;

    getYU = getY - h;
    getYD = getY + h;

    rowL = 21*getXL/PIXY_MAX_X;
    rowR = 21*getXR/PIXY_MAX_X;
    colU = 13*getYU/PIXY_MAX_Y;
    colD = 13*getYD/PIXY_MAX_Y;

    rowL = rowL + 2;
    if(rowL > 11)
    {
        rowL = rowL + 10;
    }
    rowR = rowR + 2;
    if(rowR > 11)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    rowR = rowR + 10;
}

colU = colU + 32;
colD = colD + 32;

Serial.print(" row: "); Serial.print(rowL); Serial.print(" "); Serial.print(rowR);

Serial.print(" col: "); Serial.print(colU); Serial.print(" "); Serial.println(colD);

for (int PIN = rowL; PIN < rowR+1; PIN++) {
    digitalWrite(PIN,HIGH);
}
for (int PIN = colU; PIN < colD+1; PIN++) {
    digitalWrite(PIN,LOW);
}
delay(100);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดที่ใช้ในการกับมอเตอร์สั่น 3V.

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Pixy.h>
```

```
Pixy pixy;
```

```
int getX, Left, Right;
```

```
int getY, colU,colD, rowL,rowR,w,h;
```

```
int getXL,getXR,getYU,getYD;int i;
```

```
void setup() {
```

```
    // put your setup code here, to run once:
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    for (int Pin = 2; Pin < 14; Pin++) {
```

```
        pinMode(Pin,OUTPUT);
```

```
    }
```

```
    for (int Pin = 22; Pin < 46; Pin++) {
```

```
        pinMode(Pin,OUTPUT);
```

```
    }
```

```
    pixy.init();
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    for (int thisPin = 2; thisPin < 14; thisPin++) {
```

```
        digitalWrite(thisPin,LOW);
```

```
    }
```

```
    for (int thisPin = 22; thisPin < 32; thisPin++) {
```

```
        digitalWrite(thisPin,LOW);
```

```
    }
```

```
    for (int thisPin = 32; thisPin < 46; thisPin++) {
```

```
        digitalWrite(thisPin,HIGH);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

uint16_t blocks;
blocks = pixy.getBlocks();
if (blocks)

{
    getX = pixy.blocks[0].x; getY = pixy.blocks[0].y;
    Serial.print("MAX x: "); Serial.print(PIXY_MAX_X);
    Serial.print("    MAX Y: "); Serial.print(PIXY_MAX_Y);
    Serial.print("    x: "); Serial.print(getX); Serial.print(" ");
    Serial.print("y: "); Serial.print(getY);

    w = pixy.blocks[0].width/2;
    h = pixy.blocks[0].height/2;

    getXL = getX - w;
    getXR = getX + w;

    getYU = getY - h;
    getYD = getY + h;

    rowL = 21*getXL/PIXY_MAX_X;
    rowR = 21*getXR/PIXY_MAX_X;
    colU = 13*getYU/PIXY_MAX_Y;
    colD = 13*getYD/PIXY_MAX_Y;

    rowL = rowL + 2;
    if(rowL > 11)
    {
        rowL = rowL + 10;
    }
    rowR = rowR + 2;
    if(rowR > 11)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

        rowR = rowR + 10;
    }

    colU = colU + 32;
    colD = colD + 32;

    Serial.print(" row: "); Serial.print(rowL); Serial.print(" "); Serial.print(rowR);

    Serial.print(" col: "); Serial.print(colU); Serial.print(" "); Serial.println(colD);

    for (int PIN = rowL; PIN < rowR+1; PIN++) {
        digitalWrite(PIN,LOW);
    }
    for (int PIN = colU; PIN < colD+1; PIN++) {
        digitalWrite(PIN,HIGH);
    }
    delay(100);
}
}

```

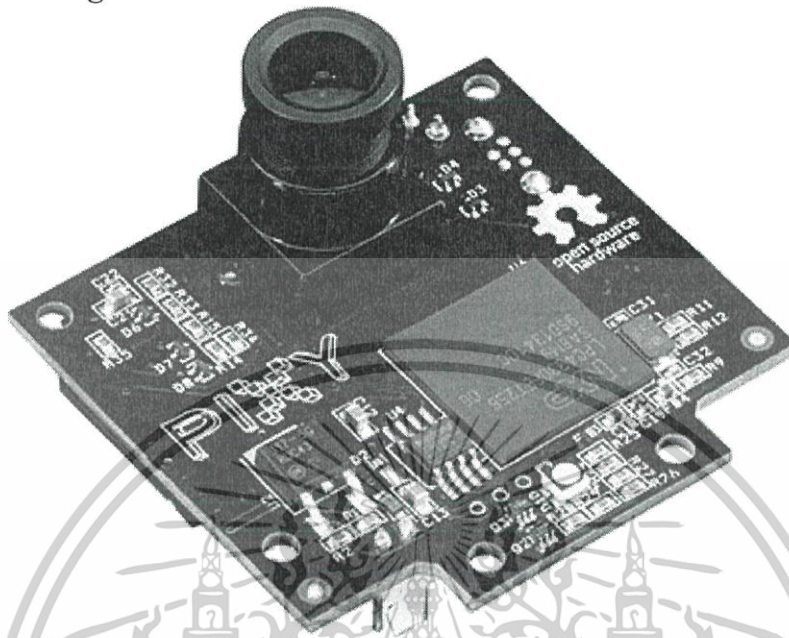
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RB-Cha-01

Pixy CMUcam5 Image Sensor



Ever wanted your microcontroller to sense images without eating up all your processor speed? Or wish that you had an image sensor that wasn't limited to RGB - but could sense hue and saturation as well? Or just want a kickstarted, open source camera sensor with a cool name? Enter the Pixy CMUCam - an image sensor for your microcontroller that you can teach what to look for.

The Pixy CMUCam 5 is an image sensor with a powerful processor that you can program to only send the information you're looking for so your microcontroller isn't overwhelmed by data. The Pixy CMUCam also exports its information in a variety of useful ways - UART serial, SPI, I2C, digital out, or analog out - so your microcontroller can communicate easily while still doing other tasks. It's so unobtrusive that you can even hook up multiple Pixy CMUCams to one microcontroller!

The Pixy CMUCam5 also uses hue and saturation as its primary means of image detection - rather than the normal RGB. This means that lighting or exposure won't affect the Pixy CMUCam's detection of an item - which is a frustrating problem with many image sensors. It's also a vast improvement over previous versions of the Pixy CMUCam, adding increased flexibility when it comes to lighting and exposure changes.

It can also remember seven different color signatures, find hundreds of objects at the same time, and is super fast - processing at 50 frames a second. Finally, the Pixy CMUCam is also teachable so you can set it up to only send you images that you've specifically told it to look for. It's easy and fast and has an open source application called PixyMon. Each Pixy CMUCam5 Sensor comes with a 6-pin-to-10-pin IDC cable and mounting tabs and screws.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

- Dimensions (no IDC cable, no screws): 50mm x 54mm x 2mm / 2" x 2.1" x 0.08"
- Height of camera: 25mm / 1"
- Front two screw holes: 19mm apart / 0.75"
- Back two screw holes: 47mm apart / 1.85"
- Weight (no IDC cable, no screws): 25.5g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



金龙机电股份有限公司
JINLONG MACHINERY & ELECTRONICS CO., LTD.
www.jinlong-machinery.com
sales@jinlong-machinery.com

产品规格书
PRODUCT SPECIFICATION

客 户 信 息	客户名称/ Buyer Name	
	客户料号/Buyer's Part No.	
	客户承认签章 /Buyer's Approval & Signatures	

金 龙 公 司	文件编号/Spec No.	KOTL-S08067	
	品名描述	扁平振动马达	
	Product Description	Coin type vibration motor	
	型号/Part No.	C0834B011F	
	送样日期/Date		
	设计/Designed by	审核/Checked by	批准/Approved by
	王宗雄/ WANG ZX	付梅章/ FU MZ	邵家声/ SHAO JS
	2008.10.16	2008.10.16	2008.10.16

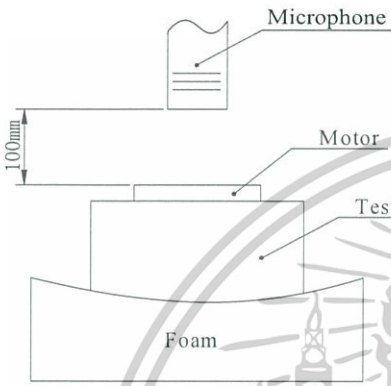
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

规格书内容/ Contents

1. 适用范围/General Scope of Application	1/8
2. 使用条件/Operating Conditions	1/8
3. 测定条件/Conditions of Measurement	1/8
4. 电气性能/Electrical Characteristics	1/8
5. 机械性能/Mechanical Characteristics	2/8
6. 耐久性能/Reliability Test	2/8
7. 要求/Requirements after Reliability Tests	4/8
8. 使用注意事项/Cautions for Use	5/8
9. 包装/Packaging Description	6/8
10.外形图/Outline Drawings	7/8
11.更改记录/Records of Revisions	8/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

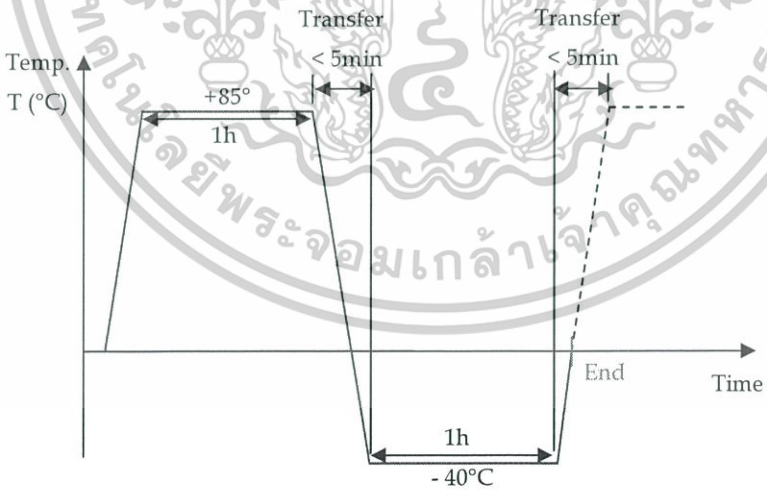
5. 机械性能/Mechanical Characteristics

项目/Item	规格/Specification
5-1	底盖偏转强度 Bracket Deflection strength 9.8N 以上 9.8N or more.
5-2	机械噪音 Mechanical noise 小于 50 分贝. A 计权 50dB (A) Max. 在额定电压下。At rated voltage. 背景噪音：不大于 28dB. A 计权. Back ground noise 28dB (A) Max. 

6. 耐久性能/ Reliability Tests

项目/Item	规格/Specification	判定标准/Judgment
6-1	寿命 Lifetime 额定电压/ Rated voltage: 3.0V DC 试验模式/ Test mode: 2s On, 2s Off, as one cycle. 循环次数/ Test cycle: 50,000 cycles 	试验后，马达应符合项 7-1 的要求。After the test, motors shall be approved as specified in item 7-1.
6-2	低温放置 Low temperature exposure 温度/Temperature: -30℃ 时间/Time: 96h	常温常湿下放置 4h 后，马达应符合项 7-2 的要求。After 4 hours exposure in ordinary temperature and humidity, motors shall be approved as specified in item 7-2.
6-3	高温放置 High temperature Exposure 温度/Temperature: +70℃ 时间/Time: 96h	常温常湿下放置 4h 后，马达应符合项 7-2 的要求。After 4 hours exposure in ordinary temperature and humidity, motors shall be approved as specified in item 7-2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2008.10.16		说明书/Specification	编号/No KOTL-S08067	3/8
项目/Item		规格/Specification	判定标准/Judgment	
6-4	湿度放置 High Humidity exposure	温度/Temperature: +40℃ 湿度/Humidity: 95%RH 放置时间/ Exposure time: 96h 无水气凝结/ No condensation of moisture	常温常湿下放置 4h 后，马达应符合项 7-2 的要求。After 4 hours exposure in ordinary temperature and humidity, Motors shall be approved as specified in item 7-2.	
6-5	振动 Vibration	全振幅/Displacement: 1.5mm (p-p) 频率/Frequency: 10~55Hz 加速度/Acceleration: 22m/s ² 周期/Period: 10 分钟范围内 (10~55~10Hz)/ 10 Minutes log sweep (10~55~10Hz) 条件/Condition: 在样机中，在 3 个垂直的轴方向每个方向做 10 分钟的测试。Samples shall be applied for a period of 10 minutes in three axial directions.	测试结果应符合项 7-2 的要求。After the test motors shall be approved as specified in item 7-2.	
6-6	自然跌落 Free fall	试验状态/Test mode: 将马达固定在约 100 克（包括马达本身）的物体上，落向水泥地面。Set the motor to a fixture of approx. 100g (include the motor) and drop it onto the concrete floor. 高度/Height: 1.5m 方向/Direction: ±x, ±y, ±z 次数/Number of times: 每个方向 3 次/ Each 3 times	测试结果应符合项 7-2 的要求。After the test motors shall be approved as specified in item 7-2.	
6-7	热冲击 Thermal shock	测试模式/ Test mode: 1 hour at +40℃, 1 hour at +85℃, as one cycle. Transfer time between extreme temperatures: <5 分/5min 循环次数/Test cycle: 15 cycles 	常温常湿下放置 4h 后，马达应符合项 7-2 的要求。After 4 hours exposure in ordinary temperature and humidity, Motors shall be approved as specified in item 7-2.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. 判定基准/ Judgments after Reliability Tests

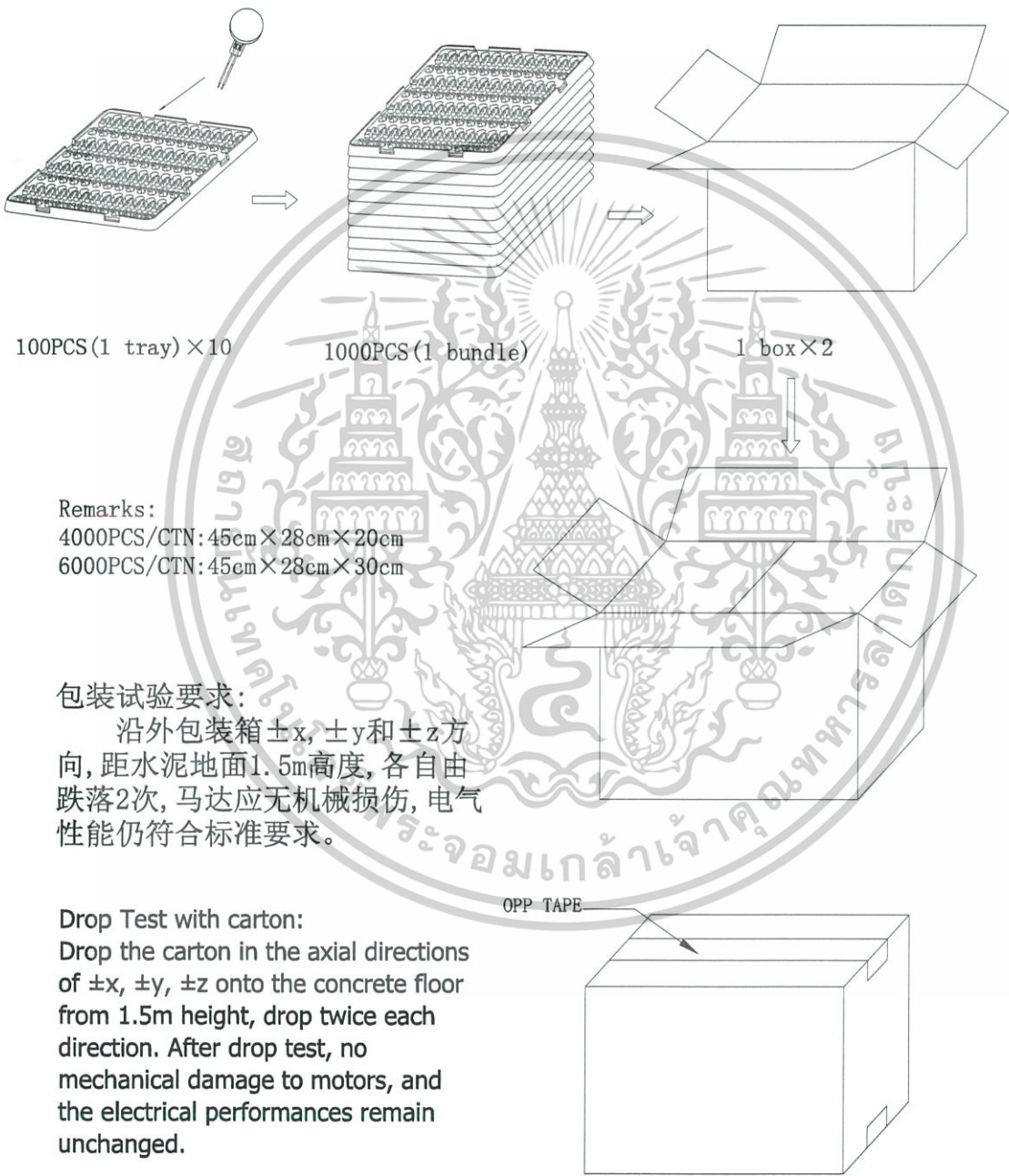
项目/Item		判定基准 / Requirements
7-1	表 A Table A	1)额定转速/Rated speed: 不低于初始值-30%; 不高于初始值+50%/ No lower than -30% of initial data; No more than +50% of initial data. 2)额定电流/Rated current: 不低于初始值-30%; 不高于初始值+50% No lower than -30% of initial data; No more than +50% of initial data. 3)端阻/Terminal resistance: 不大于初始值±15% No more than +15% of initial data; No less than -15% of initial data. 4)起动电压/Starting voltage: 不大于 2.5V 直流电压 2.5V DC Max 5)绝缘电阻/Insulation resistance: 大于 10MΩ/ 10MΩ Min
7-2	表 B Table B	1)额定转速/Rated speed: 不大于初始值±20% No more than +20% of initial data; No less than -20% of initial data. 2)额定电流/Rated current: 不大于初始值±20% No more than +20% of initial data; No less than -20% of initial data. 3)起动电压/Starting voltage: 不大于 2.5V 直流电压 2.5V DC Max 4)端阻/Terminal resistance: 不大于初始值±15% No more than +15% of initial data; No less than -15% of initial data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. 使用时注意事项/ Cautions for Use			
8-1 必须按照规格书标准使用，否则性能和寿命都将受到相当地减少，必须注意电压的使用范围。 Unless it is used in accordance with the specifications, the performance and life may be considerably reduced. Due attention should be paid to voltage and range for use.			
8-2 建议马达在六个月内使用，不要在以下环境中使用及保存： 1. 高温和高湿的场所； 2. 腐蚀性气体,如：H ₂ S、SO ₂ 、NO ₂ 、Cl ₂ ； 3. 生锈场所。 Advice uses this motor within 6 months as avoiding as possible. Avoid use or save the motor in the following environment. 1. High temperature and high humidity area 2. Corrosive gas such as H ₂ S, SO ₂ , NO ₂ , Cl ₂ . 3. Dusty area.			
8-3 注意处理马达的工作环境，避免含铁质等物体被马达吸住，否则马达将会产生噪声，性能会降低，从而减少产品可靠性。 Due attention must be paid to the handling and working environments because such objects as iron powder if attracted by the motor magnet, will cause noise, characteristic deterioration thus reducing the reliability.			
8-4 应确信本产品不会与相关标准、法律、政令相背。 Please confirm enough no problems of standards and laws and ordinances on your cellular phone.			
8-5 拿马达时，要轻拿轻放。 To handle the motor, hold the motor case softly.			
8-6 钢板面或边缘有少许锈斑是允许的。 Rust of plate (steel) and similar edge should be OK.			
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้			

9. 包装/PACKING

扁平系列马达包装
Pack drawing of coin type

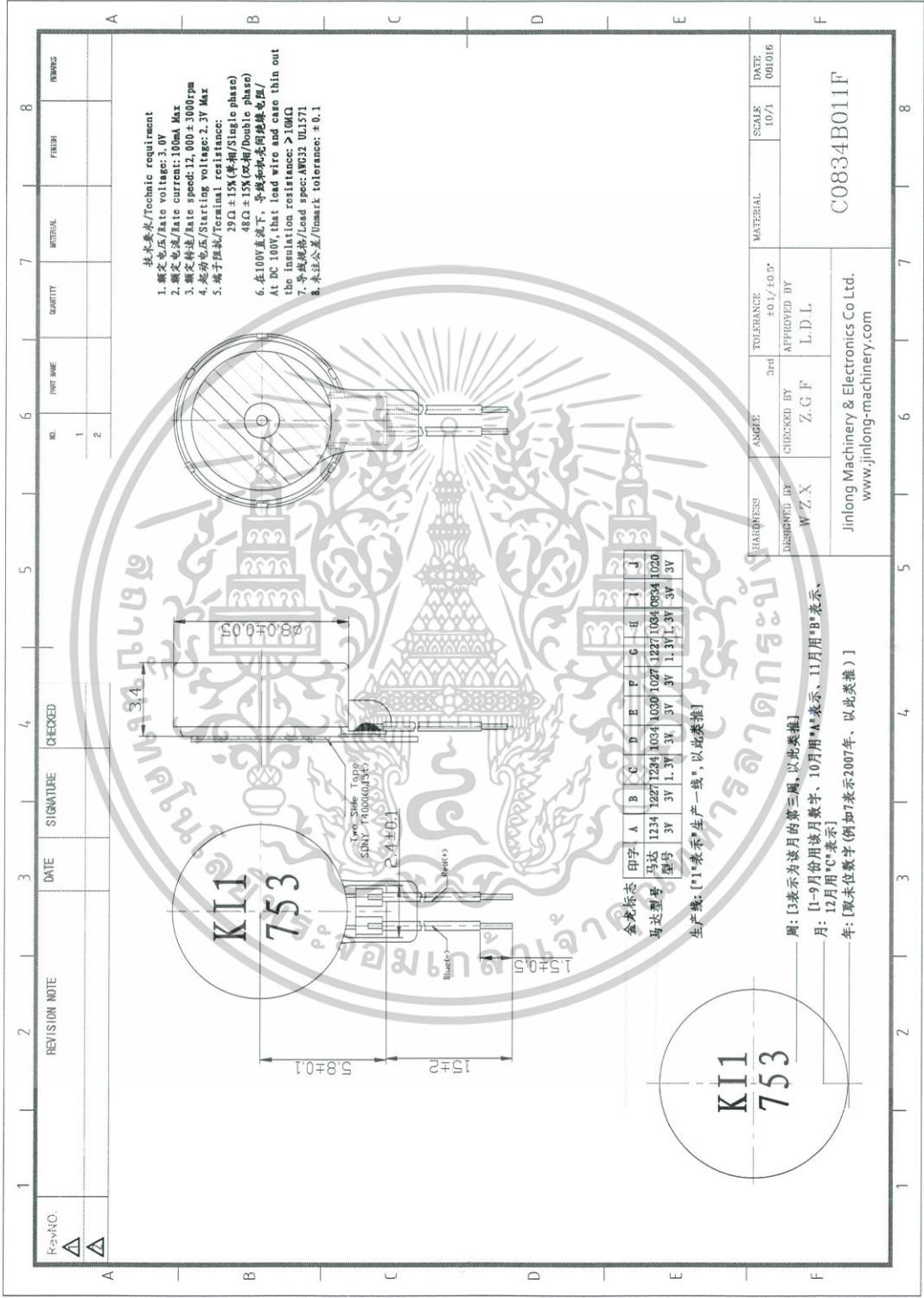


金龙机电股份有限公司
技术开发部

Design Department JinLong
Machinery & Electronics Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

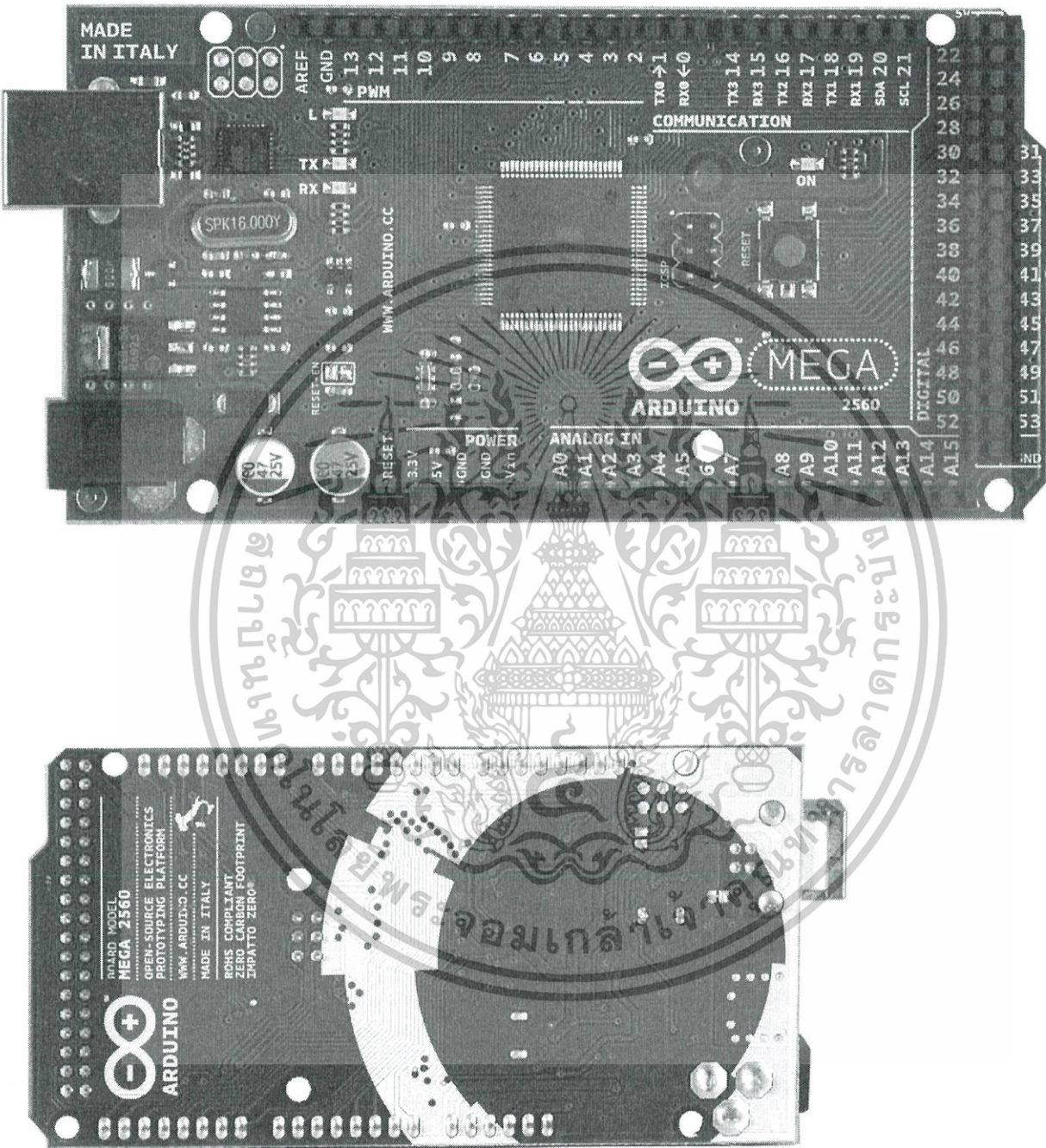
10. 外形图/ OUTLINE DRAWINGS





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Mega 2560



Overview สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ✦ **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- ✦ **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- ✦ **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- ✦ **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- ✦ **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- ✦ **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- ✦ **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- ✦ **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- ✦ **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- ✦ **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

There are a couple of other pins on the board:

✦ **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).

✦ **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial](#) library allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available in the [Arduino repository](#). The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can

have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

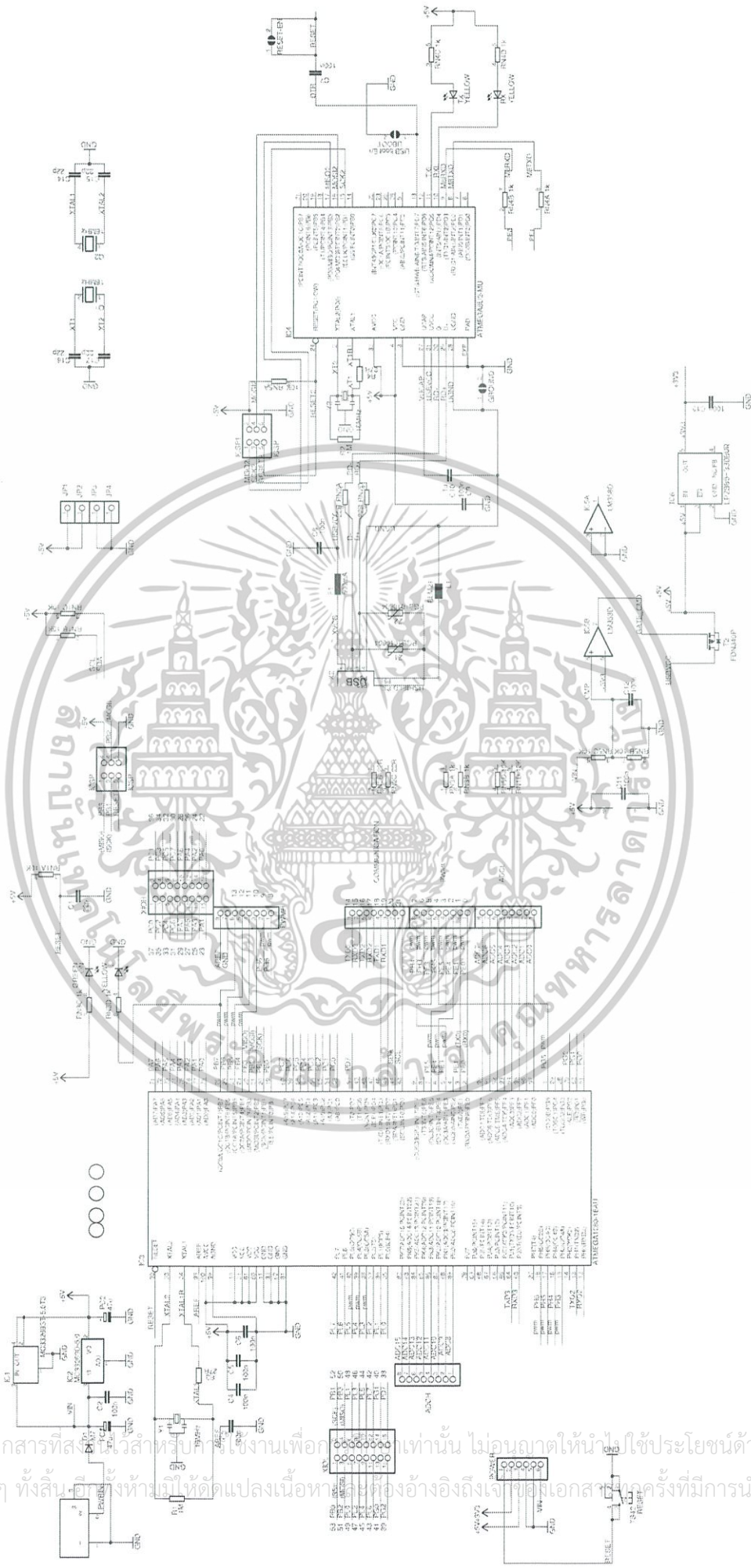
The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino™ Mega 2560 Reference Design

Intellectual Property of Arduino. All rights reserved. Arduino is a registered trademark of Arduino. All other trademarks are the property of their respective owners. This document is for informational purposes only and does not constitute a warranty. The Arduino Mega 2560 Reference Design is a reference design only and is not intended to be used as a final design. The design is subject to change without notice. The design is provided as a guide only and is not intended to be used as a final design. The design is provided as a guide only and is not intended to be used as a final design.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P2N2222A

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices*

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	V _{CEO}	40	V _{dc}
Collector – Base Voltage	V _{CBO}	75	V _{dc}
Emitter – Base Voltage	V _{EB0}	6.0	V _{dc}
Collector Current – Continuous	I _C	600	mA _{dc}
Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	P _D	625 5.0	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C	P _D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T _J , T _{stg}	–55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

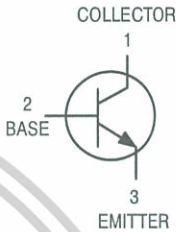
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	R _{θJA}	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	R _{θJC}	83.3	°C/W

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>



TO-92
CASE 29
STYLE 17



STRAIGHT LEAD
BULK PACK



BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK

MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
- Y = Year
- WW = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
P2N2222AG	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units/Bulk
P2N2222ARL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000/Tape & Ammo

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERM/D.

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specification Brochure, BRD8011/D.

P2N2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector – Emitter Breakdown Voltage (I _C = 10 mAdc, I _B = 0)	V _{(BR)CEO}	40	–	Vdc
Collector – Base Breakdown Voltage (I _C = 10 μAdc, I _E = 0)	V _{(BR)CBO}	75	–	Vdc
Emitter – Base Breakdown Voltage (I _E = 10 μAdc, I _C = 0)	V _{(BR)EBO}	6.0	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{CEX}	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current (V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0) (V _{CB} = 60 Vdc, I _E = 0, T _A = 150°C)	I _{CBO}	– –	0.01 10	μAdc
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 3.0 Vdc, I _C = 0)	I _{EBO}	–	10	nAdc
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 10 V)	I _{CEO}	–	10	nAdc
Base Cutoff Current (V _{CE} = 60 Vdc, V _{EB(off)} = 3.0 Vdc)	I _{BEX}	–	20	nAdc
ON CHARACTERISTICS				
DC Current Gain (I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, T _A = –55°C) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1) (I _C = 150 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (Note 1) (I _C = 500 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc) (Note 1)	h _{FE}	35 50 75 35 100 50 40	– – – – 300 – –	–
Collector – Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc) (I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	V _{CE(sat)}	– –	0.3 1.0	Vdc
Base – Emitter Saturation Voltage (Note 1) (I _C = 150 mAdc, I _B = 15 mAdc) (I _C = 500 mAdc, I _B = 50 mAdc)	V _{BE(sat)}	0.6 –	1.2 2.0	Vdc
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS				
Current – Gain – Bandwidth Product (Note 2) (I _C = 20 mAdc, V _{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	f _T	300	–	MHz
Output Capacitance (V _{CB} = 10 Vdc, I _E = 0, f = 1.0 MHz)	C _{obo}	–	8.0	pF
Input Capacitance (V _{EB} = 0.5 Vdc, I _C = 0, f = 1.0 MHz)	C _{ibo}	–	25	pF
Input Impedance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{ie}	2.0 0.25	8.0 1.25	kΩ
Voltage Feedback Ratio (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{re}	– –	8.0 4.0	× 10 ^{–4}
Small-Signal Current Gain (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{fe}	50 75	300 375	–
Output Admittance (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{oe}	5.0 25	35 200	μMhos
Collector Base Time Constant (I _E = 20 mAdc, V _{CB} = 20 Vdc, f = 31.8 MHz)	rb'C _c	–	150	ps
Noise Figure (I _C = 100 μAdc, V _{CE} = 10 Vdc, R _S = 1.0 kΩ, f = 1.0 kHz)	N _F	–	4.0	dB

1. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2.0%.

2. f_T is defined as the frequency at which |h_{fe}| extrapolates to unity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<http://onsemi.com>

2

P2N2222A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
SWITCHING CHARACTERISTICS					
Delay Time	(V _{CC} = 30 Vdc, V _{BE(off)} = -2.0 Vdc, I _C = 150 mAdc, I _{B1} = 15 mAdc) (Figure 1)	t _d	—	10	ns
Rise Time		t _r	—	25	ns
Storage Time	(V _{CC} = 30 Vdc, I _C = 150 mAdc, I _{B1} = I _{B2} = 15 mAdc) (Figure 2)	t _s	—	225	ns
Fall Time		t _f	—	60	ns

SWITCHING TIME EQUIVALENT TEST CIRCUITS

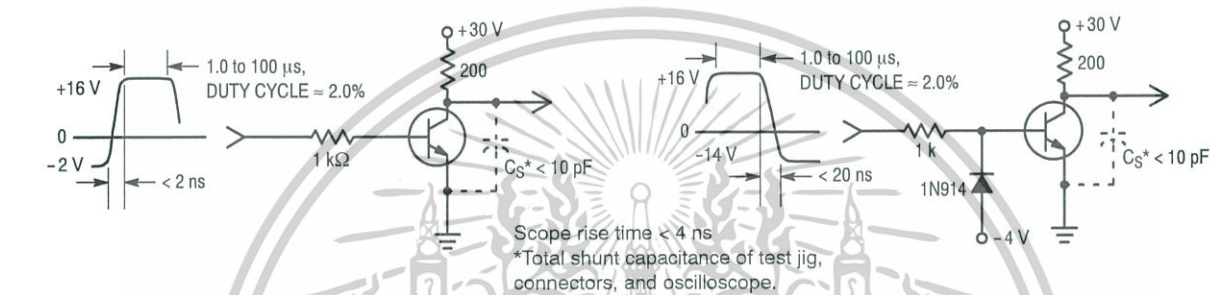


Figure 1. Turn-On Time

Figure 2. Turn-Off Time

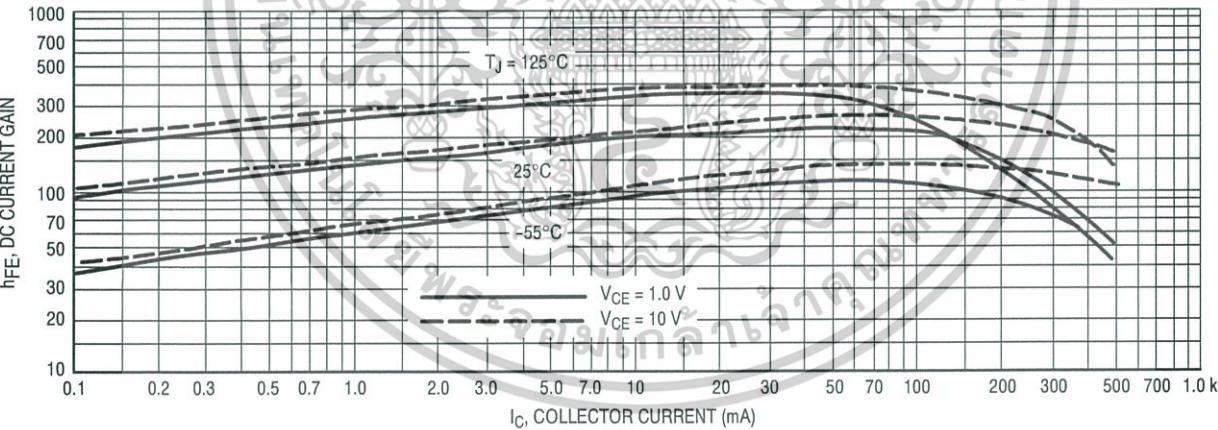


Figure 3. DC Current Gain

P2N2222A

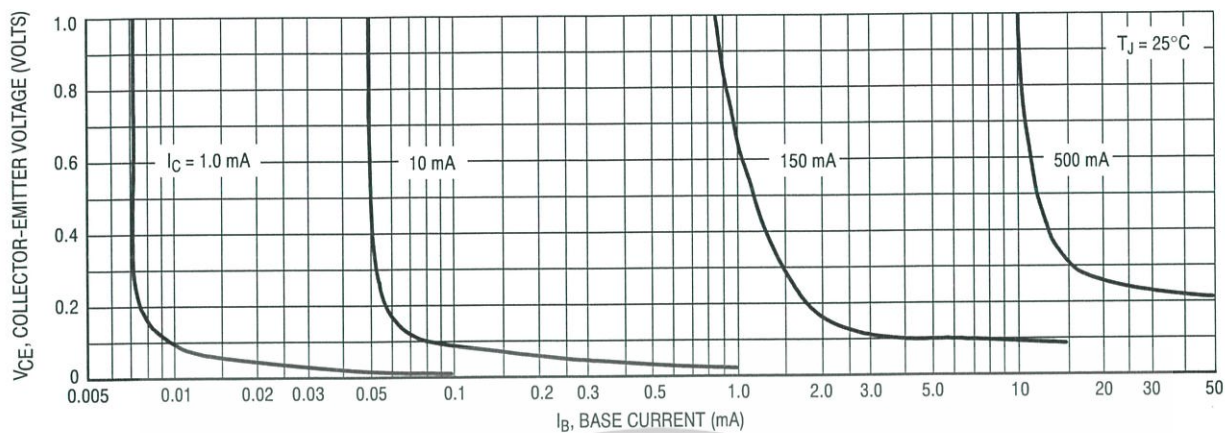


Figure 4. Collector Saturation Region

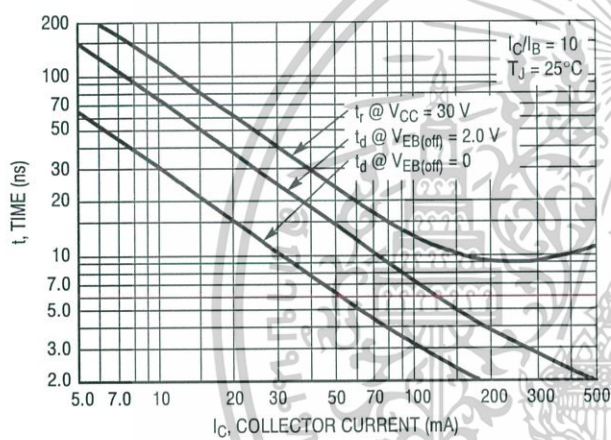


Figure 5. Turn-On Time

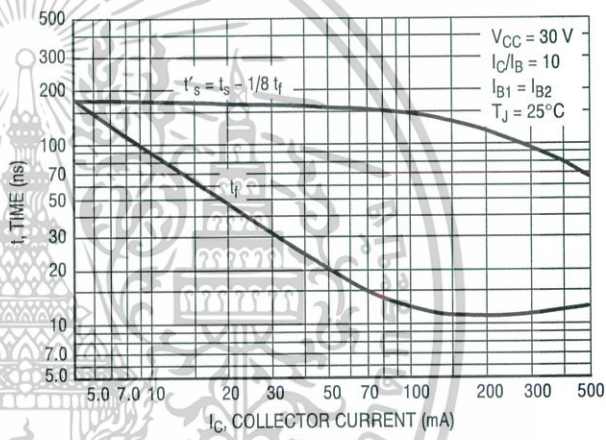


Figure 6. Turn-Off Time

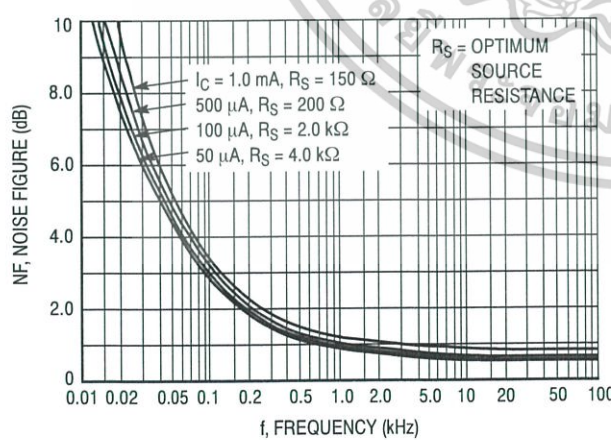


Figure 7. Frequency Effects

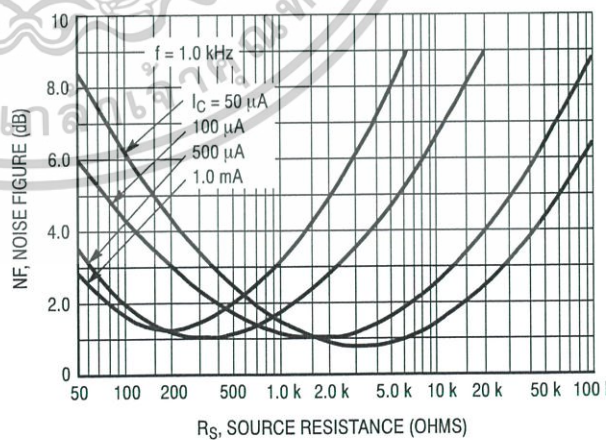


Figure 8. Source Resistance Effects

P2N2222A

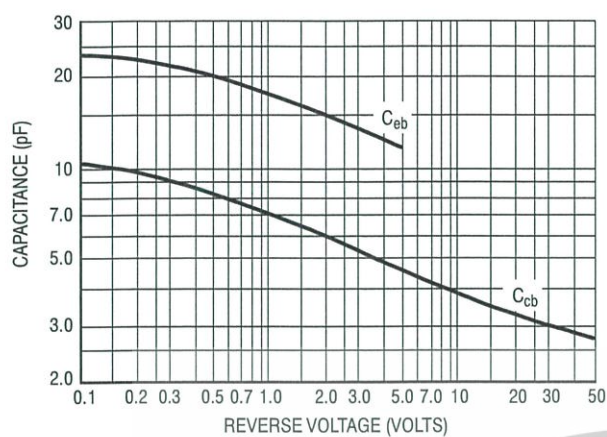


Figure 9. Capacitances

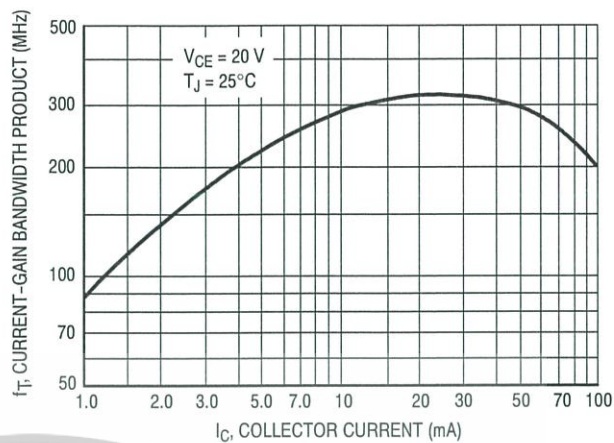


Figure 10. Current-Gain Bandwidth Product

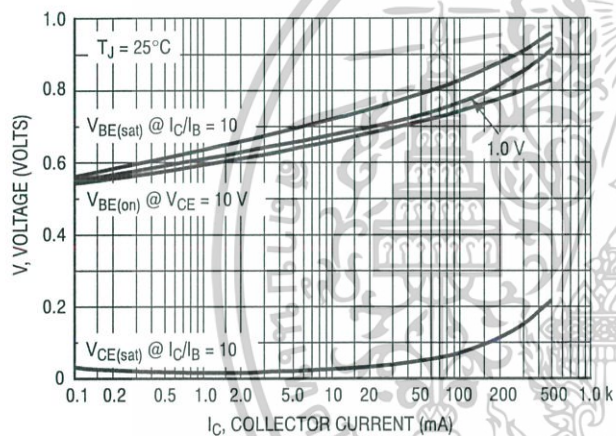


Figure 11. "On" Voltages

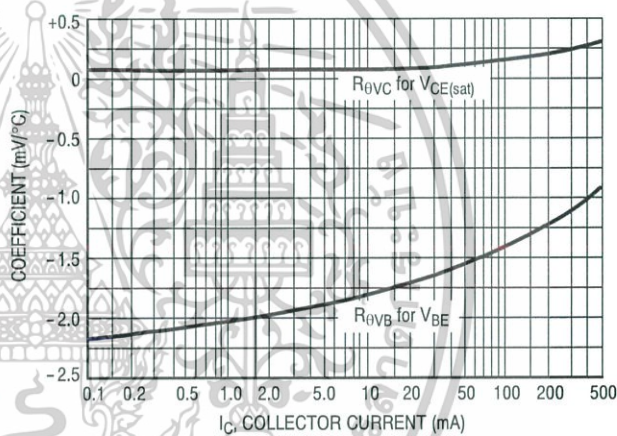
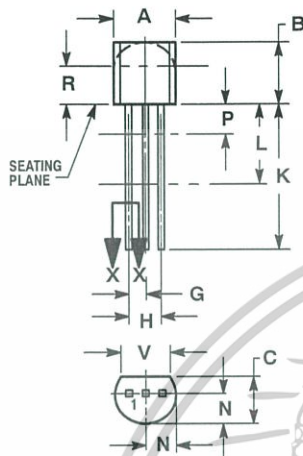


Figure 12. Temperature Coefficients

P2N2222A

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92 (TO-226)
CASE 29-11
ISSUE AM

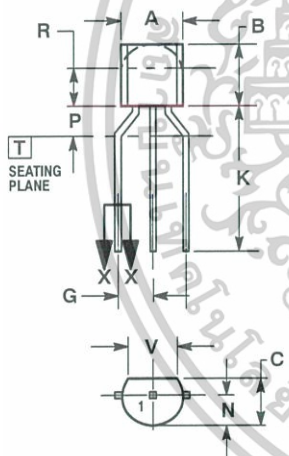


STRAIGHT LEAD
BULK PACK

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

SECTION X-X



BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK

- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	4.45	5.20
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.40	0.54
G	2.40	2.80
J	0.39	0.50
K	12.70	---
N	2.04	2.66
P	1.50	4.00
R	2.93	---
V	3.43	---

SECTION X-X

- STYLE 17:
1. COLLECTOR
 2. BASE
 3. EMITTER

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of SCILLC's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf. SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี P2N2222A/D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2N3906

General Purpose Transistors

PNP Silicon



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

Features

- Pb-Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

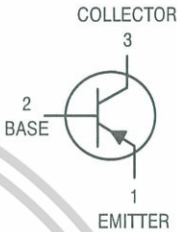
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector – Emitter Voltage	V_{CEO}	40	Vdc
Collector – Base Voltage	V_{CBO}	40	Vdc
Emitter – Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/ $^{\circ}\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 60^{\circ}\text{C}$	P_D	250	mW
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^{\circ}\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5 12	W mW/ $^{\circ}\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^{\circ}\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

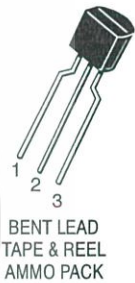
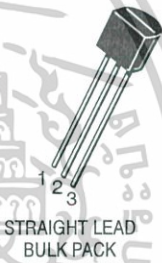
Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^{\circ}\text{C/W}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements



TO-92
CASE 29
STYLE 1



MARKING DIAGRAM



- A = Assembly Location
- L = Wafer Lot
- Y = Year
- W = Work Week
- = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2N3906

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector – Emitter Breakdown Voltage (Note 2)	(I _C = 1.0 mAdc, I _B = 0)	V _{(BR)CEO}	40	–	Vdc
Collector – Base Breakdown Voltage	(I _C = 10 µAdc, I _E = 0)	V _{(BR)CBO}	40	–	Vdc
Emitter – Base Breakdown Voltage	(I _E = 10 µAdc, I _C = 0)	V _{(BR)EBO}	5.0	–	Vdc
Base Cutoff Current	(V _{CE} = 30 Vdc, V _{EB} = 3.0 Vdc)	I _{BL}	–	50	nAdc
Collector Cutoff Current	(V _{CE} = 30 Vdc, V _{EB} = 3.0 Vdc)	I _{CEX}	–	50	nAdc

ON CHARACTERISTICS (Note 2)

DC Current Gain	(I _C = 0.1 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (I _C = 50 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc) (I _C = 100 mAdc, V _{CE} = 1.0 Vdc)	h _{FE}	60 80 100 60 30	– – 300 – –	–
Collector – Emitter Saturation Voltage	(I _C = 10 mAdc, I _B = 1.0 mAdc) (I _C = 50 mAdc, I _B = 5.0 mAdc)	V _{CE(sat)}	– –	0.25 0.4	Vdc
Base – Emitter Saturation Voltage	(I _C = 10 mAdc, I _B = 1.0 mAdc) (I _C = 50 mAdc, I _B = 5.0 mAdc)	V _{BE(sat)}	0.65 –	0.85 0.95	Vdc

SMALL – SIGNAL CHARACTERISTICS

Current – Gain – Bandwidth Product	(I _C = 10 mAdc, V _{CE} = 20 Vdc, f = 100 MHz)	f _T	250	–	MHz
Output Capacitance	(V _{CB} = 5.0 Vdc, I _E = 0, f = 1.0 MHz)	C _{obo}	–	4.5	pF
Input Capacitance	(V _{EB} = 0.5 Vdc, I _C = 0, f = 1.0 MHz)	C _{ibo}	–	10	pF
Input Impedance	(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{ie}	2.0	12	kΩ
Voltage Feedback Ratio	(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{re}	0.1	10	X 10 ^{–4}
Small – Signal Current Gain	(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{ie}	100	400	–
Output Admittance	(I _C = 1.0 mAdc, V _{CE} = 10 Vdc, f = 1.0 kHz)	h _{oe}	3.0	60	µmhos
Noise Figure	(I _C = 100 µAdc, V _{CE} = 5.0 Vdc, R _S = 1.0 kΩ, f = 1.0 kHz)	NF	–	4.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

Delay Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, V _{BE} = 0.5 Vdc, I _C = 10 mAdc, I _{B1} = 1.0 mAdc)	t _d	–	35	ns
Rise Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, V _{BE} = 0.5 Vdc, I _C = 10 mAdc, I _{B1} = 1.0 mAdc)	t _r	–	35	ns
Storage Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, I _C = 10 mAdc, I _{B1} = I _{B2} = 1.0 mAdc)	t _s	–	225	ns
Fall Time	(V _{CC} = 3.0 Vdc, I _C = 10 mAdc, I _{B1} = I _{B2} = 1.0 mAdc)	t _f	–	75	ns

2. Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 µs; Duty Cycle ≤ 2%.

2N3906

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping†
2N3906	TO-92	5000 Units / Bulk
2N3906G	TO-92 (Pb-Free)	5000 Units / Bulk
2N3906RL1	TO-92	2000 / Tape & Reel
2N3906RL1G	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3906RLRA	TO-92	2000 / Tape & Reel
2N3906RLRAG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Reel
2N3906RLRM	TO-92	2000 / Tape & Ammo Box
2N3906RLRMG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Ammo Box
2N3906RLRP	TO-92	2000 / Tape & Ammo Box
2N3906RLRPG	TO-92 (Pb-Free)	2000 / Tape & Ammo Box

†For information on tape and reel specifications, including part orientation and tape sizes, please refer to our Tape and Reel Packaging Specifications Brochure, BRD8011/D.

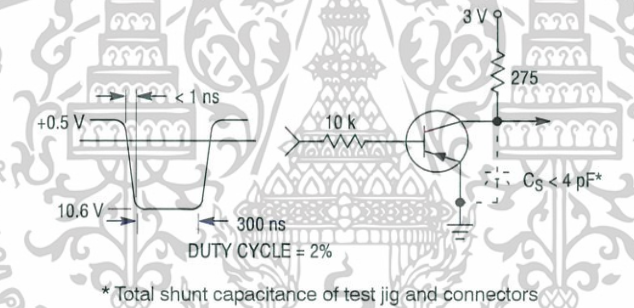
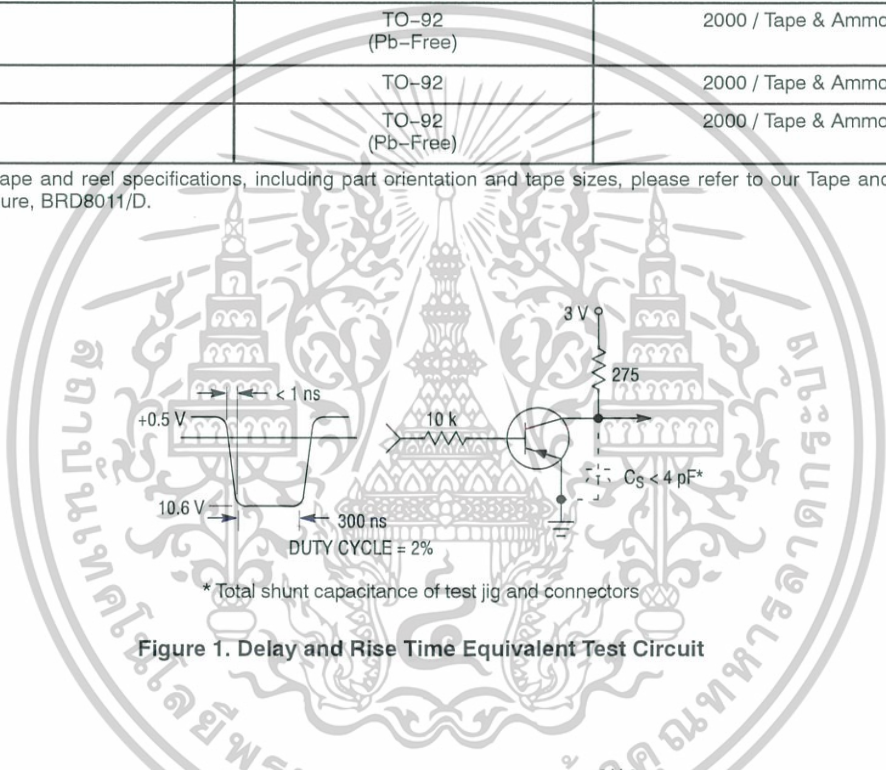


Figure 1. Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

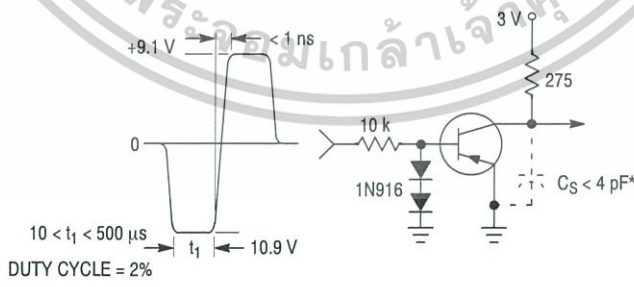


Figure 2. Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

2N3906

TYPICAL TRANSIENT CHARACTERISTICS

— $T_J = 25^\circ\text{C}$
- - $T_J = 125^\circ\text{C}$

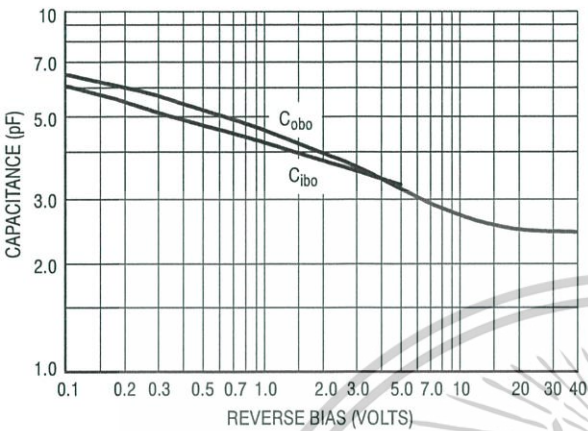


Figure 3. Capacitance

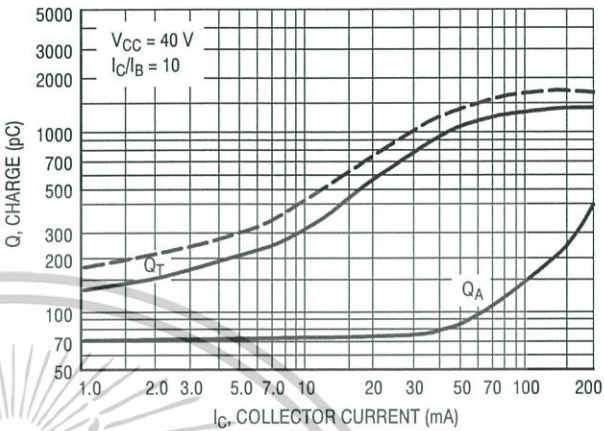


Figure 4. Charge Data

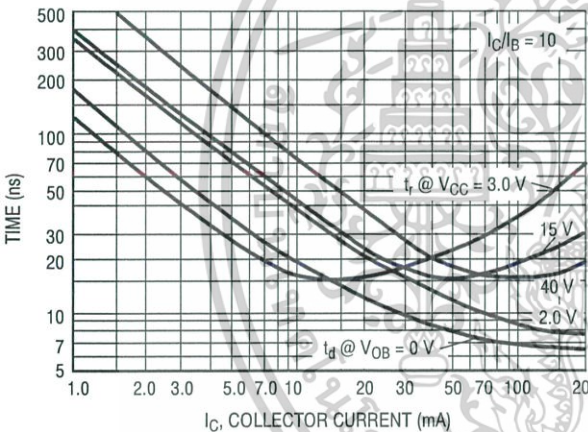


Figure 5. Turn-On Time

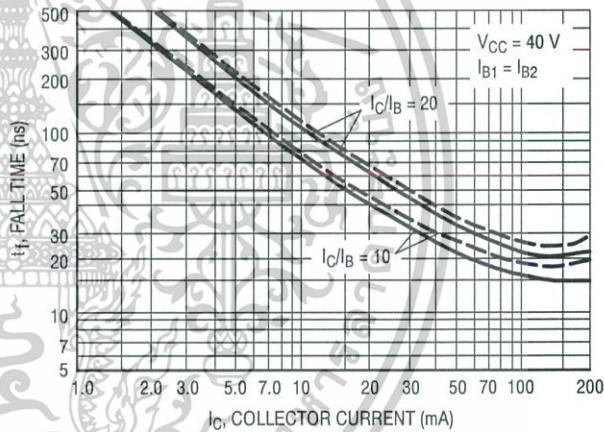


Figure 6. Fall Time

2N3906

TYPICAL AUDIO SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS
NOISE FIGURE VARIATIONS

($V_{CE} = -5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$, Bandwidth = 1.0 Hz)

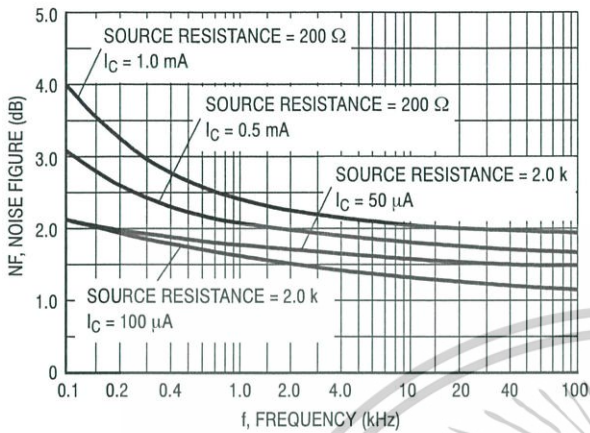


Figure 7.

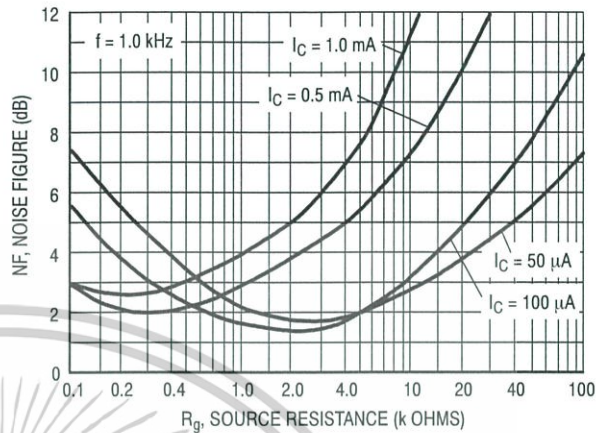


Figure 8.

h PARAMETERS

($V_{CE} = -10$ Vdc, $f = 1.0$ kHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

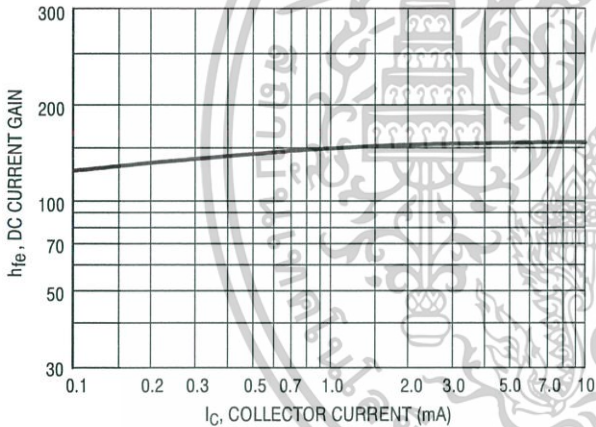


Figure 9. Current Gain

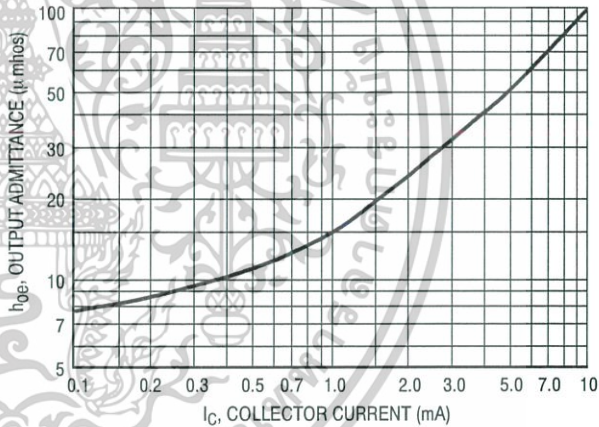


Figure 10. Output Admittance

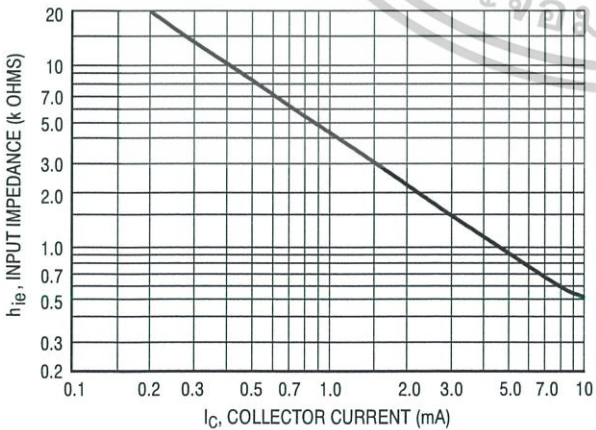


Figure 11. Input Impedance

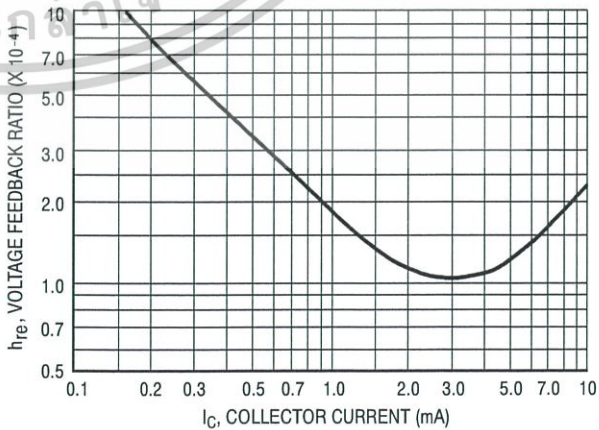


Figure 12. Voltage Feedback Ratio

2N3906

TYPICAL STATIC CHARACTERISTICS

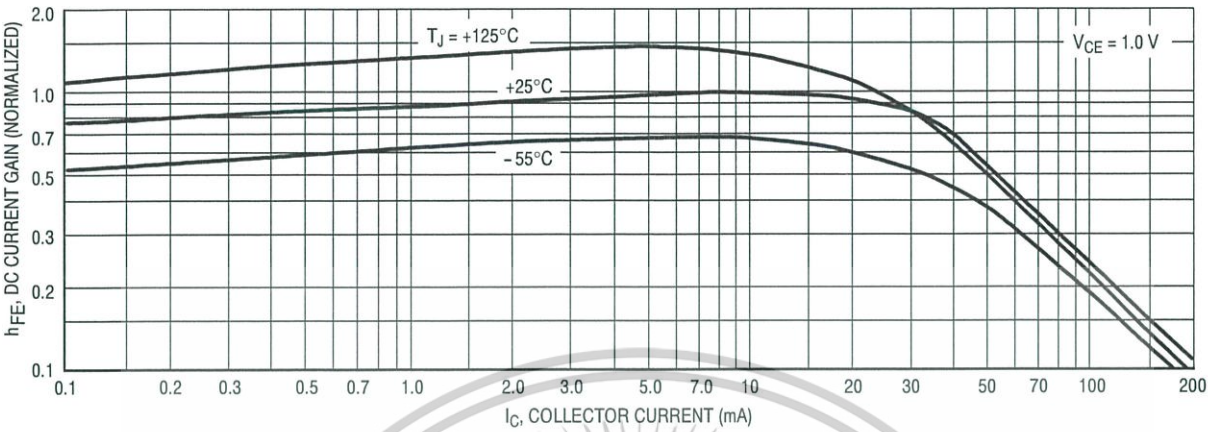


Figure 13. DC Current Gain

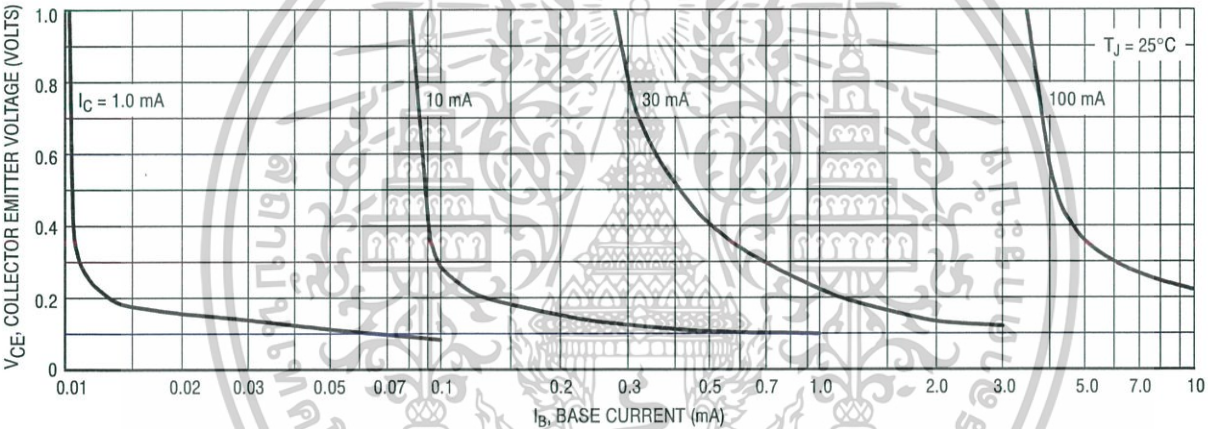


Figure 14. Collector Saturation Region

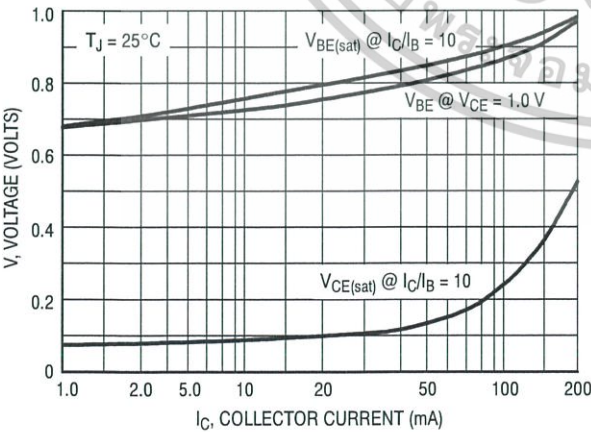


Figure 15. "ON" Voltages

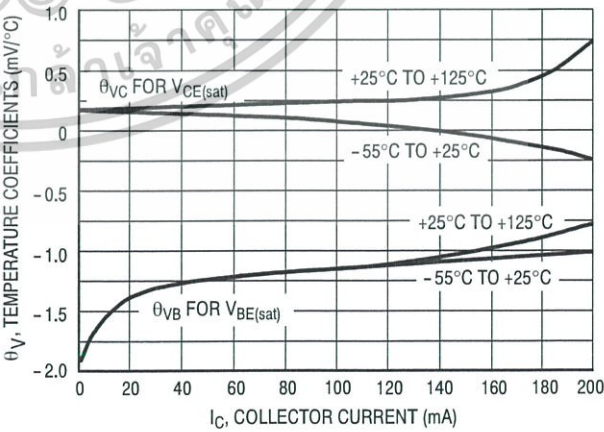
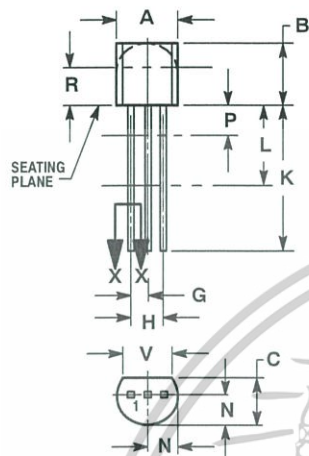


Figure 16. Temperature Coefficients

2N3906

PACKAGE DIMENSIONS

TO-92 (TO-226)
CASE 29-11
ISSUE AM



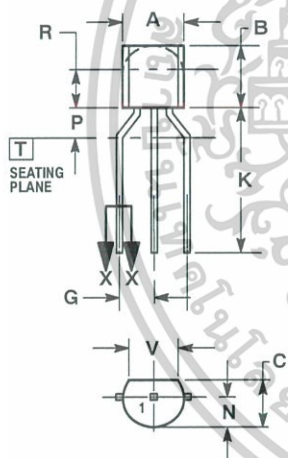
STRAIGHT LEAD
BULK PACK

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

SECTION X-X



BENT LEAD
TAPE & REEL
AMMO PACK

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETERS.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	4.45	5.20
B	4.32	5.33
C	3.18	4.19
D	0.40	0.54
G	2.40	2.80
J	0.39	0.50
K	12.70	---
N	2.04	2.66
P	1.50	4.00
R	2.93	---
V	3.43	---

SECTION X-X

STYLE 1:

- PIN 1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

ON Semiconductor and  are registered trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative.

2N3906/D