

การตรวจสอบอัตลักษณ์เชิงวัตถุโดยใช้การสื่อสารทางแสง

OBJECT ORIENTED IDENTIFICATION USING
VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-230-069

การตรวจสอบอัตลักษณ์เชิงวัตถุโดยใช้การสื่อสารทางแสง

OBJECT ORIENTED IDENTIFICATION USING
VISIBLE LIGHT COMMUNICATION



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-230-069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OBJECT ORIENTED IDENTIFICATION USING
VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

THANAVIT ANUWONGPINIT

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-EN-M-230-069

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจสอบอัตลักษณ์เชิงวัตถุโดยใช้การสื่อสารทางแสง
Thesis Title Object Oriented Identification Using Visible Light Communication
นักศึกษา นายธนวิษณุ อุนวงศ์พินิจ
รหัสประจำตัว 57601293
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. วันวิสา ชัชวงษ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-230-069

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ชวลิต	เบญจางคประเสริฐ	
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	เหล่าสกุล	
รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	
ดร.พิกุลแก้ว	ตั้งติสานนท์	
ดร.วันวิสา	ชัชวงษ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 5

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบอัตลักษณ์เชิงวัตถุโดยใช้การสื่อสารทางแสง
นักศึกษา	นายธนวิษณุ อุ่นวงศ์พิณิจ
รหัสประจำตัว	57601293
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.วันวิสา ชัชวงษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ของบีกอนแสงไฟกะพริบที่ใช้การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น โดยใช้แอลอีดีเป็นบีกอนแสงไฟกะพริบเพื่อทำการกะพริบสื่อสารด้วยโค้ดของอัตลักษณ์ที่แตกต่างกันไป ใช้เซ็นเซอร์รับภาพของกล้องเว็บแคมและสมาร์ทโฟนเป็นอุปกรณ์รับแสงทำการตรวจจับ ประมวลผลด้วยอัลกอริทึมการหาค่าขีดแบ่งเพื่อวิเคราะห์การติดดับของบีกอนไฟกะพริบในการทดลองจะทำการตรวจจับการกะพริบของบีกอนแสงไฟกะพริบเพื่อทำการจับเวลาครั้งแรกสุดที่ใช้ในการตรวจจับแสงไฟกะพริบ โดยทำการทดลองในเวลากลางวันและกลางคืนที่ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ภาคส่งและอุปกรณ์ภาครับ 1 ถึง 50 เมตร โดยประสิทธิภาพการทำงานของระบบ สามารถนำไปใช้งานเพื่อทดแทนข้อจำกัดบางอย่างของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี และคิวอาร์โค้ด และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียข้อแตกต่าง ความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้งานของเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องเว็บแคมและสมาร์ทโฟน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Object Oriented Identification Using Visible Light Communication
Student	Mr.Thanavit Anuwongpinit
Student ID.	57601293
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Dr.Vanvisa Chutchavong

ABSTRACT

This thesis proposes the ID checking system via visible light blinking beacon which is proposed by Visible Light Communication (VLC) that using light emitting diode for blinking an identifier codes and processing a light blinking beacon by thresholding algorithm. Receivers of the system for detecting beacon use an image sensors including webcam camera and smartphone camera. In experiment, ID the system can identify identity codes transmitted in 1 to 50 meters in daytime and night to find the first time processing to detect light blinking beacon. As the result, the performance of ID checking can identify objects in daytime and night. The application of interest is a using fulfill some limitations of QRCode and RFID technology and finding suitability for application of image sensors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความเมตตาและความอนุเคราะห์ของ อาจารย์ ดร.วันวิสา ชัชวรงค์ และ ผศ.บุญยชนะ ภูระหงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมถึงให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คณาจารย์ ผศ.มยุรี เลิศเวชกุล รศ.ดร.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ผศ.ดลชัย สุข เจริญผล ผศ.เตือนใจ อาชีวะพนิช และคณาจารย์สาขาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่อง

ขอขอบคุณ จิรัฐุฒิ ดำรงค์ (หิน) เพื่อร่วมรุ่นที่ได้ให้คำปรึกษา แนวคิด เพื่อมาพัฒนางานจน สำเร็จ รวมถึง นายสรายุทธ ทัททะกิตติยา (ก๊) และนายสุภฤต สุพรรณบุตร (บาส) รุ่นน้อง ITE14 ที่ให้ ความช่วยเหลือ และทดสอบงานวิจัยจนประสบผลสำเร็จ

ขอขอบคุณ ไอศูรย์ กาญจนสุรัตน์ (พี) เพื่อนประจำห้องวิจัย RLIS E12-1106 ที่คอยให้ กำลังใจ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำดี ๆ เสมอในทุกเรื่อง รวมถึง ส้ม ฝรั่ง จอม และน้อง ๆ ในห้อง วิจัย RAIL LINKs Lab E12-1216 ที่ให้กำลังใจ ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาที่ดีเช่นเดียวกัน รวมถึง เพื่อน ๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกคน ที่คอยช่วยเหลือกัน และให้กำลังใจกันมาเสมอ

ขอขอบคุณน้อง ๆ ห้อง 218 FC วร โอม ภูมิ บิล มี เบน โพน ต๊อบ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ความสุข เสียงหัวเราะ และคำปรึกษาที่ดีด้วยกันมาเสมอ

ขอขอบพระคุณมารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ สนับสนุน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับมารดา และครอบครัว ที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณต่อข้าพเจ้าทุกท่าน

ธนวิษญ์ อนุวงศ์พินิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....	I
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญรูป.....	V
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการวิจัย	3
1.5 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ต้องใช้.....	3
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	3
1.7 ส่วนประกอบการวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตน	5
2.2.1 QRCode	6
2.2.2 RFID.....	6
2.2.3 BIOMETRIC.....	7
2.2.4 NFC.....	8
2.3 แสงและแหล่งกำเนิดแสง.....	9
2.3.1 ธรรมชาติของแสง	9
2.3.2 หน่วยที่ใช้ในการวัดแสง	9
2.3.3 ความสว่าง	10
2.4 ไดโอดเปล่งแสง (LED).....	10
2.5 การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น	13
2.5.1 มาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น	15
2.5.2 แบบจำลองระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น	18e
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น	22
2.5.4 อุปกรณ์ในส่วนของภาครับของระบบสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น	23
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 Arduino.....	25
2.6.2 ข้อดีของบอร์ด Arduino.....	25
2.6.3 Arduino UNO.....	26
2.7 ทฤษฎีแบบจำลองสี	29
2.7.1 ระบบสีแบบ RGB	29
2.7.2 ระบบสีแบบ YUV	30
2.7.3 ระบบสีแบบ YIQ	30
2.7.4 ระบบสีแบบ YCbCr.....	31
2.8 โลจิกที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพ	32
2.8.1 OpenCV	32
2.8.2 EmguCV	33
2.8.3 AForge.NET.....	36
บทที่ 3 การออกแบบระบบ	37
3.1 บทนำ	37
3.2 โครงสร้างโดยภาพรวมของระบบ	37
3.3 การออกแบบในส่วนภาคส่ง	38
3.3.1 การออกแบบวงจรไฟกะพริบ	39
3.4 การออกแบบในส่วนภาครับ.....	42
3.4.1 การออกแบบอินเตอร์เฟซของโปรแกรมที่พัฒนาด้วย C#.....	42
3.4.2 การออกแบบอินเตอร์เฟซของแอปพลิเคชัน	43
3.4.3 การออกแบบฐานข้อมูล	43
3.4.4 การออกแบบโปรแกรมประมวลผลภาพและการรู้จำรูปแบบการกะพริบ.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลองในส่วนของกล้องเว็บแคม.....	47
4.1 การทดลองในส่วนของภาคส่ง	47
4.2 การทดลองในส่วนของภาครับ.....	48
4.3 การทดลองเมื่อตัวรับอยู่ห่างจากตัวส่งในระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวัน	49
4.4 การลดอัตราความผิดพลาด และการเพิ่มอัตราการตรวจจับไฟกะพริบของแสง	54
4.4.1 การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการซูมภาพ	54
4.4.2 การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการลดกรอบการประมวลผล	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 การลดความผิดพลาดโดยการลดจำนวนบิตที่ส่ง	58
4.4.4 การเพิ่มอัตราการจัดได้โดยการเพิ่มขนาดของตัวส่ง	59
4.4.5 การลดความผิดพลาดโดยใช้การตรวจสอบจากการตรวจจับสองครั้ง	60
4.5 การจัดการฐานข้อมูลของระบบ	61
4.5.1 การเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล	61
4.5.2 การลบข้อมูลในฐานข้อมูล	62
บทที่ 5 ผลการทดลองส่วนของสมาร์ทโฟน	65
5.1 การทดลองแอปพลิเคชันในส่วนของภาครับ	65
5.2 การทดลองตรวจจับในเวลากลางวันและกลางคืนที่ระยะต่าง ๆ	67
5.2.1 การทดลองตรวจจับในเวลากลางวัน	69
5.2.2 การทดลองตรวจจับในตอนกลางคืน	70
5.2.3 สรุปผลการทดลองตรวจจับไฟกะพริบ	71
5.3 การทดลองการตรวจจับไฟกะพริบโดยการลดรอบการประมวลผลภาพ	71
5.4 การทดลองเพิ่มความสว่างในส่วนภาคส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับ	73
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75
6.1 สรุปผลการวิจัย	75
6.2 ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง	78
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก. วารสารทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมทางวิชาการ	82
ประวัติผู้เขียน	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียด Arduino UNO.....	27
2.2 เปรียบเทียบการทำงานของ EmguCV ในแต่ละเวอร์ชัน	34
3.1 เพรจรูปแบบบิตของข้อมูล.....	39
3.2 ตัวอย่างข้อมูลในฐานะข้อมูลที่ใช้งาน	44
4.1 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ เวลากลางวันด้วยกล้องเว็บแคม	52
4.2 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ เวลากลางคืนด้วยกล้องเว็บแคม.....	53
4.3 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ เวลากลางวันโดยใช้เทคนิคการซูมภาพด้วยเว็บแคม..	55
4.4 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ เวลากลางคืนโดยใช้เทคนิคการซูมภาพด้วยเว็บแคม .	55
4.5 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ เวลากลางวันโดยใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผลภาพด้วยเว็บแคม	57
4.6 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผลภาพด้วยเว็บแคม.....	57
4.7 ผลการทดลองการตรวจจับในเวลากลางวันโดยลดจำนวนบิตที่ส่งเป็น 16 บิตด้วยเว็บแคม.....	58
4.8 ผลการทดลองการตรวจจับในเวลากลางคืนโดยลดจำนวนบิตที่ส่งเป็น 16 บิตด้วยเว็บแคม.....	59
4.9 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยการเพิ่มขนาดของตัวส่งโดยใช้เว็บแคม.....	59
4.10 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยการเพิ่มขนาดของตัวส่งโดยใช้เว็บแคม.....	59
5.1 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางวันโดยใช้สมาร์ทโฟน	70
5.2 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางคืนโดยใช้สมาร์ทโฟน	70
5.3 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางวันโดยลดกรอบการประมวลผลด้วยสมาร์ทโฟน	72
5.4 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางคืนโดยลดกรอบการประมวลผลด้วยสมาร์ทโฟน	72
5.5 ผลการทดลองเพิ่มความสว่างของปีคอนไฟกะพริบในเวลากลางวัน ตรวจจับด้วยสมาร์ทโฟน....	74
5.6 ผลการทดลองเพิ่มความสว่างของปีคอนไฟกะพริบในเวลากลางคืน ตรวจจับด้วยสมาร์ทโฟน ...	74
6.1 สรุปผลการทดลองการตรวจจับไฟกะพริบด้วยเว็บแคมและสมาร์ทโฟน	76
6.2 สรุปความแตกต่างระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพทั้งสองแบบ	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เทคโนโลยีการสแกน QRCode.....	6
2.2 การทำงานของระบบ RFID.....	6
2.3 เทคโนโลยีไบโอเมตริกซ์.....	7
2.4 การใช้งานเทคโนโลยี NFC.....	8
2.5 ย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมไปถึงแสง.....	9
2.6 แนวโน้มเทคโนโลยีของแอลอีดี.....	11
2.7 แอลอีดีสีต่าง ๆ.....	12
2.8 การนำแอลอีดีไปประยุกต์ใช้งาน.....	12
2.9 การสื่อสารด้วยแสงที่ทดลองโดยแกรแฮมเบล และผู้ช่วย.....	13
2.10 การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น.....	14
2.11 การแบ่ง Subcarrier Frequency ของ JEITA CP-1221.....	16
2.12 Waveform ของมาตรฐาน JEITA CP-1222.....	16
2.13 การสื่อสารของ Visible Light Beacon System.....	17
2.14 โครงสร้างของเฟรมข้อมูล CP-1223.....	18
2.15 บล็อกไดอะแกรมของระบบสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น.....	18
2.16 การจำลองการแพร่กระจายแสงจากบนผนังมายังตัวรับแสงภายในห้อง.....	19
2.17 แผนภาพทางเรขาคณิตของการแพร่ของแสง LED.....	20
2.18 การนำ VLC ไปประยุกต์ใช้งานในระดับการส่งข้อมูลระดับต่าง ๆ.....	22
2.19 การประยุกต์ใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น.....	23
2.20 อุปกรณ์ในส่วนภาครับของการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น.....	24
2.21 ข้อแตกต่างระหว่างโฟโตไดโอดและเซ็นเซอร์รับภาพ.....	24
2.22 ข้อแตกต่างความเหมาะสมการใช้งานระหว่างโฟโตไดโอดและเซ็นเซอร์รับภาพ.....	24
2.23 กระบวนการรู้จำภาพของเซ็นเซอร์รับภาพเมื่อแสง LED ผ่านเลนส์.....	25
2.24 การรับแสงของเซ็นเซอร์รับภาพเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงหลายตัว.....	25
2.25 บอร์ด Arduino แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้.....	26
2.26 บอร์ด Arduino Uno R3.....	27
2.27 ขาพอร์ต ATmega328.....	28
2.28 ระบบสีแบบ RGB.....	29
2.29 ระบบสีแบบ YUV.....	30
2.30 ระบบสีแบบ YIQ.....	31
2.31 ระบบสีแบบ YCbCr.....	31
2.32 โลโก้ OpenCV.....	32
2.33 โฟลว์ชาร์ตการทำงานโดยใช้ไลบรารีของ OpenCV.....	33
2.34 โลโก้ EmguCV.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และวางอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.35 สถาปัตยกรรมโดยรวมของ EmguCV	35
2.36 สัญลักษณ์ของ AForge.NET	36
3.1 การทำงานของระบบ	37
3.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ	37
3.3 จำลองวงจรสวิตช์เปิดปิดปีคอนไฟกะพริบและการเชื่อมต่อ	38
3.4 ปีคอนไฟกะพริบที่ได้ทำการออกแบบ	38
3.5 ตัวอย่างการกำหนดและบันทึกรหัสลงในฐานข้อมูล	39
3.6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบในส่วนของภาคส่ง	40
3.7 โพลัวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมไฟกะพริบ	41
3.8 อินเตอร์เฟสของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม C#	42
3.9 กล้องเว็บแคมรุ่น OKER 177 ที่นำไปใช้ในการตรวจจับการกะพริบของแสง	42
3.10 อินเตอร์เฟสของแอปพลิเคชัน	43
3.11 แผนภาพ ER Diagram ฐานข้อมูลของระบบตรวจสอบความเป็นอัตโนมัติ	44
3.12 โพลัวชาร์ตการทำงานของอัลกอริทึมประมวลผลภาพและรู้จำรูปแบบการกะพริบ	45
3.13 หลักการ Thresholding	46
4.1 ภาพวงจรในส่วนของภาคส่ง	47
4.2 โปรแกรม Arduino	47
4.3 อินเตอร์เฟสการทำงานของโปรแกรมตรวจสอบอัตโนมัติโดยใช้แสงที่เขียนโดย C#	48
4.4 อินเตอร์เฟสการเลือกกล้องที่จะใช้งานและแสดงผลภาพที่กล้องตรวจจับได้	48
4.5 อินเตอร์เฟสการรับข้อมูลจากการตรวจจับการกะพริบของแสง	49
4.6 อินเตอร์เฟสการตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูล	49
4.7 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 1 เมตรและ 5 เมตร ตอนกลางวัน	50
4.8 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 10 เมตรและ 20 เมตร ตอนกลางวัน	50
4.9 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 30 เมตรและ 40 เมตร ตอนกลางวัน	50
4.10 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 50 เมตร ตอนกลางวัน	51
4.11 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 1 เมตรและ 5 เมตร ตอนกลางคืน	51
4.12 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 10 เมตรและ 20 เมตร ตอนกลางคืน	51
4.13 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 30 เมตรและ 40 เมตร ตอนกลางคืน	52
4.14 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับในระยะ 50 เมตรในตอนกลางคืน	52
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับ เวลากลางวัน และกลางคืน	53
4.16 การตรวจจับเมื่อยังไม่ได้ซูมภาพ	54
4.17 การตรวจจับเมื่อทำการซูมภาพ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับ เวลากลางวัน และกลางคืน	55
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับ เวลากลางวัน และกลางคืนโดยใช้เทคนิคการซูมภาพ	55
4.20 กรอบการประมวลผลที่ขนาดต่าง ๆ	56
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับ เวลากลางวัน และกลางคืนโดยใช้เว็บแคม	57
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับ เวลากลางวันและ กลางคืนโดยใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผลด้วยเว็บแคม	58
4.23 GUI ส่วนฐานข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูลของโปรแกรม	61
4.24 GUI ส่วนการเพิ่มข้อมูล	61
4.25 GUI ส่วนการเพิ่มข้อมูลเมื่อเพิ่มข้อมูลสำเร็จ	62
4.26 GUI ส่วนการลบข้อมูล	62
4.27 GUI ส่วนการลบข้อมูลโดยเลือกข้อที่ต้องการจะลบ	63
4.28 GUI ยืนยันการลบข้อมูล	63
4.29 GUI แสดงการลบข้อมูลหายไปเรียบร้อยแล้ว	64
5.1 อินเทอร์เน็ตเมื่อกดเข้าแอปพลิเคชัน	65
5.2 อินเทอร์เน็ตขณะก่อนเข้าสู่การทำงานของกล้อง	66
5.3 การทำงานของแอปพลิเคชันในขณะประมวลผล	66
5.4 อินเทอร์เน็ตข้อมูลที่มีอยู่ภายในฐานข้อมูล	67
5.5 สมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 5 เมตร	67
5.6 สมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 10 เมตร	68
5.7 ตัวอย่างการทดลองเมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 10 เมตร	68
5.8 ตัวอย่างการทดลองเมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 15 เมตร	69
5.9 การทดลองตรวจจับไฟกะพริบในกลางวันระยะ 1-50 เมตร ด้วยสมาร์ทโฟน	69
5.10 การทดลองตรวจจับไฟกะพริบในเวลากลางคืนระยะ 1-50 เมตรด้วยสมาร์ทโฟน	70
5.11 การเปรียบเทียบเวลากับระยะทางในเวลากลางวันและกลางคืน ตรวจจับโดยใช้สมาร์ทโฟน ...	71
5.12 พื้นที่ลดกรอบการประมวลผลที่ใช้ทดลองขนาด 1:9 ของหน้าจอสมาร์ทโฟน	72
5.13 สถานที่ทำการทดลอง และการติดตั้งปีคอนไฟกะพริบเพิ่มในเวลากลางวันและกลางคืน	73
5.14 ภาคส่งที่เพิ่มความสว่างของปีคอน โดยเพิ่มจำนวน LED	73

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ไดโอดเปล่งแสง	LED
การแผ่ความเข้มแสงแบบแลมเบิร์ตเซียน (Lambertian Radiant Intensity)	$R_o(\theta)$
กำลังงานที่แผ่กระจายของแสง LED	P_{LED}
มุมที่แสงแผ่ออกมาจากตัวส่ง (Irradiance Angle)	θ
มุมที่แสงตกกระทบกับอุปกรณ์รับแสง (Incidence Angle)	ψ
ความเข้มแสงที่ส่งมาจากตัวส่งที่มุมที่แสงแผ่ออกมาจากตัวส่ง	$R_o(\theta)$
พื้นที่ของตัวตรวจจับแสง LED	A_{rx}
มุมทั้งหมดที่แสงอุปกรณ์รับแสงสามารถรับแสงได้	ψ_c
กำลังงานที่อุปกรณ์ภาครับรับได้จากช่องสัญญาณแบบแผ่กระจาย	P_{diff}
สัมประสิทธิ์การเพิ่มของหัวเลนส์	$g(\psi)$
สัมประสิทธิ์ตัวส่งผ่านของตัวกรอง	$T_f(\psi)$
ความไวของการตอบสนองของโฟโตไดโอด	R
อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	SNR
ความเข้มของแสง LED	I
สัญญาณรบกวนทั้งหมด	σ_{total}^2
ความแปรปรวนสัญญาณรบกวนแบบสั้น	σ_{shot}^2
แบนด์วิธของสัญญาณรบกวน	B_n
อัตราการขยายแบนด์วิธ	B_a
อัตราการส่งข้อมูล	R_b
ตัวคูณแบนด์วิธสัญญาณรบกวน	I_b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ประจุไฟฟ้า	q
กระแสเอาต์พุต	i
ตัวขยายความแปรปรวนสัญญาณรบกวน	$\sigma^2_{\text{amplifier}}$
กำลังงานของสัญญาณรบกวนที่เป็นแสงอยู่รอบ ๆ	P_n
ความยาวคลื่น	λ
ความถี่	f
ความเร็ว	v
ค่าความสว่างของภาพในอาร์เรย์	Y_i
จำนวนเฟรมภาพสูงสุดที่เก็บภายในอาร์เรย์ได้	fp
เมกะเฮิรตซ์	MHz
กิโลเฮิรตซ์	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตนเพื่อระบุหรือยืนยันตัวตนของข้อมูลหรือสิ่งต่าง ๆ ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบสั่งการได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) ระบบการสแกน QRCode (Quick-Response Code) หรือเทคโนโลยีการระบุตัวตนอื่น ๆ เช่น Biometric Identification เป็นต้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีที่ได้กล่าวมานั้น ได้มีรูปแบบในการใช้งาน ความเหมาะสมในการใช้งาน ข้อดีข้อเสียข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป เทคโนโลยี QRCode ซึ่งเป็นบาร์โค้ดสองมิติ ที่มุ่งเน้นให้สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว สามารถใช้งานได้ง่าย เนื่องจากมุ่งเน้นให้ใช้กับสมาร์ทโฟน และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่หลายประการ เช่น สามารถตรวจจับได้เพียงระยะใกล้ มองเห็นลำบากหากต้องใช้งานตรวจสอบในตอนกลางคืน ส่วนเทคโนโลยี RFID เป็นการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งจะมีข้อจำกัดเป็นอย่างมาก อาทิเช่น มีความปลอดภัยต่ำ มีสัญญาณรบกวนสูง มีแบนด์วิดท์ที่แคบ และมีข้อกำหนดการใช้งานที่มากมาย ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ในบางสถานที่ เช่น ในโรงพยาบาล บนเครื่องบิน หรือสถานที่ที่ห้ามใช้คลื่นวิทยุ เป็นต้น และทั้งนี้เทคโนโลยีทั้งสองที่กล่าวมานั้นยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายประการ

หลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) เป็นเทคโนโลยีด้านแสงสว่างที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานทดแทนหลอดไส้ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดย LED เป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าเนื่องจาก LED มีการใช้พลังงานต่ำ มีความทนทานสูง ทำให้ LED มีอายุการใช้งานยาวนาน และยังสามารถที่จะผสมผสานข้อมูลเพื่อที่จะส่งข้อมูลหรือสื่อสารได้

การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น (VLC : Visible Light Communication) [11] เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ใช้แสงที่ตามองเห็นในการส่งข้อมูล ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ 1) มีแบนด์วิดท์ที่กว้างซึ่งอยู่ในช่วงของสเปกตรัมที่พร้อมใช้งานไม่ติดกฏข้อบังคับใด ๆ 2) มีความปลอดภัยของข้อมูลเนื่องจากส่องสว่างเป็นแบบ Line-of-Sight ไม่สามารถทะลุกำแพง หรือดักจับข้อมูลได้โดยง่าย 3) แสงไฟจาก LED ไม่ทำอันตรายใด ๆ ต่อร่างกายและสายตาของมนุษย์ หากจำกัดกำลังของแสงให้เหมาะสมด้วยข้อดีที่กล่าวมานี้ทำให้การใช้งาน VLC เป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้งานเพื่อทดแทนข้อจำกัดของ QRCode และ RFID ได้ เป็นเทคโนโลยีแห่งอนาคตมีแนวโน้มว่าจะเป็นที่นิยมใช้งานมากขึ้นในอนาคต

ในงานวิจัยที่ผ่านมา การใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนั้น จะใช้ภาครับเป็นสองรูปแบบ ได้แก่ โฟโตไดโอด (Photodiode) และ เซ็นเซอร์รับภาพ (Image Sensor) ในการใช้งานโฟโตไดโอดนั้นมีข้อดีคือมีราคาถูก มีแบนด์วิดท์สูง แต่มีความทนทานต่ำ และมีความยุ่งยากในการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนของภาครับ สามารถรับส่งได้เพียงระยะใกล้ ดังนั้นเพื่อจะแก้ปัญหาดังกล่าวที่ว่า ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เซ็นเซอร์รับภาพเป็นอุปกรณ์ในส่วนของภาครับ ถึงแม้ว่าในอดีตเซ็นเซอร์รับภาพจะมีราคาแพง แต่ในปัจจุบันนั้นจะเห็นได้ว่าในสมาร์ทโฟนที่ทุกคนใช้งานนั้น ก็มีเซ็นเซอร์รับภาพหรือ

กล้องถ่ายภาพติดอยู่ที่สมาร์ตโฟนทุกรุ่น มีราคาถูกลงอย่างมาก แต่ยังมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี สามารถรับสัญญาณแสงได้ทีละหลายสัญญาณ รับส่งได้ในระยะที่ไกลกว่าไฟโตไดโอด แต่อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์รับภาพนั้นยังแบ่งออกเป็นอุปกรณ์ได้หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นกล้องความเร็วสูง กล้องใช้งานทั่วไป กล้องเว็บแคม กล้องสมาร์ตโฟน ฯลฯ ซึ่งมีประสิทธิภาพและฟังก์ชันในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาใช้งานเป็นอุปกรณ์ในส่วนของภาครับของการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ของแสงไฟกะพริบซึ่งจะใช้ LED ปีกอนในการสื่อสารทางเดียวไปยังภาครับที่ใช้เซ็นเซอร์รับภาพของกล้องเว็บแคม และกล้องจากสมาร์ตโฟน ในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันกล้องทั้งสองนั้นจะมีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างการประยุกต์ใช้งานของกล้องทั้งสองชนิด เนื่องจากเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อีกหลากหลาย เช่น การตรวจสอบข้อมูลสินค้าในการขนส่งจากระยะไกล ใช้ในการนำทางบอกตำแหน่งหรือเส้นทางการเดินทางซึ่งในเวลากลางคืนหรือในที่ที่แสงสว่างน้อยทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเดินทาง ตรวจสอบข้อมูลของบุคคลหรือวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่เป็นอัตลักษณ์เพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ หรือแม้แต่การนำไปใช้งานในพิพิธภัณฑ์ หรือในเชิงพาณิชย์ ในอนาคตอาจจะสามารถนำสมาร์ตโฟนแล้วเปิดแอปพลิเคชันแล้วตรวจสอบหันไปยังป้ายโฆษณาสินค้าที่มีไฟอยู่ ก็จะปรากฏข้อมูลสินค้าหรือนำทางไปยังเว็บไซต์ของสินค้านั้นได้อย่างอัตโนมัติ เทคโนโลยีการตรวจสอบอัตลักษณ์ของข้อมูลด้วยแสงนี้จึงน่าสนใจที่จะศึกษา เพราะเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ และมีแนวโน้มเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจและได้รับความนิยมในอนาคต ทั้งนี้การประยุกต์ใช้งานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งจะศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิจัยและพัฒนาระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตน โดยใช้แสงไฟกะพริบจากหลอด LED ที่ตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์รับภาพ เพื่อใช้งานในการทดแทนข้อจำกัดบางอย่างของเทคโนโลยีในการตรวจสอบอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตนที่ผ่านมา เช่น เทคโนโลยี QRCode RFID เป็นต้น โดยจะทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบการใช้เซ็นเซอร์รับภาพที่แตกต่างกันไป เช่น กล้องเว็บแคม กล้องจากสมาร์ตโฟนเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งาน และความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาและค้นคว้าระบบตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้แสงไฟกะพริบที่ได้มีการตรวจสอบแล้ว
- 1.3.2 พัฒนาด้านแบบระบบตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้แสงกะพริบที่ได้มีการนำเสนอแล้ว ทดสอบและประเมินความสามารถ
- 1.3.3 คิดค้น พัฒนา หรือปรับปรุงเทคนิคต่างๆ ที่มีการใช้ในระบบตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ทดสอบเทคนิคที่ได้คิดค้น พัฒนา หรือปรับปรุงให้มีความสามารถที่ดีขึ้น

1.4 วิธีการวิจัย

- 1.4.1 ค้นคว้า วิจัย ศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น
- 1.4.2 ค้นคว้า วิจัย ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เซ็นเซอร์รับภาพตรวจจับการกะพริบของแสงไฟ
- 1.4.3 ค้นคว้า วิจัย ศึกษา และทดลองพัฒนาโปรแกรม และแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน
- 1.4.4 ออกแบบภาพรวมของระบบและสถาปัตยกรรม
- 1.4.5 พัฒนาค้นแบบระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ของแสงไฟกะพริบที่ได้ทำการออกแบบไว้
- 1.4.6 ทดสอบปรับปรุง และประเมินความสามารถของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น
- 1.4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- 1.5.1 ฮาร์ดแวร์
 - เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมและแสดงข้อมูล จำนวน 1 เครื่อง
 - เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเป็นเซิร์ฟเวอร์ระบบฐานข้อมูล จำนวน 1 เครื่อง
 - บอร์ด Arduino สำหรับควบคุมการกะพริบของแสง จำนวน 1 ชุด
 - LED สำหรับใช้เป็นต้นแบบในการกะพริบของแสง จำนวน 1 ชุด
 - กล้องสำหรับตรวจสอบจากกะพริบของแสง จำนวน 1 เครื่อง
 - สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่มีกล้องถ่ายภาพ จำนวน 1 เครื่อง
- 1.5.2 ซอฟต์แวร์
 - OpenCV, EmguCV และ Aforge.net เป็นไลบรารีที่ใช้ในการพัฒนาการประมวลผลภาพ
 - Visual Studio เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษา C หรือ C# ในการเขียนโปรแกรม
 - Eclipse, Android Studio สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันแอนดรอยด์
 - MySQL สำหรับสร้างและจัดการฐานข้อมูลจัดการฐานข้อมูล

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

สามารถใช้เซ็นเซอร์รับภาพตรวจสอบอัตลักษณ์หรือยืนยันตัวตนของปีคอนแสงไฟกะพริบได้จริง เพื่อนำไปใช้งานทดแทนข้อจำกัดบางอย่างของเทคโนโลยี QRCode และ RFID ได้ หรือเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการที่จะใช้ระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือยืนยันตัวตนได้นอกเหนือจากระบบที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

1.7 ส่วนประกอบของการวิจัย

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย 6 บท ได้แก่

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การออกแบบระบบ

บทที่ 4 ผลการทดลอง ส่วนของเว็บแคม

บทที่ 5 ผลการทดลอง ส่วนของสมาร์ทโฟน

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในระบบการตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์นั้น ปัจจุบันมีเทคโนโลยีหลากหลายที่นำมาใช้ในงานวิจัยระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ด้วยแสงนี้ จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ระบบเพื่อการยืนยันตัวตนหรือตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ โดยใช้การกะพริบของแสงเป็นข้อมูลแล้วใช้การประมวลผลภาพตรวจจับรูปแบบการกะพริบนั้น เพื่อตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ของข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะประกอบด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น ทฤษฎีของแสงและระบบสี ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

2.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตน

เทคโนโลยีสำหรับระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือระบบยืนยันตัวตนในปัจจุบัน ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งการใช้ในชีวิตประจำวัน การโฆษณา การระบุตัวตนในการเข้าออกประตูในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น QRCode, RFID, Biometric และ NFC เป็นต้น

2.2.1 QRCode

QRCode คือ บาร์โค้ดสองมิติชนิดหนึ่ง (Two-dimensional Bar Code) ที่ประกอบด้วยโมดูลสีดำเรียงตัวกัน มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม มีพื้นหลังสีขาว ที่สามารถอ่านได้ด้วยเครื่องสแกน QRCode และสมาร์ทโฟน เพื่อถอดข้อมูลในรูปแบบของข้อความ

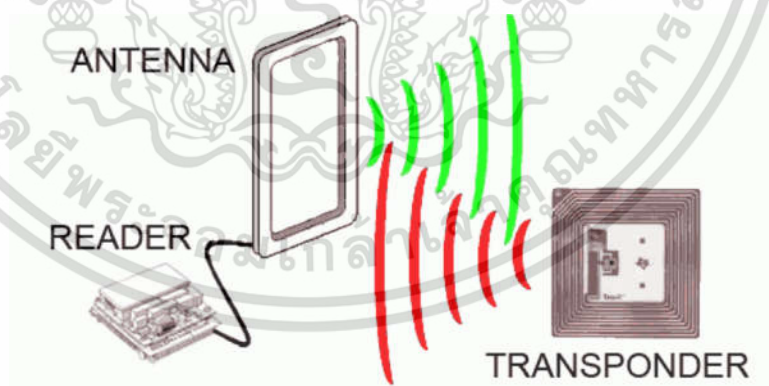
จำนวนข้อมูลที่สามารถบรรจุได้ใน QRCode นั้น จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล เวอร์ชัน (1-40 โดยแสดงถึงมิติทั้งหมดของสัญลักษณ์) และระดับการตรวจสอบความผิดพลาด (Error Correction Level) ระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ด้วย QRCode มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูก ติดตั้งง่าย ไม่ต้องใช้พลังงาน และผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่าย หลักการคือการเก็บข้อมูลที่ต้องการให้เข้าถึงได้ใน QRCode เช่น ข้อมูลเว็บไซต์ ข้อมูลตำแหน่ง ข้อมูลชื่อสินค้า เป็นต้น แต่ QRCode ยังมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านของสภาพแวดล้อม หากทำการตรวจจับในบริเวณแสงสว่างน้อยหรือในบริเวณที่มีมืด อาจทำให้มีความผิดพลาดได้ และสามารถตรวจสอบได้เพียงระยะทางสั้น ๆ ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของตัวแท็กด้วย เทคโนโลยี QRCode นี้จะแสดงการทำงานดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เทคโนโลยีการสแกน QRCode

2.2.2 RFID

เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านสัญญาณและบันทึกข้อมูลอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) และแท็กอาร์เอฟไอดี (RFID Tag) ผ่านทางคลื่นวิทยุในความถี่ต่ำ (Low Frequency) และความถี่สูง (High Frequency) โดยแท็กอาร์เอฟไอดีส่วนใหญ่จะติดไว้ที่วัตถุ เพื่อจุดประสงค์หลักในการระบุตัวตนและการติดตาม เทคโนโลยี RFID จะแบ่งเป็นสองประเภทได้ Passive RFID และ Active RFID ซึ่ง Passive RFID จะมีน้ำหนักเบากว่า Active RFID มีอายุการใช้งานไม่จำกัด และราคาถูกกว่า แต่มีข้อเสียคือระยะการรับข้อมูลอยู่เพียงระยะใกล้และต้องมีความไวสูง ภาพรวมการทำงานของ RFID จะแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบ RFID

ในปัจจุบันเทคโนโลยี RFID มีการใช้งานแพร่หลายมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูกและใช้งานง่าย แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่บางประการ เนื่องจากเป็นคลื่นวิทยุ จึงมีข้อจำกัดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของนิ้วมือ (Finger Geometry) ลักษณะใบหู (Ear Shape) Iris และ Retina ภายในดวงตา กลิ่น (Human Scent)

2. ลักษณะทางพฤติกรรม (Behavioural Biometrics) ได้แก่ การพิมพ์ (Keystroke Dynamics) การเดิน (Gait Recognition) เสียง (Voice Recognition) การเซ็นชื่อ (Signature)

อย่างไรก็ตาม Biometric ก็มีข้อเสียและข้อจำกัดในการทำงานบางอย่าง เช่น ไม่สามารถใช้งานได้หากไม่มีอุปกรณ์เฉพาะทาง เนื่องจากข้อวิริยะของร่างกายเป็นรหัสผ่าน จึงมีโอกาสโดนทำร้ายร่างกายได้ง่าย

2.2.4 NFC

NFC [17] เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายระยะสั้นแบบสองทิศทาง บนพื้นฐานของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี สามารถสื่อสารได้ระหว่างอุปกรณ์สองชนิด ในระยะไม่เกิน 10 เซนติเมตร ใช้สัญญาณความถี่ที่ 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ด้วยแบนด์วิดท์ ใช้งานไม่เกิน 425 kbit/s

เทคโนโลยี NFC สามารถทำงานได้ในสามลักษณะ คือ โหมดจำลองตัวเองเป็นแท็ก (Card Simulation) โหมดการอ่านเขียน (Reader/Writer) และโหมดการสื่อสารแบบ Peer-to-Peer ซึ่งการสื่อสารจะเกิดขึ้นระหว่างสมาร์ทโฟนกับเครื่องอ่านเอ็นเอฟซี หรือแท็กเอ็นเอฟซี หรือสมาร์ทโฟนได้ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างการใช้งาน NFC แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การใช้งานเทคโนโลยี NFC

ระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ ด้วยเทคโนโลยี NFC ได้ถูกนำเสนอขึ้นโดยใช้เป็นระบบระบุตำแหน่งแผนที่ภายในอาคารโดย Ozdenizci แต่อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีข้อจำกัดคือการสื่อสารในระยะที่สั้นเท่านั้น และเป็นคลื่นวิทยุอีกด้วย

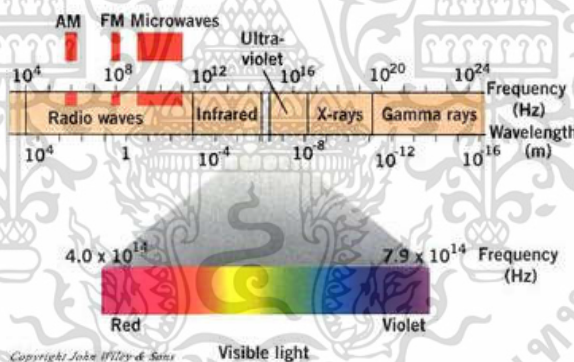
2.3 แสงและแหล่งกำเนิดแสง

2.3.1 ธรรมชาติของแสง

แสงคือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถมองเห็นได้ คือ อยู่ในย่านความถี่ 380 เทระเฮิรตซ์ถึง 750 เทระเฮิรตซ์ จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว (v) ความถี่ (f) และ ความยาวคลื่น (λ) ของแสง กำหนดได้ดังสมการที่ (2.1)

$$v = f \times \lambda \quad (2.1)$$

และ ความเร็วของแสงในสุญญากาศมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงสามารถแยกแยะแสงโดยใช้ตามความยาวคลื่นได้ โดยแสงที่เรามองเห็นได้ข้างต้นนั้นจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 นาโนเมตร ถึง 800 นาโนเมตร ในสุญญากาศ การมองเห็นของมนุษย์นั้นเป็นผลมาจากภาวะอนุภาคของแสงโดยเฉพาะ เกิดจากการที่ก้อนพลังงาน หรืออนุภาคโฟตอนไปกระตุ้นเซลล์รูปแท่งในจอตา (Rod Cell) และเซลล์รูปกรวยในจอตา (Cone Cell) ที่จอตา (Retina) ให้ทำการสร้างสัญญาณไฟฟ้าบนเส้นประสาท และส่งผ่านเส้นประสาทตาไปยังสมอง ทำให้เกิดการรับรู้มองเห็น โดยสเปกตรัมในช่วงของแสงที่ตามองเห็น จะแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารวมไปถึงแสง

2.3.2 หน่วยที่ใช้ในการวัดแสง

- ความจ้า (Brightness) หรือ อุณหภูมิ (Temperature)
- ความสว่าง (Illuminance หรือ illumination) (หน่วย SI: ลักซ์ (Lux))
- ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux) (หน่วย SI: ลูเมน (Lumen))
- ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity) (หน่วย SI: แคนเดลา (Candela))
- สี (Color) หรือ ความถี่ (Frequency)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ความสว่าง

ความส่องสว่าง หรือลูมินแนนซ์ หมายถึงปริมาณแสงที่กระทบบนวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตรหรือลักซ์ ถ้าหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางฟุตความส่องสว่างก็เป็นฟุตแคนเดิล โดยค่าความสว่างจะคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$\text{ลูมินแนนซ์} = \text{ปริมาณแสง} / \text{พื้นที่} \quad (2.2)$$

ความสว่าง (ลูมินแนนซ์) หมายถึงปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตรปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบบนวัตถุที่มีสีต่างกัน จะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกันนั่นคือลูมินแนนซ์ต่างกันสาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุต่างกัน

การบอกสีทางการส่องสว่างนั้น ถูกกำหนดด้วยค่าอุณหภูมิของสี ซึ่งหมายถึงสีที่เกิดจากการเผาไหม้วัสดุสีดำซึ่งมีการดูดซับความร้อนได้สมบูรณ์ด้วยอุณหภูมิที่กำหนด เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์คูโลไวท์มีอุณหภูมิสี 6,500 องศาเคลวิน หมายถึงเมื่อเผาวัสดุสีดำให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน วัตถุนั้นจะเปล่งแสงออกมาเป็นสีคูโลไวท์หรือขาวปนน้ำเงิน เป็นต้น ตัวอย่างอุณหภูมิสีของหลอดต่าง ๆ เป็นดังนี้ เทียนไข 1,900 เคลวิน หลอดอินแคนเดสเซนต์ 2,800 เคลวิน หลอดฟลูออเรสเซนต์ : เดย์ไลท์ (Daylight) 6,500 เคลวิน คูโลไวท์ (Cool White) 4,500 เคลวิน วอร์มไวท์ (Warm White) 3,500 เคลวิน

แสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานแยกออกได้เป็นระบบต่าง ๆ ดังนี้

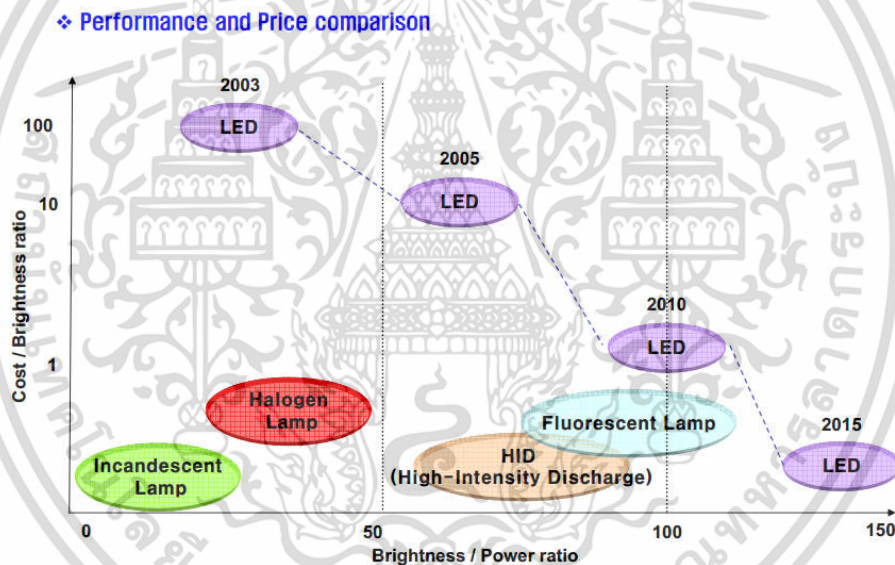
1. แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือการให้แสงกระจายทั่วไปทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งานซึ่งใช้กับความส่องสว่างที่ไม่มากจนเกินไป
2. แสงสว่างเฉพาะที่ (Localised Lighting) คือการให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณที่ต้องการใช้ไฟแสงสว่างมากเพื่อการประหยัดพลังงาน
3. แสงสว่างเฉพาะที่และแสงสว่างทั่วไป (General and Localised Lighting) คือการให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณและเฉพาะที่ที่ทำงาน มักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูง ซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก แต่ก็ไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างเฉพาะที่ได้เพราะเมื่อเงยหน้าจากการทำงานก็จะพบบริเวณข้างเคียงมืดเกินไปทำให้สายตาเสียได้

2.4 ไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode)

ปัจจุบันการประหยัดพลังงาน ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นในการใช้ชีวิตประจำวัน การทำงาน การดำเนินธุรกิจ และด้านอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องใช้พลังงาน การคำนึงถึงการประหยัดพลังงานนั้น จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ หลอดไดโอดเปล่งแสง หรือ LED ที่สามารถให้ความสว่างสูงพอ ๆ กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) และหลอดไส้ (Incandescent Lamp) เมื่อนำมาทดแทนจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าหลอด LED นั้นสามารถประหยัด

พลังงานได้มากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ถึงสองเท่า รวมถึง LED สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าด้วย

หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือ LED [33] เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับไดโอด สามารถเปล่งแสงสว่างเมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่าน โดยปกติหลอดชนิดนี้สามารถเปล่งแสงได้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และประสิทธิภาพในการให้แสงก็ยิ่งดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็กที่สร้างขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำภายใน LED เรียกปรากฏการณ์นั้นว่า Electroluminescence ซึ่งแตกต่างจากหลอดทั่วไปที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการจุดไส้หลอดเพื่อให้เกิดแสงสว่าง ผลก็คือตัวหลอดเกิดความร้อนเมื่อใช้งาน LED จึงใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าในการให้กำเนิดแสงสว่างและความร้อนที่เกิดขึ้นก็ต่ำด้วยเช่นกัน ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรกคือ นิก โฮโลนยัค (Nick Holonyak Jr.) แห่งบริษัท เจเนรัล อิเล็กทริก โดยพัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงที่ตามองเห็น และสามารถใช้ได้เชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962 LED ยังสามารถเปล่งแสงได้หลากสี ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสารกึ่งตัวนำเมื่อทำการผลิต LED ปัจจุบันผลิตได้ทุกสีและยังสามารถผลิตแสงชนิดพิเศษอินฟราเรดที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้



รูปที่ 2.6 แนวโน้มเทคโนโลยีของ LED

จากรูปที่ 2.6 เป็นการเปรียบเทียบเทคโนโลยีของหลอดไฟ LED ตั้งแต่ในช่วงปี ค.ศ. 2003 ถึง ค.ศ. 2015 แสดงให้เห็นว่าหลอดไฟนั้นให้ความสว่างที่สูงมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่กลับใช้พลังงานที่ลดน้อยลง ทำให้ในอนาคต LED มีแนวโน้มที่จะเป็นที่นิยมใช้เพื่อทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป เนื่องจาก LED นั้นอุดมไปด้วยข้อดีหลายประการ คือ มีประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างดี ประหยัดพลังงาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทนทานต่อสภาวะอากาศ ทนทานต่อการสั่นสะเทือนและมีหลากหลายสีให้เลือกใช้

หลอด LED โดยทั่วไปมี 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือหลอด LED ชนิดที่ตามองเห็นได้กับชนิดที่ตามองไม่เห็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทนตาคน

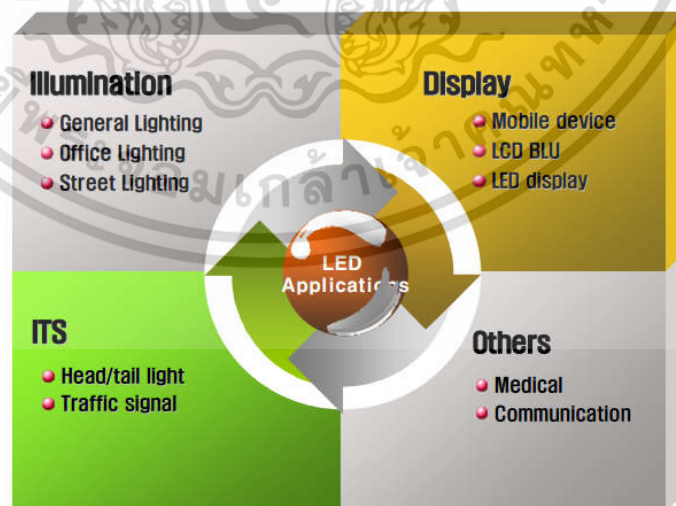
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ภาพหลอด LED สีต่าง ๆ (LED)

ปัจจุบันจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ทำให้เทคโนโลยีของ LED ก้าวหน้าอย่างรวดเร็วตามไปด้วย LED ได้ถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในด้านสีของแสงที่เปล่งออกมา ไม่ว่าจะเป็นสีแดง สีเขียว สีส้มหรือที่ผลิตได้ท้ายสุดและทำให้วงการ LED พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วคือสีน้ำเงิน ซึ่งการเกิดขึ้นของ LED สีน้ำเงินนี้ทำให้ได้แม่สี 3 สีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน และเกิดเป็นจุดเริ่มต้นของจอ LED และ LED ในงานไฟประดับต่าง ๆ ทั้งยังใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น ในเครื่องคิดเลขสัญญาณจราจรไฟท้ายรถยนต์ป้ายสัญญาณต่างๆ ไฟฉายไฟให้สัญญาณของประภาคารจอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ยิ่งไปกว่านั้นหน้าจอ LCD ของโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กันทั่วไปเกือบทั้งหมดจะให้แสงสว่างด้วย LED

การนำ LED ไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ สามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ การใช้งานในด้านการตกแต่ง จะเป็นลักษณะตกแต่งเปลี่ยนบรรยากาศ ความบันเทิงต่าง ๆ และอีกรูปแบบหนึ่ง คือการใช้งานแสงสว่างทั่วไป ส่วนใหญ่จะเน้นในแนวทางที่ใช้แทนหลอดไฟแบบเดิม และใช้เป็น LED สีขาว การใช้ LED ในแบบนี้จะใช้ในจุดที่ติดตั้งยากหรือต้องการความประหยัด นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้งานระบบเฉพาะได้อีกด้วย อย่างเช่น ใช้ในการสื่อสาร ใช้ในทางการแพทย์ เป็นต้น โดยการนำ LED ไปประยุกต์ใช้งานนั้นจะแสดงดังรูปที่ 2.8

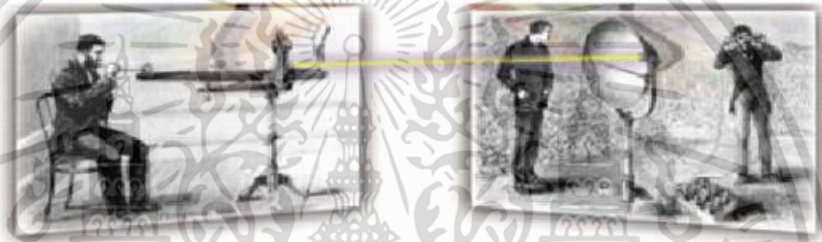


รูปที่ 2.8 การนำ LED ไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

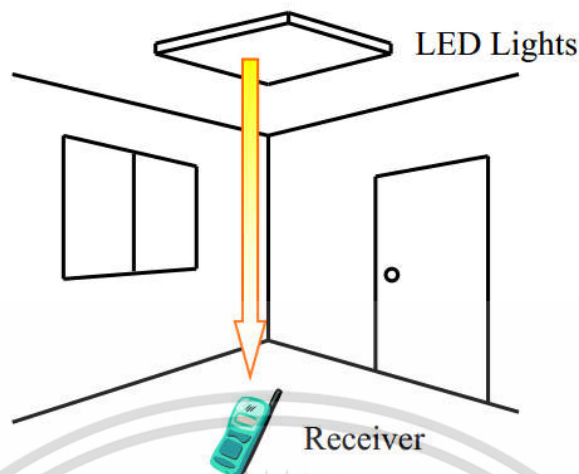
2.5 การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น หรือ VLC (Visible Light Communication) มีแนวคิดที่ใช้แสงเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล โดยได้มีจุดเริ่มต้นกำเนิดมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 [24] โดยแกรแฮมเบล และผู้ช่วย ได้ใช้เทคโนโลยีกราฟ (Alexander Graham Bell and Charles Sumner-Tainter in 1880) แสดงดังรูปที่ 2.9 ทำการมอดูเลต สัญญาณเสียงกับลำแสง สร้างเป็นเครื่องโทรศัพท์ที่สื่อสารด้วยแสง รหัสมอร์ส (Morse Code) เป็นการส่งสัญญาณรหัสมอร์สด้วยแสงใช้ในการสื่อสาร เช่น การเดินเรือ เป็นต้น การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ถูกนำมาใช้เป็นช่องทางการสื่อสารข้อมูลแบบต่าง ๆ โดยใช้แสงที่ตามองเห็น ซึ่งเป็นแสงที่มาจากหลอดไฟ LED ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นที่นิยมใช้มากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่ง LED นี้ไม่เพียงแต่จะให้แสงสว่างแต่ยังสามารถส่งข้อมูลด้วยพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.9 การสื่อสารด้วยแสงที่ทดลองโดยแกรแฮมเบล และผู้ช่วย [24]

การสื่อสารโดยแสงที่สามารถมองเห็นได้ (Visible light communication : VLC) [23] [25] เป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลโดยใช้แสงที่มองเห็นได้มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 375 นาโนเมตร ถึง 780 นาโนเมตร ในการส่งข้อมูลส่วนใหญ่มักจะส่งผ่านหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงหรือ LED ซึ่งมีข้อดีหลากหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นวิทยุ เช่น VLC สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีความปลอดภัยมากกว่า ไม่เป็นอันตรายมนุษย์ สามารถใช้งานในสถานที่ที่ห้ามใช้คลื่นวิทยุได้ เช่น โรงพยาบาล บนเครื่องบิน ใช้พลังงานน้อย และไม่ติดกฏข้อบังคับต่าง ๆ ของคลื่นวิทยุ ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างอิสระ



รูปที่ 2.10 การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

โดยปกติแล้วอุปกรณ์ในส่วนของภาครับของการสื่อสารด้วยแสงนั้น แบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ เซ็นเซอร์รับแสง กับ เซ็นเซอร์รับภาพ มาตรฐานของ IEEE802.15.7 และ CP1223 เป็นมาตรฐานที่ใช้งานสำหรับภาครับที่เป็นเซ็นเซอร์รับแสงความเร็วสูง และใช้ความถี่ที่ทำการมอดูเลตด้วยค่าความถี่สูง ทำให้ตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นถึงการกะพริบ หรือไม่ทราบว่ามี การกะพริบที่มีรูปแบบอย่างไร อย่างไรก็ตามทั้งเซ็นเซอร์รับแสงและเซ็นเซอร์รับภาพที่ถูกติดตั้งในสมาร์ทโฟนหรือกล้องที่ใช้งานกันโดยทั่วไป ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจจับด้วยความเร็วสูง งานวิจัยที่ผ่านมา อย่างเช่น Picapica Camera [15] ที่ส่งข้อมูล 8 บิต ด้วยความถี่ต่ำ โดยการเปลี่ยนแปลงของสีที่มีความถี่ในการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป เพื่อเป็นบิตคอนที่เก็บอัตลักษณ์ของข้อมูลไว้ในการกะพริบ และทำการตรวจจับการกะพริบด้วยสมาร์ทโฟน หรือการสื่อสารระหว่างสมาร์ทโฟน โดยใช้ไฟแฟลชบนกล้องของสมาร์ทโฟน [28] นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสื่อสารที่ใช้ LED เป็นบิตคอนในการส่งข้อมูล ทั้งที่เป็นการใช้อินฟราเรด LED ที่ใช้งานเป็นบิตคอนในการส่งสัญญาณ เพื่อเก็บข้อมูลอัตลักษณ์ของสิ่งต่าง ๆ ในพิพิธภัณฑ์และทำการตรวจจับอัตลักษณ์ด้วยเซ็นเซอร์รับภาพ [13] และการใช้อินฟราเรด LED เป็นบิตคอนสำหรับระยะทางหรือตำแหน่งของบุคคลที่จะเข้าใกล้ อุปกรณ์ตรวจจับหรือเรียกว่า Balloon Tag [14] ซึ่งจะใช้เซ็นเซอร์รับภาพในรูปแบบของกล้องวิดีโอในการตรวจจับ แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้งาน LED เปล่งแสงที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นได้เป็นหลัก ในการส่งข้อมูล ซึ่งในการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลเข้าไปในสัญญาณแสงนั้น จะใช้การมอดูเลตแบบ On-Off Keying และจะให้แสงไฟทำการกะพริบ เนื่องจากการกะพริบของแสงนั้น ถึงแม้ว่าอาจทำให้ผู้ใช้งานระบบเกิดความไม่สะดวกสบายจากการกะพริบของแสง แต่การกะพริบของแสงจะเป็นสิ่งที่เหมือนกับคำว่า “หลอดไฟดวงนี้มีอัตลักษณ์ข้อมูลซ่อนอยู่” ซึ่งสามารถออกแบบการกะพริบนี้ให้ไม่รบกวนความสะดวกสบายทางสายตาของมนุษย์ได้ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำ LED มาใช้งานในการส่งข้อมูล และทำการตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์รับภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เอดีบิตคอนเป็นการระบุหรือยืนยันตัวตนด้วยเทคโนโลยีภาพเสมือนจริง (Augment Reality) ได้ [18] หรือแม้แต่การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบยานพาหนะที่มีการติดกล้องหรือเซ็นเซอร์รับภาพไว้ที่รถยนต์ และสามารถตรวจจับบิตคอนจากสัญญาณไฟจราจร หรือสัญญาณไฟอื่น ๆ ได้ แต่ตัวบิตคอนนั้นจะมีรูปแบบการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กะพริบที่เป็นแพตเทิร์นของเมทริกซ์ ทำให้การตรวจจับนั้นเป็นไปได้อย่างยากลำบาก และสามารถตรวจจับได้ในองศาที่แคบ [19] และต้องใช้อุปกรณ์ที่ตรวจจับได้ด้วยความเร็วสูง (High-Speed Camera) ซึ่งมีราคาสูง ทำให้สามารถที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้โดยยาก [27] ส่วนใหญ่แล้วการตรวจจับการกะพริบของแสงไฟนั้นจะใช้กระบวนการหาค่าขีดแบ่ง (Thresholding) [31] เพื่อใช้ในการตรวจจับการกะพริบของแสงไฟว่าเป็นบิต 0 หรือบิต 1 จากค่าความสว่างที่รับมาได้ ซึ่งในการทดลองของงานวิจัยนี้ จะใช้กระบวนการหาค่าขีดแบ่งด้วยเช่นกัน

เทคโนโลยีการระบุตำแหน่ง (Location & Positioning System) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถใช้ QRCode Tag หรือ NFC Tag [30] ในการระบุตำแหน่งหรือยืนยันตำแหน่งได้ อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ของเทคโนโลยีดังกล่าวในบทที่ 1 ทำให้เราสามารถใช้นโยบายการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น โดยใช้บิตคอนของแสงไฟในการบันทึกข้อมูลของตำแหน่งไม่ว่าจะภายในอาคารหรือภายนอกอาคารได้เช่นกัน โดยในงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์ในการตรวจจับเพื่อระบุตำแหน่งด้วยสมาร์ตโฟน [29]

2.5.1 มาตรฐานการสื่อสารสำหรับการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นเริ่มต้นมาจากองค์กร VLCC (Visible Light Communication Consortium) ในปี 2003 โดยเป็นการรวมตัวขององค์กรทางเทคโนโลยีของประเทศญี่ปุ่น มีเป้าหมายเพื่อกำหนดมาตรฐานสำหรับการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นเพื่อหลีกเลี่ยงการแย่งส่วนกันของโพรโทคอลและการทำงานที่แตกต่างกัน จากนั้นในปี 2007 องค์กร VLCC ได้นำเสนอมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นที่แตกต่างกันสองมาตรฐาน ได้แก่ Visible Light Communication System Standard และ Visible Light ID System Standard ซึ่งองค์กร JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) ได้ยอมรับมาตรฐานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนี้ และเรียกว่า JEITA CP-1221 และ JEITA CP-1222 JEITA CP1223 และ IEC-TC100 [22] นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานของ IEEE 802.15.7 [21] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้นเพื่อ Physical and Media access layer

2.5.1.1 JEITA CP-1221 (Visible Light Communication System)

มาตรฐานของระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นที่เสนอไปยัง JEITA ได้กำหนดช่วงของแสงที่ตามองเห็นสำหรับการสื่อสารในช่วง 380 นาโนเมตร ถึง 780 นาโนเมตร และอนุญาตช่วงความยาวของคลื่นของแต่ละการประยุกต์ใช้งานความแม่นยำระยะ 1 นาโนเมตร

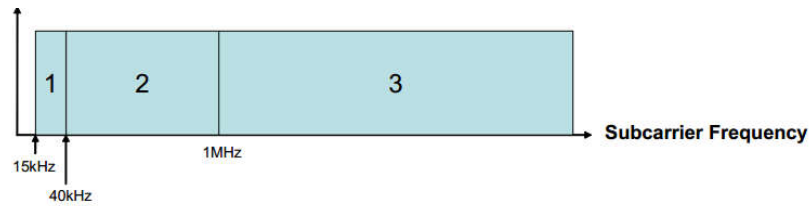
มาตรฐานนี้ใช้คลื่นพาห้ (Subcarrier) โดยการมอดูเลตความเข้มแสงความถี่ที่เฉพาะเจาะจง โดยใช้ความถี่คลื่นพาห้ที่แตกต่างกัน และสามารถหลีกเลี่ยงการรบกวน โดยแบ่งช่วงของความถี่เป็นสามช่วง แสดงดังรูปที่ 2.11

ช่วงที่ 1 : 15 kHz ถึง 40 kHz ซึ่งจะใช้งานในการสื่อสาร

ช่วงที่ 2 : 40 kHz ถึง 1 MHz ซึ่งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ไม่สามารถใช้งานในช่วงนี้ได้ แต่ใช้งานได้ช้า และมีสัญญาณรบกวนมาก

ช่วงที่ 3 : >1 MHz ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลโดยใช้LED

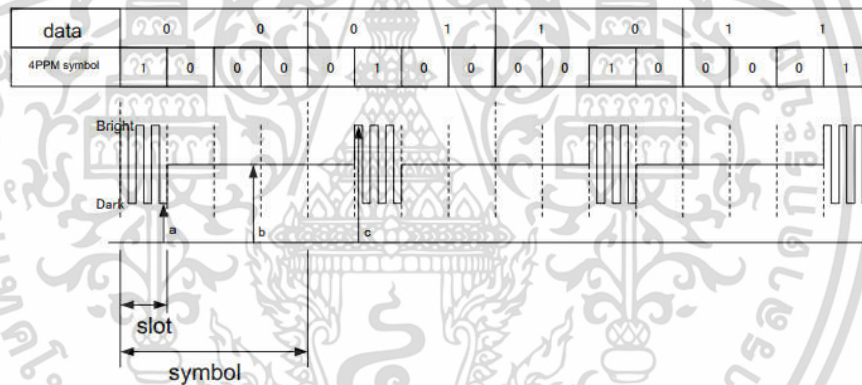
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การแบ่ง Subcarrier Frequency ของ JEITA CP-1221

2.5.1.2 JEITA CP-1222 (Visible Light ID System)

มาตรฐานการสื่อสารนี้นำเสนอโดย Vice Chairman ของ VLCC: Shinichiro Haruyama [11] ซึ่งจะเน้นใช้งานในระบบ ID System หรือแสง เพื่อระบุรหัสหรือระบุอัตลักษณ์ ซึ่งในมาตรฐานนี้จะใช้คลื่นพาห้อยู่ความถี่ 28.8 KHz และส่งด้วยอัตรา 4.8 kbps ใช้การมอดูเลทแบบ 4-PPM (4-Pulse Position Modulation) และใช้ CRC (Cyclic Redundancy Check) ในการตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาด โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Waveform ของมาตรฐาน JEITA-CP1222

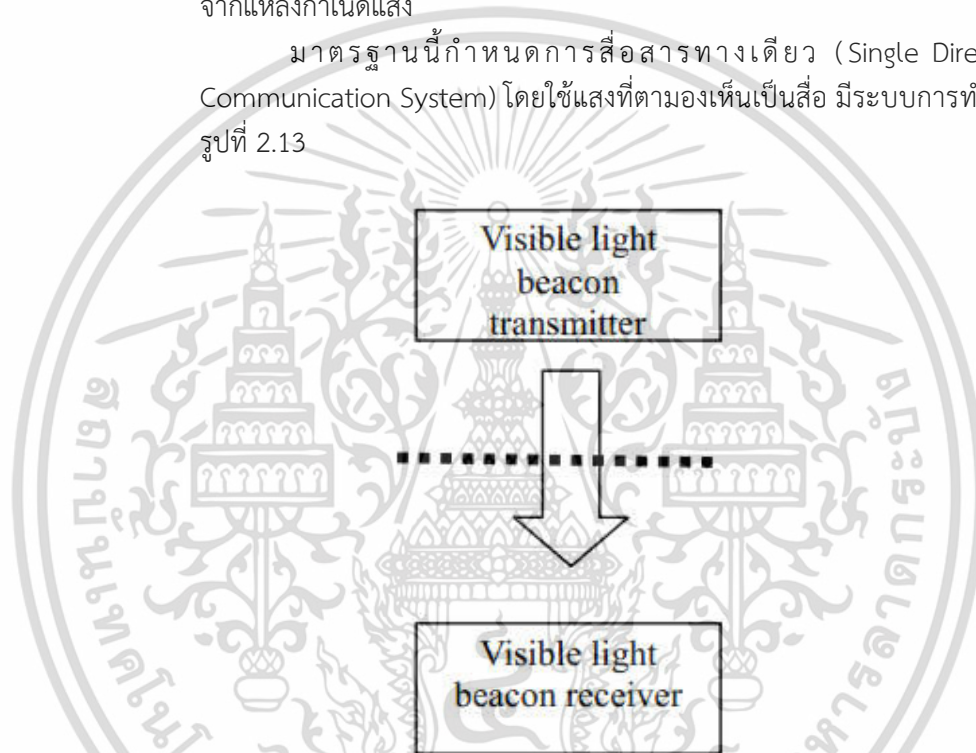
2.5.1.3 JEITA CP-1223 (Visible Light Beacon System)

สมาชิกของ VLCC ได้ทำงานร่วมกันอีกครั้งหนึ่ง เพื่อสร้างมาตรฐาน JEITA CP-1223 หรือ Visible Light Beacon System ในปี 2013 ซึ่ง JEITA CP-1223 เป็นเวอร์ชันที่พัฒนามาจาก CP-1222 โดยในปี 2013 Visible Light Beacon System ได้ถูกนำเสนอไปเป็นมาตรฐาน TC-100 ขององค์กร IEC (International Electrotechnical Commission) ซึ่งทำงานเช่นเดียวกับ CP-1223 และในข้อเสนอใหม่ได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐาน IEC62943 ใน AGM meeting ของ TC-100 ในเดือนพฤษภาคม ปี 2014 โดยสมาชิกของ VCLA กำลังทำงานมาตรฐาน IEC62943 โดยผู้เชี่ยวชาญของหลาย ๆ ประเทศ

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้งานการส่งที่เน้นการระบุตัวตน หรือยืนยันตัวตน เช่นเดียวกับมาตรฐาน CP-1223 มาตรฐานนี้กำหนดหลักการสื่อสารเส้นทางเดียว ซึ่ง Visible Light Beacon System จะทำงานบนระบบสื่อสารที่พัฒนาขึ้นจากกลุ่มทำงานมาตรฐานระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น โดยคณะกรรมการของ JEITA

Visible Light Beacon System เป็นระบบสำหรับการใช้งานแอปพลิเคชันที่หลากหลาย เช่น การยืนยันตัวตนของสิ่งต่าง ๆ การให้ข้อมูลตำแหน่ง และการจัดตั้งระบบแนะนำโดยการส่งข้อมูลทั่วไป หรือ ข้อมูล ID ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวจากแหล่งกำเนิดแสง

มาตรฐานนี้กำหนดการสื่อสารทางเดียว (Single Directional Communication System) โดยใช้แสงที่ตามองเห็นเป็นสื่อ มีระบบการทำงานดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การสื่อสารของ Visible Light Beacon System

อุปกรณ์ส่งสัญญาณของ Visible Light Beacon System สามารถทำการส่ง ID ซึ่งมี ID Code เลือกใช้งานได้หลากหลาย เช่น อุปกรณ์ระบุตัวตน ข้อมูลตำแหน่ง และฟังก์ชันข้อมูลการส่งที่สามารถจัดหาได้ สำหรับอุปกรณ์การระบุตัวตนนั้น อุปกรณ์ส่งของ visible light beacon จะส่ง ID ของอุปกรณ์ที่เป็นเป้าหมาย (Serial Number หรืออื่น ๆ) ในส่วนของภาครับจะระบุอุปกรณ์โดย ID Resolution และสามารถรับข้อมูลของอุปกรณ์ ข้อมูลนี้ประกอบด้วยชื่อผู้ผลิต ชื่อผลิตภัณฑ์ ฯลฯ ความถี่คลื่นพาห์ของระบบจะใช้แสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 380-780 นาโนเมตร ที่ความถี่ 9.6 กิโลเฮิร์ตซ์ ความเข้มของแสงจะมอดูเลตโดย 4-PPM และมีอัตราการส่งข้อมูล 4.8 kbit/s โครงสร้างของเฟรมข้อมูลจะแสดงดังรูปที่ 2.14

SOF (Start of Frame)		Payload	EOF (End of Frame)
PRE (6-bit)	F-TYPE (8-bit)	ID / DATA (128-bit)	CRC-16 (16-bit)

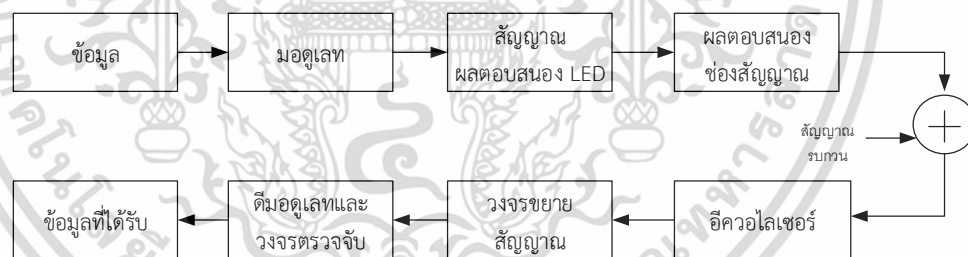
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของเฟรมข้อมูล CP-1223

2.5.1.4 IEEE 802.15.7

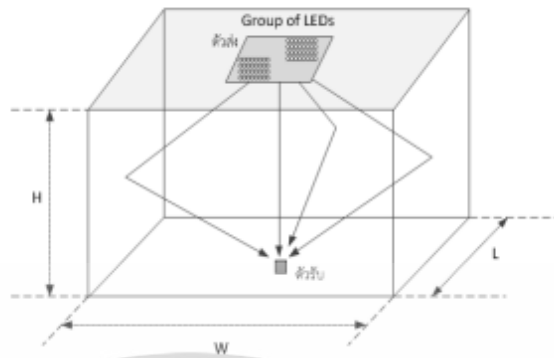
มาตรฐาน IEEE 802.15.7 เป็นมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้การมอดูเลตความถี่ 200 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 120 เมกะเฮิร์ตซ์ มาตรฐานที่จัดทำขึ้นเพื่อ Physical and media access layer

2.5.2 แบบจำลองระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

รูปแบบจำลองพื้นฐานของระบบการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น โดยการใช้แสงจากหลอด LED สีขาวนี้ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย T.Komine และ M.Nakagawa [26] ในงานวิจัยฉบับนี้จำลองระบบที่ใช้ตามรูปที่ 2.15 ส่วนที่สำคัญคือการมอดูเลตแบบจำกัดแบนด์วิดท์ที่เป็นอัตราการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลตถูกนำมาคูณประสานกับสัญญาณผลตอบสนองของ LED และคุณอีกที่กับผลตอบสนองช่องสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากจุดนี้เป็นสัญญาณที่เกิดในช่องสัญญาณแบบไร้สายด้วยแสง LED โดยการจำลองขึ้น ได้ศึกษาค้นคว้าหาเทคนิคใหม่ๆ สำหรับการปรับแต่งสัญญาณ หรือเทคนิคของอีควอไลเซอร์ในการพัฒนาในงานวิจัยนี้ด้วยตามลักษณะของพื้นที่ที่ได้จำลองไว้



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมระบบสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น



รูปที่ 2.16 การจำลองการแพร่กระจายแสงจากบนผนังมายังตัวรับแสงภายในห้อง

รูปที่ 2.16 เป็นการจำลองระบบภายในห้อง แสงของ LED ถูกส่งลงมาจากเพดานด้านบนมายังตัวรับแสงด้านล่าง พื้นที่ของห้องกำหนดด้วยความกว้าง W ความยาว L และความสูง H ในภาคส่ง (Transmitter) ตัวส่งจะสมมติให้ LED มีการแพร่ความเข้มแสงแบบแลมเบิร์ตเซียน (Lambertian Radiant Intensity) ดังสมการที่ (2.3)

$$R_o(\theta) = [(m+1) / \cos^m(\theta)] / 2\pi \quad (2.3)$$

เมื่อ $R_o(\theta)$ คือความเข้มแสงที่ส่งมาจากตัวส่งที่มุม θ คือมุมที่แสงแพร่ออกมาจากตัวส่ง (Irradiance Angle) และ m คือเลขลำดับการแพร่ของแสงแบบแลมเบิร์ตเซียนซึ่ง m มีค่าดังสมการ $m = \ln(1/2) / \ln(\cos\theta_{1/2})$ และมีความสัมพันธ์กับมุม $\theta_{1/2}$ เป็นส่วนหนึ่งของมุมของตัวส่ง (ที่ครึ่งหนึ่งของกำลังงานทั้งหมด) จากนั้นจึงทำการคำนวณกำลังงานที่แพร่กระจายของแสง LED คือ P_{LED} ดังนั้นกำลังงานที่ถูกส่งออก P_{rx} หาได้ดังสมการที่ (2.4)

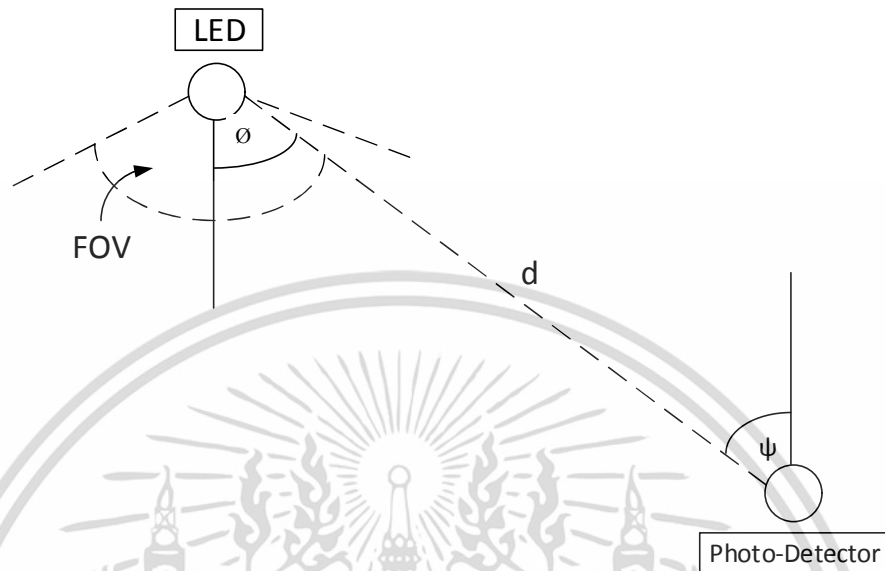
$$P_{rx} = P_{LED} R_o(\theta) \quad (2.4)$$

ลำแสงที่แพร่ออกมาจาก LED ไปยังตัวรับ โดยหลัก ๆ จะมีอยู่ 2 ช่องทาง คือแสงที่แพร่เป็นแบบ Line-of-Sight กับแสงที่แพร่มาจากการสะท้อน (Diffuse Channel) ทั้งสองช่องสัญญาณนี้จะได้อธิบายในลำดับต่อไป โดยช่องสัญญาณแบบ Line-of-Sight ขนาดของแสงโดยตรงจะหาได้โดยถูกต้องและแม่นยำจะต้องพิจารณาในส่วนช่องสัญญาณที่เป็นแสงของการแพร่ที่มาจากช่องสัญญาณโดยตรง $H(0)$ แสงดังสมการที่ (2.5)

$$H(0) \begin{cases} (A_{rx} / d^2) \times R_o(\theta) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2.5)$$

เมื่อ A_{rx} คือพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด d คือระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับ เมื่อ ψ_c คือมุมทั้งหมดที่อุปกรณ์รับแสงสามารถรับแสงได้ หรือ Field of view : FOV

และ ψ คือมุมที่แสงตกกระทบกับอุปกรณ์รับแสง (Incidence Angle) และแสดงแผนภาพทางเรขาคณิตของการแพร่ของแสง LED ไปยังตัวรับดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภาพทางเรขาคณิตของการแพร่ของแสง LED

อุปกรณ์ภาครับจะถูกสมมติให้เป็นส่วนเล็ก ๆ ถ้าคิดจากพื้นผิวของห้อง ดังนั้น P_{diff} คือกำลังงานที่อุปกรณ์ภาครับได้รับจากช่องสัญญาณแบบแพร่กระจายนี้ หาได้จากสมการที่ (2.6)

$$P_{diff} = A_{rx} I \quad (2.6)$$

โดยที่ A_{rx} คือพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด และ I คือค่าความเข้มของแสง LED โดยอุปกรณ์ตัวรับแสงที่ส่งมาจะผ่านตัวกรองแสง และหัวเลนส์ จึงจะได้พลังงานที่แท้จริงที่ได้รับ หรือ P_{rx} โดยหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$P_{rx} = (P_{LOS} + P_{diff}) T_f(\psi) g(\psi) \quad (2.7)$$

เมื่อ $T_f(\psi)$ คือ สัมประสิทธิ์ตัวส่งผ่านของตัวกรองและ $g(\psi)$ คือสัมประสิทธิ์การเพิ่มของหัวเลนส์หน้าทีของโฟโตไดโอดใช้เป็นตัวเปลี่ยนกำลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้า และกระแสเอาต์พุต i หาได้จากสมการที่ (2.8)

$$i = P_{rx} R \quad (2.8)$$

เมื่อ R คือความไวของการตอบสนองของโฟโตไดโอด มีหน่วยเป็น A/W

อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) คำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

$$\text{SNR} = (R \cdot P_{rx})^2 / \sigma_{total}^2 \quad (2.9)$$

ซึ่ง σ_{total}^2 คือสัญญาณรบกวนทั้งหมด และคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.10)

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{amplifier}^2 \quad (2.10)$$

เมื่อ σ_{shot}^2 คือความแปรปรวนสัญญาณรบกวนแบบสั้น (Shot-Noise) คำนวณหาได้จากสมการที่ (2.11)

$$\sigma_{shot}^2 = 2qR(P_{rx} + P_n) B_n \quad (2.11)$$

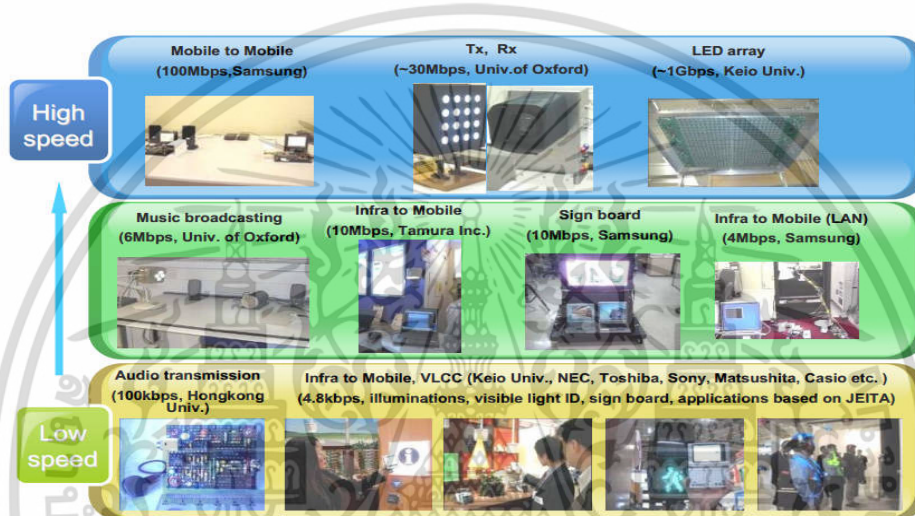
เมื่อ B_n คือแบนด์วิดท์ของสัญญาณรบกวน และ P_n คือกำลังงานของสัญญาณรบกวนที่เป็นแสงที่อยู่รอบ ๆ q คือค่าประจุไฟฟ้า และ $B_n = \frac{1}{2} R_b$ เมื่อ R_b คือ อัตราการส่งข้อมูล และ I_b คือตัวคูณแบนด์วิดท์สัญญาณรบกวน ตัวขยายความแปรปรวนสัญญาณรบกวนกำหนดตามสมการที่ (2.12)

$$\sigma_{amplifier}^2 = i_{amplifier}^2 B_a \quad (2.12)$$

เมื่อ B_a คืออัตราการขยายแบนด์วิดท์

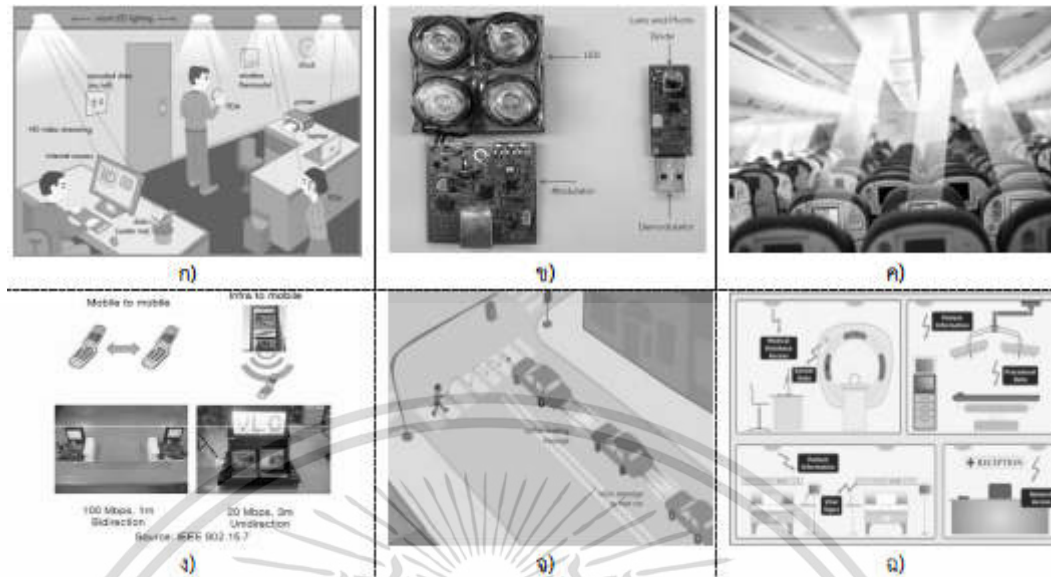
2.5.3 การประยุกต์ใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

LED ถูกนำมาให้แสงสว่างภายในห้องทำงานในอาคาร แสงที่ได้นั้นสามารถใช้เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลได้ เรียกว่าการสื่อสารแบบไร้สายด้วยแสงที่ตามองเห็นภายในอาคาร (Indoor Wireless Visible Light Communication) หรือระบบที่กว้างขึ้นไปอีกก็จะเรียกว่าการสื่อสารไร้สายด้วยแสง (Optical Wireless Communication) ซึ่งสามารถแบ่งได้ตั้งแต่การส่งด้วยอัตราข้อมูลต่ำ (Low Speed) ซึ่งเป็นระบบ Infra-to-Mobile, Visible Light ID System, Advertisement System หรือแอปพลิเคชันที่ทำงานบนมาตรฐาน JEITA จนไปถึงอัตราการส่งข้อมูลสูง (High Speed) โดยแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การนำ VLC ไปประยุกต์ใช้งานในระดับอัตราการส่งข้อมูลระดับต่าง ๆ

การส่งสัญญาณเสียงด้วยแสง LED เป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อน เพียงนำสัญญาณเสียงที่ต้องการส่งจ่ายให้กับ LED ภาครับใช้โฟโตดีเทกเตอร์ตรวจจับปริมาณแสงที่มากกกระทบเกิดการเปลี่ยนแปลงเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแส ถ้าจะให้คุณภาพดีต้องใช้ LED ที่มีผลตอบสนองสัญญาณที่กว้าง อาจจะเป็น LED กำลังสูง และโฟโตดีเทกเตอร์ที่ไวต่อแสงมาก สัญญาณที่ได้นำไปขยายออกถ้าโพง การเชื่อมต่อโครงข่ายภายในห้องสำนักงานหรือภายในอาคารดังรูปที่ 2.19 ก) การส่งสัญญาณด้วยแสงจากหลอด LED ดังรูปที่ 2.19 ข) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ Nakagawa LAB ใช้เรียนรูระบบ VLC รูปที่ 2.19 ค) ประยุกต์ใช้งานภายในเครื่องบิน รูปที่ 2.19 ง) ป้ายโฆษณาด้วยหลอด LED (LED Advertisement) ใช้ LED แสดงป้ายโฆษณาพร้อมกับการส่งข้อมูลแบบอินฟราเรด มีการประมวลผลด้วยภาพและการประมวลผลด้วยสัญญาณจากป้ายโฆษณาที่แสดงตามจุดต่าง ๆ การใช้ LED กับงานจราจร (LED for Traffic) ใช้ LED กับไฟรถยนต์เป็นการส่งข้อมูลระหว่างรถยนต์และสัญญาณไฟจราจรตามสี่แยกทำจากหลอด LED จะสามารถส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้งานจราจรอยู่ให้ทราบโดยให้ตัวรับสัญญาณที่รถยนต์รูปที่ 2.19 จ) และการสื่อสารในโรงพยาบาลที่ต้องการความปลอดภัยสูงและสะดวกในการใช้งาน ดังรูปที่ 2.19 ฉ)



รูปที่ 2.19 การประยุกต์ใช้งานการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

2.5.4 อุปกรณ์ในส่วนภาครับของระบบสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

อุปกรณ์ในส่วนภาครับของระบบสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนั้น จะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ โฟโตไดโอด และเซ็นเซอร์รับภาพ โดยที่โฟโตไดโอดนั้นจะแบ่งออกได้อีกเป็นสองประเภท ได้แก่ PIN Photodiode และ Avalanche Photodiode ซึ่งอุปกรณ์ PIN Photodiode นั้น จะมีการตอบสนองต่อแสงที่ความเร็วสูง (อาจมากถึง 1 Gbps) แต่ Avalanche Photodiode ก็จะมีการตอบสนองที่ความเร็วสูงอย่างมาก และการใช้งานเซ็นเซอร์รับภาพเป็นภาครับ ซึ่งสามารถรับภาพพร้อม ๆ กับรับข้อมูลจากแสงได้ โดยอุปกรณ์ทั้งสามชนิดนี้ จะแสดงดังรูปที่ 2.20



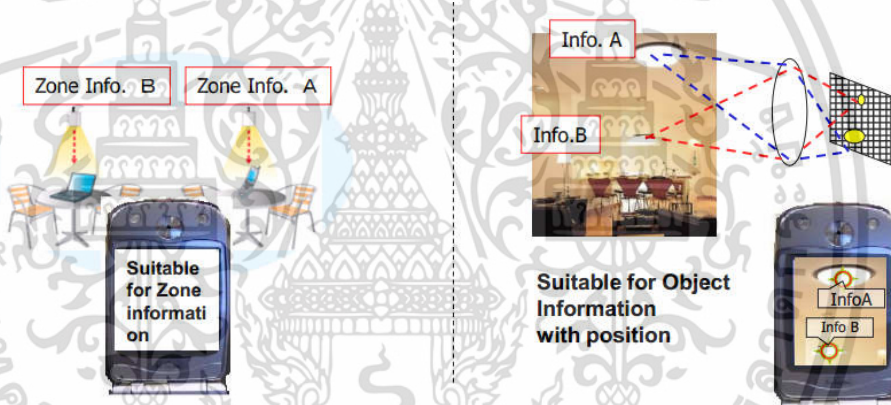
รูปที่ 2.20 อุปกรณ์ในส่วนภาครับของการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น

และเมื่อเปรียบเทียบการใช้งาน เมื่อใช้งานโฟโตไดโอดเป็นภาครับนั้น มีข้อดีคือมีราคาถูก สามารถหาซื้อหรือใช้ได้ง่าย มีความไวต่อแสงสูง พร้อมกับแบนด์วิดท์ที่กว้าง แต่มีข้อเสียคือ มีความทนทานต่ำ สามารถรับสัญญาณได้ที่ละหนึ่งสัญญาณแสงเท่านั้น และมีระยะในการตรวจจับที่สั้น ซึ่งการใช้โฟโตไดโอดนี้จะเหมาะสมกับการใช้งานข้อมูลที่เป็นโซนหรือบริเวณเฉพาะเจาะจง ส่วนเซ็นเซอร์รับภาพนั้นในอดีตอาจมีราคาแพง และหาใช้งานได้ยาก แต่ในปัจจุบันนั้นจะพบว่าสมาร์ทโฟนทุกรุ่นมักจะมีเซ็นเซอร์รับภาพหรือกล้องถ่ายภาพ

ติดตามให้ พร้อมด้วยคุณภาพที่สูง ทำให้สามารถหาใช้งานได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูง สามารถรับสัญญาณแสงได้ที่หลายสัญญาณ ระยะตรวจจับไกล มีความทนทานมากกว่า ซึ่งเหมาะใช้งานกับข้อมูลของสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในตำแหน่งต่างกันไป โดยสรุปข้อแตกต่างระหว่างโฟโตไดโอดและเซ็นเซอร์รับภาพ จะแสดงดังรูปที่ 2.21 และ 2.22

Photo diode communications		Image sensor communications	
Number of signal	△ Single	○ Multiple	
Robustness	x	○ (no cross talk/ no Interference)	
Distance	△ ~ 10m	○ Very Long (2km)	
Space Resolution	△ Direction	○ Each pixel	

รูปที่ 2.21 ข้อแตกต่างระหว่างโฟโตไดโอดและเซ็นเซอร์รับภาพ

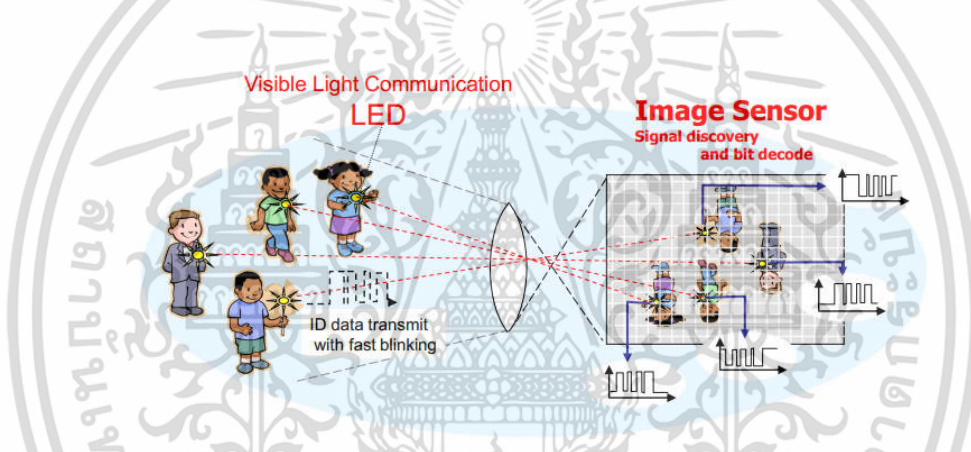


รูปที่ 2.22 ข้อแตกต่างความเหมาะสมการใช้งานระหว่างโฟโตไดโอดและเซ็นเซอร์รับภาพ

ในการใช้งานเซ็นเซอร์รับภาพสำหรับเป็นภาครับของการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นนั้นกล้องหรือเซ็นเซอร์รับภาพ แสดงดังรูปที่ 2.23 เมื่อทำการตรวจจับหรือใช้งานนั้น จะรับภาพมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีค่าความสว่างของ LED ซึ่งจะเป็นค่าความเข้มแสงหรือค่าความสว่างของแต่ละภาพ ถึงแม้ว่าแหล่งกำเนิดแสงจะมีอยู่หลายที่ และส่งข้อมูลออกมาพร้อมกัน หากเป็นโฟโตไดโอดอาจเกิดปัญหาและไม่สามารถรับค่าได้ แต่ใช้เซ็นเซอร์รับภาพนั้นจะสามารถรับค่าได้ทั้งหมดและทำการตีโมดูลชุดข้อมูลเหล่านั้นพร้อมกัน โดยไม่มีสัญญาณรบกวนแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ส่งข้อมูลแต่ละชนิด โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 กระบวนการรู้จำภาพของเซ็นเซอร์รับภาพเมื่อแสง LED ผ่านเลนส์



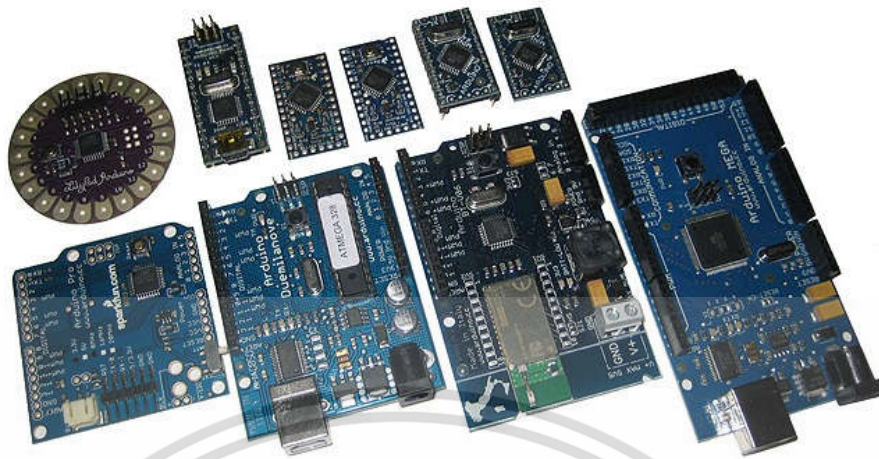
รูปที่ 2.24 การรับแสงของเซ็นเซอร์รับภาพเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงหลายตัว

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของวงจรในส่วนของวงจรที่ใช้ไฟกะพริบสร้างรูปแบบการกะพริบของหลอดไฟ โดยใช้ Arduino Uno R3

2.6.1 Arduino

Arduino คือไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้งานตามที่เราต้องการ สามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ด้วยการเสียบสาย USB เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยใช้ไฟเลี้ยงจากสาย USB (+5V) ทั้งนี้ Arduino ยังจัดได้ว่าเป็นรูปแบบการพัฒนาประเภทโอเพ่นซอร์ส สามารถเรียกใช้หรือเพิ่มไลบรารีต่างๆ เพื่อสะดวกใช้งานตามจุดประสงค์ที่เราต้องการ จึงทำให้ Arduino เป็นที่นิยมใช้งานมากในปัจจุบัน คุณสมบัติ Arduino สามารถต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัววัดเซ็นเซอร์ ตัววัดอุณหภูมิ มอเตอร์ รีเลย์ LED และอื่น ๆ



รูปที่ 2.25 บอร์ด Arduino แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้

2.6.2 ข้อดีของบอร์ด Arduino

1. ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอื่น ๆ
2. โปรแกรมที่ใช้พัฒนา สามารถใช้งานได้หลายแพลตฟอร์ม ทั้ง Windows, Linux และ MacOSX
3. เหมาะสำหรับผู้ใช้งานเริ่มต้น เนื่องจากยืดหยุ่นในการใช้งาน สามารถเพิ่มไลบรารีเพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ
4. เปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด และ นำไปพัฒนาต่อยอดได้ เนื่องจากโปรแกรม Arduino ที่พิมพ์แบบเปิดเผยแพร่ซอร์สโค้ด และสามารถเพิ่มเติมความสามารถผ่าน C++ ไลบรารี และสามารถเข้าไปใช้งาน AVR-C ซึ่งเป็นต้นแบบของ Arduino และสามารถเพิ่มเติม AVR-C ซอร์สโค้ดได้โดยตรงหากต้องการใช้งาน
5. เปิดเผยแพร่วงจร และ นำไปพัฒนาขยายฮาร์ดแวร์ได้
6. Arduino ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ของ Atmel วงจรของบอร์ดที่พิมพ์แบบเปิดเผยแพร่ภายใต้ Creative Commons License ซึ่งสามารถนำไปดัดแปลงต่อขยายและเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาการทำงานได้ฟรี

2.6.3 Arduino UNO

Arduino UNO เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ซึ่งมีดิจิทัลอินพุต/เอาต์พุต 14 พอร์ต (มี 6 พอร์ตสามารถใช้เป็น Pulse Width Modulation เอาต์พุต) 6 พอร์ตแอนะล็อกอินพุต 16 เมกะเฮิร์ตซ์ Ceramic Resonator USB Connection Power Jack ICSP Header และ Reset Button และต่างจากบอร์ดอื่น ๆ เพราะเป็นบอร์ดที่ไม่มี Usb-to-Serial

สำหรับบอร์ด Arduino UNO R3 มีรายละเอียดของตัวบอร์ดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียด Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz



รูปที่ 2.26 บอร์ด Arduino Uno R3

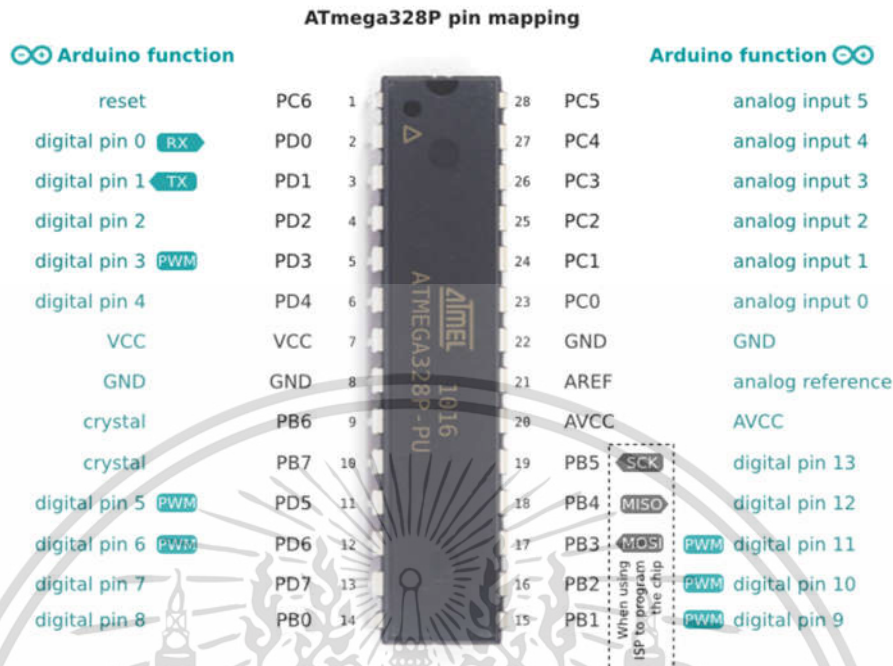
2.6.3.1 หน่วยความจำ

ATmega328 มีหน่วยความจำ 32 kB (โดย 0.5 kB ใช้สำหรับ Bootloader) ซึ่งมี 2 kB สำหรับ SRAM และ 1 kB สำหรับ EEPROM

2.6.3.2 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตของ Arduino UNO มีทั้งหมด 14 ขา สามารถใช้เป็นตัวอินพุตและเอาต์พุตได้ โดยใช้ฟังก์ชัน pinMode() digitalWrite() digitalWrite() โดยใช้แรงดันไฟฟ้า 5V แต่ละขาสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุด 40 mA โดยขาพอร์ตของ Arduino UNO แสดงดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ขาพอร์ต ATmega328

และมีรายละเอียดในแต่ละขาพอร์ตดังนี้

- Serial : 0 (RX) และ 1 (TX) ใช้สำหรับรับ (RX) และส่ง (TX) TTL Serial data แต่ละขาจะต่อตรงกันกับขาของ ATmega8U2 USB-to-TTL Serial ship
- External Interrupt 2 และ 3 แต่ละขาสามารถปรับเปลี่ยนค่าของอินเทอร์รัพท์ให้เป็น low value rising หรือ falling edge หรือเปลี่ยนค่าโดยใช้ฟังก์ชัน attachInterrupt()
- PWM 3, 5, 9, 10 และ 11 ให้เอาต์พุต 8 บิต PWM โดยใช้ฟังก์ชัน analogWrite()
- SPI 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) ขาเหล่านี้จะสนับสนุนการสื่อสารโดยใช้ SPI
- LED 13 เป็นไดโอดเปล่งแสงที่ฝังตัวอยู่ในบอร์ดที่พอร์ต 13 เมื่อเป็นลอจิก High จะสว่าง และถ้าเป็น Low จะดับ
- TWI A4 หรือ SDA และ A5 หรือ SCL สนับสนุนการสื่อสารแบบ TWI โดยใช้ไลบรารี Wire
- AREF. เป็น Reference Voltage สำหรับ analog input ใช้ฟังก์ชัน analogReference()
- Reset ถ้าเป็นลอจิก LOW จะเป็นการรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์

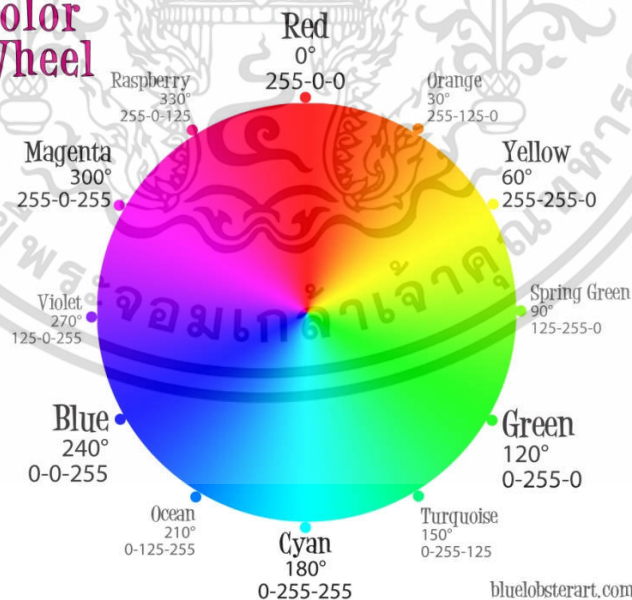
2.7 ทฤษฎีแบบจำลองสี

มาตรฐานของสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายระบบด้วยกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการใช้งานไปใช้ แต่โดยทั่วไปแล้วทุกมาตรฐานจะมีแนวคิดเดียวกันคือการแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปส ซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ในระบบ RGB (Red Green Blue) จะมีแกนสีคือ แกนสีแดง เขียว และน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็นค่าสี (Hue) ความสว่าง (Brightness) และความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) ตัวอย่างระบบสีที่นิยมใช้กัน ได้แก่ระบบ RGB HSV (Hue Saturation Value) และ HLS (Hue Lightness Saturation)

2.7.1 ระบบสีแบบ RGB

ระบบสี RGB เป็นระบบสีที่เกิดจากการรวมกันของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยการรวมกันแบบ Additive ซึ่งโดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไปที่นิยมใช้งาน ได้แก่ RGB-CIE และ RGB-NTSC ระบบสีแบบ RGB ของ CIE เป็นระบบสีที่พัฒนาขึ้นโดย CIE (Commission International l'Éclairage) ซึ่งอ้างอิงสีด้วยสีแดงที่ 700 นาโนเมตร สีเขียวเท่ากับ 546.1 นาโนเมตร และสีน้ำเงิน 435.8 นาโนเมตร ระบบสีแบบ RGB ของ NTSC เป็นระบบที่พัฒนาโดย NTSC (National Television System Committee) เพื่อใช้สำหรับการแสดงภาพของจอภาพแบบ CRT เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตแบบ CRT ให้มีลักษณะเดียวกัน โดยรูปที่ 2.28 แสดงระบบสีแบบ RGB

RGB Color Wheel

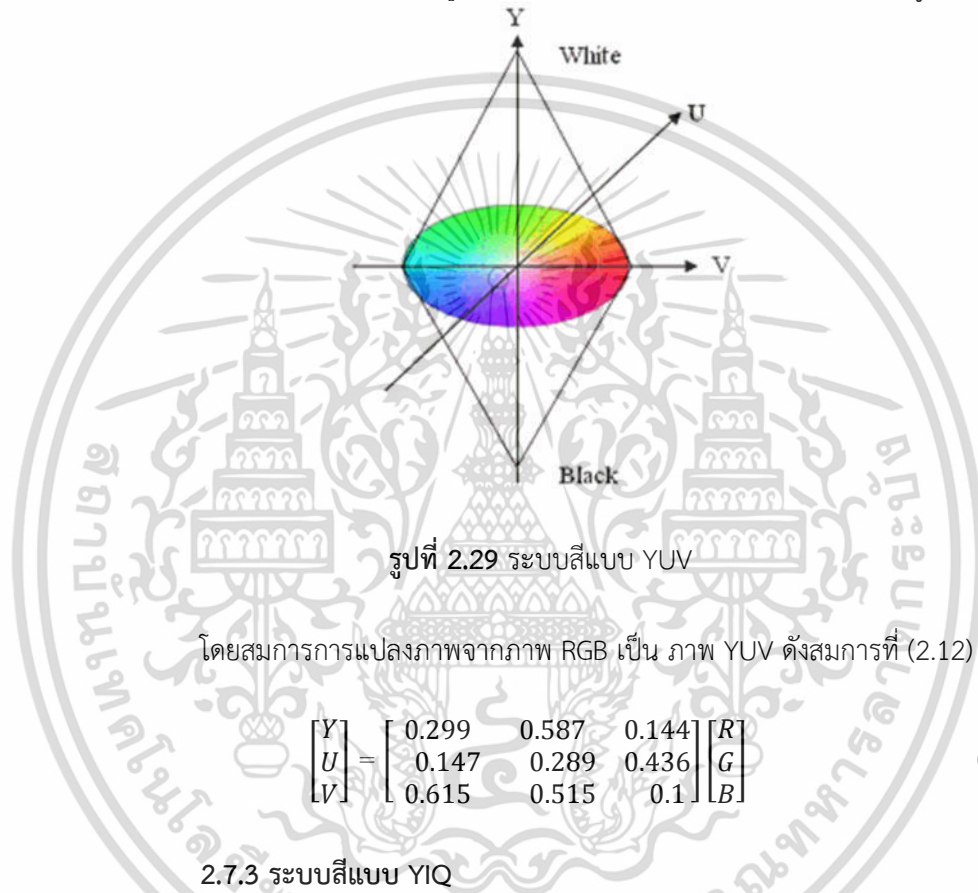


รูปที่ 2.28 ระบบสีแบบ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ระบบสีแบบ YUV

ระบบสีแบบ YUV ใช้สำหรับโทรทัศน์แบบ PAL และ SECAM ซึ่งยังมีใช้อยู่ในหลาย ๆ ประเทศ โดย Y คือค่าความสว่างของภาพ ส่วนสัญญาณ U และ V เป็นสัญญาณที่เก็บค่าสีของภาพ ต่อมาได้มีระบบ YIQ มาใช้แทนเนื่องจากพบว่าสัญญาณ I และ Q สามารถลดแบนด์วิดท์ ได้มากกว่าสัญญาณ U และ V ในขณะที่ได้ภาพที่มีคุณภาพเท่ากัน โดยแบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กับแบบจำลองสี RGB โดยที่ค่าสีของ RGB ถูกกระทำการด้วยวิธีการนอร์มอลไลซ์ให้มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] โดยระบบสีแบบ YUV แสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ระบบสีแบบ YUV

โดยสมการการแปลงภาพจากภาพ RGB เป็น ภาพ YUV ดังสมการที่ (2.12)

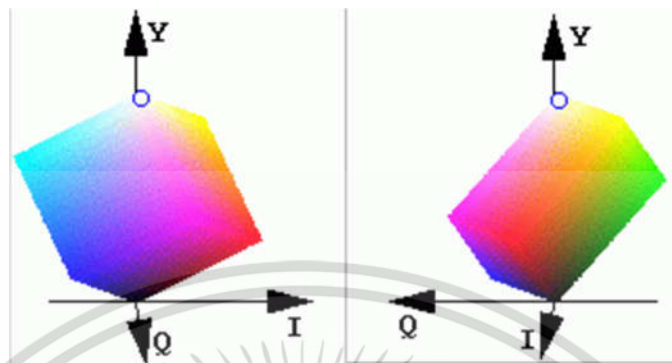
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & 0.289 & 0.436 \\ 0.615 & 0.515 & 0.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

2.7.3 ระบบสีแบบ YIQ

เป็นระบบที่ใช้ใน TV Broadcasting สำหรับ NTSC ประโยชน์หลัก เพื่อให้ใช้งานได้กับโทรทัศน์แบบขาว-ดำ โดยที่ Y คือความสว่างของภาพส่วน I และ Q จะเป็นสัญญาณที่เข้ารหัสสีของภาพไว้ ดังนั้นสำหรับโทรทัศน์ขาว-ดำนั้นสามารถใช้ค่า Y ค่าเดียวก็สามารถได้ภาพที่สมบูรณ์ โดยแบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์กับแบบจำลองสี RGB ดังสมการที่ 2.13

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.596 & 0.273 & 0.321 \\ 0.212 & 0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

และมีระบบสีในแนวแกนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.30

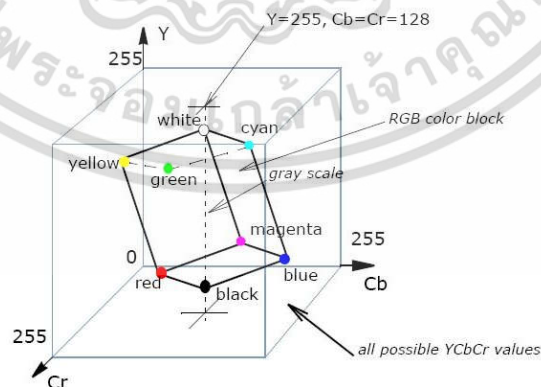


รูปที่ 2.30 ระบบสีแบบ YIQ

2.7.4 ระบบสีแบบ YCbCr

ระบบสี YCbCr เป็นระบบสีที่มีแบบจำลองสีคล้ายคลึงกับระบบสี YUV มาก เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณซึ่งถูกปรับเปลี่ยนมาจากแบบจำลองสี YUV และแบบจำลองสี YCbCr นี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานในกระบวนการบีบอัดข้อมูลของภาพแบบ JPEG และขนาดของข้อมูลวิดีโอแบบ MPEG แบบจำลองสี YCbCr นี้ ค่า Y จะใช้เก็บข้อมูลของความเข้มแสง (Luminance) ส่วน Cb, Cr จะใช้เก็บข้อมูลของแสงสี ดังรูปที่ 2.31 โดยแบบจำลองสีนี้มีความสัมพันธ์กับแบบจำลองสี RGB ดังสมการที่ (2.14)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ 0.168736 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & 0.418688 & 0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.31 ระบบสีแบบ YCbCr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ไลบรารีที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการประมวลผลภาพ

2.8.1 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) เป็น Library programming functions ที่ใช้ช่วยในการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับ Computer vision แบบเรียลไทม์ ซึ่งปัจจุบันสามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการ windows, Linux, Mac, iOS และ Android โดยมีอัลกอริทึมที่ optimized แล้วมากกว่า 2,500 อัลกอริทึม มียอดดาวน์โหลดมากกว่า 2.5 ล้านครั้งจากทั่วโลก และรองรับภาษา C, C++, Java, Python ในการพัฒนาโปรแกรมซึ่ง Open CV นั้นถูกพัฒนาโดยบริษัทอินเทล (Intel) ด้วยความที่ OpenCV เป็นไลบรารีที่ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของฮาร์ดแวร์ เวอร์ชันปัจจุบันอยู่ที่ 2.4.3 ใน OpenCV จะประกอบไปด้วยชุดคำสั่งเกี่ยวกับระบบการรู้จำใบหน้า การจดจำท่าทางการเคลื่อนไหว การจำแนกวัตถุ และการติดตามการเคลื่อนไหวของวัตถุ เป็นต้น



รูปที่ 2.32 โลโก้ของ OpenCV

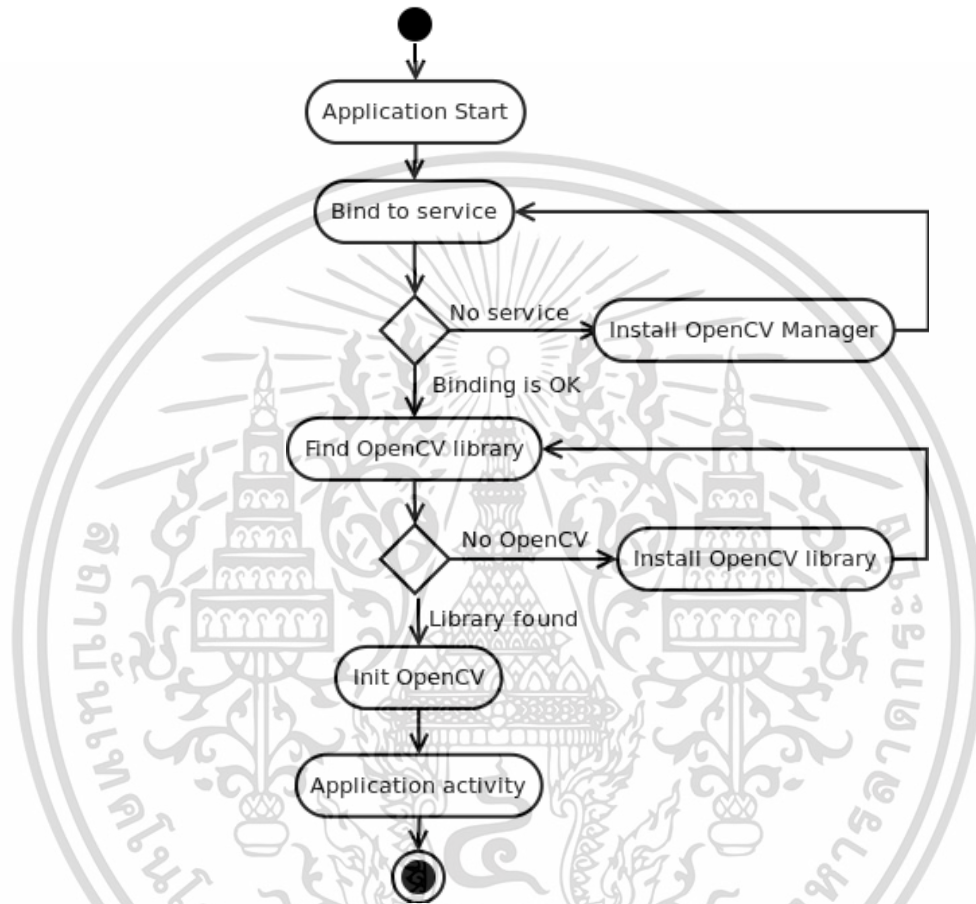
OpenCV เป็นโครงสร้างของโมดูล ซึ่งหมายความว่าแพ็คเกจต่าง ๆ รวมไปถึงมีหลายไลบรารีที่คงที่หรือใช้ร่วมกัน ซึ่งโมดูลต่าง ๆ ที่สามารถใช้งานได้มีดังนี้

- core เป็นโมดูลที่กำหนดโครงสร้างพื้นฐานของข้อมูล รวมทั้งอาร์เรย์หลายมิติ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้โดยโมดูลอื่น ๆ ทั้งหมด
- imgproc เป็นโมดูลการประมวลผลภาพทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น รวมถึงการกรองสัญญาณภาพ ภาพเรขาคณิต การเปลี่ยนแปลงของภาพ เช่น การเปลี่ยนขนาด เปลี่ยนมุมของภาพ รวมไปถึงการแปลงพื้นที่สี ฮิสโทแกรมและอื่น ๆ
- video เป็นโมดูลที่ใช้ในการวิเคราะห์วิดีโอ รวมถึงการประเมินการเคลื่อนไหวของวัตถุ อัลกอริทึมการติดตามวัตถุ เป็นต้น
- calib3d เป็นพื้นฐานของอัลกอริทึมทางเรขาคณิตหลายมุมมอง องค์ประกอบของภาพสามมิติ การประมาณค่าวัตถุ อัลกอริทึมการติดต่อกันของสเตอริโอ เป็นต้น
- features2d โมดูลในการตรวจจับลักษณะเด่น
- objdetect โมดูลในการตรวจจับวัตถุกรณีต่าง ๆ เช่น ใบหน้า ดวงตา แก้ว คน รถยนต์ และอื่น ๆ
- highgui โมดูลที่ง่ายต่อการใช้อินเตอร์เฟซในการจับสัญญาณวิดีโอ และการเข้ารหัสวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- gpu มี GPU-accelerated algorithm จากโมดูล OpenCV ที่แตกต่างกันออกไป และมีโมดูลอื่นๆ ที่นำมาใช้ได้ เช่น FLANN , Google test wrappers และอื่น ๆ

ในการใช้งาน OpenCV จะมีขั้นตอนในการใช้งาน ดังโพล์ชาร์ตในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 โพล์ชาร์ตการทำงานโดยใช้ไลบรารีของ OpenCV

2.8.2 EmguCV

EmguCV เป็นไลบรารี ที่ใช้ช่วยในการเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์วิทัศน์แบบเรียลไทม์เหมือนกับ OpenCV แต่ต่างกันตรงที่ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม เพราะ EmguCV จะใช้ภาษา .NET ในการพัฒนา เช่น C#, VB, VC++, IronPython etc. เวอร์ชันปัจจุบันอยู่ที่ 2.4.2 ซึ่ง EmguCV มีลักษณะเป็น Cross Platform คือสามารถใช้ได้บนระบบปฏิบัติการทั้ง Windows, Linux และ MacOSX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 โลโก้ของ EmguCV

โดย EmguCV แต่ละเวอร์ชัน ก็จะมีความสามารถในการทำงานต่างกันไปตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

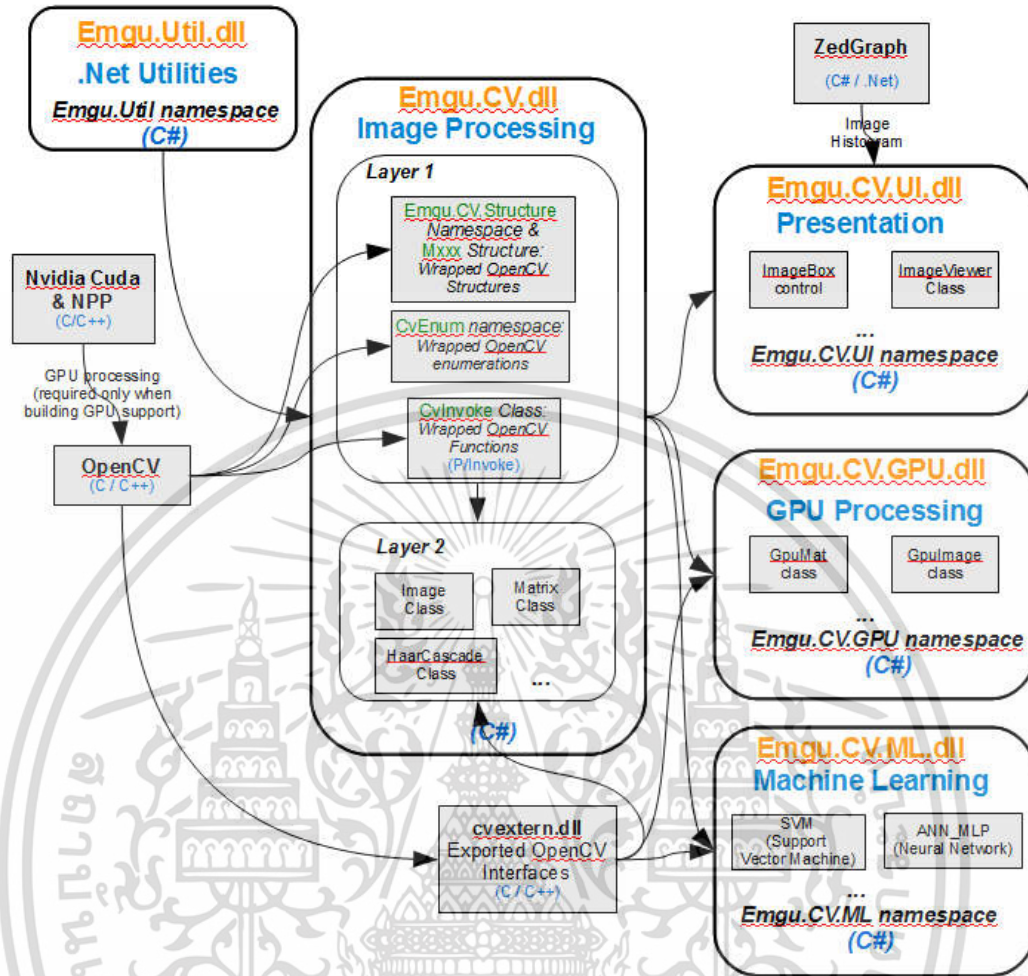
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของ EmguCV แต่ละเวอร์ชัน

Name	Emgu CV (Open Source)	Emgu CV (Commercial Optimized)	Windows Store App *	Emgu CV for iOS (Commercial)	Emgu CV for Android (Commercial)
Platform	Windows, Linux, Mac OSX	Windows	Windows 8 App Store	iOS (iPhone, iPad, iPod Touch)	Android
Supported CPU Architecture	i386, x64	i386, x64	i386, x64	armeabi, armeabi-v7, i386 (Simulator)	armeabi, armeabi-v7a, x86
CUDA GPU Processing	✓	✓	X	X	X
Tesseract OCR [Ⓔ]	✓	✓	X	✓	✓
Intel TBB [Ⓔ] (multi-thread)	X	✓	X	X	X
Intel IPP [Ⓔ] (high performance)	X	✓	X	X	X
Intel C++ Compiler [Ⓔ] (fast code)	X	✓	X	X	X
Exception Handling	✓	✓	✓	✓	✓
Debugger Visualizer	✓	✓	X	X	X
Emgu.CV.UI	✓	✓	X	X	X
License	GPL	Commercial License	Commercial License	Commercial License	Commercial License

ข้อดีของ EmguCV

- เป็น Cross Platform ซึ่งสามารถทำงานได้ทุกระบบปฏิบัติการไม่ว่าจะเป็น Windows, Linux, MacOSX, iOS หรือ Android
- เป็น Cross Language คือสามารถใช้งานได้จากหลากหลายภาษาไม่ว่าจะเป็น C#, VB.NET, C++, Python และจะมีซอร์สโค้ดตัวอย่างมาให้ทุกครั้ง
- คลาสของรูปภาพมีทั้งแบบสีทั่วไปและแบบมีความลึก
- มีการจัดการกับโค้ดหรือไฟล์ที่เป็นเหมือนขยะให้อัตโนมัติ
- มีการดำเนินการในระดับพิกเซล
- เป็นทางเลือกในการใช้คลาสของภาพนอกเหนือจากใช้โดยตรงจาก OpenCV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 สถาปัตยกรรมโดยรวมของ EmguCV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 AForge.NET

AForge.NET เป็นเฟรมเวิร์กที่ถูกพัฒนาสำหรับภาษา C# สำหรับใช้ในการวิจัยและพัฒนาในด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์และระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เช่น การประมวลผลภาพ (Image Processing) โครงข่ายประสาท (Neural Network) การประยุกต์ใช้ในพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (Genetic Algorithms) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และวิทยาการหุ่นยนต์ (Robotics) เป็นต้น ปัจจุบันอยู่ที่เวอร์ชัน 2.2.5

AForge.NET FRAMEWORK

รูปที่ 2.36 สัญลักษณ์ของ AForge.NET

ตัวอย่างของชุดคำสั่งไลบรารีของ AForge.NET ประกอบไปด้วย

- AForge.Imaging เป็นชุดคำสั่งที่ใหญ่ที่สุดในขอบเขตงานประกอบด้วยชุดคำสั่งการประมวลผลภาพต่าง ๆ ซึ่งช่วยในการปรับแต่งภาพและการประมวลผลภาพ
- AForge.Vision เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยเครื่องมือตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือท่าทางต่างๆและชุดคำสั่งการประมวลผลการเคลื่อนไหว
- AForge.Video เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสต่าง ๆ ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลวีดีโอ
- AForge.Robotics เป็นชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์เกี่ยวกับหุ่นยนต์
- AForge.Neuro เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยวิธีการทางโครงสร้างเครือข่ายประสาทเทียมและขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ต่าง ๆ
- AForge.Genetic เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสที่ใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ จาก Genetic Algorithms, Genetic Programming และ Gene Expression Programming
- AForge.MachineLearning เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยคลาสที่เกี่ยวกับการเรียนรู้ของเครื่องและมีไลบรารีอื่น ๆ ที่ใช้งาน

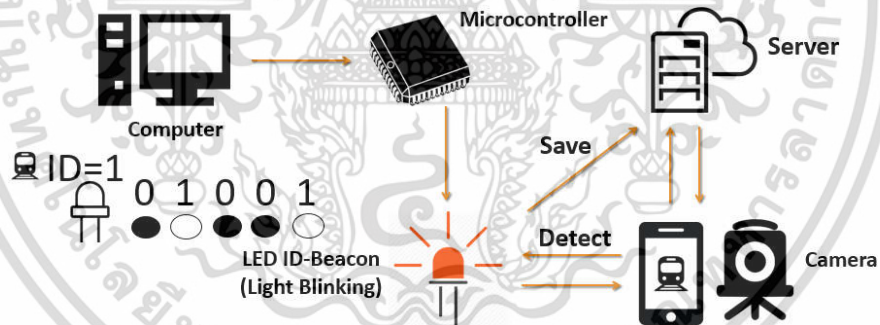
บทที่ 3 การออกแบบระบบ

3.1 บทนำ

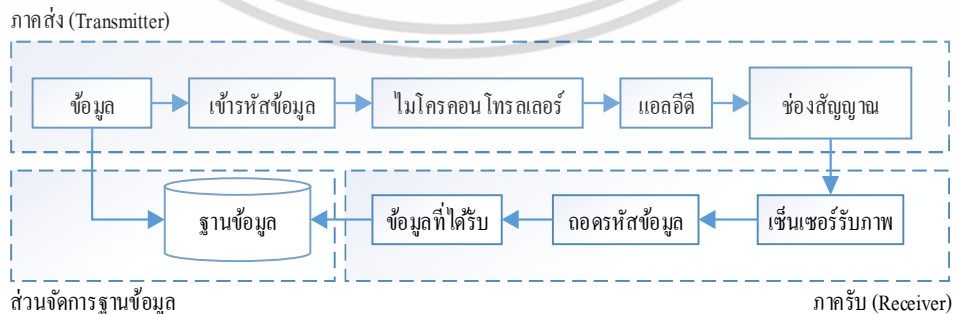
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงภาพรวมการทำงานของระบบ และรายละเอียดแต่ละส่วนของโครงการ รวมถึงขั้นตอนการทำงาน โครงสร้างของระบบซึ่งประกอบด้วยในส่วนภาคส่งและภาครับ โดยในภาคส่งจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกโปรแกรมการกะพริบมาเชื่อมต่อกับวงจรของไฟกะพริบที่ทำจาก LED และในภาครับคือกล้องที่ตรวจจับการกะพริบและคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมคอยแสดงผลและตรวจสอบข้อมูลกับฐานข้อมูล

3.2 โครงสร้างโดยภาพรวมของระบบ

ภาพรวมของระบบจะประกอบไปด้วยส่วนของภาคส่ง ภาครับ และการจัดการฐานข้อมูล ในส่วนของภาคส่งประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมไฟกะพริบของ LED ซึ่งทำหน้าที่เป็นปีคอน และในภาครับนั้นจะเป็นอิมเมจเซ็นเซอร์ โดยใช้กล้องเว็บแคมหรือสมาร์ทโฟนเพื่อตรวจจับการกะพริบของแสงไฟปีคอน โดยการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 และมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานรวมของระบบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 การทำงานของระบบ



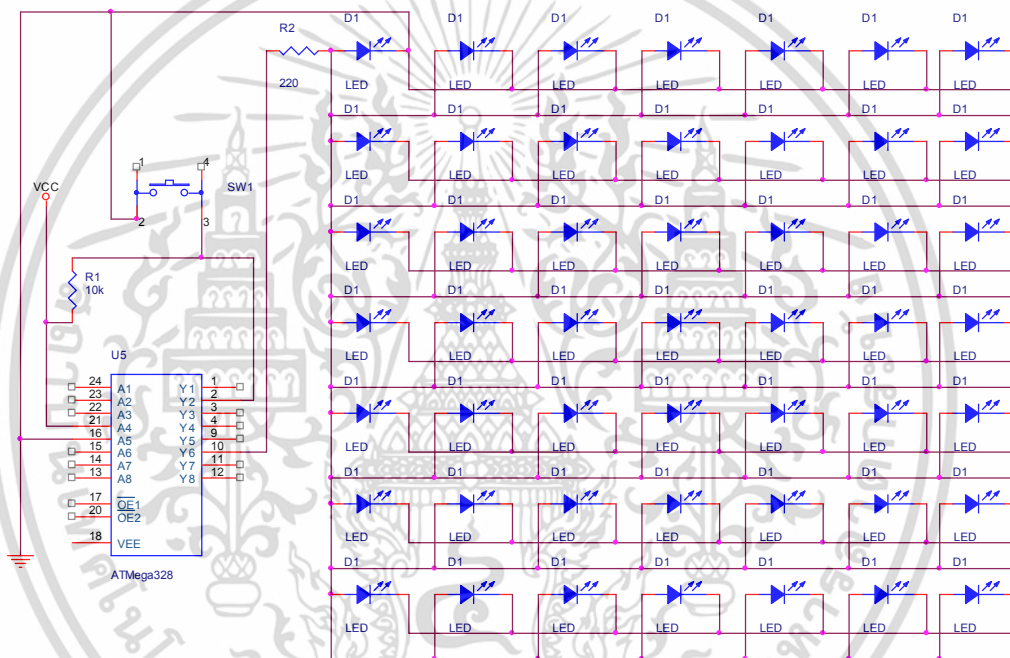
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ด้วยแสงนี้ ประกอบไปด้วยสามส่วน ดังที่กล่าวคือ การออกแบบในส่วนของภาคส่ง การออกแบบในส่วนของภาครับ การออกแบบฐานข้อมูลซึ่งรายละเอียดในแต่ละส่วนจะอธิบายต่อไป

3.3 การออกแบบในส่วนของภาคส่ง

ในภาคส่งของระบบ จะเป็นปีคอนไฟกะพริบเพื่อทำการส่งข้อมูลของวัตถุผ่านการกะพริบของแสง ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเลือกใช้บอร์ด Arduino ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 และวงจรที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ผ่านวงจรสวิตช์ไปยังหลอดไฟ ซึ่งเลือกใช้เป็นหลอดไฟ LED จำนวน 49 หลอด แสดงดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 จำลองวงจรสวิตช์เปิดปิดปีคอนไฟกะพริบและการเชื่อมต่อ



รูปที่ 3.4 ปีคอนไฟกะพริบที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

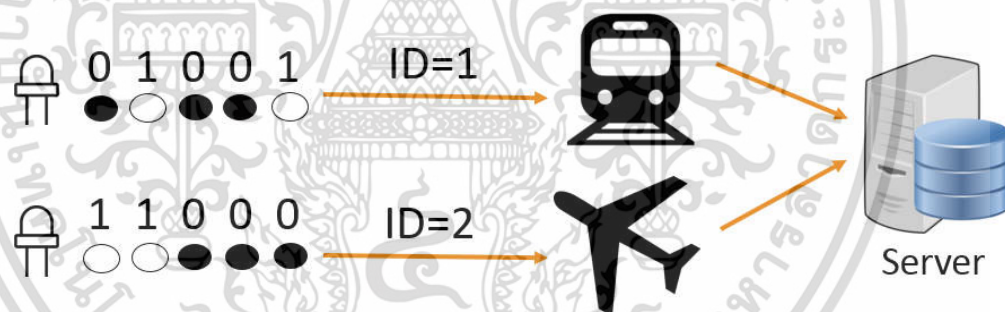
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมวงจรไฟกะพริบ

ในการควบคุมการกะพริบของ LED โดยในการส่งสัญญาณไฟกะพริบนั้น เริ่มจากการนำข้อมูลที่ต้องการจะส่งนั้นมากำหนดรหัสข้อมูล ซึ่งจะเป็นคีย์หลักในฐานข้อมูล และบันทึกลงในฐานข้อมูลกลาง แสดงตัวอย่างการกำหนดรหัสและบันทึกลงในฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.5 จากนั้นจึงนำรหัสข้อมูลนั้นมาแปลงเป็นเลขฐานสองเพื่อทำการเข้ารหัส โดยกำหนดรูปแบบของบิตข้อมูลที่ต้องการจะส่งเป็นรูปแบบทั้งแบบ 26 บิต และ 16 บิต โดยแสดงดังตารางที่ 3.1

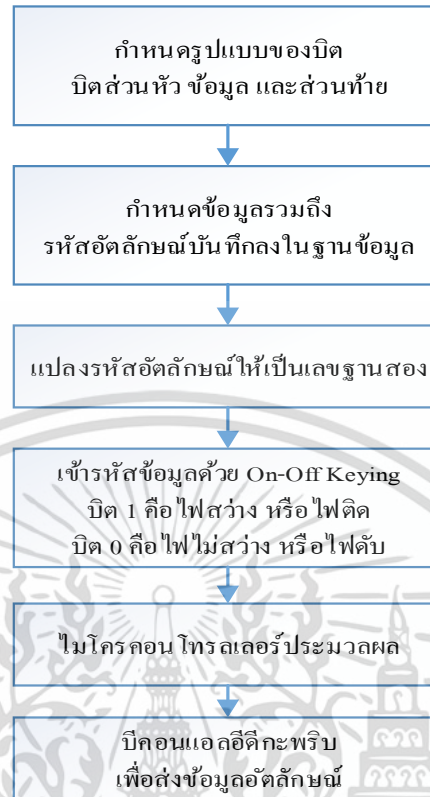
ตารางที่ 3.1 เปรียบรูปแบบบิตของข้อมูล

บิตส่วนหัว	บิตข้อมูล	บิตส่วนท้าย
11110	$d_1d_2d_3\dots d_{18}$	00
11110	$d_1d_2d_3\dots d_8$	00

จากนั้นจะทำการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้วิธีการเข้ารหัสแบบ On-Off Keying โดยกำหนดให้บิต 1 คือไฟติดสว่าง และบิต 0 คือไฟไม่สว่าง หรือไฟดับ จากนั้นจึงทำการโปรแกรมสั่งการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมบิตคอน LED ให้กะพริบตามที่ได้ทำการเข้ารหัสไว้ การทำงานในส่วนของภาคส่งนั้น จะแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการกำหนดและบันทึกรหัสลงในฐานข้อมูล

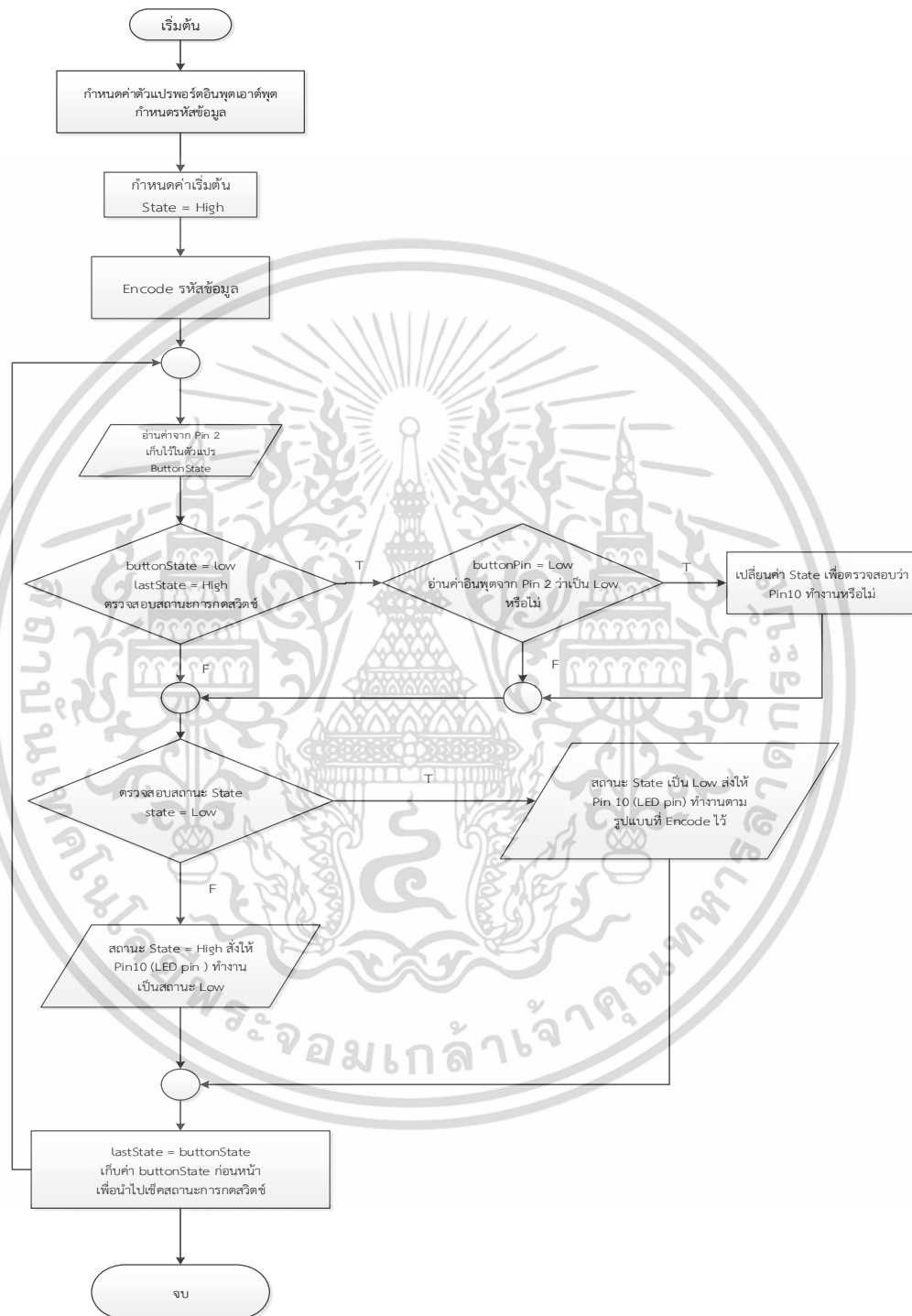


รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบในส่วนของภาคส่ง

ในการควบคุมวงจรไฟกะพริบนี้จะใช้โปรแกรม Arduino ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมบอร์ด Arduino โดยตรงมาใช้โดยจะใช้งานพอร์ตของบอร์ด Arduino สองพอร์ตคือ พอร์ต D2 ซึ่งจะใช้ควบคุมสวิทซ์การเปิดปิดของไฟ และพอร์ตที่ D10 จะใช้สำหรับควบคุมการกะพริบของหลอดไฟ ซึ่งก่อนจะทำการส่งนั้น ต้องดูที่โปรแกรมในส่วนของภาครับก่อนว่าตอบสนองที่ Frame rate เท่าไหร่ ซึ่งจำนวนบิตที่จะส่งนั้น จะต้องไม่เกินความสามารถของค่าเฟรมภาพต่อวินาที (fps) ของกล้องที่สามารถรับภาพได้ ซึ่งภาครับและภาคส่งนั้นจะต้องสัมพันธ์กัน

รูปที่ 3.7 แสดงรูปโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม โดยเริ่มจากกำหนดตัวแปรพอร์ต อินพุต เอาต์พุตและบิตที่ต้องการจะส่งก่อนโดยจะเป็นอาร์เรย์บิต 1 คือไฟติดและบิต 0 คือไฟดับ เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานได้ และกำหนดค่าเริ่มต้นตัวแปร state ให้เป็น high แล้วทำการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อให้ไฟที่กะพริบออกไปนั้นไม่ใช้ข้อมูลอัตลักษณ์นั้น ๆ โดยตรง เป็นการรักษาความปลอดภัยเบื้องต้น จากนั้นทำการอ่านค่าจาก pin 2 แล้วเก็บไว้ที่ตัวแปร button state หาก button state เป็นค่า low และ last state เป็น high จะทำการตรวจสอบสถานะการกดสวิทซ์ว่ามีการกดสวิทซ์หรือไม่ หากมีการกดจะให้ตัวแปร buttonpin เป็น low และอ่านค่าอินพุตจาก pin 2 ว่าเป็น low หรือไม่ หากเป็นจะทำการเปลี่ยน state เพื่อตรวจสอบว่า pin10 ทำงานหรือไม่ หากไม่มีการกดสวิทซ์หรืออินพุตจาก pin2 ไม่เป็นค่า low จะทำการตรวจสอบสถานะของ state ถ้า state = low จะสั่งการให้ pin 10 ทำงานควบคุมไฟกะพริบตามรูปแบบที่เข้ารหัสไว้ หาก state = high จะสั่งการ

ให้ pin 10 ทำงานเป็นสถานะ low แทน จากนั้นกำหนด last state = button state เพื่อเก็บค่า button state ก่อนหน้าเพื่อตรวจสอบสถานะการกดสวิตช์



รูปที่ 3.7 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมไฟกะพริบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบในส่วนของภาครับ

ในส่วนของภาครับจะประกอบไปด้วยการออกแบบอินเตอร์เฟซทั้งในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาด้วย C# เพื่อใช้งานกับกล้องเว็บแคม และอินเตอร์เฟซในส่วนของแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ที่พัฒนาด้วย Java-Eclipse และการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลภาพและรู้จำการกะพริบของปีคอน

3.4.1 การออกแบบอินเตอร์เฟซของโปรแกรมที่พัฒนาด้วย C#

สำหรับอินเตอร์เฟซที่ออกแบบจะแบ่งเป็นสามส่วน คือ ส่วนแสดงผลภาพที่ตรวจจับการกะพริบของแสง ส่วนที่แสดงผลข้อมูลที่รับมาได้ และส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเพื่อตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ของข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 อินเตอร์เฟซของโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม C#

การทดลองจะใช้กล้องเพื่อทำการตรวจจับการกะพริบของแสง ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้กล้องเว็บแคมรุ่น OKER 177 มาใช้ในการทดลองดังรูปที่ 3.9

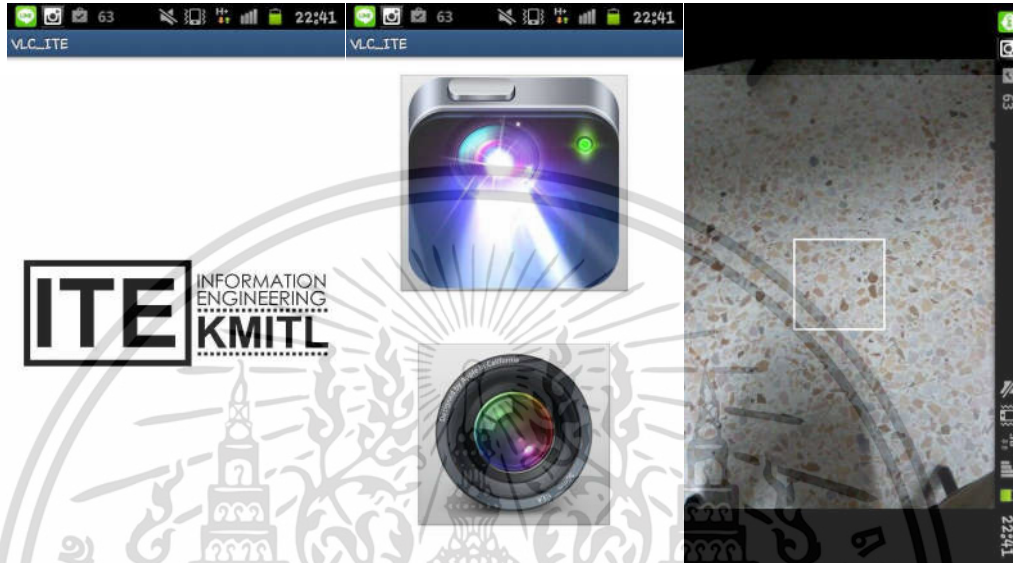


รูปที่ 3.9 กล้องเว็บแคมรุ่น OKER 177 ที่นำไปใช้ในการตรวจจับการกะพริบของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การออกแบบอินเตอร์เฟซของแอปพลิเคชัน

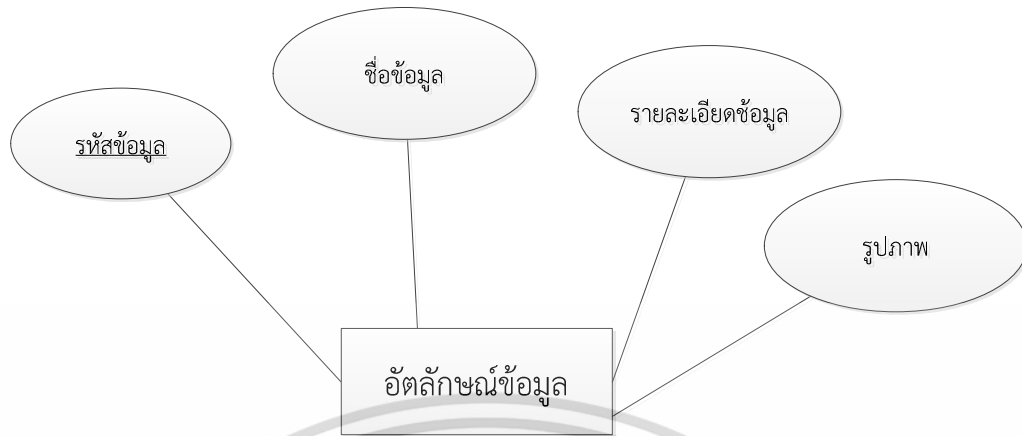
สำหรับอินเตอร์เฟซของแอปพลิเคชันที่ออกแบบจะแบ่งเป็นสามส่วน คือ ส่วนแสดงผลภาพที่ตรวจการกะพริบของแสง ส่วนที่แสดงผลข้อมูลที่ได้รับมาได้ และส่วนที่ทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เพื่อตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อินเตอร์เฟซของแอปพลิเคชัน

3.4.3 การออกแบบฐานข้อมูล

สำหรับฐานข้อมูลจะใช้ MySQL ในการจัดการโดยในตารางจะประกอบด้วย รหัสข้อมูล ชื่อข้อมูล รายละเอียดข้อมูล รูปภาพโดยมี Primary Key คือรหัสข้อมูล ซึ่งเป็นค่าจากการประมวลผลภาพที่รับมาจากภาคส่ง ซึ่งเมื่อรับข้อมูลมาก็จะนำมาตรวจสอบกับฐานข้อมูลว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้น มีอัตลักษณ์ที่ตรงกับในฐานข้อมูลหรือไม่ และมีส่วนที่สามารถจัดการฐานข้อมูลได้ เช่น เพิ่มข้อมูล ลบข้อมูล และตรวจสอบข้อมูลในฐานข้อมูลได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากนำไปใช้กับระบบอื่นฐานข้อมูลนั้นก็ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม โดยแสดงแผนภาพ ER Diagram ฐานข้อมูลของระบบ ตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนภาพ ER Diagram ฐานข้อมูลของระบบตรวจสอบความเป็นอัตลักษณ์

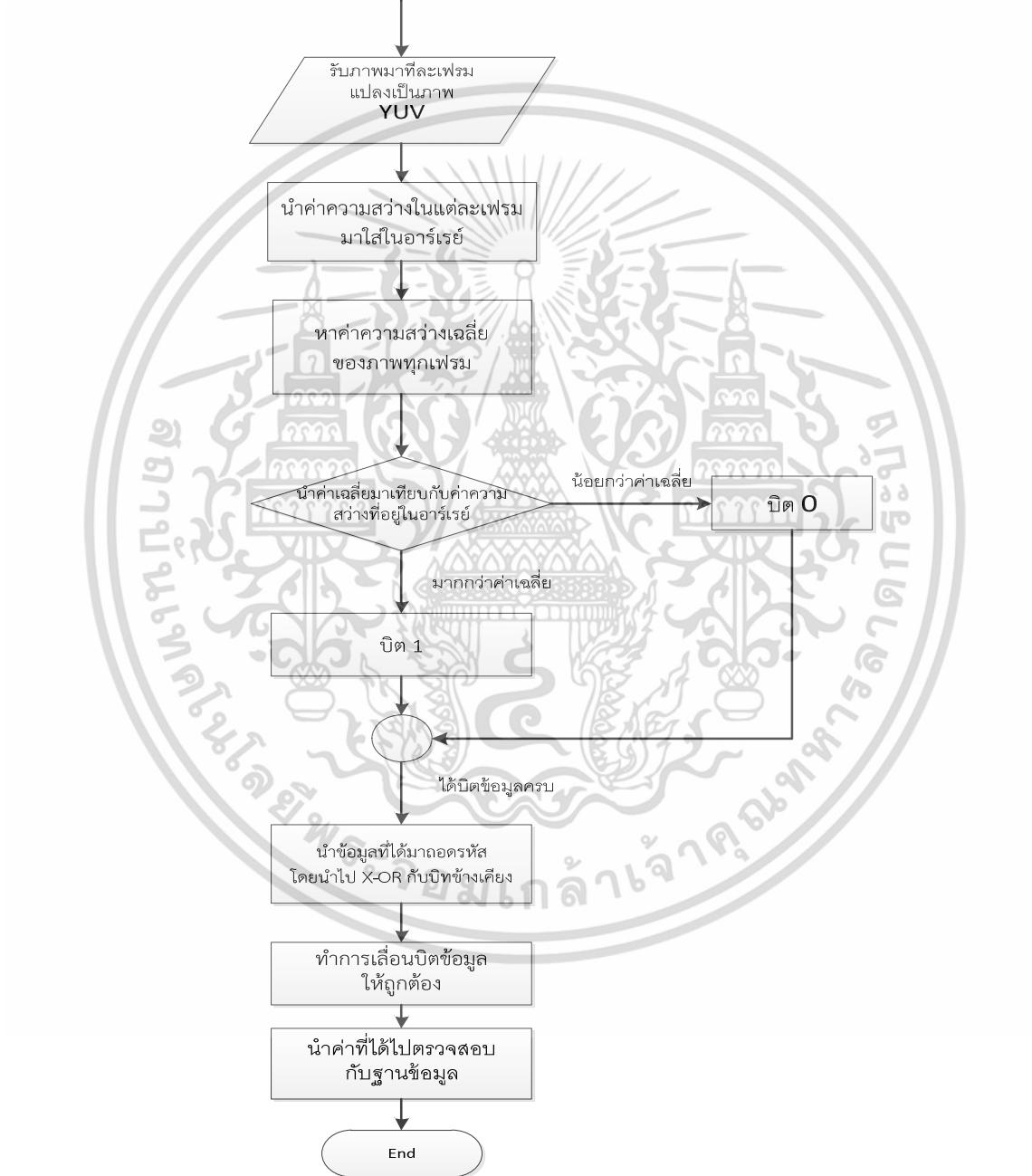
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลในฐานข้อมูลที่ใช้งาน

ชื่อข้อมูล	รหัสข้อมูล	รายละเอียดข้อมูล	รูปภาพ
KMITL	52	www.kmitl.ac.th	

ดังนั้น ข้อมูล KMITL จะมีรหัสข้อมูลเป็น 52 และมีอัตลักษณ์ตั้งรายละเอียดข้อมูลและรูปภาพ และทำการโปรแกรมรูปแบบไฟล์ภาพปริบตามรหัสข้อมูล 52 ไป เมื่อนำกล้องตรวจจับแล้วจะได้ข้อมูลหรืออัตลักษณ์มาดังตัวอย่าง

3.4.4 การออกแบบโปรแกรมประมวลผลภาพและการรู้จำรูปแบบการกะพริบ

รูปที่ 3.11 แสดงแผนภาพโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม ดังนี้



รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของอัลกอริทึมประมวลผลภาพและรู้จำรูปแบบการกะพริบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

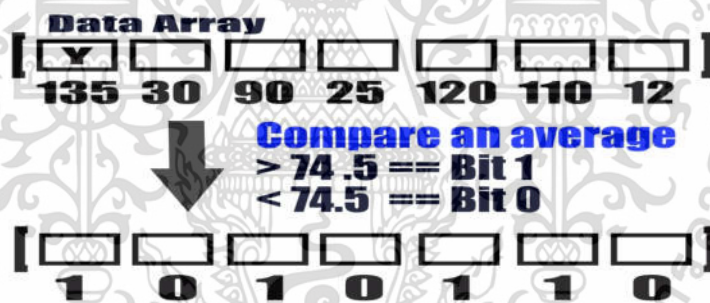
เมื่อทำการเริ่มใช้งานซอฟต์แวร์และเริ่มทำการตรวจจับการกะพริบของบิตคอนแสงไฟนั้น จะทำการรับภาพมาตามค่าเฟรมเรต (Frame rate) ของกล้อง ซึ่งจะนำเฟรมภาพในแต่ละภาพนั้นมาทำการแปลงจากสัญญาณสี RGB เป็นสัญญาณสี YUV ดังสมการที่ (3.1)

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

จากนั้น จะนำค่า Y หรือค่าความสว่าง (Luminance) ของแต่ละภาพมาเก็บไว้ในอาร์เรย์ของข้อมูลจนครบทั้งอาร์เรย์ จึงนำค่าความสว่างในอาร์เรย์มาหาค่าเฉลี่ยของความสว่าง หรือค่าขีดแบ่ง (Threshold) โดยแสดงดังสมการที่ (3.2)

$$Threshold = \frac{\sum_{i=1}^{fp} Y_i}{fp} \quad (3.2)$$

โดยที่ค่า fp นั้นคือจำนวนเฟรมภาพสูงสุดที่เก็บภายในอาร์เรย์ได้



รูปที่ 3.13 หลักการ Thresholding

จากนั้น จึงนำค่าความสว่างในแต่ละภาพของอาร์เรย์มาทำการเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง หากมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขีดแบ่งนั้น จะให้เป็นบิต 1 หากมีค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งจะกำหนดให้เป็นบิต 0 โดยแสดงดังสมการที่ (3.3) และรูปที่ 3.13

$$\text{Bit} \begin{cases} \text{Bit 1 ; } Y_i > \text{Threshold} \\ \text{Bit 0 ; } Y_i < \text{Threshold} \end{cases} \quad (3.3)$$

จากนั้นนำค่าบิตที่ได้รับมาทำการเลื่อนบิตเพื่อหาบิตส่วนหัว บิตส่วนข้อมูล และบิตส่วนท้าย และนำบิตข้อมูลที่ได้รับมาทำการถอดรหัส จากนั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับรหัสข้อมูลในฐานข้อมูล หากตรงกับรหัสข้อมูลใด ก็จะแสดงอัตลักษณ์หรือแสดงข้อมูลของรหัสนั้นขึ้นมาบนหน้าจอ

รูปที่ 4.7-4.10 แสดงรูปการทดลองระยะทางระหว่างตัวส่งไฟกะพริบกับตัวรับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวัน สถานที่ทดลอง ณ บริเวณโถงชั้น 11 อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 1 เมตร และ 5 เมตร ตอนกลางวัน

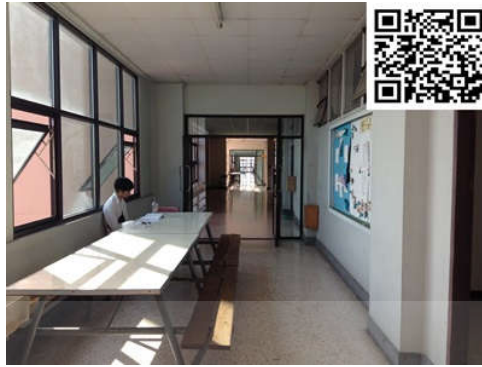


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 10 เมตร และ 20 เมตร ตอนกลางวัน



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 30 เมตร และ 40 เมตร ตอนกลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างตัวส่งไฟกะพริบที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 50 เมตร ตอนกลางวัน

รูปที่ 4.11-4.14 แสดงรูปการทดลองระยะระหว่างตัวส่งไฟกะพริบกับตัวรับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางคืน สถานที่ทดลอง ณ บริเวณโถงชั้น 11 อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 1 เมตร และ 5 เมตร ตอนกลางคืน



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 10 เมตร และ 20 เมตร ตอนกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 30 เมตร และ 40 เมตร ตอนกลางคืน



รูปที่ 4.14 ตัวส่งที่ระยะห่างจากตัวรับระยะ 50 เมตร ตอนกลางคืน

ในการทดลองได้ทำการทดลองในเวลากลางวันและกลางคืน ซึ่งได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันด้วยกล้องเว็บแคม

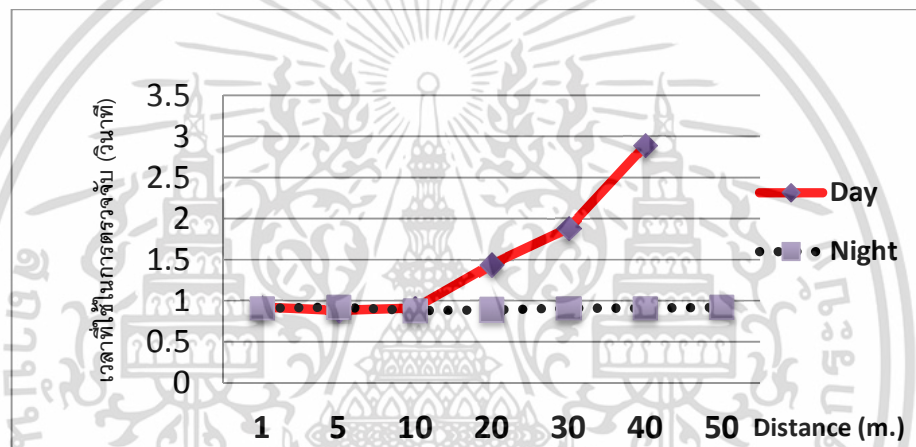
ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	852	1590	1290	1320	1330	1580	1460
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.92	0.88	0.91	1.44	1.88	2.89	-
ความผิดพลาด (%)	10.77	10.29	10.61	7.46	21.21	15.15	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางคืนด้วยกล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	2	1	2	1	2	2	3
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.91	0.92	0.88	0.89	0.91	0.91	0.92
% ความผิดพลาด	12.12	4.48	10.45	12.12	13.64	9.09	10.61

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืน



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืน

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าในเวลากลางวัน ซึ่งมีความสว่างของสภาพแวดล้อมมาก เมื่อระยะไกลขึ้นความสามารถในการตรวจจับจะมีค่าลดลง จนกระทั่งไม่สามารถตรวจจับได้เลยและในเวลากลางคืน ซึ่งมีความสว่างของสภาพแวดล้อมน้อย จะมีความสามารถในการตรวจจับมากและความสามารถในการตรวจจับจะลดลงเพียงเล็กน้อยในระยะที่ไกลขึ้น

ดังนั้น จะเห็นว่าความแตกต่างในเวลากลางวันและกลางคืน คือ ในเวลากลางวันความสามารถในการตรวจจับจะน้อยกว่าเวลากลางคืน เพราะมีค่าความสว่างของสภาพแวดล้อมมาก ทำให้มีผลต่อค่าความสว่างเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการคำนวณมากกว่าในเวลากลางคืน จึงได้คิดค้นวิธีการขึ้นมาเพื่อลดความผิดพลาด และเพิ่มอัตราการตรวจจับในตอนกลางวันให้มากขึ้นในหัวข้อต่อไป

4.4 การลดอัตราความผิดพลาด และการเพิ่มอัตราการตรวจจับการกะพริบของแสง

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่า ผลการทดลองนั้นยังมีความผิดพลาดอยู่ และในตอนกลางวันที่ระยะไกลนั้น จะไม่สามารถตรวจจับได้ จึงได้คิดวิธีการที่จะลดปัญหาดังกล่าวทั้งสองโดยวิธีต่าง ๆ นี้ได้แก่

1. การลดความผิดพลาดโดยการลดจำนวนบิตที่ใช้ส่ง
2. การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการซูมภาพ
3. การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการลดรอบการประมวลผล
4. การเพิ่มอัตราการจับได้โดยการเพิ่มขนาดของตัวส่ง
5. การลดความผิดพลาดโดยใช้การตรวจสอบจากการตรวจจับสองครั้ง

4.4.1 การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการซูมภาพ

การซูมภาพ เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อเพิ่มอัตราการตรวจจับไฟกะพริบได้ในระยะที่ไกลจากเดิมที่ไม่สามารถจับได้ โดยจะทำการซูมหรือเพิ่มความยาวโฟกัสเพื่อให้เข้าใกล้ภาพมากขึ้น โดยใช้ดิจิทัลซูม หรือซูมที่เลนส์ก็ได้ เพื่อให้เข้าใกล้ไฟกะพริบมากขึ้น



รูปที่ 4.16 การตรวจจับเมื่อยังไม่ได้ซูมภาพ



รูปที่ 4.17 การตรวจจับเมื่อทำการซูมภาพ

โดยการทดลองจะทำการตรวจจับโดยใช้เทคนิคการซูมภาพในเวลากลางวัน และกลางคืน ได้ผลการทดลองตอนกลางวันดังตารางที่ 4.3 ตอนกลางคืนดังตารางที่ 4.4

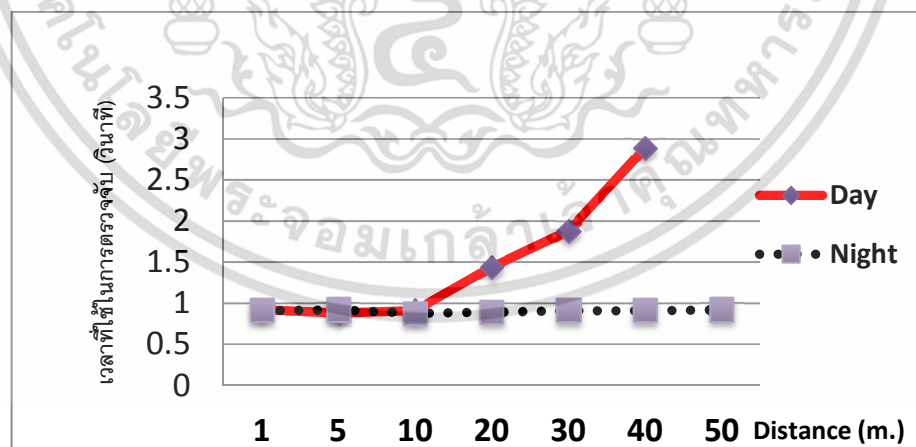
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยใช้เทคนิคการชุมภาพด้วยเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	889	1480	1350	1320	1410	1590	1400
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.92	0.88	0.91	0.92	1.78	2.89	4.45
% ความผิดพลาด	10.77	10.29	10.61	4.48	10.61	1.52	6.29

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางคืนโดยใช้เทคนิคการชุมภาพด้วยกล้องเว็บแคม

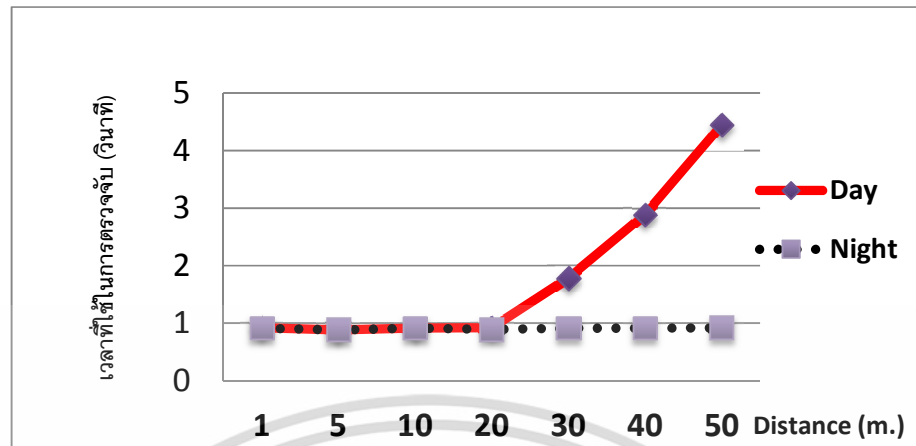
ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	12	14	10	8	9	12	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.93	0.88	0.91	0.89	0.92	0.91	0.92
% ความผิดพลาด	8.43	5.78	7.54	10.44	8.21	8.52	5.46

รูปที่ 4.18–4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืน โดยรูปที่ 4.18 จะตรวจจับธรรมดา แต่รูปที่ 4.19 จะใช้เทคนิคการชุมภาพ



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

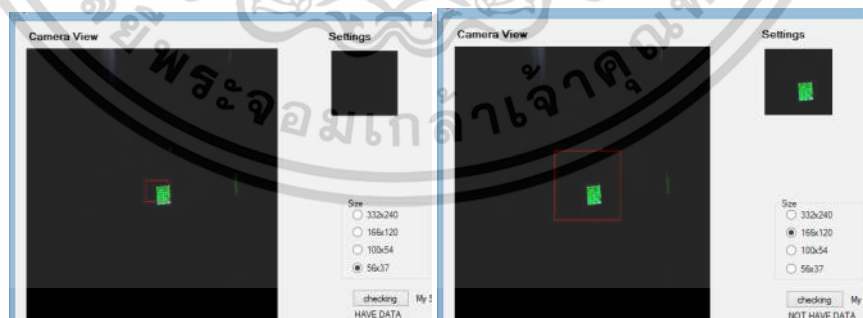


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืนโดยใช้เทคนิคการซูมภาพ

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อทำการซูมภาพ ในเวลากลางวันสามารถตรวจจับได้ไกลขึ้น จากเดิมที่ไม่สามารถตรวจจับได้เลย

4.4.2 การเพิ่มอัตราการจับได้โดยใช้เทคนิคการลดรอบการประมวลผล

โดยปกติการตรวจจับนั้น จะใช้ภาพที่แสดงขึ้นมาในกล้องรับภาพของโปรแกรม และใช้ค่าความสว่างของภาพนั้นมาคำนวณ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของแสงนั้นมากตามไปด้วย ทำให้ตรวจจับได้ยาก จึงต้องสร้างกรอบขึ้นมาเพื่อลดการประมวลผล ทำให้ใช้การคำนวณแสงสว่างเพียงแค่ภาพภายในกรอบนั้น ๆ เพื่อให้เห็นตัวไฟกะพริบมากขึ้น และเพื่อให้สามารถเพิ่มอัตราการตรวจจับได้ โดยมีกรอบขนาดต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของไฟกะพริบในขณะนั้น ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 รูปกรอบการประมวลผลที่ขนาดต่าง ๆ

เมื่อนำทั้งสองเทคนิคมารวมกัน ทั้งเทคนิคการซูมและการลดกรอบการประมวลผล ซึ่งได้ผลการทดลองในตอนกลางวันดังตารางที่ 4.5 และตอนกลางคืนดังตารางที่ 4.6

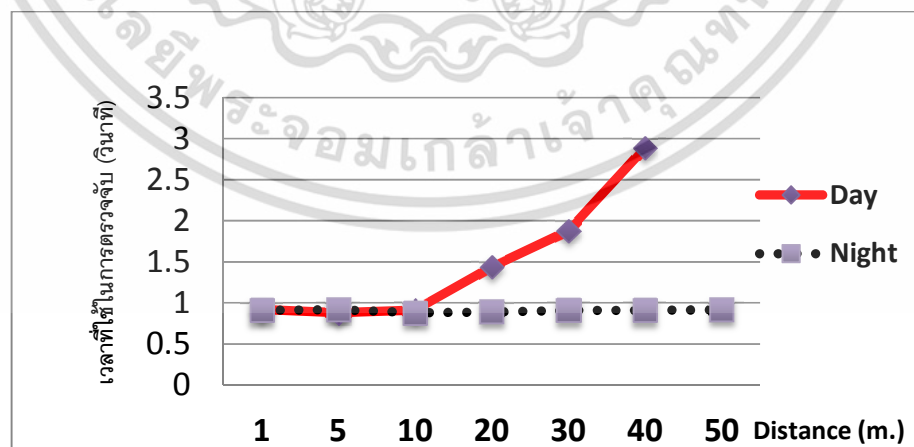
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผลภาพด้วยกล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1489	1960	1230	1240	1368	1795	1950
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.91	0.91	0.92	0.91	0.91	1.58	2.45
% ความผิดพลาด	10.77	10.29	10.61	13.64	15.15	12.12	12.12

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการตรวจจับระยะต่าง ๆ เวลากลางคืนโดยใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผลภาพด้วยกล้องเว็บแคม

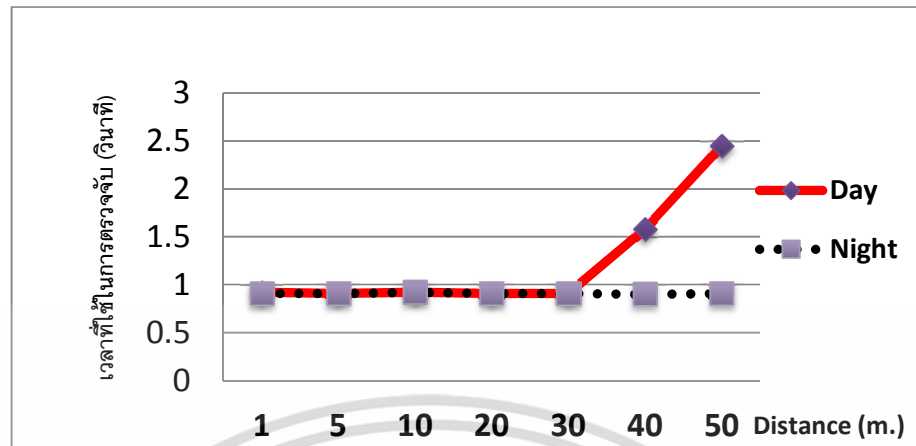
ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	12	14	10	8	9	12	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.91	0.91	0.92	0.91	0.91	0.90	0.91
% ความผิดพลาด	13.64	11.94	7.46	7.58	1.52	10.61	10.45

รูปที่ 4.21–4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืน โดยรูปที่ 4.21 จะตรวจจับธรรมดา แต่รูปที่ 4.22 จะใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผล



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลากลางวันและกลางคืนโดยใช้เว็บแคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการตรวจจับครั้งแรกกับระยะจากเครื่องรับในเวลา กลางวันและกลางคืน โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพและการลดกรอบการประมวลผลด้วยเว็บแคม

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าการถ่ายภาพและการลดกรอบการประมวลผลนั้น ทำให้ การตรวจจับในตอนกลางวันในระยะไกลนั้น สามารถตรวจจับได้มากขึ้น จากเดิมที่ไม่สามารถ จับได้เลย ดังนั้นการถ่ายภาพและการลดกรอบการประมวลผลนั้น เป็นวิธีที่สามารถทำให้เพิ่ม ประสิทธิภาพกมาตรวจจับไฟกะพริบในตอนกลางวันได้

4.4.3 การลดความผิดพลาดโดยการลดจำนวนบิตที่ส่ง

โดยปกติ การสื่อสารนั้นหากมีจำนวนบิตที่ส่งข้อมูลมาก ย่อมทำให้ได้ข้อมูลจำนวน มากหรือมีความเร็วในการส่งมาก แต่ก็แลกมาด้วยความผิดพลาดที่มากขึ้นเช่นกัน หากบิตที่ ส่งน้อยลง ความผิดพลาดก็น่าจะน้อยลงตามไปด้วย จึงได้ทำการทดลองลดบิตที่ใช้ส่งจาก 26 บิต เป็น 16 บิต ทำการทดลองตรวจจับในตอนกลางวันและกลางคืน และใช้เทคนิคการช้ ภาพและการลดกรอบการประมวลผลภาพ โดยได้ผลการทดลอง ลดจำนวนบิตที่ใช้ส่งลงอีก เป็น 16 บิต จะได้ผลการทดลอง ส่ง 16 บิต ในตอนกลางวันดังตารางที่ 4.15 และ ใน ตอนกลางคืนดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการตรวจจับในเวลากลางวันโดยลดจำนวนบิตที่ส่งเป็น 16 บิต ด้วยกล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1250	1430	1150	1120	1130	1790	1985
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.95	0.97	0.96	0.97	1.02	1.43	3.34
% ความผิดพลาด	2.97	2.00	0.00	1.98	3.93	3.92	4.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการตรวจจับในเวลากลางคืนโดยลดจำนวนบิตที่ส่งเป็น 16 บิต ด้วยกล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	10	8	4	2	2	5	6
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.98	0.97	0.95	0.98	0.99	0.95	0.95
% ความผิดพลาด	1.98	1.96	0.99	0.00	1.96	2.94	0.99

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อจำนวนบิตที่ต้องการส่งนั้น ยังมีค่าน้อยลงจำนวนครั้งที่สามารถรับข้อมูลได้ก็จะมากขึ้น และทำให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดนั้นน้อยลงตามไปด้วย จึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการลดความผิดพลาดได้ แต่ก็จะทำให้ข้อมูลนั้นมีจำนวนน้อยลง เพราะบิตข้อมูลที่น้อยลงตามไปด้วยนั่นเอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

4.4.4 การเพิ่มอัตราการจับได้โดยการเพิ่มขนาดของตัวส่ง

ในการทดลองนี้ จะทำการเพิ่มขนาดของตัวส่งจาก จาก LED 49 หลอด เป็น 98 หลอด ขนาด 7x14 ทดลองในเวลากลางวันและกลางคืน 16 บิต และใช้เทคนิคการซูมภาพและการลดกรอบการประมวลผล ซึ่งมีการทดลองในตอนกลางวันดังตารางที่ 4.9 และตอนกลางคืนดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางวันโดยการเพิ่มขนาดของตัวส่ง โดยใช้กล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1200	1530	1290	1215	1430	1990	2040
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.98	0.97	0.95	0.98	0.99	0.95	0.95
% ความผิดพลาด	3.96	1.00	3.00	3.00	1.00	5.94	3.96

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการตรวจจับที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางคืนโดยการเพิ่มขนาดของตัวส่ง โดยใช้กล้องเว็บแคม

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	3	4	2	1	1	3	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	0.98	0.97	0.95	0.98	0.99	0.95	0.95
% ความผิดพลาด	4.95	0.99	2.94	0.99	1.96	1.96	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มขนาดของตัวส่งนั้น ย่อมให้ความสว่างที่มากขึ้น ในกรอบการประมวลผลภาพนั้น ๆ ตามไปด้วย ทำให้สามารถตรวจจับได้มากขึ้นจากเดิมที่ใช้ ตัวส่งขนาด 7x7 หรือ 49 หลอด ในตอนกลางวันที่มีระยะไกล (40 เมตร ถึง 50 เมตร) การเพิ่มขนาดของตัวส่ง เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มอัตราการตรวจจับได้เช่นกัน

4.4.5 การลดความผิดพลาดโดยใช้การตรวจสอบจากการตรวจจับสองครั้ง

โดยปกติในโปรแกรมการตรวจจับนั้น เมื่อโปรแกรมหา Header bit และ Close bit เเจ จะทำการแสดง Data Bit ขึ้นมาโดยแปลงเป็นเลขฐาน 10 ก่อนนำไปแสดงผล แล้ว ตรวจสอบกับฐานข้อมูลที่หน้าจอ Interface ซึ่งบิตข้อมูลที่ผิดหรือถูกนั้นก็จะถูกแสดงขึ้นมา ซึ่งหากนำไปใช้งานจริงก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ จึงได้คิดอัลกอริทึมง่าย ๆ ที่ใช้ในการ ลดความผิดพลาดนี้ โดยการตรวจจับสองครั้งก่อนแสดงผล โดยเมื่อโปรแกรมตรวจจับได้เป็น เลขฐานสิบมาแล้ว จะทำการเก็บค่าไว้ที่ตัวแปรตัวหนึ่งก่อน แล้วพอรับมาอีกครั้งต่อไป ก็ จะนำมาเก็บไว้ที่ตัวแปรอีกตัวหนึ่ง แล้วนำมาเปรียบเทียบว่าเป็นตัวเลขเดียวกันหรือไม่ หากเป็น ตัวเลขเดียวกันก็จะแสดงผลขึ้นมา หากไม่เหมือนกันก็จะไม่แสดงผลและทำการรับข้อมูลมา ใหม่อีกครั้ง ส่วนเรื่องความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น เป็นไปได้้น้อยมาก เนื่องจากบิตข้อมูลที่ ผิดพลาดนั้น เป็นไปได้ยากที่บิตจะผิดที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งสองครั้ง จึงทำให้มีข้อดีคือข้อมูลที่ แสดงผลนั้นมีความถูกต้องแน่นอน แต่ข้อเสียคือทำให้อัตราการแสดงผลนั้นน้อยลง หาก ตรวจจับในตอนกลางวันที่มีระยะไกล ที่มีอัตราการตรวจจับต่ำนั้น จะทำให้แสดงผลได้ช้า ซึ่งผลการทดลองพบว่า ความผิดพลาดในการแสดงผลหลังจากใช้วิธีการตรวจจับสองครั้งนั้น ไม่มีความผิดพลาดแสดงผลเลยแม้แต่ครั้งเดียว ตั้งแต่ทดลองมาในทุกแบบ แต่อัตราการ ตรวจจับนั้นจะต่ำลง และแสดงผลช้ากว่าเดิม เนื่องจากต้องรอการตรวจจับถึงสองครั้งแล้ว นำมาตรวจสอบก่อนนั่นเอง

4.5 การจัดการฐานข้อมูลของระบบ

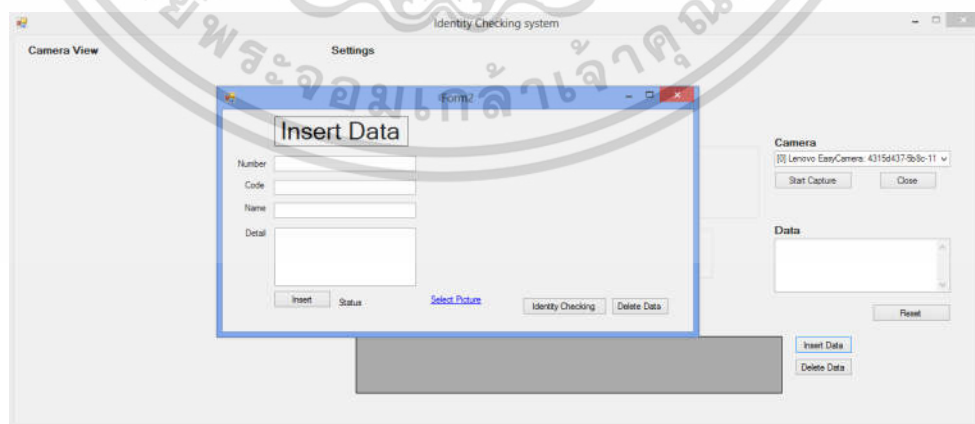
ในระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ด้วยแสงนั้น ฐานข้อมูลถือเป็นส่วนสำคัญของระบบ เนื่องจากใช้ในการเก็บข้อมูลอัตลักษณ์ต่าง ๆ ที่เราต้องการจะตรวจสอบ เมื่อโปรแกรมตรวจสอบการกะพริบของแสง จะได้โค้ดเป็นตัวเลขฐานสิบมา แล้วจึงนำโค้ดที่ได้นี้ไปเทียบในฐานข้อมูลว่าเป็นโค้ดของอัตลักษณ์ใด ๆ ดังนั้นก่อนที่จะมีตรวจสอบได้นั้น ต้องมีการเพิ่มข้อมูลอัตลักษณ์และโค้ดของสิ่งนั้น ๆ ลงในฐานข้อมูลก่อน และเพื่อง่ายแก่การจัดการจึงมีส่วนของโปรแกรมที่สามารถเพิ่มข้อมูล ตรวจสอบข้อมูล อัปเดตข้อมูลและลบข้อมูลในฐานข้อมูลได้ โดยมีอินเตอร์เฟซผู้ใช้งานดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 GUI ส่วนของฐานข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูล
ของโปรแกรมตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้แสง

4.5.1 การเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล

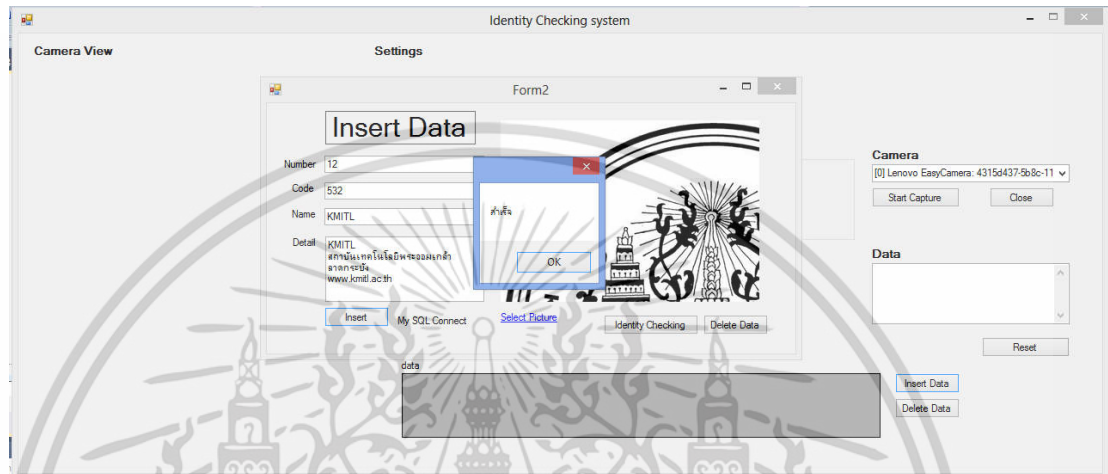
เมื่อคลิกปุ่ม Insert Data จะแสดงหน้าต่างสำหรับการเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 GUI ส่วนการเพิ่มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

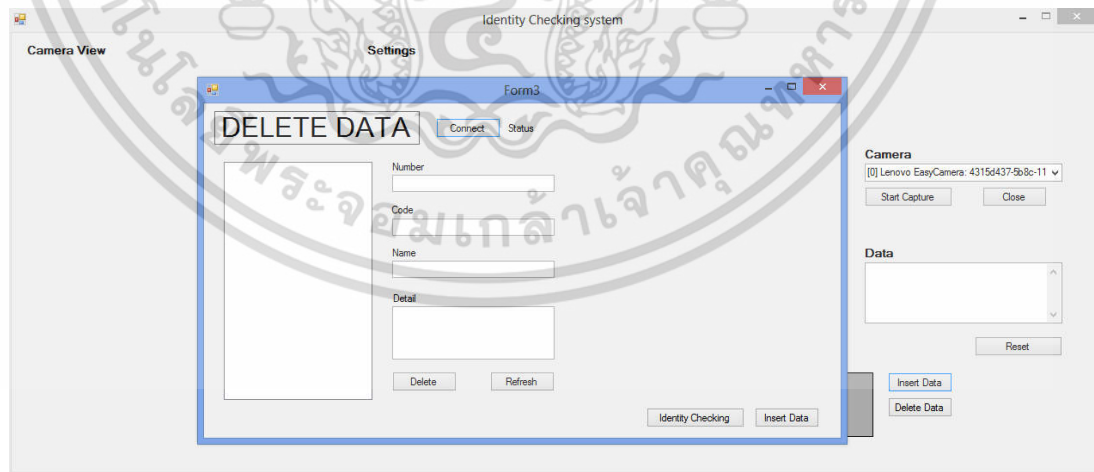
จากนั้น กรอกรายละเอียดสำหรับอัตลักษณ์ของสิ่งนั้น ๆ ลงไป Number คือ หมายเลข Code คือ รูปแบบไฟกะพริบที่แทนอัตลักษณ์ของสิ่งต่าง ๆ เป็นเลขฐานสิบและไม่ซ้ำกัน Name คือ ชื่อของสิ่งนั้นๆ Detail คือรายละเอียดของอัตลักษณ์ และเลือกรูปภาพและเมื่อกรอกรายละเอียดต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วกดปุ่ม Insert ก็จะมีกล่องข้อความแสดงว่าการเพิ่มข้อมูลอัตลักษณ์ลงในฐานข้อมูล นั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 GUI ส่วนการเพิ่มข้อมูลเมื่อเพิ่มข้อมูลสำเร็จ

4.5.2 การลบข้อมูลในฐานข้อมูล

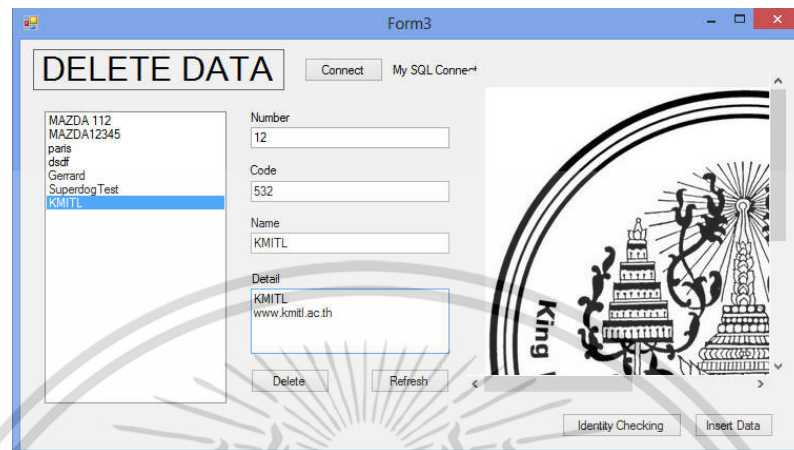
จากรูปโปรแกรมนั้นหากต้องการลบข้อมูลออกจากฐานข้อมูลนั้น สามารถทำได้โดยคลิกปุ่ม “Delete Data” จะแสดงหน้าต่างสำหรับลบข้อมูลขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 GUI ส่วนการลบข้อมูล

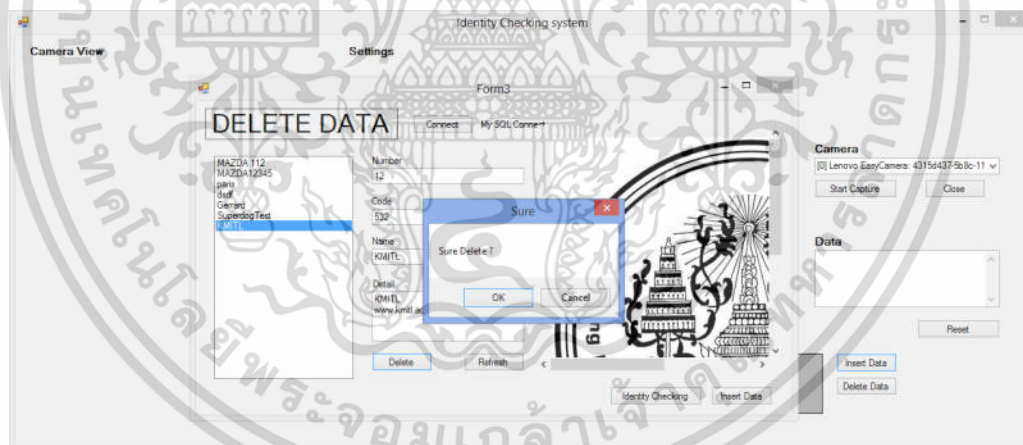
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม Connect เพื่อเชื่อมต่อฐานข้อมูลและแสดงชื่อข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล และเมื่อนำเมาส์ไปคลิกเลือกชื่อนั้น ๆ ก็แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ออกมา ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 GUI ส่วนการลบข้อมูลโดยเลือกข้อมูลที่ต้องการจะลบ

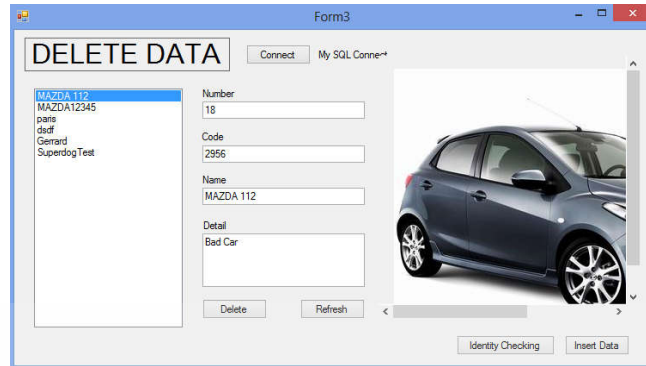
เมื่อเลือกข้อมูลอัตลักษณ์ที่จะทำการลบแล้ว กดปุ่ม Delete จะมีหน้าต่างยืนยันการทำการลบข้อมูล แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 GUI ยืนยันการลบข้อมูล

จากนั้นข้อมูลจะถูกลบทิ้งออกจากฐานข้อมูล ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยกดปุ่ม Refresh จะพบว่าข้อมูล KMITL นั้นไม่ได้อยู่ในฐานข้อมูลแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 GUI การลบข้อมูลเรียบร้อยแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองส่วนของสมาร์ทโฟน

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการทดลองในส่วนของการใช้ภาครับเป็นสมาร์ทโฟน โดยทำการทดลองตรวจจับการกะพริบของบีกอนไฟกะพริบ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดต่อไป

5.1 การทดลองแอปพลิเคชันในส่วนของภาครับ

การทดลองส่วนของแอปพลิเคชันสมาร์ทโฟนในส่วนของภาครับ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เมื่อเริ่มใช้งานแอปพลิเคชันตรวจสอบอัตลักษณ์ด้วยแสงที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Eclipse บนสมาร์ทโฟนแอนดรอยด์ จะแสดงผลข้อความขึ้นเมื่อเริ่มต้นแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อินเทอร์เฟซเมื่อกดเข้าแอปพลิเคชัน

2. จากนั้นจะทำการโหลดมาในส่วนของการเลือกโหมดในการใช้งาน โดยสามารถเลือกที่จะส่งข้อมูลไฟกะพริบจากกล่อง หรือเลือกในส่วนที่เป็นกล่องด้านล่างเพื่อเริ่มใช้งานกล่องบนสมาร์ทโฟนเพื่อตรวจจับการบีกอนแสงไฟกะพริบโดยแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อินเทอร์เฟซขณะก่อนเข้าสู่การทำงานของกล้อง

3. รูปที่ 5.3 จะแสดงอินเทอร์เฟซของการใช้งานกล้องของสมาร์ทโฟน โดยภายในหน้าจอจะมีกรอบสี่เหลี่ยมบริเวณตรงกลางของหน้าจอ ให้นำกรอบสี่เหลี่ยมนั้นไปหยุดอยู่ที่บริเวณที่มีไฟกะพริบเพื่อตรวจจับการกะพริบของปีคอน จากนั้นรอสักครู่



รูปที่ 5.3 การทำงานของแอปพลิเคชันในขณะประมวลผล

4. หากการตรวจจับการกะพริบสำเร็จ และเมื่อประมวลผลเสร็จแล้ว หากโค้ดหรือบิตที่ได้รับมีค่าตรงกับค่าใดในฐานข้อมูล จะปรากฏข้อมูลที่เป็นอัตลักษณ์ของปีคอนไฟกะพริบรูปแบบนั้น แสดงผลข้อมูลขึ้นมาบนหน้าจอ โดยจะแสดงดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 อินเทอร์เน็ตข้อมูลที่มีอยู่ภายในฐานข้อมูล

5.2 การทดลองตรวจจับในเวลากลางวันและกลางคืนที่ระยะต่าง ๆ

ในการทดลองการตรวจจับปีคอนไฟกะพริบโดยใช้สมาร์ตโฟนนั้น จะทดลองโดยมีรูปแบบเช่นเดียวกับการตรวจจับโดยใช้กล้องเว็บแคม โดยใช้สถานที่ทดลอง ณ บริเวณโถงหน้าลิฟต์ชั้น 11 อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เช่นเดียวกัน ในเวลากลางวันหรือที่มีแสงมาก กับบริเวณกลางคืนในระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง 1 ถึง 50 เมตร โดยส่งจำนวน 16 บิต รูปที่ 5.5 – 5.6 แสดงรูปการทดลองระยะทางระหว่างตัวส่งไฟกะพริบกับสมาร์ตโฟนที่ใช้แอปพลิเคชันในการตรวจจับไฟกะพริบที่ระยะต่าง ๆ ในบริเวณกลางวัน



รูปที่ 5.5 สมาร์ตโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 สมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 10 เมตร

รูปที่ 5.7-5.8 แสดงรูปการทดลองระยะทางระหว่างตัวส่งไฟกะพริบกับสมาร์ทโฟนที่ใช้แอปพลิเคชันในการตรวจจับไฟกะพริบที่ระยะต่าง ๆ ในเวลากลางคืน หรือบริเวณที่มีมืด



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการทดลองเมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 10 เมตร

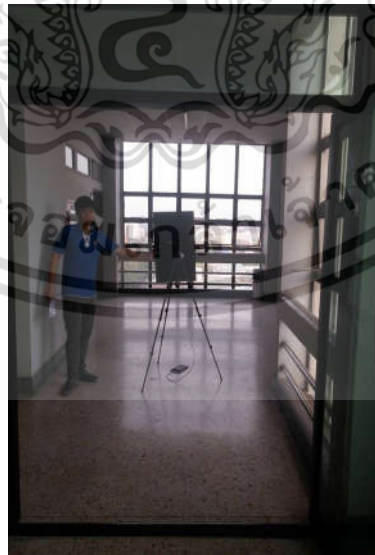
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ตัวอย่างการทดลองเมื่อสมาร์ทโฟนอยู่ห่างจากตัวส่งเป็นระยะ 15 เมตร

5.2.1 การทดลองตรวจจับในเวลากลางวัน

ในการทดลองตรวจจับด้วยสมาร์ทโฟนนี้ จะคล้ายกับการทดลองในการตรวจจับด้วยกล้องเว็บแคมคือระยะระหว่างตัวรับและตัวส่งที่ระยะ 1 เมตร ถึง 50 เมตร โดยทำการตรวจจับเพื่อหาค่าเวลาครั้งแรกสุดที่ระบบสามารถตรวจจับการกะพริบของแสงได้ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ย และหาค่าอัตราความผิดพลาดโดยทำการตรวจจับเป็นเวลา 1 นาที ว่าสามารถรับข้อมูลได้เท่าใด และมีความผิดพลาดเท่าใดโดยจากการทดลองได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.9 การทดลองตรวจจับไฟกะพริบในเวลากลางวัน ระยะ 1-50 เมตร ด้วยสมาร์ทโฟน

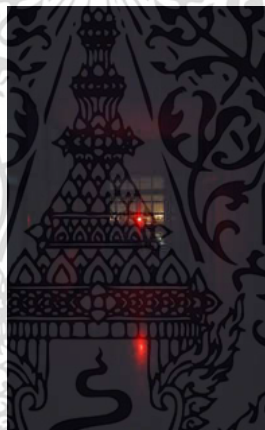
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางวันโดยใช้สมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1200	1530	1290	1215	1430	1990	2040
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	1.88	2.67	2.71	2.97	-	-	-
% ความผิดพลาด	8.54	4.99	3.40	3.70	-	-	-

5.2.2 การทดลองตรวจจับในตอนกลางคืน

การทดลองนี้จะใช้แอปพลิเคชันตรวจจับปีคอนแสงไฟกะพริบในเวลากลางคืน ระยะทางระหว่างอาคารรับและภาคส่ง 1 เมตร ถึง 50 เมตร โดยทำการตรวจจับเพื่อหาค่าเวลาครั้งแรกสุดที่ระบบสามารถตรวจจับการกะพริบของแสงได้ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ย และหาค่าอัตราความผิดพลาดโดยทำการตรวจจับเป็นเวลา 1 นาที ว่าสามารถรับข้อมูลได้เท่าใด และมีความผิดพลาดเท่าใด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.10 การทดลองตรวจจับไฟกะพริบในเวลากลางคืนระยะ 1-50 เมตร ด้วยสมาร์ทโฟน

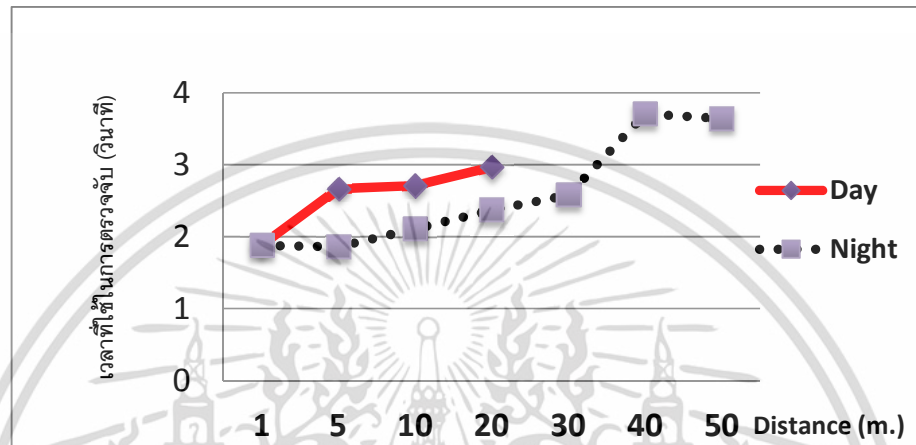
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางคืนโดยใช้สมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	3	4	2	1	1	3	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	2.04	2.41	2.87	2.95	3.78	4.11	4.25
% ความผิดพลาด	4.42	9.89	4.53	3.32	1.50	4.24	4.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 สรุปผลการทดลองตรวจจับไฟกะพริบ

จากการทดลองทั้ง 2 การทดลองทำให้รู้ว่าการตรวจจับในตอนกลางคืนที่มีแสงรบกวนน้อยใช้เวลาในการตรวจจับน้อยกว่าในเวลากลางวันที่มีแสงรบกวนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงอาทิตย์ เป็นต้น ทำให้การประมวลผลเป็นไปได้มากยิ่งขึ้น จะสังเกตได้จากรูปที่ 5.11

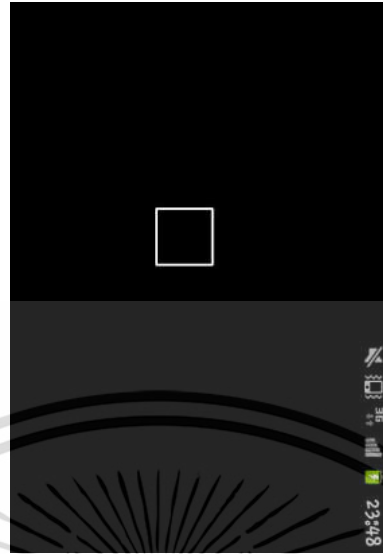


รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบเวลากับระยะทางในเวลากลางวันและกลางคืนตรวจจับโดยใช้สมาร์ทโฟน

อีกสาเหตุหนึ่งที่มีผลกระทบต่อ การตรวจจับแสงไฟกะพริบ คือ จังหวะโค้ดการกะพริบของไฟในภาคส่งที่โปรแกรมไว้ เพราะว่าการเริ่มตรวจจับไม่ได้เริ่มต้นจากจังหวะเดียวกัน ดังนั้นจึงทำให้เวลาในการตรวจจับแตกต่างกันออกไป และอีกสาเหตุหนึ่งคือเฟรมเรต (Frame rate) ของกล้องในโทรศัพท์มือถือ เป็นไปได้ว่ากล้องมีคุณภาพดีหรือเฟรมเรตสูง อาจทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับนั้นดียิ่งขึ้น

5.3 การทดลองการตรวจจับไฟกะพริบโดยการลดกรอบการประมวลผลภาพ

จุดประสงค์ของการทดลองเปลี่ยนพื้นที่การตรวจจับของแสงไฟกะพริบ เพื่อหาพื้นที่ที่สามารถตรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยจะใช้พื้นที่ 3 ขนาดด้วยกัน โดยการทดลองนำเวลาเฉลี่ยในแต่ละระยะของทุกขนาดมาเปรียบเทียบกันว่า พื้นที่ไหนนั้นใช้เวลาเฉลี่ยในการตรวจน้อยที่สุด โดยจะใช้พื้นที่ 1:9 ของหน้าจอตั้งรูปที่ 5.12 และได้ผลลัพธ์ในการตรวจจับในตอนกลางวันดังตารางที่ 5.3 และในตอนกลางคืนดังตารางที่ 5.4



รูปที่ 5.12 พื้นที่ลดกรอบการประมวลผลที่ใช้ทดลองขนาด 1:9 ของหน้าจอสมาร์ทโฟน

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางวันโดยลดกรอบการประมวลผลด้วยสมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1200	1530	1290	1215	1430	1990	2040
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	2.11	2.56	2.71	3.57	3.68	-	-
% ความผิดพลาด	5.42	4.33	6.40	7.20	4.60	-	-

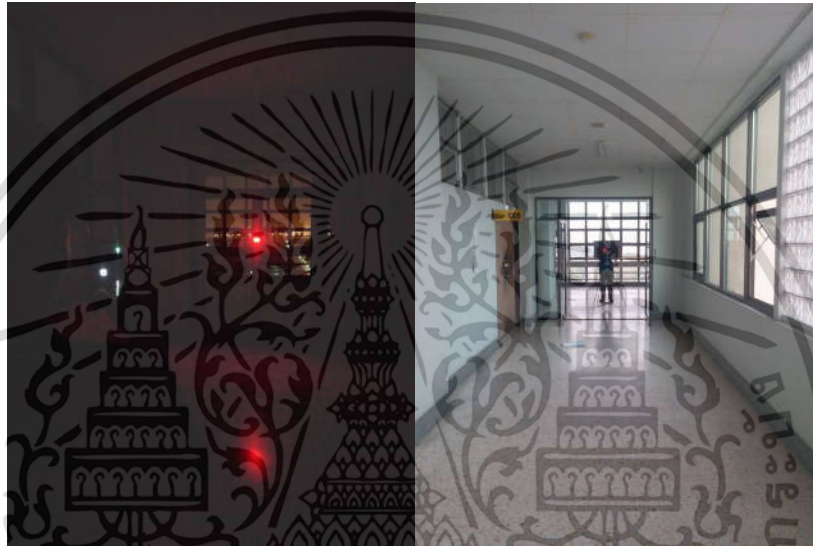
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองตรวจจับในเวลากลางคืนโดยลดกรอบการประมวลผลด้วยสมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	3	4	2	1	1	3	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	1.97	2.76	2.96	23.34	4.09	4.32	4.51
% ความผิดพลาด	3.65	4.44	4.20	6.20	8.14	4.64	7.96

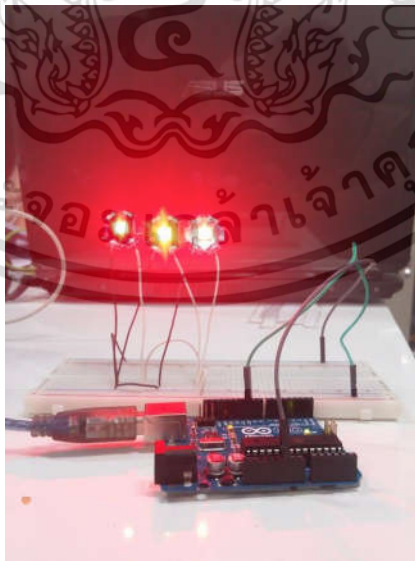
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองเพิ่มความสว่างในส่วนภาคส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับ

การทดลองก่อนหน้าใช้หลอดไฟ Power LED จำนวน 1 หลอด ในการทดลองเพื่อทดลองว่าหากใช้ความสว่างมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับมากขึ้นด้วยหรือไม่ หรือทำให้ระยะในการตรวจจับไกลขึ้นด้วยหรือไม่ ในการทดลองนี้จะเพิ่มหลอดไฟ Power LED จำนวน 1 หลอด และ 2 หลอด ไว้ที่ภาคส่งตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.13 ในการทดลองทั้งที่มีมืดและที่สว่างเพื่อจะนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับหลอด Power LED 1 และ 3 หลอด ตามลำดับ สถานที่ใช้ทำการทดลองคือบริเวณทางเดินชั้น 10 อาคาร 12 ชั้น ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 สถานที่ทำการทดลอง และการติดตั้งปีคอนไฟกะพริบเพิ่มในเวลากลางวันและกลางคืน



รูปที่ 5.14 ภาคส่งที่เพิ่มความสว่างของปีคอน โดยเพิ่มจำนวน LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองเพิ่มความสว่างของปีคอนไฟกะพริบในเวลากลางวัน
ตรวจจับด้วยสมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	1200	1530	1290	1215	1430	1990	2040
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	2.11	2.56	2.71	2.57	3.23	4.25	4.55
% ความผิดพลาด	2.23	6.40	6.20	7.11	5.20	4.97	8.36

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเพิ่มความสว่างของปีคอนไฟกะพริบในเวลากลางคืน
ตรวจจับด้วยสมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	1	5	10	20	30	40	50
ความสว่างของ (ลักซ์)	3	4	2	1	1	3	4
เวลาที่ใช้ในการตรวจจับ (วินาที)	1.88	1.86	2.11	2.37	2.58	3.71	3.65
% ความผิดพลาด	3.93	2.30	1.00	3.60	4.66	3.92	6.56

จากการทดลองเพิ่มหลอด Power LED ในภาคส่ง การทดลองให้คล้ายกับการทดลองเพิ่มหลอด Power LED 1 หลอด คือได้ระยะทางที่ไกลขึ้นทั้ง 2 เวลา แต่ในเวลากลางคืนก็ยังได้ระยะทางที่ไกลกว่า ทำให้สรุปได้ว่าปริมาณของจำนวนหลอด Power LED มีผลต่อระยะการตรวจจับทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน

จากการทดลองที่ผ่านมาราบว่า การเพิ่มจำนวนหลอด Power LED มีผลต่อระยะของการตรวจจับ เมื่อเพิ่มจำนวนหลอด Power LED ระยะทางที่สามารถทำการตรวจจับได้ก็เพิ่มตามเช่นกัน ในส่วนของเวลาในการตรวจจับการกะพริบของแสงไฟถือว่ามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยและเมื่อมีระยะทางมากขึ้นเวลาในการตรวจจับก็จะนานมากขึ้นด้วย จุดที่ใช้เวลานานเกินไปจะไม่ถูกบันทึกและคิดระยะทางก่อนหน้าเป็นระยะทางที่ไกลที่สุด ดังรูปที่ 4.21

กล่าวคือปริมาณของแสงสว่างมีผลต่อเทคโนโลยีการตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้แสงเป็นอย่างมาก เพราะวาระยะทางถือเป็นส่วนสำคัญที่จะนำประโยชน์ของระยะทางที่ไกลนี้ไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีต่าง ๆ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอระบบตรวจสอบอัตลักษณ์โดยใช้ปีคอนแสงไพอะพริบ ซึ่งมีส่วนรับแสงเป็นเซ็นเซอร์รับภาพเพื่อใช้งานทดแทนข้อจำกัดของเทคโนโลยีอย่าง RFID และ QRCode โดยมีภาคส่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์และ LED และภาครับเป็นกล้องเว็บแคมและกล้องสมาร์ทโฟน ทดลองทำการตรวจจับการกะพริบของแสงในเวลากลางวัน และกลางคืนที่ระยะต่าง ๆ เพื่อประสิทธิภาพของกล้องเว็บแคมและสมาร์ทโฟน เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน

จากการทดลองในบทที่ 4 และบทที่ 5 นั้น ทำให้เห็นถึงความแตกต่างในการใช้งานในส่วนเซ็นเซอร์รับภาพของภาครับระหว่างกล้องเว็บแคมและกล้องสมาร์ทโฟน ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่างกัน ทำให้มีข้อดี ข้อเสียในการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกัน โดยที่กล้องเว็บแคมนั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับในตอนกลางคืนที่ติดลวดระยะ 1 ถึง 50 เมตร ส่วนในตอนกลางวันนั้นมีประสิทธิภาพการตรวจจับที่ระยะ 1 ถึง 30 เมตร แต่ในระยะ 40 ถึง 50 เมตร หากใช้เทคนิคการซูมการลดกรอบการประมวลผลภาพ และการเพิ่มความสว่างของภาคส่งก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ระยะ 40-50 เมตร ได้เช่นกัน

ในส่วนของสมาร์ทโฟนนั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ใช้เวลาในการตรวจจับมากกว่าใช้เว็บแคมอยู่เป็นเท่าตัว อาจมีสาเหตุมาจากในเรื่องของระบบปฏิบัติการและประสิทธิภาพของเซ็นเซอร์รับภาพและซอฟต์แวร์ ซึ่งสมาร์ทโฟนจะมีประสิทธิภาพการตรวจจับเวลากลางวันในระยะ 1-10 เมตร แต่ในระยะ 20-30 เมตรใช้เวลาในการตรวจจับนานมากขึ้นเรื่อยๆ และไม่สามารถตรวจจับได้ที่ระยะ 40-50 เมตร แต่ในตอนกลางคืนนั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับอยู่ตลอดระยะทาง 1-30 เมตร และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับได้ด้วยเทคนิคการลดกรอบการประมวลผลภาพ และการเพิ่มความสว่างของตัวส่งได้เช่นเดียวกัน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน ประสิทธิภาพของกล้องสมาร์ทโฟนและกล้องเว็บแคมนั้น มีประสิทธิภาพในการตรวจจับที่แตกต่างกันไปตามระยะทาง ซึ่งการจะนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบจริงนั้น จะต้องดูความเหมาะสมกับระบบที่จะนำไปใช้งานว่าจะใช้อุปกรณ์ในภาครับเป็นอุปกรณ์ชนิดใด ซึ่งจากการทดลองในบทที่ 4 และบทที่ 5 นั้นสามารถสรุปผลการทดลองเมื่อใช้งานเซ็นเซอร์รับภาพที่แตกต่างกันระหว่างเว็บแคมและสมาร์ทโฟน ในระยะทางที่เท่ากันพร้อมด้วยเทคนิคที่เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับแล้ว ซึ่งได้ผลสรุปดังตารางที่ 6.1 และจากผลการทดลองนี้ สามารถสรุปความแตกต่างระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพทั้งสองแบบได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการทดลองการตรวจจับไฟกะพริบด้วยเว็บแคมและสมาร์ทโฟน

ระยะทาง (เมตร)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการตรวจจับไฟกะพริบ (วินาที)			
	กลางวัน		กลางคืน	
	เว็บแคม	สมาร์ทโฟน	เว็บแคม	สมาร์ทโฟน
1	0.91	2.11	0.91	1.88
5	0.92	2.56	0.91	1.86
10	0.91	2.71	0.92	2.11
20	0.91	3.57	0.91	2.37
30	0.91	3.68	0.91	2.58
40	1.58	-	0.90	3.71
50	2.45	-	0.91	3.65

ตารางที่ 6.2 สรุปความแตกต่างระหว่างเซ็นเซอร์รับภาพทั้งสองแบบ

หัวข้อ	Webcam	Smartphone
เฟรมเรต	25 – 30 fps	10 – 15 fps
ค่าใช้จ่ายในการซื้อหรือติดตั้งอุปกรณ์	- หากจะใช้งานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อกล้องเว็บแคมเพิ่มเติม และหากต้องการใช้งานอย่างพกพาได้จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์ประมวลผลอื่นๆ ที่ต้องติดตั้งเพิ่มเพื่อให้กล้องเว็บแคมสามารถทำงานได้	- ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆเพิ่มเติม เนื่องจากในปัจจุบันนี้คนส่วนใหญ่จะมีสมาร์ทโฟนใช้กันอยู่แล้ว เพียงแค่ดาวน์โหลดแอปพลิเคชันหรือติดตั้งแอปพลิเคชันที่ใช้งานตรวจจับเฉพาะก็สามารถใช้งานได้ทันที แต่อาจมีปัญหในเรื่องของคุณภาพของเซ็นเซอร์รับภาพของสมาร์ทโฟนที่แตกต่างกันไป อาจทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับต่างกัน
ประสิทธิภาพในการตรวจจับการกะพริบของแสง	- ในตอนกลางวัน หรือบริเวณที่มีแสงมาก จะมีประสิทธิภาพที่ดีในการตรวจจับ นั่นคือใช้เวลาในการตรวจจับประมาณ 1 วินาที โดยที่ระยะไม่เกิน 30 เมตร แต่ในระยะที่ไกลกว่านี้ก็สามารถตรวจจับได้ หากใช้เทคนิคต่าง ๆ - ในตอนกลางคืน หรือบริเวณที่มีแสงน้อย สามารถใช้ตรวจจับได้ตลอดระยะทาง 1 ถึง 50 เมตร หรือมากกว่า	- โดยรวมแล้ว จะใช้เวลาในการตรวจจับมากกว่าเว็บแคม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการประมวลผลของหน่วยประมวลผลที่ประสิทธิภาพต่ำกว่าคอมพิวเตอร์โดยปกติ - ในตอนกลางวัน หรือบริเวณที่แสงน้อยจะตรวจจับได้ในระยะสั้น ๆ ไม่เกิน 10 เมตร จะมีประสิทธิภาพที่ดี แต่ในตอนกลางคืน หรือบริเวณที่มีแสงน้อยสามารถตรวจจับได้ มีประสิทธิภาพที่ระยะ 1 ถึง 30 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่สามารถจัดเก็บได้	- เนื่องจากเว็บแคมมีเฟรมเรตที่สูง ทำให้สามารถเก็บจำนวนข้อมูลได้จำนวนมากกว่า หากข้อมูลมีจำนวนมากก็อาจจำเป็นต้องใช้งานกล้องเว็บแคม แต่จากผลการทดลองหากเพิ่มจำนวนบิตที่มากขึ้นไปก็มีโอกาสที่ความผิดพลาดจะมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน	- กล้องสมาร์ตโฟนนั้นจะมีประสิทธิภาพและเฟรมเรตที่ต่ำกว่ากล้องเว็บแคม ทำให้สามารถเก็บจำนวนบิตข้อมูลได้น้อยกว่า แต่หากในอนาคต กล้องในสมาร์ตโฟนหากได้พัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้น อาจทำให้จัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้นเช่นกัน
ความสะดวกในการใช้งาน	- อาจไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากเว็บแคมต้องติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา หรือติดตั้งกับอุปกรณ์ประมวลผลอื่น ๆ รวมถึงแบตเตอรี่ เพื่อใช้ในการประมวลผลหรือแสดงผลข้อมูล แต่ก็สามารถทำให้เป็นชุดแสดงผล-ตรวจจับได้	- สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากว่าคนส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้จะมีสมาร์ตโฟนใช้กันอยู่แล้ว ทำให้เพียงแค่ดาวน์โหลดติดตั้งแอปพลิเคชันก็สามารถใช้งานได้ทันที
การนำไปประยุกต์ใช้งาน	- เหมาะกับการใช้งานในระบบที่เป็นระบบยืนยันตัวตนเฉพาะ ที่ต้องติดตั้งกล้องไว้อยู่กับที่ โดยระบบที่นำไปประยุกต์ใช้สามารถตรวจจับในระยะใกล้ และสามารถตรวจจับในระยะไกลก็ได้เช่นกัน ทั้งในที่แสงน้อยและแสงมาก เช่น ระบบตรวจสอบอัตลักษณ์หรือยืนยันตัวตนเฉพาะ เช่น การระบุตัวตนในการเข้าอาคาร การระบุตัวตนของยานพาหนะเพื่อเปิดประตู ระบบระบุตัวตนของรถยนต์หรือยานพาหนะขนาดใหญ่ (เช่น เครื่องบิน รถไฟ) การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เป็นต้น	- เหมาะกับการใช้งานในระบบที่เปิดให้ผู้คนทั่วไปสามารถใช้งานได้โดยง่าย นั่นคือสามารถใช้งานการตรวจจับผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยมีการตรวจจับที่แสงน้อยหรือระยะที่ไม่ไกลมาก และมีความจำเป็นที่อุปกรณ์ภาครับอาจไม่ต้องอยู่กับที่ตลอดเวลา (เป็น Object Information with Position) ตัวอย่างเช่น ระบบงานโฆษณา ระบบบอกตำแหน่งภายในอาคาร ระบบบอกข้อมูลภายในพิพิธภัณฑ์ ระบบให้ข้อมูลของวัตถุหรือสิ่งต่าง ๆ เป็นต้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบตรวจสอบอัตลักษณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น ยังเป็นเพียงต้นแบบที่ยังมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เปิดกว้าง แต่ทำให้ทราบถึงแนวโน้มของระบบที่สามารถทำงานได้ ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่เองหรืออุปกรณ์ที่ติดตัวในชีวิตประจำวันอย่างสมาร์ตโฟน ดังนั้นหากมีการกำหนดการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบใด ๆ ที่แน่นอนแล้ว กระบวนการต่าง ๆ ที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขความต้องการของระบบนั้น ๆ จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยพัฒนาจากต้นแบบของระบบที่ได้พัฒนาในวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Don Pearson, **Image Processing**, McGRAW-HILL, 1991.
- [2] Milan Sonka and Vaclav Hlavac and Roger Boyle, **Image Processing, Analysis and Machine Vision 3rd Edition**, Thompson, 2008.
- [3] สมเกียรติ อุดมทรราชกุล **การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น**, สำนักพิมพ์ท็อปพับลิชชิง 2011.
- [4] **OpenCV**. [Online]. เข้าได้จาก : <http://opencv.org>
- [5] **EmguCV**. [Online]. เข้าได้จาก : <http://www.emgu.com>
- [6] **Aforge.Net**. [Online]. เข้าได้จาก : <http://www.aforge.net>
- [7] **Arduino**. [Online]. เข้าได้จาก : <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- [8] นกษา วรวัฒน์ และสิริฉัตร เกตุเรืองโรจน์ **การติดตามใบหน้าและลักษณะเด่นบนใบหน้า และการสร้างศีรษะจากลำดับภาพสองมิติ** คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2010.
- [9] **แสงและความส่องสว่าง**. [Online]. เข้าได้จาก : <http://www.tiethai.org/know/general/general0.htm>
- [10] R. C. Gonzalez and Richard E. Woods, **Digital Image Processing, 2nd edition**, Prentice Hall 2002.
- [11] S. Haruyama, “**Visible Light Communications : Recent Activities in Japan**”, Keio University, 2011.
- [12] B. Purahong, Thanavit Anuwongpinit and Jirattawut Dumrong, “**Identity Checking System by Visible Light**”, The 4th Join International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE2014), Chiang Rai, Thailand, March 5-8, 2014.
- [13] J. Park, Kyu Hwa Lee, Sang Goo Lee, “**ID Recognition for Museum Tourists Using Infrared LED’s**”, Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritage p.115-117, 10-12 December, 2007.
- [14] H.Aoki, D.Mistsushita., “**Balloon Tag (In)visible Marker Which Tells Who’s Who**”, The Fourth International Symposium on Wearable Computers, pp.181-182, 16-17 October 2007.
- [15] CASIO COMPUTER CO., LTD., “**Picapi Camera**” : <http://www.casio-isc.com/en>
- [16] เกียรติศักดิ์ ศรีพิมานวัฒน์, “**การส่องสว่างข้อมูล**” ECTI Association.
- [17] **NFC**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.nearfieldcommunication.org/>
- [18] Y. Oike, M. Ikeda, and K. Asada, “**A Smart Image Sensor With High-Speed Feeble ID-Beacon Detection for Augmented Reality System**”, Proc. of IEEE European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC), pp.125 – 128, Sep. 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [19] Pang G.K.H., Liu H.H.S., "LED Location Beacon System Based on Processing of Digital Images", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Issue: 3, pp.135 – 150, August 2003.
- [20] Serththin, C. Tsuji, E. Nakagawa, M. ; Kuwano, S. and Watanabe, K., "A Switching Estimated Receiver Position Scheme For Visible Light Based Indoor Positioning System", Wireless Pervasive Computing 4th International Symposium, Melbourne, Australia, p.1-5, February, 11-13, 2009.
- [21] IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks- Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication using Visible Light", IEEE, Spet. 2011.
- [22] AV & IT Standarization Committee "Visible Light Beacon System. Japan Electronics and Information Technology Industries Association", May 2013.
- [23] อติศร แก้วภักดี ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ เจษฎา สารทอง เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธ์ สุชาติ ดำรงประเสริฐ เพิ่มพล ปชาบุญณมาส และธนภัทร เปรมทองสุข "เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น" The 5th NPRU National Conference, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, Thailand 18-19 July 2013.
- [24] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, วรณรีย วังศ์ไตรรัตน์, อนันต์ สืบสำราญ กมล เขมะรังษี ปรีชา กอเจริญ "แนวทางการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็น" ธันวาคม 2558.
- [25] Samsung Electronics, ETRI, VLCC University of Oxford, "Visible Light Communication: Tutorial", 2008.
- [26] T. Komine and M.Makagawa, "Fundamental Analysis for Visible Light Communication System using LED Light", IEEE Transaction on Consumer Electronics, vol.50 No.1, February, 2004.
- [27] Margaret Rouse, **Biometric**. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://searchsecurity.techtarget.com/definition/biometrics>
- [28] T. Yamazato, Isamu Takai, Hiraku Okada, Toshiaki Fujii, Tomochiro Yendo, Shintaro Arai, Michinori Andoh, Tomoshisa Harada, Keita Yasutomi, Keiichiro Kagawa and Shoji Kawahito, "Image-Sensor-Based Visible Light Communication for Automotive Appications", IEEE Communications Magazine, pp.88-87, July, 2014.
- [29] K. Park, Sun-Hyung Kim, Young-chang Kang, "Development of transceiver using Flashlight and camera in VLWC" Advance Science and Technology Letters, Vol.77, pp.23-32, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [30] G. Jimenez, Jorge M. Perandones and F.J.Lopez-Hernandez, “A VLC-Based Beacon Location for Mobile Applications” 2013 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), pp.1-4, Turin, 25-27 June 2013.
- [31] S. Sangthong, Boonchana Purahong and Attasit Laskul, “SLIMs: Smart Lightweight Indoor Map” 2013 2nd International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA 2013), pp.170-173, Singapore, December 2013.
- [32] Y. Liu, Hung-Yu Chen, Kevin Liang, Chin-Wei Hsu, Chi-Wai Chow, Chien-Hung Yen, “Visible Light Communication Using Receivers of Camera Image Sensor and Solar Cell”, IEEE Photonics Journal, No. 1, February 2016.
- [33] C. Danakis, Mostafa Afgani, Gordon Povey, Ian Underwood and Herald Haas, “Using CMOS Camera Sensor for Visible Light Communication” 3rd IEEE Workshop on Optical Wireless Communications (OWC’12), pp.1244-1248, Anaheim, 3-7 December 2012.
- [34] L. Zeng, et al., “Improvement of Data Rate by using Equalization in an Indoor Visible Light”, IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications”, pp.678-682, Shanghai, May 2008.
- [35] H. Q. Nguyen, J. Choi, M. Kang, Z. Ghassemlooy, D. Kim, S. Lim, T. Kang, C. Lee “A Matlab-Based Simulation Program for Indoor Visible Light Communication System”, International Symposium on Communication Systems Networks and Digital Signal Processing, pp.537-541, Newcastle, July 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Boonchana Purahong, Thanavit Anuwongpinit and Jirattawut Dumrong “Identity Checking System by Visible Light”, The 4th Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE2014), Chiang Rai, Thailand, March 5-8, 2014.
2. T. Anuwongpinit, B.Purahong, S.Tattakittiya, V.Chutchavong “A Smartphone Image Sensor with Light Blinking ID-Beacon for Identity Checking System” The 3rd Annual Conference on Engineering and Information Technology (ACEAIT 2015), Osaka, Japan, March 22-24 2015.
3. Thanavit Anuwongpinit, Mayuree Lertwerchakul, Boonchana Purahong, Kanok Janchitrapongvej, Vanvisa Chutchavong, “Simulation of Simultaneous Multiple Identity Checking System by Visible Light Blinking”, The 33rd JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, pp.54-55, Kitakyushu, Japan, October 29-31, 2013.
4. T. Cheewatanalertkul, T. Anuwongpinit, A. Vijittanasarn, B.Purahong, V.Chutchavong “The Design and Simulation of Communication Network in Railway Systems”, The 34th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (JSST2015), Toyama, Japan, October 12-14 2015
5. A. Vijittanasarn, S. Saeiao, T. Anuwongpinit, P. Samootrut, B. Purahong, and V.Chutchavong “On Study of Railway Signaling in Thailand”, 2015 International Congress on Engineering and Information (ICEAI 2015), Kyoto, Japan, 7-9 May, 2015.
6. A.Vijittanasarn, T. Anuwongpinit, S. Saeiao, B. Purahong, V. Chutchavong, “Intelligence Railway Station Mangement System”, 2015 International Congress on Engineering and Information (ICEAI 2015), Kyoto, Japan, 7-9 May, 2015.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธนวิษญ์ อนุวงศ์พิณีจ
 วัน เดือน ปีเกิด 26 เมษายน 2535
 ที่อยู่ 88/82 หมู่ 4 ถนนหนามแดง ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี
 จังหวัดสมุทรปราการ 10540
 อีเมล athanavit@hotmail.com
 ประวัติการศึกษา 2547 – 2553 โรงเรียนปทุมคงคา
 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
 (เกียรตินิยมอันดับ 2)
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน

- 1.) ระบบสารสนเทศและสื่อสาร
- 2.) ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟและการสื่อสาร
- 3.) ระบบสมองกลฝังตัว

