



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนากล้องอินฟราเรดด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi
(Developing an Infrared Camera Using Raspberry Pi)

ชื่อนิสิต นางสาวนิศาชล สงสุวรรณ เลขประจำตัว 603 26189 23

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ปีการศึกษา 2563

การพัฒนากล้องอินฟราเรดด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi
(Developing an Infrared Camera Using Raspberry Pi)

นิสิตผู้รับผิดชอบโครงการ
นางสาวนิสาชล สงสุวรรณ รหัสนิสิต 603 26189 23

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
อ.ดร. จักรินทร์ สิงห์หนู

รายงานโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาคการศึกษาปลาย ปีการศึกษา 2563

หัวข้อ การพัฒนากล้องอินฟราเรดด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi

นิสิตผู้ดำเนินโครงการ นางสาวนิสาชล สงสุวรรณ


ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ดร. จักรินทร์ สิงห์หนู

ภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยอมรับรายงานโครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี

..... หัวหน้าภาควิชา

(รศ.ดร. พิชญดา เกตุเมฆ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร. จักรินทร์ สิงห์หนู)

ผู้ดำเนินงาน นางสาวนิสาชล สงสุวรรณ รหัสนิสิต 603 26189 23
 ชื่อเรื่อง การพัฒนากล้องอินฟราเรดด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. จักรินทร์ สิงห์หนู

บทคัดย่อ: กล้องอินฟราเรด คือ อุปกรณ์เพื่อบันทึกภาพอินฟราเรดซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการรับรู้ของมนุษย์ แต่การเข้าถึงการถ่ายภาพอินฟราเรดมีข้อจำกัดในด้านราคา คุณภาพของภาพ และการใช้งาน โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนากล้องอินฟราเรด ด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi ร่วมกับโมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารีฟังก์ชัน Tkinter และ OpenCV ทดสอบการใช้งานเบื้องต้น รวมถึงทดสอบความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้นในสถานการณ์จริง จากผลการดำเนินงาน กล้องสามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพวิดีโอด้วยโหมดอัตโนมัติ ควบคุมการถ่ายภาพด้วยปุ่มกด มีหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้ จัดเก็บข้อมูลภาพลงในหน่วยความจำของกล้อง มีแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดสังเคราะห์ในตัว พกพาได้ ระยะเวลาใช้งานสูงสุด 39 นาที ถ่ายโอนข้อมูลไปสู่อุปกรณ์อื่นได้ พบว่าเมื่อใช้งานร่วมกับฟิลเตอร์ IR Pass สามารถถ่ายภาพเส้นเลือดใต้ผิวหนังบริเวณข้อมือและแขนได้ และระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ นั่นคือ พัฒนากล้องอินฟราเรดได้สำเร็จ และสามารถใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาตามความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป

ภาควิชา เทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์
 ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิตผู้ดำเนินงาน**นิสาชล... สงสุวรรณ**.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**จักรินทร์ สิงห์หนู**.....

Student Name Ms. Nisachon Songsuwong ID No. 603 26189 23
 Project Developing an Infrared Camera Using Raspberry Pi
 Project Advisor Dr. Jakkarin Singnoo

Abstract: An infrared camera is a device for recording infrared images beyond the realm of human comprehension. Infrared imaging equipment can be costly, poor image quality and limited custom applications, posing a significant barrier to entry. The purposes of this project are: 1) to develop the infrared camera using Raspberry Pi for a camera’s image processor and Raspberry Pi Camera Module V2 (no Infrared Cut Filter version), program to control and set up the camera using Python programming language, 2) To test the performance of the developed camera in general and in real situation application. The results show that the infrared camera works in Auto mode and is able to capture photos and videos by pressing a mechanical pushbutton. During camera mode, the user interface appears on the screen. Image and video files are saved in the internal storage and can be transferred to other devices. The camera has two infrared LED built in, is portable with a maximum battery life of 39 minutes (without taking picture). In addition, when using an Infrared Pass Filter with the camera, blood vessels on the wrist and arm are more clearly visible, which is useful in identifying bruise sites when evidence of the bruise is absent compared to the naked eyes. The findings lead to the conclusion that the developed infrared camera is successful, and that the camera can be used as prototype for various applications according to user needs.

Department of Imaging and Printing Technology
 Academic year 2020

Student’s signature นิสัชชฌ์ สงสุววงษ์

Advisor’s signature จักรกรินทร์ สิงหนุอ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนฉบับนี้ สำเร็จและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากอาจารย์ ดร.จักรินทร์ สิงห์หนู อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ที่มีคุณค่าเหนือจากตำราเรียน ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ตลอดจนข้อแนะนำแนวทางในการพัฒนาแผนการดำเนินงานในโครงการให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขเนื้อหาในรายงานโครงการฉบับนี้ และให้ความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปด้วยดี ผู้ดำเนินงานรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณสุรสิทธิ์ สอนสารี ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ แนวทางในการแก้ปัญหาสำหรับการสร้างกล้องอินฟราเรด ชี้นำแนวทางและสอนการเขียนโปรแกรมให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณปกรณ์สิทธิ์ พ่วงโต พิณสิติปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและเอื้อเฟื้อ IR Pass Filter สำหรับการทดลองถ่ายภาพอินฟราเรด

ขอขอบคุณ คณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพและการพิมพ์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ แนะนำ สั่งสอนและบ่มเพาะผู้ดำเนินงานตลอดการศึกษา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดาและครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นผู้สั่งเกิดในการทดสอบ และให้กำลังใจผู้ดำเนินงานเสมอมา

นิสาชล สงสุวรรณ

25 พฤษภาคม 2564

สารบัญ

สารบัญเรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 ริงสีอินฟราเรด	4
2.3 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล	5
2.4 การถ่ายภาพ NIR	8
2.5 Raspberry Pi	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	12
3.1 วัสดุอุปกรณ์	12
3.2 วิธีการดำเนินการ	13
3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล	17
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและอภิปราย	19
4.1 การสร้างกล้องอินฟราเรด	19
4.2 ผลการทดสอบการใช้งานพื้นฐาน	22
4.3 ผลการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง	25
4.4 ผลการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า	27

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญเรื่อง	หน้า
4.5 ทดสอบระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้อง	28
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผล	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
5.3 แนวทางในการพัฒนา	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก ก ชุดคำสั่งเพื่อแสดงหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งานและการทำงานของโปรแกรม	35

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบและคำอธิบายองค์ประกอบของกล้อง	20
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงตัวอย่างภาพที่ได้และรายละเอียดที่สังเกตได้ ของภาพวิดีโอที่ความละเอียดต่าง ๆ	24
ตารางที่ 4.3 ภาพถ่ายเส้นเลือดใต้ผิวหนัง ด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ	26
ตารางที่ 4.4 ภาพถ่ายแผลฟกช้ำ ด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ	27

สารบัญรูป

สารบัญรูป	หน้า
รูปที่ 2.1 Electromagnetic Spectrum	3
รูปที่ 2.2 (ซ้าย) ภาพถ่ายฝามือโดยใช้แสง (ขวา) ภาพถ่ายโดยใช้รังสี NIR	4
รูปที่ 2.3 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้	5
รูปที่ 2.4 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ได้ ที่ไม่มีกระจกสะท้อน	5
รูปที่ 2.5 กล้องดิจิทัลสะท้อนภาพเลนส์เดียว	6
รูปที่ 2.6 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไวต่อเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล	7
รูปที่ 2.7 กราฟการตอบสนองของสเปกตรัมของเซนเซอร์ Sony IMX219	7
รูปที่ 2.8 ไลโอคเปล่งแสงอินฟราเรด	8
รูปที่ 2.9 IR Pass Filter	9
รูปที่ 2.10 การส่องผ่านรังสี IR ของ IR Pass Filter	9
รูปที่ 2.11 การส่องผ่านรังสี IR ของ ฟิลเตอร์ Roscolux #2007 Storaro Blue	10
รูปที่ 2.12 Raspberry Pi Board	10
รูปที่ 3.1 ฟิลเตอร์ Infrared 720-89B ยี่ห้อ Cokin	13
รูปที่ 3.2 ฟิลเตอร์ blue ที่มากับโมดูลกล้อง Raspberry Pi	13
รูปที่ 3.3 ปุ่มกด หัวปุ่มกด และแผ่นวงจรพิมพ์สำเร็จรูปสำหรับปุ่มกด	14
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งบัดกรี IR LED บน PCB	14
รูปที่ 3.5 โครงร่างขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าจอต่ประสานกับผู้ใช้งาน	15
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสง แขนผู้สังเกตและกล้องในการถ่ายภาพ	16
รูปที่ 4.1 ด้านหน้าและด้านหลังกล้องที่พัฒนาขึ้น	19
รูปที่ 4.2 หน้าจอต่ประสานกับผู้ใช้งาน	21
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างของภาพที่ได้จากกล้องที่พัฒนาขึ้น	22
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการ Desaturate แล้วและ Histogram (ซ้าย) ถ่ายโดยใช้แสง (ขวา) ถ่ายโดยใช้แสงร่วมกับ IR LED	22
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพ (ซ้าย) ถ่ายในสภาวะไร้แสง (ขวา) ถ่ายในสภาวะไร้แสงโดยใช้ IR LED	23
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพ (ซ้าย) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ JPG (ขวา) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ PNG	25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

กล้องอินฟราเรด เป็นเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มความสามารถ เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ภาพที่อยู่นอกเหนือขอบเขตการรับรู้ของมนุษย์ สามารถใช้งานได้ทั้งกลางแจ้งและในทัศนวิสัยที่ไม่ดี กล้องชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานหลากหลายด้าน เช่น ด้านระบบรักษาความปลอดภัย การตรวจจับใบหน้าในสภาวะไร้แสงด้วยโทรทัศน์วงจรปิด [1], ด้านความปลอดภัยอาหาร ตรวจจับรอยชำรุดในผลไม้ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าด้วยภาพอินฟราเรด [2], ด้านนิติวิทยาศาสตร์ ใช้ภาพถ่ายอินฟราเรดในการระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า [3] และด้านเกษตรกรรม วิเคราะห์การเจริญเติบโตและสุขภาพของพืช ด้วยค่าพรรณนิพืชรณซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลภาพอินฟราเรด [4] แต่กล้องอินฟราเรดในท้องตลาดที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงนั้นมีราคาแพง ตัวอย่างเช่น กล้องถ่ายภาพอินฟราเรด FLIR รุ่น T620 ที่มีจอแสดงผลภาพ รับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi มีราคาสูงถึง 600,000 บาท [5] ขณะเดียวกัน การใช้งานโทรทัศน์วงจรปิดด้วยระบบภาพอินฟราเรด เป็นที่แพร่หลายในปัจจุบัน ด้วยอุปกรณ์ที่ราคาถูกลงและสามารถใช้งานได้หลากหลายจุดประสงค์ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความละเอียดของภาพ การจัดเก็บข้อมูลภาพ การปรับแต่งซอฟต์แวร์ อีกทั้งการควบคุมการทำงานยังต้องพึ่งพาอุปกรณ์อื่น [6] ด้วยปัจจัยที่กล่าวมานี้ ทำให้การเข้าถึงการถ่ายภาพอินฟราเรดเป็นไปได้ยากและมีข้อจำกัดอย่างมาก

มูลนิธิ Raspberry Pi ได้สร้าง บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก เรียกว่า Raspberry Pi ที่มีราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง เพื่อใช้เรียนรู้ระบบการประมวลผลของคอมพิวเตอร์และแก้ไขปัญหาต่าง ๆ บอร์ดคอมพิวเตอร์ชนิดนี้ สามารถนำมาใช้งานอย่างง่าย ไปจนถึงการใช้งานเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ด้วยประสิทธิภาพในการใช้งาน รวมทั้งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นได้ ทำให้ Raspberry Pi ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย นอกจากบอร์ดคอมพิวเตอร์แล้ว มูลนิธิ Raspberry Pi ยังพัฒนาโมดูลกล้องชนิดมี IR Cut Filter และไม่มี IR Cut Filter (NOIR) [7] เพื่อใช้งานร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi ในการถ่ายภาพ จากงานวิจัยของ Mary A. Pagnutti และคนอื่นๆ [8] ได้ทดสอบการทำงานโมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดมี IR Cut Filter ร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi 3 และวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากข้อมูลภาพที่ได้ พบว่าภาพที่ได้มีคุณภาพสูง ในสภาวะแสงที่เหมาะสม เพียงพอสำหรับการใช้งานในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และ โมดูลกล้องที่ใช้ยังคงความเสถียรหลังการใช้งานในระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากผลที่ผ่านการทดสอบซ้ำมีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่มีทดสอบโมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter และยังไม่มีการพัฒนากล้องให้อยู่ในรูปแบบพกพา การบันทึกภาพ รวมถึงการควบคุมการทำงานโดยไม่ผ่านอุปกรณ์อื่น

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากล้องอินฟราเรด ด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi ร่วมกับ โมดูล กล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter โดยกล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นสามารถพกพาได้ สามารถควบคุมการทำงานโดยใช้ปุ่มกดเพื่อบันทึกภาพ สามารถจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของกล้อง และ ทำการทดสอบการใช้งานกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้นเบื้องต้น และทดลองใช้งานในสถานการณ์จริง เช่น การถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง และ การถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนากล้องอินฟราเรด ด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi
2. เพื่อทดสอบความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ในสถานการณ์จริง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างกล้องอินฟราเรด และหลักการเขียนโปรแกรม ภาษา Python
2. สร้างกล้องอินฟราเรด เขียนโปรแกรมเพื่อตั้งค่าการทำงานของกล้อง
3. ทดสอบการใช้งานพื้นฐาน ได้แก่ ถ่ายภาพ บันทึกภาพวิดีโอ จัดเก็บข้อมูลภาพสกุลไฟล์ต่าง ๆ และ ระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้อง
4. ทดสอบการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนังของผู้สังเกต
5. ทดสอบการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำใต้ผิวหนังที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าของผู้สังเกต

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กล้องอินฟราเรดแบบพกพา เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานในอนาคต
2. ได้ต้นแบบกล้อง สำหรับนำไปพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์
3. ผู้ที่สนใจ สามารถนำวิธีดำเนินการไปสร้างกล้องของตนเองได้

บทที่ 2

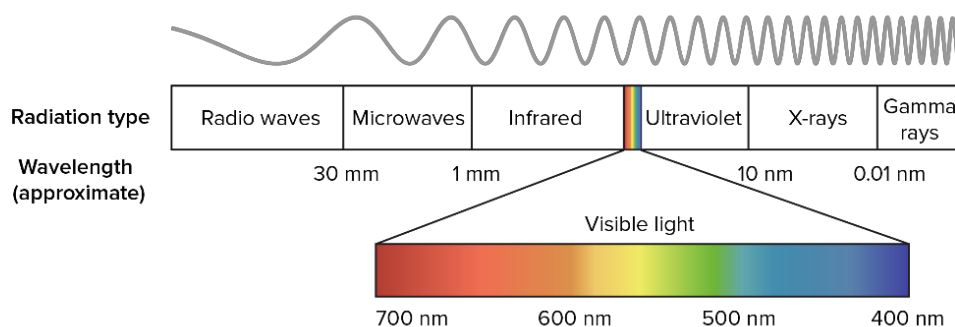
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic : EM) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ มีลักษณะคล้ายกับคลื่นน้ำ คือ มียอดคลื่น (Crest) และท้องคลื่น (Trough) ระยะทางระหว่างยอดคลื่น เรียกว่า ความยาวคลื่น หรือ Wavelength (บางครั้งเรียก ความถี่ (Frequency) ซึ่งหมายถึงความเร็วของความยาวคลื่นต่อ 1 วินาที) ความยาวคลื่น มีหน่วยนับตั้งแต่ นาโนเมตร (Nanometer: nm) เป็นต้นไป จนถึงกิโลเมตร และความสูงระหว่างท้องคลื่นกับยอดคลื่น เรียกว่า Amplitude [9]

ในแต่ละช่วงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 2.1 แบ่งเป็น คลื่น, แสงและรังสี ที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์มากมายในด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้

- รังสีแกมมา (Gamma Rays)
- รังสีเอกซ์ (X-Rays)
- รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)
- แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light)
- รังสีอินฟราเรด (Infrared)
- คลื่นไมโครเวฟ (Microwave)
- คลื่นวิทยุ (Radio Frequency)



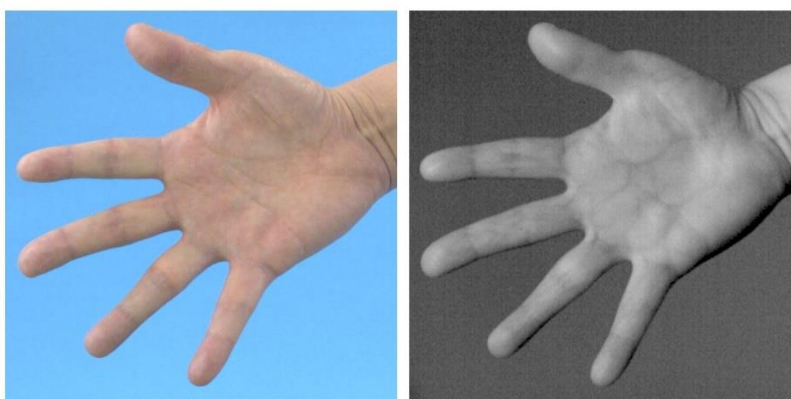
รูปที่ 2.1 Electromagnetic Spectrum [10]

โดยแต่ละคลื่น จะมีความยาวคลื่นต่างกัน โดยคลื่นวิทยุมีความยาวที่สุด คือตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร จนถึงหลายกิโลเมตร และรังสีแกมมามีความยาวน้อยที่สุด คือ มีความยาวน้อยกว่า 0.1 นาโนเมตร ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตามนุษย์มองเห็น อยู่ในช่วง 780 - 380 นาโนเมตร (nm) เรียกว่า แสง

2.2 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared) หรือที่นิยมเรียกในการถ่ายภาพอินฟราเรดว่า แสงอินฟราเรด คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสูงกว่าแสง ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ แหล่งกำเนิดของรังสีอินฟราเรดคือ ความร้อน (Heat) วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่า Absolute Zero หรืออุณหภูมิต่ำสุดสัมบูรณ์ (-273.15 องศาเซลเซียส หรือ 0 องศาเคลวิน) จะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมาจากพื้นผิวของวัตถุ [11] รังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งตามความยาวคลื่นได้เป็น 3 ช่วง [12] คือ

2.2.1 รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ (Near Infrared หรือ NIR) มีความยาวคลื่นในช่วง 780 นาโนเมตร ถึง 1400 นาโนเมตร [13] นิยมใช้ในงานประเภทต้องการความร้อนสูง ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึก ประยุกต์ใช้กับงานภาพถ่ายความร้อนและใช้งานข้อมูลภาพที่ได้จาก NIR ร่วมกับข้อมูลภาพจากแสง เช่น image restoration, image enhancement, dehazing, face recognition และ shadow detection [14] ตัวอย่างการใช้งาน NIR ทางภาพ ในรูปที่ 2.2 (ขวา) ภาพ NIR สามารถจับภาพเส้นเลือดบนฝ่ามือได้ ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ในรูปที่ 2.2 (ซ้าย) ซึ่งถ่ายภาพโดยใช้แสง



รูปที่ 2.2 (ซ้าย) ภาพถ่ายฝ่ามือโดยใช้แสง (ขวา) ภาพถ่ายโดยใช้รังสี NIR [14]

2.2.2 รังสีอินฟราเรดย่านกลาง (Middle Infrared หรือ mid-IR) มีความยาวคลื่นในช่วง 1400 นาโนเมตร ถึง 3000 นาโนเมตร [13] นิยมใช้ในงานประเภทต้องการความร้อนปานกลาง ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกปานกลาง ประยุกต์ใช้กับระบบนำวิถีของจรวด Missile

2.2.3 รังสีอินฟราเรดย่านไกล (Far Infrared หรือ FIR) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 3000 นาโนเมตร ถึง 1 มิลลิเมตร [13] นิยมใช้ในงานประเภทต้องการความร้อนต่ำ ความร้อนผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ไม่ลึก ประยุกต์ใช้กับการแพทย์

2.3 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

กล้องถ่ายภาพดิจิทัล คืออุปกรณ์บันทึกภาพและเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลดิจิทัล กล้องชนิดนี้ไม่ต้องใช้ฟิล์ม แต่ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า เซ็นเซอร์ เป็นตัวรับแสงผ่านการประมวลผลเพื่อให้ได้ภาพบันทึกไว้ในรูปของไฟล์ในหน่วยความจำหลักภายในกล้อง ซึ่งสามารถส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย [15]

2.3.1 ประเภทของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล [16] กล้องถ่ายภาพดิจิทัลจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Compact Digital Cameras สามารถพกพาได้ง่าย มีการใช้งานไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.3 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ [17]

2.3.1.2 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- กล้องดิจิทัลที่ไม่มีกระจกสะท้อน (Mirrorless Digital Cameras) (รูปที่ 2.4) แสงที่ผ่านเลนส์ตกกระทบลงบนเซ็นเซอร์ตลอดเวลา แสดงผลไปยังจอภาพหรือช่องมองภาพ

- กล้องดิจิทัลสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (รูปที่ 2.5) เป็นที่รู้จักกันในชื่อกล้อง DSLR (Digital Single-Lens Reflex) มีกระจกเพื่อสะท้อนแสงจากเลนส์ไปยังปริซึม แล้วสะท้อนต่อไปยังช่องมองภาพ โดยกระจกสะท้อนจะถูกพับขึ้นไปปิดช่องมองภาพเพื่อให้แสงวิ่งเข้าไปยังเซ็นเซอร์รับภาพ

กล้องทั้งสองประเภทนั้นสามารถเปลี่ยนเลนส์ที่เหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันได้



รูปที่ 2.4 กล้องดิจิทัลชนิดเปลี่ยนเลนส์ได้ ที่ไม่มีกระจกสะท้อน [17]



รูปที่ 2.5 กล้องดิจิทัลสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว [17]

2.3.2 โครงสร้างของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

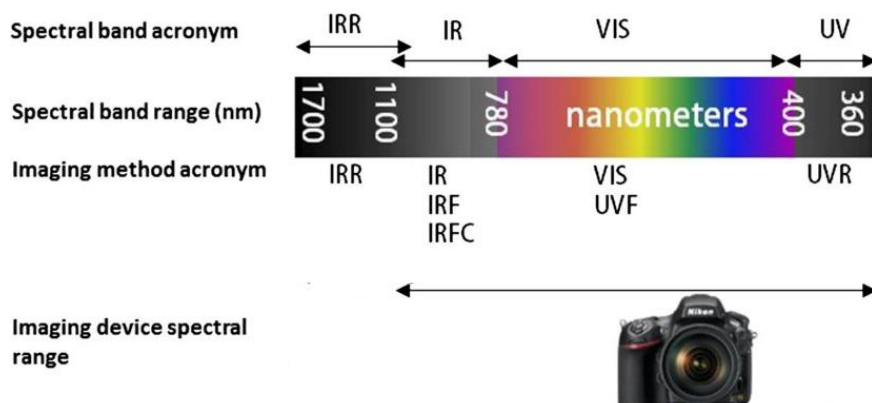
กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแต่ละชนิดมีความสามารถและสมบัติที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีส่วนประกอบที่ต่างกัน ขึ้นกับการออกแบบอุปกรณ์เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน แต่องค์ประกอบหลักที่เหมือนกันคือ ตัวกล้อง (Body), เลนส์, อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของกล้อง เช่น ปุ่มถ่ายภาพ ปุ่มตั้งค่า เป็นต้น และอุปกรณ์แสดงผลภาพ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้เป็นเพียงส่วนประกอบภายนอกเท่านั้น แต่อุปกรณ์ที่ทำให้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสามารถทำงานได้นั้นประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ [18] ดังนี้

2.3.2.1 เลนส์ (Lens) ทำหน้าที่รวมแสงไปตกที่ระนาบของเซนเซอร์รับภาพ โดยกล้องบางชนิดสามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ตามความต้องการ ในเลนส์จะมีรูรับแสง (Aperture) เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ภายในเลนส์ ทำหน้าที่ควบคุมระยะเวลาในการรับแสง ซึ่งสัมพันธ์กับแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm), เอฟสตอป (F-Stop) และความไวของชัตเตอร์ (Shutter Speed) เลนส์บางชนิดสามารถปรับรูรับแสงให้เปิดกว้างหรือเล็กลง มีผลทำให้แสงผ่านเข้ามาในเลนส์ได้มากหรือน้อยตามไปด้วย [19]

โมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter เป็นชนิดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ เลนส์บนกล้องเป็นประเภทเลนส์ฟิกซ์ (Fixed Lens) คือเลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสเดี่ยว โดยมีทางยาวโฟกัสเท่ากับ 3.04 มิลลิเมตร [7] สมบัติที่สำคัญของเลนส์ ได้แก่ ขนาดของรูรับแสงเท่ากับ F2 [7] ความเร็วชัตเตอร์สูงสุด 10 วินาที [20] ระยะโฟกัสใกล้สุดคือ 1 เมตร ไปจนระยะอนันต์ อย่างไรก็ตามสามารถหมุนขึ้นเลนส์เพื่อปรับระยะโฟกัสให้ใกล้กว่านั้นได้ [8]

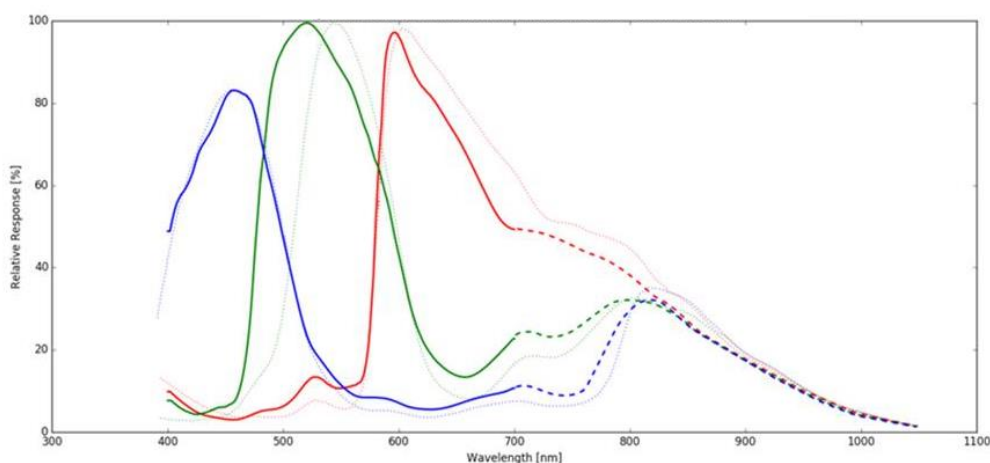
2.3.2.2 เซนเซอร์รับภาพ (Camera Image Sensors) ภายในของเซนเซอร์รับภาพมีโฟโตไดโอด (Photodiode) เรียงตัวกัน ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้า มีความไวต่อช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่ความยาวคลื่น 360-1100 นาโนเมตร ครอบคลุมรังสีอัลตราไวโอเลตย่านใกล้, แสงที่มองเห็นได้ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ [21] ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ต่างจากตามนุษย์ที่มีความไวต่อแสงที่มองเห็นได้เท่านั้น ซึ่งแสงอินฟราเรดย่านใกล้มีผลต่อสีของภาพ ดังนั้นจึงมีการเพิ่มอุปกรณ์ที่เรียกว่า IR Cut Filter ทำหน้าที่กั้นแสงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ขอมให้

แสงที่ผ่านได้ ทำให้สีของภาพที่ได้ถูกต้อง [22] และส่งผลให้เซนเซอร์รับภาพมีพฤติกรรมคล้ายกับเรตินาในตามนุษย์



รูปที่ 2.6 ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไวต่อเซนเซอร์รับภาพของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล [21]

เซนเซอร์รับภาพในโมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter ได้แก่ Sony IMX219 เพื่อถ่ายภาพสี เป็นเซนเซอร์แบบแบบกกิ่งตัวนำเมทัลออกไซด์ควบเซริม (complementary metal-oxide-semiconductor - CMOS) ชนิด 1/4" เส้นทแยงมุมเท่ากับ 4.6 มิลลิเมตร ความละเอียด 3280x2464 พิกเซล แต่ละพิกเซลมีขนาด 1.2 ไมโครเมตร [7] จากกราฟการตอบสนองของสเปกตรัมของเซนเซอร์ Sony IMX219 ในรูปที่ 2.7 เซนเซอร์สามารถตอบสนองต่ออัลตราไวโอเล็ตย่านใกล้, แสงที่มองเห็นได้ ไปจนถึงรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ โดยในช่วง รังสีอินฟราเรดย่านใกล้ สัญญาณภาพในช่อง Red, Green และ Blue มีเปอร์เซ็นต์การตอบสนองใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.7 กราฟการตอบสนองของสเปกตรัมของเซนเซอร์ Sony IMX219 [23]

2.3.2.3 Analog to Digital Convertor (ADC) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกจากเซนเซอร์รับภาพเป็นสัญญาณดิจิทัล ผ่านการ Quantization

2.3.2.4 หน่วยประมวลผล (Camera Processing) หน่วยประมวลผลภาพ ทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ได้จาก ADC เพื่อสร้างเป็นข้อมูลภาพ ปรับปรุงคุณภาพของภาพ รวมถึงส่งต่อข้อมูลภาพเพื่อแสดงผลหรือเก็บในหน่วยความจำหลัก

2.3.2.5 หน่วยความจำ (Memory) หน่วยความจำหลักของกล้องทำหน้าที่เก็บข้อมูลภาพ

2.4 การถ่ายภาพ NIR

การถ่ายภาพรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ หรือ NIR คือ การบันทึกภาพที่เกิดจากรังสี IR ซึ่งตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [24] ตามลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง คือ

1. การบันทึกแสง NIR ของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ สามารถบันทึกได้ทั้ง การสะท้อนของวัตถุ และการเปล่งออกจากตัววัตถุ

2. การบันทึกแสง NIR ของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงสังเคราะห์ อุปกรณ์ผลิตรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นในช่วง 780 นาโนเมตรถึง 1 มิลลิเมตร เรียกว่า ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด หรือ IR LED (Infrared Light Emitting Diode) มีลักษณะเหมือน LED ที่ให้แสงที่มองเห็นได้ โดย IR LED แต่ละชนิดแตกต่างกันโดยความยาวคลื่น ขึ้นกับการนำไปใช้งาน [25] ตัวอย่าง IR LED ในรูปที่ 2.8 เป็น IR LED ที่อยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ มีความยาวคลื่นในช่วง 730 นาโนเมตรถึง 850 นาโนเมตร [26] สามารถนำไปใช้งานประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย โดยใช้ร่วมกับกล้องที่ไวต่อรังสีอินฟราเรดได้



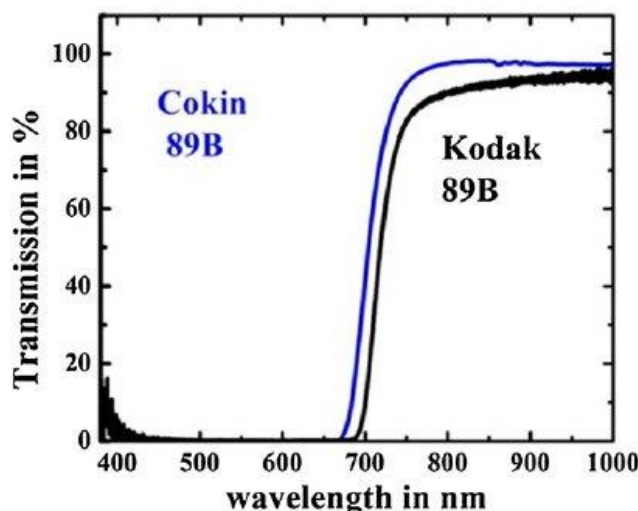
รูปที่ 2.8 ไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด [26]

กล้องดิจิทัลสามารถถ่ายภาพ NIR ได้ เนื่องจากเซนเซอร์รับภาพ มีความไวต่อคลื่นย่าน NIR กล้องดิจิทัลทุกรุ่นมีการติดตั้ง IR Cut Filter ทำหน้าที่กั้นแสง NIR การถอดฟิลเตอร์ดังกล่าวออก จำเป็นต้องกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญ และ เนื่องจากการหักเหแสงของฟิลเตอร์ทำให้จุดโฟกัสก่อนและหลังถอดฟิลเตอร์ไม่เท่ากัน [27] จึงต้องมีการปรับระยะของเซนเซอร์รับภาพ เพื่อชดเชยระยะโฟกัสของกล้องที่เปลี่ยนไปด้วย

การถ่ายภาพ NIR ด้วยเซนเซอร์รับภาพในกล้องดิจิทัลสามารถทำได้ โดยอาศัยฟิลเตอร์ (รูปที่ 2.9) ที่สามารถกั้นแสงที่ตามองเห็น (Visible Light) ไม่ให้ตกกระทบบนเซนเซอร์ จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงความสามารถในการส่องผ่านพลังงานของช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป (NIR) อย่างไรก็ตาม การใช้ฟิลเตอร์ IR Pass ส่งผลให้ต้องเปิดม่านชัตเตอร์นานขึ้นด้วย ดังนั้น ควรเลือกถ่ายภาพในช่วงเวลาที่มีแสงมาก เพื่อเก็บรายละเอียดในภาพได้ครบถ้วน โดยคุณภาพของภาพ NIR ที่ได้จากกล้องดิจิทัลนั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเร็วของเลนส์ (lens speed) และ ความไวแสง (ค่า ISO)

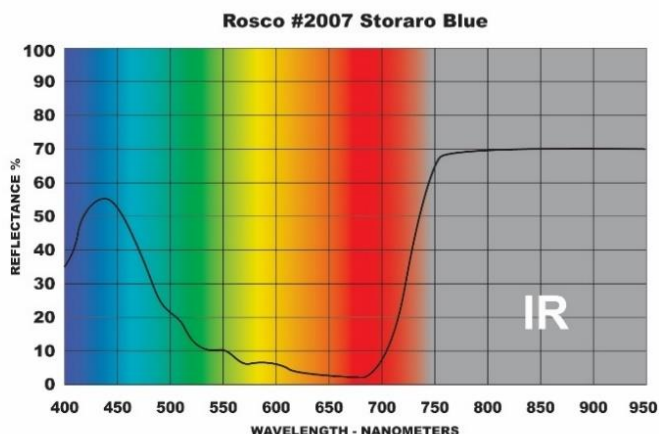


รูปที่ 2.9 IR Pass Filter [28]



รูปที่ 2.10 การส่องผ่านรังสี IR ของ IR Pass Filter [29]

โมดูลกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter มีแผ่นเจลพลาสติกสีน้ำเงินแนบมาด้วย (รูปที่ 3.2) ซึ่งคือ ฟิลเตอร์ IR Pass รุ่น Roscolux #2007 Storaro Blue [30] พิจารณาจากการส่องผ่านรังสี IR ในรูปที่ 2.11 ฟิลเตอร์สามารถกั้นแสงที่ตามองเห็นช่วง 500-700 นาโนเมตร และส่องผ่านรังสี IR ตั้งแต่ 750 นาโนเมตรขึ้นไป



รูปที่ 2.11 การส่องผ่านรังสี IR ของฟิลเตอร์ Roscolux #2007 Storaro Blue [31]

2.5 Raspberry Pi

Raspberry Pi (รูปที่ 2.12) คือ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอภาพ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงานเอกสาร ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกม ทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้ [32]



รูปที่ 2.12 Raspberry Pi Board [33]

บอร์ด Raspberry Pi ใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) โดยติดตั้งบนหน่วยความจำชนิด Flash Memory หรือ SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU, GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO (General Purpose Input/Output) ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น เช่น เชื่อมต่อกับสวิตช์ เพื่อควบคุมการนำเข้าข้อมูล หรือ เชื่อมต่อกับหลอด LED เพื่อแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการ ซึ่งสามารถตั้งค่าการทำงานได้ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mary A. Pagnutti และคนอื่นๆ [8] ได้ศึกษาการสร้างกล้องถ่ายภาพเพื่อการใช้งานภาพในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ โดยใช้บอร์ด Raspberry Pi 3 ร่วมกับ Raspberry Pi V2.1 camera ชนิดมี IR Cut Filter ซึ่งประสิทธิภาพของกล้องพิจารณาจากการทดสอบ flat fielding ของภาพ Dark frame เพื่อสังเกตความเสถียรของ noise, exposure และผลจากการปรับแก้ความเข้มของข้อมูลภาพ จากนั้นทำการทดสอบซ้ำเพื่อดูความเสถียรของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งจากผลการทดสอบ ภาพที่ได้มีคุณภาพสูงเพียงพอสำหรับการใช้งานในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และ ผลที่จากการทดสอบซ้ำ ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึงความเสถียรของโมดูลกล้อง

ยุพเรศ เชื้อชิด [34] ได้ศึกษาการใช้แสงอินฟราเรดช่วยในการถ่ายภาพดิจิทัล เพื่อระบุตำแหน่งบาดแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การถ่ายภาพอินฟราเรดในการทดลอง เป็นการถ่ายภาพ NIR โดยใช้กล้องประเภทเปลี่ยนเลนส์ได้ (Canon EOS 500D) ร่วมกับ IR Pass Filter ที่สามารถรับแสงอินฟราเรดตั้งแต่ ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตรขึ้นไป ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงฮาโลเจน ที่มีความเข้มแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 650-990 นาโนเมตร ผลจากการศึกษาพบว่า ภาพถ่ายที่มีรายละเอียดชัดเจนที่สุด ใช้รูรับแสงขนาด F11 และ ความเร็วชัตเตอร์ที่ 4 วินาที รวมถึงภาพถ่ายอินฟราเรดมีโอกาที่จะสามารถระบุตำแหน่งบาดแผลฟกช้ำหลังจากมองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่าได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 สำหรับการสร้างกล่อง

1. บอร์ด Raspberry Pi รุ่น 4 Model B - RAM 4 GB
2. โมดูลกล่อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter (NoIR)
3. จอภาพระบบสัมผัส LCD ขนาด 3.5 นิ้ว ความละเอียด 320x480 Pixel
4. โมดูลชาร์จและจ่ายไฟ 18650 Battery Shield V3
5. แบตเตอรี่ลิเธียม ความจุ 3000 mAh
6. Micro SD Card ยี่ห้อ SanDisk ขนาด 128 GB
7. IR LED จำนวน 2 หลอด
8. ปุ่มกดและหัวปุ่มกดจำนวน 1 ชิ้น
9. แผ่นวงจรพิมพ์สำเร็จรูปสำหรับปุ่มกด
9. พัดลมระบายความร้อน
10. Universal Print Circuit Board (PCB)
11. หัวแร้ง
12. ตะกั่วบัดกรี ยี่ห้อ ULTRACORE
13. น้ำยาประสานสำหรับบัดกรี
14. สายต่อวงจร Jumper Male to Female
15. ปืนกาว
16. ใส์ปืนกาวแท่งเล็ก

3.1.2 สำหรับทำการทดสอบ

1. กล่องที่พัฒนาขึ้นจากข้อ 3.1.1
2. โทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อ Samsung รุ่น S9plus
3. หลอดไฟ LED อุณหภูมิสี 6500K ยี่ห้อ Yeelight จำนวน 1 หลอด
5. ฟิลเตอร์ Infrared 720-89B รุ่น L-series ยี่ห้อ Cokin (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 ฟิลเตอร์ Infrared 720-89B ยี่ห้อ Cokin

6. ฟิลเตอร์ blue ที่มากับโมดูลกล้อง Raspberry Pi (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ฟิลเตอร์ blue ที่มากับโมดูลกล้อง Raspberry Pi

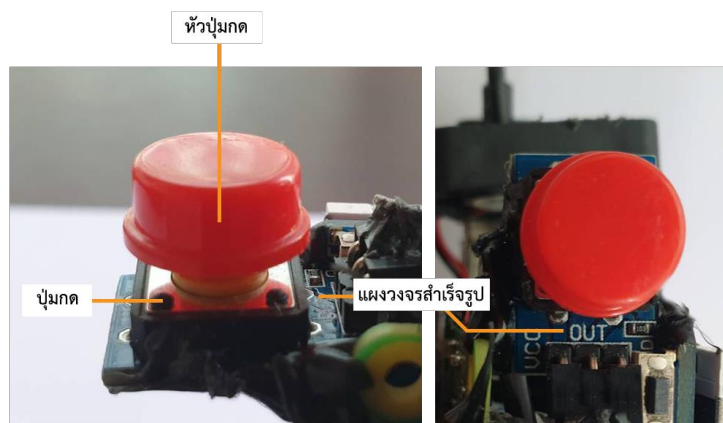
7. โปรแกรม Adobe Photoshop CC 2021

3.2 วิธีการดำเนินการ

3.2.1 การสร้างกล้องอินฟราเรด

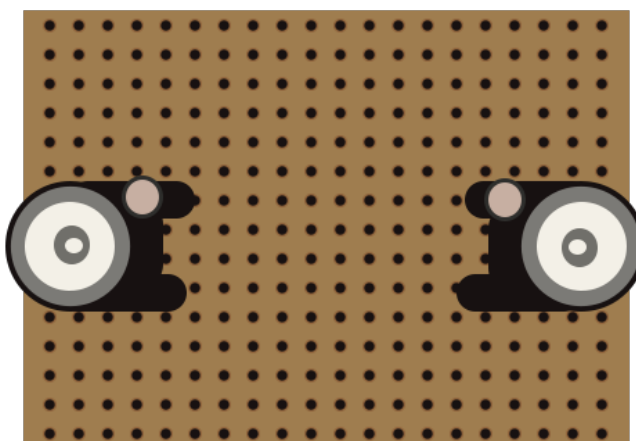
1. ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Raspbian ลงบน Micro SD Card จากนั้น นำ Micro SD Card ไปใส่ในบอร์ด Raspberry Pi 4 Model B ตั้งค่าการใช้งานพื้นฐานเพิ่มเติม
2. ประกอบบอร์ด Raspberry Pi 4 Model B กับกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter เปิดการใช้งานกล้องในระบบปฏิบัติการ ทดลองชุดคำสั่งถ่ายภาพและบันทึกภาพ อ้างอิงจากคู่มือ Raspberry Pi Camera Guide [35]
3. เชื่อมต่อพัดลมระบายความร้อน กับจอภาพระบบสัมผัส (จ่ายไฟพัดลมด้วยขั้วเชื่อมต่อด้านหลังจอภาพ)
4. เชื่อมต่อโมดูลชาร์จไฟและจ่ายไฟ 18650 Battery Shield V3 กับ แบตเตอรี่ลิเทียม

5. ประกอบปุ่มกดและหัวปุ่มกด เข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์สำเร็จรูปสำหรับปุ่มกด (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 ปุ่มกด หัวปุ่มกด และแผ่นวงจรพิมพ์สำเร็จรูปสำหรับปุ่มกด

6. บัดกรี IR LED ลงบน PCB จากนั้นบัดกรีสายต่อวงจรเชื่อมต่อกับ IR LED ที่ด้านหลังของ PCB โดยวางตำแหน่ง IR LED ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งบัดกรี IR LED บน PCB

7. นำบอร์ด Raspberry Pi จากข้อที่ 2 เชื่อมต่อกับ จอระบบสัมผัสจากข้อที่ 3
8. นำชุดแบตเตอรี่ลิเธียมจากข้อที่ 4 เชื่อมต่อกับ อุปกรณ์จากข้อที่ 7
9. นำชุดปุ่มกดจากข้อที่ 5 เชื่อมต่อกับ อุปกรณ์จากข้อที่ 8
10. ประกอบ IR LED จากข้อที่ 6 เข้ากับอุปกรณ์จากข้อที่ 9
11. เชื่อมอุปกรณ์ทั้งหมดให้ติดกันด้วยปืนกาว

3.2.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อตั้งค่าการทำงานของกล้อง และควบคุมการถ่ายภาพด้วยปุ่มกด

เขียน โปรแกรมเพื่อตั้งค่าการทำงานของกล้อง โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นมีหน้าจอดต่อประสานกับผู้ใช้งาน (user interface) เพื่อแสดงผลภาพบนจอภาพ มีปุ่มกดเพื่อออกจากโหมดถ่ายภาพกลับ

เข้าสู่หน้าต่างของระบบปฏิบัติการ Raspbian และใช้ปุ่มกดเพื่อถ่ายภาพ โดยมองผ่านทางจอภาพระบบสัมผัส (Live View) โดยมีขั้นตอนเพื่อเขียนชุดคำสั่ง ดังนี้

1. ออกแบบหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งาน (user interface) โดยมีการกำหนดตำแหน่งพื้นที่แสดงผลภาพและปุ่มกด ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงร่างขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งาน

2. เขียนชุดคำสั่งเพื่อแสดงหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งานตามทีออกแบบไว้ด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารีฟังก์ชัน Tkinter

3. เขียนการทำงานของโปรแกรมเพื่อแสดงผลภาพบนจอภาพ ควบคุมการถ่ายภาพด้วยปุ่มกดโดยมองผ่านทางจอภาพระบบสัมผัส บันทึกภาพลงในหน่วยความจำของกล้อง ชื่อไฟล์ภาพบันทึกตามวันที่และเวลาที่ถ่ายภาพ ด้วยภาษา Python ร่วมกับไลบรารีฟังก์ชัน OpenCV

4. ทดลองโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพก่อนนำไปทดสอบการใช้งานพื้นฐานและทดสอบความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ในสถานการณ์จริง

3.2.3 การทดสอบการใช้งานพื้นฐาน

1. ทดสอบการถ่ายภาพในตอนกลางวันและสภาวะไร้แสง ในตอนกลางวันทำการทดสอบถ่ายภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและถ่ายภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED ในสภาวะไร้แสงทำการทดสอบถ่ายภาพโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง IR LED และถ่ายภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสง IR LED

2. ทดสอบการบันทึกภาพวิดีโอด้วยกล้องที่สร้างขึ้น โดยทำการทดสอบในสภาวะไร้แสง บันทึกวิดีโอความยาว 15 วินาที ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง IR LED ตั้งค่า White Balance เป็นโหมด greyworld

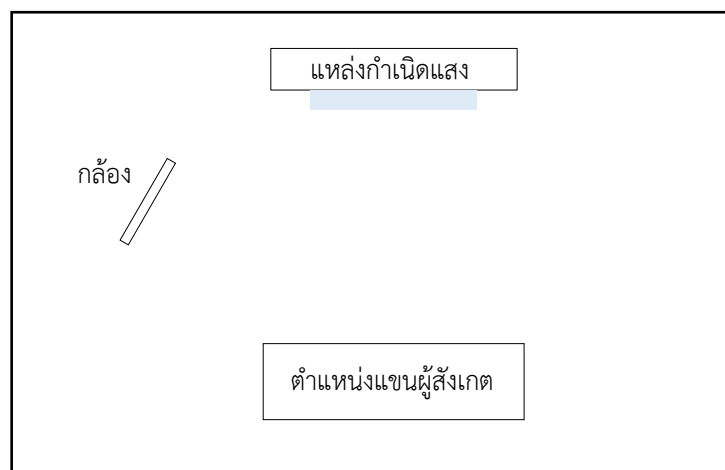
(คำสั่งใน Python) บันทึกวิดีโอด้วยความละเอียดแตกต่างกัน ได้แก่ 1080p30, 720p60 และ 640x480p90 อ้างอิงจากรายละเอียดข้อมูลจำเพาะของกล้อง [7]

3. ทดสอบการจัดเก็บข้อมูลภาพสกุลไฟล์ต่าง ๆ ได้แก่ JPG และ PNG อ้างอิงจากรายละเอียดข้อมูลจำเพาะของกล้อง [7] โดยทำการทดลองถ่ายภาพเดียวกัน ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED อุณหภูมิสี 6500K ร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED ภาพแรกบันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ JPG ถ่ายภาพอีกครั้ง บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ PNG

4. ทดสอบระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้อง โดยชาร์จแบตเตอรี่จนเต็ม จับเวลา ตั้งแต่เปิดใช้งานกล้องจนกระทั่งแบตเตอรี่หมด บันทึกเวลา

3.2.4 การทดสอบการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง

1. ถ่ายภาพแขนด้านซ้ายของผู้สังเกต จำนวน 1 คน ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED อุณหภูมิสี 6500K โดยหงายข้อมือขึ้น วางแขนแนบกับพื้น มีการจัดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสง แขนผู้สังเกตและกล้องดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสง แขนผู้สังเกตและกล้องในการถ่ายภาพ

2. ถ่ายภาพอีกครั้งตามตำแหน่งรูปที่ 3.6 ด้วยกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED อุณหภูมิสี 6500K ร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED ร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B โดยถือฟิลเตอร์ไว้ด้านหน้าเลนส์กล้อง

3. ทำซ้ำข้อที่ 2 เปลี่ยนจากฟิลเตอร์ Infrared 720-89B เป็นฟิลเตอร์ blue ที่มากับโมดูลกล้อง Raspberry Pi

4. ทำซ้ำข้อที่ 1 2 และ 3 เปลี่ยนจากแขนด้านซ้ายของผู้สังเกตเป็นแขนด้านขวาของผู้สังเกต

3.2.5 การทดสอบการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1. ถ่ายภาพแผลฟกช้ำบริเวณเข้าของผู้สังเกต จำนวน 1 คน ด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED อุณหภูมิสี 6500K โดยวางขาแนบกับพื้น ให้มองเห็นแผลชัดเจน มีการจัดตำแหน่งแหล่งกำเนิดแสง ขาของผู้สังเกตและกล้องเช่นเดียวกับรูปที่ 3.6
2. ถ่ายภาพอีกครั้งตามตำแหน่งรูปที่ 3.6 ด้วยกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง LED อุณหภูมิสี 6500K ร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED ร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B โดยถือฟิลเตอร์ไว้ด้านหน้าเลนส์กล้อง
3. ทำซ้ำข้อที่ 2 เปลี่ยนจากฟิลเตอร์ Infrared 720-89B เป็นฟิลเตอร์ blue ที่มากับโมดูลกล้อง Raspberry Pi
4. เว้นระยะเวลา 1 สัปดาห์จนกระทั่งแผลมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ทำซ้ำข้อที่ 1 2 3

3.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 วิเคราะห์ความละเอียดและคุณภาพของภาพที่ได้จากการทดสอบการใช้งานพื้นฐานในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 (ในหัวข้อ 3.2.3) โดยนำภาพที่ได้จากข้อที่ 1 เปิดภาพด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2021 ปรับให้เป็นภาพขาวดำโดย คำสั่ง Desaturate (Image > Adjustments > Desaturate) เปรียบเทียบ Histogram ระหว่างภาพถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและภาพถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED

3.3.2 วิเคราะห์ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง

1. นำภาพที่ถ่ายได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือ (ภาพจากข้อที่ 1 ในหัวข้อ 3.2.4) เปิดภาพด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2021 ปรับให้เป็นภาพขาวดำโดย คำสั่ง Desaturate (Image > Adjustments > Desaturate)
2. นำภาพที่ถ่ายได้จากกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue (ภาพจากข้อ 2 3 และ 4 ในหัวข้อ 3.2.4) เปิดภาพด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2021 ปรับให้เป็นภาพอินฟราเรดขาวดำโดย คำสั่ง Desaturate (Image > Adjustments > Desaturate) อ้างอิงจากการเปลี่ยนภาพอินฟราเรดสีเป็นภาพขาวดำ [36]
3. เพิ่มความเปรียบต่าง (contrast) ภาพที่ได้จากข้อที่ 2 ด้วยคำสั่ง Brightness/Contrast (Image > Adjustments > Brightness/Contrast)
4. นำภาพที่ได้จากข้อ 3 เทียบกับภาพที่ได้จากโทรศัพท์มือถือ (ภาพจากข้อที่ 1 ในหัวข้อ 3.2.4) และภาพจากข้อที่ 1

3.3.3 วิเคราะห์ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1. นำภาพที่ถ่ายได้จากกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue (ภาพจากข้อ 2 3 และ 4 ในหัวข้อ 3.2.5) เปิดภาพด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2021 ปรับให้เป็นภาพอินฟราเรดขาวดำโดย คำสั่ง Desaturate (Image > Adjustments > Desaturate)

2. เพิ่มความเปรียบต่าง (contrast) ด้วยคำสั่ง Brightness/Contrast (Image > Adjustments > Brightness/Contrast)

3. นำภาพที่ได้จากข้อที่ 2 เทียบกับภาพที่ได้จากโทรศัพท์มือถือ (ภาพจากข้อที่ 1 ในหัวข้อ 3.2.5)

บทที่ 4

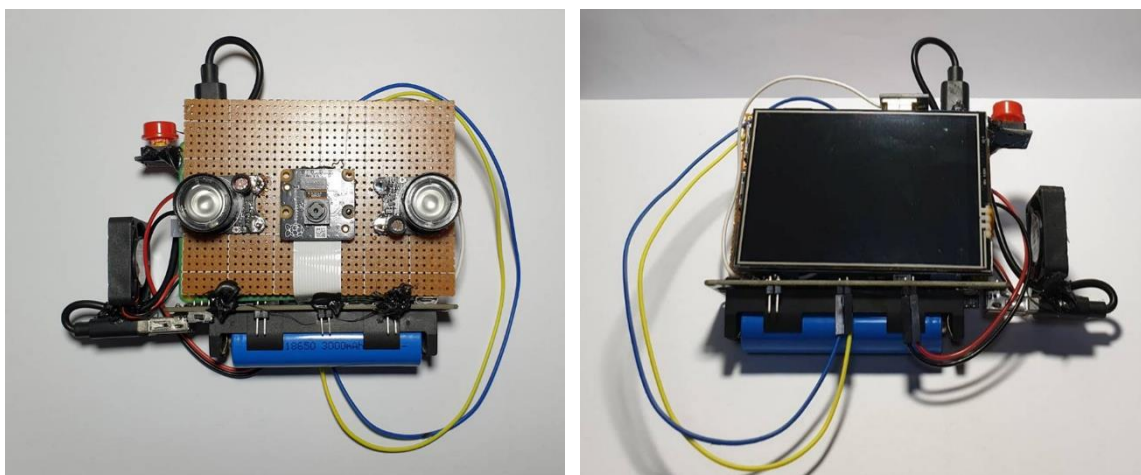
ผลการดำเนินงานและอภิปราย

โครงการเสริมประสบการณ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากล้องอินฟราเรด ด้วยอุปกรณ์ Raspberry Pi และทดสอบความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ในสถานการณ์จริง แบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่

1. รายงานผลการสร้างกล้องอินฟราเรด
2. รายงานผลและวิเคราะห์ผลการทดสอบการใช้งานพื้นฐาน
3. รายงานผลและวิเคราะห์ผลการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง
4. รายงานผลและวิเคราะห์ผลการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
5. รายงานผลการทดสอบระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้อง

4.1 การสร้างกล้องอินฟราเรด

จากการสร้างกล้องอินฟราเรดด้วยบอร์ด Raspberry Pi ร่วมกับกล้อง Raspberry Pi V2 ชนิดไม่มี IR Cut Filter ผลคือ สามารถสร้างได้กล้องสำเร็จ กล้องที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.1

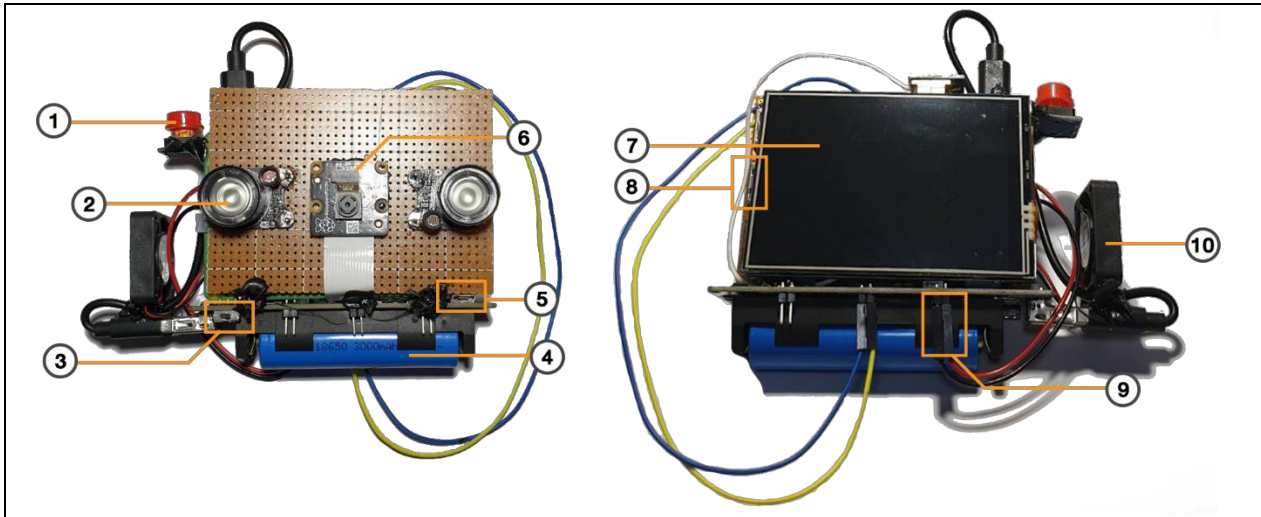


รูปที่ 4.1 ด้านหน้าและด้านหลังกล้องที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบและคำอธิบายของประกอบของกล้อง กล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้น สามารถพบภาพได้ เนื่องจากมีแบตเตอรี่ในตัวขนาด 3000 mAh (ตำแหน่งที่ 4) พร้อมช่องชาร์จไฟ (ตำแหน่งที่ 5) เริ่มต้นใช้งานกล้องโดยกดสวิตช์เปิด-ปิด (ตำแหน่งที่ 3) เพื่อเปิดการทำงานของแบตเตอรี่ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้องค์ประกอบต่าง ๆ ในกล้อง การถ่ายภาพใช้ปุ่มกด (ตำแหน่งที่ 1) เพื่อบันทึกภาพ พร้อม IR LED (ตำแหน่งที่ 2) ติดตั้งอยู่ข้างโมดูลกล้อง (ตำแหน่งที่ 6) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง NIR สังเคราะห์เพื่อถ่ายภาพ NIR ในสภาวะไร้แสง สามารถเปิด-ปิดการทำงานของ IR LED ได้ ด้วยการถอดและเสียบสายไฟที่

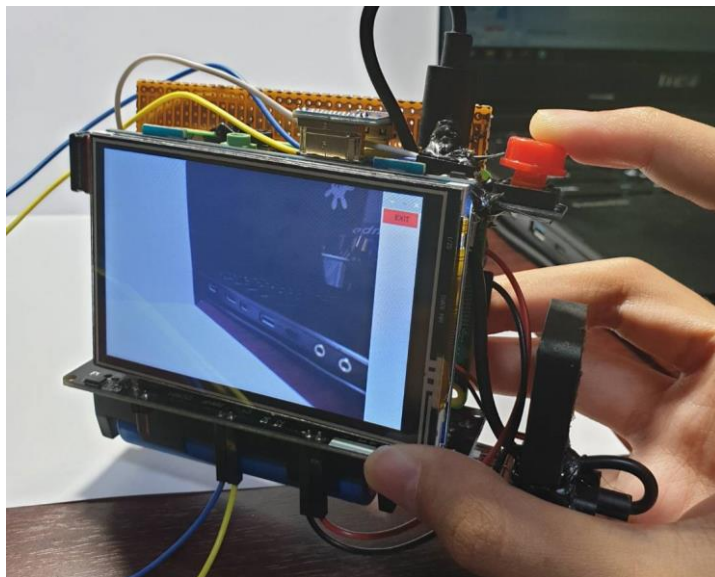
ขั้วเชื่อมต่อแบตเตอรี่ (ตำแหน่งที่ 9) โดยภาพจะปรากฏผ่านทางจอภาพระบบสัมผัส (ตำแหน่งที่ 7) ภาพถ่ายที่ได้จะถูกจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของกล้อง หากต้องการเปิดภาพที่จัดเก็บไว้ ทำได้โดยเลือกแสดงภาพที่ต้องการบนระบบปฏิบัติการ Raspbian ในการถ่ายโอนข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่น สามารถทำได้โดยการถ่ายโอนข้อมูลผ่าน USB Flash Drive (ตำแหน่งที่ 8) หรือผ่านเทคโนโลยี Cloud Storage เช่น Google drive

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบและคำอธิบายขององค์ประกอบของกล้อง



ตำแหน่ง	ชื่อ	คำอธิบาย
1	ปุ่มกด	ใช้เพื่อบันทึกภาพ
2	IR LED	เป็นแหล่งกำเนิดแสง NIR สักคราะห์ เพื่อถ่ายภาพ NIR ในสภาวะไร้แสง
3	สวิตช์เปิด-ปิด	เปิดการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟให้ส่วนต่าง ๆ ในกล้อง
4	แบตเตอรี่	แหล่งจ่ายไฟให้แก่อุปกรณ์ทุกส่วนบนกล้อง มีขนาด 3000 mAh
5	ช่องชาร์จไฟ	ช่องชาร์จไฟแบตเตอรี่ ขั้วชาร์จประเภท Micro USB
6	โมดูลกล้อง Raspberry Pi	เซนเซอร์รับภาพของกล้อง
7	จอภาพระบบสัมผัส	แสดงภาพขณะถ่ายภาพและภาพที่จัดเก็บไว้ สัมผัสที่หน้าจอเพื่อออกสู่ระบบปฏิบัติการ Raspbian
8	ช่องเชื่อมต่อ USB	เชื่อมต่อกับ ยูเอสบีแฟลชไดรฟ์ เพื่อถ่ายโอนข้อมูล
9	ขั้วเชื่อมต่อ IR LED	จ่ายไฟให้กับ IR LED ถอดและเสียบสายไฟเพื่อเปิด-ปิด
10	พัดลมระบายความร้อน	ระบายความร้อนของจอภาพและ Raspberry Pi

ในส่วนการเขียนโปรแกรมเพื่อตั้งค่าการทำงานของกล้องและควบคุมการถ่ายภาพด้วยปุ่มกด ผลคือโปรแกรมที่เขียนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้เพื่อทดสอบการใช้งานพื้นฐานและทดสอบความสามารถของกล้องอินฟราเรดที่สร้างขึ้น ในสถานการณ์จริง

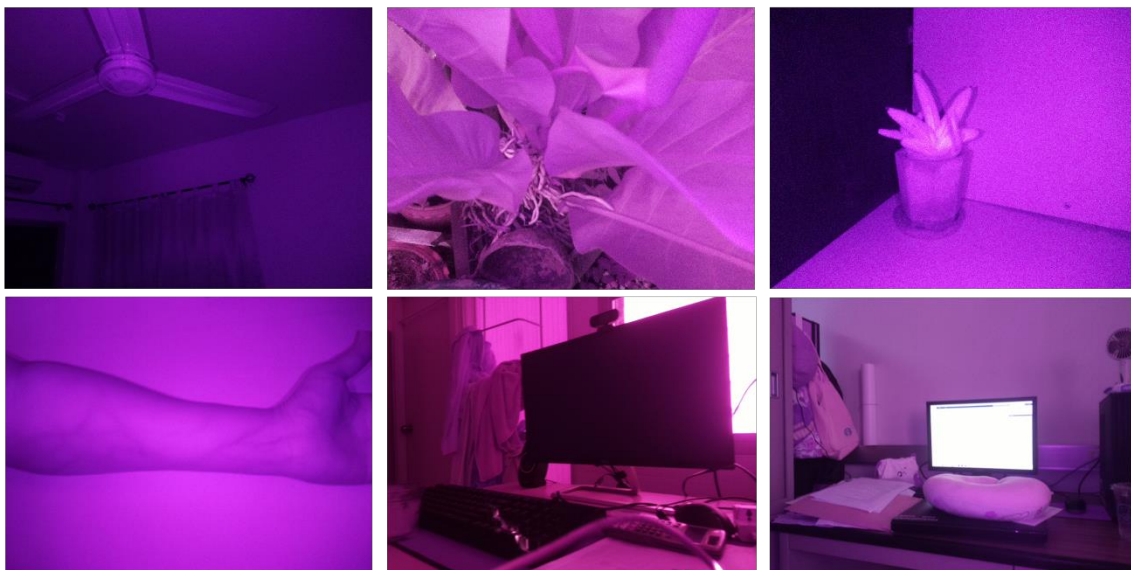


รูปที่ 4.2 หน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้

รูปที่ 4.2 แสดงหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้ (user interface) บนจอภาพระบบสัมผัส ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ พื้นที่แสดงภาพขณะอยู่ในโปรแกรม และ ปุ่มกด (ปุ่ม EXIT) บนจอภาพเพื่อออกจากโหมดถ่ายภาพกลับเข้าสู่หน้าต่างระบบปฏิบัติการ Raspbian ขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ของหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ในโปรแกรมมีชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ปุ่มกดควบคุมการถ่ายภาพ โดยมองผ่านทางพื้นที่แสดงภาพ (Live View) ซึ่งเมื่อกดปุ่มเพื่อถ่ายภาพ ภาพที่ถ่ายจะค้างบนจอ 1 วินาที ก่อนกลับมาแสดงภาพดั้งเดิม เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าถ่ายภาพสำเร็จ ภาพถ่ายที่ได้จะถูกจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของกล้องทันที โดยชื่อไฟล์ภาพจะถูกบันทึกด้วยวันที่และเวลาที่ถ่ายภาพ อิงตามเวลาในระบบปฏิบัติการ Raspbian รูปแบบชื่อไฟล์ คือ `img_yyyy-mm-dd hh:mm:ss.s`

ชุดคำสั่งเพื่อแสดงหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้และการทำงานของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก ก

ตัวอย่างของภาพที่ได้จากกล้องที่พัฒนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายภาพได้แหล่งแสงธรรมชาติ ภายได้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED และ ในสภาวะไร้แสงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง IR LED

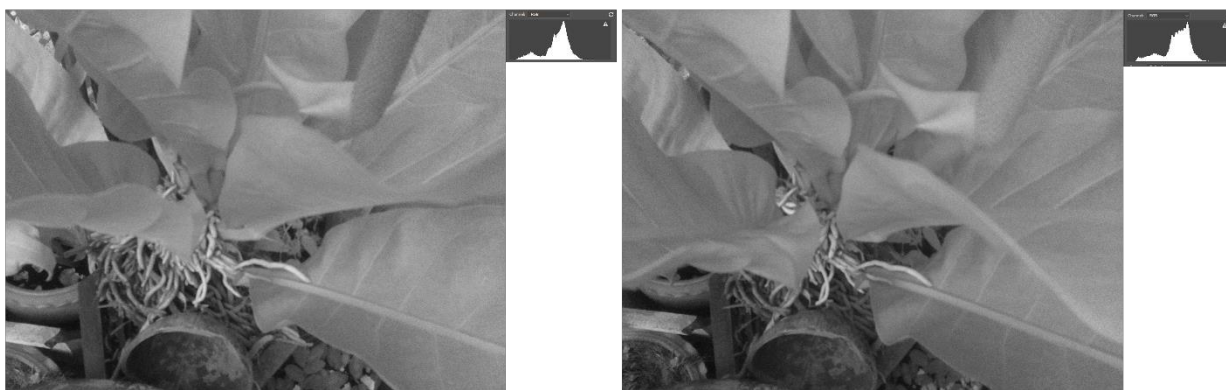


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างของภาพที่ได้จากกล้องที่พัฒนาขึ้น

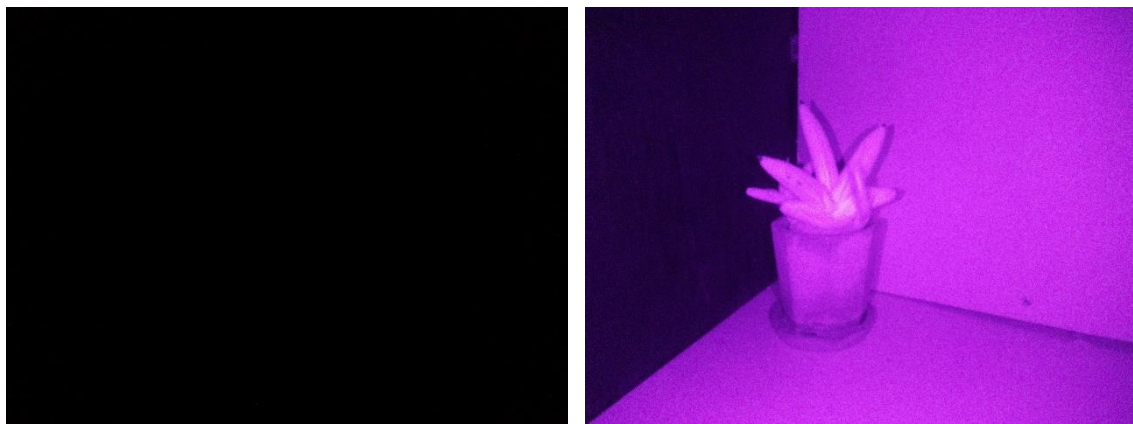
4.2 ผลการทดสอบการใช้งานพื้นฐาน

4.2.1 การทดสอบถ่ายภาพในตอนกลางวันและสภาวะไร้แสง

นักกล้องที่พัฒนาขึ้น ไปทดสอบการถ่ายภาพในตอนกลางวันและในสภาวะไร้แสง โดยการถ่ายภาพในตอนกลางวัน รูปที่ 4.4 แสดงภาพที่ผ่านการ Desaturate แล้ว (ซ้าย) ถ่ายภาพภายใต้แหล่งแสงธรรมชาติ ในรูปที่ 4.4 (ขวา) ถ่ายภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED พร้อม Histogram ของทั้งสองภาพ และการถ่ายภาพในสภาวะไร้แสง รูปที่ 4.5 (ซ้าย) ถ่ายภาพโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง IR LED ในรูปที่ 4.5 (ขวา) ถ่ายภาพภายใต้แหล่งกำเนิดแสง IR LED



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการ Desaturate แล้วและ Histogram (ซ้าย) ถ่ายโดยใช้แสง
(ขวา) ถ่ายโดยใช้แสงร่วมกับ IR LED



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพ (ซ้าย) ถ่ายในสภาวะไร้แสง (ขวา) ถ่ายในสภาวะไร้แสงโดยใช้ IR LED

จากรูปที่ 4.4 ภาพถ่ายต้นไม้ที่ถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติแตกต่างจากภาพถ่ายต้นไม้ที่ถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติร่วมกับแหล่งกำเนิดแสง IR LED จาก Histogram กราฟช่วงบริเวณส่วนสว่างของทั้งสองภาพใกล้เคียงกัน แต่ภาพที่ถ่ายภายใต้แสง และ IR LED กราฟช่วงบริเวณส่วนมืดของภาพมีความเข้มของโทนสูงกว่าและมีการกระจายตัวของกราฟมากกว่า ส่งผลให้บริเวณดินและส่วนที่มีสีเขียวในภาพเข้มกว่าภาพที่ถ่ายภายใต้แสง นั่นคือการใช้แหล่งกำเนิดแสง IR LED ร่วมกับแสงธรรมชาติเพิ่มความเปรียบต่าง (contrast) ให้กับภาพ ภาพที่ถ่ายภายใต้แสง และ IR LED ควรสว่างกว่าภาพที่ถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ เกิดจากกล้องที่พัฒนาขึ้นทำงานในโหมดอัตโนมัติ ซึ่งรวมถึงปรับความสว่างของแสงในการถ่ายภาพ ทำให้ภาพทั้งสองภาพมีความสว่างเท่ากัน แต่ความเปรียบต่างของภาพที่ถ่ายภายใต้แสง และ IR LED เพิ่มขึ้น


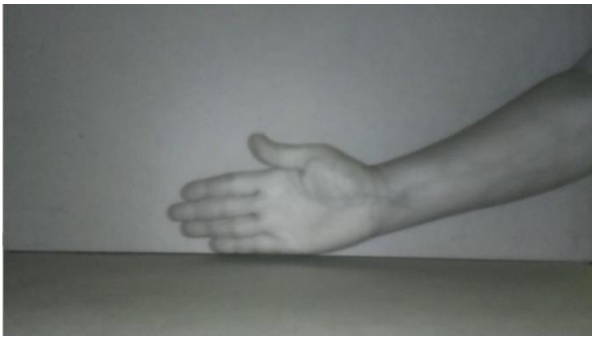
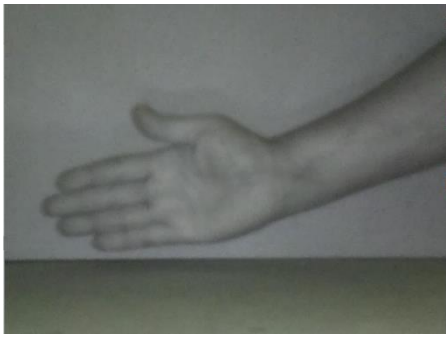
ในการถ่ายภาพอินฟราเรดในสภาวะไร้แสงด้วยกล้องที่พัฒนาขึ้น จากรูปที่ 4.5 เมื่อถ่ายภาพโดยไม่มีแหล่งกำเนิดแสง IR LED ไม่สามารถจับภาพวัตถุที่อยู่ด้านหน้าได้ เพราะขาดองค์ประกอบในการมองเห็นภาพ ดังนั้นการถ่ายภาพอินฟราเรดในตอนกลางคืนหรือบริเวณที่ไม่มีแสง จำเป็นต้องมีแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด ในที่นี้คือ IR LED ซึ่งภาพที่ถ่ายได้แสดงโครงสร้างองค์ประกอบของวัตถุในภาพได้ครบถ้วน แต่รายละเอียดของวัตถุในภาพไม่ชัดเจนมากนัก เช่น บริเวณปลายของต้นไม้เป็นส่วนที่ตายแล้วจึงเห็นเป็นสีดำ

กล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อถ่ายภาพในสภาวะไร้แสงได้ แต่ไม่เหมาะกับการถ่ายภาพอินฟราเรดในช่วงกลางวัน เนื่องจากแสงและอินฟราเรดสามารถตกกระทบบนเซนเซอร์ของกล้อง ทำให้ภาพที่ได้ไม่ใช่ภาพอินฟราเรดอย่างแท้จริง หากต้องการถ่ายภาพอินฟราเรดต้องใช้งานร่วมกับ IR Pass Filter

4.2.2 ทดสอบการบันทึกภาพวิดีโอ

จากการทดสอบบันทึกภาพวิดีโอด้วยกล้องที่สร้างขึ้น ทำการทดสอบด้วยความละเอียดแตกต่างกัน ผลคือ กล้องสามารถบันทึกวิดีโอที่ความละเอียดต่าง ๆ ได้ตามที่กล่าวไว้ในเอกสารอ้างอิง ซึ่งตัวอย่างภาพที่ได้และรายละเอียดที่สังเกตได้จากวิดีโอแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงตัวอย่างภาพที่ได้และรายละเอียดที่สังเกตได้ของภาพวิดีโอที่ความละเอียดต่าง ๆ

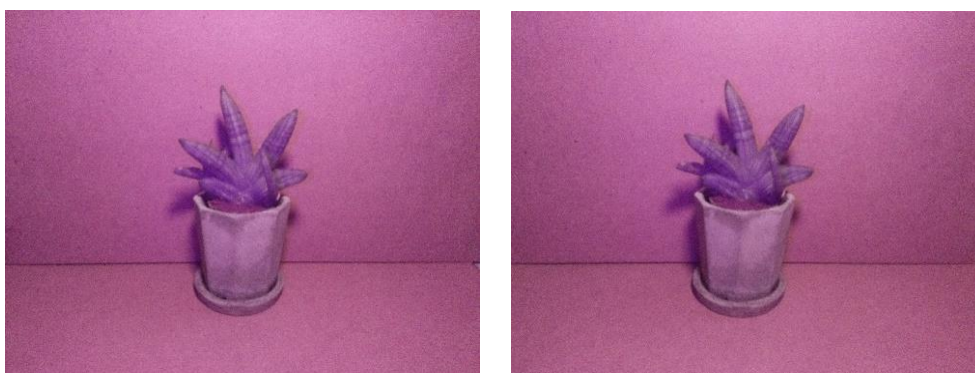
ความละเอียด	ตัวอย่างภาพ	รายละเอียดที่สังเกตได้
1080p30		วิดีโอไม่ต่อเนื่อง เห็นโครงสร้างของมือชัดเจน แต่รายละเอียดบนมือไม่ค่อยชัดเจน มองเห็นเส้นเลือดบริเวณฝ่ามือ ข้อมือและ แขน
720p60		วิดีโอไม่ต่อเนื่อง แต่ต่อเนื่องมากกว่า 1080p30 เห็นโครงสร้างของมือชัดเจน แต่รายละเอียดบนมือไม่ค่อยชัดเจน มองเห็นเส้นเลือดบริเวณข้อมือและ แขน
640x480p90		วิดีโอมีความต่อเนื่อง เห็นโครงสร้างของมือและรายละเอียดบนมือแต่ไม่ชัดเจน มองเห็นเส้นเลือดบริเวณข้อมือและแขน

การบันทึกภาพวิดีโอที่ความละเอียดต่างกัน ในสภาวะไร้แสง สามารถเห็นโครงสร้างของวัตถุในวิดีโอได้ โดยที่ความละเอียดสูงสุดมองเห็นรายละเอียดในภาพได้ดีที่สุดแต่มีความต่อเนื่องของภาพน้อยที่สุด เพราะอัตราเฟรมต่ำ และที่ความละเอียดต่ำสุดวิดีโอมีความต่อเนื่องมากที่สุด เนื่องจากอัตราเฟรมสูง วิดีโอที่ความละเอียดต่ำสุด ถูกครอบตัดเนื่องจากอัตราส่วนของภาพคือ 4:3 แต่อัตราส่วนของภาพที่ความละเอียดอื่นคือ 16:9 และเห็นรายละเอียดได้น้อยกว่าวิดีโอที่ความละเอียดอื่น ๆ นอกจากนี้วิดีโอทุกความ

ละเอียดมีการกระพริบของภาพ แต่เมื่อปิด IR LED ภาพไม่กระพริบ ซึ่งเกิดจากความไวของเซ็นเซอร์ไม่สัมพันธ์กับความถี่ของแหล่งกำเนิดแสง IR LED ของตัวกล้อง ดังนั้นในการใช้งานด้านวิดีโอ กล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อสังเกตองค์ประกอบวัตถุที่ปรากฏในวิดีโอได้ สามารถเห็นโครงสร้างของวัตถุชัดเจน โดยต้องตั้งค่าความไวของเซ็นเซอร์ ให้เหมาะสมกับอัตราเฟรมและความถี่ของ IR LED นอกจากนี้กล้องที่พัฒนาขึ้นไม่เหมาะกับการนำมาใช้เพื่อสังเกตรายละเอียดของวัตถุในระยะใกล้ หากต้องการใช้งานในลักษณะนี้ สามารถหมุนชิ้นเลนส์เพื่อปรับระยะโฟกัสใกล้สุดและส่งผลให้ Depth of field เปลี่ยนไป [37]

4.2.3 ทดสอบการจัดเก็บข้อมูลภาพสกุลไฟล์ต่าง ๆ

ผลภาพจากทดสอบถ่ายภาพเดียวกันโดยจัดเก็บข้อมูลภาพด้วยสกุลไฟล์ JPG และ PNG ผลคือ กล้องสามารถบันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ที่ต่างกันได้ตามที่กล่าวในเอกสารอ้างอิง โดยแสดงผลดังรูปที่ 4.6 (ซ้าย) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ JPG และรูปที่ 4.6 (ขวา) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ PNG โดยขนาดไฟล์ภาพมีขนาดใกล้เคียงกัน และภาพที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างเมื่อมองด้วยตาเปล่า











รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพ (ซ้าย) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ JPG (ขวา) บันทึกภาพด้วยสกุลไฟล์ PNG

4.3 ผลการถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง

จากการทดสอบถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง ผลการทดสอบ ได้แก่ ภาพถ่ายแขนซ้ายและแขนขวาจากโทรศัพท์มือถือ ภาพถ่ายแขนซ้ายและแขนขวาจากโทรศัพท์มือถือที่ผ่านการ Desaturate แล้ว และภาพถ่ายแขนซ้ายและแขนขวาจากกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue ที่ผ่านการ Desaturate แล้ว แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ภาพถ่ายเส้นเลือดใต้ผิวหนัง ด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ

	ภาพจากโทรศัพท์มือถือ	ภาพจากโทรศัพท์มือถือที่ผ่านการ Desaturate	ภาพจากกล้องที่สร้างขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B	ภาพจากกล้องที่สร้างขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ blue
แขนซ้าย				
แขนขวา				


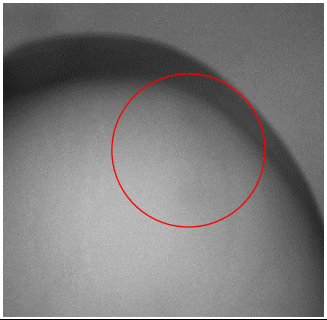




จากตารางที่ 4.3 พบว่า กล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นเมื่อใช้งานร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue ซึ่งทั้งสองเป็น IR Pass Filter สามารถถ่ายภาพเส้นเลือดใต้ผิวหนังบริเวณข้อมือและแขนได้ โดยการถ่ายภาพอินฟราเรดร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B ภาพที่ได้มองเห็นเส้นเลือดใต้ผิวหนังอย่างชัดเจน ทั้งภาพแขนซ้ายและแขนขวา แต่การถ่ายภาพอินฟราเรดร่วมกับฟิลเตอร์ blue สามารถมองเห็นเส้นเลือดใต้ผิวหนังอย่างชัดเจนในภาพแขนขวาเท่านั้น อาจเกิดจากฟิลเตอร์ blue กั้นแสงเพียงบางส่วน ทำให้อาจมีแสงบางส่วนส่องผ่านฟิลเตอร์เข้ามาด้วย ทำให้ภาพที่ได้ไม่ใช่ภาพอินฟราเรดอย่างแท้จริง ส่งผลให้มองไม่เห็นเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนัง เช่นเดียวกับภาพที่ได้จากกล้องโทรศัพท์มือถือที่สามารถถ่ายภาพเส้นเลือดใต้ผิวหนังได้เพียงบริเวณข้อมือและบริเวณที่มีเส้นเลือดออก

จากผลการทดสอบถ่ายภาพพระนาคำแห่งแผลฟกช้ำในตารางที่ 4.4 การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue ภาพแผลฟกช้ำหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์ ภาพทั้งสองภาพสามารถมองเห็นเส้นเลือดใต้ผิวหนังอย่างชัดเจน ดังนั้น ในการถ่ายภาพอินฟราเรด ความหนาของชั้นผิวหนังมีผลต่อการมองเห็นเส้นเลือดใต้ผิวหนัง

4.4 ผลการถ่ายภาพพระนาคำแห่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

จากการทดสอบถ่ายภาพเพื่อพระนาคำแห่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผลการทดสอบ ได้แก่ ภาพถ่ายแผลฟกช้ำบริเวณเข่าและมือแผลฟกช้ำจางหายไปจากโทรศัพท์มือถือ ภาพถ่ายจากกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue ที่ผ่านการ Desaturate แล้ว แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ภาพถ่ายแผลฟกช้ำ ด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ

	ภาพจากโทรศัพท์มือถือ	ภาพจากกล้องที่สร้างขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B	ภาพจากกล้องที่สร้างขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ blue
แผลฟกช้ำขณะมองเห็นด้วยตาเปล่า			
แผลฟกช้ำหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์			

จากตารางที่ 4.4 พบว่า การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ blue ภาพแผลฟกช้ำที่มองเห็นด้วยตาเปล่าสามารถมองเห็นแผลฟกช้ำได้ชัดเจน แต่ภาพอินฟราเรดจากกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B ไม่เห็นแผลฟกช้ำ เห็นเพียงรอยจางเท่านั้น อาจเกิดจากการถ่ายภาพใกล้แผล

ฟลิกซ์เกินไป ทำให้ภาพไม่อยู่ในระยะโฟกัสส่งผลให้ภาพไม่ชัด จึงเห็นเพียงสี่ผิวนบริเวณที่มีแฟลฟลิกซ์เข้มกว่าสี่ผิวนบริเวณรอบข้าง เมื่อถ่ายภาพแฟลฟลิกซ์อีกครั้งหลังจากผ่านไป 1 สัปดาห์ พบว่ากล้องโทรศัพท์มือถือไม่สามารถถ่ายภาพแฟลฟลิกซ์ได้และแฟลฟลิกซ์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ภาพอินฟราเรดทั้งสองภาพที่ได้จากกล้องที่พัฒนาขึ้นร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue สี่ผิวนบริเวณที่มีแฟลฟลิกซ์เข้มกว่าสี่ผิวนรอบข้าง นั่นคือ กล้องอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นสามารถถ่ายภาพอินฟราเรดเพื่อระบุตำแหน่งแฟลฟลิกซ์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าที่ได้

4.5 ทดสอบระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้อง

จากการทดสอบระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้องตั้งแต่แบตเตอรี่เต็ม จนกระทั่งแบตเตอรี่หมด โดยเชื่อมต่อกับ IR LED และปุ่มกดตลอดการทดสอบ และไม่มีการบินที่กภาพใด ๆ ผลคือ กล้องสามารถใช้งานได้ 39 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศา หากมีการถ่ายภาพหรือบันทึกวิดีโอร่วมด้วย จะทำให้ระยะเวลาการใช้งานลดลง สาเหตุที่ระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้องไม่ยาวนานนัก เนื่องจาก แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ทุกส่วนในกล้องถ่ายภาพ อาจมีอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ไฟมากเกินไปจนความจำเป็นและสายไฟที่เชื่อมต่อยาว ส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

1. สามารถพัฒนากล้องอินฟราเรดด้วยบอร์ด Raspberry Pi ได้สำเร็จ และ โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ควบคุมการทำงานสามารถทำงานได้

2. กล้องสามารถพกพาได้ มีหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งาน สามารถควบคุมการทำงานโดยใช้ปุ่มกดเพื่อบันทึกภาพ มีแหล่งกำเนิดแสง NIR ในตัว สามารถจัดเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของกล้องและสามารถถ่ายโอนข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นได้

3. การถ่ายภาพในตอนกลางวัน การใช้แหล่งกำเนิดแสง IR LED ร่วมกับแสงธรรมชาติทำให้ความเปรียบต่างของภาพเพิ่มขึ้น

4. การถ่ายภาพอินฟราเรดในสภาวะไร้แสงภายใต้แหล่งกำเนิดแสง IR LED แสดงโครงสร้างวัตถุในภาพได้ครบถ้วน แต่รายละเอียดของวัตถุในภาพไม่ชัดเจนนัก

5. การบันทึกภาพวิดีโอ สามารถบันทึกวิดีโอที่ความละเอียด 1080p30, 720p60 และ 640x480p90 ได้ ที่ความละเอียด 1080p30 มองเห็นรายละเอียดในวิดีโอดีที่สุดแต่มีความต่อเนื่องของภาพน้อยที่สุด และที่ความละเอียด 640x480p90 วิดีโอมีความต่อเนื่องมากที่สุดแต่เห็นรายละเอียดในวิดีโอที่น้อยที่สุด

6. สามารถจัดเก็บข้อมูลภาพสกุลไฟล์ JPG และ PNG ได้ ขนาดไฟล์ภาพใกล้เคียงกันและภาพที่ได้ไม่มีความแตกต่างเมื่อมองด้วยตาเปล่า

7. การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue สามารถถ่ายภาพเส้นเลือดใต้ผิวหนังบริเวณข้อมือและแขนได้ โดยความหนาของชั้นผิวหนังมีผลต่อการมองเห็นเส้นเลือดใต้ผิวหนัง

8. การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องร่วมกับฟิลเตอร์ Infrared 720-89B และฟิลเตอร์ blue สามารถถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้

9. กล้องที่เชื่อมต่อกับ IR LED และปุ่มกดเพื่อบันทึกภาพตลอดการทดสอบ รวมถึงไม่มีการบันทึกภาพใด ๆ สามารถใช้งานได้ 39 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศา

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบบันทึกภาพวิดีโอควรควบคุมระยะห่างระหว่างวัตถุและกล้องอย่างน้อย 1 เมตร (ระยะโฟกัสใกล้สุด) เพื่อให้รายละเอียดในภาพชัดเจน

2. ควรจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง แขนผู้สังเกตและกล้องในแต่ละภาพให้คงที่ เพื่อให้ภาพออกมาอยู่ในมุมมองเดียวกันและนำไปเปรียบเทียบได้ง่าย

5.3 แนวทางในการพัฒนา

1. ศึกษาแนวทางการออกแบบกล้องอินฟราเรดเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของกล้องและเพื่อให้ควบคุม IR LED ได้ผ่านโปรแกรม

2. เขียนโปรแกรมเพื่อเพิ่มโหมดการถ่ายภาพ Manual ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าได้ทั้งหมด รวมถึงเพิ่มปุ่มปรับค่าในการถ่ายภาพ เช่น ISO ความไวชัตเตอร์ บนหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานคุมค่าแสงเองได้

3. เขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถปรับเป็นภาพอินฟราเรดขาวดำได้ เช่น คำสั่ง Desaturate, แปลงค่าสีเป็น Luminance และ แสดงผลภาพในช่องสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง

4. เขียนโปรแกรมเพื่อเพิ่มปุ่มโหมดวิดีโอ บนหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งาน เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

5. ศึกษาแนวทางการถ่ายโอนข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม เนื่องจากถ่ายโอนข้อมูลทำได้ยาก ต้องทำผ่านอุปกรณ์อื่น

6. ออกแบบและทำตัวกล้องจากการพิมพ์ 3 มิติ เพื่อให้จับใช้งานได้สะดวกมากขึ้นและช่วยปกป้องอุปกรณ์ในกล้อง

7. เนื่องจากการทดสอบถ่ายภาพเส้นเลือดบริเวณใต้ผิวหนังและการถ่ายภาพระบุตำแหน่งแผลฟกช้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าทดสอบกับผู้สังเกตเพียง 1 คน ทำให้การวิเคราะห์และสรุปผลคลาดเคลื่อนได้ การทดลองต่อไปควรเพิ่มจำนวนผู้สังเกต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aziz, M., N.; Prasasti, A., L., and Purboyo, T., W. 2019. Experimental Analysis of Face Recognition from Infrared Camera using Retinex Algorithm and Linear Discriminant Analysis (LDA). Journal of Engineering and Applied Science 14(8): 2594-2609.
- [2] Roy, S., D.; Das, D., H.; Bhowmik, M., K., and Ghosh, A., K. 2016. Bruise Detection in Apples Using Infrared Imaging. 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (December): 118-122.
- [3] Rowan, P.; Hill, M.; Gresham, G., A.; Goodall, E., and Moore, T. 2010. The use of infrared aided photography in identification of sites of bruises after evidence of the bruise is absent to the naked eye. Journal of Forensic and Legal Medicine 17(6) (August): 293-297.
- [4] Tucker, R.; Callahan, J., A.; Zeidler, C.; Paulac, A., and Ferl, R., J. 2020. NDVI imaging within space exploration plant growth modules – A case study from EDEN ISS Antarctica. Life Sciences in Space Research 26 (August): 1-9.
- [5] FLIR T620 [ออนไลน์]. (ม.ม.ป.). FLIR. แหล่งที่มา: <https://www.flir.eu/products/t620/> [20 พฤศจิกายน 2563]
- [6] Space and Naval Warfare Systems Center Atlantic. (2013). CCTV Technology Handbook. Washington, DC: Homeland Security US Department.
- [7] Hughes, J. (2563). The Raspberry Pi Camera Modules [ออนไลน์]. RaspberryPi. แหล่งที่มา: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/> [20 พฤศจิกายน 2563]
- [8] Pagnutti, M., A., and others. 2017. Laying the foundation to use Raspberry Pi 3 V2 camera module imagery for scientific and engineering purposes. J. of Electronic Imaging 26(1) (January-February): 1-13.
- [9] วัฒนาพร เขื่อนสุวรรณ, (ม.ม.ป.). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสี [ออนไลน์]. เอกสารคำสอนหลักการทัศนศิลป์. แหล่งที่มา: <http://dusithost.dusit.ac.th/~chawalinnia/site1/comgraphic/41color.pdf> [29 ตุลาคม 2563]
- [10] Electromagnetic Spectrum [ออนไลน์]. (ม.ม.ป.). PNGio. แหล่งที่มา: <https://pngio.com/images/png-a2644996.html> [29 ตุลาคม 2563]

- [11] พิสิกส์ราชวมงคล. (ม.ม.ป.). รังสีอินฟราเรด [ออนไลน์]. บทความวิทยาศาสตร์. แหล่งที่มา: http://www.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=1966&Itemid=0 [29 ตุลาคม 2563]
- [12] กฤษณพงศ์ กิรติกร. (2554). รังสีอินฟราเรด(Infrared) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:http://www.ces.kmutt.ac.th/classroom/solarenergy/Assignment/SolEn54/SolEn54_Doc/5_Infrared.pdf [29 ตุลาคม2563]
- [13] ICNIRP Publication. 2013. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation. HEALTH PHYSICS 105(19): 74-96.
- [14] Monno, U.; Teranaka, H.; Yoshizaki, K.; Tanaka, M., and Okutomi M. 2019. Single-Sensor RGB-NIR Imaging: High-Quality System Design and Prototype Implementation. IEEE Sensors Journal 19(2)(January): 497-507.
- [15] เขาวนารถ พันธุ์เพ็ง. (2556). เทคโนโลยีดิจิทัลกับการถ่ายภาพ [ออนไลน์]. มหาวิทยาลัยศรีปทุม. แหล่งที่มา: <https://www.chonburi.spu.ac.th/comm/admin/knowledge/A4034.pdf> [29 ตุลาคม 2563]
- [16] Nattawut R. (2560). กล้องดิจิทัล DSLR หรือ Mirrorless ดี ? [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:<https://www.wemall.com/blog/1703/dslr-or-mirrorless> [29 ตุลาคม 2563]
- [17] SONY. (ม.ม.ป.). Cameras [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.sony.co.th/en/electronics/cameras> [29 ตุลาคม 2563]
- [18] ชวาล คุร์พิพัฒน์, (2561). เอกสารประกอบการสอน ภาพดิจิทัลเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- [19] พิพิชญ์ สิทธิศักดิ์, (2554). การถ่ายภาพเพื่องานออกแบบนิเทศศิลป์. กรุงเทพมหานคร: วิทยาลัยเพาะช่าง.(เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- [20] Swan, J. (2564). Camera Module [ออนไลน์]. RaspberryPi. แหล่งที่มา: <https://www.raspberrypi.org/documentation/raspbian/applications/camera.md> [5 พฤษภาคม 2564]
- [21] Cosentino, A. 2014. Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. Heritage Science: 2-8.
- [22] Frey, L., P., and others. 2011. Color filters including infrared cut-off integrated on CMOS image sensor. Optical Society of America 19(14) (July): 13073-13080.
- [23] Hufkens, K. (2559). Raspberry Pi camera responses [ออนไลน์]. Public Lab. แหล่งที่มา: <https://publiclab.org/n/16513> [5 พฤษภาคม 2564]

- [24] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (ม.ม.ป.). การถ่ายภาพ Near Infrared โดยใช้กล้องดิจิทัล [ออนไลน์]. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. แหล่งที่มา: <http://sci4fun.com/nearer/nearir.html#capture> [29 ตุลาคม 2563]
- [25] Cadence PCB solutions. (ม.ม.ป.). How IR LED Voltage Drop Effects LED Performance and Life Cycle [ออนไลน์]. CADENCE. แหล่งที่มา: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2019-how-ir-led-voltage-drop-effects-led-performance> [19 พฤศจิกายน 2563]
- [26] Infrared LED Light Board for Raspberry Pi Camera [ออนไลน์]. (2562). amazon. แหล่งที่มา: <https://www.amazon.com/Wendry-Infrared-Raspberry-Camera-Photosensitive/dp/B081YXTQ7R> [19 พฤศจิกายน 2563]
- [27] Nijland, W. (ม.ม.ป.). Camera modification for IR sensitivity [ออนไลน์]. IR-Photo.net. แหล่งที่มา: https://www.ir-photo.net/ir_mod.html [3 ธันวาคม 2563]
- [28] Infrared Filter 720 (89B) [ออนไลน์]. (ม.ป.ป). COKIN. แหล่งที่มา: <https://cokin.com/en/filters/374-filtre-infrarouge-720-89b-l-z-pro-series-0085831700077.html> [5 พฤษภาคม 2564]
- [29] Mangold, K.; Shaw, A. J.; Vollmer, M. 2013. The physics of near-infrared photography. European Journal of Physics 34(6) (November): 50.
- [30] Upton, L. (2556). What's that blue thing doing here? [ออนไลน์]. Raspberry Pi Blog. แหล่งที่มา: <https://www.raspberrypi.org/blog/whats-that-blue-thing-doing-here/> [5 พฤษภาคม 2564]
- [31] Massano, T. (2561). Rosco Filter Helps Students Observe Earth's Vegetation – From Space! [ออนไลน์]. Rosco Spectrum. แหล่งที่มา: <https://www.rosco.com/spectrum/index.php/2018/03/rosco-filter-helps-students-observe-earths-vegetation-from-space/> [5 พฤษภาคม 2564]
- [32] THAIEASYELEC. (2560). Raspberry Pi คืออะไร [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://blog.thaieasyelec.com/raspberry-pi-programming-with-qt-ch1/> [29 ตุลาคม 2563]
- [33] ElektorStore. (ม.ม.ป.). Raspberry Pi 4 B (8 GB RAM) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.elektor.com/raspberry-pi-4-b-8-gb-ram> [29 ตุลาคม 2563]
- [34] ยุพเรศ เชื้อชิด. 2555. การระบุตำแหน่งของบาดแผลฟกช้ำที่มองไม่เห็น โดยวิธีถ่ายภาพดิจิทัลร่วมกับแสงอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [35] Raspberry Pi Camera Guide. (2020). Cambridge: The MagPi Magazine.

- [36] ชวาล คุร์พิพัฒน์. (ม.ป.ป.). การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องดิจิทัล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~kchawan/> [5 พฤษภาคม 2564]
- [37] Geerling, J. (2017). Fixing the blurry focus on some Raspberry Pi Camera v2 models [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.jeffgeerling.com/blog/2017/fixing-blurry-focus-on-some-raspberry-pi-camera-v2-models> [8 พฤษภาคม 2564]

ภาคผนวก ก

ชุดคำสั่งเพื่อแสดงหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งานและการทำงานของโปรแกรม

```

import tkinter as tk
import RPi.GPIO as GPIO
import picamera
from time import sleep
from PIL import ImageTk, Image
from datetime import datetime
from gpiozero import Button

camera = picamera.PiCamera()
Shutter=Button(21)

camera.preview_fullscreen=False
camera.preview_window=(0,0,640,480)
camera.resolution=(640,480)
camera.start_preview()

def SaveFile(file):
    image = Image.open(file)
    img = ImageTk.PhotoImage(image)

#สำหรับถ่ายภาพ
def CameraShutter():

    timestamp = datetime.now()
    jpg_file = 'img_'+str(timestamp)+'.jpg'
    camera.capture(jpg_file)
    SaveFile(jpg_file)
    time.sleep(1)

#สำหรับวิดีโอ
def CameraShutter():

    timestamp = datetime.now()
    h264_file = 'vid_'+str(timestamp)+'.h264'
    camera.start_recording(h264_file)
    SaveFile(h264_file)
    time.sleep(20)
    camera.stop_recording()

def EXIT():
    root.destroy
    camera.stop_preview()
    camera.close()
    quit()

while 1 :
    root = tk.Tk()
    root.resizable(width=False, height=False)
    root.geometry("80x480+640+0")
    root.title("Nisachon's Project")
    root.buttonframe = tk.Frame(root)
    root.buttonframe.grid(row=1, column=1, columnspan=1)
    root.buttonframe.grid(row=5, column=3, columnspan=2)
    Shutter.when_pressed = CameraShutter
    tk.Button(root.buttonframe, text='EXIT ',bg = "red" ,
command=EXIT).grid(row=1, column = 1)
    root.mainloop()

```