

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ The development of smoke detection techniques with technology Image processing.

ภาณุวัฒน์ สกลวุฒิชัย, สันญา พันธุ์แพง*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร วิทยาลัยแม่ฮ่องสอน วิทยาเขตแม่ฮ่องสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Emails: Pungpond405@gmail.com, sancha@g.cmru.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ โดยใช้กระบวนการเตรียมภาพในการแปลงภาพเป็นเฟรมต่อเนื่องเพื่อใช้สำหรับการนำภาพไปประมวลผลภาพ กระบวนการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยหาความแตกต่างของภาพก่อนหน้ากับภาพปัจจุบัน และการขีดกรอบล้อมรอบภาพในบริเวณที่มีการเกิดควันไฟขึ้นโดยใช้เทคนิค Convex Hull Algorithm

ผลการศึกษาพบว่า การตรวจจับควันไฟนั้น สามารถตรวจจับควันไฟได้ดีในระยะ 100-300 เมตร โดยมีค่าความผิดพลาดในการตรวจจับอยู่ที่ 36.67% แต่จะสามารถตรวจจับควันไฟได้ในเวลาที่มีแสงเพียงพอเท่านั้น เช่น ในเวลา 08.00-16.00 น. จึงจะทำให้การตรวจจับควันไฟนั้นมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ – การตรวจจับควันไฟ, การประมวลผลภาพ, OpenCV, การตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง, Convex Hull

ABSTRACT

Development of a Smoke Detection Technique with Image Processing Technology It is intended to develop a smoke detection technique with image processing technology. This process is used to convert images into frames continuously for use in image processing. The process of detecting a changed area by distinguishing the previous image from the current image. And the

frame around the image in the smoke area using the Convex Hull Algorithm technique.

The results of the study showed that the smoke detection it can detect the smoke well within 100-300 meters with a detection error of 36.67%, but it can detect the smoke during the light period. Only enough, for example, from 8:00 am to 4:00 pm, it will make the smoke detection effective.

Keywords - - Smoke Detection, Image Processing, OpenCV, Detection of changed areas, Convex Hull

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาหมอกควันยังเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย รวมทั้งทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน เกิดความเดือดร้อนรำคาญแก่ประชาชน บดบังทัศนวิสัย และเป็นอุปสรรคในการคมนาคมและขนส่ง ซึ่งควันดังกล่าว เกิดจากสภาวะอากาศที่แห้งแล้ง ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไฟป่า ประกอบกับเกษตรกรที่ทำการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการทำเกษตรในช่วงฤดูฝน จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดควันซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางอากาศ รวมถึงข้อมูลการเกิดควันไฟในขณะนี้ส่งไปยังผู้ที่เข้ามาจัดการไฟและควันไฟที่ล่าช้า ทำให้เกิดความเสียหายที่เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพขึ้นมาเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ใช้กล้องในการตรวจจับควันไฟโดยอัตโนมัติในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดควัน และนำภาพมาคำนวณหาความเข้มของสัญญาณ และความหนาแน่นของควันจากสีของรูป ทำให้รับรู้ถึงควันที่เกิดจากการวิเคราะห์ค่าควันในแบบเรียลไทม์ ให้กับผู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่สามารถเตรียมรับมือได้อย่างทันท่วงที

ด้วยเหตุนี้ จึงได้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ โดยมีความประสงค์ที่จะช่วยในการตรวจสอบสถานการณ์เกี่ยวกับควัน ณ บริเวณพื้นที่ที่เราอาศัยอยู่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ

3. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มุ่งศึกษาเฉพาะเทคนิคและวิธีการ การประมวลผลภาพในการระบุควันไฟจากภาพถ่าย โดยใช้คุณลักษณะของควันไฟ เช่น สี การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่มีการเกิดควัน เป็นต้น

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ได้มีการรวบรวมและศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการพัฒนาโครงการนี้ โดยได้กล่าวถึงเทคนิค วิธีการ และองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจจับควันไฟโดยใช้วิธีการทางภาพประมวลผลภาพ โดยประกอบดังต่อไปนี้

1) ควัน [1] จัดเป็นคอลลอยด์ที่เป็นอนุภาคของของแข็งหรือของเหลว กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊สที่มีอยู่ในอากาศจะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาวัสดุหรือเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน พร้อมกับปริมาณของอากาศหรือผสมในมวลสารชนิดอื่น ซึ่งเป็นส่วนเกินจากผลที่เกิดขึ้นจากความร้อน อนุภาคของควันจัดเป็นละอองลอยหรือ หมอก ของอนุภาคของแข็งหรือหยดของเหลวที่แพร่กระจายไปในอากาศ โดยควันถูกแบ่งเป็น ชนิด ได้แก่ 2

และเขม่าเล็ก ๆ ที่เหลือจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นมาส่วนใหญ่ และ 2) ควันขาว เกิดจากเครื่องยนต์ที่ไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างดี โดยเฉพาะรถจักรยานยนต์เก่าๆ ควันขาวคือสารไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำมัน เป็นเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ แล้วมีการปล่อยออกมาทาง ท่อไอเสีย โดยที่สารไฮโดรคาร์บอนนี้เมื่อโดนแสงอาทิตย์จะเกิดปฏิกิริยาในการสร้างก๊าซโอโซนซึ่งเป็นพิษภัยที่มีความรุนแรงการสูดควัน

2) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ [2]

2.1) การแยกส่วนภาพ เป็นการแยกส่วนของข้อมูลภาพ โดยแบ่งขอบเขต หรือส่วนของวัตถุในภาพออกเป็น ส่วนๆ โดยมักทำหลังจากการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้นแล้ว และลักษณะการแยกจะ ขึ้นอยู่กับวัตถุ ประสงค์ที่จะนำไปใช้งานต่อ เช่น เพื่อวิเคราะห์รูปลักษณะของวัตถุ เพื่อคำนวณขนาดของวัตถุ เพื่อบันทึกจำนวนวัตถุภายในภาพ หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ คือ

1) Point, Line และ Edge Detection เป็นเทคนิคการตรวจจับความไม่ต่อเนื่องของภาพโดยมีวิธีการตรวจจับ 3 วิธี คือ 1. ตรวจจับจุด 2. ตรวจจับเส้น และ 3. ตรวจจับขอบภาพ โดยเป็นการตรวจจับความไม่ต่อเนื่องของภาพจากการใช้ Mask มาคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าผลรวมของค่าที่อยู่ในแต่ละพิกเซลของ Mask คูณกับค่าสัมประสิทธิ์

2) Thresholding เป็นการแบ่งส่วนต่าง ๆ โดยใช้คุณสมบัติของความเข้มแสงมาเป็นตัวตัดสิน และมักพิจารณาจากข้อมูลภาพ Threshold มีหลักการการทำงานโดยการที่ใช้ค่าคงที่ค่าหนึ่งในการเปรียบเทียบกับค่าของ Pixel ในแต่ละพื้นที่ ถ้าค่าของ Pixel ในพื้นที่นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าคงที่ ก็จะเปลี่ยนค่า Pixel ของพื้นที่นั้นเป็น 0 แต่ถ้าค่าของ Pixel ในพื้นที่นั้นมีค่ามากกว่าก็จะเปลี่ยนค่า Pixel ของพื้นที่นั้นเป็น 255

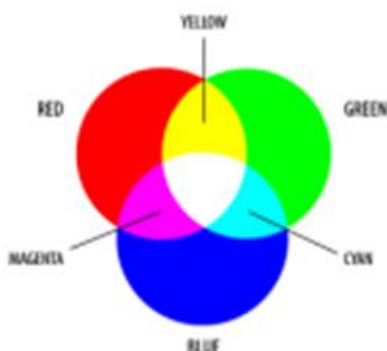


ภาพ 1 ภาพที่ได้จากกระบวนการ Thresholding
ที่มา : [https://en.wikipedia.org/wiki/Thresholding_\(image_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Thresholding_(image_processing))

3) Region based segmentation เป็นวิธีการแยกองค์ประกอบของภาพโดยดูจากตำแหน่งของพิกเซลและความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่ โดยถ้าพิกเซลที่อยู่ติดกัน และมีคุณสมบัติเหมือนกัน จะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน

3) โมเดลสี [3] คือ แบบจำลองที่ใช้อธิบายสีที่มองเห็นในธรรมชาติ โดยแยกสีออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ และกำหนดวิธีการแทนค่าด้วยตัวเลขที่สามารถวัดและประมวลผลได้ โดยโมเดลสีมีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบดังนี้

3.1) โมเดล RGB เกิดจากการรวมตัวกันของสเปกตรัมของ แสงสีแดง, เขียว และน้ำเงิน โดยจุดที่แสงทั้งสามสีรวมกันจะเป็นสีขาว แสงสี RGB มักจะถูกใช้สำหรับการส่องแสงทั้งบนจอภาพ โทรทัศน์และจอคอมพิวเตอร์



ภาพ 2 โมเดล RGB

ที่มา : [http://www.panyastation.com/lesson.php?pages=30, \(2558\)](http://www.panyastation.com/lesson.php?pages=30, (2558))

3.2) โมเดลแบบ HSB เป็นลักษณะพื้นฐานของการมองเห็นสีด้วยสายตาของมนุษย์ โมเดล HSB จะประกอบด้วย

ลักษณะของสี 3 ลักษณะ คือ 1) Hue เป็นสีของวัตถุที่สะท้อนเข้ามายังตาของเรา 2) Saturation คือสัดส่วนของสีเทาที่มีอยู่ในสีนั้น โดยวัดค่าสีเทาในสีหลักเป็นเปอร์เซ็นต์ และ 3) Brightness คือความสว่างและความมืดของสี ยังมีเปอร์เซ็นต์มากจะทำให้สีนั้นสว่างมากขึ้น



ภาพ 3 โมเดลแบบ HSB

ที่มา : [http://www.panyastation.com/lesson.php?pages=30, \(2558\)](http://www.panyastation.com/lesson.php?pages=30, (2558))

3.3) โมเดล CMYK มีแหล่งกำเนิดสีอยู่ที่การซึมซับของหมึกพิมพ์บนกระดาษโดยมีสีพื้นฐานคือ สีฟ้า (Cyan), สีบานเย็น (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) โดยเรียกการผสมสี ทั้ง 3 สีข้างต้นว่า “subtractive Color”

3.4) โมเดล Lab เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นโดย Commission Internationale d'Eclairage ให้เป็นมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้ได้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกน และอื่น ๆ ส่วนประกอบของโมเดลนี้ ได้แก่ L หมายถึง ค่าความสว่าง a หมายถึง ส่วนประกอบที่แสดงการไล่สีจากสีเขียวไปยังสีแดง b หมายถึง ส่วนประกอบที่แสดงการไล่สีจากสีน้ำเงินถึงสีเหลือง

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพเป็นการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาศึกษาและใช้ตรวจจับควัน โดยใช้วิธีการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากการเปรียบเทียบภาพก่อนหน้ากับภาพปัจจุบัน เพื่อตรวจหาควันที่มีการเกิดขึ้น และใช้การแปลงภาพเป็นไบนารี โดยมีขีดแบ่งที่เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงสีในภาพ เพื่อช่วยตัดสิ่งที่ไม่ใช่ควันออกจากภาพและทำให้ได้ภาพบริเวณที่เกิดขึ้นได้แม่นยำมากขึ้น

4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

4.1) Raspberry Pi 3 Model B [4] คือ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์คอมพิวเตอร์และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน Spreadsheet Word Processing ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมลหรือเล่นเกมได้ และยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพ 4 Raspberry Pi 3 Model B

ที่มา : [https://www.thaieasyelec.com/,\(2559\)](https://www.thaieasyelec.com/,(2559))

4.2) Raspberry Pi Camera V2 [5] เป็นโมดูลกล้องเวอร์ชันที่ 2 สำหรับใช้งานร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi ใช้เซ็นเซอร์ Sony IMX219 และเลนส์แบบฟิกซ์โฟกัส สามารถถ่ายภาพนิ่งได้ความละเอียดสูงสุด 8 ล้านพิกเซล (3280 x 2464) เชื่อมต่อผ่านพอร์ต CSI ใช้งานร่วมกับ Raspberry Pi ได้ทุกโมเดลทั้ง A+/B+/2B/3B



ภาพ 5 Raspberry Pi Camera V2

ที่มา : [https://www.thaieasyelec.com/raspberry-pi-camera-v2-8mp.html,\(ม.ป.ป.\)](https://www.thaieasyelec.com/raspberry-pi-camera-v2-8mp.html,(ม.ป.ป.))

โดยการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ จะใช้ภาษาไพทอนร่วมกับซอฟต์แวร์ Python IDE ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันบนอุปกรณ์ประมวลผล Raspberry Pi 3 model B และ Raspberry Pi Camera V2 ในการรับภาพและประมวลผลการตรวจจับควันไฟ

นอกจากนั้นเองยังใช้ library ที่สำคัญสำหรับการประมวลผลภาพอย่าง OpenCV สำหรับงานการพัฒนาโปรแกรมทางด้านการประมวลผลภาพร่วมกับ Python ในการตรวจจับควัน

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเรื่อง ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง [6] พบว่า ระบบสามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ในที่ทำงาน ได้แก่ หลอดไฟ จอคอมพิวเตอร์ และเครื่องปรับอากาศผ่านเครือข่ายไร้สายเข้าสู่เครื่องบริการเพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผล รวมไปถึงการแสดงผลข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบสรุปให้กับผู้ใช้งาน การออกแบบอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้านี้ได้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 2 model B ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์แบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเลือกใช้โมดูลกล้องที่ออกแบบมาสำหรับบอร์ดนี้โดยเฉพาะ และมีโมดูลสื่อสารไร้สายเพื่อให้อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนการออกแบบส่วนชุดคำสั่งภายในระบบนั้นเลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Raspbian ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนร่วมกับไลบรารี OpenCV และ TensorFlow โดยออกแบบส่วนชุดคำสั่งตรวจจับสถานะหลอดไฟจอมอนิเตอร์ และ เครื่องปรับอากาศ รวมถึงการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการออกแบบระบบเก็บข้อมูลบนเครื่องบริการ

ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับพื้นที่ใบหน้าและวัตถุบริเวณดวงตาโดยใช้การประมวลผลภาพ [7] พบว่า การตรวจจับใบหน้าที่ยังเกิดโจทย์สำหรับงานวิจัยเนื่องจาก รูปร่างและลักษณะของใบหน้าแต่ละคนนั้นแตกต่างกัน ทั้งการแสดงอารมณ์ทาง ใบหน้า เชื้อชาติ สีผิว และปัจจัยอื่น ๆ รวมถึงมีสิ่งแปลกปลอมบนใบหน้า เช่น การสวมแว่นตา หมวก ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้ระบบไม่สามารถตรวจจับใบหน้าได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคค้นหาพื้นที่ใบหน้าและจับวัตถุบริเวณดวงตาบนพื้นฐานภาพสี YCbCr ร่วมกับ HSV เทคนิควิธีการ SobelEdge Detection จะถูกนำมาใช้ในการ ตรวจจับใบหน้า และตรวจจับพื้นที่บริเวณรอบดวงตา แล้วทำการหาสิ่งบดบังบริเวณดวงตาโดยใช้เทคนิค Image segmentation จากการทดลองพบว่าสำหรับ

พื้นหลังแบบไม่มีลวดลายสามารถหาตำแหน่งของใบหน้าได้ 96% หาดำแหน่งของสิ่งบดบังดวงตาได้ 91% สำหรับภาพพื้นหลังที่มีลวดลายสามารถหาตำแหน่งของใบหน้าได้ 86% และหาดำแหน่งของสิ่งบดบังดวงตาได้ 82% ความผิดพลาดเกิดจากส่วนของใบหน้ามีความสว่างน้อยหรือมากเกินไป และสีของลวดลายพื้นหลังมีสีที่ใกล้เคียงกับสีผิวของคน

ในงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจนับปริมาณรถบนถนนด้วยการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอ [8] พบว่าปัญหาการจราจรที่ติดขัดในเขตเมืองปัจจุบันเป็นปัญหาสำคัญ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหา แนวทางหนึ่งคือ การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการปล่อยรถในการจราจรเพื่อที่จะช่วยในการลดปัญหาการจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กล้องวิดีโอ และเทคโนโลยีเกี่ยวกับการประมวลผลภาพเข้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหา เนื่องจากต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการตรวจจับภาพเคลื่อนไหว การวิเคราะห์ล๊อบ การปรับมุมมองภาพในแนวลึกและประมาณค่าความหนาแน่นของการจราจรในเวลาจริง (Real-Time) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนแต่ผลที่ได้มีประสิทธิภาพ สามารถทดสอบได้ในสถานที่จริงและได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้การจัดการจราจรเป็นไปด้วยความถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถทำงานได้ตลอดเวลาอีกด้วย ในส่วนของผลการทำงานของโปรแกรมนั้นจะทำงานได้ถูกต้องมากกว่า 80%

งานวิจัยเรื่อง ระบบแยกประเภทไม่ถูกต้องด้วยวิธีการประมวลผลภาพ [9] มีจุดมุ่งหมายเพื่อการศึกษาหาสี ขนาดและความกลมของไข่ไก่ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ไข่ไก่ เพื่อช่วยในการเลือกซื้อไข่ไก่ โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนเตรียมภาพก่อนการประมวลผลซึ่งเป็นการเตรียมข้อมูลก่อนที่จะทำการประมวลผลโดยการทำภาพสีขาวดำ การตัดขอบ การปรับขนาดภาพ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการหาลักษณะพิเศษ โดยการหาค่าสี การหาขนาด และการหาค่าความกลมของไข่ไก่ ขั้นตอนสุดท้ายขั้นตอนการแสดงผล โดยการแสดงผลลัพธ์ออกทางหน้าต่างที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบความถูกต้องของระบบโดยใช้ภาพไข่ไก่ จำนวน 16 ภาพ ระบบให้ความถูกต้องคิดเป็นประมาณ 90 เปอร์เซนต์

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป [10] มีวัตถุประสงค์เพื่อการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึก

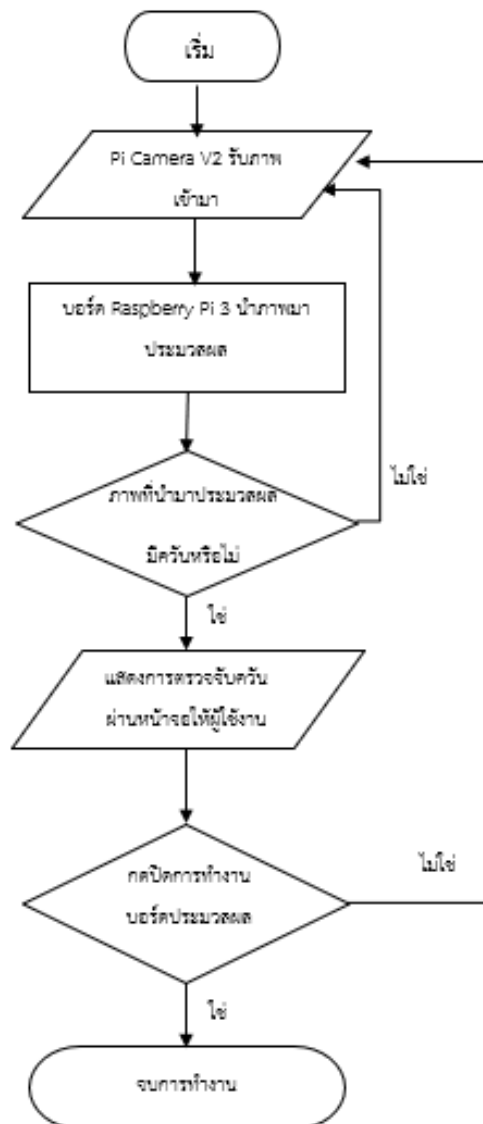
กล้วยแปรรูปโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการจำแนกขนาดของหมึกกล้วยแปรรูปออกเป็น 4 ขนาดตามช่วงน้ำหนักของหมึก และได้ทำการจำแนก สายพันธุ์ หมึกกล้วยออกเป็น 2 สายพันธุ์ ตามจำนวนสายพันธุ์หมึกกล้วยที่มีการนำมาแปรรูป จากการวิเคราะห์ คุณลักษณะของภาพถ่ายตัวอย่างหมึก ซึ่งประกอบไปด้วย พื้นที่ เส้นรอบรูป ความยาว ความกว้าง อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างความ ในการพัฒนาระเบียบวิธีที่ใช้ในการคัดแยกนี้พิจารณา 2 ส่วน หลักๆ คือการคัดแยกขนาดและการคัดแยกสายพันธุ์ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการคัดแยกสายพันธุ์หมึกไว้ 2 วิธีคือการใช้ค่าอัตราส่วนระหว่าง ความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 เป็นตัวแยกสองสายพันธุ์ ออกจากกัน และการใช้สมการจำแนก กลุ่ม ซึ่งให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกเท่ากับ 93.08% ตามลำดับ และ 92.31% ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันนำไปใช้ได้ทั้งแสดงว่าสามารถ 2 วิธี ซึ่งระเบียบวิธีสำหรับคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ หมึกกล้วยแปรรูปที่ได้แนะนำไว้สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติ ได้ต่อไปในอนาคต

งานวิจัยเรื่อง แบบจำลองการเรียนรู้เครื่องจักรในการตรวจและแยกคุณภาพถุงปูนบนรางการผลิต [11] มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการเรียนรู้เครื่องจักรในการตรวจและแยกคุณภาพถุงปูนบนรางการผลิตประกอบด้วย 3 แบบจำลอง คือ 1) แบบจำลองตรวจสอบถุงปูน ตัวอักษร เครื่องหมายการค้าขาดหายและสีไม่คมชัด 2) แบบจำลองตรวจสอบถุงปูนตัวอักษรและเครื่องหมายการค้าขาดหาย และ 3) แบบจำลองตรวจสอบแนวทแยงของถุงปูน ซึ่งใช้วิธีประมวลผลภาพ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชัน (CNN) และโครงข่ายประสาทเทียม VGG 16 โดยใช้ภาษาไพทอนในการตรวจสอบรูปภาพของถุงปูน ผลการทดสอบ พบว่าแบบจำลองตรวจสอบถุงปูนแบบที่ 1 สามารถทำการตรวจสอบรูปถุงปูนที่สมบูรณ์ได้มีค่า F1-Score 95% และรูปถุงปูนที่ไม่สมบูรณ์มีค่า F1-Score 92% ขณะที่แบบจำลองตรวจสอบถุงปูนแบบที่ 2 การตรวจสอบรูปถุงปูนที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์มีค่า F1-Score 100% และแบบจำลองการตรวจสอบแนวทแยงมีการตรวจสอบแนวทแยงที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์มีค่า F1-Score 100% ตามลำดับ

5. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

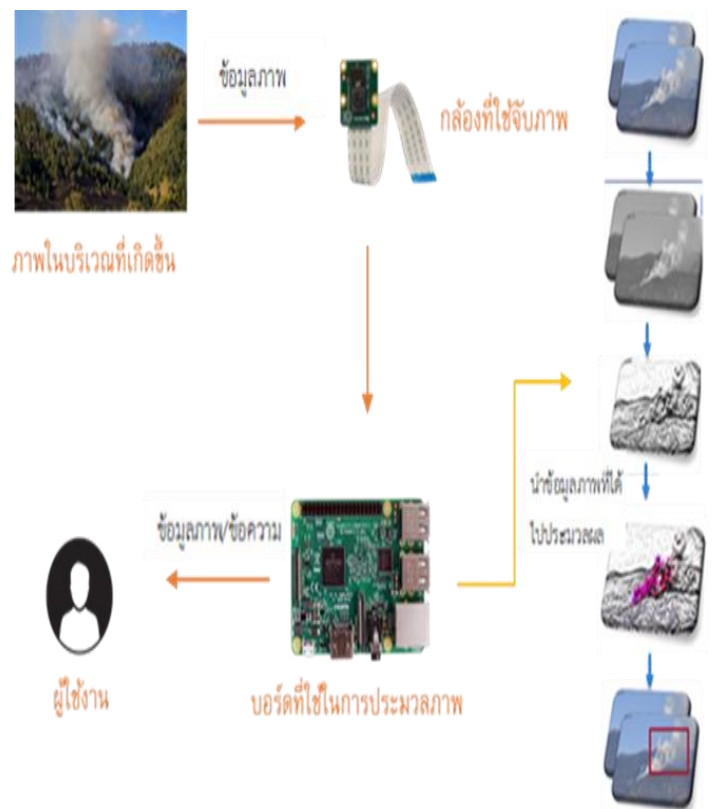
1. การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

- 1.1 ศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับควันในปัจจุบัน
- 1.2 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ
- 1.3 ศึกษาภาษา Python
- 1.4 ศึกษา Raspberry Pi 3 Model B และ Pi Camera V2
2. วิเคราะห์และออกแบบระบบ
 - 2.1 วิเคราะห์และสร้าง Flow Chart การทำงานของระบบ
 - 2.2 ออกแบบภาพรวมของระบบ
3. การติดตั้งและพัฒนาอุปกรณ์
4. ทดสอบระบบ
5. สรุปผลการทดลอง
6. จัดทำเอกสาร



ภาพ 6 แผนผังการทำงานของระบบ

จากภาพ 6 การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ มีขั้นตอนดำเนินการโดยมีการรับข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องที่จับภาพ (Raspberry Pi Camera V2) และมีการส่งข้อมูลภาพที่ได้ไปยังบอร์ดประมวลผล (Raspberry Pi 3 model B) บอร์ดประมวลผลจะทำการนำภาพที่ได้มาประมวลผล เมื่อมีการตรวจจับควันเจอ จะส่งข้อมูลแสดงการตรวจจับควันไปยังผู้ใช้งานทราบถึงควันที่เกิดขึ้น



ภาพ 7 ภาพรวมของระบบ

จากภาพ 7 เป็นออกแบบภาพรวมของระบบ โดยมีการรับภาพขณะมีควันเกิดขึ้นเข้ามาโดยผ่านโมดูลกล้อง และส่งภาพนั้นไปยังบอร์ดประมวลผล เพื่อวิเคราะห์และประมวลผลให้ถึงการเกิดควันในพื้นที่นั้น ๆ จนนำไปสู่การแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานทราบ โดยภาพ 7 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์การทำงานระหว่างข้อมูล อุปกรณ์ และผู้ใช้งาน

6. ผลการดำเนินงาน

6.1 สร้างส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์



ภาพ 8 ต้นแบบอุปกรณ์

6.2 การสร้างซอฟต์แวร์เพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์

6.2.1 การแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม

```
convert video mp4 to image frame.py - C:\Users\admin\Desktop\moc\convert
File Edit Format Run Options Window Help
import cv2
vidcap = cv2.VideoCapture(0)
success, image = vidcap.read()
count = 0
success = True
while success:
    success, image = vidcap.read()
    cv2.imwrite("s%d.jpg" % count, image)
    if cv2.waitKey(10) == 27:
        break
    count += 1
```

ภาพ 9 คำสั่งการแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม

จากภาพ 9 แสดงอัลกอริทึมการแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม
เรียกใช้ import cv2 สำหรับจัดการกับรูปภาพ มีการกำหนดตัว

แปรเพื่อสร้างคำสั่งสำหรับการเปิดกล้องขึ้นมาเพื่อถ่ายภาพ มีการกำหนดตัวแปรอ่านภาพที่ถ่าย โดยใช้ฟังก์ชัน vidcap.read() และมีการสร้างลูปสำหรับการอ่านและจัดเก็บภาพในแต่ละเฟรม จนกว่าจะมีการกดหยุดการทำงาน

6.2.2 การตรวจจับควันจากพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง

```
difference.py - C:\Users\admin\Desktop\image frame\difference.py (3.8.3)
File Edit Format Run Options Window Help
import cv2
import numpy as np

image1=cv2.imread(r"C:\Users\admin\Desktop\moc\smoke_182.jpg")
image2=cv2.imread(r"C:\Users\admin\Desktop\moc\NoSmoke17.jpg")

difference=cv2.subtract(image1,image2)
result = not np.any(difference)
cv2.imshow("image1.jpg",image1)
cv2.imshow("image2.jpg",image2)
cv2.imwrite("result.jpg",difference)
```

ภาพ 10 คำสั่งการตรวจจับควันจากพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง

จากภาพ 10 แสดงอัลกอริทึมการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการสร้างตัวแปร image 1 และ image 2 โดยให้ image 1 คือภาพแรกที่รับเข้ามาโดยที่ยังไม่มีการเกิดควัน ส่วน image 2 เป็นภาพที่มีการเกิดควัน เพื่อนำภาพทั้งสองมาเปรียบเทียบและหาความต่างของภาพทั้งสองเพื่อระบุถึงการเกิดควันไฟขึ้น

6.2.3 การขีดกรอบล้อมรอบบริเวณที่มีควัน

```
import numpy as np
import cv2

smoke = cv2.imread(r'C:\Users\admin\Desktop\image frame\
result.jpg',0)
ret, threshold = cv2.threshold(smoke,10,255,cv2.THRESH_
BINARY)

contours, hierarchy = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_
TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

hull = [cv2.convexHull(c) for c in contours]
final = cv2.drawContours(smoke, hull, -1, (255,255,255))

cv2.imshow('Thresh',threshold)
cv2.imshow('Convex Hull', smoke)
cv2.waitKey(0)
```

ภาพ 11 คำสั่งการขีดกรอบล้อมรอบบริเวณที่มีควัน

จากภาพ 11 แสดงอัลกอริทึมแสดงการขีดกรอบล้อมรอบบริเวณที่มีควัน โดยมีการเรียกใช้ฟังก์ชัน cv2.threshold และ cv2.THRESH_BINARY ในการนำภาพที่นำเข้ามาแปลงเป็นภาพไบนารี โดยมีการกำหนดค่า threshold ไว้ที่ 75 ต่อมา

โปรแกรมจะทำการหาจุดหรือบริเวณพื้นที่ที่มีควันโดยใช้ฟังก์ชัน cv2.find-Contours และทำการขีดเส้นล้อมรอบบริเวณที่เกิดควันขึ้นโดยใช้ฟังก์ชัน cv2.convexHull และ cv2.draw - Contours

6.3 การทดสอบ

6.3.1 ทดสอบการแปลงภาพที่ได้จากการบันทึกจากกล้องให้กลายเป็นเฟรมต่อเนื่องหลายๆเฟรมเพื่อให้การเตรียมภาพมีความพร้อมสำหรับใช้ในการนำไปประมวลผล โดยได้แปลงภาพเป็น 2 ประเภท คือ ภาพที่ไม่มีควันไฟ และภาพที่มีควันไฟ

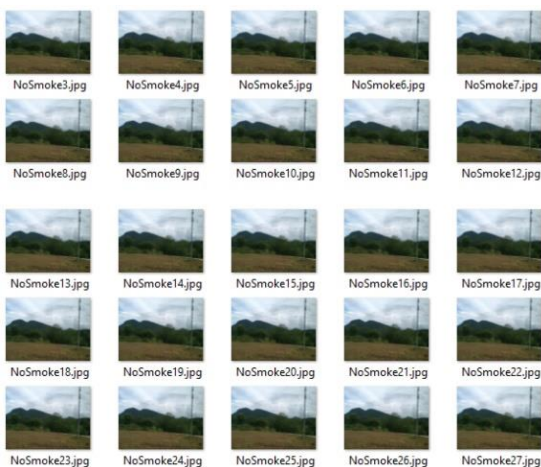
6.3.2 ทดสอบการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาพโดยวิธีการรับภาพลำดับแรกเข้ามา แล้วเก็บเป็นภาพพื้นหลังหรือภาพก่อนหน้า จากนั้นรับภาพที่สองเข้ามาแล้วเก็บเป็นภาพปัจจุบัน แล้วทำการเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างของภาพในการตรวจจับควันที่เกิดขึ้น

6.3.3 ทดสอบการแปลงภาพเป็นไบนารี ซึ่งจะใช้หลักการเปรียบเทียบในแต่ละพิกเซลของภาพกับค่า Threshold เพื่อปรับความชัดเจนของภาพที่มีการเกิดควัน และกำจัดสิ่งรบกวนในภาพ

6.3.4 ทดสอบการตรวจจับควันในแต่ละช่วงเวลา และมีระยะเวลาการตรวจจับที่ต่างกัน เพื่อหาความแม่นยำและเหมาะสมในการตรวจจับควันของระบบ

6.4 ผลการทดสอบของระบบ

6.4.1 การแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม



ภาพ 12 การแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม

จากภาพ 12 แสดงภาพการแปลงวิดีโอภาพ เป็นเฟรมการแปลงภาพที่ได้จากการบันทึกจากกล้องให้กลายเป็นเฟรมต่อเนื่องหลายๆเฟรมเพื่อให้การเตรียมภาพมีความพร้อมสำหรับใช้ในการนำไปประมวลผล โดยได้แปลงภาพเป็น 2 ประเภท คือ ภาพที่ไม่มีควันไฟ และภาพที่มีควันไฟ

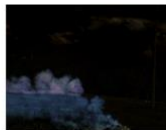
6.4.2 การตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพ 13 ตัวอย่างแสดงการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง

จากผลการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงในภาพ 13 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถแสดงภาพการเกิดควันไฟขึ้นมา โดยความชัดเจนของภาพที่มีควันเกิดขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือบริเวณที่มีการเกิดควัน ยิ่งพื้นที่ที่ตรวจจับมีการเปลี่ยนแปลงมากเท่าไร ก็จะสามารถตรวจพบควันที่เกิดในบริเวณนั้นได้ชัดเจนมากขึ้นตาม

6.4.3 การแปลงภาพเป็นไบนารี

ภาพถ่าย	ภาพพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง	ภาพ ไบนารี
1.		
2.		

ภาพ 14 ตัวอย่างการตรวจจับภาพและการแปลงภาพเป็นไบนารี

จากผลภาพตัวอย่างการตรวจจับภาพและการแปลงภาพเป็นไบนารี 14 พบว่าการแปลงภาพเป็นไบนารีโดยหากจะประสงค์ได้ผลลัพธ์ที่เป็นภาพของคว้นอย่างชัดเจนหรือเพียงพอต่อการตรวจจับคว้นในภาพนั้น จะต้องปรับค่า Threshold อยู่ระหว่าง 60-80 จึงจะทำให้ตรวจพบและแยกบริเวณที่มีคว้นได้อย่างชัดเจน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นภายในภาพ เช่น แสง หรือวัตถุชนิดอื่น เป็นต้น

6.4.4 ผลการตรวจจับคว้น

ตาราง 1 แสดงผลการทดลองการตรวจจับคว้น

ระยะ	ช่วงเวลา					
	08.00น.	10.00น.	12.00น.	14.00น.	16.00น.	18.00น.
100 เมตร	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น
200 เมตร	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น
300 เมตร	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น
500 เมตร	พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น	ไม่พบคว้น
600 เมตร	พบคว้น	ไม่พบคว้น	พบคว้น	ไม่พบคว้น	ไม่พบคว้น	ไม่พบคว้น

จากตาราง 1 ผลการทดลองการตรวจจับคว้นในแต่ละช่วงเวลาและมีการทดลองในระยะเวลาการตรวจจับที่แตกต่างกัน โดยทำการตรวจจับทั้งหมด 30 ครั้ง สามารถตรวจพบคว้นเป็นจำนวน 19 ครั้ง และไม่พบคว้นเป็นจำนวน 11 ครั้ง ซึ่งมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 36.67 % โดยพบว่าในการทดลองแต่ละช่วงเวลานั้น จะมีช่วงเวลาที่ไม่สามารถตรวจจับคว้นได้คือ เวลา 18.00 น. เนื่องจากปริมาณของแสงที่กระทบเข้ามายังอุปกรณ์ตรวจจับนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีแสงน้อยลง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นคว้นได้อย่างชัดเจน ทำให้เป็นอุปสรรคหนึ่งในการตรวจจับคว้น และจากผลการทดลองยังพบว่า ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับคว้นกับบริเวณที่มีการเกิดคว้นไฟขึ้นนั้นส่งผลต่อการตรวจจับคว้นด้วยเช่นกัน ยิ่งระยะบริเวณที่เกิดคว้นไฟมีระยะไกลเท่าไร ความผิดพลาดในการตรวจจับก็จะมีค่าผิดพลาดเพิ่มมากขึ้น

7. สรุปผล

การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับคว้นไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพนั้น ได้ทำการดำเนินการ ตั้งแต่กระบวนการเตรียมภาพที่ได้จากการตั้งอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพและประมวลผลภาพไว้ ในบริเวณที่มีการจำลองการเกิดคว้นไฟขึ้น โดยการแปลงวิดีโอภาพเป็นเฟรม เพื่อที่จะสามารถนำภาพแต่ละ

เฟรมนั้นไปประมวลผลได้ การแปลงภาพจาก RGB เป็นแบบ Gray scale เพื่อช่วยเพื่อแบ่งแยกความละเอียดของระดับสี และการตรวจจับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะใช้เทคนิคของการหาความแตกต่างของภาพก่อนหน้ากับภาพปัจจุบันในการตรวจจับคว้นไฟ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการขีดกรอบล้อมรอบบริเวณที่มีการเกิดคว้นไฟขึ้น โดยใช้เทคนิค Convex Hull Algorithm ทำให้สามารถระบุกลุ่มของคว้นไฟที่เกิดขึ้น

ผลการศึกษาพบว่าในการตรวจจับคว้นไฟนั้นสามารถตรวจจับคว้นไฟได้ดีในระยะ 100-300 เมตร โดยมีค่าความผิดพลาดในการตรวจจับอยู่ที่ 36.67% แต่จะสามารถตรวจจับคว้นได้ในช่วงเวลาที่แสงเพียงพอเท่านั้น เช่น ในเวลา 08.00 - 16.00 น. จึงจะทำให้การตรวจจับคว้นไฟมีประสิทธิภาพ

8. ข้อจำกัดอุปกรณ์ที่ใช้

1. ระยะการตรวจจับภาพคว้นที่จำกัด ของอุปกรณ์จับภาพ
2. วิสัยทัศน์ที่จำกัดของอุปกรณ์ในการจับภาพ ทำให้การตรวจจับภาพคว้นไฟถูกจำกัดเฉพาะพื้นที่ตามวิสัยทัศน์ของอุปกรณ์จับภาพ

9. ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับคว้นไฟด้วยการประมวลผลภาพที่ได้นำเสนอนั้น สามารถนำไปพัฒนาและสามารถนำไปต่อยอดในด้านประสิทธิภาพในการตรวจจับคว้น เช่น การเพิ่มระบบจดจำภาพคว้นให้กับโครงงานที่พัฒนาทำให้สามารถประมวลผลที่รวดเร็วและมีการตรวจจับที่มีความแม่นยำมากขึ้น
2. อุปกรณ์ที่ใช้ควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการทำงานของระบบ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการจับภาพ หากภาพที่ได้จากการจับของกล้องไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลต่อการนำภาพที่ได้มาประมวลผลได้
3. สามารถพัฒนาในเรื่องของแหล่งพลังงานภายในระบบ โดยสามารถให้มีการเพิ่มแหล่งจ่ายพลังงานเป็นในรูปแบบโซล่าเซลล์ให้กับระบบได้ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. “ควั่น”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 19 เมษายน 2563]. จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ควั่น>.
- [2] Nextsoftwares. “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 22 เมษายน 2563]. จาก <https://nextsoftwares.wordpress.com/2014/05/22/ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ/>.
- [3] PoundXI. “โมเดลสี (Color Model)”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 22 เมษายน 2563]. จาก <https://poundxi.com/nodemcu คืออะไร/>.
- [4] Chutchavan Suksutthi. “ทำความรู้จัก Raspberry Pi”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 22 เมษายน 2563]. จาก <http://www2.crma.ac.th/itd/Know/RBPI/index.asp>
- [5] ThaiEasyElec. “Raspberry Pi Camera V2”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 28 เมษายน 2563]. จาก <https://www.thaieasyelec.com/product/465/raspberry-pi-camera-v2-8mp>.
- [6] ศรีณยุ ชมภูพล. “ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/58126>.
- [7] ศุภกิตติ โสภาสพ. “การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับพื้นที่ใบหน้าและวัตถุบริเวณดวงตาโดยใช้การประมวลผลภาพ”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <http://www.repository.rmutt.ac.th/bitstream/handle/123456789/3132/RMUTT156711.pdf?sequence=1>.
- [8] ชลธิศา เวทโอสถ. “การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจนับปริมาณรถบนถนนด้วยการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอ”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <https://li01.tcithaijo.org/index.php/pnujr/article/view/53924/44759>.
- [9] จิตรพงษ์ เจริญจิตร และคณะ. “ระบบแยกประเภทไข่มุกด้วยวิธีการประมวลผลภาพ”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <https://research.kpru.ac.th/sac/fileconference/28582018-05-01.pdf>.
- [10] นุชรี ธรรมโชติ. “การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9632?mode=full>.
- [11] คงศิริวัฒนา และสร้อยญา สว่างศรี. “แบบจำลองการเรียนรู้เครื่องจักรในการตรวจและแยกคุณภาพถุงปูนบนรางการผลิต”. [ออนไลน์] 2563. [สืบค้น วันที่ 30 เมษายน 2563]. จาก <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/Scipsru/article/view/239970/163865>.