

การประมวลผลภาพต้นไม้สำหรับรถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล Crop Detection using Digital Image Processing for Remote Control Sprayer

ทรงษ์วัฒน์ บัวชื่น¹, เอกพจน์ ตันตราภักดิ์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*ติดต่อ: mork_impro@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาการประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับระบบรถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล ในการใช้งานด้านการเกษตร การฉีดสารเคมีออกนอกพื้นที่เป้าหมายก่อให้เกิดความสิ้นเปลือง จึงนำไปสู่การแก้ปัญหาด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยใช้กล้องดิจิทัลในการจับภาพเป้าหมายคือแปลงเพาะปลูก เพื่อควบคุมจังหวะการฉีดสารเคมีให้ตรงเป้าหมายนั้นๆ ขอบเขตในการศึกษาคือใช้กล้อง webcam ราคาต่ำและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับตรวจจับเป้าหมายโดยกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการตรวจจับพืช ในที่นี้จะใช้ตัวอย่างต้นไม้ในการทดสอบภาพรวมของขั้นตอนการประมวลผลภาพ เริ่มต้นจากแปลงภาพต้นแบบให้อยู่ในระบบสี HSV (Hue Saturation Value) จากนั้นแปลงภาพให้เป็นไบนารีด้วยการกำหนดค่า Threshold สูง-ต่ำ ที่เหมาะสม และใช้กระบวนการ Morphological ในการกำหนดลักษณะรูปร่างของวัตถุ และสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างของวัตถุเพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ตรวจจับได้โดยแสดงผลบนหน้าจอ จากผลการศึกษาพบว่าความแตกต่างของรูปร่าง สี และขนาดของต้นไม้ มีผลต่อการประมวลผลภาพ อีกตัวแปรที่สำคัญก็คือแสง นอกจากนั้นความผิดพลาดของกระบวนการประมวลผลภาพ อาจเกิดจากขั้นตอนการแปลงภาพ ทำให้ภาพไบนารีแยกออกเป็นหลายส่วน ส่งผลให้ไม่สามารถหาเส้นคอนทัวร์ของวัตถุได้ อย่างไรก็ตามการใช้ตัวแปรที่เหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบมีความแม่นยำในการตรวจจับต้นไม้มากกว่า 95% นอกจากนั้นวิธีการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพืชผลอื่นๆ โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้เหมาะสมต่อแปลงเพาะปลูกนั้นได้

คำหลัก: การประมวลผลภาพ, รถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล, การตรวจจับต้นไม้

Abstract

This research was aimed to develop a digital image processing for remote control spraying system used in agricultural applications. The sprayers often result in excessive chemical usage and out of target delivery. To overcome this, a digital image processing was implemented by using camera to capture crop target and determine suitable amount of chemical for such target. The scope of this study was set for using low cost webcam and personal computer to detect the target and determine appropriate parameters need for plant detection. The image processing algorithm includes changing the image color model to HSV (Hue Saturation Value), modify to a binary image with the proper threshold value, Morphological image processing in operated Erosion and Dilation to identify shape, and indicating position of the object on screen. After a set of experiments, the result shows variety of plant shape, color and size have significant on image processing which was also influenced by lighting and intensity. Some filter color and binary image were split into several sections. Using a proper control, the performance of this system was able to achieve over 95% of plant detection. In addition the method can be applied by modifying the parameter to fit with the crops in cultivated area.

Keywords: Image Processing, Remote Control Sprayer, Crop Detection

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรม ด้านการสื่อสาร รวมทั้งด้านการเกษตรที่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ประโยชน์มากขึ้น เช่น การนำเอาเครื่องมือหรือเครื่องจักรต่างๆ เข้ามาใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการผลิต การเพาะปลูก รวมไปถึงกระบวนการเก็บเกี่ยว ซึ่งในอนาคตระบบอัตโนมัติจะเข้ามามีบทบาทสำคัญมาก เนื่องจากสามารถทดแทนการใช้แรงงานคน ทั้งยังลดค่าใช้จ่ายในส่วนต้นทุนและค่าแรงลงได้ จึงก่อให้เกิดเป้าหมายเพื่อค้นคว้าต่อยอดและพัฒนา “รถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล” หรือ “Remote Control Sprayer” [1] ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 ให้มีระบบการฉีดพ่นแบบอัตโนมัติไร้คนควบคุม



รูปที่ 1 แสดงรถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล

ในการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการประมวลผลภาพเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยพบว่า [2] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจวัดค่าสีแผ่นพิมพ์ธนบัตรด้วยการประมวลผลภาพ เพื่อลดความเสียหายและต้นทุนในการผลิต ส่วนการตรวจจับวัตถุจากภาพนั้น [3] ใช้ระเบียบวิธี Gaussian mixture model ในการแยกวัตถุเคลื่อนที่ออกจากภาพพื้นหลังและพัฒนาอัลกอริทึมในการวาดขอบวัตถุ แม้วัตถุจะมีการหมุนหรือเปลี่ยนขนาดจากระยะการมองเห็น [4] ได้ศึกษาการตรวจจับและแยกประเภทของวัตถุโดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งใช้การแยกภาพแบบ multi-label และทำการจัดหมวดหมู่ของวัตถุภายในภาพ สำหรับการประมวลผล

ภาพในด้านการเกษตร [5] นำเสนอระบบการตรวจจับแปลงเพาะปลูกที่มีลักษณะเรียงชิดเป็นแถวตรง ภายใต้ปัจจัยแสงที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งติดตั้งกล้องดิจิตอลเพื่อประมวลผลภาพอยู่บนรถแทรกเตอร์ โดยภาพรวมของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ได้นำมาศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมการประมวลผลภาพของงานวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ประมวลผลภาพแปลงเพาะปลูกหรือต้นไม้นํ้า เพื่อนำไปควบคุมจังหวะการฉีดพ่น โดยใช้กล้องดิจิตอลในการจับภาพแบบ real time สำหรับตรวจจับพื้นที่เพาะปลูกหรือต้นไม้นํ้า โปรแกรมจะแสดงผลเมื่อตรวจพบต้นไม้นํ้าในเฟรมภาพ นอกนั้นยังสามารถแยกชนิดของต้นไม้นํ้าในกรณีที่มีสีแตกต่างกันชัดเจนได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาและพัฒนาการประมวลผลภาพดิจิตอลสำหรับระบบรถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล ในการใช้งานด้านการเกษตร ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำในการฉีดสารเคมีสำหรับพื้นที่เป้าหมาย เพื่อลดการสิ้นเปลืองสารเคมีให้มากที่สุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

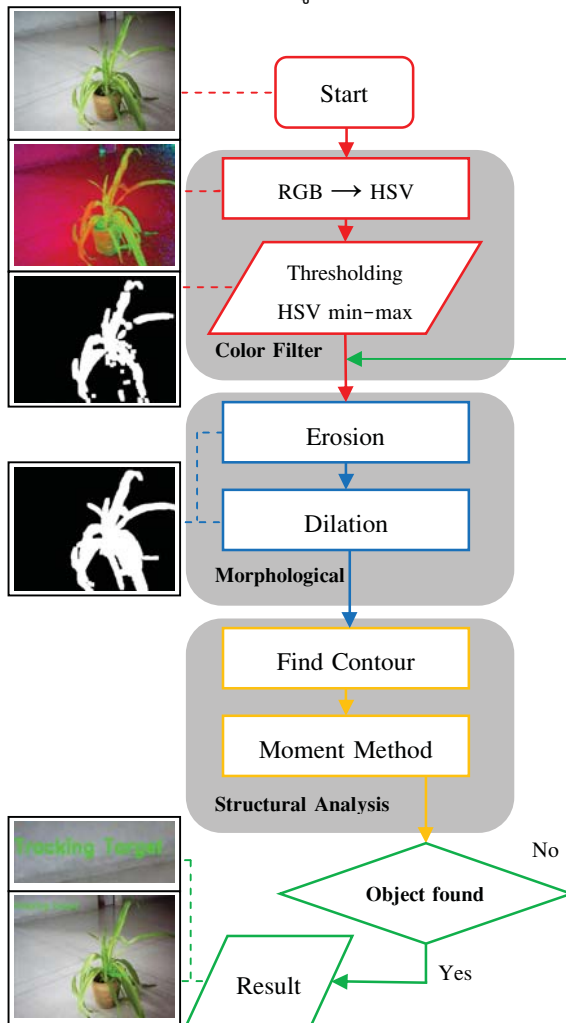
2.1 รายละเอียดของระบบ

ในงานวิจัยนี้จะใช้การประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม ซึ่งพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio2010 ในภาษา C++ ใช้งานร่วมกับ Library ของ OpenCV โดยภาพรวมของระบบการประมวลผลภาพคือแปลงภาพให้อยู่ในระบบสี HSV และกำหนดค่า Threshold สูง-ต่ำ ในการแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารี จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการ Morphological เพื่อลดสัญญาณรบกวนภาพ สุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างในการหาเส้นขอบภาพและระบุตำแหน่งของวัตถุ ในการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับแปลงเพาะปลูกหรือต้นไม้นํ้า ดังรูปที่ 2

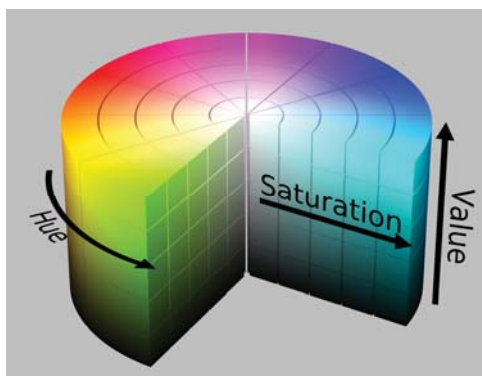
2.2. ระบบสี

ในการประมวลผลภาพ จำเป็นจะต้องมีการเตรียมภาพก่อนนำเข้าสู่การประมวลผล โดยในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนการเตรียมภาพโดยขั้นแรกคือ เมื่อได้รับข้อมูลภาพจากกล้องดิจิตอลมา ต้องทำการแปลงภาพจากภาพต้นแบบระบบสี RGB ให้อยู่ในระบบสี HSV ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ค่า คือ Hue (ค่าของสีที่แตกต่างกันออกไปตามความถี่ของแสง เช่น แดง เขียว และน้ำเงิน

เป็นต้น), Saturation (ค่าความเข้มของเนื้อสี) และ Value (ความสว่างของสี) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ภาพรวมของระบบประมวลผลภาพ

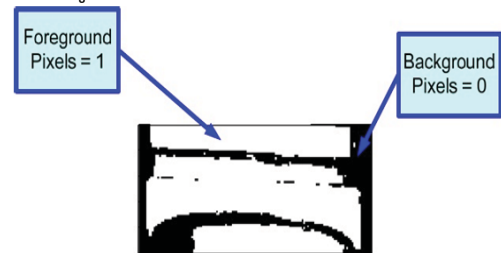


รูปที่ 3 แสดงระบบสี HSV

2.3. การแปลงภาพ

ในส่วนถัดมาคือการแปลงภาพ ให้เป็นภาพไบนารี (Binary) เพื่อแยกวัตถุที่ต้องการออกจากภาพพื้นหลัง ซึ่ง

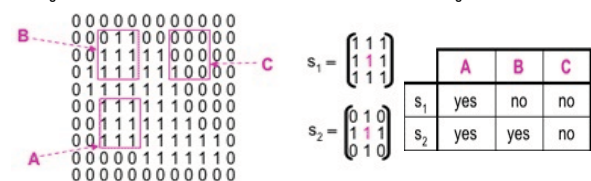
จะได้ภาพที่มีความเข้มสีเพียงสองระดับในแต่ละพิกเซล คือขาวและดำ สามารถเขียนแทนได้ด้วยตัวเลข 0 และ 1 ดังนั้นวิธีนี้จึงมีความรวดเร็ว และง่ายต่อการประมวลผล โดยการแปลงภาพในขั้นตอนนี้ จะใช้ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) สูง-ต่ำ จากค่า HSV ที่เหมาะสม ในการแบ่งระดับสีของวัตถุที่ต้องการในภาพเพื่อตัดภาพพื้นหลังออกไป ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงลักษณะภาพไบนารี

2.4. Morphological Image Processing

เมื่อได้ภาพไบนารีแล้ว อาจเกิดสัญญาณรบกวนในภาพอยู่ จึงต้องแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธี Morphological ซึ่งเป็นกระบวนการในการลดสัญญาณรบกวนจากภาพ [6] ซึ่งใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างหรือโครงสร้างของภาพ มีโอเปอเรชันพื้นฐาน คือ Erosion และ Dilation โดยการสร้าง Template หรือ SE (Structure Element) เป็นเมตริกขนาดเล็กและส่วนใหญ่เป็นจำนวนคี่ (โดยทั่วไปจะเป็นขนาด 3x3) นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพตั้งแต่ต้นภาพจนถึงท้ายภาพ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ Template กับข้อมูลภาพ ในกรณีที่มีค่าเหมือนกันคือตรงตามเงื่อนไข

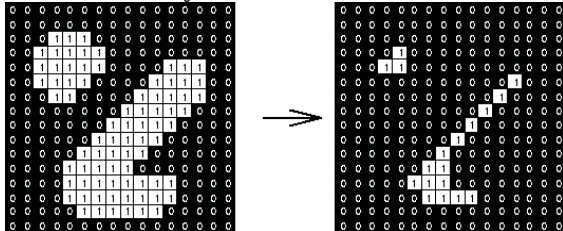
Erosion (การย่อภาพ) เป็นลักษณะการลบจุดพิกเซลของขอบภาพออกไป เมื่อใช้ Template เปรียบเทียบกับข้อมูลภาพตลอดทั้งภาพ ถ้าข้อมูลภาพมีค่าเหมือนกับ Template จะทำการกำหนดค่าข้อมูลภาพในตำแหน่งที่ตรงกับจุดเริ่มต้น (Origin) ให้มีค่าพิกเซลเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6 ตามเงื่อนไขสมการที่ 1

$$A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\} \quad (1)$$

โดยที่ A คือ ข้อมูลภาพ

B คือ Template หรือ Structure Element

เรียก B ว่าเป็น Structure Element in Erosion ความหมายคือ B_x เป็นสับเซตของ A โดยที่ค่าของ B จะต้องประกอบด้วยทุกๆ พิกเซลของ x มีพิกัดเป็น (x, y) ซึ่งค่า B_x จะต้องอยู่ใน A



รูปที่ 6 แสดงการ Erosion โดยใช้ Template 3x3

Dilation (การขยายภาพ) เป็นลักษณะการเพิ่มจุด พิกเซลของขอบภาพ โดยใช้ Template ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ ซึ่งในขณะที่จุดเริ่ม (Origin) ของ Template ตรงกับตำแหน่งข้อมูลภาพที่มีค่าพิกเซล เท่ากับ 1 ก็จะทำให้การยูเนียน Template เข้าไปกับ ข้อมูลภาพ ดังแสดงในรูปที่ 7 ตามเงื่อนไขสมการที่ 2

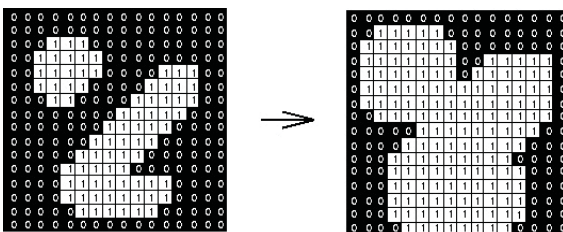
$$A \oplus B = \{x | (B_x) \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

โดยที่ A คือ ข้อมูลภาพ

B คือ Template หรือ Structure Element

$\emptyset$ คือ Empty set

เรียก B ว่าเป็น Structure Element in Dilation ความหมายคือ พิกเซลของ x มีพิกัดเป็น (x, y) เป็นจุด origin โดยที่ x เป็นสมาชิกของ B_x และ A ซึ่ง A ต้องไม่เป็นเซตว่าง



รูปที่ 7 แสดงการ Dilation โดยใช้ Template 3x3

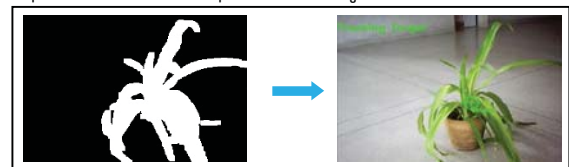
ในงานวิจัยนี้ ใช้การ Erosion ในการลบจุดสัญญาณรบกวนออกไป โดยใช้ Template ขนาด 3x3 เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ จากนั้นใช้การ Dilation เพื่อเพิ่มขนาดขององค์ประกอบภายในภาพให้สามารถมองเห็นวัตถุในภาพได้ชัด โดยใช้ Template ขนาด 9x9 ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ เมื่อใช้โอเพอเรชัน Erosion

ต่อด้วย Dilation จะเรียกกระบวนการนี้ว่า Opening โดยสามารถอธิบายด้วยสมการที่ 3 ซึ่งจะทำให้ภาพไบนารีมีความสมบูรณ์ และสามารถประมวลผลได้แม่นยำขึ้น ดังรูปที่ 8

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

2.5. Structural Analysis

สุดท้ายเมื่อภาพผ่านขั้นตอน Morphological แล้ว ก็จะนำมาประมวลผลโดยการวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งในส่วนนี้เป็นการประมวลผลของโปรแกรมโดยใช้ฟังก์ชัน Find contour ในการคำนวณหา Vector of contour จากพิกเซลที่ไม่ใช่ 0 และจะได้รูปร่างเส้นขอบวัตถุที่ต้องการในภาพไบนารี จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Moment Method ในการหา x, y coordinate และแสดงผลตำแหน่งของวัตถุที่พบภายในภาพ โดยแสดงค่า x, y อยู่ในจุดกึ่งกลางของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการใช้ฟังก์ชัน Find contour และ Moment Method เพื่อหาจุด x, y ของวัตถุภายในภาพ

2.6. รถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล

โครงสร้างหลักของตัวรถทำด้วยสแตนเลส สามารถควบคุมการทำงานโดยตรงด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ภายในกล่องควบคุม และควบคุมระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แล็ปท็อปโดยการเชื่อมต่อผ่าน Wi-Fi ซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถและควบคุมการแกว่งของหัวฉีดด้วยแขนกลได้ในเวลาเดียวกัน ซึ่งระบบจะใช้ปั๊มแรงดันสูงต่อกับถังบรรจุสารเคมีขนาด 100 ลิตร ส่งต่อไปยังหัวฉีดพ่นที่อยู่ด้านหน้าของตัวรถ ดังแสดงในรูปที่ 10

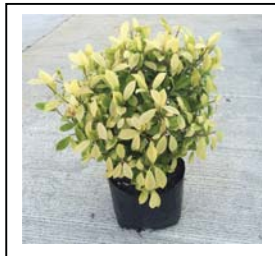


รูปที่ 10 Controller Box ของรถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล

3. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยได้แบ่งตัวแปรที่สำคัญในการทดสอบโปรแกรมตรวจจับแปลงเพาะปลูก ซึ่งอิงจากองค์ประกอบสำหรับการใช้งานของรถฉีดพ่นสารเคมีควบคุมระยะไกล โดยแบ่งได้ดังนี้

3.1. แปลงเพาะปลูก – งานวิจัยนี้ได้ทดสอบเบื้องต้นกรณีศึกษาต้นไม้อินเรือนเพาะชำเพื่อป้องกันปริมาณแสงที่จำเกินไป ซึ่งจำลองพื้นที่แปลงเพาะปลูกโดยนำต้นไม้มาจัดเรียงกันเป็นแนวตรง แบ่งเป็นชนิดละ 10 ต้น ระยะห่างต้นละ 1 เมตร เบื้องต้นมีต้นไม้ทั้งหมด 6 ชนิด ดังรูปที่ 11 โดยเลือกจากลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไปของต้นไม้แต่ละชนิด



(Type A)



(Type B)



(Type C)



(Type D)



(Type E)



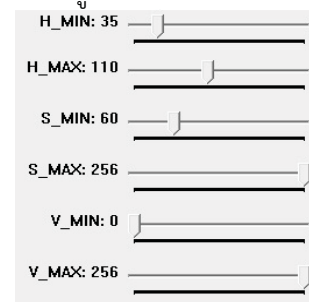
(Type F)

รูปที่ 11 แสดงต้นไม้ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ

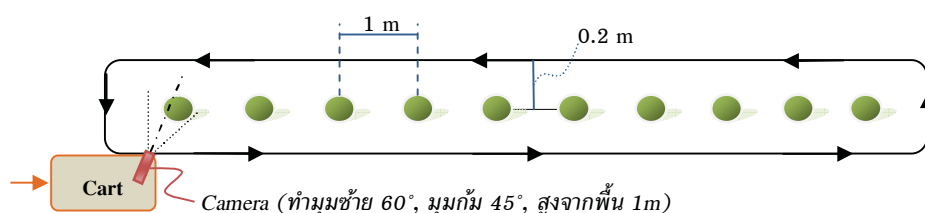
ทั้งนี้ต้นไม้ดังกล่าวเป็นเพียงตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรม อาจไม่มีความต้องการสารเคมีในทางปฏิบัติ

3.2. อุปกรณ์ – ในการประมวลผลภาพจะนำกล้อง webcam มาติดตั้งเพิ่มเติมที่รถฉีดพ่นควบคุมระยะไกล ซึ่งตำแหน่งที่ติดตั้งจริงจะอยู่บริเวณโครงด้านซ้ายของตัวรถเหนือถังบรรจุสารเคมี สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร โดยให้ตัวกล้องทำมุมซ้าย 60° จากตัวรถ และมุมก้ม 45° เพื่อความสอดคล้องกับตำแหน่งแขนกลควบคุมหัวฉีด ทั้งนี้แขนกลควบคุมหัวฉีดสามารถหมุนได้ 360° และแกว่งขึ้นลงได้อย่างอิสระ ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถฉีดพ่นสามารถปรับได้หลายระดับ โดยในงานวิจัยนี้อ้างอิงความเร็วเบื้องต้นที่ 0.5 m/s ดังนั้นในการทดสอบกล้อง webcam จะถูกติดตั้งบนรถเข็น (ตามเงื่อนไขข้างต้น) และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กผ่านทาง USB เพื่อจำลองการเคลื่อนที่เสมือนติดตั้งบนรถฉีดพ่นจริง โดยเว้นระยะห่างจากแนวต้นไม้ 0.2 เมตร (เนื่องจากเป็นต้นไม้ขนาดเล็ก) และกล้องบันทึกภาพแบบ real time ที่อัตราการจับภาพ 30 เฟรมต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 12

3.3. การปรับค่า HSV, min-max (Threshold) – ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในตรวจจับต้นไม้ เนื่องจากเป็นค่าที่ใช้แยกเป้าหมายที่ต้องการออกจากพื้นหลัง ในที่นี้จะกำหนดค่า H_{min} - H_{max} , S_{min} - S_{max} , V_{min} - V_{max} ที่เหมาะสมที่สุดของต้นไม้ตัวอย่างแต่ละชนิด โดยใช้แถบ taskbar ในการกำหนดค่าดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดง Taskbar สำหรับปรับค่า Threshold



รูปที่ 12 แสดงตำแหน่งของต้นไม้ และการเคลื่อนที่ของรถเข็น

ซึ่งเทคนิคที่สำคัญคือปรับค่าให้ได้ภาพใบนารีของต้นไม้ที่คมชัดและรวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด โดยค่า HSV ที่เหมาะสมของต้นไม้แต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างใบไม้เช่น สี รูปร่าง และ ขนาด เป็นต้น ซึ่งจะใช้วิธีค่อยๆปรับค่า HSV ทีละนิด เพื่อให้ได้ภาพเป้าหมายที่คมชัดที่สุด โดยการเริ่มปรับทีละค่าเริ่มต้นจาก H (Hue) ซึ่งเป็นค่าเฉดสีหลักเพื่อเจาะจงสีต้นไม้ที่ต้องการ ต่อจากนั้นปรับค่า S (Saturation) เพื่อเจาะจงความเข้มของเนื้อสีต้นไม้ที่พิจารณา และสุดท้ายปรับค่า V (Value) ซึ่งจะเป็นค่าที่เจาะจงความมืด, สว่างของสีต้นไม้ โดยจะใช้ค่าที่แคบหรือกว้าง ขึ้นอยู่กับสีของต้นไม้แต่ละชนิด และแสงสว่างของสถานที่นั้น ถ้ามีแสงรบกวนน้อย อาจไม่จำเป็นต้องปรับค่า V(Value)

3.4. การทดสอบและบันทึกผล – การทดลองเป็นการตรวจจับต้นไม้โดยใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับต้นไม้แต่ละชนิด จากนั้นจะทดสอบการตรวจจับต้นไม้โดยใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมของต้นไม้หนึ่งเปรียบเทียบกับต้นไม้อื่นๆ โดยใช้กล้อง web cam ติดตั้งบนรถเข็น ทำมุมซ้าย

60 องศา มุมก้ม 45 องศา และระยะห่างจากต้นไม้กับรถเข็นเท่ากับ 0.2 m เนื่องจากต้นไม้ในโรงเพาะชำที่ใช้ทดสอบเบื่องต้นมีขนาดเล็ก กรณีที่ทดสอบกับต้นไม้อื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจึงต้องปรับมุมและระยะห่างจากต้นไม้เพิ่มขึ้น ซึ่งการทดลองมีขั้นตอนคือ เมื่อเริ่มต้นรันโปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพแล้ว จากนั้นเซ็นรถเข็นด้วยความเร็วประมาณ 0.5 m/s ทิศทางตามรูปที่ 12 ทั้งหมด 5 รอบจากจุดเริ่มต้น ซึ่งเท่ากับจำนวนต้นไม้ผ่านหน้ากล้อง 100 ต้น และทำการบันทึกวีดิโอตลอดการทดลอง เพื่อนำมาพิจารณาและบันทึกผลที่ได้ โดยภาพสถานที่ในการทดลองแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงการจัดวางต้นไม้ในการทดสอบ (เรียงจากซ้าย Type C, Type B, Type D)



รูปที่ 15 แสดงผลการตรวจพบต้นไม้ในแต่ละเฟรมภาพ

4. ผลการศึกษา

ในการประมวลผลภาพ เมื่อมีต้นไม้ผ่านเข้ามาในเฟรมภาพ โปรแกรมจะแสดงผลการตรวจจับในทุกๆเฟรมภาพ โดยการแสดงผลข้อความและระบุพิกัด x, y ของต้นไม้ในแต่ละเฟรมภาพ ดังรูปที่ 15 และค่า HSV ที่เหมาะสมที่สุดของต้นไม้แต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 1

ในกรณีที่ตรวจพบต้นไม้ โดยส่วนใหญ่จะแสดงผลการตรวจพบเกือบตลอดทุกเฟรมภาพที่มีต้นไม้เข้ามา ดังนั้นจึงแบ่งลักษณะการตรวจพบเป้าหมาย เพื่อบันทึกผลการทำงานของโปรแกรม โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี มีดังนี้

1. กรณีตรวจพบต้นไม้มากกว่า 50 % จากทุกเฟรมภาพ(ถือว่าตรวจพบต้นไม้)

2. กรณีตรวจพบต้นไม้ไม่น้อยกว่า 50% จากทุกเฟรมภาพ(ถือเป็น False negative)
3. กรณีไม่พบต้นไม้ในทุกเฟรมภาพ (ถือเป็น False Negative)

ตารางที่ 1 แสดงค่า HSV ที่เหมาะสมที่สุดของต้นไม้แต่ละชนิด

ชนิดต้นไม้	H (Hue)		S (Saturation)		V (Value)	
	min	max	min	max	min	max
Type A	33	54	84	256	75	219
Type B	30	77	60	256	35	170
Type C	33	70	25	256	80	256
Type D	28	77	56	256	65	189
Type E	25	70	49	212	53	219
Type F	33	63	93	256	70	230

ตารางที่ 2 แสดงผลตรวจจับต้นไม้โดยใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมที่สุดของต้นไม้แต่ละชนิด

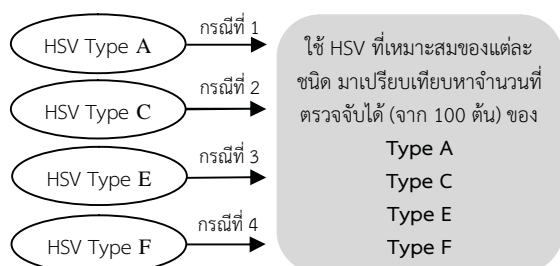
ชนิดต้นไม้	จำนวนต้นไม้ จริงๆ (ต้น)	จำนวนที่ ตรวจจับได้ >50% (ต้น)	False Negative (ต้น)		ค่าความ เชื่อถือ ได้ %	หมายเหตุ
			< 50%*	False**		
Type A	100	100	-	-	99	Type B,C เกิดจากภาพใบ นารีแตกออก หลายส่วนอย่าง ชัดเจน
Type B	100	96	2	2	96	
Type C	100	97	3	-	97	
Type D	100	100	-	-	99	
Type E	100	100	-	-	99	
Type F	100	100	-	-	99	

* กรณี ตรวจพบต้นไม้ภายในหน้าจอที่แสดงผล น้อยกว่า 50% จากเฟรมภาพทั้งหมดของต้นนั้นๆ

** กรณี ตรวจไม่พบต้นไม้ภายในหน้าจอ

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าต้นไม้ Type A, D, E และ F สามารถตรวจพบได้หมด 100 ต้น ในขณะที่ Type B, C ตรวจพบที่ 96, 97 ต้นตามลำดับ สาเหตุเกิดจากภาพใบนารีแตกออกเป็นหลายส่วนอย่างชัดเจน ซึ่งมาจากขั้นตอนการแปลงภาพ ทำให้โปรแกรมไม่สามารถหาเส้น Contour ของต้นไม้ภายในภาพที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงระบุพิกัด x, y ของต้นไม้ในเฟรมภาพไม่ได้ ส่วนกรณีตรวจพบต้นไม้แต่น้อยกว่า 50% จากเฟรมภาพทั้งหมดของต้นนั้นๆ เกิดจากการเปลี่ยนมุมมองจากกล้องขณะเคลื่อนที่ เมื่ออยู่ในมุมที่แสงตกกระทบบริเวณใบไม้ ทำให้การมองเห็นสีใบไม้ของโปรแกรมเปลี่ยนไป หรือเกิดภาพแตกออกเป็นหลายส่วนจากขั้นตอนการแปลงภาพ ซึ่งเป็นได้ทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการประมวลผลภาพโดยรวมมีความแม่นยำมากกว่า 95%

ส่วนถัดไปคือผลการตรวจจับต้นไม้ จากการใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมของต้นนั้นๆตามตารางที่ 2 เปรียบเทียบกับต้นอื่น โดยใช้ต้นไม้ Type A, C, E, F ในการทดสอบได้ 4 กรณี ดังรูปที่ 16 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 16 แสดงกรณีเปรียบเทียบโดยใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมของแต่ละต้น

ตารางที่ 3 ผลการตรวจจับต้นไม้โดยใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมที่สุด เปรียบเทียบกับต้นอื่นๆ

ชนิด ต้นไม้	จำนวนต้นไม้ที่ตรวจจับได้ (ต้น)/100 ต้น เมื่อใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมของ			
	Type A	Type C	Type E	Type F
Type A	100	100	100	100
Type C	64	98	78	82
Type E	81	87	100	89
Type F	100	100	100	100

ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบกรณีใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมของต้นนั้นๆไปใช้กับต้นอื่น พบว่าต้นไม้บางชนิดสามารถใช้ค่า HSV ร่วมกันได้ ถ้าค่า HSV ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของต้นไม้พบว่าต้นไม้ที่มีขนาดพุ่มหนาจะมีโอกาสตรวจจับได้สูงกว่าพุ่มบาง ส่วนต้นไม้ที่มีลักษณะกิ่งและใบท่างกัน อาจเกิดข้อผิดพลาดในการตรวจจับเนื่องจากวัตถุมืดการแยกส่วนออกจากกัน

5. อภิปรายผลการศึกษา

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อผลการทดลองที่ได้พบว่า ปัญหาของความผิดพลาดในการประมวลผล เนื่องจากขั้นตอนของการเตรียมภาพมีความสำคัญต่อการการประมวลผลภาพเพื่อตรวจจับต้นไม้ การกำหนดค่า HSV สูง-ต่ำที่เหมาะสม คือ กำหนดให้วัตถุที่ต้องการในภาพรวมเป็นภาพเดี่ยวให้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชลธิศา เวทโอสถ[7]

เมื่อพิจารณาใช้ค่า HSV ที่เหมาะสมจะสามารถทำการประมวลผลได้ง่าย ซึ่งการแตกของภาพใบนารียิ่งน้อย การตรวจพบวัตถุภายในภาพจะแม่นยำมากขึ้น

6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการประมวลผลภาพพื้นที่แปลงเพาะปลูกหรือต้นไม้ในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องกำหนดค่า HSV ที่เหมาะสมเอง เพื่อใช้แยกภาพที่ต้องการออกจากภาพพื้นหลัง ดังนั้นในการทดสอบโปรแกรมจึงต้องลองใช้การปรับค่า HSV ให้สามารถดึงภาพวัตถุที่ต้องการให้สมบูรณ์ที่สุด ผลการทดลองที่ได้พบว่า ความผิดพลาดในการประมวลผลเกิดจากขั้นตอนการแปลงภาพ ทำให้ภาพใบนารีที่ได้ แยกออกหลายส่วน โปรแกรมจึงไม่สามารถหาเส้น Contour และระบุพิกัดของวัตถุในภาพได้ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นไม้บางชนิดสามารถใช้ค่า HSV ร่วมกันได้ ถ้าค่า HSV ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ พบว่าต้นไม้ที่มีขนาดพุ่มหนาจะมีโอกาสตรวจจับได้สูงกว่าพุ่มบาง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของโปรแกรมถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งมีความแม่นยำในการตรวจพบต้นไม้มากกว่า 95% อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับตรวจจับพืชผลชนิดอื่นๆได้ โดยใช้วิธีปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้เหมาะสมต่อแปลงเพาะปลูกเป้าหมาย

ประสิทธิภาพการประมวลผลภาพมีผลที่น่าพึงพอใจ แต่ยังมีข้อจำกัดอีกหลายประการเช่น โปรแกรมอาจใช้งานไม่ได้ในสภาวะแสงจ้า อาจทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมจริงที่มีหญ้าปกคลุมในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจำเป็นต้องพัฒนาต่อในส่วนของการแยกต้นไม้ออกจากหญ้าที่ปกคลุมผิวดิน อีกทั้งการพัฒนาอัลกอริทึมให้ตรวจจับเป้าหมายหลายชนิดพร้อมกันได้ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เอกพจน์ ตันตราภรณ์ ในการแนะนำให้ข้อเสนอแนะ และแนวคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบคุณ (ตลาดต้นไม้ รันเวย์ ตลาดกระบี่) กรุงเทพมหานคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ทดสอบและบันทึกผลสำหรับงานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกพจน์ ตันตราภรณ์ (2557). Remote Control Sprayer. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ไพโรจน์ คล้ายเพชร (2556). วิธีการวัดสีแผ่นพิมพ์ธนบัตรด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบ คุณภาพงานพิมพ์สีพื้น. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Liu, Z., Shen, H., Feng, G. & Hu, D. (2012). Tracking objects using shape context matching, Neuro computing , Vol. 83, pp.47-55.
- [4] Björkman, M., bregström, N., & kragic, D. (2014). Detecting, segmenting and tracking unknown objects using multi-label MRF inference, Computer Vision and Image Understanding, Vol.118, pp.111-127.
- [5] Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., & Pajares, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields, Computers and Electronics in Agriculture, Vol.75, pp.337-346.
- [6] Effort, N. (2000) Digital image processing : a practical introduction using Java . New York , NY: Addison-Wesley.
- [7] ชลธิชา เวทโอสถ (2556). การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อตรวจนับปริมาณรถบนถนนด้วยการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอ. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 5(1), 35-48.
- [8] Berenstein, R., Shahar, O. B., Shapiro, R., & Edan, Y. (2010). Grape clusters and foliage detection algorithms for autonomous selective vineyard sprayer, Intel Serv Robotics, (3), pp.233-243.