

หุ่นยนต์อัตโนมัติดูแลพืชไฮโดรโปนิกส์

Hydroponic plant care robots

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ¹
Hataitap Wongsuwarn

Received: 28 July 2021 ; Revised: 1 October 2021 ; Accepted: 30 November 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบหุ่นยนต์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร ในเบื้องต้นได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สำหรับการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์ หุ่นยนต์ที่ออกแบบและสร้างเป็นหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่บนรางและใช้ระบบประมวลผลภาพในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยหุ่นยนต์ดูแลพืชไฮโดรโปนิกส์ที่ออกแบบนี้เปรียบเสมือนผู้ช่วยดูแลผักในแปลง และหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง 6 ชั่วโมงต่อการชาร์จ 1 ครั้ง

สำหรับในบทความนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตของผักเคล เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การเติบโตต่อพื้นที่ที่กล้องสามารถจับภาพได้ สำหรับการทดลองที่ 1 เป็นผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมในการตรวจจับความเจริญเติบโตของผัก พบว่าหุ่นยนต์ใช้เวลาในการเคลื่อนที่บนรางในห้องปฏิบัติการเฉลี่ย 3 นาที 19 วินาที สำหรับระยะทาง 1.25 เมตร หรือความเร็วเฉลี่ย 0.392 เมตร/นาที ซึ่งทำงานช้ากว่ามนุษย์ประมาณ 29.55% (เปรียบเทียบกับความเร็วในการเดินดูพืชรอบแปลงของมนุษย์) แต่สามารถดูแลพืชได้ทุกต้นซึ่งละเอียดและทั่วถึงมากกว่า การทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบความแม่นยำระยะตำแหน่งในการถ่ายภาพพบว่าค่าความแม่นยำที่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้องอยู่ที่ 86.67% และการทดลองที่ 3 ผลการทดลองตรวจจับความโตของพืชกับพืชแต่ละราง ทั้ง 4 รางปลูก รางละ 3 ตำแหน่ง โดยวิ่งไปกลับระยะทางรวม 0.65 เมตร ระบบหุ่นยนต์สามารถประมวลผลการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างแม่นยำเฉลี่ย 90.09%

คำหลัก: หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ระบบปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ ระบบประมวลผลภาพด้วยกล้อง

Abstract

This article presents an application of a robotic system for agricultural. Initially, we designed and built a robot for hydroponics, built for moving on rails and using an image processing system to analyze plant growth. The hydroponics plant care robot is like a helper to take care of the vegetables in the field. And the robot can work continuously for 6 hours on a single charge.

In this article, data on the growth of kale were collected. Growth was analyzed as a percentage of growth per unit area as captured by the camera. In experiment 1, was an appropriate movement speed test to detect vegetable growth. The robot spent an average of 3 minutes 19 seconds on rails in the laboratory for 1.25 meters, or an average speed of 0.392 meters/min, which was approximately 29.55% slower than humans (compared to walking around the plants around a human plot). But the robot could take care of every plant, which is more thorough than human activity. The second experiment was about detecting the position of plants. The positioning accuracy was 86.67% on average. Finally, in the third experiment, the results of the experiment were used to detect the growth of plants in each planting trough, with 4 planting troughs, 3 plants in each planting trough, running back and forth a total distance of 0.65 m. 90.9%

Keywords: Mobile Robot, Hydroponic System, Machine Vision

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

¹ Assistance Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Kamphaengsean, Kasetsart University 7314

* Corresponding author; e-mail: fenghtw@ku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ปัญหาต้นทุนแรงงานที่สูงขึ้น และแรงงานมีอายุเฉลี่ยมากขึ้นเป็น 55 ปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีแต่ในขณะเดียวกันความต้องการผลผลิตกลับเพิ่มมากขึ้น 5-10 % ในแต่ละปีจนทำให้สินค้าบางช่วงของปีขาดตลาด ถึงแม้จะมีวิธีการปลูกพืชหลากหลายรูปแบบ หนึ่งในวิธีที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิคส์ (บ้านและสวน, 2563) การมีหุ่นยนต์ช่วยดูแลทำให้เกิดการลดระยะเวลาการทำงาน ลดต้นทุน แต่ได้การใส่ใจ ความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าเดิม (ศุภกานต์ จันทร์เสรีวิทยา และคณะ, 2562) การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์ในฟาร์มมีหลากหลายในปัจจุบัน เช่น Farmbot (Hemalatha *et al.*, 2018, Johann *et al.*, 2017) เป็นหุ่นยนต์เชิงเส้นที่เคลื่อนที่ในทิศทาง X, Y และ Z พร้อมกับการประมวลผลภาพเพื่อค้นหาพืชและวัชพืชในสวนได้อย่างแม่นยำ หุ่นยนต์สามแกนทำงานในแบบเดียวกับเครื่อง CNC ที่กำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ โดยกำหนดเป็นแผนที่สวน และใช้วิธีการลากและวางพืชตามตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากได้แบบของสวนหุ่นยนต์ทำงานดูแลสวนต่อไป การควบคุมการทำงานนั้นสามารถใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อควบคุมและกำหนดค่า Farmbot ได้เช่นเดสก์ท็อป, แท็บเล็ต, โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ยังมีหุ่นยนต์ในลักษณะอื่นเช่น หุ่นยนต์แบบมีล้อของบริษัท Iron Ox อาศัยหุ่นยนต์เพียง 2 ตัวในการเข้ามาดูแลจัดการและเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งมีลักษณะเป็นฟาร์มในร่มปลูกผักแบบไฮโดรโปนิคส์ หุ่นยนต์ตัวแรกจะทำหน้าที่ในการหยิบถาดของพืชพันธุ์ แล้วทำการเคลื่อนย้ายถาดพืชไปยังส่วนต่างๆ ของเรือนกระจก ส่วนหุ่นยนต์ตัวที่ 2 จะมีลักษณะเป็นแขนกล คอยทำหน้าที่ดูแลความเรียบร้อยในส่วนอื่นๆ เช่น การเพาะเมล็ดและการปลูก เป็นต้น (SME Thailand, 2561) ถ้าพิจารณาถึงแนวทางการใช้กล้องร่วมด้วย ได้แก่ การใช้หุ่นยนต์ในการดูแลระบบการปลูกพืชสำหรับระบบไฮโดรโปนิคส์แบบ NFT (Niels *et al.*, 2012) นั้น ใช้หุ่นยนต์ที่มีรูปแบบการเคลื่อนที่แนว X Y Z โดยการระบุตำแหน่งต้นพืชด้วยกล้องแต่ก็ยังไม่ได้นำมาวิเคราะห์ขนาดความโตของพืชและถ้าพิจารณาถึงการปลูกพืชด้วยระบบปลูกไฮโดรโปนิคส์นั้น งานวิจัยในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังเน้นเรื่องการควบคุมระบบพืชให้ปลูกพืชตามสภาวะที่ต้องการ เช่น ทำการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณสารอาหารให้เป็นไปตามที่ตั้งไว้ (Maldonado *et al.*, 2020) หรือการควบคุมสภาวะการปลูกผักกาดหอมและใช้กระบวนการทางภาพตรวจสอบสภาพผักก่อนเก็บ และตรวจสอบว่าผักเป็นโรคหรือไม่แต่ก็ยังไม่ได้ใช้ในการติดตามการโตของผัก (Jaimes *et al.*, 2018) นอกจากนี้ยังมีการใช้ปัญญาประดิษฐ์แบบข่ายงานระบบประสาทเชิงลึกมาใช้ในการควบคุมสภาวะการปลูกพืชในการปรับปริมาณ

ปุ๋ย แต่ไม่ได้พิจารณาถึงสภาพพืชผักว่าขนาดนั้นเป็นอย่างไร (Mehra *et al.*, 2018)

ซึ่งจากบทความที่ได้กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้จะมีการประยุกต์ใช้ระบบควบคุม ระบบหุ่นยนต์ กระบวนการทางภาพ แต่ก็ยังเน้นไปที่การควบคุมสภาวะการปลูก แต่ก็ยังไม่ได้สนใจถึงว่าพืชผักเป็นเช่นไร ณ. สภาวะที่ถูกควบคุมขณะนั้น ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยให้การดูแลผักมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเปรียบเสมือนคนดูแลแปลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นความสำคัญในเรื่องสภาวะของผัก จึงพัฒนาหุ่นยนต์ให้เปรียบเสมือนผู้ดูแลแปลง โดยหุ่นยนต์ต้องสามารถรองรับการทำงานต่างๆ ได้อย่างอัตโนมัติ โดยในเบื้องต้นได้พัฒนาหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ในโรงเรือนที่ปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์และใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพเพื่อประมวลผลการเจริญเติบโตของต้นพืช และในอนาคตจะมีการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ในการประเมินการโตของพืชต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic)

ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic) คือการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินหรือวัสดุปลูกแบบหนึ่ง โดยให้รากสัมผัสกับในน้ำที่ผสมสารละลายอาหารปลูกเลี้ยงโดยตรง (Water Culture) หรือที่เรียกกันตามท้องตลาดว่า “ปุ๋ยน้ำ” โดยการปลูกพืชแบบนี้จะต้องควบคุมปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิของสารละลายธาตุอาหารเพื่อให้เจริญเติบโตได้ดี ผักที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ส่วนมากจะเป็นผักกินใบ และเป็นพืชระยะสั้นที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาอันรวดเร็ว ผักกินใบที่นิยมปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ได้แก่ เรตโอ๊ค กรีนโอ๊ค ร็อคเก็ต ฟัลเลย์ กรีนคอส บัตเตอร์เฮด ผักกาดหอม ระยะเวลาในเก็บเกี่ยวคือ 40-60 วัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้สามารถปลูกพืชชนิดอื่นที่รากไม่ลึกมาก หรือมีแต่รากฝอย ได้แก่ สตรอว์เบอร์รี่ มะเขือเทศ หัวหอมใหญ่ พริก และเมล่อน แต่การเลือกชนิดของผัก หรือพืชชนิดอื่น ต้องพิจารณาภาชนะที่ใช้ปลูกให้มีขนาดเหมาะสม ตามขนาดของรากพืช เพื่อให้พืชได้ปริมาณสารอาหารที่ครบถ้วนและเติบโตได้ โดยระบบไฮโดรโปนิคส์ที่นิยมปลูกในเมืองไทยมี 2 ระบบคือ

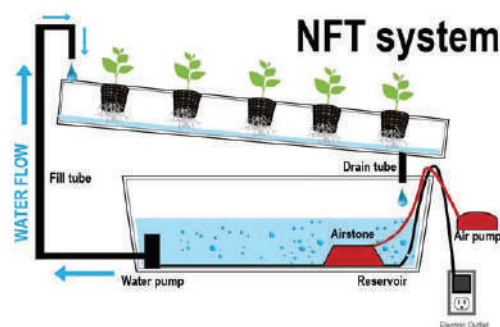


Figure 1 Characteristic of NFT Hydroponics Plant

1. NFT (Nutrient Film Technique) ดัง Figure 1 เป็นระบบให้น้ำที่ผสมสารละลายธาตุอาหารพืชไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ บนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง รากปลูกจึงต้องมีความลาดเอียงเพื่อให้แผ่นน้ำที่ไหลผ่านมีความบางคล้ายฟิล์ม

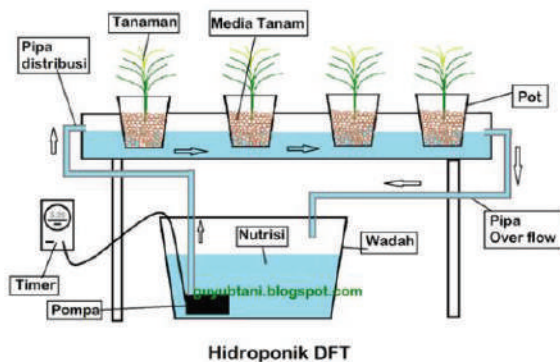


Figure 2 Characteristic of DFT Hydroponics Plant

2. DFT (Deep Flow Technique) ดัง Figure 2 เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลาย โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่ลอยน้ำเพื่อยึดลำต้น ระบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโปนิคส์ลอยน้ำ (Floating Hydroponic Systems) ระบบนี้นิยมปลูกโดยทั่วไปและสามารถประยุกต์รางปลูกได้จากวัสดุที่หลากหลาย เช่นท่อน้ำ กล่องโฟม ถังน้ำ หรือแม้กระทั่งขวดพลาสติก ก็สามารถทำได้ (Maldonado *et al.*, 2020).

สำหรับในบทความนี้ใช้ระบบปลูกเป็นแบบ NFT

NVIDIA Jetson Nano

Jetson Nano ดัง Figure 3 เป็นบอร์ดไมโครโพรเซสเซอร์สำหรับเมกเกอร์และผู้พัฒนาสินค้าในระดับอุตสาหกรรมที่ผลิตโดยค่ายการด้อยักษ์ใหญ่อย่าง NVIDIA ซึ่งแบ่งออกเป็นสองรุ่นคือ Jetson Nano Developer Kit และ Jetson Nano Module ใช้สำหรับงานที่ประมวลผลเกี่ยวกับ Machine Learning, Image Processing, AI และอื่นๆ

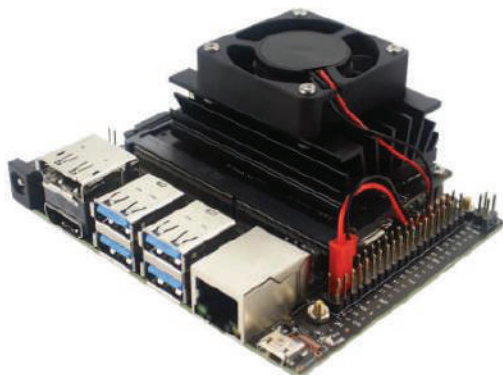


Figure 3 Characteristic of NVIDIA Jetson Nano

กระบวนการทางภาพด้วยภาษา python

Python เป็นภาษาเขียนโปรแกรมระดับสูงที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเขียนโปรแกรมสำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ภาษา Python นั้นสร้างโดย Guido van Rossum และถูกเผยแพร่ครั้งแรกในปี 1991 Python นั้นเป็นภาษาแบบ interpreted ที่ถูกออกแบบโดยมีปรัชญาที่จะพัฒนาทำให้โค้ดอ่านได้ง่ายขึ้น และโครงสร้างของภาษานั้นจะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าใจแนวคิดการเขียนโค้ดโดยใช้บรรทัดที่น้อยกว่าภาษาอย่าง C++ และ Java

ในการพัฒนากระบวนการทางภาพ จะใช้ไลบรารี OpenCV โดยฟังก์ชันที่ใช้ได้แก่ Thresholding Segmentation Blurring Contours and Bounding Rectangles Find contours Edge detection Line and shape detection (PimDeed, 2562).

การออกแบบและคุณลักษณะของหุ่นยนต์

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นระบบไฮโดรโปนิคส์แบบ NFT โดยมีขนาดแปลงทดลองการปลูก 4 รางปลูก ยาว 4 เมตร โดยทำการออกแบบระบบรางและหุ่นยนต์ให้สอดคล้องกับแปลงทดลองดังนี้

1. หุ่นยนต์ ดัง Figure 4 ออกแบบให้วิ่งบนรางซึ่งทำจากท่อเหล็กชุบกัลวาไนต์เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 19.05 มิลลิเมตร บนรางที่มีความยาว 4 เมตร และความกว้างระหว่างรางทั้งสองข้างเท่ากับ 1 เมตร โดยยกสูงจากระดับรางไฮโดรโปนิคส์ 300 มิลลิเมตร ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ขับล้อรองวีขนาด 3 นิ้ว

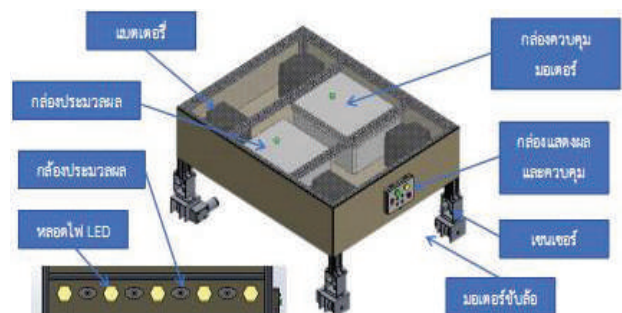


Figure 4 Structure of a Hydroponics Plant Robot

หุ่นยนต์ใช้กล้องในการจับภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์ การเจริญเติบโตโดย Jetson Nano และใช้ Raspberry pi ในการควบคุมการทำงานระบบขับเคลื่อน

หุ่นยนต์ใช้งานแบตเตอรี่ 38 Ah แรงดัน 12 V จำนวน 2 ก้อนต่อขนานกันโดยหุ่นยนต์หนึ่งตัวสามารถทำงานได้ต่อเนื่องยาวนาน ประมาณ 6 ชั่วโมง ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง

2. รางไฮโดรโปนิคส์มาตรฐานมีขนาดกว้าง 65 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร ลึก 40 มิลลิเมตร โดยมีช่องวงกลมสำหรับปลูกพืชเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร โดยแต่ละช่องห่างจากกัน 120 มิลลิเมตร จำนวน 7 ช่องต่อหนึ่งราง วางตามแนวรางท่อหลัก จำนวน 4 แถว แถวละ 2 ราง โดยแต่ละแถวจะห่างเท่ากับ 110 มิลลิเมตร หากวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของแถวหนึ่งถึงอีกแถวหนึ่ง

3. พืชที่ใช้สำหรับปลูกไฮโดรโปนิคส์จะต้องเป็นพืชขนาดเล็ก (สูงไม่เกิน 25-30 เซนติเมตร) และสามารถเก็บเกี่ยวได้ใน 40-60 วัน โดยทำการทดลองในแปลงปลูกทดลองภายในห้องปฏิบัติการ ในที่นี้เลือกผักเคล เพราะเป็นผักที่มีมูลค่าสูง

การสร้างข้อมูลพื้นฐานจากสมการเส้นตรง

ข้อมูลภาพที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในการสร้างสมการเส้นตรงโดยทำการถ่ายภาพต้นแบบซึ่งมีขนาดต่างๆ กันและมีผ่านกระบวนการทางภาพเพื่อสร้างขนาดความโตต่างๆ กันสร้างเป็นสมการต้นแบบเพื่อใช้หาคำตอบค่าขนาดความโตในการทดลองหุ่นยนต์ต่อไป โดยใน Figure 5 แสดงเป็นตัวอย่างขนาดความโตพืช 21.08 57.57 และ 93.20 ตามลำดับ

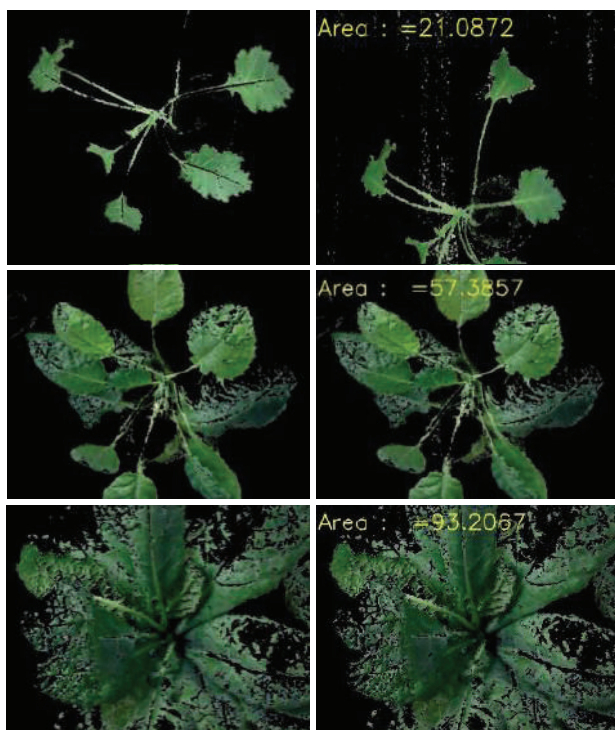


Figure 5 Example of the estimation of plant growth

ซึ่งภาพทั้งหมดนี้ด้านซ้ายจะเป็นภาพที่ได้มาจากกล้องที่ติดตั้งที่หุ่นยนต์และทำการบันทึกภาพเป็นฐานข้อมูลเพื่อนำมาสร้างเป็นสมการเส้นตรง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกเซลและขนาดความโตของพืช หลังจากการเก็บข้อมูลภาพความโตของผัก จะได้สมการที่เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณพื้นที่สีเขียวคือ $y = 0.0005x + 5.7952$ ซึ่งสมการนี้จะถูกนำไปแทนค่า x (จำนวน pixel ของสีเขียว) และ y (ขนาดความโตของพืชเป็น Area) นำไปใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตของพืชแต่ละต้นได้

ผลการศึกษา

ในการทดลองหุ่นยนต์วิ่งบนรางมีลักษณะดัง Figure 4 ซึ่งวิ่งบนรางยาว 4 เมตร ซึ่งมีรางปลูกผักทั้งหมด 4 ราง ลักษณะของรางและตำแหน่งต้นผักเคล ดัง Figure 6

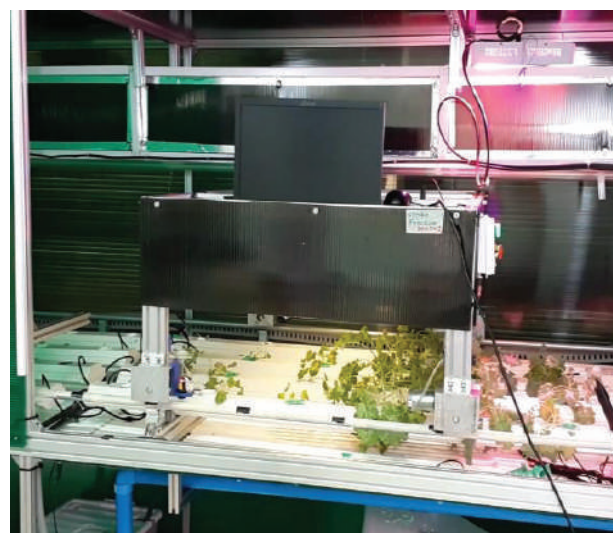


Figure 6 The robot runs on rails with 4 cameras underneath the robot

การทดลองที่ 1 ทดสอบความเร็วในการทำงานของหุ่นยนต์เทียบกับมนุษย์ (ความเร็วเฉลี่ยของผู้ดูแลแปลงปลูกที่เป็นเพศหญิง อายุ 25 ปี สูง 158 เซนติเมตร น้ำหนักโดยประมาณ 50 กิโลกรัม จากการเดินตรวจรอบแปลงปลูกไฮโดรโปนิคส์เป็นระยะทาง 28 เมตร ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง คือ 0.467 เมตร/นาที่) โดยตรวจสอบความเร็วในการทำงานของหุ่นยนต์ เมื่อจับเวลาเมื่อเคลื่อนที่ในรางทดลองระยะ 1.25 เมตร และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าความเร็วที่ได้จากการทดสอบนั้นทำงานได้ช้ากว่ามนุษย์ 29.55% โดยมีความเร็วเฉลี่ยที่ 0.392 เมตร/นาที่ หรือหุ่นยนต์วิ่งโดยใช้เวลาเฉลี่ย 3 นาที 19 วินาทีที่ระยะทาง 1.25 เมตร และ

Table 3 Test the camera operation on the 2nd rail.

Accuracy of photographing plant on the 2 nd rail								
Number	Growing position							Accuracy rate
	1	2	3	4	5	6	7	
1	X	X	X	O	O	X	X	66.67
2	X	X	O	O	X	X	X	66.67
3	X	X	O	O	O	X	X	100
4	X	X	O	O	X	X	X	66.67
5	X	X	O	O	O	X	X	100
Average								80

Table 4 Test the camera operation on the 3rd rail.

Accuracy of photographing plant on the 3 rd rail								
Number	Growing position							Accuracy rate
	1	2	3	4	5	6	7	
1	X	X	O	O	X	X	X	66.67
2	X	X	O	O	O	X	X	100
3	X	X	O	X	O	X	X	66.67
4	X	X	O	O	O	X	X	100
5	X	X	O	X	O	X	X	66.67
Average								80

Table 5 Test the camera operation on the 4th rail.

Accuracy of photographing plant on the 4 th rail								
Number	Growing position							Accuracy rate
	1	2	3	4	5	6	7	
1	X	X	O	O	O	X	X	100
2	X	X	X	O	O	X	X	66.67
3	X	X	O	O	O	X	X	100
4	X	X	O	O	X	X	X	66.67
5	X	X	O	O	O	X	X	100
Average								86.67

*หมายเหตุ

O คือ ตำแหน่งที่กล้องทำการถ่ายภาพเพื่อประมวลผล

X คือ ตำแหน่งที่กล้องไม่ได้ทำการถ่ายภาพเพื่อประมวลผล

X คือ ตำแหน่งที่ไม่ได้ทำการทดสอบ

จากการทดลองพบว่าในรางที่ 1 พบว่าไม่มีปัญหาใดๆ เกิดขึ้นเลย จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในรางที่ 2 พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 4 ไม่สามารถถ่ายภาพได้ และเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในรางที่ 3 พบว่ากล้องไม่สามารถถ่ายภาพในการทดลองครั้งที่ 1, 3 และ 5 โดยไม่สามารถถ่ายภาพได้ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน สุดท้ายในรางที่ 4 พบว่าไม่สามารถทำการถ่ายภาพได้ในการทดลองครั้งที่ 2 และ 4 ทำให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ เฉลี่ยเท่ากับ 86.67 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการถ่ายภาพไม่ถูกต้อง เกิดจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือหุ่นยนต์หยุดไม่ตรงบางตำแหน่ง เพราะมอเตอร์เคลื่อนที่เร็วและหยุดกะทันหันจนเกิดการไถลเกินตำแหน่ง ซึ่งในกรณีนี้สามารถแก้ไขโดยลดความเร็วในการเคลื่อนที่ หรือทำการแก้ไขโปรแกรมการตรวจจับภาพให้หุ่นยนต์ถ่ายภาพขนาดเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังเกิดได้จากจากแสงสว่างใต้หุ่นยนต์ไม่เพียงพอ กล้องอาจไม่ได้โฟกัส ทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด ในกรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มแสงสว่างใต้หุ่นยนต์ให้มากขึ้นขึ้น หรือเปลี่ยนกล้องที่มีความ

ไวแสงมากขึ้นหรือเปลี่ยนกล้องที่มีศักยภาพในการประมวลผลภาพที่เร็วขึ้น

การทดลองที่ 3 ทดสอบการประมวลผลกล้อง ความแม่นยำในการหาอัตราส่วนของพิกเซล เพื่อนำมาประมวลผล การเจริญเติบโต (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของความโตเต็มที่) โดยวิ่งไปกลับระยะทางรวม 0.65 เมตร การทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ซึ่งการระบุตำแหน่งต่างๆ เป็นไปตาม Figure 9

จากการทดลองจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง 3, 4 และ 5 ของรางทั้ง 4 ราง เมื่อมีเปรียบเทียบกับค่าความโตของพืชจริงของแต่ละตำแหน่งที่ได้ทำการบันทึกไว้ นำมาเทียบกับค่าความโตของพืชที่กล้องตรวจสอบได้ ดังตัวอย่างผลการทดสอบความถูกต้องของขนาดความโตของพืชของรางที่ 1 ตำแหน่งที่ 3 ควรโต 35% ตำแหน่งที่ 4 ควรโต 55% และตำแหน่งที่ 5 ควรโต 11% ผลการประมวลผล % ความโตของพืชที่ตรวจวัดได้ ดัง Table 6 ของแต่ละตำแหน่ง 3 4 และ 5 และเมื่อนำมาหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ของแต่ละตำแหน่งจากการทดลอง 5 ครั้ง พบว่า ตำแหน่งที่ 3 4 และ 5 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.28 7.51 และ 12.69 ตามลำดับ

Table 6 The camera processing test on the 1st rail.

Experiment	Rail number 1					
	Growing position					
	1	2	3	4	5	7
1			36.84	54.40	15.33	
2			46.27	61.94	14.85	
3			34.25	43.89	15.62	
4			32.78	59.86	14.78	
5			30.60	57.38	18.30	
Average			36.15	55.49	15.78	
Error			3.28	7.51	12.69	

เมื่อทำการทดลองกับทั้ง 4 รางและทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด ของแต่ละราง เป็นดัง Table 7

จากการทดลองพบว่าในรางที่ 3 มีค่าความ

คลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 7.65% ซึ่งในรางนี้พบว่ามีการทำงานที่ผิดพลาดในบางตำแหน่ง คือไม่สามารถถ่ายภาพได้ในเที่ยวแรก แต่สามารถเก็บภาพได้ในเที่ยวที่สอง และมีตำแหน่งที่ไม่สามารถถ่ายภาพได้

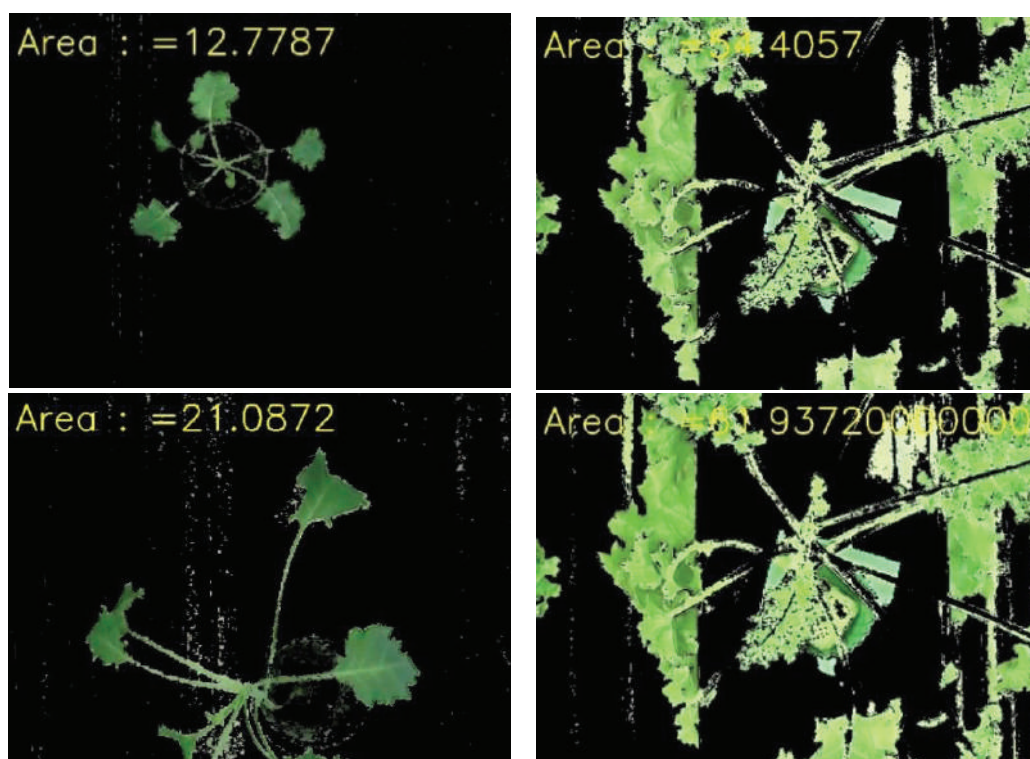
Table 7 Summary of error in the camera processing on the rails.

Experiment	Experiment (% error)						
	Growing position						
	1	2	3	4	5	6	7
1			3.28	7.51	12.69		
2			7.82	6.91	10.10		
3			11.02	8.05	3.86		
4			20.12	11.55	16.67		
Average error			10.56	8.33	10.83		

รองลงมาเป็นรางที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.82% ซึ่งรางนี้ได้ภาพครบ และค่าเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตอยู่ในค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงและไม่มีความผิดปกติใดๆ ต่อมาเป็นรางที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 8.00% มีตำแหน่งที่ถ่ายภาพไม่ได้ 3 ตำแหน่ง และถ่ายได้ในเที่ยวที่สอง 1 ตำแหน่ง และแถวที่ 4 มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุดคือ 16.11% โดยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยรวมในการประมวลผลภาพคือ 9.91%

สาเหตุความคลาดเคลื่อนที่สูงมากในรางที่ 4 สาเหตุจากแสงสว่างใต้หุ่นยนต์ไม่เพียงพอ กล้องไม่ได้โฟกัส โปรแกรมประมวลผลผิดพลาด ซึ่งสามารถแก้ไขโดยติดตั้งไฟเพิ่ม หรือเพิ่มการหน่วงเวลาถ่ายภาพของกล้องเพื่อให้กล้องปรับ White Balance ทัน

ตัวอย่างผลของการตรวจวิเคราะห์ภาพของต้นผักเคลเป็นไปดัง Figure 9 แสดงให้เห็นว่าภาพของต้นผักสามารถตรวจจับและใช้ระบบประมวลผลด้วย Jetson nano ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์ ทำหน้าที่วิเคราะห์หาขนาดความโตของพืชจากข้อมูลที่ได้เรียนรู้และสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนพื้นที่สีกับขนาดความโตของพืชหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของความโตเต็มที่ ดังแสดงในตัวอย่างการตรวจสอบผัก มีลักษณะของภาพที่วิเคราะห์ เป็นไปดัง Figure 9 จะบอกความโตของพืชเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น Figure 1 ของ Figure 9 มีความโต 12.7787 Figure 2 ของ Figure 9 มีค่าขนาด 21.0872 Figure 3 ของ Figure 9 มีขนาด 54.5057 และ Figure 4 ของ Figure 9 มีขนาดความโต 60.93720 เป็นต้น

**Figure 9** Image analysis % plant growth

สรุป

บทความนี้เป็นการศึกษาการออกแบบ การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ และกล้องประมวลผลรวมถึงทำหุ่นยนต์ต้นแบบขึ้นจริงเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร โดยในปัจจุบันเราได้ทำการทดลองทำงานบนเรือนไฮโดรโปนิกส์ภายในห้องปฏิบัติการ โดยได้ทำการทดสอบ 3 อย่าง ดังนี้

การทดสอบความเร็ว ซึ่งพบว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานโดยการวิ่งแล้วเก็บภาพไป และกลับด้วยเวลาเฉลี่ย 3 นาที 19 วินาที ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.392 เมตร/นาที ซึ่งอาจทำความเร็วได้ช้ากว่ามนุษย์ แต่แลกมาด้วยการทำงานที่ละเอียดมากกว่าเพราะตรวจสอบทุกต้น (ความเร็วเฉลี่ยของมนุษย์คือ 0.467 เมตร/นาที คิดจากมนุษย์เดินรอบแปลงระยะทาง 28 เมตร ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง) แต่มนุษย์ไม่สามารถดูแลแปลงได้ในได้

การทดสอบต่อมาเป็นการทดสอบความแม่นยำในการถ่ายภาพ ซึ่งผลปรากฏว่ามีเพียงรางที่ 1 ที่สามารถทำการถ่ายภาพและประมวลผลได้ครบทุกต้น ส่วนในรางอื่นๆ จะมีความผิดพลาดเล็กน้อย ซึ่งผลความแม่นยำโดยรวมของกล้องจากการทดสอบ 3 ตำแหน่ง ในจำนวนราง 4 ราง คือ 86.67%

การทดสอบสุดท้ายเป็นการทดสอบความคลาดเคลื่อนของการประมวลผลเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโต ซึ่งพบว่าในรางที่ 1-3 มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็นที่น่าพอใจ คือ 7.82%, 8.00% และ 7.65% ตามลำดับ แต่ในรางที่ 4 มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 16.11% ทั้งหมดนี้เทียบกับเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตจริงจากกราฟเส้นตรง ความคลาดเคลื่อนโดยรวมมีค่าเท่ากับ 9.91%

จากผลการทดลองสามารถพัฒนาให้หุ่นยนต์ตรวจสอบได้แม่นยำขึ้นโดย แก้ไขโดยติดตั้งไฟเพิ่ม หรือเพิ่มหน่วยเวลาถ่ายภาพของกล้องเพื่อให้กล้องปรับ White Balance ทัน หรือเปลี่ยนกล้องที่มีระบบ Auto Focus นำระบบปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการวิเคราะห์ความโตของพืชแทน นอกจากนั้นยังพัฒนาต่อยอดไปสู่การตรวจสอบความผิดปกติการเกิดโรคต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กำแพงแสน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน และผู้เกี่ยวข้องที่เอื้อนามและไม่ได้เอื้อนามมา ณ โอกาสนี้ที่สำคัญต่องานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ศุภกานต์ จันทร์เสวีวิทยา, ปิยวัฒน์ ปาระมี, ศุภณัฐ เอี่ยมผ่องใส (2562), หุ่นยนต์เก็บเกี่ยวผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ, *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 25 (1), 56-63.
- SME Thailand (2561). *Iron Ox ผุดไผ่เดียวล้ำ ใช้หุ่นยนต์ทำฟาร์ม รับเกษตรกรรมยุคใหม่*. <https://www.smethailandclub.com/technology-4003-id.html>
- PimDeed (2562). *การ contours โดยใช้ python colab*. <https://medium.com/@phimwadi0033/การ-contours-โดยใช้-python-colab-81240a1af3e1>
- บ้านและสวน (2563), *เริ่มต้นปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ต้องรู้จักระบบน้ำกันหน่อย*. <https://www.baanlaesuan.com/100198/ideas/garden-ideas/hydroponics#>.
- Hemalatha, P., Dhanalakshmi, K., Matilda, S. & Anand, M. (2018), Farmbot-a Smart Agriculture Assistor Using Internet of Things. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119 (10), 557-566.
- Jaimes, F., Collazos, B., Arce, E. & Chauca, M. (2018). Hydroponic System with Automated Hydrolysis Using Renewable Energy Self-Sustainable, *The 5th International Conference on Mechatronics and Mechanical Engineering (ICMME 2018)*, Wuhan.
- Johann, B., Olivier, B., Nicolas, H., Alexandre, R., Benoit, C. (2017). Farmbot, a small scale autonomous Farming Machine: Software Challenges, *Semantic Scholar*, 1-2.
- Maldonado, A.I.L., Reyes, J.M.M., Breceda, H.F., Fuentes, H.R., Contreras, J.A.V., & Maldonado, U.L. (2020). Automation and Robotics Used in Hydroponic System, *Urban Horticulture-Necessity of the Future*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.82900>.
- Mehra, M., Saxena, S., Sankaranarayanan, S., Tom, R.J. & Veeramanikandan, M. (2018). IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 473-486. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.015>.
- Niels T., Guoming A.L., Dhruv A., Abhinav V. & George A.K. (2012), Automation of Hydroponic Installations using a Robot with Position Based Visual Feedback, in *Proceedings of 3rd International Conference of Agricultural Engineering (CIGR '12)*. Valencia.