

ระบบการตรวจจับร่องน้ำในสวนโดยใช้การประมวลผลภาพเพื่อนำทางของเรือรดน้ำแบบอัตโนมัติ

THE TRENCH CHANNEL DETECTION WITH IMAGE PROCESSING FOR AUTONOMOUS BOAT WATER SPRAYER

วรวิฑูมิ กังหัน, ภาคภูมิ ปฐมภาคย์ ศรีธัญย์ ฉัตรธัญญกิจ, โพธิวัฒน์ งามขจรวิวัฒน์, อันยวัต สมใจทวิพร
สาขาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

Worawut Kunghun, Pakpoom Patompak, Sarun Chattunyakit, Potiwat

Ngamkajornwivat, Tunyawat Somjaitaweeporn

Department of Robotics and Automation Engineering, Faculty Engineering and Technology,

Panyapiwat Institute of Management

E-mail: worawutkunghun@gmail.com

บทคัดย่อ

การปลูกพืชแบบร่องสวนเป็นหนึ่งในวิธีการปลูกพืชที่ง่ายต่อการบริหารจัดการในเรื่องทรัพยากรน้ำ การรดน้ำแปลงพืชในร่องสวนจำเป็นต้องมีการใช้ทรัพยากรมนุษย์ในการบริหารจัดการ และได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ในการรดน้ำโดยการใช้เรือติดปั๊มสูบน้ำเพื่อให้สามารถรดน้ำในปริมาณที่มากและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการใช้ทรัพยากรมนุษย์ในการทำซ้ำๆเช่นการรดน้ำได้ ดังนั้นการทำให้เรือรดน้ำสามารถทำงานตามแผนงานและรดน้ำได้ด้วยตัวเองโดยอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์ในการทำการเกษตรแบบร่องสวนได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบที่ช่วยแก้ปัญหาการนำทางของเรืออัตโนมัติในร่องสวนโดยใช้แค่กล้องในการตรวจจับขอบเขตของร่องน้ำในสวนการเกษตรด้วยการนำระบบแมชชีนวิชัน (Machine Vision) มาประมวลผลภาพ เพื่อหาเส้นแนวทางของร่องสวนทั้งด้านซ้ายและด้านขวาโดยใช้ความแตกต่างของสีของน้ำและขอบดิน เมื่อได้ภาพที่แยกน้ำกับดินก็จะสามารถหาแนวขอบของร่องน้ำด้านซ้ายขวา (Channel Line) เพื่อใช้ในการหาจุดกึ่งกลางจากการตัดกันของแนวขอบของร่องน้ำ กับเส้นแนวระนาบ (Horizontal Line) หลายๆเส้น ทำให้เกิดแนวเส้นนำทางของร่องสวน (Trench Channel Guideline) แนวเส้นนำทางนี้จะบอกถึงทิศทางของร่องสวน และนำมาใช้ในการคำนวณทางศาการเคลื่อนที่ของเรือ ข้อมูลองศานี้จะส่งต่อไปยังระบบควบคุมทำให้เรือสามารถเคลื่อนที่และบังคับการแล่นได้เองอัตโนมัติ

คำสำคัญ: การประมวลผลทางภาพ, การนำทางอัตโนมัติของเรือ, การทำแผนที่ร่องสวน, ร่องสวนการเกษตร

Abstract

Trench Channel agriculture is one of the easiest ways to manage crops in terms of water resources. Watering the crops requires the management of human resources which waste in human hours and labor cost. To reduce the waste and cost in human labor, boat and pump are integrated to be an equipment for watering crops in the field. This equipment be able to drive water in large quantities and efficiently. However, it still need human to maneuver the boat in the trench channel. For the intelligent agriculture, the equipment should be able to control autonomously and possibly to plan and manage without human control.

This research introduces the system to solve the autonomous navigation problem by using camera to detect the trench channel via machine vision by using image processing to determine the trench channel. The concept is to separate the trench channel by using difference color of ground and

water to get the left and right trench channel lines. By using the intersection between the trench channel lines with the number of horizontal lines, the channel guideline can be calculated, which describes the direction of the trench channel. By comparing with the reference center point, the degree of maneuver can be determined and use as the command that send to the control the boat to maneuver autonomously.

Keywords: Image Processing, Autonomous Boat Navigation, Channel Orchard Mapping, Trench Channel Agriculture

บทนำ

เนื่องจากเกษตรกรรมเป็นภาคการผลิตที่สำคัญของประเทศไทยมาเป็นระยะเวลายาวนาน กำลังแรงงานของประเทศที่มีงานทำ 37.78 ล้านคน อยู่ในภาคการเกษตร 10.58 ล้านคน (สำนักงานสถิติแห่งชาติกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, 2562) ทั้งนี้การทำเกษตรในแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช และพื้นที่ปลูกพืช การปลูกพืชแบบร่องสวนเป็นส่วนหนึ่งในวิธีการปลูกพืชเพื่อให้ง่ายต่อการรดน้ำ ซึ่งการรดน้ำเป็นปัจจัยหลักในการเพาะปลูกพืช ดังนั้นการรดน้ำพืชจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างหนึ่งที่เกษตรกรต้องคำนึงถึง ในปัจจุบันการปลูกพืชแบบร่องสวน เกษตรกรจะใช้วิธีการรดน้ำด้วยการตักรดน้ำด้วยมือหรือการใช้ปั๊มสูบน้ำติดตั้งไว้บนเรือที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดร่องโดยวิธีดังกล่าวต้องใช้แรงงานคนในการตักรดน้ำหรือใช้คนในการบังคับเรือ ซึ่งต้องใช้แรงงานคนที่มาก และใช้ระยะเวลานานในการทำงาน ด้วยข้อจำกัดจากการที่แอมโน้มของแรงงานภาคการเกษตรที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง และต้นทุนในการจ้างแรงงานที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เรือรดน้ำอัตโนมัติจึงมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนด้านแรงงานและระยะเวลาที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

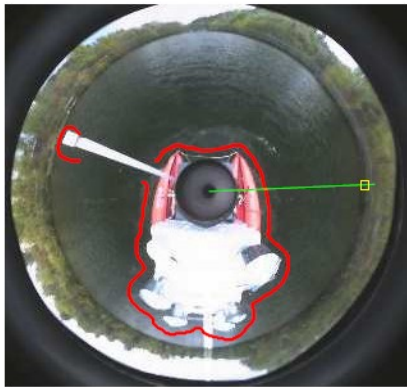
อย่างไรก็ตามการพัฒนาเรือรดน้ำอัตโนมัติมีความยากในการพัฒนาเนื่องด้วยอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆที่มีราคาแพง และพื้นที่แต่ละพื้นที่และร่องสวนมีลักษณะไม่เหมือนกัน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงปัญหาจึงได้มีการแก้ไขปัญหาโดยการนำกล้องซึ่งมีราคาไม่สูงมากมาใช้ร่วมกับระบบแมชชีนวิชัน (Machine vision) เพื่อมาประมวลผลภาพหาค่าขอบเขตการมองเห็น (Field of View, FOV) รวมถึงการแยกร่องดินกับร่องน้ำออกจากกันเพื่อให้ได้ เส้นนำทางของร่องสวน (Trench Channel Guideline) เส้นนำทางของร่องสวนนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาองศาที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของร่องสวน ค่าองศาที่เปลี่ยนไปจะนำไปใช้ในการกำหนดการเคลื่อนที่ของเรือให้สามารถเลี้ยวไปตามร่องสวนได้อย่างอัตโนมัติผ่านระบบควบคุมเรือต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

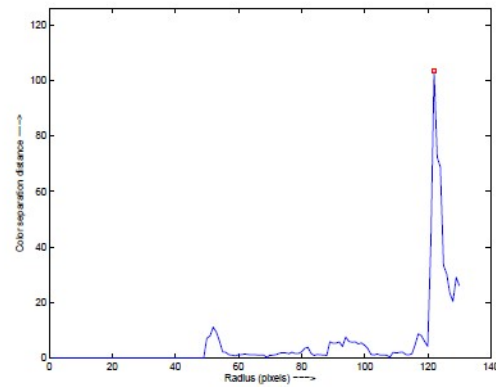
Anbumani Subramanian และคณะ [1] การวิจัยนี้ได้พัฒนาการตรวจจับแนวชายฝั่งในรูปภาพสำหรับการเดินเรืออัตโนมัติ เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ภาพเพื่อช่วยในการเดินเรืออัตโนมัติ ปัญหาคือการกำหนดพื้นที่ของภาคเดินเรือในสภาพแวดล้อมทางน้ำโดยระบุพื้นที่น้ำ หรือแนวชายฝั่งโดยใช้รูปภาพ เนื่องจากภาพของฉากในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเนื่องจากแสง เงา และการสะท้อน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะระบุขอบเขตน้ำในฉากจากภาพ ในบทความนี้ ได้นำเสนอวิธีการที่พัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจจับแนวชายฝั่งในภาพรอบทิศทาง เราทดสอบวิธีการด้วยภาพต่างๆ จากแม่น้ำ ทะเลสาบ และสระน้ำ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีการของเราระบุแนวชายฝั่งในภาพได้อย่างถูกต้องดังภาพที่ 1(ก) การพัฒนาการวิเคราะห์ภาพแนวรัศมีตามวิธีที่รับรู้ได้วิธีการตรวจจับแนวชายฝั่งในภาพจากรอบทิศทางกล้องที่ติดตั้งบนเรืออิสระ วิธีการดังกล่าวจะนำไปใช้ในการช่วยนำทางอัตโนมัติของรถพื้นผิวอิสระ ได้มีการทดสอบวิธีการดังกล่าวกับภาพจากสภาพแวดล้อมของแม่น้ำทะเลสาบ และสระน้ำ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ภาพของเราแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นระบุแนวชายฝั่งได้ถูกต้อง จึงเหมาะสำหรับการปรับใช้เป็นส่วนประกอบที่เชื่อถือได้ในแบบเรียลไทม์ระบบนำทางของเรือ



(ก)



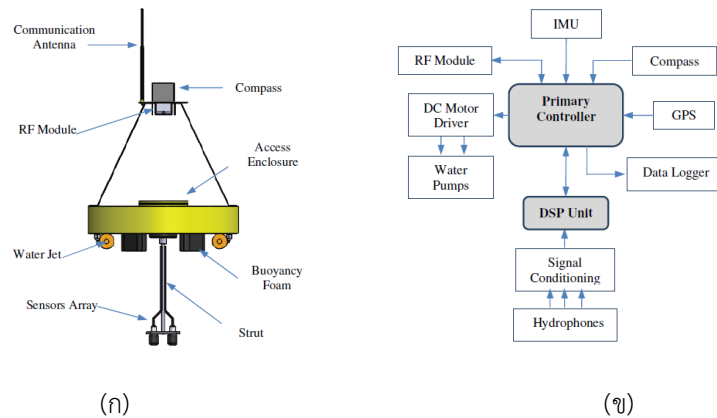
(ข)



(ค)

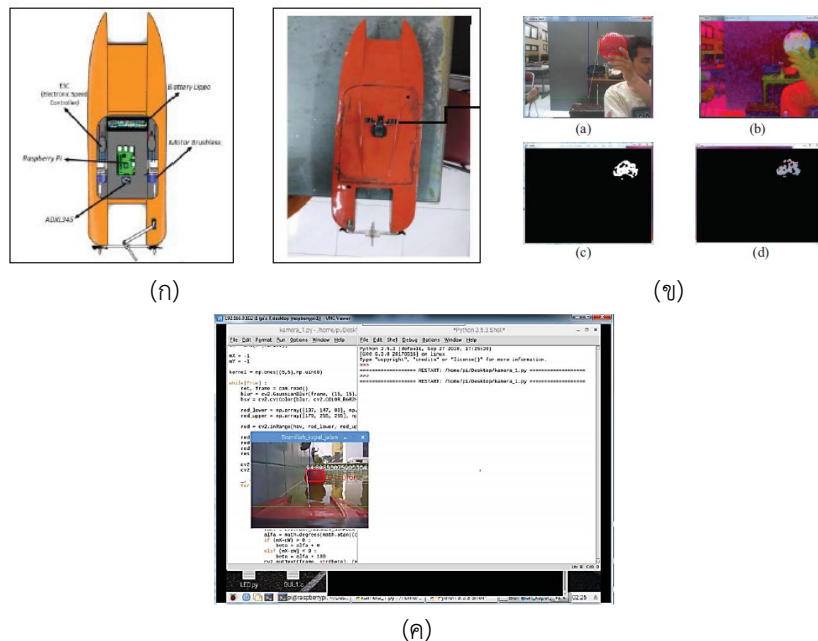
ภาพที่ 1 (ก) ภาพถ่ายของยานพาหนะพื้นผิวน้ำอัตโนมัติ (ASV) ที่ใช้ในการวิจัย (ข) Radial analysis of local neighborhoods along an angle (shown in green color) (ค) Separation distance of two-color clusters in local neighborhoods for increasing radius along the angle

M. H. A. Majid และ M. R. Arshad [2] ได้ออกแบบยานพาหนะพื้นผิวน้ำอิสระ (ASV) เป็นยานพาหนะทางทะเลอเนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการความซับซ้อนของกิจกรรมนอกชายฝั่งที่หลากหลายในปัจจุบัน ASVs ได้รับการพัฒนาโดยพื้นฐานจากการออกแบบทั่วไปในโครงสร้าง และความสามารถในการเคลื่อนที่ ในการวิจัยของ ASV ในปัจจุบันคือแอปพลิเคชันการออกแบบ ASV แบบเดิมมีข้อจำกัดที่มีรัศมีวงเลี้ยวขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะกับวัตถุประสงค์ในการจับกลุ่มโดยเฉพาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็กในบทความนี้ต้นแบบ ASV ใหม่ได้รับการพัฒนาเพื่อรองรับความต้องการของรูปแบบฝูง และความเสถียรในการเคลื่อนที่ ในงานวิจัยนี้ นำเสนอแนวคิดการออกแบบใหม่ของแพลตฟอร์ม ASV สำหรับการใช้งานแบบกลุ่มโดยเฉพาะ หลักการกล่าวถึงเกณฑ์การออกแบบ ประการแรก ASV ที่พัฒนาแล้วควรจะมีน้ำหนักในมุมม้วน ระยะพิทช์ และหันเห โดยที่ กลไกถูกดัดแปลงเพื่อให้ ASV เสถียร ประการที่สองรัศมีวงเลี้ยวที่เล็กทำได้โดยการเลือกทรงกระบอก รูปร่างสำหรับการออกแบบตัวถัง รัศมีวงเลี้ยวที่เล็กช่วยให้ ASV เป็นการปรับทิศทางตัวเองไปยังมุมหัวเรือที่ต้องการโดยไม่ต้องเปลี่ยนตำแหน่ง ในอนาคตอันใกล้รูปแบบที่สมบูรณ์ของระบบเพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมระบบ และทำให้แพลตฟอร์มที่ออกแบบใช้งานได้ง่าย



ภาพที่ 2 (ก) CAD design of the proposed ASV prototype (ข) ASV System block diagram

Aqil Aqthobilrobbany และคณะ [3] ของหุ่นยนต์อัตโนมัติคือระบบนำทางที่ถูกฝังอยู่ในระบบอัจฉริยะของหุ่นยนต์ งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบเรือหุ่นยนต์ไร้คนขับซึ่งทั้งหมดระบบทำงานอัตโนมัติโดยมี Raspberry pi เป็นตัวควบคุมและระบบนำทาง ซึ่ง Raspberry pi ใช้ในกระบวนการสร้างภาพการประมวลผลในการตรวจจับเส้นทางเรือโดยใช้กล้องตามวิธีการกรอง HSV วิธีนี้จะตรวจจับเส้นทางเรือตามเกี่ยวกับสีพื้นฐาน ระดับสีความสว่าง และความเข้มของ ที่ตรวจพบดังนั้นผลการตรวจจับ การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เรือวิธีการประมวลผลภาพผลการทดสอบการประมวลผลภาพแสดงให้เห็นว่ากล้องเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับวัตถุลูกบอลสีแดงได้ หน้าจอกล้องคือแบ่งออกเป็นสองส่วน สำหรับตรวจจับวัตถุและสำหรับการปรับการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ขอบหน้าต่างเล็กน้อยยกขึ้นเพื่อเอาชนะข้อผิดพลาดในการอ่านกล้องเนื่องจากการตรวจจับต้นแบบของร่างกาย การตรวจจับวัตถุต้องดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ (1) RGB to HSV, (2) color filtering, (3) morphology of dilation and erosion, (4) detected contour ขั้นตอนเหล่านี้ส่งผลให้การตรวจจับวัตถุลูกบอลสีแดงแสดงดังภาพที่ 3 (ค)



ภาพที่ 3 (ก) Design of Robot Boat (ข) The results of object detection test (ค) Monitoring result of object detection test at swimming pool

Jinlin Xue และคณะ [4] การพัฒนาวิธีการวิชันซิสเต็มระยะการมองเห็นแบบแปรผันทำให้หุ่นยนต์เพื่อการเกษตรสามารถนำทางระหว่างแถวในทุ่งข้าวโพด ฮาร์ดแวร์วิชันซิสเต็มประกอบด้วยกล้อง และการควบคุมการเคลื่อนไหว ตรวจพบเส้นนำทางโดยใช้อัลกอริทึมการประมวลผลภาพโดยใช้ลักษณะทางสีฐานวิทยาในมุมมองระยะไกล ใกล้ และด้านข้าง และหุ่นยนต์ถูกนำทางไปตามเส้นเหล่านี้โดยใช้การควบคุมลอจิกคลุมเครือวิธีดังกล่าวได้รับการทดสอบในขณะที่ยานพาหนะสามารถเดินทางผ่านระยะทาง 30 เมตร ไปยังสิ้นสุดแถว เพื่อประเมินประสิทธิภาพคำแนะนำ ข้อมูล RTK-GPS ถูกเก็บรวบรวมแสดงข้อผิดพลาดของคำแนะนำสูงสุด 15.8 มิลลิเมตรซึ่งวิธีการดังกล่าวถึงแม้ว่าจะไม่ใช่นำระบบอัตโนมัติไปใช้ในทางน้ำแต่ซึ่งถือว่าระบบดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับการนำทางในร่องสวนดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4



(ก)



(ข)

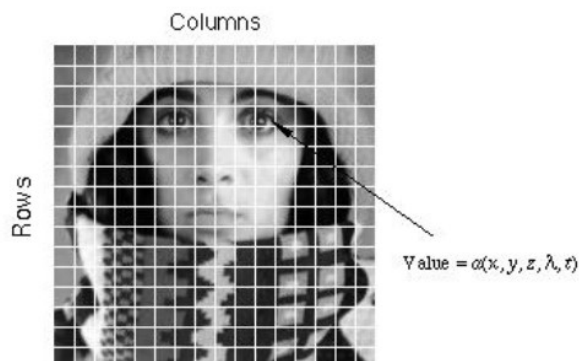
ภาพที่ 4 (ก) Experimental corn field (ข) Far FOV results for 70 cm tall corn

ทฤษฎีการประมวลผลทางภาพ (Image processing theory) [5-7]

ระบบการมองเห็นภาพนั้นจะหมายความรวมถึงทุกสิ่งที่เป็นของการได้มา ซึ่งรหัสทางดิจิทัลที่ใช้แทนภาพโดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงข้อมูลและรวมทั้งการแสดงผลที่ได้หลังจากการปรับปรุง ซึ่งระบบสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 การได้มาซึ่งภาพ (Image acquisition) หมายถึงการแปลงภาพ ลักษณะทางกายภาพนั้นให้เป็นเซตของข้อมูลทางดิจิทัล ซึ่งอาจจะรับภาพนั้นจากกล้องถ่ายรูป , สแกนเนอร์, กล้องวิดีโอที่เป็นอุปกรณ์ดิจิทัล ซึ่งภาพแต่ละภาพที่ได้รับจากอุปกรณ์เหล่านั้นนั้นจะมี รายละเอียดและความคมชัดสูงเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับอัตราในการสุ่มสัญญาณ (sampling rate) ของ อุปกรณ์รับภาพ ขั้นที่ 2 กระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) มีหน้าที่หลักในการสร้างภาพ ให้ขึ้นมา โดยการแยกแยะส่วนที่เราต้องการหรือสนใจออกจากพื้นหลังหรือสิ่งรบกวนต่างๆ, การหา ขอบภาพ, การกรอง, การ

เปลี่ยนแปลงค่าสีของภาพ, การประมวลผลเชิงตัวเลข ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวนี้ จะถูกนำมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแทนด้วยตัวเลขใน รูปแบบของเมตริกซ์ แต่ภาพที่ได้ส่วนมากจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(x,y)$ ในระนาบสองมิติ ขั้นที่ 3 ผลที่ได้และการแสดงผล (Output and Display) รูปแบบของการแสดงผลที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานหรือ ออกแบบจะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ต่อในลักษณะใดหรืออาจจะนำไปแสดงผล หรือคำนวณตัวแปรต่างๆ เป็นต้น

การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล ภาพข้อมูลดิจิทัล (Digital Image) เป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากภาพแอนะล็อก (Analog) ให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยการนำภาพแอนะล็อกมาแยกเป็นพื้นที่ที่สี่เหลี่ยมเล็กๆที่เรียกว่าพิกเซล (pixel) ในแต่ละพิกเซลจะถูกระบุตำแหน่งโดยพิกัด (x, y) และค่าระดับสีเทาของพิกเซล โดยเราสามารถแปลงรูปภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลได้ด้วยขั้นตอนดังนี้เมื่อเรานำสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการประมวลผลมาผ่านส่วนที่เรียกว่า ดิจิไตเซอร์ (Digitizer) ซึ่งจะมีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำ การควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อที่จะประมวลสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ $f(x, y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพ ซึ่งเราเรียกว่า การสุ่มภาพ (Image Sampling) ของฟังก์ชันที่ได้เรียกว่าการควอนไทซ์เซชันระดับสีเทา (Grey level quantization) ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล



ภาพที่ 5 แสดงการเก็บภาพข้อมูลแบบดิจิทัล

โมเดลสี (Color Mode) เพื่อให้เข้าใจถึงการผสมสีและระดับความเข้มของแสง จะขอกกล่าวถึงโมเดลสี ซึ่งประกอบด้วย 3 แม่สีหลักได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ถ้านำแต่ละแม่สีมาเขียนเป็นกราฟใน Color Space ถ้าแต่ละแม่สีมีขนาด 8 บิต รวมทั้งหมดทั้ง 3 แม่สี จะได้ 24 บิต ซึ่งสามารถสร้างสีใหม่ได้ถึง $2^8 \times 2^8 \times 2^8$ คือ เท่ากับ 16777216 สี และ จะสามารถอ่านค่าภาพดิจิทัลในรูปเมตริกซ์ 2 มิติขนาด $M \times N$ โดยค่าที่ $f(x, y)$ จะอยู่ในช่วงความเข้มที่ประกอบด้วยสีแดง (R) ระดับ 0 จนถึง 255 สีเขียว (G) ระดับ 0 จนถึง 255 สีน้ำเงิน (B) ระดับ 0 จนถึง 255

การแปลงภาพสีความลึก 24 บิต เป็นภาพระดับสีเทา 256 ระดับ ในการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) จะใช้สมการ

$$f(x, y) = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

หรือสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของทั้งสามสีดังนี้ $f(x, y) = (R + G + B) / 3$ จากโมเดลสีในภาพสี RGB ช่วงของระดับสีเทาจะอยู่ในช่วง $(0,0,0)$ ถึง $(1,1,1)$ ของ Color space โดยที่จุด $(0,0,0)$ แทนจุดที่มืดที่สุด (สีดำ) ส่วนจุด $(1,1,1)$ แทนจุดที่มีความสว่างมากที่สุด (สีขาว) ส่วนผลของการแปลงภาพสี 24 บิต เป็นภาพระดับสีเทา 256

การทำเทรชโฮลด์ (Threshold) การทำอิมเมจเทรชโฮลด์ (Image Threshold) เป็นกระบวนการพื้นฐานของการแยกภาพที่ต้องการออกจากพื้นหลัง (Background) ของภาพหรือเรียกว่า Image Segmentation สามารถสรุปได้ว่าค่าของ Threshold จะขึ้นอยู่กับค่าระดับสีเทา ณ พิกัด x, y บนภาพดิจิทัล ค่าเฉลี่ยของระดับสีที่กระจุกตัวรวมกันอยู่ $(p(x, y))$ ส่วนภาพที่ถูกทำ Threshold แล้วหรือ $g(x, y)$ สามารถนิยามได้ดังนี้

$$g(x, y) = \begin{cases} 1; & f(x, y) > T \\ 0; & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

การปลูกพืชแบบยกร่อง [8]

การปลูกพืชแบบยกร่อง เป็นวิธีการปลูกพืชด้วยการขุดคันดินล้อมรอบแปลงเกษตร และขุดร่องเป็นร่องแหเพื่อแยกแปลงด้านในให้สูง โดยร่องที่ขุดจะใช้สำหรับกักเก็บน้ำ และให้น้ำแก่พืชการปลูกพืชแบบยกร่อง ถูกพัฒนา และดัดแปลงมาจากแนวคิดของเกษตรกรในพื้นที่ลุ่มภาคกลางที่มีการขุดคันดินล้อมรอบแปลงเกษตรเพื่อป้องกันน้ำท่วมในแต่ละปี ด้วยการขุดแนวร่องเพิ่มขึ้นในแปลงเกษตรของตนเองเพื่อให้สามารถกักเก็บน้ำ และเป็นแหล่งน้ำให้แก่พืช รวมถึงการเพิ่มความสะดวกในการให้น้ำแก่พืชที่ง่ายขึ้น พืชที่นิยมปลูกด้วยระบบนี้ ได้แก่ ไม้ผล และพืชผักชนิดต่างๆ แปลงยกร่องชนิดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้สำหรับให้พืช ไม่มีการยกคันดินรอบแปลง เพียงแค่ขุดร่องแปลงทั้งสี่ด้าน เป็นรูปแบบที่พบได้ทั่วไปในพื้นที่ลุ่มภาคกลางที่ไม่ประสบปัญหาน้ำท่วมขัง ร่องน้ำรอบแปลง และในแปลงลึกประมาณ 0.5-1.5 เมตร กว้าง 1-2 เมตร แปลงกว้าง 3-6 เมตรการดูแลรักษาร่องจะต้องทำการขุดลอกร่องน้ำด้วยการตักโคลนตมจากท้องร่องมาถมบริเวณขอบร่องทุกๆ 1-2 ปี ดังภาพ

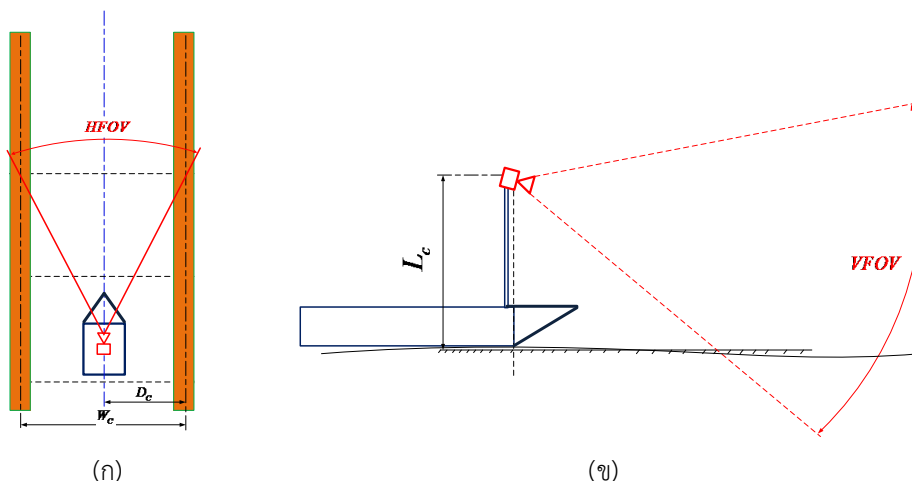


ภาพที่ 6 ลักษณะร่องสวนทางการเกษตร

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบโมเดลของระบบวิชั่นที่สัมพันธ์กับร่องสวน

การออกแบบโมเดลของเรือในร่องสวนซึ่งสำหรับการออกแบบโดยใช้กระบวนการประมวลผลทางภาพนั้นจำเป็นต้องพิจารณาในส่วนของมุมมองของกล้อง field of view angle (FOV) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากสำหรับการนำทางของเรืออัตโนมัติที่สามารถเคลื่อนที่ในร่องสวนได้อย่างถูกต้องโดยแสดงดังรูปภาพดังต่อไปนี้

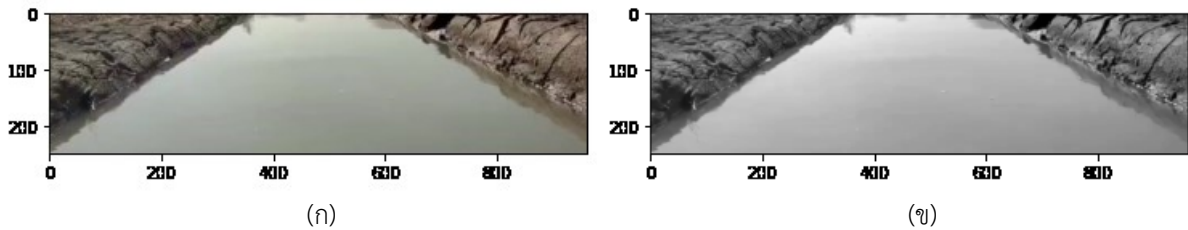


ภาพที่ 7 โมเดลการเคลื่อนที่ของเรือที่สัมพันธ์กับร่องสวน (ก) มุมมองของกล้องในแนวนอน (horizontal field of view angle (HFOV)) (ข) มุมมองของกล้องในแนวตั้ง (vertical field of view (VFOV))

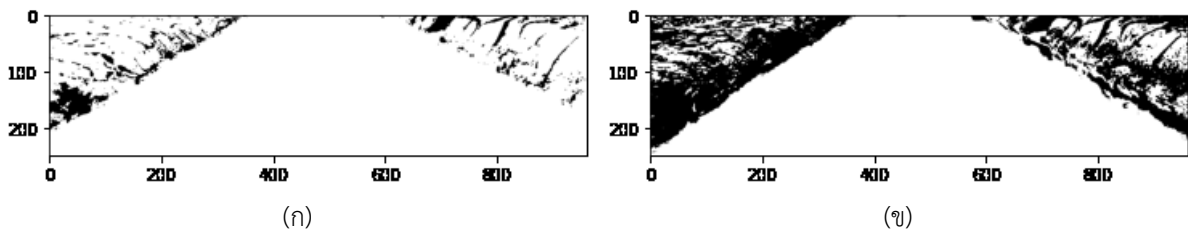
การออกแบบการประมวลผลทางภาพ

ในการประมวลผลภาพเพื่อหาค่าที่ใช้ในการนำทางเริ่มจากการถ่ายภาพเข้าสู่ระบบ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขนาดเป็น 960 พิกเซลในแนวแกน X และ 248 พิกเซลในแนวแกน Y จากนั้นทำการแปลงภาพเป็นเฉดสีเทา (Grayscale) โดยใช้

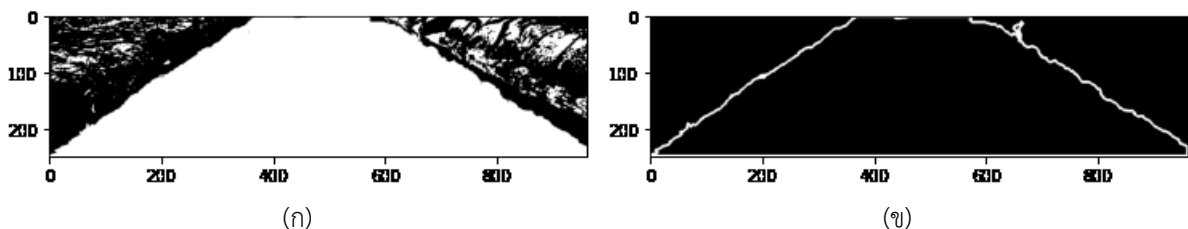
สมการที่ (1) ดังแสดงในภาพที่ 8 และทำการแยกภาพพื้นน้ำออกจากคันดินโดยใช้การทำเทรชโฮลด์ (Threshold) โดยใช้สมการที่ (2) ซึ่งค่าที่ใช้ในการทำเทรชโฮลด์ (T) จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานเพื่อให้สามารถแยกภาพร่องน้ำได้อย่างเหมาะสม ภาพที่ 9 แสดงการใช้ค่า T ที่แตกต่างกันในการทำเทรชโฮลด์ สังเกตว่าถ้าต้องการให้ระบบประมวลผลภาพสามารถแยกร่องน้ำออกจากคันดินจำเป็นต้องเลือกค่า T ให้มีความเหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า $T = 115$ ในการประมวลผล เมื่อทำการแยกร่องน้ำออกจากภาพได้แล้วจะทำการหารูปร่าง (Contour) ที่ใหญ่ที่สุดและนำมาวาดเส้นรูปร่างเพื่อให้เห็นขอบของร่องสวนดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 8 การประมวลผลภาพร่องสวน (ก) ภาพถ่ายสี RGB (ข) การแปลงภาพเป็นเฉดสีเทา (Grayscale)

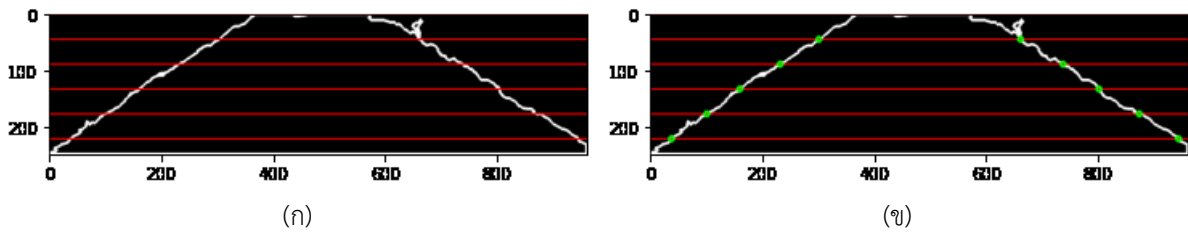


ภาพที่ 9 การทำเทรชโฮลด์โดยใช้ค่าแตกต่างกัน (ก) $T = 50$ (ข) $T = 100$ (ค) $T = 150$ (ง) $T = 200$



ภาพที่ 10 การแยกร่องสวนด้วยการประมวลผลภาพ (ก) การทำเทรชโฮลด์ $T = 115$
(ข) การวาดเส้นรูปร่าง (Contour) ของร่องสวน

จากนั้นนำภาพเส้นร่องสวนมาแบ่งเป็น 5 ส่วนโดยมีระยะความสูงต่างกันที่ 44 พิกเซล จากนั้นคำนวณหาพิกัด (X, Y) ที่ตัดผ่านเส้นร่องสวนทั้ง 5 ส่วนเพื่อนำไปประมวลผลในการหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรืออัตโนมัติต่อไป ภาพที่ 11 แสดงการแบ่งเส้นร่องสวนและพิกัดตัดผ่านร่องสวนทั้ง 5 ส่วนรวมทั้งหมด 10 จุดโดยแบ่งเป็นจุดพิกัดร่องสวนทางซ้าย (X_s, Y) และจุดพิกัดร่องสวนทางขวา (X_b, Y) จากนั้นนำค่าพิกัดที่ได้มาคำนวณหาค่ากึ่งกลางดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 1



ภาพที่ 11 การแบ่งระยะเส้นร่องสวน (ก) แบ่งระยะเส้นร่องสวนเป็น 5 ส่วน
 (ข) จุดสีเขียวแสดงพิกัดจุดที่ตัดกันของเส้นร่องสวนทั้ง 5 ส่วน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่าพิกัดตัดผ่านเส้นร่องสวน

ส่วนที่	พิกัดร่องสวน (X _A , Y)	พิกัดร่องสวน (X _B , Y)	จุดกึ่งกลาง
1	(301,44)	(661,44)	(481,44)
2	(232,88)	(737,88)	(485,88)
3	(160,132)	(801,132)	(480,132)
4	(101,176)	(873,176)	(487,176)
5	(38,220)	(943,220)	(490,220)

จากจุดที่ตัดกันของเส้นร่องสวนทั้ง 5 ส่วน นำมาหาจุดกึ่งกลางของร่องสวนดังสมการที่ 3 กำหนดให้ ΔX ค่าจุดกึ่งกลางแนวแกน x และ X_A, X_B คือพิกัดร่องสวน

$$\Delta X = \left(\frac{X_A + X_B}{2}\right) + X_A \tag{3}$$

เมื่อได้ค่ากึ่งกลางร่องสวนเพื่อทำคำนวณเป็นเวกเตอร์และหาค่ามุมที่กระทำกับแกน x โดยสมการที่ 4 และ 5

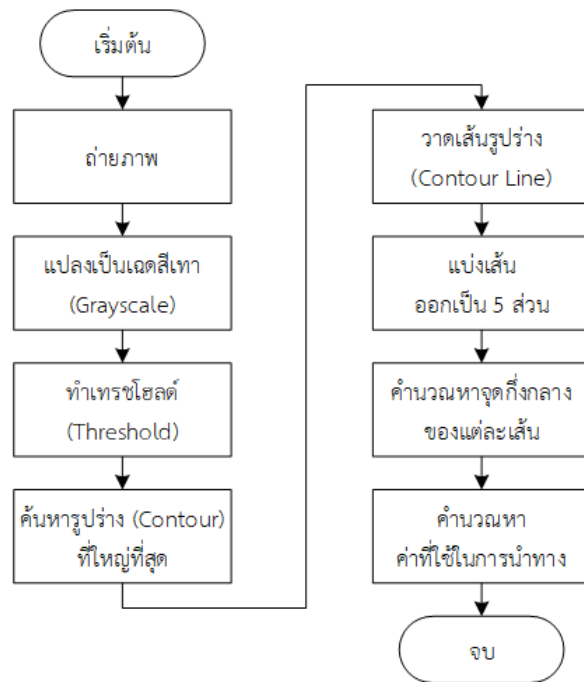
$$R_i = \sqrt{(\Delta X_{i+1} - \Delta X_i)^2 + (\Delta Y_{i+1} - \Delta Y_i)^2} \tag{4}$$

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X_{i+1} - \Delta X_i}{\Delta Y_{i+1} - \Delta Y_i}\right) \tag{5}$$

จากสมการที่ 4 และ 5 มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาเส้นนำทางดังสมการที่ 6 และ 7 โดยที่ R_s คือค่าความเร็วลัทธิเรีอควเคลื่อนที่ไป และ θ_s คือค่ามุมที่เรีอควปรับเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางและยังสามารถให้รักษาระยะกึ่งกลางร่องสวน โดยค่าที่เหมาะสมคือ 90 องศา และ N คือจำนวนของเส้นตัดซึ่งในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 5 โดยกระบวนการทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังแสดงในภาพที่ 12

$$R_s = \frac{\sum_{i=0}^N R_i}{N} \tag{6}$$

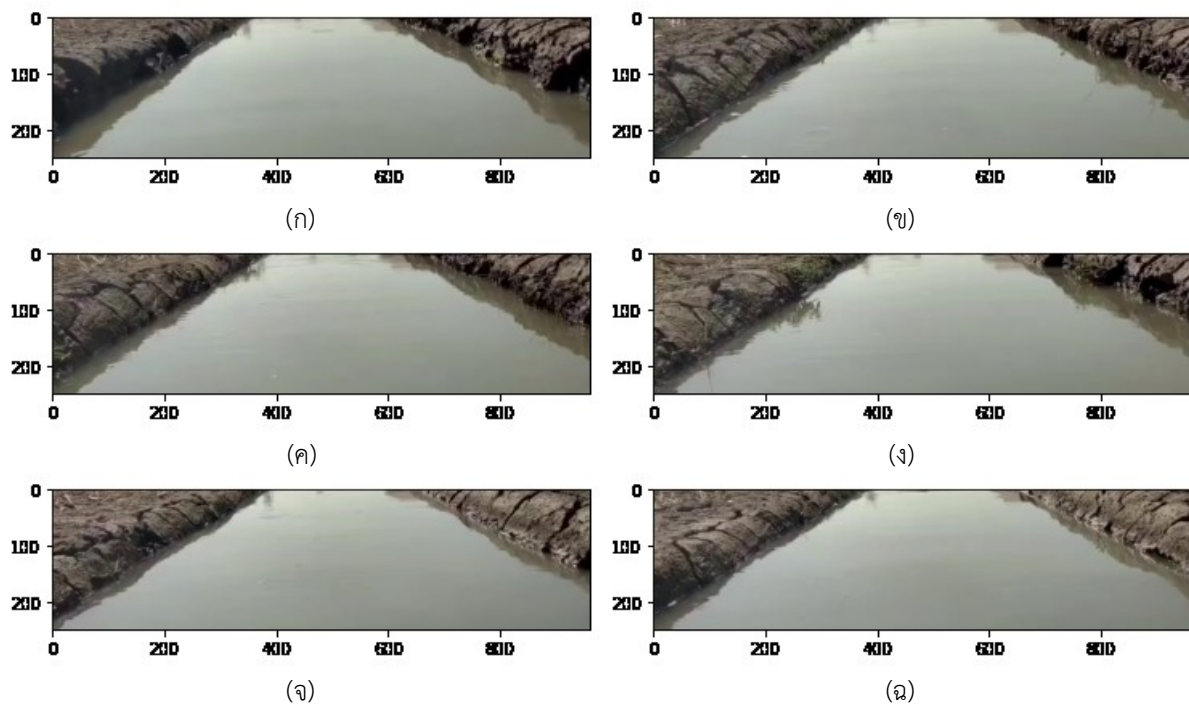
$$\theta_s = \frac{\sum_{i=0}^N \theta_i}{N} \tag{7}$$



ภาพที่ 12 ผังงานแสดงหาค่าที่ใช้ในการนำทางเรือดน้ำแบบอัตโนมัติ

ผลการวิจัย

ในการทดลองระบบที่พัฒนาขึ้นได้ติดตั้งกล้องถ่ายภาพไว้บนหัวเรือและทำการถ่ายภาพมาประมวลผลภาพทุกๆ 5 วินาทีดังแสดงในภาพที่ 13 โดยเริ่มจากที่เวลา $t = 0$ s จนถึงเวลา $t = 25$ s จากการทดลองทำให้ทราบผลของค่า R_S และ θ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (6) และ (7) ในแต่ละเวลาได้ดังตารางที่ 2-7 ที่แสดงให้เห็นค่ามุมในการหลบของเรือดน้ำภาพที่ 14



ภาพที่ 13 ภาพร่องน้ำส่วนที่ใช้ในการทดลอง (ก) $t = 0$ s (ข) $t = 5$ s (ค) $t = 10$ s (ง) $t = 15$ s (จ) $t = 20$ s (ฉ) $t = 25$ s

ตารางที่ 2 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 0$ s

ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(447,44)	178.539	99.673
2	(490,88)	133.090	97.338
3	(505,132)	88.023	91.302
4	(496,176)	45.354	104.036
5	(507,220)		
ค่าเฉลี่ย		111.251	98.088

ตารางที่ 3 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 5$ s

ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(530,44)	176.182	87.397
2	(530,88)	132.242	86.531
3	(545,132)	90.956	75.352
4	(544,176)	49.193	63.435
5	(552,220)		
ค่าเฉลี่ย		112.143	78.179

ตารางที่ 4 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 10$ s

ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(518,44)	176.011	89.349
2	(518,88)	132.015	89.131
3	(522,132)	88.204	86.100
4	(536,176)	48.332	65.556
5	(516,220)		
ค่าเฉลี่ย		111.141	82.534

ตารางที่ 5 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 15$ s

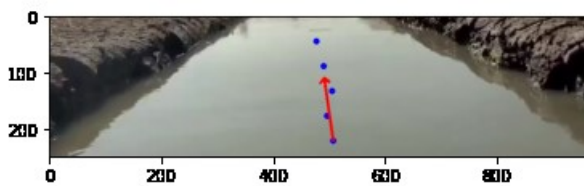
ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(512,44)	176.011	89.349
2	(527,88)	133.090	82.661
3	(541,132)	93.301	70.594
4	(542,176)	54.406	53.972
5	(510,220)		
ค่าเฉลี่ย		111.141	74.144

ตารางที่ 6 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 20$ s

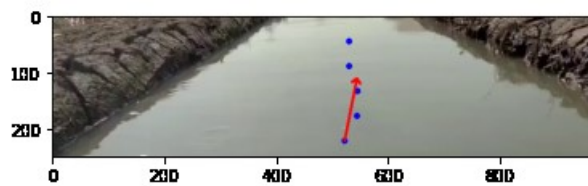
ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(520,44)	176.819	84.483
2	(519,88)	132.966	83.089
3	(518,132)	89.269	80.327
4	(539,176)	56.851	50.711
5	(503,220)		
ค่าเฉลี่ย		111.141	74.652

ตารางที่ 7 การคำนวณหาค่าที่ใช้ในการนำทางของเรือรตน้ำแบบอัตโนมัติที่ $t = 25$ s

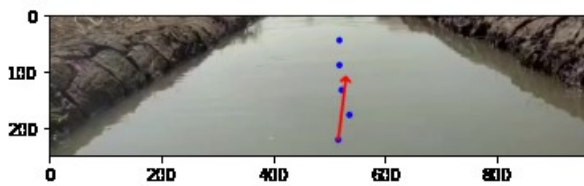
ส่วนที่	จุดกึ่งกลาง	ค่า R_i	ค่า θ (Degree)
1	(515,44)	176.139	87.722
2	(518,88)	132.378	85.667
3	(508,132)	88.000	90.000
4	(527,176)	47.927	66.644
5	(508,220)		
ค่าเฉลี่ย		111.141	82.509



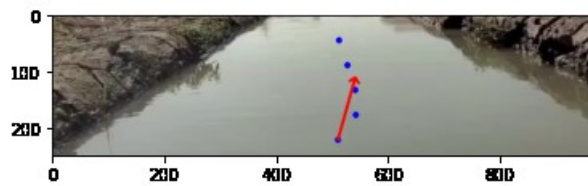
(ก)



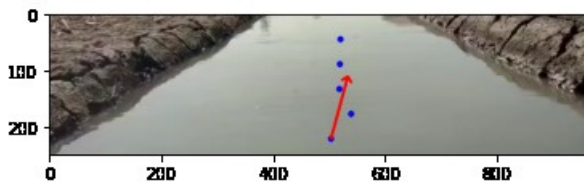
(ข)



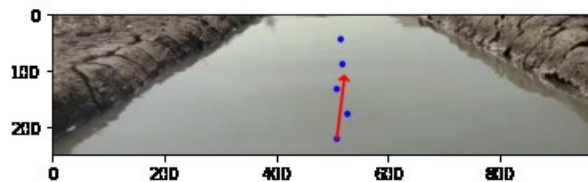
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 14 ภาพผลลัพธ์การนำทางที่ได้จากการทดลอง

(ก) $t = 0$ s (ข) $t = 5$ s (ค) $t = 10$ s (ง) $t = 15$ s (จ) $t = 20$ s (ฉ) $t = 25$ s

จากภาพที่ 14 แสดงถึงทิศทางของการเคลื่อนที่โดยจุดสีน้ำเงินแสดงถึงค่ากึ่งกลางจากการตัดกันของเส้นแนวขอบร่องสวนทั้งซ้ายและขวา (Channel Line) กับเส้นแนวระนาบ (Horizontal Line) ซึ่งจะช่วยให้เห็นถึงเส้นทางของร่องสวน

(Trench Channel Guideline) และลูกศรสีแดงแสดงถึงทิศทางที่เรือควรปรับเพื่อให้เรือสามารถที่จะเคลื่อนที่ในร่องสวนและรักษาระยะให้อยู่ระหว่างกึ่งกลางของร่องสวนได้ และขนาดของลูกศรบอกถึงความเร็วลัพธ์ที่เกิดจากการคำนวณ

จากภาพ 14 (ข) ถึง 14 (ฉ) แสดงให้เห็นถึงทิศทางที่เรือควรปรับเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกับขอบตลิ่งซึ่งสังเกตได้จากภาพ จะเห็นได้ว่าเรือกำลังมีทิศทางที่จะพุ่งเข้าสู่ตลิ่งทางด้านซ้ายทำให้ทิศทางและความเร็วลัพธ์ (ลูกศรสีแดง) ชี้ไปทางด้านขวาเพื่อบอกให้เรือปรับทิศทางมาทางด้านขวา อย่างไรก็ตามในภาพ 14 (ก) จะสังเกตได้ว่าทิศทางของเรือมีลักษณะพุ่งเข้าสู่ตลิ่งด้านซ้ายเช่นกัน แต่ทิศทางและความเร็วลัพธ์ (ลูกศรสีแดง) ชี้ไปทางด้านซ้ายเนื่องจากข้อผิดพลาดในการแยกเงาและตลิ่งทำให้เกิดการบ่งบอกทิศทางที่ผิดพลาดได้ในภาพ 14 (ก)

สรุปผลวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่าเราสามารถใช้ในการประมวลผลภาพในการแยกแยะและตรวจจับร่องน้ำในสวน แล้วนำไปประมวลผลหาความเร็วและทิศทางที่จะควบคุมเรือรดน้ำอัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนขอบตลิ่งของเรือและให้เรือสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปในร่องสวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้ในการประมวลผลภาพยังมีข้อจำกัดเรื่องของเงาในร่องน้ำทำให้เกิดการบ่งบอกทิศทางที่คลาดเคลื่อนซึ่งสามารถแก้ปัญหาโดยการบูรณาการร่วมกับเซนเซอร์วัดระยะอื่นๆ เพื่อให้เกิดการบอกทิศทางและความเร็วที่ถูกต้อง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิจัยนี้ผลลัพธ์ของการประมวลผลภาพได้จากรูปตัวอย่างที่มีจำนวนจำกัดและไม่มีหลากหลายของลักษณะของร่องสวน ทำให้ผลที่ได้ อาจจะมีผลผิดพลาดเมื่อร่องสวนมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงควรเพิ่มภาพตัวอย่างให้มีความหลากหลายของลักษณะร่องสวนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน อีกประการหนึ่งผลการวิจัยที่ได้ยังเป็นการทดสอบโดยการจำลองดังนั้นควรที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบจริงเพื่อให้เห็นประสิทธิภาพที่แท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทางวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ และศูนย์นวัตกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (iCRAS) ที่สนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดลอง และร่วมถึงเกษตรกรชาวสวนจังหวัดปทุมธานีที่ให้ข้อมูลและเป็นสถานที่ทดสอบ และนักศึกษาที่ช่วยเป็นผู้ช่วยวิจัยคือนางสาวฉัตรสุดา เพ็ชรโยธิน และนางสาวมนัสวี พุ่มพยอม และสุดท้ายสำนักวิจัยสถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านเอกสารและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ในการระบบการตรวจจับร่องน้ำในสวนโดยใช้การประมวลผลภาพเพื่อใช้เส้นทางของเรือรดน้ำแบบอัตโนมัติไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Subramanian, A., Gong, X., Wyatt, C.L., Stilwell, D. (2007). *Shoreline Detection in Images for Autonomous Boat Navigation*. DOI:10.1109/ACSSC.2006.354902.
- [2] Majid, M. H. A. & Arshad, M. R. (2016). *Design of an Autonomous Surface Vehicle (ASV) for Swarming Application*. <http://srv.uib.es/public/AUV2016/pdf/5.4.pdf>.
- [3] Aqthobilrobbany, A., Handayani, A. N., Lestari, D., Muladi, M. (2020). *HSV Based Robot Boat Navigation System*. DOI:10.1109/CENIM51130.2020.9297915
- [4] Xue, J., Zhang, L., & Grift, T.E. (2012). Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 85-91.

- [5] สันติชัย เฟื่องกาญจน์ และคณะ. (2010). การจำลองระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติโดยวิธีการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการควบคุมระยะไกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- [6] Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). *Multiple View Geometry in Computer Vision*. (2nd ed.). Cambridge University.
- [7] Kunghun, W. & Tantrapiwat, A. (2018). Development of a Vision Based Mapping in Rubber Tree Orchard. Applied Sciences and Technology-ICEAST 2018 (IEEE). Phuket, Thailand. *Proceedings in the 4th International Conference on Engineering*, 206-209.
- [8] การปลูกพืชแบบยกร่อง. <https://puechkaset.com>.