

หุ่นยนต์รถ 4 ล้อขนาดเล็กสำหรับสร้างแผนที่ภายในอาคารแบบ 2 มิติด้วยเซนเซอร์ระยะทางแบบอัลตราโซนิก

Mini 4 wheels Car Robot for Indoor 2D Mapping Based Ultrasonic Distance Sensor

วันเฉลิม ชันวัฒนพงศ์ ไพฑูรย์ รักเหลือ และ ภูเบศ แสงมะอะหมัด

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

wanchalerm_c@rmutt.ac.th, paatoon_r@rmutt.ac.th, pubet_s@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอหุ่นยนต์รถ 4 ล้อขนาดเล็ก สำหรับการสร้างแผนที่ 2 มิติ ภายในอาคาร โดยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้ระยะทางแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Distance Sensor) ที่สามารถปรับองศาการกวาด 120 องศา ได้อัตโนมัติ ร่วมกับเซอร์โวมอเตอร์ นอกจากนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และส่งข้อมูลเพื่อการสร้างแผนที่ผ่านการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ ไปยังคอมพิวเตอร์ ร่วมกับโปรแกรม Processing IDE โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพด้วยต้นทุนต่ำ จากผลการทดสอบปรากฏว่าหุ่นยนต์รถ 4 ล้อที่นำเสนอสามารถเคลื่อนที่และสร้างแผนที่ 2 มิติภายในอาคารขนาด 25 ตารางเมตร ผ่านการสื่อสารแบบบลูทูธได้ด้วยระยะการสื่อสารไม่เกิน 15 เมตร และหุ่นยนต์สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ได้ในระยะเวลามากกว่า 7 ชั่วโมง

คำสำคัญ: แผนที่ 2 มิติ, หุ่นยนต์รถ 4 ล้อ, อัลตราโซนิก

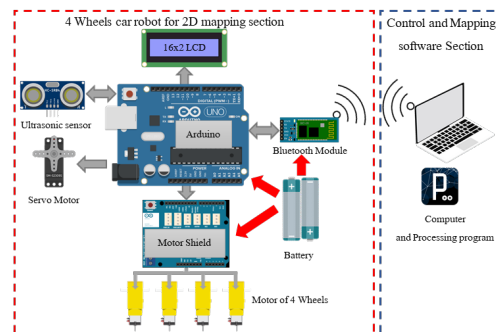
Abstract

This resource proposes a 4 wheels car robot for indoor 2 dimension (2D) mapping by applying an ultrasonic distance sensor which is automatic direction sweep in 120 degree with a servo motor. Furthermore, to controlling a moment of robot and to transferring 2D mapping data that can be achieved by Bluetooth wireless communication to a computer with Processing IDE software. In this paper has focused on high-performance and low-cost design. From the experimental show that, the proposed 4 wheels car robot capable to moving and 25 square meters indoor 2D mapping with Bluetooth communication in a distance less than 15 meters. Additional, robot able to continuity working with self-battery powered more than 7 hours.

Keywords: 2 D Mapping, 4 Wheels Car Robot, Ultrasonic

1. บทนำ

ในสถานการณ์ที่อาจจะเข้าถึงพื้นที่แคบภายในอาคารเพื่อการช่วยเหลือ เช่นเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติ การใช้หุ่นยนต์ขนาดเล็กจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเข้าพื้นที่เพื่อตรวจสอบสถานที่ ตรวจสอบสิ่งของหรือผู้บาดเจ็บ หรือการสร้างแผนที่ 2 มิติ การสร้างแผนที่ (Mapping) จากการตรวจจับสิ่งกีดขวางของสิ่งแวดล้อม คือกระบวนการ



รูปที่ 1 แผนภาพโครงสร้างของหุ่นยนต์รถ 4 ล้อที่นำเสนอ

ที่นำเอาข้อมูลการวัดที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ (Sensors) เพื่อสร้างเป็นโครงสร้างข้อมูลสำหรับอธิบายลักษณะของสิ่งแวดล้อม ณ บริเวณนั้น

การพัฒนาหุ่นยนต์อัจฉริยะ แบบเคลื่อนที่ 4 ล้อ [1], [2] ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาเพื่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติ หรือการสำหรับการสร้างแผนที่ ดังในงานวิจัยที่ [3], [4] เป็นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์แบบรถ 4 ล้อเพื่อการสร้างแผนที่ภายในอาคารโดยในงานที่ [3] ได้ใช้กล้องร่วมกับการสร้างแผนที่ภายในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์พร้อมการระบุตำแหน่ง ในขณะที่ [4] ออกแบบหุ่นยนต์ สร้างแผนที่ 3 มิติที่ใช้กล้องความละเอียดสูงร่วมกับ 3D Lidar แบบ 32 บีมจำนวน 2 ตัว ซึ่งในการออกแบบของงานวิจัยดังกล่าวจำเป็นต้องใช้งบประมาณที่สูง จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สร้างแผนที่ ต้นทุนต่ำโดยเลือกใช้ตัวตรวจรู้แบบอินฟราเรด [5] ร่วมกับการควบคุมการเคลื่อนที่แบบไร้สายผ่านบลูทูธ (Bluetooth)

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบ สร้าง และทดสอบหุ่นยนต์รถ 4 ล้อ ขนาดเล็ก สำหรับการสร้างแผนที่ 2 มิติภายในอาคาร โดยประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้แบบอัลตราโซนิก ที่มีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพพร้อมทดสอบในสถานการณ์จำลองด้วยพื้นที่ 25 ตารางเมตร ควบคุมการเคลื่อนที่และส่งข้อมูลเพื่อสร้างแผนที่ผ่านการสื่อสารไร้สายบลูทูธ

2. การออกแบบ

ในการออกแบบรถ 4 ล้อขนาดเล็กสำหรับสร้างแผนที่ภายในอาคารแบบ 2 มิติด้วยเซนเซอร์ระยะทางแบบอัลตราโซนิกที่นำเสนอ แสดงแผนภาพโครงสร้างดังรูปที่ 1 ซึ่งได้ทำการแบ่งการออกแบบและการสร้างออกเป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ 1) ส่วนโครงสร้างของระบบควบคุมรถ 4 ล้อ และ 2) ส่วนโปรแกรมการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และ

The manuscript received June 18, 2021; revised September 17, 2021; accepted November 20, 2021; available online August 31, 2022.

*Corresponding author: วันเฉลิม ชันวัฒนพงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (E-mail: wanchalerm_c@rmutt.ac.th)

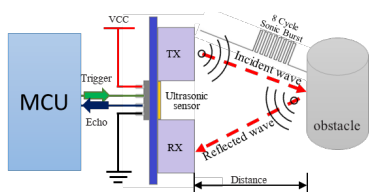
สร้างแผนที่ 2 มิติ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนหลักทำงานร่วมกันผ่านการสื่อสารไร้สายด้วยบลูทูธ

2.1 โครงสร้างหุ่นยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก

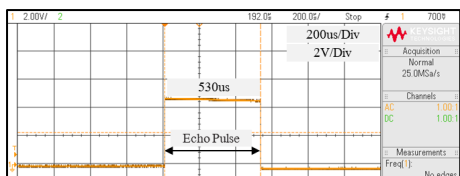
องค์ประกอบของหุ่นยนต์ 4 ล้อ แสดงดังรูปที่ 1 ด้านซ้ายมือประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลหลักไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 สำหรับการประมวลผลระยะทางของแผนที่จากอัลตราโซนิกและควบคุมเซอร์โวมอเตอร์สำหรับปรับองศาของอัลตราโซนิกที่ 120 องศา รวมถึงควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ พร้อมจอแสดงผลแบบแอลซีดี (LCD) ขนาด 16x2 โดยสามารถสื่อสารร่วมกับคอมพิวเตอร์ร่วมกับโปรแกรม Processing IDE ผ่านการเชื่อมต่อด้วยบลูทูธ จากแผนภาพการออกแบบสามารถประกอบเป็นหุ่นยนต์ 4 ล้อขนาดเล็กได้ดังรูปที่ 3 โดยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นโมดูลเบอร์ HC-SR04P นั้น มีพิสัยการวัดที่ระยะระหว่าง 2 cm. และสูงสุดที่ 5 m ประกอบไปด้วยส่วนส่งคลื่นและส่วนรับคลื่นพัลส์อัลตราโซนิก (Ultrasonic pulse) ดังรูปที่ 2 ด้วยพัลส์ความถี่ 40kHz จำนวน 8 พัลส์ มีขาต่อใช้งาน 4 ขา คือ ไฟเลี้ยง 3.3 – 5 V, กราวด์ (Ground), Trigger และ Echo โดยขา Trigger สำหรับการรับสัญญาณพัลส์ TTL (Transistor-Transistor Logic) ขนาด 10 us เพื่อส่งงานให้อัลตราโซนิกส่งคลื่นออก (Transmitted wave) เมื่อคลื่นไปกระทบกับวัตถุคลื่นจะสะท้อนกลับ (Reflected wave) มายังอัลตราโซนิก โดยทั่วไปแล้วคลื่นที่อัลตราโซนิกได้รับได้ (Received wave) จะมีแรงดันประมาณ 10-20 mV จากนั้นขา Echo จะส่งสัญญาณลอจิกสูง (High) TTL ออกด้วยคาบเวลาที่สัมพันธ์กับระยะทางที่วัดได้ และเป็นคำสั่งการที่ (1)

$$D = \frac{T_e \times V_s}{2} \quad (1)$$

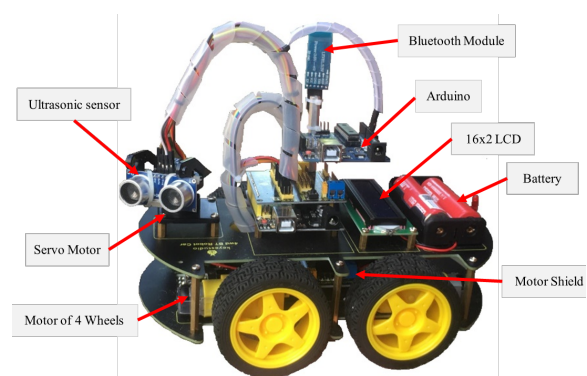
โดยที่ D คือระยะทางระหว่างอัลตราโซนิกและวัตถุ (Distance) T_e คือคาบเวลาของสัญญาณ Echo (Echo pulse time) และ V_s คือ ความเร็วเสียง (Sound Velocity) มีค่าคงที่ เท่ากับ 340 m/s โดยตัวอย่างการวัดสัญญาณพัลส์ Echo แสดงดังรูปที่ 3 จากรูปขนาดความกว้างของพัลส์ที่วัดได้คือ 530 us ที่แรงดัน 5 V จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหาระยะทางที่ทำการวัดได้ 9 cm.



รูปที่ 2 แผนภาพการทำงานของตัวตรวจจับระยะทางแบบอัลตราโซนิก



รูปที่ 3 สัญญาณพัลส์ Echo เมื่อระยะทางที่วัดได้มีค่า 9 เซนติเมตร



รูปที่ 4 ภาพถ่ายรถ 4 ล้อสำหรับสร้างแผนที่แบบ 2 มิติที่นำเสนอ

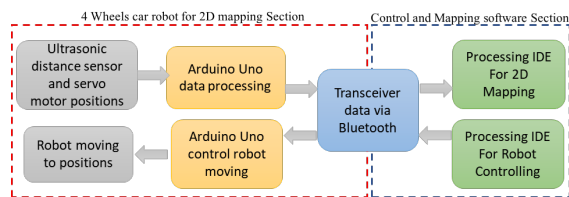
สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมเฟืองทด (Gear box) ด้วยอัตราทด 1:48 สำหรับขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ได้เลือกใช้มอเตอร์ขนาดเล็กแรงดันระหว่าง 3 – 6 V พิสัยกระแส 200 mA จำนวน 4 ตัว ร่วมกับวงจรขับเคลื่อนแบบ H-bridge ด้วยไอซีเบอร์ L293D ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ทั้งความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ได้ 4 ช่อง (Channel) ได้พร้อมกัน และรองรับกระแสแบบต่อเนื่องและสูงสุดชั่วขณะไม่เกินช่องละ 600 mA และ 1.2 A ตามลำดับ

โมดูลการสื่อสารไร้สายสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่และการส่งข้อมูลสร้างแผนที่ ได้ใช้โมดูลบลูทูธ HC-06 สื่อสารไร้สายด้วยความถี่ 2.4 GHz ใช้พลังงานต่ำ และเป็นโมดูลที่สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) ได้ สามารถสื่อสารด้วยอัตราข้อมูล (Data rate) ที่ 3 Mbps นอกจากนี้ยังสามารถติดต่อสื่อสารร่วมกับคอมพิวเตอร์หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือที่มีการเชื่อมต่อแบบบลูทูธได้ ในส่วนของแบตเตอรี่ได้เลือกใช้แบตเตอรี่ Lithium-ion (Li-Ion) แรงดัน 3.7 V 4800 mAh ต่อแบบอนุกรมจำนวน 2 ก้อน ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานร่วมกับหุ่นยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก โดยเมื่อหุ่นยนต์ทำงานเต็มระบบโดยมอเตอร์ทั้ง 4 หมุนด้วยความเร็วสูงสุด อัลตราโซนิกและวงจรส่วนอื่นๆ ทำงาน มีความต้องการปริมาณกระแสสูงสุดที่ 668 mA ดังนั้นแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาประมาณ 7 ชั่วโมง 10 นาที

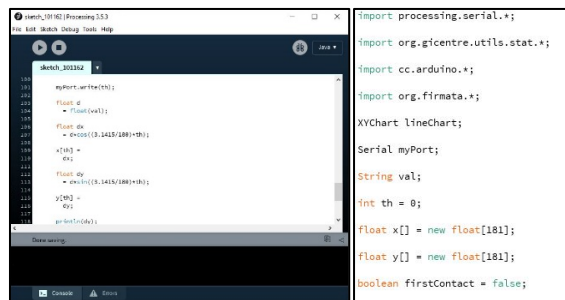
2.2 ระบบควบคุมหุ่นยนต์และประมวลผลสร้างแผนที่ 2 มิติ

ในรูปที่ 5 แสดงถึงแผนภาพการทำงานของหุ่นยนต์ 4 ล้อขนาดเล็กที่นำเสนอ โคนสามารถแบ่งออกตามการทำงานได้เป็น 2 กรณี คือ

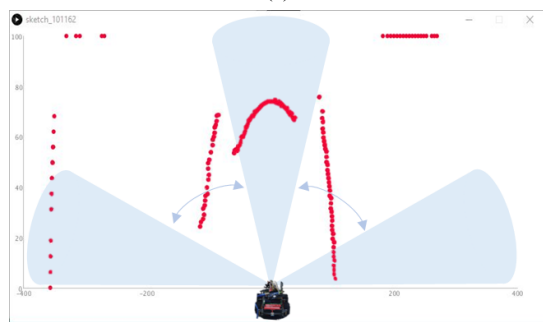
1) การส่งข้อมูลระยะทางจากอัลตราโซนิกและมุมมองการกวาดจากหุ่นยนต์ 4 ล้อ (Robot Section) ฟังก์ชันมือไปยังคอมพิวเตอร์ (Software Section) ฟังก์ชันมือ เพื่อกำหนดวิเคราะห์ค่าที่ได้พร้อมสร้างแผนที่แบบ 2 มิติ ร่วมกับโปรแกรม Processing IDE ซึ่งระยะทางที่ Arduino ทำการอ่านค่าและประมวลผลจากการตรวจวัดด้วยอัลตราโซนิกแทนด้วย D มีหน่วยเป็นเซนติเมตร แสดงดังสมการที่ (1) โดยในรูปที่ 6 (ก) แสดงหน้าต่างโปรแกรม Processing IDE และ (ข) แสดงผลการแสดงผลแผนที่จากข้อมูลที่ได้รับ



รูปที่ 5 แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์ 4 ล้อ



(ก)



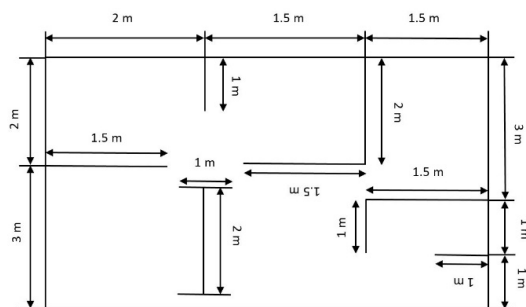
(ข)

รูปที่ 6 โปรแกรม Processing IDE และการแสดงผล (ก) หน้าค่างโปรแกรม (ข) แสดงผลแผนที่จากข้อมูลที่ได้รับ

2) การส่งข้อมูลควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จากคอมพิวเตอร์ (Software Section) ส่งขวามือไปยังหุ่นยนต์ 4 ล้อ (Robot Section) ส่งซ้ายมือ ในกรณีนี้ ผู้ใช้ต้องการกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จากนั้นส่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ ผ่านการสื่อสารไร้สายด้วยบลูทูธไปยังหุ่นยนต์ ส่งหุ่นยนต์ทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่งจากนั้นไปควบคุมมอเตอร์ที่ 4 ล้อ เพื่อควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ เมื่อเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ชุดคำสั่งก็จะทำการประมวลผลกลับไปยังกรณีที่ 1

2.3 แผนผังจำลองแผนที่และการทดสอบ

ในการทดลองการทำงานของหุ่นยนต์ 4 ล้อที่ออกแบบ เพื่อการสร้างแผนที่ภายในอาคารแบบ 2 มิติ ได้ทำการออกแบบแผนผังทดสอบขนาด 25 ตารางเมตร แสดงโครงสร้างและรูปถ่ายจริงดังรูปที่ 5 โดยประกอบไปด้วยส่วนขวางกั้นทั้งแบบยาว (2 m) และแบบสั้น (1 m) รวมถึงส่วนขวางกั้นรูปที่มีลักษณะเหมือนตัวอักษร ไอ (I) และส่วนช่องว่าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการสร้างแผนที่ภายในอาคารแบบ 2 มิติ ของหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่นำเสนอ



(ก)



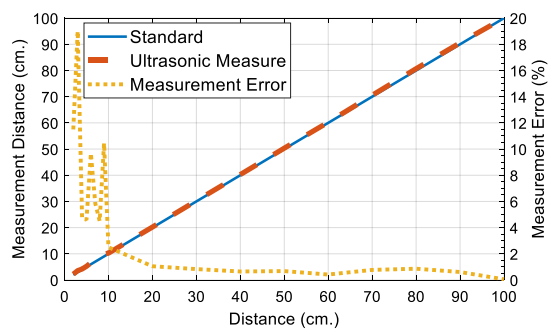
(ข)

รูปที่ 5 แผนผังการทดสอบการสร้างแผนที่ 2 มิติ (ก) ขนาดของแผนผัง (ข) รูปถ่ายแผนผังจริงที่ใช้ทดสอบ

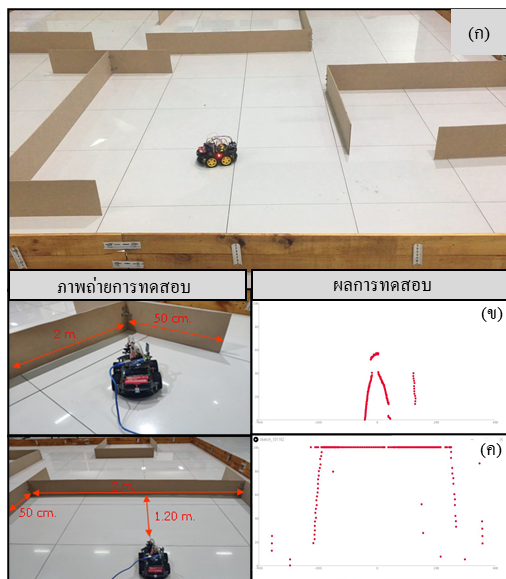
3. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบการสร้างแผนที่ 2 มิติด้วยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้ระยะทางอัลตราโซนิก ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการวัดระยะทางของอัลตราโซนิก ที่ใช้งาน โดยทำการทดสอบที่ระยะทางตั้งแต่ 3 m ถึง 1 m โดยทำการทดสอบ 10 ครั้งในแต่ละระยะทาง ผลการทดสอบแสดงดังกราฟในรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างอัลตราโซนิกถึงวัตถุมีระยะทางน้อยกว่า 10 cm. ความผิดพลาดจากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่าร้อยละ 5 ในขณะที่ระยะทางที่มากกว่า 10 cm ความผิดพลาดจากการวัดจะลดลงโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.6

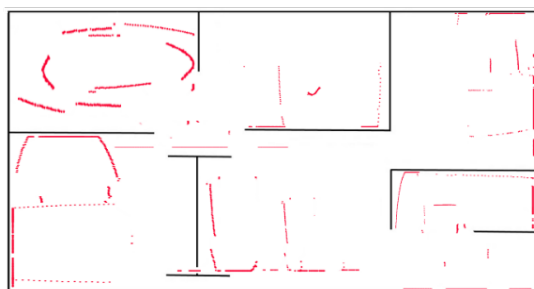
จากรูปที่ 9 แสดงตัวอย่างการทดสอบและผลการทดสอบการสร้างแผนที่ 2 มิติในอาคารด้วยแผนผังที่ทำการออกแบบ ด้วยสถานการณ์พื้นที่แตกต่างกัน จากการทดสอบปรากฏว่าแผนที่ 2 มิติที่สร้างได้นั้น มีความใกล้เคียงกับพื้นที่จริงที่ออกแบบ โดยในการนี้ผู้ใช้งานจึงต้องทำการวิเคราะห์ถึงสถานที่จริงจากแผนที่ที่สร้างจากโปรแกรม Processing IDE ในกรณีที่ไม่มีทราบพื้นที่มาก่อน เนื่องจากในงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบของสิ่งกีดขวางภายในอาคารที่ตรวจจับได้ โดยในรูปที่ 10 แสดงถึงแผนที่ 2 มิติขนาด 25 ตารางเมตร ที่สร้างด้วยหุ่นยนต์ที่นำเสนอร่วมกับ Processing IDE โดยทำการทดสอบทั้งสิ้น 2 ครั้ง ผลปรากฏว่าทั้ง 2 ครั้ง ให้ผลการสร้างแผนที่ 2 มิติที่มีความแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากผลกระทบจากระยะทางระหว่างหุ่นยนต์ถึงสิ่งกีดขวางหรือกำแพง ที่แตกต่างกัน จึงเกิดความผิดพลาดจากการทดสอบที่แตกต่างกัน แต่ถึงอย่างไรก็ตามควรพิจารณาในเรื่อง การพัฒนาระบบประมวลผล และการเลือกใช้อัลตราโซนิกคุณภาพสูง เพื่อให้การสร้างแผนที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น



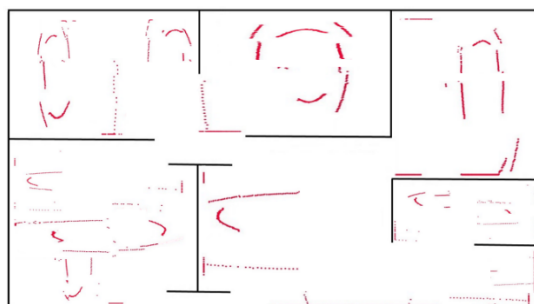
รูปที่ 8 ผลการทดสอบการวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก



รูปที่ 9 การทดสอบและผลการทดสอบการสร้างแผนที่ 2 มิติ ในสถานการณ์ต่างๆ (ก) ภาพถ่ายการทดสอบ (ข) พื้นที่ด้านหน้าทำมุม 90 องศา (ค) พื้นที่รูปตัวโอ



(ก)



(ข)

รูปที่ 10 ผลการทดลองการสร้างแผนที่ 2 มิติ (ก) ครั้งที่ 1 (ข) ครั้งที่ 2

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก สำหรับการสร้างแผนที่ 2 มิติ ร่วมกับโปรแกรม Processing IDE โดยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้ระยะทางแบบอัลตราโซนิก โดยในการออกแบบมุ่งเน้นไปที่ ต้นทุนต่ำ ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้ยังไม่สามารถทำการสร้างแผนที่ในรูปแบบ 2 มิติ ได้เทียบเท่ากับระบบที่ใช้งานกล้องความละเอียดสูงและ 3D Lidar ที่มีความแม่นยำสูงและมีต้นทุนที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามระบบที่นำเสนอมีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับการตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง และยังสามารถประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์บริการและหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่ใช้การนำทางโดยแผนที่ 2 มิติ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้ตัวตรวจรู้ระยะทางแบบอัลตราโซนิกร่วมกับการประมวลผลขั้นสูงเพื่อสร้างแผนที่ขนาด 2 มิติ หรือ 3 มิติ ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Z. Ben-asher and E. D. Rimón, "Time Optimal Trajectories for a Car-Like Mobile Robot," pp. 1–12, 2021.
- [2] S. Gowtham, R. Praveen, P. S. Charan, M. Parthiban, and N. Seenu, "Simulation of Autonomous Multifunctional Mobile Robot using Machine Vision," pp. 135–140, 2021.
- [3] E. S. Lee, G. Loianno, D. Thakur, and V. Kumar, "Experimental evaluation and characterization of radioactive source effects on robot visual localization and mapping," IEEE Robot. Autom. Lett., vol. 5, no. 2, pp. 3259–3266, 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2975723.
- [4] H. Chen et al., "Advanced mapping robot and high-resolution dataset," Rob. Auton. Syst., vol. 131, p. 103559, 2020, doi: 10.1016/j.robot.2020.103559.
- [5] H. D. Eom and J. W. Jeon, "Environment map building using low-cost IR sensors and a servo motor for mobile robot," Proc. Int. Symp. Consum. Electron. ISCE, pp. 3–4, 2014, doi: 10.1109/ISCE.2014.6884335.