

## ศึกษาการเคลื่อนที่ Mobile Robot ตาม GPS Study of Mobile Robot based on GPS

จุฑารัตน์ พิษยาธิโรจน์<sup>1</sup> รุ่งทิพย์ จันทร์เงิน<sup>1</sup> และ สุรชาติ เหล็กงาม<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา surachat@eng.buu.ac.th\*

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มุ่งเน้นการนำเสนอการศึกษาการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยระบบ GPS ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการเคลื่อนที่ให้เหลือน้อยที่สุด โดยเน้นการบูรณาการโมดูล GPS, เซ็นเซอร์ MPU9250 วัดการเคลื่อนไหวแบบ 9 แกน และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อช่วยในการปรับทิศทาง และควบคุมให้รถเคลื่อนที่หรือเลี้ยวไปในทางที่เหมาะสม ผลการทดสอบยืนยันว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ไปยังพิกัดปลายทางได้อย่างถูกต้องภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม อีกทั้งระบบควบคุมทิศทางช่วยให้หุ่นยนต์เลี้ยวเข้าหาเป้าหมายได้อย่างเสถียรจากการกรองสัญญาณ โดยอาจจะมีคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในระดับที่ยอมรับได้และอัปเดตตำแหน่งทุก 0.2 วินาที ข้อมูลการนำทางแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่าน Web interface ทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบพิกัด ระยะทาง และทิศทางของหุ่นยนต์ได้ โครงการนี้สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาไปเป็นระบบนำทางอัตโนมัติในการขนส่งหรือการเกษตรได้

**คำสำคัญ:** จีพีเอส การนำทางอัตโนมัติ

### Abstract

This project focuses on presenting a study of autonomous mobile robot navigation using GPS systems, aiming to minimize movement errors. It integrates a GPS module, a 9-axis MPU9250 motion sensor, and an ESP32 microcontroller to assist in orientation and control the vehicle's movement or turning in the appropriate direction. Test results confirm that the autonomous mobile robot can accurately reach its destination under suitable environmental conditions. Furthermore, the steering control system allows the robot to turn toward its target without significant oscillation, with acceptable margins of error. The system updates its position every 0.2 seconds. Navigation data is displayed in real time via a web interface, allowing users to monitor the robot's coordinates, distance, and direction. This project could be further developed into an automated navigation system for transportation or agriculture

**Keywords:** Manuscript Format, Manuscript Guidelines, Text Style

### 1. บทนำ

ระบบ GPS (Global Positioning System) ระบบที่ช่วยระบุตำแหน่งและนำทางโดยอาศัยสัญญาณดาวเทียมที่โคจรรอบโลกเป็นตัวส่งสัญญาณเพื่อบอกตำแหน่ง ความเร็ว และเวลาของผู้ใช้งาน องค์ประกอบของระบบ GPS ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนอวกาศ ส่วนสถานีควบคุม และส่วนผู้ใช้ โดยหน้าที่สำคัญของ GPS คือจะรับข้อมูลจากสัญญาณดาวเทียมส่งข้อมูลไปยังพื้นโลก ใช้ในการคำนวณระหว่างดาวเทียม และบอกตำแหน่งดาวเทียมบนท้องฟ้า เพื่อใช้คำนวณหาตำแหน่งพิกัดของตัวเครื่อง GPS เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก จะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ [3]

โครงการศึกษาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ตามระบบพิกัด GPS เป็นการพัฒนาระบบที่สามารถกำหนดตำแหน่งและเคลื่อนที่ได้ถูกต้อง เนื่องจากในปัจจุบัน GPS module ราคาถูกยังมีความคลาดเคลื่อนสูงและข้อมูลทิศทางจากวงจรเข็มทิศยังขาดความเสถียร โครงการนี้จึงได้ปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเพื่อลดในการคลาดเคลื่อนในการนำทางและพัฒนา Web interface โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายประเภทรวมทั้งการทำงานของระบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อให้ทำการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลต่างๆมาปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น

### 2. ที่มาของปัญหาและพื้นฐานความรู้

#### 2.1 ที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้งาน GPS มาใช้ในการนำทางอย่างแพร่หลาย จึงทำให้เราสามารถกำหนดเส้นทางและเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่หมายได้ ไปจนถึงการติดตามตำแหน่งแบบเรียลไทม์ การใช้งานอย่างแพร่หลายนี้ทำให้เกิดการนำ GPS มาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ทันสมัย เพื่อใช้งานในด้านต่างๆได้อย่างหลากหลาย เช่น ระบบขนส่งอัตโนมัติ การสำรวจสิ่งแวดล้อม ใช้ในการวิจัยและการศึกษาในด้านภูมิศาสตร์ และตัวอย่างในด้านการพัฒนาระบบอัตโนมัติโดยติดตั้ง GPS ในรถยนต์ จึงเกิดเป็นรถยนต์ไร้คนขับ การนำ GPS มาใช้ในโครงการนี้จึงมีความสำคัญในด้านของการศึกษาและสามารถพัฒนาเทคโนโลยีอัตโนมัติที่สามารถประยุกต์ใช้กับการเกษตรอัตโนมัติและการขนส่ง

## 2.2 ระบบตำแหน่งพิกัดบนโลก

ระบบ Global Positioning System (GPS) ใช้ดาวเทียมในการระบุตำแหน่งบนพื้นโลกและเวลาขณะส่งสัญญาณ เป็นระบบดาวเทียม 24 ดวง ที่โคจรรอบโลก มี 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ ส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้งาน โดย 3 ส่วนนี้จะเป็นหลักการทำงานระบบ GPS ทำให้คนบนพื้นโลกที่มีเครื่องรับสัญญาณสามารถทราบพิกัดตำแหน่งพิกัดตัวเองได้



รูปที่ 1 บอร์ด Neo-M8N GPS Module

## 2.3 ความแม่นยำของ GPS

ความแม่นยำของ GPS ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมถึงรูปทรงของดาวเทียม การถูกบดบังสัญญาณ สภาพบรรยากาศ และการออกแบบ/คุณภาพของเครื่องรับ สมาร์ทโฟนที่เปิดใช้งาน GPS มักมีความแม่นยำภายในรัศมี 4.9 เมตร (16 ฟุต) ภายใต้ท้องฟ้าเปิด แต่ความแม่นยำจะลดลงใกล้กับอาคาร สะพาน และต้นไม้ ผู้ใช้ระดับสูงสามารถระบุตำแหน่งได้แบบเรียลไทม์ภายในไม่กี่เซนติเมตร และวัดค่าระยะยาวในระดับมิลลิเมตรได้ด้วยเครื่องรับแบบสองความถี่หรือระบบเสริมประสิทธิภาพ [2]

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความแม่นยำของ GPS ลดลง ได้แก่ ผลกระทบจากการถูกบดบังสัญญาณดาวเทียม เช่น อาคาร สะพาน สัญญาณรบกวน และความละเอียดของเครื่องรับ

$$\text{bearing} = \tan^{-1}\left(\frac{\sin(\Delta\text{lon}) \times \cos(\text{lat}_2)}{\cos(\text{lat}_1) \times \sin(\text{lat}_2) - \sin(\text{lat}_1) \times \cos(\text{lat}_2) \times \cos(\Delta\text{lon})}\right) \quad (1)$$

สมการที่ (1) ใช้เพื่อหามุมที่พิกัดเป้าหมายอยู่จากตำแหน่งปัจจุบัน

เมื่อ *bearing* คือ มุมระหว่างตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

*lat<sub>1</sub>* คือ ละติจูดของจุดเริ่มต้น

*lat<sub>2</sub>* คือ ละติจูดของเป้าหมาย

*lon<sub>1</sub>* คือ ลองจิจูดของจุดเริ่มต้น

*lon<sub>2</sub>* คือ ลองจิจูดของเป้าหมาย

*Δlon* คือ ส่วนต่างละติจูดระหว่างจุดหมายกับจุดปัจจุบัน

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\text{lat}}{2}\right) + \cos(\text{lat}_1) \times \cos(\text{lat}_2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta\text{lon}}{2}\right)$$

$$c = 2 \times \tan^{-1}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$\text{distance} = 6371000 \times c \quad (2)$$

สมการที่ (2) ใช้เพื่อหาความห่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันเป้าหมายบนพื้นโลก

เมื่อ *lat<sub>1</sub>* คือ ละติจูดของจุดเริ่มต้น

*lat<sub>2</sub>* คือ ละติจูดของเป้าหมาย

*lon<sub>1</sub>* คือ ลองจิจูดของจุดเริ่มต้น

*lon<sub>2</sub>* คือ ลองจิจูดของเป้าหมาย

*Δlon* คือ ส่วนต่างละติจูดระหว่างจุดหมายกับจุดปัจจุบัน

*Δlat* คือ ส่วนต่างลองจิจูดระหว่างจุดหมายกับจุดปัจจุบัน

*a* คือ ค่ากลางที่ใช้ในสูตรเพื่อคำนวณทิศทาง

*c* คือ มุมระหว่างสองจุดบนผิวโลก

6371000 คือ รัศมีเฉลี่ยของโลก (เมตร)

*distance* คือ ระยะทางระหว่าง 2 จุด (เมตร)

$$\text{latavg} = \frac{\text{lat}_1 + \text{lat}_2 + \text{lat}_3 + \text{lat}_4}{4} \quad (3)$$

$$\text{lonavg} = \frac{\text{lon}_1 + \text{lon}_2 + \text{lon}_3 + \text{lon}_4}{4} \quad (4)$$

สมการที่ (3) (4) ไปเปรียบเทียบกับค่าจาก Google Map

เมื่อ *lat<sub>1</sub>, lat<sub>2</sub>, lat<sub>3</sub>, lat<sub>4</sub>* คือ ค่าละติจูดของแต่ละจุดที่ไปเก็บมา (4 จุด)

*lon<sub>1</sub>, lon<sub>2</sub>, lon<sub>3</sub>, lon<sub>4</sub>* คือ ค่าลองจิจูดของแต่ละจุดที่ไปเก็บมา (4 จุด)

*latavg* คือ ค่าเฉลี่ยของละติจูดทั้ง 4 จุด

*lonavg* คือ ค่าเฉลี่ยของลองจิจูดทั้ง 4 จุด

$$\text{latoffset} = \text{latGoogle} - \text{latavg} \quad (5)$$

$$\text{lonoffset} = \text{lonGoogle} - \text{lonavg} \quad (6)$$

สมการที่ (5) (6) ไปชดเชยกับค่า GPS

เมื่อ *latoffset* คือ ค่าความต่างละติจูดระหว่าง GPS ที่วัดมากับค่ามาตรฐาน

*lonoffset* คือ ค่าความต่างลองจิจูดระหว่าง GPS ที่วัดมากับค่ามาตรฐาน

*latavg, lonavg* คือ ค่าละติจูดและลองจิจูดเฉลี่ยจากการวัดด้วย GPS

*latGoogle, lonGoogle* คือ พิกัดจริงจาก Google Map

$$\text{latcorrected} = \text{latGPS} + \text{latoffset} \quad (7)$$

$$\text{loncorrected} = \text{lonGPS} + \text{lonoffset} \quad (8)$$

สมการที่ (7) (8) ใช้เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อน GPS

เมื่อ *latcorrected, loncorrected* คือ ค่าพิกัดที่ถูกแก้ไขแล้ว

*latoffset, lonoffset* คือ ค่าชดเชยที่คำนวณไว้

*latGPS, lonGPS* คือ ค่าพิกัดที่อ่านได้จากโมดูล

GPS ในปัจจุบัน

## 2.4 ฮาร์ดแวร์



รูปที่ 2 บอร์ด ESP32

ในการศึกษาการควบคุม Mobile Robot บอร์ดควบคุม ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีคุณสมบัติในด้านการประมวลผลข้อมูลจากอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทำงานร่วมกับ GPS ได้ มีการสื่อสารไร้สาย Wi-Fi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว มีแรม 512KB มี GPIO จำนวน 32 ช่อง ใช้แรงดันไฟฟ้า 2.6V-3V สามารถเขียนโปรแกรมพัฒนาสำหรับควบคุมร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรเข็มทิศ เป็นต้น



รูปที่ 3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N

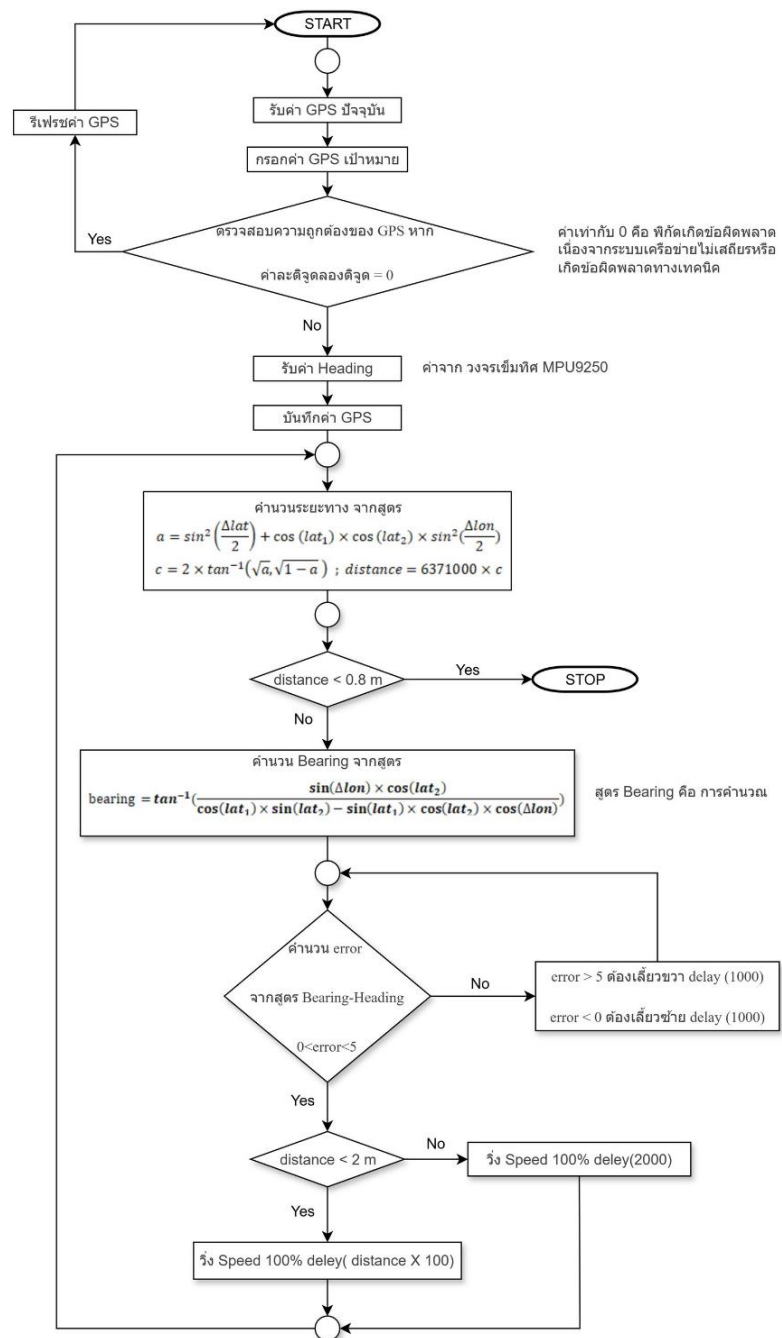
การควบคุมมอเตอร์จะทำงานร่วมกับวงจรไดรเวอร์ L298N จำนวน 2 ตัว เพื่อให้สามารถควบคุมทิศทาง การหมุนและความเร็วผ่านตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ระบบควบคุมล้ออิสระ 4 ล้อ ทำให้สามารถควบคุมทิศทางของแต่ละล้ออิสระ การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยส่งสัญญาณ PWM ไปยังขาของวงจรไดรเวอร์ L298N จึงสามารถควบคุมความเร็วของล้อแต่ละข้างได้อย่างแยกและอิสระ



รูปที่ 4 วงจรเข็มทิศ MPU9250

เซนเซอร์ MPU9250 เป็นเซนเซอร์สามแกนหลัก เพื่อหาค่ามุม Heading ซึ่งเป็นสามารถบอกได้ว่าควรหันไปทางทิศไหนเมื่อเทียบกับทิศเหนือจริง ค่าทิศทางที่อ่านได้จากเซนเซอร์จะนำมาเปรียบเทียบกับมุม Bearing ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณจากพิกัด GPS ของพิกัดปัจจุบันและพิกัดเป้าหมาย เพื่อให้ระบบได้ทราบว่าจะต้องหมุนไปทางซ้ายหรือทางขวา จึงจะสามารถเดินทางได้ แต่ค่าที่ได้จากเซนเซอร์ MPU9250 มีความกว้าง ดังนั้นจึงเพิ่มการกรองข้อมูลเพื่อให้ค่าทิศทางมีความนิ่งและเหมาะสมกับการควบคุมรถ

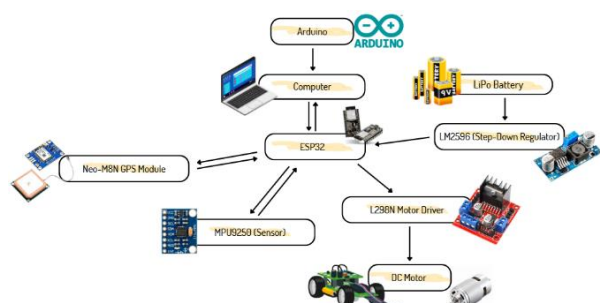
## 3.ภาพรวมของระบบโดยรวม



รูปที่ 5 แผนภาพความเชื่อมโยงรวมของระบบ

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติแบบ 4 ล้อขนาดเล็กนี้สามารถเคลื่อนที่ตามระบบพิกัด GPS เป็นการพัฒนาระบบที่สามารถกำหนดตำแหน่งและเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง โดยใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานตามรูปที่ 5 การทำงานของระบบจะวนลูปอย่างต่อเนื่อง โดยใช้การเปรียบเทียบค่า

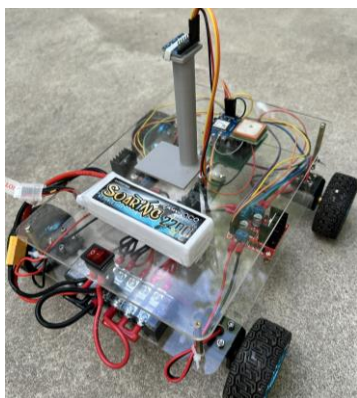
ทิศทางการบูรณาการ เพื่อปรับทิศทางของรถ โดยใช้ระยะทางเป็นตัวในการหยุดและการเคลื่อนที่



รูปที่ 6 แผนภาพอธิบายโครงงาน

จากแผนภาพในรูปที่ 6 นี้ จะเห็นได้ว่าตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ฮาร์ดแวร์บอร์ด ESP32 เป็นตัวควบคุมหลักในการทำงานทั้งหมดโดยจะเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ โดยรับค่า GPS มาจาก Neo-M8N GPS Module และรับค่าการเคลื่อนที่จาก MPU9250 นำมาประมวลผลและควบคุมการทำงานของมอเตอร์ผ่าน L298N Motor Driver เพื่อสั่งให้ DC Motor ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนรถให้ทำหน้าที่เลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาหรือเดินหน้าหรือถอยหลัง โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อเป็นพลังงานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ

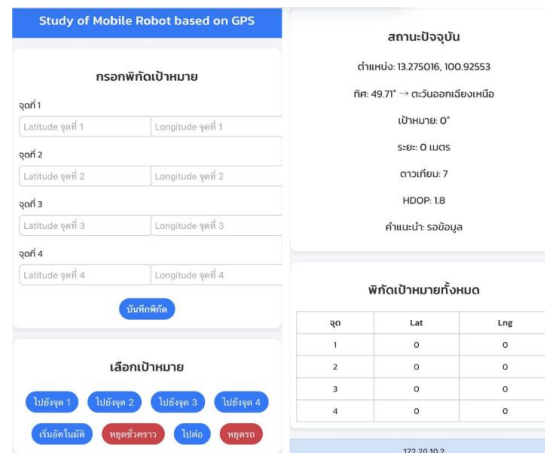
#### 4.ระเบียบการวิจัย



รูปที่ 7 รถที่ใช้ในการทำการทดลอง

จากการทดสอบการเชื่อมต่อ Wi-Fi และเปิดหน้าเว็บแสดงผลแบบ Real-time ทำระบบเชื่อมต่อ Wi-Fi หรือ Hotspot เมื่อเชื่อมต่อสำเร็จ ผู้ใช้งานเข้าสู่ Web Server เพื่อให้ผู้ใช้งานบันทึก 4 จุด เลือกจุดหมายที่จะให้เคลื่อนที่เข้าหา มีปุ่มควบคุม การหยุดชั่วคราว และไปต่อ หน้าเว็บแสดงข้อมูลเรียลไทม์ให้รู้ตำแหน่ง

หลังจากที่ทำการเชื่อมต่อเสร็จแล้วจะแสดงค่า IP ผู้ใช้สามารถเข้าถึงหน้า Web Server ได้ผ่านทางมือถือหรือคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อเครือข่ายเดียวกัน โดยหน้าเว็บที่เราจะทำจะแสดงข้อมูลดังนี้



รูปที่ 8 หน้า Web Server

เมื่อได้หน้า Web Server จะสามารถกรอกพิกัดเป้าหมายที่ต้องการ 1-4 จุด และทำการบันทึกพิกัด เลือกจุดหมายที่ต้องการเพื่อเคลื่อนที่ไปยังจุดนั้น และทำการสั่งให้หยุดได้แล้วเคลื่อนที่ต่อไปได้ โดยมีการแสดงข้อมูลเรียลไทม์ เช่น ตำแหน่งพิกัดปัจจุบัน ทิศทางที่อยู่ ระยะทางที่ห่างจากจุดเป้าหมาย และ แสดงคำแนะนำว่ารถต้องเคลื่อนที่ไปยังไหน เช่น เดินหน้า, หยุด, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา และหน้าเว็บอัปเดตทุก 2 วินาที จะมีปุ่มหยุดชั่วคราวแล้วไปต่อ รถจะหยุดภายใน 3 วินาที และกลับมาเคลื่อนที่หลังจากผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชันไปต่อเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ต่อไป

การทดลองไปเก็บค่า GPS โดยใช้ข้อมูลจาก Neo-M8N GPS Module และเก็บค่า GPS มา 4 จุด นำข้อมูลดิบมากรองข้อมูลโดยใช้ค่าที่ซ้ำกันที่สุดมาใช้เป็นตำแหน่งละติจูดลองจิจูดของแต่ละจุด จากนั้นนำค่าพิกัดจากสมาร์ตโฟนมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ พบว่าค่า GPS ที่ได้จาก Neo-M8N GPS Module มีความคลาดเคลื่อนกับค่า GPS ที่ค้นหาในโทรศัพท์มือถืออยู่เล็กน้อย จึงต้องมีการกรองข้อมูลที่ได้จากค่า GPS [4] การทดลองเชื่อมต่อของโมดูล GPS Neo-M8N สามารถที่จะล็อกสัญญาณดาวเทียมและแสดงพิกัดได้ในเวลา 10-15 วินาที ความแม่นยำของ GPS ในสภาพแวดล้อม เช่น พื้นที่เปิดจำนวนดาวเทียมที่เชื่อมต่อได้มากกว่า 6 ดวง พิกัดที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่  $\pm 2$  เมตร หรือในส่วนของพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางรบกวนสัญญาณ เช่น พื้นที่ใต้ต้นไม้ ในอาคารใกล้อาคาร จะทำให้เชื่อมต่อดาวเทียมไม่ได้

ตารางที่ 1 รับค่า GPS ที่มีการตรวจจับดาวเทียม โดยผ่านการกรองข้อมูล

| ตำแหน่ง  | ละติจูด   | ลองจิจูด   |
|----------|-----------|------------|
| จุดที่ A | 13.275090 | 100.925209 |
| จุดที่ B | 13.275126 | 100.925125 |
| จุดที่ C | 13.275246 | 100.925087 |
| จุดที่ D | 13.275303 | 100.925171 |



เมื่อทำการทดสอบในพื้นที่ที่มีอาคารหรือต้นไม้บัง ทำให้สัญญาณมันขาดหายไปและไม่เชื่อมต่อกับโมดูล ทำให้ค่าพิกัดไม่อัปเดตหรือไม่แสดงค่าพิกัด การสูญเสียสัญญาณ GPS ส่งผลให้ระบบไม่สามารถอัปเดตพิกัดได้ ส่งผลต่อความต่อเนื่องของการนำทางลง

เพื่อทดสอบระบบการเดินทางของรถได้มีการกำหนดเส้นทางที่รถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางกำกับดังภาพ ซึ่งมีจุดมุม 4 จุด ได้แก่จุด A B C และ D โดยขอบเขตภายในเส้นสีแดง (ด้านใน) ใช้สำหรับการทดสอบโดยอ่านตำแหน่งจากโมดูล GPS ทุก 0.2 วินาที ส่วนสีเหลือง (ด้านนอก) จะอ่านตำแหน่งทุก 0.4 วินาที เพื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการอ่านค่าขอบเขตของการเดินรถในเส้นสีแดง มีความแม่นยำโดยเฉลี่ยประมาณ

$\pm 1.0$  เมตร



รูปที่ 9 เส้นทางเดินรถของรถ

ขอบเขตของเส้นสีแดงและสีเหลืองในรูปที่ 9 ได้จากการทดลองซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ  $\pm 1.2$  เมตร และ  $\pm 1.8$  เมตร ตามลำดับ โดยความเร็วเฉลี่ยของรถในระหว่างการทดลองอยู่ที่ประมาณ 1 m/s

การทดลองการอ่านทิศทางของวงจรเข็มทิศ MPU9250 [1] และนำมาเปรียบเทียบกับเข็มทิศในโทรศัพท์มือถือ พบว่าความคลาดเคลื่อน จึงมีการปรับปรุงข้อมูลเพื่อชดเชยมุม และ EMA Filter เพื่อลดการแกว่งของข้อมูล ทำให้ค่าทิศทางมีความใกล้เคียงกับเข็มทิศในโทรศัพท์มากขึ้น ใช้ค่า EMA Filter  $\alpha=0.1$  ช่วยให้ค่า Heading ที่คำนวณได้ลดการแกว่งได้ประมาณ  $\pm 2$  องศา เพื่อที่จะใกล้เคียงกับค่าเข็มทิศจริง แต่หากเพิ่ม  $\alpha=0.2$  จะทำให้ค่า Heading จะตอบสนองไวขึ้นแต่มี noise ขณะที่รถหยุดนิ่ง แต่ได้ทำการชดเชยมุมคลาดเคลื่อนด้วยการหาค่าเฉลี่ยและใช้ค่า EMA หลังจากจากใช้ค่าชดเชยมุม สมการ EMA Filter แสดงให้เห็นดังนี้

$$\text{filteredHeading} = \alpha \times \text{newHeading} + (1 - \alpha) \times \text{previousHeading} \quad (9)$$

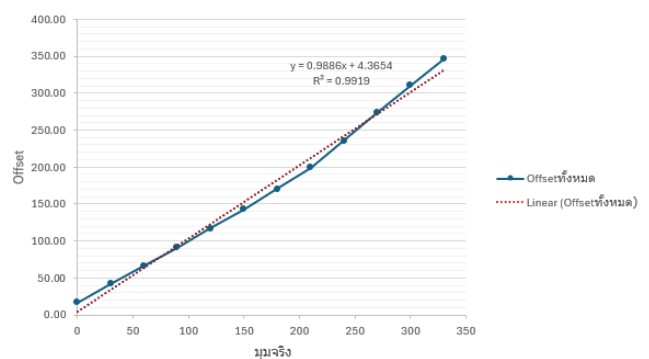
เมื่อ  $\text{filteredHeading}$  คือ ค่าทิศทางที่ผ่านการกรองแล้ว  
 $\alpha$  คือ ค่าคงที่น้ำหนัก กำหนดเป็น 0.1  
 $\text{newHeading}$  คือ ค่าทิศทางใหม่ที่วัดได้จากเซนเซอร์  
 $\text{previousHeading}$  คือ ค่าทิศทางก่อนหน้า

การทดสอบการควบคุมล้อด้วย L298N ควบคุมมอเตอร์ 4 ตัวผ่าน L298N จำนวน 2 ตัว แยกการควบคุมแบบล้อขวาและซ้าย ทดลองวิ่งบนพื้นเรียบ รถสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ตั้ง PWM ไว้ และรถสามารถเคลื่อนที่เข้าหาพิกัดเป้าหมายที่ตั้งไว้ ด้วยค่าคลาดเคลื่อน  $\pm 0.8$  เมตร แรงเสียดทานจากความแตกต่างของพื้นผิวถนนส่งผลให้รถมีการเบี่ยงจากทิศทางที่คำนวณได้เล็กน้อยเมื่อเคลื่อนที่ สามารถเพิ่มการชดเชยโดยการปรับค่า PWM เฉพาะของล้อที่มีปัญหา

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยมุมจากวงจรเข็มทิศ MPU9250

| มุมจริง (องศา) | ทิศที่หันรถ        | ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 1 (องศา) | ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 2 (องศา) | ค่าเฉลี่ย ครั้งที่ 3 (องศา) |
|----------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0              | เหนือ              | 17.62                       | 17.09                       | 14.82                       |
| 60             | ตะวันออกเฉียงเหนือ | 66.66                       | 67.01                       | 65.21                       |
| 120            | ตะวันออกเฉียงใต้   | 116.74                      | 118.18                      | 116.75                      |
| 180            | ใต้                | 171.13                      | 170.66                      | 168.75                      |
| 240            | ตะวันตกเฉียงใต้    | 236.15                      | 234.35                      | 235.29                      |
| 300            | ตะวันตกเฉียงเหนือ  | 312.61                      | 310.51                      | 307.93                      |

จากตารางที่ 2 แสดงค่ามุมที่ได้จากการวัดด้วยเซนเซอร์ MPU9650 เปรียบเทียบกับมุมจริงในแต่ละทิศ พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนกับมุมจริง โดยได้ทำการวัดแล้วเก็บค่าเฉลี่ยของแต่ละมุม วัดซ้ำ 3 ครั้ง ค่าที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนจากมุมจริงอยู่แต่ละมุม ซึ่งจำเป็นต้องมีการหาค่า Offset เพื่อนำไปใช้ชดเชยค่าการใช้งานจริง



รูปที่ 10 กราฟแสดงความเปรียบเทียบระหว่างมุมจริงและมุม offset

จากรูปที่ 10 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างมุมจริงและมุมที่วัดได้จากเซนเซอร์ โดยค่าที่วัดได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับมุมจริงมาก ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการวัดมุม แต่ยังมีบางมุมที่ยังพบความคลาดเคลื่อน ซึ่งทำการปรับด้วยการปรับเทียบ

จากรูปที่ 11 เมื่อทำการกรอกพิกัดปลายทางและกดปุ่มไปยังจุดเป้าหมายสำเร็จ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้โดยอัตโนมัติ ระบบจะคำนวณทิศทางและระยะทางแบบเรียลไทม์เพื่อปรับความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ให้อยู่ในเส้นทางที่ถูกต้อง

| เลข MPU9250 | ทิศทาง           | มุม เบ้าหมายที่จะไป | ระยะทาง ม. | ค่าและน้ำ |
|-------------|------------------|---------------------|------------|-----------|
| 222.01      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 159.21              | 14.43      | หมุนซ้าย  |
| 190.5       | ทิศใต้           | 156.34              | 13.62      | หมุนซ้าย  |
| 181.88      | ทิศใต้           | 154.86              | 12.65      | หมุนซ้าย  |
| 173.8       | ทิศใต้           | 153.77              | 11.76      | หมุนซ้าย  |
| 166.24      | ทิศใต้           | 152.48              | 10.34      | หมุนซ้าย  |
| 161.56      | ทิศใต้           | 151.61              | 9.33       | หมุนซ้าย  |
| 159.93      | ทิศใต้           | 151.08              | 8.62       | หมุนซ้าย  |
| 157.83      | ทิศใต้           | 150.87              | 7.89       | หมุนซ้าย  |
| 155.98      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.69              | 6.61       | หมุนซ้าย  |
| 154.05      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.72              | 5.79       | เดินหน้า  |
| 153.02      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.68              | 5          | เดินหน้า  |
| 154.32      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.47              | 4.37       | เดินหน้า  |
| 154.71      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.85              | 3.88       | เดินหน้า  |
| 153.09      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 150.63              | 2.72       | เดินหน้า  |
| 153.14      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 149.4               | 1.7        | เดินหน้า  |
| 149.64      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 144.58              | 1.18       | หมุนซ้าย  |
| 159.25      | ทิศใต้           | 137.79              | 1.1        | หมุนซ้าย  |
| 153.51      | ตะวันออกเฉียงใต้ | 176.82              | 0.65       | ถึงระฆัง  |

รูปที่ 11 ผลการทดลองที่แสดงรายละเอียดการเดินของรถไปยังจุดเป้าหมาย

ผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถหยุดได้ใกล้เคียงตำแหน่งเป้าหมาย โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 0.65 เมตร ขึ้นกับคุณภาพสัญญาณ GPS และสภาพแวดล้อมการทดสอบ นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ยังมีความต่อเนื่อง สามารถปรับแก้มุมเลี้ยวเคลื่อนที่หาเป้าหมาย แม้ค่า GPS จะผันผวนในบางช่วงที่เคลื่อนที่ ค่า HDOP ที่ต่ำกว่าระดับ 2 ทำให้ความแม่นยำของตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้การใช้การกรองสัญญาณและการชดเชยค่า Offset ช่วยเพิ่มเสถียรภาพและลดความคลาดเคลื่อน

## 5.สรุป

โครงการศึกษาการเคลื่อนที่ Mobile Robot ตาม GPS ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ ได้รวมเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน ได้แก่ ไมโคร GPS สำหรับรับค่าพิกัดตำแหน่ง, เซนเซอร์สนามแม่เหล็ก (Magnetometer) สำหรับวัดทิศทางการหันของรถ, อัลกอริทึมการคำนวณระยะทางและ, ระบบควบคุม PID สำหรับปรับการหมุนของล้อ, และระบบ Web Interface ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมข้อมูลได้แบบ Real-time ผ่าน Wi-Fi บนมือถือ เพื่อที่ในอนาคตจะสามารถปรับปรุงและต่อยอดทางด้านเทคโนโลยีใหม่ได้ จากการทดสอบในสนามจริง ระบบสามารถนำทางไปยังจุดหมายปลายทางได้ เมื่อมีการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของ GPS ทำให้รถมีการเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับจุดหมายจริง ระบบสามารถนำทางได้ภายใต้สภาพแวดล้อมกลางแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวางสัญญาณ GPS แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และมีการออกแบบรูปลูกบาศ์กที่มีการตรวจสอบ error ในการปรับทิศทางอัตโนมัติ ทำให้รถไปยังจุดหมายปลายทางได้โดยที่เราไม่ต้องควบคุมเอง

## 6.กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรชาติ เหล็กงาม สำหรับคำแนะนำและการสนับสนุนอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการวิจัยนี้ การชี้แนะแนวทาง การให้คำปรึกษา

ด้านวิชาการ และการแบ่งปันความรู้เชิงลึกของท่านทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนด้านทรัพยากรและสถานที่ในการทำงาน รวมถึงบุคลากรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุริย์พร จันทรแสง (2565) , “การประยุกต์ใช้ MPU9250 ในการวัดทิศทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [2] ศุภฤกษ์ นิลวงศ์ (2563), “การพัฒนาฉบับด้วย ESP32 เพื่อการนำทางตามพิกัด GPS แบบอัตโนมัติ” งานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] P.Zandbergen (2016). Accuracy of iPhone Locations: A Comparison with High-Precision GPS.
- [4] Y. Alaba, (2024). “GPS–IMU Sensor Fusion for Reliable Autonomous Vehicle Position Estimation” การผสมผสานข้อมูล GPS โดยใช้ Unscented Kalman Filter เพื่อปรับปรุงความแม่นยำ

## ประวัติผู้เขียนบทความ



นางสาวจุฑารัตน์ พิชยาธัญโรจน์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยบูรพา



นางสาวรุ่งทิพย์ จันทรเงิน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยบูรพา



สุรชาติ เหล็กงาม  
อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
งานวิจัยที่สนใจ ระบบอัตโนมัติ