การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45
The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45)
วันที่ 16-18 พฤศจิกายน 2565 ณ ภูสักธาร รีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

การระบุพิกัดตำแหน่งและแผนภูมิของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในอาคารด้วยบลูทูธพลังงานต่ำ

Localization and Mapping of the Indoor Mobile Robot by using Bluetooth Low Energy

วนายุทธ์ แสนเงิน, กุลธิดา ศรีเผือก, จิรศักดิ์ บุญจงรักษ์ และ รชา เพริศพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม wanayuth.sa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการระบุพิกัดตำแหน่งและแผนภูมิของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคารด้วยสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) โดยอุปกรณ์ MIST Access Point ใช้การระบุตำแหน่งรูปแบบ Probability Surfaces จากการตรวจจับค่า RSSI ที่รับส่งระหว่างอุปกรณ์ BLE และ MIST Access Point จำนวน 4 ตัว ร่วมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ขับเคลื่อนอิสระแบบสองล้อ การทดลองระบุตำแหน่งจาก BLE กำหนดพิกัดจำนวน 8 ตำแหน่งเป้าหมาย ให้กับหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ และหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วย LiDAR เซนเซอร์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ 90% และค่าความผิดพลาดตำแหน่งหุ่นยนต์ เฉลี่ยตามแนวแกน x เท่ากับ 0.058 เมตร และตามแนวแกน y เท่ากับ 0.032 เมตร

คำสำคัญ: บลูทูธพลังงานต่ำ, พิกัดตำแหน่งและแผนภูมิ, หุ่นยนต์เคลื่อนที่

Abstract

This article is presented the localization and mapping of an indoor mobile robot by using BLE (Bluetooth Low Energy). The four MIST Access Point components are used to perform the Probability Surface of the Localization and Mapping with the RSSI information between BLE and MIST. The differential drive of Mobile robot platform is used to operate the localization and mapping based on BLE. The experiment of localization and mapping, the eight target position from BLE to a mobile robot are applied to perform the robot motion with an obstacle avoidance function by LiDAR sensor. As the result, 90% of accuracy and position error average 0.058 m along x axis and 0.032 m along y axis.

Keywords: Bluetooth Low Energy, Localization and Mapping, Mobile Robot,

1. บทนำ

ปัจจุบันในระบบการขนย้าย ขนถ่ายสินค้าวัสดุแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติ ด้วยเอจีวี (AGV :Automated Guided Vehicle) ถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมแทนแรงงานมนุษย์ แต่ AGV มีข้อจำกัดในเรื่องข้อจำกัดในเรื่องเส้นทางการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลงเส้นทางอาจทำได้ยาก ซึ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ หรือเอเอ็มอาร์ (ARM : Autonomous Mobile Robot) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น งานบริการเสริฟอาหาร การเคลื่อนย้ายสินค้า ทั้งภายในอาคารและนอกอาคาร เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในเรื่องเส้นทางการเคลื่อนที่ ด้วยระบบระบุพิกัดตำแหน่งและแผนภูมิ การประมวลผลเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังตำแหน่งปลายทาง ทั้งยังสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ ทั้งนี้ระบบระบุพิกัดตำแหน่งภายในอาคาร มีการนำระบบเครือข่ายระบุพิกัดตำแหน่งด้วยสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) โดยระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ BLE ในอาคารสำนักงาน [1] รวมถึงระบุตำแหน่งบุคคลในสถานที่พักอาศัย [2] และการระบุพิกัดตำแหน่งและสร้างแผนภูมิ [3] ร่วมกับอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ ซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งนั้น สามารถนำมากำหนดพิกัดให้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายทาง โดยหากมีการเปลี่ยนตำแหน่งหรือกำหนดพิกัดปลายทางใหม่ ในส่วนของพิกัดหุ่นยนต์จะมีการปรับเปลี่ยนพร้อมกับพิกัดใหม่และแผนภูมิ สำหรับการเคลื่อนที่หุ่นยนต์

โดยภายในอาคารส่วนใหญ่มีการใช้งานระบบเครือข่ายไร้สาย ซึ่งอุปกรณ์กระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สาย MIST Access Point จาก Juniper Inc., [4] ได้ผลิตอุปกรณ์กระจายสัญญาณเครือข่ายไร้สายที่ภายในติดตั้งฮาร์ดแวร์ที่เรียกว่า มาตรฐานบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy: BLE) และมาตรฐานไวไฟ (Wi-Fi) มีคุณสมบัติในการสื่อสารได้ ในระยะที่ไกล สามารถระบุตำแหน่งสิ่งของจากสัญญาณบลูทูธที่อยู่ภายในรัศมีของเครือข่ายได้อย่างแม่นยำและใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดเวลา โดยนำพิกัดตำแหน่งมาคำนวณในรูปแบบของพิกัดหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนไปยังตำแหน่งเป้าหมายปลายทางผ่านสัญญาณบูลทูธพลังงานต่ำในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบระบุพิกัดตำแหน่งหุ่นยนต์ภายในอาคารด้วยอุปกรณ์กระจายสัญญาณบลูทูธ โดยส่งพิกัดให้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายแบบอัตโนมัติ

2. การระบุพิกัดตำแหน่งและแผนภูมิของหุ่นยนต์

2.1 เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ [4]

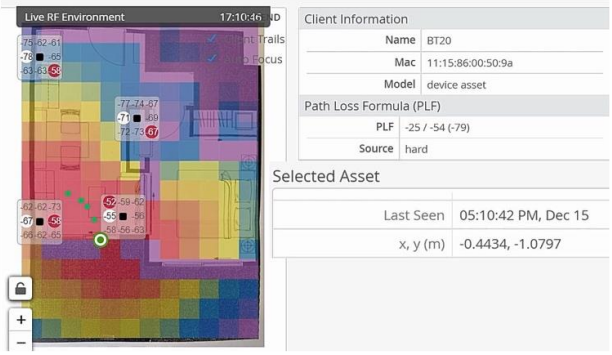
การระบุตำแหน่งด้วยสัญญาณ Bluetooth เป็นการคำนวณตำแหน่งด้วยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength Indication: RSSI) กับระยะทางของตัวรับกับตัวส่งสัญญาณ Bluetooth นำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่ง โดยการทำงานของระบบนี้จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วน ในส่วนแรกเป็นตัวปล่อยสัญญาณ Virtual Bluetooth Low Energy จากอุปกรณ์ Access Point ที่มีคุณสมบัติพิเศษ โดยมีการติดตั้งเสาส่ง

สัญญาณ Bluetooth 5.0 จำนวน 16 เสาติดตั้งอยู่รอบทิศทางของ Access Point ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับระบบเครือข่ายแบบไร้สาย Wireless Lan ได้อย่างไร้รอยต่อ และส่วนที่สองเป็นอุปกรณ์ Bluetooth 5.0 ที่ใช้สำหรับติดอยู่กับเป้าหมายในการระบุตำแหน่งจะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Goal Device เพื่อใช้ในการโดยการรับสัญญาณ Bluetooth และคำนวณตำแหน่งของตนเองภายในพื้นที่

Mist Access Point (Mist-AP) ใช้การระบุตำแหน่งจาก Probability Surfaces แทนการใช้แบบสามเหลี่ยม(Triangulation) โดยภายในตัว Mist-AP จะมี Directional Antennae Bluetooth จำนวน 16 เสา เก็บข้อมูลแบบ Array โดยเสา 8 เสาแบบ AP Directional ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ BLE และอีก 8 เสา ใช้กำหนดทิศทางโดยส่งสัญญาณแบบ Beam โดยตำแหน่งเสา ภายในตัว Mist-AP แสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตำแหน่งและทิศทางของเสาอากาศ Mist Antenna Bluetooth

เสาที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแบบ Beam แต่ละตัวใน Mist-AP จะส่งสัญญาณไปในทิศทางที่ไม่ซ้ำกัน ดังนั้นยิ่งตัว Goal Device นั้นได้รับสัญญาณจาก Mist-AP มากเท่าไหร่ ข้อมูล RSSI (ตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ) ก็ยิ่งแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น โดยพื้นฐานแล้วอุปกรณ์พกพา หรือ Goal Device จะส่งสัญญาณ BLE ออกมาจากอุปกรณ์ตลอดเวลาที่เปิดใช้งาน จากนั้น เมื่อ MIST-AP ได้รับสัญญาณดังกล่าวแล้วนั้นจะส่งข้อมูลไปยังคลาวด์ โดยที่กลไกระบุตำแหน่งจะคำนวณและตอบกลับด้วย พิกัด x,y กับมาแสดงผลในรูปแบบ GUI แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงผลพิกัด x,y ของ MIST คำนวณได้จาก RSSI (หน่วย:เมตร)

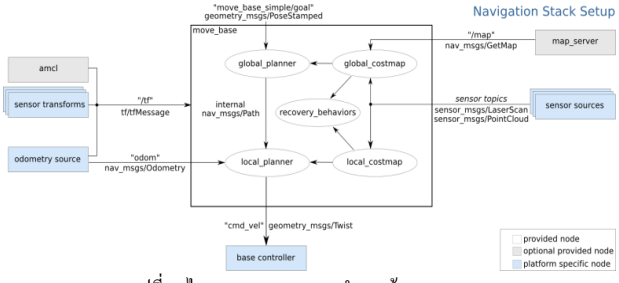
2.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ [5]

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่ใช้คือ TurtleBot3 ที่เป็นหุ่นยนต์สำหรับการศึกษาและวิจัย ติดตั้ง 360 Laser Distance Sensor (Lidar) ตัวขับเคลื่อนเซอร์โวมอเตอร์ Dynamixel และบอร์ดควบคุม OpenCR โดยใช้ระบบปฏิบัติการแบบ ROS (Robot Operation System) และการสร้างแผนที่ด้วย SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) โดยข้อมูลที่ใช้เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ประกอบไปด้วยระบบการควบคุมหุ่นยนต์มี 3 ส่วน ดังนี้ (1) ส่วนของหุ่นยนต์ ประกอบไปด้วย เซนเซอร์ LiDAR, บอร์ด OpenCR, บอร์ด Raspberry Pi3, มอเตอร์ Dynamixel และแบตเตอรี่ การทำงานของหุ่นยนต์ จะใช้เซนเซอร์ Lidar ในการตรวจสอบสิ่งกีดขวางระยะทำงานอยู่ที่ 3.5 เมตร และทำการสำรวจพื้นที่ แล้วทำการสร้างแผนที่ด้วย บอร์ด Raspberry Pi3 โดยในส่วนของการประมวลผลควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ จะใช้บอร์ด OpenCR ซึ่งในการเคลื่อนที่จะใช้มอเตอร์ Dynamixel ในการขับเคลื่อน (2) ส่วนของการควบคุมหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วยคอมพิวเตอร์ใช้ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ โดยการใช้แป้นคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ซึ่งในส่วนนี้จะทำ การสร้างแผนที่จากข้อมูลของสิ่งแวดล้อมที่ได้รับมาจากเซนเซอร์ Lidar ในการสร้างแผนที่จะใช้โปรแกรม Rviz ที่มีอยู่ในระบบ ROS (3) ส่วนของการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์สำรวจซึ่งการรับส่งข้อมูลจะใช้ระบบ WIFI เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล

รูปที่ 3 โครงสร้างหุ่นยนต์ TurtleBot3

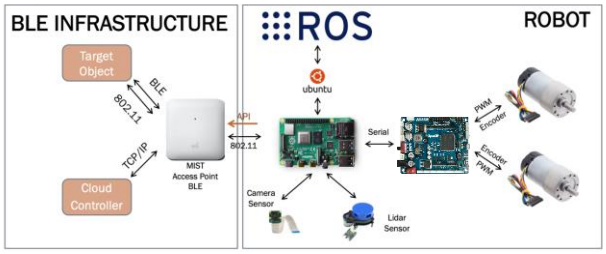
2.3 ระบบนำทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ [6]

ROS คือระบบสำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ ใน ROS จะรวบรวมชุดคำสั่งและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาหุ่นยนต์ โดยสิ่งสำคัญที่จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติคือระบบนำทาง หรือ ROS Navigation ซึ่งเป็นระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่กำหนดโดยที่ไม่ชนกับอุปสรรคหรือสิ่งกีดขวางรอบตัวหุ่นยนต์ ROS Navigation จะมีอัลกอริทึมต่าง ๆ สำหรับช่วยในการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ภาพรวมของ ระบบ ROS Navigation แสดงดังรูปที่ 4



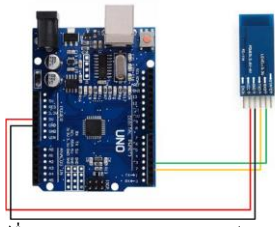
รูปที่ 4 ไดอะแกรมของระบบนำทางด้วย ROS Navigation

3. ระบบระบุพิกัดและหุ่นยนต์เคลื่อนที่



รูปที่ 5 ไดอะแกรมภาพรวมของระบบระบุพิกัดและหุ่นยนต์

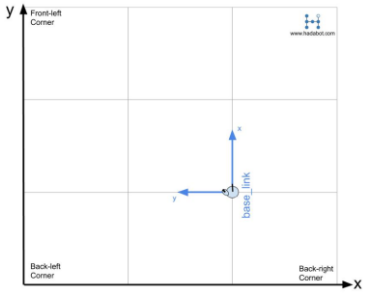
ตัวอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายของ Juniper รุ่น Mist AP43 ซึ่งมีระบบระบุตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (vBLE)โดยอุปกรณ์ปลายทาง (Target Object) ของ BLE ถูกนำมาใช้เพื่อระบุพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ปลายทางสามารถตรวจสอบได้ว่าอยู่ที่พิกัดตำแหน่งใดของพื้นที่ ซึ่งในส่วนของ BLE ใช้อุปกรณ์บอร์ด Arduino UNO และ BT20 Bluetooth 5.0 ไมโครชิฟรุ่น CC2640 ความเร็วในการสื่อสารสูงสุด 8 KB/sec แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดอุปกรณ์สื่อสาร BLE ระบุพิกัดตำแหน่งด้วย BT20 Bluetooth 5.0

3.1 พิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ BLE กับตำแหน่งเป้าหมายของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ในระบบระบุตำแหน่งของ MIST Cloud System ต้องนำพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์มาแสดงในรูปแบบระบบเฟรมพิกัดแบบสองมิติ (2D Coordinates Frame) โดยนำพิกัดหุ่นยนต์มาแปลงให้อยู่ในพิกัดของ MIST Cloud System ซึ่งการนำพิกัดตำแหน่งของระบบ BLE บน MIST Cloud System มาระบุตำแหน่งให้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จำเป็นต้องคำนวณในระบบเฟรมพิกัดแบบสองมิติ MIST Cloud System แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ระบบพิกัดของทั้งสองระบบ

เมื่อกำหนดให้จุดกำเนิดของระบบพิกัดในระบบ MIST Cloud System โดยการระบุพิกัดของหุ่นยนต์เทียบกับของ MIST เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในทิศทางของหุ่นยนต์ ซึ่งสมการการหมุนระนาบสองมิติแสดงดังสมการ (1) และ (2)

$$R(-\theta)=\begin{bmatrix}\cos\theta & \sin\theta\\ -\sin\theta & \cos\theta\end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix}x'\\ y'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta & \sin\theta\\ -\sin\theta & \cos\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix} \quad (2)$$

กำหนดให้ x' และ y' คือพิกัดของหุ่นยนต์, x และ y คือพิกัดของ MIST Cloud System

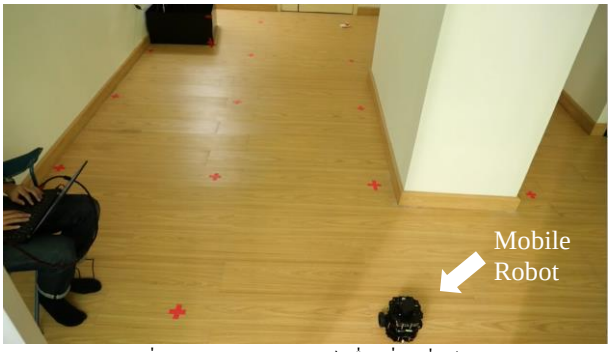
4. ผลการทดสอบการทำงาน

ขนาดพื้นที่ในอาคารขนาด 34.95 ตารางเมตร กว้าง 7.2 เมตร ยาว 9.5 เมตร และกำหนดพิกัด (Coordinate) ของตำแหน่งที่ใช้ในการทดลองระยะห่างแต่ละพิกัด ด้านกว้าง 1 เมตรและด้านยาว 1 เมตร ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 10 ตำแหน่ง โดยติดตั้ง MIST Access Point จำนวน 4 เครื่อง มีระยะห่างตามแนวแกน x และ y ซึ่งเป็นระยะห่าง 3 เมตร ทั้งสองแนวแกนสูงจากพื้น 2.80 เมตร พื้นที่ใช้ทำการทดสอบและการติดตั้ง MIST Access Point แสดงดังรูปที่ 8

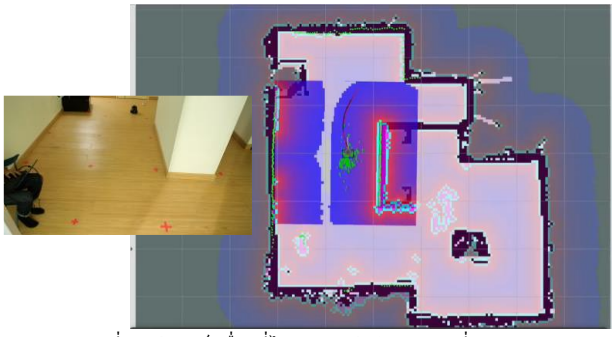
(a) (b)

รูปที่ 8 แสดงจุดติดตั้ง MIST Access Point 4 ตำแหน่ง แสดงภาพ (a) และ จุดพิกัดตำแหน่งของ BLE แสดงภาพ (b)

โดยกำหนดจุดวางอุปกรณ์ BLE ปลายทาง เพื่อไม่ให้มีความสับสนจะอ้างอิงแกน X และ Y ของ Coordination Frame ของหุ่นยนต์ ซึ่งกำหนดทั้งหมด 8 จุด (หน่วย:เมตร) ดังนี้ จุดที่ 1 พิกัด x=4.0, y=0, จุดที่ 2 พิกัด x=2.0, y=1.0, จุดที่ 3 พิกัด x=1.0, y=0.3, จุดที่ 4 พิกัด x=3.0, y=-1.0, จุดที่ 5 พิกัด x=1.0, y=-2.0, จุดที่ 6 พิกัด x=0.0, y=-3.0, จุดที่ 7 พิกัด x=-1.0, y=-3.0 และ จุดที่ 8 พิกัด x=2.0, y=1.0 แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จุดเริ่มต้น X=0, Y=0



รูปที่ 10 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายทางจุดที่ 1 (X=4, Y=0)

ตารางที่ 1 แสดงผลพิกัด (หน่วย:เมตร)

พิกัดตำแหน่ง	ตำแหน่งอุปกรณ์ BLE (x,y)	ตำแหน่งของ Mist Cloud ระบุตำแหน่งก่อน TF	ตำแหน่งที่โปรแกรมดำเนินการแปลงระบบพิกัด
1	4.0, 0.0	3.8, -0.13	3.381, 0.326
2	2.0, 1.0	1.88, -0.86	1.880, 0.826
3	1.0, 0.3	1.31, 0.5	1.381, 0.826
4	3.0, -1.0	2.88, -0.82	2.880, 0.826
5	1.0, -2.0	1.09, -1.9	1.380, -1.174
6	0.0, -3.0	0.13, -2.8	-0.119, -1.17
7	-1.0, -3.0	-1.05, -3.2	-0.619, -2.174
8	2.0, 1.0	1.85, -0.3	1.880, 0.826

จากรูปที่ 10 และข้อมูลตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่วางอุปกรณ์ BLE ที่กำหนดพิกัดของหุ่นยนต์ ค่าตำแหน่งที่ได้จากระบบระบุตำแหน่ง Mist BLE และผลของตำแหน่งที่โปรแกรมดำเนินการแปลงพิกัดเพื่อส่งให้หุ่นยนต์ จะพบว่าโปรแกรมสามารถแปลงระบบพิกัดได้ตามที่กำหนด ส่วนตำแหน่งที่ได้จากระบบระบุตำแหน่ง Mist BLE นั้นมีความคลาดเคลื่อนออกไปจากตำแหน่งจริงที่อุปกรณ์ BLE ปลายทาง

ตารางที่ 2 พิกัดตำแหน่งการเคลื่อนของหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ

พิกัดตำแหน่ง	พิกัดตำแหน่งเป้าหมาย (X,Y)	ตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่สิ้นสุด (X_{Robot}, Y_{Robot})	ค่าความผิดพลาดตำแหน่ง (X,Y)
1	3.381, 0.326	3.368, 0.411	0.013, -0.085
2	1.880, 0.826	1.731, 0.821	0.149, 0.005
3	1.381, 0.826	1.214, 0.792	0.167, 0.034
4	2.880, 0.826	2.923, 0.746	-0.043, 0.080
5	1.380, -1.174	1.380, -1.174	0.0, 0.0
6	-0.119, -1.17	-0.119, -1.179	0.0, 0.009
7	-0.619, -2.174	-0.619, -2.214	0.0, 0.040
8	1.880, 0.826	1.783, 0.819	0.097, 0.007

จากตารางที่ 2 การทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าตำแหน่งจากอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง BLE จะดำเนินการคำนวณตำแหน่งในระบบ BLE Coordination ให้อยู่ในรูปแบบของระบบ Robot Coordinate และส่งต่อให้กับหุ่นยนต์เพื่อเคลื่อนที่อัตโนมัติไปยังตำแหน่งปลายทาง ด้วย Mist Cloud ซึ่งมีแม่นยำและค่าผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 เมตร

5. บทสรุป

การทดสอบความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งบลูทูธพลังงานต่ำและความแม่นยำของระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ พบว่าการระบุตำแหน่งจากการทำงานที่เรียกว่า Probability Surfaces จากการตรวจจับค่า RSSI ที่รับส่งจากอุปกรณ์ BLE ปลายทางไปยัง Access Point จำนวน 4 ตัว ที่อยู่ในพื้นที่การทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ 80% ซึ่งการได้รับค่า RSSI ของ Access Point แต่ละตัวมีค่าแตกต่างกันตลอดเวลา ทำให้ผลการคำนวณ Probability มีการปรับเปลี่ยนค่าตำแหน่งตลอดเวลาเช่นเดียวกัน จึงทำให้ตำแหน่งที่ระบุลงใน MIST CLOUD นั้นปรับเปลี่ยนช้ากว่าความเป็นจริง ในขณะที่ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัตินั้นหากมีการส่งพิกัดตำแหน่ง X, Y ไปยังตำแหน่งใด ๆ ของแผนที่ ซึ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ 90% ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งหุ่นยนต์ตามแนวแกน x เท่ากับ 0.058 เมตร และตามแนวแกน y เท่ากับ 0.032 เมตร

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Bencak, D. Hercog, T. Lerher, “Indoor Positioning System Based on Bluetooth Low Energy Technology and a Nature-Inspired Optimization Algorithm,” *Electronics*, Vol. 11, No. 3, 308, 2022.

[2] J. Antonio, S. Fernando, P. Pekka, E. Macarena, “Location of Persons Using Binary Sensors and BLE Beacons for Ambient Assitive Living,” *2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, pp. 206-212, 2018.

[3] P. Lazik, N. Rajagopal, O. Shih, B. Sinopoli, and A. Rowe, “ALPS: A Bluetooth and Ultrasound Platform for Mapping and Localization,” *13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.73–84, 2015.

[4] Location Deployment Guide, “Mist Location Deployment Guide” [Online] https://www.mist.com/documentation/location-deployment-guide-pdf/ [Accessed January, 2022].

[5] TurtleBOT3, “What is TurtleBot?”, [Online] https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/overview/ [Accessed January, 2022].

[6] ROS, “Why ROS?” [Online] https://www.ros.org/blog/why-ros/ [Accessed December, 2021].