

การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ในย่านความถี่ 2.4 GHz

Indoor Localization using an ESP32 Microcontroller

Base on RSSI-Based Trilateration Technique in the 2.4 GHz Band

ปัญญา หันตุลา^{1*} รังสรรค์ ทองทา² สนั่น จันทร์พรหม¹ พุทธาวุฒิ ลีกุลธร¹ และ ธรรมกร ครองไตรภพ¹

¹สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี panya.ha@rmu.ac.th*

²สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี tongta@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการหาพิกัดตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิคการประมาณการระยะทางระหว่างเราเตอร์ WiFi กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณในการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้รับได้จากเราเตอร์ WiFi (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ในย่านความถี่ 2.4 GHz บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่รับสัญญาณและคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง มีการใช้ตัวกรองสัญญาณด้วย Kalman Algorithm เพื่อกรองค่า RSSI ที่รับได้ ลดความแปรปรวนของข้อมูลก่อนนำไปคำนวณหาระยะทาง รวมถึงในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสมการคำนวณระยะทางจากความแรงของสัญญาณ WiFi ผ่านตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) ด้วยเทคนิคการหาเส้นโค้งของสมการที่เหมาะสม (Curve fitting) ในรูปแบบของฟังก์ชันลอการิทึม จากนั้นนำระยะทางระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 กับเราเตอร์ WiFi อ้างอิงอย่างน้อย 3 ตัว มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งด้วยใช้วิธีการ Trilateration การทดสอบหาตำแหน่งพิกัดภายในอาคารในทางปฏิบัติ งานวิจัยนี้จำลองการทำสอบและการใช้งานจริงในพื้นที่ขนาด 3x3 เมตร พบว่าสามารถหาพิกัดตำแหน่งในพื้นที่ที่กำหนดได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ± 0.6 เมตร หรือคิดเป็น 46.53% ทั้งนี้เนื่องจากความแรงสัญญาณ WiFi ที่รับได้มีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนมาก ทำให้ค่าตำแหน่งพิกัดที่คำนวณได้มีค่าไม่แน่นอนและมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น

คำสำคัญ: ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร , ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 , เราเตอร์ Wi-Fi

Abstract

This paper presents an indoor localization method based on distance estimation between an ESP32 node device and Wi-Fi routers using the Received Signal Strength Indicator (RSSI). The method operates in the 2.4 GHz frequency band. An ESP32 microcontroller is used to receive RSSI values, process the data, and calculate its own position. To reduce variability and uncertainty in RSSI measurements, a Kalman filter algorithm is applied for signal smoothing. In this study, a mathematical model for distance estimation was developed by applying a logarithmic function curve-fitting technique to calculate a distance. The distance between ESP32 and 3 Wi-Fi routers with

different reference position were used in a trilateration algorithm to determine the device's position coordinates.

Experimental evaluation was conducted within a simulated 3 x 3 meter indoor environment. The results demonstrate that the proposed system can estimate its position with a maximum error of ± 0.6 meters, corresponding to a 46.53% from the reference position. This error is due to the sensitivity of RSSI measurements to environmental noise and multipath interference, resulting in uncertainty in the calculated position coordinates.

Keywords: Indoor Localization , ESP32 Microcontroller , Wi-Fi Router 2.4 GHz

1. บทนำ

การระบุตำแหน่งภายในอาคารเป็นเทคโนโลยีมีความสำคัญและมีการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น การติดตามทรัพย์สินภายในห้องสำนักงาน การนำทางคนหรือหุ่นยนต์ภายในอาคาร เป็นต้น การอ้างอิงตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Location Services) มีความแตกต่างจากการระบุตำแหน่งกลางแจ้งที่ใช้ระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ซึ่งรับสัญญาณจากดาวเทียมที่อยู่เหนือโลก แต่ในสภาพแวดล้อมที่ต้องการระบุตำแหน่งภายในอาคารกลับมีข้อจำกัดเป็นอย่างมาก เนื่องจากภายในอาคารมีการลดทอนสัญญาณดาวเทียมซึ่งเกิดจากสิ่งกีดขวางต่าง ๆ จนไม่สามารถรับสัญญาณได้ ส่งผลให้ระบบ GPS ไม่สามารถระบุพิกัดตำแหน่งในอาคารได้

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีในการระบุตำแหน่งภายในอาคารอย่างหลากหลาย ได้แก่ Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), Ultra-Wideband (UWB), Radio-Frequency Identification (RFID) และอื่นๆ [1] [2] แต่เนื่องจากได้มีการใช้เทคโนโลยี Wi-Fi ในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างมาก อีกทั้งบางสถานที่ยังมีระบบ Router WiFi เป็นโครงสร้างพื้นฐานรองรับภายในอาคารอยู่แล้ว ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงแนวทางในการนำเทคโนโลยี Wi-Fi มาประยุกต์ใช้งานในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เนื่องด้วยมีต้นทุนติดตั้งที่ต่ำและสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ผู้บริโภคทั่วไปได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการประมาณการระยะทางระหว่างเราเตอร์ WiFi กับไมโครคอนโทรลเลอร์

* ปัญญา หันตุลา
ผู้ประพันธ์บทความ

ESP32 โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณในการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้รับได้จากเราเตอร์ WiFi (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ในย่านความถี่ 2.4 GHz [3] – [6] ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ใช้ในการรับสัญญาณและประมวลผลหาพิกัดตำแหน่ง แล้วคำนวณพิกัดตำแหน่งด้วยอัลกอริทึมที่ใช้เทคนิคการคำนวณพิกัดด้วยวิธี Trilateration เพื่อหาตำแหน่งของ ESP32 ภายในสภาพแวดล้อมในอาคาร [9]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณในการสื่อสารแบบไร้

สายที่ได้รับจากเราเตอร์ WiFi

ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณในการสื่อสารแบบไร้สายที่ได้รับได้จากเราเตอร์ WiFi (Received Signal Strength Indicator : RSSI) คือ ดัชนีที่ใช้วัดความแรงสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ (RF Signal) ที่รับได้ มีหน่วยเป็น dBm (decibels milliwatt) โดยปกติจะแสดงเป็นค่าลบ ซึ่งถ้าหากมีค่าที่ใกล้ 0 จะบ่งบอกถึงสัญญาณที่ดี ค่า RSSI มักถูกนำไปใช้งานในการหาตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สายในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกระจายสัญญาณได้สูงสุด ค่า RSSI จะแปรผกผันกับระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง กล่าวคือ ค่า RSSI จะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นตามลักษณะของโมเดลการสูญเสียสัญญาณแบบลอการิทึม (Logarithmic Path-Loss Model) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียในอากาศและสภาพแวดล้อมรอบข้าง

จากสมการที่ (1) คือ สมการคำนวณการสูญเสียในอากาศหรือ Free space path loss (FSPL) โดยการสูญเสียจะแปรผันตรงกับระยะทาง นั่นคือ การสูญเสียในอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น และสมการที่ (2) คือ สมการ Friis's Transmission ใช้ในการคำนวณหา กำลังของสัญญาณวิทยุที่ภาครับ (P_{rx}) โดยกำลังที่ภาครับสัญญาณในหน่วย dB ที่รับได้ จะแปรผกผันกับระยะทางเช่นเดียวกับกับสมการที่ (1) กล่าวคือ เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นความแรงสัญญาณที่ภาครับ (P_{rx}) จะลดลง

$$FSPL (dB) = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

$$P_{rx} (dB) = P_{tx} + G_{rx} + G_{tx} - 20 \log \left[\frac{4\pi d}{\lambda} \right] \quad (2)$$

เมื่อ P_{rx} คือ กำลังที่ภาครับสัญญาณ
 P_{tx} คือ กำลังที่ภาคส่งสัญญาณ
 G_{rx} คือ อัตราขยายของสายอากาศที่ภาครับ
 G_{tx} คือ อัตราขยายของสายอากาศที่ภาคส่ง
 d คือ ระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง
 λ คือ ความยาวคลื่น

2.2 การคำนวณระยะทางจากค่ากำลังงานสัญญาณ WiFi

จากสมการที่ (2) เราสามารถคำนวณกำลังงานของสัญญาณวิทยุที่ภาครับได้ โดยจะเห็นว่าความแรงของสัญญาณที่ภาครับ (P_{rx}) จะลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้คุณสมบัติดังกล่าวในการพัฒนาเป็นอัลกอริทึมประมาณการระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง

โดยข้อมูลที่สำคัญในการสร้างอัลกอริทึม ได้แก่ ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) และ ระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง (d) ซึ่งจำเป็นต้องเก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อวัดค่ากำลังงานของสัญญาณ WiFi ที่ภาครับที่ระยะทางระยะต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างสมการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการหาเส้นโค้งของสมการที่เหมาะสม (Curve fitting) กล่าวคือ การหาฟังก์ชันเส้นโค้งที่สามารถแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลระยะทาง (d) และความแรงของสัญญาณ WiFi ที่ภาครับ (P_{rx}) ได้อย่างเหมาะสมตลอดช่วงของชุดข้อมูล โดยจะพบว่าสมการของเส้นโค้งที่ได้จะมีความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear curve fitting) ซึ่งจะจัดอยู่ในรูปของฟังก์ชันลอการิทึม [7] [8] ซึ่งเป็นอินเวอร์สของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของโมเดลการสูญเสียสัญญาณแบบลอการิทึมในสมการที่ (1)

จากสมการที่ (3) คือ สมการของเส้นโค้งที่ใช้ในการคำนวณเส้นแนวโน้มของเอาต์พุตในการคำนวณระยะทาง โดยให้ x คือระยะทาง และ y คือ ค่า RSSI ของสัญญาณ WiFi ที่ภาครับ พบว่าค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นทำให้ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) ลดลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับสมการของการสูญเสียในอากาศ หรือ Free space path loss (FSPL)

$$y = a + b \cdot \ln(x) \quad (3)$$

โดยกำหนด a และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นโค้งความสัมพันธ์ของระยะทางและตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) ภาครับ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - b) \cdot \sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \quad (4)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i \cdot \ln(x_i)) - \left[\left(\sum_{i=1}^n y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right) \right]}{n \sum_{i=1}^n (\ln(x_i))^2 - \left(\sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right)^2} \quad (5)$$

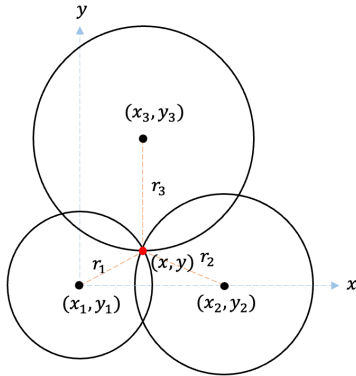
ในขั้นตอนการทำ Curve fitting ได้มีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาหาสมการความสัมพันธ์ อย่างไรก็ตามการทำ Curve fitting อาจมีค่าคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว ด้วยการตรวจสอบค่าตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) โดยการคำนวณค่าทางสถิติ นั่นคือ ค่า R^2 (R-Squared) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายหรือตัวแปรอิสระ (ระยะทาง) และตัวแปรตอบสนอง (ตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI)) ซึ่งค่า R-Squared จะบ่งบอกว่าสมการฟังก์ชันลอการิทึมที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ โดยค่า R-squared จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่า R-squared เข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูง และโดยทั่วไปควรพิจารณาสมการที่จะนำมาใช้งานจะต้องมีค่า R-squared ตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป สามารถหาค่า R-squared ได้จากสมการที่ (6)

$$r^2 = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

3. การคำนวณพิกัดตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธี

Trilateration

การคำนวณพิกัดตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธี Trilateration เป็นเทคนิคเชิงเรขาคณิตที่ใช้ในการหาพิกัดของวัตถุที่ต้องการทราบในพื้นที่สองมิติ [9] การหาพิกัดของวัตถุจะพิจารณาจากการหาระยะทางโดยการอ้างอิงพิกัดตำแหน่งอ้างอิงที่ชัดเจนอย่างน้อย 3 จุด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการหาพิกัดของวัตถุด้วยวิธี Trilateration

ตัวอย่างการหาพิกัดของวัตถุด้วยวิธี Trilateration จากตำแหน่งอ้างอิง 3 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 1 สามารถคำนวณหาระยะทางของวัตถุได้จากการเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงแต่ละตำแหน่งดังนี้

$$r_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (7)$$

$$r_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \quad (8)$$

$$r_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \quad (9)$$

ผลลัพธ์ของการหาระยะทางเทียบกับพิกัดอ้างอิงทั้ง 3 ตำแหน่ง จะได้จุดตัดวงกลมที่สัมพันธ์กันทั้ง 3 จุดดังรูปที่ 1 ดังนั้นจากสมการ (7), (8) และ (9) สามารถนำมาจัดรูปสมการใหม่เพื่อให้ได้สมการหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบ (x, y) ได้ดังนี้

$$x = \frac{x_2^2 + r_1^2 - r_2^2}{2x_2} \quad (10)$$

$$y = \frac{x_3^2 + y_3^2 + r_1^2 - r_3^2 - 2xx_3}{2y_3} \quad (11)$$

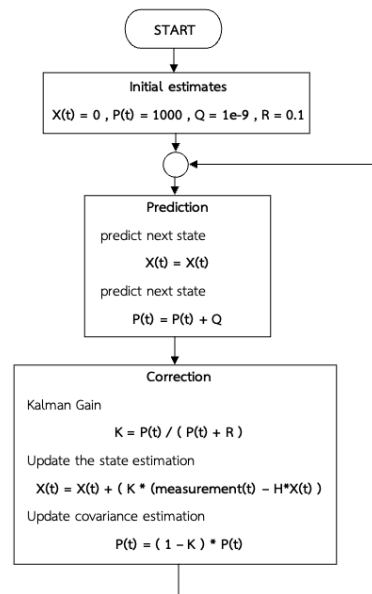
จากสมการที่ (10) และ (11) คือ สมการหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบ (x, y) โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณคือ ระยะทางของวัตถุเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งค่าระยะทางที่จะนำมาใช้ในการคำนวณจะถูกประมาณการจากการคำนวณระยะทางจากความแรงของสัญญาณ WiFi ด้วยตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI)

4. การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบระบบการระบุ

ตำแหน่งภายในอาคาร

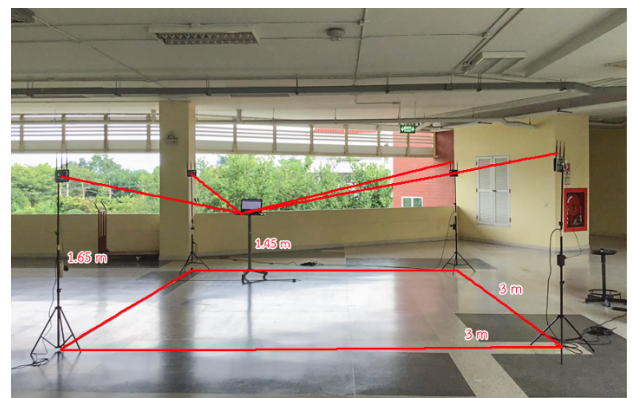
ในงานวิจัยนี้ใช้เราเตอร์ Wi-Fi Router D-LINK (DIR-809) Wireless AC750 Dual Band เป็นอุปกรณ์เพื่อนำมาทดสอบระบบ ในขั้นแรกผู้วิจัยทำการทดสอบระยะการกระจายสัญญาณของเราเตอร์ Wi-Fi ที่ใช้ โดยการ

ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รับสัญญาณของจากเราเตอร์ Wi-Fi โดยการพิจารณาขนาดของสัญญาณที่รับได้จากตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) หากขนาดความแรงของสัญญาณ WiFi ที่รับได้ มีความแรงสูง จะส่งผลทำให้ค่า RSSI มีค่าเข้าใกล้ 0 และค่า RSSI จะลดน้อยลงเมื่อขนาดความแรงของสัญญาณ WiFi ลดลง ดังนั้น ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อเชื่อมต่อกับเราเตอร์และบันทึกค่า RSSI ที่ระยะต่างๆ โดยใช้ตัวกรอง Kalman filter ในการกรองค่า RSSI ที่รับได้ เพื่อลดสัญญาณความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในขณะรับสัญญาณจากเราเตอร์ Wi-Fi โดยกำหนดค่าเริ่มต้นค่า $X(t)$, $P(t)$, Q และ R ตัวกรอง Kalman filter [6] แสดงดังรูปที่ 2



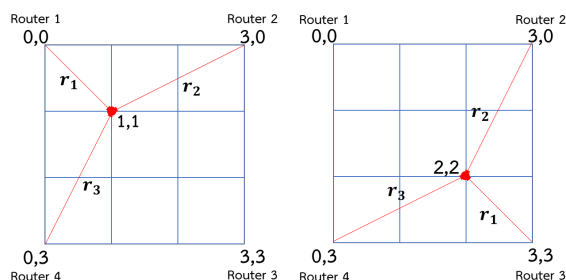
รูปที่ 2 แสดงการทำงานของ Kalman Filter

จากนั้นนำข้อมูลค่า RSSI ที่ระยะต่างๆ มาสร้างสมการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการหาเส้นโค้งของสมการที่เหมาะสม (Curve fitting) ในรูปของฟังก์ชันลอการิทึม โดยจะแสดงแนวโน้มของความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล 2 ตัวแปร นั่นคือ ข้อมูลระยะทาง (d) และค่ากำลังงานของสัญญาณที่ภาครับ (P_{rx}) หรือค่า RSSI ผลลัพธ์จากสมการที่ได้ คือ ข้อมูลประมาณการระยะทาง (d) ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รับสัญญาณกับเราเตอร์ Wi-Fi สามารถนำไปคำนวณหาพิกัดตำแหน่งในระบบระบุพิกัดตำแหน่งได้



รูปที่ 3 แสดงการหาพิกัดของวัตถุด้วยวิธี Trilateration

การจำลองสภาพแวดล้อมในงานวิจัยนี้ทำโดยการสร้างพื้นที่ทดสอบภายในอาคารขนาด 3x3 เมตร ภาพการจำลองการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 ในงานวิจัยนี้ใช้เราเตอร์ Wi-Fi ติดตั้งสูงจากพื้นความสูง 1.65 เมตร ทั้งหมด 4 ตัว และกำหนดให้เราเตอร์แต่ละตัวใช้ช่องสัญญาณที่ 2,4,6 และ 8 ตามลำดับ เพื่อไม่ให้เกิดการแทรกสอดของช่องสัญญาณ รวมถึงให้เราเตอร์ Wi-Fi กระจายสัญญาณด้วยกำลังส่งสูงสุด



รูปที่ 4 แสดงการเลือกเชื่อมต่อเราเตอร์แต่ละตัวเพื่อนำมาคำนวณเป็นพิกัดตำแหน่งที่พิกัด (1,1) และ (2,2)

การวางตำแหน่งของเราเตอร์ Wi-Fi ทั้ง 4 ตัว มาวางไว้ที่พิกัด (0,0) (3,0) (3,3) และ (0,3) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 แต่เนื่องด้วยในงานวิจัยนี้ใช้เราเตอร์ Wi-Fi ทั้งหมด 4 ตัว แต่อัลกอริทึมการคำนวณพิกัดตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธี Trilateration ใช้การอ้างอิงพิกัดตำแหน่งเพียง 3 ตำแหน่ง ดังนั้นในการคำนวณพิกัดตำแหน่งในแต่ละรอบจึงเลือกคำนวณพิกัดตำแหน่งพิจารณาเราเตอร์ Wi-Fi ที่อยู่ใกล้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 (จุดที่ต้องการหาพิกัดตำแหน่ง) โดยการพิจารณาจากค่า RSSI ที่สูงที่สุด 3 ตัวแรก ตัวอย่างการเลือกการเชื่อมต่อเราเตอร์ Wi-Fi ดังแสดงในรูปที่ 4

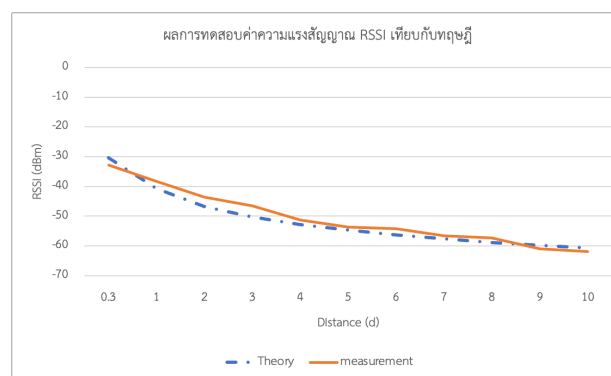
5. สรุปผลการทดสอบงานวิจัย

5.1 สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ค่าสัญญาณ RSSI

ในการทดสอบและวิเคราะห์ค่าสัญญาณ RSSI ในงานวิจัยนี้ ทดสอบโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รับสัญญาณของจากเราเตอร์ Wi-Fi โดยการพิจารณาขนาดของสัญญาณที่รับได้จากตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) ในการทดสอบภาคสนามจะทดสอบวัดสัญญาณ WiFi ที่ระยะตั้งแต่ 0.3 ถึง 10 เมตร ห่างกันจุดละ 1 เมตร รวมทั้งหมด 11 จุด แต่ละจุดเก็บค่า RSSI จำนวน 200 ค่า แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบค่าความแรงสัญญาณ RSSI ของเราเตอร์ Wi-Fi ทั้ง 4 มีความแรงที่ใกล้เคียงกัน นั้นแสดงให้เห็นว่าเราเตอร์ Wi-Fi ทั้งหมดสามารถใช้สมการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการหาเส้นโค้งของสมการที่เหมาะสม (Curve fitting) ในรูปของฟังก์ชันลอการิทึมเดียวกันได้ จากผลการทดสอบพบว่าค่า RSSI ที่รับได้ มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกมีผลกระทบต่อการรับสัญญาณของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำตัวกรอง Kalman Filter กรองสัญญาณ RSSI ที่รับได้ ทำให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น

5.2 สรุปการวิเคราะห์และการคำนวณระยะทาง

ผลการทดสอบค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) เทียบกับค่าทางทฤษฎีที่ระยะทางต่างๆ แสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่ากำลังงานของสัญญาณ WiFi ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถรับได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีที่คำนวณจากสมการ (2) นั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถนำค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) มาคำนวณระยะทางและหาพิกัดตำแหน่งภายในอาคารได้



รูปที่ 7 ผลการทดสอบค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) เทียบกับค่าทางทฤษฎี

งานวิจัยนี้จึงได้นำค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) ที่ได้จากการวัดสัญญาณด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สร้างสมการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการหาเส้นโค้งของสมการที่เหมาะสมในรูปของฟังก์ชันลอการิทึม ดังสมการที่ (3) โดยใช้ตัวอย่างข้อมูลของค่า RSSI ของเราเตอร์ Wi-Fi ตัวที่ 1 สามารถคำนวณค่าหาสัมประสิทธิ์โค้งของสมการ ได้แก่ $a = -40.163$ และ $b = -5.246$ ดังนั้นเราจะสามารถนิยามสมการคำนวณระยะทางได้ดังนี้

$$P_{rx} (dB) = -5.246 \ln(d) - 40.163 \quad (12)$$

หรือ

$$d = e^{-\left(P_{rx}(dB) + \frac{40.163}{5.246}\right)} \quad (13)$$

จากสมการที่ (13) คือ สมการฟังก์ชันลอการิทึมในการคำนวณหาระยะทางระหว่างเราเตอร์ Wi-Fi และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ค่า R-squared หรือ $R^2 = 0.765$ โดยพิจารณาจากค่ากำลังงานของสัญญาณที่ภาครับ (P_{rx}) หรือ RSSI

5.3 สรุปผลการทดสอบการหาตำแหน่งพิกัดภายในอาคาร

ผู้วิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัดภายในอาคาร โดยได้จำลองสภาพแวดล้อมเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 3x3 เมตร ใช้เราเตอร์ Wi-Fi ทั้งหมด 4 ตัว ติดตั้งที่ความสูงเดียวกัน วางในตำแหน่งพิกัดดังรูปที่ (3) แล้วทำการทดสอบหาพิกัดตำแหน่งโดยนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 วางไว้ในพื้นที่ที่กำหนด แล้วคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของบอร์ด ESP32 ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลทั้งหมด 100 ครั้ง จากนั้นนำค่าพิกัดตำแหน่งที่คำนวณได้มาหาค่าเฉลี่ยหาค่ากลางของพิกัดตำแหน่ง (x, y) โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการหาตำแหน่งภายในอาคาร

พิกัดตำแหน่ง				ค่าคลาดเคลื่อน (%)	
ค่าจริง		ผลจากการทดลอง			
X	Y	X	Y	X	Y
1	1	1.33	1.26	33.24	26.46
2	1	1.31	2.12	30.72	6.23
2	2	2.24	1.47	12.195	46.53
1	2	2.55	2.84	27.515	41.83

จากผลการทดสอบงานวิจัยจะเห็นว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถหาพิกัดตำแหน่งของตัวเองภายในพื้นที่ที่กำหนดได้ โดยการรับสัญญาณจากเราเตอร์ Wi-Fi อ่านค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) แล้วคำนวณหาระยะทางระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และเราเตอร์ Wi-Fi จากนั้นนำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง (x,y) ภายในอาคาร จากผลการทดสอบพบว่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยบอร์ด ESP32 มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ± 0.6 เมตร หรือคิดเป็น 46.53% เนื่องจากการส่งสัญญาณระหว่างเราเตอร์ Wi-Fi และไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนมาก จึงทำให้ค่าตำแหน่งพิกัดที่คำนวณได้มีค่าไม่แน่นอนและมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น

6. สรุป

ในบทความนี้นำเสนอการหาพิกัดตำแหน่งภายในอาคาร ด้วยเทคนิคการประมาณการระยะทางจากค่าตัวชี้วัดความแรงของสัญญาณ WiFi (RSSI) ที่รับได้จาก Wi-Fi Router ในย่านความถี่ 2.4 GHz บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่รับสัญญาณและคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง มีการใช้ตัวกรองสัญญาณด้วย Kalman Algorithm เพื่อกรองค่า RSSI ของสัญญาณ WiFi ที่รับได้ ลดความแปรปรวนของข้อมูลก่อนนำไปคำนวณ หาระยะทางด้วยกระบวนการ Curve Fitting ในรูปของฟังก์ชันลอการิทึม เพื่อใช้ในการคำนวณระยะทางระหว่างเราเตอร์ WiFi และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 จากผลการทดสอบพบว่าสมการการคำนวณระยะทางที่ออกแบบได้ มีค่า R-squared (R^2) = 0.765 รวมถึงผลการทดสอบค่ากำลังงานของเราเตอร์ WiFi มีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎีอย่างเห็นได้ชัด การคำนวณหาพิกัดตำแหน่งภายในอาคารสามารถคำนวณด้วยวิธี Trilateration เป็นเทคนิคเชิงเรขาคณิตที่ในการหาพิกัดของวัตถุที่ต้องการทราบในพื้นที่สองมิติ

การทดสอบหาตำแหน่งพิกัดภายในอาคารได้จำลองสภาพแวดล้อมในพื้นที่ขนาด 3x3 เมตร พบว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 สามารถหาพิกัดตำแหน่งของตัวเองภายในพื้นที่ที่กำหนดได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ± 0.6 เมตร หรือคิดเป็น 46.53% สาเหตุเนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนมาก รวมถึงเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองทำให้มีค่าความผิดพลาดมากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้ค่าตำแหน่งพิกัดที่คำนวณได้มีค่าไม่แน่นอนและมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้เป็นการแสดงความเป็นไปได้ในการนำเอาเทคโนโลยี Wi-Fi ที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันมาประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างประสิทธิภาพการใช้งานให้มากยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่จนบรรลุผลและประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wahab, Nur Haliza Abdul, et al. "Indoor positioning system: A review." International Journal of Advanced Computer Science and Applications 13.6 (2022).
- [2] Farahsari, Pooyan Shams, et al. "A survey on indoor positioning systems for IoT-based applications." IEEE Internet of Things Journal 9.10 (2022): 7680-7699.
- [3] Waddar, Rohit, et al. "ESP32-Driven Real-Time Indoor Localization Using Wi-Fi RSSI and a Simple Path Loss Model." 2025 International Conference on Emerging Technologies in Computing and Communication (ETCC). IEEE, 2025.
- [4] Şeker, Özlem, et al. "A Physical Tracking of ESP32 IoT Devices with RSSI Based Indoor Position Calculation." Journal of Millimeterwave Communication, Optimization and Modelling 4.1 (2024): 13-16.
- [5] Suvankar Barai, Debajyoti Biswas and Buddhadeb Sau. (2017). "Estimate Distance Measurement using NodeMCU ESP8266 based on RSSI Technique". 2017 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA). https://www.researchgate.net/publication/322877438_Estimate_distance_measurement_using_NodeMCU_ESP8266_based_on_RSSI_technique
- [6] อำนวย ที่จันทิก และ ประพล จารตะตะคุ. "การหาระยะทางระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 กับ Beacons ด้วย Kalman Filter". ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [7] Weisstein, Eric W. "Least Squares Fitting - Logarithmic". <https://mathworld.wolfram.com/LeastSquaresFittingLogarithmic.html>
- [8] Jim Frost. "Curve Fitting using Linear and Nonlinear Regression". <https://statisticsbyjim.com/regression/curve-fitting-linear-nonlinear-regression/> (2018, March 29)
- [9] Huseyin Cizmeci, R. Metin Alkan, Veli Ilci , V. Engin Güla. (2015). "Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization". The 11th International Conference on Wireless and Mobile Communications-ICWMC 2015. https://www.researchgate.net/publication/331555599_Trilateration_Technique_for_WiFi-Based_Indoor_Localization