

# ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4

ภาคย์ สธนเสาวภาคย์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4950400835@stdmail.kku.ac.th

ชัชชัย คุณมบัว

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

chatchai@kku.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและการทดสอบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (มาตรฐาน IEEE 802.15.4) การคำนวณตำแหน่งของงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการคำนวณ 2 วิธี วิธีแรกจะใช้การหาจุดตัดของรัศมีในแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิง และวิธีต่อมาจะคำนวณตำแหน่งโดยการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลที่ถูกสร้างจากการวิเคราะห์รูปแบบความเข้มของสัญญาณในแต่ละระยะทาง ในส่วนการแสดงผลของตำแหน่งนั้นได้แสดงในโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้น ตำแหน่งของวัตถุจะถูกแสดงเป็นจุดในแผนที่ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการคำนวณตำแหน่งโดยการจับคู่ความเข้มของสัญญาณกับฐานข้อมูลนั้นมีความแม่นยำมากกว่าการหาจุดตัดของวงกลม 29.65 เปอร์เซ็นต์ และผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มเซ็นเซอร์อ้างอิงขึ้นในระบบ ซึ่งพบว่าการเพิ่มเซ็นเซอร์อ้างอิงนั้นจะทำให้อัตราความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งลดน้อยลง

## Abstract

This research presents the studies and experiments of indoor object location system using Wireless Sensor Network (IEEE 802.15.4). This research computes object location by comparing two methods. First we used finding intersection point of radian for each reference sensor, and then by matching signal strength in database from analysis signal strength pattern for each distance. We also display the object location over our implemented application. Results show that the computation matching signal strength in database method has more accurated 29.65 percent than that of triangulation method. Also, we have experiment by increasing the number of reference sensors in system. Results shows that the increasing of number of reference sensors can reduce object location error as expected.

## คำสำคัญ

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร, เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย, ค่าความเข้มของสัญญาณ

## 1. บทนำ

ระบบระบุตำแหน่งในปัจจุบันที่เห็นได้ชัดคือ จีพีเอส (Global Positioning System) เทคโนโลยีนี้นำมาใช้เพื่อค้นหาเส้นทาง

และนำทางไปยังสถานที่ที่ผู้ใช้งานต้องการไป แต่จีพีเอสนั้นมีการจำกัดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในอาคาร เนื่องจากจีพีเอสใช้การวัดเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับวัตถุด้วยความเร็วแสง เมื่อใช้ในอาคารหรือที่ที่มีการกีดขวางสัญญาณดาวเทียมจะทำให้ไม่สามารถคำนวณตำแหน่งได้ ด้วยเหตุนี้การพัฒนา ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารจึงได้ถูกนำมาพิจารณา ประกอบกับในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีคุณภาพสูงขึ้นและมีราคาถูก สามารถประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆในชีวิตประจำวันได้อย่างแพร่หลาย การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารนั้น สามารถนำเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) มาประยุกต์ใช้งานได้ เนื่องจากเซ็นเซอร์มีขนาดเล็กสามารถพกพาได้สะดวก ใช้พลังงานต่ำ สามารถสร้างเครือข่ายได้ และการติดตั้งสามารถทำได้ง่ายตาย ในการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันสามารถทำได้หลายรูปแบบเช่น การระบุตำแหน่งผู้ป่วยที่ต้องดูแลเป็นพิเศษในโรงพยาบาล, การระบุตำแหน่งสินค้าที่มีราคาสูงภายในโรงงาน, การระบุตำแหน่งเด็กเมื่อพลัดหลงในห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

## 2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นการสื่อสารระยะใกล้หรือที่เรียกว่า Wireless Personal Area Network (WPANs) เครือข่ายนี้มีทั้งความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงและต่ำ งานวิจัยนี้ได้ใช้ IEEE 802.15.4 เป็น WPANs ความเร็วต่ำ หรือซิกบี (ZigBee) [8] มาตรฐานนี้สามารถครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1 ไมล์ในที่โล่งหรือภายนอกอาคาร ซึ่งการทดลองในอาคารนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ไกลประมาณ 60 ถึง 70 เมตร งานวิจัยนี้ได้ใช้ชิพเซ็นเซอร์ไร้สาย XBee Pro ของบริษัท Max Stream ซึ่งใช้ความถี่ 2.4 GHz สามารถรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 250 kbps ตัว

ชิพนั้นมีขนาดเล็กสามารถติดตั้งได้ง่าย สำหรับวิธีการระบุตำแหน่งนั้นอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้คลื่นตราโซนิก (Ultrasonic), การใช้ค่าความแตกต่างของเวลา (Time Difference of Arrival), การวัดค่ามุมที่มาถึง (Angle of Arrival) และการใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ (Received Signal Strength Indicator) อย่างไรก็ตามแต่ละวิธียังมีข้อจำกัดอยู่ด้วย การใช้คลื่นตราโซนิกนั้นจะสามารถระบุตำแหน่งได้เฉพาะภายในห้องเท่านั้น คลื่นเสียงจะไม่สามารถทะลุผ่านกำแพงได้ ส่วนการใช้ค่าความแตกต่างของเวลาและการวัดมุมนั้น จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูงเพิ่มเข้ามาในระบบ แต่สำหรับค่าความเข้มของสัญญาณนั้นสามารถเรียกใช้ค่าจากตัวชิพได้โดยตรง ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมและการกระจายของสัญญาณวิทยุนี้สามารถผ่านกำแพงและสิ่งกีดขวางได้ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าความเข้มของสัญญาณมาเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ตำแหน่งวัตถุ แต่เนื่องจากค่าความเข้มของสัญญาณมีความแปรปรวนเมื่ออยู่ในอาคาร และค่าที่วัดได้แต่ละครั้งนั้นจะไม่คงที่ แต่จะเข้าใกล้ค่าใดค่าหนึ่งเสมอ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่จะลดความแปรปรวนของความเข้มของสัญญาณเพื่อให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 3. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 การวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (Received Signal Strength Indication หรือ RSSI) [1-7]

เป็นวิธีการวัดความเข้มของสัญญาณของสัญญาณวิทยุระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สายตัวหนึ่งไปยังเซ็นเซอร์ไร้สายอีกตัวหนึ่ง โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$RSSI = -(10n \log_{10} d + A)$$

เมื่อ  $n$  คือค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณ,  $d$  คือระยะห่างจากตัวส่ง และ  $A$  คือความเข้มของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร ค่า RSSI นั้นมีหน่วยเป็นเดซิเบลเมตร (dBm) เมื่อวิเคราะห์สูตรจะพบว่าสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณกับระยะทางได้ เมื่อ  $d$  มีค่ามากส่งผลให้ความเข้มของสัญญาณมีค่าลดน้อยลง โดยสูตรดังกล่าวมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการทดลอง

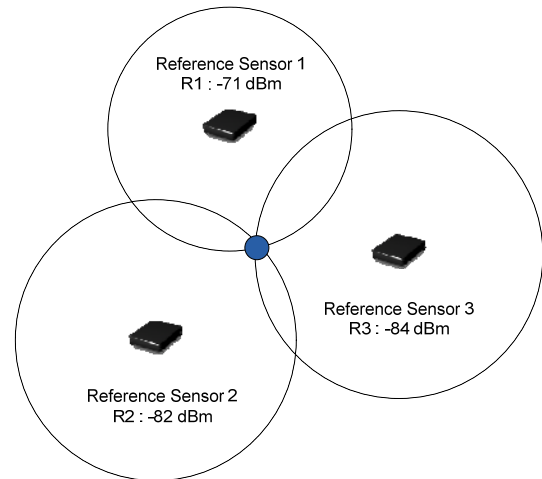
#### 3.2 การทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) [2, 5]

เป็นการคำนวณตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม แสดงได้ดังรูปที่ 1 จุดที่วงกลมตัดกันจะถือว่าเป็นจุดที่วัตถุอยู่ โดยที่รัศมีของวงกลมแต่ละวงได้มาจากความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ในขณะนั้น ค่าที่ได้ในแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงจะถูกนำมาเข้าสมการพีทาโกรัส (Pythagoras) ดังนี้

$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = r_i^2 \text{ for } i = 1, 2, 3$$

โดยที่  $x_i$  และ  $y_i$  คือ พิกัดของแต่ละจุดอ้างอิง  $x_u$  และ  $y_u$  คือ พิกัดของวัตถุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการแก้สมการโดยใช้กฎของคราเมอร์ (Cramer's Rule) ดังนี้

$$X_u = \frac{\det[A]_1}{\det[A]} \quad Y_u = \frac{\det[A]_2}{\det[A]}$$



รูปที่ 1 การคำนวณโดยการทำสามเหลี่ยมระยะ

#### 3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสัญญาณกับระยะทาง (Footprinting) [7]

เป็นการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณในจุดที่สนใจ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับระยะทางใดๆที่ทำการวัด เทคนิคนี้จะช่วยสร้างรูปแบบความเข้มของสัญญาณบนพื้นที่ต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

#### 3.4 การฟิตเส้นโค้ง (Curve Fitting)

สำหรับเส้นโค้งความเข้มของสัญญาณนั้น เป็นเส้นโค้งที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (Non-Linear) ในการฟิตเส้นโค้งที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การประมาณค่าโดยใช้ฟังก์ชันสมการพหุนามลำดับใดๆ (Polynomial Function Degree  $m$ ) แสดงสมการได้ดังนี้

$$y(x) = c_1 + c_2x + c_3x^2 + \dots + c_{m+1}x^m$$

### 3.5 การจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิง [4]

เป็นการเก็บข้อมูลความเข้มของสัญญาณอ้างอิงตามจุดต่างๆ เพื่อใช้ในการจับคู่กับค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จริง

Index	RSSI_REF1	RSSI_REF2	RSSI_REF3	RSSI_REF4	RSSI_REF5	X	Y	FLOOR
1	-53	-69	-80	-80	-63	32	4	3
2	-52	-66	-82	-76	-63	33	4	3
3	-52	-63	-83	-73	-64	34	4	3
4	-52	-61	-83	-70	-64	35	4	3
5	-52	-59	-84	-69	-65	36	4	3
6	-53	-57	-83	-67	-65	37	4	3
7	-54	-56	-83	-66	-66	38	4	3
8	-56	-55	-82	-65	-66	39	4	3
9	-57	-54	-82	-65	-67	40	4	3
10	-59	-54	-81	-65	-67	41	4	3

รูปที่ 2 ตัวอย่างฐานข้อมูลในระบบ

ฐานข้อมูลของงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยค่าความเข้มของสัญญาณของแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ถูกเฉลี่ย ค่าพิกัดบนแผนที่ และชั้นที่ทำการวัด

### 3.6 ระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) [1]

เป็นวิธีการคำนวณหารูปแบบที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิง โดยระยะห่าง  $d$  น้อยที่สุดจะถือว่ารูปแบบดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงมากที่สุดและจะเลือกใช้ค่าความเข้มของสัญญาณชุดนั้น สูตรของระยะห่างยูคลิดีเนียนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$d(x, y, z) = \sqrt{(x - x_{REF})^2 + (y - y_{REF})^2 + (z - z_{REF})^2}$$

วิธีการนี้ได้นำมาใช้ร่วมกับวิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูล

## 4. รายละเอียดการพัฒนา

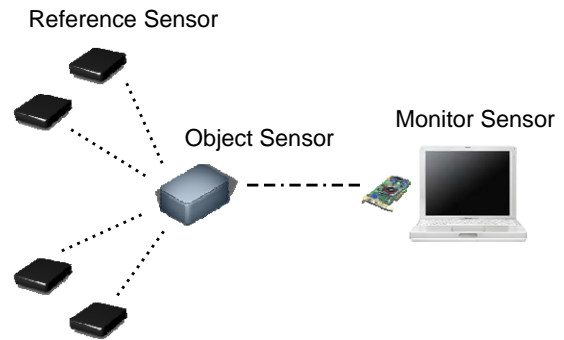
### 4.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สาย และส่วนของโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้แสดงผล ชุดอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ XBee Pro ของบริษัท Max Stream จำนวน 7 ชุด โดยแบ่งเป็นเซ็นเซอร์อ้างอิง (Reference Sensor) จำนวน 5 ชุด เป็นเซ็นเซอร์วัตถุ (Object Sensor) ที่ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 168 จำนวน 1 ชุด และเซ็นเซอร์แสดงผล (Monitor Sensor) ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ 1 ชุด เพื่อทำการแสดงผลตำแหน่งวัตถุ ในส่วนของโปรแกรมประยุกต์นั้น ได้พัฒนามาบนเทคโนโลยี .NET โปรแกรมประยุกต์จะแสดงผลตามวิธีที่เลือกใช้ วิธีการคำนวณตำแหน่งวัตถุนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การคำนวณโดยทำ

สามเหลี่ยมระยะและการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูล ในการสร้างฐานข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลตามจุดต่างๆบนพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4 ค่าที่เก็บนั้นจะต้องผ่านค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ ในการเลือกค่าความเข้มของสัญญาณนั้นจะใช้ข้อมูลที่ผ่านมาจำนวน 10 ค่านำมาเฉลี่ยกัน หลังจากการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นผู้วิจัยได้ทำการประมาณค่าความเข้มของสัญญาณในพิกัดที่เหลือตามแกน X และ Y โดยใช้การพิตกราฟแบบสมการพหุนามลำดับใดๆ (Polynomial Function Degree  $m$ ) ข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าจะถูกเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งต่อไป

### 4.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

ระบบระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้ได้ออกแบบมาให้เซ็นเซอร์วัตถุเป็นตัวร้องขอความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวที่ติดตั้งไว้ในพื้นที่ต่างๆ เมื่อเซ็นเซอร์อ้างอิงได้รับข้อความที่ร้องขอ จะส่งค่าความเข้มของสัญญาณพร้อมกับหมายเลขที่อยู่มาให้เซ็นเซอร์วัตถุ เซ็นเซอร์วัตถุจะทำการรวบรวมข้อมูลของเซ็นเซอร์ทุกตัวและส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังเซ็นเซอร์แสดงผลที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ระบบระบุตำแหน่งในส่วนนี้ของชุดอุปกรณ์แสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบระบุตำแหน่งวัตถุสำหรับชุดอุปกรณ์

ข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณตำแหน่งวัตถุ ส่วนของการแสดงผลตำแหน่งนั้นได้ออกแบบให้แสดงผลเป็นจุดบนตารางแบบกริด (Grid) [6] แต่ละกริดนั้นได้กำหนดให้มีความกว้างและยาว 47.06 เซนติเมตร ในแผนที่ของโครงสร้างภายในอาคาร ข้อมูลการแสดงผลจะประกอบไปด้วยพิกัดบนแผนที่และสถานที่ที่วัตถุนั้นอยู่ โดยสามารถเลือกวิธีการคำนวณตำแหน่งในโปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาขึ้นมาได้

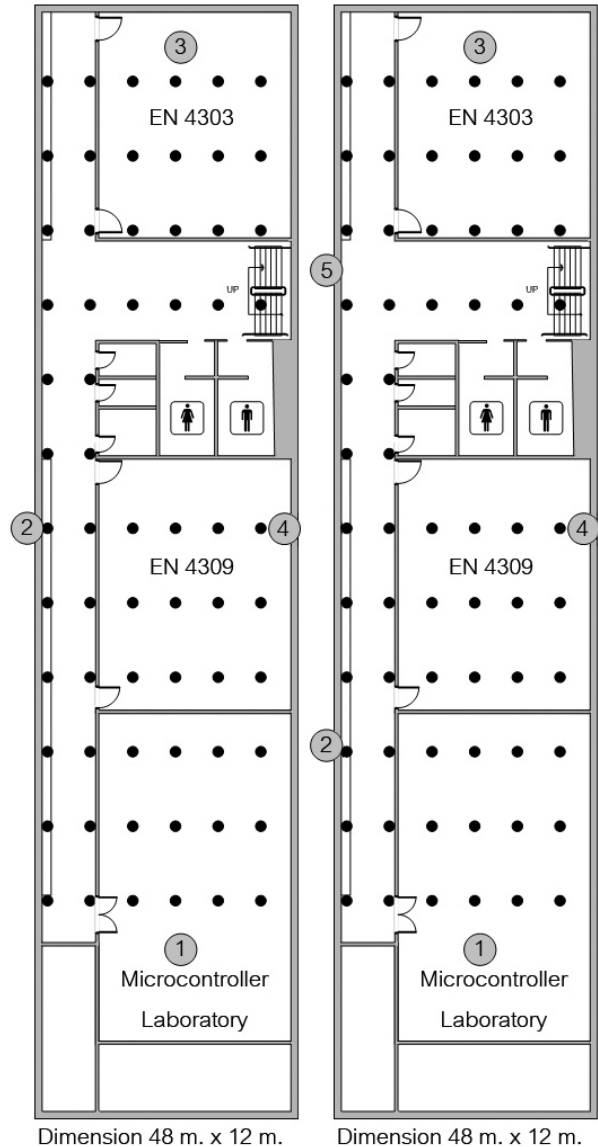
### 4.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระยะห่างของเซ็นเซอร์แต่ละตัวนั้นจะต้องอยู่ในระยะไม่เกิน 60 เมตร ในสภาพแวดล้อมที่อยู่ในอาคาร ความยาวของข้อมูลสูงสุดที่ส่งแต่ละครั้งจะต้องไม่เกิน 100 ไบต์ จำนวนของเซ็นเซอร์อ้างอิงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ส่งในระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ส่วนแสดงตำแหน่งช้าลงเล็กน้อย การแสดงตำแหน่งกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้นสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่อย่างช้าๆ หรืออยู่กับที่ได้ดีกว่าการถือเซ็นเซอร์วัตถุเดินไปอย่างรวดเร็ว

### 5. การทดสอบการใช้งาน

ได้ทดลองสุ่มตัวอย่างบนพื้นที่ต่างๆ โดยการถือเซ็นเซอร์วัตถุและสังเกตผลที่ได้จากโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งวิเคราะห์ผลจากวิธีการคำนวณตำแหน่งในแบบต่างๆ ดังนี้ การคำนวณตำแหน่งโดยใช้สามเหลี่ยมระยะ และการคำนวณตำแหน่งโดยใช้การจับคู่ความเข้มของสัญญาณกับฐานข้อมูลโดยใช้ 3, 4 และ 5 เซ็นเซอร์อ้างอิง ค่าความเข้มของสัญญาณในแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ผ่านค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้จำนวน 10 ค่า จะถูกนำมาเฉลี่ยอีกครั้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณตำแหน่ง สำหรับสถานที่ทดลองของงานวิจัยนี้คือ ตึกภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ชั้น 3 พื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองมีขนาดประมาณยาว 48 เมตร กว้าง 12 เมตร เซ็นเซอร์อ้างอิงที่ใช้ในขณะนี้มีจำนวน 3 ถึง 5 ตัว โดยติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์, ระเบียงทางเดิน, ห้องเรียน EN 4309 และห้องเรียน EN4303 ดังแสดงในรูปที่ 4 สำหรับตำแหน่งในการติดตั้งเซ็นเซอร์อ้างอิงโดยใช้ 3 และ 4 เซ็นเซอร์อ้างอิง จะเหมือนกันโดยจะปิดและเปิดเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ 4 เมื่อทดลองโดยการใช้ 3 และ 4 เซ็นเซอร์อ้างอิง ตามลำดับ ส่วนในการใช้ 5 เซ็นเซอร์อ้างอิง ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ 2 จะถูกย้ายมาอยู่ระเบียงทางเดินเป็นตำแหน่งระหว่างเซ็นเซอร์อ้างอิงตัวที่ 1 และ 4 จากนั้นเพิ่มเซ็นเซอร์อ้างอิงตัวที่ 5 ที่ระเบียงทางเดินเช่นเดียวกัน โดยจะติดตั้งอยู่ในตำแหน่งระหว่างเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ 3 และ 4 สำหรับจุดที่ทำการเก็บข้อมูลแสดงเป็นวงกลมสีดำโดยจะมีระยะห่างเท่าๆกันในแต่ละแกน ในส่วนที่เป็นห้องน้ำจะไม่ทำการเก็บข้อมูล ในการทดสอบการใช้งานนั้น

พบว่าภายใน 1 วินาทีจะได้ชุดข้อมูลความเข้มของสัญญาณในแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงประมาณ 3 ถึง 5 ชุด



รูปที่ 4 ตัวอย่างสถานที่ที่ทำการทดลอง

#### 5.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

เป็นการทดลองภายในอาคารเรียนและระเบียงทางเดิน โดยภายในอาคารเรียนจะมีอุปกรณ์การเรียนการสอนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของระเบียงจะไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ การสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบความแม่นยำนั้นจะสุ่มตัวอย่างจำนวน 42 จุดโดยวิธีการคำนวณตำแหน่งแต่ละวิธีการนั้นจะใช้จุดสุ่มตัวอย่างเดียวกัน

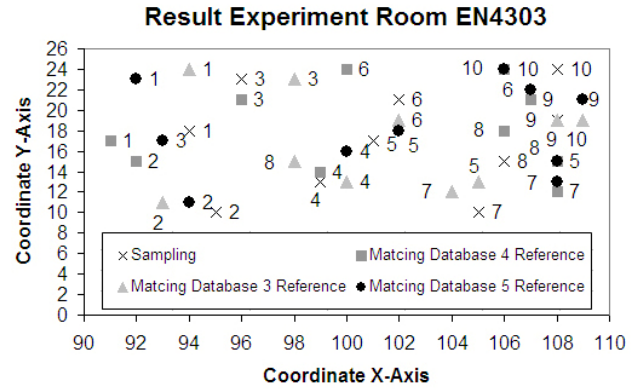
#### 5.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความแม่นยำในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น การอ้างอิง

ตำแหน่งนั้นจะใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวมาเป็นข้อมูลสำคัญในการแสดงผล สำหรับลักษณะค่าความเข้มของสัญญาณนั้น ขึ้นต้นผู้วิจัยได้ศึกษาและทดสอบวัดค่าความเข้มของสัญญาณในที่โล่งและภายในอาคารเพื่อลองเปรียบเทียบรูปแบบความเข้มของสัญญาณ ผลที่ได้คือ การเก็บข้อมูลในที่โล่งนั้นจะได้รูปแบบความเข้มของสัญญาณที่วิเคราะห์ได้ง่ายกว่า เนื่องจากไม่มีสิ่งรบกวนต่อค่าความเข้มของสัญญาณ เช่น เหล็ก, กำแพง เป็นต้น ในการเก็บข้อมูลภายในอาคารนั้นความเข้มของสัญญาณจะวิเคราะห์ได้ยากและค่าที่ได้นั้นมีความแปรปรวนอยู่มาก จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรูปแบบความเข้มของสัญญาณในแต่ละพื้นที่หรือในห้องต่างๆโดยมีความสัมพันธ์กับระยะทาง วิธีการนี้จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่ายขึ้น แต่จะต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละพื้นที่ด้วย ในส่วนของวิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณกับฐานข้อมูลเมื่อรับข้อมูลความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัตถุแล้ว อาจจะมีรูปแบบความเข้มของสัญญาณที่ไม่ตรงกับฐานข้อมูล จึงได้ใช้ระยะห่างยูคลิดีเนียนเพื่อหารูปแบบที่ใกล้เคียงกับค่าในฐานข้อมูลซึ่งช่วยให้การแสดงผลตำแหน่งทำได้ดีขึ้น

ผลการวิจัยพบว่าวิธีการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณนั้นมีความแม่นยำในการแสดงผลดีกว่าการทำสามเหลี่ยมระยะ เนื่องจากค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้นั้นเป็นเลขจำนวนเต็มทุกครั้ง เมื่อค่าที่ได้รับเกิดความแปรปรวนจะทำให้การคำนวณสามเหลี่ยมระยะเกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อเข้าสมการของพีทาโกรัสส่งผลให้การแสดงผลตำแหน่งเกิดความคลาดเคลื่อนสูง ผลการทดลองในขั้นต่อมาได้เพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์อ้างอิงซึ่งพบว่าเซ็นเซอร์อ้างอิงที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการแสดงผลตำแหน่งขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นการเพิ่มรูปแบบความเข้มของสัญญาณในระบบทำให้โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดีขึ้น ในการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 3 ตัวนั้น อัตราความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลตำแหน่งเฉลี่ยทั้งชั้นเท่ากับ 3.0833 เมตร จากนั้นได้เปรียบเทียบกับการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 4 ตัว และ 5 ตัว ผลที่ได้นั้นมีอัตราความคลาดเคลื่อนในการแสดงผลตำแหน่งเฉลี่ยทั้งชั้นเท่ากับ 2.3673 เมตร และ 2.2332 เมตร ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างผลการทดลองนั้นผู้วิจัยจะยกตัวอย่างผลการแสดงผลตำแหน่งที่ได้ในห้องเรียน

EN 4303 ดังรูปที่ 5 โดยที่ รูปกากบาท คือ จุดศูนย์กลางที่กำหนดไว้ รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม และรูปวงกลม คือ จุดที่คำนวณได้โดยใช้วิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 3, 4 และ 5 ตัวตามลำดับ



รูปที่ 5 ตัวอย่างผลการทดลองในห้อง EN4303 โดยใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 3, 4 และ 5 ตัว โดยวิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณ

ผลการวิจัยในพื้นที่ที่ทดลองของชั้น 3 ทั้งหมดโดยการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 3, 4 และ 5 ตัว ด้วยวิธีจับคู่ความเข้มของสัญญาณ ได้แสดงดังตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงความคลาดเคลื่อนในการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 2 ตัว

3 Reference	Min. Error	Max. Error	AVG Error
LAB MICRO	1.8824m	5.1766m	2.9413m
EN4309	1.4118m	5.6472m	3.7177m
EN4303	0m	3.7648m	1.5059m
Foot Path	0.4706m	9.8826m	4.1682m

ตารางที่ 2 แสดงความคลาดเคลื่อนในการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 4 ตัว

4 Reference	Min. Error	Max. Error	AVG Error
LAB MICRO	0.9412m	5.6472m	2.4707m
EN4309	0.9412m	5.6472m	2.4471m
EN4303	0.9412m	3.2942m	1.4589m
Foot Path	0.4706m	9.4120m	3.0925m

ตารางที่ 3 แสดงความคลาดเคลื่อนในการใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 5 ตัว

5 Reference	Min. Error	Max. Error	AVG Error
LAB MICRO	0.4706m	3.7648m	2.4118m
EN4309	1.4118m	3.2942m	2.3530m
EN4303	0.4706m	2.8236m	1.4118m
Foot Path	0.9412m	8.4708m	2.7564m

จากผลการทดลอง ค่าความคลาดเคลื่อนในการแสดงตำแหน่งยังอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้แม้ว่าจะมีบางช่วงที่ค่าความเข้มของสัญญาณแปรปรวนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในบางตำแหน่งสูง สำหรับการเพิ่มขึ้นเซอร์อ้างอิงนั้นทำให้ผลของการแสดงตำแหน่งดีขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นการเพิ่มรูปแบบความเข้มของสัญญาณในพื้นที่ต่างๆให้แตกต่างกันมากขึ้น

## 6. บทสรุป

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการคำนวณตำแหน่งวัตถุด้วยการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลที่สร้างจากการประมาณค่าโดยใช้สมการพหุนามลำดับใดๆ เปรียบเทียบความแม่นยำกับการทำสามเหลี่ยมระยะ และได้ทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำเมื่อมีจำนวนเซ็นเซอร์อ้างอิงเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยพบว่าการคำนวณตำแหน่งด้วยการจับคู่ความเข้มของสัญญาณกับฐานข้อมูลนั้น แสดงผลของตำแหน่งได้ดีและแม่นยำมากกว่าการทำสามเหลี่ยมระยะ และการเพิ่มเซ็นเซอร์อ้างอิงส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนของการแสดงผลลดลง ความคลาดเคลื่อนโดยรวมของการแสดงตำแหน่งจากการทดลองนั้นเพียงพอต่อการใช้ระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร

### 6.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

สามารถพัฒนาต่อไปเป็นระบบติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ตลอดเวลาซึ่งต้องใช้อัลกอริทึมในการแสดงตำแหน่งเข้ามาช่วย เช่น ตัวกรองคาลแมน (Kalman Filter)

## 7. เอกสารอ้างอิง

[1] P.Bahl, V.Padmanabhan. 2000. "RADAR: An in building RF based user location and tracking system," IEEE Infocom.

[2] A.M.Ladd, K.E.Bekris, G.Marceau, A.Rudys, L.E.Kavraki, D.S.Wallach. 2002. "Robotics-based location sensing using wireless Ethernet," ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02).

[3] M.Sugano, T.Kawazoe, Y.Ohta, M.Murata. 2006. "Indoor Localization System using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network based on ZigBee Standard," Wireless and Optical Communication.

[4] R.Zhou. 2006. "Wireless Indoor Tracking System (WITS)," doIT Conference on Software Research.

[5] Abdalkarim Awad, Thorsten Frunzke, Falko Dressler. 2007. "Adaptive Distance Estimation and Localization in WSN using RSSI Measures," Proceedings of 10th EUROMICRO Conference on Digital System Design – Architectures.

[6] C.Hyunggi, K.Myungseok, P.Byungsung, KHagbae. 2007. "Performance Analysis of Location Estimation Algorithm in Zigbee Network Using Received Signal Strength." AINAW.

[7] Widyawan, Martin Klepal, Dirk Pesch. 2007. "Influence of Predicted and Measured Fingerprint on the Accuracy of RSSI-based Indoor Location Systems," WPNC.

[8] ZigBee Alliance, ZigBee Specification v1.0.