

การระบุตำแหน่งภายในอาคารจากจุดเซ็นเซอร์ที่ถ่วงน้ำหนักบนแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์

ภิญญา นาคศรีรัมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

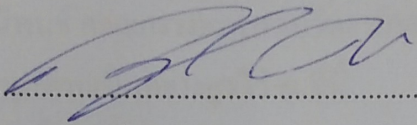
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ธันวาคม 2561

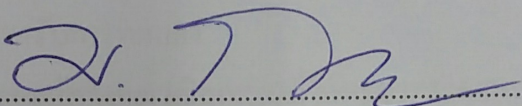
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

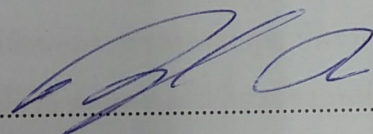
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ ภิญญา นาคศรีคร้าม จบนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

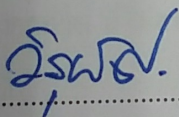
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

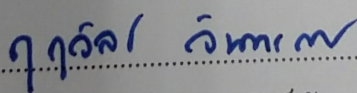
  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

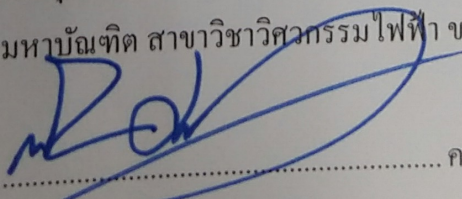
  
..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี โปธิโสโนทัย)

  
..... กรรมการ  
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฤกษ์วัลย์ จันทร์สา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)  
วันที่ 28 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2561

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยการได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทาง ที่ถูกต้องและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจาก ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาหลักที่ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทาง และดร. อภิรัฐ ลีมมณี ที่สนับสนุนช่วยเหลือ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาเพื่อส่งเสริมความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบพระคุณ บริษัท เบสแล็บ จำกัด (BAESLab Co., Ltd.) ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาตรวจสอบความสมบูรณ์และให้คำแนะนำแก้ไขเครื่องมือในการวิจัย รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในนี้

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแต่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ภิญญดา นาคศรีรัมย์

56910513: สาขาวิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า; วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

คำสำคัญ: การระบุตำแหน่งภายในอาคาร/ การระบุตำแหน่งด้วยฟingerprint

วิทยุคานาคศรีครีมา: การระบุตำแหน่งภายในอาคารจากจุดเซ็นทรอยด์ที่ถ่วงน้ำหนักบนแผนที่ฟingerprint (INDOOR LOCALIZATION BASED ON WEIGHTED CENTROID OF FINGERPRINT MAP) คณะกรรมการควบคุมวิทยุคมนาคม: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, ปร.ค. 55 หน้า, ปี พ.ศ. 2561.

เนื่องจากระบบระบุตำแหน่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global positioning system) โดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถทะลุผ่านกำแพงได้ จึงไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งจะมีความท้าทายทางด้านสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบ Non-line-of-sight (NLOS) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ความแรงของสัญญาณ Wi-Fi และบลูทูธในการระบุตำแหน่ง เนื่องจากทั้งสองเทคโนโลยีสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เป็นแบบ NLOS ได้ มีราคาไม่แพง และส่วนใหญ่ใช้ในการติดต่อสื่อสารภายในอาคารด้วย จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ แต่เนื่องจากการใช้ความแรงสัญญาณมาประมาณตำแหน่งโดยตรง มีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก ผู้วิจัยจึงใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟingerprint แบบลดเวลาในการเก็บข้อมูลในส่วนขั้นตอนออฟไลน์

ในกระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยใช้ค่าความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟingerprint นั้น มีอยู่สองส่วนหลัก ส่วนแรกคือ ส่วนออฟไลน์ทำหน้าที่สร้างแผนที่ฟingerprint ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยพื้นที่ย่อยที่ได้จากตำแหน่งการติดตั้ง Access points (APs) และแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีเซ็นทรอยด์เพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งต่อไป ส่วนที่สองเป็นส่วนออนไลน์ทำหน้าที่จับคู่ความแรงสัญญาณที่วัดได้กับตำแหน่งในแผนที่ฟingerprint แล้วประมาณตำแหน่งโดยใช้ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยในฟingerprint

จากการทดลอง พบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการระบุตำแหน่งโดยใช้เซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยนั้น สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้โดยการเลือกตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ที่เหมาะสม และการเพิ่มจำนวนของเซ็นทรอยด์ซึ่งเมื่อมีเซ็นทรอยด์จำนวนมากขึ้น จะทำให้มีโอกาสในการประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองใช้ความแรงของสัญญาณบลูทูธเข้ามาช่วยในการตัดสินใจเลือกเซ็นทรอยด์ และได้ทำการทดลองใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักระหว่างสองเซ็นทรอยด์ที่มีความแรงใกล้เคียงกันมากที่สุด วิธีที่ดีที่สุด คือ วิธีการถ่วงน้ำหนักเซ็นทรอยด์ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลง 21.92%

56910513: MAJOR: ELECTRICAL ENGINEERING; M.Eng. (ELECTRICAL ENGINEERING)

KEYWORD: INDOOR LOCALIZATION/ FINGERPRINT-BASE LOCALIZATION

PINYADA NARKSRIKLARM: INDOOR LOCALIZATION BASED ON WEIGHTED CENTROID OF FINGERPRINT MAP. ADVISORY COMMITTEE: PANUWAT DAN-KLANG, Ph.D. 55 P. 2018.

The most popular localization system in use today is the Global Positioning System (GPS). It uses signal from satellites which cannot penetrate through walls and thus cannot be used for indoor positioning. Since the indoor environment is described as Non-line-of-sight (NLOS), we decide to use the received signal strength (RSS) from Wi-Fi and Bluetooth for indoor localization. Both technologies are suitable for NLOS, inexpensive, and already employed for indoor communication. This saves cost and time for installation. However, the direct use of RSS value for position estimation can lead to large estimation error. We therefore apply the fingerprint technique which is modified to reduce the data collection time.

The indoor localization using RSS with fingerprint technique consists of offline and online parts. The former constructs a fingerprint map which is divided into subareas according to the position of the access points (APs). The centroid of each subarea will be calculated. In the online part, the measured RSS will be mapped to a subarea and the position will be estimated as the centroid of that area.

From experiment, we find that the localization error can be reduced by choosing better centroids and increasing the number of centroids. The increase of the number of centroids naturally improves the precision. In particular, the cooperative use of Wi-Fi and Bluetooth, as well as the weighted averaging of centroids with similar RSS are applied in the experiment. The weighted averaging leads to the best result which reduces the estimation error by 21.92%.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
โครงสร้างพื้นฐานของระบบการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด.....	3
เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	4
เทคโนโลยีบลูทูธ.....	4
เปรียบเทียบเทคโนโลยี Wi-Fi กับบลูทูธในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	6
ความแรงของสัญญาณ.....	6
การจัดกลุ่มแบบ K-means clustering.....	7
เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์ทั่วไป.....	8
เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์แบบไม่ทำการเก็บข้อมูล.....	9
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด.....	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	21
ภาพรวมการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดที่น่าสนใจ.....	21
อุปกรณ์.....	22
สภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลอง และการติดตั้งอุปกรณ์.....	24
อัลกอริทึม.....	26

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง.....	39
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	48
สรุปผลการศึกษา.....	48
ข้อเสนอแนะและแนวทางในอนาคต.....	51
บรรณานุกรม.....	53
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	55

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เทคโนโลยีบลูทูธเวอร์ชัน 1 ถึง 4. ....	5
2-2 เปรียบเทียบเทคโนโลยี Wi-Fi กับบลูทูธที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง.....	6
2-3 ตัวอย่างฐานข้อมูล โดยที่ $n$ คือ จำนวนตำแหน่งที่เก็บค่าความแรงของสัญญาณ และ $m$ คือ จำนวน APs ที่ใช้งาน .....	9
4-1 เปรียบเทียบตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่เลือกโดยวิธีที่ 1 กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด.	39
4-2 เปรียบเทียบตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่เลือกโดยวิธีที่ 1 กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 3.....	40
4-3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ได้จากวิธีการถ่วงน้ำหนัก ตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสองเท่า ๆ กัน กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด.....	42
4-4 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งเซ็นทรอยด์ทั้งสองแบบ ไม่เท่ากัน (0.3 : 0.7).....	44
4-5 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธมาช่วย ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเซ็นทรอยด์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5) .....	46
5-1 ประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ของ APs .....	48
5-2 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งของแต่ละวิธีการทดลอง.....	49



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1	ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มแบบ K-means clustering..... 8
2-2	ตัวอย่างตำแหน่งที่เก็บค่าความแรงของสัญญาณภายในพื้นที่ทดลอง..... 9
2-3	การลากเส้นตั้งฉากระหว่างกลางของจุดสองจุด..... 10
2-4	ตัวอย่างแผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์ที่ได้จากการเลือก AP ที่ 1 2 4 และ 7..... 12
2-5	ตัวอย่างแผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์ที่ได้จากการเลือก AP ที่ 1 3 5 และ 7..... 13
2-6	ตัวอย่างข้อมูลความแรงสัญญาณของ APs แต่ละตัว และการจัดกลุ่มแบบ K-means clustering..... 14
2-7	ค่าความแรงสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างโหนดตั้งแต่ระยะ 1 เมตรถึง 5 เมตร โดยแยกตามกำลังส่งช่วงต่าง ๆ ซึ่งกำลังส่งสูงสุดอยู่ที่ 0 dBm ไปจนถึง -24 dBm..... 16
2-8	อัลกอริทึมในการอัปเดตระบบการประมวลผลของงานวิจัย Lategahn et al. (2013)..... 17
2-9	ฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปρίนท์..... 18
2-10	ค่าความแรงสัญญาณของ APs ทั้งหมด 7 ตัว..... 19
2-11	ค่าความแรงสัญญาณของ APs จำนวน 4 ตัว..... 19
2-12	ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง โดยมีจำนวน APs ต่างกันของห้องขนาด 60x40 ..... 20
2-13	ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง โดยมีจำนวน APs ต่างกันของห้องขนาด 25x14 ..... 20
3-1	ภาพรวมขั้นตอนการระบุตำแหน่ง..... 21
3-2	Node MCU (ESP-12E) V.2 ..... 22
3-3	บอร์ด nRF52840-PDK ..... 23
3-4	โมดูลบลูทูธ..... 24
3-5	สภาพแวดล้อมและขนาดของพื้นที่ใช้งาน ..... 25
3-6	ตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บค่าความแรงสัญญาณ ..... 26
3-7	แผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์โดยเลือกใช้ AP1 AP2 AP3..... 27
3-8	แผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์โดยเลือกใช้ AP1 AP2 AP4..... 28
3-9	แผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์โดยเลือกใช้ AP1 AP3 AP4..... 28
3-10	แผนที่ฟิงเกอร์ปρίนท์โดยเลือกใช้ AP2 AP3 AP4..... 29
3-11	ขั้นตอนในส่วนออนไลน์จากวิธีที่เสนอโดยงานวิจัยของ Liu et al. (2016)..... 30
3-12	ตัวอย่างข้อมูลเริ่มต้น ..... 30

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-13 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มแบบ K-means clustering .....	31
3-14 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม .....	31
3-15 ตัวอย่างเส้นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 314.....	31
3-16 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม (เขตที่ 1).....	32
3-17 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม (เขตที่ 2).....	32
3-18 ขั้นตอนในส่วนออนไลน์ของวิธีถ่วงน้ำหนักเส้นทรอยด์ .....	33
3-19 ตัวอย่างเส้นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 314 และ 324 .....	34
3-20 การถ่วงน้ำหนักเส้นทรอยด์ .....	34
3-21 ตัวอย่างตำแหน่งใหม่ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักสองเส้นทรอยด์.....	35
3-22 ขั้นตอนในส่วนออนไลน์ของวิธีการใช้บลูทึมมาช่วยในการตัดสินใจ .....	36
3-23 ตัวอย่างเขตของ AP ทั้งสองเขต .....	37
3-24 ตัวอย่างเขตของ AP ที่มีความแรงสัญญาณของบลูทึมแรงที่สุด .....	37
3-25 ตำแหน่งเส้นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 324.....	38
4-1 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการของ Liu et al. (2016) .....	41
4-2 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5) .....	43
4-3 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.3 : 0.7) .....	45
4-4 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทึมมาช่วย ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเส้นทรอยด์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5).....	47
5-1 เปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งของแต่ละวิธีการทดลอง .....	50
5-2 ตัวอย่างแผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์ที่ทำการถ่วงน้ำหนักสองเส้นทรอยด์เท่า ๆ กัน.....	51
5-3 ตัวอย่างเขตของ AP ทั้ง 3 เขต.....	52

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้งานการระบุตำแหน่งกันอย่างแพร่หลาย การระบุตำแหน่งที่ได้รับ  
ความนิยมอย่างมาก คือ ระบบการระบุตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียม (Global positioning system: GPS)  
หรือระบบนำทางโดยใช้ดาวเทียม (Global navigation satellite systems: GNSS) เนื่องจาก  
เทคโนโลยีดาวเทียม คือ การสื่อสารที่ใช้สัญญาณ ไมโครเวฟ จึงทำให้ไม่สามารถทำงานใน  
สภาพแวดล้อมแบบปิดได้ เช่น บนถนนที่ถูกปิดล้อมไปด้วยอาคาร ภายในตัวอาคาร หรือ โกดังเก็บ  
สินค้า เป็นต้น และสภาพแวดล้อมภายในพื้นที่ปิดยังมีหลายสิ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของ  
ระบบ เช่น กำแพง เฟอร์นิเจอร์ หรือการเคลื่อนย้ายสิ่งของต่าง ๆ ภายในอาคาร ด้วยเหตุนี้ระบบ  
การระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดจึงมีความยากและท้าทาย จึงเป็นที่สนใจกว่าระบบการระบุ  
ตำแหน่งภายในพื้นที่เปิด ผู้วิจัยจึงสนใจที่ศึกษาและพัฒนาการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดให้มี  
ประสิทธิภาพการพัฒนาการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดมีปัจจัยหลายอย่างที่น่าศึกษา เช่น  
ความแม่นยำ ค่าใช้จ่าย ความครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน ความสามารถในการเพิ่ม หรือลดจำนวนการใช้  
งาน เป็นต้น งานวิจัยเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดส่วนใหญ่จะเลือกใช้เทคโนโลยี  
เหล่านี้ คือ RFID (Radio frequency identification), UWB (Ultrawideband), Infrared, Ultrasonic,  
Zigbee, WLAN (Wireless local area network), Cellular based, Bluetooth, Dead reckoning, Image  
อาจเลือกใช้เทคโนโลยีเดียว หรือรวมหลายเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับ  
สภาพแวดล้อมและการใช้งาน แล้วยังต้องเลือกใช้อัลกอริทึม (Algorithm) หรือแบบจำลอง (Model)  
ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อให้การระบุตำแหน่งมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยจึงนำปัจจัย  
เหล่านี้มาศึกษา และหาวิธีการเพื่อนำมาพัฒนาปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดให้  
เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน เพื่อให้การระบุตำแหน่งมีประสิทธิภาพสูงสุด

ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่าย  
และความแม่นยำ เนื่องจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi (Wireless fidelity) มีราคาไม่สูงผู้วิจัยจึง  
นำเทคโนโลยี Wi-Fi มาใช้ในการรับส่งสัญญาณ และนำวิธีการวัดค่าความแรงของสัญญาณ  
(Received signal strength: RSS) ระหว่างตัวส่ง (Transmitter) กับตัวรับ (Receiver) มาใช้เพื่อไปใช้  
ในการประมวลผลหาตำแหน่งต่อไป โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรี้นท์ (Fingerprint) แบบการลากเส้น  
ตัดกึ่งกลางระหว่าง APs (Access points) แต่ละตัวเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ผู้วิจัย

จะเลือกใช้ Aps เพียง 3 ตัว จากทั้งหมด 4 ตัว โดยใช้ความแรงของสัญญาณที่แรงที่สุด 3 ตัว จาก 4 ตัวมาเรียงลำดับจากน้อยไปมากแล้วเปรียบเทียบลำดับของ APs ในแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ ถ้าตรงกับลำดับ APs ไคจะประมาณให้อยู่ในพื้นที่นั้นของลำดับ APs นั้น ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้ คือ ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์แบบเดิม อีกทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจจับ และเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์
2. เพื่อปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์
3. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์
2. ปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์
3. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้เรียนรู้หลักการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์
2. ได้ปรับปรุงการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์ให้สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดการศึกษาครั้งนี้ว่า เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ แล้วสรุปสาระสำคัญในแต่ละหัวข้อดังนี้

#### โครงสร้างพื้นฐานของระบบการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด

เกรียงไกร มณีรัตน์ (2555) โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดจะมีอยู่ 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ้างอิง (Reference) ซึ่งอุปกรณ์อ้างอิงจะถูกติดตั้งหลายจุดอยู่ตามพื้นที่ภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการวัดค่าความเข้มสัญญาณ โดยแต่ละงานวิจัยจะเรียกโหนดอ้างอิงแตกต่างกันไป เช่น Beacon, Anchor node, Reference sensors, Base station (BS), Access point (AP) เป็นต้น Thongpull, Jindapetch, and Teerapakajorndet (2009) ซึ่งโดยทั่วไปการระบุตำแหน่งด้วยค่าความแรงของสัญญาณ (RSS) จะต้องใช้โหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนด เพื่อนำค่าความแรงสัญญาณ (Received signal strength: RSS) ไปคำนวณหาระยะทางระหว่างวัตถุเป้าหมายกับโหนดอ้างอิงแต่ละตัว แล้วนำระยะทางที่ได้ไปประมาณตำแหน่งต่อไป

เกรียงไกร มณีรัตน์ (2555) ส่วนที่สองเป็นอุปกรณ์ที่ติดกับเป้าหมาย จะถูกติดอยู่กับวัตถุหรือสิ่งที่ต้องการระบุตำแหน่ง ซึ่งใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ เช่น วัดความแรงสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์อ้างอิง และใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการประมาณค่าตำแหน่งต่อไป อุปกรณ์เป้าหมายที่ใช้ในงานวิจัยการระบุตำแหน่งอาจเรียกได้หลายอย่าง เช่น Mobile terminal, Mobile target (MT), Mobile station (MS), Blind node เป็นต้น

สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเรียกอุปกรณ์ส่วนแรกที่ทำหน้าที่อ้างอิงว่า APs (เนื่องจากใช้เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย) และอุปกรณ์ส่วนที่สองที่นำไปติดวัตถุ ผู้วิจัยจะเรียกว่า วัตถุเป้าหมาย

## เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless local area network: WLAN)

Al-Ammar et al. (2014) เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานที่กำหนดโปรโตคอล (Protocol) และการรองรับ (Compatible) การเชื่อมต่อข้อมูลผ่านอากาศในเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) (Mainetti, Patrono, & Sergi, 2014) Wi-Fi (Wireless fidelity) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด เนื่องจากความได้เปรียบหลาย ๆ อย่าง ซึ่งความได้เปรียบหลักของ Wi-Fi คือ มีราคาถูก และรองรับอุปกรณ์ Wi-Fi เกือบทุกชนิด โดยไม่ต้องติดตั้งฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์พิเศษเพิ่ม และการใช้งาน Wi-Fi ในการระบุตำแหน่งไม่จำเป็นต้องใช้ในสภาพแวดล้อมที่มี Line of sight (LOS) อีกด้วย ซึ่งเทคโนโลยี Wi-Fi ที่นำมาใช้ในการระบุตำแหน่งจะนิยมใช้ร่วมกับการใช้ตัวบ่งชี้ค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength indication: RSSI) เพราะสามารถดึงค่าความแรงของสัญญาณมาใช้งานได้ง่าย ระบบการระบุตำแหน่งที่ใช้เทคโนโลยี Wi-Fi ร่วมกับวิธีการวัดความแรงสัญญาณ (RSS) มีความแม่นยำประมาณ 20-40 เมตร แต่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์การใช้งานให้มากขึ้น หรือการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น จะช่วยให้ความคลาดเคลื่อนลดอยู่ในช่วง 3-5 เมตร (Al-Ammar et al., 2014) ส่วนการใช้งาน Wi-Fi ร่วมกับวิธี Time of arrival (ToA), Time difference of arrival (TDoA), และ Angle of arrival (AoA) พบว่า เทคนิคเหล่านี้ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากความซับซ้อนของไทม์ดีเลย์ (Time delay) และความซับซ้อนในการวัดมุมตกกระทบของสัญญาณจึงทำให้ยากต่อการวัดค่าเหล่านั้น

## เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth technology)

Hart (2004) บลูทูธ คือ เทคโนโลยีไร้สายที่ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง (Two-way communication) ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-range radio links) เป็นการสื่อสารแบบเครือข่ายไร้สายระยะบุคคล หรือ Wireless personal area network (WPAN) ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ส่วนบุคคล เช่น ชุดหูฟัง คีย์บอร์ด ลำโพง และอุปกรณ์พกพาอื่น ๆ เป็นต้น (El-Bendary, 2018) ในปี 1998 บริษัทต่าง ๆ ได้ร่วมมือกันจัดข้อตกลงในรูปแบบ Special interest group (SIG) เพื่อใช้ในการพัฒนาและส่งเสริมเทคโนโลยีบลูทูธ ซึ่งบลูทูธทำงานที่ความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) หรือในช่วง 2.4 ถึง 2.480 กิกะเฮิรตซ์แบ่งออกเป็น 20-40 ช่องสัญญาณ (Bluetooth SIG, 2016) ในปี 1999 มีการเผยแพร่ Bluetooth specification version 1 ซึ่งมีความเร็วสูงสุดในการถ่ายโอนข้อมูล 1 เมกะบิตต่อวินาที ในปี 2004 มีการเผยแพร่ Bluetooth specification version 2.0 + EDR โดยมีจุดเด่น คือ Enhanced data rate (EDR) ซึ่งมีการปรับปรุงความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงถึง 3 เมกะบิตต่อวินาทีและกลายเป็นที่นิยมมาก ปี 2009 มีการเผยแพร่ Bluetooth

specification version 3.0 + HS ซึ่ง HS ย่อมาจาก High-speed สามารถถ่ายโอนข้อมูลด้วยความเร็ว 24 เมกะบิตต่อวินาที เป็นเพราะมีการรับส่งข้อมูลแบบ Alternative MAC/PHY (AMP) เช่นเดียวกับที่ใช้กับอุปกรณ์ Wi-Fi ต่อมาในปี 2010 ได้ปรับปรุงโดยใช้โปรโตคอล (Protocol) ที่มีพลังงานต่ำในบลูทูธ 4.0 เป็น Bluetooth low energy (BLE) ซึ่งการใช้พลังงานต่ำเป็นคุณลักษณะเด่นของบลูทูธ 4.0 และโดดเด่นทางด้านความปลอดภัย การออกกำลังกาย เช่น อุปกรณ์สวมใส่ที่สามารถวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งหรือออกกำลังกายได้ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 เทคโนโลยีบลูทูธเวอร์ชัน 1 ถึง 4 (Bo, 2017)

Bluetooth 1.0	Bluetooth 2.0 + EDR	Bluetooth 3.0 + HS	Bluetooth 4.0
1998.10-2003.11	2004.11 – 2007.7	2009.4	2010.6 – 2014.12
<b>Base Rate</b>	<b>Enhanced Data Rate</b>	<b>HS Mode</b>	<b>Low Energy</b>
- 1 Mbps data rate	- Higher ordered modulation for data	- AMP	- Facing the IoT application
- V1.0 - Draft	payload	Alternative	- Changed the protocol
- V1.0A - published on 1999.7	- 2Mbps or 3Mbps	- Implement high data rate by using 802.11 protocols.	greatly, almost a new technology
- V1.0B Enhanced the Interoperability	- V2.0	- Facing the Challenge	- V4.0
- V1.1 - IEEE 802.15.1	- V2.1	from Wi-Fi	- V4.1
- V1.2 Enhanced the compatibility		- V3.0	- V4.2

ในปี 2016 มีบลูทูธ 5.0 ออกมาเพื่อรองรับระบบ Internet of things (IoT) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่รอบตัวได้ ซึ่งมีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลเร็วกว่า 2 เท่า ด้วยความเร็ว 2 เมกะบิตต่อวินาที ระยะการเชื่อมต่อไกลกว่า 4 เท่าสามารถเชื่อมต่อได้ไกลถึง 200 เมตร ภายนอกอาคารที่ไม่มีกำแพงหรือผนัง และ 50 เมตร ภายในอาคาร ขนาดข้อความสามารถส่งได้มากขึ้นถึง 255 ไบต์ และพลังงานที่ใช้ลดลงด้วยการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีบลูทูธที่ทำให้อุปกรณ์บลูทูธมีการส่งข้อมูลที่เร็ว ระยะในการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น และใช้พลังงานน้อยลง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำอุปกรณ์ Bluetooth

low energy หรือ BLE เข้ามาทดสอบเพื่อการประมาณตำแหน่งภายในอาคารด้วย ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้จะอธิบายไว้ในบทที่ 3 ต่อไป

## เปรียบเทียบเทคโนโลยี Wi-Fi กับบลูทูธในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จากการสำรวจข้อมูลของ Mainetti et al. (2014) ดังตารางที่ 2-2 พบว่า ความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของทั้งสองเทคโนโลยีเท่า ๆ กัน แต่ระยะในการใช้งานของเทคโนโลยีบลูทูธได้ระยะทางไกลกว่า Wi-Fi ราคาของ Wi-Fi มีตั้งแต่ต่ำถึงปานกลาง และบลูทูธจะมีราคาถูก ส่วนการนำไปใช้งานของทั้งสองเทคโนโลยีมีความซับซ้อนต่ำ และมีการนำไปใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และปัจจุบันการสื่อสารภายในอาคารส่วนใหญ่ใช้การสื่อสารแบบ WLAN ซึ่งทำให้อาคารส่วนใหญ่มีการติดตั้งอุปกรณ์กระจายสัญญาณ Wi-Fi ไว้อยู่แล้วจึงสะดวกต่อการนำมาใช้งาน และระยะของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่าเทคโนโลยีบลูทูธแต่เทคโนโลยี Wi-Fi มีการใช้พลังงานมาก ทำให้เทคโนโลยีบลูทูธจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เนื่องจากบลูทูธ 4.0 ขึ้นไปใช้พลังงานต่ำ และมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ในสมาร์ทโฟน อุปกรณ์สวมใส่ขณะออกกำลังกาย หรือสมาร์ทโฮม เป็นต้น และทั้งสองเทคโนโลยีสามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางได้ด้วย

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบเทคโนโลยี Wi-Fi กับบลูทูธที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง

Technology	Accuracy[m]	Coverage[m]	Cost	Complexity	Typical Environment
Wi-Fi	1-10	20-50	Medium/Low	Low	Indoor/Outdoor
Bluetooth	1-10	1-30	Low	Low	Indoor/Outdoor

## ความแรงของสัญญาณ (Received signal strength: RSS)

ความแรงของสัญญาณ (Liu et al., 2016; Lategahn, Muller, & Rohrig, 2013; Cherntanomwong, & Suroso, 2011; Cheng, Wu, & Zhang, 2011) คือ ระดับกำลังไฟฟ้าของสัญญาณวิทยุที่ส่งผ่านอากาศจากอุปกรณ์ไร้สายตัวส่งไปยังอุปกรณ์ไร้สายตัวรับ แล้วอุปกรณ์ตัวรับจะทำการวัดความแรงของสัญญาณ ซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิวัตต์ (Milliwatt: mW) เพื่อให้ง่ายต่อ



การคำนวณและแสดงผล จึงนิยมใช้กำลังสัญญาณในหน่วยเดซิเบลมิลลิวัตต์ (Decibel milliwatt: dBm) การแปลงหน่วยจาก mW เป็น dBm ตามสมการที่ (2-1) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการวัดค่า RSS จากสัญญาณที่ Aps แต่ละตัวส่งมายังโหนดอ้างอิงโดยจะใช้เป็นหน่วย dBm

$$P_{dBm} = 10\log_{10}(P_{mW}/1mW) \quad (2-1)$$

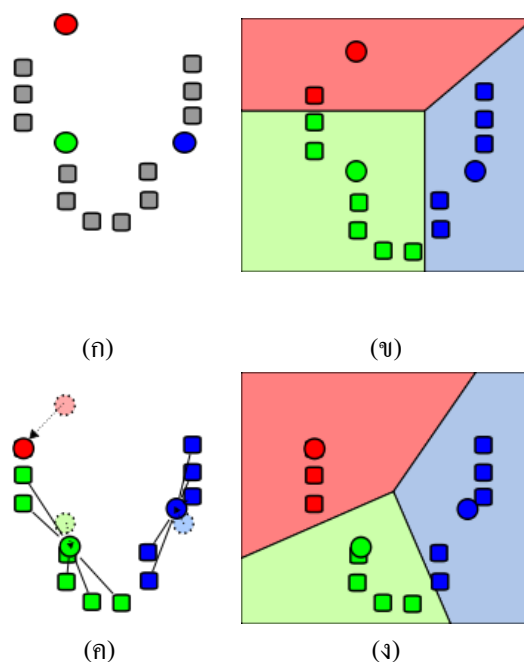
$P_{dBm}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วย dBm

$P_{mW}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วย mW

### การจัดกลุ่มแบบ K-means clustering

K-means clustering เป็นหนึ่งในเทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster analysis) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Nonhierarchical cluster analysis) ซึ่งนำมาใช้จำแนกหรือแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งอย่างชัดเจนและต้องกำหนดค่ากลาง (Mean) หรือเซนทรอยด์ (Centroid) ของแต่ละกลุ่ม เช่น ต้องการแบ่งข้อมูลออกเป็น k กลุ่มจะต้องมีค่ากลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มจำนวน k ค่า ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. ได้จากการสุ่มจากโดเมนข้อมูลดังภาพที่ 2-1 (ก) แล้วคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม
2. ทำการแบ่งกลุ่มโดยที่ข้อมูลกลุ่มเดียวกันจะมีระยะห่างจากค่ากลางของกลุ่มน้อยกว่าค่ากลางของกลุ่มอื่น ดังภาพที่ 2-1 (ข)
3. ทำการหาเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มใหม่ซึ่งหาได้จากค่าเฉลี่ยของตำแหน่งข้อมูลแต่ละกลุ่มดังภาพที่ 2-1 (ค)
4. ทำการแบ่งกลุ่มอีกครั้งดังภาพที่ 2-1 (ง) ทำการหาเซนทรอยด์และแบ่งกลุ่มซ้ำจนกว่าค่าเซนทรอยด์จะไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงไม่เกินตามที่กำหนด

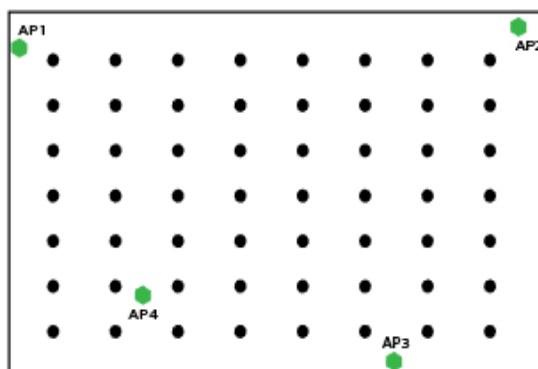


ภาพที่ 2-1 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มแบบ K-means clustering (Wikipedia, 2018)

## เทคนิคฟingerprint (Fingerprint techniques) ทั่วไป

เทคนิคฟingerprint มาจากหลักการที่ว่าลายนิ้วมือของแต่ละคนแตกต่างกัน จึงสามารถนำมาใช้เพื่อระบุตัวตนของแต่ละคนได้ ซึ่งสัญญาณวิทยุก็มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ เมื่อทำการวัดค่าความแรงสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ตัวส่ง (Transmitter) และอุปกรณ์ตัวรับ (Receiver) ในบริเวณต่าง ๆ จะได้ค่า RSS ที่มีลักษณะแตกต่างกัน จึงสามารถนำเทคนิคฟingerprint มาใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ โดยทั่วไปเทคนิคฟingerprint จะมีสองส่วนหลักดังนี้

1. ส่วนออฟไลน์ (Offline) ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เรียนรู้ (Training phase) ซึ่งจะทำให้การสร้างแผนที่ฟingerprint โดยงานวิจัยที่ใช้ค่าความแรงสัญญาณในการคำนวณตำแหน่ง จะทำการเก็บค่าความแรงสัญญาณบริเวณต่าง ๆ ภายในอาคารเพื่อนำมาสร้างเป็นแผนที่ฟingerprint ดังงานวิจัยของ Cherntanomwong, and Suroso (2011)



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างตำแหน่งที่เก็บค่าความแรงของสัญญาณภายในพื้นที่ทดลอง

(Chermtanomwong, & Suroso, 2011)

โดยมีสัญลักษณ์วงกลมดำเล็ก คือ ตำแหน่งที่ใช้เก็บค่าความแรงสัญญาณ และวงกลมสีเขียวขนาดใหญ่ คือ ตำแหน่งของ APs

2. ส่วนออนไลน์ (Online) จะทำหน้าที่ระบุตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โดยการวัดค่าความแรงสัญญาณระหว่าง APs แต่ละตัวกับวัตถุเป้าหมาย แล้วนำค่าความแรงสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ แล้วเลือกบริเวณที่มีลักษณะความแรงสัญญาณใกล้เคียงกับแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่สุดเป็นตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างฐานข้อมูล โดยที่  $n$  คือ จำนวนตำแหน่งที่เก็บค่าความแรงของสัญญาณ และ  $m$  คือ จำนวน APs ที่ใช้งาน

ตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย	ความแรงสัญญาณของ APs แต่ละตัว
$(x_1, y_1)$	$F_1 = RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_m$
$(x_2, y_2)$	$F_2 = RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_m$
...	...
$(x_n, y_n)$	$F_n = RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_m$

### เทคนิคฟังก์เจอร์ปริ้นท์แบบไม่ทำการเก็บข้อมูล

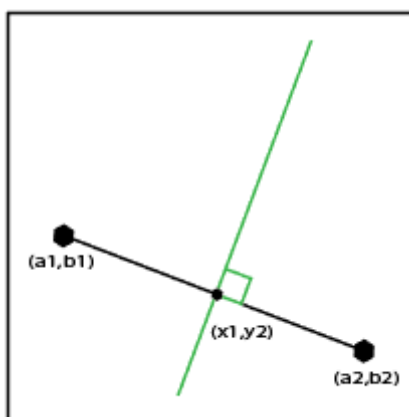
เทคนิคฟังก์เจอร์ปริ้นท์แบบทั่วไปที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้จะใช้เวลาในส่วนของออฟไลน์เพื่อเก็บข้อมูลภายในพื้นที่ก่อนข้างนาน ต่อมาจึงมีงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ที่สามารถลดเวลาในส่วนออฟไลน์นี้ได้ โดยการสร้างแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์จากตำแหน่งของ APs ซึ่งจะทำ

การเลือกใช้ APs เพียงบางส่วน แล้วนำตำแหน่งของ APs ที่เลือกมาสร้างเป็นแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ โดยไม่มีการเก็บข้อมูลภายในพื้นที่ ซึ่งมีขั้นตอน 2 ส่วน เหมือนกับเทคนิคฟังก์เจอร์ปริ้นท์แบบทั่วไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนออฟไลน์ เป็นขั้นตอนการสร้างแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์

1.1 เลือกใช้ APs จำนวน 4 ตัวจากทั้งหมด 7 ตัว แล้วบันทึกตำแหน่งของ APs

1.2 ลากเส้นตั้งฉากแบ่งครึ่งระหว่าง APs ที่เลือกใช้แต่ละตัว เพื่อทำการแบ่งพื้นที่ ออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ โดยใช้การลากเส้นตั้งฉากระหว่างกลางของจุด 2 จุด (ดังภาพที่ 2-3) ซึ่งสามารถทำการหาเส้นตั้งฉากระหว่างกลางของจุด  $(a_1, b_1)$  กับ  $(a_2, b_2)$  ได้จากสมการที่ (2-7)



ภาพที่ 2-3 การลากเส้นตั้งฉากระหว่างกลางของจุดสองจุด

สมการหาจุดกึ่งกลางระหว่างจุด  $(a_1, b_1)$  กับ  $(a_2, b_2)$

$$(x_1, y_1) = \left( \frac{a_1 + a_2}{2}, \frac{b_1 + b_2}{2} \right) \quad (2-2)$$

โดยมีความชัน คือ  $m$

$$m = \frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1} \quad (2-3)$$

จากทฤษฎี เมื่อเส้นตรงสองเส้นตั้งฉากกัน แล้วความชันของเส้นตรงทั้งสองจะเท่ากับ  $-1$

จาก $mm_1 = -1$	(2-4)
$\left(\frac{b_2 - b_1}{a_2 - a_1}\right)m_1 = -1$	
จะได้ $m_1 = -\left(\frac{a_2 - a_1}{b_2 - b_1}\right)$	(2-5)

จากสมการที่ (2-6) และ (2-7) จะได้สมการเส้นตรงที่ตั้งฉาก และอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด  $(a_1, b_1)$  กับ  $(a_2, b_2)$  ดังนี้

$$\text{จากสมการเส้นตรง } y = mx + c \quad (2-6)$$

$$y - y_1 = m_1(x - x_1)$$

$$\text{จะได้ } y = -\left(\frac{a_2 - a_1}{b_2 - b_1}\right)\left(x - \frac{a_1 + a_2}{2}\right) + \left(\frac{b_1 + b_2}{2}\right) \quad (2-7)$$

1.3 หาดำแหน่งเส้นทแยงของพื้นที่ย่อย ๆ ในแผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์ เพื่อใช้ในการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ซึ่งสามารถหาดำแหน่งของเส้นทแยงโดยการแทนค่าตำแหน่งของมุม และขนาดของพื้นที่ในสมการที่ (2-13) และ (2-14) โดยมุม คือ จุดตัดระหว่างเส้นตรงสองเส้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2-11) และขนาดของพื้นที่หาได้จากสมการที่ (2-12) สมการสำหรับหาดำแหน่งเส้นทแยงมีดังนี้

การหาจุดตัดของเส้นตรงสองเส้น

$$\text{สมการเส้นตรงที่ 1; } y_1 = m_1x_1 + c_1 \quad (2-8)$$

$$\text{สมการเส้นตรงที่ 2; } y_2 = m_2x_2 + c_2 \quad (2-9)$$

$$\text{เมื่อ } y_1 = y_2 \text{ และ } x_1 = x_2; m_1x + c_1 = m_2x + c_2 \quad (2-10)$$

จะได้ตำแหน่งของจุดตัด  $(x, y)$  ดังสมการ (2-11)

$$\left(x = \frac{c_2 - c_1}{m_1 - m_2}, y = m_1\left(\frac{c_2 - c_1}{m_1 - m_2}\right) + c_1\right) \quad (2-11)$$

การหาพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยม

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2-12)$$

การหาจุดเซนทรอยด์

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2-13)$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1}) (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2-14)$$

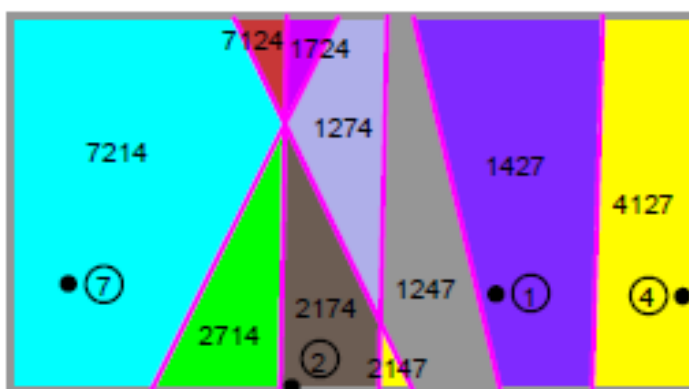
A คือ ขนาดพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยม

$(x_i, y_i)$  คือ พิกัดของมุมที่ i ของรูปหลายเหลี่ยม (จุดตัดของเส้นตรงสองเส้น)

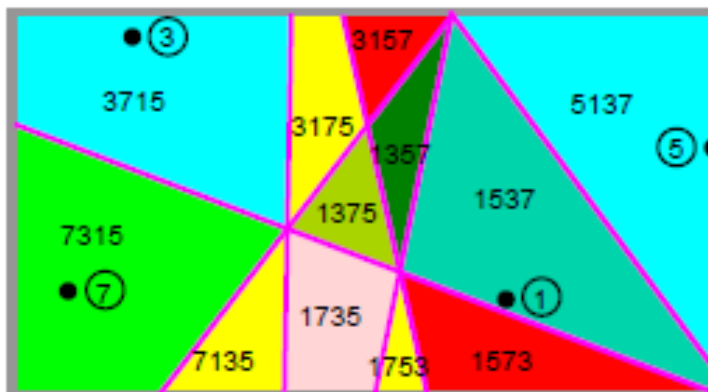
n คือ จำนวนมุมของรูปหลายเหลี่ยม

$C_x$  คือ พิกัด x ของจุดเซนทรอยด์

$C_y$  คือ พิกัด y ของจุดเซนทรอยด์



ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการเลือก AP ที่ 1 2 4 และ 7 (Liu et al., 2016)



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการเลือก AP ที่ 1 3 5 และ 7 (Liu et al., 2016)

2. ส่วนออนไลน์ เป็นขั้นตอนการวัดค่า RSS แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ที่สร้างจากส่วนออฟไลน์ดังขั้นตอนที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ เพื่อหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายต่อไป ซึ่งจากงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ในส่วนออนไลน์จะมีขั้นตอนดังนี้

2.1 วัดค่าความแรงสัญญาณระหว่าง APs แต่ละตัวกับวัตถุเป้าหมาย

2.2 นำค่าความแรงที่ได้ทั้งหมด 7 ค่ามาทำการเรียงลำดับจากน้อยสุดไปมากที่สุด

ตามลำดับ

2.3 นำ APs และค่าความแรงสัญญาณมาทำการจัดกลุ่มด้วยวิธี K-means clustering จำนวน 4 กลุ่ม

2.4 ทำการเลือกตัวแทน APs ของแต่ละกลุ่ม จะได้เซตตัวแทน APs ซึ่งภายในเซตจะมีสมาชิกของ APs จำนวน 4 ตัว เช่น {3157}

RSS เดิม

AP	1	2	3	4	5	6	7
RSS	-44	-55	-34	-62	-53	-51	-65

AP ที่เรียงลำดับแล้ว

AP	3	1	6	5	2	4	7
RSS	-34	-44	-51	-53	-55	-62	-65

เลือก 4 จาก 7 : 3 1 5 7

ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างข้อมูลความแรงสัญญาณของ APs แต่ละตัว และการจัดกลุ่มแบบ K-means clustering

2.5 นำเซตตัวแทน APs ไปเปรียบเทียบกับแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ถ้าตรงกับหมายเลขใดในพื้นที่ย่อยของแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ จะประมาณให้วัตถุเป้าหมายอยู่ตรงกับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยนั้น เช่น เซตของ APs คือ {3157} ตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย คือ ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยหมายเลข 3157 (ตัวอย่างแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ดังภาพที่ 2-5)

จากขั้นตอนในงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ผู้วิจัยทำการปรับปรุงขั้นตอนในส่วนออนไลน์ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่ง ให้สามารถประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากที่สุด ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนจะอธิบายไว้ในบทที่ 3 ต่อไป

### การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด

#### 1. ความแม่นยำ (Accuracy)

BASRI, and Khadimi (2016) ความแม่นยำ หรือความถูกต้อง ปกติแล้วจะกล่าวถึงความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งที่ประมาณได้กับตำแหน่งจริง ซึ่งถ้าระบบใดที่มีความถูกต้องสูงกว่าก็จะเป็นระบบที่ดีกว่า Al-Ammar et al. (2014) กล่าวว่าความถูกต้องจะเป็นกุญแจสำคัญของการระบุตำแหน่ง แต่การวิเคราะห์ประสิทธิภาพอาจต้องดูความถูกต้องประกอบกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพในด้านอื่น ๆ ด้วย

#### 2. ความเที่ยงตรง (Precision)

BASRI, and Khadimi (2016) ความเที่ยงตรงของระบบการระบุตำแหน่งจะกล่าวถึง



ความน่าจะเป็นของการระบุตำแหน่งที่ประสบความสำเร็จ หรือไม่ประสบความสำเร็จจากความแม่นยำ (Accuracy) ที่ได้รับ ระบบที่มีความเที่ยงตรงสูงเมื่อทำการทดสอบหลายครั้งจะได้ค่าตรงกันหรือใกล้เคียงกัน

### 3. ต้นทุน (Cost)

Al-Ammar et al. (2014) ต้นทุนของระบบสามารถวัดได้จากหลายปัจจัยคือ ค่าใช้จ่ายเวลา พื้นที่ และพลังงาน ซึ่งต้นทุนจากค่าใช้จ่ายอาจเกิดจากการซื้อ การติดตั้ง หรือจากการซ่อมบำรุงอุปกรณ์หรือระบบ และต้นทุนจากเวลาอาจเกิดจากเวลาที่ใช้ในการติดตั้ง การสำรวจ การเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นต้น

### 4. ความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage area)

Al-Ammar et al. (2014) ความครอบคลุมของพื้นที่ คือ ความครอบคลุมพื้นที่ของระบบการระบุตำแหน่ง ซึ่งการทำงานของระบบการระบุตำแหน่งแต่ละระบบจะมีพื้นที่ใช้งานที่แตกต่างกัน ระบบที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างที่สุดจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพที่สุด ความครอบคลุมจะมีทั้งหมดสามระดับ ระดับที่หนึ่ง คือ ระดับท้องถิ่น (Local) คือ ระบบที่กำหนดขอบเขตพื้นที่ใช้งาน ไว้อย่างดีไม่สามารถขยายได้ ระดับที่สองคือ ระดับที่สามารถปรับได้ (Scalable) คือ ระบบสามารถปรับขยายพื้นที่ใช้งานได้โดยการเพิ่มฮาร์ดแวร์ (Hardware) ระดับที่สามคือ ระดับโลก (Global) เป็นระบบที่มีพื้นที่ใช้งานทั่วโลก เช่น GPS

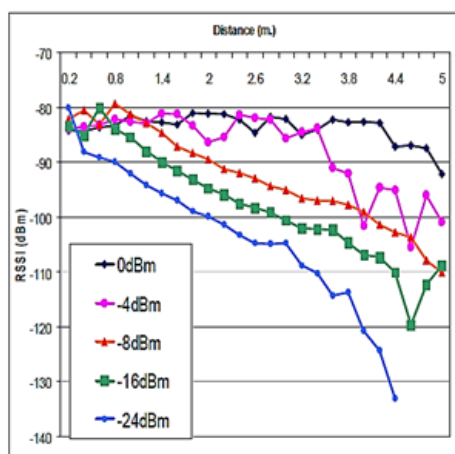
### 6. ความซับซ้อน (Complexity)

BASRI, and Khadimi (2016) ความซับซ้อน สามารถเกิดได้จากฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และปัจจัยการดำเนินงาน เช่น ตัวอย่างงานวิจัยของ Cheng et al. (2011) เป็นการระบุตำแหน่งโดยใช้ RSS ร่วมกับ TDOA (Time difference of arrival) และใช้วิธี Iterative recursive weighted average filter ในการกรองข้อมูลจากการวัดค่า RSS ซึ่งเป็นวิธีที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน ทำให้อุปกรณ์ใช้พลังงานในการคำนวณน้อยลง และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยลงด้วย

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยสนใจการใช้ค่า RSS ในการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูงได้ จึงทำการศึกษาการใช้ค่าความแรงสัญญาณในการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด ซึ่งค่าความแรงสัญญาณมีความไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสภาพแวดล้อมภายในอาคาร จึงส่งผลให้การใช้ค่าความแรงสัญญาณในการระบุตำแหน่งภายในอาคารมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งงานวิจัยของ Thongpull, Jindapetch, and Teerapajakornmet (2009) ที่ทำการปรับปรุงการใช้ค่าความแรงสัญญาณ โดยการแยกกำลังส่งตามความเหมาะสมของ

ระยะระหว่างโหนด ซึ่งมีการแยกกำลังออกเป็น 5 ค่า ในระยะห่างที่ต่างกันของตัวรับกับตัวส่งตั้งแต่ระยะ 0.2 ถึง 5 เมตร จากภาพที่ 2-7 จะเห็นว่ากำลังส่ง -24 dBm และ -16 dBm มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความแรงสัญญาณคล้อยตามกับระยะห่าง มีความเป็นเชิงเส้นและมีการแกว่งของสัญญาณน้อย งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเลือกกำลังส่งที่เหมาะสมจะส่งผลให้การใช้ค่าความแรงสัญญาณไปคำนวณตำแหน่งสามารถลดค่าความผิดพลาดลงได้



ภาพที่ 2-7 ค่าความแรงสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างโหนดตั้งแต่ระยะ 1 เมตรถึง 5 เมตร โดยแยกตามกำลังส่งช่วงต่าง ๆ ซึ่งกำลังส่งสูงสุดอยู่ที่ 0 dBm ไปจนถึง -24 dBm (Thongpull et al., 2009)

เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน เมื่อนำมาใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคารจึงเกิดความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้ต้องใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับวิธีอื่น เพื่อทำให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำขึ้น เช่น Lategahn et al. (2013) เป็นการใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับวิธี TDOA และใช้การกรองข้อมูลแบบ Kalman ในการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิด ระบบทำงานโดยการใช้วิธี TDOA ในการระบุตำแหน่งก่อน แล้วจึงทำการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้กับค่าความแรงสัญญาณที่คำนวณไว้ ถ้าค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้มีค่ามากกว่า ระบบจะเปลี่ยนมาใช้ความแรงสัญญาณในการระบุตำแหน่งแทน (ดังภาพที่ 2-4) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งลง และงานวิจัยของ Cheng, et al. (2011) ได้ทำการระบุตำแหน่งโดยใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับ TDOA โดยใช้ Iterative recursive weighted average filter เพื่อกรองข้อมูลความแรงสัญญาณที่วัดได้ก่อนนำไปประมวลผล ซึ่งวิธีการ

กรอนี้มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน ส่งผลให้ระบบสามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น ประหยัดพลังงาน และประหยัดพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลการเพื่อใช้ในการประมวลผลด้วย

---

**Algorithm 1** Update Phase

---

```

update state with the TDoA measurement model
for all RSS measurements do
  compute RSS value between tag and current anchor
  if measured RSS value > computed RSS value then
    update state with the RSS measurement model
  end if
end for

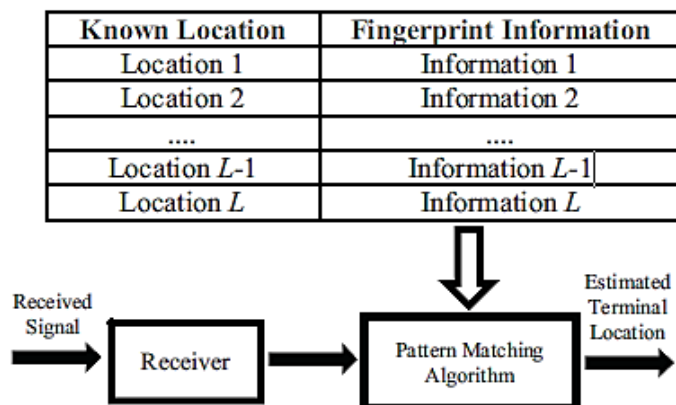
```

---

ภาพที่ 2-8 อัลกอริทึมในการอัปเดตระบบการประมวลผลของงานวิจัย Lategahn et al. (2013)

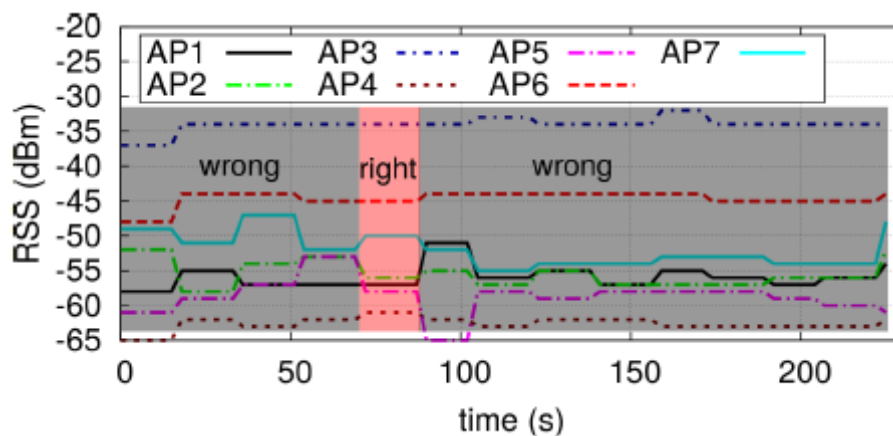
การระบุตำแหน่งโดยใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับวิธีอื่น ๆ เช่น AoA หรือ TDOA เพื่อช่วยให้ระบบระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น แต่การวัดเหล่านี้ยังมีข้อเสีย เช่น การใช้วิธี AoA ยังคงมีความซับซ้อนในการวัดมุม และการใช้วิธี TDOA เพื่อให้ได้การระบุตำแหน่งที่แม่นยำ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ที่มีความละเอียดสูงซึ่งก็มีราคาสูงเช่นเดียวกัน จึงมีงานวิจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ความแรงสัญญาณในการระบุตำแหน่งให้แม่นยำขึ้น โดยใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์เข้ามาช่วย เช่น งานวิจัยของ Cherntanomwong, and Suroso (2011) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้วิธีนำความแรงสัญญาณมาคำนวณระยะทางโดยตรง และการใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ ในเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์มีขั้นตอนอยู่ 2 ส่วน ดังที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี ในส่วนออนไลน์จะทำการเก็บข้อมูลความแรงสัญญาณของตำแหน่งต่าง ๆ ไว้ในฐานข้อมูล ตัวอย่างฐานข้อมูลของงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 2-5 และส่วนออนไลน์จะทำการทดลองวัดค่าความแรงสัญญาณระหว่างวัตถุเป้าหมายกับ APs และระบุตำแหน่งวัตถุเป้าหมายจากการจับคู่ความแรงสัญญาณที่วัดได้กับความแรงสัญญาณในฐานข้อมูล เพื่อดูว่าค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลที่ตำแหน่งใดมากที่สุด แล้วทำการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายให้เป็นตำแหน่งนั้น ซึ่งจากการทดลองทั้งวิธีการใช้ความแรงสัญญาณมาคำนวณระยะทางโดยตรง และการใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์มีการใช้ APs จำนวน 4 ตัว และ 6 ตัวเหมือนกันทั้งสองวิธี ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ APs จำนวน 4 ตัว และ 6 ของวิธีการใช้ความแรงสัญญาณมาคำนวณ โดยตรง คือ 1.31 และ 1.12 เมตร ตามลำดับ และผลลัพธ์ของวิธีการใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ คือ 0.56 และ 0.44 เมตร ตามลำดับ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์เข้ามาช่วย จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนของระบบลงได้ด้วย

## FINGERPRINT DATABASE

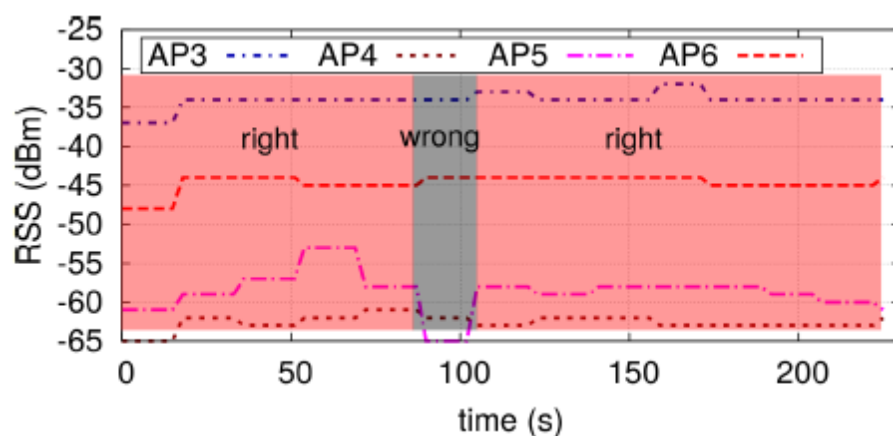


ภาพที่ 2-9 ฐานข้อมูลของเทคนิคฟingerprint (Chermtanomwong, & Suroso, 2011)

การใช้ค่าความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟingerprint ในการระบุตำแหน่งสามารถระบุตำแหน่งได้ถูกต้องกว่าการใช้ค่าความแรงสัญญาณโดยตรง แต่ในส่วนออฟไลน์ของเทคนิคฟingerprint ใช้เวลามากในการเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลเพื่อสร้างฟingerprint ซึ่งมีงานวิจัยของ Liu et al. (2016) เป็นวิธีการที่ใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟingerprint เช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงที่ใช้เวลาน้อยกว่าในขั้นตอนการเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลของส่วนออฟไลน์ โดยขั้นตอนในส่วนออฟไลน์และออนไลน์ของงานวิจัยนี้ได้อธิบายอย่างละเอียดไว้ตอนต้นในเทคนิคฟingerprint แบบไม่ทำการเก็บข้อมูล ผลการวิจัยของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเลือก APs เพียงบางตัวมาใช้ในการประมวลผล ทำให้การระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้ APs ทั้งหมดมาประมวลผล ซึ่งความถูกต้องของค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้จาก APs ทั้งหมด 7 ตัว กับค่าความแรงสัญญาณที่เลือกได้จาก APs เพียง 4 ตัว ดังภาพที่ 2-10 และ 2-11 ตามลำดับ และข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาน้อยในการสำรวจพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูล

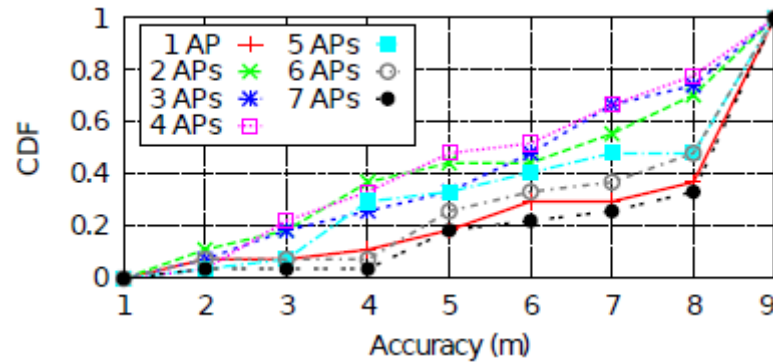


ภาพที่ 2-10 ค่าความแรงสัญญาณของ APs ทั้งหมด 7 ตัว (Liu et al., 2016)

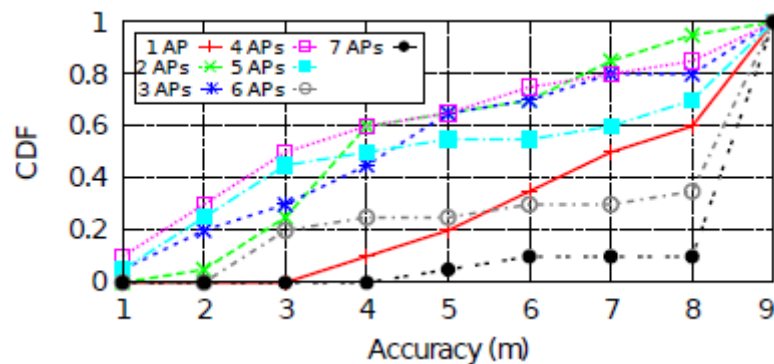


ภาพที่ 2-11 ค่าความแรงสัญญาณของ APs จำนวน 4 ตัว (Liu et al., 2016)

ผลการทดลองระบุตำแหน่งของงานวิจัย Liu et al. (2016) ภายในห้องขนาด 60x40 เมตร ดังภาพที่ 2-12 และห้องขนาด 25x14 เมตร ดังภาพที่ 2-13 พบว่า ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เมตรด้วยค่า CDF (Cumulative density function) 50% ถึง 60% และมีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดไม่เกิน 9 เมตร



ภาพที่ 2-12 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งโดยมีจำนวน APs ต่างกันของห้องขนาด 60x40 (Liu et al., 2016)



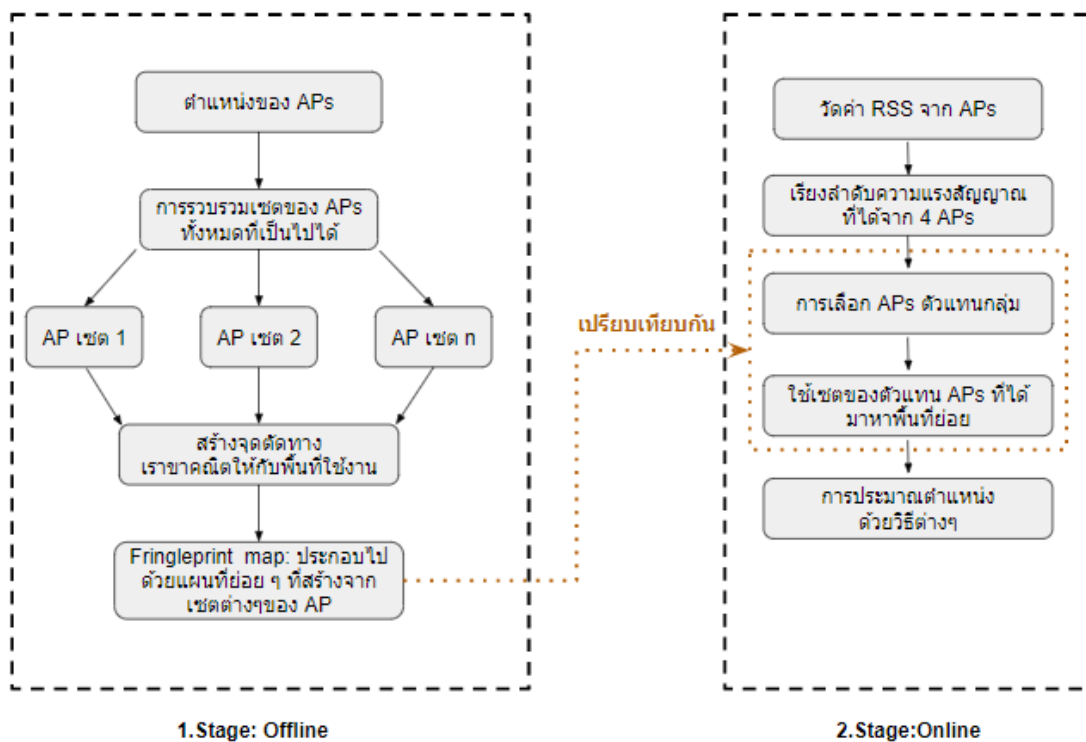
ภาพที่ 2-13 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งโดยมีจำนวน APs ต่างกันของห้องขนาด 25x14 (Liu et al., 2016)

จากการศึกษางานวิจัย ผู้วิจัยสนใจที่จะนำวิธีการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดโดยใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนซ์ของงานวิจัย Liu et al. (2016) มาทำการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากวิธีนี้ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลในการสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนซ์น้อยกว่าวิธีการใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนซ์แบบทั่วไป และยังมีส่วนที่น่าสนใจในการนำมาพัฒนาต่อยอดเพื่อลดความผิดพลาดในการตรวจจับ และเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วย ซึ่งแนวทางการพัฒนาต่อยอดจะอธิบายในบทที่ 3 ต่อไป

### บทที่ 3

## ระเบียบวิธีการวิจัย

### ภาพรวมการระบุตำแหน่งภายในพื้นที่ปิดที่นำเสนอ



ภาพที่ 3-1 ภาพรวมขั้นตอนการระบุตำแหน่ง

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการเรียงลำดับ APs ร่วมกับการใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์โดยไม่ต้องทำการสำรวจพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลเหมือนเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์แบบเดิม เนื่องจากข้อดีจากงานของ Liu et al. (2016) คือ ช่วยลดเวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อทำแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ และยังสามารถประมาณตำแหน่งที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เมตร ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำงานวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะกับพื้นที่ที่ผู้วิจัยเลือกใช้งาน และพัฒนาต่อยอดให้สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำขึ้นด้วย โดยงานวิจัยนี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนออฟไลน์ จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ส่วนที่สองเป็นส่วนออนไลน์ ทำหน้าที่ระบุตำแหน่ง ซึ่งจะทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณแล้วนำไปเปรียบเทียบกับ

แผนที่ฟังก์ชันที่เปรียบเทียบตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายด้วยวิธีต่าง ๆ ต่อไป ภาพรวมขั้นตอนการระบุตำแหน่งดังภาพที่ 3-1

## อุปกรณ์

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการวัดค่าความแรงของสัญญาณของสองเทคโนโลยี คือ เทคโนโลยี Wi-Fi และเทคโนโลยีบลูทูธ เพื่อนำค่าความแรงของสัญญาณทั้งสองเทคโนโลยีไปประมวลผล และระบุตำแหน่งของวัตถุต่อไป โดยเทคโนโลยี Wi-Fi จะใช้อุปกรณ์ NodeMCU (ESP-12E) และเทคโนโลยีบลูทูธจะใช้บอร์ด nRF52840-PDK เป็นตัวอ่านค่าความแรงสัญญาณของบลูทูธ และโมดูลบลูทูธใช้สำหรับปล่อยสัญญาณบลูทูธ ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ทั้งสองเทคโนโลยีดังนี้

1. เทคโนโลยี Wi-Fi จะใช้โมดูล Wi-Fi ที่มีขนาดเล็กเรียกว่า NodeMCU (ESP-12E) ซึ่งเป็นโมดูล Wi-Fi ที่ใช้งานเกี่ยวกับด้าน Internet of things (IoTs) ที่มาพร้อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ซึ่งเป็นชิพที่ช่วยในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยมีเฟิร์มแวร์ (Firmware) ที่เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) อยู่ภายในเป็นแบบ Open source ทำงานในลักษณะ Serial-to-Wi-Fi สามารถเขียนได้ทั้งภาษา Lau และยังสามารถใช้งานร่วมกับ Arduino IDE ได้จึงทำให้เขียนภาษา C/ C++ ได้ด้วย ซึ่ง NodeMCU สามารถทำงานได้สามโหมดคือ Access point (AP) Station (STA) และ Access point ร่วมกับ Station ตัวบอร์ดมีพอร์ตอินพุต (Input port) และเอาต์พุต (Output port) มาให้ จึงทำให้สะดวกต่อการเขียนโปรแกรมควบคุม



ภาพที่ 3-2 Node MCU (ESP-12E) V.2

เนื่องจาก NodeMCU เป็นโมดูล Wi-Fi ที่ราคาไม่สูงและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงใช้ NodeMCU ในการรับส่งข้อมูล โดยจะนำไปใช้งานสองหน้าที่ คือ เป็นโหนดอ้างอิง (Reference node) จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ Wi-Fi ซึ่งผู้วิจัยจะเรียกว่า APs และโหนดเป้าหมาย (Target node) จำนวน 1 ตัวทำหน้าที่รับและอ่านค่าความแรงสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่



ปล่อยออกมา แล้วจึงนำค่าความแรงสัญญาณที่อ่านได้ไปประมวลผล เพื่อระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายต่อไป

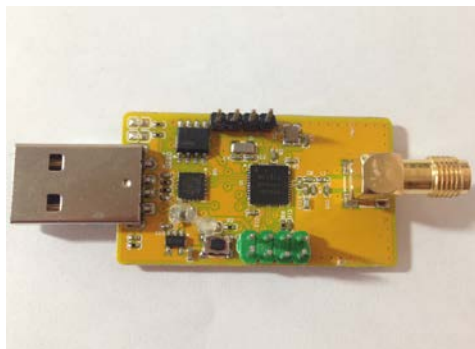
## 2. เทคโนโลยีบลูทูธจะใช้บอร์ด nRF52840-PDK และโมดูลบลูทูธ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 บอร์ด nRF52840-PDK เป็นบอร์ดพัฒนาอเนกประสงค์ของ Nordic semiconductor ซึ่งเป็นเทคโนโลยีบลูทูธ 5 ความถี่ 2.4 GHz ใช้พลังงานต่ำ สามารถรองรับซอฟต์แวร์ Tool-chain มาตรฐานของ Nordic ได้โดยใช้ Keil, IAR และ GCC มีขาอินพุต เอาท์พุท I/O พร้อมกับ LED และปุ่ม 4 ชุดที่สามารถโปรแกรมควบคุมได้ ซึ่งผู้วิจัยใช้บอร์ดนี้ในการอ่านค่าความแรงสัญญาณของบลูทูธที่ส่งมาจากโมดูลบลูทูธในหัวข้อ 2.2



ภาพที่ 3-3 บอร์ด nRF52840-PDK

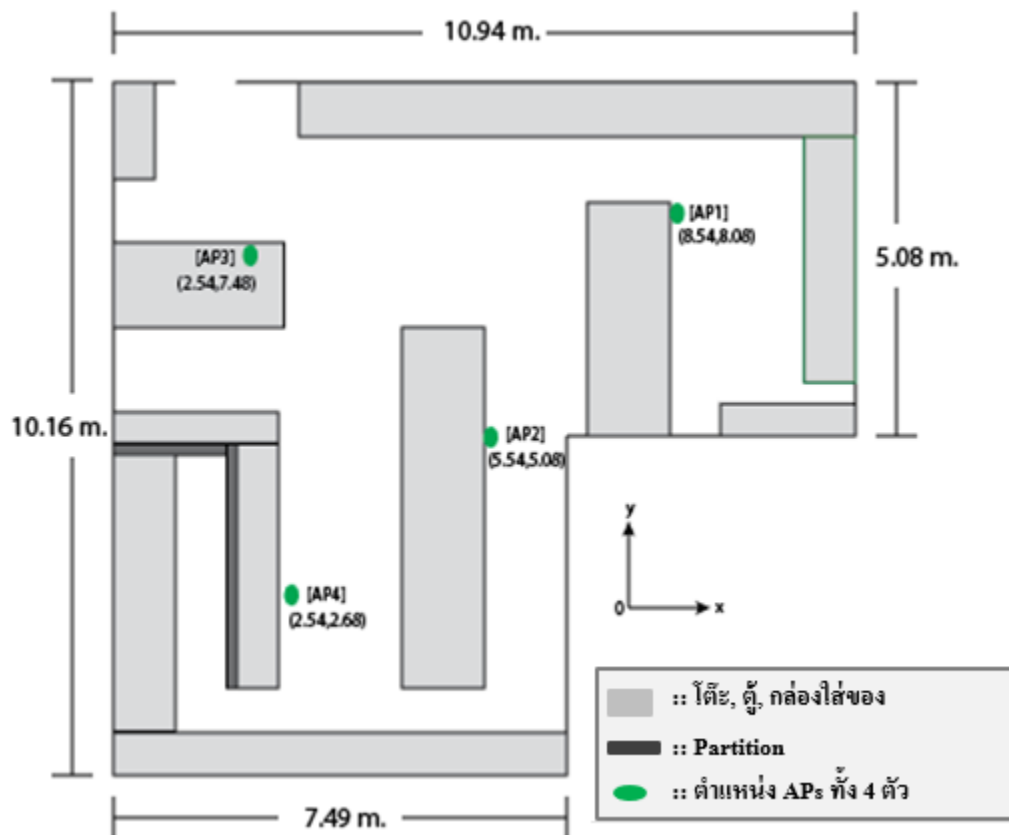
2.2 โมดูลบลูทูธ เป็นโมดูลที่ออกแบบโดยนักวิจัยของบริษัท เบสแล็บ จำกัด เพื่อใช้ในการปล่อยสัญญาณบลูทูธ โดยใช้ชิป nRF51422 เป็นเทคโนโลยีบลูทูธ 4.2 ซึ่งใช้พลังงานต่ำ หรือเรียกว่า Bluetooth low energy สามารถเชื่อมต่อใช้งานผ่าน Universal asynchronous receiver/transmitter (UART) ได้ ผู้วิจัยใช้โมดูลนี้ในการปล่อยสัญญาณบลูทูธจำนวน 4 ตัว และใช้ในการทดลองเก็บค่าความแรงของสัญญาณบลูทูธได้นำ APs ที่ทำหน้าที่ปล่อยสัญญาณ Wi-Fi ทั้ง 4 ตัว ออก แล้วติดตั้งโมดูลบลูทูธทั้ง 4 ตัวนี้แทนในตำแหน่งเดียวกับ APs ที่ปล่อยสัญญาณ Wi-Fi



ภาพที่ 3-4 โมดูลบลูทูธ

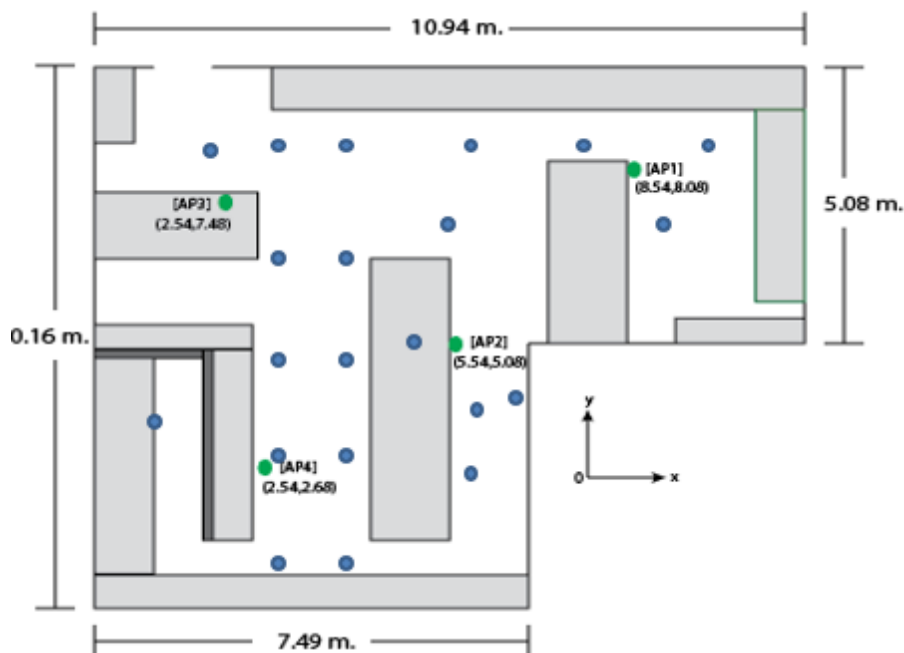
### สภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลอง และการติดตั้งอุปกรณ์

สภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลองเป็นห้องทดลองที่ใช้ทำงานจริง จึงมีสิ่งกีดขวางมากมาย อยู่ภายในห้อง ประกอบไปด้วย ฉากกั้น โต๊ะ เก้าอี้ ตู้โลหะ และลังกระดาษใส่ของอีกจำนวนมาก ทำให้สภาพแวดล้อมภายในห้องเป็นแบบ NLOS (Non line of sight) คือ การรับส่งข้อมูลแบบไม่เป็นเส้นตรงหรือไม่ใช่แนวสายตา หมายความว่า สัญญาณที่ส่งอาจจะท้อกับสิ่งกีดขวางก่อนจะไปถึงตัวรับได้ การติดตั้งอุปกรณ์ภายในห้องผู้วิจัยทำการติดตั้งอุปกรณ์ APs บนเพดานห้องจำนวน 4 จุดเพื่อให้ APs สามารถกระจายสัญญาณได้ครอบคลุมบริเวณห้องและสามารถประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายได้แม่นยำขึ้น ซึ่งจำนวนของ APs ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาด และความซับซ้อนของพื้นที่ใช้งาน การเพิ่มจำนวน APs มีผลกับการประมาณค่าตำแหน่ง ถ้ามี APs มากขึ้น ความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งจะน้อยลงดังงานวิจัยของ Cherntanomwong, and Suroso (2011) และงานวิจัย Liu et al. (2016) นำเสนอการระบุตำแหน่งโดยเลือกใช้ APs เพียง 4 ตัว จาก 7 ตัว ผลการทดลองของงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเลือกใช้ APs จำนวน 4 ตัวมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าใช้ APs จำนวน 7 ตัว ผู้วิจัยสนใจวิธีการของงานวิจัยนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ใช้งาน เนื่องจากพื้นที่ใช้งานของเรามีขนาดเล็กกว่าผู้วิจัยจึงเลือกใช้ APs เพียง 4 ตัวเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์ลง และจะเลือกเพียง 3 ตัวมาใช้ประมาณตำแหน่งต่อไป จากภาพที่ 3.3 แสดงขนาดและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ใช้งาน ซึ่งกรอบสี่เหลี่ยมสีเทาในพื้นที คือ สิ่งของที่ประกอบไปด้วย โต๊ะ เก้าอี้ ตู้โลหะ ลังกระดาษใส่ของ ส่วนสี่เหลี่ยมเข้ม คือ ฉากกั้น และจุดสีเขียว คือ ตำแหน่งที่ติดตั้ง APs หรือ โมดูลบลูทูธทั้ง 4 ตัว



ภาพที่ 3-5 สภาพแวดล้อมและขนาดของพื้นที่ใช้งาน

ผู้วิจัยได้ทำการเลือกตำแหน่งสำหรับทดลองให้มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น ตำแหน่งที่เป็นทางเดินซึ่งเป็นที่โล่ง ตำแหน่งที่อยู่ใกล้กำแพง ใกล้ตู้โลหะ ใกล้ถังกระดาษใส่ของ ตำแหน่งที่อยู่ใต้โต๊ะ และใต้โต๊ะที่อยู่ในพื้นที่ที่มีฉากกั้น ซึ่งตำแหน่งที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 21 ตำแหน่ง แสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บค่าความแรงสัญญาณ

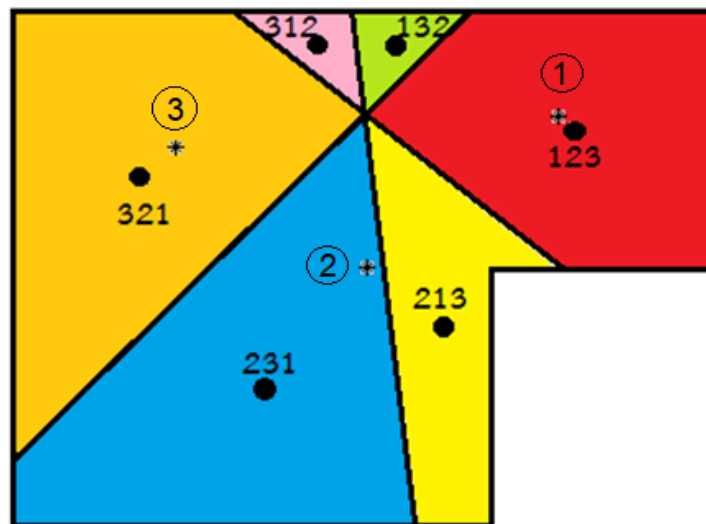
### อัลกอริทึม

งานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อภาพรวมของการระบุตำแหน่ง ซึ่งเนื้อหาในหัวข้อนี้จะอธิบายขั้นตอนการทำงานของทั้งสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นส่วนออฟไลน์จะกล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมและการสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งจะอธิบายการทำแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ส่วนที่สองเป็นส่วนออนไลน์เป็นส่วนที่ผู้วิจัยนำมาปรับปรุงเพื่อให้การประมาณตำแหน่งแม่นยำมากขึ้น จะอธิบายการรับค่าความแรงของสัญญาณ ไปประมวลผลและเปรียบเทียบกับแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์เพื่อประมาณตำแหน่งด้วยวิธีการต่าง ๆ ต่อไป

#### 1. ส่วนออฟไลน์

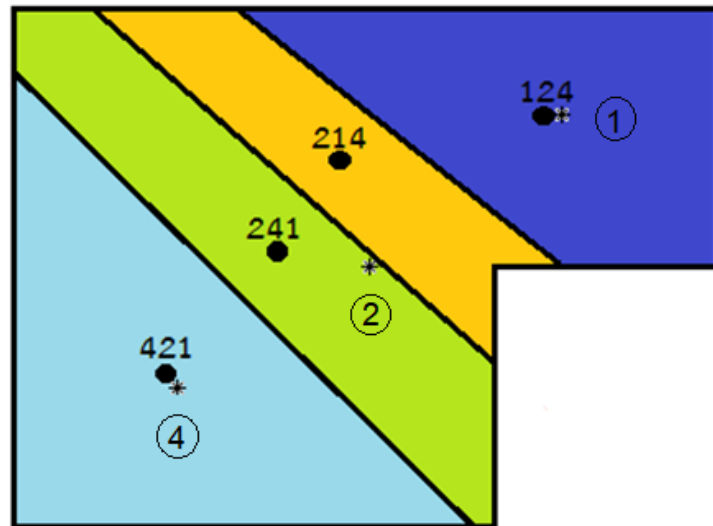
ส่วนนี้จะทำการสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งวิธีการสร้างแต่ละขั้นตอนได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์แบบไม่เก็บข้อมูลในพื้นที่ โดยงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ได้ทำการสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์โดยเลือกใช้ APs 4 ตัวจากทั้งหมด 7 ตัว ซึ่งในงานวิจัยนี้ห้องที่ใช้ทดลองมีขนาดเล็กลงกว่าห้องทดลองในงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ผู้วิจัยจึงได้ทำการลดจำนวน APs ลงโดยเลือกใช้ APs จำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัวมาสร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ และได้แผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์ทั้งหมด 4 แผนที่ซึ่งจะอธิบายแต่ละแผนที่ดังนี้

1.1 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์ 1 ทำการเลือก AP ที่ 1 2 และ 3 ซึ่งตำแหน่งของ APs ทั้ง 3 ตัวนี้แทนด้วยเครื่องหมายดอกจัน (\*) ซึ่งนำมาแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยได้ 6 พื้นที่ (วิธีการแบ่งพื้นที่ย่อยได้อธิบายไว้ในบทที่ 2) โดยแต่ละพื้นที่ย่อยจะมีเซตหมายเลขของ APs จำนวน 3 ตัวที่เรียงลำดับตามระยะห่างของแต่ละ APs จากมากที่สุดไปน้อยสุด ซึ่งเซตหมายเลขเหล่านี้จะใช้สำหรับอ้างอิงถึงพื้นที่ย่อยนั้น ๆ เซตหมายเลขตัวแทนมีดังนี้ {321} {312} {132} {123} {213} และ {231} แล้วภายในพื้นที่ย่อยของแต่ละพื้นที่จะมีตำแหน่งเซ็นทรอยด์แสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีดำ ดังภาพที่ 3-7



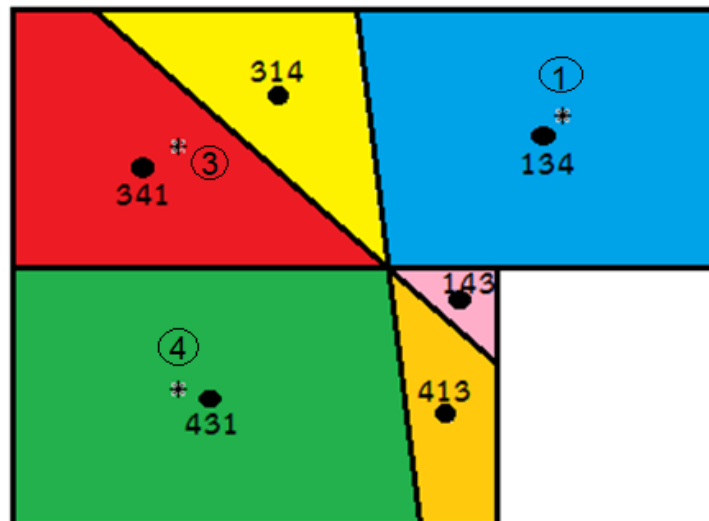
ภาพที่ 3-7 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์โดยเลือกใช้ AP1 AP2 AP3

1.2 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์ 2 ทำการเลือก AP ที่ 1 2 และ 4 ซึ่งนำมาแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยได้ 4 พื้นที่ โดยมีเซตหมายเลขตัวแทนคือ {421} {241} {214} และ {124} ดังภาพที่ 3-8



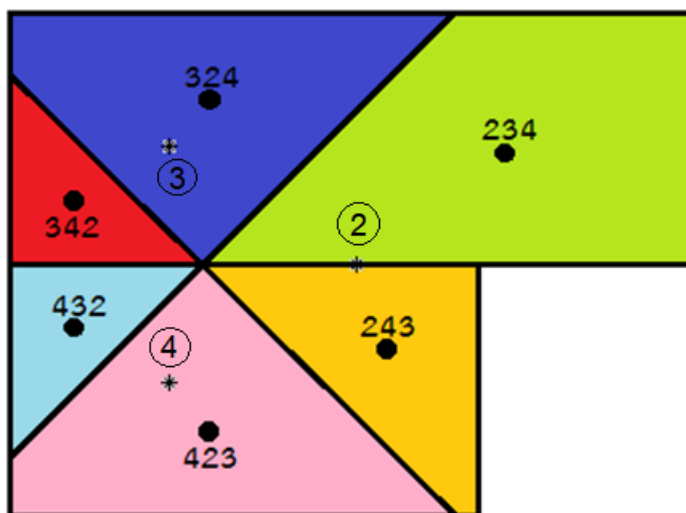
ภาพที่ 3-8 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์โดยเลือกใช้ AP1 AP2 AP4

1.3 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์ที่ 3 ทำการเลือก AP ที่ 1 3 และ 4 ซึ่งนำมาแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยได้ 6 พื้นที่ โดยมีเซตหมายเลขตัวแทนคือ {341} {314} {134} {143} {413} และ {431} ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 แผนที่ฟังก์ชันปริ้นท์โดยเลือกใช้ AP1 AP3 AP4

1.4 แผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์ที่ 4 ทำการเลือก AP ที่ 2 3 และ 4 ซึ่งนำมาแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยได้ 6 พื้นที่ โดยมีเซตหมายเลขตัวแทนคือ {342} {324} {234} {243} {423} และ {432} ดังภาพที่ 3-10

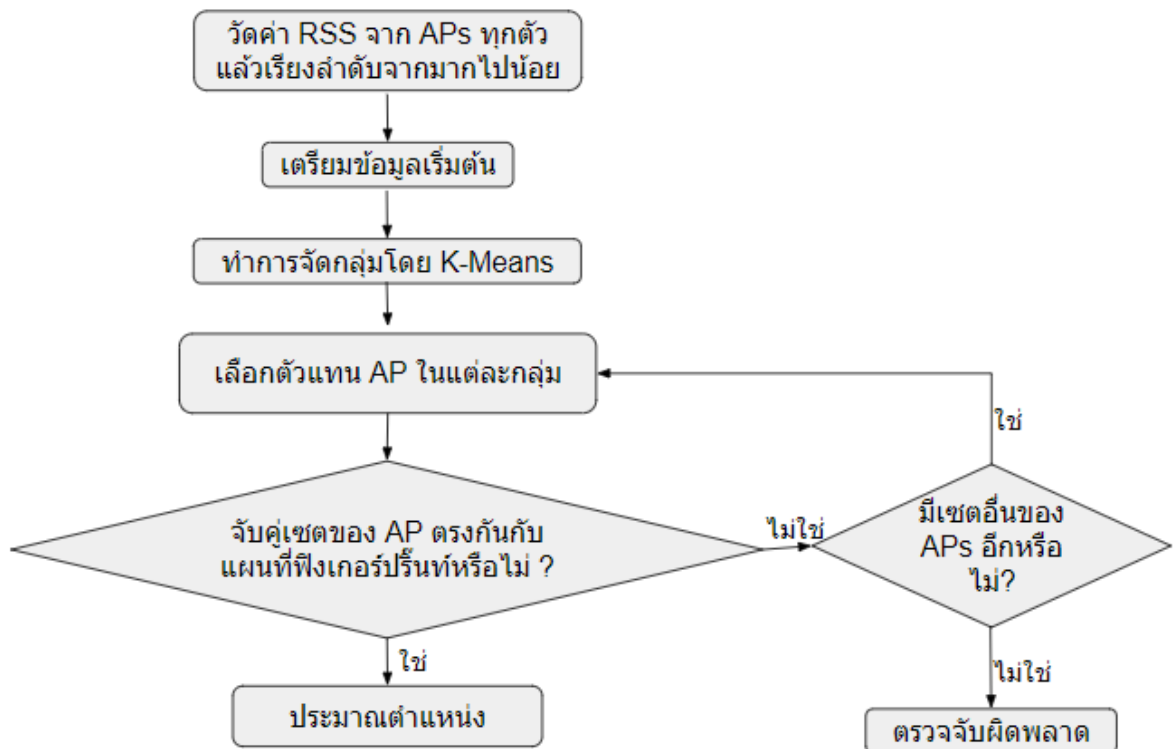


ภาพที่ 3-10 แผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์โดยเลือกใช้ AP2 AP3 AP4

## 2. ส่วนออนไลน์

ในส่วนออนไลน์เป็นส่วนที่เก็บค่าความแรงสัญญาณมาเปรียบเทียบกับแผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์เพื่อประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โดยส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงวิธีการประมาณตำแหน่งจากงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ซึ่งใช้วิธีการประมาณตำแหน่งโดยใช้ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยในแผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์ ผู้วิจัยทำการทดสอบด้วยวิธีเดียวกับงานวิจัยของ Liu et al. (2016) และได้ทำการปรับปรุงการประมาณตำแหน่งด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อช่วยให้การประมาณตำแหน่งแม่นยำขึ้น โดยอธิบายการดำเนินการในขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

### 2.1 วิธีที่เสนอโดยงานวิจัยของ Liu et al. (2016) มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนในส่วนออนไลน์จากวิธีที่เสนอโดยงานวิจัยของ Liu et al. (2016)

2.1.1 วัตถุประสงค์เป้าหมายทำการรับสัญญาณจาก APs ทั้ง 4 ตัว เพื่ออ่านค่าความแรงของสัญญาณแล้วเรียงลำดับ APs จากมากที่สุดไปน้อยสุด เช่น AP1 ถึง AP4 มีความแรง -51 -55 -34 และ -62 เดซิเบลมิลลิวัตต์ นำมาเรียงลำดับจะได้ลำดับของ APs คือ 3 1 2 4 และมีความแรงของสัญญาณคือ -34 -51 -55 และ -62 เดซิเบลมิลลิวัตต์ตามลำดับ

2.1.2 เตรียมข้อมูลเริ่มต้นที่ได้จากความแรงของสัญญาณของ APs ทั้ง 4 ตัว เพื่อทำการจัดกลุ่มโดยใช้วิธี K-means clustering

APs	1	2	3	4
RSS	-51	-55	-34	-62

ภาพที่ 3-12 ตัวอย่างข้อมูลเริ่มต้น



2.1.3 ทำการจัดกลุ่มด้วย K-means clustering ซึ่งกำหนดให้มี 3 กลุ่ม โดยใช้ข้อมูล  
ที่เตรียมไว้จาก 2.1.2 มาทำการจัดกลุ่มดังภาพที่ 3-13

APs	3	1	2	4
RSS	-34	-51	-55	-62

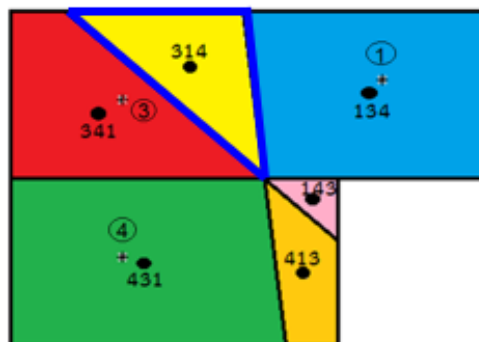
ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่มแบบ K-means clustering

2.1.4 ทำการสุ่มเลือกหนึ่ง APs ของแต่ละกลุ่ม จะได้เซตของ APs ซึ่งได้จากการเลือก APs 3 ตัวจาก 4 ตัว จะได้เซตของ APs เป็น {314} ดังภาพที่ 3-14

APs	3	1	2	4
RSS	-34	-51	-55	-62

ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม

2.1.5 นำเซตของ APs {314} ที่ได้ไปจับคู่กับลำดับ APs ในแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์  
ถ้าตรงกับพื้นที่ย่อยใดในแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ จะประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายให้เป็น  
ตำแหน่งของพื้นที่ย่อยนั้นดังภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างเส้นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 314

2.2 วิธีถ่วงน้ำหนักเซ็นทรอยด์ (Weighted centroid) วิธีนี้จะใช้การถ่วงน้ำหนักจากเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ แทนการประมาณค่าโดยการใช้เซ็นทรอยด์ของพื้นที่โดยตรง เราคาดว่า การถ่วงน้ำหนักนี้จะทำให้สามารถระบุตำแหน่งได้ดีขึ้น เนื่องจากจำนวนตำแหน่งที่ระบุได้จะไม่ถูกจำกัดเฉพาะที่เซ็นทรอยด์ เมื่อจำนวนตำแหน่งที่เป็นตัวเลือกมีมากขึ้น ทำให้เราสามารถเลือกตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากที่สุดได้ ก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งลดลงจากใน 2.1 ซึ่งภาพรวมของกระบวนการดังภาพที่ 3-18 และมีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 ทำการวัดค่าความแรงสัญญาณ และจัดกลุ่มด้วย K-means clustering แบบเดียวกันกับข้อ 2.1.1 ถึง 2.1.3

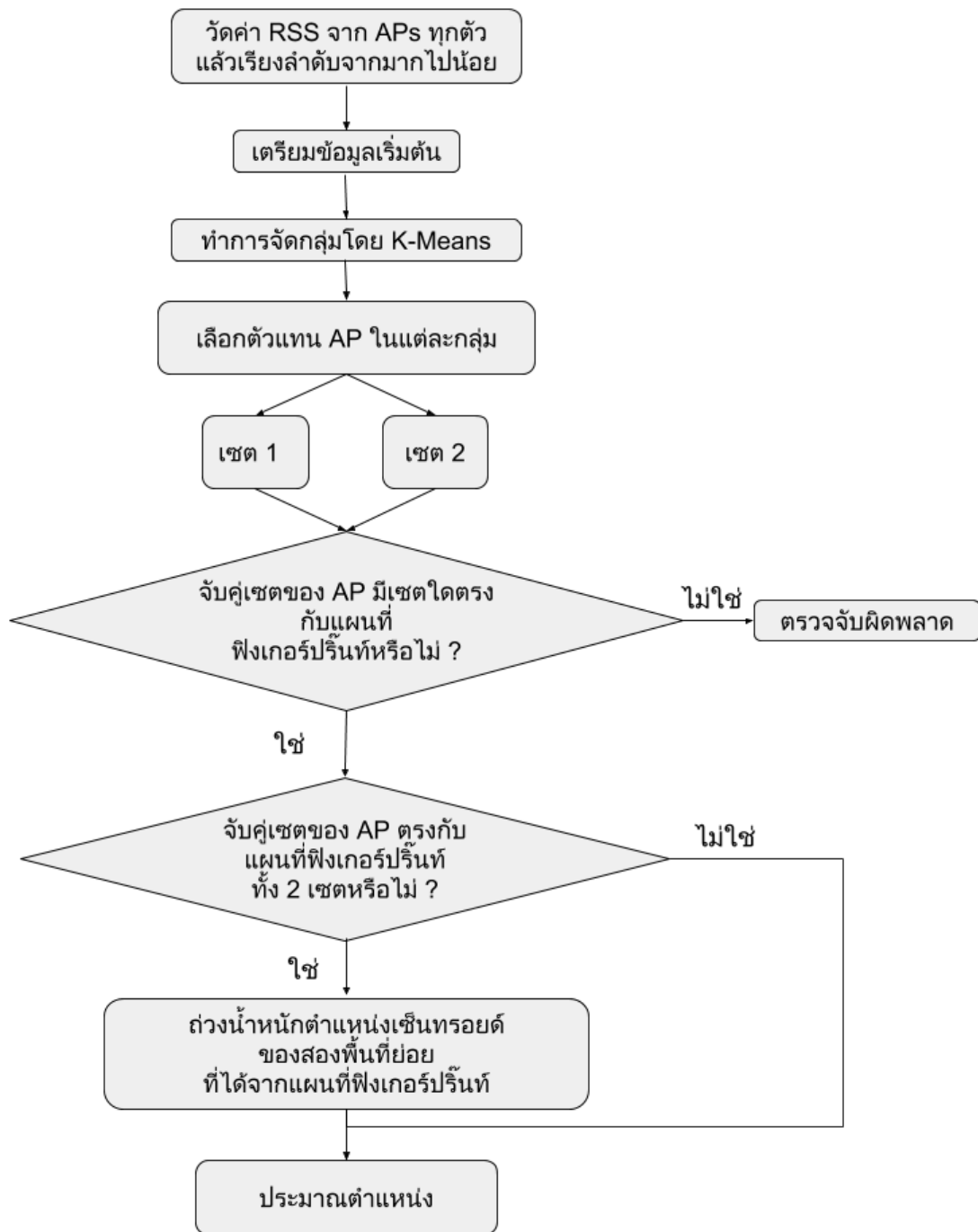
2.2.2 ในส่วนของการเลือกตัวแทนของ APs ในแต่ละกลุ่มจะต่างจาก 2.1.4 ผู้วิจัยจะไม่ทำการสุ่มเลือกตัวแทนกลุ่ม แต่ภายในกลุ่มที่มีสมาชิก 2 ตัว ซึ่งหมายความว่า สมาชิก 2 ตัวนี้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ผู้วิจัยจึงสนใจนำสมาชิกทั้ง 2 ตัวนี้มาใช้โดยการเลือกตัวแทนกลุ่ม 2 ครั้ง ซึ่งจากตัวอย่างข้อมูลจะทำการเลือกตัวแทนครั้งแรกได้เซตของ APs เป็น {314} ดังภาพที่ 3-16 และครั้งที่สองได้เซตของ APs เป็น {324} ดังภาพที่ 3-17

APs	3	1	2	4
RSS	-34	-51	-55	-62

ภาพที่ 3-16 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม (เซตที่ 1)

APs	3	1	2	4
RSS	-34	-51	-55	-62

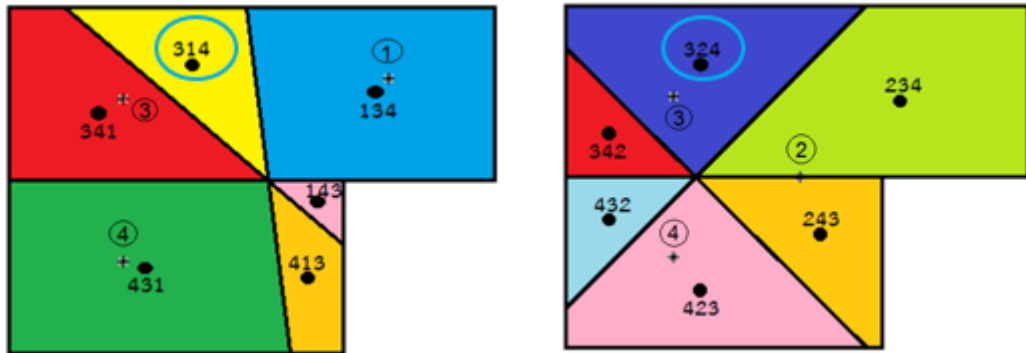
ภาพที่ 3-17 ตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวแทน AP ของแต่ละกลุ่ม (เซตที่ 2)



ภาพที่ 3-18 ขั้นตอนในส่วนออนไลน์ของวิธีถ่วงน้ำหนักเซ็นทรอยด์

2.2.3 นำเขตของ APs {314} และ {324} ที่ได้ไปจับคู่กับลำดับ APs ในแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ว่าตรงกับแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งสองเขตหรือไม่ ถ้าไม่ตรงทั้งสองเขตจะถือว่าเป็นการตรวจจับผิดพลาด แต่ถ้าตรงจะดำเนินการในขั้นตอนที่ 2.2.4 ต่อไป

2.2.4 ตรวจสอบว่าเซตของ APs ทั้งสองเซตตรงกับลำดับ APs ในแผนที่ ฟังก์ชันปริพันธ์ทั้งสองเซตหรือไม่ ถ้าตรงเพียงหนึ่งเซตจะทำการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ให้เป็นตำแหน่งเส้นทแยงของพื้นที่ย่อยนั้นดังข้อ 2.1.5 แต่ถ้าตรงกับลำดับ APs ในแผนที่ ฟังก์ชันปริพันธ์ทั้งสองเซต (ดังภาพที่ 3-19) จะดำเนินการถ่วงน้ำหนักในขั้นตอนที่ 2.2.5

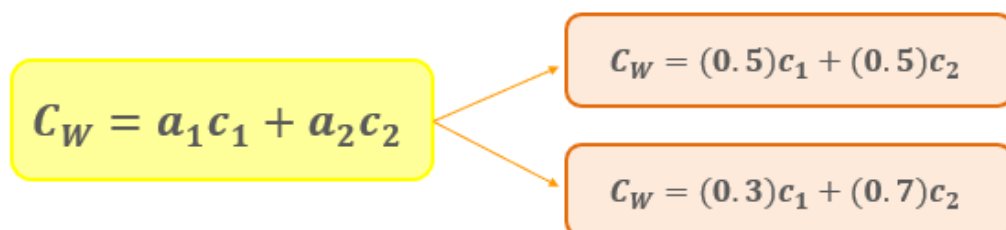


ภาพที่ 3-19 ตัวอย่างเส้นทแยงของพื้นที่ย่อย 314 และ 324

2.2.5 ทำการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งเส้นทแยงของสองพื้นที่ย่อยดังสมการที่ (3-1)

$$C_W = a_1 c_1 + a_2 c_2 \quad (3-1)$$

โดยที่  $c_1$  และ  $c_2$  เป็นตำแหน่งเส้นทแยงของสองพื้นที่ เมื่อนำมาถ่วงน้ำหนักโดยค่าคงที่  $a_1$  และ  $a_2$  ซึ่ง  $a_1 + a_2 = 1$  จะได้ตำแหน่งใหม่  $C_W$  ที่อยู่ระหว่างสองเส้นทแยง ซึ่งวิธีการถ่วงน้ำหนักเส้นทแยงนี้ผู้วิจัยได้แบ่งการถ่วงน้ำหนักออกเป็นสองแบบ โดยมีวิธีการดำเนินการหัวข้อที่ 2.2.5.1 และ 2.2.5.2

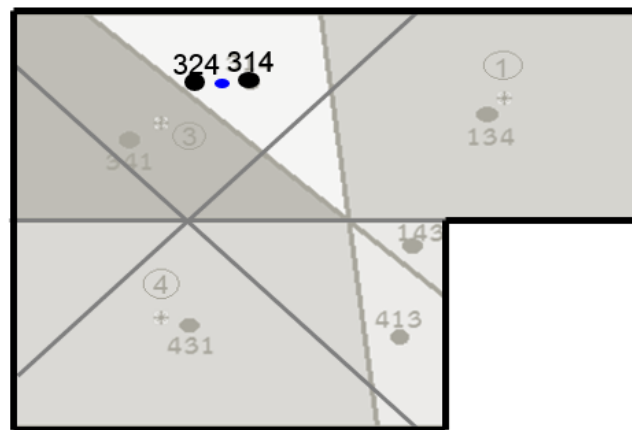


ภาพที่ 3-20 การถ่วงน้ำหนักเส้นทแยง

2.2.5.1 การถ่วงน้ำหนักสองเซ็นทรอยด์เท่า ๆ กัน โดยจะกำหนดให้  $a_1$  และ  $a_2$  เท่ากับ 0.5

2.2.5.2 การถ่วงน้ำหนักสองเซ็นทรอยด์ไม่เท่ากัน โดยกำหนดให้  $a_1$  เท่ากับ 0.3 และ  $a_2$  เท่ากับ 0.7 ซึ่งความแรงสัญญาณของ AP ตัวที่ต่างกันระหว่างสองเซต (จากตัวอย่าง คือ AP ตัวที่ 1 และตัวที่ 2) ตัวใดที่มีความแรงสัญญาณน้อยกว่าจะถ่วงน้ำหนักด้วย  $a_1$  (0.3) และตัวที่มีความแรงสัญญาณมากกว่าตั้งแต่ -3 dBm ขึ้นไปจะถ่วงน้ำหนักด้วย  $a_2$  (0.7) แต่ในกรณีที่ AP ตัวที่มีความแรงสัญญาณมากกว่าแต่ต่างกันไม่เกิน -3 dBm จะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักสองเซ็นทรอยด์เท่า ๆ กัน คือ กำหนดให้  $a_1$  และ  $a_2$  เท่ากับ 0.5

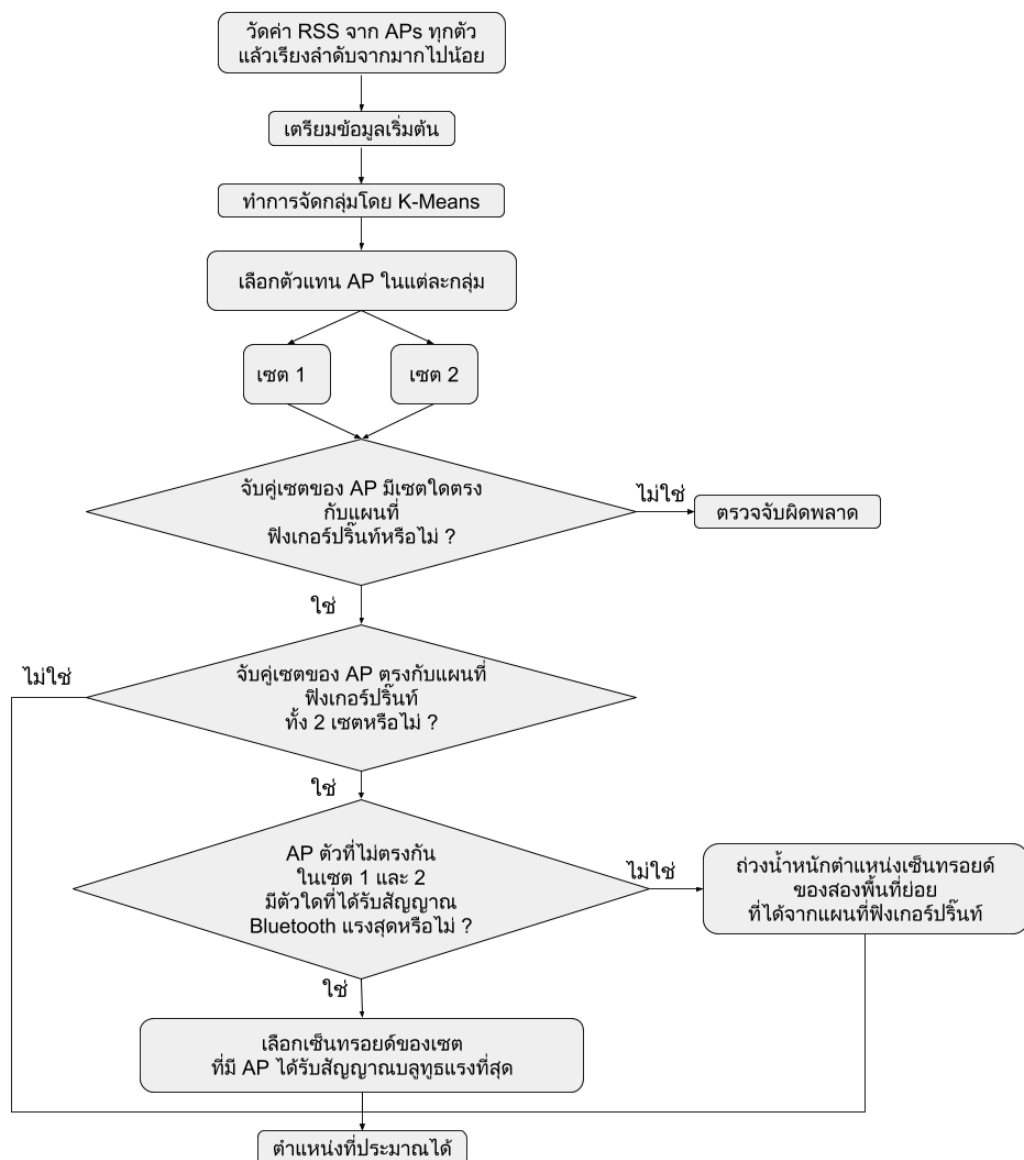
2.2.6 ทำการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โดยตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย คือ ตำแหน่งใหม่  $C_W$  ซึ่งอยู่ระหว่างสองเซ็นทรอยด์ที่ทำการถ่วงน้ำหนัก ตัวอย่างดังภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 ตัวอย่างตำแหน่งใหม่ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักสองเซ็นทรอยด์

### 2.3 วิธีนำข้อมูลจากบลูทูธมาประกอบการตัดสินใจเลือกเซ็นทรอยด์

จากการที่เราทราบว่าบลูทูธมีความสามารถในการส่งสัญญาณในระยะที่จำกัดกว่า Wi-Fi แต่ในระยะที่จำกัดนั้นจะมีความละเอียดค่อนข้างดี ทำให้สามารถนำเอาการส่งสัญญาณของบลูทูธมาประกอบการพิจารณาเลือกเซ็นทรอยด์ได้ ซึ่งภาพรวมในส่วนออนไลน์ของขั้นตอนการใช้บลูทูธมาช่วยในการตัดสินใจดังภาพที่ 3-22 และมีขั้นตอนการดำเนินการดังข้อ 2.3.1 ถึง 2.3.5



ภาพที่ 3-22 ขั้นตอนในส่วนออนไลน์ของวิธีการใช้ลูทูลูมาช่วยในการตัดสินใจ

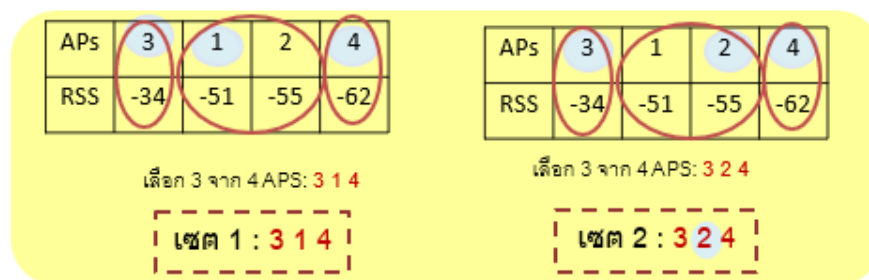
2.3.1 ทำการวัดค่าความแรงสัญญาณพร้อมกับจัดกลุ่มด้วย K-means clustering และทำการเลือกตัวแทนกลุ่ม จะได้เขตของ AP จำนวน 2 เขตแบบเดียวกันกับขั้นตอนที่ 2.2.1 ถึง 2.2.3

2.3.2 นำทั้งสองเขตที่ได้ไปจับคู่กับลำดับ APs ในแผนที่ฟังก์เจอร์ปรีนธ์ว่าตรงกับแผนที่ฟังก์เจอร์ปรีนธ์ทั้งสองเขตหรือไม่ ถ้าไม่ตรงทั้งสองเขตจะถือว่าเป็นการตรวจจับผิดพลาด แต่ถ้าตรงจะดำเนินการในขั้นตอนที่ 2.3.3 ต่อไป

2.3.3 ตรวจสอบว่าเขตของ APs ทั้งสองเขตตรงกับลำดับ APs ในแผนที่

ฟังก์ชันปริพันธ์ทั้งสองเซตหรือไม่ ถ้าตรงเพียงหนึ่งเซตจะทำการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายให้เป็นตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อยนั้นดังข้อ 2.1.5 แต่ถ้าตรงกับลำดับ APs ในแผนที่ฟังก์ชันปริพันธ์ทั้งสองเซต (ดังภาพที่ 3-19) จะใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธมาช่วยในการตัดสินใจเลือกเซ็นทรอยด์ในขั้นตอนที่ 2.3.4

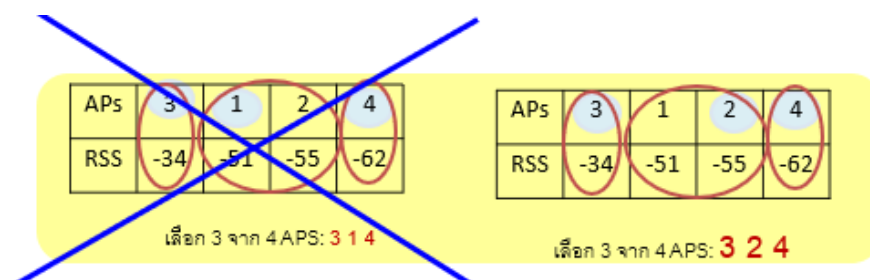
2.3.4 พิจารณา AP สองตัวในกลุ่ม K-Means เดียวกัน ซึ่งในที่นี้ ได้แก่ AP 1 และ 2 (ดังภาพที่ 3-23) เปรียบเทียบกับตัว AP ที่ได้รับสัญญาณบลูทูธแรงที่สุด โดยมีเงื่อนไขดังนี้



ภาพที่ 3-23 ตัวอย่างเซตของ AP ทั้งสองเซต

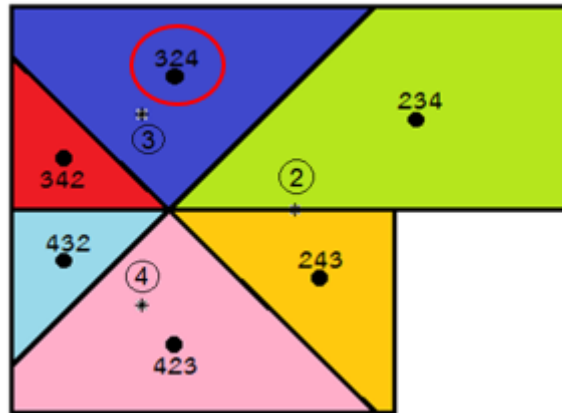
2.3.4.1 ถ้าไม่มี AP ตัวใดในกลุ่ม K-Means เดียวกันตรงกับตัว AP ที่ได้รับสัญญาณบลูทูธแรงที่สุด ให้ใช้วิธีเดียวกับ 2.2.5 คือ นำตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของสองพื้นที่ย่อยนั้นมาถ่วงน้ำหนักดังสมการที่ 3-1

2.3.4.2 ถ้ามี AP ตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่ม K-Means เดียวกันตรงกับตัว AP ที่ได้รับความแรงสัญญาณของบลูทูธแรงที่สุด ให้ใช้เซ็นทรอยด์ที่มี AP ตัวที่ตรงกันเพื่อประมาณตำแหน่งได้เลย โดยไม่มีการถ่วงน้ำหนัก เช่น ถ้า AP ตัวที่ได้รับความแรงสัญญาณของบลูทูธแรงที่สุดเป็น AP ตัวที่ 2 ก็จะใช้เซต {324} ในการประมาณตำแหน่ง



ภาพที่ 3-24 ตัวอย่างเซตของ AP ที่มีความแรงสัญญาณของบลูทูธแรงที่สุด

2.3.5 ทำการประมาณตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย ซึ่งจากตัวอย่างวัตถุเป้าหมายจะถูกประมาณตำแหน่งให้เป็นตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 324 ดังภาพที่ 3-25



ภาพที่ 3-25 ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ย่อย 324



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ และแสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 วิธี แต่ละวิธีได้อธิบายวิธีการทดลองไว้ในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

1. วิธีที่ 1 เป็นวิธีของ Liu et al. (2016) คือ การจัดกลุ่ม APs โดยใช้ K-means clustering แล้วทำการสุ่มเลือกตัวแทน APs ของแต่ละกลุ่มจะได้เซตของตัวแทน APs 1 เซต ตัวอย่างดังภาพที่ 3-13 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4-1 จะพบว่า ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้กับตำแหน่งจริงมากที่สุด  $(x_2, y_2)$  มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.616 เมตร และจากการประมาณตำแหน่งของวิธีที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.386 เมตร โดยมีเซ็นทรอยด์ที่ได้จากการเลือกด้วยวิธีที่ 1 ตรงกับเซ็นทรอยด์ที่ใกล้กับตำแหน่งจริงมากที่สุด 3 เซ็นทรอยด์ คือ 324 124 431

เมื่อทำการนำเซ็นทรอยด์ที่ได้จากการเลือกด้วยวิธีที่ 1 มาเปรียบเทียบกับเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ตำแหน่งจริงมากที่สุด พบว่า มีเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ตำแหน่งจริงที่สุด 14.29 และมีเซ็นทรอยด์ที่ใกล้กับตำแหน่งจริงที่สุด 2 ตัวแรกและ 3 ตัวแรกเป็น 42.86% และ 61.90% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่เลือกโดยวิธีที่ 1 กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด

ลำดับที่	ตำแหน่งจริง ( $x_1, y_1$ )	ตัวแทน เซ็นทรอยด์ ที่เลือก	ตัวแทน เซ็นทรอยด์ ที่ใกล้ที่สุด	ตำแหน่ง เซ็นทรอยด์ ที่ใกล้ที่สุด ( $x_2, y_2$ )	*Error 1	**Error 2
1	2.000,8.715	312, 342	324	3.189,8.428	1.224	2.702
2	3.000,8.715	324, 314	324	3.189,8.428	0.344	0.745
3	4.000,8.715	312, 342	314	4.118,8.466	0.275	2.432
4	6.000,8.715	314, 324	132	5.991,9.477	0.763	2.361
5	8.000,8.715	134, 124	124	8.254,8.055	0.707	0.891
6	10.000,8.715	324, 124	123	8.767,7.803	1.533	4.341
7	3.000,6.715	312, 342	321	1.981,6.873	1.030	2.638
8	4.000,6.715	321, 324	214	5.076,7.191	1.177	1.960
9	3.000,4.715	321, 341	241	4.080,5.392	1.275	2.470

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

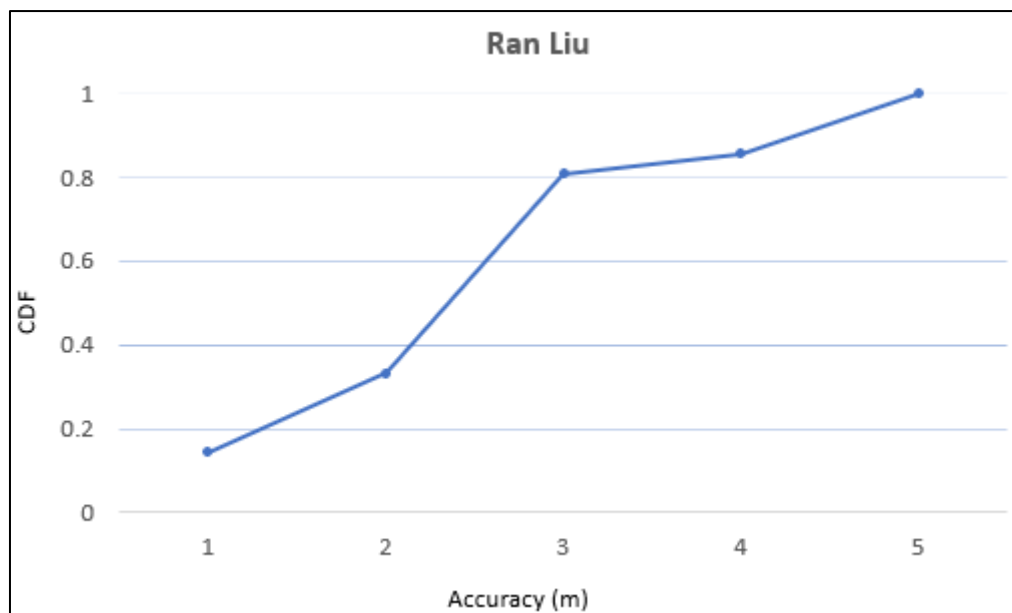
ลำดับที่	ตำแหน่งจริง ( $x_1, y_1$ )	ตัวแทน เซ็นทรอยด์ ที่เลือก	ตัวแทน เซ็นทรอยด์ ที่ใกล้ที่สุด	ตำแหน่ง เซ็นทรอยด์ ที่ใกล้ที่สุด ( $x_2, y_2$ )	*Error 1	**Error 2
10	4.000,4.715	324, 321	241	4.080,5.392	0.682	3.378
11	3.000,2.715	431, 421	431	3.036,2.504	0.214	0.442
12	4.000,2.715	432, 431	231	3.944,2.704	0.056	2.074
13	3.000,0.715	421, 431	423	3.186,1.731	1.034	2.201
14	4.000,0.715	231, 431	423	3.186,1.731	1.302	2.139
15	6.720,3.920	241, 243	213	6.720,3.920	0.000	1.949
16	6.730,2.200	231, 234	413	6.730,2.202	0.000	4.043
17	4.080,5.392	321, 421	241	4.080,5.392	0.000	2.759
18	1.028,3.794	421, 431	432	1.028,3.794	0.000	1.984
19	5.076,7.191	241, 341	214	5.076,7.191	0.000	2.562
20	9.485,7.180	124, 134	123	8.767,7.803	0.950	1.422
21	7.085,3.830	421, 423	213	6.720,3.920	0.376	4.603
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย					0.616	2.386

หมายเหตุ: \*ความคลาดเคลื่อนของเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด (เมตร)

\*\*ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเซ็นทรอยด์ที่เลือก (เมตร)

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่เลือกโดยวิธีที่ 1 กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 3

เปอร์เซ็นต์ (%) ตัวที่ตรงกับ เซ็นทรอยด์ใกล้ที่สุด	เปอร์เซ็นต์ (%) ตัวที่ตรงกับ เซ็นทรอยด์ใกล้ที่สุด 2 ตัวแรก	เปอร์เซ็นต์ (%) ตัวที่ตรงกับ เซ็นทรอยด์ใกล้ที่สุด 3 ตัวแรก
14.29%	42.86%	61.90%



ภาพที่ 4-1 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการของ Liu et al. (2016)

จากภาพที่ 4-1 เป็นกราฟแสดงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีของ Liu et al. (2016) โดยแสดงเป็นค่า CDF ในแกนแนวตั้ง (y) กับค่าความแม่นยำที่มีหน่วยเป็นเมตรในแกนเอียง (x) ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มจะเป็นประมาณ 33% ที่จะประมาณตำแหน่งโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เมตร

2. วิธีที่ 2 เป็นการจับกลุ่ม APs โดยใช้ K-means clustering แล้วทำการเลือกตัวแทน APs ของแต่ละกลุ่ม 2 ครั้ง จะได้เซตของตัวแทน APs 2 เซต ตัวอย่างดังภาพที่ 3-15 และ 3-16 แล้วนำเซตของ APs ทั้งสองไปหาดำแหน่งเซ็นทรอยด์จะได้ 2 ตำแหน่ง แล้วนำตำแหน่งเซ็นทรอยด์ทั้งสองมาทำการถ่วงน้ำหนัก โดยผู้วิจัยได้ทำการถ่วงน้ำหนัก 2 แบบ ดังนี้

2.1 ทำการถ่วงน้ำหนักทั้งสองเซ็นทรอยด์เท่า ๆ กัน (0.5 : 0.5)

2.2 ทำการถ่วงน้ำหนักทั้งสองเซ็นทรอยด์ไม่เท่ากัน (0.3 : 0.7) ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน

ดังนี้

2.2.1 ตรวจสอบความแรงสัญญาณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดของทั้งสองเซ็นทรอยด์ ถ้ามีค่าต่างกันไม่เกิน -3 dBm จะทำการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของทั้งสองเซ็นทรอยด์เท่า ๆ กัน (0.5 : 0.5)

2.2.2 ตรวจสอบความแรงสัญญาณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดของทั้งสองเซ็นทรอยด์ ถ้ามีค่าต่างกันตั้งแต่ -3 dBm ขึ้นไป จะทำการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของทั้งสองเซ็นทรอยด์ที่

ไม่เท่ากัน (0.3 : 0.7) ซึ่งถ้าความแรงสัญญาณน้อยกว่าจะถ่วงน้ำหนักด้วย 0.3 และถ้าความแรงของสัญญาณมากกว่าจะถ่วงน้ำหนักด้วย 0.7

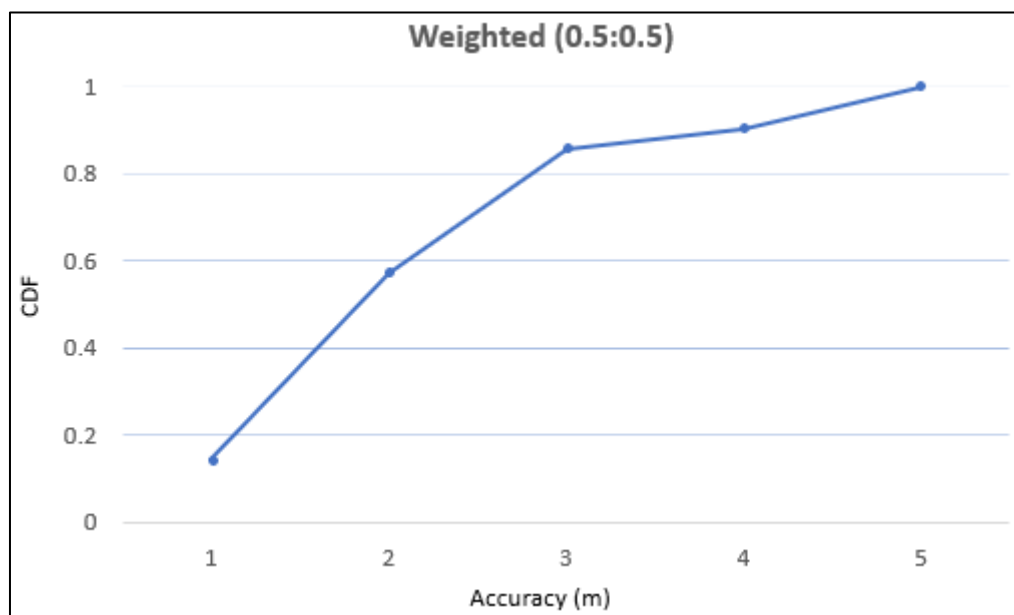
ผลการทดลองของวิธีที่ 2 ที่ใช้การถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสอง พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่เลือกมีค่าเท่ากับ 2.027 เมตร และตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุดเท่ากับ 0.583 เมตร ดังตารางที่ 4-3 ส่วนวิธีการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสองแบบไม่เท่ากัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.863 เมตร ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ได้จากวิธีการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสองเท่า ๆ กัน กับตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด

ลำดับที่	ความคลาดเคลื่อนของ เซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด (เมตร)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ เซ็นทรอยด์ที่เลือก (เมตร)
1	1.137	1.195
2	0.585	0.707
3	0.240	1.362
4	0.460	2.361
5	0.625	0.889
6	1.684	4.304
7	0.082	1.211
8	0.236	1.696
9	0.082	2.470
10	0.145	3.259
11	0.207	0.292
12	0.308	2.015
13	1.408	2.047
14	1.564	1.957
15	0.240	1.732
16	0.689	2.923
17	0.100	1.954
18	0.791	1.984

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

ลำดับที่	ความคลาดเคลื่อนของ เซ็นเซอร์ที่ใกล้ที่สุด (เมตร)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ เซ็นเซอร์ที่เลือก (เมตร)
19	0.086	2.247
20	1.126	1.411
21	0.442	4.546
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.583	2.027



ภาพที่ 4-2 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5)

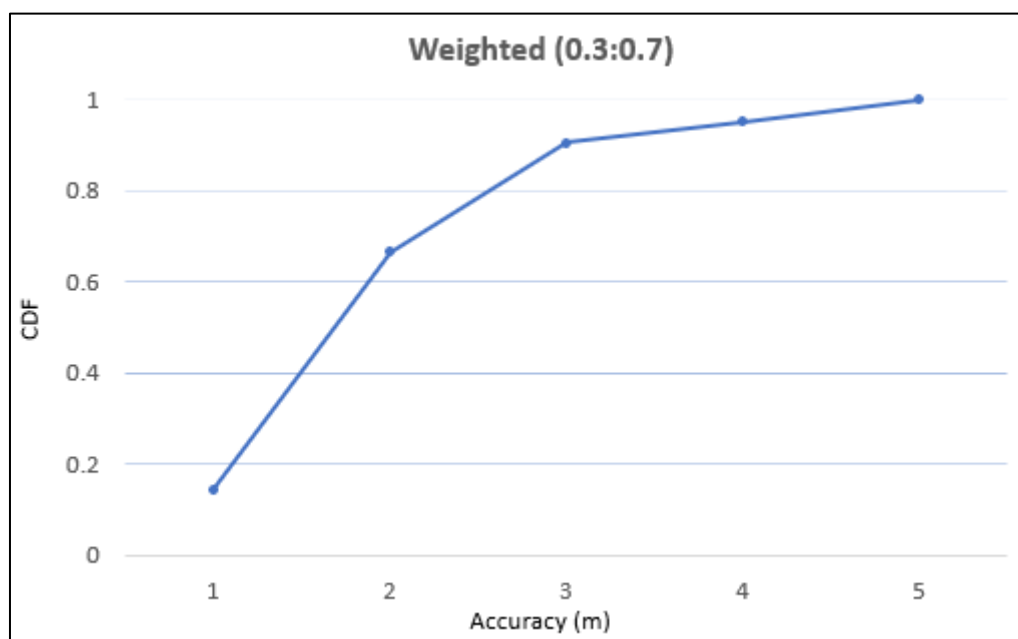
จากภาพที่ 4-2 เป็นกราฟแสดงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5) ซึ่งพบว่า มีความน่าจะเป็นประมาณ 57% ที่จะประมาณตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เมตร

ตารางที่ 4-4 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งเซ็นทรอยด์ทั้งสองแบบ  
ไม่เท่ากัน (0.3 : 0.7)

ลำดับที่	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเซ็นทรอยด์ที่เลือก (เมตร)
1	1.195
2	0.707
3	1.362
4	2.176
5	0.964
6	1.798
7	1.211
8	1.696
9	2.470
10	3.259
11	0.174
12	1.265
13	2.047
14	1.957
15	1.732
16	2.923
17	1.954
18	1.984
19	2.247
20	1.449
21	4.546
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	1.863

จากผลการทดลองของวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อทำการปรับปรุงโดยใช้  
การถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสอง ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเซ็นทรอยด์ที่เลือก  
และเซ็นทรอยด์ที่ใกล้ที่สุดลดลงตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากการนำตำแหน่งเซ็นทรอยด์มาทำ

การถ่วงน้ำหนักจะทำให้มีเซ็นเซอร์ใหม่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งมากขึ้น ส่งผลให้การประมาณตำแหน่งมีโอกาสใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้นด้วย ซึ่งวิธีการถ่วงน้ำหนักเท่า ๆ กันของเซ็นเซอร์ทั้งสองมีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงจากวิธีแรก 15.046% และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.292 เมตร ส่วนวิธีการถ่วงน้ำหนักเท่า ๆ กันของเซ็นเซอร์ทั้งสองมีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงจากวิธีแรกถึง 21.920% และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.174 เมตร



ภาพที่ 4-3 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.3 : 0.7)

จากภาพที่ 4-3 เป็นกราฟแสดงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.3 : 0.7) ซึ่งพบว่า มีความน่าจะเป็นประมาณ 67% ที่จะประมาณตำแหน่งโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เมตร

3. วิธีที่ 3 เป็นการจัดกลุ่ม APs โดยใช้ K-means clustering แล้วทำการเลือกตัวแทน APs ของแต่ละกลุ่ม 2 ครั้ง จะได้เซตของตัวแทน APs 2 เซต แล้วทำการตรวจสอบว่า AP ที่ความแรงสัญญาณที่ใกล้กันที่สุดของทั้งสองเซตนี้ มีตัวใดที่มีความแรงของสัญญาณสูงสุดหรือไม่ ถ้ามีเราจะทำการเลือกเซตนั้นมาประมาณตำแหน่ง แต่ถ้าไม่มีเราจะทำการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งเซ็นเซอร์ของทั้งสองเซตนั้นเท่า ๆ

ผลการทดลองของวิธีที่ 3 ดังตารางที่ 4-5 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ เซ็นทรอยด์ที่เลือกเท่ากับ 1.999 เมตร เมื่อเทียบกับวิธีถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นทรอยด์ทั้งสอง แบบไม่เท่ากัน วิธีนี้ให้ความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า เนื่องจากวิธีนี้จะมีเพียงบางเซ็นทรอยด์เท่านั้นที่ ทำการถ่วงน้ำหนัก จึงทำให้ตำแหน่งเซ็นทรอยด์ที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งมีจำนวนน้อยกว่า ส่งผลให้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีแรกที่ไม่มีการปรับปรุงการประมาณ ตำแหน่งแล้ว วิธีที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า โดยค่าความคลาดเคลื่อนลดลง 16.220%

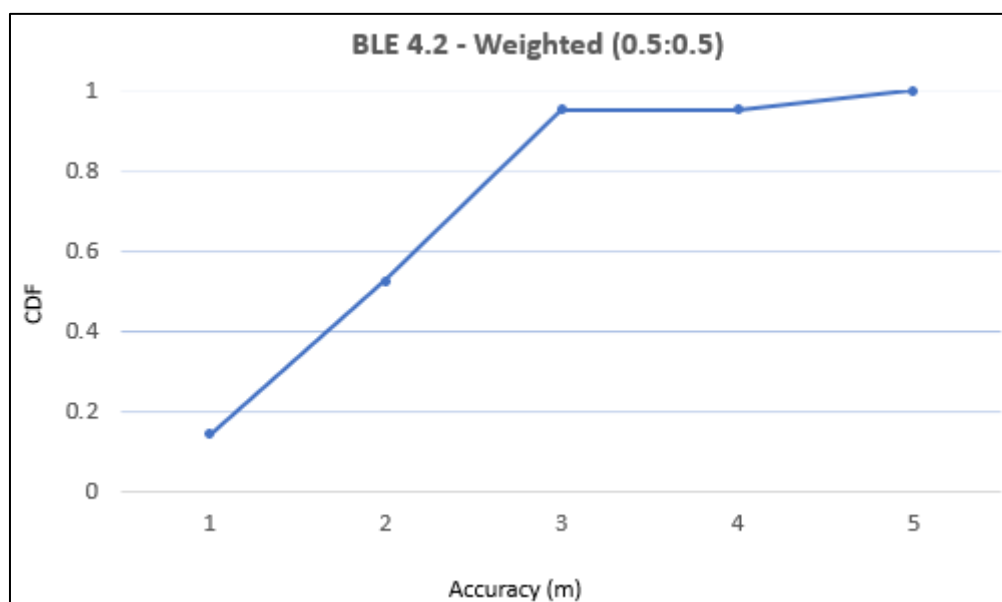
ตารางที่ 4-5 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธมาช่วย ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเซ็นทรอยด์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5)

ลำดับที่	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเซ็นทรอยด์ที่เลือก (เมตร)
1	2.861
2	0.707
3	1.075
4	1.898
5	0.889
6	1.866
7	1.211
8	1.696
9	2.386
10	2.955
11	0.671
12	2.0151
13	2.477
14	2.152
15	1.732
16	2.923
17	1.954
18	2.387
19	2.247



ตารางที่ 4-5 (ต่อ)

ลำดับที่	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเซ็นเซอร์ที่เลือก (เมตร)
20	1.334
21	4.546
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	1.999



ภาพที่ 4-4 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธมาช่วยในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเซ็นเซอร์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5)

จากภาพที่ 4-4 เป็นกราฟแสดงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธมาช่วยในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเซ็นเซอร์ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5) ซึ่งพบว่า มีความน่าจะเป็นประมาณ 52% ที่จะประมาณตำแหน่ง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เมตร

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ความแรงสัญญาณร่วมกับเทคนิค ฟิงเกอร์ปริ้นท์ โดยทั่วไปการลดความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งเพื่อทำให้ประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวน APs เพื่อทำให้มีข้อมูลที่นำไปใช้ในการประมาณตำแหน่งมากขึ้น แต่วิธีที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการปรับปรุงสามารถลดความคลาดเคลื่อนลงได้โดยการเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการประมาณตำแหน่ง เพื่อเพิ่มโอกาสให้สามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้น ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง APs เพิ่มเติม แล้วเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการปรับปรุงนี้ยังช่วยลดเวลาในการเก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูลได้โดยการใส่ตำแหน่งที่ติดตั้ง APs สร้างแผนที่ฟิงเกอร์ปริ้นท์เก็บลงฐานข้อมูลแทนการลงพื้นที่แล้วเก็บข้อมูลแต่ละตำแหน่งของพื้นที่

#### ตารางที่ 5-1 ประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ของ APs

ขนาดห้องทดลอง (เมตร)	จำนวน Aps (ตัว)	การครอบคลุมพื้นที่ต่อหนึ่ง APs (ตร.ม.)
60 x 40	7	342.86
25 x 24	7	50.00
10 x 10	5	20.00
10 x 10	4	25.00
10 x 10	3	33.33

จากงานวิจัยของ Liu et al. (2016) ทำการเลือกใช้ APs 4 ตัวจากทั้งหมด 7 ตัว โดยมีพื้นที่ใช้งาน 2 พื้นที่ที่มีขนาด 60x40 เมตรและ 25x14 เมตร แต่พื้นที่ทดลองของผู้วิจัยมีขนาดเล็กกว่าผู้วิจัยจึงทำการลดจำนวน APs ที่ใช้ในการทดลองลง เนื่องจากการระบุตำแหน่งจำเป็นต้องใช้ APs ในการอ้างอิงอย่างน้อยจำนวน 3 ตัว และผู้วิจัยได้แสดงประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ของ APs ไว้ในตารางที่ 5-1 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้ APs ในการนำมาประมาณตำแหน่งจำนวน 3 ตัว

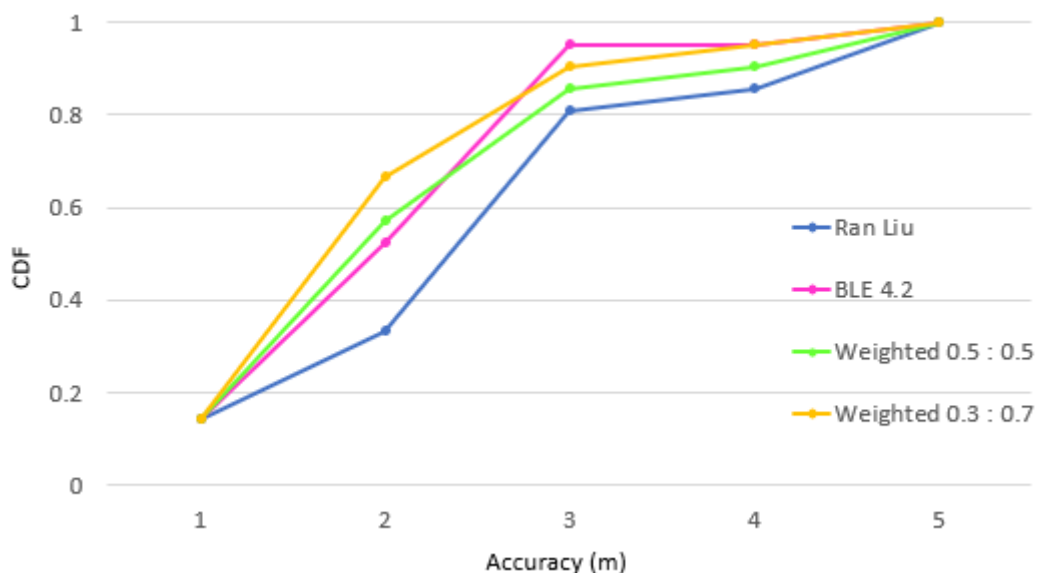
จากการติดตั้งทั้งหมด 4 ตัว แทนการเลือกใช้ 3 ตัว จากการติดตั้งทั้งหมด 3 ตัว เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งขึ้น

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งของแต่ละวิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ค่า SD ของความคลาดเคลื่อน	การปรับปรุงเมื่อเทียบกับวิธีการของ Liu et al. (2016) (%)
วิธีการของ Ran Liu	2.386	1.050	-
* วิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.5 : 0.5)	2.027	1.038	15.046
* วิธีการถ่วงน้ำหนัก (0.3 : 0.7)	1.863	0.917	21.920
* วิธีการใช้ความแรงสัญญาณ ของบลูทูธร่วมกับวิธีการถ่วง น้ำหนัก (0.5 : 0.5)	1.999	0.883	16.220

หมายเหตุ: \*วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

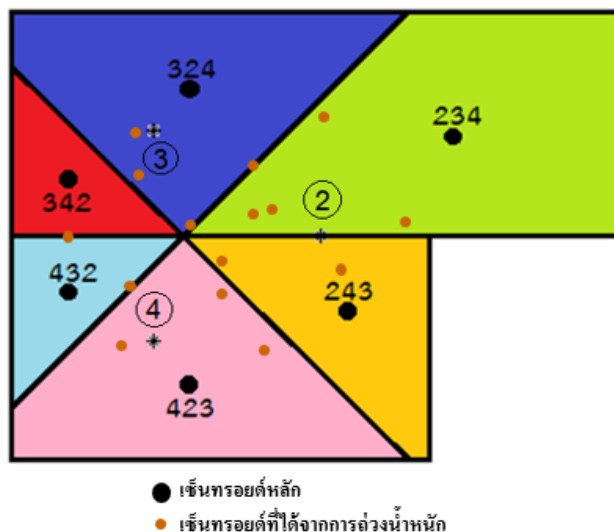
จากการระบุตำแหน่งในแต่ละวิธี พบว่า ค่า SD (Standard deviation) ของความคลาดเคลื่อนในแต่ละวิธีมีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการระบุตำแหน่งแต่ละตำแหน่งได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าการระบุตำแหน่งโดยการใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักตำแหน่งของเซ็นเซอร์สามารถช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งลงได้ถึง 21.920% และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด 0.920 เมตร ส่วนการระบุตำแหน่งโดยการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธเข้ามาช่วยในการตัดสินใจเลือกเซ็นเซอร์สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณตำแหน่งลงได้ แต่จะลดลงน้อยกว่าวิธีการถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งเซ็นเซอร์แบบไม่เท่ากัน (0.3 : 0.7) เนื่องจากตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งของวิธีการใช้บลูทูธมีจำนวนน้อยกว่า ทำให้โอกาสที่จะประมาณตำแหน่งให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงน้อยกว่า แต่เทียบกับวิธีแรกที่ไม่มีการปรับปรุงการใช้ความแรงสัญญาณของบลูทูธเข้ามาช่วยสามารถช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนลงได้ 16.220%



ภาพที่ 5-1 เปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งของแต่ละวิธีการทดลอง

จากภาพที่ 5-1 ได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการที่ต่างกัน โดยแกน x แสดงค่าความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งมีหน่วยเป็นเมตร และแกน y แสดงค่า CDF พบว่า การระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการของ Liu et al. (2016) โดยตรงมีความน่าจะเป็นประมาณ 33% ที่จะระบุตำแหน่งโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร ซึ่งจากการประมาณตำแหน่งที่ผู้วิจัยได้ทำการนำเสนอในงานวิจัยนี้ จะมีเปอร์เซ็นต์ความน่าจะเป็นในการประมาณตำแหน่งโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร มากกว่าการใช้วิธีของ Liu et al. (2016) โดยตรง และการปรับปรุงการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักเซ็นเซอร์ (0.3 : 0.7) มีความน่าจะเป็นสูงที่สุด ซึ่งมีความน่าจะเป็นประมาณ 67% ที่จะระบุตำแหน่งโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 5 เมตร

## ข้อเสนอแนะและแนวทางในอนาคต



ภาพที่ 5-2 ตัวอย่างแผนที่ฟิงเกอร์ปรีนที่ทำการถ่วงน้ำหนักสองเซ็นทรอยด์เท่า ๆ กัน

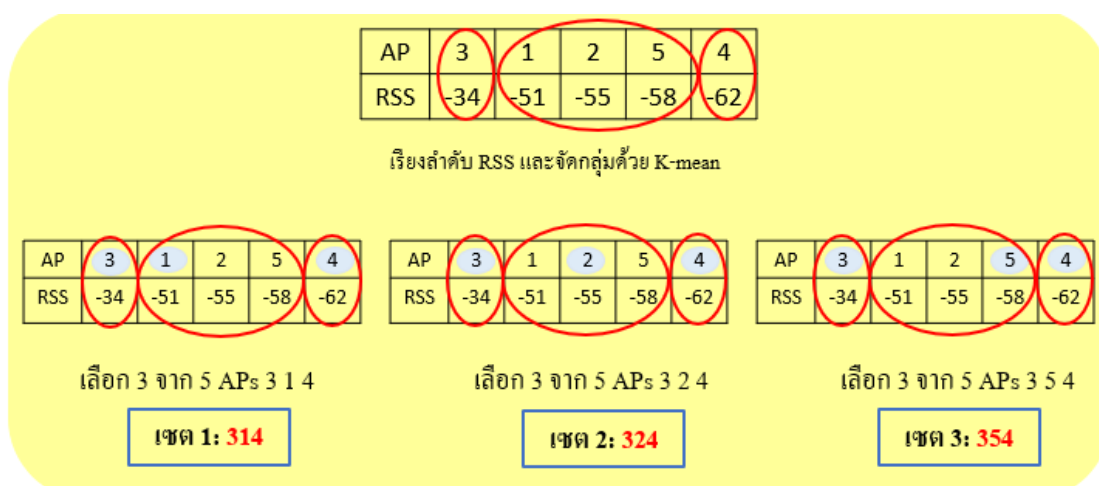
จากการทดลองพบว่า การถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งเซ็นทรอยด์สามารถช่วยประมาณตำแหน่งให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงได้ และจากภาพที่ 5-2 แสดงให้เห็นว่าเซ็นทรอยด์ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนัก (สัญลักษณ์วงกลมสีน้ำตาล) จะกระจายอยู่บริเวณกลางห้อง ส่งผลให้การประมาณตำแหน่งของวัตถุที่อยู่บริเวณริมห้องมีค่าความคลาดเคลื่อนมากขึ้น จึงควรปรับปรุงการติดตั้ง APs ให้อยู่บริเวณริมห้องด้วยเพื่อให้ตำแหน่งเซ็นทรอยด์เลื่อนออกมาริมห้องมากขึ้น และเนื่องจากสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลอง และการติดตั้งอุปกรณ์ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 พบว่าค่าความแรงสัญญาณของสองเซ็นทรอยด์ส่วนใหญ่จะมีความแตกต่างกันอยู่ช่วง 0 ถึง 4 dBm ผู้วิจัยจึงใช้ความแรงสัญญาณที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3 dBm เป็นต้น ไปในการถ่วงน้ำหนักด้วย 0.7 ซึ่งถ้าพื้นที่หรือสภาพแวดล้อมในการทดลองเปลี่ยนแปลงไป ความแรงสัญญาณที่ต่างกันของสองเซ็นทรอยด์อาจเปลี่ยนแปลงตามผู้วิจัยแนะนำให้ปรับช่วงของค่าความแรงสัญญาณที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ทดลอง และการติดตั้งอุปกรณ์ด้วย

เมื่อมีการระบุตำแหน่งด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักเซ็นทรอยด์ในพื้นที่ที่กว้างขึ้น และมี การเพิ่มจำนวนของ APs สามารถทำการถ่วงน้ำหนักเซ็นทรอยด์ที่มีมากกว่าสองเซ็นทรอยด์ได้จากสมการที่ 5-1 โดยที่  $c_j$  เป็นตำแหน่งเซ็นทรอยด์ของพื้นที่ที่  $j$  ซึ่ง  $\alpha_i = \frac{1}{\Delta_i}$  โดยที่  $\alpha_n = 1$  และ  $\Delta_i$  คือ

ผลต่างระหว่างเซ็นทรอยด์ที่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดตามลำดับ ตัวอย่างเช่นในภาพที่ 5-3 จะได้  $\Delta_1 = (58 - 51) = 7, \Delta_2 = (58 - 55) = 3$  เป็นต้น ซึ่งจะได้ตำแหน่งใหม่  $C_w$  ที่อยู่ระหว่างเซ็นทรอยด์ที่ทำการถ่วงน้ำหนัก

$$C_w = \sum_{j=1}^n \alpha_j \left[ \prod_{i=1}^{j-1} (1 - \alpha_i) \right] c_j \quad (5-1)$$

โดยสามารถใช้ได้กับการเลือกใช้ APs จำนวน 3-4 ตัวจากทั้งหมด 5 ตัว หรือเลือก 4 ตัวจากทั้งหมด 7 ตัว ตัวอย่างดังภาพที่ 5-3 เป็นการเลือกใช้ APs จำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 5 ตัวจะได้เซตของ APs ทั้งหมด 3 เซต แล้วนำไปหาตำแหน่งเซ็นทรอยด์ในแผนที่ฟังก์เจอร์ปริ้นท์ เพื่อนำตำแหน่งเซ็นทรอยด์ทั้ง 3 ตำแหน่งมาทำการถ่วงน้ำหนักโดยใช้สมการที่ 5-1 ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ได้กับการจัดกลุ่มแบบ K-mean clustering ที่มีสมาชิกกลุ่มมากกว่าหนึ่งตัวเพียงกลุ่มเดียว แต่ในกรณีที่ทำการจัดกลุ่มแบบ K-mean clustering แล้วมีหลายกลุ่มที่มีสมาชิกมากกว่าหนึ่งตัว ให้ทำการเลือกกลุ่มที่มีสมาชิกมากกว่าหนึ่งตัวและมีความแรงสัญญาณมากกว่ากลุ่มอื่นมาทำการถ่วงน้ำหนักด้วยสมการที่ 5-1 ส่วนกลุ่มที่เหลือจะใช้วิธีการทำการชুমเลือกตัวแทนกลุ่มแทน



ภาพที่ 5-3 ตัวอย่างเซตของ AP ทั้ง 3 เซต

## บรรณานุกรม

- เกรียงไกร มณีรัตน์. (2555). *การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารแบบหลายชั้นโดยใช้เทคนิคแบบผสม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Al-Ammar, M. A., Alhadhrami, S., Al-Salman, A., Alarifi, A., Al-Khalifa, H. S., Alnafessah, A., & Alsaleh, M. (2014). Comparative Survey of Indoor Positioning Technologies, Techniques, and Algorithms. In *2014 International Conference on Cyberworlds* (pp. 245-252). Spain: Santander.
- BASRI, C., & Khadimi A. E. (2016). Survey on indoor localization system and recent advances of WIFI fingerprinting technique. In *2016 5th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)* (pp. 253 - 259). Morocco: Marrakech.
- Bluetooth SIG. (2016). *Bluetooth Core Specification V 5.0*. Retrieved from <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>
- Bo, Y. (2017). *Bluetooth: Technology and Applications*. Retrieved from <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Oct2017CIHOT/CIHOT/8.Session3-3%20Bluetooth%20Technology%20and%20Applications-%E6%9D%A8%E6%B3%A2V3.pdf>
- Cheng, L., Wu, C. D., & Zhang, Y. Z. (2011). Indoor robot localization based on wireless sensor networks. In *IEEE Transactions on Consumer Electronics* (pp. 1099-1104).
- Cherntanomwong, P., & Suroso, D. J. (2011). Indoor localization system using wireless sensor networks for stationary and moving target. In *2011 8th International Conference on Information, Communications & Signal Processing* (pp. 1-5). Singapore: Singapore.
- El-Bendary, M. A. M. (2018). *Wireless Personal Communications: Simulation and Complexity*. doi: 10.1007/978-981-10-7131-7
- Hart, L. (2004). *Introduction to Bluetooth Technology: Market, Operation, Profiles, and Services*. United States of America: Althos.

- Lategahn, L., Muller, M., & Rohrig, C. (2013). TDoA and RSS Based Extended Kalman Filter for Indoor Person Localization. In *2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall)* (pp. 1-5). USA: Las Vegas, NV.
- Liu, R., Yuen, C., Zhao, J., Guo, J., Mo, R., Pamadi, V. N., & Liu, X. (2016). Selective AP-sequence Based Indoor Localization without Site Survey. In *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* (pp. 1-5). China: Nanjing.
- Mainetti, L., Patrono, L., & Sergi, I. (2014). A survey on indoor positioning systems. In *2014 22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)* (pp. 111 - 120). Croatia: Split.
- Thongpull, K., Jindapetch, N., & Teerapakajorndet, W. (2009). A Distance Determination of Moving Sensor Nodes by Comparing RSSI from Different Transmit Powers. In *The 2010 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology: ICESIT 2009* (pp. 1-5).
- Wikipedia. (2018). *k-means clustering*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/K-means\\_clustering](https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering)
- Wikipedia. (2018). *Bluetooth*. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>