



การประเมินการใช้สัญญาณ Wi-Fi probe เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับคน



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แผน ข ระดับปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การประเมินการใช้สัญญาณ Wi-Fi probe เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับคน



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แผน ข ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

EVALUATION OF THE USE OF WI-FI PROBES TO CREATE A HUMAN
DETECTION SYSTEM



By
MR. Prapas SARASALIN

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (INFORMATION TECHNOLOGY AND DIGITAL INNOVATION)

Department of COMPUTER SCIENCE

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2021

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การประเมินการใช้สัญญาณ Wi-Fi probe เพื่อพัฒนาระบบ ตรวจจับคน
โดย	ประกาศ สารศาลิน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แผนก ข ระดับ ปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. สิริกซ์ แก้วจันทน์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(ดร.เฉลิมพล ชาญศรีภิญโญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สิริกซ์ แก้วจันทน์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนีย์ พงษ์พินิจภิญโญ)

61318303 : เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล แผน ข ระดับปริญญาโทบัณฑิต
คำสำคัญ : ตรวจจับคน, ไวไฟ

นาย ประภาส สารศาลิน: การประเมินการใช้สัญญาณ Wi-Fi probe เพื่อพัฒนาระบบ
ตรวจจับคน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. สิริรักษ์ แก้วจันทน์

ในประเทศไทยมีโบราณสถานขึ้นทะเบียนมากกว่า 5,000 แห่ง สถานที่หลาย ๆ แห่ง
ที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนผู้เยี่ยมชม การเข้า - ออก และระยะเวลาที่เข้ามา ซึ่งหลายแห่งไม่มี
คนดูแลทำให้ไม่มีการเก็บบันทึกข้อมูลนี้ไว้ ทั้งนี้หากมีการรวบรวมข้อมูลไว้จะสามารถวิเคราะห์
ข้อมูลแล้วนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนในอนาคตได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลหากไม่มีคนคอย
รวบรวมจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วย เอกสารนี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการสร้างระบบที่
สามารถรวบรวมข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi probe จากอุปกรณ์เคลื่อนที่ของผู้ที่เข้ามาเยี่ยมชมเพื่อ
กำหนดจำนวนผู้เข้าชมและระยะเวลาที่อยู่ในสถานที่ การประเมินโดยมุ่งเน้นใน 4 เรื่องหลัก คือ
1) ระยะเวลาในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาขอบเขต รัศมีของการตรวจจับ 2) ความ
แรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง 3) ปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ 4) ปริมาณข้อมูล
ที่จัดเก็บบนหน่วยความจำ และบอกถึงวิธีการหาตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์เคลื่อนที่
เพื่อที่สามารถนำผลการทดลองมาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับให้ใช้งานได้จริงและมี
ต้นทุนต่ำ



61318303 : Major (INFORMATION TECHNOLOGY AND DIGITAL INNOVATION)

Keyword : Wi-Fi, probe request, human detection, RSSI, location tracking

MR. PRAPAS SARASALIN : EVALUATION OF THE USE OF WI-FI PROBES
TO CREATE A HUMAN DETECTION SYSTEM THESIS ADVISOR : SIRAK
KAEWJAMNONG

There are many places of interests that do not have information on the number of people visiting, leaving, and the amount of time they stayed for. In Thailand, there are over 5,000 registered historical sites, many of which have no guards or conservators. Because of this, records of visitors are not kept. Being able to collect and analyze such data would be a useful tool for planning, but these data are hard to automatically acquire in a cost-effective way. This paper evaluates the possibility of building a system from commodity hardware that is capable of collecting data from Wi-Fi probe signals from visitor's devices to determine number of visitors and amount of time they stayed at the destination. The evaluations focus on three parameters, signal range, signal strength, and power consumption. The results show that the Wi-Fi probe collection system has advantages in term of coverage range, and low power consumption. In addition, location and direction estimation from signal strength with three sensors, and error reduction techniques are also evaluated. This system is suitable to be used as a budget preliminary data collection device.



กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยความอนุเคราะห์และความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร. สิริกข์ แก้วจำนงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือ สนับสนุน แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งให้กำลังใจด้วยดีตลอดเวลา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เฉลิมพล ชาญศรีภิญโญ ประธานคณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนีย์ พงษ์พินิจภิญโญ ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน ที่กรุณาให้คำแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการศึกษานี้ ตลอดจนตรวจสอบให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์และสำเร็จด้วยดี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ แห่งประสาทสิทธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัยนัรรัตน์ กัญยะมี ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในวิธีคิดและประเมินค่าผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยจนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์จากภาควิชาคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสั่งสอน สร้างและพัฒนาประสบการณ์ต่างๆ ทั้งด้านความรู้ และแนวทางการฝึกปฏิบัติงาน ตลอดเวลาที่ศึกษาอยู่ในสถาบันแห่งนี้ สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ ญาติพี่น้องทุกคนในครอบครัวและผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกๆ ท่านที่เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาคำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ดูแลด้วยดีเสมอมา จนนำมาซึ่งความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

คุณความดีและคุณประโยชน์อันเกิดจากการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่คุณพ่อคุณแม่ ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้อบรมสั่งสอนด้วยความปรารถนาดีตลอดมา

นาย ประภาส สารศาลิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 เครื่องมือที่ใช้	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย	4
2.2 การสัญญาณ Wi-Fi probe ในการประเมินผล	5
บทที่ 3 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน	11
3.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย	11
3.2 Raspberry Pi 3	14
3.3 ระบบปฏิบัติการ	20
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย	22
4.2 การออกแบบ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์	24

4.3 วิธีการทดลอง.....27

บทที่ 5 ผลการดำเนินงาน 43

 5.1 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe 43

 5.2 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของ
 สัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่..... 54

บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ 67

 รายการอ้างอิง 69

 ประวัติผู้เขียน..... 73



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่าง probe requests จากไปยัง Access Point	13
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Raspberry Pi ทั้ง โมเดล A และ โมเดล B.....	15
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ ALFA AWUS036NEH Wireless USB.....	28
ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150	29
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของ TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA)	30
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาการตรวจจับของ USB Wi-Fi	44
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการทดลองความแรงของสัญญาณการตรวจจับของ USB Wi-Fi.....	45
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลความแรงสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Cooper	46
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงผลความแรงสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Tab7	47
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลการทดลองปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับ	48
ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงผลการทดลองปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บของอุปกรณ์ตรวจจับ	50
ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนโดยระบุจำนวนคน	51
ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ทดลอง	53
ตารางที่ 5. 9 แสดงค่าความแรงของสัญญาณในระยะทางเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร.....	54
ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงการบันทึกผลการการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 1 ตามภาพที่ 4.25	56
ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงการบันทึกผลการการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 2 ตามภาพที่ 4.26	57
ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงการบันทึกผลการการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4.27	58
ตารางที่ 5.13 การประเมินผลมุมที่แท้จริงด้วยวิธีกำหนดค่าตามจุดกับวิธีการ RANSAC	64
ตารางที่ 5.14 สรุปค่าความเป็นไปได้ของมุมที่แท้จริงเมื่อผ่านวิธีการ RANSAC.....	65

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงร่างเครือข่าย GSM.....	5
ภาพที่ 2.2 โอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดเหตุการณ์ของวงกลมทั้งสามวงที่ตัดกัน	6
ภาพที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยการส่ง Wi-Fi probe ของโทรศัพท์แต่ละค่าย [10].....	6
ภาพที่ 2.4 แสดงพื้นที่การทดลองและจุดการวางตัวกระจายสัญญาณ	7
ภาพที่ 2.5 วิธีการจดจำตำแหน่งการเคลื่อนที่ในรูปแบบตารางหกเหลี่ยมในรูป C คือเสาสัญญาณ และมีจำนวนคน 5 คน	8
ภาพที่ 2.6 แสดงสถาปัตยกรรมระบบของ MiamiMap	8
ภาพที่ 2.7 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการทดสอบข้อมูล	9
ภาพที่ 2.8 แบบจำลองการซ้อนทับของคน	10
ภาพที่ 3.1 รูปแบบคำขอเชื่อมต่อของ Wi-Fi probe	12
ภาพที่ 3.2 รูปแบบการส่งสัญญาณระยะสั้นของ Wi-Fi beacon.....	14
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างบอร์ด Raspberry Pi ทั้ง 2 โมเดล.....	16
ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B).....	17
ภาพที่ 3.5 Raspberry Pi Model A & B (Revision 1).....	17
ภาพที่ 3.6 Raspberry Pi Model B (Revision 2).....	18
ภาพที่ 3.7 LED แสดงสถานะของบอร์ด	18
ภาพที่ 3.8 Raspberry Pi Camera Module	19
ภาพที่ 3.9 Micro SD Card 16GB SANDISK ULTRA	20
ภาพที่ 3.10 โปรแกรม Win32 Disk Image.....	20
ภาพที่ 3.11 การติดตั้ง micro SD Card บน Raspberry Pi 3	21
ภาพที่ 4.1 Raspberry Pi 3 Model B.....	22
ภาพที่ 4.2 Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150.....	23
ภาพที่ 4.3 รูปแบบการจัดการของโปรแกรม Scapy	24

ภาพที่ 4.4 รูปแบบการแสดงผลด้วยสคริปต์คำสั่ง Probemon.....	24
ภาพที่ 4.5 การแสดงผลการอ่านค่า Mac Address ของ A กับ B.....	25
ภาพที่ 4.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ตรวจจับ.....	26
ภาพที่ 4.7 รูปแบบสถาปัตยกรรมการวางอุปกรณ์ตรวจจับ.....	26
ภาพที่ 4.8 ALFA AWUS036NEH Wireless USB.....	27
ภาพที่ 4.9 Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150.....	28
ภาพที่ 4.10 TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA).....	30
ภาพที่ 4.11 Samsung galaxy รุ่น Cooper.....	31
ภาพที่ 4.12 Samsung galaxy รุ่น tab 7.....	31
ภาพที่ 4.13 การวางระยะการทดลองตรวจจับสัญญาณ.....	32
ภาพที่ 4.14 พื้นที่ในการทดลองระยะการตรวจจับสัญญาณ.....	32
ภาพที่ 4.15 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่ในการทดลองระยะการตรวจจับสัญญาณ.....	33
ภาพที่ 4.16 Adapter 5V 1A 1 port USB.....	34
ภาพที่ 4.17 Keweisi KWS USB Monitor Charger Meter Tester Batt.....	34
ภาพที่ 4.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟ.....	35
ภาพที่ 4.19 จำลองการวางอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์รับสัญญาณ.....	36
ภาพที่ 4.20 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณหน้าร้านของร้านบ้านกาแฟ.....	37
ภาพที่ 4.21 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณโดยรอบมุมกว้างของร้านบ้านกาแฟ.....	37
ภาพที่ 4.22 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณโดยรอบมุมกว้างของสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี.....	38
ภาพที่ 4.23 พื้นที่บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี.....	38
ภาพที่ 4.24 พื้นที่ทดลองสนามฟุตบอลโรงเรียนวิสุทธรังษี จังหวัดกาญจนบุรี.....	39
ภาพที่ 4.25 ภาพการวางตัวรับสัญญาณ Wi-Fi Probe 3 ตัว.....	40
ภาพที่ 4.26 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 1.....	41

ภาพที่ 4.27 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 2.....	41
ภาพที่ 4.28 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 3.....	42
ภาพที่ 4. 29 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ตามรูปแบบทิศทาง	42
ภาพที่ 5.1 ค่าความแรงของสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Cooper	46
ภาพที่ 5.2 ค่าความแรงของสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Tab7	47
ภาพที่ 5.3 แสดงผลปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	49
ภาพที่ 5.4 แสดงผลปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	50
ภาพที่ 5.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ สถานที่สะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี.....	52
ภาพที่ 5.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ สถานที่ร้านบ้านกาแพ.....	52
ภาพที่ 5.7 แสดงผลค่าความแรงของสัญญาณในระยะทางเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร	54
ภาพที่ 5.8 แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของความแรงสัญญาณและระยะทางจากสมการ	55
ภาพที่ 5.9 การกำหนดจุดตัดของวงกลมสามวงของตัวรับสัญญาณ (Sensor).....	60
ภาพที่ 5.10 ภาพตัวอย่างการวิเคราะห์ผลจากสมการ	62
ภาพที่ 5.11 ภาพตัวอย่างการวิเคราะห์ผลมุมที่มีความคลาดเคลื่อน	63
ภาพที่ 5.12 การประมาณตำแหน่งจริงจากตัวรับสัญญาณที่ 2 และ มุมจริง 45 องศา ซ้าย: เส้นที่พอดีกับจุดตำแหน่งทั้งหมดและค่าผิดพลาดที่มองเห็นได้ซึ่งทำเครื่องหมายด้วยลูกศรสีแดง ขวา: เส้นสีส้มที่พอดีกับจุดในสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งทำเครื่องหมายด้วยรูปสามเหลี่ยมจากภาพด้านซ้าย	64
ภาพที่ 5.13 แสดงมุมที่แท้จริงเมื่อผ่านวิธีการ RANSAC	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์เคลื่อนที่ในปัจจุบันถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก หรือ Laptop ล้วนมีรูปแบบและการนำมาใช้งานที่หลากหลาย หนึ่งในนั้นคือการใช้งานระบบเครือข่ายแบบไร้สายสามารถใช้งานได้จากผู้ให้บริการเครือข่ายและรับสัญญาณ Wi-Fi จากพื้นที่ต่างๆ ที่มีบริการ ซึ่งถ้าผู้ใช้งานอุปกรณ์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่จะเปิดการใช้งานเครือข่าย Wi-Fi ไว้ถึงแม้จะมีการเชื่อมต่อหรือไม่มีการเชื่อมต่อสัญญาณ แล้วตัวผู้ใช้งานก็เคลื่อนที่ไปยังสถานที่ต่างๆ ตัวอุปกรณ์ก็จะปล่อยสัญญาณ Wi-Fi Probe ออกมาตลอด ทำให้สามารถตรวจจับสัญญาณแล้วนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาการเข้ามาและออกไปของผู้คนในสถานที่นั้น ๆ และยังสามารถที่จะนับจำนวนคนที่เข้ามาได้ด้วย ซึ่งการตรวจจับวิธีที่กล่าวมานั้นสามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้ในหลาย ๆ สถานที่ อาทิเช่น สถานที่ที่รถล้างไม่มีคนเฝ้าดูโดยที่ไม่สามารถจะรู้ได้เลยว่ามีคนเข้ามาในสถานที่แห่งนั้นหรือไม่ ฉะนั้นหากมีอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับแล้วประมาณจำนวนคนที่เข้ามาได้ หากพบว่ามีจำนวนที่เข้ามาเยอะมาก ก็อาจต้องเข้าไปตรวจสอบว่าทำไมถึงมีคนสนใจ เป็นต้น หรือ โบราณสถานที่ทิ้งร้างไว้นานถ้ามีคนสนใจเข้าไปศึกษา หรือแม้แต่ในสถานที่นั้น ๆ มีสิ่งของจำเป็นที่ต้องรักษาอาจนำอุปกรณ์ตรวจจับไปตรวจสอบข้อมูลเพื่อปกป้องทรัพย์สินเหล่านั้นไว้ได้อีกด้วย การประมาณการจำนวนคนจะเน้นไปที่การนำอุปกรณ์ที่ใช้ต้นทุนต่ำสามารถใช้งานได้จริง และยังมีมองถึงข้อได้เปรียบที่ดีกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น กล้องวงจรปิดที่มีมุมอับ ไม่สามารถตรวจจับได้นอกพื้นที่ของบริเวณกล้อง หรือจำเป็นต้องตรวจจับก็ต้องมีจำนวนอุปกรณ์หลายตัว, ไม่ล่วงละเมิดความเป็นส่วนตัวของคนที่มา, ระยะเวลาใช้งานของ Wi-Fi Probe ไม่กว้างเกินไป ทำให้สามารถใช้งานเฉพาะบริเวณได้ ต่างจากการใช้สัญญาณอื่น ๆ เช่น Wi-Fi probe จากมือถือไปยังเสาสัญญาณที่มีระยะทางหลาย ๆ กิโลเมตร

การตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe ที่เข้ามาในพื้นที่นั้น ๆ เป็นการทดลองให้มีความเข้าใจใน 2 ประเด็น คือ 1) ประเมินการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe เช่น ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาขอบเขต รัศมีของการตรวจจับ, ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง, ปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์, ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บบนหน่วยความจำ เพื่อที่สามารถนำผลการทดลองมาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับให้ใช้งานได้จริงและมีต้นทุนต่ำ 2) ทดลองการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่อยู่ในบริเวณนั้น แล้วสามารถบอกถึงทิศทาง และระยะทางของอุปกรณ์เหล่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ประเมินการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

1.2.2 ทดลองการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณ อุปกรณ์เคลื่อนที่

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ในปัจจุบันคนมักพกพาอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก หรือ อุปกรณ์เคลื่อนที่อื่น ๆ ที่สามารถปล่อย Wi-Fi ได้ อุปกรณ์เหล่านี้อาจมีการเปิดใช้สัญญาณ Wi-Fi ไว้ ทำให้อุปกรณ์ปล่อยสัญญาณ Wi-Fi Probe ออกมาตลอดเวลาเพื่อใช้ในกระบวนการเชื่อมต่อกับ อุปกรณ์รับสัญญาณ จึงทำให้สามารถใช้สัญญาณ Wi-Fi Probe ในการตรวจสอบตำแหน่งหรือการปรากฏของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในพื้นที่นั้นได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การประเมินผลการใช้ Wi-Fi probe ในการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ โดยมองออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1.4.1 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

1.4.1.1 ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe

1.4.1.2 ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง

1.4.1.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

1.4.1.4 ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บ

1.4.2 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณ อุปกรณ์เคลื่อนที่

1.5 เครื่องมือที่ใช้

1.5.1 เครื่องมือที่ใช้ด้านฮาร์ดแวร์

1.5.1.1 Raspberry Pi 3 Model B

1.5.1.2 USB Wi-Fi 3 รุ่น

1.5.2 เครื่องมือที่ใช้ด้านซอฟต์แวร์

1.5.2.1 ระบบปฏิบัติการสำหรับ Raspberry Pi 3 Kali Linux

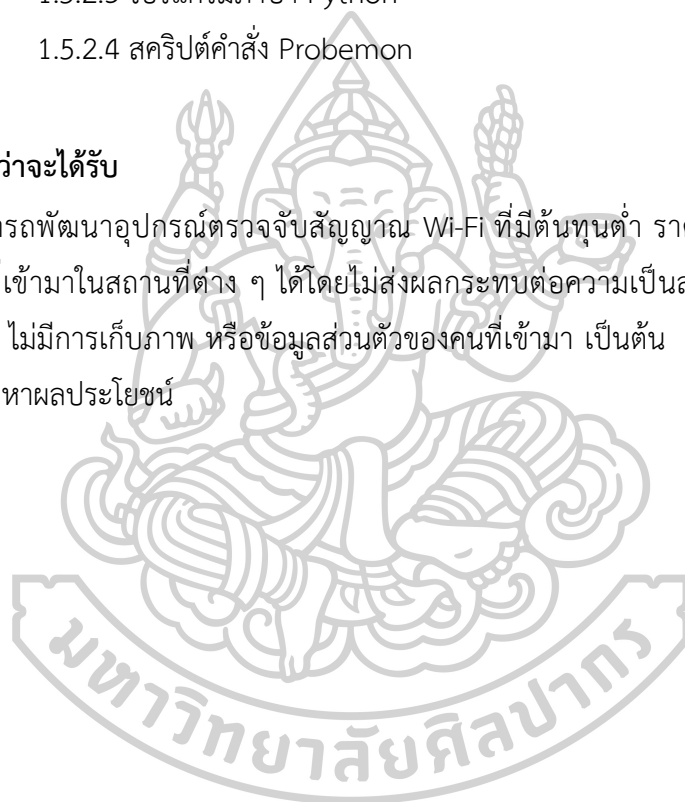
1.5.2.2 โปรแกรม Win32DiskImager

1.5.2.3 โปรแกรมภาษา Python

1.5.2.4 สคริปต์คำสั่ง Probemon

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi ที่มีต้นทุนต่ำ ราคาไม่แพง ที่ช่วยในการตรวจจับคนที่เข้ามาในสถานที่ต่าง ๆ ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น ไม่มีการเก็บภาพ หรือข้อมูลส่วนตัวของคนเข้ามา เป็นต้น ทำให้หมดปัญหาการนำข้อมูลไปแสวงหาผลประโยชน์



บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยเรื่องการประเมินผลการใช้ Wi-Fi probe ในการพัฒนาระบบตรวจจับคนที่เข้ามาในสถานที่ ผู้วิจัยได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยเน้นเนื้อหาออกเป็น 2 หัวข้อดังนี้

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

2.2 การสัญญาณ Wi-Fi probe ในการประเมินผล

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

การเลือกใช้เทคโนโลยีเครือข่ายจำเป็นต้องศึกษาความรู้เบื้องต้นของระบบก่อน โดยการนำเสนอนี้จะชี้นำไปถึงความรู้เบื้องต้นดังนี้

Genevieve Bartlett et al. [1] การทดลองการตรวจสอบเครือข่าย Wi-Fi แบบ Active Probing และ Passive Monitoring เพื่อตรวจหาการใช้บริการเครือข่ายโดยรอบพื้นที่ และอธิบายช่องโหว่ของบริการ ซึ่งพบว่า การตรวจสอบแบบ Passive เหมาะแก่การค้นหาเครือข่ายใกล้เคียงที่รวดเร็ว ส่วนการตรวจสอบแบบ Active จะเหมาะสมกับการค้นหาเครือข่ายทั้งหมด

Dhawankar et al. [2] ทำการทดลองปริมาณงาน ช่วง และประสิทธิภาพของมาตรฐาน IEEE 802.11a, 802.11n และ 802.11ac ผ่านโปรโตคอล TCP และ UDP ในสภาพแวดล้อมในร่ม เพื่อนำผลการทดลองมากำหนดความสามารถของแต่ละโปรโตคอล

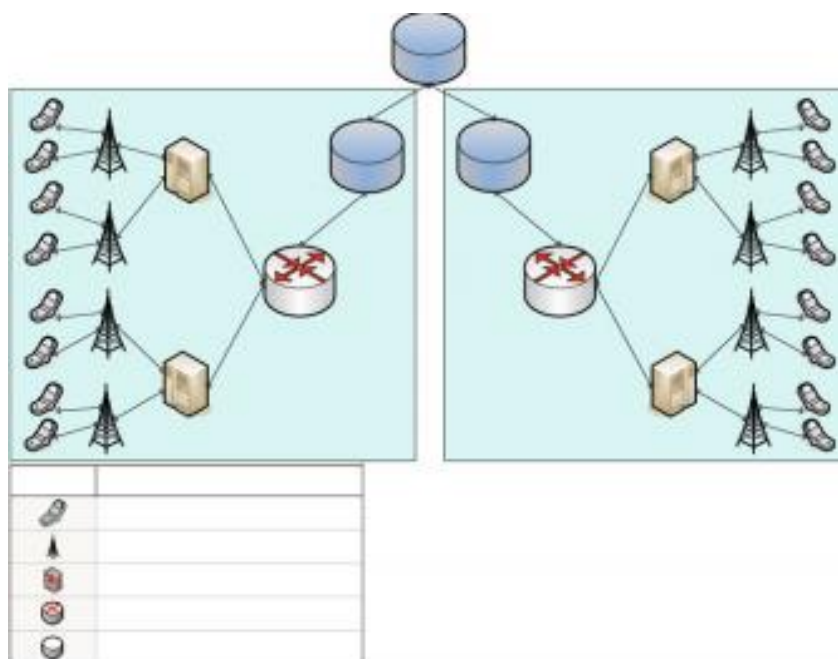
Powar et al. [3] การทดสอบมาตรฐาน IEEE 802.11 บนช่องสัญญาณของ 2.4 GHz และ 5 GHz เพื่อทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลมัลติมีเดีย

Purushothaman et al. [4] การเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลด้วยมาตรฐาน IEEE 802.11 ให้เร็วขึ้น จากเดิม 300ms ให้เหลือ 20ms

Pei et al. [5] เพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเครือข่ายของมือถือให้เร็วขึ้นเพื่อลดการล่าช้าในการเชื่อมต่อและภาระค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่าย

Huang et al. [6] การตรวจจับ Wi-Fi แบบพาสซีฟสำหรับการวิเคราะห์ทิศทางเคลื่อนที่ของคน โดยใช้ Wi-Fi sniffers เพื่อช่วยในการอำนวยความสะดวกและจัดการบริการ

John Steenbruggen et al. [7] การนำเครือข่าย GSM ดั้งเดิมมา **ดัดแปลง!** ไม่พบแหล่งการอ้างอิงของมือถือมาใช้ในการระบุตำแหน่ง โดยใช้วิธีการตรวจสอบความหนาแน่นของผู้ใช้บริการที่อยู่บริเวณนั้น เพราะมีความน่าเชื่อถือและสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการเข้าถึงข้อมูลตำแหน่งของเครือข่าย เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของบริษัทในเชิงของพาณิชย์ ทำให้ยากต่อการเข้าถึงข้อมูลของลูกค้าที่เป็นผู้ใช้บริการ



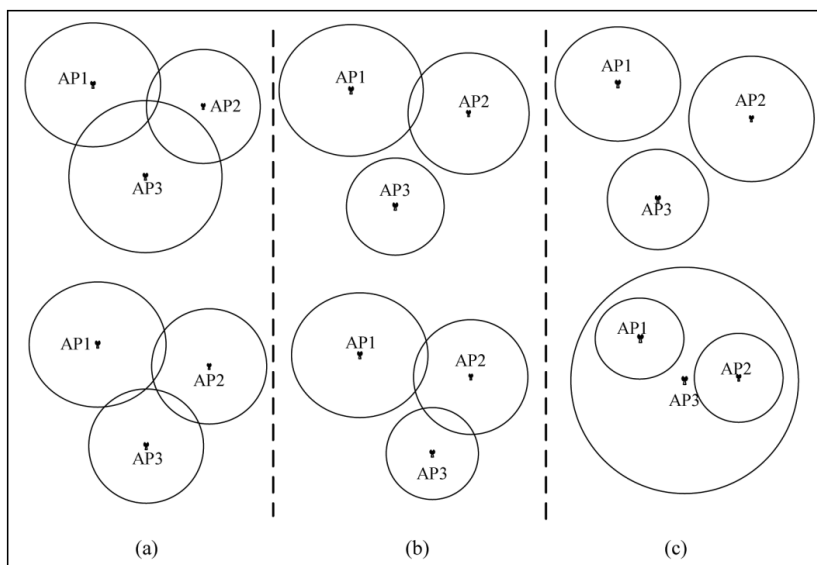
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างเครือข่าย GSM

2.2 การสัญญาณ Wi-Fi probe ในการประเมินผล

วิธีการนำความสามารถของ Wi-Fi probe มาวิเคราะห์เพื่อหาการเข้ามาและออกไปของอุปกรณ์มีหลากหลายแนวคิด และวิธีการมากมายจากหลายๆงานวิจัยโดยนำเสนอ ดังนี้

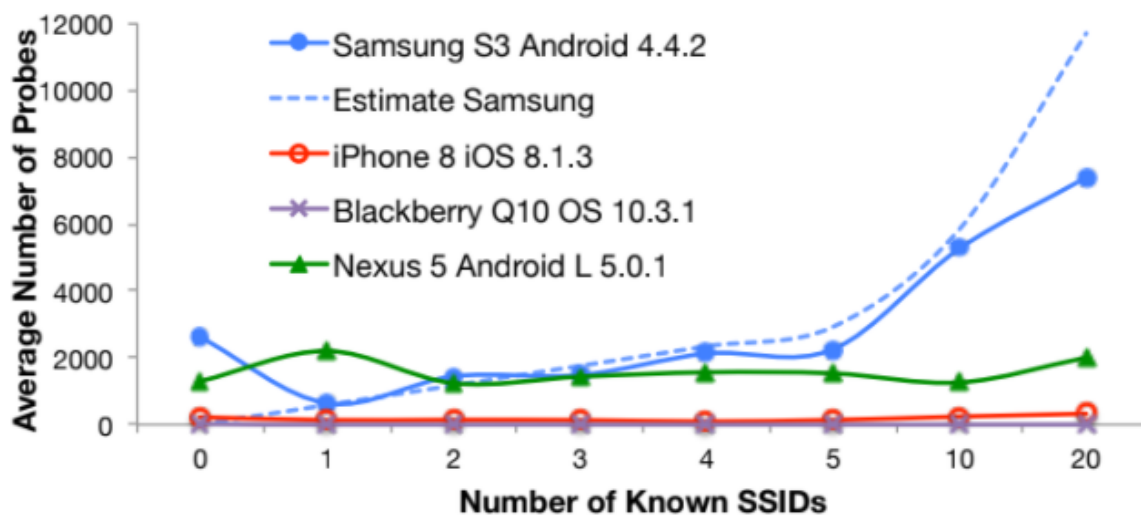
Y. Li et al. [8] แสดงขีดความสามารถของจุดเชื่อมต่อและการวางตำแหน่งที่เหมาะสม ด้วยการวิเคราะห์ค่าขอ probe จาก Smartphone โดยใช้ Wi-Fi sniffers กับ อุปกรณ์ 2 แบบ คือ RPi กับ LoPy4 พร้อมกับแสดงผลการทดลองในพื้นที่ 3 ตำแหน่ง คือ ในบ้าน ในห้อง บริเวณสนามหน้าบ้าน เพื่อหาจุดที่วางตัวกระจายสัญญาณที่ดีที่สุด

J Yang et al. [9] ได้นำเสนอการการหาตำแหน่งของ Smartphone โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์หาจุดตัดของวงกลมจากตัว AP ทั้งสามตัว แต่ก็ยังเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากในความเป็นจริงของการเก็บข้อมูล วงกลมทั้งสามมีโอกาสน้อยมากที่จะตัดกันแบบพอดี ผู้วิจัยจึงยกตัวอย่างเหตุการณ์เหล่านั้นดังผิดพลาด! ไม่พบแหล่งการอ้างอิง



ภาพที่ 2.2 โอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดเหตุการณ์ของวงกลมทั้งสามวงที่ตัดกัน

Julien Freudiger et al. [10] การแสดงค่าความเป็นส่วนตัวของคำขอ probe เช่น ความถี่ในการส่ง Mac ซี้ให้เห็นถึงความไม่ปลอดภัยในเชิงพาณิชย์ ด้วยวิธีการทดสอบจากมือถือค่ายดังจำนวน 5 ค่าย ที่มีระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.3

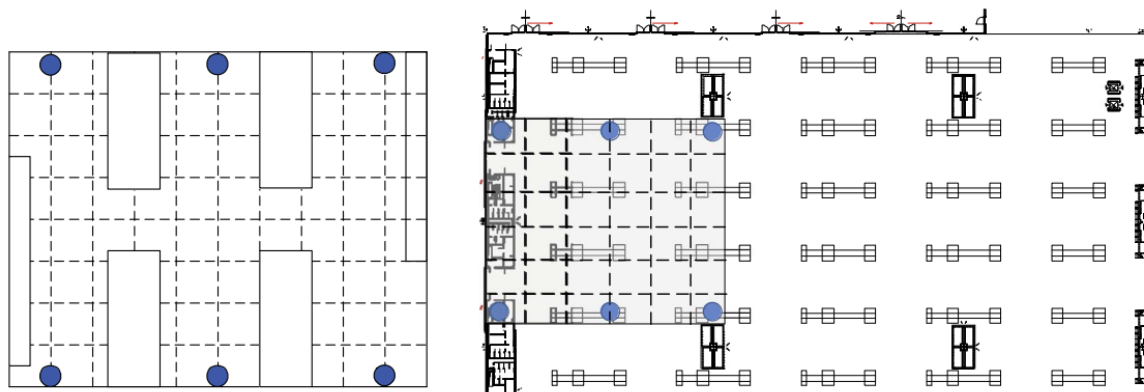


ภาพที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยการส่ง Wi-Fi probe ของโทรศัพท์แต่ละค่าย [10]

S, Rohith Raj et al. [11] การจัดการแพ็กเก็ต Scapy ที่เขียนด้วยภาษา Python โดยใช้ wireshark เพื่อหาจุดแข็งและจุดอ่อนของ Scapy

Xueheng Hu et al. [12] วิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บข้อมูลสัญญาณ probe ลงหน่วยความจำ ตามขนาดของพื้นที่ คือ สนามกีฬา(ขนาดใหญ่) ในห้องเรียน(ขนาดกลาง) ในห้องปฏิบัติการ(พื้นที่ควบคุม) โดยทดลองเพื่อหาปริมาณพลังงานที่ใช้และปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บ

Alessandro E.C. Redondi and Matteo Cesana [13] การใช้ Wi-Fi probe มาใช้ในการแยกระหว่าง Smartphone/Laptop ในพื้นที่ ดังภาพที่ 2.4

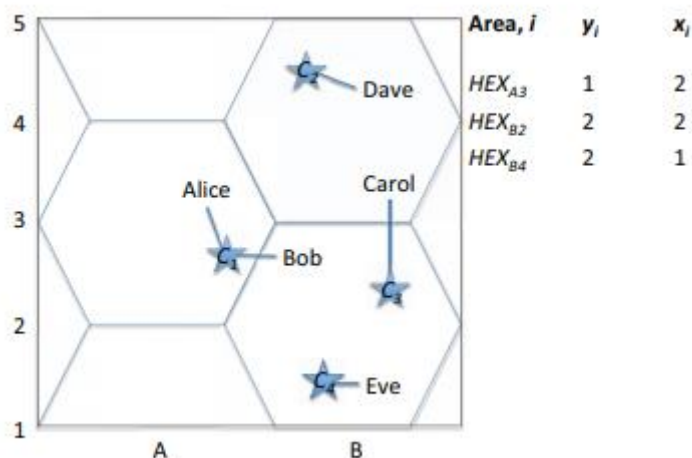


ภาพที่ 2.4 แสดงพื้นที่การทดลองและจุดการวางตัวกระจายสัญญาณ

Kulshrestha et al. [14] การวิเคราะห์คำขอ probe จาก Smartphone เพื่อระบุตำแหน่งของบุคคลในลักษณะคนที่อยู่ในพื้นที่จำนวนมาก

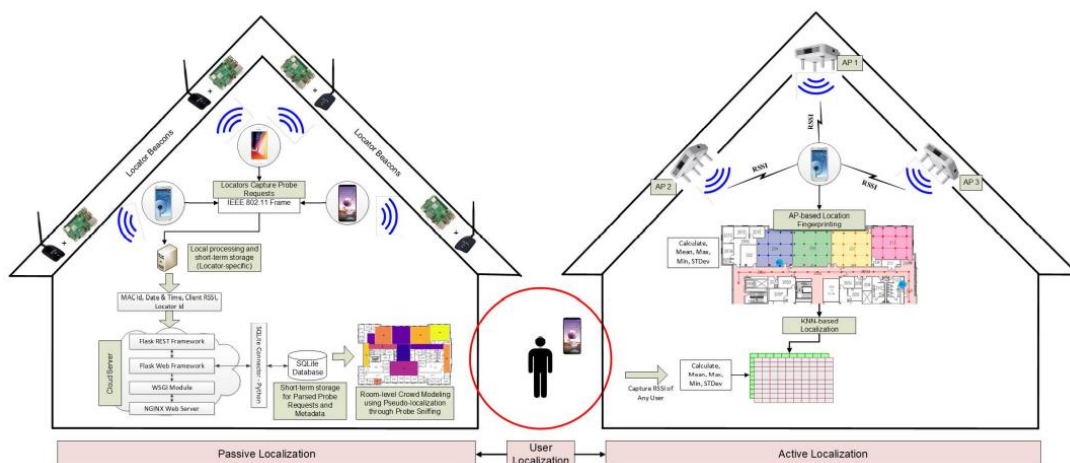
Kai Li et al. [15] การวิเคราะห์คำขอ probe จาก Smartphone เพื่อระบุทิศทาง การเคลื่อนที่ของคน ใช้ห้องปฏิบัติการเป็นห้องทดลอง พร้อมกับทดสอบประสิทธิภาพของ Smartphone แต่ละรุ่น และความเร็วในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

Yibin Ng et al. [16] เป็นรูปแบบการประมาณจำนวนประชากรที่เคลื่อนที่อยู่รอบๆด้วยการใช้เสาสัญญาณมือถือที่ผู้ใช้เชื่อมต่ออยู่ระบุพิกัดตำแหน่งและใช้ระบบ Location Based Services (LBS) หลังจากที่ได้ข้อมูลของประชากรที่เชื่อมต่อกันแต่ละเสาสัญญาณจึงนำมาวิเคราะห์หาว่าทิศทาง ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแต่ละคนอยู่ที่ตำแหน่งในช่องตารางหกเหลี่ยมดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 วิธีการจดจำตำแหน่งการเคลื่อนที่ในรูปแบบตารางหกเหลี่ยมในรูป C คือเสาสัญญาณ และมีจำนวนคน 5 คน

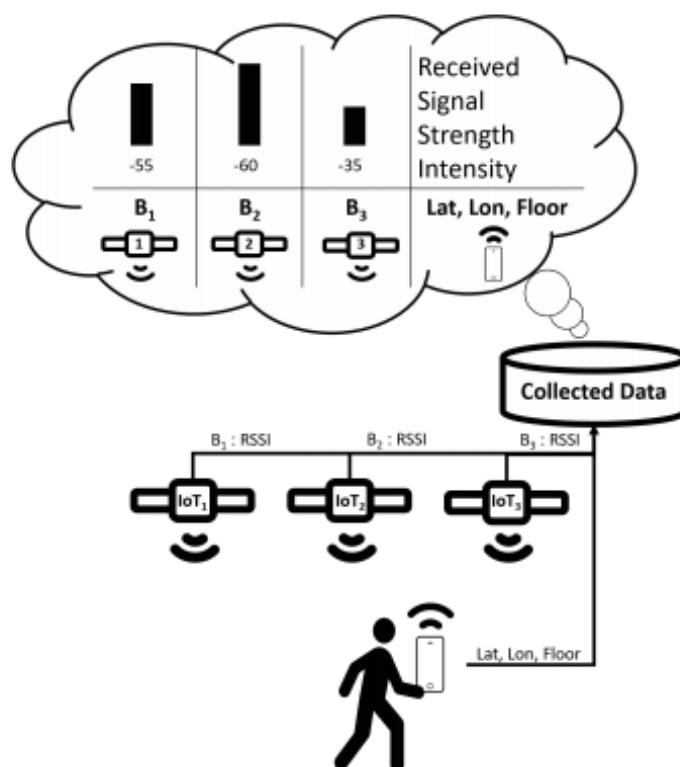
Nicholas Jarvis et al. [17] นำเสนอวิธีการการประเมินหาตำแหน่งของผู้ใช้จาก RSSI ที่สังเกตได้ จากสถาปัตยกรรมระบบของ MiamiMap ดังภาพที่ 2.6 แล้วทำการวิเคราะห์ผลโดยละเอียดจากกลุ่มผู้ใช้ออกมาดังภาพที่ 2.6 โดยบอกถึงกลุ่มผู้ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ตรงส่วนใดของอาคารในขณะที่เคลื่อนไหวและหยุดนิ่ง อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลของสถาปัตยกรรมนี้ต้องใช้ต้นทุนในการเก็บสูง



ภาพที่ 2.6 แสดงสถาปัตยกรรมระบบของ MiamiMap

Georgios Pipelidis et al. [18] นำเสนอวิธีการตรวจจับเส้นทางการเคลื่อนที่ของคนด้วยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการเคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์ IOT ที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 2.7 โดยเก็บ

รวบรวมค่าความแรงของสัญญาณของที่ปล่อยสัญญาณ Wi-Fi probe ออกมา แล้วนำมาประมวลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้จากแต่ละตัวที่ติดตั้งไว้เพื่อนำมาบอกทิศทางเคลื่อนที่ของแต่ละบุคคล



ภาพที่ 2.7 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการทดสอบข้อมูล

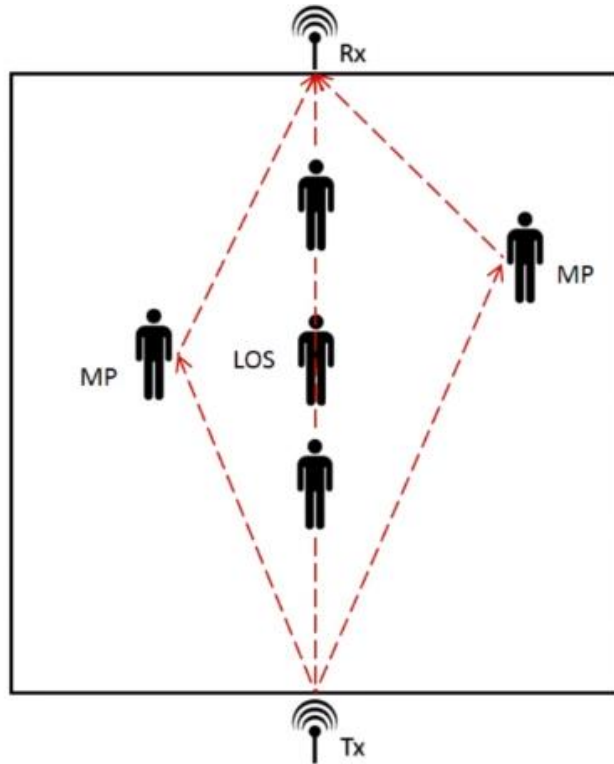
Dagelić et al. [19] แสดงข้อมูลความเป็นส่วนตัวของค่าขอ probe จาก Smartphone ที่แสดงต่อจุดเชื่อมต่อ ตั้งแต่ปี 2014 -2018 ในพื้นที่ของงานมหกรรม พร้อมกับแสดงความแตกต่างของข้อมูลที่จัดเก็บมา เพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้งานแพ็กเกจ Broadcast probe Request ที่ปลอดภัยยิ่งขึ้นและการสุ่มที่อยู่ MAC โดยระบบปฏิบัติการของ Smartphone ที่เพิ่มขึ้นมา

Oliveira et al. [20] ได้นำเสนอการตรวจจับอุปกรณ์ด้วย Wi-Fi probe ของแต่ละตัวกระจายสัญญาณแล้วนำผลมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณเพื่อตัดสินว่าทุกๆตัวกระจายสัญญาณถูกร้องขอด้วยตัวเดียวกันแสดงว่ามีบุคคลคนนี้อยู่ในสถานที่แห่งนั้น

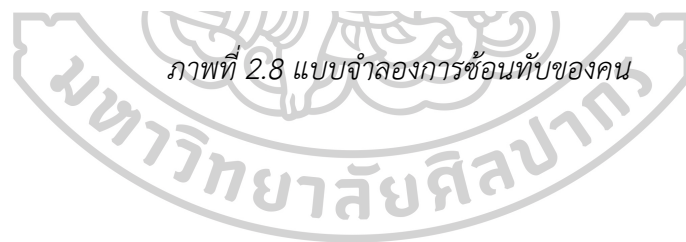
Terje Trasberg et al. [21] การตรวจนับจำนวนคนในพื้นที่บริเวณโดยรอบร้านค้าปลีก ด้วยการวิเคราะห์ค่าขอ probe จาก Smartphone เพื่อคาดเดาจำนวนคนในอนาคตและจัดการระบบค้าปลีกให้รองรับตามจำนวนคน

Saandeep Depatla et al. [22] ใช้รูปแบบการวัดความแรงของสัญญาณ (RSSI) ระหว่างเสาสัญญาณเครื่องส่ง / รับสัญญาณ ด้วยวิธีการหาช่องการตัดสัญญาณของเสาสัญญาณ Sight (LOS)

และการกระทบของคลื่นที่กระจายอยู่รอบๆ หลักจากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการประมาณค่าจำนวนคนที่อยู่บริเวณนั้น แต่การประมาณค่าอาจจะไม่ถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากจะมีการซ้อนทับของคนที่เดินผ่านในลักษณะแนวตรง การไม่เคลื่อนที่ และ พื้นที่เป็นอาคารเป็นชั้นจึงทำให้ความแม่นยำลดลง



ภาพที่ 2.8 แบบจำลองการซ้อนทับของคน



บทที่ 3

ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรายละเอียดของเครื่องมือที่นำมาใช้กับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณและวิธีการออกแบบ เพื่อนำมาพัฒนาระบบตรวจจับอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เข้ามาในสถานที่ โดยแบ่งหัวข้อ ดังนี้

3.1 เทคโนโลยีเครือข่าย Wi-Fi

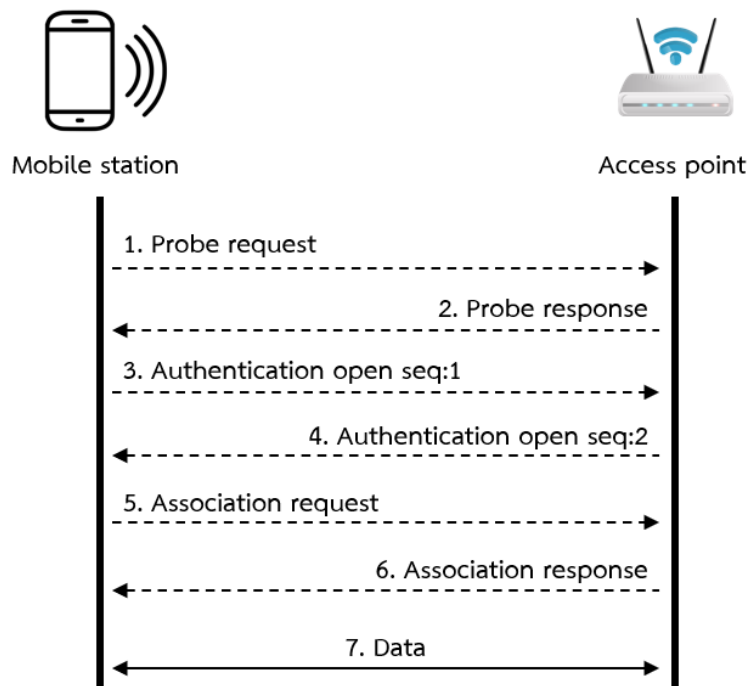
3.2 Raspberry Pi

3.3 ระบบปฏิบัติการ

3.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย หรือ Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมที่ช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ แบบไร้สาย ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 นิยมใช้กับอุปกรณ์พกพา เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โทรศัพท์สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และ กล้องดิจิทัล สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Access Point หรือ Hotspot โดยมีระยะของการกระจายสัญญาณขึ้นอยู่กับ Access Point โดยทั่วไปประมาณ 20 เมตรในพื้นที่อาคาร และจะไกลกว่านี้ถ้าเป็นที่โล่ง

Wi-Fi probe เป็นเทคโนโลยีการส่งชุดคำขอเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi อัตโนมัติเป็นระยะ แม้ว่าจะไม่ได้เชื่อมต่อ Access Point ช่วงของการส่งสัญญาณของ Wi-Fi probe คำร้องขอมีช่วง ตั้งแต่ 30 วินาที ถึง 60 วินาที (ขึ้นอยู่กับสถานะพลังงานของอุปกรณ์) ในทุก ๆ ช่วงเวลา Access Point สามารถตรวจจับได้ประมาณ 10 เฟรม ทุกเฟรมมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ของเครือข่าย เช่น ผู้ให้บริการ, SSID, MAC ปลายทาง, MAC ต้นทาง และ BSSID ที่อยู่ MAC แสดงตัวระบุอุปกรณ์ที่ไม่ซ้ำกัน



ภาพที่ 3.1 รูปแบบคำขอเชื่อมต่อของ Wi-Fi probe

ภาพที่ 3.1 เป็นรูปแบบการส่งคำขอเชื่อมต่อ Wi-Fi probe ระหว่าง กับ Access Point ดังนี้

1. Access Point ทำการส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุความถี่ต่ำในระยะสั้นเพื่อตรวจหาที่อยู่ในระยะ
2. เปิดใช้สัญญาณ Wi-Fi บนช่องสัญญาณ 802.11b/g/n เพื่อแสดงตนเองโดยแสดงข้อมูล Mac Address ของตนเองดังตารางที่ 3.1 และส่งคำขอโพรบไปรอบๆภายในระยะโดยไม่สนใจว่ามี Access Point หรือไม่
3. เมื่อ Access Point ตรวจพบและได้รับคำร้องขอแล้วหากมีคุณสมบัติสามารถใช้งานบนเครือข่ายได้ Access Point จะส่งชื่อที่เครือข่าย หรือ SSID (Service Set Identifier) ให้เห็น
4. หากต้องการเชื่อมต่อกับ Access Point จะส่งคำร้องขอตรวจสอบสิทธิบนช่องสัญญาณ 802.11b/g/n เพื่อเปิดเป็นลำดับที่ 0x0001
5. Access Point ตรวจสอบลำดับการใช้งานถูกต้อง Access Point จะตอบสิทธิการใช้งานให้เป็นลำดับที่ 0x0002 กระบวนการนี้ Access Point สามารถตรวจสอบสิทธิได้พร้อมกันหลายๆ สิทธิในเวลาเดียวกัน หากไม่ผ่านการตรวจสอบสิทธิ Access Point จะตอบสนองกลับไปให้ทำการร้องขอตรวจสอบสิทธิอีกครั้งหรือไม่ก็ต้องไปร้องขอกับ Access Point ตัวอื่นถ้าทำซ้ำแล้วยังไม่ผ่าน

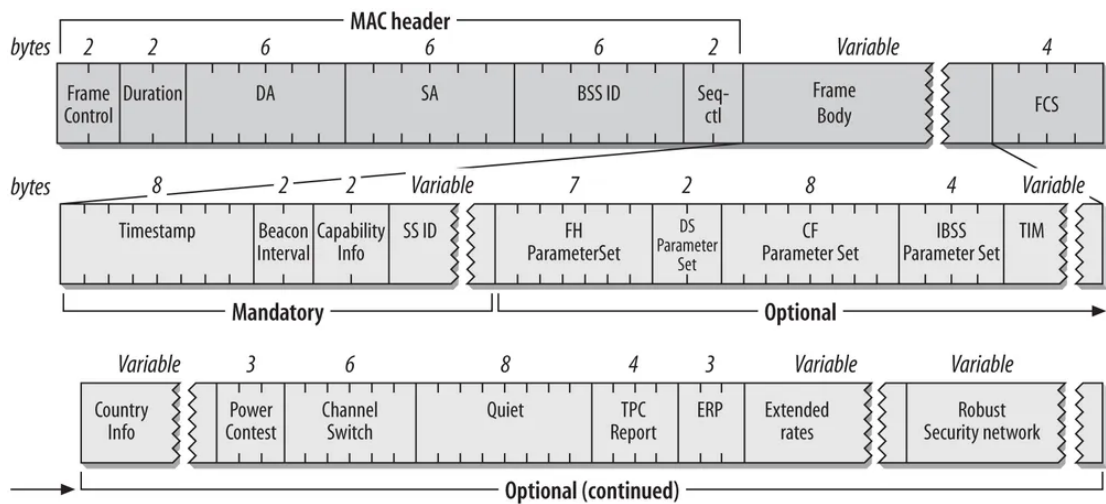
6. เมื่อผ่านกระบวนการตรวจสอบสิทธิ์ จะสามารถส่งคำขอเชื่อมต่อเพื่อใช้งานเครือข่ายด้วยการส่งข้อมูลกับไปยัง Access Point ดังกล่าว
7. เมื่อได้รับคำขอเชื่อมต่อ Access Point จะตอบกลับด้วยการให้สิทธิ์เชื่อมต่อเครือข่ายกับนั้น
8. คำขอเสร็จสมบูรณ์สามารถเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกับ Access Point ได้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่าง probe requests จากไปยัง Access Point

Frame Ctrl	Duration	Destination	Source	BSSID	SEQ	SSID	FCS
...	...	ff:ff:ff:ff:ff:ff	84:25:db:d9:28:45	ff:ff:ff:ff:ff:ff	...	null	...
...	...	ff:ff:ff:ff:ff:ff	d0:7f:a0:dc:d8:19	ff:ff:ff:ff:ff:ff	...	"VS"	...

mac address 84:25:db:d9:28:45 คือ probe requests จากเครื่องที่ 1 ส่งคำขอไปเปล่า โดยไม่มี Access Point ตอบรับหรือหลุดจากระยะสัญญาณ แต่ค่า mac address d0:7f:a0:dc:d8:19 ของเครื่องที่ 2 คำขอถูกตอบรับโดย Access Point BSSID = ff:ff:ff:ff:ff:ff มีชื่อ SSID = "VS" แสดงให้เห็นว่าการส่ง probe requests อาจส่งไปแบบมีการตอบรับจาก Access Point หรือไม่มีการตอบรับก็ได้

Wi-Fi Beacon การส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุความถี่ต่ำในระยะสั้น หรือที่เรียกกันว่า Bluetooth ทำการส่งข้อมูลเป็นช่วงระยะเวลาโดยประมาณ 100 มิลลิวินาที การส่งจะไม่ต่อเนื่อง เพราะเป็นย่านความถี่ต่ำจำเป็นต้องใช้พลังงานให้น้อย ส่วนรูปแบบการส่งสัญญาณจะส่งจาก Access Point โดยบอกถึงที่อยู่ของ Access Point เพื่อให้ที่อยู่ในระยะทราบถึง BSSID ของ Access Point เครื่องนั้น ดังภาพที่ 3.2 หากผู้ใช้งานมีความประสงค์จะเชื่อมต่อสัญญาณกับ Access Point เพียงแค่ส่งคำขอเชื่อมต่อจากมายัง Access Point และรอการตอบกลับ เมื่อคำขอได้รับการตอบกลับก็จะทำให้อุปกรณ์ทั้งสองรู้จักกัน และสามารถสื่อสารกันได้ โดยที่ไม่ต้องรู้จักกันมาก่อน



ภาพที่ 3.2 รูปแบบการส่งสัญญาณระยะสั้นของ Wi-Fi beacon

ทำให้รูปแบบการส่งคำขอเชื่อมต่อของ Wi-Fi probe แสดงถึงรูปแบบวิธีการระบุตัวตนของอุปกรณ์ที่สามารถตรวจนับได้ หากสามารถระบุตรวจนับอุปกรณ์ได้ก็สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับผู้ที่สนใจเข้ามาในสถานที่ได้เนื่องจากทุกคนที่เข้ามาในสถานที่ต่างพกติดตัวเข้ามาด้วย

3.2 Raspberry Pi 3

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน Spreadsheet Word Processing ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้

บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ได้

คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ด

บอร์ด Raspberry Pi 3 ปัจจุบันมี 2 โมเดล คือ โมเดล A และ โมเดล B ซึ่งทั้ง 2 โมเดลมีคุณสมบัติทางเทคนิคที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันเพียงบางส่วน รายละเอียดดังตารางที่ 3.2

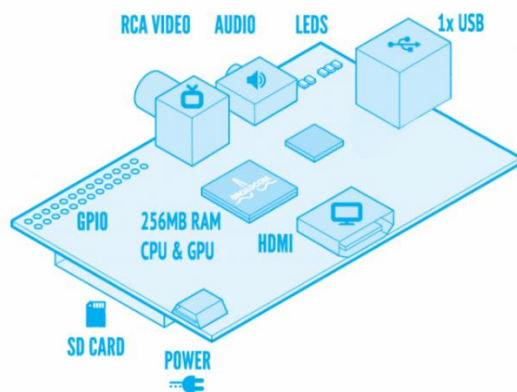
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Raspberry Pi ทั้ง โมเดล A และ โมเดล B

Technical Data	โมเดล A	โมเดล B
System on a chip (SoC)	Broadcom BCM2835(CPU, GPU, DSP, SDRAM and Single USB Port)	
CPU	700MHz ARM1176JZF-S core (ARM11 family, ARMv6 instruction set)	
GPU	Broadcom Video Core IV @ 250 MHz OpenGL ES 2.0 (24 GFLOPS) MPEG-2 and VC-1, 1080p 30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decoder and encoder	
Memory (SDRAM)	256 MB (Shared with GPU)	512 MB (Shared with GPU)
USB 2.0 Ports	1(direct form BCM2835)	2 (via the build in integrated 3-port USB hub)
Video Input	A CSI input connector allows for the connection of RPF designed camera module (ออกแบบมาให้เชื่อมต่อกับ Raspberry Pi Camera Module โดยเฉพาะ)	
Video Outputs	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI (rev 1.3 & 1.4), raw LCD Panels via DSI 14 HDMI resolutions from 640×350 to 1920×1200 plus various PAL and NTSC standards (มีทั้งสองแบบ คือ แบบ RCA และแบบ HDMI)	

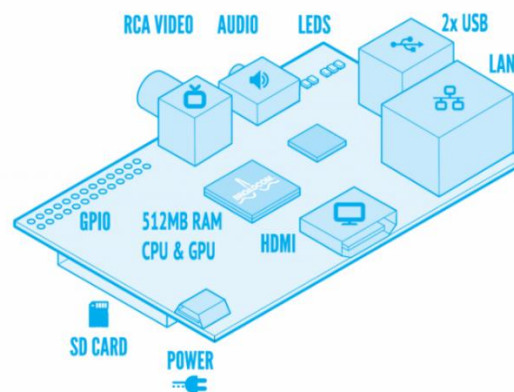
ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

Technical Data	โมเดล A	โมเดล B
Audio Outputs	3.5 mm jack, HDMI, and as of revision 2 boards, I ² S audio (also potentially for audio input)	
Onboard storage	SD/ MMC/ SDIO card slot (3.3V card power support only)	
Onboard network	None	10/100 Ethernet (8P8C) USB adapter on the third port of the USB hub
Low-level peripherals	8 x GPIO, UART, I ² C Bus, SPI Bus with two chip selects, I ² S audio +3.3V, +5V, Ground	
Power ratings	300 mA (1.5 W)	700 mA (3.5 W)
Power source	5 Volt via Micro USB or GPIO header	
Size	85.60 mm x 53. Mm (3.370 inch x 2.125 inch)	
Weight	45 g. (1.6 oz.)	

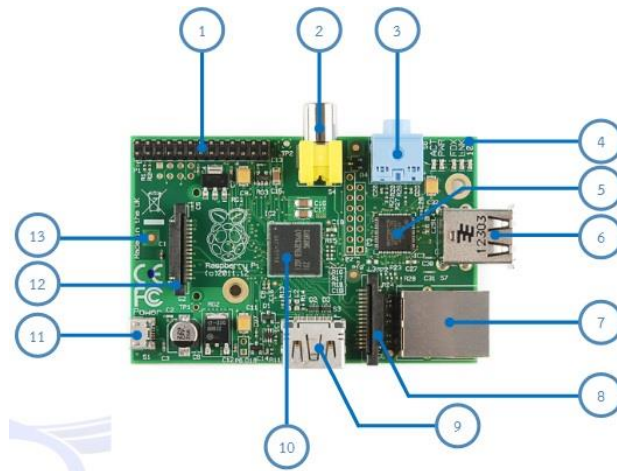
RASPBERRY PI MODEL A



RASPBERRY PI MODEL B



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างบอร์ด Raspberry Pi ทั้ง 2 โมเดล



ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบของบอร์ด Raspberry Pi (Model B)

1. พอร์ต GPIO (General purpose input/output) ซึ่งในโมเดล A และ B (Revision 1) ทุก Pin จะเหมือนกัน แต่โมเดล B (Revision 2) จะแตกต่างกัน รายละเอียดดังภาพที่ 3.5 และ ภาพที่ 3.6

3.3V	1	2	5V
I2C0 SDA	3	4	DNC
I2C0 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
DNC	9	10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 21	13	14	DNC
GPIO 22	15	16	GPIO 23
DNC	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	DNC
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
DNC	25	26	SP10 CE1 N

ภาพที่ 3.5 Raspberry Pi Model A & B (Revision 1)

3.3V	1	2	5V
I2C1 SDA	3	4	5V
I2C1 SCL	5	6	GROUND
GPIO4	7	8	UART TXD
GROUND		10	UART RXD
GPIO 17	11	12	GPIO 18
GPIO 27	13	14	GROUND
GPIO 22	15	16	GPIO 23
3.3V	17	18	GPIO 24
SP10 MOSI	19	20	GROUND
SP10 MISO	21	22	GPIO 25
SP10 SCLK	23	24	SP10 CE0 N
GROUND	25	26	SP10 CE1 N

ภาพที่ 3.6 Raspberry Pi Model B (Revision 2)

2. พอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณภาพออกแบบ RCA ตัวอย่างของสายที่เชื่อมต่อ
3. จุดเชื่อมต่อสัญญาณเสียงขนาด 3.5 มิลลิเมตร
4. LED แสดงสถานะของบอร์ด อยู่ในบริเวณกรอบสีแดง ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 LED แสดงสถานะของบอร์ด

- 4.1 ACT คือ ไฟสถานะ SD Card Access (สีเขียว)
- 4.2 PWR คือ ไฟสถานะ 3.3V Power (สีแดง)

- 4.3 FDX คือ โฟสถานะ Full Duplex LAN Model B (สีเขียว)
- 4.4 LNK คือ โฟสถานะ Link/Activity LAN Model B (สีเขียว)
- 4.5 100 คือ โฟสถานะ 10/100Mbps LAN Model B (สีเหลือง)

5. ชิพควบคุม LAN (LAN Controller)

6. พอร์ต USB 2.0 จำนวน 2 พอร์ต

7. พอร์ต RJ-45 Ethernet LAN 10/100Mbps

8. พอร์ต CSI (Camera Serial Interface) สำหรับเชื่อมต่อโมดูลกล้องดั่งภาพที่ 3.8 แสดง

ตัวอย่างโมดูลกล้อง



ภาพที่ 3.8 Raspberry Pi Camera Module

9. พอร์ต HDMI สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณภาพและเสียง ตัวอย่างสาย HDMI และตัวแปลง HDMI to VGA

10. ชิพ Broadcom BCM2835 ARM11 700MHz

11. พอร์ต Micro USB Power สำหรับเป็นไฟเลี้ยงวงจบบอร์ด Raspberry Pi

12. พอร์ต DSI (Display Serial Interface) ใช้สำหรับต่อจอแสดงผล เช่น จอแสดงผลแบบ TFT Touch Screen เป็นต้น

13. ช่องเสียบ SD Card อยู่บริเวณด้านล่างของบอร์ด

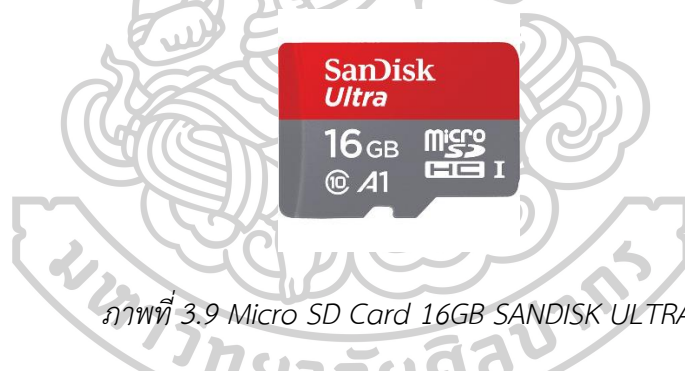
3.3 ระบบปฏิบัติการ

ระบบปฏิบัติการที่ใช้กับร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi 3 เป็นระบบปฏิบัติการ Kali Linux

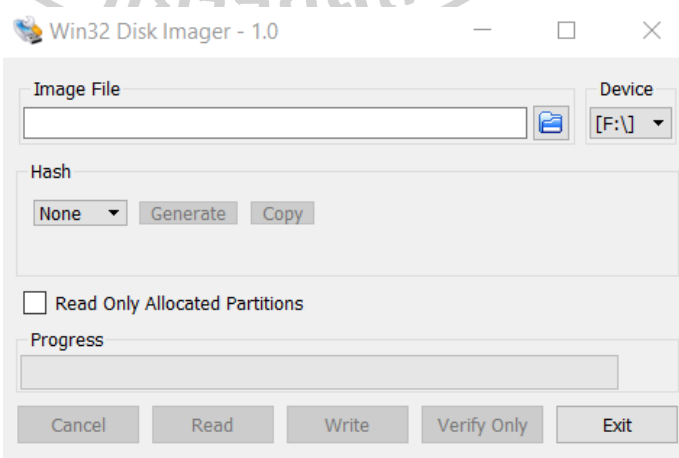
Kali Linux คือ ระบบปฏิบัติการของ Linux ตัวหนึ่งที่เป็น Open-Source Software สามารถดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรี สามารถติดตั้งบน Raspberry Pi 3 ได้ โดยมีเครื่องมือหลากหลายให้เลือกใช้งาน เช่น Armitage เป็นเครื่องมือจัดการการโจมตีทางไซเบอร์กราฟิก Nmap เครื่องสแกนพอร์ต Wireshark เครื่องมือวิเคราะห์แพ็กเกจ OWASP ZAP เครื่องสแกนความปลอดภัยสำหรับเว็บแอปพลิเคชัน และ Aircrack-ng เป็นเครื่องมือที่สนใจในการออกแบบระบบเนื่องจากสามารถอ่านแพ็กเกจ ข้อมูลระหว่างกับตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi ได้

การติดตั้งบน Raspberry Pi 3

1. ดาวน์โหลด <https://www.kali.org/get-kali/#kali-arm> เลือก version ที่ใช้บน Raspberry Pi 3
2. แยกไฟล์ zip ออกมา จะได้ไฟล์ image ให้ทำการ write image นี้ลง micro SD Card ที่ Raspberry Pi 3 ใช้งาน โดยใช้โปรแกรม Win32 Disk Image

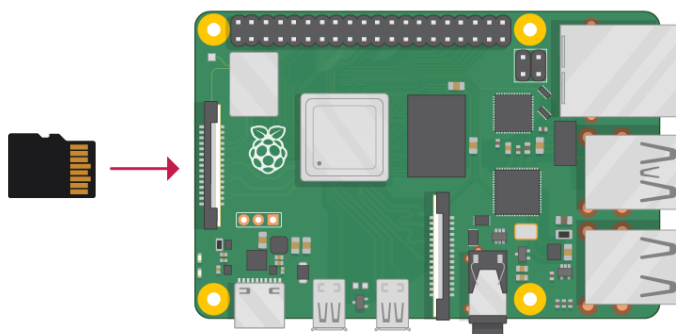


ภาพที่ 3.9 Micro SD Card 16GB SANDISK ULTRA



ภาพที่ 3.10 โปรแกรม Win32 Disk Image

3. จากนั้นนำ micro SD Card เสียบกับ Raspberry Pi 3 และเปิดเครื่องจะได้ Kali Linux ให้ log in เข้าไป ปรับแต่งให้พร้อมใช้งาน เสร็จสิ้นการติดตั้ง



ภาพที่ 3.11 การติดตั้ง micro SD Card บน Raspberry Pi 3



บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

ผลการประเมินการทดลองการใช้สัญญาณ Wi-Fi probe ในการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ต่าง ๆ ที่ได้จากการออกแบบและพัฒนา โดยมีผลดำเนินงานและการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งแสดงเป็นลำดับดังนี้

4.1 เครื่องมือใช้ในการทดลอง

4.2 การออกแบบ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

4.3.1.1 ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe

4.3.1.2 ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง

4.3.1.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

4.3.1.4 ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บ

4.3.1.5 ทดลองเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi probe จากสถานที่ทดลอง

4.3.2 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่

4.1 เครื่องมือใช้ในการทดลอง

4.1.1 เครื่องมือด้านฮาร์ดแวร์

4.1.1.1 Raspberry Pi 3 Model B เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนำมาใช้เป็นเทคโนโลยีในการบันทึกข้อมูลไปยังหน่วยเก็บข้อมูล (Memory)



ภาพที่ 4.1 Raspberry Pi 3 Model B

4.1.1.2 Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150 เป็น USB Wi-Fi รองรับ Wireless N 150Mbps ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ หรือโน้ตบุ๊ก



ภาพที่ 4.2 Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150

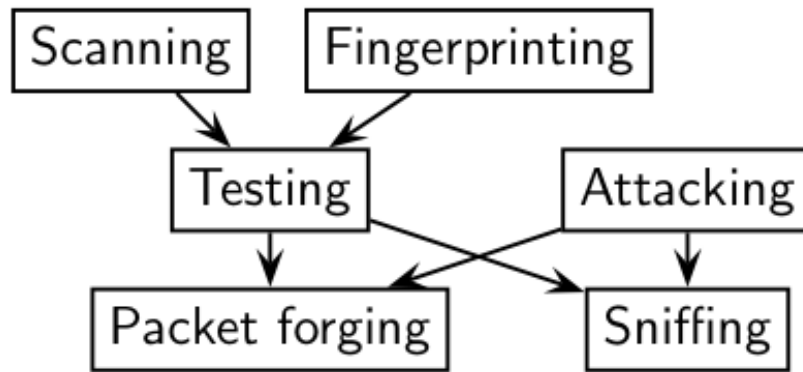
4.2.1 เครื่องมือด้านซอฟต์แวร์

4.2.1.1 ระบบปฏิบัติการสำหรับ Raspberry Pi 3 Kali Linux เป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) ตัวหนึ่งของคอมพิวเตอร์ซึ่งมีพื้นฐานบนลินุกซ์ดิสทริบิวชันที่พัฒนาต่อมาจากเดเบียน ใช้เป็นระบบปฏิบัติการในการติดต่อสื่อสารระหว่าง D-Link DWA-123 Wireless N 150 USB Adapter กับ Raspberry Pi 3 Model B

4.2.1.2 โปรแกรม Win32DiskImager

4.2.1.3 โปรแกรมภาษา Python เป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับสูง โดยถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ในส่วนของการแปลงชุดคำสั่งที่เราเขียนให้เป็นภาษาเครื่อง Python มีการทำงานแบบ Interpreter คือเป็นการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัด เพื่อป้อนเข้าสู่หน่วยประมวลผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่เราต้องการ นำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการเขียนโปรแกรมสั่งให้ระบบปฏิบัติการทำการสำรวจข้อมูลที่สื่อสารกับตัวกระจายสัญญาณเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้ให้บริการ, SSID, MAC ปลายทาง, MAC ต้นทาง และ BSSID ไปยังหน่วยเก็บข้อมูลแล้วดึงข้อมูลมาประมวลผลต่อไป

4.2.1.4 โปรแกรม Scapy เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษา Python พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาเครือข่าย จัดการแพ็กเกจ หรือถอดรหัสจำนวนมากที่ส่งไปมาระหว่างตัวรับและตัวส่งบนเครือข่าย



ภาพที่ 4.3 รูปแบบการจัดการของโปรแกรม Scapy

4.2.1.5 สคริปต์คำสั่ง Probemon เป็นสคริปต์คำสั่ง Python ที่ใช้งานควบคู่กับ Scapy เพื่อใช้ในการบันทึก 802.11 probe frame ในช่วงเวลาที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่เข้ามา อยู่ภายในเครือข่ายของอุปกรณ์

4.2 การออกแบบ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์

4.2.1 การออกแบบอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล โดยสนใจข้อมูล MAC Address ของเครื่องที่ปล่อย สัญญาณ Wi-Fi probe ออกมา และถูกตรวจจับด้วยสคริปต์คำสั่ง Probemon

1	2	3	4	5
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:40:56	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN		None
18/09/2021 13:41:04	9e:db:f0:08:61:77	UNKNOWN		-75
18/09/2021 13:41:07	06:69:a1:d6:45:24	UNKNOWN		-77
18/09/2021 13:41:07	06:69:a1:d6:45:24	UNKNOWN		-79
18/09/2021 13:41:09	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation	TheToy_2.4GHz	-49
18/09/2021 13:41:10	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation	TheToy_2.4GHz	-7
18/09/2021 13:41:10	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation	TheToy_2.4GHz	-9
18/09/2021 13:41:28	c4:17:fe:71:0a:b1	Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
18/09/2021 13:41:30	fe:0e:3e:ba:cb:87	UNKNOWN	Adisorn_2.4G	-71
18/09/2021 13:41:30	fe:0e:3e:ba:cb:87	UNKNOWN	Adisorn_2.4G	-73
18/09/2021 13:41:37	c4:17:fe:71:0a:b1	Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.		-73
18/09/2021 13:41:45	5e:a4:a9:f0:4c:83	UNKNOWN		-17
18/09/2021 13:42:06	5e:a4:a9:f0:4c:83	UNKNOWN		-51
18/09/2021 13:42:07	5e:a4:a9:f0:4c:83	UNKNOWN		-17
18/09/2021 13:42:20	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation	TheToy_2.4GHz	-47
18/09/2021 13:42:20	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation	TheToy_2.4GHz	-47

ภาพที่ 4.4 รูปแบบการแสดงผลด้วยสคริปต์คำสั่ง Probemon

จากตัวอย่างภาพที่ 4.4 เป็นรูปแบบการแสดงผลของสคริปต์คำสั่ง Probemon ที่ถูกบันทึกลงหน่วยความจำ โดยมีการเก็บข้อมูล ดังนี้

หมายเลข 1 คือ วันที่และเวลา

หมายเลข 2 คือ Mac Address ของที่ตรวจจับได้

หมายเลข 3 คือ ชื่อของตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi บนอุปกรณ์ โดยหากอุปกรณ์มีชื่อจะปรากฏชื่อที่ตรวจจับได้ ส่วนบางอุปกรณ์ไม่สามารถเข้าถึงชื่อหรือไม่มีชื่อของตัวอุปกรณ์ระบบก็จะแสดงข้อความว่า UNKNOWN

หมายเลข 4 คือ ชื่อ SSID (Service Set Identifier) ของตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi

หมายเลข 5 คือ RSSI (Received Signal Strength Indicator) เป็นค่าความแรงของสัญญาณมีหน่วยเป็น dBm



18/09/2021 13:38:46	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation
18/09/2021 13:38:47	36:8a:26:fe:7b:a7	UNKNOWN
18/09/2021 13:38:48	36:8a:26:fe:7b:a7	UNKNOWN
18/09/2021 13:38:50	84:25:db:d9:28:45	Samsung Electronics Co.,Ltd
18/09/2021 13:38:53	84:25:db:d9:28:45	Samsung Electronics Co.,Ltd
18/09/2021 13:38:53	84:25:db:d9:28:45	Samsung Electronics Co.,Ltd
18/09/2021 13:38:53	b8:27:eb:85:7a:f4	Raspberry Pi Foundation
18/09/2021 13:38:54	84:25:db:d9:28:45	Samsung Electronics Co.,Ltd
18/09/2021 13:39:05	2c:6f:c9:49:4f:97	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:09	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:09	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:09	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:09	4a:e3:52:12:2e:6e	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:18	c2:5e:6f:1a:f4:fc	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:21	06:a8:d7:7d:db:e5	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:25	66:ee:77:d2:b6:75	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:29	c4:17:fe:71:0a:b1	Hon Hai Precision Ind. Co.,Ltd.
18/09/2021 13:39:35	84:25:db:d9:28:45	Samsung Electronics Co.,Ltd
18/09/2021 13:39:43	d0:7f:a0:dc:d8:19	UNKNOWN
18/09/2021 13:39:45	5a:54:b4:0d:2b:25	UNKNOWN

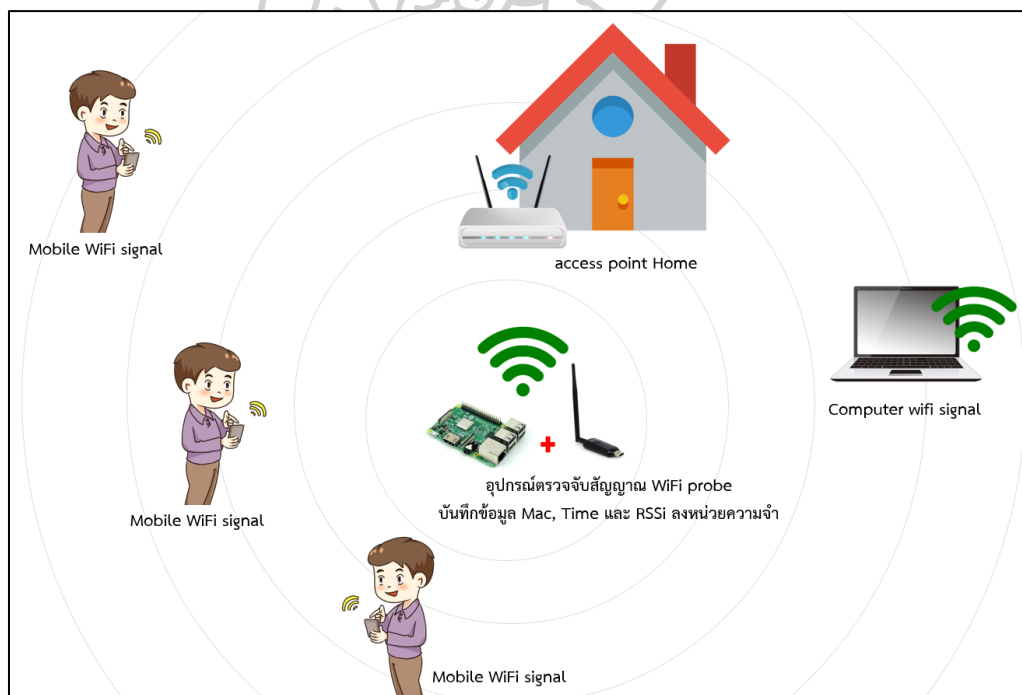
ภาพที่ 4.5 การแสดงผลการอ่านค่า Mac Address ของ A กับ B

จากตัวอย่างภาพที่ 4.5 เป็นการแสดงผลการอ่านค่า Mac Address ของ A กับ B โดย A จะมี Mac Address คือ 84:25:db:d9:28:45 และ B จะมี Mac Address คือ d0:7f:a0:dc:d8:19 ทั้งสองเครื่องถูกตรวจจับด้วยสคริปต์คำสั่ง Probemon

4.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล และการนำอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อแล้วไปวางทดสอบในตำแหน่งสถานที่ที่ต้องการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 4.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ตรวจจับ



ภาพที่ 4.7 รูปแบบสถาปัตยกรรมการวางอุปกรณ์ตรวจจับ

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

การทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe เป็นการทำการประเมินผลด้วยตัวรับสัญญาณเพียงแค่ 1 ตัวในการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองดังนี้

4.3.1.1 ระยะเวลาในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe การทดลองโดยใช้ความแรงของสัญญาณของ USB Wi-Fi แต่ละรุ่นนำมาเปรียบเทียบเป็นระยะเวลา เนื่องจากการตรวจจับจำนวนคนในพื้นที่จำเป็นต้องระบุระยะของตัวกระจายสัญญาณเพื่อให้ครอบคลุมกับพื้นที่ที่เป็นเป้าหมาย ตัวรับสัญญาณต้องไม่แคบหรือกว้างจนเกินไป โดยวิธีการทดลองจะใช้อุปกรณ์เปรียบเทียบดังนี้

4.3.1.1.1 USB Wi-Fi เลือกใช้ในการทดลองทั้งหมด 3 รุ่น คือ ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA) เนื่องจากเป็นตัวรับสัญญาณที่มีราคาไม่สูงมาก และสามารถตรวจจับสัญญาณได้ดี

1) ALFA AWUS036NEH Wireless USB เป็น อุปกรณ์ USB Wi-Fi Adapter ALFA รุ่น AWUS036NEH ใช้สำหรับรับสัญญาณ และเชื่อมต่อระบบเครือข่ายแบบไร้สาย ความเร็วสูง 150Mbps (IEEE 802.11b/g/n)



ภาพที่ 4.8 ALFA AWUS036NEH Wireless USB

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ ALFA AWUS036NEH Wireless USB

Product Specification	
	ใช้ Chipset RT3070
	มาตรฐาน FCC Part 15.247 for US, ETS 300 328 for Europe
Antenna	Detachable 5dBi (RP-SMA) สามารถเปลี่ยนเสาได้
Interface	USB 2.0
Security	64/128-bit WEP, WPA, WPA2, TKIP, AES
OS	Windows 2000, XP 32/64, Vista 32/64, Windows 7, Linux (2.4.x/2.6.x), Mac (10.4.x/10.5.x/10.6.x) Power PC& PC.

2) Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150 เป็น USB Wi-Fi รองรับ Wireless N 150Mbps ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ หรือโน้ตบุ๊ก



ภาพที่ 4.9 Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Wireless USB Adapter D-LINK (DWA-123) N150

SYSTEM REQUIREMENTS	Windows XP SP3, Vista, or 7 CD-ROM drive 20 MB hard disk space Available USB port
STANDARDS	IE 802.11n IE 802.11g IE 802.11b USB 2.0
FREQUENCY RANGE	2.4 GHz to 2.4835 GHz
ANTENNA	Integrated antenna
SECURITY	64/128-bit WEP data encryption Wi-Fi Protected Access (WPA & WPA2)
DIMENSIONS (L x W x H)	65 x 23 x 12 mm (2.6 x 0.9 x 0.5 inches)

3) TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA) เป็น USB Wi-Fi ที่มีเสาแบบติดตั้งภายนอก จำนวน 2 เสา 3 dBi ทำงานแบบ 2x2 รับและส่งในเวลาเดียวกัน รองรับสัญญาณเฉพาะสัญญาณ 2.4 G



ภาพที่ 4.10 TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA)

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของ TENDA WIRELESS USB ADAPTER N300 (TD-W322UA)

STANDARDS	รองรับมาตรฐาน IEEE802.11b/g/n ความเร็วในการเชื่อมต่อสูงสุดที่ 300Mbps รองรับการเชื่อมต่อกับ HiDEF Player
SYSTEM REQUIREMENTS	Windows 98/SE/2000/2003/NT/XP/Vista/7 และ Linux/MAC OS X
Chipset	Ralink

4.3.1.1.2 Mobile Phone เลือกใช้ทั้งหมดจำนวน 2 รุ่น คือ Samsung galaxy Cooper และ Samsung galaxy tab 7 เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในค่ายเดียวกันต่างกันเพียงแค่รุ่นของอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง

1) Samsung galaxy รุ่น Cooper เป็นโทรศัพท์มือถือที่มีระบบปฏิบัติการ Android รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi 802.11n, Bluetooth 2.1



ภาพที่ 4.11 Samsung galaxy รุ่น Cooper

2) Samsung galaxy รุ่น tab 7 เป็นแท็บเล็ตที่มีระบบปฏิบัติการ Android รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi (802.11 b/g/n) + DLNA, Mobile Hotspot, Bluetooth v3.0



ภาพที่ 4.12 Samsung galaxy รุ่น tab 7

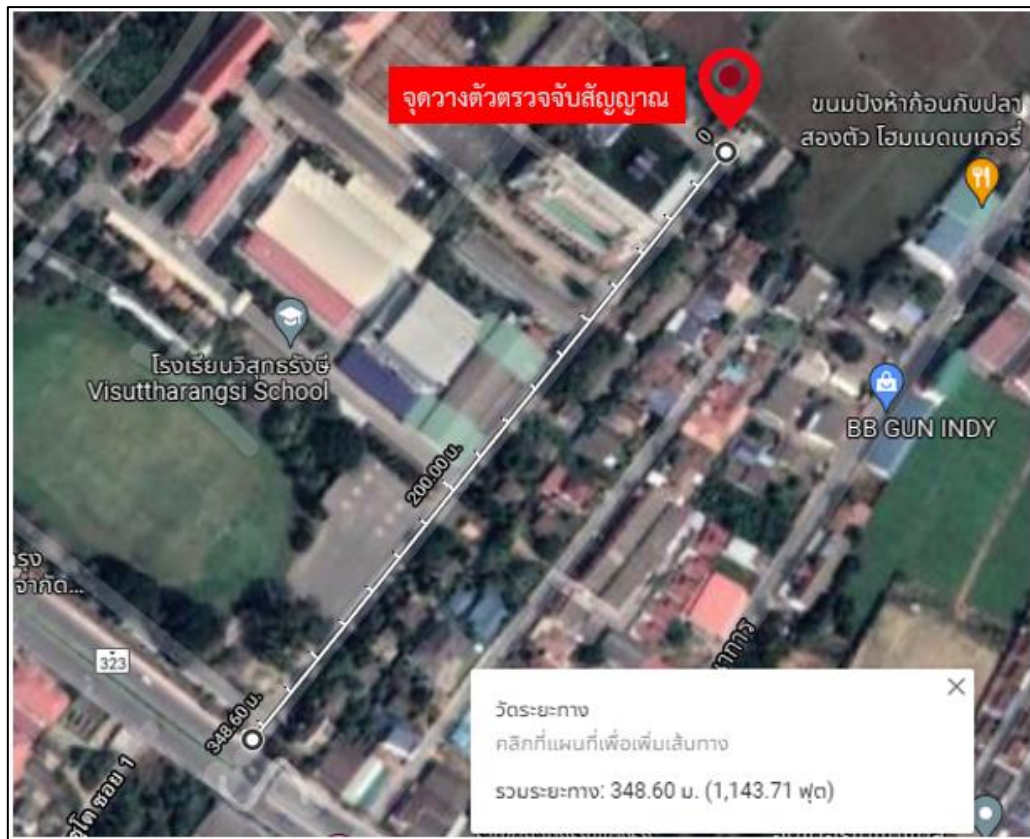
การทดลอง ตั้งอุปกรณ์ตรวจจับที่มี USB Wi-Fi แต่ละยี่ห้อติดตั้งไว้ในพื้นที่เปิดแล้วทำการเดินตรงไปในพื้นที่โล่งตามระยะที่กำหนด คือ 10 เมตร 50 เมตร 90 เมตร และ 130 เมตร ตามลำดับ ใช้เวลาในการเดินโดยให้โทรศัพท์ทั้ง 2 รุ่นเปิดการใช้งาน Wi-Fi บนอุปกรณ์พร้อมกันตามระยะทาง แล้วให้อุปกรณ์ตรวจจับบันทึกผลความแรงสัญญาณที่ระยะทางตามที่กำหนดไว้



ภาพที่ 4.13 การวางระยะการทดลองตรวจจับสัญญาณ



ภาพที่ 4.14 พื้นที่ในการทดลองระยะการตรวจจับสัญญาณ



ภาพที่ 4.15 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่ในการทดลองระยะการตรวจจับสัญญาณ

4.3.1.2 ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง การทดลองจะทำการเก็บข้อมูลพร้อมกับการทดลองที่ 4.3.1.1 ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe แล้วทำการบันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่เกิดขึ้นของ USB Wi-Fi และ อุปกรณ์เคลื่อนที่

4.3.1.3 วัดปริมาณการใช้พลังงาน การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อถูกนำไปใช้งานในสถานที่จริงแล้วเปิดไว้ตลอดเวลาจะใช้พลังงานมากน้อยเพียงใด เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจว่าในอนาคตหากต้องการนำอุปกรณ์ไปใช้จริงและต้องการเพิ่มฟังก์ชันของอุปกรณ์เข้าไปอาจส่งผลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ต้องการเพิ่มส่วนขยายให้อุปกรณ์ตรวจจับสามารถส่งข้อมูลที่จัดเก็บไว้ขึ้นไปบน cloud server หรือนำอุปกรณ์ตรวจจับไปไว้ในพื้นที่ห่างไกลไม่มีพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องหาแหล่งผลิตพลังงานเอง เป็นต้น โดยวิธีการทดลองจะใช้อุปกรณ์ในการวัดค่าพลังงานดังนี้

4.3.1.3.1 Adapter 5V 1A 1 port USB คือ ตัวแปลงกระแสไฟจาก AC แรงดัน 220V เป็น DC แรงดัน 5V กระแสสูงสุด 1A และมีช่องเสียบ USB จำนวน 1 ช่อง



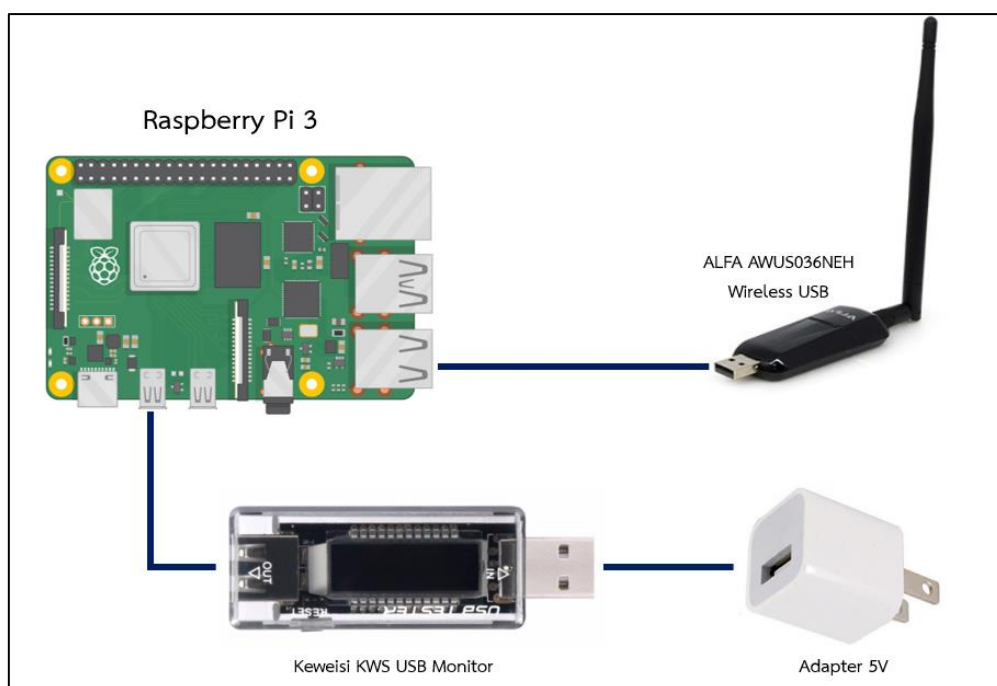
ภาพที่ 4.16 Adapter 5V 1A 1 port USB

4.3.1.3.2 Keweisi KWS USB Monitor Charger Meter Tester Batt คือ อุปกรณ์ USB สำหรับตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และเวลาในการใช้ไฟ



ภาพที่ 4.17 Keweisi KWS USB Monitor Charger Meter Tester Batt

การทดลอง ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าพลังงานดังภาพที่ 4.18 แล้วทำการเปิดอุปกรณ์ตรวจจับทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับแล้วบันทึกผล



ภาพที่ 4.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟ

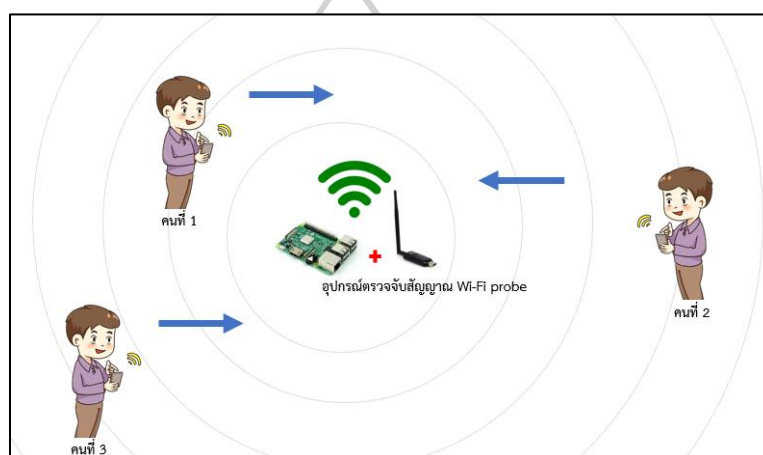
4.3.1.4 ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บ การทดลองการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับในขณะที่บันทึกลงบนหน่วยความจำของเครื่อง โดยการเปิดเครื่องตรวจจับวางทิ้งไว้บนสถานที่จริงพื้นที่เดิมแต่ใช้เวลาในการตรวจจับที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาปริมาณของข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การทดลอง เปิดอุปกรณ์ตรวจจับให้ทำงานในพื้นที่ โดยเลือกสถานที่ใช้ในการทดลอง คือ บ้านพักครูโรงเรียนวิสุทธิรังษี จังหวัดกาญจนบุรี เพราะมีความใกล้เคียงกับสถานที่จริง คือ มีประชากรอาศัยอยู่ มีการเคลื่อนที่ เข้า - ออก สถานที่ และเปิดใช้งาน Wi-Fi ของเครื่องตลอดเวลาที่อาศัยอยู่ จากนั้นทำการจับเวลาการเก็บข้อมูลลงเครื่องตรวจจับโดยแบ่งการเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆ คือ 1 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง แล้วทำการบันทึกผล

4.3.1.5 ทดลองเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi probe จากสถานที่ที่ทดลอง

การทดลองการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้นั้นมาวิเคราะห์ผลหาจำนวนประชากรที่ตรวจจับได้จากอุปกรณ์ว่ามีประชากรอยู่ทั้งหมดที่เป็นผู้ที่เข้ามาเยี่ยมชมสถานที่ เป็นประชากรที่อยู่ในสถานที่นั้น ไม่ใช่ประชากรที่มาเยี่ยมชม หรือเป็นผู้ที่อาศัยอยู่โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ 1) ทดลองเก็บข้อมูลโดยระบุจำนวนคน 2) ทดลองในสถานที่จริง

1) ทดลองเก็บข้อมูลโดยระบุจำนวนคน เป็นการเก็บข้อมูลโดยการให้คนจำนวน 10 คน แสดงตัวตนด้วยการเปิดตัวรับสัญญาณ Wi-Fi บนอุปกรณ์ และเข้ามาอยู่ในพื้นที่ที่ตรวจจับ หลังจากนั้นทำการประเมินผลจำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่



ภาพที่ 4.19 จำลองการวางอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์รับสัญญาณ

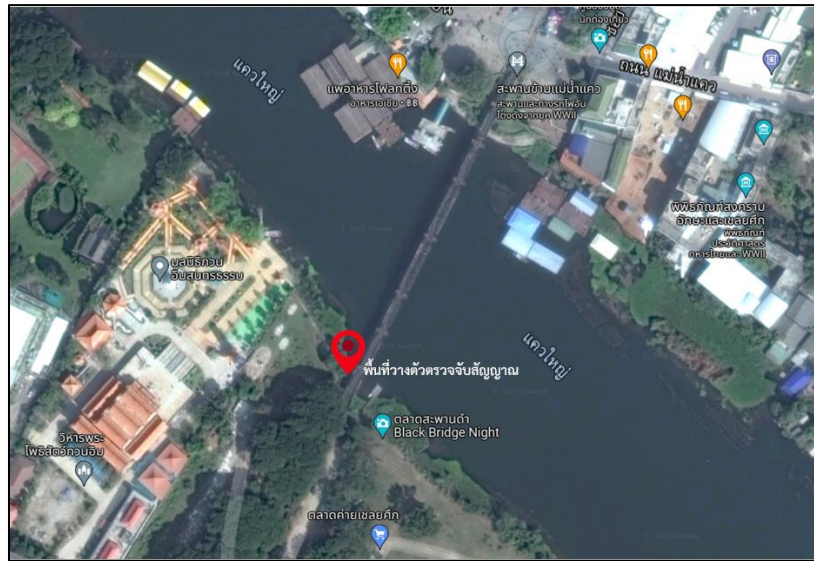
2) ทดลองในสถานที่จริง จะเลือกใช้สถานที่จำนวน 2 แห่ง คือ ร้านบ้านกาแฟ และสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี เนื่องจากทั้ง 2 สถานที่มีความแตกต่างกัน คือ ร้านบ้านกาแฟ มีจำนวนคนที่สนใจไม่มาก อยู่ติดถนนสายหลัก ห่างไกลจากแหล่งชุมชนแออัดเกิน 100 เมตร ส่วนสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี อยู่ในแหล่งชุมชน เป็นสถานที่ท่องเที่ยว มีจำนวนผู้เข้ามาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมาก โดยรวมแล้วทั้ง 2 แห่งต่างก็เป็นที่น่าสนใจของผู้เยี่ยมชมที่แวะเข้า - ออก ตลอดเวลา



ภาพที่ 4.20 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณหน้าร้านของร้านบ้านกาแฟ



ภาพที่ 4.21 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณโดยรอบมุมกว้างของร้านบ้านกาแฟ



ภาพที่ 4.22 แสดงภาพบน google map ของพื้นที่บริเวณโดยรอบมุกกว้างของสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี

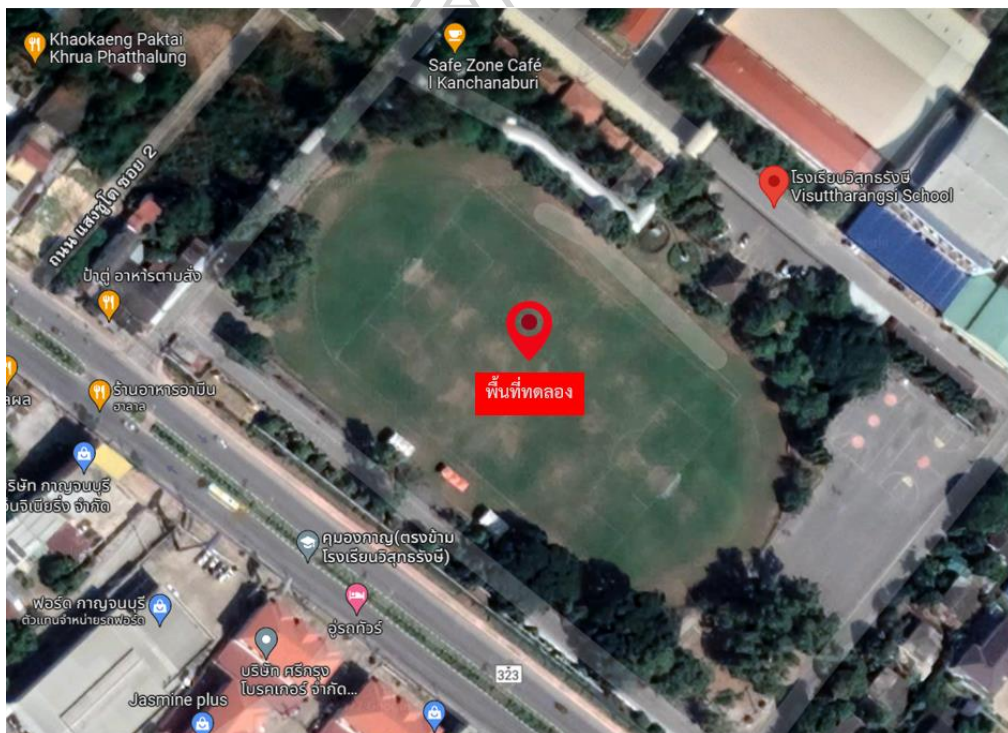


ภาพที่ 4.23 พื้นที่บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี

การทดลอง นำอุปกรณ์ตรวจจับวางไว้บริเวณสถานที่ทั้ง 2 แห่ง คือ ร้านบ้านกาแฟ และ สะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี เก็บข้อมูลและบันทึกผล โดยเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีการจำกัดเรื่องของเวลาในการใช้งานในสถานที่และไม่ละเมิดสิทธิของผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้นมากจนเกินไป

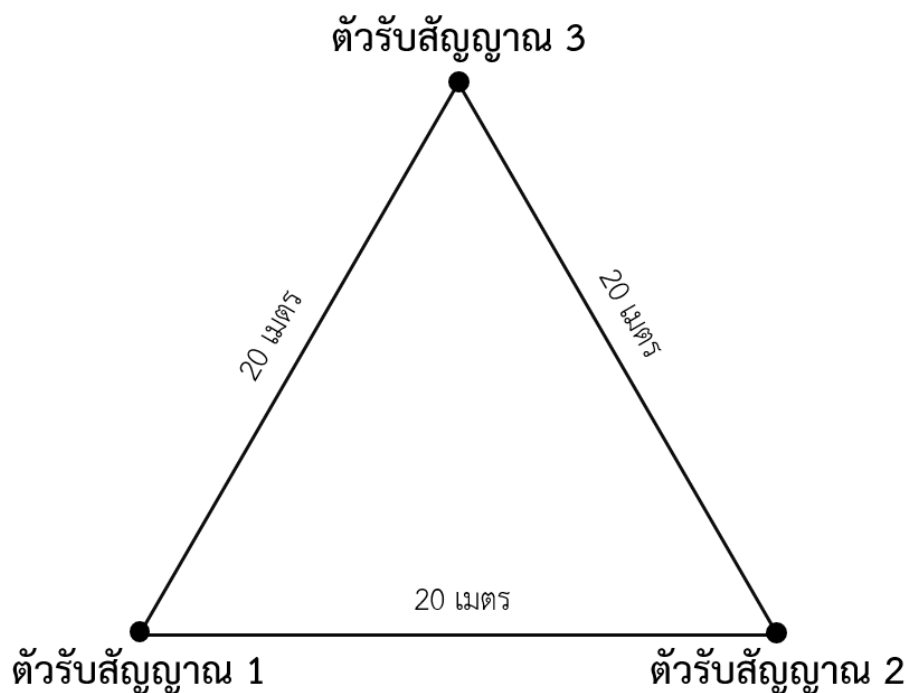
4.3.2 ประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่ การใช้ตัวรับสัญญาณ 1 ตัวในการตรวจจับคนที่เข้ามาในสถานที่ สามารถบอกได้แค่เพียงการเข้ามาและออกไปของอุปกรณ์ แต่ถ้าต้องการทราบถึงทิศทางการเข้ามา และตำแหน่งของอุปกรณ์จำเป็นต้องใช้ตัวรับสัญญาณมากกว่า 1 ตัว ในการทดลองนี้จะใช้ตัวรับสัญญาณ 3 ตัว เพื่อหาตำแหน่งและทิศทางของตัวอุปกรณ์เคลื่อนที่

การทดลอง จำลองสถานการณ์ทิศทางเคลื่อนที่เพื่อหาตำแหน่งและทิศทางของตัวอุปกรณ์เคลื่อนที่ในสถานที่นั้น โดยการทดลองจากการใช้พื้นที่ของสนามฟุตบอลโรงเรียนวิสุทธิรังษี จังหวัดกาญจนบุรี ดังภาพที่ 4.24



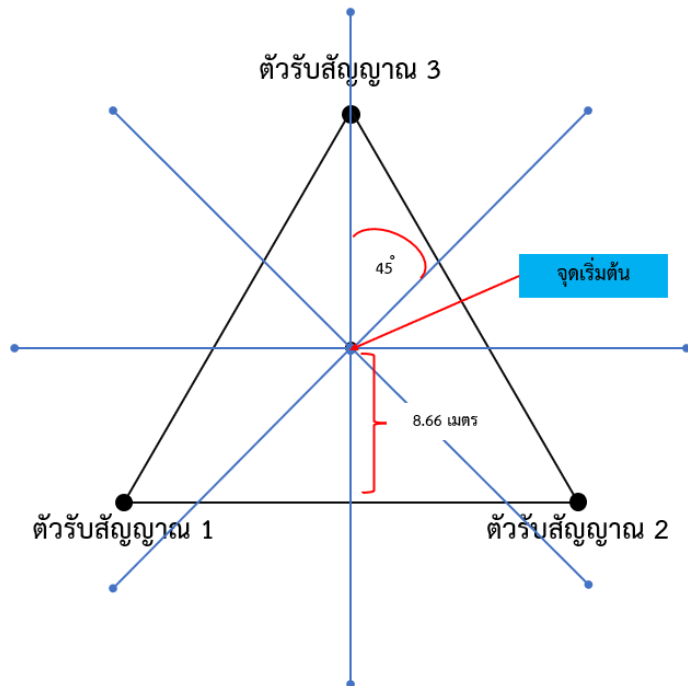
ภาพที่ 4.24 พื้นที่ทดลองสนามฟุตบอลโรงเรียนวิสุทธิรังษี จังหวัดกาญจนบุรี

กำหนดจุดการวางตัวรับสัญญาณทั้งหมด 3 จุด เป็นรูปสามเหลี่ยม และระยะห่างของตัวรับสัญญาณห่างกัน 20 เมตร ดังภาพที่ 4.25

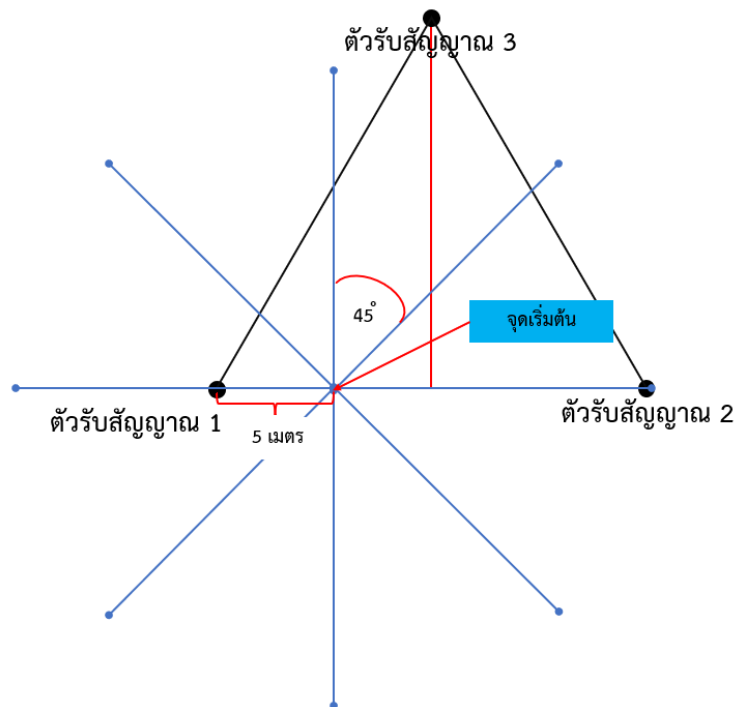


ภาพที่ 4.25 ภาพการวางตัวรับสัญญาณ Wi-Fi Probe 3 ตัว

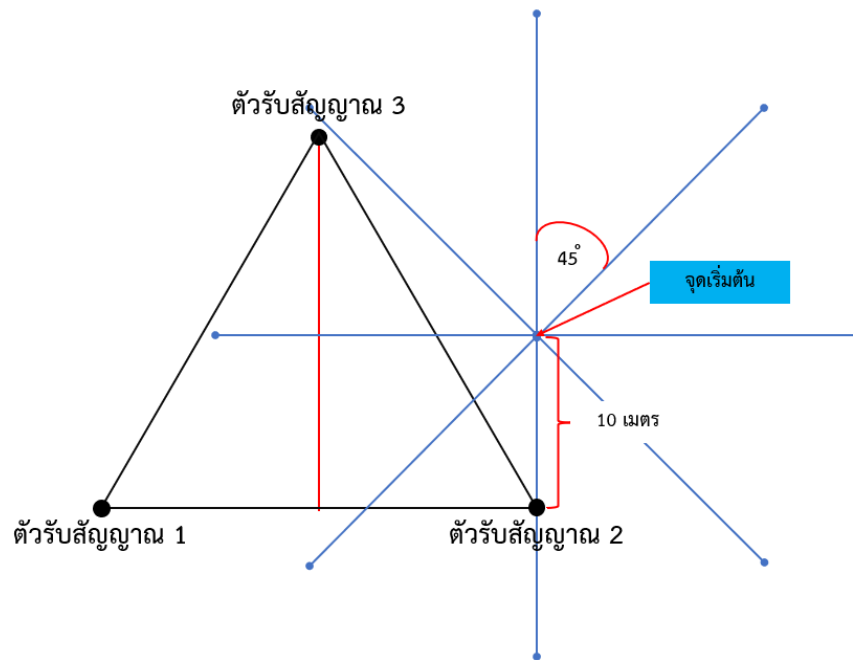
จากนั้นจะกำหนดจุดทิศทางการเคลื่อนที่ออกเป็น 3 รูปแบบ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 1 ดังภาพที่ 4.26 เป็นการเคลื่อนที่เริ่มต้นจากจุดตรงกลางระหว่างตัวรับสัญญาณทั้ง 3 ตัว ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 2 ดังภาพที่ 4.27 เป็นการเคลื่อนที่เริ่มต้นจากตำแหน่งตัวรับสัญญาณที่ 1 มาทางขวา 5 เมตร และ ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 3 ดังภาพที่ 4.28 เป็นการเคลื่อนที่เริ่มต้นจาก ตัวรับสัญญาณที่ 2 ในทิศทางที่ 90 องศา ที่ระยะ 10 เมตร การเคลื่อนที่ทั้ง 3 รูปแบบนี้เพื่อจำลองการเข้า - ออก การผ่านจุดต่าง ๆ ของตัวรับสัญญาณ และระยะของตำแหน่งนั้น ๆ



ภาพที่ 4.26 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 1



ภาพที่ 4.27 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 2



ภาพที่ 4.28 ทิศทางการเคลื่อนที่รูปแบบที่ 3

วิธีการเก็บข้อมูล ให้ผู้ทดลองเดินตามเส้นทางที่วาดไว้ พร้อมกับถือเปิดสัญญาณ Wi-Fi ได้เดินลักษณะให้เป็นปกติตามทิศทาง ในระหว่างนั้นจะให้เคลื่อนที่ทีละ 5 เมตร เป็นระยะทาง 50 เมตร แล้วทำการบันทึกผลตารางดังภาพที่ 4. 29

แบบบันทึกทิศทางการเคลื่อนที่ รูปแบบ												
องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
RSSI (dBm)												
0	ตัวรับสัญญาณ 1											
	ตัวรับสัญญาณ 2											
	ตัวรับสัญญาณ 3											
45	ตัวรับสัญญาณ 1											
	ตัวรับสัญญาณ 2											
	ตัวรับสัญญาณ 3											
90	ตัวรับสัญญาณ 1											
	ตัวรับสัญญาณ 2											
	ตัวรับสัญญาณ 3											

ภาพที่ 4. 29 ตารางบันทึกผลการทดลองการเคลื่อนที่ตามรูปแบบทิศทาง

บทที่ 5

ผลการดำเนินงาน

การประเมินผลใช้สัญญาณ Wi-Fi probe ในการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ ซึ่งได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อประเมินหาตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานที่ โดยมีผลการดำเนินงานและผลการวิเคราะห์เป็นลำดับดังนี้

5.1 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

5.1.1 ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe

5.1.2 ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง

5.1.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

5.1.4 ปริมาณข้อมูล

5.1.5 การเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi probe จากสถานที่ทดลอง

5.2 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่

5.1 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ Wi-Fi probe

5.1.1 ระยะทางในการจับสัญญาณ Wi-Fi probe การทดลองเปรียบเทียบระยะทางในการตรวจจับของ USB Wi-Fi จากการใช้ USB Wi-Fi จำนวน 3 ตัวต่อกับ Raspberry Pi แล้วทำการทดสอบเพื่อหาผลลัพธ์ว่ามีผลต่อระยะการตรวจจับหรือไม่ โดยใช้โทรศัพท์ 2 รุ่นเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระยะการตรวจจับของ USB Wi-Fi

ระยะทาง	10 เมตร		50 เมตร		90 เมตร		130 เมตร	
	A	B	A	B	A	B	A	B
USB Wi-Fi								
ALFA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×
D-LINK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓
TENDA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×

A คือ Samsung galaxy รุ่น Cooper

B คือ Samsung galaxy รุ่น tab 7

ALFA คือ ALFA AWUS036NEH Wireless USB

D-LINK คือ Wireless USB Adapter D-LINK N150

TENDA คือ TENDA WIRELESS USB ADAPTER

ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะทางในการตรวจจับจำนวนคนในพื้นที่ของ USB Wi-Fi ระหว่าง ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER พบว่า ระยะการตรวจจับของตัวกระจายสัญญาณแต่ละตัวมีความสามารถในการตรวจจับที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าระยะการกระจายสัญญาณของ ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER มีความสามารถตรวจจับได้ในระยะที่ใกล้เคียงกัน คือ 90 เมตร แต่ Wireless USB Adapter D-LINK N150 สามารถตรวจจับได้ไกลกว่าทั้งสองรุ่นที่กล่าวมา คือ 130 เมตร จึงสรุปได้ว่าการเลือกใช้ตัวกระจายสัญญาณ ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER เหมาะสมกับสถานที่ที่มีรัศมีการตรวจจับไม่มาก รัศมีโดยรอบประมาณ 90 เมตร ส่วนตัวกระจายสัญญาณ Wireless USB Adapter D-LINK N150 เหมาะกับสถานที่กว้าง รัศมีโดยรอบประมาณ 130 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้ได้การตรวจจับที่มีความแม่นยำ จำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสถานที่ใช้งาน เพราะพื้นที่ในการตรวจจับแต่ละสถานที่ที่นำอุปกรณ์ไปใช้มีความแตกต่างกันไป บางสถานที่จำเป็นต้องใช้ตัวกระจายสัญญาณในวงจำกัดเนื่องจากบริเวณโดยรอบเป็นพื้นที่ล้อมรอบไปด้วยที่อยู่อาศัย การตรวจจับจำนวนคนที่มีพื้นที่เป็นที่อยู่อาศัย มีจำนวนประชากรมาก จะทำให้ผลการตรวจจับของอุปกรณ์ผิดพลาดได้แต่บางสถานที่จำเป็นต้องใช้ตัวกระจายสัญญาณในวงกว้างเนื่องจากเป็นพื้นที่โล่ง การเข้าถึงและการตรวจจับจำนวนคนบริเวณนั้นสามารถตรวจจับในวงกว้างได้ ส่งผลดีทำให้ทราบถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของประชากรบริเวณนั้นด้วย

5.1.2 ความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณของ USB Wi-Fi จากการใช้ USB Wi-Fi จำนวน 3 ตัวต่อกับ Raspberry Pi แล้วทำการทดสอบเพื่อหาผลลัพธ์ว่ามีผลต่อความแรงของสัญญาณอย่างไร โดยใช้โทรศัพท์ 2 รุ่นเป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการทดลองความแรงของสัญญาณการตรวจจับของ USB Wi-Fi

ระยะทาง	10 เมตร		50 เมตร		90 เมตร		130 เมตร	
	A	B	A	B	A	B	A	B
USB Wi-Fi								
ALFA	-37	-15	-43	-65	-79	-77	No Signal	No Signal
D-LINK	-58	-59	-63	-82	-88	-91	No Signal	-95
TENDA	-49	-75	-69	-83	-91	-91	No Signal	No Signal

A คือ Samsung galaxy รุ่น Cooper

B คือ Samsung galaxy รุ่น tab 7

ALFA คือ ALFA AWUS036NEH Wireless USB

D-LINK คือ Wireless USB Adapter D-LINK N150

TENDA คือ TENDA WIRELESS USB ADAPTER

ผลการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ USB Wi-Fi ระหว่าง ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER สังเกตจากตารางที่ 5.2 เป็นประเด็นดังนี้

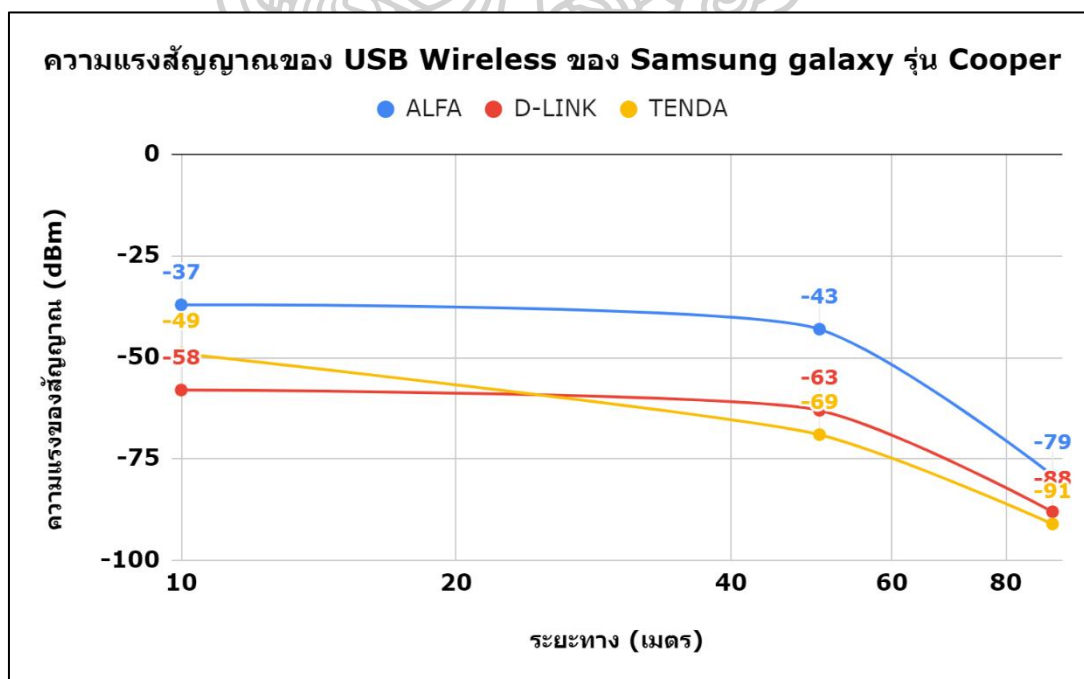
ประเด็นแรก ค่าความแรงของสัญญาณอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือต่ำกว่า -70 dBm ที่ระยะทาง 1 - 50 เมตร นั้นหมายความว่าสามารถใช้ในการตรวจจับได้โดยไม่ส่งผลการหลุดหายของสัญญาณ แต่ในระยะทางที่มากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ค่าความแรงของสัญญาณจะมีค่ามากกว่า -70 dBm ค่าความแรงของสัญญาณเริ่มไม่เหมาะสม เนื่องจากความแรงของสัญญาณเริ่มอ่อนแรงตัวลงทำให้โอกาสที่การตรวจจับจะขาดการเชื่อมต่อได้ ส่วนระยะทางที่ 130 เมตร ความแรงของสัญญาณขาดการเชื่อมต่อที่ A และ B ของอุปกรณ์ ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER หมายถึง ระยะการตรวจจับของอุปกรณ์ทั้งสองสิ้นสุดไม่สามารถตรวจจับได้ไกลกว่านี้ แต่ในขณะที่ Wireless USB Adapter D-LINK N150 ยังสามารถตรวจจับได้

ประเด็นที่สอง ระยะทางที่ 1 -130 เมตร ของการทดลองการตรวจจับจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความแรงของสัญญาณที่ถูกจัดเก็บตามลำดับของระยะทางมีตัวเลขของค่าความแรงสัญญาณที่ลดลง นั้นหมายความว่าได้ถูกเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ไกลขึ้นจนหลุดระยะการตรวจจับของ USB Wi-Fi

จึงสรุปได้ว่า ประเด็นที่แรก อุปกรณ์ ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER เหมาะสมในระยะของรัศมีไม่เกิน 90 เมตร และ Wireless USB Adapter D-LINK N150 ที่ไม่เกิน 130 เมตร และประเด็นที่สอง ค่าความแรงของสัญญาณในช่วงของระยะทางสามารถบอกถึงระยะทางการอยู่ใกล้หรืออยู่ไกลของในรัศมีการตรวจจับได้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลความแรงสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Cooper

ระยะทาง	10 เมตร	50 เมตร	90 เมตร
USB Wi-Fi			
ALFA	-37	-43	-79
D-LINK	-58	-63	-88
TENDA	-49	-69	-91

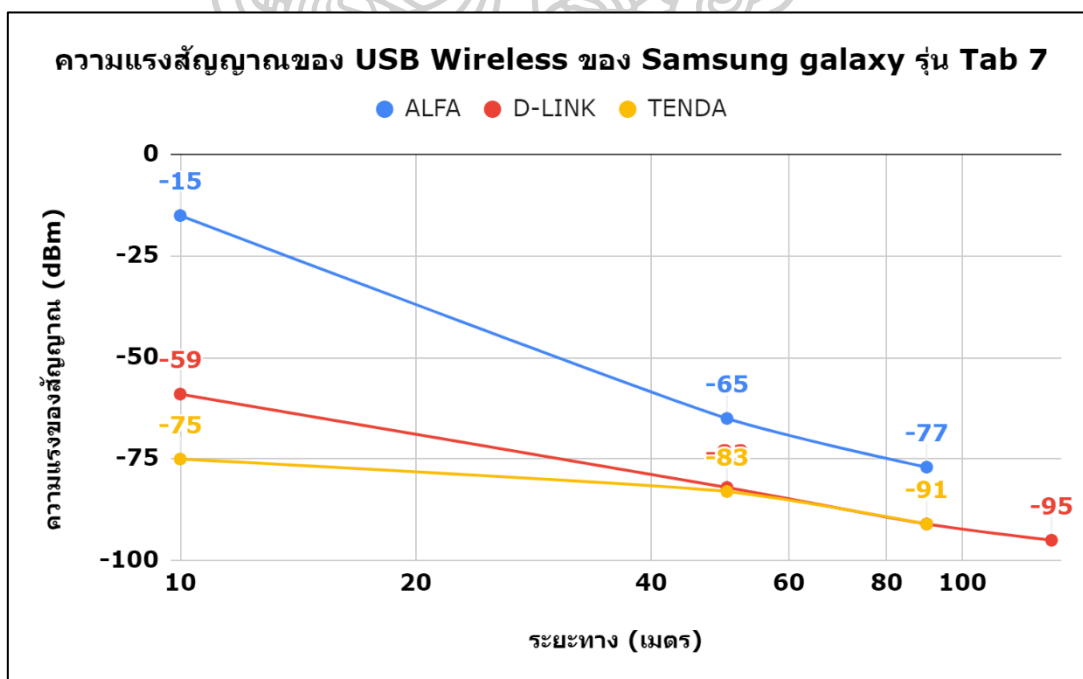


ภาพที่ 5.1 ค่าความแรงของสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Cooper

จากภาพที่ 5.1 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ USB Wi-Fi ระหว่าง ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER ที่สามารถตรวจจับ Samsung galaxy รุ่น Cooper ได้ตามระยะทางพบว่า ระยะทางตั้งแต่ 10 – 90 เมตร USB Wi-Fi ทั้งสามยี่ห้อสามารถตรวจจับความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Cooper ได้ จึงสรุปได้ว่า Samsung galaxy รุ่น Cooper หากใช้สัญญาณอยู่ในระยะรัศมีไม่เกิน 90 เมตร อุปกรณ์ที่ติดตั้ง USB Wi-Fi ยี่ห้อ ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER สามารถตรวจจับได้

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงผลความแรงสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Tab7

ระยะทาง	10 เมตร	50 เมตร	90 เมตร	130 เมตร
USB Wi-Fi				
ALFA	-15	-65	-77	No Signal
D-LINK	-59	-82	-91	-95
TENDA	-75	-83	-91	No Signal



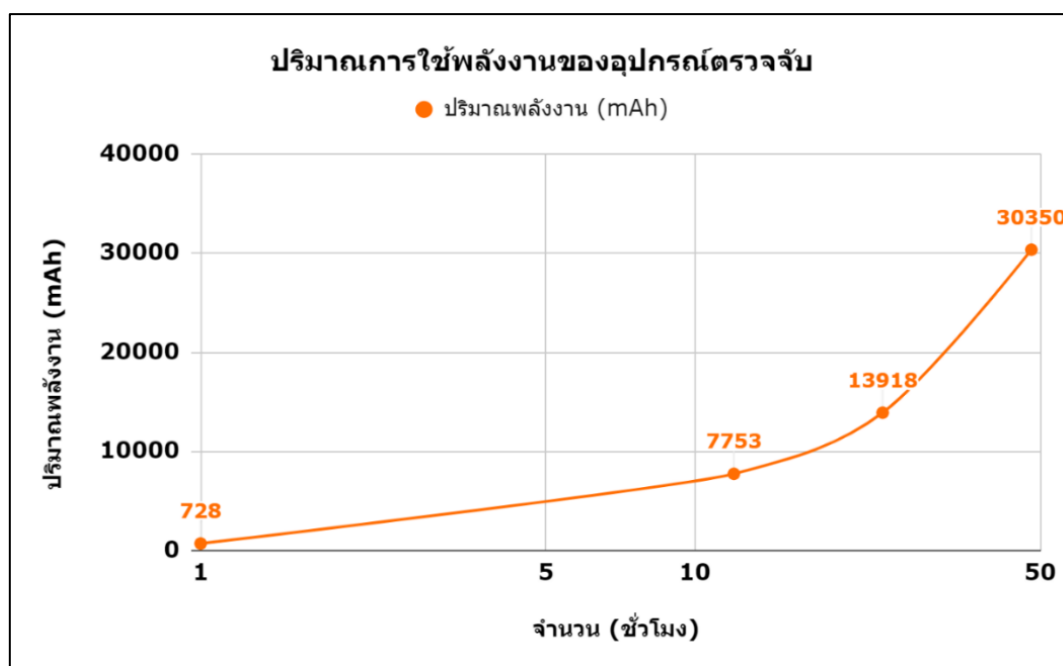
ภาพที่ 5.2 ค่าความแรงของสัญญาณของ USB Wi-Fi ของ Samsung galaxy รุ่น Tab7

จากภาพที่ 5.2 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณ USB Wi-Fi ระหว่าง ALFA AWUS036NEH Wireless USB, Wireless USB Adapter D-LINK N150 และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER ที่สามารถตรวจจับ Samsung galaxy รุ่น Tab7 ได้ตามระยะทาง พบว่า ผลการทดลอง ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER สามารถตรวจจับ Samsung galaxy รุ่น Tab7 ที่ระยะไม่เกิน 90 เมตร แต่ถ้าเกินไปจากนี้สัญญาณ จะไม่สามารถตรวจจับได้ สัญญาณจะขาดการเชื่อมต่อ แต่ Wireless USB Adapter D-LINK N150 สามารถตรวจจับ Samsung galaxy รุ่น Tab7 ที่ระยะรัศมีได้ไกลกว่าที่ 130 เมตร สรุปผลได้ว่า หากต้องการตรวจจับ Samsung galaxy รุ่น Tab7 ที่ระยะรัศมีมากกว่า 100 เมตร ต้องติดตั้ง Wireless USB Adapter D-LINK N150 ส่วนระยะรัศมีไม่เกิน 90 เมตร สามารถติดตั้ง ALFA AWUS036NEH Wireless USB และ TENDA WIRELESS USB ADAPTER ได้

5.1.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลการทดลองปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับ

จำนวน (ชั่วโมง)	ปริมาณพลังงาน (mAh)
1	728
12	7,753
24	13,918
48	30,350



ภาพที่ 5.3 แสดงผลปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับ

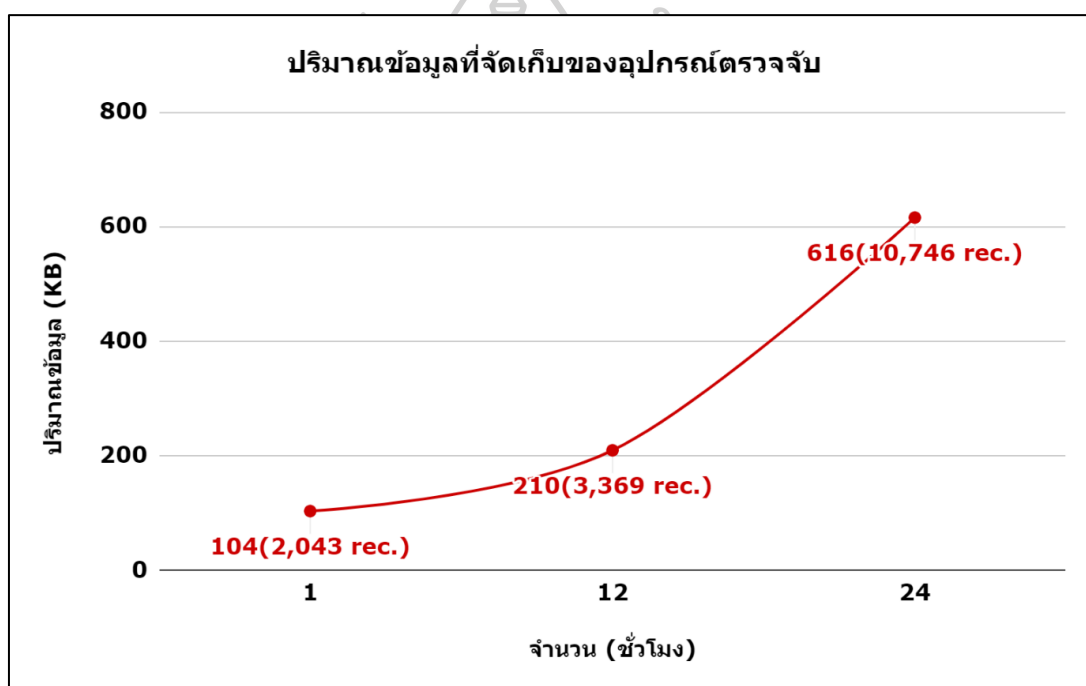
จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับในตารางที่ 5.5 พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์ตรวจจับเรียงเป็นรายชั่วโมงดังนี้ 1 ชั่วโมง ใช้พลังงาน 728 mAh, 12 ชั่วโมง ใช้พลังงาน 7,753 mAh, 24 ชั่วโมง ใช้พลังงาน 13,918 mAh และ 48 ชั่วโมง ใช้พลังงาน 30,350 mAh จึงสรุปได้ว่า การใช้พลังงานในการตรวจจับของอุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่สำรองที่มีพลังงาน 30,000 mAh อุปกรณ์สามารถทำงานได้ถึง 48 ชั่วโมง นั้นหมายความว่าถ้าต้องการให้อุปกรณ์ทำงานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบไฟฟ้า สามารถใช้พลังงานจากแหล่งอื่นได้ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ในการสำรองไฟแล้วใช้กับอุปกรณ์จะทำให้อุปกรณ์อยู่ได้นาน

ข้อเสนอแนะ การเลือกใช้พลังงานสำรองจากพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานน้ำ เนื่องจากพลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ตรวจจับนี้จำเป็นต้องใช้กระแสไฟ 5 โวลต์ 1 แอมป์ หรือถ้าเป็นวัตต์ก็ 5 วัตต์ ในการทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้ นั้นหมายความว่า การจะหาเครื่องกำเนิดพลังงานจากธรรมชาติจึงต้องคำนวณการจ่ายไฟของเครื่องกำเนิดพลังงานว่าเพียงพอสำหรับการจ่ายไฟให้อุปกรณ์มากน้อยเพียงใด ส่วนเรื่องของความจุของพลังงานที่บ่งบอกว่า อุปกรณ์จะสามารถทำงานได้นานแค่ไหนการเลือกหามาใช้สามารถหาได้ตามงบประมาณของผู้ใช้ได้ โดยคำนวณจากปริมาณพลังงานที่ใช้ดังภาพที่ 5.3 และ ระยะเวลาการใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลดังภาพที่

5.1.4 ปริมาณข้อมูล

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงผลการทดลองปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บของอุปกรณ์ตรวจจับ

จำนวน (ชั่วโมง)	ปริมาณข้อมูล (KB)	จำนวนข้อมูล (Record)
1	104	2,043
12	210	3,369
24	616	10,746



ภาพที่ 5.4 แสดงผลปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากผลการทดลองปริมาณการจัดเก็บข้อมูลลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับในตารางที่ 5.6 พบว่า ปริมาณข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำหลักของอุปกรณ์ตรวจจับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้พื้นที่กับหน่วยความจำ 1 MB เวลาในการเก็บข้อมูล 1 ชั่วโมงใช้พื้นที่ไป 95.9 KB คิดเป็น 9.37 % เวลาในการเก็บข้อมูล 12 ชั่วโมงใช้พื้นที่ไป 154 KB คิดเป็น 15.04 % เวลาในการเก็บข้อมูล 24 ชั่วโมงใช้พื้นที่ไป 215.9 KB คิดเป็น 21.08 % และเวลาในการเก็บข้อมูล 48 ชั่วโมงใช้พื้นที่ไป 270.2 KB คิดเป็น 26.39 % มองโดยภาพรวมใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยมาก จึงสรุปได้ว่า ปริมาณของข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำหลักของอุปกรณ์ไม่ส่งผลกระทบต่อทำให้

อุปกรณ์เป็นผลดีทำให้สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้เก็บข้อมูลได้เป็นเวลานานโดยไม่ต้องกังวลว่าพื้นที่ในการจัดเก็บจะเต็ม และอีกประการหนึ่งไฟล์ที่ถูกจัดเก็บไว้มีขนาดเล็กโอกาสในอนาคตสามารถนำอุปกรณ์ไปพัฒนาต่อให้ส่งข้อมูลไปจัดเก็บบน Cloud Storage ได้ ทำให้การเรียกดูข้อมูลง่ายยิ่งขึ้นกว่าเดิม

5.1.5 การเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi probe จากสถานที่ทดลอง

5.1.5.1 ทดลองเก็บข้อมูลโดยระบุจำนวนคน เป็นการเก็บข้อมูลโดยการให้คนจำนวน 10 คน แสดงตัวตนด้วยการเปิดตัวรับสัญญาณ Wi-Fi บนอุปกรณ์ แล้วทำการตรวจจับคนที่อยู่ในพื้นที่

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนโดยระบุจำนวนคน

สถานที่	1 ครั้ง แล้วหายไป	Wi-Fi Hotspot	อยู่ตั้งแต่ เริ่ม - จบ	ไม่เกิน 1 นาที	มากกว่า 1 นาที
พื้นที่ทดลอง	34	4	2	0	7

จากผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ทดลองที่มีการระบุจำนวนคนที่เข้ามาในสถานที่ ในการทดลองนี้จะใช้คนที่มีอุปกรณ์เปิดสัญญาณไว้จำนวน 10 คน ทดลองเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.7 สรุปได้ว่า จำนวนคนที่เข้ามาในพื้นที่ทดลองมีจำนวน 9 คน โดยจำแนกเป็นคนที่อยู่ในพื้นที่ตั้งแต่เริ่มจนจบการทดลอง 2 คนและอยู่มากกว่า 1 นาที จำนวน 7 คน เหตุผลที่ไม่สามารถนับจำนวนคนได้ 1 คน เนื่องจากมีจำนวน 1 อุปกรณ์ที่มีการ Random Mac Address ตลอดเวลาที่เข้ามาในพื้นที่

5.1.5.2 ทดลองในสถานที่ทดลอง คือ ร้านบ้านกาแฟ และสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี ได้ผลการทดลอง ดังนี้

19/10/2021 16:03:11	aa:e3:1c:35:ee:f8	UNKNOWN		-82
19/10/2021 16:03:14	1e:f1:aa:e6:28:8d	UNKNOWN		-78
19/10/2021 16:03:14	1e:f1:aa:e6:28:8d	UNKNOWN		-80
19/10/2021 16:03:15	56:82:48:73:35:05	UNKNOWN		-83
19/10/2021 16:03:15	56:82:48:73:35:05	UNKNOWN		-82
19/10/2021 16:03:16	06:79:16:51:51:2b	UNKNOWN		-86
19/10/2021 16:03:16	06:79:16:51:51:2b	UNKNOWN		-83
19/10/2021 16:03:16	06:79:16:51:51:2b	UNKNOWN		-78
19/10/2021 16:03:16	06:79:16:51:51:2b	UNKNOWN		-88
19/10/2021 16:03:16	6a:d7:40:fc:b7:b0	UNKNOWN		-77
19/10/2021 16:03:17	72:f7:82:e3:00:53	UNKNOWN		-86
19/10/2021 16:03:19	0a:e0:a1:ad:07:e8	UNKNOWN		-78
19/10/2021 16:03:19	d2:1c:99:62:fd:5a	UNKNOWN		-78
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN		-80
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN	Manga	-80
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN		-80
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN		-86
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN		-82
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN	Manga	-85
19/10/2021 16:03:20	c2:da:c9:9c:dd:10	UNKNOWN	Manga	-78
19/10/2021 16:03:23	06:88:b8:fd:64:76	UNKNOWN		-84
19/10/2021 16:03:23	06:88:b8:fd:64:76	UNKNOWN		-83
19/10/2021 16:03:25	96:7f:f3:ea:42:49	UNKNOWN		-81
19/10/2021 16:03:26	96:7f:f3:ea:42:49	UNKNOWN		-80
19/10/2021 16:03:30	9e:a9:dc:ea:40:4e	UNKNOWN		-76
19/10/2021 16:03:31	9e:a9:dc:ea:40:4e	UNKNOWN		-73

ภาพที่ 5.5 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ สถานที่สะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี

7/10/2021 15:03	7e:28:e2:cd:d9:9f	UNKNOWN	Baan Cafe Home	-86
7/10/2021 15:03	7e:28:e2:cd:d9:9f	UNKNOWN	Baan Cafe Home	-88
7/10/2021 15:25	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-87
7/10/2021 15:25	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-85
7/10/2021 15:25	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-86
7/10/2021 15:25	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-89
7/10/2021 15:26	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-87
7/10/2021 15:26	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-90
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	true_home2G_c5e	-84
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	TP-LINK	-85
7/10/2021 15:27	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-85
7/10/2021 15:27	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-85
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	true_home2G_c5e	-77
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	TP-LINK	-77
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	TP-LINK	-70
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	true_home2G_c5e	-72
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	TP-LINK	-71
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	true_home2G_c5e	-73
7/10/2021 15:27	b0:b5:c3:e9:f7:6e	UNKNOWN	TP-LINK	-72
7/10/2021 15:27	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-84
7/10/2021 15:28	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-88
7/10/2021 15:28	26:6f:fb:5b:06:7e	UNKNOWN	Baan Cafe	-88

ภาพที่ 5.6 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บลงบนหน่วยความจำของอุปกรณ์ตรวจจับ สถานที่ร้านบ้านกาแฟ

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ทดลอง

สถานที่	1 ครั้ง แล้วหายไป	Wi-Fi Hotspot	อยู่ตั้งแต่ เริ่ม - จบ	ไม่เกิน 1 นาที	มากกว่า 1 นาที
ร้านบ้านกาแฟ	1128	4	1	2	3
สะพานข้ามแม่น้ำแคว	1344	26	3	3	10

จากผลการทดลองการตรวจจับจำนวนคนในสถานที่ทดลองใช้เวลาในการตรวจจับและเก็บข้อมูล 1 ชั่วโมง เนื่องจากมีการจำกัดเรื่องของเวลาในการใช้งานในสถานที่และไม่ละเมิดสิทธิของผู้ที่อยู่ในบริเวณนั้นมากจนเกินไปดังข้อมูลในตารางที่ 5.8 การประเมินผลการตรวจจับจำนวนคนจากสถานที่จริงโดยแยกตามประเด็นของสถานที่ คือ ร้านบ้านกาแฟ และสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี

ร้านบ้านกาแฟ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า มีจุดการกระจายสัญญาณภายในร้านจำนวน 4 จุด มีประชากรที่เป็นเจ้าของร้านหรือเป็นบุคคลในบ้านหลังนั้น จำนวน 1 คน ผู้ที่สนใจเข้าร้านมาซื้อสินค้าและพักผ่อนไม่เกิน 1 นาที จำนวน 2 คน และลูกค้าที่แวะมาพักผ่อนมากกว่า 1 นาที จำนวน 3 คน เมื่อเปรียบเทียบกับการนับด้วยการจดบันทึกของผู้ทดลองจากการนับได้ 14 คน จึงสรุปประเด็นร้านบ้านกาแฟได้ว่า บริบทสถานที่ในรูปแบบของร้านบ้านกาแฟที่มีระยะห่างจากแหล่งชุมชนระยะรัศมีโดยรอบเกิน 100 เมตร มีประชากรภายในบริเวณไม่หนาแน่นดังภาพที่ 4.21 สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ในการประเมินผลได้ ถึงแม้จะมีความแม่นยำไม่สูงมากแต่สามารถตรวจสอบข้อมูลประชากรแบบประมาณการให้กับผู้บริหารร้านได้พิจารณาตัดสินใจวางแผนในอนาคต เช่น การปรับปรุงร้าน ขยายกิจการ หรือเพิ่มสินค้าใหม่ เพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้าสามารถเพิ่มยอดขายให้มากขึ้นต่อไป

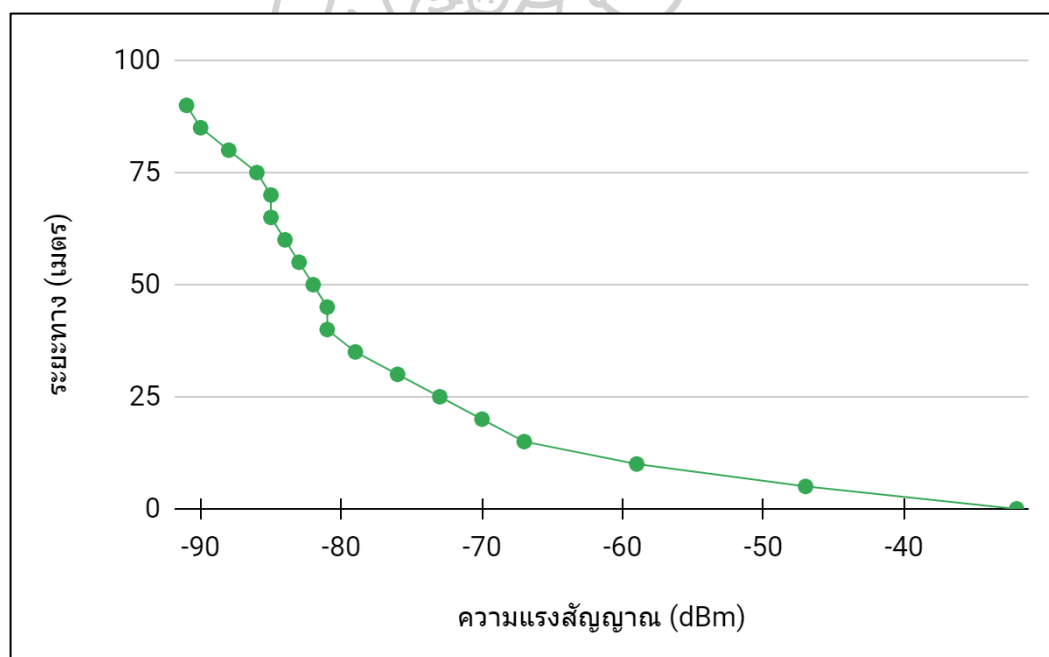
สะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี สามารถวิเคราะห์ได้ว่า มีจุดการกระจายสัญญาณภายในบริเวณจำนวน 26 จุด มีประชากรที่เป็นเจ้าของร้านหรือเป็นบุคคลที่อยู่ประจำในสถานที่จำนวน 3 คน ผู้ที่สนใจเข้ามาเที่ยวบริเวณไม่เกิน 1 นาที จำนวน 3 คน และผู้ที่มาท่องเที่ยวอยู่ภายในบริเวณมากกว่า 1 นาที จำนวน 10 คน เมื่อเปรียบเทียบกับการนับด้วยการจดบันทึกของผู้ทดลองจากการนับได้ 57 คน ประเด็นสถานที่ท่องเที่ยวสะพานข้ามแม่น้ำแคว จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวประจำจังหวัดกาญจนบุรีมีจำนวนนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ตั้งอยู่ในพื้นที่บริบทโดยรอบเป็นแหล่งชุมชนมีจำนวนประชากรหนาแน่นดังภาพที่ 4.22 จึงสรุปได้ว่า สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ในการประเมินผลได้ ถึงแม้จะมีความแม่นยำไม่สูงมากแต่สามารถตรวจสอบข้อมูลประชากรแบบประมาณการให้กับผู้บริหารสถานที่ท่องเที่ยวได้ตัดสินใจวางแผนการจัดการในอนาคต เช่น การพัฒนา ปรับปรุง ซ่อมแซม หรือเพิ่มเติมสิ่งปลูกสร้าง เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาเที่ยวในสถานที่แห่งนี้ให้มากขึ้น

5.2 ผลการทดลองประเมินผลการใช้อุปกรณ์จับสัญญาณ Wi-Fi probe ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอุปกรณ์เคลื่อนที่

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวรับสัญญาณ 1 ตัวในการตรวจจับคนที่เข้ามาในสถานที่ สามารถบอกได้แค่เพียงการเข้ามาและออกไปของคนที่เข้ามา แต่ถ้าต้องการทราบถึงทิศทางการเข้ามา หรือตำแหน่งของอุปกรณ์จำเป็นต้องใช้ตัวรับสัญญาณมากกว่า 1 ตัว ในการทดลองนี้จะใช้ตัวรับสัญญาณ 3 ตัว เพื่อกำหนดตำแหน่งและทิศทางของตัวอุปกรณ์เคลื่อนที่ดังวิธีผลการทดลองต่อไปนี้

ตารางที่ 5. 9 แสดงค่าความแรงของสัญญาณในระยะทางเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร

ระยะ (เมตร)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
ความแรงสัญญาณ (dBm)	-32	-47	-59	-67	-70	-73	-76	-79	-81	-81	-82	-83	-84	-85	-85	-86	-88	-90	-91

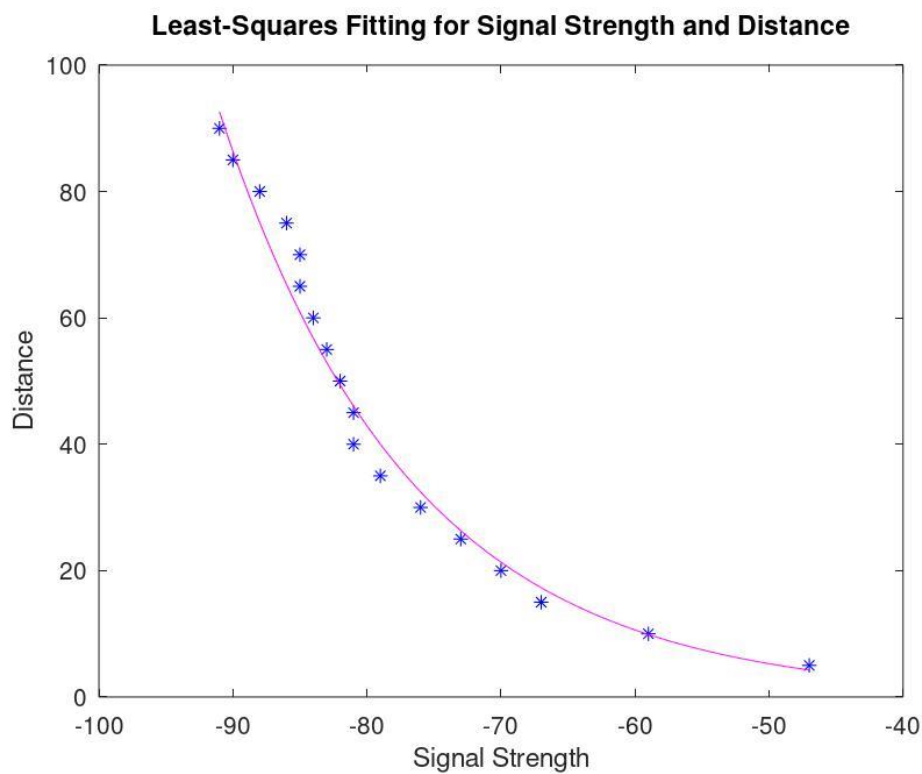


ภาพที่ 5.7 แสดงผลค่าความแรงของสัญญาณในระยะทางเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร

จากตารางที่ 5. 9 เป็นการบันทึกผลการเก็บข้อมูลจากการวัดความแรงของสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจจับจำนวน 1 ตัว โดยการวัดและบันทึกตามระยะทางเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 เมตร แสดงผลในรูปแบบของกราฟ ภาพที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าความแรงของสัญญาณที่อ่านได้ สามารถบอกถึงระยะทาง

ได้เพราะระยะทางไกลขึ้นสัญญาณก็ลดน้อยลงตามระยะ แต่ข้อมูลก็มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง จึงแนะนำการแก้ปัญหานี้ด้วยวิธีการ least squares method เพื่อใช้ในหาระยะห่างจากตัวรับสัญญาณ แสดงผลลัพธ์ในภาพที่ 5.8

$$f(x) = 0.16001627e^{-0.06990047x}$$



ภาพที่ 5.8 แสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของความแรงสัญญาณและระยะทางจากสมการ

จากภาพที่ 5.8 เป็นการประมาณระยะห่างจากความแรงของสัญญาณที่วัดจากเซ็นเซอร์ต่างๆ สามตัวในสถานที่ทดลอง โดยกำหนดให้ Exponential มีค่า root mean squares error (RMSE) เท่ากับ 4.21658839 และ R^2 เท่ากับ 0.9864

เมื่อต้องการหาตำแหน่งและทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่อยู่ในพื้นที่จำเป็นต้องใช้ตัวรับสัญญาณมากกว่า 1 ตัว การทดลองนี้ใช้ตัวรับสัญญาณ 3 ตัว ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.10 ตารางที่ 5.11 และ ตารางที่ 5.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงการบันทึกผลการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 1 ตามภาพที่ 4.26

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
0	ตัวรับสัญญาณ 1	-76	-77	-76	-79	-78	-79	-80	-82	-87	-89	-89
	ตัวรับสัญญาณ 2	-63	-69	-65	-64	-66	-67	-68	-71	-72	-78	-76
	ตัวรับสัญญาณ 3	-65	-61	-64	-67	-72	-76	-77	-81	-84	-86	-85
45	ตัวรับสัญญาณ 1	-73	-76	-74	-75	-76	-80	-79	-81	-81	-82	-87
	ตัวรับสัญญาณ 2	-73	-65	-66	-69	-72	-74	-79	-82	-80	-84	-86
	ตัวรับสัญญาณ 3	-59	-54	-46	-56	-68	-70	-76	-77	-76	-78	-86
90	ตัวรับสัญญาณ 1	-59	-68	-68	-73	-74	-75	-76	-79	-83	-86	
	ตัวรับสัญญาณ 2	-68	-74	-76	-76	-82	-80	-82	-82	-85	-89	กำแพง
	ตัวรับสัญญาณ 3	-59	-47	-38	-51	-69	-68	-70	-73	-75	-81	
135	ตัวรับสัญญาณ 1	-66	-65	-65	-70	-72	-74	-76	-78	-77	-78	-85
	ตัวรับสัญญาณ 2	-70	-73	-75	-76	-74	-77	-81	-82	-83	-87	-85
	ตัวรับสัญญาณ 3	-61	-55	-58	-62	-64	-69	-73	-74	-77	-76	-79
180	ตัวรับสัญญาณ 1	-69	-67	-59	-57	-62	-69	-70	-74	-78	-80	-86
	ตัวรับสัญญาณ 2	-73	-72	-76	-78	-80	-84	-84	-85	-88	-87	-90
	ตัวรับสัญญาณ 3	-57	-64	-72	-71	-70	-74	-74	-79	-79	-80	-81
225	ตัวรับสัญญาณ 1	-53	-47	-44	-43	-60	-67	-69	-78	-78	-79	-80
	ตัวรับสัญญาณ 2	-57	-60	-65	-73	-70	-72	-75	-78	-81	-82	-88
	ตัวรับสัญญาณ 3	-53	-66	-74	-72	-75	-81	-79	-82	-85	-86	-92

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
270	ตัวรับสัญญาณ 1	-69	-66	-57	-69	-76	-78	-81	-85	-87	-88	
	ตัวรับสัญญาณ 2	-68	-54	-63	-64	-65	-70	-74	-76	-78	-84	กำแพง
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-71	-72	-71	-75	-78	-80	-85	-89	-91	
315	ตัวรับสัญญาณ 1	-64	-62	-65	-70	-76	-78	-80	-79	-83	-85	-86
	ตัวรับสัญญาณ 2	-69	-65	-52	-44	-59	-67	-68	-76	-77	-79	-81
	ตัวรับสัญญาณ 3	-48	-59	-64	-75	-77	-76	-79	-76	-79	-83	-89

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงการบันทึกผลการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 2 ตามภาพที่ 4.27

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
0	ตัวรับสัญญาณ 1	-57	-65	-68	-69	-72	-75	-75	-76	-78	-80	-83
	ตัวรับสัญญาณ 2	-63	-59	-50	-37	-58	-66	-76	-80	-87	-79	-82
	ตัวรับสัญญาณ 3	-68	-66	-70	-72	-69	-73	-76	-81	-84	-81	-91
45	ตัวรับสัญญาณ 1	-63	-66	-70	-76	-80	-82	-83	-85	-86	-83	-86
	ตัวรับสัญญาณ 2	-74	-64	-62	-63	-61	-61	-65	-66	-73	-75	-77
	ตัวรับสัญญาณ 3	-74	-72	-67	-68	-66	-71	-74	-76	-75	-80	-85
90	ตัวรับสัญญาณ 1	-71	-67	-65	-52	-61	-74	-63	-78	-78	-84	-81
	ตัวรับสัญญาณ 2	-69	-68	-63	-68	-72	-77	-79	-74	-79	-85	-80
	ตัวรับสัญญาณ 3	-49	-54	-57	-71	-70	-70	-76	-79	-81	-87	-86
135	ตัวรับสัญญาณ 1	-47	-61	-71	-71	-70	-77	-77	-80	-81	-78	-88
	ตัวรับสัญญาณ 2	-74	-81	-78	-81	-83	-84	-85	-88	-88	-92	-90
	ตัวรับสัญญาณ 3	-79	-72	-76	-80	-72	-86	-84	-80	-79	-85	-80

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
180	ตัวรับสัญญาณ 1	-49	-27	-68	-79	-80	-78	-81	-86	-88	-84	-89
	ตัวรับสัญญาณ 2	-76	-77	-80	-83	-85	-90	-86	-89	-88	-88	-92
	ตัวรับสัญญาณ 3	-79	-75	-72	-77	-80	-78	-77	-88	-89	-82	-93
225	ตัวรับสัญญาณ 1	-73	-75	-81	-84	-88	-86	-90	-90	-89	-87	-94
	ตัวรับสัญญาณ 2	-65	-70	-68	-69	-78	-84	-85	-84	-90	-88	-90
	ตัวรับสัญญาณ 3	-65	-67	-71	-74	-73	-77	-85	-84	-85	-87	-94
270	ตัวรับสัญญาณ 1	-57	-59	-74	-72	-81	-83	-88	-83			
	ตัวรับสัญญาณ 2	-68	-68	-65	-71	-74	-75	-78	-84		กำแพง	
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-76	-65	-78	-79	-80	-81	-87			
315	ตัวรับสัญญาณ 1	-62	-81	-87	-82	-83	-82	-86	-86	-84	-87	-91
	ตัวรับสัญญาณ 2	-81	-76	-60	-62	-57	-68	-75	-74	-76	-74	-81
	ตัวรับสัญญาณ 3	-79	-74	-69	-79	-89	-89	-90	-83	-87	-89	-87

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงการบันทึกผลการการเคลื่อนที่ในรูปแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4.28

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
0	ตัวรับสัญญาณ 1	-70	-73	-77	-76	-82	-86	-85	-85	-87	-90	-89
	ตัวรับสัญญาณ 2	-55	-57	-62	-65	-69	-75	-72	-74	-77	-81	-83
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-72	-75	-75	-78	-79	-83	-80	-81	-84	-88
45	ตัวรับสัญญาณ 1	-69	-74	-75	-74	-75	-77	-78	-78	-79	-84	-87
	ตัวรับสัญญาณ 2	-66	-67	-73	-75	-77	-78	-78	-80	-78	-79	-86
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-70	-71	-68	-75	-76	-79	-83	-82	-84	-91

องศา	ตัวรับสัญญาณ	ระยะทาง (เมตร)										
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		RSSI (dBm)										
90	ตัวรับสัญญาณ 1	-69	-70	-74	-75	-77	-73	-77	-78	-83	-89	
	ตัวรับสัญญาณ 2	-65	-69	-73	-76	-77	-79	-82	-85	-86	-86	กำแพง
	ตัวรับสัญญาณ 3	-68	-64	-67	-68	-74	-75	-77	-78	-78	-83	
135	ตัวรับสัญญาณ 1	-72	-67	-70	-67	-69	-75	-76	-79	-78	-79	-84
	ตัวรับสัญญาณ 2	-63	-65	-65	-71	-72	-77	-79	-81	-84	-86	-87
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-59	-48	-52	-66	-72	-75	-74	-76	-77	-81
180	ตัวรับสัญญาณ 1	-73	-71	-68	-65	-58	-60	-64	-65	-73	-76	-79
	ตัวรับสัญญาณ 2	-63	-68	-72	-74	-74	-77	-77	-80	-85	-85	-83
	ตัวรับสัญญาณ 3	-66	-54	-47	-56	-65	-70	-72	-74	-76	-79	-84
225	ตัวรับสัญญาณ 1	-74	-71	-65	-60	-55	-52	-57	-65	-70	-74	-82
	ตัวรับสัญญาณ 2	-63	-61	-46	-54	-65	-71	-73	-72	-75	-77	-80
	ตัวรับสัญญาณ 3	-62	-62	-67	-71	-72	-74	-77	-75	-81	-82	-86
270	ตัวรับสัญญาณ 1	-72	-75	-67	-72	-76	-77	-76	-78	-81	-83	
	ตัวรับสัญญาณ 2	-67	-56	-41	-57	-66	-73	-75	-79	-82	-82	กำแพง
	ตัวรับสัญญาณ 3	-67	-75	-76	-79	-80	-83	-84	-85	-89	-91	
315	ตัวรับสัญญาณ 1	-69	-70	-75	-77	-79	-81	-79	-80	-83	-83	-91
	ตัวรับสัญญาณ 2	-60	-55	-67	-68	-69	-72	-75	-76	-78	-82	-81
	ตัวรับสัญญาณ 3	-65	-70	-71	-74	-77	-76	-78	-82	-84	-88	-92

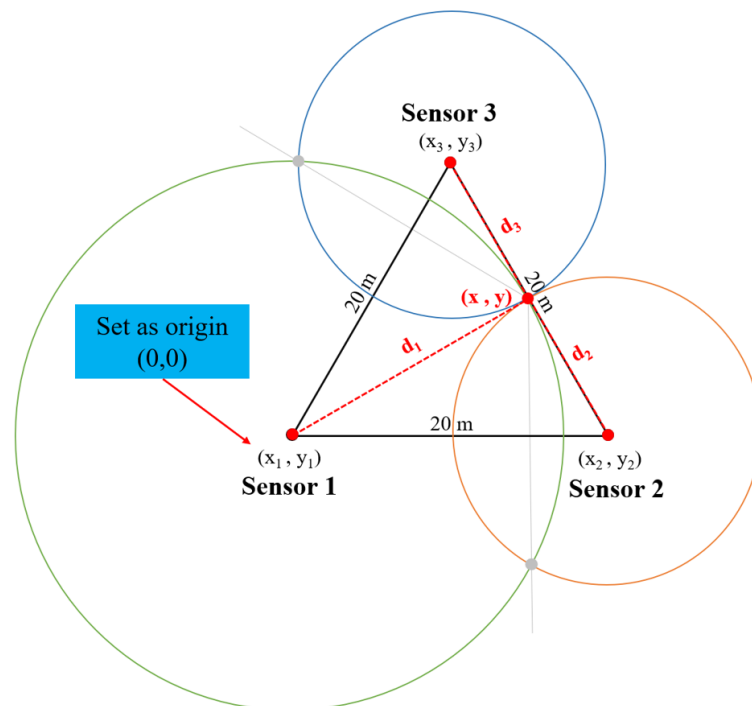
จากนี้เป็นการประมาณระยะทางจากความแรงของสัญญาณที่วัดจากจุดเชื่อมต่อที่แตกต่างกันสามจุดในสถานที่ ขั้นตอนที่กำลังจัดการกับปัญหาการหาตำแหน่งของจุด เมื่อทราบระยะทางจากตัวรับสัญญาณสามจุด วิธีการนี้เรียกว่าการแก้ปัญหา trilateration มีการศึกษางานวิจัยหลายงานใช้การแก้ปัญหา trilateration [9] [23] [24] ดังนั้นสิ่งที่ต้องการ คือ ตำแหน่งจุดตัดของวงกลมสามวง กำหนดให้ (x, y) เป็นพิกัดของจุดที่ต้องการหา และกำหนดให้ Sensor 1 เป็นจุดอ้างอิง เช่น Sensor

1 (x_1, y_1) ให้อยู่ที่จุดเริ่มต้น $(0,0)$ พิกัดของจุด Sensor 2 (x_2, y_2) เท่ากับ $(20,0)$ และ Sensor 3 (x_3, y_3) เท่ากับ $(10, \sqrt{300})$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5.9 ข้อมูลนี้้นำเราไปสู่ระบบสมการไม่เชิงเส้น 3 สมการ โดย (x, y) เป็นค่าว่าง

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2$$



ภาพที่ 5.9 การกำหนดจุดตัดของวงกลมสามวงของตัวรับสัญญาณ (Sensor)

ซึ่งเทียบเท่ากับ

$$\begin{aligned} \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} &= d_1 \\ \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} &= d_2 \\ \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} &= d_3 \end{aligned} \quad (1.1.1)$$

โดยที่ $d_i, i = 1, 2, 3$ คือ ระยะทางจากจุด (x, y) ไปยังจุดตัวรับสัญญาณ 1, 2 หรือ 3 ระบบสมการ (1.1.1) เป็นระบบสมการไม่เชิงเส้นที่กำหนดมากเกินไปซึ่งส่วนใหญ่ ไม่สอดคล้องกัน (ไม่มีวิธีแก้ปัญหา) สามารถกำหนดวิธีแก้ปัญหาโดยประมาณได้โดยใช้วิธีการ least-squares ที่ไม่เชิงเส้น เช่น

Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt หรือการแปรผันอื่นๆ ในงานนี้ใช้ Levenberg-Marquardt method กับพารามิเตอร์ λ [2,3] เริ่มต้นจาก

$$\mathbf{F}(x, y) = \begin{bmatrix} f_1(x, y) \\ f_2(x, y) \\ f_3(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - d_1 \\ \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - d_2 \\ \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} - d_3 \end{bmatrix}$$

และ $J_{\mathbf{F}}(x, y)$ เป็น Jacobian matrix ของ \mathbf{F} ที่จุด (x, y) การแก้ปัญหาระบบ $\mathbf{F}(x, y) = \mathbf{0}$ ในแง่การปรับให้เหมาะสม หมายความว่าเราพยายามย่อให้เล็กสุด $\|\mathbf{F}(x, y)\|_2^2$ นั่นคือปัญหาจะกลายเป็น

$$\min \|\mathbf{F}(x, y)\|_2^2 = \min \sum_{k=1}^3 \left[\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} - d_k \right] \quad (1.1.2)$$

การแก้ปัญหของ (1.1.2) ได้มาจากอัลกอริทึมต่อไปนี้ เพื่อให้พารามิเตอร์ λ ไม่ซับซ้อน

(1) ด้วยการเดาเบื้องต้น $\mathbf{X}_0 = (x_0, y_0)$ แก้ปัญหาด้วย

$$[J_{\mathbf{F}}^T J_{\mathbf{F}} + \lambda \cdot \text{diag}(J_{\mathbf{F}}^T J_{\mathbf{F}})] \mathbf{Y} = -J_{\mathbf{F}}^T \mathbf{F}$$

สำหรับ \mathbf{Y}

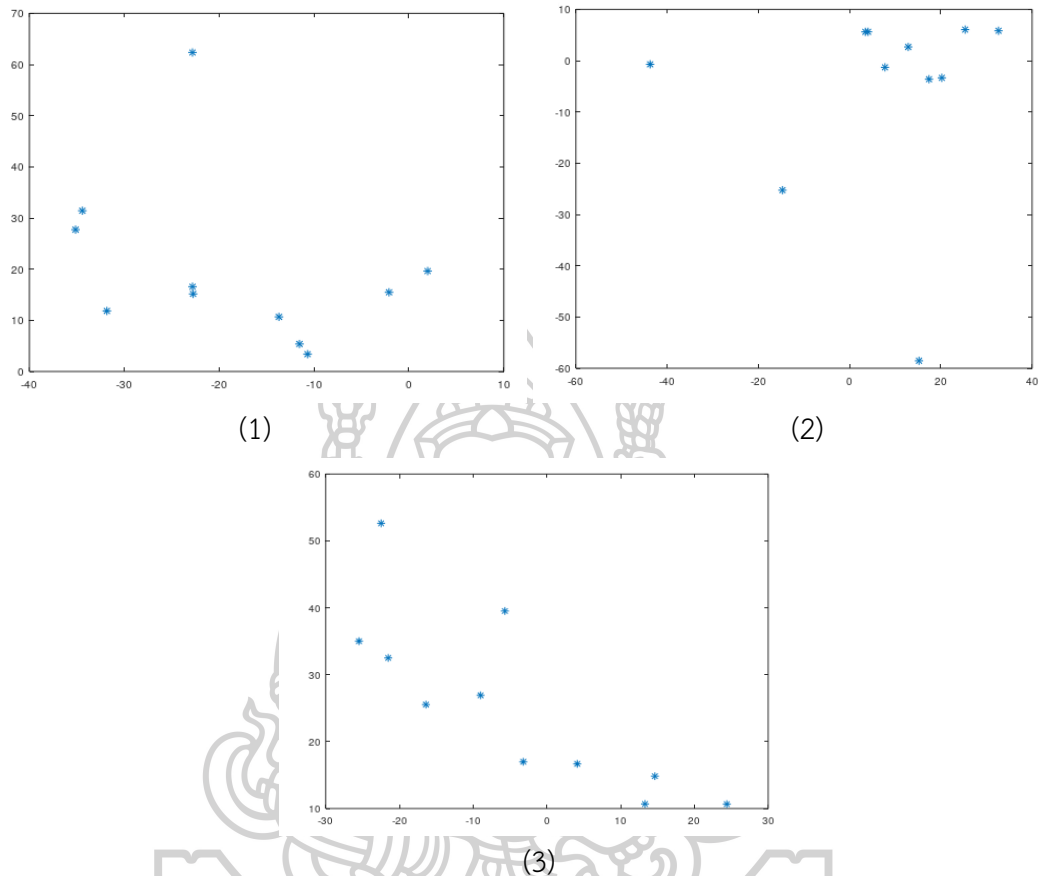
(2) ปรับปรุงค่าของ \mathbf{X}_k โดย

$$\mathbf{X}_{k+1} = \mathbf{X}_k + \mathbf{Y}$$

ถ้า $\mathbf{F}(\mathbf{X}_{k+1}) < \mathbf{F}(\mathbf{X}_k)$ เราตั้งค่า $\lambda = \frac{\lambda}{2}$ เราตั้งค่า $\lambda = 2\lambda$ เป็นอย่างอื่น

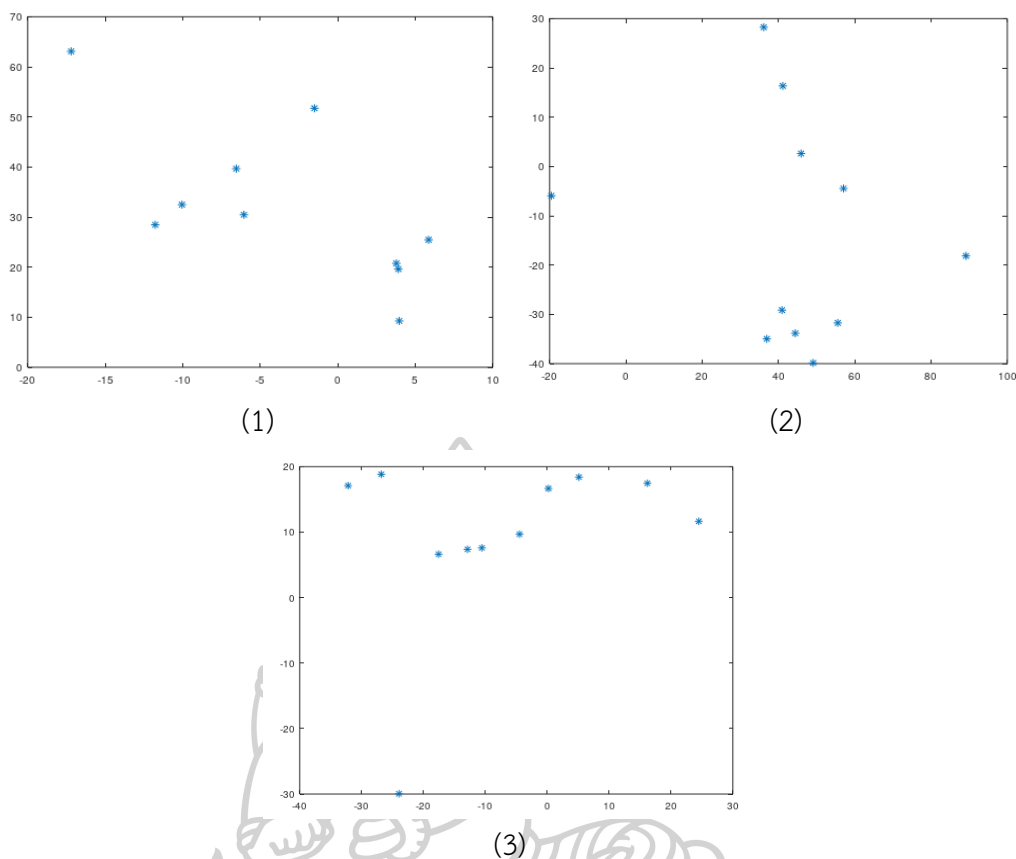
(3) ทำซ้ำขั้นตอนจนกระทั่ง $\|\mathbf{F}(x, y)\|_2^2 \leq \varepsilon$ และ $\|\mathbf{Y}\|_2^2 \leq \varepsilon$

จากภาพภาพที่ 5.9 เป็นการกำหนดพิกัดจุดตัดของวงกลมสามวงของตัวรับสัญญาณ (Sensor) เพื่อใช้ในการระบุหาตำแหน่งตามสมการ จากนั้นนำผลที่ได้มาแสดงเป็นกราฟดังนี้



ภาพที่ 5.10 ภาพตัวอย่างการวิเคราะห์ผลจากสมการ

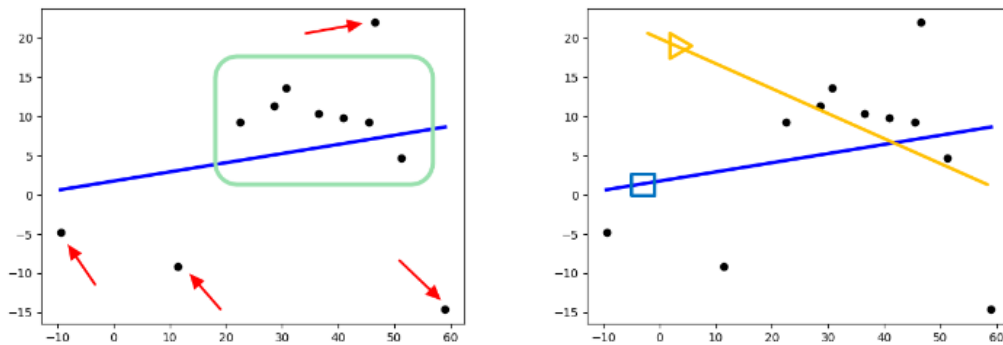
จากภาพที่ 5.10 จะแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการบอกทิศทางของอุปกรณ์จากการทดลองการเปรียบเทียบระยะทางกับความแรงของสัญญาณของตัวรับสัญญาณทั้ง 3 ตัว (1) ทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 180 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 1 (2) ทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 0 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 2 (3) ทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 135 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 3 สรุปได้ว่า การระบุตำแหน่ง และการกำหนดทิศทางของอุปกรณ์เคลื่อนที่บอกตำแหน่งละทิศทางได้



ภาพที่ 5.11 ภาพตัวอย่างการวิเคราะห์ผลมุมที่มีความคลาดเคลื่อน

จากภาพที่ 5.11 จะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของการบอกทิศทางของอุปกรณ์จากการทดลองของตัวรับสัญญาณทั้ง 3 ตัว (1) การคลาดเคลื่อนของทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 90 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 1 (2) ทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 315 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 2 (3) ทิศทางการเคลื่อนที่ที่มุม 180 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ 3 สรุปได้ว่า การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่มีบางจุดที่ถูกต้อง และอีกหลายจุดยังบอกทิศทางไม่ได้

จากสูตรข้างต้นช่วยลดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในแง่ของ RMSE อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าอาจมีจำนวนมาก เนื่องจากข้อมูลมีสัญญาณรบกวน และการตรวจจับอาจได้ค่าที่ผิดมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดได้ทำให้เป็นเรื่องที่ท้าทายของผู้เก็บข้อมูล ดังที่แสดงในภาพที่ 5.12 รูปด้านซ้าย เป็นการกำหนดตำแหน่งจากการรวมกลุ่มของจุดโดยประมาณในกรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยไม่รวมตำแหน่งที่มีลูกศรสีแดงที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ เนื่องจากตำแหน่งเหล่านี้อยู่ห่างจากการรวมกลุ่มของจุดในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แม้ว่าผลลัพธ์จากการยกเว้นค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวในรูปด้านซ้ายอาจดูสมเหตุสมผล แต่กลายเป็นว่าทิศทางที่แท้จริง คือ 45 องศา ในขณะที่เส้นสีส้มที่พอดีนั้นอยู่ใกล้กับ 135 หรือ -45 องศา



ภาพที่ 5.12 การประมาณตำแหน่งจริงจากตัวรับสัญญาณที่ 2 และ มุมจริง 45 องศา ซ้าย: เส้นที่พอดีกับจุดตำแหน่งทั้งหมดและค่าผิดพลาดที่มองเห็นได้ซึ่งทำเครื่องหมายด้วยลูกศรสีแดง ขวา: เส้นสีส้มที่พอดีกับจุดในสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งทำเครื่องหมายด้วยรูปสามเหลี่ยมจากภาพด้านซ้าย

จากการแก้ปัญหาด้วยสมการข้างต้น พบว่ายังมีค่าความคลาดเคลื่อนหลายจุด ทางผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการ RANSAC (Random Sample Consensus) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ลดความคลาดเคลื่อนของจุดให้น้อยลง โดยการสุ่มเลือกจุดใดๆ จากบริเวณเดียวกัน เพื่อสันนิษฐานว่าเป็นเส้นตรง แล้วทำการนับจำนวนจุดที่อยู่รอบๆ บริเวณของเส้นโดยจุดที่จะพิจารณาว่าอยู่บนเส้นจะต้องมีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับเส้นที่กำหนด แล้วทำซ้ำจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ จากตารางที่ 5.13 เป็นการสุ่มจุดจำนวน 5 จุด แล้วทำซ้ำทั้งหมด 30 ครั้งในแต่ละมุม

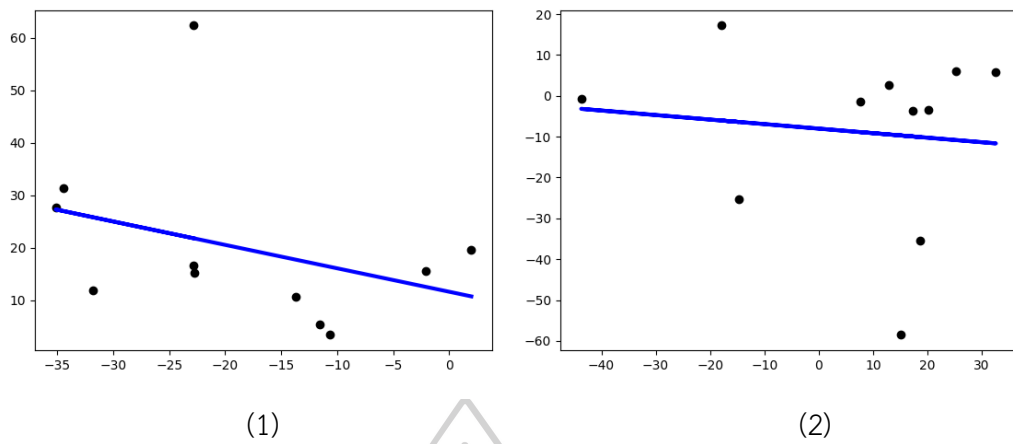
ตารางที่ 5.13 การประเมินผลมุมที่แท้จริงด้วยวิธีกำหนดค่าตามจุดกับวิธีการ RANSAC

Start Point	True Angle = 0		True Angle = 45	
	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)
	degree	degree	degree	degree
1	-28.6	-25.6	-8	-12.1
2	-6.3	-5.7	6.7	24
3	2.7	-0.1	-32.5	-24.5
Start Point	True Angle = 90		True Angle = 135	
	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)
	degree	degree	degree	degree
1	126	130.7	3.1	84.8
2	159.6	133.9	200.4	177.3
3	11.1	92.2	147.1	148.1

Start Point	True Angle = 180		True Angle = 225	
	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)
	degree	degree	degree	degree
1	155.9	148.6	227	228
2	167	121	154.8	158.9
3	193.2	193.7	201.8	222.2
Start Point	True Angle = 270		True Angle = 315	
	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)	All points fit	RANSAC (n = 30 * 5)
	degree	degree	degree	degree
1	326.2	330.7	346.8	-9.5
2	211.4	211.7	350.4	343.1
3	242.7	239.7	345.2	318

ตารางที่ 5.14 สรุปค่าความเป็นไปได้ของมุมที่แท้จริงเมื่อผ่านวิธีการ RANSAC

Start Point	All points fit				RANSAC			
	Avg	SD	Min	Max	Avg	SD	Min	Max
1	34.98	16.60	2.03	56.23	32.50	18.02	3.01	60.68
2	44.60	23.70	6.33	70.17	35.19	19.68	5.74	66.10
3	33.15	27.31	2.74	78.91	16.77	22.03	0.07	69.53
Total Avg	37.58	22.53	3.70	68.44	28.15	19.91	2.94	65.44



ภาพที่ 5.13 แสดงมุมที่แท้จริงเมื่อผ่านวิธีการ RANSAC

วิธีการ RANSAC ทำให้ได้ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อนน้อยลง โดยสังเกตผลสรุปจากตารางที่ 5.14 ก่อนทำมีผลเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 37.58 ต่ำสุดอยู่ที่ 3.70 และสูงสุดอยู่ที่ 68.44 หลังจากเข้าวิธีการ RANSAC แล้วทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเป็น 28.15 ต่ำสุดอยู่ที่ 2.94 และสูงสุดอยู่ที่ 65.44 ผลลัพธ์เป็นที่น่าพึงพอใจ ส่งผลทำให้การหายผลมุมที่แท้จริงดีขึ้น โดยสังเกตจากเส้นสีน้ำเงินของภาพที่ 5.13 เราจะเห็นได้ว่าทิศทางของมุมตัวอย่าง (1) มุม 180 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ 1, (2) มุม 0 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ 2 และ มุม 135 องศา ของรูปแบบการเคลื่อนที่ 3 ทั้งสามมุมชี้ไปในทิศทางที่ใกล้เคียงมากที่สุดกับการทดลองการเคลื่อนที่

บทที่ 6

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัญญาณ Wi-Fi probe ที่ถูกปล่อยมาจากอุปกรณ์ที่คนใช้งานถืออยู่ สามารถใช้เพื่อตรวจจับหรือนับคนในพื้นที่ได้ การออกแบบอุปกรณ์ใช้ตัวรับสัญญาณมีต้นทุนในการออกแบบและพลังงานต่ำ แต่การใช้ตัวรับสัญญาณเพียงแค่ 1 ตัว อาจตอบโจทย์การประเมินแค่ระยะห่างของอุปกรณ์กับตัวรับสัญญาณเท่านั้น หากต้องการประเมินหาตำแหน่งและทิศทางจำเป็นต้องใช้ตัวรับสัญญาณ 3 ตัว อย่างไรก็ตาม ด้วยความแรงของสัญญาณที่ผันผวนการประมาณตำแหน่งยังไม่ถูกต้อง แต่สามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับวิธีการประเมินผลได้ ในการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธี RANSAC สามารถใช้เพื่อลดค่าผิดพลาดเหล่านี้ได้ และยังใช้ได้กับตัวรับสัญญาณหลาย ๆ ตัวที่ส่งสัญญาณ Wi-Fi probe เช่นกัน สามารถใช้เพื่อแก้ปัญหาหาลดค่าความผิดพลาดของความแรงของสัญญาณที่รวบรวมได้

นอกจากนี้ยังมีความท้าทายหลายประการที่ทำให้ไม่สามารถนับหรือระบุตัวบุคคลจากสัญญาณ Wi-Fi probe ได้อย่างแม่นยำ ดังนี้

ประการแรก อุปกรณ์พกพาจำนวนมากในปัจจุบันใช้การ Random Mac Address ในขณะที่ปล่อยสัญญาณ Wi-Fi probe ออกมา และไม่มีวิธีการใดที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างถูกต้องในปัจจุบัน

ประการที่สอง บางคนอาจไม่พกพาอุปกรณ์เคลื่อนที่ หรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่ได้เปิดใช้งาน Wi-Fi

ประการที่สาม บางคนอาจพกอุปกรณ์เคลื่อนที่มากกว่า 1 เครื่อง

ประการที่สี่ สามารถตรวจจับอุปกรณ์จากพื้นที่ใกล้เคียงโดยเฉพาะในเขตเมืองหรือพื้นที่แออัด

ประการสุดท้าย เนื่องจากการปรับปรุงการสื่อสารไร้สายทางเลือก เช่น สัญญาณ 4G หรือ 5G ที่มีต้นทุนการรับส่งข้อมูลที่ถูกลงแต่อัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ความจำเป็นในการใช้ Wi-Fi จะลดลงอย่างมาก

แม้จะมีข้อเสียหลายประการจากความแม่นยำ แต่อุปกรณ์นี้สามารถใช้เป็นอุปกรณ์เสริมในการตรวจจับคนได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับพื้นที่ที่ต้องการการประมาณการแบบคร่าวๆ ของคนที่อยู่ในพื้นที่โดยไม่สนใจจำนวนคนที่ถูกต้อง หรือเพื่อการตรวจจับกิจกรรมที่ผิดปกติในพื้นที่ เช่น สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ที่ไม่มีมีคนดูแล หรือใช้เป็นระบบติดตามสถานการณ์ หากมีข้อมูลที่

น่าสนใจ เช่น มีคนเข้ามามากเป็นพิเศษ ก็จะสามารถช่วยในการวางแผนการดูแลรักษาของหน่วยงาน
นั้นได้

การออกแบบระบบในครั้งนี้ยังบอกถึงวิธีการประยุกต์ใช้ในการตรวจจับในบางพื้นที่ ที่
ต้องการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก และใช้เวลานาน เพื่อหาวิธีการหรือเทคนิคที่เหมาะสมในการสร้าง
ระบบด้วย



รายการอ้างอิง

1. Bartlett, G., J. Heidemann, and C. Papadopoulos. *Understanding passive and active service discovery*. in *Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement*. 2007.
2. P. Dhawankar, H.L.-M.a.N.A., *Throughput and Range Performance Investigation for IEEE 802.11a, 802.11n and 802.11ac Technologies in an On-Campus Heterogeneous Network Environment*. 2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP), 2018: p. 1-6.
3. Apte, Y.A.P.a.V., *Improving the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Latency to Support Multimedia Traffic*. 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2009: p. 1-6.
4. Purushothaman, I., Roy, S, *FastScan: a handoff scheme for voice over IEEE 802.11 WLANs*. *Wireless Netw*, October 2010. 16(7): p. 2049–2063.
5. al., C.P.e., *Why it takes so long to connect to a WiFi access point*. IEEE INFOCOM 2017 - IEEE Conference on Computer Communications, 2017: p. 1-9.
6. B. Huang, G.M., Y. Qin and Y. Wei, *Pedestrian Flow Estimation Through Passive WiFi Sensing*. in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 1 April 2021. 20(4): p. 1529-1542.
7. John Steenbruggen, M.T.B., Peter Nijkamp, Henk Scholten, *Mobile phone data from GSM networks for traffic parameter and urban spatial pattern assessment : a review of applications and opportunities*. 2011: GeoJournal.
8. Y. Li, J.B., S. Sun, P. Perez and B. Moran, *A Case Study of WiFi Sniffing Performance Evaluation*. in *IEEE Access*, 2020. 8: p. 129224-129235.
9. Yang, J.a.L., Yong and Cheng, Wei, *An improved geometric algorithm for indoor localization*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2018. 3(14): p. 1550147718767376.
10. Freudiger, J., *How talkative is your mobile device? An experimental study of Wi-Fi probe requests*. *Proceedings of the 8th ACM Conference on Security & Privacy in Wireless and Mobile Networks*, 2015: p. 1-6.

11. R. R. S, R.R., M. Moharir and S. G, *SCAPY- A powerful interactive packet manipulation program*. 2018 International Conference on Networking, Embedded and Wireless Systems (ICNEWS), 2018: p. 1-5.
12. X. Hu, L.S., D. Van Bruggen, and A. Striegel, *Is There WiFi Yet?: How Aggressive Probe Requests Deteriorate Energy and Throughput*. in Proc.ACM Conf. Internet Meas. Conf. IMC, 2015: p. 317–323.
13. Alessandro E.C. Redondi, M.C., *Building up knowledge through passive WiFi probes*. Computer Communications, 2018: p. 1-12.
14. T. Kulshrestha, D.S., R. Niyogi and J. Cao, *Real-Time Crowd Monitoring Using Seamless Indoor-Outdoor Localization*. in IEEE Transactions on Mobile Computing, 1 March 2020. 19(3): p. 664-679.
15. al, K.L.e., *An Experimental Study for Tracking Crowd in Smart Cities*. in IEEE Systems Journal, Sept. 2019. 13(3): p. 2966-2977.
16. Y. Ng, Y.P.a.Y.J., *Footfall Count Estimation Techniques Using Mobile Data*. 2017 18th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM), 2017: p. 307-314.
17. Nicholas Jarvis, J.H., Nicholas Wayne, Vaskar Raychoudhury, Md Osman, *MiamiMapper: Crowd Analysis using Active and Passive Indoor Localization through Wi-Fi Probe Monitoring*. 2019, USA.
18. G. Pipelidis, N.T., M. Kessner and C. Prehofer, *HuMAN: Human Movement Analytics via WiFi Probes*. 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2019: p. 370-372.
19. A. Dagečić, T.P.a.M.Č., *Location Privacy and Changes in WiFi Probe Request Based Connection Protocols Usage Through Years*. 2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 2019: p. 1-5.
20. L. Oliveira, D.S., J. De Souza and W. Shen, *Mobile Device Detection Through WiFi Probe Request Analysis*. in IEEE Access, 2019. 7: p. 98579-98588.
21. Terje Trasberg, B.S., James Cheshire, *Using Wi-Fi probe requests from mobile phones to quantify the impact of pedestrian flows on retail turnover*. Computers, Environment and Urban Systems, 2021. 87: p. 101601.

22. S. Depatla, A.M.a.Y.M., *Occupancy Estimation Using Only WiFi Power Measurements*. in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, July 2015. 33(7): p. 1381-1393.
23. *Nonlinear Regression and Its Applications*. 1988, New York: Wiley.
24. H.P.Gavin, *The Levenberg-Marquardt algorithm for nonlinear least squares curve-fitting problems*. 2020, Duke University, September 18.





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายประภาส สารศาลิน
วัน เดือน ปี เกิด	11 สิงหาคม 2531
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ที่อยู่ปัจจุบัน	284/2 ม.1 ต.ไร่ใหญ่ อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000

