



การศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์



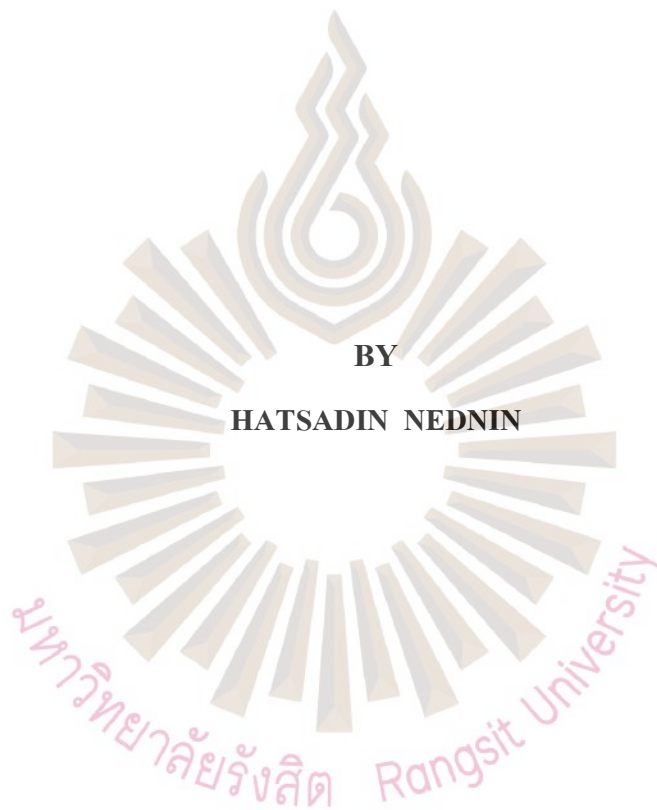
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2566



**A STUDY OF INDOOR POSITIONING OF WIRELESS DEVICES
BY USING ACCESS POINT**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL
AND COMPUTER ENGINEERING
COLLEGE OF ENGINEERING**

**GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2023**

วิทยานิพนธ์เรื่อง

การศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์

โดย

หัสติน เนตรนิล

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัยรังสิต

ปีการศึกษา 2566

รศ. ดร. เอกรัฐ บุญญา
ประธานกรรมการสอบ

ดร. ไพบูรณ์ ช้อยหยด
กรรมการ

รศ. ดร. ดวงอาทิตย์ ศรีมูล
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ. ร.ต. หญิง ดร. วรณี สุขสาคร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

31 สิงหาคม 2566

Thesis entitled

**A STUDY OF INDOOR POSITIONING OF WIRELESS DEVICES
BY USING ACCESS POINT**

by

HATSADIN NEDNIN

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master of Engineering in Electrical and Computer Engineering

Rangsit University
Academic Year 2023

Assoc. Prof. Akkarat Boonpoonga, D. Eng.
Examination Committee Chairperson

Paiboon Yoiod, D. Eng.
Member

Assoc. Prof. Duang-arthit Srimoon, D. Eng.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Asst. Prof. Plt. Off. Vanee Sooksatra, D.Eng.)

Dean of Graduate School

August 31, 2023

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีเนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.ดวงอาทิตย์ ศรีมูล ที่ให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษา แนะนำเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ที่ให้ความคิดเห็นและข้อสังเกตอันเป็น ประโยชน์จนทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่กรุณาให้การอบรม สั่งสอน และสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาโดยตลอด รวมทั้งผู้บังคับบัญชา และมิตรสหาย ที่เป็นกำลังใจ สนับสนุน และช่วยเหลือในทุกด้านจนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้

หัสติน เนตรนิล

ผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

6105645 : หัสติน เนตรนิล
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์
 หลักสูตร : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ดวงอาทิตย์ ศรีมูล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์ การออกแบบได้ใช้แอ็กเซสพอยต์สำหรับรับสัญญาณ ประกอบด้วย 3 แอ็กเซสพอยต์อ้างอิงและอีกหนึ่งอุปกรณ์ไร้สายเป้าหมาย แอ็กเซสพอยต์อ้างอิง 3 ตัว จะวางอยู่รอบ ๆ อุปกรณ์ไร้สายที่จะต้องหาพิกัดตำแหน่งของมัน โดยได้ศึกษาการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย 2 ชนิด คือ โทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊กที่วางอยู่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพิกัดที่กำหนดไว้ในพื้นที่ขนาด 6 m x 6 m อุปกรณ์ไร้สายจะรับสัญญาณจาก 3 แอ็กเซสพอยต์ที่ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งอ้างอิงในรูปแบบของค่าบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่รับได้ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นระยะความห่าง และในตอนท้าย ตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ไร้สายดังกล่าวจะถูกคำนวณด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง จากการทดสอบพบว่า วิธีการนี้สามารถระบุตำแหน่งทั้งสองอุปกรณ์ไร้สายได้ด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 m งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายภายในอาคารเพื่อประโยชน์ในการเฝ้ามองหรือการบริหารจัดการทรัพยากรต่าง ๆ เช่น การเปิดปิดแสงสว่างหรือเครื่องปรับอากาศต่อไป

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 72 หน้า)

คำสำคัญ : การระบุตำแหน่งภายในอาคาร, อุปกรณ์ไร้สาย, แอ็กเซสพอยต์, ค่าบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่รับได้, การหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง

6105645 : Hatsadin Nednin
 Thesis Title : A Study of Indoor Positioning of Wireless Devices by Using Access Point
 Program : Master of Engineering in Electrical and Computer Engineering
 Thesis Advisor : Assoc. Prof. Duang-arthit Srimoon, D. Eng.

Abstract

This thesis proposes a study of indoor positioning of wireless devices by using access point. The design uses access point for signal reception consisting of 3 reference access points and a targeted wireless device. Three reference access points are located around the wireless device that its position needs to be determined. There are 2 wireless devices for position studying i.e. mobile phone and notebook that placed in various positions on the coordinate for an area of 6 m x 6 m. Wireless device receives signal from 3 access points on reference position in the format of received signal strength indicator (RSSI). The RSSI are then sent to be calculate distances. Finally, the position of the wireless device is calculated using trilateration method. The results show that the method is able to determine the position of both wireless devices with the distance error less than 0.5 meter. This work can be applied to the position of wireless devices within a building for monitoring or resource management such as turning on and off lights or air conditioners.

(Total 72 pages)

Keywords : Indoor positioning, Wireless devices, Access point, Received signal strength indicator, Trilateration

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา	5
1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ระบบดาวเทียมบอกพิกัด	7
2.1.1 GPS Tracking	7
2.1.2 GPS Navigator	10
2.2 ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร	10
2.2.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย	11
2.2.2 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth)	16
2.2.3 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee)	17
2.2.4 แอ็กเซสพอยต์	18
2.3 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	20
2.4 การวิเคราะห์สมรรถนะการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ความถูกต้อง	21
2.4.2 ความแม่นยำ	21
2.4.3 ความซับซ้อนในแง่เวลา	21
2.4.4 ความทนทาน	22
2.4.5 ความยืดหยุ่น	22
2.4.6 มูลค่า	23
2.5 ค่าความแรงของสัญญาณ	23
2.6 การหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง	26
2.7 แอปพลิเคชัน AirPort Utility	29
2.8 โปรแกรม WiFi Analyzer	30
บทที่ 3	การออกแบบและวิธีการ
3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	32
3.2 การออกแบบการระบุตำแหน่ง	38
3.2.1 ให้ 3 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย	38
3.2.2 ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์	41
บทที่ 4	ผลการวิจัย
4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโทรศัพท์มือถือ	45
4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโน้ตบุ๊ก	54
4.3 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โทรศัพท์มือถือ	59
4.4 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โน้ตบุ๊ก	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5	
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ประวัติผู้วิจัย	72



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	6
4.1 ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือ ณ จุดที่ต้องการระบุตำแหน่งที่รับมาจาก แอ็กเซสพอยต์	48
4.2 ค่าเฉลี่ย RSSI แต่ละ AP จากโทรศัพท์มือถือ	53
4.3 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดประมาณได้จากสัญญาณที่ส่งมาจาก โทรศัพท์มือถือ	53
4.4 ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊ก ณ จุดที่ต้องการระบุตำแหน่งที่รับมาจากแอ็ก เซสพอยต์ 3 ตัว	55
4.5 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโน้ตบุ๊กจากแต่ละแอ็กเซสพอยต์และระยะทางที่ ประมาณได้	58
4.6 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้จากสัญญาณที่โน้ตบุ๊กได้รับได้จาก แอ็กเซสพอยต์อ้างอิง	59
4.7 ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือ ณ จุดอ้างอิงจากแอ็กเซสพอยต์ที่ต้องการ ระบุตำแหน่ง	60
4.8 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโทรศัพท์มือถือแต่ละตำแหน่งอ้างอิง	62
4.9 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ของแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณ ให้โทรศัพท์มือถืออ้างอิง	62
4.10 ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊ก ณ จุดอ้างอิงจากแอ็กเซสพอยต์ที่ต้องการระบุ ตำแหน่ง	63
4.11 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโน้ตบุ๊กแต่ละตำแหน่งอ้างอิง	65
4.12 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ของแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณ ให้โน้ตบุ๊กอ้างอิง	65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สัญลักษณ์ของบลูทูธ	16
2.2	หุฟงไร้สายเทคโนโลยีบลูทูธ	17
2.3	ตัวอย่างโมดูลไร้สาย ZigBee ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4	18
2.4	แอ็กเซสพอยต์ (ก) ชนิดสายอากาศเดี่ยวมุมมองด้านหน้า (ข) ชนิดสายอากาศเดี่ยวมุมมองด้านหลัง (ค) ชนิดสายอากาศคู่ (ง) ชนิด 3 สายอากาศ	19
2.5	การรับสัญญาณจากหลายเส้นทางที่เกิดจากการสะท้อนสัญญาณตัวส่งเพียงแหล่งเดียว	25
2.6	ตัวอย่างการแผ่สัญญาณของเสาอากาศโดยรอบ	26
2.7	พิกัดการหาตำแหน่ง $X(x, y)$ ด้วยวิธีหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง	27
2.8	การระบุตำแหน่งจากระยะทางที่ได้จากค่า RSSI ที่ไม่แม่นยำในทางปฏิบัติ (ก) การตัดกันของระยะทางอย่างสมบูรณ์ (ข) การตัดของระยะทางที่ไม่แม่นยำในทางปฏิบัติ	28
2.9	หน้าจอแสดงผลแอปพลิเคชัน AirPort Utility	29
2.10	ตัวอย่างโปรแกรม WiFi Analyzer บน Windows ที่แสดงผลเป็นช่องสัญญาณการใช้งานต่าง ๆ ในย่านความถี่ 2.4 GHz	31
2.11	หน้าต่างโปรแกรม WiFi Analyzer บน Windows ที่สามารถบอกค่า RSSI อุปกรณ์ได้	31
3.1	การออกแบบระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายด้วยแอ็กเซสพอยต์	39
3.2	แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณ ณ จุดอ้างอิงในพื้นที่โครงข่ายขนาด 6 m x 6 m	39
3.3	ขั้นตอนการหาพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายภายในพื้นที่โครงข่าย	41
3.4	การออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายด้วยแอ็กเซสพอยต์	42
3.5	อุปกรณ์รับสัญญาณ ณ จุดอ้างอิงในพื้นที่โครงข่ายขนาด 6 m x 6 m	43
3.6	ขั้นตอนการระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ภายในพื้นที่โครงข่าย	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ภาพรวมการวางแอ็กเซสพอยต์ในแต่ละตำแหน่ง (ก) ตำแหน่งการวาง 3 แอ็กเซสพอยต์เพื่อวัดสัญญาณในห้อง (ข) แอ็กเซสพอยต์ AP_A (ค) แอ็กเซสพอยต์ AP_B	47
4.2	ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับ จำนวนครั้ง	49
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ	49-52
4.4	ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับ จำนวนครั้งที่สุมโดยโน้ตบุ๊ก	54
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโน้ตบุ๊กกับจำนวนครั้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	56-57
4.6	ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับ จำนวนครั้งที่สุม	60
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโทรศัพท์มือถือกับจำนวนครั้ง ตำแหน่งต่าง ๆ	61
4.8	ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับ จำนวนครั้ง	63
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโน้ตบุ๊กกับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ระบบระบุตำแหน่ง (Positioning System) ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ ระบบระบุตำแหน่งดาวเทียม (GPS : Global Positioning System) (Misra and Enge, 2010) แต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ส่งมายังอุปกรณ์ภาครับ GPS บนพื้นโลกจะอ่อนกำลังลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเดินทางของสัญญาณระยะไกลมาก บางครั้งเจอสสิ่งกีดขวาง เช่น เมฆฝน เป็นต้น ส่งผลให้ระบบจีพีเอสไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารจากปัญหานี้ จึงได้มีการพัฒนาโครงข่ายขึ้นมาเพื่อการระบุตำแหน่งภายในอาคาร (IPS : Indoor Positioning System) (Kolodziej and Hjelm, 2006) โดยสามารถระบุตำแหน่งได้ละเอียดมากขึ้น มีความผิดพลาดในระยะทางที่น้อยลง แต่อาจพบปัญหาในลักษณะอื่น เช่น การมีโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนขึ้นของตึกหรืออาคาร ไม่ว่าจะเป็นผนัง กำแพง พื้น เพดาน ของใช้ต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่ง

เทคโนโลยีของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น เน็ตเวิร์คเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) รู้จักกันในชื่อของโมดูล Zigbee ด้วยมาตรฐาน IEEE802.15.4 (The Zigbee Alliance, 2015; Samuel, Aniedu, Herbert, and Anthony, 2013) โดยโมดูล Zigbee จะมีขนาดเล็ก พกพาสะดวก ติดตั้งง่าย สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่งสัญญาณ สามารถสร้างเป็นเครือข่ายส่งต่อข้อมูลกันได้ สามารถส่งได้ไกล มีโหมดหลับ (Sleep Mode) ทำให้ประหยัดพลังงาน ใช้งานได้ยาวนานโดยไม่ต้องชาร์ตแบตเตอรี่บ่อยครั้ง แต่ก็อาจมีข้อเสียบ้าง เช่น จะต้องใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมให้ทำงานตามที่ต้องการ จะต้องแบตเตอรี่หรือเชื่อมต่อวงจร และจะต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า เป็นต้น

อีกแนวทางหนึ่งที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร คือ การใช้เทคโนโลยีของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN : Wireless Local Area Network) ตามมาตรฐาน

IEEE802.11 เนื่องจากเป็นเครือข่ายที่แพร่กระจายสัญญาณภายในอาคารอยู่แล้ว ทำให้ไม่ต้องซื้ออุปกรณ์เพิ่ม ปัจจุบันมีการใช้งานกันมากมาย อุปกรณ์กระจายสัญญาณที่เป็นที่รู้จักของ WLAN คือ แอ็กเซสพอยต์ (AP : Access Point) นอกจากจะกระจายสัญญาณแล้ว ยังรับสัญญาณได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากต้องรับส่งสัญญาณอยู่แล้ว ย่านความถี่ใช้งานคือ 2.4 GHz, 5 GHz, และ 6 GHz โดยย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่วงความถี่การใช้งานที่แคบกว่าย่านความถี่ 5 และ 6 GHz ยิ่งช่วงความถี่กว้างกว่าจะได้เปรียบในเรื่องของปริมาณการส่งข้อมูลเนื่องจาก WLAN ใช้วิธีแพร่กระจายความถี่ (Spread Spectrum) และเพิ่มช่องสัญญาณ (อำนาจ มีมงคล และอรรรณพ ชันธิกุล, 2553; Cisco Public, 2018) แต่โดยธรรมชาติแล้ว ความถี่ที่ต่ำกว่าจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่า ดังนั้น ย่านความถี่ 2.4 GHz ยังมีความจำเป็นในการใช้งานอยู่

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบในการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย โดยใช้การส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุ (RF : Radio Frequency) หรือคลื่นอินฟราเรด (Infrared) บ้าง ระหว่างอุปกรณ์ไร้สาย (Wireless Device) แต่ละเครื่อง เช่น โน้ตบุ๊ก เทปเลต โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น ผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ โดยปราศจากการเดินสายสัญญาณ โดยมาตรฐานย่อยหลักที่ใช้งาน ประกอบด้วย 6 มาตรฐาน คือ IEEE802.11 a/b/g/n/ac/ax (Goodwins, 2018) นอกจากนี้ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างที่ระบบเครือข่ายแบบใช้สาย (LAN) มี ที่สำคัญคือ การที่ไม่ต้องใช้สายสำหรับสื่อสาร ทำให้การเคลื่อนย้ายระหว่างการใช้งานทำได้สะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

การระบุตำแหน่งภายในอาคารกับอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์เป็นอุปกรณ์สำหรับระบุตำแหน่งมีการศึกษามาพอสมควร (ซัชชล เปรมชัยสวัสดิ์ และนรารัตน์ เรืองชัยจุพร, 2556; Chena, Koa, Changa, and Chang, 2018) เนื่องจาก AP เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในการสื่อสารด้วยระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและมีการใช้งานไปพร้อมกันหลายตัวในเครือข่ายให้บริการขนาดใหญ่เดียวกัน เมื่อการระบุตำแหน่งโดยทั่วไปจะต้องใช้ AP จำนวนอย่างน้อย 3 ตัว และอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการระบุตำแหน่งจะต้องส่งสัญญาณออกมาจากตัวมัน ประโยชน์ในการค้นหาหรือระบุตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์คือ ทำให้รู้ว่าอุปกรณ์เหล่านั้นกำลังอยู่ ณ ตำแหน่งใดภายในอาคาร ซึ่งบางครั้งอาจเป็นห้องที่ปิดอยู่ไม่สามารถมองเห็นได้ ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาจำนวนของอุปกรณ์ไร้สายที่กำลังเชื่อมต่อใช้งานอยู่บริเวณนั้น เพื่อประโยชน์ในการเปิดหรือปิดแสงสว่างภายในอาคาร ควบคุมเครื่องปรับอากาศ หรือการให้บริการ Wi-Fi ในพื้นที่บริเวณนั้น เป็น

ต้น ทั้งนี้เพื่อให้การให้บริการที่มีประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานของหน่วยงานหรือองค์กรต่าง ๆ วิธีการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายภายในอาคารนั้นมี 2 แนวทาง คือ

1) อุปกรณ์ไร้สายหรือวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่งรับสัญญาณมาจากโหนดอ้างอิง (Reference Node) อย่างน้อย 3 โหนด จากนั้นวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่งจะนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ส่งต่อไปให้โหนดบู้คหรือเซิร์ฟเวอร์อีกครั้งเพื่อประมวลผลแปลงเป็นระยะทางและระบุตำแหน่งต่อไป แนวทางนี้เป็นกระบวนการของโมดูล Zigbee ที่เป็นโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เนื่องจากสามารถนำโมดูลติดตั้งไปกับวัตถุที่ต้องการระบุตำแหน่งได้ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องรู้จักอุปกรณ์ไร้สายเหล่านั้นก่อนแล้วค่อยติดตามภายหลัง ตัวอย่างงานวิจัยลักษณะนี้เช่น (The Zigbee Alliance, 2015; Samuel et al. , 2013)

2) โหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนด รับสัญญาณจากวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง ซึ่งเป็นแนวทางที่ตรงข้ามกับ 1) จากนั้นนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ส่งต่อไปให้โหนดบู้คหรือเซิร์ฟเวอร์เพื่อประมวลผลแปลงเป็นระยะทางและระบุตำแหน่งต่อไป แนวทางนี้มักจะเป็นกระบวนการของการนำโครงข่ายท้องถิ่นไร้สายมาใช้หาตำแหน่ง ซึ่งมีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องรู้จักอุปกรณ์ไร้สายเหล่านั้นมาก่อนเนื่องจากต้องการเพียงระบุตำแหน่งเท่านั้น โดยสามารถติดตามและระบุตำแหน่งได้ทันที ตัวอย่างงานวิจัยเช่น (Chena et al., 2018)

ไม่ว่าจะแนวทางใดจากทั้งสองแนวทางข้างต้น การส่งสัญญาณจากตัวส่งไปหาตัวรับนั้น ณ ฝั่งรับจะสามารถหาค่าความแรงของสัญญาณได้ เรียกว่า ค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ หรือ RSSI (Received Signal Strength Indicator) (Chena et al., 2018) เป็นค่าความแรงสัญญาณที่มาถึงอุปกรณ์ตัวรับของการส่งจากอุปกรณ์ต้นทาง โดยค่า RSSI จะขึ้นอยู่กับกำลังและระยะห่างของอุปกรณ์ตัวส่ง ดังนั้นจึงสามารถหาระยะทางระหว่างตัวรับกับตัวส่งได้ด้วยการแปลงสัญญาณย้อนกลับเมื่อทราบกำลังของตัวส่ง การสูญเสียกำลังที่เกิดจากระยะทาง ความถี่ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็น จากนั้นเมื่อได้ระยะทางครบตามที่ต้องการแล้ว จึงนำไปคำนวณหาตำแหน่งและทำการระบุต่อไป โดยวิธีที่ถูกนำมาใช้ในบทความนี้ คือ วิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration) (The Zigbee Alliance, 2015)

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้เอ็กเซสพอยด์ย่านความถี่ 2.4 GHz โดยใช้แนวทางที่ 1) คือ ให้เอ็กเซสพอยด์จำนวน 3 ตัวที่วางอยู่

ตำแหน่งอ้างอิงส่งสัญญาณไปหาอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการระบุตำแหน่งรับสัญญาณ RSSI มาตัวเลข 10 ค่า จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วแปลงเป็นระยะทางด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง แล้วระบุระยะทางในพิกัดที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นวิเคราะห์ความแม่นยำจากผลลัพธ์ที่ได้ นอกจากนี้ ยังได้ทดลองโดยใช้แนวทางที่ 2) ด้วยการให้แอ็กเซสพอยต์จำนวน 1 ตัว วางอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการระบุ แล้วให้ส่งสัญญาณมาที่ตำแหน่งอ้างอิง 3 จุด จากนั้นแปลงสัญญาณ RSSI เป็นระยะทาง แล้วหาพิกัดตำแหน่งด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง แล้วระบุตำแหน่งและหาความผิดพลาดของระยะทางจากการระบุตำแหน่งที่ได้ ในการศึกษาเพื่อประโยชน์ในการเฝ้ามองหรือระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก ที่มีการใช้งานโดยผู้ใช้ แล้วนำไปบริหารจัดการทรัพยากรต่าง ๆ เช่น การเปิดปิดแสงสว่างหรือเครื่องปรับอากาศ เมื่อสามารถระบุตำแหน่งได้ในพื้นที่ที่ต้องการควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคการระบุตำแหน่งภายในอาคารต่าง ๆ
- 2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งจากค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ (RSSI) ร่วมกับวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration)
- 3) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งโดยใช้ RSSI ร่วมกับวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายต่าง ๆ ด้วยแอ็กเซสพอยต์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษาการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์ 3 ตัว ความถี่ 2.4 GHz ในการระบุตำแหน่งจากค่าตัวบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่ได้รับได้ (RSSI) ร่วมกับวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration)
- 2) จำลองพื้นที่และทำการวัดค่าจริงเพื่อเปรียบเทียบผลความแม่นยำกับการประมาณค่าตำแหน่งจากการแปลงสัญญาณ
- 3) วิเคราะห์สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณและความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา

- 1) ได้ทราบพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ต้องการระบุตำแหน่งโดยการแปลงจากค่าความแรงของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2) ได้ทราบความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งจากค่าตัวบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่รับได้ (RSSI) ร่วมกับวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration)
- 3) เพื่อการเฝ้ามองหรือการบริหารจัดการทรัพยากรต่าง ๆ เช่น การเปิดปิดแสงสว่างหรือเครื่องปรับอากาศ เมื่อสามารถระบุตำแหน่งได้

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการระหว่างปี พ.ศ. 2565 ถึงปี พ.ศ. 2566 มีแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ช่วงที่ 1 ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนตัวอย่างงานวิจัย
- ช่วงที่ 2 ศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคาร การนำไปใช้งาน อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้และศึกษาความเป็นไปได้ของงาน
- ช่วงที่ 3 เสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์และออกแบบการศึกษาวิจัย
- ช่วงที่ 4 ศึกษาทฤษฎีที่ใช้และดำเนินการจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้งาน
- ช่วงที่ 5 ออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ดำเนินการทดลอง และเก็บผลการทดลอง
- ช่วงที่ 6 ประเมินผลการทดลองของงานวิจัย
- ช่วงที่ 7 จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์
- ช่วงที่ 8 สอบวิทยานิพนธ์และทำการแก้ไขตามคำแนะนำของคณะกรรมการสอบ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาการระบุตำแหน่งภายในอาคารให้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดีนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เทคนิคการระบุตำแหน่ง และหลักการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง เพื่อให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้ จะเป็นหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น การระบุตำแหน่งโดยดาวเทียม โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เป็นต้น

2.1 ระบบดาวเทียมบอกพิกัด

ระบบระบุตำแหน่ง (Positioning System) ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันมาอย่างนานพอสมควร คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System : GPS) (Djuknic and Richton, 2001) เป็นระบบที่สามารถระบุตำแหน่งต่าง ๆ ได้ทั่วโลก ตำแหน่งที่ได้นั้นมาจากการคำนวณพิกัดของดาวเทียมระบุพิกัดที่ลอยอยู่ในอวกาศถึง 24 ดวงทั่วโลก ที่คอยหาตำแหน่งที่เครื่องรับสัญญาณ GPS อยู่ จึงมั่นใจได้ว่า ไม่ว่าจะอยู่ตรงส่วนไหนบนพื้นผิวโลก ถ้าพกเครื่องรับสัญญาณ GPS อยู่หรือโทรศัพท์มือถือ ก็สามารถรู้ได้ทันทีว่าอยู่ตรงตำแหน่งไหนของพื้นโลกจากค่าพิกัดละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ GPS นั้นเอง จากความสามารถนี้ของ GPS จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 ระบบ คือ GPS Tracking และ GPS Navigator

2.1.1 GPS Tracking

คำว่า Tracking ถ้าแปลตรงตัว คือ การติดตาม ดังนั้น GPS Tracking ก็คือ GPS ไว้สำหรับการติดตาม ในปัจจุบันมีหลายบริษัทที่นำ GPS Tracking มาใช้สำหรับการติดตามสิ่ง

ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น รถ เรือ เด็ก คนชรา หรือแม้แต่สัตว์เลี้ยง โดยได้ใส่ตัวเสริม (Option) เข้าไปในตัว GPS Tracking เพื่อให้มันสามารถบอกสิ่งอื่นได้อีกนอกจากพิกัด Latitude กับ Longitude เท่านั้น โดย GPS Tracking ที่ใช้ในการติดตามรถยนต์เป็นที่นิยมมากที่สุดในการนำ GPS Tracking มาเพื่อทำการติดตาม โดยได้เพิ่มตัวตรวจจับหรือเซ็นเซอร์ (Sensor) เข้าไปในรถเพื่อหาข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการทราบ ไม่ว่าจะเป็น ปริมาณน้ำมัน ปริมาณความร้อน สถานะการติดเครื่องยนต์ ความเร็วของรถที่วิ่งในขณะนั้น หรือแม้แต่ทิศทางในการวิ่ง และอื่น ๆ อีกมากมาย ระบบติดตามยานพาหนะบนโลกใบนี้ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดก็ตาม ถ้าสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ ก็จะสามารถระบุตำแหน่งของยานพาหนะได้ ปัจจุบัน เป็นเทคโนโลยีที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักธุรกิจในองค์กรและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความต้องการการบริหารพนักงานและยานพาหนะในองค์กรให้ทำงานไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบ แบบ Tracking เข้ามามีบทบาทในการตรวจสอบพฤติกรรม และในการวัดผลต่าง ๆ ด้วยเหตุผลที่ว่า มีความรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำของระบบติดตามยานพาหนะซึ่งจะทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถทราบพฤติกรรมของพนักงาน เสมือนอยู่ด้วยตลอดเวลา

GPS Tracking หรือ GPS ติดตามรถยนต์ คือการติดตามโดยใช้ GPS เป็นตัวช่วยในการรู้ตำแหน่งของรถยนต์ที่ต้องการติดตาม GPS Tracking มีได้หลายรูปแบบทั้งแบบติดตามย้อนหลัง หรือ Off-line และแบบติดตามแบบในเวลาจริงหรือ Real-Time ในปัจจุบัน GPS Tracking แบบ Real Time มีการใช้กันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทยด้วย เนื่องจากเสาสัญญาณมือถือได้กระจายอย่างทั่วถึงในประเทศไทย เพราะ GPS Tracking ใช้สัญญาณจากเครือข่ายโทรศัพท์มือถือร่วมในการระบุตำแหน่งให้แม่นยำยิ่งขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังใช้ในการดึงข้อมูล (Load) แผนที่ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของผู้ใช้งานหรือเส้นทางที่ต้องการค้นหาประกอบในการใช้งาน

GPS Tracking แบบ Off-Line คือ การเก็บข้อมูลการวิ่งของรถ (ตำแหน่ง เวลา และความเร็ว) ไว้ในตัวเครื่อง และนำข้อมูลมาถ่ายโอนเข้าคอมพิวเตอร์ เมื่อรถกลับมาที่สำนักงานหรือที่พักแล้ว ผู้ตรวจสอบรถสามารถดูการวิ่งของรถย้อนหลังได้ วิธีนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายรายเดือนได้ แต่ข้อเสียหลัก คือ ไม่สามารถรู้ตำแหน่งรถปัจจุบันได้เลย ขณะที่ GPS Tracking แบบ Real Time คือ การเก็บข้อมูลการวิ่งของรถไว้ในตัวเครื่องและส่งข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ (Server) โดยทันที ผู้ใช้งานสามารถเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์เพื่อดูตำแหน่งรถปัจจุบันได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้รถกลับเข้ามา อีกทั้งเซิร์ฟเวอร์จะทำการเก็บข้อมูลเก่า ๆ ไว้ เพื่อให้ผู้ใช้ได้ดูการวิ่งของรถย้อนหลัง ซึ่งวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายรายเดือนเนื่องจากจะต้องมีการเชื่อมต่อกับสัญญาณ GPRS ตลอดเวลา และค่าบริการ

การใช้งานเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการ ค่าบริการนี้ปัจจุบันมีราคาถูกลงกว่าแต่ก่อนมาก (ระบบ GPRS เก่า ๆ มีค่าบริการรายเดือนระหว่าง 600-800 บาท ปัจจุบันอยู่ที่เพียง 300-400 บาท) มีการนำ GPS Tracking แบบ Real Time มาใช้อย่างแพร่หลาย แทนเรียกได้ว่าระบบการขนส่งจะต้องมี GPS Tracking เพื่อจะได้บริหารจัดการรถได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์

สำหรับคำว่า Web Based GPS Tracking คือ GPS Tracking แบบ Real Time โดยแบบเก่าจะมีการเก็บโปรแกรมไว้ที่คอมพิวเตอร์ของลูกค้า ซึ่งทำให้ยุ่งยากในการดูแลรักษา เมื่อมีการอัปเดตโปรแกรมหรือแผนที่จะต้องมาทำที่เครื่องลูกค้าเท่านั้น Web Based GPS Tracking คือ การทำทุกอย่างผ่านทาง Website ผู้ใช้เพียงเข้าไปยัง Website ที่จัดเตรียมไว้ให้และ Login เข้าสู่ระบบ ผู้ใช้สามารถเข้าใช้งานจากเครื่องไหนก็ได้ที่เชื่อมต่อ Internet ผู้ให้บริการจะเป็นผู้ดูแลระบบและอัปเดตต่าง ๆ เอง โดยทำที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่จัดตั้งไว้ในที่ ๆ มีอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ดังนั้นประโยชน์ของ GPS Tracking จึงมีดังต่อไปนี้ คือ

1) ทราบถึงสถานะต่าง ๆ ของสิ่งที่เราต้องการติดตาม ไม่ว่าจะเป็นคนหรือยานพาหนะ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญ เช่น ตำแหน่ง ในปัจจุบัน เป็นต้น

2) ทราบถึงรายงานย้อนหลังหลาย ๆ อย่างในระบบยานพาหนะได้ เช่น การคำนวณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อวัน ระยะทางที่วิ่งต่อวัน ความเร็วเกินกำหนด การจอดติดเครื่องยนต์ เป็นต้น เนื่องจากทั่วไปผู้ให้บริการระบบ GPS Tracking แบบ Real Time ส่วนใหญ่จะมีรายงานย้อนหลังให้สำหรับใช้ในวิเคราะห์ข้อมูลแก่ลูกค้า

3) เพิ่มความปลอดภัยในการขนส่ง เนื่องจากสามารถทราบตำแหน่งและความเร็วของยานพาหนะในปัจจุบันได้ ทำให้สามารถเตือนผู้ขับขี่ได้เมื่อมีพฤติกรรมเสี่ยงต่อการประสบอุบัติเหตุ รวมถึงบางผู้ผลิตสามารถมีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติยังผู้ควบคุม เพื่อแจ้งเตือนไปยังพนักงานขับรถได้ในทันที ที่มีปัจจัยเสี่ยงตามเงื่อนไข เช่น วิ่งเร็วเกินที่กำหนดหรือวิ่งออกนอกเส้นทางที่วางแผนไว้ เป็นต้น

4) วางแผนเส้นทางทำงานล่วงหน้า ผู้ผลิต GPS Tracking บางรายอาจเพิ่มระบบที่สามารถวางแผนงานไว้ล่วงหน้าก่อนการเดินทางไปยังเป้าหมายและระบบสามารถวิเคราะห์แจ้งเตือนเมื่อมีการทำงานนอกแผนที่วางไว้

5) ลดการทุจริต ผู้ผลิต GPS Tracking บางรายอาจมีระบบในติดตามยานพาหนะ สามารถตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิง และสามารถสรุปสถานะการจอดรถได้ว่า พนักงานจอดรถติดเครื่องอยู่หรือจอดรถดับเครื่องในเวลาที่นาฬิกา ซึ่งจะป็นข้อมูลอย่างดีในกรณีเกิดการขโมยน้ำมันเชื้อเพลิง หรือแอบขายอะไหล่ได้

แต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ส่งมายังอุปกรณ์ภาครับ GPS จะอ่อนลงเมื่อลักษณะการเดินทางของสัญญาณเป็นเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ชั้นบรรยากาศ เมฆฝน เป็นต้น ส่งผลให้ระบบ GPS ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ (Rehman, Gao, Chen, Parini, and Ying, 2009)

2.1.2 GPS Navigator

GPS Navigator คือ GPS ที่ใช้ในการบอกเส้นทางไปยังจุดหมายที่ต้องการหรือการนำทาง ต่างจาก GPS Tracking ที่เป็นการติดตามรถยนต์ว่าอยู่ที่ไหน GPS Navigator ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมา เนื่องจากมีราคาถูกลงเรื่อย ๆ และมีประโยชน์อย่างมากในการบอกตำแหน่ง ในประเทศไทย GPS Navigator ยังทำงานได้ไม่ดีมากนัก เมื่อเทียบกับต่างประเทศ เพราะระบบถนนในประเทศไทยไม่เป็นระเบียบเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ดี GPS Navigator ก็ช่วยให้ไปถึงจุดหมายได้อย่างแม่นยำ แม้ว่าบางครั้งอาจแนะนำไปในเส้นทางที่แคบหรืออ้อมไปบ้าง GPS Navigator จะมีอุปกรณ์ตัวรับสัญญาณ GPS เป็นตัวหลัก และประมวลผลแสดงตำแหน่งทางหน้าจอบนเครื่องหรือมือถือ ซึ่งต่างจาก GPS Tracking หรือ GPS ติดตามรถที่จะมีตัว GSM Module เพิ่มเข้ามาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์

2.2 ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

สำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System) อาจกล่าวได้ว่ามีลักษณะทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าการระบุตำแหน่งภายนอกอาคารหรือพื้นที่โล่งแจ้ง ได้มีการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้งานร่วมด้วย เช่น เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network) อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth) และอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4

(ZigBee) เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น ในงานวิจัย (Ruppel, Stubbe, and Zwinger, 2010) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้หน่วยกู้ภัยสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบเหตุอัคคีภัยที่อยู่ภายในอาคาร และงานวิจัยของ (Sghaier et al., 2011) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล โดยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ไร้สายไว้กับผู้ป่วย เพื่อติดตามตำแหน่งแบบเวลาจริงและยังสามารถส่งข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยเป็นระยะ ๆ กลับมาได้อีกด้วย จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้งานในการระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบว่าจะมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาให้รองรับกับการทำงานหรือสถานการณ์ในรูปแบบใด

2.2.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเกิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1971 บนเกาะฮาวายโดยโครงการของนักศึกษามหาวิทยาลัยฮาวายที่ชื่อว่า “ALOHNET” ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-directional ส่งไป-กลับง่าย ๆ ผ่านคลื่นวิทยุสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะ โดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะ ๑ แห่ง ที่ชื่อว่า Oahu

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบในการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF (Radio Frequency) และคลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดาน หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย ที่สำคัญก็คือการที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบแบบใช้สายที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งาน

ปัจจุบันโลกของเราเป็นยุคแห่งการติดต่อสื่อสารเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวัน ความต้องการข้อมูลและการบริการต่าง ๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้นมีมากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก แท็บเล็ต เป็นต้น ได้ถูกนำมาใช้อย่างมาก และผู้ที่น่าจะได้ประโยชน์จากการใช้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้มีมากมายไม่ว่าจะเป็น

1) หมอหรือพยาบาลในโรงพยาบาล เพราะสามารถดึงข้อมูลมารักษาผู้ป่วยได้จากคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊กที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทันที

2) นักศึกษาในมหาวิทยาลัยก็สามารถใช้งานโน้ตบุ๊กเพื่อค้นคว้าข้อมูลในห้องสมุดของมหาวิทยาลัยหรือใช้อินเทอร์เน็ตจากบริเวณไหนก็ได้ในมหาวิทยาลัยที่มีสัญญาณ WiFi

3) นักธุรกิจที่มีความจำเป็นต้องใช้งานคอมพิวเตอร์นอกสถานที่ที่ทำงานปกติ ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนองานยังบริษัทลูกค้า หรือการนำคอมพิวเตอร์ติดตัวไปงานประชุมสัมมนาต่าง ๆ

บุคคลเหล่านี้มีความจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขององค์กรซึ่งอยู่ห่างออกไปหรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์สาธารณะ เช่น เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงน่าจะอำนวยความสะดวกให้กับบุคคลเหล่านี้ได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเปิดให้บริการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ตามสนามบินใหญ่ทั่วโลก และนำมาใช้งานแพร่หลายในห้างสรรพสินค้า และโรงแรมต่าง ๆ แล้ว อย่างไรก็ตาม ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สายมีดังต่อไปนี้

1) Mobility Improves Productivity and Service มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหนหรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลา トラバドที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล

2) Installation Speed and Simplicity สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิลและไม่รกรุงรัง

3) Installation Flexibility สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแคมีพีซีการ์ด (PC card) มาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊กหรือพีซี ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที

4) Reduced Cost- of-ownership ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่าเนื่องด้วยความสะดวกในการติดตั้ง

5) Scalability เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งานโดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่าย โดยมีรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายดังนี้

1) Peer-to-peer (Ad-hoc Mode) รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างคอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง หรือมากกว่านั้น เป็นการใช้งานร่วมกันของ Wireless Adapter Cards โดยไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบใช้สายเลย โดยที่คอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความเท่าเทียมกัน สามารถทำงานของตนเองได้และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วหรือการติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ยกตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม หรือการประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่

2) Client/server (Infrastructure Mode) ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบ Client/server หรือ Infrastructure Mode เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า Hot Spot ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็น เครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยคอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อกันหรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น ซึ่ง AP จำนวน 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในออฟฟิศ ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น

3) Multiple Access Points and Roaming โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Access Point ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 200 เมตร ภายใน

อาคาร และ 300 เมตร ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้างมาก ๆ เช่น คลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน เป็นต้น จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้ง AP ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง

4) Use of an Extension Point กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีปัญหา ผู้ออกแบบระบบอาจจะใช้ Extension Points ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

5) The Use of Directional Antennas ระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

เครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยสถาบัน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลกระทบที่เครือข่ายไร้สายในส่วน PHY Layer นั้นมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 48 Mbps โดยมีสื่อส่งสัญญาณ 3 ประเภทให้เลือกใช้งาน ได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz, 5.0 GHz และคลื่นอินฟราเรด ส่วนในระดับชั้น MAC Layer นั้น ได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งนิยมใช้งานบนระบบเครือข่ายแลนใช้สาย โดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบผู้ใช้งานอีกด้วย โดยมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) มาตรฐาน IEEE 802.11 ในยุคเริ่มแรกนั้นให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งไม่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการที่เรียกว่า QoS (Quality of Service) ซึ่งมีความสำคัญในสภาพแวดล้อมที่มีแอปพลิเคชันหลากหลายประเภทให้ใช้งาน นอกจากนั้น กลไกในเรื่องการรักษาความปลอดภัยที่นำมาใช้ก็ยังมีช่องโหว่จำนวนมาก IEEE จึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานให้มีศักยภาพเพิ่มสูงขึ้น

2) IEEE 802.11a เป็นมาตรฐานที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ.2542 โดยใช้เทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ไร้สายมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุด 54 Mbps โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับกิจการทางด้านการทหาร ข้อเสียของผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11a คือมีรัศมีการใช้งานในระยะสั้นและราคาแพง ดังนั้นผลิตภัณฑ์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11a จึงได้รับความนิยมน้อย

3) IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานที่ถูกตีพิมพ์และเผยแพร่ออกมาพร้อมกับมาตรฐาน IEEE 802.11a เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและได้รับความนิยมในการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาให้รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ร่วมกับเทคโนโลยี DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานในแบบสาธารณะทางด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ (ISM Band) โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้มีหลายชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ที่รองรับเทคโนโลยี Bluetooth โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนจากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ข้อดีของมาตรฐาน IEEE 802.11b คือ สนับสนุนการใช้งานเป็นบริเวณกว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a ผลิตภัณฑ์มาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นที่รู้จักในเครื่องหมายการค้า Wi-Fi ซึ่งกำหนดขึ้นโดย WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้ผ่านการตรวจสอบและรับรองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEEE 802.11b จะสามารถใช้งานร่วมกันกับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตรายอื่น ๆ ได้

4) IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในช่วงปี ค.ศ. 2009 – 2015 และได้เข้ามาทดแทนผลิตภัณฑ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b เนื่องจากสนับสนุนอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลในระดับ 54 Mbps โดยใช้เทคโนโลยี OFDM บนคลื่นสัญญาณวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz และให้รัศมีการทำงานที่มากกว่า IEEE 802.11a พร้อมความสามารถในการใช้งานร่วมกันกับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ (Backward-Compatible)

5) IEEE 802.11e เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานแอปพลิเคชันทางด้านมัลติมีเดียอย่าง VoIP (Voice over IP) เพื่อควบคุมและรับประกันคุณภาพของการใช้งานตามหลักการ QoS (Quality of Service) โดยการปรับปรุง MAC Layer ให้มีคุณสมบัติในการรับรองการใช้งานให้มีประสิทธิภาพ

6) IEEE 802.11f มาตรฐานนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม IAPP (Inter Access Point Protocol) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับการจัดการกับผู้ใช้งานที่เคลื่อนที่ข้ามเขตการให้บริการของ Access Point ตัวหนึ่งไปยัง Access Point เพื่อให้บริการในแบบโรมมิงสัญญาณระหว่างกัน

7) IEEE 802.11h มาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายที่ใช้งานย่านความถี่ 5 GHz ให้ทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดการใช้ความถี่ของประเทศในทวีปยุโรป

2.2.2 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

จุดประสงค์หลักของการกำหนดมาตรฐานบลูทูธขึ้นมาคือ เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารในระยะใกล้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก หูฟัง ไร้สาย เครื่องเสียงในรถยนต์ เป็นต้น มีอัตราการส่งข้อมูลที่เพียงพอต่อการใช้งานซึ่งไม่จำเป็นต้องสูงมากนัก ดังนั้นอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดในปัจจุบันของบลูทูธคือ 3 Mbps ในระยะที่ไม่เกิน 10 m ด้วยมาตรฐาน Bluetooth 2.1 + EDR (Enhanced Data Rate) ช่วงความถี่ดำเนินการ คือ 2.400 – 2.483 GHz สัญลักษณ์ของบลูทูธแสดงดังรูปที่ 2.1 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีบลูทูธในการสื่อสารแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นหูฟังไร้สายสำหรับใช้เชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือเพื่อความสะดวกในการใช้งานขณะขับรถ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม มาตรฐานบลูทูธสามารถนำมาใช้สร้างเป็นเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายส่วนตัวได้ แม้ว่าจะไม่ปรากฏมีอยู่ในมาตรฐาน 802.11 ใด ๆ ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็ตาม



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ของบลูทูธ

ที่มา: 1000logos, 2023



รูปที่ 2.2 หูฟังไร้สายเทคโนโลยีบลูทูธ

ที่มา: Mercular, 2022

2.2.3 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee)

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ การสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณรบกวนสูง และเน้นที่ความง่ายเพื่อให้ฮาร์ดแวร์การสื่อสารมีราคาถูก สำหรับ ZigBee จัดอยู่ในมาตรฐานนี้เช่นกัน ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการติดต่ออุปกรณ์แบบไร้สายชนิดต่าง ๆ เพื่อการพัฒนาการประยุกต์ใช้งาน เช่น อุปกรณ์รับส่งแบบไร้สายสำหรับบ้านอัจฉริยะที่มีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไร้สายของประตูกับกล้องเพื่อบันทึกภาพคนที่เข้ามาในบ้าน เป็นต้น การสื่อสารแบบ ZigBee เป็นการค้นหาเส้นทางหลายจุด (Multi-Hop Routing) ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์รับส่งแบบไร้สายที่ต้องการ โดยผ่านอุปกรณ์รับส่งแบบไร้สายตัวอื่น ๆ ซึ่งคุณสมบัตินี้ไม่ได้รับการสนับสนุนในบลูทูธ การสื่อสารแบบ ZigBee ช่วยให้ขยายรัศมีการส่งข้อมูลได้ไกลออกไปเรื่อย ๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนของเครื่องอุปกรณ์รับส่งแบบไร้สายด้วย ZigBee มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานชั้นกายภาพ (Physical Layer) และชั้น MAC (Media Access Control) สำหรับเครือข่ายไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำหรือ Low Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN) มีคุณลักษณะคืออัตราการรับส่งข้อมูล ≤ 250 kbps ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ อุปกรณ์มีราคาถูก และยังสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐานหลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างโมดูลไร้สาย ZigBee แสดงดังรูปที่ 2.3

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้นได้กำหนดย่านความถี่ในการใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่าน คือ ย่าน 2.4 GHz มีช่องสัญญาณ 16 ช่องคือ 11-26 อัตราส่งข้อมูล 250 kbps ย่าน 915 MHz มีช่องสัญญาณ 10 ช่องคือ 1-10 อัตราส่งข้อมูล 40 kbps และย่าน 868 MHz มีช่องสัญญาณ 1 ช่องคือ 0 อัตราส่งข้อมูล 20 kbps โดยย่านความถี่ 2.4 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก ย่าน 868 MHz ใช้ได้ในยุโรป และย่าน 915 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโมดูลไร้สาย ZigBee ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ที่มา: Amazon, 2023

2.2.4 แอ็กเซสพอยต์

แอ็กเซสพอยต์ไร้สาย (Wireless Access Point) ดังรูปที่ 2.4 บางครั้งเรียกสั้น ๆ ว่า แอ็กเซสพอยต์ เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทำหน้าที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ไร้สายต่าง ๆ ในพื้นที่บริการเข้าด้วยกันเป็นเครือข่าย อีกทั้งเป็นสะพานเชื่อมระหว่างเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) เข้ากับเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) แบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ทำให้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ทั้งสองเครือข่ายสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันได้

แอ็กเซสพอยต์ภายนอกประกอบด้วย สายอากาศซึ่งอาจมีเพียงตัวเดียว เป็นคู่ หรือมากกว่า ดังรูปที่ 2.4 ขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่แอ็กเซสพอยต์นั้นรองรับ บางยี่ห้อสายอากาศสามารถถอดเปลี่ยนได้ ปกติมักจะเปลี่ยนเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยายสูงขึ้นเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณได้แรงขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มกำลังทางไฟฟ้าใด ๆ ทำให้ขยายพื้นที่บริการได้กว้างมากขึ้น บางยี่ห้อสายอากาศซ่อนอยู่ภายในเพื่อความเรียบร้อย ป้องกันการหยิบจับหรือปรับเปลี่ยนมุมสายอากาศ ทำให้ทิศทางการแผ่สัญญาณเปลี่ยน การรับส่งข้อมูลอาจไม่ดี นอกจากสายอากาศแล้ว ภายนอกแอ็กเซสพอยต์จะต้องมีพอร์ต RJ45 หรือพอร์ต LAN สำหรับต่อเข้ากับสายสัญญาณ UTP เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายอีเทอร์เน็ตผ่าน HUB หรือสวิตช์ดังรูปที่ 2.4 (ข) โดยแอ็กเซสพอยต์เครื่องหนึ่ง ๆ สามารถรองรับอุปกรณ์ลูกข่ายจำนวนสูงสุดได้แตกต่างกัน เช่น 16, 32, 64 เป็นต้น ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและรุ่น ดังนั้น ควรตรวจสอบจำนวนที่รองรับ ก่อนตัดสินใจเลือกซื้อ อย่างไรก็ตาม แอ็กเซสพอยต์จะต้องมีการระบุารรองรับมาตรฐานใด ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่า ถ้าแอ็กเซสพอยต์นั้นมีสายอากาศเพียงเสาเดียว แอ็กเซสพอยต์นั้นอาจเป็นมาตรฐาน IEEE802.11a, b หรือ g อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ถ้ามีสายอากาศ

มากกว่า 1 เสา ดังเช่นรูปที่ 2.4 (ค) หรือ (ง) แอ็กเซสพอยต์นั้นอาจรองรับมาตรฐาน IEEE802.11n หรือ IEEE802.11ac ก็ได้ และถึงแม้ว่าจะมีหลายสายอากาศ แต่แอ็กเซสพอยต์นั้นอาจเป็นมาตรฐาน IEEE802.11a, b หรือ g ก็ได้ ดังรูปที่ 2.4 (ค) ที่มี 2 สายอากาศ หนึ่งใช้สำหรับรับ อีกสายอากาศ หนึ่งสำหรับส่งสัญญาณ เป็นต้น



(ก) ชนิดสายอากาศเดี่ยวมุมมองด้านหน้า
(Sysnet Center Co.,ltd, 2023)

(ข) ชนิดสายอากาศเดี่ยวมุมมองด้านหลัง
(Sysnet Center Co.,ltd, 2023)



(ค) ชนิดสายอากาศคู่
(Sys2U, 2023)

(ง) ชนิด 3 สายอากาศ
(AliExpress, 2022)

รูปที่ 2.4 แอ็กเซสพอยต์

ที่มา: Sysnet Center Co.,ltd, 2023; Sys2U, 2023; AliExpress, 2022

2.3 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารมีหลายประเภทด้วยกัน ตัวอย่างเช่น เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (WLAN) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีประเภทนี้จะถูกติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วภายในอาคารทั่วไป ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีการเลือกใช้ช่วงความถี่ และอัตราการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่เลือกใช้งาน เช่น อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้งานในช่วงความถี่ 5 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 54 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 11 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 54 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11n ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูล 300 Mbps เป็นต้น

นอกจากเทคโนโลยีข้างต้นแล้ว เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและสามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์คือ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ซึ่งมีคุณสมบัติการตรวจจับค่าทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำงานในช่วงความถี่ 2.4 GHz และมีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 250 kbps

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีในรูปแบบอื่นมาประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น งานวิจัยของ (Kim, Kim, Yang, Son, and Han, 2013) ได้ใช้การสื่อสารด้วยแสงในการระบุตำแหน่ง โดยกระบวนการทำงานของเทคโนโลยีประเภทนี้ จะมีการมอดูเลตสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED (เป็นโนดอ้างอิง) เพื่อกำหนด ID ให้กับหลอด LED แต่ละดวงแทนการใช้ MAC address ของโนดอ้างอิงในการระบุตำแหน่งในแบบทั่วไป

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีหลากหลายเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐานต่าง ๆ และเทคโนโลยีชนิดอื่นที่ไม่ได้มีมาตรฐานควบคุม

2.4 การวิเคราะห์สมรรถนะการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ โดยสมรรถนะของการระบุตำแหน่งมีดังนี้

2.4.1 ความถูกต้อง

สมรรถนะความถูกต้อง (Accuracy) หรือการบอกระยะความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งวัตถุจริงและตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร หรือฟุต โดยงานวิจัยส่วนมากจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ด้วยการคิดค้นหรือพัฒนาเทคนิคระบุตำแหน่งที่สามารถระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้อย่างถูกต้องหรือมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่มีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งที่ดีมาก ๆ มักจะมี Tradeoff ระหว่างสมรรถนะความถูกต้องกับสมรรถนะชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น ความเหมาะสมหรือสมรรถนะที่ยอมรับได้ ระหว่างสมรรถนะความถูกต้องและสมรรถนะความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล เป็นต้น

2.4.2 ความแม่นยำ

สมรรถนะความแม่นยำ (Precision) หรือความเที่ยงตรง จะเป็นค่าที่บอกความเชื่อมั่นหรือเปอร์เซ็นต์ของการระบุตำแหน่งที่จะประสบผลสำเร็จ ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบระบุตำแหน่งสองระบบ โดยจะพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งชนิด ก. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90% ภายใน 3.5 m กับระบบระบุตำแหน่งชนิด ข. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90% ภายใน 5 m ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแม่นยำของสองระบบนี้ ระบบระบุตำแหน่งที่ให้ความแม่นยำที่ดีกว่าคือ ระบบระบุตำแหน่ง ก. เป็นต้น

2.4.3 ความซับซ้อนในแง่เวลา

ความซับซ้อนในแง่เวลา (Run-time Complexity) ที่ใช้ในการประมวลผลจะบอกเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ภายในช่วงการระบุตำแหน่ง หรือระยะเวลาที่ใช้ใน

การค้นหาค่าหนึ่งตำแหน่ง ถ้าระบบระบุตำแหน่งวัตถุมีความซับซ้อนที่น้อย ระบบระบุตำแหน่งนั้นจะสามารถค้นหาค่าหนึ่งวัตถุได้รวดเร็วกว่าระบบระบุตำแหน่งที่มีความซับซ้อนมาก อีกทั้งการพิจารณาสมรรถนะความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังพิจารณาถึงฟังก์ชันการเติบโตทางเวลาซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันที่ใช้อธิบายพฤติกรรมแนวโน้มการเติบโตทางเวลาของอัลกอริทึม ที่ช่วยให้เราสามารถประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งถ้าหากขนาด หรือจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบมีมากขึ้น

2.4.4 ความทนทาน

ความทนทาน (Robustness) ของระบบระบุตำแหน่งจะพิจารณาจากระบบที่ยังคงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องและความแม่นยำที่เพียงพอ หรือยอมรับได้ภายใต้การสถานการณ์ที่แย่หรือสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ซึ่งจะพิจารณาจากการทำงานได้อย่างปกติ ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ค. ติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 10 โหนดไว้ในอาคารและที่ตำแหน่ง a. ในช่วงเวลาเช้าสามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ทั้ง 10 โหนด (เป็นสถานการณ์ปกติ) ถัดมาทำการวัดค่าความเข้มสัญญาณในช่วงเวลาบ่าย ณ ที่ตำแหน่งเดียวกันพบว่าไม่สามารถทำงานได้ครบทั้ง 10 ตัว (เป็นสถานการณ์ไม่ปกติ) ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากโนดอ้างอิงเกิดความเสียหายขึ้น หรืออาจเกิดจากความแปรปรวนของค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร ดังนั้นในการพิจารณาความทนทานของระบบนี้ จะพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของทั้งสองสถานการณ์ว่า สถานการณ์ที่ไม่ปกติจะยังสามารถให้ผลในการระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์ปกติมากน้อยเพียงใด เป็นต้น

2.4.5 ความยืดหยุ่น

ความยืดหยุ่น (Scalability) หรือความสามารถในการปรับตัว เป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถของระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่มีพื้นที่การทดลองขนาดใหญ่ โดยปกติแล้วเมื่อระยะห่างระหว่างโนดอ้างอิงและโนดวัตถุมากขึ้น ค่าความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงจะมีค่าน้อยลง ดังนั้น ถ้าผู้ออกแบบระบบเลือกตำแหน่งติดตั้งของโนดอ้างอิงไม่เหมาะสมพอพื้นที่ภายในอาคารบางส่วนอาจไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ ส่งผลให้สมรรถนะความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งลดน้อยลง เช่น ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิค RSS-Based จะต้องสามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้อย่างน้อย 3 โหนด เป็นต้น หนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหา คือ การพิจารณาเลือกตำแหน่งติดตั้งของ

โนคอ้างอิง นอกจากนี้ ผู้ออกแบบระบบยังต้องคำนึงถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ เช่น กำลังส่ง (Transmit Power) ชนิดของสายอากาศ และโครงสร้างภายในอาคาร เป็นต้น เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งให้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

2.4.6 มูลค่า

มูลค่า (Cost) ที่เกิดจากระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถมาจากมูลค่าที่เกิดจากโครงสร้างของระบบ มูลค่าที่เกิดจากการเพิ่มแบนด์วิดท์ (Bandwidth) หรืออาจหมายถึงมูลค่าในแง่ของเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ การสำรวจพื้นที่ และการเก็บรวบรวมข้อมูล ถ้าหากระบบระบุตำแหน่งใดสามารถนำเทคโนโลยีรับส่งสัญญาณไร้สายที่ถูกติดตั้งอยู่แล้วภายในอาคารมาใช้งานได้ ระบบระบุตำแหน่งนั้นจะสามารถประหยัด Cost ที่มาจากโครงสร้างของระบบ และ Cost ที่มาจากการเพิ่มแบนด์วิดท์ได้ การลดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณเพื่อใช้สร้างฟังก์ชันการปรับแก้ในช่วงออฟไลน์ ซึ่งเป็นการช่วยลด Cost ในแง่ของเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล นอกจากนี้ มูลค่าในแง่ของราคาค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ต่อหน่วย และมูลค่าในแง่ของการบริโภคพลังงานต่อวัน เพื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายต่อปีก็ถือว่าเป็น Cost ที่สามารถนำมาพิจารณาได้ทั้งสิ้น

2.5 ค่าความแรงของสัญญาณ

การหาค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้หรือ RSSI (Received Signal Strength Indicator) คือการหาความแรงของคลื่นที่ฝั่งรับสามารถรับคลื่นวิทยุนั้นได้ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาความสัมพันธ์เพื่อแปลงเป็นค่าระยะทาง โดยทั่วไปการวัดระยะทางด้วยคลื่นวิทยุนี้สามารถกระทำได้ 2 แบบคือ การวัดจากค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) และการประมาณค่าจากเวลาที่มาถึง ToF (Time of Flight) ของสัญญาณวิทยุในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธี RSSI

จากความสัมพันธ์ของกำลังการส่งสัญญาณดังนี้

$$P_r = P_t - P_L \quad (2-1)$$

เมื่อ P_r คือ กำลังของสัญญาณที่ตัวรับสามารถรับได้

P_t คือ กำลังของสัญญาณตัวส่ง

P_L คือ กำลังของสัญญาณที่สูญเสียไป

จากสมการที่ (2-1) กำลังของสัญญาณที่ตัวรับสามารถรับได้ P_r หาได้จากกำลังของสัญญาณตัวส่ง P_t ลบด้วยกำลังของสัญญาณที่สูญเสียไป P_L ดังนั้น RSSI คือ P_r นั่นเอง โดยปัจจุบันสามารถหาได้จากโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชันบางอย่างหรือหาจากโปรแกรมจัดการเครือข่าย Wi-Fi ในคอมพิวเตอร์หรือโน้ตบุ๊ก ซึ่ง RSSI มีหน่วยเป็น dBm

ขณะที่ P_L สามารถหาได้จากแบบจำลองการแผ่กระจายคลื่นของฟรีส (Friis Free Space Propagation Model) ที่เป็นการคำนวณการสูญเสียที่เกิดจากระยะทางในที่ว่าง (FSL: Free Space Loss) หน่วยเดซิเบล (dB: Decibel) ระหว่างฝั่งส่งกับฝั่งรับ หรือบางครั้งเรียกว่า การลดทอนการสูญเสียที่เกิดจากเส้นทาง (Path Loss Attenuation) จะอยู่ในรูปของคลื่นความถี่วิทยุ สิ่งที่ต้องทราบคือกำลังที่ใช้ในการส่ง เมื่อตัวรับ รับสัญญาณได้ก็จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณที่ส่ง ก็สามารถหาระยะทางได้ โดย FSL หาได้จาก

$$FSL = 10n \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad (2-2)$$

เมื่อ n คือ เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง

d คือ ระยะทางระหว่างฝั่งส่งกับฝั่งรับ

λ คือ ความยาวคลื่นที่ใช้ส่งสัญญาณ

โดยปกติจะให้ $n = 2$ กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพเส้นทางที่คลื่นเดินทางผ่าน ถ้ามีสิ่งกีดขวางจะมีค่ามากขึ้น และ λ หาได้จากความเร็ว c คลื่นความถี่ที่ใช้ ซึ่งปกติคือ $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ หารด้วยความถี่ที่ใช้ทดสอบ f เช่น 2.4 GHz เป็นต้น ดังนั้น P_L คือ FSL และจากสมการที่ (1) สามารถเขียนได้เป็น

$$RSSI = P_t - FSL \quad (2-3)$$

และจากสมการที่ (2-2)

$$RSSI = P_t - 10n \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (2-4)$$

เมื่อต้องการหาระยะห่างระหว่างฝั่งส่งกับฝั่งรับ d สมการที่ (2-4) จึงสามารถเขียนได้เป็น

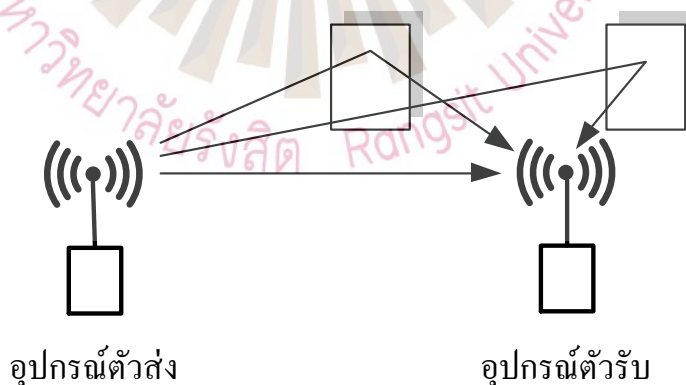
$$d = \frac{\lambda}{4\pi} 10^{\left(\frac{P_t - \text{RSSI}}{10n}\right)} \quad (2-5)$$

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสัญญาณ คือ

1) การลดทอนของสัญญาณ (Attenuation) ตามระยะทาง โดยความแรงของสัญญาณจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น

2) ความไม่สม่ำเสมอในตัวแปรระบบ ทำให้กำลังส่งของสัญญาณไม่คงที่ เนื่องจากความไม่คงที่ของแหล่งจ่ายพลังงาน ค่า Path Loss Exponent (n) ที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากสิ่งกีดขวางหรือกำแพง เป็นต้น คลื่นรบกวน (Noise) ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปตามเวลาและเหตุการณ์ต่าง ๆ

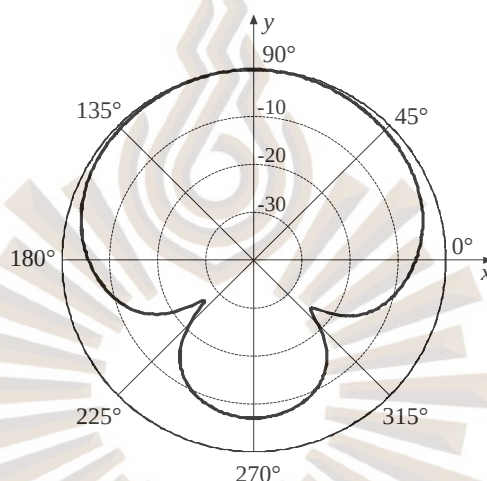
3) การรับส่งสัญญาณจากหลายเส้นทาง (Multipath) ดังรูปที่ 2.5 แสดงถึงสัญญาณเดินทางหลายเส้นทางในการสื่อสารครั้งเดียวกัน โดยสามารถทำให้สัญญาณของข้อมูลเดียวกันรบกวนกันเอง (Inter-Symbol Interference, ISI)



รูปที่ 2.5 การรับสัญญาณจากหลายเส้นทางที่เกิดจากการสะท้อนสัญญาณตัวส่งเพียงแหล่งเดียว

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

4) การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากเสารับส่งสัญญาณ (Attitude of Antenna) เสารับส่งสัญญาณแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการรับและแผ่กระจายสัญญาณเฉพาะตัวดังรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงถึงค่าความเข้มของสัญญาณที่มุมต่าง ๆ ที่แผ่ออกมาโดยรอบมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อมุมที่แตกต่างทำให้ค่าความเข้มของสัญญาณวิทยุที่วัดได้จากฝั่งรับขึ้นกับมุมที่เสาฝั่งส่งและฝั่งรับทำมุมกัน เช่น ถ้าจากรูปเป็นของเสาอากาศตัวรับ ที่มุม 223° และ 317° จะไม่สามารถรับสัญญาณได้ แต่ที่มุม 90° จะรับสัญญาณได้ดีมาก ขณะที่ถ้าเป็นสายอากาศตัวส่ง ที่มุม 90° จะส่งสัญญาณออกมาดีที่สุด ส่วนที่มุม 223° และ 317° จะไม่แผ่สัญญาณออกมาเลย



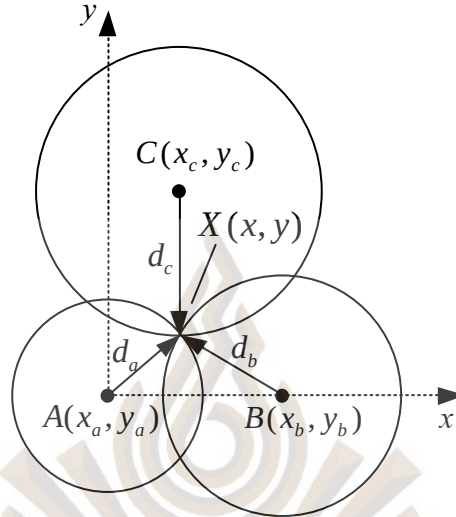
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแผ่สัญญาณของเสาอากาศโดยรอบ

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

2.6 การหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง

การหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration) (อิทธิพงศ์ สุริยา, 2559) เป็นวิธีการหาจุดร่วมที่ต้องการทราบตำแหน่งจาก 3 ตำแหน่งที่รู้ค่าพิกัดและรู้ค่ารัศมีจากความแรงของสัญญาณแล้วดังรูปที่ 1 วิธี Trilateration เป็นเทคนิคที่ใช้ในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง โดยถ้าต้องการคำนวณพิกัดใน k มิติ จะต้องทราบระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงจำนวน $k+1$ จุด ซึ่งสามารถหาระยะห่างนี้ได้โดยใช้ RSSI ข้างต้น ผลลัพธ์ของการหาพิกัดด้วย Trilateration ที่ได้จะเป็นจุดตัดของวงกลมจำนวน $k+1$ วง ซึ่งมีรัศมีเป็นระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงจุดนั้น ๆ กับจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง ดังนั้นรูปที่ 2.7 จึงเป็นพิกัดแสดงการหาจุดร่วมใน 2 มิติ โดยจากรูปจะใช้สำหรับหาพิกัดจุด $X(x, y)$ ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ทราบค่าหรือเป็นพิกัดที่ต้องการหาจุดร่วม การคำนวณจะเริ่มจาก ต้องทราบพิกัด 3 จุด คือ $A(x_a, y_a)$,

$B(x_b, y_b)$ และ $C(x_c, y_c)$ ที่ เป็นจุดที่ทราบพิกัดอยู่แล้ว ซึ่งทั้งสามจุดนี้จะถูกเรียกว่าจุดอ้างอิง (Reference Node) มีรัศมีหรือระยะทางระหว่างจุดอ้างอิง A, B และ C นี้กับจุดที่ต้องการหาจุดร่วม $X(x, y)$ เป็น d_a, d_b และ d_c ตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2-5)



รูปที่ 2.7 พิกัดการหาตำแหน่ง $X(x, y)$ ด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง
ที่มา: อธิพงศ์ สุริยา, 2559

จากรูปที่ 2.7 จะได้ความสัมพันธ์ d_a จากพิกัด x, y คือ

$$d_a = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2-6)$$

หรือ

$$d_a^2 = x^2 + y^2 \quad (2-7)$$

ในลักษณะเดียวกันจะได้ความสัมพันธ์ d_b และ d_c จากพิกัด x, y เป็น

$$d_b^2 = (x_b - x)^2 + y^2 \quad (2-8)$$

$$d_c^2 = (x_c - x)^2 + (y_c - y)^2 \quad (2-9)$$

นำสมการที่ (2-8) ลบสมการที่ (2-7) ดังนี้

$$d_a^2 - d_b^2 = [x^2 + y^2] - [(x_b - x)^2 + y^2]$$

จัดสมการใหม่เพื่อหาค่าพิกัด x ได้เป็น

$$x = \frac{x_b^2 + d_a^2 - d_b^2}{2x_b} \quad (2-10)$$

นำสมการที่ (2-9) ลบสมการที่ (2-7) ดังนี้

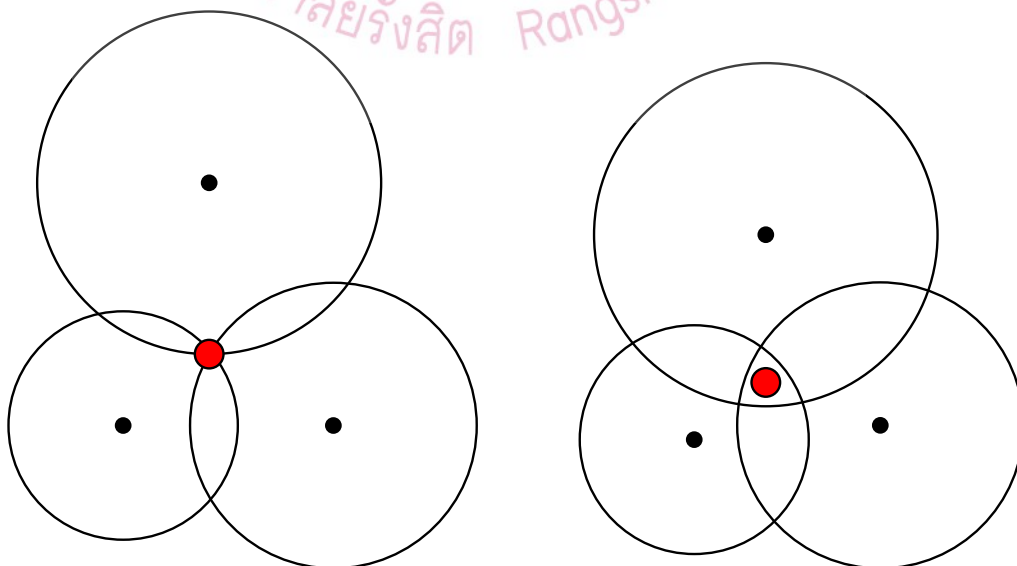
$$d_a^2 - d_c^2 = [x^2 + y^2] - [(x_c - x)^2 + (y_c - y)^2]$$

จัดสมการใหม่เพื่อหาค่าพิกัด y ได้เป็น

$$y = \frac{x_c^2 + y_c^2 + d_a^2 - d_c^2 - 2xx_c}{2y_c} \quad (2-11)$$

วิธี Trilateration เป็นอัลกอริทึมที่แม่นยำในการหาตำแหน่งหากได้ค่า RSSI ที่แม่นยำก็สามารถหาจุดตัด (Intersection) ของทุกวงได้ภายในจุดเดียวดังรูปที่ 2.8 (ก) โดยที่จุดสีแดงแทนโหนด (Node) ที่ต้องการระบุตำแหน่ง และจุดสีน้ำเงินคือโหนดอ้างอิง (Reference Node)

แต่ในทางปฏิบัติระยะห่างระหว่างโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่งและโหนดอ้างอิงจะไม่เป็นไปตามรูปที่ 2.8 (ก) เสมอไป เนื่องจากค่า RSSI ไม่คงที่ทำให้จุดตัดเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.8 (ข) ฉะนั้นระยะทางที่ผิดพลาดไปจากจุดตัดที่ควรจะเป็นคือค่าผิดพลาด (Error) โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอผลของระยะทางที่ผิดพลาดไว้ด้วยในบทที่ 4

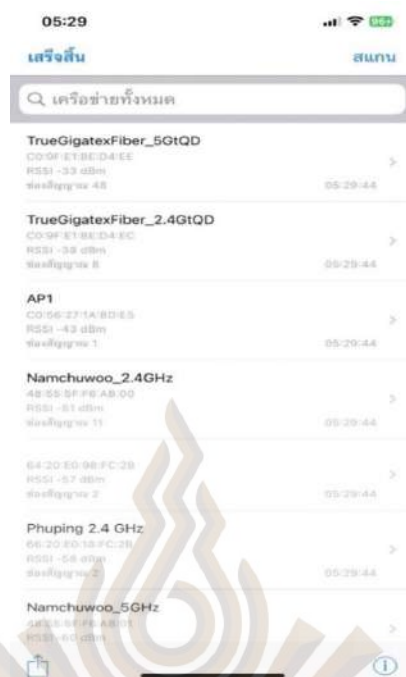


(ก) การตัดกันของระยะทางอย่างสมบูรณ์ (ข) การตัดของระยะทางที่ไม่แม่นยำในทางปฏิบัติ
รูปที่ 2.8 การระบุตำแหน่งจากระยะทางที่ได้จากค่า RSSI ที่ไม่แม่นยำในทางปฏิบัติ
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจจะสามารถแก้ไขได้ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ในการวัดระยะทางระหว่างโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่งและโหนดอ้างอิง และเมื่อนำระยะทางทั้งหมดมาหาค่าตำแหน่งจาก Trilateration ได้แล้ว ต้องนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับการหาตำแหน่งของวัตถุในขณะนั้น

2.7 แอปพลิเคชัน AirPort Utility

บนโทรศัพท์มือถือปัจจุบัน สามารถนำมาใช้วัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (RSSI) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเจ้าของโทรศัพท์มือถือจะต้องติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับตรวจจับค่า RSSI นี้ ซึ่งมีให้เลือกใช้งานอยู่พอสมควร โดยจะขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการด้วย แอปพลิเคชันที่เลือกมาใช้งานนี้คือแอปพลิเคชัน AirPort Utility (Apple Inc., 2023) ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการ iOS สามารถตรวจค่าความแรงของสัญญาณ RSSI ได้ด้วยหน่วยการวัดเป็น dBm รวมไปถึงช่องสัญญาณเครือข่ายไร้สายทั้งหมดในบริเวณรอบๆ ทั้งย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz หน้าต่างการใช้งานแอปพลิเคชัน AirPort Utility แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยแอปพลิเคชันนี้สามารถดาวน์โหลดสำหรับติดตั้งได้จาก AppStore ของ iPhone ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.9 หน้าจอแสดงผลแอปพลิเคชัน AirPort Utility

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

2.8 โปรแกรม WiFi Analyzer

บนโน้ตบุ๊กซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ก็มีโปรแกรมสำหรับตรวจวัดค่า RSSI หลายโปรแกรม เช่น WiFi Commander, WiFi Analyzer (Microsoft, 2023) เป็นต้น โดยโปรแกรมที่ถูกเลือกมาใช้นี้คือโปรแกรม WiFi Analyzer ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถตรวจสอบและแสดงกราฟให้เห็นช่องสัญญาณเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งหมดในบริเวณรอบ ๆ รวมไปถึงแสดงข้อมูลทั้งหมดของสัญญาณไร้สายที่ใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อความเร็วของลิงค์ และระดับสัญญาณทั้งย่าน 2.4 GHz และ 5 GHz ซึ่งสามารถนำไปตรวจสอบหาจุดวางเราเตอร์ที่ดีที่สุดในบ้าน อีกทั้งยังแนะนำช่องสัญญาณที่ควรเลือกใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแบบไร้สายมากที่สุด โดยสามารถวัดค่าออกมาเป็นหน่วย dBm เช่นกัน นอกจากนี้ ยังแสดงออกมาให้เห็นในรูปของกราฟแบบต่าง ๆ ทำให้เข้าใจได้ง่าย และยังสามารถบอกรายละเอียดของสัญญาณ WiFi ที่กำลังใช้งานอยู่ได้อีกด้วย เช่น IP และ Mac Address เป็นต้น โดยที่ทางผู้พัฒนาคือ Farproc เปิดให้เราใช้งานได้อย่างไม่มีค่าใช้จ่าย ตัวอย่างรูปแบบของโปรแกรมในการใช้งาน เช่น รูปที่ 2.10 เป็นการแสดงผลช่องสัญญาณการใช้งานต่าง ๆ ในย่านความถี่ 2.4 GHz จากรูปทำให้เราทราบว่า บริเวณพื้นที่ ๆ เราอยู่นี้มีช่องสัญญาณอะไร ความกว้าง

เท่าไร กำลังถูกใช้งานอยู่บ้าง มีการซ้อนทับกันไหมหรือแยกห่างจากกัน ซึ่งเป็นการช่วยให้เราตัดสินใจได้ว่าจะสามารถตั้งช่องสัญญาณใหม่ขึ้นมาใช้งานได้หรือไม่

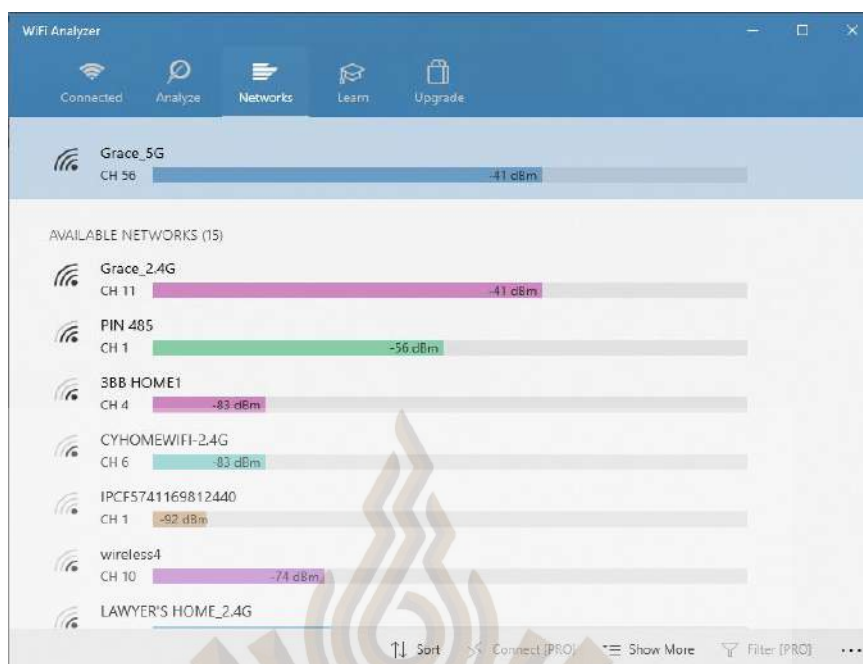
รูปที่ 2.11 แสดงหน้าต่างโปรแกรม WiFi Analyzer บน Windows ที่สามารถบอกค่า RSSI อุปกรณ์ไร้สายได้ โดยสามารถแสดงช่องสัญญาณด้วย SSID ที่มองเห็นและกำลังเชื่อมต่ออยู่นั้น ขณะเดียวกันได้แสดงช่องสัญญาณอื่น ๆ ที่ปรากฏอยู่ในบริเวณพื้นที่นั้นไปพร้อม ๆ กับบอกค่าความแรงของสัญญาณ RSSI ในหน่วย dBm ให้ได้ทราบด้วย สามารถเรียงลำดับความแรงของ RSSI จากมากไปหาน้อยได้อีกด้วย

จากทฤษฎีและหลักการในบทนี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 โดยเฉพาะการแปลงความแรงสัญญาณเป็นระยะทางในสมการที่ (2-5) และเมื่อได้ระยะทางระหว่างแอ็กเซสพอยต์กับอุปกรณ์ไร้สายครบทั้ง 3 แล้ว ก็สามารถนำไปหาดำแหน่งได้ด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง (Trilateration) เป็นตำแหน่ง (x, y) ด้วยสมการที่ (2-10) และสมการที่ (2-11) ตามลำดับ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโปรแกรม WiFi Analyzer บน Windows ที่แสดงผลเป็นช่องสัญญาณการใช้งานต่าง ๆ ในย่านความถี่ 2.4 GHz

ที่มา: Microsoft, 2023



รูปที่ 2.11 หน้าต่างโปรแกรม WiFi Analyzer บน Windows ที่สามารถบอกค่า RSSI อุปกรณ์ได้

ที่มา: Microsoft, 2023

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการ

บทนี้จะได้กล่าวถึงการศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์ ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร และการออกแบบการระบุตำแหน่งที่แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) ให้ 3 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย และ 2) ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

สำหรับโครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยทั่วไป จะมีอุปกรณ์พื้นฐาน 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง (Reference Node) ซึ่งจะถูกติดตั้งให้อยู่ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร มีการกำหนดชื่อหรือ MAC address (Media Access Control Address) ที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีชื่อเรียกของอุปกรณ์ชนิดนี้ที่แตกต่างกันออกไป เช่น งานวิจัยของ Samuel et al. (2013) เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Beacon งานวิจัยของ Sangthong, Thongkam, and Promwong (2020) เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Anchor Node บางงานวิจัยจะเรียกว่า Reference Sensor บางงานเรียกว่า Base Station (BS) หรือแม้แต่เรียกชื่อตามอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ เช่นเรียกว่า Access Point ไปเลย เพราะใช้เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ในการระบุตำแหน่งนั่นเอง สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า แอ็กเซสพอยต์อ้างอิง (Reference Access Point)

อุปกรณ์พื้นฐานชนิดที่สองคือ อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งกับตัววัตถุที่ต้องการระบุตำแหน่งซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้และมีคุณสมบัติในการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ เช่น ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) หรือตัวชี้บอกคุณภาพของการเชื่อมโยง (Link Quality Indicator : LQI) เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุด้วยเทคนิคการระบุตำแหน่งชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังอาจเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสื่อสารแบบไร้สายได้โดยตรง เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก เทปเลต เป็นต้น ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีชื่อเรียกอุปกรณ์ชนิด

นี้ที่แตกต่างกัน เช่น เรียกว่า Mobile Terminal เรียกว่า Mobile Target เรียกว่า Mobile Station และ เรียกว่า Blind Node ก็มี สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า อุปกรณ์ไร้สาย (Wireless Device) ในส่วนของวิธีการคำนวณหาผลลัพธ์และแสดงผลตำแหน่งวัตถุ สามารถดำเนินการได้ที่ตัวอุปกรณ์ไร้สายโดยตรงหรืออาจส่งข้อมูลพารามิเตอร์ที่วัดได้ไปดำเนินการที่ส่วนควบคุมกลาง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบระบุตำแหน่ง

เพื่อพัฒนาเทคนิคการระบุตำแหน่งภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งที่ดี จึงจำเป็นต้องศึกษาทิศทางของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบหลักการทำงานของการระบุตำแหน่ง โครงสร้างของระบบ ข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคการระบุตำแหน่งแต่ละประเภท รวมทั้งศึกษาตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของกลุ่มงานวิจัยที่ผ่านมา และเพื่อใช้เป็นข้อมูลและเป็นแนวทางในการพัฒนาการระบุตำแหน่งวัตถุของงานวิจัยนี้ ซึ่งจากที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตดังนี้

งานวิจัยของ Liu, Darabi, Banerjee, and Liu (2007) เป็นงานวิจัยในอดีตยุคแรกที่เป็นการสำรวจเทคนิคและวิธีการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร (Wireless Indoor Positioning System) ที่มีอยู่ บทความนี้ได้ให้ภาพรวมเทคนิคการระบุตำแหน่งภายในอาคาร มีการจำแนกประเภทของระบบระบุตำแหน่งพร้อมกับอธิบายขั้นตอนการทำงานของแต่ละเทคนิคต่าง ๆ และวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสียของเทคนิคเหล่านั้น นำเสนอวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งเพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบต่าง ๆ บทความนี้ทำให้เกิดความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการเทคนิคการระบุตำแหน่งต่าง ๆ ตามลักษณะการทำงาน ขั้นตอนการระบุตำแหน่ง ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค รวมถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่ง ที่ประกอบด้วย ความแม่นยำ ความถูกต้อง (Accuracy) เป็นต้น ที่แสดงเป็นระยะความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งในหน่วยเมตรหรือฟุตก็ตาม

บทความถัดมาเป็นงานของ Gu, Lo, and Niemegeers (2009) เป็นงานวิจัยที่สำรวจภาพรวมของเทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ลักษณะเป็นงานวิจัยที่ทำการสำรวจและรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับเน็ตเวิร์คส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Networks) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ภาพรวมของเทคโนโลยีการสื่อสารที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ได้อธิบายคุณลักษณะการทำงานเทคโนโลยีการสื่อสารที่ถูกนำมา

ประยุกต์ใช้กับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การระบุตำแหน่งท้องถิ่น (Localization) การติดตาม (Tracking) การนำทาง (Navigation) และการเฝ้าระวัง (Monitoring) เป็นต้น บทความนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร มีการบอกจุดดีและจุดด้อยของเทคโนโลยีแต่ละประเภท ผู้ศึกษาสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารในยุคนั้นได้ เช่น การเลือกใช้ Zigbee ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีคุณสมบัติสามารถตรวจวัด (Sensor) ค่าพารามิเตอร์ของระบบได้ เช่น ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นของสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

งานวิจัยต่อมาเป็นของ Wang, Zheng, Zhao, and Yang (2010) เป็นงานวิจัยที่พัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่เป็นแบบสิ่งแวดล้อมหลายชั้น (Multi-floor Environments) โดยคำนึงถึงการลดเวลาการทำงานในช่วงไม่ได้เชื่อมต่อ (Offline Phase) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้แล้วนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลลายนิ้วมือ (Fingerprint Database) โดยการทำงานในขั้นตอนออนไลน์เฟสนี้ จะเริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลลายนิ้วมือทุกพิกัดในชั้นแหล่งกำเนิด ขณะที่ชั้นอื่น ๆ จะเก็บข้อมูลลายนิ้วมือเพียงแค่บางพิกัด จากนั้นจะใช้วิธีการฝังร่วม (Co-embedding) ประมาณค่าความเข้มสัญญาณของพิกัดลายนิ้วมือในชั้นอื่น ๆ ก่อนที่จะระบุตำแหน่งวัตถุด้วยวิธี K-Nearest Neighbor (KNN) วิธีการนี้ทำให้เห็นถึงพัฒนาการของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่นำมาประยุกต์ใช้กับอาคารแบบหลายชั้น อย่างไรก็ตาม อาจมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เช่น ถ้าโครงสร้างทางกายภาพของอาคารแต่ละชั้นมีลักษณะที่ไม่ใกล้เคียงกัน จะส่งผลให้ระบบระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนได้ เป็นต้น

ต่อมาเป็นงานวิจัยที่ประยุกต์กับอาคารหลายชั้นเช่นเดียวกับข้างต้นคืองานของ Gansemer, Grossmann, and Hakobyan (2010) เป็นงานที่อยู่บนพื้นฐานของเทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance) ที่เป็นเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นที่สามารถใช้ได้กับสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเกิดจากความแปรปรวนของสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารที่ส่งผลให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งน้อยลง สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ในการวัดค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิง ณ ตำแหน่งเดียวกันแต่ต่างเวลากัน จะได้ค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงตัวเดิมที่แตกต่างกัน จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางแก้ไข โดยการคัดเลือกพิกัดพิกัดพิกัดพิกัดที่มีชุดของโนดอ้างอิงที่สามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณได้เหมือนกับตำแหน่งของวัตถุมาพิจารณา จากนั้นใช้

เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียนคำนวณหาตำแหน่งจากพิกัดฟังก์ชันพรีนซ์ ก็จะระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายชั้นได้ถูกต้องมากขึ้น

งานวิจัยที่ย้อนไปเมื่อประมาณ 10 ปีที่แล้ว เป็นงานของ Kim et al. (2013) ที่นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light Communication : VLC) โดยได้เสนอพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งด้วยแสงที่มองเห็นได้ VLC แทนการใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ RSSI จากโน้ตอ้างอิง โดยใช้พื้นฐานการทำงานของเทคนิค Triangulation ซึ่งจะใช้การมอดูเลตสัญญาณแสงของหลอดไฟ LED (Light Emitting Diode) 3 ช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน แทนการใช้ MAC address ของ 3 โน้ตอ้างอิง เมื่อต้องการระบุตำแหน่ง โน้ตที่ต้องการหาตำแหน่งก็จะวัดกำลังคลื่นความถี่วิทยุที่รับได้ (Received RF Power) แล้วเปลี่ยนเป็นระยะทาง จากนั้นคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิค Triangulation งานวิจัยนี้ถึงแม้จะแสดงให้เห็นได้ว่า สามารถนำการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้มาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุแทนการใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้นั้น แต่ข้อจำกัดของการสื่อสารด้วยแสงคือ เส้นทางรับส่งข้อมูลระหว่างโน้ตและหลอดไฟ LED จะต้องเป็นแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight) เท่านั้น และยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การระบุตำแหน่งที่ได้ไม่กว้างอีกด้วย คือภายในบริเวณพื้นที่ไม่เกิน 6 m x 6 m เท่านั้น การแก้ปัญหานี้ อาจใช้แนวทางงานวิจัยของ Yong and Kavehrad (2012) เพราะเป็นงานที่ออกแบบระบบระบุตำแหน่งแบบผสมที่ใช้ข้อดีของเครือข่าย 2 ชนิด คือ แสงที่มองเห็นได้ และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบ Ad Hoc สัญญาณจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะช่วยบรรเทาปัญหาคุณสมบัติของสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED ที่เป็นการสื่อสารแบบไม่มีสิ่งกีดขวางลงได้

จากการศึกษาพบว่าการระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1) การระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบระนาบเดียว (Single Plane) หรือการระบุตำแหน่งในพิกัด (x, y) แบบ 2 มิติ เป็นการระบุตำแหน่งที่ได้รับความนิยมและถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เพราะเข้าใจง่าย เป็นการลดความยุ่งยากบางอย่าง

2) การระบุตำแหน่งที่เป็นการระบุพิกัดภายในอาคารแบบ 3 มิติ ซึ่งตำแหน่งพิกัดจะเพิ่มจากกลุ่มแรกอีก 1 มิติ ได้เป็นพิกัด (x, y, z) โดยที่พิกัด x, y จะมีลักษณะเหมือนกับการระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะหมายถึงความสูงที่วัดจากพื้นหรือความหนา ทำให้มองเป็นปริมาตร มีความใกล้เคียงกับโครงสร้างภายในอาคารจริงมากที่สุด แต่จะมีความซับซ้อน

ของการคำนวณมากขึ้น มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น งานวิจัยของ Wang and Luo (2017) เป็นต้น

3) เป็นการระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น (Multi-Floor Building) ซึ่งเป็นการระบุตำแหน่งที่ค้นหาพิกัด (x, y, z) ภายในอาคารโดยที่พิกัด (x, y) จะมีลักษณะเหมือนกับการระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะบอกเป็นหมายเลขชั้นต่าง ๆ ที่มีมากกว่า 1 ชั้น

แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งแล้ว จะสามารถจัดกลุ่มออกไปได้เป็น 3 กลุ่มเช่นกัน คือ

1) กลุ่มเทคนิครูปสามเหลี่ยม (Triangulation) เป็นการระบุตำแหน่งที่ใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตตรีโกณมิติเพื่อระบุตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งแบ่งย่อยออกไปได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ Lateration ที่ใช้คุณสมบัติของระยะทางและ Angulation ที่ใช้คุณสมบัติของมุม

2) กลุ่มเทคนิคการวิเคราะห์ฉาก (Scene Analysis) เป็นการระบุตำแหน่งที่ใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์เหตุการณ์ซึ่งจะมีการเก็บรวบรวมคุณสมบัติของเหตุการณ์ในช่วงเฟสออฟไลน์ (Offline Phase) ที่เรียกว่า การสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρί้นท์ จะดำเนินการเก็บบันทึกค่าความเข้มของสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร จากนั้นในช่วงเฟสออนไลน์ (Online Phase) ระบบระบุตำแหน่งจะทำการแมตช์ (Matching) ข้อมูลระหว่างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρί้นท์ และตำแหน่งปัจจุบันของตำแหน่งที่ต้องการระบุ เพื่อเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปρί้นท์ที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ต้องการทราบมากที่สุด

3) กลุ่มเทคนิคการเข้าใกล้ (Proximity) เป็นการระบุตำแหน่งโดยอาศัยคุณสมบัติของสัญลักษณ์ (Symbolic) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตำแหน่ง เมื่อโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่งเคลื่อนที่เข้าไปใกล้กับตำแหน่งของโหนดอ้างอิง โหนดที่ต้องการระบุตำแหน่งจะสามารถตรวจจับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากโหนดอ้างอิงได้ จากนั้นจะทำการระบุตำแหน่งวัตถุจากการพิจารณาพิกัดของโหนดอ้างอิงเป็นพิกัดของโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่ง สำหรับกรณีที่โหนดที่ต้องการระบุตำแหน่งสามารถรับค่าสัญญาณจากโหนดอ้างอิงได้มากกว่าสองโหนด จะใช้วิธีการพิจารณาค่าความเข้มสัญญาณที่รับ

ได้ (RSSI) จากโนดอ้างอิงที่แรงที่สุด และพิกัดของโนดอ้างอิงดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็นพิกัดของตำแหน่งที่ต้องการระบุ

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกขนาดของพื้นที่สำหรับการทดลองออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

- 1) พื้นที่การทดลองขนาดเล็ก ซึ่งมีพื้นที่สำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคารขนาดเล็กไม่เกิน 200 ตารางเมตร
- 2) พื้นที่การทดลองขนาดกลาง ซึ่งมีพื้นที่การระบุตำแหน่งในช่วงระหว่าง 200 ตารางเมตร ถึง 1,500 ตารางเมตร
- 3) พื้นที่การทดลองขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่สำหรับการระบุตำแหน่งมากกว่า 1,500 ตารางเมตรขึ้นไป
- 4) พื้นที่การทดลองแบบหลายชั้น โดยส่วนใหญ่พื้นที่แต่ละชั้นจะมีขนาดเล็กไม่เกิน 200 ตารางเมตร

จากข้อมูลข้างต้น การศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารในเล่มนี้จะเป็นการศึกษาการระบุตำแหน่งแบบระบุแบบเดียวในพื้นที่การทดลองขนาดเล็กที่ไม่เกิน 200 ตารางเมตร และระบุตำแหน่งโดยใช้วิธี Trilateration ที่ใช้คุณสมบัติของระยะทางซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคกลุ่มสามเหลี่ยมตรีโกณมิติ และใช้แอ็กเซสพอยต์เป็นโนดอ้างอิง (Reference Node) ที่ปล่อยสัญญาณออกมาตามมาตรฐาน IEEE802.11g ย่านความถี่ 2.4 GHz ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดช่องสัญญาณตามมาตรฐาน เมื่อมีการใช้โนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนด จึงต้องกำหนดช่องสัญญาณเป็นช่องที่ 1, 6, และ 11 ให้กับแอ็กเซสพอยต์ในบริเวณพื้นที่เดียวกันเพื่อไม่ให้มีปัญหาสัญญาณรบกวนกัน การทดสอบนี้ไม่ได้มีการผสมสัญญาณอินเตอร์เนตกับความถี่ที่แอ็กเซสพอยต์อ้างอิงกระจายออกไปนั้น ซึ่งหากมีการมอดูเลตจะเป็นแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) เนื่องจากเป็นมาตรฐาน IEEE802.11g สำหรับอุปกรณ์ตัวรับจะเป็นโทรศัพท์มือถือกับโน้ตบุ๊กจะเรียกว่าเป็นอุปกรณ์ไร้สาย (Wireless Device) ดังนั้นอุปกรณ์ไร้สายเหล่านี้จะต้องรองรับการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz นี้ด้วย

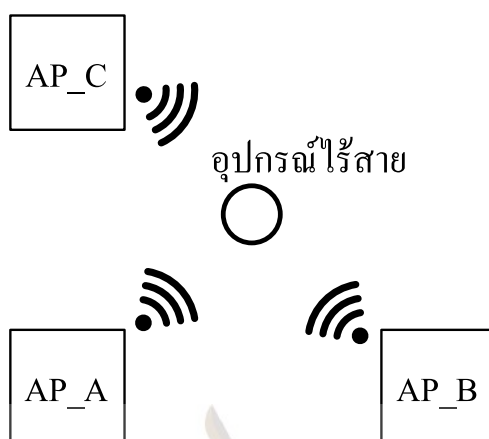
3.2 การออกแบบการระบุตำแหน่ง

การออกแบบการระบุตำแหน่งแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) ให้ 3 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย และ 2) ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ ดังนั้นในรูปแบบที่ 1) แอ็กเซสพอยต์จะเป็นอุปกรณ์อ้างอิง (Reference Device) และในรูปแบบที่ 2) อุปกรณ์ไร้สายจะเป็นอุปกรณ์อ้างอิงส่วนแอ็กเซสพอยต์จะกลายเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการระบุตำแหน่งแทน

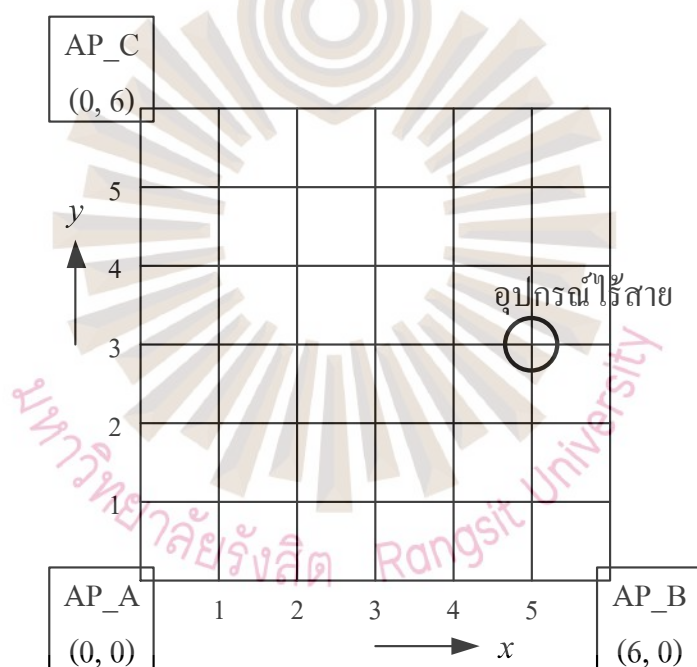
3.2.1 ให้ 3 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย

การออกแบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายนี้ จะใช้แอ็กเซสพอยต์จำนวน 3 ตัว เป็นตัวส่งสัญญาณไปหาอุปกรณ์ไร้สาย (Wireless Device) ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือหรือโน้ตบุ๊ก เป็นต้น ดังนั้นแอ็กเซสพอยต์จะเป็นตัวส่งสัญญาณที่เป็นจุดอ้างอิง (Reference Point) และทราบพิกัดแล้ว ซึ่งการออกแบบโดยภาพรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 เมื่อองค์ประกอบมี 2 ส่วนหลัก คือ ฟังส่ง และฟังรับ

โดยฟังรับคือตัวอุปกรณ์ไร้สายไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือหรือโน้ตบุ๊กก็ได้ที่สามารถรับสัญญาณคลื่นความถี่จากแอ็กเซสพอยต์ตามมาตรฐาน WLAN ที่จะกำหนดเป็นช่องสัญญาณ (Channel) ต่าง ๆ แล้วเก็บผลไปประมวลผลต่อ อุปกรณ์ไร้สายเหล่านี้จะตั้งอยู่ ณ จุดที่ต้องการหาพิกัดหรือจุดรวม ส่วนฟังส่งใช้แอ็กเซสพอยต์ตั้งอยู่ที่จุดอ้างอิงจำนวน 3 จุด คือ A, B, C ตามรูปที่ 2.6 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ดังนั้นจะได้ชื่อแอ็กเซสพอยต์เป็น AP_A, AP_B, AP_C ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ที่ฟังส่งนี้แอ็กเซสพอยต์ทั้งสามตัวจะแผ่คลื่นออกมาแบบโดยรอบ (Omnidirectional Radiation) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสายอากาศแอ็กเซสพอยต์ อย่างไรก็ตาม สามารถเปลี่ยนเป็นสายอากาศแบบชี้ทิศทางได้ (Unidirectional Radiation) โดยต้องหันการชี้ทิศทางไปยังพื้นที่ที่ต้องการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย เมื่อสายอากาศแบบชี้ทิศทางจะมีอัตราขยายสายอากาศ (Antenna Gain) สูง ทำให้การแปลงสัญญาณเป็นระยะทางแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.1 การออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายด้วยแอ็กเซสพอยต์

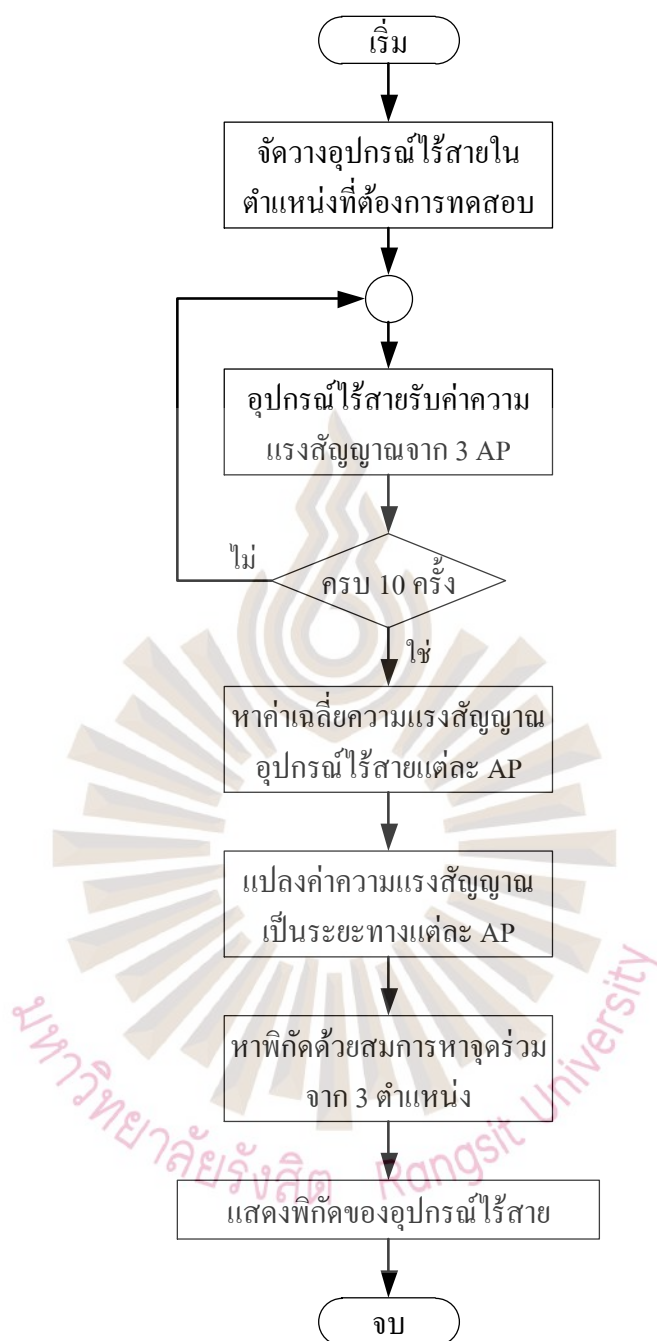


รูปที่ 3.2 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณ ณ จุดอ้างอิงในพื้นที่โครงข่ายขนาด 6 m x 6 m

รูปแบบการวางจุดอ้างอิงฝั่งส่ง จะวางไว้ทั้งหมด 3 จุด เพื่อส่งค่าความแรงสัญญาณจากแอ็กเซสพอยต์ไปหาอุปกรณ์ไร้สายตัวรับพร้อม ๆ กันภายในโครงข่ายแต่ต่างความถี่กันที่กำหนดโดยช่องสัญญาณ โดยสัญญาณความถี่จากแอ็กเซสพอยต์ตัวส่งจะต้องถึงตัวรับครบทั้ง 3 ตัว มิเช่นนั้นจะถือว่าไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถนำมาหาจุดร่วมได้ ตำแหน่งการวางแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งได้วางแอ็กเซสพอยต์ไว้ที่จุดอ้างอิงพิกัด A(0, 0), B(6, 0), C(0, 6) โดยพิกัดมีหน่วยเป็นเมตร (m)

ขั้นตอนในการรับค่าความแรงสัญญาณของอุปกรณ์ไร้สายฝั่งรับจากแอ็กเซสพอยต์ฝั่งส่ง แล้วเปลี่ยนเป็นพิกัดของอุปกรณ์ไร้สายในพื้นที่ที่รับสัญญาณได้แสดงเป็นไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.3 เริ่มจากจัดวางอุปกรณ์ไร้สายในตำแหน่งที่ต้องการทดสอบตามผังรูปที่ 3.2 คือ จุดตัดระหว่างแกน x กับแกน y เช่น ตำแหน่ง (3, 3) คือตำแหน่งกลางของพื้นที่ เป็นต้น จากนั้นให้อุปกรณ์ไร้สายที่นำมาทดสอบนี้รับค่าความแรงสัญญาณ (RSSI) จากแอ็กเซสพอยต์ทั้งสามที่วางไว้ในจุดอ้างอิง โดยจะรับค่ามาเก็บไว้ 10 ค่า ในแต่ละแอ็กเซสพอยต์จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้ว จึงนำไปแปลงเป็นระยะทางตามสมการที่ (2-5) เมื่อได้ระยะทางทั้งสามคือ d_a , d_b , และ d_c แต่ละแอ็กเซสพอยต์แล้ว จึงนำไปหาพิกัดด้วยสมการหาจุดร่วม 3 ตำแหน่ง (trilateration) แล้วจึงแสดงพิกัดของอุปกรณ์ไร้สายเป็นลำดับสุดท้าย

การจะหาระยะทางตามสมการที่ (2-5) นั้น จะต้องทราบกำลังตัวส่ง P_t ของแอ็กเซสพอยต์ก่อน แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะสามารถวัดกำลังแท้จริงของอุปกรณ์ไร้สายเหล่านั้นได้ยาก ปกติจะใช้ค่าตามคุณสมบัติเฉพาะที่นำมาของแอ็กเซสพอยต์ที่ระบุไว้ข้างกล่องยี่ห้ออื่น ๆ หรือสามารถคำนวณเป็นค่า EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) ก็ได้ อย่างไรก็ตาม สมการที่ (2-5) นี้ไม่ใช่เป้าหมายหลักของผลลัพธ์ที่ต้องการ แต่ปลายทางจะเป็นการระบุตำแหน่ง x , y ตามสมการที่ (2-10) และ (2-11) เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงสามารถประมาณค่ากำลังของตัวส่งได้ตามความเหมาะสมแต่จะต้องมากกว่าค่า RSSI จากทุกแอ็กเซสพอยต์ที่รับได้ จากนั้นเมื่อคำนวณ d_a , d_b , และ d_c ระยะทางเหล่านี้จะสัมพันธ์กันเนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดจากอุปกรณ์ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการหาพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายภายในพื้นที่โครงข่าย

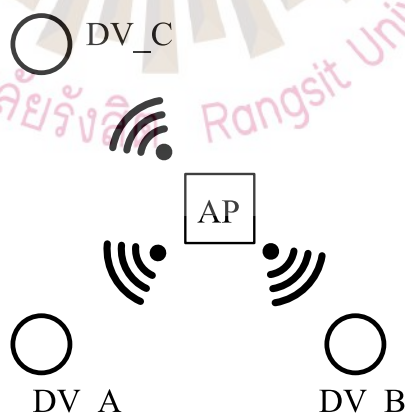
3.2.2 ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์

การออกแบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารห้วข้อนี้ จะใช้ 1 แอ็กเซสพอยต์เป็นตัวส่งสัญญาณไปหาอุปกรณ์ไร้สายต่าง ๆ ประกอบด้วยโทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊ก ดังนั้นแอ็ก

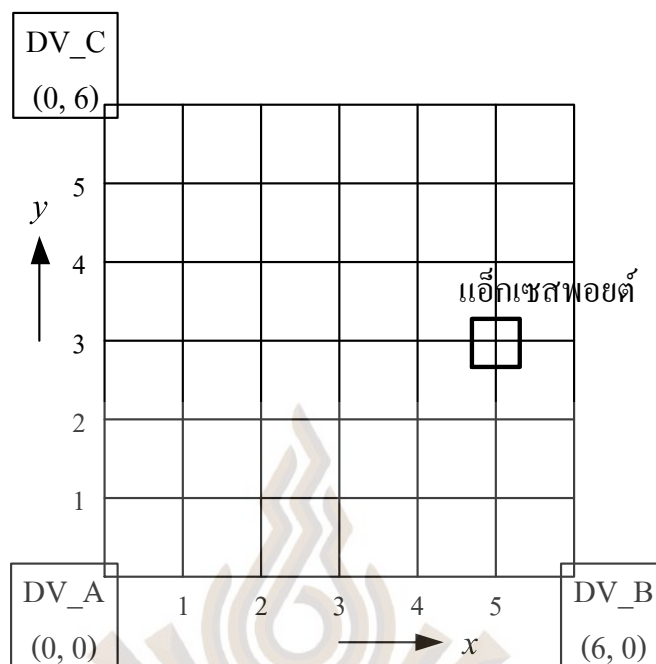
เซสพอยต์จะเป็นตัวส่งสัญญาณที่เป็นอุปกรณ์ที่ต้องการหาตำแหน่งและจะมีอุปกรณ์ไร้สายคอยรับสัญญาณตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งการออกแบบโดยภาพรวมแสดงดังรูปที่ 3.4

โดยฝั่งรับยังเป็นอุปกรณ์ไร้สายเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนสถานะเป็นจุดอ้างอิง ในงานนี้ใช้โทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊กที่สามารถรับสัญญาณคลื่นความถี่จากแอ็กเซสพอยต์ตามมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ได้ ที่จะกำหนดเป็นช่องสัญญาณได้เพื่อทราบความถี่แล้วนำไปหาความยาวคลื่น λ เพื่อนำไปแปลงเป็นระยะทางต่อไปตามสมการที่ (2-5) ฝั่งส่งใช้แอ็กเซสพอยต์จำนวนเพียง 1 ตัว ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งที่ต้องการทดสอบการระบุตำแหน่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ดังนั้นจะได้ชื่ออุปกรณ์ไร้สายทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณ ณ จุดอ้างอิงเป็น DV_A, DV_B, DV_C ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ที่ฝั่งรับนี้อุปกรณ์รับสัญญาณทั้งสามตัวจะรับสัญญาณได้รอบทิศทางซึ่งจะขึ้นอยู่กับสายอากาศตัวรับภายใน

รูปแบบการวางจุดอ้างอิงฝั่งรับจะวางไว้ทั้งหมด 3 จุด เพื่อรับค่าความแรงสัญญาณจากแอ็กเซสพอยต์มาหาอุปกรณ์ไร้สายฝั่งรับ โดยทั้งสามเป็นความถี่เดียวกันเนื่องจากเป็นช่องสัญญาณเดียวกัน โดยสัญญาณความถี่จากแอ็กเซสพอยต์ตัวส่งจะต้องถึงตัวรับครบทั้ง 3 ตัว ตำแหน่งการวางแสดงดังรูปที่ 3.5 ซึ่งได้วางอุปกรณ์ตัวรับไว้ที่จุดอ้างอิงพิกัด $A(0, 0)$, $B(6, 0)$, $C(0, 6)$ โดยพิกัดมีหน่วยเป็นเมตร (m)



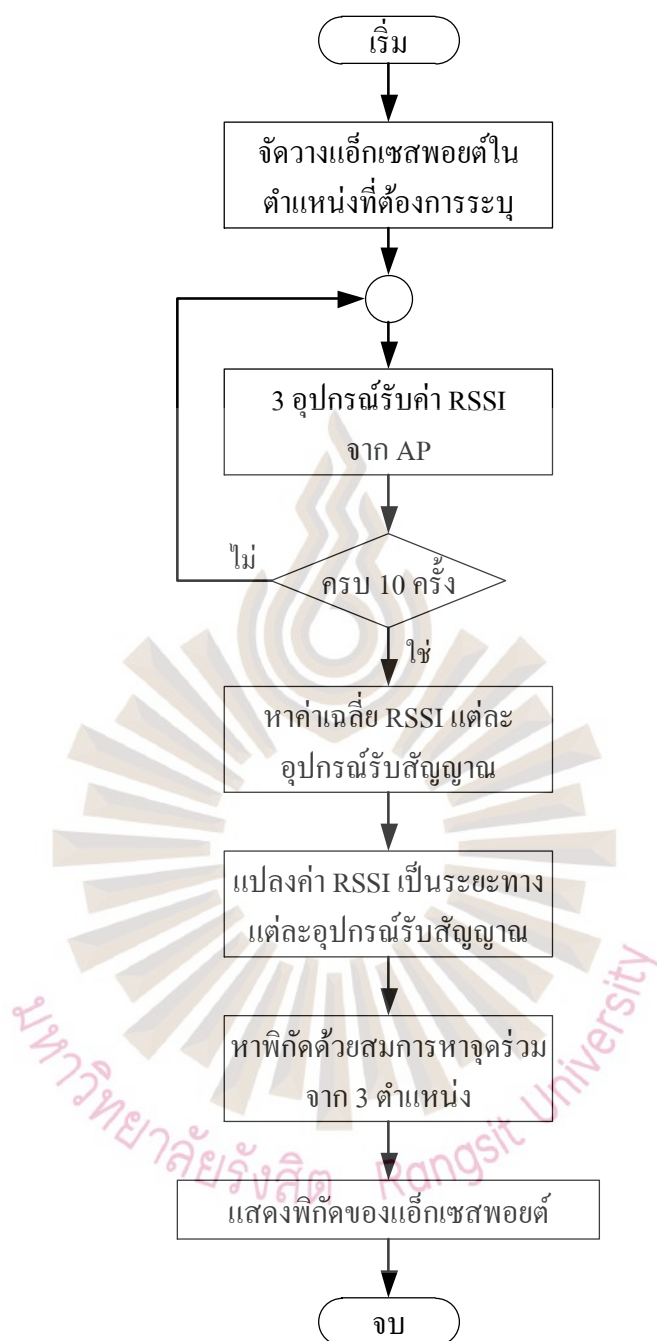
รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายด้วยแอ็กเซสพอยต์



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์รับสัญญาณ ณ จุดอ้างอิงในพื้นที่โครงข่ายขนาด 6 m x 6 m

ขั้นตอนในการรับค่าความแรงสัญญาณของอุปกรณ์ฝั่งรับจากแอ็กเซสพอยต์ฝั่งส่ง แล้วเปลี่ยนเป็นพิกัดในพื้นที่ที่รับสัญญาณได้ของแอ็กเซสพอยต์แสดงเป็นไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.6 เริ่มจากจัดวางแอ็กเซสพอยต์ในตำแหน่งที่ต้องการระบุตำแหน่ง จากนั้นให้ 3 อุปกรณ์ที่นำมารับสัญญาณจากแอ็กเซสพอยต์รับค่า RSSI โดยจะรับค่ามาเก็บไว้ 10 ค่า ในแต่ละอุปกรณ์ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำไปแปลงเป็นระยะทางตามสมการที่ (2-5) เมื่อได้ระยะทางทั้งสามคือ d_a , d_b , และ d_c แล้ว จึงนำไปหาพิกัดด้วยสมการหาจุดร่วม 3 ตำแหน่ง แล้วในขั้นตอนสุดท้ายจึงแสดงพิกัดของแอ็กเซสพอยต์

การจะหาระยะทางตามสมการที่ (2-5) นั้น จะต้องทราบกำลังตัวส่ง P_t ของแอ็กเซสพอยต์ก่อน ซึ่งในการทดลองหัวข้อนี้อุปกรณ์ตัวส่งที่เป็นแอ็กเซสพอยต์เพียงตัวเดียว ทำให้ลดความยุ่งยากในการวัดสัญญาณลง หรือสามารถดูจากคุณสมบัติเฉพาะที่ให้มาของแอ็กเซสพอยต์ที่ระบุไว้ข้างกล่องได้ แต่ก็สามารถประมาณค่ากำลังของตัวส่งได้ตามความเหมาะสมแต่จะต้องมากกว่าค่า RSSI จากทุก AP ที่รับได้ จากนั้นเมื่อคำนวณ d_a , d_b , และ d_c ระยะทางเหล่านี้จะสัมพันธ์กันเนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิด P_t เดียวกัน นั่นคือ ไม่ว่ากำลัง P_t จะเป็นเท่าใด จะให้ผลลัพธ์เป็นตำแหน่ง x , y เดียวกันเมื่อคำนวณตามสมการที่ (2-10) และ (2-11)



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ภายในพื้นที่โครงข่าย

จากวิธีการจัดวางอุปกรณ์ทั้งสองรูปแบบในบทนี้ตามหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 จะถูกนำไปเป็นต้นแบบในการทดลองในบทที่ 4 ต่อไป โดยจะใช้อุปกรณ์ไร้สาย 2 ชนิด คือ โทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊กเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณจากแอ็กเซสพอยต์ได้ ดังนั้นการทดลองในบทที่ 4 จึงได้ถูกแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อการทดลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยซึ่งเป็นการทดลองการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้แอ็กเซสพอยต์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) ให้อุปกรณ์ไร้สายหรือวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่งรับสัญญาณจากแอ็กเซสพอยต์ซึ่งเป็นอุปกรณ์อ้างอิง (Reference Device) จำนวน 3 ตัว จากนั้นอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการทราบตำแหน่งจะนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ส่งต่อไปให้โน้ตบุ๊กหรือเซิร์ฟเวอร์อีกครั้งเพื่อประมวลผลแปลงเป็นระยะทางและระบุตำแหน่งต่อไป และ 2) เปลี่ยนแอ็กเซสพอยต์จากอุปกรณ์อ้างอิงเป็นอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยให้ส่งสัญญาณออกมา จากนั้นใช้โทรศัพท์มือถือจำนวน 3 เครื่อง รับสัญญาณ จากนั้นนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ไปคำนวณแปลงเป็นระยะทางและระบุตำแหน่งต่อไป

สำหรับการทดลองในลักษณะที่ 1 ได้นำอุปกรณ์ไร้สาย 2 ชนิดเป็นอุปกรณ์ไร้สายสำหรับการทดลองหาตำแหน่งคือ โทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊ก จึงแบ่งหัวข้อออกเป็นหัวข้อที่ 4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโทรศัพท์มือถือ และหัวข้อที่ 4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโน้ตบุ๊ก จากนั้นในหัวข้อที่ 4.3 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โทรศัพท์มือถือ และหัวข้อที่ 4.4 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โน้ตบุ๊ก

4.1 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโทรศัพท์มือถือ

การทดลองนี้เป็นการวางอุปกรณ์ไร้สายที่ต้องการระบุตำแหน่งคือ โทรศัพท์มือถือไว้ที่ตำแหน่ง $X(x, y)$ และวางแอ็กเซสพอยต์ตัวส่งสัญญาณจำนวน 3 ตัวไว้ที่ตำแหน่ง $A(0, 0)$, $B(6, 0)$, $C(0, 6)$ เป็นอุปกรณ์อ้างอิง (Reference Device) แล้วทำการวัดค่าความแรงสัญญาณ RSSI ที่ได้มาทำการแปลงเป็นระยะทาง โดยจะเก็บค่าแต่ละแอ็กเซสพอยต์จำนวน 10 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยก่อนที่จะนำไปคำนวณหาระยะทางตามสมการที่ (2-5) และตามด้วยการหาพิกัดโดยวิธีหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่งตามสมการที่ (2-10) และ (2-11) เมื่อได้พิกัดที่แปลงได้จากค่าสัญญาณระหว่างตัวรับกับตัวส่งแล้ว จึงได้นำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนต่อ ที่เป็นการบ่งบอกว่าการคำนวณได้ต่างไปขนาดไหน

ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางหาได้จาก

$$Error = \sqrt{(x_{act} - x_{meas})^2 + (y_{act} - y_{meas})^2} \quad (4-1)$$

เมื่อ x_{act} คือพิกัด x ตำแหน่งจริง

y_{act} คือพิกัด y ตำแหน่งจริง

x_{meas} คือพิกัด x ตำแหน่งที่ประมาณได้

y_{meas} คือพิกัด y ตำแหน่งที่ประมาณได้

โดยมีหน่วยเป็นเมตร (m) จากสมการที่ (4-1) คือระยะทางรวมที่ได้จากผลความคลาดเคลื่อนทางแกน x และแกน y

การทดลองใช้แอ็กเซสพอยต์ยี่ห้อ LINKSYS รุ่น WRT54GL จำนวน 3 ตัว ที่กระจายสัญญาณความถี่ 2.4 GHz มาตรฐาน IEEE802.11g ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps โดยได้ตั้งชื่อว่าเป็น AP_A, AP_B, AP_C และกำหนดช่องสัญญาณสำหรับใช้งานเป็น 1, 6, 12 ตามลำดับ และจากสมการที่ (2-5) จึงสามารถกำหนดค่าความยาวคลื่นสัญญาณการส่งได้ดังนี้

$$\text{AP_A: ช่อง 1 ความถี่กลาง 2.412 GHz จะได้ความยาวคลื่น } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2.998 \times 10^8}{2.412 \times 10^9} = 0.1243 \text{ m}$$

$$\text{AP_B: ช่อง 6 ความถี่กลาง 2.437 GHz จะได้ความยาวคลื่น } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2.998 \times 10^8}{2.437 \times 10^9} = 0.1230 \text{ m}$$

$$\text{AP_C: ช่อง 11 ความถี่กลาง 2.462 GHz จะได้ความยาวคลื่น } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2.998 \times 10^8}{2.462 \times 10^9} = 0.1218 \text{ m}$$

และกำหนดค่า $n = 2.1$ เนื่องจากทดลองอยู่ในห้องที่เป็นพื้นที่มีสิ่งกีดขวางน้อยและอุปกรณ์ตัวรับกับตัวส่งห่างกันไม่มากนัก การสูญเสียสัญญาณจึงเกิดขึ้นน้อย และทำการกำหนด IP address ของแอ็กเซสพอยต์ทั้งสามเป็น 192.168.1.1, 192.168.1.2, 192.168.1.3 โดยอาจใช้โปรแกรมสำหรับการจัดการแอ็กเซสพอยต์ร่วมด้วยก็ได้ จากนั้นวางแอ็กเซสพอยต์ทั้งสามไว้บนโต๊ะสูง 70 cm แล้วเปิดการใช้งาน

การทดลองอุปกรณ์ไร้สายประเภทโทรศัพท์มือถือ ได้นำโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ iPhone รุ่น 8 plus มาทำการทดสอบ โดยได้ติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับระบุค่า RSSI ชื่อ AirPort Utility (Apple

Inc., 2023) จากนั้นได้นำมาวางในพิภคตามทีระบุไว้ในรูปที่ 3.2 จำนวน 9 ตำแหน่ง ซึ่งได้จัดวางโทรศัพท์มือถือให้ตั้งตรงขึ้นทำมุม 90° กับพื้นและหันหน้าจอมาทางแกน $-y$ ตามทิศทางทีระบุไว้ในรูปที่ 3.2 และสุ่งระดับเดียวกับแอ็กเซสพอยต์จากนั้นเก็บผลค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือทีสัญญาณส่งมาจากแอ็กเซสพอยต์ทั้งสามตัว ๆ ละ 10 ค่าในหน่วย dBm แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแอ็กเซสพอยต์ รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการวางแอ็กเซสพอยต์และรูปแอ็กเซสพอยต์เมื่อรูป (ก) คือตำแหน่งการวาง 3 แอ็กเซสพอยต์เพื่อวัดสัญญาณในห้อง รูป (ข) คือแอ็กเซสพอยต์ AP_A และรูป (ค) คือแอ็กเซสพอยต์ AP_B สำหรับตารางที่ 4.1 แสดงค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือทีรับได้จาก 3 แอ็กเซสพอยต์



(ก) ตำแหน่งการวาง 3 แอ็กเซสพอยต์เพื่อวัดสัญญาณในห้อง



(ข) แอ็กเซสพอยต์ AP_A



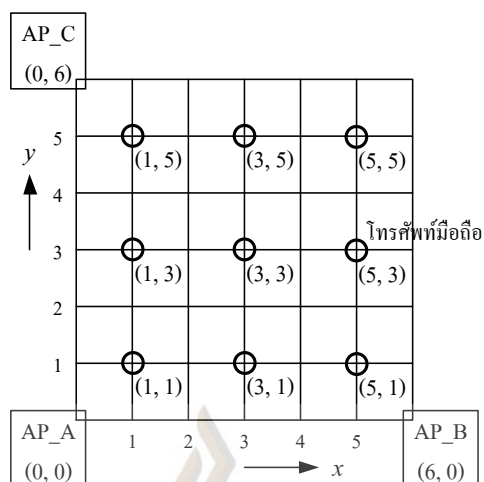
(ค) แอ็กเซสพอยต์ AP_B

รูปที่ 4.1 ภาพรวมการวางแอ็กเซสพอยต์ในแต่ละตำแหน่ง

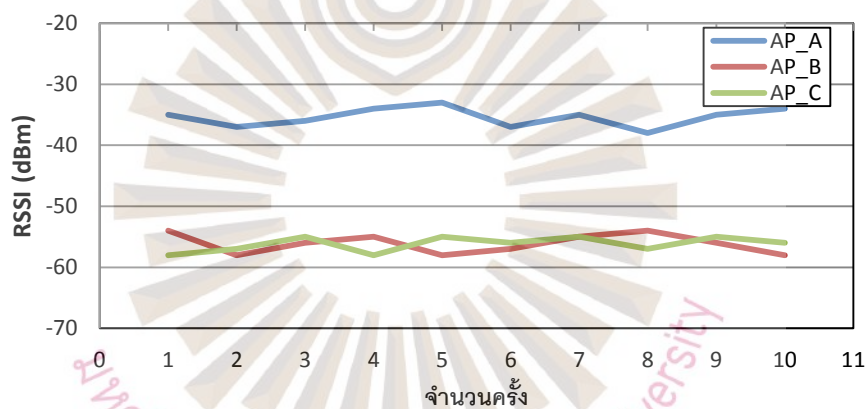
ตารางที่ 4.1 ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือ ณ จุดที่ต้องการระบุตำแหน่งที่รับมาจากแอ็กเซสพอยต์

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	AP	ค่า RSSI ที่วัดได้ (dBm)									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
(1, 1)	AP_A	-35	-37	-36	-34	-33	-37	-35	-38	-35	-34
	AP_B	-54	-58	-56	-55	-58	-57	-55	-54	-56	-58
	AP_C	-58	-57	-55	-58	-55	-56	-55	-57	-55	-56
(1, 3)	AP_A	-52	-54	-53	-49	-52	-50	-50	-51	-50	-50
	AP_B	-56	-57	-58	-57	-56	-55	-58	-56	-59	-58
	AP_C	-53	-54	-52	-53	-54	-53	-52	-51	-54	-52
(1, 5)	AP_A	-56	-52	-56	-56	-52	-57	-57	-55	-56	-65
	AP_B	-59	-60	-60	-56	-58	-60	-57	-62	-58	-62
	AP_C	-43	-42	-42	-43	-41	-41	-42	-43	-41	-42
(3, 1)	AP_A	-45	-45	-44	-44	-45	-45	-45	-47	-47	-46
	AP_B	-43	-45	-43	-43	-44	-45	-46	-45	-45	-46
	AP_C	-55	-55	-54	-57	-57	-57	-57	-58	-57	-56
(3, 3)	AP_A	-54	-59	-58	-58	-49	-51	-50	-50	-51	-57
	AP_B	-56	-47	-48	-48	-47	-48	-64	-64	-49	-64
	AP_C	-54	-54	-60	-53	-54	-53	-56	-53	-52	-53
(3, 5)	AP_A	-53	-56	-57	-58	-59	-58	-56	-53	-57	-54
	AP_B	-59	-58	-60	-56	-53	-57	-59	-52	-53	-53
	AP_C	-50	-49	-44	-46	-52	-50	-49	-45	-45	-45
(5, 1)	AP_A	-54	-55	-56	-53	-58	-55	-54	-57	-53	-56
	AP_B	-44	-45	-46	-43	-45	-39	-44	-41	-40	-43
	AP_C	-59	-58	-60	-57	-61	-56	-58	-60	-59	-58
(5, 3)	AP_A	-56	-54	-58	-59	-61	-56	-57	-58	-56	-56
	AP_B	-50	-49	-50	-53	-47	-46	-51	-52	-46	-54
	AP_C	-52	-61	-56	-61	-52	-61	-52	-61	-62	-52
(5, 5)	AP_A	-62	-59	-59	-60	-56	-57	-60	-58	-58	-61
	AP_B	-54	-55	-59	-58	-58	-55	-58	-58	-58	-54
	AP_C	-58	-55	-57	-56	-58	-57	-55	-58	-54	-55

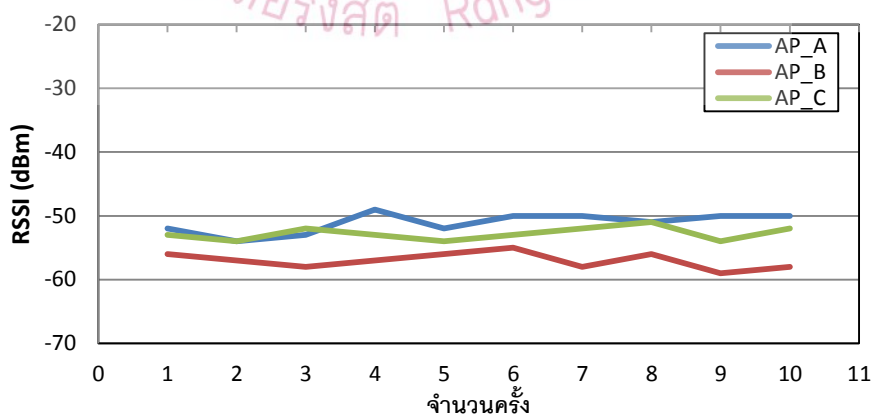
จากผลของค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือที่รับได้จาก 3 แอ็กเซสพอยต์ที่แสดงในตารางที่ 4.1 เป็นค่าที่บันทึกจากแอปพลิเคชัน AirPort Utility บนโทรศัพท์มือถือซึ่งให้ค่าเป็นจำนวนเต็มมีหน่วยเป็น dBm จากค่าในตารางที่ 4.1 ได้เลือกค่า ณ พิกัดตำแหน่ง 9 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.2 แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่ทำการเก็บค่าแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้ง

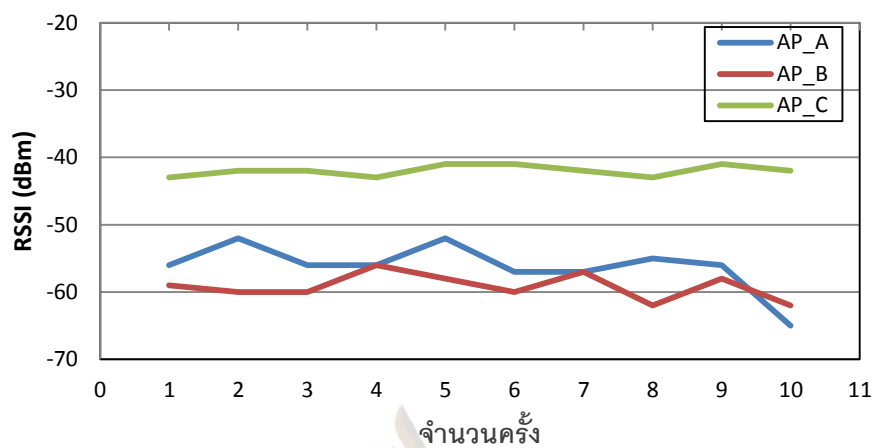


(ก) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (1, 1)

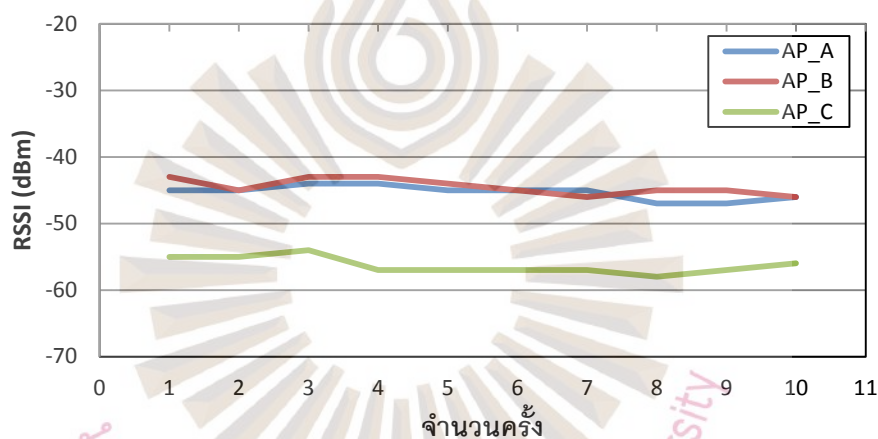


(ข) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (1, 3)

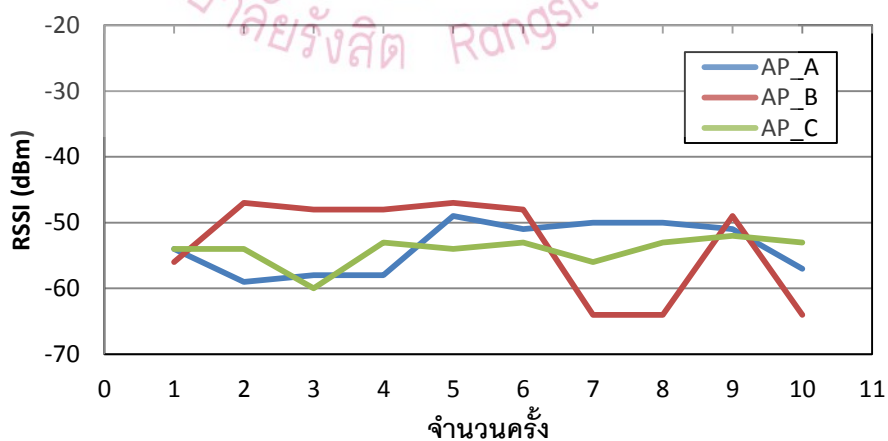
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ



(ก) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (1, 5)

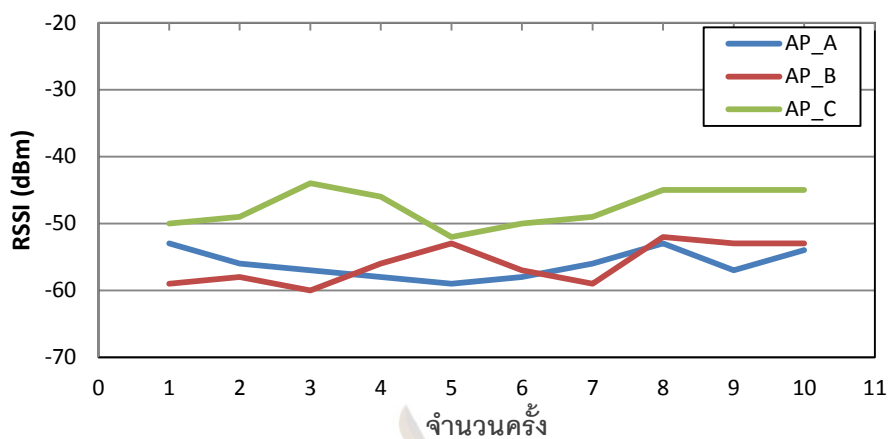


(ง) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 1)

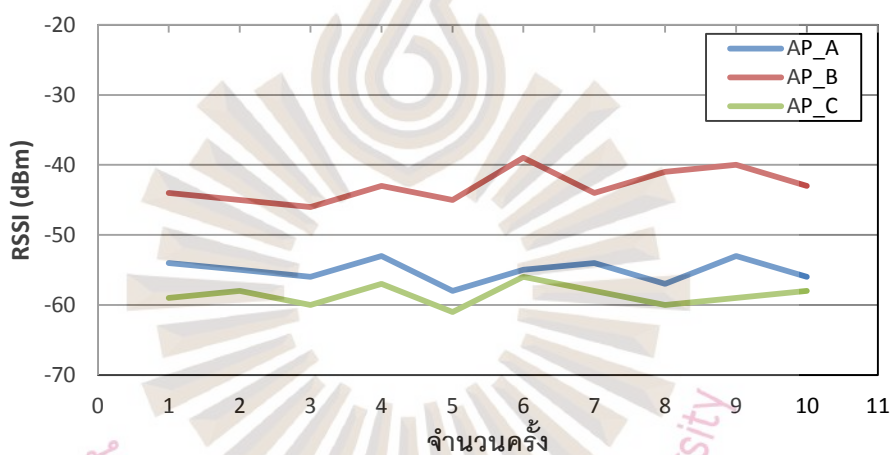


(จ) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 3)

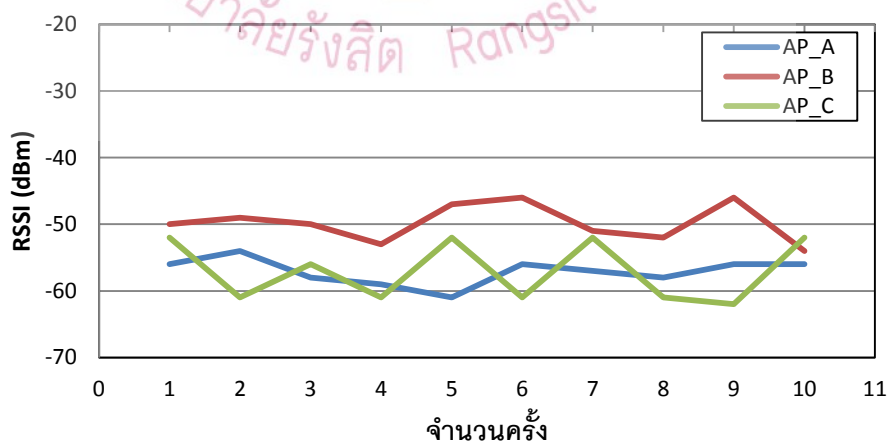
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ (ต่อ)



(จ) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 5)

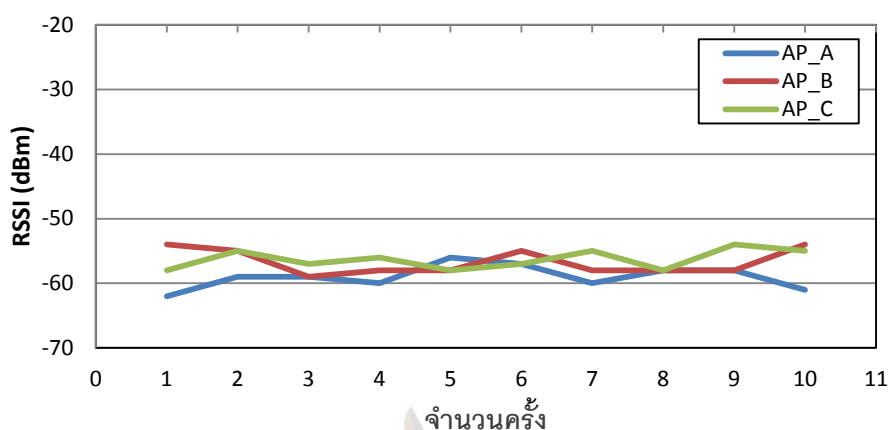


(ข) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 1)



(ค) ค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 3)

รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ (ต่อ)



(ง) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่ง (5, 5)

รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งตำแหน่งต่างๆ (ต่อ)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าความแรงของสัญญาณ RSSI จะขึ้นอยู่กับระยะความห่างระหว่างตัวส่งคือแอ็กเซสพอยต์และตัวรับคือโทรศัพท์มือถือ เช่น กราฟรูปที่ 4.3 (ก) คือ RSSI ตำแหน่ง (1, 1) พบว่าค่าของ AP_A จะแรงที่สุดระหว่าง -33 - -38 dBm เนื่องจากโทรศัพท์มือถืออยู่ใกล้ AP_A ที่สุด ส่วน AP_B และ AP_C จะอยู่ห่างออกไปและห่างเป็นระยะเท่ากัน ส่งผลให้ความแรง RSSI ของ AP_B และ AP_C จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ระหว่าง -54 - -58 dBm กราฟรูปที่ 4.3 (จ) คือ RSSI ตำแหน่ง (3, 3) พบว่าค่าของทุกแอ็กเซสพอยต์จะใกล้เคียงกันถ้าเฉลี่ยค่าเนื่องจากตำแหน่ง (3, 3) นี้เป็นตำแหน่งที่มีระยะห่างทั้ง 3 เท่ากัน แต่จะกราฟที่ปรากฏพบว่าค่าที่บันทึกได้จะเปลี่ยนแปลงไม่นิ่งทั้งนี้เนื่องจากการสะท้อนในห้องทดลองและการรบกวนจากแอ็กเซสพอยต์ใกล้เคียงที่ตั้งช่องสัญญาณเดียวกัน

จากนั้นนำค่าที่เก็บมาได้ทั้ง 10 ครั้ง แต่ละแอ็กเซสพอยต์ในแต่ละจุดที่ต้องการหาพิกัดมาทำการเฉลี่ย ค่าผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 4.2 จากตารางพบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ของแต่ละแอ็กเซสพอยต์จะอยู่ระหว่าง -35 dBm ถึง -59 dBm จากนั้นนำค่าเฉลี่ย RSSI ที่ได้ไปหารระยะทางระหว่างแอ็กเซสพอยต์กับโทรศัพท์มือถือ d_a, d_b, d_c ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 เช่นกัน

แล้วหาพิกัดด้วยวิธีหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง ตามสมการที่ (2-10) และ (2-11) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.3 โดยได้เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ ซึ่งนำเสนอในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนในหน่วยเมตร (m) ตามสมการที่ (4-1) โดยพบว่าทุกตำแหน่งความคลาดเคลื่อนจะ < 0.5 m

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย RSSI แต่ละ AP จากโทรศัพท์มือถือ

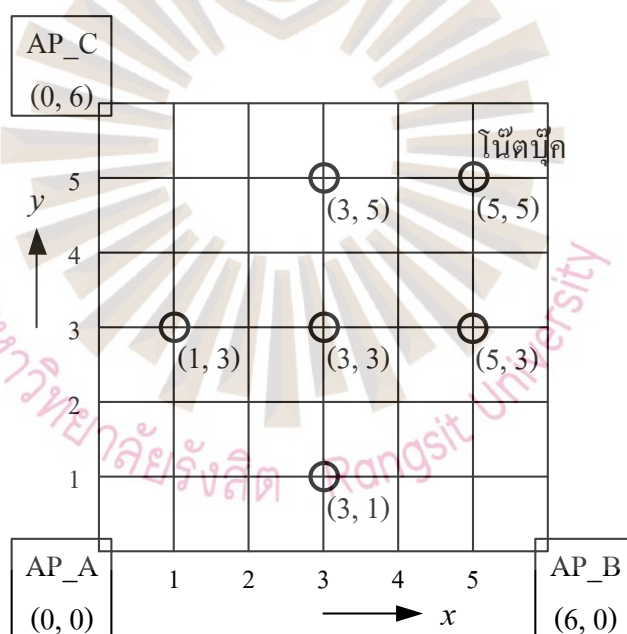
พิกัดตำแหน่งจริง (m)	ค่าเฉลี่ย RSSI (dBm)			ระยะทาง (m)		
	AP_A	AP_B	AP_C	d_a	d_b	d_c
(1, 1)	-35.40	-56.10	-56.20	0.47	5.07	5.13
(1, 3)	-51.10	-57.00	-52.80	2.85	5.62	3.47
(1, 5)	-56.20	-59.20	-42.00	5.13	7.24	1.00
(3, 1)	-45.30	-44.50	-56.30	1.46	1.33	5.19
(3, 3)	-53.70	-53.50	-54.20	3.85	3.76	4.07
(3, 5)	-56.10	-56.00	-47.50	5.07	5.01	1.88
(5, 1)	-55.10	-43.00	-58.60	4.52	1.12	6.76
(5, 3)	-57.10	-49.80	-57.00	5.69	2.45	5.62
(5, 5)	-59.00	-56.70	-56.30	7.08	5.43	5.19

ตารางที่ 4.3 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้จากสัญญาณที่ส่งมาจากโทรศัพท์มือถือ

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	พิกัดที่ประมาณได้ (m)	ความคลาดเคลื่อน (m)
(1, 1)	(0.88, 0.83)	0.213
(1, 3)	(1.04, 2.68)	0.327
(1, 5)	(0.82, 5.11)	0.211
(3, 1)	(3.03, 0.94)	0.071
(3, 3)	(3.06, 2.85)	0.160
(3, 5)	(3.05, 4.85)	0.161
(5, 1)	(4.60, 0.89)	0.418
(5, 3)	(5.19, 3.06)	0.204
(5, 5)	(4.72, 4.93)	0.290

4.2 การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโน้ตบุ๊ก

การทดลองการระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายประเภทโน้ตบุ๊กยังเป็นรูปแบบที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 คือ ให้ 3 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาดำแหน่งอุปกรณ์ไร้สายตามผังที่วางไว้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 เมื่ออุปกรณ์ไร้สายในหัวข้อนี้คือโน้ตบุ๊ก ดังนั้นจึงได้นำโน้ตบุ๊กยี่ห้อ HP รุ่น ProBook มาทำการทดสอบซึ่งสามารถรับสัญญาณเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทั้งความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz แต่ในการทดลองนี้จะใช้เพียงย่านความถี่ 2.4 GHz เท่านั้น โดยได้นำโน้ตบุ๊กมาวางบนพิกัดตำแหน่งตามที่ระบุไว้ดังรูปที่ 4.4 จำนวน 6 ตำแหน่ง ลดลงจากการทดสอบโทรศัพท์มือถือในการทดลองหัวข้อก่อนหน้านี้ ประกอบด้วยพิกัด (1, 3) (3, 1) (3, 3) (3, 5) (5, 3) และ (5, 5) ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่ง (1, 1) (1, 5) และ (5, 1) เป็นตำแหน่งที่ใกล้แอ็กเซสพอยต์อ้างอิงเกินไป ซึ่งผลที่ได้อาจไม่ถูกต้อง



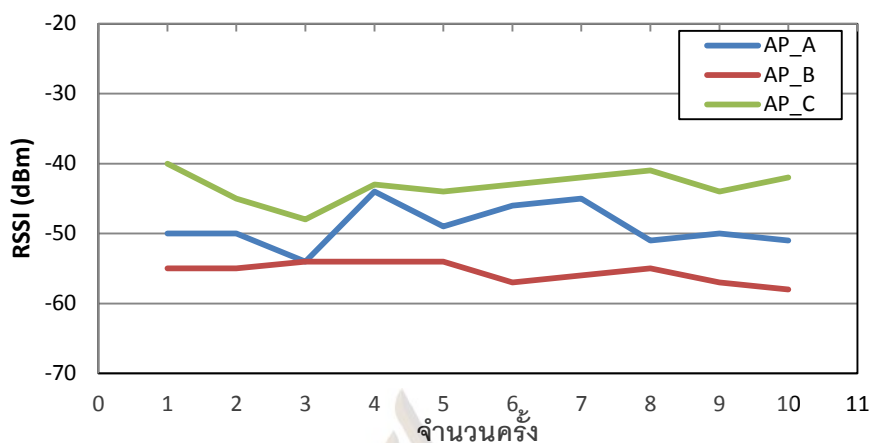
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่สุมโดยโน้ตบุ๊ก

ขณะทำการทดสอบได้เปิดจอโน้ตบุ๊กให้ตั้งฉาก 90° กับพื้น เพราะสายอากาศโน้ตบุ๊กจะฝังอยู่ที่บริเวณจอของโน้ตบุ๊ก และให้หันหน้าจอโน้ตบุ๊กมาทางทิศแกน -y ตลอดเวลาขณะทำการทดสอบ โน้ตบุ๊กสูงจากพื้นระดับเดียวกับแอ็กเซสพอยต์อ้างอิงทั้งสามตัว คือ 70 cm จากนั้นเก็บผลค่า RSSI จากแอ็กเซสพอยต์ทั้งสามตัว ๆ ละ 10 ค่าในหน่วย dBm ด้วยโปรแกรม WiFi Analyzer เป็นจำนวน 6 พิกัดที่ต้องการหาตำแหน่งตามรูปที่ 4.4

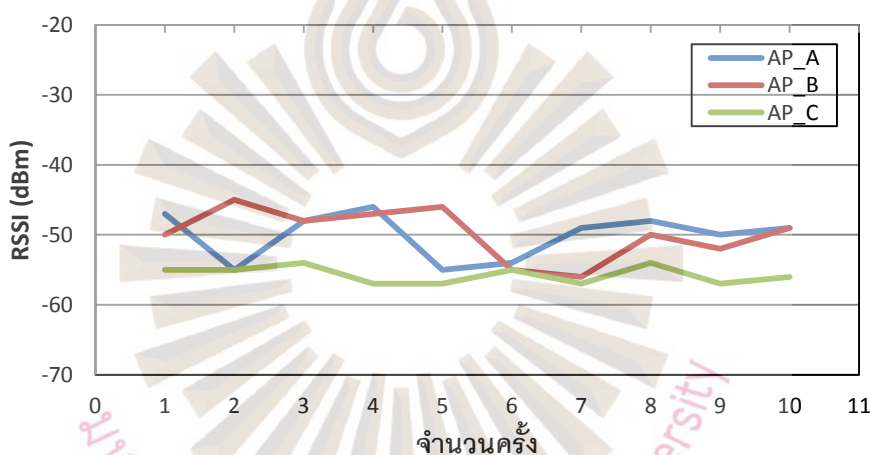
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่รับได้จาก 3 แอ็กเซสพอยต์ จากตารางที่ 4.4 เป็นค่าที่บันทึกจากโปรแกรม WiFi Analyzer บนโน้ตบุ๊กระบบปฏิบัติการ Windows 10 พบว่าโปรแกรมสามารถแสดงผลได้เป็นจำนวนเต็มมีหน่วยเป็น dBm และจากค่าในตารางที่ 4.4 ได้เลือกค่า ณ พิกัดตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.4 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่ทำการเก็บค่าแสดงดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊ก ณ จุดที่ต้องการระบุตำแหน่งที่รับมาจากแอ็กเซสพอยต์ 3 ตัว

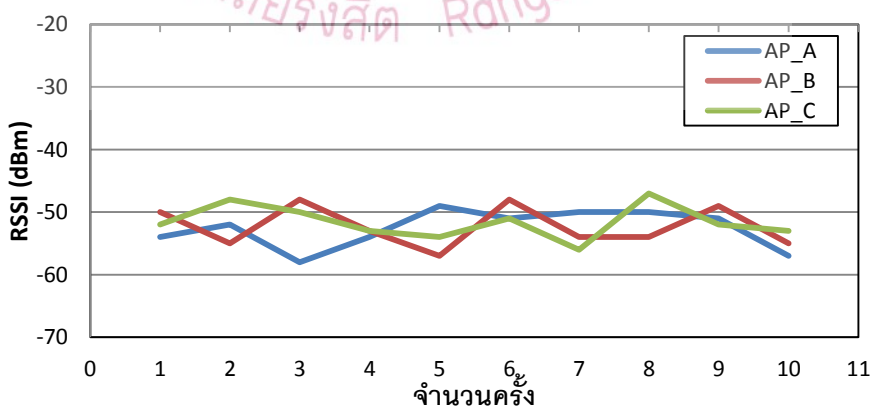
พิกัดตำแหน่ง (x, y)	AP	ค่า RSSI ที่วัดได้ (dBm)									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
(1, 3)	AP_A	-50	-50	-54	-44	-49	-46	-45	-51	-50	-51
	AP_B	-55	-55	-54	-54	-54	-57	-56	-55	-57	-58
	AP_C	-40	-45	-48	-43	-44	-43	-42	-41	-44	-42
(3, 1)	AP_A	-47	-55	-48	-46	-55	-54	-49	-48	-50	-49
	AP_B	-50	-45	-48	-47	-46	-55	-56	-50	-52	-49
	AP_C	-55	-55	-54	-57	-57	-55	-57	-54	-57	-56
(3, 3)	AP_A	-54	-52	-58	-54	-49	-51	-50	-50	-51	-57
	AP_B	-50	-55	-48	-53	-57	-48	-54	-54	-49	-55
	AP_C	-52	-48	-50	-53	-54	-51	-56	-47	-52	-53
(3, 5)	AP_A	-54	-53	-57	-58	-53	-58	-56	-53	-57	-54
	AP_B	-55	-56	-54	-58	-53	-52	-56	-54	-53	-56
	AP_C	-48	-49	-50	-46	-49	-50	-48	-45	-47	-51
(5, 3)	AP_A	-56	-54	-58	-59	-57	-54	-55	-56	-54	-55
	AP_B	-50	-49	-50	-49	-47	-49	-48	-50	-53	-48
	AP_C	-52	-54	-54	-56	-55	-59	-56	-57	-58	-56
(5, 5)	AP_A	-56	-57	-57	-58	-56	-55	-59	-58	-58	-55
	AP_B	-53	-55	-54	-56	-55	-53	-54	-57	-56	-54
	AP_C	-54	-52	-53	-56	-54	-54	-55	-53	-54	-55



(ก) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (1, 3)

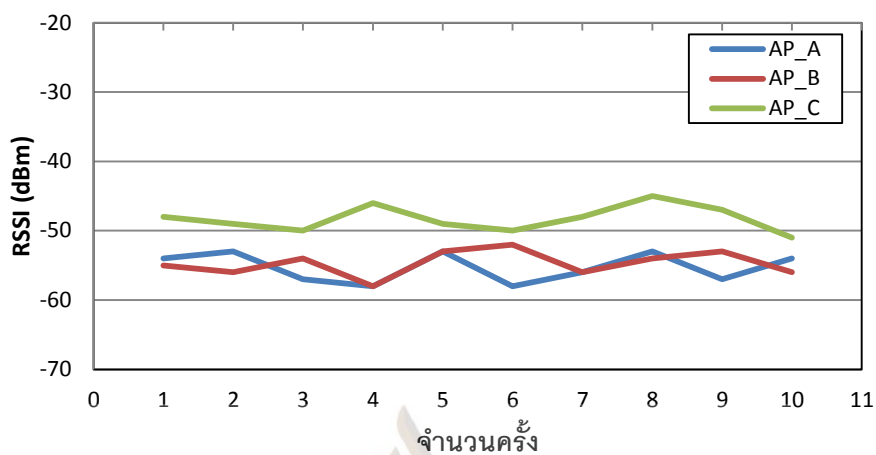


(ข) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 1)

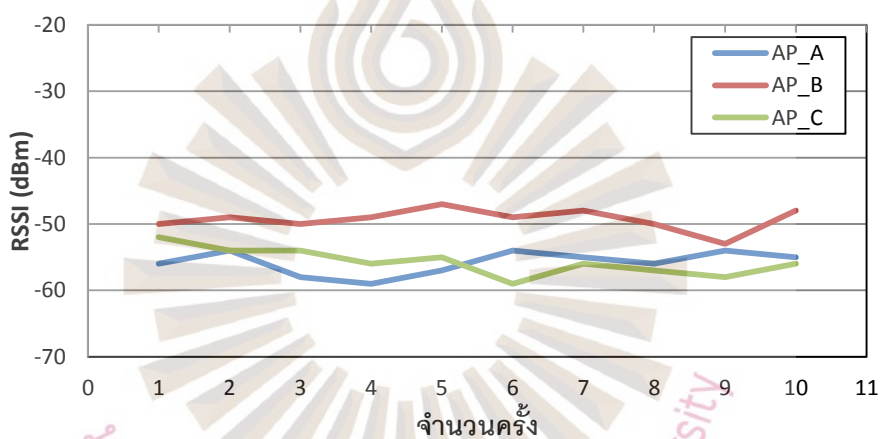


(ค) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 3)

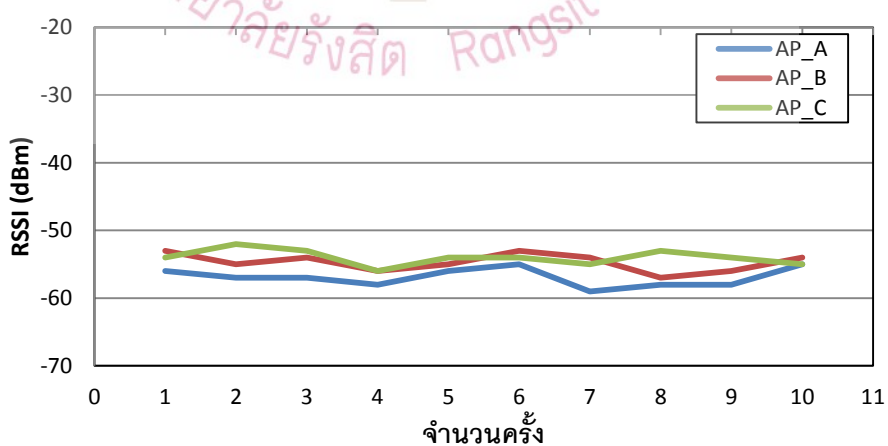
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโน้ตบุ๊กกับจำนวนครั้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ



(ง) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (3, 5)



(จ) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 3)



(ฉ) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 5)

รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กกับจำนวนครั้ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (ต่อ)

จากนั้นนำค่าที่เก็บมาได้ทั้ง 10 ครั้ง แต่ละเอ็กเซพอยต์ในแต่ละจุดที่ต้องการหาพิกต์มาทำการเฉลี่ย ค่าผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.5 จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ของแต่ละเอ็กเซพอยต์จากโน้ตบุ๊กจะอยู่ระหว่าง -43 dBm ถึง -57 dBm ซึ่งโดยรวมจะน้อยกว่าที่รับได้จากโทรศัพท์มือถือแสดงว่ากำลังที่แผ่ออกจากโน้ตบุ๊กจะน้อยกว่าโทรศัพท์มือถือ

จากนั้นนำค่า RSSI ที่ได้ไปประมาณหาระยะความห่างระหว่างเอ็กเซพอยต์อ้างอิง 3 ตัวกับโน้ตบุ๊กตามสมการที่ (2-5) โดยกำหนดให้กำลังตัวส่ง P_t จากโน้ตบุ๊กมีค่าเท่ากับ -40 dB ที่มากกว่า P_r จากโทรศัพท์มือถือในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งได้กำหนดไว้ที่ -42 dB ค่าระยะทางระหว่างเอ็กเซพอยต์แต่ละตัวกับโน้ตบุ๊กแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 นี้เช่นกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโน้ตบุ๊กจากแต่ละเอ็กเซพอยต์และระยะทางที่ประมาณได้

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	ค่าเฉลี่ย RSSI (dBm)			ระยะทาง (m)		
	AP_A	AP_B	AP_C	d_a	d_b	d_c
(1, 3)	-49.00	-55.50	-43.20	2.82	5.96	1.45
(3, 1)	-50.10	-49.80	-55.70	3.20	3.09	6.10
(3, 3)	-52.60	-52.30	-51.60	4.27	4.12	3.80
(3, 5)	-55.30	-54.70	-48.30	5.82	5.43	2.60
(5, 3)	-55.80	-49.30	-55.70	6.17	2.92	6.10
(5, 5)	-56.90	-54.70	-54.00	7.00	5.43	5.01

เมื่อได้ระยะทาง d_a , d_b , และ d_c แล้ว นำไปหาพิกต์ด้วยวิธีหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 โดยได้เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งจริงกับพิกัดที่ประมาณได้ ซึ่งนำเสนอในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนดังเช่นกรณีของโทรศัพท์มือถือ โดยพบว่าทุกตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนจะน้อยกว่า 0.5 m เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณี (1, 3) อยู่ที่ 0.57 ซึ่งมากกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากที่โน้ตบุ๊กได้ออกแบบให้ส่งสัญญาณไปด้านหลังจอมากกว่าทิศทางอื่นหรืออาจเกิดจากการสะท้อนสัญญาณจากแผ่นโลหะโต๊ะที่นำมาวางเอ็กเซพอยต์ แต่โดยรวมจะแม่นยำน้อยกว่าจากโทรศัพท์มือถือเพราะค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า เนื่องจากโน้ตบุ๊กกำลังส่งจะน้อยกว่า

ตารางที่ 4.6 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้จากสัญญาณที่โน้ตบุ๊กได้รับได้จากแอ็กเซสพอยต์อ้างอิง

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	พิกัดที่ประมาณได้ (m)	ความคลาดเคลื่อน (m)
(1, 3)	(0.71, 3.49)	0.570
(3, 1)	(3.06, 0.76)	0.250
(3, 3)	(3.10, 3.31)	0.328
(3, 5)	(3.36, 5.26)	0.448
(5, 3)	(5.46, 3.07)	0.465
(5, 5)	(4.62, 4.99)	0.378

4.3 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โทรศัพท์มือถือ

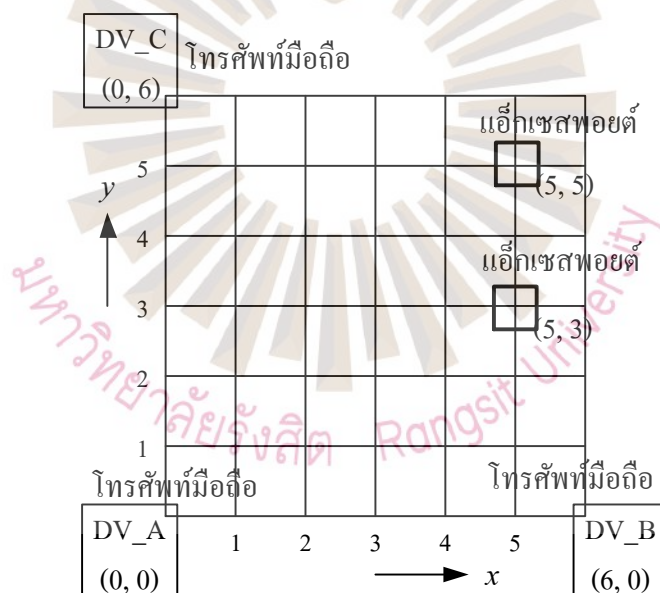
การทดลองการระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โทรศัพท์มือถือเป็นรูปแบบที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 คือ ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาดำเนินแอ็กเซสพอยต์ การทดสอบได้นำแอ็กเซสพอยต์ยี่ห้อ LINKSYS รุ่น WRT54GL มาทำการทดลองหาดำเนินของมัน เมื่ออุปกรณ์ตัวรับสัญญาณในหัวข้อนี้คือโทรศัพท์มือถือยี่ห้อ iPhone รุ่น 8 plus โดยได้ติดตั้งแอปพลิเคชันสำหรับระบุค่า RSSI ชื่อ AirPort Utility

เมื่อนำแอ็กเซสพอยต์มาวางในพิกัดตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 3.5 จำนวน 9 ตำแหน่ง ซึ่งได้จัดวางแอ็กเซสพอยต์อยู่บนโต๊ะสูง 70 cm แล้วให้สายอากาศตั้งตรงขึ้นทำมุม 90° กับพื้น และสูงระดับเดียวกับโทรศัพท์มือถือตัวรับอ้างอิง จากนั้นเก็บผลค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือที่สัญญาณส่งมาจากแอ็กเซสพอยต์ ณ ตำแหน่ง DV_A, DV_B, DV_C ตำแหน่งละ 10 ค่าในหน่วย dBm แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่ง ตารางที่ 4.7 แสดงค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือแอปพลิเคชัน AirPort Utility ที่รับได้จากแอ็กเซสพอยต์ ณ 3 ตำแหน่งอ้างอิง ตำแหน่งละ 10 ค่า ใน 9 พิกัดที่ต้องการหา

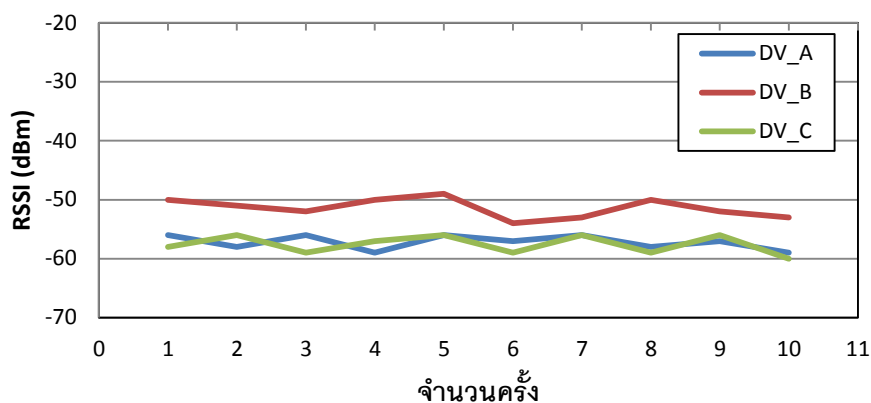
ตารางที่ 4.7 ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือ ณ จุดอ้างอิงจากแอ็กเซสพอยต์ที่ต้องการระบุตำแหน่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	AP	ค่า RSSI ที่วัดได้ (dBm)									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
(5, 3)	DV_A	-56	-58	-56	-59	-56	-57	-56	-58	-57	-59
	DV_B	-50	-51	-52	-50	-49	-54	-53	-50	-52	-53
	DV_C	-58	-56	-59	-57	-56	-59	-56	-59	-56	-60
(5, 5)	DV_A	-57	-59	-55	-58	-57	-60	-53	-59	-57	-54
	DV_B	-55	-54	-59	-50	-54	-53	-52	-60	-53	-53
	DV_C	-54	-60	-54	-50	-54	-55	-55	-55	-55	-55

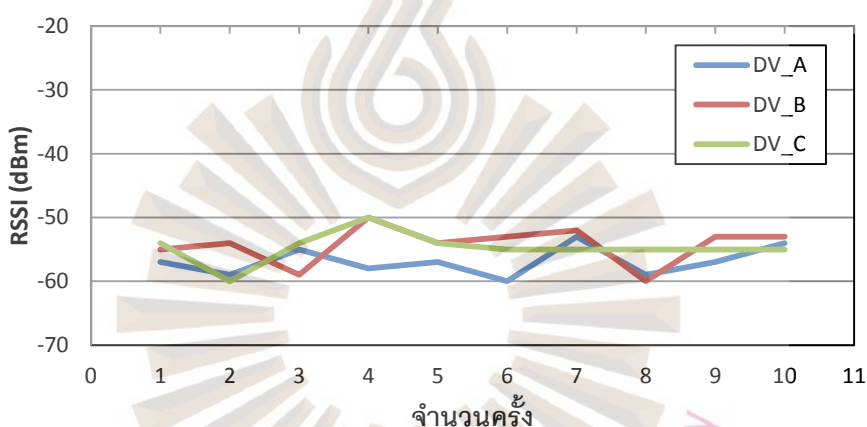
จากค่าในตารางที่ 4.7 ได้เลือกค่า ณ พิกัดตำแหน่ง (5,3) และ (5,5) ดังรูปที่ 4.6 แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่ทำการเก็บค่าแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่สุ่ม



(ก) ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 3)



(ข) ค่า RSSI บนโทรศัพท์มือถือที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 5)

รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโทรศัพท์มือถือกับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ

จากนั้นนำค่าที่เก็บมาได้ทั้ง 10 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้ดังตารางที่ 4.8 จากตารางพบว่าค่าเฉลี่ย RSSI ของแต่ละ AP จะอยู่ระหว่าง -51 dBm ถึง -58 dBm

จากนั้นนำค่าเฉลี่ย RSSI ที่ได้ไปหาระยะทางระหว่างแอ็กเซสพอยต์กับโทรศัพท์มือถือ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 เช่นกัน แล้วหาพิกัดด้วยวิธีหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.9 โดยได้เปรียบเทียบระหว่างพิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ (4-1) โดยพบว่าทุกตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนจะ < 0.5 m

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโทรศัพท์มือถือแต่ละตำแหน่งอ้างอิง

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	ค่าเฉลี่ย RSSI (dBm)			ระยะทาง (m)		
	DV_A	DV_B	DV_C	d_a	d_b	d_c
(5, 3)	-57.20	-51.40	-57.60	5.75	2.95	6.03
(5, 5)	-56.90	-54.30	-54.70	7.00	5.19	5.43

ตารางที่ 4.9 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ของแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โทรศัพท์มือถืออ้างอิง

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	พิกัดที่ประมาณได้ (m)	ความคลาดเคลื่อน (m)
(5, 3)	(5.03, 2.73)	0.268
(5, 5)	(4.84, 4.62)	0.411

4.4 การระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โน้ตบุ๊ก

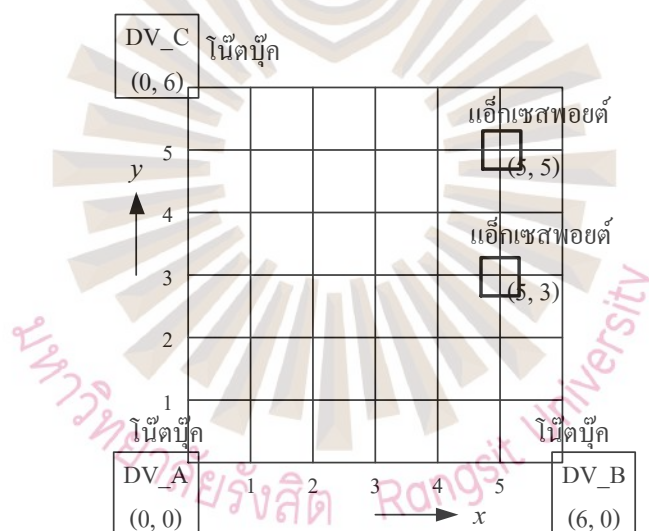
การทดลองการระบุตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โน้ตบุ๊กเป็นรูปแบบที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2 คือ ให้ 1 แอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้ 3 อุปกรณ์ไร้สายแล้วหาตำแหน่งแอ็กเซสพอยต์ การทดสอบได้นำแอ็กเซสพอยต์ยี่ห้อ LINKSYS รุ่น WRT54GL มาทำการทดลองหาตำแหน่งของมัน เมื่ออุปกรณ์ตัวรับสัญญาณในหัวข้อนี้คือโน้ตบุ๊กยี่ห้อ HP รุ่น ProBook โดยได้ติดตั้งโปรแกรมสำหรับระบุค่า RSSI ชื่อ WiFi Analyzer บนระบบปฏิบัติการ Windows 10

เมื่อนำแอ็กเซสพอยต์มาวางในพิกัดตามที่ระบุไว้ในรูปที่ 3.5 จำนวน 9 ตำแหน่ง ซึ่งได้จัดวางแอ็กเซสพอยต์อยู่บนโต๊ะสูง 70 cm แล้วให้สายอากาศตั้งตรงขึ้นทำมุม 90° กับพื้น และสูงระดับเดียวกับโน้ตบุ๊กตัวรับอ้างอิง จากนั้นเก็บผลค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่สัญญาณส่งมาจากแอ็กเซสพอยต์ ณ ตำแหน่ง DV_A, DV_B, DV_C ตำแหน่งละ 10 ค่าในหน่วย dBm แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่ง ตารางที่ 4.10 แสดงค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กโปรแกรม WiFi Analyzer ที่รับได้จากแอ็กเซสพอยต์ ณ 3 ตำแหน่งอ้างอิง ตำแหน่งละ 10 ค่า ใน 9 พิกัดที่ต้องการหา

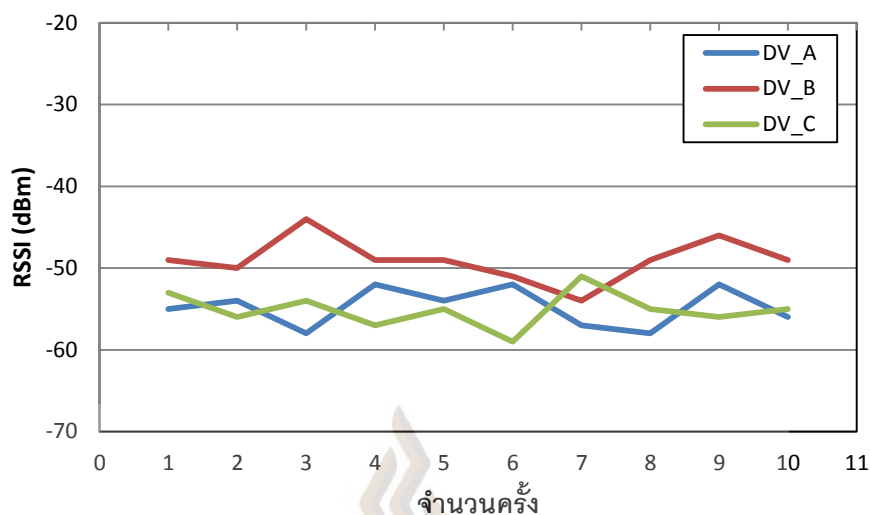
ตารางที่ 4.10 ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊ก ณ จุดอ้างอิงจากแอ็กเซสพอยต์ที่ต้องการระบุตำแหน่ง

พิกัดตำแหน่ง (x, y)	AP	ค่า RSSI ที่วัดได้ (dBm)									
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
(5, 3)	DV_A	-55	-54	-58	-52	-54	-52	-57	-58	-52	-56
	DV_B	-49	-50	-44	-49	-49	-51	-54	-49	-46	-49
	DV_C	-53	-56	-54	-57	-55	-59	-51	-55	-56	-55
(5, 5)	DV_A	-53	-54	-59	-57	-57	-57	-62	-57	-59	-56
	DV_B	-59	-58	-54	-52	-50	-50	-56	-55	-54	-53
	DV_C	-54	-52	-53	-56	-54	-54	-55	-53	-54	-55

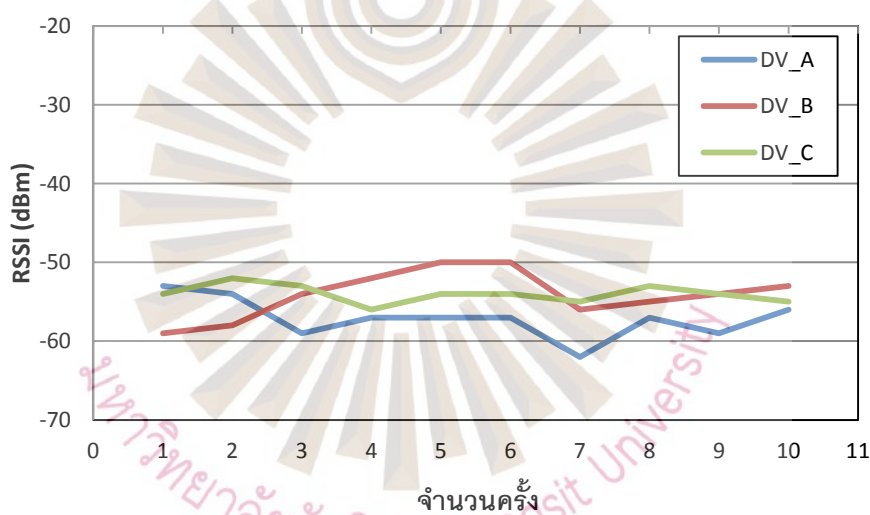
จากค่าในตารางที่ 4.10 ได้เลือกค่า ณ พิกัดตำแหน่ง (5,3) และ (5,5) ดังรูปที่ 4.8 แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้งที่ทำการเก็บค่าแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการนำค่าไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับจำนวนครั้ง



(ก) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 3)



(ข) ค่า RSSI บนโน้ตบุ๊กที่เปลี่ยนแปลงตามการวัดแต่ละครั้งตำแหน่ง (5, 5)

รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI บนโน้ตบุ๊กกับจำนวนครั้งตำแหน่งต่าง ๆ

จากนั้นนำค่าที่เก็บมาได้ทั้ง 10 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ได้ดังตารางที่ 4.8 จากนั้นนำค่าเฉลี่ย RSSI ที่ได้ไปหาระยะทางระหว่างแอ็กเซสพอยต์กับโทรศัพท์มือถือผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 เช่นกัน แล้วหาพิสัยด้วยวิธีหาจุดรวมจาก 3 ตำแหน่ง ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.9 โดยได้เปรียบเทียบระหว่างพิสัยตำแหน่งจริงและพิสัยที่ประมาณได้ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบของความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ (4-1) โดยพบว่าทุกตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนจะ $< 0.5 \text{ m}$

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย RSSI บนโน้ตบุ๊กแต่ละตำแหน่งอ้างอิง

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	ค่าเฉลี่ย RSSI (dBm)			ระยะทาง (m)		
	DV_A	DV_B	DV_C	d_a	d_b	d_c
(5, 3)	-54.80	-49.00	-55.10	5.50	2.82	5.69
(5, 5)	-57.10	-54.10	-54.00	7.16	5.07	5.01

ตารางที่ 4.12 พิกัดตำแหน่งจริงและพิกัดที่ประมาณได้ของแอ็กเซสพอยต์ส่งสัญญาณให้โน้ตบุ๊กอ้างอิง

พิกัดตำแหน่งจริง (m)	พิกัดที่ประมาณได้ (m)	ความคลาดเคลื่อน (m)
(5, 3)	(4.85, 2.82)	0.231
(5, 5)	(5.13, 5.18)	0.224



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารอุปกรณ์ไร้สายโดยใช้ แอ็กเซสพอยต์ย่านความถี่ 2.4 GHz การออกแบบได้ใช้แอ็กเซสพอยต์สำหรับรับสัญญาณ ประกอบด้วย 3 แอ็กเซสพอยต์อ้างอิงและอีกหนึ่งอุปกรณ์ไร้สายเป้าหมาย แอ็กเซสพอยต์อ้างอิง 3 ตัว จะวางอยู่รอบ ๆ อุปกรณ์ไร้สายที่จะต้องหาพิกัดตำแหน่งของมัน โดยได้ศึกษาการระบุตำแหน่ง อุปกรณ์ไร้สาย 2 ชนิด คือ โทรศัพท์มือถือและโน้ตบุ๊กที่วางอยู่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพิกัดที่กำหนดไว้ในพื้นที่ขนาด 6 m x 6 m อุปกรณ์ไร้สายจะรับสัญญาณจาก 3 แอ็กเซสพอยต์ที่ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งอ้างอิงในรูปแบบของค่าบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่ได้รับ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นระยะความห่าง และในตอนท้าย ตำแหน่งที่ตั้งของอุปกรณ์ไร้สายดังกล่าวจะถูกคำนวณด้วยวิธีการหาจุดร่วมจาก 3 ตำแหน่ง

จากการศึกษาพบว่า การระบุตำแหน่งโดยดังกล่าวนี้สามารถระบุตำแหน่งอุปกรณ์ไร้สาย ได้ด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 m ในพื้นที่ 6 m x 6 m อย่างไรก็ตาม ถ้าพื้นที่กว้างกว่านี้ ความคลาดเคลื่อนจะต้องมากกว่านี้เนื่องจากความแรงของสัญญาณลดลงและมีสัญญาณรบกวนมากมาย ความถึงการสะท้อนจากอุปกรณ์โดยรอบ งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายภายในอาคารเพื่อประโยชน์ในการเฝ้ามองหรือการบริหารจัดการทรัพยากรต่าง ๆ เช่น การเปิดปิดแสงสว่างหรือเครื่องปรับอากาศต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรพัฒนาต่อไปเป็นระบบที่สามารถระบุตำแหน่งได้โดยทันที
- 2) การทดสอบวัดค่าความแรงสัญญาณ RSSI ด้วยอุปกรณ์ไร้สาย เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือโน้ตบุ๊กโดยที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อสัญญาณเพื่อเก็บค่าในเซิร์ฟเวอร์ จำเป็นต้องจดบันทึกค่าโดย

ผู้ทดสอบเองนั้น อาจทำให้ค่าผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนไปได้เนื่องจากผู้ทดสอบจะเป็นส่วนหนึ่งของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่บริเวณนั้น ซึ่งอาจทำให้ความแรงสัญญาณเปลี่ยนแปลงได้

3) ควรนำระบบควบคุมแอ็กเซสพอยต์ (Access Point Controller) มาใช้งานร่วมด้วย เนื่องจากสามารถระบุเครื่องลูกข่ายที่เข้ามาใช้งานได้ ถ้าระบบควบคุมนี้สามารถแสดงค่า RSSI ได้ ก็จะสามารระบุตำแหน่งได้ โดยจะเป็นกรณีที่สามารถระบุเครื่องลูกข่ายภายในบริเวณเครือข่ายได้โดยที่ระบบไม่จำเป็นต้องรู้จักเครื่องลูกข่ายเหล่านั้น เนื่องจากต้องการเพียงระบุตำแหน่งเท่านั้น



บรรณานุกรม

- ซัชชด เปรมชัยสวัสดิ์, และนรารัตน์ เรืองชัยตุพร. (2556). การระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายภายในอาคารด้วยอัลกอริธึมทางเหมือนข้อมูลโดยใช้ 2 ตัวส่งสัญญาณ. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, ปีที่ 19 ฉบับที่ 2, 276-283.
- อติพงศ์ สุริยา. (2559, พฤศจิกายน). การศึกษาและออกแบบระบบระบุตำแหน่งของวัตถุในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39, เพชรบุรี, 423-426.
- อำนาจ มีมงคล, และอรรณพ ชันธิกุล. (2553). ออกแบบและติดตั้งระบบ *Wireless LAN* (พิมพ์ครั้งที่ 2). นนทบุรี: สำนักพิมพ์อินโฟเพรส.
- 1000logos. (2023). *bluetooth-logo*. Retrieved from <https://1000logos.net/bluetooth-logo/>.
- AliExpress. (2022). *TP-LINK TL-WA901ND*. Retrieved from <https://th.aliexpress.com/item/10000262918511.html>.
- Amazon. (2023). *Digi XBee S2C ZigBee RF Module 6.3mw Wire Antenna – Mesh*. Retrieved from <https://www.amazon.in/XBee-ZigBee-Module-6-3mw-Antenna/dp/B0714LJY6Q>.
- Apple Inc. (2023). *AirPort Utility on the App Store*. Retrieved from <https://apps.apple.com/us/app/airport-utility/id427276530>.
- Chena, W. C., Koa, K. F., Changa, Y. T., & Chang, C. H. (2018). An RSSI-based Distributed Real-time Indoor Positioning Framework. *Proceedings of IEEE International Conference on Applied System Innovation*, Chiba, Japan, 13-17 April 2018, 1288–1291.
- Cisco Public. (2018). *802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi*. Retrieved from <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>.
- Djuknic, G. M., & Richton, R. E. (2001). Geolocation and Assisted GPS. *IEEE Journal of Computer*, 34(2), 123-125.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Gansemer, S., GroBmann, U., & Hakobyan, S. (2010). RSSI-Based Euclidean Distance Algorithm for Indoor Positioning Adapted for The Use in Dynamically Changing WLAN Environments and Multi-Level Buildings, *2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Zurich, Switzerland, 15-17 September 2010, 1-6.
- Goodwins, R. (2018). *Next-generation 802.11ax wi-fi: Dense, fast, delayed*. Retrieved form <https://www.zdnet.com/home-and-office/networking/next-generation-802-11ax-wi-fi-dense-fast-delayed/>.
- Gu, Y., Lo, A., & Niemegeers, I. (2009). A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 11(1), 13-32.
- Kim, H. S., Kim, D. R., Yang, S. H., Son, Y. H., & Han, S. K. (2013). An Indoor Visible Light Communication Positioning System Using a RF Carrier Allocation Technique. *Journal of Lightwave Technology*, 31(1), 134-144.
- Kolodziej, K. W., & Hjelm, J. (2006). *Local Positioning Systems: LBS Applications and Services* (First Edition). Boca Raton, London, New York: CRC Press.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C : Applications and Reviews*, 37(6), 1067-1080.
- Mercular. (2022). หูฟัง Jabra Talk 15 SE Bluetooth Headset. Retrieved form <https://www.mercular.com/jabra-talk-15-se-bluetooth-headset>.
- Microsoft. (2023). *WiFi Analyzer - Microsoft Apps*. Retrieved form <https://apps.microsoft.com/store/detail/wifi-analyzer/9NBLGGH33N0N?hl=th-th&gl=th>.
- Misra, P., & Enge, P. (2010). *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance* (Revised Second Edition). Massachusetts: Ganga-Jamuna Press.
- Rehman, M. U., Gao, Y., Chen, X., Parini, C. G., & Ying, Z. (2009). Characterisation of System Performance of GPS Antennas in Mobile Terminals Including Environmental Effects. *2009 3rd European Conference on Antennas and Propagation*, Berlin, Germany, 23-27 March 2009, 1832-1836.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Ruppel, U., Stubbe, K. M., & Zwinger, U. (2010). Indoor Navigation Integration Platform for Firefighting Purposes. *2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, Zurich, Switzerland, 15-17 September 2010, 1-6.
- Samuel, O. O., Aniedu, A. N., Herbert, E., & Anthony, O. (2013). Trilateration Based Localization Algorithm for Wireless Sensor Network. *International Journal of Science and Modern Engineering*, 1(10), 21-27.
- Sangthong, J., Thongkam, J., & Promwong, S. (2020). Indoor Wireless Sensor Network Localization Using RSSI Based Weighting Algorithm Method. *2020 6th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology*, Chiang Mai, Thailand, 1-4 July 2020.
- Sghaier, N., Mellouk, A., Augustin, B., Amirat, Y., Marty, J., Khoussa, M. E. A., Abid, A., & Zitouni, R. (2011). Wireless Sensor Networks for Medical Care Services. *7th International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing*, Istanbul, Turkey, 4-8 July 2011, 571-576.
- Sys2U. (2023). Linksys WRT54GL Wireless-G Access Point. Retrieved from <http://www.sys2u.com/Product.php?ProductID=20070806-165522>.
- Sysnet Center Co.,ltd. (2023). *D-Link DWL-2100AP - 2.4GHz (802.11g) Wireless Access Point 108/54 Mbps*. Retrieved from <https://sysnetcenter.com/home/d-link-dwl-2100ap-24ghz-80211g-wireless-access-point-108-54-mbps>.
- The Zigbee Alliance. (2015). *ZigBee Specification*. Retrieved from <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>.
- Wang, H. Y., Zheng, V. W., Zhao, J., & Yang, Q. (2010). Indoor Localization in Multi-Floor Environments with Reduced Effort. *2010 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, Mannheim, 29 March 2010 - 02 April 2010, 244-252.
- Wang, P., & Luo, Y. (2017). Research on WiFi indoor location algorithm based on RSSI Ranging. *2017 4th International Conference on Information Science and Control Engineering*, Changsha, China, 21-23 July 2017.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Yong U. L. & Kavehrad, M. (2012). Two Hybrid Positioning System Design Techniques with Lighting LEDs and Ad-hoc Wireless Network. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(4), 1176-1184.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	หัตดิน เนตรนิล
วัน เดือน ปีเกิด	15 มกราคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยรังสิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, 2557 383/74 ถ.บูรพา ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000
ที่อยู่ปัจจุบัน	ธุรกิจส่วนตัว
ตำแหน่งปัจจุบัน	
E-Mail	hatsadin.n61@rsu.ac.th

