



การวิเคราะห์และปรับปรุงค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับเพื่อเพิ่มความแม่นยำ
ในการระบุตำแหน่งเหตุการณ์ในระบบเฝ้าระวังของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

**Analysis and Improvement of RSSI for Increasing
the Accuracy of Event Localization in WSN Monitoring Systems**

ธารทิพย์ สิทธีรักษ์

Thantip Sittiruk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University**

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เลขหน.	T.17872.D.48 / 564 2558
Bib Key	480719
	20 พ.ย. 2560


ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และปรับปรุงค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับเพื่อเพิ่มความ
 แม่นยำในการระบุตำแหน่งเหตุการณ์ในระบบไฟระวางของเครือข่าย
 เซนเซอร์ไร้สาย

ผู้เขียน นางสาวธารทิพย์ สิทธิรักษ์


สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

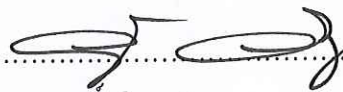
คณะกรรมการสอบ




 (รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัญฐา จินดาเพ็ชร)


ประธานกรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)


กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัญฐา จินดาเพ็ชร)


กรรมการ
 (ดร. วฤทธิ วิชกุล)


กรรมการ
 (ดร. กมล เขมะรังษี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
 วิศวกรรมไฟฟ้า



 (รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....D.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฉวีธรา จินดาเพ็ชร)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....อานทิพย์ สิริธรรักษ์.....
(นางสาวธารทิพย์ สิริธรรักษ์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....จางทิม่อ.....สิทธีรักษ์.....

(นางสาวธารทิพย์ สิทธิรักษ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และปรับปรุงค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเหตุการณ์ในระบบเฝ้าระวังของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
ผู้เขียน	นางสาว ชารทิพย์ สิทธิรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยการวัดค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator: RSSI) เป็นวิธีการที่นิยมสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร แต่เนื่องจากค่า RSSI มีความไวต่อสภาพแวดล้อมภายในอาคารมาก ส่งผลให้การระบุตำแหน่งมีความผิดพลาดได้ง่าย วิทยานิพนธ์นี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Least Mean Square: LMS) เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการระบุตำแหน่งโดยแบ่งการประยุกต์ใช้งานออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) ออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับปรุงค่า RSSI และ (2) ออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอนกับโหนดเป้าหมาย โดยอาศัยโหนดคาลิเบรชันเพื่อปรับค่าให้ได้ตามสภาพแวดล้อมจริงแบบเรียลไทม์ จากผลการศึกษาในส่วนแรกพบว่าการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับปรุงค่า RSSI ต้องการสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้องจึงจะให้ผลการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ จึงไม่เหมาะกับการใช้งานจริงเนื่องจากไม่สามารถสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริง ณ ขณะที่ระบุตำแหน่งได้ แต่จากผลการศึกษาในส่วนที่สองพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ สามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารได้จริง เมื่อระบุตำแหน่งในกรณีที่มีโหนดเป้าหมายแบบไม่มีสิ่งกีดขวางสามารถลดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมจาก 0.865 เมตรเหลือ 0.704 เมตรและแบบมีสิ่งกีดขวางสามารถลดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมจาก 5.215 เมตรเหลือ 1.137 เมตร และเมื่อระบุตำแหน่งในกรณีโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดสามารถประมาณตำแหน่งเฉลี่ยได้แม่นยำขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

คำสำคัญ : วิธีการปรับตัวได้แบบกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด; ความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ; สมการแปลงระยะห่าง; การระบุตำแหน่งด้วยวิธี Trilateration

Thesis Title	Analysis and Improvement of RSSI for Increasing the Accuracy of Event Localization in WSN Monitoring Systems
Author	Miss Thantip Sittiruk
Major Program	Electrical Engineering
Academic Year	2015

ABSTRACT

The Received Signal Strength Indicator (RSSI) based localization system is widely used in the indoor localization. However, since the RSSI signal is sensitive to indoor environments, the localization is easily prone to getting error results. In this thesis, we apply the Least Mean Square (LMS) algorithm to increase the accuracy of the indoor localization. The design is divided into two parts: (1) an LMS adaptive filter to improve the RSSI signals, and (2) an LMS algorithm to adjust the parameters in the distance equation between the reference node and the target node by adding a calibration node to adjust these parameters corresponding to the current environment. In the first design, the simulation results show that the localization accuracy depends on a valid reference signal. Thus, the designed LMS adaptive filter for improving RSSI signals is not suitable for employment because the reference signal cannot be generated to match the real indoor environment at the localization moment. In the second design, the experimental results demonstrate that the proposed LMS algorithm to calibrate parameters in the distance equation according to the current environment can increase the localization accuracy. When the target node is stationary and there is no obstacle, the proposed method can reduce the average error of the location estimation from 0.865 meters to 0.704 meters. When the target node is stationary and there are obstacles, the proposed method can reduce the average error of the location estimation from 5.215 meters to 1.137 meters. When the target node is moving, the proposed LMS algorithm can also give the more accurate location estimation of the defined path than the one without LMS algorithm.

Keywords: Least Mean Square (LMS) algorithm; Received Signal Strength Indicator (RSSI); distance equation; Trilateration

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจากรองศาสตราจารย์ ดร. ญัตฐา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้การสนับสนุนและอุทิศเวลาสำหรับคำปรึกษา แนะนำความรู้ต่างๆ เป็นอย่างดี รวมถึงให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการแก้ปัญหาในทุกๆ ด้านตลอดจนแก้ไขและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู กรรมการสอบ โครงร่างและประธานสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและขัดเกลาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทั้งในงานวิจัยและการดำเนินชีวิต และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร. วฤทธิ์ วิชกุล กรรมการสอบ โครงร่างและกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาอุทิศเวลาเพื่อให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้ดำเนิน ไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ดร. กมล เขมะรังสี ที่กรุณาอุทิศเวลาเป็นกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนิน ไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาสนับสนุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าในระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และให้การศึกษาก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ นายเกรียงศักดิ์ เสงี่ยม นักศึกษาปริญญาเอกและพี่ ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโทและเอกทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและแนวทาง เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงพร้อมทั้งให้กำลังใจตลอดช่วงเวลาของการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพ่อแม่และครอบครัวที่ส่งเสริม สนับสนุน ให้คำปรึกษา ความรัก ความห่วงใย กำลังใจและทุนการศึกษาที่ดีแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด จนกระทั่งข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

ธารทิพย์ สิทธิรักษ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 การตรวจสอบเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 ประเด็นวิจัย	13
1.4 วัตถุประสงค์	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
1.6 ขอบเขตการวิจัย	15
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย	16
1.8 แผนการดำเนินการวิจัย	18
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เซนเซอร์โหนดไร้สาย	19
2.2 วิธีการประมาณระยะห่าง	20
2.2.1 วิธีการวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณ	21
2.2.2 วิธีการอ่านค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ	21
2.2.3 วิธีการวัดมุมเฟสของสัญญาณที่เดินทางมาถึง	22
2.3 วิธีการระบุตำแหน่ง	23
2.3.1 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration	23
2.3.2 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Multilateration	25
2.3.3 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Triangulation	25
2.4 ปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ส่งผลต่อค่า RSSI	26
2.4.1 การแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง	26
2.4.2 การจางหายของสัญญาณ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางภายในอาคาร	28
2.5.1 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางในแนวเส้นสายตา	29
2.5.1.1 แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง	29
2.5.1.2 แบบจำลองการสูญเสียบนพื้นผิวสะท้อน	29
2.5.2 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา	30
2.5.2.1 แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance	30
2.5.2.2 แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-normal shadowing	30
2.6 วงจรกรองปรับตัวได้ (Adaptive filter)	32
2.7 การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้	34
2.7.1 ระบบการระบุเอกลักษณ์	35
2.7.2 ระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน	35
2.7.3 ระบบกำจัดสัญญาณรบกวน	36
2.7.4 ระบบการทำนาย	36
บทที่ 3 การออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI	
3.1 การออกแบบ LMS สำหรับปรับปรุงค่า RSSI	37
3.1.1 แนวคิด	38
3.1.2 ที่มาของสมการปรับค่าน้ำหนักเพื่อปรับปรุงค่า RSSI	39
3.2 การออกแบบการจำลอง	40
3.3 ผลการจำลอง	41
3.3.1 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่	42
3.3.2 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีสุ่มค่า RSSI ที่เป็นอินพุต	44
3.3.3 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง	46
3.4 สรุป	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับพารามิเตอร์สมการความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับระยะห่าง	
4.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งแบบมีโหนดคาลิเบรชัน	53
4.2 การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับพารามิเตอร์สมการความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับระยะห่าง	55
4.2.1 แนวคิด	55
4.2.2 ที่มาของสมการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่าง	57
4.3 การออกแบบการจำลองระบบและการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริง	59
4.3.1 โหนดเป้าหมายได้รับค่า RSSI จากโหนดอ้างอิง	60
4.3.2 สมการแปลงระยะห่างจากค่า RSSI ของสภาพแวดล้อมจริง	60
4.3.3 การปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่าง	62
4.3.4 การประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย	62
4.4 การจำลองเพื่อหาการวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสม	63
4.4.1 ผลการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชัน	65
4.4.2 สรุปผลการจำลอง	68
4.5 การระบุตำแหน่งจริงกรณีโหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่	68
4.5.1 ผลการทดลองจริงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง	69
4.5.2 ผลการทดลองจริงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง	72
4.6 การระบุตำแหน่งจริงกรณีโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่	77
4.7 สรุป	78
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	80
5.2 ปัญหา	81
5.3 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	86
ประวัติผู้เขียน	91

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รายละเอียดในการทดลองจริงและจำลองระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	10
ตารางที่ 1.2 สรุปวิธีการที่นำเสนอของแต่ละงานวิจัย	11
ตารางที่ 1.3 สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการที่นำเสนอในแต่ละงานวิจัย	12
ตารางที่ 1.4 แผนงานวิจัย: ระยะเวลา 2.5 ปี เริ่มมิถุนายน 2556 ถึง กรกฎาคม 2557	18
ตารางที่ 2.1 เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางของแต่ละสภาพแวดล้อม	31
ตารางที่ 2.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรการแจกแจงแบบปกติที่แต่ละสภาพแวดล้อม (σ)	32
ตารางที่ 3.1 สรุปผลการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เมื่อกำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ	49
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายของสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ	50
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันต่างกัน	66
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยรวมของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบต่าง	67
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง	71
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายกรณีมีสิ่งกีดขวาง	76

รายการภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1-1 ประเภทของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ภาพประกอบ 2-1 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration ของ โหนดภายในอาคาร	23
ภาพประกอบ 2-2 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration	24
ภาพประกอบ 2-3 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Triangulation	25
ภาพประกอบ 2-4 บล็อกไดอะแกรมวงจรกรองปรับตัวแบบ LMS	33
ภาพประกอบ 2-5 บล็อกไดอะแกรม	35
ภาพประกอบ 2-6 บล็อกไดอะแกรมระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน	35
ภาพประกอบ 2-7 บล็อกไดอะแกรมระบบกำจัดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด	36
ภาพประกอบ 2-8 บล็อกไดอะแกรมระบบการทำนาย	36
ภาพประกอบ 3-1 กระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยการวัดค่า RSSI	37
ภาพประกอบ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI	38
ภาพประกอบ 3-3 การกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย	40
ภาพประกอบ 3-4 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่	42
ภาพประกอบ 3-5 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต	42
ภาพประกอบ 3-6 เปรียบเทียบการกระจายตัวและค่าเฉลี่ยเมื่อสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่	43
ภาพประกอบ 3-7 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีเฉลี่ยค่า RSSI	44
ภาพประกอบ 3-8 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต	45
ภาพประกอบ 3-9 เปรียบเทียบการกระจายตัวเมื่อสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีเฉลี่ยค่า RSSI	45
ภาพประกอบ 3-10 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงวิธีหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI	46
ภาพประกอบ 3-11 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต	47
ภาพประกอบ 3-12 ค่าความผิดพลาดคู่เข้าหาศูนย์ของทั้งสาม โหนดอ้างอิง	47
ภาพประกอบ 3-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเมื่อสัญญาณอ้างอิงวิธีหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI	48
ภาพประกอบ 3-14 เปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองกับค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI	50
ภาพประกอบ 4-1 กระบวนการออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร	52

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบ 4-2 การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยอาศัยโหนดกาลิเบรชัน	53
ภาพประกอบ 4-3 ช่วงเวลาเมื่อโหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากทุกโหนดอ้างอิง	53
ภาพประกอบ 4-4 กระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยอาศัยโหนดกาลิเบรชัน	54
ภาพประกอบ 4-5 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่ประยุกต์ใช้วิธีการ LMS55	56
ภาพประกอบ 4-6 ผังงานการออกแบบระบุตำแหน่งโดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS	56
ภาพประกอบ 4-7 สมการความสัมพันธ์ของค่า RSSI กับระยะห่างระหว่างโหนด	61
ภาพประกอบ 4-8 การกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย	63
ภาพประกอบ 4-9 การวางตำแหน่งโหนดกาลิเบรชันแบบต่างๆ	64
ภาพประกอบ 4-10 ผลการประมาณตำแหน่งเมื่อตำแหน่งโหนดกาลิเบรชันแบบต่างๆ	65
ภาพประกอบ 4-11 สภาพแวดล้อมการทดลองกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง	69
ภาพประกอบ 4-12 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง	70
ภาพประกอบ 4-13 เปรียบเทียบความผิดพลาดเฉลี่ยกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง	72
ภาพประกอบ 4-14 สภาพแวดล้อมการทดลองกรณีมีสิ่งกีดขวาง	72
ภาพประกอบ 4-15 การทดลองเมื่อมีสิ่งกีดขวางที่แต่ละจุดของโหนดเป้าหมาย	73
ภาพประกอบ 4-16 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายกรณีมีสิ่งกีดขวาง	74
ภาพประกอบ 4-17 เปรียบเทียบความผิดพลาดเฉลี่ยกรณีมีสิ่งกีดขวาง	76
ภาพประกอบ 4-18 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor localization system) โดยการวัดค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator: RSSI) [1-9] อาศัยการเหนี่ยวนำสัญญาณด้วยสายอากาศ (Antenna) ด้านเครื่องส่ง ทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านอากาศมายังสายอากาศด้านเครื่องรับบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks: WSNs) และการใช้วิธี Trilateration [2] ระบุตำแหน่งโหนดเป้าหมาย (Target node) คำนวณตำแหน่งโดยใช้โหนดอ้างอิง (Reference node) เป็นโหนดซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอนและต้องมีอย่างน้อย 3 โหนด วิธีนี้เป็นการแก้สมการหาจุดตัดของวงกลมสามวง ซึ่งรัศมีของวงกลมคือระยะห่างของโหนดเป้าหมายกับโหนดอ้างอิงที่ประมาณได้จากค่า RSSI และบริเวณที่ทับซ้อนของวงกลมทั้งสามคือตำแหน่งโดยประมาณของโหนดเป้าหมาย วิธีการนี้ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและอุปกรณ์มีราคาถูกที่สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลายและไม่ต้องออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม [1-2, 6-9] และการทราบตำแหน่งของโหนดภายในอาคารสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน อาทิเช่น การเฝ้าระวังผู้สูงอายุภายในบ้าน เป็นระบบเฝ้าระวังและตรวจสอบการเกิดเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิตในสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [2] และติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า RSSI ภายในอาคารถูกรบกวนได้ง่ายจากหลายปัจจัย [1-9] เช่น การสะท้อนของวัตถุที่เป็น โลหะ สัญญาณที่ได้รับมาจากหลายทิศทาง การเคลื่อนไหวของมนุษย์ เครื่องจักรในสายงานการผลิตและอื่นๆ ทำให้ค่า RSSI ถูกลดทอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย

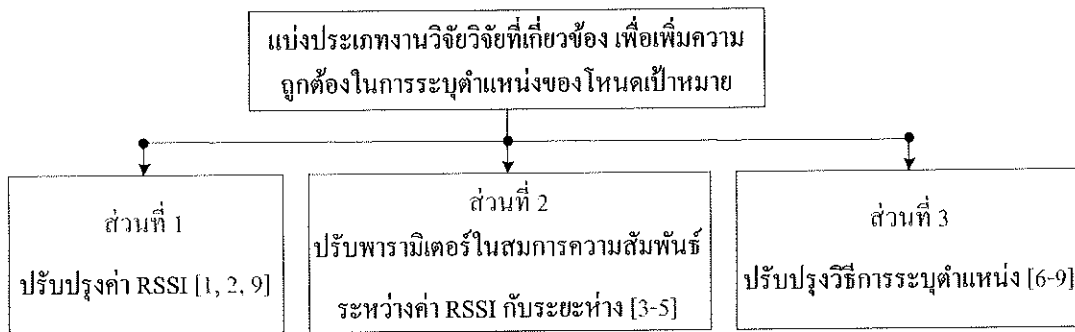
ในงานวิจัย [1, 2, 9] ได้ออกแบบอัลกอริทึมเพื่อปรับปรุงตำแหน่งของโหนดเคลื่อนที่ ที่แม้ว่าค่า RSSI ถูกลดทอนไปก็ตาม แต่ในการออกแบบจำเป็นต้องใช้โหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายเพิ่มเป็นจำนวนมากขึ้น และชุดข้อมูลที่ใช้ในการระบุตำแหน่งต้องมีจำนวนมากเพียงพอสำหรับปรับปรุงตำแหน่งของโหนดเคลื่อนที่ให้ออกมาได้ ส่วนในงานวิจัยที่ [4, 5, 6] เป็นการปรับปรุงสมการ โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่ใช้หาความสัมพันธ์ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่รับได้เพื่อประมาณระยะทาง ให้สามารถปรับเปลี่ยนได้เองตามสภาพแวดล้อมที่นำไปใช้งาน ทำให้สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมได้หลากหลาย วิธีที่ใช้มีการคำนวณที่ซับซ้อน และเมื่อค่า RSSI ถูกลดทอนลงจำนวนมากเมื่อนำไปประมาณเป็นระยะทางก็เกิดความผิดพลาดสูงขึ้นไป และ

ในงานวิจัย [7, 8, 9] เป็นการปรับปรุงค่า RSSI ก่อนนำไปประมาณตำแหน่งเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย เป็นการออกแบบอัลกอริทึมที่ซับซ้อน เช่น โครงข่ายนิวรอนฟัซซี (Fuzzy neural network) [8] และ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) [2] แต่วิธีการที่ใช้ต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้และชุดข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ต้องมีจำนวนมากเพียงพอและมีความถูกต้องระดับหนึ่ง เพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องอาจใช้เวลาในการเรียนรู้ยาวนาน ส่วนวงจรกรองแบบป้อนกลับ (Feedback filter) [1] เป็นวิธีที่ใช้จำนวนข้อมูลของค่าเฉลี่ย RSSI ปัจจุบันและค่าก่อนหน้า แต่เมื่อต้องการทำให้ลดความผิดพลาดต้องผ่านวงจรกรองถึง 3 วงจรกรอง ทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) [9] ต้องมีการกำหนดขนาดของหน้าต่าง (Window size) ก่อนนำไปใช้งานจริงในการระบุตำแหน่ง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้เองสำหรับปรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในแบบจำลองการสูญเสียที่ใช้เป็นสมการแปลงระยะห่างระหว่างคู่โหนด ให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเมื่ออ่านค่า RSSI เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้จริงของโหนดเป้าหมายทั้งแบบอยู่นิ่งและแบบเคลื่อนที่

1.2 การตรวจสอบเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เบื้องต้นก่อนการวิจัยเป็นการทำความเข้าใจภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยศึกษางานวิจัยที่อธิบายปัญหาของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร จากนั้นมุ่งเน้นศึกษางานวิจัยที่นำเสนอวิธีการต่างๆ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้จริง ซึ่งสามารถแบ่งประเภทงานวิจัยที่นำเสนอออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทแรกเป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการสำหรับปรับปรุงค่า RSSI โดยตรง เพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI ก่อนหาตำแหน่ง ประเภทที่สองเป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการเพื่อปรับค่าคงที่ในสมการแปลงระยะห่างให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน และประเภทที่สามเป็นงานวิจัยที่นำเสนอโดยการปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งที่มีอยู่ให้สามารถประมาณตำแหน่งเป้าหมายให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น และบางงานวิจัยนำเสนอหลายวิธีการที่สามารถปรับปรุงทั้งค่า RSSI และวิธีการระบุตำแหน่งที่สามารถสรุปได้ตามภาพประกอบ 1-1 และแสดงรายละเอียดของงานวิจัยแยกเป็นส่วนๆ ดังนี้



ภาพประกอบ 1-1 ประเภทของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 A Fusion Approach of RSSI and LQI for Indoor Localization System Using Adaptive Smoothers [1]

ความถูกต้องของการระบุตำแหน่งขึ้นกับค่า RSSI และเมื่อค่ามีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายจากสภาพแวดล้อมรอบๆ โดยเฉพาะสิ่งกีดขวางที่เป็นโลหะ ส่งผลต่อระดับความแรงสัญญาณวิทยุที่เดินทางในตัวกลางที่เป็นอากาศทำให้เกิดการลดทอนอย่างมาก ในงานวิจัยนี้จึงเพิ่มการพิจารณาค่าที่บ่งบอกคุณภาพของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ได้รับ (Link quality indicator: LQI) เข้ามาใช้ร่วมกับค่า RSSI เพื่อช่วยให้สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของสัญญาณได้ นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้งานวงจรกรองป้อนกลับ (Feedback filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อค่า RSSI ทำให้การประมาณระยะห่างระหว่างโหนดมีความถูกต้องมากขึ้นตามสมการ (1.1)

$$smooth_RSSI_t(BOTH) = a * RSSI_t + (1-a) * RSSI_{t-1} \quad (1.1)$$

โดยที่ $smooth_RSSI_t(BOTH)$ คือการกรองค่า RSSI ด้วยวงจรกรองทั้งสองคือแบบ LQI และแบบ RSSI ส่วนค่า $RSSI_t$ และ $RSSI_{t-1}$ คือค่า RSSI ค่าปัจจุบันและค่าก่อนหน้าหนึ่งค่า และ a เป็นระดับการกรอง สำหรับการกำหนดค่า a ที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมจริง จึงมีผลต่อวงจรกรองป้อนกลับคือ เมื่อค่าเข้าใกล้ 1 เป็นการให้ความสำคัญกับค่า RSSI ในปัจจุบันหรือถ้าหากมีค่าน้อย วงจรกรองเป็นการกรองโดยใช้ค่า RSSI ก่อนหน้า ดังนั้นการกำหนดค่าจึงพิจารณาจากความน่าเชื่อถือของค่า RSSI และค่าของ LQI ที่อ่านมาได้ในสภาพแวดล้อมจริง ทำให้ค่าสามารถปรับได้เองตามค่า RSSI และค่า LQI ที่อ่านมา และกรองสัญญาณรบกวนออกจากค่า RSSI โดยผ่านวงจรกรองป้อนกลับแบบ LQI และวงจรกรองป้อนกลับแบบ RSSI เมื่อค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ที่กำหนดไว้ของทั้ง LQI และ RSSI หาโดยวิธีผลต่างระยะห่างเฉลี่ย (Average distance difference) ทำให้การกรองสัญญาณรบกวนในแต่ละระยะห่าง ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงเพราะต้องผ่านวงจรกรองทั้งแบบ LQI และ RSSI ในผลการทดลองจริงพบว่าสามารถลด

สัญญาณรบกวนที่เกิดจากค่า RSSI ที่เปลี่ยนแปลงรวดเร็วและค่าที่ขาดหายไปได้ จึงทำให้สัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของระยะห่างลดลงร้อยละ 25 และดีกว่าการหาระยะห่างแบบไม่ผ่านวงจรกรองป้อนกลับ สำหรับข้อดีของวงจรกรองแบบป้อนกลับคือ อาศัยค่า RSSI ก่อนหน้าเพียงค่าเดียว ทำให้ใช้เวลาในการกรองสัญญาณรบกวนได้เร็ว จึงสามารถใช้งานได้จริงในการคำนวณระยะห่างระหว่างโหนด

1.2.2 A Wireless ESD Event Locator Systems in Hard Disk Drive Manufacturing Environment [2]

ปัญหาหลักของการระบุตำแหน่งคือ โหนดเป้าหมายได้รับสัญญาณหลายเส้นทางที่เกิดจากการสะท้อนเมื่อกระทบผนังและเครื่องจักรขนาดใหญ่ในสภาพแวดล้อมจริง ในงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ที่ระดับกำลังส่งต่างๆ เพื่อชดเชยค่า RSSI ที่ถูกลดทอน โดยเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมชั้นเดียวอย่างง่าย ที่กำหนดอินพุตด้วยกำลังส่ง 8 ระดับและ 16 ระดับของแต่ละโหนดอ้างอิง เมื่อได้ค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดอ้างอิงจึงนำมาชดเชยค่า RSSI ที่แต่ละระดับกำลังส่ง ก่อนการระบุตำแหน่งจริงด้วยวิธี Trilateration ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการระบุตำแหน่งลดลง แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในกระบวนการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักของทั้งพื้นที่ในระบบการระบุตำแหน่ง สามารถชดเชยค่า RSSI ที่ถูกลดทอนได้ แต่ต้องเรียนรู้ด้วยข้อมูลอินพุตที่จำนวนมากและครอบคลุมพื้นที่เมื่อนำไปใช้งานจริงสำหรับโหนดเป้าหมายที่มีการเคลื่อนที่

สำหรับงานวิจัย [1] และ [2] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการสำหรับปรับปรุงค่า RSSI โดยตรงเพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI เมื่องานวิจัย [1] นำเสนอการใช้วงจรกรองป้อนกลับและงานวิจัย [2] เป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ในสภาพแวดล้อมจริงทำให้การประมาณระยะห่างให้มีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

1.2.3 Dynamic Channel Model LMS Updating for RSS-Based Localization [3]

การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ค่า RSSI จำเป็นต้องมีกระบวนการปรับเทียบ (Calibration) เพื่อทราบค่าคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ใช้สื่อสารและเนื่องจากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงบางช่วงเวลา ดังนั้นการ Calibration ใหม่เพื่อรักษาความถูกต้องของการระบุตำแหน่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นเพื่อลดความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งให้น้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงใช้วงจรกรองปรับตัวได้ (Adaptive Filter) แบบค่ากำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Least

Mean Square: LMS) เพื่อให้ค่าคุณลักษณะในสภาพแวดล้อมนั้นคือ เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง (Path loss exponent: η) และค่า RSSI ที่ระยะห่างอ้างอิง ($RSSI(d_0)$) ในแบบจำลองการสูญเสียของ Log-normal shadowing (LNS) ปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมจริงและหาตำแหน่งด้วยวิธี Multilateration ในขั้นตอนการปรับพารามิเตอร์ทั้งสองพิจารณาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมายลบกับตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ประมาณได้ และนำค่าความผิดพลาดที่ได้ไปปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ เพื่อให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดดังสมการ (1.2)

$$\varepsilon(n) = \sqrt{(x(n) - \hat{x}(n))^2 + (y(n) - \hat{y}(n))^2} \quad (1.2)$$

โดยที่ $\varepsilon(n)$ คือค่าความผิดพลาดที่นำไปใช้ในการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ส่วน $(x(n), y(n))$ คือตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมาย และ $(\hat{x}(n), \hat{y}(n))$ คือตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ประมาณได้ วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองที่มีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนและสามารถประยุกต์ใช้งานได้ในสภาวะออฟไลน์เท่านั้น

1.2.4 Measurement Arrangement for the Estimation of Path Loss Exponent in Wireless Sensor Network [4]

ในระบบการระบุตำแหน่ง สมการแปลงระยะห่างต้องสามารถประมาณระยะห่างที่ถูกต้องระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายได้ในสภาพแวดล้อมจริง เมื่อเลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางของสมการแปลงระยะห่างเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ดังนั้นการวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลโดยตรงต่อการหาระยะห่างระหว่างโหนด งานวิจัยนี้เปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมาย โดยนำเสนอวิธีการหาค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง 2 วิธีคือ วิธีแรกการหาสมการเส้นตรงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะห่างเรียกว่าแบบ One-line และวิธีที่สองเป็นการปรับค่าตามสภาพแวดล้อมปัจจุบัน (On-line update) โดยใช้วิธีการ Gradient decent ที่สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ และสามารถทำได้เมื่อทราบตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมาย ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดได้ตามสมการ (1.3)

$$e = P_r(d) - P_r'(d') \quad (1.3)$$

โดยที่ e คือค่าความผิดพลาดที่นำไปใช้ในการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ส่วนค่า $P_r(d)$ มาจากการคำนวณเพราะทราบระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ส่วน

$P_r'(d')$ มาจากการอ่านค่า RSSI จากสภาพแวดล้อมจริง สามารถปรับเปลี่ยนค่าเลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางและค่า $RSSI(d_0)$ ด้วยวิธี Gradient decent ดังสมการ (1.4) และ (1.5) จากนั้นหาด้านหนึ่งด้วยวิธี Iteration

$$\eta_{(k+1)} = \eta_{(k)} + \mu [P_r(d) - P_r'(d')] (10 \log_{10} d) \quad (1.4)$$

$$P_{r(k+1)}(d_0) = P_{r(k)}(d_0) - \mu [P_r(d) - P_r'(d')] \quad (1.5)$$

โดย $\eta_{(k+1)}$ และ $P_{r(k+1)}$ คือค่า η และ $RSSI(d_0)$ ที่มีการปรับค่าแล้วตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ในสภาวะออฟไลน์ เนื่องจากต้องทราบระยะห่างระหว่างแต่ละคู่โหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายเพื่อใช้คำนวณค่าความผิดพลาด

1.2.5 Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN [5]

พารามิเตอร์ความแปรปรวนในแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS ที่ขึ้นกับการเก็บข้อมูลจริงไม่สามารถปรับค่าได้เอง และค่าความแปรปรวนของ RSSI เปลี่ยนแปลงตามระยะห่าง โดยพิจารณาจากข้อมูลจริงจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงนำเสนอฟังก์ชันค่าความแปรปรวนของ RSSI กับระยะทางและสร้างแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS ที่สามารถปรับค่าความแปรปรวนแบบพลวัตได้ โดยใช้วิธีกำลังสองต่ำสุด (Least square) ในการหาสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยสร้างฟังก์ชันความสัมพันธ์ค่าความแปรปรวนของ RSSI กับระยะทางที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้เองเมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง แต่มีความซับซ้อนในการหาพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความแปรปรวนกับระยะห่างเนื่องจากเป็นฟังก์ชันพหุนามกำลัง 3

สำหรับงานวิจัย [3] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการใช่วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับพารามิเตอร์ในแบบจำลองการสูญเสีย LNS ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ค่าที่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่ใช้งานคือ ค่า $RSSI(d_0)$ และ η โดยใช้การทราบตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมาย ส่วนงานวิจัย [4] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการ Gradient decent และงานวิจัย [5] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีกำลังสองต่ำสุดในการปรับพารามิเตอร์ทั้งสองค่า

1.2.6 Weighted Least Squares Techniques for Improved Received Signal Strength Based Localization [6]

ระบบการระบุตำแหน่งในความเป็นจริงต้องมีกระบวนการ Calibration เพื่อปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ให้ได้ค่าตามสภาพแวดล้อมจริงที่สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการระบุ

ตำแหน่งได้ เนื่องจากการใช้แบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS เป็นทางเลือกที่ง่ายที่สุด แต่ถูกออกแบบภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูล ทำให้ในทางปฏิบัติข้อสมมติฐานอาจไม่ทำให้ผลการระบุตำแหน่งถูกต้องตามทฤษฎี และใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักกำลังสองต่ำสุด (Weighted Least Squares: WLS) เพื่อปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Hyperbolic (ที่รู้จักอีกชื่อว่าวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Multilateration) และวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Circular เพื่อให้สามารถทนต่อความไม่สมบูรณ์ของค่าคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมจริงได้ และความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า RSSI กับระยะห่างไม่สัมพันธ์แบบเชิงเส้นเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดมากขึ้น ดังนั้นการให้ค่าน้ำหนักกับระยะห่างที่แตกต่างกันทำให้ความถูกต้องเพิ่มขึ้น

ในขั้นตอนการทดลองจริงใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 12 โหนดและที่โหนดเป้าหมายประกอบด้วย MicaZ 4 โหนดทำการอ่านค่า RSSI จากอย่างน้อย 4 โหนดอ้างอิง เริ่มต้นหาความสัมพันธ์ของสมการแปลงค่า RSSI เป็นระยะทางโดยใช้ Levenberq-Marquardt [6] สามารถประมาณค่า η ได้เท่ากับ 2.33 และค่า $RSSI(d_0)$ เท่ากับ -59.55 dBm ผลการใช้เทคนิคในการปรับค่าน้ำหนักเพื่อปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งทั้งแบบ Hyperbolic และ Circular สามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งได้ แต่การคำนวณมีความซับซ้อนและใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น การระบุตำแหน่งด้วยวิธี Circular เลือกค่าความแรงสัญญาณสูงสุดจากโหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนด ส่วนการหาตำแหน่งแบบ Hyperbolic คิดผลต่างของระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงอย่างน้อย 2 โหนดกับระยะห่างที่ได้จากการประมาณค่า RSSI ของโหนดเคลื่อนที่กับโหนดอ้างอิง เพื่อคำนวณระยะห่างก่อนคำนวณตำแหน่ง

1.2.7 Improved Hybrid Algorithm of Indoor Wireless Localization Based on RSSI for Wireless Sensor Networks [7]

ความซับซ้อนของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ทำให้การระบุตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์ไร้สายได้รับผลกระทบอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับค่า η แบบพลวัตเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและลดความผิดพลาดของการหาระยะห่างจากค่า RSSI ก่อนการระบุตำแหน่ง เมื่อค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ มีความถูกต้องสามารถปรับปรุงสมการแปลงระยะห่างได้อย่างชัดเจน และปรับปรุงอัลกอริทึม Weighted Centric เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง เมื่อนำเสนอวิธีการปรับค่า η ให้สามารถปรับเองได้โดยให้โหนดอ้างอิงสามารถอ่านค่า RSSI ได้ทั้งจากโหนดเป้าหมายและโหนดอ้างอิงอื่นๆ และให้ค่าน้ำหนักกับระยะห่างระหว่างโหนดที่แตกต่างกัน และนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึม Weighted Centric เนื่องจากมีความ

ซับซ้อนน้อย แต่ข้อเสียคือเกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่เมื่อ โหนดเป้าหมายอยู่ใกล้ โหนดอ้างอิง จึงประยุกต์ใช้กำลังสองต่ำสุดในการพิจารณาความผิดพลาด เพื่อลดความผิดพลาดที่อยู่บริเวณรอบๆ โหนดอ้างอิง และเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งเมื่อเทียบกับวิธีการระบุตำแหน่งเดิม แต่งานวิจัยนี้นำเสนอการปรับค่า w ให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง แต่อย่างไรก็ตามการทดลองเป็นเพียงการจำลองระบบที่ประกอบด้วย โหนดเป้าหมายจำนวน 500 โหนดและ โหนดอ้างอิงจำนวน 8 โหนด

1.2.8 Fuzzy Neural Network based RFID Positioning and Navigation Method for Mobile Robots [8]

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบการระบุตำแหน่งเพื่อนำทางบนหุ่นยนต์รถเข็นผู้ป่วยอัจฉริยะ (Wheelchair) โดยนำเสนอการใช้พีชคณิตเวกเตอร์ที่ใช้อัลกอริทึม Back-propagation ในการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าเฉลี่ย (Mean) ที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองแบบอัตโนมัติในรอบของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อต้องการค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการนำทางเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และการเพิ่มสายอากาศเข้าไปสามารถลดความผิดพลาดได้ในขณะหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ในการเพิ่มความถูกต้องของการระบุตำแหน่งซึ่งอินพุตเป็นค่าความผิดพลาดของผลต่างระหว่างตำแหน่งจริงกับตำแหน่งของโหนดที่หาจากจุดตัดของวงกลมทั้ง 4 วง ค่า RSSI ในสภาพแวดล้อมจริงมีการเปลี่ยนแปลงจากผลของการแพร่กระจายสัญญาณหลายทิศทางและผลกระทบเมื่อสัญญาณถูกบดบัง จึงกำหนดช่วงของ RSSI (R_{scope}) โดยใช้ค่าสูงสุด (R_{max}) ลบค่าต่ำสุด (R_{min}) และสมการสำหรับปรับค่าน้ำหนัก เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายสามารถคำนวณได้ตามสมการ (1.6)

$$w_i = \frac{R_{scope}}{R_{max} - R_i} \quad (1.6)$$

สำหรับอินพุตที่เข้าพีชคณิตเวกเตอร์เป็นค่าความผิดพลาดที่เกิดจากผลต่างของตำแหน่งเป้าหมายจริงกับตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ประมาณได้ จุดประสงค์เพื่อปรับปรุงความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง ประกอบด้วย 4 ชั้นคือชั้นอินพุต ชั้นความเป็นสมาชิกที่ใช้ฟังก์ชัน Gaussian ปรับค่าสมาชิก ชั้นการกำหนดคณและชั้นเอาต์พุต เมื่อกระบวนการเรียนรู้แบบออฟไลน์เสร็จ สามารถนำค่าน้ำหนัก ค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยไปใช้หาตำแหน่งจริงที่คำนวณโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล FPGA (Field Programmable Gate Array) บนหุ่นยนต์รถเข็นผู้ป่วยอัจฉริยะให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ผลการทดลองแสดงความผิดพลาดการระบุตำแหน่งของ

หุ่นยนต์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่เปรียบเทียบกับขณะหยุดนิ่ง ค่าความผิดพลาดลดลงมากกว่า 2 เมตร เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เกิน 20 เมตรต่อวินาที ในขั้นตอนการเรียนรู้เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนัก ค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยที่ครอบคลุมพื้นที่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลจำนวนมากในแต่ละจุดของพื้นที่ เพราะนำค่ามาใช้งานจริงเมื่อโหนดมีการเคลื่อนที่และในการเลือกค่าที่เหมาะสมต้องใช้หน่วยประมวลผลที่เร็วจึงเลือกใช้ FPGA

สำหรับงานวิจัย [6], [7] และ [8] เป็นงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการเพื่อปรับปรุงวิธีการประมาณตำแหน่ง เริ่มที่งานวิจัย [6] นำเสนอวิธีการ WLS เพื่อปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Hyperbolic และวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Circular ส่วนในงานวิจัย [7] เป็นการนำเสนอวิธีการกำลังสองต่ำสุดมาปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Weighted Centric และงานวิจัย [8] ใช้พีชคณิตเวกเตอร์ในการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผู้ช่วยอัจฉริยะ

1.2.9 Continuous Close-Proximity RSSI-based Tracking in Wireless Sensor Network [9]

ในการติดตามโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ที่ต้องประมาณตำแหน่งอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วในการส่ง RSSI สูงและความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเป้าหมายต่ำ เพื่อลดความผิดพลาดเมื่อโหนดเคลื่อนที่จริง จึงนำเสนอการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงในบริเวณที่ใกล้กัน (Close proximity) และเลือกใช้กำลังส่งที่เหมาะสมในการส่งค่า RSSI จึงสามารถเพิ่มความถูกต้องในการแปลงค่า RSSI เป็นระยะห่างและการใช้สถิติขั้นสูงและวิธีการประมวลผลสัญญาณเพื่อลดความเพี้ยนของค่า RSSI ในช่องสัญญาณและชดเชยข้อมูลที่สูญหาย ดังนั้นก่อนการระบุตำแหน่งจึงกรองสัญญาณรบกวนด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) จากนั้นทำการ Calibration ก่อนประมาณระยะห่างเพราะต้องการทราบค่า η และประมาณตำแหน่งโหนดเคลื่อนที่ด้วยการพิจารณาความผิดพลาดสองเฉลี่ยต่ำสุด (Minimum Mean Square Error: MMSE) และกรองค่าความผิดพลาดด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอีกครั้ง ในการระบุตำแหน่งใช้โหนดอ้างอิง 2 โหนดเนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่อยู่ในระนาบวงกลมที่รัศมี 10, 12, 14 และ 16 เซนติเมตรและโหนดเป้าหมายเป็นรถของเล่นขนาดเล็กวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 0.33 เมตรต่อวินาที เพื่อเพิ่มความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจำเป็นต้องแลกมาด้วยความซับซ้อนและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล นอกจากนี้พื้นที่ที่ใช้งานมีขนาดเล็กมากไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในพื้นที่กว้าง

1.2.10 สรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด สามารถสรุปรายละเอียดที่ประกอบด้วยจำนวนโหนดที่ใช้งาน สภาพแวดล้อมและพื้นที่ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งและกำหนดพารามิเตอร์เมื่อจำลองระบบโดยใช้แบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS และอุปกรณ์ที่ใช้อ่านค่า RSSI ได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดในการทดลองจริงและจำลองระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

งานวิจัย	โหนดอ้างอิง*: โหนดเป้าหมาย*: โหนดสถานีฐาน*	สภาพแวดล้อมและการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	อุปกรณ์	พื้นที่กว้าง (เมตร)x ยาว(เมตร)
[1]	1:1:0	ทางเดิน 3 แบบคือทางเดินแบบปิด มีทั้งแบบเปิดและปิด และทางเดินแบบเปิด	ZigBee (CC2430)	เส้นทาง ยาว10
[2]	3:1:1	แบบโรงงาน มีเครื่องจักรขนาดใหญ่จำนวนมาก	CC2500	10x20
[3]	4:1:0	พื้นที่ว่างภายนอกอาคารไม่มีสิ่งกีดขวาง	-	10x10
[5]	1:1:0	$\eta=3.5306$, $RSSI(d_0)=40.9951\text{dBm}$ และ $d_0=0.2\text{ m}$	MicaZ	เส้นทาง ยาว 6.1
[6]	12:4:0	แบบออฟฟิศมีผนังและเฟอร์นิเจอร์ กำลังส่ง 0 dBm ครอบคลุมพื้นที่ 6 m	-	-
[8]	4:1:1 20 m/min	ได้รับผลกระทบจากสัญญาณหลายทิศทางและผลกระทบจากการถูกบัง	RFID FPGA	5x5
[4]	8-12: 500:0	กำหนด $\eta=4$, $RSSI(d_0) = -55\text{ dBm}$ และ $\sigma=4-10\text{ dB}$	-	100x100
[7]	8:20:0	กำหนด $\eta=2.3$ (โหนดอ้างอิง 1-4) และ $\eta=2.6$ (โหนดอ้างอิง 5-8) , $RSSI(d_0) = -60\text{ dBm}$, $\sigma=1\text{ dB}$	MicaZ	8x8

ในตารางที่ 1.1 เมื่อโหนดอ้างอิง (Reference node) เป็นโหนดที่อยู่กับที่ทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอน โหนดเป้าหมาย (Target node) ทำหน้าที่อ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงเพื่อคำนวณตำแหน่ง และโหนดสถานีฐาน (Base station node) ทำหน้าที่เป็นโหนดศูนย์กลางของระบบเพื่อใช้วิเคราะห์หรือเก็บรวบรวมข้อมูล และในบางงานวิจัยไม่กล่าวถึงอุปกรณ์และขนาดของพื้นที่ทำให้ไม่ทราบรายละเอียดจึงแทนด้วยเครื่องหมายขีด นอกจากนี้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปวิธีการที่นำเสนอเพื่อปรับปรุงในส่วนต่างๆของระบบการระบุตำแหน่งได้ตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สรุปวิธีการที่นำเสนอของแต่ละงานวิจัย

บทความ	การปรับปรุงในแต่ละส่วน		
	ปรับปรุงค่า RSSI*	ปรับสมการแปลงระยะห่าง*	ปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่ง*
[1]	✓		
[2]	✓		
[3]		✓	
[4]		✓	
[5]		✓	
[6]			✓
[7]			✓
[8]			✓
[9]	✓		✓

สำหรับการปรับปรุงในส่วนแรกเป็นการปรับปรุงค่า RSSI เพื่อลดสัญญาณรบกวน [1, 2, 9] ถัดมาเป็นที่สองที่นำเสนอวิธีการเพื่อปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย [3-5] เมื่อพารามิเตอร์ทั้งสองขึ้นกับสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้งาน และส่วนที่สามเป็นการปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่ง [6-9] โดยเพิ่มวิธีการเข้าไปเพื่อให้วิธีการระบุตำแหน่งมีความถูกต้องมากขึ้น และแต่ละวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มความถูกต้องได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ จึงเป็นข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละงานวิจัยที่สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการที่นำเสนอในแต่ละงานวิจัย

บทความ	วิธีการที่นำเสนอ	ข้อดีและข้อจำกัด
[1]	วงจรรองป้อนกลับ (Feedback filter)	ข้อดี ลดสัญญาณรบกวนด้วยวงจรรองแบบ LQI และแบบ RSSI ทำให้ค่า RSSI ราบเรียบขึ้น ข้อจำกัด: ต้องใช้ทั้ง LQI และ RSSI เพื่อให้ค่า RSSI ราบเรียบขึ้นก่อนนำไปใช้และต้องผ่านวงจรรอง 3 ชั้น
[2]	โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network)	ข้อดี: ประยุกต์ใช้กำลังส่งหลายระดับเพื่อเป็นอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม ข้อจำกัด: อาศัยข้อมูลในการเรียนรู้ที่ถูกต้องและจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลานานให้กระบวนการเรียนรู้
[3]	วงจรรองปรับตัวได้ แบบ LMS (LMS Adaptive Filter)	ข้อดี: เป็นการ Calibration พื้นที่ที่ใช้งานก่อนการใช้งานจริง ทำให้ลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งได้ ข้อจำกัด: แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ได้เพราะใช้ตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมายปรับค่าความผิดพลาด
[4, 5 และ 7]	วิธีการกำลังสองต่ำสุด (Least Square: LS)	ข้อดี: [4] ปรับพารามิเตอร์ของสมการแปลงระยะห่างสามารถเพิ่มความถูกต้องได้ [5] ปรับพจน์ความแปรปรวนในแบบจำลอง LNS ที่เปลี่ยนแปลงตามค่า RSSI ให้สามารถปรับค่าได้เอง [7] ปรับค่า η ในสมการแปลงระยะห่าง และปรับปรุงวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Weighted Centric เพื่อให้ค่าน้ำหนักกับระยะห่างที่แตกต่างกันสามารถลดความผิดพลาดได้ ข้อจำกัด: [4] ไม่สามารถระบุตำแหน่งจริงแบบเรียลไทม์ได้ เพราะใช้อาศัยค่า RSSI ที่มาจากการคำนวณในปรับค่าความผิดพลาด [5] ในการปรับค่าความแปรปรวนอาศัยสมการพหุนามกำลังสี่ จึงใช้เวลาในการคำนวณสูงและสมการที่ใช้ปรับค่อนข้างซับซ้อน [7] จำลองระบบใช้จำนวนโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมายจำนวนมาก

บทความ	วิธีการที่นำเสนอ	ข้อดีและข้อจำกัด
[6]	วิธีการถ่วงน้ำหนักกำลังสองต่ำสุด (Weighted Least Squares: WLS)	ข้อดี: นำเสนอวิธี WLS เพื่อเพิ่มสมรรถนะของวิธีการระบุตำแหน่งแบบ hyperbolic (หรือ Multilateration) และแบบ Circular เพื่อประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันของแต่ละโหนดอ้างอิง ข้อจำกัด: ใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 12 โหนดและโหนดเป้าหมายจำนวน 4 โหนดและใช้ค่า RSSI จำนวนมาก จึงใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น
[8]	โครงข่ายนิวรอนฟัซซี (Fuzzy Neural Network: FNN)	ข้อดี: นำไปใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์รถเข็นผู้ป่วยอัจฉริยะ โดยใช้ FNN เรียนรู้พื้นที่ก่อนใช้งานจริง เมื่อใช้งานจริงโหนดสามารถเคลื่อนที่โดยใช้ค่าน้ำหนัก ค่าความแปรปรวน และค่าเฉลี่ย ข้อจำกัด ต้องอาศัยข้อมูลในการเรียนรู้ที่ครอบคลุมทุกจุดของพื้นที่และจำนวนมาก และโครงสร้างที่ใช้งานมีความซับซ้อนทำให้ใช้เวลาในกระบวนการเรียนรู้นาน
[9]	วงจรรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter: LPF)	ข้อดี: ปรับค่า RSSI โดยใช้วงจรรอง LPF การเลือกกระดุมกำลังส่งและอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่เหมาะสมก่อนประมาณระยะห่าง และในขั้นตอนการระบุตำแหน่งเลือกจุดตัดของวงกลมโดยอาศัยการวางโหนดอ้างอิงในระยะใกล้ ข้อจำกัด: สามารถประยุกต์ในการระบุตำแหน่งเมื่อโหนดเคลื่อนที่ได้จริงในหน่วยเซนติเมตร และต้องผ่านหลายวิธีการเพื่อให้ได้การประมาณตำแหน่งที่ถูกต้อง

1.3 ประเด็นวิจัย

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นปัญหาของการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคาร สามารถสรุปประเด็นวิจัยได้ออกเป็น 2 ส่วนคือ การปรับปรุงค่า RSSI และการปรับพารามิเตอร์ของสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายโดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

1.3.1 การปรับปรุงค่า RSSI โดยใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS

จากปัญหาหลักของการใช้ค่า RSSI เพื่อประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสภาพแวดล้อมจริง พบว่าค่า RSSI มีการเปลี่ยนแปลงค่าได้ง่ายเมื่อเดินทางกระทบสิ่งกีดขวางหรือวัตถุที่อยู่รอบๆ ทำให้โหนดเป้าหมายได้รับผลกระทบจากสัญญาณหลายเส้นทางและสัญญาณบางช่วงเวลาเกิดการจางหาย และเนื่องจากค่า RSSI มีผลต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดโดยตรง จึงประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อลดการแกว่งตัวของค่า RSSI ได้ในสภาพแวดล้อมจริง

1.3.2 การปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างให้สามารถปรับค่าได้เองโดยใช้วิธีการปรับตัวแบบ LMS

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ากระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ค่า RSSI จำเป็นต้องมีกระบวนการ Calibration เพื่อทราบคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ใช้สื่อสารและเนื่องจากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงบางช่วงเวลา ดังนั้นการ Calibration ใหม่เพื่อรักษาความถูกต้องของการระบุตำแหน่งเป็นกระบวนการที่จำเป็น เพื่อลดความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งให้น้อยที่สุดและสามารถเพิ่มความถูกต้องได้จริง จึงประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายที่สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในสภาพแวดล้อมจริงทั้งกรณีที่มีโหนดเป้าหมายหยุดนิ่งและเคลื่อนที่

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 ศึกษาแบบจำลองการสูญเสียแบบ LMS และพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของค่า RSSI ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการระบุตำแหน่งทั้งจากการจำลองและสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคาร

1.4.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดจากการระบุตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับจากการจำลองและข้อมูลการทดลองจริง

1.4.3 ประยุกต์และออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (LMS Adaptive Filter) เพื่อเพิ่มศักยภาพในการระบุตำแหน่งของโหนดแบบหยุดนิ่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น จากการจำลองและข้อมูลการทดลองจริงเมื่อได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

1.4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบโดยอาศัยข้อมูลจากทั้งการจำลอง และการทดลองจริง และสามารถนำไปใช้งานระบุตำแหน่งภายในอาคารได้จริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมได้จริงในการระบุตำแหน่งภายในอาคารทั้งในกรณีโหนดเป้าหมายอยู่หนึ่งที่มีสิ่งกีดขวางและไม่มีสิ่งกีดขวาง และกรณีโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ได้เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1.6.1 ศึกษาปัญหาของระบบการระบุตำแหน่งโดยจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB และใช้แบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS ที่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมภายในอาคารได้เสมือนจริงและเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ถูกลดทอนเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดเพิ่มขึ้น โดยกำหนดพารามิเตอร์อ้างอิงจาก โมดูลสื่อสารไร้สาย CC2500 และใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration คำนวณตำแหน่งโหนดภายในอาคารทั้งแบบหยุดนิ่ง และเคลื่อนที่

1.6.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งนำเสนอวิธีการที่สามารถเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยการจำลองระบบและการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริง รวมทั้งศึกษาคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุที่ถูกลดทอนเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริง

1.6.3 วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการที่สามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยประยุกต์ใช้วิธีการได้แบบ LMS ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายอยู่หนึ่งและโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่แบบออนไลน์ได้ในสภาพแวดล้อมจริง เมื่อสถานที่ทำการวิจัยคืออาคารมงคลสุขคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่มีพื้นที่ขนาด 10 x 5 ตารางเมตร

1.6.4 ในการจำลองระบบและทดลองในสภาพแวดล้อมจริงประกอบด้วยการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการปรับปรุงค่า RSSI และส่วนที่สองเป็นการปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายก่อนการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

1.6.5 สำหรับการเปรียบเทียบผลพิจารณาตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายที่ประมาณได้ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายที่ประมาณได้ระหว่างการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เทียบกับการไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

1.6.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยโมดูลสื่อสารไร้สายที่ใช้ในการรับและส่งคลื่นสัญญาณวิทยุคือ CC2500 ที่แต่ละเซนเซอร์โหนดไร้สาย สำหรับการระบุตำแหน่งแต่ละโหนด ประกอบด้วยโมดูลสื่อสารไร้สาย CC2500 เชื่อมต่อแบบ SPI กับ ไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น ARM LPC2103F เพื่อทำการอ่านค่า RSSI ที่ทุกโหนดอ้างอิง ในงานวิจัยใช้โหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนดและโหนดเป้าหมาย 1 โหนดเพื่อหาตำแหน่งภายในอาคารทั้งแบบหยุดนิ่งและแบบเคลื่อนที่ โดยวางเซนเซอร์โหนดไร้สายบนขาตั้งกล้องสูงจากพื้น 1.04 เมตร ซึ่งเป็นความสูงของขาตั้งกล้อง เพื่อง่ายต่อการใช้งาน และเขียน โปรแกรมด้วยโปรแกรม IAR จากนั้น โหลด โปรแกรมลงบอร์ด ไมโครคอนโทรเลอร์โดยใช้โปรแกรม Flash Magic

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

การระบุตำแหน่งภายในอาคารแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงเพื่อคำนวณตำแหน่ง การประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย การคำนวณตำแหน่งโหนดเป้าหมายด้วยวิธีการ Trilateration และนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการระบุตำแหน่งภายในสภาพแวดล้อมจริงที่แสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง: ค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงที่โหนดเป้าหมายได้รับมาจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งสร้างจากแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS และเก็บค่า RSSI ในสภาพแวดล้อมจริงด้วยโมดูลสื่อสารไร้สาย CC2500 โดยค่า RSSI ที่อ่านได้อยู่ในหน่วย dBm ที่ความละเอียด 0.5 dB ซึ่งสามารถอ่านค่าได้อย่างต่อเนื่องจากรีจิสเตอร์ชื่อ RSSI สำหรับการอ่านค่า RSSI จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลจากโหนดตัวส่งไปยังโหนดตัวรับ เมื่อโหนดตัวรับทำการตรวจจับ (Detect) ว่าได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงอ่านค่า RSSI มาได้ ในงานวิจัยใช้เวลาประมาณตำแหน่งทุก ๆ 0.1 มิลลิวินาที

ส่วนที่สอง: การประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายสามารถประมาณได้ทั้งจากการจำลองระบบและการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง โดยกำหนดค่ากำลังส่งสูงและค่าความไวของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดของทุกโหนดตามโมดูลสื่อสารไร้สาย

CC2500 จากนั้นเริ่มการประมาณระยะห่างจากการจำลองโดยใช้แบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS ที่กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม 2 พารามิเตอร์ คือค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ สำหรับการประมาณระยะห่าง พารามิเตอร์ทั้งสองได้จากพื้นที่ที่ใช้งานจริงโดยใช้โหนดในการเก็บข้อมูลซึ่งมีโหนดตัวส่งทำหน้าที่ส่งค่า RSSI ไปยังโหนดตัวรับที่แต่ละระยะห่างและเก็บผลจนครบระยะห่างที่ต้องการ จากนั้นใช้สมการเชิงเส้นอธิบายความสัมพันธ์ของค่า RSSI กับระยะห่าง ในการประมาณค่าจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนที่มากเพียงพอเพื่อให้ค่าที่เป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมจริง

ส่วนที่สาม: การระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายด้วยวิธีการ Trilateration เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่แก้สมการเพื่อหาจุดตัดของวงกลมอย่างน้อย 3 วงซึ่งจุดศูนย์กลางของแต่ละวงคือ ตำแหน่งของโหนดอ้างอิงเมื่อทราบตำแหน่งที่แน่นอน และรัศมีของแต่ละวงคือ ระยะห่างที่ได้จากการแปลงค่า RSSI ของโหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนดเพื่อประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้งในการจำลองและการทดลองจริง

ส่วนที่สี่: การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ในการปรับปรุงค่า RSSI เพื่อให้ค่า RSSI ราบเรียบขึ้น ก่อนประมาณระยะห่างระหว่างโหนดและสามารถลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งได้ และการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายเพื่อให้ได้ค่า η และ $RSSI(d_0)$ ตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งานจริงโดยอาศัยการทราบระยะห่างอ้างอิงระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอน

1.8 แผนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในแต่ละส่วนแสดง ตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แผนงานวิจัย: ระยะเวลา 2.5 ปี เริ่มมิถุนายน 2556 ถึง กรกฎาคม 2557

แผนการดำเนินงาน	เดือนที่					
	5	10	15	20	25	30
1. ทบทวนงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแบบหยุดนิ่งและเคลื่อนที่						
2. ศึกษาและจำลองระบบการระบุตำแหน่งด้วยโปรแกรม MATLAB ด้วยแบบจำลอง LNS และหาตำแหน่งด้วย Trilateration						
3. ทดลองในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า RSSI กับระยะห่างก่อนประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแบบหยุดนิ่ง						
4. ศึกษาและออกแบบวิธีการเพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งโดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS						
5. ปรับปรุงวิธีการที่นำเสนอเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมจริงแบบเรียลไทม์ได้						
6. จำลองระบบและทดลองในสภาพแวดล้อมจริงโดยประยุกต์ใช้วิธีการที่นำเสนอกรณีโหนดเป้าหมายนิ่ง พร้อมทั้งวิเคราะห์ผล						
7. ปรับปรุงวิธีการและทดลองในสภาพแวดล้อมจริงโดยประยุกต์ใช้วิธีการที่นำเสนอกรณีโหนดเป้าหมายนิ่งและโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์						

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ประกอบด้วย วิธีการประมาณระยะห่างและวิธีการระบุตำแหน่ง ปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่า RSSI การแพร่กระจายของสัญญาณหลายเส้นทางและการจางหายของสัญญาณ แบบจำลองการสูญเสียในแนวเส้นสายตาและนอกแนวเส้นสายตา วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS และการประยุกต์ใช้งานสำหรับพัฒนาระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารให้สามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้แม่นยำเพิ่มมากขึ้น

2.1 เซนเซอร์โหนดไร้สาย

เซนเซอร์โหนดไร้สาย (Wireless Sensor Node) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยการทำงานจากระบบสมองกลฝังตัวร่วมกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ที่สามารถอ่านค่าระดับความแรงของสัญญาณวิทยุได้ สำหรับเซนเซอร์โหนดไร้สายที่ใช้ในงานวิจัยคือ PSU-Mote [2] ประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 TDMI-S Core ของ NXP รุ่น LPC-2103 และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายใช้ไอซีสื่อสารไร้สาย CC2500 ของบริษัท Texas Instrument ที่แสดงรายละเอียดของฮาร์ดแวร์ทั้งสองมีดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 TDMI-S Core ของ NXP รุ่น LPC-2103 [10]

- หน่วยความจำแบบ FLASH ขนาด 32 KB และ RAM ภายใน 8 KB
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O Port) มีจำนวน 32 พอร์ต
- วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC Converter) ขนาด 10 บิต จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- ใช้ Crystal 19.6608 MHz และสามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 58.9824 MHz

โมดูลสื่อสารไร้สาย CC2500 ของบริษัท Texas Instrument [11]

- ไอซีสื่อสารข้อมูลไร้สายประเภท Low Cost Low Power RF Transceiver ซึ่งเป็น ได้ทั้งตัวรับและตัวส่งในตัวเดียวกันในการรับและส่งค่า RSSI ที่มีราคาถูกและใช้พลังงานน้อย

- ภาคสัญญาณวิทยุทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz (2400-2483.5 MHz)
- สามารถโปรแกรมให้ส่งข้อมูลด้วยอัตราสูงถึง 500 kBaud
- สามารถกำหนดกำลังส่งได้สูงสุด +1dBm
- ควบคุมการทำงานในการรับและส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทางการเชื่อมต่อในรูปแบบ SPI (Serial Peripheral Interface)
- เาต์พุตมีความสามารถในการอ่านค่า RSSI ในรูปแบบดิจิตอลได้

ไอซีสื่อสารไร้สาย CC2500 สามารถอ่านค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับในรูปแบบข้อมูลดิจิตัลขนาด 8 บิตแบบ 2's complement ที่ความละเอียดของค่า RSSI อยู่ที่ ½ บิต โดยเก็บข้อมูลที่รีจิสเตอร์ชื่อ RSSI ในตำแหน่ง 0x34 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่า RSSI จะทำการแปลงข้อมูลจากเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบซึ่งค่าที่ได้อยู่ในหน่วย dBm

2.2 วิธีการประมาณระยะห่าง

การระบุตำแหน่งแบ่งตามวิธีการหาระยะห่างได้เป็น 2 วิธี [12] คือ การระบุตำแหน่งแบบใช้ระยะห่าง (Range-based localization) และการระบุตำแหน่งแบบไม่ใช้ระยะห่าง (Range-free localization) แต่จะใช้จำนวนทอด (Hop count) ของการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งเหมาะกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายขนาดใหญ่ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการระบุตำแหน่งแบบใช้ระยะห่าง ดังนั้นระยะห่างระหว่างคู่โหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายเป็นหัวใจสำคัญที่มีผลต่อการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย จากคุณสมบัติของสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency: RF) ที่มีความเร็วในการแพร่กระจายสัญญาณสูงเท่ากับความเร็วแสงคือ $3 \cdot 10^8$ เมตรต่อวินาที และมีการลดทอนที่สัมพันธ์กับระยะห่าง จึงสามารถนำมาหาระยะห่างระหว่างโหนดตัวรับและโหนดตัวส่งได้วิธี [13, 14] แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ (1) การวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณ (Time of Arrival: TOA) (2) การอ่านค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator: RSSI) และ (3) การวัดมุมของสัญญาณที่เดินทางมาถึง (Angle of Arrival: AOA) อธิบายหลักการของแต่ละวิธีการประมาณระยะห่างและสรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีการวัดที่นำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 วิธีการวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณ

หลักการวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณ (Time of Arrival: TOA) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลายสัญญาณ [14] คือ สัญญาณวิทยุ สัญญาณอัลตราซาวด์ สัญญาณอินฟราเรด แสงที่มองเห็นและเลเซอร์ สามารถคำนวณระยะห่างโดยอาศัยความสัมพันธ์ของความเร็วสัญญาณกับเวลาของสัญญาณที่เดินทางมาถึงดั่งสมการ (2.1) [14]

$$f_{ToA}(d, ToA) \quad v = \frac{d}{ToA} \quad \text{where} \quad \begin{cases} v_{RF, IR, Laser} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ v_{US, Sound} = 340 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2.1)$$

โดยที่ ToA คือ เวลาของสัญญาณที่เดินทางมาถึงหน่วยเป็นวินาที ส่วน d คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ หน่วยเป็นเมตร และ v คือความเร็วของสัญญาณแต่ละแบบ สำหรับสัญญาณวิทยุ สัญญาณอินฟราเรดและเลเซอร์อาศัยความเร็วเท่ากับ $3 \cdot 10^8$ เมตรต่อวินาที ส่วนสัญญาณอัลตราซาวด์และแสงที่มองเห็นอาศัยความเร็วเท่ากับ 340 เมตรต่อวินาที

เมื่อประยุกต์ใช้หลักการวัดเวลากับสัญญาณวิทยุที่สภาพแวดล้อมภายในอาคารซึ่งใช้ความเร็วแสงในการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ จำเป็นต้องอาศัยวิธีการประสานเวลา (Clock synchronization) เพื่อให้มีความแม่นยำสูงระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับให้ตรงกัน สามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติวิธีการประสานเวลาควรอยู่ในช่วงนาโนวินาที จึงทำให้การใช้วิธีการวัดระยะห่างโดยการวัดเวลามีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายที่ราคาสูงของอุปกรณ์

2.2.2 วิธีการอ่านค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ

การอ่านค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator: RSSI) [13] ใช้เพื่อประมาณระยะห่างระหว่างโหนดสองโหนด มาจากหลักการลดทอนของสัญญาณต่อระยะห่าง ซึ่งข้อดีของวิธีการคือไม่ต้องการฮาร์ดแวร์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้ง และปัจจุบันมีอุปกรณ์สำหรับวัดค่าให้เลือกหลากหลาย แต่ในสภาพแวดล้อมจริงค่า RSSI ได้รับอิทธิพลจากสัญญาณรบกวน สิ่งกีดขวางทำให้ระดับของพลังงานลดลงอย่างรวดเร็วและสามารถคำนวณระยะห่างได้ตามสมการ (2.2) [14]

$$f_{RSSI}(d, P_r)$$

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^n G_t G_r \quad (2.2)$$

โดยที่ P_r คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านรับ หน่วยเป็นวัตต์

P_t คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านส่ง หน่วยเป็นวัตต์

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณ หน่วยเป็นเมตร

G_t, G_r คือ อัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ

d คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ หน่วยเป็นเมตร

n คือ เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง

2.2.3 วิธีการวัดมุมเฟสของสัญญาณที่เดินทางมาถึง

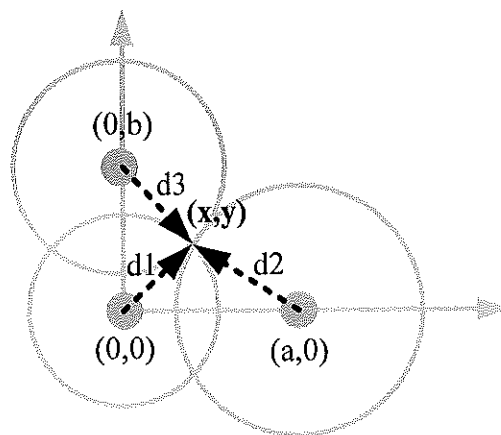
หลักการวัดมุมเฟสของสัญญาณที่เดินทางมาถึง (Angle of Arrival: AOA) ขึ้นกับสายอากาศ [14] สำหรับสายอากาศที่นิยมใช้เป็นสายอากาศแบบอาร์เรย์ (Antenna array) หรือสายอากาศแบบกำหนดทิศทาง (Directional antenna) เพื่อประมาณทิศทางของค่า RSSI วิธีการวัดมุมเป็นการระบุตำแหน่งที่ใช้การวัดมุมตกกระทบของสัญญาณ โดยการระบุตำแหน่งคำนวณจากจุดตัดกันของมุมที่โหนดเป้าหมายทำกับ โหนดอ้างอิง ความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเวลาไม่ตรงกัน (Synchronization inexactitudes) ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ จึงจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบฮาร์ดแวร์เพิ่มสำหรับวัดมุม เมื่อใช้กับสัญญาณวิทยุสามารถคำนวณมุมดังกล่าวตามสมการ (2.3) [14]

$$f_{AOA}(\theta, \phi)$$

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^n G_t(\theta, \phi) G_r(\theta, \phi) \quad (2.3)$$

โดยที่ $G_t(\theta, \phi)$ และ $G_r(\theta, \phi)$ คือ มุมของอัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ ส่วนตัวแปรอื่นเหมือนกับสมการ (2.2) เมื่อประยุกต์ใช้หลักการวัดมุมภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคาร โหนดเป้าหมายจะอยู่รอบๆ โหนดอ้างอิงแบบกระจาย ทำให้เกิดมุมขึ้นมาหลายมุมในการรับสัญญาณหรือระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสั้นกว่าเวลาที่จะสามารถวัดได้ ดังนั้นวิธีการวัดมุมและเวลาของสัญญาณที่เดินทางมาถึง จึงไม่สามารถประยุกต์ใช้

ภาพประกอบ 2-1 อธิบายการหาค่าแห่งแบบ Trilateration เมื่อ (x_1, y_1) , (x_2, y_2) และ (x_3, y_3) เป็นตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่กำหนดตำแหน่งให้อยู่กับที่ และทราบตำแหน่งที่แน่นอน เพื่อประมาณระยะห่าง r_1 , r_2 และ r_3 ระหว่างโหนดซึ่งแต่ละระยะห่างจากจุดอ้างอิงทั้งสามไปยังพิกัด (x, y) คือตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ต้องการทราบตำแหน่ง เพื่อให้ง่ายต่อการหาค่าแห่งเมื่อประยุกต์ใช้งานจริง กำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิง 1 ที่พิกัด $(0, 0)$ และวางตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่เหลือในแนวแกน x และแกน y ดังแสดงในภาพประกอบ 2-2 และคำนวณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายตามสมการ (2.5) [2]



ภาพประกอบ 2-2 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration

$$(x, y) = \left(\frac{d_1^2 - d_2^2 + a^2}{2a}, \frac{d_1^2 - d_3^2 + b^2}{2b} \right) \quad (2.5)$$

โดยที่ (x, y) คือ ตำแหน่งในแนวแกน x และแกน y ของโหนดเป้าหมาย ระยะห่าง d_1 , d_2 และ d_3 เป็นระยะห่างจากโหนดอ้างอิงที่ 1, 2 และ 3 ไปยังโหนดเป้าหมาย ตามลำดับ และพารามิเตอร์ a และ b เป็นค่าระยะห่างระหว่างแต่ละคู่ของโหนดอ้างอิงในแนวแกน x และแกน y ซึ่ง a เป็นระยะห่างแนวแกน x และ b เป็นระยะห่างแนวแกน y คำตอบของวิธีการระบุตำแหน่งแบบนี้จะมีเพียงคำตอบเดียวเมื่อระยะห่างของวงกลมทั้งหมดไม่มีความคลาดเคลื่อน แต่เมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในการระบุตำแหน่งจริง หากเกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณระยะห่างของวงกลมแต่ละวงจะส่งผลกระทบต่อการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเป็นอย่างมาก

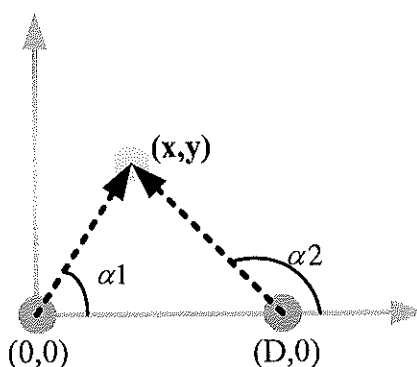
2.3.2 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Multilateration

การระบุตำแหน่งแบบ Multilateration [15] หรือเรียกอีกชื่อว่า Hyperbolic เป็นกระบวนการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยคำนวณจากความแรงสัญญาณวิทยุจากโหนดอ้างอิงตั้งแต่ 3 โหนดขึ้นไป หรือใช้การคำนวณค่าความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่ได้รับ (TDOA) ที่มีหลักการทำงานคล้าย TOA

2.3.3 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Triangulation

การระบุตำแหน่งแบบ Triangulation [15] เป็นการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้การคำนวณมุมสามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้โหนดอ้างอิง 2 โหนดดังภาพประกอบ 2-3 และคำนวณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายด้วยสมการ (2.6) [14]

$$(x, y) = \left(\frac{D \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)}, \frac{D \tan(\alpha_1) \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)} \right) \quad (2.6)$$



ภาพประกอบ 2-3 วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Triangulation

โดยที่ (x, y) คือตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย ส่วน α_1 และ α_2 คือค่ามุมที่สามารถคำนวณได้โดยใช้กฎตรีโกณมิติคือ กฎของ Sine และกฎของ Cosine และ D คือค่าระยะห่างในแนวแกน x ระหว่างโหนดอ้างอิง 2 โหนด

สรุปวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration, Multilateration และ Triangulation [15] โดยทั่วไปวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration มีความแม่นยำและใช้จำนวนโหนดอ้างอิงน้อยกว่าวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Multilateration เมื่อพิจารณาในด้านความถูกต้อง นิยมหาตำแหน่งแบบ Trilateration โดยการวัดระยะห่างแบบ TOA ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก

ค่า RSSI และ AOA สามารถรบกวนได้ง่าย เมื่อใช้การประมาณระยะห่างแบบ TOA ในการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration เหมาะสมกับระยะห่างสั้นๆ ภายในอาคาร แต่อาจมีความผิดพลาดขนาดใหญ่เกิดขึ้นได้จากข้อจำกัดของการประสานเวลากันแต่ดีกว่าการใช้ค่า RSSI ในแง่ของความแม่นยำและความทนทานต่อสัญญาณรบกวน และในความเป็นจริงวิธีการระบุตำแหน่งแบบ Multilateration โดยใช้การประมาณระยะห่างแบบ TDOA ได้รับความแม่นยำกว่าการวัดแบบ RSSI

2.4 ปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ส่งผลต่อค่า RSSI

ระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารอาศัยช่องสัญญาณไร้สาย [16, 17] คืออากาศทำให้สัญญาณสามารถแพร่กระจายได้ทุกทิศทางและเดินทางได้หลายเส้นทางไปยังสายอากาศด้านรับ ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางในอากาศระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเดินทางในแนวเส้นสายตา (Line of Sight: LOS) เป็นแนวเส้นตรงที่เชื่อมต่อกับสายอากาศด้านส่งและสายอากาศด้านรับ สัญญาณที่แพร่กระจายในแนวเส้นสายตามีการลดทอนน้อยที่สุด เช่น การสื่อสารดาวเทียมที่เครื่องรับหรือเครื่องส่งลอยอยู่บนพื้นดิน แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวางในอากาศระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังสามารถเดินทางทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้ถ้าความยาวคลื่นมีค่ามากกว่าความหนาของวัตถุ แต่ถ้าความยาวคลื่นมีขนาดลดลง พลังงานสัญญาณจะถูกลดทอนมากขึ้นเมื่อเดินทางผ่านสิ่งกีดขวาง ดังนั้นสัญญาณอาจไม่สามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางไปถึงด้านรับได้ นอกจากสัญญาณที่เดินทางแนวเส้นสายตาจากเครื่องส่งกับเครื่องรับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางนอกแนวเส้นสายตา (Non Line of Sight: NLOS) ได้จากการแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง (Multipath propagation) และการจางหายของสัญญาณ (Fading)

2.4.1 การแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง

การแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง (Multipath propagation) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การสะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระจัดกระจาย (Scattering) [16, 17] ดังรายละเอียดดังนี้

การสะท้อน คือคลื่นที่เดินทางกระทบวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่าความยาวคลื่นมาก เช่น ผนัง กำแพงหรือพื้นอาคาร ทำให้คลื่นบางส่วนสะท้อนกลับ ในขณะที่คลื่นบางส่วนเดินทางผ่านวัตถุได้ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าความยาวคลื่น ปริมาณพลังงานที่สะท้อนกลับแปรผกผันกับความยาวคลื่นหรือแปรผันตามความถี่ของคลื่น ดังนั้นสัญญาณวิทยุจะถูกลดทอนพลังงานน้อยกว่าคลื่นไมโครเวฟเมื่อเดินทางผ่านกำแพงเพราะมีค่าความยาวคลื่นมากกว่า ส่วนคลื่น

ในย่านอินฟราเรดหรือสูงกว่าไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุทึบแสง หมอกหรือฝน ได้ เนื่องจากความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก

การเลี้ยวเบน คือคลื่นเดินทางใกล้ขอบของวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นมากๆ เช่น ภูเขา ตึกสูง เมื่อคลื่นเลี้ยวเบนตรงขอบวัตถุเปรียบเสมือนคลื่นเดินทางหักเหอ้อมขอบของวัตถุได้

การกระจัดกระจาย คือคลื่นเดินทางผ่านวัตถุที่มีความหนาใกล้เคียงหรือน้อยกว่าความยาวคลื่นทำให้คลื่นเกิดกระจัดกระจายไปหลายทิศทาง ทำให้คลื่นที่เดินทางไปถึงสายอากาศด้านรับมีพลังงานลดลงมาก ดังนั้นในสภาพแวดล้อมจริงสัญญาณจากด้านส่งมาถึงด้านรับได้หลายเส้นทาง สัญญาณที่เดินทางในเส้นตรงจากสายอากาศด้านส่งมายังสายอากาศด้านรับในแนวเส้นสายตา เรียกว่า สัญญาณทางตรง ส่วนสัญญาณที่มีการแพร่กระจายแบบหลายเส้นทางจากการสะท้อน เลี้ยวเบนและการกระจัดกระจาย เนื่องจากสิ่งกีดขวางหรือวัตถุในระหว่างเส้นทาง เรียกว่า สัญญาณทางอ้อม การแพร่กระจายของสัญญาณแบบหลายเส้นทางเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของช่องสัญญาณไร้สายเมื่อเครื่องรับและเครื่องส่งอยู่ภาคพื้นดิน

2.4.2 การจางหายของสัญญาณ

การจางหายของสัญญาณ (Fading) [16, 17] หมายถึงการผันผวนของสัญญาณด้านรับเพราะการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในเส้นทางที่สัญญาณแพร่กระจายแบบหลายทางจากเครื่องส่งมายังเครื่องรับ สัญญาณในแต่ละเส้นทางของการแพร่กระจายแบบหลายเส้นทางมาถึงเครื่องรับไม่พร้อมกัน และกำลังของสัญญาณถูกลดทอนไม่เท่ากัน เนื่องจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อมและสิ่งกีดขวางในเส้นทาง เมื่อสัญญาณเดินทางจากหลายเส้นทางมารวมกันที่เครื่องรับ ผลรวมของสัญญาณที่ได้อาจสูงกว่าสัญญาณด้านส่งถ้าสัญญาณเสริมกันเมื่ออยู่ในเฟสเดียวกัน (In phase) หรืออาจต่ำกว่าสัญญาณด้านรับมากถ้าสัญญาณหักล้างกันเนื่องจากการกลับเฟส (Out of phase) นอกจากนั้น สภาพแวดล้อมในเส้นทางของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆ ดังนั้นสัญญาณที่ด้านรับจากการแพร่กระจายแบบหลายทิศทางจึงมีการผันผวนอย่างรวดเร็ว (Rapid fluctuation) สัญญาณด้านรับที่ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับต่างกันเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลให้กำลังของสัญญาณภาครับต่างกันหลายเท่า และประเภทของการจางหายสัญญาณแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การจางหายมาตราเล็ก (Small scale fading) และการจางหายมาตราใหญ่ (Large scale fading)

การจางหายมาตรเล็ก หมายถึงกำลังสัญญาณด้านรับมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับเพียงเล็กน้อย เนื่องจากผลรวมของสัญญาณที่แพร่กระจายในหลายเส้นทางที่มีขนาดและทิศทางที่แตกต่างกัน ในกรณีที่สัญญาณมีการแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง กำลังของสัญญาณด้านรับจะมีความไวสูงต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆ เครื่องรับ การจางหายมาตรเล็กสามารถเกิดขึ้นได้แม้ว่าระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ เช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุหรือสิ่งกีดขวางในทางเดิน หรือเมื่อสัญญาณที่ส่งผ่านเกิดจากสะท้อนกับพื้นผิวหรือสิ่งกีดขวางรอบข้าง

การจางหายมาตรใหญ่ หมายถึงกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับมีการผันผวนซ้ำๆ เกิดจากเส้นทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งถูกบดบังโดยตึกสูงหรือวัตถุที่มีขนาดใหญ่ในเส้นทางของสัญญาณ ทำให้สัญญาณที่เดินทางมาถึงเครื่องรับเกิดจากสัญญาณทางอ้อมเป็นหลัก เรียกว่าผลกระทบจากการถูกบัง (Shadow effect) และสามารถอธิบายได้อีกลักษณะหนึ่ง คือ ถ้าระยะห่างคงที่ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับแต่เปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องรับหลายๆ ที่แล้วทำการวัดค่าเฉลี่ยของสัญญาณแต่ละแห่ง พบว่า กำลังเฉลี่ยสัญญาณด้านรับ ณ แต่ละจุดมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากสิ่งกีดขวางที่บดบังสัญญาณในเส้นทางแตกต่างกัน

ความไวของเครื่องรับ [17] กำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านรับเป็นตัวกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดจากการถอดรหัสสัญญาณให้กลายเป็นบิต โดยที่ด้านรับมีการกำหนดกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับต่ำสุด เรียกว่า ความไวเครื่องรับ (Received sensitivity) ที่จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดของบิตไม่เกินค่าที่ระบุไว้ ดังนั้นเงื่อนไขของกำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านรับ

2.5 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางภายในอาคาร

การสูญเสียในเส้นทางจากการแพร่กระจายสัญญาณแบบหลายเส้นทาง [16, 17] หมายถึงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการสูญเสียพลังงานในตัวเองเมื่อเดินทางผ่านอากาศจากสายอากาศด้านส่งมายังสายอากาศด้านรับ กล่าวคือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ด้านรับจะน้อยกว่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านส่งเสมอ ความสัมพันธ์ของกำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านส่งและกำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านรับที่คิดเฉพาะความสูญเสียของพลังงานจากการเดินทางผ่านอากาศ ดังนั้น แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทาง (Radio propagation model) ของสภาพแวดล้อมภายในอาคารแบ่งได้เป็น 2 แบบ การจำลอง คือ แบบการจำลองการสูญเสียในเส้นทางในแนวเส้นสายตา ประกอบด้วยแบบจำลอง

การสูญเสียในพื้นที่ว่าง และแบบจำลองการสูญเสียบนพื้นผิวสะท้อน และแบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา ประกอบด้วยแบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance และแบบจำลองการสูญเสีย Log-normal shadowing (LNS)

2.5.1 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางในแนวเส้นสายตา

การส่งสัญญาณในแนวเส้นสายตา (LOS) หมายถึงสัญญาณด้านส่งเดินทางไปถึงด้านรับในเส้นทางแนวสายตาโดยที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างทาง แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางที่นิยมใช้มี 2 แบบ [17] คือแบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง และแบบจำลองการสูญเสียพื้นผิวสะท้อน

2.5.1.1 แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง

แบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง (Free space path loss model) คือการสื่อสารระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับแบบไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ คือสัญญาณจากด้านส่งเดินทางเป็นเส้นตรงไปยังด้านรับมีสัญญาณทางตรงเพียงอย่างเดียว ค่ากำลังเฉลี่ยหรือความแรงสัญญาณวิทยุที่โหนดรับอ่านได้ (P_r) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.7)

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \quad (2.7)$$

โดย c คือ ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และ f คือ ความถี่ของสัญญาณหน่วยเป็นเฮิรตซ์ และตัวแปรอื่นเหมือนกันสมการ (2.2) เมื่อข้อดีของแบบจำลองนี้คือ ง่ายต่อการนำไปใช้งาน สามารถประมาณระยะห่างระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งอย่างคร่าว ๆ ได้เมื่อไม่ทราบข้อมูลที่แน่นอนของสภาพแวดล้อม

2.5.1.2 แบบจำลองการสูญเสียบนพื้นผิวสะท้อน

แบบจำลองการสูญเสียบนพื้นผิวสะท้อน (Two-ray ground model) [16] เมื่อพิจารณาในกรณีที่เครื่องส่งและเครื่องรับอยู่บนภาคพื้นดิน สัญญาณที่ด้านรับจะประกอบด้วยสองส่วน คือ สัญญาณที่เดินทางโดยตรงจากด้านส่งมายังด้านรับและสัญญาณที่สะท้อนพื้นผิวโลกก่อนที่จะเดินทางมายังด้านรับ ซึ่งให้ความถูกต้องมากกว่าสมการ (2.7) ของแบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง

2.5.2 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา

สัญญาณที่ด้านรับในสภาพแวดล้อมจริงเกิดจากสัญญาณที่เดินทางนอกแนวเส้นสายตาจากผลของการแพร่กระจายสัญญาณแบบหลายทิศทางซึ่งประกอบด้วยการสะท้อน การเลี้ยวเบน และการกระจัดกระจาย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายการสูญเสียในเส้นทางของสัญญาณที่เดินทางนอกแนวเส้นสายตาได้อย่างสมบูรณ์นั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากความซับซ้อนของสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทาง จากผลการศึกษาที่ระยะห่างเท่ากัน การสูญเสียของสัญญาณที่ด้านรับเปลี่ยนไปตามลักษณะของสภาพแวดล้อม เช่น ที่โล่งกลางแจ้ง ขานเมือง และลักษณะของสิ่งกีดขวางหรือวัตถุต่างๆ ต่างกัน เช่น ความสูง ขนาด และปริมาณความหนาแน่น เป็นต้น ดังนั้น แบบจำลองการสูญเสียนอกแนวเส้นสายตาจึงอาศัยการวัดสัญญาณในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆ อย่างละเอียด และนำข้อมูลมาปรับเข้ากับสมการทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองการสูญเสียนอกแนวเส้นสายตา [16, 17] มีหลายแบบแต่ที่ง่ายต่อการนำไปใช้งานที่สุดคือ แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance และแบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-normal shadowing

2.5.2.1 แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance

ซึ่งคัดแปลงมาจากแบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่าง เนื่องจากผลทางทฤษฎีและข้อมูลการวัด พบว่า กำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับจะลดลงเร็วกว่าค่ายกกำลังสองของระยะทางที่แสดงในสมการ (2.7) ดังนั้นสามารถให้ค่าความสูญเสียในเส้นทางเพิ่มขึ้นเร็วกว่ากำลังสองของระยะทางด้วยการใช้เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง (Path loss exponent) ในแบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance หาได้จากแทนค่า d^2 ด้วย d^η และ η สามารถเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

2.5.2.2 แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-normal shadowing

แบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-normal shadowing: LNS คือการสูญเสียที่ด้านรับเปลี่ยนไปตามลักษณะของสภาพแวดล้อมเป็นสัญญาณที่เดินทางนอกแนวเส้นสายตา [1-9, 17] จากการแพร่กระจายแบบหลายทิศทาง ดังนั้นค่าความสูญเสียในเส้นทางเพิ่มขึ้นด้วยเลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง (Path loss exponent: η) และสามารถหาค่ากำลังเฉลี่ยในหน่วย dBm ได้ตามสมการ (2.8)

$$RSSI(dBm) = RSSI(d_0) - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (2.8)$$

โดย $RSSI(d_0)$ คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณด้านส่งที่คำนวณจากแบบจำลองการสูญเสียในพื้นที่ว่างแล้วแปลงให้อยู่ในหน่วย dBm

n คือ เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดเพิ่มขึ้น ค่าความแรงสัญญาณวิทยุเฉลี่ยลดลงแบบลอการิทึม

X_σ คือ ตัวแปรการแจกแจงแบบปกติ (Normal distributed variables) ที่มีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับศูนย์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เท่ากับ σ dB มีผลทำให้ค่า RSSI มีช่วงการแกว่งตัวขึ้นลงตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายสัญญาณถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งกีดขวางต่างๆ ส่งผลให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับขนาดและขนาดของสิ่งกีดขวางในขณะที่มีการสื่อสารกัน เช่น การเคลื่อนที่ของมนุษย์

เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทาง [17] เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะห่างระหว่างสายอากาศด้านส่งกับสายอากาศด้านรับ โดยค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามระยะห่างและค่า n เป็นค่าคงที่ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางของแต่ละสภาพแวดล้อม (n)

สภาพแวดล้อม	เลขชี้กำลังการสูญเสีย ในเส้นทาง
พื้นที่ว่าง (Free space)	2
เขตเมือง (Urban area cellular radio)	2.7 - 3.5
เขตเมืองที่มีสิ่งกีดขวาง (Shadowed urban cellular radio)	3 - 5
ภายในอาคารที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง (In building line-of-sight)	1.6 - 1.8
ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง (Obstructed in building)	4 - 6
ภายในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง (Obstructed in factories)	2 - 3

ในตารางที่ 2.1 พบว่าเลขชี้กำลังการสูญเสียในเส้นทางของโครงสร้างภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางสูงมากเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมพื้นที่ว่าง เพราะสัญญาณถูกบดบังจากตึกหรืออาคาร และกำลังเฉลี่ยสัญญาณภาครับที่คิดผลกระทบจากการถูกบดบังกับกำลังเฉลี่ยสัญญาณภาครับที่มีผลกระทบจากการถูกบดบังสัมพันธ์กันตามสมการ (2.9)

$$RSSI = RSSI(d_0) + X_\sigma \quad (2.9)$$

ความสูญเสียจากการถูกบังเป็นตัวแปรสุ่ม (Random variable) ซึ่งจำลองความผันผวนของสัญญาณภาครับที่เกิดจากผลกระทบจากการถูกบัง [16] ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ความสูญเสียจากการถูกบังถูกสมมติให้มีการกระจายแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 dB และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ dB ซึ่งขึ้นกับสภาพแวดล้อมตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรการแจกแจงแบบปกติที่แต่ละสภาพแวดล้อม (σ)

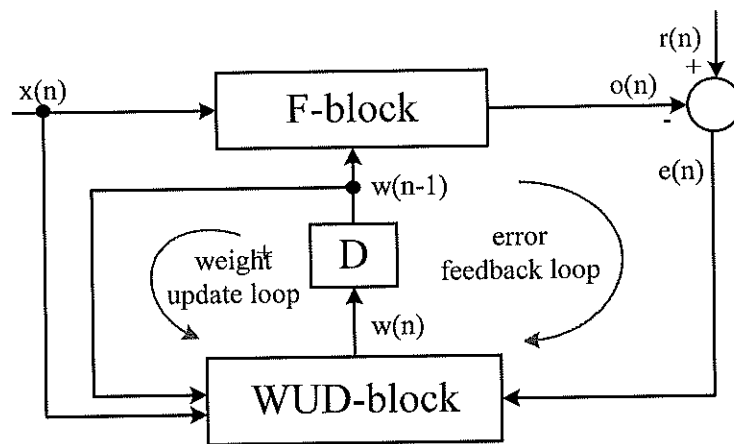
สภาพแวดล้อม	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (dB)
ภายนอกอาคาร (Outdoor)	4 – 12
สำนักงานที่มีพาร์ทิชันหนาแน่น (Office, hard partition)	7
สำนักงานที่มีพาร์ทิชันเบาบาง (Office, soft partition)	9.6
โรงงานที่ไม่มีวัตถุกีดขวาง (Factory, line-of-sight)	3 – 6
โรงงานที่มีวัตถุกีดขวาง (Factory, obstructed)	6.8

2.6 วงจรกรองปรับตัวได้ (Adaptive filter)

วงจรกรองปรับตัวได้ (Adaptive filter) [18,19] เป็นวงจรกรองที่สามารถปรับค่าสัมประสิทธิ์การกรอง (Filter coefficient) ให้เหมาะสมตามสัญญาณอินพุตในแต่ละเวลาได้ เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองมีความสอดคล้องกับสัญญาณที่ต้องการหรือสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด โครงสร้างของวงจรกรองประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นวงจรกรองดิจิทัล (Digital filter) ที่มีสัมประสิทธิ์ปรับค่าได้ทั้งแบบ FIR และ IIR และส่วนที่สองเป็นอัลกอริทึมของการปรับตัว (Adaptive algorithm) ใช้ในการปรับสัมประสิทธิ์การกรอง ส่วนใหญ่อาศัยอัลกอริทึมในการเรียนรู้แบบกำลังสองต่ำสุด (Least Mean Square: LMS) เพื่อปรับให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด อัลกอริทึมนี้เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) นั่นคือ ในการเรียนรู้ต้องทราบสัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณที่ต้องการเพื่อทำการปรับค่าความผิดพลาดให้เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ก่อนเข้ากระบวนการเรียนรู้เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์การกรองหรือค่าน้ำหนัก ต้องกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้น (w_0) จำนวน Tap คือค่าที่เป็นตัวกำหนดว่าในกระบวนการปรับตัวอาศัยจำนวนข้อมูลอินพุตก่อนหน้าเท่ากับจำนวน Tap-1 เมื่อกำหนดจำนวน Tap มากขึ้นทำให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรองปรับตัวได้ใกล้เคียงกับสัญญาณที่ต้องการเพิ่มขึ้น แต่ต้องแลกกับเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ และอัตราในการเรียนรู้ (Learning rate : μ) เป็นตัวกำหนด

ความเร็วในการทำให้ค่าความผิดพลาดคู่เข้าใกล้ศูนย์เร็วหรือช้าและการกำหนดอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมส่งผลให้ค่าความผิดพลาดคู่เข้าใกล้ศูนย์ได้ด้วยจำนวนข้อมูลที่น้อย

วงจรกรองปรับตัวแบบ LMS ประกอบด้วย 2 บล็อกคือ บล็อกวงจรกรองแบบ FIR (Filter block: F-block) และบล็อกสำหรับปรับเวกเตอร์ค่าน้ำหนัก (Weighted vector updated block: WUD-block) แสดงในแผนภาพประกอบ 2-4 และสำหรับหลักการทำงานของวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ในแต่ละช่วงเวลาของวงจรกรองปรับตัวได้ [19] มีการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ



ภาพประกอบ 2-4 บล็อกไดอะแกรมวงจรกรองปรับตัวแบบ LMS

1. ขั้นตอนการกรองสัญญาณผ่าน F-block สัญญาณที่ได้คือสัญญาณเอาต์พุต (Output signal: $o(n)$) เกิดจากผลคูณของสัญญาณอินพุต (Input sequence: $\mathbf{X}(n)$) กับเวกเตอร์ค่าน้ำหนัก (Coefficient vector: $\mathbf{W}(n)$) หรือค่าสัมประสิทธิ์นั่นเอง เมื่อผลรวมของค่าน้ำหนักกับสัญญาณอินพุตที่เข้ามาสามารถคำนวณสัญญาณเอาต์พุตแสดงได้ตามสมการ (2.10)

$$o(n) = \mathbf{W}^T(n)\mathbf{X}(n) \quad (2.10)$$

โดย $\mathbf{X}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)]$ คือ เวกเตอร์สัญญาณอินพุตที่ประกอบค่าปัจจุบันกับค่าย้อนหลัง เมื่อ N คือ อันดับตัวกรองและ $\mathbf{W}^T(n) = [w_1(n), w_2(n), \dots, w_N(n)]$ คือ เวกเตอร์ค่าน้ำหนักมีขนาดเท่ากับจำนวนของสัญญาณอินพุตย้อนหลัง

2. ขั้นตอนการประมาณค่าความผิดพลาดสัญญาณ (Error signal: $e(n)$) ซึ่งเกิดจากผลต่างของสัญญาณอ้างอิง (Desired signal: $r(n)$) กับสัญญาณเอาต์พุต $o(n)$ เพื่อเป็นอินพุตของ WUD-block แสดงสมการในการคำนวณดังสมการ (2.11)

$$e(n) = r(n) - o(n) \quad (2.11)$$

3. ขั้นตอนการปรับค่าน้ำหนัก (Filter coefficient: $\mathbf{W}(n)$) ผ่าน WUD-block ใน วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS มีการคำนวณค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ซึ่งนิยามด้วย $E(e(n))^2$ ซึ่งตัวแปร E คือ Expected หากพิจารณาในทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย สำหรับวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย ด้วย $e(n)^2$ และใช้วิธี Steepest descent ทำให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุดโดยการ หาอนุพันธ์ของ $e(n)^2$ จึงได้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด (LMS) ดังแสดงในสมการ (2.12)

$$\begin{aligned} \frac{\partial e(n)^2}{\partial \mathbf{W}(n)} &= 2e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial \mathbf{W}(n)} \\ &= 2e(n) \frac{\partial}{\partial \mathbf{W}(n)} [r(n) - \mathbf{W}^T(n)\mathbf{X}(n)] \\ &= -2e(n)\mathbf{X}(n) \end{aligned} \quad (2.12)$$

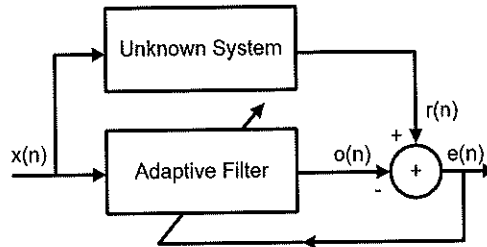
สมการปรับค่าน้ำหนักขึ้นกับค่าก่อนหน้า ค่าความผิดพลาดและอัตราในการเรียนรู้ ที่เป็นตัวกำหนดความเร็วในการปรับค่าน้ำหนักให้ลู่ออกค่าความผิดพลาด สำหรับสมการปรับค่าน้ำหนักที่สามารถคำนวณได้ตามสมการ (2.13)

$$\mathbf{W}(n) = \mathbf{W}(n-1) - \mu \frac{\partial e(n)^2}{\partial \mathbf{W}(n)} \quad (2.13)$$

2.7 การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้

การประยุกต์ใช้งานวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สามารถประยุกต์ได้ 4 ระบบ [20] คือ ระบบการระบุเอกลักษณ์ (System identification) ระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน (Inverse system identification) ระบบกำจัดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด (Noise - interference cancellation) และระบบการทำนาย (Prediction) รายละเอียดของการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้ทั้ง 4 ระบบเหมาะสมกับประเภทสัญญาณที่แตกต่างกันซึ่งแสดงดังนี้

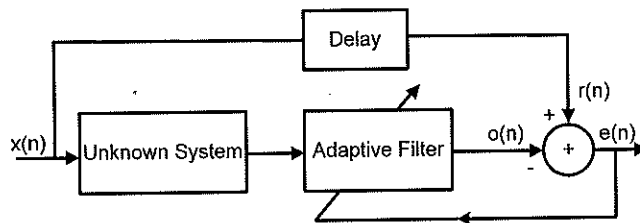
2.7.1 ระบบการระบุเอกลักษณ์



ภาพประกอบ 2-5 บล็อกไดอะแกรมระบบการระบุเอกลักษณ์

ภาพประกอบ 2-5 ระบบการระบุเอกลักษณ์ (System identification) คือการนำวงจรกรองปรับตัวได้มาใช้หาระบบที่ไม่ทราบ (Unknown system) เช่น ระบบการประมาณช่องสัญญาณ ระบบการระบุ Plant และการกำจัดเสียงสะท้อน (Echo) เพื่อโมเดลระบบให้สามารถชดเชยความผิดเพี้ยน โดยระบบที่ต้องการโมเดลจะถูกวางขนานกับวงจรกรองปรับตัวได้ เมื่อความผิดพลาด $e(n)$ เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึง เอาต์พุตวงจรกรอง $o(n)$ มีค่าใกล้กับผลตอบสนองของระบบที่ไม่ทราบ $r(n)$ และเนื่องจาก $x(n)$ ถูกป้อนเข้าสู่ทั้งระบบที่ไม่ทราบและวงจรกรองปรับตัวได้ ดังนั้น วงจรกรองปรับตัวได้จึงทำตัวเสมือนระบบที่ไม่ทราบ

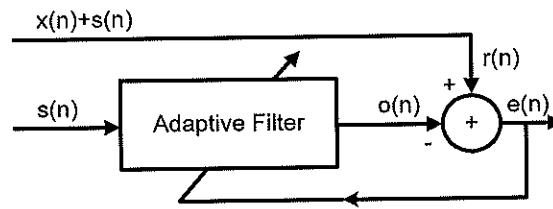
2.7.2 ระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน



ภาพประกอบ 2-6 บล็อกไดอะแกรมระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน

ภาพประกอบ 2-6 การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้ของระบบการระบุเอกลักษณ์แบบผกผัน (Inverse system identification) คือการนำระบบที่ไม่ทราบมาต่ออนุกรมกับวงจรกรองปรับตัวได้ จากนั้นเมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาด $e(n)$ ที่เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าวงจรกรองปรับตัวได้ ทำหน้าที่เสมือนส่วนกลับของระบบที่ไม่ทราบ โดยเพิ่มการดีเลย์ (Delay) ที่ $r(n)$ เพื่อสัญญาณเกิดการซิงโครไนซ์กับสัญญาณ $o(n)$ เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานประเภทการส่งข้อมูลหรือเสียงผ่านระบบโทรศัพท์ วงจรกรองปรับตัวได้ทำหน้าที่ชดเชยผลทางความถี่และความผิดปกติกจากระบบที่ไม่ทราบ

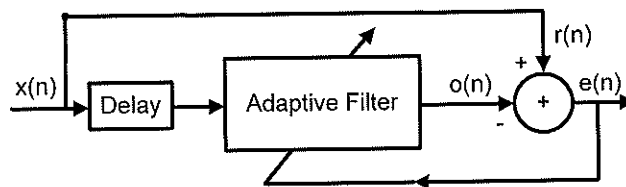
2.7.3 ระบบกำจัดสัญญาณรบกวน



ภาพประกอบ 2-7 บล็อกไดอะแกรมระบบกำจัดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด

ภาพประกอบ 2-7 การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบกำจัดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกสอด (Noise cancellation) โดยการป้อนสัญญาณรบกวน $s(n)$ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณ $x(n)$ โดยวงจรกรองจะปรับตัวเพื่อให้สัญญาณ $o(n)$ และ $r(n)$ มีค่าสอดคล้องกันซึ่งได้เฉพาะส่วนสัญญาณรบกวน ดังนั้นเมื่อหาผลต่างของสัญญาณทั้งสอง สัญญาณ $e(n)$ จึงเป็นสัญญาณที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน นิยมประยุกต์ใช้กับกระบวนการอาร์เรย์ (Array processing) สำหรับเรดาร์และการสื่อสาร และระบบการตรวจวัดด้านชีวการแพทย์ เป็นต้น

2.7.4 ระบบการทำนาย



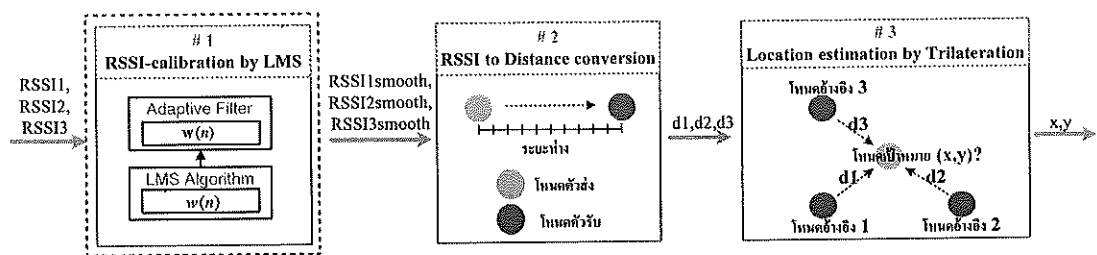
ภาพประกอบ 2-8 บล็อกไดอะแกรมระบบการทำนาย

ภาพประกอบ 2-8 การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบทำนาย (Prediction) ซึ่งคาดการณ์สัญญาณภายใต้สมมติฐานคือ สัญญาณควรมีเสถียรภาพและเปลี่ยนแปลงตามเวลาเล็กน้อยหรือเปลี่ยนแปลงช้าๆ แบบมีคาบ โดยวงจรกรองปรับตัวได้จะทำนายค่าในอนาคตของสัญญาณ $r(n)$ เมื่อ $x(n)$ เป็นสัญญาณเชิงคาบและวงจรกรองมีอันดับเพียงพอที่จะจดจำค่าก่อนหน้านี้โดยการเพิ่มดีเลย์ให้กับสัญญาณ $x(n)$ ดังนั้น วงจรกรองปรับตัวได้จะให้สัญญาณคาดเดา $o(n)$ บล็อกไดอะแกรมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำนายการเข้ารหัสเชิงเส้น (Linear prediction) เพื่อลดขนาดของแบนด์วิดท์

บทที่ 3

การออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI

ค่า RSSI มีความไวต่อสภาพแวดล้อมรอบๆ ภายในอาคารมาก ส่งผลทำให้ค่ามีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและเกิดการแกว่งตัวในบางช่วงเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงค่า RSSI เนื่องจากความถูกต้องของการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารจริงขึ้นกับค่า RSSI เป็นหลัก วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการที่สามารถเพิ่มความแม่นยำในระบบการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารได้จริง โดยการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อช่วยลดการแกว่งของค่า RSSI ที่ทุกโหนดอ้างอิง และใช้ระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแบบเรียลไทม์ ได้ส่งผลให้ประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งมากที่สุดแสดงการออกแบบดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 กระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการใช้ค่า RSSI

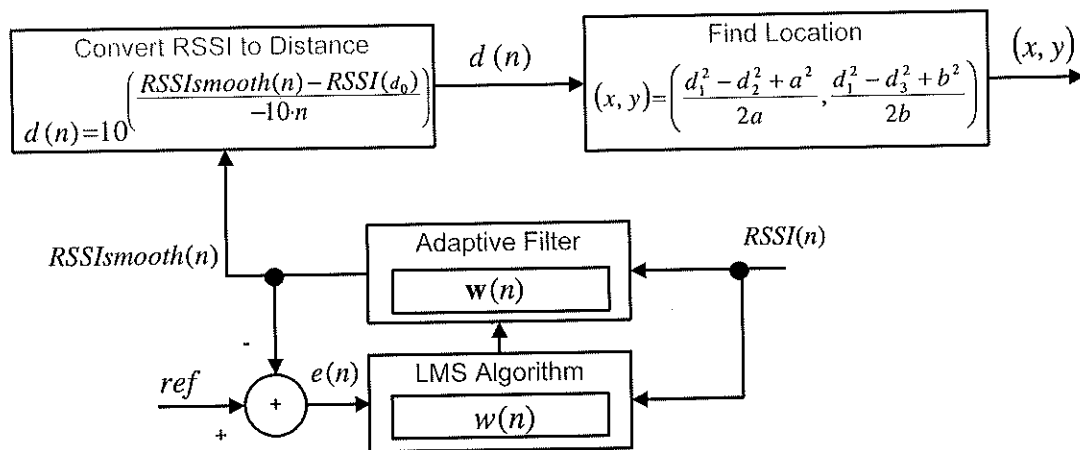
ในบทนี้ประกอบด้วยการออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับปรุงค่า RSSI ที่อธิบายแนวคิดและที่มาของสมการในการปรับค่าน้ำหนักเพื่อปรับปรุงค่า RSSI รวมทั้งการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ ถัดมาเป็นการออกแบบการจำลองเพื่อวิเคราะห์ว่าการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแต่ละรูปแบบ สามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายและสรุปข้อดีและข้อเสียของการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแต่ละแบบ

3.1 การออกแบบ LMS สำหรับปรับปรุงค่า RSSI

ระบบการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสภาพแวดล้อมจริงไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีต่อค่า RSSI ได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อกรองสัญญาณรบกวนและลดการแกว่งตัวของค่า RSSI ก่อนการประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ทำให้ผลลัพธ์ของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากที่สุด

3.1.1 แนวคิด

วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สามารถปรับค่าน้ำหนักได้เองเพื่อให้เอาต์พุตของวงจรกรองมีความสอดคล้องกับสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด จึงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริงทำให้ค่า RSSI มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต ดังนั้นการออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สามารถช่วยลดการแกว่งตัวของ RSSI หรือกำจัดสัญญาณรบกวน ส่งผลให้ระบบสามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้อย่างถูกต้องที่แสดงรายละเอียดการออกแบบในภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อลดการแกว่งของค่า RSSI

การออกแบบระบบการระบุตำแหน่งโดยเพิ่มวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เข้ามาปรับปรุงค่า RSSI ที่แต่ละโหนดอ้างอิง ซึ่งประกอบด้วย 3 บล็อกหลักคือ

บล็อกแรกเป็นวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ทำหน้าที่ปรับค่า RSSI (*RSSI smooth*) ให้ราบเรียบขึ้น เมื่ออินพุตของวงจรกรองคือ ค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงทั้งสาม และปรับค่าน้ำหนักของวงจรกรอง ($w(n)$) โดยใช้ค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรองและค่าความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณอ้างอิง (*ref*) เมื่อสัญญาณอ้างอิงจำลองจากแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS

บล็อกที่สองสมการแปลงระยะห่างทำหน้าที่แปลงค่า RSSI ที่ได้จากวงจรกรองเป็นระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ($d(n)$) โดยค่า η และ $RSSI(d_0)$ มาจากการจำลองระบบ

บล็อกที่สามคำนวณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration เมื่อทราบระยะห่างจากโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายทั้งสามโหนด

3.1.2 ที่มาของสมการปรับค่าน้ำหนักเพื่อปรับปรุงค่า RSSI

สมการของวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับปรุงค่า RSSI ประกอบด้วย 3 สมการหลักคือ สมการปรับปรุงค่า RSSI สมการคำนวณค่าความผิดพลาดและ สมการปรับค่าน้ำหนักแสดงรายละเอียดการคำนวณของแต่ละสมการดังนี้

สมการปรับปรุงค่า RSSI เป็นสมการของวงจรกรองแบบ FIR ที่เกิดจากผลคูณของค่า RSSI กับค่าน้ำหนักทำให้สามารถปรับปรุงค่า RSSI ได้ตามสมการ (3.1)

$$\text{RSSI}_{smooth}(n) = \mathbf{W}^T(n) \text{RSSI}(n) \quad (3.1)$$

จากนั้นนำค่า RSSI_{smooth} ไปใช้คำนวณค่าความผิดพลาดโดยเทียบกับค่า RSSI อ้างอิง (ref) ดังสมการ (3.2) ซึ่งค่าความผิดพลาดจะถูกนำไปใช้ในการปรับค่าน้ำหนักของวงจรกรอง

$$e(n) = ref - \text{RSSI}_{smooth}(n) \quad (3.2)$$

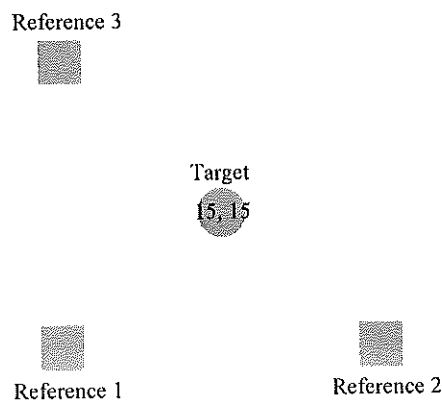
สิ่งที่สำคัญของการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ในระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารคือ การกำหนดสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่า RSSI เนื่องจากในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้ค่า RSSI_{smooth} ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้ระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแบบเรียลไทม์ได้และสามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งได้จริง

สำหรับสมการปรับค่าน้ำหนักของวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ทำหน้าที่ปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้ RSSI_{smooth} มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด การปรับค่าน้ำหนักในแต่ละรอบขึ้นกับค่าความผิดพลาด ค่า RSSI และค่าน้ำหนักก่อนหน้าตามสมการ (3.3) เมื่อ μ คืออัตราการเรียนรู้เป็นค่าที่กำหนดความเร็วในสมการปรับค่าน้ำหนัก

$$\mathbf{W}(n) = \mathbf{W}(n-1) + 2\mu e(n) \text{RSSI}(n) \quad (3.3)$$

3.2 การออกแบบการจำลอง

การจำลองระบบอาศัยแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS เมื่อทราบระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายที่แน่นอน สามารถสร้าง RSSI จากโหนดอ้างอิงทั้งสามโหนดได้ และพารามิเตอร์ในแบบจำลองกำหนดค่า η เท่ากับ 2.247 เป็นค่าที่มาจากสภาพแวดล้อมจริง ค่า $RSSI(d_0) = -40.046$ dBm และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 7 dB เป็นค่าที่กำหนดตามตารางที่ 2.2 จากนั้นแทนลงในสมการ (2.10) ที่อยู่ในบททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และเมื่อทราบค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงทุกโหนดแล้ว สามารถประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายโดยอาศัยแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS เช่นเดียวกัน และสุดท้ายเป็นการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration ตามสมการ (2.5) ซึ่งอยู่ในบทของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เมื่อการจำลองดำเนินการในพื้นที่ขนาด 30x30 ตารางเมตร กำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่มุมทั้งสามของพื้นที่ที่ตำแหน่งที่ทราบแน่นอน โดยให้โหนดอ้างอิงที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง (0,0) โหนดอ้างอิงที่ 2 อยู่ที่ตำแหน่ง (30, 0) ทำให้ทราบระยะห่างโหนดอ้างอิงทั้งสองในแนวแกน x เท่ากับ 30 เมตรซึ่งกำหนดค่าลงในตัวแปร a และโหนดอ้างอิงที่ 3 อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 30) จึงทราบระยะห่างโหนดอ้างอิงทั้งสองในแนวแกน y เท่ากับ 30 เมตร จึงนำค่าใส่ในตัวแปร b ของสมการ (2.5) และโหนดอ้างอิงทั้งสามแสดงด้วยสี่เหลี่ยมเพื่อประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมาย 1 จุดที่ตำแหน่ง (15, 15) ใช้ข้อมูลจำนวน 100 ค่าที่แสดงด้วยวงกลมดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 การกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย

เมื่อประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับปรุงค่า RSSI ต้องกำหนดค่าน้ำหนักเริ่มต้น (w_0) เท่ากับ 0 กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.025 ซึ่งเป็นค่าที่มาจาก การทดลองสุ่มเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ทำให้คำตอบของค่าความผิดพลาดเข้าสู่ใกล้ศูนย์ด้วยจำนวน

ข้อมูลทีน้อย กำหนดจำนวน Tap ของวงจรกรอง FIR เท่ากับ 8 เป็นค่าที่มาจากทดลอง และ กำหนดสัญญาณอ้างอิงจำนวน 3 แบบที่อาศัยแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS ซึ่งแสดงรายละเอียด ในการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแต่ละแบบดังนี้

- (1) การสร้างสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่ เป็นการสร้างค่า RSSI จากแบบจำลอง การสูญเสียแบบ LNS กำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 dB หมายถึงค่า RSSI ไม่มีการแกว่งและไม่คิดผลกระทบจากการถูกบัง เนื่องจากต้องการค่า RSSI ที่ถูกต้องของแต่ละโหนดอ้างอิง ดังนั้นการกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วย ค่าคงที่เป็นการสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ดี เพราะค่า RSSI ไม่ได้รับผลกระทบ จากปัจจัยรอบๆ สภาพแวดล้อม
- (2) การสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีคิดค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง จำนวน 10 ค่า ซึ่งเป็นหลักการของวงจรกรองปรับตัวแบบไม่ใช้สัญญาณ อ้างอิง แต่ใช้สัญญาณอินพุตที่ผ่านมาอ้างอิงแทน
- (3) การสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของ วงจรกรอง เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมจริง เพราะเรา ไม่สามารถสร้างค่า RSSI ในสภาพแวดล้อมจริงได้เนื่องจากไม่ทราบระยะห่าง ระหว่างที่แน่นอนโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย

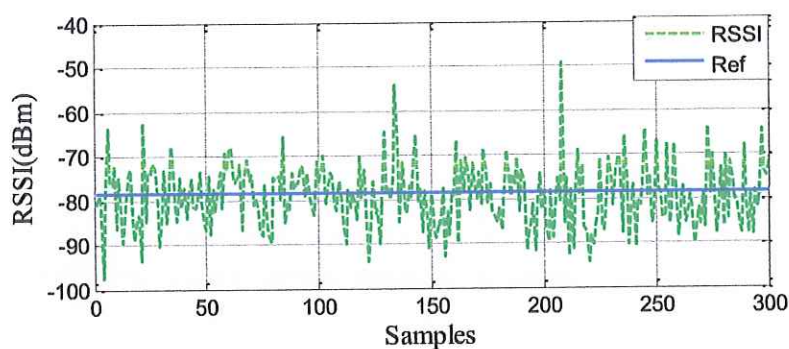
การจำลองการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายประกอบด้วย 3 การจำลองคือ การจำลองแรกกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าคงที่ การจำลองที่สองกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยการ คัดเลือกค่าและการจำลองที่สามกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าเฉลี่ยสะสม จุดประสงค์ของการจำลอง เพื่อเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS จากสัญญาณอ้างอิงทั้ง 3 เพื่อปรับปรุงค่า RSSI กับผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเมื่อ ไม่ใช้วงจรกรองปรับตัวได้ในการปรับปรุงค่า RSSI เพื่อวิเคราะห์ว่าการใช้วงจรกรองปรับ ได้แบบ LMS สามารถลดการแกว่งตัวของค่า RSSI ที่แต่ละโหนดอ้างอิงได้หรือไม่

3.3 ผลการจำลอง

ผลการจำลองเป็นการเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมาย 1 จุดซึ่ง ประกอบด้วย 3 ผลการจำลอง คือ (1) ผลการจำลองแรกเป็นการกำหนดสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่ (2) ผลการจำลองที่สองเป็นการกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีการคัดเลือกค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของ

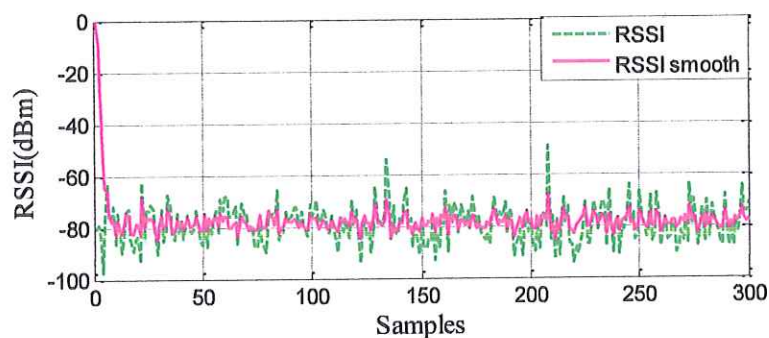
วงจรรองและ (3) ผลการจำลองที่สามเป็นการกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรรองทั้งสาม ผลการจำลองเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเมื่อใช้วงจรรองปรับตัวได้แบบ LMS ปรับปรุงค่า RSSI กับการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเมื่อไม่มีการปรับปรุงค่า RSSI

3.3.1 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่



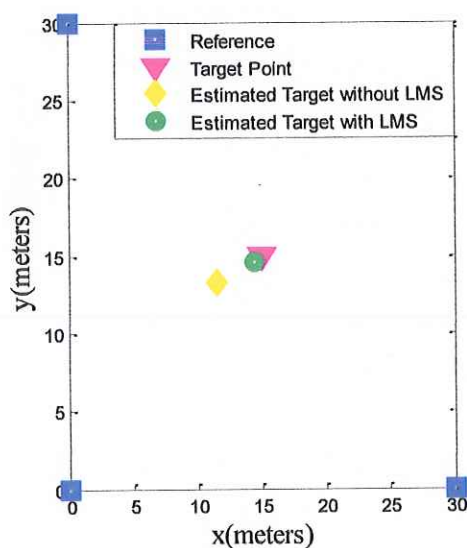
ภาพประกอบ 3-4 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่

ในภาพประกอบ 3-4 ประกอบด้วย 2 สัญญาณเมื่อเส้นทึบคือ สัญญาณอ้างอิงและเส้นประคือ ค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรรองที่มาจากโหนดอ้างอิง ซึ่งต้องมาจากทั้งสามโหนดอ้างอิง แต่ในภาพประกอบแสดงให้เห็นเพียงค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงที่ 1 ในกระบวนการของวงจรรองปรับตัวได้แบบ LMS เมื่อคำนวณค่าความผิดพลาดที่เป็นผลต่างของสัญญาณอ้างอิงกับค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรรอง สมการปรับค่าน้ำหนักพยายามปรับค่า $RSSI_{smooth}$ เป็นค่า RSSI ที่ผ่านวงจรรองแล้วให้มีค่าเข้าใกล้เคียงสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด ทำให้ค่า RSSI มีการแกว่งตัวน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรรองกับค่า RSSI ที่ผ่านวงจรรองปรับตัวได้แบบ LMS ดังแสดงในภาพประกอบ 3-5

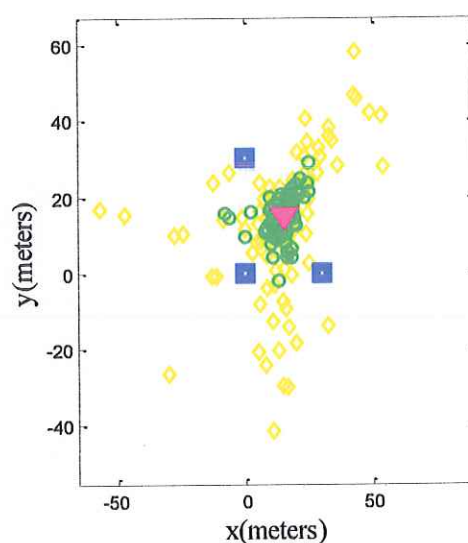


ภาพประกอบ 3-5 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรรองปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต

ภาพประกอบ 3-5 เมื่อเส้นประเป็นค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรรอง นั่นคือค่า RSSI ของโหนดอ้างอิงที่ไม่ผ่านวงจรรองปรับตัวได้แบบ LMS ส่วนเส้นทึบเป็นค่า *RSSI smooth* ที่เป็นเอาต์พุตของวงจรรอง คือ RSSI ที่ผ่านวงจรรองเรียบร้อยแล้ว เมื่อเปรียบเทียบระดับสัญญาณกันเห็นได้ชัดเจนว่าค่า RSSI ที่ผ่านวงจรรอง สามารถลดการแกว่งตัวได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตพยายามปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้ค่า RSSI เข้าใกล้เคียงกับสัญญาณอ้างอิงมากที่สุด ซึ่งสัญญาณอ้างอิงที่กำหนดเป็นค่า RSSI ที่มีค่าคงที่ เมื่อกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับศูนย์ลงในแบบจำลองการสูญเสียแบบ LMS เป็นการกำหนดสัญญาณอ้างอิงโดยไม่คิดผลกระทบจากการถูกรบกวน ทำให้ได้ค่า RSSI ที่ถูกต้องในแต่ละระยะห่าง จากนั้นนำค่า RSSI ที่ไม่ผ่านวงจรรองและผ่านวงจรรองปรับตัวได้แบบ LMS มาคำนวณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายและประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยและการกระจายตัวของตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS แสดงด้วยสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดและเมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS แสดงด้วยวงกลมในภาพประกอบ 3-6



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย



(ข) การกระจายตัว

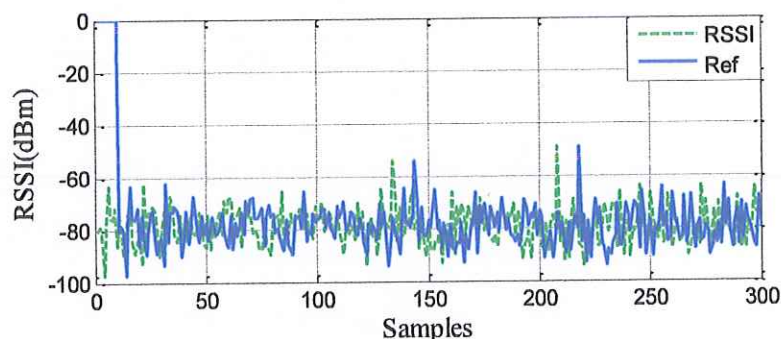
ภาพประกอบ 3-6 เปรียบเทียบการกระจายตัวและค่าเฉลี่ยเมื่อสัญญาณอ้างอิงที่เป็นค่าคงที่

ในภาพประกอบ 3-6 (ก) ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายพบว่าเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS ตำแหน่งเฉลี่ยที่คำนวณอยู่ที่พิกัด (11.46, 13.23) ซึ่งผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่า RSSI ที่ผ่าน LMS ซึ่งตำแหน่งเฉลี่ยที่คำนวณอยู่ที่พิกัด (14.47, 14.62) และในภาพประกอบ 3-6 (ข) ผลการกระจายตัวของการประมาณตำแหน่งพบว่า เมื่อ

ค่า RSSI ผ่าน LMS ตำแหน่งที่ประมาณได้อยู่รอบๆ ตำแหน่งจริงและอยู่ภายในพื้นที่ ทำให้มีการกระจายตัวที่แคบ ดังนั้นจำเป็นต้องปรับปรุงค่า RSSI ก่อนประมาณตำแหน่งและการประยุกต์ใช้วงจรปรับตัวได้แบบ LMS ด้วยการกำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบ (1) สามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงมาก แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานในการประมาณตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริงภายในอาคารได้ เพราะไม่สามารถจำลองค่า RSSI ได้ จึงสามารถเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งได้เฉพาะกรณีการจำลองระบบ

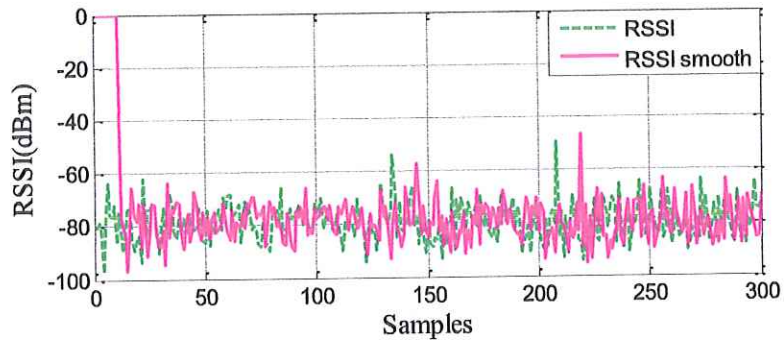
3.3.2 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีดีเลย์ค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง

การสร้างสัญญาณอ้างอิงจากค่า RSSI โดยวิธีการดีเลย์ค่าจำนวน 10 ค่าเมื่อจำนวนมาจากการทดลอง เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิงของทุก โหนดอ้างอิง เป็นการประยุกต์ใช้งานวงจรกรองปรับตัวได้แบบไม่ใช้สัญญาณอ้างอิงทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้ในสภาพแวดล้อมจริง เพราะในการใช้งานจริงไม่สามารถสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้องได้ เนื่องจากไม่ทราบระยะห่างที่แน่นอนระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายจึงอาศัยวิธีการดีเลย์ดังแสดงในภาพประกอบ 3-7



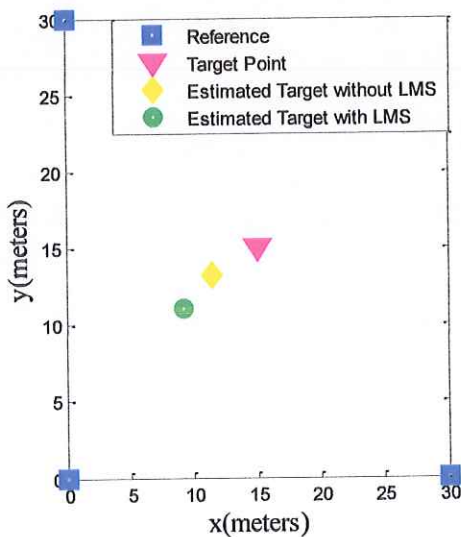
ภาพประกอบ 3-7 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีดีเลย์ค่า RSSI

ภาพประกอบ 3-7 ประกอบด้วย 2 สัญญาณเมื่อเส้นทึบคือ สัญญาณอ้างอิงที่มาจากค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรองทำการดีเลย์ค่าจำนวน 10 ค่าจะเห็นได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ 1 ถึง 9 มีค่าเป็นศูนย์ และเส้นประคือ ค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรองมาจากโหนดอ้างอิง เมื่อพิจารณาการสร้างสัญญาณอ้างอิงแบบนี้ไม่สามารถลดการแกว่งตัวของ RSSI ได้เนื่องจากค่า RSSI มีการแกว่งตัวเหมือนเดิมและเมื่อเปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นอินพุตและค่า RSSI ที่เป็นเอาต์พุตที่ได้ผ่านวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ดังแสดงในภาพประกอบ 3-8

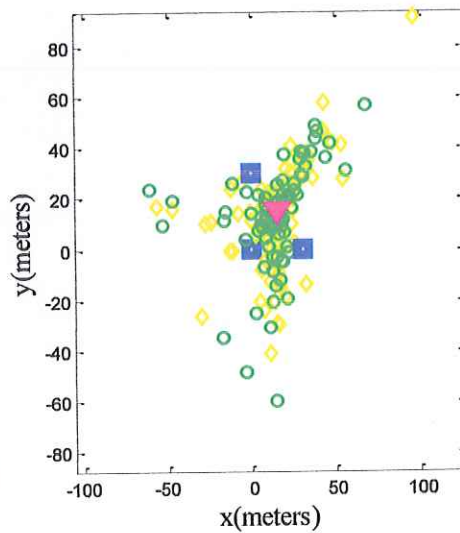


ภาพประกอบ 3-8 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต

ภาพประกอบ 3-8 เมื่อเส้นประเป็นค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง ส่วนเส้นทึบเป็นค่า *RSSI smooth* ที่ได้จากวงจรกรอง เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าค่า RSSI ที่ผ่านวงจรกรองไม่สามารถลดการแกว่งของค่า RSSI ได้ เพราะสัญญาณอ้างอิงที่ใช้ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงคือ ค่า RSSI ยังคงแกว่งขึ้นและลง จึงสรุปได้ว่าการสร้างสัญญาณอ้างอิงแบบนี้ไม่ใช่การสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้อง จากนั้นนำค่า RSSI ที่ไม่ผ่าน LMS และผ่าน LMS ไปประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย และคำนวณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยและการกระจายตัวของตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS แสดงด้วยสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดและเมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS แสดงด้วยวงกลมในภาพประกอบ 3-9



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย



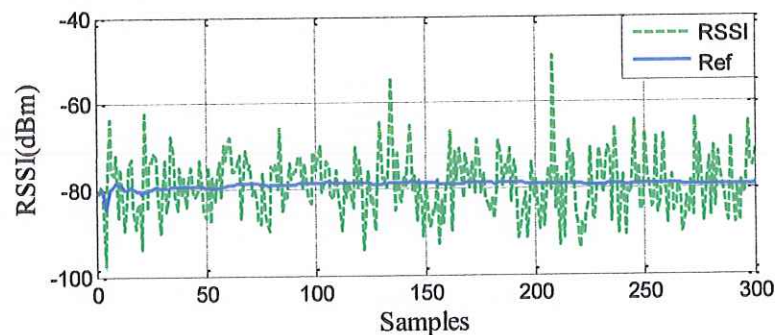
(ข) การกระจายตัว

ภาพประกอบ 3-9 เปรียบเทียบการกระจายตัวเมื่อสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีใช้ค่า RSSI

ในภาพประกอบ 3-9 (ก) ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมาย พบว่าเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS และผ่าน LMS ตำแหน่งเฉลี่ยที่ประมาณได้ห่างจากตำแหน่งจริงทั้งคู่ และในภาพประกอบ 3-9 (ข) ผลการกระจายตัวของการประมาณตำแหน่งของทั้งสองมีช่วงการกระจายตัวมาก จึงสรุปได้ว่าเมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS ที่สร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยการดีเลย์ไม่สามารถนำมาใช้งานเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ แม้ว่าสามารถนำไปใช้งานได้ ในสภาพแวดล้อมจริง เนื่องจากเมื่อใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ที่ต้องการให้ค่าความผิดพลาดลู่เข้าใกล้ศูนย์เร็วจะส่งผลกระทบต่อการแกว่งของสัญญาณ ส่งผลให้สัญญาณที่นำมาเป็นสัญญาณอ้างอิงมีการแกว่งตัวและเกิดการกระจายตัวมาก

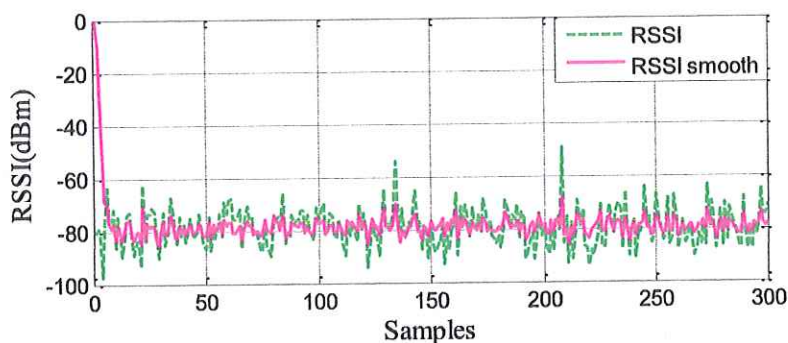
3.3.3 ผลการจำลองโดยกำหนดสัญญาณอ้างอิงด้วยค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง

การสร้างสัญญาณอ้างอิงจากค่า RSSI โดยวิธีการดีเลย์ค่าไม่สามารถลดการแกว่งตัวของค่า RSSI ได้ จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นในผลการจำลองนี้จึงสร้างสัญญาณอ้างอิงจากค่า RSSI โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยสะสมแทนการดีเลย์ค่าดังแสดงในภาพประกอบ 3-10



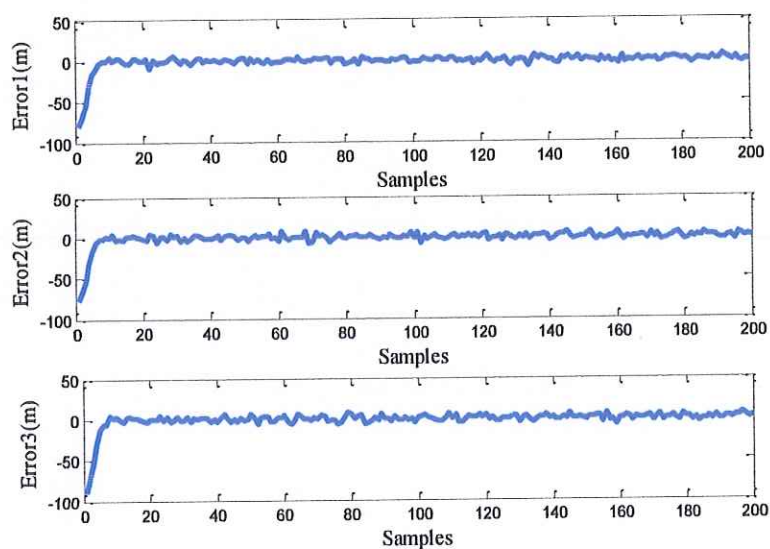
ภาพประกอบ 3-10 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิงวิธีหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI

ภาพประกอบ 3-10 ประกอบด้วย 2 สัญญาณ เมื่อเส้นที่ขยับคือ สัญญาณอ้างอิงที่มาจากค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI และเส้นประคือ ค่า RSSI จากโหนดอ้างอิง เมื่อพิจารณาสัญญาณอ้างอิงที่มาจากค่าเฉลี่ยสะสม ในช่วงแรกค่าจะมีการแกว่งตัวเนื่องจากจำนวนข้อมูลยังไม่เพียงพอ และเมื่อจำนวนข้อมูลมากขึ้น สัญญาณอ้างอิงจะมีค่าคงที่และสามารถลดการแกว่งตัวเมื่อเทียบกับค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง ได้สูงมาก ดังนั้นการสร้างสัญญาณอ้างอิงแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง และเมื่อเปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นอินพุตและค่า RSSI ที่เป็นเอาต์พุตของวงจรกรองปรับได้แบบ LMS ดังแสดงในภาพประกอบ 3-11



ภาพประกอบ 3-11 สัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านวงจรปรับตัวเทียบกับสัญญาณอินพุต

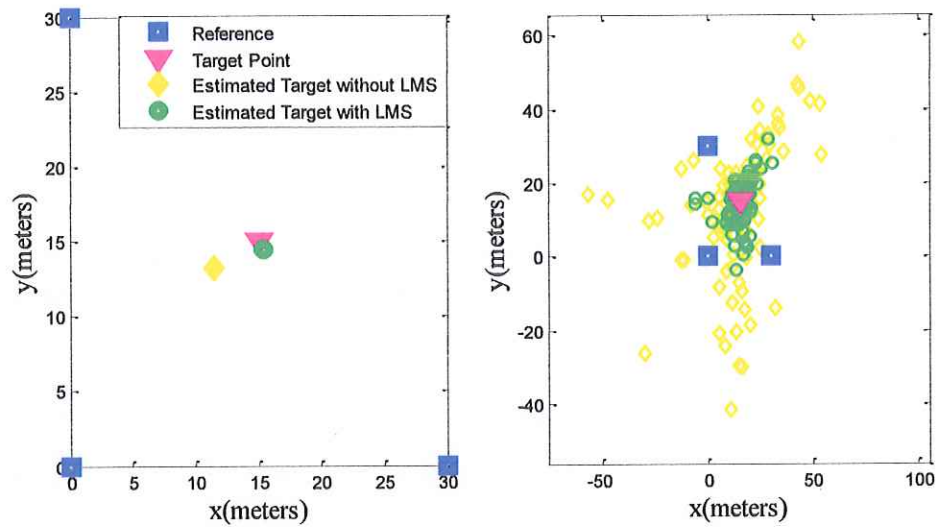
ภาพประกอบ 3-11 เมื่อเส้นประเป็นค่า RSSI ที่เป็นอินพุตของวงจรกรอง ส่วนเส้นทึบเป็นค่า RSSI (*RSSI smooth*) ที่ผ่านวงจรกรองเรียบร้อยแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่าค่า RSSI ที่ผ่านวงจรกรองแล้ว สามารถลดระดับการแกว่งของค่า RSSI ได้จำนวนมาก ก่อนการประมาณตำแหน่งพิจารณาค่าความผิดพลาดที่ได้ของโหนดอ้างอิงทั้งสามที่มาจากการปรับค่าน้ำหนักของโหนดอ้างอิงดังภาพประกอบ 3-12



ภาพประกอบ 3-12 ค่าความผิดพลาดคู่เข้าหาศูนย์กลางของทั้งสามโหนดอ้างอิง

ในภาพประกอบ 3-12 พบว่าค่าความผิดพลาดคู่เข้าใกล้ศูนย์กลางข้อมูลที่ 15 ดังนั้นในการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเมื่อใช้วงจรกรองปรับตัวได้ใช้ค่า RSSI ตั้งแต่ค่าที่ 20 ถึงค่า 100 เป็นการใช้อัตราจำนวน 80 ค่าในการหาดำแหน่งเฉลี่ย ส่วนการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเมื่อไม่ใช้วงจรกรองใช้อัตราจำนวน 100 ค่าในการหาดำแหน่งเฉลี่ย และ

พบว่าการใช้ข้อมูลจำนวนน้อยลงก็สามารถเพิ่มความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งได้ จากนั้นนำค่า RSSI ที่ไม่ผ่านวงจรรองและผ่านวงจรรองปรับตัวไปประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายและคำนวณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยและการกระจายตัวของตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS แสดงด้วยสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด และเมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS แสดงด้วยวงกลมในภาพประกอบ 3-13



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย

(ข) การกระจายตัว

ภาพประกอบ 3-13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเมื่อสัญญาณอ้างอิงวิธีหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI

ในภาพประกอบ 3-13 (ก) ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายพบว่าเมื่อค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS ตำแหน่งเฉลี่ยที่คำนวณได้อยู่ที่พิกัด (11.46, 13.23) ซึ่งผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า RSSI ที่ผ่าน LMS ซึ่งตำแหน่งเฉลี่ยที่คำนวณอยู่ที่พิกัด (15.41, 14.48) ดังนั้นการกำหนดสัญญาณอ้างอิง (3) แบบใช้ค่าเฉลี่ยสะสมจากค่า RSSI สามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริง และนำไปใช้ระบุตำแหน่งภายในอาคารได้จริง สำหรับภาพประกอบ 3-13 (ข) ผลการกระจายตัวของการประมาณตำแหน่งพบว่า เมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS ตำแหน่งที่ประมาณได้อยู่รอบๆ ตำแหน่งจริงและมีการกระจายตัวที่แคบ เมื่อเทียบกับค่า RSSI ไม่ผ่าน LMS ที่ผลการกระจายตัวกว้างและมีบางค่าประมาณได้นอกพื้นที่การจำลอง

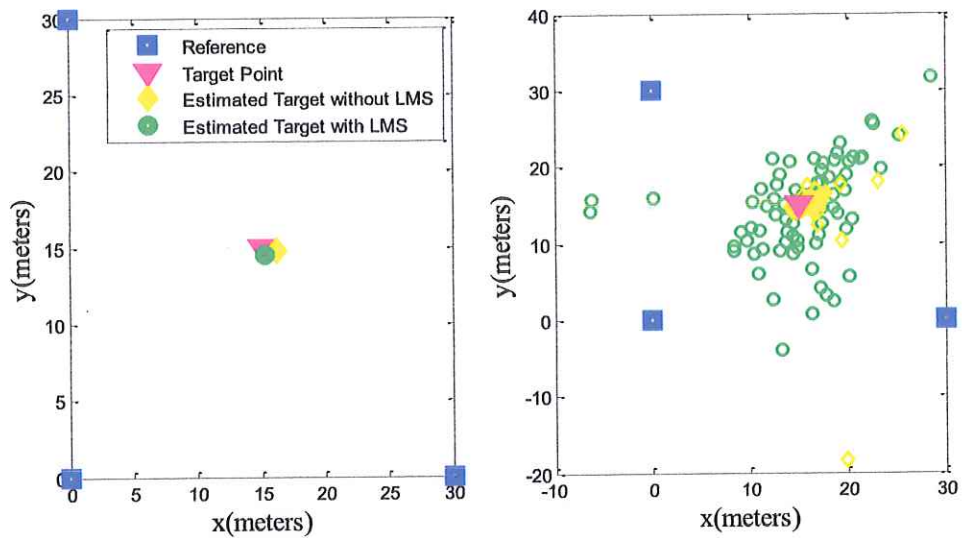
3.4 สรุป

การประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อช่วยลดการแกว่งของค่า RSSI ก่อนการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารจริง การสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ต่างกันส่งผลต่อความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงเปรียบเทียบการกำหนดสัญญาณอ้างอิงทั้ง 3 แบบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปผลการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เมื่อกำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ

การสร้างสัญญาณอ้างอิง	ข้อดีและข้อเสีย
(1) แบบค่าคงที่	<u>ข้อดี</u> : ลดการแกว่งของค่า RSSI ได้ ส่งผลให้สามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริง
	<u>ข้อเสีย</u> : ไม่สามารถประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมได้จริง
(2) แบบดีเลย์ค่า	<u>ข้อดี</u> : สามารถนำไปใช้งานได้จริงเพราะเป็นการประยุกต์วงจรกรองแบบไม่ใช้สัญญาณอ้างอิง
	<u>ข้อเสีย</u> : ไม่สามารถลดการแกว่งของค่า RSSI ได้ จึงไม่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความถูกต้องในระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
(3) แบบค่าเฉลี่ยสะสม	<u>ข้อดี</u> : สามารถลดการแกว่งของค่า RSSI จริงได้ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งสามารถประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริง
	<u>ข้อเสีย</u> : เมื่อเปรียบเทียบ LMS ที่สร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยสะสม กับ การหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI พบว่าผลลัพธ์ของการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ใกล้เคียงกัน

การเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเมื่อใช้ LMS ที่สร้างสัญญาณอ้างอิง (3) แบบค่าเฉลี่ยสะสม เทียบกับการหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI โดยไม่ประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ดังแสดงในภาพประกอบ 3-14



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย

(ข) การกระจายตัว

ภาพประกอบ 3-14 เปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกรองกับค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI

ภาพประกอบ 3-14 (ก) ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมายทั้งสอง ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อภาพประกอบ 3-14 (ข) ผลการกระจายตัวของการประมาณตำแหน่ง พบว่า เมื่อค่า RSSI ผ่าน LMS ตำแหน่งที่ประมาณได้อยู่รอบๆ แต่มีการกระจายตัวที่กว่า ดังนั้นจึง พิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่ง โหนดเป้าหมายของสัญญาณอ้างอิงแบบต่างๆ

ตำแหน่งโหนด เป้าหมาย	สัญญาณอ้างอิง	เปรียบเทียบ		
		ตำแหน่งเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาดเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานเฉลี่ย
(15, 15)	ไม่ใช้	(11.465, 13.232)	28.066	40.223
	(1)	(14.468, 14.615)	6.499	4.401
	(2)	(9.222, 11.007)	31.009	42.663
	(3)	(15.409, 14.478)	7.171	4.831
	ไม่ใช้ (เฉลี่ยสะสม)	(15.799, 14.979)	1.185	0.743

ในตารางที่ 3.2 เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสามารถสรุปได้ว่า เมื่อประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ที่กำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบที่ (3) ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยสะสมดังแสดงในคอลัมน์ที่ 2 และแถวที่ 4 เทียบกับการไม่ใช้ LMS จึงไม่มีสัญญาณอ้างอิง แต่ใช้ค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI เพียงอย่างเดียวดังแสดงในคอลัมน์ที่ 2 และแถวที่ 5 พบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเมื่อประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ที่กำหนดสัญญาณอ้างอิงแบบที่ (3) มีความผิดพลาดสูงและการกระจายตัวมากจึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

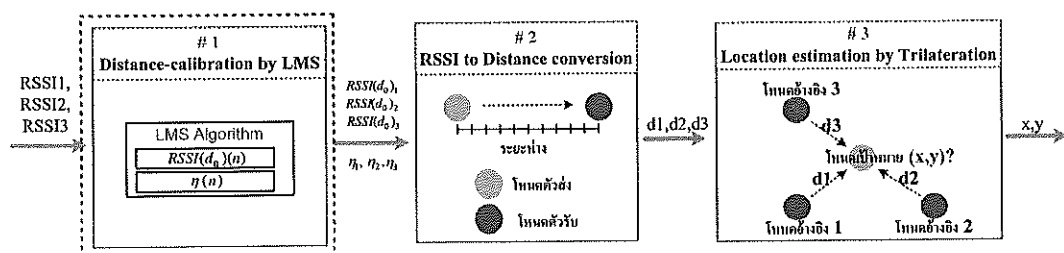
ในทางปฏิบัติไม่สามารถประยุกต์ใช้งานวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เนื่องจากไม่สามารถสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงได้ และจากการสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีการดีเลย์ค่าและวิธีการหาค่าเฉลี่ยสะสม พบว่าการสร้างสัญญาณอ้างอิงด้วยวิธีการดีเลย์ค่าไม่สามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งได้ เนื่องจากสัญญาณอ้างอิงที่ใช้เป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง และการสร้างสัญญาณอ้างอิงแบบวิธีการเฉลี่ยสะสมแม้ว่าสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงได้ แต่ต้องอาศัยเวลาและมีกระบวนการที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการหาค่าเฉลี่ยสะสมโดยไม่ใช้วงจรกรอง

บทที่ 4

การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

สำหรับปรับพารามิเตอร์สมการความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับระยะห่าง

จากบทที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายระหว่างการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เทียบกับผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยสะสมของค่า RSSI พบว่าทั้งสองวิธีการให้ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS มีค่าสูงกว่าการใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยสะสม เนื่องจากสัญญาณอ้างอิงของวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ไม่สามารถปรับตัวได้เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ของงานวิทยานิพนธ์นี้ สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย เนื่องจากก่อนการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริงจำเป็นต้องมีกระบวนการ Calibration เพื่อให้ทราบคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่ต้องการระบุตำแหน่ง และเมื่อหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในพื้นที่เดียวกัน แต่ช่วงเวลาต่างกันค่า RSSI ที่อ่านได้จากแต่ละช่วงเวลานั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นสมการที่ใช้ในการแปลงระยะห่างขึ้นกับค่าคุณลักษณะของสภาพแวดล้อมปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องมีการปรับตัวได้เองเพื่อรักษาความถูกต้องในการระบุตำแหน่งดังภาพประกอบ 4-1

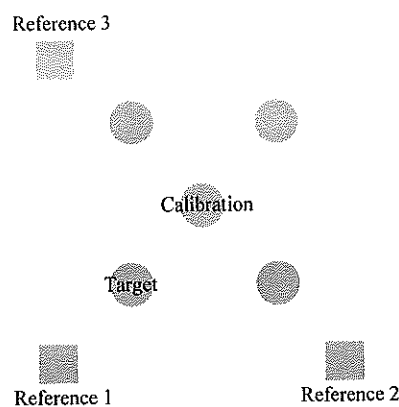


ภาพประกอบ 4-1 กระบวนการออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ในบทนี้ประกอบด้วยการออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่อธิบายแนวคิดและที่มาของสมการที่ใช้ปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย โดยมีการเพิ่มโหนดคาลิเบรชัน (Calibration node) ที่ทราบตำแหน่งมาเพื่อทำหน้าที่จัดลำดับในการส่งของโหนดอ้างอิงและปรับพารามิเตอร์ของสมการแปลงระยะห่าง ถัดมา

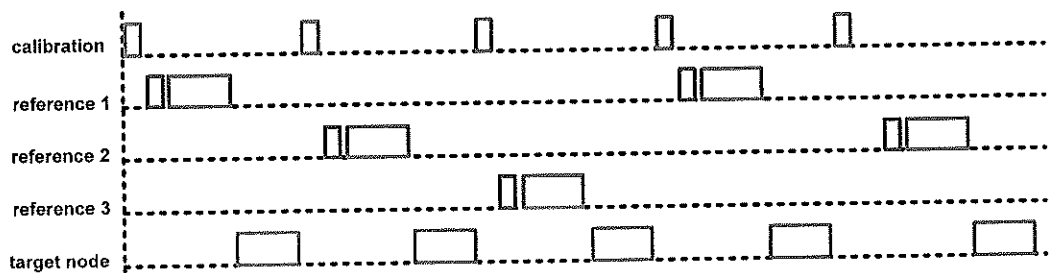
กล่าวถึงการออกแบบการจำลองระบบและการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริง จำลองระบบเพื่อหาตำแหน่งของการวางโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสม ในการทดลองจริงประกอบด้วยการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย 2 แบบคือ การระบุตำแหน่งเมื่อโหนดเป้าหมายไม่เคยเคลื่อนที่ ประกอบด้วย 2 กรณีคือ ไม่มีสิ่งกีดขวางและมีสิ่งกีดขวางในเส้นทางที่โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิง และการระบุตำแหน่งเมื่อโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ในเส้นทางที่กำหนด

4.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งแบบมีโหนดคาลิเบรชัน



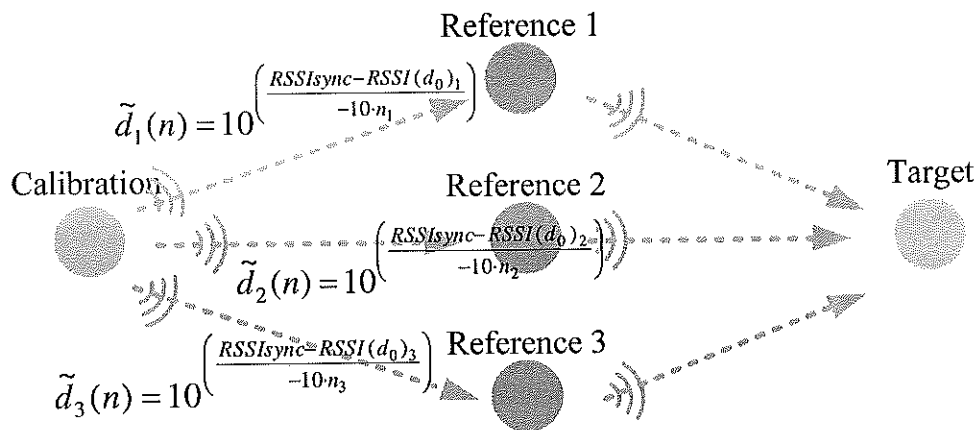
ภาพประกอบ 4-2 การระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยอาศัยโหนดคาลิเบรชัน

ภาพประกอบ 4-2 แสดงโครงสร้างการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคาร ประกอบด้วยโหนดอ้างอิง 3 โหนดวางที่มุมทั้งสามของพื้นที่ โหนดคาลิเบรชันวางตรงกลางของพื้นที่และโหนดเป้าหมายที่อยู่ภายในพื้นที่ การมีโหนดคาลิเบรชันในระบบเพื่อต้องการระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ในสภาพแวดล้อมปัจจุบันได้ และความน่าเชื่อถือของระบบขึ้นกับโหนดคาลิเบรชัน เพราะทำหน้าที่จัดลำดับในการส่งของโหนดอ้างอิงและปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างดังภาพประกอบ 4-3



ภาพประกอบ 4-3 ช่วงเวลาเมื่อโหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากทุกโหนดอ้างอิง

ภาพประกอบ 4-3 อธิบายช่วงเวลาการส่งค่า RSSI ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็น โหนดคาลิเบรชันทำหน้าที่ควบคุมทุกโหนดอ้างอิงให้ส่งข้อมูลเป็นลำดับ เริ่มจาก โหนดอ้างอิงที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งกำหนดช่วงเวลา 30 มิลลิวินาทีเท่ากันและเป็นช่วงเวลาที่ น้อยที่สุด ส่วนที่สองเป็น โหนดอ้างอิงทำหน้าที่ปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในแต่ละ สมการแปลงระยะห่าง และส่วนที่สามคือ โหนดเป้าหมายทำหน้าที่อ่านค่า RSSI จากทุกโหนด อ้างอิงเพื่อคำนวณตำแหน่ง ดังนั้นในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแต่ละจุดใช้เวลา ประมาณ 0.1 วินาที และลำดับการทำงานของกระบวนการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคาร แบบเรียลไทม์ประกอบด้วย 2 ส่วนดังแสดงในภาพประกอบ 4-4



ภาพประกอบ 4-4 กระบวนการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยอาศัยโหนดคาลิเบรชัน

(1) อ่านค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง เพื่อใช้ในการปรับ ค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ของสมการแปลงระยะห่างของแต่ละโหนดอ้างอิงแสดงสมการ $\tilde{d}_1(n)$, $\tilde{d}_2(n)$ และ $\tilde{d}_3(n)$ ตามลำดับ โดยพารามิเตอร์ทั้งสองถูกปรับที่โหนดอ้างอิงแต่ละโหนด

(2) อ่านค่า RSSI ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายและนำค่า η และ $RSSI(d_0)$ ที่ถูกปรับตามสภาพแวดล้อมปัจจุบัน มาใช้ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนด อ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย แล้วนำระยะห่างทั้งสามมาคำนวณตำแหน่งที่โหนดเป้าหมาย สำหรับการ ปรับพารามิเตอร์จะอาศัยวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่นำเสนอในหัวข้อถัดไป

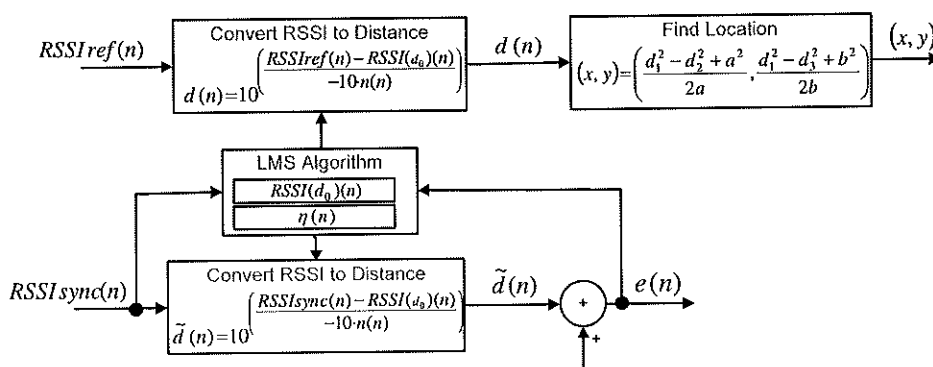
ข้อจำกัดของการออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS คือ เพิ่ม โหนดคาลิเบรชัน เข้ามาในระบบเพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ ทำให้โหนดอ้างอิงมีการคำนวณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ใช้เวลาในการประมาณตำแหน่งเพิ่มขึ้น และหากโหนดคาลิเบรชันไม่ทำงานระบบจะไม่สามารถหา ตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้

4.2 การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับปรับพารามิเตอร์สมการความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI กับระยะห่าง

ระบบการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสภาพแวดล้อมจริงไม่สามารถควบคุมปัจจัยหลายๆ อย่างที่มีผลต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งโหนดเป้าหมายได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เข้ามาช่วยปรับค่าพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ส่งผลให้ระยะห่างมีความถูกต้องก่อนนำไปใช้ในการหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจริง เพื่อให้ผลลัพธ์ของการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากที่สุด

4.2.1 แนวคิด

เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลาของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองจริง ทำให้ค่า RSSI ที่ได้รับมีค่าแตกต่างกันซึ่งมีผลต่อพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย จึงมีแนวคิดว่าหากพารามิเตอร์ทั้งสองสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งานปัจจุบัน โดยการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS กับสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย จะสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณระยะห่างโดยใช้สมการที่สามารถปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ได้เองในสภาพแวดล้อมจริงดังภาพประกอบ 4-5



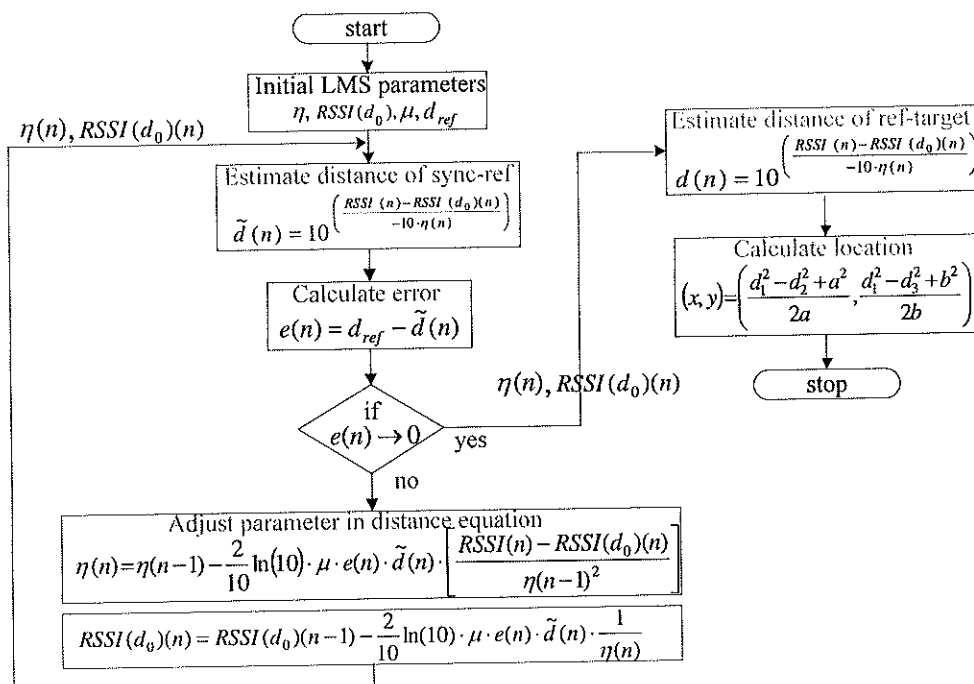
ภาพประกอบ 4-5 บล็อกไดอะแกรมการออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่ประยุกต์ใช้วิธีการ LMS

ภาพประกอบ 4-5 แสดงบล็อกไดอะแกรมการออกแบบระบบการระบุตำแหน่งโดยเพิ่มวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อให้พารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายสามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อม ณ ขณะที่ประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยการออกแบบประกอบด้วย 3 บล็อกหลักดังนี้

บล็อกแรกเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ทำหน้าที่ปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ เมื่ออินพุตของวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS คือ ค่าความผิดพลาด ($e(n)$) ที่เกิดจากระยะห่างอ้างอิง (d_{ref}) ซึ่งเป็นระยะห่างที่ทราบแน่นอนระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงลบกับค่าระยะห่าง ($\tilde{d}(n)$) ที่ประมาณได้จากสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงในสภาพแวดล้อมปัจจุบัน และเอาต์พุตที่ได้จากวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ประกอบด้วย 2 ค่าคือ ค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ ที่ถูกปรับเรียบร้อยแล้ว

บล็อกที่สองเป็นสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายทำหน้าที่แปลงค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงและใช้ค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ ที่ผ่านการปรับค่าเรียบร้อยแล้วประมาณระยะห่าง d ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย

บล็อกที่สามประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration เมื่อทราบระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงทั้งสามกับโหนดเป้าหมาย ทำให้ได้เอาต์พุตคือ ตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่ต้องการทราบ สำหรับผังงาน (Flowchart) การออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารจริงเมื่อใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างแสดงดังภาพประกอบ 4-6



ภาพประกอบ 4-6 ผังงานการออกแบบระบบระบุตำแหน่งโดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

ภาพประกอบ 4-6 แสดงผังงานการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่สามารถปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างแบบเรขาคณิตได้ เมื่อค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงใช้สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ เนื่องจากทราบระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันและโหนดอ้างอิง เพราะโหนดทั้งสองอยู่กับที่และทราบตำแหน่งที่แน่นอน จึงใช้ค่าระยะห่างระหว่างโหนดทั้งสองเป็นระยะห่างอ้างอิง ในแต่ละรอบของการปรับค่าเพื่อให้ค่าความผิดพลาด $e(n)$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งตรวจสอบค่าความผิดพลาดโดยกำหนด threshold เท่ากับ 0.1 เป็นค่าที่มาจากทดลองเพื่อให้สามารถใช้งานกับทุกโหนดอ้างอิงได้ และนำค่า η และ $RSSI(d_0)$ ที่มีการปรับค่าเรียบร้อยแล้ว และใช้ค่า RSSI ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายประมาณระยะห่างระหว่างของแต่ละคู่โหนด เพื่อใช้สำหรับคำนวณตำแหน่งโหนดเป้าหมาย ซึ่งข้อดีของการประยุกต์ใช้ระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง คือสามารถระบุตำแหน่งแบบเรขาคณิตในสภาพแวดล้อมปัจจุบันได้และเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ผังงานนี้โหนดอ้างอิงแต่ละตัวจะทำงานเป็นลำดับเริ่มต้นจากโหนดอ้างอิงที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

4.2.2 ที่มาของสมการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่าง

ในขั้นตอนการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ อาศัยค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง และในขั้นตอนการปรับค่าได้เองแบบ LMS ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ทั้งสอง เมื่อการประมาณระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.1)

$$\tilde{d}(n) = 10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \quad (4.1)$$

โดยที่ $RSSI(n)$ คือ ค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง ค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ เป็นพารามิเตอร์ที่ถูกปรับ เพื่อประมาณระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง ($\tilde{d}(n)$) ให้มีค่าใกล้เคียงกับระยะห่างจริงระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงที่เรียกว่า ระยะห่างอ้างอิง (d_{ref}) และสามารถคำนวณค่าความผิดพลาด (Error: $e(n)$) ของระยะห่างทั้งสองได้ตามสมการ (4.2)

$$e(n) = d_{ref} - \tilde{d}(n) \quad (4.2)$$

สำหรับสมการปรับค่า η ที่ตัดแปลงจากสมการปรับค่าน้ำหนักในวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS ตามสมการ (2.14) ที่อยู่ในบทที่ 2 โดยพิจารณาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยหาจาก $e(n)^2$ และทำให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดโดยการหาอนุพันธ์ของ $\partial e(n)^2$ เทียบกับ η ซึ่งแสดงรายละเอียดในการหาอนุพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial e(n)^2}{\partial \eta} &= 2e(n) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(d - 10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \right) \\
&= 2e(n) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \right) \\
&= -2e(n) 10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \ln(10) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right) \\
&= -2e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right) \\
&= -2e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \cdot \left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10} \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{1}{\eta(n)} \right) \\
&= \frac{2}{10} e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \cdot (RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)) \frac{-1}{\eta(n)^2} \\
\frac{\partial e(n)^2}{\partial \eta(n)} &= -\frac{2}{10} e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \cdot (RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)) \frac{1}{\eta(n)^2} \quad (4.3)
\end{aligned}$$

เมื่อแทนลงในสมการ (2.15) ที่อยู่ในบทที่ 2 จะได้สมการปรับพารามิเตอร์ η ที่สามารถปรับค่าได้ตามสมการ (4.4) โดยอาศัยค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ ก่อนหน้าเพื่อต้องการคำนวณค่าในปัจจุบัน

$$\eta(n) = \eta(n-1) + \frac{2}{10} \ln(10) \cdot \mu \cdot e(n) \cdot \tilde{d}(n) \cdot \left[\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n-1)}{\eta(n-1)^2} \right] \quad (4.4)$$

สำหรับสมการปรับค่า $RSSI(d_0)$ ก็ตัดแปลงจากสมการปรับค่าน้ำหนักในวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เช่นกัน เมื่อเปลี่ยนการหาอนุพันธ์เทียบ η เป็นการหาอนุพันธ์ของ $\partial e(n)^2$ เทียบกับ $RSSI(d_0)$ แทน ซึ่งแสดงรายละเอียดในการหาอนุพันธ์แสดงดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial e(n)^2}{\partial RSSI(d_0)} &= 2e(n) \frac{\partial}{\partial RSSI(d_0)} \left(d - 10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \right) \\
&= 2e(n) \frac{\partial}{\partial RSSI(d_0)} \left(-10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \right) \\
&= -2e(n) 10^{\left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right)} \ln(10) \frac{\partial}{\partial RSSI(d_0)} \left(\frac{RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)}{-10 \cdot \eta(n)} \right) \\
&= -2e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \frac{1}{-10 \cdot \eta(n)} \frac{\partial}{\partial RSSI(d_0)} (RSSI(n) - RSSI(d_0)(n)) \\
&= \frac{2}{10} e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \frac{1}{\eta(n)} (-1) \\
\frac{\partial e(n)^2}{\partial RSSI(d_0)(n)} &= -\frac{2}{10} e(n) \tilde{d}(n) \ln(10) \frac{1}{\eta(n)} \tag{4.5}
\end{aligned}$$

เมื่อแทนลงในสมการ (2.15) จะได้สมการปรับพารามิเตอร์ $RSSI(d_0)$ ที่สามารถปรับค่าได้ตามสมการ (4.6)

$$RSSI(d_0)(n) = RSSI(d_0)(n-1) + \frac{2}{10} \ln(10) \cdot \mu \cdot e(n) \cdot \tilde{d}(n) \cdot \frac{1}{\eta(n-1)} \tag{4.6}$$

เมื่อได้สมการปรับค่า η และค่า $RSSI(d_0)$ ตามสมการ (4.4) และ (4.6) จากนั้นนำค่าทั้งสองที่ถูกปรับแล้วไปใช้ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ทำให้ได้ค่า η และ $RSSI(d_0)$ ที่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่ใช้งาน ดังนั้นเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ทำให้สมการแปลงระยะห่างมีการปรับค่าได้ตามสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้งาน ณ ขณะที่ต้องการทราบตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้แบบเรียลไทม์ และสามารถเพิ่มความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งได้เพิ่มมากขึ้น

4.3 การออกแบบการจำลองระบบและการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริง

ระบบการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้งจากการจำลองและการทดลองในสภาพแวดล้อมจริงประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (1) โหนดเป้าหมายได้รับค่า RSSI จากโหนดอ้างอิง (2) สมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย (3) สมการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง และ (4) การประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย การนำค่าที่ปรับแล้วมาใช้ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ทำให้สมการแปลงระยะห่างสามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่ใช้งาน

โดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้จริง และการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration

4.3.1 โหนดเป้าหมายได้รับค่า RSSI จากโหนดอ้างอิง

การจำลองระบบใช้โปรแกรม MATLAB สร้างค่า RSSI จากแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS เพราะทราบระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย กำหนดค่า η เท่ากับ 2.47 และค่า $RSSI(d_0)$ เท่ากับ -46.59 dBm ลงในแบบจำลองตามสมการ (2.10) ที่อยู่ในบทที่ 2 เมื่อค่าทั้งสองที่กำหนดมาจากสภาพแวดล้อมจริงที่ต้องการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย การกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอ้างอิงจากงานวิจัย [21] โดยเมื่อคู่โหนดมีระยะห่างใกล้เคียงกัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก จึงกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3 dB เมื่อระยะห่างมากขึ้น กำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2 dB และที่ระยะห่างไกลที่สุด กำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 dB ตามลำดับ

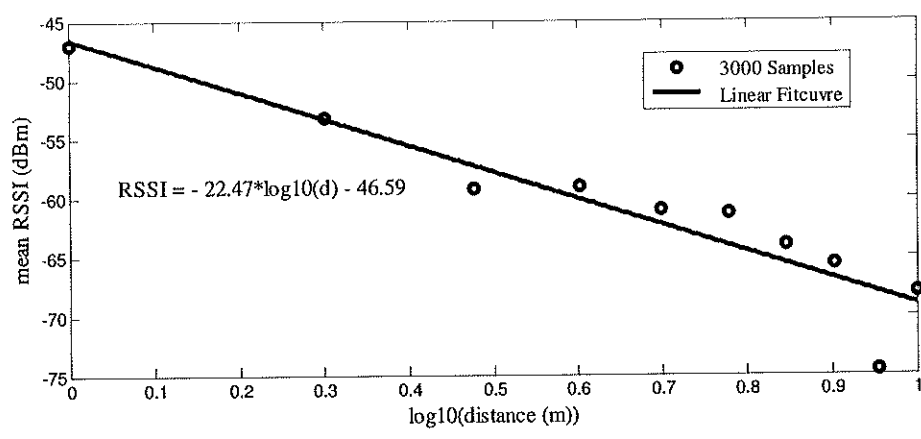
สำหรับการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง โหนดเป้าหมายได้รับค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงซึ่งประกอบด้วยค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง กับค่า RSSI ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย เมื่อค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันและโหนดอ้างอิงนำไปใช้ในการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ส่วนค่า RSSI ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายนำมาใช้ในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย กำหนดกำลังส่งของทุกโหนดเท่ากับ 0 dBm ซึ่งได้ระยะในการสื่อสารที่สามารถหวังผลได้ประมาณ 15 เมตร ใช้ช่องสัญญาณ (Channel) 0xFO ตรงกับความถี่ 2.481 GHz อยู่ระหว่างช่องสัญญาณที่ 13 กับ 14 ของ Wi-Fi สามารถหลีกเลี่ยง Wi-Fi ในการรับและส่งค่า RSSI ได้ เนื่องจากช่องสัญญาณ Wi-Fi ที่นิยมใช้คือช่องสัญญาณ 1, 6 และ 11 และกำหนดค่าความไวของ RSSI เท่ากับ -89 dBm เป็นค่า RSSI ที่ต่ำที่สุดของภาครับตามคู่มือของโมดูลสื่อสารไร้สาย CC2500 และ โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงทั้งสามโหนดเท่านั้น เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ไร้สายอื่นๆ ที่ใช้ย่านความถี่เดียวกันในการส่งข้อมูล

4.3.2 สมการแปลงระยะห่างจากค่า RSSI ของสภาพแวดล้อมจริง

การหาสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดภายในสภาพแวดล้อมจริง ดำเนินการโดยใช้โหนดตัวส่ง 1 โหนดและโหนดตัวรับ 1 โหนดเก็บค่า RSSI จำนวน 3000 ค่าที่แต่ละระยะห่าง เริ่มตั้งแต่ระยะห่าง 1 เมตรจนครบ 10 เมตรโดยเพิ่มระยะห่างครั้งละ 1 เมตรและหา

ค่าเฉลี่ยของแต่ละระยะห่างด้วยวงกลมในภาพประกอบ 4-7 และสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นของระยะห่างระหว่างโหนดในรูปแบบลอการิทึมกับค่า RSSI เฉลี่ย ซึ่งเป็นวิธีการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ง่าย ในการสร้างสมการใช้ Basic fitting ใน โปรแกรม MATLAB ที่แสดงด้วยเส้นตรงและได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับค่า RSSI ดังสมการ (4.7)

$$RSSI (dBm) = -22.47 \log_{10}(d) - 46.59 \tag{4.7}$$



ภาพประกอบ 4-7 สมการความสัมพันธ์ของค่า RSSI กับระยะห่างระหว่างโหนด

ในภาพประกอบ 4-7 เมื่อแกน x คือระยะห่างในรูปแบบลอการิทึมฐานสิบระหว่างโหนดด้านรับและโหนดด้านส่ง หน่วยเป็นเมตร และแกน y คือค่าเฉลี่ย RSSI หน่วยเป็น dBm สามารถสร้างสมการแปลงระยะห่างโดยการจัดรูปสมการ (4.7) ใหม่ จึงได้สมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายดังสมการ (4.8)

$$d = 10^{\left(\frac{RSSI - (-46.59)}{-10(2.247)} \right)} \tag{4.8}$$

เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในสมการ (4.8) กับสมการพารามิเตอร์ในสมการ (2.10) ของแบบจำลองการสูญเสียแบบ LNS พบว่าค่า η เท่ากับ 2.247 และค่า $RSSI(d_0)$ เท่ากับ -46.59 dBm จึงนำค่าทั้งสองไปใช้ในสมการแปลงระยะห่างสำหรับการจำลองระบบ ซึ่งค่าทั้งสองถือเป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้งาน ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนพื้นที่ในการระบุตำแหน่งจำเป็นต้องเก็บค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะห่างใหม่ทุกครั้ง เนื่องจากสภาพแวดล้อมจริงมีการเปลี่ยนแปลงในบางช่วงเวลา เพื่อรักษาความถูกต้องเมื่อประมาณระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงทุกโหนดกับโหนดเป้าหมายของสภาพแวดล้อมขณะที่ใช้งาน ส่งผลต่อความแม่นยำในการประมาณตำแหน่งของโหนด

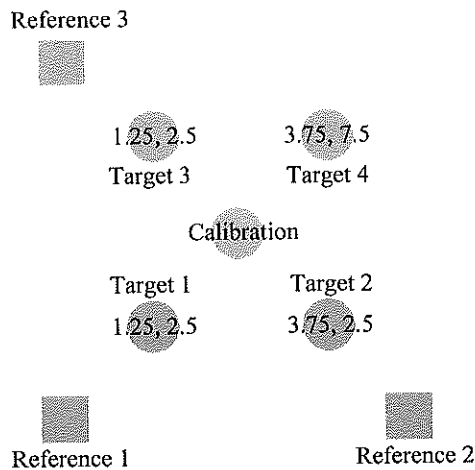
4.3.3 การปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่าง

กระบวนการ Calibration มีความสำคัญจึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้วิธีการปรับได้แบบ LMS สำหรับปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองที่คงที่ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้เองเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง การประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่อยู่ในสมการ (4.8) ให้สามารถเปลี่ยนค่าได้ตามสภาพแวดล้อมปัจจุบันที่ใช้งาน อาศัยการทราบระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงและสามารถปรับค่า η ได้ตามสมการ (4.4) และปรับค่า $RSSI(d_0)$ ตามสมการ (4.6) และนำค่าทั้งสองมาใช้ในสมการแปลงระยะห่างทำให้ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสมการแปลงระยะห่างมีผลต่อความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย ดังนั้นหากค่าพารามิเตอร์ในสมการสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน ทำให้สามารถเพิ่มความถูกต้องให้กับระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริงได้มากขึ้น สำหรับค่าเริ่มต้นในกระบวนการเรียนรู้ของวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS กำหนดค่าเริ่มต้น η เท่ากับ 2 และค่า $RSSI(d_0)$ เท่ากับ -40 dBm ซึ่งค่าที่กำหนดมาจากตารางที่ 2.1 ที่อยู่ในบทที่ 2 ทำให้สามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ทุกสภาพแวดล้อมและไม่จำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าคงที่ของสมการแปลงระยะห่างตามสมการ (4.8) ก่อนการระบุตำแหน่ง ซึ่งสามารถลดเวลาในการเก็บผลความสัมพันธ์ได้ และกำหนดอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.1 ที่กำหนดมาจากการทดลอง สำหรับขั้นตอนการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงที่ประกอบด้วยค่า RSSI ระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงและค่า RSSI ระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายในเวลาเดียวกัน เพื่อต้องการให้ค่าปรับตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน ณ ขณะนั้น เนื่องจากเมื่อสัญญาณเดินทางในสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริงที่เป็นอากาศ มีหลายปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้นที่ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวไม่สามารถควบคุมได้

4.3.4 การประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย

เมื่อทราบระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายทั้งสามสามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการระบุตำแหน่งแบบ Trilateration ได้ตามสมการ (2.5) ซึ่งอยู่ในบทที่ 2 ทั้งในกรณีการจำลองระบบและการระบุตำแหน่งในสภาพแวดล้อมจริง เมื่อการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายดำเนินการในพื้นที่ขนาด 5×10 ตารางเมตร กำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่มุมทั้งสามของพื้นที่ที่ทราบตำแหน่งแน่นอนแสดงด้วยสี่เหลี่ยม เริ่มต้นโหนดอ้างอิงที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง (0, 0) โหนดอ้างอิงที่ 2 อยู่ที่ตำแหน่ง (5, 0) ทำให้ทราบระยะห่าง

โหนดอ้างอิงทั้งสองในแนวแกน x เท่ากับ 5 เมตร สามารถกำหนดค่าลงในตัวแปร a ของสมการ (2.5) และโหนดอ้างอิงที่ 3 อยู่ที่ตำแหน่ง (0,10) จึงทราบระยะห่างโหนดอ้างอิงทั้งสองในแนวแกน y เท่ากับ 10 เมตร จึงกำหนดค่าในตัวแปร b ของสมการ (2.5) และประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย 4 จุดแสดงด้วยวงกลมตามภาพประกอบ 4-8



ภาพประกอบ 4-8 การกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงและโหนดเป้าหมาย

เมื่อระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจำนวน 4 จุดที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด เริ่มจุดแรกที่ตำแหน่ง (1.25, 2.5) อยู่ด้านซ้ายล่างใกล้โหนดอ้างอิงที่ 1 สำหรับจุดสองที่ตำแหน่ง (3.75, 2.5) อยู่ด้านขวาล่างใกล้โหนดอ้างอิงที่ 2 ส่วนจุดสามที่ตำแหน่ง (1.25, 7.5) อยู่ด้านซ้ายบนใกล้โหนดอ้างอิงที่ 3 ทั้งสามจุดถือเป็นการกำหนดตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่อยู่ภายในโซนของพื้นที่ และจุดสี่ที่ตำแหน่ง (3.75, 7.5) เป็นจุดที่อยู่นอกพื้นที่ถือเป็นตำแหน่งที่อยู่นอกโซนของพื้นที่ตามลำดับ และประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายแต่ละจุดด้วยค่าเฉลี่ยจำนวน 50 ค่าเพื่อให้สามารถประมาณตำแหน่งได้ทันเวลาจริง และพิจารณาค่าความผิดพลาดที่ประมาณได้เทียบกับตำแหน่งจริงสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4.9)

$$error = \sqrt{(x_{true} - x_{estimate})^2 + (y_{true} - y_{estimate})^2} \quad (4.9)$$

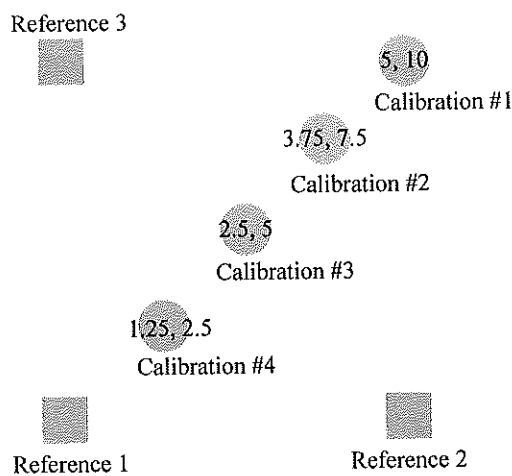
4.4 การจำลองเพื่อหาการวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสม

ก่อนหน้านี้นี้มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย [3] โดยใช้การทราบตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมายเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการทำให้ค่า η และ $RSSI(d_0)$ ปรับค่าเข้าใกล้ตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมาย เมื่อพิจารณาการใช้ตำแหน่งจริงของโหนดเป้าหมายเป็นตำแหน่งอ้างอิง

สามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งได้อย่างแน่นอน แต่ไม่สามารถประยุกต์ใช้ระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายในสภาพแวดล้อมจริงแบบเรียลไทม์ได้ เพราะจุดประสงค์ที่สำคัญของระบบการระบุตำแหน่งคือต้องการทราบตำแหน่งของโหนดเป้าหมาย

เมื่อต้องการระบบการระบุตำแหน่งที่สามารถหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้แบบเรียลไทม์ จึงอาศัยการทราบระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงเป็นตัวกำหนดระยะห่างอ้างอิงสำหรับปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างให้เข้าใกล้ระยะห่างอ้างอิงมากที่สุดตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ใช้งาน ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งการวางโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสมมีผลต่อความถูกต้องในการประมาณระยะห่าง โดยตั้งสมมติฐานการวางระยะห่างอ้างอิงระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงที่เหมาะสม ต้องสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ทั้งหมด จึงสามารถใช้ระยะห่างอ้างอิงเป็นตัวแทนของระบบทั้งหมดในการปรับค่าพารามิเตอร์ได้

ในการจำลองระบบกำหนดตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชัน 4 แบบ คือ แบบที่ 1 วางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันที่มุมขวาบนของพื้นที่ที่กำหนด (5, 10) แบบที่ 2 วางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันที่ด้านขวาบนของพื้นที่ที่กำหนด (3.75, 7.5) แบบที่ 3 วางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันตรงกลางของพื้นที่ที่กำหนด (2.5, 5) และแบบที่ 4 วางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันที่ด้านซ้ายล่างของพื้นที่ที่กำหนด (1.25, 2.5) และกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RSSI ของแต่ละโหนดคาลิเบรชันในระบบการจำลองแตกต่างกันขึ้นกับระยะห่างระหว่างโหนดเพื่อให้เสมือนสภาพแวดล้อมจริงที่แสดงด้วยวงกลมในภาพประกอบ 4-9

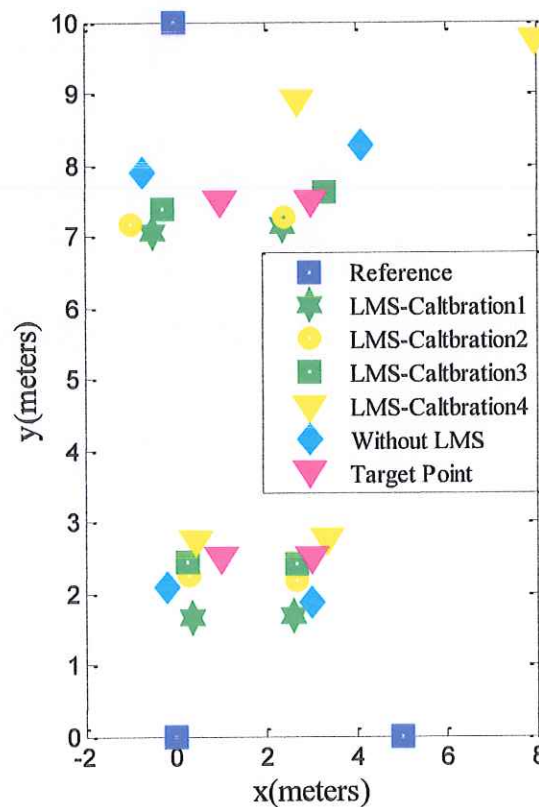


ภาพประกอบ 4-9 การวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบต่างๆ

เมื่อการจำลองระบบเป็นการเปรียบเทียบการวางตำแหน่งของ โหนดคาลิเบรชันทั้ง 4 แบบเพื่อหาตำแหน่งการวางโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสมและสามารถลดความผิดพลาดได้เมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งเปรียบเทียบความถูกต้องของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุด เมื่อพิจารณาตำแหน่งเฉลี่ยที่ประมาณได้ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวางโหนดคาลิเบรชันแต่ละแบบ

4.4.1 ผลการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชัน

ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดที่แสดงด้วยสามเหลี่ยมสีชมพูและกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงด้วยสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน เมื่อในการจำลองแต่ละครั้งค่า RSSI ที่สร้างจากแบบจำลองมีค่าต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้การจำลองระบบมีความถูกต้องจึงจำลองจำนวน 10 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยของผลการประมาณตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายที่แสดงดังภาพประกอบ 4-10 เมื่อจุดประสงค์ของการจำลองนี้เพื่อวิเคราะห์การวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันทั้ง 4 แบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ ในสภาพแวดล้อมจริงและสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดได้



ภาพประกอบ 4-10 เปรียบเทียบการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดเมื่อกำหนดการวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชัน 4 แบบเพราะเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ ในการปรับค่าทั้งสองขึ้นกับระยะห่างของโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิง แสดงผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายจากโหนดคาลิเบรชันทั้ง 4 แบบคือ เริ่มที่ดาวสี่เหลี่ยมเป็นผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยเมื่อกำหนดตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบที่ 1: (5, 10) ถัดมาวงกลมสี่เหลี่ยมเมื่อกำหนดตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบที่ 2: (3.75, 7.5) ส่วนสี่เหลี่ยมสีเขียวเมื่อกำหนดตำแหน่งแบบที่ 3: (2, 5) และสามเหลี่ยมสีเหลืองเมื่อกำหนดตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบที่ 4: (1.25, 2.5) ตามลำดับ ส่วนสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดสีฟ้าเป็นผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเมื่อไม่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จะเห็นได้ว่าการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดแยกๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ของการกำหนดตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบต่างๆ ที่สามารถสรุปผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายแต่ละจุดได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันต่างกัน

ตำแหน่งโหนด คาลิเบรชัน	ตำแหน่งจริง/ตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมาย			
	P1 (1.25,2.5)	P2 (3.75,2.5)	P3 (1.25,7.5)	P4 (3.35,7.5)
ไม่มี	(-0.197, 2.088)	(2.989, 1.861)	(-0.704, 7.883)	(4.097, 8.261)
แบบที่ 1	(0.355, 1.669)	(2.588, 1.689)	(-0.493, 7.036)	(2.377, 7.145)
แบบที่ 2	(0.275, 2.249)	(2.667, 2.174)	(-0.963, 7.164)	(2.417, 7.264)
แบบที่ 3	(0.264, 2.429)	(2.677, 2.402)	(-0.281, 7.375)	(3.293, 7.607)
แบบที่ 4	(0.435, 2.748)	(3.344, 2.759)	(2.706, 8.905)	(7.979, 9.759)

เมื่อเปรียบเทียบผลการวางตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชันทั้ง 4 แบบ พบว่าการวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันแบบที่ 4 คือวางใกล้โหนดอ้างอิงที่ 1 เมื่อประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่อยู่บริเวณด้านล่างของพื้นที่ ตำแหน่งเฉลี่ยที่ประมาณได้มีความผิดพลาดน้อยกว่าการวางโหนดคาลิเบรชันแบบอื่น ๆ เนื่องจากระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงอยู่ใกล้ ทำให้สามารถปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ได้อย่างถูกต้อง แต่เมื่อพิจารณาการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจุดที่ 3 และจุดที่ 4 พบว่ามีค่าความผิดพลาดสูงกว่าการวางโหนดคาลิเบรชันแบบอื่นๆ และยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการประมาณตำแหน่งของโหนด

เป้าหมายกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ดังนั้นการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 4 จึงไม่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมจริง ส่วนการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 1 ที่อยู่มุมขวาบนของพื้นที่ที่สามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายที่จุดที่ 4 ได้ถูกต้องกว่าการวางโหนดคาไลเบรชันแบบอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับจุดที่ 4 ส่วนการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายบางจุดให้ค่าความผิดพลาดที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ดังนั้นการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 1 จึงไม่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับสภาพแวดล้อมจริงเช่นกัน สำหรับการวางตำแหน่งของโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ให้ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายใกล้เคียงกัน จึงอาศัยการพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยรวมของการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยรวมของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบต่างๆ

ตำแหน่งโหนดคาไลเบรชัน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวม	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยรวม
ไม่มี	1.3820	1.1133
แบบที่ 1	1.4649	0.4763
แบบที่ 2	1.4325	0.4696
แบบที่ 3	1.0176	0.4451
แบบที่ 4	2.0381	0.4861

ตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมระหว่างการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 2 กับแบบที่ 3 พบว่าการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 3 คือวางตรงกลางของพื้นที่ ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ โดยเฉพาะการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจุดที่ 4 ซึ่งตั้งจุดที่อยู่นอกพื้นที่ ดังนั้นการวางตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันแบบที่ 3 คืออยู่ตรงกลางของพื้นที่สามารถลดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทุกจุดได้ เพราะการวางตำแหน่งตรงกลางทำให้ระยะห่างระหว่างโหนดคาไลเบรชันกับโหนดอ้างอิงทุกคู่เท่ากันหมด เมื่อนำไปใช้งานจริงจึงไม่มีปัญหาของระยะห่างอ้างอิง เพราะเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดคาไลเบรชันกับโหนดอ้างอิงไกลขึ้น ผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายผิดพลาดจากตำแหน่งจริงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นสำหรับการทดลองในสภาพแวดล้อมจริงจริง กำหนดตำแหน่งโหนดคาไลเบรชันอยู่

ตรงกลางของพื้นที่ เพื่อให้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งโหนดเป้าหมายจริงเพิ่มขึ้น

4.4.2 สรุปผลการจำลอง

จากการจำลองระบบเพื่อหาการวางตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสมเพราะมีผลต่อการปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ และพบว่าการวางโหนดคาลิเบรชันทั้ง 4 แบบเพื่อประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ต่ำกว่าการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดเมื่อไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ดังนั้นเมื่อค่าคงที่ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เองตามสภาพแวดล้อม สามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งได้สูงขึ้น และสำหรับการวางตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชันที่เหมาะสมควรอยู่ตรงกลางของพื้นที่ เนื่องจากเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันและโหนดอ้างอิงอยู่ใกล้กันทำให้ผลการประมาณตำแหน่งดีขึ้น ดังนั้นการวางตำแหน่งโหนดคาลิเบรชันตรงกลางทำให้ระยะห่างระหว่างโหนดคาลิเบรชันกับโหนดอ้างอิงทุกโหนดเท่ากัน จึงสามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ครอบคลุมทุกจุดซึ่งถือว่าครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด และการจำลองระบบการระบุตำแหน่งสามารถยืนยันให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารได้จริง

4.5 การระบุตำแหน่งจริงกรณีโหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่

พื้นที่สำหรับระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารจริงคือ อาคารมงคล สุขขนาด 5x10 ตารางเมตร บริเวณรอบๆ พื้นที่ประกอบด้วยผนังด้านข้างและผนังด้านหลังและวัตถุอยู่รอบๆ บริเวณ ในการทดลองกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิง 3 โหนดวางที่มุมทั้งสามของพื้นที่ที่ตำแหน่งที่แน่นอนซึ่งแสดงด้วยสี่เหลี่ยม ส่วนตำแหน่งของโหนดคาลิเบรชันอยู่ตรงกลางของพื้นที่ แสดงด้วยวงกลม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเพิ่มความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งของโหนดอ้างอิงทุกจุด และประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจำนวน 4 จุดที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดแสดงด้วยวงกลมตามภาพประกอบ 4-11



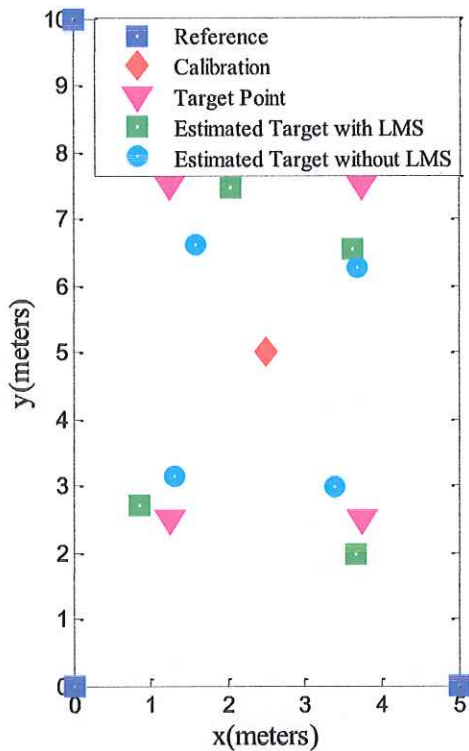
ภาพประกอบ 4-11 สภาพแวดล้อมการทดลองกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง

ในการทดลองจริงกรณี โหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่ประกอบด้วย 2 การทดลองคือ การทดลองแรกเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางในทุกจุดของการระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมาย และการทดลองที่สองเมื่อมีสิ่งกีดขวางในระหว่างเส้นทางการระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมาย สำหรับการทดลองทั้งสองมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดในสภาพแวดล้อมจริง ระหว่างใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ปรับค่า η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่าง โหนดอ้างอิงกับ โหนดเป้าหมาย เทียบกับผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดเมื่อไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

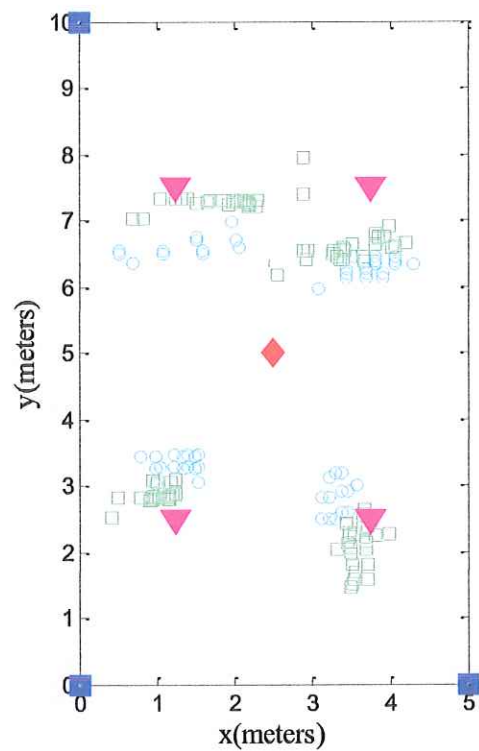
4.5.1 ผลการทดลองจริงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง

การระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง กล่าวคือในเส้นทางระหว่าง โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI เป็นเส้นทาง โลง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ในพื้นที่ทดลองมีเฉพาะคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเท่านั้น ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมายจริงมาจากค่าเฉลี่ยของการทดลองจริงในการระบุตำแหน่งจำนวน 6 ครั้งเพราะในบางช่วงเวลา ระดับค่า RSSI มีการเปลี่ยนแปลง และเพื่อให้ระบบการระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น เริ่มต้นกำหนดตำแหน่งของ โหนดอ้างอิงด้วยสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน ตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายจริงแสดงด้วยสามเหลี่ยมสีชมพู และผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของ โหนดเป้าหมาย 2 กรณีคือ กรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จำนวน 25 ครั้งดังแสดงด้วยสี่เหลี่ยมสีเขียวและกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จำนวน 50 ครั้งดังแสดงด้วยวงกลมสีฟ้าดังภาพประกอบ 4-12 (ก)

และการกระจายตัวเมื่อประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้งกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่แสดงด้วยสีเหลี่ยมสีเขียวและกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่แสดงด้วยวงกลมสีฟ้าดัง ภาพประกอบ 4-12 (ก)



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย



(ข) การกระจายตัว

ภาพประกอบ 4-12 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง

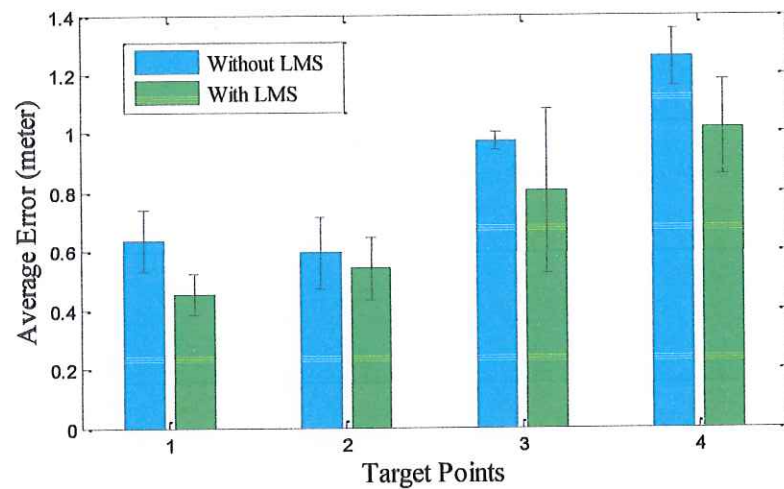
ภาพประกอบ 4-12 (ก) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดระหว่างกรณีที่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ เทียบกับค่าเฉลี่ยการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เห็นได้ว่าสีเหลี่ยมสีเขียวเป็นค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดได้ใกล้เคียงตำแหน่งเป้าหมายจริงมากขึ้น เมื่อเทียบกับวงกลมสีฟ้าที่เป็นค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายกรณีไม่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของตำแหน่งที่ประมาณได้ตามภาพประกอบ 4-12 (ข) ผลการกระจายตัวกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่แสดงด้วยสีเหลี่ยมสีเขียว เป็นผลการ

กระจายตัวกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ช่วงการกระจายตัวตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายจุดที่ P1 พิกัด (1.25, 2.5) และจุดที่ P2 พิกัด (3.75, 2.5) มีช่วงการกระจายตัวที่แคบกว่าและกระจายตัวอยู่ใกล้ตำแหน่งจริงมาก ส่วนการกระจายตัวที่จุด P3 และ P4 มีการกระจายตัวที่กว้างกว่าเมื่อเทียบกับการกระจายตัวกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าสูงกว่า แต่แม้ว่ามีการกระจายตัวของผลการประมาณตำแหน่งที่กว้าง แต่ช่วงที่กระจายตัวอยู่ใกล้ตำแหน่งจริงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยใกล้เคียงตำแหน่งจริง สาเหตุที่จุด P3 และ P4 มีการกระจายตัวที่กว้างเพราะสภาพแวดล้อมรอบๆ ประกอบด้วยผนังทั้ง 3 ด้าน ทำให้โหนดเป้าหมายมีโอกาสอ่านค่า RSSI ได้จากหลายเส้นทาง เพื่อยืนยันว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถประมาณตำแหน่ง โหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากขึ้น สามารถพิจารณาค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่ง โหนดเป้าหมายเทียบกับตำแหน่งจริง รวมทั้งพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่ง โหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตำแหน่งจริง โหนด เป้าหมาย	กรณีไม่ใช้ LMS			กรณีใช้ LMS		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
P1 (1.25,2.5)	(1.316, 3.128)	0.635	0.104	(0.862, 2.695)	0.453	0.069
P2 (3.75,2.5)	(3.394, 2.969)	0.595	0.121	(3.671, 1.976)	0.540	0.107
P3 (1.25,7.5)	(1.585, 6.603)	0.972	0.031	(2.043, 7.452)	0.803	0.280
P4 (3.75,7.5)	(3.693, 6.254)	1.258	0.097	(3.625, 6.543)	1.019	0.160

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายแต่ละจุด พบว่าเมื่อใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถลดความผิดพลาดเฉลี่ยได้ทั้ง 4 จุดซึ่งถือว่าครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของการทดลองจริง ทำให้สามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากขึ้น และสามารถลดความผิดพลาดเฉลี่ยได้ประมาณ 16.125 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่ง พบว่าบางจุดของการใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS แต่เนื่องจากช่วงการกระจายตัวของผลการประมาณตำแหน่งที่ได้ อยู่ใกล้ตำแหน่งจริงมากกว่า ทำให้สุดท้ายได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในทุกจุดของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมาย ซึ่งแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในภาพประกอบ 4-13



ภาพประกอบ 4-13 เปรียบเทียบความผิดพลาดเฉลี่ยกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง

4.5.2 ผลการทดลองจริงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง

การระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายกรณีมีสิ่งกีดขวาง กล่าวคือในเส้นทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายมีสิ่งกีดขวาง คือฉากกั้นในสำนักงานที่สูง 1.5 เมตรและกว้าง 1.2 เมตรเพียงคู่โหนดเดียว เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ว่าสามารถประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงเหมือนกับกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ เมื่อสภาพแวดล้อมมีสิ่งกีดขวางแสดงตามภาพประกอบ 4-4

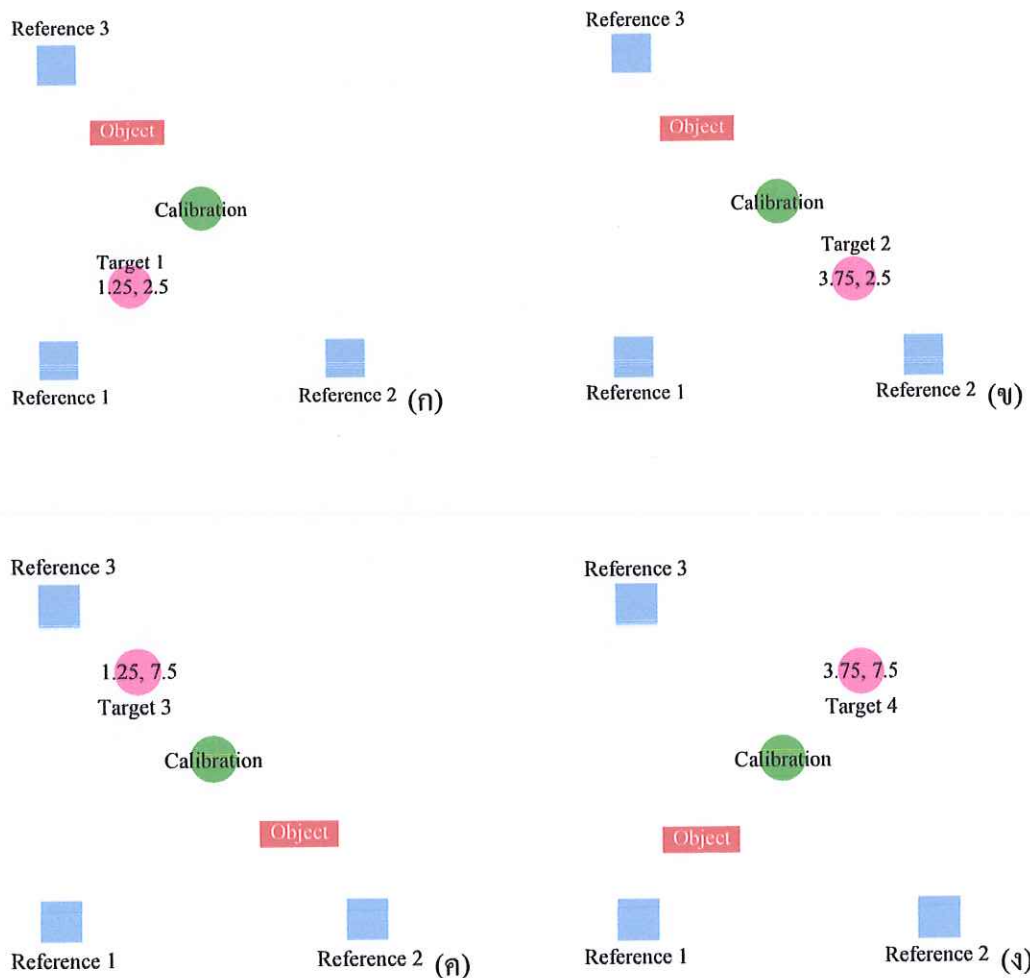


ภาพประกอบ 4-14 สภาพแวดล้อมการทดลองกรณีมีสิ่งกีดขวาง

การประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายกรณีที่มีสิ่งกีดขวางดำเนินการ เหมือนกับการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายกรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง เมื่อผลการประมาณ ตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายจริง มาจากค่าเฉลี่ยของการทดลองจริงในการระบุตำแหน่ง จำนวน 6 ครั้ง เพราะเมื่อมีสิ่งกีดขวางระดับของสัญญาณมีค่าลดลงแตกต่างกัน

ในการทดลองจริงสิ่งกีดขวางมองเสมือนวัตถุที่อยู่ภายในพื้นที่ ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ที่เดิม ดังนั้นในการทดลองแต่ละจุดของโหนดเป้าหมายจึงมีการทดลองโดยวางสิ่งกีดขวางอยู่ใน เส้นทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายเพียงคู่เดียวที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพประกอบ

4-15

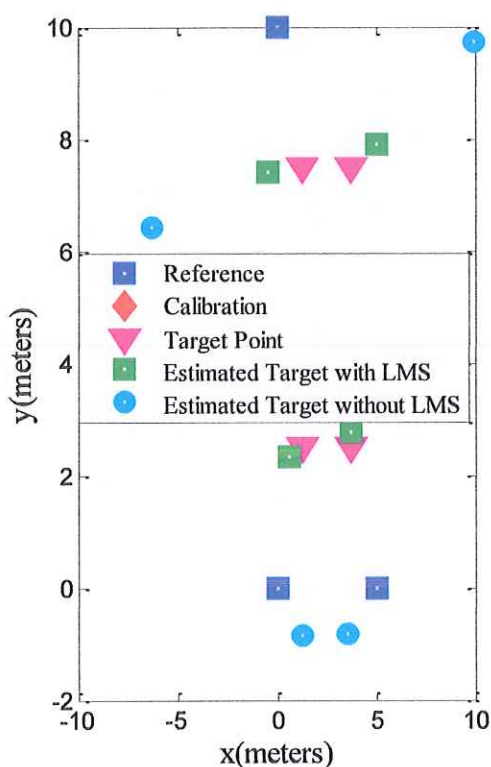


ภาพประกอบ 4-15 การทดลองเมื่อมีสิ่งกีดขวางที่แต่ละจุดของโหนดเป้าหมาย

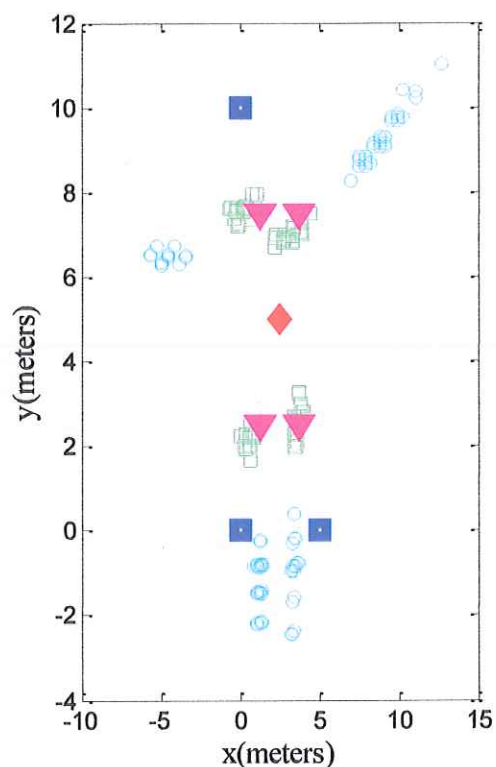
ในภาพประกอบ 4-15 (ก) และ (ข) เป็นการทดลองของโหนดเป้าหมายจุดที่ 1 และ 2 โดยวางสิ่งกีดขวางระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 3 กับโหนดเป้าหมาย ส่วน (ค) เป็นการทดลองของ

โหนดเป้าหมายจุดที่ 3 โดยวางสิ่งกีดขวางระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 2 กับโหนดเป้าหมาย และ (ง) เป็นการทดลองของโหนดเป้าหมายจุดที่ 4 โดยวางสิ่งกีดขวางระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 1 กับโหนดเป้าหมายตามลำดับ ซึ่งการวางสิ่งกีดขวางทั้ง 4 แบบสามารถอธิบายการมีสิ่งกีดขวางที่บดบังทุกโหนดอ้างอิงได้

เริ่มต้นกำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิงด้วยสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน ตำแหน่งของโหนดเป้าหมายจริงแสดงด้วยสามเหลี่ยมสีชมพู และผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมาย 2 แบบคือกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จำนวน 25 ครั้งดังแสดงด้วยสี่เหลี่ยมสีเขียวและกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จำนวน 50 ครั้งดังแสดงด้วยวงกลมสีฟ้าดังภาพประกอบ 4-16 (ก) และการกระจายตัวเมื่อประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้งกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่แสดงด้วยสี่เหลี่ยมสีเขียวและกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่แสดงด้วยวงกลมสีฟ้าดังภาพประกอบ 4-16 (ข)



(ก) ค่าตำแหน่งเฉลี่ย



(ข) การกระจายตัว

ภาพประกอบ 4-16 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายกรณีมีสิ่งกีดขวาง

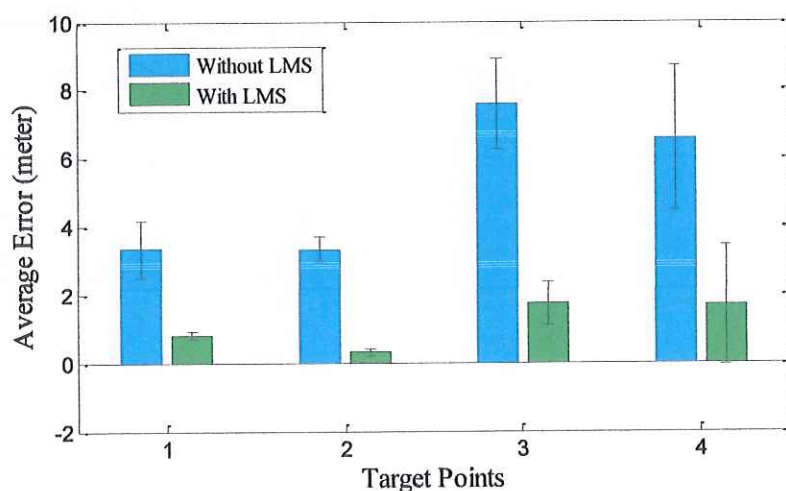
ภาพประกอบ 4-16 (ก) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดระหว่างวิธีการปรับตัวได้เองแบบ LMS ปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับ โหนดเป้าหมายให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ เทียบกับค่าเฉลี่ยการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง เห็นได้ว่าสี่เหลี่ยมสีเขียวเป็นค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดเมื่อใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ยังคงสามารถประมาณตำแหน่งได้ใกล้เคียงตำแหน่งเป้าหมายจริง เมื่อเทียบกับวงกลมสีฟ้าที่เป็นค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเมื่อไม่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ที่ประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดออกนอกพื้นที่ที่การทดลองจริงทั้งหมด ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงจากกรณีที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ในเส้นทางที่โหนดเป้าหมายอ่านค่า RSSI และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าตำแหน่งที่ประมาณได้ตามภาพประกอบ 4-16 (ข) เห็นได้ว่าสี่เหลี่ยมสีเขียวเป็นผลการกระจายตัวกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ช่วงการกระจายตัวของตำแหน่งเป้าหมายทั้ง 4 จุดมีช่วงการกระจายตัวที่แคบและกระจายตัวอยู่ใกล้ตำแหน่งจริงมากเมื่อเทียบกับวงกลมสีฟ้าที่เป็นผลการกระจายตัวของตำแหน่งเป้าหมายกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อยืนยันว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ยังคงสามารถประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงกรณีมีสิ่งกีดขวาง

สำหรับ โหนดเป้าหมายที่จุด P1 และจุด P2 เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางอยู่ระหว่างเส้นทางของโหนดอ้างอิงที่ 3 กับโหนดเป้าหมาย ส่งผลให้ระยะห่าง d_3 ที่ประมาณได้โดยใช้สมการ (4.8) มีค่าผิดพลาดไปจากเดิม เมื่อคำนวณตำแหน่งทำให้ค่าในแนวแกน y ผิดพลาดไป เพราะในวิธีการหาตำแหน่งแบบ Trilateration ค่าแกน y ขึ้นกับระยะห่าง d_3 และโหนดเป้าหมายที่จุด P3 มีสิ่งกีดขวางอยู่ในเส้นทางระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 2 กับโหนดเป้าหมายทำให้ระยะห่าง d_2 ที่ประมาณได้ผิดพลาดไป และเมื่อคำนวณตำแหน่งส่งผลให้ค่าในแนวแกน x ผิดพลาดไปจากเดิมสูง และโหนดเป้าหมายที่จุด P4 มีสิ่งกีดขวางอยู่ระหว่างเส้นทางของโหนดอ้างอิงที่ 1 กับโหนดเป้าหมาย ทำให้ระยะห่าง d_1 ผิดพลาดไป ส่งผลให้ค่าทั้งในแนวแกน x และแกน y ผิดพลาดเพราะทั้งพิกัด x และ y อาศัยระยะห่าง d_1 ในการคำนวณ และสามารถพิจารณาค่าเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเทียบกับตำแหน่งจริง รวมทั้งพิจารณาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 4 จุดได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่ง โหนดเป้าหมายกรณีมีสิ่งกีดขวาง

ตำแหน่งจริง โหนดเป้าหมาย	กรณีไม่ใช้ LMS			กรณีใช้ LMS		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าความ ผิดพลาด	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
P1 (1.25,2.5)	(1.232, -0.850)	3.351	0.827	(0.577, 2.342)	0.800	0.104
P2 (3.75,2.5)	(3.529, -0.827)	3.336	0.379	(3.766, 2.778)	0.318	0.103
P3 (1.25,7.5)	(-6.274, 6.416)	7.603	1.329	(-0.483, 7.395)	1.740	0.641
P4 (3.75,7.5)	(9.919, 9.734)	6.568	2.111	(5.017, 7.887)	1.691	1.734

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายแต่ละจุด พบว่าเมื่อใช้วงจรกรองแบบ LMS สามารถลดความผิดพลาดเฉลี่ยในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ทั้ง 4 จุด ได้สูงมาก และเมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการประมาณตำแหน่งทุกจุด มีค่าลดลงอย่างมากเป็นผลมาจากการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายมีความถูกต้องมากขึ้นและช่วงการกระจายของการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายมีขนาดลดลง เมื่อเทียบกับการไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงกรณีที่มีสิ่งกีดขวาง เพื่อให้เห็นภาพชัดแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดงในภาพประกอบ 4-17

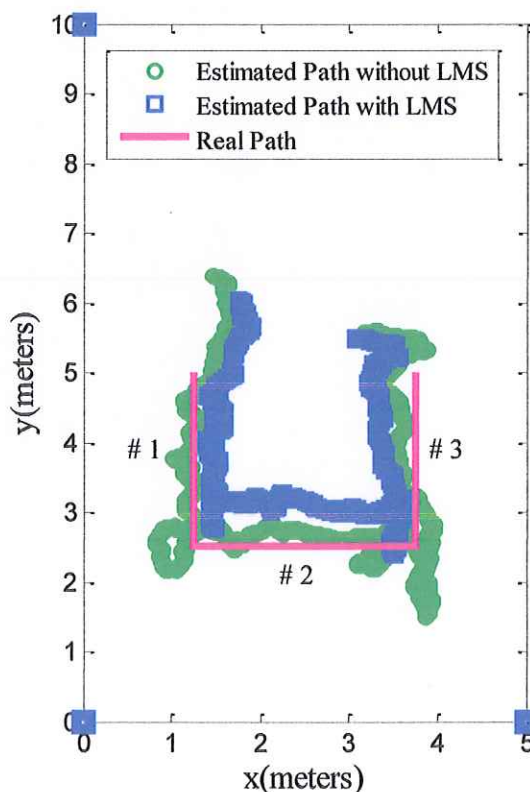


ภาพประกอบ 4-17 เปรียบเทียบความผิดพลาดเฉลี่ยกรณีมีสิ่งกีดขวาง

เมื่อสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง สมการที่ใช้ในการประมาณระยะห่างควรสามารถปรับพารามิเตอร์ในสมการได้เองเพื่อรักษาความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง

4.6 การระบุตำแหน่งจริงกรณีโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่

พื้นที่สำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่คือ อาคารมงคลสุข ขนาด 5x10 ตารางเมตร เหมือนกรณีโหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่ แต่รอบๆ บริเวณประกอบด้วยโต๊ะจำนวนมากอยู่ทั้งสองข้าง ซึ่งสภาพแวดล้อมรอบๆ แตกต่างกับการทดลองเมื่อโหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่ ในการทดลองกำหนดโหนดอ้างอิง 3 โหนดวางที่มุมทั้งสามของพื้นที่ ส่วนตำแหน่งของโหนดคาลิเบอร์ชั้นอยู่ตรงกลางของพื้นที่และโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาทีตามเส้นทางที่กำหนด ทำการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ 2 กรณีคือ กรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS และกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สำหรับผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยที่ได้แต่ละจุดมาจากข้อมูล 100 ค่าและเลื่อนไปครั้งละ 1 ค่าเพื่อหาค่าตำแหน่งเฉลี่ยถัดที่แสดงด้วยสีเหลี่ยมสีน้ำเงินกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS และวงกลมสีเขียวกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เทียบกับเส้นทางที่กำหนดแสดงด้วยเส้นตรงดังภาพประกอบ 4-18



ภาพประกอบ 4-18 เปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่

ภาพประกอบ 4-18 แสดงการเปรียบเทียบผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ระหว่างกรณีใช้วิธีการปรับตัวได้เองแบบ LMS ปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย ให้สามารถปรับค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมนั้นๆ เทียบกับผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่กรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS สังเกตเห็นว่าผลการประมาณตำแหน่งในเส้นทาง #1, #2 และ #3 กรณีใช้วิธีการปรับตัวได้เองแบบ LMS สามารถประมาณตำแหน่งได้ตามเส้นทางที่กำหนดและประมาณตำแหน่งเฉลี่ยได้ถูกต้องมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยกรณีไม่ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นทาง #2 สำหรับค่าความผิดพลาดที่มุมของทั้งสามเส้นทาง อาจเกิดจากการแยกคำนวณตำแหน่งของแต่ละเส้นทางและนำมาต่อกันสภาพแวดล้อมๆ รอบมีการเปลี่ยนแปลง

4.7 สรุป

จากแนวคิดที่ว่าหากพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมาย สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งานปัจจุบัน โดยประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เป็นการปรับกระบวนการ Calibration ให้ได้คุณลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ต้องการระบุตำแหน่ง ซึ่งสามารถรักษาความถูกต้องในการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้จริง และสามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในแต่ละสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายสามารถประมาณตำแหน่งเฉลี่ยโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงทั้งในโหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่ โดยเฉพาะเมื่อมีสิ่งกีดขวางสามารถลดความผิดพลาดเฉลี่ยได้สูงมาก และสามารถประมาณตำแหน่งเฉลี่ยเมื่อโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงเส้นทางจริงที่กำหนด ดังนั้นวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เหมาะสมกับระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต

สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างจะนำมาใช้ประมาณตำแหน่งทันที เพราะต้องการค่าที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมปัจจุบัน ดังนั้นไม่ว่าสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ จะไม่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการประมาณตำแหน่งและสำหรับการประยุกต์ใช้งานจริง ในส่วนการปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ เขียนโค้ดบนแต่ละโหนดอ้างอิง และส่วนของการคำนวณตำแหน่งบนโหนดเป้าหมายโดยใช้ค่าปัจจุบันของ η และ $RSSI(d_0)$

เมื่อประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ไม่ต้องกังวลกับค่าความแปรปรวน (variation) ที่แต่ละ โหนดอ้างอิง เพราะอาศัยสมการแปลงระยะห่างที่สามารถพารามิเตอร์ได้เอง และใช้สมการแปลงระยะห่างที่แตกต่างกันและสามารถปรับตัวได้เองตามสภาพแวดล้อม

บทที่ 5

บทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงบทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระบบการระบุตำแหน่งของ โหนดเป้าหมายภายในอาคาร เมื่อจำลองระบบและทดลองในสภาพแวดล้อมจริง สำหรับการทดลองในสภาพแวดล้อมจริงประกอบด้วยการประมาณตำแหน่งเฉลี่ยเมื่อ โหนดเป้าหมายไม่เคลื่อนที่จำนวน 4 จุดที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้งาน โดยตำแหน่งของโหนดเป้าหมายอยู่ในพื้นที่และนอกพื้นที่ และการประมาณตำแหน่งโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่เพื่อประเมินความสามารถของวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS ในการลดความผิดพลาด สำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยการวัดค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้รับ โดยแบ่งการประยุกต์ใช้งานออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ (1) การออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับปรุงค่า RSSI และส่วนที่ (2) การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่าง โหนดอ้างอิงกับ โหนดเป้าหมายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ (1) การออกแบบวงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับปรุงค่า RSSI นั้นต้องการสัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้องจึงจะให้ผลการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ จากการจำลองระบบพบว่า การสร้างสัญญาณอ้างอิง 3 แบบสามารถระบุตำแหน่งเฉลี่ยของโหนดเป้าหมายได้ใกล้เคียงตำแหน่งจริงมากกว่ากรณีที่ไม่ประยุกต์ใช้วงจรกรองปรับตัวได้แบบ LMS แต่ต้องใช้สัญญาณอ้างอิงที่ถูกต้อง ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่เหมาะกับการใช้งานจริงเนื่องจากไม่สามารถสร้างสัญญาณอ้างอิงที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงได้

ส่วนที่ (2) การออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS เพื่อปรับพารามิเตอร์ η และ $RSSI(d_0)$ ในสมการแปลงระยะห่างระหว่าง โหนดอ้างอิงกับ โหนดเป้าหมายให้สามารถเปลี่ยนค่าได้เองตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เมื่อระบุตำแหน่งในกรณีที่มีโหนดเป้าหมายนิ่งแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง สามารถลดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมจาก 0.865 เมตรเหลือ 0.704 เมตร และแบบมีสิ่งกีดขวางสามารถลดค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมจาก 5.215 เมตรเหลือ 1.137 เมตร และเมื่อระบุตำแหน่ง

ในกรณีโหนดเป้าหมายเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด สามารถประมาณตำแหน่งเฉลี่ยได้แม่นยำขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ประยุกต์ใช้วิธีการปรับตัวได้แบบ LMS จากการทดลองจริงทั้งหมดพบว่าการปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเป้าหมายได้ตามสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน ณ ขณะนั้น สามารถเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายภายในอาคารได้จริง

ข้อจำกัดของการออกแบบวิธีการปรับตัวได้แบบ LMS คือในระบบการระบุตำแหน่งต้องเพิ่มโหนดคาลิเบรชันเข้ามาในระบบเพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละสมการแปลงระยะห่าง และโหนดอ้างอิงมีการคำนวณเพิ่มขึ้นเพราะใช้เป็นโหนดในการปรับค่า ส่งผลให้การประมาณตำแหน่งแต่ละครั้งใช้เวลาเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์สำหรับเสิร์ฟอาหาร โดยทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนไปตามเส้นทางหรือตำแหน่งที่ต้องการและในระบบสามารถใช้หุ่นยนต์พร้อมกันหลายๆ ตัวได้ เนื่องจากหุ่นยนต์แต่ละตัวมีความอิสระต่อกันในการอ่านค่า RSSI จากโหนดอ้างอิงและคำนวณตำแหน่งได้ด้วยตัวเอง

5.2 ปัญหา

5.2.1 การจำลองระบบเพื่อศึกษาปัญหาของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยการอ่านค่า RSSI ไม่สามารถจำลองได้เสมือนสภาพแวดล้อมจริงที่ใช้งาน เนื่องจากเมื่อใช้วิธีการอ่านค่า RSSI ในสภาพแวดล้อมภายในอาคารจริง ค่า RSSI มีความไวต่อวัตถุหรือสิ่งกีดขวางมาก นอกจากนั้นยังมีผลของความชื้น อุณหภูมิและช่วงเวลาที่เก็บผลการทดลองต่อค่า RSSI อีกด้วย

5.2.2 เมื่อทดลองในสภาพแวดล้อมจริง ค่า RSSI ที่อ่านได้มีระยะห่างระหว่างโหนดเท่ากัน แต่เปลี่ยนทิศทางการวางโหนด ค่า RSSI ที่ได้รับมีค่าที่แตกต่างกันและบางครั้งเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นค่า RSSI ที่ได้รับมีค่าสูงกว่าค่า RSSI ที่มีระยะใกล้เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง อาทิเช่นความสูงของการวางโหนด

5.2.3 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บผลการทดลองจริงมีผลต่อระดับของ RSSI ที่อ่านได้แม้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองเหมือนเดิม จึงไม่สามารถสรุปปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อค่า RSSI ได้อย่างชัดเจน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เมื่อนำเสนอวิธีการเพื่อเพิ่มความถูกต้องในระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารจริง โดยการอ่านค่า RSSI ควรมีการวิเคราะห์พื้นที่ของสภาพแวดล้อมที่ใช้งานจริงเป็นหลัก เพราะหากนำเสนอในมุมมองของการจำลองระบบจะให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างแตกต่างไปจากการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง

5.3.2 ในการเก็บผลการทดลองจริงควรดำเนินการหลายๆ ครั้งเพราะบางช่วงเวลาให้ผลการประมาณตำแหน่งที่ดี บางช่วงเวลาให้ผลการประมาณที่ผิดพลาด เนื่องจากข้อเสียหลักของการประยุกต์ใช้การอ่านค่า RSSI คือสัญญาณวิทยุถูกรบกวนได้ง่ายมากจากวัตถุหรือโครงสร้างของอาคารและเมื่อมีสิ่งกีดขวางในพื้นที่ที่ประมาณตำแหน่ง

5.3.3 จากการประยุกต์ใช้โหนดคาลิเบรชันสำหรับปรับพารามิเตอร์ในสมการแปลงระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงกับโหนดเคลื่อนที่ สามารถใช้โหนดคาลิเบรชันให้ทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงได้ แต่เนื่องจากต้องการใช้โหนดอ้างอิงเพียง 3 โหนด เมื่อเพิ่มโหนดคาลิเบรชันให้ทำหน้าที่เป็นโหนดอ้างอิงจำเป็นต้องออกแบบวิธีการสำหรับเลือกกว่าควรใช้โหนดอ้างอิงกลุ่มไหน จึงทำให้เวลาที่ใช้ในการประมาณตำแหน่งของโหนดเป้าหมายเพิ่มขึ้นด้วย

5.3.4 ก่อนการระบุตำแหน่งมีกระบวนการในการ Calibration โหนดทุกโหนดก่อนใช้งาน โดยให้โหนดเป้าหมายได้รับค่า RSSI จากโหนดคาลิเบรชันด้วย เนื่องจากโหนดคาลิเบรชันอยู่ตรงกลางของพื้นที่ ดังนั้นค่า RSSI ของแต่ละโหนดอ้างอิงที่ได้รับควรมีค่าเท่ากัน

บรรณานุกรม

- [1] S.J. Halder and W.Kim, "A Fusion Approach of RSSI and LQI for Indoor Localization System Using Adaptive Smoothers," *Journal of Computer Networks and Communications*, Aug. 2012.
- [2] K. Thongpull, N. Jindapetch and W. Teerapabkajorndet, "Wireless ESD Event Locator Systems in Hard Disk Drive Manufacturing Environments," *IEEE Trans on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 11, Nov. 2013.
- [3] P. Tarrío, A. M. Bernardos, X. Wang and J.R. Casar, "Dynamic Channel Model LMS Updating for RSS-Based Localization," *Hybrid Artificial Intelligent Systems*, vol. 6679, pp 127-135, 2011.
- [4] C.C. Pu, and S.Y. Lim "Measurement Arrangement for the Estimation of Path Loss Exponent in Wireless Sensor Network," *Computing and Convergence Technology (ICCCT), 2012 7th International Conference*, 2012.
- [5] J. Xu, W. Liu, F. Lang, Y. Zhang and C. Wang, "Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN," *Wireless Sensor Network*, vol. 2, pp. 606-611, Aug. 2010.
- [6] P. Tarrío, A.M. Bernardos and J.R. Caser, "Weighted Least Squares Techniques for Improved Received Signal Strength Based Localization," *Sensors 2011*, vol. 11, pp. 8569-8592, Sep. 2011.
- [7] J. Zhu, H. Gao and S. Ma "Improved Hybrid Algorithm of Indoor Wireless Localization Based on RSSI for Wireless Sensor Networks," *Journal of Computational Information Systems* 9, vol. 9, pp. 3707-3714, 2013.
- [8] B.W. Hong, Y.J. Huang, C.Y. Chen, P.C. Wu and W.C. Chen, "Fuzzy Neural Network based RFID Positioning and Navigation Method for Mobile Robots," *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6(7), pp. 1233-1239, July, 2013.

- [9] G. Blumrosen, B. Hod, T. Anker, D. Dolev and B. Rubinsky “Continuous Close-Proximity RSSI-based Tracking in Wireless Sensor Network,” *2010 International Conference on Body Sensor Networks*, 2011.
- [10] NXP, “LPC2101/02/03 User manual,” 2009. Available: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10161.pdf
- [11] Texas. Instruments, “CC2500 Low-Cost Low-Power 2.4 GHz RF Transceiver,” 2005. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/swrs040c/swrs040c.pdf>
- [12] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, “A Survey of Indoor Localization Techniques,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C, Appl. Rev.*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080 Nov. 2007.
- [13] A. Boukerche, H.A.B. Oliveira, E.F. Nakamura and A.A.F. Loureiro, “Localization Systems for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Wireless Communications*, Dec. 2007.
- [14] E. Martin, L. Liu, M. Covington, P. Pesti, and M. Weber, “Positioning Technologies in Location-Based Services,”
- [15] A. Boukerche, H.A.B.F. Oliveira, E.F. Nakamura and A.A.F. Loureiro, “Localization Systems for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Wireless Communications*, Dec. 2007.
- [16] T. S. Rappaport, “Wireless Communications Principles and Practice, Second Edition,” Prentice Hall, December 31, 2001.
- [17] พีรพล สิริพงษ์สุวรรณ, “การสื่อสารไร้สายและเครือข่าย (Wireless Communication and Networking),” พิมพ์ครั้งที่ 1, เล่ม 1, 2556.
- [18] B. Widrow and S.D. Stearns, “Adaptive Signal Processing,” Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- [19] ัญญา จินดาเพ็ชร, “การออกแบบและการสร้างแบบจำลองวงจรรวมดิจิทัลด้วยภาษา Verilog HDL (Design and Modeling Digital VLSI with Verilog HDL),” 2554.

- [20] J. G. Avalos, J. C. Sanchez and J. Velazquez, "Application of Adaptive Filtering," National Polytechnic Institute, Mexico.
- [21] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Properties of Indoor Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting," *First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04)*, 2004.

ภาคผนวก
งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

Preliminary Study of LMS based RSSI Calibration for Indoor Localization

Thanip Sittiruk, Apidet Booranawong and Nattha Jindapetch

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand
E-mail address: thanip.s@hotmail.com, apidet.boor@gmail.com and nattha.s@psu.ac.th

Abstract—In an RSSI based localization technique, a distance between a transmitter and a receiver can be estimated by the RSSI (Received Signal Strength Indicator) information which can be measured by the receiver. However, in wireless communications, the RSSI signal is fluctuating overtime due to the multi-path and fading effects as presented in a wireless medium, especially in an indoor environment. As a result, the accuracy of the location estimation directly depends on the RSSI data. This paper studies how to reduce the variation of the measured RSSI data for indoor localization by using the LMS (Least Mean Square) algorithm. The LMS without the reference information was employed to smoothen the measured RSSI data. Both the simulation and experimental results demonstrate that the proposed solution can reduce the variation of the RSSI value. The error between the estimated RSSI value and the real RSSI value at the certain distance is decreased. However, the findings, especially from the experiment, show that the LMS algorithm should be further redesigned to reduce the high variation of the RSSI value when multi-path and fading effects are bigger.

Keywords—indoor localization; RSSI; LMS; CC2500;

I. INTRODUCTION

Currently, the RSSI data is more widely used in the localization estimation. The major advantage of the use of the RSSI information is that most wireless devices have the RSSI calculation unit built into them. Thus, an additional hardware is not need [1]. This advantage can help to reduce the cost as well as the complexity of the system. However, in the RSSI-based localization techniques, the RSSI signal is fluctuating overtime due to an unreliable of wireless communications, especially in an indoor environment [2]. As a result, the precision of the location estimation significantly depends on the level of the RSSI data. Consequently, to calibrate the measured RSSI data before the location estimation stage is more important for the localization system [1, 3-6].

In this paper, we present the LMS algorithm [7] to compensate the measured RSSI data for the location estimation system. The RSSI data as the output from the LMS algorithm will be inserted to the Trilateration method for estimating the location. However, in this exploration, we concentrate only on the RSSI signal calibration step. The location estimation is the future work of our research. The novelty of our research presented in this paper is that the LMS method without the requirement of the reference information is utilized for smoothening the measured RSSI data. The set of RSSI information as computed by the receiver is used as the reference for the LMS algorithm. Additionally, an appropriate LMS parameter is determined by the simulation observation and trial and error.

The simulation results evaluated from indoor scenarios with the different fading levels and the experimental results obtained from the real-test demonstrate that the proposed solution can reduce the fluctuation of the measured RSSI data. The RSSI output provided by the proposed LMS method closes to the real RSSI value at the certain distance, especially in the small fading levels and the small distance among the transmitter and the receiver. However, the findings also show that the proposed solution should be further developed to cope with the higher levels of multipath and fading effects.

II. LOCALIZATION SYSTEM MODEL

A localization system model studied in our work is shown in Figure 1. There are three major components including the RSSI calibration by the LMS algorithm, the RSSI-distance conversion by the radio propagation model and the location estimation by the Trilateration approach, as indicated by block numbers #1, #2, and #3, respectively. As mentioned before, for this study, we focus on the LMS. The LMS algorithm is presented in block numbers #1. This algorithm tries to adjust the weight factor at each iteration of the computation to minimize the error between an input and output data [7]. The weight-updated equation can be expressed by (1)

$$w_n = w_{n-1} + \mu \epsilon(n) RSSI(n) \quad (1)$$

$$\epsilon(n) = RSSI(n) - \hat{RSSI}(n) \quad (2)$$

$$\hat{RSSI}(n) = w_n^T RSSI(n) \quad (3)$$

where w_n and w_{n-1} are the weight vector, μ is the filter step size, $RSSI(n)$ is the RSSI input vector, and $\epsilon(n)$ is an error between the measured RSSI ($RSSI(n)$) and the RSSI output ($\hat{RSSI}(n)$). $\epsilon(n)$ and $\hat{RSSI}(n)$ are defined by (2) and (3).

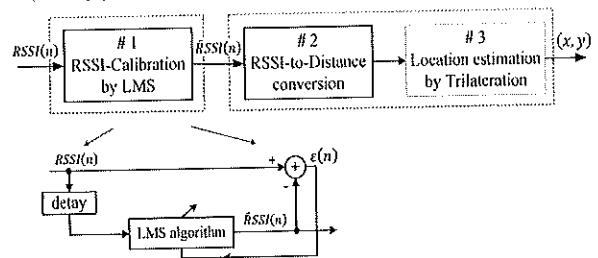


Fig. 1. Localization system model.

III. SIMULATION AND EXPERIMENTAL SETUPS

A. Simulation Setup

The simulation setup is detailed as follows. The transmitter sends a packet to the receiver. Then the receiver measures the RSSI value (i.e. the measured RSSI data) from the received packet. The measured RSSI data are then used for the input of the LMS algorithm. We vary the distance between the transmitter and the receiver from 1 m to 48 m with a step size 4 m. We use NS2 (Network Simulator 2) for simulating the wireless communication among the transmitter and the receiver. The receiver can calculate the RSSI value from the received packet by using the log-normal shadowing model [1, 3, 8] as presented in (4)

$$\overline{PL}(dBm) = \overline{PL}(d_0) - 10\eta \log_{10}(d/d_0) + X_\sigma \quad (4)$$

where $\overline{PL}(d_0)$ is the received power (or the RSSI data) at the distance d , $\overline{PL}(d_0)$ is the reference power at the reference distance d_0 , η is the path loss exponent, and X_σ is a Gaussian random variable with zero mean and the shadowing deviation σ . The bigger the shadowing deviation represents the larger signal fluctuation. The simulation parameters are given in Table 1.

TABLE I. SIMULATION PARAMETERS

Parameters	Values
received power	-46 dBm
path loss exponent	2.9 [3, 8]
reference distance	1 m
shadowing deviation	4, 6, 8 and 10 dB [3]
maximum radio range	48 m
received sensitivity	-89 dBm [9]
frequency	2.4 GHz [1, 9]
data rate	250 kbps [9]
transmission power	0.0001 watts [9]
RF transceiver	CC2500 [9]

After the measured RSSI data are collected (i.e. 100 and 500 samples), we assert them to the LMS algorithm. The LMS algorithm is run on MATLAB. For the LMS parameters, the filter step size (μ) is set to 0.0001, and the 6-tap delay line is used to arrange the measured RSSI data to be the LMS reference information. Both parameters are determined by the simulation test.

B. Experimental Setup

In this study, we also investigate the performance of the proposed solution by using the real RSSI data as collected from the CC2500 RF transceivers. The details of experiments are as follows. The experiments have been carried out on the electrical machine laboratory in the Department of Electrical Engineering at Prince of Songkla University, which is shown in Figure 2. There are several electrical machines, tables and cabinets placed in this test field. The dimension of the test field is 20 m \times 20 m. We first use one transmitter and one receiver with CC2500 RF transceivers to collect RSSI data at five different distances; 2 m, 5 m, 10 m, 15 m, and 20 m, respectively. For each distance, the receiver collects 5,000 RSSI samples. These data sets are used for determining the RSSI signal equation, where this equation describes the relationship between the RSSI value and the distance of the test environment. We utilize this RSSI signal

equation to estimate what the RSSI value is at the tested distances.

Secondly, we collect the RSSI data as the tested data (i.e. 100 and 500 samples) at the tested distances of 3 m, 8 m, 13 m, and 19 m, respectively. These measured RSSI data are then asserted to the LMS algorithm, which is also run on MATLAB. The average RSSI value as the output from the LMS will be compared with the RSSI value (at the same tested distance) as determined from the RSSI signal equation. For the LMS parameters, the filter step size and the tap delay line are set to 0.0001 and 6, like the case of the simulation test. We note that the appropriate values of the filter step size and the tap delay line should be investigated further since the measured RSSI data using in the experiment are not the same as the simulation test.

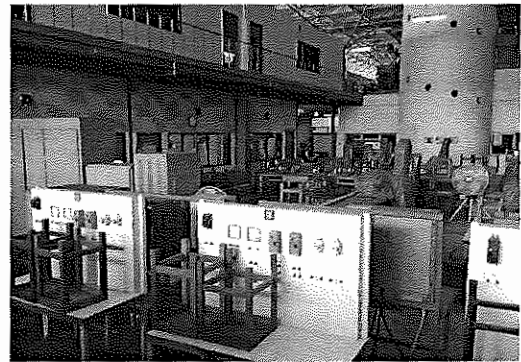


Fig. 2. Test field.

IV. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

A. Simulation Results

Figure 3 (a-d) shows the average RSSI value (i.e. the average of the RSSI output from the LMS algorithm) versus the distance at the shadowing deviation of 4, 6, 8 and 10, respectively. The results show that the LMS method with using the reference information (i.e. the RSSI value as calculated from the log-normal shadowing model without X_σ function) can smoothen the RSSI value closed to the real RSSI reference. We note that the average RSSI as presented in the Y axis is average from 100 and 500 data samples, respectively. For the LMS method without the reference information (i.e. using the measured RSSI data and the delay technique), the average RSSI value is very close to the real RSSI reference when the distances are lower than 28 m, 20 m, 16 m, and 12 m at the shadowing deviation of 4 dB, 6 dB, 8 dB, and 10 dB, respectively. After these distances, the error is getting increased. The simulation results also show that using 100 and 500 data samples to calibrate the RSSI value is not statically different.

The preliminary results by the simulation study confirm that the proposed method can be applied for reducing the fluctuation of the measured RSSI value. However, the findings also show that the LMS algorithm should be redesigned to reduce the error between the average RSSI and the RSSI reference at the larger distance between the transmitter and the receiver, especially when the multi-path and fading effects are higher.

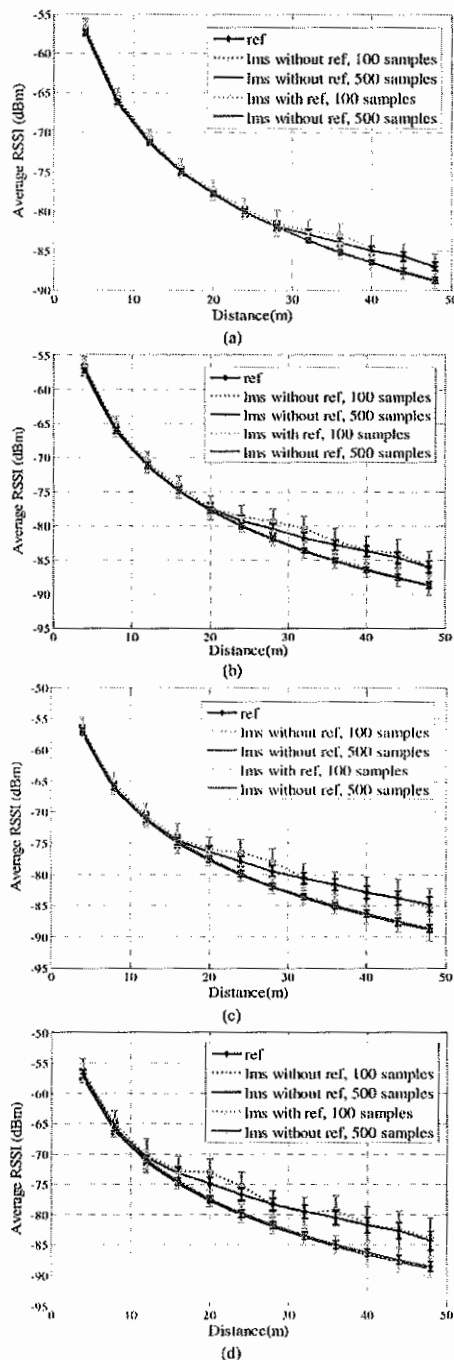


Fig. 3. The average RSSI value vs. the distance; (a) at $\sigma = 4$, (b) at $\sigma = 6$, (c) at $\sigma = 8$ and (d) at $\sigma = 10$.

B. Experimental Results

Figure 4 shows the relationship between the average RSSI (dBm) (i.e. from 5,000 samples) and $\log_{10}(\text{Distance})$ of the test environment. The calibration equation and the linear curve are fitted by using the MATLAB curve fitting toolbox. The calibration equation or the RSSI signal equation is presented in (5), where $RSSI$ (dBm) is the RSSI value at the distance d , and d is the distance between the transmitter and the receiver.

$$RSSI \text{ (dBm)} = -25.887 * \log_{10}(d) - 73.302 \quad (5)$$

As described in the experimental setup section, we also collect the RSSI data as the tested data at the tested distances of 3 m, 8 m, 13 m, and 19 m, respectively. These measured RSSI data are used for the input of the LMS algorithm. The average RSSI value as the output value from the LMS algorithm is presented in Table II. The experimental results demonstrate that the LMS method with the reference information (i.e. the RSSI value calculated from (5)) can smoothen the RSSI value very closed to the tested RSSI reference. For the LMS method without the reference information (i.e. using the measured RSSI data and the delay technique), the error between the tested RSSI reference and the estimated RSSI is getting increased when the tested distance is higher. The experimental results also show that using 100 and 500 data samples to calibrate the RSSI value is not statically different.

The reasons why the estimated RSSI by the LMS algorithm without the reference information is larger when the tested distance is higher can be explained here. From the test field, as shown in Figure 2, there are several electrical machines, tables and cabinets placed in the field. These objects directly influence the wireless radio propagation between the transmitter and the receiver; the RSSI received by the receiver has more variation due to multi-path and fading effects, especially at the larger distance between the transmitter and the receiver. Using the measured RSSI data with high variation as the input for the LMS algorithm can result in more estimated error. The raw RSSI data as the input for the LMS at the tested distance of 3 m and 19 m are shown as examples in Figure 5.

In addition, as describe before, the filter step size and the tap delay line used in the experiment are equal to 0.0001 and 6, like the simulation case. The values of these parameters may not appropriate for this experiment, which results in higher error of the estimated RSSI value. Thus, to determine the appropriate values of these parameters should be investigated further for our research.

V. CONCLUSION

In this study, the LMS algorithm without the reference information is employed to compensate the fluctuation of the RSSI data for a wireless indoor localization. The simulation and experimental studies demonstrate that the LMS algorithm can be used to reduce the variation of the measured RSSI data. The estimated RSSI value by the LMS algorithm is closed to the reference when the distance between the transmitter and the receiver is low. However, the findings also show that the LMS algorithm should be redesigned to cope with multi-path and fading effects as presented in wireless channels.

REFERENCES

- [1] K. Thongpull, N. Jindapetch, and W. Teerapakajomdet, "Wireless ESD Event Locator Systems in Hard Disk Drive Manufacturing Environments", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol. 60, No. 11, pp. 1-10, 2013.
- [2] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems", *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part-C: Applications and Reviews*, Vol. 37, No. 6, pp. 1067 - 1080, 2007.
- [3] J. Zhu, H. Gao, and S. Ma, "Improved Hybrid Algorithm of Indoor Wireless Localization Based on RSSI for Wireless Sensor Networks", *Journal of Computational Information Systems*, Vol. 9, pp. 3707-3714, 2013.
- [4] P. Turró, A.M. Bernardosemail and J.R. Casaremail, "Weighted Least Squares Techniques for Improved Received Signal Strength Based Localization", *Sensors*, Vol. 11, pp. 8569-8592, 2011.
- [5] S.J. Halder and W. Kim, "A Fusion Approach of RSSI and LQI for Indoor Localization System Using Adaptive Smoothers", *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 2012, 2012.
- [6] B-W. Hong, Y-J. Huang, C-Y. Chen, P-C. Wu and W-C. Chen, "Fuzzy Neural Network based RFID Positioning and Navigation Method for Mobile Robots", *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6(7), pp. 1233-1239, 2013.
- [7] M.H. Hayes, "Statistical digital signal processing and modeling", New York: John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [8] S.J. Koh, "RF Characteristic of Mica-Z Wireless Sensor Network Motes", *Master Thesis*, Naval Postgraduate School, 2006.
- [9] T. Instruments, "CC2500 Datasheet". Available online: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf>.

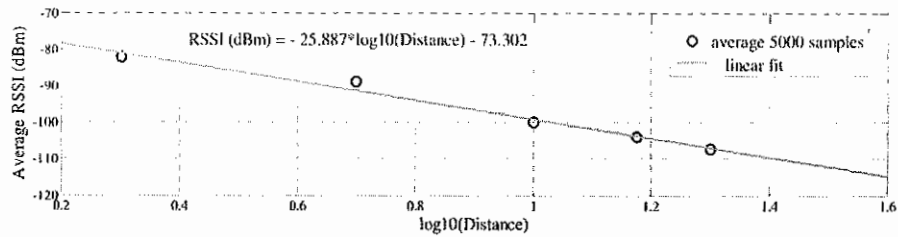


Fig. 4. The relationship between the average RSSI (dBm) and log10(Distance); the blue circles indicate the average RSSI data from the experiment, and the green line is the linear fit line.

TABLE II. THE AVERAGE RSSI VALUE VS. THE DISTANCE

Tested distance (m)	Calculated RSSI from equation (5)	LMS-with reference				LMS-without reference			
		Estimated RSSI (from 100 samples)		Estimated RSSI (from 500 samples)		Estimated RSSI (from 100 samples)		Estimated RSSI (from 500 samples)	
		mean	95% CI	mean	95% CI	mean	95% CI	mean	95% CI
3	-85.653	-85.473	±0.586	-85.618	±0.147	-83.640	±0.659	-83.565	±0.187
8	-96.680	-96.635	±1.170	-96.679	±0.465	-98.930	±0.893	-98.391	±0.343
13	-102.139	-102.110	±1.306	-102.132	±1.001	-99.900	±0.846	-99.564	±0.559
19	-106.405	-106.449	±1.123	-106.429	±1.301	-99.855	±0.918	-99.735	±0.849

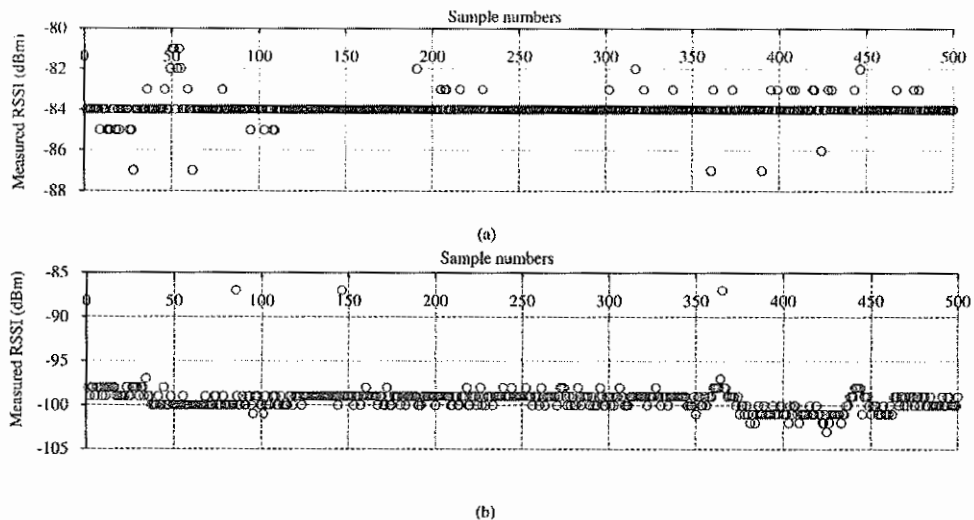


Fig.5. The raw RSSI data collected from CC2500 RF transceiver as the input data for the LMS; (a) at the tested distance 3 m (b) at the tested distance 19 m.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวธารทิพย์ สิทธิรักษ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5610120012	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2556

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2557

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Thantip Sittiruk, Apidet Booranawong and Nattha Jindapetch, "Preliminary Study of LMS based RSSI Calibration for Indoor Localization," 29th International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communications (ITC-CSCC), Phuket, Thailand, pp 916-919, July 1-4, 2014.