

การวางตำแหน่งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่ง
ไร้สายภายในอาคาร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**OPTIMAL REFERENCE NODE PLACEMENT FOR
WIRELESS INDOOR POSITIONING SYSTEMS**



Supattra Aomumpai

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การวางตำแหน่งโน้ตอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่ง
ไร้สายภายในอาคาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.กมล เขมะรังษี)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ กระจอดนอก)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิฉานนท์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สุพัตรา ออมอำไพ : การวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร (OPTIMAL REFERENCE NODE PLACEMENT FOR WIRELESS INDOOR POSITIONING SYSTEMS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก, 173 หน้า.

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (indoor positioning systems) ได้รับความสนใจมากขึ้น ซึ่งเป็นการบริการอย่างหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายในการให้บริการของข้อมูลตำแหน่ง โดยมีการนำมาใช้กับหลายๆ แอปพลิเคชัน เช่น ใช้ในการติดตามบุคคล การตรวจจับตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล ใช้ในการตรวจจับสินค้าที่เก็บในคลังสินค้า และการตรวจหาพนักงานดับเพลิงในเหตุการณ์ไฟไหม้ เป็นต้น จากการใช้งานระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ในการระบุตำแหน่ง สามารถบอกถึงสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งได้ โดยจากโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร การกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลของตำแหน่งนั้นจะต้องมีการกำหนดไว้ในบริเวณพื้นที่ที่ให้บริการข้อมูลตำแหน่งในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งวัตถุ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบได้ โดยพิจารณาคณภาพของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งในการแก้ปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัญหาโดยใช้แบบจำลองของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี ที่มีการพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ สำหรับการออกแบบระบบมาพิจารณาในการกำหนดตำแหน่งการวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนี้ และใช้วิธีในการหาคำตอบจากโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio และวิธี Simulated Annealing

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SUPATTRA AOMUMPAI : OPTIMAL REFERENCE NODE

PLACEMENT FOR WIRELESS INDOOR POSITIONING SYSTEMS.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHUTIMA PROMMAK, Ph.D., 173 PP.

INDOOR POSITIONING SYSTEMS /REFERENCE NODE PLACEMENT/
SYSTEM DESIGN

Indoor positioning systems have become very popular in recent years. This is a service that takes advantage of wireless communication technology to provide location information services. There are many real world applications that depend on the indoor positioning system. To name a few, tracking, location detection of medical personnel or equipment in a hospital, one can consider the location detection of products stored in a warehouse, location detection of firemen in a building on fire, etc. For the indoor positioning system, accuracy and precision of the location determination are keys of the performance evaluation of the system. These performances metric is influenced by how the optimal reference nodes (RNs) are installed. This thesis proposes an optimization technique that can be used to optimize the placement of the reference nodes and improve the location determination performance. The proposed reference node placement problems are formulated as Binary Integer Linear Programming (BILP) models. The proposed problem formulations were solved by IBM ILOG CPLEX Optimization Studio and Simmulated Annealing.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.กมล เขมะรังษี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจกอดนอก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษา โดยเป็นอย่างไร้ขีดจำกัด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

สุพัตรา ออมอำไพ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	5
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	7
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	7
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	7
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	7
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	8
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	8
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	8
1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้.....	8
1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2	ปรัทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
2.1	กล่าวนำ	11
2.2	ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร	18
2.3.1	ขั้นตอนออฟไลน์ (Offline Phase)	20
2.3.2	ขั้นตอนออนไลน์ (Online Phase)	20
2.4	แบบจำลองการสูญเสียวิถีจากสิ่งกีดขวางในอาคาร	23
2.5	การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี	24
2.5.1	รูปแบบแทนระบบทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้น	25
2.5.2	ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหา	26
2.5.3	การจัดตั้งรูปแบบแทนระบบของปัญหา	27
2.6	การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมซิมเพล็กซ์	29
2.6.1	ขั้นตอนของวิธีซิมเพล็กซ์	30
3	การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง	36
3.1	แนวคิดในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร	36
3.2	ปัญหาในการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง	38
3.3	การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหา การกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร	41
3.3.1	สมการคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอ สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร	42
3.3.1.1	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	42
3.3.1.2	สมการเงื่อนไข	43
3.3.2	สมการคณิตศาสตร์ในการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงสำหรับ ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร	44
3.3.2.1	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	44
3.3.2.2	สมการเงื่อนไข	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	การหาคำตอบสำหรับสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น.....	45
3.4.1	การหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX.....	45
3.4.2	การหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (heuristic algorithm).....	48
3.4.2.1	รูปแบบของคำตอบที่ต้องการค้นหา.....	50
3.4.2.2	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	50
3.4.2.3	ตัวกำเนิดสุ่ม.....	51
3.4.2.4	ตารางจัดการการอบอุ่น.....	52
3.4.2.5	รหัสเทียม.....	53
3.4.2.6	ผลการค้นหาคำตอบ.....	54
3.5	การคำนวณความซับซ้อนของปัญหา.....	57
3.5.1	การวิเคราะห์จำนวนของตัวแปรตัดสินใจ.....	58
3.5.2	การวิเคราะห์ขนาดของเงื่อนไข.....	58
3.5.3	การวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ.....	59
4	การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	62
4.1	การทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับ การกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง.....	63
4.1.1	การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MNR.....	66
4.1.2	การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MSR.....	71
4.1.3	การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MSMR.....	74
4.1.4	การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ภายในอาคาร.....	76
4.1.5	กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้.....	88
4.2	การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งกับ วิธีการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงวิธีอื่นๆจากการใช้ฐานข้อมูล ที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง.....	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การออกแบบการทดลอง.....	89
4.2.2 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	90
4.2.3 ผลการทดลอง.....	94
4.3 การเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูล ที่ได้จากการวัดจริงกับการจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม.....	100
4.3.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจากการใช้ฐานข้อมูล ที่ได้จากการวัดจริงกับฐานข้อมูลที่ได้จากการจำลอง.....	103
4.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ตำแหน่งโนคอ้างอิง ในงานวิจัยอื่นกับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนด ตำแหน่งโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้.....	105
4.4.1 การทดลองเปรียบเทียบกับการใช้โนคอ้างอิงจำนวน 3 โนค.....	106
4.4.2 การทดลองเปรียบเทียบกับการใช้โนคอ้างอิงจำนวน 4 โนค.....	114
4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการกำหนดความละเอียดระยะห่างของ จุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) ในพื้นที่ลักษณะต่างๆ.....	123
4.5.1 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	125
4.5.2 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	128
4.5.3 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	131
4.6 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Simulated Annealing.....	140
4.6.1 การเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX กับ Simulated Annealing.....	140
4.6.2 การวิเคราะห์คุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธี Simulated Annealing.....	145
5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	150
5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	150
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	152
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	152

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	154
ภาคผนวก.....	156
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง.....	156
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	162
ประวัติผู้เขียน.....	173



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ	24
2.2 ตารางซิมเพล็กซ์ของกำหนดการเชิงเส้น	30
2.3 ตัวแปรมูลฐานเข้า คือตัวแปร x_2	31
2.4 ตัวแปรมูลฐานออก คือ s_2	32
2.5 สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่	32
2.6 ค่าตัวแปรมูลฐานใหม่	33
2.7 ตัวแปรเข้าคือ X_1 ตัวแปรออกคือ S_3	34
2.8 ตารางซิมเพล็กซ์ที่สมบูรณ์ของปัญหานี้	35
3.1 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไปนารีสำหรับวัตถุประสงค์ MNR เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio	47
3.2 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไปนารีสำหรับวัตถุประสงค์ MSR เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio	47
3.3 ผลจากการค้นหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมการรอบอ่อนจำลอง	56
4.1 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1	80
4.2 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2	84
4.3 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3	87
4.4 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิง 4 โหนด (แบบ UBP) และ 8 โหนด (แบบ UBP) และแบบ 9 โหนด (จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง) จากการกำหนดจุดทดสอบ 30 จุด	96
4.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิงทั้ง 4 กรณี	99
4.6 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุ	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่ง โนดอ้างอิงจากระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง David, S., Miguel, A.Q., and Juan L.N., (2009).....	109
4.8 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 3 โหนด.....	113
4.9 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง จากระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับ งานวิจัยอ้างอิง Kamol K., and Prashant K., (2004).....	118
4.10 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดเท่ากัน.....	122
4.11 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	127
4.12 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	130
4.13 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	134
4.14 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลอง ในพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 แบบ.....	135
4.15 การเปรียบเทียบผลการหาคำตอบจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยโปรแกรม CPLEX กับวิธี SA.....	143
4.16 การเปรียบเทียบผลการหาคำตอบจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคำตอบ ที่ได้จากวิธีการ SA สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด เมื่อขนาดของ grid spacing เพิ่มขึ้น.....	148
ก.1 ค่าตัวแปรในชิฟสำหรับโนดอ้างอิง.....	159
ก.2 ค่าตัวแปรในชิฟสำหรับโนดวัตถุ156.....	160
ก.3 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ XBee Pro157.....	161

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างของระบบการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้วิธีฟังก์ชันเกร์ปรีนท์.....12
2.2	โครงสร้างของระบบการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร.....22
3.1	โครงสร้างและกระบวนการสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร.....37
3.2	กระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิง.....40
3.3	หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.....45
3.4	การสร้าง neighbor solution.....51
3.5	ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งโนคอ้างอิงได้.....54
3.6	การค้นหาคำตอบของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด ทั้งหมด 5 ครั้ง.....55
3.7	ฟังก์ชันการลดลงของอนุหภูมิ ทั้งหมด 5 ครั้ง.....55
3.8	ผลจากการหาคำตอบของวัตถุประสงค์ MSMR โดยใช้อัลกอริทึม SA.....56
3.9	ตำแหน่งที่สามารถเลือกวางโนคอ้างอิง และตำแหน่งจุดทดสอบสัญญาณ.....60
4.1	พื้นที่สำหรับการทดลอง.....65
4.2	พารามิเตอร์สำหรับพื้นที่การทดลอง.....68
4.3	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....69
4.4	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....69
4.5	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....70
4.6	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....72
4.7	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....73
4.8	จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	75
4.10 จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	75
4.11 จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	76
4.12 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1).....	77
4.13 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1).....	78
4.14 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSMR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1).....	78
4.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	79
4.16 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2).....	81
4.17 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2).....	82
4.18 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSMR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2).....	82
4.19 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	83
4.20 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MNR.....	85
4.21 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3).....	85
4.22 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค MSNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3).....	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....86
4.24	พื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มทส. สำหรับการทดลองและตำแหน่งฟังก์ชันปริ้นท์.....90
4.25	ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 1.....92
4.26	ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 2.....92
4.27	ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 3.....93
4.28	ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 4.....93
4.29	ผลการหาตำแหน่งวัตถุจริงสำหรับทั้ง 4 กรณี.....95
4.30	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุจริง.....98
4.31	ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการจำลอง.....101
4.32	ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวัดจริง.....101
4.33	แผนผังอาคารในงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009).....106
4.34	ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงจากการหาคำตอบของวัตถุประสงค์ MSMR.....107
4.35	ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงจากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009).....107
4.36	ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนคอ้างอิงที่ได้ จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้.....108
4.37	ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนคอ้างอิงใน งานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009).....108
4.38	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่การทดลอง จากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009).....113
4.39	แผนผังอาคารในงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004).....114
4.40	ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงจากการหาคำตอบของวัตถุประสงค์ MSMR.....115
4.41	ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004).....116
4.42	ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR.....117

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.43 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนดอ้างอิง ในงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004).....	117
4.44 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่การทดลอง จากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004).....	122
4.45 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 (service area 1).....	123
4.46 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 (service area 2).....	124
4.47 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 (service area 3).....	124
4.48 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจาก กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	126
4.49 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของขนาดของระยะห่าง ของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1.....	127
4.50 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจาก กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	129
4.51 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนขนาดของระยะห่าง ของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2.....	131
4.52 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจาก กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	132
4.53 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจาก กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	133
4.54 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนจากขนาดของระยะห่าง ของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3.....	134

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.55 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ.....	136
4.56 การเปรียบเทียบค่าการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดที่ 90 % ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ.....	137
4.57 การเปรียบเทียบค่าการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดที่ 80 % ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ.....	138
4.58 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ให้ความคลาดเคลื่อน 4 เมตรของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ.....	139
4.59 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ให้ความคลาดเคลื่อน 3 เมตรของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ.....	139
4.60 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณีที่ 1-4.....	141
4.61 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณีที่ 5-8.....	142
4.62 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมเพื่อใช้ในกาหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น สำหรับกรณี 1-4.....	144
4.63 ขนาด grid spacing สำหรับอาคารวิชาการชั้น 4.....	147
4.64 กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากการหาค่ามากที่สุด (Maximize) เมื่อขนาด grid spacing เพิ่มขึ้น.....	149
ก.1 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย XBee Pro รุ่น XBP24	157
ก.2 แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro (ADX-XBee).....	158
ก.3 บอร์ดเชื่อมคอมพิวเตอร์ (ZX-XBee).....	158
ก.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนคอ้างอิง.....	159
ก.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนควัตถุ.....	160

บทที่ 1

บทนำ#

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย แนวทางการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System: ILP) ในงานวิจัย Liu, H., Darab, H., Banerjee, P. and, Liu, J. (2007) ได้รับความสนใจมากขึ้น ซึ่งเป็นการบริการอย่างหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย โดยระบบระบุตำแหน่งมีการนำมาใช้กับหลายๆ แอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการบริการของข้อมูลตำแหน่ง เช่น ใช้ในการติดตามบุคคล การตรวจจับตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล ใช้ในการวัดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ในพื้นที่ที่สนใจ ใช้ในการตรวจจับสินค้าที่ใช้ในการขนส่งทางอุตสาหกรรม และใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิดในพื้นที่เสี่ยงภัยทางทหาร หรือระบบนำทางภายในอาคารที่ยังมีความต้องการในพื้นที่สาธารณะขนาดใหญ่ เพื่อชี้ตำแหน่งที่ถูกต้องของผู้ใช้ได้ เช่น นักท่องเที่ยวที่ต้องการบริการระบบนำทางในอาคารสำหรับในพิพิธภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือภายในสนามบิน นอกจากนี้ ข้อมูลของตำแหน่งได้มีประโยชน์สำหรับองค์กรใดองค์กรหนึ่งในการที่จะพัฒนาระบบการสื่อสารในอนาคตต่อไปได้

จากการใช้งานระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ความถูกต้องและความแม่นยำในการบอกตำแหน่งที่สูงเป็นตัวบ่งชี้ถึงสมรรถนะการทำงานของระบบที่ดี ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร Gum, Y., Lo, A. and, Niemegeers, I. (2009) คือระบบที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายไร้สายประเภทต่างๆ เช่น เทคโนโลยีระบบการชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สาย (cellular-based) อัลตราไวด์แบนด์ (Ultra Wide Band: UWB) เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) บลูทูธ (bluetooth) เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Wireless Sensor Network: WSN) ฯลฯ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้พื้นฐานของการส่งสัญญาณด้วยคลื่นความถี่วิทยุ คลื่นอินฟราเรด และคลื่นอัลตราซาวด์ ที่สามารถนำมาใช้กับการให้ข้อมูลของตำแหน่งวัตถุ

สำหรับระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร จากการร้องขอจากผู้ใช้งาน ซึ่งในระบบจะมีการกำหนดชุดพิกัดหรือจุดอ้างอิง (โนดอ้างอิง) ไว้ในพื้นที่ล่วงหน้าก่อน เพื่อใช้ในขั้นตอนของการระบุตำแหน่งวัตถุต่อไป ซึ่งในขณะเดียวกันที่เทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติของเครือข่ายประเภทนี้ที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้พลังงานต่ำเนื่องจากใช้ในการส่งข้อมูลในปริมาณน้อย จึงใช้ความเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำ และมีความแม่นยำในการวัดค่าและเก็บข้อมูล เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากคุณสมบัติของเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมากเช่นกันที่นำมาใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนี้ ที่เนื่องจากเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีการให้บริการกันอยู่มากภายในบ้าน หรือองค์กรต่างๆ ตามอาคาร สำนักงาน ที่ได้นำประโยชน์จากโครงสร้างที่มีอยู่แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร แต่ในการระบุตำแหน่งนั้นก็ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความสามารถในการส่งข้อมูลที่สูงมากซึ่งเป็นคุณสมบัติของเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย แต่เพียงต้องการความแม่นยำในการวัดของข้อมูลตำแหน่งที่ได้มากกว่า ซึ่งจากการนำเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มาใช้กับระบบระบุตำแหน่งนี้จะช่วยลดความจำเป็นในเรื่องค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ได้มากกว่าเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะทำการทดลองระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารเพื่อทำการศึกษาการออกแบบระบบกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อให้ได้แนวคิดสำหรับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ ซึ่งจากการระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้นเทคนิคที่ใช้สำหรับการค้นหาตำแหน่งของวัตถุมีหลายวิธี โดยแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้แก่ วิธีความต่างของเวลาที่มาถึง (Time Difference of Arrival: TDOA) จาก Gum, Y., Lo, A. and, Niemegeers, I. (2009) และ Baunach, .M., Kolla, R. and Muhlberger, C. (2007) คือการค้นหาตำแหน่งของวัตถุโดยใช้ความแตกต่างของสัญญาณที่ส่งมาถึงจุดรับตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป วิธีเวลาที่มาถึง (Time Of Arrival: TOA) Baunach, .M., Kolla, R. and Muhlberger, C. (2007) คือการวัดค่าเวลาที่เดินทางจากวัตถุถึงจุดรับสัญญาณตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป วิธีการวัดมุมที่มาถึง (Angle Of Arrival: AOA) Baunach, .M., Kolla, R. and Muhlberger, C. (2007) คือการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ จากทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกมาจากวัตถุ ถึงจุดรับสัญญาณจำนวนตั้งแต่ 3 จุดขึ้นไป วิธีการที่ใช้ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS) คือการค้นหาตำแหน่งของวัตถุโดยการตรวจวัดจากความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ และวิธีฟิงเกอร์ปรี้น (fingerprint) คือการนำค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้มาทำการหาตำแหน่งของวัตถุจากฐานข้อมูลที่ได้เก็บไว้ก่อนหน้า ซึ่งวิธีดังที่กล่าวมานี้มีข้อดีก็คือ จะใช้การวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเป็นวิธีการวัดที่อาศัยหลักการลดทอนของ

สัญญาณ (signal attenuation) ต่อระยะทางเพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ โดยจากข้อดีของการใช้วิธีการวัดแบบนี้คือ ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง และง่ายต่อการติดตั้ง เหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคาร ข้อดีของการใช้วิธีนี้ในการหาตำแหน่งคือต้องใช้เวลามากในการเก็บสัญญาณค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ไว้ในฐานข้อมูล กรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการนี้จึงนิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าระบบหาตำแหน่งภายนอกอาคาร และจากโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ต้องมีการกำหนดตำแหน่งอ้างอิงหรือโนดอ้างอิงในพื้นที่ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุ ดังนั้นจะเห็นว่าการเลือกวางตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสม รวมไปถึงจำนวนของโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารก็เป็นสิ่งหนึ่งที่จะส่งผลต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้ ซึ่งก็เป็นปัญหาที่สำคัญและน่าสนใจในการศึกษาของงานวิจัยนี้

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาจะเห็นว่าได้มีการศึกษาถึงปัญหาจากผลกระทบของการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนี้ได้รับความสนใจอยู่มาก ในงานวิจัย Benbadis, F., Obraczka, K., Cortes, J. and Brandwajn, A. (2007) ได้สำรวจผลกระทบจากการวางตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่มีผลต่อความถูกต้องของระบบพิกัดที่สร้างจากเทคนิคการระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยจะพิจารณาจากวิธีการในการวางตำแหน่งโนดอ้างอิงในพื้นที่ประกอบด้วย 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เป็นการวางโนดอ้างอิงที่บริเวณขอบของโครงสร้างเครือข่ายแบบสม่ำเสมอ (uniform boundary placement) แบบที่ 2 ทำการวางโนดอ้างอิงที่บริเวณขอบของโครงสร้างเครือข่ายแบบสุ่ม (random boundary placement) และแบบที่ 3 ทำการวางโนดอ้างอิงแบบสุ่มในบริเวณใดก็ได้ในเครือข่าย (random placement) โดยในการศึกษาจะพิจารณาถึงจำนวนของโนดอ้างอิงที่ใช้ในเครือข่าย งานวิจัย Baala, O., B., Zheng, Y. and Caminada, A. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งการวางของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย (Access Point: AP) ต่อสมรรถนะของระบบการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งได้พิจารณาจากจำนวนและรูปแบบในการวางจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สายในรูปแบบการวางแบบสมมาตรและแบบไม่สมมาตรในพื้นที่ โดยเปรียบเทียบในพื้นที่ของอาคารที่มีความซับซ้อนมากกับพื้นที่ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า ที่จะผลกระทบต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร งานวิจัย Kaemarungsi, K. (2005) ได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคนิคของการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปรี้น (location fingerprint) โดยได้พิจารณาถึงผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสีย (path loss exponent) จำนวนการติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย รวมถึงระยะห่างของกริด (grid spacing) และวิธีการที่ใช้ในการประมาณตำแหน่ง ที่จะส่งผลต่อ

สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ถึงแม้ว่างานวิจัยดังกล่าวจะได้มีการพิจารณาถึงผลกระทบจากการวางตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง แต่ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงปัญหาการกำหนดตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่นำมาใช้กับเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งนี้จะหมายถึง สามารถให้ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้อง ซึ่งปัญหาในการออกแบบเครือข่ายจะใช้หลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) ที่ได้รับความนิยมและได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบเครือข่ายต่างๆ เช่น งานวิจัย Bahri, A. and Chamberland, S. (2005) ได้นำเสนอแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นในการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายไร้สายท้องถิ่น ที่สามารถรับประกันสมรรถนะการทำงานของเครือข่าย โดยจะพิจารณาปัญหาในการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ ไร้สาย โดยมีกำลังงานและการเลือกใช้ช่องสัญญาณเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ งานวิจัย Deyeb, T. M., Baroudi, U. and Selim, S., Z. (2011) ได้นำเสนอการออกแบบเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุดของโนดตรวจรู้ (sensor nodes) และ โหนดถ่ายทอด (relay nodes) ที่ใช้งานสำหรับการเฝ้าติดตามพื้นที่ในสนาม โดยใช้หลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม เพื่อลดต้นทุนในการติดตั้งโนดตรวจรู้และ โหนดถ่ายทอดในพื้นที่เพื่อให้มีการทำงานครอบคลุมจากการกำหนดจุดที่สำคัญไว้ งานวิจัย Bari, A., Teng, D. and Jaekel, A. (2009) ได้นำหลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มมาใช้ในการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งของ โหนดถ่ายทอดของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แบบลำดับขั้นเพื่อหาตำแหน่งการวาง โหนดถ่ายทอดที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขของความจุบัพเพอร์และการสูญเสียพลังงานสูงสุด ดังนั้นงานวิจัยที่นำเสนอนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่พิจารณาดำเน่่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งและสามารถเพิ่มสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยได้นำหลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่มีการพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆในการออกแบบเครือข่ายมาพิจารณาการหาตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการการทำงานและโครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวัตถุ
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาวิธีการออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่มีการเลือกใช้อำนาจโนดอ้างอิงและตำแหน่งของการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถครอบคลุมในบริเวณพื้นที่ที่ต้องการหาตำแหน่ง และยังสามารถเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น
- 1.2.4 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่นๆ เช่น การวางโนดอ้างอิงที่บริเวณขอบของโครงสร้างเครือข่ายแบบสม่ำเสมอ (uniform boundary placement) หรือ การวางโนดอ้างอิงแบบสุ่มในบริเวณใดก็ได้ในเครือข่าย (random placement) เป็นต้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 จำนวนโนดอ้างอิงและตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถให้ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวัตถุ จะสามารถให้ค่าผลรวมของความเข้มสัญญาณที่รับได้มากที่สุด จากจุดทดสอบสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดนี้
- 1.3.2 ตำแหน่งที่เป็นจุดทดสอบสัญญาณที่ติดต่อกับโนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งไว้แล้วในพื้นที่การทดลองอย่างน้อย 4 โหนด สามารถให้ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุได้
- 1.3.3 ความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณที่ได้รับมีผลต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ
- 1.3.4 ระยะทางจากโนดอ้างอิงกับตำแหน่งโนดวัตถุในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบความเข้มของสัญญาณจะมีผลต่อค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ
- 1.3.5 สภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ทำการทดลอง เช่น สิ่งกีดขวางภายในอาคาร จะส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณที่ได้รับ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดลองกับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee)

1.4.2 ใช้เทคนิคของการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปรีนท์มาใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุของงานวิจัยนี้

1.4.3 พื้นที่ในการทดลองจะเป็นอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ที่มีขนาดพื้นที่ 75x75 เมตร

1.4.4 ในการทดลองระบบระบุตำแหน่งการกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะเป็นคนละช่องสัญญาณกันกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีใช้ในพื้นที่การทดลอง

1.4.5 ในการกำหนดตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณจะอยู่บริเวณตามทางเดินของอาคาร

1.4.6 ความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณที่ได้รับจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโนดอ้างอิงกับโนดวัตถุ และสภาพแวดล้อมที่อยู่ระหว่างโนดทั้งสองเช่น สิ่งกีดขวางในพื้นที่ของอาคาร

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

1.5.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุได้อย่างถูกต้อง

1.5.3 พัฒนาสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่มีการเลือกจำนวน โหนดอ้างอิงและตำแหน่งของการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถครอบคลุมบริเวณพื้นที่ที่ต้องการและสามารถให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งมากที่สุด

1.5.4 พัฒนาโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีเพื่อแก้ปัญหาในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร จากสมการคณิตศาสตร์ เพื่อหาตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด หรือใช้วิธีการฮิวริสติกส์นำมาใช้ในการแก้ปัญหาของเครือข่ายในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

1.5.5 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ได้จากการออกแบบระบบที่พัฒนาขึ้น

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับโครงสร้างในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร
- 3) พัฒนาสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เป็นสมการสำหรับการหาค่าเหมาะสมที่สุด
- 4) ศึกษาโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น
- 5) ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ได้จากการออกแบบที่พัฒนาขึ้น

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุได้อย่างถูกต้อง
- 3) พัฒนาสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ที่มีการเลือกจำนวนโนดอ้างอิงและตำแหน่งของการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่เพิ่มสมรรถนะของระบบ
- 4) พัฒนาโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารจากสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น
- 5) เปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิควิธีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งของโนดอ้างอิงในรูปแบบวิธีการอื่นๆ

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

อาคารวิชาการ ชั้น 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) อุปกรณ์สื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Xbee Pro) อย่างน้อย 4 ตัว
- 2) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

- 3) โปรแกรม MATLAB
- 4) โปรแกรม Microsoft Excel
- 5) โปรแกรม ILOG CPLEX

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารจากการสำรวจประสิทธิภาพการสื่อสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) เก็บรวบรวมผลการทดลองจากการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารด้วยวิธีการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้น กับวิธีการวางตำแหน่งโนดอ้างอิงแบบอื่นๆ โดยจะเปรียบเทียบผลว่าในแต่ละวิธีจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งอย่างไร

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร จากวิธีการที่เลือกใช้ตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลจากพิจารณาเกี่ยวกับตำแหน่งที่ใช้วางโนดอ้างอิง ที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุของเครือข่ายกับวิธีการที่ใช้ในการวางโนดอ้างอิงวิธีการอื่นๆ เช่น การวางโนดอ้างอิงที่บริเวณขอบของโครงสร้างเครือข่ายแบบสมมาตร หรือ การวางโนดอ้างอิงแบบสุ่มในบริเวณใดก็ได้ในเครือข่าย เป็นต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.7.1 เป็นแนวทางในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่ใช้กับเครือข่ายไร้สาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายประเภทนี้ได้ในงานที่เกี่ยวข้อง ให้มีสมรรถนะที่ดีมากขึ้น ซึ่งอาจมีการต่อยอดแนวความคิดนี้ได้อีก

1.7.2 ได้วิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ

1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการออกแบบโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารด้วยวิธีฟังก์ชันปริพันธ์ จากการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่

สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบได้ โดยได้ทำการศึกษาจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุมาใช้ในการออกแบบปัญหาเพื่อหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ให้บริการ เช่น การคำนึงถึงคุณภาพของสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งในพื้นที่จะรับได้ โดยพิจารณาให้ระดับของสัญญาณที่รับได้จะต้องไม่เกินขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดขึ้น จำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้ติดตั้งในพื้นที่ของอาคาร รวมไปถึงการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟังก์ชันที่ตรงกับพื้นที่ให้บริการ โดยใช้การกำหนดปัญหาการออกแบบด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารี จึงได้เป็นกระบวนการทำงานสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 เฟสการทำงาน คือ ในเฟสแรกเป็นกระบวนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่น้อยที่สุดที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในพื้นที่ของอาคาร และกระบวนการในเฟสที่สองจะมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งมากที่สุด โดยใช้จำนวนโนดอ้างอิงที่เป็นคำตอบจากเฟสที่ 1 มาเป็นเงื่อนไขในการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ดีที่สุด

1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับ นวัตกรรมของงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงการปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี และ การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมซิมเพล็กซ์

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร การหาคำตอบสำหรับสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น และความซับซ้อนของปัญหา (Problem Complexity)

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งกับวิธีการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงวิธีอื่นๆจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง การเปรียบเทียบผลการระบุ

ตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับการจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ตำแหน่งโนคอ้างอิงในงานวิจัยอื่นกับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ การวิเคราะห์ผลจากการศึกษาผลกระทบจากการกำหนดความละเอียดของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) และการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Simulated Annealing (SA)

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหา และแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต



บทที่ 2

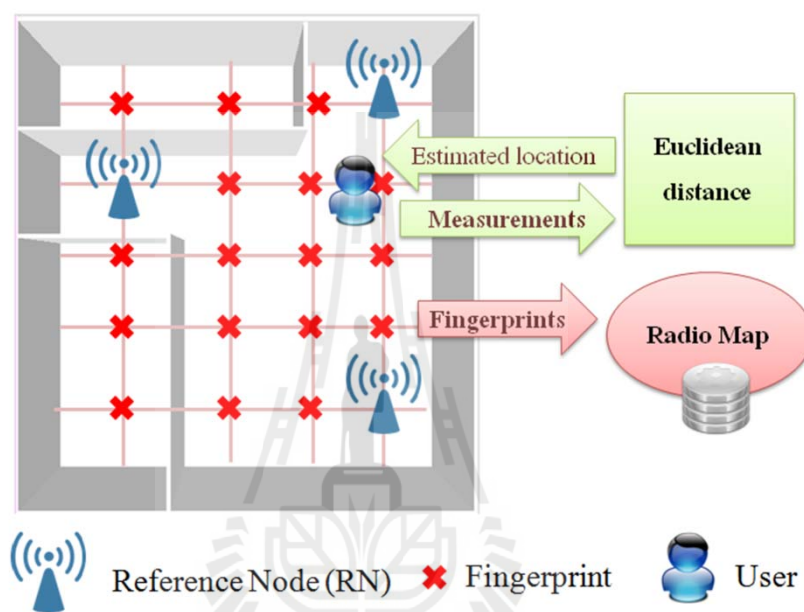
ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคารให้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีขึ้นนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง ไร้สายภายในอาคาร และสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งในงานวิจัยนี้ได้ โดยเนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึงหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ หัวข้อ 2.1 กล่าวนำ หัวข้อ 2.2 ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร หัวข้อ 2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร หัวข้อ 2.5 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี และหัวข้อ 2.6 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมชิมเพล็กซ์

2.1 กล่าวนำ

จากโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร โดยใช้วิธีฟิงเกอร์ปรีนท์ที่แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการทำงานอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือกระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง (reference node: RN) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง ที่เป็นอุปกรณ์แรกที่จะต้องถูกติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมภายในอาคารที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ กระบวนการถัดมาเป็นกระบวนการสร้างข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ (fingerprints) โดยที่ต้องมีการกำหนดตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ให้ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง เพื่อใช้ในการเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength : RSS) จากโนดอ้างอิง ที่ได้ทำการเลือกติดตั้งไว้แล้วก่อนหน้าในกระบวนการแรก และกระบวนการสุดท้าย ที่เป็นกระบวนการคำนวณหาตำแหน่ง โนดวัตถุ (target node) หรือผู้ใช้บริการ (user) โดยที่ผู้ใช้จะนำข้อมูลของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงนี้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง ซึ่งเป็นข้อมูลของค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากการวัดในแต่ละบริเวณพื้นที่ของอาคารด้วยอัลกอริธึมต่างๆที่ใช้ในการประเมินหาตำแหน่ง อย่างไรก็ตามในหลายๆ งานวิจัย ได้มีการศึกษาถึงสิ่งที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุอยู่หลาย

ด้าน รวมไปถึงการกำหนดตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งเพื่อให้มีสรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ติดตั้ง ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นที่การพัฒนาการออกแบบระบบระบุตำแหน่งในการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสม เพื่อสามารถทำให้กระบวนการในการระบุตำแหน่งวัตถุมีสรรถนะสูงยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้วิธีฟิงเกอร์ปรีนท์

2.2 ปรัชณั์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทิศทางปรัชณั์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหลักการทํางานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคาร โครงสร้าง ข้อจำกัด การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสรรถนะของระบบในงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูล และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้ต่อไป ซึ่งจากการศึกษามีปรัชณั์วรรณกรรมที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยของ Liu, H., Darab, H., Banerjee, P. and, Liu, J. (2007) เป็นงานวิจัยที่ สำรวจเทคนิคและวิธีการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่สำรวจงานวิจัยต่างๆ โดยได้อธิบายถึงภาพรวมของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายๆประเภท ซึ่งได้มีการอธิบายและจำแนกประเภทของเทคนิคระบบระบุตำแหน่ง และได้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของแต่ละเทคนิค รวมถึงการวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งในแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ เพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการแยกประเภทของเทคนิคการระบุตำแหน่งตามลักษณะการทำงานในแต่ละเทคนิค ขั้นตอนการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค และวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง โดยใช้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) จะแสดงเป็นระยะที่คลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่ง และความแม่นยำ (precision) ที่แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของการระบุตำแหน่งได้ถูกต้องที่ระยะต่างๆ

2.2.2 งานวิจัยของ Gum, Y., Lo, A. and, Niemegeers, I. (2009) เป็นงานวิจัยที่สำรวจ เทคโนโลยีไร้สายที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่สำรวจและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร โดยได้เปรียบเทียบคุณลักษณะการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในแต่ละงานวิจัย ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ รวมการประเมินสมรรถนะแต่ละเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งในด้านของ สมรรถนะ (performance) ในแง่ของความถูกต้อง (accuracy) และ ความคงทนของการส่งสัญญาณไร้สาย (robustness)

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสาร ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีแต่ละประเภท อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้

2.2.3 งานวิจัยของ Baunach, .M., Kolla, R. and Muhlberger, C. (2007) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการประยุกต์ใช้ระบบระบุตำแหน่งกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้เสนอการประยุกต์ใช้ระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารกับเทคโนโลยีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่มีข้อจำกัดในด้านของ หน่วยความจำน้อย มีข้อจำกัดในด้านของการใช้พลังงาน โดยได้อธิบายถึงโครงสร้างของกระบวนการในการระบุตำแหน่ง รวมไปถึงการอธิบายเทคนิควิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งวัตถุด้วยเทคนิคของระยะทางแบบต่างๆ ซึ่งได้อธิบายวิธีการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงการนำเทคโนโลยีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย IEEE 802.15.4 ที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และให้เห็นภาพรวมของโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่ง ซึ่งได้มาใช้เป็นแนวคิดสำหรับการพิจารณาข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบได้

2.2.4 งานวิจัยของ Baala, O., B., Zheng, Y. and Caminada, A. (2009) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย ในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบจากตำแหน่งการวางของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย (Access Point: AP) ต่อสมรรถนะของระบบการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งได้พิจารณาจากจำนวนและรูปแบบในการวางจุดเข้าถึงสัญญาณ ไร้สายในรูปแบบการวางแบบสมมาตรและแบบไม่สมมาตรในพื้นที่ โดยเปรียบเทียบในพื้นที่ของอาคารที่มีความซับซ้อนมากกับพื้นที่ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า ที่จะมีผลกระทบต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ นั้น คือตำแหน่งของ โหนดอ้างอิงหรือจากงานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย ที่จะเห็นว่ารูปแบบในการวางตำแหน่ง โหนดอ้างอิงในพื้นที่ของอาคาร จะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบได้

2.2.5 งานวิจัยของ Kaemarungsi, K. (2005) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบ การออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับการใช้เทคนิคฟingerprint (location fingerprint technique)

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคนิคของการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟingerprint (location fingerprint) โดยได้พิจารณาถึงผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความคลาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสีย (path loss exponent) จำนวนการติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย รวมถึงระยะห่างของกริด (grid spacing) และวิธีการที่ใช้ในการประมาณตำแหน่ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ช่วยในการ ออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ ถึงแม้ว่างานวิจัยครั้งนี้ได้มีการ พิจารณาถึงผลกระทบจากการวางตำแหน่งของ โหนดอ้างอิงที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบระบุ ตำแหน่ง แต่ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงปัญหาการกำหนดตำแหน่งของ โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับ พื้นที่ให้บริการที่สามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง

2.2.6 งานวิจัยของ Bahri, A. and Chamberland, S. (2005) เป็นงานวิจัยที่เสนอการแก้ปัญหา การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่รับประกันค่าสมรรถนะการทำงานของ เครือข่าย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่าย ท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แบบจำลองการ โปรแกรมทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นในการแก้ปัญหา ที่ประกอบไปด้วย การกำหนดสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข โดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณา ปัญหาในการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สายเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นปัญหาการ หาค่าที่น้อยที่สุด (minimization) และมีเงื่อนไขคือกำลังงานและการเลือกใช้ช่องสัญญาณเป็น ข้อจำกัดในการออกแบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาวิจัยนี้จะเห็นว่าได้มีการใช้สมการ คณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบปัญหาการกำหนดตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สายสำหรับ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ดังนั้นเราจึงได้นำเอาแนวคิดในการใช้สมการคณิตศาสตร์ด้วยการใช้ แบบจำลองการ โปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งสำหรับปัญหาในการ กำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิง

2.2.7 งานวิจัยของ Deyeb, T. M., Baroudi, U. and Selim, S., Z. (2011) เป็นงานวิจัยที่เสนอการหาตำแหน่งวางของโนดตรวจรู้และโนดถ่ายทอดของเครือข่ายไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอการออกแบบเครือข่ายไร้สายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งโนดตรวจรู้ (sensor nodes) และ โนดถ่ายทอด (relay nodes) ที่ใช้งานสำหรับการเฝ้าติดตามพื้นที่ในสนาม โดยใช้หลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming : ILP) เพื่อลดต้นทุนในการติดตั้งโนดตรวจรู้และโนดถ่ายทอดในพื้นที่เพื่อให้มีการทำงานครอบคลุมจากการกำหนดจุดที่สำคัญไว้

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าในการออกแบบระบบสำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้หลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม มาใช้ในการออกแบบสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงได้นำแนวคิดจากงานวิจัยนี้มาใช้ในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตำแหน่งวางโนดอ้างอิง

2.2.8 งานวิจัยของ Esposito, C., Cotroneo, D. and Ficco, M. (2009) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการวัดค่าความแรงสัญญาณสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอวิธีในการลดกระบวนการในขั้นตอนของการวัดเก็บค่าความแรงสัญญาณ โดยได้เสนอวิธีสำหรับการสร้างฐานข้อมูลอ้างอิงของแต่ละตำแหน่งในพื้นที่สิ่งแวดล้อมที่สนใจและการประเมินเพื่อหาตำแหน่งสำหรับวางจุดอ้างอิงหรือ จุดเข้าถึงสัญญาณ (access point) ที่เหมาะสมที่ใช้กับเทคโนโลยีของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11 ซึ่งได้นำวิธีการของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) มาใช้ในการหาคำตอบ ซึ่งให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด (sub-optimal) ที่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาคำตอบได้

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าในการออกแบบระบบสำหรับการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ใช้กับงานวิจัยเรา การเลือกใช้วิธีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกมาใช้ในการออกแบบ ถึงแม้ว่าจะให้ผลการค้นหาคำตอบที่เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด แต่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบได้

2.2.9 งานวิจัยของ Tatham, B. and Kunz, T. (2011) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่งวางโนดอ้างอิง (anchor node) สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ใช้กับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอผลกระทบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบระบบเครือข่ายและผู้ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่ต้องการประเมินคุณภาพของสมรรถนะในการระบุตำแหน่ง โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบในการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ดีที่สุดคือ ค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของตำแหน่งโนดอ้างอิง พื้นที่ครอบคลุมของเครือข่าย และคุณลักษณะของรูปสามเหลี่ยมที่ลากจากโนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้ง 3 โนด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าการศึกษาเพื่อการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด ควรนำหลักการที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด โดยที่เราสามารถกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเครือข่ายได้

2.2.10 งานวิจัยของ Hossein, Z., P., D., Schlegel, C. and MacGregor, M.,H. (2012) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบระบุตำแหน่งด้วยสถานีฐาน (base station positioning) ด้วยลักษณะการกระจายแบบไดนามิกที่ดีที่สุด

ลักษณะงานวิจัย ในวิจัยนี้ได้เสนอปัญหาของการระบุตำแหน่งด้วยการใช้สถานีฐาน (base station) สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยการหาตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานที่เหมาะสมที่สุดจะได้มาจากการพิจารณาในหลายๆ เงื่อนไขสำหรับการออกแบบเครือข่ายที่ดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอเทคนิคการสร้างเงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของโนด เช่นอัตราการส่งข้อมูลพลังงานสำรองที่โนด และระยะทางจากสถานีฐาน โดยที่เป้าหมายในงานวิจัยนี้คือ การลดการใช้พลังงานในเครือข่ายและยืดอายุการใช้เครือข่าย และงานวิจัยนี้เสนอสองเทคนิคในหาค่าที่ดีที่สุดในการหาค่าที่น้อยที่สุดของกำลังสองของการถ่วงน้ำหนักแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น ที่ขึ้นอยู่กับค่า path loss exponent นอกจากนี้ยังเสนอขั้นตอนวิธีการกระจาย (distribution algorithm) เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของสถานีฐานสำหรับเครือข่ายการทำงานร่วมกันบนพื้นฐานของการกระจายโนด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าเป็นการนำหลักการของการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการหาตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานสำหรับระบบระบุตำแหน่งที่เป็นลักษณะของเครือข่ายขนาดใหญ่ ที่ได้้นำแนวคิดในการใช้วิธีการติดตั้งแบบกระจาย

มาใช้ในการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้

2.2.11 งานวิจัยของ Sharma, Y., F., Wong, W., Soh, S., and Wong, W., C. (2010) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ (access point) สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการฟิงเกอร์ปรีน

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้เสนอวิธีการในการหาตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณ สำหรับการใช้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อลดจำนวนการสร้างฐานข้อมูลอ้างอิงในพื้นที่ที่ทำการทดสอบ โดยใช้หลักการของความแตกต่างของคุณลักษณะของค่าความแรงสัญญาณมาใช้ในการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณในเครือข่าย โดยได้ใช้วิธีฮิวริสติกที่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) มาใช้สำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด และในขั้นตอนการประเมินตำแหน่งวัตถุ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี KNN (K-Nearest Neighbor) เพื่อนำใช้ในการวิเคราะห์ประเมินสมรรถนะของระบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าในการประเมินหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงหรือจุดเข้าถึงสัญญาณ จากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงคุณลักษณะของความแรงสัญญาณที่รับได้ที่พิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดของการหาคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงด้วยวิธีการอบอ่อน (SA) รวมไปถึงได้เพิ่มการพิจารณาถึงความความแรงสัญญาณที่รับได้ที่พิจารณาจากสิ่งกีดขวางภายในอาคารที่ทำการทดสอบ

2.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

จากระบบระบุตำแหน่งวัตถุในปัจจุบันที่เป็น ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System: GPS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อค้นหาเส้นทางและนำทางไปยังสถานที่ที่ผู้ใช้ต้องการ แต่จีพีเอสก็มีข้อจำกัดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งที่อยู่ภายในอาคาร เนื่องจากจีพีเอสใช้การวัดเวลาในการส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับวัตถุ ดังนั้นเมื่อใช้กับการค้นหาวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร จึงทำให้เกิดการถูกลบบังสัญญาณที่ส่งมายังวัตถุด้วยตัวของอาคารเอง จึงไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ประยุกต์กับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่างๆในปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันได้มีการกล่าวถึงเทคนิคการวัดที่นำมาใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารอยู่หลายเทคนิค จากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004). ได้กล่าวถึงเทคนิคพื้นฐานที่นำมาใช้ใน

การหาตำแหน่งซึ่งเป็นการวัดด้วยระยะทาง (distance) มุม (angle) และการวัดคุณลักษณะของตำแหน่งในพื้นที่ (location pattern or fingerprint) จากวิธีการวัดระยะทาง โดยปกติจะเรียกว่า lateration ส่วนวิธีการวัดมุม โดยปกติเรียกว่า angulation ซึ่งทั้งสองวิธีนี้แยกมาจาก triangulation ซึ่งใช้คุณสมบัติจากรูปแบบสามเหลี่ยมในการหาตำแหน่งวัตถุ โดยเรียกวิธีการวัดนี้คือ การวัดค่ามุมที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Angle of Arrival: AOA) การวัดค่าเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Time of Arrival : TOA) และ ฟิงเกอร์ปรี้นท์(fingerprinting) ซึ่งสองวิธีการแรกจะเป็นวิธีที่นิยมใช้ในระบบระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร (outdoor) เนื่องจากต้องการพื้นที่ที่โล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง และทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด คือต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อน ในการพิจารณาช่องสัญญาณ ความถี่ ถ้ามีการรบกวน (noise) และ การลดลงของสัญญาณในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (multipath) และจากตำแหน่งของผู้ใช้งาน (Mobile Station: MS) ที่จะอยู่ในบริเวณรอบๆ สถานีฐาน (Base Station : BS) หรือ Access Point (AP) ในลักษณะแบบกระจายทั่วบริเวณของเครือข่าย ทำให้เกิดมุมขึ้นมามากหลายมุมในการรับสัญญาณ หรือ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ จะสั้นกว่าเวลาที่จะสามารถวัดได้ด้วยระบบ ดังนั้น วิธีการวัดค่ามุมที่สัญญาณเดินทางมาถึง และวิธีการวัดค่าเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง จึงเป็นวิธีการที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ดีในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร และอีกวิธีการหนึ่งคือวิธีฟิงเกอร์ปรี้นท์ ซึ่งจะเป็วิธีที่นิยมนำมาใช้งานในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารมากกว่าสองวิธีแรก เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติม

โดยในรายละเอียดของแต่ละวิธีการวัดมีดังนี้ คือ การวัดค่าเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง และ การวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Time Difference of Arrival: TDOA) ความแม่นยำของเทคนิคนี้จะอาศัยการประสานเวลาให้ตรงกัน (synchronized) ระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ โดยใช้ความต่างของเวลา(Time of Flight: TOF) ที่คำนวณระยะทางระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ ดังนั้นความแม่นยำของการประสานเวลากันจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากในระบบนี้ โดยการวัดระยะทางจะต้องมีอย่างน้อยสามระยะทางจากสถานีฐานไปยังจุดที่ต้องการรู้ตำแหน่งของผู้ใช้งานในกรณีระนาบ 2 มิติ (หากเป็นระบบ 3 มิติ ต้องการ 4 ระยะทางจาก 4 สถานีฐาน) ซึ่งตำแหน่งของผู้ใช้หรือตำแหน่งวัตถุจะอยู่ที่ จุดตัด (intersection) ของวงกลม 3 วงที่แต่ละวงมีรัศมีเท่ากับวัตถุไปยังสถานีฐาน หรือสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมในการหาตำแหน่งของผู้ใช้ ซึ่งวิธีการทั้งสองนี้จะต้องการความแม่นยำของสัญญาณนาฬิกาสูงในการติดต่อกับระบบ ซึ่งในการใช้งานโดยมากจะนิยมใช้วิธีการวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง ส่วนตัวอย่างของระบบที่ใช้เทคนิคนี้ในการหาตำแหน่ง เช่น GPS Active Bats และ Cricket ส่วนวิธีในการวัดมุมที่มาถึง และ Direction of Arrival (DOA) Techniques เป็นการหาตำแหน่งที่ใช้การวัดมุมตกกระทบของสัญญาณ โดยการหาตำแหน่งคำนวณ

มาจากการตัดกันของมุมที่ผู้ใช้ทำอยู่กับสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้สถานีฐานอย่างน้อย 2 ตัว ตำแหน่งของผู้ใช้ที่ได้นั้น จะเป็นจุดตัดของเส้นที่ลากทำมุมตามที่วัดได้ของสถานีฐาน ตัวหนึ่งกับเส้นที่ลากทำมุมของสถานีฐานตัวที่สอง ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มคือ directional antenna และ antenna arrays เพื่อใช้ในการวัดมุมตกกระทบ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากในการวัดมุมที่ผู้ใช้ สุดท้ายวิธีจากคุณลักษณะของตำแหน่ง วิธีการนี้โดยทั่วไปต้องการการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength : RSS) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการหาตำแหน่งของผู้ใช้ ระบบจะต้องทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับที่ตำแหน่งของผู้ใช้ขณะนั้น เพื่อนำค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของแต่ละตำแหน่งที่ได้เก็บค่าความแรงของสัญญาณไว้ก่อนหน้าในฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วทำการแสดงตำแหน่งที่เปรียบเทียบแล้วใกล้เคียงที่สุดโดยวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ สถานีฐาน 3 ตัวในการหาตำแหน่ง แต่จะต้องมีสถานีฐานอย่างน้อย 1 ตัว ส่วนข้อจำกัดของการใช้วิธีนี้ คือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ไว้ในฐานข้อมูลอ้างอิง กรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการนี้จึงนิยมนำมาใช้ในระบบหาตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าระบบหาตำแหน่งภายนอกอาคาร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการศึกษาโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารไร้สายโดยใช้วิธีการพิจารณาคูณลักษณะสัญญาณของตำแหน่งหรือใช้วิธีฟิงเกอร์ปรีนท์ โดยวิธีการนี้จะเน้นความสำคัญที่การวัดค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ (RSS) ซึ่งเป็นวิธีการวัดที่อาศัยหลักการลดทอนของสัญญาณ (signal attenuation) ต่อระยะทางเพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ โดยข้อดีของการใช้วิธีการวัดแบบนี้คือ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้ง เหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคาร ซึ่งอาจจะใช้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีการใช้สัญญาณค่าความแรงของสัญญาณอยู่แล้ว ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์พิเศษใดๆ สำหรับการวัดค่าความแรงของสัญญาณ หรือกับเทคโนโลยีเช่นเซอร์ไร้สาย IEEE 802.15.4 ที่มีอุปกรณ์เครือข่ายที่มีขนาดเล็ก มีการใช้สัญญาณค่าความแรงของสัญญาณในการติดต่อกับโนคภายในเครือข่าย รวมไปถึงสามารถออกแบบเครือข่ายโดยนำอุปกรณ์ไปติดตั้งในบริเวณที่เหมาะสมกับการใช้งานกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายในบริเวณนั้นๆ ที่จะส่งผลต่อคุณลักษณะของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัด ดังนั้นในการใช้งานบนระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารจึงจำเป็นที่จะต้องสร้างคุณลักษณะของสัญญาณค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่ง โดยทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณเก็บไว้หลายๆ ตัวอย่าง ซึ่งเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์หาตำแหน่งภายหลังก็จะมี

ความผิดพลาดน้อยลง โดยวิธีการดังกล่าวนี้จะเรียกว่าเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์ (fingerprinting technique) ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนออฟไลน์ (Offline Phase)

ในการทำงานของช่วงนี้จะเป็นช่วงของการเก็บสัญญาณ โดยจะทำการวัดสัญญาณค่าความแรงของสัญญาณจากหลายๆ ตำแหน่งที่ใช้อ้างอิง ของบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่ง (grid point) ที่ต้องการเก็บสัญญาณให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่กำหนดเรียกว่า grid spacing จะกำหนดค่าเป็น เมตร หรือ ฟุต ก็ได้ ส่วนค่าค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อนำไปคำนวณค่าทางสถิติ ซึ่งเรียกว่าเป็นการทำ radio map และค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดจะเรียกว่า location fingerprint

2.3.2 ขั้นตอนออนไลน์ (Online Phase)

ในการทำงานช่วงนี้จะเป็นช่วงของการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งของวัตถุ ด้วยการวัดสัญญาณค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้ขณะนั้น แล้วนำค่าสัญญาณค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ต่อจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของผู้ใช้ออกมา โดยส่วนมากจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขพิกัดและภาพกราฟิก ซึ่งประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งที่ได้ นั้นจะขึ้นอยู่กับ radio map ที่ทำไว้ในช่วงแรกและอัลกอริทึมที่นำมาใช้

ส่วนการหาตำแหน่งวัตถุทำได้หลายวิธี ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการจับคู่ค่าความแรงของสัญญาณ ด้วยวิธีระยะห่างยูคลีเดียน (euclidean distance) ซึ่งเป็นวิธีการระบุตำแหน่ง โดยเลือกตำแหน่งที่มีค่าความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลใกล้เคียงกับค่าความแรงสัญญาณที่วัดได้รับได้จาก โหนดอ้างอิงที่สุด นั่นคือตำแหน่ง i ที่มีค่า d_i น้อยที่สุด เมื่อ d_i คำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

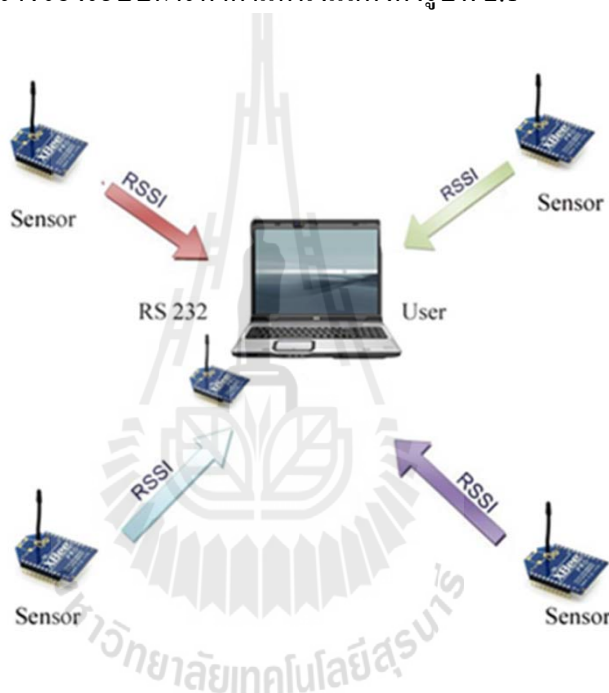
$$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n |x_k - y_k^i|^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ d_i คือ ระยะห่างยูคลีเดียน, n คือ จำนวนโหนดอ้างอิง

x_k คือ ความเข้มสัญญาณที่วัดได้รับได้จากโหนดอ้างอิง k

y_k^i คือ ความเข้มสัญญาณในฐานข้อมูลจากโหนดอ้างอิง k ที่ตำแหน่ง i

โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ใช้กับอุปกรณ์เครือข่ายเช่นเซอร์ไรส์สาย IEEE 802.15.4 ประกอบไปด้วยโนคอ้างอิงและโนควัตถุ ซึ่งในการทำงานของระบบระบุตำแหน่งจะให้โนควัตถุจะเป็นตัวที่ร้องขอค่าความแรงของสัญญาณจากโนคอ้างอิงที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ภายในอาคาร เมื่อโนคอ้างอิงได้รับข้อมูลการร้องขอ โนคอ้างอิงจะทำการส่งค่าความแรงของสัญญาณมายังโนควัตถุ ซึ่งโนควัตถุจะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้เพื่อใช้ในการประมวลผล จากนั้นผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณจากโนควัตถุที่โนคอ้างอิงแต่ละตัวส่งมาลงในฐานข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการคำนวณหาตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุต่อไป โดยโครงสร้างของระบบการหาตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ใช้อุปกรณ์ XBee Pro ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) และมีสายอากาศอยู่ภายในอุปกรณ์ XBee Pro จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ (transceiver) สามารถทำหน้าที่รับหรือส่งสัญญาณสลับกัน (half Duplex) ซึ่ง XBee Pro ที่ใช้ในการวิจัยนั้นใช้ความถี่ 2.4 GHz มีระดับการใช้พลังงานต่ำ สามารถติดตั้งได้สะดวก การรับส่งข้อมูลจะเป็นการติดต่อภายใน (interface) แบบการรับและส่งแบบสากลในเวลาเดียวกัน (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter หรือ UART) การควบ XBee Pro นั้นสามารถควบคุมผ่านทาง

AT Command โดยใช้โปรแกรม X-CTU โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (hyper terminal) หรือผ่านทาง การรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2.4 แบบจำลองการสูญเสียวิถีจากสิ่งกีดขวางในอาคาร

จากความซับซ้อนของการแพร่กระจายความแรงของสัญญาณภายในอาคารเช่น ในห้างสรรพสินค้า และในอาคารสำนักงานและต่างห้องอาคารจึงทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายวิถีการสูญเสียในธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองที่ใช้นั้นจะได้ออกมาจากการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน หรือได้จากการวัดจริง เนื่องจากสัญญาณที่ถูกล่งออกมาจากอุปกรณ์ภาคส่งนั้นจะต้องเคลื่อนที่ผ่านสิ่งแวดล้อมที่มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณที่ต้องผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ภายในอาคารเช่น ผนัง เพดาน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ วัตถุหลากหลายชนิดจะทำให้ ซึ่งอาจทำให้สัญญาณถูกลดทอน หรือเกิดการจางหายได้ ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถประมาณการสูญเสียวิถีของสัญญาณจะต้องพิจารณาคณะลักษณะพิเศษของอาคารที่แตกต่างกันเหล่านี้ ดังนั้นในการออกแบบการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้น จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่ภาครับรับได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณค่าของความสูญเสียอันเนื่องจากระยะทาง และการลดทอนของสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดภายในอาคาร ซึ่งมีค่าการลดทอนไม่เท่ากัน โดยสมการนี้เราจะกำหนดค่าของเลขชี้กำลังวิถีการสูญเสีย (path-loss exponent) หรือค่า α ไว้ที่ 2 มาคำนวณหาค่าความแรงสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งโนดทดสอบสัญญาณรับได้ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.2) ถึง (2.3) ดังนี้

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + L_0 - 10\alpha \log(d)(\text{dB}) - \sum m_{\text{type}} w_{\text{type}} \quad (2.2)$$

โดยที่

- P_r = ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้
- P_t = ค่าความแรงของสัญญาณที่ส่ง (ในงานวิจัยนี้ $P_t = 18$ dBm)
- L_0 = ค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะอ้างอิง ($d_0 = 1$ เมตร)
- α = ค่าความคาดเคลื่อนของการส่งสัญญาณที่สูญเสียไป (Path loss exponent)

$\sum m_{type} w_{type}$ = ผลรวมของค่าการลดทอนจากสิ่งกีดขวางภายในสิ่งแวดล้อม เมื่อ m_{type} คือ จำนวนสิ่งกีดขวาง และ w_{type} คือ ค่าการลดทอนของสิ่งกีดขวางแต่ละชนิด

โดยสมการในการคำนวณค่าลดทอนสัญญาณที่ระยะอ้างอิง ($d_0=1$ เมตร) ดังสมการนี้

$$L_0 = 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi^2} \right) - Gain \quad (2.3)$$

เมื่อ λ คือ ค่าความยาวคลื่น (m)

$Gain$ คือ อัตราขยายของสายอากาศส่งและรับ (มีหน่วยเป็น dB หรือ dBi)

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าของเลขชี้กำลังวิธีการสูญเสียเท่ากับ 2 โดยพิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบในย่านความถี่ 2.4 GHz และใช้ระยะทางอ้างอิงในระยะไกลของสายอากาศเท่ากับ 1 เมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ที่ใช้ทำงาน	2.4 GHz
กำลังงานที่ใช้ในการส่งสัญญาณ	32 mW (18 dBm)
ระยะอ้างอิง	1 m.
เลขชี้กำลังการสูญเสีย	2

2.5 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

(Binary Integer Linear Programming: BILP)

โปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันแพร่หลายและเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน (operations research) ในหลายๆด้าน นักบริหาร วิศวกรหรือนักวิทยาศาสตร์ในหลายๆหน่วยงานได้ประยุกต์ใช้วิธีการทางโปรแกรมเชิงเส้น ในการแก้ปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยหรือทรัพยากร (allocating resource) โดยที่ปัจจัยหรือทรัพยากรมีความหมายรวมถึงวัตถุดิบ กำลังคน เวลา สถานที่ เงินตรา หรือความรู้ความสามารถต่างๆ ปัญหาการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรเกิดขึ้นเมื่อเราต้องการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดทั้งขนาด ปริมาณ และ

ขอบเขตของการใช้งาน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โปรแกรมเชิงเส้นเป็นเทคนิคในการแก้ไข ปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เป็นแบบเชิงเส้น โดยมีจุดหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (optimal) เช่นกำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือแนวทางการดำเนินงานอื่นๆ ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุดต่อระบบนั้นๆ โดยพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนด เช่นสภาวะตลาด การขาดแคลนวัตถุดิบ กำลังคน เงินทุน สถานที่ ความรู้ข้อกำหนดของกฎหมายและระเบียบต่างๆของสังคม นโยบายของฝ่ายบริหาร ขอบข่ายของธุรกิจที่ดำเนินอยู่และอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การใช้เทคนิคทางโปรแกรมเชิงเส้นที่ใช้กับการแก้ปัญหาทางด้านขนส่งสินค้า ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสินค้าชนิดต่างๆ น้ำหนักและขนาดของสินค้า ราคาขนส่งสินค้า กำลังคนที่ใช้ในการขับรถ โดยมีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ปริมาณและขนาดของรถที่มีอยู่ น้ำหนักของสินค้าที่สามารถบรรทุกได้ต่อเที่ยว ปริมาณความต้องการของตลาด เงินทุนจำกัด เวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้า นอกจากนี้โปรแกรมเชิงเส้นได้ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาทางการผลิตของอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับ วัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิต ชนิดของเครื่องจักรที่มี กำลังคนที่ผลิต ราคาขาย และการตลาด โดยมีเงื่อนไขต่างๆ เช่น ขนาดขีดความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรและแรงงาน ปริมาณความต้องการของตลาด ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานอื่นๆในการผลิตเช่น น้ำ น้ำมัน ไฟฟ้า ไม้ มีอยู่ในจำนวนจำกัด เงินทุนจำกัด เทคนิคทางการโปรแกรมเชิงเส้น ในการวิจัยดำเนินงานนี้พัฒนามาจากผลความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีแนวคิดริเริ่มมาจากนักคณิตศาสตร์วิทยาศาสตร์หลายๆ ท่านซึ่งได้นำไปใช้ในทฤษฎีเกม รวมทั้งถูกพัฒนานำไปใช้ในทางการขนส่ง นอกจากนี้ได้มีการใช้เทคนิคดังกล่าวในการแก้ปัญหาทางโภชนาการ ต่อมาได้มีการใช้คณิตศาสตร์และเทคนิคที่เกี่ยวข้องมาแก้ปัญหาทางการวางแผนโครงการในกองทัพ ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันมากมาย วงการในการนำเทคนิคทางการโปรแกรมเชิงเส้นไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้านเช่น ทางการเกษตร ทาง เศรษฐศาสตร์ และการจัดการเกี่ยวกับการผลิต ทางอุตสาหกรรม

2.5.1 รูปแบบแทนระบบทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้น

โปรแกรมเชิงเส้นประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1) มีสมการกำหนดเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร เพื่อให้กำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด

2) มีสมการแสดงขอบข่ายหรือสมการเงื่อนไข (constraints) ซึ่งแสดงข้อจำกัดต่างๆของปัจจัยหรือทรัพยากรในรูปสมการหรืออสมการ โดยที่สมการต่างๆ ทั้งหมดเป็นสมการเชิงเส้น เมื่อเทียบกับตัวแปร ค่าตอบของสมการแสดงขอบข่ายอาจจะมีได้หลายคำตอบ ซึ่งคำตอบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดต่างๆที่กำหนดให้

อย่างไรก็ตามสมการกำหนดเป้าหมายเป็นตัววัดผลหรือตัวตัดสินว่าระหว่างคำตอบทั้งหมดของสมการแสดงขอบข่าย คำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด นั่นคือคำตอบนั้นจะทำให้สมการกำหนดเป้าหมายมีค่าที่ดีที่สุด ซึ่งเราจะต้องพยายามหาค่าเป็นไปตามเป้าหมายโดยอาศัยเทคนิคที่มีอยู่ ตัวแปรต่างๆ จะเป็นตัวแทนจำนวนปริมาณหรือค่าของปัจจัยที่มีอยู่จำกัดโดยการกำหนดของสมการหรือสมการในขอบข่ายของปัญหา ตัวอย่างง่ายๆ ของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นค่าอินพุต และเอาต์พุต ซึ่งเป็นผลลัพธ์ โดยที่ค่าของตัวแปรเหล่านี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของปัจจัยต่างๆที่กำหนด จุดประสงค์ของโปรแกรมเชิงเส้นก็คือหาค่าของตัวแปรเหล่านี้ที่ทำให้สมการกำหนดเป้าหมายมีค่าที่ดีที่สุด จากหนังสือการโปรแกรมเชิงเส้น (ประกอบ จิรจิตติ 2535) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นดังนี้

2.5.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหา

ขั้นตอนของการใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหา การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น จะไม่สามารถกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ตายตัวได้ ทั้งนี้เพราะปัญหาแต่ละปัญหานั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม สามารถสรุปเป็นขั้นตอนทั่วไปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การให้นิยามตัวแปรตัดสินใจ (x) ในแต่ละปัญหานั้นจะมีการนิยามตัวแปรตัดสินใจที่แตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของปัญหาต่าง ๆ เช่น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ การเลือกตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิง ว่าเราสามารถเลือกติดตั้งโหนดอ้างอิงได้หรือไม่ที่ตำแหน่ง j (x_j) เป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับการออกแบบระบบ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2: การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (z) หลังจากที่ได้กำหนดนิยามตัวแปรตัดสินใจแล้ว จะต้องทำการเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในเทอมของตัวแปรตัดสินใจตามที่ได้กำหนดไว้ พร้อมทั้งระบุให้ชัดเจนว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นต้องการหาค่าที่สูงที่สุด หรือค่าที่ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 3: การกำหนดเงื่อนไข หรือข้อจำกัดของปัญหา คือการเขียนข้อจำกัดของปัญหาให้อยู่ในเทอมของตัวแปรตัดสินใจ เช่น ข้อจำกัดเกี่ยวกับทรัพยากรที่มีอยู่ หรือ ข้อจำกัดของสิ่งที่พิจารณา เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4: การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น หลังจากที่ได้ออกแบบส่วนประกอบของการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการรวบรวมฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด ต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 5: การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อได้ทำการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ก็จะต้องทำการตรวจสอบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้นั้น ถูกต้องแล้วหรือไม่

โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองของการโปรแกรมเชิงเส้นมีหลายชนิด ซึ่งจะจำแนกได้ตามค่าของตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นชนิดนั้น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

2.5.3 การจัดตั้งรูปแบบแทนระบบของปัญหา (Model Formulation)

ในการจัดตั้งรูปแบบแทนระบบของปัญหาโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น เราต้องทำความเข้าใจและศึกษาปัญหาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังต้องสามารถระบุสิ่งต่อไปนี้ในปัญหา

1) สมการกำหนดเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร ฯลฯ เพื่อให้กำหนดเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด (maximize or minimize)

2) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไข ในปัญหาหนึ่ง ๆ อาจกำหนดตัวแปรได้หลายลักษณะดังนั้นตัวแปรที่ต้องตัดสินใจคือสิ่งที่เราต้องการหาผลลัพธ์ เราต้องทำการระบุหน่วยของตัวแปรเหล่านั้นด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างฟังก์ชันต่าง ๆ ซึ่งคำตอบที่ได้จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

3) สมการแสดงขอบข่ายหรือสมการเงื่อนไข (Constraints) ซึ่งแสดงความจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากร โดยวัตถุประสงค์ของปัญหาจะบรรลุค่าที่สูงที่สุดหรือต่ำที่สุดตามที่ต้องการได้ก็มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของปัญหา เช่น ข้อจำกัดด้านทรัพยากร ความต้องการ นโยบายหรือเงื่อนไขต่าง ๆ ของปัญหาดังนั้นจึงมีการเรียกโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มว่าเป็นตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในเงื่อนไขบังคับ (constrained optimization model) โดยที่เงื่อนไขบังคับอาจจะอยู่ในรูปสมการหรืออสมการ (inequality) ก็ได้

4) ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการต่าง ๆ ของรูปแบบแทนระบบต้องมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรง (linear form) คือ ตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของขอบข่ายจะต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นกำลังเดียว (กำลังหนึ่ง)

5) ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (All positive value)

จะเห็นว่าทุกการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มจะมีลักษณะของสมการเงื่อนไขเหมือนกันทั้งหมด คือ เงื่อนไขต้องอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นนั่นคือ ใช้เครื่องหมายเท่ากับ (=) โดยที่ตัวแปรมีเลขชี้กำลังเป็น 1 หรืออยู่ในรูปอสมการเชิงเส้น นั่นคือใช้เครื่องหมายมากกว่าเท่ากับ (\geq) หรือน้อยกว่าเท่ากับ (\leq) และตัวแปรมีเลขชี้กำลังเป็น 1

รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มมีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่พิจารณานั้นเป็นปัญหาลักษณะที่ต้องการหาค่าสูงสุดหรือต้องการหาค่าต่ำสุด โดยเขียนได้ดังนี้ หาค่าสูงสุด หรือ ค่าต่ำสุดของ

$$\text{Maximize หรือ Minimize } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (2.4)$$

ภายใต้ข้อจำกัดดังนี้

(Subject to)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (2.5)$$

โดยที่ x_j คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) หรือจำนวนหน่วยของกิจกรรม j ที่ตัดสินใจทำ

c_j คือ ผลตอบแทน (Profit หรือ return) ที่ได้จากการตัดสินใจเลือกหรือต้นทุน (cost) ของตัวแปรตัดสินใจ x_j

a_{ij} คือ จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ส่วนหนึ่งที่ถูกใช้ไปจากจำนวนทรัพยากรชนิด i ทั้งหมดที่มีอยู่ อันเนื่องจากการเลือกตัวแปรตัดสินใจ x_j (Resource consumption rate)

b_i คือ จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ (Resource) ชนิดที่ i เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจ

วัตถุประสงค์ในตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ ความต้องการที่จะหาค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากรจำนวน m ข้อจำกัดซึ่งหมายถึงการใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีค่ามากกว่าศูนย์

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี เนื่องจากการหาค่าตอบในงานวิจัยนี้ต้องการหาตำแหน่งติดตั้งโนคอ้างอิงที่เหมาะสมและจำนวนในการติดตั้งโนคอ้างอิงให้น้อยที่สุดซึ่งคำตอบของตัวแปรตัดสินใจจะมีคำตอบได้สองคำตอบคือ 0 หรือ 1 เท่านั้น

2.6 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมซิมเพล็กซ์

วิธีซิมเพล็กซ์ (simplex method) จากหนังสือการวิจัยดำเนินงาน (รองศาสตราจารย์สุทธิมา ชำนาญเวช 2009) กล่าวว่า เป็นวิธีการคำนวณที่สามารถใช้ในแก้ปัญหาการกำหนดการเชิงเส้นได้ กว้างขวางมาก ซึ่งได้พัฒนาขึ้นโดย จอร์จ บี ดานซิก (George B. Dantzig) นักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกัน นับว่าเป็นบิดาของการโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากเป็นผู้ริเริ่มในการสร้างรูปแบบทั่วไปของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น และพัฒนาวิธีการอย่างมีระบบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีการเริ่มนำมาใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490 เป็นต้นมา จนถึงทุกวันนี้ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังกล่าวยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิธีซิมเพล็กซ์ เป็นวิธีการทางพีชคณิตประกอบการคำนวณเมทริกซ์ (matrix) โดยใช้หลักการปรับเปลี่ยนตัวแปรอย่างมีหลักเกณฑ์เพื่อให้มีผลต่อเป้าหมายของปัญหา และบรรลุผลตามเป้าหมายโดยเร็วที่สุด ดังนั้น อัลกอริธึมซิมเพล็กซ์จะเป็นวิธีการคำนวณที่มีลักษณะแบบย้อนทำซ้ำขั้นตอน นั่นคือ จะคำนวณซ้ำ ๆ กันจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด

จากความคิดมูลฐานของวิธีซิมเพล็กซ์คือ การแก้ปัญหาหาระบบสมการโดยการกระทำซ้ำๆกัน เริ่มจากคำตอบมูลฐานเริ่มต้นที่เป็นไปได้แล้วเปลี่ยนตัวแปรมูลฐานใหม่ครั้งละ 1 ตัว โดยพิจารณาจากตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐาน เรียกตัวแปรมูลฐานใหม่นี้ว่า ตัวแปรมูลฐานเข้า (entering basic variable) สำหรับตัวแปรมูลฐานเดิมที่ถูกแทนที่ด้วยตัวแปรมูลฐานใหม่จะกำหนดให้เป็นตัวที่ไม่เป็นมูลฐาน เรียกตัวแปรนี้ว่า ตัวแปรมูลฐานออก (leaving basic variable)

การแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กซ์ จะต้องมีการสร้างรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน คือเปลี่ยนข้อจำกัดที่อยู่ในรูปอสมการให้เป็นสมการที่สมมูลกันตัวอย่างเช่น

$$\text{หาค่าสูงสุดของ } Z = 3X_1 + 5X_2 \quad (2.6)$$

$$\text{ข้อจำกัด } X_1 \leq 4 \quad (2.7)$$

$$2X_2 \leq 12 \quad (2.8)$$

$$3X_1 + 2X_2 \leq 18 \quad (2.9)$$

$$X_1, X_2 \geq 0 \quad (2.10)$$

เขียนข้อจำกัดให้อยู่ในรูปสมการข้อจำกัดที่สมมูลกันโดยใช้ตัวแปรขาด (slack variable) ดังนี้ ให้ $S_1, S_2, S_3 \geq 0$ เป็นตัวแปรขาด สมการข้อจำกัดที่สมมูลกับข้อจำกัดคือ

$$X_1 + S_1 = 4 \quad (2.11)$$

$$2X_2 + S_2 = 12 \quad (2.12)$$

$$3x_1 + 2x_2 + s_3 = 18 \quad (2.13)$$

2.6.1 ขั้นตอนของวิธีซิมเพล็กซ์

2.6.1.1 ขั้นตอนเริ่มต้น (Initialization Step)

ให้ (x_1, x_2) เป็นตัวแปรไม่เป็นมูลฐานเริ่มต้นและมีค่าเป็น 0 (เพื่อรักษาข้อจำกัด $x_1 \geq 0$) ดังนั้นตัวแปรขาด (s_1, s_2, s_3) จะเป็นตัวแปรมูลฐานเริ่มต้น เพื่อความสะดวกในการหาคำตอบจึงสร้างรูปแบบของตารางวิธีซิมเพล็กซ์เพื่อบันทึกข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. สัมประสิทธิ์ของตัวแปร
2. ค่าคงที่ทางขวามือของแต่ละสมการ
3. ตัวแปรมูลฐานที่ปรากฏในแต่ละสมการขณะที่ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าแต่ละสมการข้อจำกัดจะมีตัวแปรมูลฐาน 1 ตัว และมีสัมประสิทธิ์เป็น +1 ตัวแปรมูลฐานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับค่าคงที่ทางขวามือของสมการ ดังนั้นตัวแปรมูลฐานที่เป็นไปได้เริ่มต้น (initial basic feasible solution) จากตารางคือ $(x_1, x_2, s_1, s_2, s_3) = (0, 0, 4, 12, 18)$

ตารางที่ 2.2 ตารางซิมเพล็กซ์ของกำหนดการเชิงเส้น

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ทางขวามือ
		Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
s_1	1	0	1	0	1	0	0	4
s_2	2	0	0	2	0	1	0	12
s_3	3	0	3	2	0	0	1	18

2.6.1.2 ขั้นตอนที่ต้องกระทำซ้ำๆ (iteration step)

เมื่อได้คำตอบเริ่มต้นแล้ว ต่อไปต้องมีการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม โดยการเพิ่มค่าตัวแปรขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตัวแปรมูลฐานเข้า (Entering Basic Variable) ในกรณีปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุดจะพิจารณาเลือกตัวแปรไม่เป็นมูลฐานที่มีสัมประสิทธิ์ในสมการ (0) ติดลบมากที่สุด เพราะเมื่อตัวแปรเพิ่มค่าจาก 0 เป็นค่าบวกจะทำให้เพิ่มค่า Z ได้เร็วที่สุด เช่น $Z - 3x_1 - 5x_2 = 0$ เริ่มต้นให้ $x_1 = x_2 = 0$ จะมีผลทำให้ $Z = 0$ เมื่อเพิ่มของตัวแปร x_1, x_2 จะมีผลทำให้ Z สูงขึ้นเช่น

$$\begin{array}{llll} \text{ถ้าเพิ่มค่า } x_1 \text{ โดยที่} & x_2 = 0 & \text{จะมีผลทำให้} & Z = 3x_1 \\ \text{ถ้าเพิ่มค่า } x_2 \text{ โดยที่} & x_1 = 0 & \text{จะมีผลทำให้} & Z = 5x_2 \end{array}$$

การเพิ่มค่าตัวแปรใดจึงต้องดูค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นลบ เพราะเมื่อย้ายข้างจะเป็นบวก และจากสมการ (2.6) จะได้ว่าต่อ 1 หน่วยที่เพิ่มค่า x_2 จะได้ค่า Z เพิ่มขึ้นเร็วกว่าเพิ่มค่า x_1 1 หน่วย ดังนั้นเพื่อให้ค่า Z ถึงจุดเป้าหมายเร็วที่สุด จึงเลือกตัวแปรเข้าที่มีสัมประสิทธิ์ติดลบมากที่สุด

จากตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_2 ติดลบมากที่สุดคือ -5 จึงเลือกเป็นตัวแปรมูลฐานเข้า คือเปลี่ยนจากตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐานเป็นตัวแปรมูลฐาน คอลัมน์ (column) ที่อยู่ภายใต้ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของ ในข้อจำกัดเรียกว่า คอลัมน์หลัก (Pivot Column) ดังตารางที่ 2.3 และถ้าสมการ (0) มีสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเป็น 0 หรือเป็นบวก แสดงว่าไม่สามารถหาตัวแปรมูลฐานเข้าเพื่อเพิ่มค่า Z ได้อีก

ขั้นตอนที่ 2 หาตัวแปรมูลฐานออก (leaving basic variable)

- 1) เลือกสัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักที่มีค่ามากกว่า 0
- 2) หาค่าคงที่ทางขวามือด้วยสัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักที่มีค่ามากกว่า 0 และอยู่ในแถวเดียวกัน
- 3) เลือกสมการที่ให้ผลหารน้อยที่สุด แถวที่ให้ผลหารน้อยที่สุดเรียกว่าแถวหลัก (Pivot Row) ค่าตัวเลขในแถวนั้นเรียกว่าเลขหลัก (Pivot Number)

ตารางที่ 2.3 ตัวแปรมูลฐานเข้า คือตัวแปร x_2

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
s_1	1	0	1	0	1	0	0	4
s_2	2	0	0	2	0	1	0	12
s_3	3	0	3	2	0	0	1	18

- 4) เลือกตัวแปรมูลฐานออกจากแถวนี้ คือตัวแปร s_2 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวแปรมูลฐานออก คือ s_2

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
s_1	1	0	1	0	1	0	0	4
← s_2	2	0	0	2	0	1	0	12
s_3	3	0	3	2	0	0	1	18

ขั้นตอนที่ 3 หาคำตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่โดยสร้างตารางใหม่ดังนี้

1) ใน 3 คอลัมน์แรกยังคงเดิม ยกเว้น s_2 ในสมการ ซึ่งเป็นตัวแปรออกจะถูกแทนที่ด้วย x_2

2) สัมประสิทธิ์ของตัวแปรมูลฐานใหม่ในแถวหลักทำให้เป็น +1 โดยหารแถวหลักด้วยเลขหลัก แสดงดังตารางที่ 2.5

สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่ = สัมประสิทธิ์เดิมในแถวหลัก / เลขหลัก

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	
Z	0							
s_1	1	0						
x_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
s_3	3	0						

ต่อไปทำให้สัมประสิทธิ์ของ x_2 ในแถวอื่น เป็น 0 ทั้งหมด ซึ่งทำได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{แถวใหม่} = \text{แถวเดิม} - (\text{สัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลัก} \times \text{แถวหลักใหม่})$$

พิจารณาแถว (0) สัมประสิทธิ์ที่ตรงกับคอลัมน์หลักหรือสัมประสิทธิ์ที่ตรงกับ x_2 คือ -5

$$\text{แถว (0) ใหม่} = \text{แถว (0) เดิม} - [(-5) \times \text{แถวหลักใหม่}]$$

แถว (0) เดิม	-3	-5	0	0	0	0
$(-5) \times$ แถวหลักใหม่	0	5	0	$-5/2$	0	-30
แถว (0) ใหม่	-3	0	0	$5/2$	0	30

พิจารณาแถว (3) สัมประสิทธิ์ในคอลัมภ์หลักคือ 2

เอา 2 คูณเข้ากับแถวหลักใหม่แล้วลบออกจากแถว (3) จะได้

แถว (3) เดิม	3	2	0	0	1	18
$(2) \times$ แถวหลักใหม่	0	2	0	1	0	12
แถว (3) ใหม่	3	0	0	-1	1	6

ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนตัวแปรเข้าและตัวแปรออก 1 ครั้งจะได้ตารางใหม่ ค่าของตัวแปรมูลฐานยังคงเท่ากับค่าคงที่ขวามือ คำตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่ คือ $(X_1, X_2, S_1, S_2, S_3) = (0, 6, 4, 0, 6)$ ค่า $Z = 30$ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าตัวแปรมูลฐานใหม่

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	0	0	$5/2$	0	30
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
X_2	2	0	0	1	0	$1/2$	0	6
S_3	3	0	3	0	0	-1	1	6

จากตารางจะเห็นได้ว่า X_2 เป็นตัวแปรมูลฐานเข้า ซึ่งเพิ่มค่าจาก 0 เป็น 6 ขณะที่ S_2 เป็นตัวแปรมูลฐานออก ซึ่งลดค่าเป็น 0 การที่เลือกตัวแปรมูลฐานออกคือ S_2 ซึ่งได้จากแถวที่ให้ผลหารของค่าคงที่ขวามือ ซึ่งหารด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในคอลัมภ์หลักมีค่าน้อยที่สุดนั้นเพราะว่า ค่า X_2 ที่เพิ่มขึ้นนี้จะต้องสอดคล้องกับทุกๆ ข้อจำกัด ถ้าเลือกตัวแปรมูลฐานออกจากแถวที่ให้ผลหารมากที่สุด จะได้ว่าตัวแปรที่เพิ่มค่าจะไม่สอดคล้องกับทุกข้อจำกัดเดิม ตัวอย่างเช่น ข้อจำกัด ที่เกี่ยวข้องกับ X_2 คือ

$$2X_2 \leq 12$$

$$3X_1 + 2X_2 \leq 18$$

ถ้า $X_2 = 6$ จะได้ว่าเมื่อแทน $X_2 = 6, X_1 = 0$ ลงในอสมการทั้งสองอสมการ ยังคงเป็นจริง แต่ถ้าเลือก S_3 ในสมการ (3) เป็นตัวแปรออก เมื่อ X_2 เข้าแทนที่ S_3 จะต้องทำให้สัมประสิทธิ์ของ X_2 ในสมการ (3) เป็น +1 ค่าของ X_2 ที่เพิ่มขึ้นคือ ค่าคงที่ขวามือจะได้เท่ากับ 9 เมื่อแทน $X_2 = 9$ ลงในอสมการ $2X_2 \leq 12$ จะได้ว่าไม่เป็นจริง ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวแปรออกในแถวที่มีผลหาค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ค่าที่ได้ยังคงสอดคล้องกับข้อจำกัด

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้คำตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่แล้ว ต่อไปตรวจสอบดูว่าคำตอบที่ได้เหมาะสมหรือไม่ จากสมการ (0) จะเห็นได้ว่ายังมีสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่เป็นลบคือ สัมประสิทธิ์ของ X_1 เท่ากับ -3 แสดงว่ายังสามารถเพิ่มค่า Z ได้อีกโดยพิจารณาตัวแปรเข้าและตัวแปรออกใหม่ จะได้ว่าให้ X_1 เป็นตัวแปรเข้า s_3 เป็นตัวแปรออก ดังตารางที่ 2.7 เลขหลักคือ 3 ทำให้เลขหลักหรือสัมประสิทธิ์ของ X_1 ในแถว (3) หรือแถวหลักเป็น 1 โดยเอา 3 หาคงเหลือได้ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแถวหลักใหม่คือ

$$1 \quad 0 \quad | \quad 0 \quad -1/3 \quad 1/3 \quad | \quad 2$$

ตารางที่ 2.7 ตัวแปรเข้าคือ X_1 ตัวแปรออกคือ S_3

ตัวแปรมูลฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
← S_3	3	0	3	0	0	-1	1	6

ต่อไปทำให้สัมประสิทธิ์ของ X_1 ในแถวอื่นเป็น 0 ทั้งหมดโดยใช้สูตรในสมการดังนี้

แถว (0) เดิม	-3	0		0	5/2	0		30
(-3) x แถวหลักใหม่	-3	0		0	1	-1		-6
แถว (0) ใหม่	0	0		0	3/2	1		36

แถว (1) เดิม	1	0	1	0	0	4
(1) x แถวหลักใหม่	1	0	0	-1/3	1/3	2
แถว (1) ใหม่	0	0	1	1/3	-1/3	2

แถว (2) ใหม่คือแถว (2) เดิม เพราะสัมประสิทธิ์ X_1 เป็น 0 อยู่แล้ว ดังนั้นจะได้ตารางใหม่ ค่าตอบ
 มูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่ คือ $(X_1, X_2, S_1, S_2, S_3) = (2, 6, 2, 0, 0)$ ค่า $Z = 36$ เมื่อดูสัมประสิทธิ์ของ
 ตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐานในสมการ (0) จะได้เห็นว่าไม่มีสัมประสิทธิ์เป็นบวกทั้งหมด แสดงว่าการ
 กระทำซ้ำๆ นี้สิ้นสุดลง เพราะไม่สามารถหาตัวแปรเข้าและตัวแปรออกที่จะเพิ่มค่า Z ได้อีก ดังนั้น
 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้คือ $X_1 = 2, X_2 = 6, Z = 36$ สำหรับตารางซิมเพล็กซ์ที่
 สมบูรณ์ของปัญหานี้แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตารางซิมเพล็กซ์ที่สมบูรณ์ของปัญหานี้

ตัวแปรมูล ฐาน	สมการที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	0	0	0	3/2	1	36
S_1	1	0	0	0	1	1/3	-1/3	2
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
X_1	3	0	1	0	0	-1/3	1/3	2

บทที่ 3

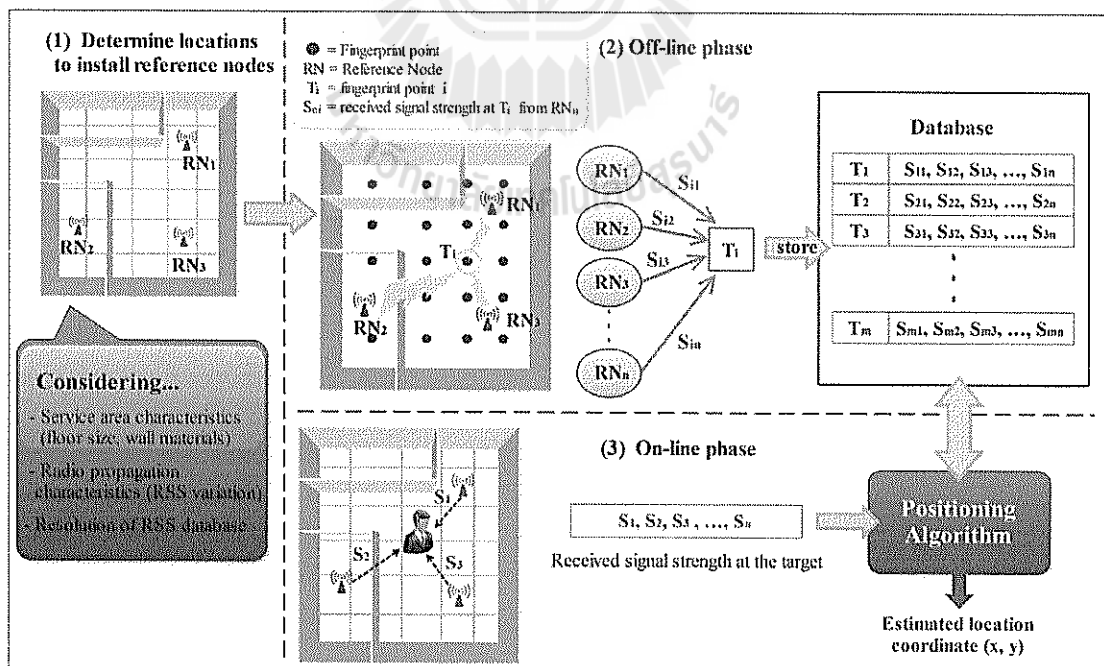
การพัฒนาการสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง

หลังจากที่ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารได้รับความสนใจมาก โดยที่ระบบระบุตำแหน่งนั้น ได้มีการนำมาใช้กับหลายๆ แอปพลิเคชันที่เกี่ยวกับการบริการของข้อมูลตำแหน่ง เช่น ใช้ในการติดตามบุคคล การตรวจจับตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล ใช้ในการวัดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่าง ๆ ในพื้นที่ที่สนใจ ใช้ในการตรวจจับสินค้าที่ใช้ในการขนส่งทางอุตสาหกรรม และยังเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับระบบนำทางภายในอาคารที่ยังมีความต้องการในพื้นที่สาธารณะขนาดใหญ่ เพื่อชี้ตำแหน่งที่ถูกต้องให้แก่ผู้ใช้ได้ เช่น ในพิพิธภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือภายในสนามบิน เป็นต้น ดังนั้นในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารให้มีสมรรถนะมากขึ้น จึงจำเป็นสำหรับผู้ใช้งานระบบ โดยที่เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารที่มีสมรรถนะ ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ได้แก่ หัวข้อที่ 3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร หัวข้อที่ 3.2 ปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิง หัวข้อที่ 3.3 การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่ง โหนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร หัวข้อที่ 3.4 การหาคำตอบสำหรับสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาขึ้น และ หัวข้อที่ 3.5 ความซับซ้อนของปัญหา (Problem Complexity)

3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จากการศึกษาโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ โครงสร้างของระบบจะประกอบไปด้วย โหนดอ้างอิงและ โหนดวัตถุ ซึ่งในการทำงานของระบบระบุตำแหน่งจะให้ โหนดวัตถุเป็นตัวที่ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณจาก โหนดอ้างอิงที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ต่างๆ ภายในอาคาร เมื่อ โหนดอ้างอิงได้รับข้อมูลการร้องขอ โหนดอ้างอิงจะทำการส่งค่าความเข้มของสัญญาณมายัง โหนดวัตถุ ซึ่ง โหนดวัตถุจะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้เพื่อใช้ในการประมวลผล จากนั้นผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณจาก โหนดวัตถุที่ โหนดอ้างอิงแต่ละตัวส่งมาลงในฐานข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการคำนวณหาตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุต่อไป ดังนั้นกระบวนการในการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคารด้วยวิธี

ฟิงเกอร์ปรีนท์ จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 จะเป็นกระบวนการในการหาตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับติดตั้งภายในพื้นที่ของอาคารที่เราต้องการใช้ สำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สาย โดยในกระบวนการนี้ผู้วิจัยได้มองเห็นถึงความสำคัญในกระบวนการนี้คือ ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้แก่ระบบระบุตำแหน่งได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นกระบวนการของการสร้างฐานข้อมูลหรือออฟไลน์เฟส (offline phase) ซึ่งในการทำงานขั้นตอนนี้จะเป็นช่วงของการเก็บสัญญาณ โดยจะทำการวัดสัญญาณค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิงที่ได้ทำการเลือกตำแหน่งติดตั้งไว้แล้วจากขั้นตอนที่ 1 จากหลายๆ ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบของบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่ง (grid point) ที่ต้องการเก็บสัญญาณให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่กำหนดเรียกว่า grid spacing จากนั้นค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล (data base) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อทำการประเมินหาตำแหน่งของวัตถุ ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ในขั้นตอนที่ 3 ต่อไป ด้วยการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้ขณะนั้น แล้วนำค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.1 โครงสร้างและกระบวนการสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

3.2 ปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง

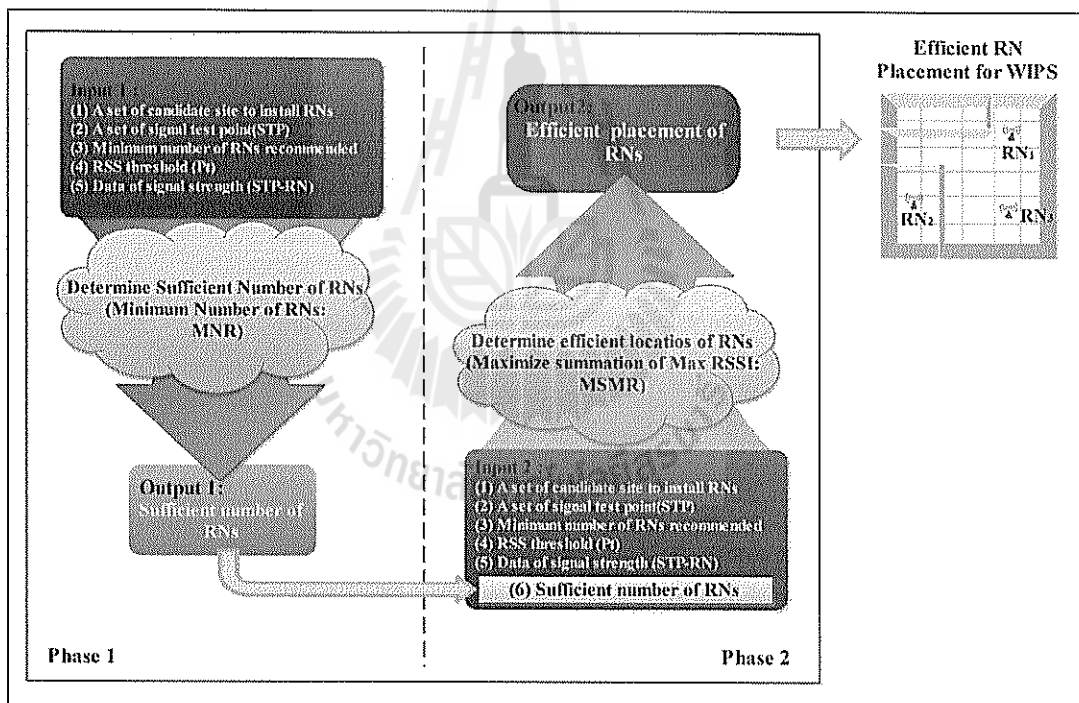
ในการกำหนดปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งเป็นการกำหนดปัญหาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และเป็นเทคนิคที่รู้จักอย่างแพร่หลายรวมไปถึงเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินการ (operation research) นำมาใช้ในการกำหนดปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งในงานวิจัยนี้ โดยการโปรแกรมเชิงเส้น (ประกอบ จิริกิตติ 2535) เป็นเทคนิคที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนออกแบบเพื่อจัดสรรปัจจัย หรือ ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้บรรลุถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเป้าหมายจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรตัดสินใจ เรียกว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของการหาค่าที่สูงที่สุด หรือค่าที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้น เป้าหมายของการโปรแกรมเชิงเส้นคือ เพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (optimal) เช่น กำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด การโปรแกรมเชิงเส้นนั้นเริ่มมีการคิดค้นในปี ค.ศ. 1947 ที่ได้ทำการพัฒนาปัญหาให้กลายเป็นความสัมพันธ์ของสมการคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเชิงเส้นตรง เรียกวิธีการนี้ว่า ซิมเพล็กซ์ (simplex) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาทางโปรแกรมเชิงเส้นที่มีสมรรถนะมาก และใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการของการหาค่าตอบด้วยการทำงานแบบซ้ำๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด เหตุผลหลักที่จำเป็นต้องใช้การโปรแกรมเชิงเส้นในการออกแบบปัญหาที่สนใจ เนื่องจากในการออกแบบปัญหาที่สนใจนั้น หากปัญหานั้นเป็นปัญหามิติเล็กที่มีตัวแปรจำนวนไม่มากนัก เราก็สามารถที่จะแก้ปัญหาโดยใช้การคำนวณมือในการหาค่าตอบที่ดีที่สุดได้ แต่สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง หรือมีจำนวนตัวแปรจำนวนมากนั้น เราก็ไม่สามารถที่จะใช้มือในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าตอบที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบเพื่อจำลองปัญหาหนึ่งๆ นั้น ขนาดของปัญหา ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะมีผลต่อการหาค่าตอบของปัญหาอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวช่วยในการพิจารณาปัญหาที่สนใจ โดยกำหนดปัญหาเป็นสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

สำหรับการกำหนดปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงของงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการกำหนดปัญหาเป็นการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารี (Binary Integer Linear Programming: BILP) ซึ่งจะประกอบไปด้วยสองส่วนสำคัญคือ สมการวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข โดยสมการวัตถุประสงค์ คือ สมการที่อยู่ในรูปของค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุด เป็นสิ่งที่เราต้องการหาคำตอบ และส่วนสมการเงื่อนไขนั้น เป็นสมการที่แสดงข้อจำกัดของปัจจัยต่าง ๆ โดยที่มีค่าของตัวแปรตัดสินใจ ที่อยู่ในสมการของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข จะมีค่าเพียงสองค่า คือ 0

หรือ 1 เท่านั้น โดยในการวางแผนการกำหนดปัญหาเพื่อกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเป็น 2 เฟสดังแสดงในรูปที่ 3.2

จากรูปที่ 3.2 ในการกำหนดปัญหาคือโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีนี้จากทั้ง 2 เฟส มีการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับแต่ละเฟสดังนี้ เฟสที่ 1 คือ ต้องการจำนวน โหนดอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายน้อยที่สุด (Minimize Number of RNs: MNR) ซึ่งในเฟสนี้ เราจำเป็นต้องทราบถึงจำนวนการใช้โหนดอ้างอิงที่ติดตั้งภายในเครือข่ายที่เพียงพอกับระบบมากที่สุดก่อน จากนั้นจึงใช้จำนวนของโหนดอ้างอิงที่เพียงพอแล้วนี้เป็นข้อจำกัดเพื่อใช้กับการแก้ปัญหาของการหาตำแหน่งในการวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดกับระบบในเฟสที่ 2 ต่อไป ซึ่งการกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นในเฟสที่ 1 จะมีสมการเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดเพื่อให้สมการวัตถุประสงค์เกิดขึ้นนั้นได้แก่ เงื่อนไขการกำหนดจำนวนของสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงจากจุดทดสอบสัญญาณซึ่งอยู่ทั่วบริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงอย่างน้อย N_R โหนด ซึ่งได้อ้างอิงมาจากงานวิจัย Kaemarungsi, K. (2005) ที่ได้มีการศึกษาพารามิเตอร์ที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น จึงได้พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับปรับปรุงสมรรถนะสำหรับระบบระบุตำแหน่ง โดยที่พารามิเตอร์ค่าหนึ่งที่เป็นค่าการ ได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงจากแต่ละบริเวณทั่วทั้งภายในอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่จุดทดสอบสัญญาณในแต่ละบริเวณของพื้นที่จะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงอย่างน้อย 4 โหนด ($N_R=4$) ที่สามารถทำให้มีคุณภาพสัญญาณที่ครอบคลุมและช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งได้ เงื่อนไขถัดมาคือ เงื่อนไขในการกำหนดจำนวนโหนดอ้างอิงให้มีอย่างน้อย N_R โหนด และเงื่อนไขสำหรับตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจาก โหนดอ้างอิงได้เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold) และถัดไปในเฟสที่ 2 มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาค่าผลรวมของค่าความแรงสัญญาณมากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจาก โหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งแล้วมีค่ามากที่สุด (Maximum Summation of Max RSSI : MSMR)เนื่องจากความค่าแรงของสัญญาณเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุในกระบวนการของการหาตำแหน่ง ซึ่งความแปรปรวนของระดับค่าความแรงของสัญญาณจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งได้ จากงานวิจัยอ้างอิงของ Baala, O., B., Zheng, Y., and Caminada, A. (2009) นั้นได้บอกถึงค่ากำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยจากโหนดอ้างอิงสามารถส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งได้ ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณจากค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ที่ดีก็จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของการระบุตำแหน่งวัตถุได้ และสำหรับสมการเงื่อนไขสำหรับวัตถุประสงค์สำหรับเฟสที่ 2 นี้ ได้แก่ เงื่อนไขในการกำหนดพื้นที่ครอบคลุมในเครือข่าย นั่นคือ จำนวนโหนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในเครือข่ายจะต้องมีเท่ากับจำนวน โหนดอ้างอิงที่

เพียงพอสำหรับระบบ ซึ่งได้มาจากคำตอบจากเฟสที่ 1 และตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงที่ได้ถูกติดตั้งไว้แล้วในเครือข่าย และตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงได้อย่างน้อย N_R โหนด และเงื่อนไขเงื่อนไขการรับประกันการสื่อสารระหว่างโหนดวัตถุหรือโหนดที่ทำการทดสอบสัญญาณกับโหนดอ้างอิง นั่นคือตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิงได้เมื่อมีระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เช่นเดียวกันกับการแก้ปัญหาสำหรับเฟสที่ 1 ซึ่งคำตอบเข้าชุดที่ได้จากกระบวนการที่สองนี้จะให้ผลของตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของระบบที่เราสนใจ จากนั้นเมื่อได้กำหนดปัญหาเหล่านี้แล้ว ถัดไปเป็นการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงดังกล่าว ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3



รูปที่ 3.2 กระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิง

3.3 การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งโนด

อ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้มีการกำหนดปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นในหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งในกระบวนการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นไปนารีนั้น ในกรณีของการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในเฟสที่ 1 ของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในคือต้องการจำนวนโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายน้อยที่สุด โดยในการออกแบบสมการคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการนั้น ต้องมีเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดคือ เงื่อนไขการกำหนดจำนวนของสัญญาณที่ได้รับจากโนดอ้างอิงจากจุดทดสอบสัญญาณในแต่ละบริเวณของอาคารจะต้องมีอย่างน้อย N_R โนด เงื่อนไขในการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงให้มีอย่างน้อย N_R โนด เงื่อนไขสำหรับตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold) ซึ่งการประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นไปนารีทำให้การออกแบบระบบนั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ต่อไปจะเป็นการนิยามตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในสมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งได้แบ่งตัวแปรต่างๆเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มของตัวแปรเซต กลุ่มของตัวแปรตัดสินใจ และกลุ่มของตัวแปรค่าคงที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เซตของตัวแปร :

R คือ เซตของตำแหน่งโนดอ้างอิงที่สามารถติดตั้งในเครือข่ายได้

T คือ เซตของตำแหน่งที่เป็นจุดทดสอบสัญญาณ

ตัวแปรตัดสินใจ :

c_j คือ ตัวแปรตัดสินใจที่จะเลือกติดตั้งโนดอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง j หรือ มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง j โดยที่ $j \in R$

S_{ij} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อจุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i เลือกรับสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง j และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อจุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i ไม่เลือกรับสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง j โดยที่ $i \in T, j \in R$

ตัวแปรค่าคงที่ :

P_{ij} คือ ค่าความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i รับได้จากโนดอ้างอิงที่ตำแหน่ง j โดยที่ $i \in T, j \in R$ (dBm)

P_T คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้สามารถได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ (dBm)

N_R คือ จำนวนโนดอ้างอิงที่จุดทดสอบสัญญาณสามารถรับสัญญาณได้ (จากงานวิจัย Kamol, K. (2005) แนะนำให้มีอย่างน้อย 4 โหนด)

N_{MNR} คือ จำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ได้จากเฟสที่ 1 (MNR)

ซึ่งในการกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น ไบนารี ในงานวิจัยนี้ จะมีตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็นตัวเลข 0 หรือ 1 เท่านั้น มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรตัดสินใจที่จะเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงในเครือข่าย และแปรตัดสินใจที่เลือกเมื่อมีการติดต่อกันหรือมีการรับส่งสัญญาณระหว่างจุดทดสอบสัญญาณกับโนดอ้างอิง และสำหรับอีกส่วนที่สำคัญของการโปรแกรมเชิงเส้น ไบนารี คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข สำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการโปรแกรมเชิงเส้นนั้น เลขชี้กำลังของตัวแปรต้องมีค่าเป็น 1 สำหรับสมการเงื่อนไขนั้น ต้องเป็นสมการ หรืออสมการเชิงเส้นเท่านั้น ซึ่งในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารในงานวิจัยนี้ สามารถแสดงได้ดังนี้

3.3.1 สมการคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

สำหรับการกำหนดปัญหาสำหรับการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถแปลงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขได้ดังนี้

3.3.1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

จากวัตถุประสงค์สำหรับการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารนี้ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจำนวนโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายน้อยที่สุด (Minimum Number of Reference Nodes: MNR) หรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MNR ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Minimize } \sum_{\forall j \in R} c_j \quad (3.1)$$

3.3.1.2 สมการเงื่อนไข

ซึ่งเป็นสมการที่เป็นข้อจำกัดที่เกี่ยวกับปัญหาออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสำหรับงานวิจัย เพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการนั้น ซึ่งประกอบไปด้วย 4 เงื่อนไขดังนี้

1. เงื่อนไขสำหรับการรับประกันคุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคาร ของการรับสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณกับ โหนดอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณ i จะได้รับสัญญาณจาก โหนดอ้างอิง j ได้ เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับได้จากโหนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

$$S_{ij}(P_{ij} - P_T) \geq 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (3.2)$$

2. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนของสัญญาณที่ตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i ซึ่งอยู่ทั่วบริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจาก โหนดอ้างอิง j อย่างน้อย N_R โหนด

$$\sum_{\forall j \in R} S_{ij} \geq N_R \quad \forall i \in T \quad (3.3)$$

3. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนโหนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในภายในอาคารสำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีอย่างน้อย N_R โหนด

$$\sum_{\forall j \in R} c_j \geq N_R \quad (3.4)$$

4. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดการได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i จะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง j ที่ได้ถูกเลือกติดตั้งไว้ในระบบ

$$S_{ij} \leq c_j \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (3.5)$$

โดยค่าความแรงสัญญาณที่รับได้นั้น จะต้องมีค่ามากกว่าค่าความแรงของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้สามารถติดต่อกับ โหนดอ้างอิงได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความแรงสัญญาณนี้จากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) ตามสมการที่ (2.4) ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2

3.3.2 สมการคณิตศาสตร์ในการกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในเฟสที่ 1 นั้น ผลของคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาคือจำนวนของ โหนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในบริเวณภายในอาคารที่จะให้บริการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งได้นำคำตอบของจำนวนโหนดอ้างอิงที่เพียงพอนี้ เป็นเงื่อนไขสำหรับการแก้ปัญหาเพื่อหาตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่จะอยู่ในเฟสที่ 2 ซึ่งสามารถเขียนรูปของในสมการคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขดังต่อไปนี้ โดยที่ในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์นี้จะต้องมีการใช้ตัวแปรต่างๆ ซึ่งได้มีคำนิยามตัวแปรเช่นเดียวกันกับเฟสที่ 1

3.3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สำหรับวัตถุประสงค์ในเฟสที่ 2 ที่ต้องการหาตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ต้องการให้ได้ค่าที่มากที่สุดของผลรวมของค่าความแรงสัญญาณสูงสุดที่จุดทดสอบสัญญาณได้รับจากโหนดอ้างอิงในระบบ (Maximize Summation of Max RSS: MSMR) หรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Maximize} \quad \sum_{V_i \in T} \max_{V_j \in R} (S_{ij} P_{ij}) \quad (3.6)$$

3.3.2.2 สมการเงื่อนไข

จากการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ มีเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดที่เกี่ยวกับปัญหาออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับงานวิจัย เพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการนั้น ซึ่งมีทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยมีเงื่อนไขที่ (3.2) (3.3) และ (3.5) เช่นเดียวกับเฟสที่ 1 และเพิ่มเงื่อนไขการกำหนดจำนวนโหนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในอาคารสำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนโหนดอ้างอิงที่เพียงพอที่ได้จากคำตอบในเฟสที่ 1 (N_{MNR}) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{j \in R} c_j = N_{MNR} \quad (3.7)$$

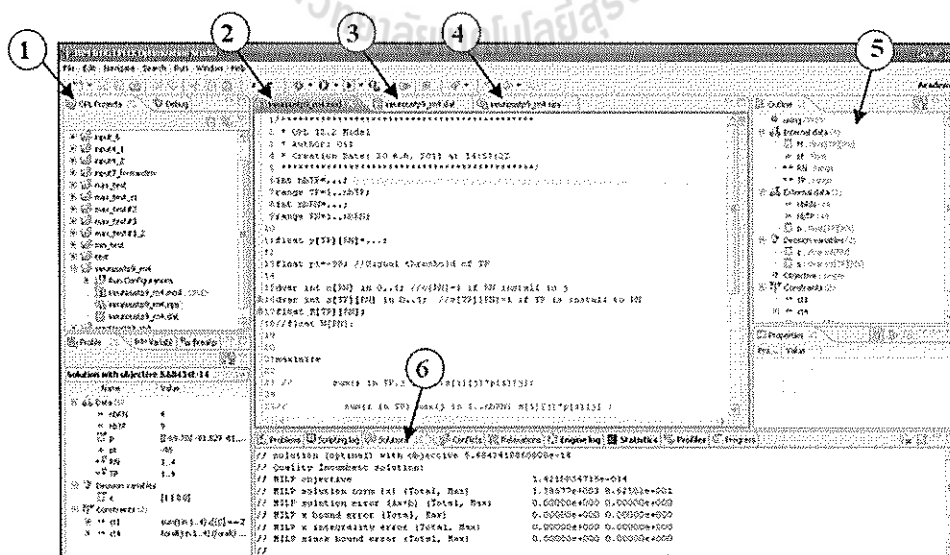
ในบทที่ 4 จะแสดงการทดสอบสมการคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ก่อนที่จะสรุปมาเป็นกระบวนการในการกำหนดตำแหน่งวาง โนคอ้างอิงทั้ง 2 เฟสนี้

3.4 การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา

สำหรับกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาในการกำหนดตำแหน่ง โนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วิธีในการค้นหาคำตอบ 2 วิธี คือวิธีการค้นหาคำตอบด้วยการใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio และการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการค้นหาคำตอบของปัญหาคำตอบด้วยวิธีดังกล่าว ได้กล่าวในหัวข้อย่อยดังนี้

3.4.1 การหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX

สำหรับการแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถแปลงสมการคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบไว้ให้กลายเป็นภาษาของโปรแกรมได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และนิยมใช้ในงานวิจัยการโปรแกรมเชิงเส้นอย่างแพร่หลาย โดยโปรแกรมนี้จะใช้อัลกอริทึมซิมเพล็กซ์ (simplex algorithms) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในการเลือกติดตั้งจำนวน โนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ โดยหน้าต่างของโปรแกรม ILOG OPL IDE จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

1. หมายเลข 1 (opl project) แสดงไฟล์โครงการ (project) ที่เปิดอยู่ สำหรับการคำนวณหาคำตอบแต่ละครั้งจำเป็นต้องมีไฟล์ครบทั้ง 3 ไฟล์ ประกอบไปด้วย โมเดลไฟล์ (*.mod) คำตัดไฟล์ (*.dat) และเซตตั้งไฟล์ (*.ops)

2. หมายเลข 2 (model file editing area) แสดงหน้าต่างสำหรับใส่คำสั่งที่ใช้คำนวณหาค่าที่ดีที่สุด โดยคำสั่งเหล่านี้ได้ทำการแปลงมาจากสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารี ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข

3. หมายเลข 3 (data file editing area) แสดงหน้าต่างสำหรับใส่ข้อมูลที่เป็นตัวแปร ทั้งที่อยู่ในรูปของตัวแปรค่าเดียวและในรูปของเมทริกซ์ (matrix) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเรียกใช้ในการคำนวณโดยคำสั่งในโมเดลไฟล์

4. หมายเลข 4 (setting file editing area) แสดงหน้าต่างสำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์เพื่อคำนวณคำตอบที่ดีที่สุดให้โครงการ เช่น การจำกัดเพดานของเวลาและหน่วยความจำ (memory) ที่ใช้ในการคำนวณ จำนวนการวนซ้ำ (iteration) ของขั้นตอนวิธีแบบซิมเพล็กซ์และจัดการเกี่ยวกับข้อมูลล็อก (log data) ที่ได้จากการคำนวณ

5. หมายเลข 5 (outline view) แสดงโครงสร้างของข้อมูลที่อยู่ในหน้าต่างของโมเดลไฟล์ คำตัดไฟล์และเซตตั้งไฟล์ จัดเรียงข้อมูลให้แสดงในรูปแบบรายการเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและค้นหา

6. หมายเลข 6 (solutions log area) แสดงคำตอบที่โปรแกรมทำการคำนวณพบและพิจารณาว่าน่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดได้ (feasible solution) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกไว้เรื่อยๆ จนกระทั่งโปรแกรมทำการคำนวณพบคำตอบที่ดีที่สุด (final solution)

คำสั่งของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio ที่แสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 นั้นเป็นการแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 1 และสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งได้ทำการแปลงเป็นภาษาของโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ตารางที่ 3.1 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีสำหรับ
วัตถุประสงค์ MNR เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization
Studio

วัตถุประสงค์ MNR	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
ตัวแปรตัดสินใจ	//Decision Variable
c_j	dvar int c[RN] in 0..1;
S_{ij}	dvar int s[TP][RN] in 0..1;
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	//Objective function
สมการ(3.1)	Minimize sum(j in RN)c[j];
เงื่อนไข	subject to {
สมการ(3.2)	ct4: forall(j in RN) forall (i in TP) s[i][j]*(p[i][j]-pt)>=0;
สมการ(3.3)	ct3: forall (i in TP) sum (j in RN) s[i][j]>=N _R ;
สมการ(3.4)	ct1: sum(j in RN) c[j] >= N _R ;
สมการ(3.5)	ct2: forall(j in RN) forall (i in TP) s[i][j]<=c[j];

ตารางที่ 3.2 การแปลงสมการทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีสำหรับ
วัตถุประสงค์ MSR เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization
Studio

วัตถุประสงค์ MSR	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
ตัวแปรตัดสินใจ	//Decision Variable
c_j	dvar int c[RN] in 0..1;
S_{ij}	dvar int s[TP][RN] in 0..1;
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	//Objective function
สมการ(4.6)	Maximize sum(i in TP,j in RN)s[i][j]*p[i][j];
เงื่อนไข	subject to {
สมการ(3.7)	ct1: sum(j in RN) c[j] == N _{MNR} ;
สมการ(3.3)	ct3: forall (i in TP) sum (j in RN) s[i][j]>=NR;
สมการ(3.4)	ct1: sum(j in RN) c[j] >= NR;
สมการ(3.5)	ct2: forall(j in RN) forall (i in TP) s[i][j]<=c[j];

จากการที่ได้อธิบายรายละเอียดของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio มาพอสังเขป กล่าวได้ว่าโปรแกรมนี้ถือว่าเป็นเครื่องมือช่วยในการหาผลเฉลยที่ใช้งานง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการหาคำตอบของงานวิจัยได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานสามารถศึกษารายละเอียด เพื่อทำความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับหลักการและกระบวนการใช้งานอย่างละเอียด ในคู่มือสำหรับอ้างอิงจาก <http://www.ibm.com> โดยจะต้องศึกษาการแปลงสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นให้กลายเป็นภาษาของโปรแกรม ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบสามส่วน คือ ตัวแปร ตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข เพื่อให้สามารถใช้งาน โปรแกรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

จากการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบการ โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ILOG OPL IDE โดยมี IBM ILOG CPLEX Optimization Studio เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบและใช้คอมพิวเตอร์รุ่น Intel Centrino Duo Processor 1.60 GHz ขนาด 2 GB RAM ในการประมวลผล ส่วนเครื่องมือที่ใช้ช่วยวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวางแผนเครือข่ายคือ โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานมีประสิทธิภาพและนิยมอย่างแพร่หลาย

3.4.2 การหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (heuristic algorithm)

จากวิธีฮิวริสติก (heuristic algorithm) เป็นวิธีการค้นหาโดยพยายามหาหลักเกณฑ์เพื่อที่จะนำมาใช้ในขบวนการค้นหา และลดปริมาณการคำนวณให้น้อยลง วิธีฮิวริสติกเป็นการใช้กฎในการตัดสินใจที่พิจารณาว่าปัญหาหนึ่งๆ ควรจะถูกแก้อย่างไร โดยฮิวริสติกจะทำการวิเคราะห์ปัญหาอย่างมีระเบียบและเป็นขั้นตอน ซึ่งการค้นหาด้วยวิธีนี้จะถูกทำซ้ำๆ จนกระทั่งพบทางแก้ปัญหาที่น่าพอใจ ในทางปฏิบัติการค้นหาแบบนี้จะเร็วและ ถูกกว่าแบบเดา และทางแก้ปัญหาก็ได้จะใกล้เคียงทางแก้ที่ดีที่สุดมากกว่า ดังนั้นวิธีการนี้จึงใช้สำหรับหาคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน เมื่อปัญหานั้นไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่นแล้ว ระบบที่มีการใช้ วิธีฮิวริสติก ได้แก่ ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System : ES) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent :AI) ใช้กับการวิเคราะห์ที่ต้องการคุณภาพ ส่วนลักษณะของการเขียน โปรแกรมโดยใช้วิธีฮิวริสติกนี้จะเป็นวิธีในการค้นหา (search) ซึ่งเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่เป็นที่น่าพอใจ ทำงานได้เร็วและใช้เวลาน้อย ทำการค้นหากฎ (Rule) ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ได้ เป็นแนวทางที่ดีพอสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ข้อดีของวิธีฮิวริสติก ก็คือ เป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าใจ ง่ายในการสร้างระบบและการแปลความหมาย ประหยัดเวลา เพราะไม่ต้องใช้สูตรคำนวณที่มากเกินไป และแบบจำลองสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ได้ และในส่วนข้อจำกัดวิธีฮิวริสติกก็คือ จะไม่รับประกันว่าเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เป็นวิธีที่ค่อนข้างมีกฎเกณฑ์และข้อยกเว้นมากมาย

ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการใช้วิธีฮิวริสติกมากมาย เช่น วิธีการค้นหาแบบตาบู่ (tabu search algorithm) จินเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) และ อัลกอริทึมการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing algorithm : SA) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการหาตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 นี้โดยใช้อัลกอริทึมการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นกลวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมมาก ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด (combinatorial optimization problem) โดยอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลองนี้เป็นกลวิธีการค้นหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (local search) ซึ่งมีกระบวนการทำงานแบบวนซ้ำ (iterative) เพื่อค้นผลเฉลยในปริภูมิผลเฉลยไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่พอใจ โดยเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้น ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลองนั้นจะล้อเลียนอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการอบอ่อน (annealing) ซึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมโลหะเพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (เพื่อให้ได้โลหะที่เหนียว ไม่เปราะ) โดยมีการควบคุมอุณหภูมิของการอบอ่อนเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์การค้นหา คำตอบของระบบนั่นเอง

ซึ่งในกรณีที่น่าอัลกอริทึมการอบอ่อนจำลองนี้มาแก้ปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ จะเปรียบตำแหน่งของการวาง โหนดอ้างอิงที่ทำการติดตั้งไว้แล้วในปัจจุบันเสมือนกับเป็นสถานะปัจจุบันของโครงสร้างโลหะในระบบ เปรียบผลรวมของค่าความแรงสัญญาณที่มากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งเสมือนพลังงานของโครงสร้างของโลหะ และเปรียบเทียบการทำงานแบบวนซ้ำเสมือนกับการค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ ระหว่างการอบอ่อน ในวงวนการทำงานนั้นจะประกอบด้วยการสร้างคำตอบของตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงใหม่โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางในปัจจุบัน จากนั้นตัดสินใจว่าจะยอมรับตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงใหม่ที่หาได้หรือไม่ ซึ่งเปรียบเสมือนกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโลหะระหว่างการอบอ่อน ประเด็นสำคัญก็อยู่ที่ตรงที่เกณฑ์การยอมรับตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงใหม่นี้ว่าจะตัดสินใจอย่างไร ตรงนี้เองที่อาศัยความรู้จากกระบวนการทางฟิสิกส์ระหว่างการอบอ่อน ซึ่งจะยอมรับโครงสร้างใหม่เสมอถ้าดีกว่า แต่ถ้าเลวลง ก็อาจจะยอมรับภายใต้ความน่าจะเป็นซึ่งมีค่าแปรตามอุณหภูมิตั้งแต่ในรูปแบบ $e^{-dE/kT}$ โดยที่ dE คือพลังงานที่เปลี่ยนแปลง k คือค่าคงตัวของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann) และ T คืออุณหภูมิปัจจุบันของการอบอ่อน สำหรับกรณีปัญหาในงานวิจัยนี้ ก็หมายความว่า จะยอมรับตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงใหม่ที่หาได้เสมอ ถ้าตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงใหม่นั้นให้ค่าผลรวมของค่าความแรงสัญญาณที่มากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งมีค่ามากกว่า แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าเราจะยอมรับภายใต้ความน่าจะเป็น ในลักษณะเดียวกัน ตรงนี้ตีความได้ว่าเรายอมรับตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงที่ให้ค่าผลรวมของค่าความแรง

สัญญาณที่มากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโนคอ้างอิงที่ถูกติดตั้งมีค่าน้อยกว่าได้ง่าย ในระยะแรกของการวนซ้ำ (เมื่ออุณหภูมิสูง) แต่จะยอมรับตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงที่ให้ค่าผลรวมของค่าความแรงสัญญาณที่มากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโนคอ้างอิงที่ถูกติดตั้งมีค่าน้อยกว่ามากขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุณหภูมิลดลง และยอมรับตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงที่ให้ค่าผลรวมที่มีค่าน้อยกว่าน้อยได้ง่ายกว่าที่ให้ค่าผลรวมน้อยกว่ามาก การวนซ้ำจะสิ้นสุดเมื่อถึงอุณหภูมิเย็น ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของขั้นตอนวิธีการค้นหาครั้งนี้

3.4.2.1 รูปแบบของคำตอบที่ต้องการค้นหา

สำหรับรูปแบบของคำตอบที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ จะเป็นชุดของตัวเลขซึ่งแต่ละหลักจะเป็นเลข 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งตัวเลขแต่ละหลักจะแสดงถึงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งโนคอ้างอิงได้ โดยที่ในแต่ละหลักถ้าแสดงตัวเลข 1 จะหมายถึงเลือกติดตั้งโนคอ้างอิงในตำแหน่งนั้น ถ้าแสดงตัวเลข 0 จะหมายถึงไม่เลือกติดตั้งในตำแหน่งนั้น ซึ่งแสดงตัวอย่างดังสมการที่ (3.8)

$$c_j = 0110011000010001011\dots \quad (3.8)$$

3.5.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ต้องการให้ได้ค่าผลรวมของค่าความแรงสัญญาณมากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโนคอ้างอิงที่ถูกติดตั้งแล้วมีค่ามากที่สุด (Maximize Summation of Max RSSI: MSMR) ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์จากสมการที่ (3.9) ดังนี้

$$\text{Maximize } f(p) = \sum_{i \in T} \max_{j \in R} (S_{ij} P_{ij}) \quad (3.9)$$

เมื่อ $f(p)$ คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์

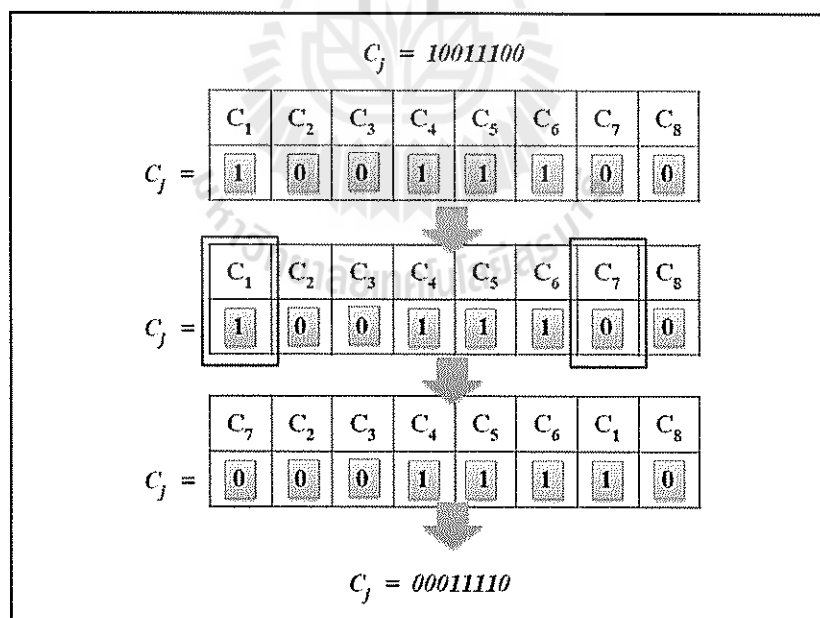
S_{ij} คือตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ จุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i ได้รับสัญญาณจากหรือได้ติดต่อกับโนคอ้างอิงที่ตำแหน่ง j และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อจุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i ไม่ได้รับสัญญาณจากหรือไม่ได้ติดต่อกับโนคอ้างอิงที่ตำแหน่ง j โดยที่ $i \in T, j \in R$

P_{ij} คือ ค่าความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง i รับได้จากโนคอ้างอิงที่ตำแหน่ง j โดยที่ $i \in T, j \in R$ (dBm)

โดยค่าความแรงสัญญาณที่รับได้นั้น จะต้องมีค่ามากกว่าค่าความแรงของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้สามารถติดต่อกับโนดอ้างอิงได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความแรงสัญญาณนี้จากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) ตามสมการที่ (2.4) ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยที่ในการทดลองนี้ได้มีการพิจารณาสิ่งกีดขวางภายในอาคารเพื่อต้องการให้การคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการวัดในพื้นที่ของการทดลอง เป็นค่าอินพุตเพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหาในการวางตำแหน่งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

3.4.2.3 ตัวกำเนิดสุ่ม (random generator)

ตัวกำเนิดสุ่มหรือตัวปฏิบัติการค้นหาสำหรับทำการ เดิน (move) คำตอบของระบบไปยังคำตอบใหม่ ซึ่งตัวกำเนิดสุ่มในงานวิจัยนี้จะหมายถึงการสร้างค่าใกล้เคียง (neighbor) กับค่าเริ่มต้น ที่สามารถกำหนดโดยผู้ออกแบบระบบเอง โดยขั้นตอนการสร้าง neighbor solution ของงานวิจัยนี้คือ เป็นการสุ่มตำแหน่ง (สุ่มหลัก) ของคำตอบในปัจจุบันจำนวน 2 หลัก ที่มีตัวเลขไม่ซ้ำกัน จากนั้นทำการสลับตำแหน่งกันโดยที่ คำตอบใหม่ที่ได้จะไม่ซ้ำกับคำตอบปัจจุบัน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การสร้าง neighbor solution

3.4.2.4 ตารางจัดการการอบอ่อน (annealing schedule)

ในความเป็นจริงแล้ว ประสิทธิภาพของ SA จะขึ้นอยู่กับตารางจัดการการอบอ่อน (สำหรับพารามิเตอร์อุณหภูมิ T) ตารางจัดการการอบอ่อนจะเป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่หรือ move ของคำตอบของระบบในระหว่างการค้นหา หลักในการเลือกตารางจัดการการอบอ่อนที่เหมาะสมคือ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของระบบควรสูงพอที่จะหลอมละลายระบบอย่างสมบูรณ์และในระหว่างขั้นตอนการค้นหาควรมีค่าลดลงไปจนถึงจุดเยือกแข็ง การเลือกตารางจัดการการอบอ่อนจึงค่อนข้างเป็นงานศิลปะ ถ้าระบบถูกลดอุณหภูมิลงเร็วเกินไป การลู่เข้าสู่คำตอบอาจจะเร็วเกินไปด้วย ทำให้ระบบลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimal) ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบมีอุณหภูมิลดลงช้าเกินไป จะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากเกินไปด้วยเช่นกัน สำหรับพารามิเตอร์อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$T = T_0 e^{(-0.9)^k} \quad (3.10)$$

โดยที่

k คือ ฟังก์ชันการลดอุณหภูมิ

T_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 100

3.4.2.5 รหัสเทียม (pseudo code)

Begin

Select an initial solution S_0 ;

Select an initial temperature $T_0 > 100$;

Select a temperature reduction function k ;

Repeat

Repeat WHILE check = no;

Randomly $S_0 \in (S_0 = \text{random in } 110 \text{ bit})$ at bit '1' equal number of N_{NMR}
and at bit '0' equal $(110 - N_{NMR})$;

if S_0 in all condition;

then Evaluate S_0 in objective MSMR;

check = yes;

Endif

End repeat

```

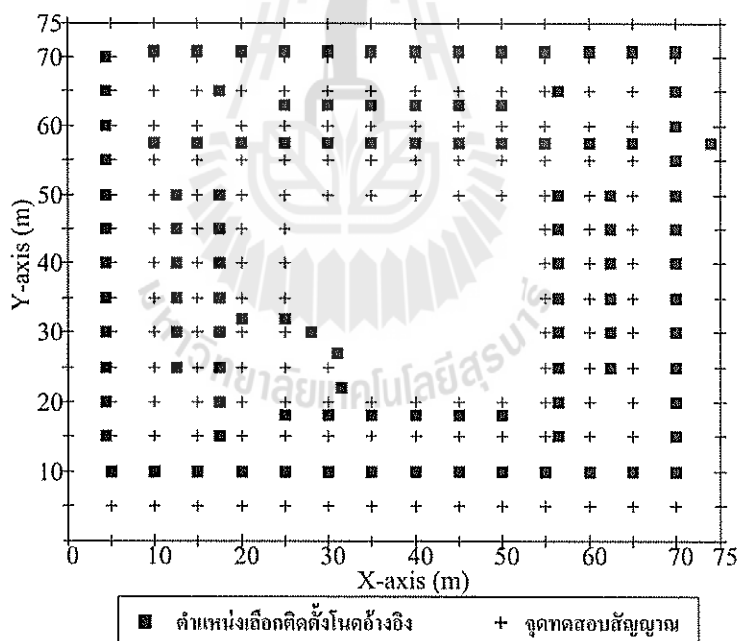
Repeat WHILE iteration count  $M < 1000$ 
    Repeat for loop 1 to 10
        generate  $N(S_0)$ , to swap in 2 bit of  $S_0$  are new  $S_0$ ;
        if  $N(S_0)(n)$  in all condition;
        then  $N_{S_0}(n) = N(S_0)(n)$ ;
        Endif
    Endfor
Randomly select  $S \in N_{S0}$ ;
 $\Delta E = f(S_0) - f(S)$ ;
if  $\Delta E < 0$ ;
then  $S_0 = S$ ;
     $f_{S_0} = f_S$ ;
    if  $f_S > f_{max}$ ;
    then  $f_{max} = f_S$ ;
         $M = 0$ ;
    else  $M = M + 1$ ;
    Endif
else
generate random 'x' uniformly in (0,1);
if  $x < e^{(-\Delta E/t)}$ ;
Then  $S_0 = S$ ;
     $f_{S_0} = f_S$ ;
     $M = M + 1$ ;
    Endif
Endif
End repeat
Set  $t = 100 e^{(-0.9)^k}$ ;
End repeat
End repeat,  $S_0$  is the approximation to optimal solution

```

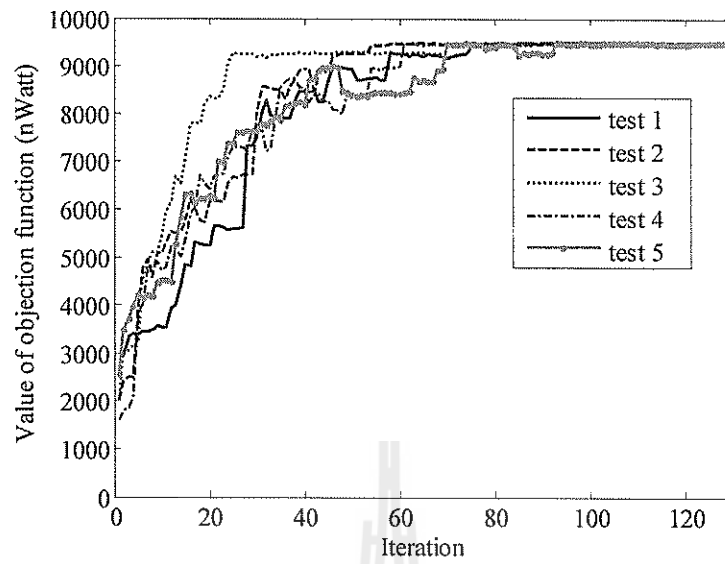
END

3.4.2.6 ผลการค้นหาคำตอบ

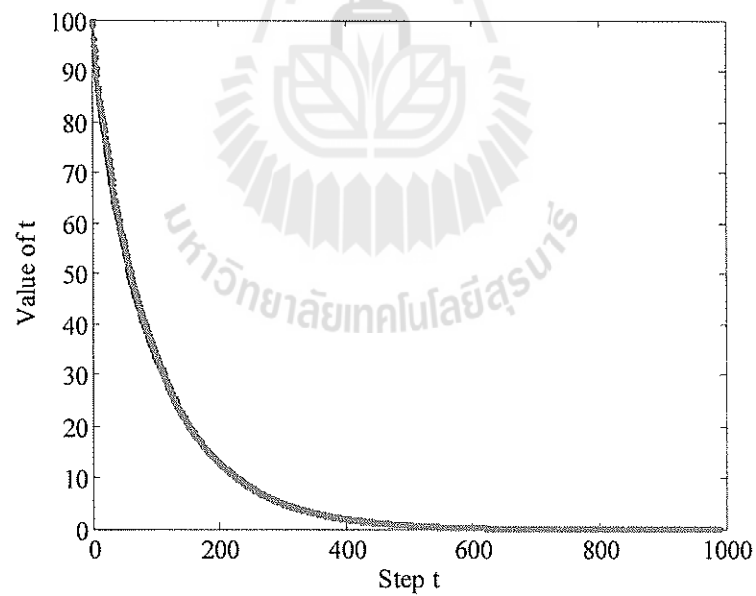
จากนั้นได้ทำการค้นหาคำตอบด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ง่ายมีประสิทธิภาพและนิยมอย่างแพร่หลาย โดยได้ทำการทดลองสุ่มค่าเริ่มต้นทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบผลการค้นหาคำตอบ โดยเราได้กำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งโนดอ้างอิงดังรูปที่ 3.5 ที่แสดงด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน มีจำนวนทั้งหมด 110 ตำแหน่ง ในพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ที่มีขนาดของพื้นที่เท่ากับ 75x75 ตารางเมตร และได้กำหนดตำแหน่งทดสอบสัญญาณที่แสดงด้วยเครื่องหมายบวกสีดั่งรูปที่ 3.5 มีระยะห่างของกริดเท่ากับ 5 เมตร และผลในการค้นหาคำตอบเพื่อหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดทั้งหมด 5 ครั้งจะแสดงผลดังกราฟในรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงถึงการค้นหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยจะเห็นว่าค่าสูงสุดของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (ตามวัตถุประสงค์ MSMR) จะได้อันดับสูงสุดอยู่ที่ 9,495.14 นาโนวัตต์ และในรูปที่ 3.7 ที่แสดงผลของค่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์ที่มีการลดลงในแบบ non-linear function ซึ่งผลจากการค้นหาคำตอบจะแสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งที่สามารถติดตั้ง โนดอ้างอิงได้



รูปที่ 3.6 การค้นหาค่าตอบของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด ทั้งหมด 5 ครั้ง

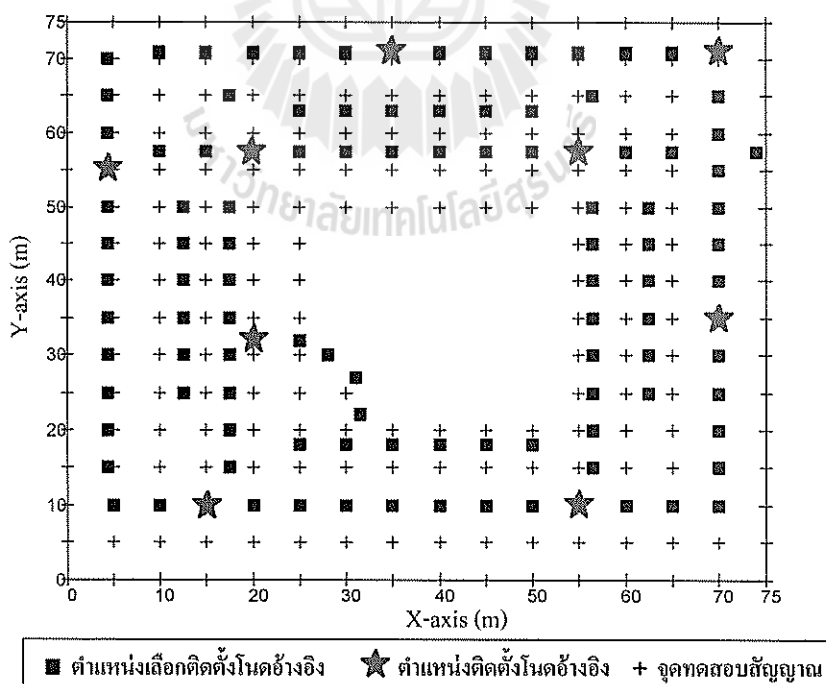


รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันการลดลงของอุณหภูมิ ทั้งหมด 5 ครั้ง

ตารางที่ 3.3 ผลจากการค้นหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมการอบอุ่นจำลอง

ครั้งที่	ตำแหน่งติดตั้ง	คำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (nWatt)
1	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14
2	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14
3	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14
4	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14
5	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14
ค่าที่ดีที่สุด	C3, C11, C23,C32, C39, C46, C68, C75, C106	9,495.14

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เลือกติดตั้ง โหนดอ้างอิงที่ตำแหน่งที่ 3, 11, 23, 32, 39, 46, 68, 75 และ 106 ทำให้ได้ค่าที่ตรงตามวัตถุประสงค์มากที่สุด คือได้ค่าผลรวมของค่าความแรงสัญญาณมากที่สุดจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจาก โหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งแล้วมีค่ามากที่สุด ซึ่งตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ตามวัตถุประสงค์นี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผลจากการหาคำตอบของวัตถุประสงค์ MSMR โดยใช้อัลกอริทึม SA

3.5 การคำนวณความซับซ้อนของปัญหา (Problem Complexity)

จากการคำนวณความซับซ้อนของปัญหานั้นจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาจากขนาดของปัญหา (problem size) จากปัญหาในงานวิจัยนี้คือต้องการหาจำนวนและตำแหน่งสำหรับวาง โหนดอ้างอิงในพื้นที่สี่เหลี่ยมที่เราสสนใจ โดยที่กระบวนการในการหาคำตอบของปัญหาการกำหนดตำแหน่ง โหนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 เฟสดังนี้

เฟสที่ 1 เป็นกระบวนการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหาจำนวน โหนดอ้างอิงที่น้อยที่สุดที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งภายในสี่เหลี่ยมที่เราสสนใจ โดยจะเรียกเฟสที่ 1 นี้ว่า MNR (Minimize Number of References) ซึ่งมีสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตามสมการที่ (3.1) และสมการเงื่อนไขที่ประกอบด้วย 4 เงื่อนไข ตามสมการที่ (3.2) (3.3) (3.4) และ (3.5) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.1 โดยที่ในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์นี้จะต้องมีการใช้ตัวแปรต่างๆ ซึ่งได้มีคำนิยามตัวแปรไว้แล้วเช่นกันในหัวข้อที่ 3.3

ในการค้นหาคำตอบในเฟสที่ 1 นี้ ผลของคำตอบที่ได้คือจำนวนของ โหนดอ้างอิงที่เพียงพอ สำหรับติดตั้งในบริเวณภายในอาคารที่จะให้บริการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยได้นำคำตอบของจำนวน โหนดอ้างอิงที่เพียงพอนี้ เป็นเงื่อนไขสำหรับการแก้ปัญหาเพื่อหาตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่จะอยู่ในเฟสที่ 2 ต่อไป

เฟสที่ 2 เป็นกระบวนการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหา ตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดติดตั้งภายในสี่เหลี่ยมที่เราสสนใจ โดยเรียกเฟสที่ 2 นี้ว่า MSMR (Maximize Summation of Max RSSI) ซึ่งมีการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ตามสมการที่ (3.6) และมีเงื่อนไขเป็นข้อจำกัดตามสมการที่ (3.2) (3.3) และ (3.5) เช่นเดียวกับเฟสที่ 1 และเพิ่มเงื่อนไขการกำหนดจำนวน โหนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในอาคาร สำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวน โหนดอ้างอิงที่เพียงพอที่ได้จากคำตอบใน เฟสที่ 1 (N_{MNR}) ตามสมการที่ (3.7) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 และในการพัฒนาสมการทาง คณิตศาสตร์นี้จะต้องมีการใช้ตัวแปรต่างๆ ซึ่งได้มีคำนิยามตัวแปรเหล่านี้ไว้แล้วเช่นกันกับเฟสที่ 1

จากสองเฟสการทำงานนี้ได้แสดงถึงกระบวนการทำงานทั้งหมดสำหรับการค้นหาคำตอบ ของปัญหาการกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ ดังนั้นในลำดับถัดไป สำหรับการ วิเคราะห์ความซับซ้อนของปัญหาจึงได้มีการพิจารณาจากกระบวนการทำงานของทั้งสองเฟสนี้มา ใช้ในการวิเคราะห์ความซับซ้อนของปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ โดยได้มีการพิจารณาจากหัวข้อย่อย ดังต่อไปนี้ คือ การวิเคราะห์จากจำนวนของตัวแปรตัดสินใจ การวิเคราะห์จากขนาดของเงื่อนไข และการวิเคราะห์จากขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ

3.5.1 การวิเคราะห์จำนวนของตัวแปรตัดสินใจ (decision variable)

จากการวิเคราะห์ความซับซ้อนของปัญหา สิ่งที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนของปัญหาอย่างหนึ่งนั่นก็คือ ขนาดของปัญหาที่เราพิจารณา (problem size) ซึ่งจากการกำหนดปัญหาเพื่อหาคำตอบในการเลือกจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดจากงานวิจัยนี้ได้กล่าวข้างต้น ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงขนาดของตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งประกอบด้วยเซตของตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อขนาดของตัวแปรตัดสินใจ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อขนาดของปัญหาได้ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ขนาดของตัวแปรตัดสินใจให้อยู่ในรูปแบบของสมการดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable)

c_j เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้อยู่ 2 คำตอบคือ 0 กับ 1 ที่ขึ้นอยู่กับ j

โดยที่ $j \in R$ ดังนั้น จำนวนของ $c_j = |R|$

S_{ij} เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้อยู่ 2 คำตอบคือ 0 กับ 1 ที่ขึ้นอยู่กับ i และ j

โดยที่ $i \in T, j \in R$ ดังนั้น จำนวนของ $S_{ij} = |T| \cdot |R|$

ดังนั้น จำนวนของตัวแปรตัดสินใจรวมสำหรับการหาคำตอบในงานวิจัยนี้ คือ

$$\begin{aligned} \therefore \text{จำนวนของตัวแปรตัดสินใจรวม} &= |R| + |T| \cdot |R| \\ &= |R| (1 + |T|) \end{aligned} \quad (3.11)$$

จะเห็นได้ว่าจากจำนวนของตัวแปรตัดสินใจรวมมีรูปแบบของฟังก์ชันเป็นแบบโพลิโนเมียล (polynomial) ที่ขึ้นอยู่กับชุดของตัวแปร $|T|$ และ $|R|$

3.5.2 การวิเคราะห์ขนาดของเงื่อนไข (constraint)

จากการกำหนดปัญหาเพื่อหาคำตอบในการหาจำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ นั้นจะต้องประกอบกับการพิจารณาเงื่อนไข ดังนั้นในการพิจารณาถึงประมาณของเงื่อนไขทั้งหมดที่นำมาพิจารณาเพื่อหาคำตอบนั้นสามารถส่งผลกระทบต่อขนาดของปัญหาได้ ดังนั้นเราสามารถพิจารณาถึงขนาดของเงื่อนไขเป็นสมการได้ดังนี้

เงื่อนไข 1:	$\sum_{j \in R} c_j \geq N_R$	มีจำนวน	1	เงื่อนไข
เงื่อนไข 2:	$S_{ij} \leq c_j$	$\forall i \in T, \forall j \in R$	มีจำนวน	$ T \cdot R $ เงื่อนไข

$$\begin{aligned} \text{เงื่อนไข 3: } & \sum_{j \in R} S_{ij} \geq N_R \quad \forall i \in T & \text{มีจำนวน} & |T| & \text{เงื่อนไข} \\ \text{เงื่อนไข 4: } & S_{ij}(P_{ij} - P_T) \geq 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in R & \text{มีจำนวน} & |T||R| & \text{เงื่อนไข} \end{aligned}$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจำนวนของเงื่อนไขทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเงื่อนไข} &= 1 + |T||R| + |T| + |T||R| \\ &= 1 + |T| + 2|T||R| \\ &= 1 + |T|(1 + 2|R|) \end{aligned} \quad (3.12)$$

จะเห็นได้ว่าจากฟังก์ชันของจำนวนเงื่อนไขทั้งหมดสำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้มีรูปแบบการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันพหุนาม (polynomial) ที่ขึ้นอยู่กับชุดของตัวแปร $|T|$ และ $|R|$

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ถึงจำนวนของตัวแปรตัดสินใจในหัวข้อที่ 3.5.1 และการวิเคราะห์ถึงจำนวนเงื่อนไขของการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าทั้งสองเป็นฟังก์ชันในรูปแบบพหุนามเหมือนกัน คือเป็นลักษณะของปัญหาขนาดกลาง ดังนั้นในลักษณะของปัญหาในรูปแบบนี้สามารถใช้วิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีซิมเพล็กซ์และบรันช์แอนด์บาวนด์ (Simplex, Branch and bound) ในการแก้ปัญหาได้

3.5.3 การวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ (search space)

ในการวิเคราะห์ถึงขนาดของปัญหา (problem size) เราสามารถพิจารณาได้จากขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบทั้งหมด (search space) โดยที่การวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบจะพิจารณาจากขนาดของตัวแปรตัดสินใจที่ขึ้นอยู่กับเซตของตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตัดสินใจ ดังนั้นจากการวิเคราะห์หาขนาดของตัวแปรตัดสินใจในหัวข้อที่ 3.5.1 เราสามารถทำการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบให้อยู่ในรูปแบบของสมการดังนี้

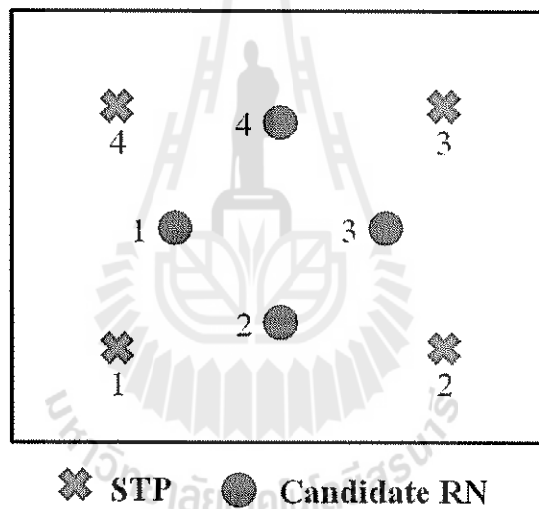
ขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ

$$\begin{aligned} &= \text{ขนาดของตัวแปรตัดสินใจ } C_j * \text{ขนาดของตัวแปรตัดสินใจ } S_{ij} \\ &= 2^{|R|} \times 2^{|T||R|} \\ &= 2^{(|R|+|T||R|)} \\ &= 2^{(|R|(1+|T|)} \end{aligned} \quad (3.13)$$

ตัวอย่างการกำหนดปัญหาขนาดเล็ก โดยได้มีการกำหนดสิ่งแวดล้อมดังนี้

- 1) บริเวณที่ใช้ทำการเลือกติดตั้ง โหนดอ้างอิงเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสมีขนาดเล็ก (12x12 ตารางเมตร) โดยได้กำหนดจุดที่ใช้สำหรับทดสอบสัญญาณที่มีระยะห่างของกริด (grid spacing) เท่ากับ 6 เมตร
- 2) ทำการกำหนดตำแหน่งที่ใช้เลือกติดตั้ง โหนดอ้างอิงในพื้นที่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง
- 3) โดยที่ทำการหาจำนวนและตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่ โดยที่มีเงื่อนไขที่ให้แต่ละจุดทดสอบสัญญาณได้รับสัญญาณจาก โหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งไว้แล้วอย่างน้อย 2 โหนด (กำหนด $N_R = 2$)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถแสดงเป็นรูปภาพได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งที่สามารถเลือกวาง โหนดอ้างอิง และตำแหน่งจุดทดสอบสัญญาณ

สำหรับกระบวนการหาคำตอบที่ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พิจารณากับปัญหาขนาดเล็กได้ดังนี้

ในขั้นตอนที่ 1 ทำการหาจำนวน โหนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในเครือข่าย เมื่อพิจารณาตัวแปรตัดสินใจประกอบไปด้วย c_j และ S_{ij}

จะเห็นว่า คำตอบของตำแหน่งที่เลือกติดตั้งมีทั้งหมด

$$c_j = c_1, c_2, c_3, c_4 = \{0001, 0010, 0100, 1000, 1111\} = 2^4 = 16$$

แต่จากเงื่อนไขเราได้มีการพิจารณาถึงตัวแปรตัดสินใจ S_{ij} ที่มีการพิจารณาในการเลือกคำตอบทั้งหมด

$$S_{ij} = \begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{Bmatrix} = 2^{4 \times 4} = 65536$$

ดังนั้นขนาดของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด = $16 * 65536 = 1,048,576$ คำตอบ

และเมื่อกำหนดจำนวนพื้นที่ในการค้นหาคำตอบจากสมการ (3.13) จะได้

จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด = $2^{i4(1+4)} = 2^{20} = 1048576$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฟังก์ชันของขนาดของพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ (search space) จะเป็นในรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่ในการค้นหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจำนวนและตำแหน่งในการวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้มีขนาดใหญ่ซึ่งแสดงถึงความซับซ้อนของปัญหาในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้



บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

จากเนื้อหาก่อนหน้านี้ได้เสนอแนวคิดของงานวิจัยในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยได้เสนอแนวคิดสำหรับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร และโครงสร้างการทำงานของ การหาตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งในกระบวนการแรกสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ด้วยวิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ นั้นในงานวิจัยของเราได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญในกระบวนการกำหนด ตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิง ที่จำเป็นต้องถูกติดตั้งในบริเวณพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุ ตำแหน่งก่อนเป็นขั้นตอนแรก ดังนั้นเราจึงได้มีการเสนอแนวคิดสำหรับการพัฒนาสมการ คณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่ช่วยเพิ่มสมรรถนะ การทำงานของระบบระบุตำแหน่ง โดยทำการแปลงความต้องการ เงื่อนไข และข้อจำกัดต่าง ๆ ในทางทฤษฎีให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นแบบไบนารีในการหาคำตอบ ที่ดีที่สุด เนื่องจากการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบของตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงด้วยสมการคณิตศาสตร์นี้ เป็นข้อดีคือ สามารถช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบและวางแผนระบบ รวมทั้งง่ายต่อการ ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ถ้านำไปใช้กับโครงสร้างของอาคารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยที่ กระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย 2 เฟสการทำงาน นั่นคือ เฟสที่ 1 จะเป็นกระบวนการในการหาคำตอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวน โน้ดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับใช้ติดตั้งภายในอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง จากนั้นจึงนำ คำตอบที่ได้มาเป็นเงื่อนไขในการกำหนดตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงในเฟสที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการใน การหาคำตอบของตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด โดยที่สามารถวางในตำแหน่งที่ ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคาร

สำหรับเนื้อหาในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนด ตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงก่อนที่จะได้มาเป็นกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงทั้ง 2 เฟส ตามรายละเอียดการทำงานที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เนื้อหาที่นำเสนอในบทนี้เป็นการทดลองเพื่อ ทำการศึกษาและพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ ผลที่เพิ่มสมรรถนะการทำงานที่ดีขึ้นได้จริง โดยเนื้อหาในบทที่ 4 นี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง สำหรับการศึกษและการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโน้ด

อ้างอิงที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ดังนี้ หัวข้อที่ 4.1 การทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง หัวข้อที่ 4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งกับวิธีการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงวิธีอื่นๆจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง หัวข้อที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับการจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม หัวข้อที่ 4.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงในงานวิจัยอื่นกับตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ หัวข้อที่ 4.5 การวิเคราะห์ผลจากการศึกษาผลกระทบจากการกำหนดความละเอียดของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) และหัวข้อที่ 4.6 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Simulated Annealing (SA)

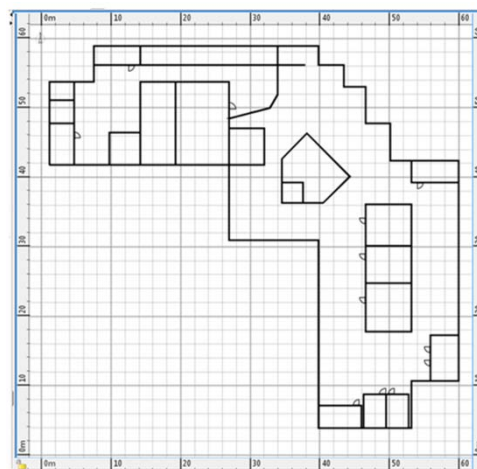
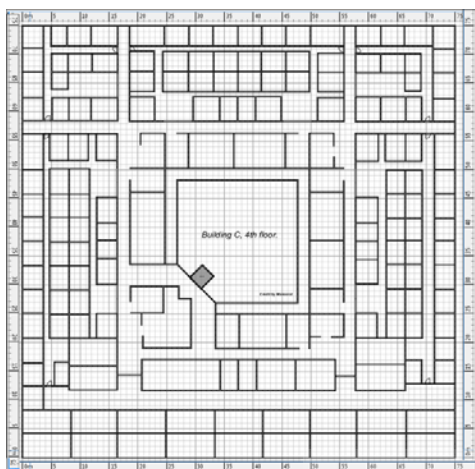
4.1 การทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง

ในหัวข้อนี้ได้นำเสนอการทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง โดยที่ในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เราได้ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบไบนารี ซึ่งเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ที่มีความสะดวกและง่ายต่อการออกแบบและวางแผนเครือข่าย อย่างเช่นในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงในบริเวณของอาคารที่มีการให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งได้ทำการกำหนดเป็นวัตถุประสงค์และเงื่อนไข ข้อจำกัดต่างๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานในการหาคำตำแหน่งวัตถุ ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงที่มาของการพัฒนามาเป็นกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ประกอบไปด้วย 2 เฟสการทำงานเพื่อให้ได้ตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้จากที่ได้กล่าวภาพรวมในบทที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ดังนี้คือ วัตถุประสงค์ MNR วัตถุประสงค์ MSR และวัตถุประสงค์ MSMR โดยที่แต่ละการทดลองเพื่อพัฒนามาเป็นสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้น จะเป็นการพัฒนาเพื่อให้ได้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่สามารถครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งได้ดีที่สุด จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อการเปรียบเทียบผลการทดสอบการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงของทั้ง 3 วัตถุประสงค์ และทำการเลือกวัตถุประสงค์ที่สามารถให้สมรรถนะในการระบุตำแหน่งดีที่สุดมาเป็นกระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยในการทดสอบสมรรถนะของการระบุตำแหน่งวัตถุในงานวิจัยนี้ได้พิจารณา ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุ (accuracy) และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ (precision) ซึ่งได้นิยาม

ความหมายของค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งด้วยการพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุ (average error) และนิยามค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งด้วยการพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ของการระบุตำแหน่งวัตถุที่จะระบุตำแหน่งผิดพลาดได้ไม่เกินระยะที่กำหนด ซึ่งใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งสำหรับหัวข้อย่อยที่ 4.1.4 การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

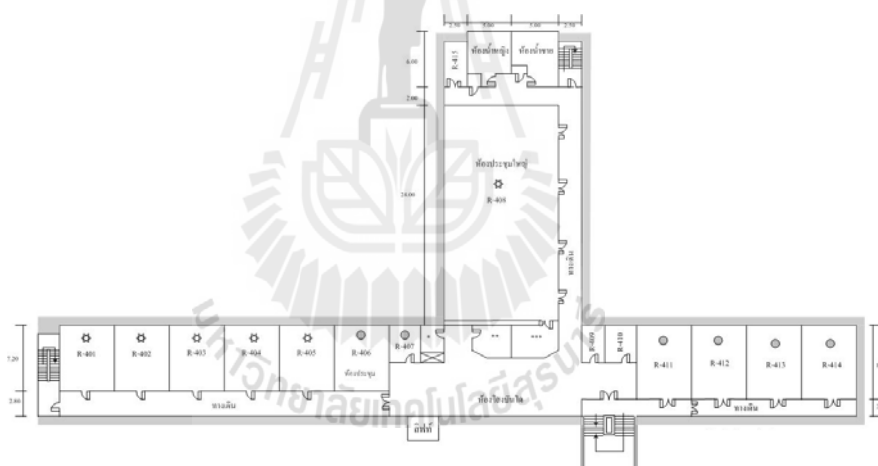
โดยการทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองเพื่อการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยในการทดลองเราได้ทำการออกแบบการทดลองโดยกำหนดพื้นที่สำหรับการทดลองกับพื้นที่อาคารหลายๆ ในรูปแบบด้วยกัน ได้แก่ พื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ได้กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1) พื้นที่ของอาคารบรรณสารชั้นที่ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเช่นเดียวกัน (กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2) และพื้นที่ของอาคารบัณฑิตวิทยาลัยชั้น 4 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3) ซึ่งได้แสดงพื้นที่สำหรับการทดลองทั้ง 3 ดังรูปที่ 4.1 โดยที่เราจะนำพื้นที่ของอาคารสำหรับการให้บริการทั้ง 3 แบบใช้กับการทดลองเพื่อพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (MNR MSR และ MSMR)





ก) แผนผังอาคารวิชาการชั้น 4 มทส
(พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1)

ข) แผนผังอาคารบรรณสารชั้นที่ 3 มทส
(พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2)



ค) แผนผังอาคารบัณฑิตวิทยาลัยชั้น 4 ม.มหิดล ศาลายา (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3)

รูปที่ 4.1 พื้นที่สำหรับการทดลอง

จากการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงได้มีการพัฒนาวัตถุประสงค์สำหรับการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด จากวิธีกำหนดปัญหาแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งได้

มีการทดลองสำหรับการพัฒนาเพื่อให้ได้วัตถุประสงค์สำหรับการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิง ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MNR

สำหรับวัตถุประสงค์แรกๆที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการจำนวนการใช้โนคอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งได้พัฒนาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ต้องการจำนวนโนคอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายน้อยที่สุด (Minimize Number of RNs: MNR) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (4.1) ซึ่งเราต้องการทราบจำนวนการใช้โนคอ้างอิงที่ติดตั้งภายในเครือข่ายที่น้อยที่สุดที่เพียงพอกับระบบมากที่สุดก่อน จากนั้นจึงนำจำนวนของโนคอ้างอิงที่เพียงพอแล้วนี้ มาพัฒนาสมการคณิตศาสตร์เป็นฟังก์ต์วัตถุประสงค์ใหม่สำหรับการหาตำแหน่งในการวางโนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดในหัวข้อถัดไป

$$\text{Minimize } \sum_{\forall j \in R} c_j \quad (4.1)$$

และในการกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ MNR นี้ จะมีสมการเงื่อนไขเพื่อทำให้สมการวัตถุประสงค์เกิดขึ้นดังนี้

1. เงื่อนไขสำหรับการรับประกันคุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณอาคารของการรับสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณกับโนคอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณ i จะได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิง j ได้ เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับได้จากโนคอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

$$S_{ij} (P_{ij} - P_T) \geq 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.2)$$

2. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนของสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i ที่อยู่ทั่วบริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิง j ได้อย่างน้อย N_R โนค

$$\sum_{\forall j \in R} S_{ij} \geq N_R \quad \forall i \in T \quad (4.3)$$

3. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนโนคอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในภายในอาคารสำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีอย่างน้อย N_R โนค

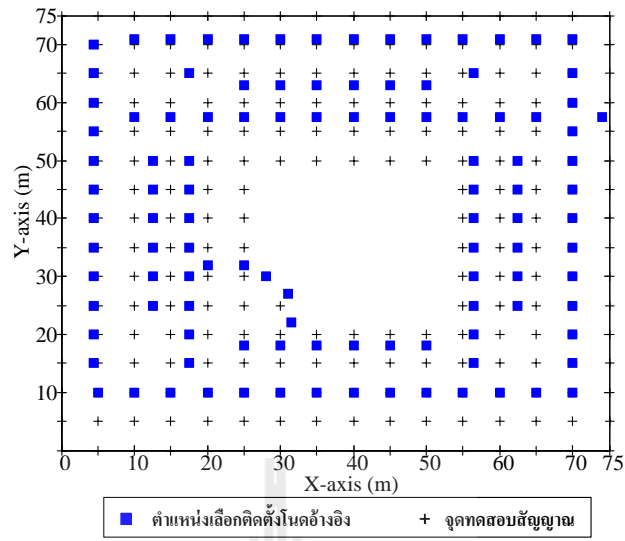
$$\sum_{j \in R} c_j \geq N_R \quad (4.4)$$

4. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดการได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i จะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง j ที่ได้ถูกเลือกติดตั้งไว้ในระบบ

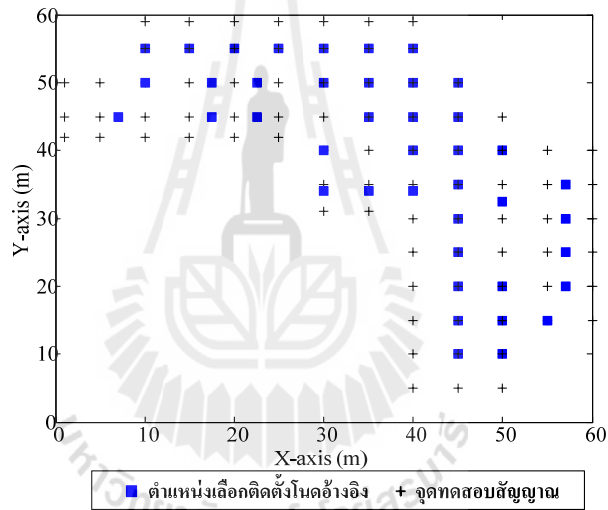
$$S_{ij} \leq c_j \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.5)$$

จากนั้นทำการทดลองเพื่อทดสอบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MNR ที่ได้พัฒนาขึ้น กับพื้นที่สำหรับการทดลองทั้ง 3 พื้นที่การให้บริการจากรูปที่ 4.1 โดยที่ในการทดลองได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแต่ละพื้นที่การทดลอง ได้แก่ ขนาดกริด spacing เท่ากับ 5 เมตร ตำแหน่งทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีนท์ (Signal Test Points: STPs) และตำแหน่งที่สามารถเลือกวางโหนดอ้างอิงได้ (candidate of RNs) โดยพื้นที่การให้บริการแบบที่ 1 จะทำการกำหนดให้มีจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีนท์ ทั้งหมด 232 จุด ขนาดของ grid spacing เท่ากับ 5 เมตรและตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโหนดอ้างอิงมีทั้งหมด 110 จุด สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 จะทำการกำหนดให้มีจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีนท์ ทั้งหมด 83 จุด ขนาดของ grid spacing เท่ากับ 5 เมตรเช่นกัน และตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโหนดอ้างอิงมีทั้งหมด 42 จุด สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 จะทำการกำหนดให้มีจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีนท์ ทั้งหมด 81 จุด ขนาดของ grid spacing เท่ากับ 5 เมตรเช่นกัน และตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโหนดอ้างอิงมีทั้งหมด 53 จุด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.2 นี้

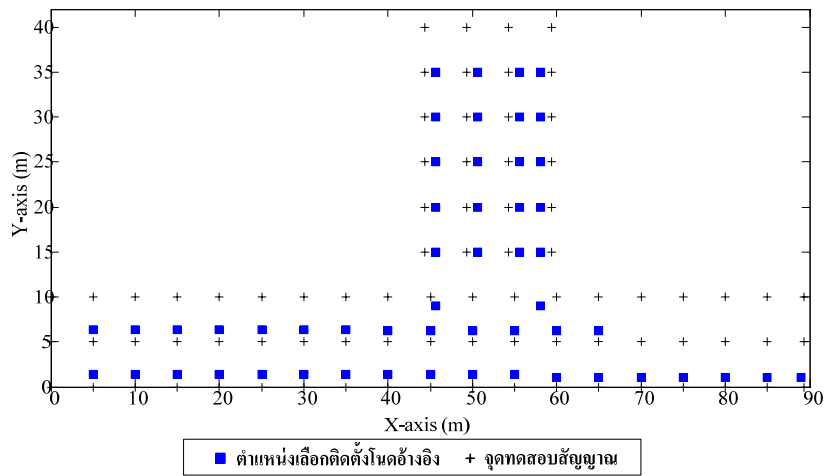
จากนั้นในการหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MNR นี้ เราได้ใช้โปรแกรม ILOG CPLEX ในการหาคำตอบของจำนวนโหนดอ้างอิงที่เพียงพอที่สุดสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ได้กำหนดขึ้น โดยคำตอบที่แสดงนี้จะเป็นผลของคำตอบที่แสดงตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงดังกล่าวนี้ด้วย ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 นี้



ก) พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1

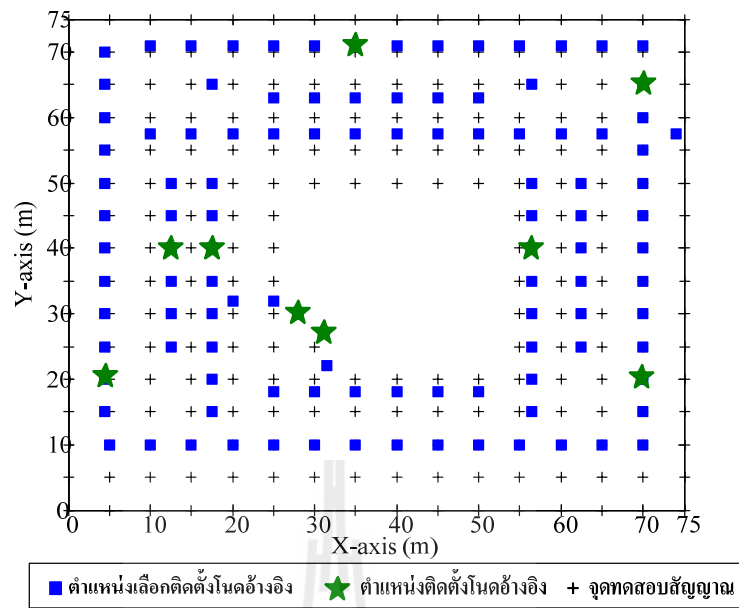


ข) พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

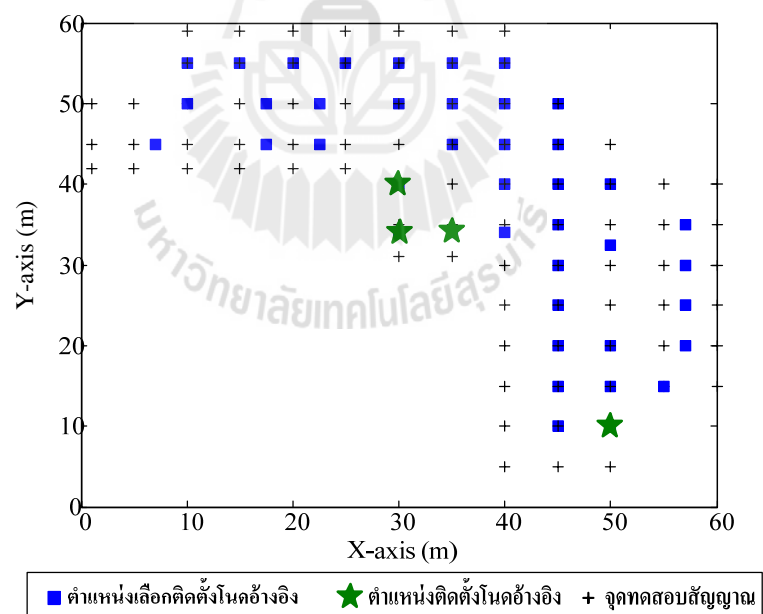


ค) พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

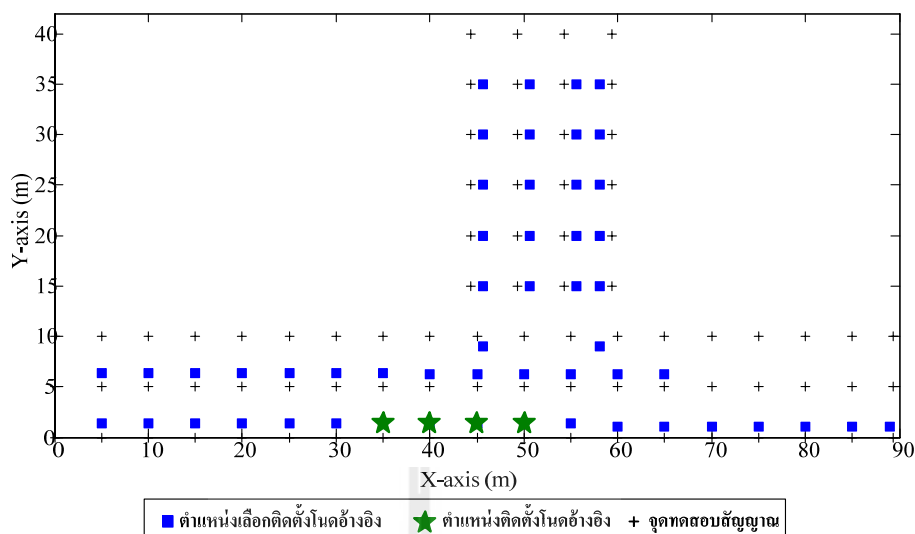
รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์สำหรับพื้นที่การทดลอง



รูปที่ 4.3 จำนวนและตำแหน่ง โหนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1



รูปที่ 4.4 จำนวนและตำแหน่ง โหนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2



รูปที่ 4.5 จำนวนและตำแหน่ง โน้ดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

จากผลการทดลองสำหรับวัตถุประสงค์ MNR ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบจำนวนของโน้ดอ้างอิงที่น้อยที่สุดสำหรับติดตั้งภายในเครือข่าย โดยใช้โปรแกรม ILOG CLPEX ในการหาคำตอบ โดยผลคำตอบจากสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MNR สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 ดังรูปที่ 4.3 ต้องใช้โน้ดอ้างอิง 9 โน้ด ส่วนพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 ดังรูปที่ 4.4 ต้องใช้โน้ดอ้างอิง 4 โน้ด และพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 ดังรูปที่ 4.5 ต้องใช้โน้ดอ้างอิง 4 โน้ด ซึ่งจะสังเกตได้ว่าตำแหน่งโน้ดอ้างอิงที่ได้มีลักษณะเกาะกลุ่มกัน ซึ่งมีผลทำให้ในบางตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณที่อยู่ไกลจากกลุ่มของโน้ดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งนั้น ได้รับสัญญาณที่อ่อนกว่าตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณที่อยู่ใกล้กับโน้ดอ้างอิง โดยที่การได้รับสัญญาณที่อ่อน จะส่งผลทำให้เกิดความแปรปรวนของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับสูงกว่า อันเนื่องมาจากระยะทางและสิ่งกีดขวางภายในอาคารที่แตกต่างของแต่ละพื้นที่ให้บริการในการทดลอง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับวัตถุประสงค์ใหม่ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาตำแหน่งวางโน้ดอ้างอิงที่มีลักษณะที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ให้บริการ โดยที่สามารถให้คุณภาพของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับครอบคลุมพื้นที่ให้บริการมากที่สุด เพื่อทำให้กระบวนการในการสร้างฐานข้อมูลมีความแปรปรวนของค่าความแรงสัญญาณที่เก็บน้อยที่สุด ซึ่งสมรรถนะในการระบุตำแหน่งนั้นจะขึ้นอยู่กับกระบวนการการสร้างฐานข้อมูลนี้ด้วย โดยในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับวัตถุประสงค์ใหม่นี้ได้เสนอในหัวข้อถัดไป

4.1.2 การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MSR

การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับวัตถุประสงค์ที่สองนี้ มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยที่จากวัตถุประสงค์ MNR ที่ทราบจำนวนการใช้โนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในอาคารแล้ว แต่ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากคำตอบของวัตถุประสงค์ MNR มีลักษณะของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เกาะกลุ่มกัน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณในบางตำแหน่งที่เป็นมุมอับ ทำให้เกิดความแปรปรวนของสัญญาณที่ได้รับ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่เพื่อให้ตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงที่สามารถวางในตำแหน่งที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารที่ให้บริการและมีคุณภาพของสัญญาณที่ดีครอบคลุมทั้งอาคารด้วยเช่นกัน ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สองนี้ มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการผลรวมของค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับได้จากโนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งไว้แล้วมีค่ามากที่สุด (Maximum Summation of RSSI : MSR) เพื่อให้ได้คุณภาพของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับได้จากโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงดังสมการที่ 4.6 นี้

$$\text{Maximize} \quad \sum_{\forall i \in T} \sum_{\forall j \in R} S_{ij} P_{ij} \quad (4.6)$$

ในการกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ MSR นี้ จะมีสมการเงื่อนไขเพื่อให้สมการวัตถุประสงค์เกิดขึ้นดังสมการที่ 4.7-4.10

1. เงื่อนไขการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในอาคารสำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอที่ได้จากคำตอบในวัตถุประสงค์ MNR (N_{MNR})

$$\sum_{\forall j \in R} c_j = N_{MNR} \quad (4.7)$$

2. เงื่อนไขสำหรับการรับประกันคุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคาร ของการรับสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณกับโนดอ้างอิงโดยที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณ i จะได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิง j ได้ เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

$$S_{ij}(P_{ij} - P_T) \geq 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.8)$$

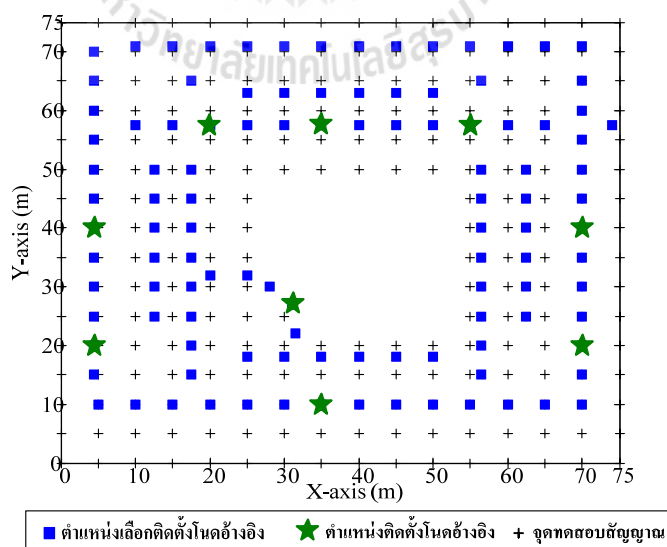
3. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนของสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i ที่อยู่ที่บริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง j ได้อย่างน้อย N_R โหนด

$$\sum_{j \in R} S_{ij} \geq N_R \quad \forall i \in T \quad (4.9)$$

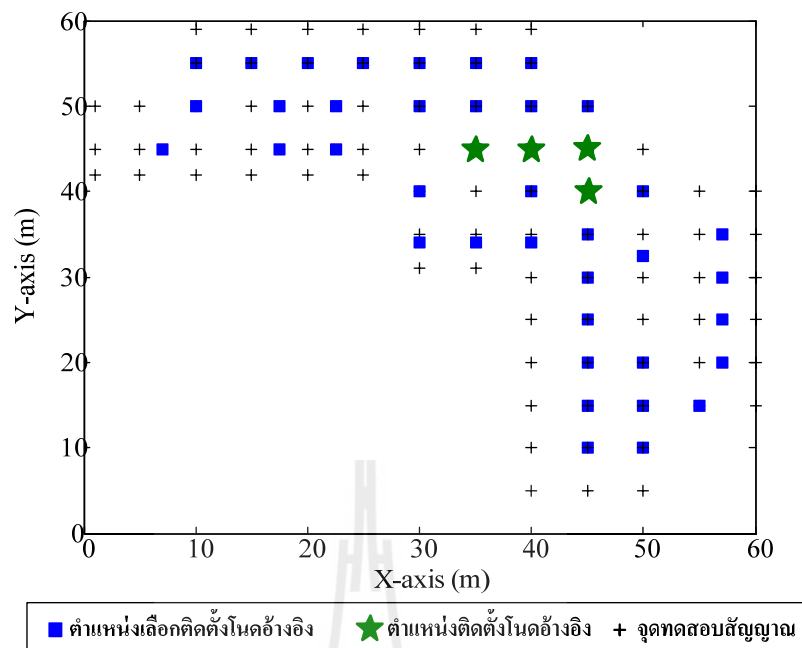
4. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดการได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i จะต้องได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง j ที่ได้ถูกเลือกติดตั้งไว้ในระบบ

$$S_{ij} \leq c_j \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.10)$$

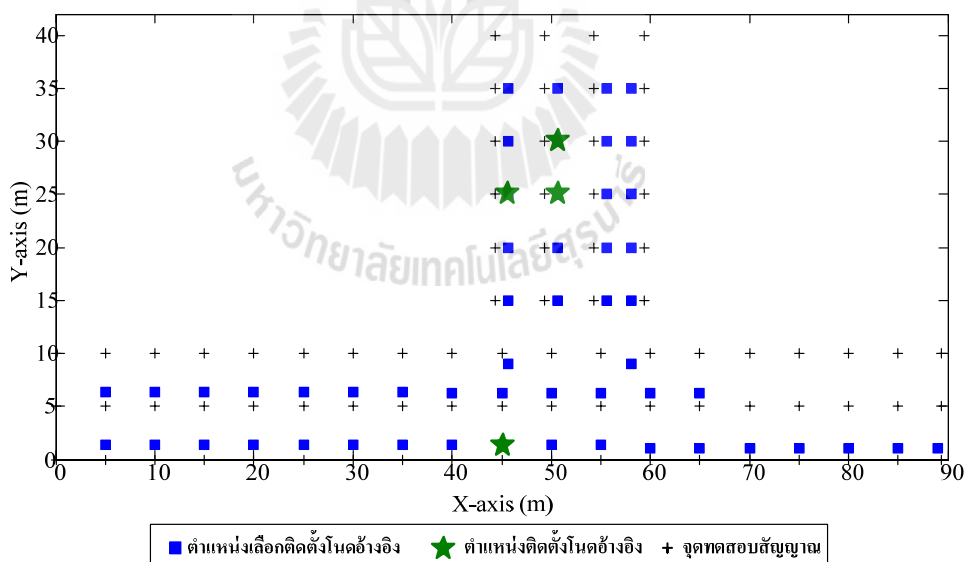
เมื่อทำการทดลองเพื่อทดสอบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSR ที่ได้พัฒนาขึ้น กับพื้นที่สำหรับการทดลองทั้ง 3 พื้นที่ให้บริการจากรูปที่ 4.1 โดยที่ในการทดลองได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแต่ละพื้นที่การทดลองเช่นเดิมดังรูปที่ 4.2 และในการหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MSR นี้ใช้โปรแกรม ILOG CPLEX ในการหาคำแหน่งวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารตามที่กำหนด ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.8



รูปที่ 4.6 จำนวนและตำแหน่งโหนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1



รูปที่ 4.7 จำนวนและตำแหน่ง โนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2



รูปที่ 4.8 จำนวนและตำแหน่ง โนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

จากผลการทดลองสำหรับการใช้วัตถุประสงค์ MSR ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากจุดอ่อนจากวัตถุประสงค์ MNR ซึ่งให้เพียงจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับ

ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ แต่ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เป็นคำตอบนั้นยังเป็นตำแหน่งวางที่เกาะกลุ่มกัน และไม่ครอบคลุมทั่วบริเวณพื้นที่ให้บริการ ดังนั้นจากผลคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MSR ที่แสดงดังรูปที่ 4.6-4.8 จะสังเกตได้ว่า ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 และ 3 ยังมีบางตำแหน่งของโนดอ้างอิงบางโนดนั้นยังมีการเกาะกลุ่มกันอยู่ในบริเวณตรงกลางของอาคารอยู่ และในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 เองก็ไม่มีมีการกระจายไปทั่วบริเวณทางมุมของอาคาร ซึ่งตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงในลักษณะนี้ ยังไม่สามารถให้คุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่ ที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นเราจึงได้มีการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ไขจากวัตถุประสงค์ MSR ให้ได้ผลของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่มีลักษณะครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ในหัวข้อถัดไป

4.1.3 การทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ MSMR

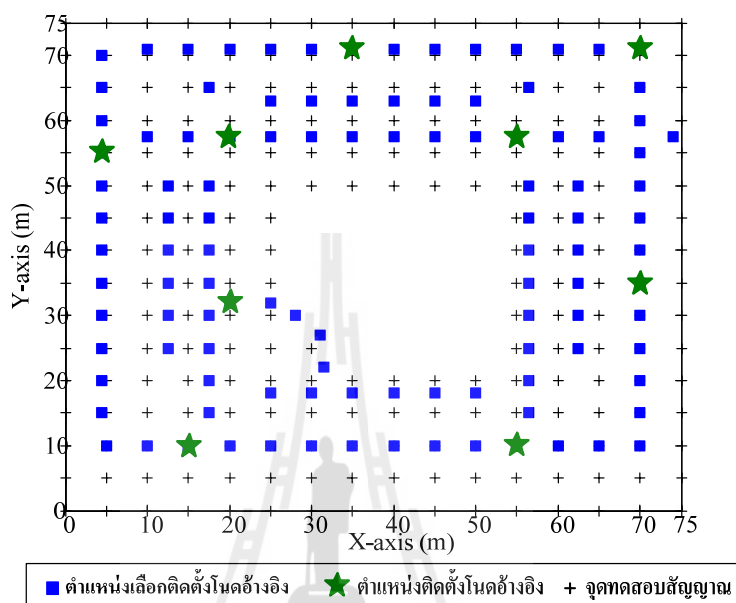
สำหรับการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ในหัวข้อนี้ เป็นการแก้ปัญหาจุดอ่อนของวัตถุประสงค์ MSR ที่ยังไม่สามารถให้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ครอบคลุมทั้งบริเวณของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุ โดยในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ต้องการให้ได้ค่าที่มากที่สุดของผลรวมของค่าความแรงสัญญาณสูงสุดที่จุดทดสอบสัญญาณได้รับจากโนดอ้างอิงในระบบ (Maximum Summation of Max RSSI: MSMR) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (4.11)

$$\text{Maximize } f(p) = \sum_{\forall i \in T} \max_{\forall j \in R} (S_{ij} P_{ij}) \quad (4.11)$$

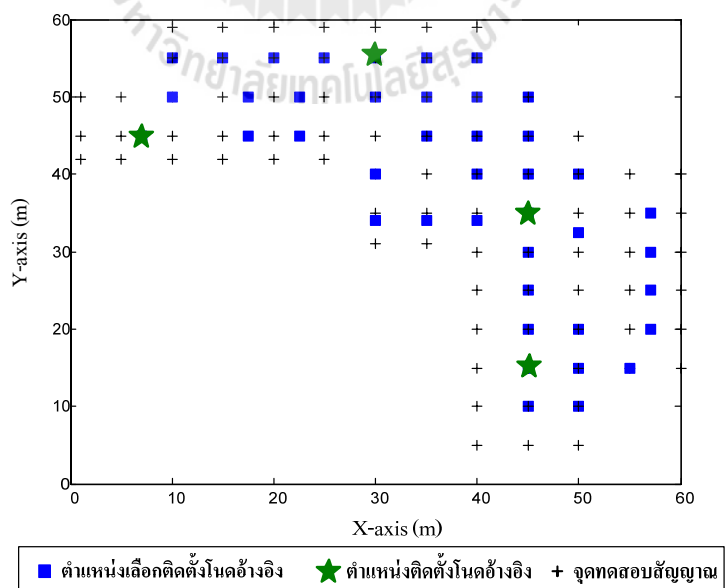
โดยที่ในการกำหนดปัญหาการ โปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR นี้ จะมีสมการเงื่อนไขดังสมการที่ 4.7-4.10 เช่นเดียวกับการแก้ปัญหาสำหรับวัตถุประสงค์ MSR

จากนั้นทำการทดลองเพื่อทดสอบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ กับพื้นที่สำหรับการทดลองทั้ง 3 รูปแบบจากรูปที่ 4.1 โดยที่ในการทดลองได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแต่ละพื้นที่การทดลองเช่นเดิมดังรูปที่ 4.2 และในการหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR นี้เมื่อใช้โปรแกรม ILOG CPLEX ในการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ได้กำหนดนั้น จะพบว่าเนื่องจากขนาดของปัญหาและความซับซ้อนสำหรับสมการวัตถุประสงค์ที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นวัตถุประสงค์ MSMR นี้ ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้โดยการใช้โปรแกรม ILOG CPLEX ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำ วิธีการทางฮิวริสติก นั่นคือวิธี Simulated Annealing (SA) มาใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR นี้ ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 ถึง

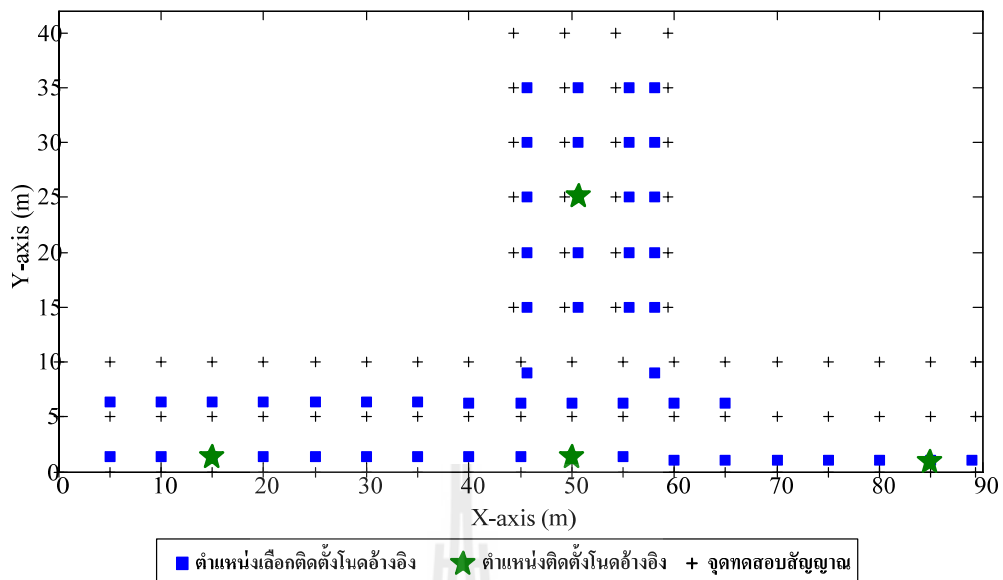
4.11 นี้ (เนื้อหาในหัวข้อที่ 3.4.2 ได้อธิบายโครงสร้างของ SA ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร และในหัวข้อ 3.4.2 นี้ยังได้แสดงผลการทำงานของ SA)



รูปที่ 4.9 จำนวนและตำแหน่งโนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1



รูปที่ 4.10 จำนวนและตำแหน่งโนดอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2



รูปที่ 4.11 จำนวนและตำแหน่งโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค MSMR ในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

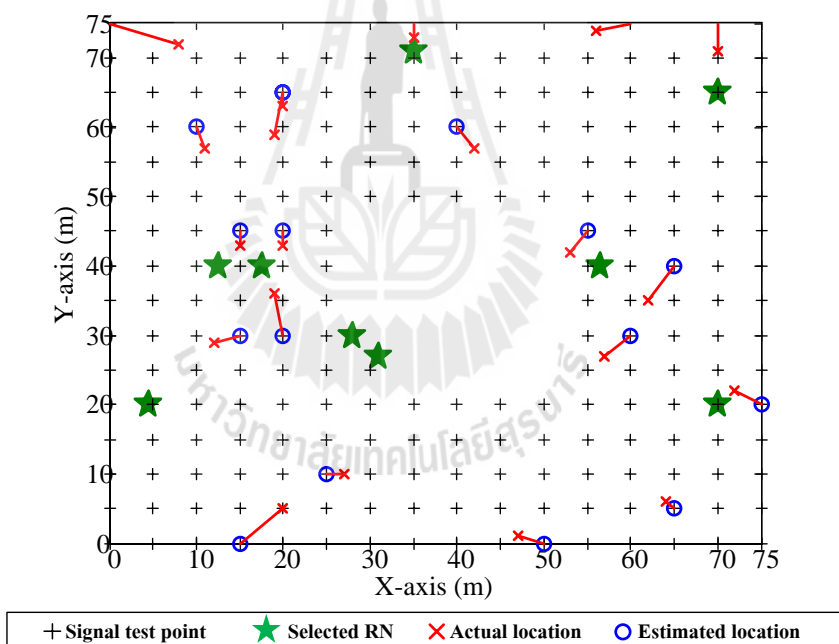
จากผลการทดลองสำหรับวัตถุประสงค MSMR ที่ใช้ในการแก้ปัญหาจากจุดอ่อนของวัตถุประสงค MSR โดยมีการสร้างสมการวัตถุประสงคใหม่ ที่มีวัตถุประสงคเพื่อต้องการให้ได้ค่าที่มากที่สุดสำหรับค่าผลรวมของค่าความเข้มสัญญาณจากจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากโนคอ้างอิงที่ถูกคิดตั้งแล้วที่มีค่าสูงสุด และผลของคำตอบของวัตถุประสงค MSMR โดยใช้ SA จากในรูปที่ 4.9-4.11 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะการวางโนคอ้างอิงที่กระจายครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารได้ชัดเจนกว่าผลคำตอบของตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากวัตถุประสงค MSR

4.1.4 การทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

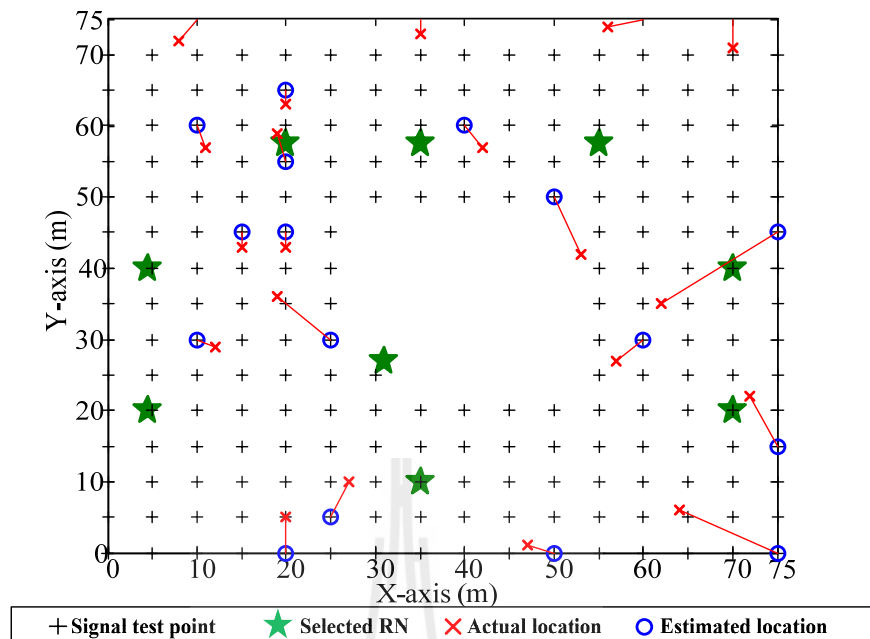
จากผลการทดลองในหัวข้อย่อยที่ 4.1.1 ถึง 4.1.3 ที่แสดงผลการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์มาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงคเพื่อหาตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการดีที่สุดแล้วนั้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการใช้วัตถุประสงค MNR ที่ได้จำนวนโนคอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นที่การให้บริการแล้ว การใช้วัตถุประสงคสุดท้ายคือ วัตถุประสงค MSMR จะให้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ครอบคลุมดีที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบว่าตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากวัตถุประสงค MSMR สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะได้ดีขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารของพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 รูปแบบ โดยจะทำการเปรียบเทียบผลการหาตำแหน่งวัตถุจากการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากวัตถุประสงค MNR MSR และ MSMR เปรียบเทียบกันโดยจะทำการกำหนด

ตำแหน่งของวัตถุจริงเพื่อใช้ในการทดสอบหาตำแหน่ง 20 ตำแหน่ง ซึ่งผลในการหาตำแหน่งวัตถุ จะแสดงผลการทดลองในแต่ละพื้นที่ดังต่อไปนี้

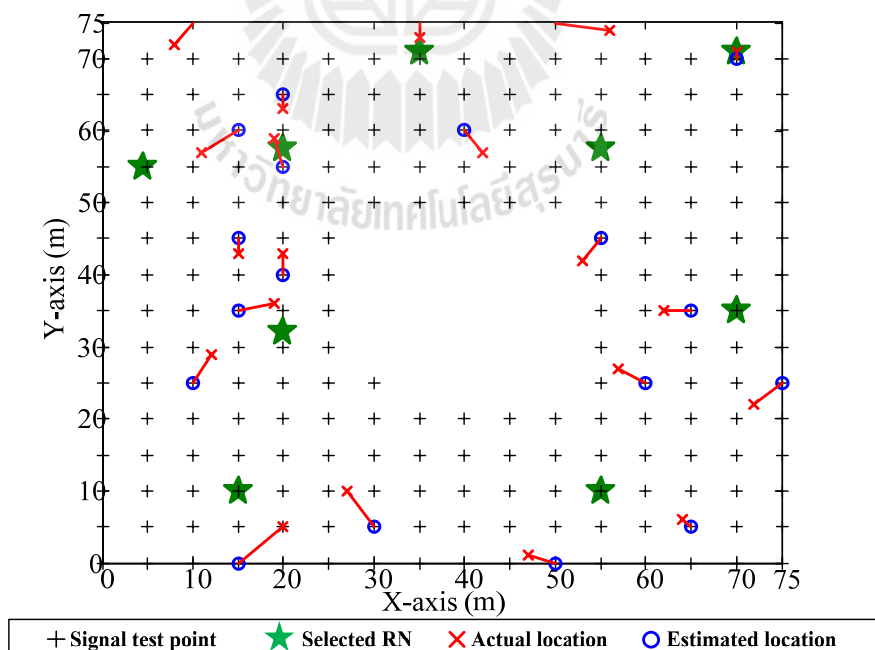
สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 จากผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุที่ได้กำหนดขึ้น 20 ตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบจากการใช้ตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ในรูปที่ 4.12 ถึง 4.14 และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของระยะทางจากตำแหน่งวัตถุจริงกับ ตำแหน่งที่หาได้จากการใช้วิธีระยะยูคลิเดียนในตารางที่ 4.1 การเลือกใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจาก วัตถุประสงค์ MSMR จะให้สมรรถนะในการระบุตำแหน่งได้ดีกว่าการเลือกใช้ตำแหน่งวางของ โนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์อื่น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะ คลาดเคลื่อนในรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่า วัตถุประสงค์ MSMR จะให้ผลความถูกต้องในการระบุ ตำแหน่งที่ดีว่าแบบอื่น



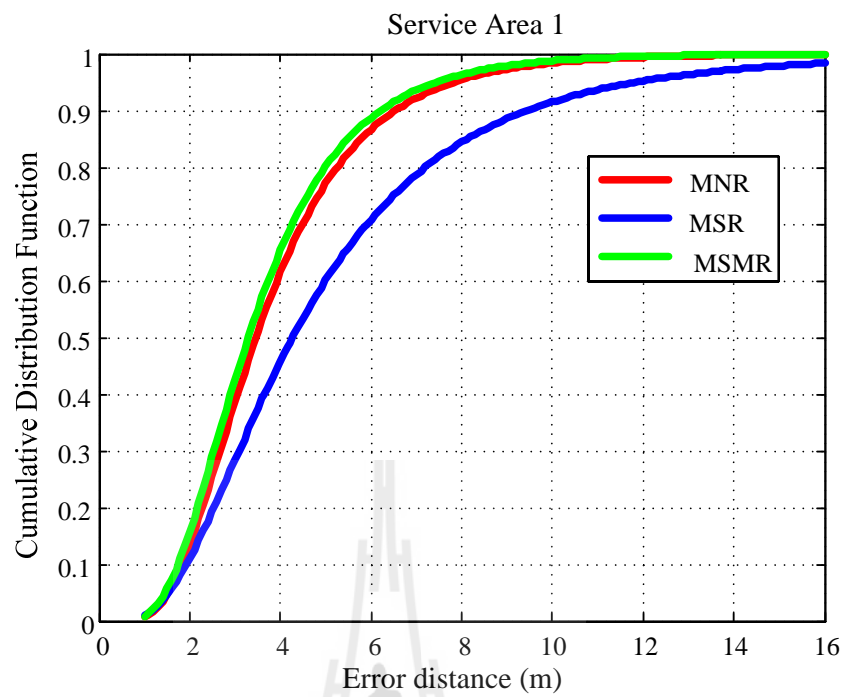
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1)



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1)



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1)



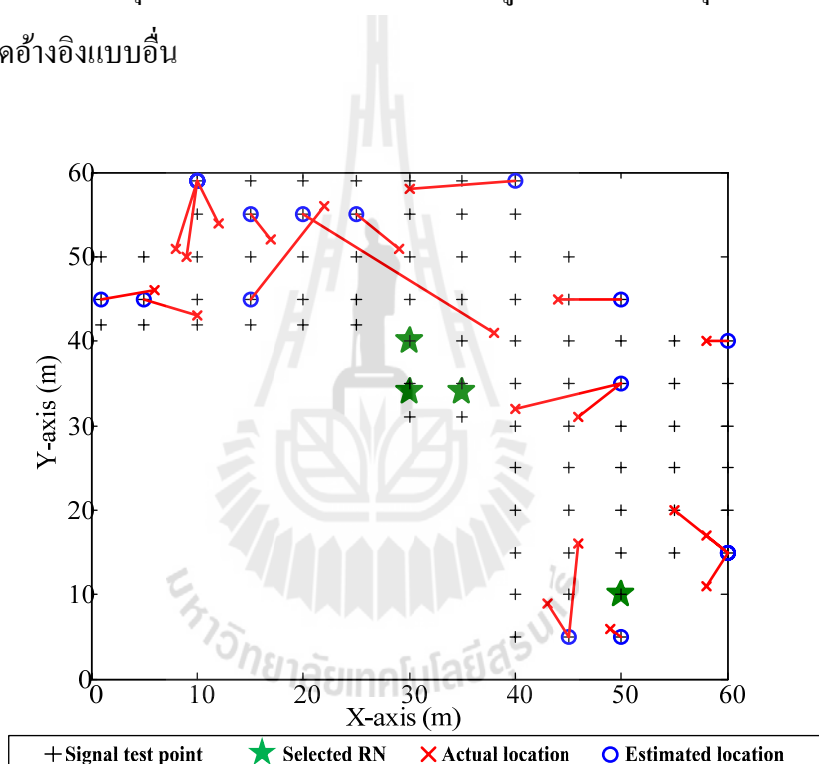
รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1



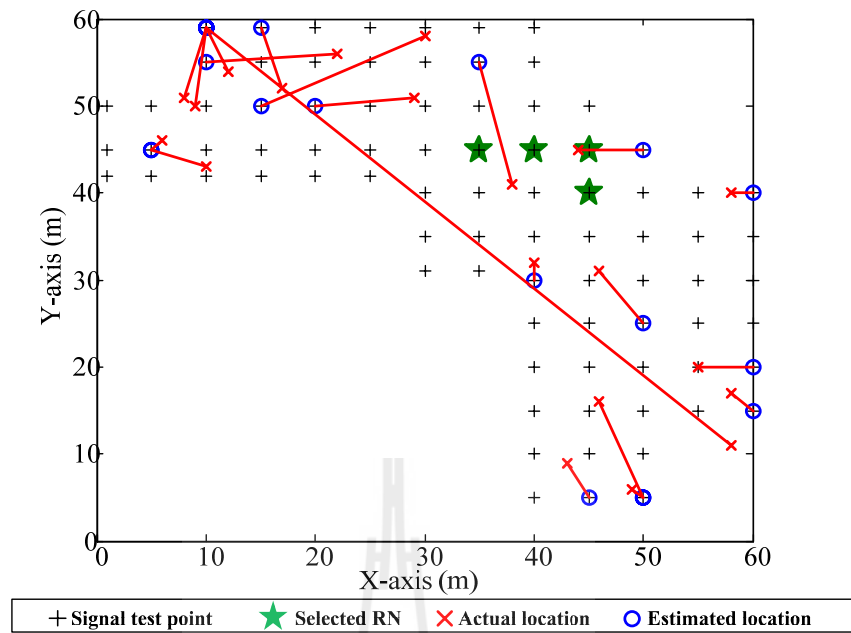
ตารางที่ 4.1 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการ
แบบที่ 1

ตำแหน่งวัตถุ จริง	ตำแหน่งที่หาได้			ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
	MNR	MSR	MSMR	MNR	MSR	MSMR
(57,27)	(60,30)	(60,30)	(60,25)	4.24	4.24	3.61
(20,63)	(20,65)	(20,65)	(20,65)	2.00	2.00	2.00
(8,72)	(0,75)	(10,75)	(10,75)	8.54	3.61	3.61
(53,42)	(55,45)	(50,50)	(55,45)	3.61	8.54	3.61
(56,74)	(60,75)	(60,75)	(50,75)	4.12	4.12	6.08
(72,22)	(75,20)	(75,15)	(75,25)	3.61	7.62	4.24
(42,57)	(40,60)	(40,60)	(40,60)	3.61	3.61	3.61
(11,57)	(10,60)	(10,60)	(15,60)	3.16	3.16	5.00
(12,29)	(15,30)	(10,30)	(10,25)	3.16	2.24	4.47
(20,43)	(20,45)	(20,45)	(20,40)	2.00	2.00	3.00
(64,6)	(65,5)	(75,0)	(65,5)	1.41	12.53	1.41
(20,5)	(15,0)	(20,0)	(15,0)	7.07	5.00	7.07
(62,35)	(65,40)	(75,45)	(65,35)	5.83	16.40	3.00
(19,59)	(20,65)	(20,55)	(20,55)	6.08	4.12	4.12
(70,71)	(70,75)	(70,75)	(70,70)	4.00	4.00	1.00
(27,10)	(25,10)	(25,5)	(30,5)	2.00	5.39	5.83
(15,43)	(15,45)	(15,45)	(15,45)	2.00	2.00	2.00
(19,36)	(20,30)	(25,30)	(15,35)	6.08	8.49	4.12
(47,1)	(50,0)	(50,0)	(50,0)	3.16	3.16	3.16
(35,73)	(35,75)	(35,75)	(35,75)	2.00	2.00	2.00
			ค่าเฉลี่ย	3.88	5.21	3.65
			Min, Max	1.41, 8.54	2.00, 16.40	1.00, 7.07
			SD	1.94	3.80	1.57

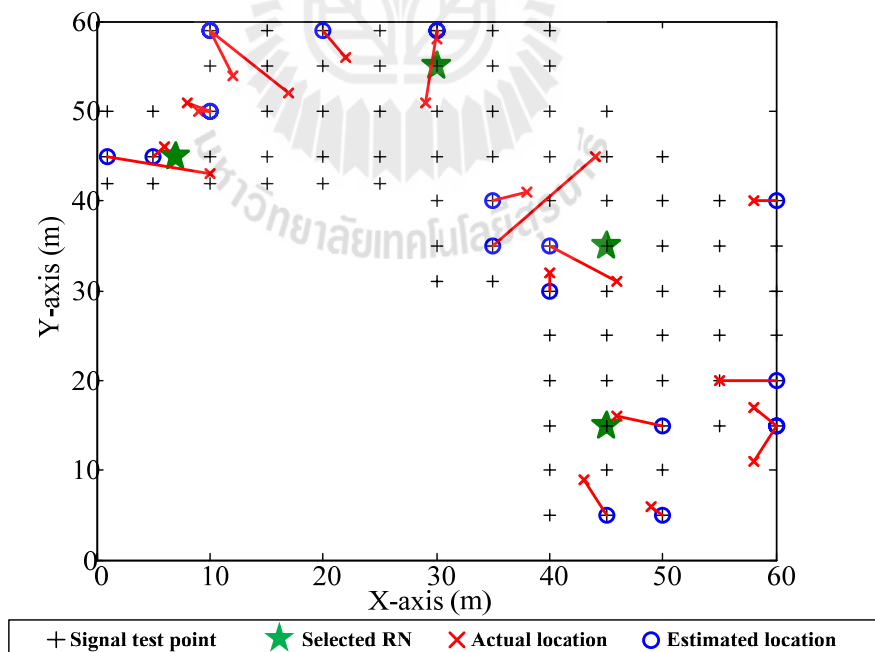
สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 จากผลการทดลองหาคำแหน่งวัตถุที่กำหนดขึ้น 20 ตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบจากการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงทั้ง 3 วัตถุประสงค์ จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของระยะทางจากตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งที่หาได้จากการใช้วิธีระยะยูคลิเดียนในตารางที่ 4.2 การเลือกใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ MSMR จะให้สมรรถนะในการระบุตำแหน่งได้ดีกว่าการใช้ตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์อื่น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า วัตถุประสงค์ MSMR จะให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งที่ดีกว่าการใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงแบบอื่น



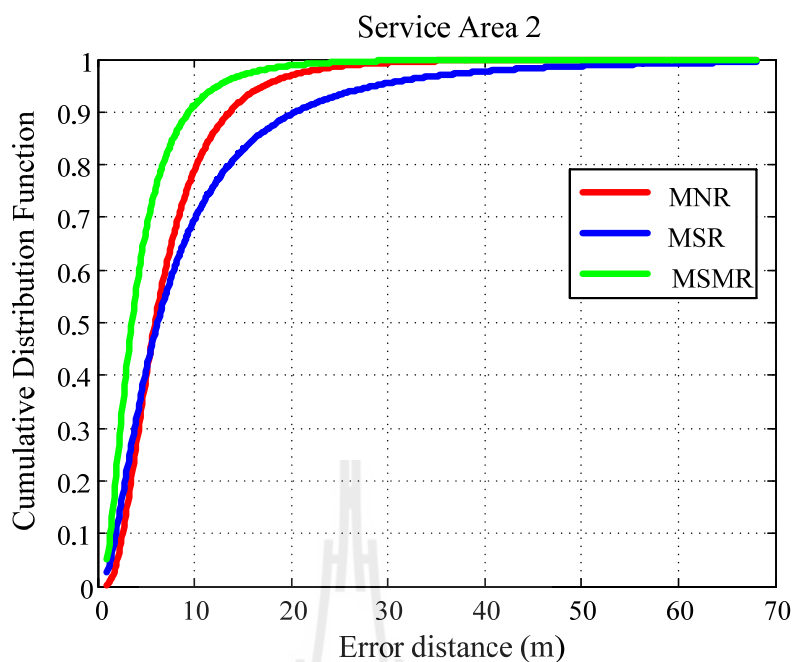
รูปที่ 4.16 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2)



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSR
(พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2)



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR
(พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2)



รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

ตารางที่ 4.2 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

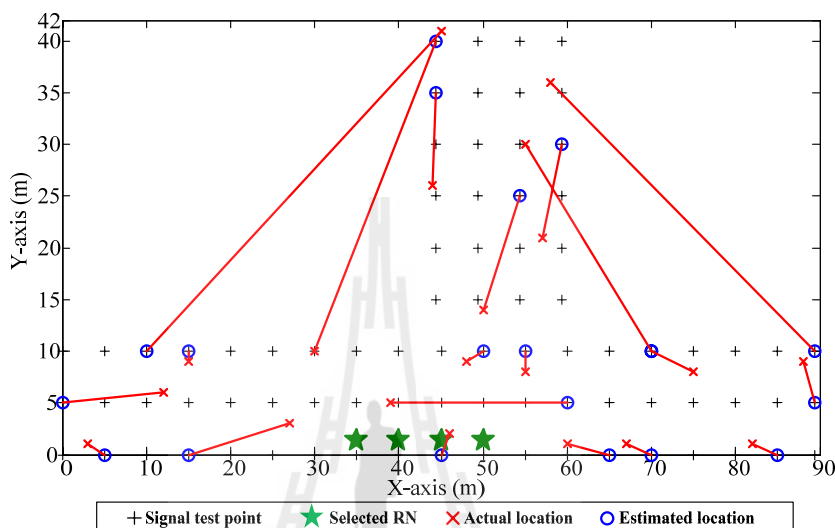
ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้			ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
	MNR	MSR	MSMR	MNR	MSR	MSMR
(44,45)	(50,45)	(50,45)	(35,35)	6.00	6.00	13.45
(8,51)	(10,59)	(10,59)	(10,50)	8.25	8.25	2.24
(38,41)	(20,55)	(35,55)	(35,40)	22.80	14.32	3.16
(6,46)	(1,45)	(5,45)	(5,45)	5.10	1.41	1.41
(17,52)	(15,55)	(15,59)	(10,59)	3.61	7.28	9.90
(58,40)	(60,40)	(60,40)	(60,40)	2.00	2.00	2.00
(58,11)	(60,15)	(10,59)	(60,15)	4.47	67.88	4.47
(10,43)	(5,45)	(5,45)	(1,45)	5.39	5.39	9.22
(58,17)	(60,15)	(60,15)	(60,15)	2.83	2.83	2.83
(49,6)	(50,5)	(50,5)	(50,5)	1.41	1.41	1.41
(9,50)	(10,59)	(10,59)	(10,50)	9.06	9.06	1.00

ตารางที่ 4.2 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการ
แบบที่ 2

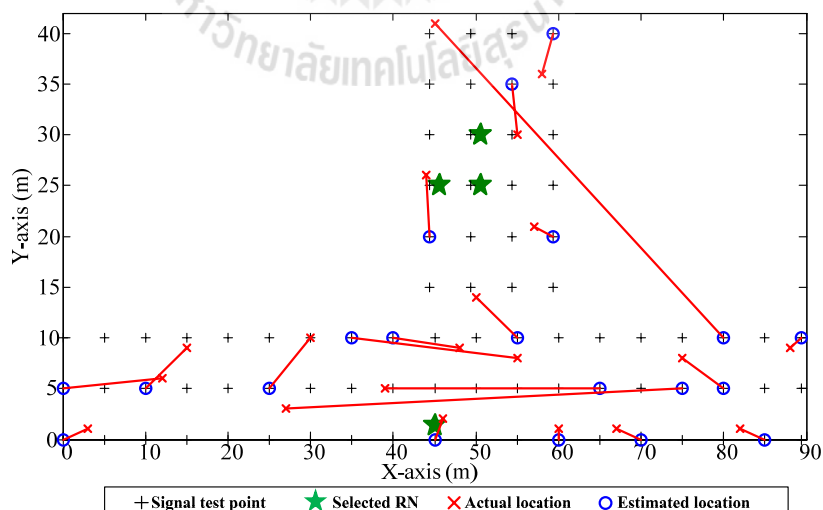
ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้			ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
	MNR	MSR	MSMR	MNR	MSR	MSMR
(22,56)	(15,45)	(10,55)	(20,59)	13.04	12.04	3.61
(55,20)	(60,15)	(60,20)	(60,20)	7.07	5.00	5.00
(29,51)	(25,55)	(20,50)	(30,59)	5.66	9.06	8.06
(46,31)	(50,35)	(50,25)	(40,35)	5.66	7.21	7.21
(40,32)	(50,35)	(40,30)	(40,30)	10.44	2.00	2.00
(12,54)	(10,59)	(10,59)	(10,59)	5.39	5.39	5.39
(30,58)	(40,59)	(15,50)	(30,59)	10.05	17.00	1.00
(43,9)	(45,5)	(45,5)	(45,5)	4.47	4.47	4.47
(46,16)	(45,5)	(50,5)	(50,15)	11.05	11.70	4.12
	ค่าเฉลี่ย			7.19	9.98	4.60
	Min, Max			1.41, 22.80	1.41, 67.88	1.00, 13.45
	SD			4.81	14.30	3.4

สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 จากผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุที่กำหนดขึ้น 20 ตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบจากการใช้ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงทั้ง 3 วัตถุประสงค์ จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.22 โดยจะเห็นได้ว่าระยะทางที่ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการใช้ตำแหน่งโนคอ้างอิงของวัตถุประสงค์ MNR และ MSR จะมีความผิดพลาดมากกว่า MSMR โดยระยะผิดพลาดที่มากที่สุดมีมากถึงประมาณ 47 และ 48 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนมาก ที่เป็นผลมาจากลักษณะของพื้นที่อาคารที่เป็นแบบสมมาตรและเนื่องจากข้อจำกัดจากการใช้วิธีระยะยูคลิดีเนียนในการค้นหาตำแหน่งวัตถุนี้ จะเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งที่อาจจะอยู่ทางตรงกันข้าม หรือในตำแหน่งที่ให้ค่าระยะยูคลิดีเนียนที่น้อยกว่าได้ และเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของระยะทางจากตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งที่หาได้จากการใช้วิธีระยะยูคลิดีเนียนในตารางที่ 4.3 การใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ MSMR จะให้สมรรถนะใน

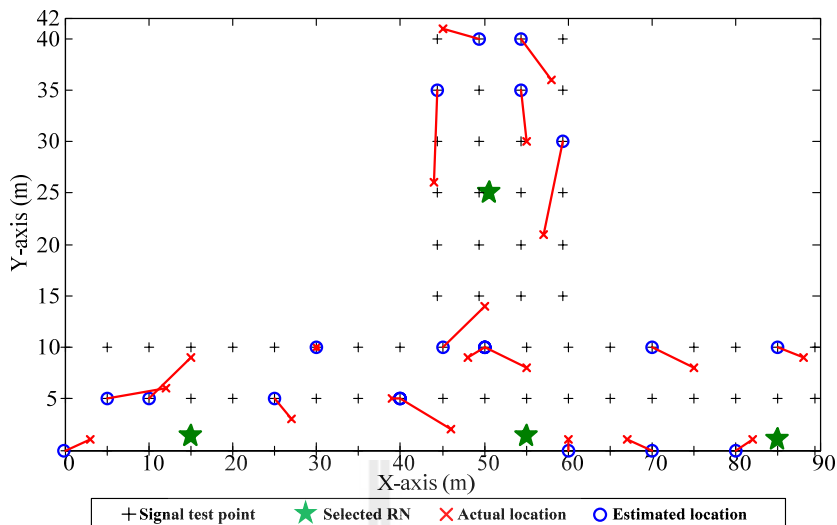
การระบุตำแหน่งได้ดีกว่าการเลือกใช้ตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์อื่น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าวัตถุประสงค์ MSMR จะให้ผลความถูกต้องในการระบุตำแหน่งที่ดีว่าแบบอื่นเช่นกัน



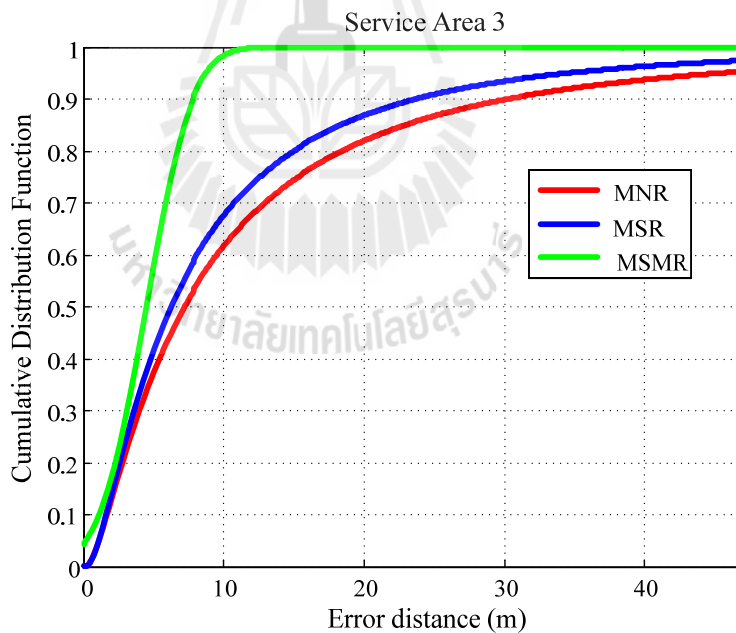
รูปที่ 4.20 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3)



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3)



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSNR (พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3)



รูปที่ 4.23 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

ตารางที่ 4.3 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการ
แบบที่ 3

ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่ทำได้			ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
	MNR	MSR	MSMR	MNR	MSR	MSMR
(67,1)	(70,0)	(70,0)	(70,0)	3.16	3.16	3.16
(75,8)	(70,10)	(80,5)	(70,10)	5.39	5.83	5.39
(60,1)	(65,0)	(60,0)	(60,0)	5.10	1.00	1.00
(3,1)	(5,0)	(0,0)	(0,0)	2.24	3.16	3.16
(27,3)	(15,0)	(75,5)	(25,5)	12.37	48.04	2.83
(55,8)	(55,10)	(35,10)	(50,10)	2.00	20.10	5.39
(46,2)	(45,0)	(45,0)	(40,5)	2.24	2.24	6.71
(48,9)	(50,10)	(40,10)	(50,10)	2.24	8.06	2.24
(12,6)	(0,5)	(0,5)	(5,5)	12.04	12.04	7.07
(30,10)	(44.35,40)	(25,5)	(30,10)	33.26	7.07	0.00
(82,1)	(85,0)	(85,0)	(80,0)	3.16	3.16	2.24
(39,5)	(60,5)	(65,5)	(40,5)	21.00	26.00	1.00
(88,9)	(89.35,5)	(89.35,10)	(85,10)	4.22	1.68	3.16
(58,36)	(89.35,10)	(59.35,40)	(54.35,40)	40.73	4.22	5.42
(44,26)	(44.35,35)	(44.35,20)	(44.35,35)	9.01	6.01	9.01
(55,30)	(70,10)	(54.35,35)	(54.35,35)	25.00	5.04	5.04
(57,21)	(59.35,30)	(59.35,20)	(59.35,30)	9.30	2.55	9.30
(15,9)	(15,10)	(10,5)	(10,5)	1.00	6.40	6.40
(45,41)	(10,10)	(80,10)	(49.35,40)	46.75	46.75	4.46
(50,14)	(54.35,25)	(55,10)	(45,10)	11.83	6.40	6.40
			ค่าเฉลี่ย	12.60	10.95	4.47
			Min, Max	1.00, 46.75	1.00, 48.04	0, 9.30
			SD	13.69	13.91	2.60

4.1.5 กระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

จากผลการทดลองในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุ จากหัวข้อที่ 4.1.1 ถึง 4.1.3 เป็นการทดสอบการใช้สมการคณิตศาสตร์สำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบต่างๆ เพื่อกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง โดยได้ทำการเปรียบเทียบกรณีพื้นที่ให้บริการต่างกัน 3 รูปแบบ กับสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้วัตถุประสงค์ต่างกันซึ่งประกอบไปด้วย 3 วัตถุประสงค์ คือ วัตถุประสงค์ MNR วัตถุประสงค์ MSR และวัตถุประสงค์ MSMR โดยที่วัตถุประสงค์ MNR เป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการทราบจำนวนโนดอ้างอิงน้อยที่สุดที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งในบริเวณของอาคาร จากนั้นสำหรับวัตถุประสงค์ MSR และ MSMR จะเป็นวัตถุประสงค์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อต้องการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่สามารถครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ให้บริการ โดยที่ผลการทดลองจากการหาคำตอบในแต่ละวัตถุประสงค์นั้น ผลของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงของวัตถุประสงค์ MSMR จะได้ผลของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการดีที่สุด โดยที่เป็นการเปรียบเทียบว่าตำแหน่งวางโนดอ้างอิงนี้วางในตำแหน่งที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ให้บริการเท่านั้น ซึ่งผลการทดสอบสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ วัตถุประสงค์สุดท้ายสามารถให้ผลของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ครอบคลุมมากที่สุดสำหรับพื้นที่การทดลองทั้ง 3 แบบ ดังนั้นในการทดลองถัดไปจึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากการทดสอบสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น ในการทดลองหัวข้อที่ 4.1.4 ที่ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จาก 3 วัตถุประสงค์

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.1.4 ที่ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ ที่ได้ทำการเปรียบเทียบจากการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ MNR MSR และ MSMR สำหรับพื้นที่ของอาคาร 3 รูปแบบ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่า ตำแหน่งในการวางโนดอ้างอิงที่มีลักษณะครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารที่ได้จากคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ MSMR สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้น จากผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง สำหรับกระบวนการในการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกนำเอาวัตถุประสงค์ MNR เป็นกระบวนการแรกเพื่อใช้สำหรับการหาจำนวนการใช้โนดอ้างอิงที่น้อยที่สุดที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งในบริเวณของอาคารก่อนเป็นเฟสที่ 1 จากนั้นและขั้นตอนถัดไป จะเลือกนำเอาวัตถุประสงค์ MSMR มาใช้สำหรับการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับ

พื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งเป็นเฟสที่ 2 โดยได้นำคำตอบที่ได้จากเฟสที่ 1 มาเป็นเงื่อนไขในการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในบริเวณของอาคาร

ดังนั้นกระบวนการสำหรับการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยการทำงานของ 2 เฟสดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งได้กล่าวมาถึงภาพรวมของกระบวนการทำงานสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง ที่เป็นผลการหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก 2 วัตถุประสงค์ คือ วัตถุประสงค์ MNR สำหรับการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับใช้ติดตั้งภายในพื้นที่ให้บริการ และวัตถุประสงค์ MSMR สำหรับการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร มาเป็นกระบวนการทำงานในการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงทั้ง 2 เฟส

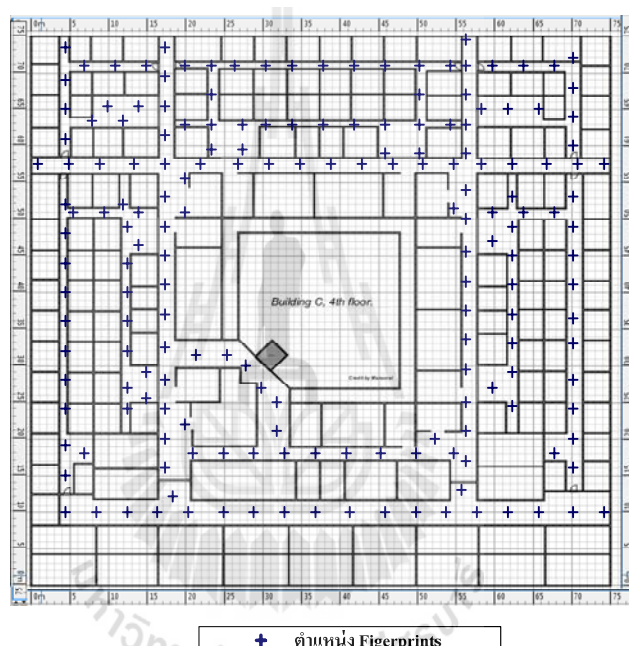
4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งกับวิธีการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงวิธีอื่นๆ จากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองเพื่อศึกษาการเปรียบเทียบผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ได้ใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากกระบวนการการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จากที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 4.1 โดยที่ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุด้วยการวัดสัญญาณจริงภายในพื้นที่สำหรับการทดลอง ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เป็นแนวคิดจากงานวิจัย Avanthi, K., (2006) และ Aomumpai, S. and Prommak, C. (2011) ที่ใช้วิธีการเลือกตำแหน่งวางโนดอ้างอิงแบบสม่ำเสมอในบริเวณขอบของพื้นที่ของอาคาร (Uniform Border Placement: UBP) เปรียบเทียบกับการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการในการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

4.2.1 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลอง เราใช้พื้นที่สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งเป็นพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีขนาด 75 x 75 ตารางเมตร และสำหรับขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ ในงานวิจัยของเราจะเลือกใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนท์ (fingerprints technique) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ออฟไลน์เฟส (offline phase) และออนไลน์เฟส (online phase) ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสจะเป็นขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลอ้างอิงจากตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ (location fingerprints) ที่ได้ทำการกำหนดขึ้นภายในพื้นที่ของอาคาร สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์เป็นระยะ 4 เมตร ดังนั้นจึงได้ตำแหน่งฟิง

เกอร์ปรีนท์ที่กำหนดขึ้นทั้งหมด 184 จุด ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.24 แสดงพื้นที่สำหรับการทดสอบและตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์แทนด้วยเครื่องหมายบวก โดยผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์เหล่านี้ในบริเวณของทางเดินภายในอาคารที่สามารถเข้าถึงได้ และสำหรับในชั้นตอนออฟไลน์เฟสจะเป็นขั้นตอนในการประเมินหาตำแหน่งวัตถุ โดยในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการประเมินหาตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีระยะยูคลิเดียน (euclidean distance) ซึ่งเป็นวิธีการระบุตำแหน่งโดยเลือกตำแหน่งที่มีความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์จากชั้นตอนออนไลน์เฟสที่ใกล้เคียงกับค่าความแรงสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงมากที่สุด



รูปที่ 4.24 พื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มทส. สำหรับการทดลองและตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์

4.2.2 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบระบบกับเทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Zigbee) ซึ่งได้กำหนดอุปกรณ์สำหรับการทดลองดังนี้

- อุปกรณ์สื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Xbee Pro) 10 โหนด (สำหรับใช้เป็นโนดอ้างอิงทั้งหมด 9 โหนด และ สำหรับใช้เป็นโนดวัตถุที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล 1 โหนด)

- แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro จำนวน 5 ตัว (ADX-XBee)
- บอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ตัว (ZX-XBee)
- เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer Notebook)
- สาย serial port
- รางถ่านขนาด AA จำนวน 11 ราง
- ถ่านชาร์จขนาด AA จำนวน 4 โหล
- แท่นชาร์จถ่าน ขนาด AA 1 เครื่อง

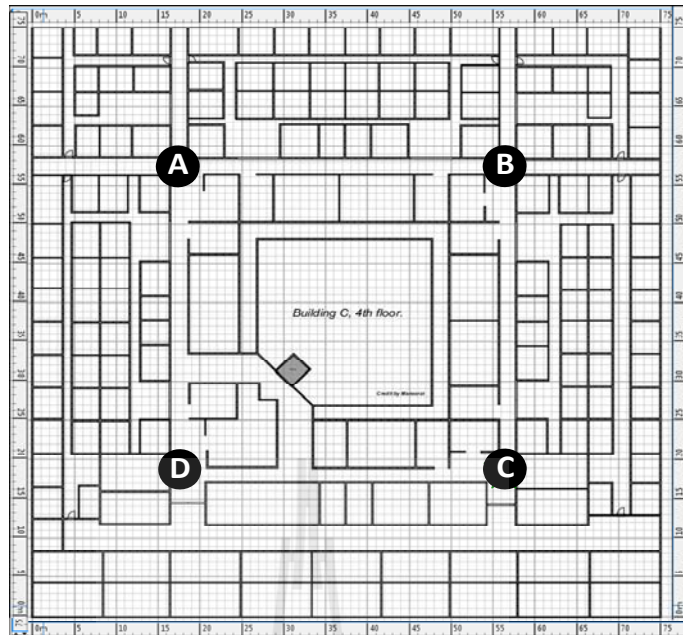
ซึ่งข้อมูลของอุปกรณ์ได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทความผนวก ก และสำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริงนี้ได้กำหนดรูปแบบการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง 4 กรณี สำหรับการทดสอบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ จากการจำลองเหตุการณ์การใช้งานระบบระบุตำแหน่งในเหตุการณ์จริง ดังนี้

กรณี 1 เมื่อใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โนดที่ใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวิธีการเลือกวางแบบสม่ำเสมอที่ขอบของพื้นที่ของอาคาร (Uniform Border Placement: UBP) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.25 แสดงตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงจำนวน 4 โนด (A, B, C และ D) ที่ขอบภายในของอาคาร

กรณี 2 เมื่อใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โนดที่ใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวิธีการเลือกวางแบบสม่ำเสมอที่ขอบของอาคารเช่นกันกับกรณีที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.26 แสดงตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงจำนวน 4 โนด (E, F, G และ H) ที่ขอบภายนอกของอาคาร

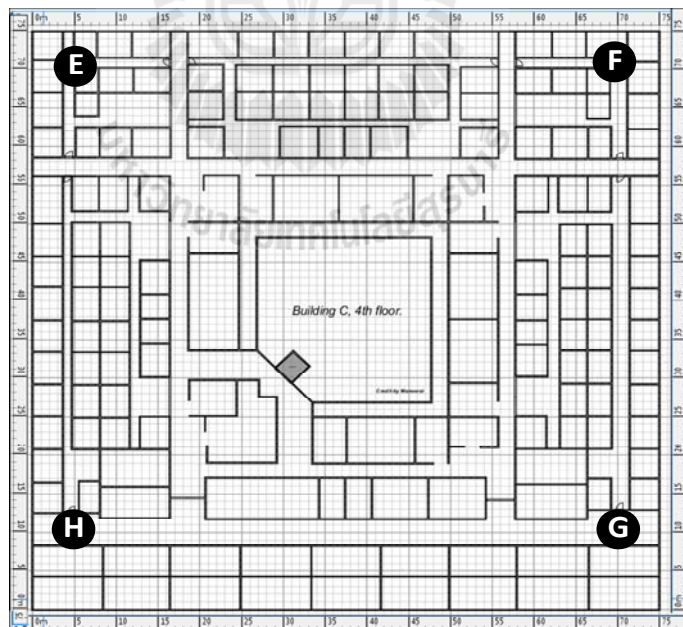
กรณี 3 เมื่อใช้โนดอ้างอิงจำนวน 8 โนด ที่ใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวิธีการเลือกวางแบบสม่ำเสมอที่ขอบของอาคาร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.27 โดยจะนำเอาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากกรณีที่ 1 และ 2 มารวมกัน ดังนั้นในกรณีนี้จึงใช้โนดอ้างอิง 8 โนด (A, B, C, D, E, F, G และ H)

กรณี 4 เมื่อใช้โนดอ้างอิง จำนวน 9 ที่เป็นตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ที่ได้จากกระบวนการทำงาน 2 เฟสจากวัตถุประสงค์ MNR และวัตถุประสงค์ MSMR โดยตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ใช้ในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 4.28



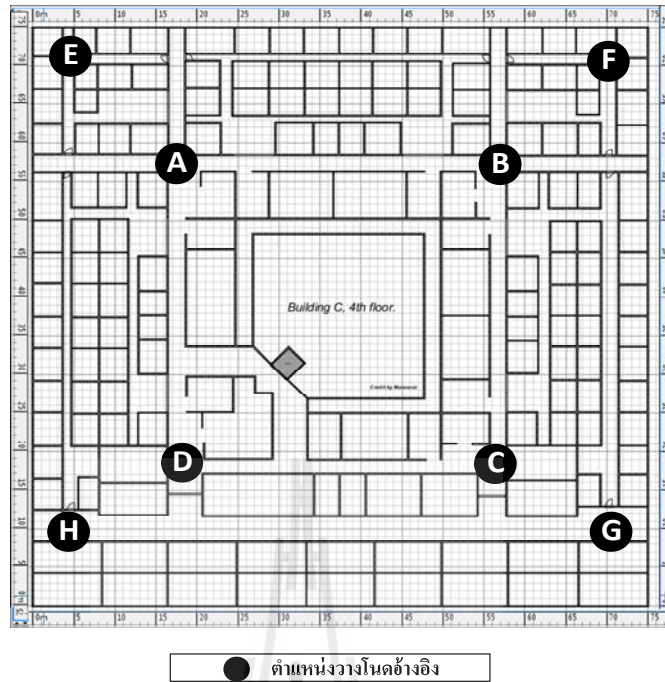
● ตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิง

รูปที่ 4.25 ตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 1

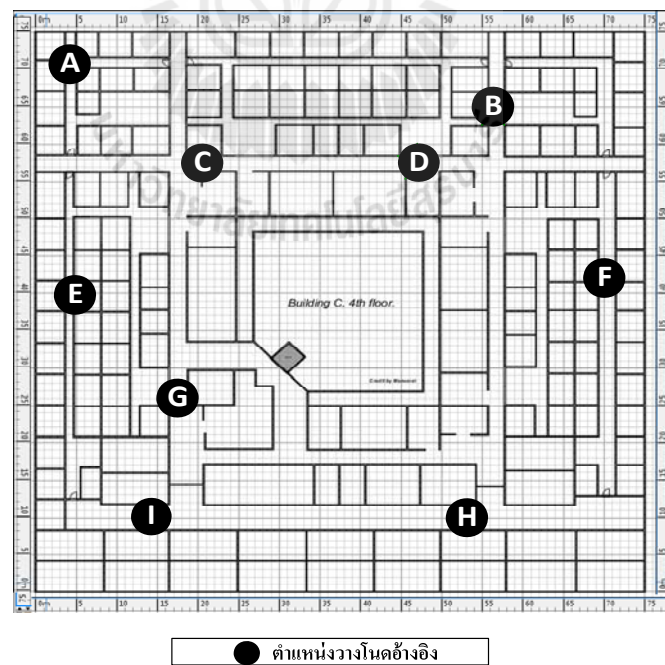


● ตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิง

รูปที่ 4.26 ตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 2



รูปที่ 4.27 ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 3



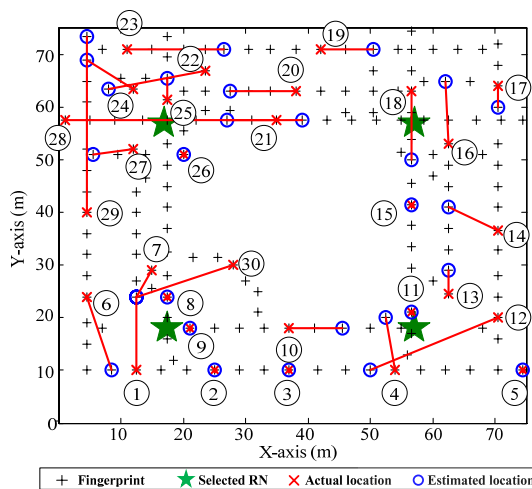
รูปที่ 4.28 ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับกรณีที่ 4

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยโปรแกรม MATLAB (ใช้สำหรับค้นหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR และใช้แสดงการคำนวณตำแหน่งโดยวิธีการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีระยะยูคลิดีียน (Euclidian Distance) โปรแกรม Microsoft Excel (ใช้เก็บฐานข้อมูลจากชุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรี้นท์) โปรแกรม ILOG CPLEX (ใช้ในกระบวนการเลือกหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้) และโปรแกรม X-CTU (ใช้ในการปรับหรือแก้ไขค่าตัวแปรที่อยู่ในเซตเซอร์และร้องขอค่าความแรงของสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่ได้นำไปวางในบริเวณของอาคาร)

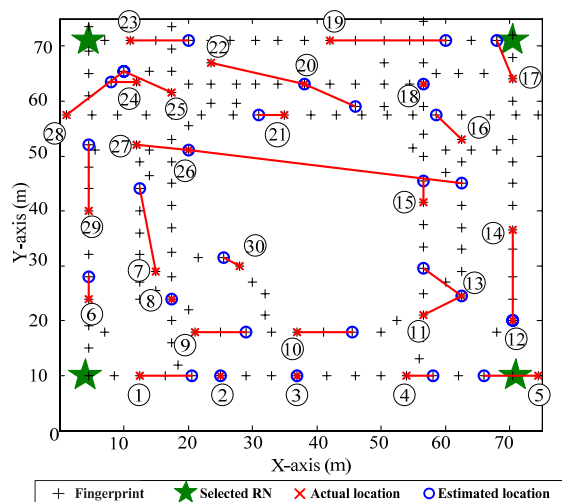
4.2.3 ผลการทดลอง

สำหรับในการทดลอง ตำแหน่งของโนดอ้างอิงได้กำหนดให้ถูกติดตั้งให้มีความสูงจากพื้น 0.8 เมตร และกำหนดให้โนดวัตถุที่ใช้เก็บข้อมูลในตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์ติดตั้งอยู่บนรถเข็นและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีความสูงจากพื้น 0.8 เมตร และทำการทดลองหาตำแหน่งวัตถุที่ได้กำหนดขึ้น ซึ่งจะเลือกใช้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรี้นท์ โดยสุ่มเลือกใช้เป็นตำแหน่งวัตถุทดสอบจำนวน 30 ตำแหน่งสำหรับการทดสอบสมรรถนะของระบบ

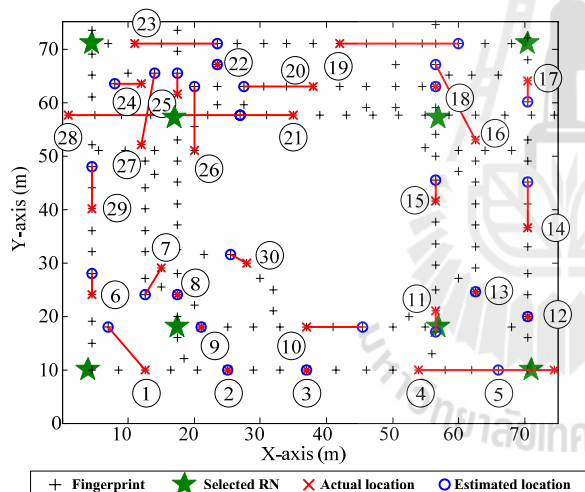
ในการเก็บข้อมูลค่าความแรงสัญญาณเพื่อสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ที่อยู่ในขั้นตอนออฟไลน์เฟส จะทำการบันทึกค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งของฟิงเกอร์ปรี้นท์จำนวน 30 ครั้ง (ใช้เวลาประมาณ 12 นาทีต่อหนึ่งตำแหน่ง) และในแต่ละครั้งของการวัดค่าความแรงสัญญาณ ถ้าหากโนดวัตถุไม่สามารถรับค่าความแรงสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ จะกำหนดให้ค่าความแรงสัญญาณในการวัดครั้งนั้นมีค่าเท่ากับ -110 dBm นั้นหมายถึงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าอ่อนมาก จากนั้นในขั้นตอนออนไลน์เฟสได้ใช้เทคนิคระยะยูคลิดีียนมาใช้ในการประเมินหาตำแหน่งวัตถุที่ได้สุ่มเลือกจากตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์ ซึ่งผลการทดลองในการระบุตำแหน่งวัตถุสำหรับแต่ละกรณีแสดงดังรูปที่ 4.29



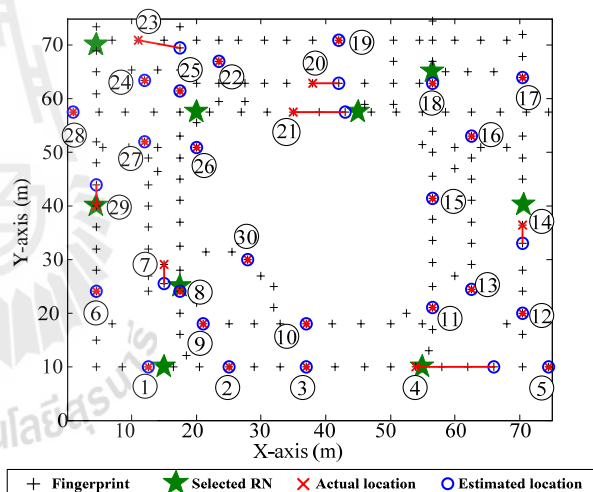
(ก) กรณี 1 ใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนดที่มีตำแหน่งวางแบบ UBP (ภายใน)



(ข) กรณี 2 ใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนดที่มีตำแหน่งวางแบบ UBP (ภายนอก)



(ค) กรณี 3 เมื่อใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 8 โหนด



(ง) กรณี 4 เมื่อใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 9 โหนดที่มีตำแหน่งวางที่ได้จากระบวนการจากกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิง

รูปที่ 4.29 ผลการหาดำแหน่งวัตถุจริงสำหรับทั้ง 4 กรณี

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าระยะทางที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งวัตถุจริงที่ได้ในกรณีที่เลือกใช้โหนดอ้างอิง 4 โหนด และ 8 โหนด สำหรับกรณีที่ 1 2 และ 3 ที่มีการใช้วิธีการเลือกวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงแบบ UBP ให้ระยะทางที่คลาดเคลื่อนที่มากกว่ากรณีที่ 4 ที่เลือกใช้จำนวนโหนด

อ้างอิง 9 โหนด และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดในกรณีที่มีค่าน้อยที่สุด อยู่ที่ 1.39 เมตร

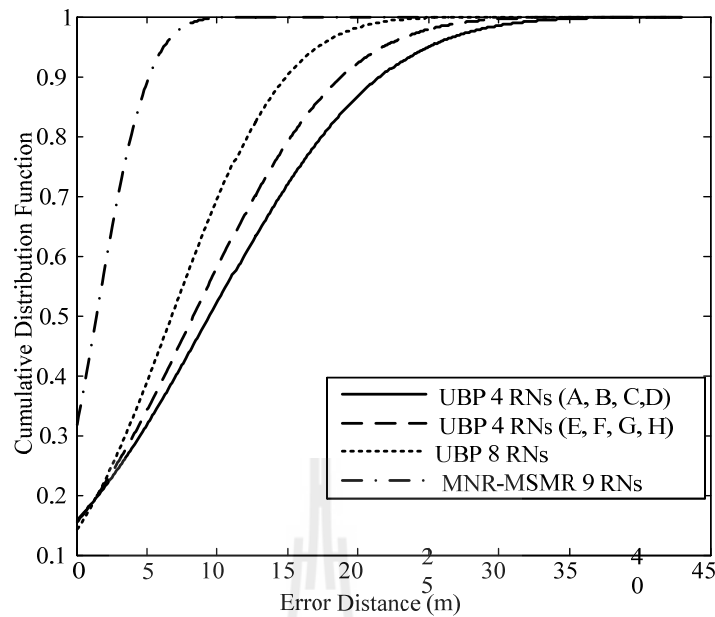
ตารางที่ 4.4 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการใช้ตำแหน่งโหนดอ้างอิง 4 โหนด (แบบ UBP) และ 8 โหนด (แบบ UBP) และแบบ 9 โหนด (จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิง) จากการกำหนดจุดทดสอบ 30 จุด

จำนวนจุดทดสอบ	ตำแหน่งวัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้				ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)			
		(RN=4) A-D	(RN=4) E-H	(RN=8)	(RN=9)	(RN=4) A-D	(RN=4) E-H	(RN=8)	(RN=9)
1	(12.5,10)	(12.5,24)	(20.5,10)	(7,18)	(12.5,10)	14	8	9.71	0
2	(25,10)	(25,10)	(25,10)	(25,10)	(25,10)	0	0	0	0
3	(37,10)	(37,10)	(37,10)	(37,10)	(37,10)	0	0	0	0
4	(54,10)	(52.5,20)	(58,10)	(66,10)	(66,10)	10.11	4	12	12
5	(74.5,10)	(74.5,10)	(66,10)	(66,10)	(74.5,10)	0	8.5	8.5	0
6	(4.50,24)	(8.50,10)	(4.50,28)	(4.50,28)	(4.50,24)	14.56	4	4	0
7	(15,29)	(12.5,24)	(12.5,44)	(12.5,24)	(15,25.5)	5.59	15.20	5.59	3.5
8	(17.5,24)	(17.5,24)	(17.5,24)	(17.5,24)	(17.5,24)	0	0	0	0
9	(21,18)	(21,18)	(29,18)	(21,18)	(21,18)	0	8	0	0
10	(37,18)	(45.5,18)	(45.5,18)	(45.5,18)	(37,18)	8.5	8.5	8.5	0
11	(56.5,21)	(56.5,21)	(62.5,24.5)	(56.5,17)	(56.5,21)	0	6.94	4	0
12	(70.5,20)	(50,10)	(70.5,20)	(70.5,20)	(70.5,20)	22.81	0	0	0
13	(62.5,24.5)	(62.5,29)	(56.5,29.5)	(62.5,24.5)	(62.5,24.5)	4.5	7.81	0	0
14	(70.5,36.5)	(62.5,41)	(70.5,20)	(70.5,45)	(70.5,33)	9.18	16.5	8.5	3.5
15	(56.5,41.5)	(56.5,41.5)	(56.5,45.5)	(56.5,45.5)	(56.5,41.5)	0	4	4	0
16	(62.5,53)	(62,65)	(58.5,57.5)	(56.5,67)	(62.5,53)	12.01	6.02	15.23	0
17	(70.5,64)	(70.5,60)	(68,71)	(70.5,60)	(70.5,64)	4	7.43	4	0
18	(56.5,63)	(56.5,50)	(56.5,63)	(56.5,63)	(56.5,63)	13	0	0	0
19	(42,71)	(50.5,71)	(60,71)	(60,71)	(42,71)	8.5	18	18	0
20	(38,63)	(27.5,63)	(46,59)	(27.5,63)	(42,63)	10.5	8.94	10.5	4
21	(35,57.5)	(27,57.5)	(31,57.5)	(27,57.5)	(43,57.5)	8	4	8	8
22	(23.5,67)	(8,63.5)	(38,63)	(23.5,67)	(23.5,67)	15.89	15.04	0	0
23	(11,71)	(26.5,71)	(20,71)	(23.5,71)	(17.5,69.5)	15.5	9	12.5	6.67
24	(12,63.5)	(4.50,69)	(8,63.5)	(8,63.5)	(12,63.5)	9.30	4	4	0
25	(17.5,61.5)	(17.5,65.5)	(10,65.5)	(17.5,65.5)	(17.5,61.5)	4	8.5	4	0
26	(20,51)	(20,51)	(62.5,45)	(20,63)	(20,51)	0	42.92	12	0
27	(12,52)	(5.50,51)	(20,51)	(14,65.5)	(12,52)	6.58	8.06	13.64	0

ตารางที่ 4.4 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิง 4 โนด (แบบ UBP) และ 8 โนด (แบบ UBP) และแบบ 9 โนด (จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิง) จากการกำหนดจุดทดสอบ 30 จุด (ต่อ)

จำนวนจุดทดสอบ	ตำแหน่งวัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้				ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)			
		(RN=4) A-D	(RN=4) E-H	(RN=8)	(RN=9)	(RN=4) A-D	(RN=4) E-H	(RN=8)	(RN=9)
28	(1,57.5)	(39,57.5)	(10,65.5)	(27,57.5)	(1,57.5)	38	12.04	26	0
29	(4.50,40)	(4.50,73.5)	(4.50,52)	(4.50,48)	(4.50,44)	33.5	12	8	4
30	(28,30)	(12.5,24)	(25.5,31.5)	(25.5,31.5)	(28,30)	16.62	2.91	2.91	0
					ค่าเฉลี่ย	9.49	8.34	6.78	1.39
					Min, Max	0, 38	0, 42.92	0, 26	0, 12
					SD	9.46	8.21	6.34	2.94

จากนั้นเมื่อนำมาพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของระยะทางที่ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุจริงสำหรับทั้งหมด 4 กรณีเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 4.30 ซึ่งจะพบว่าในกรณีที่ 4 ที่ใช้จำนวนโนดอ้างอิง 9 โนดสำหรับติดตั้งในเครือข่าย ที่วิธีที่ได้จากการหาจำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่าจะให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุได้มากกว่ากรณีอื่นๆ ที่เลือกใช้จำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในกรณีแบบ 4 โนดและแบบ 8 โนดซึ่งเป็นการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงด้วยวิธีการวางแบบสมมาตร (UBP) แต่เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 2 และ 3 ก็จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้จำนวนโนดอ้างอิง 4 โนดที่มีรูปแบบการวางในรูปแบบที่ 1 ที่เลือกใช้โนดอ้างอิง A B C D และรูปแบบที่ 2 ที่เลือกใช้โนดอ้างอิง E F G H จะให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุน้อยกว่ากรณีที่ 3 ที่ได้เลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากทั้งสองรูปแบบรวมกัน คือมีการเลือกใช้จำนวนโนดอ้างอิงในการติดตั้งภายในเครือข่ายเป็น 8 โนด จะเห็นว่าการเพิ่มจำนวนโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้



รูปที่ 4.30 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุจริง

ในตารางที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการเลือกใช้วิธีวางโนดอ้างอิงทั้ง 4 แบบดังที่ได้กล่าวมาเปรียบเทียบกัน โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ประกอบด้วย ผลสมรรถนะความถูกต้องซึ่งวิเคราะห์จากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุที่มีหน่วยเป็นเมตร และผลสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 4 เมตร และระยะ 5 เมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ จะพบว่าวิธีการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีกว่า และเมื่อพิจารณาที่ผลของความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง จะพบว่าวิธีการวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีที่สุดในที่ระยะ 4 เมตร และ 5 เมตร คือ 81.25% และ 89.01% (หมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุได้ 89 ครั้งจาก 100 ครั้ง โดยที่ตำแหน่งที่ได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เมตร)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เลือกใช้วางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับพื้นที่ของอาคารที่เราสนใจสามารถส่งผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร ซึ่งจากกรณีที่ 1 ถึง 3 ที่เป็นวิธีการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงแบบสม่ำเสมอที่บริเวณขอบของเครือข่าย (UBP) ซึ่งเป็นแนวคิดเบื้องต้นสำหรับผู้ใช้งานระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารที่จะต้องทำการเลือกจำนวนและตำแหน่งที่จะใช้สำหรับติดตั้งโนดอ้างอิงภายใน

สิ่งแวดล้อมที่สนใจ ที่ยังไม่มีความแน่ชัดว่าจะเป็นตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสิ่งแวดล้อมดังกล่าวหรือไม่ ซึ่งในหลายๆงานวิจัยไม่ได้คำนึงถึงการหาวิธีการที่ใช้เลือกหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุ ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะในการหาตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารที่มีการเลือกใช้จำนวนและตำแหน่งในการวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่าในการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากงานวิจัยนี้ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารได้

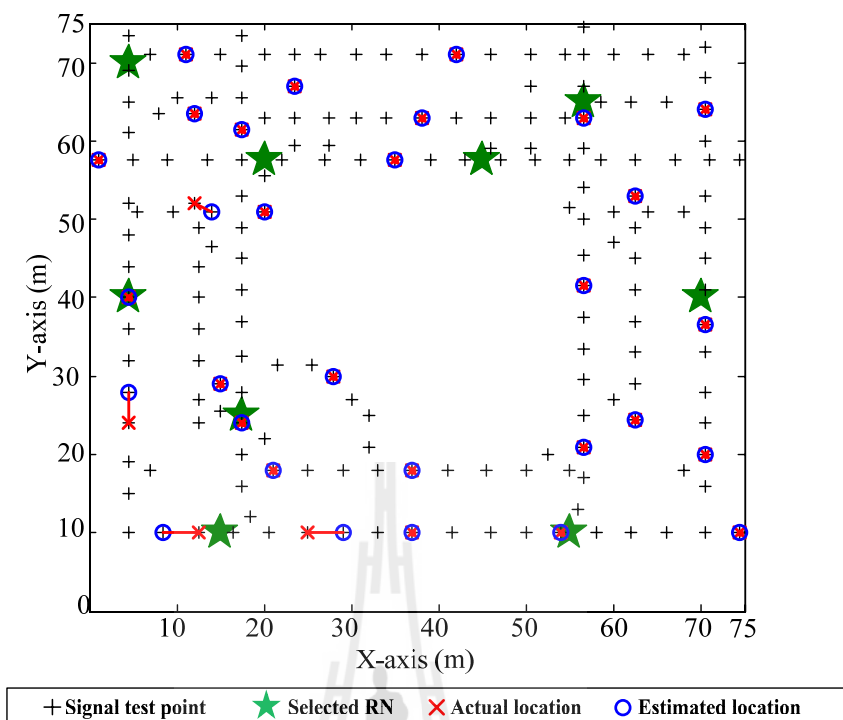
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิงทั้ง 4 กรณี

การใช้โนดอ้างอิง	ความถูกต้องเฉลี่ย (ค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร (%)
จำนวน 4 โหนด (UBP) แบบที่ 1	9.49	28.09	31.76
จำนวน 4 โหนด (UBP) แบบที่ 2	8.34	29.84	34.19
จำนวน 8 โหนด (UBP)	6.78	33.02	38.91
จำนวน 9 โหนด (MSMR)	1.39	81.25	89.01

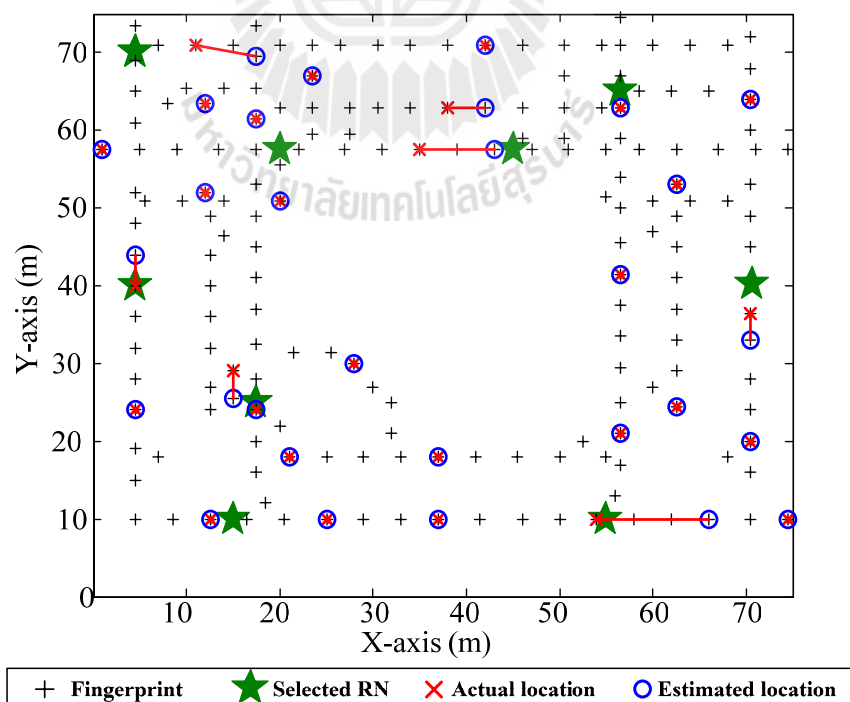
4.3 การเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับ การจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม

จากการทดลองก่อนหน้านี้ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการหาตำแหน่งวัตถุด้วยการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากระบบการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้แนวคิดมาจากงานวิจัยอ้างอิง ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณจริงเพื่อทำการสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ชัดเจนจากผลการทดลองว่าการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากระบบการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้เมื่อนำมาใช้กับการทดสอบสมรรถนะการหาตำแหน่งวัตถุด้วยการวัดสัญญาณในสถานที่จริง สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ดีกว่าการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงด้วยวิธีการเลือกวางตำแหน่งโนคอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงอื่น ดังนั้นสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้จึงได้นำผลการทดลองการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงโดยใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากระบบการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ นำมาเปรียบเทียบกับผลการระบุตำแหน่งวัตถุในตำแหน่งเดียวกันที่ใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินที่ได้จากการจำลองสัญญาณขึ้นด้วยโปรแกรม ซึ่งใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากระบบการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เช่นเดียวกัน

ในการทดลองเราได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ ได้กำหนดในพื้นที่สำหรับการให้บริการระบบระบุตำแหน่งเป็นอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีขนาด 75x75 ตารางเมตร ได้เลือกใช้ตำแหน่งโนคอ้างอิงทั้งหมด 9 โนคที่ได้จากระบบการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กำหนดตำแหน่งทดสอบสัญญาณฟังก์เจอร์ปรินทั้งหมด 184 ตำแหน่งซึ่งเป็นบริเวณทางเดินของอาคาร และตำแหน่งโนควัตถุสำหรับการทดลองหาตำแหน่งทั้งหมด 30 ตำแหน่ง ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวมานี้จะเหมือนกับการทดลองในหัวข้อ 4.2 โดยในการจำลองค่าความแรงสัญญาณเพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินที่อยู่ในชั้นคอนกรีตออฟไลน์เฟสและการจำลองค่าความแรงสัญญาณของตำแหน่งวัตถุทดสอบในชั้นคอนกรีตออนไลน์เฟสจะใช้โปรแกรม MATLAB มาใช้ในการจำลองค่าสัญญาณขึ้น ด้วยการคำนวณค่าความแรงสัญญาณนี้จากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) ตามสมการที่ (2.2) ที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางและตามปริมาณของสิ่งกีดขวาง โดยที่ผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุสำหรับการจำลองค่าความแรงสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 4.31 และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงจากการทดลองในข้อก่อนหน้า ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.32 ซึ่งผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากการระบุตำแหน่งวัตถุจะแสดงดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.31 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการจำลอง



รูปที่ 4.32 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวัดจริง

ตารางที่ 4.6 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุ

จำนวนจุดทดสอบ	ตำแหน่งวัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		simulation	measurement	simulation	measurement
1	(12.5,10)	(12.5,10)	(12.5,10)	4	0
2	(25,10)	(25,10)	(25,10)	4	0
3	(37,10)	(37,10)	(37,10)	0	0
4	(54,10)	(54,10)	(66,10)	0	12
5	(74.5,10)	(74.5,10)	(74.5,10)	0	0
6	(4.50,24)	(4.50,24)	(4.50,24)	4	0
7	(15,29)	(15,29)	(15,25.5)	0	3.5
8	(17.5,24)	(17.5,24)	(17.5,24)	0	0
9	(21,18)	(21,18)	(21,18)	0	0
10	(37,18)	(37,18)	(37,18)	0	0
11	(56.5,21)	(56.5,21)	(56.5,21)	0	0
12	(70.5,20)	(70.5,20)	(70.5,20)	0	0
13	(62.5,24.5)	(62.5,24.5)	(62.5,24.5)	0	0
14	(70.5,36.5)	(70.5,36.5)	(70.5,33)	0	3.5
15	(56.5,41.5)	(56.5,41.5)	(56.5,41.5)	0	0
16	(62.5,53)	(62.5,53)	(62.5,53)	0	0
17	(70.5,64)	(70.5,64)	(70.5,64)	0	0
18	(56.5,63)	(56.5,63)	(56.5,63)	0	0
19	(42,71)	(42,71)	(42,71)	0	0
20	(38,63)	(38,63)	(42,63)	0	4

ตารางที่ 4.6 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุ (ต่อ)

จำนวนจุดทดสอบ	ตำแหน่งวัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)		
		simulation	measurement	simulation	measurement	
21	(35,57.5)	(35,57.5)	(43,57.5)	0	8	
22	(23.5,67)	(23.5,67)	(23.5,67)	0	0	
23	(11,71)	(11,71)	(17.5,69.5)	0	6.67	
24	(12,63.5)	(10,65.5)	(12,63.5)	0	0	
25	(17.5,61.5)	(17.5,61.5)	(17.5,61.5)	0	0	
26	(20,51)	(20,51)	(20,51)	0	0	
27	(12,52)	(12,52)	(12,52)	2.24	0	
28	(1,57.5)	(1,57.5)	(1,57.5)	0	0	
29	(4.50,40)	(4.50,40)	(4.50,44)	0	4	
30	(28,30)	(28,30)	(28,30)	0	0	
				ค่าเฉลี่ย	0.47	1.39
				Min, Max	0, 4	0, 12
				SD	1.26	2.94

4.3.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับ

ฐานข้อมูลที่ได้จากการจำลอง

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารจากการจำลองค่าความแรงสัญญาณ (simulation) เพื่อสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์กับผลการทดลองหาตำแหน่งวัตถุด้วยใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ที่ได้จากการวัดจริงภายในบริเวณของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ที่ได้มีการกำหนดจุดฟังก์เจอร์ปรินท์ให้มีระยะห่างของตำแหน่งฟังก์เจอร์ปรินท์ (grid spacing) เท่ากับ 4 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถเข้าไปวัดสัญญาณได้จริงภายในอาคาร และได้ใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้จำนวนโนดอ้างอิงที่เหมาะสม 9 โหนด ผลการทดลองพบว่า จากการใช้ผลการจำลองค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ด้วยโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ ผลการทดลองในรูปที่ 4.31 จะพบว่าสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้ถูกต้องทั้งหมด 26 ตำแหน่ง จากตำแหน่งวัตถุในการทดสอบทั้งหมด 30 ตำแหน่ง โดยที่สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้ถูกต้องโดยให้ระยะทางที่

ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งที่ 0 เมตร ซึ่งคิดเป็น 86.67 % ของตำแหน่งวัตถุในการทดสอบทั้งหมดที่มีความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.47 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.26 เมตร ในขณะเดียวกันผลการทดลองการหาตำแหน่งวัตถุจากการใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงในรูปที่ 4.32 จะเห็นว่าสามารถระบุตำแหน่งวัตถุได้ถูกต้องทั้งหมด 23 ตำแหน่งจากตำแหน่งวัตถุที่ใช้ในการทดสอบ 30 ตำแหน่งเช่นเดียวกัน ดังนั้นผลการระบุตำแหน่งได้ถูกต้องคิดเป็น 76.67 % ของตำแหน่งวัตถุในการทดสอบทั้งหมด ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.39 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.94 เมตร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลการทดลองระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ฐานข้อมูลอ้างอิงที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม สามารถให้ผลการระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมีค่าต่างจากการใช้ฐานข้อมูลอ้างอิงที่ได้จากการวัดจริง ต่างกัน 10 % จะเห็นว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน โดยที่ผลการการระบุตำแหน่งจากการใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงนั้นจะให้ผลในการระบุตำแหน่งได้ถูกต้องน้อยกว่าเล็กน้อย เนื่องจากว่าในวัดสัญญาณจริงนั้น ยังมีปัจจัยทางด้านกายภาพอีกหลายๆ ด้านที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ทั้งหมด เช่น อุปกรณ์ในการทดลอง ผู้ทำการทดลองหรือบุคคลอื่นที่อยู่ภายในสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากการใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนที่ได้จากการจำลองค่าความแรงสัญญาณด้วยโปรแกรมกับใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงนั้น ก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันที่ยอมรับได้

ดังนั้นในการทดลองอื่นๆ ที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษาต่อไปเพื่อทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ผู้วิจัยจึงจะใช้วิธีการจำลองค่าความแรงสัญญาณแทนการวัดสัญญาณจริงเพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูล โดยที่ในการจำลองค่าความแรงสัญญาณเราได้ใช้สมการการจำลองที่ได้พิจารณาถึงลักษณะของสิ่งแวดล้อม เช่น ผนัง สิ่งกีดขวาง ระยะทาง เป็นต้น รวมถึงค่าความแปรปรวนในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ (variance)

4.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้ตำแหน่งโนคอ้างอิงในงานวิจัย อื่นกับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากระบวนการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิงที่ พัฒนาขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้

จากการทดลองในหัวข้อก่อนหน้าที่ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะจากการทดลองวัดสัญญาณจริงกับผลการจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรมที่แสดงให้เห็นว่าการทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งด้วยการจำลองค่าความแรงสัญญาณด้วยโปรแกรมนั้นสามารถนำมาใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบแทนการทดลองด้วยการวัดสัญญาณในสภาพแวดล้อมจริงได้ ดังนั้นในการทดลองเพื่อการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบดังเช่นในการทดลองในหัวข้อนี้ จึงได้นำเอาวิธีการทดสอบสมรรถนะของระบบด้วยการจำลองค่าสัญญาณด้วยโปรแกรมมาใช้วิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง ซึ่งการทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาจากการนำตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงที่ได้ศึกษา ที่ได้มีการกำหนดตำแหน่งโนคอ้างอิงไว้ในพื้นที่เพื่อใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยจะนำตำแหน่งวางโนคอ้างอิงดังกล่าวมาเปรียบเทียบผลในการระบุตำแหน่งของวัตถุเพื่อทดสอบสมรรถนะกับการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้จากระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

จากสมมุติฐานคือ ตำแหน่งสำหรับวางโนคอ้างอิงที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ดีที่สุดที่สามารถให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีนั้น สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ โดยในเงื่อนไขของเราสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด ก็คือ คุณภาพของสัญญาณที่ได้จากระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ดีนั้น จะต้องให้แต่ละตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีนท์ได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิงที่ได้ถูกติดตั้งในระบบนั้น อย่างน้อย 4 โนค ที่เป็นคำแนะนำจากงานวิจัย Kaemarungsi, K. (2005) ดังนั้นถ้าการเลือกใช้โนคอ้างอิงที่น้อยเกินไปอาจจะไม่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้แก่ระบบได้ ดังนั้นสำหรับวัตถุประสงค์สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้คือ เพื่อศึกษาจากผลการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้กำหนดขึ้นในบริเวณพื้นที่ภายในอาคาร โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงในกรณีที่ใช้จำนวนโนคอ้างอิง 3 โนคและ 4 โนค เปรียบเทียบกับการใช้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับการทดลองเราจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองเปรียบเทียบกับการใช้โนคอ้างอิงจำนวน 3 โนค และการทดลองเปรียบเทียบการใช้โนคอ้างอิงจำนวน 4 โนค

4.4.1 การทดลองเปรียบเทียบกับการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 3 โนด

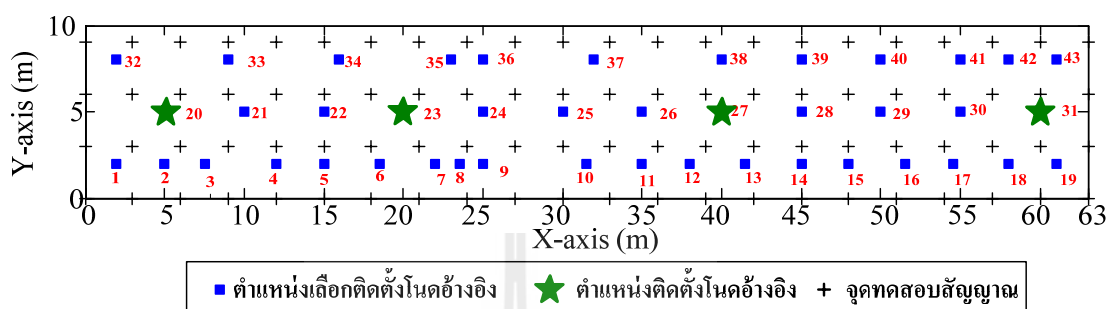
ในการทดลองนี้ได้ใช้พื้นที่ของอาคารจากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009). ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยจะนำตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ที่มีการใช้ เป็นจุดเข้าถึงสัญญาณ (access point) จำนวน 3 ตัว ที่ใช้เป็นโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.33 โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจากลักษณะตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารในงานวิจัยอ้างอิงนี้ที่ใช้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งนำจุดเข้าถึงสัญญาณจำนวน 3 ตัว ที่มีการติดตั้งไว้ก่อนหน้าแล้วสำหรับการใช้งานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) มาใช้เป็นโนดอ้างอิง โดยมีลักษณะการวางในตำแหน่งบริเวณของทางเดินในแนวยาวของอาคารดังรูปที่ 4.33 สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดลองมีดังนี้คือ ได้ทำการกำหนดจุดทดสอบสัญญาณฟังก์ชันปริพันธ์จำนวน 88 จุด (grid spacing = 3 m) กำหนดตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงทั้งหมด 43 ตำแหน่ง โดยพื้นที่มีขนาด กว้าง 63 เมตร และ ยาว 10 เมตร และได้ทำการกำหนดค่าการลดทอนของกำแพงและสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ ได้แก่ คอนกรีต เท่ากับ 4 dB ยิปซัมเท่ากับ 2.5 dB และกระจกเท่ากับ 1.5 dB



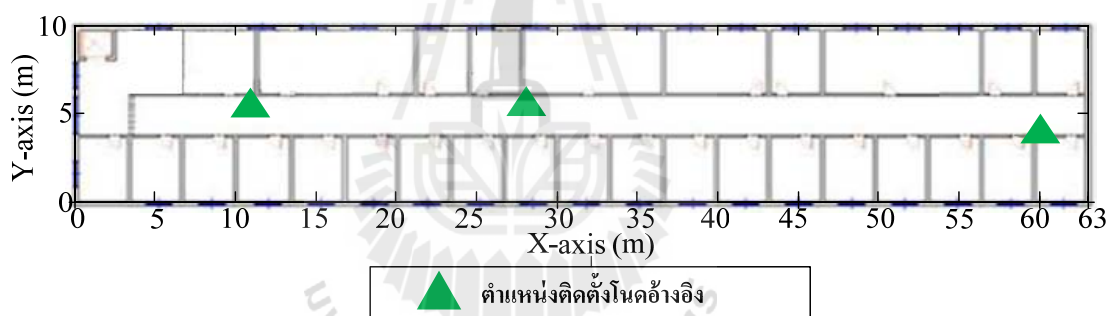
รูปที่ 4.33 แผนผังอาคารในงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009)

สำหรับผลการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ในการทดลองจากงานวิจัยอ้างอิง ดังรูปที่ 4.33 ในกระบวนการเฟสที่ 1 ได้จำนวนการใช้โนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นที่การทดลองนี้เท่ากับ 4 โนด (จากวัตถุประสงค์ MNR) และได้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เป็นคำตอบจากเฟสที่ 2 (จากวัตถุประสงค์ MSMR) นี้ แสดงดังรูปที่ 4.34 โดยเราจะทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงจากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009). ที่ใช้โนดอ้างอิงจำนวน 3 โนด ดังรูปที่ 4.35 ซึ่งในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในการระบุ

ตำแหน่งวัตถุที่ได้ทำการกำหนดขึ้น โดยที่การทดลองหาตำแหน่งวัตถุ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตำแหน่งวัตถุจากการสุ่มสำหรับการทดสอบหาตำแหน่งขึ้นสำหรับในงานวิจัยนี้ โดยได้ทำการทดสอบการหาตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง



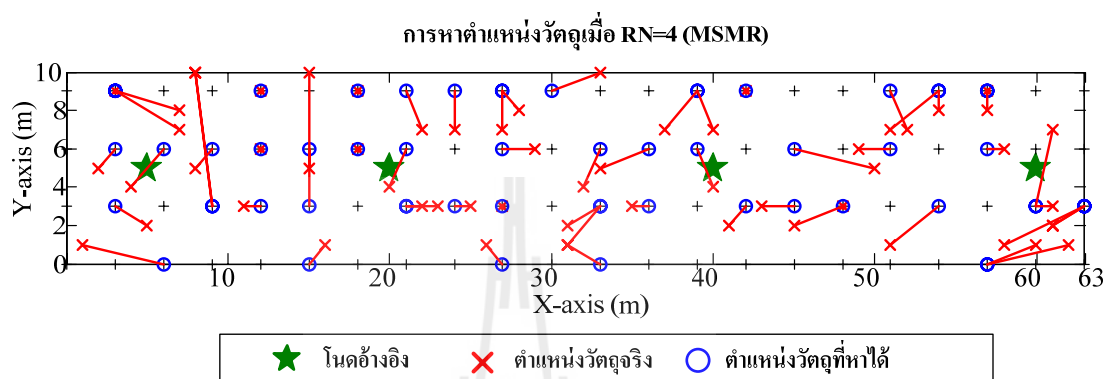
รูปที่ 4.34 ตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงจากการหาค่าตอบของวัตถุประสงค์ MSMR



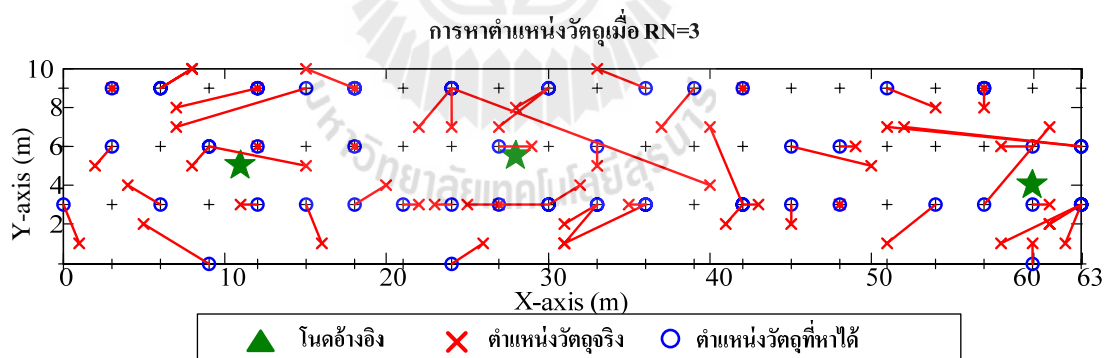
รูปที่ 4.35 ตำแหน่งการวางโนดอ้างอิงจากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A.,and Navarro, J.,L.(2009)

รูปที่ 4.36 และ 4.37 แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง จากระบบที่ใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 3 โหนด ตามลำดับ ซึ่งจากผลการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากระบบการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ที่แสดงในรูปที่ 4.34 จะสังเกตได้ว่าเป็นลักษณะการวางที่กระจายตามทางเดินของอาคารซึ่งใกล้เคียงกับลักษณะการวางของ access point เดิมใน Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009). แต่จำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการหาตำแหน่งวัตถุ 60 ตำแหน่ง ซึ่งจากรูปที่ 4.36 และ 4.37 ที่แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่งจะเห็นว่าระยะทางในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงจำนวน 3 โหนด นั้นให้

ระยะทางที่คลาดเคลื่อนมากกว่า และเมื่อสังเกตจากค่าเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดซึ่งดูได้จากตารางที่ 4.7 ที่แสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง จะเห็นว่า การใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ให้ผลการระบุตำแหน่งวัตถุด้วยระยะทางที่ผิดพลาดเล็กน้อยกว่า



รูปที่ 4.36 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.37 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนดอ้างอิงในงานวิจัย

Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009)

ตารางที่ 4.7 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับงานวิจัยอ้างอิง Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009)

จำนวน จุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=3)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=3)
1	(52,7)	(51,9)	(63,6)	2.24	11.05
2	(58,1)	(63,3)	(63,3)	5.39	5.39
3	(3,9)	(3,9)	(3,9)	0.00	0.00
4	(58,6)	(57,6)	(60,6)	1.00	2.00
5	(40,7)	(39,9)	(42,3)	2.24	4.47
6	(7,7)	(3,9)	(15,9)	4.47	8.25
7	(18,6)	(18,6)	(18,6)	0.00	0.00
8	(35,3)	(36,3)	(36,3)	1.00	1.00
9	(61,7)	(60,3)	(57,3)	4.12	5.66
10	(61,2)	(63,3)	(63,3)	2.24	2.24
11	(7,8)	(3,9)	(12,9)	4.12	5.10
12	(62,1)	(57,0)	(63,3)	5.10	2.24
13	(61,3)	(60,3)	(60,3)	1.00	1.00
14	(31,1)	(33,3)	(33,3)	2.83	2.83
15	(51,1)	(54,3)	(54,3)	3.61	3.61
16	(2,5)	(3,6)	(3,6)	1.41	1.41
17	(27,7)	(27,9)	(30,9)	2.00	3.61
18	(20,4)	(21,6)	(18,3)	2.24	2.24
19	(50,5)	(45,6)	(45,6)	5.10	5.10
20	(1,1)	(6,0)	(0,3)	5.10	2.24

ตารางที่ 4.7 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับงานวิจัย อ้างอิง Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009) (ต่อ)

จำนวน จุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัย อ้างอิง(RN=3)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=3)
21	(28,8)	(27,9)	(30,9)	1.41	2.24
22	(25,3)	(24,3)	(30,3)	1.00	5.00
23	(49,6)	(51,6)	(48,6)	2.00	1.00
24	(51,7)	(54,9)	(63,6)	3.61	12.04
25	(12,9)	(12,9)	(12,9)	0.00	0.00
26	(33,10)	(30,9)	(36,9)	3.16	3.16
27	(29,6)	(27,6)	(27,6)	2.00	2.00
28	(41,2)	(42,3)	(42,3)	1.41	1.41
29	(45,2)	(48,3)	(45,3)	3.16	1.00
30	(48,3)	(48,3)	(48,3)	0.00	0.00
31	(18,9)	(18,9)	(18,9)	0.00	0.00
32	(43,3)	(45,3)	(42,3)	2.00	1.00
33	(42,9)	(42,9)	(42,9)	0.00	0.00
34	(11,3)	(12,3)	(12,3)	1.00	1.00
35	(8,10)	(9,3)	(6,9)	7.07	2.24
36	(32,4)	(33,6)	(30,3)	2.24	2.24
37	(61,2)	(63,3)	(63,3)	2.24	2.24
38	(22,3)	(21,3)	(21,3)	1.00	1.00
39	(37,7)	(39,9)	(39,9)	2.83	2.83
40	(15,5)	(15,6)	(9,6)	1.00	6.08
41	(54,8)	(54,9)	(51,9)	1.00	3.16
42	(40,4)	(39,6)	(24,9)	2.24	16.76

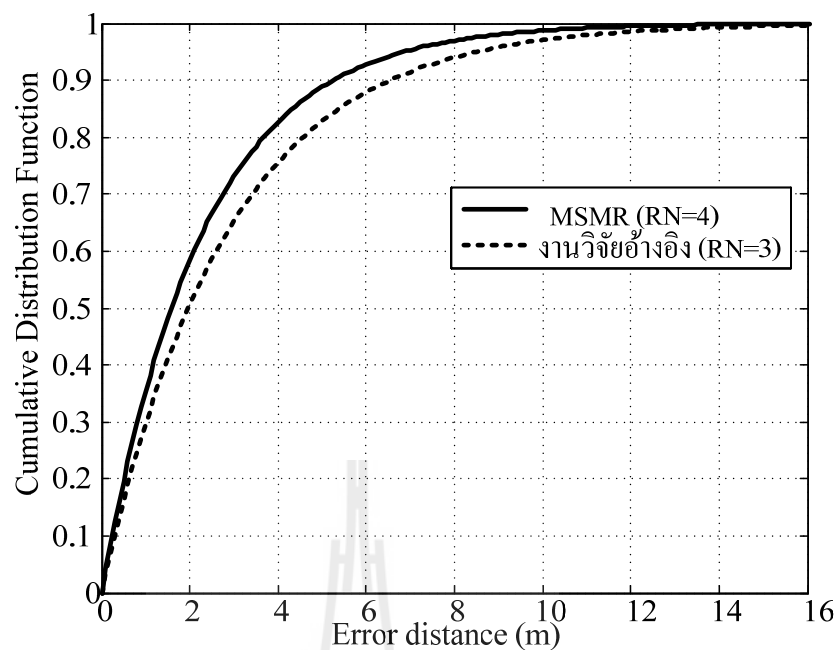
ตารางที่ 4.7 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง
จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับงานวิจัย
อ้างอิง Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009) (ต่อ)

จำนวน จุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=3)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=3)
43	(23,3)	(21,3)	(24,3)	2.00	1.00
44	(33,5)	(36,6)	(33,6)	3.16	1.00
45	(26,1)	(27,0)	(24,0)	1.41	2.24
46	(5,2)	(3,3)	(9,0)	2.24	4.47
47	(15,10)	(15,3)	(18,9)	7.00	3.16
48	(8,10)	(9,3)	(6,9)	7.07	2.24
49	(12,6)	(12,6)	(12,6)	0.00	0.00
50	(16,1)	(15,0)	(15,3)	1.41	2.24
51	(27,3)	(27,3)	(27,3)	0.00	0.00
52	(4,4)	(6,6)	(6,3)	2.83	2.24
53	(57,9)	(57,9)	(57,9)	0.00	0.00
54	(60,1)	(57,0)	(60,0)	3.16	1.00
55	(31,1)	(33,0)	(36,3)	2.24	5.39
56	(31,2)	(33,3)	(33,3)	2.24	2.24
57	(22,7)	(21,9)	(24,9)	2.24	2.83
58	(57,8)	(57,9)	(57,9)	1.00	1.00
59	(24,7)	(24,9)	(24,9)	2.00	2.00
60	(8,5)	(9,6)	(9,6)	1.41	1.41
			ค่าเฉลี่ย	2.28	2.84
			Min, Max	0, 7.07	0, 16.76
			SD	1.78	3.06

รูปที่ 4.38 แสดงผลการเปรียบเทียบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุ (Cumulative Distribution Function: CDF) ระหว่างการใช้โนดอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงกับการเลือกใช้โนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าวิธีที่ใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุได้มากกว่า และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ประกอบด้วย ผลสมรรถนะความถูกต้องซึ่งวิเคราะห์จากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุที่มีหน่วยเป็นเมตร และผลสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตร และระยะ 4 เมตรมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนด และการใช้โนดอ้างอิง 3 โหนด จะพบว่าในการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีกว่าการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 3 โหนด และเมื่อพิจารณาที่ผลของความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 3 เมตร และ 4 เมตร จะพบว่าการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนดที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีที่สุดในระยะ 3 เมตร และ 4 เมตร คือ 73.13% และ 82.66% (หมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุได้ 83 ครั้งจาก 100 ครั้ง โดยที่ตำแหน่งที่ได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 เมตร)

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าในการเลือกใช้โนดอ้างอิงที่น้อยกว่า 4 ตัว จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ โดยจากสมมุติฐานเมื่อได้มีการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากวัตถุประสงค์ MSMR ที่มีพิจารณาเงื่อนไขในการกำหนดให้ใช้โนดอ้างอิงอย่างน้อย 4 ตัวในการหาคำตอบ ซึ่งผลจากการใช้วัตถุประสงค์ MSMR นี้สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ดีกว่า



รูปที่ 4.38 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่การทดลองจากงานวิจัย

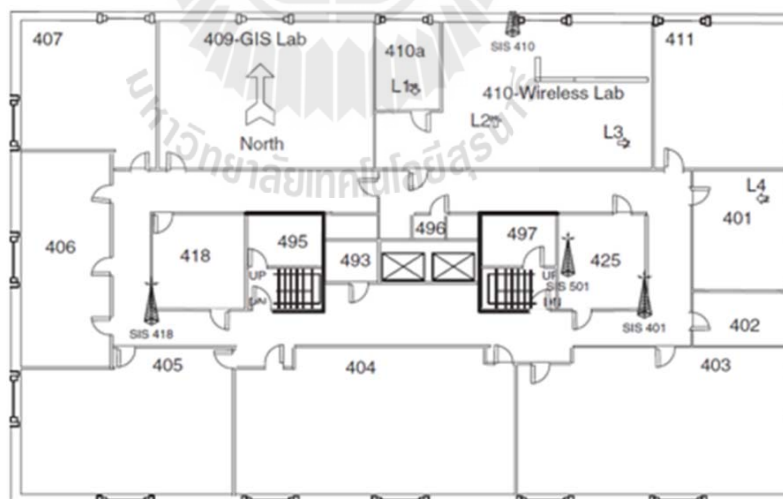
Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดและ 3 โหนด

การใช้โนด อ้างอิง	ความถูกต้องเฉลี่ย (ค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ระยะ 3 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร (%)
จำนวน 4 โหนด (MSMR)	2.28	73.13	82.66
จำนวน 3 โหนด (งานวิจัยอ้างอิง)	2.84	65.26	75.58

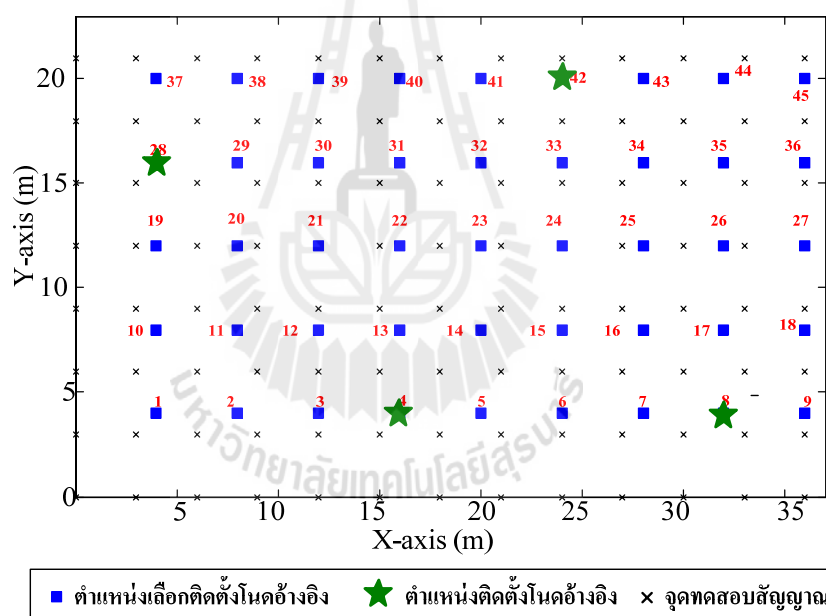
4.4.2 การทดลองเปรียบเทียบกับการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนด

ในการทดลองนี้จะใช้พื้นที่ของอาคารจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) ในการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยจะนำตำแหน่งวางของโนดอ้างอิงในงานวิจัยอ้างอิงนี้ที่มีการใช้ เป็นจุดเข้าถึงสัญญาณ (access point) จำนวน 4 ตัว ที่ใช้เป็นโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.39 โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งจากลักษณะตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารในงานวิจัยอ้างอิงนี้ ที่ใช้กับเครือข่าย WLAN ซึ่งนำจุดเข้าถึงสัญญาณจำนวน 4 ตัว ที่มีการติดตั้งไว้ก่อนหน้าแล้วสำหรับการใช้งานของเครือข่าย WLAN มาใช้เป็นโนดอ้างอิง เช่นเดียวกันกับงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009). สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการทดลองที่ 2 มีดังนี้คือ ได้ทำการกำหนดจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปริ้นท์ จำนวน 104 จุด (grid spacing= 3 m) กำหนดตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงทั้งหมด 45 ตำแหน่ง โดยขนาดพื้นที่ กว้าง 37 เมตร และ ยาว 23 เมตร และได้ทำการกำหนดค่าการลดทอนของกำแพงสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ ได้แก่ คอนกรีตเท่ากับ 4 dB ยิปซัมเท่ากับ 2.5 dB และกระจกเท่ากับ 1.5 dB

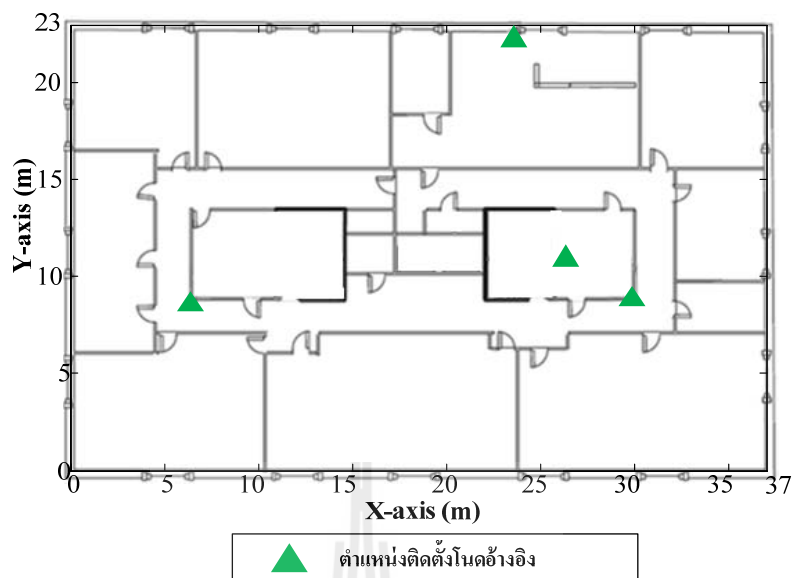


รูปที่ 4.39 แผนผังอาคารในงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004)

สำหรับผลการหาตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ในการทดลองจากงานวิจัยอ้างอิง ดังรูปที่ 4.39 ในกระบวนการเฟสที่ 1 ได้จำนวนการใช้โนคอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นที่การทดลองนี้เท่ากับ 4 โนค (จากวัตถุประสงค์ MNR) และได้ตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่เป็นคำตอบจากเฟสที่ 2 (จากวัตถุประสงค์ MSMR) นี้ แสดงดังรูปที่ 4.40 โดยเราได้ทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) ที่ใช้โนคอ้างอิงจำนวน 4 โนค เช่นกัน ดังรูปที่ 4.41 ซึ่งในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้ทำการกำหนดขึ้น โดยที่การทดลองหาตำแหน่งวัตถุ ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตำแหน่งวัตถุจากการสุ่มสำหรับการทดสอบหาตำแหน่งขึ้นสำหรับในงานวิจัยนี้ โดยได้ทำการทดสอบหาตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.40 ตำแหน่งการวางโนคอ้างอิงจากการหาคำตอบของวัตถุประสงค์ MSMR

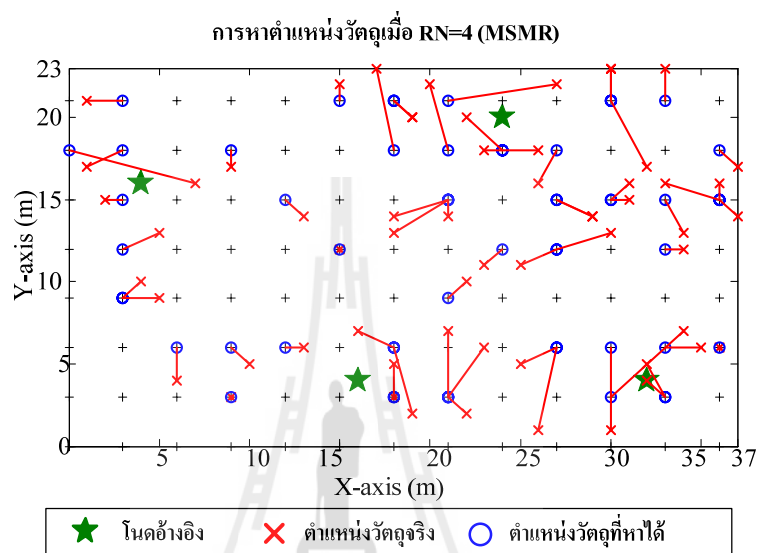


รูปที่ 4.41 ตำแหน่งการวางโน้ตอ้างอิงจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004)

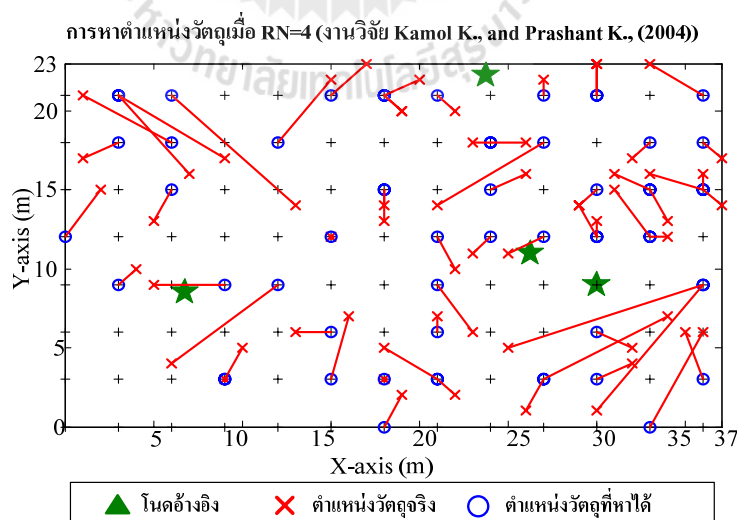
จากรูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่งจากระบบที่ใช้โน้ตอ้างอิง 4 โน้ต (จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโน้ตอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้) และจากระบบที่ใช้โน้ตอ้างอิง 4 โน้ต (จากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004))

จากผลการหาตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ที่แสดงในรูปที่ 4.40 ซึ่งได้จำนวนตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิง 4 โน้ตซึ่งมีลักษณะการวางที่กระจายทั่วทั้งบริเวณของอาคารซึ่งต่างจากลักษณะการวางของจุดเข้าถึงสัญญาณเดิมในงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) ที่มีการติดตั้งในบริเวณพื้นที่ที่ค้ำึงถึงประมาณการใช้งานของผู้ใช้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ดังนั้นในการนำโครงสร้างพื้นฐานของการติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณจากเครือข่าย WLAN อาจจะไม่ทำให้สมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุสำหรับการนำมาใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารได้ ดังนั้นในการกำหนดตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงที่เหมาะสมจากการใช้วัตถุประสงค์ MSMR ในการหาคำตอบจึงจำเป็นสำหรับการออกแบบติดตั้งโน้ตอ้างอิงที่เหมาะสมในอาคาร เพื่อสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุให้กับระบบได้ และเมื่อพิจารณาถึงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการหาตำแหน่งของวัตถุ 60 ตำแหน่ง ซึ่งจากรูปที่ 4.42 และ 4.43 ที่แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง จะพบว่าระยะทางที่คลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการเลือกใช้ตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโน้ตอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นใน

งานวิจัยนี้ นั้นมีระยะที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่า ซึ่งดูได้ตารางที่ 4.9 ที่แสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุทั้งหมด 60 ตำแหน่ง จะเห็นว่า การใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ให้ผลการระบุตำแหน่งวัตถุด้วยระยะทางที่ผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่า



รูปที่ 4.42 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ MSMR



รูปที่ 4.43 ตำแหน่งของวัตถุจริงกับตำแหน่งของวัตถุที่หาได้จากการวางโนดอ้างอิงในงานวิจัย

Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004)

ตารางที่ 4.9 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง
จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับงานวิจัย
อ้างอิง Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004)

จำนวน จุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)
1	(18,13)	(21,15)	(18,15)	3.61	2.00
2	(21,7)	(21,3)	(21,6)	4.00	1.00
3	(19,2)	(18,6)	(18,0)	4.12	2.24
4	(30,23)	(30,21)	(30,21)	2.00	2.00
5	(5,13)	(3,12)	(6,15)	2.24	2.24
6	(13,6)	(12,6)	(15,6)	1.00	2.00
7	(4,10)	(3,9)	(3,9)	1.41	1.41
8	(26,1)	(27,6)	(27,3)	5.10	2.24
9	(34,13)	(33,15)	(33,15)	2.24	2.24
10	(17,23)	(18,18)	(15,21)	5.10	2.83
11	(36,6)	(36,6)	(33,0)	0.00	6.71
12	(30,23)	(30,21)	(30,21)	2.00	2.00
13	(31,16)	(30,15)	(33,15)	1.41	2.24
14	(22,10)	(21,9)	(21,12)	1.41	2.24
15	(6,4)	(6,6)	(12,9)	2.00	7.81
16	(15,12)	(15,12)	(15,12)	0.00	0.00
17	(36,16)	(36,15)	(36,15)	1.00	1.00
18	(23,11)	(24,12)	(24,12)	1.41	1.41
19	(7,16)	(0,18)	(3,21)	7.28	6.40
20	(27,22)	(21,21)	(27,21)	6.08	1.00

ตารางที่ 4.9 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง
จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับงานวิจัย
อ้างอิง Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) (ต่อ)

จำนวนจุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)
21	(10,5)	(9,6)	(9,3)	1.41	2.24
22	(9,17)	(9,18)	(3,21)	1.00	7.21
23	(25,11)	(27,12)	(27,12)	2.24	2.24
24	(32,4)	(33,3)	(30,3)	1.41	2.24
25	(13,14)	(12,15)	(6,21)	1.41	9.90
26	(29,14)	(27,15)	(30,15)	2.24	1.41
27	(25,5)	(27,6)	(36,9)	2.24	11.70
28	(1,17)	(3,18)	(3,18)	2.24	2.24
29	(23,6)	(21,3)	(21,9)	3.61	3.61
30	(15,22)	(15,21)	(12,18)	1.00	5.00
31	(34,7)	(30,3)	(27,3)	5.66	8.06
32	(26,18)	(24,18)	(24,18)	2.00	2.00
33	(18,5)	(18,3)	(21,3)	2.00	3.61
34	(16,7)	(18,6)	(15,3)	2.24	4.12
35	(18,3)	(18,3)	(18,3)	0.00	0.00
36	(29,14)	(27,15)	(30,12)	2.24	2.24
37	(5,9)	(3,9)	(9,9)	2.00	4.00
38	(30,13)	(27,12)	(30,12)	3.16	1.00
39	(19,20)	(18,21)	(18,21)	1.41	1.41
40	(2,15)	(3,15)	(0,12)	1.00	3.61
41	(32,17)	(30,21)	(33,18)	4.47	1.41
42	(21,14)	(21,15)	(27,18)	1.00	7.21

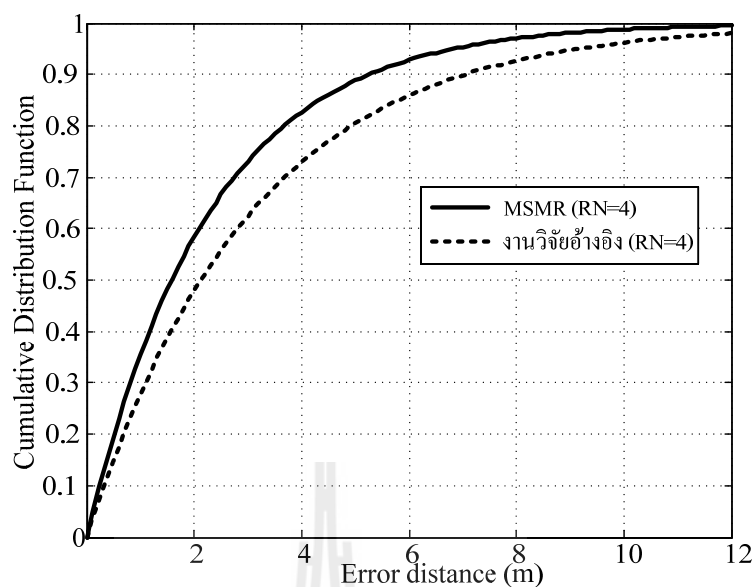
ตารางที่ 4.9 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการวางตำแหน่งโนดอ้างอิง
จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับงานวิจัย
อ้างอิง Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) (ต่อ)

จำนวน จุด ทดสอบ	ตำแหน่ง วัตถุจริง	ตำแหน่งที่หาได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)	
		MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)	MSMR(RN=4)	งานวิจัยอ้างอิง (RN=4)
43	(35,6)	(33,6)	(36,3)	2.00	3.16
44	(26,16)	(27,18)	(24,15)	2.24	2.24
45	(22,2)	(21,3)	(21,3)	1.41	1.41
46	(31,15)	(30,15)	(33,12)	1.00	3.61
47	(33,16)	(36,15)	(36,15)	3.16	3.16
48	(37,17)	(36,18)	(36,18)	1.41	1.41
49	(1,21)	(3,21)	(6,18)	2.00	5.83
50	(33,23)	(33,21)	(36,21)	2.00	3.61
51	(23,18)	(24,18)	(24,18)	1.00	1.00
52	(37,14)	(36,15)	(36,15)	1.41	1.41
53	(20,22)	(21,18)	(18,21)	4.12	2.24
54	(18,14)	(21,15)	(18,15)	3.16	1.00
55	(30,1)	(30,6)	(36,9)	5.00	10.00
56	(9,3)	(9,3)	(9,3)	0.00	0.00
57	(19,20)	(18,21)	(18,21)	1.41	1.41
58	(34,12)	(33,12)	(33,12)	1.00	1.00
59	(22,20)	(24,18)	(21,21)	2.83	1.41
60	(32,5)	(33,3)	(30,6)	2.24	2.24
			ค่าเฉลี่ย	2.27	3.06
			Min, Max	1, 7.28	1, 11.70
			SD	1.54	2.58

รูปที่ 4.44 แสดงผลการเปรียบเทียบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุ (Cumulative Distribution Function: CDF) ระหว่างการใช้โนดอ้างอิงจากงานวิจัยอ้างอิงกับการเลือกใช้โนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าวิธีที่ใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุได้มากกว่า และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลจากการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุเช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อ 4.3.1

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนด กับการใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดเช่นเดียวกันแต่เป็นตำแหน่งวางที่มาจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) จะพบว่าในการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีกว่า ถึงแม้ว่าจะมีการใช้จำนวนโนดอ้างอิงที่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาที่ผลของความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง จะพบว่าการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนดที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ จะมีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีที่สุดในระยะ 3 เมตร และ 4 เมตร คือ 73.18% และ 82.70% (หมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุได้ 83 ครั้งจาก 100 ครั้ง โดยที่ตำแหน่งที่ได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 เมตร)

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะจะเห็นว่าในกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งภายในระบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ของอาคาร โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MNR และ MSMR สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้ เมื่อเปรียบเทียบจากการเลือกใช้ตำแหน่งโนดอ้างอิงจากงานวิจัยอื่นที่ได้ศึกษาซึ่งใช้โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่สำหรับเครือข่าย WLAN มาใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร



รูปที่ 4.44 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของพื้นที่การทดลองจากงานวิจัย

Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004)

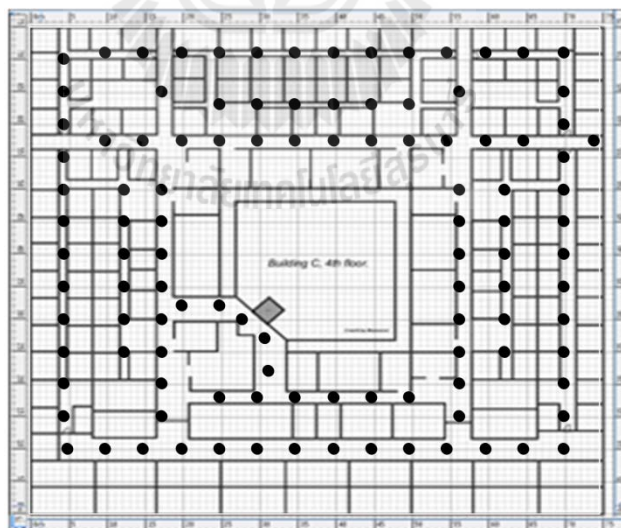
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่ใช้โนดอ้างอิง 4 โหนดเท่ากัน

การใช้โนด อ้างอิง	ความถูกต้องเฉลี่ย (ค่าความคลาดเคลื่อน เฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ระยะ 3 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร (%)
จำนวน 4 โหนด (MSMR)	2.27	73.18	82.70
จำนวน 4 โหนด (งานวิจัยอ้างอิง)	3.06	62.49	72.94

4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบจากการกำหนดความละเอียดระยะห่างของจุดทดสอบ

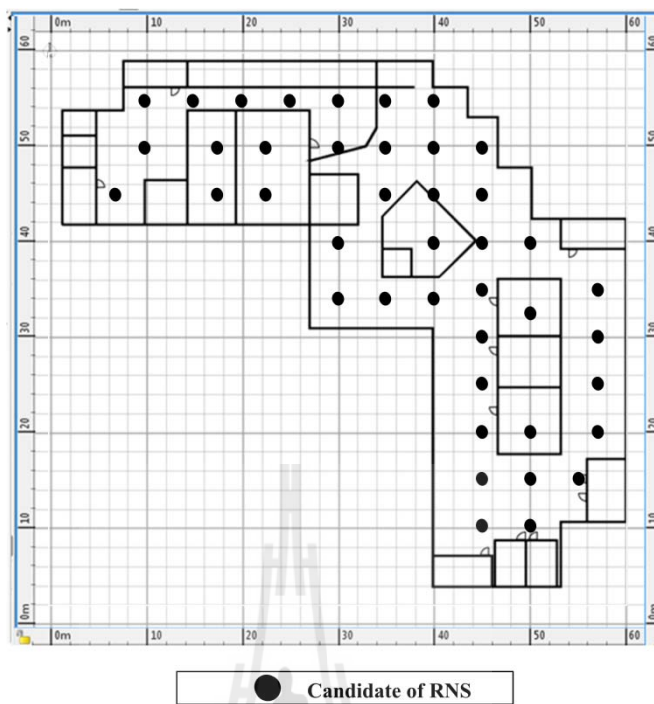
สัญญาณ (grid spacing) ในพื้นที่ลักษณะต่างๆ

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบจากการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งวัตถุสำหรับพื้นที่ลักษณะต่างๆ โดยในการทดลองเราได้ทดลองกับพื้นที่อาคารหลายๆ รูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ได้กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 (service area 1)) พื้นที่ของอาคารบรรณสารชั้นที่ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเช่นเดียวกัน (กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 (service area 2)) และพื้นที่ของอาคารบัณฑิตวิทยาลัยชั้น 4 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (กำหนดให้เป็นพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 (service area 3)) ซึ่งได้แสดงพื้นที่สำหรับการทดลองทั้ง 3 ดังรูปที่ 4.45 รูปที่ 4.46 และรูปที่ 4.47 ซึ่งในการทดลองจะมีการกำหนดตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโน้ดอ้างอิงได้ในบริเวณพื้นที่ของอาคารแบบต่างๆ ดังรูปที่ 4.45 ถึง 4.47 โดยในการทดลองจะทำการกำหนดขนาดของระยะห่างจุดทดสอบสัญญาณ 5 ชุดการทดสอบคือ กำหนดให้มีระยะห่าง 2, 3, 4, 5 และ 6 เมตร ซึ่งในการทดลองได้แบ่งออกเป็นกรทดลองย่อยๆ 3 การทดลองตามลักษณะพื้นที่ของอาคารที่ทำการศึกษาดังนี้

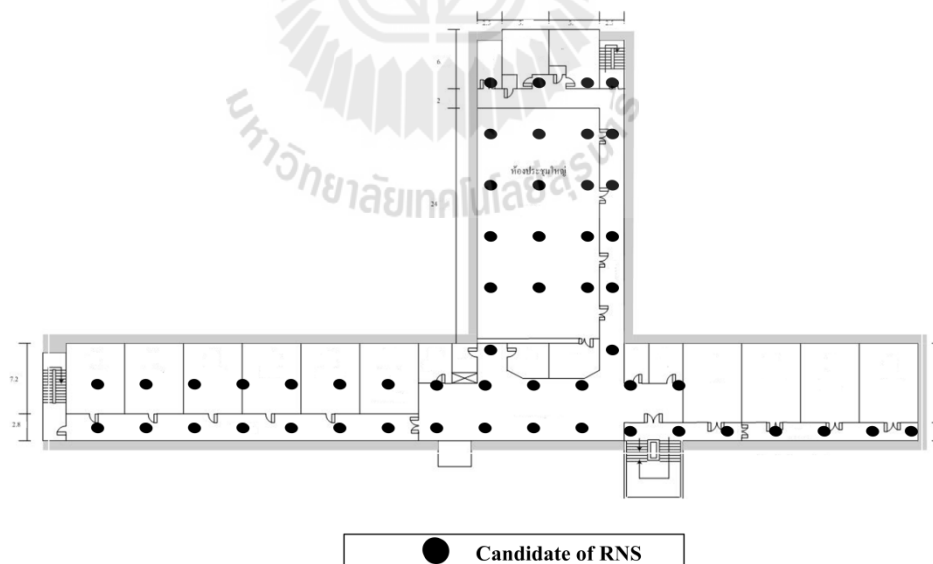


● Candidate of RNS

รูปที่ 4.45 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 (service area 1)



รูปที่ 4.46 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 (service area 2)

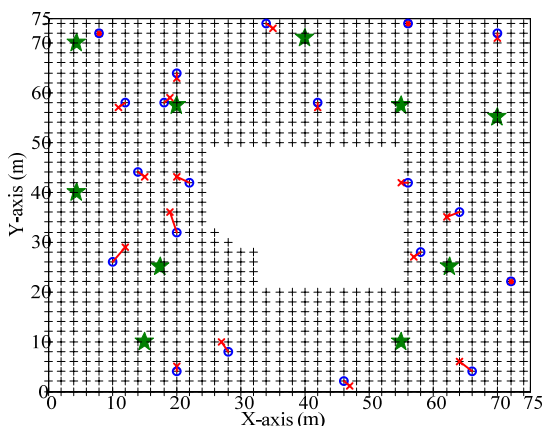


รูปที่ 4.47 พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3 (service area 3)

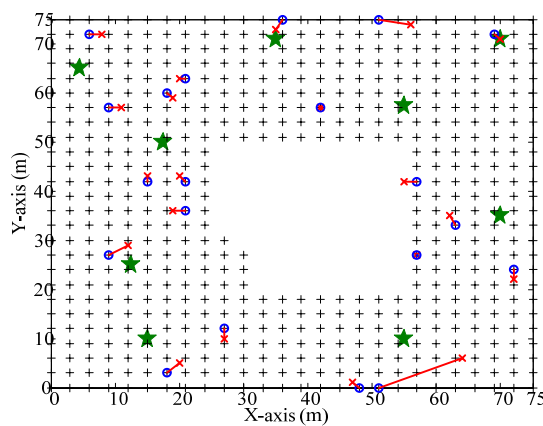
4.5.1 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1

สำหรับการทดลองเริ่มจากการกำหนดพิกัดของจุดทดสอบสัญญาณให้มีขนาดระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ (grid spacing) 5 ระยะคือ กำหนดระยะห่างที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เมตร จากนั้นใช้กระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้วัตถุประสงค์ MNR และ MSMR ในการหาจำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารจากการกำหนดตำแหน่งที่สามารถวางโนดอ้างอิงได้ (candidate of RNs) ที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นแสดงในรูปที่ 4.45 จากนั้นนำตำแหน่งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงนี้มาใช้ทดสอบกับระบบระบุตำแหน่งเพื่อเป็นการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในการหาตำแหน่งวัตถุ 60 ตำแหน่ง ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบหาตำแหน่งวัตถุดังรูปที่ 4.48

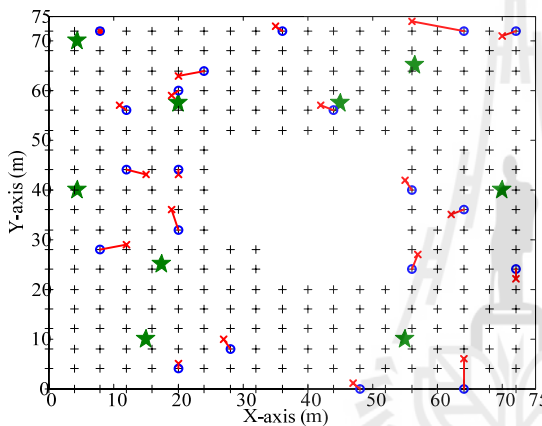
จากรูปที่ 4.48 แสดงตัวอย่างผลการระบุตำแหน่งวัตถุจำนวน 20 ตำแหน่ง จากการใช้โนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้มีการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณออกเป็น 5 กรณี คือ 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร 5 เมตร และ 6 เมตร ซึ่งแต่ละกรณีจะใช้จำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในพื้นที่ของอาคารที่ต่างกัน จากการออกแบบแล้วในกรณีที่ใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ 2 เมตรจะต้องใช้จำนวนโนดอ้างอิง 10 โหนดซึ่งแสดงตำแหน่งวางดังรูปที่ 4.48(ก) จะเห็นว่ามีลักษณะกระจายทั่วบริเวณของอาคารและจากการทดสอบระบุตำแหน่งวัตถุจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.62 เมตร โดยที่มีระยะทางในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดมากที่สุดที่ 5 เมตร และมีความแปรปรวนอยู่ที่ 1.23 เมตร ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.11 สำหรับกรณีที่ใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตรจากการออกแบบแล้วจะต้องใช้จำนวนโนดอ้างอิง 9 โหนดซึ่งแสดงตำแหน่งวางดังรูปที่ 4.48(ข) 4.48(ค) และ 4.48(ค) จะพบว่าแต่ละกรณีจะมีตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ไม่เหมือนกันแต่มีลักษณะที่ครอบคลุมทั่วบริเวณอาคารเหมือนกัน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุจากตารางที่ 4.11 จะพบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของสามกรณีดังกล่าวอยู่ที่ 2.23 เมตร 2.80 เมตร และ 2.96 เมตร โดยที่มีระยะทางในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดมากที่สุดที่ 14.32 เมตร 10.20 เมตร และ 8.54 เมตร ซึ่งมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 2.22 เมตร 2.40 เมตร และ 1.84 เมตรและกรณีที่ใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ 6 เมตรจากการออกแบบจะต้องใช้จำนวนโนดอ้างอิง 8 โหนด ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนการใช้โนดอ้างอิงที่น้อยลงตามความละเอียดของขนาดจุดทดสอบสัญญาณที่ลดลงเช่นกัน ซึ่งได้แสดงผลตำแหน่งวางดังรูปที่ 4.48(ง) และจากการระบุตำแหน่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.11 จะพบว่ามีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 3.91 เมตร โดยที่มีระยะทางในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดมากที่สุดที่ 16 เมตร และมีความแปรปรวนเท่ากับ 2.88 เมตร



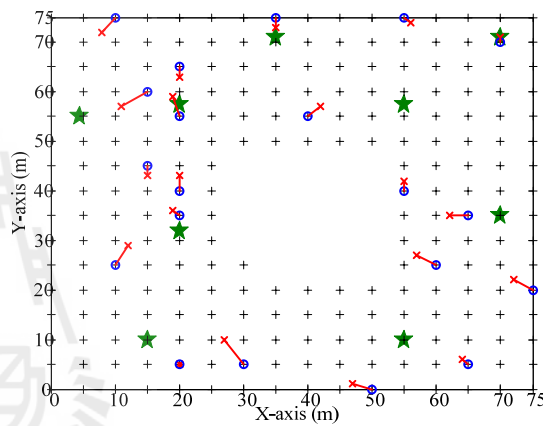
ก) กรณีใช้ $g_s=2m$ และใช้จำนวน $RN=10$



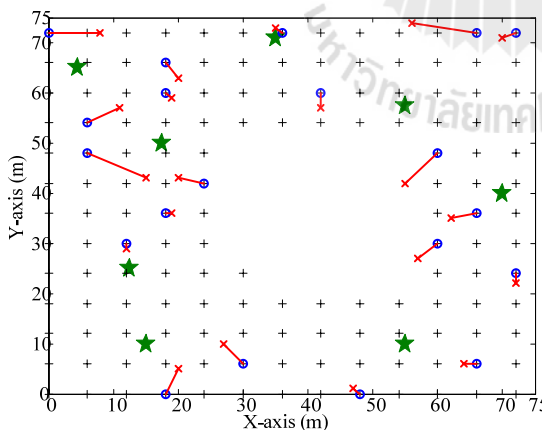
ข) กรณีใช้ $g_s=3m$ และใช้จำนวน $RN=9$



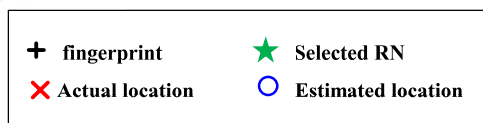
ค) กรณีใช้ $g_s=4m$ และใช้จำนวน $RN=9$



ง) กรณีใช้ $g_s=5m$ และใช้จำนวน $RN=9$



จ) กรณีใช้ $g_s=6m$ และใช้จำนวน $RN=8$



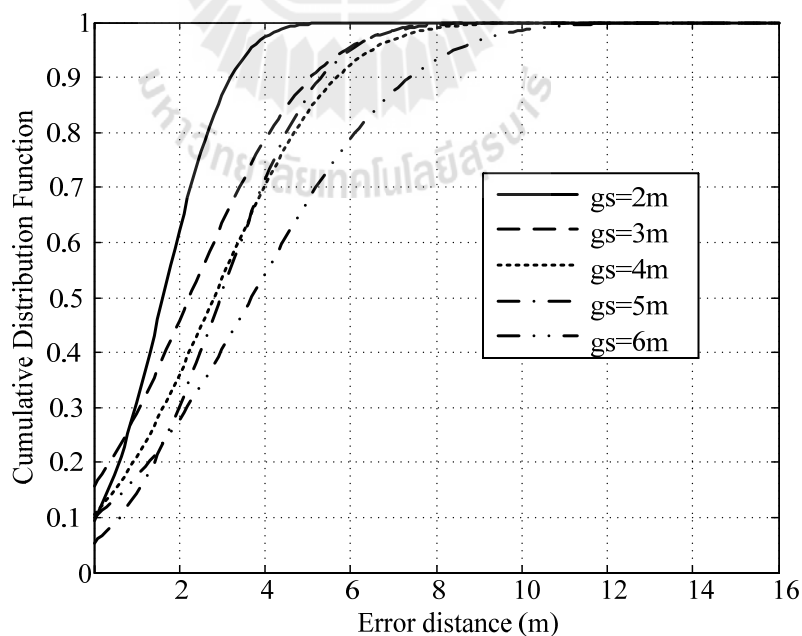
ฉ) อธิบายสัญลักษณ์

รูปที่ 4.48 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจากระบบการกำหนดตำแหน่งวาง โหนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1

ตารางที่ 4.11 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1

พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (เมตร)				
	gs=2m	gs=3m	gs=4m	gs=5m	gs=6m
ค่าเฉลี่ย	1.62	2.23	2.80	2.96	3.91
max, min	5, 0	14.32, 0	10.20, 0	8.54, 0	16, 1
SD	1.23	2.22	2.40	1.84	2.88

จากการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุจริงที่ได้กำหนดขึ้นเราสามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่ง ซึ่งได้แสดงจากผลการเปรียบเทียบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง (CDF) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.49 จะพบว่ากราฟเส้นที่ได้เลือกใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณเท่ากับ 2 เมตร จะให้ผลค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ผิดพลาดน้อยกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ขนาดของระยะห่างจุดทดสอบสัญญาณที่มีความละเอียดมากขึ้น สามารถทำให้ผลในการระบุตำแหน่งของวัตถุมีสมรรถนะมากขึ้น สำหรับลักษณะของพื้นที่อาคารแบบจตุรัสแบบสมมาตร

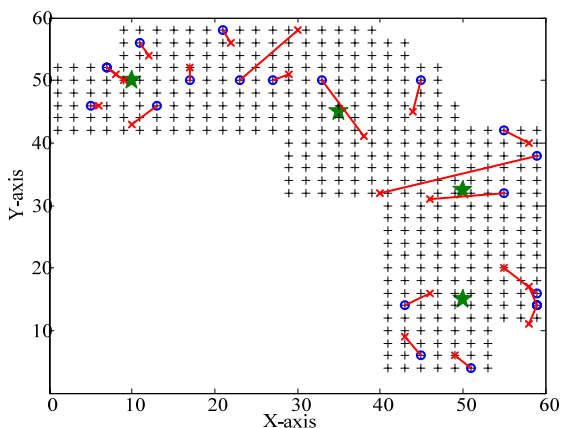


รูปที่ 4.49 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของขนาดของระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1

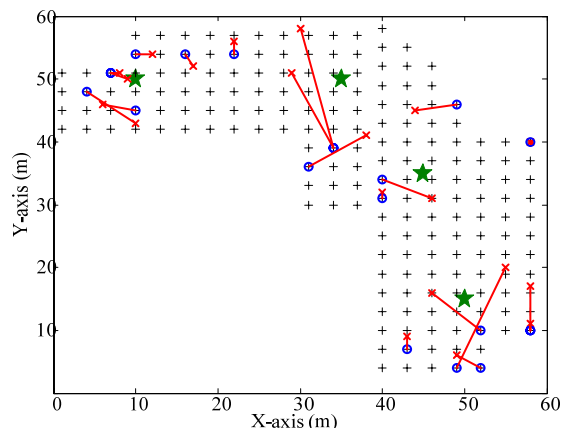
4.5.2 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

สำหรับการทดลองเริ่มจากการกำหนดพิกัดของจุดทดสอบสัญญาณให้มีขนาดระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 5 ระยะเช่นกันกับการทดลองที่ 4.6.1 จากนั้นใช้กระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้วัตถุประสงค์ MNR และ MSMR ในการหาจำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารจากการกำหนดตำแหน่งที่สามารถวางโนดอ้างอิงได้ที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นแสดงในรูปที่ 4.46 จากนั้นนำตำแหน่งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงนี้มาใช้ทดสอบกับระบบระบุตำแหน่งเพื่อเป็นการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในการหาตำแหน่งวัตถุ 60 ตำแหน่ง ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบหาตำแหน่งวัตถุดังรูปที่ 4.50

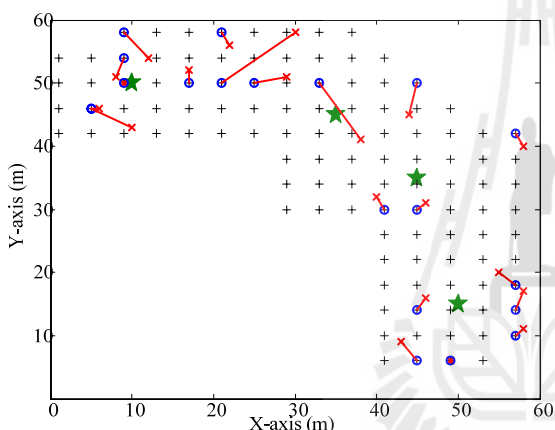
จากรูปที่ 4.50 แสดงตัวอย่างผลการระบุตำแหน่งวัตถุจำนวน 20 ตำแหน่ง จากการใช้โนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้มีการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณออกเป็น 5 กรณี คือ 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร 5 เมตร และ 6 เมตร ซึ่งแต่ละกรณีจะใช้จำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในพื้นที่ของอาคารที่ต่างกัน จากการออกแบบแล้วในกรณีที่ใช้ ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณทั้ง 5 กรณี จะต้องใช้จำนวนโนดอ้างอิง 4 โหนด ซึ่งแสดงตำแหน่งวางดังรูปที่ 4.50(ก) 4.50(ข) 4.50(ค) 4.50(ง) และ 4.50(จ) ตามลำดับ จะเห็นว่ามีลักษณะการวางโนดอ้างอิงที่ไม่เหมือนกัน แต่มีลักษณะที่ครอบคลุมทั่วบริเวณอาคารเหมือนกัน และจากผลการทดสอบระบุตำแหน่งวัตถุจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งห้ากรณีดังกล่าวอยู่ที่ 5.53 เมตร 5.7 เมตร 3.95 เมตร 4.13 เมตร และ 4.43 เมตร ตามลำดับโดยที่มีระยะทางในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดมากที่สุดที่ 19.92 เมตร 19.41 เมตร 22.67 เมตร 16.27 เมตร และ 9.06 เมตร ตามลำดับ และมีความแปรปรวนอยู่ที่ 4.5 เมตร 5.22 เมตร 3.67 เมตร 3.29 เมตร และ 2.5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.12



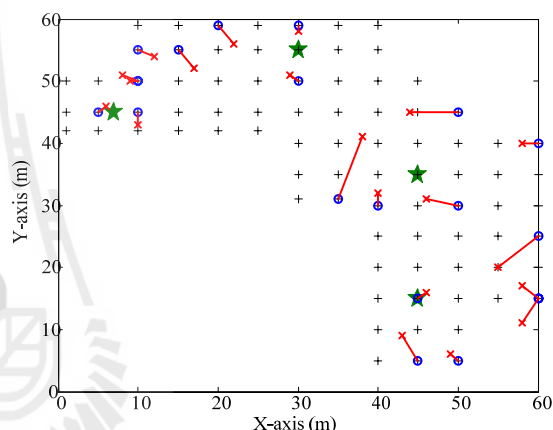
ก) กรณีใช้ $g_s=2m$ และใช้จำนวน $RN=4$



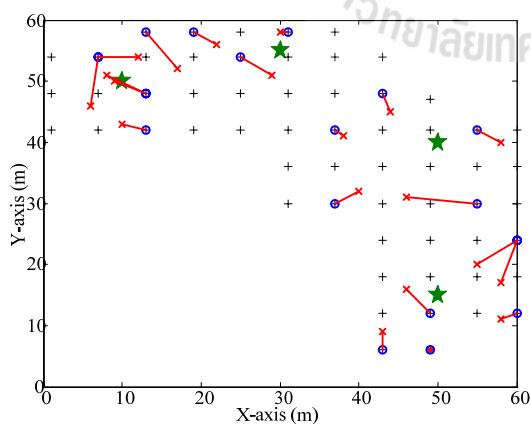
ข) กรณีใช้ $g_s=3m$ และใช้จำนวน $RN=4$



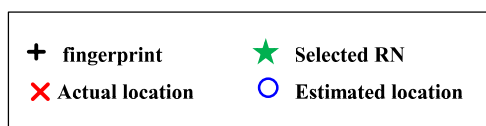
ค) กรณีใช้ $g_s=4m$ และใช้จำนวน $RN=4$



ง) กรณีใช้ $g_s=5m$ และใช้จำนวน $RN=4$



จ) กรณีใช้ $g_s=6m$ และใช้จำนวน $RN=4$



ฉ) อธิบายสัญลักษณ์

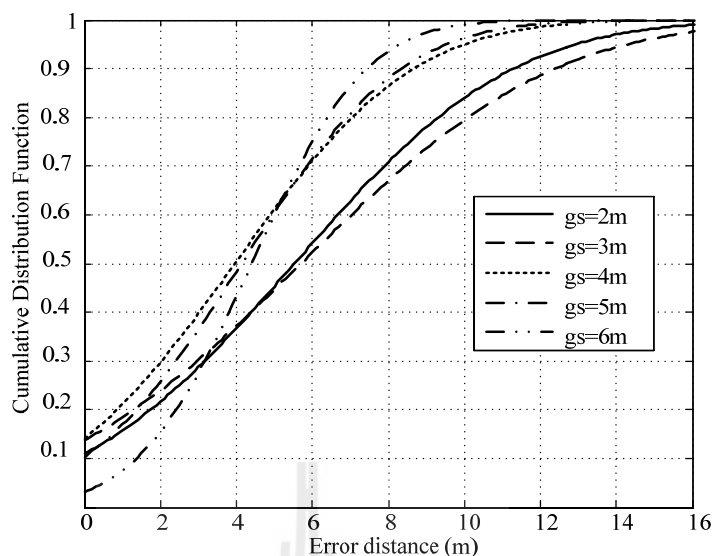
รูปที่ 4.50 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจากระบบการกำหนด

ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

ตารางที่ 4.12 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (เมตร)				
	gs=2m	gs=3m	gs=4m	gs=5m	gs=6m
ค่าเฉลี่ย	5.53	5.7	3.95	4.13	4.43
max, min	19.92, 1	19.41, 0	22.67, 0	16.27, 1	9.06, 0
SD	4.5	5.22	3.67	3.29	2.5

จากการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุจริงที่ได้กำหนดขึ้นเราสามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ ซึ่งได้แสดงจากผลการเปรียบเทียบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง (CDF) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.51 จะพบได้ว่าเส้นกราฟที่เป็นการเลือกใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่ระยะ 6 เมตร จะให้ผลความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ผิดพลาดน้อยกว่า โดยจะสังเกตได้ว่าผลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ได้การทดลองที่ 4.6.1 ที่สังเกตได้ว่าความละเอียดของระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่มากจะส่งผลให้มีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งที่น้อย แต่สำหรับการทดลองในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ของอาคารที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้นจะสังเกตให้เห็นว่าความละเอียดของการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่พื้นที่ให้บริการมีความซับซ้อนมาก



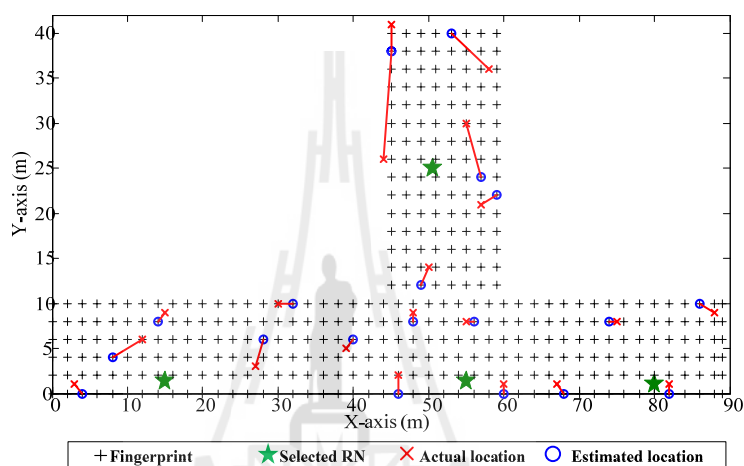
รูปที่ 4.51 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนขนาดของระยะห่างของจุดทดสอบ
สัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2

4.5.3 การทดลองสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

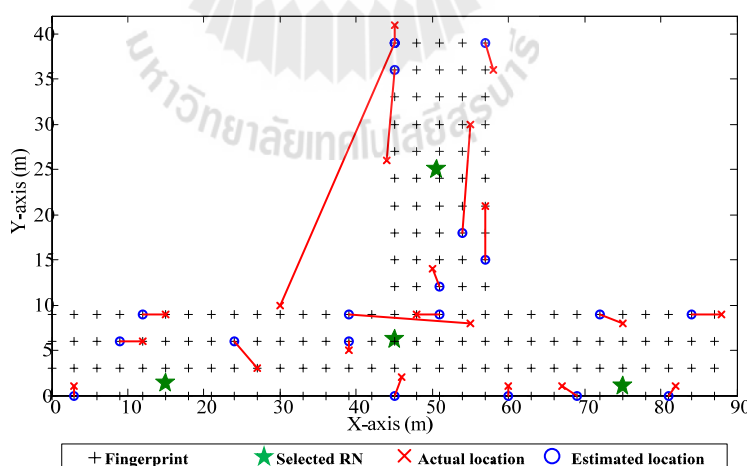
สำหรับการทดลองเริ่มจากการกำหนดพิกัดของจุดทดสอบสัญญาณให้มีขนาดระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 5 ระยะเช่นกันกับการทดลองที่ 4.6.1 และ 4.6.2 จากนั้นใช้กระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ซึ่งใช้วัตถุประสงค์ MNR และ MSMR เพื่อหาจำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารจากการกำหนดตำแหน่งที่สามารถวางโนดอ้างอิงได้ที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.47 จากนั้นนำตำแหน่งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงนี้มาใช้ทดสอบกับระบบระบุตำแหน่งเพื่อเป็นการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในการหาตำแหน่งวัตถุ 60 ตำแหน่ง ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบหาตำแหน่งวัตถุดังรูปที่ 4.61

จากรูปที่ 4.52 และ 4.53 แสดงตัวอย่างผลการระบุตำแหน่งวัตถุจำนวน 20 ตำแหน่งจากการใช้โนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ซึ่งได้มีการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณออกเป็น 5 กรณี คือ 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร 5 เมตร และ 6 เมตร ซึ่งแต่ละกรณีจะใช้จำนวนและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในพื้นที่ของอาคารที่ต่างกัน จากการออกแบบแล้วในกรณีที่ใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณทั้ง 5 กรณีจะต้องใช้จำนวนโนดอ้างอิง 4 โหนด ซึ่งแสดงตำแหน่งวางดังรูปที่ 4.52(ก) 4.52(ข) และรูปที่ 4.53(ก)

4.53(ข) และ 4.53(ค) ตามลำดับ จะเห็นว่า มีลักษณะการวางโนดอ้างอิงที่ไม่เหมือนกัน แต่มีลักษณะที่ครอบคลุมทั่วบริเวณอาคารเหมือนกัน และจากผลการทดสอบระบุตำแหน่งวัตถุจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งห้ากรณีดังกล่าวอยู่ที่ 2.72 เมตร 4.43 เมตร 4.60 เมตร 3.95 เมตร และ 6.16 เมตร ตามลำดับ โดยที่มีระยะทางในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดมากที่สุดที่ 12.04 เมตร 33.12 เมตร 34 เมตร 22.02 เมตร และ 35.34 เมตร ตามลำดับ และมีความแปรปรวนอยู่ที่ 2.35 เมตร 6.29 เมตร 6.35 เมตร 3.70 เมตร และ 4.3 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.13

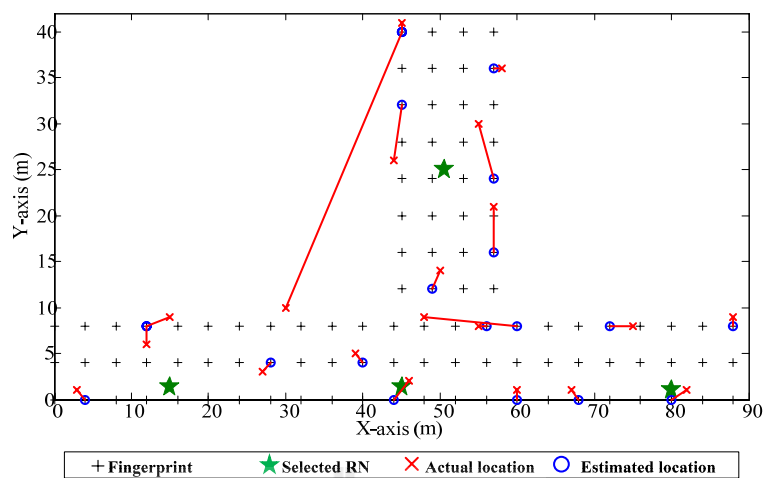


ก) กรณีใช้ $g_s = 2\text{m}$ และใช้จำนวน $RN = 4$

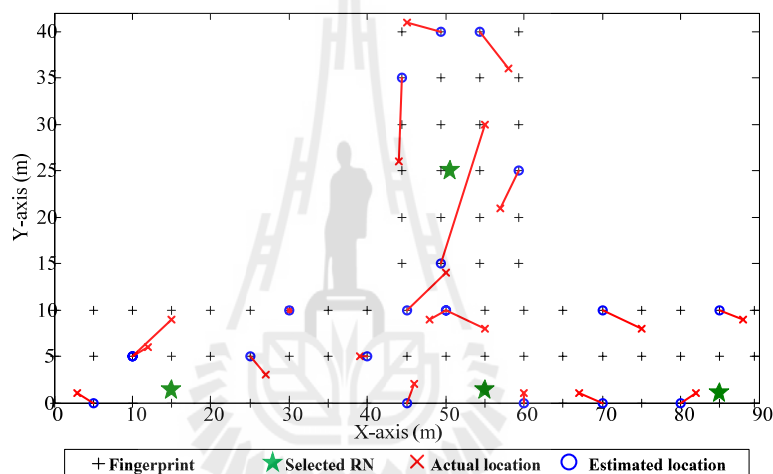


ข) กรณีใช้ $g_s = 3\text{m}$ และใช้จำนวน $RN = 4$

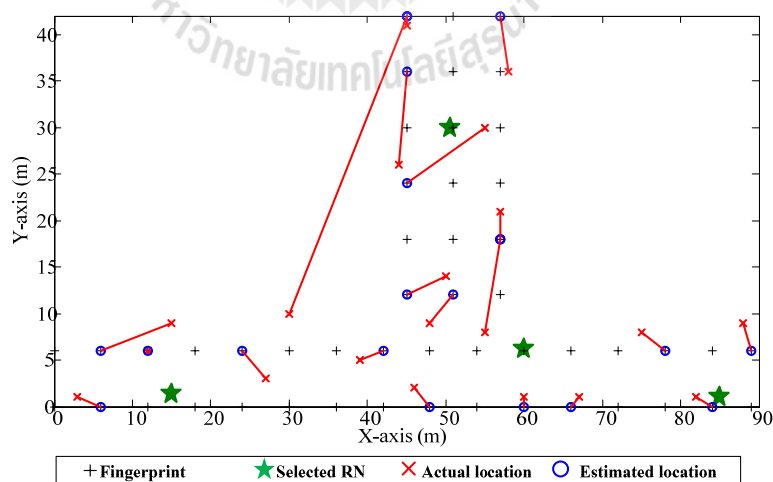
รูปที่ 4.52 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจากระบบการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3



ก) กรณีใช้ $g_s=4m$ และใช้จำนวน $RN=4$



ข) กรณีใช้ $g_s=5m$ และใช้จำนวน $RN=4$



ค) กรณีใช้ $g_s=6m$ และใช้จำนวน $RN=4$

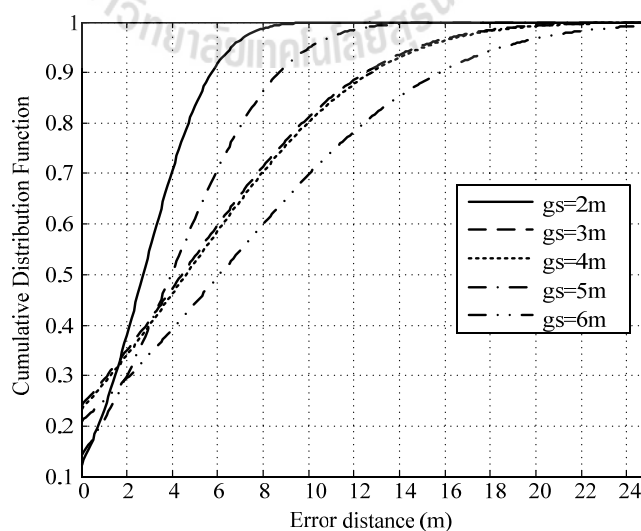
รูปที่ 4.53 ตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โนดอ้างอิงจากกระบวนการกำหนด

ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

ตารางที่ 4.13 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3	ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (เมตร)				
	gs=2m	gs=3m	gs=4m	gs=5m	gs=6m
ค่าเฉลี่ย	2.72	4.43	4.60	3.95	6.16
max, min	12.04, 1	33.12, 1	34, 1	22.02, 0	35.34, 0
SD	2.35	6.29	6.35	3.70	4.3

จากการทดลองหาตำแหน่งของวัตถุจริงที่ได้กำหนดขึ้นเราสามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการกำหนดขนาดของระยะห่างจุดทดสอบสัญญาณที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งได้แสดงจากผลการเปรียบเทียบการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทาง (CDF) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.54 จะเห็นได้ว่ากราฟเส้นที่ได้เลือกใช้ระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณเท่ากับ 2 เมตร จะให้ผลค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ผิดพลาดน้อยกว่าเหมือนกับสมมุติฐานในการทดลองที่ 4.6.1 แต่การเลือกใช้ grid spacing ที่ 5 เมตร ให้ให้ผลค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางที่ผิดพลาดดีกว่าการเลือกใช้ grid spacing ที่ 3 เมตร 4 เมตร และ 6 เมตร ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ขนาดของ grid spacing ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ของอาคารด้วย ซึ่งการกำหนดระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณที่มีความละเอียดมากเกินไปอาจจะไม่สามารถที่จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบการหาตำแหน่งของวัตถุได้ และยิ่งอาจจะส่งผลไปถึงการใช้ระยะเวลาอันยาวนานเกินไปสำหรับในขั้นตอนของการวัดสัญญาณเพื่อบันทึกผลการทดลองจริงได้

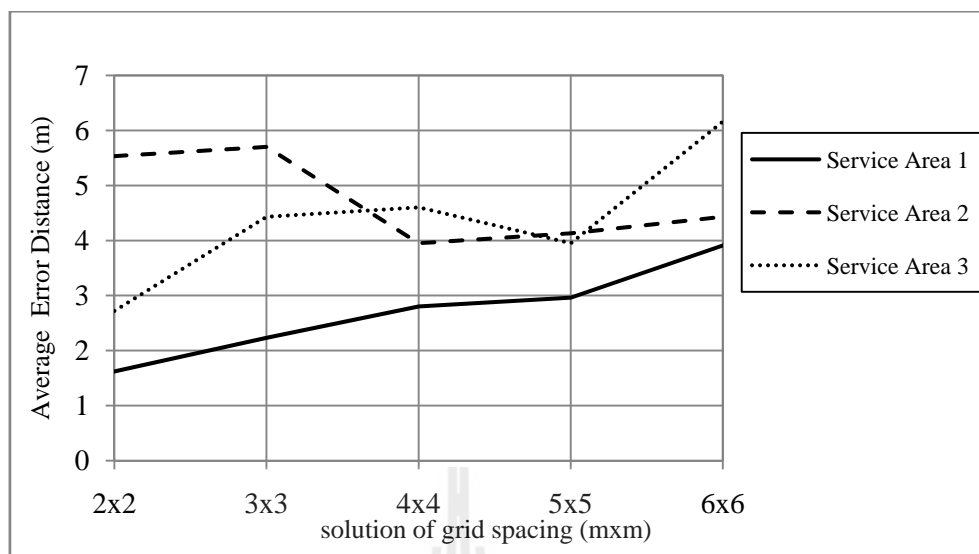


รูปที่ 4.54 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนจากขนาดของระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณ (grid spacing) แบบต่างๆสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 3

ตารางที่ 4.14 ได้แสดงการสรุปการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งเฉลี่ยในหน่วยเมตร ค่าผิดพลาดสูงสุด ต่ำสุด และการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาด และจากรูปที่ 4.55 จะแสดงกราฟการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเฉลี่ยของพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 รูปแบบของอาคาร ที่มีการเลือกใช้การกำหนดขนาดของระยะห่างของจุดทดสอบสัญญาณแบบต่างๆ

ตารางที่ 4.14 ผลค่าความคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทดลองในพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 แบบ

รูปแบบอาคาร		ระยะทางที่คลาดเคลื่อน (เมตร)				
		gs=2m	gs=3m	gs=4m	gs=5m	gs=6m
พื้นที่ให้บริการแบบที่ 1	ค่าเฉลี่ย	1.62	2.23	2.80	2.96	3.91
	max, min	5, 0	14.32, 0	10.20, 0	8.54, 0	16, 1
	SD	1.23	2.22	2.40	1.84	2.88
พื้นที่ให้บริการแบบที่ 2	ค่าเฉลี่ย	5.53	5.7	3.95	4.13	4.43
	max, min	19.92, 1	19.41, 0	22.67, 0	16.27, 1	9.06, 0
	SD	4.5	5.22	3.67	3.29	2.5
พื้นที่ให้บริการแบบที่ 3	ค่าเฉลี่ย	2.72	4.43	4.60	3.95	6.16
	max, min	12.04, 1	33.12, 1	34, 1	22.02, 0	35.34, 0
	SD	2.35	6.29	6.35	3.70	4.3

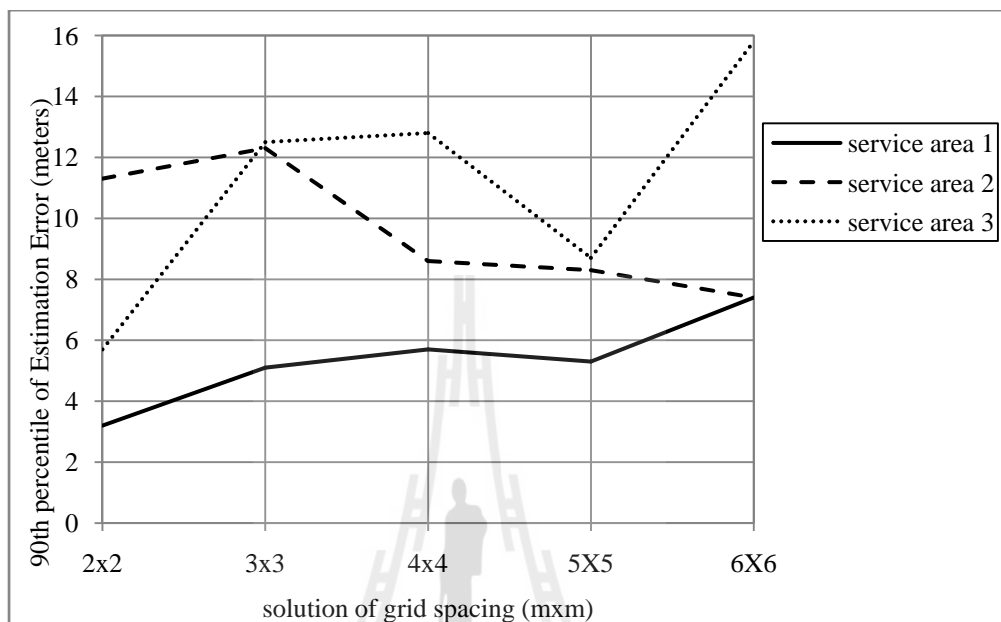


รูปที่ 4.55 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ผิดพลาดของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ

จากการทดลองทั้ง 3 รูปแบบของอาคารที่ต่างกัน พบว่าจากรูปแบบของอาคารที่สามารถของพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 การเลือกใช้ grid spacing ที่มีความละเอียดมากกว่าจะส่งผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของระบบได้ รวมทั้งในการเลือกใช้ grid spacing ที่ละเอียดมากขึ้นทำให้จำนวนโน้ดอ้างอิงที่ใช้สำหรับติดตั้งในเครือข่ายมีเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่จะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบให้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย แต่สำหรับพื้นที่ของอาคารในบางรูปแบบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น การเพิ่มความละเอียดของ grid spacing ก็ไม่ส่งผลให้ช่วยเพิ่มสมรรถนะแก่ระบบได้ เนื่องจากวิธีการที่เราใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุเป็นวิธีระยะยูคลิดีเนียนที่ยังมีข้อจำกัดอยู่ในสำหรับการใช้งานในพื้นที่ของอาคารบางรูปแบบ

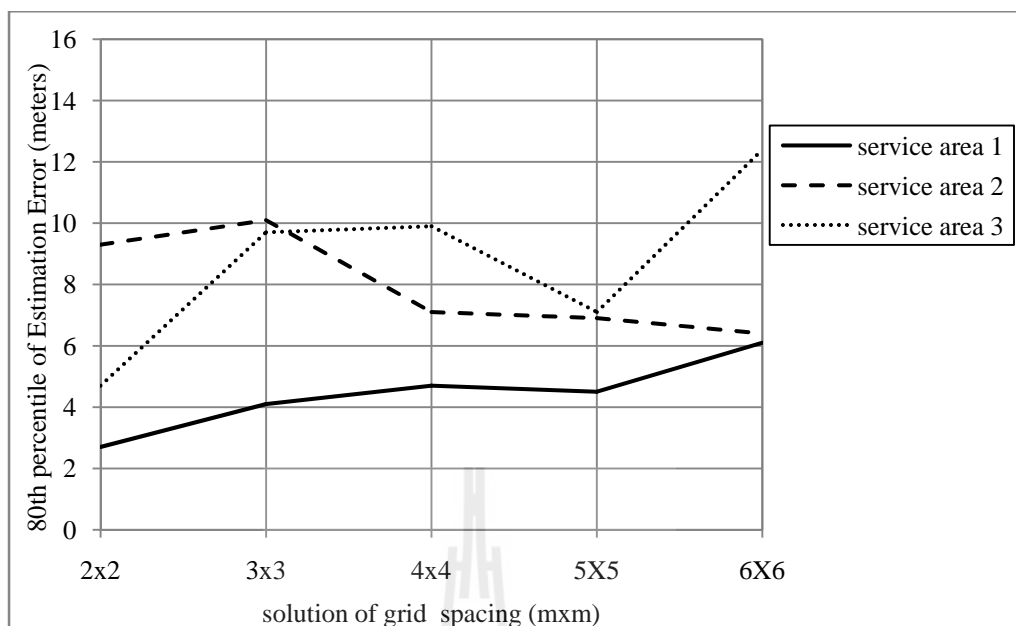
จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุของพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 รูปแบบของอาคารที่ต่างกัน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์จากการการระบุตำแหน่งวัตถุที่ผิดพลาดอยู่ที่ 90% และ 80% ในหน่วยเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.56 และรูปที่ 4.57 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการให้บริการระบบระบุตำแหน่งสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 ที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะให้ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ 90% และ 80% ด้วยระยะทางคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเมื่อใช้ขนาดของ grid spacing ที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น นั่นคือสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 จะให้คุณภาพในการระบุตำแหน่งที่ดีขึ้นเมื่อมีการเลือกใช้ขนาดของ grid spacing ที่มีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ที่มีลักษณะของพื้นที่ที่มี

ความซับซ้อนมากขึ้น จะสังเกตเห็นว่าคุณภาพในการระบุตำแหน่งจะไม่ขึ้นอยู่กับการกำหนดขนาด grid spacing ที่มีความละเอียดที่เพิ่มมากขึ้น



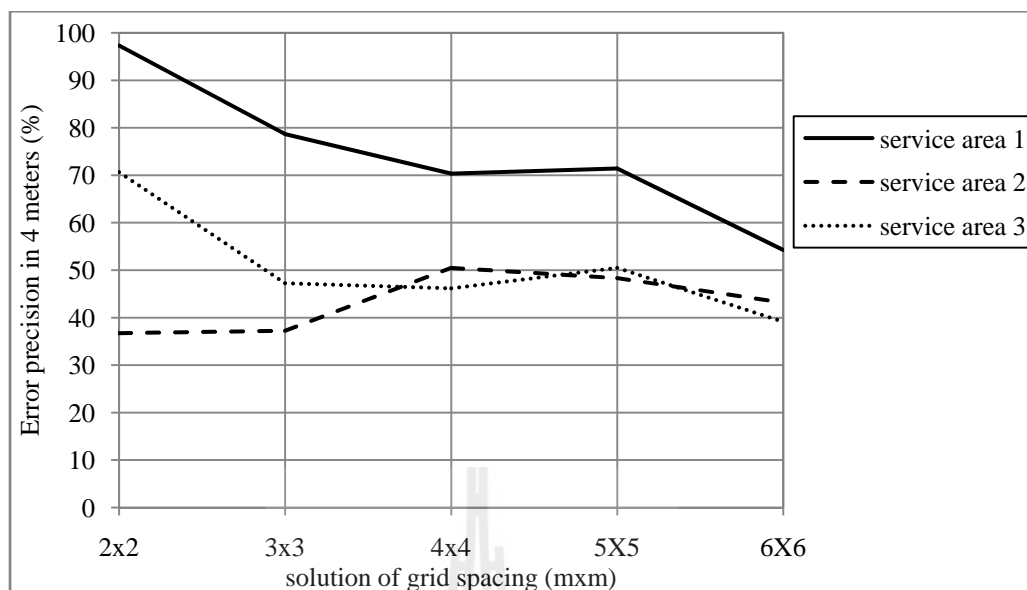
รูปที่ 4.56 การเปรียบเทียบค่าการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดที่ 90 % ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

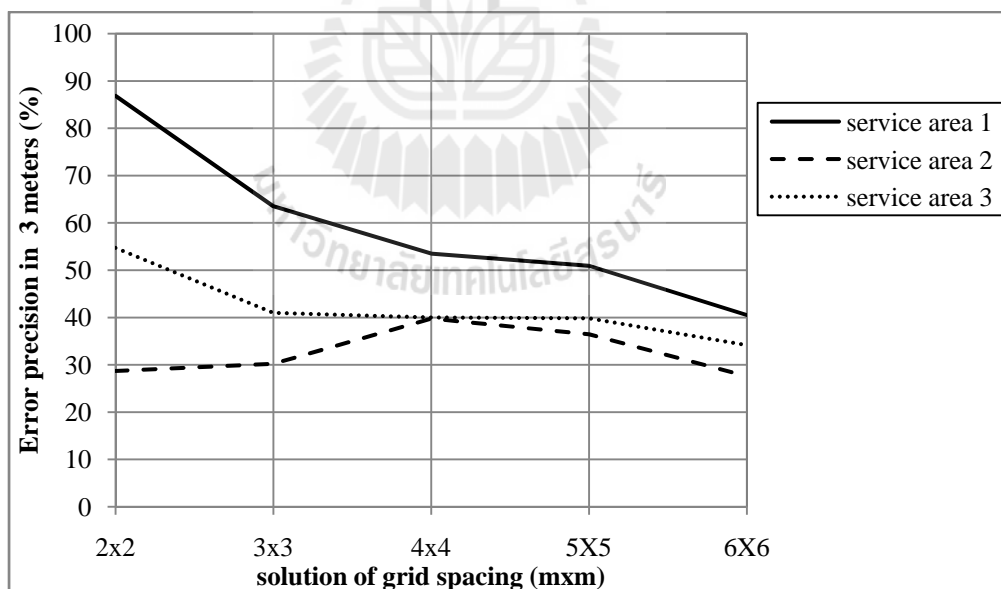


รูปที่ 4.57 การเปรียบเทียบค่าการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดที่ 80 % ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ

และเมื่อได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ จากความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุผิดพลาดที่ระยะ 4 เมตร และ 3 เมตรจากความน่าจะเป็นของฟังก์ชันแจกแจงสะสมของระยะทางผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.58 และรูปที่ 4.59 จากรูปกราฟจะเห็นได้ว่า ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งผิดพลาดที่ระยะ 4 เมตร และระยะ 3 เมตร สำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 1 จะให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้ขนาดของ grid spacing ที่ละเอียดมากขึ้น แต่สำหรับการให้บริการระบบระบุตำแหน่งสำหรับพื้นที่ให้บริการแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ที่มีความซับซ้อนมากกว่า จะเห็นได้เช่นกันว่าความละเอียดของ grid spacing ที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลทำให้ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุให้ดีขึ้น



รูปที่ 4.58 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ให้ความคลาดเคลื่อน 4 เมตร ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ



รูปที่ 4.59 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ให้ความคลาดเคลื่อน 3 เมตร ของพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ทั้ง 3 แบบตามการใช้ grid spacing แบบต่างๆ

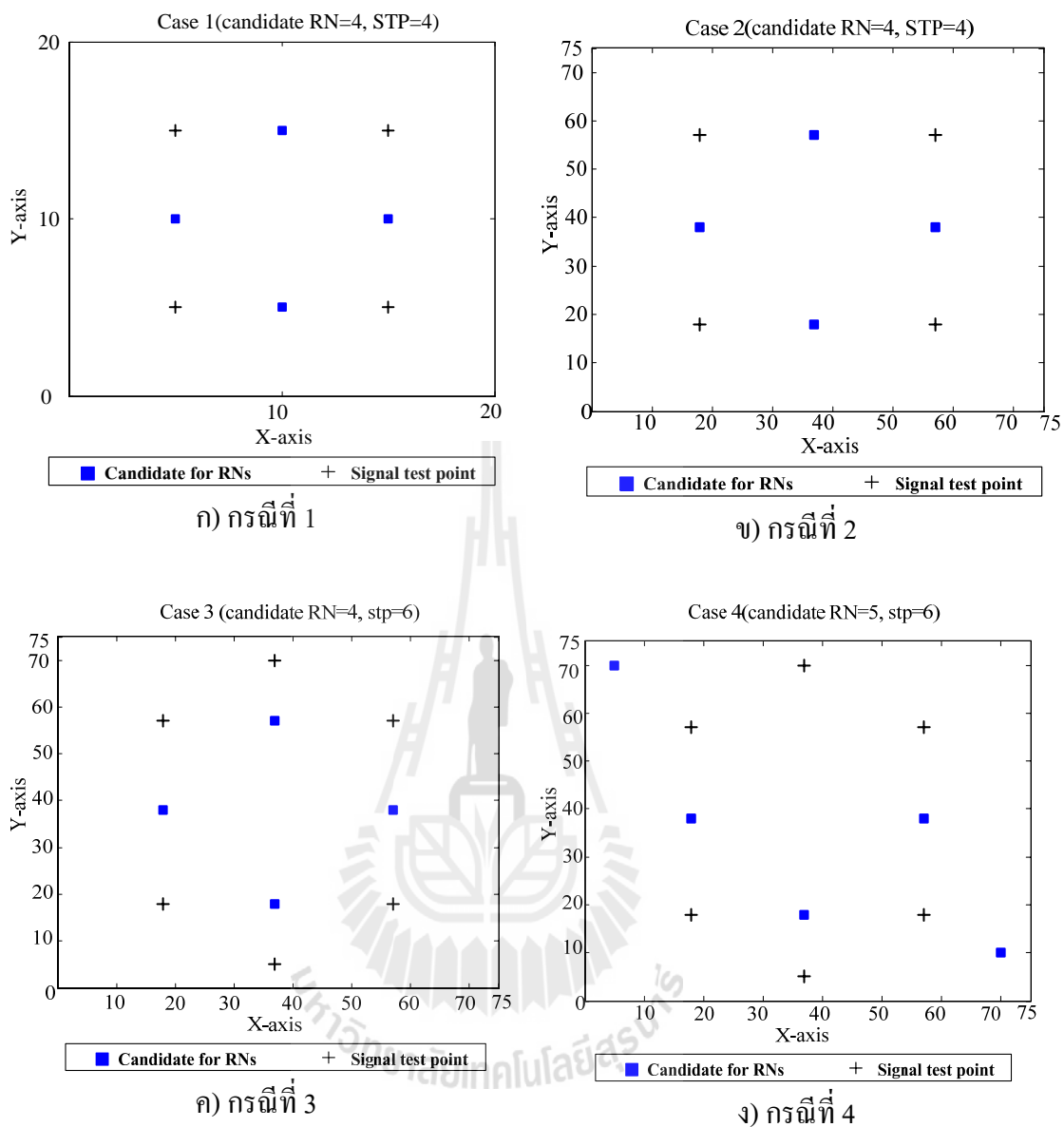
4.6 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งโหนด อ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงจากการใช้วิธีค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม ILOG CPLEX กับการค้นหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (heuristic algorithm) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Simulated Annealing (SA) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบเพื่อที่ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบของทั้งสองวิธีดังกล่าวที่ใช้ในการหาตอบของปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิง โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อการทดลองย่อย 2 การทดลอง คือ การทดลองเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX กับวิธี Simulated Annealing (SA) และการวิเคราะห์คุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธี Simulated Annealing (SA)

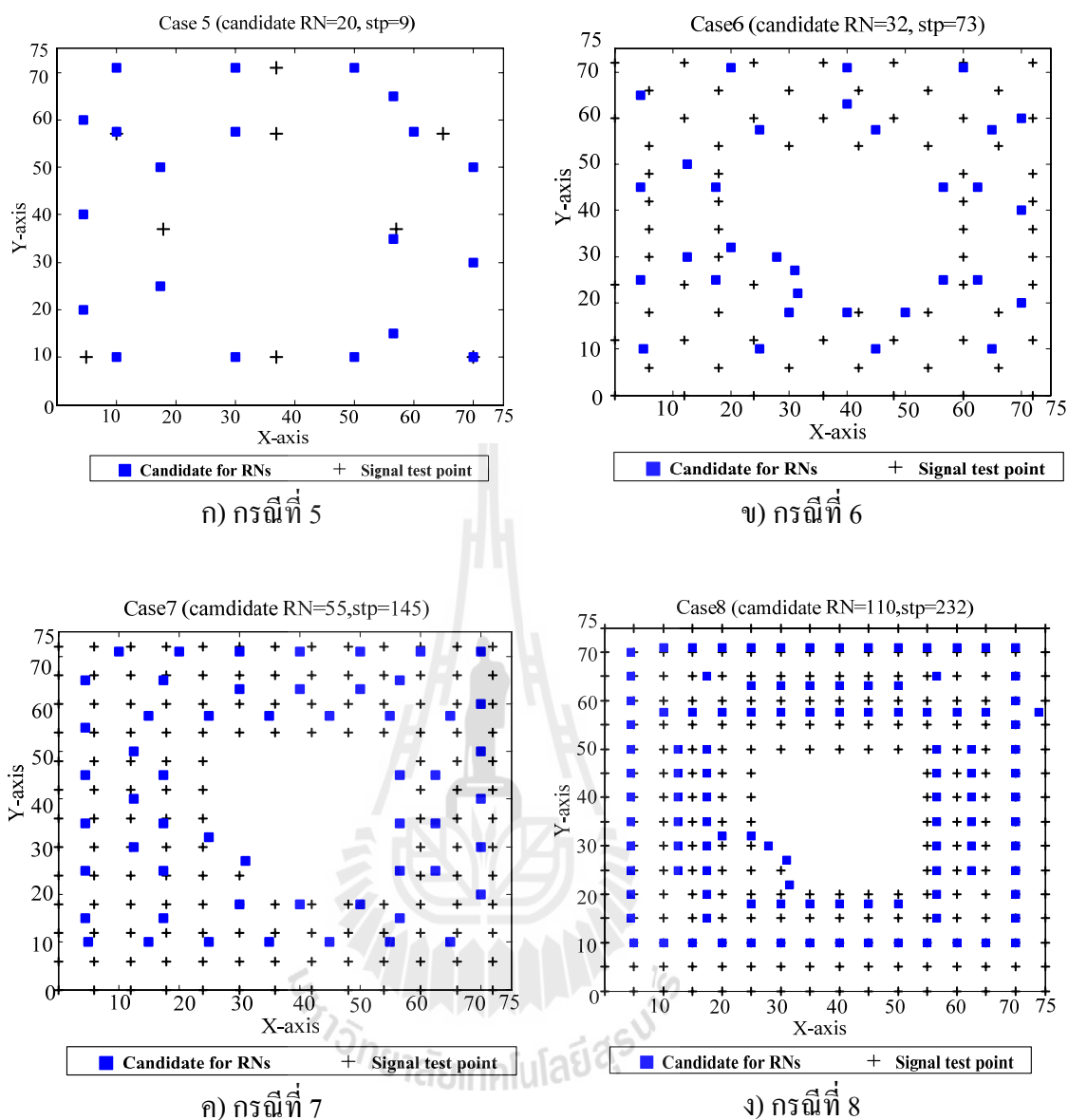
4.6.1 การเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX กับวิธี Simulated Annealing (SA)

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรม ILOG CPLEX กับวิธีในการค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธี Simulated Annealing (SA) ปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโหนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารจากสมการคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในบทที่ 3 ซึ่งผลของคำตอบที่ได้จะเป็นตำแหน่งสำหรับวางโหนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับระบบระบุตำแหน่งในบริเวณของอาคารที่เราสนใจ

สำหรับการออกแบบการทดลองผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็นทั้งหมด 8 กรณี สำหรับการทดลอง ที่ได้มีการเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ขนาดของพื้นที่ จำนวนโหนดอ้างอิงที่ต้องการเลือกติดตั้งในเครือข่าย จำนวนตำแหน่งเลือกวางโหนดอ้างอิงในบริเวณของอาคาร จำนวนตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้เป็นจุดทดสอบสัญญาณ (Signal Test Point: STP) ที่ได้ถูกกำหนดไว้ทั่วบริเวณของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง และจำนวนสัญญาณที่เพียงพอที่ได้รับจากโหนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้งไว้แล้ว ซึ่งจากพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ได้แสดงเป็นกรณีเปรียบเทียบสำหรับการทดลองทั้งหมด 8 กรณี ที่แสดงดังรูปที่ 4.60 และรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.60 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณี 1-4



รูปที่ 4.61 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองกรณี 5-8

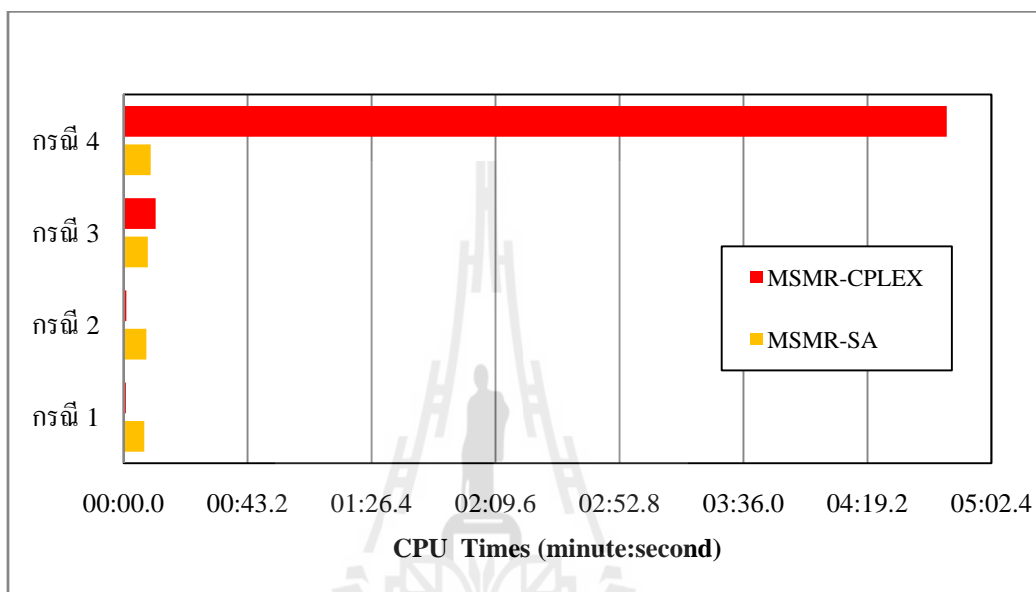
จากนั้นทำการทดลองเพื่อค้นหาคำตอบสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง โดยในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลจากค่าที่ได้จากฟังก์ชันกวดคู่ประสงค์ และระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบระหว่างวิธีจากโปรแกรม ILOG CPLEX กับวิธี SA ซึ่งผลการทดลองได้แสดงดังตารางที่ 4.15 ซึ่งได้มีการแสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นสำหรับแต่ละกรณี โดยที่ในกรณีที่ 1 จะเป็นการทดลองกับปัญหาสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก (20 ตารางเมตร) และกรณีที่ 2-8 จะทำการทดลองกับพื้นที่อาคารวิชาการชั้นที่ 4 ที่มีขนาด 75 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการหาคำตอบจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยโปรแกรม CPLEX กับวิธี SA

กรณีสำหรับการทดลอง	กรณี 1	กรณี 2	กรณี 3	กรณี 4	กรณี 5	กรณี 6	กรณี 7	กรณี 8	
จำนวน RN	2	2	3	4	4	6	8	9	
Candidate of RN	4	4	4	5	20	32	55	110	
ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)	20x20	75x75	75x75	75x75	75x75	75x75	75x75	75x75	
จำนวน fingerprint	4	4	6	6	9	73	145	232	
จำนวนสัญญาณที่ได้รับ จาก RN อย่างน้อย	1	1	2	3	4	4	4	4	
เวลาที่ใช้ (นาที: วินาที)	MSMR- CPLEX	0:0.78	0:0.95	0:11.18	4:46.83	>70 ชม.	>70 ชม.	>70 ชม.	>100 ชม.
	MSMR- SA	0:7.20	0:7.90	0:8.40	0:9.40	0:13.60	0:17.10	1:36.50	2:38.60
Objective function Value (nanoWatt)	MSMR- CPLEX	70.65	4.65	4.78	4.81	-	-	-	-
	MSMR- SA	70.65	4.65	4.78	4.81	23,000.00	4,877.40	9,127.10	9,495.14

จากตารางที่ 4.15 สำหรับกรณี ที่ 1 ที่ได้มีการทดลองกับขนาดของพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก จะเห็นได้ว่า การค้นหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรม CPLEX สามารถค้นหาคำตอบได้ด้วยการใช้เวลา ในการค้นหาคำตอบที่น้อยมาก ซึ่งเมื่อได้เปรียบเทียบกับ การค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธี SA ที่ สามารถค้นหาคำตอบได้เช่นกัน ที่สามารถให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ตรงกันกับวิธี CPLEX ซึ่ง แสดงให้เห็นว่าการค้นหาคำตอบด้วยวิธี SA สำหรับกรณี ที่ 1 สามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบจากระยะเวลาสำหรับการค้นหาคำตอบ วิธี SA สำหรับกรณี ที่ 1 จะใช้ระยะเวลา ในการค้นหาคำตอบที่มากกว่า จากนั้นสำหรับกรณี ที่ใช้กับพื้นที่ของอาคารที่มีขนาดเพิ่มมากขึ้น สำหรับกรณี 2-8 ที่ใช้กับขนาดของพื้นที่อาคารวิชาการชั้นที่ 4 ที่ได้มีการปรับเพิ่มค่าพารามิเตอร์ให้ มีขนาดของปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น จากตารางที่ 4.15 กรณีที่ 2-4 จะเห็นได้ว่าการค้นหาคำตอบด้วย วิธี CPLEX สามารถค้นหาคำตอบได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับ การค้นหาคำตอบด้วยวิธี SA ยัง

สามารถให้คำตอบที่ตรงกัน แต่ระยะเวลาสำหรับการค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธี SA จะเห็นได้ว่ามีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น (linear increasing) แต่สำหรับระยะเวลาสำหรับการค้นหาคำตอบจากโปรแกรม CPLEX จะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมากสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งได้แสดงการเปรียบเทียบการใช้เวลาในการค้นหาคำตอบสำหรับกรณี 1-4 ดังรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น สำหรับกรณี 1-4

จากนั้นสำหรับกรณี 5-8 จะเห็นได้ว่าเมื่อขนาดของปัญหาที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่ จากการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการใช้โปรแกรม CPLEX ไม่สามารถค้นหาคำตอบสำหรับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR ได้ และใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบนานเกินไป แต่สำหรับการค้นหาคำตอบด้วยวิธี SA นี้สามารถให้คำตอบสำหรับตำแหน่งวางโนคอ้างอิงได้แต่คำตอบที่ได้ก็ยังไม่สามารถรันติได้ว่าเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธี SA ต่อไป

4.6.2 การวิเคราะห์คุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธี Simulated Annealing (SA)

สำหรับในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการวิเคราะห์ผลการค้นหาคำตอบจากวิธีทางฮิวริสติก (heuristic algorithm) ด้วยวิธี Simulated Annealing (SA) เนื่องจากวิธีคำตอบที่ได้จากวิธีทางฮิวริสติกนี้จะให้คำตอบที่เป็นการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าที่ดีที่สุด (optimal) ซึ่งต่างจากวิธีการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม ILOG CPLEX ที่ให้คำตอบที่สามารถรันติได้ว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ตามวัตถุประสงค์และเงื่อนไขที่ผู้วิจัยได้ทำการเซตค่าไว้ ดังนั้นเนื่องจากว่าในงานวิจัยนี้ขนาดของปัญหาเพื่อใช้ในกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนคอ้างอิงสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR ที่ไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบมากเกินไป ดังนั้นในงานวิจัยของเราจึงได้เลือกใช้วิธีการในการค้นหาคำตอบวิธีการอื่น ซึ่งเป็นวิธีการฮิวริสติก ที่ได้เลือกนำวิธี Simulated Annealing มาใช้กับการแก้ปัญหาเพื่อค้นหาคำตอบสำหรับวัตถุประสงค์ MSMR นี้ ดังนั้นเพื่อทดสอบการค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธี SA ว่าผลคำตอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลคำตอบที่ได้จากวิธีการหาคำตอบด้วยโปรแกรม CPLEX ที่มีการปรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ทำให้สามารถหาคำตอบได้ในลักษณะ Upper Bound (UB-CPLEX) ดังสมการวัตถุประสงค์ที่ 4.12 และมีสมการเงื่อนไขดังสมการที่ 4.13-4.16

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ UB-CPLEX

$$\text{Maximize } \sum_{\forall i \in T} \sum_{\forall j \in R} S_{ij} P_{ij} \quad (4.12)$$

สมการเงื่อนไข UB-CPLEX

1. เงื่อนไขการกำหนดจำนวนโนคอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในอาคารสำหรับระบบระบุตำแหน่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนโนคอ้างอิงที่เพียงพอที่ได้จากคำตอบในวัตถุประสงค์ MNR (N_{MNR})

$$\sum_{\forall j \in R} c_j = N_{MNR} \quad (4.13)$$

2. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดการได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i จะต้องได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิง j ที่ได้ถูกเลือกติดตั้งไว้ในระบบ

$$S_{ij} \leq c_j \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.14)$$

3. เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจำนวนของสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณ i ที่อยู่ทั่วบริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจากโนคอ้างอิง j ได้อย่างน้อย N_R โนค

$$\sum_{\forall j \in R} S_{ij} \geq N_R \quad \forall i \in T \quad (4.15)$$

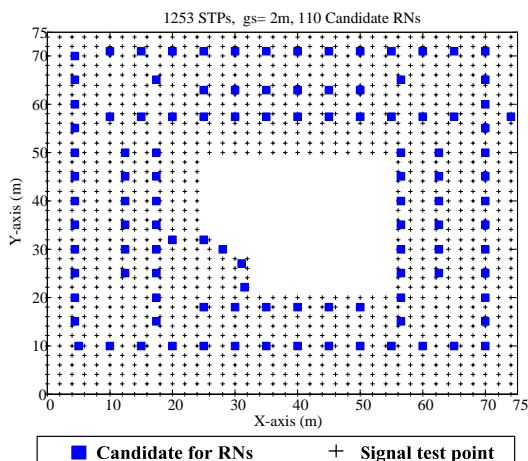
4. เงื่อนไขสำหรับการรับประกันคุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของอาคารของการรับสัญญาณจากตำแหน่งทดสอบสัญญาณกับโนดอ้างอิงโดยที่ตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณ i จะได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิง j ได้ เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

$$S_{ij}(P_{ij} - P_T) \geq 0 \quad \forall i \in T, \forall j \in R \quad (4.16)$$

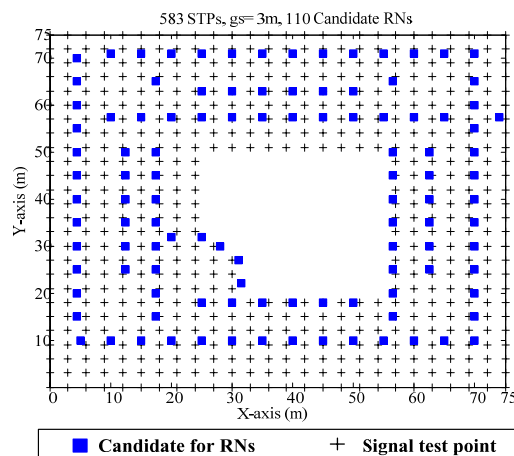
โดยค่าความแรงสัญญาณที่รับได้นั้น จะต้องมีค่ามากกว่าค่าความแรงของสัญญาณที่น้อยที่สุดที่ทำให้สามารถติดต่อกับ โหนดอ้างอิงได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความแรงสัญญาณนี้จากสมการจากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) ตามสมการที่ (2.2) เช่นเดียวกันกับการแก้ปัญหาสำหรับวัตถุประสงค์ MNR และ MSMR ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 3

สำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธีการ SA เปรียบเทียบกับการค้นหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรม ILOG CPLEX ที่ได้มีการปรับวัตถุประสงค์ในลักษณะ UB-CPLEX ตามสมการที่ 4.12 ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบทำการทดลองกับพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ซึ่งได้ทำการกำหนดลักษณะของปัญหาที่ค่อยๆเพิ่มมากขึ้นตามการกำหนดจำนวนของ grid spacing ในพื้นที่ของอาคารดังนี้ กำหนดให้มีขนาดเป็น 2x2 ตารางเมตร 3x3 ตารางเมตร 4x4 ตารางเมตร 5x5 ตารางเมตร และ 6x6 ตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.63 ซึ่งได้มีการกำหนดตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งโนดอ้างอิง (candidate of RNs) ในบริเวณของพื้นที่อาคารทั้งหมด 110 ตำแหน่ง

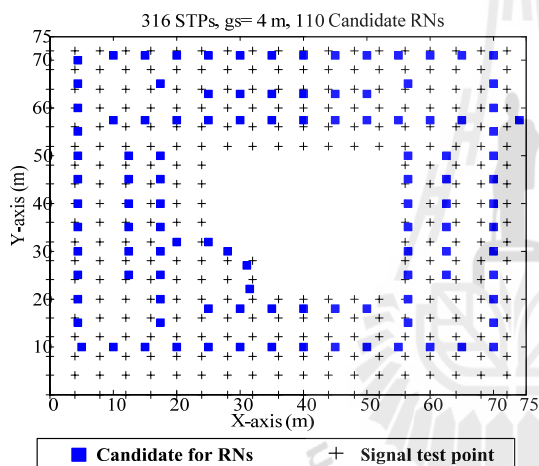
จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลในการค้นหาคำตอบของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ที่แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละกรณีซึ่งมีทั้งหมด 5 กรณีที่แบ่งตามการกำหนดขนาดของ grid spacing โดยที่จำนวนของโนดอ้างอิงที่ใช้เลือกติดตั้งที่แสดงในตาราง เป็นค่าจำนวนที่ได้มาจากคำตอบจากวัตถุประสงค์ MNR ในกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงเฟสที่ 1 (ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 3)



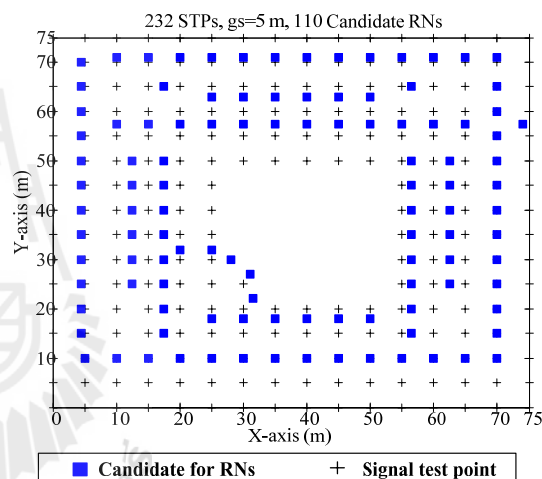
ก) กรณีที่ใช้ grid spacing = 2 m



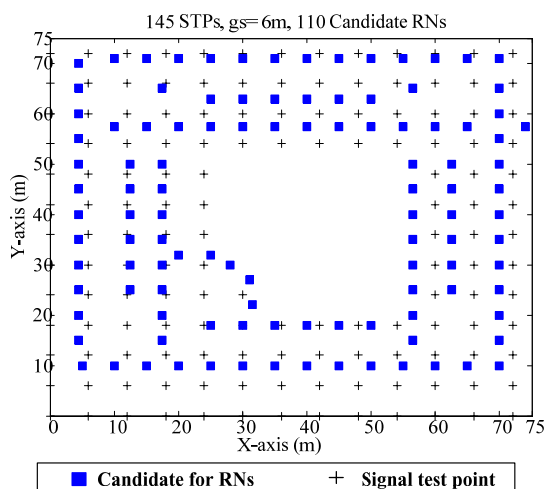
ข) กรณีที่ใช้ grid spacing = 3 m



ค) กรณีที่ใช้ grid spacing = 4 m



ง) กรณีที่ใช้ grid spacing = 5 m



จ) กรณีที่ใช้ grid spacing = 6 m

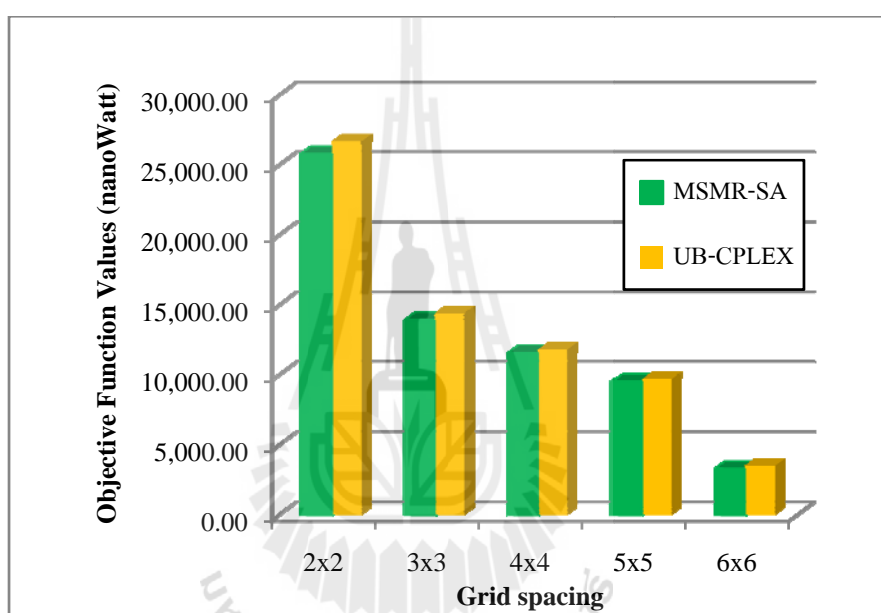
รูปที่ 4.63 ขนาด grid spacing สำหรับอาคารวิชาการชั้น 4

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบผลการหาคำตอบจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคำตอบที่ได้จากวิธีการ SA สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด เมื่อขนาดของ grid spacing เพิ่มขึ้น

ขนาด grid spacing (เมตรxเมตร)		2x2	3x3	4x4	5x5	6x6
จำนวน RN		10	9	9	9	8
Candidate of RN		110	110	110	110	110
ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)		75x75	75x75	75x75	75x75	75x75
จำนวน fingerprint		1253	583	316	232	145
จำนวนสัญญาณที่ได้รับจาก RN อย่างน้อย		4	4	4	4	4
เวลาที่ใช้ (นาที: วินาที)	MSMR- CPLEX	> 100 ชม.	> 100 ชม.	> 100 ชม.	> 100 ชม.	> 100 ชม.
	MSMR-SA	12:19.40	5:48.90	3:43.60	3:9.20	2:38.60
	UB-CPLEX	00:2.24	00:1.02	00:0.57	00:0.45	00:0.42
Objective function Value (nanoWatt)	MSMR- CPLEX	-	-	-	-	-
	MSMR-SA	25,772.93	13,901.02	11,552.34	9,495.14	3,268.73
	UB-CPLEX	26,684.85	14,375.22	11,777.59	9,674.61	3,505.98

จากตารางที่ 4.16 ได้แสดงการเปรียบเทียบผลการหาคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ที่เป็นค่าของความเข้มสัญญาณรวม มีหน่วยเป็นนาโนวัตต์ และแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ เมื่อขนาดของ grid spacing เพิ่มขึ้น ด้วยวิธีการค้นหาคำตอบจากวัตถุประสงค์ MSMR ด้วยวิธีจากโปรแกรม ILOG CPLEX ซึ่งจะพบว่าใช้เวลามากกว่า 100 ชั่วโมง ส่วนการใช้วิธี SA ในการค้นหาคำตอบสามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่ามากดังแสดงในตารางที่ 4.16

ผลของคำตอบที่ได้จากวิธี SA ผู้วิจัยได้นำมาเปรียบเทียบกับ วิธีการ UB-CPLEX ซึ่งเป็นการปรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ให้ผลคำตอบในลักษณะ upper bound ในรูปที่ 4.64 แสดงให้เห็นว่าค่าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิธีการ MSMR-SA และ UB-CLPEX นั้นให้คำตอบที่ใกล้เคียงกันซึ่งค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากวิธี SA จะให้ค่าที่ต่ำกว่า UB-CLPEX ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าการค้นหาคำตอบที่ได้จากวิธีการ SA สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบของวิธีการ UB-CPLEX ซึ่งมีการรีแลกซ์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีการคำนวณที่ง่ายลงเพื่อให้ CPLEX สามารถประมวลผลหาคำตอบได้ในเวลาที่ไม่นานมาก



รูปที่ 4.64 กราฟเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากการหาค่ามากที่สุด(Maximize) เมื่อขนาด grid spacing เพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor Positioning System) เป็นระบบที่นิยมใช้มากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้ทดแทนระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System: GPS) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อค้นหาตำแหน่งและเส้นทางของผู้ใช้ ซึ่งไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งของผู้ใช้ที่อยู่ภายในอาคารได้ เนื่องจากตัวอาคารจะบังสัญญาณที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมมายังผู้ใช้ ดังนั้นระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารจึงได้มีการพัฒนามาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย โดยได้ถูกนำมาใช้กับงานในหลากหลายรูปแบบ เช่น ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ในการติดตามบุคคล การตรวจจับตำแหน่งของผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ภายในโรงพยาบาล ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้นำทางภายในอาคารที่มีความต้องการใช้ในพื้นที่สาธารณะ เพื่อชี้ตำแหน่งของผู้ใช้ได้ถูกต้อง เช่น นักท่องเที่ยวที่ต้องการการบริการระบบนำทางในอาคารสำหรับในพิพิธภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือภายในสนามบิน และให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับข้อมูลข่าวสารให้แก่ผู้เข้าใช้ผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย โดยที่โครงสร้างพื้นฐานในการทำงานสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุนั้น ผู้ใช้จะทำการร้องขอสัญญาณจากตำแหน่งโนดอ้างอิง (reference node: RN) ที่ได้ถูกติดตั้งไว้ในบริเวณพื้นที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง จากนั้นจึงทำการประมวลผลหาตำแหน่งวัตถุจากการใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้อ่านเก็บข้อมูลไว้ก่อนหน้า จากนั้นจึงส่งข้อมูลตำแหน่งไปยังโนดวัตถุ (target node) หรือตำแหน่งของผู้ใช้ ด้วยเหตุนี้ ในงานวิจัยนี้จึงสังเกตเห็นในกระบวนการของการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาก็ได้มีการศึกษาถึงปัจจัยของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุ แต่ยังไม่มีการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด ที่มีการพิจารณาถึงคุณลักษณะที่ต่างกันของพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง ที่ประกอบไปด้วย 2 เฟสการทำงานคือ เฟสที่ 1 เป็นกระบวนการ MNR (Minimize Number of Reference) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ และเฟสที่ 2 เป็นกระบวนการ MSMR (Maximize

Summation of Max RSSI) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งโดยกำหนดปัญหาโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นไบนารี (Binary integer linear programming: BILP) เพื่อสร้างสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ทำการทดสอบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ประกอบไปด้วย ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) และความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) และเปรียบเทียบผลสมรรถนะกับวิธีการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยอื่นๆ เช่น วิธีการเลือกวางตำแหน่งโนดอ้างอิงในบริเวณขอบของเครือข่าย (Uniform Border Placement: UBP) และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการกำหนดพารามิเตอร์ของระยะห่างของตำแหน่งฟังก์ชันกริด (grid spacing) สำหรับพื้นที่ของอาคารที่แตกต่างกัน ในการกำหนดระยะห่างที่มีความละเอียดมาก อาจจะไม่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ แต่จะส่งผลให้เพิ่มระยะเวลาในการเก็บข้อมูลในกระบวนการสร้างฐานข้อมูลที่ไม่จำเป็นได้ และยังได้มีการศึกษาการเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบจากวิธีค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม ILOG CPLEX กับวิธี Simulated Annealing ซึ่งการใช้วิธี Simulated Annealing ในการค้นหาคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดได้เช่นเดียวกับวิธีการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรม ILOG CPLEX และยังสามารถช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบได้อีกด้วย และจากการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสำหรับการพิจารณาจากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเป็นหลักการสำหรับการพิจารณาเพื่อใช้ในการเลือกตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง ดังนี้

- รูปแบบการวางโนดอ้างอิงที่มีลักษณะกระจายทั่วบริเวณที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุจะสามารถให้สมรรถนะในการระบุตำแหน่งได้ดีกว่า
- ในการเลือกใช้จำนวนโนดอ้างอิงอย่างน้อย 4 โหนดสำหรับติดตั้งในบริเวณของอาคารที่ทำให้แต่ละตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณฟังก์ชันกริดที่ได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงตั้งแต่ 4 โหนดขึ้นไป สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้
- จำนวนโนดอ้างอิงและตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ของอาคารให้บริการระบบระบุตำแหน่งจะช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ดีมากขึ้น จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาเพื่อหาคำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

- รูปแบบของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งมีผลต่อการกำหนดการระยะห่างระหว่างจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปรีน หรือ grid spacing ในกรณีที่มีการกำหนด grid spacing ที่มีความละเอียดมากอาจจะไม่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะแก่ระบบได้สำหรับการใช้งานในพื้นที่ของอาคารบางรูปแบบ และยังส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนของการเก็บข้อมูลค่าความแรงสัญญาณในขั้นตอนออฟไลน์เฟสมากเกินความจำเป็น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในออกแบบเพื่อพัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งวาง โนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่ง วัตถุภายในอาคารจะต้องมีความรู้พื้นฐานในงานที่จะต้องศึกษา โดยต้องทราบถึงข้อจำกัด และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบระบบระบุตำแหน่ง จากนั้นจึงกำหนดปัญหาเป็นสมการคณิตศาสตร์ โดยเมื่อกำหนดปัญหาได้แล้วจะต้องทำการทดสอบความเป็นไปได้ของสมการที่กำหนดขึ้นในเครือข่ายที่มีขนาดเล็กก่อน เพื่อให้เห็นแนวโน้มความถูกต้องของสมการที่พัฒนาขึ้น จากนั้นจึงนำไปใช้ในเครือข่ายที่จำลองขึ้น โดยจะต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบในหลายกรณี ที่มีเครือข่ายขนาดต่างๆ กัน เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในกระบวนการกำหนดตำแหน่งวาง โนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับพื้นที่ของอาคาร ซึ่งการนำไปใช้กับพื้นที่รูปแบบอื่นๆ จากการกำหนดข้อมูลของแต่ละชนิดของสิ่งกีดขวางแต่ละประเภทและพิกัดของสิ่งกีดขวางที่อยู่ภายในอาคารทั้ง ซึ่งในกระบวนการเริ่มต้น อาจจะต้องมีการกำหนดข้อมูล ที่ใช้เป็นข้อมูลอินพุตจำนวนหนึ่ง ตามลักษณะของอาคารที่ซับซ้อนแตกต่างกันไป

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอกระบวนการกำหนดตำแหน่งวาง โนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งได้ โดยได้ใช้การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ในการออกแบบปัญหาสำหรับการกำหนดตำแหน่งวาง โนดอ้างอิง จากการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบที่ได้พิจารณาจากคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ภายในอาคาร ซึ่งอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบได้นั้นคือ เทคนิคที่ใช้สำหรับการประเมินหาตำแหน่งวัตถุ ที่สามารถนำมาใช้เป็นเงื่อนไขหรือข้อจำกัดในการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการกำหนดตำแหน่งวาง โนดอ้างอิงที่ดีที่สุดได้ เช่น จากข้อจำกัดของวิธีระยะยูคลิเดียน

(euclidean distance) ที่ทำให้ผลการระบุตำแหน่งวัตถุในพื้นที่ของอาคารในรูปแบบสมมาตรสามารถทำให้เกิดการระบุตำแหน่งที่ผิดได้ เป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณตรงกันข้ามกับตำแหน่งวัตถุจริง ที่ให้คุณลักษณะของค่าความแรงสัญญาณน้อยกว่าได้ ดังนั้น คุณลักษณะของชุดค่าความแรงสัญญาณในแต่ละตำแหน่งภายในพื้นที่ของอาคารที่มีลักษณะสมมาตร การกำหนดความแตกต่างของชุดของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในแต่ละตำแหน่งของอาคารนั้น สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ สำหรับการวิเคราะห์ยุคคลื่นเดียว



รายการอ้างอิง

- ประกอบ จิริกิติ (2535). **การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)**. โครงการส่งเสริมเอกสาร
วิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สุทธิมา ชำนาญเวช (2552). **การวิจัยดำเนินงาน (Operation Research)**. วิทยพัฒน์. กรุงเทพฯ ฯ.
- Aomumpai, S. and Prommak, C. (2011). **On the Impact of Reference Node Placement in
Wireless Indoor Positioning Systems**, World Academy of Science, Engineering and
Technology, Vol. 60: 449-453.
- Avanthi, K. (2006). **Comparative Study of RSS-Based Collaborative Localization Methods in
Wireless Sensor Networks**, Thesis Prepared for the Degree of Master of Science.
- Baala, O., B., Zheng, Y., and Caminada, A. (2009). **The Impact of AP Placement in WLAN-
Based Indoor Positioning System**, International Conference on Networks: 12-17.
- Bahri, A., and Chamberland, S. (2005). **On the Wireless Local Area Network Design Problem
with Performance Guarantees**, Computer Networks: 856-866.
- Bari, A., Teng, D., and Jaekel, A. (2009). **Optimal Relay Node Placement in Hierarchical
Sensor Networks with Mobile Data Collector**, Computer Communications and
Networks Proceedings
- Baunach, .M., Kolla, R., and Muhlberger, C. (2007). **Beyond Theory: Development of a Real
World Localization Application as Low Power WSN**, IEEE Conference on Local
Computer Networks: 872-884.
- Benbadis, F., Obraczka, K., Cortes, J., and Brandwajn, A. (2007). **Exploring Landmark
Placement Strategies for Self-Localization in Wireless Sensor Networks**, IEEE
International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications.
- Deyeb, T. M., Baroudi, U., and Selim, S., Z. (2011). **Optimal Placement of Heterogeneous
Wireless Sensor and Relay Nodes**, International Wireless Communications and Mobile
Computing Conference: 65-70.
- Esposito, C., Cotroneo, D., and Ficco, M. (2009). **Calibrating RSS-based Indoor Positioning
Systems**, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing.

- Goldsmith, A. (2007). **Wireless Communications**, Markono Print Media Pte Ltd, Singapore.
- Gum, Y., Lo, A., and Niemegeers, I. (2009). **A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks**, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.11, No 1: 13-32.
- Hosseini, Z., P., D., Schlegel, C., and MacGregor, M., H. (2012). **Distributed optimal dynamic base station positioning in wireless sensor networks**, Computer Networks: 34–49.
- Kaemarungsi, K. (2005). **Efficient Design of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting**, International Conference on Wireless Networks Communications and Mobile Computing: 181-186.
- Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004). **Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting**, Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol.2: 1012-1022.
- Liu, H., Darab, H., Banerjee, P. and, Liu, J. (2007). **Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems**, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews, Vol. 37, No. 6: 1067-1080.
- Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009). **WLAN Location Determination Using Probability Distributions with Search Area Reduction via Trilateration**, International Conference on Wireless and Mobile Communications: 328 – 333.
- Sharma, Y., F., Wong, W., Soh, S., and Wong, W., C. (2010). **Access point placement for fingerprint-based localization**, IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS): 238 - 243.
- Sohraby, K., Minoli D., and Znati T. (2007). **Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications**, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States of America.
- Tatham, B., and Kunz, T., (2011). **Anchor node placement for localization in wireless sensor networks**, International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob): 180 – 187.
- Winston, W.L. (1994). **Operation research: Applications and Algorithms 3rd edition**, International Thompson Publishing, Belmont, California.

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, faint watermark in the background. It features a central figure of a person standing on a pedestal, flanked by two stylized figures. Above the central figure is a tall, pointed structure resembling a stupa or a traditional Thai architectural element. The entire logo is enclosed within a circular border with Thai text.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง

ในการออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะการระบุตำแหน่งกับการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงด้วยวิธีการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับวิธีอื่นๆ จากการใช้ฐานข้อมูลได้จากการวัดสัญญาณในสถานที่จริง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองในพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบระบบระบุตำแหน่งผ่านชุดอุปกรณ์การสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ดังนี้

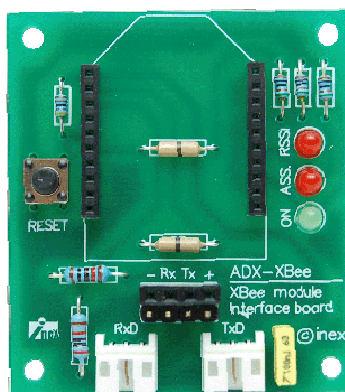
ชิพ XBee Pro โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4 GHz รุ่น XBP24 จำนวน 10 ตัว (รูปที่ ก.1) ที่ใช้สำหรับโนดอ้างอิงจำนวน 9 โหนด (สำหรับการใช้โนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้) และโนดวัตถุจำนวน 1 โหนด

แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro จำนวน 9 ตัว (ADX-XBee) (รูปที่ ก.2) และบอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ตัว (ZX-XBee) (รูปที่ ก.3)

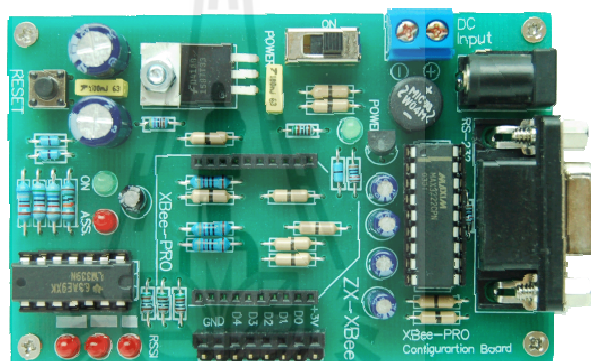
โดยที่อุปกรณ์ชิพ XBee Pro จะต่อกับแผงวงจรเชื่อมต่อ ADX-XBee ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อนต่อ 1 อุปกรณ์ชิพ XBee Pro และในส่วนของบอร์ด ZX-XBee จะใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อนหรือใช้อะแดปเตอร์ไฟตรงและจะเชื่อมต่อผ่าน RS-232 เพื่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ ก.1 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย XBee Pro รุ่น XBP24



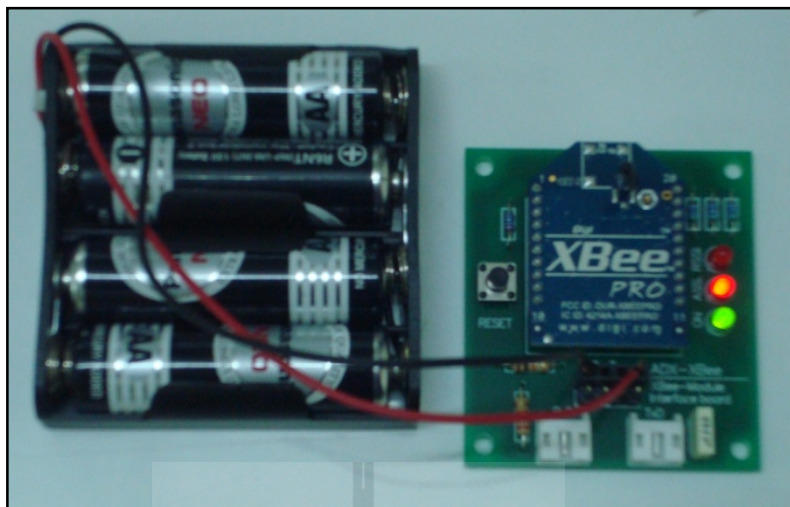
รูปที่ ก.2 แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro (ADX-XBee)



รูปที่ ก.3 บอร์ดเชื่อมคอมพิวเตอร์ (ZX-XBee)

ในการสร้างเครือข่ายของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้การทดลองมี 2 ประเภท คือ ชุดอุปกรณ์ของโนคอ้างอิง และชุดอุปกรณ์ของโนควัตถุ โดยที่วัตถุจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 สำหรับการออกแบบอุปกรณ์แต่ละประเภททำได้ดังนี้

ชุดอุปกรณ์สำหรับโนคอ้างอิง ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ชุดอุปกรณ์โนคอ้างอิงให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากใช้จากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน เนื่องจากสามารถนำชุดอุปกรณ์ของอ้างอิงไปวางไว้ในตำแหน่งที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ AC ได้ภายในอาคาร โนคอ้างอิงจะทำหน้าที่รองรับการร้องขอค่าความแรงสัญญาณจากโนควัตถุ และจะทำการส่งค่าความแรงของสัญญาณไปให้กับโนควัตถุ ชุดอุปกรณ์โนคอ้างอิงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ก.4 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิพ XBee Pro สำหรับโนคอ้างอิงดังตารางที่ ก.1



รูปที่ ก.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดอ้างอิง

ตารางที่ ก.1 ค่าตัวแปรในชิพสำหรับโนดอ้างอิง

Channel (CH)	14(0x0F)
PAN ID (ID)	1000
Destination Address High (DH)	0
Destination Address Low (DL)	F
16 bit Source Address (MY)	[A, B, C, D, E, F, G, H, I]
Power Level (PL)	4 (18 dBm)
Coordinator Enable (CE)	0 (End Device)

ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดวัตถุ โดยที่โนดวัตถุจะต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน เช่นเดียวกันกับชุดอุปกรณ์โนดอ้างอิง ซึ่งโนดวัตถุจะทำหน้าที่ร้องขอค่าความแรงของสัญญาณจากโนดอ้างอิงทุกโนดที่ถูกติดตั้งไว้แล้วในบริเวณของอาคาร แล้วส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตแบบอนุกรม (serial port) และพอร์ตยูเอสบี (USB) ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลค่าความแรงสัญญาณจากโนดอ้างอิงแต่ละตัวไปคำนวณตำแหน่งโนดวัตถุ ซึ่งโนดวัตถุแสดงได้ดังรูปที่ ก.5 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิพXBee Pro สำหรับโนดวัตถุดังตารางที่ ก.2



รูปที่ ก.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดวัตถุ

ตารางที่ ก.2 ค่าตัวแปรในชิพสำหรับโนดวัตถุ

Channel (CH)	14(0x0F)
PAN ID (ID)	1000
Destination Address High (DH)	0
Destination Address Low (DL)	FFFF
16 bit Source Address (MY)	[Z]
Power Level (PL)	4
Coordinator Enable (CE)	1 (Coordinator)

ก.1.1 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญ

จากการใช้งาน โมดูลสื่อสารไร้สายแต่ละยี่ห้อจะมีความสมบัตินานทางเทคนิคแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สำหรับลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ XBee Pro ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้แสดงดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ XBee Pro

คุณลักษณะเฉพาะ	XBee Pro
ประสิทธิภาพ	
ระยะการส่งสัญญาณภายในอาคาร	ประมาณ 100 เมตร
ระยะการส่งสัญญาณภายนอกอาคาร	ประมาณ 1,500 เมตร
กำลังในการส่งสัญญาณเอาต์พุต	100 mW
อัตราการส่งข้อมูล	250,000 bps
อัตราการส่งข้อมูลในพอร์ตอนุกรม	1200 - 115,200 bps
ความไวในการรับสัญญาณ	-100 dBm (ความคลาดเคลื่อน 1%)
ความต้องการด้านพลังงาน	
การใช้แรงดันไฟฟ้า	2.8 – 3.4 V
กระแสไฟฟ้าในการรับส่งข้อมูล	PL=0(10dBm): 137mA(3.3V) 139mA (3.0V) PL=1(12dBm): 155mA(3.3V) 153mA (3.0V) PL=2(14dBm): 170mA(3.3V) 171mA (3.0V) PL=3(16dBm): 188mA(3.3V) 195mA (3.0V) PL=4(18dBm): 215mA(3.3V) 227mA (3.0V)
สถานะว่าง/กระแสไฟฟ้าในการส่งข้อมูล	55mA (3.3V)
สถานะไฟฟ้าเมื่อไม่มีการใช้งาน	< 10 μ A
ลักษณะทั่วไป	
ความถี่	ISM 2.4
ขนาด	2.438cm x 3.294cm
อุณหภูมิ	-40 to 85 C
แบบสายอากาศ	Whip, Chip หรือ U.FL Connector
การทาครือข่ายและความปลอดภัย	
การสนับสนุน โครงสร้างเครือข่าย	Point-to-Point, Point-to-Multipoint & Peer-to-Peer
จำนวนของช่องสัญญาณ	12 Direct Sequence Channels
การเลือกแอดเดรส	PAN ID, Channel and Addresses
การรองรับอุปกรณ์	65,535 Device (0x0000 – 0xFFFF)(64 bits)



ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Aomumpai, S. and Prommak, C. (2011). **On the Impact of Reference Node Placement in Wireless Indoor Positioning Systems**, World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), Bangkok, Thailand, 25-26 December, pp. 449-453.

เกรียงไกร มณีรัตน์, สุพัตรา ออมอำไพ และ ชุตินา พรหมมาก (2553). ผลกระทบของการวางโหนดอ้างอิงในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33).



On the Impact of Reference Node Placement in Wireless Indoor Positioning Systems

Supattra Aomumpai and Chutima Prommak

Abstract—This paper presents a study of the impact of reference node locations on the accuracy of the indoor positioning systems. In particular, we analyze the localization accuracy of the RSSI database mapping techniques, deploying on the IEEE 802.15.4 wireless networks. The results show that the locations of the reference nodes used in the positioning systems affect the signal propagation characteristics in the service area. This in turn affects the accuracy of the wireless indoor positioning system. We found that suitable location of reference nodes could reduce the positioning error up to 35 %.

Keywords—Indoor positioning systems, IEEE 802.15.4 wireless networks, Signal propagation characteristics

I. INTRODUCTION

WIRELESS sensor network technologies have developed continuously. The sensor technologies have several advantages such as low cost, small size, and low power consumption with capabilities to measure and store data from practical sites correctly. The sensors are designed to self-process and are capable to communicate by using wireless transceivers. The wireless sensor technology has been applied in many areas. One of the promising applications is to identify the location of objects within the building.

Localization accuracy is one of the most important performance indicators of the indoor positioning systems. Thus, in the designing of the systems the network designers should pay attention on the efficiency of the system's location within the building. Due to the limitations of wireless sensor networks that are available, the sensor network nodes are typically resource constrained for instance the size of the processor, the number of the memory, and the power supply. The radius of the communication area is also limited. This is why it is important to consider the appropriate indoor positioning of the reference nodes in the service area.

Most literature focused on the study of techniques and systems to locate objects within the building using the IEEE 802.15.4 wireless networks. [1] studied the factors affecting the received signal strength (RSS) with Tmote Sky node for finding a wireless sensor network. [2] studied the relationship

of the positioning systems in wireless sensor networks with comparison to the methods used to locate objects and how to measure RSS with how to convert from time to receive packets from reference nodes. Time of Arrival is used to calculate the Cramér-Rao Bound. [3] studied how the system to locate objects within the building, and estimate the distance by measuring the intensity signals strength. [4] presented the fingerprinting technique to create signal strength database and [5] developed a system where the standard hypothesis testing by measuring the RSS distribution of interest area in order to obtain the probability density function (probability density function: pdf) of the RSS in the position of the cluster-head. [6] presented some experimental results to explore different environment parameters of access point placement that impact localization error of WLAN indoor positioning system. And [7] proposed the algorithm requiring a strategic placement of nodes in each room by using new range-free solution based on simple RSSI measurements.

From the literature review, most of them were interested in the impact of nodes placement and only studied the problem of designing networks that aim to increase the efficiency of the localization system but not consider the optimal reference nodes placement of wireless sensor network. Therefore, this paper presents a novel approach which differs from the literature by analyzing the effect of reference nodes placement for the location accuracy inside buildings. The remainder of this paper is organized as followed. Section II presents the indoor positioning techniques. Section III presents the analysis of RSS distribution of the reference nodes in building. Section VI shows the measurement result and the analysis of the accuracy of the location of the reference nodes in various configurations. Finally, section V concludes the results and guidelines for research in the future.

II. INDOOR POSITIONING TECHNIQUE

Indoor Positioning techniques can be achieved in several ways.

The technique can be divided into two main categories, namely, the principles of the triangle (Trilateration) and matching the signal strength in the reference database (RSSI Database Mapping) [3,4]. The trilateration techniques calculate the positions by using the intersection of the circle which is the location of the object.

There are several ways to find the radius of the circle, for example, [8] converted the signal strength at the receiving end from reference nodes, converted time to receive packets from

Manuscript received Aug 31, 2011. This work was supported in part by Suranaree University of Technology (SUT), the Office of the Higher Education Commission under NRU project of Thailand and the National Research Council of Thailand (NRCT).

Supattra Aomumpai and Chutima Prommak*, are with the School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000 Thailand (phone: 66-44-224393; fax: 66-44-224603; e-mail: cprommak@sut.ac.th). *corresponding author

reference node (Time of Arrival) [8] or converted the received signal from the node reference (Angle of Arrival).

By matching the intensity of the signal in order to locate the position of an object, the database is created. The intensity of the signal of the node reference in the area is called the finger printing. By installing four reference nodes (A, B, C, D) within the building as shown in Fig. 1, the positioning system determines the location of the object by matching the signal strength received from the reference nodes with the signal strength in the fingerprinting database. Matching algorithm of the signal strength by the distance, namely, the Euclidean Distance [9] and Manhattan Distance [10] are used to achieve the signal strength matching.

The most common pattern classification technique is distance based technique such as the Euclidean distance between the sample of RSSI pattern and the location fingerprints. The location association with the fingerprint that has the smallest Euclidean distance (d_i) is return as the location i estimate of the location of the object:

$$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n |x_k - y_k^i|^2} \quad (1)$$

Where d_i denotes Euclidean distance, n denotes the number of reference nodes, x_k denotes the receiving signal strength from reference node k and y_k^i denotes the receiving signal strength database from reference node k at location i .

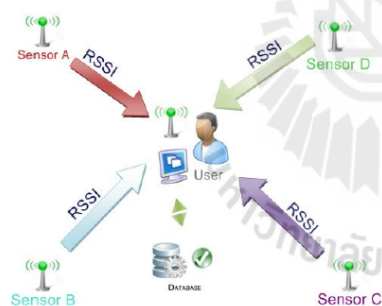


Fig. 1 The positioning system using 4 reference nodes

III. EXPERIMENTAL SETUP

This paper aims to analyze the effect of positioning a reference node for the accuracy of the location in indoor positioning system of wireless sensor network. Euclidean distance is used for matching the RSSI in the reference database which was created to store the signal intensity at different positions (Finger printing). In this paper, the building with 70 m x 80 m and 4 and 8 reference nodes which are A, B, C, D and A, B, C, D, E, F, G, H, and eight different configurations, as shown in Fig. 2 and 3 are used.

We obtained the RSSI database (Finger printing) from the measurement within the area of the experimental setup. In the experiment, total of 152 points of signal test points with grid spacing of 4 m, and the RSS values at various points with 10 times of measurement are applied, then the graphical results of the distribution of RSS from each reference nodes placement forms are shown in Fig. 4-11.

Considering the pattern of four reference nodes placements shown in fig. 2, the location of reference nodes in configuration 1 gives the distribution of RSS (fig. 4) in the range of -30 dBm to -100 dBm which is rather proper than any other configuration. The distribution of RSS of each reference nodes is symmetric. Similarly in fig. 5, the distribution of the RSS of the node in configuration 2 ranges from -50 dBm to -100 dBm. It can be seen that the RSS values of each reference nodes yields different characteristics. Configuration 3 (fig. 6) shows the distribution of RSS in the range -30 dBm to -100 dBm. It can be seen that the RSS measurement from four reference nodes gives the maximum at about -80 dBm, and fig. 7 shows the distribution of RSS of the node in configuration 4 that distribution of RSS is in the range of -60 dBm to -100 dBm. It can be seen that value of RSS measurement from each reference nodes is less than other configurations.

Considering the 8-reference nodes from the fig. 3, it's can be seen that the location of reference nodes in configuration 5 gives the distribution of RSS (fig. 8) in the range of -30 dBm to -110 dBm whose RSS is stronger than that of the other formats (configuration 6, 7, 8), shown in fig. 9, 10, 11. Moreover, the RSS distribution of each reference node in configuration 5 is asymmetric.

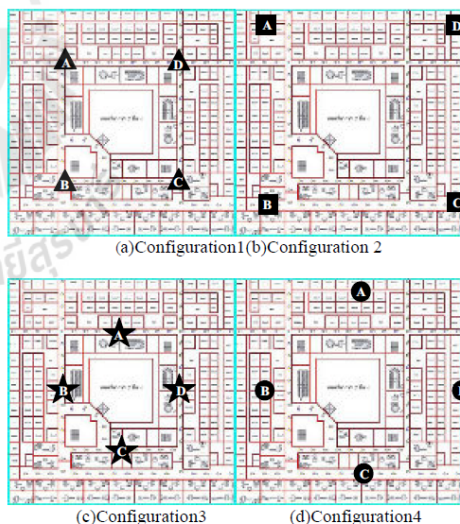


Fig. 2 Locations of four reference nodes

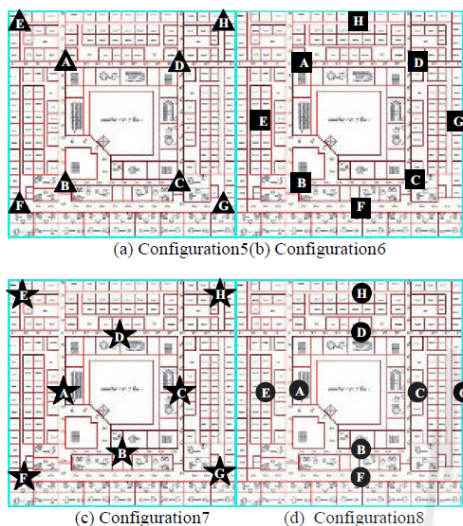


Fig. 3 Locations of eight reference nodes

IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

In our experiments, we measured the RSS values for each configuration of reference nodes as discussed in Section III. The average values of RSSI are recorded in the finger-printing database. This database is used to determine the location of the object by matching the RSS that the object receives from the reference nodes with the RSS value in the database and computing the Euclidean distance. In the experiments, the accuracy of the locations was analyzed and compared among different configurations of the reference nodes placement. We conducted the test to determine ten locations of objects as shown in fig. 12.

Table I shows the error from the location determination. When using four reference nodes, we can see that the configuration 1 yields the highest accuracy. The margin of minimum error is 0 m., average error is 3.75 m., maximum error is 9 m. and the standard deviation is about 2.46 m. In case of using eight reference nodes, the configuration 5 yields the highest accuracy; the average errors is 3.47 m., the maximum error is 7.5 m., and the standard deviation is about 2.33 m. We can see that as the number of reference nodes increases the location accuracy improves. The results show that the suitable location of reference nodes could reduce the positioning error up to 35 %.

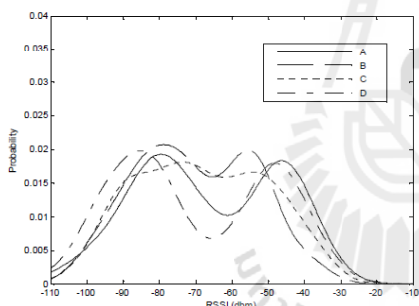


Fig. 4 Distributions of RSSI in configuration 1

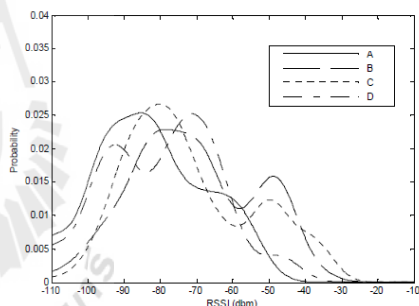


Fig. 5 Distributions of RSSI in configuration 2

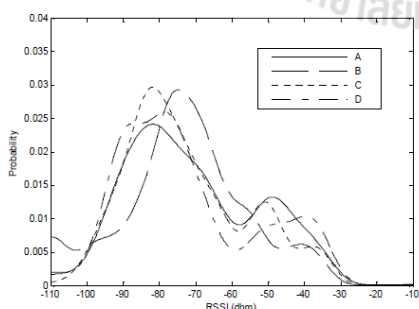


Fig. 6 Distributions of RSSI in configuration 3

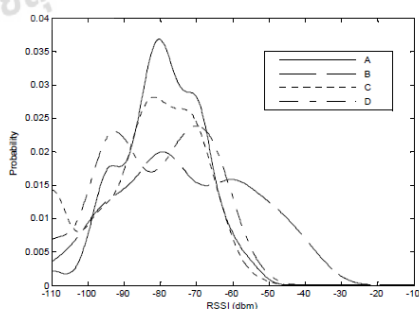


Fig. 7 Distributions of RSSI in configuration 4

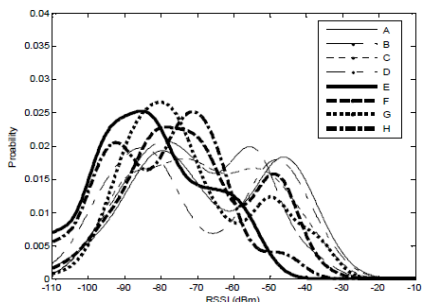


Fig. 8 Distributions of RSSI in configuration 5

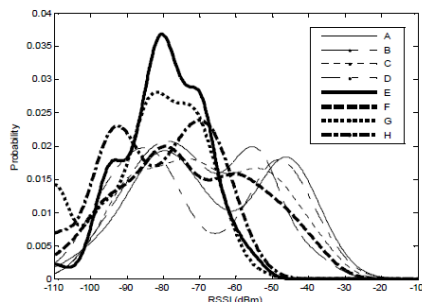


Fig. 9 Distributions of RSSI in configuration 6

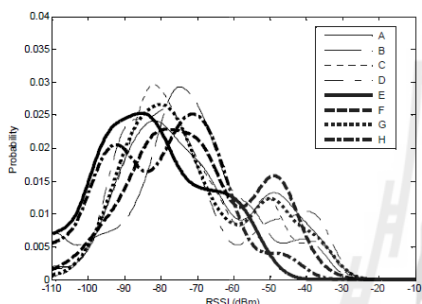


Fig. 10 Distributions of RSSI in configuration 7

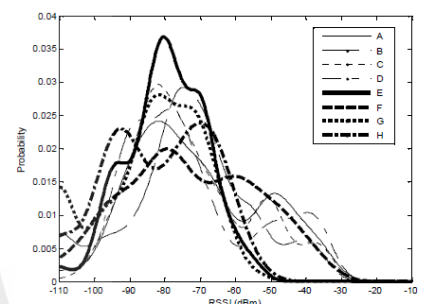


Fig. 11 Distributions of RSSI in configuration 8

In fig. 12, the actual locations of the objects and the estimated locations are compared. It is the results from using the reference node placement in configuration 5 (fig.3 a)

In order to evaluate the RSSI distribution proposed in Section 3, The reference nodes placement on the configuration 5 (Fig. 3 (a)) that is the distribution of RSS from the each reference nodes (A, B, C, D, E, F, G, H) gives a symmetry which is similar to the distribution of RSS in Fig. 8 while comparing to distribution of RSS from using four and eight

reference nodes(fig. 4-7 and fig. 9-11). The node placement referring to the symmetry of RSS distribution as shown in configuration 5 increases the accuracy and reduces location errors of the objects which optimize by the technique of matching the RSSI.

TABLE I
COMPARE THE ACCURACY OF LOCATION

Reference node placement	Error (meter)			
	Min	Mean	Max	SD
Configuration 1	0	3.75	9	2.460
Configuration 2	1	9.80	27	8.506
Configuration 3	2	5.80	16	4.570
Configuration 4	0	6.10	18	5.310
Configuration 5	0	3.47	7.5	2.333
Configuration 6	0	5.20	18	4.969
Configuration 7	2	4.15	11.5	3.090
Configuration 8	0	5.00	10	3.612

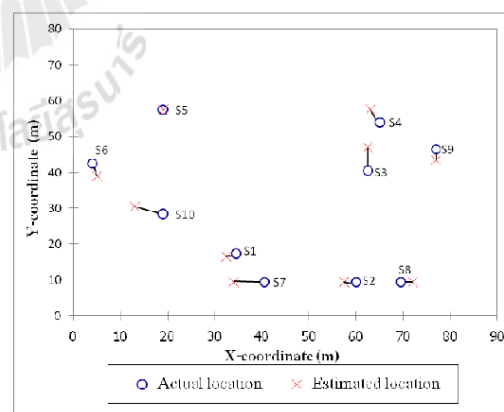


Fig. 12 Position estimation error

V. CONCLUSION

In this paper, we analyzed the effect of the placement of a reference node on the accuracy of the indoor positioning systems using the IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. The Euclidean distance technique was used in matching the RSSI with the database that is created to store the signal strength at different positions (fingerprinting). The results showed that the location and the number of reference nodes affect the localization accuracy. We also found that placing the reference nodes at the intersection of corridors within the building could reduce the positioning error up to 35 % compared with others locations of reference nodes. Our ongoing work investigates the optimal placement of reference nodes for the wireless indoor positioning systems.

SupattraAomumpai received her B.S. degree in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand in 2009. Currently she is pursuing her M.S. degree in the school of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology. She is a member at the Wireless Communication Research Lab at Suranaree University of Technology.

REFERENCES

- [1] T. Stoyanova, F. Kerasiotis, A. Prayati and G. Papadopoulos, "Evaluation of Impact Factors on RSS Accuracy for Localization and Tracking Applications in Sensor Networks," *Telecommunication System*, July 2009, pp. 235-248.
- [2] N. Patwari, A.O. Hero, M. Perkins, N. S. Correal and R. J. O'Dea, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, August 2003, pp. 2137-2148.
- [3] M. Sugano, T. Kawazoe, Y. Ohta and M. Murata, "Indoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network Based on ZigBee Standard," *International Conference on Wireless Network and Emerging Technologies*, July 2006, pp. 1-6.
- [4] Q. Yao, F. Wang, H. Gao, K. Wang and H. Zhao, "Location Estimation in ZigBee Network Based on Fingerprinting," *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, December 2007.
- [5] Paschalidis, I. Ch. and D. Guo, "Robust and Distributed Stochastic Localization in Sensor Networks: Theory and Experimental Results," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol. 5, No. 4, November 2009, pp. 1-22.
- [6] O. Baala, Y. Zheng and A. Caminada, "The Impact of AP Placement in WLAN-Based Indoor Positioning System," *International Conference on Networks*, 2009, pp. 12-17.
- [7] Olga E. Segou, Stelios A. Mitilneos, Stelios C.A. Thomopoulos, "DALE: A Range-Free, Adaptive Indoor Localization Method Enhanced by Limited Fingerprinting", *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, September 2010.
- [8] M. Baunach, R. Kolla and C. Mühlberger, "Beyond Theory: Development of a Real World Localization Application as Low Power WSN," *IEEE Conference on Local Computer Networks*, October 2007, pp. 872-897.
- [9] U. Grossmann, M. Schauch and S. Hakobyan, "RSSI Based WLAN Indoor Positioning with Personal Digital Assistants," *IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, September 2007, pp. 653-656.
- [10] W.Y. Chiu and B.S. Chen, "Mobile positioning problem in Manhattan-like Urban Areas: Uniqueness of Solution, Optimal Deployment of BSSs, and Fuzzy Implementation," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 57, December 2009, pp. 4918 - 4929.

Chutima Prommak received her Ph.D. and M.S. degree in Telecommunications from the University of Pittsburgh in 2005 and from the University of Colorado at Boulder in 1998, respectively and received her B.S. from the University of KhonKaen in 1992. She is now an assistant professor at the School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. Her research interests include wireless network design, optical network design, network optimization and heuristic approaches for network design.

ผลกระทบของการวางโหนดอ้างอิงในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 Effects of Reference Node Locations in Indoor Positioning System via IEEE 802.15.4 Wireless Networks

เกรียงไกร มณีรัตน์, สุพัตรา ออมอำไพ และ สุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 044-224392 E-mail: m5340583@e.sut.ac.th, m5340613@e.sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความถูกต้องของการหาตำแหน่งวัตถุที่ใช้เทคนิคการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ จากการทดลองกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ พบว่าตำแหน่งของโหนดอ้างอิงมีผลต่อลักษณะการกระจายของสัญญาณภายในบริเวณอาคาร ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนของการบอกตำแหน่งวัตถุอย่างมาก

คำสำคัญ: ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร, เครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย

Abstract

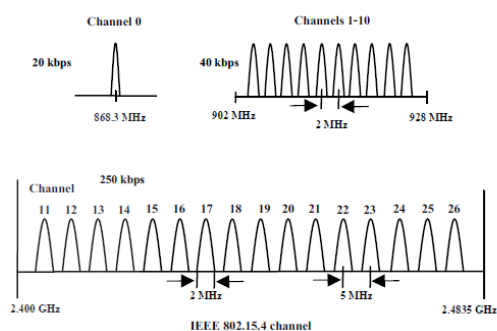
This paper presents an accuracy analysis of the indoor positioning system via the IEEE 802.15.4 wireless networks. We aim to study the effects of reference node locations on the accuracy of the indoor positioning system using the RSSI database mapping technique. The results show that locations of reference nodes used in the system affect the signal propagation characteristics and suitable reference node location can improve the accuracy of the indoor positioning system.

Keywords: Indoor positioning system, Wireless Sensor Networks

1. บทนำ

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากการที่เทคโนโลยีเซ็นเซอร์มีข้อดีหลายประการ เช่น มีราคาถูก มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ สามารถวัดค่าและเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงได้อย่างถูกต้อง ประมวลผลได้ด้วยตัวเอง และติดต่อสื่อสารถึงกันแบบไร้สายและเป็นเครือข่าย จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆด้าน หนึ่งในนั้นได้นำมาใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วย

เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในปัจจุบันนิยมใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลต่ำ และได้มีการกำหนดย่านความถี่ใช้งาน 3 ย่านคือย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งมีการแบ่ง



รูปที่ 1 ย่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ช่องสัญญาณ 16 ช่อง คือ ช่องสัญญาณที่ 11-26 อัตราการรับส่งข้อมูล 250 Kbps ที่ย่านความถี่ 915 MHz มีช่องสัญญาณ 10 ช่อง คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10 อัตราการรับส่งข้อมูล 40 Kbps และที่ย่านความถี่ 868 MHz มีช่องสัญญาณ 1 ช่อง คือ ช่องสัญญาณ 0 อัตราการรับส่งข้อมูล 20 Kbps ดังแสดงในรูปที่ 1

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการระบุระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 โดยงานวิจัย [1] เป็นการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งในอาคารขึ้นมาเรียกว่า DOLPHIN ซึ่งระบบนี้เป็นระบบระบุตำแหน่งแบบกระจายตัวในพื้นที่ทำงานบนระบบอินเตอร์เน็ต งานวิจัย [2] เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของระบบระบุตำแหน่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุระหว่างวิธีการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (Received Signal Strength, RSS) กับวิธีการแปลงจากระยะเวลาที่ได้รับแพ็กเก็ตเกิดจากโหนดอ้างอิง (Time of Arrival) โดยใช้วิธีการคำนวณของเครมเมอร์-เรโอโลเวอร์เบาวนด์ (Cramér-Rao Bound) ส่วนงานวิจัย [3] เป็นการศึกษาาระบบหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยประมาณค่าระยะทางจากการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ และงานวิจัย [4] เป็นการศึกษาวิธีการทำ Fingerprinting เพื่อสร้างฐานข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณ

สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอในบทความนี้ต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเรานำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิง (Reference nodes) ต่อความถูกต้องของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยมีลำดับการนำเสนอ ดังนี้ หัวข้อที่ 2 กล่าวถึงเทคนิคการ

หาตำแหน่งวัตถุ หัวข้อที่ 3 นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายสัญญาณของโหนดอ้างอิงภายในอาคาร หัวข้อที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งจากการวางโหนดอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ และหัวข้อสุดท้ายเป็นการสรุปผลการทดลองและแนวทางการวิจัยในอนาคต

2. เทคนิคการหาตำแหน่งวัตถุ

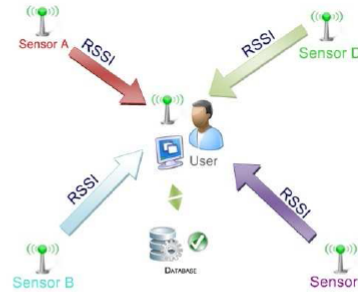
การระบุตำแหน่งวัตถุในอาคารทำได้หลายวิธี โดยเทคนิคหลักๆ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การใช้หลักการของสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) และการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิง (RSSI Database Mapping) [3, 4] หลักการสามเหลี่ยมระยะเป็นการคำนวณตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม จุดที่วงกลมตัดกันคือตำแหน่งของวัตถุ การหาค่าของวงกลมทำได้หลายวิธีเช่น แปลงมาจากค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้รับได้จากโหนดอ้างอิง [5] หรือแปลงจากรยะเวลาที่ได้รับแพ็กเก็ตเกิดจากโหนดอ้างอิง (Time of Arrival) [5] หรือแปลงจากมุมที่รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง (Angle of Arrival) [5]

ส่วนการหาตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณนั้นจะต้องสร้างฐานข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณของโหนดอ้างอิงในบริเวณอาคารที่เรียกว่า Finger printing ก่อนโดยการติดตั้งโหนดอ้างอิงภายในบริเวณอาคารรูปที่ 2 แสดงระบบหาตำแหน่งวัตถุที่ใช้โหนดอ้างอิง 4 ตัว (A, B, C, D) วัตถุจะได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง แล้วนำค่าความเข้มของสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของวัตถุโดยการจับคู่ค่าความเข้มสัญญาณกับฐานข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณที่ได้สร้างไว้ วิธีการจับคู่ค่าความเข้มสัญญาณมีหลายวิธีได้แก่ การจับคู่โดยพิจารณาจากระยะห่างยูคลีเดียน (Euclidian Distance) [6] และวิธี Manhattan Distance [7] เป็นต้น

วิธีระยะห่างยูคลีเดียนเป็นวิธีการระบุตำแหน่ง โดยเลือกตำแหน่งที่มีค่าความเข้มสัญญาณในฐานข้อมูลใกล้เคียงกับค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้รับได้จากโหนดอ้างอิงที่สุด นั่นคือตำแหน่ง i ที่มีค่า d_i น้อยที่สุด เมื่อ d_i คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n |x_k - y_k^i|^2} \quad (1)$$

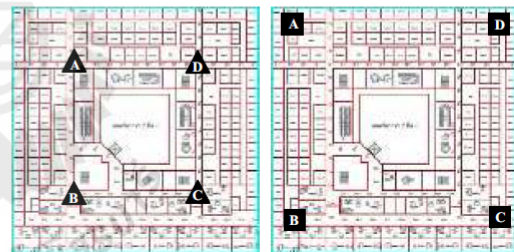
เมื่อ d_i คือ ระยะห่างยูคลีเดียน, n คือ จำนวนโหนดอ้างอิง x_k คือ ความเข้มสัญญาณที่วัดได้รับได้จากโหนดอ้างอิง k y_k^i คือ ความเข้มสัญญาณในฐานข้อมูลจากโหนดอ้างอิง k ที่ตำแหน่ง i



รูปที่ 2 ระบบหาตำแหน่งวัตถุที่ใช้โหนดอ้างอิง 4 ตัว

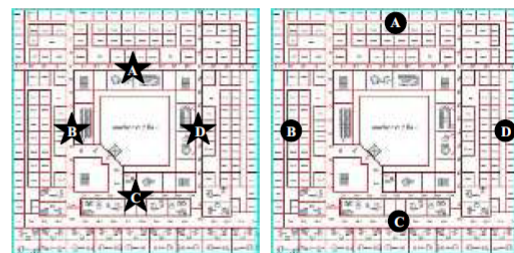
3. ลักษณะการแพร่กระจายสัญญาณ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความถูกต้องของการหาตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายตรวจสอบไร้สาย โดยใช้เทคนิคระยะห่างยูคลีเดียนในการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิงที่สร้างจากการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่างๆ (Finger printing) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองภายในอาคารที่มีขนาดกว้าง 70 เมตร ยาว 80 เมตร โดยใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 4 ตัวคือ A, B, C และ D ซึ่งทำการจัดวางตำแหน่งที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3



ก). รูปแบบที่ 1

ข). รูปแบบที่ 2



ค). รูปแบบที่ 3

ง). รูปแบบที่ 4

รูปที่ 3 รูปแบบการวางตัวตรวจจู่อ้างอิง

ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มของสัญญาณจากฐานข้อมูลอ้างอิง (Finger printing) ที่ได้จากการวัดค่าความเข้มสัญญาณในตำแหน่งต่างๆ ภายในบริเวณพื้นที่การทดลอง ซึ่งได้กำหนดให้มีทั้งหมด 78 จุด โดยแต่ละจุดมีระยะห่าง 4 เมตร และทำการวัดค่าความเข้มสัญญาณในแต่ละจุดทั้งหมด 10 ครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้จากการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 – 7

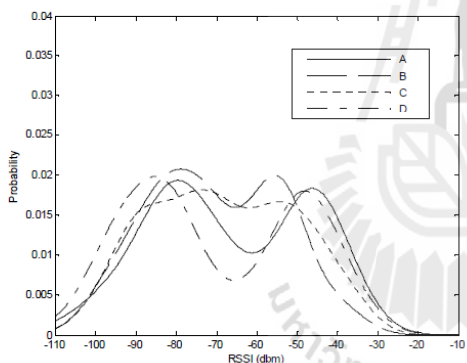
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าการวางโหนดอ้างอิงตามรูปแบบที่ 1 ให้จะมีลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -30 dBm ถึง -100 dBm ซึ่งมีค่าความเข้มของสัญญาณสูงกว่ารูปแบบอื่นๆ และการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของโหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีลักษณะที่สมมาตรใกล้เคียงกัน ในรูปที่ 5 แสดงลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของการวางโหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 2 จะเห็นว่าค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -50 dBm ถึง -100 dBm โดยการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของโหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนในรูปที่ 3 (รูปที่ 6) พบว่าการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -30 dBm ถึง -100 dBm จากรูปจะเห็นว่าค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จากโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัวมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ -80 dBm

และในรูปที่ 7 แสดงลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของการวางโหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 4 ซึ่งมีค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -60 dBm ถึง -100 dBm จะเห็นว่าค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จากโหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีค่าน้อยกว่ารูปแบบอื่นๆ และการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของโหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก และมีค่าความเข้มของสัญญาณของโหนดอ้างอิงน้อยสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น

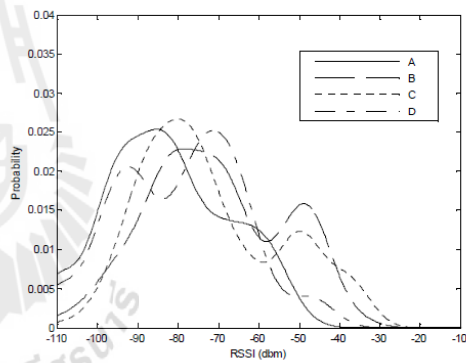
4. การวิเคราะห์ความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง

จากการทดลองผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จากการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ ดังกล่าวในหัวข้อที่ 3 มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อสร้างฐานข้อมูลของค่าความเข้มสัญญาณ (Finger printing) จากนั้นใช้ใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียนในการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุ ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งวัตถุ เมื่อทำการวางโหนดอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ นั้นผู้วิจัยได้ใช้จุดทดสอบ 10 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 8

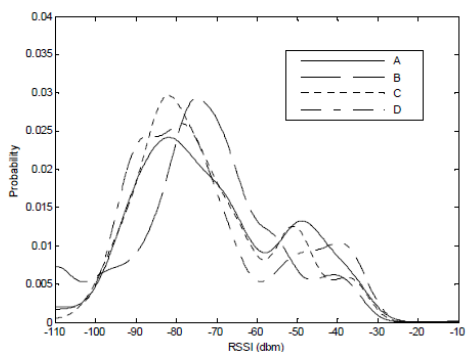
ตารางที่ 1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้ เมื่อใช้รูปแบบการวางโหนดอ้างอิงที่ต่างกัน



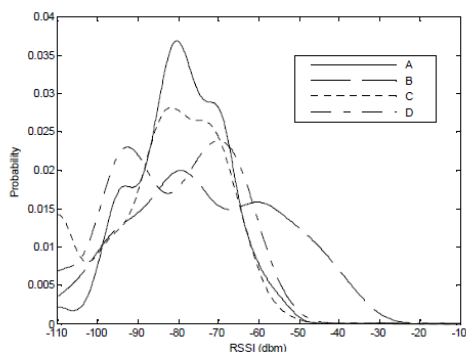
รูปที่ 4 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจรู้อ้างอิง 4 ตัว ที่วางตัวตามรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจรู้อ้างอิง 4 ตัวที่วางตัวตามรูปแบบที่ 2



รูปที่ 6 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจรู้อ้างอิง 4 ตัวที่วางตัวตามรูปแบบที่ 3



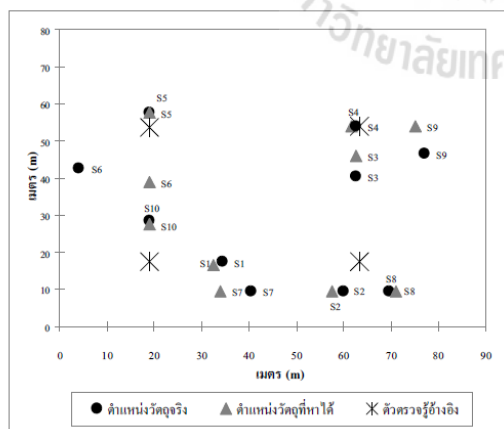
รูปที่ 7 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจรู้อ้างอิง 4 ตัวที่วางตัวตามรูปแบบที่ 4

จะเห็นว่ากรวาง โหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 1 มีความถูกต้องของการระบุตำแหน่งมากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุดที่ 0 เมตร เฉลี่ยที่ 4.45 เมตร มากสุดที่ 15 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 4 เมตร ส่วนการวาง โหนดอ้างอิงรูปแบบอื่นๆนั้นมีความถูกต้องน้อยกว่า โดยรูปแบบที่ 2 มีความถูกต้องน้อยที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 13.45 เมตร มากสุดที่ 34 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งวัตถุจริงที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 10 ตำแหน่งและตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 1

เมื่อวิเคราะห์จากลักษณะการแพร่กระจายของสัญญาณที่แสดงในหัวข้อที่ 3 จะเห็นว่ากรวางตำแหน่งของโหนดอ้างอิงในรูปแบบที่ 1 (รูปที่ 3(ก)) ที่ให้กราฟการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัว (A, B, C, D) ที่มีลักษณะที่สมมาตรใกล้เคียงกันมากที่สุด (รูปที่ 4) เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะกราฟการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัวในรูปแบบอื่น (รูปที่ 5 - 7) ดังนั้นจะเห็นว่ากรวาง โหนดอ้างอิงที่ให้ลักษณะการแพร่กระจายความเข้มสัญญาณอย่างสมมาตรดังรูปแบบที่ 1 จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของวัตถุซึ่งใช้เทคนิคการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่ง

ตำแหน่งกรวาง โหนดอ้างอิง	ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)			
	Min	Mean	Max	SD
รูปแบบที่ 1	0	4.45	15	4.298
รูปแบบที่ 2	0	13.45	34	10.38
รูปแบบที่ 3	2	6.75	16.5	5.3
รูปแบบที่ 4	0	7.15	18	5.81



รูปที่ 8 ตำแหน่งวัตถุจริงและตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 1

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความถูกต้องของการหาตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียนในการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิงที่สร้างจากการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่างๆ (Finger printing) ผลการทดลองพบว่าตำแหน่งของโหนดอ้างอิงมีผลต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยพบว่ากรวาง โหนดอ้างอิงที่บริเวณจุดตัดของทางเดินภายในอาคารจะช่วยลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความถูกต้องในการบอกตำแหน่งของวัตถุได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สุวิธา รอดนิม, ภาวิณี สีเขียวแก่ และอัจฉรา ศิพงษ์เครือ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองและการวัดสัญญาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Fukuju, M. Minami, H. Morikawa, T. Aoyama, "DOLPHIN: An Autonomous Indoor Positioning System in Ubiquitous Computing Environment," IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems, 2003, pp. 53-56.
- [2] N. Patwari, A.O. Hero, M. Perkins, N. S. Correal, R. J. O'Dea, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 51 Issue. 8, August 2003, pp. 2137-2148.
- [3] M. Sugano, T. Kawazoe, Y. Ohta, M. Murata, "Indoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network Based on ZigBee Standard," IASTED International Conference on Wireless Network and Emerging Technologies, July 2006, pp. 1-6.
- [4] Q. Yao, F. Wang, Fellow, H. Gao, K. Wang, H.Zhao, "Location Estimation in ZigBee Network Based on Fingerprinting," IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, December 2007.
- [5] M. Baunach, R. Kolla, C. Muhlberger, "Beyond Theory: Development of a Real World Localization Application as Low Power WSN," 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks, October 2007, pp. 872-897.
- [6] U. Grossmann, M. Schauch, S. Hakobyan, "RSSI Based WLAN Indoor Positioning with Personal Digital Assistants," 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, September 2007, pp. 653-656.
- [7] W.Y. Chiu, B.S. Chen, "Mobile positioning problem in Manhattan-like Urban Areas: Uniqueness of Solution, Optimal Deployment of BSs, and Fuzzy Implementation," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 57 Issue. 12, December 2009, pp. 4918 - 4929.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุพัตรา ออมอำไพ เป็นบุตรของ นายวิจิตร ออมอำไพ และนางสาวชนพร พฤกษ์เสรีชัยกุล เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 14 กันยายน พุทธศักราช 2530 ที่จังหวัดสกลนคร เริ่มการศึกษา ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ที่โรงเรียนอนุบาลสกลนคร ระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1 ถึง 6 จากโรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2549 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในปีพุทธศักราช 2552 เกียรตินิยมอันดับ 2 ได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ด้านการออกแบบและวางแผนเครือข่ายเช่นเซอร์ไรต์สาย จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกร สาขาไฟฟ้า แขนงไฟฟ้าสื่อสาร ในปีพุทธศักราช 2555

ระหว่างศึกษาได้เสนอขอความเข้าร่วมประชุมในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33) ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553 และงานประชุมวิชาการนานาชาติ World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET 2011) กรุงเทพมหานคร วันที่ 25-26 ธันวาคม 2554 โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก ข