รหัสโครงการ SUT7-709-56-12-10

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเทคนิคการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย

(Development of network planning techniques for wireless indoor positioning systems)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-709-56-12-10

รายงานการวิจัย

การพัฒนาเทคนิคการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย

(Development of network planning techniques for wireless indoor positioning systems)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ธันวาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ขอบคุณศูนย์คอมพิวเตอร์ และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการวิจัย ขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และให้งบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัย ณ การประชุมวิชาการนานาชาติ

ผู้วิจัย

ธันวาคม 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ ทั้งในด้านความถูกต้อง และความแม่นยำ โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้ประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) ซึ่งพิจารณาประเด็นเรื่องคุณภาพและความทั่วถึงของสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการ

นวัตกรรมของงานวิจัยนี้ได้แก่การพัฒนาเทคนิคการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สาย ที่ทำให้ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารมีสมรรถนะในการหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุที่สูงขึ้น โดยเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นมุ่งเน้นการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายในส่วนของการกำหนดจำนวนและตำแหน่งในการติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับลักษณะของพื้นที่ให้บริการ

จากผลการทดลองวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับโครงสร้างเครือข่ายแบบอื่น พบว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุแบบไร้สายภายในอาคารได้ทั้งในด้านความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ

Abstract

This research presents a study and development of planning techniques for the wireless network structure of the indoor positioning systems based on a fingerprinting technique. The aim is to improve the positioning performances in term of accuracy and precision. The proposed network planning problems applied the Binary Integer Linear Programming that specifically takes into account the quality of the wireless signal coverage across the service areas.

Our key contribution is that the proposed network planning techniques can yield efficient network structures that are suitable for the service area environments. This results in greatly improvement of the indoor positioning systems. Specifically, the proposed model can determine efficient number and location of the reference nodes for the specified service areas.

Experimental results show that the proposed planning techniques can yield the network structures for the indoor positioning systems that outperform the other network structures. Particularly, the network structures planned by our techniques result in the efficient indoor positioning systems that can increase the accuracy and the precision of the positioning systems.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

Abstract ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญภาพ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ 4

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.3 เทคนิคการทำงานพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร 11

2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร 13

2.5 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) 15

บทที่ 3 เทคนิคการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย

3.1 โครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร 17

3.2 การนิยามปัญหาในการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร แบบไร้สาย 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี 21
3.3.1 สมการคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (เฟสที่ 1) 22
3.3.2 สมการคณิตศาสตร์ในการกำหนดจุดติดตั้งโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (เฟสที่ 2) 23
3.4 วิธีหาคำตอบสำหรับสมการที่พัฒนาขึ้น 24
3.4.1 การหาคำตอบด้วยโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio 24
3.4.2 โครงสร้างหน้าต่างโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio 26
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล
4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ จากการทดลองวัดสัญญาณจริง เมื่อระบบใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกัน 28
4.1.1 พารามิเตอร์และอุปกรณ์สำหรับการทดลอง 28
4.1.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 33
4.1.3 สรุปผลการทดลอง 35
4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัยอื่น 36
4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 1 36
4.2.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์กรณีที่ 1 37
4.2.3 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 2 40
4.2.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์กรณีที่ 2 41
4.2.5 สรุปผลการทดลอง 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 45
บรรณานุกรม 47
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง 49
ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 55
ประวัติผู้วิจัย 56

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ 5
รูปที่ 3.1 โครงสร้างและกระบวนการสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 18
รูปที่ 3.2 กระบวนการสำหรับการกำหนดจำนวนและตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิง 21
รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 26
รูปที่ 4.1 พื้นที่สำหรับการทดลองและตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ 29
รูปที่ 4.2 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 1 (UBP 4 RNs (A,B,C,D)) 31
รูปที่ 4.3 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 2 (UBP 4 RNs (E,F,G,H)) 31
รูปที่ 4.4 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 3 (UBP 8 RNs) 32
รูปที่ 4.5 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 4 (MNR-MSMR 9 RNs) 32
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุของแต่ละกรณี 33
รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุจริง 34
รูปที่ 4.8 พื้นที่ให้บริการและโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) 37
รูปที่ 4.9 โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) กรณีที่ 1 37
รูปที่ 4.10 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายจากงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) 38
รูปที่ 4.11 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) 38
รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุกรณีที่ 1 38
รูปที่ 4.13 พื้นที่ให้บริการและโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) 41
รูปที่ 4.14 โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) กรณีที่ 2 42
รูปที่ 4.16 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) 42
รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุกรณีที่ 2 43

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ 14
ตารางที่ 3.1 การแปลงสมการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีของเฟสที่ 1 เป็นคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio 25
ตารางที่ 3.2 การแปลงสมการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีของเฟสที่ 2 เป็นคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio 25
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่าย 4 กรณี 35
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายในกรณีที่ 1 39
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายในกรณีที่ 2 44

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor positioning system) เป็นระบบที่ประยุกต์ใช้เครือข่ายสื่อสารไร้สายในระยะใกล้ โดยใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา และใช้พลังงานต่ำ เพื่อตรวจจับสัญญาณที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ ระบบนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายเช่น ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของผู้ป่วยภายในโรงพยาบาล ใช้ในระบบนำทางภายในอาคาร เช่น ระบบนำทางภายในพิพิธภัณฑ์ขนาดใหญ่ หรือสนามบิน และใช้ในการตรวจจับตำแหน่งสินค้าในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการให้บริการ เป็นต้น

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้มีการประยุกต์ใช้เครือข่ายสื่อสารไร้สายมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตราฐาน IEEE 802.11 และ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นต้น ส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุในอาคารคือโนดอ้างอิง (Reference nodes) ซึ่งเป็นวงจรสื่อสารไร้สายที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณสำหรับใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณดังกล่าวจะต้องใช้ข้อมูลสัมพัทธ์ระหว่างโนดอ้างอิงกับวัตถุที่ต้องการหาตำแหน่ง ข้อมูลดังกล่าวเช่น ระยะห่างระหว่างวัตถุกับโนดอ้างอิง มุมระหว่างวัตถุกับโนดอ้างอิง และ ความแรงสัญญาณที่วัตถุรับได้จากโนดอ้างอิง ซึ่งคุณลักษณะของข้อมูลสัมพัทธ์ดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคำนวณพิกัดของตำแหน่งวัตถุ

การกำหนดโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารส่งผลต่อระดับความถูกต้องและความแม่นยำในการคำนวณพิกัดของตำแหน่งวัตถุ เนื่องจากพื้นที่ภายในอาคารมีลักษณะทางกายภาพที่ซับซ้อน และมีสิ่งกีดขวางทางเดินสัญญาณซึ่งอาจทำให้การแพร่กระจายของสัญญาณจากโนดอ้างอิงไปยังบริเวณภายในอาคารไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดจุดอับสัญญาณ หรือจำนวนสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่รับได้ไม่เพียงพอสำหรับใช้วิเคราะห์และคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ ดังนั้นการออกแบบและวางแผนโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายที่เหมาะสมเพื่อให้การคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุเป็นไปอย่างถูกต้อง จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากในการที่จะสามารถประยุกต์ใช้งานระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้เสนอการวิจัยและพัฒนาวิธีการออกแบบและวางแผนเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เพื่อกำหนดโครงสร้างระบบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้งานต่างๆ ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การผลิต และการให้บริการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
2. เพื่อพัฒนาเทคนิคและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
3. เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพการหาตำแหน่งวัตถุด้วยเครือข่ายสื่อสารไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในข้อ 2.

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
2. ศึกษาการกำหนดพารามิเตอร์และการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
3. พัฒนาสมการคณิตศาสตร์ รวมถึงการออกแบบกรอบวิธี และเกณฑ์เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
4. พัฒนาโปรแกรมเพื่อหาคำตอบของสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
5. พัฒนาโปรแกรมสำหรับทดลองและตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ได้จากวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาและสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานและโครงสร้างของเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
2. กำหนดกรอบวิธี และเกณฑ์การออกแบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

3. พัฒนาสมการคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
4. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาคำตอบของสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
5. ออกแบบและทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ได้จากวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับ : ได้เทคนิคการออกแบบและวางแผนเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งจะสามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เครือข่าย เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยและการประยุกต์ใช้ต่อไป นอกจากนี้ยังทำให้ได้บทความวิจัยที่มีคุณค่าทางวิชาการต่อวงการศึกษาและวิจัย และได้ผลิตนักวิจัยซึ่งเป็นบัณฑิตระดับปริญญาโทที่มีคุณภาพ และมีประสบการณ์ในการทำงานวิจัยซึ่งสามารถผลิตผลงานที่มีประโยชน์ได้

หน่วยงานที่สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยที่มีความสนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร รวมถึงหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ที่ทำหน้าที่ดูแลและควบคุมระบบการทำงานของเครือข่ายสื่อสารไร้สายที่ใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

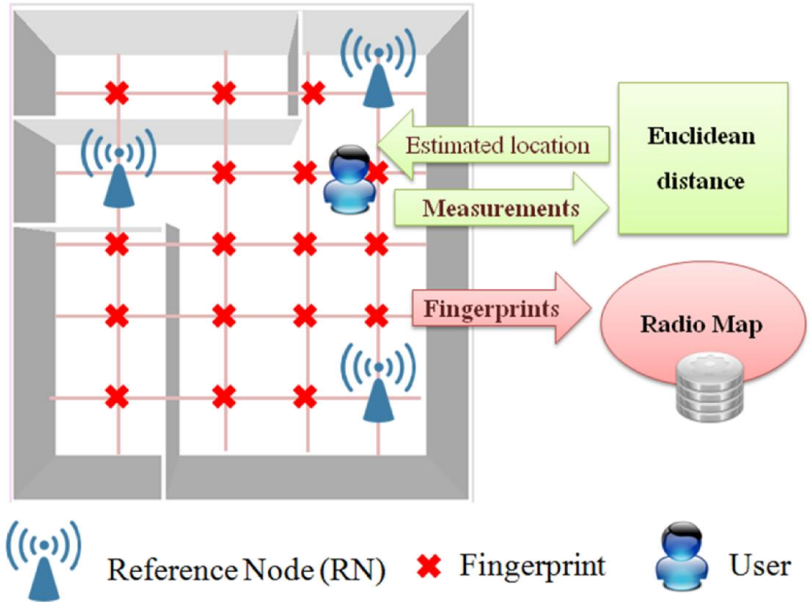
ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคารให้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีขึ้นนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง เพื่อทำให้มีความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร และสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งในงานวิจัยนี้ได้ โดยเนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึงหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ หัวข้อ 2.1 กล่าวนำ หัวข้อ 2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร หัวข้อ 2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร และหัวข้อ 2.5 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

2.1 กล่าวนำ

โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารโดยใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการทำงานอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ 1) กระบวนการแรกเป็นการกำหนดตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิง (reference node: RN) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณที่ใช้สำหรับการค้นหาตำแหน่งวัตถุ โนดอ้างอิงจะต้องติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมภายในอาคาร เพราะจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ 2) กระบวนที่สองเป็นการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปริ้นท์ (fingerprints) โดยที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์จะต้องครอบคลุมทั่วบริเวณของอาคารที่ให้บริการระบุตำแหน่งวัตถุ และทำการเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) จากโนดอ้างอิง และ 3) กระบวนการสุดท้ายเป็นการคำนวณหาตำแหน่งโนดวัตถุ (target node) โดยนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล – ฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งเป็นข้อมูลของค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากการวัดในแต่ละบริเวณพื้นที่

ในหลายๆ งานวิจัย ได้มีการศึกษาถึงสิ่งที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุอยู่หลายด้าน รวมไปถึงการกำหนดตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ของอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่ง ดังนั้นในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งเพื่อให้มีสรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ดีนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นที่การพัฒนาเทคนิคการกำหนดจำนวนและตำแหน่งที่

เหมาะสมสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิง เพื่อให้ระบบที่ได้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทิศทางปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุไร้สายภายในอาคาร โครงสร้าง ข้อจำกัด การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสรรถนะของระบบในงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูล และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับงานวิจัยนี้ต่อไป ซึ่งจากการศึกษามีปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยของ Liu, H., Darab, H., Banerjee, P. and, Liu, J. (2007) [1] เป็นงานวิจัยที่สำรวจเทคนิคและวิธีการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่สำรวจงานวิจัยต่างๆ โดยได้อธิบายถึงภาพรวมของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายๆประเภท ซึ่งได้มีการอธิบายและจำแนกประเภทของเทคนิคระบบระบุตำแหน่ง และได้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของแต่ละเทคนิค รวมถึงการวิเคราะห์ข้อดี

และข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งในแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ เพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับ การแยกประเภทของเทคนิคการระบุตำแหน่งตามลักษณะการทำงานในแต่ละเทคนิค ขั้นตอนการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค และวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งโดยใช้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) จะแสดงเป็นระยะที่คลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่ง และความแม่นยำ (precision) ที่แสดงด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ของการระบุตำแหน่งได้ถูกต้องที่ระยะต่างๆ

2.2.2 งานวิจัยของ Gum, Y., Lo, A. and, Niemegeers, I. (2009) [2] เป็นงานวิจัยที่สำรวจเทคโนโลยีไร้สายที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่สำรวจและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร โดยได้เปรียบเทียบคุณลักษณะการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสารสื่อสารในแต่ละงานวิจัย ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ รวมการประเมินสมรรถนะแต่ละเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งในด้านของ สมรรถนะ (performance) ในแง่ของความถูกต้อง (accuracy) และความคงทนของการส่งสัญญาณไร้สาย (robustness)

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสาร ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีแต่ละประเภท อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้

2.2.3 งานวิจัยของ Baunach, .M., Kolla, R. and Muhlberger, C. (2007) [3] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการประยุกต์ใช้ระบบระบุตำแหน่งกับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้เสนอการประยุกต์ใช้ระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารกับเทคโนโลยีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่มีข้อจำกัดในด้านของ หน่วยความจำน้อย มีข้อจำกัดในด้านของการใช้พลังงาน โดยได้อธิบายถึงโครงสร้างของกระบวนการในการระบุตำแหน่ง รวมไปถึงการอธิบายเทคนิควิธีที่ใช้ในการหาตำแหน่งวัตถุด้วยเทคนิคของระยะทางแบบต่างๆ ซึ่งได้อธิบายวิธีการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงการนำเทคโนโลยีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย IEEE 802.15.4 ที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และได้เห็นภาพรวมของโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่ง ซึ่งได้มาใช้เป็นแนวคิดสำหรับการพิจารณาข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบได้

2.2.4 งานวิจัยของ Baala, O., B., Zheng, Y. and Caminada, A. (2009) [4] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย ในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

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

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุนั้น คือตำแหน่งของโนดอ้างอิงหรือจากงานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สาย ที่จะเห็นว่ารูปแบบในการวางตำแหน่งโนดอ้างอิงในพื้นที่ของอาคารจะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบได้

2.2.5 งานวิจัยของ Kaemarungsi, K. (2005) [5] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับการใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้น (location fingerprint technique)

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

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ช่วยในการออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะได้มีการ

พิจารณาถึงผลกระทบจากการวางตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง แต่ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงปัญหาการกำหนดตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ให้บริการที่สามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง

2.2.6 งานวิจัยของ Bahri, A. and Chamberland, S. (2005) [6] เป็นงานวิจัยที่เสนอการปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่รับประกันค่าสมรรถนะการทำงานของเครือข่าย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นในการแก้ปัญหา ที่ประกอบไปด้วยการกำหนดสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข โดยในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาปัญหาในการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สายเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นปัญหาการหาค่าที่น้อยที่สุด (minimization) และมีเงื่อนไขคือกำลังงานและการเลือกใช้ช่องสัญญาณเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าได้มีการใช้สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบปัญหาการกำหนดตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณไร้สายสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ดังนั้นเราจึงได้นำเอาแนวคิดในการใช้สมการคณิตศาสตร์ด้วยการใช้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้กับการออกแบบระบบระบุตำแหน่งสำหรับปัญหาในการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิง

2.2.7 งานวิจัยของ Deyeb, T. M., Baroudi, U. and Selim, S., Z. (2011) [7] เป็นงานวิจัยที่เสนอการหาตำแหน่งวางของโนดตรวจรู้และโนดถ่ายทอดของเครือข่ายไร้สาย

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

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าในการออกแบบระบบสำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้หลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม มาใช้ในการออกแบบสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงได้นำแนวคิดจากงานวิจัยนี้มาใช้กับการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตำแหน่งวางโนดอ้างอิง

2.2.8 งานวิจัยของ Esposito, C., Cotroneo, D. and Ficco, M. (2009) [8] 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) [9] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่งวางโนดอ้างอิง (anchor node) สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ใช้กับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอผลกระทบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงซึ่งเป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบระบบเครือข่ายและผู้ใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ที่ต้องการประเมินคุณภาพของสมรรถนะในการระบุตำแหน่ง โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบในการหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ดีที่สุดคือ ค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของตำแหน่งโนดอ้างอิง พื้นที่ครอบคลุมของเครือข่าย และคุณลักษณะของรูปสามเหลี่ยมที่ลากจากโนดอ้างอิงที่ถูกติดตั้ง 3 โนด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าในการศึกษาเพื่อการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด ควรนำหลักการที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงเหมาะสมที่สุด โดยที่เราสามารถกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเครือข่ายได้

2.2.10 งานวิจัยของ Hossein, Z., P., D., Schlegel, C. and MacGregor, M.,H. (2012) [10] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบระบุตำแหน่งด้วยสถานีฐาน (base station positioning) ด้วยลักษณะการกระจายแบบไดนามิกที่ดีที่สุด

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

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นว่าเป็นการนำหลักการของการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้กับการหาตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานสำหรับระบบระบุตำแหน่งที่เป็นลักษณะของเครือข่ายขนาดใหญ่ ที่ได้นำแนวคิดในการใช้วิธีการติดตั้งแบบกระจายมาใช้ในการหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้

2.2.11 งานวิจัยของ Sharma, Y., F., Wong, W., Soh, S., and Wong, W., C. (2010) [11] เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวางตำแหน่งของจุดเข้าถึงสัญญาณ (access point) สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการฟิงเกอร์ปริ้น

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

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ จะเห็นว่าในการประเมินหาตำแหน่งวางโนดอ้างอิงหรือจุดเข้าถึงสัญญาณ จากงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงคุณลักษณะของความแรง

สัญญาณที่รับได้ที่พิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดของการหาคำตอบของตำแหน่งวางโนดอ้างอิงด้วยวิธีการอบอ่อน (SA) รวมไปถึงได้เพิ่มการพิจารณาถึงความความแรงสัญญาณที่รับได้ที่พิจารณาจากสิ่งกีดขวางภายในอาคารที่ทำการทดสอบ

2.3 เทคนิคการทำงานพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก หรือ จีพีเอส (Global Positioning System: GPS) มีข้อจำกัดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการหาตำแหน่งวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร เนื่องจากจีพีเอสใช้การวัดเวลาในการส่งสัญญาณข้อมูลระหว่างดาวเทียมกับวัตถุ ดังนั้นเมื่อใช้กับการค้นหาวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร ทำให้เกิดการบดบังสัญญาณที่ส่งมายังวัตถุ จึงไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งวัตถุได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่างๆในปัจจุบัน

เทคนิคพื้นฐานที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้แก่ วิธีการวัดระยะทาง (distance) หรือ มุม (angle) ที่สัญญาณเดินทางจากจุดส่งสัญญาณมายังวัตถุ และวิธีการวัดคุณลักษณะของตำแหน่งในพื้นที่ (location pattern or fingerprint) แต่ละวิธีมีหลักการหาตำแหน่งวัตถุดังนี้

วิธีการวัดระยะทางที่สัญญาณเดินทาง สามารถวัดได้ทางอ้อมโดยการวัดค่าเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Time of Arrival: TOA) ความแม่นยำของเทคนิคนี้จะอาศัยการประสานเวลาให้ตรงกัน (synchronized) ระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ โดยใช้ความต่างของเวลา (Time of Flight: TOF) ในการคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องส่งสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ โดยการวัดระยะทางจะต้องมีอย่างน้อยสามระยะทางจากสถานีฐานไปยังจุดที่ต้องการรู้ตำแหน่งของผู้ใช้งานในกรณีระนาบ 2 มิติ (หากเป็นระบบ 3 มิติ ต้องการ 4 ระยะทางจาก 4 สถานีฐาน) ซึ่งตำแหน่งของวัตถุจะอยู่ที่ จุดตัด (intersection) ของวงกลม 3 วง โดยที่แต่ละวงมีรัศมีเท่ากับระยะจากวัตถุไปยังสถานีฐานหรือโนดอ้างอิงแต่ละจุด ซึ่งตำแหน่งของจุดตัดดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยม ตัวอย่างของระบบที่ใช้เทคนิคนี้ในการหาตำแหน่ง เช่น GPS Active Bats และ Cricket

วิธีในการวัดมุมที่มาถึง (Direction of Arrival: DOA) เป็นการหาตำแหน่งที่ใช้การวัดมุมตกกระทบของสัญญาณ โดยการหาตำแหน่งคำนวณมาจากการตัดกันของมุมที่ผู้ใช้ทำอยู่กับสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้สถานีฐานอย่างน้อย 2 ตัว ตำแหน่งของผู้ใช้ที่ได้นั้น จะเป็นจุดตัดของเส้นที่ลากทำมุมตามที่วัดได้ของสถานีฐานตัวหนึ่งกับเส้นที่ลากทำมุมของสถานีฐานตัวที่สอง

ซึ่งวิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มคือ directional antenna และ antenna arrays เพื่อใช้ในการวัดมุมตกกระทบ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากในการวัดมุมที่ผู้ใช้

สุดท้ายวิธีการวัดคุณลักษณะของตำแหน่ง (location pattern or fingerprint) วิธีการนี้โดยทั่วไปต้องการการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS) ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่ขณะนั้น เพื่อนำค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความแรงสัญญาณที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุ วิธีการนี้นิยมนำมาใช้กับระบบหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารมากกว่าระบบหาตำแหน่งภายนอกอาคาร เพราะจะต้องเก็บข้อมูลความแรงสัญญาณในพื้นที่ให้บริการไว้ก่อนล่วงหน้า ข้อดีของการใช้วิธีนี้คือ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้ง

การทำงานของวิธีการวัดคุณลักษณะของตำแหน่งในพื้นที่ในบริการ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนออฟไลน์ (Offline Phase) และ ขั้นตอนออนไลน์ (Online Phase)

2.3.1 ขั้นตอนออฟไลน์ (Offline Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการเก็บค่าความแรงของสัญญาณภายในบริเวณพื้นที่ให้บริการของระบบ โดยมีการกำหนดตำแหน่งสำหรับการเก็บข้อมูล เรียกว่า grid point ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่กำหนดเรียกว่า grid spacing ซึ่งค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อนำไปคำนวณค่าทางสถิติ ซึ่งเรียกว่าเป็นการทำ radio map และค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดจะเรียกว่า location fingerprint

2.3.2 ขั้นตอนออนไลน์ (Online Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการประมวลผลเพื่อหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ โดยนำค่าความเข้มสัญญาณที่วัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลซึ่งได้เตรียมไว้ในขั้นตอนออฟไลน์ พิกัดในฐานข้อมูลที่มีค่าความเข้มสัญญาณใกล้เคียงกับค่าความเข้มสัญญาณที่วัตถุวัดมาได้ คือพิกัดที่เป็นตำแหน่งที่วัตถุตั้งอยู่

วิธีการเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณในฐานข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือวิธีการจับคู่ค่าความแรงของสัญญาณ ด้วยวิธีระยะห่างยูคลีเดียน (Euclidean distance) ซึ่งเป็นวิธีที่ระบุตำแหน่งโดยเลือกพิกัดที่มีค่าความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลใกล้เคียงกับค่าความแรงสัญญาณที่วัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงที่สุด นั่นคือตำแหน่ง i ที่มีค่า d_i น้อยที่สุด เมื่อ d_i คำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

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

เมื่อ d_i คือ ระยะห่างยูคลีเดียน, n คือ จำนวนโหนดอ้างอิง

x_k คือ ความเข้มสัญญาณที่วัตถุรับได้จากโหนดอ้างอิง k

y_k^i คือ ความเข้มสัญญาณในฐานข้อมูลจากโหนดอ้างอิง k ที่ตำแหน่ง i

2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร

จากความซับซ้อนของการแพร่กระจายความแรงของสัญญาณภายในอาคารเช่น ในห้างสรรพสินค้า และในอาคารสำนักงาน ภายในห้องต่างๆ จึงทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายวิถีการสูญเสียในธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองที่ใช้นั้นจะได้จากการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน หรือได้จากการวัดจริง เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์ภาคส่งนั้นจะต้องเคลื่อนที่ผ่านสิ่งแวดล้อมที่มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณที่ต้องผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ภายในอาคารเช่น ผนัง เพดาน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งวัตถุหลากหลายชนิดอาจทำให้สัญญาณถูกลดทอน หรือเกิดการจางหายได้ต่างกัน ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถประมาณการสูญเสียวิถีของสัญญาณจะต้องพิจารณาคุณลักษณะพิเศษของอาคารที่แตกต่างกันเหล่านี้ ดังนั้นในการออกแบบการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารนั้น จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่ภาครับรับได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร (path-loss models using building materials) [12] ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณค่าของความสูญเสียอันเนื่องจากระยะทาง และ การลดทอนของสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดภายในอาคาร ซึ่งมีค่าการลดทอนไม่เท่ากัน โดยสมการนี้เราจะกำหนดค่าของเลขชี้กำลังวิถีการสูญเสีย (path-loss exponent) หรือค่า α ไว้ที่ 2 มาคำนวณหาค่าความแรงสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งโนดทดสอบสัญญาณรับได้ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.2) ถึง (2.3) ดังนี้

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

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

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

เมื่อ λ คือ ค่าความยาวคลื่น (m)

$Gain$ คือ อัตราขยายของสายอากาศส่งและรับ (มีหน่วยเป็น dB หรือ dBi)

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าของเลขชี้กำลังวิถีการสูญเสียเท่ากับ 2 โดยพิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบในย่านความถี่ 2.4 GHz และใช้ระยะทางอ้างอิงในระยะไกลของสายอากาศเท่ากับ 1 เมตร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 [12]

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)

โปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) [13, 14] เป็นเทคนิคที่เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน (operations research) [14, 15] ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน เช่น ในงานบริหาร งานวิศวกรรมหรืองานทางวิทยาศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรปัจจัยหรือทรัพยากร (allocating resource) อันได้แก่ วัตถุดิบ กำลังคน เวลา สถานที่ เงินตรา หรือความรู้ความสามารถต่างๆ ในทางเครือข่ายการสื่อสารทรัพยากร ได้แก่ อุปกรณ์เครือข่าย ความจุช่องสัญญาณ หรือแบนด์วิดท์

ปัญหาการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรเกิดขึ้นเมื่อเราต้องการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดทั้งขนาด ปริมาณ และขอบเขตของการใช้งาน เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โปรแกรมเชิงเส้นเป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาทางการจัดสรรปัจจัยและทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เป็นแบบเชิงเส้น โดยมีจุดหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (optimal) เช่นกำไรสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรือแนวทางการดำเนินงานอื่นๆ ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุดต่อระบบนั้นๆ โดยพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนด เช่นสภาวะตลาด การขาดแคลนวัตถุดิบ กำลังคน เงินทุน สถานที่ และ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ เป็นต้น

ในการจัดตั้งรูปแบบแทนระบบของปัญหาโดยใช้โปรแกรมเชิงเส้น เราต้องทำความเข้าใจและศึกษาปัญหาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังต้องสามารถระบุสิ่งต่อไปนี้ในปัญหา

1) สมการกำหนดเป้าหมายหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุน กำไร หรือค่าอื่นๆที่เป็นวัตถุประสงค์ของปัญหาที่พิจารณา ซึ่งต้องการให้มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด (maximize or minimize)

2) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไข ซึ่งในปัญหาหนึ่งๆ อาจจะกำหนดตัวแปรได้หลายลักษณะดังนั้นตัวแปรที่ต้องตัดสินใจคือสิ่งที่เราต้องการหาผลลัพธ์ เราต้องทำการระบุหน่วยของตัวแปรเหล่านั้นด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งคำตอบที่ได้จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น

3) สมการแสดงขอบข่ายหรือสมการเงื่อนไข (Constraints) ซึ่งแสดงความจำกัดของปัจจัยหรือทรัพยากร โดยวัตถุประสงค์ของปัญหาจะบรรลุค่าที่สูงที่สุดหรือต่ำที่สุดตามที่ต้องการได้ดีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของปัญหา เช่น ข้อจำกัดด้านทรัพยากร ความต้องการ หรือเงื่อนไขอื่นๆของปัญหา ดังนั้นจึงมีการเรียกโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มว่าเป็นตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด (constrained optimization model) โดยที่เงื่อนไขบังคับอาจจะอยู่ในรูปสมการหรืออสมการ (inequality) ก็ได้

4) ความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการต่างๆต้องมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรง (linear form) คือ ตัวแปรทุกตัวในสมการเป้าหมายและสมการหรืออสมการของเงื่อนไขจะต้องมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเป็นกำลังหนึ่ง

5) ตัวแปรทุกตัวต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (All positive value)

รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มมีสองลักษณะ ขึ้นอยู่กับว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่พิจารณานั้นเป็นปัญหาลักษณะที่ต้องการหาค่าสูงสุดหรือต้องการหาค่าต่ำสุด ซึ่งเขียนได้ดังนี้

Maximize หรือ Minimize $z = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n$ (2.4)

ภายใต้ข้อจำกัดดังนี้ (Subject to)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n \le b_1$$
$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n \le b_2$$
$$\cdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n \le b_m$$
$$x_1, x_2, ..., x_n \ge 0 \quad (2.5)$$

โดยที่ x_j คือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

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

a_{ij} คือ จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ส่วนหนึ่งที่ถูกใช้ไปจากจำนวนทรัพยากรชนิด i ทั้งหมดที่มีอยู่ อันเนื่องจากการเลือกตัวแปรตัดสินใจ x_j

b_i คือ จำนวนทรัพยากรชนิด i ที่มีอยู่

คำตอบที่ได้จากการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ ค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจดังกล่าว จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งหมด m เงื่อนไข ซึ่งหมายถึงการใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีค่ามากกว่าศูนย์

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี เนื่องจากการหาคำตอบในงานวิจัยนี้ต้องการหาตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมและจำนวนในการติดตั้งโนดอ้างอิงให้น้อยที่สุดซึ่งคำตอบของตัวแปรตัดสินใจจะมีคำตอบได้สองคำตอบคือ 0 หรือ 1 เท่านั้น

บทที่ 3
เทคนิคการวางแผนเครือข่ายสำหรับ ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการออกแบบและวางแผนเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เพื่อกำหนดโครงสร้างระบบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งบทนี้ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ ได้แก่ หัวข้อที่ 3.1 โครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร หัวข้อที่ 3.2 การนิยามปัญหาในการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย หัวข้อที่ 3.3 การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ และหัวข้อที่ 3.4 การหาคำตอบสำหรับสมการคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

3.1 โครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

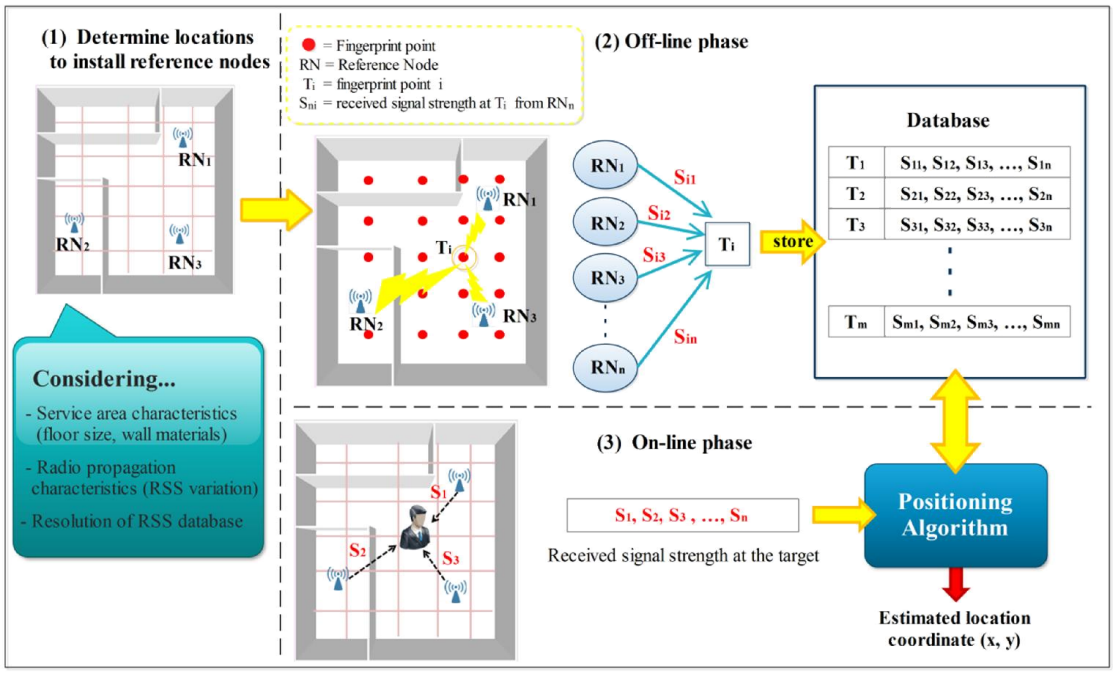
งานวิจัยนี้พิจารณาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารที่ใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ เพราะเป็นวิธีที่มีการประมวลผลที่ง่าย และรวดเร็ว ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุในอาคารคือโนดอ้างอิง (Reference nodes) ซึ่งเป็นวงจรสื่อสารไร้สายที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณสำหรับใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ

ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารที่ใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 1 (Wireless network planning) เป็นกระบวนการออกแบบและวางแผนเครือข่ายสื่อสารไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เพื่อกำหนดโครงสร้างระบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ส่งผลต่อระดับความถูกต้องและความแม่นยำในการคำนวณพิกัดของตำแหน่งวัตถุ เนื่องจากพื้นที่ภายในอาคารมีลักษณะทางกายภาพที่ซับซ้อน และมีสิ่งกีดขวางทางเดินสัญญาณซึ่งอาจทำให้การแพร่กระจายของสัญญาณจากโนดอ้างอิงไปยังบริเวณภายในอาคารไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดจุดอับสัญญาณ หรือจำนวนสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่รับได้ไม่เพียงพอสำหรับใช้วิเคราะห์และคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ

ขั้นตอนที่ 2 (offline phase) เป็นกระบวนการของการสร้างฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินต์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งจากโนดอ้างอิงที่ได้ทำติดตั้งไว้แล้วจากขั้นตอนที่ 1 โดยตำแหน่งฟิงเกอร์ปรินต์ จะต้องทำการกำหนดตำแหน่งให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่กำหนดเรียกว่า grid spacing จากนั้นค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล (database) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อทำการประเมินหาตำแหน่งของวัตถุ ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3 (online phase) โนดวัตถุที่ต้องการระบุตำแหน่ง จะร้องขอสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อโนดอ้างอิงได้รับข้อมูลการร้องขอ โนดอ้างอิงจะส่งสัญญาณมายังโนดวัตถุ ซึ่งโนดวัตถุจะเก็บค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิง และส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล เพื่อนำค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลที่สร้างไว้จากขั้นตอนที่ 2 ต่อไป



รูปที่ 3.1 โครงสร้างและกระบวนการสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

3.2 การนิยามปัญหาในการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย

การวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สายที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวางแผนเครือข่ายในส่วนของโครงสร้างของเครือข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

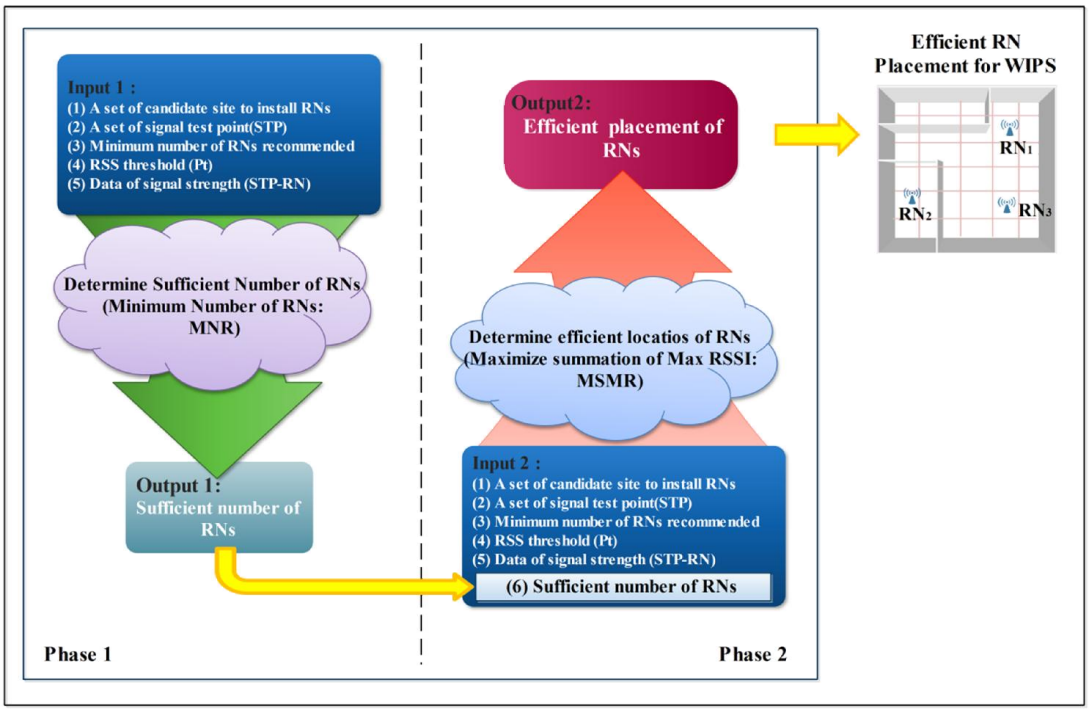
ในงานวิจัยนี้ ได้นิยามปัญหาการกำหนดจำนวนและตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายและพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ในรูปของการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารี (Binary Integer Linear Programming: BILP) ซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนสำคัญคือ สมการวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข โดยสมการวัตถุประสงค์ คือ สมการที่อยู่ในรูปของค่าต่ำสุด (minimization) หรือค่าสูงสุด (maximization) ส่วนสมการเงื่อนไขนั้น เป็นสมการที่แสดงข้อจำกัดของปัจจัยต่าง ๆ โดยที่มีค่าของตัวแปรตัดสินใจ ที่อยู่ในสมการของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข เป็นตัวแปรชนิดไบนารี ซึ่งมีค่าเพียงสองค่า คือ 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยกระบวนการทำงานของเทคนิคการกำหนดตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้พัฒนาเป็น 2 เฟสดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยในแต่ละเฟสได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังนี้ เฟสที่ 1 คือ ต้องการให้จำนวนโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในเครือข่ายน้อยที่สุด (Minimize Number of RNs: MNR) ซึ่งในเฟสนี้ ต้องการทราบถึงจำนวนการใช้โนดอ้างอิงที่ติดตั้งภายในเครือข่ายที่เพียงพอกับระบบมากที่สุด จากนั้นจึงใช้จำนวนของโนดอ้างอิงที่เพียงพอแล้วนี้เป็นข้อจำกัดเพื่อใช้กับการแก้ปัญหาของการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิงในเฟสที่ 2 ต่อไป

การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นในเฟสที่ 1 มีสมการเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัด ได้แก่ เงื่อนไขการกำหนดจำนวนของสัญญาณที่ได้รับจากโนดอ้างอิงจากจุดทดสอบสัญญาณซึ่งอยู่ทั่วบริเวณของอาคารจะต้องได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงอย่างน้อย N_R โนด ซึ่งได้อ้างอิงมาจากงานวิจัย Kaemarungsi, K. (2005) [5] ที่ได้มีการศึกษาพารามิเตอร์ที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบได้ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น จึงได้พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับปรับปรุงสมรรถนะสำหรับระบบระบุตำแหน่ง โดยที่พารามิเตอร์ค่าหนึ่งที่เป็นค่าการได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงจากแต่ละบริเวณทั่วทั้งภายในอาคารที่ให้บริการระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่จุดทดสอบสัญญาณในแต่ละบริเวณของพื้นที่จะต้องได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงอย่างน้อย 4 โนด (N_R =4) จึงจะทำให้ระบบมีคุณภาพสัญญาณที่ครอบคลุมและช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบในการระบุตำแหน่งได้ เงื่อนไขถัดมาคือ เงื่อนไขการรับประกันสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่

ให้บริการ และเงื่อนไขสำหรับตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้เมื่อระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

ในเฟสที่ 2 เป็นการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิง สำหรับจำนวนของโนดอ้างอิงที่เพียงพอที่หาได้จากเฟสที่ 1 โดยในเฟสที่ 2 ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ทำการหาค่าผลรวมที่มีค่ามากที่สุดของค่าความแรงสัญญาณที่มากที่สุดที่จุดทดสอบสัญญาณได้รับจากโนดอ้างอิง (Maximum Summation of Max RSSI : MSMR) เนื่องจากค่าความแรงของสัญญาณเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุในกระบวนการของการหาตำแหน่ง ซึ่งความแปรปรวนของระดับค่าความแรงของสัญญาณจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งได้ จากงานวิจัยอ้างอิงของ Baala, O., B., Zheng, Y., and Caminada, A. (2009) [4] นั้นได้บอกถึงค่ากำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยจากโนดอ้างอิงสามารถส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งได้ ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณจากค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ที่ดีก็จะส่งผลต่อสมรรถนะของการระบุตำแหน่งวัตถุได้

ส่วนสมการเงื่อนไขสำหรับวัตถุประสงค์ในเฟสที่ 2 นี้ ได้แก่ เงื่อนไขในการกำหนดพื้นที่ครอบคลุมในเครือข่าย นั่นคือ จำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งในเครือข่ายจะต้องมีเท่ากับจำนวนโนดอิงอิงที่เพียงพอสำหรับระบบ ซึ่งได้มาจากคำตอบจากเฟสที่ 1 และตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะต้องได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่ได้ถูกติดตั้งไว้แล้วในเครือข่ายอย่างน้อย N_R โนด และเงื่อนไขการรับประกันการสื่อสารระหว่างโนดวัตถุหรือโนดที่ทำการทดสอบสัญญาณกับโนดอ้างอิง นั่นคือ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้เมื่อมีระดับของค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เช่นเดียวกันกับการแก้ปัญหาสำหรับเฟสที่ 1 ซึ่งคำตอบที่ได้จากเฟส 2 นี้จะให้ผลของตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด และทำให้ได้สัญญาณครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ที่ต้องการให้บริการของระบบ



รูปที่ 3.2 กระบวนการสำหรับการกำหนดจำนวนและตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิง

3.3 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

หัวข้อนี้นำเสนอสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบโครงสร้างระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เพื่อกำหนดจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิงซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับการทำงานของระบบ โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Programming) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.1 และ 3.3.2

ตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์สำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ตัวแปรเซท ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) และพารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่ (constant parameters) ดังแสดงคำนิยามข้างล่างนี้ โดยตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรไบนารีซึ่งมีค่า 0 หรือ 1

เซตของตัวแปร :

R คือ เซตของตำแหน่งโนดอ้างอิงที่สามารถติดตั้งในเครือข่ายได้

T คือ เซตของตำแหน่งที่เป็นจุดทดสอบสัญญาณ

ตัวแปรตัดสินใจ :

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

S_{ij} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ จุดทดสอบสัญญาณที่ตำแหน่ง 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) [5] แนะนำให้มีอย่างน้อย 4 โนด)

N_{MNR} คือ จำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ได้จากเฟสที่ 1 (MNR)

3.3.1 สมการคณิตศาสตร์ในการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (เฟสที่ 1)

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขได้ดังนี้

3.3.1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการหาจำนวนโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร คือ การใช้จำนวนโนดอ้างอิงน้อยที่สุด (Minimum Number of Reference Nodes: MNR) แต่เพียงพอสำหรับครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และทำให้ได้จำนวนสัญญาณที่รับได้ที่จุดทดสอบเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Minimixe \quad \sum_{\forall j \in R} c_j \tag{3.1}$$

3.3.1.2 สมการเงื่อนไข

เงื่อนไขสำหรับการหาจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารประกอบด้วย 4 เงื่อนไขดังนี้

1. เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณของพื้นที่ให้บริการ โดยกำหนดว่าสัญญาณที่จุดทดสอบสัญญาณ i รับได้จากโนดอ้างอิง j ต้องมีค่าความแรงสัญญาณที่รับได้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (threshold)

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

2. เงื่อนไขการกำหนดจำนวนของสัญญาณที่รับได้ที่จุดทดสอบสัญญาณ i ซึ่งต้องได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิงอย่างน้อย N_R โนด

$$\sum_{\forall j \in R} S_{ij} \geq N_R \qquad \forall i \in T \tag{3.3}$$

3. เงื่อนไขการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้งภายในพื้นที่บริการของระบบระบุตำแหน่งวัตถุต้องมีอย่างน้อย N_R โนด

$$\sum_{\forall j \in R} c_j \geq N_R \tag{3.4}$$

4. เงื่อนไขกำหนดการได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิง โดยจุดทดสอบสัญญาณ i จะต้องได้รับสัญญาณจากโนดอ้างอิง j ที่ได้ถูกเลือกติดตั้งไว้ในระบบ

$$S_{ij} \leq c_j \qquad \forall i \in T, \forall j \in R \tag{3.5}$$

3.3.2 สมการคณิตศาสตร์ในการกำหนดจุดติดตั้งโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (เฟสที่ 2)

หัวข้อนี้เป็นการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิงทุกโนดที่หาได้จากหัวข้อ 3.3.1 (N_{MNR}) ซึ่งเป็นจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับติดตั้งในบริเวณพื้นที่ให้บริการของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยนำจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอดังกล่าวไปกำหนดเป็นเงื่อนไขในการหาจุดติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด

สมการคณิตศาสตร์สำหรับกำหนดจุดติดตั้งโนดอ้างอิงของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารประกอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขได้ดังนี้

3.3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการกำหนดจุดติดตั้งโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร คือ เลือกตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ได้ค่าที่มากที่สุดของผลรวมค่าความแรงสัญญาณสูงสุดที่จุดทดสอบสัญญาณรับได้จากโนดอ้างอิงในระบบ (Maximize Summation of Max RSS: MSMR) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$Maximize \quad \sum_{\forall i \in T} \max_{\forall j \in R} \left(S_{ij} P_{ij} \right) \tag{3.6}$$

3.3.2.2 สมการเงื่อนไข

เงื่อนไขสำหรับการกำหนดจุดติดตั้งโนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารประกอบด้วย 4 เงื่อนไข โดยเงื่อนไข 3 ข้อเหมือนกับเงื่อนไข (3.2) (3.3) และ (3.5) ส่วนเงื่อนไขที่เพิ่มขึ้นมาคือ เงื่อนไขการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงที่ใช้ในการติดตั้ง ซึ่งจะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอ ที่หาได้จากคำตอบในเฟสที่ 1 (N_{MNR}) เงื่อนไขข้อที่เพิ่มมานี้ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum_{\forall j \in R} c_j = N_{MNR} \tag{3.7}$$

3.4 วิธีหาคำตอบสำหรับสมการที่พัฒนาขึ้น

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับสมการคณิตศาสตร์ของเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 นั้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio โดยได้ทำการแปลงสมการเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีให้เป็นคำสั่งในโปรแกรม ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4.1

3.4.1 การหาคำตอบด้วยโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio

การแปลงสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีจากหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 ให้เป็นคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยการกำหนดตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไข

ตารางที่ 3.1 การแปลงสมการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีของเฟสที่ 1 เป็นคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio

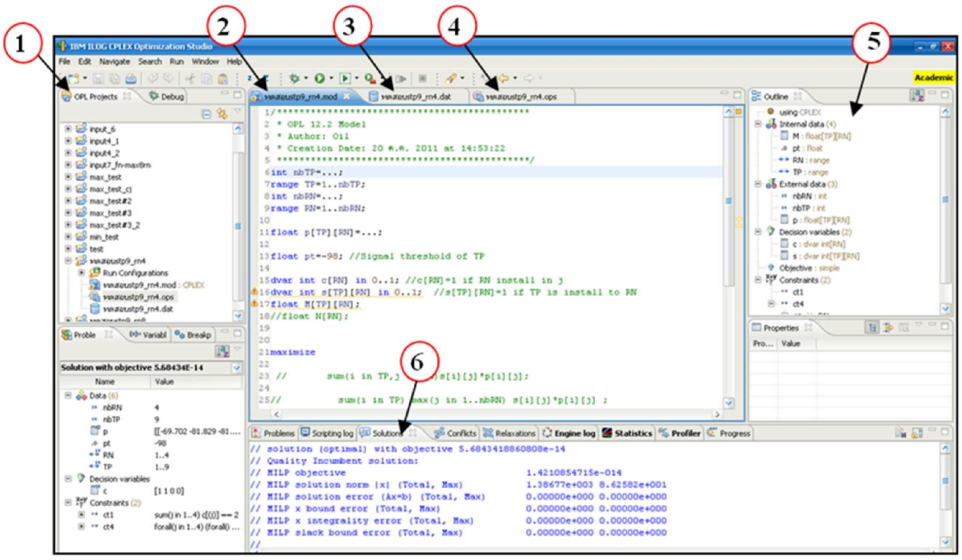
สมการจากหัวข้อ 3.3.1	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
ตัวแปรตัดสินใจ	//Decision Variable
c_j	dvar int c[RN] in 0..1;
S_{ij}	dvar int s[TP][RN] in 0..1;
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	//Objective function
สมการ(3.1)	Minimize sum(j in RN)c[j];
เงื่อนไข	subject to {
สมการ(3.2)	ct4: forall(j in RN) forall (i in TP) s[i][j]*(p[i][j]-pt)>=0;
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 การแปลงสมการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีของเฟสที่ 2 เป็นคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio

สมการจากหัวข้อ 3.3.2	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];

3.4.2 โครงสร้างหน้าต่างโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio

รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างโปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio ซึ่งมีรายละเอียดและหน้าที่การทำงานดังนี้



รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio

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

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

3. หมายเลข 3 (data file editing area) แสดงหน้าต่างสำหรับใส่ข้อมูลที่เป็นตัวแปร ทั้งที่อยู่ในรูปของตัวแปรค่าเดียวและในรูปของเมตริกซ์ (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) แสดงโครงสร้างของข้อมูลที่อยู่ในหน้าต่างของโมเดลไฟล์ดาต้าไฟล์และเซตติ้งไฟล์ จัดเรียงข้อมูลให้แสดงในรูปแบบรายการเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและค้นหา

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

บทที่ 4
การทดลองและวิเคราะห์ผล

เนื้อหาบทนี้สาธิตการใช้สมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีที่ได้อธิบายในบทที่ 3 ในการวางแผนเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบไร้สาย และประเมินสมรรถนะความถูกต้องและแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุของเครือข่ายที่ได้ โดยหัวข้อที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ จากการทดลองวัดสัญญาณจริง เมื่อระบบใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกัน และหัวข้อที่ 4.2 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ ด้วยการจำลองค่าความแรงสัญญาณ เพื่อเปรียบเทียบระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัยอื่น

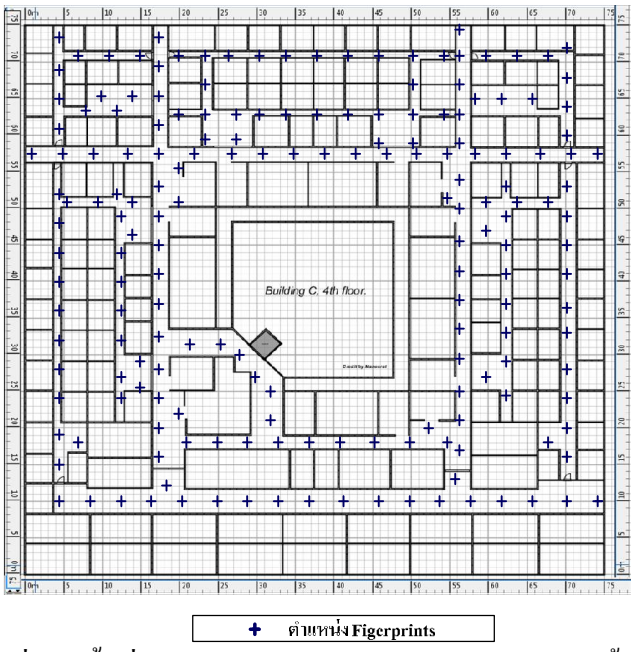
4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ จากการทดลองวัดสัญญาณจริง เมื่อระบบใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกัน

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มีโครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกัน โดยที่ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุด้วยการวัดสัญญาณจริงภายในพื้นที่ทดลอง ซึ่งได้เปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ติดตั้งโนดอ้างอิงแบบสม่ำเสมอในบริเวณขอบของพื้นที่ของอาคาร (Uniform Border Placement: UBP) ซึ่งเป็นแนวคิดจากงานวิจัย Avanthi, K., (2006) [16] เปรียบเทียบกับการใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่ได้จากกระบวนการในการกำหนดตำแหน่งโนดอ้างอิงที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

4.1.1 พารามิเตอร์และอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

พื้นที่สำหรับการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งเป็นพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่มีขนาด 75 x 75 ตารางเมตร โดยขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ (fingerprints technique) ที่ใช้ในการทดลองนี้ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ออฟไลน์เฟส (offline phase) และออนไลน์เฟส (online phase) ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลความแรงสัญญาณที่วัด ณ จุดทดสอบต่างๆ (ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์) ตามที่ได้กำหนดใน

พื้นที่ของอาคาร สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์เป็นระยะ 4 เมตร ซึ่งทำให้มีตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ทั้งหมด 184 จุดภายในพื้นที่ทดลอง ซึ่งแสดงด้วยเครื่องหมายบวกในรูปที่ 4.1 โดยผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์เหล่านี้ในบริเวณทางเดินภายในอาคารที่สามารถเข้าถึงได้ และสำหรับในขั้นตอนออนไลน์เฟสเป็นการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ โดยใช้วิธีระยะยูคลิเดียน (euclidean distance) ซึ่งเป็นวิธีการระบุตำแหน่งโดยเลือกตำแหน่งที่มีค่าความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่ใกล้เคียงกับค่าความแรงสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงมากที่สุด



รูปที่ 4.1 พื้นที่สำหรับการทดลองและตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์

งานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบระบบกับเทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Zigbee) ซึ่งได้กำหนดอุปกรณ์สำหรับการทดลองดังนี้ (รายละเอียดข้อมูลของอุปกรณ์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก)

- อุปกรณ์สื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Xbee Pro) 10 โนด (สำหรับใช้เป็นโนดอ้างอิงทั้งหมด 9 โนด และ ใช้เป็นโนดวัตถุที่ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ 1 โนด)
- 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

การทดลองทดลองในหัวข้อนี้ได้เปรียบเทียบการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่มีการติดตั้งโนดอ้างอิง 4 กรณี ดังนี้

กรณี 1 ทำการติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 4 โนด (A, B, C และ D) แบบสม่ำเสมอที่ขอบของพื้นที่ของอาคาร (Uniform Border Placement: UBP) ดังแสดงในรูปที่ 4.2

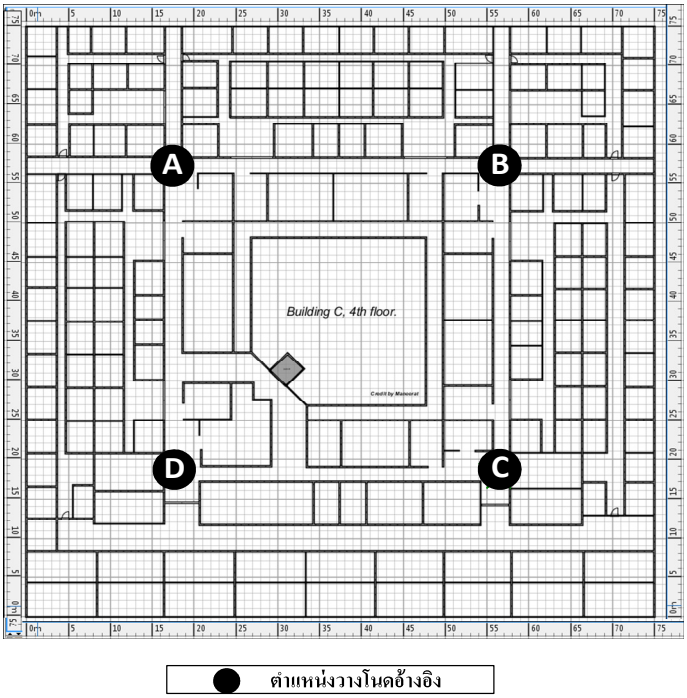
กรณี 2 ทำการติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 4 โนด (E, F, G และ H) แบบสม่ำเสมอที่ขอบของพื้นที่ของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

กรณี 3 ทำการติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 8 โนด โดยนำเอาตำแหน่งโนดอ้างอิงจากกรณีที่ 1 และ 2 มารวมกัน (A, B, C, D, E, F, G และ H) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

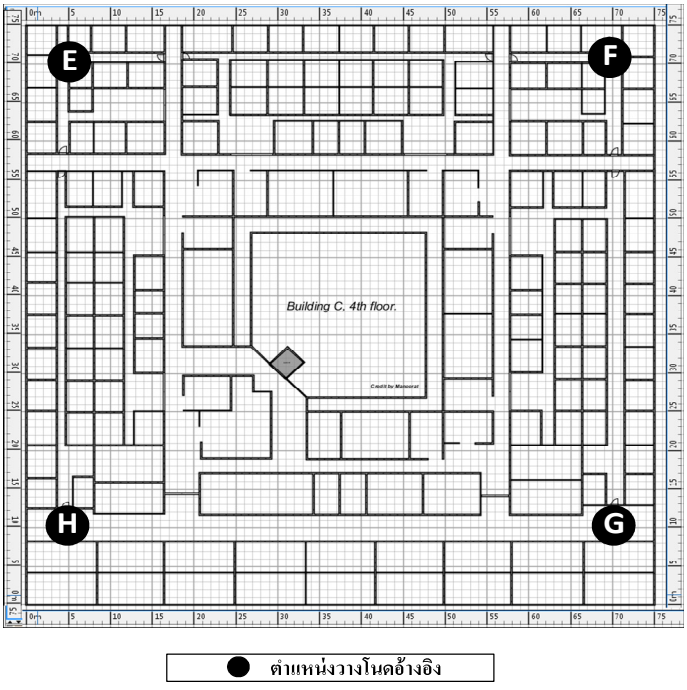
กรณี 4 เป็นการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ กล่าวคือ สำหรับพื้นที่ที่ใช้ทดลองดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.1.1 เมื่อออกแบบโครงสร้างเครือข่ายด้วยกระบวนการ MNR และ MSMR ดังที่อธิบายในบทที่ 3 แล้ว จะได้ระบบที่ใช้โนดอ้างอิงจำนวน 9 โนด ซึ่งมีโครงสร้างเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 4.5

ในการทดลอง โนดอ้างอิงติดตั้งที่ความสูงจากพื้น 1.8 เมตร ส่วนโนดวัตถุที่ใช้เก็บข้อมูลความแรงสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์อยู่สูงจากพื้น 0.8 เมตร และได้ทำการสุ่มเลือกจุดที่ใช้ทดสอบสมรรถนะการระบุตำแหน่งของระบบจำนวน 30 ตำแหน่ง โดยสุ่มเลือกจากตำแหน่งของฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่มีอยู่

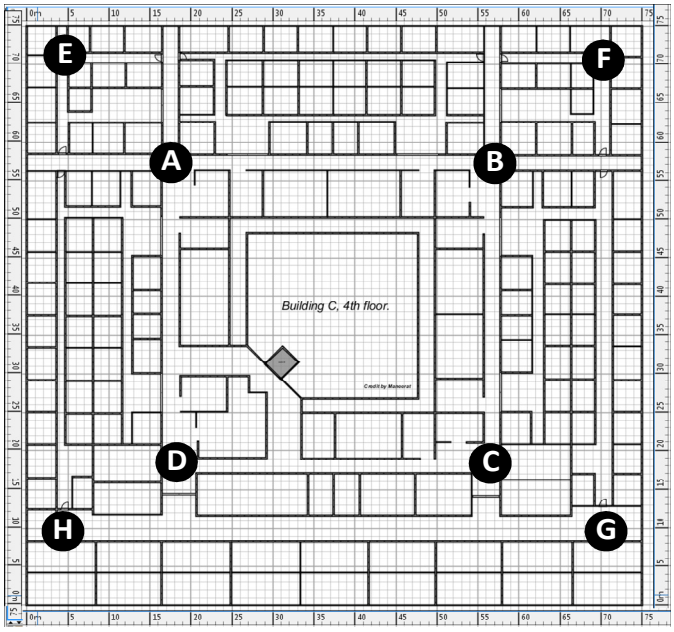
ในการเก็บข้อมูลค่าความแรงสัญญาณเพื่อสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปริ้นท์ที่อยู่ในขั้นตอนออฟไลน์เฟส ได้ทำการบันทึกค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งของฟิงเกอร์ปริ้นจำนวน 30 ครั้ง และในแต่ละครั้งของการวัดค่าความแรงสัญญาณ ถ้าหากโนดวัตถุไม่สามารถรับค่าความแรงสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ จะกำหนดให้ค่าความแรงสัญญาณในการวัดครั้งนั้นมีค่าเท่ากับ -110 dBm นั่นหมายถึงสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าอ่อนมาก จากนั้นในขั้นตอนออนไลน์เฟสได้ใช้เทคนิคระยะยูคลิเดียน ในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ



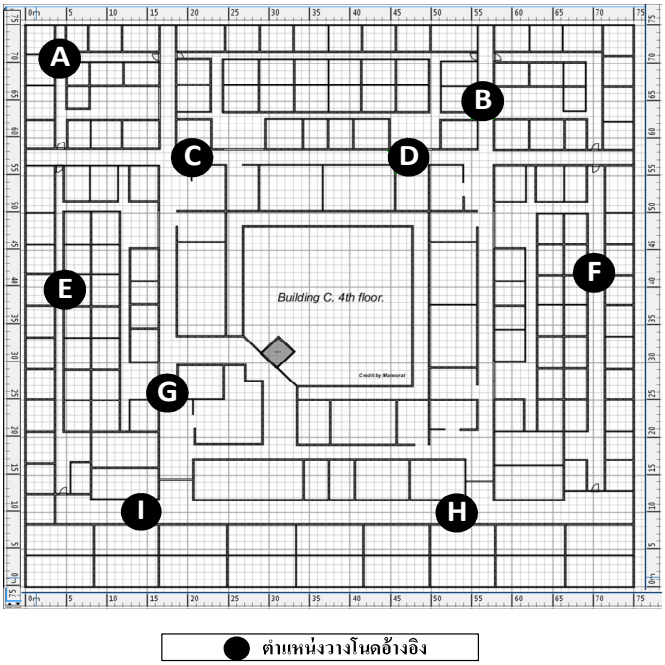
รูปที่ 4.2 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 1 (UBP 4 RNs (A,B,C,D))



รูปที่ 4.3 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 2 (UBP 4 RNs (E,F,G,H))



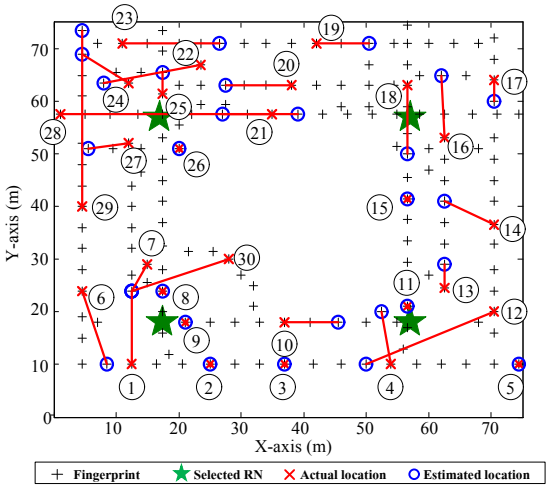
รูปที่ 4.4 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 3 (UBP 8 RNs)



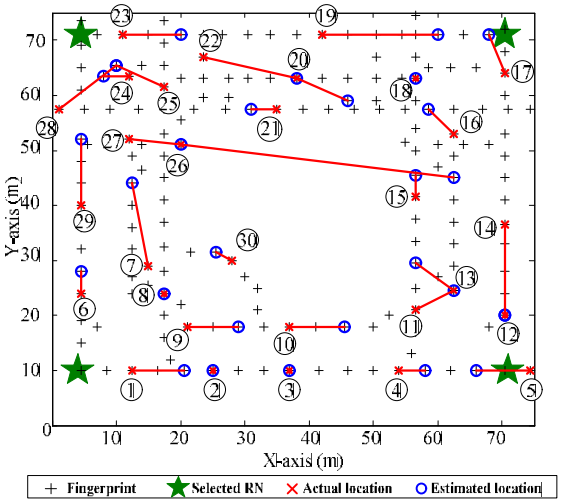
รูปที่ 4.5 โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 4 (MNR-MSMR 9 RNs)

4.1.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

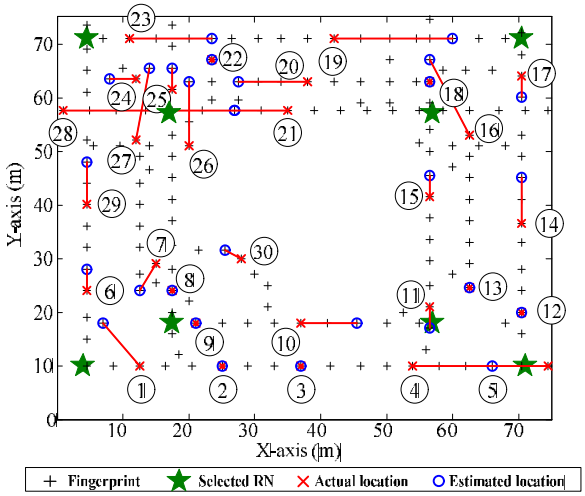
รูปที่ 4.6 แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุของแต่ละกรณี โดยสัญลักษณ์กากบาทแสดงตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุ ส่วนวงกลมแสดงตำแหน่งที่คำนวณได้โดยระบบระบุตำแหน่งวัตถุ และเส้นที่เชื่อมระหว่างกากบาทและวงกลมคือระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างเครือข่ายในกรณีที่ 4 ให้ผลความถูกต้องในการระบุตำแหน่งสูงที่สุด และมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งน้อยที่สุด



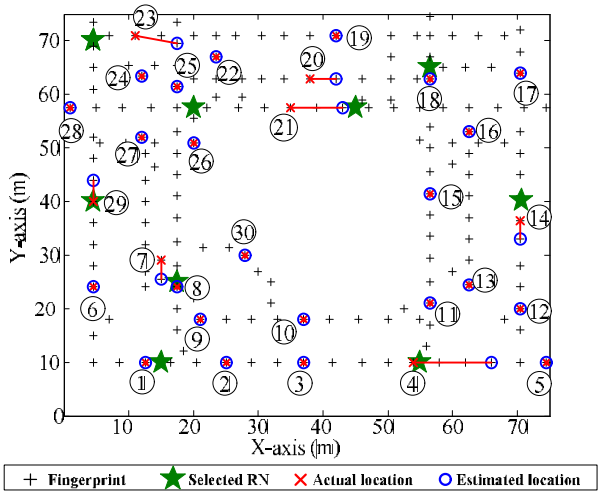
(ก) ผลการทดลองกรณีที่ 1: ใช้โนดอ้างอิง 4 โนด แบบ UBP (ภายใน)



(ข) ผลการทดลองกรณี 2: ใช้โนดอ้างอิง 4 โนด แบบ UBP (ภายนอก)



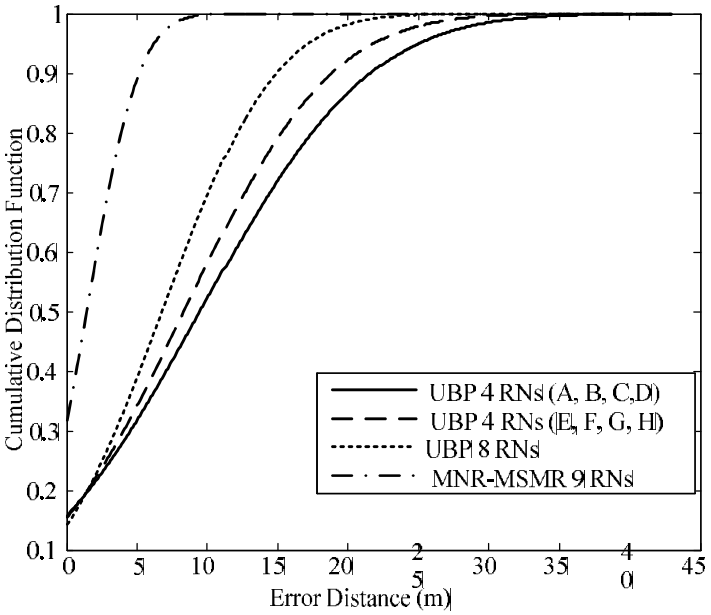
(ค) ผลการทดลองกรณี 3: ใช้โนดอ้างอิง 8 โนด



(ง) ผลการทดลองกรณี 4 ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการระบุตำแหน่งวัตถุของแต่ละกรณี

รูปที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของระยะทางที่ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งของการทดลองทั้ง 4 กรณีดังกล่าว จะเห็นได้ว่ากรณีที่ 4 (MNR-MSMR 9 RNs) ให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุได้มากกกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่งใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ติดตั้งโนดอ้างอิงแบบสม่ำเสมอในบริเวณขอบของพื้นที่ของอาคาร (UBP) ซึ่งเป็นแนวคิดจากงานวิจัย Avanthi, K., (2006) [16] และเมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 2 และ 3 ก็จะเห็นได้ว่า การเลือกใช้จำนวนโนดอ้างอิง 4 โนดที่มีรูปแบบการวางในรูปแบบที่ 1 ที่เลือกใช้โนดอ้างอิง A B C D และรูปแบบที่ 2 ที่เลือกใช้โนดอ้างอิง E F G H จะให้ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุน้อยกว่ากรณีที่ 3 ที่ได้เลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงจากทั้งสองรูปแบบรวมกัน คือมีการเลือกใช้จำนวนโนดอ้างอิงในการติดตั้งภายในเครือข่ายเป็น 8 โนด จะเห็นว่าการเพิ่มจำนวนโนดอ้างอิงสำหรับติดตั้งในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุได้



รูปที่ 4.7 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการบอกตำแหน่งวัตถุจริง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุจากการเลือกใช้โครงสร้างเครือข่ายทั้ง 4 แบบ โดยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุซึ่งวิเคราะห์จากระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีหน่วยเป็นเมตร และเปรียบเทียบจากความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 4 เมตร และระยะ 5 เมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นใน

งานวิจัยนี้ (กรณีที่ 4 MNR-MSMR) ให้ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุดีกว่าระบบที่ใช้โครงสร้างแบบอื่น กล่าวคือในกรณีที่ 4 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุน้อยที่สุดที่ 1.39 เมตร และเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง พบว่ากรณีที่ 4 มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีที่สุด กล่าวคือ ค่าความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร อยู่ที่ 81.25% ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 81 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 4 เมตร และค่าความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร อยู่ที่ 89.01% ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 89 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 5 เมตร

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่าย 4 กรณี

โครงสร้างเครือข่าย	ความถูกต้องเฉลี่ย (ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ ระยะ 4 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ ระยะ 5 เมตร (%)
กรณีที่ 1 UBP 4 RNs (A,B,C,D)	9.49	28.09	31.76
กรณีที่ 2 UBP 4 RNs (E,F,G,H)	8.34	29.84	34.19
กรณีที่ 3 UBP 8 RNs	6.78	33.02	38.91
กรณีที่ 4 MNR-MSMR 9 RNs	1.39	81.25	89.01

4.1.3 สรุปผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่าโครงสร้างเครือข่าย ที่กำหนดจำนวนและตำแหน่งสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการส่งผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารซึ่งจากกรณีที่ 1 ถึง 3 ที่เป็นการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ติดตั้งโนดอ้างอิงแบบสม่ำเสมอในบริเวณขอบของพื้นที่ของอาคาร (UBP) ซึ่งเป็นแนวคิดในการประมาณอย่างคร่าวๆ เพื่อกระจายโนดอ้างอิงอย่างสมมาตรในพื้นที่ให้บริการ ส่วนในกรณีที่ 4 ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีกระบวนการกำหนดจำนวนและตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ให้บริการ จากผลการทดลองพบว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในกรณีที่ 4 สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุแบบไร้สายภายในอาคารได้ ทั้งในด้านความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ

4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัยอื่น

หัวข้อนี้แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุใน 2 กรณี โดยพิจารณาสมรรถนะในด้านความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งการทดลองในหัวข้อนี้ได้จำลองพื้นที่ให้บริการแบบที่ใช้ในงานวิจัยอื่น และได้ใช้การจำลองค่าความแรงสัญญาณโดยใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร [12] ดังได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4

4.2.1 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 1

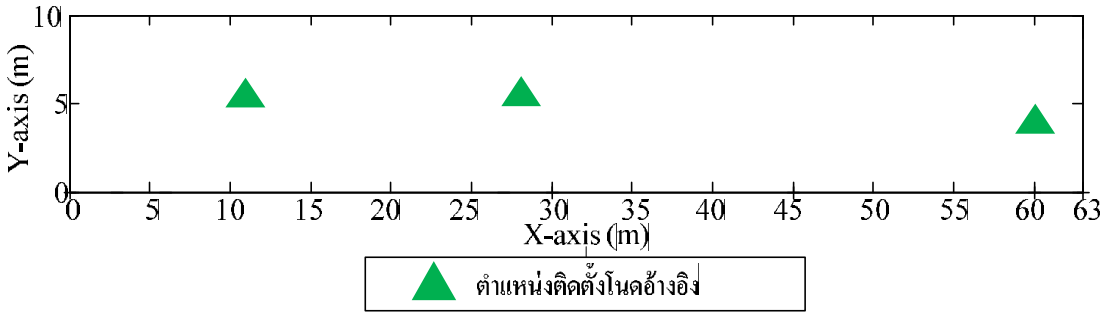
ในกรณีที่ 1 ได้จำลองพื้นที่ให้บริการจากงานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009) [17] ซึ่งพื้นที่มีขนาด กว้าง 63 เมตร และ ยาว10 เมตร ซึ่งโครงสร้างเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ในงานวิจัย งานวิจัย Sanchez, D., Quintana, M.,A., and Navarro, J.,L.(2009) [17] มีการใช้โนดอ้างอิง 3 โนด ติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ในการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดพารามิเตอร์ในการออกแบบสำหรับพื้นที่ให้บริการในกรณีนี้ คือ ได้ทำการกำหนดจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยระยะห่าง 3 เมตร (grid spacing = 3 m) ทำให้ได้จุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปริ้นท์ทั้งหมด 88 จุด (แสดงด้วยสัญลักษณ์เครื่องหมายบวกในรูปที่ 4.9) และได้กำหนดจุดที่สามารถเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงได้ทั้งหมด 43 ตำแหน่ง (แสดงด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.9) โดยในการจำลองค่าความแรงสัญญาณด้วยแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคารนั้น ได้พิจารณาค่าการลดทอนความแรงสัญญาณของกำแพงและสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ ได้แก่ คอนกรีตเท่ากับ 4 dB ยิปซัมเท่ากับ 2.5 dB และกระจกเท่ากับ 1.5 dB [12]

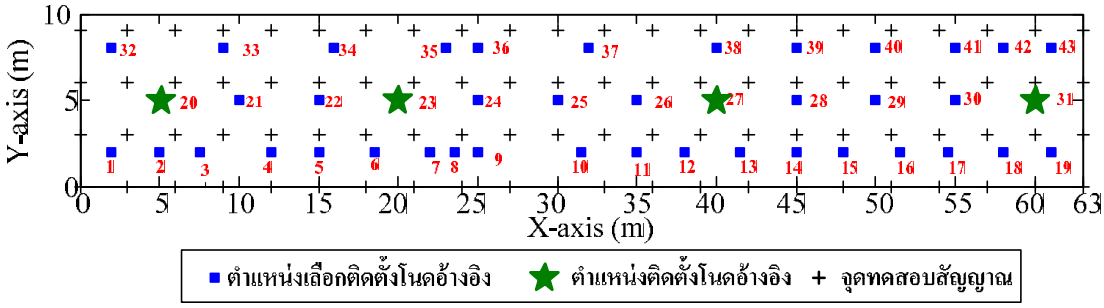
รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งกระบวนการ MNR ในเฟสที่ 1 ได้จำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นการทดลองนี้จำนวน 4 โนด และได้จุดติดตั้งโนดอ้างอิงที่เป็นคำตอบจากกระบวนการ MSMR ในเฟสที่ 2 ซึ่งจุดติดตั้งแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาวในรูปที่ 4.9

ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกันระหว่างโครงสร้างในรูปที่ 4.8 และ 4.9 นั้น ผู้วิจัยได้สุ่มตำแหน่งวัตถุ

ภายในพื้นที่ให้บริการทั้งหมด 60 ตำแหน่งสำหรับทดลองระบุตำแหน่งวัตถุซึ่งใช้วิธีระยะห่างยูคลีเดียนในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ



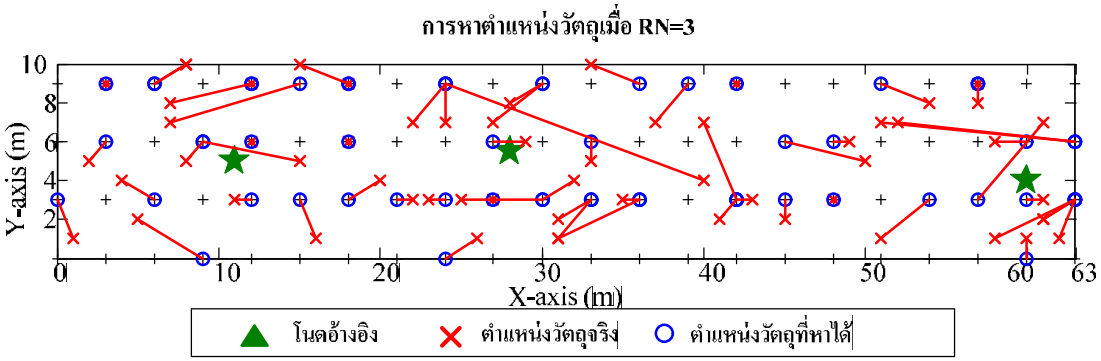
รูปที่ 4.8 พื้นที่ให้บริการและโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) [17]



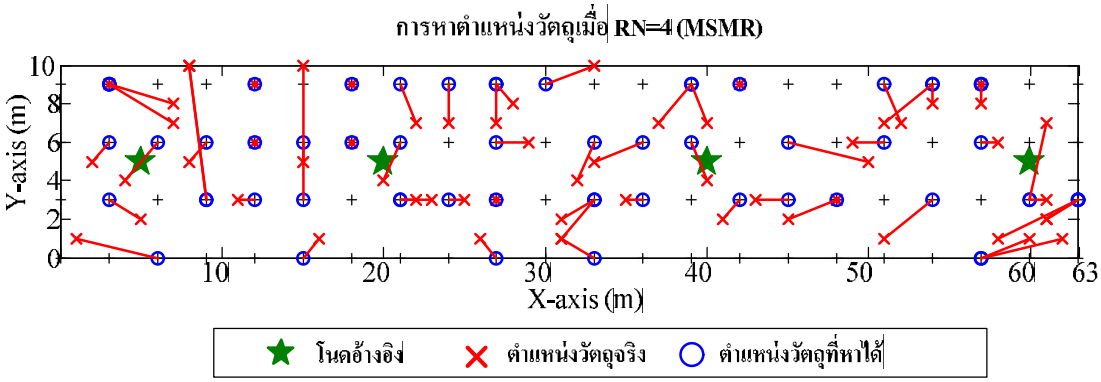
รูปที่ 4.9 โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) กรณีที่ 1

4.2.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์กรณีที่ 1

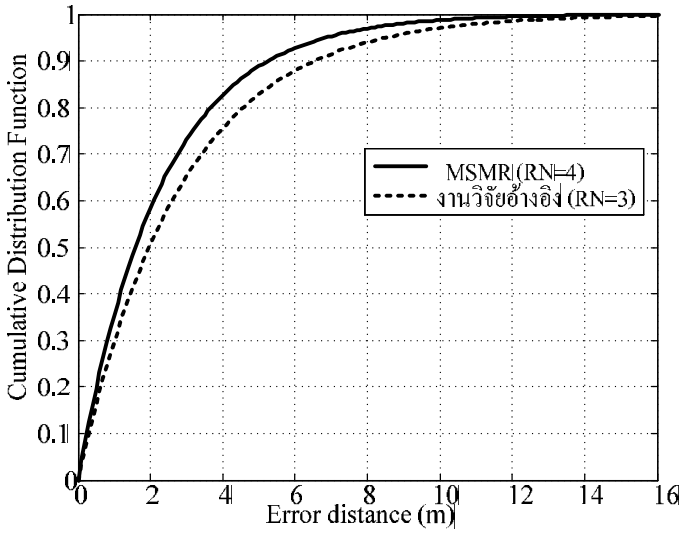
รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายแต่ละแบบ โดยสัญลักษณ์กากบาทแสดงตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุ ส่วนวงกลมแสดงตำแหน่งที่คำนวณได้โดยระบบระบุตำแหน่งวัตถุ และเส้นที่เชื่อมระหว่างกากบาทและวงกลมคือระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีแนวโน้มการระบุตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากกว่า กล่าวคือมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งน้อยกว่าระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายจากงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) [17] ซึ่งเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของระยะทางที่ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งของการทดลองใช้โครงสร้างเครือข่ายทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 4.10 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายจากงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) [17]



รูปที่ 4.11 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR)



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุกรณีที่ 1

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุระหว่างระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่าย 2 แบบ โดยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุซึ่งวิเคราะห์จากระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีหน่วยเป็นเมตร และเปรียบเทียบจากความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 4 เมตร และระยะ 5 เมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) ให้ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุดีกว่าระบบที่ใช้โครงสร้างแบบงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) [17] กล่าวคือระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุน้อยกว่า อยู่ที่ 2.28 เมตร และเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง พบว่าระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีกว่า กล่าวคือ ค่าความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร อยู่ที่ 82.66 % ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 82 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 4 เมตร และค่าความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร อยู่ที่ 89.55% ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 89 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 5 เมตร

จากการทดลองในหัวข้อนี้ สังเกตได้ว่า เมื่อโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้โนดอ้างอิงที่น้อยกว่า 4 โนด จะส่งผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งในกระบวนการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายในเฟสที่ 1 (MNR) และเฟสที่ 2 (MSMR) พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดเงื่อนไขการใช้โนดอ้างอิงในระบบว่าต้องมีอย่างน้อย 4 โนด ตามที่แนะนำในงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18] เพื่อให้ได้ระบบระบุตำแหน่งวัตถุในอาคารที่มีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองในหัวข้อนี้ เห็นได้ชัดว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายในกรณีที่ 1

โครงสร้างเครือข่าย	ความถูกต้องเฉลี่ย (ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร (%)
จากงานวิจัย Sanchez, D., et al. (2009) [17]	2.84	75.58	83.41
จากการออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR	2.28	82.66	89.55

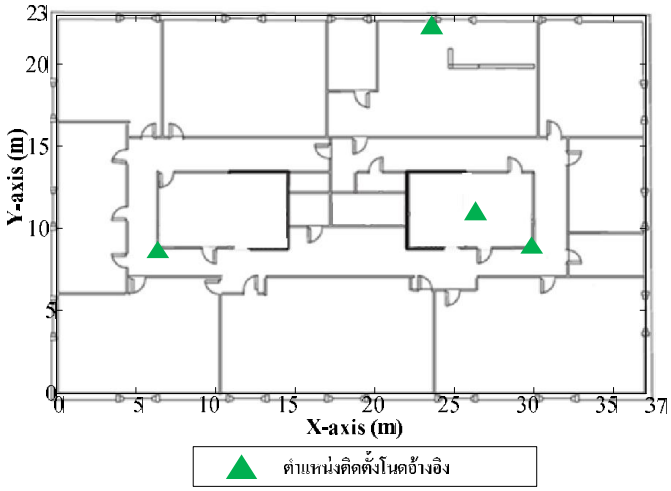
4.2.3 การทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้โครงสร้างเครือข่ายกรณีที่ 2

ในกรณีที่ 2 ได้จำลองพื้นที่ให้บริการจากงานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) [18] ซึ่งพื้นที่มีขนาด กว้าง 36 เมตร และ ยาว 23 เมตร ซึ่งโครงสร้างเครือข่ายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ในงานวิจัย งานวิจัย Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004) [18] มีการใช้โนดอ้างอิง 4 โนด ติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.13

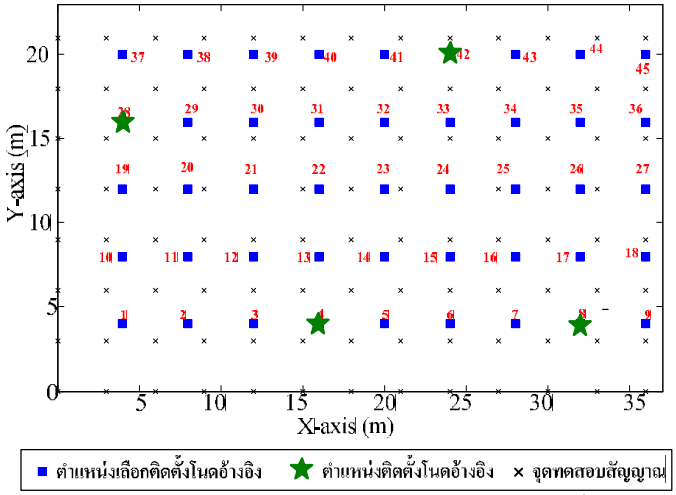
ในการออกแบบโครงสร้างเครือข่ายด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดพารามิเตอร์ในการออกแบบสำหรับพื้นที่ให้บริการในกรณีนี้ คือ ได้ทำการกำหนดจุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปริ้นท์ด้วยระยะห่าง 3 เมตร (grid spacing = 3 m) เช่นเดียวกับการทดลองในกรณีที่ 1 ซึ่งทำให้ได้จุดทดสอบสัญญาณฟิงเกอร์ปริ้นท์ทั้งหมด 104 จุด (แสดงด้วยสัญลักษณ์เครื่องหมายบวกในรูปที่ 4.14) และได้กำหนดจุดที่สามารถเลือกติดตั้งโนดอ้างอิงได้ทั้งหมด 45 ตำแหน่ง (แสดงด้วยสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.14) โดยในการจำลองค่าความแรงสัญญาณด้วยแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคารนั้น ได้พิจารณาค่าการลดทอนความแรงสัญญาณของกำแพงและสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆได้แก่ คอนกรีตเท่ากับ 4 dB ยิปซัมเท่ากับ 2.5 dB และกระจกเท่ากับ 1.5 dB [12]

รูปที่ 4.14 แสดงโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งกระบวนการ MNR ในเฟสที่ 1 ได้จำนวนโนดอ้างอิงที่เพียงพอสำหรับพื้นการทดลองนี้จำนวน 4 โนด และได้จุดติดตั้งโนดอ้างอิงที่เป็นคำตอบจากกระบวนการ MSMR ในเฟสที่ 2 ซึ่งจุดติดตั้งแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาวในรูปที่ 4.14

ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ต่างกันระหว่างโครงสร้างในรูปที่ 4.13 และ 4.14 นั้น ผู้วิจัยได้สุ่มตำแหน่งวัตถุภายในพื้นที่ให้บริการทั้งหมด 60 ตำแหน่งสำหรับทดลองระบุตำแหน่งวัตถุซึ่งใช้วิธีระยะห่างยูคลีเดียนในการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ



รูปที่ 4.13 พื้นที่ให้บริการและโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18]

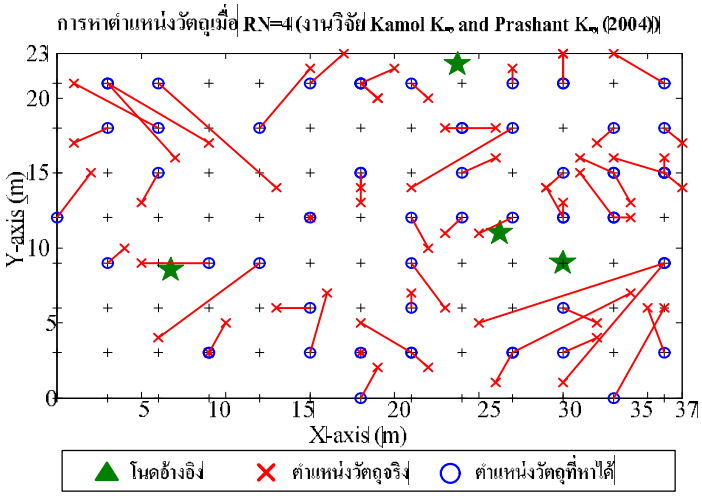


รูปที่ 4.14 โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) กรณีที่ 2

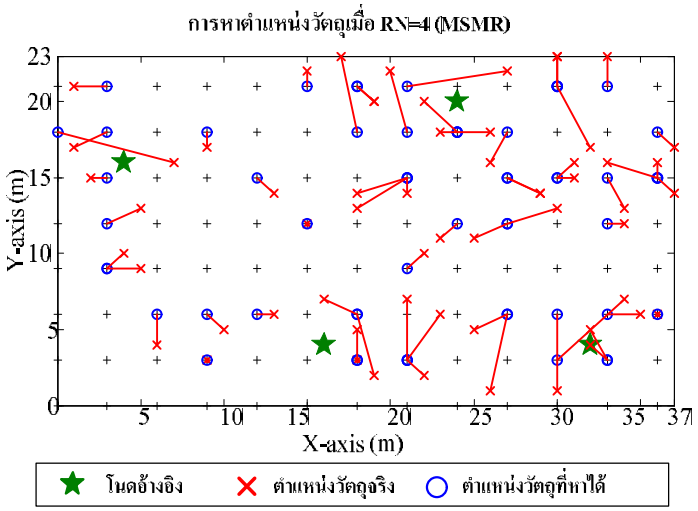
4.2.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์กรณีที่ 2

รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายแต่ละแบบ โดยสัญลักษณ์กากบาทแสดงตำแหน่งที่แท้จริงของวัตถุ ส่วนวงกลมแสดงตำแหน่งที่คำนวณได้โดยระบบระบุตำแหน่งวัตถุ และเส้นที่เชื่อมระหว่างกากบาทและวงกลมคือระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีแนวโน้มการระบุตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากกว่า กล่าวคือมีความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งน้อยกว่าระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายจากงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18] ซึ่งเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.17

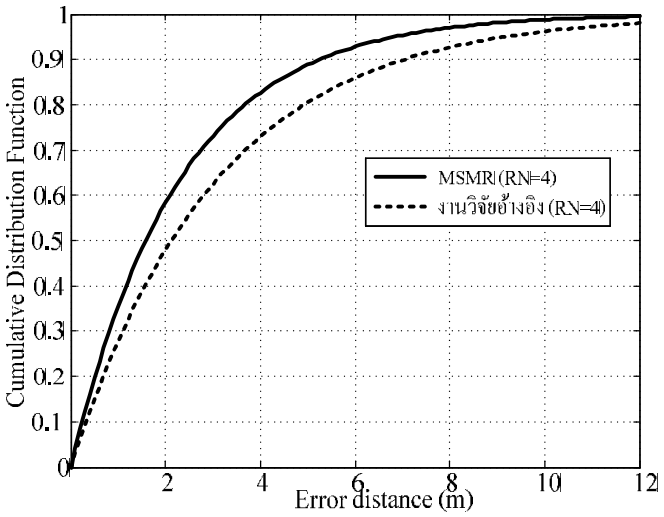
ซึ่งแสดงฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) ของระยะทางที่ผิดพลาดในการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยเปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งของการทดลองใช้โครงสร้างเครือข่ายทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 4.15 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายจากงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18]



รูปที่ 4.16 ระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุเมื่อใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR)



รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งวัตถุกรณีที่ 2

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุระหว่างระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่าย 2 แบบ โดยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุซึ่งวิเคราะห์จากระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีหน่วยเป็นเมตร และเปรียบเทียบจากความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 4 เมตร และระยะ 5 เมตร มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) ให้ค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุดีกว่าระบบที่ใช้โครงสร้างแบบงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18] กล่าวคือระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุน้อยกว่า อยู่ที่ 2.27 เมตร และเมื่อพิจารณาความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง พบว่าระบบที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ (MNR-MSMR) มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีกว่า กล่าวคือ ค่าความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร อยู่ที่ 82.70 % ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 82 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 4 เมตร และค่าความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร อยู่ที่ 89.77% ซึ่งหมายความว่าการระบุตำแหน่งวัตถุ 89 ครั้งจากทั้งหมด 100 ครั้ง จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 5 เมตร

จากการทดลองในหัวข้อนี้ สังเกตได้ว่า ถึงแม้ว่าโครงสร้างเครือข่ายมีการใช้โนดอ้างอิงจำนวน 4 โนดเท่ากัน แต่การเลือกจุดติดตั้งโนดอ้างอิงที่ต่างกันก็ส่งผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ จะเห็นว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ออกแบบโดยพิจารณาเลือกจุดติดตั้งโนดอ้างอิงให้เหมาะกับพื้นที่ของอาคาร ด้วยการใช้สมการคณิตศาสตร์ตามเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นใน

งานวิจัยนี้ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุได้ดีกว่าการนำโครงสร้างเครือข่ายพื้นฐานที่มีอยู่แล้วของเครือข่าย WLAN มาใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสมรรถนะการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้โครงสร้างเครือข่ายในกรณีที่ 2

โครงสร้างเครือข่าย	ความถูกต้องเฉลี่ย (ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย) (เมตร)	ความแม่นยำที่ระยะ 4 เมตร (%)	ความแม่นยำที่ระยะ 5 เมตร (%)
จากงานวิจัย Kaemarungsi, K. and Krishnamurthy, P. (2004) [18]	3.06	72.94	80.83
จากการออกแบบด้วยเทคนิค MNR-MSMR	2.27	82.70	89.77

4.2.5 สรุปผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่าโครงสร้างเครือข่ายที่พิจารณาลักษณะพื้นที่ให้บริการในการกำหนดจำนวนและตำแหน่งสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิง ด้วยการใช้สมการคณิตศาสตร์ตามเทคนิค MNR-MSMR ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารได้ ซึ่งจากการทดลองเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณีดังกล่าว ที่ทำการจำลองพื้นที่ให้บริการ 2 แบบ โครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุแบบไร้สายภายในอาคารได้ ทั้งในด้านความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเทคนิคและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่ใช้วิธีฟิงเกอร์ปริ้นท์ โดยพิจารณาประเด็นเรื่องคุณภาพและความทั่วถึงของสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทั้งในด้านความถูกต้อง และความแม่นยำของการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

เทคนิคการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) เพื่อกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร เนื่องจากโนดอ้างอิงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณสำหรับใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งวัตถุ โดยกระบวนการทำงานของเทคนิคการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 เฟส ดังรายละเอียดแสดงในบทที่ 3 กล่าวคือ เฟสที่ 1 เป็นการกำหนดจำนวนโนดอ้างอิงที่น้อยที่สุด แต่เพียงพอสำหรับพื้นที่ให้บริการที่พิจารณา (Minimize Number of RNs: MNR) จากนั้นในเฟสที่ 2 ได้ใช้จำนวนของโนดอ้างอิงที่ได้จากเฟสที่ 1 ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งโนดอ้างอิง เพื่อให้ได้ระบบที่มีลักษณะผลรวมค่าความแรงของสัญญาณครอบคลุมบริเวณให้บริการที่มากที่สุด (Maximum Summation of Max RSSI : MSMR) เพื่อเพิ่มสมรรถนะของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัญหาการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สาย ซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีทั้งเฟสที่ 1 และเฟสที่ 2 ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม IBM ILOC CPLEX Optimization Studio ดังรายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 3.4

จากการทดลองในบทที่ 4 ซึ่งได้สาธิตการวางแผนเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร และประเมินสมรรถนะความถูกต้อง และแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุของเครือข่ายที่ได้จากการวางแผนและออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับโครงสร้างเครือข่ายแบบอื่น พบว่าโครงสร้างเครือข่ายที่ได้จากกระบวนการออกแบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีกระบวนการกำหนดจำนวนและตำแหน่งติดตั้งโนดอ้างอิงที่เหมาะสม

กับลักษณะพื้นที่ให้บริการ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุแบบไร้สายภายในอาคารได้ ทั้งในด้านความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ

เทคนิคการวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายที่ได้ศึกษาและพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานสำหรับหน่วยงานที่ต้องทำการออกแบบและวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายสำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ที่ใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังมีคุณค่าทางวิชาการต่อวงการศึกษาและวิจัย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการออกแบบและวางแผนโครงสร้างเครือข่ายไร้สายประเภทอื่นได้

สำหรับแนวทางงานวิจัยในอนาคต ควรพัฒนาเทคนิคการวางแผนเครือข่ายที่รองรับพื้นที่ให้บริการที่อยู่ภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งมีความซับซ้อนของลักษณะโครงสร้างสิ่งกีดขวางภายในอาคาร ที่ต้องนำมาพิจารณาในการวางแผนเครือข่ายไร้สายที่จะใช้สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุด้วย นอกจากนี้งานวิจัยในอนาคตควรพัฒนาเทคนิคระบุตำแหน่งให้มีความแม่นยำที่สูงขึ้น และควรทำการทดลองกับสถานที่จริงมากกว่าหนึ่งที่ เพื่อให้แน่ใจในประสิทธิภาพของระบบและเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมา

บรรณานุกรม

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] Kaemarungsi, K. (2005). Efficient Design of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting, International Conference on Wireless Networks Communications and Mobile Computing: 181-186.

[6] Bahri, A., and Chamberland, S. (2005). On the Wireless Local Area Network Design Problem with Performance Guarantees, Computer Networks: 856-866.

[7] 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.

[8] Esposito, C., Cotroneo, D., and Ficco, M. (2009). Calibrating RSS-based Indoor Positioning Systems, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing.

[9] 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.

[10] Hossein, Z., P., D., Schlegel, C., and MacGregor, M., H. (2012). Distributed optimal dynamic base station positioning in wireless sensor networks, Computer Networks: 34–49.

[11] 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.

[12] Kaveh, P. and Prashant, K. (2002) Principles of Wireless Networks: A Unified Approach, Prentice Hall PTR, New Jersey, USA.

[13] ประกอบ จิริกิติ (2535). การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming). โครงการส่งเสริมเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[14] Winston, W.L. (1994). Operation research: Applications and Algorithms 3rd edition, International Thompson Publishing, Belmont, California.

[15] สุทธิมา ชำนาญเวช (2552). การวิจัยดำเนินงาน (Operation Research). วิทยพัฒน์. กรุงเทพ ฯ.

[16] Avanthi, K. (2006). Comparative Study of RSS-Based Collaborative Localization Methods in Wireless Sensor Networks, Thesis Prepared for the Degree of Master of Science.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] Goldsmith, A. (2007). Wireless Communications, Markono Print Media Pte Ltd, Singapore.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง

ก.1 ข้อมูลของชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณจริง

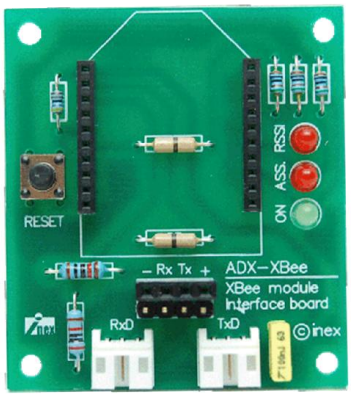
ในการออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองเพื่อทดสอบสมรรถนะการระบุตำแหน่งกับการเลือกใช้ตำแหน่งวางโนดอ้างอิงด้วยวิธีการกำหนดตำแหน่งวางโนดอ้างอิงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับวิธีอื่นๆ จากการใช้ฐานข้อมูลได้จากการวัดสัญญาณในสถานที่จริง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองในพื้นที่ของอาคารวิชาการชั้นที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งประกอบด้วยชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบระบบระบุตำแหน่งผ่านชุดอุปกรณ์การสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ดังนี้

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

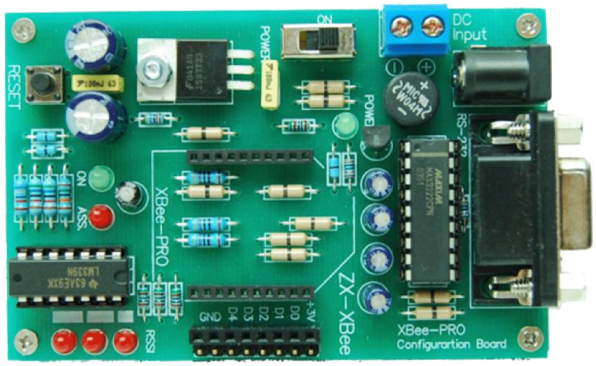
แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro จำนวน 9 ตัว (ADX-XBee) (รูปที่ ก.2) และบอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ตัว (ZX-XBee) (รูปที่ ก.3)

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

รูปที่ ก.1 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย XBee Pro รุ่น XBP24



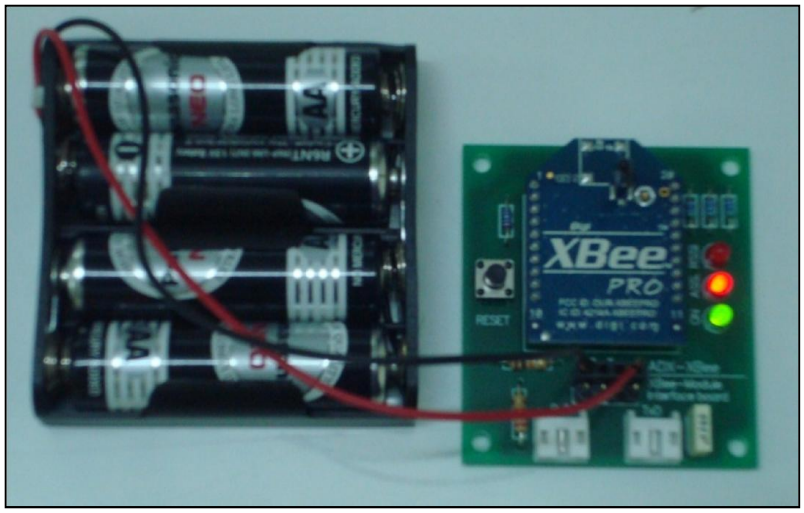
รูปที่ ก.2 แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro (ADX-XBee)



รูปที่ ก.3 บอร์ดเชื่อมคอมพิวเตอร์ (ZX-XBee)

ในการสร้างเครือข่ายของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้การทดลองมี 2 ประเภท คือ ชุดอุปกรณ์ของโนดอ้างอิง และชุดอุปรกรณ์ของโนดวัตถุ โดยที่วัตถุจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 สำหรับการออกแบบอุปกรณ์แต่ละประเภททำได้ดังนี้

ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดอ้างอิง ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ชุดอุปกรณ์โนดอ้างอิงให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากใช้จากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน เนื่องจากสามารถนำชุดอุปกรณ์ของอ้างอิงไปวางไว้ในตำแหน่งที่ๆไม่มีแหล่งจ่ายไฟ AC ได้ภายในอาคาร โนดอ้างอิงจะทำหน้าที่รอรับการร้องขอค่าความแรงสัญญาณจากโนดวัตถุ และจะทำการส่งค่าความแรงของสัญญาณไปให้กับโนดวัตถุ ชุดอุปกรณ์โนดอ้างอิงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ก.4 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิฟ XBee Pro สำหรับโนดอ้างอิงดังตารางที่ ก.1

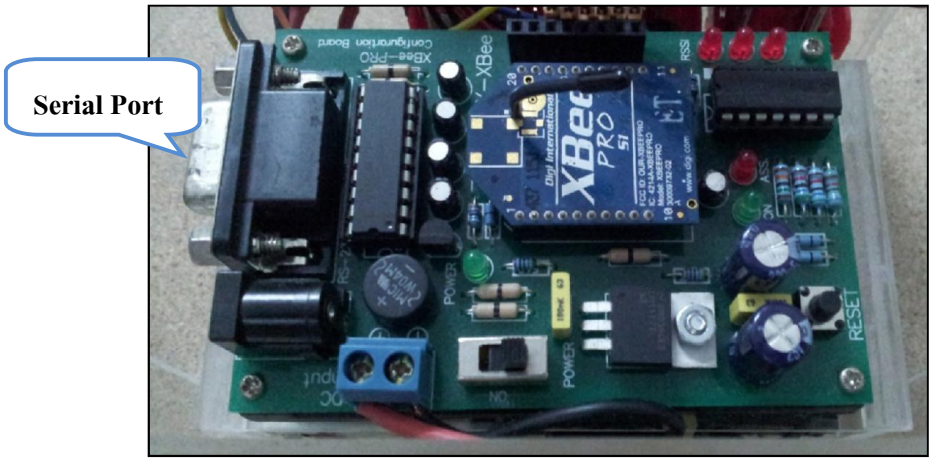


รูปที่ ก.4 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดอ้างอิง

ตารางที่ ก.1 ค่าตัวแปรในชิฟสำหรับโนดอ้างอิง

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) ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลค่าความแรงสัญญาณจากโนดอ้างอิงแต่ละตัวไปคำนวนตำแหน่งโนดวัตถุ ซึ่งโนดวัตถุแสดงได้ดังรูปที่ ก.5 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิฟXBee Pro สำหรับโนดวัตถุดังตารางที่ ก.2



รูปที่ ก.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับโนดวัตถุ

ตารางที่ ก.2 ค่าตัวแปรในชิฟสำหรับโนดวัตถุ

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 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สาคัญ

จากการใช้งานโมดูลสื่อสารไร้สายแต่ละยี่ห้อนั้นจะมีคุณสมบัติทางเทคนิคแตกต่างกันออกไป 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
กาลังในการส่งสัญญาณเอาต์พุท	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 μA
ลักษณะทั่วไป	
ความถี่	ISM 2.4
ขนาด	2.438cm x 3.294cm
อุณหภูมิ	-40 to 85 C
แบบสายอากาศ	Whip, Chip หรือ U.FL Connector
การทาครือข่ายและความปลอดภัย	
การสนับสนุนโครงสร้างเครือข่าย	Point-to-Point, Point-to-Multipoint & Peer-to-Peer
จานวนของช่องสัญญาณ	12 Direct Sequence Channels
การเลือกแอดเดรส	PAN ID, Channel and Addresses
การรองรับอุปกรณ์	65,535 Device (0x0000 – 0xFFFF)(64 bits)

ภาคผนวก ข.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับนานาชาติ

1. S. Aomumpai, K. Kondee and C. Prommak, “Optimal Placement of Reference Nodes for Wireless Indoor Positioning Systems”, Proc. in ECTI-CON 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand, May 2014.
2. K. Kondee and C. Prommak, “Optimal Design of Reference Node Placement for Wireless Indoor Positioning Systems in Multi-Floor Building”, Proc. in ICTNE 2014, International Conference on Telecommunications and Network Engineering, July 2014.

ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยม) จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อ พ.ศ. 2535 ปริญญาโท (Telecommunication Engineering) จาก University of Colorado at Boulder เมื่อ ค.ศ. 1998 และปริญญาเอก (Telecommunication Engineering) จาก University of Pittsburgh เมื่อ ค.ศ. 2004 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สนใจงานวิจัยเรื่อง Wireless network design, Optical network design, Network optimization และ Heuristic approaches for network design