

การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารแบบหลายชั้น
โดยใช้เทคนิคแบบผสม



นายเกรียงไกร มณีรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**DEVELOPMENT OF WIRELESS INDOOR
POSITIONING SYSTEMS FOR MULTI-FLOOR
BUILDING USING HYBRID TECHNIQUES**



Kriangkrai Maneerat

**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

การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารแบบหลายชั้น
โดยใช้เทคนิคแบบผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.กมล เขมระรังษี)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ กระจอกนอก)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เกรียงไกร มณีรัตน์ : การพัฒนาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารสำหรับอาคารแบบหลายชั้นโดยใช้เทคนิคแบบผสม (DEVELOPMENT OF WIRELESS INDOOR POSITIONING SYSTEMS FOR MULTI-FLOOR BUILDING USING HYBRID TECHNIQUES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก, 187 หน้า

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่งวัตถุ (positioning system) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS) แต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ส่งมายังอุปกรณ์ภาครับจีพีเอสจะอ่อนลงเมื่อลักษณะการเดินทางของสัญญาณเป็นเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง (Non-Line-of-Sight : NLOS) ส่งผลให้ระบบจีพีเอสไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor Positioning System : IPS) ที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ ระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว (single plane) ระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ (3 Dimension) และระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น (multi-floor building) ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11 (WLAN) หรืออุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้ IEEE 802.15.1 (Bluetooth) ที่สามารถนำมาใช้กับงานในหลายด้าน เช่น ทางด้านการทหาร ในโรงพยาบาล และในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (performance) ที่ประกอบไปด้วยความถูกต้อง (accuracy) ความแม่นยำ (precision) และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) เป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมาก อีกทั้งเทคนิคระบุตำแหน่งที่เลือกใช้ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) ผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ซึ่งสามารถใช้ได้กับพื้นที่ระนาบเดียว และในอาคารที่มีหลายชั้น

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2555

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

KRIANGKRAI MANEERAT : DEVELOPMENT OF WIRELESS INDOOR
POSITIONING SYSTEMS FOR MULTI-FLOOR BUILDING USING
HYBRID TECHNIQUES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHUTIMA
PROMMAK, Ph.D., 187 PP.

INDOOR POSITIONING SYSTEM/ MULTI-FLOOR BUILDING/ HYBRID
FUSION TECHNIQUE/ PERFORMANCE/ RUN-TIME COMPLEXITY

Positioning systems have become very popular in recent years. These systems provide a location for outdoor areas called Global Positioning System (GPS). Notwithstanding, it cannot be deployed in indoor environments because physical barriers between the satellites and the GPS receivers in Non-Line-of-Sight (NLOS) propagation condition. That affects the attenuation of received signals lead to a significant error in location estimation. Thereby, the GPS is unsuitable for localization within building.

The Indoor Positioning System (IPS) that is a more complex structure than outdoor environment. It can be classified into three groups : localization within a single area (single plane), localization within the coordinate three-dimensional (3 Dimension), and localization in multi-story buildings (multi-floor building). These systems has been applied in many wireless technologies such as IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network : WLAN) IEEE 802.15.1 (Bluetooth).and IEEE 802.15.3a (Ultra-wideband : UWB) etc. The IPS can be applied in many fields such as the military, the hospital and the industry etc. However, the performance design of multi-floor building system consists of accuracy, precision, and run-time complexity.

It is extremely challenges for the efficiently design of the system, which in addition to high accuracy and high precision. Such system also needs the minimal processing time. Furthermore, the different positioning techniques are another factor that affects the performance of the multi-floor building system. Therefore, this research proposes the development of wireless IPS for multi-floor building using Hybrid fusion parameter technique via wireless technology IEEE 802.15.4 (ZigBee), which can be determined the target position within a single plane and within the multi-story buildings.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

Co-Advisor's Signature_____



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตากรุณาให้โอกาสทางการศึกษา อบรม สั่งสอน ชี้แนะ ช่วยเหลือ สนับสนุนในการทำการศึกษางานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียน และตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.กมล เขมะรังษี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่เมตตากรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางในการศึกษางานวิจัย และช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางการเขียน และช่วยตรวจทานเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรคค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภิต ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติที่ให้ความช่วยเหลือในด้าน สถานที่และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูให้การสนับสนุนทางการศึกษาและกำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพรักทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษา

เกรียงไกร มณีรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	5
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	6
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	6
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	7
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	7
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	7
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้.....	8
1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2	ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
2.1	กล่าวนำ.....	10
2.2	โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร.....	11
2.3	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.4	เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร.....	20
2.5	การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร.....	21
2.5.1	Accuracy.....	21
2.5.2	Precision.....	21
2.5.3	Run-time complexity.....	21
2.5.4	Robustness.....	22
2.5.5	Scalability.....	22
2.5.6	Cost.....	23
3	ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสม	
	ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน	24
3.1	แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น.....	25
3.2	แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้	
	เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	26
3.3	โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้	
	เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	27
3.3.1	หลักการทำงานของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	28
3.3.1.1	แนวคิดของเทคนิคแบบผสม.....	30
3.3.1.2	การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อม.....	31
3.3.2	การทำงานในขั้นตอนออฟไลน์เฟส.....	34
3.3.3	การทำงานในขั้นตอนออนไลน์เฟส.....	39
3.3.3.1	ขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปร.....	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3.2	ขั้นตอนการระบุชั้น	44
3.3.3.3	ขั้นตอนการระบุพิกัดวัตถุ	48
3.4	การประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง	52
4	การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุ	54
4.1	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร	57
4.2	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm	59
4.3	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองชั้น	60
4.4	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ	61
4.5	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียน	62
4.6	การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียง ที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน	64
4.7	การประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร แบบหลายชั้น	65
5	การทดลองและผลการทดลอง	68
5.1	การพัฒนาสมการสำหรับจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบภายในอาคาร แบบหลายชั้น	68
5.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	69
5.1.2	การสร้างข้อมูลความเข้มของสัญญาณที่รับได้	70
5.1.3	การเปรียบเทียบความเข้มสัญญาณที่รับได้จากการวัดจริง และจากสมการความสัมพันธ์	81
5.1.4	การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	84
5.1.5	การสร้างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม	90
5.2	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น	93
5.2.1	ข้อกำหนดการทดลอง	93
5.2.2	การวิเคราะห์ผลกรณีที่ 1	94
5.2.3	การวิเคราะห์ผลกรณีที่ 2	95

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.4	การทดสอบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น	98
5.3	การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับฐานข้อมูลที่ได้จากการจำลอง	99
5.3.1	สถานที่และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	99
5.3.2	การเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบ	102
5.3.3	การจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบ	103
5.3.4	การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผล	104
5.4	การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น	110
5.4.1	การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น	111
5.4.2	การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น	116
5.4.3	การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น	119
5.5	การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น	125
5.5.1	ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น	126
5.5.2	ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น	129
5.5.3	ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น	132
5.6	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่ง	137
5.6.1	สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น	137
5.6.2	สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น	139
5.6.3	สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น	141
6	สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	143
6.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์	143
6.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	145
6.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	146

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	148
ภาคผนวก.....	152
ภาคผนวก ก. ข้อมูลของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย.....	153
ภาคผนวก ข. คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	166
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	175
ประวัติผู้เขียน.....	187



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	แสดงคำนิยามของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้พัฒนาขึ้น ในงานวิจัยนี้.....	29
3.2	ตัวอย่างฐานข้อมูลตำแหน่งฟังก์ชันของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ ของระบบร่วมกัน.....	38
3.3	ตัวอย่างตารางข้อมูลคิบัติตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ ของระบบร่วมกัน.....	43
3.4	ตัวอย่างตารางข้อมูลพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ ของระบบร่วมกัน.....	43
3.5	ขั้นตอนการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมค่าความเข้มสัญญาณ.....	47
4.1	ขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร แบบหลายชั้น.....	56
4.2	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร.....	58
4.3	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm.....	59
4.4	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองชั้น.....	61
4.5	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ.....	62
4.6	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียน.....	63
4.7	การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียง ที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จำนวน.....	65
4.8	การประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายแบบชั้น.....	66
5.1	รายละเอียดของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ในงานวิจัย.....	70
5.2	ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโน้ตอ้างอิงของจุดทดสอบ A.....	71
5.3	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเข้มสัญญาณในช่วงระยะทางต่าง ๆ.....	79
5.4	รายละเอียดของตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม.....	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.5 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้ของการจัดระดับอุณหภูมิที่ 1	91
5.6 ช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และมีเฟสเวลาเท่ากับ 3	92
5.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นของกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง	105
5.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นของกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการจำลอง	105
5.9 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ	114
5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นซึ่งมีระยะห่างของฟังก์เจอร์ปริ้นท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร	115
5.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้นซึ่งมีระยะห่างของฟังก์เจอร์ปริ้นท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร	118
5.12 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ	123
5.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้นซึ่งมีระยะห่างของฟังก์เจอร์ปริ้นท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร	124
5.14 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น	127
5.15 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น	130
5.16 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น	133
5.17 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง	135
5.18 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น	139
5.19 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น	140
5.20 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น	142

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.1	รายละเอียดของ PCB inverted-F-antenna.....157
ก.2	รายละเอียดของ MC13224 Sensor Node.....157
ก.3	รายละเอียดของ Sub Miniature version “A” connector-antenna.....158
ก.4	รายละเอียดของ MC13224 Network Node.....159
ก.5	รายละเอียดของ MC13224 Low Power Node.....160
ก.6	รายละเอียดของ MC13224 USB Dongle.....161
ข.1	คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....167



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
3.1	โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกัน.....	28
3.2	แนวคิดการแบ่งระดับอนุภูมิภาคด้วยข้อมูลอนุภูมิภาคและข้อมูลความสัมพันธ์ ของสิ่งแวดล้อม.....	33
3.3	แนวคิดของการนำข้อมูลอนุภูมิภาคและข้อมูลความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อม มาใช้ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์.....	34
3.4	ขั้นตอนการทำงานในช่วงออฟไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	35
3.5	โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น.....	37
3.6	ขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	39
3.7	ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	41
3.8	การวัดค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งวัตถุ.....	42
3.9	ขั้นตอนการระบุชั้นของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ ของระบบร่วมกัน.....	45
3.10	ตัวอย่างการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2.....	46
3.11	แสดงขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน.....	48
3.12	แนวคิดของกระบวนการกรองชั้นของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง.....	49
3.13	แนวคิดของกระบวนการกรองระดับอนุภูมิภาคของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง.....	50
3.14	แนวคิดของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก $k=4$	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	69
5.2 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้น.....	71
5.3 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับ สายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด F-antenna.....	73
5.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับ สายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด SMA-antenna.....	73
5.5 การประมาณค่าในช่วงของระยะทางที่ 10 เมตรสำหรับสายอากาศชนิด F-antenna.....	75
5.6 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna.....	76
5.7 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด SMA-antenna.....	77
5.8 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna (รวมการถอดอยแบบเชิงเส้น).....	78
5.9 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด SMA-antenna (รวมการถอดอยแบบเชิงเส้น).....	78
5.10 การเก็บบันทึกค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 5 ชั้น.....	83
5.11 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับ สายอากาศชนิด F-antenna.....	84
5.12 ตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม.....	85
5.13 ข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ อาคารบรรณสารในช่วงเวลา 8.00 ถึง 18.00 น.....	86
5.14 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ อาคารบรรณสารในช่วงเวลา 8.00 ถึง 18.00 น.....	87
5.15 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลอุณหภูมิ.....	88
5.16 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์.....	88
5.17 ขั้นตอนการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้.....	90
5.18 ช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และมีเฟสเวลาเท่ากับ 3.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19	แผนที่ของอาคารบรรณสาร..... 94
5.20	ค่าเฉลี่ยของความเข้มสัญญาณที่ได้จากโนคอ้างอิงทั้ง 50 จุดทดสอบ ในชั้นที่ 3 (กรณีที่ 1)..... 95
5.21	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับได้ จากโนคอ้างอิงในแต่ละชั้นของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีส้ม (กรณีที่ 2)..... 96
5.22	ช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 3 ชั้น ของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีแดง (กรณีที่ 2)..... 97
5.23	ช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 6 ชั้น ของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 (กรณีที่ 2)..... 97
5.24	ความถูกต้องของการระบุชั้นของแต่ละเทคนิค..... 98
5.25	ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (111 พิกัด)..... 100
5.26	ตำแหน่งของจุดทดสอบของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (63 จุดทดสอบ)..... 101
5.27	ตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่คำนวณได้ของเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุ ภายในอาคาร 2 ชั้น (กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง)..... 107
5.28	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของเทคนิคแบบผสม 3 เทคนิค (ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง)..... 108
5.29	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของเทคนิคพื้นฐาน (ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการจำลอง)..... 109
5.30	ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (407 พิกัด)..... 112
5.31	ตำแหน่งของจุดทดสอบของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (100 จุดทดสอบ)..... 113
5.32	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 2 ชั้น)..... 115
5.33	ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่อยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคารบรรณสาร (178 พิกัด)..... 116
5.34	ตำแหน่งของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคารบรรณสาร (50 จุดทดสอบ)..... 117
5.35	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 3 ชั้น)..... 118
5.36	ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ของอาคาร NECTEC 6 ชั้น (1755 พิกัด)..... 120

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.37	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 6 ชั้น).....125
5.38	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับกรณีอาคาร 2 ชั้น.....129
5.39	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับกรณีอาคาร 3 ชั้น.....131
5.40	ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับกรณีอาคาร 6 ชั้น.....134
ก.1	ชุดพัฒนา 1322x ZigBee Evaluation Kit.....154
ก.2	ย่านความถี่ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 และตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4.....155
ก.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....156
ก.4	PCB inverted-F-antenna.....156
ก.5	อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Sensor Node.....157
ก.6	Sub Miniature version “A” connector.....158
ก.7	อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Network Node.....159
ก.8	อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Low Power Node.....160
ก.9	อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 USB Dongle.....161
ก.10	โปรแกรม Freescale BeeKit.....162
ก.11	โปรแกรม IAR Embedded Workbench.....163
ก.12	สาย J-Link V8.....163
ก.13	โปรแกรม Docklight.....164
ก.14	โปรแกรม MATLAB.....165
ก.15	โปรแกรม Sweet Home 3D.....165

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงความเป็มาและเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย แนวทางการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่งวัตถุ (positioning system) ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือ ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS) (Djuknic and Richton, 2001) แต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ส่งมายังอุปกรณ์ภาครับจีพีเอสจะอ่อนลงเมื่อลักษณะการเดินทางของสัญญาณเป็นเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง (Non-Line-of-Sight : NLOS) ส่งผลให้ระบบจีพีเอสไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Rehman et al., 2009)

สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor Positioning System : IPS) ที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่งและไม่มีสิ่งกีดขวางนั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ เช่น เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network : WLAN) อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth) และอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) (Gu et al., 2009) เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น งานวิจัยของ Sghaier et al. (2011) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในโรงพยาบาล ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายไว้กับผู้ป่วย เพื่อติดตามตำแหน่งปัจจุบันพร้อมกับส่งข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยเป็นระยะ ๆ และงานวิจัยของ Kuflik et al. (2012) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในพิพิธภัณฑ์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้เยี่ยมชม อีกทั้งยังสามารถให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับผลงานที่ถูกจัดแสดงแก่ผู้เข้าชมผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายได้ เป็นต้น

จากการสำรวจประสิทธิภาพจะสังเกตได้ว่า ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถแบ่งประเภทของงานวิจัยได้เป็น 3 กลุ่มคือ งานวิจัยกลุ่มที่ 1 งานวิจัยที่เป็นระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว (single plane) หรือการระบุตำแหน่งวัตถุในพิกัด (x, y) เป็นกลุ่มงานวิจัยที่ได้รับความนิยมและถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องได้แก่ งานวิจัยของ Ali and Hassan (2011) ซึ่งใช้เทคนิคระบุตำแหน่งที่อาศัยคุณสมบัติการวิเคราะห์เหตุการณ์ ที่จะมีการเก็บรวบรวมค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) ที่เรียกว่า การสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ (fingerprint database) ซึ่งเป็นเทคนิคระบุตำแหน่งที่มีพื้นฐานการทำงานคล้ายคลึงกับเทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) โดยจะมีการให้คะแนนแก่พิกัดฟิงเกอร์ปรี้นท์ และเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรี้นท์ที่มีคะแนนมากที่สุด แทนการเลือกค่าระยะห่างยูคลิเดียนที่น้อยที่สุด งานวิจัยของ Kodippili and Dias (2010) ได้นำเสนอเทคนิคแบบผสมซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิคที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ (กลุ่มเทคนิค scene analysis) และเทคนิคที่ใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตของตรีโกณมิติ (กลุ่มเทคนิค triangulation) โดยในช่วงการระบุตำแหน่งวัตถุจะใช้วิธีการคำนวณหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k ตำแหน่ง (K-Nearest Neighbor : KNN) ซึ่งเลือกใช้ค่า k เท่ากับ 3 จากนั้นจะพิจารณาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด 3 ตำแหน่งแทนการพิจารณาตำแหน่งของโนดอ้างอิง (reference node : RN) 3 โนด ถัดมาจะใช้คุณสมบัติการแพร่กระจายของสัญญาณเพื่อคำนวณหาระยะห่างของตำแหน่งวัตถุกับตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดทั้ง 3 ตำแหน่ง และระบุตำแหน่งของวัตถุ (target node) โดยใช้จุดตัดของวงกลมทั้งสามวง เป็นต้น

งานวิจัยกลุ่มที่ 2 งานวิจัยที่เป็นระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ (3 Dimension) ซึ่งตำแหน่งที่ได้ของงานวิจัยกลุ่มนี้คือ พิกัด x, y, z โดยที่พิกัด x, y จะมีลักษณะเหมือนกับระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะหมายถึงความสูงที่วัดจากพื้น งานวิจัยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Bal et al. (2010) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในห้อง 3 มิติ ซึ่งทำงานอยู่บนพื้นฐานของกลุ่มเทคนิค scene analysis ซึ่งจะมีการเก็บบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้เพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ในแบบ 3 มิติ จากนั้นจะระบุตำแหน่งของวัตถุโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน ($k=4$) ถัดมาจะแสดงผลของตำแหน่งวัตถุที่คำนวณได้ในแบบสามมิติ เป็นต้น

งานวิจัยกลุ่มที่ 3 งานวิจัยที่ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น (multi-floor building) ซึ่งเป็นระบบระบุตำแหน่งที่ค้นหาพิกัด x, y, z ภายในอาคาร โดยที่พิกัด x, y จะมีลักษณะเหมือนกับระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะบอกเป็นหมายเลขชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ งานวิจัยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Gansemer et al. (2010) นำเสนอเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นที่สามารถทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง

ตลอดเวลา (dynamically changing environment) ซึ่งเกิดจากความแปรปรวนของสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร โดยทำการคัดเลือกพิกัดฟังก์เจอร์ปรินท์ที่มีชุดของ โนดอ้างอิงที่สามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณได้เหมือนกับตำแหน่งของวัตถุมาพิจารณา จากนั้นจะใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน คำนวณหาตำแหน่งของวัตถุจากพิกัดฟังก์เจอร์ปรินท์ที่กรองได้ และระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้น งานวิจัยของ Wang et al. (2010) นำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดระยะเวลาการทำงานในช่วงการเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มสัญญาณเพื่อสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ โดยจะเก็บรวบรวมข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ทุกพิกัดในชั้นหลัก (source floor) ขณะที่ชั้นอื่น ๆ จะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์เพียงแค่บางพิกัด และใช้วิธีการ co-embedding เพื่อประมาณค่าความเข้มสัญญาณของพิกัดฟังก์เจอร์ปรินท์ในชั้นอื่น ๆ ก่อนที่จะระบุตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน เป็นต้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารพบว่า ความท้าทายของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งนอกจากระบบระบุตำแหน่งจะต้องสามารถค้นหาหรือระบุตำแหน่งสิ่งที่สนใจได้อย่างถูกต้องและแม่นยำแล้ว เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุก็เป็นอีกหนึ่งอุปสรรคของระบบระบุตำแหน่งประเภทนี้ ถึงแม้งานวิจัยที่มีอยู่จะมุ่งเน้นไปที่การลดระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้พิจารณาการลดระยะเวลาในขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวัตถุ เนื่องจากข้อจำกัดของกลุ่มเทคนิค scene analysis ที่ในขั้นตอนระบุตำแหน่งจำเป็นต้องตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรินท์ทั้งหมดที่เก็บบันทึกได้ ดังนั้นถ้าหากพื้นที่ของอาคารมีขนาดใหญ่และมีจำนวนหลายชั้นแล้ว เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบฐานข้อมูลหรือเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งก็จะมากตามไปด้วย อีกทั้งในงานวิจัยที่มีอยู่ยังมีข้อจำกัดทางโครงสร้างของอาคารที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพของอาคารในแต่ละชั้นจำเป็นต้องเหมือนกันทั้งหมด ส่งผลให้ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้กับอาคารแบบทั่วไปได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นซึ่งใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) ที่สามารถระบุตำแหน่งวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถประมวลผลหาตำแหน่งวัตถุได้อย่างรวดเร็ว ผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ที่มีคุณสมบัติการวัดค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ และมีคุณสมบัติการตรวจจับข้อมูลทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าอุณหภูมิ (temperature) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity : RH) เป็นต้น ซึ่งระบบระบุตำแหน่งที่พัฒนาจะสามารถใช้ได้กับพื้นที่ระนาบเดียว และในอาคารที่มีหลายชั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานและสถาปัตยกรรมพื้นฐานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะ (performance) ซึ่งประกอบไปด้วยความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) ของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น
- 1.2.5 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคการระบุตำแหน่งอื่น ๆ เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน เป็นต้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 เทคนิคระบุตำแหน่งที่ใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ร่วมกับค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม จะให้ผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดีกว่าเทคนิคที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว
- 1.3.2 การใช้ข้อดีของกลุ่มเทคนิค proximity ที่อาศัยการแสดงเอกลักษณ์ (Identification : ID) ของโนดอ้างอิงจะสามารถระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ได้อย่างถูกต้อง
- 1.3.3 เมื่อพื้นที่การทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะยังคงมีผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่งานวิจัยนี้เลือกใช้คือ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- 1.4.2 เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะรวมการทำงานของกลุ่มเทคนิค proximity และกลุ่มเทคนิค scene analysis โดยใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้หรือตัวชี้บอกคุณภาพการเชื่อมโยง (Link Quality Indicator : LQI) ร่วมกับค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์

- 1.4.3 สมรรถนะในการระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยความถูกต้องหมายถึง ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างตำแหน่งที่คำนวณได้และตำแหน่งจริงของวัตถุ มีหน่วยเป็นเมตร ความแม่นยำจะพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน (Cumulative Distribution Function : CDF) ตัวอย่างเช่น ระบบหนึ่งมีความแม่นยำของตำแหน่ง 90% ภายใน 3.5 เมตร และความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะบอกเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ภายในช่วงการระบุตำแหน่ง หรือระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุต่อหนึ่งตำแหน่ง มีหน่วยเป็นวินาที
- 1.4.4 ตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งของโนดอ้างอิงจะมีการกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า
- 1.4.5 ข้อกำหนดของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย IEEE 802.15.4 จะต้องไม่ทำงานอยู่ในย่านความถี่เดียวกันกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย IEEE 802.11
- 1.4.6 สถานที่ที่ใช้ในการทดลองจะเป็นอาคารอย่างน้อย 2 ชั้น และติดตั้งโนดอ้างอิงในแต่ละชั้นอย่างน้อย 4 โหนด

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาโครงสร้าง และหลักการทำงานของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 1.5.2 พัฒนาเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย IEEE 802.15.4
- 1.5.3 วิเคราะห์สมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น โดยการพิจารณา ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง
- 1.5.4 เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่นๆ เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน เป็นต้น
- 1.5.5 พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

- 2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร
- 3) ศึกษาการใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ หรือตัวชี้บอกคุณภาพการเชื่อมโยง อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 4) ศึกษาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- 5) พัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- 6) วิเคราะห์สมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น
- 7) เปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน เป็นต้น

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาเทคนิควิธีการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารชนิดต่าง ๆ
- 3) ศึกษาการใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ หรือตัวชี้บอกคุณภาพการเชื่อมโยง อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 4) พัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- 5) วิเคราะห์สมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น
- 6) ทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน เป็นต้น

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 อาคารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 และ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) 112 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personal computer)
- 2) อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Freescale MC13224 รุ่นที่ 3 ซึ่งมี ARM7TDM เป็นตัวประมวลผล)
- 3) โปรแกรมควบคุมอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย Freescale BeeKit
- 4) โปรแกรม IAR Embedded Workbench
- 5) โปรแกรม MATLAB
- 6) โปรแกรมแสดงผล Docklight
- 7) โปรแกรมแสดงพื้นที่ของระบบระบุตำแหน่งแบบ 3 มิติ Sweet Home 3D
- 8) โปรแกรม Microsoft Office

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) เก็บรวบรวมค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ หรือตัวชี้บอกคุณภาพการเชื่อมโยง ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้สร้างเป็นฐานข้อมูล
- 3) เก็บรวบรวมผลการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยเปรียบเทียบผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งระหว่างเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบ ร่วมกับกับเทคนิคชนิดอื่น ๆ เช่น เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว และเทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและออกแบบระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.7.1 เป็นแนวทางในการออกแบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่สามารถใช้ได้กับพื้นที่ระนาบเดียว และในอาคารที่มีหลายชั้น

- 1.7.2 เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน สำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ได้สังเกตเห็นถึงข้อดีของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่นอกจากจะมีน้ำหนักเบา ใช้พลังงานต่ำ และสามารถสร้างการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้แล้ว มันยังมีความสามารถในการวัดค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ และมีคุณสมบัติการตรวจจับข้อมูลทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และแสง เป็นต้น โดยได้พัฒนากระบวนการการจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการระบุตำแหน่ง แทนที่การเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบทั้งอาคาร และได้พัฒนาเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งมีชื่อว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) ซึ่งเป็นการผสมข้อดีของกลุ่มเทคนิค proximity และกลุ่มเทคนิค scene analysis อีกทั้งยังมีการใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ โดยได้พัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ ซึ่งมีชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่รับได้ และได้พัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุพิกัดวัตถุซึ่งมีการใช้ค่าพารามิเตอร์ของระบบได้แก่ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ร่วมกับค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และนวัตกรรมของงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ปรัชญา วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน การออกแบบโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน และการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุของวิทยานิพนธ์

บทที่ 4 กล่าวถึงการประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองชั้น การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน และการประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

บทที่ 5 การพัฒนาสมการสำหรับจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบภายในอาคารแบบหลายชั้น การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับฐานข้อมูลที่ได้จากการจำลอง การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น และการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่ง

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นให้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เทคนิคระบุตำแหน่ง และหลักการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง เพื่อให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ และสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นในงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้แบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 2.1 กล่าวนำ หัวข้อ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร หัวข้อ 2.3 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อ 2.4 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร และหัวข้อ 2.5 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันระบบระบุตำแหน่งวัตถุ (positioning system) ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายคือ ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS) (Djuknic and Richton, 2001) แต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ส่งมายังอุปกรณ์ภาครับจีพีเอสจะอ่อนลงเมื่อลักษณะการเดินทางของสัญญาณเป็นเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง (Non-Line-of-Sight : NLOS) ส่งผลให้ระบบจีพีเอสไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Rehman et al., 2009)

สำหรับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor Positioning System : IPS) ที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่งและไม่มีสิ่งกีดขวางนั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายประเภทต่าง ๆ เช่น เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network : WLAN) อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth) และอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) (Gu et al., 2009) เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เช่น ในงานวิจัย Ruppel et al. (2010) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้นักวิจัยสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการเข้าไป

ช่วยเหลือผู้ประสบเหตุอัคคีภัยที่อยู่ภายในอาคาร ในงานวิจัยของ Sghaier et al. (2011) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในโรงพยาบาล ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายไว้กับผู้ป่วย เพื่อติดตามตำแหน่งปัจจุบันพร้อมกับส่งข้อมูลสุขภาพของผู้ป่วยเป็นระยะ ๆ และงานวิจัยของ Kuflik et al. (2012) ได้นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในพิพิธภัณฑ์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้เยี่ยมชม อีกทั้งยังสามารถให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับผลงานที่ถูกจัดแสดงแก่ผู้เข้าชมผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายได้อีกด้วย เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้งานในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถทำได้อย่างหลากหลาย ซึ่งรูปแบบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบ ว่ามีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งให้สามารถรองรับกับการทำงานหรือสถานการณ์ในรูปแบบใด

2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

สำหรับ โครงสร้างพื้นฐานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารในแบบทั่วไป จะมีอุปกรณ์พื้นฐาน 2 ชนิดคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งจะถูกติดตั้งให้อยู่ในส่วนต่างๆ ของอาคาร และมีการกำหนดชื่อหรือ Media Access Control address (MAC address) ที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีชื่อเรียกของอุปกรณ์ชนิดนี้ที่แตกต่างกัน เช่น งานวิจัยของ Ali and Hassan (2011) เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Beacon งานวิจัยของ Bernardos et al. (2010) จะเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า anchor node งานวิจัยของ Fang et al. (2012) จะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า reference sensors ในงานวิจัยของ Hung et al. (2010) จะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Base Station (BS) และงานวิจัยของ Kaemarungsi and Krishnamurthy (2004) เรียกอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้ว่า Access Point (เนื่องจากใช้เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b) สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า โหนดอ้างอิง (reference node : RN)

อุปกรณ์พื้นฐานชนิดที่สองคือ อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งที่ตัววัตถุหรือสิ่งที่ต้องการระบุตำแหน่ง ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ และมีคุณสมบัติในการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ เช่น ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength : RSS) หรือตัวชี้บอกคุณภาพของการเชื่อมโยง (Link Quality Indicator : LQI) เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลที่วัดได้มากำหนดหาตำแหน่งของวัตถุด้วยเทคนิคการระบุตำแหน่งชนิดต่าง ๆ ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีชื่อเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ที่แตกต่างกัน เช่น งานวิจัยของ Al-Ahmadi et al. (2011) เรียกอุปกรณ์นี้ว่า mobile terminal งานวิจัยของ Hung et al. (2010) จะเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Mobile Target (MT) งานวิจัยของ Mazuelas et al. (2009) เรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Mobile Station (MS) และงานวิจัยของ Larranaga et al. (2010) เรียก

อุปกรณ์ชนิดนี้ว่า Blind node สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า โหนดวัตถุ (target node) ซึ่งในส่วนของการทำงานผลลัพธ์และแสดงผลตำแหน่งวัตถุ สามารถดำเนินการได้ที่ตัว โหนดวัตถุโดยตรง หรืออาจส่งข้อมูลพารามิเตอร์ที่วัดได้ไปดำเนินการที่ส่วนควบคุมกลาง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบระบบและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ไร้สายที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบระบุตำแหน่ง

2.3 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อพัฒนาเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารให้มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาทิศทางของปรัชญ่วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง โครงสร้างของระบบ ข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคระบุตำแหน่งแต่ละประเภท รวมทั้งศึกษาตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของกลุ่มงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นข้อมูลและเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุของงานวิจัยนี้ ซึ่งจากปรัชญ่วรรณกรรมที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.3.1 งานวิจัยของ Liu, H., Darab, H., Banerjee, P. and, Liu, J. (2007) เป็นงานวิจัยที่สำรวจเทคนิคและวิธีการทำงานของระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ทำการสำรวจงานวิจัยที่มีอยู่ โดยได้ให้ภาพรวมของกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งได้มีการอธิบายและจำแนกประเภทของระบบระบุตำแหน่ง พร้อมทั้งอธิบายขั้นตอนการทำงานของแต่ละเทคนิค อีกทั้งยังวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการจำแนกกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งตามลักษณะการทำงาน ขั้นตอนการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค และวิธีการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง เช่น ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) จะแสดงเป็นระยะที่คลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่ง มีหน่วยเป็นเมตร (meter) หรือเป็นฟุต (feet) เป็นต้น

2.3.2 งานวิจัยของ Gu, Y., Lo, A. and, Niemegeers, I. (2009) เป็นงานวิจัยที่สำรวจภาพรวมของเทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ทำการสำรวจและรวบรวมงานวิจัยในปัจจุบัน ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ภาพรวมของเทคโนโลยีการสื่อสารที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยได้อธิบายคุณลักษณะการทำงาน ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสื่อสารสื่อสารที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การระบุตำแหน่ง (localization) การติดตาม (tracking) การนำทาง (navigation) และการเฝ้าตรวจ (monitoring) เป็นต้น

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร มีการวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสื่อสารแต่ละประเภท อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้ เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีคุณสมบัติการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ เช่น ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นของสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.3.3 งานวิจัยของ Wang, H.Y., Zheng, V.W., Zhao, J. and, Yang, Q. (2010) เป็นงานวิจัยที่พัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น (multi-floor environments) โดยคำนึงถึงการลดระยะเวลาการทำงานในช่วงออฟไลน์เฟส (offline phase)

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนาพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดระยะเวลาการทำงานในช่วงออฟไลน์เฟส ซึ่งเป็นขั้นตอนที่เก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้เพื่อนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ (fingerprint database) โดยการทำงานในขั้นตอนออฟไลน์เฟสของงานวิจัยนี้ จะเก็บรวบรวมข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ทุกฟัดในชั้นหลัก (source floor) ขณะที่ชั้นอื่น ๆ จะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์เพียงแค่บางฟัด ถัดมาจะใช้วิธีการที่ชื่อว่า co-embedding เพื่อประมาณค่าความเข้มสัญญาณของฟัดฟิงเกอร์ปรี้นท์ในชั้นอื่น ๆ ก่อนที่จะระบุตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน (K-Nearest Neighbor : KNN)

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของเทคนิคระบุตำแหน่งที่งานวิจัยนี้เสนอ ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพของอาคารแต่ละชั้นจำเป็นต้องมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ถ้าหากโครงสร้างของอาคารในแต่ละชั้นแตกต่างกันจะส่งผลให้ระบบระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเทคนิคระบุตำแหน่งนี้จึงไม่

2.3.5 งานวิจัยของ Alsehly, F., Arslan, T. and Sevak, Z. (2011) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการระบุชั้น (floor determination) ที่ใช้สำหรับระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ในอาคารแบบหลายชั้น

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคการระบุชั้น โดยนำเสนอเทคนิคการระบุชั้นสองเทคนิค ได้แก่ K-Nearest Neighbour Algorithm และ Group variance algorithm สำหรับเทคนิคแรกจะแตกต่างจากเทคนิค KNN ในแบบทั่วไปคือ จำนวนของโนดอ้างอิงที่ถูกพิจารณาสำหรับการสร้างฐานข้อมูล ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะ โนดอ้างอิงที่มีค่าความเข้มสัญญาณมากที่สุด และเก็บบันทึกชื่อของโนดอ้างอิงนั้น พร้อมกับชั้นอาคาร ณ ตำแหน่งปัจจุบันเพื่อสร้างเป็น reference database เมื่อต้องการระบุชั้นวัตถุ ระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ระหว่าง reference database และพิกัดวัตถุ เพื่อเลือกชั้นของ reference database ที่มีค่าความเข้มสัญญาณใกล้เคียงกับตำแหน่งวัตถุมากที่สุด เป็นชั้นที่วัตถุอยู่ สำหรับเทคนิคชนิดที่สอง จะพิจารณาการแจกแจงของค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในแต่ละชั้น โดยจะพิจารณาค่าทางสถิติสามชนิดในช่วงออนไลน์เฟสได้แก่ ค่าพิสัย (range) ค่าความแปรปรวน (variance) และความใช้สอยได้ (availability) เมื่อใดก็ตามที่ต้องการระบุชั้นวัตถุ ค่าทางสถิติทั้งสามชนิดของแต่ละชั้นจะถูกคำนวณเพื่อให้คะแนน และจะเลือกชั้นที่มีคะแนนมากที่สุดเป็นชั้นที่วัตถุตั้งอยู่

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดการนำค่าทางสถิติของความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในช่วงออนไลน์เฟสมาวิเคราะห์เพื่อระบุชั้นของวัตถุ นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาโนดอ้างอิงที่มีค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้มากที่สุดแทนการพิจารณาทุกโนดที่อยู่ในอาคาร อย่างไรก็ตาม ผลความถูกต้องของทั้งสองเทคนิคยังมีความผิดพลาดในการระบุชั้นมากกว่า 10%

2.3.6 งานวิจัยของ Kodippili, N.S. and Dias, D. (2010) เป็นงานวิจัยที่พัฒนาเทคนิคระบุตำแหน่งแบบผสมซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิคฟิงเกอร์ปรี้นท์ติ้ง (fingerprinting) และ เทคนิค Trilateration

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารซึ่งมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุในบริเวณระนาบเดียว โดยได้นำเสนอเทคนิคแบบผสมซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิคที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์หรือกลุ่มเทคนิค scene analysis และเทคนิคที่ใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตของตรีโกณมิติ หรือกลุ่มเทคนิค triangulation โดยในช่วงออฟไลน์เฟสจะมีการเก็บรวบรวมค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายใน

อาคาร เพื่อสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ จากนั้นในช่วงออนไลน์เฟสจะคำนวณหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด 3 ตำแหน่ง (3NN) และใช้พื้นฐานการทำงานของกลุ่มเทคนิค triangulation โดยจะพิจารณาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด 3 ตำแหน่งแทนการพิจารณาคำแหน่งของโนดอ้างอิง 3 โนด ถัดมาจะใช้คุณสมบัติการแพร่กระจายของสัญญาณเพื่อคำนวณหาระยะห่างของตำแหน่งวัตถุกับตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดทั้ง 3 ตำแหน่ง และสุดท้ายจะระบุตำแหน่งของวัตถุโดยใช้จุดตัดของวงกลมทั้งสามวง

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดของการรวมข้อดีของกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งเข้าด้วยกัน ซึ่งเทคนิคแบบผสมดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่มีความซับซ้อน (ข้อดีของกลุ่มเทคนิค scene analysis) และยังให้สมรรถนะความถูกต้องที่ดีอีกด้วย (ข้อดีของกลุ่มเทคนิค triangulation) อีกทั้งยังมีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งดีกว่าการใช้เทคนิคระบุตำแหน่งเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง

2.3.7 งานวิจัยของ Kim, H.S., Kim, D.R., Yang, S.H., Son, Y.H. and, Han, S.K. (2013)

เป็นงานวิจัยที่นำเสนอระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light Communication : VLC)

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยมีการนำเสนอพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ แทนการใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิง โดยใช้พื้นฐานการทำงานของกลุ่มเทคนิค triangulation ซึ่งจะใช้การมอดูเลต (modulation) สัญญาณแสงของหลอดไฟ Light Emitting Diode (LED) ด้วยสามช่องสัญญาณ (channel) ที่แตกต่างกัน แทนการใช้ MAC address ของโนดอ้างอิงสามโนด เมื่อต้องการระบุตำแหน่ง ที่โนดวัตถุจะวัดกำลังความถี่วิทยุที่รับได้ (received RF power) และเปลี่ยนให้เป็นระยะทาง จากนั้นจะคำนวณหาตำแหน่งวัตถุโดยใช้การทำงานพื้นฐานของกลุ่มเทคนิค triangulation

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดของการนำค่าพารามิเตอร์ของระบบคือ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้มาใช้ระบุตำแหน่งวัตถุ แทนการใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงหรือจากจุดเข้าถึง (Access Point : AP) แต่ข้อจำกัดของการใช้การสื่อสารด้วยแสงของงานวิจัยนี้คือ เส้นทางารับส่งข้อมูลระหว่างโนดวัตถุและหลอดไฟ LED ต้องเป็นแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight : LOS) อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การระบุตำแหน่งอีกด้วย (ภายในบริเวณ 6 เมตร x 6 เมตร)

2.3.8 งานวิจัยของ Yong, U.L. and Kavehrad, M. (2012) เป็นงานวิจัยที่ออกแบบระบบระบุตำแหน่งแบบผสมที่ใช้โครงสร้างของเครือข่ายสองชนิดที่ประกอบด้วย การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ และเครือข่ายไร้สายแบบ ad hoc

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งโครงสร้างของระบบประกอบไปด้วยเครือข่ายสองชนิดคือ การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ และเครือข่ายไร้สายแบบ ad hoc โดยการทำงานของระบบระบุตำแหน่งแบบผสมจะค้นหาตำแหน่งของวัตถุโดยอาศัยคุณสมบัติของ Identification (ID) ของสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED ซึ่งสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED ของแต่ละห้องจะถูกกำหนดให้มีค่า ID ที่แตกต่างกัน ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งจะเริ่มจาก โหนดวัตถุทำการตรวจจับค่า ID ของสัญญาณแสงที่อยู่ภายในห้อง จากนั้นจะส่งข้อมูล ID ที่ตรวจจับได้ผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ ไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีการเชื่อมต่อแบบ ad hoc ไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อประมวลผลและระบุห้องที่วัตถุอยู่

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวคิดการทำงานร่วมกันของพารามิเตอร์ระบบสองชนิดได้แก่ สัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED และสัญญาณจากอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 แต่ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือ การใช้คุณสมบัติของสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED จะไม่สามารถระบุพิกัดของวัตถุได้ (x, y) ซึ่งจะบอกได้เพียงห้องที่วัตถุอยู่เท่านั้น อีกทั้งเส้นทางการรับส่งข้อมูลของสัญญาณแสงต้องเป็นแบบไม่มีสิ่งกีดขวางอีกด้วย

2.3.9 งานวิจัยของ Bal, M., Xue, H., Shen, W. and Ghenniwa, H.H. (2010) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในห้อง 3 มิติ ด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในห้อง 3 มิติที่ทำงานอยู่บนพื้นฐานของกลุ่มเทคนิค scene analysis ซึ่งมีการเก็บบันทึกพิกัดฟิงเกอร์ปρίนท์ในแบบ 3 มิติ จากนั้นจะระบุตำแหน่งของวัตถุโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน ($k=4$) ถัดมาจะแสดงผลของตำแหน่งวัตถุที่คำนวณได้ในแบบสามมิติด้วย Virtual Reality Modeling Language (VRML) ซึ่งโนดอ้างอิงและ โหนดวัตถุทำงานอยู่บนมาตรฐานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย IEEE 802.15.4

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของกลุ่มเทคนิค scene analysis ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการระบุตำแหน่งได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การระบุตำแหน่งในบริเวณระนาบเดียว การระบุตำแหน่งภายในห้อง 3 มิติ และการระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นได้ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของเทคนิคที่มีการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρίนท์ ซึ่งในขั้นตอนการระบุ

ตำแหน่งจะมีการพิจารณาฐานข้อมูลฟังก์ชันทั้งหมดที่เก็บบันทึกได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุของเทคนิคประเภทนี้จึงใช้เวลานาน

2.3.10 งานวิจัยของ Ali, S.F.M. and Hassan, R. (2011) เป็นงานวิจัยที่ประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีชื่อว่า Cosine Correlation Similarity Measure (CCSM)

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอการพัฒนากระบวนการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะ (performance) ของเทคนิคระบุตำแหน่งที่ได้พัฒนา ซึ่งมีชื่อว่า Cosine Correlation Similarity Measure (CCSM) โดยจะมีพื้นฐานการทำงานคล้ายคลึงกับเทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน ซึ่งจะมีการให้คะแนนแก่ฟังก์ชันฟังก์ชัน และเลือกฟังก์ชันฟังก์ชันที่มีค่าความเข้มสัญญาณใกล้เคียงกับค่าความเข้มสัญญาณของวัตถุ (หรือฟังก์ชันที่มีคะแนนมากที่สุด) แทนการเลือกค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนที่น้อยที่สุด สำหรับสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่งานวิจัยนี้เลือกพิจารณา คือ ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) ความซับซ้อน (complexity) ราคา (cost) และความสามารถในการปรับตัว (adaptability)

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร ซึ่งนอกเหนือจากความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งแล้ว ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของเทคนิคระบุตำแหน่งก็เป็นอีกหนึ่งสมรรถนะที่ไม่ควรมองข้าม

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมจะสังเกตได้ว่า ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถแบ่งประเภทของงานวิจัยได้เป็น 3 กลุ่มคือ งานวิจัยกลุ่มที่ 1 งานวิจัยที่เป็นระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว (single plane) หรือการระบุตำแหน่งวัตถุในพิกัด (x, y) เป็นกลุ่มงานวิจัยที่ได้รับความนิยมและถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ งานวิจัยของ Ali and Hassan (2011), Kim et al. (2013), Kodippili and Dias (2010), Young and Kavehrad (2012) เป็นต้น งานวิจัยกลุ่มที่ 2 งานวิจัยที่เป็นระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ (3 Dimension) ซึ่งตำแหน่งที่ได้ของงานวิจัยกลุ่มนี้คือ พิกัด x, y, z โดยที่พิกัด x, y จะมีลักษณะเหมือนกับระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะหมายถึงความสูงที่วัดจากพื้น งานวิจัยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Bal et al. (2010) เป็นต้น และงานวิจัยกลุ่มที่ 3 งานวิจัยที่ระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น (multi-floor building) ซึ่งเป็นระบบระบุตำแหน่งที่ค้นหาพิกัด x, y, z ภายในอาคาร โดยที่พิกัด x, y จะมีลักษณะเหมือนกับระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว ส่วนพิกัด z จะบอกเป็น

หมายเลขชั้น งานวิจัยที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ งานวิจัยของ Alsehly et al. (2011), Gansemer et al. (2010), Wang et al. (2010) เป็นต้น

เมื่อพิจารณาในแง่ของเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุจะสามารถจัดกลุ่มของงานวิจัยได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มเทคนิค triangulation เป็นกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งที่ใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตของตรีโกณมิติเพื่อระบุตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ lateration ที่ใช้คุณสมบัติของระยะทาง และ angulation ที่ใช้คุณสมบัติของค่ามุม งานวิจัยที่อยู่ในกลุ่มเทคนิคนี้ได้แก่ Kim et al. (2013), Kodippili and Dias (2010) เป็นต้น กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มเทคนิค scene analysis เป็นกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งที่ใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์เหตุการณ์ซึ่งจะมีการเก็บรวบรวมคุณสมบัติของเหตุการณ์ในช่วงออฟไลน์เฟส (offline phase) ที่เรียกว่า การสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ ซึ่งจะเก็บบันทึกค่าความเข้มของสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร จากนั้นในช่วงออนไลน์เฟส (online phase) ระบบระบุตำแหน่งจะทำการแมตช์ (matching) ข้อมูลระหว่างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ และตำแหน่งปัจจุบันของวัตถุ เพื่อเลือกฟิงเกอร์ปรี้นท์ (location fingerprint) ที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งวัตถุมากที่สุด งานวิจัยที่อยู่ในกลุ่มเทคนิคนี้ได้แก่ Ali and Hassan (2011), Alsehly et al. (2011), Bal et al. (2010), Gansemer et al. (2010), Kodippili and Dias (2010), Wang et al. (2010) เป็นต้น กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มเทคนิค proximity เป็นกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งโดยอาศัยคุณสมบัติของสัญลักษณ์ (symbolic) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตำแหน่ง เมื่อโนดวัตถุเคลื่อนที่เข้าไปใกล้กับตำแหน่งของโนดอ้างอิง ที่โนดวัตถุจะสามารถตรวจจับสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากโนดอ้างอิงได้ จากนั้นจะทำการระบุตำแหน่งวัตถุจากการพิจารณาพิสัยของโนดอ้างอิงเป็นพิสัยของวัตถุสำหรับกรณีที่โนดวัตถุสามารถรับค่าสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้มากกว่าสองโนด จะใช้วิธีการพิจารณาค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงที่แรงที่สุด และพิสัยของโนดอ้างอิงดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็นพิสัยของวัตถุ งานวิจัยที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ Young and Kavehrad (2012) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกกลุ่มงานวิจัยจากขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองได้ 4 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 พื้นที่การทดลองขนาดเล็ก ซึ่งมีพื้นที่สำหรับระบุตำแหน่งภายใน 200 ตารางเมตร เช่น งานวิจัยของ Bal et al. (2010) เป็นต้น ประเภทที่ 2 พื้นที่การทดลองขนาดกลาง ซึ่งมีพื้นที่ระบุตำแหน่งในช่วง 200 ตารางเมตร ถึง 1,500 ตารางเมตร ได้แก่ งานวิจัยของ Ali and Hassan (2011), Kodippili and Dias (2010) เป็นต้น ประเภทที่ 3 พื้นที่การทดลองขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่ระบุตำแหน่งมากกว่า 1,500 ตารางเมตรขึ้นไป เช่น งานวิจัยของ Kim et al. (2013), Young and Kavehrad (2012) และประเภทที่ 4 พื้นที่การทดลองแบบหลายชั้น เช่น งานวิจัยของ Alsehly et al. (2011), Gansemer et al. (2010), Wang et al. (2010) เป็นต้น

2.4 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารมีหลายประเภทด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (WLAN) ได้แก่ งานวิจัยของ Alsehly et al. (2011), Al-Ahmadi et al. (2011), Esposito et al. (2009), Gansemmer et al. (2010), Kaemarungsi (2005), Kaemarungsi and Krishnamurthy (2004), Kodippili and Dias (2010), Mazuelas et al. (2009), Ruppel et al. (2010), Wang et al. (2010) เป็นต้น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเทคโนโลยีประเภทนี้จะถูกติดตั้งและใช้งานอยู่แล้วภายในอาคารทั่วไป ซึ่งแต่ละงานวิจัยอาจมีการเลือกใช้ช่วงความถี่ และอัตราการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับมาตรฐานที่เลือกใช้ใช้งาน เช่น อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้งานในช่วงความถี่ 5 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 54 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 11 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 54 Mbps อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11n ใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 300 Mbps เป็นต้น

นอกจากเทคโนโลยีข้างต้นแล้ว เทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและสามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์คือ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ซึ่งมีคุณสมบัติการตรวจจับค่าทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำงานในช่วงความถี่ 2.4 GHz และมีอัตราการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 250 kbps ได้แก่ งานวิจัยของ Ali and Hassan (2011), Bal et al. (2010), Fang et al. (2012), Hung et al. (2010), Khauphung et al. (2008), Kuflik et al. (2012), Larranaga et al. (2010) เป็นต้น

เมื่อไม่นานมานี้ ได้มีงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีในรูปแบบอื่นมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร เช่น งานวิจัยของ Kim et al. (2013) และ Yong and Kavehrad (2012) ได้ใช้การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้ (VLC) ในการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยกระบวนการทำงานของเทคโนโลยีประเภทนี้ จะมีการมอดูเลตสัญญาณแสงจากหลอดไฟ LED (ทำหน้าที่เป็น โนดอ้างอิง) เพื่อกำหนดค่า ID ให้กับหลอดไฟ LED แต่ละดวง แทนการใช้ค่า MAC address ของโนดอ้างอิงในระบบระบุตำแหน่งวัตถุในแบบทั่วไป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไม่เพียงแต่เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายตามมาตรฐานต่าง ๆ เท่านั้นที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร แต่การใช้เทคโนโลยีชนิดอื่น ๆ เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุ ก็เป็นอีกหนึ่งแนวคิดของระบบระบุตำแหน่งวัตถุในปัจจุบัน

2.5 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะ (performance) ของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ โดยค่าสมรรถนะของการระบุตำแหน่งของปริทัศน์วรรณกรรมมีดังนี้

2.5.1 Accuracy

สมรรถนะความถูกต้อง หรือ การบอกระยะความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งวัตถุจริง และตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการคำนวณ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร หรือฟุต โดยงานวิจัยส่วนมากจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ด้วยการคิดค้นหรือพัฒนาเทคนิคระบุตำแหน่งที่สามารถระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารได้อย่างถูกต้อง หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารที่มีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งที่ดีมาก ๆ มักจะมี tradeoff ระหว่างสมรรถนะความถูกต้องกับสมรรถนะชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น ความเหมาะสมหรือสมรรถนะที่ยอมรับได้ ระหว่างสมรรถนะความถูกต้องและสมรรถนะความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป) เป็นต้น

2.5.2 Precision

สมรรถนะความแม่นยำ หรือความเที่ยงตรง จะเป็นค่าที่รายงานช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) หรือเปอร์เซ็นต์ของการระบุตำแหน่งที่จะประสบผลสำเร็จ ซึ่งจะใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบระบุตำแหน่งสองระบบ โดยจะพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน (Cumulative Distribution Function : CDF) ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งชนิด ก. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90 % ภายใน 3.5 เมตร กับระบบระบุตำแหน่งชนิด ข. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90 % ภายใน 5 เมตร ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแม่นยำของสองระบบนี้ ระบบระบุตำแหน่งที่ให้ความแม่นยำที่ดีกว่าคือ ระบบระบุตำแหน่งชนิด ก. (การระบุตำแหน่ง 90 ครั้งจาก 100 ครั้งของระบบระบุตำแหน่ง ก. จะมีค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งไม่เกิน 3.5 เมตร) เป็นต้น

2.5.3 Run-time complexity

ความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะบอกเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ภายในช่วงการระบุตำแหน่ง หรือระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุต่อหนึ่งตำแหน่ง ถ้าระบบระบุตำแหน่งวัตถุมีความซับซ้อนที่น้อย ระบบระบุตำแหน่งนั้นจะสามารถค้นหาตำแหน่งวัตถุได้รวดเร็วกว่าระบบระบุตำแหน่งที่มีความซับซ้อนมาก อีกทั้งการพิจารณาสมรรถนะความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังพิจารณาถึงฟังก์ชันการเติบโตทางเวลา (growth in run-time) ซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันที่ใช้อธิบายพฤติกรรมแนวโน้มการเติบโตทางเวลาของ

อัลกอริทึม ที่ช่วยให้เราสามารถประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งถ้าหากขนาด หรือจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบมีมากขึ้น

2.5.4 Robustness

ความทนทานของระบบระบุตำแหน่งจะพิจารณาจากระบบที่ยังคงสามารถทำงานได้อย่างมีสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำที่เพียงพอ หรือยอมรับได้ภายใต้การสถานการณ์ที่ข้่าแย้งหรือสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ซึ่งจะพิจารณาจากฟังก์ชันปกติ (function normally) หรือการทำงานได้อย่างปกติ ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ค. ติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 10 โหนดไว้ภายในอาคาร และที่ตำแหน่ง a. ในช่วงเวลาเช้าสามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ทั้ง 10 โหนด (เป็นสถานการณ์ปกติ) ถัดมาทำการวัดค่าความเข้มสัญญาณในช่วงเวลาบ่าย ณ ที่ตำแหน่งเดียวกันพบว่า ไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงตัวครบทั้ง 10 ตัว (เป็นสถานการณ์ไม่ปกติ) ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากโนดอ้างอิงเกิดความเสียหายขึ้น (เช่น งานวิจัยของ Khauphung et al., 2008) หรืออาจเกิดจากความแปรปรวนของค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในอาคาร (เช่น งานวิจัยของ Gansemer et al., 2010) ดังนั้นในการพิจารณาความทนทานของระบบนี้จะพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้องและสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของทั้งสองสถานการณ์ว่า สถานการณ์ที่ไม่ปกติจะยังคงสามารถให้ผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์ปกติมากน้อยเพียงใด เป็นต้น ซึ่งระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่มีสมรรถนะความทนทานที่ดี ระบบระบุตำแหน่งนั้นจะสามารถทำงานได้อย่างมีสมรรถนะ (ความถูกต้องและความแม่นยำ) ภายใต้ทุกสถานการณ์

2.5.5 Scalability

ความยืดหยุ่น หรือความสามารถในการปรับตัว (adaptability) เป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถของระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่มีพื้นที่การทดลองขนาดใหญ่ โดยปกติแล้วเมื่อระยะห่างระหว่างโนดอ้างอิงและโนดวัตถุมากขึ้น ค่าความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงจะมีค่าน้อยลง ดังนั้น ถ้าผู้ออกแบบระบบเลือกตำแหน่งติดตั้งของโนดอ้างอิงไม่เหมาะสมพอพื้นที่ภายในอาคารบางส่วนอาจไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ ส่งผลให้สมรรถนะความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งลดน้อยลง เช่น ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิค RSS-Based จะต้องสามารถวัดความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้อย่างน้อย 3 โหนด เป็นต้น หนึ่งในแนวทางการแก้ปัญหาคือ การพิจารณาเลือกตำแหน่งติดตั้งของโนดอ้างอิง เช่น งานวิจัยของ Esposito et al. (2009) ได้นำเสนอแนวทางในการเลือกจำนวนและตำแหน่งของโนดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำให้สัญญาณจากโนดอ้างอิงสามารถครอบคลุมได้ทั่วทั้งอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ ผู้ออกแบบระบบยังต้องคำนึงถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ

เช่น กำลังส่ง (transmit power) ชนิดของสายอากาศ และโครงสร้างภายในอาคาร (LOS, NLOS) เป็นต้น เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการระบุตำแหน่งให้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร

2.5.6 Cost

Cost ที่เกิดจากระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถมาจาก cost ที่เกิดจากโครงสร้างของระบบ cost ที่เกิดจากการเพิ่มแบนด์วิดท์ (bandwidth) หรืออาจหมายถึง cost ในแง่ของเวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ การสำรวจพื้นที่ และการเก็บรวบรวมข้อมูล ถ้าหากระบบระบุตำแหน่งใดสามารถนำเทคโนโลยีรับส่งสัญญาณไร้สายที่ถูกติดตั้งอยู่แล้วภายในอาคารมาใช้งานได้ ระบบระบุตำแหน่งนั้นจะสามารถประหยัด cost ที่มาจากโครงสร้างของระบบ และ cost ที่มาจากการเพิ่มแบนด์วิดท์ได้ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kaemarungsi (2005) ได้ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ที่มีอยู่ภายในอาคาร ซึ่งนอกจากจะใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณข้อมูลแล้ว มันยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุได้อีกด้วย หรืองานวิจัย Wang et al. (2010) ได้นำเสนอวิธีการลดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณเพื่อใช้สร้างพิกัดฟังก์ชันปริ้นท์ในช่วงออฟไลน์เฟส ซึ่งเป็นการช่วยลด cost ในแง่ของเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นต้น นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Ali and Hassan (2011) ยังได้พิจารณา cost ในแง่ของราคาค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ต่อหน่วย และพิจารณา cost ในแง่ของการบริโภคพลังงาน (power consumption) ต่อวัน เพื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในต่อปี

บทที่ 3

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

สิ่งที่สำคัญของการให้บริการใด ๆ ก็คือ ความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งผู้ให้บริการจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้บริการ เช่นเดียวกับการให้บริการการค้นหาตำแหน่งของวัตถุหรือติดตามตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารจำเป็นต้องมีคุณภาพในการให้บริการที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุหรือตำแหน่งของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (performance) ซึ่งประกอบไปด้วยความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) อีกทั้งยังต้องสามารถรองรับการให้บริการในพื้นที่ที่มีลักษณะทั่วไปได้ เช่น ในอาคารที่มีหลายชั้น (multi-floor building) เป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญของการให้บริการติดตามตำแหน่งวัตถุ

จากปัจจัยดังกล่าว สิ่งสำคัญที่ผู้พัฒนาระบบควรคำนึงถึงในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งคือ เทคนิคหรือวิธีการที่ใช้สำหรับระบุตำแหน่งของวัตถุ รวมทั้งการเลือกใช้พารามิเตอร์ของระบบ เช่น ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (temperature) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม (relative humidity) เป็นต้น เพื่อจะทำให้ระบบระบุตำแหน่งสามารถบอกตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสามารถค้นหาตำแหน่งวัตถุได้อย่างรวดเร็ว สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับแนวคิดระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 3.1 แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น หัวข้อ 3.2 แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน หัวข้อ 3.3 กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน หัวข้อ 3.4 กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุของวิทยานิพนธ์นี้

3.1 แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น

สำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่มีลักษณะ โครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่งนั้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น ในด้านอุตสาหกรรม ทางด้านการทหาร ทางด้านการขนส่ง และด้านการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น โดยสามารถแบ่งระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารออกเป็น 3 ประเภทคือ ระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว (single plane) ระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ (3 Dimension) และระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น (multi-floor building) ในปัจจุบันงานวิจัยส่วนมากจะมุ่งเน้นไปที่การค้นคว้าและการวิจัยระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารประเภทแรก คือระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว เช่น งานวิจัยของ Hung et al. (2010) ได้พัฒนาระบบระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการจับคู่ครอสซีสัญญาณ (Signal Index Pair : SIP) ซึ่งเป็นวิธีการเลือกค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และใช้การประมาณตำแหน่งด้วยวิธีการหาค่าตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน (K-Nearest Neighbor method : KNN method) ซึ่งเป็นเทคนิคที่อยู่ในกลุ่มการวิเคราะห์เหตุการณ์หรือที่เรียกว่า กลุ่มเทคนิค scene analysis ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยมีการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ในช่วงออฟไลน์เฟส (offline phase) ก่อนจะระบุตำแหน่งของเป้าหมายที่อยู่ในพื้นที่ระนาบเดียวในช่วงออนไลน์เฟส (online phase) สำหรับระบบระบุตำแหน่งประเภทที่สองคือ ระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ ในงานวิจัยประเภทนี้ส่วนมากจะไม่มีทดลองในพื้นที่จริงและจะใช้โปรแกรมจำลอง (simulator) จำลองพื้นที่บริเวณ 3 มิติแทนการทดลองในระบบจริง เช่น งานวิจัยของ Liang et al. (2006) ได้จำลองระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณ 3 มิติ โดยระบุพิกัดของเป้าหมายด้วยเทคนิคการวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Time Difference of Arrival : TDOA) ซึ่งเป็นเทคนิคในกลุ่มการใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตของตรีโกณมิติ หรือเรียกว่ากลุ่มเทคนิค triangulation

สำหรับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารประเภทที่สาม หรือการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้น ข้อมูลและการศึกษาค้นคว้าของงานวิจัยที่มีอยู่ในกลุ่มนี้มีเพียงเล็กน้อย อีกทั้งงานวิจัยที่มีอยู่ยังมีข้อจำกัด เช่น งานวิจัยของ Wang et al. (2010) ได้เสนอแนวทางในการลดการทำงานในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์ (location fingerprint) ในช่วงการสร้างฐานข้อมูล ด้วยวิธี co-embedding ที่จะไม่เก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณทุกชั้นของอาคาร โดยจะเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ในทุกพิกัดเพียงหนึ่งชั้น ในขณะที่การเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณในชั้นอื่น ๆ จะเก็บเพียงแค่บางจุด จากลักษณะการทำงานดังกล่าว ทำให้ระบบระบุตำแหน่งมีข้อจำกัดคือ โครงสร้างทางกายภาพของอาคารแต่ละชั้นต้องเหมือนกัน

ทั้งหมด ถ้าหากโครงสร้างของอาคารแต่ละชั้นแตกต่างกันจะส่งผลให้ระบบระบุตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเทคนิคนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอาคารแบบทั่วไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคาร ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งวัตถุที่อยู่ในพื้นที่ระนาบเดียว และในอาคารที่มีหลายชั้นได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้กับอาคารหลายชั้นที่มีลักษณะ โครงสร้างของอาคารในแต่ละชั้นแตกต่างกันได้ ตัวอย่างของลักษณะโครงสร้างอาคาร เช่น ในอาคารที่มีชั้นล่างสุดเป็นลานจอดรถ และมีชั้นถัดขึ้นไปเป็นห้องทำงาน

3.2 แนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้เทคนิคแบบผสม

ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

หลังจากที่ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า เทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารมีข้อดีแล้วข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น การระบุพิกัดของเป้าหมายโดยใช้เทคนิคการวัดค่ามุมที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Angle of Arrival : AOA) มีข้อดีคือไม่มีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลทำให้ประหยัดเวลาในการทำงาน แต่ความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับค่ามุมที่สัญญาณเดินทางมาถึง (Wong et al., 2008) ดังนั้นระบบระบุตำแหน่งนี้จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่สามารถวัดค่ามุมได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายมีความซับซ้อน ราคาแพง มีขนาดใหญ่ และต้องมีความสามารถในการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ในขณะที่การระบุพิกัดของเป้าหมายโดยใช้วิธีการหาดำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน (Lin and Lin, 2005) ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสที่เป็นขั้นตอนในการเตรียมงานก่อนจะระบุตำแหน่งวัตถุ ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณเพื่อนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูล ทำให้ขั้นตอนนี้ต้องใช้ระยะเวลาที่นาน แต่ข้อดีของระบบระบุตำแหน่งนี้คือ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความซับซ้อน ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1 (Bluetooth) ที่มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา ราคาถูก และมีความสามารถในการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ

นอกจากเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุที่มีผลต่อการเลือกใช้ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายแล้ว พารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าระบบระบุตำแหน่งวัตถุมีการใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ และใช้ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็นพารามิเตอร์ของระบบ ผู้พัฒนาระบบจะต้องพิจารณาเลือกใช้ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่สามารถวัดค่าความเข้มของสัญญาณและมีความสามารถในการตรวจจับค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยเหตุนี้ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่นิยมใช้กับระบบระบุตำแหน่งในปัจจุบัน เช่น อุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน

IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network : WLAN) จึงไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับระบบระบบตำแหน่งนี้ เนื่องจากอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นเพื่อให้ระบบระบบตำแหน่งวัตถุภายในอาคารสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่เลือกใช้จะต้องมีความสอดคล้องกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง และยังคงสอดคล้องกับเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งอีกด้วย

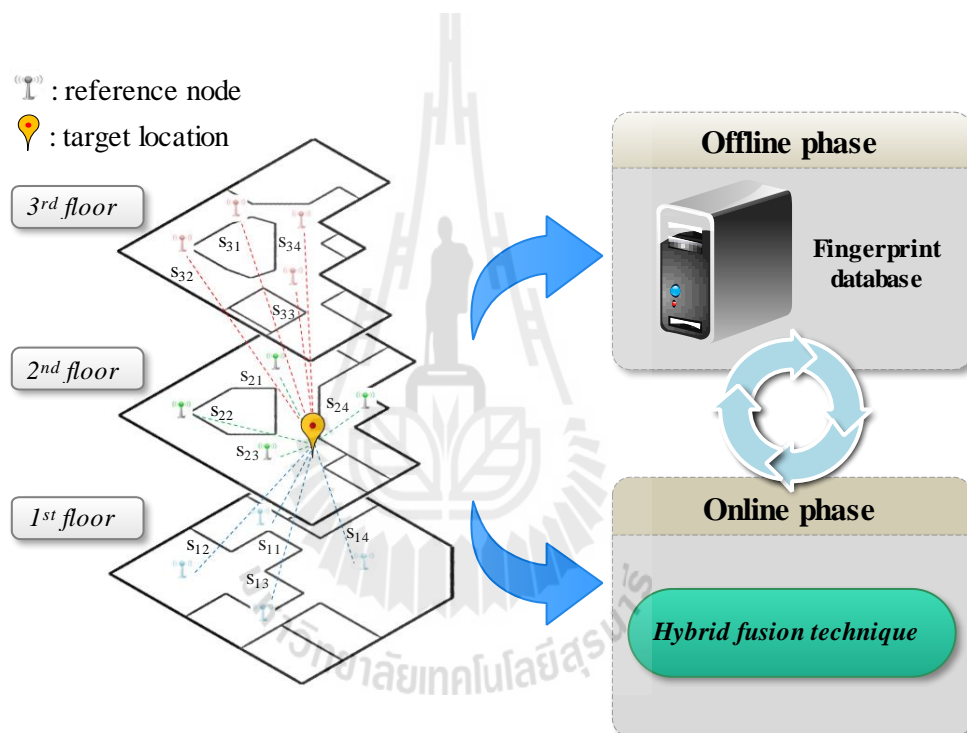
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ที่ใช้งานในย่านความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (Industrial Sciences Medicine band : ISM band) 2.4 GHz มีอัตราการรับส่งข้อมูล 250 kbps ระยะทำการภายในอาคารสูงสุดประมาณ 70 เมตร มีน้ำหนักเบา ใช้พลังงานต่ำ สามารถสร้างการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้สูงสุด 255 อุปกรณ์ต่อหนึ่งเครือข่าย และมีคุณสมบัติการวัดค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ หรือตัวชี้บ่งคุณภาพการเชื่อมโยง (Link Quality Indicator : LQI) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุ อีกทั้งยังสามารถตรวจจับข้อมูลทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เสียง และแสง เป็นต้น (IEEE std., 2011; Salman et al., 2010) ซึ่งจากปัจจัยสำคัญดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุให้งานวิจัยนี้เลือกใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เพื่อนำมาพัฒนาเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ในการระบุตำแหน่งร่วมกันคือ ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ที่สามารถใช้ได้กับพื้นที่ระนาบเดียว และในอาคารหลายชั้น

3.3 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายรายละเอียดการทำงานของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น ซึ่งระบบนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งอ้างอิงอยู่ภายในส่วนต่าง ๆ ของอาคารเรียกว่า โหนดอ้างอิง (reference node : RN) จุดวงกลมสี่เหลี่ยมแทนตำแหน่งวัตถุหรือที่เรียกว่า โหนดวัตถุ (target node) โดยที่เส้นประแต่ละสีแสดงเส้นทางการรับส่งข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณจากโหนดอ้างอิงในแต่ละชั้น สำหรับงานวิจัยนี้จะแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนออฟไลน์เฟส และขั้นตอนออนไลน์เฟส สำหรับในช่วงออฟไลน์เฟสจะมีการกำหนดตำแหน่งฟังก์ชันปริ้นท์ที่ใช้สำหรับวัดข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบที่ประกอบด้วย ค่าความเข้ม

สัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลฟีดแบ็กเกอร์ปริ้นท์ ถัดมาในช่วงออนไลน์เฟสหรือช่วงการระบุตำแหน่งวัตถุที่ตำแหน่งวัตถุจะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ระบบและส่งต่อไปยังเทคนิคระบุตำแหน่งที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ชื่อว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ซึ่งเทคนิคนี้จะมีการนำฐานข้อมูลฟีดแบ็กเกอร์ปริ้นท์ที่ถูกสร้างไว้ก่อนหน้ามาร่วมพิจารณากับการระบุตำแหน่งของวัตถุด้วย

สำหรับหัวข้อ โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 3.3.1 หลักการทำงานของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน หัวข้อที่ 3.3.2 การทำงานในขั้นตอนออฟไลน์เฟส และหัวข้อ 3.3.3 การทำงานในขั้นตอนออนไลน์เฟส



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกัน

3.3.1 หลักการทำงานของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

ในหัวข้อนี้จะอธิบายภาพรวมของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ประกอบด้วยหัวข้อย่อย 3.3.1.1 แนวคิดของเทคนิคแบบผสม และหัวข้อย่อย 3.3.1.2 การประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อมในการหาตำแหน่งวัตถุ

ตารางที่ 3.1 แสดงคำนิยามของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้พัฒนาขึ้น
ในงานวิจัยนี้

ตัวแปร	คำนิยาม
x_o	คือ พิกัด x ของโนควัตถุ (เมตร)
y_o	คือ พิกัด y ของโนควัตถุ (เมตร)
z_o	คือ ชั้นอาคารของโนควัตถุ
x_i	คือ พิกัด x ของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i (เมตร)
y_i	คือ พิกัด y ของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i (เมตร)
z_i	คือ ชั้นอาคารของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i
$Q(\alpha\%)$	คือ เปอร์เซ็นไทล์ไทล์ของข้อมูลที่ α เปอร์เซ็นต์
α	คือ ค่าควอนไทล์ หรือค่าที่แสดงตำแหน่งของข้อมูล
F_i	คือ ตำแหน่งของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i
Ω_i	คือ เวกเตอร์ของความเข้มสัญญาณที่ฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากโนควัตถุที่ตั้งอยู่ในชั้น 1 ถึง ϕ
R_f^i	คือ เวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากชั้น f
r_{fn}^i	คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากโนควัตถุ n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f (dBm)
Ω_o	คือ เวกเตอร์ของความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนควัตถุที่ตั้งอยู่ในชั้น 1 ถึง ϕ
S_f	คือ เวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากชั้น f
s_{fn}	คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนควัตถุ n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f (dBm)
T_o	คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งวัตถุ ($^{\circ}\text{C}$)
T_i	คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i ($^{\circ}\text{C}$)
H_o	คือ ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งวัตถุ (%)
H_i	คือ ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i (%)
L_o	คือ ระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งวัตถุ
L_i	คือ ระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i
N	คือ จำนวนของโนควัตถุทั้งหมดในแต่ละชั้น

ตารางที่ 3.1 แสดงคำนิยามของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ได้พัฒนาขึ้น
ในงานวิจัยนี้ (ต่อ)

ตัวแปร	คำนิยาม
ϕ	คือ จำนวนของชั้นอาคารทั้งหมดที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่ง (floor)
g	คือ ระยะห่างของตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ (grid spacing) (เมตร)
M	คือ จำนวนข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมดในฐานข้อมูล
M_2	คือ จำนวนข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น
M_1	คือ จำนวนข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ
$\Phi(\Lambda_j)$	คือ ช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของชั้นอาคาร f
γ_f^T	คือ ผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของการวัดครั้งที่ T ของโนคอ้างอิงทุกตัวที่อยู่บนชั้น f (dBm)
ρ_{fn}^T	คือ ค่าความเข้มสัญญาณของการวัดครั้งที่ T ที่รับได้จากโนคอ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f (dBm)
Γ	คือ จำนวนการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบ
η	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลผลรวมความเข้มสัญญาณ (dBm)
σ^2	คือ ค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูล (dBm)
μ	คือ ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในช่วงความเชื่อมั่น
β	คือ ความน่าจะเป็นที่จะประมาณช่วงชุดข้อมูลผิดพลาด
d_j	คือ ค่าระยะห่างยูคลิเดียนของฟังก์เจอร์ปริ้นท์ j
δ_u	คือ ค่าระยะห่างยูคลิเดียนน้อยที่สุดลำดับที่ u
k	คือ จำนวนตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด
w_u	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดลำดับที่ u

3.3.1.1 แนวคิดของเทคนิคแบบผสม

ในหัวข้อนี้จะอธิบายกระบวนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งประเภทของเทคนิคที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มเทคนิค triangulation กลุ่มเทคนิค scene analysis และกลุ่มเทคนิค proximity ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งเป็นการผสม

ระหว่างกลุ่มเทคนิค proximity และกลุ่มเทคนิค scene analysis เพื่อระบุตำแหน่งวัตถุที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้น โดยการทำงานของระบบระบุตำแหน่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทำงานคือ ช่วงออฟไลน์เฟสและช่วงออนไลน์เฟส สำหรับในช่วงออฟไลน์เฟสจะเป็นช่วงเตรียมการ โดยจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างเป็นฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ ถัดมาในช่วงออนไลน์เฟสจะเป็นช่วงที่ดำเนินการค้นหาตำแหน่งของวัตถุ ในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคระบุตำแหน่งที่ได้พัฒนาขึ้นซึ่งให้ชื่อว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการระบุตำแหน่งประกอบไปด้วย ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งขั้นตอนการทำงานของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การกำหนดค่าตัวแปร การระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ (z) และการระบุพิกัดของวัตถุ (x, y) สำหรับในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร จะทำหน้าที่กำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ และมีการแบ่งระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป) จากนั้นในขั้นตอนการระบุชั้นจะใช้เทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm โดยจะพิจารณาถึงช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) ของผลรวมความเข้มสัญญาณที่รับได้จาก โหนดอ้างอิงในแต่ละชั้น และจะเลือกชั้นที่มีช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณมากที่สุดเป็นชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ (z_0) ซึ่งจัดอยู่ในลักษณะการทำงานของกลุ่มเทคนิค proximity ที่ระบุตำแหน่งวัตถุจากตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่ให้ค่าความเข้มสัญญาณแรงที่สุด ขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนการระบุพิกัดของวัตถุ (x_0, y_0) โดยสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 4 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้น (floor-filter) กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ (temperature level-filter) กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน (calculation euclidean distance) และกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน (calculation Weighted K-Nearest Neighbor : WKNN) สุดท้ายจะได้ตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารแบบหลายชั้น (x_0, y_0, z_0) ซึ่งการทำงานของขั้นตอนนี้จัดอยู่ในลักษณะการทำงานของกลุ่มเทคนิค scene analysis ที่จะระบุตำแหน่งวัตถุโดยอาศัยการวิเคราะห์เหตุการณ์ก่อนที่จะใช้เทคนิคการจดจำรูปแบบ (pattern recognition technique) ระบุพิกัดของวัตถุในช่วงออนไลน์เฟส

3.3.1.2 การประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อม

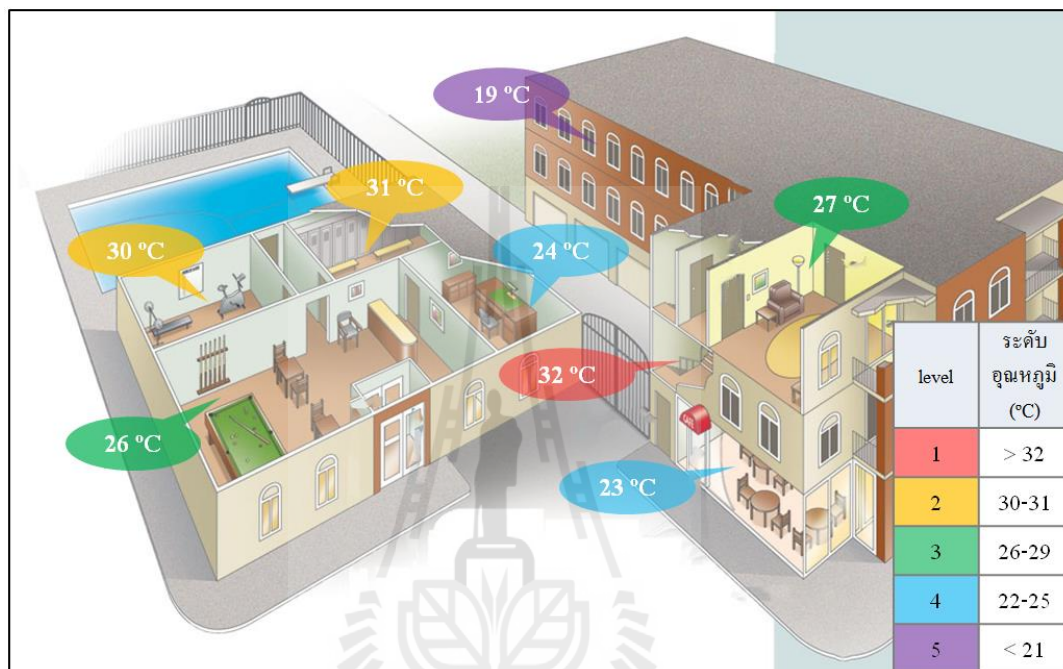
ในงานวิจัยนี้ได้นำพารามิเตอร์ของระบบซึ่งประกอบด้วยค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาพิจารณาร่วมกับการใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงที่อยู่ภายในพื้นที่การทดลอง เพื่อพัฒนาระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นให้มีสมรรถนะมากยิ่งขึ้น สำหรับค่านิยามของพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สามารถอธิบายได้ดังนี้

- อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (temperature) หมายถึง ระดับความร้อนหรือระดับความเย็นที่สามารถบอกค่าได้เป็นตัวเลขที่แน่นอน มีหน่วยเป็นเคลวิน (Kelvin : K) หรือ องศาเซลเซียส (degree Celsius : °C) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้หน่วยขององศาเซลเซียส
- ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity : RH) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้น (หรือไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นสามารถรองรับได้ ณ อุณหภูมิที่เดียวกัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของการแบ่งระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของอาคารทั่วไป จะสังเกตได้ว่าค่าอุณหภูมิของแต่ละห้องมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากสภาพแวดล้อมของแต่ละห้องมีความแตกต่างกัน จากรูปที่ 3.2 สามารถแบ่งระดับอุณหภูมิได้ 5 ระดับคือ ระดับอุณหภูมิที่ 1 (แทนด้วยสีแดง) สำหรับพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิมากกว่า 32 องศาเซลเซียส พื้นที่เหล่านั้นได้แก่ ส่วนที่เป็นบันได คาดฟ้า ระเบียงตึกหรือทางเดินเชื่อมตึก รวมทั้งบริเวณที่เป็นลานจอดรถ เป็นต้น ระดับอุณหภูมิที่ 2 (แทนด้วยสีเหลือง) เป็นพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิในช่วง 30 ถึง 31 องศาเซลเซียส ได้แก่ ห้องออกกำลังกาย ห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า และห้องเก็บครุภัณฑ์ เป็นต้น ถัดมาระดับอุณหภูมิที่ 3 (แทนด้วยสีเขียว) เป็นพื้นที่ที่มีระดับอุณหภูมิปานกลางมีค่าอุณหภูมิในช่วง 26 ถึง 29 องศาเซลเซียส อาทิเช่น ห้องนั่งเล่น ห้องรับแขก มุมอ่านหนังสือ ห้องโถง ห้องครัว และห้องนอน เป็นต้น สำหรับระดับอุณหภูมิที่ 4 (แทนด้วยสีฟ้า) เป็นพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิในช่วง 22 ถึง 25 องศาเซลเซียส ได้แก่ ห้องทำงาน ห้องรับประทานอาหาร และห้องประชุม เป็นต้น และสุดท้ายระดับอุณหภูมิที่ 5 (แทนด้วยสีม่วง) เป็นพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมिन้อยกว่า 21 องศาเซลเซียส ได้แก่ ห้องเซิร์ฟเวอร์ และห้องปั๊มเพาะ เป็นต้น

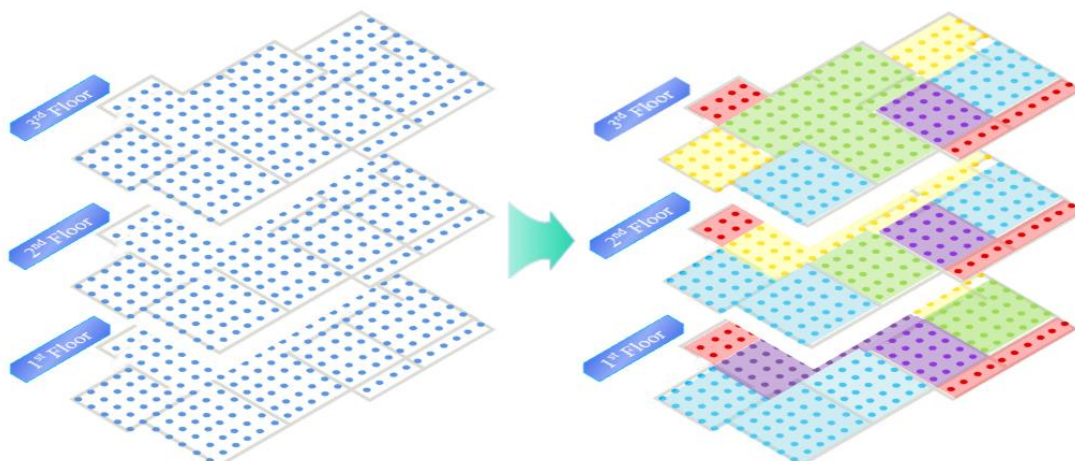
จากตัวอย่างข้างต้นเป็นแนวคิดของการนำค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้งานกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุ เพื่อจำแนกและแบ่งพื้นที่ของสิ่งแวดล้อมที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน อย่างไรก็ตามการใช้ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถจัดระดับของสิ่งแวดล้อมได้ทุกสถานการณ์ ตัวอย่างเช่น สภาพภูมิอากาศของวันปรกติจะสามารถวัดค่าอุณหภูมิของพื้นที่ที่อยู่ภายในห้องแอร์ได้ประมาณ 22 ถึง 25 องศาเซลเซียส (จัดอยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 4) แต่ถ้าหากสภาพภูมิอากาศเกิดความแปรปรวน อาทิเช่น ค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของวันนั้นสูงขึ้นกว่าวันอื่น ๆ ในรอบสัปดาห์ ส่งผลให้พื้นที่ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าปรกติ ดังนั้นการใช้ค่าอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ วิธีการแก้ปัญหาคือการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของงานวิจัยนี้คือ การนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผลการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมที่เก็บบันทึกได้จากการทดลอง (ซึ่งจะ

กล่าวในบทที่ 5.1.4) พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์จะแปรผันตามสภาพภูมิอากาศของสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าค่าอุณหภูมิ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าความชื้นสัมพัทธ์มาใช้ร่วมกับค่าอุณหภูมิสำหรับการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ปัญหาความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และทำให้ระบบสามารถจำแนกระดับอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันได้



รูปที่ 3.2 แนวคิดการแบ่งระดับอุณหภูมิด้วยข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

พิจารณารูปที่ 3.3 แสดงแนวคิดของการนำค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาใช้ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนซ์ จากแผนภาพชั้นอาคารทางด้านซ้ายมือ จุดสีฟ้าแต่ละจุดหมายถึงฟิงเกอร์ปรีนซ์ที่อยู่ภายในอาคารขนาด 3 ชั้น โดยในแต่ละฟิงค์จะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จาก โนคอ้างอิง ซึ่งเป็นรูปแบบการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนซ์ของงานวิจัยทั่วไป แต่สำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนซ์ของงานวิจัยนี้ แต่ละฟิงค์จะมีการวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ด้วย เพื่อใช้สำหรับการจำแนกพื้นที่ของสิ่งแวดล้อมที่มีคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้แนวคิดของการแบ่งระดับอุณหภูมิที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นแต่ละฟิงค์ฟิงเกอร์ปรีนซ์จะสามารถจำแนกด้วยระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ซึ่งแทนด้วยสีที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้ดังแผนภาพชั้นอาคารในรูปที่ 3.3 ทางด้านขวามือ



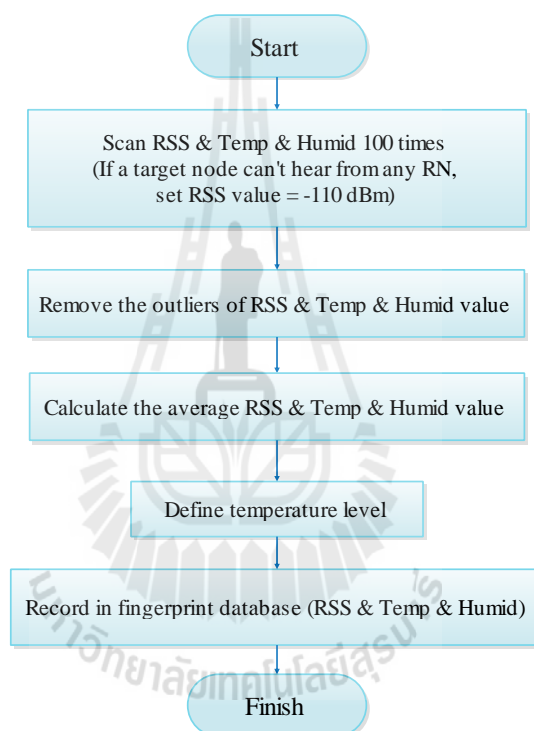
รูปที่ 3.3 แนวคิดของการนำข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม มาใช้ร่วมกับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์

3.3.2 การทำงานในขั้นตอนออฟไลน์เฟส

ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสจะเป็นขั้นตอนในการเตรียมงานก่อนจะระบุตำแหน่งวัตถุ โดยจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อมที่ประกอบด้วย ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลที่เรียกว่า ฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการกำหนดตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ (location fingerprint) ที่ใช้สำหรับวัดข้อมูลพารามิเตอร์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งนั้น ๆ ซึ่งพิกัดหรือตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์จะถูกกำหนดให้มีระยะห่างแต่ละพิกัดเท่ากัน เรียกระยะดังกล่าวว่า ระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ (grid spacing) ในงานวิจัยของ Kaemarungsi (2005) เป็นงานวิจัยที่พิจารณาการระบุตำแหน่งวัตถุภายในบริเวณระนาบเดียว ซึ่งได้มีการทดลองเลือกใช้ระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ซึ่งพบว่า ถ้าระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ $g > 1.25$ เมตร จะทำให้ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์มากเกินไปจะทำให้ความถูกต้องของการระบุตำแหน่งลดลง และงานวิจัยดังกล่าวยังให้แนวทางในการเลือกจำนวนของโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในอาคารว่า ถ้าหากจำนวนของโนดอ้างอิงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 โหนด ($N \geq 4$) จะส่งผลให้ระบบระบุตำแหน่งมีความถูกต้องและความแม่นยำเพิ่มขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงกำหนดระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ให้มีค่ามากกว่า 1.25 เมตร และในแต่ละชั้นจะทำการติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 4 โหนด

รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการทำงานในช่วงออฟไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้าง

ฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ ซึ่งจะมีการเก็บบันทึกค่าข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจำนวน 100 ครั้ง (ใช้เวลาประมาณ 5 นาทีต่อหนึ่งตำแหน่ง) ในการวัดค่าความเข้มสัญญาณจาก โหนดอ้างอิงแต่ละครั้ง ถ้าหาก โหนดวัดไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจาก โหนดอ้างอิงได้ สาเหตุอาจเกิดจาก โหนดอ้างอิงอยู่ไกลจาก โหนดวัดมาก หรือเส้นทางของการรับส่งสัญญาณอาจถูกบดบังจากสิ่งกีดขวางที่อยู่ภายในอาคาร เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจะกำหนดให้ความเข้มสัญญาณในการวัดครั้งนั้นมีค่าเท่ากับ -110 dBm หรืออีกความหมายคือ สัญญาณที่รับได้จาก โหนดอ้างอิงมีค่าอ่อนมาก



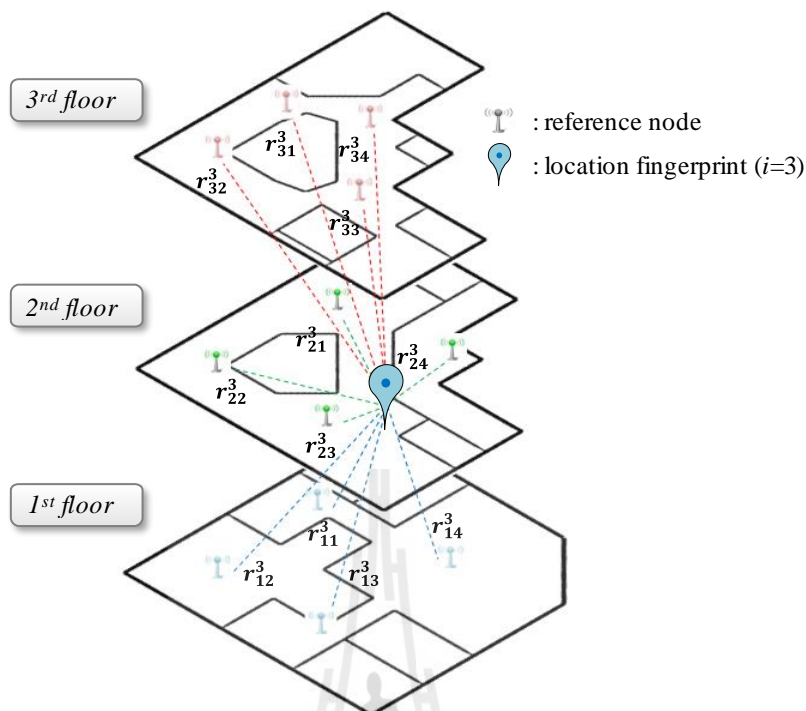
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานในช่วงออฟไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

เมื่อทำการวัดข้อมูลความเข้มสัญญาณ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ครบจำนวน 100 ครั้งแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการใช้กระบวนการกรองข้อมูล (data filter) เพื่อคัดเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลนั้น ๆ ให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จะกรองข้อมูลความเข้มของสัญญาณ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) เพื่อกำจัดค่าผิดปกติ (outliers) ของข้อมูล ถ้าหากข้อมูลความเข้มของสัญญาณ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมไม่อยู่ในช่วงขอบเขต

(bounds) ที่ได้กำหนดไว้ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกตัดทิ้ง สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้ 90 เปอร์เซนต์ไทล์ (90-percentile) เป็นขอบเขตสูงสุดของชุดข้อมูล และใช้ 10 เปอร์เซนต์ไทล์ (10-percentile) เป็นขอบเขตต่ำสุดของชุดข้อมูล ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (Jain, 1991) สมการที่ใช้คำนวณหาเปอร์เซนต์ไทล์แสดงดังสมการที่ 3.1 เมื่อ $Q(\alpha\%)$ หมายถึงเปอร์เซนต์ไทล์ของข้อมูลที่ α เปอร์เซนต์ และ num หมายถึงจำนวนข้อมูลของชุดข้อมูลนั้น ๆ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 100 และค่า α หมายถึง ค่าควอนไทล์ (quantiles) หรือค่าที่แสดงตำแหน่งของชุดข้อมูล

$$Q(\alpha\%) = \left[(num - 1) \left(\frac{\alpha}{100} \right) + 1 \right]^{th} \text{ element} \quad (3.1)$$

จากนั้นจะนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการกรองข้อมูลไปหาค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล และในขั้นตอนถัดมาจะทำการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยจะนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดของหัวข้อที่ 3.3.1.2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลระดับอุณหภูมิของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ (สำหรับตัวอย่างการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 5.1.4) จากนั้นจะเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ และสิ้นสุดกระบวนการในขั้นตอนออฟไลน์เฟส รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการวัดค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงที่อยู่ภายในอาคาร 3 ชั้น เมื่อวงกลมสีน้ำเงินแทนตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ 3 ($i=3$) โดยที่มีการติดตั้งโนดอ้างอิงในแต่ละชั้นจำนวน 4 โหนด เส้นประแต่ละเส้นแทนเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างโนดวัตถุและโนดอ้างอิง



รูปที่ 3.5 โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

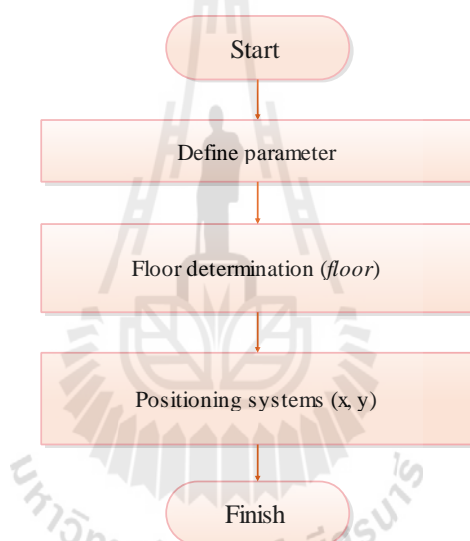
สำหรับฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์จะประกอบไปด้วย $\{F_1, F_2, \dots, F_p, \dots, F_m\}$ เมื่อ m หมายถึงจำนวนข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ โดยในแต่ละฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ F_i เป็นเวกเตอร์ของข้อมูลของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i ซึ่งประกอบไปด้วย $[x_i, y_i, z_i, T_i, H_i, L_i, \Omega_i]$ โดยที่ x_i หมายถึงพิกัด x ของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i ตัวแปร y_i หมายถึงพิกัด y ของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ i ตัวแปร z_i หมายถึงชั้นอาคารของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i ตัวแปร T_i หมายถึงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ตัวแปร H_i หมายถึงค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ตัวแปร L_i หมายถึงระดับของอุณหภูมิที่ได้จากการแบ่งระดับอุณหภูมิของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i และตัวแปร Ω_i คือเวกเตอร์ความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่ในชั้นที่ 1 ถึง ϕ ของอาคารที่พิจารณา โดยที่ $\Omega_i = [R_1^i, R_2^i, \dots, R_p^i, \dots, R_\phi^i]$ เมื่อ R_f^i คือเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่บนชั้น f โดยที่ $R_f^i = [r_{f1}^i, r_{f2}^i, \dots, r_{fn}^i, \dots, r_{fN}^i]$ เมื่อ r_{fn}^i หมายถึงค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับได้จากโนดอ้างอิง n ที่อยู่บนชั้น f เมื่อ N หมายถึงจำนวนโนดอ้างอิงทั้งหมดที่ติดตั้งในแต่ละชั้น และ ϕ หมายถึงจำนวนชั้นของอาคารที่ใช้ระบบระบุตำแหน่ง ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างฐานข้อมูลตำแหน่งฟังก์เจอร์ปรินท์ของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์
ของระบบร่วมกัน

ฟังก์เจอร์ปรินท์ F_i	ฟังก์เจอร์ x_i	ฟังก์เจอร์ y_i	ชั้น อาคาร z_i	ค่าเฉลี่ย อุณหภูมิ T_i (°C)	ค่าเฉลี่ย ความชื้น สัมพัทธ์ H_i (%)	ระดับ อุณหภูมิ L_i	เวกเตอร์ ค่าเฉลี่ย RSS R_f^i	ค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณที่ รับได้ r_{fj}^i (dBm)				
								$n=1$	$n=2$	$n=3$	...	$n=N$
1	x_1	y_1	z_1	T_1	H_1	L_1	R_1^1	r_{11}^1	r_{12}^1	r_{13}^1	...	r_{1N}^1
							R_2^1	r_{21}^1	r_{22}^1	r_{23}^1	...	r_{2N}^1
						
							R_ϕ^1	$r_{\phi 1}^1$	$r_{\phi 2}^1$	$r_{\phi 3}^1$	...	$r_{\phi N}^1$
2	x_2	y_2	z_2	T_2	H_2	L_2	R_1^2	r_{11}^2	r_{12}^2	r_{13}^2	...	r_{1N}^2
							R_2^2	r_{21}^2	r_{22}^2	r_{23}^2	...	r_{2N}^2
						
							R_ϕ^2	$r_{\phi 1}^2$	$r_{\phi 2}^2$	$r_{\phi 3}^2$	...	$r_{\phi N}^2$
...	
m	x_m	y_m	z_m	T_m	H_m	L_m	R_1^m	r_{11}^m	r_{12}^m	r_{13}^m	...	r_{1N}^m
							R_2^m	r_{21}^m	r_{22}^m	r_{23}^m	...	r_{2N}^m
						
							R_ϕ^m	$r_{\phi 1}^m$	$r_{\phi 2}^m$	$r_{\phi 3}^m$	...	$r_{\phi N}^m$

3.3.3 การทำงานในขั้นตอนออนไลน์เฟส

ในขั้นตอนออนไลน์เฟสจะเป็นขั้นตอนที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้น สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันที่ประกอบไปด้วย ค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม โดยการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร (define parameter) ขั้นตอนการระบุชั้น z_0 (floor determination) และขั้นตอนการระบุพิกัดวัตถุ x_0, y_0 (positioning system) สำหรับขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

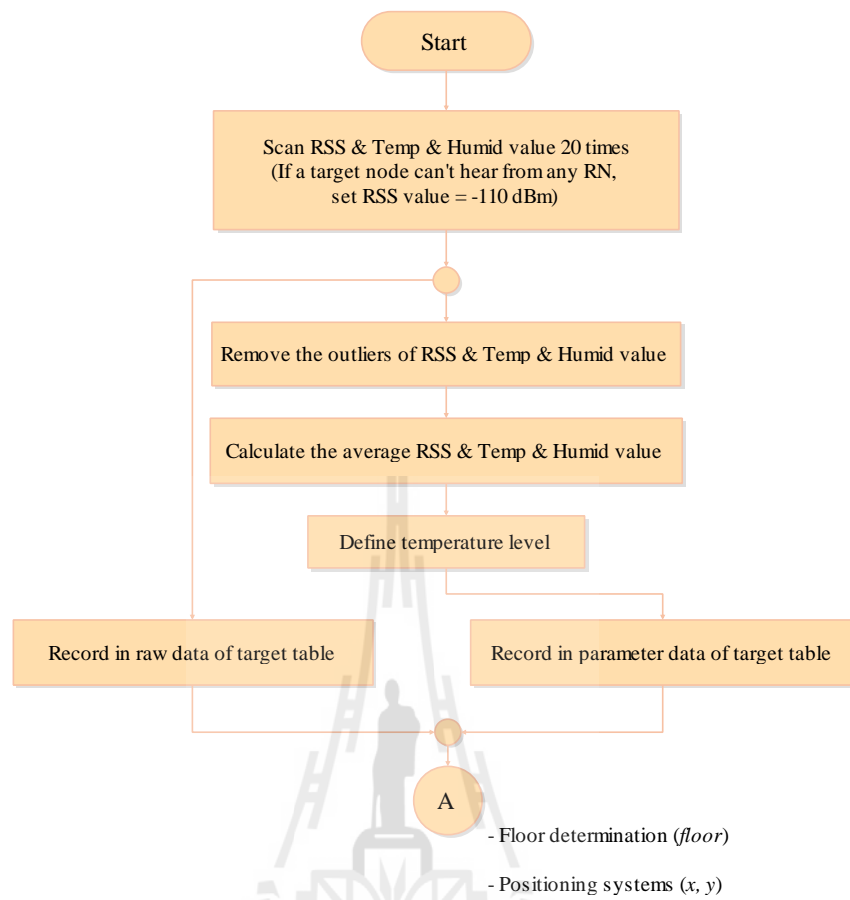


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

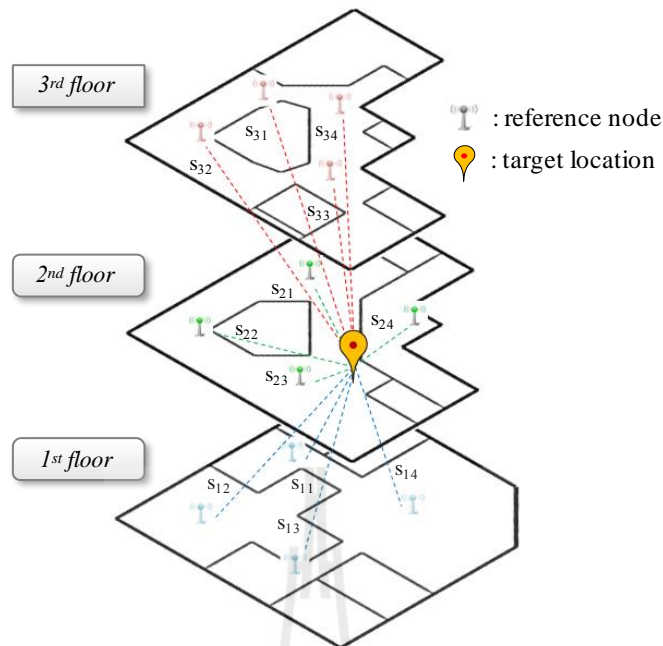
3.3.3.1 ขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปร

ขั้นตอนแรกในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันคือ ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร โดยในขั้นตอนนี้จะมีหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุ และมีหน้าที่จัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังมีหน้าที่ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ เช่น จำนวนโหนดอ้างอิงทั้งหมดในแต่ละชั้น (N) และจำนวนชั้นอาคารที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่ง (ϕ) เป็นต้น โดยรายละเอียดของขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเริ่มด้วยการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุ ซึ่ง

ประกอบด้วย ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลของตำแหน่งวัตถุ และใช้สำหรับป้อนเป็นอินพุตให้กับเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน โดยกำหนดให้ตำแหน่งวัตถุทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบจำนวน 20 ครั้ง (ประมาณ 1 นาที) ในการวัดค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงแต่ละครั้ง ถ้าหากโนดวัตถุไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ จะกำหนดให้ค่าความเข้มสัญญาณในการวัดครั้งนั้นมีค่าเท่ากับ -110 dBm สำหรับการทำงานในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรจะมีการสร้างตารางข้อมูลที่ตำแหน่งวัตถุสองชนิดคือ 1) ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ (raw data of target table) และ 2) ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ (parameter data of target table) โดยในตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ จะทำการเลือกเก็บบันทึกเฉพาะข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุวัดได้ในแต่ละครั้ง ขณะที่ตารางข้อมูลชนิดที่สองคือ ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุจะนำข้อมูลพารามิเตอร์ทั้งหมดที่วัดได้ในแต่ละครั้งซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ไปดำเนินการในกระบวนการกรองข้อมูล โดยใช้ 90 เปอร์เซ็นต์ไทล์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ไทล์กำจัดค่าผิดปกติของข้อมูลออกเช่นเดียวกับการทำงานในขั้นตอนออฟไลน์เฟส (หัวข้อที่ 3.3.2) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการกรองข้อมูลไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล ถัดมาจะนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลอุณหภูมิ และค่าเฉลี่ยของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ไปจัดระดับของอุณหภูมิโดยใช้แนวคิดของการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในหัวข้อที่ 3.3.1.2 (จะกล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 5.1.4) เพื่อใช้เป็นข้อมูลระดับอุณหภูมิของตำแหน่งวัตถุ และเก็บบันทึกค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ลงในตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ ในรูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ณ ตำแหน่งวัตถุ เมื่อวงกลมสีเหลืองแทนตำแหน่งวัตถุ เส้นประแทนเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลของโนดวัตถุและโนดอ้างอิง



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม
ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน



รูปที่ 3.8 การวัดค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งวัตถุ

สำหรับตารางข้อมูลชนิดแรกของตำแหน่งวัตถุคือ ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ ซึ่งจะบันทึกค่าความเข้มของสัญญาณที่วัด ได้ในแต่ละครั้ง เมื่อ ρ_{fn}^T หมายถึงค่าความเข้มสัญญาณของการวัดครั้งที่ T ที่โนดวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f และกำหนดให้ Γ หมายถึงจำนวนครั้งของการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ระบบ (ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่า $\Gamma=20$) สุดท้ายจะได้ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุแสดงดังตารางที่ 3.3 ถัดมาตารางข้อมูลชนิดที่สองของตำแหน่งวัตถุคือ ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ ซึ่งจะประกอบไปด้วย $[T_o, H_o, L_o, \Omega_o]$ โดยที่ T_o หมายถึงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งวัตถุ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ตัวแปร H_o หมายถึงค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งวัตถุ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ตัวแปร L_o หมายถึงระดับของอุณหภูมิที่ได้จากการแบ่งระดับอุณหภูมิของตำแหน่งวัตถุ และตัวแปร Ω_o คือเวกเตอร์ของความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่ในชั้นที่ 1 ถึง ϕ ของอาคารที่พิจารณา โดยที่ $\Omega_o = [S_1, S_2, \dots, S_\phi]$ เมื่อ S_f คือเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ตำแหน่งวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่บนชั้น f โดยที่ $S_f = [s_{f1}, s_{f2}, \dots, s_{fn}, \dots, s_{fN}]$ เมื่อ s_{fn} หมายถึงค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุรับได้จาก โนดอ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f เมื่อ ϕ คือจำนวนชั้นของอาคารที่ใช้ระบบระบุตำแหน่ง และ N คือจำนวนโนดอ้างอิงทั้งหมดที่ติดตั้งในแต่ละชั้น สุดท้ายจะได้ข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบที่ตำแหน่งวัตถุแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างตารางข้อมูลคิบัติตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

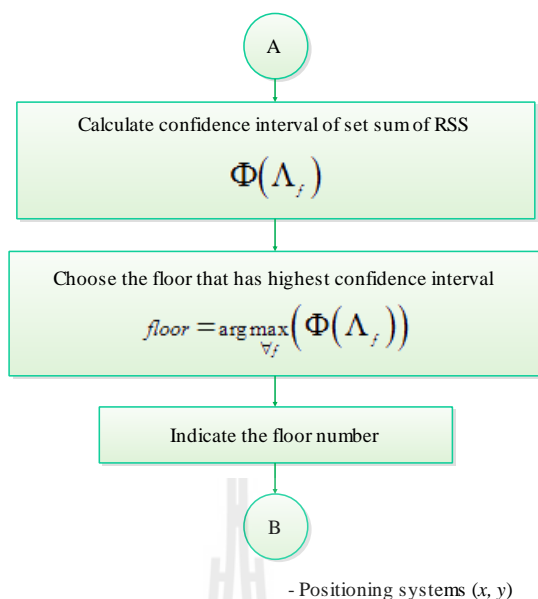
ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ρ_{fn}^r (dBm)													
floor	$f=1$				$f=2$				...	$f=\phi$			
scan	$n=1$	$n=2$	...	$n=N$	$n=1$	$n=2$	...	$n=N$	...	$n=1$	$n=2$	...	$n=N$
1	ρ_{11}^1	ρ_{12}^1	...	ρ_{1N}^1	ρ_{21}^1	ρ_{22}^1	...	ρ_{2N}^1	...	$\rho_{\phi 1}^1$	$\rho_{\phi 2}^1$	...	$\rho_{\phi N}^1$
2	ρ_{11}^2	ρ_{12}^2	...	ρ_{1N}^2	ρ_{21}^2	ρ_{22}^2	...	ρ_{2N}^2	...	$\rho_{\phi 1}^2$	$\rho_{\phi 2}^2$	...	$\rho_{\phi N}^2$
3	ρ_{11}^3	ρ_{12}^3	...	ρ_{1N}^3	ρ_{21}^3	ρ_{22}^3	...	ρ_{2N}^3	...	$\rho_{\phi 1}^3$	$\rho_{\phi 2}^3$	...	$\rho_{\phi N}^3$
...
Γ	ρ_{11}^Γ	ρ_{12}^Γ	...	ρ_{1N}^Γ	ρ_{21}^Γ	ρ_{22}^Γ	...	ρ_{2N}^Γ	...	$\rho_{\phi 1}^\Gamma$	$\rho_{\phi 2}^\Gamma$	...	$\rho_{\phi N}^\Gamma$

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางข้อมูลพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ T_o ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ H_o (%)	ระดับอุณหภูมิ L_o	เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย RSS S_f	ค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณที่รับได้ s_{fn} (dBm)				
				$n=1$	$n=2$	$n=3$	...	$n=N$
T_o	H_o	L_o	S_1	s_{11}	s_{12}	s_{13}	...	s_{1N}
			S_2	s_{21}	s_{22}	s_{23}	...	s_{2N}
		
			S_ϕ	$s_{\phi 1}$	$s_{\phi 2}$	$s_{\phi 3}$	...	$s_{\phi N}$

3.3.3.2 ขั้นตอนการระบุชั้น

ถัดมาขั้นตอนที่สองในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันคือ ขั้นตอนการระบุชั้นอาคาร (z_0) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีหน้าที่ในการระบุหมายเลขชั้นอาคารที่วัตถุตั้งอยู่ โดยใช้เทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ที่มีการใช้คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูล ซึ่งใช้ช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่โนด์ตัวรับได้จากโนด์อ้างอิงที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคาร รายละเอียดของขั้นตอนการระบุชั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 หลังจากที่ได้ดำเนินการในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือ ขั้นตอนการระบุชั้นอาคาร โดยจะเริ่มจากนำตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุที่ได้จากการทำงานในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร มาคำนวณหาผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของการวัดแต่ละครั้งที่รับได้จากโนด์อ้างอิงในแต่ละชั้น โดยจัดกลุ่มเป็นเซตข้อมูลของแต่ละชั้น โดยที่ Λ_f คือ เซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณในชั้น f ซึ่งมีสมาชิกเป็น $\{\mathcal{V}_f^1, \mathcal{V}_f^2, \dots, \mathcal{V}_f^T, \dots, \mathcal{V}_f^N\}$ เมื่อ \mathcal{V}_f^T คือ ผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของการวัดครั้งที่ T ของโนด์อ้างอิงทุกตัวที่อยู่บนชั้น f ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 เมื่อ $\rho_{f,n}^T$ หมายถึงค่าความเข้มสัญญาณของการวัดครั้งที่ T ที่รับได้จากโนด์อ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f เมื่อได้เซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณครบทุกชั้นแล้ว ถัดมาจะนำเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของแต่ละชั้นมาคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ $c\%$ โดยจะคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นสองด้าน (two-sided confidence interval) ซึ่งประกอบด้วยขีดจำกัดบน (upper limit) และขีดจำกัดล่าง (lower limit) ซึ่งใช้บอกโอกาสที่ค่ากลางของข้อมูลจะอยู่ในช่วงขอบเขตนี้ เมื่อ $\Phi(\Lambda_f)$ หมายถึงช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณในชั้น f และ N คือจำนวนโนด์อ้างอิงทั้งหมดที่ติดตั้งในแต่ละชั้น โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การแจกแจงของข้อมูลแบบที (t-distribution) เนื่องจากมีจำนวนของข้อมูลไม่เกิน 30 ค่า (กำหนดให้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์จำนวน 20 ครั้ง) ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณช่วงความเชื่อมั่นที่มีการแจกแจงแบบทีแสดงดังสมการที่ 3.3 เมื่อ η หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลผลรวมความเข้มสัญญาณ ตัวแปร β หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่จะประมาณช่วงชุดข้อมูลผิดพลาด ตัวแปร Γ หมายถึงจำนวนครั้งของการวัดข้อมูลความเข้มสัญญาณ ตัวแปร σ^2 หมายถึงค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูล และตัวแปร μ หมายถึง ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในช่วงความเชื่อมั่น โดยที่ $t_{p, \Gamma}$ สามารถหาได้จากการคำนวณควอนไทล์ของการแจกแจงแบบทีที่มีความน่าจะเป็น P เมื่อมีจำนวนข้อมูล Γ



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการระบุชั้นของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม
ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

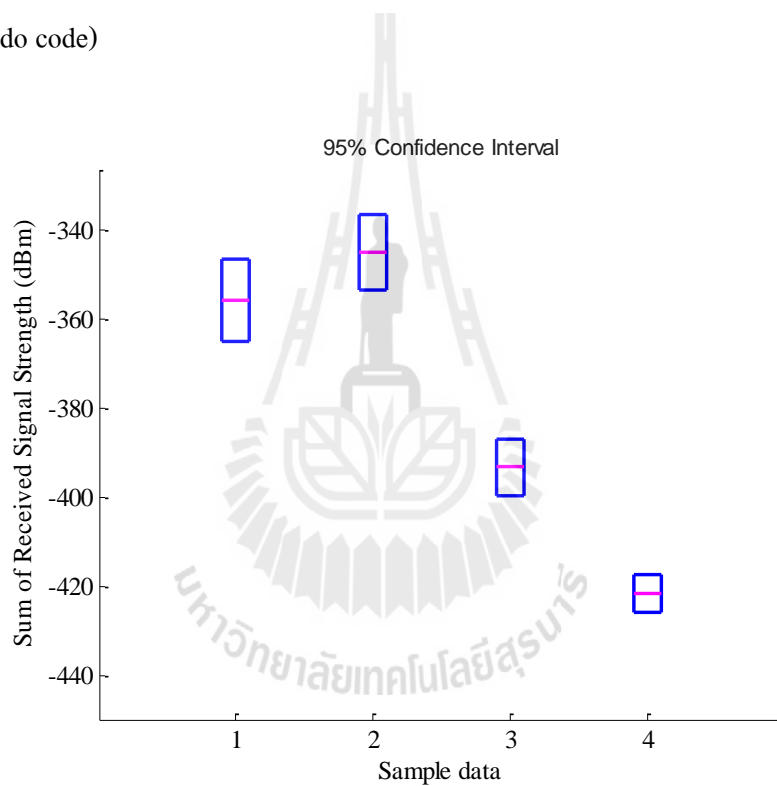
เมื่อ

$$\gamma_f^{\tau} = \sum_{n=1}^N \rho_{fn}^{\tau} \quad (3.2)$$

$$P \left(\eta(\Gamma) - t_{[1-(\beta/2); \Gamma-1]} \sqrt{\frac{\sigma^2(\Gamma)}{\Gamma}} \leq \mu \leq \eta(\Gamma) + t_{[1-(\beta/2); \Gamma-1]} \sqrt{\frac{\sigma^2(\Gamma)}{\Gamma}} \right) \approx 1 - \beta \quad (3.3)$$

เมื่อคำนวณช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณในทุกชั้นแล้ว ถัดมาจะเลือกชุดข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลผลรวมความเข้มสัญญาณ 2 อันดับแรกมาพิจารณา สำหรับการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 สามารถทำได้ดังนี้ ถ้าขีดจำกัดล่างของข้อมูลอันดับที่ 1 น้อยกว่าขีดจำกัดบนของข้อมูลอันดับที่ 2 หมายถึงสองชุดข้อมูลนี้เกิดการเหลื่อมกัน (overlap) ของช่วงความเชื่อมั่น ในกรณีนี้จะทำการลดเปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลลง 5% จากช่วงความเชื่อมั่นความเชื่อมั่นเดิม $c\%$ และคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลใหม่ แต่ถ้าขีดจำกัดล่างของข้อมูลอันดับที่ 1 มากกว่าขีดจำกัดบนของข้อมูลอันดับที่ 2 จะเลือกชั้นอาคารของชุดข้อมูลอันดับที่ 1 เป็นชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ $c\%$ สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้เปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูล เริ่มต้นที่ 95% ($c=95$) รูปที่ 3.10

แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 เช่น พิจารณาข้อมูลตัวอย่างที่ 1 และข้อมูลตัวอย่างที่ 2 พบว่าข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 เกิดการเหลื่อมกันของข้อมูล ในกรณีนี้จะต้องลดเปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลลงที่ละ 5% และคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลใหม่จนกว่าข้อมูลตัวอย่างที่ 1 และข้อมูลตัวอย่างที่ 2 จะไม่เกิดการเหลื่อมกัน ถัดมาเมื่อพิจารณาข้อมูลตัวอย่างที่ 3 และข้อมูลตัวอย่างที่ 4 พบว่าข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยเป็นอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ไม่มีการเหลื่อมกันของข้อมูล ทำให้สามารถบอกได้ว่า ชั้นอาคารของชุดข้อมูลที่ 3 เป็นชั้นที่วัตถุประสงค์อยู่ซึ่งมีความมั่นใจที่ 95% ซึ่งขั้นตอนการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมค่าความเข้มสัญญาณสามารถทำได้ดังตารางที่ 3.5 ที่แสดงด้วยตารางรหัสเทียม (pseudo code)



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2

สำหรับการปรับเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลจะส่งผลทำให้ตัวแปร $t_{[p, \Gamma]}$ ซึ่งเป็นค่าควอนไทล์ของการแจกแจงแบบทีที่มีความน่าจะเป็น P เมื่อมีจำนวนข้อมูล Γ เกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลให้ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามค่าของตัวแปรดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ถ้าวัดเปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลลง 5% จะส่งผลให้ตัวแปร $t_{[p, \Gamma]}$ มีค่าน้อยลง ซึ่งทำให้ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของเซตข้อมูล

ผลรวมค่าความเข้มสัญญาณแคบลง ส่งผลให้ความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดการหลีกกันของข้อมูลอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 มีมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การลดค่าเปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของข้อมูลลง 5% จะส่งผลให้การระบุชั้นของวัตถุมีความมั่นใจที่จะระบุชั้นได้ถูกต้องลดลง 5%

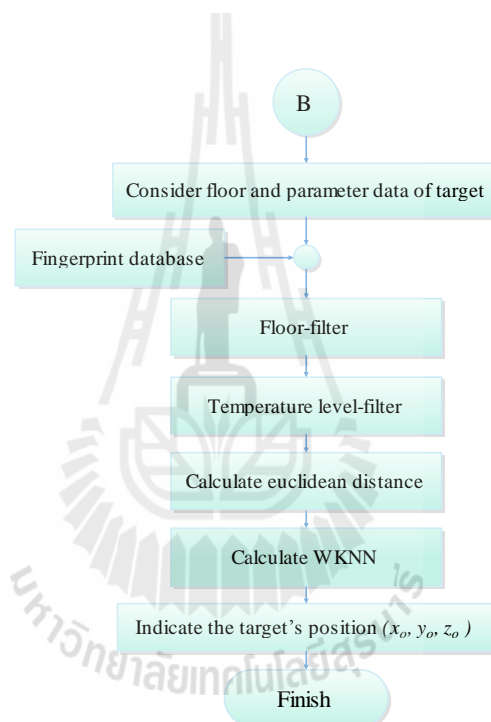
ข้อดีของการระบุชั้นด้วยเทคนิค Sum-RSS floor algorithm คือโครงสร้างทางกายภาพของอาคารแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน ตัวอย่างของลักษณะอาคารเช่น ในอาคารที่มีชั้นล่างสุดเป็นลานจอดรถ และมีชั้นถัดขึ้นไปเป็นห้องทำงาน ดังนั้นเทคนิคการระบุตำแหน่งนี้จึงสามารถระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ภายในอาคารที่มีลักษณะทั่วไปได้ หมายเหตุในขั้นตอนการระบุชั้นนี้จะถูกข้ามไปถ้าหากการระบุตำแหน่งของวัตถุใช้กับระบบระบุตำแหน่งวัตถุในบริเวณระนาบเดียว

ตารางที่ 3.5 ขั้นตอนการคำนวณหาช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมค่าความเข้มสัญญาณ

Input : Raw data of target
Output : Floor of target
<p>Select a percent confidence interval c ;</p> <p>Select a raw data of target on $f \in \phi$;</p> <p>Repeat</p> <p style="padding-left: 20px;">Repeat</p> <p style="padding-left: 40px;">Repeat</p> <p style="padding-left: 60px;">$\gamma_f^\tau = \sum(\rho_{fn}^\tau)$ for all $n = N$;</p> <p style="padding-left: 40px;">Until $\tau = \Gamma$</p> <p style="padding-left: 20px;">Set $\Lambda_f = \{ \gamma_f^l \text{ to } \gamma_f^r \}$;</p> <p style="padding-left: 20px;">Until $f = \phi$</p> <p style="padding-left: 20px;">Calculate $\Phi(\Lambda_f)$ by %ci = c for all $f \in \phi$;</p> <p style="padding-left: 20px;">If $\Phi(\Lambda_f)$ of 1st and 2nd is overlap</p> <p style="padding-left: 20px;">then reduce c</p> <p style="padding-left: 20px;">else</p> <p style="padding-left: 20px;">c is the percent confidence interval of sum of RSS.</p> <p>Until stopping condition = true.</p> <p>Select f highest $\Phi(\Lambda_f)$ is the floor of target that $c\%$ confidence interval.</p>

3.3.3.3 ขั้นตอนการระบุพิกัดวัตถุ

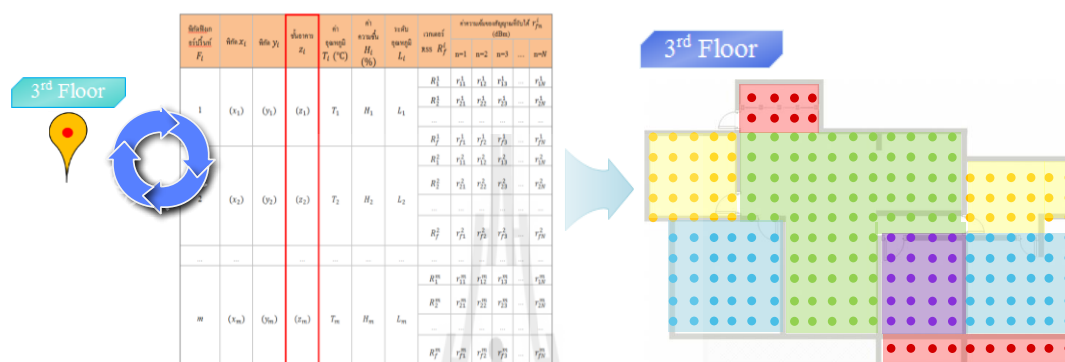
ขั้นตอนที่สามหรือขั้นตอนสุดท้ายในช่วงออนไลน์เฟสของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันคือ ขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งจะ เป็นขั้นตอนที่มีหน้าที่ระบุพิกัด x และพิกัด y ของวัตถุ โดยสามารถแบ่งกระบวนการทำงาน ออกเป็น 4 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้น กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ กระบวนการ คำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน และกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน



รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุของระบบระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคแบบผสม ซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

รูปที่ 3.11 หลังจากที่เราทราบหมายเลขชั้นที่วัตถุตั้งอยู่จากขั้นตอนการระบุชั้นแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือ ขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของ ตำแหน่งวัตถุ และฐานข้อมูลตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์มาดำเนินการในกระบวนการแรกคือ กระบวนการกรองชั้น ซึ่งมีหน้าที่คัดกรองฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ที่ไม่เข้าพวกออก โดยจะ คัดเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรี้นท์ที่มีหมายเลขชั้น (z) ตรงกับหมายเลขชั้นของวัตถุ (z_o) ที่ได้จากขั้นตอน การระบุชั้น จำนวน M_2 พิกัดไปดำเนินการในกระบวนการถัดไป ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ระบบ

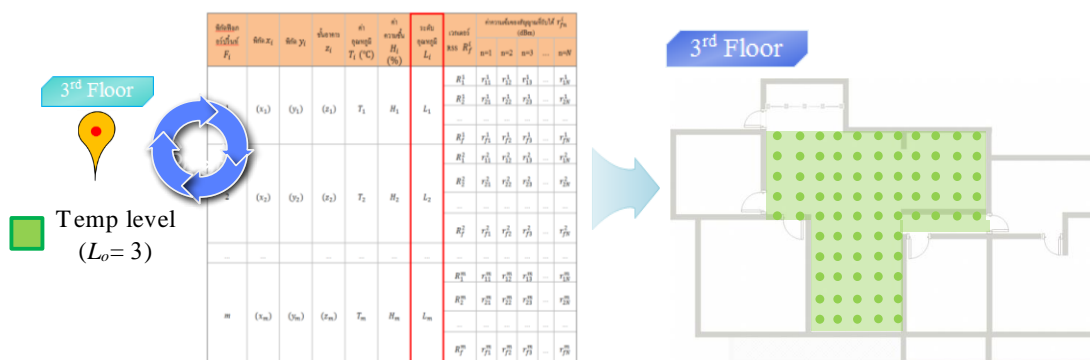
ระบุตำแหน่งจะพิจารณาเฉพาะพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่อยู่ในชั้นเดียวกับวัตถุเท่านั้น ซึ่งทำให้ไม่ต้องพิจารณาฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมด (M) รูปที่ 3.12 แสดงแนวคิดของกระบวนการกรองชั้นของงานวิจัยนี้ หลังจากที่เราทราบหมายเลขชั้นที่วัตถุตั้งอยู่จากขั้นตอนการระบุชั้นแล้ว (เช่น $z_0=3$) จะทำการคัดเลือกพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่มีหมายเลขชั้น ($z_i=3$) ซึ่งหมายถึงเลือกพิจารณาเฉพาะฐานข้อมูลพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่อยู่บนชั้นที่ 3 จำนวน M_2 พิกัด



รูปที่ 3.12 แนวคิดของกระบวนการกรองชั้นของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง

ถัดมากระบวนการที่สองของขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุคือ กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ จะมีหน้าที่คล้ายกับกระบวนการกรองชั้น แต่จะเลือกพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่มีระดับอุณหภูมิ (L_i) ตรงกับระดับอุณหภูมิของวัตถุ (L_0) จำนวน M_1 พิกัดไปดำเนินการในกระบวนการถัดไป ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ระบบระบุตำแหน่งจะพิจารณาเฉพาะพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่มีระดับอุณหภูมิเดียวกับระดับอุณหภูมิของวัตถุเท่านั้น ซึ่งจะช่วยคัดกรองพื้นที่ที่มีระดับอุณหภูมิแตกต่างจากระดับอุณหภูมิของวัตถุออกได้ รูปที่ 3.13 แสดงแนวคิดของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิของงานวิจัยนี้ หลังจากที่เราดำเนินการในกระบวนการกรองชั้นซึ่งจะเลือกพิจารณาเฉพาะพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่อยู่บนชั้นที่ 3 แล้ว กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจะทำการคัดเลือกพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่มีระดับอุณหภูมิ (เช่น $L_i=3$) ซึ่งหมายถึงจะเลือกพิจารณาเฉพาะฐานข้อมูลพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่มีระดับอุณหภูมิในระดับที่ 3 จำนวน M_1 พิกัด (แทนด้วยพื้นที่สีเขียวในรูป)

หมายเหตุ จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและผ่านกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ (M_1) จะมีค่าน้อยกว่าจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นเพียงอย่างเดียว (M_2) และจะมีค่าน้อยกว่าจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมด (M) (หรือ $M > M_2 > M_1$)



รูปที่ 3.13 แนวคิดของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง

ถัดมากระบวนการที่สามของขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุคือ กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน ในกระบวนการนี้จะทำหน้าที่คำนวณหาผลต่างของค่าเฉลี่ยความชื้นสัมบูรณ์ที่รับได้ระหว่างตำแหน่งวัตถุกับฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์จำนวน M , พิกัด ซึ่งจะเป็นการคำนวณหาผลรวมของค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยความชื้นสัมบูรณ์ในทุกชั้น สมการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนแสดงได้ดังสมการที่ 3.4 เมื่อ d_j หมายถึงค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนของพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ j จากนั้นจะเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ j ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดีเนียน d_j น้อยที่สุด k ลำดับแรก และเขียนใหม่เป็น δ_u หรือค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนน้อยที่สุดลำดับที่ u โดยที่ u มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., k

$$d_j = \sqrt{\sum_{f=1}^{\phi} \left\{ \sum_{n=1}^N (r_{fn}^j - s_{fn})^2 \right\}} \quad (3.4)$$

เมื่อ ϕ หมายถึงจำนวนของชั้นอาคารทั้งหมดที่ใช้ในระบบระบุตำแหน่ง เมื่อ N หมายถึงจำนวนโนคอ้างอิงทั้งหมดที่ติดตั้งในแต่ละชั้น ตัวแปร r_{fn}^j หมายถึงค่าเฉลี่ยความชื้นสัมบูรณ์ที่ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ i รับผิดชอบจากโนคอ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f และ s_{fn} หมายถึงค่าเฉลี่ยความชื้นของสัญญาณที่โนคตัวถูรับได้จากโนคอ้างอิง n ที่ตั้งอยู่บนชั้น f เมื่อคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนสำหรับทุกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แล้ว จะเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนน้อยที่สุดจำนวน 4 พิกัดซึ่งกำหนดให้เป็น $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, และ δ_4 เรียงตามลำดับจากน้อยไปหามาก เป็นการสิ้นสุดกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน

ถัดมากระบวนการสุดท้ายของขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุคือ กระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน ในกระบวนการนี้จะคำนวณหาพิกัด x และ

พิกัด y ของโนดวัตถุ โดยใช้กระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน แสดงดังสมการที่ 3.5 และสมการที่ 3.6 และสมการที่ใช้คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวนแสดงดังสมการที่ 3.7 (Shetty, 2010) เมื่อ x_o และ y_o หมายถึงพิกัด x และพิกัด y ของตำแหน่งวัตถุ ตัวแปร x_u และ y_u หมายถึงพิกัด x และพิกัด y ของตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดลำดับที่ u ตัวแปร w_u หมายถึงค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดลำดับที่ u และ δ_u หมายถึงค่าระยะห่างยูคลิดเนียนที่น้อยที่สุดลำดับที่ u ดังนั้นจากการทำงานในกระบวนการนี้ จะได้พิกัด x และพิกัด y ของวัตถุ และเมื่อรวมกับหมายเลขชั้นที่ได้ทราบก่อนหน้านี้ จะสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารแบบหลายชั้นได้ (x_o, y_o, z_o)

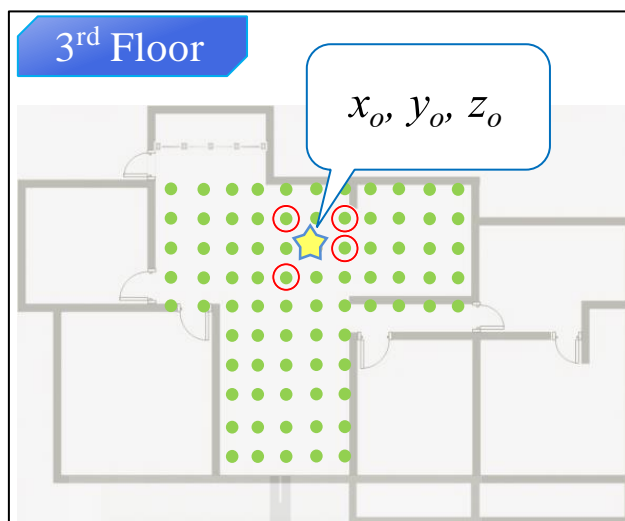
$$x_o = \sum_{u=1}^k x_u \cdot w_u \quad (3.5)$$

$$y_o = \sum_{u=1}^k y_u \cdot w_u \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$w_u = \frac{\left(\frac{1}{\delta_u^2} \right)}{\sum_{v=1}^k \left(\frac{1}{\delta_v^2} \right)} \quad (3.7)$$

รูปที่ 3.14 แสดงแนวคิดของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนของงานวิจัยนี้ จุดสี่เหลี่ยมแทนตำแหน่งฟังก์ชันปริ้นท์ที่อยู่บนชั้นที่ 3 ($z_o=3$) ซึ่งผ่านกระบวนการกรองชั้นและผ่านกระบวนการกรองระดับอนุกรมจำนวน M , พิกัด สัญลักษณ์วงกลมสีแดงแทนพิกัดฟังก์ชันปริ้นท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดเนียนน้อยที่สุด 4 ลำดับแรก ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$, และ δ_4) และสัญลักษณ์ดาวสีเหลืองแทนพิกัดของวัตถุ (x_o, y_o) ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นระบบระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้นได้ (x_o, y_o, z_o)



รูปที่ 3.14 แนวคิดของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก $k=4$

3.4 การประเมินสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่ง

ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร ปัจจัยสำคัญที่ผู้พัฒนาระบบควรพิจารณาคือ สมรรถนะของการระบุตำแหน่ง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งวัตถุ โดยค่าสมรรถนะของการระบุตำแหน่ง (performance) ของงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) และความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (runtime complexity)

สำหรับนิยามหรือคำจำกัดความของความถูกต้องคือ การบอกระยะความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งวัตถุจริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการคำนวณ ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งหนึ่งมีความถูกต้องเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งวัตถุเท่ากับ 5 เมตร หมายถึงระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย หรือระยะทางที่ผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตร เช่น งานวิจัยของ Chen and Luo (2007) ได้ออกแบบระบบระบุตำแหน่งที่ใช้งานอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยได้แสดงสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งด้วยการใช้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุ เป็นต้น

สำหรับนิยามหรือคำจำกัดความของความแม่นยำจะบอกในลักษณะการเปรียบเทียบระหว่างระบบสองระบบ โดยจะพิจารณาจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน (Cumulative Distribution Function : CDF) ตัวอย่างเช่น ระบบระบุตำแหน่งชนิด ก. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90 % ภายใน 3.5 เมตร กับระบบระบุตำแหน่งชนิด ข. มีความแม่นยำของตำแหน่ง 90 % ภายใน 5

เมตร ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแม่นยำของสองระบบนี้ ระบบระบุตำแหน่งที่ให้ความแม่นยำที่ดีกว่าคือ ระบบระบุตำแหน่งชนิด ก. (การระบุตำแหน่ง 90 ครั้งจาก 100 ครั้งของระบบระบุตำแหน่ง ก. ค่าความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งจะไม่เกิน 3.5 เมตร) เป็นต้น เช่น งานวิจัยของ Gansemer et al. (2010) ได้เปรียบเทียบสมรรถนะในค้นหาตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่ง โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะการทำงานของระบบที่แสดงด้วยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน เพื่อวิเคราะห์ถึงความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของแต่ละเทคนิค และงานวิจัยของ Ali and Hassan (2011) ได้ทำการประเมินสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งที่มีพื้นฐานการทำงานคล้ายคลึงกับเทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน โดยจะมีการให้คะแนนและเลือกฟังก์ชันการกระจายที่น้อยที่สุดเป็นอันดับแรก

นิยามหรือคำจำกัดความของความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลจะบอกเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ หรือระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุต่อหนึ่งตำแหน่ง ถ้าระบบระบุตำแหน่งวัตถุมีความซับซ้อนที่น้อย ระบบนั้นจะสามารถค้นหาตำแหน่งวัตถุได้รวดเร็วกว่าระบบระบุตำแหน่งที่มีความซับซ้อนมาก อีกทั้งการพิจารณาสมรรถนะความซับซ้อนในแง่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลยังพิจารณาถึงฟังก์ชันการเติบโตทางเวลา (growth in run-time) ซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันที่ใช้อธิบายพฤติกรรมแนวโน้มการเติบโตทางเวลาของอัลกอริทึม ที่ช่วยให้เราสามารถประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งถ้าหากขนาด หรือจำนวนพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบมีมากขึ้น เช่น งานวิจัยของ Kabir and Kohno (2012) ทำการพิจารณาสมรรถนะความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของเทคนิคระบุตำแหน่ง สำหรับกรณีที่จำนวนฟังก์ชันการเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Jiao et al. (2009) ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิคระบุตำแหน่งด้วยการพิจารณาความซับซ้อนในการประมวลผล สำหรับกรณีที่จำนวนรอบของการทำงานเพิ่มขึ้น เป็นต้น

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่ง

โดยปกติสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารจะพิจารณาจาก ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของตำแหน่งวัตถุเป็นหลัก ซึ่งเป็นค่าตัวเลขที่บ่งบอกถึงความสามารถในการค้นหาตำแหน่งของวัตถุหรือเป็นค่าที่บอกถึงความคลาดเคลื่อนในการค้นหาตำแหน่งวัตถุว่าเทคนิคดังกล่าวนั้นสามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งวัตถุจริงมากน้อยเพียงใด นอกเหนือจากความถูกต้องและความแม่นยำของเทคนิคระบุตำแหน่งแล้ว สมรรถนะของเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารยังขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) ของเทคนิคนั้น ๆ อีกด้วย เนื่องจากบางเทคนิคระบุตำแหน่งอาจมีสมรรถนะ ความถูกต้องและความแม่นยำของการระบุตำแหน่งที่สูงมาก แต่เทคนิคเหล่านี้จำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่นานมาก (อาจใช้เวลาหลายนาทีก) ส่งผลให้เทคนิคระบุตำแหน่งนี้ไม่เหมาะสมสำหรับระบบระบุตำแหน่งที่ต้องการพิกัดวัตถุในแบบเวลาจริง (real time) ดังนั้นการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการพิจารณาความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในช่วงการระบุตำแหน่งวัตถุ หรือที่เรียกว่า ช่วงออนไลน์เฟส (online phase) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งอย่างละเอียดที่ประกอบด้วย ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยจะทำการเปรียบเทียบเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นจำนวน 4 เทคนิคคือ 1) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) 2) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Hybrid RSS parameter technique) 3) เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean distance technique) และ 4) เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (Enhanced Weighted K-Nearest Neighbor method : EWKNN method) ตารางสรุปขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของแต่ละเทคนิคสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

สำหรับการทำงานของแต่ละเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น สามารถสรุปพอสังเขปได้ดังต่อไปนี้

1) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันเป็นเทคนิคที่ใช้ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (temperature) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม (relative humidity : RH) ในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น (ซึ่งรายละเอียดได้อธิบายไว้ในบทที่ 3)

2) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ มีลักษณะขั้นตอนการทำงานคล้ายคลึงกับเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกัน แต่พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในเทคนิคนี้คือ ใช้เฉพาะค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว สำหรับขั้นตอนการทำงานของเทคนิคระบุตำแหน่งจะมีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน โดยจะมีการระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ (floor determination) และจากนั้นจึงระบุพิกัดของวัตถุ (positioning system) หมายเหตุ ในขั้นตอนแรกๆของช่วงออนไลน์เฟส ในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร (define parameter) จะไม่มีกระบวนการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ การทำงานที่กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจะไม่ถูกดำเนินการ

3) เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน ในขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ จะมีการบันทึกหมายเลขชั้นของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ (z_i) เพิ่มเข้าไปด้วย ในขณะที่การคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนที่น้อยที่สุดยังคงเป็นการคำนวณหาผลต่างความเข้มสัญญาณที่รับได้ในแบบทั่วไป (หรือการคำนวณหาผลต่างความเข้มสัญญาณในแบบระนาบเดียว) แต่จะแสดงตำแหน่งของวัตถุในรูปแบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายชั้น (x_o, y_o, z_o)

4) เทคนิคการหาค่าตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะใช้พารามิเตอร์ของระบบคือ ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิงที่อยู่ภายในอาคาร และเทคนิคนี้จะแตกต่างจากการประมาณตำแหน่งด้วยวิธีการหาค่าตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน (WKNN) ในแบบทั่วไป ซึ่งจะมีการเพิ่มกระบวนการคำนวณชั้นของวัตถุเข้ามา และจะประมาณค่าชั้นที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบเลขจำนวนเต็ม และกำหนดให้ตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดหรือค่า k มีค่าเท่ากับ 4

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานในช่วงออนไลน์เฟสของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

Operation	Procedure	Techniques			
		Hy fusion	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
1. Define parameter	1) define parameter	✓	✓	✓	✓
2. Floor determination	2) Sum-RSS floor algorithm	✓	✓	-	-
3. Positioning system (x, y)	3.1) floor-filter	✓	✓	-	-
	3.2) temp level-filter	✓	-	-	-
	3.3) cal. euclidean distance	✓	✓	✓	✓
	3.4) cal. weighted KNN	✓	✓	-	✓

สำหรับการวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้ จะพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลหรือเวลาที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุของเทคนิคระบุตำแหน่งในช่วงออนไลน์เฟส ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร ขั้นตอนการระบุชั้น และขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ ในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรจะเป็นขั้นตอนที่มีหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุ และมีหน้าที่จัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังมีหน้าที่ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ ถัดมาในขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนการระบุชั้น จะใช้เทคนิคการระบุชั้นที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ระบุหมายเลขชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ และในขั้นตอนสุดท้ายขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุจะแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้น (floor-filter) กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ (temp level-filter) กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน (calculate euclidean distance) และกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน (calculate WKNN) โดยในการวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ผู้วิจัยได้ใช้การประเมินความซับซ้อนของการทำงาน (evaluating run-time complexity) (Ahuja et al., 1993) ที่มีการวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเวลาของอัลกอริทึมตามสถานะที่พิจารณา สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาสมรรถนะทางด้านเวลาของอัลกอริทึมในกรณีที่แย่ที่สุด (worst-case) โดยกรณีที่แย่ที่สุดหมายถึง สถานะการทำงานที่มีผลลัพธ์ทางด้านเวลาเลวร้ายที่สุด หรืออีกความหมายคือ กรณีที่อัลกอริทึมใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้รับประกันการทำงานของอัลกอริทึมได้ว่า อัลกอริทึมหรือเทคนิคนั้น ๆ จะไม่ให้ผลลัพธ์ทางด้านเวลาแย่ไปกว่านี้อีกแล้ว ซึ่งทำให้เราสามารถรับประกันสมรรถนะการทำงานของอัลกอริทึมได้ โดยเนื้อหาในบทที่ 4 แบ่งออกเป็นหัวข้อ

ย่อคั้งนี้ หัวข้อ 4.1 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร หัวข้อ 4.2 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm หัวข้อ 4.3 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองชั้น หัวข้อ 4.4 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ หัวข้อ 4.5 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียน หัวข้อ 4.6 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน และหัวข้อ 4.7 การประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

4.1 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร

ในการประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึมหรือกระบวนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งวัตถุของงานวิจัยนี้ จะแสดงโดยใช้ตารางรหัสเทียม (pseudo code) ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนการทำงานและความซับซ้อนของแต่ละขั้นตอน ตัวอย่างเช่น ตารางที่ 4.2 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร ภายในตารางรหัสเทียมจะประกอบด้วย คอลัมน์ทางด้านซ้ายมือ ซึ่งจะแสดงอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการ รวมทั้งยังแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการอีกด้วย ขณะที่คอลัมน์ทางด้านขวามือจะแสดงการประเมินความซับซ้อนของการทำงาน ซึ่งจะพิจารณาจำนวนครั้งของการทำงานในแต่ละการกระทำ หรือการทำงานในแต่ละขั้น a (step a) ซึ่งจะถูกแทนด้วยจำนวนครั้งของการกระทำ หรือจำนวนเท่าของเวลาที่ใช้ไป (time a ; T_a) (Ahuja et al., 1993) ตัวอย่างความซับซ้อนของการทำงานเช่น การทำงานในขั้นที่ 2 ของอัลกอริทึม ก. มีการทำงานเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ดังนั้นการประเมินความซับซ้อนของอัลกอริทึมในแง่ของเวลาที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ $1 \times T_2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ T_2 สำหรับการพิจารณากรณีที่แย่ที่สุดของการทำงาน จะเริ่มจากการพิจารณาขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของอัลกอริทึมว่า ขั้นตอนใดที่ใช้ระยะเวลาานานที่สุด หรือมีจำนวนครั้งของการทำงานมากที่สุด จากนั้นจะเลือกพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนดังกล่าวมากที่สุด (the highest-order term) เป็นฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุด โดยฟังก์ชันความซับซ้อนนี้เป็นฟังก์ชันที่ใช้สำหรับทำนายอัตราการเติบโต (growth rate) หรือทำนายพฤติกรรมของอัลกอริทึม ซึ่งจะสามารถทำนายสมรรถนะการทำงานของอัลกอริทึมได้ถ้าหากระบบหรือปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุ ในขั้นตอนแรกของเทคนิคระบุตำแหน่งทุกเทคนิคจะต้องดำเนินการในกระบวนการที่ชื่อว่า กระบวนการกำหนดค่าตัวแปร ซึ่งมีหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุ มีการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ ซึ่งกระบวนการนี้จะมีการสร้างตารางข้อมูลที่ตำแหน่งวัตถุสองชนิด

คือ 1) ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ (raw data of target table) และ 2) ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ (parameter data of target table) ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และการประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปรสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 เมื่อคอลัมน์ทางด้านซ้ายมือแสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการ ขณะที่คอลัมน์ทางด้านขวามือแสดงการประเมินความซับซ้อนของการทำงาน ซึ่งอินพุตที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ พารามิเตอร์ของระบบที่ประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นของสิ่งแวดล้อม (เฉพาะเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกันเท่านั้นที่จะใช้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นของสิ่งแวดล้อม) และเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ และตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ สำหรับฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปรคือ Γ^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปรมีค่าเท่ากับ $f(\Gamma) = O(\Gamma^2)$ เมื่อ Γ หมายถึงจำนวนครั้งของการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ระบบ ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร จะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งของการวัดข้อมูล ถ้าหากจำนวนครั้งของการวัดข้อมูลมากขึ้น ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย

หมายเหตุ *ขั้นตอนการทำงานที่ 6 (T_6) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีหน้าที่ในการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม เฉพาะเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันเท่านั้นที่จะดำเนินการในขั้นตอนนี้ และจะสังเกตได้ว่าความซับซ้อนหรือกรณีที่แย่ที่สุดของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปรยังคงมีค่าเท่าเดิมคือ $O(\Gamma^2)$

ตารางที่ 4.2 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกำหนดค่าตัวแปร

Input : RSS, Temp., Humid. of target	Run-time
Output : Raw data of target table, Parameter data of target table	
Repeat	$(\Gamma+1)T_1$
Measurement RSS, Temp., Humid. of target ;	$[0.5(\Gamma^2+3\Gamma+2)]T_2 - T_2$
Until $\tau = \Gamma$	T_3
Record all RSS into raw data of target table ;	T_4
Calculate average RSS, Temp., and Humid.	T_5
Select Temp-level by Temp., Humid.	$*T_6$
Record all parameter into parameter data of target table ;	T_7

4.2 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุในขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนการระบุชั้น ซึ่งมีกระบวนการที่ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ที่มีการใช้คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูล ซึ่งใช้ช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงที่ติดตั้งอยู่ในอาคาร โดยจะเลือกชั้นอาคารของชุดข้อมูลอันดับที่ 1 ที่มีช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมค่าความเข้มสัญญาณสูงที่สุดเป็นชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ ซึ่งเทคนิคที่ต้องดำเนินการในกระบวนการนี้ได้แก่ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน และเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ สำหรับการประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 โดยที่อินพุตที่ป้อนให้กับกระบวนการนี้คือ ข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ และเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ ชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ (z_0) โดยที่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm คือ n^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm มีค่าเท่ากับ $f(n) = O(n^2)$ เมื่อ n หมายถึงจำนวนชั้นอาคารที่ใช้ในการทดลองแทนด้วยสัญลักษณ์ ϕ ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm จะขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นอาคารของระบบระบุตำแหน่ง ถ้าหากมีจำนวนชั้นอาคารมาก ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย

ตารางที่ 4.3 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm

Input : Raw data of target Output : Floor of target	Run-time
Select a percent confidence interval c ;	T_1
Select a raw data of target on $f \in \phi$;	T_2
Repeat	$(n+1)T_3$
Repeat	$[0.5(n^2+3n+2)]T_4 - T_4$
Repeat	$[0.5(n^2+n)]T_5$
$\gamma_f^\tau = \sum(\rho_{fn}^\tau)$ for all $n = N$;	$[0.5(n^2+n)]T_6$
Until $\tau = \Gamma$	$(n+1)T_7$
Set $\Lambda_f = \{ \gamma_f' \text{ to } \gamma_f^\Gamma \}$;	$(n+1)T_8$
Until $f = \phi$	$(n)T_9$
Calculate $\Phi(\Lambda_f)$ by %ci = c for all $f \in \phi$;	$(n)T_{10}$

If $\Phi(\Lambda_p)$ of 1 st and 2 nd is overlap	T ₁₁
then reduce c	T ₁₂
else	T ₁₃
c is the percent confidence interval of sum of RSS.	(n)T ₁₄
Until stopping condition = true.	T ₁₅
Select f highest $\Phi(\Lambda_p)$ is the floor's target that $c\%$ confidence interval.	T ₁₆

4.3 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองชั้น

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุในขั้นตอนที่สามคือ ขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ โดยกระบวนการแรกที่จะดำเนินการในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุมีชื่อว่า กระบวนการกรองชั้น ซึ่งมีหน้าที่ในการคัดเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีหมายเลขชั้นอาคารตรงกับ หมายเลขชั้นของวัตถุ (ซึ่งได้จากขั้นตอนการระบุชั้น) ไปดำเนินการในกระบวนการถัดไป การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองชั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4 โดยที่อินพุตที่ป้อนให้กับกระบวนการนี้ได้แก่ ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมดจำนวน M และชั้นอาคารที่วัตถุตั้งอยู่ ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ floor-filter database หรือฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นจำนวน M_2 พิกัด โดยที่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของกระบวนการกรองชั้นคือ m^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกรองชั้นมีค่าเท่ากับ $f(m) = O(m^2)$ เมื่อ m หมายถึงจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมดซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกรองชั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมด M ถ้าหากมีจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์มาก (ในที่นี้อาจหมายถึงขนาดของพื้นที่การทดลองมีขนาดใหญ่ด้วย) ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย

ตารางที่ 4.4 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองชั้น

Input : Fingerprint database and floor of target	Run-time
Output : Floor-filter database	
Select an initial i ;	T_1
Repeat	$(m+1)T_2$
If floor of target = floor of fingerprint i	$[0.5(m^2+3m+2)]T_3 - T_3$
Record i into floor-filter database ;	$(m)T_4$
Until $i = M$	T_5

4.4 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของกระบวนการที่สองในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุคือกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำงานที่คล้ายคลึงกับกระบวนการกรองชั้น แต่จะแตกต่างกันตรงที่กระบวนการนี้จะเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีระดับอุณหภูมิตรงกับระดับอุณหภูมิของวัตถุแทนที่การเลือกหมายเลขชั้นของวัตถุ ซึ่งเทคนิคที่ต้องดำเนินการในกระบวนการนี้มีเพียงเทคนิคเดียวคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน สำหรับการประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 โดยที่อินพุตที่ป้อนให้กับกระบวนการนี้คือ ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นจำนวน M_2 ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ Floor & Temp-filter database หรือฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจำนวน M_1 พิกัดโดยที่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของกระบวนการกรองชั้นคือ m^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกรองชั้นมีค่าเท่ากับ $f(m) = O(m^2)$ เมื่อ m หมายถึงจำนวนฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M_2 ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น M_2 ถ้าหากมีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ใช้ในกระบวนการนี้จำนวนมาก ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย อีกทั้งจะสังเกตได้ว่า เอาต์พุตหรือจำนวนฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ M_1 จะมีค่าน้อยกว่าจำนวนฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น M_2 และจะน้อยกว่าจำนวนฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมด M ซึ่งเป็นจุดเด่นของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ ที่จะพิจารณาเฉพาะ

ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่อยู่ในระดับอุณหภูมิต่ำกว่าวัตถุและอยู่บนชั้นเดียววัตถุเท่านั้น แทนที่
การพิจารณาฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งอาคาร

ตารางที่ 4.5 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิต่ำ

Input : Floor-filter database	Run-time
Output : Floor & Temp-filter database	
Select an initial j ;	T_1
Repeat	$(m+1)T_2$
If floor of target = floor of floor-filter j	$[0.5(m^2+3m+2)]T_3 - T_3$
Record j into temp-filter database ;	$(m)T_4$
Until $j = M_2$	T_5

4.5 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของกระบวนการที่สามในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุคือ
กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน ซึ่งมีหน้าที่คำนวณหาผลต่างของค่าเฉลี่ยความเข้ม
สัญญาณที่รับได้ระหว่างตำแหน่งวัตถุกับฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ ด้วยสมการคำนวณหาระยะห่าง
ยูคลิดีเนียนที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งทุกเทคนิคจะต้องดำเนินการในกระบวนการนี้ แต่มีสิ่งที่
แตกต่างกันคือ จำนวนฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ใช้ในกระบวนการนี้จะแตกต่างกัน สำหรับเทคนิค
แบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกันจะใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น
และกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจำนวน M_1 พิกัด เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความ
เข้มสัญญาณที่รับได้จะใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นจำนวน M_2 พิกัด
ขณะที่เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k
จำนวนแบบเสริมจะใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมดจำนวน M พิกัด เมื่อคำนวณหาระยะห่างยู
คลิดีเนียนครบทุกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แล้ว ถัดมาเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดีเนียน
น้อยที่สุด 4 ลำดับแรกไปใช้ในกระบวนการถัดไป

สำหรับการประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดี
เนียนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 โดยที่อินพุตที่ป้อนให้กับกระบวนการนี้คือ ฐานข้อมูลฟิงเก
อร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นจำนวน M_2 ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ พิกัดฟิงเก
อร์ปรีนท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนน้อยที่สุด 4 ลำดับแรก โดยที่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่มากที่สุดของ
กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนคือ m^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการ

ประมวลผลของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียนมีค่าเท่ากับ $f(m) = O(m^2)$ เมื่อ m หมายถึงจำนวนฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ M_1 ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียนจะขึ้นอยู่กับจำนวนฟังก์เจอร์ปรีนท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ M_1 ถ้าหากมีฟังก์เจอร์ปรีนท์ที่ใช้ในกระบวนการนี้จำนวนมาก ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย

หมายเหตุ สำหรับเทคนิคระยะห่างยูคลีเดียนในขั้นตอนการเลือกฟังก์เจอร์ปรีนท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลีเดียนน้อยที่สุดจะทำการเลือกเพียงฟังก์เจอร์เดียว และจะกำหนดให้ฟังก์เจอร์นั้นเป็นตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้ และในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB 2010a สำหรับการประมวลผลของเทคนิคระบุตำแหน่งทุกชนิด ซึ่งมีฟังก์ชันการเรียงลำดับ (sorting function) ประเภท quicksort ที่มีความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของขั้นตอนการทำงานคือ $O(m^2)$ (Skiena, 1997)

ตารางที่ 4.6 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียน

Input : Floor & Temp-filter database Output : 4min Euclidean distance	Run-time
Select an initial l ;	T_1
Repeat	$(m+1)T_2$
Repeat	$[0.5(m^2+3m+2)]T_3 - T_3$
$d_{rss_f} = \sum (s_{fn} - r_{fn}^l)^2$ for all $n = N$;	$[0.5(m^2+m)]T_4$
Until $f = \phi$	$(m+1)T_5$
Set $d_l = \text{sqrt}(\sum(d_{rss_f}))$ for all $f = \phi$;	$(m+1)T_6$
Until $l = M_1$	T_7
Sort 4min d_l and set = $\{\delta_1$ to $\delta_4\}$	$(m^2)T_8$

4.6 การประเมินความซับซ้อนของกระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบ

ถ่วงน้ำหนัก k จำนวน

สำหรับการประเมินความซับซ้อนของกระบวนการที่สุ่มท้ายในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ คือ กระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน โดยที่กำหนดให้ค่า k หรือตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดมีค่าเท่ากับ 4 โดยในกระบวนการนี้จะมีหน้าที่คำนวณหาพิกัด x และพิกัด y ของโนดวัตถุ โดยใช้กระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จำนวนซึ่งรายละเอียดการคำนวณได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งเทคนิคที่ต้องดำเนินการในกระบวนการนี้มีสามเทคนิคคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเทคนิคการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม สำหรับการประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 โดยที่อินพุตที่ป้อนให้กับกระบวนการนี้คือ 4min Euclidean distance หรือพิกัดฟังก์ชันปริ้นท์ที่มีค่าระยะห่างยูคลิดเนียนน้อยที่สุด 4 ลำดับแรก ส่วนเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือ Target location หรือตำแหน่งวัตถุซึ่งจะแสดงในรูปแบบพิกัด x และพิกัด y โดยที่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของกระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนคือ k^2 หรืออัตราการเติบโตของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการหาคำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนมีค่าเท่ากับ $f(k) = O(k^2)$ เมื่อ k หมายถึงจำนวนตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน ถ้าหากมีตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดจำนวนมาก ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งหรือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลก็จะมากตามไปด้วย

หมายเหตุ กระบวนการทำงานในตารางที่ 4.2 ถึง 4.7 จะอธิบายการทำงานของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกัน และสำหรับเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการนี้คือพิกัด x และพิกัด y เมื่อรวมกับเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการ Sum-RSS floor algorithm ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการระบุชั้น (z) ดังนั้นเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้นได้

ตารางที่ 4.7 การประเมินความซับซ้อนในการทำงานของกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียง
ที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จำนวน

Input : 4min Euclidean distance	Run-time
Output : Target location	
Select $\{\delta_1 \text{ to } \delta_4\}$;	T_1
Repeat	$(k+1)T_2$
$w_u = (1/(\delta_u)^2) / (\sum(1/(\delta_v)^2))$ for all $v = k$;	$[0.5(k^2+3k+2)]T_3 - T_3$
Until $u = k$	T_4
Repeat	$(k+1)T_5$
$x_o = \sum(x_u * w_u)$;	$[0.5(k^2+3k+2)]T_6 - T_6$
$y_o = \sum(y_u * w_u)$;	$[0.5(k^2+3k+2)]T_7 - T_7$
Until $u = k$	T_8
x_o and y_o are target location.	T_9

4.7 การประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น

ในหัวข้อนี้จะสรุปผลการประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งประกอบไปด้วย 4 เทคนิค คือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม โดยตารางสรุปการประเมินความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นแสดงได้ดังตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาที่กระบวนการการทำงานทั้งหมดของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นทั้ง 6 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการกำหนดค่าตัวแปร 2) กระบวนการ Sum-RSS floor algorithm 3) กระบวนการกรองชั้น 4) กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ 5) กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน และ 6) กระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน พบว่าเทคนิคที่มีกระบวนการทำงานมากที่สุดคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งจะดำเนินการทั้ง 6 กระบวนการ ในขณะที่เทคนิคที่มีกระบวนการทำงานน้อยที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียนที่จะดำเนินการเพียงแค่ 2 กระบวนการ อีกทั้งยังสังเกตได้ว่า เทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุทั้ง 4 เทคนิคจะต้องดำเนินการในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน แต่ฟังก์ชันความซับซ้อนที่แย่ที่สุดของแต่ละเทคนิคจะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพิกัดฟังก์ชันปริ้นท์ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้

พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีความซับซ้อนในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียนเท่ากับ $O(M_1^2)$ (M_1 คือจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนที่ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอนุภูมิ) เป็นต้น

ตารางที่ 4.8 การประเมินความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารหลายแบบชั้น

Operation	Procedure	Techniques			
		Hy fusion	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
1. Define parameter	1) define parameter	$O(\Gamma^2)$	$O(\Gamma^2)$	$O(\Gamma^2)$	$O(\Gamma^2)$
2. Floor determination	2) Sum-RSS floor algorithm	$O(N^2)$	$O(N^2)$	-	-
3. Positioning system (x, y)	3.1) floor-filter	$O(M^2)$	$O(M^2)$	-	-
	3.2) temp level-filter	$O(M_2^2)$	-	-	-
	3.3) cal. euclidean distance	$O(M_1^2)$	$O(M_2^2)$	$O(M^2)$	$O(M^2)$
	3.4) cal. weighted KNN	$O(k^2)$	$O(k^2)$	-	$O(k^2)$

หมายเหตุ:

- Γ คือ จำนวนครั้งของการวัดข้อมูล
- N คือ จำนวนชั้นของอาคารที่ใช้ในการทดลอง
- M คือ จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนทั้งหมด
- M_2 คือ จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น
- M_1 คือ จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอนุภูมิ
- โดยที่ $M > M_2 > M_1$
- k คือ จำนวนตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด

จากการประเมินความซับซ้อนของกระบวนการทำงานในตารางที่ 4.8 เราจะสังเกตได้ว่าถ้าหากระบบระบุตำแหน่งมีขนาดของพื้นที่การทดลองใหญ่ขึ้น และมีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น เทคนิคระบุตำแหน่งทั้ง 4 เทคนิคจะมีความซับซ้อนของแต่ละกระบวนการเพิ่มมากขึ้น (มีจำนวนชั้นของอาคาร N และจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีน M มากขึ้น) โดยเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีกระบวนการทำงานที่ช่วยลดจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนที่มากกว่าเทคนิคอื่น ๆ โดยมีการคัดกรองพิกัดฟังก์เจอร์ปรีน 2 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับ

อุณหภูมิดังนั้นจะสังเกตได้ว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีแนวโน้มการใช้ระยะเวลาในการคำนวณตำแหน่งของวัตถุน้อยที่สุดเมื่อถูกทำไปใช้กับการค้นหาปริภูมิสถานะ (search space) ที่มีขนาดใหญ่



บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ประกอบไปด้วย ความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุ (accuracy) และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งวัตถุ (precision) และความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) โดยเทคนิคที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hybrid RSS parameter technique) เทคนิคระยะทางยูคลิดีเนียน (Euclidean distance technique) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (Enhanced Weighted K-Nearest Neighbor method : EWKNN method) ซึ่งขั้นตอนการทำงานของแต่ละเทคนิคได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 สำหรับเนื้อหาในบทที่ 5 สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 5.1 การพัฒนาสมการสำหรับจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบภายในอาคารแบบหลายชั้น หัวข้อ 5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น หัวข้อ 5.3 การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับฐานข้อมูลที่ได้จากการจำลอง หัวข้อ 5.4 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น หัวข้อ 5.5 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในอาคารที่มีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น และหัวข้อ 5.6 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่ง

5.1 การพัฒนาสมการสำหรับจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบภายในอาคารแบบหลายชั้น

เพื่อที่จะลดขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลในช่วงออฟไลน์เฟส (offline phase) หรือลดเวลาที่ใช้ในการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ ผู้วิจัยได้ทำการจำลองแบบ (simulation) ข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบที่ประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (temperature) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม (relative humidity : RH) โดยทำการจำลองแบบข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบด้วยข้อมูลที่วัดได้จากการทดลองจริง ซึ่งในการพัฒนาสมการสำหรับจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบมีหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อย่อย 5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หัวข้อย่อย 5.1.2 การสร้างข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ หัวข้อย่อย

5.1.3 การเปรียบเทียบความเข้มสัญญาณที่รับได้จากการวัดจริงและจากสมการความสัมพันธ์ หัวข้อ
 ย่อย 5.1.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม และ
 หัวข้อย่อย 5.1.5 การสร้างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

5.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิด
 คือ MC13224 Sensor Node MC13224 Network Node และ MC13224-LPN ซึ่งทำงานอยู่บน
 มาตรฐาน IEEE802.15.4 (ZigBee) ของ Freescale MC13224 รุ่นที่ 3 ซึ่งมี ARM7TDM เป็นตัว
 ประมวลผล แต่ละชนิดมีกำลังส่งสูงสุดเท่ากับ +3dBm +2dBm และ +4dBm ตามลำดับ โดยมีชนิด
 ของสายอากาศ 2 ชนิดคือ F-antenna (Inverted F-antenna) และ SMA-antenna (Sub Miniature
 version “A” connector antenna) ซึ่งรายละเอียดของสายอากาศได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ก โดย
 โหนดวัดจะเลือกใช้ MC13224 Sensor Node ขณะที่โหนดอ้างอิงจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด
 และกำหนดให้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายทุกโหนดให้ทำงานในย่านความถี่ 2.480 GHz (Channel
 26) สำหรับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.1 และรายละเอียดของ
 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่แสดงดังตารางที่ 5.1



a. โหนดอ้างอิง



b. โหนดวัด

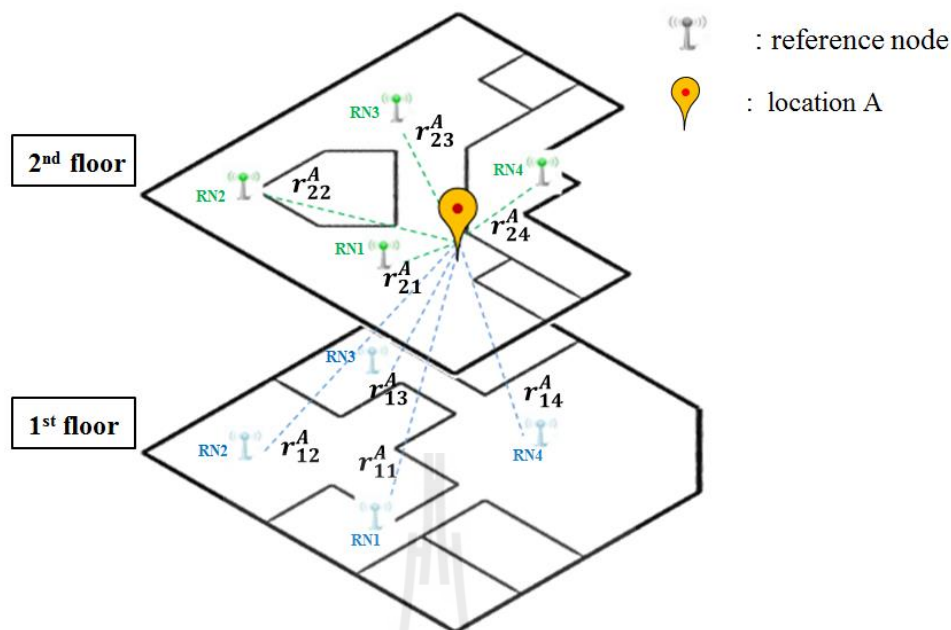
รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ในงานวิจัย

Hardware	Specification	
Sensor node	Manufacturer	Freescale
	Chipset	MC13224V
	Frequency range	2.405 GHz – 2.480 GHz
	Transmit power	Max transmit power (+3,+2,+4dBm)
	Operating channel	CH 26 (2.480 GHz)
	Antenna	Inverted F-antenna, SMA-antenna

5.1.2 การสร้างข้อมูลความเข้มของสัญญาณที่รับได้

สำหรับการจำลองแบบข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ผู้วิจัยได้ใช้คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางของข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนที่ติดตั้งจำนวน 111 พิกัด ข้อมูลของตำแหน่งวัตถุ 63 พิกัดและข้อมูลที่เก็บเพิ่มจำนวน 40 พิกัด โดยการวัดข้อมูลความเข้มของสัญญาณในแต่ละครั้งจะได้ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้จาก โหนดอ้างอิง (reference node : RN) ที่ติดตั้งในพื้นที่การทดลองพร้อมกับชื่อของโหนดอ้างอิงนั้น ตัวอย่างการวัดข้อมูลที่จุดทดสอบ A แสดงได้รูปที่ 5.2 และข้อมูลที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 5.2 ตัวอย่างข้อมูลที่วัดได้จากโหนดอ้างอิงที่อยู่ภายในอาคาร เช่น $r_{23}^A = -95.01$ dBm หมายถึง ที่ตำแหน่ง A สามารถวัดค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงตัวที่ 3 (แทนด้วย RN3) ของชั้นอาคารที่ 2 มีค่าเท่ากับ -95.01 dBm จากนั้นนำค่าที่เก็บรวบรวมได้มาคำนวณหาระยะห่างระหว่างพิกัดที่ทำกรวัดค่า (ภาครับหรือจุดทดสอบ A) กับโหนดอ้างอิงที่พิจารณา (ภาคส่งหรือโหนดอ้างอิง RN3 ของชั้นที่ 2) โดยใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส (pythagorean theorem) คำนวณหาระยะห่างในระบบ 3 มิติ (x, y, z)



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้น

ตารางที่ 5.2 ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงของจุดทดสอบ A

Point A (x, y, z)	Floor	Received Signal Strength (dBm)			
		RN1	RN2	RN3	RN4
(55, 75, 1)	1 st	-73.68	-84.57	-89.24	-96.39
	2 nd	-91.40	-94.21	-95.01	-98.98

วิธีการคำนวณระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับสามารถทำได้ดังนี้ ยกตัวอย่างการคำนวณระยะทางระหว่างจุดทดสอบ A และโนดอ้างอิง RN3 ของชั้นที่ 2 โดยกำหนดให้พิกัดของจุดทดสอบ A คือ (55, 75, 1) และพิกัดของโนดอ้างอิง RN3 ชั้น 2 คือ (59, 58, 2) สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดความสูงของโนดวัตถุ (target node) หรือโนดที่ใช้วัดข้อมูลเท่ากับ 0.8 เมตร กำหนดความสูงของโนดอ้างอิงจากพื้นเท่ากับ 2 เมตร และระยะห่างของชั้นอาคารในแต่ละชั้นคือ 4 เมตร ดังนั้นพิกัดจริงของจุดทดสอบ A และพิกัดจริงของโนดอ้างอิง RN3 ชั้น 2 คือ (55, 75, 0.8) และ (59, 58, 6) ตามลำดับ จากนั้นทำการคำนวณหาระยะห่างของสองพิกัดนี้ด้วยทฤษฎีบทพีทาโกรัสดังสมการที่ 5.1 จะได้

$$Dis = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (5.1)$$

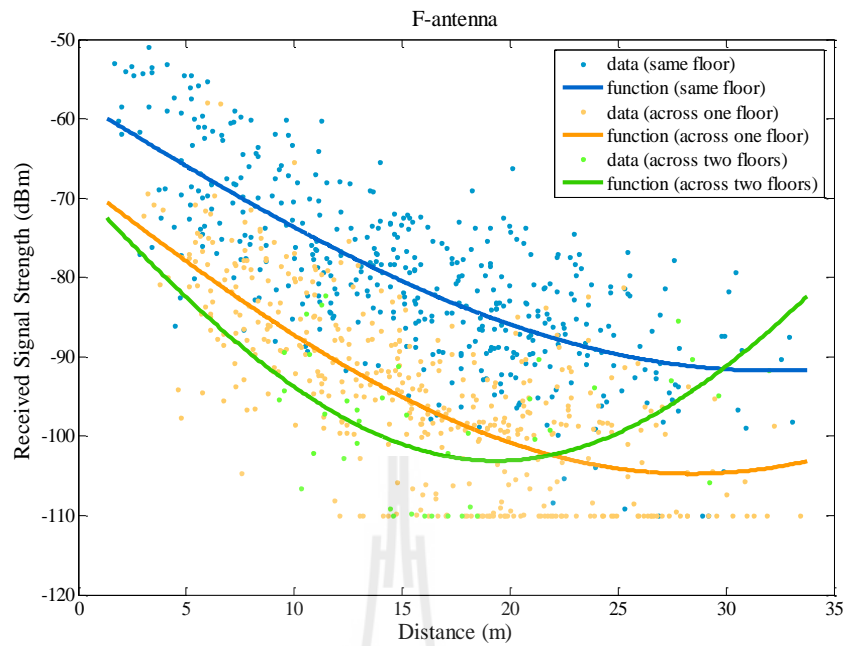
$$Dis = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

แทนค่า

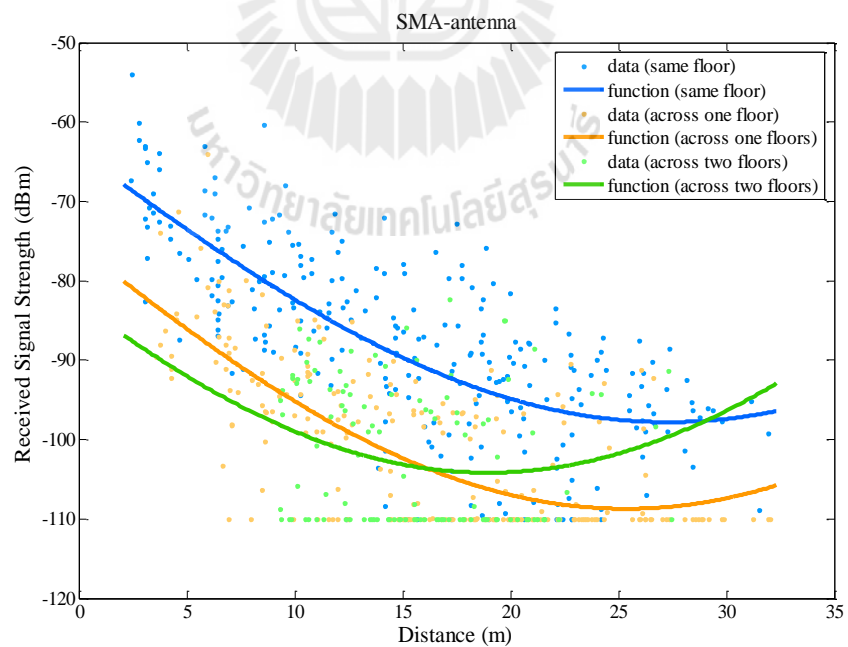
$$18.22 = \sqrt{(55 - 59)^2 + (75 - 58)^2 + (0.8 - 6)^2}$$

ดังนั้นระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ A และโนดอ้างอิง RN3 ที่อยู่บนชั้นอาคารที่ 2 มีค่าเท่ากับ 18.22 เมตร

เมื่อได้ข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณและระยะทางแล้ว (RSS = -95.01 dBm, Dis = 18.22 เมตร) ถัดมาคือการนำข้อมูลที่ได้ออกไปพล็อตลงในความสัมพันธ์กรณีต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลความสัมพันธ์ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งกรณีของข้อมูลออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน (same floor) กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันหนึ่งชั้น (across one floor) และกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสองชั้น (across two floors) ยกตัวอย่างกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันหนึ่งชั้น เช่น พิกัดที่ใช้วัดสัญญาณอยู่ในชั้นที่ 2 และที่ตั้งของโนดอ้างอิงอยู่ในชั้นที่ 1 เป็นต้น และประเภทสายอากาศของโนดอ้างอิงในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิดคือ F-antenna และ SMA-antenna สุดท้ายจะได้ค่าเฉลี่ยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับสายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด F-antenna และสายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด SMA-antenna ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับ
สายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด F-antenna



รูปที่ 5.4 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับ
สายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด SMA-antenna

เมื่อได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางทั้ง 3 กรณีแล้ว (กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน อยู่ต่างกันหนึ่งชั้น และอยู่ต่างกันสองชั้น) ถัดมาจะนำข้อมูลดังกล่าวมาประมาณค่าในช่วง (interpolation) เพื่อประมาณความสัมพันธ์สำหรับกรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสามชั้นและสี่ชั้น สำหรับวิธีการประมาณค่าในช่วงสามารถทำได้ดังนี้

ยกตัวอย่างการประมาณค่าในช่วงของสายอากาศโนดอ้างอิงชนิด F-antenna กำหนดให้

C^d_0 = ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน
ของระยะทาง d เมตร

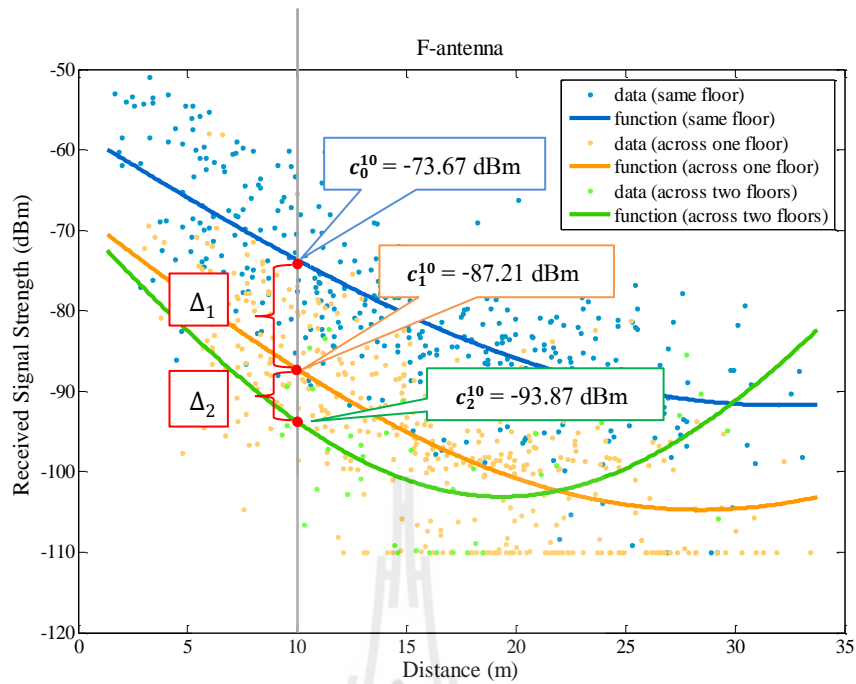
C^d_1 = ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันหนึ่งชั้น
ของระยะทาง d เมตร

C^d_2 = ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสองชั้น
ของระยะทาง d เมตร

C^d_3 = ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสามชั้น
ของระยะทาง d เมตร

C^d_4 = ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้กรณีทีภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสี่ชั้น
ของระยะทาง d เมตร

ตัวอย่างเช่น การประมาณค่าในช่วงของระยะทางที่ 10 เมตร โดยเลือกใช้ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่ได้จากการเฉลี่ยทีระยะห่าง 10 เมตร ซึ่งมีค่าข้อมูลความเข้มสัญญาณ $C^{10}_0 = -73.67$ dBm $C^{10}_1 = -87.21$ dBm และ $C^{10}_2 = -93.78$ dBm รูปที่ 5.5 แสดงการประมาณค่าในช่วงทีระยะทาง 10 เมตรสำหรับสายอากาศโนดอ้างอิงชนิด F-antenna



รูปที่ 5.5 การประมาณค่าในช่วงของระยะทางที่ 10 เมตรสำหรับสายอากาศชนิด F-antenna

$$\text{เมื่อ } \Delta_1 = |C_o^{10} - C_1^{10}|$$

$$\Delta_1 = |C_o^{10} - C_1^{10}| = |(-73.67) - (-87.21)| = 13.54 \text{ dBm}$$

$$\Delta_2 = |C_1^{10} - C_2^{10}| = |(-87.21) - (-93.78)| = 6.57 \text{ dBm}$$

$$\Delta_3 = \left| \frac{\Delta_2}{\Delta_1 / \Delta_2} \right| = \left| \frac{6.57}{13.54 / 6.57} \right| = 3.18 \text{ dBm}$$

จาก

$$\Delta_3 = |C_2^{10} - C_3^{10}|$$

การประมาณความสัมพันธ์สำหรับกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสามชั้นของระยะทาง 10 เมตร (C_3^{10}) มีค่าเท่ากับ

$$C_3^{10} = C_2^{10} - \Delta_3 = (-93.78) - (3.18) = -96.96 \text{ dBm}$$

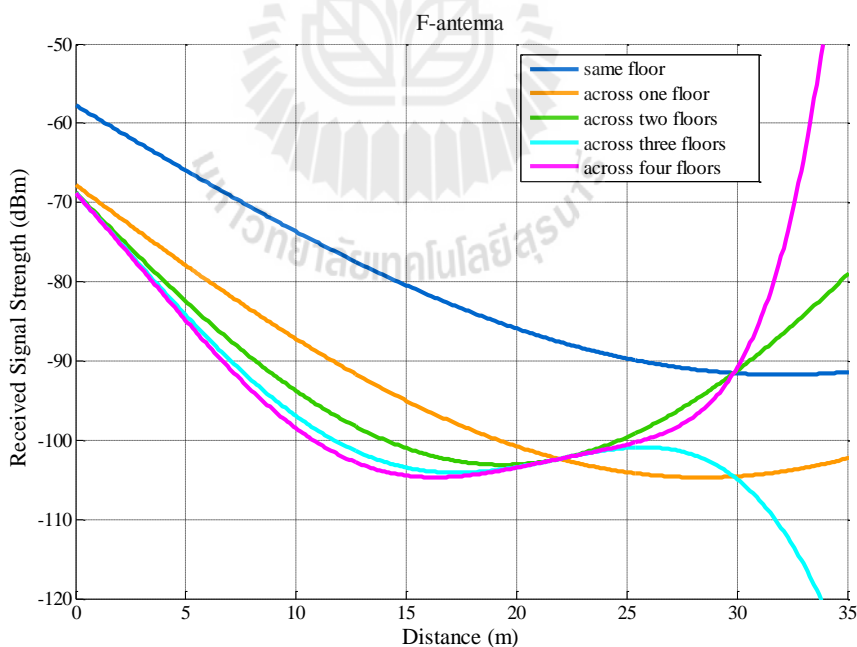
เช่นเดียวกับ

$$\Delta_4 = \left| \frac{\Delta_3}{\Delta_2/\Delta_3} \right| = \left| \frac{3.18}{6.57/3.18} \right| = 1.54 \text{ dBm}$$

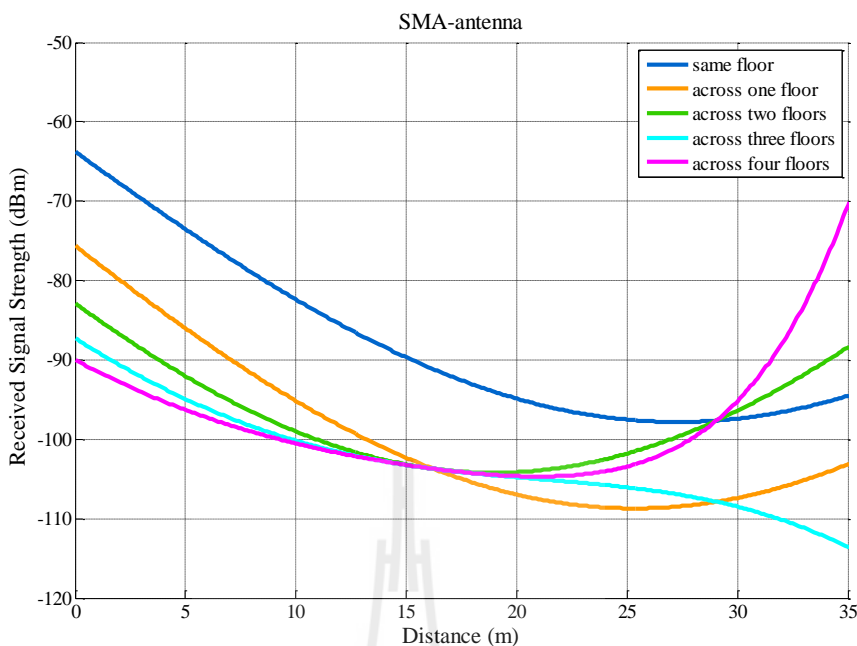
จะได้การประมาณความสัมพัทธ์สำหรับกรณีที่เกิดส่งและภาครับอยู่ต่างกันสี่ชั้นของระยะทาง 10 เมตร (C_4^{10}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$C_4^{10} = C_3^{10} - \Delta_4 = (-96.96) - (1.54) = -98.5 \text{ dBm}$$

ดังนั้นการประมาณค่าในช่วงของระยะทาง 10 เมตรของกรณีที่เกิดส่งและภาครับอยู่ต่างกันสามชั้นและสี่ชั้น คือ $C_3^{10} = -96.96 \text{ dBm}$ และ $C_4^{10} = -98.5 \text{ dBm}$ ตามลำดับ สุดท้ายจะได้ค่าเฉลี่ยของความสัมพัทธ์ทั้ง 5 กรณีสำหรับสายอากาศโนดอ้างอิงชนิด F-antenna และสายอากาศโนดอ้างอิงชนิด SMA-antenna แสดงดังรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ตามลำดับ

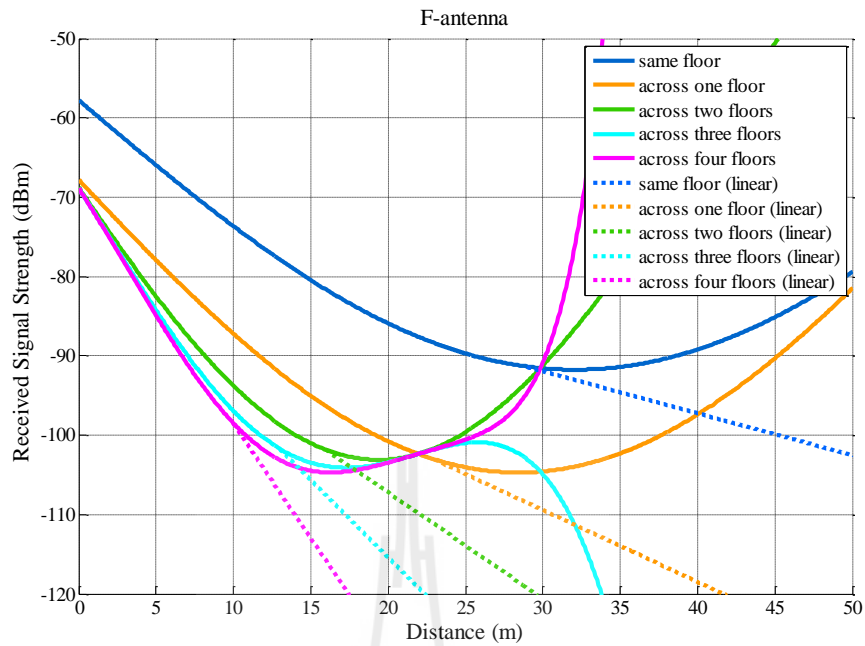


รูปที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางสำหรับสายอากาศชนิด F-antenna

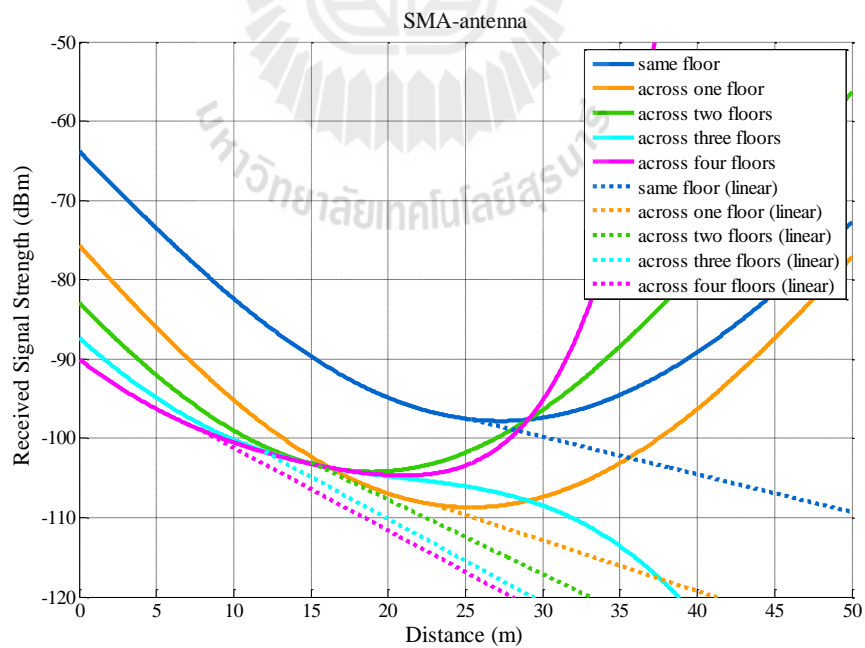


รูปที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด SMA-antenna

พิจารณาค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ในช่วงที่ระยะห่างภาคส่งและภาครับมีเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ที่ระยะทาง 25 - 35 เมตร) จะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่มีข้อมูลความสัมพัทธ์น้อย ทำให้การเฉลี่ยค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ในช่วงนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือมีค่าความเข้มสัญญาณดีขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับคุณสมบัติการแพร่กระจายของสัญญาณที่ว่า เมื่อระยะทางภาคส่งและภาครับเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มสัญญาณอ่อนลง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการประมาณความสัมพัทธ์ในช่วงที่ค่าความเข้มสัญญาณเพิ่มขึ้นโดยใช้การถดถอยแบบเชิงเส้น (linear regression) ซึ่งจะทำให้การประมาณข้อมูลในช่วงทำให้ออกมาเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทางของข้อมูลจริง (เส้นทึบ) รวมกับการประมาณการถดถอยแบบเชิงเส้น (เส้นประ) สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna และ SMA-antenna ดังแสดงในรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง
สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna (รวมการถดถอยแบบเชิงเส้น)



รูปที่ 5.9 ค่าเฉลี่ยความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง
สำหรับสายอากาศชนิด SMA-antenna (รวมการถดถอยแบบเชิงเส้น)

เพื่อทำให้การจำลองข้อมูลความเข้มสัญญาณมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้สังเกตว่า ในการเก็บบันทึกค่าแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับจะมีค่าเท่ากัน แต่ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่วัดได้จะมีค่าไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกันของระยะทาง 30 เมตร ค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้มีค่ามากกว่า 1 ค่า คือ -80 dBm, -85 dBm, และ -103 dBm สาเหตุเนื่องมาจาก สิ่งกีดขวางหรือสภาพแวดล้อมที่อยู่ระหว่างภาคส่งและภาครับมีลักษณะแตกต่างกัน ทำให้ความเข้มสัญญาณที่รับได้จากระยะห่างเดียวกันมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ที่ช่วงระยะห่างต่าง ๆ เข้ามาร่วมกับการสร้างข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดสัญญาณภายในอาคารของทั้ง 3 กรณีคือ กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างชั้นหนึ่งชั้น และกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างชั้นสองชั้น สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna และ SMA-antenna โดยกำหนดช่วงของระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับออกเป็น 7 ช่วง ข้อมูลที่อยู่ในแต่ละช่วงจะถูกนำมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลและบันทึกลงในตาราง สำหรับตารางค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่วัดได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเข้มสัญญาณในช่วงระยะทางต่าง ๆ

ชนิดสายอากาศ	กรณีที่ตั้งของภาคส่งและภาครับ	0-5ม.	5-10ม.	10-15ม.	15-20ม.	20-25ม.	25-30ม.	>30 ม.
		F-antenna	ในชั้นเดียวกัน	10.03	7.75	6.14	6.72	7.57	9.45	7.37
	ต่างชั้นหนึ่งชั้น	10.28	7.86	7.88	6.83	7.80	7.67	3.99
	ต่างชั้นสองชั้น	N/A*	3.19	8.68	5.06	4.08	7.55	0**
SMA-antenna	ในชั้นเดียวกัน	7.75	7.17	8.34	9.84	8.72	4.39	7.01
	ต่างชั้นหนึ่งชั้น	7.11	9.06	8.01	6.32	5.02	5.35	0**
	ต่างชั้นสองชั้น	N/A*	8.42	8.57	8.86	7.51	9.43	0**

หมายเหตุ : N/A* หมายถึง ไม่มีข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ในช่วงระยะทางดังกล่าว
0** หมายถึง ข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ที่อยู่ในช่วงระยะทางดังกล่าวมีค่าเท่ากันทั้งหมด ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจึงมีค่าเท่ากับ 0

ในการจำลองข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้เพื่อนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลฟังก์ชันปรีนธ์สำหรับการทดลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งในหัวข้อ 5.2 ถึงหัวข้อที่ 5.6 สามารถทำได้ดังนี้

1) คำนวณหาระยะห่างระหว่างภาคส่ง (โนดอ้างอิง) และภาครับ (โนดวัตถุ) จากพิกัดของโนดทั้งสอง ตามทฤษฎีบทพีทาโกรัสดังสมการที่ 5.1

2) นำระยะทางที่ได้ไปแปลงเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่รับได้จากความสัมพันธ์ตามกรณีของที่ตั้งของโนดภาคส่งและภาครับและตามกรณีของชนิดสายอากาศภาคส่ง (ความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9) สุดท้ายจะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่รับได้ของระยะทางนั้น ๆ

3) ทำการสุ่มตัวเลขซึ่งเป็นการสุ่มค่าความแปรปรวนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อม โดยใช้การสุ่มแบบแจกแจงปกติ (normal distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามช่วงที่ได้จากตารางที่ 5.3

4) นำค่าตัวเลขดังกล่าวไปรวมกับค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ได้จากความสัมพันธ์ จะได้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นค่าความเข้มสัญญาณที่รวมกับค่าความแปรปรวนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อม ซึ่งเสมือนกับการวัดข้อมูลความเข้มสัญญาณที่พิกัดใด ๆ จำนวนหนึ่งครั้ง

5) ข้อมูลความเข้มของสัญญาณที่ได้นี้จะถูกนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลฟังก์ชันปรีนธ์และใช้เป็นข้อมูลของตำแหน่งวัตถุ

ตัวอย่างการจำลองข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้สามารถทำได้ดังนี้ กำหนดให้ตำแหน่งของโนดวัตถุอยู่ในชั้นที่หนึ่งมีพิกัด (45, 48, 0.8) และตำแหน่งของโนดอ้างอิง RN2 ที่มีสายอากาศชนิด F-antenna ซึ่งติดตั้งอยู่ในชั้นที่ 3 มีพิกัด (53, 55, 10) ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการสร้างความเข้มสัญญาณในกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสองชั้นสำหรับสายอากาศชนิด F-antenna (ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.8 เส้นกราฟสีเขียว) ถัดมาคำนวณหาระยะห่างของโนดวัตถุกับโนดอ้างอิงด้วยทฤษฎีบทพีทาโกรัสโดยใช้สมการที่ 5.1 จะได้ระยะทางเท่ากับ 14.06 เมตร ขั้นตอนถัดมาคือนำระยะทางที่ได้ไปแปลงเป็นความเข้มสัญญาณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.8 กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสองชั้นเส้นกราฟสีเขียว จะได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณเท่ากับ -100.06 dBm จากนั้นทำการสุ่มค่าตัวเลขที่เป็นค่าความแปรปรวนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามตารางที่ 5.3 ในช่วง 10 ถึง 15 เมตรสำหรับกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสองชั้นมีค่าเท่ากับ 8.68 เมตรและสมมติให้การสุ่มค่าตัวเลขมีค่าเท่ากับ 4.12 dBm ถัดมาทำการรวมค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ได้จาก

ความสัมพันธ์กับค่าความแปรปรวนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อมเข้าด้วยกัน สุดท้ายจะได้ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิง RN2 ของการวัดหนึ่งครั้งมีค่าเท่ากับ -95.94 dBm

หมายเหตุ ลักษณะเฉพาะของค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับรูปแบบการกระจายตัวแบบปรกติ (Tummala, 2005) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การสุ่มแบบการแจกแจงปรกติ แต่เลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามช่วงระยะที่แตกต่างกัน และสำหรับกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันสามชั้นและสี่ชั้นจะใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับศูนย์ในทุกระยะทาง

5.1.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากการวัดจริงและจากสมการ

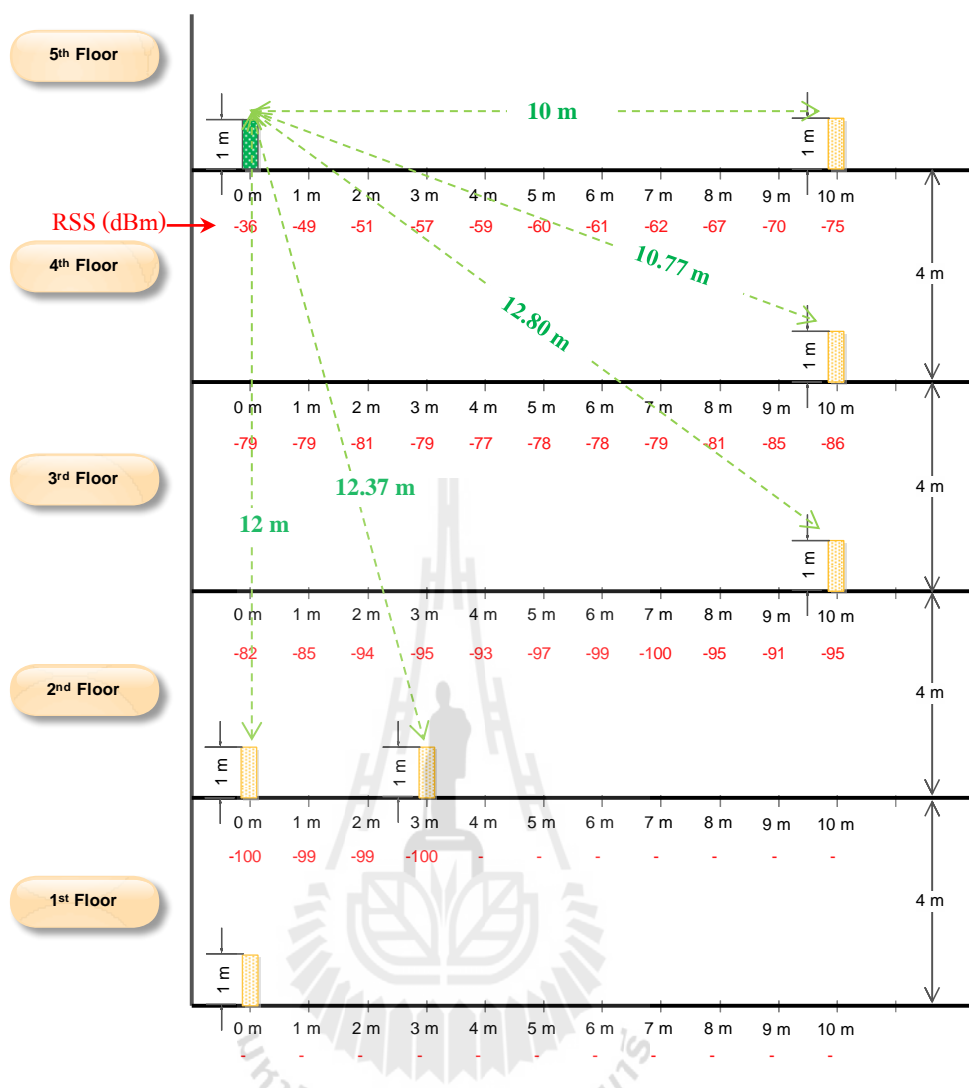
ความสัมพันธ์

เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าความเข้มสัญญาณที่สร้างจากสมการความสัมพันธ์กับข้อมูลที่วัดได้จริง ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มสัญญาณ โดยทำการทดสอบวัดค่าความเข้มสัญญาณระหว่างโนคภาคส่งและโนคภาครับที่มีชนิดของสายอากาศ F-antenna ทดลองภายในอาคาร 5 ชั้น กำหนดให้โนคภาคส่ง (โนคสี่เหลี่ยม) อยู่กับที่และมีความสูงจากพื้น 1 เมตร และมีกำลังส่งเท่ากับ 4 dBm (เลือกใช้ MC13224-LPN) ส่งค่าความเข้มสัญญาณออกมาทุก ๆ 3 วินาที และกำหนดให้โนคภาครับมีความสูงจากพื้น 1 เมตร (โนคสี่เหลี่ยม) ทำการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนคภาคส่งตามระยะที่ได้กำหนดไว้ (ทุกๆ 1 เมตร) พร้อมทั้งแสดงค่าความเข้มสัญญาณออกที่หน้าจอ ตัวเลขสีแดงแทนค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่ได้ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ มีหน่วยเป็น dBm สำหรับผลของการเก็บบันทึกข้อมูลภายในอาคาร 5 ชั้นที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.10

พิจารณารูปที่ 5.10 ค่าความเข้มสัญญาณที่ระยะทางต่าง ๆ แสดงเป็นตัวเลขสีแดงได้พิกัดที่วัดค่า และค่าความเข้มสัญญาณที่ไม่สามารถวัดได้แทนด้วยเครื่องหมายลบสีแดง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างโนคภาคส่งและภาครับเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มสัญญาณที่โนคภาครับสามารถรับได้จะมีแนวโน้มอ่อนลง โดยกรณีที่โนคภาคส่งและโนคภาครับอยู่ในชั้นเดียวกันที่ระยะห่าง 10 เมตร ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้มีค่าเท่ากับ -75 dBm ในกรณีข้าม 1 ชั้น (ภาคส่งอยู่ชั้นที่ 5 ภาครับอยู่ชั้นที่ 4) มีการกระจัด 10.77 เมตร และมีค่าความเข้มสัญญาณเท่ากับ -86 dBm และในกรณีข้าม 2 ชั้น (ภาคส่งอยู่ชั้นที่ 5 ภาครับอยู่ชั้นที่ 3) มีการกระจัด 12.80 เมตร และมีค่าความเข้มสัญญาณเท่ากับ -95 dBm ในขณะที่กรณีข้าม 3 ชั้น (ภาคส่งอยู่ที่ชั้น 5 ภาครับอยู่ที่ชั้น 2) ที่การกระจัด 12 เมตร ถึง 12.37 เมตร ค่าความเข้มของสัญญาณที่ภาครับสามารถรับได้มีค่าอ่อนมา (ประมาณ -99 dBm ถึง -100 dBm) และกรณีสุดท้ายกรณีข้าม 4 ชั้น (ภาคส่งอยู่ชั้นที่ 5 ภาครับอยู่ชั้นที่ 1) ภาครับจะไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณได้จากทุกการกระจัด

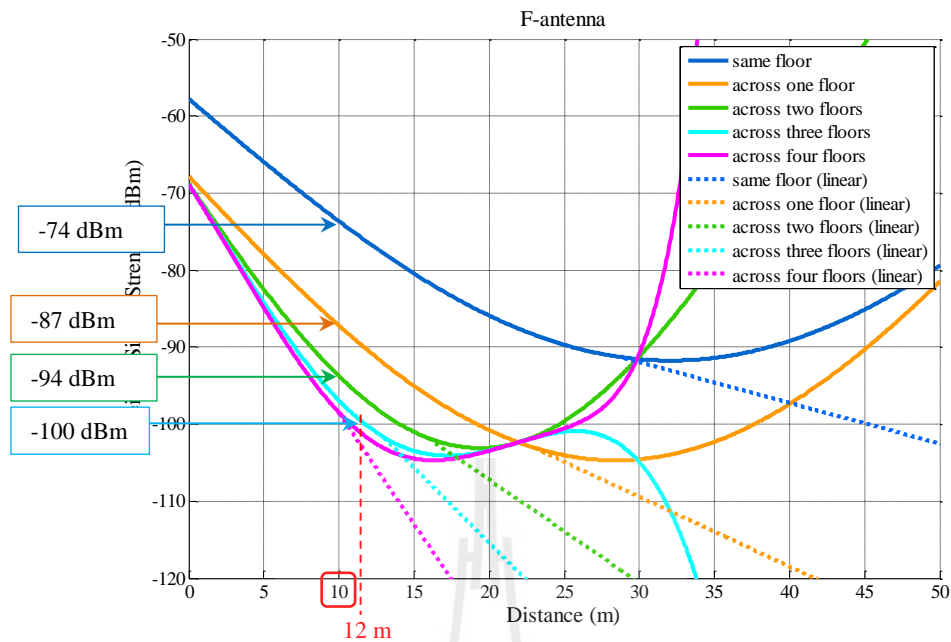
เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของความเข้มสัญญาณกับระยะทางดังรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่สร้างจากฐานข้อมูลฟังก์ชันปริ้นท์วัดในสภาพแวดล้อมจริงสำหรับสายอากาศชนิด F-antenna ซึ่งเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มสัญญาณที่รับได้ในแต่ละกรณี เมื่อพิจารณาที่ระยะห่าง 10 เมตรของกรณีภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) มีค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ประมาณ -74 dBm (มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองข้างต้นที่การกระจัด 10 เมตรมีค่า RSS = -75 dBm) ถัดมาที่ระยะห่าง 10 เมตรของกรณีที่ข้าม 1 ชั้น (เส้นกราฟสีส้ม) มีค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ประมาณ -87 dBm (มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองข้างต้นที่การกระจัด 10.77 เมตรมีค่า RSS = -86 dBm) และเมื่อพิจารณาที่ระยะห่าง 10 เมตรของกรณีที่ข้าม 2 ชั้น (เส้นกราฟสีเขียว) มีค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ประมาณ -94 dBm (มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองข้างต้นที่การกระจัด 12.80 เมตรมีค่า RSS = -95 dBm) และเมื่อพิจารณาที่กรณีข้าม 3 ชั้น (เส้นกราฟสีฟ้า) ระยะห่างที่มากที่สุดที่ภาคส่งจะสามารถรับความเข้มสัญญาณได้ (RSS น้อยกว่า -100 dBm) มีค่าเท่ากับ 12 เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากการทดลองกรณีข้าม 3 ชั้น คือที่การกระจัด 12 เมตร ถึง 12.37 เมตรมีค่า RSS = -99 ถึง -100 dBm ซึ่งเป็นความเข้มสัญญาณที่มีค่าอ่อนมากๆ และเส้นสุดท้ายเส้นกราฟสีชมพูเป็นกรณีที่ข้าม 4 ชั้น ที่การกระจัดอย่างน้อยที่สุด 16 เมตร (ระยะห่างระหว่างชั้นตั้งแต่ชั้นหนึ่งถึงชั้นที่ห้าเท่ากับ 16 เมตร) ที่โนดภาครับไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดภาคส่งได้ (มีค่า RSS น้อยกว่า -100 dBm) ซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มของสมการความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.11





รูปที่ 5.10 การเก็บบันทึกค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 5 ชั้น

จากการทดลองเปรียบเทียบความเข้มสัญญาณที่ระยะทางต่างๆของการวัดจริงและสมการความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.11 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเข้มสัญญาณที่ระยะทางต่าง ๆ ของการวัดจริงและจากสมการความสัมพันธ์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้สมการความสัมพันธ์ในรูปที่ 5.11 จำลองฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรี้นท์ (fingerprint generation) เพื่อใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น สามารถให้ค่าความเข้มสัญญาณใกล้เคียงกับค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้จริง



รูปที่ 5.11 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสัญญาณที่รับได้กับระยะทาง สำหรับสายอากาศชนิด F-antenna

5.1.4 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ก่อนที่จะทำการจำลองแบบข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์ของระบบ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่สภาพแวดล้อมจริง เพื่อวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยผู้วิจัยได้เก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ อาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 3 โดยเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ทุก ๆ 1 นาทีตั้งแต่เวลา 8.00 ถึง 18.00 น. จำนวน 10 ตำแหน่ง โดยแบ่งออกเป็นตำแหน่งที่อยู่นอกห้องแอร์ 5 ตำแหน่ง และตำแหน่งที่อยู่ภายในห้องแอร์ 5 ตำแหน่ง รูปที่ 5.12 แสดงตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมทั้ง 10 ตำแหน่ง ตารางที่ 5.4 แสดงรายละเอียดของตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมทั้ง 10 ตำแหน่ง รูปที่ 5.13 แสดงข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่เก็บบันทึกได้ และรูปที่ 5.14 แสดงข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมที่เก็บบันทึกได้



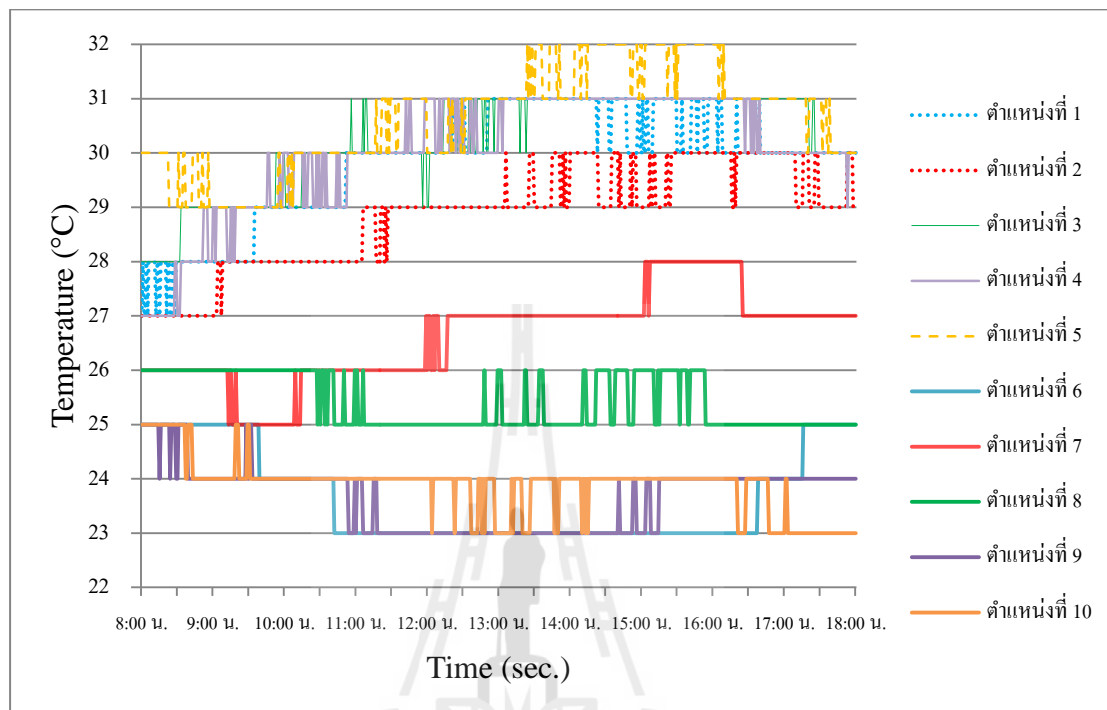
รูปที่ 5.12 ตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดของตำแหน่งที่ใช้บันทึกค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

ตำแหน่ง	วัน/วันที่เดือน/ปี	สภาพภูมิอากาศ	บริเวณ
1	เสาร์/ 16/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนอ่านหนังสือชั้น 1 (ไม่มีแอร์)
2	อาทิตย์/ 17/ มิ.ย./ 55	มีเมฆและลมตลอดวัน	โซนอ่านหนังสือชั้น 1 (ไม่มีแอร์)
3	จันทร์/ 18/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนอ่านหนังสือชั้น 1 (ไม่มีแอร์)
4	พุธ/ 20/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนประตูทางเข้าเก่าชั้น 2 (ไม่มีแอร์)
5	พฤหัสบดี/ 21/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส (แดดแรง)	โซนประตูทางเข้าเก่าชั้น 2 (ไม่มีแอร์)
6	เสาร์/ 23/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ชั้น 1 (ห้องแอร์)
7	อาทิตย์/ 24/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส (แดดแรง)	โซนอ่านหนังสือชั้น 2 (ห้องแอร์)
8	จันทร์/ 25/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนอ่านหนังสือชั้น 2 (ห้องแอร์)
9	อังคาร/ 26/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนอ่านหนังสือชั้น 3 (ห้องแอร์)
10	พุธ/ 27/ มิ.ย./ 55	ท้องฟ้าแจ่มใส	โซนอ่านหนังสือชั้น 3 (ห้องแอร์)

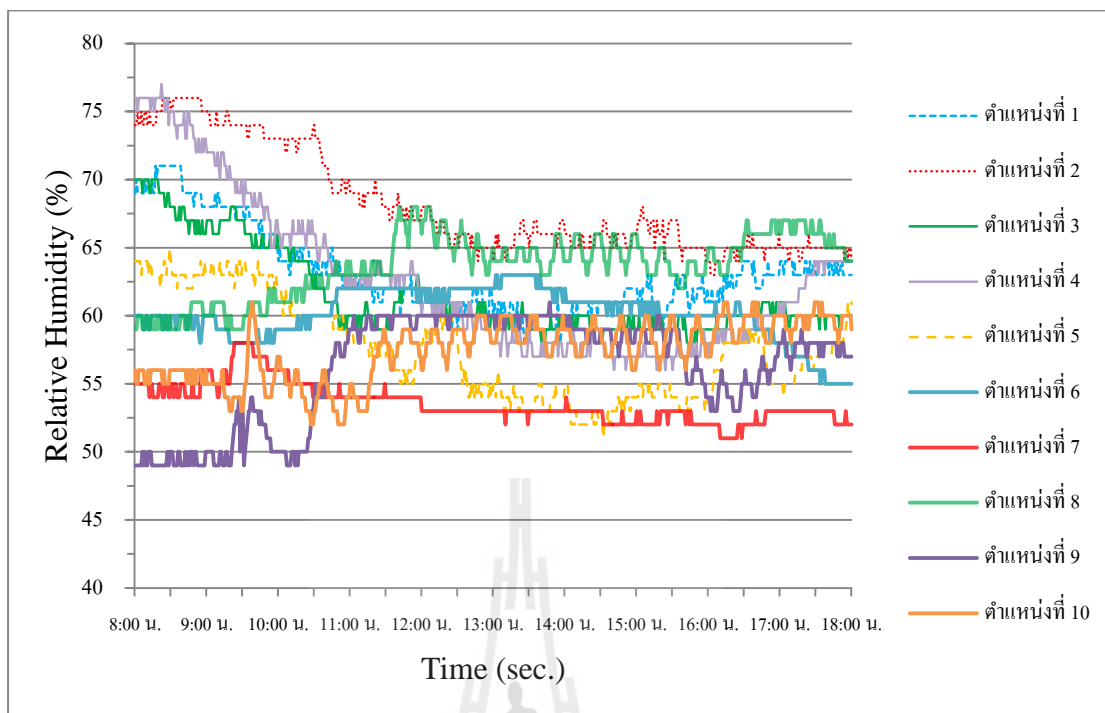
เมื่อพิจารณาที่ข้อมูลอุณหภูมิที่บันทึกได้ดังรูปที่ 5.13 จะสังเกตได้ว่า ที่ข้อมูลอุณหภูมิตลอดทั้งวันของตำแหน่งที่อยู่นอกห้องแอร์ (เส้นประ) จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 27 ถึง 32 องศาเซลเซียส และจะเริ่มคงที่ในช่วงเวลาบ่ายจนถึงเย็น ส่วนค่าอุณหภูมิในช่วงเช้าของตำแหน่งที่อยู่ภายในห้องแอร์ (เส้นทึบ) จะมีแนวโน้มลดลงและจะคงที่จนถึงช่วงเย็น โดยมีค่าอุณหภูมิประมาณ 23 ถึง 26 องศาเซลเซียส ยกเว้นในตำแหน่งที่ 7 (เส้นทึบสีแดง) จะมีแนวโน้มของค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตลอดทั้งวัน (ประมาณ 25 ถึง 28 องศาเซลเซียส) สาเหตุเนื่องมาจากในการบันทึกข้อมูลในวันที่ 7 (หรือ

ตำแหน่งที่ 7) เป็นวันที่มีสภาพอากาศร้อนจัด ซึ่งพื้นที่ภายนอกห้องแอร์มีจะอุณหภูมิสูงประมาณ 32 ถึง 34 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ภายในห้องแอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย



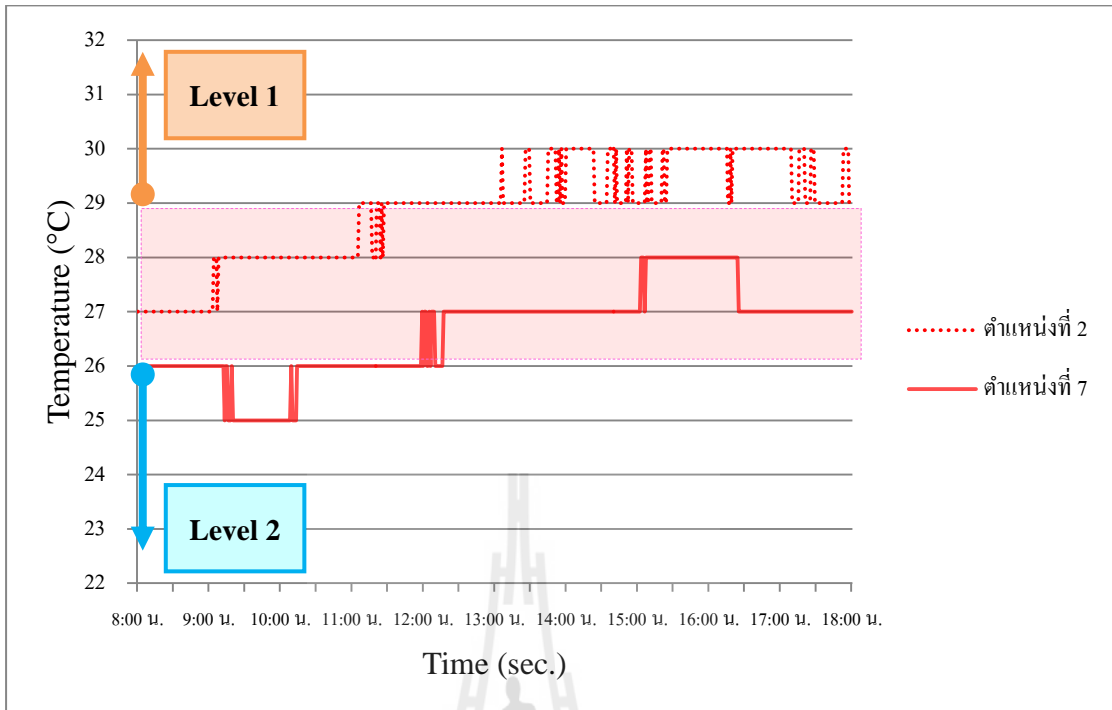
รูปที่ 5.13 ข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ณ อาคารบรรณสารในช่วงเวลา 8.00 ถึง 18.00 น.

พิจารณาที่ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้ในรูปที่ 5.14 ตั้งแต่เวลา 8.00 ถึง 18.00 น. จะสังเกตได้ว่า ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของตำแหน่งที่อยู่นอกห้องแอร์ (เส้นประ) จะมีแนวโน้มลดลง โดยที่ช่วงเช้าจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงประมาณ 70% ถึง 75% จากนั้นจะลดลงจนถึงช่วงกลางวันและคงที่ประมาณ 60% ถึง 65% ตลอดทั้งวัน ซึ่งแตกต่างข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของตำแหน่งที่อยู่ภายในห้องแอร์ (เส้นทึบ) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ช่วงเช้าจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 50% ถึง 55% จากนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงกลางวันและคงที่ประมาณ 55% ถึง 60% ตลอดทั้งวัน

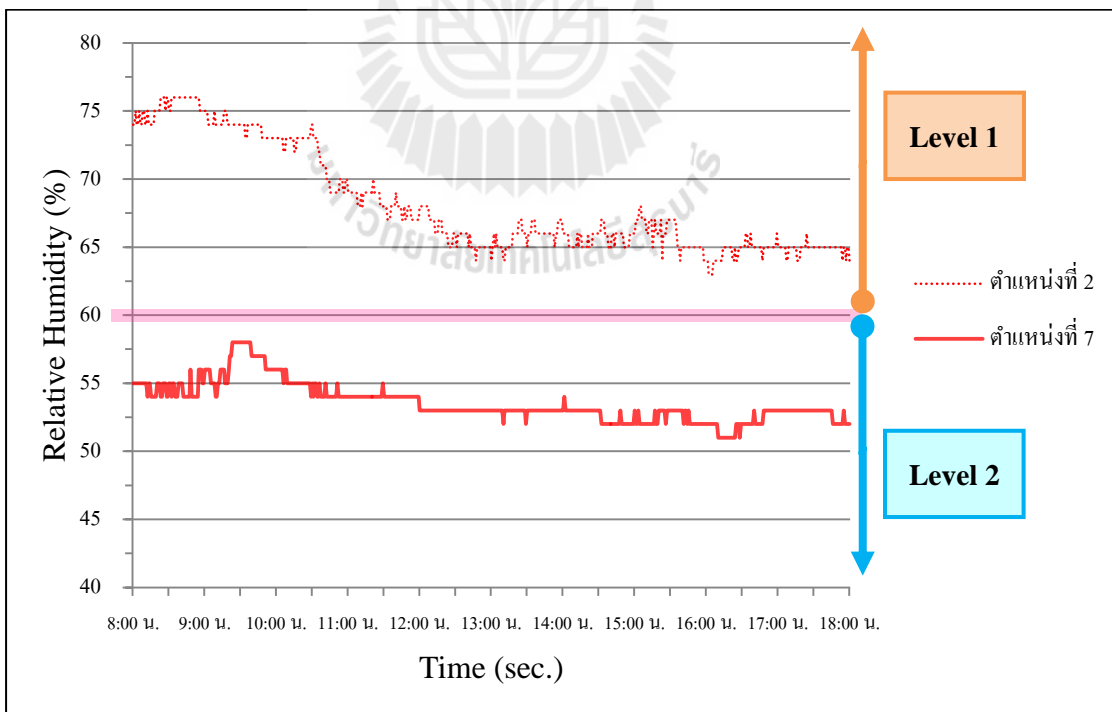


รูปที่ 5.14 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ อาคารบรรณสารในช่วงเวลา 8.00 ถึง 18.00 น.

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่สภาพแวดล้อมเกิดความแปรปรวน เช่น เป็นวันที่มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าวันอื่น ๆ ในรอบสัปดาห์ ในรูปที่ 5.15 ตำแหน่งที่อยู่ภายในห้องแอร์ตำแหน่งที่ 7 (เส้นทึบสีแดง) มีค่าอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25 ถึง 28 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าวันอื่น ๆ ในรอบสัปดาห์ ส่งผลให้ช่วงอุณหภูมิของตำแหน่งนี้เกิดการเหลื่อม (overlap) กับช่วงอุณหภูมิของตำแหน่งที่อยู่ภายนอกห้องแอร์ตำแหน่งที่ 2 (เส้นประสีแดง) ที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27 ถึง 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้เพียงข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะไม่สามารถจำแนกกลุ่มของข้อมูลได้ทุกกรณี แต่เมื่อพิจารณาที่ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของวันที่เกิดความแปรปรวนพบว่า รูปที่ 5.16 ตำแหน่งที่ 7 จะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 60% ตลอดทั้งวัน (มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 53% ถึง 57%) ซึ่งแตกต่างจากตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 60% ตลอดทั้งวัน (มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 63% ถึง 76%) ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการจัดระดับอุณหภูมิให้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศได้อีกด้วย



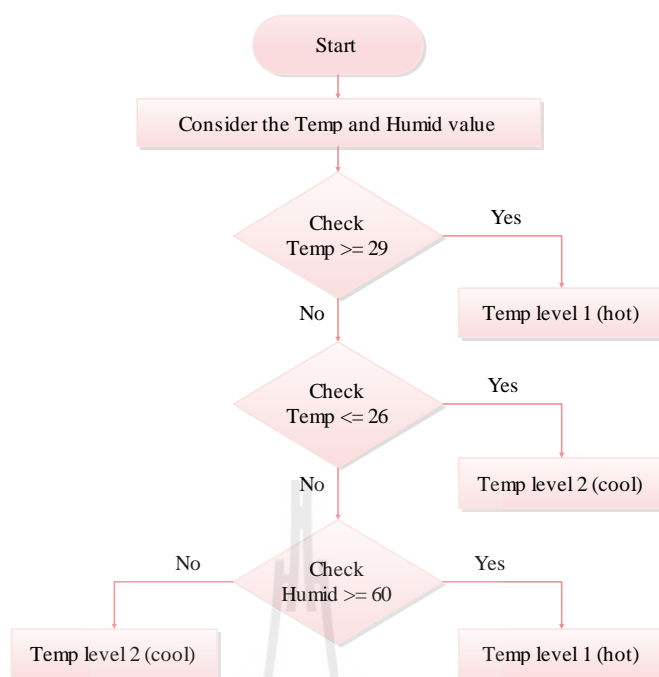
รูปที่ 5.15 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลอุณหภูมิ



รูปที่ 5.16 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมด้วยข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์

จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ อาคารบรรณสารในช่วงเวลา 8.00 ถึง 18.00 น. จะสามารถแบ่งกลุ่มของชุดข้อมูลได้ 2 กลุ่ม คือ ระดับอุณหภูมิที่ 1 (temperature level 1) และระดับอุณหภูมิที่ 2 (temperature level 2) ซึ่งขั้นตอนการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ดังแผนภาพในรูปที่ 5.17 เริ่มจากการพิจารณาค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมที่ตำแหน่งวัดจุดได้ จากนั้นทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมว่ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 29 องศาเซลเซียสหรือไม่ ถ้าตรงตามเงื่อนไขนี้ จะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจัดอยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 1 และจบการทำงาน แต่ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไข จะไปตรวจสอบในขั้นถัดไปว่า ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 26 องศาเซลเซียสหรือไม่ ถ้าตรงตามเงื่อนไขนี้ จะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจัดอยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 2 และจบการทำงาน แต่ถ้าหากค่าอุณหภูมิไม่ตรงตามเงื่อนไขทั้งสอง อาจหมายถึง สภาพภูมิอากาศขณะทำการวัดข้อมูลเกิดความแปรปรวน ซึ่งการใช้เพียงค่าอุณหภูมิจะไม่สามารถจัดระดับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นในขั้นตอนถัดมาจะทำการพิจารณาข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมว่ามีค่าน้อยกว่า 60% หรือไม่ ถ้าตรงตามเงื่อนไขนี้ จะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจัดอยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 2 แต่ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไข (เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 60%) จะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจัดอยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 1 และสิ้นสุดกระบวนการจัดระดับอุณหภูมิ

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างการแบ่งระดับอุณหภูมิเพียง 2 ระดับอุณหภูมิเพื่อเป็นแนวทางในการนำพารามิเตอร์ของระบบ เช่น ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาใช้ร่วมกับค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ในภายในอาคารแบบหลายชั้น



รูปที่ 5.17 ขั้นตอนการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้

5.1.5 การสร้างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

สำหรับการจำลองข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บบันทึกในสภาพแวดล้อมจริง โดยจะมีการนำค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บบันทึกได้จากหัวข้อ 5.1.4 บันทึกและสร้างเป็นตารางข้อมูลพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งแยกตามการจัดระดับอุณหภูมิ ตารางที่ 5.5 แสดงตัวอย่างของข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เก็บบันทึกได้ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. ของทั้ง 5 ตำแหน่งที่อยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 1 (หรือตำแหน่งที่อยู่นอกห้องแอร์) โดยผู้วิจัยได้แบ่งเฟสเวลา (time-phase) ออกเป็น 10 เฟสเวลา เฟสเวลาละ 60 นาที ตัวอย่างเช่น ในเฟสเวลาที่ 1 เป็นข้อมูลที่เก็บบันทึกได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.01 น. ถึง 9.00 น. เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จำนวนข้อมูลที่เก็บบันทึกได้ในแต่ละเฟสเวลาจึงมีจำนวนทั้งหมด 300 ค่า (ข้อมูลจากการวัด 60 ครั้งของ 5 ตำแหน่งที่อยู่นอกห้องแอร์)

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่บันทึกได้ของการจัดระดับอุณหภูมิที่ 1

ระดับอุณหภูมิที่ 1 (temperature level 1)							
การวัดครั้งที่	Time-phase 1 (8.01 น. - 9.00 น.)		Time-phase 2 (9.01 น. - 10.00 น.)		...	Time-phase 10 (17.01 น. - 18.00 น.)	
	Temp. (°C)	Humid. (%)	Temp. (°C)	Humid. (%)	...	Temp. (°C)	Humid. (%)
1	27	69	28	68	...	29	64
2	28	70	28	68	...	28	64
3	28	69	28	68	...	28	64
4	27	70	28	69	...	28	64
...
300	29	71	28	68	...	27	65

ในการจำลองค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมที่เป็นพารามิเตอร์ของระบบสำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนที่สามารทำได้ดังนี้

- 1) กำหนดค่าตัวแปร 2 ค่าได้แก่ ระดับอุณหภูมิของวัตถุ (temperature level : TL) และเฟสเวลา (time phase : TP) ที่ต้องการจำลอง
- 2) เลือกข้อมูลอุณหภูมิหรือข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่มีระดับอุณหภูมิ (TL) และเฟสเวลา (TP) ตรงกับตัวแปรที่ได้กำหนด (เช่น ตารางที่ 5.5 เป็นข้อมูลของการจัดระดับอุณหภูมิที่ 1)
- 3) เรียงลำดับข้อมูลอุณหภูมิหรือข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากน้อยไปหามากพร้อมกับนับจำนวนข้อมูลที่มีค่าซ้ำกัน จากนั้นคำนวณร้อยละสัดส่วนของข้อมูลเพื่อกำหนดช่วงของข้อมูล และบันทึกค่าลงในตารางช่วงของข้อมูลอุณหภูมิหรือข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์
- 4) สุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 โดยใช้การสุ่มแบบการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (uniform distribution) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปพิจารณาว่าอยู่ในช่วงของข้อมูลใด และจะเลือกช่วงข้อมูลนั้นเป็นค่าอุณหภูมิ หรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ของวัตถุที่จำลองได้สำหรับการวัด 1 ครั้ง

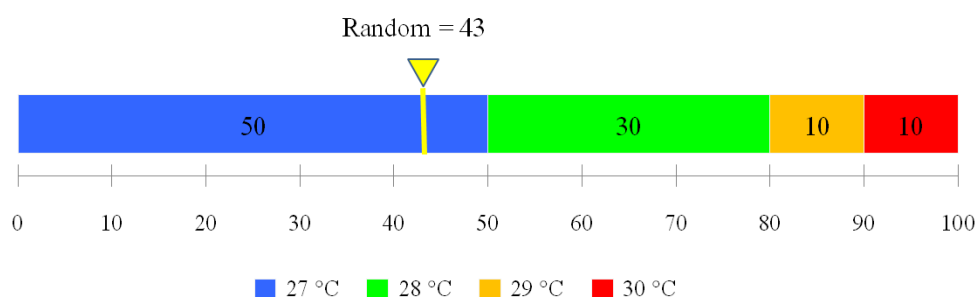
ตัวอย่างการจำลองข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้ดังนี้ กำหนดให้ค่าตัวแปรระดับอุณหภูมิของวัตถุมีค่าเท่ากับ 1 (TL=1) และเฟสเวลามีค่าเท่ากับ 3 (TP=3) จากนั้นเลือกข้อมูลอุณหภูมิในตารางที่ 5.5 ที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และเฟสเวลาเท่ากับ 3 ถัดมาเรียงลำดับข้อมูลอุณหภูมิจากน้อยไปหามากพร้อมกับนับจำนวนค่าอุณหภูมิที่ซ้ำกัน และคำนวณร้อยละสัดส่วนของค่าอุณหภูมิ (จำนวนที่ซ้ำของแต่ละข้อมูลหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด) กำหนดช่วงของข้อมูลอุณหภูมิตามร้อยละสัดส่วนที่คำนวณได้ และบันทึกลงในตารางช่วงของข้อมูลอุณหภูมิ

ตารางที่ 5.6 โดยในตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลอุณหภูมิที่อยู่ในระดับอุณหภูมิที่ 1 และมีเฟสเวลาที่ 3 มีทั้งหมด 4 ข้อมูลได้แก่ 27°C, 28°C, 29°C, และ 30°C ซึ่งมีจำนวนข้อมูลที่ซ้ำกันเท่ากับ 150, 90, 30, และ 30 ข้อมูล ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละอัตราส่วนได้เท่ากับ 50%, 30%, 10%, และ 10% ตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถกำหนดช่วงของข้อมูลตามร้อยละอัตราส่วนได้เท่ากับ 1-50, 51-80, 81-90, และ 91-100 ตามลำดับ ขั้นตอนถัดมาคือการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 ด้วยการสุ่มแบบการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปพิจารณาว่าอยู่ในช่วงของข้อมูลใด ตัวอย่างเช่น สุ่มตัวเลขจำนวนเต็มได้เท่ากับ 43 ซึ่งเป็นตัวเลขที่อยู่ในช่วงของค่าอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส (ในช่วง 1-50) รูปที่ 5.18 แสดงช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และมีเฟสเวลาเท่ากับ 3 ช่วงสีน้ำเงิน สีเขียว สีส้ม และสีแดง แทนช่วงของค่าอุณหภูมิ 27°C, 28°C, 29°C, และ 30°C ตามลำดับ สุดท้ายจะสามารถจำลองค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสำหรับการวัด 1 ครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้ใช้การสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Leon-Garcia, 1993) สำหรับการจำลองค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะให้น้ำหนักกับค่าอุณหภูมิหรือค่าความชื้นสัมพัทธ์ตามจำนวนของข้อมูล (นับจำนวนที่ซ้ำ) ถ้าข้อมูลใดมีจำนวนของข้อมูลมาก ข้อมูลนั้นจะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกมากตามไปด้วย ซึ่งทำให้การจำลองค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์มีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่เก็บบันทึกได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.6 ช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และมีเฟสเวลาเท่ากับ 3

ค่าอุณหภูมิ	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C
จำนวนข้อมูล	150	90	30	30
อัตราส่วนข้อมูล	50%	30%	10%	10%
ช่วงของข้อมูล	1 - 50	51 - 80	81 - 90	91 - 100



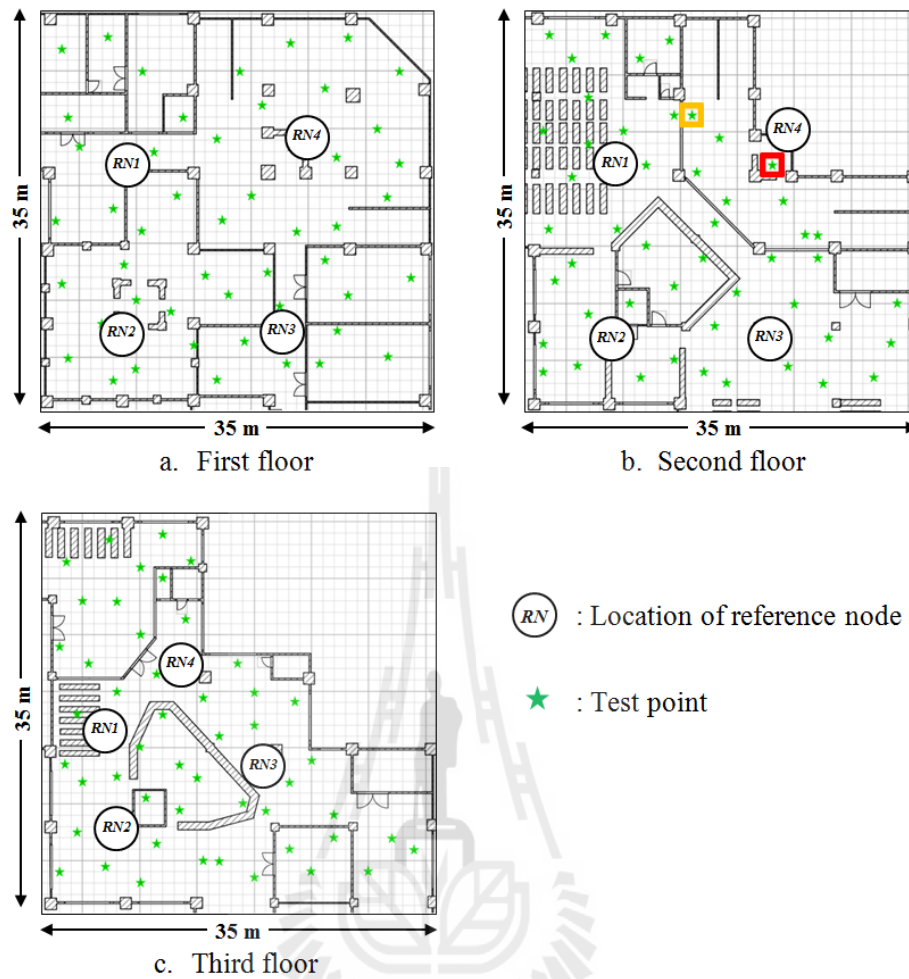
รูปที่ 5.18 ช่วงของข้อมูลอุณหภูมิที่มีระดับอุณหภูมิเท่ากับ 1 และมีเฟสเวลาเท่ากับ 3

5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุชั้นของวัตถุ โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการระบุชั้นชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ซึ่งเป็นเทคนิคการระบุชั้นที่มีความซับซ้อนน้อย ใช้คุณสมบัติของความเข้มสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารระบุหมายเลขชั้นของวัตถุ โดยจะทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคการระบุชั้นที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคการระบุชั้นของงานวิจัยอื่น ๆ (เทคนิคจากงานวิจัย Alsehly et al. (2011)) ซึ่งประกอบด้วยเทคนิค Nearest floor algorithm และเทคนิค Group variance algorithm สำหรับขั้นตอนการทำงานของเทคนิค Sum-RSS floor algorithm จะใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ในชั้นตอนออนไลน์เฟส แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติของช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเลือกชั้นที่วัตถุตั้งอยู่จากชั้นที่ให้ผลรวมความเข้มสัญญาณจากโนคอ้างอิงมากที่สุด ซึ่งรายละเอียดการทำงานได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุชั้นมีหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อย่อย 5.2.1 ข้อกำหนดการทดลอง หัวข้อย่อย 5.2.2 การวิเคราะห์กรณีที่ 1 หัวข้อย่อย 5.2.3 การวิเคราะห์กรณีที่ 2 และหัวข้อย่อย 5.2.4 การทดสอบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น

5.2.1 ข้อกำหนดการทดลอง

ทำการทดลองในอาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจำนวน 3 ชั้น (1st floor 2nd floor และ 3rd floor) แต่ละชั้นมีขนาดพื้นที่ประมาณ 35 เมตร x 35 เมตร รูปแผนที่ของอาคารบรรณสารแสดงได้ดังรูปที่ 5.19 ในการทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของเทคนิคที่ใช้ในการระบุชั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ทำการติดตั้งโนคอ้างอิงจำนวน 2 โนคในแต่ละชั้น และกรณีที่ 2 ติดตั้งโนคอ้างอิงจำนวน 4 โนคในแต่ละชั้น โดยในรูปที่ 5.19a-c แสดงตัวอย่างของสถานการณ์ที่ติดตั้งโนคอ้างอิงจำนวน 4 โนคในแต่ละชั้นแทนด้วยตำแหน่งของวงกลมแต่ละวง ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดพิกัดของจุดทดสอบหรือตำแหน่งของวัตถุจากการสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 50 พิกัดในแต่ละชั้น แสดงด้วยสัญลักษณ์ดาวสี่เหลี่ยมในรูปที่ 5.19a-c



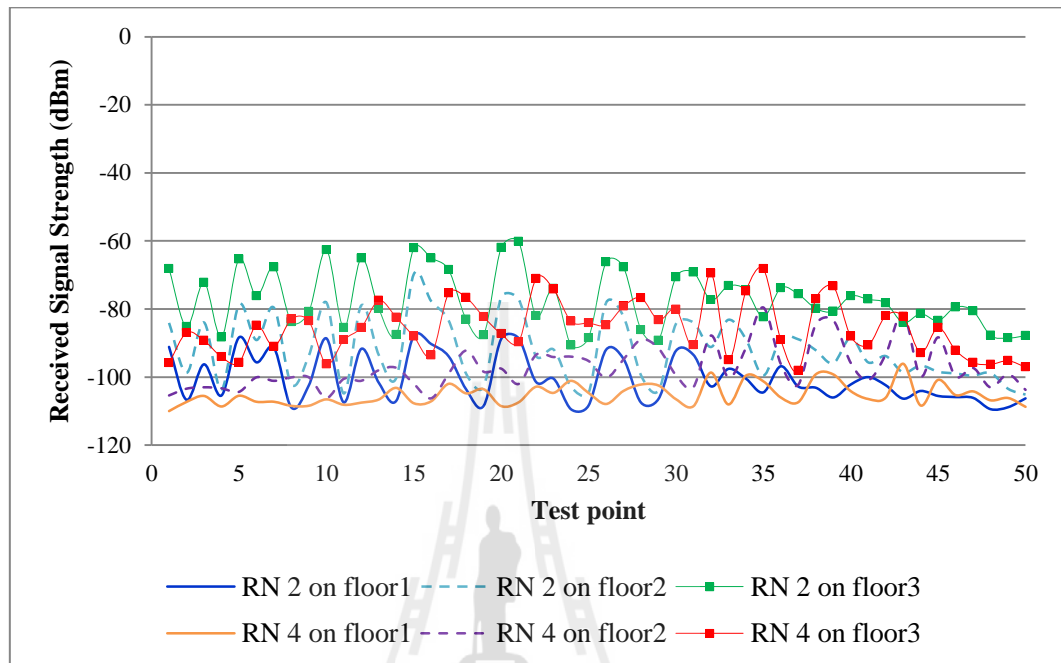
รูปที่ 5.19 แผนที่ของอาคารบรรณสาร

5.2.2 การวิเคราะห์ผลกรณีที่ 1

กรณีที่ 1 ติดตั้งโหนดอ้างอิงจำนวน 2 โหนดในแต่ละชั้น จากรูปที่ 5.19 เลือกใช้โหนดอ้างอิง RN2 และ RN4 ของแต่ละชั้น และทำการเก็บบันทึกค่าความเข้มสัญญาณทั้ง 50 จุดทดสอบที่อยู่บนชั้นอาคารที่ 3 (ดาวสีเขียวของรูปที่ 5.19c)

รูปที่ 5.20 แสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงในชั้นต่าง ๆ ของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 โดยเส้นตรง เส้นประ และเส้นจุด แทนค่าเฉลี่ยของความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงที่อยู่ในชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นจุด (สีเขียวและสีแดง) มีแนวโน้มที่มีความเข้มสัญญาณสูงกว่าเส้นอื่น ๆ ซึ่งหมายถึงความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงของชั้นที่ 3 จะมีค่ามากกว่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิงของชั้น 1 และ 2

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งของวัตถุอยู่บนชั้นที่ 3 และผลที่ได้จากการสังเกตคุณลักษณะนี้ได้นำไปใช้พัฒนาเทคนิคการระบุชั้นของวัตถุ

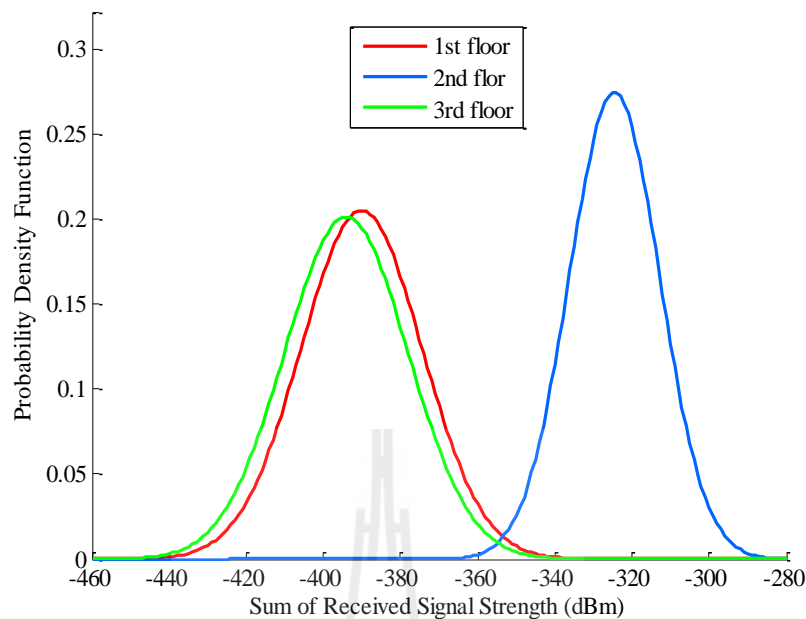


รูปที่ 5.20 ค่าเฉลี่ยของความเข้มสัญญาณที่ได้จากโนคอ้างอิงทั้ง 50 จุดทดสอบ
ในชั้นที่ 3 (กรณีที่ 1)

5.2.3 การวิเคราะห์ผลกรณีที่ 2

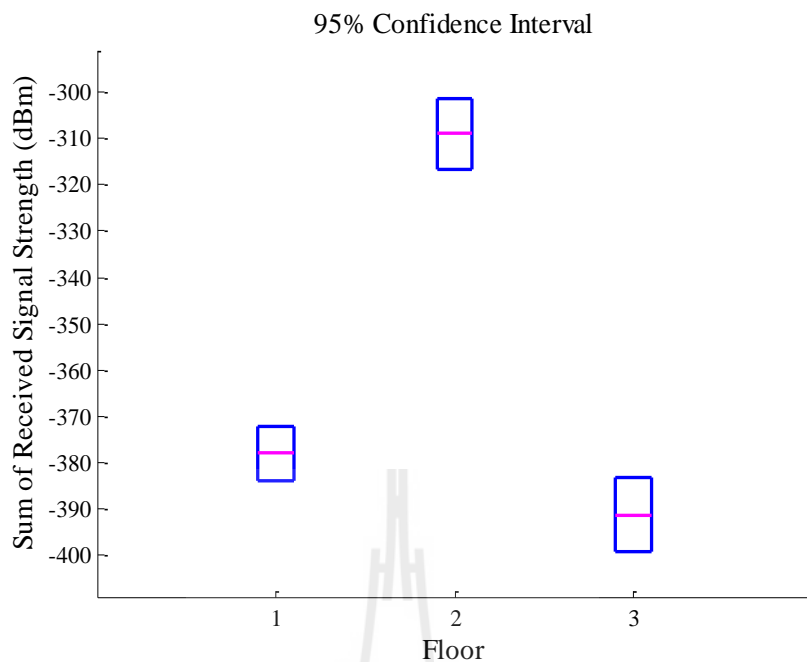
กรณีที่ 2 ติดตั้งโนคอ้างอิงจำนวน 4 โนคในแต่ละชั้นแสดงดังรูปที่ 5.19a-c โดยผู้วิจัยได้สาธิตตัวอย่างของคุณลักษณะความเข้มสัญญาณที่รับได้ซึ่งถูกนำมาใช้พัฒนาเทคนิคระบุชั้นของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีส้ม และสาธิตการระบุหมายเลขชั้นของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีแดงในรูปที่ 5.19b

รูปที่ 5.21 แสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิงในชั้นต่าง ๆ ของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีส้มในรูปที่ 5.19b โดยที่เซตข้อมูลดังกล่าวเป็นเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของการวัด 20 ครั้ง และยังไม่ผ่านกระบวนการกรองข้อมูลจะสังเกตได้ว่า เซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิงในชั้น 2 (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) จะมากกว่าเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนคอ้างอิงในชั้น 1 และชั้นที่ 3 อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งของวัตถุอยู่บนชั้นที่ 2 อีกทั้งยังช่วยยืนยันได้ว่า การนำคุณลักษณะของผลรวมความเข้มสัญญาณที่รับได้มาระบุชั้นของวัตถุจะสามารถบอกชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ได้อย่างถูกต้อง

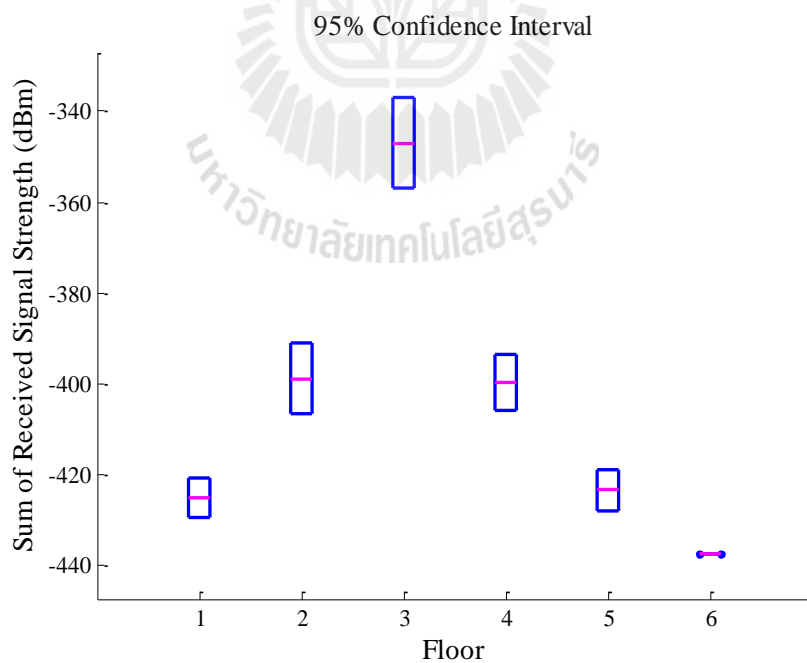


รูปที่ 5.21 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในแต่ละชั้นของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีส้ม (กรณีที่ 2)

รูปที่ 5.22 แสดงช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในแต่ละชั้นสำหรับการระบุชั้นของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีแดงในรูปที่ 5.19b จีคบนและจีคล่างของกล่องหมายถึง จีคจำกัดบน (upper limit) และจีคจำกัดล่าง (lower limit) ของช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงในแต่ละชั้น ขณะที่จีคกลางสีชมพูหมายถึง ค่าเฉลี่ยของช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณ ซึ่งใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่โนดวัดถูรับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยเทคนิคระบุชั้นที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุตำแหน่งวัตถุที่อยู่บนชั้นที่ 2 ได้อย่างถูกต้องด้วยความเชื่อมั่นสูงถึง 95% อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการทดลองการระบุชั้นโดยทดสอบกับอาคาร 6 ชั้น (ซึ่งจะกล่าวถัดไปในหัวข้อที่ 5.4.3) รูปที่ 5.23 แสดงช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงที่ตั้งอยู่ภายในอาคาร 6 ชั้น พบว่าเทคนิคระบุชั้นยังคงสามารถระบุชั้นของวัตถุได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจากตัวอย่างในรูปที่ 5.23 เทคนิคการระบุชั้นที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุว่าวัตถุอยู่บนชั้นที่ 3 ที่ความมั่นใจที่ 95% ซึ่งเป็นคำตอบที่ถูกต้อง



รูปที่ 5.22 ช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 3 ชั้น
ของจุดทดสอบที่ไฮไลต์สีแดง (กรณีที่ 2)

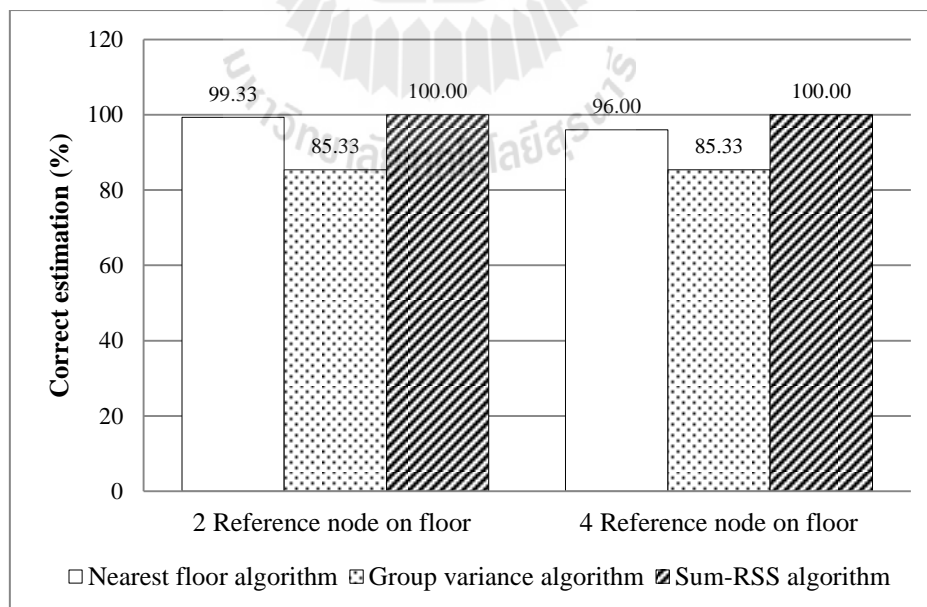


รูปที่ 5.23 ช่วงความเชื่อมั่นของเซตข้อมูลผลรวมค่าความเข้มสัญญาณของอาคาร 6 ชั้น
ของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 (กรณีที่ 2)

5.2.4 การทดสอบความถูกต้องของเทคนิคการเลือกชั้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของเทคนิคการระบุชั้นที่ได้นำเสนอ โดยทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุชั้นของเทคนิคที่ได้นำเสนอ กับเทคนิคการระบุชั้นของงานวิจัยอื่น ประกอบด้วยเทคนิค Nearest floor algorithm และเทคนิค Group variance algorithm โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเทคนิคการระบุชั้น 2 กรณีคือ กรณีที่ติดตั้งโนดอ้างอิง 2 โนด และ 4 โนด โดยในแต่ละกรณีได้ทำการสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 150 จุดทดสอบแบ่งออกเป็นชั้นละ 50 จุดทดสอบ (ดาวสี่เหลี่ยมในรูปที่ 5.19a-c) เพื่อใช้ทดสอบความถูกต้องในการระบุชั้นของวัตถุ

รูปที่ 5.24 แสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการระบุชั้นของทั้ง 3 เทคนิคสำหรับทั้ง 2 กรณี โดยจะสังเกตได้ว่า เทคนิคการระบุชั้นของวัตถุที่ได้นำเสนอ (Sum-RSS floor algorithm) มีสมรรถนะความถูกต้องที่ดีกว่าเทคนิคการระบุชั้นของงานวิจัยอื่นทั้งสองกรณี (Nearest floor algorithm และ Group variance algorithm) โดยที่เทคนิค Sum-RSS floor algorithm จะให้ความถูกต้องในการระบุชั้นสูงถึง 100% ที่ทั้งสองกรณี ขณะที่ Nearest floor algorithm และ Group variance algorithm จะให้ความถูกต้องในการระบุชั้นประมาณ 90% และ 80% ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 2 กรณีจะสังเกตได้ว่า จำนวนของโนดอ้างอิงที่ติดตั้งในแต่ละชั้นจะมีผลต่อความถูกต้องในการระบุชั้นของเทคนิคอื่น ๆ แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อเทคนิค Sum-RSS floor algorithm ที่ได้นำเสนอ



รูปที่ 5.24 ความถูกต้องของการระบุชั้นของแต่ละเทคนิค

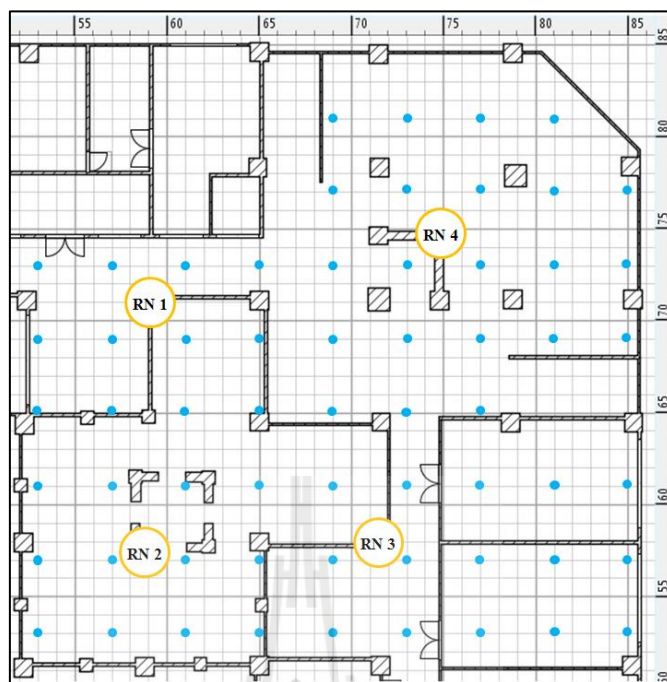
5.3 การเปรียบเทียบผลจากฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงกับฐานข้อมูลที่ได้จากการ

จำลอง

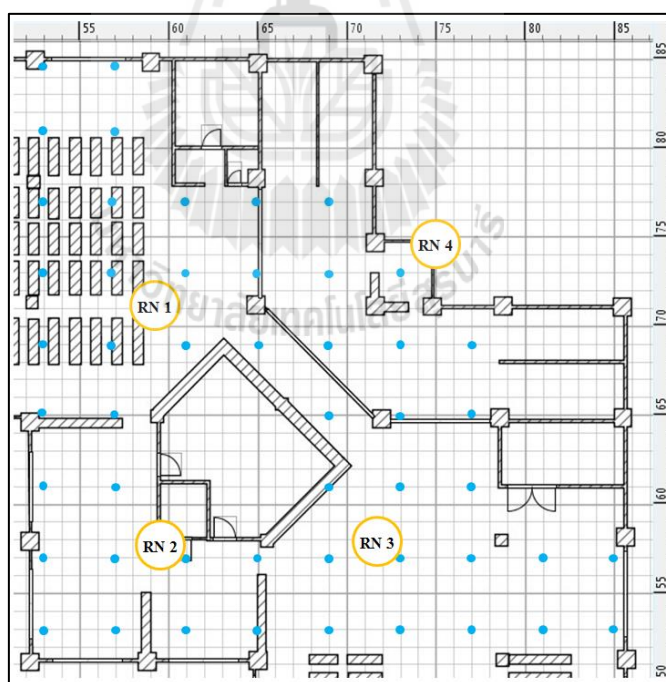
ในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบผลสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำของเทคนิคระบุตำแหน่ง โดยจะเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งวัดระหว่างการใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง และการใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง ซึ่งจะมีการสุ่มเลือกจุดทดสอบที่ได้ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของระบบจริง โดยจะทำการทดสอบสมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำของ 5 เทคนิคที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเป็น 2 ระดับ และ 4 ระดับ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ซึ่งกระบวนการทำงานของแต่ละเทคนิคได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4

5.3.1 สถานที่และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการเปรียบเทียบผลสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำของเทคนิคระบุตำแหน่ง ได้ทำการทดลองในอาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจำนวน 2 ชั้น (1st floor และ 2nd floor) ขนาดพื้นที่การทดลองแต่ละชั้นประมาณ 35 เมตร x 35 เมตร มีจำนวนฟักัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 111 ฟักัดและสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 63 จุดทดสอบ กำหนดให้แต่ละชั้นติดตั้งโนดอ้างอิงจำนวน 4 โนด (RN1, RN2, RN3, และ RN4) โดยมีความสูงจากพื้น 2 เมตร กำหนดให้โนดวัดดูหรือโนดที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลติดตั้งอยู่บนรถเข็นและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมีความสูงจากพื้น 0.8 เมตร สามารถเก็บบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ทุก ๆ วินาที ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 4 เมตร (grid spacing) รูปที่ 5.25a-b แสดงพื้นที่การทดลอง ณ อาคารบรรณสาร จุดสีน้ำเงินแทนฟักัดฟิงเกอร์ปรีนท์ทั้งหมด 111 ฟักัด วงกลมสีส้มแทนตำแหน่งที่ติดตั้งโนดอ้างอิง และรูปที่ 5.26a-b แสดงตำแหน่งของจุดทดสอบทั้ง 63 จุดทดสอบที่ได้จากการสุ่มเลือก

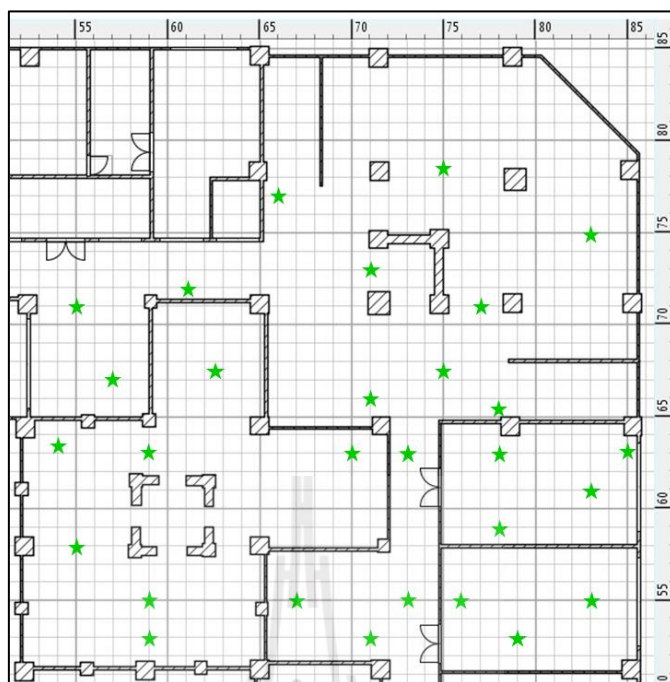


a. First floor (fingerprint 61 points)

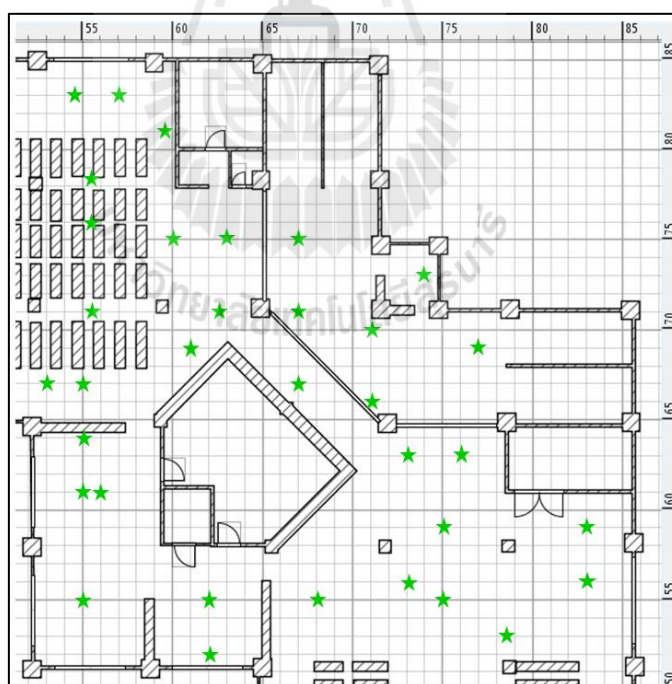


b. Second floor (fingerprint 50 points)

รูปที่ 5.25 ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (111 พิกัด)



a. First floor (target 29 points)



b. Second floor (target 34 points)

รูปที่ 5.26 ตำแหน่งของจุดทดสอบของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (63 จุดทดสอบ)

5.3.2 การเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบ

การเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบเพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ในช่วงออฟไลน์เฟส จะมีการเก็บบันทึกค่าข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมจำนวน 100 ครั้ง (ใช้เวลาประมาณ 5 นาทีต่อหนึ่งตำแหน่ง) และในแต่ละครั้งของการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ถ้าหากโนดวัตถุไม่สามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงได้ จะกำหนดให้ค่าความเข้มสัญญาณในการวัดครั้งนั้นมีค่าเท่ากับ -110 dBm หรืออีกความหมายคือ สัญญาณที่รับได้จากโนดอ้างอิงมีค่าอ่อนมาก จากนั้นเมื่อทำการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบครบจำนวน 100 ครั้งแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการใช้กระบวนการกรองข้อมูล (data filter) เพื่อคัดเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลนั้น ๆ ให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในงานวิจัยนี้จะกรองข้อมูลด้วยวิธีเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) เพื่อกำจัดค่าผิดปกติ (outliers) ของข้อมูลซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และจะนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการกรองไปหาค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลเพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง

หมายเหตุ เฉพาะเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสซึ่งเป็นขั้นตอนสร้างฐานข้อมูล จะมีการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ อีกทั้งยังวัดค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ณ ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปริ้นท์ ขณะที่เทคนิคอื่น ๆ จะมีการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว

สำหรับขั้นตอนออฟไลน์เฟสจะเป็นขั้นตอนการระบุตำแหน่งของวัตถุ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร (define parameter) ขั้นตอนการระบุชั้น z_0 (floor determination) และขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ x_0, y_0 (positioning system) ในขั้นตอนแรก ขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปร จะทำการวัดค่าข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุจำนวน 20 ครั้ง และสร้างตารางข้อมูลที่ตำแหน่งวัตถุสองชนิดคือ 1) ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ (raw data of target table) และ 2) ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ (parameter data of target table) สำหรับขั้นตอนการระบุชั้น และขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันและเทคนิคแบบผสมที่ใช้ความเข้มสัญญาณที่รับได้ จะเริ่มจากการระบุชั้น (z_0) แล้วจึงระบุพิกัดของวัตถุในแบบระนาบเดียว (x_0, y_0) ส่วนเทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะไม่ดำเนินการในขั้นตอนการระบุชั้น แต่จะดำเนินการในขั้นตอนการระบุตำแหน่งเพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารหลายชั้น (x_0, y_0, z_0) ซึ่งกระบวนการทำงานของแต่ละเทคนิคได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4

5.3.3 การจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบ

ในการจำลองข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบเพื่อใช้สร้างฐานข้อมูลฟังก์เกอร์ปริ้นท์ สิ่งแรกที่ต้องดำเนินการคือ การกำหนดพิกัดฟังก์เกอร์ปริ้นท์ (x_p, y_p, z_p) ซึ่งในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งระหว่างฐานข้อมูลฟังก์เกอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง และฐานข้อมูลฟังก์เกอร์ปริ้นท์ที่สร้างขึ้นจากการจำลอง ด้วยเหตุนี้พิกัด (x_p, y_p, z_p) ของฐานข้อมูลฟังก์เกอร์ปริ้นท์ของทั้งสองกรณีจึงมีค่าเท่ากัน ในการจำลองค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ จะเริ่มจากการคำนวณหาระยะห่างระหว่างพิกัดฟังก์เกอร์ปริ้นท์และพิกัดของโนดอ้างอิงแต่ละโนดโดยใช้สมการที่ 5.1 และนำระยะห่างที่ได้ไปแปลงเป็นค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้โดยใช้รูปที่ 5.8 สำหรับสายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด F-antenna และรูปที่ 5.9 สำหรับสายอากาศของโนดอ้างอิงชนิด SMA-antenna และพิจารณาการวางของภาคส่งและภาครับสองกรณีคือ กรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ในชั้นเดียวกัน (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) และกรณีที่ภาคส่งและภาครับอยู่ต่างกันหนึ่งชั้น (เส้นกราฟสีส้ม) จากนั้นทำการสุ่มตัวเลขซึ่งเป็นการสุ่มค่าความแปรปรวนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อม และรวมค่าที่ได้เข้ากับค่าความเข้มสัญญาณที่ได้ ทำจนครบ 100 ครั้งต่อหนึ่งพิกัดฟังก์เกอร์ปริ้นท์ (ซึ่งเหมือนกับการวัดค่าความเข้มสัญญาณจริงจำนวน 100 ครั้ง)

สำหรับการจำลองค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม จะเริ่มจากการกำหนดตัวแปร 2 ค่าคือ ระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม (TL) และเฟสเวลา (TP) ที่ต้องการจำลอง จากนั้นเลือกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เช่น ในตารางตัวอย่างที่ 5.5 ที่มีระดับอุณหภูมิและเฟสเวลตรงกับตัวแปรที่กำหนด ถัดมาจะเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปมาก พร้อมกับนับจำนวนข้อมูลที่เข้าเพื่อคำนวณร้อยละสัดส่วนของข้อมูล และบันทึกค่าลงในตารางช่วงของข้อมูล ถัดมาทำการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 พิจารณาว่าตัวเลขที่สุ่มได้ว่าตกอยู่ในช่วงใดของข้อมูล จากนั้นกำหนดให้ช่วงข้อมูลอุณหภูมิ หรือข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์นั้นเป็นข้อมูลที่วัดได้ ทำจนครบ 100 ครั้งต่อหนึ่งพิกัดฟังก์เกอร์ปริ้นท์ สุดท้ายจะสามารถจำลองข้อมูลความเข้มสัญญาณ ข้อมูลอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ของระบบสำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟังก์เกอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการจำลอง

หมายเหตุ งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าของเฟสเวลาหรือช่วงเวลาที่พิจารณาค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 3 (TP=3) ซึ่งเป็นช่วงเวลา 10.01 น. ถึง 11.00 น. สำหรับทุกการทดลองที่มีการจำลองค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม

5.3.4 การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผล

ทำการเปรียบเทียบผลสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งที่แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง และกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง โดยทั้งสองกรณีจะมีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์จำนวน 111 พิกัด และทำการสุ่มเลือกจุดทดสอบที่ได้จากการวัดจริงจำนวน 63 จุดทดสอบ เพื่อใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลสมรรถนะของทั้งสองกรณี ซึ่งแต่ละกรณีจะกำหนดระยะห่างของพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 4 เมตร โดยจะพิจารณาสมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของ 5 เทคนิคคือ

- 1) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 2 ระดับ : Hy fusion (2TL)
- 2) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 4 ระดับ : Hy fusion (4TL)
- 3) เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ : Hy RSS
- 4) เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน : Euclidean
- 5) เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม : EWKNN

ตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 แสดงผลความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งที่คำนวณได้กับตำแหน่งจริงของวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น สำหรับกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง และกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลองของทั้ง 5 เทคนิคระบุตำแหน่ง

จากตารางที่ 5.7 กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง พบว่าเทคนิคระบุตำแหน่งที่ให้สมรรถนะความถูกต้องได้ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ คือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 4 ระดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.79 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 16.18 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.20 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.99 เมตร และพบว่าเทคนิคที่ให้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งแย่ที่สุดคือเทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.36 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 19.42 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 1.00 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.26 เมตร

จากตารางที่ 5.8 กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง พบว่าเทคนิคระบุตำแหน่งที่ให้สมรรถนะความถูกต้องได้ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ คือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 4 ระดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 4.29 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 14.28 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.02 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน 2.88 เมตร และพบว่าเทคนิคที่ให้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งแยที่ที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลีเดียน มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.04 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 15.23 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 1.00 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.98 เมตร

ตารางที่ 5.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นของกรณีที่ใช้
ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง

Error distance (m)					
Statistics	Hy fusion (2TL)	Hy fusion (4TL)	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Mean	5.02	4.79	5.00	6.36	5.00
Max	16.18	16.18	17.74	19.42	17.74
Min	0.19	0.20	0.19	1.00	0.19
STD	3.31	2.99	3.57	4.26	3.57

ตารางที่ 5.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นของกรณีที่ใช้
ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง

Error distance (m)					
Statistics	Hy fusion (2TL)	Hy fusion (4TL)	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Mean	4.50	4.29	4.46	5.04	4.46
Max	14.41	14.28	14.41	15.23	14.41
Min	0.06	0.02	0.06	1.00	0.06
STD	3.25	2.88	3.27	2.98	3.27

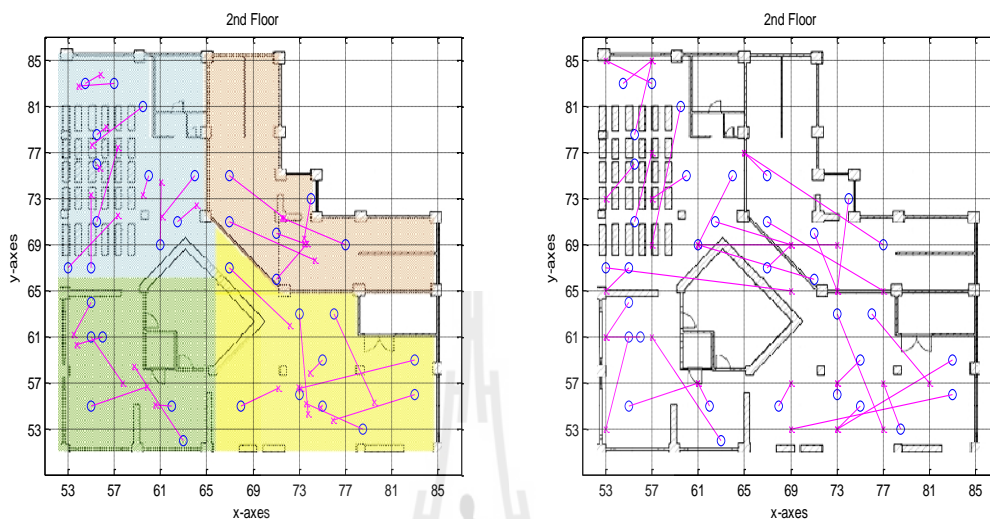
เมื่อพิจารณาค่าสมรรถนะความถูกต้องของเทคนิคแบบผสมทั้ง 3 เทคนิค (ของทั้ง 2 กรณี ตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8) ที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน ซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ และเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ความเข้มสัญญาณที่รับได้ พบว่า เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันทั้งการแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับและ 4 ระดับจะมีแนวโน้มที่ให้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นดีกว่าการใช้เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว หรือในอีกความหมายคือ การใช้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมร่วมกับค่าความเข้มของสัญญาณที่รับ

ได้จากโนคอ้างอิง จะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุที่อยู่ภายในอาคารหลายชั้นได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของทั้ง 2 กรณีคือ กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง และกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง ในตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 พบว่าทั้ง 2 กรณีมีค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิคใกล้เคียงกัน โดยกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลองจะมีค่าสมรรถนะความถูกต้องดีกว่าเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของแต่ละเทคนิคจะสามารถจัดอันดับได้รูปแบบเดียวกัน หรืออีกความหมายคือ ทั้ง 2 กรณีมีแนวโน้มของสมรรถนะความถูกต้องอยู่ในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ อันดับที่ 1) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ อันดับที่ 2) มีค่าเท่ากับคือ เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม อันดับที่ 3) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ และอันดับสุดท้าย อันดับที่ 4) เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า การเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง จะให้ความใกล้เคียงกับฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง

ทำการเปรียบเทียบผลของการระบุตำแหน่งวัตถุที่แสดงในรูปที่ 15.27a-b เป็นตำแหน่งจริง และตำแหน่งที่คำนวณได้ของจุดทดสอบที่อยู่ภายในอาคารบรรณสารชั้น 2 (34 จุดทดสอบ) สำหรับกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งรูปที่ 15.27a แสดงผลการระบุตำแหน่งของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งจัดระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ และรูปที่ 15.27b แสดงผลการระบุตำแหน่งของเทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน พบว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งมีการใช้ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมร่วมกับค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ จะมีสมรรถนะความถูกต้องที่ดีกว่าเทคนิคระยะห่างยูคลิเดียนที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว และจะสังเกตได้ว่าตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้ (สัญลักษณ์กากบาทสีชมพู) ของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะอยู่ในขอบเขตของการจัดระดับอุณหภูมิ ซึ่งจะอยู่ในระดับอุณหภูมิเดียวกันกับตำแหน่งจริงของวัตถุ (สัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงิน) ซึ่งเป็นข้อดีของการนำค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมมาประยุกต์ใช้กับระบบระบุตำแหน่ง ซึ่งจะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารหลายชั้นได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าตำแหน่งของวัตถุอยู่ในห้องแอร์ซึ่งมีค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างจากห้องโถงด้านนอก เมื่อใช้

เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันระบุตำแหน่งของวัตถุ ตำแหน่งของวัตถุที่คำนวณได้จะอยู่ภายในห้องแอร์



a. Hy fusion (4TL)

b. Euclidean distance

O	พิกัดจริงของวัตถุ
X	พิกัดที่หาได้จากการคำนวณ

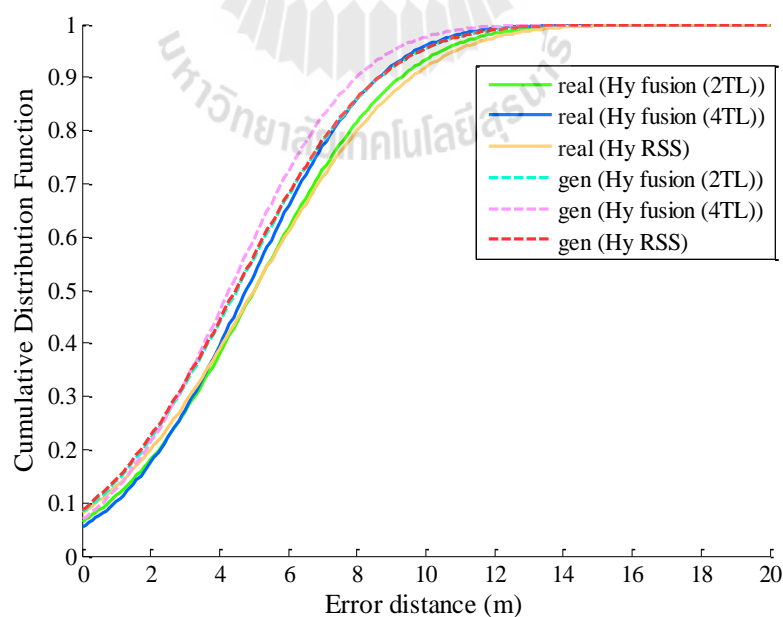
รูปที่ 5.27 ตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่คำนวณได้ของเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น (กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริง)

ทำการพิจารณาสมรรถนะความแม่นยำของการระบุตำแหน่งจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะความคลาดเคลื่อน (Cumulative Distribution Function : CDF) ของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.28 สำหรับกลุ่มเทคนิคแบบผสมที่ได้พัฒนาขึ้น และรูปที่ 5.29 สำหรับกลุ่มเทคนิคพื้นฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

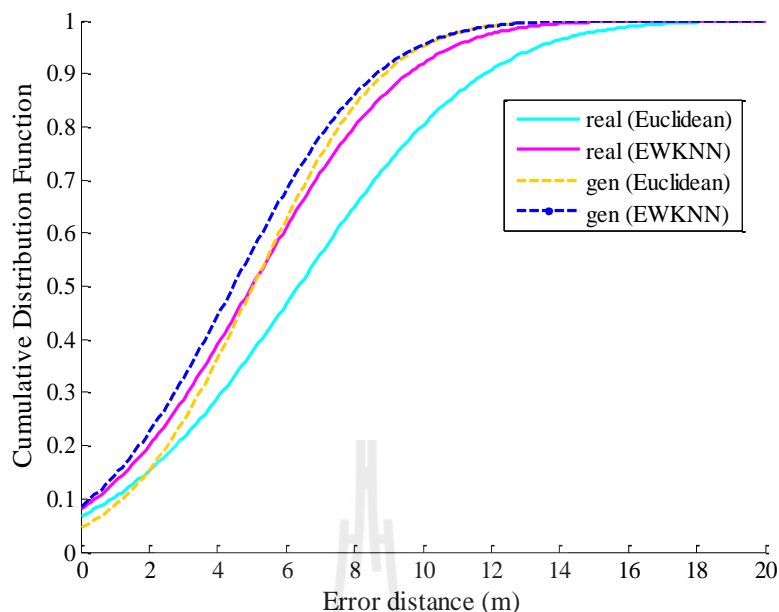
รูปที่ 5.28 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะความคลาดเคลื่อนของกลุ่มเทคนิคแบบผสมที่ประกอบด้วย 3 เทคนิคคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ และ 4 ระดับ และเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ความเข้มสัญญาณที่รับได้ โดยที่เส้นทึบสีเขียว เส้นทึบสีน้ำเงิน และเส้นทึบสีส้ม แทนผลการระบุตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการวัดจริงของเทคนิคแบบผสม 3 เทคนิค ตามลำดับ และเส้นประสีเขียวอ่อน เส้นประสีชมพู และเส้นประสีแดง แทนผลการระบุตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ได้จากการจำลองของเทคนิคแบบผสม 3 เทคนิค ตามลำดับ จากผลสมรรถนะความแม่นยำในการระบุ

ตำแหน่งของกลุ่มเทคนิคแบบผสมพบว่า การระบุตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริงและได้จากการจำลอง มีสมรรถนะความแม่นยำใกล้เคียงกัน โดยข้อมูลที่จำลองขึ้นจะให้สมรรถนะความแม่นยำที่ดีกว่าข้อมูลที่วัดได้จริงเพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุกรมเป็น 4 ระดับ กรณีที่ใช้ฐานข้อมูลที่จำลองขึ้นจะมีความแม่นยำของตำแหน่ง 80% ภายใน 6 เมตร (เส้นประสีชมพู) ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุ 80 ครั้งจาก 100 ครั้งของเทคนิคดังกล่าว จะให้ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งไม่เกิน 6 เมตร สำหรับกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงจะมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80% ภายใน 7 เมตร (เส้นทึบสีน้ำเงิน) ซึ่งมีสมรรถนะความแม่นยำต่ำกว่ากรณีใช้ฐานข้อมูลที่จำลองขึ้นเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 5.29 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของกลุ่มเทคนิคพื้นฐานที่ประกอบด้วย 2 เทคนิคคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม โดยที่เส้นทึบสีฟ้า และเส้นทึบสีชมพู แทนผลการระบุตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริงของทั้งสองเทคนิค เส้นประสีส้ม และเส้นประสีน้ำเงิน แทนผลของการระบุตำแหน่งโดยใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลองของทั้งสองเทคนิค และเป็นอีกครั้งที่ผลสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งกรณีที่ใช้ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง จะมีค่าสมรรถนะความแม่นยำที่ดีกว่าฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง



รูปที่ 5.28 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของเทคนิคแบบผสม 3 เทคนิค (ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง)



รูปที่ 5.29 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของเทคนิคพื้นฐาน
(ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง)

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเปรียบเทียบสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการจำลอง จะให้ความใกล้เคียงกับฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ที่ได้จากการวัดจริง อีกทั้งเมื่อพิจารณาสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งทั้ง 5 เทคนิค (พิจารณากรณีที่ใช้ฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดจริง) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันที่พัฒนา จะให้สมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้พบข้อสังเกตว่า เทคนิคแบบผสมที่ใช้ความเข้มสัญญาณที่รับได้เพียงอย่างเดียว กับเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะให้สมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเท่ากัน สาเหตุเนื่องมาจากการคำนวณของสองเทคนิคนี้มีขั้นตอนที่เกือบจะเหมือนกันทั้งหมด แตกต่างเพียงแต่เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จะมีการคำนวณหาชั้นอาคารของวัตถุก่อน โดยใช้เทคนิคที่ได้พัฒนา ซึ่งให้ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ จากนั้นจึงจะระบุตำแหน่งของวัตถุด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จำนวน (คำนวณหาชั้นอาคารก่อนจากนั้นจึงคำนวณหาพิกัด x และ y) ขณะที่เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะคำนวณหาตำแหน่งวัตถุในช่วงเวลาเดียวกัน (คำนวณหาพิกัด x, y, z ในช่วงเวลาเดียวกัน) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มการทดสอบทางด้าน

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของเทคนิคระบุตำแหน่ง เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อแตกต่างทางด้านสมรรถนะของแต่ละเทคนิคได้ชัดเจนยิ่งขึ้นซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 5.5 ถัดไป

5.4 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งในอาคารที่มี

จำนวนชั้นเพิ่มขึ้น

หัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์สมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น อาคาร 3 ชั้น และอาคาร 6 ชั้น ซึ่งจะเป็นการระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยอาศัยข้อมูลพารามิเตอร์ที่จำลองขึ้นตามขั้นตอนที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.1 โดยจะมีการสร้างข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบที่ประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบสำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρίนท์ และสำหรับการสร้างข้อมูลที่ตำแหน่งวัตถุ (หรือจุดทดสอบ) ซึ่งเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ในเปรียบเทียบประกอบด้วย 5 เทคนิคเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.3.4 ยกเว้น กรณีที่ระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น (หัวข้อที่ 5.4.3) จะใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับแทนการแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 และ 4 ระดับ

สำหรับขั้นตอนการทำงานของเทคนิคระบุตำแหน่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนออฟไลน์เฟส และขั้นตอนออนไลน์เฟส ในขั้นตอนออฟไลน์เฟสจะมีการจำลองข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบด้วยสมการความสัมพันธ์ในหัวข้อ 5.1 เพื่อสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρίนท์ ส่วนในขั้นตอนออนไลน์เฟสจะสุ่มเลือกจุดทดสอบ และสร้างข้อมูลที่จุดทดสอบนั้นด้วยสมการความสัมพันธ์ (เสมือนการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ตำแหน่งวัตถุ) และจากนั้นจะระบุตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารหลายชั้น ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองใน 2 สถานที่คือ อาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับกรณีที่ระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น และอาคาร 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีขนาดพื้นที่ประมาณ 35 เมตร x 35 เมตร (สำหรับหัวข้อที่ 5.4.1 และหัวข้อที่ 5.4.2) ขณะที่การระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้นจะทำการทดลองที่ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ซึ่งแต่ละชั้นมีขนาดพื้นที่ประมาณ 30 เมตร x 60 เมตร (สำหรับหัวข้อที่ 5.4.3) และกำหนดให้การทดลองทั้งสามกรณี (2 ชั้น 3 ชั้น และ 6 ชั้น) ติดตั้งโนคอ้างอิงจำนวน 4 โนคในแต่ละชั้น (RN1, RN2, RN3, และ RN4) โดยกำหนดระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปρίนท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร (grid spacing) และมีข้อกำหนดของการติดตั้งอุปกรณ์เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 5.3.1

5.4.1 การระบุตำแหน่งวัสดุภายในอาคาร 2 ชั้น

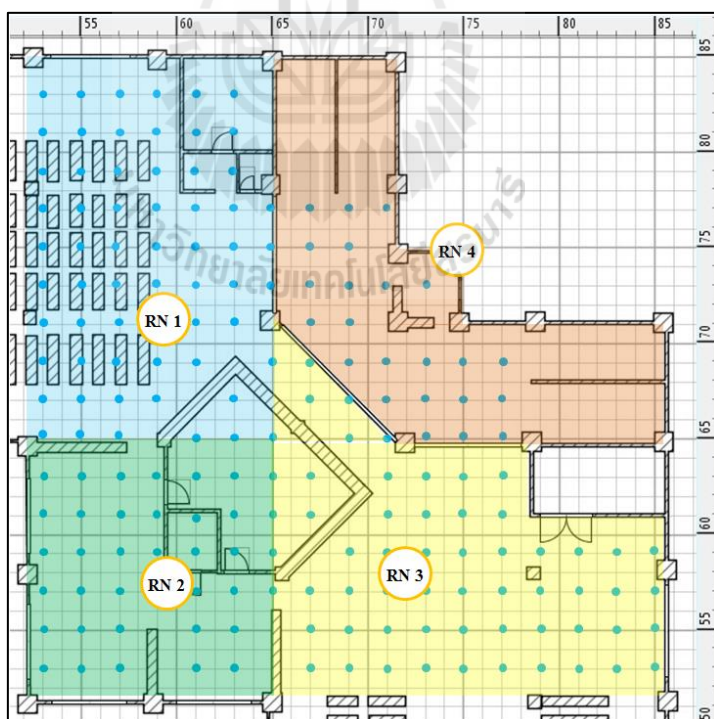
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งวัสดุภายในอาคาร 2 ชั้น (1st floor และ 2nd floor) ณ อาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 407 พิกัด และสุ่มเลือกจุดทดสอบ 100 จุดทดสอบ รูปที่ 5.30a-b แสดงพื้นที่การทดลอง ณ อาคารบรรณสารสำหรับกรณีอาคาร 2 ชั้น จุดสีน้ำเงินแทนตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีทั้งหมด 407 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร วงกลมสีส้มแทนตำแหน่งที่ติดตั้งโนดอ้างอิงในแต่ละชั้น และรูปที่ 5.31a-b จุดดาวสีเขียวแทนตำแหน่งของจุดทดสอบทั้ง 100 จุดทดสอบที่ได้จากการสุ่มเลือก

รูปที่ 5.30a-b เป็นฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ โดยมีการแทนพื้นที่ของการจัดระดับอุณหภูมิด้วยสีที่แตกต่างกัน ระดับอุณหภูมิที่ 1 แทนด้วยพื้นที่สีส้มมีค่าอุณหภูมิ ≥ 30 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 71% - 80% ระดับอุณหภูมิที่ 2 แทนด้วยพื้นที่สีเหลืองมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ≥ 26 °C และ ≤ 29 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 61% - 70% ระดับอุณหภูมิที่ 3 แทนด้วยพื้นที่สีเขียวมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ≥ 22 °C และ ≤ 25 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 51% - 60% และระดับอุณหภูมิที่ 4 แทนด้วยพื้นที่สีฟ้ามีค่าอุณหภูมิ ≤ 21 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 41% - 50% ตารางที่ 5.9 แสดงตัวอย่างการจัดระดับอุณหภูมิของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ

หมายเหตุ ในการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม สำหรับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่เป็นเลขทศนิยม จะถูกปัดให้เป็นเลขจำนวนเต็มก่อนแล้วจึงดำเนินการในขั้นตอนการจัดระดับอุณหภูมิ

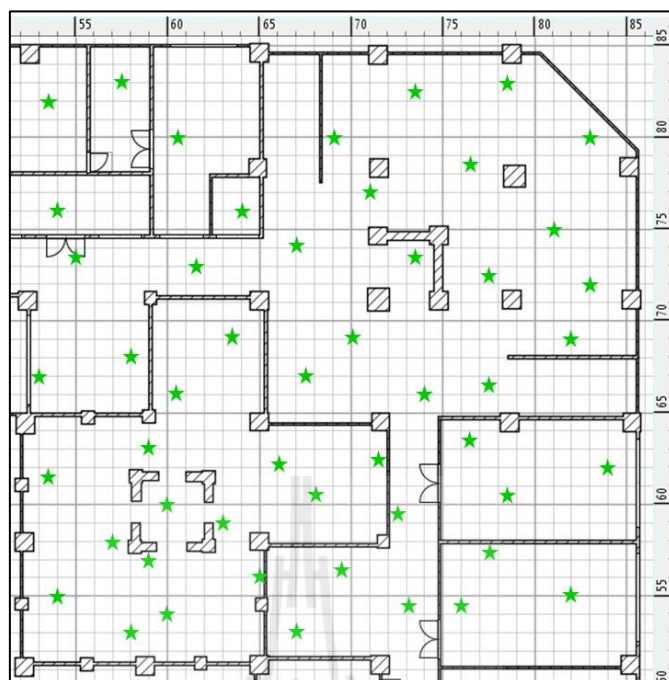


a. First floor (fingerprint 231 points)



b. Second floor (fingerprint 176 points)

รูปที่ 5.30 ตำแหน่งฟิงเกอร์ปริ้นท์ของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (407พิกัด)



a. First floor (target 50 points)



b. Second floor (target 50 points)

รูปที่ 5.31 ตำแหน่งของจุดทดสอบของอาคารบรรณสาร 2 ชั้น (100 จุดทดสอบ)

ตารางที่ 5.9 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้ฟารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ

ระดับอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม (%)
1	≥ 30	71% - 80%
2	26 - 29	61% - 70%
3	22 - 25	51% - 60%
4	≤ 21	41% - 50%

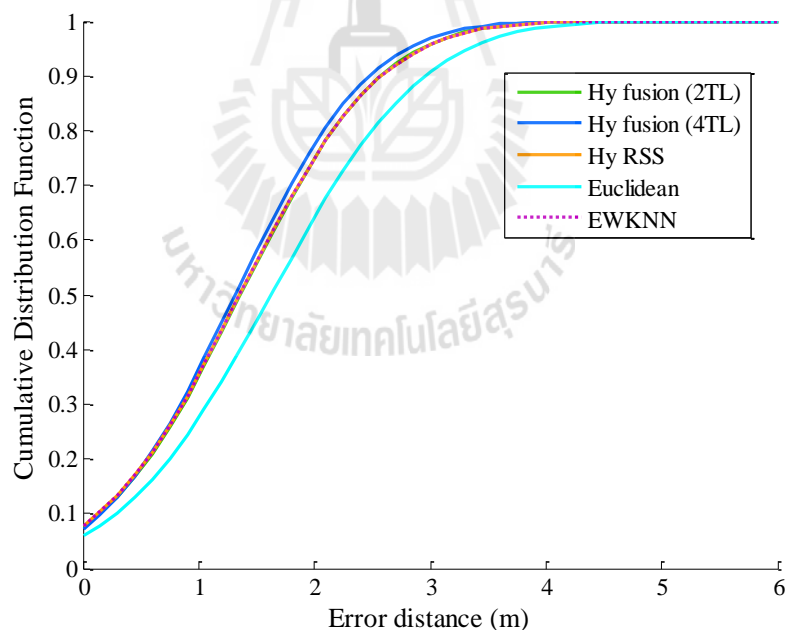
ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้นที่มีจำนวนฟิงเกอร์ปรีนท์ 407 พิกัดและสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 100 จุดทดสอบ ซึ่งจะพิจารณาสมรรถนะของ 5 เทคนิค ได้แก่ กลุ่มเทคนิคแบบผสม 3 เทคนิค คือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้ฟารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ และ 4 ระดับ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้ความเข้มสัญญาณที่รับได้ และกลุ่มเทคนิคพื้นฐาน 2 เทคนิคคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ตารางที่ 5.10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งที่คำนวณได้และตำแหน่งจริงของวัตถุ พบว่ากลุ่มเทคนิคแบบผสมทั้ง 3 เทคนิคจะมีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีสมรรถนะความถูกต้องดีกว่ากลุ่มเทคนิคพื้นฐาน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 1.22 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดประมาณ 4.62 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดประมาณ 0.02 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.89 เมตร ขณะที่กลุ่มเทคนิคพื้นฐาน มีเทคนิคที่ให้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งแย่ที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.57 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 6.02 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.06 เมตร

เมื่อพิจารณาสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะความคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 5.32 จะสังเกตได้ว่าเทคนิคที่ให้ความแม่นยำดีที่สุดคือเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้ฟารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับแทนด้วยเส้นกราฟสีน้ำเงิน (Hy fusion (4TL)) โดยมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายใน 2 เมตร ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุ 80 ครั้งจาก 100 ครั้งของเทคนิคดังกล่าว จะให้ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งไม่เกิน 2 เมตร ขณะที่เทคนิคที่ให้ความแม่นยำน้อยที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียนแทนด้วยเส้นกราฟสีฟ้า (Euclidean) โดยมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายในระยะ 2.5 เมตร จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้นของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้

พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิจนเป็น 4 ระดับจะทำให้สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งดีที่ใกล้เคียงกับกลุ่มเทคนิคแบบผสม และมีสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีกว่าทั้ง 4 เทคนิค

ตารางที่ 5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น ซึ่งมีระยะห่างของฟลักซ์ฟิงเกอร์ปรี้นท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร

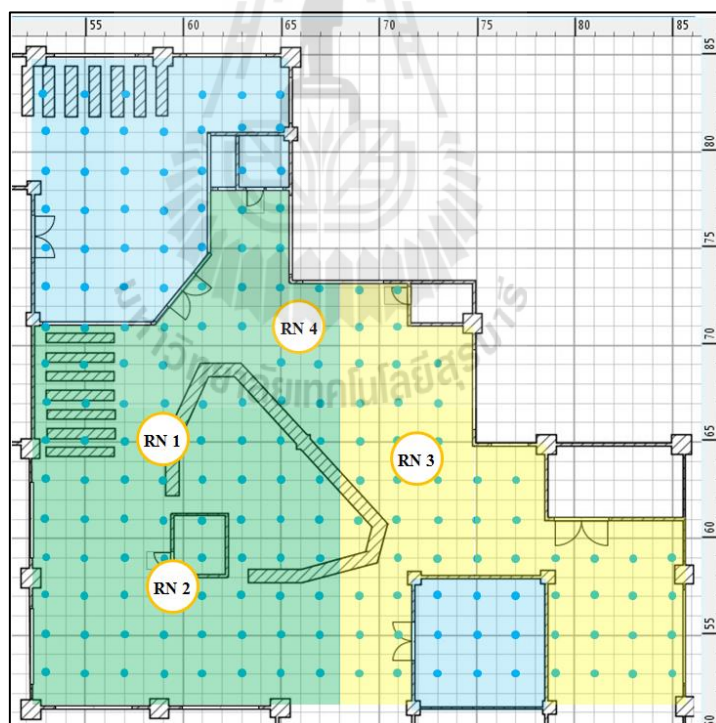
Error distance (m)					
Statistics	Hy fusion (2TL)	Hy fusion (4TL)	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Mean	1.226	1.233	1.218	1.573	1.218
Max	4.623	4.623	4.623	6.021	4.623
Min	0.023	0.023	0.023	0.000	0.023
STD	0.893	0.889	0.903	1.067	0.903



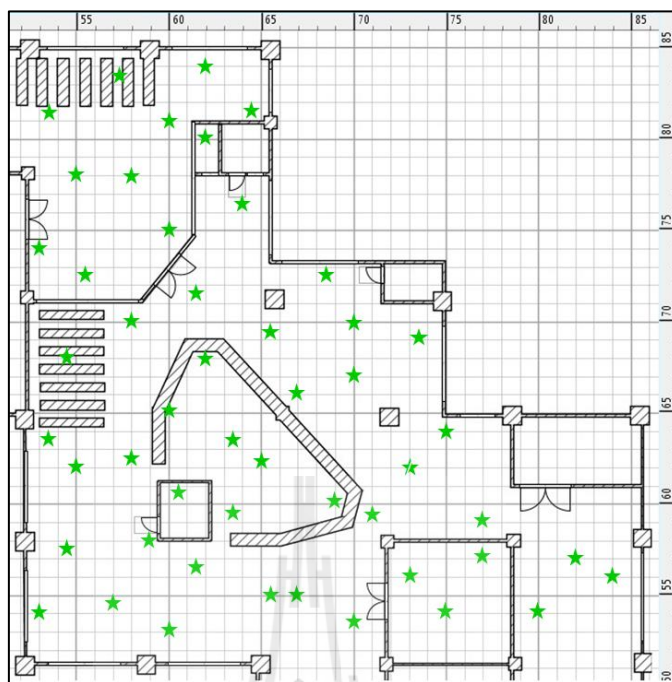
รูปที่ 5.32 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 2 ชั้น)

5.4.2 การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น (1st floor, 2nd floor, และ 3rd floor) ณ อาคารบรรณสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนท์ 585 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มเลือกจุดทดสอบ 150 จุดทดสอบ โดยใช้พิกัดฟังก์เจอร์ปรีนท์และจุดทดสอบในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 5.4.1 ในรูปที่ 5.30a-b สำหรับตำแหน่งฟังก์เจอร์ปรีนท์บนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 และรูปที่ 5.31a-b สำหรับตำแหน่งของจุดทดสอบบนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 โดยรูปที่ 5.33 แสดงพื้นที่ของอาคารบรรณสารชั้น 3 ซึ่งมีตำแหน่งฟังก์เจอร์ปรีนท์จำนวน 178 พิกัด และรูปที่ 5.34 แสดงตำแหน่งของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 จำนวน 50 จุดทดสอบ ในการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น จะมีข้อกำหนดเช่นเดียวกับการจัดระดับอุณหภูมิในหัวข้อที่ 5.4.1



รูปที่ 5.33 ตำแหน่งฟังก์เจอร์ปรีนท์ที่อยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคารบรรณสาร (178 พิกัด)



รูปที่ 5.34 ตำแหน่งของจุดทดสอบที่อยู่บนชั้นที่ 3 ของอาคารบรรณสาร (50 จุดทดสอบ)

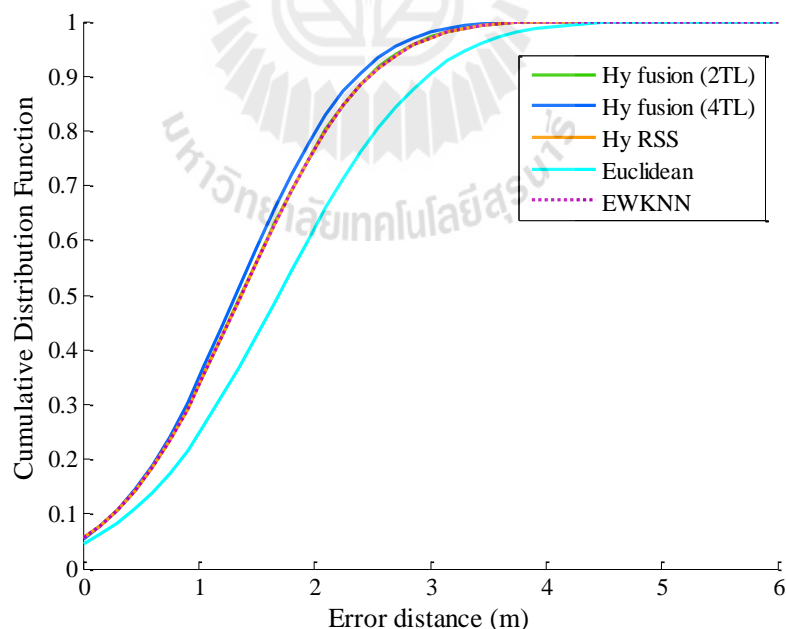
ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้นซึ่งมีจำนวนฟังก์ชัน 585 พิกัดและสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 150 จุดทดสอบ ซึ่งจะพิจารณาสมรรถนะของ 5 เทคนิคเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.4.1 ตารางที่ 5.11 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งที่คำนวณได้และตำแหน่งจริงของวัตถุพบว่ากลุ่มเทคนิคแบบผสมทั้ง 3 เทคนิคจะมีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ใกล้เคียงกัน โดยเทคนิคระบุตำแหน่งที่ให้ความถูกต้องที่ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ คือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ (Hy fusion (4TL)) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.32 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 4.69 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.05 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.82 เมตร และพบว่าเทคนิคที่มีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งแย่ที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.69 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 5.70 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.00 เมตร

เมื่อพิจารณาสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะความคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 5.35 จะสังเกตได้ว่าเทคนิคที่ให้ความแม่นยำดีที่สุดยังคงเป็นเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับแทนด้วยเส้นกราฟสีน้ำเงิน (Hy fusion (4TL)) โดยมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายใน 2 เมตร

และเทคนิคที่ให้ความแม่นยำน้อยที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลีเดียนแทนด้วยเส้นกราฟสี่ฟ้า (Euclidean) โดยมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายในระยะ 2.5 เมตร จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า การระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับสามารถให้สมรรถนะทั้งความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่งดีกว่าทั้ง 4 เทคนิค

ตารางที่ 5.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น ซึ่งมีระยะห่างของพิกัดฟังก์ชันปริ้นท์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร

Error distance (m)					
Statistics	Hy fusion (2TL)	Hy fusion (4TL)	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Mean	1.368	1.322	1.371	1.687	1.371
Max	4.864	4.687	4.864	5.701	4.864
Min	0.048	0.048	0.048	0.000	0.048
STD	0.859	0.819	0.862	1.002	0.862



รูปที่ 5.35 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 3 ชั้น)

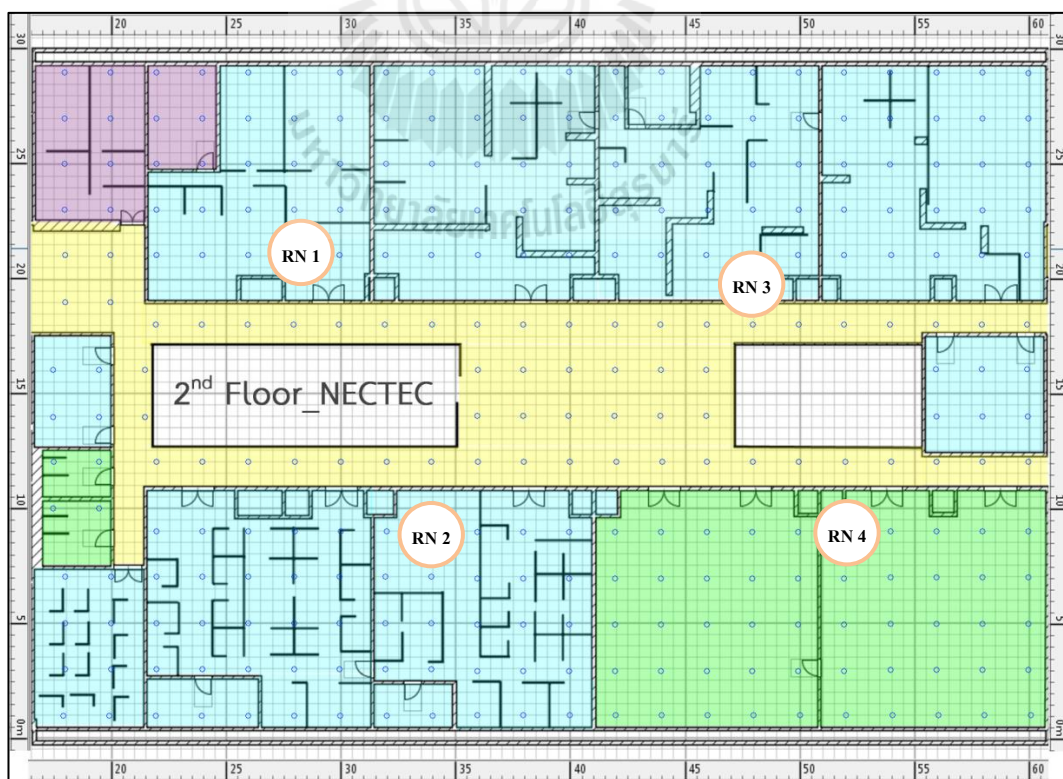
5.4.3 การระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งทำการทดลองที่ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ซึ่งเป็นอาคาร 6 ชั้น โดยใช้ข้อมูลที่สร้างขึ้นจากสมการความสัมพันธ์ในหัวข้อที่ 5.1 เพื่อสร้างข้อมูลความเข้มสัญญาณที่รับได้ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม โดยมีจำนวนพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 1755 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มเลือกจุดทดสอบ 300 จุดทดสอบ รูปที่ 5.36a-f แสดงพื้นที่การทดลอง อาคาร NECTEC สำหรับกรณีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น จุดสีน้ำเงินแทนตำแหน่งฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีทั้งหมด 1755 พิกัด วงกลมสีส้มแทนตำแหน่งที่ติดตั้งโน้ตบุ๊กในแต่ละชั้น

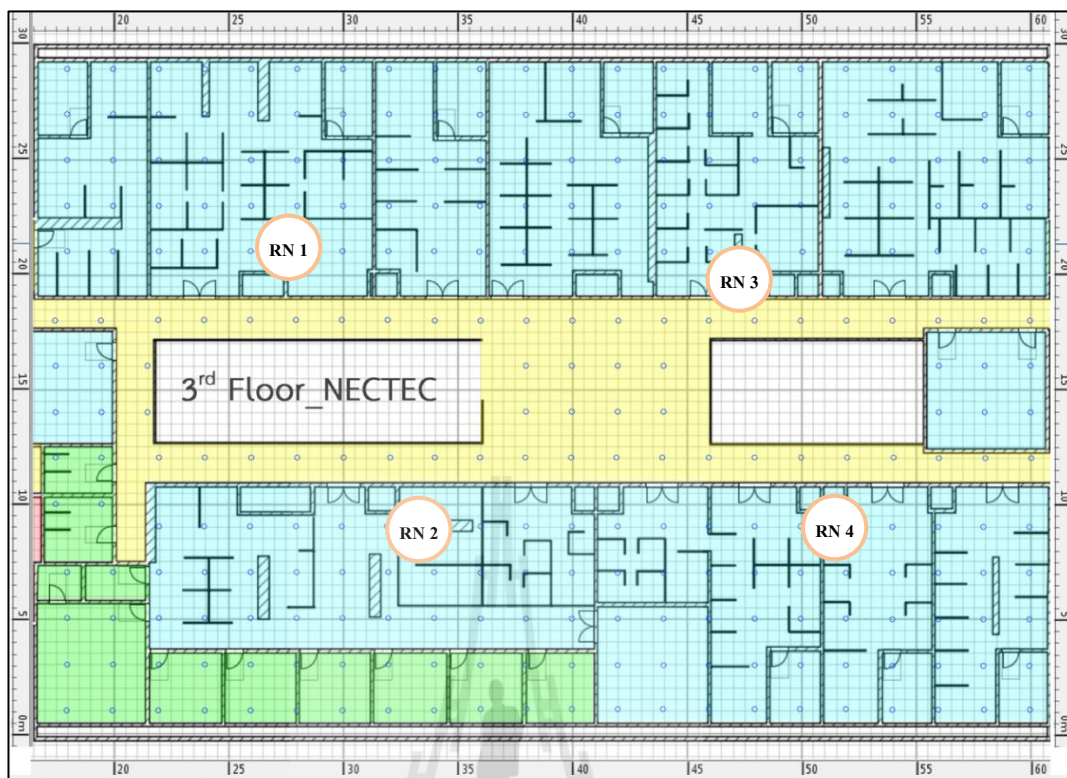
จากรูปที่ 5.36a-f เป็นฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ โดยมีการแทนพื้นที่ของการจัดระดับอุณหภูมิด้วยสีที่แตกต่างกัน ระดับอุณหภูมิที่ 1 แทนด้วยพื้นที่สีแดงมีค่าอุณหภูมิ ≥ 32 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ $\geq 80\%$ ได้แก่พื้นที่ที่เป็น ฝ้าเพดาน ระเบียงตึก ทางเดินเชื่อมตึก และห้องเครื่องพัสดุ เป็นต้น ระดับอุณหภูมิที่ 2 แทนด้วยพื้นที่สีส้มมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ≥ 30 °C และ ≤ 31 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 70% - 79% ได้แก่พื้นที่ที่เป็น ห้องควบคุมไฟฟ้า บันได และห้องเก็บครุภัณฑ์ เป็นต้น ระดับอุณหภูมิที่ 3 แทนด้วยพื้นที่สีเขียวมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ≥ 26 °C และ ≤ 29 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60% - 69% ได้แก่พื้นที่จำพวก ห้องเตรียมอาหาร ห้องน้ำ ห้องถ่ายเอกสาร ห้องพักช่างอาคาร และโถงทางเดิน เป็นต้น ระดับอุณหภูมิที่ 4 แทนด้วยพื้นที่สีฟ้ามีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ≥ 22 °C และ ≤ 25 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 50% - 59% พื้นที่ที่อยู่ในระดับอุณหภูมินี้ได้แก่ ห้องประชุม ห้องวิจัยและพัฒนา ห้องเก็บเอกสาร และห้องสื่อสาร เป็นต้น ระดับอุณหภูมิที่ 5 แทนด้วยพื้นที่สีม่วงมีค่าอุณหภูมิ ≤ 21 °C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ $\leq 59\%$ ได้แก่พื้นที่ที่เป็น ศูนย์บ่มเพาะ (incubator) ห้องเซิร์ฟเวอร์ และห้อง UPS (Uninterruptible Power Supply) เป็นต้น ตารางที่ 5.12 แสดงตัวอย่างการจัดระดับอุณหภูมิของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ



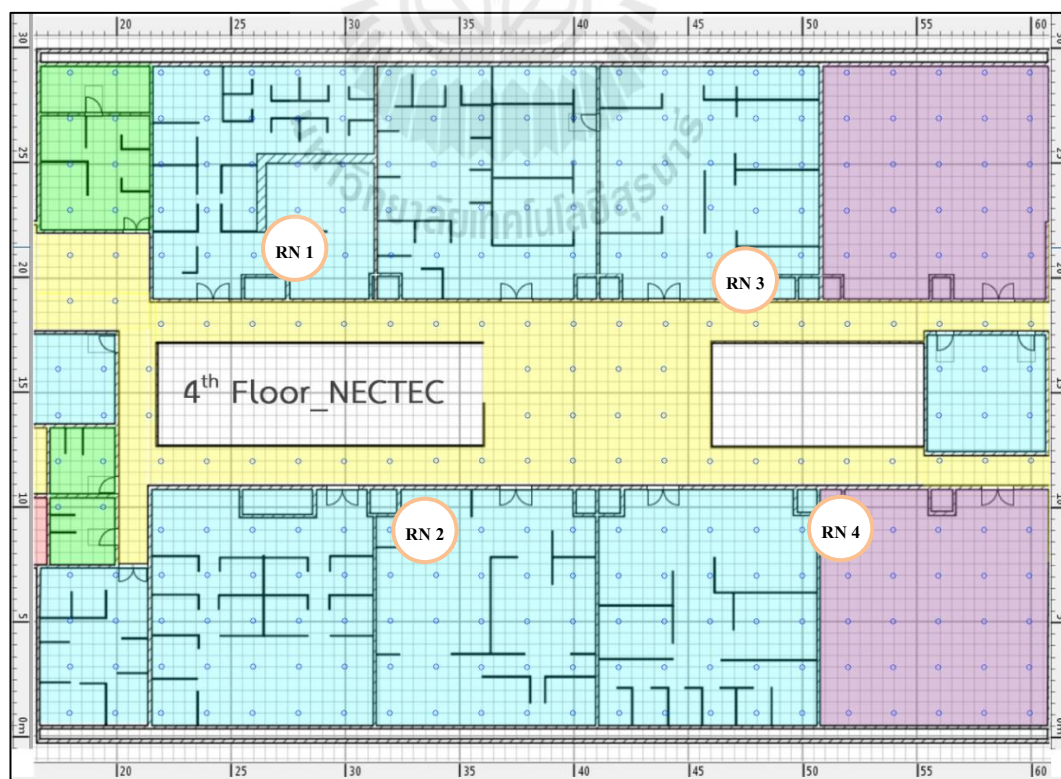
a. First floor (fingerprint 330 points)



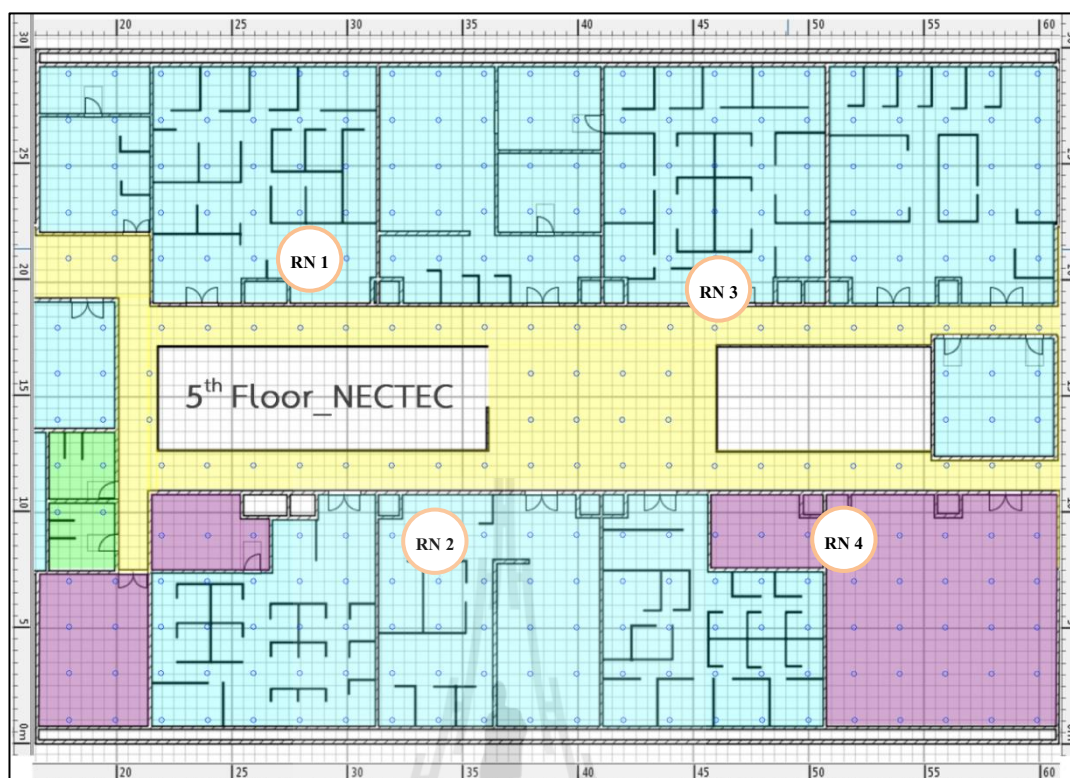
b. Second floor (fingerprint 288 points)



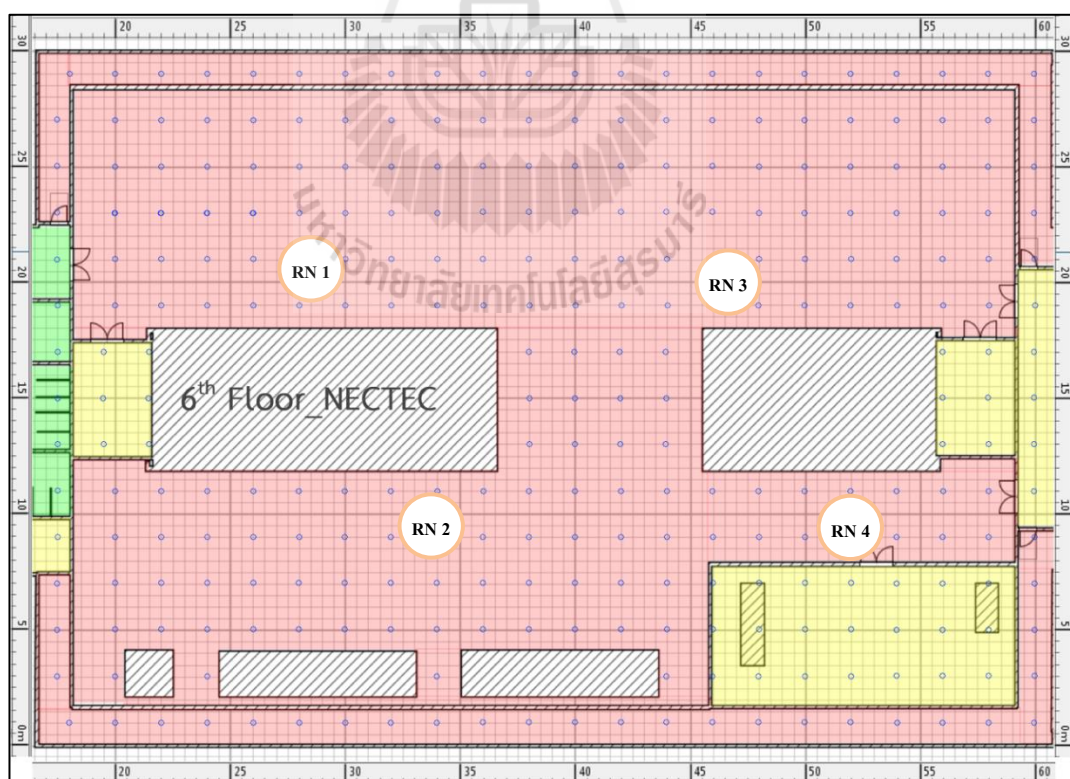
c. Third floor (fingerprint 284 points)



d. Fourth floor (fingerprint 284 points)



e. Fifth floor (fingerprint 284 points)



f. Sixth floor (fingerprint 285 points)

รูปที่ 5.36 ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์ของอาคาร NECTEC 6 ชั้น (1755 พิกัด)

ตารางที่ 5.12 การจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์
ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ

ระดับอุณหภูมิ	ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม (%)
1	≥ 32	$\geq 80\%$
2	30 - 31	70% - 79%
3	26 - 29	60% - 69%
4	22 - 25	50% - 59%
5	≤ 21	$\leq 49\%$

ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะความถูกต้อง และความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง ของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น ที่มีจำนวนฟิงเกอร์ปρί้นท์ 1775 พิกัด และสุ่มเลือกจุดทดสอบจำนวน 300 จุดทดสอบ ซึ่งพิจารณาสมรรถนะของ 4 เทคนิคได้แก่ เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ เทคนิคแบบผสมที่ใช้ความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ตารางที่ 5.13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งที่คำนวณได้และตำแหน่งจริงของวัตถุ ผลในตารางที่ 5.13 พบว่าเทคนิคระบุตำแหน่งที่มีสมรรถนะความถูกต้องดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ คือ เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (EWKNN) ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.14 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 4.81 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0.02 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.81 เมตร และพบว่าเทคนิคที่มีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งแย่ที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean) มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.57 เมตร ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 6.27 เมตร ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 0 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.98 เมตร

เมื่อพิจารณาที่ความถูกต้องของเทคนิคแบบผสม 2 เทคนิคที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ (Hy fusion (STL)) และเทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) พบว่าทั้งสองเทคนิคมีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.18 เมตรและ 1.14 เมตร ตามลำดับ จึงอาจสรุปได้ว่า 2 เทคนิคแบบผสมมีสมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่งเท่ากัน

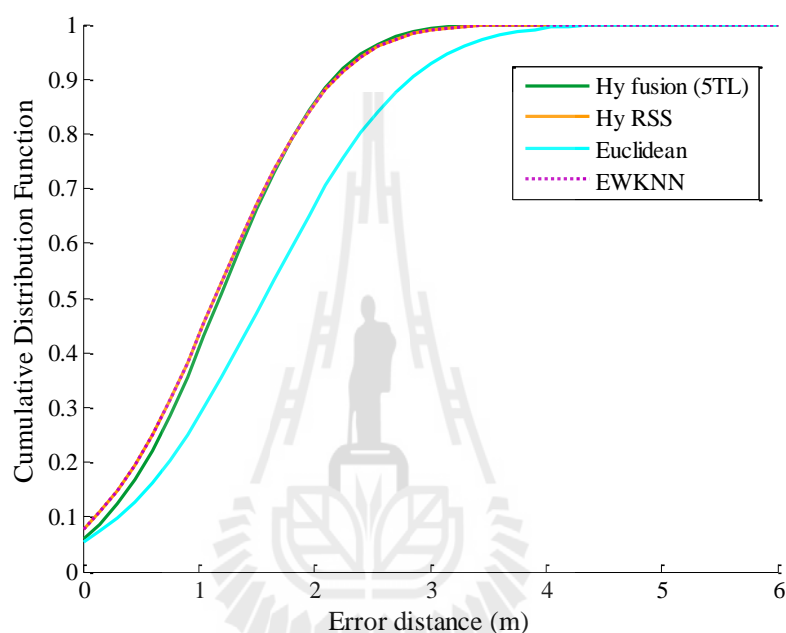
ตารางที่ 5.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น ซึ่งมีระยะห่างของพิกัดฟังก์ชันปริพันธ์แต่ละตำแหน่งเท่ากับ 2 เมตร

Error distance (m)				
Statistics	Hy fusion (5TL)	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Mean	1.183	1.143	1.567	1.143
Max	4.808	4.808	6.265	4.808
Min	0.064	0.020	0.000	0.020
STD	0.763	0.808	0.984	0.808

เมื่อพิจารณาที่สมรรถนะความแม่นยำของการระบุตำแหน่งจากฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะความคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 5.37 จะสังเกตได้ว่า สามเทคนิคที่มีสมรรถนะความแม่นยำดีที่สุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันคือ เทคนิคแบบผสมที่ใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุหภูมิเป็น 5 ระดับ (Hy fusion (5TL)) เทคนิคแบบผสมที่ใช้ความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (EWKNN) ซึ่งมีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายใน 1.8 เมตร ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่งวัตถุ 80 ครั้งจาก 100 ครั้งของทั้งสามเทคนิค จะให้ความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งไม่เกิน 1.8 เมตร ขณะที่เทคนิคที่สมรรถนะความแม่นยำน้อยที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean) มีความแม่นยำของตำแหน่งที่ 80 % ภายในระยะ 2.3 เมตร

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบข้อสังเกตว่า เมื่อพื้นที่ของการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น (อาคาร 2 ชั้น อาคาร 3 ชั้น และอาคาร 6 ชั้น) เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (ใช้ค่าอนุหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม) ยังคงมีสมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ดี ยิ่งไปกว่านั้น จากผลการทดลองข้างต้นยังแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการระบุชั้นที่พัฒนาขึ้น ซึ่งให้ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm จะสามารถระบุชั้นของวัตถุได้ถูกต้อง 100% (เพื่อนำหมายเลขชั้นมาใช้ในกระบวนการกรองชั้น) อีกทั้ง การใช้ค่าอนุหภูมิของสิ่งแวดล้อมร่วมกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (กระบวนการกรองระดับอนุหภูมิ) จะสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบระบุตำแหน่งวัตถุทั้งด้านความถูกต้อง และด้านความแม่นยำในการระบุตำแหน่งได้ ซึ่งนอกจากกระบวนการกรองชั้น และกระบวนการกรองระดับอนุหภูมิจะช่วยลดจำนวนพิกัดฟังก์ชันปริพันธ์ที่จะถูกพิจารณาในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียนแล้ว มันยังช่วยลดความผิดพลาดในแง่ของการเลือกพิกัดฟังก์ชันปริพันธ์ได้อีกด้วย ซึ่งพิกัดฟังก์ชันปริพันธ์ที่มีหมายเลขชั้นและระดับอนุหภูมิแตกต่างกัน

หมายเลขชั้นและระดับอนุภูมิภาคของวัตถุ จะถูกกรองออกและไม่ถูกนำมาพิจารณา อีกทั้งความเท่ากัน (สมรรถนะความถูกต้องและความแม่นยำ) ของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (EWKNN) จะถูกทดสอบด้วยการประเมินความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.37 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละเทคนิค (กรณีอาคาร 6 ชั้น)

5.5 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่ง

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเวลาของเทคนิคระบุตำแหน่ง โดยจะเป็นการวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบผลระหว่าง ผลที่ได้จากการประเมินความซับซ้อนของการทำงาน (evaluating runtime complexity) ในบทที่ 4 กับผลของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (หรือผลของเวลาที่วัดได้จากการทำงานจริง) โดยทำการทดลองภายในอาคาร 2 ชั้น อาคาร 3 ชั้น และอาคาร 6 ชั้น ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์ถึงจุดแข็งและจุดอ่อนแต่ละเทคนิคระบุตำแหน่งเมื่อพื้นที่การทดลองมีขนาดเพิ่มขึ้น โดยเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุที่ใช้ในเปรียบเทียบประกอบด้วย 5 เทคนิคเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.4

5.5.1 ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น ที่มีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 407 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 100 จุดทดสอบ เพื่อใช้ทดสอบความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยจะเปรียบเทียบผลของเวลาที่ใช้ในการทำงานของ 5 เทคนิคซึ่งประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับและ 4 ระดับ (Hy fusion (2TL), Hy fusion (4TL)) เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (EWKNN) สำหรับการทดสอบสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการทำงาน ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนที่ใช้พิจารณาออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ เวลาในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร (define parameter) เวลาในขั้นตอนการระบุชั้น (floor determination) เวลาในขั้นตอนการระบุตำแหน่ง (positioning system) และเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลระบุตำแหน่ง (total operation)

สำหรับในขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปรจะมีกระบวนการทำงานที่ชื่อว่า กระบวนการกำหนดค่าตัวแปร ซึ่งมีหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ตำแหน่งวัตถุ มีการจัดระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับระบบ ซึ่งการทำงานได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ถัดมาในขั้นตอนการระบุชั้นจะมีกระบวนการที่ชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ซึ่งใช้คุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลระบุชั้นของวัตถุ โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่โนดวัตถุรับได้จากโนดอ้างอิงที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคารเลือกชั้นอาคารที่วัตถุตั้งอยู่ (z_0) และขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้น (floor-filter) กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ (temp level-filter) กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน (calculate euclidean distance) และกระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน (calculate WKNN) สำหรับกระบวนการกรองชั้นมีหน้าที่ในการคัดเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีหมายเลขชั้นอาคารตรงกับหมายเลขชั้นของวัตถุไปดำเนินการในกระบวนการถัดไป ถัดมากระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจะทำหน้าที่คล้ายกับกระบวนการกรองชั้น โดยจะเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ที่มีระดับอุณหภูมิตรงกับระดับอุณหภูมิของวัตถุไปดำเนินการในกระบวนการถัดไป สำหรับกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียนจะใช้สมการที่ 3.4 ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณหาผลต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณที่รับได้ระหว่างตำแหน่งวัตถุกับฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ จากนั้นจะเลือกพิกัดพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ j ที่มีค่าระยะห่างยูคลิเดียน d_j น้อยที่สุด k ลำดับแรก และในกระบวนการสุดท้าย กระบวนการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k

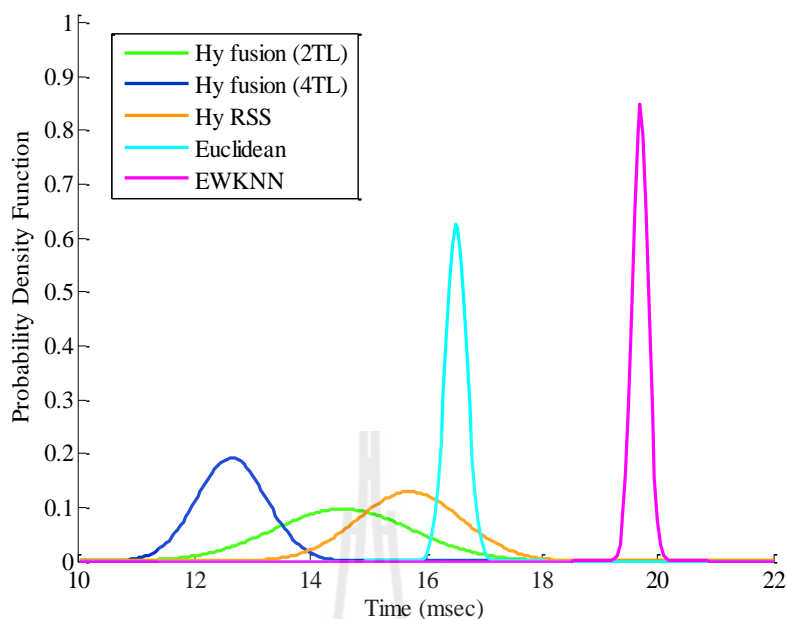
จำนวน มีหน้าที่ในการคำนวณหาพิกัด x_0 และพิกัด y_0 ของโนดวัตถุด้วยกระบวนการหาดำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก 4 จำนวนดังสมการที่ 3.5 สมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.7 ในบทที่ 3

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น

Techniques	Statistics	Run-time complexity (msec)			
		Define parameter	Floor determination	Positioning system	Total operation
Hy fusion (2TL)	Mean	0.348	2.638	11.550	14.555
	Max	0.356	2.752	13.245	16.411
	Min	0.344	2.609	8.716	11.685
	SD	0.002	0.023	1.185	1.198
Hy fusion (4TL)	Mean	0.351	2.619	9.654	12.634
	Max	0.357	2.697	11.253	14.310
	Min	0.345	2.595	8.652	11.622
	SD	0.002	0.017	0.593	0.605
Hy RSS	Mean	0.346	2.625	12.734	15.715
	Max	0.353	2.691	14.220	17.295
	Min	0.341	2.594	11.779	14.727
	SD	0.002	0.018	0.882	0.898
Euclidean distance	Mean	0.336	-	16.180	16.518
	Max	0.342	-	16.671	17.015
	Min	0.332	-	15.863	16.221
	SD	0.002	-	0.184	0.184
EWKNN	Mean	0.337	-	19.361	19.699
	Max	0.346	-	19.829	20.169
	Min	0.332	-	19.087	19.421
	SD	0.002	-	0.136	0.136

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น พบว่าเวลาในขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรของทั้ง 5 เทคนิคมีเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 0.34 มิลลิวินาที ถัดมาในขั้นตอนการระบุชั้นของกลุ่มเทคนิคแบบผสมสามเทคนิค ได้แก่ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับและ 4 ระดับ และเทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลใกล้เคียงกันประมาณ 2.62 มิลลิวินาที ถัดมาในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ โดยมีเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 9.65 มิลลิวินาที ส่วนเทคนิคที่ใช้เวลาในขั้นตอนนี้มากที่สุดคือ เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 19.36 มิลลิวินาที และเมื่อพิจารณาที่เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลพบว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ จะใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 12.63 มิลลิวินาที ขณะที่เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยมากที่สุดคือ เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมใช้เวลาประมาณ 19.70 มิลลิวินาที

พิจารณารูปที่ 5.38 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับกรณีอาคาร 2 ชั้น (ของ 100 จุดทดสอบ) ช่วยยืนยันให้เห็นว่ากลุ่มเทคนิคแบบผสมจะมีสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลรวมดีกว่าเทคนิคพื้นฐาน (Euclidean และ EWKNN) ซึ่งเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) จะมีสมรรถนะทางด้านเวลาดีกว่าทุกเทคนิค ขณะที่เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะมีสมรรถนะทางด้านเวลาแย่มากที่สุด (เส้นกราฟสีชมพู) ดังนั้นจากผลการทดสอบทางด้านเวลาของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น สามารถสรุปได้ว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับจะมีความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยที่สุดเมื่อใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารขนาด 2 ชั้น



รูปที่ 5.38 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผล สำหรับกรณีอาคาร 2 ชั้น

5.5.2 ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น

ทำการทดสอบสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น ที่มีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 585 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 150 จุดทดสอบ เพื่อใช้ทดสอบความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยจะแสดงผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ 5 เทคนิคเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 5.5.1

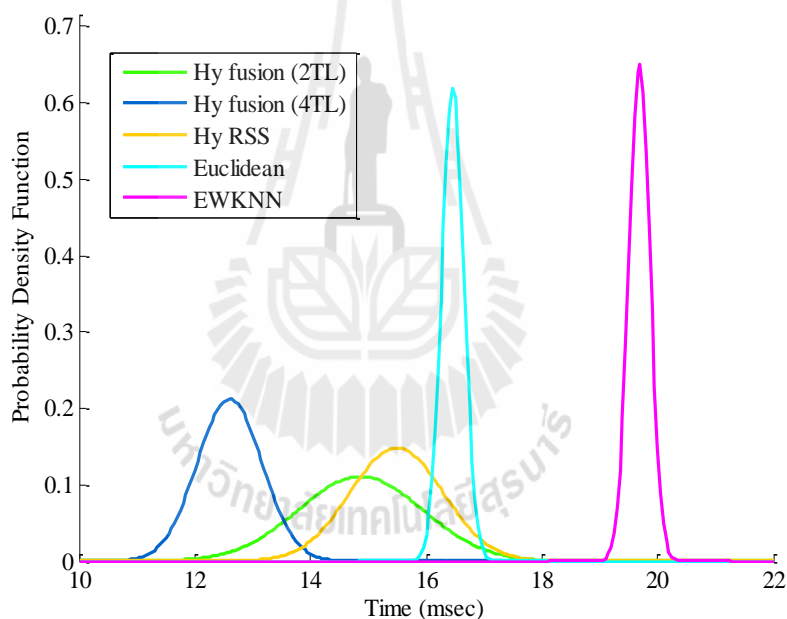
ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น พบว่าเวลาในขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรของทั้ง 5 เทคนิคมีเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 0.35 มิลลิวินาที ถัดมาในขั้นตอนการระบุชั้นของกลุ่มเทคนิคแบบผสมสามเทคนิค ได้แก่ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับและ 4 ระดับ และ เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลใกล้เคียงกันประมาณ 2.62 มิลลิวินาที ในขั้นตอนการระบุตำแหน่ง เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดคือเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 9.63 มิลลิวินาที ส่วนเทคนิคที่ใช้เวลาในขั้นตอนนี้มากที่สุดคือ เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 19.35 มิลลิวินาที และเมื่อ

พิจารณาที่เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลพบว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุกรมเป็น 4 ระดับ จะใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 12.60 มิลลิวินาที ขณะที่เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยมากที่สุดคือ เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมใช้เวลาประมาณ 19.69 มิลลิวินาที

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น

Techniques	Statistics	Run-time complexity (msec)			
		Define parameter	Floor determination	Positioning system	Total operation
Hy fusion (2TL)	Mean	0.348	2.635	11.867	14.864
	Max	0.356	2.752	13.245	16.411
	Min	0.343	2.602	8.716	11.685
	SD	0.002	0.021	1.069	1.075
Hy fusion (4TL)	Mean	0.350	2.618	9.625	12.604
	Max	0.357	2.701	11.253	14.310
	Min	0.344	2.591	8.652	11.622
	SD	0.002	0.019	0.551	0.561
Hy RSS	Mean	0.346	2.623	12.510	15.489
	Max	0.353	2.691	14.220	17.295
	Min	0.338	2.593	11.779	14.727
	SD	0.002	0.017	0.788	0.802
Euclidean distance	Mean	0.336	-	16.123	16.461
	Max	0.353	-	16.671	17.015
	Min	0.332	-	15.818	16.149
	SD	0.002	-	0.191	0.192
EWKNN	Mean	0.337	-	19.348	19.686
	Max	0.346	-	20.295	20.648
	Min	0.330	-	19.040	19.379
	SD	0.002	-	0.181	0.182

พิจารณารูปที่ 5.39 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับกรณีอาคาร 3 ชั้น (ของ 150 จุดทดสอบ) เป็นอีกครั้งที่กลุ่มเทคนิคแบบผสมจะมีสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลดีกว่าเทคนิคพื้นฐาน โดยที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) จะมีสมรรถนะทางด้านเวลาดีกว่าทุกเทคนิค ขณะที่เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมยังคงมีสมรรถนะทางด้านเวลาแย่ที่สุด (เส้นกราฟสีเขียว) ดังนั้นจากผลการทดสอบทางด้านเวลาของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้นสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับจะมีความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยที่สุดเมื่อใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารขนาด 3 ชั้น



รูปที่ 5.39 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับกรณีอาคาร 3 ชั้น

5.5.3 ความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น

ทำการทดสอบสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น ที่มีพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์ 1755 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 300 จุดทดสอบ เพื่อใช้ทดสอบความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยจะเปรียบเทียบผลของเวลาที่ใช้การทำงานของ 4 เทคนิคที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ (Hy fusion (5TL)) เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น พบว่าเวลาในขั้นตอนการกำหนดค่าตัวแปรของทั้ง 4 เทคนิคมีเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันคือ 0.36 มิลลิวินาที ถึง 0.39 มิลลิวินาที ถัดมาในขั้นตอนการระบุชั้นของกลุ่มเทคนิคแบบผสมสองเทคนิคคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ และเทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลใกล้เคียงกันประมาณ 4.56 มิลลิวินาที ถึง 6.32 มิลลิวินาที ในขั้นตอนการระบุตำแหน่ง เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 12.33 มิลลิวินาที ส่วนเทคนิคที่ใช้เวลาในขั้นตอนนี้มากที่สุดคือเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 108.71 มิลลิวินาที และเมื่อพิจารณาที่เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลพบว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ จะใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 19.03 มิลลิวินาที ขณะที่เทคนิคที่ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยมากที่สุดคือเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ใช้เวลาประมาณ 109.09 มิลลิวินาที (แยกว่าประมาณ 5 เท่า)

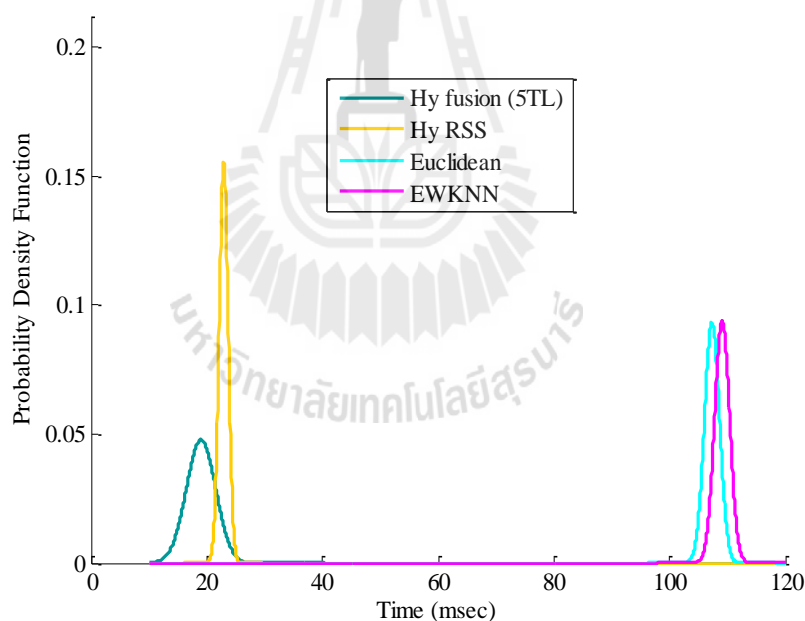
นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ จุดทดสอบทั้ง 300 จุดทดสอบจะใช้เวลาในการประมวลผลไม่เท่ากัน (สังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในตารางที่ 5.15) สาเหตุเนื่องมาจากการทำงานในกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ที่มีหน้าที่คัดเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์ที่มีระดับอุณหภูมิตรงกับระดับอุณหภูมิของวัตถุมาพิจารณา ซึ่งบางพื้นที่ของระดับอุณหภูมิที่พิจารณามีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 5.36a แสดงพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์ภายในชั้นที่ 1 ของอาคาร NECTEC หลังจากที่ดำเนินการในขั้นตอนระบุชั้น และเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์ที่อยู่บนชั้นที่ 1 แล้ว ถัดมาจะคัดเลือกพิกัดฟิงเกอร์ปρίนธ์ที่มีระดับอุณหภูมิตรงกับระดับอุณหภูมิของวัตถุมา

พิจารณา สมมติให้ระดับอุณหภูมิของวัตถุอยู่ในระดับที่ 1 แทนด้วยพื้นที่สีแดงมีค่าอุณหภูมิ ≥ 32 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ $\geq 80\%$ ดังนั้นพิกัดฟังก์ชันที่将被พิจารณาจะมีเพียงแค่ 15 พิกัด (จุดสีน้ำเงินของพื้นที่สีแดงในรูปที่ 5.36a) ด้วยเหตุนี้ เวลาที่ใช้ในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนจึงลดน้อยลงอย่างมาก (แทนที่การคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนทั้ง 1755 พิกัดของเทคนิคพื้นฐาน) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อดีของการนำค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม มาใช้ร่วมกับค่าความเข้มสัญญาณที่ได้รับได้ของการระบุตำแหน่งวัตถุด้วยเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น

Techniques	Statistics	Run-time complexity (msec)			
		Define parameter	Floor determination	Positioning system	Total operation
Hy fusion (5TL)	Mean	0.367	6.319	12.334	19.030
	Max	0.407	6.715	16.443	23.228
	Min	0.356	4.462	8.482	13.449
	SD	0.010	0.461	2.451	2.530
Hy RSS	Mean	0.391	4.565	17.964	22.931
	Max	0.399	4.712	19.951	24.996
	Min	0.375	4.497	17.271	22.231
	SD	0.003	0.037	0.790	0.778
Euclidean	Mean	0.378	-	106.960	107.340
	Max	0.392	-	111.034	111.411
	Min	0.364	-	104.458	104.846
	SD	0.005	-	1.294	1.292
EWKNN	Mean	0.370	-	108.716	109.089
	Max	0.389	-	114.469	114.929
	Min	0.345	-	104.556	104.940
	SD	0.014	-	1.292	1.286

พิจารณารูปที่ 5.40 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลรวมสำหรับกรณีอาคาร 6 ชั้น (ของ 300 จุดทดสอบ) ช่วยยืนยันว่ากลุ่มเทคนิคแบบผสมจะมีสมรรถนะทางด้านเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลดีกว่าเทคนิคพื้นฐาน โดยที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 5 ระดับ (เส้นกราฟสีเขียวเข้ม) จะมีสมรรถนะทางด้านเวลาดีกว่าทุกเทคนิค ขณะที่เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมยังคงมีสมรรถนะทางด้านเวลาแย่ที่สุด (เส้นกราฟสีชมพู) อีกทั้งการทดลองนี้ยังช่วยแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของสมรรถนะทางด้านเวลาของเทคนิคระบุตำแหน่งวัตถุว่า ถ้าหากพื้นที่ของการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น เทคนิคแบบผสมที่พัฒนาขึ้นจะให้สมรรถนะทางด้านเวลาได้ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิภาคเป็น 5 ระดับจะมีความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยที่สุดเมื่อใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุภายในอาคารขนาด 6 ชั้น



รูปที่ 5.40 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับกรณีอาคาร 6 ชั้น

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.5.1 หัวข้อที่ 5.5.2 และหัวข้อที่ 5.5.3 พบว่าขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร และขั้นตอนการระบุชั้นจะไม่ส่งผลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผล (total time) มากนัก ในขณะที่ขั้นตอนที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะทางด้านเวลา หรือความซับซ้อนในแง่ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประมวลผลมากที่สุดคือ ขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาความซับซ้อนที่เกิดจากการทำงานในขั้นตอนการระบุตำแหน่งวัตถุของแต่ละเทคนิค เพื่อวิเคราะห์ถึงกระบวนการทำงานที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะทางด้านเวลาของเทคนิคระบุตำแหน่งที่ประกอบด้วย 4 เทคนิคคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ระบบร่วมกัน เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม ตารางที่ 5.17 แสดงการวิเคราะห์ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการประเมินความซับซ้อนในบทที่ 4

ตารางที่ 5.17 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของขั้นตอนการระบุตำแหน่ง

Complexity	Procedure	Techniques			
		Hy fusion	Hy RSS	Euclidean	EWKNN
Worst-case of positioning system	floor-filter	$O(M^2)$	$O(M^2)$	-	-
	temp level-filter	$O(M_2^2)$	-	-	-
	cal. euclidean distance	$O(M_1^2)$	$O(M_2^2)$	$O(M^2)$	$O(M^2)$
	cal. weighted KNN	$O(k^2)$	$O(k^2)$	-	$O(k^2)$

หมายเหตุ :

M คือ จำนวนพิกัดฟังก์ชันพรีนัททั้งหมด

M_2 คือ จำนวนพิกัดฟังก์ชันพรีนัทที่ผ่านกระบวนการกรองชั้น

M_1 คือ จำนวนพิกัดฟังก์ชันพรีนัทที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ

โดยที่ $M > M_2 > M_1$

k คือ จำนวนตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด

จากผลความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของขั้นตอนการระบุตำแหน่งในตารางที่ 5.17 เทคนิคระบุตำแหน่งที่มีกระบวนการทำงานในขั้นตอนการระบุตำแหน่งน้อยที่สุดคือ เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียนซึ่งมีเพียงกระบวนการเดียวคือ กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียน โดยที่ความซับซ้อนของการทำงานจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมดจำนวน M พิกัด ขณะที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีกระบวนการทำงานมากที่สุดคือ 4 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการกรองชั้นซึ่งจะกรองพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมดจำนวน M พิกัด (กรองตามหมายเลขชั้นของวัตถุ) จากนั้นที่กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจะกรองพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นจำนวน M_1 พิกัด (กรองตามระดับอุณหภูมิของวัตถุ) ถัดมากระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนจะมีหน้าที่คำนวณหาค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนที่น้อยที่สุดซึ่งความซับซ้อนของการทำงานจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ผ่านกระบวนการกรองชั้นและกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิจำนวน M_1 พิกัด กระบวนการสุดท้าย กระบวนการคำนวณหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนจะมีหน้าที่ระบุพิกัด x, y ของวัตถุ (ถ้า k หรือจำนวนตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4) และจะได้ตำแหน่งของวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้น (x_o, y_o, z_o)

เมื่อพิจารณาที่กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนซึ่งเป็นกระบวนการที่ทุกเทคนิคต้องดำเนินการ พบว่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการนี้คือ จำนวนของพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งความซับซ้อนในกระบวนการนี้คือ $O(m^2)$ หรือหมายถึงความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ใช้ในการคำนวณยกกำลังสอง และจะสังเกตได้ว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ใช้ในกระบวนการนี้น้อยที่สุด เนื่องจากเทคนิคนี้จะต้องผ่านกระบวนการกรองพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ถึง 2 กระบวนการคือ กระบวนการกรองชั้น และกระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่า การแบ่งระดับอุณหภูมิให้มีหลายระดับจะทำให้จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ใช้ในกระบวนการนี้ลดลงอีกด้วย ตรงกันข้ามกับ เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะมีจำนวนของพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ที่ใช้ในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิดีเนียนมากที่สุด ซึ่งจะใช้พิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์ทั้งหมด (M) ดังนั้นเมื่อนำพื้นที่การทดลองใหญ่ขึ้นและมีจำนวนชั้นเพิ่มมากขึ้น (จำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปริ้นท์เพิ่มขึ้น) เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จึงมีความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลต่ำกว่ากลุ่มเทคนิคแบบผสมอย่างเห็นได้ชัด

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 5.5.1 หัวข้อที่ 5.5.2 และหัวข้อที่ 5.5.3 ถึงแม้ว่าเทคนิค ระยะห่างยูคลีเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบ เสริม จะมีขั้นตอนในการค้นหาตำแหน่งน้อยที่สุดเพียงแค่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนกำหนดตัวค่าแปร และขั้นตอนการระบุตำแหน่ง รวมทั้งยังมีกระบวนการทำงานในขั้นตอนการระบุตำแหน่งน้อยกว่า กลุ่มเทคนิคแบบผสม แต่ผลสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกลับตรงกันข้าม โดยเฉพาะเมื่อพื้นที่การทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีจำนวนชั้นเพิ่มมากขึ้น สมรรถนะทางด้านเวลา ของทั้งสองเทคนิคจะแย่กว่าสมรรถนะทางด้านเวลาของกลุ่มเทคนิคแบบผสมอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีแนวโน้มของสมรรถนะทางด้านเวลา หรือ มีความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการค้นหาตำแหน่งวัตถุเมื่อพื้นที่ของการทดลองมีขนาดใหญ่ ขึ้นและมีจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ ซึ่งเทคนิคระบุตำแหน่งที่มีสมรรถนะทางด้านเวลาที่ ดีจะเหมาะสำหรับการติดตามวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ หรือใช้ค้นหาตำแหน่งวัตถุในแบบเวลาจริง (real time) อีกทั้งยังสามารถค้นหาตำแหน่งวัตถุได้หลายตำแหน่งพร้อม ๆ กันโดยใช้เวลาไม่นาน

5.6 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่ง

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ประกอบด้วย สมรรถนะความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง สมรรถนะ ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และความซับซ้อนหรือสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการ ประมวลผล โดยจะทำการสรุปผลสมรรถนะที่ได้จากหัวข้อที่ 5.4 และหัวข้อที่ 5.5 ซึ่งเป็นการระบุ ตำแหน่งที่ใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบที่ได้จากการจำลองที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.1 โดย พารามิเตอร์ของระบบที่ถูกจำลองขึ้นประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ ของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม โดยได้จำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบ สำหรับการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนท์ และสำหรับข้อมูลที่ตำแหน่งวัตถุ (หรือจุดทดสอบ) โดย ทำการทดลองภายในอาคาร 2 ชั้น อาคาร 3 ชั้น และอาคาร 6 ชั้น ตามลำดับ และแต่ละการทดลอง ได้กำหนดให้ระยะห่างของฟักัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละฟักัดมีค่าเท่ากับ 2 เมตร

5.6.1 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุ ภายในอาคาร 2 ชั้น ที่มีฟักัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 407 ฟักัด ซึ่งกำหนดระยะห่างฟักัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละ ฟักัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 100 จุดทดสอบ โดยเปรียบเทียบผลสมรรถนะในการ ระบุตำแหน่งของ 5 เทคนิคที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่ง แบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับและ 4 ระดับ (Hy fusion (2TL), Hy fusion (4TL)) เทคนิคแบบผสม

ที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (Hy RSS) เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม (EWKNN) โดยจะแสดงผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุที่ประกอบด้วย ผลสมรรถนะความถูกต้องหรือค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการระบุตำแหน่งที่มีหน่วยเป็นเมตร ผลสมรรถนะความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตร และระยะ 3 เมตรมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ผลความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในช่วงออนไลน์เฟรมมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที และผลของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุซึ่งถูกทำให้เป็นค่าบรรทัดฐาน (normalized complexity time)

ตารางที่ 5.18 แสดงผลสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น พบว่าเทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากันและยังมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 1.22 เมตร แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ และ 4 ระดับ ยังคงมีผลสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับสองเทคนิคข้างต้น (มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.226 เมตร และ 1.233 เมตร) เมื่อพิจารณาที่ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตร และระยะ 3 เมตร พบว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับจะมีสมรรถนะความแม่นยำดีที่สุดทั้งสองระยะคือ 75.75% และ 96.84% ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่ง 97 ครั้งจาก 100 ครั้งตำแหน่งที่คำนวณได้จะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เมตร (สำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 2 ชั้นซึ่งแต่ละชั้นมีพื้นที่ขนาด 35 x 35 เมตร) เมื่อพิจารณาที่ผลสมรรถนะความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่ง พบว่าเทคนิคที่มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุน้อยที่สุดคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับใช้เวลาประมาณ 12.63 มิลลิวินาที ซึ่งเทคนิคอื่น ๆ จะใช้เวลามากกว่าเทคนิคดังกล่าวหลายเท่า เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะใช้เวลามากกว่า 1.56 เท่า (ใช้เวลาประมาณ 19.699 มิลลิวินาที) เป็นต้น

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับจะมีสมรรถนะความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดี อีกทั้งยังมีสมรรถนะความแม่นยำและสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ

ตารางที่ 5.18 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 2 ชั้น

Techniques	Accuracy (average error) (m.)	Precision in 2 meters (%)	Precision in 3 meters (%)	Average complexity time (msec.)	Normalized complexity time ¹
Hy fusion (2TL)	1.226	73.32	95.77	14.555	1.15
Hy fusion (4TL)	1.233	75.75	96.84	12.634	1
Hy RSS	1.218	73.32	95.77	15.715	1.24
Euclidean	1.573	62.30	90.71	16.518	1.31
EWKNN	1.218	73.32	95.77	19.699	1.56

หมายเหตุ ¹ การทำค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized complexity time) คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ (average complexity time) หารด้วย 12.634 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิเป็น 4 ระดับ (Hy fusion (4TL))

5.6.2 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น ที่มีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 585 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 150 จุดทดสอบ โดยจะเปรียบเทียบผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของ 5 เทคนิคเช่นเดียวกับหัวข้อ 5.6.1

ตารางที่ 5.19 แสดงผลสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น พบว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิเป็น 4 ระดับจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 1.32 เมตร เมื่อพิจารณาที่ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตร และระยะ 3 เมตร พบว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิเป็น 4 ระดับจะมีสมรรถนะความแม่นยำดีที่สุดทั้งสองระยะคือ 77.84% และ 97.98% ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่ง 98 ครั้งจาก 100 ครั้งตำแหน่งที่คำนวณได้จะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เมตร (สำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 3 ชั้นซึ่งแต่ละชั้น

มีพื้นที่ขนาด 35 x 35 เมตร) เมื่อพิจารณาที่ผลสมรรถนะความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่งพบว่า เป็นอีกครั้งที่เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ จะใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุที่น้อยที่สุดประมาณ 12.60 มิลลิวินาที ซึ่งเทคนิคอื่น ๆ จะใช้เวลามากกว่าเทคนิคดังกล่าวหลายเท่า เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะใช้เวลามากกว่า 1.56 เท่า (ใช้เวลาประมาณ 19.686 มิลลิวินาที) เป็นต้น

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเปรียบเทียบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับจะมีสมรรถนะความถูกต้อง สมรรถนะความแม่นยำ และสมรรถนะทางด้านเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ และจะสังเกตได้ว่า เทคนิคที่มีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดีรองลงมาคือ เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 2 ระดับ ดังนั้นถึงแม้ผู้ออกแบบระบบจะเลือกใช้การแบ่งระดับอุณหภูมิเพียงแค่สองระดับ (พื้นที่ภายในห้องแอร์และพื้นที่ภายนอกห้องแอร์) เทคนิคที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นยังคงมีสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ

ตารางที่ 5.19 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 3 ชั้น

Techniques	Accuracy (average error) (m.)	Precision in 2 meters (%)	Precision in 3 meters (%)	Average complexity time (msec.)	Normalized complexity time ²
Hy fusion (2TL)	1.368	74.89	97.05	14.864	1.18
Hy fusion (4TL)	1.322	77.84	97.98	12.604	1
Hy RSS	1.371	74.89	97.05	15.489	1.23
Euclidean	1.687	60.34	90.48	16.461	1.31
EWKNN	1.371	74.89	97.05	19.686	1.56

หมายเหตุ² การทำค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized complexity time) คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ (average complexity time) หารด้วย 12.604 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่ง

วัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 4 ระดับ (Hy fusion (4TL))

5.6.3 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้น

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของสมรรถนะในการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น ที่มีพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์ 1755 พิกัด ซึ่งกำหนดระยะห่างพิกัดฟิงเกอร์ปรีนท์แต่ละพิกัดเท่ากับ 2 เมตร และสุ่มจุดทดสอบจำนวน 300 จุดทดสอบ โดยจะเปรียบเทียบผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งของ 4 เทคนิคที่ประกอบด้วย เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ (Hy fusion (5TL)) เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม

ตารางที่ 5.20 แสดงผลสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น พบว่าเทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากันและยังมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 1.14 เมตร แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับ ยังคงมีผลสมรรถนะความถูกต้องใกล้เคียงกับสองเทคนิคข้างต้น ซึ่งมีค่าประมาณ 1.18 เมตร เมื่อพิจารณาที่ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่ระยะ 2 เมตร และระยะ 3 เมตร พบว่าเทคนิคแบบผสมทั้งสองเทคนิค (Hy fusion (5TL), Hy RSS) และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะมีสมรรถนะความแม่นยำเท่ากัน และเป็นค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดทั้งสองระยะคือ 84.10% และ 98.92% ซึ่งหมายถึงการระบุตำแหน่ง 99 ครั้งจาก 100 ครั้งตำแหน่งที่คำนวณได้จะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เมตร (สำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร 6 ชั้นซึ่งแต่ละชั้นมีพื้นที่ขนาด 30 x 60 เมตร เมตร) เมื่อพิจารณาที่ผลสมรรถนะความซับซ้อนของเทคนิคระบุตำแหน่ง พบว่าเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอุณหภูมิเป็น 5 ระดับจะใช้เวลาเฉลี่ยในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุน้อยที่สุดประมาณ 19.03 มิลลิวินาที ซึ่งเทคนิคอื่น ๆ จะใช้เวลามากกว่าเทคนิคดังกล่าวหลายเท่า เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะใช้เวลามากกว่า 5.73 เท่า (ใช้เวลาประมาณ 109.089 มิลลิวินาที) เป็นต้น

ถึงแม้เทคนิคแบบผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และเทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม จะมีสมรรถนะความถูกต้องและสมรรถนะความแม่นยำเท่ากันทั้ง 3 กรณี (อาคาร 2 ชั้น อาคาร 3 ชั้น และอาคาร 6 ชั้น) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อ

พิจารณาที่ผลความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการระบุตำแหน่งพบว่า เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริมจะใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าเทคนิคผสมที่ใช้ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ (มากกว่า 4.76 เท่าสำหรับกรณีอาคาร 6 ชั้น) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อดีของการประเมินสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งด้วยการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ที่จะช่วยจำแนกสมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นของเทคนิคแบบผสมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น ที่มีการทำงานในขั้นตอนการระบุชั้นและกระบวนการกรองชั้น ซึ่งจะสามารถช่วยลดจำนวนพิกัดฟังก์เจอร์ปรีนที่ที่ใช้ในกระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียน และยังช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้อีกด้วย

ตารางที่ 5.20 สมรรถนะของเทคนิคระบุตำแหน่งสำหรับการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร 6 ชั้น

Techniques	Accuracy (average error) (m.)	Precision in 2 meters (%)	Precision in 3 meters (%)	Average complexity time (msec.)	Normalized complexity time ³
Hy fusion (5TL)	1.183	84.10	98.92	19.030	1
Hy RSS	1.143	84.10	98.92	22.931	1.20
Euclidean	1.567	65.14	92.74	107.340	5.64
EWKNN	1.143	84.10	98.92	109.089	5.73

หมายเหตุ³ การทำค่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized complexity time) คำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ (average complexity time) หารด้วย 19.030 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุของเทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งแบ่งระดับอนุภูมิเป็น 5 ระดับ (Hy fusion (5TL))

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร (Indoor Positioning System : IPS) ที่มีลักษณะโครงสร้างทางกายภาพที่ซับซ้อนมากกว่าภายนอกอาคารที่เป็นพื้นที่โล่งนั้น ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายรูปแบบ เช่น ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารพิพิธภัณฑที่มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตำแหน่งของผู้เข้าชม และให้ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับผลงานที่ถูกจัดแสดงแก่ผู้เข้าชมผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งระบบดังกล่าวต้องการรู้ตำแหน่งของผู้เข้าชมเพียงแค่คร่าว ๆ เพื่อที่จะส่งข้อมูลผลงานที่ถูกจัดแสดงไปยัง โหนดอ้างอิง (reference node : RN) และส่งต่อไปที่ โหนดวัตถุ (target node) หรือตำแหน่งของผู้เข้าชม ด้วยเหตุนี้ เทคนิคที่ผู้ออกแบบระบบเลือกใช้จึงไม่จำเป็นต้องให้ค่าความแม่นยำในการระบุตำแหน่งที่สูง เพียงเลือกใช้ข้อดีของกลุ่มเทคนิค proximity ที่พิจารณาโหนดอ้างอิงที่มีค่าความเข้มสัญญาณแรงที่สุดเป็นตำแหน่งของวัตถุก็เพียงพอสำหรับระบบระบุตำแหน่งนี้ ตรงกันข้ามกับ ระบบระบุตำแหน่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร โดยที่จะมีการติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายไว้ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร เพื่อช่วยให้หน่วยกู้ภัยสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบเหตุฉุกเฉินได้ทันเวลา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไม่เพียงแต่ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวจะต้องค้นหาตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำแล้ว ระบบระบุตำแหน่งดังกล่าวยังต้องสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย หนึ่งในกลุ่มเทคนิคระบุตำแหน่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือ กลุ่มเทคนิค scene analysis ที่มีขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลในช่วงออฟไลน์เฟส เช่น การสร้างฟิงเกอร์พริ้นท์ (location fingerprint) เป็นต้น และจะระบุตำแหน่งวัตถุในช่วงออนไลน์เฟสด้วยการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวัตถุกับฐานข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ แต่ด้วยข้อจำกัดของกลุ่มเทคนิค scene analysis ในขั้นตอนการระบุตำแหน่งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของฐานข้อมูลทั้งหมด ดังนั้นถ้าหากระบบระบุตำแหน่งวัตถุนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีจำนวนหลายชั้น ความท้าทายของระบบนี้ไม่เพียงแต่ต้องค้นหาตำแหน่งวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำแล้ว แต่มันยังต้องสามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุได้อย่างรวดเร็วภายใต้ข้อจำกัดของฐานข้อมูลที่มีจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นที่สามารถระบุตำแหน่งวัตถุได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถประมวลผลหาตำแหน่งวัตถุได้อย่างรวดเร็ว ยิ่งไปกว่านั้น

งานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงข้อดีของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ของ Freescale MC13224 รุ่นที่ 3 ที่นอกจากจะมีน้ำหนักเบา ใช้พลังงานต่ำ และสามารถสร้างการเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายได้แล้ว มันยังมีความสามารถในการวัดค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength : RSS) และมีคุณสมบัติการตรวจจับข้อมูลทางกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าอุณหภูมิ (temperature) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity : RH) เป็นต้น ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาเทคนิคการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งมีชื่อว่า เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน (Hybrid fusion parameter technique) ซึ่งเป็นการผสมข้อดีของกลุ่มเทคนิค proximity และกลุ่มเทคนิค scene analysis อีกทั้งยังมีการใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันซึ่งประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งช่วยลดข้อจำกัดทางด้านเวลาของกลุ่มเทคนิค scene analysis ให้สามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้พัฒนากระบวนการจำลองค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับการระบุตำแหน่ง แทนที่การเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบทั้งอาคาร การจำลองค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปริ้นท์ภายในอาคารแบบหลายชั้นได้ นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้พัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ ซึ่งมีชื่อว่า Sum-RSS floor algorithm ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของกลุ่มเทคนิค proximity โดยใช้การวิเคราะห์คุณสมบัติทางสถิติของช่วงความเชื่อมั่นของผลรวมความเข้มสัญญาณที่รับได้ และทำการเปรียบเทียบผลความถูกต้องในการระบุชั้นกับเทคนิคการระบุชั้นของงานวิจัยอื่น ๆ และยังสามารถพัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุพิกัดวัตถุซึ่งอาศัยกระบวนการทำงานของกลุ่มเทคนิค scene analysis ที่มีการใช้ค่าพารามิเตอร์ของระบบได้แก่ ค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ร่วมกับค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิง จากนั้นได้ทำการทดสอบสมรรถนะในการระบุตำแหน่งที่ประกอบไปด้วย ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง (accuracy) ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง (precision) และความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (run-time complexity) และเปรียบเทียบผลสมรรถนะกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้ศึกษาแนวโน้มของสมรรถนะในการระบุตำแหน่ง เมื่อพื้นที่ของการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นสามารถสรุปถึงข้อดีของระบบได้ดังนี้

- ระบบระบุตำแหน่งที่พัฒนาสามารถระบุตำแหน่งวัตถุที่อยู่ภายในพื้นที่อาคารระนาบเดียว และสามารถระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นได้

- โครงสร้างทางกายภาพของอาคารที่ใช้ระบุตำแหน่งในแต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเหมือนกัน
- เทคนิคระบุตำแหน่งแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันสามารถให้ความถูกต้องในการระบุชั้นที่วัตถุตั้งอยู่ได้มากถึง 100% สำหรับทั้งกรณีที่ตั้งตั้ง โนคอ้างอิง 2 โนคและ 4 โนคในแต่ละชั้น
- สำหรับทุกขนาดของพื้นที่การทดลองภายในอาคารแบบหลายชั้น เทคนิคระบุตำแหน่งแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะให้ผลสมรรถนะในการระบุตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งมีสมรรถนะความถูกต้องและสมรรถนะความแม่นยำที่ดีกว่าเทคนิคพื้นฐาน เช่น เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน เป็นต้น
- เมื่อพื้นที่ของการทดลองมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีจำนวนชั้นเพิ่มมากขึ้น เทคนิคระบุตำแหน่งแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันจะมีสมรรถนะความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลดีกว่าเทคนิคพื้นฐาน เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม เป็นต้น โดยจะมีแนวโน้มของอัตราการใช้เวลาทางด้านเวลาน้อยกว่าเทคนิคพื้นฐานถึง 5.7 เท่า (สำหรับกรณีอาคาร 6 ชั้น)

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นจะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งต้องทราบถึงข้อดีและข้อจำกัดของเทคนิคระบุตำแหน่งแต่ละประเภท อีกทั้งยังต้องศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการระบุตำแหน่ง เช่น ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งในการเก็บรวบรวมค่าดังกล่าวเพื่อนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บบันทึกในช่วงเดือนมิถุนายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของปี ดังนั้นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถทำงานได้ดีเมื่อนำไปใช้ระบุตำแหน่งวัตถุในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การนำระบบระบุตำแหน่งวัตถุไปใช้ในช่วงเวลาอื่นของปี เช่น ในช่วงฤดูหนาว เป็นต้น หรือแม้กระทั่งในวันที่มีสภาพภูมิอากาศแปรปรวน เช่น พายุฤดูร้อน เป็นต้น ซึ่งรูปแบบของค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อมของวันเหล่านี้จะไม่สามารถนำมาใช้กับฐานข้อมูลเดิมที่เก็บบันทึกได้ แนวทางการแก้ไขเพื่อให้ระบบระบุตำแหน่งยังคงสามารถทำงานได้อย่างปกติคือ การศึกษาพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อค้นหาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

หรือตัวเลขที่ใช้บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลหรือช่วงเวลา เพื่อใช้เป็นอินพุตป้อนให้กับระบบระบุตำแหน่ง ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการปรับข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของฐานข้อมูล หรือของตำแหน่งวัตถุ ก่อนที่จะดำเนินการระบุตำแหน่งวัตถุในลำดับขั้นตอนปรกติ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Xu et al. (2011) ได้ศึกษาถึงความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ และได้สรุปผลการทดลองว่า เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียสค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้จะมีการลดทอนประมาณ -5 dBm อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะมีผลต่อการลดทอนของสัญญาณตามที่งานวิจัยดังกล่าวได้สรุปไว้ แต่แนวทางการแก้ไขของปัญหานี้ก็ยังคงสามารถใช้แนวทางเดียวกับการแก้ปัญหาความแปรปรวนของภูมิอากาศที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งไม่เพียงแต่ทำการศึกษาพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ เท่านั้น ผู้ออกแบบระบบยังต้องศึกษาพฤติกรรมของค่าอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้ เพื่อหาความสัมพันธ์หรือตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ซึ่งการเพิ่มกระบวนการดังกล่าวให้กับระบบระบุตำแหน่ง ไม่เพียงแต่ทำให้ระบบระบุตำแหน่งยังคงสามารถทำงานได้อย่างเป็นปรกติแล้ว แต่มันยังทำให้ระบบระบุตำแหน่งสามารถทนทานต่อสภาพความแปรปรวนของภูมิอากาศ และความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณเนื่องจากภูมิอากาศ หรืออีกความหมายคือเป็นการเพิ่มสมรรถนะความคงทน (robustness) ให้กับระบบระบุตำแหน่ง

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ใช้เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกันที่ประกอบด้วย ค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้ ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม ผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งไม่เพียงแต่ให้แนวคิดในการนำข้อดีของเทคนิคระบุตำแหน่งมาใช้งานร่วมกันแล้ว ยังให้แนวคิดในการนำค่าทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมมาใช้ร่วมกับการระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งผู้ออกแบบระบบสามารถเพิ่มพารามิเตอร์ของสภาพแวดล้อมนอกเหนือจากพารามิเตอร์ที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ได้ เช่น การใช้แสงที่มองเห็นได้ (Visible Light : VL) มาใช้ร่วมกับระบบระบุตำแหน่งที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่ระบบระบุตำแหน่งจะสามารถจำกัดพื้นที่ระดับอุณหภูมิของตำแหน่งวัตถุได้แล้ว แต่ระบบยังสามารถจำกัดพื้นที่ห้องของวัตถุซึ่งสามารถหาได้จากการแสดงเอกลักษณ์ (Identification : ID) ของหลอดไฟที่อยู่ภายในห้องนั้นได้อีกด้วย และเนื่องจากการทำงานของระบบระบุตำแหน่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ที่มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับระบุตำแหน่งวัตถุ ส่งผลให้รูปแบบการทำงานหรือกลไกการทำงานของ

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายยังไม่ถูกพิจารณา ด้วยเหตุนี้ผู้ออกแบบระบบสามารถออกแบบกลไกการทำงาน of ระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ เช่น กลไกการร้องขอค่าความเข้มสัญญาณจากโนดอ้างอิงที่อยู่ภายในอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบยังสามารถคิดค้นรูปแบบการให้บริการหลังจากที่คำนวณหาตำแหน่งวัตถุได้แล้ว เช่น สามารถเพิ่มรูปแบบการนำทาง (navigation) ให้กับผู้ใช้ที่มีความพิการทางสายตาผ่านระบบการนำทางแบบเสียง สามารถเพิ่มรูปแบบการติดตาม (tracking) สิ่งที่น่าสนใจ และสามารถเพิ่มการแสดงผลด้วยภาพที่ง่ายต่อการเข้าใจของผู้ใช้งาน เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., and Orlin, J.B. (1993). **Network Flows Theory Algorithms and Applications**, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Al-Ahmadi, A.S., Rahman, T.A., Kamarudin, M.R., Jamaluddin, M.H., and Omer, A.I. (2011). **Single-Phase Wireless LAN Based Multi-floor Indoor Location Determination System**, IEEE 17th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), pp. 1057-1062.
- Ali, S.F.M., and Hassan, R. (2011). **Local Positioning System Performance Evaluation with Cosine Correlation Similarity Measure**, Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), pp. 151-156.
- Alsehly, F., Arslan, T., and Sevak, Z. (2011). **Indoor Positioning with Floor Determination in Multi Story Buildings**, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-7.
- Bal, M., Xue, H., Shen, W., and Ghenniwa, H.H. (2010). **A 3-D Indoor Location Tracking and Visualization System Based on Wireless Sensor Networks**, IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC), pp. 1584-1590.
- Chen, Y., and Luo, R. (2007). **Design and Implementation of a WiFi-Based Local Locating System**, IEEE International Conference on Portable Information Devices, pp. 1-5.
- Djuknic, G.M., and Richton, R.E. (2001). **Geolocation and Assisted GPS**, IEEE Journal of Computer, Vol. 34, Issue. 2, pp. 123-125.
- Esposito, C., Cotroneo, D., and Ficco, M. (2009). **Calibrating RSS-based Indoor Positioning Systems**, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, pp. 1-6.
- Fang, S.H., Wang, C.H., Huang, T.Y., Yang, C.H., and Chen, Y.S. (2012). **An Enhanced ZigBee Indoor Positioning System with an Ensemble Approach**, IEEE Communications Letters, Vol. 16, Issue. 4, pp. 564-567.

- Gansemer, S., Großmann, U., and Hakobyan, S. (2010). **RSSI-Based Euclidean Distance Algorithm for Indoor Positioning Adapted for The Use in Dynamically Changing WLAN Environments and Multi-Level Buildings**, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-6.
- Gu, Y., Lo, A., and Niemegeers, I. (2009). **A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks**, IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 11, Issue. 1, pp. 13-32.
- Hung, M.H., Lin, S.S., Cheng, J.Y., and Chien, W.L. (2010). **A ZigBee Indoor Positioning Scheme using Signal-Index-Pair Data Preprocess Method to Enhance Precision**, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 548-553.
- IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network Part 15.4 Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**, IEEE Standard 802.15.4-2011 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2006), (2011), pp. 1-134.
- Jain, R. (1991). **Art of Computer Systems Performance Analysis Techniques for Experimental Measurements Simulation and Modeling**, Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Jiao, L., Xing, J.P., and Li, F.Y. (2009). **Performance Comparison of Residual Related Algorithms for TOA Positioning in Wireless Terrestrial and Sensor Networks**, 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, pp. 278-283.
- Kabir, M.H., and Kohno, R. (2012). **A Geolocation Approach Using UWB Deterministic Modeling for Non Line-Of-Sight Conditions**, 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), pp. 1-4.
- Kaemarungsi, K. (2005). **Efficient Design of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting**, International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Vol. 1, pp. 181-186.

- Kaemarungsi, K., and Krishnamurthy, P. (2004). **Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting**, The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems : Networking and Services, pp. 14-23.
- Khauphung, C., Keeratiwintakorn, P., and Kaemarungsi, K. (2008). **On Robustness of Centralized-Based Location Determination Using WSN**, 14th Asia-Pacific Conference on Communications, pp. 1-5.
- Kim, H.S., Kim, D.R., Yang, S.H., Son, Y.H., and Han, S.K. (2013). **An Indoor Visible Light Communication Positioning System Using a RF Carrier Allocation Technique**, Journal of Lightwave Technology, Vol. 31, Issue. 1, pp. 134-144.
- Kodippili, N.S., and Dias, D. (2010). **Integration of Fingerprinting and Trilateration Techniques for Improved Indoor Localization**, Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), pp. 1-6.
- Kuflik, T., Lanir, J., Dim, E., Wecker, A., Corra, M., Zancanaro, M., and Stock, O., (2012). **Indoor Positioning in Cultural Heritage Challenges and a Solution**, IEEE 27th Convention of Electrical & Electronics Engineers in Israel (IEEEI), pp. 1-5.
- Larranaga, J., Muguira, L., Lopez-Garde, J.M., and Vazquez, J.I. (2010). **An Environment Adaptive ZigBee-Based Indoor Positioning Algorithm**, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-8.
- Leon-Garcia A. (1993). **Probability and Random Processes for Electrical Engineering**, Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Liang, J., Shao, J., Xu, Y., Tan, J., Davis, B.T., and Bergstrom, P.L. (2006). **Sensor Network Localization in Constrained 3-D Spaces**, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 49-54.
- Lin, T.N., and Lin, P.C. (2005). **Performance Comparison of Indoor Positioning Techniques Based on Location Fingerprinting in Wireless Networks**, International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Vol. 2, pp. 1569-1574.
- Liu, H., Darabi, 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, Issue. 6, pp. 1067-1080.

- Mazuelas, S., Bahillo, A., Lorenzo, R.M., Fernández, P., Lago, F.A., Garcia, E., Blas, J., and Abril, E.J. (2009). **Robust Indoor Positioning Provided by Real-Time RSSI Values in Unmodified WLAN Networks**, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol. 3, Issue. 5, pp. 821-831.
- Rehman, M.U., Gao, Y., Chen, X., Parini, C.G., and Ying, Z. (2009). **Characterisation of System Performance of GPS Antennas in Mobile Terminals Including Environmental Effects**, 3rd European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2009, pp. 1832-1836.
- Rüppel, U., Stübbe, K.M., and Zwinger, U. (2010). **Indoor Navigation Integration Platform for Firefighting Purposes**, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-6.
- Salman, N., Rasool, I., and Kemp, A.H. (2010). **Overview of The IEEE 802.15.4 Standards Family for Low Rate Wireless Personal Area Networks**, 7th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), pp. 701-705.
- Sghaier, N., Mellouk, A., Augustin, B., Amirat, Y., Marty, J., Khoussa, M.E.A., Abid, A., and Zitouni, R. (2011). **Wireless Sensor Networks for Medical Care Services**, 7th International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), pp. 571-576.
- Shetty, A. (2010). **Weighted K-Nearest Neighbor Algorithm as an Object Localization Technique**, Master of Science, Electrical and Computer Engineering, The State University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey.
- Skiena, S.S. (1997). **The Algorithm Design Manual**, Department of Computer Science State University of New York at Stony Brook, New York.
- Tummala, D., (2005). **Indoor Propagation Modeling at 2.4 GHz for IEEE 802.11 Networks**, Master of Science, Engineering Technology, University of North Texas.
- Wang, H.Y., Zheng, V.W., Zhao, J., and Yang, Q. (2010). **Indoor Localization in Multi-Floor Environments with Reduced Effort**, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), pp. 244-252.

- Wong, C., Klukas, R., and Messier, G.G. (2008). **Using WLAN Infrastructure for Angle-of-Arrival Indoor User Location**, IEEE 68th Vehicular Technology Conference, pp. 1-5.
- Xu, L., Yang, F., Jiang, Y., Zhang, L., Feng, C., and Bao, N. (2011). **Variation of Received Signal Strength in Wireless Sensor Network**, 3rd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC), pp. 151-154.
- Yong U.L., and Kavehrad, M. (2012). **Two Hybrid Positioning System Design Techniques with Lighting LEDs and Ad-hoc Wireless Network**, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 58, Issue. 4, pp. 1176-1184



ภาคผนวก ก

ข้อมูลของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

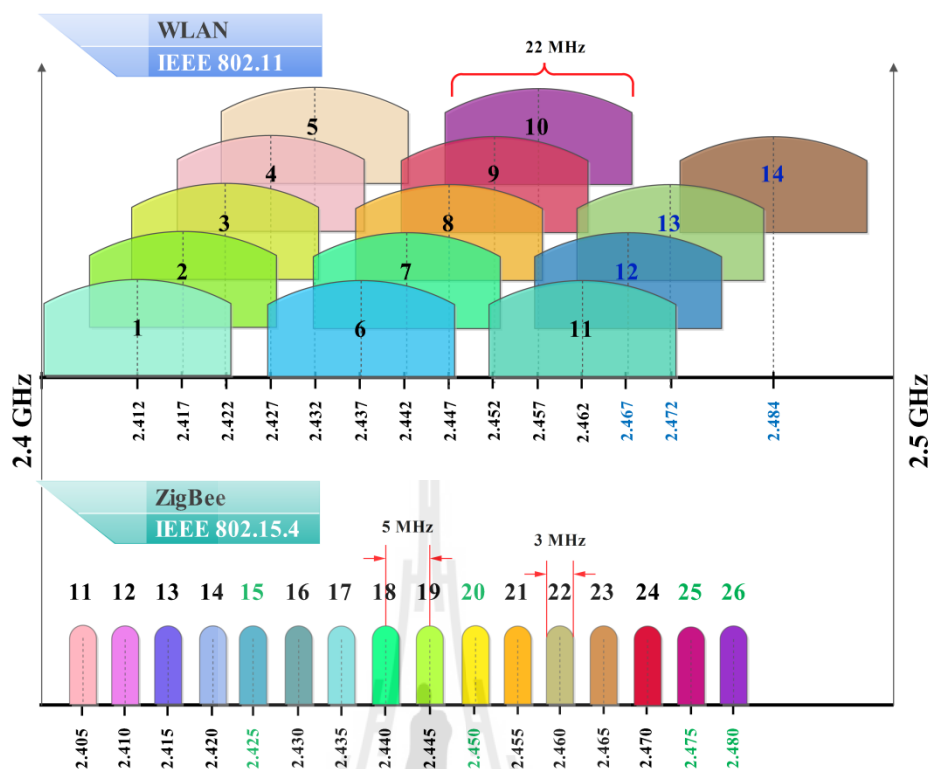
ก.1 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคโนโลยีรับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (ZigBee) ซึ่งผลิตจากบริษัท Freescale (<http://www.freescale.com/>) โดยได้เลือกใช้ชุดพัฒนา 1322x ZigBee Evaluation Kit ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ MC13224 Sensor Node, MC13224 Network Node, MC13224-LPN, และ MC13224 USB Dongle (ซึ่ง 1 ชุดประกอบไปด้วย 4S + 3N + 2L + U มีราคาต่อชุด \$2000) แสดงดังรูปที่ ก.1 โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะทำงานในย่านความถี่ 2.4 GHz (มีค่าความถี่กลางตั้งแต่ 2.405 GHz ถึง 2.480 GHz) มีช่องสัญญาณทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ (ช่องสัญญาณที่ 11 ถึง ช่องสัญญาณที่ 26) โดยแต่ละช่องสัญญาณจะมีขนาดแบนด์วิดท์ (bandwidth) เท่ากับ 3 MHz สำหรับในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ช่องสัญญาณที่ 26 มีค่าความถี่กลางเท่ากับ 2.480 GHz ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่ไม่มีการซ้อนทับกับย่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.11 (Wireless Local Area Network : WLAN) รูปที่ ก.2 แสดงย่านความถี่ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 และตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

หมายเหตุ ช่องสัญญาณของ ZigBee ที่ไม่มีการซ้อนทับกับช่องสัญญาณของ WLAN มีทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณได้แก่ ช่องสัญญาณที่ 15, 20, 25 และ 26 แสดงด้วยตัวอักษรสีเขียวในรูปที่ ก.2

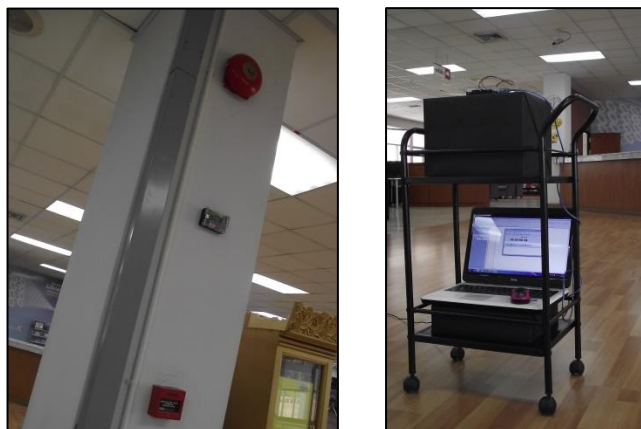


รูปที่ ก.1 ชุดพัฒนา 1322x ZigBee Evaluation Kit



รูปที่ ก.2 ย่านความถี่ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 และตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

โครงสร้างของระบบระบุตำแหน่งที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย 2 ชนิดคือ โหนดอ้างอิง (reference node : RN) และโหนดวัตถุ (target node) แสดงได้ดังรูปที่ ก.3 ซึ่งที่โหนดวัตถุจะเลือกใช้อุปกรณ์ MC13224 Sensor Node และโหนดอ้างอิงจะใช้อุปกรณ์ MC13224 Sensor Node, MC13224 Network Node และ MC13224-LPN (รวมทั้งสิ้น 8 โหนด) ขณะที่ MC13224 USB Dongle จะใช้สำหรับการดักจับ packet ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย เพื่อง่ายต่อการสังเกตการณ์ ซึ่งสามารถเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการตรวจจับ และสามารถแสดงข้อมูลที่ตรวจจับได้ เช่น ค่า address ต้นทาง ค่า address ปลายทาง และข้อมูลที่ส่ง เป็นต้น โดยรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดมีดังนี้



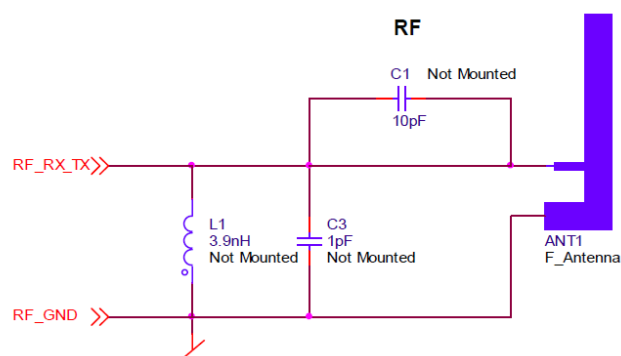
a. โนคอ้างอิง

b. โนควัดถุ

รูปที่ ก.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ก.1.1 MC13224 Sensor Node (MC13224-SN)

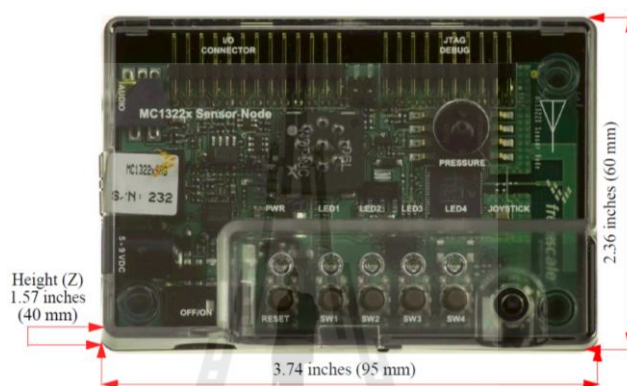
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Sensor Node รุ่นที่ 3 ซึ่งมี ARM7TDM เป็นตัวประมวลผล และมีสายอากาศภายในตัว ซึ่งมีชื่อว่า PCB inverted-F-antenna (F-antenna) แสดงได้ดังรูปที่ ก.4 และรายละเอียดของสายอากาศ F-antenna แสดงดังตารางที่ ก.1 สำหรับ MC13224 Sensor Node มีคุณสมบัติเด่นคือ มีตัวตรวจจับความดัน (Pressure sensor) ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensor) มาตรการความเร่งแบบ 3 แกน (3 axis accelerometer) และ Joystick ซึ่งสามารถปรับกำลังส่ง (transmit power) ตั้งแต่ +3 dBm ถึง -30 dBm มีค่าความไว (sensitivity) เท่ากับ -95 dBm (<1% PER for 20-byte packets) ราคาต่อหน่วยประมาณ \$220 (6,427 บาท) รูปที่ ก.5 แสดงอุปกรณ์ MC13224 Sensor Node และตารางที่ ก.2 แสดงรายละเอียดของ MC13224 Sensor Node



รูปที่ ก.4 PCB inverted-F-antenna

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของ PCB inverted-F-antenna

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Typical nominal output power	0 dBm, with +4 dBm max
Typical sensitivity	-95 dBm.
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Typical range (outdoors, line of sight)	300 meters



รูปที่ ก.5 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Sensor Node

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดของ MC13224 Sensor Node

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Manufacturer	Freescale
Chipset	MC13224V
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Transmit power	+3 dBm to -30 dBm
Sensitivity	-95 dBm
Antenna	PCB inverted-F
Power	USB or DC Jack (12V Max) or 2x AA batteries
Connection	UART1: USB Interface FT232R
Size (x, y, z)	95 x 60 x 40 mm
Sensor features	Pressure, Temperature, 3 axis accelerometer
Other features	Joystick, 4 Push buttons, 4 GPIO LEDs
Price per unit	\$220 (6,427 Baht)

ก.1.2 MC13224 Network Node (MC13224-NN)

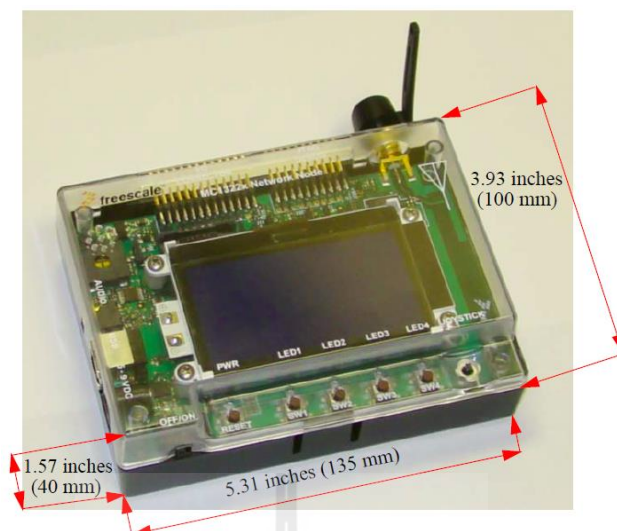
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Network Node รุ่นที่ 3 ซึ่งมี ARM7TDM เป็นตัวประมวลผล และมีสายอากาศสองชนิดคือ Sub Miniature version “A” connector (SMA-antenna) และ F-antenna สำหรับสายอากาศ SMA-antenna แสดงได้ดังรูปที่ ก.6 และรายละเอียดของสายอากาศ F-antenna แสดงดังตารางที่ ก.3 สำหรับ MC13224 Network Node มีคุณสมบัติเด่นคือ จอแสดงผลขนาด 128x64 LCD with LED backlight มีตัวตรวจจับความดัน ตัวตรวจจับอุณหภูมิ มาตรฐานความเร่งแบบ 3 แกน และ Joystick ซึ่งสามารถปรับกำลังตั้งแต่ +2 dBm ถึง -30 dBm มีค่าความไวเท่ากับ -95 dBm (<1% PER for 20-byte packets) ราคาต่อหน่วยประมาณ \$160 (4,674 บาท) รูปที่ ก.7 แสดงอุปกรณ์ MC13224 Network Node และตารางที่ ก.4 แสดงรายละเอียดของ MC13224 Network Node



รูปที่ ก.6 Sub Miniature version “A” connector

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของ Sub Miniature version “A” connector-antenna

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Typical nominal output power	0 dBm, with +2 dBm max
Typical sensitivity	-95 dBm.
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Typical range (outdoors, line of sight)	300 meters



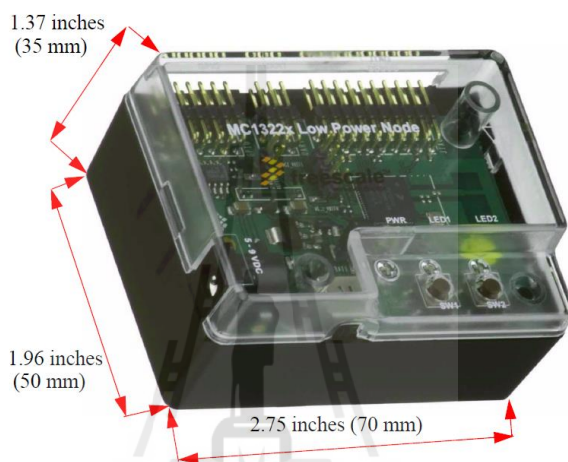
รูปที่ ก.7 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Network Node

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของ MC13224 Network Node

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Manufacturer	Freescale
Chipset	MC13224V
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Transmit power	+2 dBm to -30 dBm
Sensitivity	-95 dBm
Antenna	External SMA antenna or PCB inverted-F
Power	USB or DC Jack (12V Max) or 2x AA batteries
Connection	UART1: USB Interface FT232R
Size (x, y, z)	135 x 100 x 40 mm
Sensor features	Pressure, Temperature, 3 axis accelerometer
Other features	Joystick, 4 Push buttons, 4 GPIO LEDs
Price per unit	\$160 (4,674 Baht)

ก.1.3 MC13224 Low Power Node (MC13224-LPN)

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Low Power Node รุ่นที่ 3 ซึ่งมี ARM7TDM เป็นตัวประมวลผล และมีสายอากาศภายในตัว ซึ่งมีชื่อว่า F-antenna สามารถปรับกำลังส่งตั้งแต่ +4 dBm ถึง -30 dBm มีค่าความไวเท่ากับ -95 dBm (<1% PER for 20-byte packets) ราคาต่อหน่วย ประมาณ \$120 (3,506 บาท) รูปที่ ก.8 แสดงอุปกรณ์ MC13224 Low Power Node และตารางที่ ก.5 แสดงรายละเอียดของ MC13224 Low Power Node



รูปที่ ก.8 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 Low Power Node

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของ MC13224 Low Power Node

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Manufacturer	Freescle
Chipset	MC13224V
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Transmit power	+4 dBm to -30 dBm
Sensitivity	-95 dBm
Antenna	PCB inverted-F
Power	DC Jack (12V Max), or 2x AAA batteries
Connection	On pin header
Size (x, y, z)	70 x 50 x 30 mm
Sensor features	No

Other features	2 Push buttons, 2 GPIO LEDs
Price per unit	\$120 (3,506 Baht)

ก.1.4 MC13224 USB Dongle

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 USB Dongle มีสายอากาศภายในตัว ซึ่งมีชื่อว่า SMD ceramic สามารถปรับกำลังส่งตั้งแต่ +4 dBm ถึง -30 dBm มีค่าความไวเท่ากับ -95 dBm (<1% PER for 20-byte packets) ราคาต่อหน่วยประมาณ \$80 (2,337 บาท) รูปที่ ก.9 แสดงอุปกรณ์ MC13224 USB Dongle และตารางที่ ก.6 แสดงรายละเอียดของ MC13224 USB Dongle



รูปที่ ก.9 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย MC13224 USB Dongle

ตารางที่ ก.6 รายละเอียดของ MC13224 USB Dongle

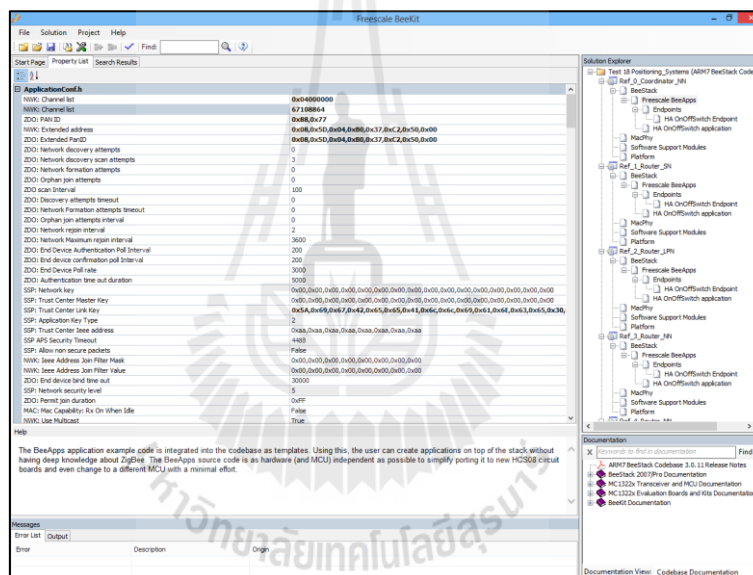
คุณสมบัติ	รายละเอียด
Manufacturer	Freescale
Chipset	MC13224V
Frequency range	2.405 GHz - 2.480 GHz
Transmit power	+4 dBm to -30 dBm
Sensitivity	-95 dBm
Antenna	SMD ceramic
Power	USB
Connection	UART1: USB Interface FT232R
Size (x, y, z)	60 x 24 x 12 mm
Sensor features	No
Other features	2 Push buttons, 1 GPIO LEDs
Price per unit	\$80 (2,337 Baht)

ก.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โปรแกรมที่ใช้กำหนดค่าและควบคุมอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย และ โปรแกรมที่ใช้ประมวลผล รวมทั้งใช้คำนวณหาตำแหน่งวัตถุ

ก.2.1 โปรแกรมที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย

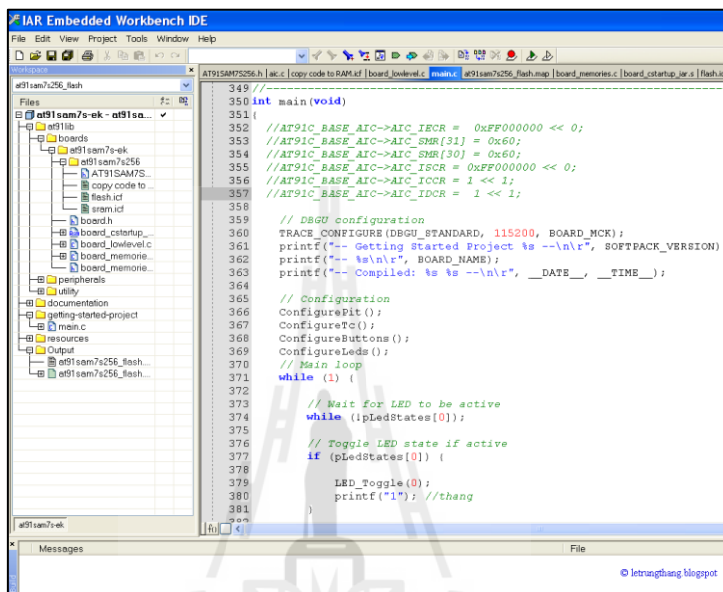
โปรแกรม Freescale BeeKit จะใช้สำหรับสร้างรูปแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์แต่ละชนิด และกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย อาทิเช่น ช่องสัญญาณ ค่า address ค่า PANID กำลังส่ง และค่าเวลาที่ใช้ในการอัปเดตเส้นทาง เป็นต้น รูปที่ ก.10 แสดงตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม Freescale BeeKit



รูปที่ ก.10 โปรแกรม Freescale BeeKit

โปรแกรม IAR Embedded Workbench จะใช้สำหรับกำหนด code คำสั่ง หรือแก้ไข code คำสั่งที่ได้จากโปรแกรม Freescale BeeKit เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย และควบคุมกลไกการทำงานของการทำงานของการรับส่งข้อมูล โดยจะอาศัยความรู้พื้นฐานของภาษา C ในการกำหนดกลไก สำหรับการโหลดคำสั่งลงที่บอร์ดหรือตัวอุปกรณ์จะใช้สาย J-Link V8 JLink Segger ARM Emulator Debugger เพื่อโหลด code คำสั่งลงอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายผ่านขา JTAG Connector ของตัวอุปกรณ์ รูปที่ ก.11 แสดงตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม IAR Embedded Workbench และรูปที่ ก.12 แสดง สาย J-Link V8

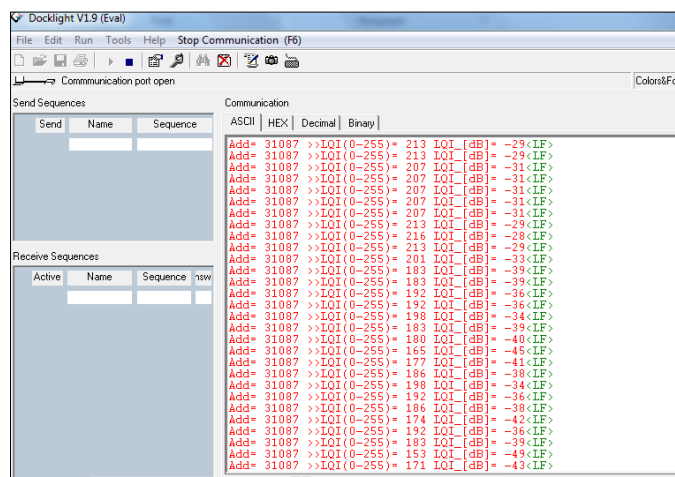
โปรแกรม Docklight จะใช้สำหรับแสดงค่าต่าง ๆ ที่อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไริสายรับได้ เช่น ค่า LQI และ ค่า address ต้นทาง เป็นต้น ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบ text และเก็บบันทึกค่าเหล่านี้ลงใน text file (.txt) โดยมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับโปรแกรม HyperTerminal รูปที่ ก.13 แสดงตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม Docklight



รูปที่ ก.11 โปรแกรม IAR Embedded Workbench



รูปที่ ก.12 สาย J-Link V8



รูปที่ ก.13 โปรแกรม Docklight

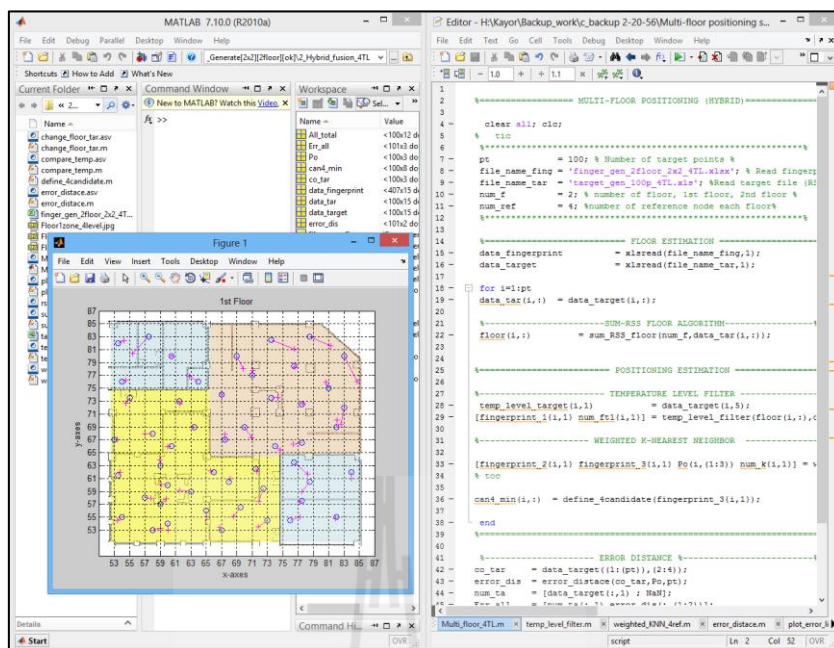
ก.2.2 โปรแกรมที่ใช้คำนวณหาตำแหน่งวัตถุ

โปรแกรม MATLAB จะใช้สำหรับการอ่านข้อมูลที่เก็บบันทึกได้จาก text file เพื่อนำไปจัดเก็บลงในไฟล์ Excel (ทำให้ text อยู่ในรูปของ matrix) เพื่อง่ายต่อการนำมาใช้งาน เมื่อต้องการระบุตำแหน่ง โปรแกรมจะมีหน้าที่อ่านค่าจากไฟล์ Excel (ฐานข้อมูลฟังก์เจอร์ปริ้นท์ และข้อมูลที่วัดตัววัดได้) และนำค่าที่อ่านได้ไปประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุตามกระบวนการทำงานของเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้น รูปที่ ก.14 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB ของงานวิจัยนี้

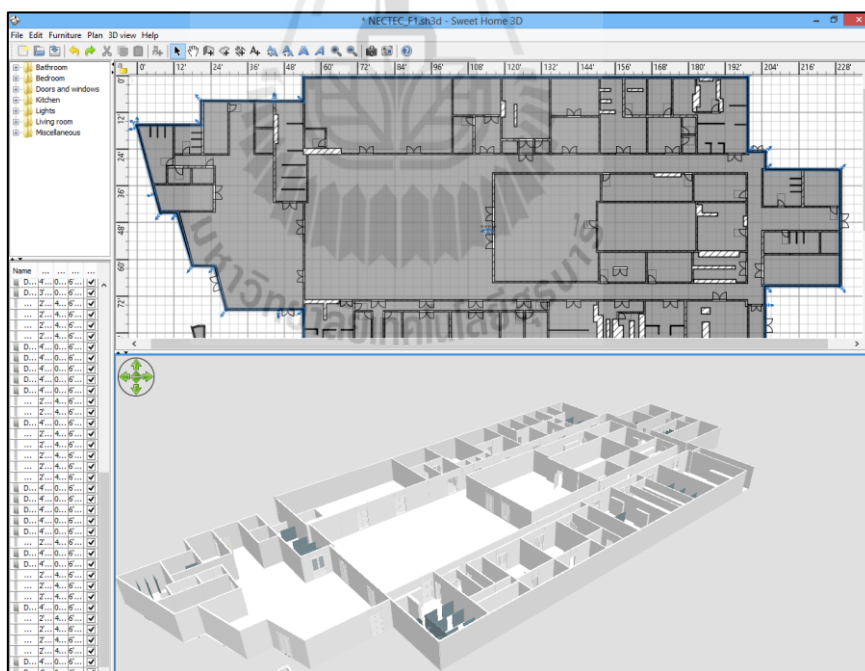
หมายเหตุ เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุ ดังนั้นกลไกการทำงานของขั้นตอนการระบุตำแหน่งของงานวิจัยนี้จึงยังไม่ถูกพิจารณา ด้วยเหตุนี้กระบวนการทำงานของระบบระบุตำแหน่งจึงยังไม่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง (เช่น โนดวัตถุวัดค่าพารามิเตอร์และส่งต่อไปยังโปรแกรมประมวลผลแบบอัตโนมัติ)

โปรแกรมจำลองแผนที่ของอาคาร Sweet Home 3D ใช้สำหรับสร้างแผนที่ กำหนดโครงสร้างภายในของอาคาร เพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลระบุตำแหน่งของวัตถุ ตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ ก.15

หมายเหตุ เนื่องจากพื้นที่ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจำนวนจำกัด ดังนั้นข้อมูล code คำสั่งของโปรแกรมควบคุม และ code กระบวนการทำงานของโปรแกรมประมวลผล เช่น code การทำงานของเทคนิคการระบุตำแหน่ง เป็นต้น รวมทั้งแผนที่ของอาคารที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะถูกเก็บไว้ใน CD ท้ายเล่มของวิทยานิพนธ์ (รายละเอียดของ CD สามารถดูได้จาก Readme.docx)



รูปที่ ก.14 โปรแกรม MATLAB



รูปที่ ก.15 โปรแกรม Sweet Home 3D

ภาคผนวก ข

คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์



ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยใช้รูปแบบของภาษาไทย ซึ่งคำศัพท์เทคนิควิศวกรรมภาษาอังกฤษที่ใช้ในวิทยานิพนธ์จะถูกเรียบเรียงให้เป็นคำศัพท์เทคนิควิศวกรรมภาษาไทย โดยผู้วิจัยได้อ้างอิงจากแหล่งอ้างอิงดังนี้

- หนังสือศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ซึ่งจัดทำโดย คณะอนุกรรมการปรับปรุงศัพท์เทคนิคทางวิศวกรรมไฟฟ้า ในคณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2527-2534
- หนังสืออภิธานศัพท์โทรคมนาคมไทย (Thai Telecommunication Glossary) จัดทำและจัดพิมพ์โดย สมาคมวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคม และสารสนเทศ (อีซีทีไอ) ห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารเชิงแสงและควอนตัม (Optical & Quantum Communications Laboratory : OQC/ICCRU) และชมรมไฟฟ้าสื่อสาร สมาคมสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (ไอทีริเปลอี) สาขาประเทศไทย พ.ศ. 2554
- ศัพท์บัญญัติราชบัณฑิตยสถาน (<http://rirs3.royin.go.th/coinages/webcoinage.php>)

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
กฎของเบย์	Bayes' rule
กรณีที่ย่ำที่สุด	worst-case
กระบวนการกรองข้อมูล	data filter
กระบวนการกรองชั้น	floor-filter
กระบวนการกรองระดับอุณหภูมิ	temperature level-filter
กระบวนการคำนวณหาระยะห่างยูคลีเดียน	calculation euclidean distance
กระบวนการหาดำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวน	calculation Weighted K-Nearest Neighbor
การกระจัดกระจาย	scattering
การค้นหปริภูมิสถานะ	search space
การแจกแจงของข้อมูลแบบที	T-distribution
การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข	conditional probability distribution

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
การแจกแจงแบบเกาส์	Gaussian distribution
การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ	Uniform distribution
การซิงโครไนซ์	synchronized
การซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกา	clock synchronization
การดีมอดูเลชัน	Demodulation
การตัดกัน	intersection
การติดตาม	tracking
การถดถอยแบบเชิงเส้น	linear regression
การทำให้เป็นบรรทัดฐาน	normalized
การนำทาง	navigation
การบดบัง	shadowing
การบริโภคพลังงาน	power consumption
การแบ่งปัน	share
การประมาณค่าในช่วง	interpolation
การประมาณตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุด k จำนวน	K-Nearest Neighbor method (KNN method)
การประเมินความซับซ้อนของการทำงาน	evaluating run-time complexity
การป้อนแบบเต็ม	feed-fully
การป้อนไปข้างหน้า	feed-forward
การเฝ้าตรวจ	monitoring
การแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณวิทยุ	radio propagation
การมอดูเลต	Modulation
การมอดูเลตข้อมูลเชิงเลขไบนารี k บิต	K -bit binary digital data
การแมตช์	matching
การระบุตำแหน่ง	localization
การเลี้ยวเบน	diffraction
การสะท้อน	reflection
การสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้	Visible Light Communication (VLC)

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
การสุ่มแบบแจกแจงปกติ	Normal distribution
การสูญเสียของสัญญาณ	signal path loss
การแสดงเอกลักษณ์	Identification (ID)
การเหลื่อมกัน	overlap
กำลังความถี่วิทยุที่ได้รับ	received RF power
กำลังทางแสง	optical power
กำลังส่ง	transmit power
ขอบเขต	bound
ขั้นตอนการระบุชั้น	floor determination
ขั้นตอนการระบุพิกัดวัตถุ	positioning system
ขั้นตอนกำหนดค่าตัวแปร	define parameter
ขีดจำกัดบน	upper limit
ขีดจำกัดล่าง	lower limit
คลื่นพาห้	carrier
ควอนไทล์	quantiles
ความใช้สอยได้	availability
ความซับซ้อนในแง่ของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล	run-time complexity
ความถูกต้อง	accuracy
ความทนทาน	robustness
ความน่าจะเป็น	probability
ความแม่นยำ	precision
ความยืดหยุ่น	scalability
ความล่าช้าหรือเวลาในการประมวลผล	delay/processing time
ความไว	sensitivity
ความสามารถในการปรับตัว	adaptability
ความหนาแน่นความน่าจะเป็น	probability density
ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ	Received Signal Strength (RSS)

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
ค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง	error distance
ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของสิ่งแวดล้อม	relative humidity (RH)
ค่าความแปรปรวน	variance
ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งวัตถุ	average complexity time
ค่าถ่วงน้ำหนัก	weighted
ค่าถ่วงน้ำหนักของจุดประสานประสาท	synaptic weight
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Standard Deviation (SD)
ค่าผิดปกติ	outliers
ค่าพิสัย	range
ค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม	temperature
เคลวิน	Kelvin (K)
จำลองแบบ	simulation
จุดเข้าถึง	Access Point (AP)
ช่วงความเชื่อมั่น	confidence interval
ช่วงความเชื่อมั่นสองด้าน	two-sided confidence interval
ช่องสัญญาณ	channel
ชั้นซ่อนตัว	hidden layer
ชั้นหลัก	source floor
ชั้นอินพุต	input layer
ชั้นเอาต์พุต	output layer
ชุดของเส้นเชื่อมอินพุต	set of input links
เซลล์ประสาท	neuron
โซนย่อย	sub-zone
ฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปรีนธ์	fingerprint database
ตัวชี้บอกคุณภาพการเชื่อมโยง	Link Quality Indicator (LQI)
ตัวตรวจจับความดัน	pressure sensor
ตัวตรวจจับอุณหภูมิ	temperature sensor

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
ตารางข้อมูลดิบของตำแหน่งวัตถุ	raw data of target table
ตารางข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งวัตถุ	parameter data of target table
ตำแหน่งฟิงเกอร์ปรี้นท์	location fingerprint
ทฤษฎีบทพีทาโกรัส	pythagorean theorem
เทคนิคการจดจำรูปแบบ	pattern recognition technique
เทคนิคการวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึง	Time Difference of Arrival (TDOA)
เทคนิคการวัดค่ามุมที่สัญญาณเดินทางมาถึง	Angle of Arrival (AOA)
เทคนิคการวัดระยะ	range measurement technique
เทคนิคการหาตำแหน่งข้างเคียงที่ใกล้ที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก k จำนวนแบบเสริม	Enhanced Weighted K-Nearest Neighbor method (EWKNN method)
เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ของระบบร่วมกัน	Hybrid fusion parameter technique
เทคนิคแบบผสมซึ่งใช้พารามิเตอร์ค่าความเข้มสัญญาณที่รับได้	Hybrid RSS parameter technique
เทคนิคระยะห่างยูคลิเดียน	Euclidean distance technique
โนดวัตถุ	target node
โนดอ้างอิง	reference node (RN)
บริเวณ	region
แบนด์วิดท์	bandwidth
แบบขนาน	parallel
แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นในเชิงทฤษฎี	theoretical propagation model
แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นในเชิงประสบการณ์	empirical propagation model
แบบเวลาจริง	real time
แบบอนุกรม	serial
ป้ายกำกับ	labeled
เปอร์เซ็นต์ไทล์	percentile

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
โปรแกรมจำลอง	simulator
พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนดังกล่าวมากที่สุด	the highest-order term
พื้นฐานการลดทอนของสัญญาณ	signal attenuation-based
พื้นที่การเหลื่อม	overlap area
ฟังก์ชันกระตุ้น	activation function
ฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มแบบไม่เป็นเชิงเส้น	non-linear discriminant function
ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระยะคลาดเคลื่อน	Cumulative Distribution Function (CDF)
ฟังก์ชันการเติบโตทางเวลา	growth in run-time
ฟังก์ชันการเรียงลำดับ	sorting function
ฟังก์ชันความน่าจะเป็นจริง	likelihood function
ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น	Probability Density Function (PDF)
ฟังก์ชันปรกติ	function normally
เฟสเวลา	time phase (TP)
ภาครับ	Receiver (Rx)
ภาคส่ง	Transmitter (Tx)
ย่านความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์	Industrial Sciences Medicine band (ISM band)
รหัสเทียม	pseudo code
ระดับอุณหภูมิของวัตถุ	temperature level (TL)
ระบบดาวเทียมบอกพิกัด	Global Positioning System (GPS)
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	mobile cellular networks
ระบบระบุตำแหน่งภายในบริเวณระนาบเดียว	single plane system
ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารแบบหลายชั้น	multi-floor environments, multi-floor building
ระบบระบุตำแหน่งวัตถุ	positioning system
ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร	Indoor Positioning System (IPS)
ระบบระบุพิกัดภายในห้อง 3 มิติ	3 dimension system

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
ระบบเรดาร์	Radar system
ระยะห่างของตำแหน่งฟิงเกอร์ปρίนธ์	grid spacing
ระยะห่างทานิโมโตะ	Tanimoto distance
ระยะห่างแมนฮัตตัน	Manhattan distance
ราคา	cost
รูปกรวย	cone
เรียงลำดับ	sorting
ลักษณะการเดินทางของสัญญาณเป็นเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง	Non-Line-of-Sight (NLOS)
ลูกบาศก์	cuboid
วิธีการจับคู่ตรรกะสัญญาณ	Signal Index Pair (SIP)
เวลาของการแพร่กระจายแบบทางเดียว	one-way propagation time
เวลาที่ใช้ในการแพร่กระจายของคลื่นสัญญาณ	propagation time
เวลารวมของทุกขั้นตอนการระบุตำแหน่ง	total operation
ศูนย์บ่มเพาะ	incubator
สถานีฐาน	base station
สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา	dynamically changing environment
สมรรถนะ	performance
สร้างฐานข้อมูลฟิงเกอร์ปρίนธ์	fingerprint generation
สัญลักษณ์	symbolic
สื่อเชื่อมต่อทางกายภาพ	physical media
องศาเซลเซียส	degree Celsius (°C)
ออนไลน์เฟส	online phase
ออฟไลน์เฟส	offline phase
อัตราการเติบโต	growth rate
อุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11	Wireless Local Area Network (WLAN)

ตารางที่ ข.1 คำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

คำศัพท์ภาษาไทย	คำศัพท์ภาษาอังกฤษ
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.3a	Ultra-wideband (UWB)
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4	ZigBee
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.1	Bluetooth
แอมพลิจูดของเอาต์พุต	amplitude of the output



ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Maneerat, K. and Prommak, C. (2011). **On the Analysis of Localization Accuracy of Wireless Indoor Positioning Systems using Cramer's Rule**, Conference in World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), pp. 202-206.

เกรียงไกร มณีรัตน์, สุพัตรา ออมอำไพ, และ ชุติมา พรหมมาก (2010) **Effects of Reference Node Locations in Indoor Positioning System via IEEE 802.15.4 Wireless Networks** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33).



On the Analysis of Localization Accuracy of Wireless Indoor Positioning Systems using Cramer's Rule

Kriangkrai Maneerat and Chutima Prommak*

Abstract—This paper presents an analysis of the localization accuracy of indoor positioning systems using Cramer's rule via IEEE 802.15.4 wireless sensor networks. The objective is to study the impact of the methods used to convert the received signal strength into the distance that is used to compute the object location in the wireless indoor positioning system. Various methods were tested and the localization accuracy was analyzed. The experimental results show that the method based on the empirical data measured in the non line-of-sight (NLOS) environment yield the highest localization accuracy, with the minimum error distance less than 3 m.

Keywords—Indoor positioning systems, Localization accuracy, Wireless networks, Cramer's rule

I. INTRODUCTION

ACCURACY to define object's location is the main concern of the wireless indoor positioning systems (WIPS). Although Global Positioning System (GPS) have been deployed widely and could provide large service coverage, it could not use in the indoor environment because there is no line-of-sight path between the indoor receivers and the satellites and the satellite signal cannot penetrate the building's walls [1]. Comparing with the outdoor environments, the indoor structure is more complex due to varieties of obstacles such as walls and furniture which cause the multipath effects on the wireless signal. In addition, the human mobility and interference from other wireless networks in the building could impair the signal quality [2]. These indoor issues bring challenges to the deployment of the WIPS.

Deploying positioning systems in the indoor environment, one needs to install wireless networks that generate the referencing signal used to define the object location. Several wireless technologies have been adopted such as the IEEE 802.11 wireless LAN and the IEEE 802.15.4 wireless sensor networks.

The effects of indoor environment on the performance of WIPS have received little attention in the research study. Most of the existing works in literature focused on developing techniques to define the object positions. In [6], the authors

proposed the indoor positioning systems that estimate the position of the objects by analyzing the received signal strengths in which the service area is divided into zones and sub-zones. In [7], the authors proposed the algorithm based on the decent gradient iteration to define the object position. In [8], the RSS-based techniques were used to estimate the distance between the object and the referencing nodes and the triangulation techniques were used to define the object position. In [9] and [10], the 3-D positioning systems were simulated. To compute the object position, the Angle of Arrival algorithms was used in [9] whereas the Time Difference of Arrival algorithm (TDOA) was used in [10].

From the literature review, most works in literature focused mainly on developing techniques to define the object positions whereas the effects of indoor environment on the performance of WIPS have received little attention. In order to improve the localization accuracy of the WIPS, we need a suitable method, which consider the effects of indoor environment, for converting the received signal strength to the distance that is used to compute the object location in WIPS. Therefore, in this paper we present the study and comparison of using three methods which are developed by three different ways, including the method based on the empirical data measured in the line-of-sight (LOS) environment, the method based on the non line-of-sight (NLOS) empirical data and the method based on the path-loss model using the empirical path-loss exponent. Specifically, we apply these methods to the WIPS using Cramer's rule.

The rest of the paper is organized as followed. Section II presents the Cramer's rule approach. Experimental designs are explained in Section III. Section IV shows the empirical data measured in various environments and the analysis of the location accuracy of WIPS. Finally, we conclude the paper in section V.

II. CRAMER'S RULE APPROACH

Cramer's rule has been widely applied in the localization applications. It uses the principle concept of the linear equation systems of which the number of equations is equal to the number of variables and formats the linear equations systems in the form of matrix. Then, the determinant is applied and the variables' values are derived [11]. Fig. 1 shows the structure and components used by Cramer's rule.

Manuscript received Oct 20, 2011. This work was supported in part by Suranaree University of Technology, the Office of the Higher Education Commission under NRU project of Thailand and the National Research Council of Thailand (NRCT).

Kriangkrai Maneerat 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

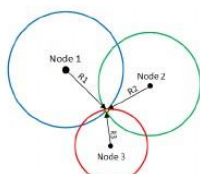


Fig. 1 Cramer's rule

The structure of positioning system using Cramer's rule consists of three referencing nodes, namely Node 1, Node 2 and Node 3 in fig 1. The object location is the intersection of the three circles centered at the referencing nodes. To derive formulas for computing the coordinate of the object, we define the following notations:

- (x_i, y_i) = the coordinate of the referencing node i ,
 - (x_o, y_o) = the coordinate of the object, and
 - R_i = the distance between the node i and the object.
- We have the circle equation written

$$(x_i - x_o)^2 + (y_i - y_o)^2 = R_i^2 \quad \text{for } i=1,2,3 \quad (1)$$

Then we have the relationship:

$$((x_1 - x_o)^2 - (x_2 - x_o)^2) + ((y_1 - y_o)^2 - (y_2 - y_o)^2) = (R_1^2 - R_2^2) \quad (2)$$

$$((x_2 - x_o)^2 - (x_3 - x_o)^2) + ((y_2 - y_o)^2 - (y_3 - y_o)^2) = (R_2^2 - R_3^2) \quad (3)$$

Arranging the equation (2) and (3), we obtain the following

$$2(x_3 - x_1)x_o - 2(y_3 - y_1)y_o = (R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \quad (4)$$

$$2(x_2 - x_1)x_o - 2(y_2 - y_1)y_o = (R_1^2 - R_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) \quad (5)$$

Putting the equations (4) and (5) in the matrix form, we can write determinant matrix (7), (8) and (9).

$$\begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (R_1^2 - R_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\det(A) = \begin{vmatrix} (x_3 - x_1) * 2 & (y_3 - y_1) * 2 \\ (x_2 - x_1) * 2 & (y_2 - y_1) * 2 \end{vmatrix} \quad (7)$$

$$\det(A)_1 = \begin{vmatrix} ((R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)) & (y_3 - y_1) * 2 \\ ((R_1^2 - R_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2)) & (y_2 - y_1) * 2 \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$\det(A)_2 = \begin{vmatrix} (x_3 - x_1) * 2 & ((R_1^2 - R_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)) \\ (x_2 - x_1) * 2 & ((R_1^2 - R_2^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2)) \end{vmatrix} \quad (9)$$

Finally, the coordinate of the object can be computed from (10)

$$x_o = \frac{\det(A)_1}{\det(A)} \quad \text{and} \quad y_o = \frac{\det(A)_2}{\det(A)} \quad (10)$$

III. EXPERIMENTAL SETUP

This paper aims to analyze of the localization accuracy of indoor positioning systems using Cramer's rule. The experiments were performed using XBee Pro module based on IEEE 8002.15.4 (ZigBee) standard. Structure of system consist reference nodes and target node. The reference nodes are configured as Coordinator and define on different place. The target node are configured as End device and connect to laptop can be mobile. The process of indoor positioning systems starting from, the target node request received signal strengths from each reference nodes. Next, we are convert the received signal strength into the distance of the target node by Cramer's rule, as show in Fig. 2. This paper, we select the experimental area on the fourth floor of the C-building at Suranaree University of Technology. The dimension of floor is approximately 75 m x 75 m and we are install 4 reference nodes which are A, B, C, and D. We define 40 sample points. As show in Fig. 3 In the experimental, we propose 3 method of the convert received signal strength into the distance, the correlation of Line of Sight method, the correlation of Non Line of Sight method, and the correlation of path loss model method.

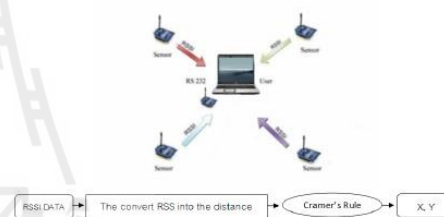


Fig. 2 Structure of the indoor positioning system

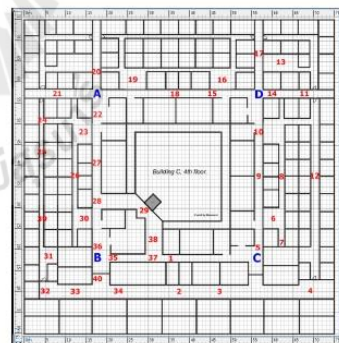


Fig. 3 Experimental setup: the indoor environment, locations of four referencing nodes and 40 test points

A. Correlation of Line of Sight method

The correlation of Line of Sight method there is characteristics of transmission is Line of Sight. We collecting RSS value form each test points, 10 times to find the average RSS value of the 62 test points. Next, we are using the average RSS value to build the relationship with the Matlab simulation by using the *cftool* command. We will have correlation equation between the received signal strength and the distance for the LOS case as equation (12) and the Fit Curve in Matlab is plotted in Fig. 5

Correlation equation of LOS

$$f(x) = p_1 * x^4 + p_2 * x^3 + p_3 * x^2 + p_4 * x + p_5 \quad (11)$$

then

$$f(x) = (-1.123 \times 10^{-4} * x^4) + (-0.0239 * x^3) + (-1.833 * x^2) + (-61.58 * x) + (-770.9) \quad (12)$$

When $p_1 - p_5$ refer the coefficient of linear model poly4, the distance function $f(x)$ is a distance between the reference node and target node (m) and the variable x represent the RSS value (dBm).



Fig 4 Equipment used in the experiment: the referencing nodes and the object node

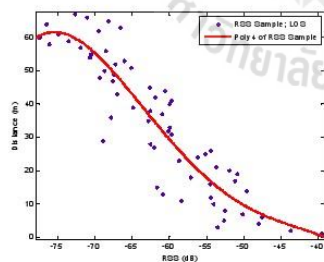


Fig 5 LOS correlation

B. Correlation of Non Line of Sight method

The correlation of Non Line of Sight method there is no LOS path between transmitter and receiver. Because, there are effects of the indoor environment such as wall, door. We collecting RSS value form each test points, 10 times to find the average RSS value of the 57 test points. Then, we perform to build the relationship between the average RSS value and the distance for the NLOS case as follows (14)

Correlation equation of NLOS

$$f(x) = p_1 * x^4 + p_2 * x^3 + p_3 * x^2 + p_4 * x + p_5 \quad (13)$$

then

$$f(x) = (1.255 \times 10^{-4} * x^4) + (4.863 \times 10^{-4} * x^3) + (0.0515 * x^2) + (1.133 * x) + (-0.922) \quad (14)$$

When $p_1 - p_5$ represent the coefficient of linear model poly4, the distance function $f(x)$ is a distance between the reference node and target node (m) and the variable x is the RSS value (dBm).

C. Correlation of path loss model method

The correlation of path loss model method utilizes the property of signal radio propagation within a building [12]. The equation of the relationship for the path loss model case can be represented by equation (15)

$$Pr = Pt + K + Gt + Gr - 10\alpha \log_{10}(d/d_0) \quad (15)$$

$$K = 20 \log_{10} (N/4\pi d_0)^2 \quad (16)$$

The variable Pr refers to the received signal strength value (dBm), the transmit power Pt assume is 18 dBm. K that depends on the average channel attenuation can be compute by equation (16). The λ is signal wavelength (m), d_0 is typically assumed to be 1 m. The variable α can be obtained to approximate either an analytical or empirical model, our experiment using path loss exponent is 3.45 [12]. Gt is the transmit antenna gain and Gr is the receive antenna gain, we determine these to parameters equal 1.5 dBi. The d refers to distance between the reference node and the target node (m).

Note that the using the 3 relationship above, we can be converting received signal strength value into the distance. By the condition, if the RSS value not in the range -80 dBm to -40 dBm was assume to be equal the boundary. For instance, measuring the received signal strength value is -95 dBm. We define a new received signal strength value are -80 dBm.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND ANALYSIS

In our experiments, we performed measurement of the 40 sample points. Each test points measuring 10 times in order to find the average RSS value of the 40 sample points. Use the 3 approach for convert the received signal strength into the distance as mentioned in Section III. Next, we are using the distance value to location estimate of the target node by

Cramer's rule. Examples of the position systems show as follows. We assume the method of the convert the received signal strength into the distance are LOS case. At sample point S1, starting that the target node measured RSS value form the 4 reference nodes are $R_A = -97.9$ dBm, $R_B = -52.75$ dBm, $R_C = -65.9$ dBm, and $R_D = -89.65$ dBm. Select the RSS value to the best RSS value of the 3 in 4 reference node ($R_B = -52.75$ dBm, $R_C = -65.9$ dBm, and $R_D = -89.65$ dBm). Next, converts the RSS value into the distance by the correlation equation of LOS method as equation (11). We obtained the distances are $f(R_B) = 12.62$ m, $f(R_C) = 43.12$ m, and $f(R_D) = 51.05$ m. Then, using the distances value to compute the coordinate of the target node (X, Y) by the Cramer's rule. Final, we will be the position of the target node are (15.47, 28.30). Table I shows the error distance between the actual target location and the experiment target location when used the 3 method of the correlation equation. We can see that the correlation of path loss model be provided the least accuracy positioning. The margin error of maximum error is 39.6306 m, average error is 22.418428 m, minimum error is 5.1764 m, and the standard deviation is approximately 8 m. And the method of the correlation equation give the most accuracy positioning is the correlation of NLOS method. A maximum error is 36.582 m, average error is 17.59365 m, minimum error is 2.7716 m, and the standard deviation is about 8.5 m. The plot in Figure 6, 7, and 8 shows the actual target location and the experiment target location all 40 sample points of the correlation method of the LOS, NLOS, path loss model, respectively. In Fig. 8 the correlation of path loss model method, it provides localization accuracy less than when comparing the localization accuracy of the correlation of LOS and NLOS method ostensibly Histogram analysis for comparison the distance error of the 3 different methods as show in Figure 9. Notices, that the correlation of NLOS method there error distance distribution by spreading in the range 0 to 25 m that more than the correlation of LOS and path loss model method. Moreover, the Fig. 10 the cumulative distribution function (CDF) of the error distance of the 3 different methods. Shows that the correlation of NLOS method has a location precision of 80% within 25 m (the CDF of the error distance of 25 m is 0.8). Different from the correlation of LOS and path loss model method that a location precision of 80% within 30 m. Therefore, the estimation of the object within a building by Cramer's rule, using the correlation of NLOS method provided localization accuracy of the positioning more than the correlation of LOS and path loss model method.

TABLE I
ERROR DISTANCE OBTAINED BY DIFFERENT METHODS

Method	Error distance (m)			
	Min	Mean	Max	SD
LOS	3.26	20.46	36.99	9.48
NLOS	2.77	17.59	36.58	8.53
Path Loss model	5.17	22.41	39.63	8.21

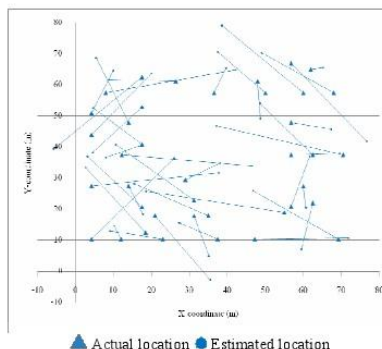


Fig. 6 the actual and estimated locations of 40 test points using LOS method

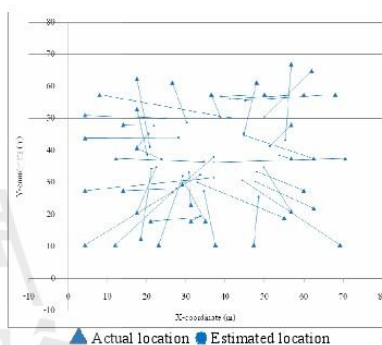


Fig. 7 the actual and estimated locations of 40 test points using NLOS method

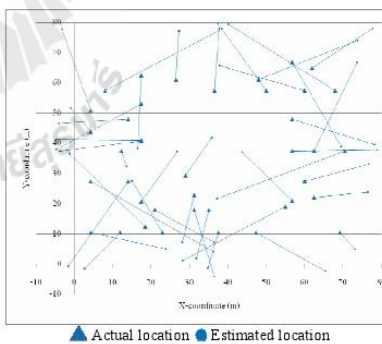


Fig. 8 the actual and estimated locations of 40 test points using path-loss model

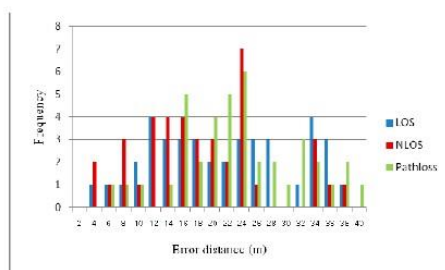


Fig. 9 Histogram of the error distances

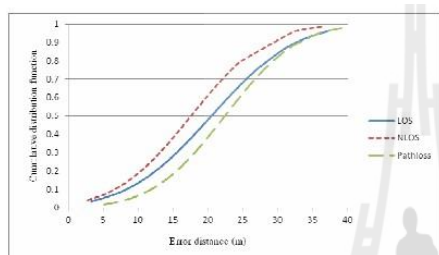


Fig. 10 Cumulative distribution function of the error distances

V. CONCLUSION

In this paper, we present the analysis of the localization accuracy of the wireless indoor positioning systems using Cramer's rule. We analyze the use of different methods to convert the received signal strength into the distance used in the Cramer's rule to compute the object location. Specifically, we compare three methods, including the method based on the empirical data measured in the line-of-sight (LOS) environment, the method based on the non line-of-sight (NLOS) empirical data and the method based on the path-loss model using the empirical path-loss exponent. The experimental study shows that the NLOS based method results in the highest localization accuracy, with the minimum error distance less than 3 m. Our ongoing work is to develop an efficient indoor positioning framework that can apply to various service environments including the single floor and multiple floor area.

REFERENCES

- [1] G.M. Djukic, R.E. Richton, "Geolocation and assisted GPS," *IEEE Computer*, vol. 34, February 2001, pp. 123 - 125.
- [2] M.U. Rehman, Y. Gao, X. Chen, C.G. Panini, Z. Ying, "Characterisation of System Performance of GPS Antennas in Mobile Terminals Including Environmental Effects," *European Conference on Antennas and Propagation*, March 2009, pp. 1832 - 1836.
- [3] N. Sghaier, A. Mellouk, B. Augustin, Y. Amirat, J. Marty, M.E.A. Khoussa, A. Abid, R. Zitouni, "Wireless Sensor Networks for medical care services," *Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, July 2011, pp. 571 - 576.
- [4] J. Salter, B. Li, D. Woo, A.G. Dempster, C. Rizo, "802.11 Positioning in the Home," *Consumer Communications and Networking Conference*, January 2008, pp. 598 - 602.
- [5] H.K. Panik, W.R. Michelson, "Error mechanisms in an RF-based indoor positioning system," *International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing*, March - April 2008, pp. 5320 - 5323.
- [6] W.H. Kuo, Y.S. Chen, G.T. Jen, T.W. Lu, "An intelligent positioning approach: RSSI-based indoor and outdoor localization scheme in ZigBee networks," *Machine Learning and Cybernetics*, vol. 6, July 2010, pp. 2754 - 2759.
- [7] J. Larranaga, L. Mugara, J.M. Lopez-Garde, J.I. Vazquez, "An environment adaptive ZigBee-based indoor positioning algorithm," *Indoor Positioning and Indoor Navigation*, September 2010, pp. 1 - 8.
- [8] Y. Lim, J. Park, "Practical indoor positioning system using received signal strength in IEEE 802.15.4 networks," *International Conference on Consumer Electronics*, January 2009, pp. 1 - 2.
- [9] K. Yu, Y.J. Guo, "Improving anchor position accuracy for 3-D localization in wireless sensor networks," *IEEE International Conference on Communication*, May 2008, pp. 951 - 955.
- [10] J. Liang, J. Shao, Y. Xu, J. Tan, B.T. Davis, P.L. Bergstrom, "Sensor Network Localization in Constrained 3-D Spaces," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, June 2006, pp. 49 - 54.
- [11] B. Cooperstein, "Elementary Linear Algebra," University of California, Santa Cruz, January 2006, pp. 312-323.
- [12] A. Boss, C.H. Foh, "A practical path loss model for indoor WiFi positioning enhancement," *International Conference on Information Communications and Signal Processing*, December 2009, pp. 1-5.

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 Khon Kaen 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.

Kriangkrai Maneerat received his B.S. degree in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand in 2009. Currently he is pursuing his M.S. degree in the school of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology. He is a member at the Wireless Communication Research Lab at Suranaree University of Technology.

ผลกระทบของการวางโหนดอ้างอิงในระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4

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

เกียรติกร มณีรัตน์, สุภัตรา ออมอำไพ และ ชุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความถูกต้องของการหาตำแหน่งวัตถุที่ใช้เทคนิคการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ จากการทดลองกำหนดตำแหน่งโหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ พบว่าตำแหน่งของโหนดอ้างอิงมีผลต่อลักษณะการกระจายของสัญญาณภายในบริเวณอาคาร ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้อง และความคลาดเคลื่อนของการบอกตำแหน่งวัตถุอย่างมาก

คำสำคัญ: ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร, เครือข่ายตัวตรวจรู้ไร้สาย

Abstract

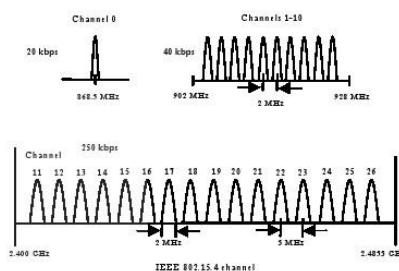
This paper presents an accuracy analysis of the indoor positioning system via the IEEE 802.15.4 wireless networks. We aim to study the effects of reference node locations on the accuracy of the indoor positioning system using the RSSI database mapping technique. The results show that locations of reference 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 หนึ่งในนั้นได้มามีใช้กับระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วย

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

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 โดยงานวิจัย [1] เป็นการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งในอาคารขึ้นมาเรียกว่า DOLPHIN ซึ่งระบบนี้เป็นระบบระบุตำแหน่งแบบกระจายตัวในพื้นที่ทำงานบนระบบอินเทอร์เน็ท งานวิจัย [2] เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของระบบระบุตำแหน่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้ในการระบุตำแหน่งวัตถุระหว่างวิธีการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ (Received Signal Strength, RSS) กับวิธีการแปลงจากรยะเวลาที่ได้รับหักเหจากโหนดอ้างอิง (Time of Arrival) โดยใช้วิธีการคำนวณของครอเมอร์-โรโอโลเวอร์บาวนด์ (Cramer-Rao Bound) ส่วนงานวิจัย [3] เป็นการศึกษาการระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยประมาณค่าระยะทางจากการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ และงานวิจัย [4] เป็นการศึกษาการทำ 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 การหาปริมาตรของวงกลมทำได้หลายวิธีเช่น แปลงมาจากค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้รับได้จากโหนดอ้างอิง [5] หรือแปลงจากรยะเวลาที่ได้รับแท็กเกิดจากโหนดอ้างอิง (Time of Arrival) [5] หรือแปลงจากมุมที่รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง (Angle of Arrival) [5]

ส่วนการหาตำแหน่งวัตถุด้วยวิธีการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณนั้นจะต้องสร้างฐานข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณของโหนดอ้างอิงภายในบริเวณอาคารที่เรียกว่า Fingerprint ก่อนโดยการติดตั้งโหนดอ้างอิงภายในบริเวณอาคารรูปที่ 2 แสดงระบบหาตำแหน่งวัตถุที่ใช้โหนดอ้างอิง 4 ตัว (A, B, C, D) วัตถุจะได้รับสัญญาณจากโหนดอ้างอิง แล้วนำค่าความเข้มของสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์หาตำแหน่งของวัตถุโดยการจับคู่ค่าความเข้มสัญญาณกับฐานข้อมูลค่าความเข้มสัญญาณที่สร้างขึ้นไว้ วิธีการจับคู่ค่าความเข้มสัญญาณมีหลายวิธี ได้แก่ การจับคู่โดยพิจารณาจากระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) [6] และวิธี Manhattan Distance [7] เป็นต้น

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

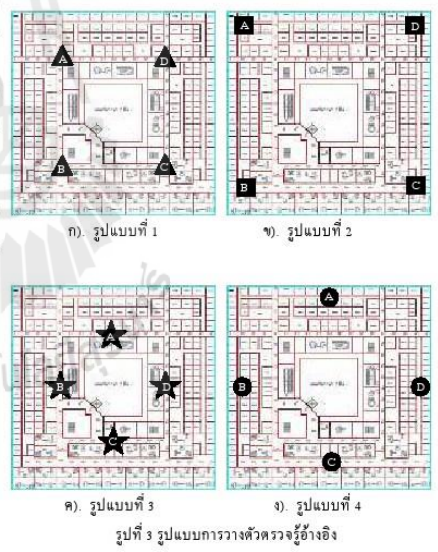
$$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k^i - y_k^i)^2} \tag{1}$$

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



3. ลักษณะการแพร่กระจายสัญญาณ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความต้องการของการหาตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายตรวจรู้ไร้สาย โดยใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียนในการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิงที่สร้างจากการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่างๆ (Fingerprint) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองภายในอาคารที่มีขนาดกว้าง 70 เมตร ยาว 80 เมตร โดยใช้โหนดอ้างอิงจำนวน 4 ตัวคือ A, B, C และ D ซึ่งทำการจัดวางตำแหน่งที่ต่างกัน 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3



ผู้วิจัยได้ทำการวัดค่าความเข้มของสัญญาณซึ่งได้รับจาก โหนดอ้างอิงที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในบริเวณพื้นที่การทดลอง โดยแต่ละ ตำแหน่งทำการวัดสัญญาณ 10 ครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างกราฟแสดง ลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้จากการวางตำแหน่ง โหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 – 7

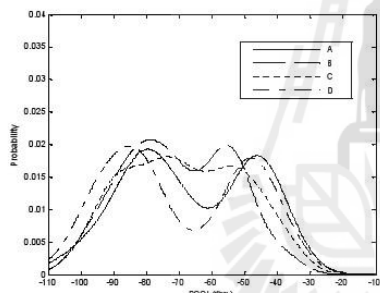
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ากรวางโหนดอ้างอิงตามรูปแบบที่ 1 ให้ จะมีลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -30 dBm ถึง -100 dBm ซึ่งมีค่าความเข้มของสัญญาณแรงกว่ารูปแบบอื่นๆ และการ กระจายค่าความเข้มสัญญาณของโหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีลักษณะที่ สมมาตรใกล้เคียงกัน รูปที่ 5 แสดงลักษณะการกระจายค่าความเข้มของ สัญญาณของการวางโหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 2 จะเห็นว่าค่าความเข้มของ สัญญาณอยู่ในช่วง -50 dBm ถึง -100 dBm โดยการกระจายค่าความเข้ม สัญญาณของโหนดอ้างอิงแต่ละตัว มีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนในรูปแบบ ที่ 3 (รูปที่ 6) พบว่าการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -30 dBm ถึง -100 dBm โดยจากกราฟจะเห็นว่าค่าความเข้มของสัญญาณที่วัด ได้จาก โหนดอ้างอิงทั้ง 4 ตัวมากที่สุดอยู่ที่ประมาณ -80 dBm รูปที่ 7 แสดง ลักษณะการกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของการวางโหนดอ้างอิง รูปแบบที่ 4 ซึ่งมีค่าความเข้มของสัญญาณอยู่ในช่วง -60 dBm ถึง -100

dBm จะเห็นว่าค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จาก โหนดอ้างอิงแต่ละตัว มีค่าน้อยกว่ารูปแบบอื่นๆ และการกระจายค่าความเข้มสัญญาณของ โหนดอ้างอิงแต่ละตัวมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก และค่าความเข้ม สัญญาณของโหนดอ้างอิงน้อยสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น

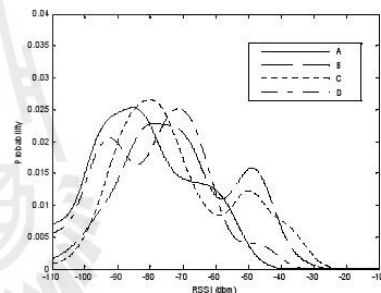
4. การวิเคราะห์ความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง

จากการทดลองผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ จากการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงรูปแบบต่างๆ ดังกล่าวในหัวข้อที่ 3 มา ทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อสร้างฐานข้อมูลของค่าความเข้มสัญญาณ (finger printing) จากนั้นใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเดียในการจับคู่ค่าความเข้ม ของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิงเพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุ ในการ ทดลองเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งวัตถุ เมื่อทำการ วางโหนดอ้างอิงในรูปแบบต่างๆ นั้นผู้วิจัยได้ใช้จุดทดสอบ 10 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 8

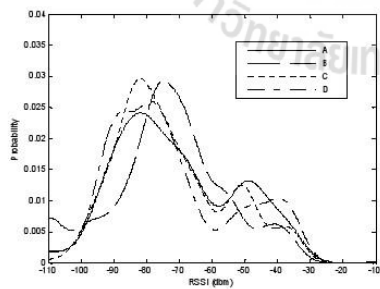
ตารางที่ 2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งวัตถุ จริงกับตำแหน่งวัตถุที่หาได้เมื่อใช้รูปแบบการวางโหนดอ้างอิงที่ต่างกัน จะเห็นว่ากรวางโหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 1 มีความถูกต้องของการระบุ ตำแหน่งมากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุดที่ 0 เมตร เฉลี่ยที่



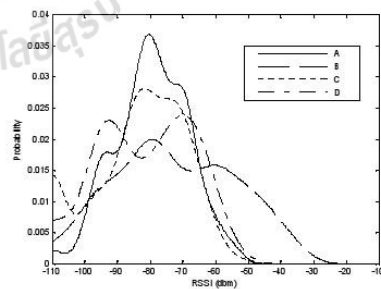
รูปที่ 4 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจอ้างอิง 4 ตัว ที่วางตัวตามรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจอ้างอิง 4 ตัวที่วางตัวตามรูปแบบที่ 2



รูปที่ 6 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจอ้างอิง 4 ตัวที่ วางตัวตามรูปแบบที่ 3



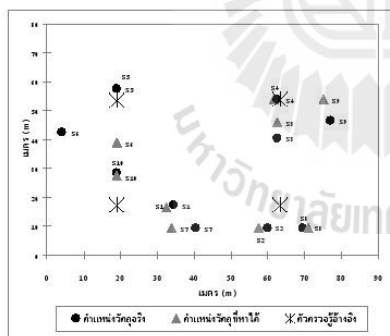
รูปที่ 7 การกระจายค่าความเข้มของสัญญาณของตัวตรวจอ้างอิง 4 ตัวที่วางตัวตามรูปแบบที่ 4

4.45 เมตร มากสุดที่ 6.5 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 4 เมตร ส่วนการวางโหนดอ้างอิงรูปแบบอื่น ๆ นั้นมีความถูกต้องน้อยกว่า โดยรูปแบบที่ 2 มีความถูกต้องน้อยที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ 13.45 เมตร มากสุดที่ 34 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 10 เมตร รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งวัตถุจริงที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 10 ตำแหน่งและตำแหน่งวัตถุที่หาได้จากการใช้โหนดอ้างอิงรูปแบบที่ 1

เมื่อวิเคราะห์จากลักษณะการกระจายของสัญญาณที่แสดงในหัวข้อที่ 3 จะเห็นว่า การกระจายของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงในรูปแบบที่ 1 ที่มีลักษณะความเข้มของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงแต่ละตัวในลักษณะสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งต่างจากลักษณะการกระจายความเข้มของสัญญาณจากโหนดอ้างอิงในรูปแบบอื่น (รูปที่ 5 - 7) ดังนั้นจะเห็นว่า การวางโหนดอ้างอิงให้เกิดลักษณะการกระจายความเข้มสัญญาณอย่างสมมาตรดังรูปแบบที่ 1 จะช่วยเพิ่มความถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งของวัตถุซึ่งใช้เทคนิคการจับคู่ความเข้มของสัญญาณได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่ง

ตำแหน่งการวาง โหนดอ้างอิง	ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)			
	Min	Mean	Max	SD
รูปแบบที่ 1	0	4.45	6.5	4.077
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

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการวางตำแหน่งโหนดอ้างอิงต่อความถูกต้องของการหาตำแหน่งวัตถุสำหรับระบบระบุตำแหน่งผ่านเครือข่ายตรวจไร้สาย โดยใช้เทคนิคระยะห่างยูคลิดีเนียนในการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานะข้อมูลอ้างอิงที่สร้างจากการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่างๆ (Finger printing) ผลการทดลองพบว่าตำแหน่งของโหนดอ้างอิงมีผลต่อความถูกต้องในการระบุตำแหน่งของวัตถุ โดยพบว่า การวางโหนดอ้างอิงที่บริเวณจุดตัดของทางเดินภายในอาคารจะช่วยลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความถูกต้องในการบอกตำแหน่งของวัตถุได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สุริยา รอดนิม, กาวินี สีเขียวแก่ และอัจฉรา คำทองเครือ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองและการวัดสัญญาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Fukuj, 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, Vol. 53, 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. Bannach, 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. Schaub, 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 BGs, and Fuzzy Implementation," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 57 Issue. 12, December 2009, pp. 4918 - 4929.



เกรียงไกร มณิรัตน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทที่มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีสุรนารี ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม งานวิจัยที่สนใจเป็นงานที่เกี่ยวกับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee



สุทัตตรา ออมอำไพ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2552 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม งานวิจัยที่สนใจเป็นงานที่เกี่ยวกับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee



ผศ.ดร.สุติมา พรหมมาก สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระดับปริญญาโทที่ University of Colorado at Boulder,

Boulder, Colorado, USA ในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม และระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จาก University of Pittsburgh, Pittsburgh, Pennsylvania, USA ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายเกรียงไกร มณีรัตน์ เป็นบุตรของ ร้อยตำรวจตรี ถาวร มณีรัตน์ และนางสมพิศ มณีรัตน์ เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 22 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2530 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเมื่อปีการศึกษา 2549 ซึ่งในปีการศึกษา 2552 ได้ทำโครงการ เรื่อง การหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee โดยมี อาจารย์ที่ปรึกษาคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูติมา พรหมมาก และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ในปีการศึกษา 2552 จากนั้นได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ด้านการพัฒนาระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารผ่านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และความเข้าใจ ทางด้านระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารเป็นอย่างดี และมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ได้แก่ บทความการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON-33) ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 1-3 ธันวาคม 2553 และ บทความประชุมวิชาการนานาชาติ World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET) กรุงเทพมหานคร วันที่ 22-23 ธันวาคม 2554 โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก ค