

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและ
อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพื้นฐานเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย

INDOOR LOCALIZATION USING FINGERPRINTING TECHNIQUE AND
CLUSTERING ALGORITHM BASED ON WLAN TECHNOLOGY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-EN-D-018-111

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและ
อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพื้นฐานเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย

INDOOR LOCALIZATION USING FINGERPRINTING TECHNIQUE AND
CLUSTERING ALGORITHM BASED ON WLAN TECHNOLOGY



T148696



จิปัตน์ แสงทอง

JIRAPAT SANGTHONG

เลขที่.....
เลขทะเบียน **148696**
วันเดือนปี **14 ๗.๘. 2560**

b. 00 266580
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMUTL 2017-EN-D-018-111
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDOOR LOCALIZATION USING FINGERPRINTING TECHNIQUE AND
CLUSTERING ALGORITHM BASED ON WLAN TECHNOLOGY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL 2017-EN-D-018-111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพื้นฐานเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย
Thesis Title Indoor Localization using Fingerprinting Technique and Clustering Algorithm Based on WLAN Technology
นักศึกษา นายจิรพัฒน์ แสงทอง
รหัสประจำตัว 54610123
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สถาพร พรหมวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-D-018-111

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ทับทิม	อ่าแก้ว	
รศ.ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ผศ.ดร.ศรวัฒน์	ชีวปรีชา	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 09.30-11.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้
วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพื้นฐานเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย
นักศึกษา	นายจิรพัฒน์ แสงทอง
รหัสนักศึกษา	54610123
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สถาพร พรหมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มบนพื้นฐานของเครือข่ายพื้นที่ไร้สาย ในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ ในขั้นตอนการฝึกฝนค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะถูกทำการสำรวจจากอุปกรณ์ภาคส่งจำนวน 5 ตัว และใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มโดยพิจารณาทั้ง การแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็ม การแบ่งกลุ่มแบบลอบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมิน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวิร์สฮาร์โมนิกมิน ในขั้นตอนการทดสอบนั้น ได้ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว จากการประเมินผลการทดลองวิจัยพบว่าการนำอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มมาใช้ร่วมกับเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นทำให้การระบุตำแหน่งภายในอาคารมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การประเมินผลการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัว ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการของระบบนำทางภายในอาคาร ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบนำทางภายในอาคารที่สามารถใช้งานได้จริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Indoor Localization Using Fingerprinting Technique and Clustering Algorithm Based on WLAN Technology
Student	Mr. Jirapat Sangthong
Student ID.	54610123
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Sathaporn Promwong

ABSTRACT

This thesis proposes an indoor localization using fingerprinting technique and clustering algorithm based on WLAN technology. For positioning with fingerprinting technique, there are 2 processes: training process and testing process. For training process, the received signal strengths are surveyed from five transmitted devices. Then, the clustering algorithms which are Fuzzy C-Means, Subtractive Clustering, K-Means, K-Harmonic means and K-Inverse harmonic means are considered. For testing process, the least square method and k-nearest neighbor algorithm are used. From the results, the use of clustering algorithm with fingerprinting technique will be improved the accuracy of indoor positioning. Moreover, the use of fingerprints which comprise from several transmitted devices will be closed to the requirements of indoor navigation system which can be applied in the future.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.สถาพร พรหมวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล รวมไปถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในแลบ UWBR5 ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า และที่ขาดไม่ได้คือ น.ส.สิริรัตน์ โรจน์ประภาพร ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิรพัฒน์ แสงทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 เครื่องข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย.....	5
2.2.1 ประวัติของเครื่องข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย.....	8
2.2.2 มาตรฐานเครื่องข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย.....	9
2.3 ระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร.....	13
2.3.1 เทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ในการหาตำแหน่ง.....	15
2.3.2 พารามิเตอร์ของสัญญาณที่ใช้ในการหาตำแหน่ง.....	21
2.3.3 เทคนิคการระบุตำแหน่ง.....	25
2.4 เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ.....	28
2.4.1 ขั้นตอนการฝึกฝน.....	29
2.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	30
2.5 อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม.....	32
2.5.1 การแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้น.....	33
2.5.2 การแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยเอกสาร 37
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ	
ร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม.....	39
3.1 บทนำ.....	39
3.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลของลายลักษณ์ต้นแบบ.....	40
3.2.1 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	40
3.2.2 การแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีมีน.....	44
3.2.3 การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก.....	45
3.3 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ.....	46
3.3.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	46
3.3.2 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว.....	46
3.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ.....	47
3.5 บทสรุป.....	47
บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	48
4.1 บทนำ.....	48
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	48
4.2.1 เราเตอร์ ZyXEL P660HW-T1 v2.....	48
4.2.2 Samsung Galaxy S3 i9300.....	49
4.2.3 แอปพลิเคชัน Wifi Analyzer.....	49
4.3 แบบจำลองการวัดสำหรับการทดลองวิจัย.....	50
4.4 บทสรุป.....	54
บทที่ 5 ผลการทดลองวิจัย.....	55
5.1 บทนำ.....	55
5.2 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้.....	56
5.2.1 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1.....	57
5.2.2 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2.....	58
5.2.3 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 3.....	58
5.2.4 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4.....	59
5.2.5 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 5.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 การศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	61
5.3.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	61
5.3.2 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	63
5.4 การศึกษาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมสำหรับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ.....	66
5.4.1 การแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีมีน.....	67
5.4.2 การแบ่งกลุ่มแบบลบอลอก.....	68
5.4.3 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	69
5.4.4 การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน.....	71
5.4.5 การแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน.....	72
5.5 การศึกษาการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	74
5.5.1 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว.....	74
5.5.2 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว.....	75
5.5.3 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว.....	76
5.5.4 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว.....	78
5.6 บทสรุป.....	79
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	80
6.1 กล่าวนำ.....	80
6.2 สรุปผลการวิจัย.....	80
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	82
เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดใจอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณลักษณะจำเพาะของมาตรฐาน IEEE 802.11.....	12
2.2 คุณสมบัติการใช้งานซิกบีในย่านความถี่ต่าง ๆ.....	18
5.1 ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม.....	64
5.2 ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	65
5.3 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีมีน.....	67
5.4 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	70
5.5 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน.....	71
5.6 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน.....	72
6.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม.....	81
6.2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม.....	81
6.3 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัว.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย..... 6
2.2	เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย..... 6
2.3	เครือข่ายพื้นที่เมืองไร้สาย..... 7
2.4	เครือข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย..... 7
2.5	ภาพเปรียบเทียบ SU-MIMO และ MU-MIMO..... 11
2.6	เราเตอร์ TP-Link Talon AD7200..... 11
2.7	หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ADAM ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม..... 13
2.8	การติดตามนักผจญเพลิงในสถานที่ที่เกิดเพลิงไหม้..... 14
2.9	การใช้แอปพลิเคชันนำทางบนโทรศัพท์มือถือภายในพิพิธภัณฑ์..... 15
2.10	องค์ประกอบในระบบ RFID..... 16
2.11	ชนิดของแท็ก RFID..... 17
2.12	ลักษณะของเครื่องอ่าน RFID..... 17
2.13	อุปกรณ์บลูทูธ..... 18
2.14	ลักษณะการทำงานของซิกบี..... 19
2.15	ตัวอย่างอุปกรณ์ซิกบีในชื่อทางการค้าคือ XBee..... 19
2.16	สัญญาณแถบกว้างยิ่งยงซึ่งมีแถบความถี่กว้างมากในโดเมนความถี่..... 20
2.17	อุปกรณ์ Wireless USB สำหรับการเชื่อมต่อผ่าน HDTV ซึ่งใช้เทคโนโลยี UWB..... 20
2.18	ระยะทางระหว่างตำแหน่งในกรณีอุดมคติ..... 22
2.19	ระยะทางระหว่างตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร..... 22
2.20	การพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึงระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง..... 23
2.21	การพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึงสายอากาศอาร์เรย์แนวตรงแบบยูนิฟอร์ม..... 23
2.22	ไฮเพอร์โบล่าซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของตำแหน่งเป้าหมาย..... 24
2.23	กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ..... 25
2.24	กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะ..... 26
2.25	กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีสามเส้า..... 27
2.26	กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีไฮเพอร์โบล่า..... 28
2.27	การแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่ม..... 29
2.28	กลุ่มข้อมูลที่มีการแบ่งแยกได้ยาก..... 30
2.29	อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว..... 31

เอกสารนี้ 2.30 เซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ เพื่อการศึกษานั้น ไม่น่าจะสนใจนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.31	32
2.32	33
2.33	33
2.34	34
2.35	35
2.36	35
2.37	36
3.1	39
3.2	40
4.1	48
4.2	49
4.3	50
4.4	51
4.5	52
4.6	53
4.7	53
5.1	55
5.2	56
5.3	57
5.4	58
5.5	59
5.6	60
5.7	61
5.8	62
5.9	62
5.10	63
5.11	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับเมื่อ $k=2$ หรือมากกว่านี้เพื่อความสะดวกในการศึกษา ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับความยินยอม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.12	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน เมื่อ $k = 5$	65
5.13	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว.....	66
5.14	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟuzzyซิมิน.....	67
5.15	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟuzzyซิมิน.....	68
5.16	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบบอก.....	68
5.17	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบบอก.....	69
5.18	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	70
5.19	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน.....	70
5.20	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน.....	71
5.21	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน.....	72
5.22	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน.....	73
5.23	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน.....	73
5.24	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว.....	74
5.25	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว.....	75
5.26	อิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว.....	75
5.27	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28	
อีสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว.....	77
5.29	
ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบ จากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว.....	77
5.30	
อีสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว.....	78
5.31	
ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบ จากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว.....	78



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบนำทางของอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายในอาคารเป็นการให้บริการอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการใช้ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกหรือจีพีเอส (Global Positioning System: GPS) กันอย่างแพร่หลายในการให้บริการในพื้นที่เปิดโล่งหรือภายนอกอาคาร แต่จีพีเอสนั้นไม่สามารถทำงานได้ดีมากนักภายในอาคารเนื่องจากไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ อย่างไรก็ตามการแพร่หลายของการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายสำหรับการให้บริการในด้านต่าง ๆ ภายในอาคารก็สามารถนำมาใช้เพื่อสร้างระบบหาตำแหน่งภายในอาคารได้

สำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคารนั้นต้องการความแม่นยำในระดับเมตร มีเทคนิคในการระบุตำแหน่งจำนวนมากถูกนำเสนอเพื่อทำการคาดคะเนตำแหน่ง เทคนิคเหล่านั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เทคนิคทางเรขาคณิต และเทคนิคการจับคู่หรือเรียกว่าเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ สำหรับเทคนิคทางเรขาคณิตนั้นจะพิจารณาลักษณะทางเรขาคณิตจากพารามิเตอร์ของสัญญาณ แล้วนำมาคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย เช่น วิธีสามเหลี่ยมระยะ วิธีสามเส้น และวิธีไฮเพอร์โบล่า เป็นต้น ในขณะที่เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือจะใช้เอกลักษณ์ของพารามิเตอร์ของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งเป็นต้นแบบ แล้วนำเอาพารามิเตอร์ของสัญญาณชนิดเดียวกันมาคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย ซึ่งวิธีนี้จะสามารถช่วยลดผลกระทบที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคารทั้งในเรื่องของการเกิดคลื่นหลายวิถี รวมไปถึงการแทรกสอดของสัญญาณ ที่ทำให้คุณลักษณะของช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป

การระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นมีกระบวนการคิดคล้ายกับการสแกนลายนิ้วมือมนุษย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ที่สนใจไว้ในฐานข้อมูลเพื่อเก็บไว้เป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง หลังจากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะทำการใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ของตำแหน่งเป้าหมายหรือตำแหน่งที่ต้องการทราบเปรียบเทียบกับข้อมูลในฐานข้อมูลที่เก็บไว้ในขั้นตอนแรกเพื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย อย่างไรก็ตามในการเปรียบเทียบข้อมูลนั้นจะใช้อัลกอริทึมในการตัดสินใจร่วมด้วย เช่น อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว เป็นต้น การระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงแต่ก็ยังมีข้อเสียคือใช้เวลาค่อนข้างมากในการคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นวิธีการหนึ่งทำการแบ่งข้อมูลที่มีลักษณะใกล้เคียงกันไว้ด้วยกันเป็นกลุ่ม โดยจะแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นและการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก การแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการจัดกลุ่ม

สำหรับกรณีที่มีข้อมูลมีไม่มากนัก โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งก่อน โดยขั้นตอนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแบ่งกลุ่มแบบลำดับขั้นนั้นต้องมีการพิจารณาความคล้ายคลึงกันและหลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่มด้วย สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณมาก เนื่องจากสามารถประมวลผลได้เร็ว ซึ่งอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เป็นที่นิยมได้แก่ การแบ่งกลุ่มแบบเคมีนและการแบ่งกลุ่มแบบฟัชซีซีมีน เป็นต้น การแบ่งกลุ่มนี้จะเป็นกระบวนการที่ทำในขั้นตอนการฝึกฝนของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ รวมถึงในขั้นตอนการทดสอบนั้นจะทำการเลือกกลุ่มและคาดคะเนตำแหน่งโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลในกลุ่มที่ได้ทำการเลือกไว้เท่านั้น ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการคาดคะเนตำแหน่งทำได้เร็วขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาระบบหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีการพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาคือค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ได้นำเอาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูลมาใช้ในขั้นตอนของการฝึกฝนของข้อมูล เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มในรูปแบบต่าง ๆ ร่วมกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการพิจารณาตำแหน่ง นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายอีกด้วย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารนั้นสามารถสร้างขึ้นได้บนพื้นฐานของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย เนื่องจากในปัจจุบันโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายสามารถครอบคลุมการประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ อยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์ของสัญญาณภายในอาคารได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อม รวมไปถึงการเกิดการแทรกสอดของคลื่นที่ใช้ความถี่ย่านเดียวกัน ส่งผลให้การระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการทางเรขาคณิตบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายนั้นเกิดความผิดพลาดมาก

การระบุตำแหน่งโดยเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากใช้การพิจารณาคุณสมบัติที่เหมือนกันของพารามิเตอร์ของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง นอกจากนี้การแบ่งกลุ่มข้อมูลจะทำให้สามารถลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดของการพิจารณาตำแหน่ง อีกทั้งยังลดเวลาการทำงานในขั้นตอนการทดสอบได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างเอกลักษณ์ของตำแหน่งคือค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการยินยอมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ ในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น จะใช้อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่มทั้งการแบ่งกลุ่มแบบฟัชซีซีมีน การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน เพื่อแบ่งกลุ่มข้อมูลในฐานข้อมูล หลังจากนั้นในขั้นตอนการทดสอบค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ของตำแหน่งเป้าหมายจะถูกนำมาพิจารณากลุ่มและทำการเปรียบเทียบเพื่อคาดคะเนตำแหน่งเป้าหมาย โดยในการทดลองวิจัยนั้นจะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มร่วมกับอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว เพื่อวิเคราะห์ผลของความแม่นยำและความเที่ยงตรงของการทดลองวิจัย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษาระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย โดยในการทดลองวิจัยได้ทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับบริเวณชั้น 3 อาคาร E ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับอุปกรณ์ภาคส่งคือเราเตอร์ไร้สาย ZyXEL P660HW-T1 V2 จำนวน 5 ตัว ความถี่ที่ใช้คือ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ อุปกรณ์ภาครับคือโทรศัพท์มือถือรุ่น Samsung Galaxy S3 i9300 สำหรับการทดลองวิจัยนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ในขั้นตอนแรกจะทำการเก็บพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ในตำแหน่งอ้างอิงทั้งหมด 1,289 ตำแหน่ง จำนวน 10 ครั้ง แต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 50 เซนติเมตร โดยเก็บข้อมูลทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นในขั้นตอนของการระบุตำแหน่ง จะทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ของตำแหน่งเป้าหมายและทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อคาดคะเนตำแหน่ง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองวิจัยใน 3 ส่วนคือ ในส่วนแรกทำการวิเคราะห์การใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มร่วมกับเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือซึ่งใช้การเปรียบเทียบแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดจำนวน k ตัว ส่วนที่สองจะทำการวิเคราะห์อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มทั้ง การแบ่งกลุ่มแบบฟัชซีซีมีน การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน เพื่อพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมสำหรับระบบนำทางภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย และในส่วนที่สามจะพิจารณาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัว

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย ระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ และอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม ในส่วนของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายจะกล่าวถึงประวัติและมาตรฐาน IEEE802.11 จากนั้นในส่วนของระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารจะกล่าวถึงเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ในการหาตำแหน่ง พารามิเตอร์ของสัญญาณที่ใช้ในการหาตำแหน่งรวมถึงเทคนิคการระบุตำแหน่ง ในส่วนเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือจะกล่าวถึงกระบวนการที่ใช้ในขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึงอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม โดยแบ่งเป็นการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นและการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มซึ่งใช้ในการทดลองวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ การแบ่งกลุ่มข้อมูลลายลักษณ์ต้นแบบ การคาดคะเนตำแหน่ง และการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของการระบุตำแหน่ง

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งจะแสดงถึงวิธีการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ ได้ อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัด และแบบจำลองการวัดที่ใช้ในการทดลองวิจัยนี้

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองวิจัย โดยจะแสดงผลของการสร้างเอกลักษณ์ของค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ การประเมินผลการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การประเมินผลเพื่อพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสม และการประเมินผลการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัว

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการทดลองวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ใบปทนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย ระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ และอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม ในส่วนของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายจะกล่าวถึงประวัติและมาตรฐาน IEEE802.11 จากนั้นในส่วนของระบบหาตำแหน่งภายในอาคารจะกล่าวถึงเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ในการหาตำแหน่ง พารามิเตอร์ของสัญญาณที่ใช้ในการหาตำแหน่งรวมถึงเทคนิคการหาตำแหน่ง ในส่วนเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือจะกล่าวถึงกระบวนการที่ใช้ในขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึงอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม โดยแบ่งเป็นการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นและการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก

2.2 เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN)

ระบบสื่อสารทางโทรคมนาคมนั้นมีการพัฒนาทั้งทางด้านการสื่อสารที่ใช้สายนำสัญญาณ (Wired) และการสื่อสารที่ไม่ใช้สายนำสัญญาณหรือเรียกว่าการสื่อสารไร้สาย (Wireless) สำหรับการสื่อสารที่ใช้สายนำสัญญาณนั้น จะใช้สื่อกลางเป็นสายนำสัญญาณ เช่น สายคู่บิดเกลียว (Twisted Pair) สายเคเบิลโคแอกเซียล (Coaxial Cable) รวมถึงเส้นใยแสง (Optical Fiber) เป็นต้น ซึ่งการสื่อสารที่ใช้สายนำสัญญาณนั้นจะสามารถควบคุมการส่งข้อมูล รวมถึงควบคุมการรบกวนกันของข้อมูลได้ง่าย ในขณะที่การสื่อสารไร้สายนั้น จะใช้สื่อกลางคืออากาศโดยใช้คลื่นวิทยุในการส่งข้อมูล ซึ่งการส่งข้อมูลนั้นจะสามารถควบคุมการส่งข้อมูลได้ยาก ไม่ว่าจะเป็นการแพร่กระจายของข้อมูล สัญญาณรบกวน การจางหายของสัญญาณ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการสื่อสารไร้สายได้รับความนิยมมากขึ้นสำหรับอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Device) รวมไปถึงความสะดวกสบายในการใช้งานเนื่องจากไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการเดินสาย ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ทันทีเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่ให้บริการ

โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายไร้สายสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

1. เครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย (Wireless Personal Area Networks: WPAN) เป็นเครือข่ายพื้นที่ไร้สายในระยะสั้นหรือมีขนาดเล็ก โดยจะมีระยะการใช้งานไม่เกิน 10 เมตร ลักษณะของเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สายแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 มาตรฐานสำหรับเครือข่ายส่วนบุคคลไร้สายคือ มาตรฐาน IEEE 802.15 โดยจะมีประกอบด้วยกลุ่มต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

- IEEE 802.15.1 เป็นมาตรฐานสำหรับบลูทูธ (Bluetooth) โดยจะมีอัตราการส่งข้อมูล 1 เมกะบิตต่อวินาที โดยบลูทูธที่ใช้ในเครือข่ายส่วนบุคคลไร้สายนั้นจะอยู่ใน Class 3

- IEEE 802.15.3 เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง (High Rate) โดยจะ

มีอัตราการส่งข้อมูลมากกว่า 20 เมกะบิตต่อวินาที

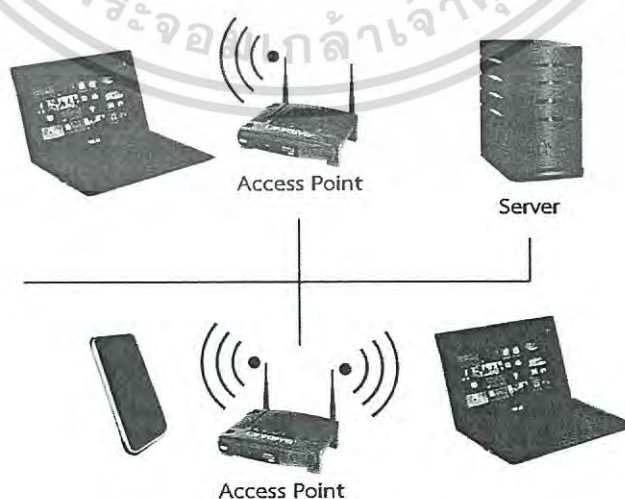
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ (Low Rate) โดยจะมีอัตราการส่งข้อมูลระหว่าง 2 - 250 กิโลบิตต่อวินาที



รูปที่ 2.1 เครื่องข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย [1]

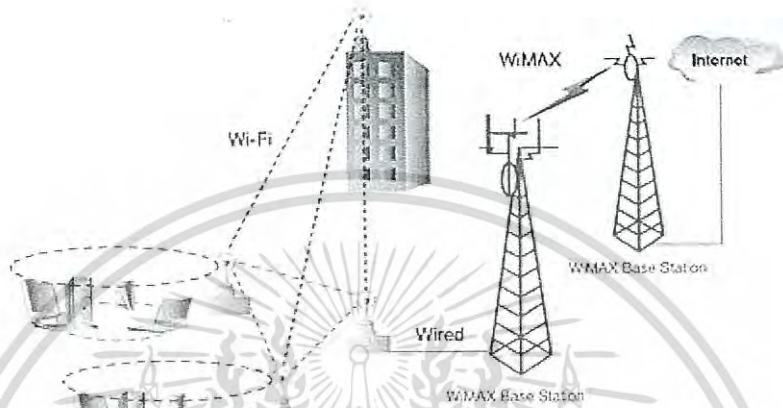
2. เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Networks: WLAN) เป็นเครือข่ายที่ใช้ทำงานในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งซึ่งอยู่ในระยะใกล้ ไม่ว่าจะเป็นภายในหน่วยงานเดียวกันหรือภายในอาคารเดียวกัน เป็นต้น ลักษณะของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 มาตรฐานสำหรับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายคือมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยมาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและใช้งานในปัจจุบันได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g และ IEEE 802.11n เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานใหม่ที่ถูกกำหนดขึ้นเช่น IEEE 802.11ac และ IEEE 802.11ad ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละมาตรฐานในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.2 เครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย [1]

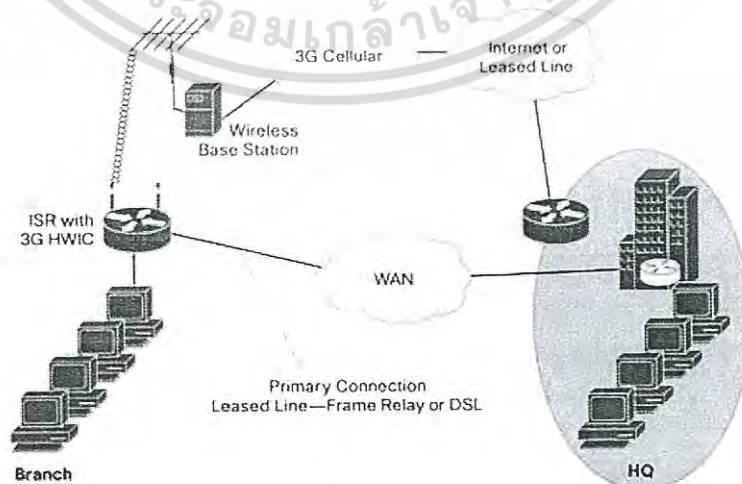
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครือข่ายพื้นที่เมืองไร้สาย (Wireless Metropolitan Area Network: WMAN) เป็นเครือข่ายซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย หรืออาจจะเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายเข้าด้วยกัน มักใช้เชื่อมต่อสื่อสารระหว่างอาคารต่าง ๆ ภายในเมือง โดยจะมีเครือข่ายหลักที่ให้บริการด้วยอัตราเร็วสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมาตรฐานสำหรับเครือข่ายพื้นที่เมืองไร้สายคือ IEEE 802.16



รูปที่ 2.3 เครือข่ายพื้นที่เมืองไร้สาย [1]

4. เครือข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย (Wireless Wide Area Networks: WWAN) เป็นเครือข่ายพื้นที่สำหรับระดับประเทศหรือมีขนาดใหญ่มากโดยเชื่อมต่อเครือข่ายเข้าด้วยกันหลายกลุ่ม รวมไปถึงมีการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลาย โดยไม่มีการจำกัดระยะทาง ซึ่งอาจเป็นการนำเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายเชื่อมต่อกันตั้งแต่ 2 เครือข่ายขึ้นไปก็ได้ ลักษณะของเครือข่ายพื้นที่กว้างไร้สายแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครือข่ายพื้นที่กว้างไร้สาย [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประวัติของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย (History of Wireless Local Area Network)

ศาสตราจารย์นอร์แมน แอบรามสัน (Norman Abramson) อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยฮาวาย ได้เริ่มพัฒนาเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สายขึ้นเป็นครั้งแรกใช้ชื่อว่า ALOHAnet ในปี พ.ศ. 2514 (ค.ศ. 1971) โดยระบบนี้มีการใช้คอมพิวเตอร์ 7 ตัวกระจายไปยังเกาะทั้งหมด 4 เกาะ แล้วทำการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุคล้ายค้อนแบบต้นทุนต่ำมายังศูนย์คอมพิวเตอร์กลางที่เกาะโออาฮู โดยไม่มีการใช้สายโทรศัพท์ [2]

หลังจากนั้น ในปี พ.ศ. 2522 (ค.ศ. 1979) ฟริทซ์ อาร์ จีเฟลเลอร์ (Fritz R. Gfeller) และ เออร์ส เฮนริช บาบสต์ (Urs Heinrich Bapst) ได้เผยแพร่งานวิจัยในการทดลองระบบการสื่อสารไร้สายโดยใช้อินฟราเรดในวารสาร IEEE [3] จากนั้น ในปี พ.ศ. 2523 (ค.ศ. 1980) พี เฟร์เรร์ต (P. Ferrert) ได้รายงานผลการทดลองระบบการสื่อสารไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุแบบแผ่สเปกตรัมรหัสเดียว (Single Code Spread Spectrum) ในการประชุมโทรคมนาคมระดับชาติของ IEEE ในปี พ.ศ. 2527 (ค.ศ. 1984) คาเวห์ พาห์ลาวัน (Kaveh Pahlavan) ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้อินฟราเรดและคลื่นวิทยุแบบแผ่สเปกตรัมโดยใช้ช่องสัญญาณร่วมแบบเข้ารหัส (Code Division Multiple Access: CDMA) สำหรับเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สายในสำนักงาน และมีการนำเสนอในวารสาร Computer Networking Symposium ของ IEEE [4] รวมถึงตีพิมพ์ในนิตยสาร Communications Magazine ของ IEEE [5] อีกด้วย

สำหรับการใช้งานในเชิงพาณิชย์นั้น ไมเคิล มาร์คัส (Michael Marcus) หนึ่งในทีมงานของคณะกรรมการการสื่อสารแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission : FCC) ได้นำเทคโนโลยีการแผ่สเปกตรัมมาทดลองใช้ในย่านความถี่สำหรับกิจการด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ (The Industrial, Scientific and Medical band : ISM band) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีใบอนุญาต [6] จากนั้น โมห์เซ็น เคพฮราด (Mohsen Kavehrad) ได้รายงานผลของการทดลองระบบตู้โทรศัพท์สาขา (Private Branch Exchange : PBX) แบบไร้สายโดยใช้ช่องสัญญาณร่วมแบบเข้ารหัส แสดงให้เห็นถึงความพยายามในการนำเทคโนโลยีพื้นที่ส่วนท้องถิ่นไร้สายไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) บริษัท เอ็นซีอาร์/เอทีแอนด์ที (NCR Corporation/AT&T) ได้ทำการสร้างต้นแบบของมาตรฐานเทคโนโลยีพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายขึ้นคือมาตรฐาน 802.11 ในเมืองนิวเวเกน (Nieuwegein) ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยต้องการที่จะนำมาใช้สำหรับระบบเก็บเงิน ซึ่งผลิตภัณฑ์ไร้สายตัวแรกที่ถูกนำออกสู่ตลาดชื่อ WaveLAN มีอัตราการส่งข้อมูลที่ 1 เมกะบิตต่อวินาที และ 2 เมกะบิตต่อวินาที หลังจากนั้นมาตรฐาน 802.11b และ 802.11a ได้ถูกออกแบบและกำหนดมาตรฐานโดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) [6] ซึ่งมี วิค เฮย์ส (Vic Hayes) เป็นประธาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มาตรฐานเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย

มาตรฐานสำหรับเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายนั้นถูกกำหนดขึ้นโดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยประกอบด้วยมาตรฐานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 IEEE 802.11b

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการกำหนดมาตรฐานนั้นเสร็จสมบูรณ์เป็นมาตรฐานแรกในปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999) โดยใช้เทคโนโลยีการมอดูเลตเชิงเลขทางรหัสแบบอิสระ (Complimentary Code Keying: CCK) ร่วมกับเทคโนโลยีการแผ่สเปกตรัมแบบลำดับตรง (Direct Sequence Spread Spectrum: DSSS) ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีระยะทางใช้งานสูงสุดภายในอาคารประมาณ 35 เมตร และภายนอกอาคารประมาณ 140 เมตร ผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้งานสำหรับกิจการด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ โดยไม่ต้องขอใบอนุญาต อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ใช้งานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ นั้นนอกจากเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายแล้วยังมีอุปกรณ์เช่น เตาไมโครเวฟ อุปกรณ์บลูทูธ โทรศัพท์ไร้สายภายในบ้าน รวมถึงอุปกรณ์อื่นที่ใช้คลื่นวิทยุอีกด้วย จึงทำให้การใช้งานนั้นอาจมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์เหล่านี้

2.2.2.2 IEEE 802.11a

เป็นมาตรฐานที่มีการกำหนดมาตรฐานเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999) เช่นเดียวกับกับมาตรฐาน IEEE 802.11b แต่มีการเผยแพร่ช้ากว่า มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีการมัลติเพล็กซ์แบ่งความถี่แบบตั้งฉากหรือโอเอฟดีเอ็ม (Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM) มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11b โดยมีระยะทางใช้งานสูงสุดภายในอาคารประมาณ 35 เมตร และภายนอกอาคารประมาณ 120 เมตร โดยใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานโดยทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากสงวนไว้สำหรับกิจการทางด้านดาวเทียม ทำให้มาตรฐาน IEEE 802.11a ไม่พบปัญหาของสัญญาณรบกวน [7] เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้งานในย่านความถี่เดียวกันมากนักส่งผลให้มีอัตราการส่งข้อมูลสูง อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลด้วยความถี่สูงนี้ทำให้การส่งข้อมูลนั้นไม่สามารถทะลุทะลวงโครงสร้างของตึกได้มากนัก อีกทั้งอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11a ไม่สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g อีกทั้งยังมีราคาแพง ดังนั้นจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร

2.2.2.3 IEEE 802.11g

เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้งานกันมากในปัจจุบันและได้เข้ามาทดแทนอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b โดยการกำหนดมาตรฐานนั้นเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2546 (ค.ศ. 2003) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาเทคโนโลยีโอเอฟดีเอ็มของมาตรฐาน IEEE 802.11a มาใช้งานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที [8] ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11b ที่ใช้งานบนย่านความถี่เดียวกัน นอกจากนั้นยังมีระยะทางการใช้งานที่มากกว่า IEEE 802.11a คือ มีระยะทางใช้งานสูงสุดภายในอาคารประมาณ 38 เมตร และภายนอกอาคารประมาณ 140 เมตร สามารถใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ได้ (Backward-Compatible) อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11g ก็จะมีปัญหาของสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นที่ใช้งานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เช่นเดียวกับมาตรฐาน IEEE 802.11b

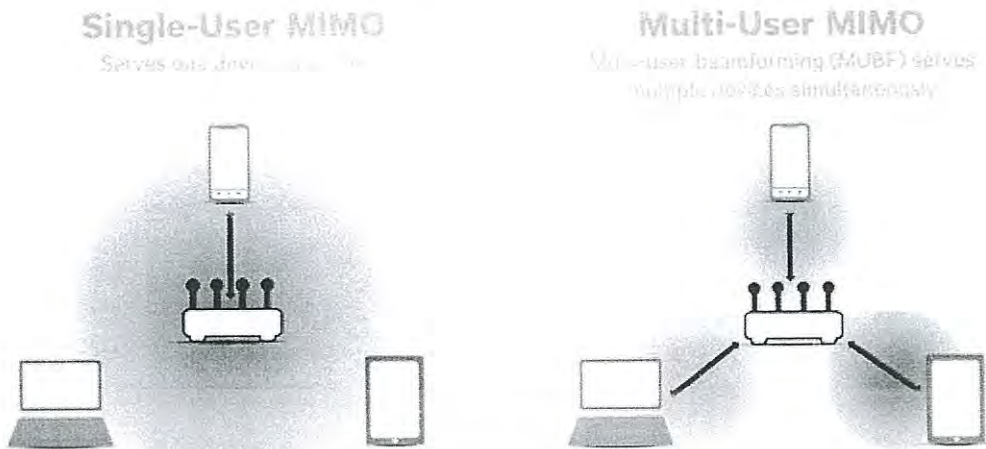
2.2.2.4 IEEE 802.11n

เป็นมาตรฐานที่มีการกำหนดมาตรฐานเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2552 (ค.ศ. 2009) ซึ่งพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11 ที่มีอยู่เดิมโดยการเพิ่มสายอากาศแบบหลายเอาต์พุตหลายอินพุตหรือเรียกว่าสายอากาศแบบไมโม (Multiple-input Multiple-output: MIMO) ซึ่งสามารถรองรับการส่งข้อมูลได้สูงสุด 4 ชุดข้อมูล (Spatial Stream) มาตรฐาน IEEE 802.11n ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดใน 1 ชุดข้อมูลคือ 150 เมกะบิตต่อวินาที หรืออัตราการส่งข้อมูลสูงสุดคือ 600 เมกะบิตต่อวินาที มีระยะทางใช้งานสูงสุดภายในอาคารประมาณ 70 เมตร และภายนอกอาคารประมาณ 250 เมตร นอกจากนั้นยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g ได้

2.2.2.5 IEEE 802.11ac

เป็นมาตรฐานที่มีการกำหนดมาตรฐานเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2556 (ค.ศ. 2013) พัฒนามาจากมาตรฐาน IEEE 802.11n [9] โดยปรับเปลี่ยนให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นคือ 80 และ 160 เมกะเฮิรตซ์ ทำงานบนย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้สายอากาศแบบไมโมเช่นเดียวกับมาตรฐาน IEEE 802.11n แต่สามารถรองรับการส่งข้อมูลได้สูงสุด 8 ชุดข้อมูล นอกจากนั้นยังเพิ่มคุณสมบัติของการรองรับหลายผู้ใช้งานแบบไมโม (Multi-User MIMO: MU-MIMO) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และสามารถมอดูเลทสัญญาณในลำดับชั้นที่สูงกว่าคือ 256-QAM

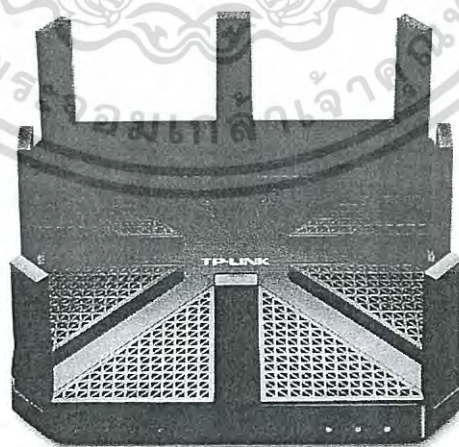
อุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11ac ที่แบนด์วิดท์ 80 เมกะเฮิรตซ์ในช่วงแรกนั้น จะสามารถรองรับการส่งข้อมูลได้สูงสุด 3 ชุดข้อมูล โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดใน 1 ชุดข้อมูลคือ 433.3 เมกะบิตต่อวินาทีหรืออัตราการส่งข้อมูลสูงสุดคือ 1,300 เมกะบิตต่อวินาที [10] หลังจากนั้นผู้ผลิตได้พัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีชื่อว่า Wave 2 ซึ่งสามารถรองรับแบนด์วิดท์ 160 เมกะเฮิรตซ์ ส่งข้อมูลได้สูงสุด 4 ชุดข้อมูล และสามารถรองรับหลายผู้ใช้งานแบบ MIMO ได้ [11]-[13]



รูปที่ 2.5 ภาพเปรียบเทียบ SU-MIMO และ MU-MIMO [14]

2.2.2.6 IEEE 802.11ad

เป็นมาตรฐานที่มีการกำหนดมาตรฐานเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2555 (ค.ศ. 2012) โดยใช้งานบนย่านความถี่ 60 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งส่งผลให้คุณลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นมีความแตกต่างกับการใช้งานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์และ 5 กิกะเฮิรตซ์ อย่างเห็นได้ชัด อุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11ad จะใช้ชื่อว่า WiGig โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดคือ 6,912 เมกะบิตต่อวินาที หรือ 6.75 กิกะบิตต่อวินาที ซึ่งบริษัทที่พี-ลิงค์ (TP-LINK) ได้ทำการสร้างอุปกรณ์เราเตอร์ที่รองรับมาตรฐาน IEEE 802.11ad ตัวแรกขึ้นคือ TP-Link Talon AD7200 เมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016)



รูปที่ 2.6 เราเตอร์ TP-Link Talon AD7200 [15]

จากมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปคุณลักษณะจำเพาะของมาตรฐาน IEEE 802.11ad ได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเฉพาะของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน 802.11	ประกาศใช้	ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)	แบนด์วิธ (เมกะเฮิรตซ์)	อัตราการส่งข้อมูล (เมกะบิตต่อวินาที)	ชุดข้อมูล MIMO	การมอดูเลต	ระยะทางภายในอาคาร (เมตร)	ระยะทางภายนอกอาคาร (เมตร)
a	พ.ศ. 2542	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	-	OFDM	35	120
b	พ.ศ. 2542	2.4	22	1, 2, 5.5, 11	-	DSSS	35	140
g	พ.ศ. 2546	2.4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	-	OFDM	38	140
n	พ.ศ. 2552	2.4/5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	4	MIMO-OFDM	70	250
ac	พ.ศ. 2556	5	20	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2, 86.7, 96.3	8	MIMO-OFDM	35	
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150				
			40	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200				
			80	32.5, 65, 97.5, 130, 195, 260, 292.5, 325, 390, 433.3				
			160	65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866.7				
ad	พ.ศ. 2555	60	2160	สูงสุด 6,757	-	OFDM, single carrier	3.3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System)

ในปัจจุบันนั้นอุปกรณ์ไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นเนื่องด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้อุปกรณ์ไร้สายมีความฉลาดมากยิ่งขึ้น หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าอุปกรณ์ไร้สายเหล่านั้นสามารถล่วงรู้บริบท (Context Aware) ได้มากยิ่งขึ้น จอห์น พาโกนิส (John Pagonis) และ โจนาธาน ดิกซ์สัน (Jonathan Dixon) ได้กล่าวถึงความสามารถของอุปกรณ์เคลื่อนที่ซึ่งสามารถล่วงรู้ถึงตำแหน่งของผู้ใช้งานโดยใช้สภาพแวดล้อมทางกายภาพที่อยู่รอบตัวผู้ใช้นั้น ๆ [16] นอกจากนั้น คาวีธา มูธุกฤษนัน (Kavitha Muthukrishnan) ได้กล่าวถึงระบบที่สามารถล่วงรู้บริบทได้นั้น การให้บริการจะอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลเช่น เวลา ตำแหน่ง อุณหภูมิ ความเร็ว เป็นต้น [17] การให้บริการด้านตำแหน่งนั้นถูกพิจารณาโดย ยอร์ก โรธ (Jörg Roth) ซึ่งเป็นการให้บริการประเภทหนึ่งของการบริการด้านการล่วงรู้บริบท [18] การระบุตำแหน่งนั้นรองรับการใช้งานเทคโนโลยีไร้สายที่มีอยู่ได้ทำให้เกิดการนำไปประยุกต์ใช้กับการให้บริการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การให้บริการในโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับการให้บริการด้านตำแหน่งในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น จะนิยมนำมาใช้ในการติดตามตำแหน่งของหุ่นยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ในการขนส่งชิ้นงานหรือหุ่นยนต์สังเกตการณ์ [19]-[21] เป็นต้น



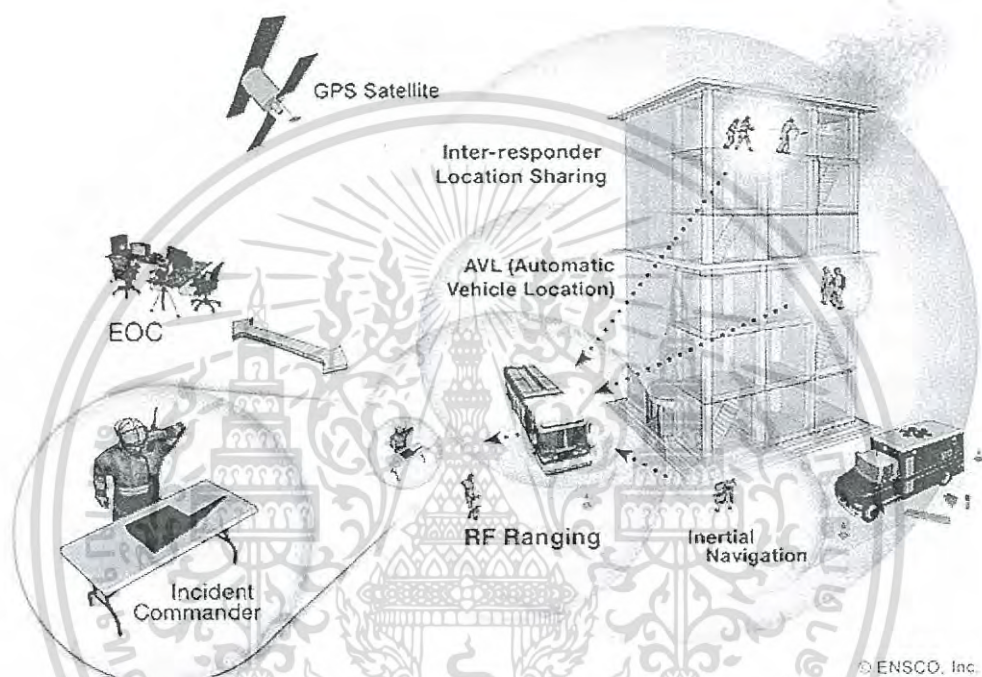
รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ADAM ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม [22]

2. การให้บริการหาตำแหน่งบุคคล

ระบบหาตำแหน่งถูกนำมาประยุกต์ใช้จำนวนมากในการให้บริการด้านการหาตำแหน่งบุคคล

ไม่ว่าจะเป็น การติดตามตำแหน่งผู้ป่วยในโรงพยาบาล [23][24] การหาอุปกรณ์ทางการแพทย์ซึ่งจะถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดแท็กไว้ รวมไปถึงการติดแท็กเด็กเกิดใหม่เพื่อป้องกันจากการลักพาตัว นอกจากนั้นยังมีการประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาเด็กหลงทางในสวนสนุกขนาดใหญ่ [25] โดยการให้เด็กสวมใส่อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะคล้ายนาฬิกา ซึ่งสถานีส่วนกลางสามารถดูเคลื่อนที่ของเด็กเหล่านั้นโดยที่ผู้ปกครองสามารถเข้าถึงได้ ระบบหาตำแหน่งไร้สายนั้นยังถูกประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่นๆ อีกไม่ว่าจะเป็น การหาตำแหน่งนักผจญเพลิงในสถานที่ที่เกิดเพลิงไหม้ [26][27] และการหาตำแหน่งนักชู้ตแรนในเหมืองแร่ [28]-[34] เป็นต้น



รูปที่ 2.8 การติดตามนักผจญเพลิงในสถานที่ที่เกิดเพลิงไหม้ [35]

3. การให้บริการด้านการนำทางภายในอาคาร ระบบนำทางนั้นเป็นที่นิยมมากในการใช้งานภายนอกอาคารซึ่งก็คือระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ซึ่งเป็นการระบุตำแหน่งโดยอาศัยดาวเทียม อย่างไรก็ตามสำหรับภายในอาคาร สัญญาณของระบบ GPS นั้นไม่สามารถทะลุผ่านเข้ามาได้ หรือผ่านเข้ามาได้น้อยมาก ทำให้การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ GPS นั้นไม่สามารถทำงานได้

ระบบนำทางภายในอาคารนั้น มีแนวโน้มสำหรับการให้บริการที่เป็นประโยชน์เช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นการนำทางให้กับนักศึกษาใหม่เพื่อไปยังห้องเรียน รวมไปถึงการนำทางภายในพิพิธภัณฑ์เมื่อผู้เยี่ยมชมต้องการชมสิ่งที่สนใจ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญกับระบบนำทางภายในอาคาร [36]-[38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การใช้แอปพลิเคชันนำทางบนโทรศัพท์มือถือภายในพิพิธภัณฑ์ [39]

2.3.1 เทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

ระบบหาตำแหน่งภายในอาคารนั้นสามารถใช้เทคโนโลยีไร้สายที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมรวมถึงความสะดวกในการใช้งาน เทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ในการหาตำแหน่ง [40] สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ อินฟราเรด อัลตราซาวด์ และความถี่วิทยุ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 อินฟราเรด (Infrared)

สัญญาณอินฟราเรดหรือเรียกว่ารังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเหมือนกับแสงทั่วไปคือ ไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงหรือสิ่งกีดขวางได้ ดังนั้นจึงค่อนข้างมีข้อจำกัดของระยะการใช้งานในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร สัญญาณอินฟราเรดมีความยาวคลื่น $10^{11} - 10^{14}$ เฮิร์ตซ์ ความเร็วในการแพร่กระจายของสัญญาณเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งอินฟราเรดจะมีระยะในการใช้งานที่ 5 เมตร อุปกรณ์จะมีขนาดเล็ก สัญญาณอินฟราเรดนั้นจะสามารถเกิดการรบกวนจากแสงภายในอาคารได้ง่าย ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจจับสัญญาณ [41]

2.3.1.2 อัลตราซาวด์ (Ultrasound)

อัลตราซาวด์ คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงที่เกินกว่าหูมนุษย์จะรับได้ ทำงานที่ย่านความถี่ต่ำคือ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยระบบนี้มีความแม่นยำที่ดีสำหรับตำแหน่งที่ตรวจจับที่มีความเร็วในการแพร่กระจายสัญญาณต่ำ โดยมีความเร็วเท่ากับ 343 เมตรต่อวินาที ข้อดีของการใช้อัลตราซาวด์คือราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตามอัลตราซาวด์ไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงได้ และจะสะท้อนกับสิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กีดขวางภายในอาคารมาก โดยมีระยะเวลาใช้งานประมาณ 3 เมตรถึง 10 เมตร และมีความละเอียด 1 เซนติเมตรของการวัดระยะ ซึ่งอุณหภูมิการใช้งานมีผลต่อประสิทธิภาพของอัลตราซาวด์ [42]

2.3.1.3 ความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF)

สัญญาณความถี่วิทยุมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากอินฟราเรดและอัลตราซาวด์ที่สามารถเดินทางผ่านวัสดุภายในอาคารได้มาก ดังนั้นระบบนี้จึงมีระยะเวลาใช้งานที่ดีภายในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีความเร็วในการแพร่กระจายของสัญญาณสูงเช่นเดียวกันกับ โดยมีความเร็วเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และเป็นระบบที่ใช้ย่านความถี่สาธารณะ จึงทำให้ระบบนี้มีระยะเวลาใช้งานที่กว้างกว่าระบบที่ใช้อินฟราเรดและอัลตราซาวด์ เทคโนโลยีไร้สายที่นิยมใช้สัญญาณความถี่วิทยุ มีดังต่อไปนี้

1. การระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID)

เทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยความถี่วิทยุเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ใช้ความถี่วิทยุ เพื่อระบุข้อมูลที่แสดงจากแท็ก (Tag) ที่ติดอยู่บนสิ่งของ ให้สามารถแจ้งข้อมูล หรือลักษณะเฉพาะ ให้ผู้อื่นได้ทราบจากเครื่องอ่าน (RFID Reader) องค์ประกอบในระบบ RFID แสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบในระบบ RFID [43]

แท็ก คือแผงวงจรรวมขนาดเล็ก ที่ใช้ติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการ โดยจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นเอาไว้ ซึ่งภายในจะบรรจุชิพขนาดเล็ก สามารถเขียนและลบข้อมูลได้ โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ขดลวดขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของซิลิกอนไมโครชิพซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ แท็กนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ โดยชนิดของแท็กนั้นดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ชนิดของแท็ก RFID [43]

หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่าน RFID ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กแล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้เครื่องอ่าน RFID ที่ดี ต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เครื่องอ่าน RFID สร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้เครื่องอ่าน RFID ทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุดดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ “Hands Down Polling” โดยเครื่องอ่าน RFID จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า “Batch Reading” เครื่องอ่าน RFID ควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้ ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID แสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของเครื่องอ่าน RFID [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บลูทูธ (Bluetooth)

บลูทูธ เป็นเทคโนโลยีคลื่นวิทยุระยะสั้นในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าด้วยกัน นิยมใช้ในเครือข่ายพื้นที่ส่วนบุคคลไร้สาย ใช้ความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ข้อดีของบลูทูธคือมีขนาดเล็กและใช้กำลังงานต่ำ โดยบลูทูธนั้นถูกแบ่งตามลักษณะการใช้งานรวมไปถึงระยะใช้งานได้ 3 คลาสดังต่อไปนี้

- คลาส 1 (Class 1) สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 100 เมตร ใช้กำลังงานประมาณ 100 mW (20 dBm)
- คลาส 2 (Class 2) สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 10 เมตร ใช้กำลังงานประมาณ 2.5 mW (4 dBm)
- คลาส 3 (Class 3) สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 10 เซนติเมตรถึง 1 เมตร ใช้กำลังงานประมาณ 1 mW (0 dBm)



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์บลูทูธ [44]

3. ซิกบี (ZigBee)

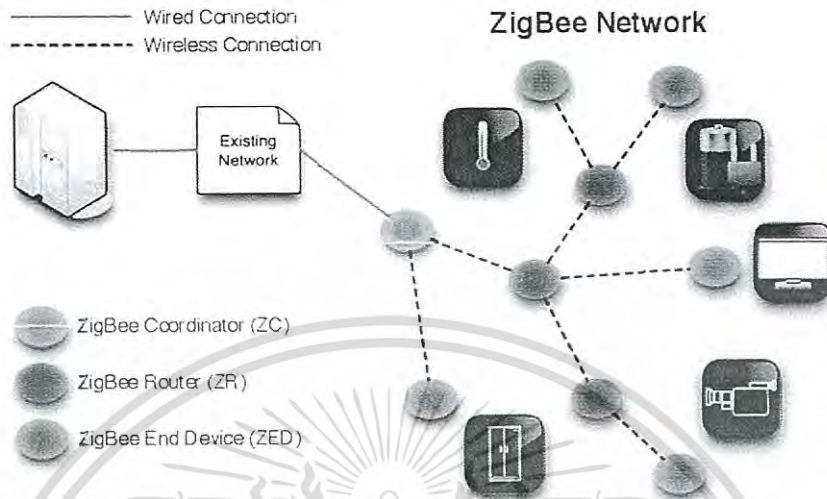
ซิกบีเป็นการสื่อสารไร้สายประเภทหนึ่งซึ่งถูกกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร ZigBee Alliance ซึ่งจะอ้างอิงตามมาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สายคือ IEEE 802.15.4 ข้อดีของซิกบีคือใช้กำลังงานน้อย อุปกรณ์มีขนาดเล็ก ความถี่สำหรับการใช้งานซิกบีจะประกอบด้วย 3 ย่านความถี่ได้แก่ 868 MHz, 915 MHz และ 2.4 GHz ซึ่งคุณสมบัติการใช้งานซิกบีในย่านความถี่ต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติการใช้งานซิกบีในย่านความถี่ต่าง ๆ

ความถี่ (MHz)	ช่วงความถี่ (MHz)	จำนวนช่องสัญญาณ	การมอดูเลต
868	868 - 868.6	1	BPSK
915	905 - 928	10	BPSK
2400	2400-2483.5	16	O-QPSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานของซิกบี แบ่งการทำงานออกได้ เป็น 3 ลักษณะคือ โคออดิเนเตอร์ (Coordinator), อุปกรณ์ปลายทาง (End Device) และเราเตอร์ (Router) แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของซิกบี [45]

จากรูปที่ 2.14 โคออดิเนเตอร์ จะทำหน้าที่สร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางกับเราเตอร์ รวมไปถึงอุปกรณ์ที่เป็นเราเตอร์กับเราเตอร์ด้วยกัน และทำหน้าที่ในการกำหนดเลขที่อยู่ (Addressing) เพื่อไม่ให้ซ้ำกันในแต่ละอุปกรณ์ รวมไปถึงทำหน้าที่ในการจัดหาเส้นทาง (Routing) อีกด้วย ในส่วนของอุปกรณ์ปลายทางจะทำหน้าที่รับข้อมูลอินพุตจากเซนเซอร์ต่าง ๆ และส่งออกไปยังอุปกรณ์เราเตอร์ โดยเราเตอร์จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางและส่งต่อไปยังโหนดอื่น ๆ ภายในเครือข่าย



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างอุปกรณ์ซิกบีในชื่อทางการค้าคือ XBee [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แลบกวางยิ่ง (Ultra Wideband: UWB)

เทคโนโลยีแลบกวางยิ่งมีความแตกต่างจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารประเภทอื่น โดยการสื่อสารแลบกวางยิ่งใช้สัญญาณที่มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏเพียงชั่วขณะหรือเป็นพัลส์ที่มีความกว้างของสัญญาณในทางเวลาที่แคบ [47] โดยอยู่ในระดับนาโนวินาที (Nano second: ns) หรือที่ระดับพิโควินาที (Pico second: ps) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกันกับสัญญาณในอุดมคติที่เรียกว่าสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse signal) โดยระบบแลบกวางยิ่งในการส่งและรับสัญญาณนั้นไม่ใช่คลื่นพาห์ (Carrierless) ในการผสมสัญญาณเหมือนในระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่แคบ แต่จะเป็นการส่งสัญญาณที่มีรูปคลื่นของพัลส์ที่มีรูปคลื่นซึ่งไม่ต่อเนื่องในทางเวลาด้วยอัตราการส่งพัลส์ ในระดับจำนวนหลายร้อยล้านพัลส์ต่อหนึ่งวินาทีในการส่งและรับสัญญาณ ซึ่งทำให้พลังงานของสัญญาณถูกกระจายอยู่ในช่วงแถบความถี่ที่กว้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สัญญาณแลบกวางยิ่งซึ่งมีแถบความถี่กว้างมากในโดเมนความถี่ [48]



รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ Wireless USB สำหรับการเชื่อมต่อกับ HDTV ซึ่งใช้เทคโนโลยี UWB [49]

สัญญาณแบบแลบกวางยิ่งไม่ได้ถูกจำกัดเฉพาะกับสัญญาณในรูปแบบอิมพัลส์ที่ครอบคลุมความถี่ช่วงเวลาที่กว้างมากเท่านั้น เทคโนโลยีแลบกวางยิ่งยังสามารถแบ่งออกเป็นแบบแถบความถี่เอกซอสาร์เป็นเอกซอสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดี่ยว (Single band approach) และแบบหลายแถบความถี่ (Multiband approach) รวมทั้งใช้เรียกเทคนิคการใช้คลื่นพาห้อย่อยที่ไม่รบกวนกันจำนวนมากในการผสมสัญญาณ หรือการมอดูเลชันแบบที่เรียกว่ามัลติแบนด์โอเอฟดีเอ็ม (MB-OFDM: Multiband OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing)) ซึ่งเป็นอีกเทคนิคที่ครอบคลุมการใช้ความถี่แถบกว้างมาก โดยประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงเช่นเดียวกัน สัญญาณแถบกว้างยิ่งแบบอิมพัลส์และมัลติแบนด์โอเอฟดีเอ็มได้รับการพิจารณาเพื่อนำไปใช้สำหรับมาตรฐานเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลของกลุ่มความร่วมมือไวมี่เดีย (WiMedia alliance) โดยใช้เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์เชื่อมต่อในรูปแบบยูเอสบีความเร็วสูงไร้สาย (High speed wireless universal serial bus (USB) interface) [50]

2.3.2 พารามิเตอร์ของสัญญาณที่ใช้ในการหาตำแหน่ง

ขั้นตอนแรกของการระบุตำแหน่งเป้าหมายนั้น ต้องทำการวัดเพื่อพิจารณาถึงพารามิเตอร์ของสัญญาณโดยจะขึ้นอยู่กับความต้องการในด้านความแม่นยำ รวมไปถึงข้อจำกัดในการออกแบบอุปกรณ์ภาคส่งและภาครับ โดยทั่วไปแล้วการระบุตำแหน่งนั้นจะใช้พารามิเตอร์เพียง 1 พารามิเตอร์ในแต่ละสัญญาณที่รับได้ อย่างไรก็ตามในการระบุตำแหน่งนั้นก็สามารถใช้พารามิเตอร์หลายพารามิเตอร์ร่วมกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคาดคะเนตำแหน่ง พารามิเตอร์ของสัญญาณที่นิยมใช้ในการคาดคะเนตำแหน่งมีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Strength: RSS)

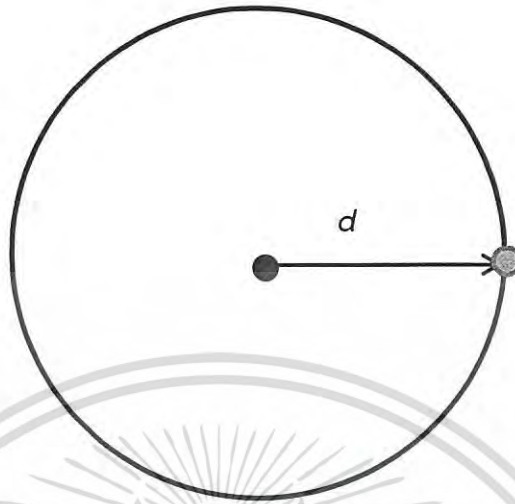
ในเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงถึงระดับกำลังงานที่ถูกรับได้ซึ่งเป็นสัญญาณรับที่อยู่หลังจากสายอากาศและรวมเอาค่าความสูญเสียที่เกิดจากสายนำสัญญาณไปด้วยแล้ว สำหรับการหาตำแหน่ง การพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้นั้น มีแนวความคิดหลักคือเมื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและกำลังที่สูญเสีย การวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ตำแหน่งเป้าหมาย สามารถคาดคะเนระยะทางระหว่างตำแหน่งเป้าหมายกับตำแหน่งที่ส่งสัญญาณได้ ระยะทางระหว่างตำแหน่งจะทำให้ได้วงกลม ซึ่งบอกถึงตำแหน่งของตำแหน่งเป้าหมายแสดงได้ดังรูปที่ 2.18 ในทางอุดมคติ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้เฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีแบบระยะทางลอการิทึม (Log-distance path loss model) ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{P}(d) = P_0 - 10n \log(d/d_0) \quad (2.1)$$

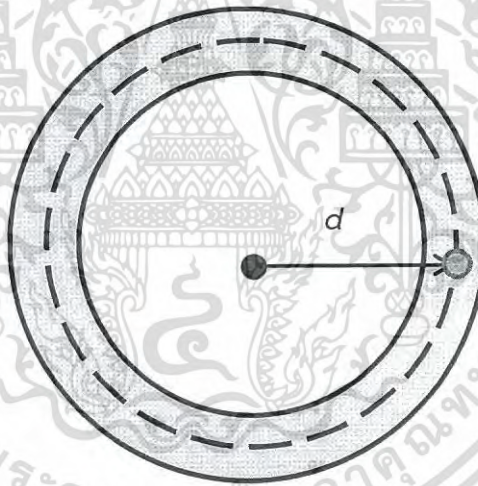
เมื่อ $\bar{P}(d)$ คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้เฉลี่ย (dB) ที่ระยะทาง d , P_0 คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (dB) ที่ระยะทางอ้างอิง d_0 , n คือ เลขชี้กำลังการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss Exponent).

อย่างไรก็ตามเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงในการวัดและระยะทางที่ได้จากความสัมพันธ์ของการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) ระยะทางที่คาดคะเนได้จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น รวมไปถึงสัญญาณที่ส่งผ่านระหว่างตำแหน่งอาจถูกผลกระทบจากการเกิดการจางหายหลายวิถี (Multipath

Fading) การบดบัง (Shadowing) และการสูญเสียเชิงวิถี [51] ดังนั้นในความเป็นจริงแล้ว การวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.18 ระยะทางระหว่างตำแหน่งในกรณีอุดมคติ [52]

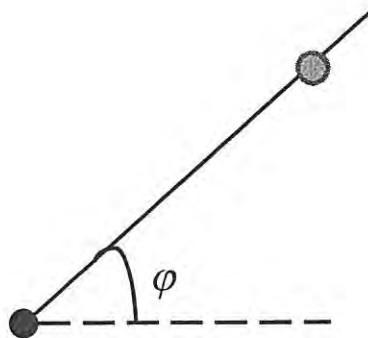


รูปที่ 2.19 ระยะทางระหว่างตำแหน่งในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร [52]

2.3.2.2 มุมของสัญญาณที่มาถึง (Angle of Arrival: AOA)

สำหรับการพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึงนั้น จะเป็นการพิจารณาทิศทางของสัญญาณระหว่างตำแหน่ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 โดยทั่วไปแล้วสายอากาศแถวลำดับ (Arrays Antenna) จะถูกใช้เพื่อทำการวัดมุมของสัญญาณที่มาถึง ซึ่งพิจารณาจากการวัดความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึงที่องค์ประกอบของสายอากาศที่แตกต่างกัน สำหรับการคาดคะเนมุมของสัญญาณที่มาถึงสำหรับการใช้สายอากาศแถวลำดับแนวตรงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Linear Array: ULA) แสดงได้ดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึงระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง [52]



รูปที่ 2.21 การพิจารณามุมของสัญญาณที่มาถึงสายอากาศอาร์เรย์แนวตรงแบบยูนิฟอร์ม [52]

2.3.2.3 เวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time of Arrival: TOA)

สำหรับการพิจารณาเวลาของสัญญาณที่มาถึงนั้น ทำให้สามารถคาดคะเนระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งได้ โดยคาดคะเนจากเวลาของสัญญาณจากตำแหน่งที่ส่งสัญญาณเดินทางไปยังตำแหน่งเป้าหมาย ดังนั้นการพิจารณาเวลาของสัญญาณที่มาถึง จะได้ระยะทางที่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ดังรูปที่ 2.19 เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการวัดเวลาของสัญญาณที่มาถึง ในแต่ละตำแหน่งจำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา หรือต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลของเวลาผ่านโพรโทคอลที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น โพรโทคอลการรับส่งแบบสองทาง (Two-way ranging protocol)

เทคนิคการคาดคะเนเวลาของสัญญาณที่มาถึง นิยมใช้กระบวนการของวงจรรองแมตช์ (Matched Filter) [53] รวมไปถึงกระบวนการสหสัมพันธ์ กำหนดให้สัญญาณที่รับได้แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

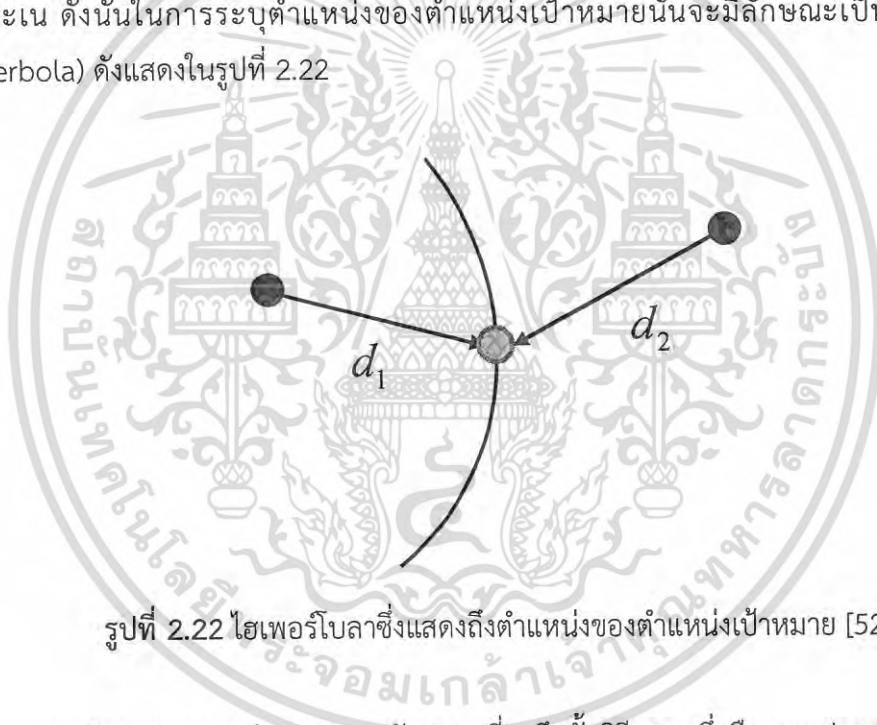
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r(t) = \alpha s(t - \tau) + n(t) \quad (2.2)$$

เมื่อ τ คือเวลาของสัญญาณที่มาถึง, α คือสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณ (Channel Coefficient) และ $n(t)$ คือสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนขาว (White Gaussian Noise) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และความหนาแน่นสเปกตรัมมีค่าเป็น $N_0/2$

2.3.2.4 ความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time Difference of Arrival: TDOA)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น การพิจารณาเวลาของสัญญาณที่มาถึงนั้น จำเป็นต้องทำการประสานเวลา (Synchronize) ระหว่างตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ อย่างไรก็ตาม การวัดความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึงนั้นสามารถหาได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการประสานเวลา ระหว่างตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ [54] ในกรณีนี้ความต่างของเวลาที่สัญญาณสองสัญญาณเดินทางมาถึงระหว่างตำแหน่งเป้าหมายไปยังตำแหน่งที่ส่งสัญญาณจำนวน 2 ตำแหน่งจะถูกคาดคะเน ดังนั้นในการระบุตำแหน่งของตำแหน่งเป้าหมายนั้นจะมีลักษณะเป็นไฮเพอร์โบลา (Hyperbola) ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ไฮเพอร์โบลาซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของตำแหน่งเป้าหมาย [52]

การพิจารณาความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึงนั้นวิธีการหนึ่งคือ การประมาณค่าเวลาของสัญญาณที่มาถึงในแต่ละตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ จากสมการที่ (2.2) หากกำหนดให้สัญญาณที่รับได้ที่ตำแหน่งที่ส่งสัญญาณที่ 1 เป็น $r_1(t)$ และ สัญญาณที่รับได้ที่ตำแหน่งที่ส่งสัญญาณที่ 2 เป็น $r_2(t)$ ดังนั้นจะสามารถหาค่าเวลาของสัญญาณที่มาถึง τ_1 สำหรับ $r_1(t)$ และ τ_2 สำหรับ $r_2(t)$ ได้ ดังนั้นค่าความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึงนั้นสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau_{\text{TDOA}} = \tau_1 - \tau_2 \quad (2.3)$$

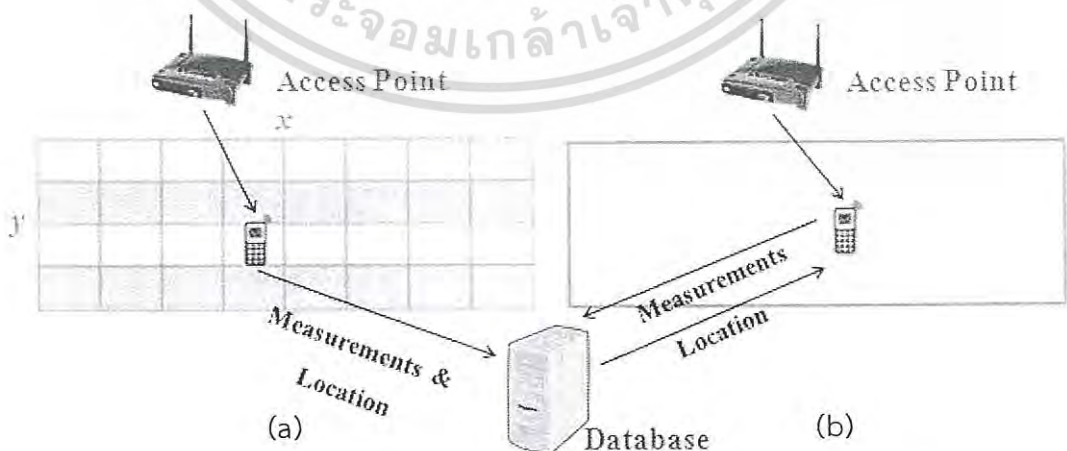
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 เทคนิคการระบุตำแหน่ง (Positioning Technique)

เทคนิคที่ใช้ในการระบุตำแหน่งจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ เทคนิคการจับคู่หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเทคนิคสแกนลายนิ้วมือ (Mapping Technique or Fingerprinting Technique) และ เทคนิคทางเรขาคณิต (Geometric Techniques) โดยเทคนิคสแกนลายนิ้วมือนั้นจะใช้ฐานข้อมูล (Database) ซึ่งได้จากการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการพิจารณาในขั้นตอนออฟไลน์หรือเรียกว่าขั้นตอนการฝึกฝน (Offline Phase or Training Phase) ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการในการระบุตำแหน่งในขั้นตอนออนไลน์หรือเรียกว่าขั้นตอนทดสอบ (Online Phase or Testing Phase) ในขณะที่เทคนิคทางเรขาคณิตไม่จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลในการประมวลผล โดยตำแหน่งจะถูกระบุโดยใช้พารามิเตอร์ของสัญญาณที่วัดได้จริงในขณะนั้น

2.3.3.1 เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprinting Technique)

เทคนิคสแกนลายนิ้วมือจะใช้ฐานข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่ง โดยมีแนวความคิดคล้ายกับวิธีการสแกนลายนิ้วมือของมนุษย์ ในขั้นตอนแรกนั้นจะเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยนำค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณมาเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณนั้นไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว ตำแหน่งเป้าหมายที่ได้คือตำแหน่งที่เมื่อทำเปรียบเทียบแล้วมีความใกล้เคียงกันที่สุด [55] วิธีการนี้สามารถใช้อุปกรณ์ภาคส่งอย่างน้อย 1 ตัวก็สามารถหาตำแหน่งได้อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของการใช้วิธีนี้ในการระบุตำแหน่งคือต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลสำหรับกรณีที่บริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งมีขนาดใหญ่ รวมไปถึงต้องมีอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลที่สามารถรองรับข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณได้ สำหรับกระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ แสดงได้ดังรูปที่ 2.23 โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.4

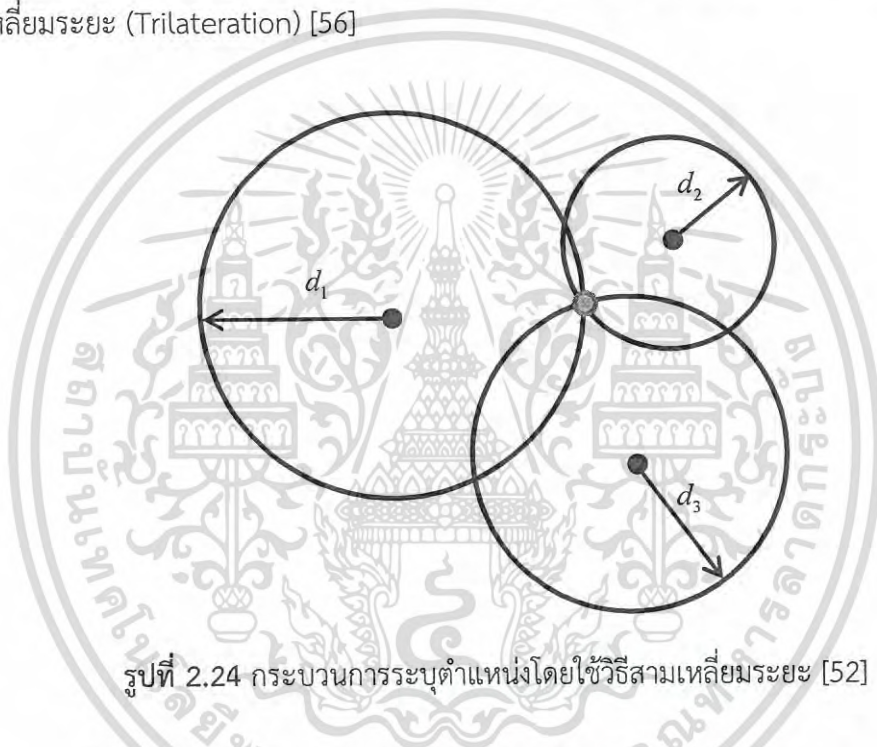


รูปที่ 2.23 กระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคสแกนลายนิ้วมือ [55]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (a) ขั้นตอนการฝึกฝน (b) ขั้นตอนออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.2 เทคนิคทางเรขาคณิต

สำหรับการระบุตำแหน่งในเทคนิคทางเรขาคณิตนั้น สามารถระบุตำแหน่งได้โดยตรงจากพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการพิจารณาโดยไม่จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูล การระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยใช้เทคนิคทางเรขาคณิตนั้นสามารถหาได้จากการซ้อนทับกัน (Intersection) ของระยะทางที่หาได้จากพารามิเตอร์ที่ต้องการพิจารณาระหว่างตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ ยกตัวอย่างเช่นการระบุตำแหน่งโดยพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณหรือเวลาที่มาถึงของสัญญาณนั้น จะสามารถหาระยะทางระหว่างตำแหน่งเป้าหมายและตำแหน่งที่ส่งสัญญาณได้ โดยมีลักษณะเป็นวงกลมดังรูปที่ 2.19 ในการระบุตำแหน่งโดยใช้วงกลมนั้นจำเป็นต้องใช้ตำแหน่งที่ส่งสัญญาณอย่างน้อย 3 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งการระบุตำแหน่งโดยวิธีการนี้จะถูกเรียกว่าวิธีสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration) [56]



รูปที่ 2.24 กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะ [52]

กำหนดให้ d_1, d_2 และ d_3 แสดงถึงระยะทางที่ได้จากการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้หรือเวลาของสัญญาณที่มาถึง สมการวงกลมสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 = d_i^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ (x_i, y_i) คือตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ เมื่อ n คือจำนวนตำแหน่งที่ส่งสัญญาณ (x, y) คือตำแหน่งเป้าหมาย

จากสมการที่ 2.4 สามารถหาตำแหน่งของจุดอ้างอิง (x, y) ได้ดังนี้

$$x = \frac{(y_2 - y_1)y_1 + (y_2 - y_3)y_2}{2[(x_2 - x_3)(y_2 - y_1) + (x_1 - x_2)(y_2 - y_3)]} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

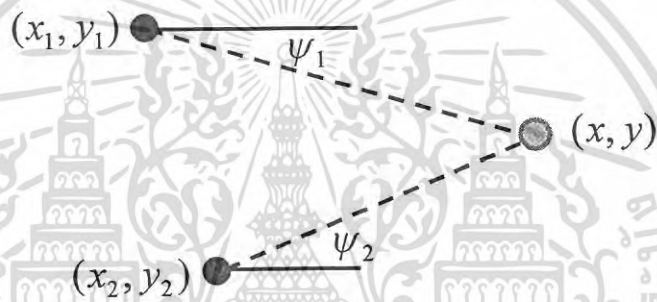
$$y = \frac{(x_2 - x_1)\gamma_1 + (x_2 - x_3)\gamma_2}{2[(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)]} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$$\gamma_1 = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \quad (2.7)$$

$$\gamma_2 = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 + d_2^2 - d_1^2 \quad (2.8)$$

นอกจากการใช้วิธีสามเหลี่ยมระยะแล้ว การระบุตำแหน่งโดยใช้มุมของสัญญาณที่มาถึงนั้น จะใช้ตำแหน่งที่ส่งสัญญาณอย่างน้อย 2 ตำแหน่ง โดยพิจารณาการตัดกันของเส้นตรง ซึ่งเรียกว่าวิธีสามเส้า (Triangulation) [56] ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีสามเส้า [52]

กำหนดให้ ψ_1 และ ψ_2 แทนมุมที่วัดได้จากตำแหน่งส่งสัญญาณที่ 1 และตำแหน่งส่งสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ สามารถแสดงสมการสำหรับการระบุตำแหน่งเป้าหมายได้ดังนี้

$$\tan \psi_1 = \frac{y - y_1}{x - x_1} \quad \text{และ} \quad \tan \psi_2 = \frac{y - y_2}{x - x_2} \quad (2.9)$$

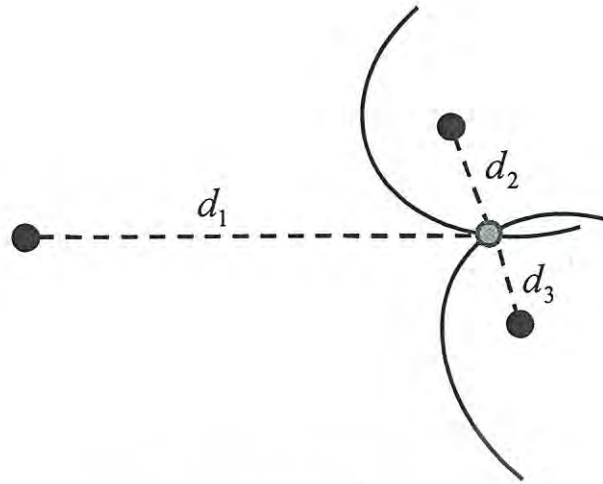
จากสมการที่ 2.9 สามารถหาตำแหน่งเป้าหมาย (x, y) ได้ดังนี้

$$x = \frac{x_2 \tan \psi_2 - x_1 \tan \psi_1 + y_1 - y_2}{\tan \psi_2 - \tan \psi_1} \quad (2.10)$$

$$y = \frac{(x_2 - x_1) \tan \psi_1 \tan \psi_2 + y_1 \tan \psi_2 - y_2 \tan \psi_1}{\tan \psi_2 - \tan \psi_1} \quad (2.11)$$

ในกรณีของการระบุตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ความต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึง จะใช้หลักการของไฮเพอร์โบลา (Hyperbola) [56] ดังแสดงในรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 กระบวนการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีไฮเพอร์โบลา [52]

จากรูปที่ 2.26 ในการระบุตำแหน่งเป้าหมาย จะต้องใช้ตำแหน่งส่งสัญญาณอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง ซึ่งสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$d_1 - d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (2.12)$$

เมื่อ $i = 2, 3$

2.4 เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ (Fingerprinting technique)

เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นได้นำเอาหลักการของการสแกนลายนิ้วมือมนุษย์มาใช้ โดยเทคนิคนี้จะมีการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณาไว้ในฐานข้อมูลก่อน ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นตอนการฝึกฝนหรือขั้นตอนออฟไลน์ (Training process or Offline process) หลังจากนั้นในกระบวนการหาตำแหน่งพารามิเตอร์ของสัญญาณจะถูกเก็บแล้วนำมาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ทำการเก็บไว้ก่อนหน้านี้ หลังจากนั้นจะทำการแสดงตำแหน่งที่มีค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณแตกต่างกันน้อยที่สุด ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า ขั้นตอนการทดสอบหรือขั้นตอนออนไลน์ (Testing process or Online process)

อย่างไรก็ตามในส่วน of ขั้นตอนการเรียนรู้ นั้น สามารถใช้กระบวนการในการประมวลผลข้อมูลเพิ่มเติม เช่น การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) และการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Clustering) เพื่อให้ได้ผลในการหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่นเดียวกับกับขั้นตอนเรียลไทม์ สามารถใช้อัลกอริทึมการเปรียบเทียบรูปแบบ (Pattern Matching Algorithm) ในการประมวลผลความแตกต่างของข้อมูลพารามิเตอร์ของสัญญาณกับข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

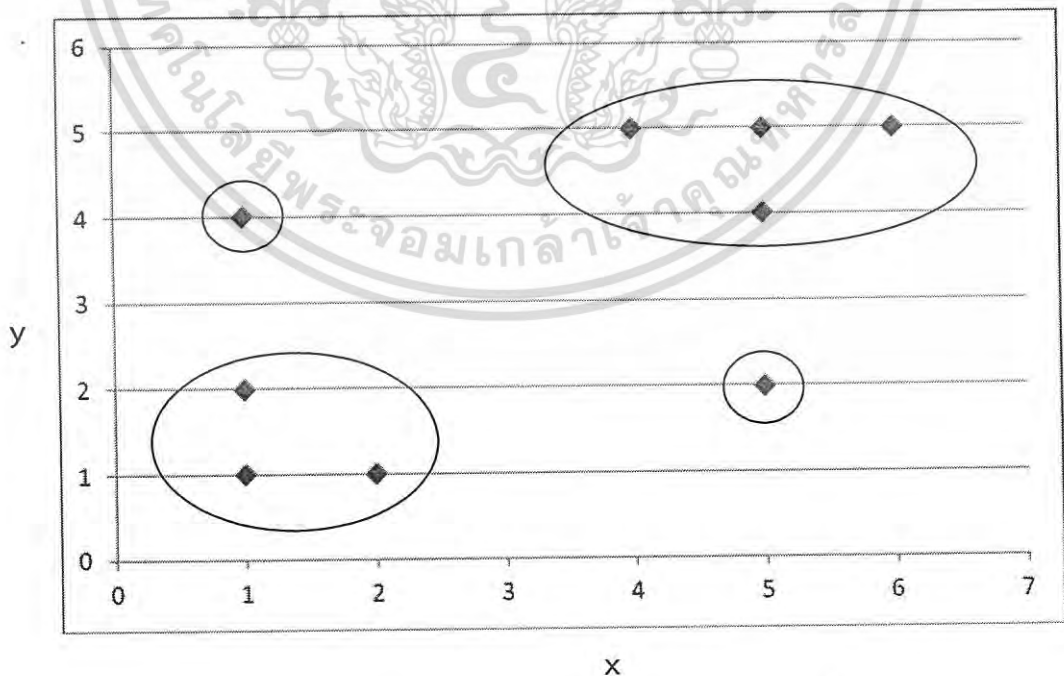
2.4.1 ขั้นตอนการฝึกฝน (Training Process)

สำหรับในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น เป็นการการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณซึ่งแสดงถึงเอกลักษณ์เฉพาะของตำแหน่งซึ่งเรียกว่าชุดข้อมูลฝึกฝน (S) โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$S = \{(m_1, p_1), (m_2, p_2), \dots, (m_n, p_n)\} \quad (2.13)$$

เมื่อ m_i คือพารามิเตอร์ของสัญญาณในตำแหน่งที่ i th, $p_i = (x_i, y_i)$ คือ ตำแหน่งสำหรับในปริภูมิ 2 มิติของพิกัดในแนวแกน x และแกน y , n คือจำนวนข้อมูลฝึกฝนทั้งหมด

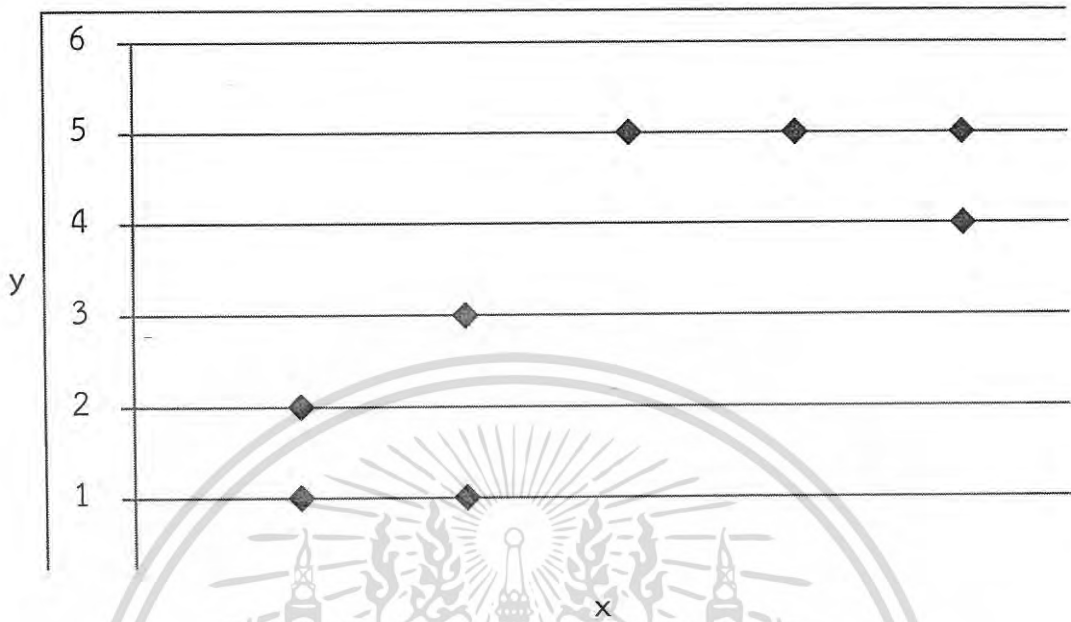
หลังจากนั้นชุดข้อมูลนั้นจะถูกนำไปประมวลผลก่อนที่จะเก็บลงฐานข้อมูล โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Clustering) นั้น เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มโดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งคือ ข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน (Similarity) จะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลนี้เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Classification) คือไม่อาศัยการจัดกลุ่มไว้ล่วงหน้าและไม่ใช้ตัวอย่างในการแบ่งกลุ่ม ลักษณะข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มนั้นจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับจำนวนกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.27 จะเห็นได้ว่าจำนวนสมาชิกของกลุ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกลุ่ม โดยจะขึ้นอยู่กับความคล้ายกันของข้อมูล เมื่อกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งเป็น 4 กลุ่ม พบว่ากลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (1,1), (1,2) และ (2,1) กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (1,4) กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (5,2) และ กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (4,5), (5,4), (5,5) และ (6,5)



รูปที่ 2.27 การแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม สำหรับข้อมูลที่มีปริมาณใกล้เคียงกันและมีจำนวนมาก อาจทำให้ไม่สามารถแบ่งกลุ่มได้หรือแบ่งกลุ่มได้ยากดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 กลุ่มข้อมูลที่มีการแบ่งแยกได้ยาก

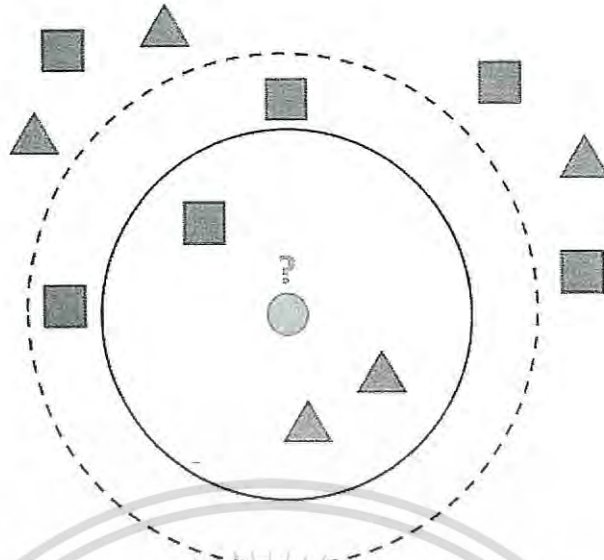
จากรูปที่ 2.28 จะเห็นได้ว่าการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มยังสามารถที่จะแบ่งได้ โดยกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (1,1), (1,2), (2,1) และ (2,3) ในขณะที่กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยข้อมูลคือ (3,5), (4,5), (5,4), (5,5) และ (6,5) แต่หากต้องการแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม นั้นสามารถทำได้ ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มเข้ามาช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งรายละเอียดของ อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.5 ต่อไป

2.4.2 ขั้นตอนทดสอบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บพารามิเตอร์ของสัญญาณชนิดเดียวกันกับที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งการเปรียบเทียบนั้นนอกจากการใช้วิธีกำลังสอง น้อยที่สุด (Least Square: LS) แล้วยังสามารถใช้อัลกอริทึมอื่น ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว (k -Nearest Neighbor Algorithm: k NN) [57]

เป็นวิธีการตัดสินใจวิธีหนึ่งซึ่งต่างจากวิธีรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองแล้ว ที่สามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้น โดยการตรวจสอบ k จำนวนที่เหมือนกันหรือ ใกล้เคียงกันมากที่สุด อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัวแสดงได้ดังรูปที่ 2.29



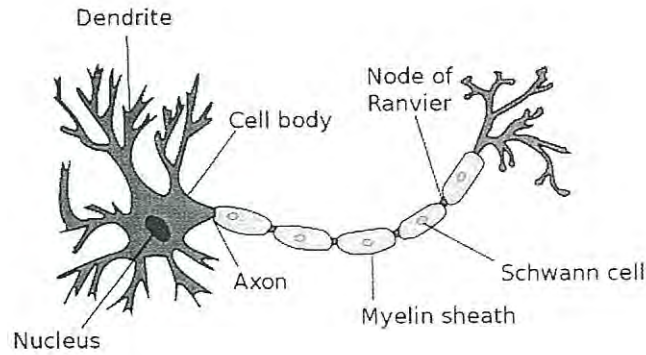
รูปที่ 2.29 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว

เทคนิคนี้จะเป็นการหาผลรวม (Count Up) ของจำนวนเงื่อนไข หรือกรณีต่าง ๆ สำหรับแต่ละการตัดสินใจ การนำอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัวไปใช้นั้น เป็นการหาระยะห่างระหว่างแต่ละตัวแปร (Attribute) ในข้อมูล ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ สำหรับขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว นั้นเริ่มต้นต้องทำการกำหนดขนาดของ k ก่อนโดนทั่วไป นิยมกำหนดให้เป็นเลขคี่ หลังจากนั้นทำการคำนวณความแตกต่างระหว่างข้อมูลเป้าหมายกับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง ข้อมูลเป้าหมายจะถูกตัดสินใจโดยพิจารณาข้อมูลตัวอย่างที่มีความแตกต่างน้อยที่สุดจำนวน k ข้อมูล ขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัวโดยละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

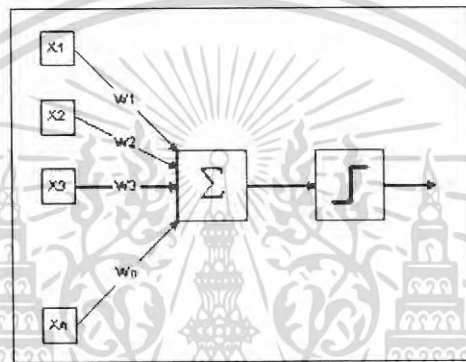
2.4.2.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [58]

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์มีการเรียนรู้ได้เหมือนมนุษย์ โดยสามารถฝึกฝนให้จดจำรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงการอุปมาความรู้ และการนำทักษะที่ได้ไปแก้ปัญหาต่างๆ โครงข่ายประสาทเทียมนี้เป็นการนำเอาแนวคิดของโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพในสมองของมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท (Neurons) และจุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า โยประสาทนำเข้า (Dendrite) ซึ่งเป็นอินพุต และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า แกนประสาทนำออก (Axon) ซึ่งเปรียบเสมือนเอาท์พุทของเซลล์ประสาท ลักษณะของเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์แสดงได้ดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 เซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ [59]



รูปที่ 2.31 โครงข่ายประสาทเทียม [59]

สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.31 ประกอบด้วยข้อมูลอินพุต ซึ่งในแต่ละข้อมูลนั้นจะมีค่าน้ำหนัก และถูกส่งไปยังฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) เพื่อทำการตัดสินใจและได้ข้อมูลเอาต์พุตออกมา

หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นข้อมูลอินพุต (x_i) จะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนัก (w_i) ของตัวเอง ซึ่งจะเรียกว่าค่าอินพุตที่ถูกจัดน้ำหนัก (m_i) ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$m_i = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n \quad (2.14)$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลอินพุต

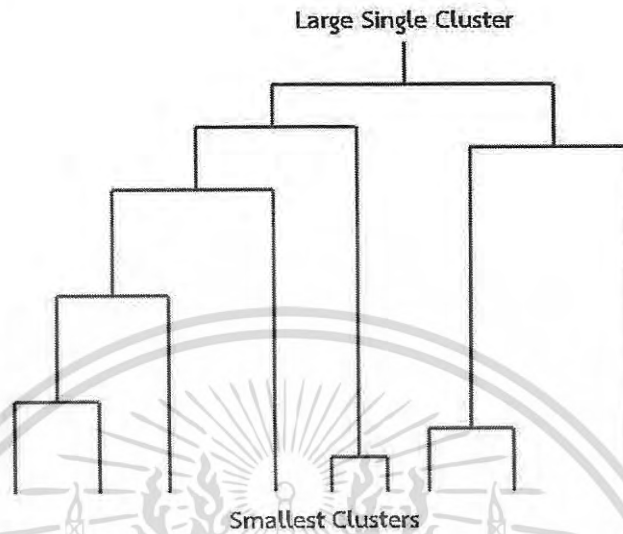
หลังจากนั้นอินพุตที่ถูกจัดน้ำหนักจะถูกป้อนให้กับฟังก์ชันกระตุ้นเพื่อให้ได้ผลเอาต์พุต (o) ออกมา สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$o = f(n) \quad (2.15)$$

2.5 อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม (Clustering Algorithm)

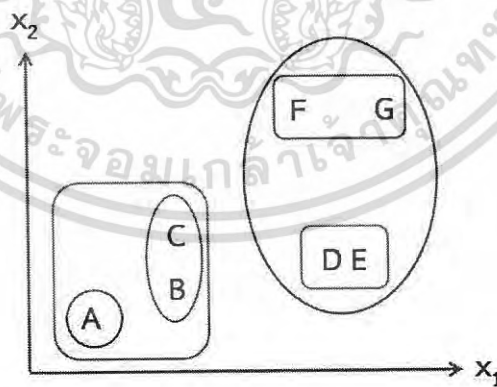
การแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นการจัดกลุ่มของข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกันไว้ด้วยกันและมีความแตกต่างกันจากสมาชิกของกลุ่มอื่น โดยทั่วไปแล้วการจัดกลุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การที่ไม่วางเงื่อนไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้น และการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นนั้นจะเป็นการจัดกลุ่มโดยอาศัยเดนโดแกรม (Dendrogram) ซึ่งลักษณะคล้ายโครงสร้างของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ลักษณะการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้น

สำหรับการจัดกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นมีหลักการแบ่งกลุ่มคือแยกข้อมูลในกลุ่มใหญ่ออกเป็นกลุ่มย่อย ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถประมวลผลได้เร็ว ดังนั้นจึงสามารถใช้กับข้อมูลที่มีปริมาณมากได้ เพราะไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างของข้อมูลก่อนเหมือนการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นการจัดกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ลักษณะการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก

2.5.1 การแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchical Clustering)

เป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการจัดกลุ่มสำหรับกรณีที่ข้อมูลมีไม่มากนัก โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งก่อน โดยขั้นตอนในการแบ่งกลุ่มแบบลำดับชั้นนั้นมีขั้นตอนเอกสารนี้ ดังต่อไปนี้ ที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 การพิจารณาความคล้ายคลึง (Similarity) กัน

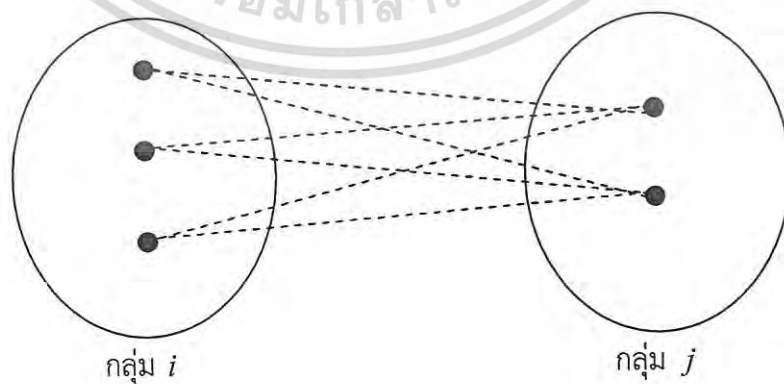
ในการพิจารณาความคล้ายคลึงกันนั้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล ซึ่งชนิดของข้อมูลหรือตัวแปรที่สามารถใช้อัลกอริทึมการแบ่งแบบลำดับขั้นได้มี 3 ลักษณะ คือ ข้อมูลเป็นสเกลอันตรภาค (Interval scale) หรือสเกลอัตราส่วน (Ratio scale) ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ (Count Data) และข้อมูลอยู่ในรูปไบนารี (Binary) ดังนั้นในการพิจารณาความคล้ายคลึงกันของข้อมูลนั้นต้องเลือกให้เหมาะสม วิธีในการพิจารณาความคล้ายคลึงกันของข้อมูลนั้นมีดังต่อไปนี้

- การพิจารณาความคล้ายคลึงด้วยระยะห่าง เป็นการพิจารณาระยะห่างระหว่างข้อมูล หากระยะห่างระหว่างข้อมูลของคุณีค่าน้อย จะถือว่าข้อมูลคู่่นั้นมีความคล้ายคลึงกันควรจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน
- การพิจารณาความคล้ายด้วยชนิดข้อมูล เป็นการพิจารณาประเภทของข้อมูล หรือกรณีที่สนใจ ถ้าค่าความคล้ายของประเภทข้อมูลคู่ใดมีค่ามาก จะถือว่าข้อมูลคู่นั้นมีความคล้ายคลึงกันควรจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน
- การพิจารณาความคล้ายด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ถ้าข้อมูลคู่ใดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มาก จะถือว่าข้อมูลคู่นั้นมีความคล้ายคลึงกันควรจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.5.1.2 หลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่ม

หลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่มในแต่ละขั้นตอนมีหลายวิธี ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างวิธีการที่นิยมใช้ดังต่อไปนี้

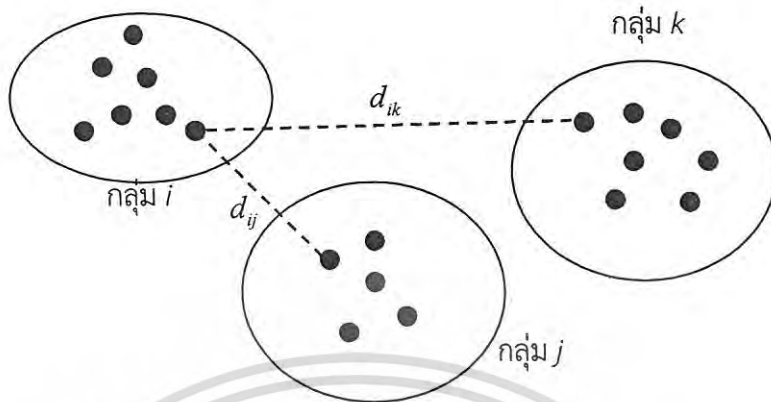
- Average Linkage Between Groups วิธีนี้จะคำนวณหาระยะห่างเฉลี่ยของทุกคู่ของข้อมูล โดยที่ข้อมูลกลุ่มหนึ่งจะอยู่ในกลุ่ม i ส่วนข้อมูลอีกกลุ่มหนึ่งอยู่ในกลุ่ม j ถ้าข้อมูลจากกลุ่ม i มีระยะห่างเฉลี่ยจาก กลุ่ม j สั้นกว่าระยะห่างจากกลุ่มอื่นๆ จะนำกลุ่ม i และ j รวมกันเป็นกลุ่มเดียวกัน



รูปที่ 2.34 Average Linkage Between Groups

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

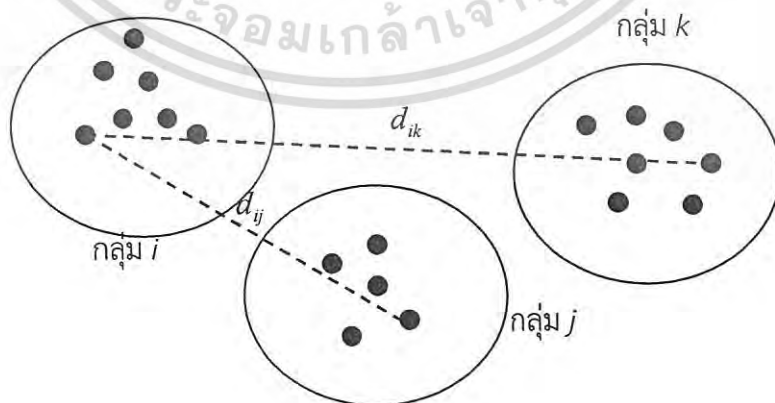
- Average Linkage Within Groups วิธีนี้จะรวมกลุ่มเข้าด้วยกันถ้าระยะทางเฉลี่ยระหว่างทุกข้อมูลใน กลุ่มนั้นมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.35 Single Linkage

- Single Linkage หรือ Nearest Neighbor วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะทางที่สั้นที่สุด ตัวอย่างการรวมกลุ่มโดยวิธี Single Linkage แสดงได้ดังรูปที่ 2.35 โดยที่ d_{ij} เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดของข้อมูลระหว่างกลุ่ม i และ j ในขณะที่ d_{ik} เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดของข้อมูลระหว่างกลุ่ม i และ k ดังนั้นในกรณีนี้จะรวมเอากลุ่ม i และ j เข้าด้วยกันเนื่องจาก $d_{ij} < d_{ik}$

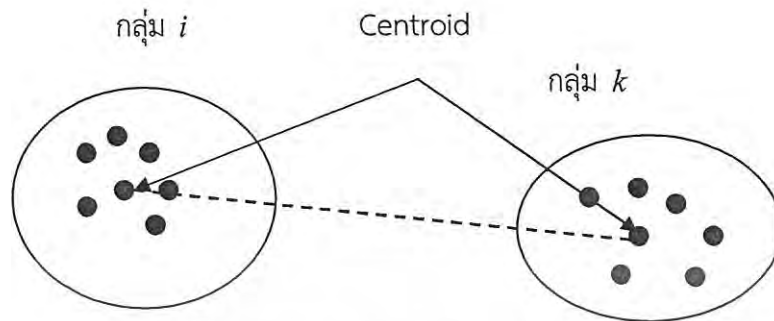
- Complete Linkage หรือ Furthest Neighbor Technique วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกันโดยพิจารณาจากระยะทางที่ยาวที่สุด ตัวอย่างการรวมกลุ่มโดยวิธี Complete Linkage แสดงได้ดังรูปที่ 2.36 โดยที่ d_{ij} เป็นระยะทางที่ยาวที่สุดของข้อมูลระหว่างกลุ่ม i และ j ในขณะที่ d_{ik} เป็นระยะทางที่ยาวที่สุดของข้อมูลระหว่างกลุ่ม i และ k ดังนั้นในกรณีนี้จะรวมเอากลุ่ม i และ j เข้าด้วยกันเนื่องจาก $d_{ij} < d_{ik}$



รูปที่ 2.36 Complete Linkage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Centroid Clustering วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกัน โดยพิจารณาจากระยะห่างของจุดกลางของกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 Centroid Clustering

วิธีการนี้จะคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดกลางของกลุ่มทีละคู่ ในที่นี้จะเรียกค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางของแต่ละ กลุ่มว่า Centroid เนื่องจากการจัดกลุ่มข้อมูลจะพิจารณาจากตัวแปรหลายตัวพร้อมกัน ถ้าระยะห่างระหว่าง Centroid ของกลุ่มในคู่ใดต่ำจะรวมกลุ่มคู่ นั้นเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน

- Median Clustering วิธีนี้จะรวมกลุ่ม 2 กลุ่มเข้าด้วยกัน โดยให้แต่ละกลุ่มสำคัญเท่ากัน (ให้น้ำหนักเท่ากัน) ในขณะที่วิธี Centroid Clustering จะให้ความสำคัญแก่กลุ่มที่มีขนาดใหญ่มากกว่ากลุ่มที่มีขนาดเล็ก Median Clustering จะใช้ค่า Median เป็นค่ากลางของ Centroid ถ้าระยะห่างระหว่างค่า Median ของ กลุ่มในคู่ใดต่ำจะรวมกลุ่มคู่ นั้นเข้าด้วยกัน

2.5.1.3 การแบ่งกลุ่มแบบลบออก (Subtractive Clustering)

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบออกถูกนำเสนอใน [60] ซึ่งจะใช้ค่าความหนาแน่นของข้อมูลในการกำหนดจุดกลางของข้อมูล โดยพัฒนามาจากอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเม้าท์เทน (Mountain Clustering) ที่ใช้จุดตัดของข้อมูล (Grid Point) มาพิจารณาค่าความหนาแน่นเพื่อใช้ในการจัดกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีความแตกต่างกันมากทำให้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเม้าท์เทนใช้เวลาในการประมวลผลมาก ซึ่งการอัลกอริทึมการกลุ่มแบบลบออกนั้นจะใช้พิกัดของข้อมูล (Data Point) มาพิจารณาค่าความหนาแน่นทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น

การแบ่งกลุ่มแบบลบออกนั้น ไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มรวมไปถึงค่ากลางของแต่ละกลุ่มก่อน โดยเริ่มต้นจะต้องคำนวณค่าความหนาแน่นของข้อมูลก่อน หลังจากนั้นทำการเลือกค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดเป็นจุดกลางของกลุ่ม และทำการคำนวณค่าความหนาแน่นของข้อมูลใหม่จนกระทั่งตรงตามเงื่อนไขของการหยุด ขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบออกโดยละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

2.5.2 การแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก (Partial Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณมาก เนื่องจากสามารถประมวลผลได้เร็ว ซึ่งอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เป็นที่นิยมได้แก่ การแบ่งกลุ่มแบบเคมีนและการแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน

2.5.2.1 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering) [61]

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มนั้นจะไม่ซ้ำกัน ในการแบ่งกลุ่มนั้นจะพิจารณาจากความแตกต่างของระยะทาง การแบ่งกลุ่มวิธีนี้เริ่มต้นจะทำการเลือกจำนวนกลุ่ม (k) ที่ต้องการแบ่ง จากนั้นก็จะทำการคำนวณจุดกลาง (Centroid) ของกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต จากนั้นนำข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่มเปรียบเทียบกับจุดกลางของแต่ละกลุ่ม เพื่อทำการแบ่งข้อมูลไปยังกลุ่มที่มีความแตกต่างของระยะทางน้อยที่สุด ขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนโดยละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

2.5.2.2 การแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means Clustering) [62]

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน เป็นการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถซ้อนทับหรือซ้ำกันได้ วิธีการนี้เป็นการจัดกลุ่มที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายโดยอาศัยการให้ค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลในกลุ่มต่าง ๆ ซึ่งได้มาจากระยะทางระหว่างข้อมูลกับจุดกลางของกลุ่ม ดังนั้นการหาระยะทางจึงมีความสำคัญต่อการแบ่งกลุ่ม เริ่มต้นการแบ่งกลุ่มจะต้องกำหนดเงื่อนไขในการหยุดให้กับข้อมูล รวมไปถึงการกำหนดจุดกลางเริ่มต้นให้กับข้อมูล นอกจากนั้นยังต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ฟัซซี (m) ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 1 หลังจากนั้นจะเป็นการคำนวณความเป็นสมาชิกกลุ่มของข้อมูลกับกลุ่มต่าง ๆ แล้วทำการคำนวณจุดกลางของข้อมูลใหม่ แล้วทำการตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุด ขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีนโดยละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

2.6 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย ระบบการหาตำแหน่งภายในอาคาร เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ และอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม ในส่วนของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายนั้นถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2514 โดยมาตรฐานของของเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายคือ IEEE802.11 ในส่วนของระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารนั้น นิยมใช้เทคโนโลยีไร้สายคือความถี่วิทยุเนื่องด้วยสามารถเดินทางผ่านวัสดุภายในอาคารได้ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สามารถนำมาพิจารณาได้นั้นจะประกอบด้วยค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ มุมของสัญญาณที่มาถึง เวลาของสัญญาณที่มาถึง และความต่างของเวลาที่มาถึง สำหรับการคาดคะเนตำแหน่งนั้นจะมีเทคนิคในการระบุตำแหน่งคือเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือและเทคนิคทางเรขาคณิต เมื่อพิจารณาถึงการระบุ

ภายในอาคารแล้วเทคนิคทางเรขาคณิตจะได้รับผลกระทบจากการเกิดการจางหายหลายวิถี การบดบัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงการสูญเสียเชิงวิถึ ในขณะที่เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นจะใช้เอกลักษณ์ของตำแหน่งทำให้สามารถคาดคะเนตำแหน่งได้แม่นยำกว่าเทคนิคทางเรขาคณิต อย่างไรก็ตามเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือต้องมีการเก็บข้อมูลเอกลักษณ์ของตำแหน่งก่อนจึงจะสามารถคาดคะเนตำแหน่งได้ ในส่วนของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มถูกแบ่งเป็นการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นและการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวก ในส่วนของการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างลำดับชั้นนั้น จะเป็นการแบ่งกลุ่มกับกรณีที่มีข้อมูลไม่มากนัก โดยไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มก่อน ในขณะที่การแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นสามารถประมวลผลได้เร็ว และนิยมใช้สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณมาก แต่จำเป็นต้องมีการกำหนดจำนวนกลุ่มก่อน

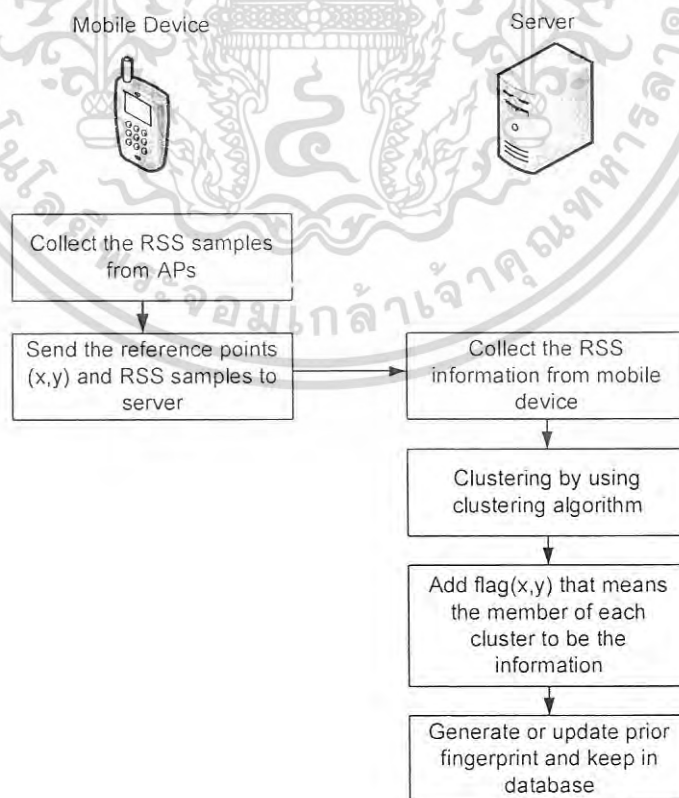


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งโดยใช้ เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

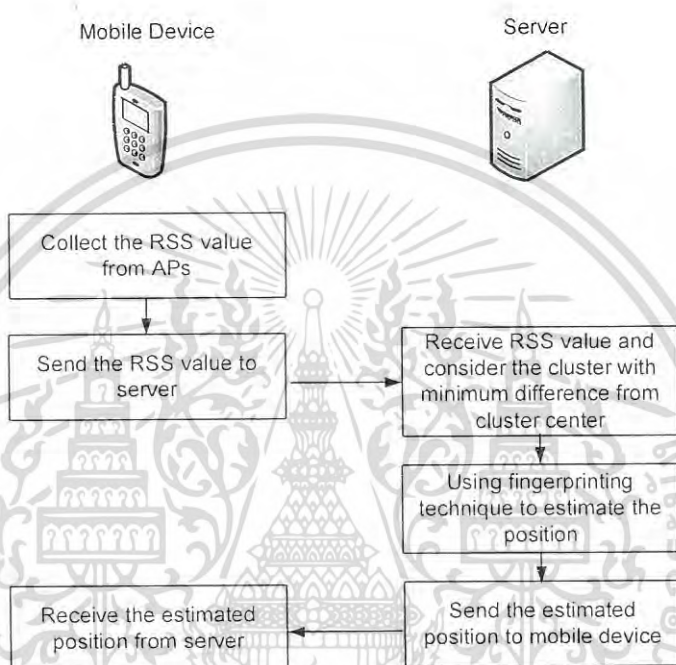
3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มสำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้นเป็นเทคนิคที่ใช้ฐานข้อมูลเพื่อการระบุตำแหน่งโดยพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งร่วมกับการใช้อัลกอริทึมต่าง ๆ มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ สำหรับหลักการทำงานในขั้นตอนการฝึกฝนแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 อุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการสำรวจค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ต้องการนำมาพิจารณา ซึ่งในงานวิจัยนี้คือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้แล้วส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ หลังจากนั้นเซิร์ฟเวอร์จะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มเพื่อทำการรวมกลุ่มค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่มีค่าใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน และทำการเพิ่มตัวบ่งชี้ (Flag) ซึ่งบ่งบอกถึงกลุ่มของข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูลพร้อมกับค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละตำแหน่งด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการฝึกฝน นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับหลักการทำงานในขั้นตอนการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุตำแหน่งเป้าหมายโดยนำค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณมาเปรียบเทียบกับความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณนั้นไว้ในฐานข้อมูลก่อนหน้าแล้ว อุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการสำรวจค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ในตำแหน่งเป้าหมายและส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ หลังจากนั้นเซิร์ฟเวอร์จะทำการพิจารณากลุ่มของข้อมูลที่ได้รับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมต่าง ๆ แล้วส่งตำแหน่งเป้าหมายที่คาดคะเนได้กลับไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลของลายลักษณ์ต้นแบบ

การแบ่งกลุ่มข้อมูลของลายลักษณ์ต้นแบบนั้นจะนำเสนออัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่มทั้ง 2 ประเภทคือการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกและการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้าง สำหรับการแบ่งกลุ่มแบบแบ่งพวกนั้นจะใช้อัลกอริทึมคืออัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนและอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีมีน ทั้งนี้ในส่วนของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนยังจะพิจารณาถึงอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอาร์โมนิกมีนและอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวิร์สอาร์โมนิกมีนด้วย ในส่วนการแบ่งกลุ่มแบบโครงสร้างนั้นจะใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลอบออก

3.2.1 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบเคมีนนั้นจะพิจารณาจากความแตกต่างของระยะทาง โดยจะทำการเลือกจำนวนกลุ่ม (k) ที่ต้องการแบ่ง จากนั้นคำนวณจุดกลาง (Centroid) ของกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยทางเลขคณิต ข้อมูลจะถูกแบ่งไปยังแต่ละกลุ่มโดยเปรียบเทียบกับจุดกลางของแต่ละกลุ่ม แล้วเลือกกลุ่มที่มีเอกสารเป็นเอกลักษณ์สำหรับใช้ในการใช้งานเพื่อการค้นหา เมื่อผู้ดูแลเห็นใบปลิวโฆษณาตามกำแพง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างของระยะทางน้อยที่สุด หลักการทำงานของอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีดังต่อไปนี้

3.2.1.1 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering)

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน [61] หรือเรียกว่าการแบ่งกลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Clustering Algorithm) นั้น มีขั้นตอนวิธีในการแบ่งกลุ่มดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น ดังต่อไปนี้

- ข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i)
- จำนวนกลุ่ม (k)
- ค่ากลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม (c_j)
- ค่าคงที่สำหรับเงื่อนไขการหยุด (ϵ)

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มต้นการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ระหว่างข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i) กับค่ากลางของแต่ละกลุ่มที่กำหนดไว้ (c_j) ดังสมการที่ 3.1

$$d_{ij} = \|x_i - c_j\| \quad (3.1)$$

เมื่อ $j = 1, 2, \dots, k$

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณากลุ่มให้กับข้อมูลจากระยะทางแบบยูคลิด (d_{ij}) ที่มีค่าน้อยที่สุด โดยสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$j = \operatorname{argmin} d_{ij} \quad (3.2)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ($c_{j,\text{new}}$) ใหม่ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของสมาชิกในกลุ่ม ดังสมการที่ 3.3

$$c_{j,\text{new}} = \frac{1}{|c_j|} \sum_{x \in c_j} x_i \quad (3.3)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งแสดงถึงค่าความแตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มและค่ากลางของแต่ละกลุ่ม

$$KM = \sum_{j=1}^k \sum_{x \in c_j} \|x_i - c_j\|^2 \quad (3.4)$$

ขั้นตอนที่ 6 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-5 จนกระทั่งเงื่อนไขของการหยุดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

$$|KM_{\text{old}} - KM_{\text{new}}| \leq \epsilon \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน (K-Harmonic Means Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน [63] เป็นวิธีที่พัฒนาจากการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน โดยจะใช้ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิกแทนการหารระยะทางแบบยูคลิดที่น้อยที่สุด โดยการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น ดังต่อไปนี้

- ข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i)
- จำนวนกลุ่ม (k)
- ค่ากลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม (c_j)
- ค่าคงที่สำหรับเงื่อนไขการหยุด (ϵ)

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มต้นการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ระหว่างข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i) กับค่ากลางของแต่ละกลุ่มที่กำหนดไว้ (c_j) ดังสมการที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณากลุ่มให้กับข้อมูลโดยการคำนวณค่าความเป็นสมาชิก $m(c_j | x_i)$ ของข้อมูลทุกตัว กับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$m(c_j | x_i) = \frac{1/d_{ij}^2}{\sum_{i=1}^k 1/d_{ij}^2} \quad (3.6)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูล $w(x_i)$ ดังสมการต่อไปนี้

$$w(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^k 1/d_{ij}^2}{\left(\sum_{i=1}^k (1/d_{ij}^2)\right)^2} \quad (3.7)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ($c_{j,new}$) ใหม่ โดยพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกและค่าน้ำหนักของข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

$$c_{j,new} = \frac{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i)} \quad (3.8)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งแสดงถึงค่าความแตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มและค่ากลางของแต่ละกลุ่ม

$$KHM = \sum_{i=1}^n \frac{k}{\sum_{j=1}^k 1/d_{ij}^2} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-6 จนกระทั่งเงื่อนไขของการหยุดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

$$|KHM_{old} - KHM_{new}| \leq \varepsilon \quad (3.10)$$

3.2.1.3 การแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวิร์สฮาร์โมนิกมีน (K-Inverse Harmonic Means Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวิร์สฮาร์โมนิกมีน [64] จะใช้ฟังก์ชันเรเดียลเบสิสแบบผกผัน (Inverse Radial Basis Function) แทนการหาระยะทางยูคลิดที่น้อยที่สุด โดยการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวิร์สฮาร์โมนิกมีนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น ดังต่อไปนี้

- ข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i)
- จำนวนกลุ่ม (k)
- ค่ากลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม (c_j)
- ค่าเบต้า (β)
- ค่าคงที่สำหรับเงื่อนไขการหยุด (ε)

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มต้นการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ระหว่างข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i) กับค่ากลางของแต่ละกลุ่มที่กำหนดไว้ (c_j) ดังสมการที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณากลุ่มให้กับข้อมูลโดยการคำนวณค่าความเป็นสมาชิก $m(c_j | x_i)$ ของข้อมูลทุกตัว กับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$m(c_j | x_i) = \frac{\exp((- \beta) \cdot d_{ij})}{\sum_{j=1}^k \exp((- \beta) \cdot d_{ij})} \quad (3.11)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูล $w(x_i)$ ดังสมการต่อไปนี้

$$w(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^k 1/d_{ij}^2}{\left(\sum_{i=1}^k (1/d_{ij}) \right)^2} \quad (3.12)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ($c_{j,new}$) ใหม่ โดยพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกและค่าน้ำหนักของข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

$$c_{j,\text{new}} = \frac{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i) x_i}{\sum_{i=1}^n m(c_j | x_i) w(x_i)} \quad (3.13)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งแสดงถึงค่าความแตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มและค่ากลางของแต่ละกลุ่ม

$$KIHM = \sum_{i=1}^n \frac{k}{\sum_{j=1}^k \exp((- \beta) \cdot d_{ij})} \quad (3.14)$$

ขั้นตอนที่ 7 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-6 จนกระทั่งเงื่อนไขของการหยุดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

$$|KIHM_{\text{old}} - KIHM_{\text{new}}| \leq \varepsilon \quad (3.15)$$

3.2.2 การแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน [62] นั้น ข้อมูลในแต่ละกลุ่มสามารถซ้อนทับหรือซ้ำกันได้ อัลกอริทึมนี้อาศัยการให้ค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลในกลุ่มต่าง ๆ ซึ่งได้มาจากระยะทางระหว่างข้อมูลกับจุดกลางของกลุ่ม โดยการแบ่งกลุ่มแบบฟัซซีซีมีนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้น ดังต่อไปนี้

- ข้อมูลที่ต้องการแบ่งกลุ่ม (x_i)
- จำนวนกลุ่ม (k)
- ค่ากลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม (c_j)
- ค่าพารามิเตอร์ฟัซซี (m)
- ค่าคงที่สำหรับเงื่อนไขการหยุด (ε)

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณากลุ่มให้กับข้อมูลโดยการคำนวณค่าความเป็นสมาชิก (U) ของข้อมูลทุกตัว กับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{\|x_i - c_j\|^{-2/(m-1)}}{\sum_{j=1}^k \|x_i - c_j\|^{-2/(m-1)}} \quad (3.16)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่ากลางของแต่ละกลุ่ม (c_j) ใหม่ โดยพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกและค่าน้ำหนักของข้อมูลดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n U_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n U_{ij}^m} \quad (3.17)$$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งแสดงถึงค่าความแตกต่างรวมทั้งหมดระหว่างข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มและค่ากลางของแต่ละกลุ่ม

$$FCM = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_i - c_j)^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (3.18)$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-4 จนกระทั่งเงื่อนไขของการหยุดนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

$$\|O_{FCM(old)} - O_{FCM(new)}\| \leq \varepsilon \quad (3.19)$$

3.2.3 การแบ่งกลุ่มแบบลบออก (Subtractive Clustering)

การแบ่งกลุ่มแบบลบออก [65] นั้น ไม่จำเป็นต้องกำหนดจำนวนกลุ่มรวมไปถึงค่ากลางของแต่ละกลุ่มก่อน วิธีการนี้จะใช้เวลาน้อยในการประมวลผลและสามารถประมาณค่าได้ดี โดยการแบ่งกลุ่มแบบลบออกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่าความหนาแน่นของข้อมูล $D_i(x_i)$ โดยให้ข้อมูลทุกจุดเป็นค่ากลางของแต่ละกลุ่ม

$$D_i(x_i) = \sum_{j=1}^n e^{-a\|x_i - x_j\|^2} \quad (3.20)$$

เมื่อ $a = 4/r_a^2$ โดยที่ r_a ขนาดรัศมีของกลุ่มข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 ค่าความหนาแน่นของข้อมูลที่สูงที่สุดจะถูกเลือกเป็นจุดกลางของกลุ่ม หลังจากนั้นค่าความหนาแน่นของข้อมูลจุดอื่น ๆ จะถูกคำนวณใหม่

$$D_i(x_i) = D_i^*(x_i) - D(c_k) \cdot e^{-\beta\|x_i - x_c\|^2} \quad (3.21)$$

เมื่อ $D_i(x_i)$ ค่าความหนาแน่นของข้อมูลหลังจากคำนวณใหม่แล้ว

$D_i^*(x_i)$ ค่าความหนาแน่นของข้อมูลก่อนการคำนวณใหม่

$D(c_k)$ ค่าความหนาแน่นของข้อมูลของกลุ่มที่ k

$\beta = 4/r_b^2$ เมื่อ r_b คือ ขนาดรัศมีของกลุ่มข้อมูลที่ลดลง

x_c จุดกลางของกลุ่มข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งตรงตามเงื่อนไขของการหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(c_k) < D_i(x_i) \cdot \varepsilon \quad (3.22)$$

3.3 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ

สำหรับเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น หลังจากทำการสร้างลายลักษณ์ต้นแบบแล้ว ก็จะมาคาดคะเนตำแหน่งโดยนำพารามิเตอร์ของลายลักษณ์ทดสอบไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ของลายลักษณ์ต้นแบบในทุกตำแหน่ง โดยคำนวณหาความแตกต่างของพารามิเตอร์ระหว่างลายลักษณ์ต้นแบบและลายลักษณ์ทดสอบในแต่ละตำแหน่ง ขั้นตอนในการคาดคะเนตำแหน่งสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว

3.3.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

ในการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด [66] นั้น เมื่อกำหนดให้ลายลักษณ์ต้นแบบ (S_i) ซึ่งมีจำนวน m จุด และลายลักษณ์ทดสอบเป็น (s) สามารถคำนวณค่าความแตกต่างของลายลักษณ์ (d_i) โดยใช้ระยะทางยูคลิดแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$d_i = \sqrt{\sum_{i=1}^m (S_i - s)^2} \quad (3.23)$$

พิกัดตำแหน่งที่คาดคะเนได้จากเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ (x_c, y_c) สามารถนิยามได้จากพิกัดตำแหน่งที่มีค่าความแตกต่างของลายลักษณ์ที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(x_c, y_c) = \arg \min_{x, y} d_i(x, y) \quad (3.24)$$

3.3.2 อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว (k -Nearest Neighbor Algorithm : k NN)

อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว [67] เป็นวิธีในการตัดสินใจวิธีหนึ่งซึ่งต่างจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ที่สามารถขยายขอบเขตของการตัดสินใจให้มากขึ้น โดยการตรวจสอบ k จำนวนที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับข้อมูลแบบตัวเลข โดยขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัวมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า k ที่ต้องการพิจารณา สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือในการกำหนดค่า k ควรกำหนดให้เป็นเลขคู่สำหรับกรณีข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ เนื่องจากหากกำหนดเป็นเลขคู่อาจจะทำให้ตัดสินใจไม่ได้ว่าข้อมูลนั้นควรจะเป็นข้อมูลใด

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความแตกต่างของลายลักษณ์ (d_i) โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้การคำนวณความแตกต่างโดยใช้ระยะทางยูคลิดตามสมการที่ 3.23

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาความแตกต่างของข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุดจำนวน k ตัวตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นของข้อมูลที่สนใจโดยในที่นี้สำหรับการหาตำแหน่ง เมื่อพิจารณาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลแล้วผลลัพธ์ของข้อมูลจะอยู่ในรูปพิกัดของตำแหน่ง (x, y) ซึ่งเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ที่ได้จำนวน k ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(x_c, y_c) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (x_i, y_i) \quad (3.25)$$

3.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ

ในการวิเคราะห์หาความแม่นยำของเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สายนั้นจะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดระยะทาง โดยกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_c, y_c) เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ และกำหนดให้พิกัดตำแหน่ง (x_e, y_e) เป็นพิกัดที่ถูกต้อง ค่าความผิดพลาดของระยะทาง e_d จะสามารถคำนวณได้จาก

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (3.26)$$

ค่าความผิดพลาดของระยะทางนี้จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งจะมี ความแม่นยำมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

3.5 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มสำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือมีขั้นตอนการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการฝึกฝนนั้นอุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการสำรวจค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ จากนั้นจะใช้ อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มเพื่อทำการจับกลุ่มค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่มีค่าใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่น่าเสนอคือ การแบ่งกลุ่มแบบฟัชซีซิมิน การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมิน และการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและอัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดจำนวน k ตัว การวิเคราะห์ความแม่นยำของเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือจะพิจารณาในเทอมของค่าความผิดพลาดระยะทาง ซึ่งจะมีความแม่นยำมากเมื่อมีค่าความผิดพลาดของระยะทางน้อย

บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองวิจัยสำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยและแบบจำลองการวัดสำหรับการทดลองวิจัย สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยนั้น อุปกรณ์ภาครับใช้โทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy S3 i9300 อุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณใช้เราเตอร์ไร้สายยี่ห้อ ZyXEL รุ่น P660HW-T1 v2 จำนวน 5 ตัว สำหรับแบบจำลองการวัดสำหรับการทดลองวิจัยนั้นจะทำการทดลองวิจัยบริเวณอาคาร E-12 ชั้นที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทดสอบเก็บลายลักษณ์ต้นแบบทั้งหมด 1,289 ตำแหน่ง เช่นเดียวกันกับลายลักษณ์ทดสอบ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 334.5 ตารางเมตร

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

4.2.1 เราเตอร์ ZyXEL P660HW-T1 v2

สำหรับอุปกรณ์ภาคส่งในการทดลองวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์เราเตอร์ไร้สายยี่ห้อ ZyXEL รุ่น P660HW-T1 v2 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เป็นอุปกรณ์ที่มีพอร์ตอีเทอร์เน็ตจำนวน 4 พอร์ต สามารถรองรับการใช้งานเครือข่ายไร้สายบนมาตรฐาน IEEE 802.11 b/g ได้ โดยทำงานบนย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศที่ใช้เป็นแบบติดตั้งอยู่กับที่ มีอัตราขยายของสายอากาศคือ 2dBi



รูปที่ 4.1 เราเตอร์ ZyXEL P660HW-T1 v2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 Samsung Galaxy S3 i9300

สำหรับอุปกรณ์ทางภาครับนั้น ในการทดลองวิจัยได้ใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน Samsung Galaxy S3 i9300 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์รุ่น Android 4.0 Ice Cream Sandwich มีหน่วยประมวลผล Quad Core ความเร็ว 1.4 กิกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำมีขนาด 1 กิกะไบต์ สามารถรองรับการใช้งานบนมาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g/n ได้



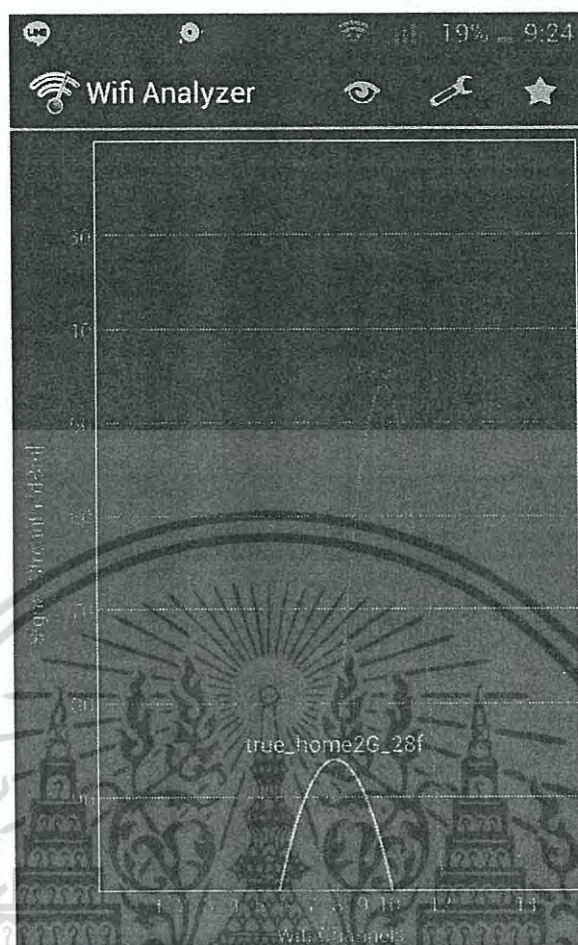
รูปที่ 4.2 โทรศัพท์สมาร์ทโฟน Samsung Galaxy S3 i9300

4.2.3 แอปพลิเคชัน Wifi Analyzer

แอปพลิเคชัน Wifi Analyzer เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้สำหรับตรวจสอบสัญญาณ Wi-Fi ถูกพัฒนาโดย Farproc สามารถรองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Android ได้ โดยเปิดให้ดาวน์โหลดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2011 เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้ฟรี ในแอปพลิเคชันจะประกอบไปด้วยเมนูต่าง ๆ ดังนี้

- Channel Graph แสดงกราฟของช่องสัญญาณที่เครือข่ายใช้งานอยู่รวมไปถึงระดับกำลังงาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าช่องสัญญาณที่ใช้มีการซ้อนทับกันหรือไม่
- Time Graph แสดงกราฟของระดับกำลังงานของแต่ละเครือข่ายแบบเรียลไทม์
- Channel Rating แสดงถึงระดับประสิทธิภาพของช่องสัญญาณที่เครือข่ายสามารถใช้งานได้
- AP List แสดงข้อมูลของแต่ละเครือข่ายประกอบด้วย ชื่อเครือข่าย หมายเลขแมค (MAC Address) ช่องสัญญาณที่ใช้งาน ความถี่ที่ใช้ การใช้งานด้านความปลอดภัย ระดับกำลังงาน และชื่อบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ส่งสัญญาณ
- Signal Meter แสดงระดับกำลังงานของเครือข่ายแต่ละเครือข่ายในลักษณะมิเตอร์ ซึ่งจะ

สามารถช่วยในการตรวจสอบระดับกำลังงานและออกแบบในการวางอุปกรณ์ส่งสัญญาณได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

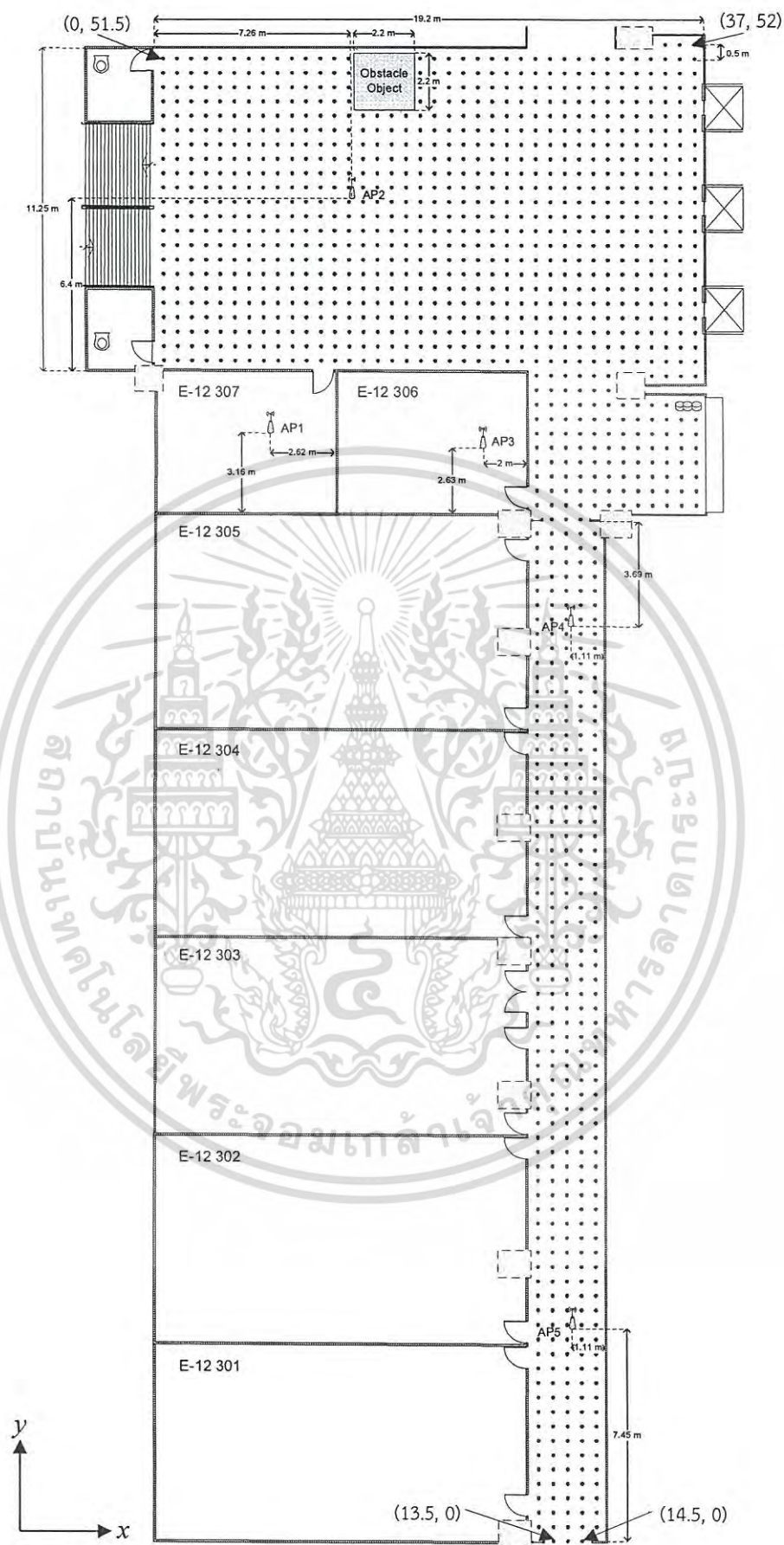


รูปที่ 4.3 แอปพลิเคชัน Wifi Analyzer

4.3 แบบจำลองการวัดสำหรับการทดลองวิจัย

สำหรับแบบจำลองการวัดในการทดลองวิจัยนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการฝึกฝนและขั้นตอนการทดสอบ ในขั้นตอนการฝึกฝนนั้น อุปกรณ์ภาครับจะทำการสำรวจเพื่อเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ตามตำแหน่งอ้างอิงทั้งหมด 1,289 ตำแหน่ง ซึ่งมีระยะห่างตำแหน่งละ 50 เซนติเมตร โดยแต่ละตำแหน่งจะเก็บค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จำนวน 10 ครั้ง สำหรับในขั้นตอนการทดสอบนั้น อุปกรณ์ภาครับจะทำการทดสอบทั้งหมด 1,289 ตำแหน่งเช่นเดียวกันเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้วิธีการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มบนพื้นฐานเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย โครงสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 โดยทำการทดลองวิจัยบริเวณอาคาร E-12 ชั้นที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แบบจำลองและการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 ในการทดลองวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ในการส่งสัญญาณทั้งหมด 5 ตัว โดยติดตั้งไว้ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1 (AP1) ติดตั้งบริเวณเพดานภายในห้อง E-12 307 โดยอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งห้อง E-12 306 เป็นระยะทาง 2.62 เมตร และอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งห้อง E-12 305 เป็นระยะทาง 3.16 เมตร

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2 (AP2) ติดตั้งบริเวณห้องโถงอาคารหน้าลิฟต์ 307 โดยอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งห้อง E-12 306 เป็นระยะทาง 6.4 เมตร และอยู่ห่างจากบันไดเป็นระยะทาง 7.26 เมตร

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 3 (AP3) ติดตั้งบริเวณโต๊ะภายในห้อง E-12 306 โดยอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งห้อง E-12 305 เป็นระยะทาง 2.63 เมตร และอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งทางเดินเป็นระยะทาง 2 เมตร

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4 (AP4) ติดตั้งบริเวณเพดานทางเดินหน้าห้อง E-12 305 โดยอยู่ห่างจากประตูกระจกทางเดินหน้าห้อง E-12 305 เป็นระยะทาง 3.69 เมตร และอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งกระจกเป็นระยะทาง 1.11 เมตร

- อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 5 (AP5) ติดตั้งบริเวณเพดานทางเดินหน้าห้อง E-12 302 โดยอยู่ห่างจากประตูกระจกทางเดินหน้าห้อง E-12 301 เป็นระยะทาง 7.45 เมตร และอยู่ห่างจากกำแพงฝั่งกระจกเป็นระยะทาง 1.11 เมตร

ลักษณะโครงสร้างพื้นที่ในการทดลองวิจัยจะมีอยู่ 3 ลักษณะคือ ทางเดิน พื้นที่บริเวณหน้าห้อง และห้องโถงอาคาร สำหรับทางเดินนั้นจะมีสถานะแวดล้อมจริงแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ครอบคลุมพื้นที่ 77.5 ตารางเมตร ตำแหน่งอ้างอิงจำนวน 356 ตำแหน่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.5 สถานะแวดล้อมจริงบริเวณทางเดินนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนพื้นที่บริเวณหน้าห้องนั้น จะรวมเอาในส่วนของทางเดินและพื้นที่โถงซึ่งมีสิ่งกีดขวางคือ ถังขยะแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 29 ตารางเมตร ตำแหน่งอ้างอิงจำนวน 116 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.6 สภาวะแวดล้อมจริงบริเวณพื้นที่หน้าห้อง E-12 306

สำหรับพื้นที่ห้องโถงอาคารนั้นจะเป็นพื้นที่กว้างครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 228 ตารางเมตร ตำแหน่งอ้างอิงจำนวน 827 ตำแหน่ง โดยจะมีสิ่งกีดขวางคือหุ่นยนต์จำลองซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็น อะลูมิเนียมหล่อหุ้มด้วยกระดาษบางส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 4.7 สภาวะแวดล้อมจริงบริเวณห้องโถงอาคารหน้าลิฟต์ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 บทสรุป

ในการทดลองวิจัยสำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มนั้น อุปกรณ์ภาครับใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน Samsung Galaxy S3 i9300 ในขณะที่อุปกรณ์ภาคส่งใช้เราเตอร์ไร้สายยี่ห้อ ZyXEL รุ่น P660HW-T1 v2 จำนวน 5 ตัว โดยติดตั้งบนเพดาน 4 ตัว (ภายในห้อง 1 ตัว บริเวณทางเดินและห้องโถงอาคารรวม 3 ตัว) และติดตั้งภายในและวางบนโต๊ะ 1 ตัว โดยทำการทดลองวิจัยบริเวณอาคาร E-12 ชั้นที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการทดสอบทั้งหมด 1,289 ตำแหน่ง แบ่งเป็นพื้นที่บริเวณทางเดิน 356 ตำแหน่ง พื้นที่หน้าห้อง 116 ตำแหน่ง และพื้นที่ห้องโถงอาคาร 827 ตำแหน่ง



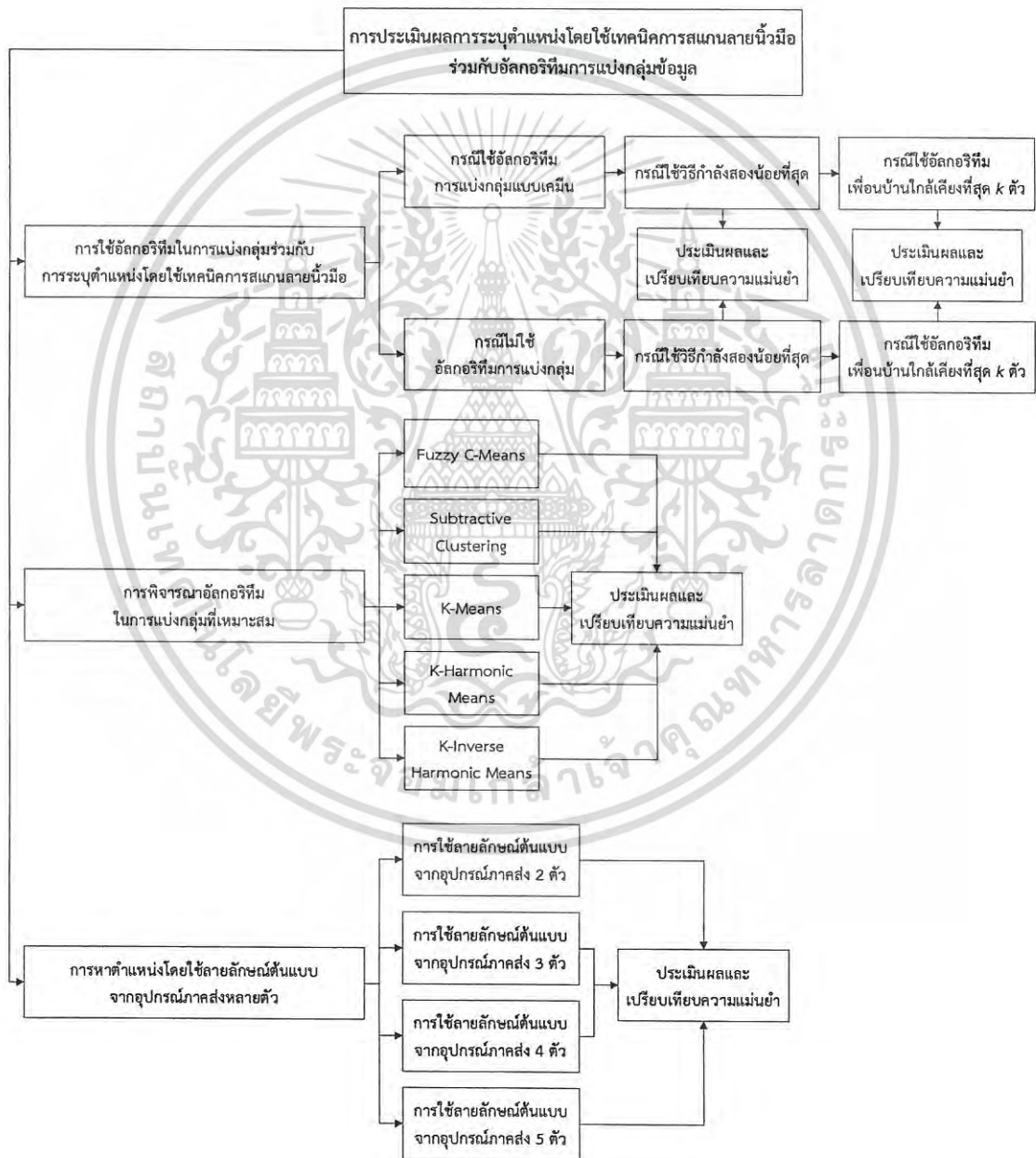
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองวิจัย

5.1 บทนำ

ในการประเมินผลการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มนั้น สามารถแสดงในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 5.1



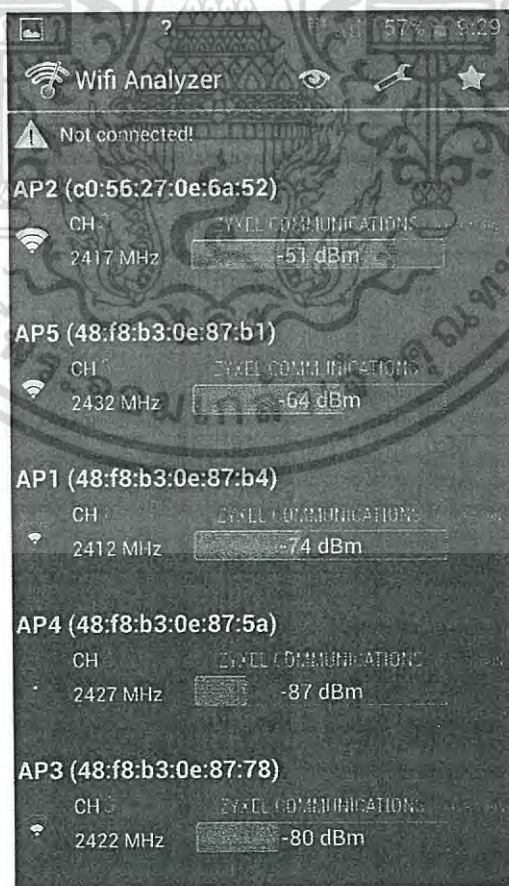
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของการประเมินผลการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 สำหรับการประเมินผลการทดลองวิจัยในการศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนนั้น จะทำการเปรียบเทียบทั้งในกรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มและกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม โดยพิจารณากรณีที่ใช้อัลกอริทึมการเปรียบเทียบแบบกำลังสองน้อยที่สุด และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว ในส่วนการประเมินผลเพื่อพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมกับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น จะทำการเปรียบเทียบระหว่างการนำเอาการแบ่งกลุ่มแบบฟิชเชอร์มิน การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมิน มาใช้ร่วมกับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ นอกจากนั้นยังได้พิจารณาถึงการระบุตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัวอีกด้วย ผลของการทดลองวิจัยจะแสดงผลในรูปของฮิสโทแกรมและฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยจะประเมินผลและเปรียบเทียบความแม่นยำในแต่ละกรณี

5.2 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นฐานค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้

ในการสร้างลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงนั้นจะใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้จากแอปพลิเคชัน Wifi Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 5.2

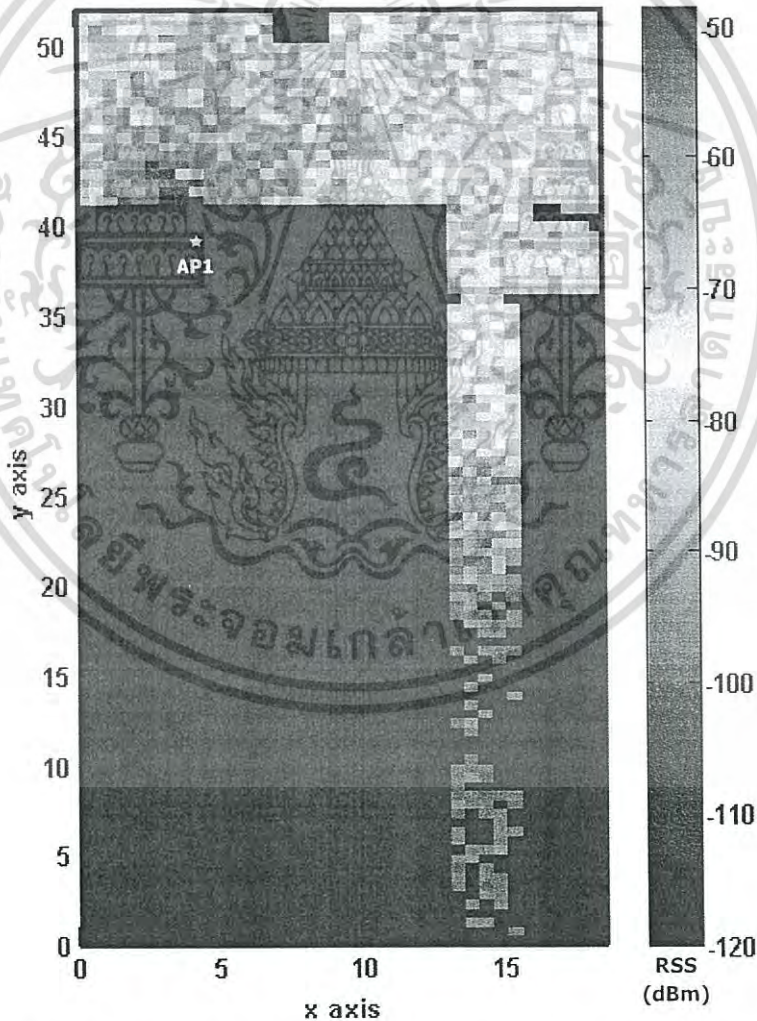


เอกสารนี้เป็น รูปที่ 5.2 การวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ที่ตำแหน่ง (13, 43.5) ด้วย Wifi Analyzer ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.2 ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ที่ตำแหน่ง (13, 43.5) จะมีค่าดังนี้คือ AP1 = -74 dBm, AP2 = -51 dBm, AP3 = -80 dBm, AP4 = -87 dBm และ AP5 = -64 dBm ในการสร้างลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงนั้นจะทำการใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดในแต่ละตำแหน่งจำนวน 10 ครั้ง โดยลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1-5 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1

ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1 ที่ติดตั้งอยู่บริเวณเพดานภายในห้อง E-12 307 แสดงได้ดังรูปที่ 5.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจะมีค่าอยู่ในช่วง -48.60 dBm ถึง -97 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (4,41) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (15,16) อุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1 สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมได้ทั้งหมด 1,172 ตำแหน่ง

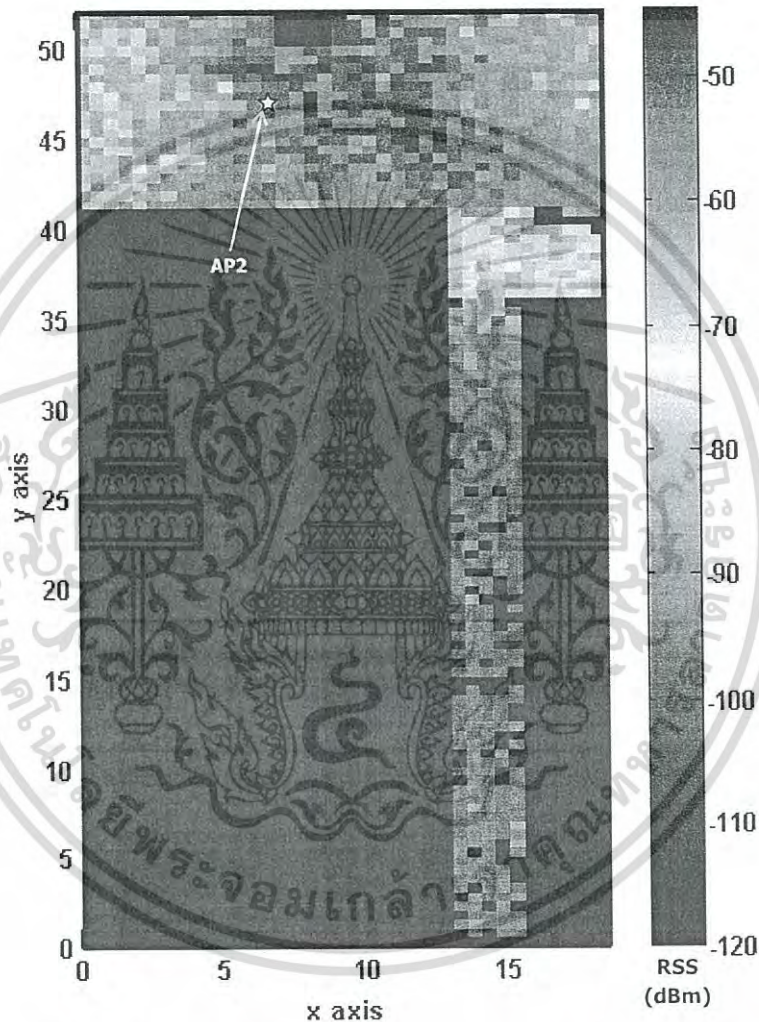


รูปที่ 5.3 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2

ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2 ที่ติดตั้งอยู่บริเวณเพดานกลางห้องโถงของอาคาร แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 ค่าความแรงของสัญญาณจะมีค่าอยู่ในช่วง -44.80 dBm ถึง -98 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (9.5,48) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (13,18) สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด 1,219 ตำแหน่ง



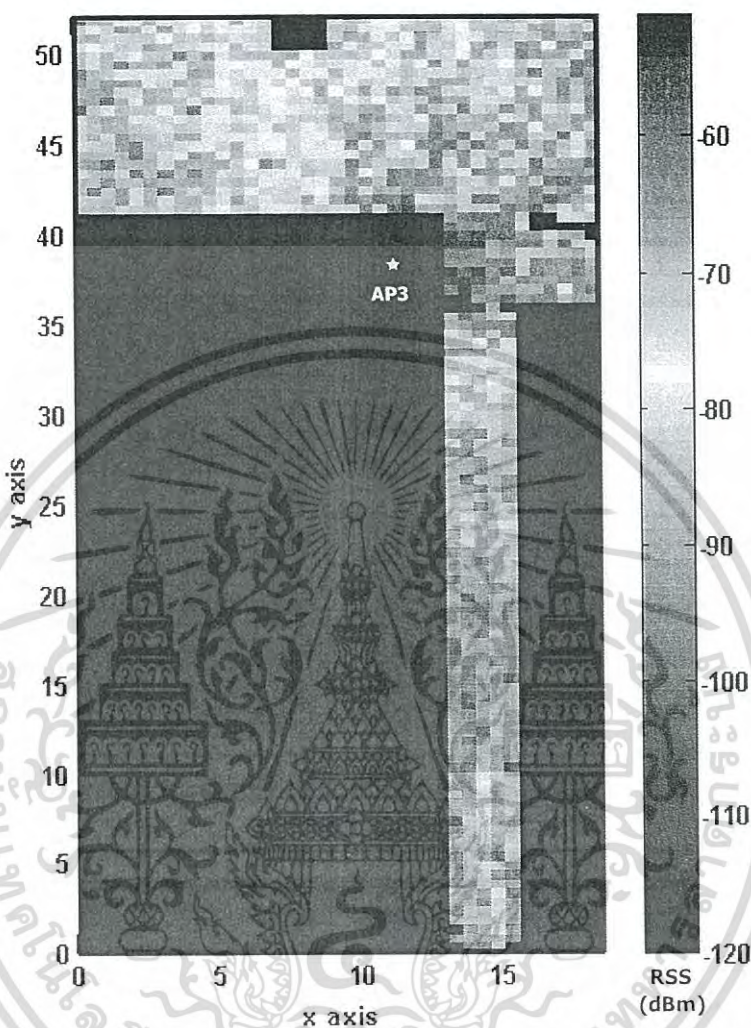
รูปที่ 5.4 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2

5.2.3 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 3

ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 3 ที่อยู่ติดตั้งอยู่บริเวณบนโต๊ะภายในห้อง E-12 306 แสดงได้ดังรูปที่ 5.5 ค่าความแรงของสัญญาณจะมีค่าอยู่ในช่วง -51.20 dBm ถึง -95 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (13,36) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (13,7) สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด 1,288 ตำแหน่ง

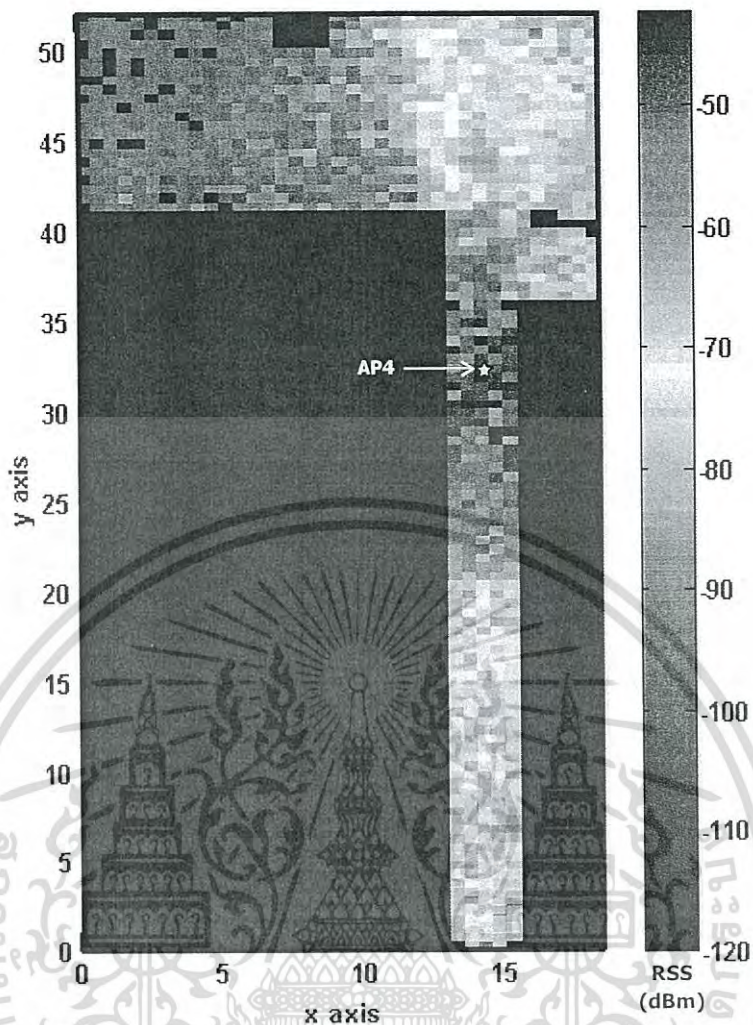


รูปที่ 5.5 ลายลักษณะของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 3

5.2.4 ลายลักษณะของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4

ลายลักษณะของตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4 ที่ติดตั้งอยู่บริเวณเพดานทางเดินหน้าห้อง E-12 305 แสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ค่าความแรงของสัญญาณจะมีค่าอยู่ในช่วง -42.40 dBm ถึง -99 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (14.5,28) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (2.5,51.5) สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด 1,253 ตำแหน่ง

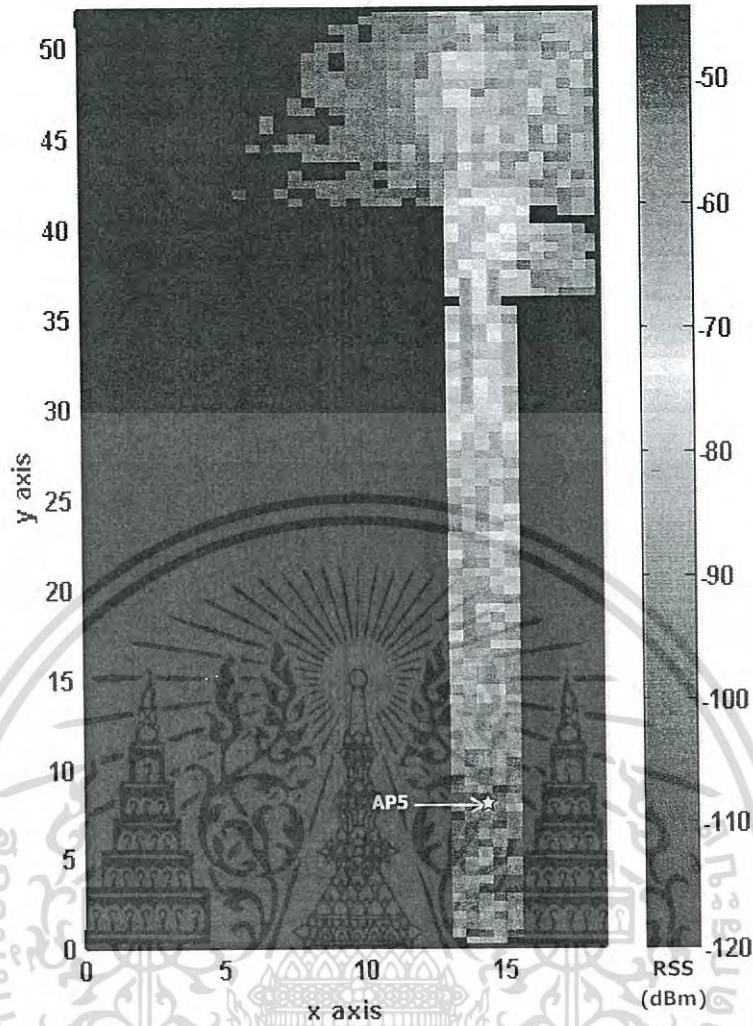
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4

5.2.5 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 5

ลายลักษณ์ของตำแหน่งที่ใช้ข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 5 ที่ติดตั้งอยู่บริเวณเพดานทางเดินหน้าห้อง E-12 302 แสดงได้ดังรูปที่ 5.7 ค่าความแรงของสัญญาณจะมีค่าอยู่ในช่วง -44.40 dBm ถึง -99 dBm ตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงสุดคือ ตำแหน่ง (14.5,3) ส่วนตำแหน่งที่วัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดคือ ตำแหน่ง (12,41.5) สามารถครอบคลุมได้ทั้งหมด 924 ตำแหน่ง



รูปที่ 5.7 ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 5

5.3 การศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

สำหรับการศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น จะทำการวิเคราะห์ใน 2 กรณีด้วยกันคือ กรณีที่ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยจะพิจารณาร่วมกับการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนโดยใช้ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 4

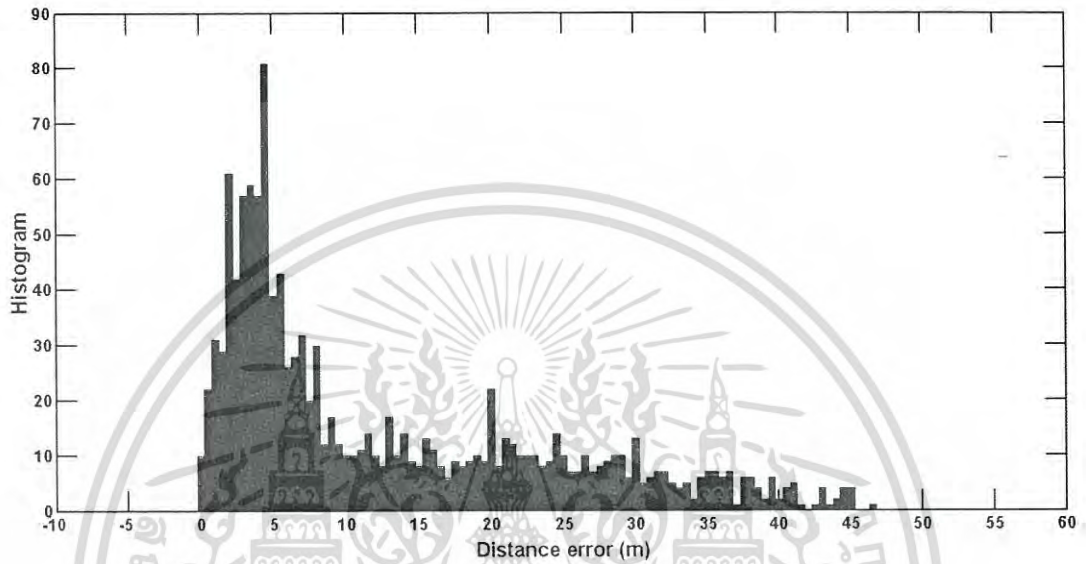
5.3.1 การคาดคะเนตำแหน่งโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

สำหรับการคาดคะเนตำแหน่งโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะทำการวิเคราะห์ใน 2 ลักษณะคือ กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่ม และกรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

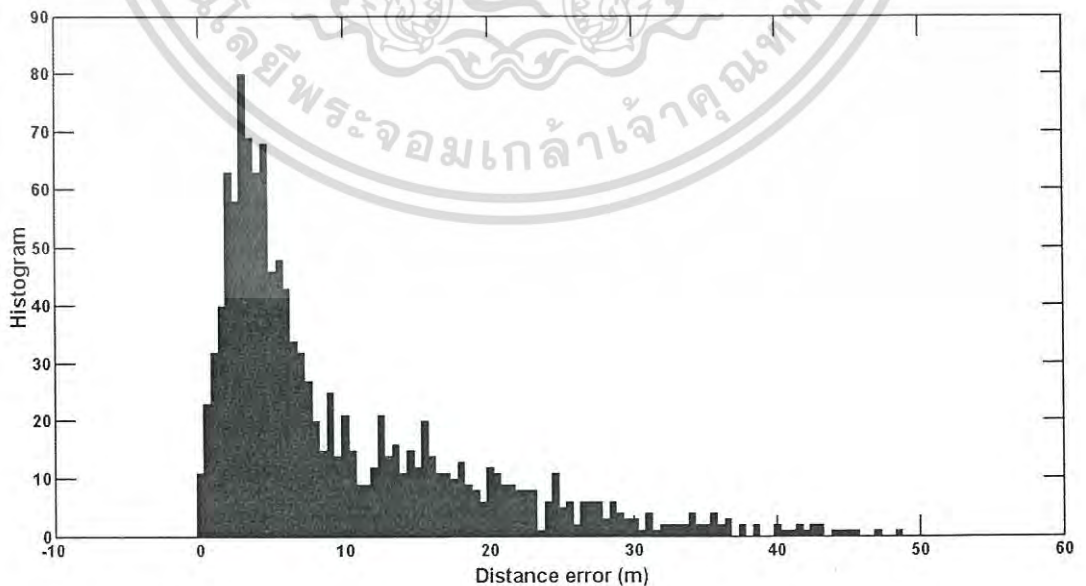
5.3.1.1 กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่ากรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 10 ตำแหน่ง คิดเป็น 0.8% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่า มีทั้งสิ้น 41 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.27%



รูปที่ 5.8 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

5.3.1.2 กรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน



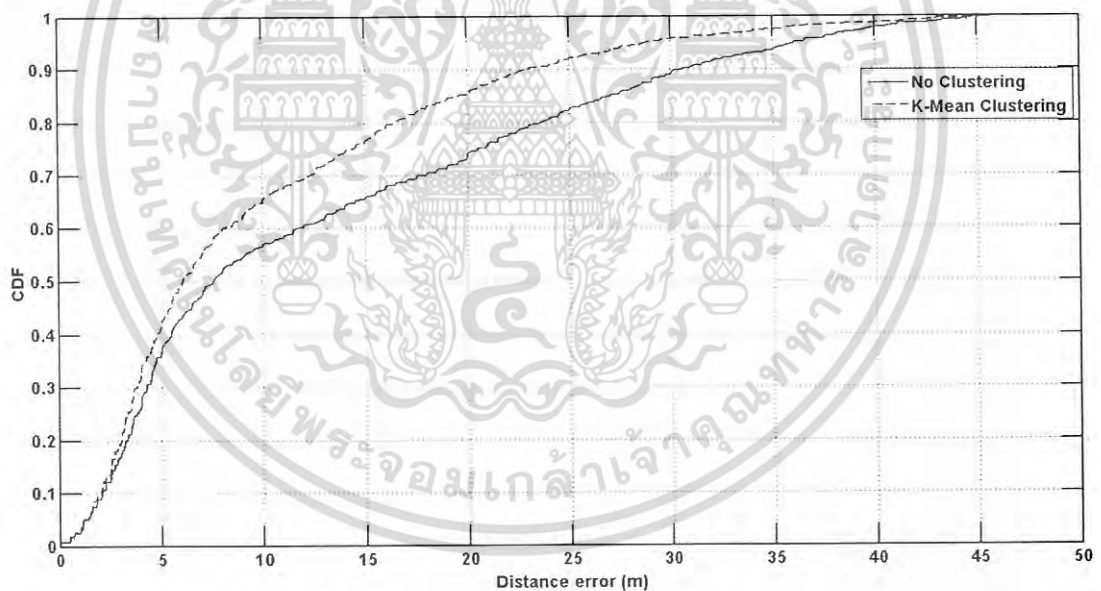
รูปที่ 5.9 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้และอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 แสดงฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 11 ตำแหน่ง คิดเป็น 0.88% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 47 ตำแหน่ง คิดเป็น 3.75%

5.3.1.3 การเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ใช้การแบ่งกลุ่มและใช้การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

เมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแล้ว ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดของกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มและกรณีที่ใช้ัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน สามารถแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.10 สำหรับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่มมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 12.73 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (13.5, 0) มีค่าเป็น 46.72 เมตร สำหรับกรณีที่ใช้ัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 9.81 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (13, 1) มีค่าเป็น 48.50 เมตร



รูปที่ 5.10 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

5.3.2 การคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

สำหรับการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวจะทำการวิเคราะห์ใน 2 ลักษณะเช่นเดียวกับกรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดคือ กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่ม และกรณีที่ใช้ัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

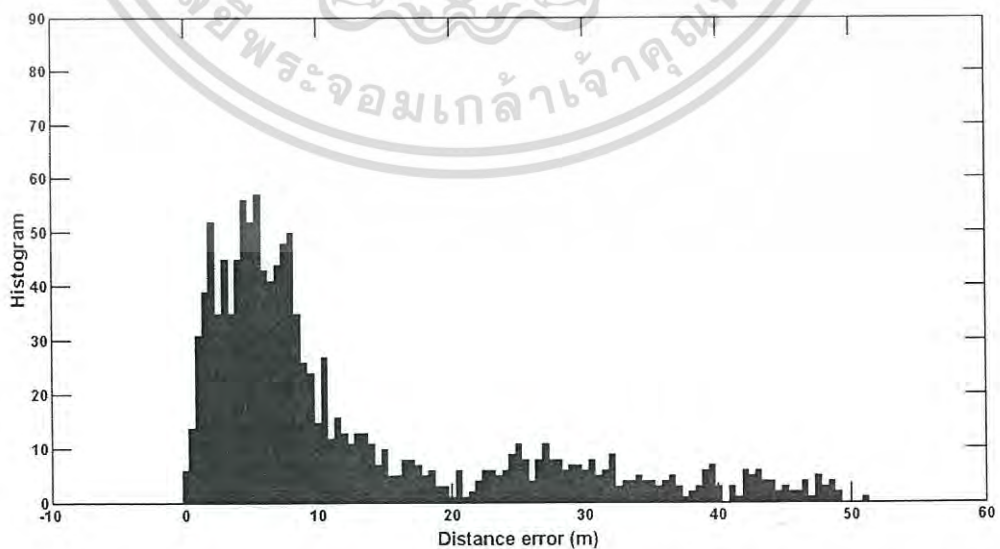
5.3.2.1 กรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

สำหรับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มจะทำการวิเคราะห์กรณีที่ใช้ค่า k ตั้งแต่ 2-10 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งพบว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
2	12.48
3	13.15
4	13.34
5	13.55
6	12.95
7	14.18
8	15.66
9	13.66
10	12.89

จากตารางที่ 5.1 กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 2 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 12.48 เมตร กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง คิดเป็น 0.48% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 33 ตำแหน่ง คิดเป็น 2.63% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวและไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เมื่อ $k=2$ ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

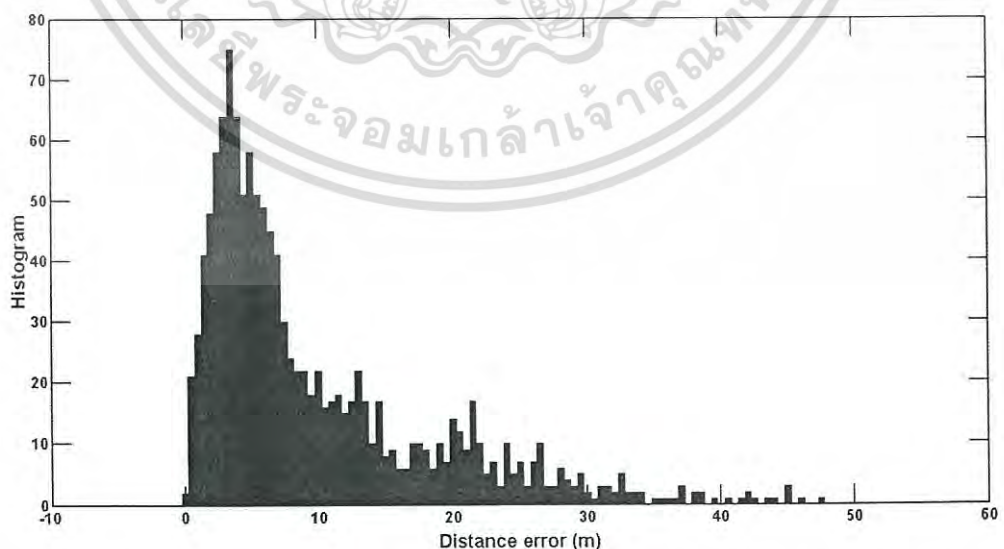
5.3.2.2 กรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

สำหรับกรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนจะทำการวิเคราะห์กรณีที่ใช้ค่า k ตั้งแต่ 2-10 เช่นเดียวกับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

จำนวน k	ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
2	10.98
3	10.22
4	10.01
5	9.76
6	9.80
7	9.83
8	9.78
9	9.80
10	9.77

จากตารางที่ 5.2 กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นที่ k มีค่าเท่ากับ 5 คือมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 9.76 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 33 ตำแหน่ง คิดเป็น 2.63% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวและใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน แสดงได้ดังรูปที่ 5.12



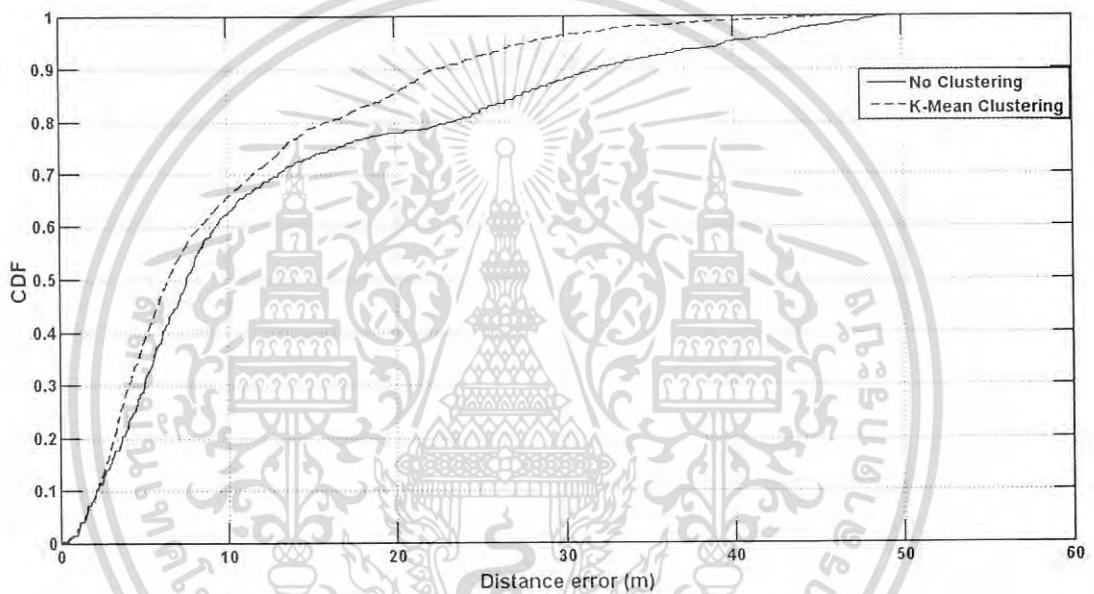
รูปที่ 5.12 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

ร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน เมื่อ $k = 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.3 การเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มและใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

เมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวแล้ว เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มและการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน สามารถแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.13 สำหรับกรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมในการแบ่งกลุ่มมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 12.48 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (14, 0) มีค่าเป็น 50.96 เมตร สำหรับกรณีที่ใช้ อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 9.76 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (13, 1) มีค่าเป็น 47.31 เมตร



รูปที่ 5.13 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว

5.4 การศึกษาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมสำหรับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ

สำหรับการพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมที่นำมาใช้ร่วมกับการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น จะพิจารณาดำเนินการโดยใช้ลายลักษณะของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2, 4 และ 5 จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มคือ การแบ่งกลุ่มแบบพีชชีมีน การแบ่งกลุ่มแบบลอบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

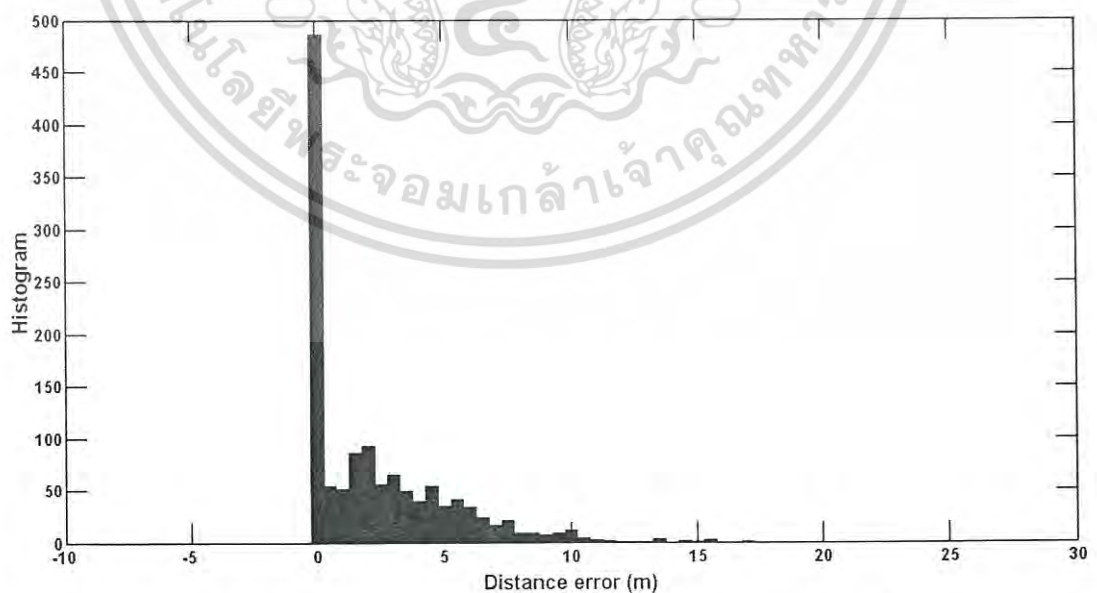
5.4.1 การแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็ม

สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็มนั้น จะทำการทดสอบการแบ่งกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มจนถึง 5 กลุ่ม เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแบ่งกลุ่มแล้วสามารถแสดงจุดกลางของแต่ละกลุ่มได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็ม

จำนวนกลุ่ม	จุดกลางของแต่ละกลุ่ม (dBm)
2	(-91.62, -64.34, -64.45), (-58.22, -65.73, -103.53)
3	(-57.94, -75.82, -86), (-95.46, -63.88, -61.82), (-59.89, -92.73, -119.26)
4	(-59.79, -92.62, -119.50), (-96.63, -71.24, -57.89), (-57.20, -76.51, -86.54), (-91.03, -55.44, -67.24)
5	(-59.88, -92.38, -119.87), (-55.05, -83.36, -91.42), (-59.03, -71.42, -83.07), (-92.18, -54.97, -66.68), (-96.35, -71.30, -57.51)

หลังจากนั้นเมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 3 กลุ่ม โดยมีกรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 487 ตำแหน่ง คิดเป็น 37.78% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 560 ตำแหน่ง คิดเป็น 43.44% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็มแสดงได้ดังรูปที่ 5.14

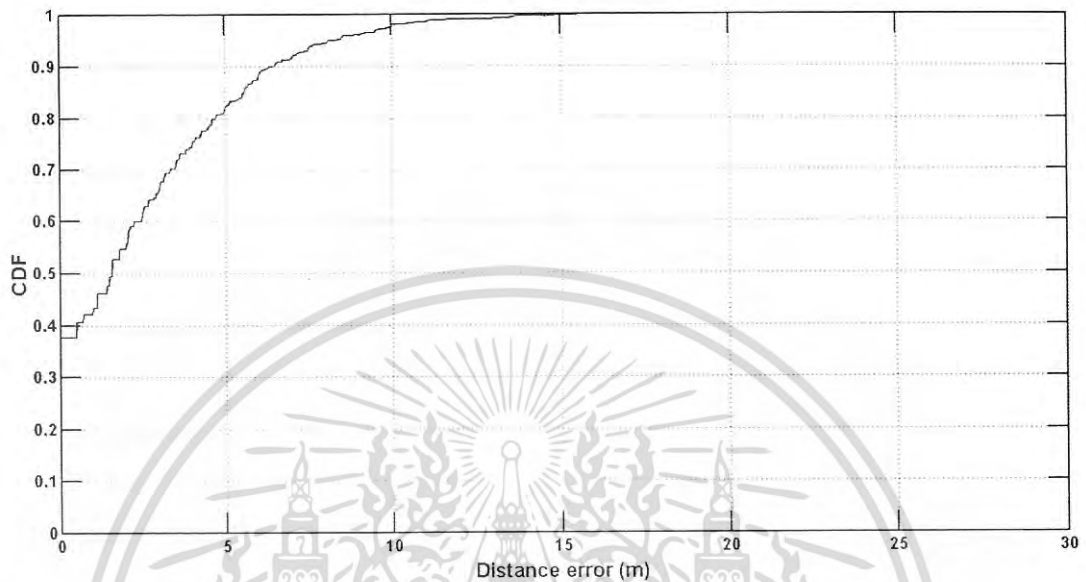


รูปที่ 5.14 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึม

การแบ่งกลุ่มแบบพีซีซีเอ็ม

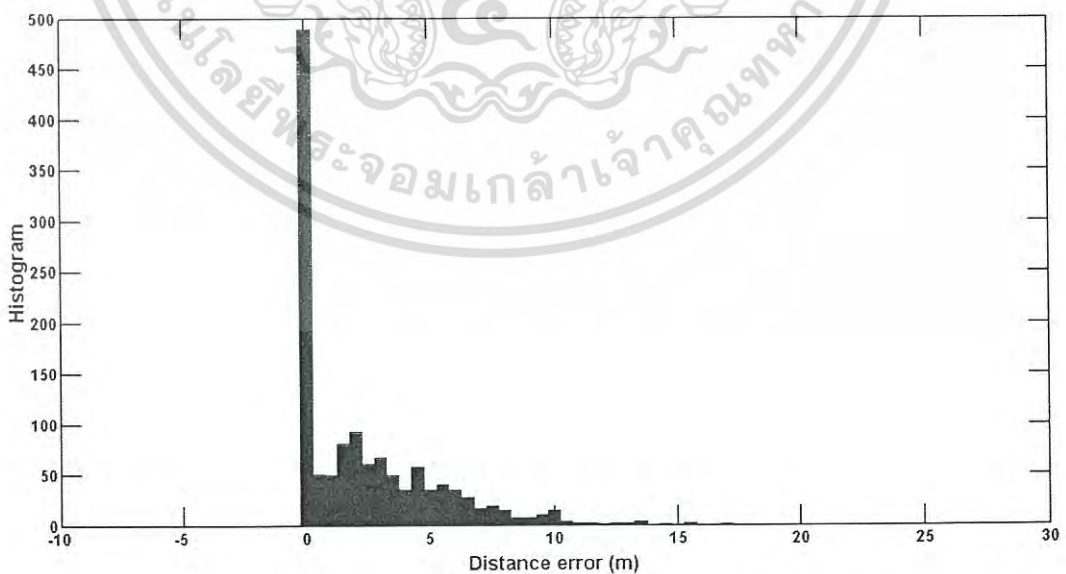
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟuzzyซิมินแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.15 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.45 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร



รูปที่ 5.15 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟuzzyซิมิน

5.4.2 การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก

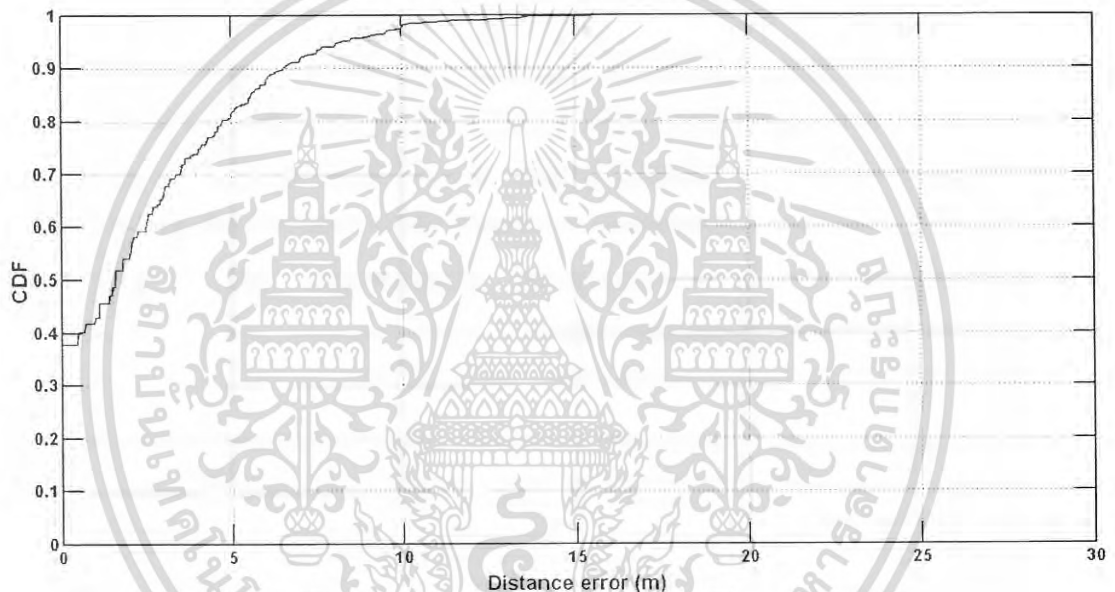


รูปที่ 5.16 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.16 แสดงฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบ ลบออก สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบออกนั้น เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแบ่งกลุ่มพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 3 กลุ่ม โดยมีค่ากลางของกลุ่มเป็น (-56.80, -78.40, -88), (-59.40, -92.25, -120) และ (-92, -62.80, -63.80) หลังจากนั้นเมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 489 ตำแหน่ง คิดเป็น 37.94% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 555 ตำแหน่ง คิดเป็น 43.06%

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบออกแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.17 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.47 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร



รูปที่ 5.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบลบออก

5.4.3 การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

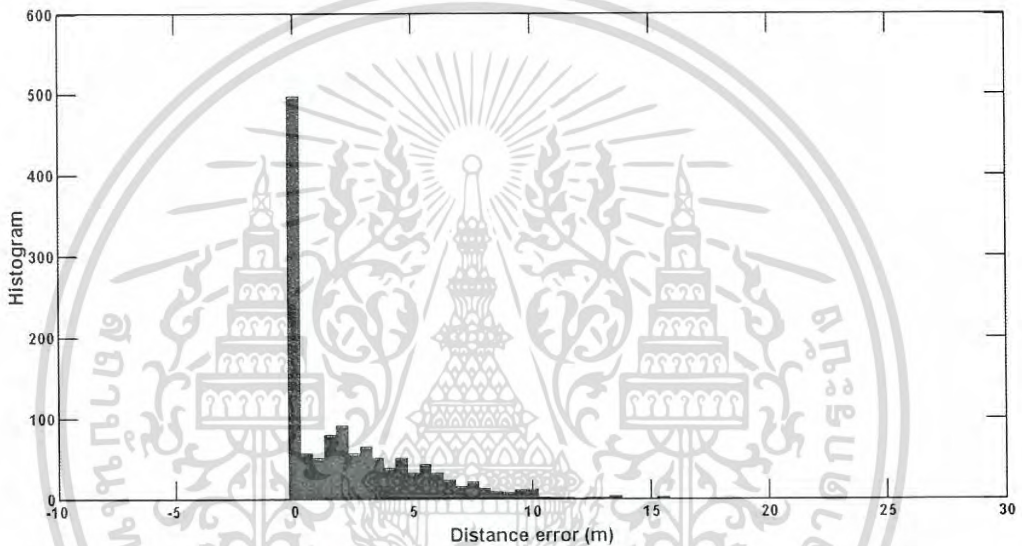
สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนนั้นจะทำการทดสอบการแบ่งกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มจนถึง 5 กลุ่ม เช่นเดียวกับการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบฟิชเชอร์เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแบ่งกลุ่มแล้วสามารถแสดงจุดกลางของแต่ละกลุ่มได้ดังตารางที่ 5.4

หลังจากนั้นเมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม โดยมีกรณีที่ไมเกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 498 ตำแหน่ง คิดเป็น 38.63% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 573 ตำแหน่ง คิดเป็น 44.45% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน แสดงได้ดัง

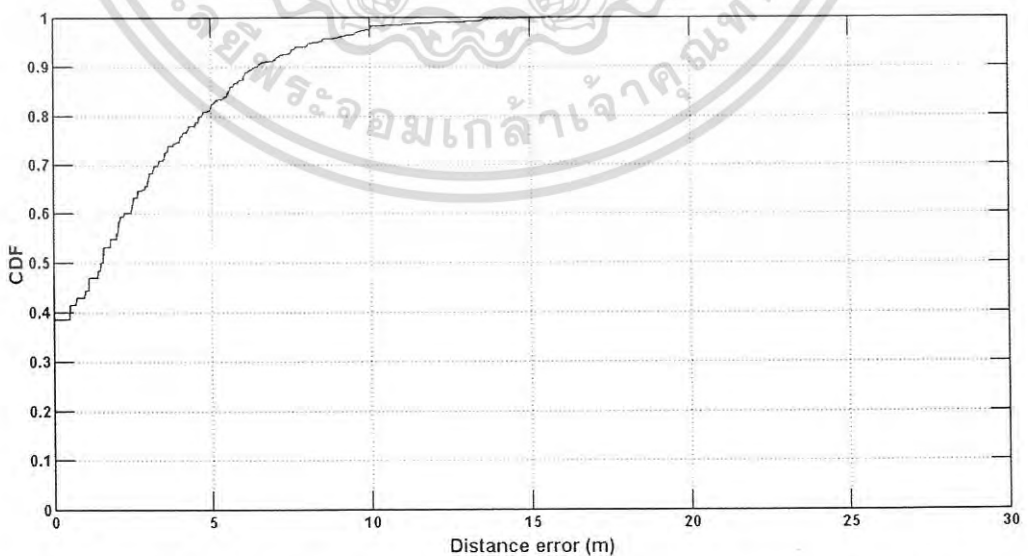
รูปที่ 5.18 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

จำนวนกลุ่ม	จุดกลางของแต่ละกลุ่ม (dBm)
2	(-89.93, -86.62, -86.59), (-58.30, -65.07, -61.96)
3	(-69, -89.47, -89.74), (-55.99, -72.99, -78.81), (-91.85, -55.97, -60.42)
4	(-92, -90.73, -91.10), (-60.23, -54.71, -82.39), (-52.48, -79.41, -67.78), (-71.74, -69.50, -56.40)
5	(-77.93, -91.32, -92.43), (-58.92, -64.46, -84.91), (-51.81, -81.99, -54.84), (-66.64, -73.23, -75.74), (-92.42, -52.02, -64.77)



รูปที่ 5.18 ฮิสโตแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน



รูปที่ 5.19 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

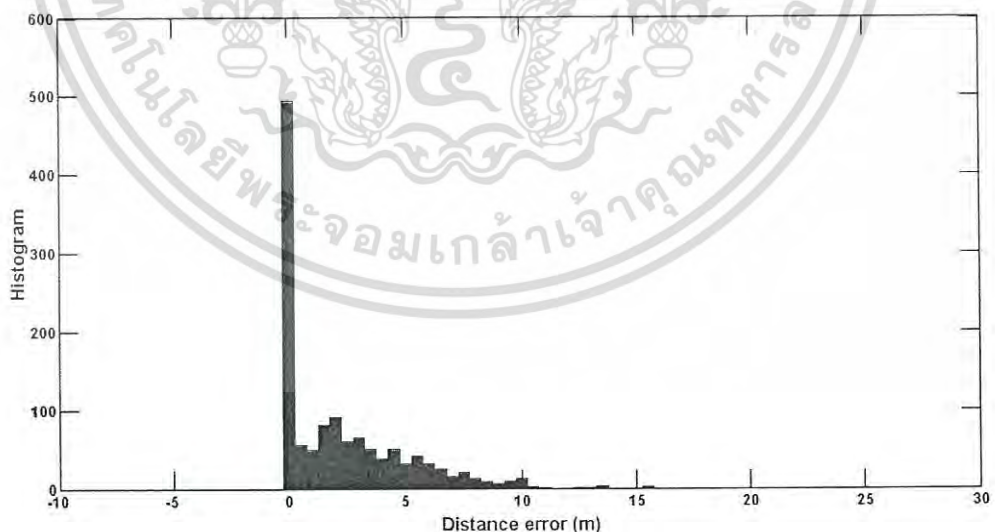
จากรูปที่ 5.19 แสดงค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมินแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร

5.4.4 การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน

สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมินนั้นจะทำการทดสอบการแบ่งกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มจนถึง 5 กลุ่ม เช่นเดียวกับการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพีซีซีมินและอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมิน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแบ่งกลุ่มแล้วสามารถแสดงจุดกลางของแต่ละกลุ่มได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน

จำนวนกลุ่ม	จุดกลางของแต่ละกลุ่ม (dBm)
2	(-91.27, -88.13, -87.20), (-57.72, -64.46, -61.04)
3	(-66.26, -90.39, -90.90), (-54.62, -72.84, -79.92), (-92.21, -54.78, -59.69)
4	(-92.48, -91.40, -92.48), (-59.90, -53.35, -83.39), (-51.96, -79.49, -66.84), (-71.68, -69.19, -55.05)
5	(-77.58, -91.57, -92.95), (-58.65, -61.66, -84.78), (-51.12, -80.53, -51.84), (-66.42, -71.66, -73.06), (-92.69, -50.11, -61.83)

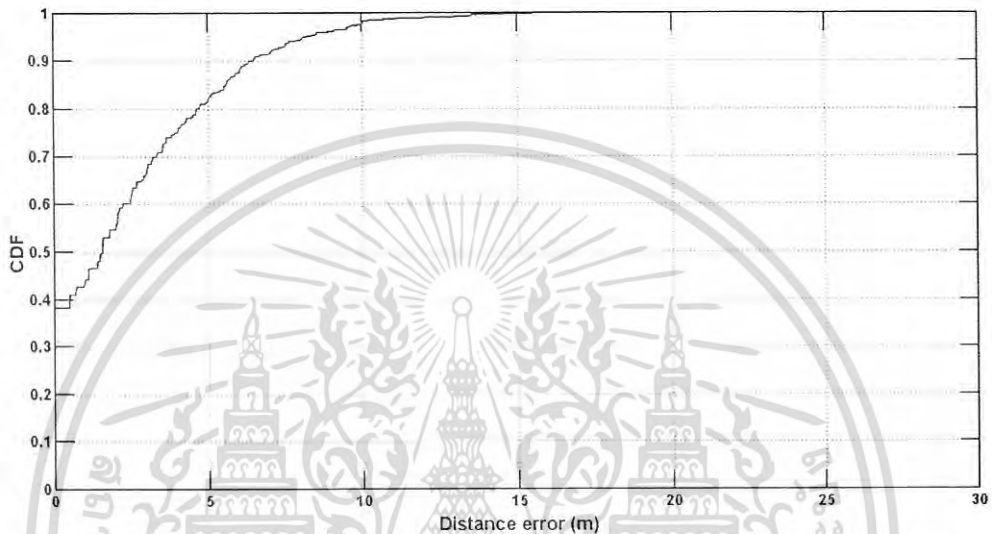


รูปที่ 5.20 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน

จากรูปที่ 5.20 แสดงฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมิน กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม โดยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 495 ตำแหน่ง คิดเป็น 38.40% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่า มีทั้งสิ้น 571 ตำแหน่ง คิดเป็น 44.30%

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอาร์โมนิกมีนแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.21 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร



รูปที่ 5.21 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอาร์โมนิกมีน

5.4.5 การแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สอาร์โมนิกมีน

สำหรับการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สอาร์โมนิกมีนนั้น จะทำการทดสอบการแบ่งกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มจนถึง 5 กลุ่ม เช่นเดียวกับการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มพีซีซีมีน อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน และอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอาร์โมนิกมีน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแบ่งกลุ่มแล้วสามารถแสดงจุดกลางของแต่ละกลุ่มได้ดังตารางที่ 5.6

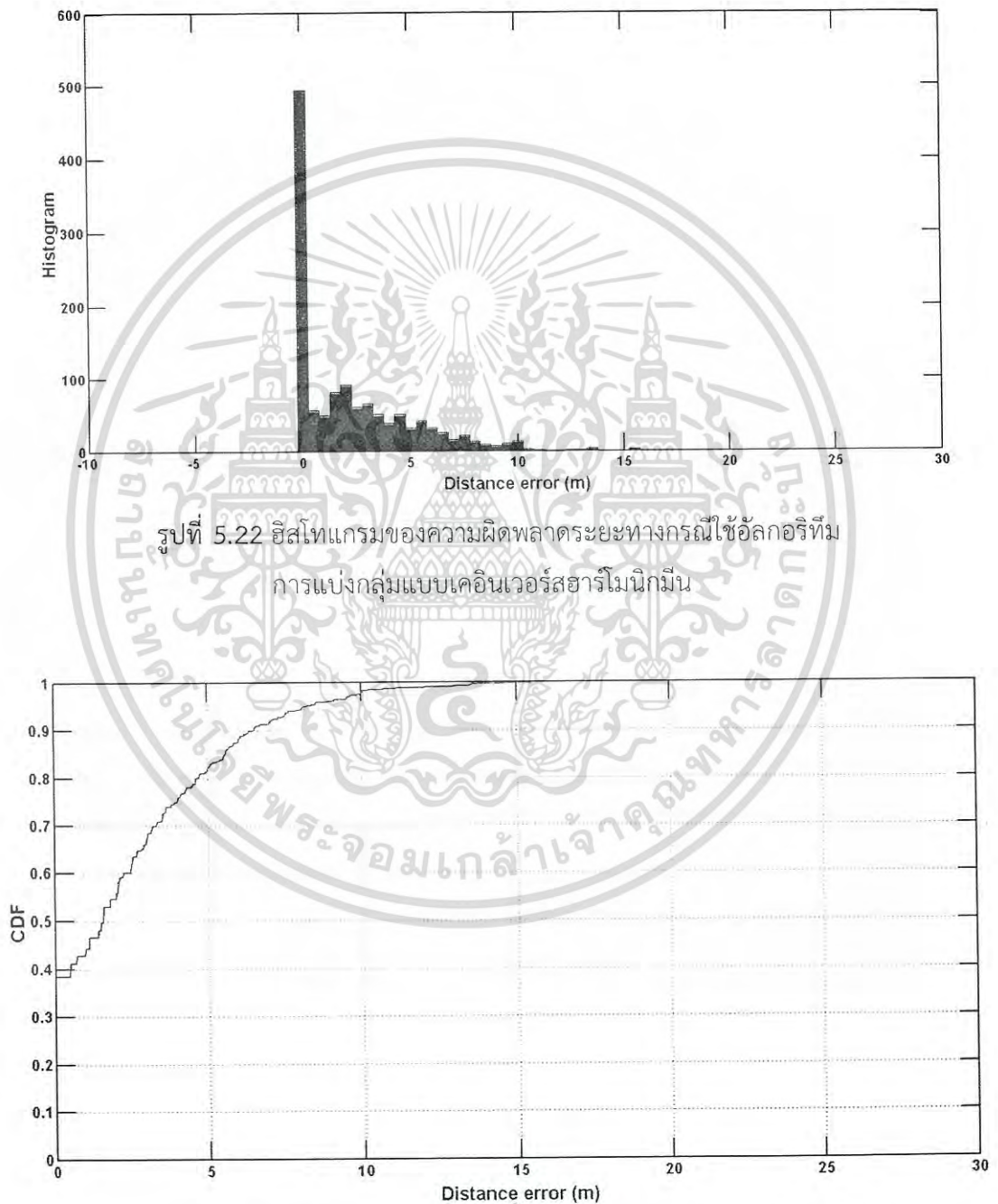
ตารางที่ 5.6 จุดกลางของกลุ่มในกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สอาร์โมนิกมีน

จำนวนกลุ่ม	จุดกลางของแต่ละกลุ่ม (dBm)
2	(-90.89, -87.64, -86.96), (-57.94, -64.81, -61.37)
3	(-67.94, -90.11, -90.19), (-55.34, -72.88, -78.72), (-92.18, -55.26, -59.80)
4	(-92.41, -91.26, -92.29), (-60.10, -53.93, -83.26), (-52.07, -79.55, -67.70), (-72.29, -69.30, -56.01)
5	(-77.91, -91.45, -92.87), (-58.71, -62.23, -84.79), (-51.11, -80.67, -52.16), (-66.68, -71.78, -73.69), (-92.65, -50.67, -62.37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุด เกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม โดยมีกรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 495 ตำแหน่ง คิดเป็น 38.40% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่า มีทั้งสิ้น 571 ตำแหน่ง คิดเป็น 44.30% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีนแสดงได้ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.23 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน

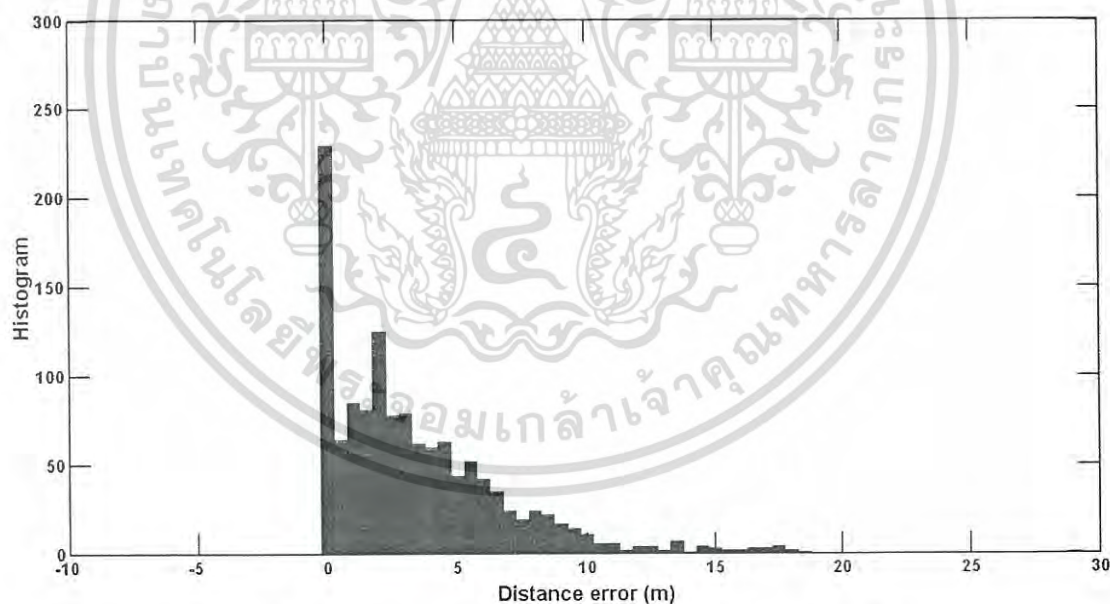
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.23 แสดงค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีนโดยแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ซึ่งมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.42 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร

5.5 การศึกษาการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน

5.5.1 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว

สำหรับการศึกษาการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัวนั้นจะใช้ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2 และ 4 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่ากรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 3 กลุ่ม กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 230 ตำแหน่ง คิดเป็น 17.84% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 324 ตำแหน่ง คิดเป็น 25.14% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 5.24

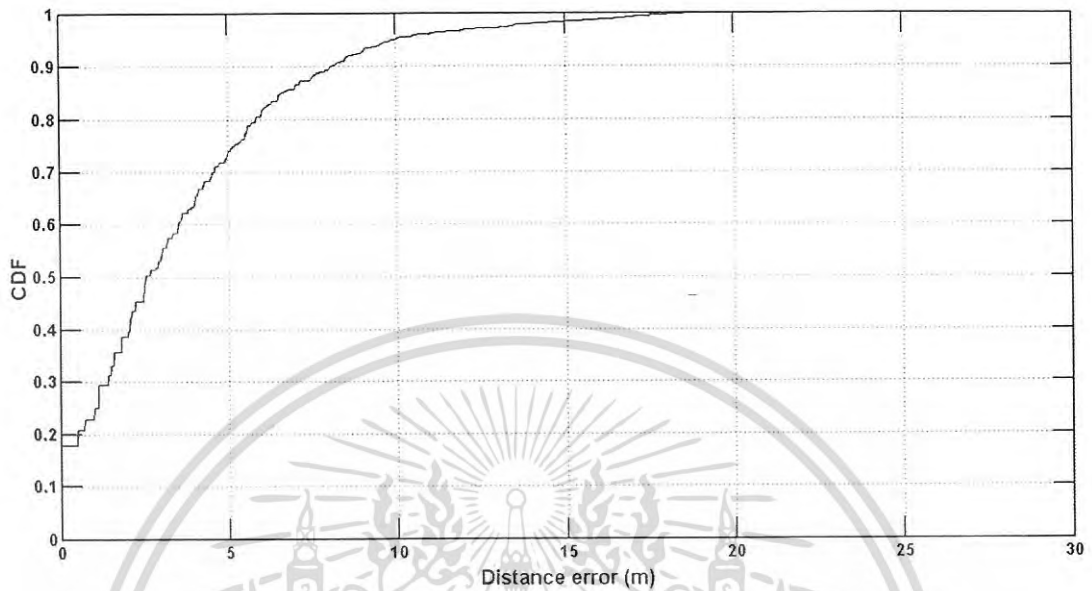


รูปที่ 5.24 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีกรณีที่ใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว แสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมดังรูปที่ 5.25 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย

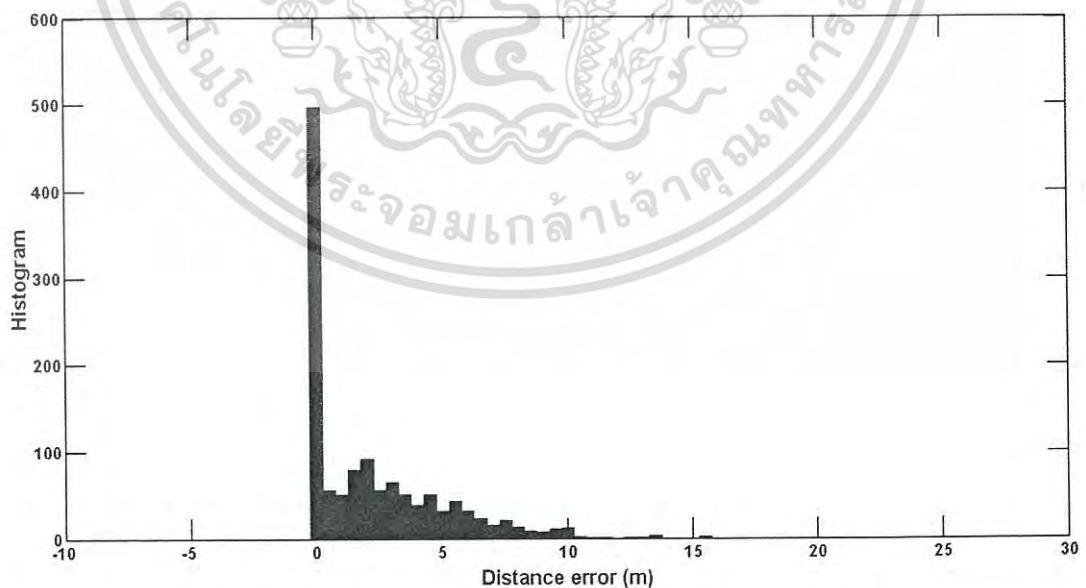
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 3.57 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (18.5, 37) มีค่าเป็น 31.69 เมตร



รูปที่ 5.25 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้
ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 2 ตัว

5.5.2 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว

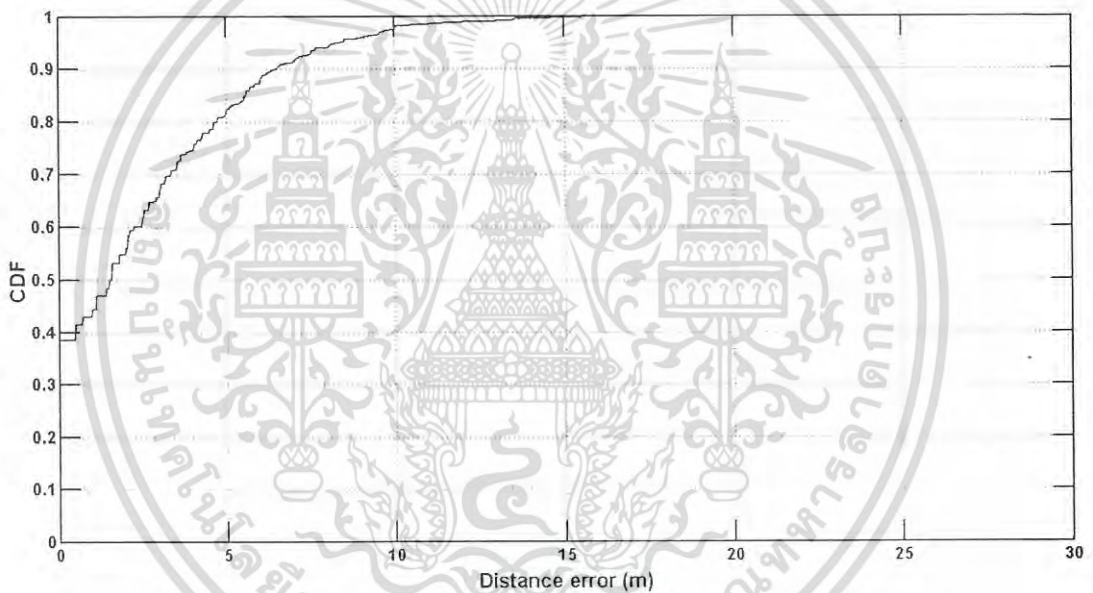


รูปที่ 5.26 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้
ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.26 แสดงฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว สำหรับการสร้างลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัวนั้นจะใช้ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 2, 4 และ 5 หลังจากนั้นเมื่อทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม โดยมีกรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 498 ตำแหน่ง คิดเป็น 38.63% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 573 ตำแหน่ง คิดเป็น 44.45%

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัวแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแสดงได้ดังรูปที่ 5.27 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 2.43 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (15, 19) มีค่าเป็น 17 เมตร



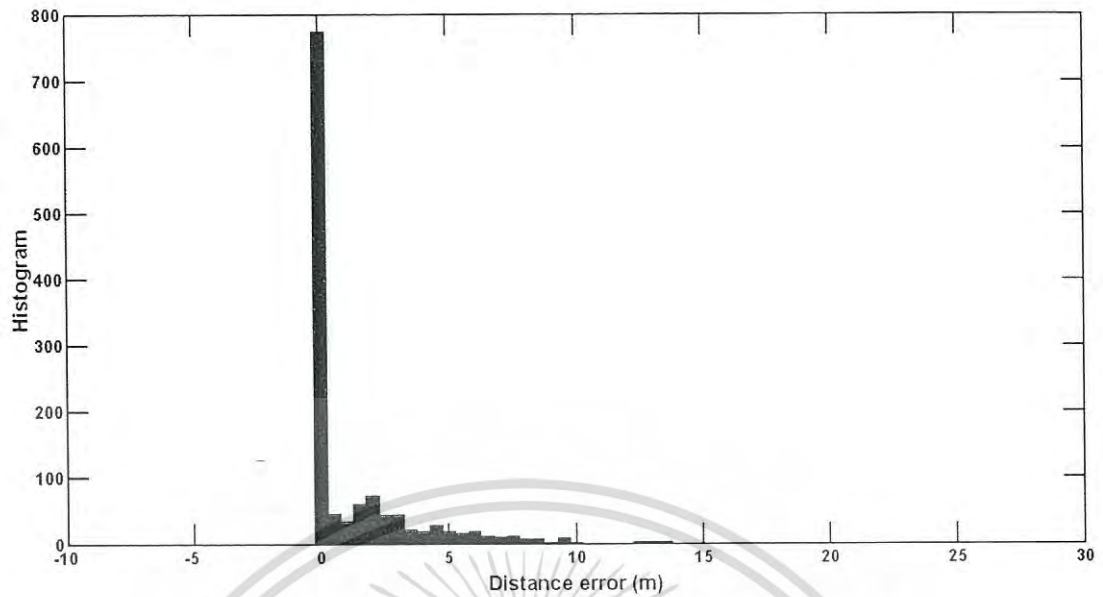
รูปที่ 5.27 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว

5.5.3 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว

สำหรับการศึกษาการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัวนั้นจะใช้ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1, 2, 4 และ 5 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 774 ตำแหน่ง คิดเป็น 60.05% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 830 ตำแหน่ง คิดเป็น 64.39% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมในการตัดสินใจและใช้การแบ่งกลุ่มแบบเคมีนโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง

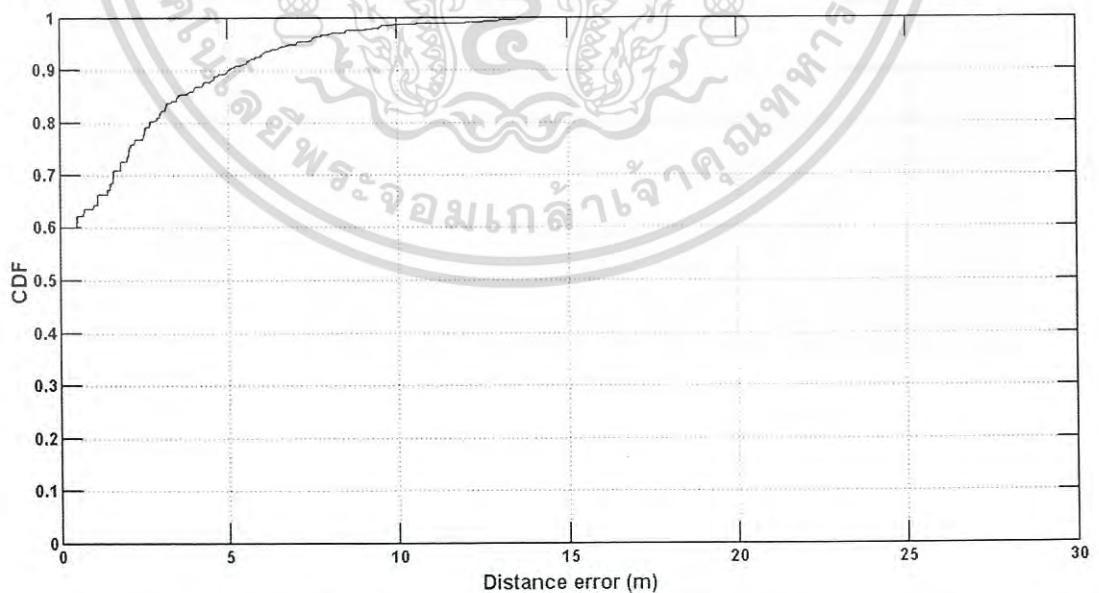
4 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้
ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว

ค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัวแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแสดงได้ดังรูปที่ 5.29 โดยมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 1.45 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (13.5, 14.5) มีค่าเป็น 14.01 เมตร

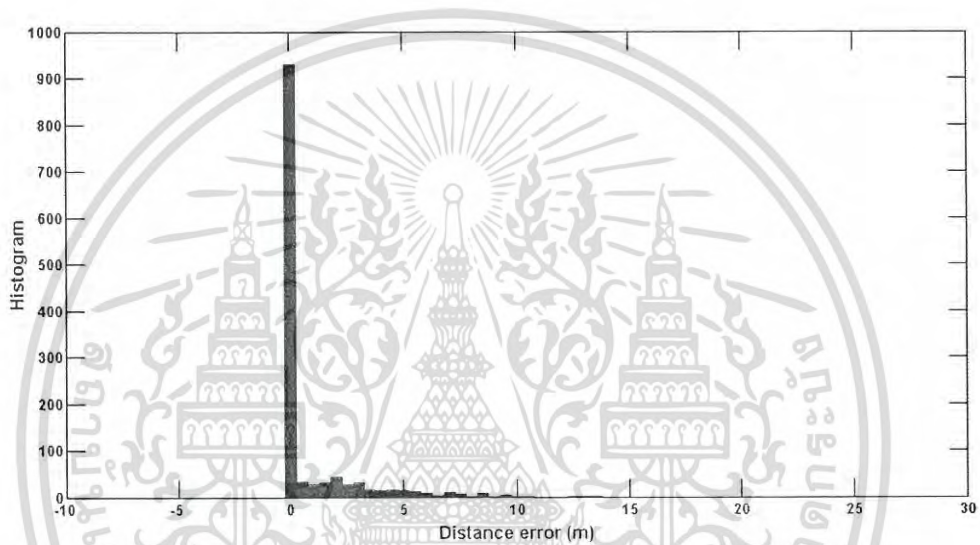


รูปที่ 5.29 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้
ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 4 ตัว

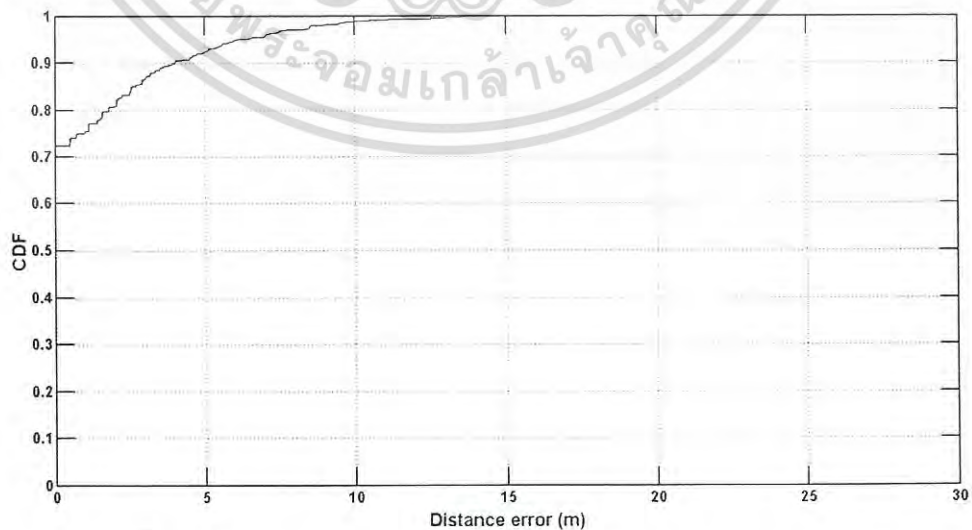
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 การใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว

สำหรับการศึกษาการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัวนั้นจะใช้ลายลักษณ์ของตำแหน่งอ้างอิงจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณตัวที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 หลังจากทำการคาดคะเนตำแหน่งแล้วพบว่า กรณีที่ให้ผลการทดลองวิจัยที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเมื่อแบ่งกลุ่มจำนวน 2 กลุ่ม กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาดมีทั้งสิ้น 932 ตำแหน่ง คิดเป็น 72.30% เมื่อพิจารณากรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 973 ตำแหน่ง คิดเป็น 75.48% ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีไม่ใช้อัลกอริทึมในการตัดสินใจและใช้การแบ่งกลุ่มแบบเคมินโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว แสดงได้ดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ฮิสโทแกรมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว



รูปที่ 5.31 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความผิดพลาดระยะทางกรณีใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัวให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.31 แสดงค่าความผิดพลาดระยะทางทั้งหมดกรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่ง 5 ตัว โดยแสดงอยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ซึ่งมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 1.04 เมตร ในขณะที่ค่าความผิดพลาดระยะทางมากที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง (13.5, 14.5) มีค่าเป็น 14.01 เมตร

5.6 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการประเมินผลการทดลองวิจัยใน 3 ส่วนคือการประเมินผลการทดลองวิจัยในการศึกษาการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม การประเมินผลเพื่อพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมและการประเมินผลการระบุตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัว

สำหรับการประเมินผลการทดลองวิจัยในการศึกษาการใช้อัลกอริทึมในการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนนั้น กรณีใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม 2.92 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับกรณีที่ใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว กรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีที่ไม่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม 2.72 เมตร

สำหรับการประเมินผลเพื่อพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมนั้น เมื่อพิจารณาความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยพบว่ามีความใกล้เคียงกันโดยอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน และเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีนมีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยที่สุด ในขณะที่เมื่อพิจารณากรณีที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้อง อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีความเที่ยงตรงมากที่สุดเช่นเดียวกับในกรณีเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร

สำหรับการประเมินผลการระบุตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ภาคส่งหลายตัวพบว่าเมื่อเพิ่มข้อมูลของลายลักษณ์ต้นแบบ ความแม่นยำของระบบก็เพิ่มมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อพิจารณากรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่ง 5 ตัวพบว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยมีค่า 1.04 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการของระบบหาตำแหน่งภายในอาคารที่มีค่าเท่ากับ 1 เมตร

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มบนพื้นฐานของเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย สำหรับการทดลองวิจัยนั้นใช้อุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณคือเราเตอร์ไร้สายยี่ห้อ Zyxel รุ่น P660HW-T1 v2 ซึ่งทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz โดยรองรับการใช้งานบนมาตรฐาน IEEE 802.11b/g ในขณะที่อุปกรณ์ภาครับจะใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน Samsung Galaxy S3 i9300 ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานบนมาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g/n ได้ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งคือค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ โดยทำการวัดบริเวณอาคาร E-12 ชั้นที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากนั้นทำการวิเคราะห์และประเมินผลใน 3 ลักษณะคือ การประเมินผลของการนำเอาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มมาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ การประเมินผลอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสม และการประเมินผลการหาตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัว

6.2 สรุปผลการวิจัย

สำหรับการประเมินผลของการนำเอาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มมาใช้ร่วมกับการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือนั้น จะใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณจากอุปกรณ์ภาคส่ง 1 ตัวคืออุปกรณ์ภาคส่งตัวที่ 4 โดยจะพิจารณากรณีการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดและการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยทำการประเมินผลทั้งในกรณีที่ใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนและกรณีที่ไมใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม ผลการทดลองวิจัยของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 จากผลการทดลองวิจัยพบว่า สำหรับกรณีการเปรียบเทียบโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดนั้น เมื่อใช้ร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 9.81 เมตร ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไมใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 12.73 เมตร ในส่วนการใช้อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัวร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนจะมีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 9.76 เมตร ซึ่งน้อยกว่ากรณีที่ไมใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่มีค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยที่ 12.48 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

เทคนิคการหาตำแหน่ง	อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม	กรณีที่ไม่เกิดความผิดพลาด (จุด)	กรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร (จุด)	ความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	ไม่ใช้	10	41	12.73
	เคมีน	11	47	9.81
อัลกอริทึมเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด k ตัว	ไม่ใช้	6	33	12.48
	เคมีน	0	33	9.76

สำหรับการประเมินผลอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมนั้นจะใช้พารามิเตอร์ค่าความแรงของสัญญาณจากอุปกรณ์ภาคส่ง 3 ตัว คืออุปกรณ์ภาคส่งตัวที่ 2, 4 และ 5 โดยพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มคือ การแบ่งกลุ่มแบบพีชชีซีมีน การแบ่งกลุ่มแบบลบบอก การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน การแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีน และการแบ่งกลุ่มแบบเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน ผลการทดลองวิจัยของการพิจารณาอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม

อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่ม	กรณีไม่เกิดความผิดพลาด (จุด)	กรณีเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร (จุด)	ความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
พีชชีซีมีน	487	560	2.45
ลบบอก	489	555	2.47
เคมีน	498	573	2.43
เคฮาร์โมนิกมีน	495	571	2.42
เคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีน	495	571	2.42

จากตารางที่ 6.2 เมื่อพิจารณาความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยพบว่ามีความใกล้เคียงกันโดยอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคฮาร์โมนิกมีนและเคอินเวอร์สฮาร์โมนิกมีนมีความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 2.42 เมตร แต่เมื่อพิจารณาความผิดพลาดกรณีทีละบุตำแหน่งได้ถูกต้องและกรณีเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร นั้น อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีนมีความแม่นยำที่สุดโดยระบุตำแหน่งได้ถูกต้องจำนวน 498 จุด คิดเป็น 38.63% และกรณีเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร จำนวน 573 จุด คิดเป็น 44.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการประเมินผลการหาตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัวนั้น จะใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือร่วมกับอัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มแบบเคมีน โดยจะประเมินผลการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งตั้งแต่ 2 ถึง 5 ตัว ผลของการหาตำแหน่งโดยใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัวแสดงได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบความแม่นยำของการใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่งหลายตัว

จำนวนอุปกรณ์ภาคส่ง (ตัว)	กรณีไม่เกิดความผิดพลาด (จุด)	กรณีเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตร (จุด)	ความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ย (เมตร)
2	230	324	3.57
3	498	573	2.43
4	774	830	1.45
5	932	973	1.04

จากตารางที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มข้อมูลของลายลักษณ์ต้นแบบ ความแม่นยำของระบบก็จะเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยเมื่อพิจารณากรณีใช้ลายลักษณ์ต้นแบบจากอุปกรณ์ส่ง 5 ตัวพบว่า ค่าความผิดพลาดระยะทางเฉลี่ยมีค่า 1.04 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความต้องการของระบบนำทางภายในอาคารที่มีค่าเท่ากับ 1 เมตร เมื่อพิจารณากรณีที่ระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมีทั้งสิ้น 932 ตำแหน่ง คิดเป็น 72.30% และกรณีที่เกิดความผิดพลาดไม่เกิน 1 เมตรพบว่ามีทั้งสิ้น 973 ตำแหน่ง คิดเป็น 75.48%

6.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือบนพื้นฐานเครือข่ายพื้นที่ไร้สายสำหรับระบบหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยทำการประเมินผลในสภาวะแวดล้อมจริงซึ่งมีวัตถุรวมถึงสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ทำการทดลองวิจัย อย่างไรก็ตามในการทดลองวิจัยนั้นยังไม่ได้พิจารณาถึงกรณีที่วัตถุหรือสิ่งกีดขวางมีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง

จากผลการทดลองวิจัย ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการของระบบซึ่งทำให้เห็นประโยชน์ในการใช้อัลกอริทึมการแบ่งกลุ่มร่วมกับเทคนิคการสแกนลายนิ้วมือ อย่างไรก็ตามขั้นตอนการฝึกฝนยังไม่ได้พิจารณาถึงการใช้การประมาณค่าในช่วงมาใช้ในการสร้างลายลักษณ์ต้นแบบ เพื่อให้สามารถทำการคาดคะเนข้อมูลของตำแหน่งที่ไม่ได้ทำการเก็บลายลักษณ์ต้นแบบไว้ในฐานข้อมูลได้ นอกจากนี้สำหรับในขั้นตอนการทดสอบสำหรับการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการสแกนลายนิ้วมือยังสามารถใช้เทคนิคในการตัดสินใจอื่น ๆ ที่น่าสนใจในการคาดคะเนตำแหน่งได้เช่น โครงข่ายประสาท (Neural Network) และ ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Sharma and N. Dhir, "A Study of Wireless Networks: WLANs, WPANs, WMANs, and WWANs with Comparison," International Journal of Computer Science and Information Technologies, vol. 5, no. 6, pp. 7810-7813, 2014.
- [2] N. Abramson, "The ALOHA System - Another Alternative for Computer Communications," Fall Joint Computer Conference, pp. 281-285, 1970.
- [3] F. R. Gfeller and U. Bapst, "Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation," Proc. of IEEE, vol. 67, pp. 1474-1485, 1979.
- [4] K. Pahlavan, "Review of wireless in-house data communication systems," Proc. IEEE Computer Networking Symposium, 1984.
- [5] K. Pahlavan, "Wireless office information networks," IEEE Commuication Magazine, vol. 23, no. 6, pp. 19-27, 1985.
- [6] W. Lemstra, V. Hayes and J. Groenewegen, "The Innovation Journey of Wi-Fi: The Road To Global Success," Cambridge University Press, 2010.
- [7] V. Angelakis, S. Papadakis, V. A. Siris and A. Traganitis, "Adjacent channel interference in 802.11a is harmful: Testbed validation of a simple quantification model," IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 3, pp. 160-166, Mar. 2011.
- [8] J. Jun, P. Peddabachagari and M. Sichitiu, "Theoretical Maximum Throughput of IEEE 802.11 and its Applications," The Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, 2003.
- [9] V. Kelly, "New IEEE 802.11ac™ Specification Driven by Evolving Market Need for Higher, Multi-User Throughput in Wireless LANs," IEEE, Jan. 2014.
- [10] T. Higgins, "AC1900: Innovation or 3D Wi-Fi?," SmallNetBuilder, Oct. 2013.
- [11] M. Hachman, "Quantenna chipset to anchor speedy first 'Wave 2' Asus router," PCWorld, Jan. 2014.
- [12] C. Gilby, "What Wave of 802.11ac is Right for You?," Dec. 2012.
- [13] B. Rubino, "Cisco will ride the 802.11ac Wave2," Cisco Systems, May 2013.
- [14] Qualcomm Atheros, Inc., "802.11ac MU-MIMO: Bridging the MIMO Gap in Wi-Fi," Jan. 2015.
- [15] TP-Link Technologies Co., Ltd, "AD7200 User Guide," Jan. 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [16] J. Pagonis and J. Dixon, "Location awareness and location based services – Part I," 2004.
- [17] K. Muthukrishnan, M. E. M. Lijding and P. J. M. Havinga, "Towards smart surroundings: Enabling techniques and technologies for localization," International Workshop on Location and Context-Awareness, pp. 350–362, May 2005.
- [18] J. Roth, "A decentralized location service providing semantic locations," Ph.D. dissertation, University of Hagen, 2005.
- [19] L. Zwirello, M. Janson and T. Zwick, "Ultra-Wideband Based Positioning System for Applications in Industrial Environments," The European Wireless Technology Conference, pp. 165-168, Sep. 2010.
- [20] L. Zwirello, M. Janson, C. Ascher and U. Schwesinger, "Localization in Industrial Halls via Ultra-Wideband Signals," The Workshop on Positioning Navigation and Communication, pp. 144-149, Mar. 2010.
- [21] P. Axelsson, R. Karlsson and M. Norrlof, "Tool position estimation of a flexible industrial robot using recursive bayesian methods," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5234-5239, May 2012.
- [22] N. Gilbert, "RMT Robotics to Expand New ADAM Autonomous Mobile Robot in Japan," May 2012.
- [23] E. Iadanza, F. Dori, R. Miniati and R. Bonaiuti, "Patients tracking and identifying inside hospital: A multilayer method to plan an RFID solution," International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 1462-1466, Aug. 2008.
- [24] G. B. Gentili, F. Dori and E. Iadanza, "Dual-Frequency Active RFID Solution for Tracking Patients in a Children's Hospital. Design Method, Test Procedure, Risk Analysis, and Technical Solution," Proc. of the IEEE, vol. 98, no. 9, pp. 1656-1662, July 2010.
- [25] C. Lin, T. Lee, S. Syu and B. Chen, "Application of Intelligent Agent and RFID Technology for Indoor Position: Safety of Kindergarten as Example," International Conference on Machine Learning and Cybernetics 2010, vol. 5, pp. 2571-2576, July 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [26] H. Kharrati, S. Khanmohammadi, N. Khosroshahli and N. Miandashti, "Application of Two Intelligent Methods for Firefighting Systems in Rescue Environment with New Parameters on Modeling," International Conference on Mechanical and Electronics Engineering, vol. 1, pp. 309–313, Aug. 2010.
- [27] S. Dogra, S. Manna, A. Banik, S. Maiti and S. K. Sarkar, "A novel approach for RFID based fire protection," International Conference on Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems 2009, pp. 198–210, Dec. 2009.
- [28] X. Zhang, G. Han, C. Zhu, Y. Dou and J. Tao, "Research of Wireless Sensor Networks based on ZigBee for Miner Position," International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation, pp. 1–5, May 2010.
- [29] W. Yan, Z. Ya-ru and M. Yong, "Study on the Coal Mine Personnel Position System Based on Wireless Body Sensor Networks," The 5th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, pp. 75–78, June 2008.
- [30] X. Huang, W. Zhu and D. Lu, "Underground Miners localization System Based on ZigBee and WebGIS," International Conference on Geoinformatics, pp. 1–5, June 2010.
- [31] J. Tian and J. Zhu, "Positioning system for miners based on RFID," International Conference on Multimedia Technology, pp. 626–629, July 2011.
- [32] I. B. Shirokov, "Microwave Autodyne Sensor for Monitoring of Cardiac Rhythm of Mines Workers," IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security, pp. 1–4, Feb. 2011.
- [33] S. Dayekh, S. Affes, N. Kandil and C. Nerguizian, "Radio-Localization in Underground Narrow-Vein Mines Using Neural Networks with In-built Tracking and Time Diversity," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1788–1793, Mar. 2011.
- [34] J. Song, Y. Zhu and F. Dong, "Automatic Monitoring System for Coal Mine Safety Based on Wireless Sensor Network," Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, vol. 2, pp. 933–936, July 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [35] ENSCO, Inc. “Robust, real-time positioning, tracking and locating of dismounted soldiers, firefighters and other first responders in GPS-denied environments,” 2015.
- [36] C. Barberis, A. Bottino, G. Malnati and P. Montuschi, “Experiencing Indoor Navigation on Mobile Devices,” IT Professional, vol. 16, no. 1, pp. 50-57, July 2013.
- [37] B. Gressmann, H. Klimek and V. Turau, “Towards ubiquitous indoor location based services and indoor navigation,” Workshop on Positioning Navigation and Communication, pp. 107-112, Mar. 2010.
- [38] Y. Guo and L. Cao, “Study of Location and Navigation Services in Complex Indoor Scenes Based on the Android Mobile Computing Platform,” International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science, pp. 91-93, Oct. 2012.
- [39] K. Katdare, “How does indoor GPS work?,” Discussion in Electrical | Electronics | Communications in Crazy Engineers, Mar. 2013.
- [40] J. A. Tauber, “Location systems for pervasive computing,” Area Exam Report. Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [41] R. Want, A. Hopper, V. Falcao and J. Gibbons, “The active badge location system,” ACM Transactions on Information Systems, vol. 40, pp. 91-102, Jan. 1992.
- [42] N. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, “The Cricket Location-Support System,” The 6th ACM MOBICOM Conference, vol. 1, pp. 32-43, Aug. 2000.
- [43] NECTEC, “รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี,” ปทุมธานี, 2548
- [44] W. Zafar, “Bluetooth 4.0 Devices,” Oct. 2012.
- [45] M. Matin, “Wireless Sensor Networks - Technology and Applications,” InTech. 2012.
- [46] M. Hebel and G. Bricker, “Getting Started with XBee RF Modules,” Parallax Inc., 2010.
- [47] F. Nekoogar, “Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications,” New Jersey: Prentice Hall. 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [48] M. D. Benedetto and G. Giancola, "Understanding Ultra Wide Band Radio Fundamentals," New Jersey: Prentice Hall. 2004.
- [49] S.M.R. Islam, "Ultra-wideband (UWB): Dead or Alive?," Aug. 2011.
- [50] D. A. Gratton, "Developing Practical Wireless Applications," Boston: Elsevier. 2006.
- [51] Y. Qi, "Wireless geolocation in a non-line-of-sight environment," Ph.D. Dissertation, Princeton University, Dec. 2004.
- [52] Z. Sahinoglu, S. Gezici, and I. Guvenc, "Ultra-Wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, and Protocols," Cambridge. UK: Cambridge University Press, 2008.
- [53] G. L. Turin, "An introduction to matched filters," IRE Transaction Information Theory, IT-6: 3, pp. 311-329, 1960.
- [54] J. J. Caffery, "Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems," Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [55] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, and T. Nordstrom, "Database Correlation Method for GSM Location," IEEE Vehicular Technology Conference, vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
- [56] S. Gezici, "A Survey on wireless position estimation," Wireless Personal Communication, 44: 3, pp. 263-282, 2008.
- [57] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, "Pattern Classification," Second Edition, John Wiley, 2000.
- [58] C. Nerguizian, C. Despins and S. Affes, "Geolocation in mines with an impulse response fingerprinting technique and neural networks," IEEE Trans. Wireless Communication, 5: 3, pp. 603-611, 2006.
- [59] D. Kriesel, "A Brief Introduction to Neural Networks," A seminar of the University of Bonn in Germany, May 2005.
- [60] H. Li, C. L. P. Chen and H. Huang, "Fuzzy Neural Intelligent System: Mathematical Foundation and the Application in Engineering," CRC Press LLC, 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [61] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, vol. 1, pp. 281-297, 1967.
- [62] J. C. Bezdek, "Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms," Plenum, New York, 1981.
- [63] B. Zhang, M. Hus and U. Dayal, "K-harmonic means - a data clustering algorithm," Technical Report HPL-1999-124, Hewlett-Packard Laboratories, 1999.
- [64] K. Charansiriphaisan, S. Chiewchanwattana and K. Sunut, "K - Inverse Harmonic Means Clustering Algorithm," The 12th Graduate Research Conference Khon Kaen University, pp. 228-238, Jan. 2011.
- [65] A. Priyono, M. Ridwan, A. J. Alias, R. Atiq, O. K. Rahmat, et.al., "Generation of Fuzzy Rules with Subtractive Clustering," Jurnal Teknologi, vol. 43, Dec. 2005.
- [66] R. Olyazadeh "Least Square Approach on Indoor Positioning Measurement Techniques," Geomundus, 2012.
- [67] M. Choi and B. Jang, "An Accurate Fingerprinting based Indoor Positioning Algorithm," International Journal of Applied Engineering Research, vol. 12, no. 1, pp. 86-90, 2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. J. Sangthong and S. Promwong, "Mobile Navigation System Using Fuzzy C-Mean Clustering and Subtractive Clustering Based on Fingerprinting Technique," *Advanced Science Letters*, vol. 21, no. 10, pp. 3033-3036, 2015.
2. J. Sangthong, P. Supanakoon and S. Promwong, "Indoor Navigation and Tracking Using WLAN-Fingerprinting Technique and K – Inverse Harmonic Means Clustering on Mobile Device," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 781, pp. 77-80, 2015.
3. J. Sangthong, P. Dokpikul and S. Promwong, "Indoor Positioning Based on IEEE 802.15.4a Standard Using Trilateration Technique and UWB Signal," *Progress In Electromagnetics Research Symposium 2012 (PIERS2012)*, pp. 473-477, Kuala Lumpur, Malaysia. March 27-30, 2012.
4. J. Sangthong, P. Dokpikul and S. Promwong, "Experimental Evaluation Scheme of UWB-Fingerprinting Positioning Based On IEEE802.15.4a Standard," *1st International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2011)*, pp. 309-312, Bangkok, Thailand. January 26-29, 2012.

VOLUME 21 • NUMBER 10

OCTOBER 2015

www.aspbs.com/science

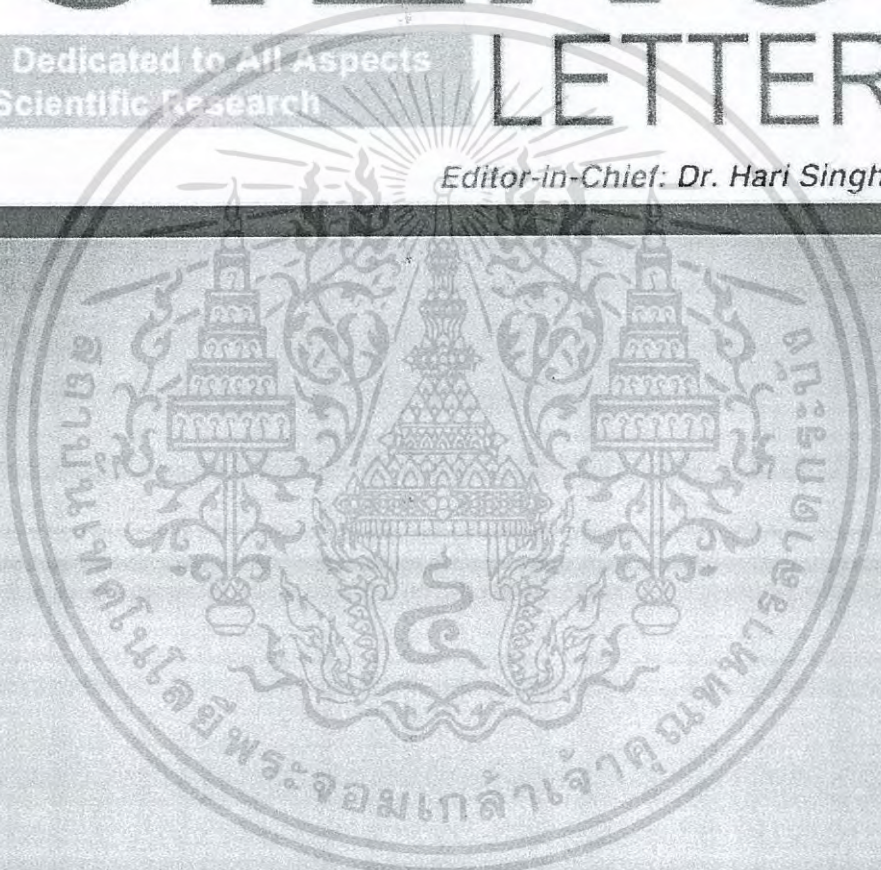
Advanced

SCIENCE

A Journal Dedicated to All Aspects
of Scientific Research

LETTERS

Editor-in-Chief: Dr. Hari Singh Nalwa, USA



A Special Issue on
3rd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering
(ISTIE 2015) Kuta, Bali, Indonesia, 30 - 31 May 2015

GUEST EDITORS: Ford Lumban Gaol and Benfano Soewito



**AMERICAN
SCIENTIFIC
PUBLISHERS**

Copyright © 2015, American Scientific Publishers. All rights reserved. This journal is published by American Scientific Publishers, 2015, Volume 21, Number 10, October 2015. ISSN: 1547-5178. The journal is published quarterly. The journal is published by American Scientific Publishers, 2015, Volume 21, Number 10, October 2015. ISSN: 1547-5178. The journal is published quarterly. The journal is published by American Scientific Publishers, 2015, Volume 21, Number 10, October 2015. ISSN: 1547-5178. The journal is published quarterly.

Mobile Navigation System Using Fuzzy C-Mean Clustering and Subtractive Clustering Based on Fingerprinting Technique

Jirapat Sangthong^{1,*} and Sathaporn Promwong²

¹Department of Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Department of Telecommunication Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

In recent year, the mobile navigation system has been a topic of great interest among researchers because of its various mobile applications. This work, we discuss about mobile navigation system based on fingerprinting technique. The experimental test bed is covered area is 216 square meters in and indoor environment. The RSS information in training process will be investigated. Then, the RSS information will be group by using FCM and SC. For real-time process, the RSS reading will be using to estimate the position. Finally, the accuracy of estimated distances is shown and compared among use of FCM and SC.

Keywords: Mobile Navigation System, Fuzzy C-Mean Clustering, Subtractive Clustering, Fingerprinting Technique, Indoor Positioning, Received Signal Strength.

1. INTRODUCTION

In recent year, the mobile navigation system has been a topic of great interest among researchers because of its various mobile applications¹ namely in emergency services; in industrial control equipment; in human position detection devices used by firemen in the fire, by miners in the mine, to locate children in kindergartens or patients in hospitals; and so on.

For navigation system, there are many techniques that proposed to estimate the position. Range-based positioning is popularly used. These techniques could be classified into the following categories including trilateration, triangulation, weighted centroid localization and so on. However, the performance of positioning is affected from the missing line of sight (LOS) in an indoor environment. Fortunately, the fingerprinting technique is become to solve this problem.

The fingerprinting technique uses the same processes with the human fingerprinting. This technique has two processes (training process and real-time process).^{2,3} The all considered information (the received signal strength: RSS) are collected to database in training process. Then, the information from unknown position will be used to estimate the position by comparing with all of information in database. Although, fingerprinting technique can be solve the multipath fading effects, but it uses more time-consumption.

Clustering algorithm is the method to divide the information into cluster or group. The Fuzzy C-Mean clustering (FCM) is well-known clustering algorithm, many researches applied it with many applications.^{4,5} Beside, FCM requires the several pre-specific initial values such as the number of clusters, the fuzziness index and the termination tolerance. The performance of system is strongly depends on the choice of pre-specific initial values. However, the Subtractive Clustering (SC) algorithm can be solved the challenge. SC can be found the number of clusters and the centroid of cluster. It not need to pre-specific initial values.

This work, we discuss about mobile navigation system based on fingerprinting technique. The experimental test bed covered area is 216 square meters in an indoor environment. The RSS information in training process will be investigated. Then, the RSS information will be group by using FCM and SC. For real-time process, the RSS reading will be used to estimate the position.

2. FINGERPRINTING TECHNIQUE WITH CLUSTERING ALGORITHM

The fingerprinting technique is composed of two processes: training process and real-time process. The illustration of fingerprinting technique with clustering algorithm can be shown in Figure 1.

*Author to whom correspondence should be addressed.

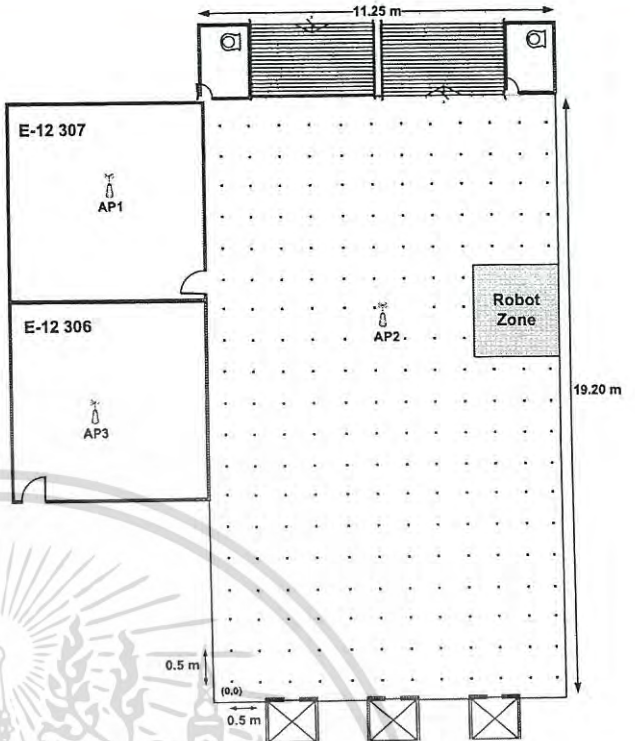
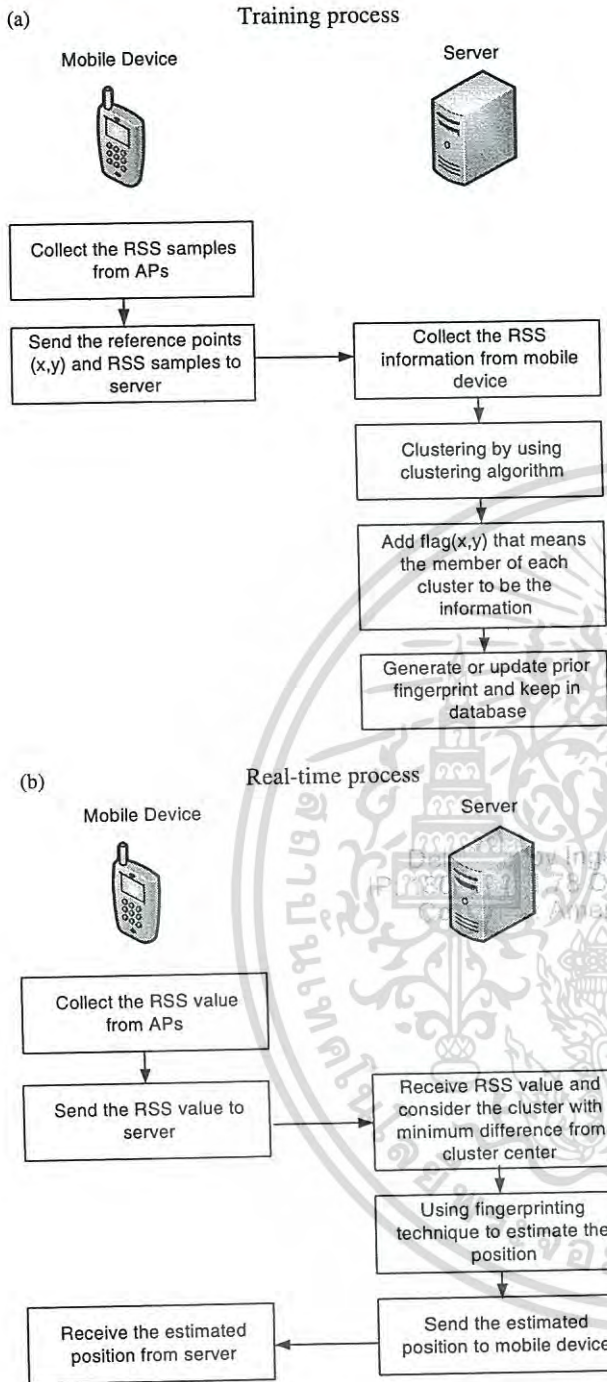


Fig. 2. The geometry of the test bed area and the experimental setup.

2.1. Fuzzy C-Mean Clustering

The Fuzzy C-Means algorithm (FCM) is the one of well-known clustering algorithm. First, the number of cluster (k) is selected and initiated the cluster center point (c_j) for represents the cluster group. Then, the membership value (U) can be calculated by:

$$U = \frac{\|x_i - c_j\|^{-2/(m-1)}}{\sum_{j=1}^k \|x_i - c_j\|^{-2/(m-1)}} \quad (1)$$

where x_i is the RSS value of reference points and m is fuzziness index.

After that, the FCM objective function (O_{FCM}) value is given by:

$$O_{FCM} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (x_i - c_j)^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2)$$

where n is the number of reference points.

Fig. 1. The illustration of fingerprinting technique with clustering algorithm.

In the training process, the available received signal strength (RSS) value of all reference points (RPs) is collected. For pre-identified the position, the RSS values are grouped into the cluster by the clustering algorithm. The prior fingerprint is comprised from the RSS value of each position and its cluster (flag) and collected them to the database. In the real-time process, the RSS value will be read and compared with the each cluster center. The position will be estimated by comparing between real-time RSS value and All RSS value in its cluster.

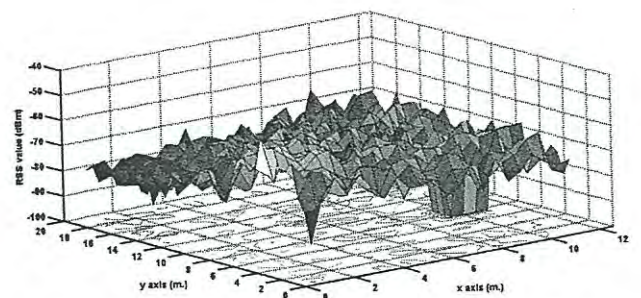


Fig. 3. The RSS values of each reference point collected from AP1.

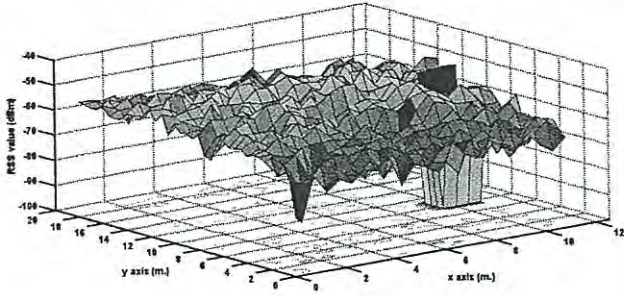


Fig. 4. The RSS values of each reference point collected from AP2.

The each cluster center point (c_j) will be updated and evaluated by:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n U_{i,j}^y x_i}{\sum_{i=1}^n U_{i,j}^y} \quad (3)$$

The new membership value will be calculated after updated cluster center point. The process is repeated again from Eqs. (1) to (3) until each cluster is no change.

$$\|O_{FCM(old)} - O_{FCM(new)}\| \leq \varepsilon \quad (4)$$

where ε is the termination coefficient.

2.2. Subtractive Clustering

Subtractive clustering is developed to solve the mountain method computation problem.⁶ The candidate data points are used as cluster center point. This algorithm is not need to initial the number of cluster values. Besides, this method provides the less time consumption in computation process with good approximation.

First, the considered RSS value of reference points (x_i) could be considered as a cluster center point (c_j). The density value (D_i) of each x_i can be calculated by:

$$D_i(x_i) = \sum_{j=1}^n e^{-a\|x_i-x_j\|^2} \quad (5)$$

where $a = 4/r_a^2$, r_a is the neighborhood data point diameter of cluster center point.

The density value is the difference between the processing data point (x_j) and all other data points (x_i). The highest density will be selected as the clustering center point (c_k). After that, the density value of other data points is corrected by:

$$D_i(x_i) = D_i^*(x_i) - D(c_k) \cdot e^{-\beta\|x_i-x_c\|^2} \quad (6)$$

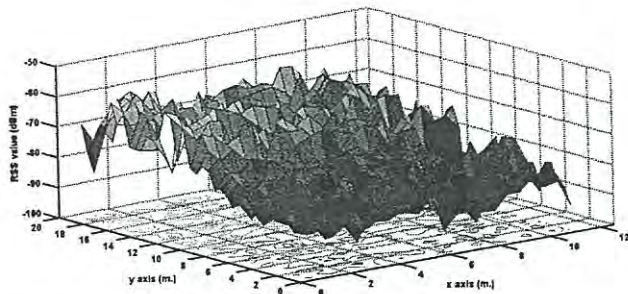


Fig. 5. The RSS values of each reference point collected from AP3.

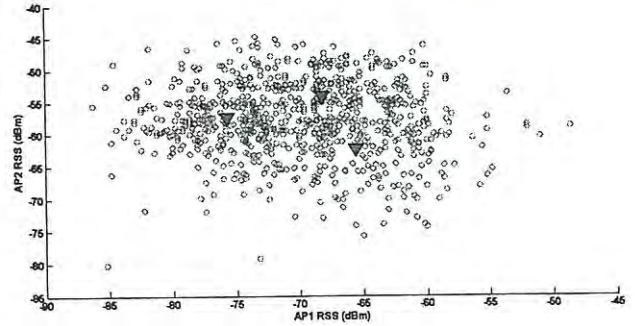


Fig. 6. The clustering center point of FCM ($k = 3$).

where $D_i(x_i)$ is the density value after correction, $D_i^*(x_i)$ is the density value before correction, $D(c_k)$ is the density value of k th clustering center point, $\beta = 4/r_b^2$, r_b is the neighborhood data point diameter of cluster center point that can reduce in each density value, x_c is the clustering center point.

The process is repeated again from Eq. (5) for find new clustering center point and update the density value until Eq. (7) is satisfied.

$$D(c_k) < D_1(x_i) \cdot \varepsilon \quad (7)$$

where ε is the termination coefficient ($0 < \varepsilon \leq 1$).

3. EXPERIMENTAL SETUP

The geometry of the experimental setup and the test bed area is shown in Figure 2.

From Figure 2, the experimental test bed is set up at the open space of 3rd floor, E-Building, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The test bed covered area is 216 square meters with 11.25 meters width

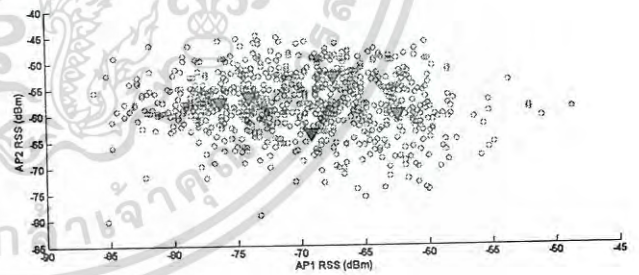


Fig. 7. The clustering center point of FCM ($k = 5$).

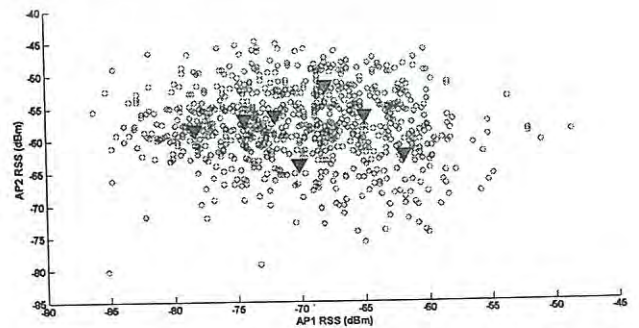


Fig. 8. The clustering center point of FCM ($k = 7$).

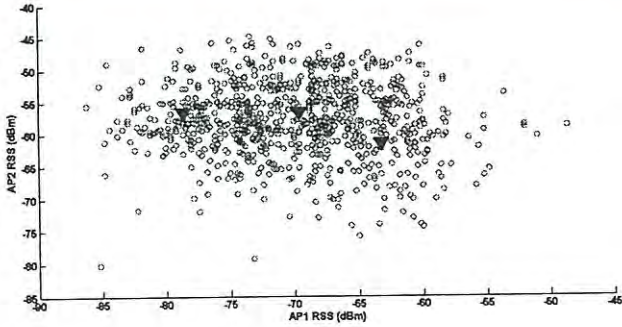


Fig. 9. The clustering center point of SC.

and 19.2 meters length. The robot zone is the non-measurable zone with covered area is 4 square meters with 2 meters width and 2 meters length. The RSS values are conducted by using Samsung Galaxy S3 mobile device. The WLAN infrastructure included three ZyXel P-660HN-T1A access points (AP) are utilized. AP1 and AP2 are set up on the ceiling, AP3 is on the table. The 0.5 meter space is experimented for collect RSS value of reference points and target points with the total number is 820 points.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The RSS value of each AP that collected in database in training process can be show in Figures 3–5 (assume that RSS values at robot zone are equal to -100 dBm).

The RSS values collected from AP1 are between -48.6 dBm to -86.2 dBm. Moreover, the RSS values collected from AP2 are between -44.8 dBm to -80.2 dBm. While, the RSS values collected from AP3 are between -57.6 dBm to -92.8 dBm.

Then, the RSS information in database will be grouped in to the cluster. For FCM, the cluster center points are found by using Eqs. (1)–(4). The FCM clustering center point of difference number of cluster ($k = 3, 5$ and 7) are shown in Figures 6–8, respectively.

From Figure 6, the clustering center points of FCM ($k = 3$) are $(-65.54, -62.32, -83.24)$, $(-68.20, -54.03, -75.66)$ and $(-75.70, -57.40, -69.07)$. While, the clustering center points of FCM ($k = 5$) are $(-69.14, -63.59, -83.20)$, $(-74.00, -56.55, -73.51)$, $(-67.37, -52.75, -74.56)$, $(-62.35, -59.84, -82.58)$, $(-76.28, -57.63, -66.99)$. Besides, the clustering center points of FCM ($k = 7$) are $(-64.91, -56.25, -79.70)$, $(-74.34, -56.82, -74.42)$, $(-67.98, -51.73, -74.14)$, $(-61.82, -62.35, -84.15)$, $(-70.08, -63.80, -83.27)$, $(-78.22, -58.36, -67.52)$ and $(-71.91, -56.27, -67.86)$.

Table I. Average distance errors results.

Clustering algorithm	Distance error (m.)
FCM ($k = 3$)	3.84
FCM ($k = 5$)	3.84
FCM ($k = 7$)	3.85
SC	3.8

After that, the SC algorithm is used to compare with FCM by using Eqs. (5)–(7). The SC cluster center point is shown in Figure 9.

From Figure 9, the number of cluster after finished the SC clustering process is 3 clusters. The clustering center points of SC are $(-69.60, -56.60, -74.60)$, $(-63.20, -61.40, -84.40)$, $(-78.60, -56.60, -63.60)$.

Finally, the estimated-error from fingerprinting technique is characterized by using the average estimated error. The average estimated error of each clustering algorithms are shown in Table I.

From Table I, the average distance error by using FCM algorithm is about 3.84 meters in every case ($k = 3, 5$ and 7). While, the average estimated errors of SC algorithm is 3.8 meters.

5. CONCLUSIONS

This work evaluated the fingerprinting technique for mobile navigation system. The RSS information will be group by using FCM and SC in training process. The experimental test bed is covered area is 216 square meters in and indoor environment.

From results, the SC provided the slightly higher accuracy than FCM without initial the number of cluster values. Besides, SC provides the good distribution of cluster center point by approximation that less time consumption in computation process to find the appropriate number of cluster like FCM.

References and Notes

1. Z. Sahinoglu, S. Gezici, and I. Guvenc, *Ultra-Wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms, and Protocols*, Cambridge Univ. Press (2008).
2. M. Bshara, U. Orguner, F. Gustafsson, and L. V. Biesen, *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 59, 283 (2010).
3. A. K. M. M. Hossain, H. N. Van, and W. Soh, Fingerprint-based location estimation with virtual access points, *International Conference on Computer Communications and Networks* (2008), pp. 485–490.
4. X. Tong, S. Zeng, N. Sang, and L. Zeng, Hand-written numeral recognition based on fuzzy C-means algorithm, *International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business Engineering and Science* (2010), pp. 528–532.
5. X. Lei, G. Yifei, L. Sheng, H. Wei, and X. Di, Research on the improved FCM cluster method in the hotspots analysis on web, *International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control* (2012), pp. 478–481.
6. S. L. Chiu, *Intelligent Fuzzy Systems* 2, 267 (1994).

Received: 6 October 2014. Accepted: 16 November 2014.

Advanced Engineering Research



Edited by
Apirat Siritaratiwat and Anan Kruesubthaworn

TTP TRANS TECH PUBLICATIONS

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น จัดพิมพ์งานนี้ให้ตัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Indoor Navigation and Tracking Using WLAN-Fingerprinting Technique and K – Inverse Harmonic Means Clustering on Mobile Device

Jirapat Sangthong^{1,a*}, Pichaya Supanakoon^{2,b} and Sathaporn Promwong^{2,c}

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

² Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

^as4610123@kmitl.ac.th, ^bkspichay@kmitl.ac.th, ^ckpsathap@kmitl.ac.th

Keywords: indoor navigation, indoor tracking, indoor positioning, fingerprinting technique, mobile devices, RSS, K-mean, K-inverse harmonic means

Abstract. This work evaluated the indoor navigation with the WLAN-fingerprinting technique and k-inverse harmonic mean clustering. During offline phase, the RSS of references node are grouped by KIHM clustering algorithm. In addition, the flag parameter that means the member of each cluster will be added to database. Then, the KIHM membership values will be used to find the cluster and using fingerprinting technique to estimate the target node positions. The best result derived from the KIHM clustering techniques with 3 clusters. The average distance error is 3.73 meters with the 18.41% no error estimated position.

Introduction

Nowadays, the demand of location-based services such as human navigation and animal tracking are increasing in our life. Although, the global positioning system (GPS) is widely used for an open-air navigation based on satellite navigation system, it does not work well in an indoor environment due to the missing of GPS signal. Fortunately, the widespread availability of IEEE802.11 WLAN can be used to provide the indoor navigation system. However, the meter-lever accuracy requirement of indoor navigation system is motivated among the researchers due to the complex environments. There have been many positioning techniques that can be proposed [1]. One of most popular technique for estimating the position is fingerprinting technique.

Many indoor positioning with fingerprinting technique use K-Mean (KM) clustering because of its performance and simple computation. In [2] the KM is used to classify the RSS-reference-position members of cluster in offline process. After evaluating, the average error of clustered technique is 2.7 m., while, the average error of non-clustered technique is 2.89 m. Moreover, in [3] The KM is improved with the harmonic mean function and called K-Harmonic means (KHM) clustering is used to evaluate the user navigation patterns. For better results, this work proposed use of improved KHM that called K-inverse harmonic means (KIHM) clustering. KIHM use the harmonic means of reverse radial basis function instead the Euclidean distance from the cluster center.

Fingerprinting Technique Approach

From previous mention, a typical fingerprinting technique consists of two phases: offline phase and online phases [4]. During offline phase, the indoor propagation channel characteristic (such as RSS) of all available access points (APs) can be measured to build a prior fingerprint at the reference nodes (RN). Then, all of them are collected to generate the database. Then, the positions are estimated during online phase. The RSS of all APs are measured to build a target fingerprint (namely: signature) at the target nodes (TN) and compared with prior fingerprints in database to estimate the position.

Nevertheless, this work approaches KIHM clustering to group the RSS of reference nodes (RSS-RN) in offline phase. While, the KIHM membership values of RN-RSS are used to estimate the position in online phase.

K – Inverse Harmonic Means Clustering

K-inverse harmonic mean clustering is the center-based algorithm which uses inverse radial basis function instead the uses of Euclidean distances in KM and the uses of harmonic averages in KHM. First, The number of clusters (k) will be selected. Then, the centroid of each clusters (C_j) is random. The distance between RN-RSS (RSS_i) and the centroid of each cluster is following by:

$$d_{ij} = \|RSS_i - C_j\| \quad (1)$$

After that, the KIHM objective function value is given by:

$$KIHM = \sum_{i=1}^n \frac{k}{\sum_{j=1}^k \exp((- \beta) \cdot d_{ij})} \quad (2)$$

where n is the number of RN-RSS, k is the number of clusters and β is the parameter of inverse radial basis function.

The RN-RSS will be grouped to the k clusters by considering the membership values ($m(C_j | RSS_i)$). The membership values of RN-RSS can be calculated by:

$$m(C_j | RSS_i) = \frac{\exp((- \beta) \cdot d_{ij}}{\sum_{j=1}^k \exp((- \beta) \cdot d_{ij})} \quad (3)$$

Finally, the new centroid of each cluster (C_j) will be evaluated by following:

$$C_j = \frac{\sum_{j=1}^n m(C_j | RSS_i) w_i RSS_i}{\sum_{j=1}^n m(C_j | RSS_i) w_i} \quad (4)$$

where w_i is the weighted value of input data and can be calculated by:

$$w(RSS_i) = \frac{\sum_{j=1}^k 1/d_{ij}^2}{\left(\sum_{j=1}^k (1/d_{ij})\right)^2} \quad (5)$$

Measurements Setup

The measurements were done to collect the data at the open space area in front of E-307 room, E-Building, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. RSS measurements are conducted by using WLAN at the frequency of 2.4 GHz. A total 820 mobile

nodes with 0.5 meter space are measured. The all APs are on the ceiling at the two rooms and the open space area. The layout of the test bed area and the measurement setup are shown in Fig. 1.

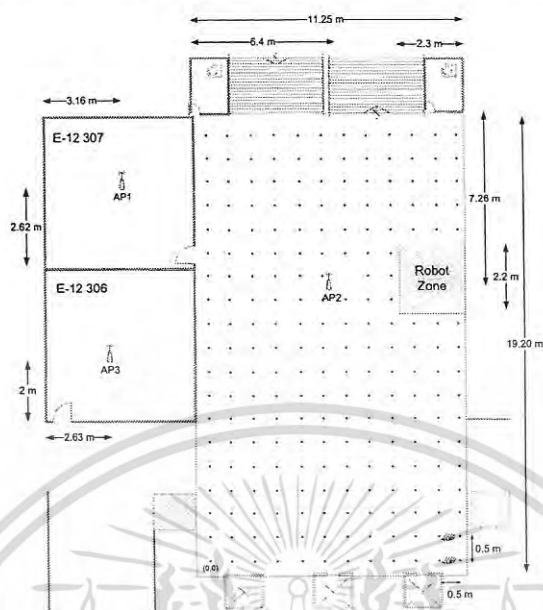


Figure 1 The layout of the test bed area and the measurement setup.

Results

During offline phase, the RSS of each AP are collected to build the fingerprint. Fig. 2 shows the RSS values of each reference node collected from AP1, AP2 and AP3, respectively. All of RSS-fingerprints are used to estimate the position of target nodes.

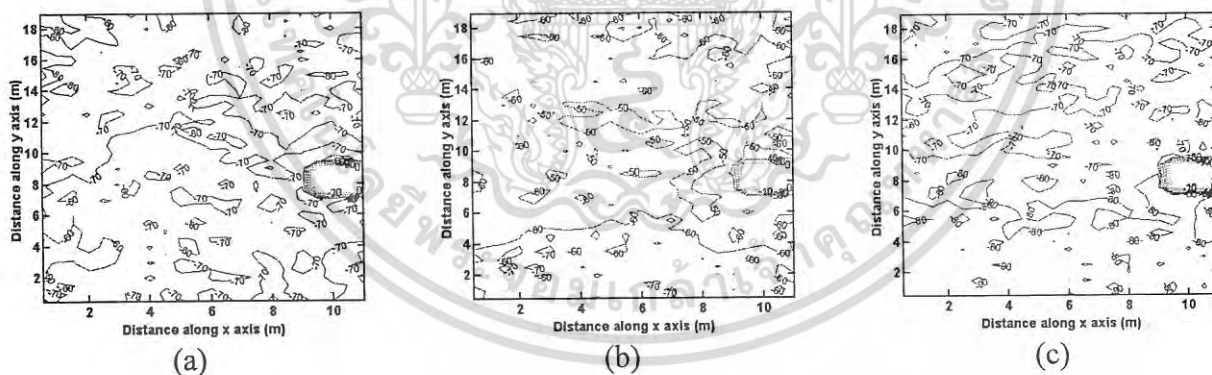


Figure 2 The RSS values of each reference node collected from a) AP1 b) AP2 c) AP3.

After that, the position can be estimated by using different clustering techniques (KIHM and KM) with the same RSS values that represent in Fig. 2. Then, the average distance errors of both clustering techniques with vary the number of clusters is shown in Table 1.

Table 1 The average distance errors of results.

Number of Clusters	Average Distance Error [m.]	
	KIHM	KM
3	3.7304	3.8110
5	3.7636	3.7570
7	3.7924	3.9028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

From Table 1, the average distance error of KIHM with 3 clusters is approximate 3.73 meters and with the same information the average distance error of KM is 3.81 meters. However, the average distance error of KM with 5 clusters is better than KIHM but not significance with the average distance error of both techniques is approximate 3.76 meters. Finally, the distribution of distance error of the best result derived from the KIHM clustering techniques with 3 clusters is characterized by using CDF and shows in Fig. 3.

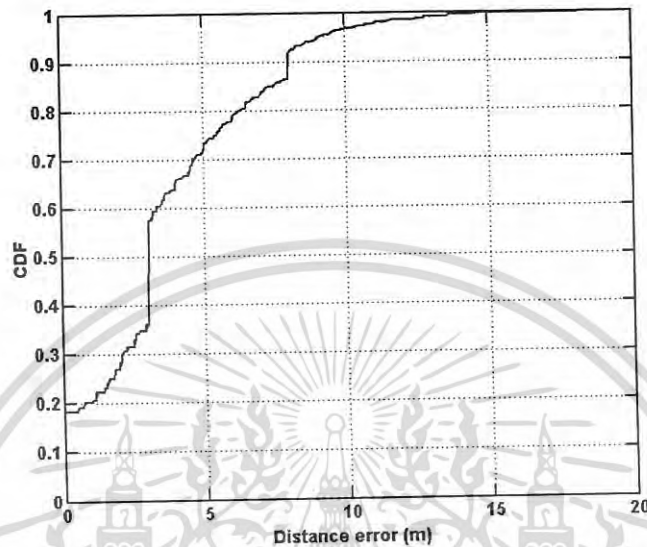


Figure 3 The CDF of distance error.

From Fig. 3, the average distance error of KIHM clustering techniques with 3 clusters is approximate 3.73 meters. Moreover, it obtained the 18.41% no error estimated position.

Conclusions

This work evaluated the indoor navigation with the WLAN-fingerprinting technique and k-inverse harmonic mean clustering. The RN-RSS are grouped to the cluster. In addition, the flag parameter that means the member of each cluster will be added to database. Then, the KIHM membership value will be used to find the cluster and using fingerprinting technique to estimate the target node positions. From the results, the best result derived from the KIHM clustering techniques with 3 clusters. The average distance error is approximate 3.73 meters with the 18.41% no error estimated position.

References.

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C*, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, Nov. 2007.
- [2] B. Altintas and T. Serif, "Improving RSS-Based Indoor Positioning Algorithm via K-Means Clustering," *The 11th European Wireless Conference 2011 - Sustainable Wireless Technologies (European Wireless)*, pp. 1-5, Apr. 2011.
- [3] R. Gobinath and M. Hemalatha, "An Optimized k-Harmonic Mean Based Clustering User Navigation Patterns," *The IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research 2013*, pp. 1-4, Dec. 2013.
- [4] J. Figueiras and S. Frattasi, *Mobile Positioning and Tracking From Conventional to Cooperative*, John Wiley & Sons Ltd, 2010.

PIERS 2012 Kuala Lumpur

Progress In Electromagnetics Research Symposium



Proceedings

March 27–30, 2012
Kuala Lumpur, MALAYSIA

www.emacademy.org
www.piers.org

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Indoor Positioning Based on IEEE 802.15.4a Standard Using Trilateration Technique and UWB Signal

Jirapat Sangthong¹, Prakaidao Dokpikul², and Sathaporn Promwong²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract— Nowadays, precision and accurate positioning in an indoor environment could provide widely researched because of its variety services. There have been many position estimation techniques that can be proposed such as geometric technique, statistical technique, mapping technique and many others. Trilateration technique is the one technique of geometric technique. This technique can be estimate the target position by using the intersection of circle that can be obtained from a set of reference positions. For low-rate communication, the IEEE 802.15.4a standard is proposed. This paper studies on indoor positioning based on IEEE 802.15.4a standard in IR-UWB option. All of measurements using vector network analyzer (VNA) to measure the channel frequency transfer functions. The biconical antennas were used as both transmitter (Tx) antenna and receiver (Rx) antenna with vertical polarization. Trilateration technique will be use to estimate position related parameter RSS and TOA. From the results, TOA has the higher accuracy than RSS both low band and high band cases.

1. INTRODUCTION

In recent years, the positioning system is based on technologies such as wireless local area network (WLAN), ZigBee, Bluetooth, ultrasonic, radio frequency identification (RFID) and ultra wide-band (UWB). Precision and accurate positioning in an indoor environment could provide widely researched because of its variety services [1, 2] including position detection people such as miner in mine [3, 4], medical instrumentation, industrial sensors and many others. This system requires high accuracy in an indoor environments which dense multipath. This leads to use UWB for indoor positioning [5].

There have been many position estimation techniques that can be proposed. These position estimation techniques is related on signal parameters: received signal strength (RSS), angle of arrival (AOA), time of arrival (TOA) and time difference of arrival (TDOA) [6, 7]. Trilateration technique is the one technique of geometric technique. This technique can be estimate the target position by using the intersection of circle that can be obtained from a set of reference positions.

Nowadays, IEEE 802.15.4a has developed an UWB based on MAC and physical layer standards for wireless personal area network (WPAN). The IEEE 802.15.4a had two signal formats based on impulse radio (IR) and chirp spread spectrum (CSS). The IR-UWB signal have three bands: sub-gigahertz band uses frequencies ranging between 250–750 MHz, the low band uses frequencies ranging between 3.244–4.742 GHz and the high band uses frequencies ranging between 5.944–10.234 GHz; whereas the CSS signal use frequencies ranging between 2.400–2.4835 GHz [8].

The remainder of this paper is organized as follows. Trilateration technique is described in Section 2. After that, the measurement setup of this paper is explained in Sections 3. Finally, the results and conclusion is given in Sections 4 and 5, respectively.

2. TRILATERATION TECHNIQUE

Trilateration technique uses at least three reference nodes to find positions that related parameter (RSS or TOA). The parameter of measurement is specified the range between each reference node and a target node. Consequently, the position of target node can be estimated by the intersections of three circles can be shown in Fig. 1.

2.1. Received Signal Strength: RSS

RSS is considered the changed energy of signal along the distance. A main factor that affected signal energy is path loss. The path loss model can be represented by using

$$\bar{P}(d) = P_0 - 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

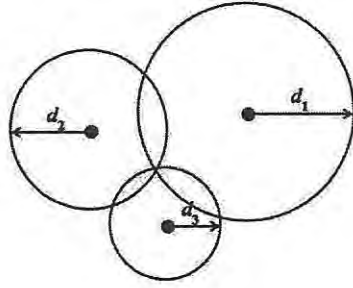


Figure 1: Positioning based on trilateration technique.

where \bar{P} is the average received power in at a distance d , P_0 is the received power at a reference distance d_0 and n is path-loss exponent, respectively.

Therefore, the distance from each reference node to target node by considering from RSS parameter d_{RSS} can be calculated by

$$d_{\text{RSS}} = d_0 \cdot 10^{\left[\frac{|P_0 - \bar{P}|}{10 \cdot n}\right]} \quad (2)$$

2.2. Time of Arrival: TOA

TOA is considering a time of flight that the signal is travelled from one node to another. The delay time τ can be represented by

$$\tau = \arg \min_{\tau} P(\tau) \quad (3)$$

where τ is the delay time of maximum received power.

So, the distance from each reference node to target node by considering from TOA parameter d_{TOA} can be calculated by

$$d_{\text{TOA}} = c \cdot \tau \quad (4)$$

where c is the velocity of radio wave (3×10^8 m/s) and τ is delay time, respectively.

For trilateration technique, the circle's equation that uses to find the position can be evaluated by

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = d_{\text{RSS}}^2 \quad (5)$$

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = d_{\text{TOA}}^2 \quad (6)$$

where (h, k) is the position coordinates (x, y) of each reference node. d_{RSS} and d_{TOA} are the distance of RSS parameter and TOA parameter, respectively.

3. MEASUREMENT SETUP

This section is described about measurement scheme that use to study the accuracy of trilateration technique. The VNA is used to measure the UWB channel measurement in the frequency response mode at three frequencies ranged based on IEEE 802.15.4a standard. The minimum frequencies are 3.244 GHz for low band and 5.944 GHz for high band while maximum frequencies are 4.742 GHz for low band and 10.234 GHz for high band. The biconical antennas [9] with vertical polarization are used as both Tx and Rx antennas. The heights of Tx and Rx antennas are set to be 1 m. The measurements were done to collect the data from three transmitted antennas. A total of 30 positions with 1 m space are measured. The layouts of the room and the measurement setup are shown in Fig. 2.

4. RESULTS

For RSS, The received power is computed using Equation (1) and calculated the distance from reference node to target node by Equation (2). Then, the position can be estimated by Equation (5). For low band, the CDF of error in 'x' and error in 'y' are shown in Fig. 3 and Fig. 4, respectively. For high band, the CDF of error in 'x' and error in 'y' are shown in Fig. 5 and Fig. 6, respectively.

From low band, the average of error in 'x' is 0.47 m with the maximum error in 'x' is 1.71 m. Besides that, the average of error in 'y' is 0.34 m with the maximum error in 'y' is 1.28 m. For high

band, the average of error in 'x' is 0.47 m with the maximum error in 'x' is 1.38 m. Besides that, the average of error in 'y' is 0.28 m with the maximum error in 'y' is 0.79 m.

For TOA, The delay time is calculated using Equation (3) and evaluated the distance from reference node to target node by Equation (4). Then, the position can be estimated by equation

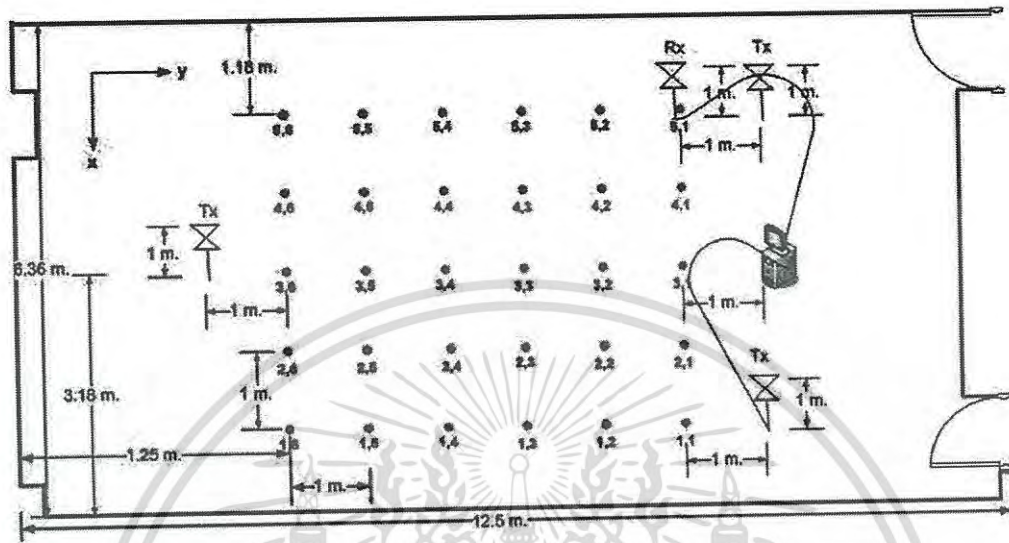


Figure 2: The layouts of the room and measurement setup.

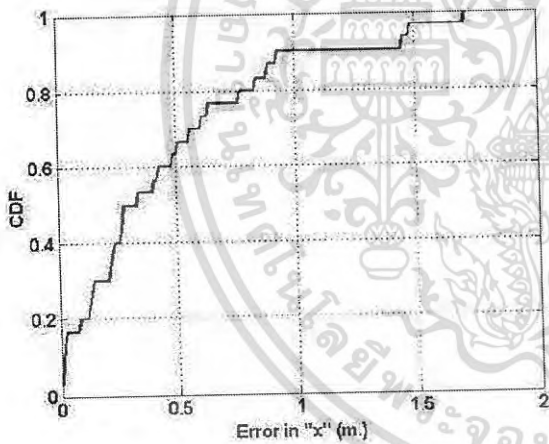


Figure 3: CDF for error in 'x', RSS, Low band.

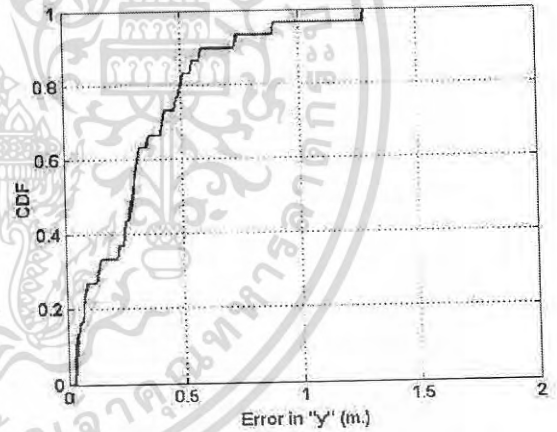


Figure 4: CDF for error in 'y', RSS, Low band.

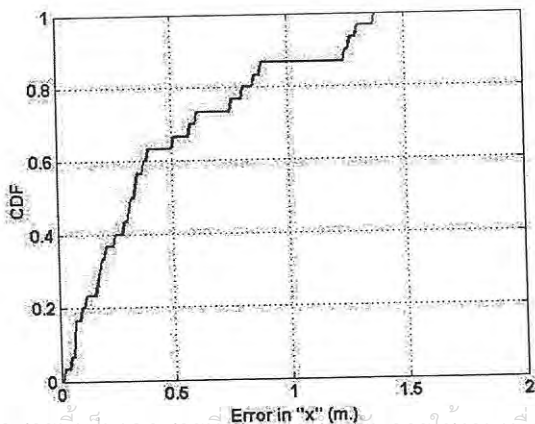


Figure 5: CDF for error in 'x', RSS, High band.

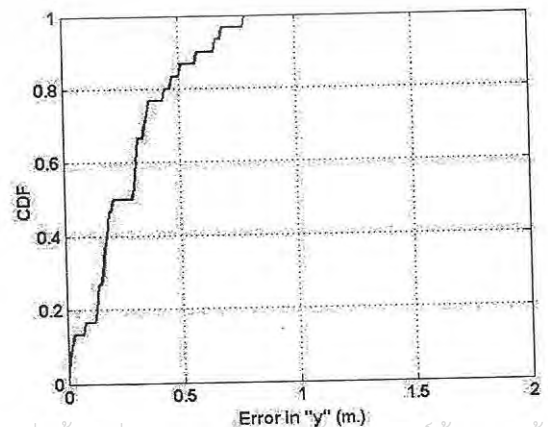


Figure 6: CDF for error in 'y', RSS, High band.

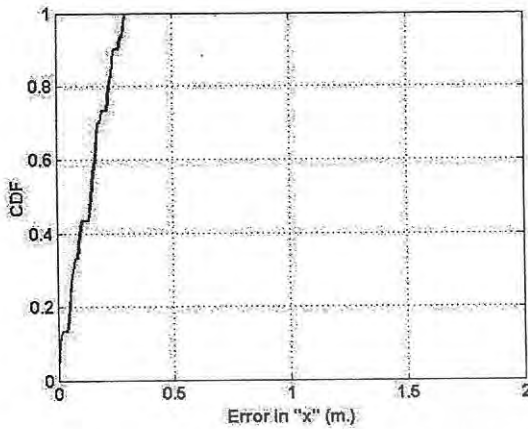


Figure 7: CDF for error in 'x', TOA, Low band.

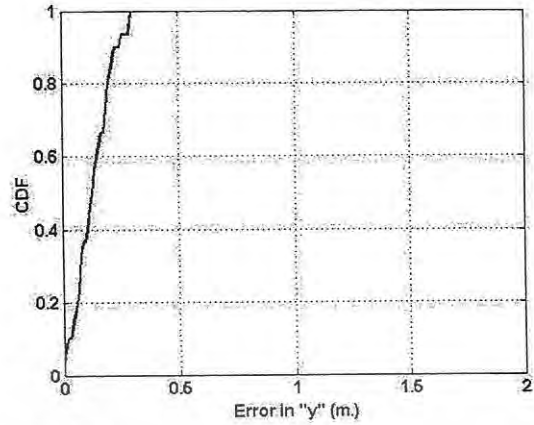


Figure 8: CDF for error in 'y', TOA, Low band.

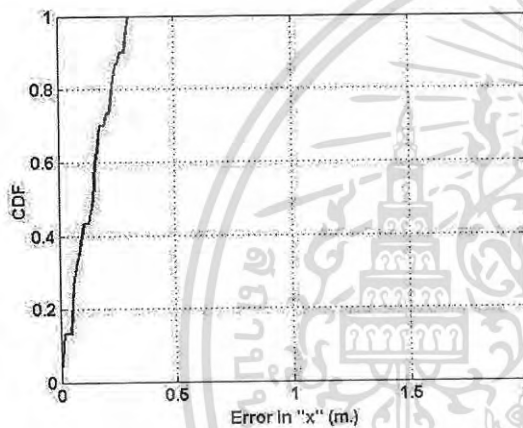


Figure 9: CDF for error in 'x', TOA, High band.

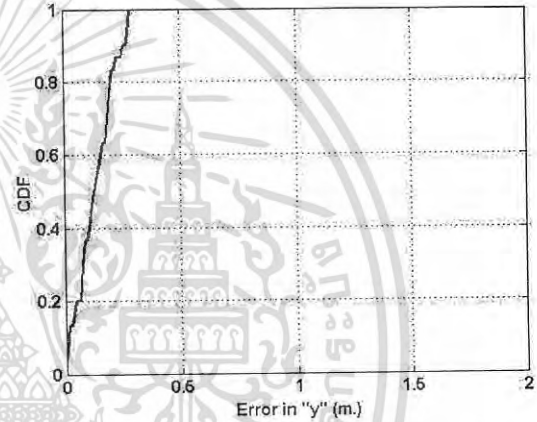


Figure 10: CDF for error in 'y', TOA, High band.

(6). For low band, the CDF of error in 'x' and error in 'y' are shown in Fig. 7 and Fig. 8, respectively. For high band, the CDF of error in 'x' and error in 'y' are shown in Fig. 9 and Fig. 10, respectively.

From the results, the average of error in 'x' is 0.14 m with the maximum error in 'x' is 0.3 m. Besides that, the average of error in 'y' is 0.14 m with the maximum error in 'y' is 0.3 m for low band. While high band, the average of error in 'x' is 0.15 m with the maximum error in 'x' is 0.31 m. Besides that, the average of error in 'y' is 0.14 m with the maximum error in 'y' is 0.29 m.

5. CONCLUSIONS

In this paper, we studied on indoor positioning based on IEEE 802.15.4a standard using trilateration technique and UWB signal. The channel frequency transfer functions were measured at the frequency ranged from 3 GHz to 5 GHz for low band and 5 GHz to 11 GHz for high band. From the results, high band case is better accuracy than low band in RSS case but small difference and the errors are equal in TOA case. Besides that, TOA has the better accuracy than RSS both low band and high band case.

For the future work, we will study the possibility of accuracy improvement by using another technique such as statistical technique and mapping technique.

REFERENCES

1. Fontana, R. J., E. Richey, and J. Barney, "Commercialization of an ultra wideband precision asset location system," *2003 IEEE Conference on UWB Systems and Technologies*, 369–373, Nov. 2003.
2. Pahlavan, K., X. Li, and J. Makela, "Indoor geolocation science and technology," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, 112–118, Feb. 2002.

3. Toak, A., N. Kandil, S. Affes, and S. Georges, "Fingerprinting localization using ultra-wideband and neural networks," *2007 International Symposium on Signals, Systems and Electronics*, 529–532, Jul.–Aug. 2007.
4. Toak, A., N. Kandil, and S. Affes, "Neural networks for fingerprinting-based indoor localization using ultra-wideband," *Journal of Communications*, Vol. 4, No. 4, 267–275, May 2009.
5. Mahfouz, M. R., A. E. Fathy, M. J. Kuhn, and Y. Wang, "Recent trends and advances in UWB positioning," *2009 IEEE MTT-S International Microwave Workshop on Wireless Sensing, Local Positioning, and RFID*, 1–4, Sep. 2009.
6. Liu, H., H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C*, Vol. 37, No. 6, 1067–1080, Nov. 2007.
7. Gu, Y., A. Lo, and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 11, No. 1, 13–32, Jan.–Mar. 2009.
8. Karapistoli, E., F. Pavlidou, I. Gragopoulos, and I. Tsetsinas, "An overview of the IEEE 802.15.4a standard," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 1, 47–53, Jan. 2010.
9. Promwong, S., W. Hachitani, and J. Takada, "Experimental evaluation scheme of UWB antenna performance," *IEE Japan Tech. on Instrumentation and Measurements*, IM-03-35, Jun. 2003.



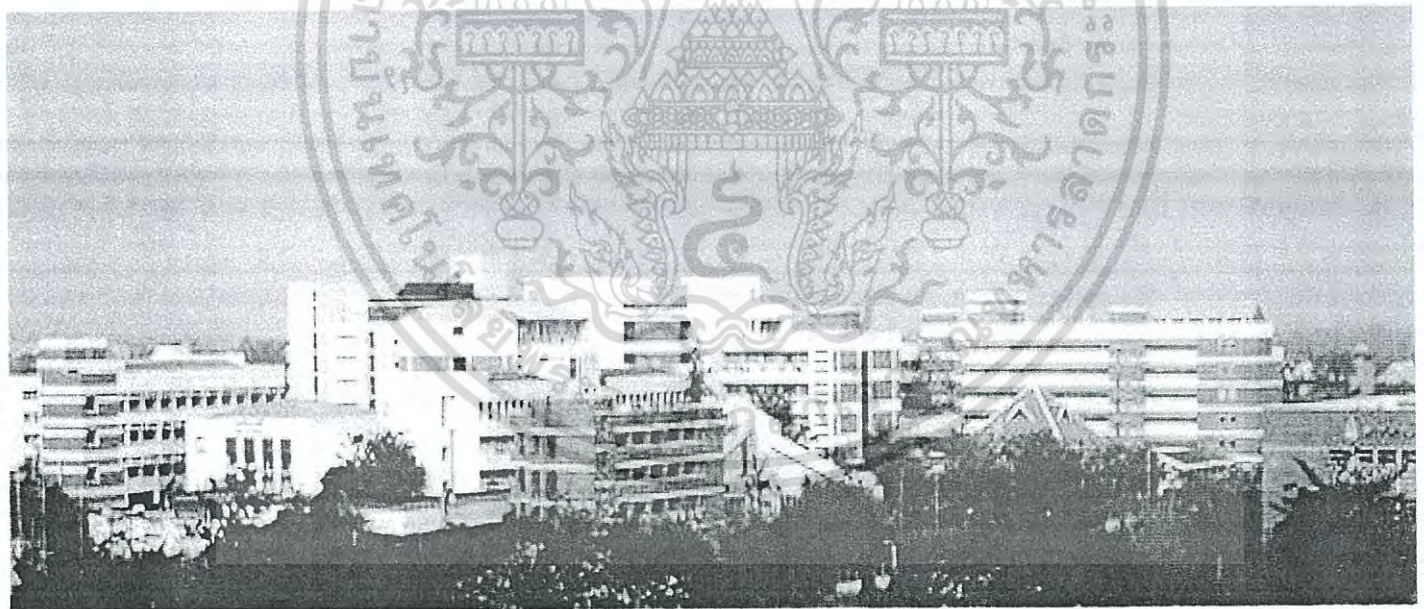
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1st International Symposium on Technology for Sustainability

(ISTS2011)

26-29 January 2012, KMITL, Bangkok Thailand



Co-organized by:

***Institute of National Colleges of Technology, Japan
and***

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Experimental Evaluation Scheme of UWB-Fingerprinting Positioning Based On IEEE802.15.4a Standard

Jirapat Sangthong^{1†} Prakaidao Dokpikul^{2‡} and Sathaporn Promwong^{3‡}

[†] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

[‡] Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

E-Mail: ¹s4610123@kmitl.ac.th, ²s4611829@kmitl.ac.th and ³kpsathap@kmitl.ac.th

Abstract— Nowadays, the indoor positioning systems has been widely researched because of its various applications. These systems require high accuracy in an indoor environments which dense multipath. This leads to use UWB for indoor positioning. However, the IEEE 802.15.3a was abandoned. Now, IEEE 802.15.4a has developed an UWB based on MAC and physical layer standards. This paper studies on UWB-fingerprinting positioning based on IEEE 802.15.4a standard. We used frequencies ranged from 3 GHz to 5 GHz. The biconical antennas were used as both Tx and Rx antennas with vertical polarization. The received signal strength and delay time were investigated to build the fingerprints and signatures. Finally, the accuracy and precision of estimated distances are studied and shown in the terms of cumulative distribution function (CDF).

Index Terms— Ultra wideband (UWB), IEEE 802.15.4a, Fingerprinting technique, Indoor positioning.

I. INTRODUCTION

In recent years, the indoor positioning systems has been widely researched because of its various applications such as equipments control in industrial [1], [2], surgical navigation in the operating room [3]-[5] and patient tracking in hospital [6], home-entertainment applications or smart home [7]-[9], emergency services [10] and so on. There are several technologies that can use in positioning systems such as radio frequency identification (RFID), ultrasonic, wireless local area network (WLAN), ZigBee, Bluetooth and ultra wideband (UWB).

Ultra wideband (UWB) has very large bandwidth compared with narrow band. The Federal Communication Commission (FCC) defined in IEEE 802.15.3a that UWB has the frequency band from 3.1 GHz to 10.6 GHz. UWB applications must transmit with lower power that the average power spectral density (PSD) is not exceed -41.3 dBm/MHz. UWB signal has fractional bandwidth larger than 0.2 or an absolute bandwidth must at least 500 MHz at all times of transmission [11]-[13]. Nowadays, the IEEE 802.15.3a was abandoned. IEEE 802.15.4a has developed an UWB based on MAC and physical layer standards for wireless personal area network (WPAN).

The IEEE 802.15.4a had two signal formats based on impulse radio (IR) and chirp spread spectrum (CSS). The IR-UWB signal have three bands: sub-gigahertz band uses frequencies ranging between 250-750 MHz, the low band uses frequencies ranging between 3244-4742 MHz and the high band uses frequencies ranging between 5944-10234 MHz; whereas the CSS signal use frequencies ranging

between 2400-2483.5 MHz. Besides that, some of the high-level characteristics of the IEEE 802.15.4a standard are summarized in Table 1 [14].

TABLE I. SUMMARY OF HIGH-LEVEL CHARACTERISTICS.

Property	Value	
	UWB PHY	CSS PHY
PHY option		
Frequency bands	250-750 MHz (sub-gigahertz) 3244-4742 MHz (low band) 5944-10234 MHz (high band)	2400-2483.5 MHz
Channels	16 channels	14 channels
Data rates	110 kb/s; 851 kb/s (nominal); 6.81 Mb/s; 27.24 Mb/s	1 Mb/s (nominal); 250 kb/s
Ranging support	Yes	No
Range	10-100 m	
Channel access	CSMA/CA or Aloha, as appropriate	

Usually to estimate positions, there are two types of position estimation schemes: the geometric technique, this technique has two steps. First, estimate parameters such as the received signal strength (RSS), the time of arrival (TOA), the time difference of arrival (TDOA) and the angle of arrival (AOA) [15], [16]. Second, the positions can be estimated by considering parameters obtained in the first step; whereas the fingerprinting technique, after estimate parameters like the first step of geometric technique. All of considered parameters will be kept in database (fingerprint). Then, uses the parameters which unknown position (signature) compared with the fingerprints in database to find the position [17]-[19].

This paper studies on experimental scheme of UWB-fingerprinting positioning based on IEEE 802.15.4a standard. All of measurements using vector network analyzer (VNA) to measure the channel frequency transfer functions of corridor environment. We used frequencies ranging from 3 GHz to 5 GHz. The biconical antennas were used as both transmitter (Tx) antenna and receiver (Rx) antenna with vertical polarization. We investigated received signal strength and delay time to build the fingerprints and signatures. Then, the positions were estimated using comparison between fingerprints and signatures. The accuracy and precision of estimated distances are studied and shown in the terms of cumulative distribution function (CDF).

The rest of this paper is organized as follows. Section II describes the signal model and UWB fingerprinting localization technique. After that, the measurements and results of this paper are explained in sections III and IV, respectively. Finally, the conclusion is given in section V.

และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II. UWB-FINGERPRINTING TECHNIQUE

A. Signal Model

For UWB signal, the rectangular passband waveform is considered as the UWB transmitted waveform. This rectangular passband waveform in time domain $v_t(t)$ is represented by:

$$v_t(t) = \frac{A}{f_B} [f_H \text{sinc}(2f_H t) - f_L \text{sinc}(2f_L t)] \quad (1)$$

In frequency domain, its spectral density function $V_t(f)$ is represented by:

$$V_t(f) = \begin{cases} \frac{A}{2f_B} & f - f_c \leq \frac{f_B}{2} \\ 0 & f - f_c > \frac{f_B}{2} \end{cases} \quad (2)$$

where A is the maximum amplitude, $f_L = f_c - f_B/2$ and $f_H = f_c + f_B/2$ are the minimum and maximum frequencies, respectively. f_B is the bandwidth and f_c is the center frequency.

Consequently, the spectral density of received signal $V_r(f)$ can be calculated by using

$$V_r(f) = V_t(f) \cdot H_c(f) \quad (3)$$

where $H_c(f)$ is the frequency transfer function of channel obtained by using measurement scheme described in section III.

Then, the received signal in time domain $v_r(t)$ is evaluated by using inverse Fourier transform:

$$v_r(t) = \int_{-\infty}^{\infty} V_r(f) e^{j2\pi ft} df \quad (4)$$

B. UWB Fingerprinting Localization Technique

The fingerprinting localization concept is the same concept as human fingerprinting. It can specify the position by depend on the parameter. However, many parameters can be used to estimate the position. This technique consists of two steps. First, selects the choices of parameter to build a fingerprint and collect in the database. Second step, uses the parameters which unknown position (signature) compare with the fingerprints in database to find the position. Here, the received power and delay time are used to build the fingerprint and signature of each specific position. The received power $p_{r_{\max}}(t)$ in decibel is presented by:

$$p_{r_{\max}}(t)[dB] = 20 \log |v_{r_{\max}}(t)| \quad (5)$$

Then, the delay time is obtained by considering maximum power and can be written as

$$\tau = \arg \max p_{r_{\max}}(t) \quad (6)$$

For building the fingerprints, unless used received power and delay time. This paper uses interpolation using spline method [20] to perform the fingerprints together. This method uses low-degree polynomials. The result of function is called a spline. Spline interpolation has smaller error than linear interpolation. The interpolation scheme is similarly to polynomial interpolation. It is easier to evaluate than the high-degree polynomials that used in polynomial interpolation.

Considering $N+1$ data points (x_i, y_i) , $i=0,1,2,\dots,N$, we can find $S(x)$ function by:

$$S(x_i) = y_i, \quad i=0,1,2,\dots,N \quad (7)$$

where $S^{(i)}(x)$, $i=0,1,2,\dots,n-1$ are continuous functions. n is degree of $S(x)$

There are many functions that can use with spline interpolation. The popular function is natural cubic spline function. The $S(x)$ function that called natural cubic spline function for data set (x_i, y_i) , $i=0,1,2,\dots,N$

In our works, the data with 1 m space are interpolated to be 0.01 m space using 2-Dimensional spline method. After that, the estimated position is given from the position that has minimum difference between its signature and fingerprints. The fingerprint error at (x, y) position $e_f(x, y)$ which represents the difference between its signature and fingerprints, is defined as

$$e_f(x, y) = \sqrt{\frac{[p_r(x, y) - p_s]^2}{\sigma_{p_r}^2} + \frac{[t_r(x, y) - t_s]^2}{\sigma_{t_r}^2}} \quad (8)$$

where $p_r(x, y)$ and $t_r(x, y)$ are the received power and delay time of fingerprint at (x, y) position, p_s and t_s are the received power and delay time of signature, σ_{p_r} and σ_{t_r} are the standard deviation of path loss and delay time of fingerprint.

C. Analysis

The estimated position (x_e, y_e) is considered as the position with minimum fingerprint error and can be written as

$$(x_e, y_e) = \arg \min e_f(x, y) \quad (9)$$

The accuracy of UWB fingerprinting is considered in the term of distance error. The distance error e_d can be defined as

$$e_d = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (10)$$

where (x_c, y_c) is the correct position.

Theoretically, the maximum error for fingerprinting based system can be defined as

$$e_{max} = \frac{d_{sep}}{2} \tag{11}$$

where d_{sep} is a distance between two positions.

III. MEASUREMENT SCENARIOS

The measurements were done at the corridor of 12th floor, E-Building, Faculty of Engineering, King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang. The VNA is used to measure the UWB channel measurement at the frequencies ranging from 3 GHz to 5 GHz. The biconical antennas [21] as both Tx and Rx antennas. The geometry and dimension of biconical antenna is shown in Fig. 1.

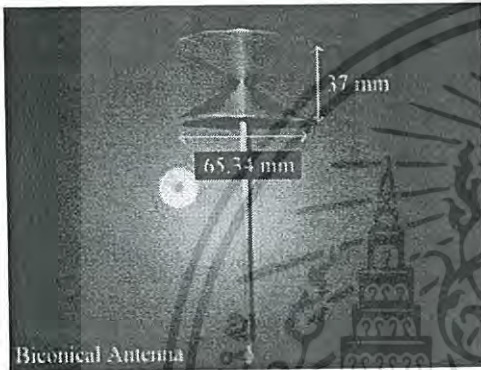


Figure 1. The geometry and dimension of biconical antenna.

A. Training scenario

In training scenario, the measurements were done for collected the data to build the fingerprints. Total 18 positions with 1 m space are measured. We used averaging 4 times for the same position. The layouts of corridor and measurement setups for building the fingerprints are shown in Fig. 3.

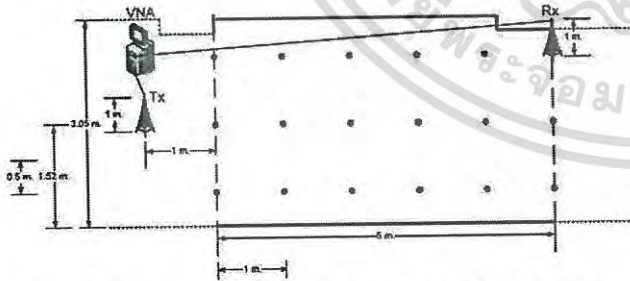


Figure 3. The layout and measurement setup for building fingerprint.

B. Testing scenario

The measurements were done for collect the data to build the signatures. Total 55 positions with 0.5 m space in the same area with training scenario are measured. The layout of corridor and measurement setups for building the signatures are shown in Fig. 4.

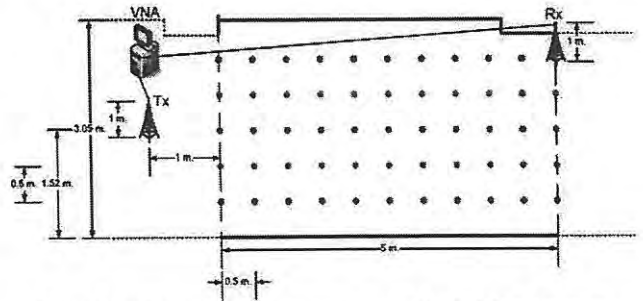


Figure 4. The layout and measurement setup for building signature.

IV. RESULTS

From training scenario, the fingerprints that built from received power and delay time are shown in fig. 5 and fig. 6, respectively. These fingerprints are used to compare with signature for estimating the position.

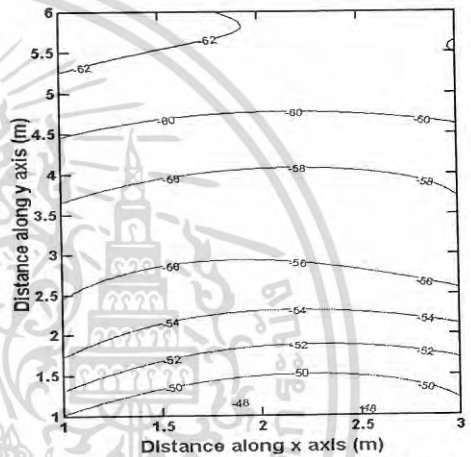


Figure 5. Fingerprint built from received power.

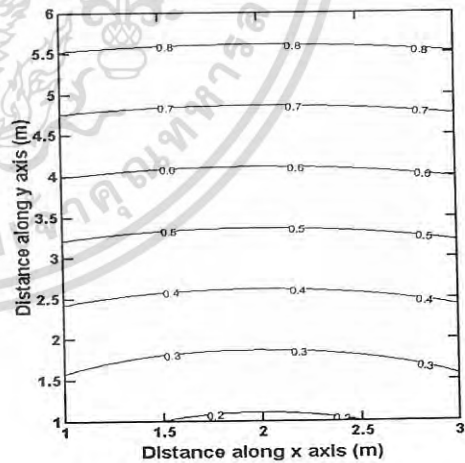


Figure 6. Fingerprint built from delay time.

The distances are estimated by comparing the fingerprints with the signatures. Consequently, the distance error of each position is evaluated and shown in fig. 7. From the figure, the distance error along the center of x axis is small and trends to higher along the left and right sides of x axis, because the corridor environment is symmetrical along the y axis and then the fingerprints at the left and right sides of x axis have small difference.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VI. REFERENCES

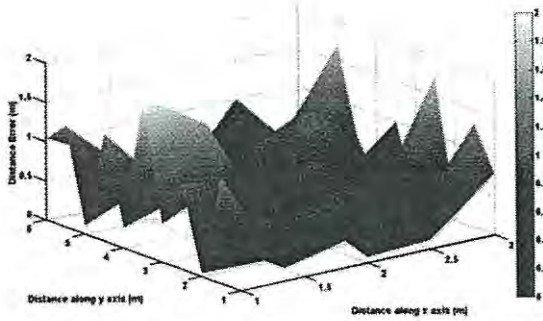


Figure 7. Distance error of each position.

Finally, the distribution of distance error at each position is characterized using CDF. The CDF of distance error is shown in fig. 8.

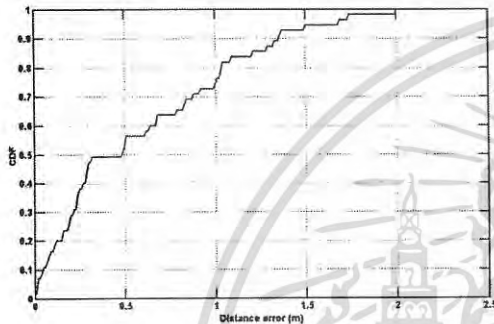


Figure 8. CDF of Distance error.

From the figure, the accuracy and the precision of UWB-fingerprinting positioning technique are:

A. Accuracy

Accuracy is show about how accurate our technique could achieve. The mean of distance error can find by using equation (13) that is the average Euclidean distance between estimated position and real position. The mean of distance error in this case is 0.6 m and the maximum error is 2 m.

B. Precision

Precision is show about percentage that the distance error of each position is below than the theoretical maximum error. In our works, the theoretical maximum error is 0.5 m. Consequently, we can find that the error is below 0.5 m is 50%

V. CONCLUSION

In this paper, we studies on experimental scheme of UWB-fingerprinting positioning based on IEEE 802.15.4a standard in low band. For the UWB transmitted signal, the rectangular passband waveform defined in equations (1) and (2) is used. The minimum and maximum frequencies are 3244 MHz and 4742 MHz.

From the results, the accuracy that can be characterized by using average of distance error is 0.6 m, while the maximum of distance error is 2 m. Then, the precision can be characterized by using the distance error that below 0.5m is 50%. However, because of the corridor environment is symmetrical along the y axis causes the fingerprints at the left and right sides of x axis have small difference that affected the accuracy and precision of our works are become lower.

- [1] W. Kurschl, W. Gottesheim, S. Mitsch, R. Prokop and J. Schönböck, "Large-Scale Industrial Positioning and Location Tracking—Are We There Yet?," *7th International Conference on Mobile Business*, pp. 251 - 259, July 2008.
- [2] L. Zwirello, M. Janson and T. Zwick, "Ultra-Wideband Based Positioning System for Applications in Industrial Environments," *European Wireless Technology Conference*, pp. 165 - 168, Sep. 2010.
- [3] M. R. Mahfouz, M. J. Kuhn, Y. Wang, J. Turnmire and A. E. Fathy, "Towards Sub-Millimeter Accuracy in UWB Positioning for Indoor Medical Environments," *IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems*, pp. 83 - 86, Jan. 2011.
- [4] M. R. Mahfouz and M. J. Kuhn, "UWB Channel Measurements and Modeling for Positioning and Communications Systems in the Operating Room," *IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems*, pp. 47 - 50, Jan. 2011.
- [5] M. R. Mahfouz, M. J. Kuhn, G. To and A. E. Fathy, "Integration of UWB and Wireless Pressure Mapping in Surgical Navigation," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 57, No. 10, pp. 2550 - 2564, Oct. 2009.
- [6] L. Jiang, L. N. Hoe and L. L. Loon, "Integrated UWB and GPS Location Sensing System in Hospital Environment," *The 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, pp. 286 - 289, June 2010.
- [7] R. Zetik, G. Shen and R. S. Thomä, "Evaluation of requirements for UWB localization systems in home-entertainment applications," *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, pp. 1 - 8, Sep. 2010.
- [8] R. A. Saeed, S. Khatun, B. M. Ali and M. K. Abdullah, "Ultra-Wideband Local Positioning for Smart Home Applications," *International Conference on Computing & Informatics*, pp. 1 - 4, June 2006.
- [9] M. Oh, J. Park and J. Kim, "IR-UWB Packet-based Precise Ranging System for u-Home Networks", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 55, No.1, pp. 119-125, Feb. 2009.
- [10] C. Eftymiou, S. Gormus, Z. Fan, A. Calway, W. Mayol-Cuevas and A. Doufexi, "Application of Multiple-Wireless to a Visual Localisation System for Emergency Services", *IEEE the 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2539 - 2544, Sep. 2010.
- [11] J. Oppermann, M. Hamäläinen and J. Iinatti, "UWB Theory and Applications," John Wiley and Sons, 2004.
- [12] H. Xu and L. Yang, "Ultra-Wideband Technology: Yesterday, Today, and Tomorrow," *IEEE Radio and Wireless Symposium*, pp. 715-718, Jan. 2008.
- [13] H. Arslan, Z. N. Chen and M. D. Benedetto, "Ultra Wideband Wireless Communication" John Wiley and Sons, 2006.
- [14] E. Karapistoli, F. Pavlidou, I. Gragopoulos and I. Tsetsinas, "An Overview of the IEEE 802.15.4a Standard", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No.1, pp. 47-53, Jan. 2010.
- [15] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [16] Y. Gu, A. Lo and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, Jan.-Mar. 2009.
- [17] H. Laitinen, J. Lahteenmaki, and T. Nordstrom, "Database Correlation Method for GSM Location", *IEEE: Vehicular Technology Conference*, Vol.4, pp. 2504-2508, May 2001.
- [18] M. Bshara, U. Orguner, F. Gustafsson and L. Van Biesen, "Fingerprinting Localization in Wireless Networks Based on Received Signal Strength Measurements A case study on WiMAX networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 59, No. 1, pp. 283-294, Jan. 2010.
- [19] A. K. M. M. Hossain, H. N. Van and W. Soh, "Fingerprint-Based Location Estimation with Virtual Access Points," *International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 485-490, Aug. 2008.
- [20] E. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics", John Wiley and Sons, 1993.
- [21] S. Promwong, W. Hachitani, and J. Takada, "Experimental evaluation scheme of UWB antenna performance," *IEE Japan Tech. on Instrumentation and Measurements*, IM-03-35, June 2003.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายจิรพัฒน์ แสงทอง
 วัน เดือน ปีเกิด 26 กุมภาพันธ์ 2528
 ที่อยู่ บ้านเลขที่ 199/400 หมู่บ้าน Natural Ville ร่มเกล้า ซอย ร่มเกล้า 11
 แขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546-2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552-2554 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554-2559 วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปัจจุบัน

อาจารย์ประจำ
 สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับเศรษฐกิจดิจิทัล
 ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้