

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การจัดกลุ่ม  
ข้อมูลและวิธีการเชิงพันธุกรรมบนพื้นฐานเทคโนโลยีซิกบี

ENHANCEMENT OF AN INDOOR LOCALIZATION SYSTEM USING DATA  
CLUSTERING AND GENETIC ALGORITHM BASED ON ZIGBEE TECHNOLOGY



T138783



อพ.  
1524ก  
2558

เลขหมู่..... 133783  
เลขทะเบียน.....  
รับเดือนปี 16 ต.ค. 2558

.b.....  
.i.....

12718488

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENHANCEMENT OF AN INDOOR LOCALIZATION SYSTEM USING DATA  
CLUSTERING AND GENETIC ALGORITHM BASED ON ZIGBEE TECHNOLOGY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2015

KMITL-2015-EN-M-010-137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2015**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การจัดกลุ่มข้อมูล  
และวิธีการเชิงพันธุกรรมบนพื้นฐานเทคโนโลยีซิกบี

Thesis Title Enhancement of an Indoor Localization System using Data Clustering and  
Genetic Algorithm Based on Zigbee Technology

นักศึกษา นายปัญญา สุนันท์แสงทอง

รหัสประจำตัว 56601274

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศรวัฒน์ ชิวปรีชา

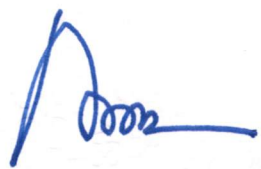
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-010-137

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกดาลิน	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
ผศ.ดร.ศรวัฒน์	ชิวปรีชา	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 12.00-14.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-304

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การจัดกลุ่มข้อมูลและวิธีการเชิงพันธุกรรมบนพื้นฐานเทคโนโลยีซิกบี
นักศึกษา	นายปัญญา สุนันท์แสงทอง
รหัสนักศึกษา	56601274
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ศรวัดน์ ชิวปรีชา

### บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 และได้เสนอวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลและวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งแบบฟิงเกอร์ปรีน โดยการจัดกลุ่มข้อมูลจะถูกใช้สำหรับจัดกลุ่มของข้อมูลกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งแบบหยาบและใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการค้นหาหน้าหนักหรือความน่าเชื่อถือที่เหมาะสมให้กับกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้จากโหนดเป้าหมายเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งแบบละเอียด และในส่วนของทดลองถูกดำเนินการภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ซิกบี (Zigbee) โดยวิธีการที่นำเสนอจะถูกเปรียบเทียบกับวิธีการ K-Nearest Neighbor (KNN) ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีน และยังเปรียบเทียบกับวิธีการ Weighted Distance Fingerprint (WDF) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนที่ถูกปรับปรุงความแม่นยำ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ทดสอบ วิธีการนำเสนอใช้การคำนวณที่น้อยและมีความแม่นยำที่สูงกว่าทุกวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ โดยในพื้นที่ทดสอบวิธีการที่นำเสนอสามารถระบุพื้นที่  $1.5 \times 1.5$  ตารางเมตรที่โหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ได้ถูกต้อง 87.5641% และยังแสดงให้เห็นอีกว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถลดการคำนวณได้ถึง 67.6036% นอกจากนี้ในพื้นที่ใช้งานจริงซึ่งมีสิ่งกีดขวางมากมายเช่น ประตู หน้าต่าง กำแพง เป็นต้น วิธีการที่นำเสนอสามารถระบุพื้นที่แบบคร่าวๆของผู้ใช้งานได้ถูกต้อง 98.33%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Enhancement of an Indoor Localization System Using Data Clustering and Genetic Algorithm Based on Zigbee Technology
Student	Mr. Panya Sunantasaengtong
Student ID.	56601274
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sorawat Chivapreecha

### ABSTRACT

This thesis proposes an application of Wireless Sensor Network (WSN) for indoor localization using IEEE 802.15.4 standard. The proposed algorithm applies data clustering and Genetic Algorithm (GA) as engine to prepare off-line information which result in increasing accuracy and decreasing computational cost of fingerprint technique for indoor localization. Data clustering will be applied to cluster received signal strength indicator (RSSI) vector into several classes for coarse positioning estimation. Consequently, GA will be applied to search the optimal weights for each reference sensor and used in order to obtain more accuracy for positioning estimation. Experiments are conducted in indoor environment using Zigbee sensor network and the proposed algorithm can be compared with K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm and conventional weighted distant fingerprint (WDF) algorithm. Results demonstrate that in testing area, the proposed algorithm can increase an accuracy to 87.56 % for identifying correctly 1.5 m x 1.5 m area of target node and also decrease computational cost of 67.60 %. Moreover, in realistic area containing many obstacles such as doors, windows walls and so on, the proposed algorithm can correctly identify 98.33% of user's coarse position.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากการสนับสนุนของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. ศรวัฒน์ ชิวปรีชา ที่ได้มอบความเมตตา การใส่ใจดูแลและให้คำปรึกษาต่างๆ รวมทั้งให้คำแนะนำด้านแนวคิด ชี้แนะแนวทาง จนกระทั่งให้การสนับสนุนด้านการทำงานวิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ทุกคนที่ได้เกี่ยวข้องซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือ ในกำลังใจจนงานสำเร็จลุล่วงไปได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่รักยิ่งของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งมีความสำคัญยิ่งที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจตลอดช่วงชีวิตที่ผ่านมา จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างลุล่วง คุณค่าและองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง รวมทั้งครูอาจารย์และผู้มีพระคุณที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ปัญญา สุนันท์แสงทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตงานวิจัย	3
1.3 รายละเอียดวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 หลักการและเหตุผล	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	5
2.3 ประเภทของเทคนิคการวัดที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง	7
2.3.1 Received Signal Strength Indicator (RSSI)	8
2.3.2 Time of arrival (TOA)	8
2.3.3 Time difference of arrival (TDOA)	8
2.3.4 Angle of arrival (AOA)	8
2.4 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีซิกบี	10
2.4.1 คุณสมบัติของ XBee	11
2.4.2 มาตรฐานและการสื่อสารที่ใช้กับซิกบี	11
2.4.3 รูปแบบการเชื่อมต่อ	13
2.4.4 กำหนดค่าประจำตัวอ้างอิงของซิกบี	15
2.4.5 โหมดการทำงานของ XBee	15
2.4.6 ขนาดและขาต่างๆของโมดูล XBee	16
2.4.7 เทคโนโลยีของซิกบีในปัจจุบัน	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา iv ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน	18
2.5.1 Linear Least Squares	18
2.5.2 Gradient-based Search	20
2.5.3 Multidimensional Scaling	21
2.5.4 Weighted Distance Fingerprint	22
2.5.5 Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering	24
2.6 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	26
2.6.1 วิธีการ K-Nearest Neighbor (KNN)	27
2.6.2 การจัดกลุ่มข้อมูล	28
2.6.2.1 วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-means Clustering)	28
2.6.2.2 ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy logic)	31
2.6.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม	34
บทที่ 3 สมมุติฐานและการออกแบบ	43
3.1 บทนำ	43
3.2 สมมุติฐาน	43
3.3 ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งที่น่าเสนอ	45
3.3.1 ส่วนการเตรียมการ	45
3.3.2 ส่วนการใช้งาน	46
3.4 การออกแบบการทำงานของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	51
3.4.1 การกำหนดหน้าที่ให้อุปกรณ์ในระบบการระบุตำแหน่ง	51
3.4.2 การออกแบบขั้นตอนการสื่อสารของอุปกรณ์ภายในระบบ	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	56
4.1 กล่าวนำ	56
4.2 การทดสอบในพื้นที่โล่งภายในอาคาร	56
4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในพื้นที่โล่งภายในอาคาร	59
4.4 การทดสอบในพื้นที่ใช้งานจริงที่มีสิ่งกีดขวาง	66
4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในพื้นที่ใช้งานจริงที่มีสิ่งกีดขวาง	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์	73
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนา	74
เอกสารอ้างอิง	75
ประวัติผู้เขียน	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **vi** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบแต่ละเทคนิค	9
2.2	รายละเอียดของขา XBee	17
2.3	ข้อมูลยกตัวอย่างการใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน	29
2.4	ระยะทางระหว่าง $x_i$ กับ $c_j$	29
2.5	ระยะทางระหว่าง $x_i$ กับ $c_j$ (รอบที่ 2)	30
2.6	ระยะทางระหว่าง $x_i$ กับ $c_j$ (รอบที่ 3)	30
2.7	ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของประชากร	36
2.8	จัดอันดับประชากรเรียงค่าฟังก์ชันความเหมาะสม	37
2.9	ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากวิธีการ Rank weighting	38
2.10	ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากวิธีการ Roulette wheel	39
2.11	ตัวอย่างการสุ่มโครโมโซมสำหรับวิธีการ Tournament selection	39
2.12	แสดงผลลัพธ์จากการแลกเปลี่ยนยีน	41
3.1	ตำแหน่งบิตแต่ละตัวที่แทนค่า Floating-Point	48
4.1	ผลลัพธ์จากวิธีการเคมีนและขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	58
4.2	พารามิเตอร์ $\{a, b\}$ สำหรับวิธีการ WDF	58
4.3	ผลการทดลองความแม่นยำ	59
4.4	ผลการทดลองการลดการคำนวณ	62
4.5	ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวิธีการที่ใช้และไม่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูล	63
4.6	ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวิธีการที่ใช้และไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม	65
4.7	ผลการจัดกลุ่มจากวิธีตรรกะคลุมเครือ	68
4.8	กำลังสัญญาณแต่ละพื้นที่อ้างอิงในสถานที่ทดสอบใช้งานจริง	68
4.9	ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการเชิงพันธุกรรม	70
4.10	ผลแสดงความแม่นยำของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในพื้นที่ทดสอบใช้งานจริง	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **vii** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างแอปพลิเคชันจากระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	1
1.2	แสดงตัวอย่างของระบบการตรวจจับและระบุตำแหน่งของการล้ม	2
2.1	ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	5
2.2	แสดงตัวอย่างโน้ตเป้าหมายส่งสัญญาณไปยังเซนเซอร์	6
2.3	แสดงตัวอย่างเซนเซอร์ส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์	6
2.4	แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การระบุตำแหน่งบนมอนิเตอร์	7
2.5	แสดงความเกี่ยวข้องของประเภทการวัดในภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่ง	7
2.6	ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งโดยใช้ซิกบี	9
2.7	ตัวอย่าง XBee Pro	10
2.8	มาตรฐานการสื่อสารของซิกบี	11
2.9	ชั้นการทำงานของซิกบี	12
2.10	โครงสร้างเครือข่ายซิกบี	13
2.11	การเชื่อมต่อแบบ Point to Point	13
2.12	การเชื่อมต่อแบบ Star	14
2.13	การเชื่อมต่อแบบ Cluster Tree	14
2.14	การเชื่อมต่อแบบ Mesh	15
2.15	แสดงขนาดของ XBee	16
2.16	ภาพตัวอย่างพิกัดของโน้ตเป้าหมายและเซนเซอร์	19
2.17	ภาพแสดงตัวอย่างจุดที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวิธี MDS	21
2.18	ภาพประกอบแสดงวิธีการ Weighted Distance Fingerprint	23
2.19	ภาพประกอบวิธีการ Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering	24
2.20	ภาพประกอบวิธีการ K-Nearest Neighbor	27
2.21	ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน	31
2.22	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกอินพุท	32
2.23	แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอาท์พุท	32
2.24	ผลการรวมมวลของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาท์พุท	33
2.25	ภาพประกอบขั้นตอน Fuzzification เมื่อมีอินพุทมากกว่า 1	33
2.26	การเลือกระดับสมาชิกจากการใช้ AND และ OR	34
2.27	กระบวนการวิธีการเชิงพันธุกรรม	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.28	ฟังก์ชัน $f(x) = 14x - x^2$	36
2.29	การเลือกโดยใช้วิธี Stochastic uniform	40
2.30	ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนยีนโดยวิธี Scattered	41
3.1	ผลจากมัลติพาร์ทภายในอาคาร	43
3.2	ตัวอย่างสัญญาณที่ได้รับผลจากมัลติพาร์ท	44
3.3	ภาพตัวอย่างการกำเนินการของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอ	47
3.4	ภาพแสดงการเก็บข้อมูลกำลังสัญญาณ	47
3.5	ภาพแสดงการจัดข้อมูลและบันทึกผลจากวิธีการเคมिन	48
3.6	ภาพแสดงการค้นหาน้ำหนักโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมและบันทึกพื้นฐานข้อมูล	50
3.7	ภาพแสดงการค้นหากลุ่มหรือพื้นที่อย่างคร่าวๆผู้ใช้งาน	50
3.8	ภาพแสดงผลจากการระบุพื้นที่อย่างละเอียดของผู้ใช้งาน	51
3.9	ภาพตัวอย่างการเซตอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม X-CTU	52
3.10	ภาพตัวอย่างเส้นทางโครงข่าย Mesh ใช้	53
3.11	ภาพแสดงตัวอย่างขั้นตอนการแบบการสื่อสารขั้นตอนที่ 1 ถึง 4	54
3.12	แสดงตัวอย่างขั้นตอนการแบบการสื่อสารขั้นตอนที่ 5 ถึง 6	55
4.1	เซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1	56
4.2	ตำแหน่งที่ตั้งของเซนเซอร์และพื้นที่อ้างอิง	57
4.3	ฟังก์ชันการกระจายความผิดพลาดที่สะสม	60
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้	60
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้ในแต่ละกลุ่ม	61
4.6	ผล linear regression จากข้อมูลกำลังสัญญาณที่ผ่านการจัดกลุ่มเป็น 10 กลุ่ม	64
4.7	ตึกภาคโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ KMITL	66
4.8	ชั้น 2 ของอาคารโทรคมนาคม	66
4.9	ภาพแสดงพื้นที่ทดสอบที่ใช้งานจริงและตำแหน่งของเซนเซอร์	67
4.10	ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของทั้ง 5 เซนเซอร์และฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอ๊าท์พุท	69
4.11	ตัวอย่างผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร	71
4.12	ตัวอย่างผลกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 4 รับผิดชอบตำแหน่งในห้องน้ำหญิง	71

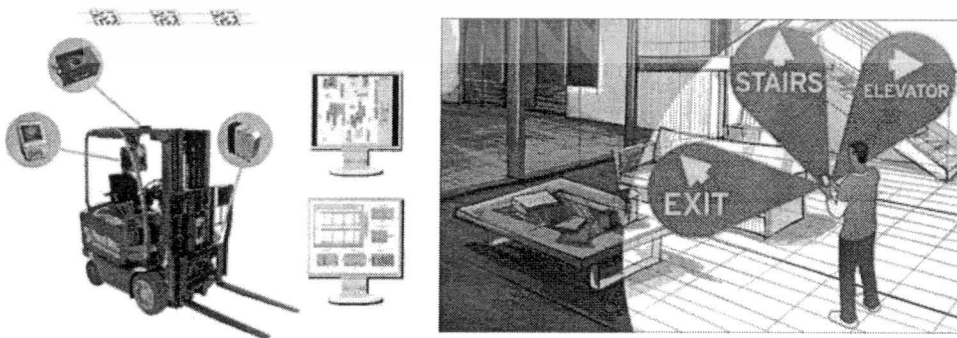
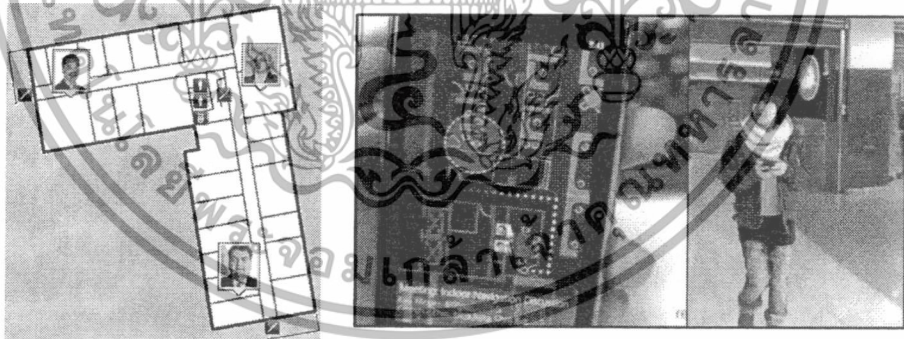
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **ix** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

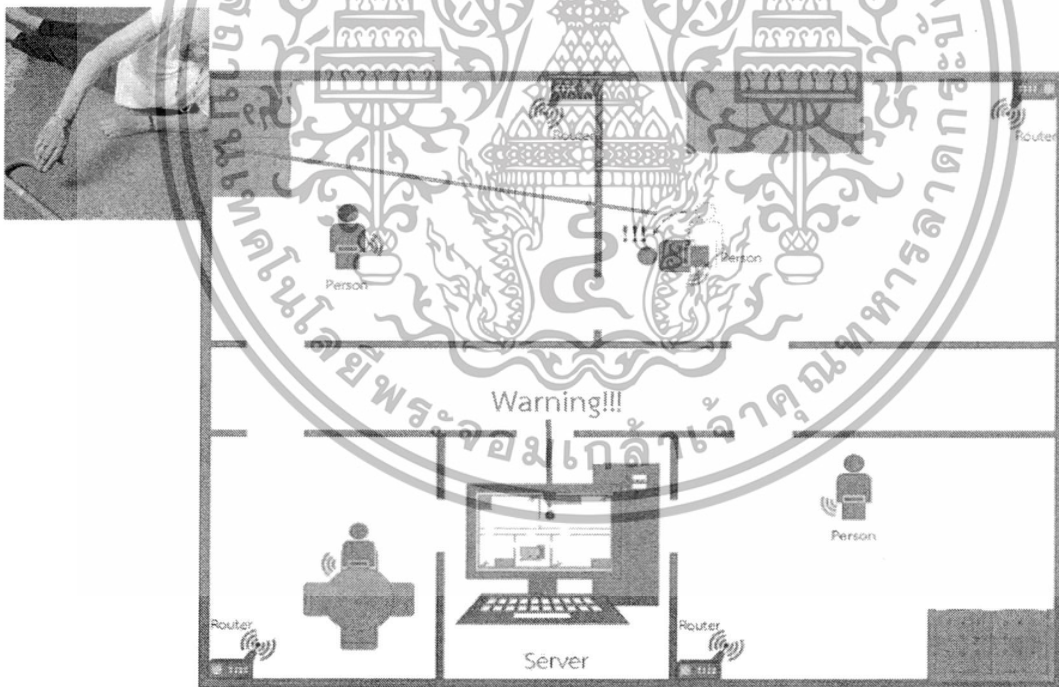
เมื่อก้าวถึงถึงเทคโนโลยีการระบุตำแหน่ง ไม่ว่าจะระบุตำแหน่งของบุคคลหรือวัตถุ ผู้คนส่วนใหญ่มักจะนึกถึงเทคโนโลยีที่เป็นที่รู้จักกันคือ GPS ( Global Positioning System) แต่เพราะข้อจำกัดของ GPS เมื่อนำมาใช้ภายในอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง (Indoor) ทำให้การระบุตำแหน่งภายในสิ่งปลูกสร้างมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากสิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ได้ลดทอนสัญญาณจากดาวเทียมลงไปมาก และในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีในการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้มีการพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการและแนวคิดที่แตกต่างกัน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของแอปพลิเคชันสมัยใหม่ที่นำระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารมาใช้ร่วมกันมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารเข้ามามีบทบาทภายในชีวิตประจำวันอย่างมาก สังเกตได้จากปัจจุบันมีระบบการค้นหาตำแหน่งของพนักงานในสำนักงาน การติดตามวัตถุหรืออุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งระบบการบอกตำแหน่งหรือนำทางภายในห้างสรรพสินค้าโดยผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ และอื่นๆอีกมากมาย



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างแอปพลิเคชันจากระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่มีงานวิจัยหนึ่งที่มีความสำคัญและน่าสนใจที่สามารถจะนำเอาวิธีการระบุตำแหน่งไปประยุกต์ใช้ร่วมกัน นั่นคือการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ (Fall Detection) [2] ซึ่งในปัจจุบันคนไทยเสียชีวิตจากการพลัดตกหกล้ม สูงถึงปีละ 1,600 คน และ 1 ใน 3 พบว่ามักอยู่ในกลุ่มผู้สูงอายุ และการลื่นล้มของผู้สูงอายุที่นำไปสู่ความพิการหรือเสียชีวิตมีความเสี่ยงอันดับ 2 รองจากอุบัติเหตุท้องถนน ปัญหาที่พบบ่อยของผู้สูงอายุที่ได้รับอุบัติเหตุดังกล่าวคือกระดูกสะโพกแตกหักหรืออุบัติเหตุทางสมอง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีอัตราการความพิการและอัตราการเสียชีวิตค่อนข้างสูงมาก และอุบัติเหตุที่พบบ่อยที่สุดในผู้สูงอายุก็คือการหกล้มเช่น ลื่นล้มในห้องน้ำ การตกเตียง ตกบันได เป็นต้น ดังนั้นเมื่อระบบการตรวจจับการล้มตรวจพบการล้มของผู้สูงอายุแล้ว ควรจะมีระบบค้นหาตำแหน่งการล้มภายในอาคาร เพื่อที่จะทำให้ลูกหลานหรือครอบครัวสามารถนำตัวผู้สูงอายุไปพบแพทย์ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางด้าน Wireless Sensor Network (WSN) ในปัจจุบันทำให้เป็นเรื่องง่ายที่จะประยุกต์การระบุตำแหน่งร่วมกับระบบตรวจจับการล้ม เนื่องจากส่งข้อมูลสถานะของผู้สูงอายุไปประมวลผลผ่านโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายไปยังส่วนประมวลผลได้แล้ว ยังสามารถระบุตำแหน่งของผู้สูงอายุในคราวเดียวกันได้อีกด้วย



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างของระบบการตรวจจับและระบุตำแหน่งของการล้ม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งของการล้มสำหรับผู้สูงอายุ โดยประยุกต์การใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารเพื่อให้มีการคำนวณที่ต่ำ มีความแม่นยำที่สูงและสามารถนำไปดำเนินการใช้จริงได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการวัดในการค้นหาตำแหน่งจากค่ากำลังหรือความเข้มของสัญญาณ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมและราคาถูกอีกด้วย โดยขั้นตอนวิธีการค้นหาตำแหน่งที่นำเสนอนี้ใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลทำการจัดกลุ่มกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล เสมือนเป็นการระบุตำแหน่งอย่างคร่าวๆ และทำการถ่วงน้ำหนักหรือให้ความน่าเชื่อถือกับข้อมูลที่วัดได้ เพื่อให้วิธีการระบุตำแหน่งมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการค้นหาน้ำหนักหรือความน่าเชื่อถือที่เหมาะสม เสมือนการระบุตำแหน่งแบบละเอียด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตงานวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจจับการล้ม ให้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้ง่าย มีความแม่นยำสูง และใช้การคำนวณที่น้อย การศึกษาและวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ศึกษาการอุปการณ์การสื่อสารผ่านโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย วิเคราะห์ประเภทของเทคนิคการวัดที่ใช้ในระบบการระบุตำแหน่งและการเพิ่มความแม่นยำให้กับวิธีการระบุตำแหน่ง เปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งวิธีต่างๆ จำลองการทำงานและวิเคราะห์ผลผ่านทางโปรแกรม MATLAB สร้างแผนที่จำลองพื้นที่และดำเนินการระบบการระบุตำแหน่งผ่านโปรแกรม LabVIEW

## 1.3 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 ส่วน

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์การศึกษาขอบเขตการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่ง ประเภทของเทคนิคการวัดที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง การเลือกใช้อุปกรณ์และเหตุผล เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอธิบายทฤษฎีที่ถูกนำไปใช้ในวิธีการที่นำเสนอ

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ การออกแบบการสื่อสารของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองในพื้นที่โล่งภายในอาคารเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยการเปรียบเทียบกับกับงานวิจัยที่มีมาก่อน การทดลองนำวิธีการที่นำเสนอไปทดสอบในสถานที่ใช้งานจริงภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆ อภิปรายผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

บทที่ 5 กล่าวถึงข้อสรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ ผลของวิธีการที่ได้นำเสนอ ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะและแนวทางการระบุตำแหน่งภายในอาคาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

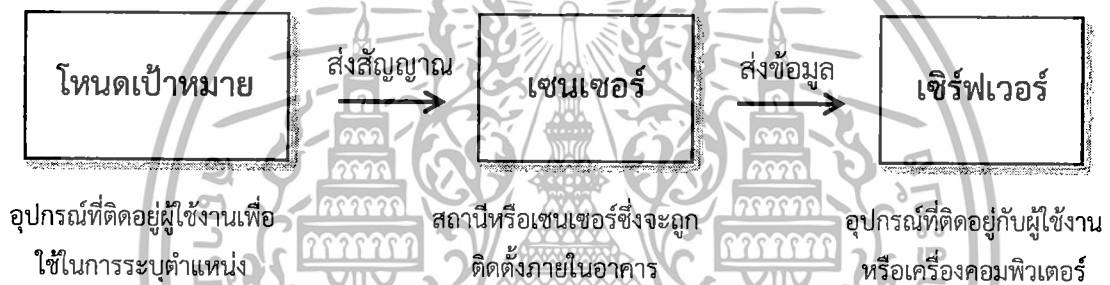
## บทที่ 2

### หลักการและเหตุผล

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารเป็นขั้นตอนอย่างคร่าวๆ ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร ประเภทของการวัดที่ใช้ในการระบุตำแหน่งและเหตุผลที่เลือกใช้ หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีซิกบี และสุดท้ายคือผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในงานวิจัย

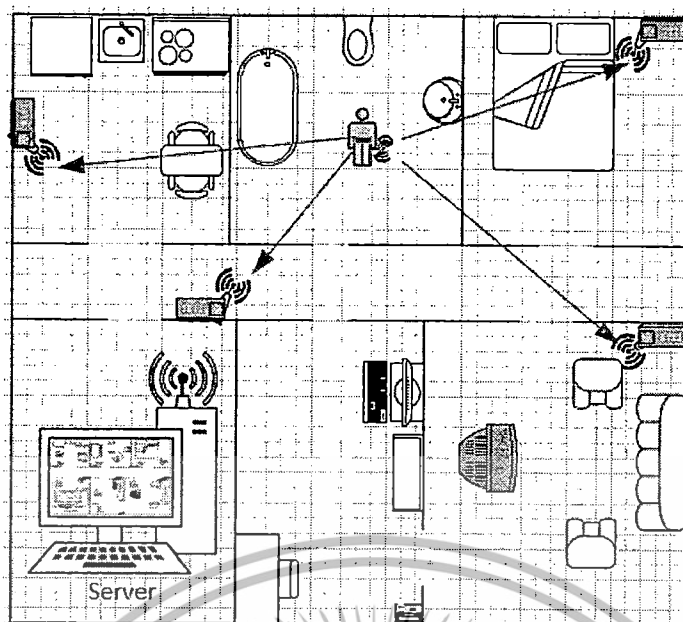
#### 2.2 ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร



รูปที่ 2.1 ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

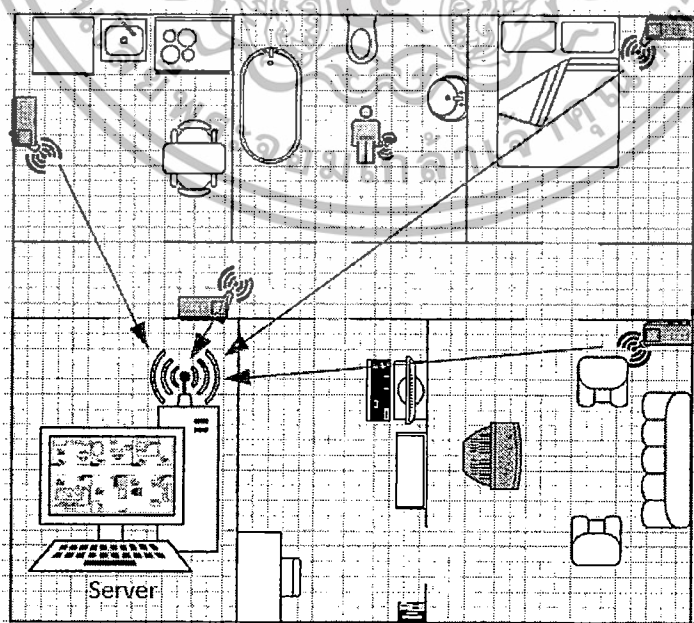
การระบุตำแหน่งภายในอาคารมีอุปกรณ์ที่จำเป็นอยู่ 3 ประเภทคือประเภทแรกคือโหนดเป้าหมายหรืออุปกรณ์ที่ติดอยู่กับผู้ใช้งาน ประเภทที่สองคือเซนเซอร์ซึ่งจะถูกติดตั้งตามจุดต่างๆ ภายในอาคารเพื่ออ้างอิงพิกัด และส่วนสุดท้ายคือเซิร์ฟเวอร์หรือก็คือส่วนที่ไว้คำนวณหาตำแหน่งหรือพิกัดของโหนดเป้าหมาย ซึ่งตัวเครื่องเซิร์ฟเวอร์เองนี้อาจจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเป็นอุปกรณ์เดียวกันกับที่ติดอยู่กับผู้ใช้งานก็ได้เช่น สมาร์ทโฟน โน้ตบุ๊ก ซึ่งตัวอุปกรณ์ที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับว่าจะนำวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารไปใช้กับแอปพลิเคชันประเภทใด ส่วนหลักการทำงานของวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารในแต่ละแอปพลิเคชันจะมีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกัน โดยเริ่มจากโหนดเป้าหมายส่งสัญญาณไปยังแต่ละเซนเซอร์ที่ถูกติดตั้งภายในอาคารดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างโหนดเป้าหมายส่งสัญญาณไปยังเซิร์ฟเวอร์

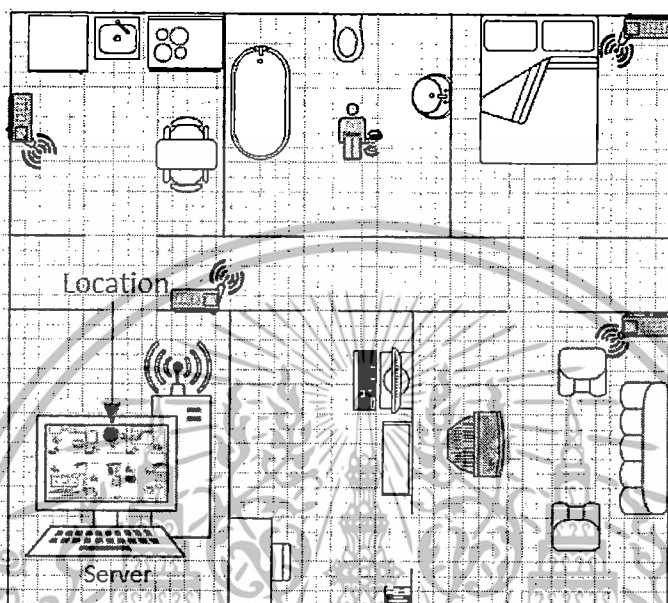
ซึ่งชนิดของข้อมูลที่ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์แต่ตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าใช้เทคนิคการวัดแบบใด โดยทั่วไปแล้วจะมีการวัด 4 ประเภทคือ 1) การวัดโดยพิจารณากำลังสัญญาณที่ได้รับจากโหนดเป้าหมาย 2) การวัดที่พิจารณาระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางจากโหนดเป้าหมายไปยังเซิร์ฟเวอร์ 3) การวัดที่พิจารณาความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณเดินทางมายังเซิร์ฟเวอร์แต่ละตัว และ 4) การวัดที่พิจารณาทิศทางสัญญาณที่เซิร์ฟเวอร์รับได้ และจากนั้นเซิร์ฟเวอร์จะวัดสัญญาณและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเซิร์ฟเวอร์ส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

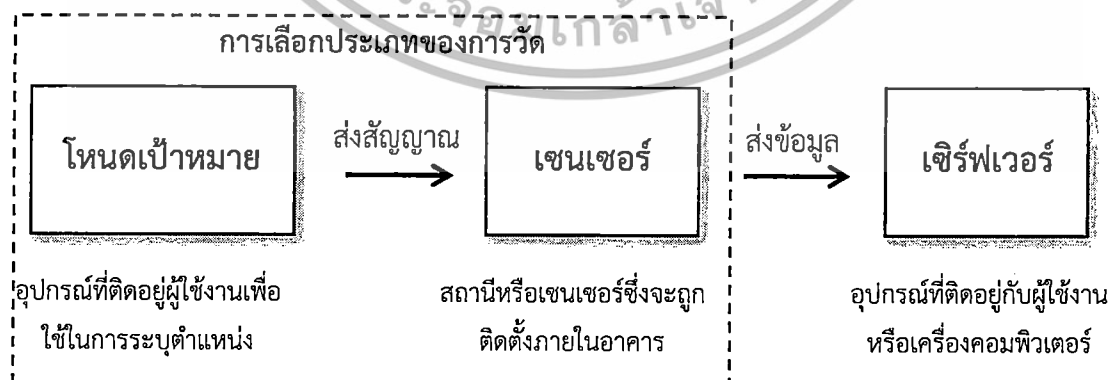
จากนั้นเซิร์ฟเวอร์ก็จะคำนวณหาพิกัดหรือตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์มาทำการคำนวณทางคณิตศาสตร์และแสดงผลพิกัดของผู้ใช้งานทางมอนิเตอร์ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์การระบุตำแหน่งบนมอนิเตอร์

### 2.3 ประเภทของเทคนิคการวัดที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง

ชนิดของข้อมูลข้อมูลที่เซนเซอร์ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อประมวลผลนั้นจะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ประเภทของการวัด ประเภทของการวัดที่ใช้ในการระบุตำแหน่งนั้นจะอยู่ในส่วนของการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างโหนดเป้าหมายและเซนเซอร์ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความเกี่ยวข้องของประเภทการวัดในภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยประเภทของเทคนิคการวัดที่เลือกใช้จะเป็นตัวกำหนดชนิดของอุปกรณ์หรือเซนเซอร์ในระบบการค้นหาค่าตำแหน่ง ซึ่งประเภทของเทคนิคการวัดสามารถแบ่งได้ 4 แบบคือ

### 2.3.1 Received Signal Strength Indicator (RSSI) [3]

ประเภทการวัดแบบ RSSI เป็นการพิจารณากำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้จากสัญญาณที่โหนดเป้าหมายส่งมา สามารถระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้ประโยชน์จากกำลังสัญญาณที่ลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างโหนดเป้าหมายและเซนเซอร์ไกลกันมากขึ้น เทคนิคนี้จะมีความแม่นยำไม่สูงนักเพราะปัจจัยที่มีผลทำให้กำลังสัญญาณเพิ่มขึ้นและลดลงมีมากในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

### 2.3.2 Time of arrival (TOA) [4]

ประเภทการวัดแบบ TOA เป็นพิจารณาเวลาที่สัญญาณจากโหนดเป้าหมายนั้นเดินทางมาถึงเซนเซอร์ โดยคลื่นสัญญาณแม่เหล็กที่เคลื่อนที่เร็วมาก (ความเร็วแสง หรือประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที) ซึ่งเวลาในการตอบสนองสั้นมาก จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยชิงโครโนซ์ หากความเร็วนั้นคงที่ในช่วงเวลาระหว่างการส่งและรับสัญญาณก็สามารถใช้ระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายได้ ซึ่งเทคนิคนี้ให้ความแม่นยำที่สูง

### 2.3.3 Time difference of arrival (TDOA) [5]

ประเภทการวัดแบบ TDOA จะมีลักษณะคล้ายกับวิธีของ TOA โดย TOA พิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางมาถึงของแต่ละเซนเซอร์ แต่ส่วนวิธี TDOA นั้นจะมีการพิจารณาเพิ่มเติมจาก TOA คือวัดความต่างของเวลาที่เซนเซอร์แต่ละตัวที่รับสัญญาณเดินทางจากโหนดเป้าหมาย

### 2.3.4 Angle of arrival (AOA) [6]

ประเภทการวัดแบบ AOA จะพิจารณาทิศทางของสัญญาณที่เซนเซอร์รับได้จากโหนดเป้าหมาย ใช้สายอากาศเพื่อหาเส้นทางของสัญญาณจากโหนดเป้าหมาย การคำนวณหาตำแหน่งของโหนดเป้าหมายนั้น ทำได้โดยการส่งเส้นทางจากตำแหน่งเฉพาะหลายๆที่ไปสู่โหนดเป้าหมาย เนื่องจากการหมุนสายอากาศอย่างต่อเนื่องเพื่อวัดระยะทำได้ยาก ตัวรับสัญญาณหรือเซนเซอร์จึงใช้ชุดของสายสัญญาณที่ติดตั้งไว้เฉพาะมุมต่างๆ ที่กำหนด เพื่อสร้างจุดตัดหาตำแหน่งของอุปกรณ์ เป็นเทคนิคที่ให้ความแม่นยำสูงแต่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หลายชนิดและมีค่าใช้จ่ายสูง

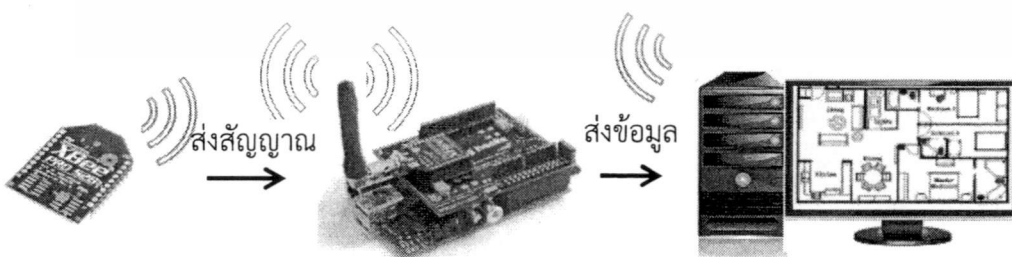
โดยเทคนิคการวัดของแต่ละประเภทก็จะมีค่าใช้จ่ายและให้ความแม่นยำที่แตกต่างกันไป ตารางที่ 2.1 ได้แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการวัดแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบแต่ละเทคนิค

	RSSI	TOA	TDOA	AOA
ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
ค่าใช้จ่ายของฮาร์ดแวร์	ต่ำ	สูง	สูงกว่า RSSI และ TOA	สูงที่สุด
โคมิงโครโมเซชัน	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ
ความถูกต้องของการวัด	ปานกลาง	สูง	สูง	สูง

สังเกตได้ว่าถึงแม้วิธีการวัดแบบ RSSI จะมีความแม่นยำที่ต่ำกว่าวิธีอื่นแต่ก็เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งการล้มของผู้สูงอายุซึ่งต้องการความแม่นยำเพียงระบุตำแหน่งแบบหยาบหรือบอกพื้นที่ขนาดปานกลางได้เช่น ห้องนอน ห้องน้ำ ทางเดิน และระเบียง เป็นต้น จึงเพียงพอที่ผู้ช่วยเหลือจะสามารถค้นหาหรือมองเห็นได้ และเทคนิคการวัดนี้ยังใช้ค่าใช้จ่ายกับอุปกรณ์ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆซึ่งไม่ต้องการฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมและไม่ต้องการโคมิงโครโมเซชัน ดังนั้นจึงเป็นเหตุที่เลือกเทคนิคการวัดแบบ RSSI มาใช้ในงานวิจัยนี้โดยอุปกรณ์ที่งานวิจัยนี้เลือกใช้คือชิคบี แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยชิคบีเป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายซึ่งสามารถใช้เทคนิค RSSI ได้และยังสามารถสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบ mesh ซึ่งสามารถทำให้ส่งข้อมูลการล้มของยูสเซอร์หรือผู้สูงอายุไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแน่นอน แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตามหรือเกิดการล้มที่ใดก็ตามภายในอาคารแคมีเซ็นเซอร์เพียงตัวเดียวที่สามารถรับสัญญาณจากโหนดเป้าหมายได้ ก็เพียงพอที่จะสามารถส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อคำนวณหาพิกัดของการล้มได้ และนอกจากนี้เทคโนโลยีชิคบียังใช้พลังงานต่ำเนื่องจากมีโหมดประหยัดพลังงานเมื่อไม่ได้ใช้งาน ด้วยเหตุนี้อุปกรณ์ชิคบีจึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในระบบการระบุตำแหน่งของการล้มที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้



รูปที่ 2.6 ภาพรวมของระบบการระบุตำแหน่งโดยใช้ชิคบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีซิกบี

ระบบเครือข่ายไร้สายในพื้นที่ส่วนบุคคล Wireless Personal Area Network (WPAN) ระบบ WPAN นี้ได้มีการเริ่มพัฒนามาตรฐานสำหรับการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะใกล้เมื่อปี 2002 โดยองค์กร IEEE มาตรฐานนี้เรียกว่า IEEE802.15.4 สำหรับมาตรฐานนี้จะมีความเข้ากันได้กับมาตรฐานการสื่อสารไร้สายอื่น ๆ เช่น WiFi และ UWB (Ultra Wideband) อย่างไรก็ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะแตกต่างจากมาตรฐานอื่นที่คุณลักษณะต่าง ๆ คือ การรับส่งข้อมูล ด้วยความเร็วต่ำ การใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่าเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้ ซึ่งระบบนี้สามารถที่จะทำงานในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก เช่น ถ่าน AA 2 ก้อน นานเป็นเดือนเป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวกมอนิเตอร์ (Monitoring) ต่าง ๆ และมีคุณสมบัติในการจัดการตัวเองได้ โดยซิกบีนั้นจะมีการทำงานเป็นการรับ - ส่งข้อมูลผ่านชิปขนาดเล็ก โดยจะส่งข้อมูลไปเรื่อยๆ จนถึงจุดหมายที่ตนเองต้องการที่จะส่งข้อมูล จากนั้นปลายทางจะนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์ผล ในงานวิจัยนี้ใช้ XBee PRO series 2 ซึ่งสามารถรองรับโครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายเส้นทาง เหมาะที่จะนำไปใช้กับการระบุตำแหน่งและการตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ เนื่องจากแม้ว่าจุดที่ล้มของผู้สูงอายุจะไกลกว่าขอบเขตการส่งระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ติดตั้งอยู่กับเซิร์ฟเวอร์ หรือแม้จะมีความเสียหายบางส่วนในเครือข่ายก็ตาม ขอเพียงมีเซ็นเซอร์เพียงเซนเซอร์เดียวรับสัญญาณได้ก็จะถูกส่งผ่านตามเส้นทางต่างๆไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสถานะและตำแหน่งของผู้สูงอายุ

รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง XBee Pro [7]

XBee สามารถใช้งานตามมาตรฐานซิกบีได้โดยไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่ายซิกบีเลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำเฟิร์มแวร์ (Firmware) ที่จะโหลดเข้าไปในตัว XBee ให้เราสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านตัวประสานโปรแกรม (Software interface) เช่น X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง โดยผ่านทาง At command เหมือนกับการควบคุม GSM Module โดยใช้ Hyper terminal หรือผ่านทาง การรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อทำการตั้งค่า XBee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่ายซิกบีแล้ว เราจะเรียกซิกบีแต่ละตัวว่าเป็นโหนด (Node)

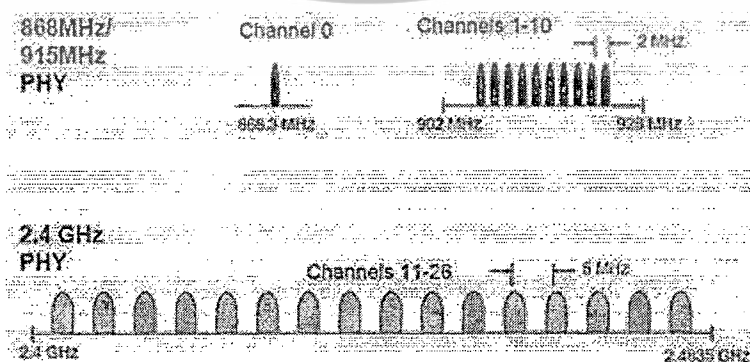
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 คุณสมบัติของ XBee

- 1) ทำงานย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่เพื่อการวิจัยซึ่งจะอนุญาตให้ใช้กับ อุตสาหกรรม (Industrial) วิทยาศาสตร์ (Scientific) และทางการแพทย์ (Medical)
- 2) มีสายอากาศให้เลือกใช้หลายแบบคือ แบบชิพแอนท์ (Chip Ant) วิปแอนท์ (Whip Ant) ยูเอฟแอลคอน(UFL con) อาร์พีเอสเอ็มเอคอน (RPSMA con) โดย 2 แบบหลัง ต้องไปหาเสาอากาศย่าน 2.4 GHz ที่เป็นคอนเน็กเตอร์แบบยูเอฟแอล (UFL) หรือเอสเอ็มเอ (SMA)
- 3) Supply Voltage อยู่ที่ 2.8-3.4 V
- 4) Power Down Current < 10uA
- 5) มี RF data rate อยู่ที่ 250 Kbps (เป็นส่วนของสัญญาณที่ส่งผ่านอากาศ)
- 6) มี Serial interface data rate อยู่ระหว่าง 1200 – 115200 bps
- 7) เป็น Spread Spectrum ชนิด DSSS (Direct Sequence) การกำหนดค่าตำแหน่ง(Addressing) มีลำดับลักษณะ คือ กำหนด PAN ID สำหรับเครือข่ายหนึ่ง ๆ กำหนดช่องสัญญาณ (Channel) และกำหนดค่าตำแหน่ง (Addressing) ของแต่ละตัว

### 2.4.2 มาตรฐานและการสื่อสารที่ใช้กับซิกบี

สำหรับมาตรฐานที่ถูกกำหนดให้กับเครือข่ายแบบซิกบีคือ IEEE 802.15.4 กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็น การสื่อสารแบบไร้สาย ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก ซิกบีกำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz , ย่าน 915 MHz และ ย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps , 40 Kbps และ 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน



รูปที่ 2.8 มาตรฐานการสื่อสารของซิกบี [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

- 1) ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
- 2) ย่านความถี่ 915 MHz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
- 3) ย่านความถี่ 868 MHz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps

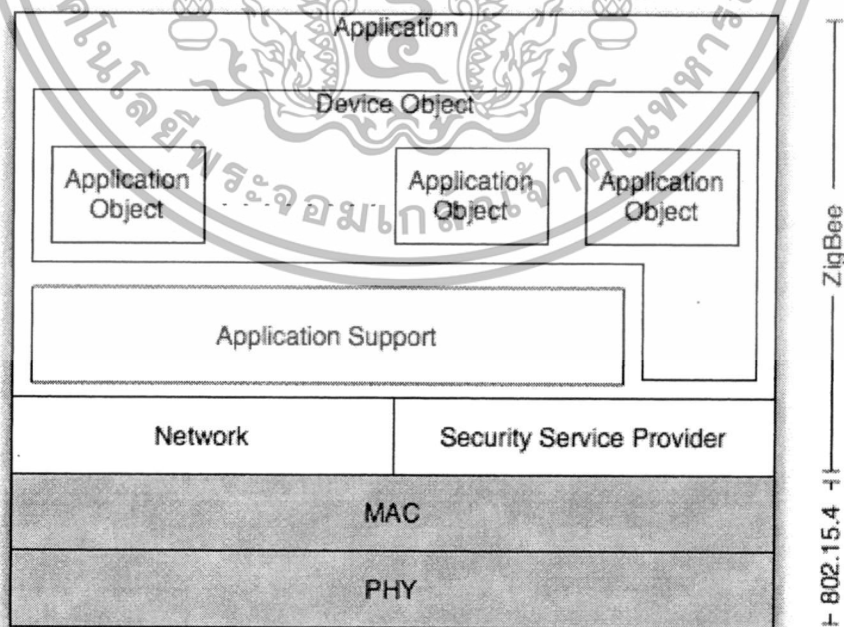
โดยความถี่ 2.4 - 2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868 - 870 MHz และ 902 - 928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ ยุโรป ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์

ซิกบีนั้นถูกออกแบบโปรโตคอลมาใช้ในส่วนของ Application layer, Application support layer และ Network Layer เท่านั้นแต่ใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยโครงสร้างของ ZigBee จะแบ่งเป็น layer ต่างๆ ดังนี้

(1) Application layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint อยู่เรียกว่า Application framework โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

(2) Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูล รวมถึง การจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

(3) Network layer ทำหน้าที่ในการ routing ข้อมูลต่างๆ จากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกัน หรือต่างเครือข่ายกัน



รูปที่ 2.9 ชั้นการทำงานของซิกบี [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 รูปแบบการเชื่อมต่อ

ในงานต้องมีการกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อ (Topology) ก่อนโดยต้องทราบหน้าที่ของ XBee แต่ละตัวที่จะอยู่บนเครือข่ายก่อน ซึ่งมี 3 แบบคือ

1) Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกันเอง หรือ Coordinator กับ Router เป็นตัวกำหนด address ให้กับ device ที่อยู่เ็นวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทางเรียกว่าเป็น Full-Function Device (FFD)

2) End Device เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่อยู่ปลายทางหรือส่งออกเอาท์พุทที่ปลายทาง ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเรียกว่า Reduced-Function Device (RFD) หรืออาจกำหนดให้ทำงานแบบ FFD ในบางกรณี ขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ปลายทางที่ใช้เชื่อมต่อด้วย

3) Router มีหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ ของเครือข่ายถือว่าเป็น FFD



รูปที่ 2.10 โครงสร้างเครือข่ายซิกบี [7]

รูปแบบการเชื่อมต่อมีทั้งหมด 4 แบบ

#### 1) Point to Point

การเชื่อมต่อแบบตัวต่อตัวโดยกำหนดให้ตัวแรกเป็น Coordinator ส่วนอีกตัวกำหนดเป็น Router



รูปที่ 2.11 การเชื่อมต่อแบบ Point to Point [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

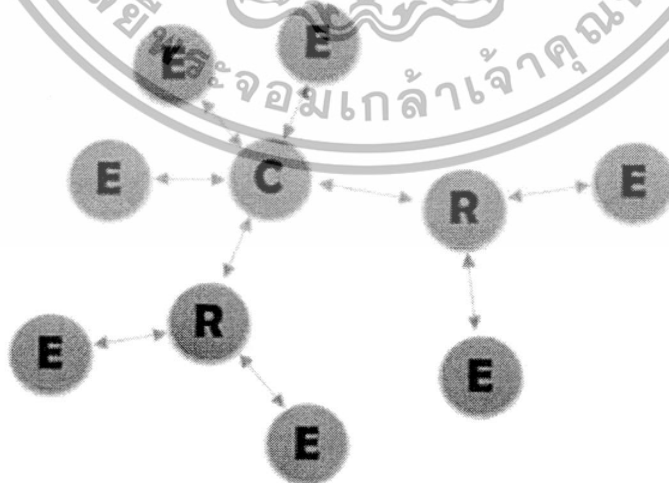
## 2) Star (Broadcast)

การเชื่อมต่อแบบ Star หรือแบบ Broadcast เป็นการรับส่งข้อมูลแบบไม่เฉพาะเจาะจง จุดหมายปลายทาง โดย XBee ทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถรับข้อมูลได้ทุกตัว ประกอบไปด้วย XBee ที่ทำงาน 2 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เป็น Coordinator ทำหน้าที่สร้างเครือข่าย และแบบที่ 2 เป็น End Device ทำหน้าที่เป็นลูกข่าย



## 3) Cluster Tree

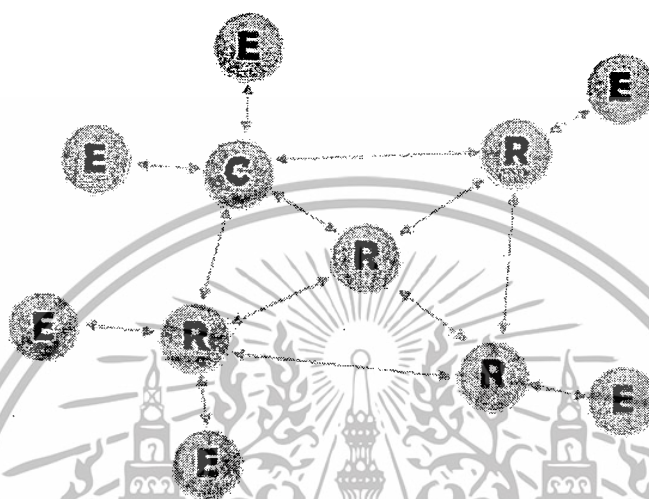
การรับส่งข้อมูลแบบส่งผ่านหรือส่งต่อ เช่น A ต้องการติดต่อกับ C แต่ C อยู่ไกลจาก A จน A ไม่สามารถ ติดต่อกับ C ได้โดยตรง แต่เนื่องจากมี B อยู่ระหว่าง A กับ C ดังนั้น Cluster Tree จะใช้ B เป็นเหมือน ตัวกลางเชื่อมการติดต่อ (Repeater) ระหว่าง A กับ C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4) Mesh

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ Mesh เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายเส้นทาง ทำให้ระบบสามารถรับ-ส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้แน่นอน แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.14 การเชื่อมต่อแบบ Mesh [7]

#### 2.4.4 กำหนดค่าประจำตัวอ้างอิงของซิกบี

โปรโตคอลของซิกบีในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการระบุชนิดของ Address ซึ่งมี 2 แบบคือ 16-bit Address และ 64-bit Address ปกติแล้วซิกบีทุกตัวจะถูกกำหนดค่ามาจากโรงงานเป็น Address 64 bit อยู่แล้ว ส่วน การกำหนด 16 bit address นั้นเป็นการกำหนดโหมดการรับ-ส่งข้อมูลของซิกบี มีสองโหมดคือ Uncast Mode และ Broadcast Mode ในการส่งแบบ Uncast คือการรับส่งข้อมูลโดยอาศัยหลักการแอกโนเลจเม้นท์ (acknowledgement) คือหากทางด้านส่งนั้น ส่งข้อมูลไป แต่ไม่ได้รับการตอบกลับจากตัวรับก็จะทำการส่งข้อมูลใหม่ และการส่งแบบ Broadcast การส่งข้อมูลไปยังปลายทางให้ได้รับข้อมูลทุกตัว

#### 2.4.5 โหมดการทำงานของ XBee

XBee จะสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 5 แบบ คือ

- 1) Idle Mode จะเป็นโหมดที่ไม่ได้รับส่งข้อมูล ตัว XBee เตรียมที่จะทำงานในโหมดอื่นๆต่อไปทันทีหากมีเงื่อนไขบางอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Receive Mode เป็นโหมดในช่วงที่ XBee มีการรับโดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อย ออกเป็นไดเร็กต์ (Direct) กับแบบอินไดเร็กต์ (Indirect) การกำหนดแอดเดรสต้นทางและปลายทาง เคลียร์แชนเนลแอสเซสเมนต์ (Clear Channel Assessment) และการตอบรับหลักแอดเดรส

3) Transmit Mode เป็นโหมดในช่วงส่งข้อมูลโดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อยเหมือน Receive Mode

4) Sleep Mode เป็นโหมดช่วงที่ XBee อยู่ในสถานการณ์ทำงานพลังงานต่ำที่สุดเมื่อไม่มีการใช้งาน

5) Command Mode เป็นโหมดที่ใช้ในการปรับพารามิเตอร์ของ XBee รองรับการใช้งาน ได้ 2 โหมด คือ AT mode และ API mode

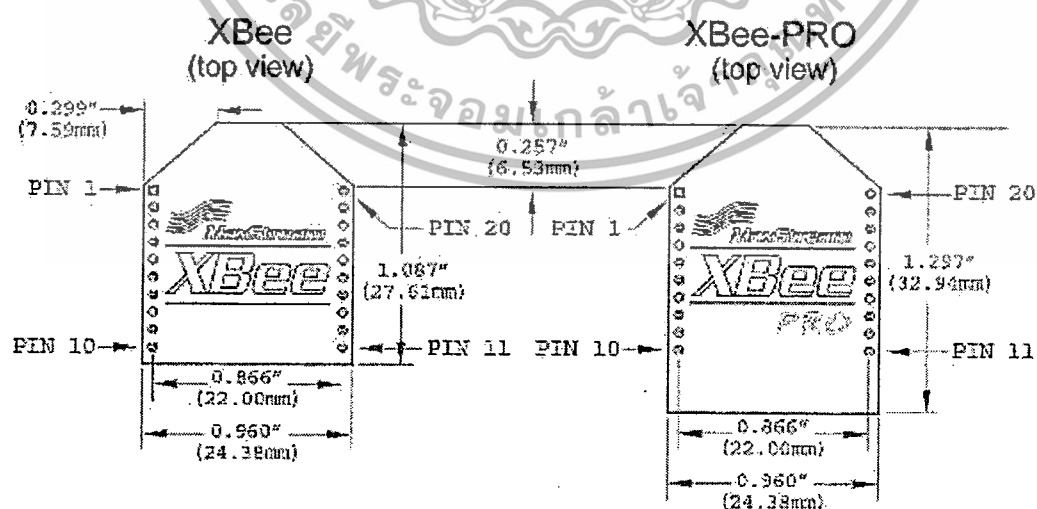
- AT mode ตัว XBee มีการติดต่อกันและรับ-ส่งข้อมูลกันตลอดเวลา (Transparent) ข้อมูลที่ส่งจาก XBee ตัวหนึ่งจะส่งไปยัง XBee อีกตัวหนึ่งตามที่อยู่ปลายทาง (Destination Address) ที่กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ของโมดูลนั้นๆ โดยสามารถเปลี่ยนเป็นโหมดคำสั่งเพื่อปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บนโมดูล XBee ได้เรียกว่าการใช้คำสั่ง AT

- API mode เป็นการส่งข้อมูลที่มียืดหยุ่นมากกว่า แต่ก็ซับซ้อนกว่าด้วยเล็กน้อย โดยต้องรับ-ส่งข้อมูลตามโปรโตคอลที่กำหนดไว้

#### 2.4.6 ขนาดและขาต่างๆของโมดูล XBee

ขนาดของโมดูล XBee และรายละเอียดของขาสามารถแสดงได้จากรูปที่ 2.15 และตารางที่

2.2



รูปที่ 2.15 แสดงขนาดของ XBee [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของขา XBee

ขาที่	ชื่อ	คำอธิบาย
1	VCC	ขาไฟเลี้ยง 3.3 V
2	DOU	ขา Tx ของพอร์ต Serial โมดูล XBee
3	DIN	ขา Rx ของพอร์ต Serial โมดูล XBee
4	DO8	ขา 8 พอร์ต Digital output
5	RESET	ขา Reset (โดยสัญญาณจะต้องเป็น Low ไม่ต่ำกว่า 200 ns)
6	PWM0(RSSI)	ขา 0 พอร์ตสัญญาณ PWM หรือขา RSSI (RX Signal Strength Indicator) ขาแสดงความแรงของสัญญาณที่ได้รับ
7	PWM1	ขา 1 พอร์ตสัญญาณ PWM
8	(Reserved)	ไม่ใช่
9	DTR/SLEEP/DI8	ขาสั่งให้ XBee เข้าโหมด Sleep หรือขา 8 พอร์ต Digital Input
10	GND	ขากราวด์
11	AD4/DIO4	ขา 4 พอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 4 พอร์ต Digital Input/Output
12	CTS/DIO7	ขา CTS (Clear-To-Send Flow Control) หรือขา 7 พอร์ต Digital Input/Output
13	ON/SLEEP	ขาแสดงสถานะ XBee อยู่ในโหมด On(ทำงาน) หรือโหมด Sleep(หลับ)
14	VREF	ขาแรงดันอ้างอิง สำหรับอ่านสัญญาณอนาล็อก
15	ASSOC/AD5/DIO5	ขาAssociated หรือขา 4 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 5 พอร์ต Digital Input/Output
16	RTS/AD6/DIO6	ขา RTS(Request to send) หรือขา 6 ของพอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา6 พอร์ต
17	AD3/DIO3	ขา 3 พอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 3 พอร์ต Input/Output
18	AD2/DIO2	ขา 2 พอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 2 พอร์ต Input/Output
19	AD1/DIO1	ขา 1 พอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 1 พอร์ต Input/Output
20	AD0/DIO0	ขา 0 พอร์ตอ่านสัญญาณอนาล็อก หรือขา 0 พอร์ต Input/Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.7 เทคโนโลยีของซิกบีในปัจจุบัน

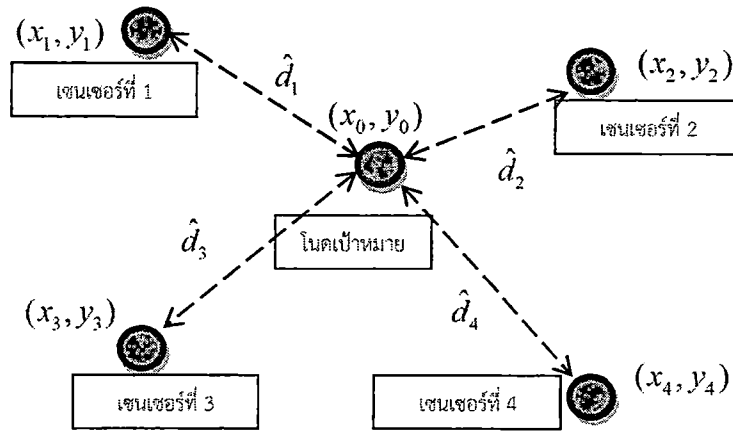
ปัจจุบันมีการนำมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (เทคโนโลยีซิกบี) ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ระบบการควบคุมอัตโนมัติสำหรับในบ้าน โรงงาน และ โกดังเก็บสินค้า เป็นต้น ระบบการติดตามสำหรับความปลอดภัย ชีวะอนามัย และสิ่งแวดล้อม การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้ในการปฏิบัติการทางทหาร และบริษัทที่ต้องการการตรวจหาตำแหน่งแบบเวลาจริง ส่วนด้านให้ความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบ interactive นอกจากนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และตัวอุปกรณ์เองมีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้นและมีราคาแพง จึงสามารถนำระบบ IEEE 802.15.4 ซึ่งสามารถนำอุปกรณ์พื้นฐานเช่น sensor และ Actuator ที่มีราคาถูกมาใช้ ทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่เรากำลังต้องการ สำหรับการประยุกต์ระบบ IEEE 802.15.4 มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้

## 2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อน

ด้านการคำนวณในส่วนของเซิร์ฟเวอร์นั้น มีหลายงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการวัดแบบ RSSI อย่างที่ทราบกันว่าการใช้เทคนิคการวัดแบบ RSSI ทำให้ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์มีราคาถูก แต่เทคนิคนี้ก็ให้ความแม่นยำได้ไม่สูงนัก จึงทำให้งานวิจัยส่วนใหญ่นำเสนอวิธีการคำนวณต่างๆ เพื่อพัฒนาในเรื่องของความแม่นยำ และในหัวข้อนี้จะไม่เพียงกล่าวถึงงานวิจัยที่เน้นเรื่องปรับปรุงความแม่นยำเท่านั้น แต่ยังคงกล่าวถึงงานวิจัยที่เน้นเรื่องการลดการคำนวณที่ใช้ในการระบุตำแหน่งด้วย ซึ่งในระบบการระบุตำแหน่งของการลัดในผู้สูงอายุ นั้น นอกจากจะต้องมีความแม่นยำแล้ว ก็ควรจะมีความเร็วในการคำนวณด้วย เพื่อที่จะสามารถแสดงผลทันทีที่เกิดเหตุและช่วยเหลือได้รวดเร็วเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยแต่ละงานวิจัยจะกล่าวในลำดับต่อไปนี้

### 2.5.1 Linear Least Squares

Linear Least Squares [8] เป็นวิธีการพื้นฐาน ใช้การคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและจำนวนการคำนวณน้อยมาก นำเสนอโดย S. Gezici I. Guvenc, และ Z. Sahinoglu ซึ่งวิธีการ Linear Least Squares เป็นการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายโดยใช้วิธีการแปลงแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ กำหนดให้พิกัดของโหนดเป้าหมายเป็น  $(x_0, y_0)$  พิกัดของเซนเซอร์เป็น  $(x_j, y_j)$  และระยะทางที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายไปยัง  $n$  เซนเซอร์เป็น  $d_j$  โดย  $j = 1, 2, \dots, n$  แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ภาพตัวอย่างพิกัดของโนดเป้าหมายและเซนเซอร์

จากรูปที่ 5 มีเซนเซอร์ทั้งหมด 4 ตัวอยู่ที่พิกัด  $(x_1, y_1)$   $(x_2, y_2)$   $(x_3, y_3)$  และ  $(x_4, y_4)$  ตามลำดับพิกัดของโนดเป้าหมายคือ  $(x_0, y_0)$  และระยะทางที่วัดได้จากโนดเป้าหมายไปยังแต่ละเซนเซอร์คือ  $\hat{d}_1$   $\hat{d}_2$   $\hat{d}_3$  และ  $\hat{d}_4$  ตามลำดับ เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังสมการที่ 2.1

$$e_j = \hat{d}_j - \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $e_j$  คือค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดระยะทางจากโนดเป้าหมายไปยังเซนเซอร์ตัวที่  $j$  หากเราพิจารณาไม่มีความผิดพลาดที่เกิดจากการวัด ( $e_j = 0$ ) ก็จะได้สมการที่ 2.2

$$-x_j^2 - y_j^2 + \hat{d}_j^2 = (x_0^2 + y_0^2) - 2x_j x_0 - 2y_j y_0 \quad (2.2)$$

และเมื่อเราแทนค่าเซนเซอร์ตัวที่  $n$  ในสมการที่ 2.2 จะได้เป็นสมการที่ 2.3

$$-x_n^2 - y_n^2 + \hat{d}_n^2 = (x_0^2 + y_0^2) - 2x_n x_0 - 2y_n y_0 \quad (2.3)$$

จากนั้นนำสมการที่ 2.2 ลบด้วยสมการที่ 2.3 จะได้สมการที่ 2.4

$$-x_j^2 - y_j^2 + \hat{d}_j^2 + x_n^2 + y_n^2 - \hat{d}_n^2 = 2x_0(x_n - x_j) + 2y_0(y_n - y_j) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.4 สำหรับ  $j = 1, 2, \dots, n$  สามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 + \hat{d}_1^2 + x_n^2 + y_n^2 - \hat{d}_n^2 \\ -x_2^2 - y_2^2 + \hat{d}_2^2 + x_n^2 + y_n^2 - \hat{d}_n^2 \\ \vdots \\ -x_{n-1}^2 - y_{n-1}^2 + \hat{d}_{n-1}^2 + x_n^2 + y_n^2 - \hat{d}_n^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_n - x_1 & y_n - y_1 \\ x_n - x_2 & y_n - y_2 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_{n-1} & y_n - y_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

หรือก็คือ  $\mathbf{Y} = \mathbf{Xb}$  ดังนั้นเราสามารถหาพิกัดหรือตำแหน่งของโนดเป้าหมาย  $(x_0, y_0)$  โดยการอินเวิร์สเมทริกซ์ ( $\mathbf{b} = \mathbf{YX}^{-1}$ )

### 2.5.2 Gradient-based Search

วิธี Gradient-based search [9]-[11] เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำมากกว่าวิธี Linear Least Squares แต่ก็ใช้จำนวนการคำนวณที่มากขึ้นเนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้กรรมวิธีวนรอบ (iterative method) ซึ่งวิธี Gradient-based Search เป็นนิยมใช้อย่างแพร่หลายในการระบุตำแหน่งได้ โดยวิธีนี้จะลดความผิดพลาดของการประมาณระยะทางจากโนดเป้าหมายไปยังเซนเซอร์ซึ่งวิธีนี้จะใช้การวนรอบและปรับปรุงค่าประมาณตำแหน่งในทุกๆรอบตามสมการต่อไปนี้

$$\hat{\mathbf{p}}[t+1] = \hat{\mathbf{p}}[t] + \alpha \sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{d_j}{d(\hat{\mathbf{p}}[t], \hat{\mathbf{p}}_j)}\right) (\hat{\mathbf{p}}_j - \hat{\mathbf{p}}[t]) \quad (2.5)$$

เมื่อ

$\alpha$  คือ สเต็ปไซน

$t$  คือ ตัวระบุรอบ

$\hat{\mathbf{p}}_j$  คือ ตำแหน่งของเซนเซอร์ตัวที่  $j$

$d_j$  คือ ระยะทางจากโนดเป้าหมายไปยังเซนเซอร์ตัวที่  $j$

$\hat{\mathbf{p}}[t]$  คือ ตำแหน่งที่ถูกประมาณในรอบที่  $t$

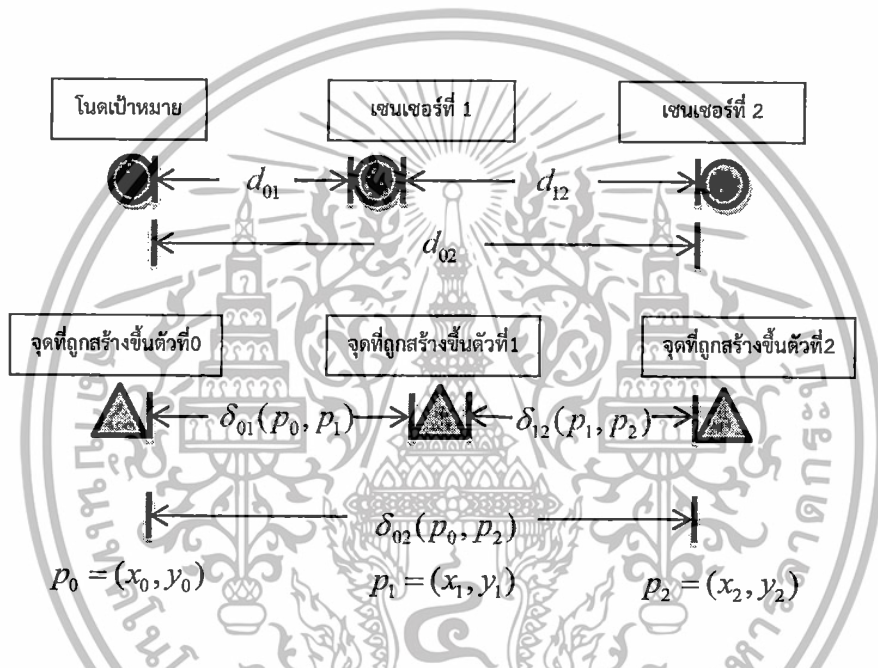
$d(\hat{\mathbf{p}}[t], \hat{\mathbf{p}}_j)$  คือ ระยะทางจากตำแหน่งที่ถูกประมาณในรอบที่  $t$  ไปยังเซนเซอร์  $j$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าเริ่มต้น  $p[0]$  นั้นกำหนดให้เป็นตำแหน่งของเซนเซอร์ที่รับกำลังสัญญาณได้แรงที่สุด

### 2.5.3 Multidimensional Scaling

วิธี Multidimensional Scaling [12]-[13] เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่ง ใช้การคำนวณมากกว่า 2 วิธีข้างต้นแต่ให้ความแม่นยำได้มากกว่า โดยวิธีการนี้จะเริ่มจากนำระยะทางซึ่งประกอบด้วยระยะทางระหว่างโนดเป้าหมายกับทุกเซนเซอร์และระยะทางระหว่างเซนเซอร์ด้วยกันมาวิเคราะห์และสร้างจุดที่เป็นตัวแทนของโนดเป้าหมายและเซนเซอร์ทั้งหมด ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ภาพแสดงตัวอย่างจุดที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวิธี MDS

จากรูปที่ 2.17 มีโนดเป้าหมาย 1 ตัว เซนเซอร์ทั้งหมด 2 ตัวและจุดที่ถูกสร้างขึ้น 3 ตัวอยู่ที่ตำแหน่ง  $p_0$ ,  $p_1$  และ  $p_2$  เมื่อ  $d_{ij}$  คือระยะทางระหว่างโนดที่  $i$  และ  $j$  และ  $\delta_{ij}(p_i, p_j)$  คือระยะทางระหว่างจุดที่ถูกสร้างขึ้นตัวที่  $i$  และ  $j$  ดังนั้นเมื่อต้องการให้จุดที่ถูกสร้างขึ้นตัวที่ 0 เป็นตัวแทนของโนดเป้าหมายและจุดที่ถูกสร้างขึ้นตัวที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเซนเซอร์ตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จำเป็นต้องทำการขยับตำแหน่ง  $p$  ของแต่ละจุดที่ถูกสร้างขึ้นหรือก็คือการทำให้ค่า *Stress* ในสมการที่ 2.6 มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งตำแหน่ง  $p_0$  ที่ทำให้ค่า *Stress* น้อยที่สุดก็จะเป็นตำแหน่งของโนดเป้าหมาย

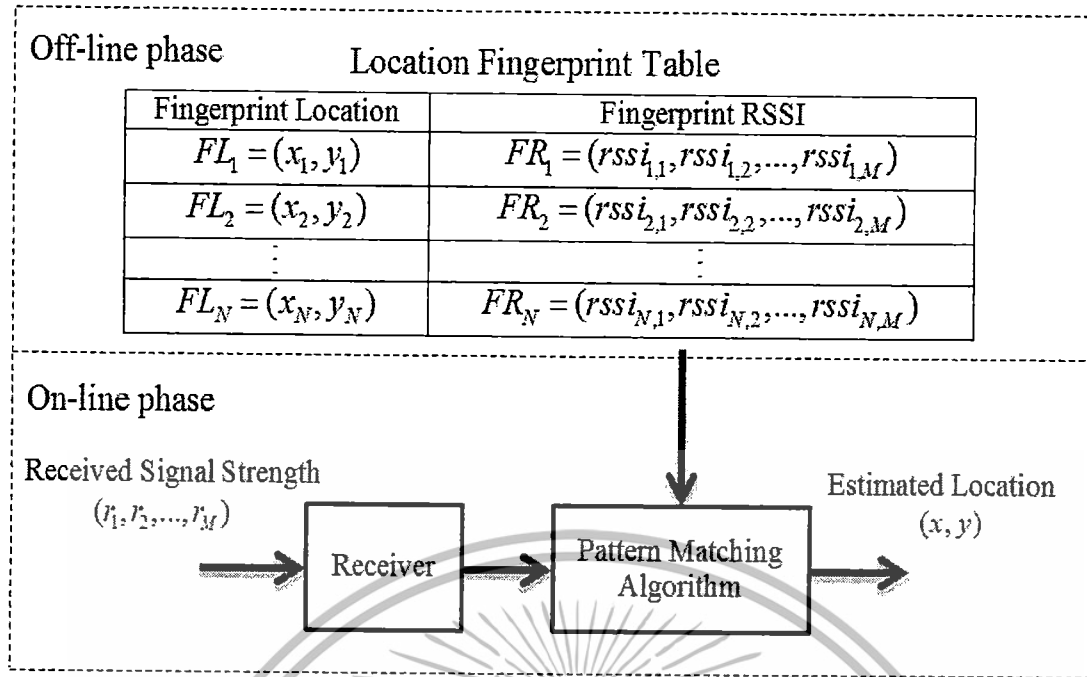
$$Stress = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{[\delta_{ij}(p_i, p_j) - d_{ij}]^2}{d_{ij}^2} \quad (2.6)$$

ในการหาตำแหน่งของแต่ละจุดที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทำให้ค่า *Stress* น้อยที่สุดสามารถใช้วิธีการวนรอบได้หลายวิธีเช่นวิธี SMACOF (Scaling by MAjorizing a COmplicated cost Function)

#### 2.5.4 Weighted Distance Fingerprint

Weighted Distance Fingerprint [14] เป็นวิธีการที่ถูกปรับปรุงความแม่นยำสำหรับเทคนิคฟิงเกอร์ปรี้น และความซับซ้อนในการคำนวณหรือจำนวนการคำนวณที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลในฐานข้อมูล ด้านการปรับปรุงความแม่นยำของวิธีการนี้ได้ใช้ประโยชน์จากการถ่วงน้ำหนักหรือให้ความสำคัญเชื่อถือกับข้อมูลสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้ในแต่ละตัวไม่เท่ากัน ซึ่งวิธีนี้ถูกนำเสนอโดย X. Song F. Yang L. Ding และ L. Qian หลักการของวิธีการ Weighted Distance Fingerprint จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือออฟไลน์เฟสและออนไลน์เฟส ในส่วนออฟไลน์เฟสเป็นส่วนของการเตรียมการโดยเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณจาก  $M$  เซนเซอร์ที่อ่านได้จากโหนดเป้าหมายในทุก  $N$  พิกัดที่อ้างอิงที่สนใจ และจากนั้นทำการบันทึกค่าพิกัดและค่าเฉลี่ย RSSI ของแต่ละพิกัดทั้งหมด  $N$  พิกัดอ้างอิงเป็นฐานข้อมูล Fingerprint Location และ Fingerprint RSSI ตามลำดับ ถัดมาในส่วนที่ 2 คือออนไลน์เฟสเป็นส่วนของการใช้งานการระบุตำแหน่งโดยเริ่มแรกโหนดเป้าหมายส่งสัญญาณไปยัง  $M$  เซนเซอร์ และจากนั้น  $M$  เซนเซอร์จะวัดค่ากำลังสัญญาณ  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  ที่ได้รับจากโหนดเป้าหมาย และทำการจับคู่ค่ากำลังสัญญาณที่ได้รับกับค่ากำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  เมื่อ  $n = 1, 2, \dots, N$  ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจับคู่จะเป็นค่าพิกัด  $(x, y)$  ในฐานข้อมูลที่มีกำลังสัญญาณใกล้เคียงกันกับกำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมาย โดยภาพรวมและขั้นตอนทั้งหมดของวิธีการ Weighted Distance Fingerprint สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ภาพประกอบแสดงวิธีการ Weighted Distance Fingerprint

สำหรับในส่วน Pattern Matching ในรูปที่ 2.18 จะทำการเลือกค่าพิกัด  $(x, y)$  จาก Fingerprint Location ในฐานข้อมูลที่มีระยะทางยูคลิดกับกำลังสัญญาณที่ได้รับจากโหนดเป้าหมาย น้อยที่สุดเป็นผลลัพธ์ของการระบุพิกัดของโหนดเป้าหมาย โดยระยะทางยูคลิดจะได้รับการคำนวณ กำลังสัญญาณที่ได้รับจากโหนดเป้าหมาย  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  และกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  ตามสมการที่ 2.7

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M w_m (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (2.7)$$

โดยค่าน้ำหนัก  $w_m$  ที่ให้กับเซนเซอร์ที่  $m$  ( $m=1, 2, \dots, M$ ) จะแปรผกผันกับค่าความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ที่  $m$  อ่านได้ โดยคำนวณจากสมการ

$$w_m = \frac{1/Var_m}{\sum_{m=1}^M 1/Var_m} \quad (2.8)$$

ซึ่ง  $Var_m$  คือค่าความแปรปรวนของ RSSI ของเซนเซอร์ที่  $m$  อ่านได้ ซึ่งได้จาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Var_m = a \times r_m + b \quad (2.9)$$

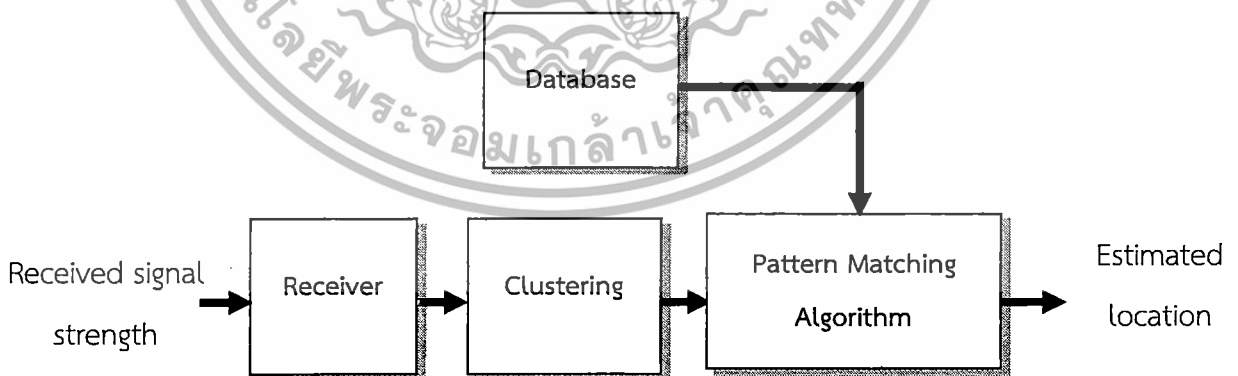
เมื่อ  $r_m$  คือค่า RSSI ที่เซนเซอร์ที่  $m$  อ่านได้ และพารามิเตอร์  $\{a, b\}$  จะหาได้จาก linear regression [15]

จากนั้นทำการระบุพิกัดโดยเลือกพิกัดในฐานข้อมูลที่มีระยะทางยูคลิดกับโหนดเป้าหมายน้อยที่สุดเป็นผลลัพธ์การระบุพิกัดด้วยสมการ

$$(x, y) = \min \{dist_n(x_n, y_n)\} \quad (2.10)$$

### 2.5.5 Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering

Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering [16] เป็นวิธีการที่ใช้เทคนิคฟังก์ชันปรับถูกนำเสนอในแง่ของการลดการคำนวณ โดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มกำลังสัญญาณ Fuzzy C-Means เพื่อช่วยลดการคำนวณจากการหาระยะทางยูคลิดระหว่างกำลังสัญญาณที่วัดได้กับกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล นำเสนอโดย D.J. Suroso เหมาะสำหรับใช้ในสถานการณ์ที่มีโหนดเป้าหมายหลายโหนดในระบบ ภาพรวมของวิธีการสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ภาพประกอบวิธีการ Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างการทำงานของวิธี Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering จะมีกระบวนการทำงานคล้ายกับการใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรี้น แต่ทำการจัดกลุ่มกำลังสัญญาณที่วัดได้ก่อนจะนำไปจับคู่กับกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล ซึ่งการจัดกลุ่มจะใช้วิธีการ Fuzzy C-Means โดยเริ่มจากนำกำลังสัญญาณที่วัดได้มารวมกับกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลเป็น  $P = [D_1, D_2, D_3, \dots, D_M]^T$  เมื่อ  $D_1$  คือกำลังสัญญาณที่วัดและ  $D_2, D_3, \dots, D_M$  คือกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล ต่อมาสุ่มค่าเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มในเวกเตอร์ในรอบที่ 0 คือ  $V^0 = [v_1, v_2, v_3, \dots, v_C]$  เมื่อ  $C$  คือจำนวนกลุ่ม และจากนั้นคำนวณหาฟังก์ชันการเป็นสมาชิก  $u_{ik}$  ในสมการที่ 2.11

$$u_{ik} = \left( \sum_{j=1}^C \frac{\left( \frac{\|D_k - v_i\|}{\|D_k - v_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}}{\left( \frac{\|D_k - v_i\|}{\|D_k - v_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \right)^{-1} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\|D_k - v_i\|$  คือค่าระยะทางระหว่างกำลังสัญญาณที่  $k$  กับเซนทรอยด์ของกลุ่มที่  $i$  ในขั้นตอนต่อมาเราจะได้เซนทรอยด์ของกลุ่มในรอบที่ 1 คือ  $V^1 = [v_1, v_2, v_3, \dots, v_C]$  โดยคำนวณได้ตามสมการที่ 2.12

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^d u_{ik}^m D_k}{\sum_{k=1}^d u_{ik}^m} \quad (2.12)$$

และทำซ้ำหา  $V^{(t)}$  จนกระทั่ง  $\|V^{(t)} - V^{(t-1)}\| < \epsilon$  เมื่อ  $\epsilon$  คือค่าอ้างอิงที่เป็นค่าบวก จากนั้นจัดกลุ่มโดยให้แต่ละ  $D_k$  เข้าไปอยู่ในกลุ่มที่ใกล้กับเซนทรอยด์นั้นๆ ดังนั้นทำให้เราสามารถระบุตำแหน่งโดยคำนวณหาเพียงระยะยุคลิดเฉพาะกลุ่มที่  $D_k$  อาศัยอยู่ โดยไม่ต้องจำเป็นต้องหาระยะยุคลิดทั้งหมดในฐานข้อมูล

สรุปผลงานวิจัยที่มีมาก่อน โดยวิธีการระบุตำแหน่งที่ใช้เทคนิคการวัดแบบ RSSI สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ 1.วิธีที่ต้องการการแปลงสัญญาณที่วัดได้เป็นระยะทางและนำระยะทางไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ผลลัพธ์เป็นพิกัด และ 2.วิธีที่คำนวณหาพิกัดได้จากกำลังสัญญาณเลยโดยไม่ต้องผ่านการแปลงเป็นระยะทางก่อน โดยประเภทแรกก็คือวิธีการระบุตำแหน่งที่ถูกรับรองในงานวิจัยที่มีมาก่อน 3 วิธีแรกประกอบด้วย วิธี Linear Least Squares วิธี Gradient-

based Search และวิธี Multidimensional Scaling ซึ่งแต่ละวิธีที่กล่าวมานี้จำเป็นต้องมีการคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดเป้าหมายกับเซนเซอร์ก่อน โดยคำนวณจากค่ากำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้จากโหนดเป้าหมาย และเนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในอาคารนั้นมีสิ่งกีดขวางมากมาย ทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณกับระยะทางนั้นมีความซับซ้อนตามไปด้วย ส่งผลทำให้การนำเอาวิธีการเหล่านี้ไปดำเนินการใช้งานให้เกิดความแม่นยำสูงๆนั้นมีความยุ่งยากมาก แต่วิธีการระบุตำแหน่งประเภทที่สองสามารถหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสัญญาณกับระยะทางได้ จึงทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งเทคนิคประเภทนี้ถูกเรียกว่าเทคนิคแบบฟิงเกอร์ปรีน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะนำเอาเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนมาพัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยที่มีมาก่อนที่ใช้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนคือวิธี Weighted Distance Fingerprint และวิธี Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering โดยในแง่การปรับปรุงความแม่นยำวิธีการ Weighted Distance Fingerprint ได้ปรับปรุงความแม่นยำให้เทคนิคฟิงเกอร์ปรีนโดยใช้การถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้ไม่เท่ากันหรือก็คือให้ความน่าเชื่อถือกับกำลังสัญญาณที่มีความแปรปรวนน้อยมากกว่ากำลังสัญญาณที่มีความแปรปรวนมาก โดยน้ำหนักที่ให้นั้นจะได้จากวิธีการ linear regression ซึ่งวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีการถ่วงน้ำหนักคล้ายกับหลักการของวิธี Weighted Distance Fingerprint แต่ใช้วิธีการค้นหาน้ำหนักที่เหมาะสมกว่าการใช้วิธี linear regression เพื่อทำให้วิธีการที่นำเสนอทนทานต่อสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่บางครั้งไม่มีความเป็นเชิงเส้นเลย ส่วนในแง่ของการคำนวณหรือลดจำนวนการคำนวณวิธี Fingerprint-Based Technique using Fuzzy C-Means Clustering ได้ใช้การจัดกลุ่มกำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายร่วมกับกำลังสัญญาณที่อยู่ในฐานข้อมูล ทำให้ไม่ต้องคำนวณหาระยะทางยูคลิดกับกำลังสัญญาณทุกตัวในฐานข้อมูล อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมีส่วนการคำนวณที่เพิ่มขึ้นมาคือต้องมีการจัดกลุ่มทุกๆครั้งที่ต้องการระบุตำแหน่ง ซึ่งสำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ประโยชน์จากเซนทรอยด์ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการจัดกลุ่มทุกๆครั้งในการระบุตำแหน่ง ก่อนจะไปถึงการอธิบายวิธีการที่นำเสนอ จะขอกกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำมาใช้ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

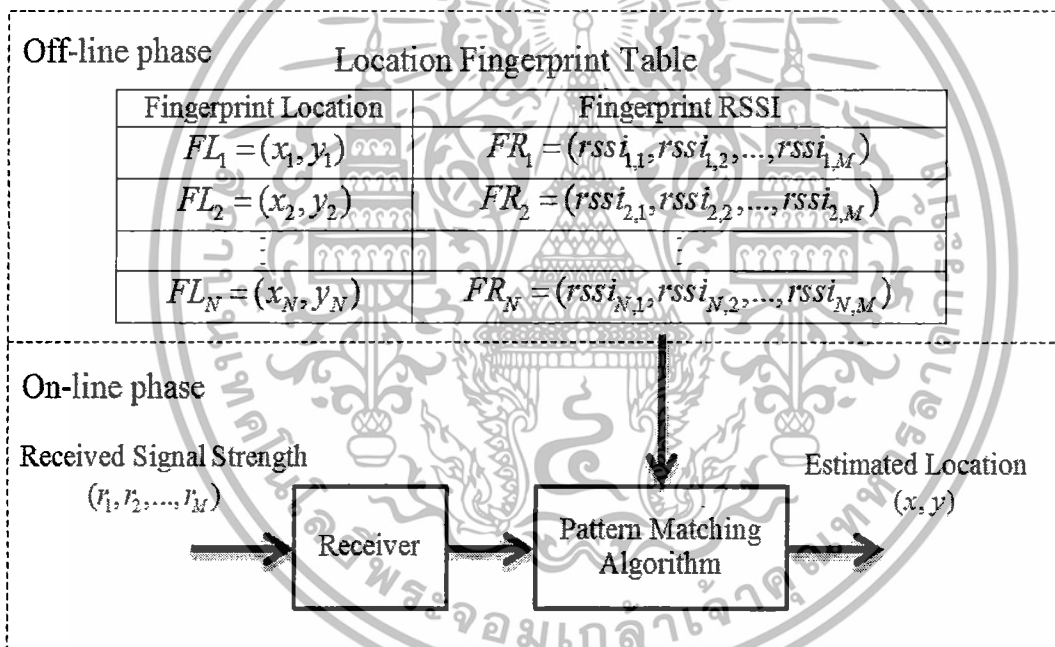
## 2.6 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่ถูกใช้ในวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยวิธีพื้นฐานของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีน การจัดกลุ่มข้อมูลซึ่งมีทั้งการจัดกลุ่มอัตโนมัติและการจัดกลุ่มแบบใช้ผู้เชี่ยวชาญ และวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งแต่ละส่วนจะกล่าวในลำดับต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 วิธีการ K-Nearest Neighbor (KNN)

วิธีการ KNN [17] เป็นวิธีการระบุตำแหน่งแบบพื้นฐานของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีน โดยวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำพื้นฐานของวิธีการนี้มาต่อยอดให้มีความแม่นยำมากขึ้นและใช้จำนวนการคำนวณที่น้อยกว่าเดิม ซึ่งวิธีการ KNN นี้มีขั้นตอนวิธีการสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของการเตรียมการคือเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณจาก  $M$  เซนเซอร์ที่อ่านได้จากโหนดเป้าหมายในทุก  $N$  พิกัดที่อ้างอิง จากนั้นทำการบันทึกค่าพิกัดและค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณของพิกัดนั้นเป็นฐานข้อมูล ถัดมาในส่วนที่สอง จะเป็นส่วนของการใช้งานโดยเริ่มแรก  $M$  เซนเซอร์จะวัดค่ากำลังสัญญาณ  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  จากผู้ใช้งานหรือเรียกว่าโหนดเป้าหมาย และทำการจับคู่ค่ากำลังสัญญาณที่วัดได้นั้น  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  กับกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  เมื่อ  $n=1, 2, \dots, N$  ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจับคู่จะเป็นค่าพิกัด  $(x, y)$  โดยกระบวนการของวิธีการ KNN นี้สามารถแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ภาพประกอบวิธีการ K-Nearest Neighbor

สำหรับในส่วนการจับคู่ของวิธีการ KNN ในรูปที่ 2.20 จะทำการเลือกค่าพิกัด  $(x, y)$  จากในฐานข้อมูลที่มีระยะทางยูคลิดกับโหนดเป้าหมายน้อยที่สุดเป็นผลลัพธ์ของการระบุพิกัดของโหนดเป้าหมาย โดยระยะทางยูคลิดได้จากการคำนวณกำลังสัญญาณที่วัดได้  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  กับกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  ในฐานข้อมูลตามสมการที่ 2.13

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (2.13)$$

จากนั้นทำการระบุพิกัดโดยเลือกพิกัดในฐานข้อมูลที่มีระยะทางยุคลิดน้อยที่สุดเป็นผลลัพธ์ การระบุพิกัดด้วยสมการ 2.14

$$(x, y) = \min \{ dist_n(x_n, y_n) \} \quad (2.14)$$

## 2.6.2 การจัดกลุ่มข้อมูล

สำหรับวิธีการที่น่าเสนอมักจะมีการนำวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลมาใช้ร่วมด้วย ซึ่งการจัดกลุ่มที่น่าเสนอนี้จะมีสองวิธีการคือการจัดกลุ่มแบบอัตโนมัติและการจัดกลุ่มโดยใช้ความชำนาญ โดยการจัดกลุ่มอัตโนมัติจะใช้วิธีการเคมีนซึ่งเหมาะสำหรับผู้ออกแบบที่ไม่มีความชำนาญในการจัดกลุ่มหรือข้อมูลมีจำนวนมาก ยากแก่การจัดกลุ่มด้วยตนเอง และส่วนการจัดกลุ่มโดยใช้ความชำนาญจะใช้วิธีตรรกะคลุมเครือซึ่งสามารถใช้ความชำนาญของผู้ออกแบบเข้าช่วยในการจัดกลุ่มเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับการระบุตำแหน่งได้ ในการทดลองของวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมีสองส่วนและในแต่ละส่วนจะใช้เทคนิคการจัดกลุ่มต่างกัน

### 2.6.2.1 วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-means Clustering)

เคมีน [18] เป็นวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบอัตโนมัติที่เป็นวิธีการพื้นฐาน เป็นที่รู้จักและนิยมอย่างแพร่หลาย โดยมีเป้าหมายในการแบ่งข้อมูล  $N$  ชุดเป็น  $K$  กลุ่มโดยการจัดแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มจะเรียกว่าจุดเซนทรอยด์ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน โดยข้อมูลที่อยู่ภายในกลุ่มจะมีระยะทางใกล้กับจุดเซนทรอยด์ ของกลุ่มตัวเองมากกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำให้ objective function ( $J$ ) มีค่าน้อยที่สุด

$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N \|x_i^j - c_j\|^2 \quad (2.15)$$

เมื่อ  $J$  คือ objective function  $x_i^j$  คือข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม  $c_j$  คือจุดเซนทรอยด์ของกลุ่มข้อมูล  $N$  คือจำนวนของข้อมูลและ  $K$  คือจำนวนกลุ่มข้อมูล

ขั้นของวิธีการจัดกลุ่มเคมिनสามารถแสดงได้ดังนี้

1. สุ่มค่าจุดเซนทรอยด์  $c_j$  ของแต่ละกลุ่มทั้งหมด  $K$  กลุ่ม
2. คำนวณหาระยะทางระหว่างแต่ละข้อมูล  $x_i$  กับจุดเซนทรอยด์  $c_j$
3. จัดกลุ่มแต่ละข้อมูล  $x_i$  ไปยังกลุ่ม  $c_j$  ที่มีระยะทางสั้นที่สุด
4. คำนวณจุดเซนทรอยด์  $c_j$  ทั้งหมด  $K$  กลุ่มใหม่
5. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 อีกครั้งจนกว่าแต่ละข้อมูล  $x_i$  จะไม่มีการย้ายกลุ่ม

ยกตัวอย่างการใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมिनกับข้อมูลดังตารางที่ 2.3 โดยทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่ม

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลยกตัวอย่างการใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมिन

ข้อมูล	A	B
$x_1$	1.0	1.0
$x_2$	1.5	2.0
$x_3$	3.0	4.0
$x_4$	5.0	7.0
$x_5$	3.5	5.0
$x_6$	4.5	5.0
$x_7$	3.5	4.5

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มจุดเซนทรอยด์  $c_1$  และ  $c_2$  มีค่าเป็น (1,2) และ (5,7) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$  แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$

ข้อมูล	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
$x_1$	1.0000	7.2111
$x_2$	0.5000	6.1033
$x_3$	2.8284	3.6056
$x_4$	6.4031	0
$x_5$	3.9051	2.5000
$x_6$	4.6098	2.0616
$x_7$	3.5355	2.9155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 จัดกลุ่มข้อมูล  $x_i$  ไปยังกลุ่มกลุ่ม  $c_j$  ที่มีระยะทางน้อยที่สุด ดังนั้นกลุ่มที่ 1 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_1, x_2, x_3\}$  และกลุ่มที่ 2 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_4, x_5, x_6, x_7\}$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาจุดเซนทรอยด์  $c_1$  และ  $c_2$  ได้เป็น (1.8333, 2.3333) และ (4.1250, 5.3750)

เริ่มขั้นตอนที่ 2 อีกครั้งคำนวณหาระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$  (รอบที่ 2) และแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$  (รอบที่ 2)

ข้อมูล	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
$x_1$	1.5723	5.3765
$x_2$	0.4714	4.2757
$x_3$	2.0345	1.7766
$x_4$	5.6397	1.8456
$x_5$	3.1447	0.7289
$x_6$	3.7713	0.5303
$x_7$	2.7336	1.0753

เริ่มขั้นตอนที่ 3 อีกครั้งจัดกลุ่มข้อมูล  $x_i$  ไปยังกลุ่มกลุ่ม  $c_j$  ที่มีระยะทางน้อยที่สุด ดังนั้นกลุ่มที่ 1 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_1, x_2\}$  และกลุ่มที่ 2 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$

เริ่มขั้นตอนที่ 4 อีกครั้งคำนวณหาจุดเซนทรอยด์  $c_1$  และ  $c_2$  ได้เป็น (1.25, 1.5) และ (3.9, 5.1)

เริ่มขั้นตอนที่ 2 อีกครั้งคำนวณหาระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$  (รอบที่ 3) และแสดงดังตารางที่ 2.6

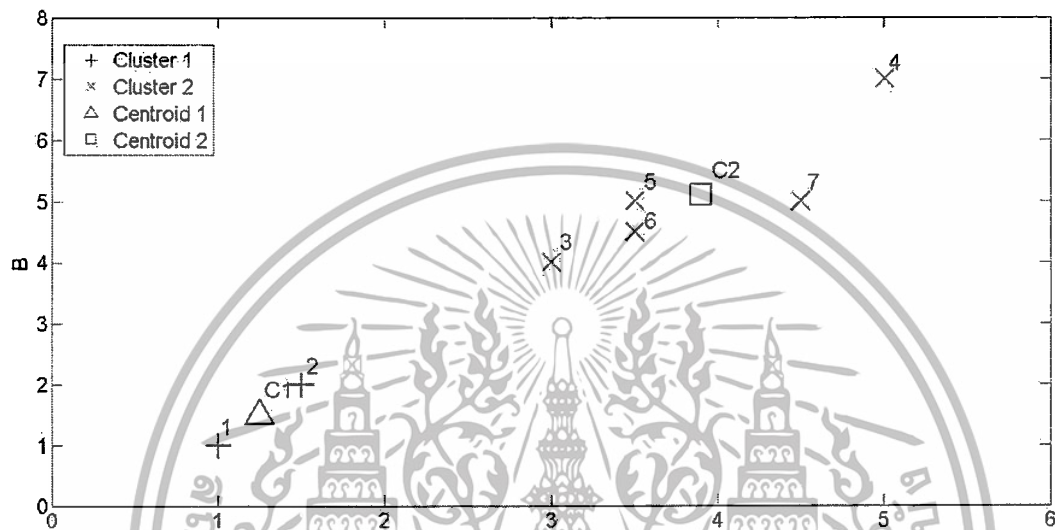
ตารางที่ 2.6 ระยะทางระหว่าง  $x_i$  กับ  $c_j$  (รอบที่ 3)

ข้อมูล	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
$x_1$	0.5590	5.0220
$x_2$	0.5590	3.9205
$x_3$	3.0516	1.4213
$x_4$	6.6568	2.1954
$x_5$	4.1608	0.4123
$x_6$	4.7762	0.6083
$x_7$	3.7500	0.7211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มขั้นตอนที่ 3 อีกครั้งจัดกลุ่มข้อมูล  $x_i$  ไปยังกลุ่มกลุ่ม  $c_j$  ที่มีระยะทางน้อยที่สุด ดังนั้นกลุ่มที่ 1 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_1, x_2\}$  และกลุ่มที่ 2 จะมีสมาชิกคือ  $\{x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$

เมื่อไม่มีการย้ายกลุ่มดังนั้นหยุดกระบวนการเคมีน โดยสรุปกลุ่มที่ 1 และ 2 มีสมาชิกเป็น  $\{x_1, x_2\}$  และ  $\{x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\}$  ตามลำดับ และมีจุดเซนทรอยด์เป็น (1.25, 1.5) และ (3.9, 5.1) ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2



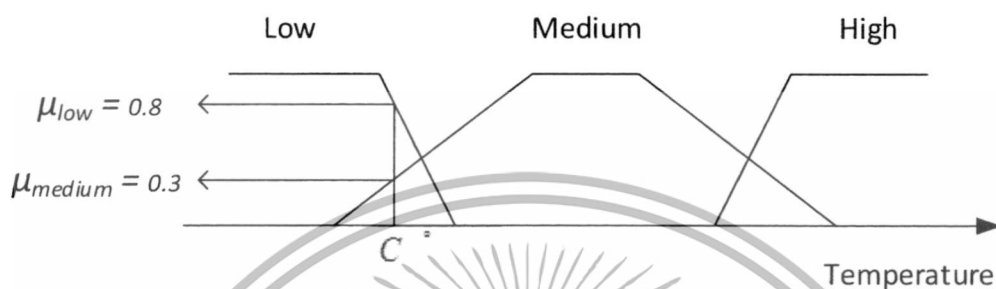
รูปที่ 2.21 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน

#### 2.6.2.2 ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy logic)

ตรรกะคลุมเครือ [19] เป็นแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์เชิงตรรกะโดยการใช้เหตุผลแบบประมาณ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เหตุผลแบบเด็ดขาดในลักษณะ ถูก/ผิด ใช่/ไม่ใช่ ศูนย์หรือหนึ่ง คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 นำเสนอแนวคิดการให้ค่าตรรกะอย่างคลุมเครือหรือฟัซซีสำหรับอธิบายเหตุการณ์ต่างๆ ที่อาจมีความขัดแย้งหรือคลุมเครือในเรื่องของการให้ตรรกะเช่น ภูมิอากาศที่ 26.5 องศาเซลเซียส บางคนอาจจะรู้สึกเย็น อุ่น หรือร้อนไม่เท่ากันซึ่งไม่มีขอบเขตที่แน่นอน โดยตรรกะคลุมเครืออาจจะบอกว่าอุ่น 20% และเย็น 80% ก็ได้เหมือนความรู้สึกของมนุษย์ที่มีความคลุมเครือหรือมีความลังเลไม่แน่ไม่นอน หรือเซตของอายุคนอาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยรุ่นกับวัยกลางคนจากกันแน่ชัดช่วงอายุเท่าใด ตรรกะคลุมเครืออาจจะบอกว่าเป็นวัยรุ่นเข้าสู่วัยกลางคนก็ได้ ดังนั้นการบอกค่าเชิงตรรกะแบบคลุมเครือจึงเป็นทางออกที่รู้สึกว่าจะสะท้อนความจริงได้มากกว่าตรรกะแบบเดิมๆนั่นเอง ในปัจจุบันตรรกะคลุมเครือถูกนำไปประยุกต์ในงานด้านต่างๆมากมาย หรือแม้แต่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้ตัวเราเช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว ก็มีการนำเอาตรรกะคลุมเครือไปใช้งาน และในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำตรรกะคลุมเครือมาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถอธิบายขั้นตอนในเชิงการจัดกลุ่ม โดยจะยกตัวอย่างการจัดกลุ่มอุณหภูมิของเครื่องจักรเครื่องหนึ่งว่าอยู่ในกลุ่มใด โดยมีกลุ่มเย็น อุ่น และร้อนตามลำดับซึ่งจะมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Fuzzification เป็นขั้นตอนการพิจารณาระดับการเป็นสมาชิกของอุณหภูมิ โดยการแบบออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function) ของอินพุทจากผู้เชี่ยวชาญแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกอินพุท

ซึ่งจากการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกดังรูปที่ 2.22 มีอยู่ 3 สมาชิกคือ Low Medium และ High โดยความคลุมเครือของอุณหภูมิของเครื่องจักรที่วัดได้จะมีความเป็น Low อยู่ 80% และมีความเป็น Medium อยู่ 30%

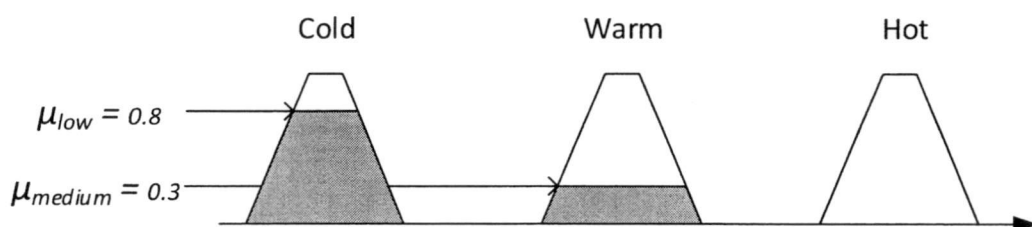
ขั้นตอนที่ 2 Rule evaluation เป็นขั้นตอนการตัดสินใจ ซึ่งการตัดสินใจนี้จะถูกกำหนดโดยกฎถ้าแล้ว (If-Then rules) ยกตัวอย่างเช่น

IF อุณหภูมิ Low THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม “เย็น”

IF อุณหภูมิ Medium THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม “อุ่น”

IF อุณหภูมิ High THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม “ร้อน”

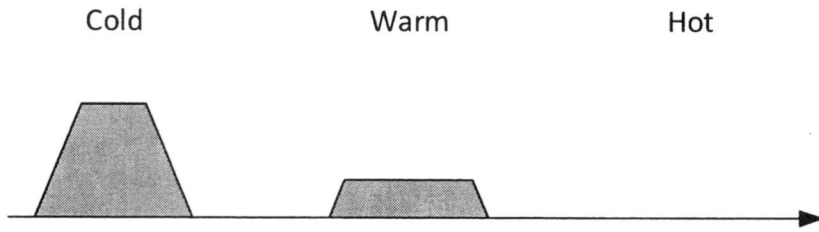
และทำการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอาต์พุทแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอาต์พุท

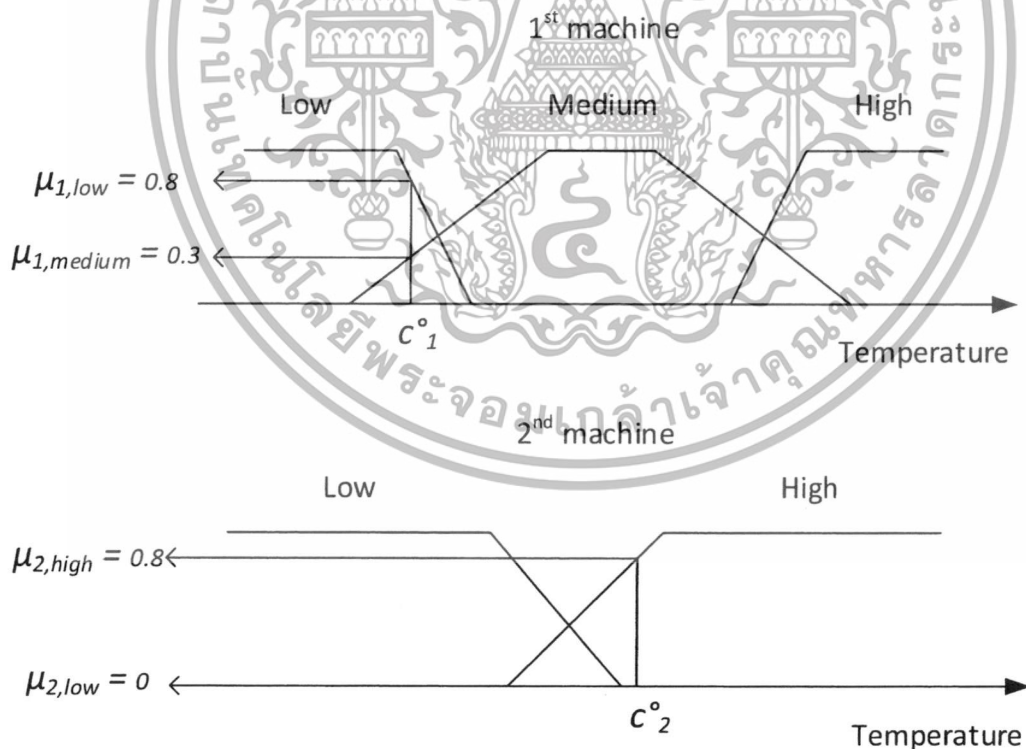
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 Aggregation of the rules outputs เป็นกระบวนการรวมผลลัพธ์ที่คำนวณจากทุกๆ กฎโดยรวมผลจากฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ผลการรวมมวลของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

ขั้นตอนที่ 4 Defuzzification เป็นกระบวนการสุดท้ายของวิธีตรรกะคลุมเครือโดยการรวมผลลัพธ์ทั้งหมด โดยปกติแล้ววิธีตรรกะคลุมเครือจะนิยมใช้เลือกผลลัพธ์จากวิธีเซนต์รอยด์ของมวลทั้งหมดแต่วิธีการที่นำเสนอจะใช้การเลือกผลลัพธ์จากมวลที่มากที่สุด ซึ่งจากรูปที่ 2.24 จะทำการเลือก Cold เพราะมีมวลมากกว่าทุกกลุ่มซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิของเครื่องจักรจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม “เย็น” ส่วนในกรณีที่มีอินพุตมากกว่า ซึ่งในรูปที่ 2.25 สามารถแสดงตัวอย่างการ Fuzzification



รูปที่ 2.25 ภาพประกอบขั้นตอน Fuzzification เมื่อมีอินพุตมากกว่า 1

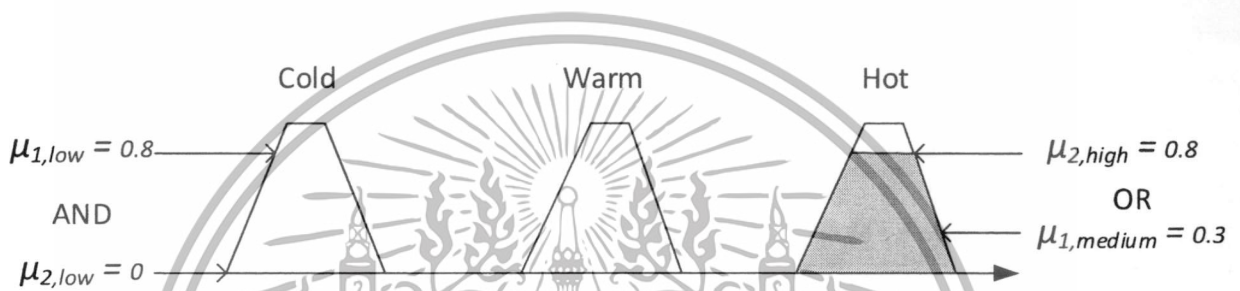
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.25 ระดับความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิตัวที่ 1 มีความเป็น Low 80% และ Medium 30% ส่วนในตัวที่ 2 มีความเป็น Low 0% และมีความเป็น High 80% โดยขั้นตอน Rule evaluation เมื่อมีอินพุตมากกว่า 1 กฎจะมีการคำนวณ AND และ OR เข้ามาร่วมด้วยเช่น

IF อุณหภูมิของตัวที่ 1 Low AND ตัวที่ 2 Low THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม “เย็น”

IF อุณหภูมิของตัวที่ 1 Medium OR ตัวที่ 2 High THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม “ร้อน”

ซึ่งผลของ AND คือการเลือกระดับความเป็นสมาชิกน้อยที่สุด และผลของ OR คือเลือกระดับสมาชิกที่มากที่สุดแสดงได้ดังรูปที่ 2.26



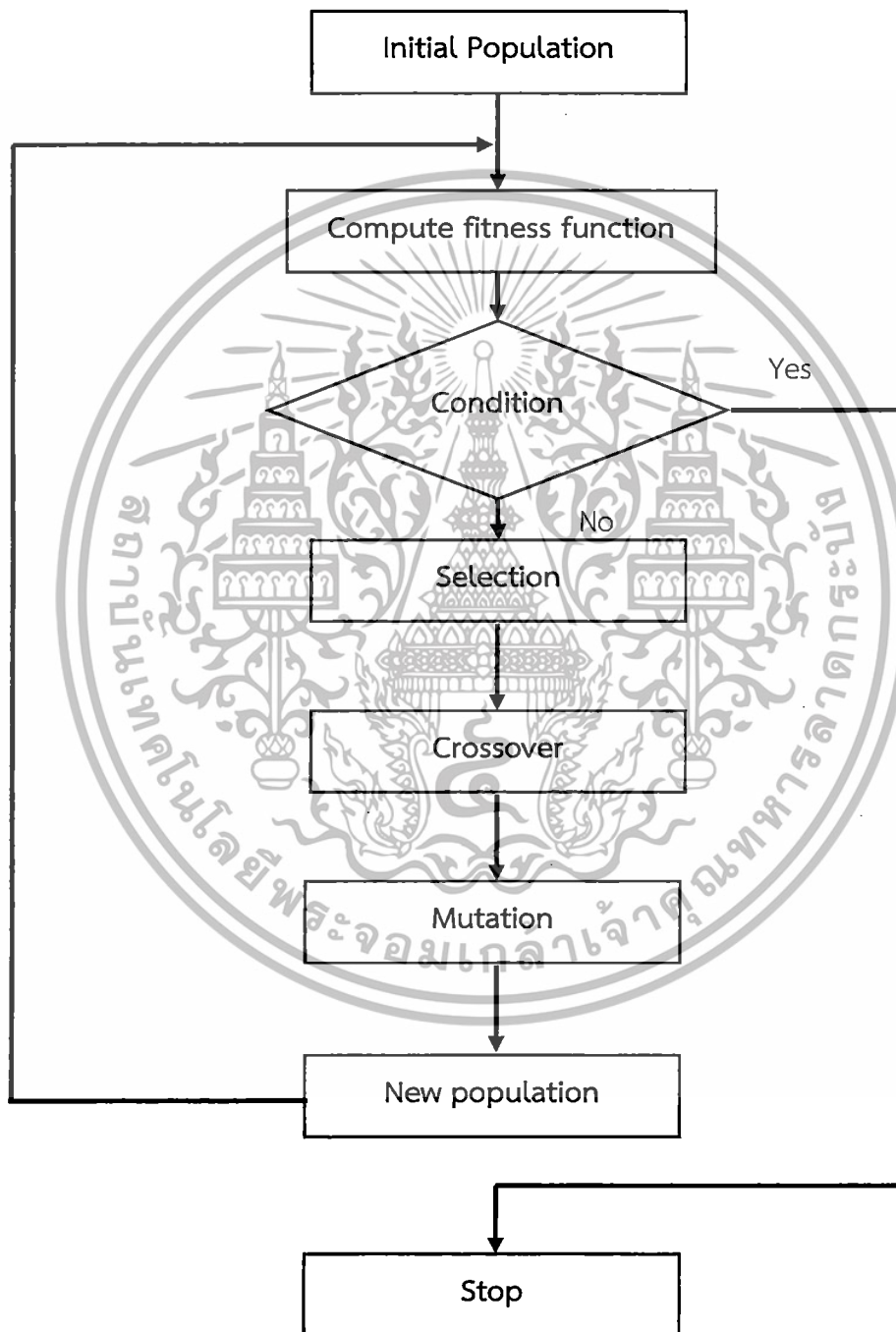
รูปที่ 2.26 การเลือกระดับสมาชิกจากการใช้ AND และ OR

สังเกตได้ว่ากลุ่ม “เย็น” ที่คำนวณจากกฎที่กำหนดไว้แบบ AND จะเลือกค่า Low 0% ของอินพุตตัวที่ 2 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า Low 80% ของอินพุตตัวที่ 1 และในกรณีของกลุ่ม “ร้อน” ที่คำนวณจากกฎที่กำหนดไว้แบบ OR จะเลือกค่า High 80% เนื่องจากมีค่ามากกว่า Medium 30% และมวลที่เกิดขึ้นในขั้นตอน Aggregation of the rules outputs ก็จะได้เลือกกลุ่มที่มีมวลมากที่สุดในที่นี้ก็คือกลุ่ม “ร้อน” ดังนั้นการใช้ตรรกะคลุมเครือสามารถทำให้การจัดกลุ่มมีเงื่อนไขต่างๆ ได้มากมายซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ

### 2.6.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรม [20] เป็นวิธีการค้นหาคำตอบหรือผลเฉลยที่เหมาะสมโดยอาศัยการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ (natural selection) และใช้แนวคิดเกี่ยวกับพันธุศาสตร์ทางชีววิทยามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบหรือผลเฉลย โดยสร้างโครโมโซมหลายๆโครโมโซมขึ้นมาซึ่งแต่ละโครโมโซมจะแทนคำตอบหรือผลเฉลย ซึ่งโครโมโซมที่ดีจะถูกนำมาเป็นต้นแบบเพื่อนสร้างโครโมโซมที่ดีขึ้นในรุ่นถัดไป ในวิธีการเชิงพันธุกรรมจะใช้ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เป็นตัววัดความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม โดยโครโมโซมที่เหมาะสมจะถูกคัดเลือกโดยการคัดเลือก (Selection) ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะโครโมโซมที่ดีหรือมีความเหมาะสมให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ (Parent) จากนั้นโครโมโซมพ่อแม่มาทำการครอสโอเวอร์ (Crossover) คือการนำ 2 โครโมโซมมาผสมกันเพื่อให้เกิดโครโมโซมใหม่เสมือนการทำให้เกิดการเอกลักษณะเป็นเอกลักษณะที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

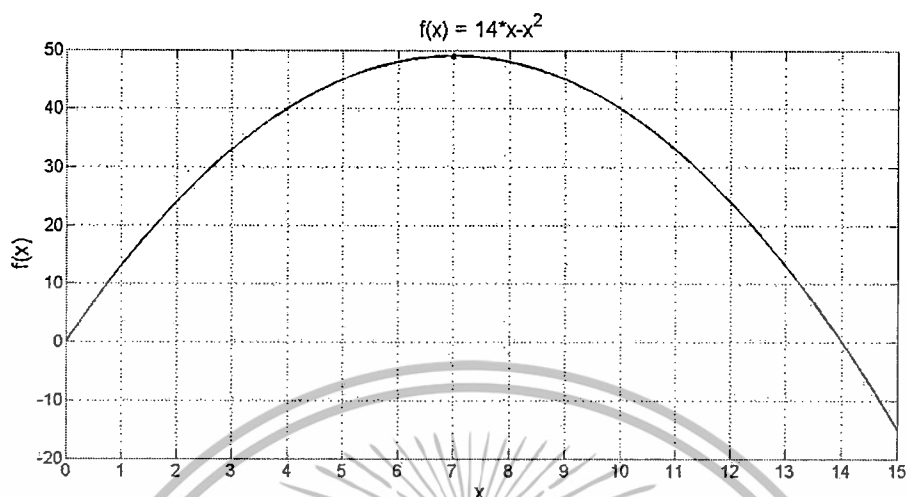
เปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย และจากการครอสโอเวอร์ก็จะถูกนำมาทำการมิวเทชัน (Mutation) ซึ่งเปรียบเสมือนการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิต โดยโครโมโซมทั้งหมดที่เกิดหลังจากการครอสโอเวอร์และมิวเทชันจะถูกเรียกประชากรในรุ่นใหม่ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดซ้ำๆ ทำให้โครโมโซมหรือผลเฉลยถูกปรับปรุงความเหมาะสมในทุกๆ รุ่นจนเป็นคำตอบที่เหมาะสมหรือดีที่สุด และกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 กระบวนการวิธีการเชิงพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมหาผลเฉลยของ  $\max\{f(x) = 14x - x^2\} ; x \in [0,15]$



รูปที่ 2.28 ฟังก์ชัน  $f(x) = 14x - x^2$

ขั้นตอนแรกคือการสุ่มประชากรเริ่มต้นขึ้นมาจำนวนตามที่กำหนด ในที่นี่จะยกตัวอย่างโดยสุ่มประชากรเริ่มต้น 6 ชุดคือ  $x = \{6, 4, 5, 9, 1, 2\}$

จากนั้นประชากรในแต่ละชุดจะถูกประเมินความเหมาะสมจากฟังก์ชันความเหมาะสม โดยค่าฟังก์ชันของประชากรแต่ละตัวสามารถแสดงดังตารางที่ 2.7 ซึ่งค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของโครโมโซมใดมีค่ามากก็จะหมายความว่าโครโมโซมนั้นมีความเหมาะสมมาก และในตัวอย่างนี้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมคือ fitness function  $= 14x - x^2$  ซึ่งหมายความว่าโครโมโซมใดทำให้สมการ  $14x - x^2$  มีค่ามากที่สุดก็จะเป็นผลเฉลยของ  $\max\{f(x) = 14x - x^2\} ; x \in [0,15]$  นั่นเอง

ตารางที่ 2.7 ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของประชากร

อันดับ	x	โครโมโซม	Fitness function $14x - x^2$
1	6	0110	$14(6) - (6)^2 = 48$
2	4	1000	$14(4) - (4)^2 = 40$
3	5	1001	$14(5) - (5)^2 = 45$
4	9	0100	$14(9) - (9)^2 = 45$
5	1	0010	$14(1) - (1)^2 = 13$
6	2	0001	$14(2) - (2)^2 = 24$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถัดมาประชากรทุกตัวจะถูกจัดอันดับใหม่โดยเรียงตามค่าฟังก์ชันความเหมาะสม ดังตารางที่ 2.8 โดยข้อมูลฐานสองนี้จะถูกเรียกโครโมโซมและแต่ละบิตจะถูกเรียกว่ายีน

ตารางที่ 2.8 จัดอันดับประชากรเรียงค่าฟังก์ชันความเหมาะสม

อันดับ	x	โครโมโซม	Fitness function $14x - x^2$
1	6	0110	48
2	5	1000	45
3	9	1001	45
4	4	0100	40
5	2	0010	24
6	1	0001	13

ลำดับต่อมาคือส่วนของการคัดเลือกโดยจะทำการคัดเลือกประชากรที่มีความเหมาะสมที่สุดเพียงจำนวนหนึ่งเพื่อจะนำไปสร้างประชากรรุ่นถัดไปจากการครอสโอเวอร์ ซึ่งการคัดเลือกนั้นจะมีอยู่ 6 วิธีดังนี้

1) Pairing of top to bottom คือการจับคู่โครโมโซมจากที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมมากที่สุดเรียงลงมา เช่นในตารางที่ 2.8 จับคู่โครโมโซมได้ดังนี้คือ

คู่ที่ 1 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 2

คู่ที่ 2 : โครโมโซมที่ 3 คู่กับ โครโมโซมที่ 4

คู่ที่ 3 : โครโมโซมที่ 5 คู่กับ โครโมโซมที่ 6

2) Random pairing คือการสุ่มเลขจำนวนเต็มขึ้นมาตามจำนวนประชากร โดยตัวเลขนั้นจะมีค่าระหว่างหนึ่งถึงจำนวนประชากร เพื่อนำตัวเลขนั้นเลือกโครโมโซม ยกตัวอย่างเช่นจำนวนประชากรทั้งหมดเท่ากับ 6 ก็ทำการสุ่มเลขระหว่าง 1 ถึง 6 มา 6 สมมุติว่าได้เป็น 1 5 1 2 5 3 ตามลำดับ ดังนั้นการจับคู่โครโมโซมคือ

คู่ที่ 1 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 5

คู่ที่ 2 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 2

คู่ที่ 3 : โครโมโซมที่ 5 คู่กับ โครโมโซมที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Rank weighting คือการจับคู่โครโมโซมด้วยอิงอันดับที่เรียงตามค่าฟังก์ชันความเหมาะสม โดยอันดับที่ดี จะมีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมากกว่าอันดับที่ด้อย ซึ่งความน่าจะเป็นสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.16

$$P_n = \frac{N-n+1}{\sum_1^N n} \quad (2.16)$$

เมื่อ  $P_n$  คือความน่าจะเป็นของโครโมโซมในลำดับที่  $n$  และ  $N$  คือจำนวนประชากร จากตัวอย่างมีประชากรเท่ากับ 6 ดังนั้น

$$P_n = \frac{6-n+1}{1+2+3+4+5+6} = \frac{7-n}{21}$$

และตารางที่ 2.9 แสดงตัวอย่างความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม โดยใช้วิธี Rank weighting

ตารางที่ 2.9 ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากวิธีการ Rank weighting

อันดับ	โครโมโซม	$P_n$	$\sum_{i=1}^n P_i$
1	0110	$\frac{7-1}{21} = 0.2857$	0.2857
2	1000	$\frac{7-2}{21} = 0.2381$	0.5238
3	1001	$\frac{7-3}{21} = 0.1905$	0.7143
4	0100	$\frac{7-4}{21} = 0.1429$	0.8572
5	0010	$\frac{7-5}{21} = 0.0952$	0.9524
6	0001	$\frac{7-6}{21} = 0.0476$	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\sum_{i=1}^n P_i$  คือค่าความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละโครโมโซม จากนั้นทำการสุ่มเลขตามจำนวนประชากรโดยสุ่มเลขมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และเลขที่สุ่มนั้นตกอยู่ในช่วงใดของความน่าจะเป็นสะสมก็จะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเพื่อมาจับคู่

4) Roulette wheel เป็นวิธีการคัดเลือกที่คล้ายกับ Rank weighting แต่ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับอันดับของค่าฟังก์ชันความเหมาะสม แต่จะขึ้นอยู่กับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมเลย โดยแสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจากวิธีการ Roulette wheel

อันดับ	x	โครโมโซม	Fitness function $14x - x^2$	$P = \frac{\text{fitness function}}{\text{total fitness function}}$	$\sum_{i=1}^n P_i$
1	6	0110	48	$48/215=0.2233$	0.2233
2	5	1000	45	$45/215=0.2093$	0.4326
3	9	1001	45	$45/215=0.2093$	0.6419
4	4	0100	40	$40/215=0.1860$	0.8279
5	2	0010	24	$24/215=0.1116$	0.9395
6	1	0001	13	$13/215=0.0605$	1

เช่นเดียววิธีการคัดเลือกแบบ Rank weighting จะทำการสุ่มเลขตามจำนวนประชากรและตัวเลขที่สุ่มนั้นจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และเลขที่สุ่มตกอยู่ในช่วงความน่าจะเป็นสะสมใดก็จะนำโครโมโซมนั้นมาทำการจับคู่ เมื่อ P คือค่าความน่าจะเป็นสะสมของวิธี Roulette wheel

5) Tournament selection คือการสุ่มอันดับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมมาเป็นคู่และเลือกโครโมโซมที่มีอันดับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีกว่ามาทำการจับคู่ ยกตัวอย่างดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ตัวอย่างการสุ่มโครโมโซมสำหรับวิธีการ Tournament selection

อันดับการแข่งขัน	อันดับของโครโมโซมที่สุ่มได้	โครโมโซมที่อันดับดีกว่า
1	2 กับ 1	1
2	5 กับ 5	5
3	6 กับ 3	3
4	4 กับ 5	4
5	1 กับ 1	1
6	4 กับ 5	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

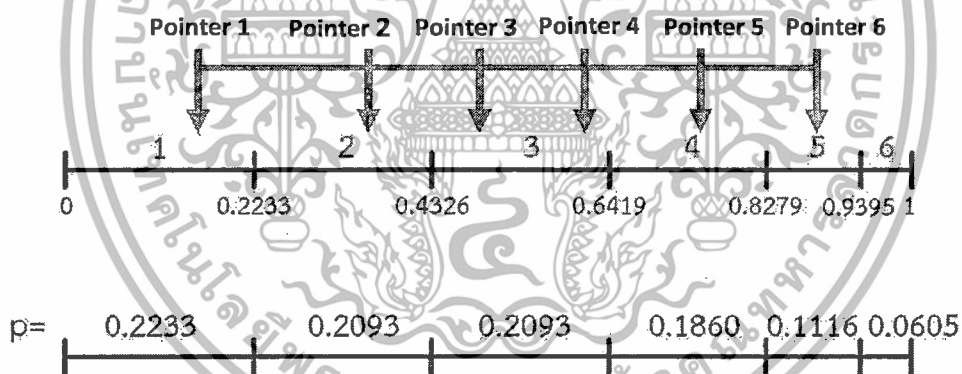
ดังนั้นการจับคู่โครโมโซมคือ

คู่ที่ 1 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 5

คู่ที่ 2 : โครโมโซมที่ 3 คู่กับ โครโมโซมที่ 4

คู่ที่ 3 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 4

6) Stochastic uniform ซึ่งจะแบ่งโครโมโซมเป็นช่วงโดยความกว้างแต่ละช่วงจะเท่ากับค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม โดยความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมจะขึ้นอยู่กับค่าฟังก์ชันความเหมาะสมเหมือนกับวิธี Roulette wheel และทำการสุ่มตัวเลขตามจำนวนประชากร โดยเลขที่สุ่มจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง  $\frac{1}{N}$  เมื่อ  $N$  คือจำนวนประชากร ในตัวอย่างนี้  $N=6$  จึงสุ่มค่าระหว่าง 0 ถึง 1.667 มา 6 ตัวได้ {0.1656, 0.1611, 0.1432, 0.1367, 0.1123, 0.1344} จากนั้นมาหาฟังก์ชันแจกแจงสะสมและแสดงค่าได้ {0.1833, 0.3267, 0.4699, 0.6066, 0.7189, 0.8533} ซึ่งแต่ละค่าตกอยู่ในช่วงของโครโมโซมตัวไหนก็เลือกโครโมโซมนั้นเป็นโครโมโซมนั้นมาจับคู่ โดยผลที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การเลือกโดยใช้วิธี Stochastic uniform

จากรูปที่ 2.29 โครโมโซมที่ถูกเลือกเป็นโครโมโซมพ่อแม่คือโครโมโซมตัวที่ 1 2 3 3 4 และ 5 จากนั้นทำการจับคู่โครโมโซมพ่อแม่โดยการสุ่มผลที่ได้คือ 4 3 1 2 3 5 ดังนั้น

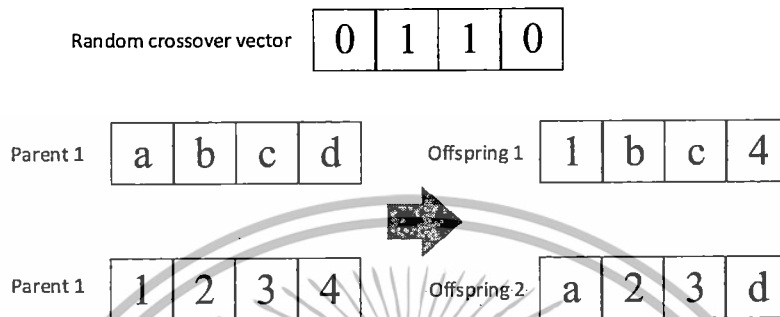
คู่ที่ 1 : โครโมโซมที่ 4 คู่กับ โครโมโซมที่ 3

คู่ที่ 2 : โครโมโซมที่ 1 คู่กับ โครโมโซมที่ 2

คู่ที่ 3 : โครโมโซมที่ 3 คู่กับ โครโมโซมที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในตัวอย่างแสดงกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรมนี้จะใช้การคัดเลือกแบบ Stochastic uniform และในส่วนการแลกเปลี่ยนยีนจะใช้วิธี Scattered โดยสร้างไบนารีเวกเตอร์จากการสุ่ม ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.30 และตารางที่ 2.12 แสดงผลลัพธ์ของการแลกเปลี่ยนยีนที่เกิดจากการจับคู่ของวิธี Stochastic uniform



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนยีนโดยวิธี Scattered

ตารางที่ 2.12 แสดงผลลัพธ์จากการแลกเปลี่ยนยีน

คู่	โครโมโซมพ่อแม่ ตัวที่ 1	โครโมโซมพ่อแม่ ตัวที่ 2	ไบนารีเวกเตอร์	โครโมโซมลูก	ข้อมูลเลขฐานสิบ
1	0100	1001	0111	1100	12
1	0100	1001	0111	0001	1
2	0110	0101	0010	0111	7
2	0110	0101	0010	0101	5
2	0110	0010	1010	0110	6
2	0110	0010	0010	0010	2

หลังจากการครอสโอเวอร์ก็จะเกิดกระบวนการการกลายพันธุ์ โดยเรากำหนดให้ความน่าจะเป็นที่เกิดการกลายพันธุ์คือ 1 เปอร์เซ็นต์ คือในแต่ละบิตหรือยีนของโครโมโซมจะมีโอกาสเกิดการเปลี่ยนจากบิต 0 เป็น 1 หรือเปลี่ยนจากบิต 1 เป็น 0 เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเกิดการกลายพันธุ์ของโครโมโซม 1 ใน 6 โครโมโซมที่ได้จากการครอสโอเวอร์คือในโครโมโซม 0001 เกิดในบิตที่ 2 ดังนั้นจะกลายเป็น 0011 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 ในเลขฐานสิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้ายคือการหยุดกระบวนการโดยเงื่อนไขการหยุดกระบวนการในตัวอย่างนี้คือพบคำตอบของผลเฉลย  $\max\{f(x)=14x-x^2\}$  ;  $x \in [0,15]$  ซึ่งผลเฉลยสามารถหาได้จากอนุพันธ์ของ  $f(x)$  คือ  $x=7$  และผลลัพธ์ที่จากการแลกเปลี่ยนยีนและการกลายพันธุ์คือ  $x = \{12,1,7,5,6,2\}$  ซึ่งมีผลเฉลยรวมอยู่ด้วยจึงทำการหยุดกระบวนการ แต่หากไม่พบผลเฉลยก็ทำการเริ่มกระบวนการซ้ำอีกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

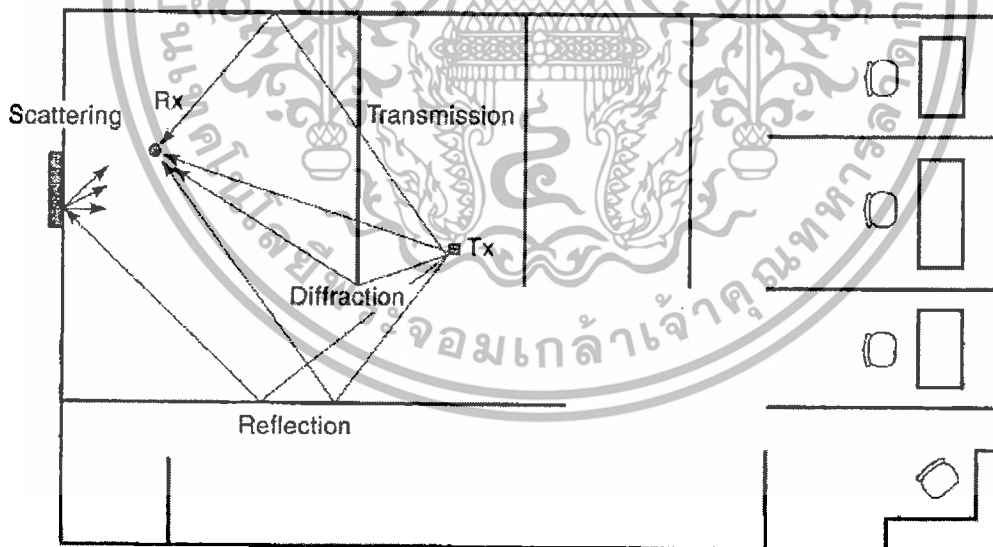
# สมมติฐานและการออกแบบ

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสมมติฐานและขั้นตอนของวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และกล่าวถึงการออกแบบการทำงานของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารสำหรับประยุกต์ใช้ร่วมกับการตรวจจับการลัด

### 3.2 สมมติฐาน

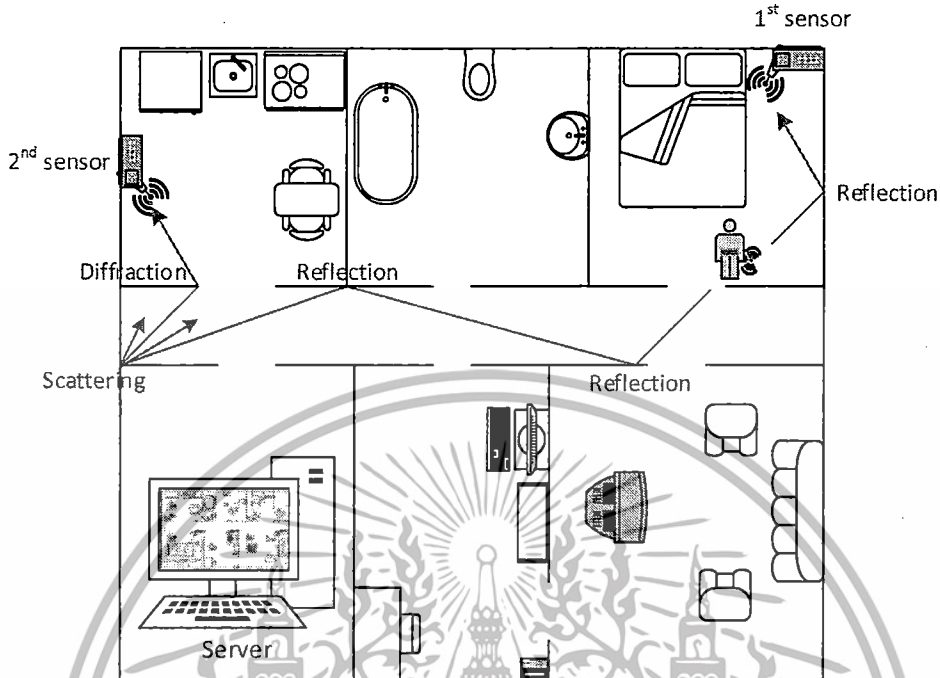
จากบทที่ 2 ที่ผ่านมามีได้กล่าวถึงเหตุผลที่เลือกใช้เทคนิคการวัดแบบ RSSI เหตุเพราะมีค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในราคาที่ไม่แพงและยังไม่ต้องการอุปกรณ์เสริมในส่วนต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่าใช้จ่ายในราคาที่ถูกลงของเทคนิคนี้ก็แลกมาด้วยความแม่นยำที่ไม่สูงนัก เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อความเข้มหรือกำลังสัญญาณ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบจากมัลติพาร์ท (Multipath Effect) เช่นเกิดการสะท้อนของสัญญาณ (Reflection) การเลี้ยวเบนของสัญญาณ (Diffraction) และการกระเจิงของสัญญาณ (Scattering) เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลจากมัลติพาร์ทภายในอาคาร

ซึ่งสาเหตุเหล่านี้มีผลทำให้กำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น และยังในสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางมากมายเช่น กำแพง ผนังห้อง หน้าต่าง ประตู ผู้คนและอื่นๆอีกมากมาย ทำให้เกิดผลกระทบจากมัลติพาร์ทได้ง่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ตั้งสมมุติฐานว่า เซนเซอร์ซึ่งถูกติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆภายในอาคารจะรับผลกระทบจากมัลติพาร์ทมากขึ้นน้อยไม่เท่ากัน เช่นสถานการณ์ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้รับผลจากมัลติพาร์ท

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าสัญญาณที่เดินทางจากผู้ใช้ไปยังเซนเซอร์ตัวที่ 1 จะได้รับผลจากมัลติพาร์ทน้อยกว่าสัญญาณที่เดินทางไปยังเซนเซอร์ตัวที่ 2 ดังนั้นด้านการคำนวณที่อาศัยข้อมูลกำลังสัญญาณเพื่อมาคำนวณตำแหน่งควรจะมีการให้ความน่าเชื่อถือหรือน้ำหนักกับข้อมูลกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์แต่ละตัววัดได้ไม่เท่ากัน เช่นในสถานการณ์นี้ควรจะให้น้ำหนักหรือความน่าเชื่อถือกับสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้มากกว่าสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 2 วัดได้ ดังนั้นวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะมีการให้ความน่าเชื่อถือกับสัญญาณที่เซนเซอร์แต่ละตัววัดได้ไม่เท่ากันโดยมีการใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก จากเทคนิคฟังก์ชันการปรับที่พิจารณาระยะทางยูคลิดตามสมการที่ 3.1

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $dist_n(x_n, y_n)$  คือระยะทางยูคลิดระหว่างกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้และกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $r_m$  คือกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่  $m$  วัดได้  $rssi_{n,m}$  คือกำลังสัญญาณของจุดอ้างอิงที่  $n$  ในฐานข้อมูลที่เซนเซอร์ตัวที่  $m$  วัดได้ และ  $M$  คือจำนวนเซนเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการระบุตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่าการคำนวณหาระยะทางยูคลิดในสมการที่ 3.1 จะให้ความเชื่อถือกับกำลังสัญญาณที่แต่ละเซนเซอร์วัดได้เท่าๆกัน ซึ่งจากสมมุติฐานว่าสัญญาณที่เดินทางจากผู้ไปยังแต่ละเซนเซอร์จะได้รับผลจากมัลติพาร์ทไม่เท่ากัน ความน่าเชื่อถือของแต่ละสัญญาณที่รับได้ก็ควรจะไม่เท่ากัน ดังนั้นวิธีการที่น่าเสนอจึงใช้การถ่วงน้ำหนักในการคำนวณหาระยะทางยูคลิดแสดงได้ดังสมการที่ 3.2

$$wdist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M w_m (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (3.2)$$

เมื่อ  $w_m$  คือค่าน้ำหนักหรือค่าความน่าเชื่อถือที่ให้กับกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่  $m$  รับผิดชอบ

และในประเด็นต่อมาคือค่าน้ำหนักที่เหมาะสมควรจะเป็นเท่าใด เมื่อเราไม่สามารถทราบได้ว่าสัญญาณที่เซนเซอร์รับได้นั้น ได้รับผลจากมัลติพาร์ทมากน้อยเพียงใด ทางที่พอจะเป็นไปได้คือการใช้ข้อมูลทางสถิติ โดยการเก็บมุลกำลังสัญญาณซ้ำๆในแต่ละจุดอ้างอิง แล้วทำการวิเคราะห์หาน้ำหนักที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการที่น่าเสนอจะทำการจัดกลุ่มให้ชุดกำลังสัญญาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยคาดว่าชุดกำลังสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายๆกันจะได้รับผลกระทบจากมัลติพาร์ทใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างจากรูปที่ 3.2 โดยคาดว่ากำลังกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ทั้ง 2 วัดได้ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดภายในห้องนอนจะมีชุดกำลังสัญญาณคล้ายกัน และคาดหวังว่าผลจากมัลติพาร์ทจากตำแหน่งในห้องนอนมีผลเหมือนกัน และหลังจากที่จัดกลุ่มให้ชุดกำลังสัญญาณที่ได้รับผลจากมัลติพาร์ทเหมือนกันอยู่ด้วยกันแล้ว ก็จะมีการค้นหาน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับแต่ละกลุ่มกำลังสัญญาณ ซึ่งขั้นตอนของวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่น่าเสนอดังกล่าวจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

### 3.3 ขั้นตอนวิธีการระบุตำแหน่งที่น่าเสนอ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายกระบวนการและขั้นตอนของวิธีการที่น่าเสนอ โดยสามารถแบ่งอธิบายเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเตรียมการและส่วนการใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 ส่วนการเตรียมการ

1) ใช้  $M$  เซนเซอร์เก็บข้อมูลกำลังสัญญาณซ้ำๆจาก  $N$  พื้นที่อ้างอิง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลกำลังสัญญาณในแต่ละพื้นที่อ้างอิง และสร้างฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วยพิกัดอ้างอิง  $(x_n, y_n)$  และค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณ  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  ในแต่ละพื้นที่อ้างอิง  $(n = 1, 2, \dots, N)$

2) ใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลจัดกลุ่มกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล  $(rssi_{n,1}, rssi_{n,2}, \dots, rssi_{n,M})$  โดยแบ่งเป็น  $K$  กลุ่ม หากต้องการการจัดกลุ่มแบบอัตโนมัติจะใช้วิธีเคมีนซึ่งเหมาะกับผู้ที่ไม่ชำนาญ

การจัดกลุ่มหรือข้อมูลมีจำนวนมาก และหากต้องการจัดกลุ่มโดยใช้ความชำนาญเข้าไปช่วยด้วยจะใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานวิชาหรือการแข่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดกลุ่มแบบตรรกะคลุมเครือซึ่งสามารถให้ความแม่นยำที่สูงกว่า โดยหากใช้เคมินจะทำการบันทึกข้อมูลค่าเซนทรอยด์ ( $c_{k,1}, c_{k,2}, \dots, c_{k,M}$ ) และกำลังสัญญาณที่เป็นสมาชิก ( $Member_k$ ) ในแต่ละกลุ่ม ( $k=1, 2, \dots, K$ ) ไว้สำหรับเป็นฐานข้อมูล แต่หากใช้ตรรกะคลุมเครือจะทำการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership function) และกฎ (rules) ที่ใช้ในการจัดกลุ่มจากความชำนาญของผู้จัดกลุ่ม

3) ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมค้นหาน้ำหนักที่เหมาะสม ( $w_{k,m}$ ) จากสมการที่ 3.2 ให้กับ  $M$  เซนเซอร์ในทุกๆกลุ่มทั้งหมด  $K$  กลุ่ม โดยใช้ข้อมูลกำลังสัญญาณจากการวัดซ้ำๆที่ได้ในขั้นตอนแรก และบันทึกน้ำหนักที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นฐานข้อมูล

### 3.3.2 ส่วนการใช้งาน

1) กรณีใช้เคมิน ทำการวัดกำลังสัญญาณจากผู้ใช้งาน ( $r_1, r_2, \dots, r_M$ ) และจากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับเซนทรอยด์ของแต่ละกลุ่มในฐานข้อมูล ( $c_{k,1}, c_{k,2}, \dots, c_{k,M}$ ) เพื่อค้นหาว่ากำลังสัญญาณที่วัดได้ผู้ใช้งานอยู่ในกลุ่มใด โดยใช้สมการ

$$dist_k(k) = \sum_{m=1}^M (r_m - c_{k,m})^2 \quad (3.4)$$

และ

$$k^{th} = \min \{ dist_k(k) \} \quad (3.5)$$

กรณีใช้ตรรกะคลุมเครือ ทำการวัดกำลังสัญญาณจากผู้ใช้งาน ( $r_1, r_2, \dots, r_M$ ) และนำกำลังสัญญาณที่วัดได้ไปเป็นอินพุตให้กับกรรมวิธีตรรกะคลุมเครือที่ออกแบบไว้ เพื่อค้นหาว่ากำลังสัญญาณที่วัดได้ควรจะอยู่กลุ่มใด ( $k^{th}$ )

2) นำค่า  $k^{th}$  ที่ได้ไปเลือกน้ำหนักที่เหมาะสม ( $w_{k,m}$ ) และกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลที่ เป็นสมาชิกในกลุ่มที่  $k^{th}$  เพื่อนำมาระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานโดยใช้สมการ

$$wdist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M w_{k,m} (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (3.6)$$

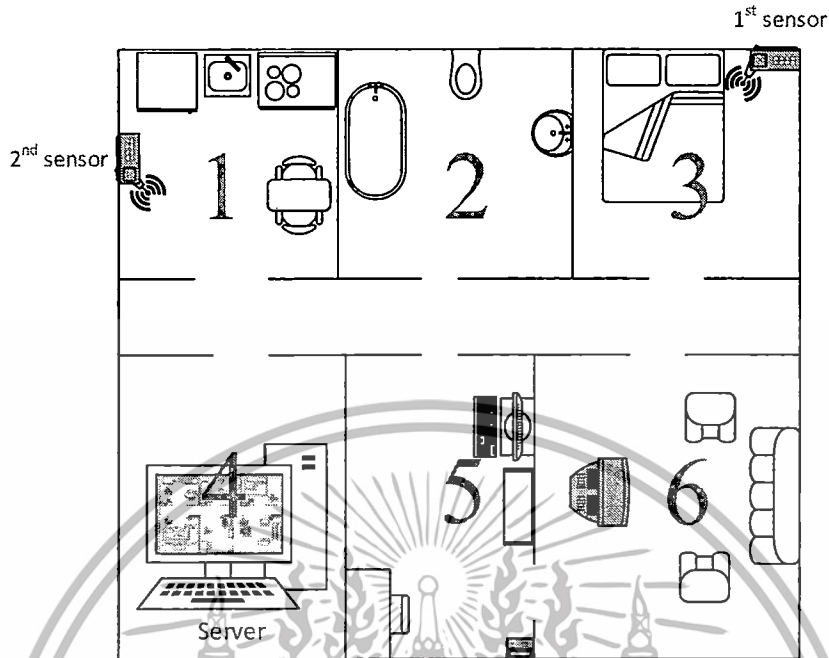
และ

$$(x, y)^{Estimate} = \min \{ wdist_n(x_n, y_n) \} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $rssi_{n,m}$  ในสมการที่ 3.6 คือกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลที่ถูกบรรจุในกลุ่ม  $k^{th}$  ( $Member_k$ ) ที่เซนเซอร์อ้างอิงโหนด  $m$

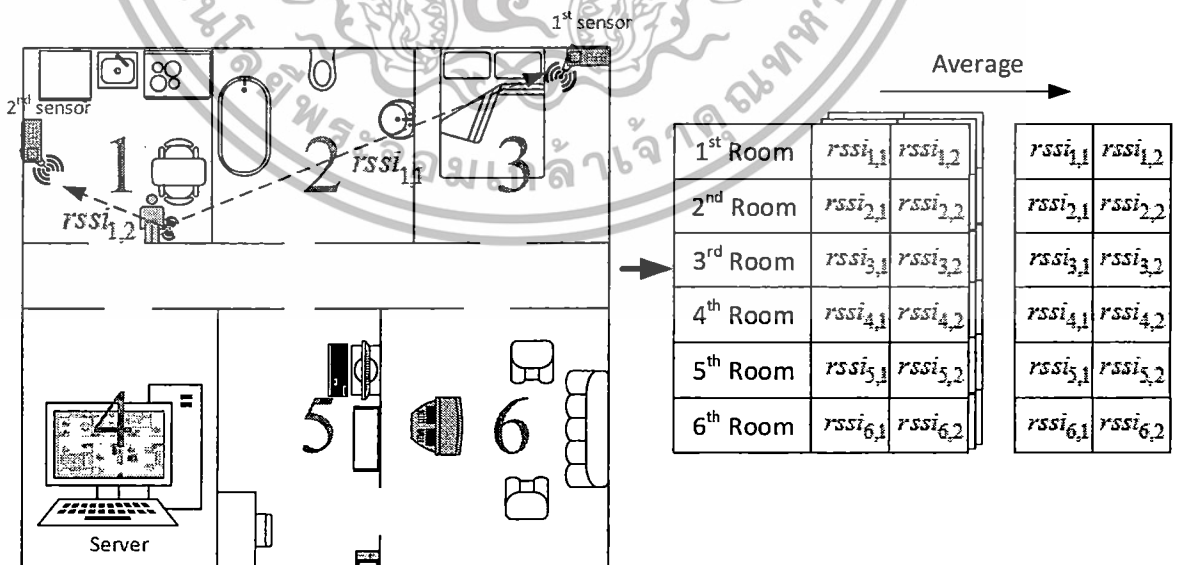
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างการดำเนินการของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอ กรณีจัดกลุ่มโดยใช้วิธีเคมิน โดยแสดงสถานการณ์ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพตัวอย่างการดำเนินการของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอ

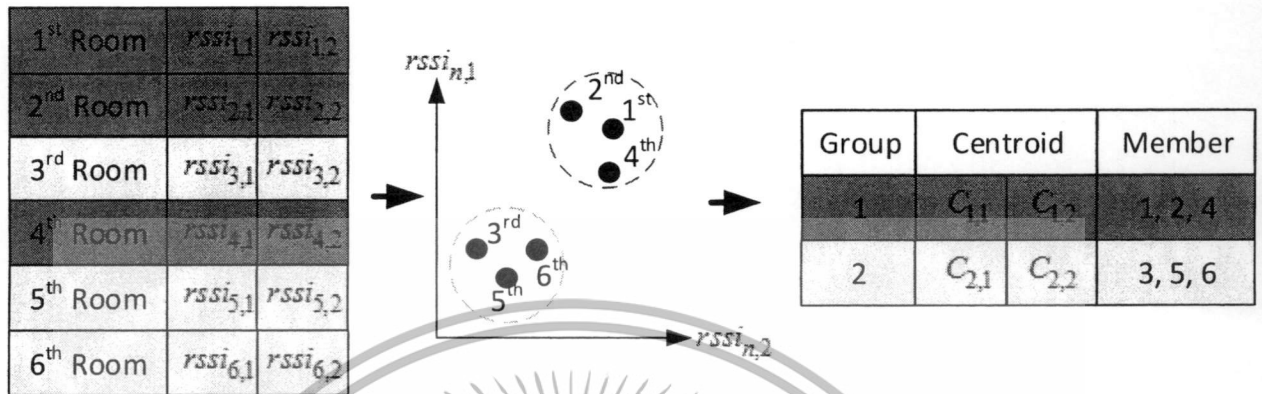
จากสถานการณ์ในรูปที่ 3.3 ใช้เซนเซอร์ทั้งหมด 2 ตัวในการระบุตำแหน่ง และกำหนดพื้นที่อ้างอิงเป็นห้องทั้ง 6 ห้อง โดยขั้นแรกของวิธีการที่นำเสนอคือเก็บข้อมูลกำลังสัญญาณซ้ำๆ ในแต่ละพื้นที่อ้างอิง จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณและบันทึกกำลังสัญญาณในแต่ละพื้นที่อ้างอิงตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการเก็บข้อมูลกำลังสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สองของการเตรียมการคือการจัดกลุ่มชุดกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันมาอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม จากนั้นบันทึกข้อมูลค่าเซนทรอยด์และกำลังสัญญาณที่เป็นสมาชิกในแต่ละกลุ่มดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการจัดข้อมูลและบันทึกผลจากวิธีการเคมีน

ขั้นที่ 3 ในส่วนการเตรียมการคือดำเนินการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมค้นหาน้ำหนักที่เหมาะสมที่ใช้ในสมการที่ 3.6 โดยในสถานการณ์นี้ทำการจัดกลุ่มเป็น 2 กลุ่มและใช้เซนเซอร์ทั้งหมด 2 ตัว จึงทำการหาค่าน้ำหนักให้กับเซนเซอร์แต่ละตัวภายในกลุ่มที่ 1 คือ  $w_{1,1}$  และ  $w_{1,2}$  และภายในกลุ่มที่ 2 คือ  $w_{2,1}$  และ  $w_{2,2}$  โดยเริ่มจากกลุ่มที่ 1 คือการนำข้อมูลกำลังสัญญาณที่วัดซ้ำๆ ในพื้นที่อ้างอิงที่ 1 2 4 ซึ่งเป็นสมาชิกที่อยู่ในกลุ่มที่ 1 มาค้นหาน้ำหนัก  $w_{1,1}$  และ  $w_{1,2}$  ที่เหมาะสม เริ่มกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรมคือการสุ่มน้ำหนัก  $w_{1,1}$  และ  $w_{1,2}$  แบบ uniform เป็นประชากรตั้งต้น ซึ่งใช้จำนวนประชากรทั้งหมด 100 ชุด และใช้จำนวนบิตทั้งหมด 64 บิตแทนประชากรแต่ละตัวแบบ Floating-Point มีค่าเท่ากับ เลขนัยสำคัญ  $\times 2^{\text{เลขชี้กำลัง}}$  และแต่ละบิตแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งบิตแต่ละตัวที่แทนค่า Floating-Point

บิตที่ 63	บิตแทนเครื่องหมาย (0 = จำนวนบวก, 1 = จำนวนลบ)
บิตที่ 62 ถึง 52	บิตแทนเลขตัวชี้กำลังมีค่าอยู่ในช่วง [-1022, 1023]
บิตที่ 51 ถึง 0	บิตแทนเลขนัยสำคัญ

จากนั้นนำประชากรที่สุ่ม 100 ชุดไปคำนวณหาค่า fitness function จากสมการที่ 3.8

$$\text{fitness function} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \left[ \left| (x, y)_i^{\text{Estimate}} - (x, y)_i^{\text{Real}} \right| \right]} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $(x, y)_i^{Real}$  คือพิกัดที่แท้จริงของพื้นที่อ้างอิงที่  $i$   
 $(x, y)_i^{Estimate}$  คือพิกัดที่ประมาณได้ของพื้นที่อ้างอิงที่  $i$  จากการคำนวณในสมการที่ 3.6 และ 3.7  
 $N$  คือจำนวนพิกัดอ้างอิงทั้งหมด

นั่นหมายความว่าวิธีเชิงพันธุกรรมจะค้นหาน้ำหนัก  $w_{1,1}$  และ  $w_{1,2}$  ที่ใช้ในสมการที่ 3.6 ทำให้ค่าพิกัดที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับพิกัดที่แท้จริงนั่นเอง และข้อมูลในส่วนอื่นๆของวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงได้ดังนี้

**Selection :** หลังจากนำประชากรแต่ละชุดไปคำนวณหาค่า fitness function แล้วก็เข้าสู่กระบวนการคัดเลือกโดยจะเลือกประชากรที่มีค่า fitness function สูงๆไปทำการ crossover และ mutation เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งวิธีการคัดเลือกใช้วิธี Stochastic uniform

**Reproduction :** เป็นกระบวนการสืบพันธุ์ ถูกตั้งค่าให้เท่ากับ 2 หมายความว่า จะทำการเก็บค่าของประชากรชุดที่มี fitness function ที่สูงที่สุด 2 ชุดไว้เป็นประชากรรุ่นใหม่โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการ crossover และ mutation

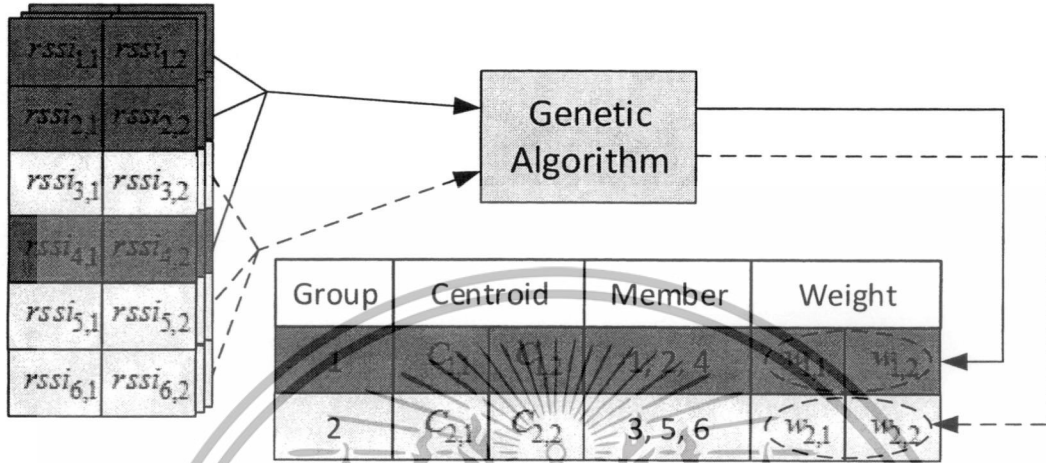
**Crossover :** เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนยีน โดยเมื่อได้ประชากรที่ผ่านการคัดเลือกในส่วน selection แล้ว ก็จะนำเอาประชากรแต่ละชุดมาทำการแลกเปลี่ยนยีนโดยวิธี scattered และตั้งให้เกิดความน่าจะเป็นในการ crossover เท่ากับ 80% ซึ่งหมายความว่าเมื่อมีจำนวนประชากรทั้งหมด 100 ชุด เกิด reproduction 2 ชุดเหลือ 98 ชุด ดังนั้น 80% ของ 98 ชุดเท่ากับ  $98 \times 0.8 = 78.4$  ดังนั้นประชากรที่จะนำไปจับคู่ crossover มีทั้งหมด 78 ชุด

**Mutation :** เป็นกระบวนการกลายพันธุ์ จะนำเอาประชากรที่เหลือจากกระบวนการ reproduction และ crossover ซึ่งเท่ากับ  $100 - 2 - 78 = 20$  ชุดมาทำการ mutation ซึ่งการ mutation จะใช้วิธี uniform และตั้งค่าความน่าจะเป็นในการเกิด Mutation เท่ากับ 1% ซึ่งหมายความว่า จะเกิดโอกาสที่ในแต่ละบิตจะเกิดการสลับจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 มีค่าเท่ากับ 1%

**Condition :** เงื่อนไขในการหยุดกระบวนการมี 2 เงื่อนไขนั่นคือ 1 เมื่อจำนวนรุ่นของประชากรครบตามที่กำหนด โดยกำหนดเท่ากับ 400 รุ่นประชากร และ 2 ทำการหาค่าเฉลี่ยของ fitness function ที่ดีที่สุดในทุกๆ 50 รุ่นของประชากร และทำการเทียบว่าค่าเฉลี่ย fitness function ที่ดีที่สุดใน 50 รุ่นนี้กับ 50 รุ่นก่อนหน้าว่าต่างกันเพียงใด หากแตกต่างกันน้อยกว่า  $10^{-6}$  ก็ทำการหยุดกระบวนการ

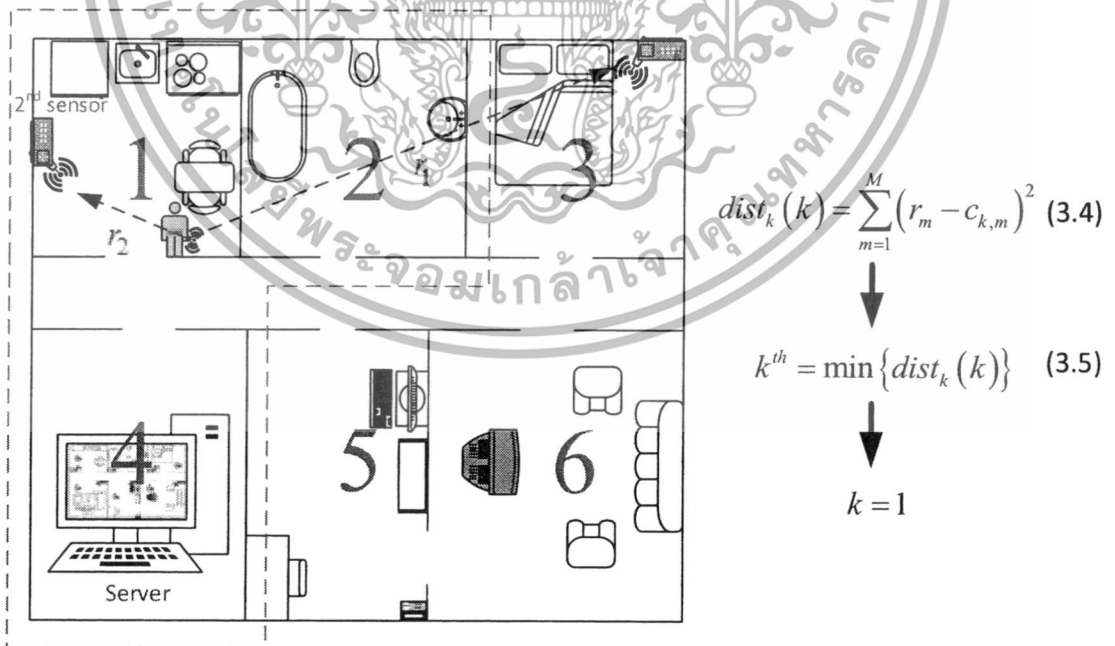
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค้้นหาน้้าหนัก  $w_{1,1}$  และ  $w_{1,2}$  ที่เหมาะสมได้แล้วจากนั้นใช้วิธีเชิงพันธุกรรมค้้นหาน้้าหนักภายในกลุ่มที่ 2 หรือก็คือ  $w_{2,1}$  และ  $w_{2,2}$  และบันทึกน้้าหนักที่เหมาะสมที่ได้จากแต่ละกลุ่มเป็นฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงการค้้นหาน้้าหนักที่เหมาะสมโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมและบันทึกลงฐานข้อมูล

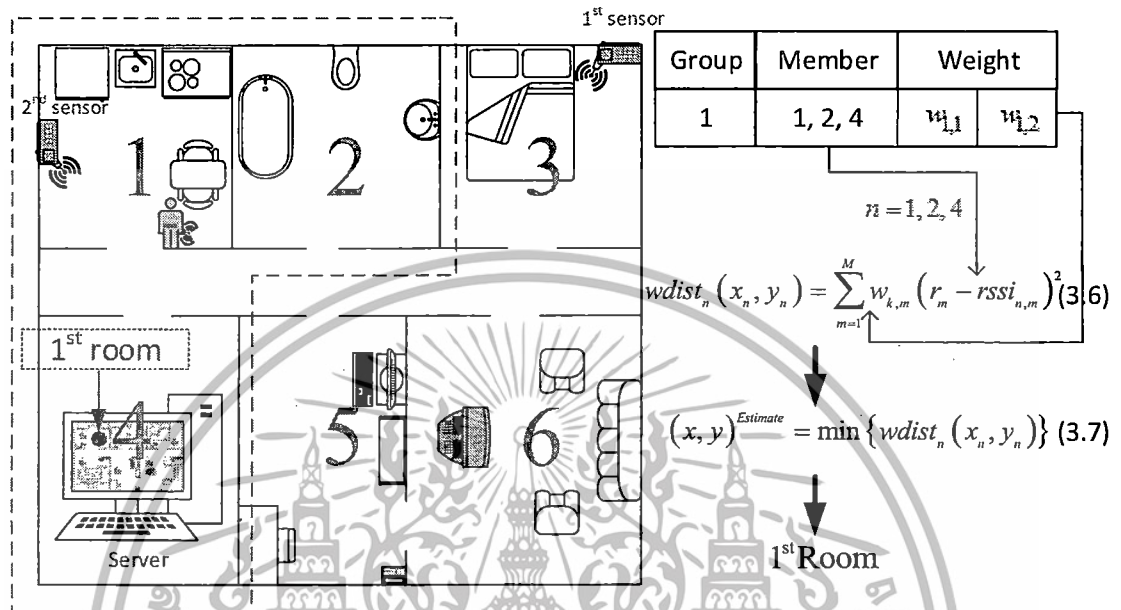
ในส่วนการใช้งานนั้นขั้นแรกคือเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวจะวัดกำลังสัญญาณจากผู้ใช้งานและทำการค้้นหากลุ่มหรือพื้นที่อย่างคร่าวๆของกำลังสัญญาณที่วัดได้ โดยใช้สมการที่ 3.4 และ 3.5 แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพแสดงการค้้นหากลุ่มหรือพื้นที่อย่างคร่าวๆผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากขั้นตอนแรกในส่วนการใช้งานทำให้ทราบพื้นที่อย่างคร่าวๆที่ผู้ใช้งานอาศัยอยู่คือพื้นที่จากกลุ่มที่ 1 ( $k=1$ ) ดังนั้นจึงเลือกน้ำหนักที่เหมาะสมจากกลุ่ม 1 ในฐานข้อมูล และเลือกเฉพาะกำลังสัญญาณที่เป็นสมาชิกในกลุ่มที่ 1 มาทำการระบุพื้นที่อย่างละเอียดของผู้ใช้งานโดยใช้สมการ 3.6 และ 3.7 แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงผลจากการระบุพื้นที่อย่างละเอียดของผู้ใช้งาน

### 3.4 การออกแบบการทำงานของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

หลังจากนำเสนอวิธีการระบุตำแหน่งแล้ว ต่อมาในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทำงานของระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่ใช้ร่วมกับการตรวจจับการล้น ซึ่งการออกแบบนี้จะประกอบไปด้วยการกำหนดหน้าที่ต่างๆให้กับอุปกรณ์ภายในระบบและขั้นตอนการสื่อสารของแต่ละอุปกรณ์ภายในระบบ

#### 3.4.1 การกำหนดหน้าที่ให้อุปกรณ์ในระบบการระบุตำแหน่ง

ระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารจำเป็นจะต้องมีการกำหนดหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในระบบ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือชิคปีรุ่น XBee pro series 2 ซึ่งจะทำการสร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยหน้าที่ของ XBee แต่ละตัวที่อยู่บนเครือข่ายมี 3 ประเภทคือ End device Router และ Coordinator ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 3 ประเภทจะถูกติดตั้งในส่วนต่างๆภายในระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารร่วมกับการตรวจจับการล้นดังนี้

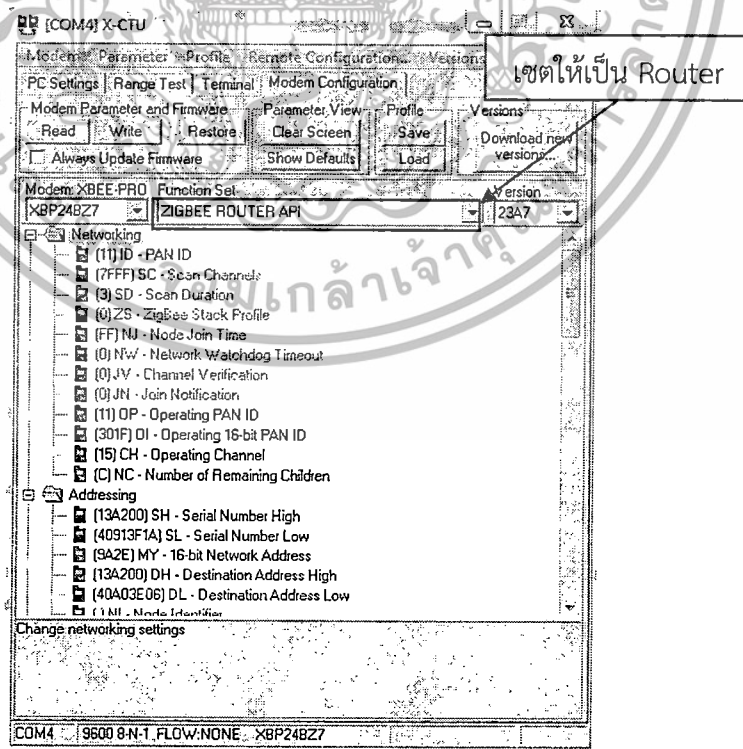
1) End device จะถูกติดตั้งเป็นอุปกรณ์ที่ติดอยู่กับผู้ใช้งานหรือเรียกว่าโหนดเป้าหมาย ซึ่ง End device เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางการเชื่อมต่อของเครือข่ายเอาไว้รับข้อมูลจากเซนเซอร์ภายนอกหรือส่งข้อมูลไปยังที่อื่นเช่น End device รับข้อมูลจากเซนเซอร์ความเร่ง 3 แกนและส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของเซนเซอร์ความเร่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อคำนวณสถานะการล้มของผู้สูงอายุ นอกจากนี้ End device มีโหมดประหยัดพลังงาน (sleep mode) เมื่อไม่มีการใช้งาน End device จะเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานทำให้ไม่จำเป็นต้องชาร์จแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์บ่อยๆ

2) Router จะถูกติดตั้งให้เป็นเซนเซอร์สำหรับการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยปกติแล้วสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย Router จะถูกติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆภายในอาคารอยู่แล้วเพื่อทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางและค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูล จากสาเหตุนี้จึงเหมาะจะให้ Router ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์สำหรับการระบุตำแหน่ง เพราะนอกจากจะสามารถวัดกำลังสัญญาณเพื่อการระบุตำแหน่งได้แล้วยังสามารถค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลสถานะการล้มของผู้สูงอายุไปยังปลายทางได้อีกด้วย

3) Coordinator จะถูกติดตั้งเป็นรับสัญญาณสถานะการล้มของผู้สูงอายุ ซึ่งจะติดตั้งกับคอมพิวเตอร์หรือเซิร์ฟเวอร์ ซึ่ง Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่ายเป็นตัวกำหนด address ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน จำเป็นจะต้องมีอย่างน้อย 1 ตัวในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

การกำหนดหน้าที่ของชิปในการออกแบบนี้จะใช้โปรแกรม X-CTU เป็น software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ update firmware ทดสอบการใช้งานและปรับพารามิเตอร์ให้กับ Xbee โดยรูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการเซตอุปกรณ์จากโปรแกรม X-CTU

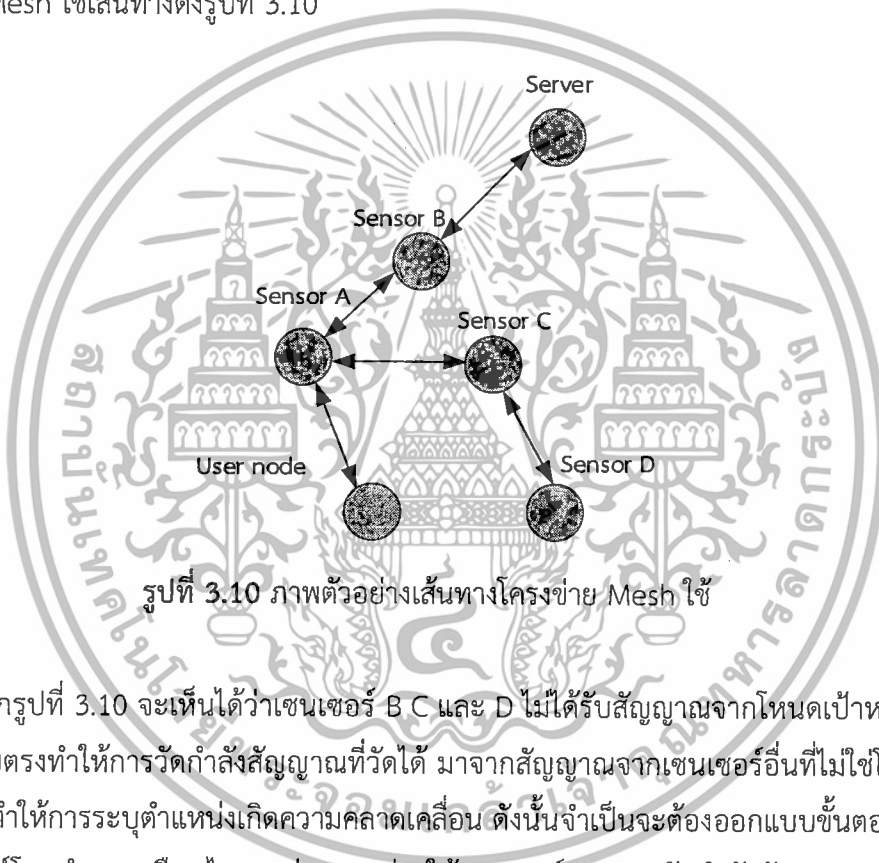


รูปที่ 3.9 ภาพตัวอย่างการเซตอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม X-CTU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การออกแบบขั้นตอนการสื่อสารของอุปกรณ์ภายในระบบ

ในระบบการระบุตำแหน่งที่จะออกแบบนี้ใช้อุปกรณ์ที่สร้างเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายคือ XBee รุ่นซีรี่ที่ 2 ซึ่งสามารถรองรับการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh โดยถูกพัฒนามาจากซีรี่ที่ 1 ที่ไม่สามารถรองรับการเชื่อมต่อแบบ Mesh ได้ แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh จะสามารถถ่วงน้ำหนักข้อมูลของผู้ใช้งานจะถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแน่นอน แต่การส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์กันเองนี้ ทำให้ระบบการระบุตำแหน่งมีปัญหาเนื่องจากกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์วัดได้ ไม่ได้มาจากสัญญาณของโหนดเป้าหมายโดยตรง ยกตัวอย่างเช่น โหนดเป้าหมายต้องการส่งสัญญาณไปยังทุกเซนเซอร์ เพื่อให้เซนเซอร์วัดกำลังสัญญาณในการระบุตำแหน่ง แต่เกิดเหตุการณ์ที่โครงข่าย Mesh ใช้เส้นทางดังรูปที่ 3.10

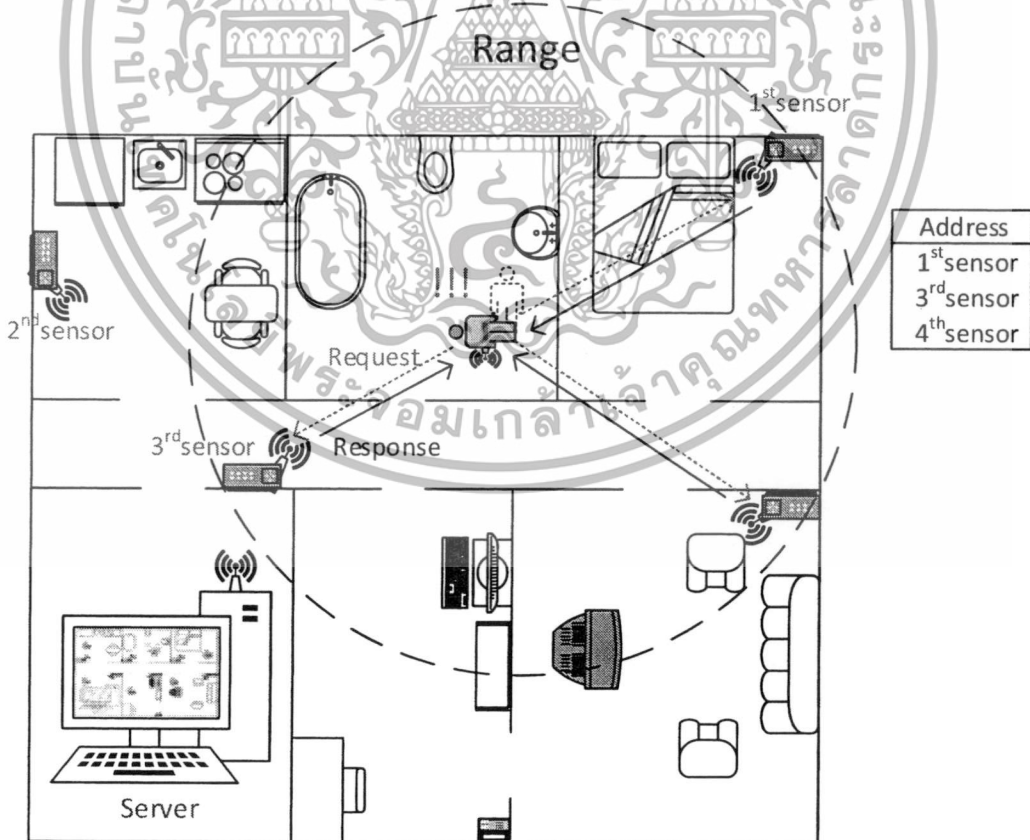


รูปที่ 3.10 ภาพตัวอย่างเส้นทางโครงข่าย Mesh ใช้

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าเซนเซอร์ B C และ D ไม่ได้รับสัญญาณจากโหนดเป้าหมายหรือผู้ใช้งานโดยตรงทำให้การวัดกำลังสัญญาณที่วัดได้ มาจากสัญญาณจากเซนเซอร์อื่นที่ไม่ใช่โหนดเป้าหมาย ซึ่งจะทำให้การระบุตำแหน่งเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจำเป็นจะต้องออกแบบขั้นตอนการสื่อสารของอุปกรณ์โดยกำหนดเงื่อนไขการส่งบางอย่างให้เซนเซอร์สามารถวัดกำลังสัญญาณจากโหนดเป้าหมายโดยตรง โดยการออกแบบขั้นตอนการสื่อสารคือเมื่อต้องการวัดกำลังสัญญาณจะทำการเชื่อมต่อแบบ star และหลังจากนั้นเมื่อต้องการส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์จะทำการเชื่อมต่อแบบ Mesh เริ่มจากเมื่อระบบการตรวจจับการล้มตรวจพบว่าการล้มในอยู่สูงอายุ End device ก็ออกจากโหมดประหยัดพลังงานและเข้าสู่โหมดพร้อมใช้งาน และจากนั้นทำการตั้งค่าให้ End device สามารถส่งสัญญาณได้แค่ 1 hop หรือก็คือการส่งสัญญาณไปยังโหนดใดโหนดหนึ่งโดยไม่มีการส่งต่อไปยังโหนดอื่น ต่อมาสั่งให้ End device ใช้ฟังก์ชันค้นหา address ของโหนดที่อยู่ในระยะ ซึ่งตอนนี้กำหนดให้มีระยะเท่ากับ 1 hop จากนั้นสั่งให้ End device ใช้ฟังก์ชันส่งคำร้องขอค่ากำลังสัญญาณไปยังเซนเซอร์ที่ปรากฏใน address นั้น ซึ่งเซนเซอร์จะทำการส่งค่ากำลังสัญญาณที่วัดได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

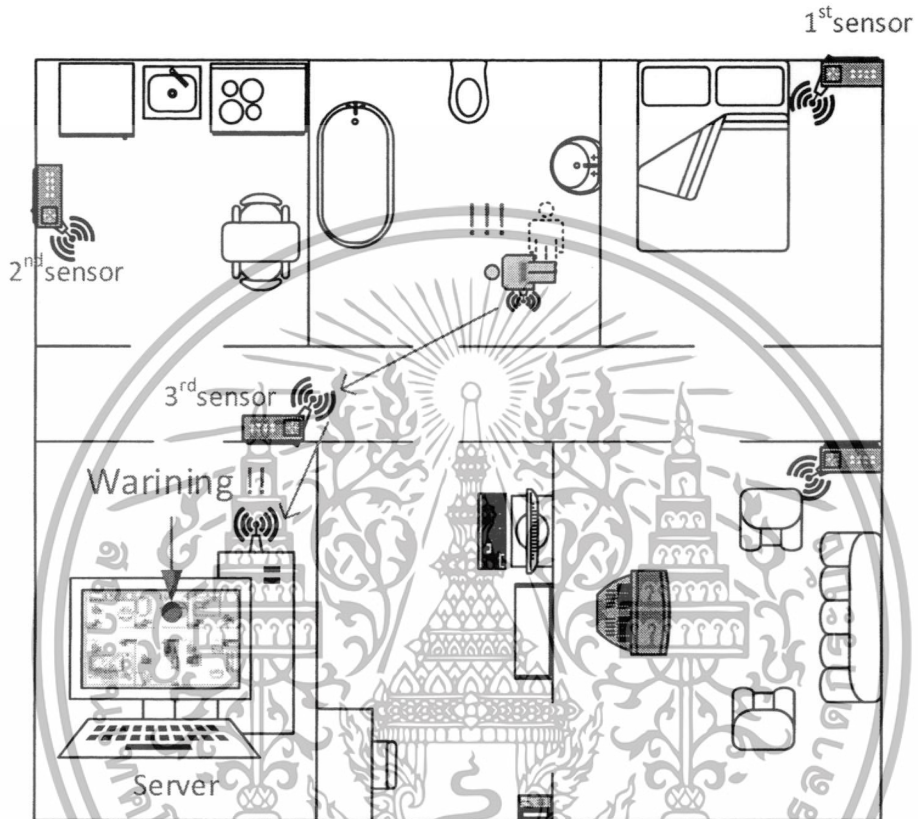
สัญญาณที่ส่งคำร้องขอนั้นไปยัง End device ถึงตอนนี้จะเห็นได้ว่าเซนเซอร์สามารถวัดกำลังสัญญาณจากโหนดเป้าหมายได้โดยตรง และหลังจากได้ค่ากำลังสัญญาณแล้วต่อมาทำการเซตให้ End device สามารถส่งได้ที่ hop สูงสุดเพื่อการส่งแบบ Mesh เช่นเดิม และทำการส่งข้อมูลการลัมพร้อมกับกำลังสัญญาณที่ได้ไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อค้นหาตำแหน่งและแจ้งเตือน จะเห็นว่าจะไม่เกิดการส่งสัญญาณระหว่างเซนเซอร์โหนดด้วยกันระหว่างที่ต้องการวัดกำลังสัญญาณ และข้อมูลสถานะการลัมยังคงสามารถส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ได้อย่างแน่นอนเพราะยังคงส่งข้อมูลในโครงข่ายแบบ Mesh อยู่นั่นเอง

- 1) เมื่อระบบการตรวจจับการลัมตรวจพบว่าการลัมในอยู่สูงอายุ End device ก็ออกจากโหมดประหยัดพลังงานและเข้าสู่โหมดพร้อมใช้งาน
  - 2) ตั้งค่าให้ End device สามารถส่งสัญญาณได้แค่ 1 hop หรือก็คือการส่งสัญญาณไปยังโหนดใดโหนดหนึ่งโดยไม่มีการส่งต่อไปยังโหนดอื่น
  - 3) สั่งให้ End device ใช้ฟังก์ชันค้นหา address ของโหนดที่อยู่ในระยะขอบเขตการส่ง 1 hop
  - 4) สั่งให้ End device ใช้ฟังก์ชันส่งคำร้องขอค่ากำลังสัญญาณไปยังเซนเซอร์ที่ปรากฏใน address นั้นเสมือนเป็นการเชื่อมต่อแบบ Star
- ขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 แสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ภาพแสดงตัวอย่างขั้นตอนการแบบการสื่อสารขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) หลังจากได้ค่ากำลังสัญญาณแล้วต่อมาทำการเซตให้ End device สามารถส่งได้ที่ hop สูงสุดเพื่อการส่งแบบ Mesh เช่นเดิม
- 6) และทำการส่งข้อมูลการล้มพร้อมกับการกำลังสัญญาณที่ได้ไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อค้นหาตำแหน่งและแจ้งเตือน  
ขั้นตอนที่ 5 ถึง 6 แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการแบบการสื่อสารขั้นตอนที่ 5 ถึง 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบทดลอง ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล โดยการออกแบบการทดลองจะมี 2 การทดลอง ซึ่งในการทดลองแรกจะใช้สถานที่ทดสอบเป็นพื้นที่โล่งภายในอาคาร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการ KNN ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนและเปรียบเทียบกับวิธีการ WDF ซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักเหมือนกับวิธีการที่นำเสนอ และในส่วนการทดลองที่สองคือการนำวิธีการและระบบการระบุตำแหน่งที่นำเสนอไปการทดสอบในสถานที่ใช้งานจริงที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น กำแพง ผนังห้อง กระจก เป็นต้น และในการทดสอบนี้จะประเมินการออกแบบขั้นตอนการสื่อสารของอุปกรณ์ที่นำเสนอว่าส่งผลต่อระบบการระบุตำแหน่งอย่างไร โดยทั้ง 2 การทดลองจะถูกแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 4.2 การทดสอบในพื้นที่โล่งภายในอาคาร

การทดลองจะถูกดำเนินการโดยใช้โครงข่ายเซนเซอร์ซิกบีในสถานที่ทดสอบคืออาคารเรียนรวม 12 ชั้น ชั้นที่ 11 บริเวณโถงหน้าลิฟต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ KMITL และในการทดลองจะใช้เซนเซอร์ทั้งหมด 4 ตัว ( $M = 4$ ) คือ Xbee pro 50mW RPSMA-Series 2 เชื่อมต่อกับเสาอากาศย่าน 2.4 GHz ที่เป็นคอนเน็คเตอร์แบบเอสเอ็มเอ (SMA) และโหนดเป้าหมายจะใช้ Xbee pro 50mW PCB Antenna-Series 2 ภาพของเซนเซอร์และโหนดเป้าหมายแสดงในรูปที่ 4.1



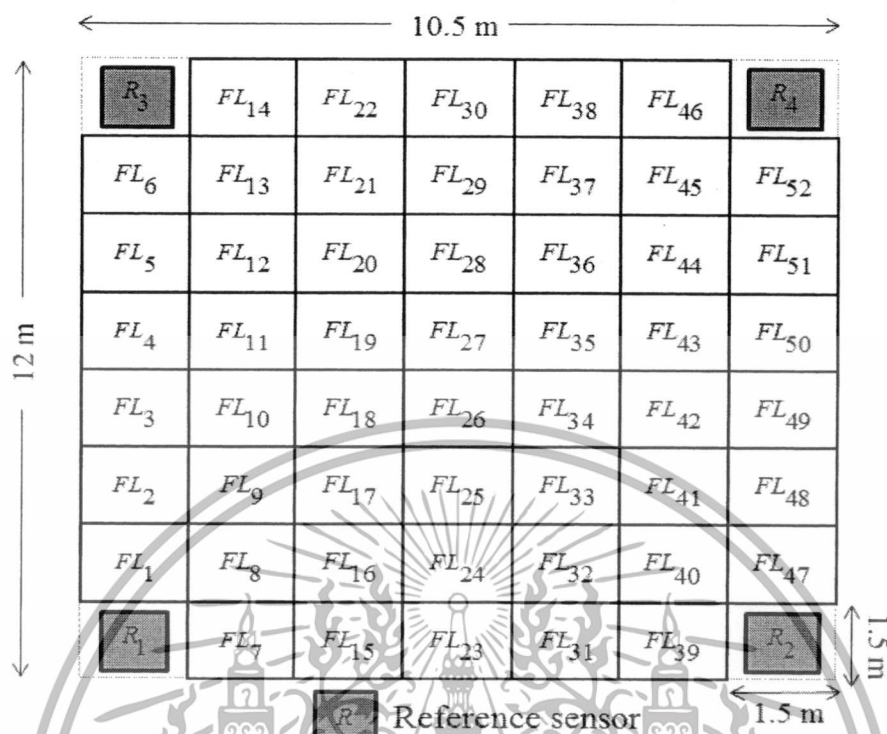
ก. เซนเซอร์

ข. โหนดเป้าหมาย

รูปที่ 4.1 เซนเซอร์ที่ใช้ในการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพื้นที่ทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด  $12 \times 10.5$  เมตร ถูกแบ่งเป็น 52 จุดพื้นที่อ้างอิง ( $N = 52$ ) และเซนเซอร์จะถูกติดตั้งไว้ที่มุมทั้ง 4 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งที่ตั้งของเซนเซอร์และพื้นที่อ้างอิง

พื้นที่อ้างอิงทั้ง 52 จุด ( $FL_n$ ;  $n = 1, 2, \dots, 52$ ) จะมีขนาด  $1.5 \times 1.5$  เมตร ซึ่งในการทดลองจะนำโหนดเป้าหมายไปไว้ในพื้นที่  $1.5 \times 1.5$  เมตร ของทั้ง 52 พื้นที่อ้างอิง และใช้วิธีการระบุตำแหน่งทั้ง 3 วิธีการประกอบด้วยวิธี KNN วิธี WDF และวิธีการที่นำเสนอ ในการระบุตำแหน่งโหนดเป้าหมาย และมากกว่านั้นทำการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายใน 52 พื้นที่อ้างอิงซ้ำทั้งหมด 15 ครั้ง ผลการประเมินความแม่นยำของวิธีการระบุตำแหน่งแต่ละวิธี จะใช้เกณฑ์การระบุพื้นที่  $1.5 \times 1.5$  เมตร หรือพื้นที่อ้างอิงที่โหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ได้ถูกต้อง ในการทดสอบนี้วิธีการที่นำเสนอจะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบอัตโนมัติหรือวิธีการเคมีน มาแบ่งกลุ่มของกำลังสัญญาณใน 52 พื้นที่อ้างอิง และการทดลองนี้เลือกจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งเท่ากับ 10 กลุ่ม ( $K = 10$ ) จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมค้นหาหน้าหนักที่เหมาะสมให้กับกำลังสัญญาณในแต่ละกลุ่ม ซึ่งผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มที่ได้จากวิธีการเคมีนและผลลัพธ์การค้นหาหน้าหนักที่เหมาะสมจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถูกแสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากวิธีการเคมีนและขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

กลุ่ม	จุดเซนทรอยด์ (dBm) จากวิธีการจัดกลุ่มเคมีน	น้ำหนักหรือค่าความน่าเชื่อถือ ที่เหมาะสมจากวิธีเชิง พันธุกรรม	กำลังสัญญาณใน ฐานข้อมูลที่เป็นสมาชิกแต่ ละกลุ่ม
1	-55.9, -63.2, -58.3, -64.41	0.32, 0.33, 0.15, 0.20	3, 9, 12, 41, 42, 43
2	-61.9, -66.8, -47.6, -57.5	0.12, 0.08, 0.56, 0.23	6, 14, 22, 28
3	-61.2, -55.4, -53.2, -56.4	0.09, 0.33, 0.25, 0.32	5, 10, 11, 26, 27, 33, 34, 36, 37
4	-54.4, -66.0, -58.6, -51.2	0.15, 0.22, 0.17, 0.46	13, 21, 29, 30, 38, 46, 49, 52
5	-57.8, -47.4, -58.4, -63.5	0.25, 0.34, 0.14, 0.27	24, 25, 31, 39, 40, 47, 48, 50
6	-55.3, -57.3, -52.1, -50.8	0.13, 0.07, 0.46, 0.34	5, 10, 19, 20, 45, 28, 33, 37, 46
7	-53.0, -51.9, -58.6, -56.8	0.28, 0.29, 0.16, 0.27	2, 17, 18, 35, 34, 41
8	-46.7, -60.4, -67.4, -65.9	0.47, 0.26, 0.13, 0.15	1, 4, 23
9	-60.5, -58.0, -66.4, -52.7	0.12, 0.18, 0.16, 0.54	32, 44, 49, 51
10	-48.5, -54.3, -59.5, -68.7	0.20, 0.42, 0.13, 0.24	4, 7, 8, 15, 16, 23, 24

สำหรับวิธีการ WDF ได้ดำเนินการใช้ linear regression กับกำลังสัญญาณของทั้ง 52 พื้นที่อ้างอิง ได้ผลลัพธ์ของพารามิเตอร์  $\{a, b\}$  ในสมการที่ 2.9 เพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนักที่ให้กับกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์อ่านได้จากโหนดเป้าหมาย โดยพารามิเตอร์  $\{a, b\}$  แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์  $\{a, b\}$  สำหรับวิธีการ WDF

เซนเซอร์	$a$	$b$
1	-0.5311	-24.5760
2	-0.2479	-11.1358
3	-0.8059	-40.0920
4	-0.0812	-2.6072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในพื้นที่โล่งภายในอาคาร

ในผลการทดลองแสดงความแม่นยำของวิธีการระบุตำแหน่งทั้ง 3 วิธีการประกอบด้วยวิธี KNN วิธี WDF และวิธีการที่นำเสนอ โดยทำการระบุพื้นที่อ้างอิงที่โหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ได้ถูกต้องทั้งหมด 52 พื้นที่อ้างอิงและทำซ้ำ 15 ครั้ง รวมเป็น 780 ครั้ง ในการระบุตำแหน่ง ซึ่งผลทดสอบความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีการจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

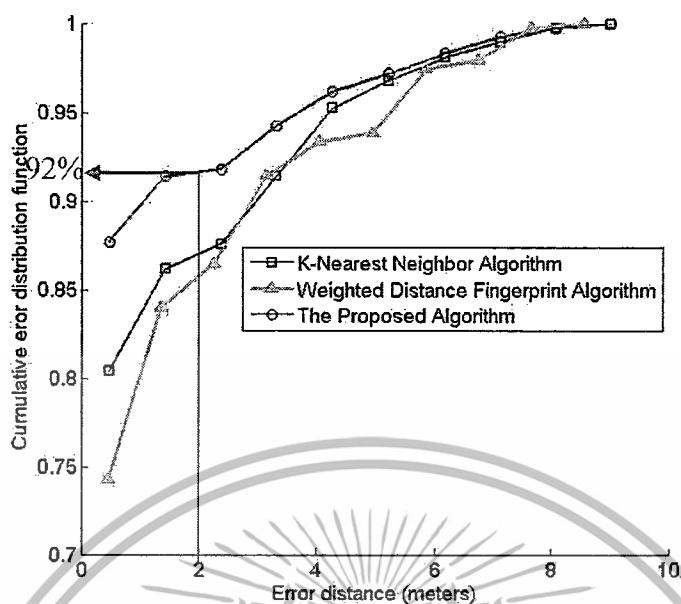
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองความแม่นยำ

	วิธีการ KNN	วิธีการ WDF	วิธีการที่นำเสนอ
ความถูกต้อง (ทั้งหมด 780 ครั้ง)	627	579	683
เปอร์เซ็นต์	80.3846 %	74.2308 %	87.5641 %

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งได้ถูกต้องมากกว่าทุกวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ โดยผลการทดลองเมื่อทำการระบุตำแหน่งทั้งหมด 780 ครั้ง วิธีการที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ถูกต้องมากที่สุดคือ 683 ครั้ง ขณะที่วิธีการ KNN และวิธีการ WDF ระบุได้ถูกต้อง 627 ครั้ง และ 579 ครั้ง ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์วิธีการที่นำเสนอ วิธีการ KNN และวิธี WDF มีความแม่นยำเท่ากับ 80.3846 % 74.2308% และ 87.5641 % ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับวิธีการที่ใช้เทคนิคฟังก์ชันการกระจายความผิดพลาดที่ผสมในรูปที่ 4.3 ยังช่วยยืนยันว่าวิธีการที่นำเสนอทำให้เทคนิคฟังก์ชันการกระจายความแม่นยำมากขึ้น โดยสังเกตได้ว่าความแม่นยำภายใน 2 เมตร ของวิธีการที่นำเสนอมีความแม่นยำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

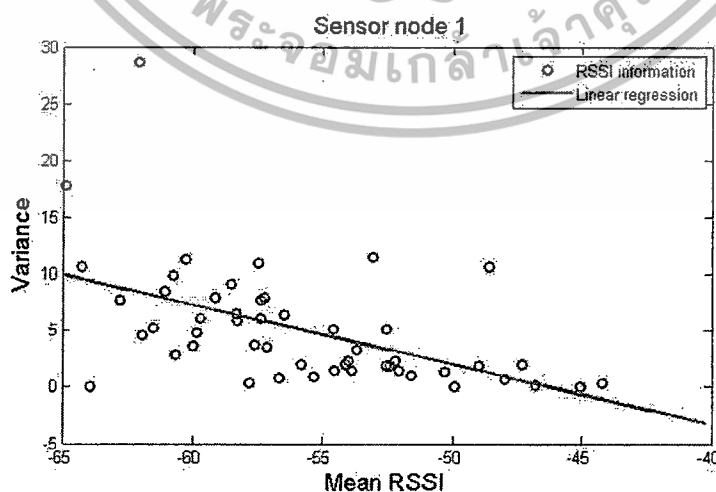
การวิเคราะห์เหตุผลจากตารางที่ 4.3 ในทางทฤษฎีวิธีการ WDF ควรจะมีความแม่นยำมากกว่าวิธีการ KNN แต่ผลลัพธ์ที่ได้กลับไม่เป็นเช่นนั้น ซึ่งสามารถแสดงเหตุผลได้โดยกราฟในรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณบางค่าอาจจะมีค่าความแปรปรวนได้หลากหลายและความสัมพันธ์นี้ไม่ได้เป็นไปอย่างเป็นเชิงเส้น เพราะฉะนั้นการใช้วิธีการ linear regression ในวิธีการ WDF มาใช้กับข้อมูลลักษณะแบบนี้เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาน้ำหนักให้กับเซนเซอร์แต่ละตัวจึงมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร และด้วยเหตุนี้ทำให้การระบุตำแหน่งของวิธีการ WDF เมื่อใช้กับข้อมูลลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นแบบนี้มีความแม่นยำต่ำลงไปด้วยนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันการกระจายความผิดพลาดที่สะสม

ในทางกลับกันเมื่อนำค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณจากกราฟในรูปที่ 4.4 มาทำการจัดกลุ่มข้อมูลเป็น 10 กลุ่มจากวิธีการที่นำเสนอ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้ในแต่ละกลุ่มในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มทำให้ความซับซ้อนของข้อมูลน้อยลงหรือก็คือทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณที่มีค่าความแปรปรวนได้หลายค่านั้นลดลงนั่นเอง แต่สังเกตได้ว่าหลังจากการจัดกลุ่มนั้น ข้อมูลที่ได้ก็ยังคงมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น เพราะฉะนั้นขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งในการที่จะนำมาคั่นหาน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคาร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัด

ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในด้านความซับซ้อนในการคำนวณคำนวณวิธีวิธีการ KNN และวิธีการ WDF นั้นจำเป็นต้องคำนวณระยะทางยูคลิดทั้ง 52 จุดพื้นที่อ้างอิง เพื่อหาระยะทางยูคลิดที่สั้นที่สุดระหว่างกำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายและกำลังสัญญาณในฐานข้อมูล ดังนั้นในการระบุตำแหน่ง 1 ครั้งต้องจำเป็นต้องคำนวณหาระยะทางยูคลิด 52 ครั้ง ส่วนวิธีการที่นำเสนอจะคำนวณระยะทางยูคลิด 2 ส่วน ส่วนแรกคำนวณหาระยะทางยูคลิดระหว่างกำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายและจุดเซนทรอยด์ ซึ่งการทดลองนี้ทำการจัดกลุ่มกำลังสัญญาณเป็น 10 กลุ่ม ดังนั้นมีจุดเซนทรอยด์ทั้งหมด 10 จุด หรือหมายความว่าในส่วนแรกจำเป็นต้องหาระยะยูคลิด 10 ครั้ง เพื่อระบุว่ากำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายนั้นอยู่ในกลุ่มใด และสมมติว่ากำลังสัญญาณที่วัดได้จากโหนดเป้าหมายอยู่ในกลุ่ม  $k$  จากนั้นในส่วนที่ 2 คำนวณระยะคลิดระหว่างโหนดเป้าหมายกับกำลังสัญญาณเฉพาะที่เป็นสมาชิกของกลุ่ม  $k$  ยกตัวอย่างเช่นเมื่อโหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ภายในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีสมาชิกกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลอยู่ 6 สมาชิก (จากตารางที่ 4.1) ดังนั้นจำนวนการคำนวณหาระยะยูคลิดในส่วนที่ 2 เท่ากับ 6 ครั้ง เมื่อรวมกับจำนวนการหาระยะยูคลิดในส่วนที่ 1 รวมเป็นทั้งหมด 16 ครั้ง ต่อการระบุตำแหน่ง สังเกตได้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะใช้การคำนวณหาระยะยูคลิดมากที่สุดและน้อยที่สุดเท่ากับ 19 และ 13 ครั้งเมื่อโหนดเป้าหมายอาศัยอยู่ภายในกลุ่มที่ 6 และ 8 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มนั้นไม่ได้เป็นเพียงแค่ช่วยให้การการค้นหาหน้าหนักนั้นง่ายขึ้น แต่ยังช่วยลดการคำนวณในการระบุตำแหน่งด้วย

จากตารางที่ 4.4 แสดงความซับซ้อนในการคำนวณระยะทางยูคลิดของการการระบุตำแหน่งของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ KNN และวิธีการ WDF อย่างที่ทราบว่าการวิธีการ KNN และ WDF จำเป็นต้องคำนวณระยะยูคลิดทั้งหมด 52 ครั้งต่อการระบุตำแหน่ง ดังนั้นการระบุตำแหน่งของโหนดเป้าหมายทั้ง 52 พื้นที่อ้างอิง จำเป็นต้องคำนวณระยะยูคลิดทั้งหมดเท่ากับ 2704 ครั้ง ส่วนวิธีที่นำเสนอใช้เพียง 876 ครั้งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้ววิธีการที่นำเสนอสามารถลดการคำนวณได้ถึง 67.6036 % สำหรับการทดสอบทั้ง 52 จุดทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการลดการคำนวณ

คำนวณระยะยูคลิด	วิธีการ	วิธีการ KNN	วิธีการ WDF	วิธีการที่นำเสนอ
จุดเซนทรอยด์ของกลุ่ม		-	-	52 × 10 ครั้ง
กำลังสัญญาณในฐานข้อมูล		52×52 ครั้ง	52×52 ครั้ง	356 ครั้ง
รวม		2704 ครั้ง	2704 ครั้ง	876 ครั้ง
เปอร์เซ็นต์		100 %	100 %	32.3964 %
เปอร์เซ็นต์ของการคำนวณที่ลดลง		0 %	0 %	67.6036 %

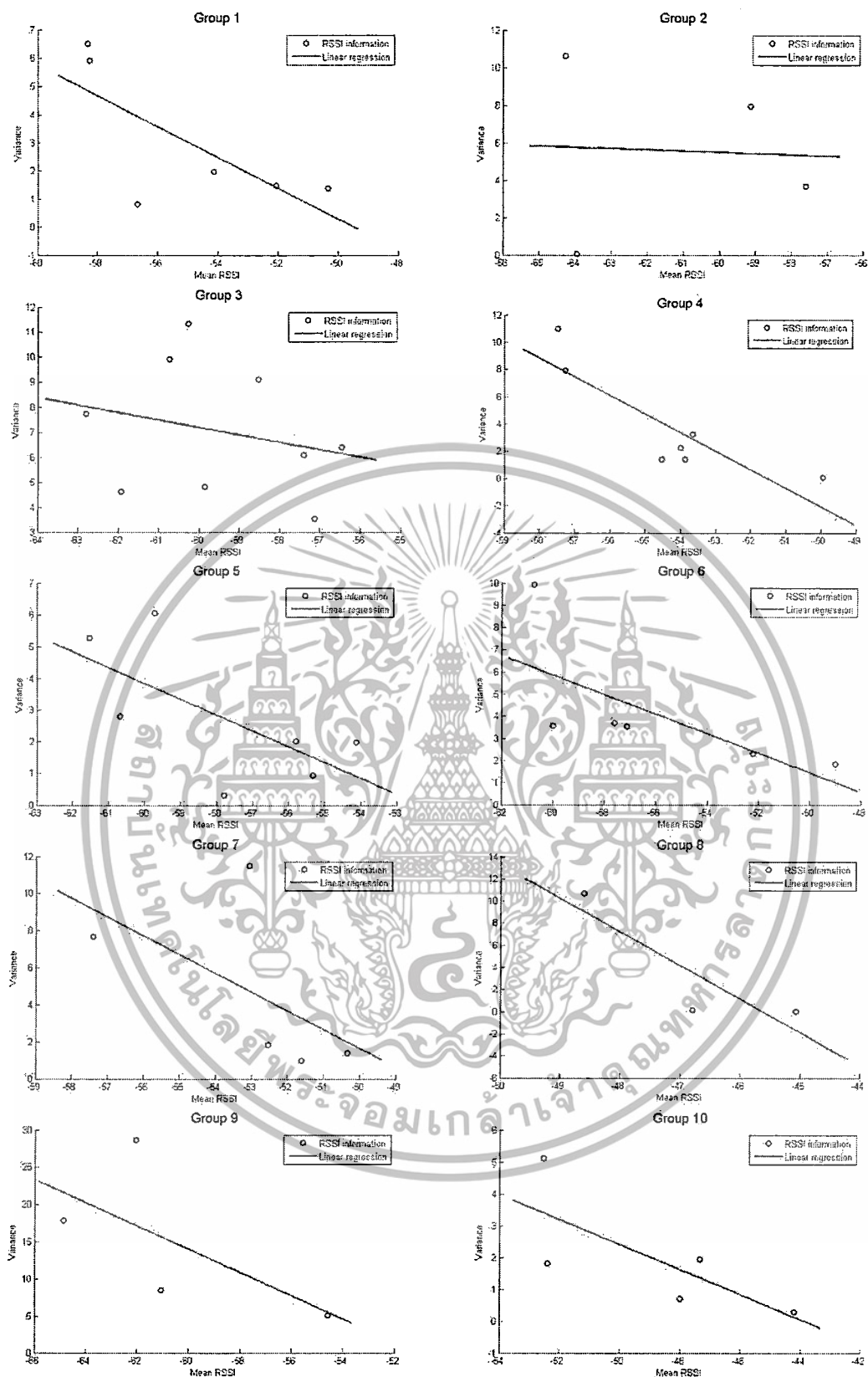
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอใช้เทคนิคการให้น้ำหนักหรือความน่าเชื่อถือกับแต่ละเซนเซอร์เหมือนกับวิธีการ WDF แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของวิธีคั่นหาน้ำหนัก โดยวิธีการ WDF นั้นใช้กรรมวิธี linear regression ส่วนวิธีการที่นำเสนอใช้การจัดกลุ่มและวิธีเชิงพันธุกรรม ผลความแตกต่างระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการ WDF แสดงได้เป็น 2 ส่วนคือ ผลของการจัดกลุ่มข้อมูลและผลจากการคั่นหาน้ำหนักโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม ในส่วนแรกผลของการจัดกลุ่มข้อมูลนั้นคือการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีการที่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูลและวิธีการที่ไม่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูล และทำการคั่นหาน้ำหนักโดยใช้วิธีการ linear regression ซึ่งผล linear regression กับข้อมูลกำลังสัญญาณที่วัดได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และผล linear regression จากข้อมูลกำลังสัญญาณที่ผ่านการจัดกลุ่มเป็น 10 กลุ่มแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 โดยผลลัพธ์ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวิธีการที่ใช้และไม่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูล

ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง		
	วิธีการที่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูล	วิธีการที่ไม่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูล
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 1 (ทั้งหมด 90 ข้อมูล)	73	579
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 2 (ทั้งหมด 60 ข้อมูล)	56	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 3 (ทั้งหมด 150 ข้อมูล)	75	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 4 (ทั้งหมด 105 ข้อมูล)	77	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 5 (ทั้งหมด 105 ข้อมูล)	70	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 6 (ทั้งหมด 90 ข้อมูล)	55	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 7 (ทั้งหมด 75 ข้อมูล)	51	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 8 (ทั้งหมด 45 ข้อมูล)	29	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 9 (ทั้งหมด 60 ข้อมูล)	42	
ความถูกต้องของกลุ่มที่ 10 (ทั้งหมด 75 ข้อมูล)	55	
ทั้งหมด 780 ข้อมูล	583	579
เปอร์เซ็นต์	74.74%	74.23%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผล linear regression จากข้อมูลกำลังสัญญาณที่ผ่านการจัดกลุ่มเป็น 10 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.6 วิธีการที่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูลระบุตำแหน่งได้ถูกต้อง 583 ครั้งเป็น 74.74% ในขณะที่วิธีการที่ไม่ใช่การจัดกลุ่มระบุตำแหน่งถูกต้อง 579 ครั้งเป็น 74.23% สังเกตได้ว่าความแม่นยำของวิธีการที่ใช้การจัดกลุ่มข้อมูลและวิธีการที่ไม่ใช่การจัดกลุ่มข้อมูลมีความแม่นยำใกล้เคียง เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนไม่ได้มีความเป็นเชิงเส้นอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้ linear regression กับข้อมูลที่ไม่ว่าจะทำการจัดกลุ่มหรือไม่ได้จัดกลุ่มก็ไม่ได้มีผลแตกต่างกัน และในส่วนถัดมาคือผลจากการค้นหาหน้าหนักโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์การระบุตำแหน่งของวิธีการที่ค้นหาหน้าหนักโดยวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการที่ค้นหาหน้าหนักโดยวิธี linear regression แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6

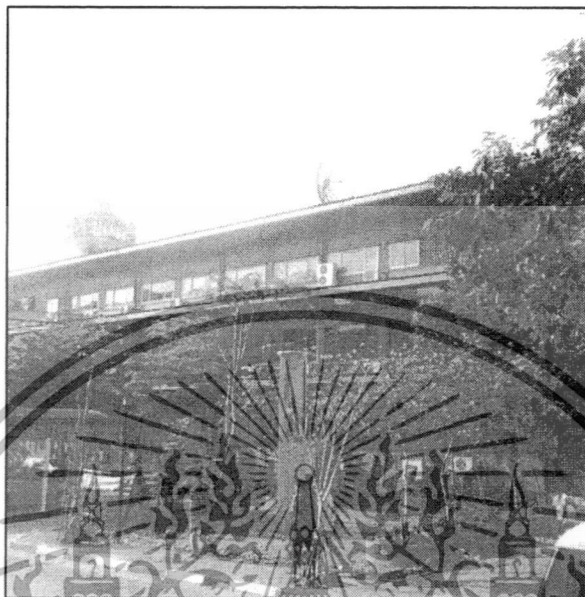
ตารางที่ 4.6 ผลความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวิธีการที่ใช้และไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

	วิธีการที่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม	วิธีการที่ใช้ linear regression
ความถูกต้อง (ทั้งหมด 780 ครั้ง)	622	579
เปอร์เซ็นต์	79.74 %	74.23%

จากผลที่แสดงดังตารางที่ 4.6 วิธีการที่ค้นหาหน้าหนักโดยวิธีเชิงพันธุกรรมระบุตำแหน่งได้ถูกต้อง 622 ครั้งเป็น 79.74 % ในขณะที่วิธีการที่ค้นหาหน้าหนักโดยวิธี linear regression ระบุได้ถูกต้อง 579 ครั้งเป็น 74.23% จะเห็นได้ว่าการค้นหาหน้าหนักโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นให้ความแม่นยำที่ดีกว่าการใช้วิธี linear regression เนื่องจากวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นสามารถค้นหาคำตอบที่มีความสัมพันธ์แบบ non-linear ได้ดีจึงเหมาะสำหรับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์แบบนี้ และสังเกตได้ว่าผลความแม่นยำ 79.74% จากการค้นหาหน้าหนักโดยใช้เพียงวิธีเชิงพันธุกรรมจากตารางที่ 4.6 ยังมีความแม่นยำน้อยกว่าการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับการจัดกลุ่มข้อมูลจากตารางที่ 4.3 เหตุเพราะการค้นหาหน้าหนักโดยใช้เพียงวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างเดียวนั้นหมายถึงการใช้หน้าหนักชุดเดียวในการแยกข้อมูลทั้ง 52 พื้นที่อ้างอิงออกจากกัน แต่หากจัดกลุ่มข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่มก่อนและใช้วิธีเชิงพันธุกรรมกับข้อมูลในแต่ละกลุ่ม หรือก็คือการใช้ชุดหน้าหนัก 10 ชุดในการแยกข้อมูลทั้ง 52 พื้นที่อ้างอิงออกจากกัน ดังนั้นการใช้การจัดกลุ่มร่วมด้วยเพื่อให้มีการใช้ชุดหน้าหนักได้หลายชุดสามารถแยกพื้นที่อ้างอิงออกจากกันได้ง่ายกว่าการใช้หน้าหนักเพียงชุดเดียว จึงเป็นเหตุให้การค้นหาหน้าหนักจากวิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับการจัดกลุ่มข้อมูลนั้นดีกว่าการใช้เพียงแต่วิธีเชิงพันธุกรรมนั่นเอง

#### 4.4 การทดสอบในพื้นที่ใช้งานจริงที่มีสิ่งกีดขวาง

ในการทดสอบนี้จะดำเนินการในพื้นที่ใช้งานจริงซึ่งสถานที่ทดสอบคือตึกภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ KMITL แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ตึกภาควิชาวิศวกรรมวิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ KMITL

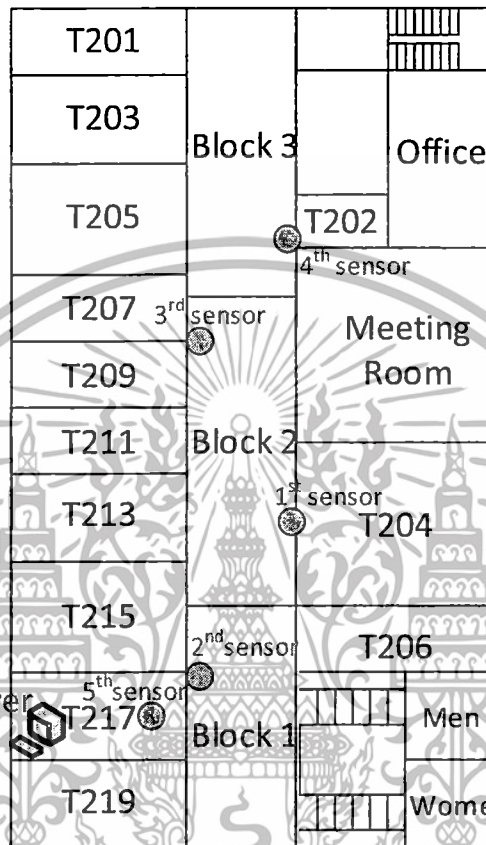
โดยพื้นที่ใช้งานจะใช้ชั้น 2 ของอาคารโทรคมนาคมซึ่งมีขนาด  $44.4 \times 19.3$  เมตร และใช้เซนเซอร์คือชิปเซ็นเซอร์เดียวกับการทดลองแรกแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชั้น 2 ของอาคารโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบนี้จะใช้เกณฑ์การระบุตำแหน่งแบบพื้นที่คร่าวๆเพียงพอที่ผู้ช่วยเหลือจะสามารถมองเห็นตำแหน่งการล้มของผู้สูงอายุได้โดยจะแบ่งเป็นห้องและทางเดิน โดยพื้นที่ที่จะใช้ในการทดสอบคือห้อง T217 ห้องน้ำชาย ห้องน้ำหญิง ทางเดิน ซึ่งทางเดินจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือบล็อกที่ 1 2 และ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ภาพแสดงพื้นที่ทดสอบที่ใช้งานจริงและตำแหน่งของเซนเซอร์

และจากรูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์ทั้งหมด 5 ตัว โดยมี 4 ตัวติดตั้งที่ทางเดินและทำหน้าที่เป็น Router ในการหาเส้นทางในการส่งข้อมูลการล้ม และมีเซนเซอร์อีกหนึ่งตัวในห้อง T217 ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์และเป็น Coordinator ที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่างโหนดเป้าหมายกับ Router และการแบ่งกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบนี้จะใช้การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบใช้ผู้เชี่ยวชาญคือตรรกศาสตร์คลุมเครือ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลตามความเชี่ยวชาญของผู้ออกแบบ

โดยเกณฑ์การออกแบบการจัดกลุ่มในการทดสอบนี้ ผู้ออกแบบได้ทำการระบุตำแหน่งโดยใช้วิธีการ KNN ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานที่ไม่มีกรถ่วงน้ำหนักก่อน และทำการจัดกลุ่มข้อมูลกำลังสัญญาณที่ใกล้เคียงกันหรือที่มักจะทำให้เกิดความคลุมเครือในการระบุตำแหน่งมาไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ผลการถ่วงน้ำหนักช่วยให้แยกความคลุมเครือนี้ออกจากกันได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งในการทดสอบนี้ได้แบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม แสดงได้ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการจัดกลุ่มจากวิธีตรรกะคลุมเครือ

กลุ่ม	ห้อง
1	ห้องน้ำชาย ห้องน้ำหญิง
2	T217 ทางเดินบล็อกที่ 1
3	ทางเดินบล็อกที่ 2 ทางเดินบล็อกที่ 3

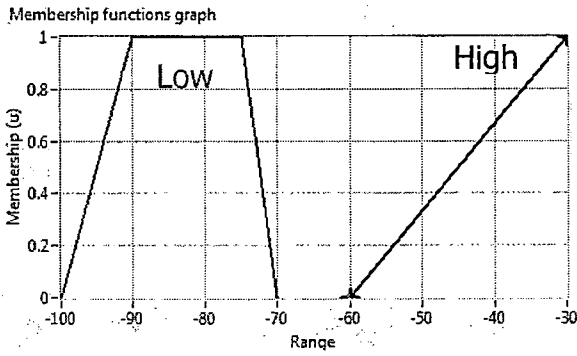
กำลังสัญญาณอ้างอิงของแต่ละพื้นที่อ้างอิงจะได้จากค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณของตำแหน่งต่างๆ แบบสุ่มภายในแต่ละพื้นที่อ้างอิง และกำลังสัญญาณเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่อ้างอิงแสดงได้ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งหน่วยการวัดที่ใช้คือ dBm

ตารางที่ 4.8 กำลังสัญญาณแต่ละพื้นที่อ้างอิงในสถานที่ทดสอบใช้งานจริง

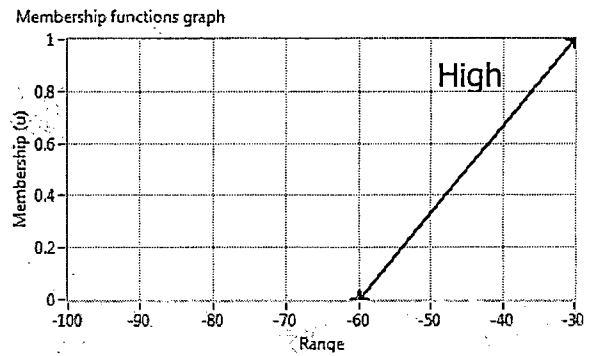
Received Signal Strength (dBm)					
	1 <sup>st</sup> sensor	2 <sup>nd</sup> sensor	3 <sup>rd</sup> sensor	4 <sup>th</sup> sensor	5 <sup>th</sup> sensor
T217	-72.1869	-50.8692	-81.122	-80.0935	-38.3178
Block1	-52.2615	-37.7846	-82.32	-64.8308	-54.3385
Men	-78.8525	-65.9672	-80	-80.011	-69.5082
Women	-80	-77.3962	-80.331	-81	-78.8679
Block2	-49	-61.25	-43.2727	-55.5227	-80.5682
Block3	-67.7895	66.7018	-58.4561	-48.1228	-81.6842

ในการทดลองนี้จะทดสอบวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอ โดยทำการระบุตำแหน่งของพื้นที่อ้างอิงทั้ง 6 พื้นที่ ประกอบด้วยห้อง T217 ห้องน้ำชาย ห้องน้ำหญิง ทางเดินที่เป็น Block 1 Block 2 และ Block 3 โดยระบุตำแหน่งซ้ำในแต่ละพื้นที่อ้างอิงทั้งหมด 50 ครั้ง เพื่อประเมินว่าวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอมีประสิทธิภาพเพียงที่จะนำไปร่วมกับระบบการตรวจจับการล้มหรือไหม และจะทำการประเมินการออกแบบการสื่อสารของอุปกรณ์ในบทที่ 3 ว่ามีผลกับการระบุตำแหน่งอย่างไร

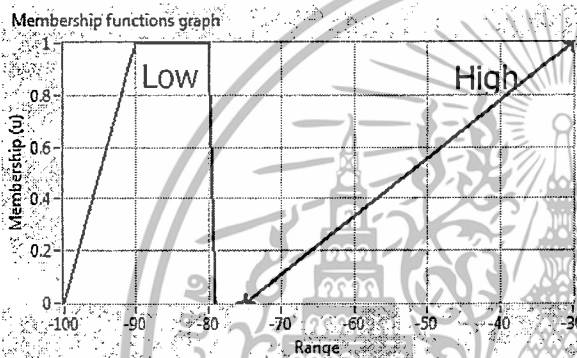
ในขั้นตอนการเตรียมการได้ทำการจัดกลุ่มข้อมูลจากการออกแบบฟังก์ชันการเป็นสมาชิกอินพุทของเซนเซอร์ทั้ง 5 ตัวและฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอ๊าท์พุทที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มแบบใช้ความชำนาญเข้าช่วย แสดงได้ดังรูปที่ 4.10



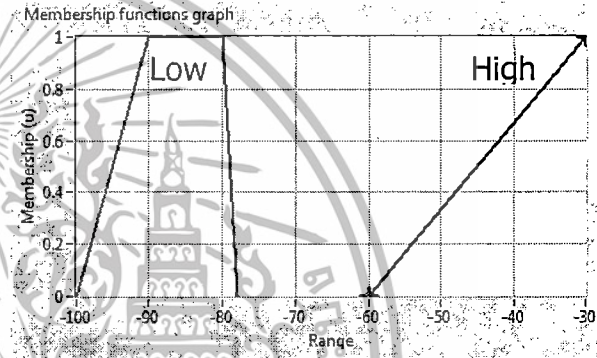
ก. เซนเซอร์ที่ 1



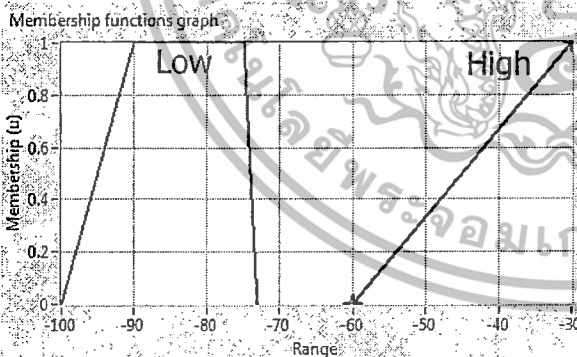
ข. เซนเซอร์ที่ 2



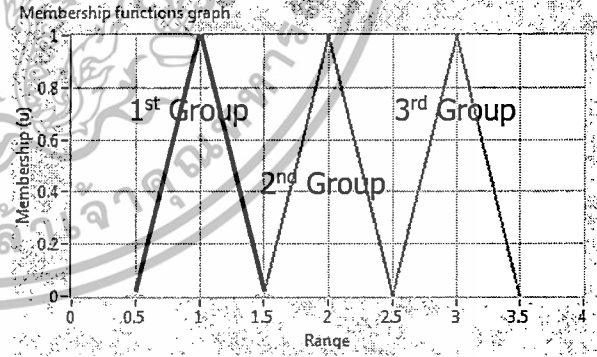
ค. เซนเซอร์ที่ 3



ง. เซนเซอร์ที่ 4



จ. เซนเซอร์ที่ 5



ฉ. เอาท์พุท

รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของทั้ง 5 เซนเซอร์และฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลการออกแบบกฎของตรรกศาสตร์คลุมเครือคือ

- 1) IF ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก 'Low' ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 AND 'Low' ของเซนเซอร์ตัวที่ 4 THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม '1<sup>st</sup> Group'
- 2) IF ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก 'High' ของเซนเซอร์ตัวที่ 2 OR 'High' ของเซนเซอร์ตัวที่ 5 THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม '2<sup>nd</sup> Group'
- 3) IF ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก 'High' ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 OR 'High' ของเซนเซอร์ตัวที่ 3 THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม '3<sup>rd</sup> Group'
- 4) IF ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก 'High' ของเซนเซอร์ตัวที่ 4 AND 'Low' ของเซนเซอร์ตัวที่ 5 THEN จัดให้อยู่ในกลุ่ม '3<sup>rd</sup> Group'

ยกตัวอย่างการออกแบบเช่น ต้องการจัดกลุ่มให้ T217 และทางเดินบล็อกที่ 1 อยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้ความชำนาญคือเมื่อเซนเซอร์ตัวที่ 2 หรือ(OR) 5 จากรูปที่ 4.9 วัดกำลังสัญญาณจากผู้ใช้งานได้แรงหรือหมายความว่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกอยู่ในช่วง High ดังนั้นจากกฎที่ 2 ทำให้ระดับการเป็นสมาชิกในกลุ่มที่ 2 มีค่าสูงขึ้นหรือก็คือการเลือกกลุ่มที่ 2 นั่นเอง ซึ่งกลุ่มที่ 2 ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.7 คือกลุ่มที่บรรจุห้อง T217 และทางเดินบล็อกที่ 1 นั่นเอง

ผลการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าน้ำหนักภายในแต่ละกลุ่มให้กับเซนเซอร์แต่ละตัวแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

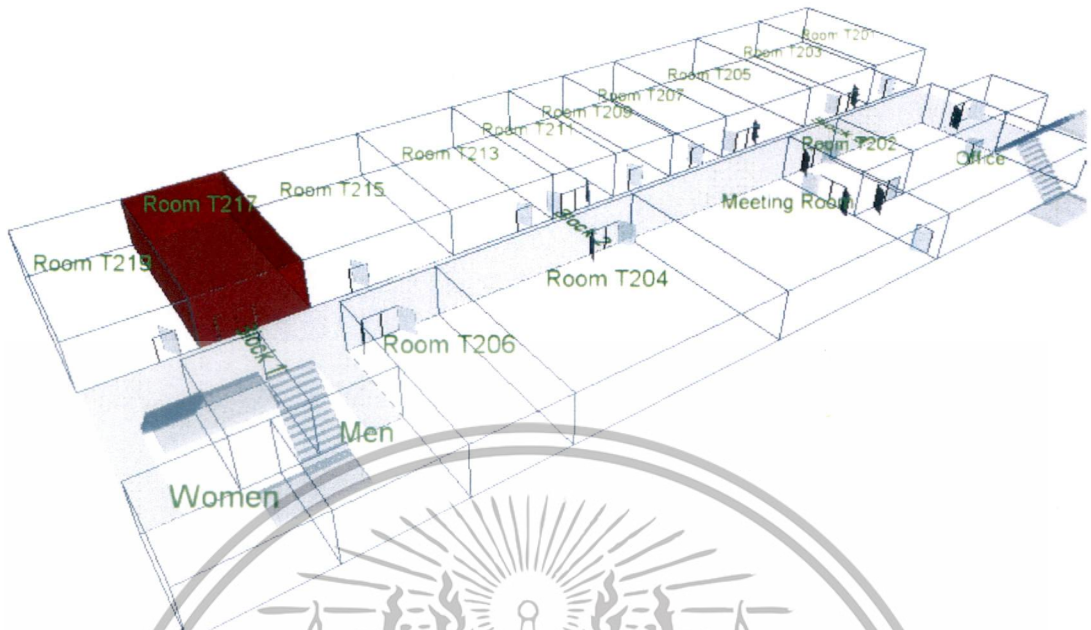
ตารางที่ 4.9 ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการเชิงพันธุกรรม

Group	Weight by GA				
	1 <sup>st</sup> sensor	2 <sup>nd</sup> sensor	3 <sup>rd</sup> sensor	4 <sup>th</sup> sensor	5 <sup>th</sup> sensor
1	0.5597	0.1221	0.0222	0.0097	0.2863
2	0.153	0.2367	0.0159	0.3044	0.2901
3	0.1856	0.0671	0.2524	0.2636	0.2312

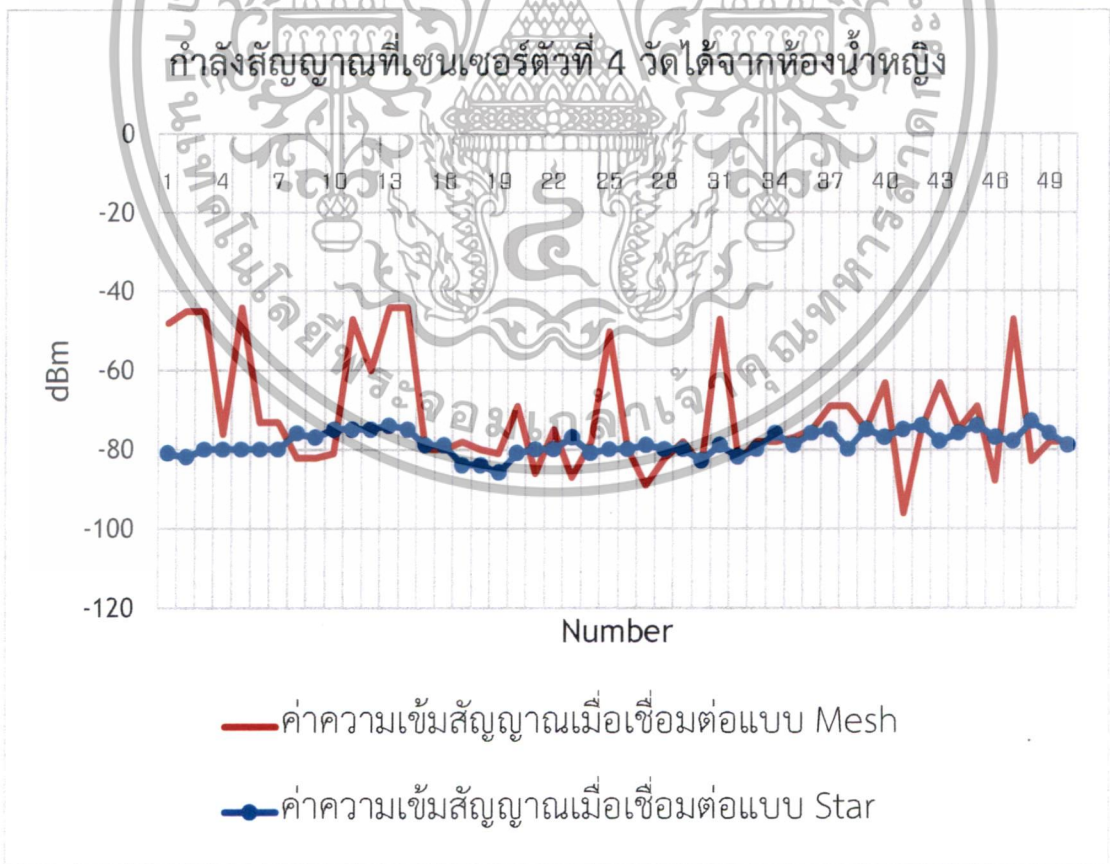
#### 4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในพื้นที่ใช้งานจริงที่มีสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งภายในอาคารอย่างคร่าวๆที่เพียงพอที่ผู้ช่วยเหลือจะมองเห็นตำแหน่งการล้มที่แท้จริงของผู้สูงอายุ ดังเช่นในรูปที่แสดงผลคือห้อง T217 ซึ่งเพียงพอในการมองเห็นของผู้ช่วยเหลือเมื่อเปิดประตูเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการแสดงผลของการระบุตำแหน่งภายในอาคาร  
กำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 4 วัดได้จากห้องน้ำหญิง



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างผลกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 4 รับผิดชอบตำแหน่งในห้องน้ำหญิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างผลกำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 4 รับผิดชอบจากตำแหน่งในห้องน้ำหญิง ซึ่งจะเห็นว่ากำลังสัญญาณที่เซนเซอร์ตัวที่ 4 รับผิดชอบจากผู้ใช้งานโดยใช้ขั้นตอนสื่อสารโครงข่ายแบบ Mesh จะมีความแปรปรวนมากกว่าการใช้ขั้นตอนการสื่อสารโครงข่ายแบบ Star ที่นำเสนอ โดยเปรียบเทียบมาตรฐานของกำลังสัญญาณที่ใช้การสื่อสารแบบ Mesh มีมากถึง 14.32 dBm ในขณะที่ส่วนเปรียบเทียบมาตรฐานของกำลังสัญญาณที่ใช้การสื่อสารแบบ Star มีเพียง 2.95 dBm สาเหตุจากขั้นตอนการสื่อสารแบบ Mesh อาจจะทำให้สัญญาณที่เซนเซอร์รับได้นั้นไม่ได้มาจากผู้ใช้งานโดยตรงแต่เป็นสัญญาณจากเซนเซอร์ตัวอื่นที่ได้รับหน้าที่ส่งต่อข้อมูลจากผู้ใช้งาน ซึ่งจะส่งผลทำให้การระบุตำแหน่งเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างมาก ดังนั้นขั้นตอนการสื่อสารโครงข่ายแบบ Star ขณะทำการวัดกำลังสัญญาณสามารถช่วยในระบบการระบุตำแหน่งดีขึ้นได้นั่นเอง สุดท้ายคือผลแสดงความแม่นยำของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในพื้นที่ทดสอบใช้งานจริง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลแสดงความแม่นยำของวิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในพื้นที่ทดสอบใช้งานจริง

พื้นที่อ้างอิง	จำนวนการระบุตำแหน่ง	วิธีการที่นำเสนอ		พื้นที่ที่ระบุผิด
		ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์	
T217	50	50	100.00%	-
ทางเดิน Block 1	50	50	100.00%	-
ห้องน้ำชาย	50	49	98.00%	ห้องน้ำหญิง
ห้องน้ำหญิง	50	50	100.00%	-
ทางเดิน Block 2	50	48	96.00%	ทางเดิน Block 2
ทางเดิน Block 3	50	48	96.00%	ทางเดิน Block 3
รวม	300	295	98.33%	

โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งในพื้นที่ทดสอบการใช้งานจริงนี้ถูกต้องถึง 98.33% ซึ่งมากเพียงพอในการนำไปใช้กับแอปพลิเคชันในการระบุตำแหน่งการล้มของผู้สูงอายุภายในอาคาร และยังเห็นว่าพื้นที่ในการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดนั้นยังใกล้เคียงกับพื้นที่จริงอีกด้วย

## บทที่ 5

# สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพและการออกแบบระบบการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้การจัดกลุ่มข้อมูลและวิธีเชิงพันธุกรรมบนพื้นฐานเทคโนโลยีซิกบี สำหรับนำไปใช้ร่วมกับระบบตรวจสอบการล้มของผู้สูงอายุ โดยวิธีการที่นำเสนอทำการปรับปรุงเทคนิคการค้นหาตำแหน่งแบบฟิงเกอร์ปริ้นให้มีการคำนวณที่ต่ำและความแม่นยำที่สูงขึ้น จากการใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลทำการจัดกลุ่มกำลังสัญญาณในฐานข้อมูลเพื่อลดจำนวนการคำนวณ เสมือนเป็นการระบุตำแหน่งอย่างคร่าวๆ และทำการถ่วงน้ำหนักหรือให้ความน่าเชื่อถือกับข้อมูลที่วัดได้เพื่อให้วิธีการระบุตำแหน่งมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการค้นหาน้ำหนักหรือความน่าเชื่อถือที่เหมาะสม เสมือนการระบุตำแหน่งแบบละเอียด

บทที่ 5 นี้จะกล่าวถึงผลสรุปของวิทยานิพนธ์ซึ่งจะประกอบด้วยการสรุปอธิบายความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ผลการทดลองในงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาต่อไป

### 5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการล้มในผู้สูงอายุมีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตเป็นอันดับสองรองจากอุบัติเหตุบนท้องถนน วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้นำเสนอวิธีการระบบและวิธีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ร่วมกับการตรวจจับการล้มที่จะทำให้ระบบนี้สามารถตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุและยังค้นหาพิกัดของการล้มในคราวเดียวกันได้ เพื่อที่จะให้ญาติหรือครอบครัวช่วยเหลือผู้สูงอายุหลังจากการล้มได้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยระบบและวิธีที่นำเสนอนี้ต้องการให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำ การคำนวณที่ต่ำ นำไปใช้งานได้ง่าย และค่าใช้จ่ายไม่แพง โดยการประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจากเทคโนโลยีซิกบีในการระบุตำแหน่งซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ไม่แพงและยังใช้พลังงานต่ำ และนำวิธีการระบุตำแหน่งแบบฟิงเกอร์ปริ้นซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มาทำให้มีการปรับปรุงให้มีการคำนวณที่ต่ำและความแม่นยำที่สูงยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้จะใช้การจัดกลุ่มกำลังสัญญาณเพื่อลดจำนวนการคำนวณและใช้การถ่วงน้ำหนักหรือให้ความน่าเชื่อถือกับสัญญาณที่อ่านได้จากเซนเซอร์ไม่เท่ากัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และในวิทยานิพนธ์นี้ออกแบบขั้นตอนการสื่อสารของอุปกรณ์ซิกบีให้สามารถระบุตำแหน่งร่วมกับการส่งข้อมูลโดยใช้โครงข่ายการเชื่อมต่อแบบ Mesh ได้ และในการทดลองใช้สถานที่ทดสอบเป็นพื้นที่โล่งภายในอาคาร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอ โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการ KNN ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนและเปรียบเทียบกับวิธีการ WDF ซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักเหมือนกับวิธีการที่นำเสนอ ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอให้ความแม่นยำมากกว่าทุกวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบโดยสามารถระบุพื้นที่  $1.5 \times 1.5$  เมตรได้ถูกต้อง 87.56% ในสถานที่ทดสอบ และนอกจากนี้ยังทดสอบวิธีการที่นำเสนอในสถานที่ใช้งานจริงคือชั้น 2 ตึกภาควิชาโทรคมนาคม ซึ่งทดสอบระบุพื้นที่แบบคร่าวๆ 6 พื้นที่ประกอบด้วยห้อง T217 ห้องน้ำชาย ห้องน้ำหญิงทางเดิน Block 1 2 และ 3 โดยสามารถระบุพื้นที่ได้ถูกต้องถึง 98% และผลการทดสอบขั้นตอนการสื่อสารที่นำเสนอ แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนการสื่อสารที่นำเสนอสามารถทำให้เซนเซอร์สามารถวัดกำลังสัญญาณจากผู้ใช้งานได้โดยตรง จึงแสดงได้ว่าวิธีการออกแบบขั้นตอนการสื่อสารที่นำเสนอจะสามารถที่จะประยุกต์ใช้เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายในการส่งสถานะการล้มของผู้สูงอายุผ่านการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบ Mesh และทำการระบุตำแหน่งในคราวเดียวกันได้อีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

วิธีการระบุตำแหน่งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ว่า หากมีการย้ายสิ่งของหรือสร้างสิ่งก่อสร้างใหม่ภายในอาคาร วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่เนื่องจากสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงทำให้ฐานข้อมูลจำเป็นต้องแก้ไขตามไปด้วย ในการศึกษาในอนาคตควรมีการออกแบบวิธีการที่จะสามารถทำให้ระบุตำแหน่งและอัปเดตฐานข้อมูลไปในตัวด้วยได้ และพัฒนาเกณฑ์การตัดสินใจว่าจะติดตั้งเซนเซอร์ภายในอาคารตั้งที่ไหนและควรใช้เซนเซอร์กี่ตัวถึงจะมีความเหมาะสมที่สุด ศึกษาการระบุตำแหน่งภายในอาคารที่สามารถบอกชั้นได้ด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Gao, F. Hsu, C. Zhao and F. Zhao, "Mobile Indoor Localization" [Online]. Available : <http://research.microsoft.com/en-us/projects/indoorloc/>. 2011.
- [2] W. Putchana, S. Chivapreecha and T. Limpiti, "Wireless intelligent fall detection and movement classification using fuzzy logic," Proc. International Conference on Biomedical Engineering, pp. 4203–4208, Dec. 2012.
- [3] J. Koo and H. Cha, "Localizing WiFi access points using signal strength," Proc. IEEE Commun. Letters., vol. 15, no.2, pp. 187–189, February 2011.
- [4] K.W. Cheung and H.C. So, "A multidimensional scaling framework for mobile location using time-of-arrival measurements", IEEE transaction on Signal Processing , vol 53, no 2 pp. 460-470, Feb 2005.
- [5] S.-Y. Jung, S. Hann, and C.-S. Park, "TDOA-based optical wireless indoor localization using LED ceiling lamps" IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 57, no. 4, pp. 1592–1597, Nov. 2011.
- [6] Jehn-Ruey Jiang, Chih-Ming Lin, Feng-Yi Lin, Shing-Tsaan Huang, "ALRD:AoA Localization with RSSI Differences of Directional Antennas for Wireless Sensor Networks," 2012 International Conference on Information Society, 2012, page(s):304-309.
- [7] S. Nukere, "Wireless Sensor Network of Zigbee and Xbee Basic" [Online]. Available : <http://www.neutron.rmutphysics.com/physicsboard/forum/index.php?topic=1024.0>. 2010.
- [8] S. Gezici, I. Guvenc, and Z. Sahinoglu, "On the performance of linear least-squares estimation in wireless positioning systems," Proc. International Conference on Communications, pp. 4203–4208, May 2008.
- [9] H. Lim, L. Kung, J. Hou and H. Luo, "Zero-Configuration, Robust Indoor Localization:Theory and Experimentation," Proc. 25th IEEE International Conference on Computer Communications, pp. 1-12, April 2006.
- [10] J. Larranaga, L. Muguira, J. Lopez-Garde and J. Vazquez, "An Environment Adaptive ZigBee-Based Indoor Positioning Algorithm," Proc. IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich, Switzerland, pp. 1-8, September, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] J. Koo and H. Cha, "Localizing WiFi access points using signal strength," Proc. IEEE Commun. Letters., vol. 15, no. 2, pp. 187–189, February 2011.
- [12] J. Desai and U. Tureli, "Evaluating performance of various localization algorithms in wireless and sensor networks," Proc. International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1 –5, Sep. 2007.
- [13] K.W. Cheung and H.C. So, "A multidimensional scaling framework for mobile location using time-of-arrival measurements", IEEE transaction on Signal Processing , vol 53, no 2 pp. 460-470, Feb 2005.
- [14] X. Song, F. Yang, L. Ding and L. Qian, "Weight adjust algorithm in indoor fingerprint localization," Proc. 6 th IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-5, Dec. 2012.
- [15] G.A.F. Seber and A. J. Lee, *Linear Regression Analysis*, JOHN Wiley & Sons, 2005.
- [16] D.J. Suroso, "Fingerprint-based technique for indoor localization in wireless sensor networks using Fuzzy C-Means clustering algorithm," Proc. IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-5, Dec. 2011.
- [17] Kaemarungsi K, Ranron R, Pongsoon P. "Study of received signal strength indication in ZigBee location cluster for indoor localization". Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2013 10th International Conference on; 2013 15-17 May 2013
- [18] A.K. Jain and R.C. Dubes, *Algorithm for Clustering Data*, Prentice Hall College Div 1988.
- [19] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, 3 rd ed., Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1996.
- [20] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายปัญญา สุนันท์แสงทอง  
 วัน เดือน ปีเกิด 10 พฤศจิกายน 2533  
 ที่อยู่ 109/3 ถ.สารภณนิมิต ต.หนองญาติ อำเภอเมืองนครพนม  
 จังหวัดนครพนม 48000  
 ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### บทความวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- [1] P. Sunantasaengtong, S. Chivapreecha, "Mixed K-means and GA-based weighted distance fingerprint algorithm for indoor localization system," *TENCON 2014 - 2014 IEEE Region 10 Conference*, Bangkok, Thailand, October 22-25, 2014.



# Mixed K-means and GA-based Weighted Distance Fingerprint Algorithm for Indoor Localization System

Panya Sunantasaengtong and Sorawat Chivapreecha

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
s6601274@kmitl.ac.th, sorawat@telecom.kmitl.ac.th

**Abstract**—This paper proposes an application of Wireless Sensor Network (WSN) for indoor localization using IEEE 802.15.4 standard. Proposed algorithm applies K-means clustering and Genetic Algorithm (GA) as engine to prepare offline information which result in increasing accuracy and decreasing computational cost of fingerprint technique for indoor localization. K-means clustering will be applied to cluster received signal strength indicator (RSSI) vector into several classes for coarse positioning estimation. Consequently, GA will be applied to search the optimal weights for each reference sensor and used in order to obtain more accuracy for positioning estimation. Experiments are conducted in indoor environment using zigbee sensor network and the proposed algorithm can be compared with K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm and conventional weighted distant fingerprint (WDF) algorithm. Results demonstrate that the proposed algorithm can improve an accuracy increase to 87.56 % for identifying correctly 1.5 m × 1.5 m area of target node and also decrease computational cost of 67.60 %.

**Keywords**—wireless sensor network; indoor localization; fingerprint; K-means; genetic algorithm; k-nearest neighbor algorithm

## I. INTRODUCTION

In recent decade, indoor localization was popular in several research topics and it was applied to several applications such as positioning of employee in office, object tracking in factory, mobile tour guides for museum and so on. Fall detection for elder in [1] is an interesting application that can be combined with indoor localization. Hence, it can detect falling of elder while it also point out an area of falling as well. In order to help those who fall immediacy, indoor localization algorithm should be accurate and quick.

To increasing an accuracy, there are localization algorithms which are proposed in many researches about improving location accuracy such as linear least square [2], gradient-based search [3]-[5] and multidimensional scaling [6]-[7]. Finding distance from received signal strength indicator (RSSI) is necessary for these algorithms. In fact, it is difficult to analyze relation between distance and RSSI for direct transfer due to indoor environmental effect. Fortunately, fingerprint technique can avoid complex analysis for finding distance. Moreover, performance improvement of fingerprint technique will be proposed in this paper. In [8] proposed that multiplicity of reference sensors should be considered because variance of RSSI at reference sensor is not constant due to

multipath effect. Therefore, weighted distance fingerprint (WDF) algorithm was proposed to improve the accuracy of fingerprint technique.

To decreasing computational cost, fuzzy c-means (FCM) is used to cluster fingerprint locations with target node in [9]. It can use to evaluate location of target node only fingerprint locations are in the same cluster as target node. However, it needs clustering by FCM every time and the computational cost is not effective. In our method proposes an easy way but effective. It can avoid clustering every time by exploiting a centroid of cluster.

The rest of this paper is organized as follows: In Section II, we introduce background of necessary algorithms that used in this paper. Section III, the mixed K-means and GA-based WDF algorithm will be proposed. Section IV, experimental setup and results are described. In Section V is conclusions.

## II. BACKGROUND

In this section, the necessary algorithms that used in developing the proposed mixed K-means and GA-based WDF algorithm will be reviewed and introduced as follows,

### A. K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm

KNN algorithm can be divided into two-phase. First, offline phase, fingerprint locations and average RSSI at fingerprint locations are recorded into database. And then, online-phase, all reference sensors measure RSSI ( $r_1, r_2, \dots, r_M$ ) of target node. The measured RSSI is matched with fingerprint RSSI and the result of matching is estimated location of target node. KNN algorithm which is the basic fingerprint technique can be shown in Fig. 1.

For pattern matching algorithm in Fig. 1, Euclidean distance is calculated by

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M (r_m - rssi_{n,m})^2. \quad (1)$$

Then, the fingerprint location in database which has minimum Euclidean distance is selected as estimated location by

$$(x, y) = \min \{ dist_n(x_n, y_n) \}. \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

978-1-4799-4075-2/14/\$31.00 © 2014 อนุมัติให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

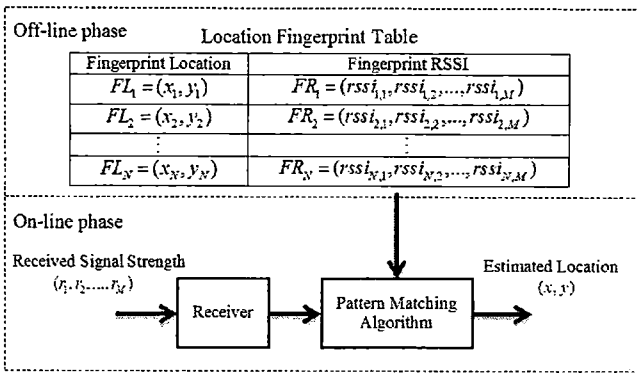


Fig. 1. Basic Fingerprint Technique.

### 3. Weighted Distance Fingerprint (WDF) Algorithm

WDF algorithm [8] is similar to KNN algorithm, but weight or credibility of reference sensor will be considered by

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M w_m (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (3)$$

The weight of reference sensor node  $m$  is inversely to variance of the measured RSSI by

$$w_m = \frac{1/Var_m}{\sum_{m=1}^M 1/Var_m} \quad (4)$$

here  $Var_m$  is variance of RSSI by

$$Var_m = a \times r_m + b \quad (5)$$

where  $r_m$  is received signal strength that used in on-line phase, parameters  $\{a, b\}$  are obtained by linear regression [10].

#### K-means Clustering

K-means [11] is an automatic clustering method, it is widely used for cluster analysis. K-means aim to partition  $N$  observation into  $K$  clusters in which each observation belongs to the cluster with nearest centroid by minimize an objective function

$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N \|x_i^j - c_j\|^2 \quad (6)$$

where  $J$  is objective function,  $x_i^j$  is an observation,  $c_j$  is the cluster centroid,  $N$  is number of observations and  $K$  is number of clusters.

#### Genetic Algorithm (GA)

GA [12] is a search optimization by mimic the process of natural selection. Procedure for using GA in the proposed algorithm consists of: 1. Initial population by random (which

are optimal weights of all reference sensors for this proposed algorithm). 2. The optimal weights are evaluated by fitness function (the correct localization of target node). 3. The weights are improved by natural evolution which consists of reproduction, crossover and mutation. 4. The process will be repeated to step 2 and 3 until the criteria (number of iteration) is met. Procedure for GA can be summarized in following flowchart.

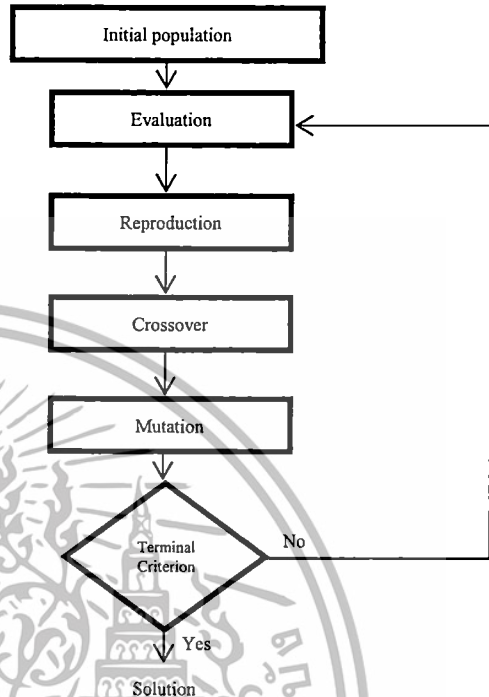


Fig. 2. Genetic Algorithm.

### III. MIXED K-MEANS AND GA-BASED WDF ALGORITHM

This section, the operation procedure of proposed mixed K-means and GA-based WDF algorithm will be described. The algorithm can operate by two-phase: off-line phase and on-line phase. The explanation of two-phase can be explained as follows,

Off-line phase:

- Measure RSSI from all reference sensors at reference locations and record reference locations and corresponding average RSSI at reference locations into database as Fingerprint Location and Fingerprint RSSI, respectively.
- Use K-means to cluster Fingerprint RSSI as  $K$  clusters and then record centroids ( $c_{k,m}$ ) and corresponding cluster of Fingerprint RSSI ( $Member_k$ ) for each  $k$  ( $k=1,2,\dots,K$ ) that obtained by K-means into database as Fingerprint Centroid and Cluster Member, respectively.
- Use GA to find the optimal weights ( $w_{m,k}$ ) of all reference sensors for each cluster  $k$  ( $k=1,2,\dots,K$ ) and record the optimal weights obtained by GA into database as weights.

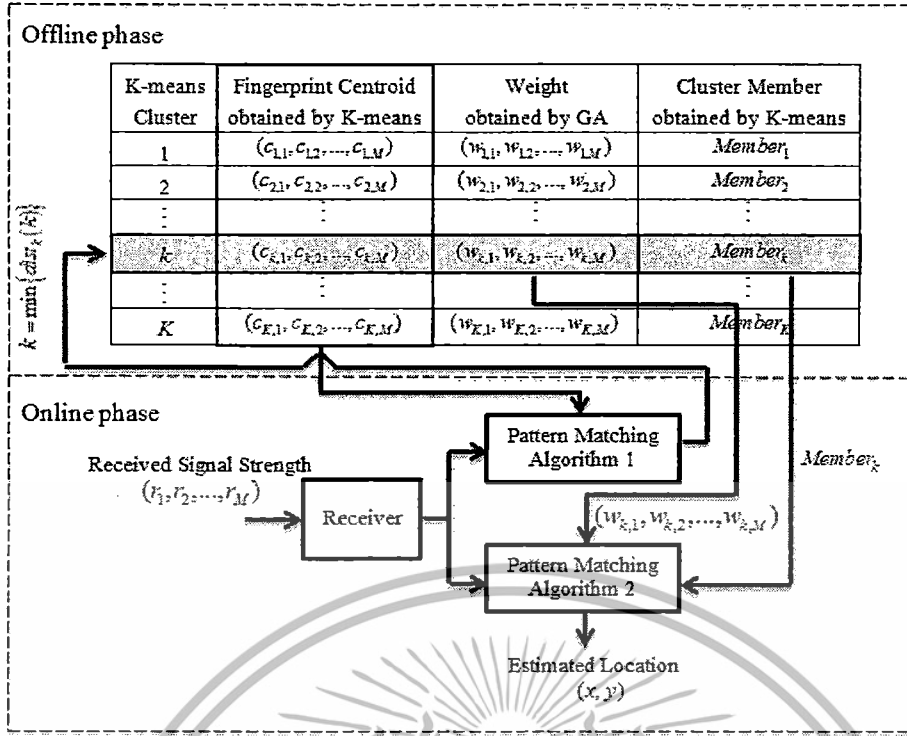


Fig. 3. Mixed K-means and GA-based WDF Algorithm.

Online phase:

- Measure received signal strength  $(r_1, r_2, \dots, r_M)$  from target node by all reference sensors and use Fingerprint Centroid to find cluster  $k^{th}$  that the measured received signal strength should be contained by

$$dist_k(k) = \sum_{m=1}^M (r_m - c_{k,m})^2 \quad (7)$$

$$k = \min \{dist_k(k)\}. \quad (8)$$

(This step refers to Pattern Matching Algorithm 1 in Fig. 3)

- Select  $w_{k,m}$  and  $Member_k$  from database corresponding to  $k$  from the previous step and use  $w_{k,m}$  and  $Member_k$  to find estimated location of target node by

$$dist_n(x_n, y_n) = \sum_{m=1}^M w_{k,m} (r_m - rssi_{n,m})^2 \quad (9)$$

$$(x, y) = \min \{dist_n(x_n, y_n)\} \quad (10)$$

where  $rssi_{n,m}$  in (9) is only Fingerprint RSSI that is contained in  $Member_k$  at reference sensor node  $m$ .

(This step refers to Patten Matching Algorithm 2 in Fig. 3)

The proposed mixed K-means and GA-based WDF

algorithm both off-line and on-line phase can be summarized

shown in Fig. 3.

#### IV. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

Experimental setup area, each sensor location, including equipment will be described. Experimental results and analysis of results are explained in this section.

##### A. Experimental Setup

Experiment is conducted in 12-storey building 11<sup>th</sup> floor area of elevator hall at faculty of engineering, KMITL. In our experiment, we have deployed 4 ( $M = 4$ ) Xbee pro 50mW RPSMA-Series 2 (ZB) as reference sensors and using 1 Xbee Pro 50mW PCB Antenna-Series 2 (ZB) as target node. The 52 fingerprints locations and 4 reference sensors are placed as shown in Fig 4.

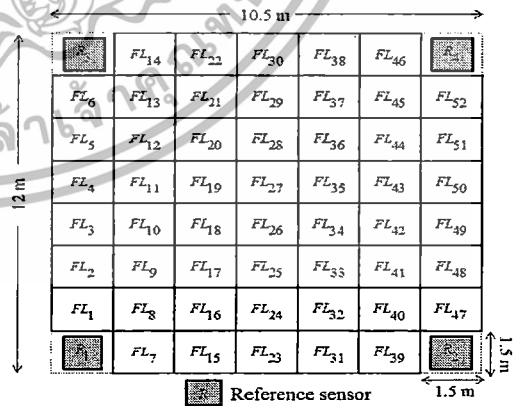


Fig. 4. Fingerprint Locations and Reference Sensor, Position

Note that there are 52 fingerprint locations ( $N=52$ ) and each fingerprint location has  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  area around itself.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

We evaluate the accuracy by checking the correct identifying of  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  area of target node. For proposed algorithm, K-means is applied to split 52 Fingerprint RSSI into 10 ( $K=10$ ) clusters. GA is applied to find the optimal weights for all reference sensors in each cluster. Results that obtained by K-means and GA are recorded and used as off-line phase information that shown in Table I.

TABLE I. OFF-LINE PHASE INFORMATION

K-means Cluster	Fingerprint Centroid (dBm) obtained by K-means	Weight obtained by GA	Group Members obtained by K-means
1	-55.9, -63.2, -58.3, -64.41	0.32, 0.33, 0.15, 0.20	3, 9, 12, 41, 42, 43
2	-61.9, -66.8, -47.6, -57.5	0.12, 0.08, 0.56, 0.23	6, 14, 22, 28
3	-61.2, -55.4, -53.2, -56.4	0.09, 0.33, 0.25, 0.32	5, 10, 11, 26, 27, 33, 34, 36, 37
4	-54.4, -66.0, -58.6, -51.2	0.15, 0.22, 0.17, 0.46	13, 21, 29, 30, 38, 46, 49, 52
5	-57.8, -47.4, -58.4, -63.5	0.25, 0.34, 0.14, 0.27	24, 25, 31, 39, 40, 47, 48, 50
6	-55.3, -57.3, -52.1, -50.8	0.13, 0.07, 0.46, 0.34	5, 10, 19, 20, 45, 28, 33, 37, 46
7	-53.0, -51.9, -58.6, -56.8	0.28, 0.29, 0.16, 0.27	2, 17, 18, 35, 34, 41
8	-46.7, -60.4, -67.4, -65.9	0.47, 0.26, 0.13, 0.15	1, 4, 23
9	-60.5, -58.0, -66.4, -52.7	0.12, 0.18, 0.16, 0.54	32, 44, 49, 51
10	-48.5, -54.3, -59.5, -68.7	0.20, 0.42, 0.13, 0.24	4, 7, 8, 15, 16, 23, 24

For conventional WDF algorithm [8], linear regression is applied with 52 Fingerprint RSSI and parameters  $\{a, b\}$  that used to calculate weights for reference sensors can be shown in Table II.

TABLE II. PARAMETER  $\{a, b\}$  FOR CONVENTIONAL WDF ALGORITHMS

Reference node	$a$	$b$
1	-0.5311	-24.5760
2	-0.2479	-11.1358
3	-0.8059	-40.0920
4	-0.0812	-2.6072

## Results

In experiment, three algorithms are KNN, conventional WDF and proposed mixed K-means and GA-based WDF algorithm can be applied to find the position of target node at 2 fingerprint locations. Moreover, each fingerprint locations will be repeated 15 times, that means 780 locations ( $52 \times 15$ ) are

TABLE III. ACCURACY

	52 Locations		780 Locations	
	Correct	Percent	Correct	Percent
KNN algorithm	41	78.8462 %	627	80.3846 %
conventional WDF algorithm [8]	41	78.8462 %	579	74.2308 %
Proposed algorithm	46	88.4615 %	683	87.5641 %

tested in this experiment. Experiment results can show the accuracy of localization that obtained from three algorithms as in Table III.

From Table III, the proposed algorithm can give more accurate of estimated positions than compared algorithms. In experiment, for 52 locations testing, KNN and conventional WDF algorithm can correctly identify 41 locations that equal to 78.8462 %. On the other hand, the proposed algorithm can correctly identify up to 46 locations or 88.4615 %. And when consider for 780 locations, each algorithm can correctly identify 627, 579 and 683 locations which equal to 80.3384 %, 74.2308 % and 87.5641 %, respectively. Therefore, the proposed algorithm can give highest accuracy for fingerprint technique.

In theoretical, conventional WDF algorithm should be more accurate than KNN but in practice, it did not right that. It is shown by relation between the mean and variance of RSSI at the reference sensor 1 in Fig. 5, which can see that some value of mean RSSI able to have several variances. Therefore, weighting factors that obtained by linear regression in conventional WDF algorithm cannot work well enough for non-linear relation of mean and variance of RSSI. On the other hand, the relation between mean and variance of RSSI in first cluster that obtained by proposed algorithm can be shown in Fig. 6 and Fig. 7, respectively, which can see that proposed algorithm has lower complexity, i.e., decreasing several variances for one mean RSSI. Although, K-means can be applied but relation between mean and variance of RSSI still be non-linear relation. Consequently, GA is the good choice for this relation in order to find the optimal weighting factors for proposed mixed K-means and GA-based WDF algorithm.

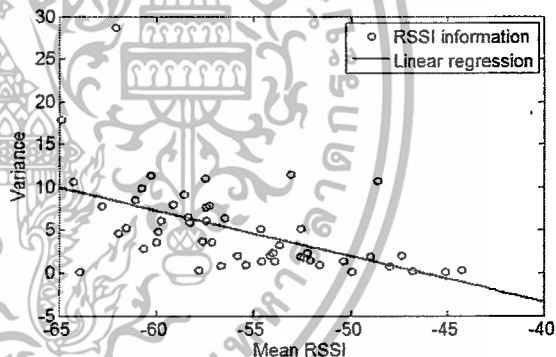


Fig. 5. Relation between mean and variance of RSSI at reference sensor 1

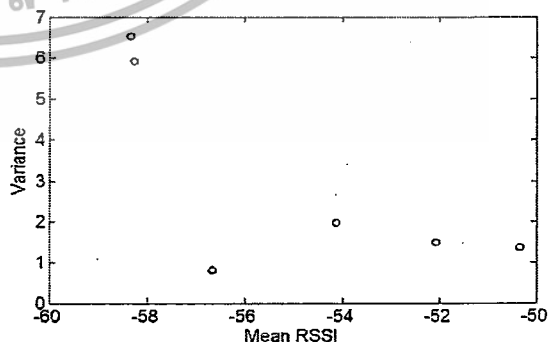


Fig. 6. Relation between mean and variance of RSSI in first cluster at reference sensor 1

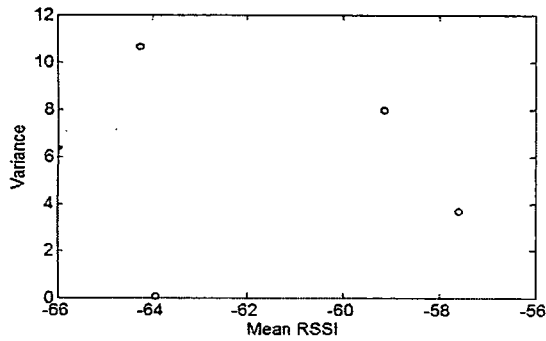


Fig. 7. Relation between mean and variance of RSSI in second cluster at reference sensor 1

For computational cost, KNN and conventional WDF algorithms need 52 Euclidean distance calculations per one time of localization. The proposed algorithm needs only  $10 + n(Member_k)$  as 10 Euclidean distance calculations of Fingerprint Centroid and  $n(Member_k)$  Euclidean distance calculations of Fingerprint RSSI in  $n(Member_k)$ . For example, target node is in location that received signal strength vector is clustered to first cluster that means  $n(Member_k)$  equal 6 (see Table I). Thus, total Euclidean distance calculations of proposed algorithm equal 16 operations. Note that maximum and minimum operations of proposed algorithm are 19 operations and 13 operations when the target node is in sixth cluster and eighth cluster, respectively. In Table IV, number of Euclidean distance calculations for 52 locations testing can be shown. KNN and conventional WDF algorithms need 2704 operations and the proposed algorithm needs only 876 operations or 32.3964 %. That means the proposed algorithm can decrease computational cost of 67.6036 % for 52 locations testing.

TABLE IV. COMPUTATIONAL COST

Algorithm	KNN Algorithm	Conventional WDF Algorithm [8]	Proposed Algorithm
Fingerprint centroid	-	-	52 × 10 operations
Fingerprint RSSI	52 × 52 operations	52 × 52 operations	356 operations
Total	2704 operations	2704 operations	876 operations
Used percentage	100 %	100 %	32.3964 %
Decreased percentage	0 %	0 %	67.6036 %

## V. CONCLUSIONS

In this paper, mixed K-means and GA-based WDF algorithm to increase an accuracy of estimated position and decrease computational cost for fingerprint technique for indoor localization is proposed. Indeed, procedure of the proposed algorithm is similar to double fingerprint technique by using K-means and GA. First fingerprint and second are applied to coarse localization and fine localization, respectively. Experimental results can show that the proposed algorithm is able to handle non-linear relation due to indoor environmental effect, and demonstrate that the proposed algorithm can increase accuracy up to 87.56 % for correct

identifying 1.5 m × 1.5 m area of target node and also decrease computational cost of 67.60 %. Consequently, the accuracy that obtained from proposed algorithm is good enough to localize larger area than 1.5 m × 1.5 m such as bedroom, bathroom, lobby, and etc. when the proposed algorithm is applied for fall detection and movement monitoring for elder.

## REFERENCES

- [1] W. Putchana, S. Chivapreecha and T. Limpiti, "Wireless intelligent fall detection and movement classification using fuzzy logic," Proc. International Conference on Biomedical Engineering, pp. 4203-4208, Dec. 2012.
- [2] S. Gezici, I. Guvenc, and Z. Sahinoglu, "On the performance of linear-least-squares estimation in wireless positioning systems," Proc. International Conference on Communications, pp. 4203-4208, May 2008.
- [3] H. Lim, L. Kung, J. Hou and H. Luo, "Zero-Configuration, Robust Indoor Localization: Theory and Experimentation," Proc. 25th IEEE International Conference on Computer Communications, pp. 1-12, April 2006.
- [4] J. Larranaga, L. Muguira, J. Lopez-Garde and J. Vazquez, "An Environment Adaptive ZigBee-Based Indoor Positioning Algorithm," Proc. IEEE International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich, Switzerland, pp. 1-8, September, 2010.
- [5] J. Koo and H. Cha, "Localizing WiFi access points using signal strength," Proc. IEEE Commun. Letters., vol. 15, no. 2, pp. 187-189, February 2011.
- [6] J. Desai and U. Tureli, "Evaluating performance of various localization algorithms in wireless and sensor networks," Proc. International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1-5, Sep. 2007.
- [7] K.W. Cheung and H.C. So, "A multidimensional scaling framework for mobile location using time-of-arrival measurements," IEEE transaction on Signal Processing, vol 53, no 2 pp. 460-470, Feb 2005.
- [8] X. Song, F. Yang, L. Ding and L. Qian, "Weight adjust algorithm in indoor fingerprint localization," Proc. 6th IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-5, Dec. 2012.
- [9] D.J. Suroso, "Fingerprint-based technique for indoor localization in wireless sensor networks using Fuzzy C-Means clustering algorithm," Proc. IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-5, Dec. 2011.
- [10] G.A.F. Seber and A. J. Lee, Linear Regression Analysis, JOHN Wiley & Sons, 2005.
- [11] A.K. Jain and R.C. Dubes, Algorithm for Clustering Data, Prentice Hall College Div 1988.
- [12] R. L. Haupt and S. E. Haupt, Practical Genetic Algorithms, John Wiley & Sons, 2004.