



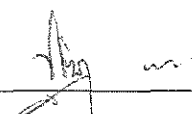
การหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย
IEEE 802.15.4 ZigBee

โดย
นายเกรียงไกร มณีรัตน์ รหัสนักศึกษา B4900474
นายสุริยา รอดนิยม รหัสนักศึกษา B4907527

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 วิศวกรรมโทรคมนาคม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2545
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2552


การหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee

คณะกรรมการสอบโครงการงาน




(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุติมา พรหมมาก)

กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระฉอดคนอก)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม วิชา 427499 โครงการวิศวกรรม
โทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2552

โครงการ	การหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee
จัดทำโดย	นายเกรียงไกร มณีรัตน์ นายสุรียา รอดนิยม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุตินา พรหมมาก
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	3/2552

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงการนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการสื่อสารปัจจุบัน อันเนื่องมาจากความสะดวกสบาย ราคาถูก มาประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร สามารถอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุ ณ เวลานั้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการติดตามตำแหน่งวัตถุจะมีการใช้ระบบ GPS (Global Positioning System) แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถนำมาใช้ภายในอาคารได้

ในการพัฒนาโครงการนี้ได้มีการใช้เทคโนโลยีระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อนำมาใช้ในการติดตามตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร โดยใช้การแปลงค่าความเข้มของสัญญาณ RSSI เพื่อวิเคราะห์ออกมาเป็นตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายเทคโนโลยีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

โครงการเรื่องการหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือด้านต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก ผู้ที่เป็นแนวความคิดริเริ่มในโครงการเรื่องการหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด นอกจากนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกๆ คนที่คอยให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำโครงการในด้านต่างๆ และสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ท่านทั้งสองให้การดูแลเอาใจใส่คอยให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างมาโดยตลอด จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำโครงการ หากโครงการชิ้นนี้มีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอน้อมรับและขอภัยมา ณ ที่นี้

นายเกรียงไกร มณีรัตน์

นายสุริยา รอดนิยม

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฅ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)	1
1.2 หลักการและเหตุผล	4
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ขอบเขตงาน	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน	7
2.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4	7
2.1.1 โครงสร้างเครือข่ายของ ZigBee (ZigBee Network Topology)	9
2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล ZigBee	10
2.1.3 โปรโตคอลของ ZigBee (ZigBee Protocol)	11
2.1.4 ส่วนประกอบของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN)	13
2.1.5 โครงสร้างของเครือข่าย (Network Topology)	13
2.1.6 ปัญหาที่พบในการส่งสัญญาณ	17
2.1.6.1 การจางหายของสัญญาณ (Fading)	17
2.1.6.2 การแทรกสอด (Interference)	20
2.1.7 การใช้ความถี่ร่วมกันระหว่าง ZigBee และสัญญาณไร้สาย	20
2.2 ระบบการบอกตำแหน่งวัตถุ	22
2.2.1 Outdoor	22
1. GPS (Global Positioning System)	22
2.2.2 Indoor	25
1. WLAN Positioning System Using Time Delay Approach	25
2. การใช้เครือข่าย ZigBee บอกตำแหน่ง	27

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การหาตำแหน่งวัตถุในอาคาร	33
3.1 XBee Pro	33
3.1.1 ชุดการทดลอง XBee Pro	33
3.1.2 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญ	35
3.1.3 รูปแบบการกระจายสัญญาณของ XBee Pro	37
3.2 กระบวนการทดลอง	39
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	39
3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์	40
3.3 องค์ประกอบของ โปรแกรมที่ใช้สร้างระบบการหาตำแหน่ง	45
3.3.1 การสร้างฐานข้อมูล	48
3.3.2 การคำนวณและการแสดงผลเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุ	49
3.4 การทำงานของระบบ	50
3.4.1 รูปแบบของข้อมูล	50
3.4.2 การจัดการข้อมูล	56
3.4.3 โครงสร้างการทำงานในส่วนของชุดอุปกรณ์	56
3.5 โครงสร้างการทำงานในส่วนของ โปรแกรม	58
3.5.1 การคำนวณตำแหน่งแบบการจับคู่ความเข้มของสัญญาณ	58
3.5.2 โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++)	59
3.5.3 ตัวอย่างโปรแกรม	61
3.6 วิธีการทดลอง	62
3.6.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง	62
3.6.2 กระบวนการเก็บข้อมูล	63
บทที่ 4 การทดสอบการหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ZigBee	65
4.1 การจัดวางตัวของเซ็นเซอร์อ้างอิง	65
4.2 ผลการวัด Fingerprinting ทั้งหมด 78 จุด	66
4.3 การทดสอบระบบการหาตำแหน่ง	71
4.4 ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่ง	91

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	97
5.1 สรุปผล	97
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	97
5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	98
ประวัติผู้เขียน	99
บรรณานุกรม	100
ภาคผนวก	101



สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1-1 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) [1]	1
รูปที่ 1-2 ตราสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน IEEE 802.11a, 802.11b และ 802.11g [2]	2
รูปที่ 1-3 รูปการออกแบบการระบุตำแหน่งจากแนวคิดการใช้เซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee	6
รูปที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย	7
รูปที่ 2-2 ข่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4	8
รูปที่ 2-3 รูปแบบเครือข่ายของ ZigBee [3]	10
รูปที่ 2-4 โครงสร้างชั้นโปรโตคอล ZigBee (ZigBee Protocol Stack) [4]	12
รูปที่ 2-5 รูปแบบโครงสร้างของเครือข่าย ZigBee [5]	13
รูปที่ 2-6 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Star	14
รูปที่ 2-7 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh	15
รูปที่ 2-8 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster Tree	16
รูปที่ 2-9 การสะท้อนหลายทิศทาง (Multipath Fading) [6]	19
รูปที่ 2-10 เปรียบเทียบความถี่ของ IEEE 802.11b และ IEEE 802.15.4 [7]	21
รูปที่ 2-11 การระบุพิกัดตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่บนโลกจากสัญญาณความถี่ [8]	22
รูปที่ 2-12 การคำนวณระยะห่างของเครื่องรับสัญญาณ GPS กับความถี่ [8]	23
รูปที่ 2-13 การ Cover ของ Access Point ในตำแหน่งต่างๆ	25
รูปที่ 2-14 การออกแบบระบบระบุพิกัดตำแหน่งจากแนวคิดการใช้งาน Wireless LAN ระบุพิกัดของ User	26
รูปที่ 2-15 การคำนวณ โดยการทำให้สามเหลี่ยมระยะ [9]	27
รูปที่ 2-16 วิธีการคำนวณตำแหน่งของการวัดค่าความแตกต่างของเวลา ที่ได้รับของสัญญาณ	29
รูปที่ 2-17 รูปแบบของค่าความเข้มของสัญญาณในการทำฟังก์ชันปริ้นต์ [10]	30
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างฐานข้อมูลในระบบ	31
รูปที่ 3-1 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย XBee Pro [11]	34
รูปที่ 3-2 แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro (ADX-XBee) [11]	34
รูปที่ 3-3 บอร์ดเชื่อมคอมพิวเตอร์ (ZX-XBee) [11]	35
รูปที่ 3-4 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ U.FL RF Connector	37

รูปที่ 3-5 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ Whip	37
รูปที่ 3-6 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ Chip	38
รูปที่ 3-7 เซ็นเซอร์อ้างอิง	40
รูปที่ 3-8 เซ็นเซอร์วัตถุ	42
รูปที่ 3-9 การเชื่อมต่อสาย RS-232 ของเซ็นเซอร์วัตถุ	43
รูปที่ 3-10 แสดงแบบจำลองการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์	44
รูปที่ 3-11 ตัวอย่างโปรแกรม	45
รูปที่ 3-12 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007	46
รูปที่ 3-13 โปรแกรม Dev C++	47
รูปที่ 3-14 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม Dev C++	47
รูปที่ 3-15 ตารางฐานข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI)	48
รูปที่ 3-16 โปรแกรม X-CTU	50
รูปที่ 3-17 การตรวจสอบสถานะของ XBee	51
รูปที่ 3-18 การกำหนดค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์	52
รูปที่ 3-19 การใช้ AT-Command Mode	53
รูปที่ 3-20 การใช้ AT-Command Mode ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI)	55
รูปที่ 3-21 แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบการหาตำแหน่ง	57
รูปที่ 3-22 บล็อกไดอะแกรมการคำนวณตำแหน่งแบบการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ	58
รูปที่ 3-23 Flowchart แสดงวิธีประมาณผล โดยใช้ Euclidian Distance	59
รูปที่ 3-24 Flowchart แสดงการหาค่า D_{less}	60
รูปที่ 3-25 รูปแบบของแผนที่	63
รูปที่ 3-26 รูปการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์อ้างอิง	64
รูปที่ 4-1 การจัดวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์อ้างอิง	65
รูปที่ 4-2 ตำแหน่งของจุดทดสอบทั้ง 5 จุด	71
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการทดสอบ 1 จุด เพื่อแสดงกระบวนการทำงาน	72
รูปที่ 4-4 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S1	73
รูปที่ 4-5 แสดงการประมาณผลของโปรแกรมประยุกต์ Dev C++	76
รูปที่ 4-6 แสดงตำแหน่งของ User ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์	78
รูปที่ 4-7 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S2	79
รูปที่ 4-8 แสดงตำแหน่งของ S2 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์	81

รูปที่ 4-9 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S3	82
รูปที่ 4-10 แสดงตำแหน่งของ S3 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์	84
รูปที่ 4-11 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S4	85
รูปที่ 4-12 แสดงตำแหน่งของ S4 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์	87
รูปที่ 4-13 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S5	88
รูปที่ 4-14 แสดงตำแหน่งของ S5 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์	90
รูปที่ 4-15 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S1	91
รูปที่ 4-16 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S2	92
รูปที่ 4-17 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S3	93
รูปที่ 4-18 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S4	94
รูปที่ 4-19 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S5	95
รูปที่ ก-1 แสดงลักษณะการส่งสัญญาณภายในอาคาร [12]	101
รูปที่ ก-2 แสดงลักษณะการส่งสัญญาณภายนอกอาคาร [12]	102
รูปที่ ก-3 แสดงการส่งคลื่นดิน [13]	103
รูปที่ ก-4 แสดงรูปแบบการหักเหของคลื่น เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน [13]	104
รูปที่ ก-5 แสดงการส่งคลื่นฟ้า [13]	105
รูปที่ ก-6 แสดงการส่งคลื่นอวกาศ [13]	105
รูปที่ ก-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RF input กับ RSSI Output [14]	106
รูปที่ ก-8 ตัวอย่างโปรแกรม X-CTU	107
รูปที่ ก-9 การใส่ Packet คำสั่งที่ส่งในการติดต่อสื่อสาร	107
รูปที่ ก-10 รูปแบบ Packet ของการส่งข้อมูล TX 64 bit	108
รูปที่ ก-11 รูปแบบ Packet ของการรับข้อมูล RX 64 bit	109

สารบัญตาราง

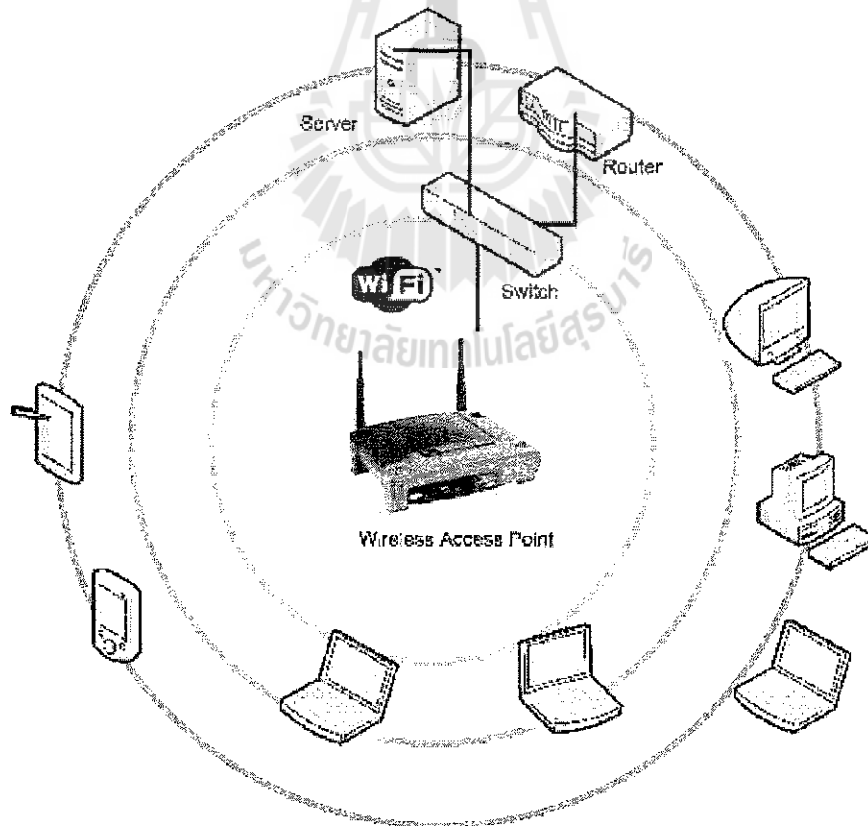
เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1-1 แสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g	3
ตารางที่ 2-1 กลุ่มความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Frequency Band)	8
ตารางที่ 3-1 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญของ XBee Pro	36
ตารางที่ 3-2 ค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์อ้างอิง	41
ตารางที่ 3-3 ค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์วัตถุ	43
ตารางที่ 3-4 สรุปลค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์แต่ละตัว	44
ตารางที่ 4-1 ฐานข้อมูลจากการทำ Fingerprinting	67
ตารางที่ 4-2 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S1 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง	74
ตารางที่ 4-3 ค่า d ของ S1 ทั้งหมด 78 พิกัด	77
ตารางที่ 4-4 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S2 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง	79
ตารางที่ 4-5 ค่า d ของ S2 ทั้งหมด 78 พิกัด	80
ตารางที่ 4-6 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S3 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง	82
ตารางที่ 4-7 ค่า d ของ S3 ทั้งหมด 78 พิกัด	83
ตารางที่ 4-8 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S4 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง	85
ตารางที่ 4-9 ค่า d ของ S4 ทั้งหมด 78 พิกัด	86
ตารางที่ 4-10 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S5 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง	88
ตารางที่ 4-11 ค่า d ของ S5 ทั้งหมด 78 พิกัด	89
ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งวัตถุ	96
ตารางที่ ก-1 แสดง Relative quality ของสัญญาณดิน [13]	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)

Wireless LAN ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) คือ ระบบที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายภายในพื้นที่แบบไร้สาย โดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการเชื่อมโยงหรือติดต่อสื่อสารกัน เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ประโยชน์ของ WLAN คือ สร้างความสะดวกและอิสระในการใช้งานรวมถึงการติดตั้งเครือข่าย เทคโนโลยี WLAN ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน หรือเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point) โดยไม่จำเป็นต้องใช้สายนำสัญญาณ ซึ่งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั้งแบบตั้งโต๊ะและแบบพกพาสามารถเชื่อมต่อถึงกันหรือเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายจากตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่ภายในรัศมีของสัญญาณได้อย่างอิสระ



รูปที่ 1-1 ลักษณะการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) [1]

เทคโนโลยี WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ เทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดย IEEE 802.11 คือ มาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้กำหนดขึ้นโดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดยได้กำหนดมาตรฐานสำหรับเครือข่ายไร้สาย คือ IEEE 802.11... โดยที่ ... ที่ตามหลัง IEEE 802.11 คือ มาตรฐานแต่ละมาตรฐาน ซึ่งจะแตกต่างกันไป โดยมาตรฐานหลักๆ ที่เป็นที่ยู่อักกัน คือ 802.11a, 802.11b, 802.11g เป็นต้น ซึ่งแต่ละมาตรฐาน จะบอกความเร็ว และสัญญาณคลื่นความถี่ในการสื่อสารข้อมูลที่แตกต่างกัน แสดงดังในตารางที่ 1-1

Wi-Fi Alliance คือ องค์กรหนึ่งที่ทำกรทดสอบผลิตภัณฑ์ Wireless LAN หรือระบบ Network แบบไร้สาย ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งอุปกรณ์ทุกตัวที่ต่างยี่ห้อกันนั้นจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่ประสบปัญหา หากอุปกรณ์นั้นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานก็จะมีการประทับตรา Wi-Fi Certified ซึ่งหมายความว่า อุปกรณ์ตัวนี้สามารถเชื่อมต่อแบบไร้สายกับ อุปกรณ์อื่นที่มีตรา Wi-Fi Certified



รูปที่ 1-2 ตราสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน IEEE 802.11a, 802.11b และ 802.11g [2]

ตารางที่ 1-1 แสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g

802.11		802.11a		802.11b		802.11g	
Standard Approved	July 1997	September 1999	September 1999	September 1999	Draft stage: Completion Expected in 2002	September 1999	Draft stage: Completion Expected in 2002
ชื่อเรียก	มาตรฐาน 802.11	มาตรฐาน 802.11a	มาตรฐาน 802.11a	มาตรฐาน 802.11b	มาตรฐาน 802.11g	มาตรฐาน 802.11b	มาตรฐาน 802.11g
Available Bandwidth	83.5MHz	300 MHz	300 MHz	83.5MHz	83.5 MHz	83.5MHz	83.5 MHz
แถบความถี่ที่ใช้งานได้	83.5MHz	300 MHz	300 MHz	83.5MHz	83.5 MHz	83.5MHz	83.5 MHz
Unlicensed Frequencies of Operation	2.4-2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
ช่วงความถี่ที่ใช้งานได้	2.4-2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	5.15-5.35 GHz, OFDM 5.725-5.825 GHz, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
Number of Non-Overlapping Channels	3 Indoor/Outdoor	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor
จำนวนช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน	3 Indoor/Outdoor	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor (UNII2) 4 Indoor/Outdoor (UNII3)	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor
Data Rate per Channel	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
อัตราการส่งข้อมูลต่อช่อง	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Modulation type	DSSS	8PSK 18.9 Mbps QPSK 12, 18 Mbps 16-QAM 24, 36 Mbps 64-QAM 48, 54 Mbps	8PSK 18.9 Mbps QPSK 12, 18 Mbps 16-QAM 24, 36 Mbps 64-QAM 48, 54 Mbps	DQPSK/CCK (11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	DQPSK/CCK (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)
ชนิดของการมอดูเลชัน	DSSS	8PSK 18.9 Mbps QPSK 12, 18 Mbps 16-QAM 24, 36 Mbps 64-QAM 48, 54 Mbps	8PSK 18.9 Mbps QPSK 12, 18 Mbps 16-QAM 24, 36 Mbps 64-QAM 48, 54 Mbps	DQPSK/CCK (11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	DQPSK/CCK (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54) DQPSK/CCK (2, 5.5, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)
Compatibility	802.11	WiFi-FIS	WiFi-FIS	Wi-Fi	Wi-Fi at 11Mbps And below	Wi-Fi	Wi-Fi at 11Mbps And below
ความเข้ากันได้	802.11	WiFi-FIS	WiFi-FIS	Wi-Fi	Wi-Fi at 11Mbps And below	Wi-Fi	Wi-Fi at 11Mbps And below

โครงการนี้เป็นการนำเอาเทคโนโลยีระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการสื่อสารปัจจุบัน อันเนื่องมาจากความสะดวกสบาย ราคาถูก มาประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามตำแหน่งวัตถุภายในอาคาร สามารถอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุ ณ เวลานั้น ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการติดตามตำแหน่งวัตถุจะมีการใช้ระบบ GPS (Global Positioning System) แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถนำมาใช้ภายในอาคารได้

ในการพัฒนาโครงการนี้ได้มีการใช้เทคโนโลยีระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อนำมาใช้ในการติดตามตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร โดยใช้การแปลงค่าความเข้มของสัญญาณ RSSI เพื่อวิเคราะห์ออกมาเป็นตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งในโครงการนี้ได้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายเทคโนโลยีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee

1.2 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นหัวข้อวิจัย ที่แพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยหัวข้อที่มีการศึกษาล่าสุดคือ เทคโนโลยีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee ที่มีการนำเทคโนโลยีในห้องแลปมาประยุกต์สร้างผลิตภัณฑ์ขึ้น ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับการสื่อสารระยะใกล้ที่เน้นการใช้พลังงานต่ำ และเน้นการสื่อสารที่ทนต่อสภาพสัญญาณรบกวนสูง โดยมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee เป็นระบบเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และมีราคาถูก การสื่อสารลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง และยังสามารถนำไปพัฒนาเพื่อสร้างแอปพลิเคชันอื่นๆ ได้อีกด้วย

IEEE 802.15.4 ZigBee เป็นเทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สายที่เป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก ที่ฝังอยู่ตามภายในส่วนต่างๆของอาคารสำนักงาน โรงงานหรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานของเทคโนโลยีชนิดนี้จึงเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านชิปขนาดเล็กจู่ดจู่ดไปถึงปลายทางและทำการควานโมดูลข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ อาจเป็นค่าความเข้มของสัญญาณ RSSI (Received Signal Strength Indication) เป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต หรือเป็นการวัดปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำ

โครงการนี้จะพัฒนาเครือข่ายสื่อสารไร้สายด้วยอุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ZigBee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบดาว (Star Topology) ซึ่งเป็นรูปร่างโครงข่ายที่สามารถนำไปประยุกต์สร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุภายในอาคาร

1.3 วัตถุประสงค์

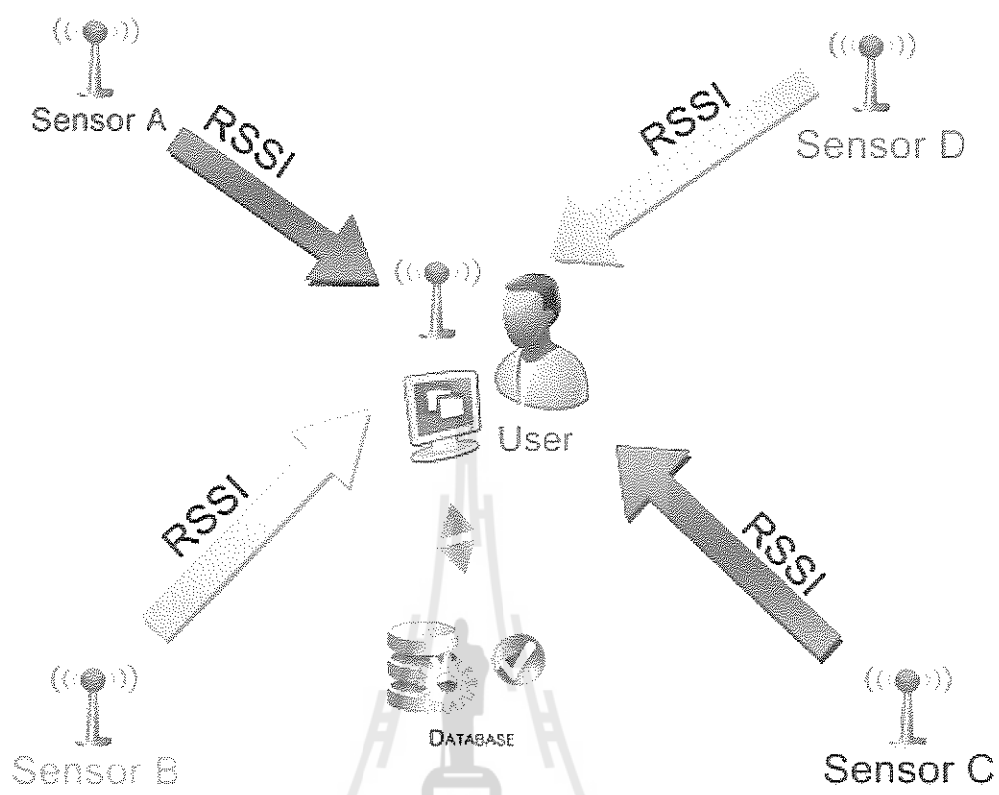
1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและความรู้พื้นฐานของ IEEE 802.15.4 ZigBee ในรูปแบบดาว (Star Topology)
2. เพื่อใช้เทคโนโลยี IEEE 802.15.4 ZigBee ระบุตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุและแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุบนแผนที่ได้
3. เพื่อศึกษาการคำนวณหาตำแหน่งโดยใช้ อัลกอริทึม (Algorithm) ได้
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในภาคทฤษฎีของวิชาต่างๆที่ได้จากการศึกษามาปฏิบัติและประยุกต์ใช้ได้จริง

1.4 ขอบเขตงาน

1. พัฒนาเครือข่ายสื่อสารไร้สายด้วยอุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ZigBee ในรูปแบบดาว (Star Topology) โดยใช้เซ็นเซอร์อ้างอิง 4 ชุดและเซ็นเซอร์วัตถุ 1 ชุด
2. ทดสอบและเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ RSSI แต่ละตำแหน่งผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สายด้วยอุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ZigBee ในรูปแบบดาว (Star Topology) ภายในอาคารวิชาการ ชั้น 4 บริเวณทางเดิน
3. ใช้ อัลกอริทึม (Algorithm) ในการคำนวณหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับ IEEE 802.15.4 ZigBee
2. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้งาน โปรแกรม X-CTU เบื้องต้น
3. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้ อัลกอริทึม(Algorithm) และสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้
4. สามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee
5. สามารถนำความรู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเครือข่ายสื่อสารไร้สายด้วยอุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ZigBee มาใช้ในการประกอบอาชีพ
6. สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ปัญหาต่างๆ การทำงานเป็นทีม



รูปที่ 1-3 รูปการออกแบบการระบุตำแหน่งจากแนวคิดการใช้เซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

2.1 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

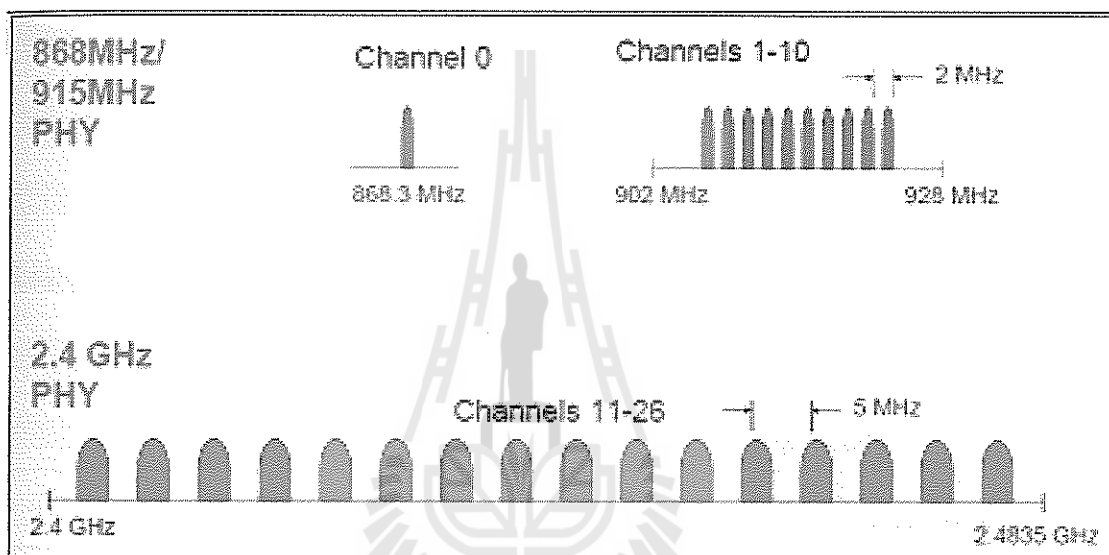
มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากลโดยสหพันธ์ ZigBee (ZigBee Alliance) โดยที่มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายที่เป็นการสื่อสารระยะใกล้ความเร็วต่ำโดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 Kbps ใช้กำลังไฟน้อยซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้ในปัจจุบันคือ ZigBee ซึ่งคำว่า ZigBee นั้นได้มาจากการสังเกตพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง การส่งข้อมูลข่าวสารของผึ้งนั้นจะทำการบินซิกแซกเพื่อบอกตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่ให้กับผึ้งตัวอื่นๆ

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถเรียกได้อีกอย่างว่า ZigBee เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ เช่น ราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย (เช่น ถ่าน AA 2 ก้อน) และสามารถติดตั้งไว้ได้นาน จุดประสงค์สำคัญที่ ZigBee ถูกนำมาใช้คือสามารถสร้างระบบที่เรียกว่า ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Sensor Network) ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานด้านเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ ตรวจสอบสภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ

	ZigBee™ 802.15.4	Bluetooth™ 802.15.1	Wi-Fi™ 802.11b	GPRS/GSM 1XRTT/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, Email	WAN, Voice/Data
System Resource	4KB-32KB	250KB+	1MB+	16MB+
Battery Life (days)	100-1000+	1-7	.1-5	1-7
Nodes Per Network	255/65K+	7	30	1,000
Bandwidth (kbps)	20-250	720	11,000+	64-128
Range (meters)	1-75+	1-10+	1-100	1,000+
Key Attributes	Reliable, Low Power, Cost Effective	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality

รูปที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 นั้นได้กำหนดย่านความถี่ในการใช้งานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่านความถี่ 2.4 GHz มีช่องสัญญาณ 16 ช่อง คือ ช่องสัญญาณที่ 11-26 อัตราการส่งข้อมูล 250 Kbps ที่ย่านความถี่ 915 MHz มีช่องสัญญาณ 10 ช่อง คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10 อัตราส่งข้อมูล 40 Kbps และที่ย่านความถี่ 868 MHz มีช่องสัญญาณ 1 ช่อง คือ ช่องสัญญาณ 0 อัตราส่งข้อมูล 20 Kbps แสดงได้ดังรูปที่ 2-2 และตารางที่ 2-1 โดยต่อไปนี้ ผู้วิจัยจะแทนมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ด้วยคำว่า ZigBee



รูปที่ 2-2 ย่านความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4

ตารางที่ 2-1 กลุ่มความถี่ของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Frequency Band)

BAND	COVRRAGE	DATA RATE	CHANNELS
2.4 GHz	WorldWide	250 Kbps	16
915 MHz	Americas	40 Kbps	10
868 MHz	Europe	20 Kbps	1

2.1.1 โครงสร้างเครือข่ายของ ZigBee (ZigBee Network Topology)

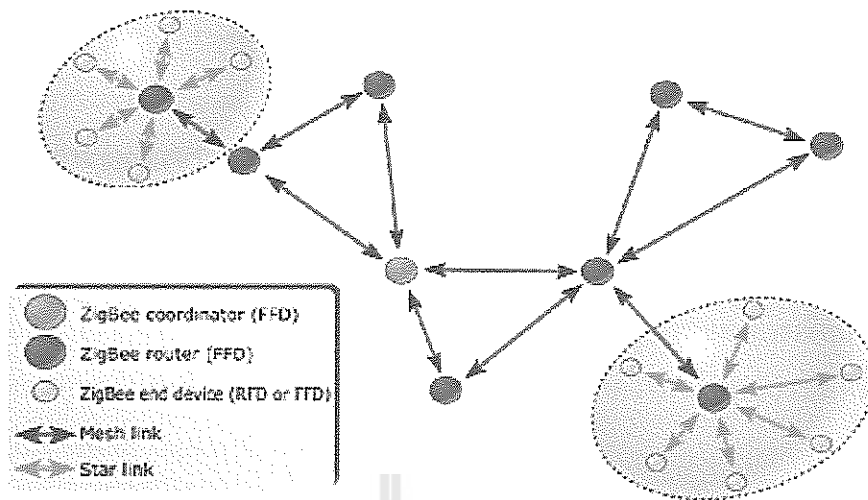
อุปกรณ์ ZigBee มี 2 แบบคือ Physical Device และ Logical Device

Physical Device ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Full Function Device: FFD คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นเราท์เตอร์ (Router) ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้พลังงานจากสายไฟฟ้า (Power line) ทำงานได้ในทุกๆ โครงข่าย (Topology) และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้
2. Reduced Function Device: RFD คือ อุปกรณ์ที่เหมาะสมแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ (Battery) และไม่สามารถส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ได้ สามารถทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ Star

Logical Device ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ZigBee Coordinator ทำหน้าที่เป็นเครือข่ายการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) กับเราท์เตอร์ (Router) หรือตัวประสานงาน (Coordinator) กับตัวประสานงาน (Coordinator) ด้วยกัน หรือตัวประสานงาน (Coordinator) กับเราท์เตอร์ (Router) โดยการกำหนดแอดเดรส (Address) ให้กับอุปกรณ์ในเครือข่ายที่สร้างขึ้นไม่ให้ซ้ำกัน ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลในเครือข่ายการทำหน้าที่ดังกล่าวทำให้ ZigBee Coordinator เป็น FFD
2. ZigBee Router ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลและจัดการเส้นทางต่างๆ ของข้อมูลที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างกลุ่มของโหนดใดๆ การทำหน้าที่ดังกล่าวทำให้ ZigBee Router เป็น FFD
3. ZigBee End Device ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ใช้พลังงานต่ำเมื่อใช้งานเป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน การทำงานดังกล่าวทำให้ ZigBee End Device สามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD ขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้ และคอยจัดเส้นทางของข้อมูลรูปแบบของเครือข่าย ZigBee สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 รูปแบบเครือข่ายของ ZigBee [3]

2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล ZigBee

ตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee (ZigBee Coordinator) เริ่มต้นเครือข่ายโดยการตรวจสอบการเข้าใช้ช่องสัญญาณของสัญญาณวิทยุในบริเวณรอบๆ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้โดยตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee ตัวอื่นก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ จากนั้นตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายรองรับการเข้าร่วมเครือข่ายของอุปกรณ์ ZigBee ปลายทาง (ZigBee End Device) และรองรับการร้องขออื่นๆตามมาตรฐานด้วยเช่นกัน

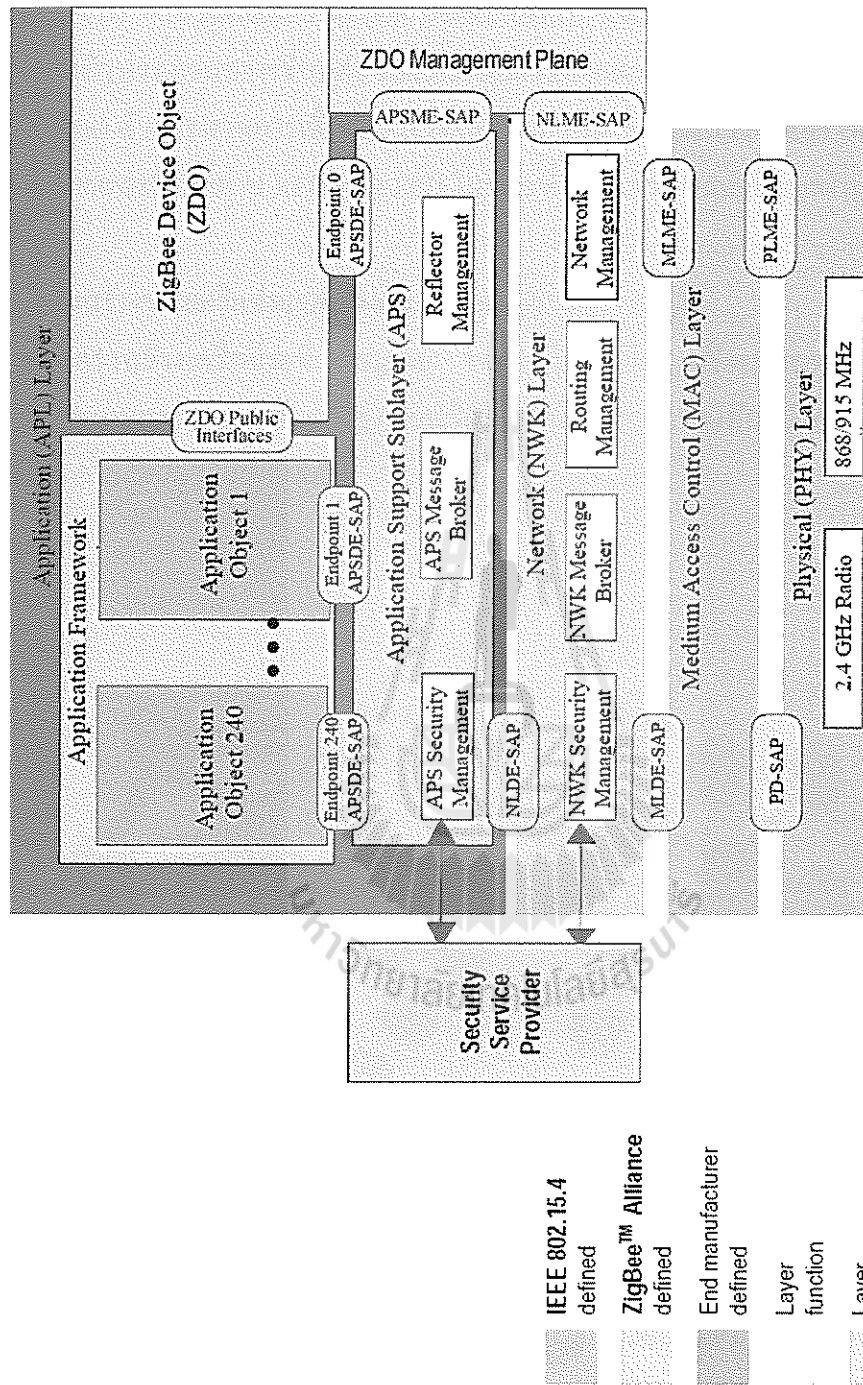
อุปกรณ์ ZigBee ปลายทางเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอไปยังตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆว่าตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee ใช้ช่องสัญญาณใดอยู่ เมื่อทำการเข้าร่วมเครือข่ายเสร็จสิ้นอุปกรณ์ ZigBee ปลายทางจึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆผ่านทางตัวประสานการเชื่อมต่อของ ZigBee ได้

2.1.3 โพรโทคอลของ ZigBee (ZigBee Protocol)

สถาปัตยกรรมของ Zigbee Stack จะเป็นไปตาม OSI seven-layer model โพรโทคอล ZigBee จะใช้เฉพาะในส่วนของชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer) ชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์ (Application Support Layer) และชั้นเครือข่าย (Network Layer) เท่านั้น ในส่วนของชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC Layer) และชั้นกายภาพ (Physical Layer) จะใช้ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งทำงานในเรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพของการเชื่อมต่อ (Link Quality) การควบคุมการเข้าถึง (Access Control) และการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น โดยมีโครงสร้างของโปรโตคอล ZigBee เป็นดังนี้

ชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer) มีส่วนที่เรียกว่า โครงประกอบของโปรแกรมประยุกต์ (Application Framework) โดยมีออบเจกต์ของอุปกรณ์ ZigBee (ZigBee Device Object หรือ ZDO) ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าถึงและการใช้งานในชั้นโปรแกรมประยุกต์ ส่วนในชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์ (Application Support Layer) นั้น ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของชั้นโปรแกรมประยุกต์และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆที่เกี่ยวกับชั้นโปรแกรมประยุกต์ และส่วนของชั้นเครือข่าย ทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางของข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน โครงสร้างชั้นโปรโตคอลของ ZigBee แสดงได้ดังรูปที่ 2-4





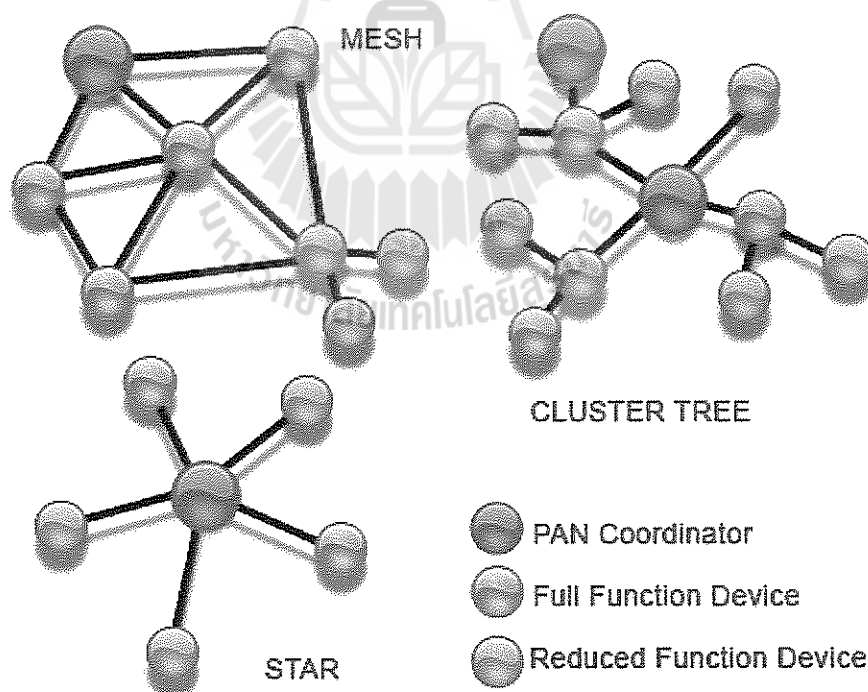
รูปที่ 2-4 โครงสร้างชั้นโปรโตคอล ZigBee (ZigBee Protocol Stack) [4]

2.1.4 ส่วนประกอบของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Wireless Personal Area Network: WPAN)

ในระบบของ ZigBee ประกอบไปด้วยอุปกรณ์พื้นฐานหลายส่วน คือ Full-Function Device (FFD) หรือ Reduced-Function Device (RFD) ซึ่งภายในเครือข่ายใดๆ ควรจะมีหนึ่ง FFD ซึ่งใช้เป็นตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (Personal Area Network Coordinator) ตัวประสานการเชื่อมต่อ (Coordinator) และ Reduced Function Device (RFD) โดยที่ FFD สามารถส่งข้อมูลผ่าน RFD หรือ FFD ในขณะที่ RFD สามารถส่งข้อมูลผ่านได้เฉพาะ FFD

2.1.5 โครงสร้างของเครือข่าย (Network Topology)

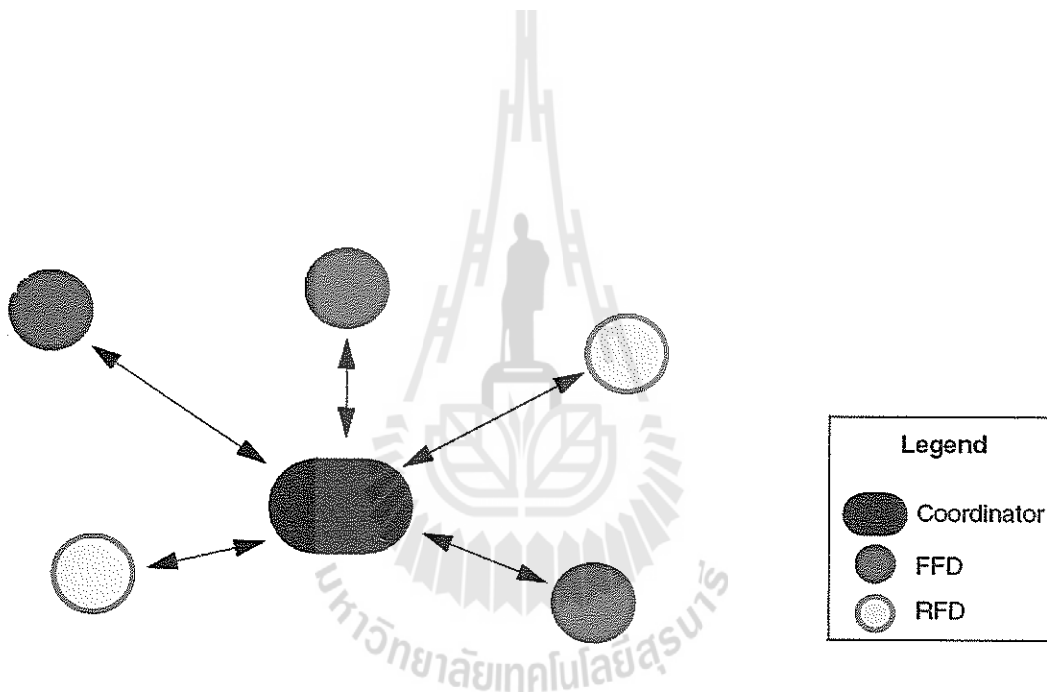
โครงสร้างเครือข่ายที่ ZigBee รองรับได้แก่ โครงสร้างแบบดาว (Star Topology) โครงสร้างแบบเมช (Mesh Topology) และ โครงสร้างแบบกลุ่มของต้นไม้ (Cluster Tree) แสดงได้ ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 รูปแบบโครงสร้างของเครือข่าย ZigBee [5]

1. โครงสร้างเครือข่ายแบบดาว (Star Topology)

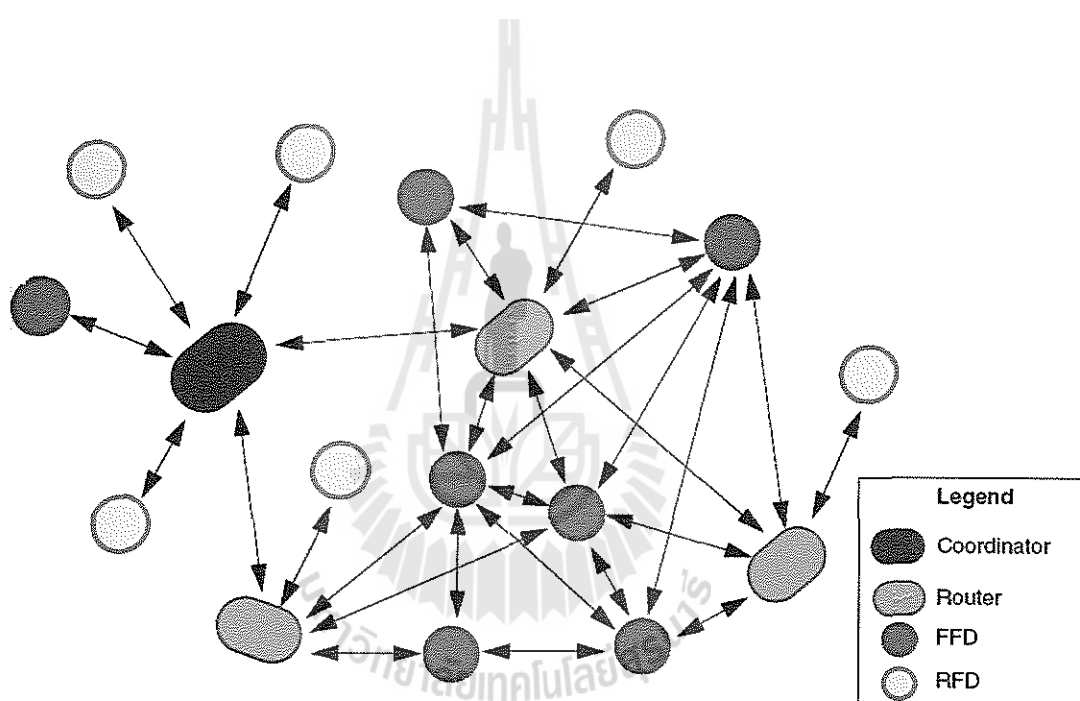
ในโครงสร้างเครือข่ายแบบดาวการสื่อสารจะประกอบด้วยและ End Device ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งตัวขึ้นไป และCoordinator ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมส่วนกลาง (Single Central Controller) หรือเรียกว่าตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ที่เป็นศูนย์กลางในการส่งข้อมูลของเครือข่าย หนึ่งตัวขึ้นไป โดย End Device ทุกตัวจะติดต่อกับ Coordinator เท่านั้น หาก End Device ต้องการส่งข้อมูลไปยัง End Device ตัวอื่น ก็จะต้องส่งไปยัง Coordinator แล้ว Coordinator จะส่งต่อไปยัง End Device เป้าหมาย ยกตัวอย่างการนำโครงข่ายแบบนี้ไปประยุกต์ใช้งาน เช่น การทำบ้านอัจฉริยะ (Home Automatic)



รูปที่ 2-6 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Star

2. โครงสร้างเครือข่ายแบบเมช (Mesh Topology)

ในโครงสร้างแบบเมชนี้ จะมีหนึ่งตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล ทุกอุปกรณ์สามารถสื่อสารกับทุกอุปกรณ์อื่นๆ ได้ในระยะเวลาส่งข้อมูลที่สามารถส่งถึงดังรูปที่ 2-7 ซึ่งข้อดีของระบบนี้ คือ สามารถลดการส่งข้อมูลภายใน (Message Latency) และเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ให้กับระบบ ยกตัวอย่างการนำ โครงข่ายแบบนี้ ไปประยุกต์ใช้งานเช่น การควบคุม ภายในโรงงานและการดูแลติดตาม (Monitoring) เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

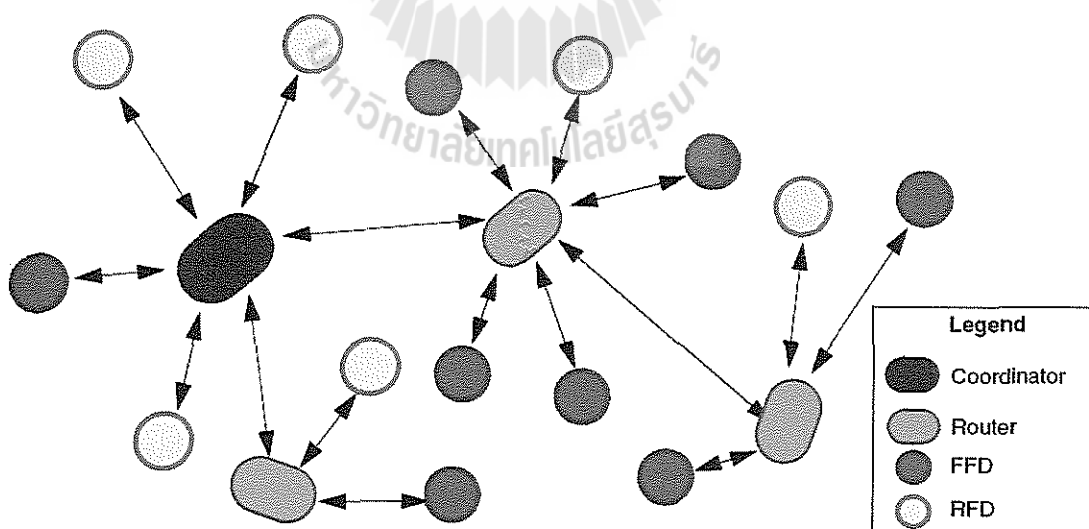


รูปที่ 2-7 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh

3. โครงสร้างเครือข่ายแบบกลุ่มต้นไม้ (Cluster Tree Topology)

เครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้เป็นรูปแบบพิเศษของเครือข่ายจุดต่อจุด ซึ่งอุปกรณ์ส่วนมากจะเป็น FFD และ RFD ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบกลุ่มของต้นไม้ที่โหนดสุดท้ายของสาขาสำหรับ FFD บางอุปกรณ์นั้นสามารถเป็นตัวประสานการเชื่อมต่อและมีการประสานเวลา (Synchronization) กับอุปกรณ์อื่นๆ และตัวประสานการเชื่อมต่อเหล่านี้เป็นตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายส่วนบุคคล โดยตัวประสานการเชื่อมต่อของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลจะสร้างกลุ่มชุดแรกด้วยตัวมันเองที่หัวกลุ่ม (Cluster Head หรือ CLH) ด้วยหมายเลขกลุ่ม (Cluster ID หรือ CLD) ที่มีค่าหมายเลขเป็น 0 ดังรูปที่ 2-8

การเลือกหมายเลขของเครือข่ายส่วนบุคคลจะเลือกหมายเลขที่ยังไม่ถูกใช้และกระจาย (Broadcast) เฟรมเบคอน (Beacon) ไปยังอุปกรณ์ข้างเคียง อุปกรณ์ที่ได้รับเบคอนอาจจะร้องขอเข้าร่วมเครือข่ายที่ CLH ถ้าตัวประสานเวลาการเชื่อมต่อของเครือข่ายส่วนบุคคลอนุญาต มันจะบันทึกอุปกรณ์ใหม่นั้นเป็นโหนดลูก (Child Node) และอุปกรณ์ตัวใหม่จะบันทึก CLH เป็นโหนดผู้ปกครอง (Parent Node) ข้อดีของโครงสร้างกลุ่มของต้นไม้ คือ เป็นการครอบคลุมพื้นที่ที่มีการต้องการเข้าร่วมในเครือข่ายมาก



รูปที่ 2-8 โครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster Tree

2.1.6 ปัญหาที่พบในการส่งสัญญาณ

การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ (Radio Signal Propagation) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การจางหายของสัญญาณ และการแทรกสอด

2.1.6.1 การจางหายของสัญญาณ (Fading)

สัญญาณวิทยุจะได้รับผลกระทบจากการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ตึก อาคาร และสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ทำให้สัญญาณดังกล่าวเกิดการจางหาย (Fading) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss) การถูกบดบัง (Shadowing) และการสะท้อนหลายทิศทาง (Multipath)

การสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss)

เป็นการลดทอนของสัญญาณที่ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามกฎการสูญเสียตามระยะทาง ซึ่งเมื่อระยะทางมีค่ามากขึ้นจะทำให้กำลังเฉลี่ยของสัญญาณวิทยุลดลงสำหรับสมการการสูญเสียตามระยะทางแสดงผลได้ดังนี้

$$P_r = \frac{P_s}{d^\alpha}$$

P_r คือ ความเข้มของสัญญาณที่ได้รับในหน่วยวัตต์

P_s คือ ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร จากตัวส่งสัญญาณในหน่วยวัตต์

d คือ ระยะห่างระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณในหน่วยเมตร

α คือ ค่า Distance Power Gradient (สำหรับในอาคารจะมีค่าเท่ากับ 4)

ในการคำนวณค่าความเข้มของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลนั้น จะใช้สมการสูญเสียตามระยะทางดังนี้

$$L_p = L_0 + 10\alpha \log_{10} d$$

กำหนดให้ L_0 เป็นการสูญเสียตามระยะทางในหน่วยเดซิเบลที่ระยะทาง 1 เมตร มีสมการดังนี้

$$L_0 = 100 \log_{10} P_t - 100 \log_{10} P_0$$

$$L_0 = 100 \log_{10} \frac{P_t}{P_0}$$

$$L_0 = -10 \log_{10} G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2$$

G_t คือ ค่าที่ได้รับจากสายอากาศ (Antenna Gain) ของตัวส่งสัญญาณ

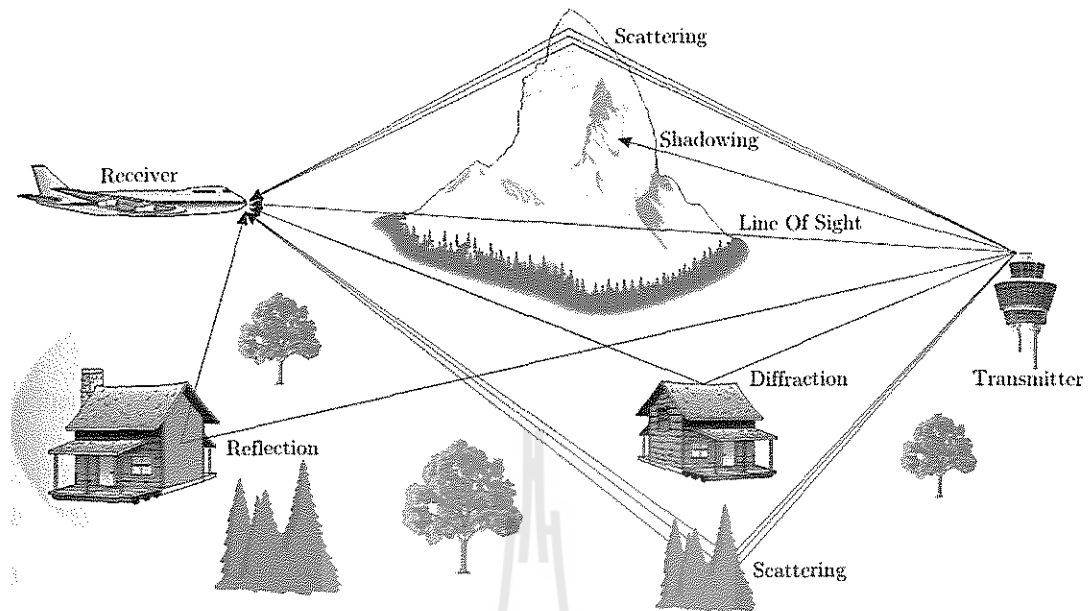
G_r คือ ค่าที่ได้รับจากสายอากาศ (Antenna Gain) ของตัวรับสัญญาณ

การถูกบดบัง (Shadowing หรือ Large-Scale Fading)

เกิดขึ้นจากสัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะ โดยเกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น การส่งสัญญาณภายในอาคาร เป็นต้น ทำให้ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ และเมื่อเคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้นจะทำให้สัญญาณกลับมาดังเดิม

การสะท้อนหลายทิศทาง (Multipath Fading หรือ Small-Scale Fading)

เกิดขึ้นเมื่อสายอากาศของสัญญาณตัวรับอยู่ใกล้พื้นผิวมาก เช่น การแพร่ผ่านของสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่มีลักษณะของสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวางมาก จะทำให้เกิดการสะท้อน การหักเห และการกระเจิงของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลให้สัญญาณที่รับได้มีจำนวนหลายสัญญาณที่มาจากทิศทางที่ต่างกัน การมาถึงของสัญญาณที่ตัวรับจะมาถึงด้วยเวลาที่ต่างกัน ด้วยรวมไปถึงขนาดและเฟสที่ต่างกันแปรผันตามระยะทาง โดยผลกระทบต่อดัชนีการแพร่กระจายคลื่นนั้น ได้แก่ การสะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระเจิง (Scattering) การสะท้อนหลายทิศทางสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 การสะท้อนหลายทิศทาง (Multipath Fading) [6]

1. การสะท้อน(Reflection) เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นมีการเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปอีกยังตัวกลางหนึ่ง โดยที่ตัวกลางที่สองต้องมีความยาวคลื่นมากกว่าเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นที่มาตกกระทบ ผลที่ได้คือ คลื่นจะมีการสะท้อนออกบางส่วน ส่วนที่เหลือจากการสะท้อนจะผ่านไปยังตัวกลางที่สอง สิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการสะท้อนได้แก่ กระจก และกำแพง เป็นต้น

2. การเลี้ยวเบน(Diffraction) เกิดจากมีสิ่งกีดขวางอยู่ระหว่างอุปกรณ์ภาครับและอุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณทำให้ไม่มีเส้นทางที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง (Line of Sight) ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง ผลคือ คลื่นสัญญาณจะเลี้ยวอ้อมสิ่งกีดขวาง โดยการเลี้ยวเบนของสัญญาณจะทำให้สามารถรับสัญญาณได้บางส่วน

3. การกระเจิง (Scattering) การกระเจิงของคลื่นเกิดขึ้นเนื่องจาก คลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับสิ่งกีดขวางที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ ผลที่ได้คือ ทำให้คลื่นเกิดการกระเจิงไปในทุกทิศทาง สิ่งที่ทำให้เกิดการกระเจิงได้แก่ เสา เป็นต้น

2.1.6.2 การแทรกสอด (Interference)

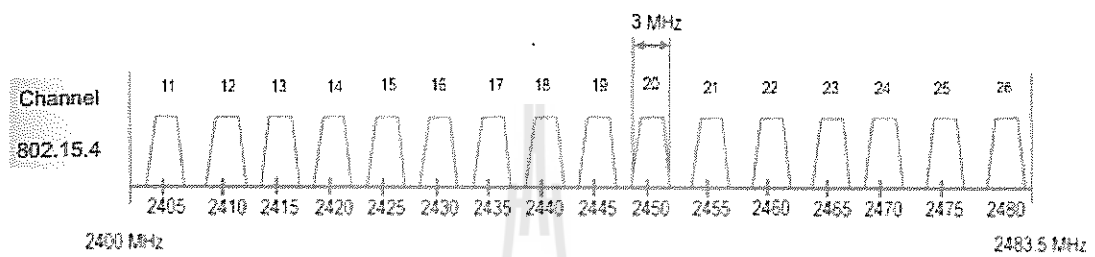
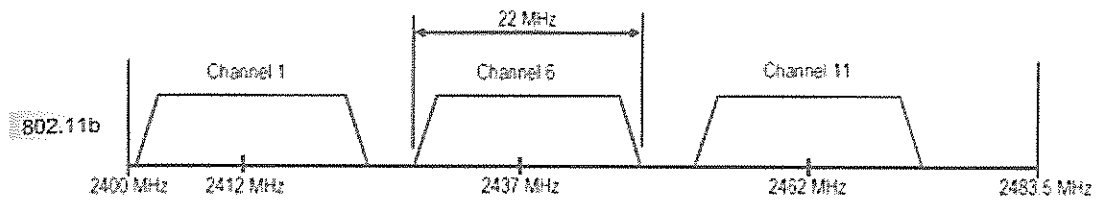
เกิดจากสัญญาณภายนอกที่มีมากกว่า 2 สัญญาณ และมีระดับสัญญาณใกล้เคียงกันมาแทรกสอดกัน สัญญาณที่ถูกแทรกสอดเมื่อมาถึงภาครับจะไม่สามารถแยกข้อมูลออกจากกันได้ เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน (Noise) เพิ่มขึ้นมาจึงต้องทำการลดระดับของสัญญาณรบกวนลง ซึ่งการเกิดการแทรกสอดนั้นมี 2 แบบ คือ

1. การแทรกสอดในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel Interference) เป็นการแทรกสอดระหว่างสัญญาณที่ใช้ในช่องเดียวกัน วิธีแก้ไขสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกรองสัญญาณ (Filtering) โดยที่เครื่องรับจะต้องมีการกรองเอาเฉพาะสัญญาณที่ต้องการผ่านมาเท่านั้น
2. การแทรกสอดของสัญญาณที่มีความถี่อยู่ติดกัน (Adjacent Interference) เกิดจากเครื่องรับได้รับสัญญาณจากช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันเข้ามาพร้อมกับสัญญาณในช่องที่ต้องการแก้ไข โดย การทำแถบกัน (Guard Band) เพื่อป้องกันไม่ให้สัญญาณในช่องที่อยู่ติดกันเข้ามาแทรกสอดได้

2.1.7 การใช้ความถี่ร่วมกันระหว่าง ZigBee และสัญญาณไร้สาย (ZigBee and Wireless Radio Frequency Coexistence)

การรบกวนกันของ ZigBee และสัญญาณไร้สายนั้นจะไม่เกิดขึ้นถ้าทั้ง 2 ระบบเลือกช่องสัญญาณที่ไม่รบกวนกัน เนื่องจากการแบ่งช่องสัญญาณ (Channel Spacing) ช่องสัญญาณของ IEEE.802.15.4 มี 16 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณมีแบนวิธด์ 3 MHz และมีการแบ่งช่องว่างออกเป็น 5 MHz จากรูปที่ 2-10 แสดงให้เห็นถึงช่องสัญญาณที่ใช้บน WiFi (Wireless Fidelity) คือ ช่องสัญญาณที่ 1,6 ,11 วิธีการหลีกเลี่ยงการรบกวนของช่องสัญญาณจากเครือข่ายไร้สายคือ ใช้ช่องสัญญาณที่ไม่ชนกันกับเครือข่ายแลนไร้สาย ได้แก่ ช่องที่ 15 20 25 และ 26 สำหรับสูตรในการคำนวณความถี่คือ

$$\text{Center Frequency (MHz)} = 2.4055 + (\text{Ch} - 11) \times 5$$



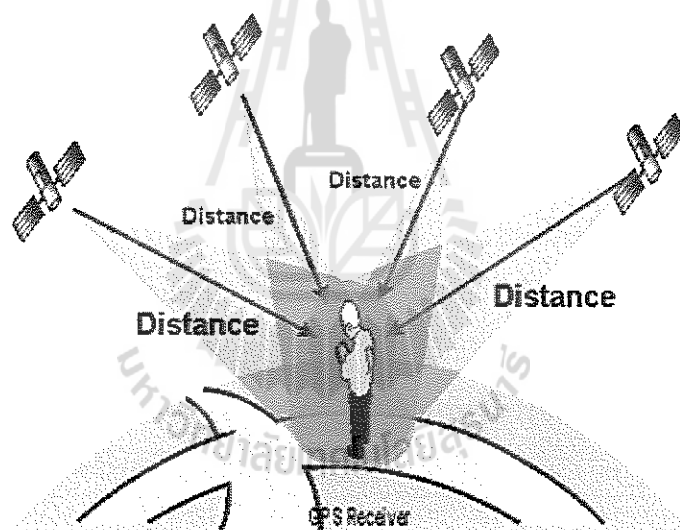
รูปที่ 2-10 เปรียบเทียบความถี่ของ IEEE802.11b และ IEEE802.15.4 [7]

2.2 ระบบการบอกตำแหน่งวัตถุ

2.2.1 Outdoor

1. GPS (Global Positioning System)

คือระบบนำทางโดยอาศัยการระบุพิกัดตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่บนโลกจากสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากระบบ Global Navigation Satellite System หรือดาวเทียมสำรวจ ซึ่งโคจรอยู่รอบโลก ประโยชน์ของGPS คือ ความสามารถในการระบุตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ ได้ อย่างแม่นยำ เช่น ตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของเรา พร้อมทั้งแสดงแผนที่หรือนำทางไปยังจุดหมาย อย่างรวดเร็วโดยไม่หลงทาง



รูปที่ 2-11 การระบุพิกัดตำแหน่งต่างๆ ที่อยู่บนโลกจากสัญญาณดาวเทียม [8]

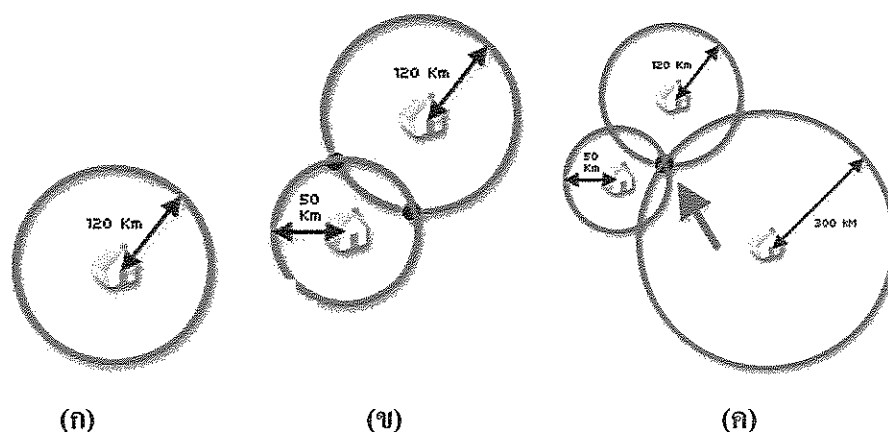
1.1 ลักษณะการทำงานของระบบระบุตำแหน่ง(GPS)

พิกัดบนพื้นโลกที่ได้ จะมาจากการคำนวณสัญญาณนาฬิกาที่ส่งจากดาวเทียม มาที่เครื่องรับสัญญาณGPS ดาวเทียมGPSที่สามารถใช้ระบุตำแหน่งได้นั้น จะถูกออกแบบมาโดยเฉพาะให้โคจรรอบโลก เพื่อส่งข้อมูลที่จะนำไปใช้คำนวณพิกัดออกมาตลอดเวลาระบบGPSจะทำงานได้นั้น ต้องประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ

1. สถานีฐาน: มีหน้าที่ควบคุมการทำงาน รวมถึงวงโคจรของดาวเทียม และให้คำสั่งสัญญาณนาฬิกาที่ถูกต้อง กับดาวเทียม GPS
2. ดาวเทียม GPS: ส่วนของดาวเทียม GPS ในปัจจุบันนั้น จะมาจาก 3 ชาติหลักๆคือ
 - NAVSTAR จากของประเทศอเมริกา มีทั้งหมด 24 ดวง โคจรรอบโลกด้วยความเร็ว 12 ชั่วโมงต่อ 1 รอบ
 - Galileo ถูกพัฒนาโดยสหภาพยุโรป ร่วมกับประเทศจีน อิสราเอล อินเดีย โมร็อกโก ซาอุดีอาระเบีย เกาหลีใต้ และยูเครน รวมจำนวน 27 ดวง
 - GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) ที่พัฒนาโดยรัสเซีย
3. เครื่องรับสัญญาณ GPS: ผู้ใช้งานสามารถรับสัญญาณ GPS ได้จากอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น โทรศัพท์มือถือที่รับสัญญาณ GPS ได้ GPS Receiver (ต่อกับ computer, มือถือ) หรือ เครื่อง PNA (Personal Navigation Assistant) หรือเรียกง่ายๆว่า GPS Navigator, GPS คีบอร์ด หรือ Car GPS

1.2 ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของ GPS

ตัวรับสัญญาณ GPS นั้นจะสามารถระบุตำแหน่งของเราได้แม่นยำแค่ไหน ขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียม ที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้น การระบุพิกัดขึ้นต่ำ ต้องการดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง เพื่อระบุตำแหน่งในแกน X, Y, Z (X คือข้อมูลว่าดาวเทียมนี้คือตัวไหน, Y คือตำแหน่งของดาวเทียม และ Z คือเวลาที่ส่งข้อมูลในขณะนี้) ให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยตัวเครื่อง GPS จะนำสัญญาณนาฬิกา ที่ได้รับจากดาวเทียมทั้ง 3 ดวง มาคำนวณระยะห่างของเครื่องรับสัญญาณ GPS กับดาวเทียมเพื่อแจ้งพิกัดปัจจุบัน



รูปที่ 2-12 การคำนวณระยะห่างของเครื่องรับสัญญาณ GPS กับดาวเทียม [8]

จากรูปที่ 2-12 (ก) จะเห็นได้ว่า หากรับสัญญาณGPS จากดาวเทียมได้เพียงดวงเดียว เราจะ
ได้พิกัดในลักษณะเป็นวงกว้าง ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้

แต่รูปที่ 2-12 (ข) เมื่อรับสัญญาณ GPS จากดาวเทียมได้ 2 ดวง จะทำให้สามารถระบุพิกัด
ได้ แต่จะมีพิกัดจำนวน 2 จุดที่เกิดจากการตัดกันของสัญญาณGPS จากดาวเทียม 2 ดวง ซึ่งก็ยังไม่
สามารถระบุตำแหน่งที่ชัดเจนได้

และรูปที่ 2-12 (ค) จะสามารถระบุพิกัดบนพื้น โลกได้อย่างชัดเจน เนื่องจากเครื่องรับ
สัญญาณGPS สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 3 ดวง ทำให้ตัวเครื่องสามารถคำนวณหาพิกัด
ซึ่งเกิดจากจุดตัดจากสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 ดวงได้ ดังนั้นการแสดงผลพิกัดที่ถูกต้อง ตัวเครื่องที่ใช้รับ
สัญญาณGPS จะต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมGPS ได้อย่างน้อย 3 ดวงขึ้นไป

1.3 การประยุกต์ใช้งาน

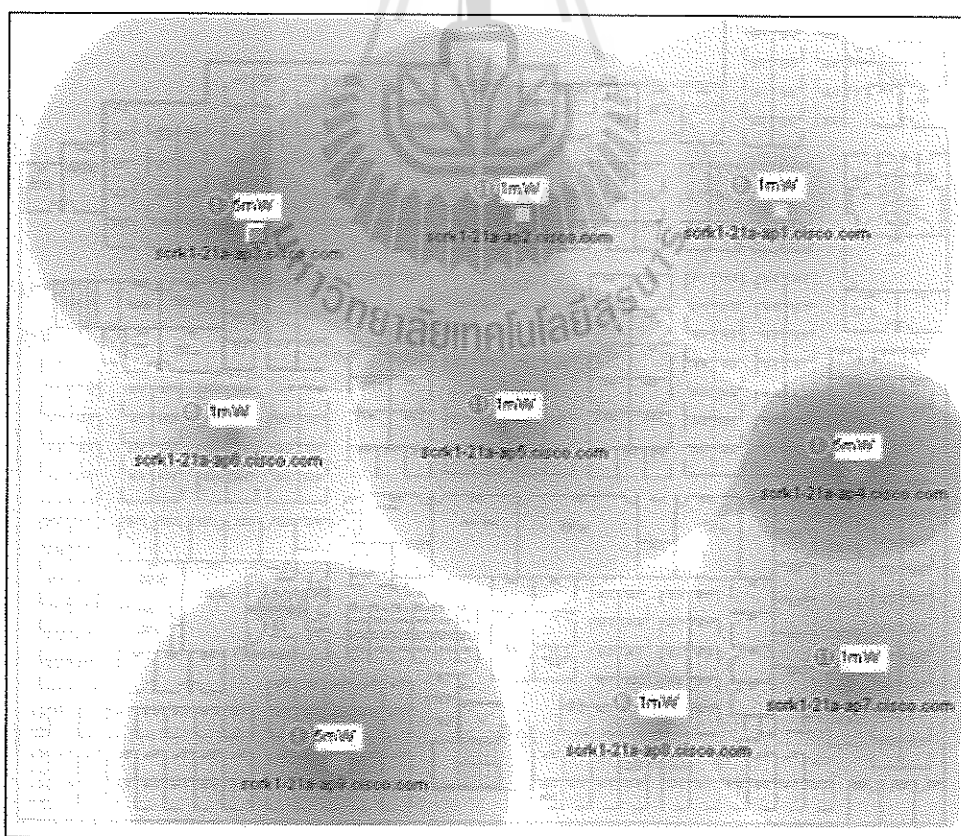
ปัจจุบันนี้ได้มีการใช้งาน GPS ในรูปแบบต่างๆดังนี้

- การกำหนดพิกัดของสถานที่ต่าง ๆ การทำแผนที่ งานสำรวจ โดยส่วนใหญ่นิยม
ใช้อุปกรณ์ที่สามารถพกพาไปได้ง่าย มีความทนทาน กันน้ำได้ สามารถใช้กับ
ถ่านไฟฉายขนาดมาตรฐานได้
- การนำทาง ได้รับความนิยมน้อยกว่าวงกว้างขวงมีหลากหลายแบบและขนาด สามารถ
นำทางได้ทั้งภาพและเสียง ใช้ได้หลายภาษา บางแบบมีภาพเสมือนจริง ภาพสามมิติ
และประสิทธิภาพอื่นๆเพิ่มเติมเช่น Multimedia Bluetooth handfree เป็นต้น
- ระบบการควบคุมหรือติดตามยานพาหนะ การติดตามบุคคล เพื่อให้ทราบว่า
ยานพาหนะอยู่ที่ใด มีการเคลื่อนที่หรือไม่ มีการแจ้งเตือนให้กับผู้ติดตามเมื่อมีการ
เคลื่อนที่เร็วกว่าที่กำหนดหรือเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่หรือเข้าสู่พื้นที่ที่กำหนด
นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้ในการป้องกันการโจรกรรมและติดตามทรัพย์สิน
- การนำไปใช้ประโยชน์ทางทหาร
- การกีฬา เช่นใช้ในการฝึกฝนเพื่อวัดความเร็ว ระยะทาง แคลลอรี่ที่เผาผลาญ

2.2.2 Indoor

1. WLAN Positioning System Using Time Delay Approach

WLAN Positioning System Using Time Delay Approach คือ การหาตำแหน่งผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยการจับเวลาหน่วงในการส่งข้อมูลเป็นระบบที่ทำการระบุพิกัดของอุปกรณ์ Computer ที่สามารถรับและติดต่อกับผู้ใช้งานของระบบได้ เช่น Computer Note Book หรือ PDA ที่สามารถรับสัญญาณของเครือข่ายไร้สายได้ จากการกระจายคลื่นสัญญาณของ Access Point จะทำให้อุปกรณ์ Computer เครื่องนั้นสามารถที่จะติดต่อกับระบบได้ โดยระบบจะทำการจับเวลาหน่วงในการส่งข้อมูลจาก Access Point และนำไปเปลี่ยนเป็นระยะทาง จากนั้นก็จะนำไปคำนวณหาระยะทางการแพร่กระจายคลื่น จากรูปที่ 2-13 จะเห็นได้ว่าจากตำแหน่งต่างๆของการวาง Access Point จะมีการ Cover ในแต่ละจุดที่ Access Point แต่ละตัวได้มีการแพร่กระจายคลื่นออกมา ซึ่งก็จะมีบางสถานที่ที่เกิดการ Overlap กัน จึงสามารถทำให้บอกถึงตำแหน่งหรือสถานที่คร่าวๆได้



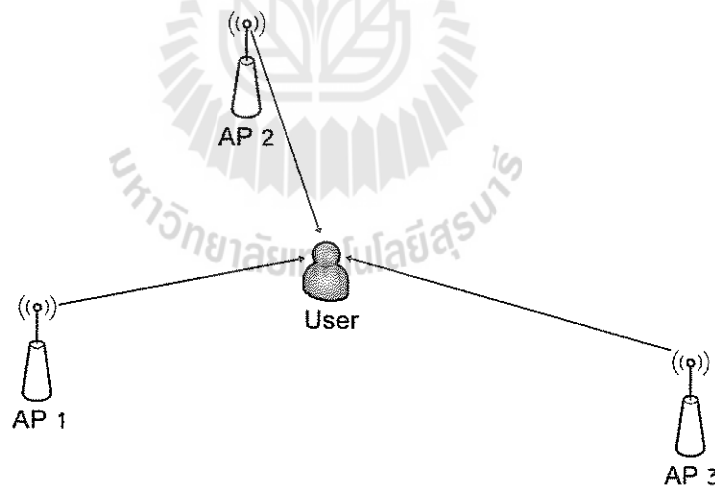
รูปที่ 2-13 การ Cover ของ Access Point ในตำแหน่งต่างๆ

1.1 การกระจายค่าหน่วยเวลา (Delay Distribution)

การเกิดค่าหน่วยเวลา (Delay) แต่ละค่าที่ได้ทำการทดสอบนั้น แต่ละค่าจะต้องมีการกำหนด ช่วงเวลาสุ่ม แต่เนื่องจากว่าเวลาสุ่มของแต่ละคนไม่เท่ากัน ทำให้มีช่วงเวลาที่สุ่มเกิดขึ้นมากมาย ช่วงเวลาสุ่มนี้ขึ้นอยู่กับจำนวน User ที่มีอยู่ในระบบ ขึ้นอยู่กับจำนวน Window ที่จะให้สุ่มทั้งหมด ก็ค่า ถ้าช่องสัญญาณหนึ่งมีจำนวน User มากก็จะส่งผลให้การส่งข้อมูลเกิดการชนกันมาก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าหน่วยเวลา (Delay) มีค่ามากตามไปด้วย กล่าวคือการเกิดค่าหน่วยเวลา (Delay) แต่ละค่านั้น คือ การเกิดความสำเร็จในการส่งข้อมูลซึ่งมี Message ACK ตอบกลับมานั่นเอง

1.2 แนวคิดเรื่องการหาตำแหน่ง

จากรูปที่ 2-14 จะเห็นว่าจากตำแหน่งของ Access Point และการวางตำแหน่งของ User เมื่อ User ทำการ Ping ไปที่ Access Point แต่ละตัว ทำให้ได้ค่าหน่วยเวลา (Delay) ที่ไม่เท่ากัน ซึ่ง Delay ที่เกิดขึ้นจะสามารถบอกถึงตำแหน่งของ User คร่าวๆ ได้ โดยที่ Delay ที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าแปรผัน ตรงกันกับระยะทางจาก User ไปจนถึง Access Point แต่ละตัว กล่าวคือ เมื่อ Delay มีค่ามาก ระยะทางก็จะมากด้วยเช่นกัน

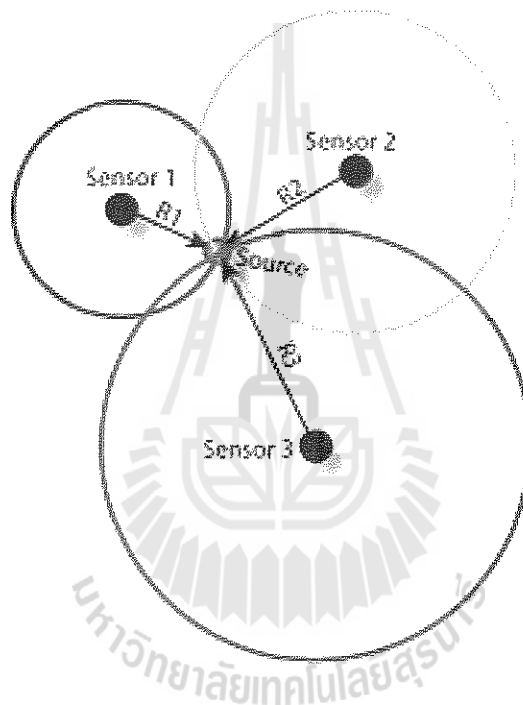


รูปที่ 2-14 การออกแบบระบบระบุพิกัดตำแหน่งจากแนวคิดการใช้งาน Wireless LAN
ระบุพิกัดของ User

2. การใช้เครือข่าย ZigBee บอกตำแหน่ง

2.1 การคำนวณโดยการทำสามเหลี่ยมระยะ (Trilateration)

เป็นการคำนวณตำแหน่งโดยใช้การตัดกันของวงกลม แสดงได้ดังรูปที่ 2-15 จุดที่วงกลมตัดกันจะถือว่าเป็นจุดที่วัตถุอยู่ โดยที่รัศมีของวงกลมแต่ละวงได้มาจากความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ในขณะนั้นแล้วแปลงเป็นค่ารัศมีของวงกลม ค่าที่ได้ในแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงจะถูกนำมาเข้าสมการพีทาโกรัส (Pythagoras) ดังนี้



รูปที่ 2-15 การคำนวณโดยการทำสามเหลี่ยมระยะ [9]

$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = r_i^2 \quad \text{for } i=1,2,3$$

$$((x_1 - x_u)^2 - (x_3 - x_u)^2) + ((y_1 - y_u)^2 - (y_3 - y_u)^2) = (r_1^2 - r_3^2)$$

$$((x_2 - x_u)^2 - (x_3 - x_u)^2) + ((y_2 - y_u)^2 - (y_3 - y_u)^2) = (r_2^2 - r_3^2)$$

เมื่อจัดสมการใหม่จะได้ดังนี้

$$2(x_3 - x_1)x_u - 2(y_3 - y_1)y_u = (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2)$$

$$2(x_3 - x_2)x_u - 2(y_3 - y_2)y_u = (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2)$$

$$2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix}$$

โดยที่ x_u และ y_u คือ พิกัดของแต่ละจุดอ้างอิง x_u และ y_u คือ พิกัดของวัตถุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการแก้สมการโดยใช้กฎของครามเมอร์ (Cramer's Rule) ดังนี้

$$2 \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_u \\ y_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \\ (r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \end{bmatrix}$$

$$X_u = \frac{\det[A]_1}{\det[A]} = \begin{bmatrix} \left((r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \right) / 2 & y_3 - y_1 \\ \left((r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \right) / 2 & y_3 - y_2 \end{bmatrix}$$

$$Y_u = \frac{\det[A]_2}{\det[A]} = \begin{bmatrix} x_3 - x_1 & \left((r_1^2 - r_3^2) - (x_1^2 - x_3^2) - (y_1^2 - y_3^2) \right) / 2 \\ x_3 - x_2 & \left((r_2^2 - r_3^2) - (x_2^2 - x_3^2) - (y_2^2 - y_3^2) \right) / 2 \end{bmatrix}$$

2.2 การวัดระยะทาง (Distance Measurement)

การวัดระยะทางสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 วิธี คือ การวัดค่าเวลาที่ได้รับของสัญญาณ (Time of Arrival) หรือ (Time of Flight) และ การวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่ได้รับสัญญาณ (Time Difference of Arrival) สามารถอธิบายแต่ละวิธีได้ดังนี้

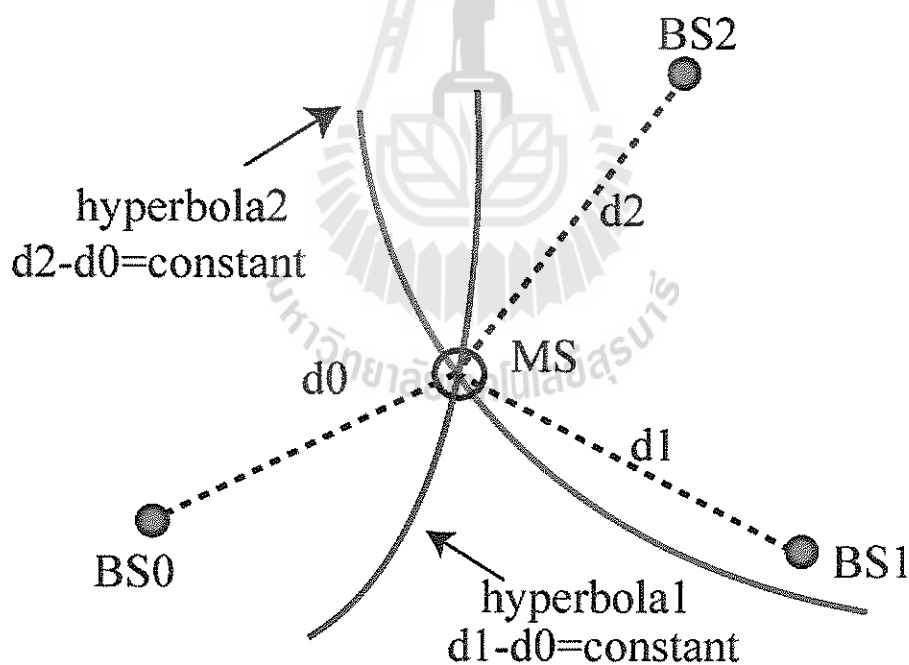
การวัดค่าเวลาที่ได้รับของสัญญาณ (Time of Arrival)

เป็นการใช้เวลาที่ได้รับสัญญาณวิทยุจากตัวส่งหนึ่งตัวไปยังตัวรับ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแสงในสุญญากาศและเวลาของความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปเป็นการวัดระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับ อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์นี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะสุญญากาศ ปัจจัยที่ทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อน คือ วัสดุที่เป็นส่วนประกอบในอาคาร เช่น เหล็กและกำแพง

ในการหาตำแหน่งแบบการใช้เวลาที่ได้รับสัญญาณนั้นจะใช้การตัดกันของวงกลมเช่นเดียวกับการวัดความเข้มของสัญญาณ ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางของวัตถุที่อยู่ห่างจากสถานีฐาน ซึ่งสามารถหาระยะทางโดยการคำนวณเวลาในการส่งข้อมูลของวัตถุไปยังสถานีฐาน วิธีการนี้จะต้องใช้วงกลมอย่างน้อยสามวงมาตัดกันจึงจะได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง

การวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่ได้รับสัญญาณ (Time Difference of Arrival)

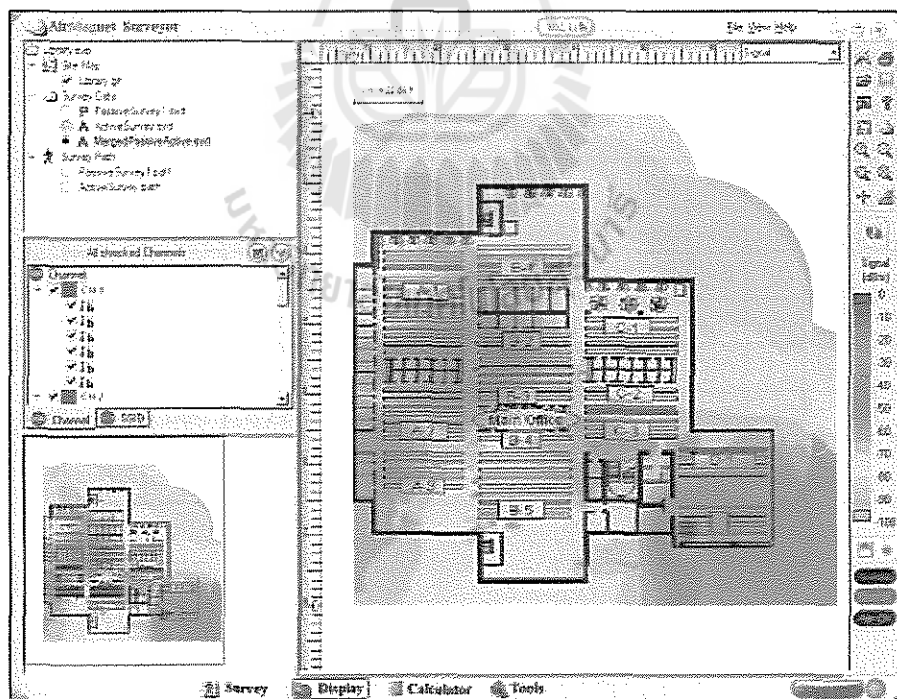
เป็นการวัดความแตกต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐานแล้วนำมาเขียนเป็นกราฟไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic) ซึ่งแสดงถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน ดังนั้น เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องจึงต้องใช้เส้นกราฟอย่างน้อยสองเส้นมาตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อยสามสถานี จุดตัดของกราฟไฮเพอร์โบลิก คือ ตำแหน่งของวัตถุ สิ่งสำคัญสำหรับการใช้วิธีนี้ คือ แต่ละสถานีฐานต้องมีการประสานเวลา (Synchronization) กันในแต่ละสถานีฐาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ฮาร์ดแวร์เพิ่มในระบบ วิธีการดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 วิธีการคำนวณตำแหน่งของการวัดค่าความแตกต่างของเวลาที่ได้รับของสัญญาณ

2.3 การทำฟิงเกอร์ปรีนติ้ง (Fingerprinting)

เป็นการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ โดยอาศัยวิธีการลดทอนของสัญญาณ (Signal Attenuation) ที่มีความสัมพันธ์กับระยะทางในพื้นที่ที่สนใจ เพื่อใช้คำนวณหาตำแหน่งโดยอาศัยการวัดความเข้มของสัญญาณที่เปลี่ยนไปในตำแหน่งแต่ละระยะทางใดๆ บนพื้นที่ต่างๆ สำหรับวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพิ่ม เนื่องจาก ZigBee นั้นสามารถวัดค่าความเข้มของสัญญาณได้โดยตรง วิธีนี้จะใช้การวัดหลายๆครั้งแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อให้ค่าที่วัดได้นั้นเข้าใกล้ค่าที่จริงมากที่สุด เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ จากนั้นนำค่าที่เฉลี่ยมาแล้วไปใช้ร่วมกับวิธีทางสถิติอีกครั้งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประมาณตำแหน่ง สำหรับตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าความเข้มของสัญญาณคือ วัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบภายในอาคาร อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในสถานที่ทำการทดลอง สำหรับค่าที่ได้จากความเข้มของสัญญาณจะแสดงถึงระยะห่างจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่ง เทคนิคนี้จะช่วยสร้างรูปแบบความเข้มของสัญญาณบนพื้นที่ต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป สำหรับรูปแบบค่าความเข้มของสัญญาณในการทำฟิงเกอร์ปรีนติ้งแสดงได้ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 รูปแบบของค่าความเข้มของสัญญาณในการทำฟิงเกอร์ปรีนติ้ง [10]

2.4 การจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลอ้างอิง (RSSI Database Mapping)

เป็นการเก็บข้อมูลความเข้มของสัญญาณอ้างอิงตามจุดต่างๆ เพื่อใช้ในการจับคู่กับค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้จริง ฐานข้อมูลของงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยค่าความเข้มของสัญญาณของแต่ละเซ็นเซอร์อ้างอิงที่ถูกเฉลี่ย ค่าพิทคบนแผนที่ ดังแสดงรูปที่ 2-18

พิกัด	Sensor	ครั้งที่ เลขฐาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	
			5	A	Hex	2C	2C	2C	2C	2B	2A	2C		2C
		Dec	-44	-44	-44	-44	-43	-42	-44	-44	-44	-44	-42	-43.5
	B	Hex	33	32	33	33	32	31	33	32	32	33		
		Dec	-51	-50	-51	-51	-50	-49	-51	-50	-50	-51	-50.4	
	C	Hex	57	57	59	57	58	55	58	58	58	55		
		Dec	-87	-87	-89	-87	-88	-85	88	-88	-88	-85	-87.2	
	D	Hex	5F	5F	5F	5F	5D	5C	5F	5F	5F	5D		
		Dec	-95	-95	-95	-95	-93	-92	-95	-95	-95	-93	-94.3	
6	A	Hex	2F	2D	2F	30	2F	2F	2F	2B	2E	2E		
		Dec	-47	-45	-47	-48	-47	-47	-47	-43	-46	-46	-46.3	
	B	Hex	33	31	35	36	34	33	32	32	32	31		
		Dec	-51	-54	-53	-54	-52	-51	-50	-50	-50	-49	-50.9	
	C	Hex	54	52	57	54	55	53	53	50	52	52		
		Dec	-84	-82	-87	-84	-85	-83	-83	-80	-82	-82	-83.2	
	D	Hex	5C	52	5C	5A	5C	5A	5C	59	59	59		
		Dec	-92	-82	-92	-90	-92	-90	-92	-89	-89	-89	-89.7	
	A	Hex	2F	30	30	30	30	2F	31	30	30	31		
		Dec	-47	-48	-48	-48	-48	-47	-49	-48	-48	-49	-48	
	B	Hex	34	35	34	34	33	32	33	33	33	32		
		Dec	-50	-49	-50	-50	-51	-52	-51	-51	-51	-52	-50.0	

รูปที่ 2-18 ตัวอย่างฐานข้อมูลในระบบ [21]

2.5 ระยะห่างยูคลิดีียน (Euclidian Distance)

เป็นวิธีการคำนวณหารูปแบบที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิง โดยระยะห่าง d น้อยที่สุดจะถือว่ารูปแบบดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงมากที่สุดและจะเลือกใช้ค่าความเข้มของสัญญาณชุดนั้น วิธีการนี้ได้นำมาใช้ร่วมกับวิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูล สูตรของระยะห่างยูคลิดีียนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x - x_i|^2}$$

จะได้ว่า

$$d = \sqrt{|x - x_1|^2 + |x - x_2|^2 + |x - x_3|^2 + \dots + |x - x_n|^2}$$

กำหนดให้

d คือ ระยะห่างยูคลิดีียน

n คือ จำนวนของเซ็นเซอร์อ้างอิง

x คือ ค่าความเข้มของสัญญาณปัจจุบัน

x_i คือ ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลแต่ละชุด

บทที่ 3

การหาตำแหน่งวัตถุในอาคาร

3 การหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee

3.1 XBee Pro

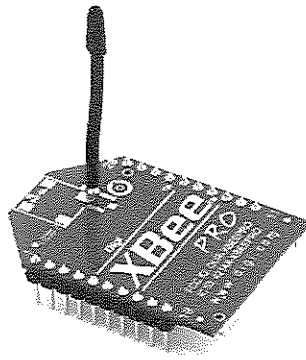
XBee Pro เป็นอุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) และมีสายอากาศอยู่ภายในอุปกรณ์ XBee Pro จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ (Transceiver) สามารถทำหน้าที่รับหรือส่งสัญญาณสลับกัน (Half Duplex) ซึ่ง XBee Pro ที่ใช้ในการวิจัยนั้นใช้ความถี่ 2.4 GHz มีระดับการใช้พลังงานต่ำ สามารถติดตั้งได้สะดวก การรับส่งข้อมูลจะเป็นการติดต่อภายใน (Interface) แบบการรับและส่งแบบสากลในเวลาเดียวกัน (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter หรือ UART) การควบคุม XBee Pro นั้นสามารถควบคุมผ่านทาง AT Command โดยใช้โปรแกรม X-CTU โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyper Terminal) หรือผ่านทาง การรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.1 ชุดการทดลอง XBee Pro

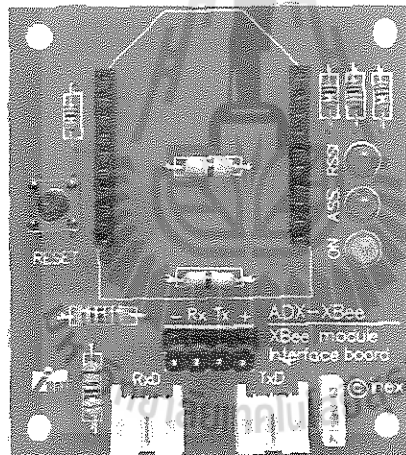
ประกอบไปด้วยชุดอุปกรณ์ดังนี้

- ชิพ XBee Pro โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4 GHz จำนวน 5 ตัว
- แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro จำนวน 4 ตัว (ADX-XBee)
- บอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ จำนวน 1 ตัว (ZX-XBee)

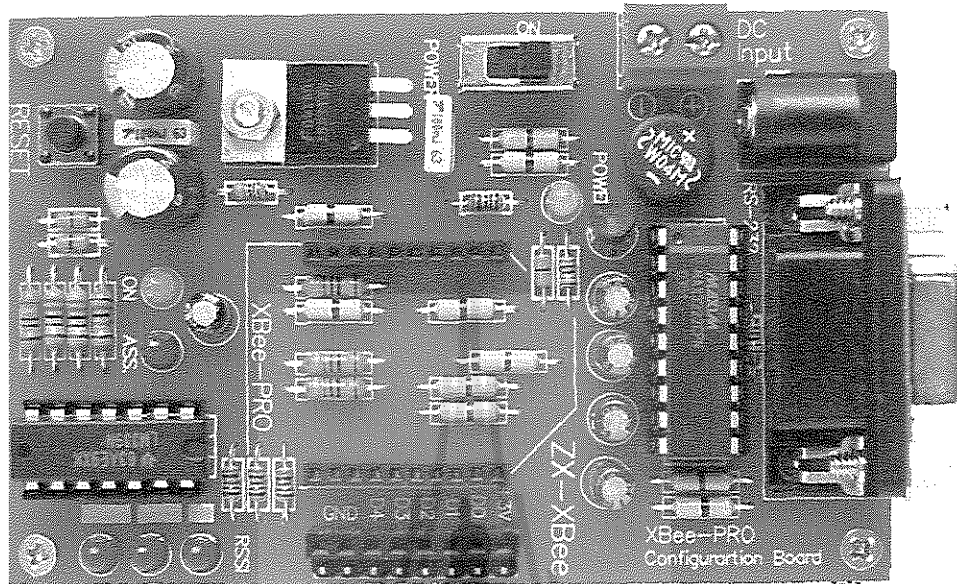
อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-1, 3-2, 3-3 ตามลำดับ ชิพ XBee Pro จะต่อกับแผงวงจรเชื่อมต่อ ADX-XBee ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน และในส่วนของบอร์ด ZX-XBee จะใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน เช่นเดียวกัน และจะเชื่อมต่อผ่าน RS-232 เพื่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3-1 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย XBee Pro [11]



รูปที่ 3-2 แผงวงจรเชื่อมต่อ XBee Pro (ADX-XBee) [11]



รูปที่ 3-3 บอร์ดเชื่อมคอมพิวเตอร์ (ZX-XBee) [11]

3.1.2 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญ

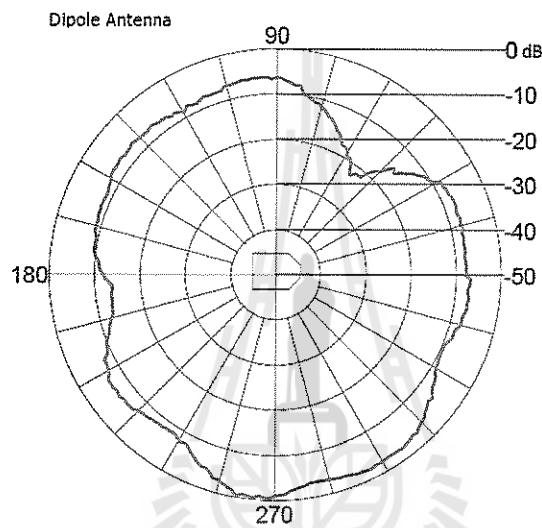
โมดูลสื่อสารไร้สายแต่ละยี่ห้อที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สำหรับลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญของ XBee Pro แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่สำคัญของ XBee Pro

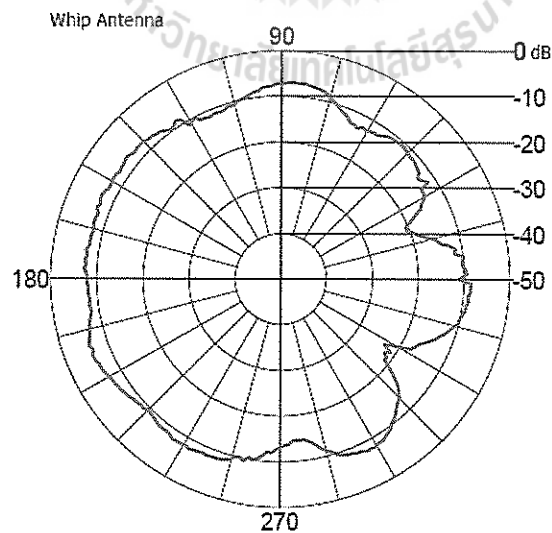
ลักษณะเฉพาะ	XBee Pro
ประสิทธิภาพ	
ระยะการส่งสัญญาณภายในอาคาร	ประมาณ 100 เมตร
ระยะการส่งสัญญาณภายนอกอาคาร	ประมาณ 1,500 เมตร
กำลังในการส่งสัญญาณแอคทีฟ	100 mW
อัตราการส่งข้อมูล	250,000 bps
อัตราการส่งข้อมูลในพอร์ตอนุกรม	1200 - 115,200 bps
ความไวในการรับสัญญาณ	-100 dBm (ความคลาดเคลื่อน 1%)
ความต้องการด้านพลังงาน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

3.1.3 รูปแบบการกระจายสัญญาณของ XBee Pro

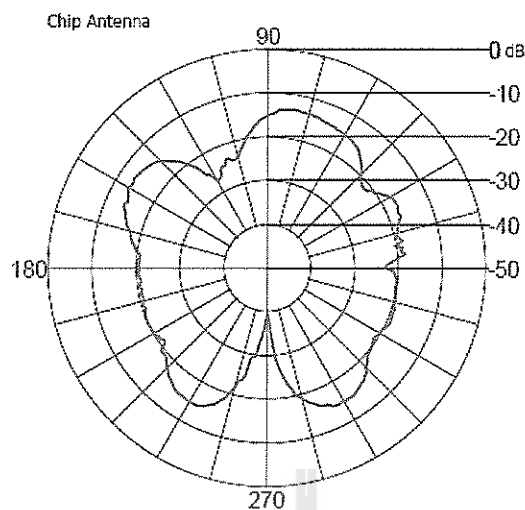
ชิพเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแต่ละประเภทนั้นจะมีระยะการกระจายสัญญาณที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของสายอากาศแต่ละประเภท โดยทั่วไปแล้วการกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุจะเป็นแบบรูปโดนัท (Doughnut) ชิพเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายของ XBee Pro นั้นมีสายอากาศ 3 ประเภท คือ สายอากาศแบบ U.FL RF Connector (U.FL RF Connector Antenna) สายอากาศแบบวิฟ (Whip Antenna) และสายอากาศแบบชิพ (Chip Antenna) การกระจายสัญญาณของสายอากาศทั้ง 3 แบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-4, 3-5, 3-6



รูปที่ 3-4 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ U.FL RF Connector



รูปที่ 3-5 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ Whip



รูปที่ 3-6 รูปแบบการกระจายสัญญาณของสายอากาศแบบ Chip

คุณสมบัติของสายอากาศแบบ Whip คือ มีค่าความเข้มของสัญญาณที่คงที่กว่าแบบอื่นๆ และมีขนาดเล็กเหมาะกับการนำไปต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์ อีกทั้งยังส่งข้อมูลได้ไกลกว่าแบบ Chip ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้สายอากาศแบบ Whip เพื่อใช้สร้างเซ็นเซอร์อ้างอิงและเซ็นเซอร์วัตถุสำหรับระบุตำแหน่งภายในอาคาร



3.2 กระบวนการทดลอง

1. ข้อตกลงเบื้องต้น
 - 1.1 ชิพเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้ต้องเป็นชิพ XBee Pro
 - 1.2 สายอากาศของ XBee Pro ต้องเป็นแบบ Whip Antenna
 - 1.3 อุปกรณ์เซ็นเซอร์อ้างอิงและเซ็นเซอร์วัตถุต้องใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน
2. ข้อกำหนดของการเก็บข้อมูล
 - 2.1 การเก็บข้อมูลในแต่ละพิกัดต้องเก็บในระยะห่างระหว่างพิกัด 4 เมตร
 - 2.2 ความสูงของที่ตั้งเซ็นเซอร์อ้างอิงและเซ็นเซอร์วัตถุต้องเท่ากัน คือ 25 เซนติเมตร
 - 2.3 เป็นช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้ Wireless LAN หรือมีการใช้น้อยที่สุด
 - 2.4 ข้อมูลแต่ละพิกัดมาจากการหาค่าเฉลี่ย 10 ครั้ง
 - 2.5 ในการร้องขอความเข้มของสัญญาณแต่ละครั้ง หากเซ็นเซอร์อ้างอิงตำแหน่งใดๆ ไม่ตอบค่าความเข้มของสัญญาณกลับมาให้กำหนดค่าความเข้มของสัญญาณในครั้งนั้น เป็น -110 dBm
3. ข้อกำหนดของการประมาณค่าข้อมูล
 - 3.1 ความละเอียดของทศนิยมใน โปรแกรมคำนวณและแสดงผลเพื่อหาพิกัด(Dev C++) คือ 8 ตำแหน่ง

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยได้แก่

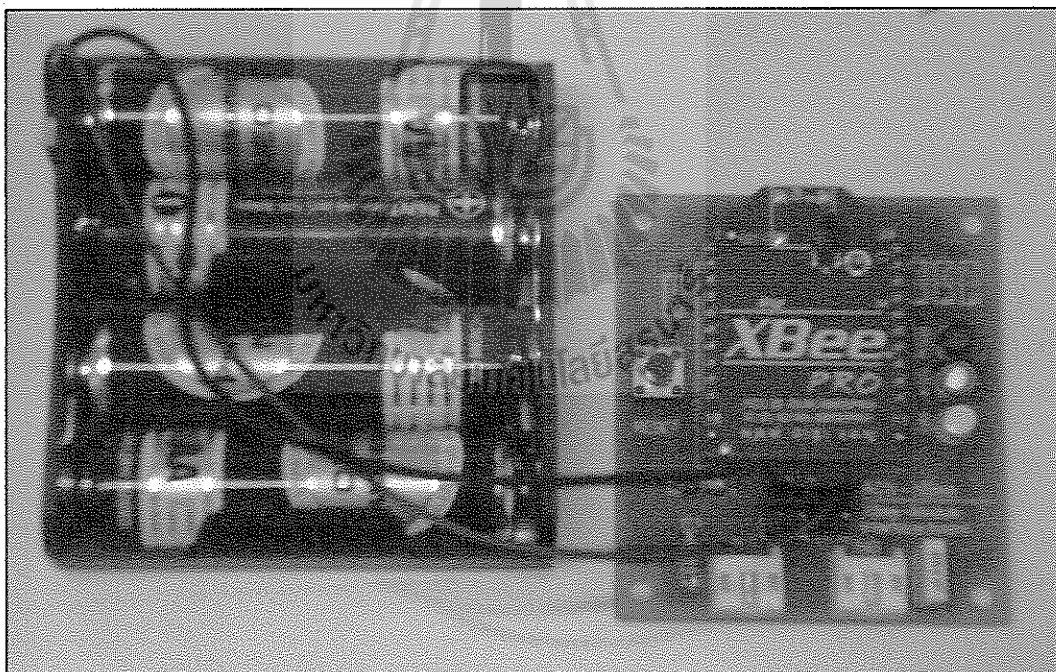
- ชิพ XBee Pro โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4 GHz จำนวน 5 ชุด
 - เซ็นเซอร์อ้างอิงจำนวน 4 ชุด
 - เซ็นเซอร์วัตถุที่แสดงผลโดยการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์จำนวน 1 ชุด
- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลจำนวน 1 เครื่อง

3.1.2 การออกแบบอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมี 2 ประเภท ได้แก่ เซ็นเซอร์อ้างอิง และเซ็นเซอร์วัตถุ โดยที่ เซ็นเซอร์วัตถุจะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 การออกแบบอุปกรณ์แต่ละประเภททำได้ดังนี้

1. เซ็นเซอร์อ้างอิง

ผู้วิจัยได้ออกแบบเซ็นเซอร์อ้างอิงให้ใช้พลังงานไฟฟ้าจากใช้จากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อน เนื่องจากสามารถนำเซ็นเซอร์อ้างอิงไปวางไว้ในตำแหน่งที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟ AC ได้ เซ็นเซอร์อ้างอิงจะทำหน้าที่รองรับการร้องขอค่าความเข้มสัญญาณ Received Signal Strength Indication (RSSI) จากเซ็นเซอร์วัตถุ และจะส่งค่าความเข้มของสัญญาณ ไปให้กับเซ็นเซอร์วัตถุ ชุดอุปกรณ์ เซ็นเซอร์อ้างอิงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-7 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิพดังตาราง 3-2



รูปที่ 3-7 เซ็นเซอร์อ้างอิง

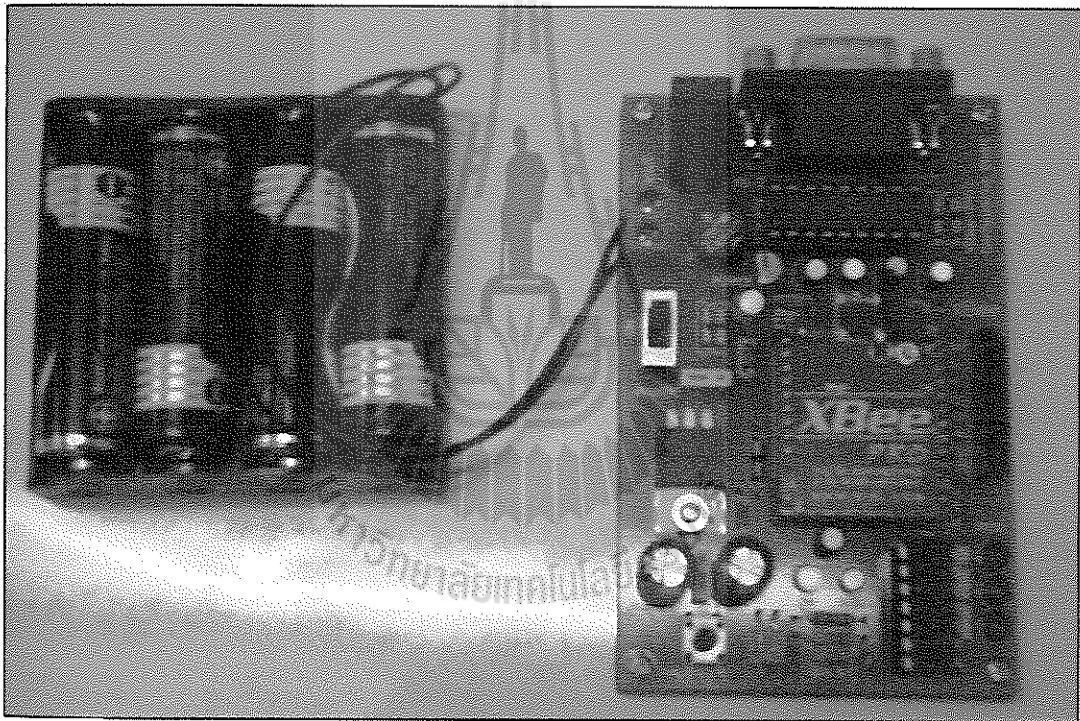
ตารางที่ 3-2 ค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์อ้างอิง

Channel (CH)	11(0x0F)
PAN ID (ID)	1000
Destination Address High (DH)	0
Destination Address Low (DL)	F
16 bit Source Address (MY)	[A,B,C,D]
Power Level (PL)	4
Coordinator Enable (CE)	0 (End Device)

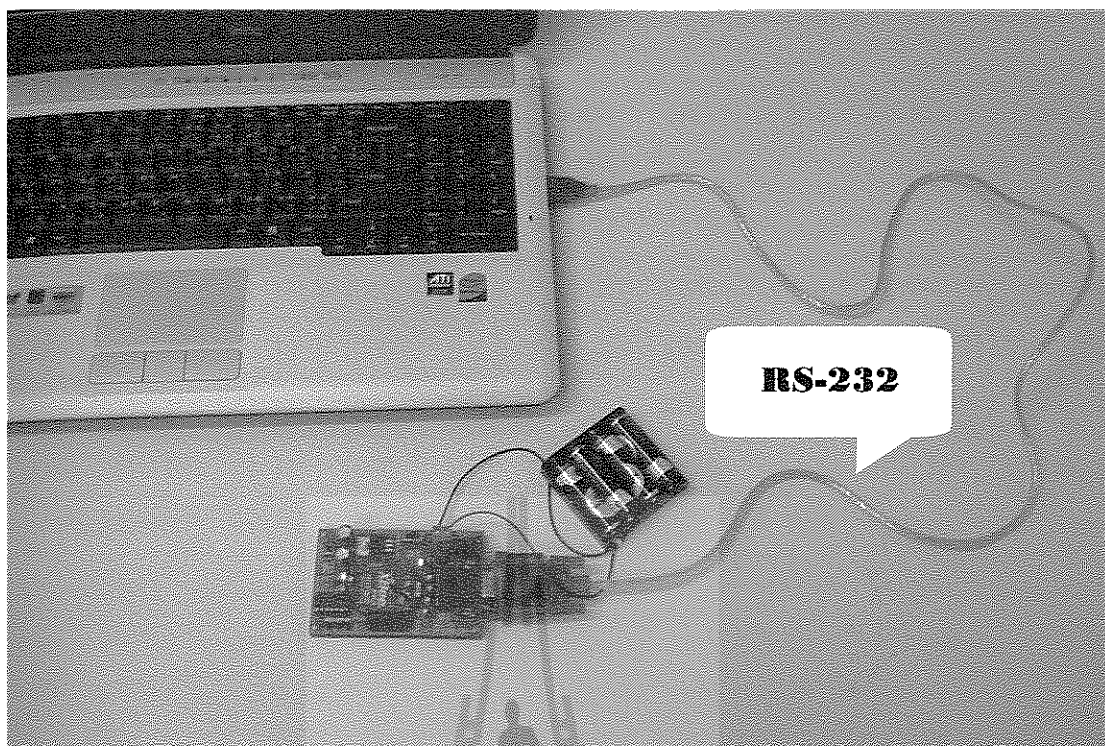


2. เซ็นเซอร์วัดถุ

เซ็นเซอร์วัดถุจะต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ถ่าน หน้าที่ของเซ็นเซอร์วัดถุ คือ ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) จากทุกเซ็นเซอร์อ้างอิง แล้วส่งข้อมูล ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตแบบอนุกรม (Serial Port) และพอร์ตยูเอสบี (USB) ของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัว ไปคำนวณตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัดถุ เซ็นเซอร์วัดถุแสดง ได้ดังรูปที่ 3-8 และการกำหนดค่าตัวแปรภายในชิพดังตาราง 3-3



รูปที่ 3-8 เซ็นเซอร์วัดถุ



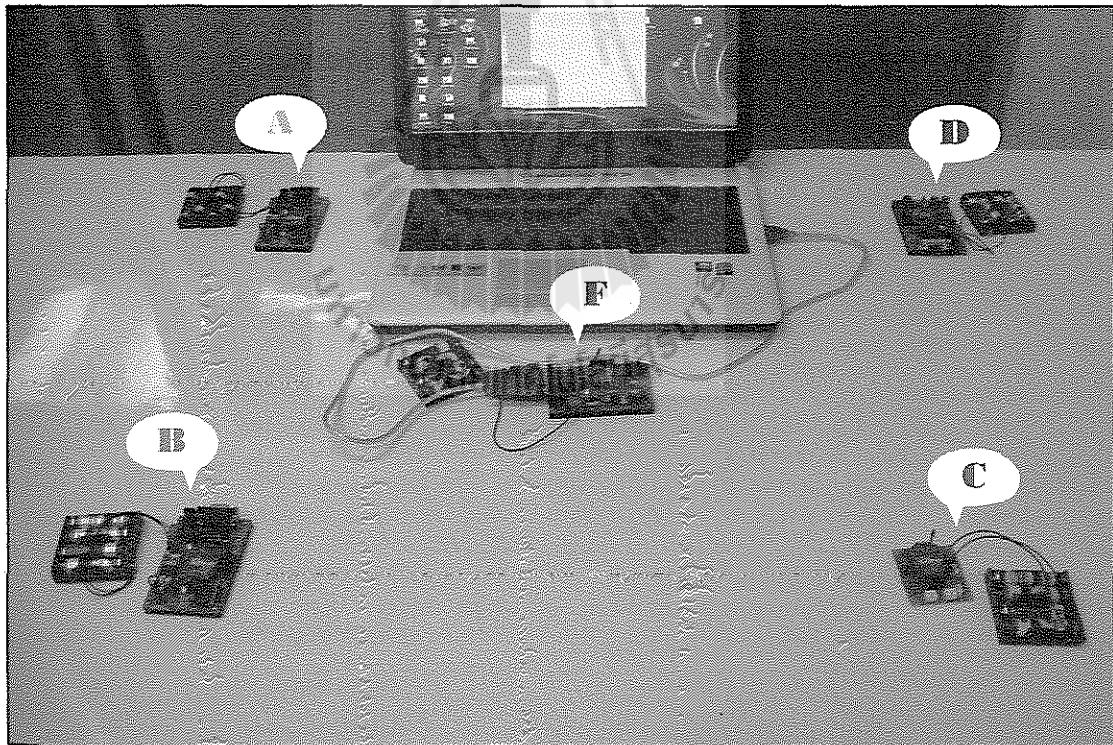
รูปที่ 3-9 การเชื่อมต่อสาย RS-232 ของเซ็นเซอร์วัตถุ

ตารางที่ 3-3 ค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์วัตถุ

Channel (CH)	11(0x0F)
PAN ID (ID)	1000
Destination Address High (DH)	0
Destination Address Low (DL)	FFFF
16 bit Source Address (MY)	[F]
Power Level (PL)	4
Coordinator Enable (CE)	1 (Coordinator)

ตารางที่ 3-4 สรุปค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์แต่ละตัว

My Address	Coordinator/ End Device	CH	PAN ID	DH	DL	PL	Modem type	SH	SL	Version
F	C	11	1000	0	FFFF	4	XBP24	13A200	402C324A	10CD
A	E	11	1000	0	F	4	XBP24	13A200	404BC77B	10CD
B	E	11	1000	0	F	4	XBP24	13A200	404BCD6B	10CD
C	E	11	1000	0	F	4	XBP24	13A200	403D4BB0	10CD
D	E	11	1000	0	F	4	XBP24	13A200	403D4BB6	10CD



รูปที่ 3-10 แสดงแบบจำลองการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์

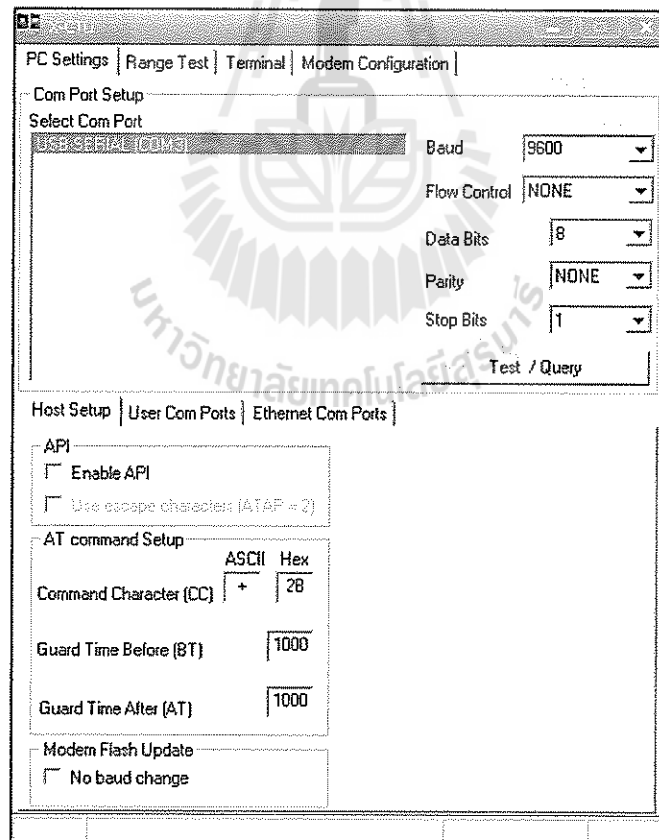
3.3 องค์ประกอบของโปรแกรมที่ใช้สร้างระบบการหาตำแหน่ง

- โปรแกรมที่ใช้ในการปรับหรือแก้ไขค่าตัวแปรที่อยู่ในเซ็นเซอร์และร้องขอค่าความเข้มของของสัญญาณ (RSSI) : X-CTU
- โปรแกรมที่ใช้เก็บฐานข้อมูลของพิกัด: Microsoft Office Excel 2007
- โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและแสดงผลเพื่อหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุ : Dev C++

1. X-CTU

เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับปรับและแก้ไขค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในชิพเซ็นเซอร์ไร้สาย รวมทั้งสามารถร้องขอค่าความเข้มของของสัญญาณ(RSSI) โดยใช้โหมด AT-Command และสามารถปรับปรุงซอฟต์แวร์เริ่มต้น (Update Firmware) หรือทดสอบการใช้งานของ XBee Pro โปรแกรม X-CTU แสดงได้ดังรูปที่ 3-11 และดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่

<http://x-ctu.software.informer.com/>



รูปที่ 3-11 ตัวอย่างโปรแกรม

2. Microsoft Office Excel 2007



เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บข้อมูลของพื้นที่ภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และประมาณค่า โดยเป็นการเก็บค่าแบบป้อนค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) แต่ละพิกัดโดยผู้ใช้ (Manual) แสดงได้ดังรูป 3-12

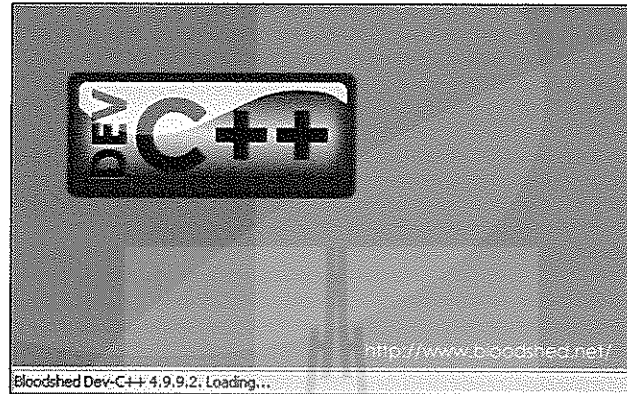
พิกัด	Sensor	ค่าที่รับได้	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean
5	A	Hex	2C	2C	2C	2C	2B	2A	2C	2C	2C	2A	
		Dec	-44	-44	-44	-44	-43	-42	-44	-44	-44	-42	-43.5
	B	Hex	33	32	33	33	32	31	33	32	32	33	
		Dec	-51	-50	-51	-51	-50	-49	-51	-50	-50	-51	-50.4
	C	Hex	57	57	59	57	58	55	58	58	58	55	
		Dec	-87	-87	-89	-87	-88	-85	88	-88	-88	-85	-87.2
	D	Hex	5F	5F	5F	5F	5D	5C	5F	5F	5F	5D	
		Dec	-95	-95	-95	-95	-93	-92	-95	-95	-95	-93	-94.3
6	A	Hex	2F	2D	2F	30	2F	2F	2F	2B	2E	2E	
		Dec	-47	-45	-47	-48	-47	-47	-47	-43	-46	-46	-46.3
	B	Hex	33	31	35	36	34	33	32	32	32	31	
		Dec	-51	-54	-53	-54	-52	-51	-50	-50	-50	-49	-50.9
	C	Hex	54	52	57	54	55	53	53	50	52	52	
		Dec	-84	-82	-87	-84	-85	-83	-83	-80	-82	-82	-83.2
	D	Hex	5C	52	5C	5A	5C	5A	5C	59	59	59	
		Dec	-92	-82	-92	-90	-92	-90	-92	-89	-89	-89	-89.7
7	A	Hex	2F	30	30	30	30	2F	31	30	30	31	
		Dec	-47	-48	-48	-48	-48	-47	-49	-48	-48	-49	-48
	B	Hex	34	35	34	34	33	32	33	33	33	32	
		Dec	-52	-52	-52	-52	-51	-50	-51	-51	-51	-50	-51.2

รูปที่ 3-12 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007

3. Dev C++



เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้คำนวณและแสดงผลเพื่อหาตำแหน่งของเซ็นเซอร์วัตถุ แสดง
ได้ดังรูปที่ 3-13, 3-14 และดาวน์โหลดโปรแกรมได้ที่ <http://www.bloodshed.net/dev/devcpp.html>



รูปที่ 3-13 โปรแกรม Dev C++

```

#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<math.h>
main() {
    float xa1[]={-72.2,-42.2,-45.3,-42.7,-76.0,-46.1};
    float xb1[]={-76.7,-83.9,-87.8,-89.5,-85.1,-97.67};
    float xc1[]={-49.0,-75.0,-67.4,-76.3,-56.1,-67.91};
    float xd1[]={-37.7,-36.0,-36.2,-42.4,-36.3,-37.91};

    float xa,xb,xc,xd;
    float D_e,D_b,D_c,D_d;
    float D,D_less;
    int i,a;
    float val[6];

    printf("Input value of RSSI Xa : ");
    scanf("%f",&xa);

    printf("Input value of RSSI Xb : ");
    scanf("%f",&xb);

    printf("Input value of RSSI Xc : ");
    scanf("%f",&xc);

    printf("Input value of RSSI Xd : ");
    scanf("%f",&xd);

```

รูปที่ 3-14 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม Dev C++

3.3.1 การสร้างฐานข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 เพื่อเก็บฐานข้อมูลของค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ของเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละพิกัด เพื่อนำค่าเหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แสดงได้ดังรูปที่ 3-15

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	พิกัด	Sensor	Mean	SD	พิกัด	Sensor	Mean	SD
2								
3	1	A	-53.8	1.5492	11	A	-48.5	1.0801
4		B	-78.6	1.2649		B	-48	2.1082
5		C	-85.3	0.483		C	-92.5	12.643
6		D	-44	0		D	-86.3	0.6749
7	2	A	-37.9	0.3162	12	A	-44	0.9428
8		B	-82.5	0.7071		B	-54.4	0.5164
9		C	-89.4	0.9661		C	-78.7	0.483
10		D	-50.6	0.6992		D	-87.8	1.8135
11	3	A	-44.2	1.3166	13	A	-43.5	0.8498
12		B	-73.2	0.4216		B	-50.4	0.6992
13		C	-82.6	0.5164		C	-87.2	1.3166
14		D	-58.9	1.9692		D	-94.3	1.1595
15	4	A	-36	0	14	A	-46.3	1.4181
16		B	-76.8	1.0328		B	-50.9	1.6633
17		C	-86	0		C	-83.2	1.9322
18		D	-60.7	0.9487		D	-89.7	3.0203
19	5	A	-60.8	3.1552	15	A	-48	0.6667
20		B	-53.8	0.4216		B	-51.3	0.9487
21		C	-94.2	5.9217		C	-81.6	1.9551
22		D	-77.6	1.6465		D	-90.9	1.1972
23	A	-30.2	0.4216	A	-41.2	0.4216		

รูปที่ 3-15 ตารางฐานข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI)

3.3.2 การคำนวณและการแสดงผลเพื่อหาคำแหน่งของวัตถุ

โดยโปรแกรมประยุกต์ Dev C++ จะใช้วิธีระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) เป็นวิธีการคำนวณหารูปแบบที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิง โดยระยะห่าง d น้อยที่สุดจะถือว่ารูปแบบดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิงมากที่สุด และจะเลือกใช้ค่าความเข้มของสัญญาณชุดนั้น วิธีการนี้ได้นำมาใช้ร่วมกับวิธีการจับคู่ความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลสูตรของระยะห่างยูคลิดีเนียนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x - x_i|^2}$$

จะได้ว่า

$$d = \sqrt{|x - x_1|^2 + |x - x_2|^2 + |x - x_3|^2 + \dots + |x - x_n|^2}$$

กำหนดให้

d คือ ระยะห่างยูคลิดีเนียน

n คือ จำนวนของเซ็นเซอร์อ้างอิง

x คือ ค่าความเข้มของสัญญาณปัจจุบัน

x_i คือ ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลแต่ละชุด

ในการทดลองผู้วิจัยได้ใช้เซ็นเซอร์อ้างอิงจำนวน 4 ตัว คือ A, B, C, D

$$d = \sqrt{|x_A - x'_A|^2 + |x_B - x'_B|^2 + |x_C - x'_C|^2 + |x_D - x'_D|^2}$$

กำหนดให้

x_A, x_B, x_C, x_D คือ ค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัว ณ ปัจจุบัน

x'_A, x'_B, x'_C, x'_D คือ ค่าความเข้มของสัญญาณของเซ็นเซอร์ ทั้ง 4 ตัว ในฐานข้อมูลแต่ละชุด

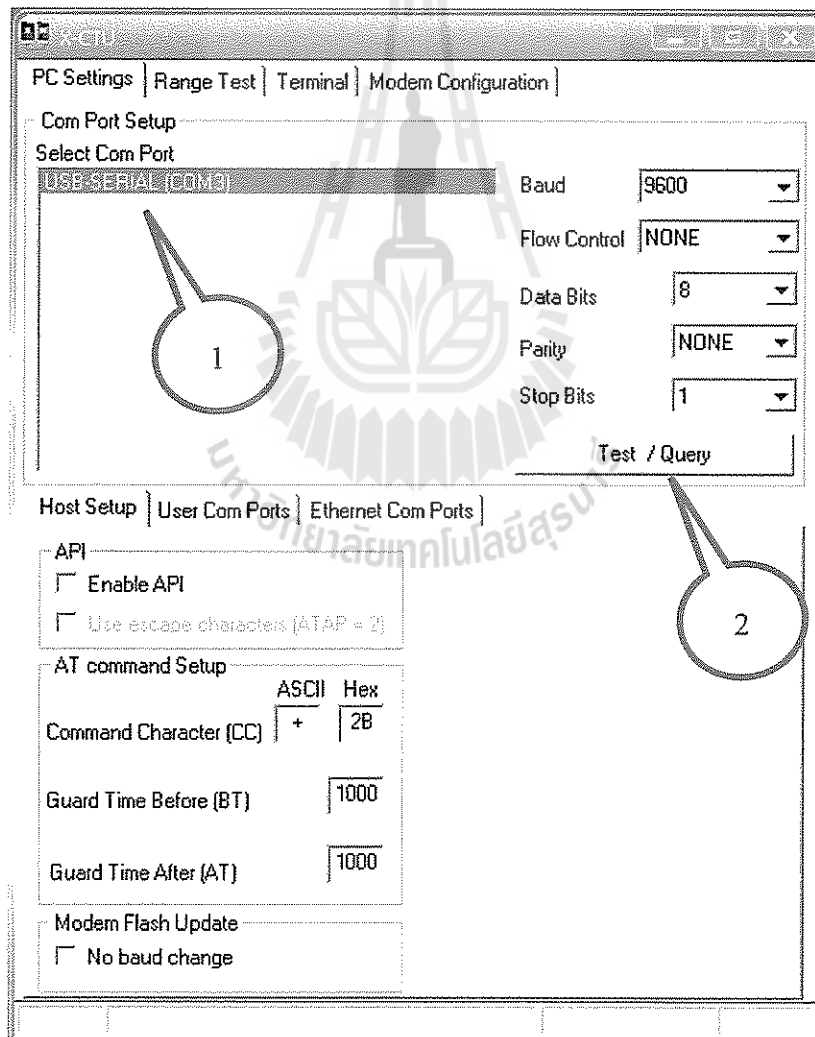
3.4 การทำงานของระบบ

3.4.1 รูปแบบของข้อมูล

การส่งข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วน ข้อมูลการร้องขอตำแหน่ง และข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์อ้างอิง

➤ ข้อมูลการร้องขอตำแหน่ง

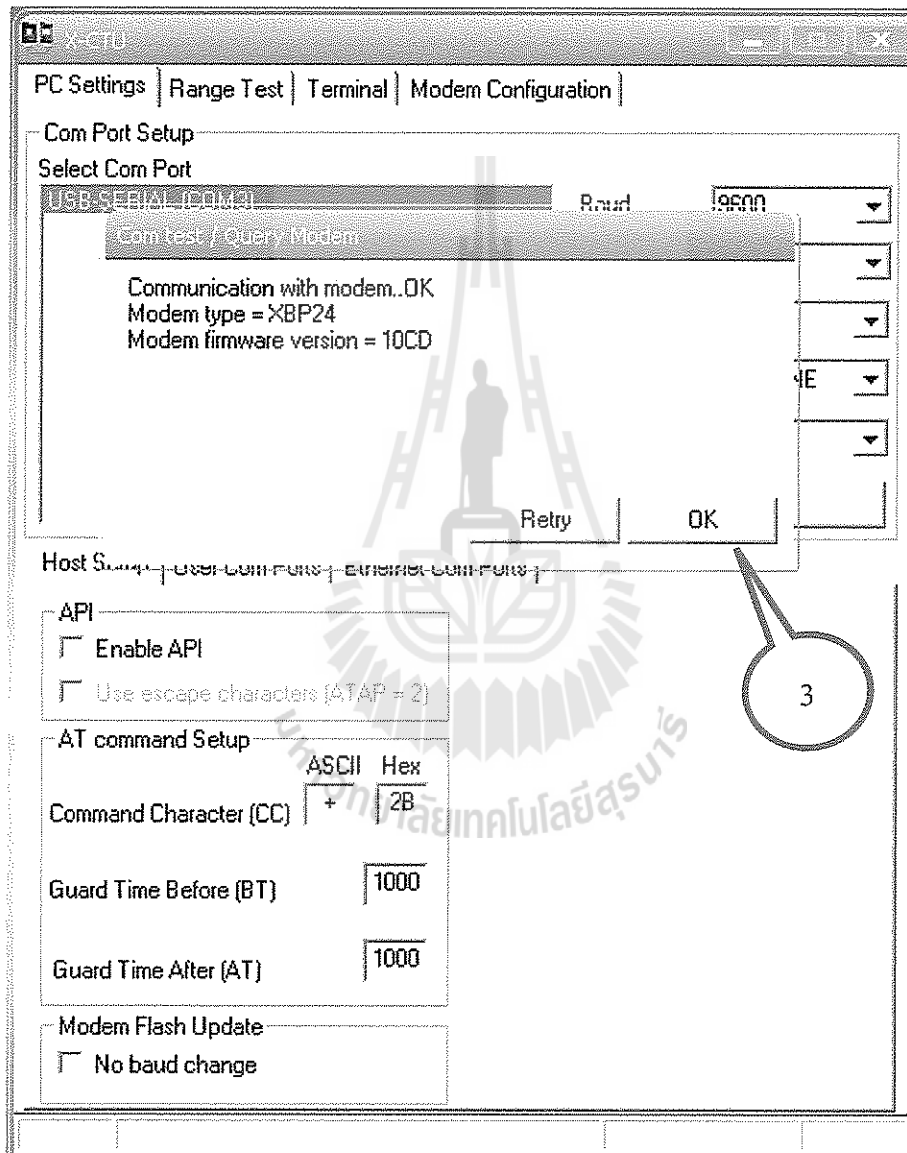
ข้อมูลชุดนี้จะถูกส่งเมื่อเซ็นเซอร์วัตถุเริ่มทำงาน โดยใช้โปรแกรม X-CTU ในโหมด AT-Command คำสั่ง ATND (Node Discovery) เป็นคำสั่งร้องขอข้อมูลจากเซ็นเซอร์อ้างอิง ข้อมูลดังกล่าวจะส่งไปยังเซ็นเซอร์อ้างอิงทุกตัวที่เซ็นเซอร์วัตถุสามารถส่งไปถึง ขั้นตอนการร้องขอตำแหน่งเป็นดังนี้



รูปที่ 3-16 โปรแกรม X-CTU

■ อธิบายรูปที่ 3-16

- 1 ต่อเซ็นเซอร์วัตถุเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้สายสายRS-232 เปิดโปรแกรม X-CTU จากนั้นเลือก Port USB-SERIAL
- 2 คลิกที่ Test/Query เพื่อตรวจสอบสถานะของ XBee Pro



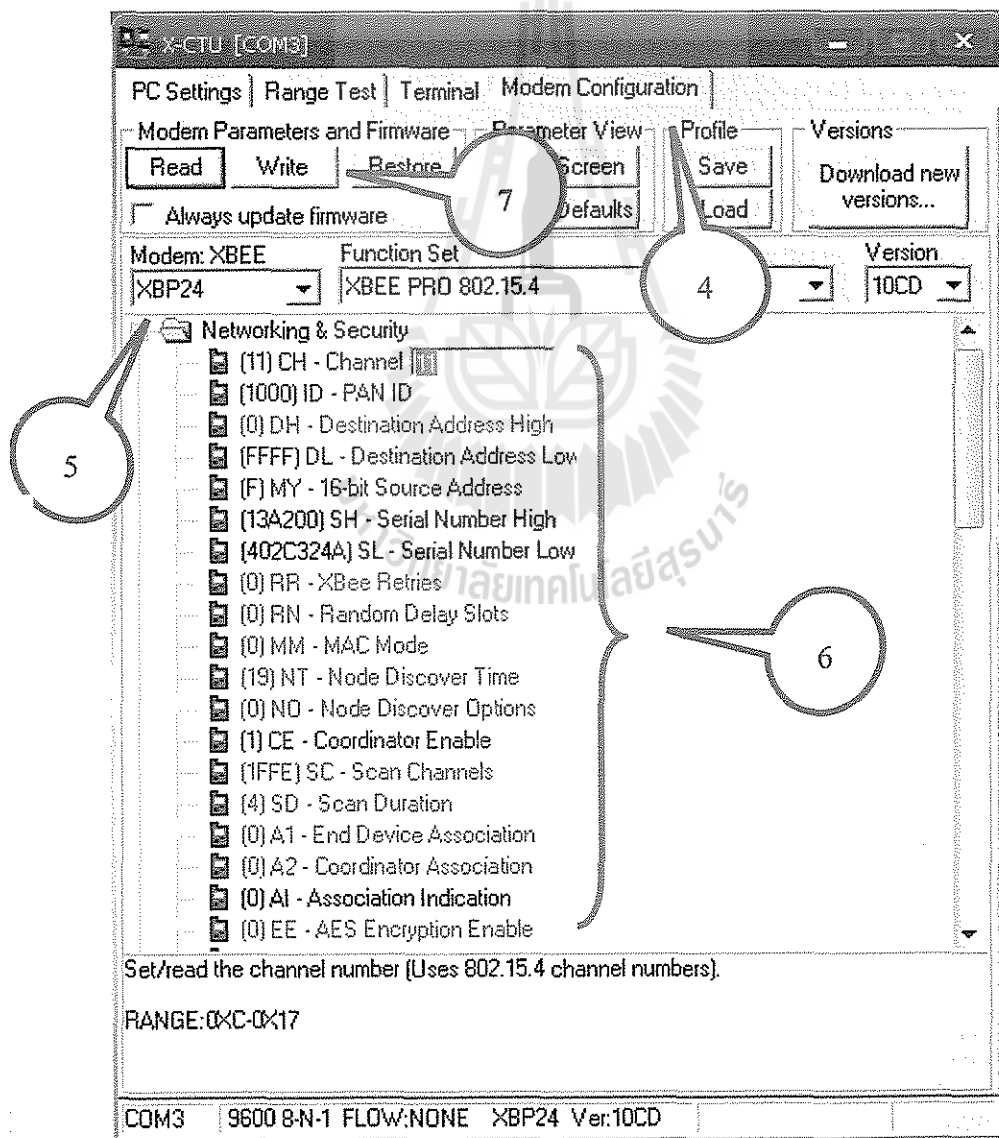
รูปที่ 3-17 การตรวจสอบสถานะของ XBee

▪ อธิบายรูปที่ 3-17

3 โปรแกรมจะบอกสถานะของ XBee Pro ว่าพร้อมใช้งานหรือไม่ โดยค่าที่โปรแกรมจะแสดงคือ

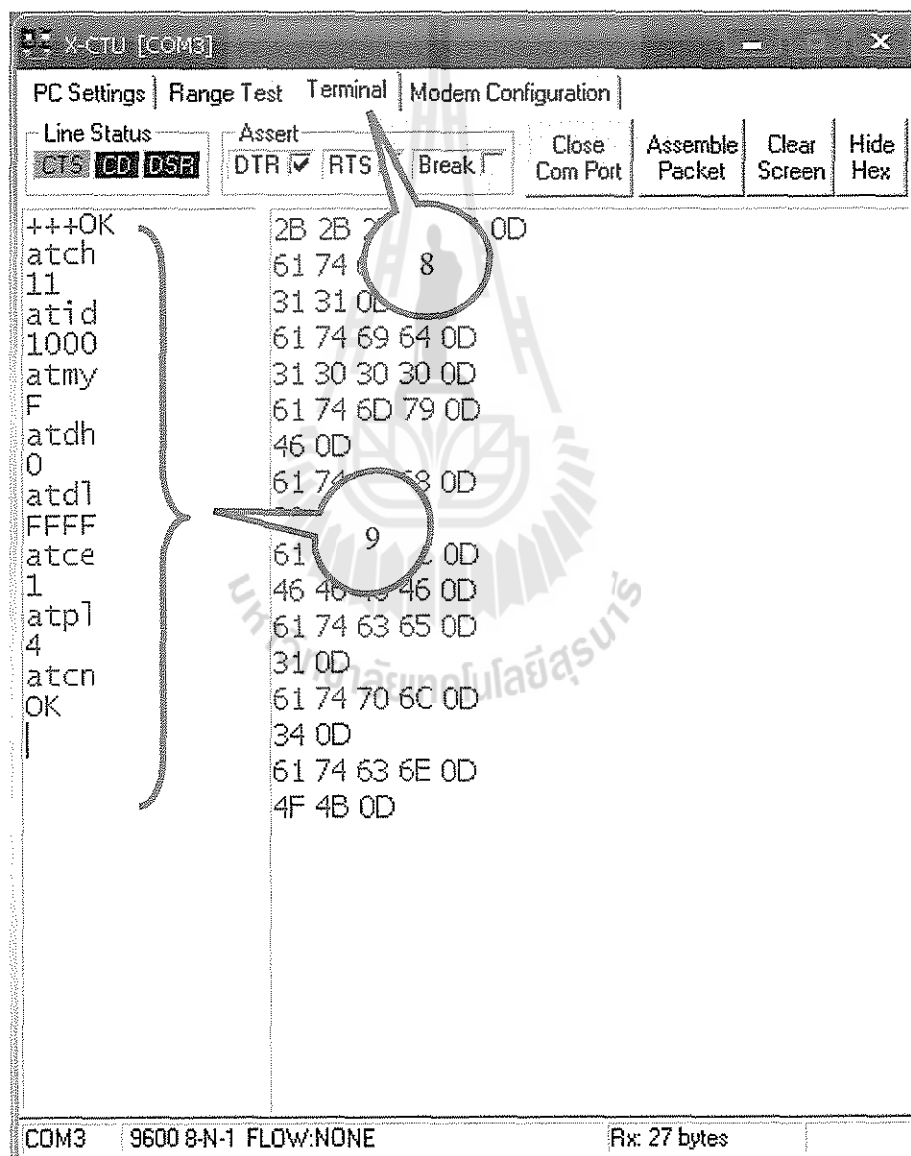
- สถานะการเชื่อมต่อ
- Modem type
- Modem firmware version

หากสถานะการทำงานไม่เป็นดังรูปที่ 3-17 อาจเกิดปัญหาเนื่องจากตัวอุปกรณ์ ให้กลับไปตรวจสอบสาย RS-232 หรือตรวจสอบไฟที่จ่ายให้กับบอร์ด ZX-XBee และหากสถานะเป็นไปตามรูปที่ 3-17 ให้กด OK



รูปที่ 3-18 การกำหนดค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์

- อธิบายรูปที่ 3-18
- 4 จากนั้นคลิกไปที่ Tab Modem Configuration
- 5 เลือก รุ่นของ XBee, Function Set, Version ในการทดลองนี้คือ XBP24, XBee Pro 802.15.4, 10CD ตามลำดับ
- 6 จากนั้นกำหนดค่าตัวแปรในเซ็นเซอร์ XBee Pro (CH, ID, DH, DL, MY, CE)
- 7 กด Write เพื่อบันทึกการเซตตั้งค่า



รูปที่ 3-19 การใช้ AT-Command Mode

■ อธิบายรูปที่ 3-19

8 จากนั้นคลิกไปที่ Tab Terminal เพื่อจะใช้งาน AT-Command Mode

9 พิมพ์ +++ แล้วรอโปรแกรมจะตอบ OK (เข้าสู่ AT-Command Mode)

คำสั่งพื้นฐานใน AT-Command Mode ยกตัวอย่างเช่น

- ATCH: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดช่องสัญญาณ (Channel) ของ XBee
- ATID: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดค่า PAN ID (Personal Area Network)
- ATMY: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดค่าหมายเลขหรือชื่อให้กับ XBee
- ATDH: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดหมายเลขของ XBee ปลายทางเป้าหมาย (บิตสูง)
- ATDL: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดหมายเลขของ XBee ปลายทางเป้าหมาย (บิตต่ำ)
- ATPL: เป็นคำสั่งที่ใช้สอบถามหรือกำหนดค่า Power Level
- ATCN: ออกจาก AT-Command Mode

หมายเหตุ ตัวอักษรสีน้ำเงินเป็นคำสั่ง AT-Command ที่เราส่งไป

ตัวอักษรสีแดงเป็นการตอบกลับมาจาก XBee ตัวอื่นๆ

เงื่อนไขการกำหนดคำสั่ง AT-Command Mode ยกตัวอย่างเช่น

ถ้าต้องการกำหนดช่องสัญญาณ (Channel) โดยใช้ AT-Command Mode ให้พิมพ์

+++OK ; ใช้โหมด AT-Command

ATCH11 [ENTER] ; กำหนดให้ช่องสัญญาณเป็นช่อง 17 (11 Hex แปลงได้ 17 Dec)

ATWR [ENTER] ; เขียนข้อมูลลงใน XBee

ATCN [ENTER]

OK ; ออกจากโหมด AT-Command

```

+++OK
atnd B 2B 2B 2B 4F 4B 0D
13A200 4 6E 64 0D
404BCD6B 33 41 32 30 30 0D
34 34 30 34 42 43 44 36 42 0D
33 34 0D
20 0D
A 0D
13A200 41 0D
404BC77B 31 33 41 32 30 30 0D
35 34 30 34 42 43 37 37 42 0D
33 35 0D
C 20 0D
13A200 0D
403D4BB0 43 0D
32 31 33 41 32 30 30 0D
34 30 33 44 34 42 42 30 0D
33 32 0D
D 20 0D
13A200 0D
403D4BB6 44 0D
2D 31 33 41 32 30 30 0D
34 30 33 44 34 42 42 36 0D
32 44 0D
20 0D

```

COM3 9600 8-N-1 FLOW:NONE Rx: 100 bytes

รูปที่ 3-20 การใช้ AT-Command Mode ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI)

■ อธิบายรูปที่ 3-20

- 10 การร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ทำได้โดย พิมพ์ ATND คือ ส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลจากเซ็นเซอร์อ้างอิงทุกตัวที่เซ็นเซอร์วัดสามารถส่งไปถึง

➤ ข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์อ้างอิง

หลังจากเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวได้รับข้อมูลการร้องขอตำแหน่งแล้ว จะส่งข้อมูลกลับไปยังเซ็นเซอร์วัตถุ

■ อธิบายรูปที่ 3-20

11 ข้อมูลที่เซ็นเซอร์อ้างอิงส่งกลับมาประกอบไปด้วย

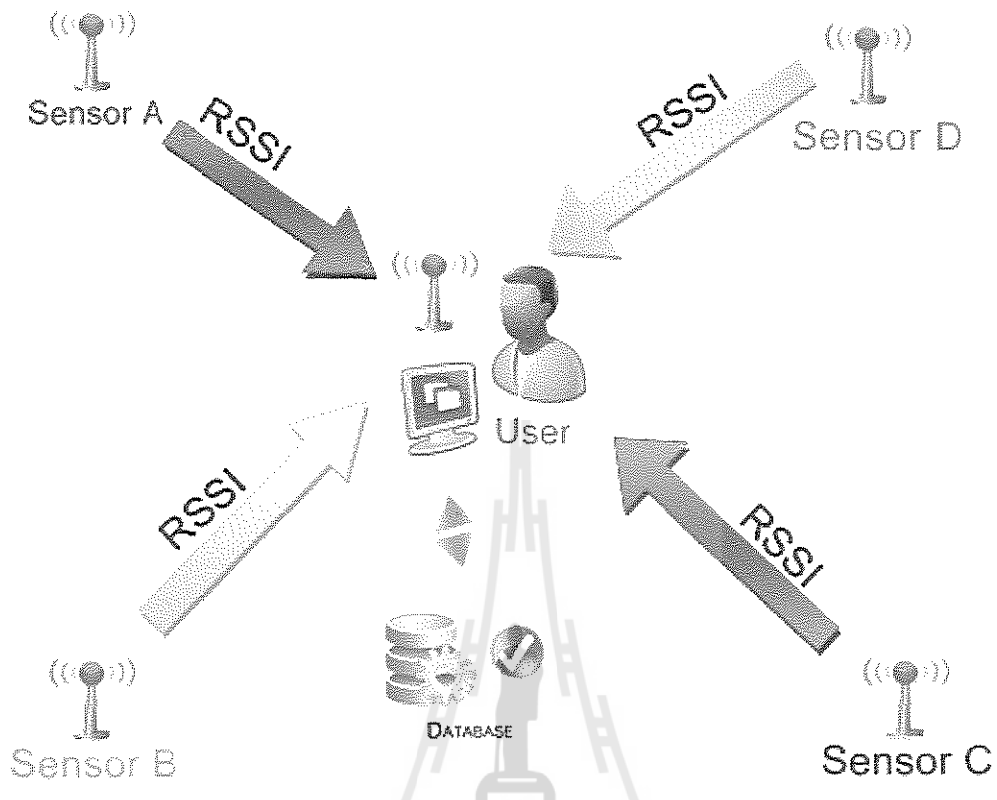
- ค่า MY Address หรือค่า Source Address ของเซ็นเซอร์อ้างอิง
- ค่า Serial High และ Serial Low ของเซ็นเซอร์อ้างอิง
- ค่า RSSI หรือ ค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้ในขณะนั้น (Hex)
- ค่า NI หรือ Node Identify (ปกติที่อยู่ในชิพจะถูกตั้งไว้เป็นค่าว่างๆ)

3.4.2 การจัดการข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บฐานข้อมูลของเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละพิกัดภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และประมวลค่า โดยเป็นการเก็บข้อมูลแต่ละพิกัดแบบ (Manual) หรือแบบผู้ใช้ป้อนค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ลงในฐานข้อมูล ชุดข้อมูลที่อยู่ในโปรแกรมนี้คือ ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของแต่ละพิกัด

3.4.3 โครงสร้างการทำงานในส่วนของคุณูปกรณ์

ระบบการหาตำแหน่งของงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบมาให้เซ็นเซอร์วัตถุเป็นตัวร้องขอความเข้มสัญญาณ จากเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวที่ได้ติดตั้งไว้ในพื้นที่ต่างๆภายในอาคาร เมื่อเซ็นเซอร์อ้างอิงได้รับข้อมูลการร้องขอตำแหน่ง เซ็นเซอร์อ้างอิงจะส่งค่าความเข้มของสัญญาณพร้อมกับ MY Address มาให้เซ็นเซอร์วัตถุ จากนั้นผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัตถุที่เซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวส่งมาลงฐานข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ละพิกัดที่ทำการร้องขอข้อมูลจะต้องมีระยะห่างระหว่างพิกัดกว้างและยาว 0.8 เซนติเมตรเทียบกับแผนผังของโครงสร้างภายในอาคารคือ 4 เมตร รูปที่ 3-21 แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบการหาตำแหน่ง



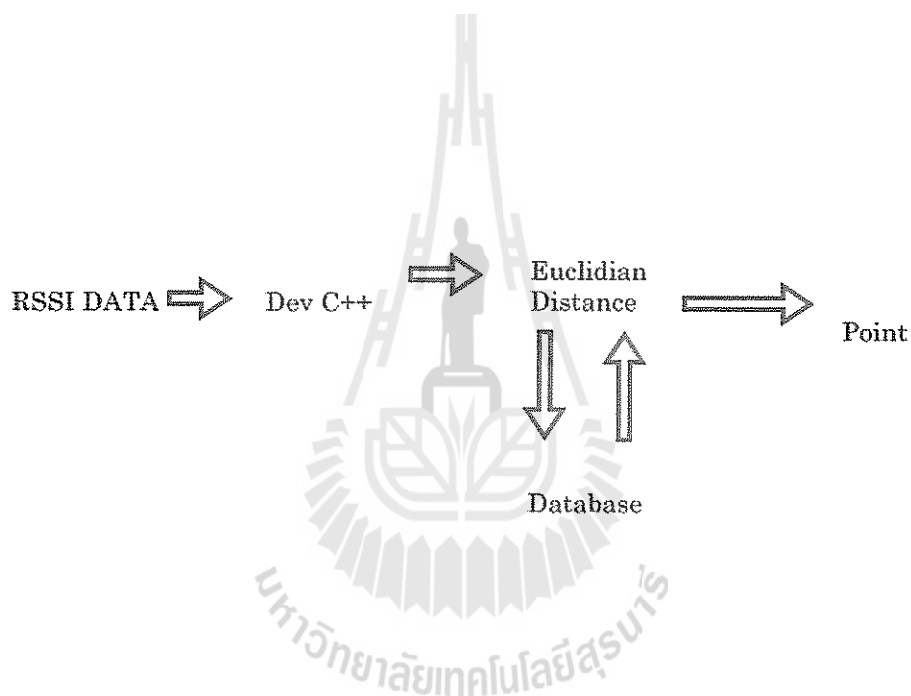
รูปที่ 3-21 แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบการหาตำแหน่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.5 โครงสร้างการทำงานในส่วนของโปรแกรม

3.5.1 การคำนวณตำแหน่งแบบการจับคู่ความเข้มของสัญญาณ

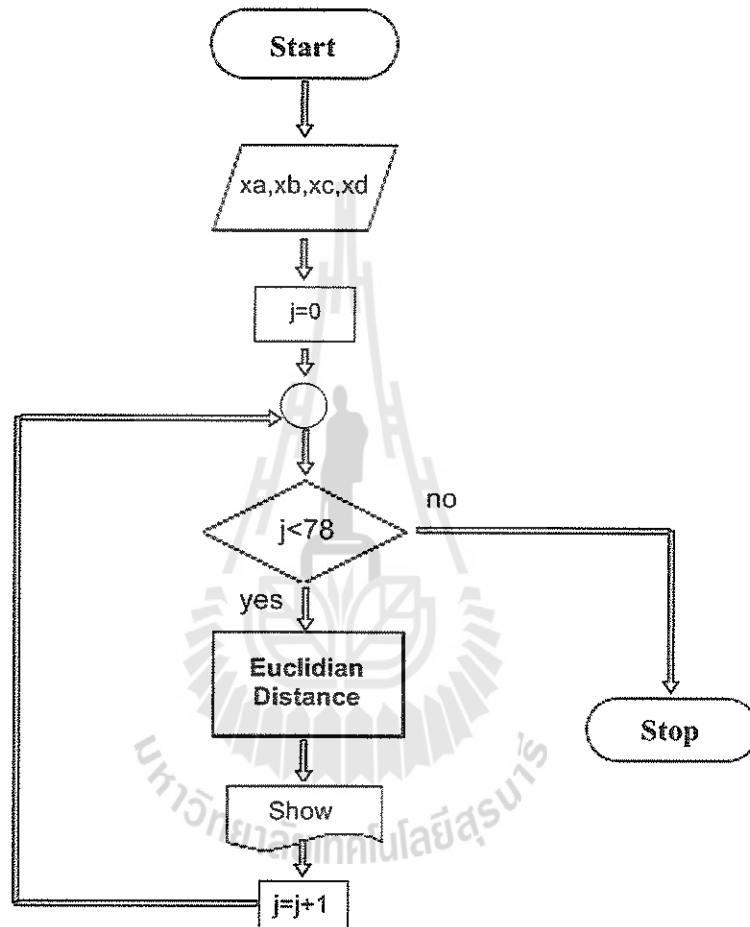
วิธีการทำงานคือ เมื่อได้ข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณที่ร้องขอ ณ ตำแหน่งปัจจุบันแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลชุดนั้นมาป้อนลงในโปรแกรมประยุกต์ Dev C++ ที่ใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งโดยกระบวนการยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) จากนั้น โปรแกรมประยุกต์จะเข้าสู่การประมวลผลแบบการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ ค่าสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณ คือ พิกัดของเซ็นเซอร์วัตถุ ณ เวลานั้น



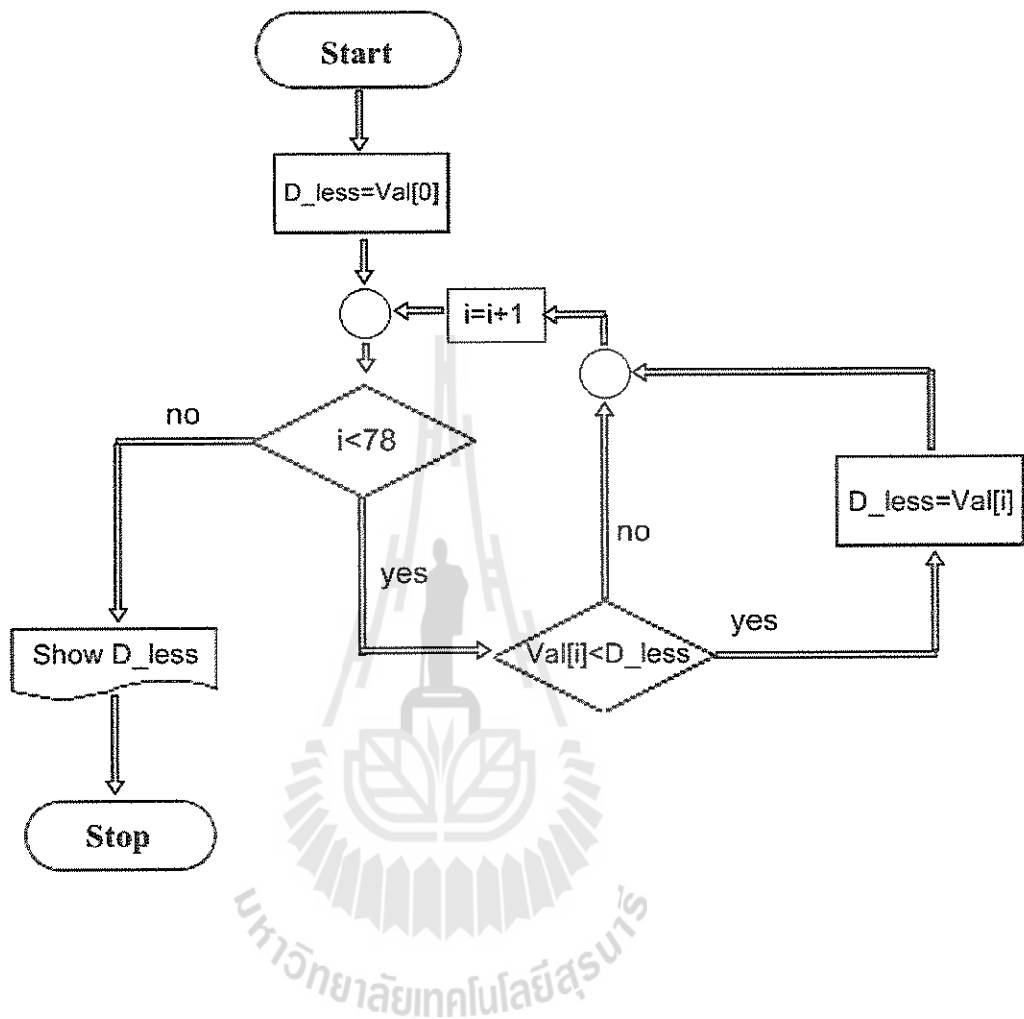
รูปที่ 3-22 บล็อกไดอะแกรมการคำนวณตำแหน่งแบบการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ

3.5.2 โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++)

การประมวลผลของโปรแกรมประยุกต์แสดงดัง Flowchart รูปที่ 3-23, 3-24



รูปที่ 3-23 Flowchart แสดงวิธีประมวลผลโดยใช้ Euclidian Distance



รูปที่ 3-24 Flowchart แสดงการหาค่า D_less

3.5.3 ตัวอย่างโปรแกรม

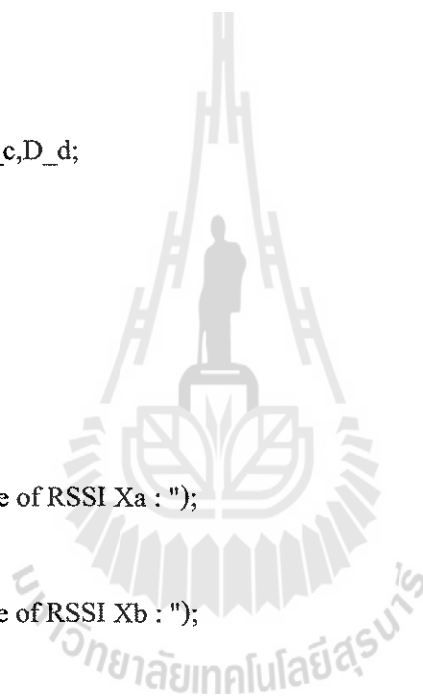
```

#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<math.h>
main(){
    float xa1[]={
    float xb1[]={
    float xc1[]={
    float xd1[]={
    float xa,xb,xc,xd;
    float D_a,D_b,D_c,D_d;
    float D,D_less;
    int i,a;
    float val[78];

    printf("Input value of RSSI Xa : ");
    scanf("%f",&xa);
    printf("Input value of RSSI Xb : ");
    scanf("%f",&xb);
    printf("Input value of RSSI Xc : ");
    scanf("%f",&xc);
    printf("Input value of RSSI Xd : ");
    scanf("%f",&xd);
    for(i=0;i<78;i++)
    {
        D_a=((xa-xa1[i])*(xa-xa1[i]));
        D_b=((xb-xb1[i])*(xb-xb1[i]));
        D_c=((xc-xc1[i])*(xc-xc1[i]));
        D_d=((xd-xd1[i])*(xd-xd1[i]));
    }
}

```

Database




```

D=(D_a+D_b+D_c+D_d);
val[i]=sqrt(D);

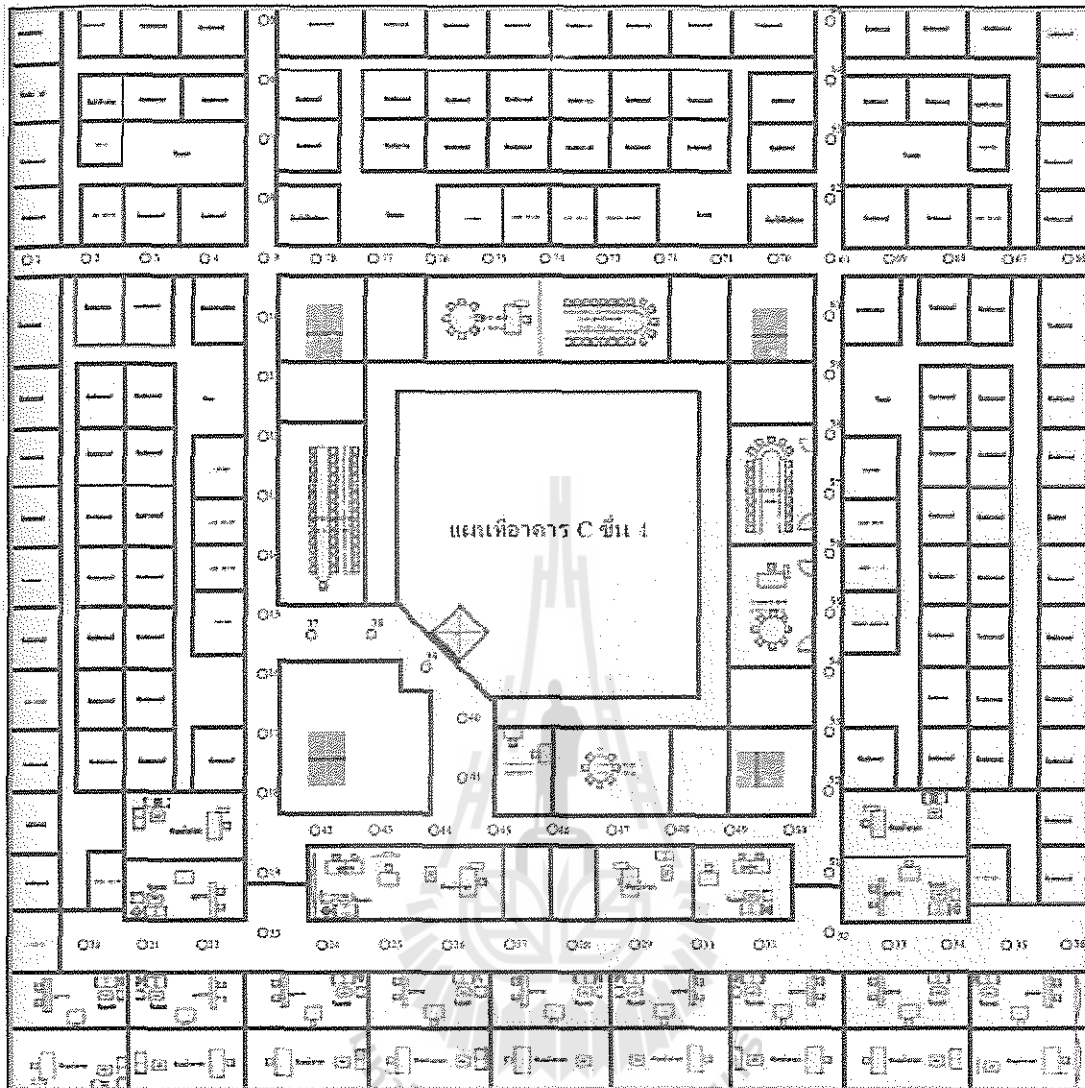
printf("\nValue of Euclidian distace in %d : %.8f",i+1,val[i]);
}
D_less=val[0];
for(i=0;i<78;i++){
    if(val[i]<D_less)
    {
        D_less=val[i];
        a=i+1;
    }
}
printf("\n\nValue of Euclidian Distance atleast= %.2f point =%d",D_less,a);
getch();
}

```

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

สถานที่การทดลอง คือ อาคารวิชาการชั้น 4 พื้นที่เฉพาะช่องทางเดิน ยาว 76.5 เมตร ในแนวแกน X และกว้าง 68 เมตร ในแนวแกน Y การทดลองนั้นได้ทำตอนกลางคืน เนื่องจากหลีกเลี่ยงการใช้งานของ Wireless LAN หรือให้มีการใช้งานน้อยที่สุด สำหรับการแสดงผลนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบการแสดงผลให้เป็นรูปแบบของแผนที่ที่จำลองจากขนาดจากสถานที่จริง โดยให้ระยะห่างระหว่างจุดคือ 0.8 เซนติเมตร (เทียบกับแผนที่จริงคือ 4 เมตร) แต่ทุกพิกัดจะมีหมายเลขกำกับเพื่อสะดวกในการแสดงผลและบอกตำแหน่ง แสดงในรูปแบบที่ 3-25

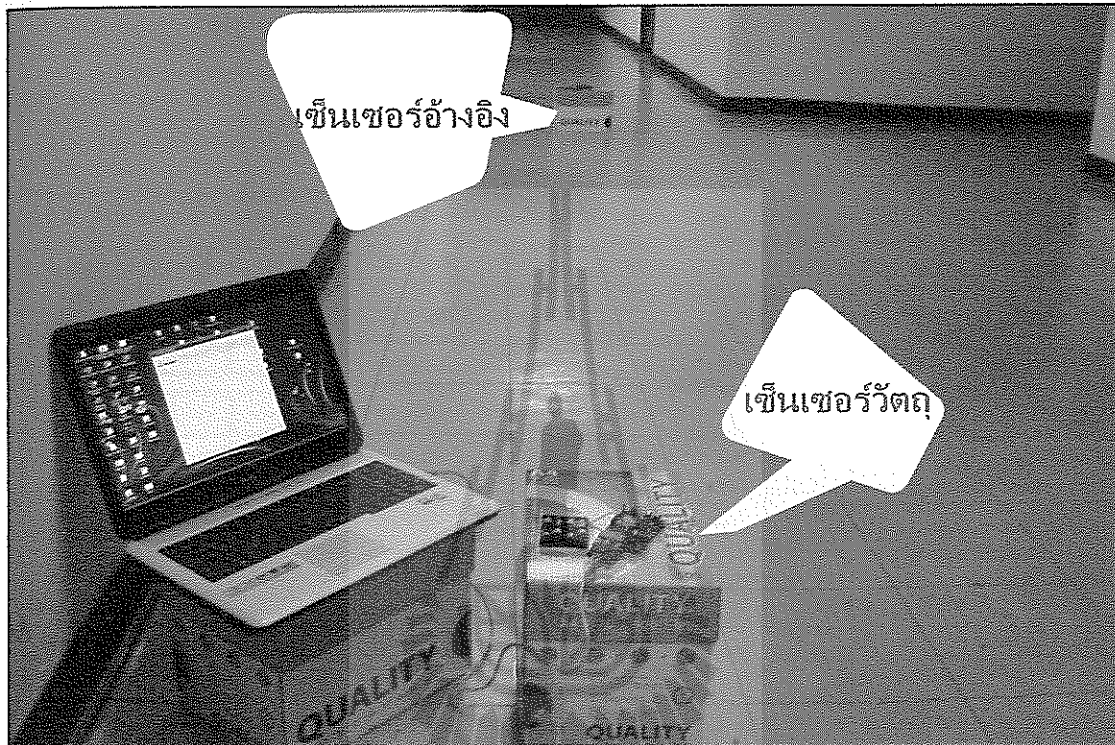


รูปที่ 3-25 รูปแบบของแผนที่

3.6.2 กระบวนการเก็บข้อมูล

สำหรับวิธีการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณนั้น ต้องทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูล การเก็บข้อมูลนั้นจะเก็บตามจุดที่ได้กำหนดเอาไว้แล้วดังรูปที่ 3-25 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขึ้นเอง เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่การทดลอง โดยระยะห่างของจุดที่กำหนด คือระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 4 เมตร โดยทำการวัดค่าความเข้มของสัญญาณเฉพาะบริเวณทางเดิน โดยการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณใช้เซ็นเซอร์อ้างอิงทุกตัวจะทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีเดียวกัน ซึ่งสิ่งที่แตกต่างกันคือ ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งภายในอาคาร เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการเก็บ

ข้อมูล โปรแกรมฐานข้อมูลที่ใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 จะ ได้ข้อมูลค่าความเข้ม
สัญญาณแต่ละพิกัด ทั้งหมด 4 จุด คือ เซ็นเซอร์ A, B, C, D ตามลำดับ



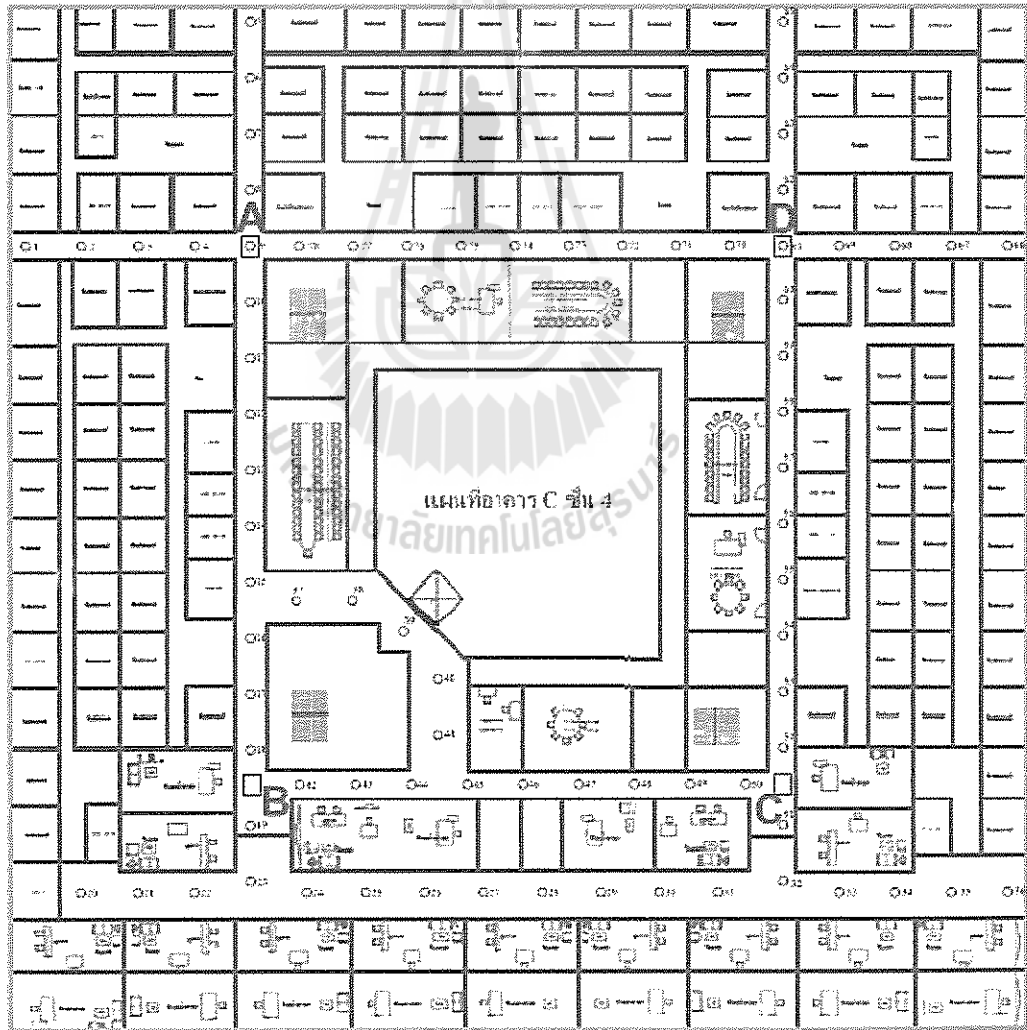
รูปที่ 3-26 รูปการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณจากเซ็นเซอร์อ้างอิง

บทที่ 4

การทดสอบการหาตำแหน่งวัตถุในอาคาร ผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee

4.1 การจัดวางตัวของเซ็นเซอร์อ้างอิง

ผู้วิจัยได้กำหนดให้เซ็นเซอร์อ้างอิงทั้ง 4 ตัว คือ A, B, C, D วางตัวอยู่ตรงบริเวณสี่แยกของช่องทางเดิน ซึ่งเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวจะสามารถส่งสัญญาณแบบ Line Of Sight ไปยังเซ็นเซอร์อ้างอิงอีก 2 ตัวที่อยู่ด้านข้างดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 การจัดวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์อ้างอิง

4.2 ผลการวัด Fingerprinting ทั้งหมด 78 จุด

ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดพิกัดการเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) โดยได้กำหนดจุดเอาไว้ทั้งหมดจำนวน 78 จุดดังรูปที่ 4-1 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขึ้นเอง เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่การทดลอง โดยทำการวัดค่าความเข้มของสัญญาณเฉพาะบริเวณทางเดิน กำหนดระยะห่างของจุด คือ ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 4 เมตร แต่ละจุดผู้วิจัยได้ทำการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) จำนวน 10 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย และคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) จากเซ็นเซอร์อ้างอิง ณ ตำแหน่งใดๆ ถ้าเซ็นเซอร์อ้างอิงไม่ตอบค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) กลับมาให้กำหนดค่าความเข้มของสัญญาณในครั้งนั้นเป็น -110 dBm ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงฐานข้อมูลจากการทำ fingerprinting ทั้ง 78 จุด



ตารางที่ 4-1 ฐานข้อมูลจากการทำ Fingerprinting

พิกัด	Sensor	Mean	SD	พิกัด	Sensor	Mean	SD
1	A	-53.8	1.5492	11	A	-48.5	1.0801
	B	-78.6	1.2649		B	-48	2.1082
	C	-85.3	0.483		C	-92.5	12.643
	D	-44	0		D	-86.3	0.6749
2	A	-37.9	0.3162	12	A	-44	0.9428
	B	-82.5	0.7071		B	-54.4	0.5164
	C	-89.4	0.9661		C	-78.7	0.483
	D	-50.6	0.6992		D	-87.8	1.8135
3	A	-44.2	1.3166	13	A	-43.5	0.8498
	B	-73.2	0.4216		B	-50.4	0.6992
	C	-82.6	0.5164		C	-87.2	1.3166
	D	-58.9	1.9692		D	-94.3	1.1595
4	A	-36	0	14	A	-46.3	1.4181
	B	-76.8	1.0328		B	-50.9	1.6633
	C	-86	0		C	-83.2	1.9322
	D	-60.7	0.9487		D	-89.7	3.0203
5	A	-60.8	3.1552	15	A	-48	0.6667
	B	-53.8	0.4216		B	-51.3	0.9487
	C	-94.2	5.9217		C	-81.6	1.9551
	D	-77.6	1.6465		D	-90.9	1.1972
6	A	-39.2	0.4216	16	A	-41.2	0.4216
	B	-52.5	0.9718		B	-50	0.8165
	C	-87.3	0.483		C	-77.9	0.9944
	D	-70.4	3.893		D	-88.3	0.6749
7	A	-44.4	0.5164	17	A	-41.9	0.3162
	B	-48.8	0.9189		B	-38.9	0.5676
	C	-88	0		C	-71.7	0.483
	D	-77.3	0.6749		D	-91.3	2.7101
8	A	-36	0	18	A	-39.8	0.4216
	B	-49.5	0.8498		B	-36	0
	C	-86.4	0.8433		C	-66.9	2.2828
	D	-72.2	0.6325		D	-95.7	7.5873
9	A	-36	0	19	A	-47.9	0.9944
	B	-46.6	3.134		B	-38.9	1.3703
	C	-88	2.2608		C	-70.9	1.3703
	D	-49.2	0.4216		D	-93.9	5.7822
10	A	-40	0.8165	20	A	-74.6	1.1738
	B	-48.1	1.7288		B	-65.6	1.7764
	C	-105.3	6.4472		C	-75.8	2.2998
	D	-76.8	1.2293		D	-92.7	1.0593

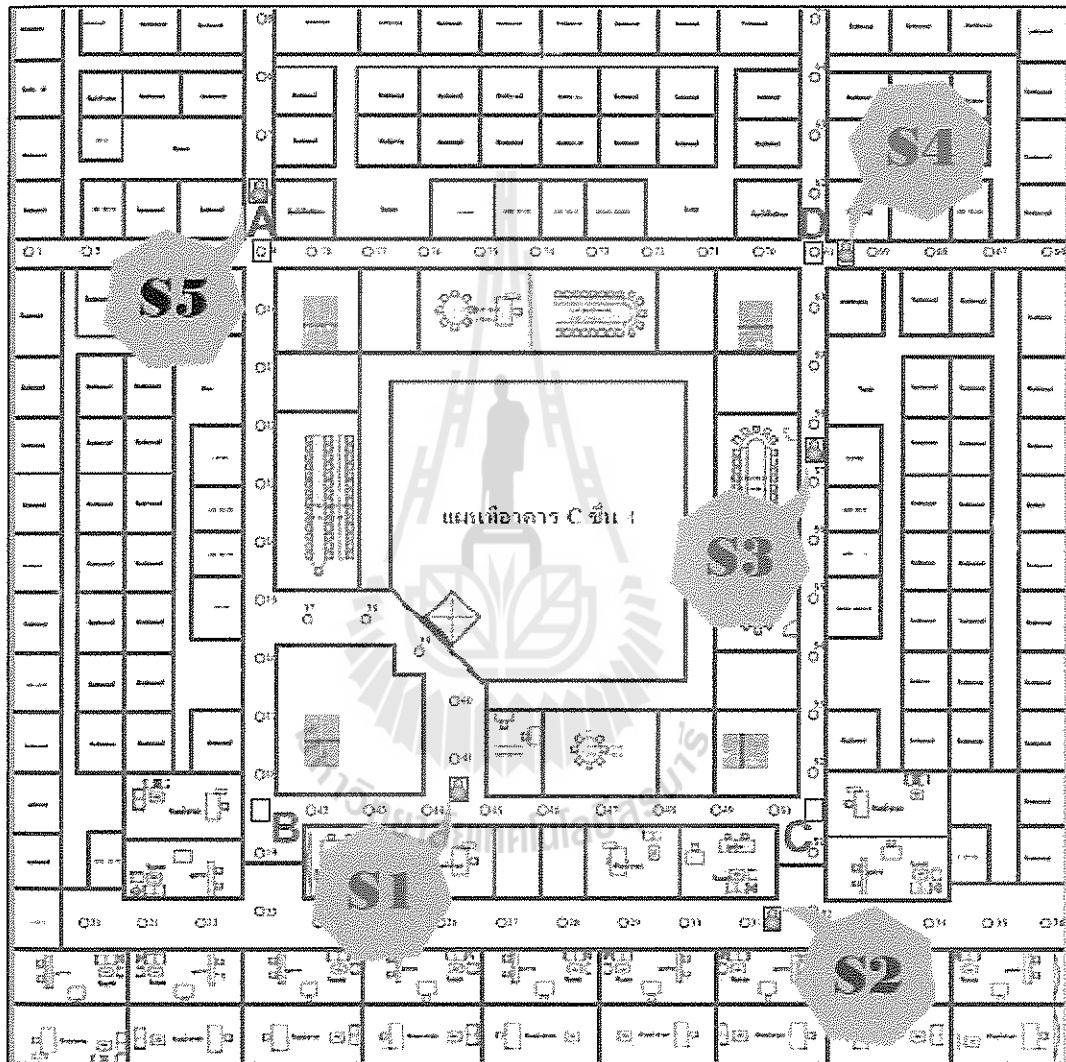
พิกัด	Sensor	Mean	SD	พิกัด	Sensor	Mean	SD
21	A	-66.3	1.3375	31	A	-89.2	1.6865
	B	-53.6	0.8433		B	-72.1	1.7288
	C	-71.3	1.2517		C	-55.9	0.7379
	D	-94.6	0.5164		D	-76.7	0.9487
22	A	-65.4	0.5164	32	A	-81.7	1.0593
	B	-55.2	0.7888		B	-72.5	1.1785
	C	-67	0		C	-47.2	0.6325
	D	-92.9	0.8756		D	-61	0.4714
23	A	-43.3	2.0575	33	A	-84.6	0.8433
	B	-55.6	1.8379		B	-76	0.4714
	C	-69.7	1.1595		C	-55.7	1.0593
	D	-91.1	6.6742		D	-76.2	1.0328
24	A	-62.2	1.0328	34	A	-86	0.4714
	B	-56.1	1.9692		B	-73.2	1.1353
	C	-64.1	0.5676		C	-71.1	2.2336
	D	-92.5	1.354		D	-76	0.4714
25	A	-70.8	2.8983	35	A	-95.3	2.0575
	B	-57.4	1.7764		B	-75.6	1.2649
	C	-60.2	0.4216		C	-55.4	0.5164
	D	-85.8	0.4216		D	-82.3	4.4485
26	A	-77.8	1.8135	36	A	-100.2	6.1427
	B	-73.1	4.2282		B	-81.9	4.557
	C	-75.1	1.4491		C	-62.4	0.8433
	D	-86.4	0.5164		D	-83.6	1.7127
27	A	-75.9	0.3162	37	A	-60.9	0.3162
	B	-61.4	0.5164		B	-59.3	0.6749
	C	-56.8	0.4216		C	-73.7	0.483
	D	-79.4	0.5164		D	-88.4	0.5164
28	A	-79	0	38	A	-68.9	0.3162
	B	-66.6	0.6992		B	-60	0
	C	-57	0.8165		C	-73.4	0.8433
	D	-79.9	1.2867		D	-85.4	0.6992
29	A	-86.3	0.6749	39	A	-69.3	0.483
	B	-69.2	0.4216		B	-70.5	1.0801
	C	-69.5	1.5092		C	-72	0
	D	-80.6	0.5164		D	-89.2	0.4216
30	A	-81.6	0.6992	40	A	-75.2	1.0328
	B	-69.3	0.483		B	-78.5	1.354
	C	-49.8	0.4216		C	-66.6	0.5164
	D	-70	0		D	-102.5	4.062

พิกัด	Sensor	Mean	SD	พิกัด	Sensor	Mean	SD
41	A	-78.8	0.6325	51	A	-89.7	0.9487
	B	-77.2	2.201		B	-71.1	2.4244
	C	-63	0		C	-36	0
	D	-91.9	0.7379		D	-50	0.6667
42	A	-66.3	0.9487	52	A	-96.2	2.5298
	B	-42.1	2.6013		B	-57.3	1.0593
	C	-41.2	0.4216		C	-36	0
	D	-75.1	0.3162		D	-53.3	1.4944
43	A	-67.6	0.8433	53	A	-91.5	7.075
	B	-48	2.582		B	-73.2	0.6325
	C	-44.3	0.483		C	-37.9	0.7379
	D	-76	0		D	-48	0.6667
44	A	-74	1.3333	54	A	-81	0.6667
	B	-49.2	0.4216		B	-72	0
	C	-50.3	0.6749		C	-43.2	2.6162
	D	-81.8	1.0328		D	-45.1	1.4491
45	A	-78.1	1.3703	55	A	-91.8	1.0328
	B	-56.8	1.1353		B	-69	0
	C	-45.9	0.5676		C	-52.5	1.0801
	D	-82.9	1.792		D	-50.1	0.3162
46	A	-77.1	1.5951	56	A	-77.3	0.483
	B	-56.7	1.0593		B	-69.1	0.3162
	C	-55.9	1.1005		C	-48.4	0.9661
	D	-82.5	0.8498		D	-51.3	0.9487
47	A	-89.7	3.8601	57	A	-82.8	2.2998
	B	-60.2	3.2592		B	-75.9	0.5676
	C	-44.9	1.6633		C	-48.9	0.3162
	D	-80.1	0.7379		D	-45	2.2111
48	A	-82.2	1.4757	58	A	-82.4	0.9661
	B	-50.8	0.4216		B	-84.4	0.5164
	C	-50.6	0.8433		C	-46.5	0.527
	D	-81.9	1.3703		D	-49.3	0.483
49	A	-78.9	1.792	59	A	-73.1	1.5239
	B	-49.2	1.0328		B	-80.5	1.0801
	C	-41.3	0.483		C	-41.1	0.3162
	D	-75.4	0.8433		D	-54.9	2.5582
50	A	-80	0	60	A	-72.2	0.4216
	B	-49.7	0.9487		B	-78.7	0.6749
	C	-36	0		C	-49	0
	D	-58.9	0.8756		D	-37.7	0.483

พิกัด	Sensor	Mean	SD	พิกัด	Sensor	Mean	SD
61	A	-42.2	0.4216	71	A	-48	0
	B	-83.9	0.8756		B	-93.7	1.1595
	C	-45.2	1.3166		C	-72.7	0.9487
	D	-36	0		D	-46.5	1.8409
62	A	-76	0.4714	72	A	-52.3	0.483
	B	-85.1	0.3162		B	-83	0
	C	-56.1	0.7379		C	-75.3	0.6749
	D	-36.3	0.483		D	-42.6	1.2649
63	A	-77	1.2472	73	A	-46.9	0.3162
	B	-87.2	0.4216		B	-93	0
	C	-52.6	0.5164		C	-80.9	0.3162
	D	-41	0		D	-44	0.6667
64	A	-79.3	0.9487	74	A	-50.7	1.8886
	B	-91.8	0.6325		B	-88.5	1.9003
	C	-60.8	1.0328		C	-80.3	1.3375
	D	-48.6	1.5055		D	-46.5	2.0138
65	A	-79.6	0.5164	75	A	-46.1	0.3162
	B	-94.4	2.0656		B	-80.6	0.5164
	C	-47.2	0.4216		C	-83.6	0.5164
	D	-51.9	0.8756		D	-46	2.1602
66	A	-47.6	0.5164	76	A	-43.1	0.3162
	B	-93.5	1.0801		B	-85.5	1.0801
	C	-76.1	0.3162		C	-85.2	1.0328
	D	-45	1.1547		D	-46.2	1.4757
67	A	-63.6	0.9661	77	A	-36.2	0.4216
	B	-93.2	0.6325		B	-75.8	0.6325
	C	-72.3	0.483		C	-87.2	0.9189
	D	-46.8	1.3984		D	-46	0
68	A	-42.7	0.483	78	A	-36.8	0.4216
	B	-89.5	0.527		B	-56.9	0.3162
	C	-76.3	1.3375		C	-87.6	3.6576
	D	-42.4	0.8433		D	-51.5	0.9718
69	A	-45.3	0.8233				
	B	-87.8	0.6325				
	C	-67.4	0.6992				
	D	-36.2	0.4216				
70	A	-46.1	0.3162				
	B	-98.9	4.0125				
	C	-67.9	0.5676				
	D	-37.9	0.3162				

4.3 การทดสอบระบบการหาตำแหน่ง

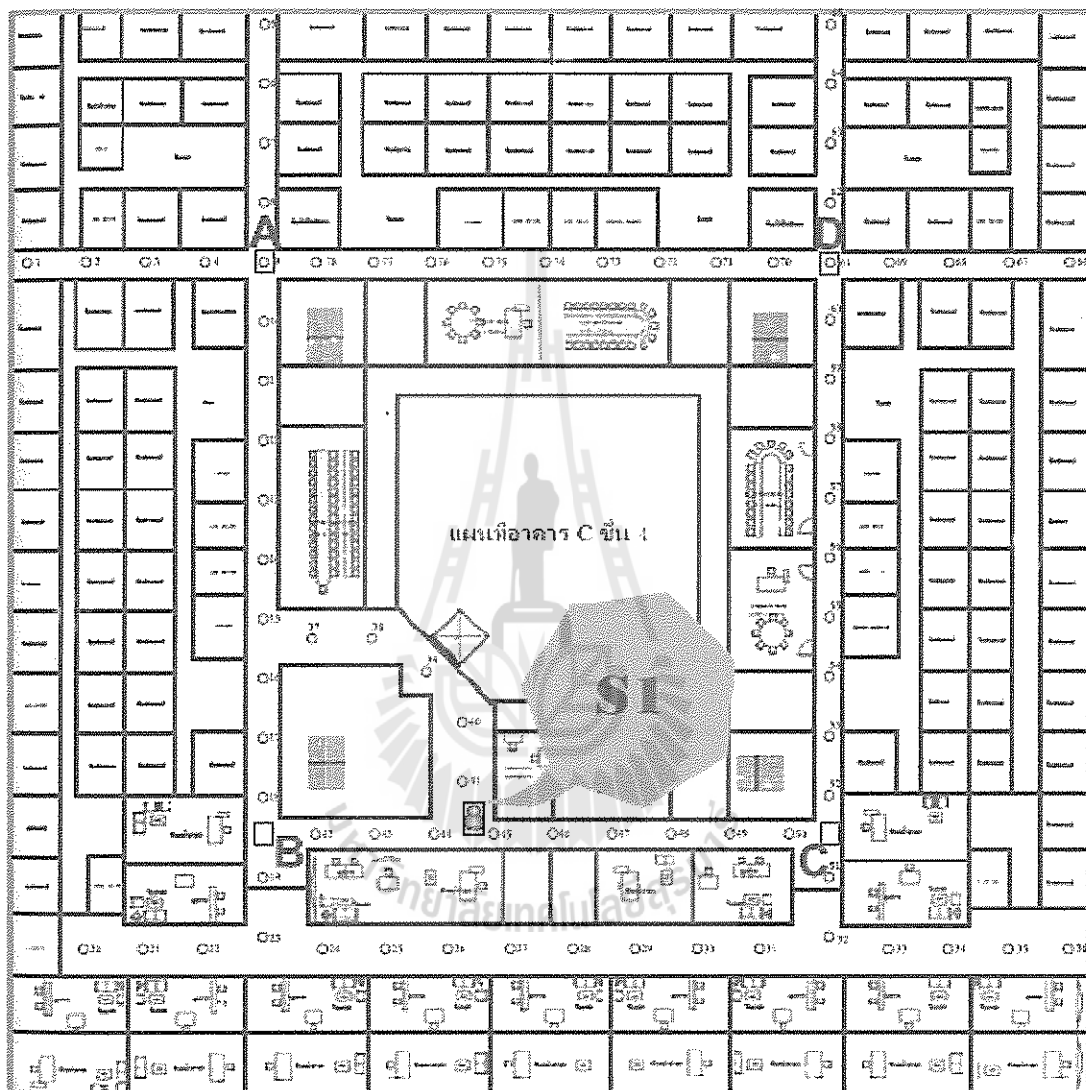
ผู้วิจัยได้ทำการสุ่มจุดทดสอบมา 5 จุด (S1, S2, S3, S4, S5) ซึ่งตำแหน่งของจุดทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ตำแหน่งของจุดทดสอบทั้ง 5 จุด

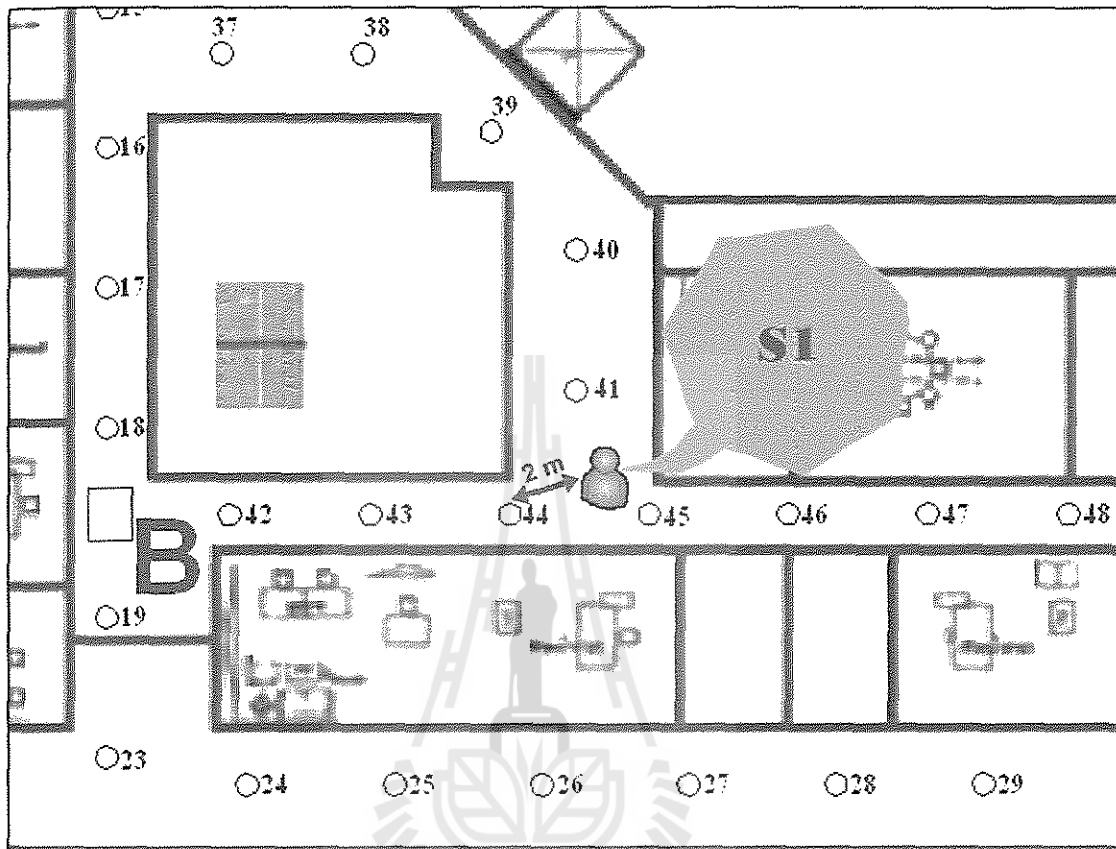
การหาตำแหน่งวัตถุ

ผู้วิจัยได้ทำการยกตัวอย่างจุดทดสอบการหาตำแหน่งมา 1 จุด (S1) เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทำงานของระบบการหาตำแหน่งของวัตถุในอาคาร



รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการทดสอบ 1 จุด เพื่อแสดงกระบวนการทำงาน

➤ ตำแหน่งของจุดทดสอบ S1



รูปที่ 4-4 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S1

จากจุดที่ทำการทดสอบ (S1) (รูปที่ 4-4) User ที่ S1 ทำการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ของเซ็นเซอร์อ้างอิงแต่ละตัวโดยการพิมพ์ ATND ในโหมด AT-Command แล้วเซ็นเซอร์อ้างอิงจะส่งค่าความเข้มของสัญญาณกลับมายัง User เมื่อได้ค่าความเข้มของสัญญาณทั้ง 4 ตัว (xa, xb, xc, xd) แล้ว User นำค่าความเข้มของสัญญาณทั้ง 4 ค่ามาป้อนลงในโปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) ที่ใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งโดยกระบวนการยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) จากนั้นโปรแกรมประยุกต์จะเข้าสู่การประมวลผลแบบการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณ ค่าสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณ คือ ตำแหน่งของ User ณ ปัจจุบันที่ใกล้เคียงกับพิกัดในฐานข้อมูลมากที่สุด

การหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มของสัญญาณ

ตารางที่ 4-2 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S1 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง

พิกัด	Sensor	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	SD	
S1	A	Hex	49	49	49	48	49	49	49	49	49	49	49		
		Dec	-73	-73	-73	-72	-73	-73	-73	-73	-73	-73	-73	-72.9	0.3162
	B	Hex	28	29	29	29	29	2B	31	2B	29	29	29		
		Dec	-40	-41	-41	-41	-41	-43	-49	-43	-41	-41	-41	-42.1	2.6013
	C	Hex	32	32	31	31	32	31	31	31	31	31	32		
		Dec	-50	-50	-49	-49	-50	-49	-49	-49	-49	-49	-50	-49.4	0.5164
	D	Hex	56	56	56	56	56	56	57	56	56	56	56		
		Dec	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-87	-86	-86	-86	-86.1	0.3162

ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ได้จากการเฉลี่ย 10 ครั้งคือ

- xa=-72.9
- xb=-42.1
- xc=-49.4
- xd=-86.1



นำค่าความเข้มของสัญญาณทั้ง 4 ค่า ป้อนลงในโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งโดยกระบวนการยูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) เพื่อหาค่า d ที่น้อยที่สุด

Euclidian Distance

$$d = \sqrt{|x_A - x'_A|^2 + |x_B - x'_B|^2 + |x_C - x'_C|^2 + |x_D - x'_D|^2}$$

ยกตัวอย่างการคำนวณ

ที่ Point 1 $\rightarrow x'_A, x'_B, x'_C, x'_D = (-53.8, -78.6, -85.3, -44)$

S1 $\rightarrow x_A, x_B, x_C, x_D = (-72.9, -42.1, -49.4, -86.1)$

$$= \sqrt{|-72.9 - (-53.8)|^2 + |-42.1 - (-78.6)|^2 + |-49.4 - (-85.3)|^2 + |-86.1 - (-44)|^2}$$

$$= \sqrt{|-19.1|^2 + |36.5|^2 + |35.9|^2 + |-42.1|^2}$$

$$= \sqrt{364.81 + 1332.25 + 1288.81 + 1772.41}$$

$$= \sqrt{4758.28}$$

$$d_1 = 68.98028704$$

$$d_1 = 68.98$$

ใช้โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณหาค่า d ทั้ง 78 จุด แล้วจะได้ค่า d ที่น้อยที่สุด ซึ่งตำแหน่งที่ค่า d น้อยที่สุดคือตำแหน่งที่โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) ประมวลผลว่า User อยู่บนพิกัดใดหรืออยู่ใกล้พิกัดใดในแผนที่ จึงทำให้รู้ว่า ณ เวลานั้น User อยู่ตำแหน่งใดในอาคาร ผู้วิจัยได้กำหนดความละเอียดของทศนิยมใน โปรแกรมคำนวณและแสดงผลเพื่อหาพิกัด (Dev C++) คือ 8 ตำแหน่ง

```

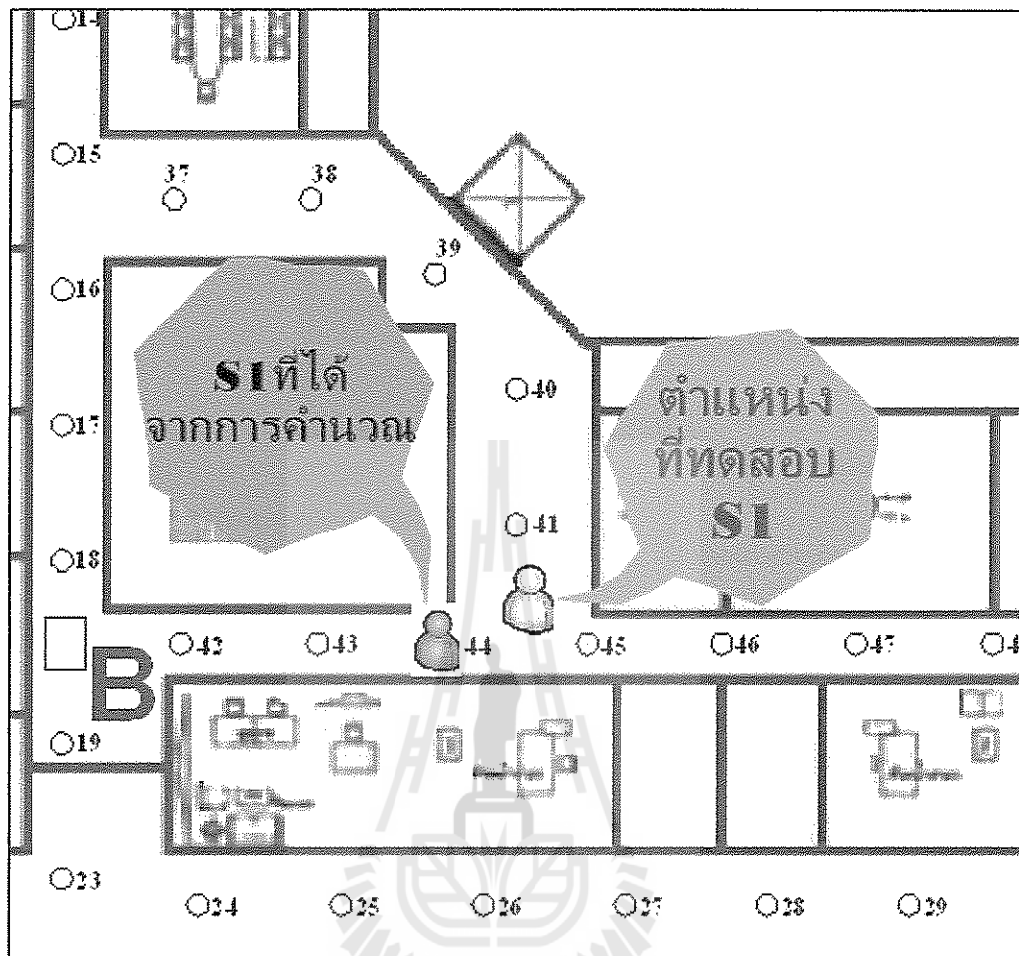
c:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Dev-C++\final.exe
Value of Euclidian distace in 39 : 36.60450745
Value of Euclidian distace in 40 : 43.53217316
Value of Euclidian distace in 41 : 38.54114532
Value of Euclidian distace in 42 : 15.22497940
Value of Euclidian distace
Value of Euclidian distace 44 : 8.42140007
Value of Euclidian distace
Value of Euclidian distace in 46 : 16.91183090
Value of Euclidian distace in 47 : 25.80891228
Value of Euclidian distace in 48 : 13.46327877
Value of Euclidian distace in 49 : 16.32513428
Value of Euclidian distace in 50 : 32.05573273
Value of Euclidian distace in 51 : 51.04909134
Value of Euclidian distace in 52 : 45.04808426
Value of Euclidian distace in 53 : 53.82406235
Value of Euclidian distace in 54 : 51.75963593
Value of Euclidian distace in 55 : 48.85110092
Value of Euclidian distace in 56 : 44.27640533
Value of Euclidian distace in 57 : 54.12864304
Value of Euclidian distace in 58 : 56.94023514
Value of Euclidian distace in 59 : 50.16901398
Value of Euclidian distace in 60 : 60.68582916
Value of Euclidian distace in 61 : 72.23143005
Value of Euclidian distace in 62 : 66.20830536
Value of Euclidian distace in 63 : 63.99273300
Value of Euclidian distace in 64 : 63.61808395
Value of Euclidian distace in 65 : 62.88608551
Value of Euclidian distace in 66 : 75.39330292
Value of Euclidian distace in 67 : 69.04056549
Value of Euclidian distace in 68 : 76.10585022
Value of Euclidian distace in 69 : 75.26127625
Value of Euclidian distace in 70 : 81.30171967
Value of Euclidian distace in 71 : 73.44126892
Value of Euclidian distace in 72 : 68.26588440
Value of Euclidian distace in 73 : 77.66253662
Value of Euclidian distace in 74 : 71.89416504
Value of Euclidian distace in 75 : 70.55593109
Value of Euclidian distace in 76 : 75.13488007
Value of Euclidian distace in 77 : 74.29286194
Value of Euclidian distace in 78 : 64.64247894
Value of Euclidian Distance atleast= 8.42 point =44

```

รูปที่ 4-5 แสดงการประมวลผลของโปรแกรมประยุกต์ Dev C++

ซึ่งค่า d ของ S1 ที่โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณทั้งหมด 78 พิกัดแสดงดังตารางที่ 4-3
 ตารางที่ 4-3 ค่า d ของ S1 ทั้งหมด 78 พิกัด

พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d
1	68.98028564	27	21.93490410	53	53.82406235
2	75.61355591	28	27.08615685	54	51.75963593
3	60.27420425	29	36.71825027	55	48.85110092
4	67.45680237	30	32.78567123	56	44.27640533
5	48.60647583	31	36.00416565	57	54.12864304
6	52.49714279	32	40.45306015	58	56.94023514
7	49.23961639	33	37.73327637	59	50.16901398
8	54.57637024	34	41.37293625	60	60.68582916
9	65.06481171	35	40.92004395	61	72.23143005
10	65.80052948	36	50.04578018	62	66.20830536
11	49.87804794	37	32.18104935	63	63.99273300
12	50.33765793	38	30.21423721	64	63.61808395
13	49.28823090	39	36.60450745	65	62.88608551
14	44.04996872	40	43.53217316	66	75.39330292
15	42.00630951	41	38.54114532	67	69.04056549
16	43.40956116	42	15.22497940	68	76.10585022
17	38.67259598	43	13.81738186	69	75.26127625
18	39.13093567	44	8.42140007	70	81.30171967
19	34.03424835	45	16.29785156	71	73.44126892
20	35.99527740	46	16.91183090	72	68.26588440
21	26.97536087	47	25.80891228	73	77.66253662
22	24.16319656	48	13.46327877	74	71.89416504
23	38.67169571	49	16.32513428	75	70.55593109
24	23.82309723	50	32.05573273	76	75.13488007
25	18.84754753	51	51.04909134	77	74.29286194
26	40.56587219	52	45.04808426	78	64.64247894



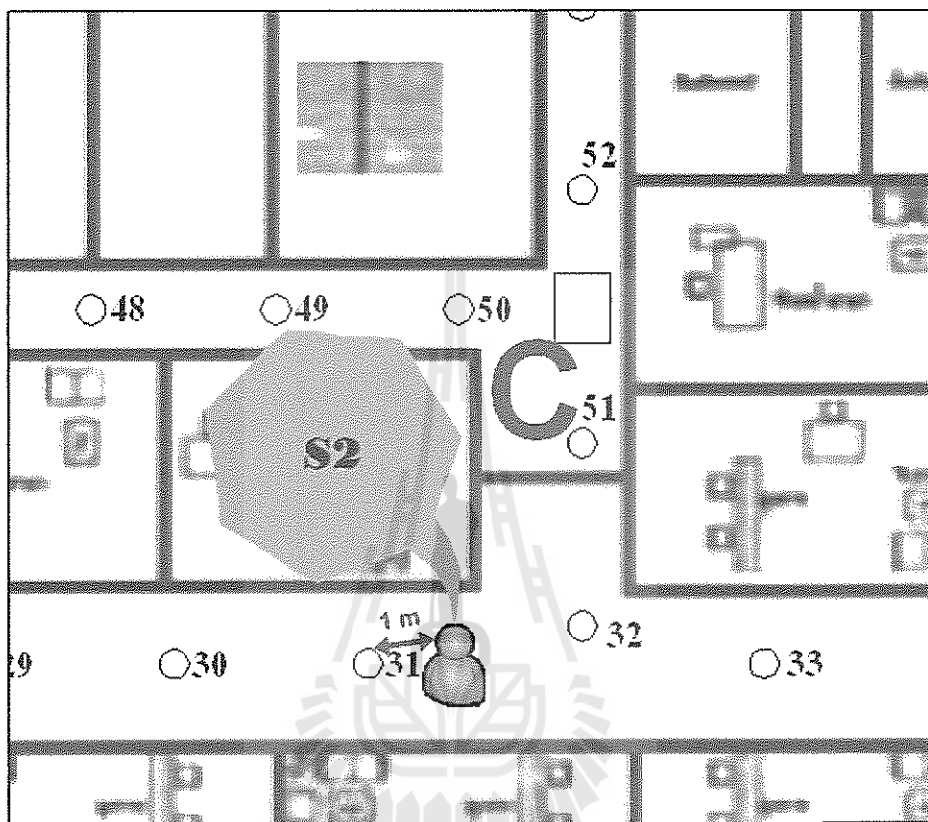
รูปที่ 4-6 แสดงตำแหน่งของ User ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S1 ผลที่ได้ คือ โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณค่า d ออกมาว่า ตำแหน่งหรือพิกัดที่ S1 (User) ยืนอยู่ในแผนที่คือ d ที่ 44 หรือ d_{44} มีค่าเท่ากับ 8.42 หรือสรุปได้ว่า ตำแหน่งของ S1 คือ พิกัดที่ 44 แสดงดังรูปที่ 4-6

ผลของการคำนวณด้วยโปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) ทั้ง 5 จุดทดสอบ

ตำแหน่งของจุดทดสอบ S1 ได้แสดงวิธีคำนวณไว้แล้วข้างต้น

➤ ตำแหน่งของจุดทดสอบ S2



รูปที่ 4-7 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S2

ตารางที่ 4-4 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S2 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง

พิกัด	Sensor	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	SD
S2	A	Hex	5A	5A	5A	5A	59	59	59	59	5A	5A		
		Dec	-90	-90	-90	-90	-89	-89	-89	-89	-90	-90	-89.6	0.5164
	B	Hex	49	49	4A	4A	49	4B	4A	4B	49	4B		
		Dec	-73	-73	-75	-75	-73	-75	-75	-74	-73	-75	-74.1	0.9944
	C	Hex	32	32	32	33	32	32	32	33	33	33		
		Dec	-50	-50	-50	-51	-50	-50	-50	-51	-51	-51	-50.4	0.5164
	D	Hex	42	42	42	42	40	41	41	40	40	40		
		Dec	-66	-66	-66	-66	-64	-65	-65	-64	-64	-64	-65	0.9428

ตารางที่ 4-5 ค่า d ของ S2 ทั้งหมด 78 พิกัด

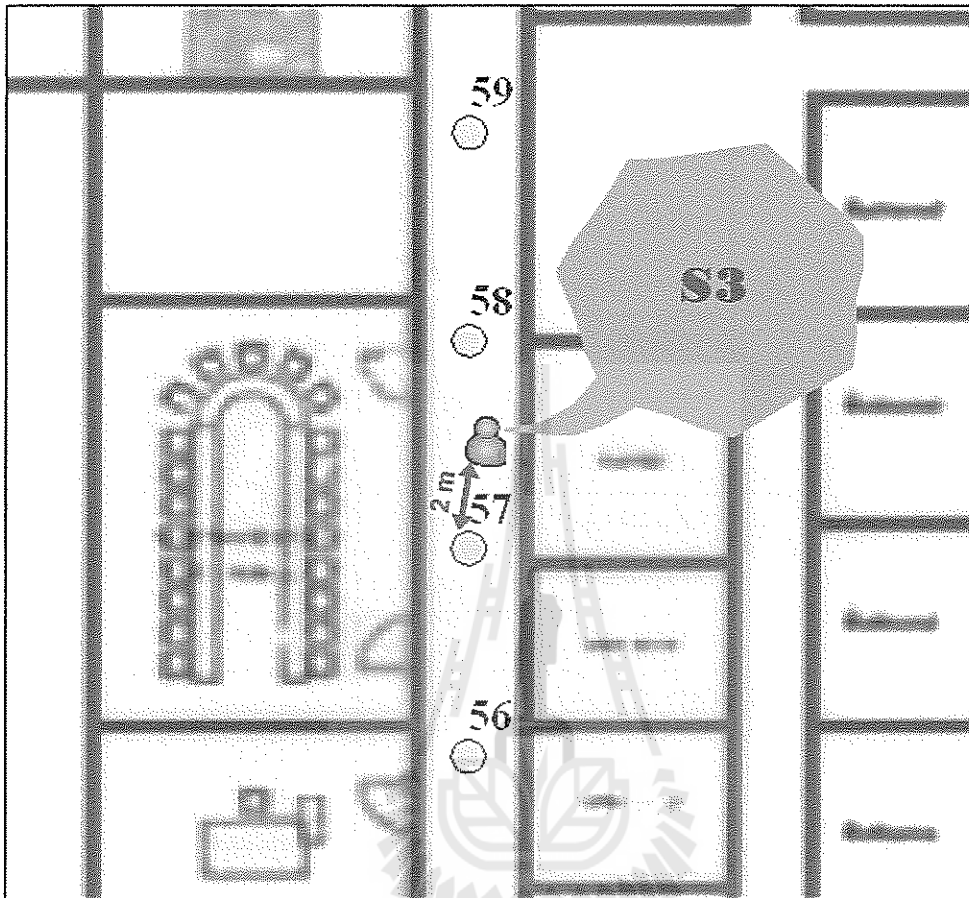
พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d
1	54.41415024	27	24.43971825	53	21.20542336
2	66.87158966	28	20.83698654	54	22.93948555
3	56.00017548	29	25.35882187	55	16.03964043
4	64.54532623	30	10.60188484	56	19.18280220
5	57.60841370	31	13.08815956	57	21.25394058
6	67.24648285	32	9.55039406	58	20.48487473
7	65.17806244	33	13.49592304	59	22.39888573
8	69.46912384	34	23.73309708	60	32.72873306
9	72.75032043	35	18.94809151	61	56.66427231
10	79.30580139	36	25.75189209	62	34.09017563
11	67.79763794	37	46.18635941	63	30.18625259
12	66.73963928	38	39.65425491	64	28.22233200
13	69.99735260	39	38.43500519	65	26.34274292
14	64.02389526	40	43.53630447	66	56.57605362
15	62.40712738	41	31.75877762	67	43.03091812
16	64.98084259	42	41.87528992	68	60.15263748
17	68.26206207	43	36.37883759	69	57.17184830
18	71.73834229	44	33.84700775	70	59.56467056
19	65.06450653	45	27.78848839	71	54.35309982
20	41.34851837	46	28.20478439	72	50.91434097
21	47.70859146	47	21.24805641	73	59.59655762
22	44.68579102	48	29.72036362	74	54.37674332
23	59.49486923	49	30.42153740	75	58.29013443
24	44.92994308	50	30.53014565	76	62.10225296
25	34.07359695	51	21.00880814	77	67.59947968
26	34.76046371	52	25.88532448	78	68.18921661



รูปที่ 4-8 แสดงตำแหน่งของ S2 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S2 ผลที่ได้ คือโปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณค่า d ออกมาว่า ตำแหน่งหรือพิกัดที่ S2 (User) ยืนอยู่ในแผนที่คือ d ที่ 32 หรือ d_{32} มีค่าเท่ากับ 9.55 หรือสรุปได้ว่า ตำแหน่งของ S2 คือ พิกัดที่ 32 แสดงดังรูปที่ 4-8

➤ ตำแหน่งของจุดทดสอบ S3



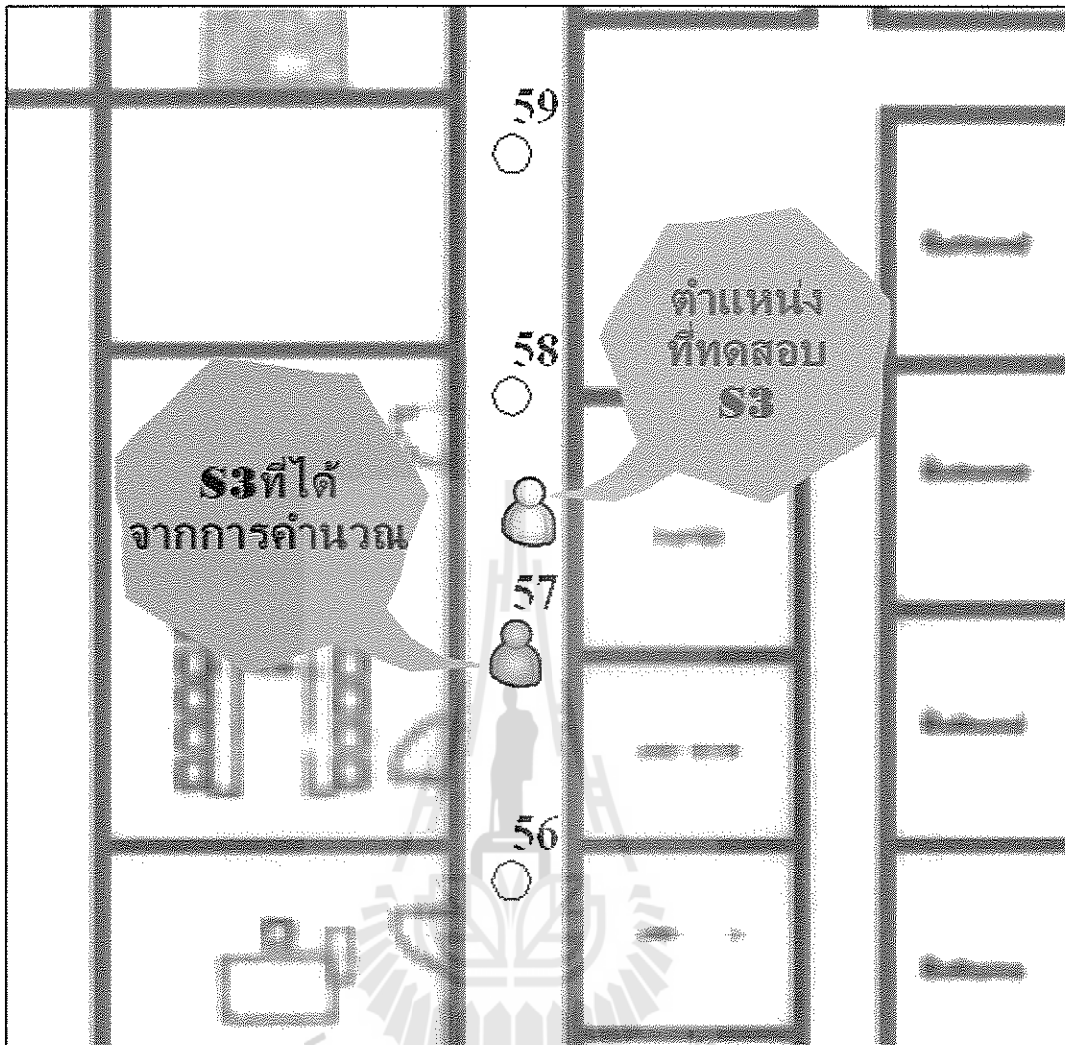
รูปที่ 4-9 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S3

ตารางที่ 4-6 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S3 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง

พิกัด	Sensor	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	SD	
S3	A	Hex	4B	4A	4B	4A	4A	4A	4B	4A	4A	4A			
		Dec	-75	-74	-75	-74	-74	-74	-74	-75	-74	-74	-74	-74.3	0.483
	B	Hex	50	4F	4F	50	4F	4F	4F	4F	4F	50	4F		
		Dec	-80	-79	-79	-80	-79	-79	-79	-79	-79	-80	-79	-79.3	0.483
	C	Hex	39	39	38	38	39	38	38	38	38	38	38		
		Dec	-57	-57	-56	-56	-57	-56	-56	-56	-56	-56	-56	-56.3	0.483
	D	Hex	33	32	32	32	32	32	32	32	31	32	32		
		Dec	-51	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-49	-50	-50	-50	0.4714

ตารางที่ 4-7 ค่า d ของ S3 ทั้งหมด 78 พิกัด

พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d
1	36.02416229	27	34.46128464	53	25.99249649
2	49.30689621	28	32.83108521	54	17.14059448
3	41.40193558	29	36.83218765	55	20.65889740
4	49.69628143	30	24.40368652	56	13.30939770
5	55.05152130	31	31.41496086	57	12.78944778
6	60.51454926	32	17.45880699	58	13.71677589
7	59.78662491	33	28.35100937	59	16.06020164
8	61.26810455	34	32.69770813	60	14.46893215
9	59.51227188	35	38.71421051	61	37.02404785
10	72.58905792	36	42.93878937	62	14.97531128
11	65.37171173	37	48.54771042	63	12.82146263
12	63.37744522	38	44.12731934	64	14.26394081
13	68.56493378	39	43.42314911	65	18.50729179
14	62.37194824	40	53.51439285	66	36.49068451
15	61.55152893	41	42.72189331	67	23.95704651
16	62.35022354	42	48.01937485	68	39.50139618
17	68.00566864	43	42.94857788	69	35.02713776
18	72.56714630	44	44.19660950	70	38.21479034
19	66.85424805	45	41.36738205	71	34.35491180
20	48.90112686	46	39.68639755	72	30.22334099
21	54.20932007	47	40.47146606	73	39.74430847
22	51.13629150	48	43.87208939	74	35.06922150
23	58.23624420	49	42.39493179	75	39.47429657
24	50.51475143	50	37.41590500	76	43.14545441
25	42.29314804	51	26.76732826	77	49.34237671
26	41.58232880	52	37.23694229	78	53.75825882

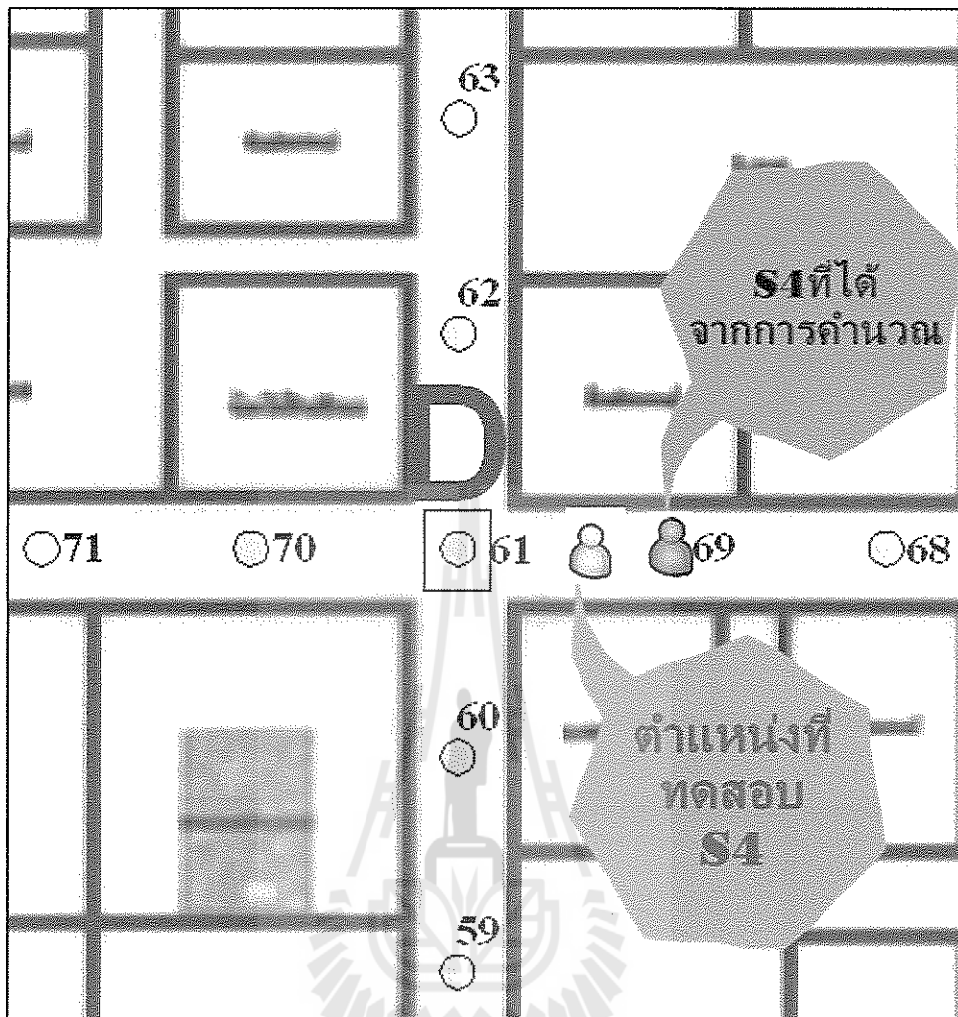


รูปที่ 4-10 แสดงตำแหน่งของ S3 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S3 ผลที่ได้ คือ โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณค่า d ออกมาว่า ตำแหน่งหรือพิกัดที่ S3 (User) ยืนอยู่ในแผนที่คือ d ที่ 57 หรือ d_r มีค่าเท่ากับ 12.79 หรือสรุปได้ว่า ตำแหน่งของ S3 คือ พิกัดที่ 57 แสดงดังรูปที่ 4-10

ตารางที่ 4-9 ค่า d ของ S4 ทั้งหมด 78 พิกัด

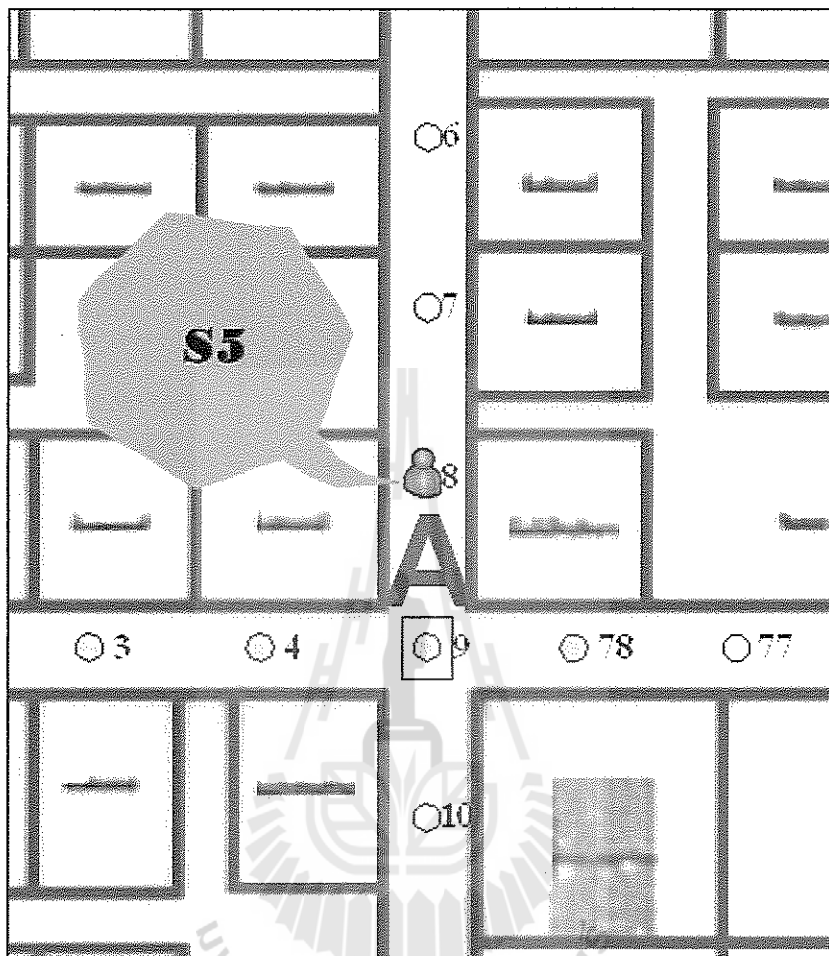
พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d
1	31.92883110	27	58.85040283	53	51.58604431
2	37.69429779	28	58.45742416	54	40.85718918
3	38.38893509	29	63.40000153	55	50.52939987
4	42.08123016	30	52.40867996	56	39.84457397
5	67.62883759	31	60.42474365	57	39.20841980
6	64.14873505	32	46.31219864	58	38.51519394
7	66.12979889	33	55.96150208	59	36.31115341
8	62.93226624	34	59.15682602	60	27.70198441
9	56.24855804	35	67.54953766	61	14.69795609
10	76.23897552	36	71.08494568	62	28.14942360
11	74.48013306	37	64.20724487	63	29.61047173
12	70.48155975	38	63.48551178	64	33.71483612
13	76.78606415	39	62.23744965	65	36.74057770
14	71.39824677	40	73.26908875	66	21.32463264
15	71.49853516	41	65.22047424	67	24.33125687
16	69.41426849	42	66.33272552	68	21.00500298
17	76.96376038	43	62.45262146	69	10.95308399
18	81.53759766	44	66.85065460	70	14.29335880
19	78.44883728	45	65.69116974	71	19.16741753
20	69.65364075	46	64.04701233	72	20.97141266
21	72.69497681	47	68.52481079	73	25.32587814
22	69.56342316	48	69.53351593	74	25.62226105
23	66.35608673	49	66.35510254	75	29.92407036
24	67.70280457	50	59.98833466	76	30.67474365
25	63.70761490	51	52.08051300	77	36.79755020
26	63.40363312	52	64.09523773	78	48.97305298



รูปที่ 4-12 แสดงตำแหน่งของ S4 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S4 ผลที่ได้ คือ โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณค่า d ออกมาว่า ตำแหน่งหรือพิกัดที่ S4 (User) ยืนอยู่ในแผนที่คือ d ที่ 69 หรือ d_9 มีค่าเท่ากับ 10.95 หรือ สรุปได้ว่า ตำแหน่งของ S4 คือ พิกัดที่ 69 แสดงดังรูปที่ 4-12

➤ ตำแหน่งของจุดทดสอบ S5



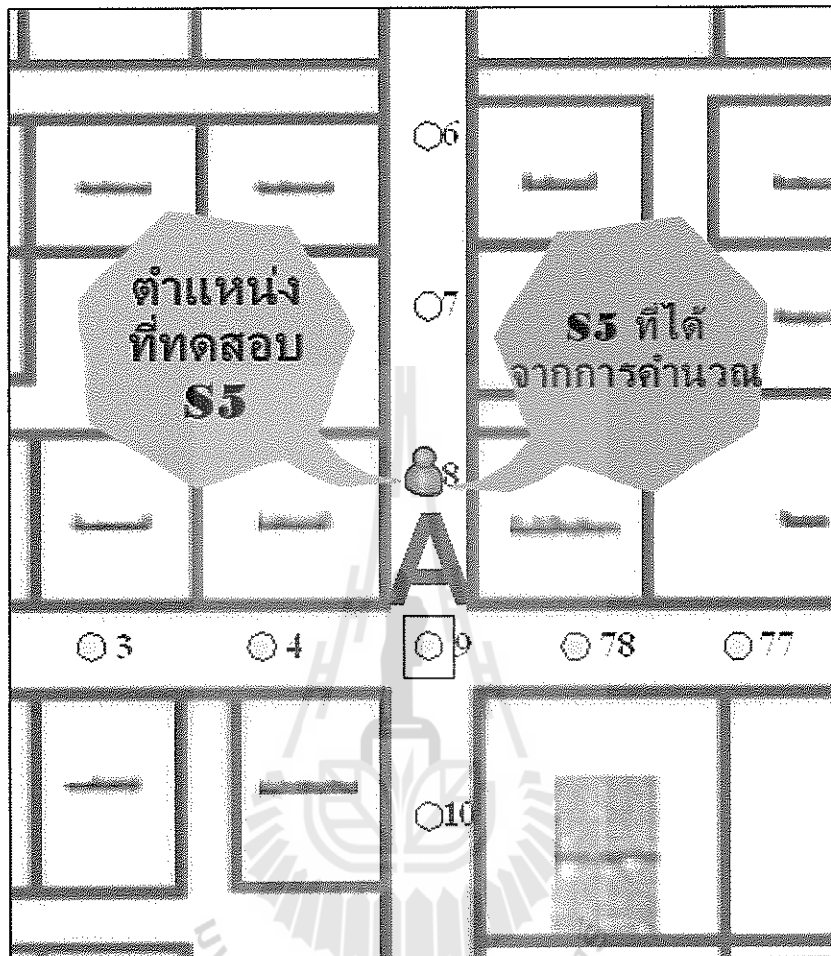
รูปที่ 4-13 ตำแหน่งที่ทำการร้องขอความเข้มสัญญาณ (RSSI) ของ S5

ตารางที่ 4-10 ค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) ที่ S5 จากการร้องขอจำนวน 10 ครั้ง

พิกัด	Sensor	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	SD	
S5	A	Hex	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24			
		Dec	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	0
	B	Hex	34	33	33	31	33	34	34	33	32	33			
		Dec	-52	-51	-51	-49	-51	-52	-52	-51	-50	-51	-51	-51	0.9428
	C	Hex	48	50	51	51	51	51	51	51	51	51			
		Dec	-72	-80	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-81	-80	2.8284
	D	Hex	51	48	48	48	48	48	48	48	49	48	48		
		Dec	-81	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-72	-73	-72	-72	-73	2.8284

ตารางที่ 4-11 ค่า d ของ S5 ทั้งหมด 78 พิกัด

พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d	พิกัด d	ค่า d
1	44.13264084	27	47.74274826	53	77.26901245
2	39.82436752	28	51.66207504	54	67.81334686
3	27.67037773	29	55.03944016	55	68.68988800
4	29.20496750	30	57.75196838	56	59.18403625
5	29.08057594	31	62.20891953	57	67.53858185
6	9.22713757	32	61.40504456	58	70.37371826
7	12.56543159	33	59.89732742	59	63.93340302
8	6.62193489	34	55.50720596	60	65.45853424
9	25.49117279	35	69.37795258	61	60.83494186
10	26.05648041	36	74.15234375	62	68.41717529
11	22.32465172	37	31.07652092	63	69.03766632
12	19.24292183	38	36.88807678	64	67.10835266
13	23.70949364	39	42.60962677	65	72.83934021
14	19.88038826	40	57.81608582	66	52.34519958
15	21.61157227	41	56.25379944	67	57.34395981
16	16.32605553	42	50.07144928	68	49.77137756
17	24.18677521	43	47.86491394	69	54.34823227
18	30.43583107	44	49.05884171	70	61.43972778
19	28.41900826	45	55.37932587	71	52.18074036
20	45.92221069	46	48.91584396	72	47.28572845
21	38.30274200	47	65.19776917	73	52.19789505
22	38.03958511	48	55.48017502	74	48.21493530
23	22.54218292	49	57.85412979	75	41.47444916
24	36.68119431	50	63.81614304	76	44.56388474
25	42.51917648	51	75.84654999	77	37.36201477
26	49.38846207	52	77.38100433	78	23.56819725

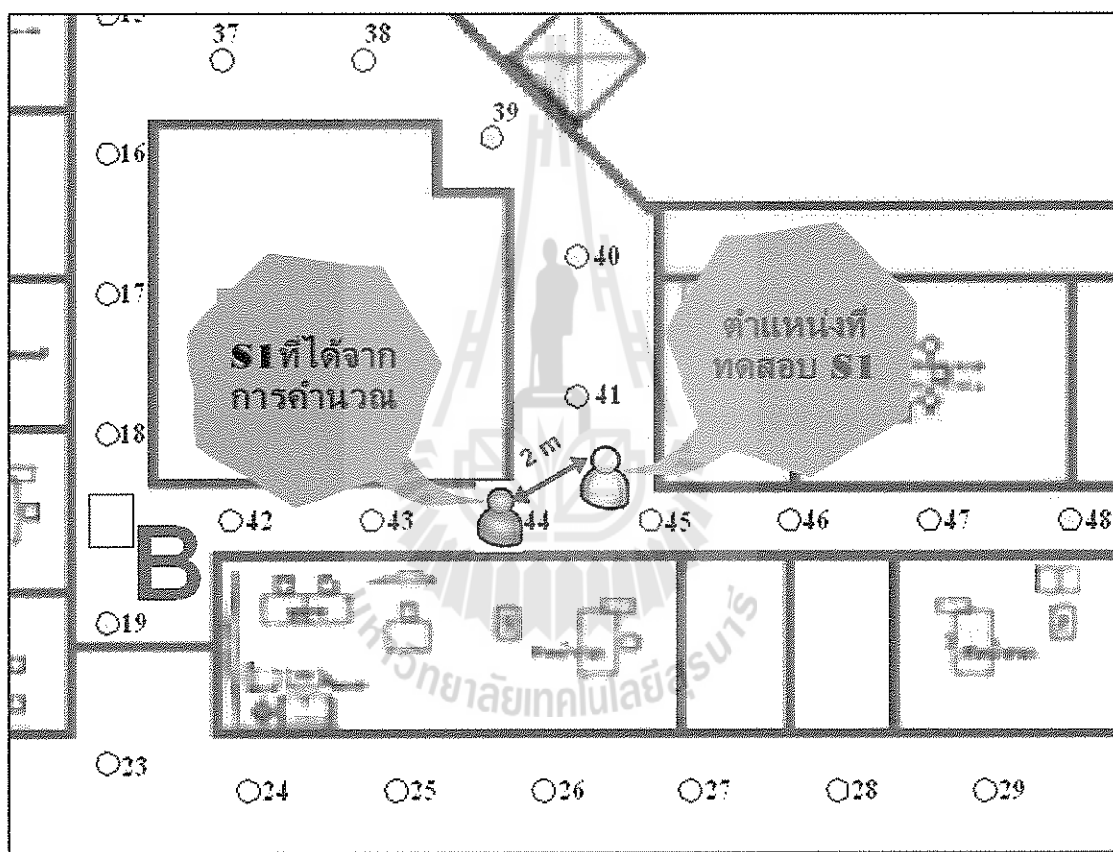


รูปที่ 4-14 แสดงตำแหน่งของ S5 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S5 ผลที่ได้ คือโปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คำนวณค่า d ออกมาว่า ตำแหน่งหรือพิกัดที่ S5 (User) ยืนอยู่ในแผนที่คือ d ที่ 8 หรือ d_8 มีค่าเท่ากับ 6.62 หรือสรุปได้ว่า ตำแหน่งของ S5 คือ พิกัดที่ 8 แสดงดังรูปที่ 4-14

4.4 ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่ง

จากการทดสอบจุดตัวอย่าง S1 พบว่าตำแหน่งของ S1 ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) คือ พิกัดที่ 44 แต่ในตำแหน่งจริงของ S1 ที่ทำการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) มีระยะห่างจากพิกัดที่ 44 เท่ากับ 2 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่คลาดเคลื่อน หรือ ค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบการหาตำแหน่งวัตถุในอาคารผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee แสดงดังรูปที่ 4-15



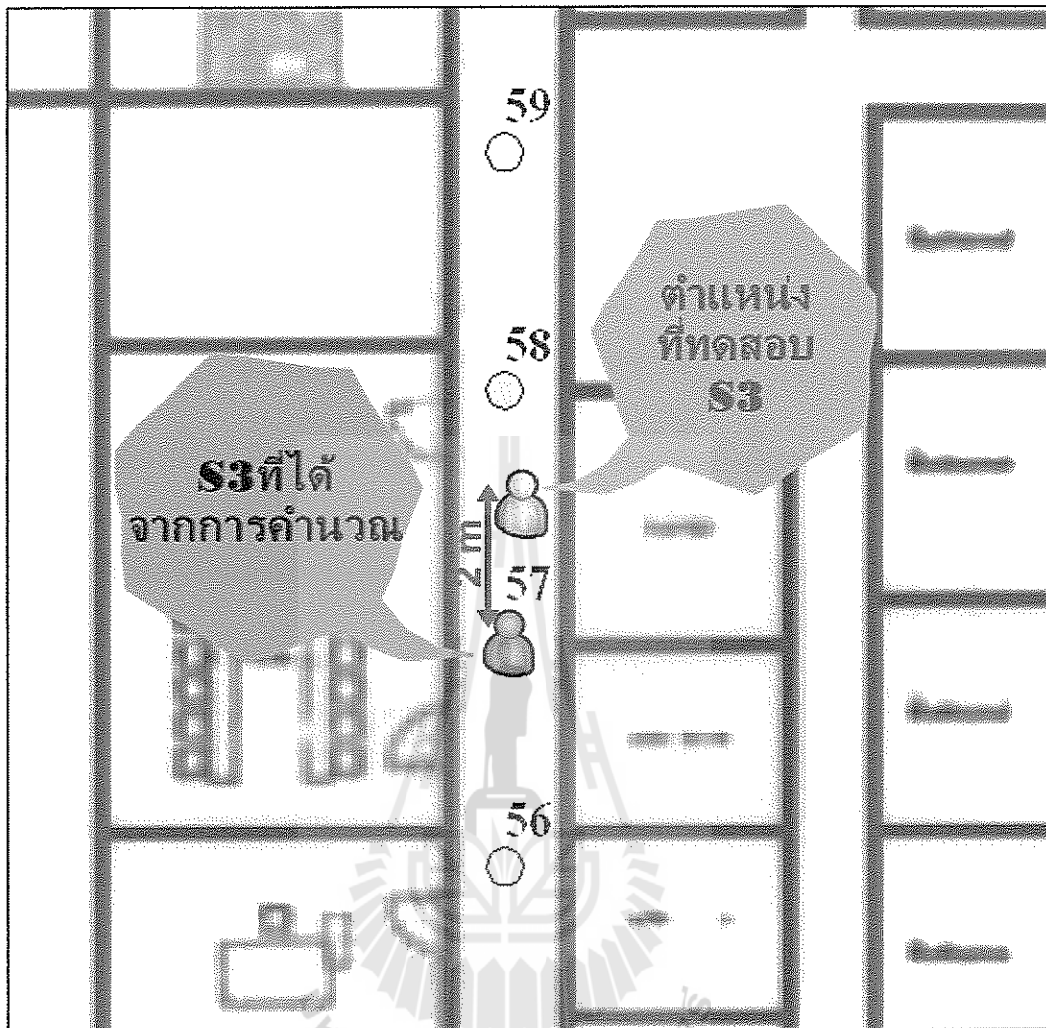
รูปที่ 4-15 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S1

ดังนั้น ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งที่จุดทดสอบ S1 มีค่าเท่ากับ 2 เมตร



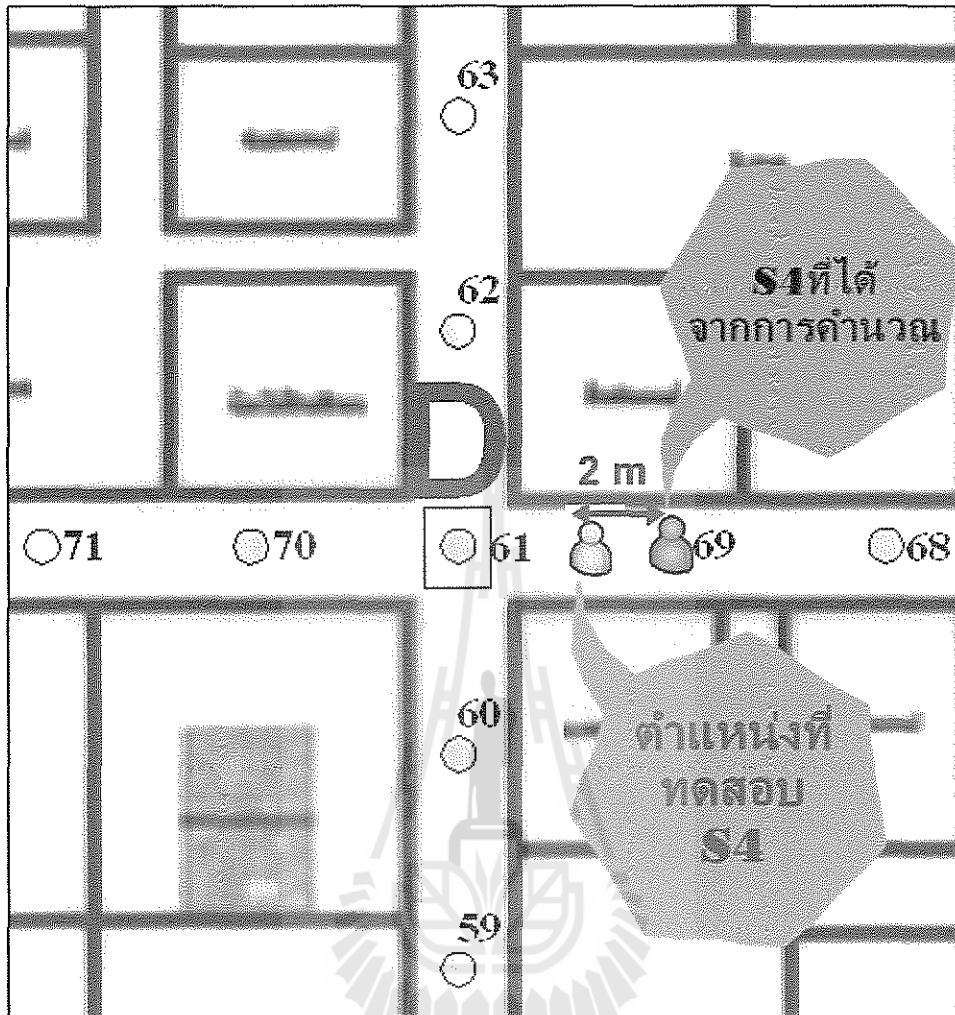
รูปที่ 4-16 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S2

ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งที่จุดทดสอบ S2 มีค่าเท่ากับ 3 เมตร



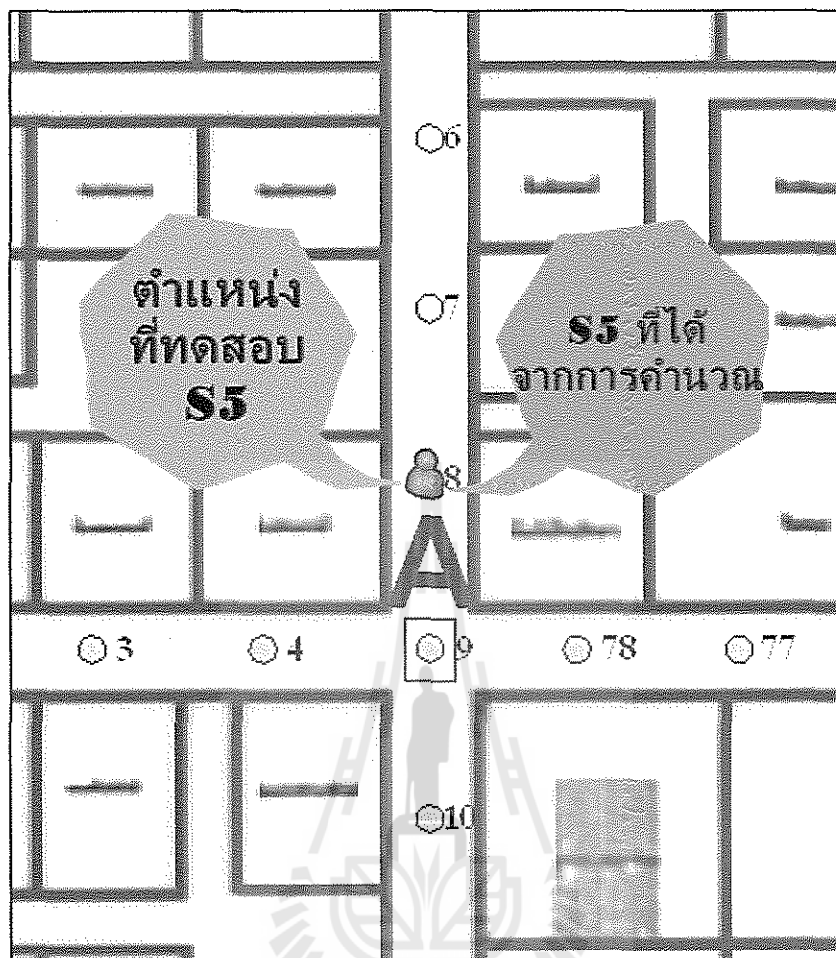
รูปที่ 4-17 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S3

ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งที่จุดทดสอบ S3 มีค่าเท่ากับ 2 เมตร



รูปที่ 4-18 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S4

ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งที่จุดทดสอบ S4 มีค่าเท่ากับ 2 เมตร



รูปที่ 4-19 แสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ ที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งจริงของ S5

ค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งที่จุดทดสอบ S5 มีค่าเท่ากับ 0 เมตร

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความผิดพลาดของระบบการหาตำแหน่งวัตถุ

จุดทดสอบที่	S1	S2	S3	S4	S5	Mean	SD
Error (m)	2	3	2	2	0	1.8	1.09545
	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย= 1.8 เมตร						
	ค่าความผิดพลาดที่มากที่สุด= 3 เมตร						
	ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุด= 0 เมตร						

จากการทดสอบจุดตัวอย่างทั้ง 5 จุด (S1, S2, S3, S4, S5) แต่ละจุดทดสอบจะมีค่าความผิดพลาดไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 4-12 โดยที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 5 จุดทดสอบมีค่าเท่ากับ 1.8 เมตร ซึ่งค่าความผิดพลาดที่มากที่สุดอยู่ที่จุดทดสอบที่ 2 (S2) มีค่าเท่ากับ 3 เมตร และค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดอยู่ที่จุดทดสอบที่ 5 (S5) มีค่าเท่ากับ 0 เมตรหรือไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเลย



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ชิพอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเทคโนโลยีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee มาสร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยได้ออกแบบอุปกรณ์ในระบบการหาตำแหน่งมา 2 ชนิด ได้แก่ เซ็นเซอร์อ้างอิง และเซ็นเซอร์วัตถุ เซ็นเซอร์อ้างอิงได้สร้างมาจำนวน 4 ชุด และเซ็นเซอร์วัตถุจำนวน 1 ชุด ในส่วนการคำนวณและแสดงผลสำหรับระบบการหาตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมประยุกต์ (Dev C++) ซึ่งทำหน้าที่แสดงตำแหน่งและแสดงพิกัดที่อยู่ปัจจุบันของเซ็นเซอร์วัตถุ

การคำนวณตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ข้อมูลความเข้มของสัญญาณนั้น เป็นวิธีที่ง่ายและไม่จำเป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์ในระบบ แต่ประสิทธิภาพของข้อมูลจากความเข้มของสัญญาณนั้นค่อนข้างต่ำ เพราะในบางจุดที่ทำการวัดค่านั้น ค่าความเข้มของสัญญาณอาจเกิดความแปรปรวนมาก ทำให้การแสดงผลในบางครั้งเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

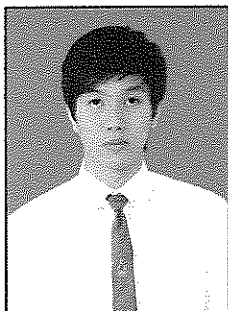
งานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณตำแหน่งโดยการจับคู่ค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูล ซึ่งค่าความเข้มที่ได้รับในปัจจุบันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของสัญญาณในฐานข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูลบนพื้นที่ต่างๆแล้ว กระบวนการเก็บข้อมูลนั้น ทำขึ้นเพื่อสร้างรูปแบบของการกระจายสัญญาณในพื้นที่ต่างๆเพื่อเก็บลงในฐานข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองเวลาในการทำระบบการหาตำแหน่ง ในอาคาร ถ้าพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่ จะต้องเสียเวลาเก็บข้อมูลมากขึ้นด้วย

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของระบบหาการตำแหน่งจากการทดลองนั้นเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการระบุตำแหน่งของวัตถุในอาคาร ซึ่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.8 เมตร

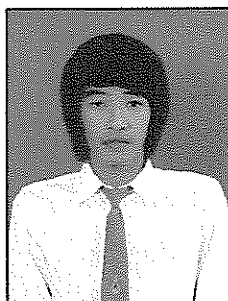
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. มีความรู้เกี่ยวกับ IEEE 802.15.4 ZigBee
2. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้งาน โปรแกรม X-CTU เบื้องต้น
3. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้ อัลกอริทึม (Algorithm) และสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้
4. สามารถนำไปพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 ZigBee

ประวัติผู้เขียน



นายเกรียงไกร มณีรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรม โทecomนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายสุริยา รอดนิม เกิดเมื่อวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2530 ภูมิลำเนาอยู่ที่ตำบลหมูสี อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรม โทecomนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. สามารถนำความรู้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเครือข่ายสื่อสาร ไร้สายด้วยอุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ZigBee มาใช้ในการประกอบอาชีพ
6. สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ปัญหาต่างๆ การทำงานเป็นทีม

5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ระบบการหาค่าตำแหน่งวัตถุในขั้นตอนกระบวนการเก็บข้อมูลนั้น ฐานข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณอาจเกิดความแปรปรวนมากทำให้การแสดงผลในบางครั้งเกิดความคลาดเคลื่อนสูง สิ่งที่มีผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลคือ

- ปัญหาการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ (Radio Signal Propagation) ที่มีผลโดยตรงเพราะการทดลองได้กระทำในอาคาร ซึ่งเป็นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น เสา กำแพง กระจก เป็นต้น
- ปัญหาการรบกวนกันของช่องสัญญาณสื่อสาร ไร้สาย (Wireless LAN) ในข้อกำหนดการทดลองนั้นได้ระบุไว้ว่า ต้องเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้ Wireless LAN หรือมีการใช้น้อยที่สุด
- ปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ ในการทดลองใช้พลังงานจากถ่าน AA จำนวน 4 ก้อนเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายเซ็นเซอร์ได้สะดวก แต่พลังงานไฟฟ้าจากถ่าน AA เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ไม่เสถียร คือ มีความน่าเชื่อถือน้อย ถ้าหากถูกใช้เป็นระยะเวลาานาน

บรรณานุกรม

- [1] <http://www.cs.ssu.ac.th/com04/wir.html>
- [2] <http://www.sorncomputer.com/index.php?topic=18.0>
- [3] <http://zigbee.iii.org.tw/EN/ZIGBEE.PHP>
- [4] <http://www.merl.com/projects/zigbeesec/>
- [5] http://www.icpdas.com/products/GSM_GPRS/zigbee/zigbee_introduction.htm
- [6] <http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/>
- [7] http://www.eetasia.com/ART_8800550485_480400_NT_4a9289f5.HTM
- [8] http://www.aircardshop.com/gps/GPS_%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html
- [9] <http://www.greatnote.com/blog/2007/12/>
- [10] <http://www.wiscomp.com/WirelessSiteSurveys.html>
- [11] <http://www.inexglobal.com/products.php?type=wireless&cat=wireless&model=skitxbeepr>
- [12] Holger Karl, Andrease Willig, Protocols and architectures for Wireless Sensor Network, Radio Propagation. Wiley
- [13] Voravut Srithong, Radio Propagation [online] 2008 [cited 2008 Jul 30]. Available from: http://www.hs8jyx.com/html/radio_propagation.html
- [14] Andeas Savvides, Mani B. Srivastava, Location Discovery. Wiley
- <http://www.media.mit.edu/resenv/classes/MAS961/readings/embeddedmag/zigbee.html>
 - http://www.cisco.rw/en/US/prod/collateral/netmgts/ps6380/ps6563/ps3915/ps6839/images/0900aecd80410b92_null_null_null_02_17_06-2.jpg
 - XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules. [Online] 2008 [cited 2008 Jul 30]. Available from: www.sander-electronic.de/datasheet/xbee/manual_xb_oem-rf-modules_zigbee.pdf

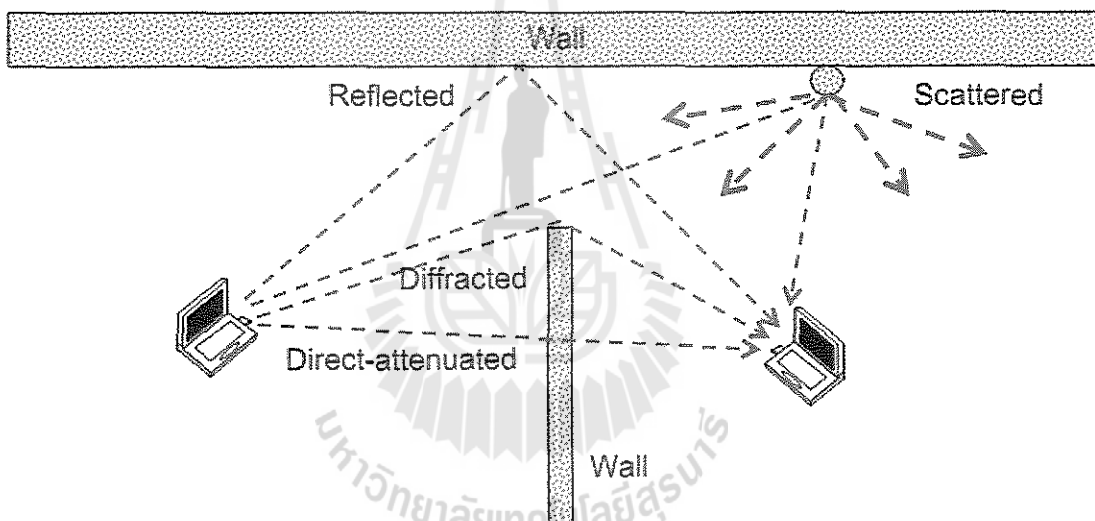
ภาคผนวก

ก.1 สัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Propagation)

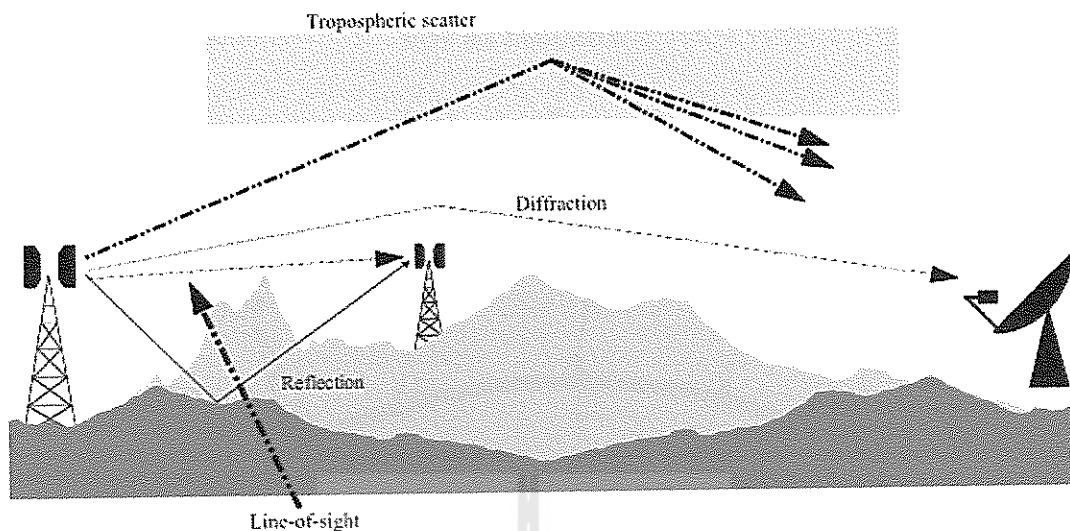
Radio Propagation คือ การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากจุดหนึ่งซึ่งเป็นผู้ส่งบนพื้นโลกไปยังพื้นที่อื่นๆที่เป็นจุดของผู้รับ และสิ่งที่ได้ทำการศึกษาคือความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่แผ่ออกไป กับสัญญาณที่ได้รับ เช่น ฟังก์ชันของระยะทางกับตัวแปรอื่นๆ ซึ่งเราสามารถพิจารณาจากสิ่งต่างๆ เช่น ในที่นี้พิจารณาจากสภาพแวดล้อม คือ

ลักษณะของการช่องสัญญาณภายในอาคาร มีลักษณะการส่งสัญญาณดังรูปที่ ก-1

ลักษณะของการส่งสัญญาณภายนอกอาคาร มีลักษณะการส่งสัญญาณดังรูปที่ ก-2



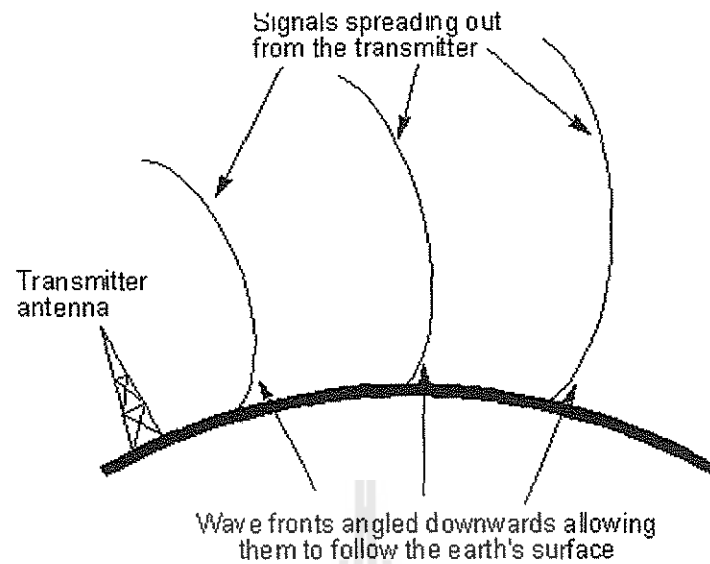
รูปที่ ก-1 แสดงลักษณะการส่งสัญญาณภายในอาคาร [12]



รูปที่ ก-2 แสดงลักษณะการส่งสัญญาณภายนอกอาคาร [12]

Ground Wave, Surface Wave

คลื่นดิน เป็นคลื่นวิทยุที่เดินทางไปบนผิวโค้งของโลก ปกติคลื่นดินมีความยาวคลื่นที่ยาวมาก จะเดินทางไปได้ไกลกว่า (Losses rise with increasing frequency) คลื่นดินที่ความถี่สูง ๆ จะไปไม่ได้ไกล เพราะถูกลดทอนมากเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ และสิ่งกีดขวางเมื่อความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะสั้นลง วัตถุใหญ่ อย่างเช่น ภูเขาจึงมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น เช่นที่ความถี่ 30 KHz ความยาวคลื่นจะเท่ากับ 10 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับภูเขาแล้ว ภูเขายังเล็กกว่าความยาวคลื่น ฉะนั้น การลดทอนจึงมีน้อย แต่ที่ความถี่ 3 MHz ความยาวคลื่นเท่ากับ 100 เมตร วัตถุที่ใหญ่กว่าความยาวคลื่น เช่น เนิินเขา อาคาร จะเริ่มมีผลในการลดทอนสัญญาณ



รูปที่ ก-3 แสดงการส่งคลื่นดิน [13]

สิ่งทีผลต่อการส่งคลื่นแบบ Ground Wave

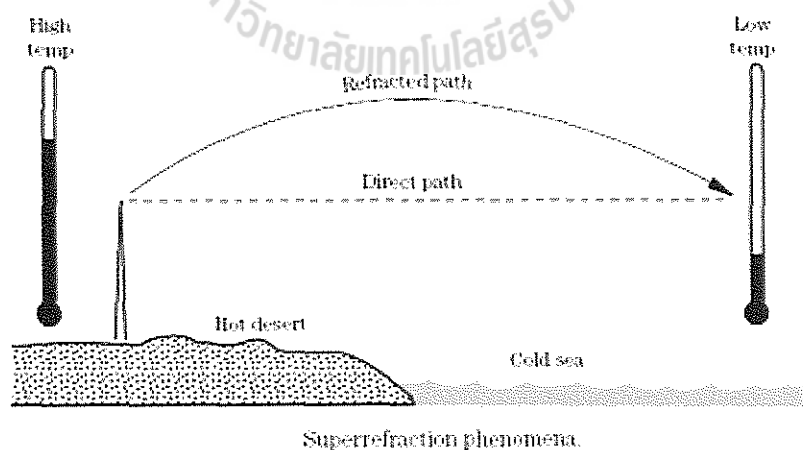
- ในส่วนของ wave fronts ของการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ สัญญาณจะถูกลดทอนโดยพื้นผิวของโลก ระดับของการลดทอนจะมีปัจจัยหลาย ๆ อย่าง สำหรับ ความถี่ใช้งานก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะกำหนดอัตราการลดทอน คือว่า เมื่อความถี่สูงขึ้น การลดทอนสัญญาณก็จะมากขึ้น สำหรับความถี่ 3 MHz จะถูกลดทอนมากกว่าความถี่ 0.5 MHz ถึง ประมาณ 20 - 60 dB
- ค่าความเป็นตัวนำ (Ground conductivity) ของพื้นผิวโลก, ภูมิภาค, ความขรุขระ ของพื้นผิว ล้วนมีผลต่อการลดทอนสัญญาณ ของความถี่ย่านนี้ ค่าของตัวนำนี้จะมี Relative quality ต่างดังตารางที่ ก-1
- รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ส่งผลต่อการลดทอนสัญญาณ สายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบ Vertical polarization จะมีการลดทอนน้อยกว่า การแพร่กระจายคลื่นแบบ Horizontally polarization บางครั้งอาจจะดี มากกว่า 10 dB

Type of soil	Dielectric constant	Conductivity (siemens/meter)	Relative quality
Salt water	81	5	Best
Fresh water	80	0.001	Very poor
Pastoral hills	14-20	0.03-0.01	Very good
Marshy, wooded	12	0.0075	Average/poor
Rocky hills	12-14	10	Poor
Sandy	10	0.002	Poor
Cities	3-5	0.001	Very poor

ตารางที่ ก-1 แสดง Relative quality ของสัญญาณดิน [13]

Tropospheric Propagation

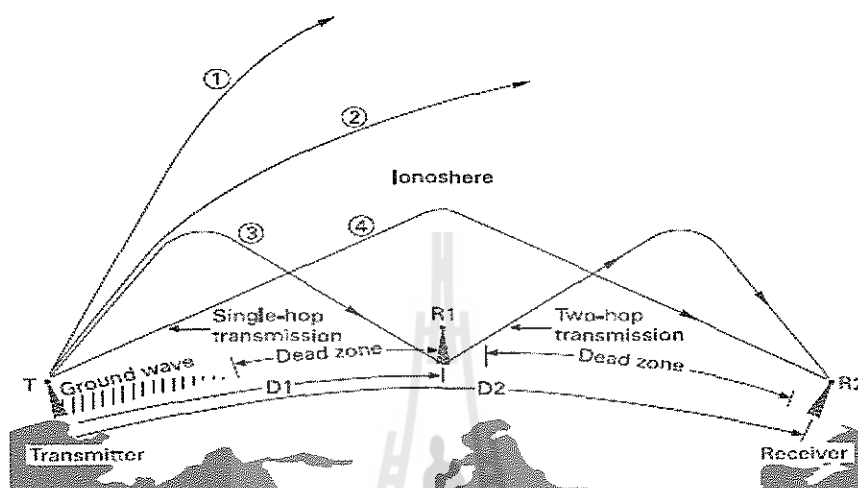
Troposphere เป็นกลุ่มของชั้นบรรยากาศที่อยู่ระหว่างผิวโลกและชั้น Stratosphere การที่ชั้น Troposphere สามารถที่จะสะท้อนคลื่นได้ เกิดจากคุณสมบัติการเป็นฉนวนของอากาศ และอากาศส่วนมากก็จะมี ความชื้น (moisture) อยู่ เราลองทบทวนกันก่อนว่า แสง หรือคลื่นวิทยุ เวลาเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่น (density) ต่างกัน จะทำให้เกิดการหักเห (refraction) ตัวอย่างของการหักเหดังรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 แสดงรูปแบบการหักเหของคลื่น เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน [13]

Sky Wave

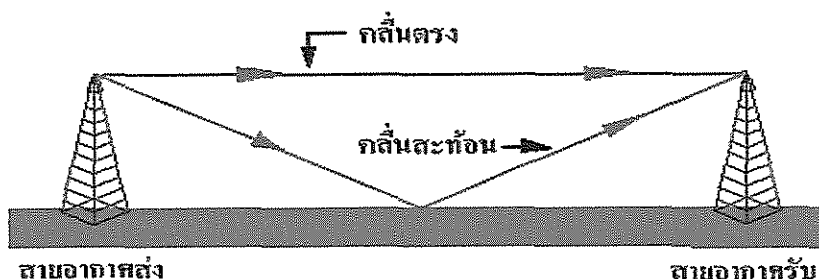
คลื่นฟ้า เป็นคลื่นที่มีการหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กับพื้นผิวโลกเป็นทอดๆ โดยการส่งคลื่นวิทยุทำมุมเฉียงกับชั้นบรรยากาศและผิวโลกการสะท้อนแต่ละครั้งทำให้ได้ระยะทางมากขึ้นเรื่อยๆ ตัวอย่างของการส่งคลื่นฟ้าดังรูปที่ ก-5



รูปที่ ก-5 แสดงการส่งคลื่นฟ้า [13]

Space Wave

โดยการส่งคลื่นอวกาศจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ คลื่นโดยตรง (Direct Wave) เป็นคลื่นที่เดินทางมาเป็นเส้นตรงระหว่างสายอากาศส่งและรับ คลื่นสะท้อน (Reflect Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนกลับกับพื้นผิวโลกก่อนไปยังสายอากาศรับ ตัวอย่างของการส่งคลื่นอวกาศของทั้งสองลักษณะนี้แสดงดังรูปที่ ก-6



รูปที่ ก-6 แสดงการส่งคลื่นอวกาศ [13]

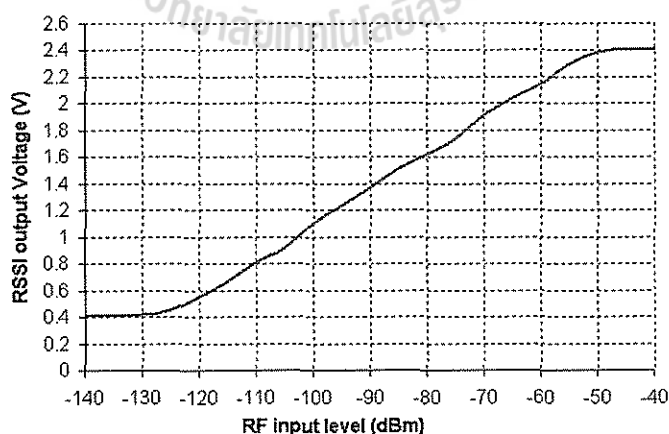
ก.2 Received Signal Strength Indication (RSSI)

Received Signal Strength Indication หรือ RSSI เป็นวิธีการวัดความแรงของสัญญาณในการส่งสัญญาณวิทยุ ตามความเป็นจริงของสัญญาณ โดยทั่วไป เมื่อระยะทางไกลออกไปสัญญาณก็จะเบาลง ดังนั้นค่า RSSI นั้นก็จำเป็นต่อการส่งสัญญาณเช่นกัน เพราะจะได้รู้ว่า เครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ระยะทางเท่าใด หรือกำลังในการส่งเท่าใดจึงจะเหมาะสม

สำหรับการวัดความแรงของสัญญาณ ที่แปลงค่าความแรงมาเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้น และมักไม่ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีความแปรปรวนของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมสูง เพราะแต่ละสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน การจะทำให้ RSSI มีความน่าเชื่อถือก็จะต้องเก็บข้อมูลไว้หลาย ๆ ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ทีหลัง จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากต่าง ๆ ดังนี้

- Nonline of Sight (NLOS) คือ การสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง ทำให้การวัดมุมในระยะทางที่ไกลจะก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้
- Multiple Access Interference คือ เป็นปัญหาที่มักเกิดในระบบ CDMA เกิดจากเครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงกว่าส่งสัญญาณ ไปรบกวนเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำกว่า
- Fluctuation in Signal Propagation Speeds เกิดกับคลื่นเสียงที่การแพร่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงแลมหรืออุณหภูมิ และค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อระยะทางมากขึ้น

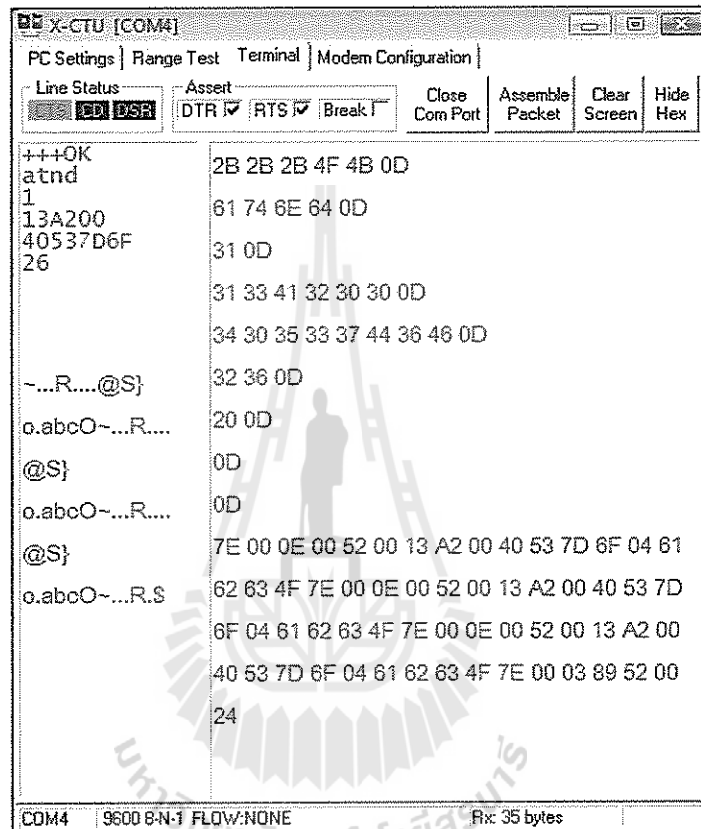
ความสัมพันธ์ระหว่างค่า RF กับค่า RSSI นี้สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ ก-7



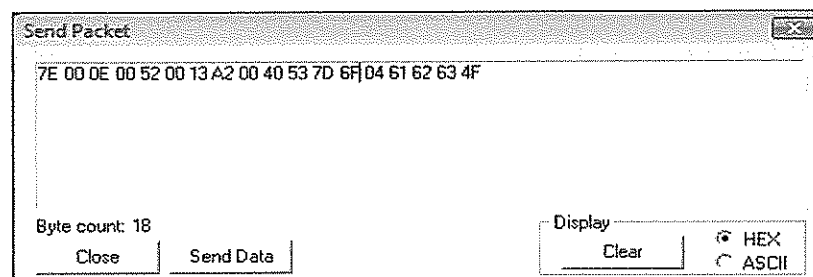
รูปที่ ก-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RF input กับ RSSI Output [14]

ก.3 การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Zigbee

ในการพัฒนาโครงการจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ ZigBee เพื่อใช้สำหรับการสื่อสารภายในระบบจึงได้มีการทดลองการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ ZigBee โดยการใช้โปรแกรม X-CTU ดังรูปที่ ก-9 เป็นการแสดงการใช้โปรแกรม X-CTU



รูปที่ ก-8 ตัวอย่างโปรแกรม X-CTU

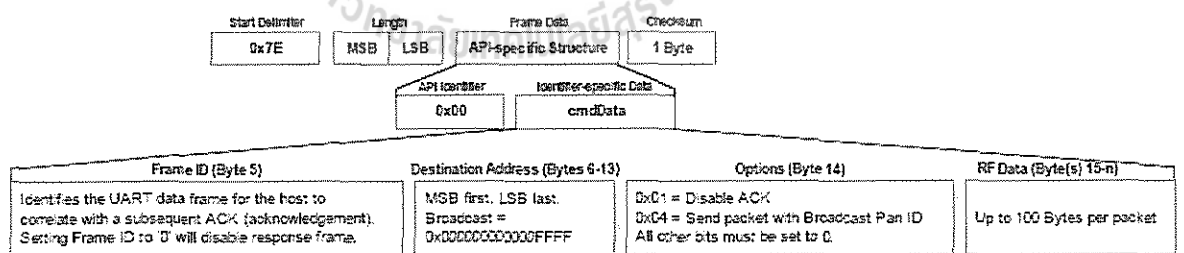


รูปที่ ก-9 การใส่ Packet คำสั่งที่ส่งในการติดต่อสื่อสาร

จากรูปที่ ก-9 คือ การใช้งาน โปรแกรม X-CTU โดยการเริ่มต้นใช้งานอุปกรณ์ ด้วยคำสั่ง +++ เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์พร้อมใช้งานหรือไม่ ถ้าอุปกรณ์พร้อมจะตอบกลับมาว่า OK หลังจากทำการใช้คำสั่ง ATND เพื่อ ตรวจสอบสถานะนี้ได้ Discovery อยู่กับ node ใดบ้าง ซึ่งค่าที่ได้กลับมานั้น จะได้เป็นค่า Chanel ที่อุปกรณ์อยู่ ซึ่งในที่นี้คือ 1 บรรทัดถัดไปคือ Address ของ node นั้นแบ่งเป็นสองส่วนคือส่วน SH คือ 13A200 และส่วน SL คือ 40537D6F และบรรทัดถัดมาคือค่า RSSI ของ node นั้น และเราได้ทำการทดลองส่งข้อมูล 3 Byte คือ 61 62 63 หรือคือค่าตัวอักษร a b c โดยทำการ Send Packet คือ 7E 00 0E 00 52 00 13 A2 00 40 53 7D 6F 04 61 62 63 4F ดังรูปที่ ก-10 ซึ่ง packet มีส่วนประกอบ ดังนี้

ตัวส่ง (Transmitter)

7E	คือ Start Delimiter
00 0E	คือ Length หรือ ความยาวของ Packet (MSB LSB)
00	คือ API Identifier ซึ่ง 00 คือ TX
52	คือ Frame ID
00 13 A2 00 40 53 7D 6D	คือ Destination Address (ID of ZigBee)
04	คือ Option ซึ่ง 04 คือ ให้ทำการ Broadcast
61 62 63	คือ Data หรือข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งในที่นี้คือ 61 62 63
4F	คือ Checksum

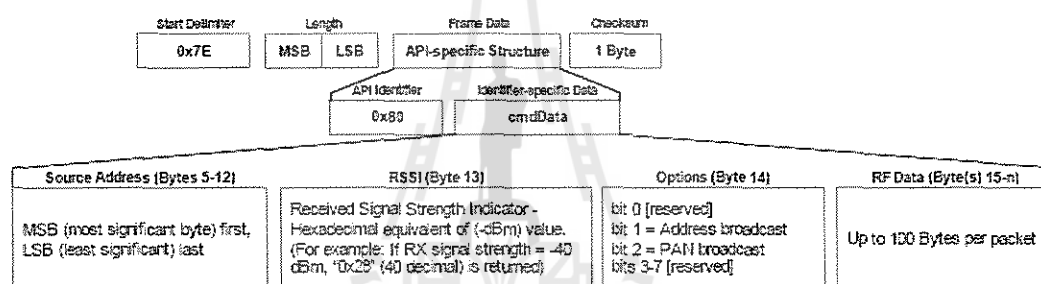


รูปที่ ก-10 รูปแบบ Packet ของการส่งข้อมูล TX 64 bit

ที่ตัวรับจะได้รับ Packet ดังนี้

ตัวรับ (Receiver)

7E	คือ Start Delimiter
00 0E	คือ Length หรือ ความยาวของ Packet (MSB LSB)
80	คือ API ID ซึ่ง 80 คือ RX
00 13 A2 00 40 53 7D 6F	คือ Source Address (ID of ZigBee)
2F	คือ RSSI
04	คือ Option ซึ่ง 04 คือ ให้ทำการ Broadcast
61 62 63	คือ Data หรือข้อมูลที่ได้รับ ซึ่งในที่นี้คือ 61 62 63
4F	คือ Checksum



รูปที่ ก-11 รูปแบบ Packet ของการรับข้อมูล RX 64 bit

จากการทดลองจะสังเกตผลการทดลองได้ว่า อุปกรณ์ ZigBee สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้ตามที่ต้องการ แต่ Packet จะไม่เหมือนกันทั้งหมด คือที่เครื่องรับจะได้รับ Packet ในรูปแบบของการรับข้อมูล คือค่าของ API Identifier จะไม่เหมือนกัน และเมื่อทำการส่งสำเร็จ เครื่องรับจะส่ง packet กลับมาว่า 7E 00 03 89 52 00 24 ซึ่ง packet มีส่วนประกอบดังนี้

7E	คือ Start Delimiter
00 03	คือ Length หรือ ความยาวของ Packet (MSB LSB)
89	คือ API ID ซึ่ง 89 คือ Status ของ TX
52	คือ Frame ID
00	คือ การส่งข้อมูลนั้นเสร็จสิ้น
24	คือ Checksum

นั่นคือ เมื่อเราทำการส่ง Packet ไปแล้ว ถ้ายังไม่ได้รับ Packet นี้กลับมา แสดงว่าเครื่องรับ
ยังไม่ได้รับข้อมูล

