

เครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
AN EQUIPMENT FOR SERCHING MISSING CHILD USING WIRELESS  
SENSOR NETWORK

โดย

นางสาวพรตะวัน รัตน์โชติ  
นางสาวพัทธ์ธีรา พิษจันทร์โสภณ  
นายพิชณะ ชันธวัรงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
AN EQUIPMENT FOR SERCHING MISSING CHILD USING WIRELESS  
SENSOR NETWORK



โดย  
นางสาวพระตะวัน รัตน์โชติ  
นางสาวพัทธ์ธีรา พิษจันทร์โสภณ  
นายพิชญะ ชันธุ์รวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
AN EQUIPMENT FOR SEARCHING MISSING CHILD USING WIRELESS  
SENSOR NETWORK

โดย


นางสาวพรตะวัน	รัตนโชติ	53011054
นางสาวพัทธ์ธีรา	พีชจันทร์โสภณ	53011104
นายพิชัญะ	ชั้นธรรวงศ์	53011118

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ดร.สิรภพ ตู้ประกาย  
รศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
13/3/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

  
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน  
12/5/57

12/5/57

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

AN EQUIPMENT FOR SEARCHING MISSING CHILD USING WIRELESS SENSOR NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพรตะวัน รัตนโชติ 53011054
2. นางสาวพัทธ์ธีรา พิษจันทร์โสภณ 53011104
3. นายพิชญะ ชันธุ์วงศ์ 53011118

.....  
( ดร.สิรภพ ตู้ประกาย )

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
( รศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนารักษ์ )

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวถึงได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกและผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณคือ ดร.สิรภพ ตู๊ประกาย และรศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนารมณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์นี้ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน และนักศึกษาปริญญาโทที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำช่วยในการสืบค้นข้อมูล แลกเปลี่ยนความรู้และความคิดเห็นให้กำลังใจในการศึกษาค้นคว้าตลอดมาแก่ผู้จัดทำ หากปริญญาานิพนธ์นี้มีข้อผิดพลาดบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำใคร่ขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวพรตะวัน รัตนโชติ

นางสาวพัทธธีรา พิษจันทร์โสภณ

นายพิชญะ ชันธวัรงค์

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องติดตามตัวเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
AN EQUIPMENT FOR SEARCHING MISSING CHILD  
USING WIRELESS SENSOR NETWORK

โดย นางสาวพรตะวัน รัตนโชติ 53011054  
นางสาวพัทธธิดา พิษจันทร์โสภณ 53011104  
นายพิชญะ ชันธวัรงค์ 53011118

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สิรภพ ตูประภา  
รศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

บทคัดย่อ

ปฏิญานีพจน์นี้เป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาใช้ในการติดตามเด็กพลัดหลงในงานแสดงสินค้า ห้างสรรพสินค้าต่างๆ ที่เป็นพื้นที่กว้าง โดยการออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ โหนดอ้างอิง ให้ทำงานครอบคลุมพื้นที่ โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการออกแบบ และวางแผนเครือข่ายไวไฟ และทำการทดลองหาตำแหน่งเด็กจากเซ็นเซอร์โหนดที่ติดกับตัวเด็กซึ่งประยุกต์เป็นกำไลข้อมือหรือแนบติดไว้กับส่วนเข็มขัด จากนั้นทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่ระบุได้กับตำแหน่งจริงที่เด็กอยู่

ABSTRACT

This thesis is application wireless sensor network to track lost children at exhibition or department store, that wide area. By design position that install reference node sensor to work extensive area, so applied software package. For the design and planning Wi-Fi network and test found of child lost from node sensor with hold on child that can be a bracelet or attach to the belt. Then compare position of show result and real position where a child lives.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ของปริญญานิพนธ์	2
1.5 โครงสร้างของระบบติดตามเด็กพลัดหลง	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (WIRELESS SENSOR NETWORK)	4
2.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4	6
2.3 โพรโตคอลซิกบี (ZIGBEE PROTOCOL)	12
2.4 โพรโตคอลค้นหาเส้นทางของซิกบี (ZIGBEE ROUTING PROTOCOL)	15
2.5 การใช้ RSSI (RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION) ในการ หาดำแหน่งในพื้นที่/ขอบเขตจำกัด	16
2.6 ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเชิงพลังงาน	18
2.7 เทคนิคการหาดำแหน่งด้วยวิธีฟิงเกอร์ปรินต์ (FINGERPRINT-BASE LOCATION TECHNIQUE)	22
2.8 ปัญหาที่พบในการส่งสัญญาณ	23
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์</b>	<b>25</b>
3.1 การออกแบบ	25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบวงจรใช้งาน	33
3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง	35
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>37</b>
4.1 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณ	37
4.2 การทดลองเก็บค่า RSSI เพื่อเป็นฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปรีนตีใน สถานะแวดล้อมภายในอาคาร	40
4.3 ผลการทดลองการระบุที่กีดตำแหน่งของเด็กผ่านโปรแกรมแสดงผล	45
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>58</b>
5.1 สรุปผล	58
5.2 ปัญหาที่พบ	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>59</b>
<b>ภาคผนวก โค้ดโปรแกรม</b>	<b>61</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบของการติดตามเด็กพลัดหลง	3
2.1 โมเดลการสื่อสารภายนอกอาคาร	5
2.2 โมเดลการสื่อสารภายในอาคาร	6
2.3 เครือข่ายแบบสตาร์	8
2.4 เครือข่ายแบบต้นไม้	9
2.5 เครือข่ายแบบเมช	9
2.6 โครงสร้างของโปรโตคอลซิกบี	12
2.7 การค้นหาตำแหน่งของวัตถุ	18
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับการวิเคราะห์ตำแหน่ง	20
3.1 ด้านหน้าของเอ็กบีและการจัดวางตำแหน่งของขาเอ็กบี	29
3.2 ด้านหลังของเอ็กบีและตำแหน่งของขาเอ็กบี	29
3.3 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์	32
3.4 บอร์ดโหนดอ้างอิง	33
3.5 บอร์ดชุดติดตามตัวเด็ก	34
3.6 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	36
4.1 ภาพจำลองแบบการทดลองการจัดวางตำแหน่งของโหนดอ้างอิงและชุดติดตามเด็ก เพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณ	38
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าความแรงของสัญญาณ	39
4.3 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง	41
4.4 ตำแหน่งที่ทำการเก็บค่า RSSI	41
4.5 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บค่าความแรงสัญญาณของแต่ละโหนด	42
4.6 แสดงหน้าต่างกรอกข้อมูลเด็ก	46
4.7 แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล (DATABASE)	47
4.8 โปรแกรมแสดงตำแหน่งพิกัดบนแผนที่	48
4.9 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (0,3)	50
4.10 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (0,6)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	สารบัญญรูป (ต่อ)	หน้า
4.11	แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,3)	51
4.12	แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,9)	51
4.13	แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,3)	55
4.14	แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,6)	56
4.15	แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,3)	56
4.16	แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,6)	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	10
3.1	26
3.2	30
3.3	31
3.4	32
4.1	38
4.2	44
4.3	44
4.4	48
4.5	49
4.6	52
4.7	53
ค่าเฉลี่ยใหม่ เฉพาะโหมดที่ 2	
4.8	53
4.9	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีผู้คนจำนวนมากให้ความสนใจเข้าร่วมการจัดงานต่างๆ เช่น งานนิทรรศการ งานแสดงสินค้า งานประชุม งานประกวดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสถานที่ที่ใช้ในการจัดงาน ไม่ว่าจะเป็นห้างสรรพสินค้า หอประชุม อาคารสำนักงานหรือสถานที่อื่นๆมากมาย ต่างก็มีพื้นที่กว้าง ประกอบกับผู้คนที่มาร่วมกันจำนวนมาก โดยเฉพาะผู้ที่มีมาเป็นครอบครัวที่มีเด็กมาด้วย มักเกิดปัญหาในการพลัดหลงกัน ซึ่งทำให้มีการประกาศตามหากันอยู่บ่อยๆบางครั้งใช้เวลาในการตามหานาน เนื่องจากไม่รู้ตำแหน่งที่แน่นอนของเด็ก ต้องใช้คนในการเดินค้นหาเด็กที่พลัดหลงภายในบริเวณที่จัดงาน และบางครั้งถ้าเด็กโดนลักพาตัวหรือเดินออกจากพื้นที่จัดงานไปอาจเกิดอันตรายแล้วก็ไม่สามารถรู้ได้ ทำให้ผู้ปกครองเกิดความกังวลใจ และไม่มั่นใจในเรื่องการรักษาความปลอดภัย เนื่องจากการจัดการแก้ไขปัญหานั้นเป็นไปอย่างล่าช้า ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหานั้นจะสามารถค้นหาตำแหน่งเด็กที่พลัดหลงด้วยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยใช้โมดูลเอ็กซ์บีโพร ซีรีส์ 1 (Xbee Pro series 1) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีไร้สาย มีการสื่อสารรับส่งข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติและข้อดีต่างๆมาช่วยในการแก้ไขปัญหานี้

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) สร้างระบบเพื่อใช้ในการติดตามเด็กที่มีโอกาสพลัดหลงกับผู้ปกครองตามสถานที่จัดงานต่างๆ
- 2) เพื่อป้องกันการลักพาตัวและอันตรายที่จะเกิดกับเด็กที่พลัดหลง
- 3) เพื่อเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการค้นหาเด็กพลัดหลง
- 4) เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ปกครองที่พาเด็กไปร่วมงานตามสถานที่ต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาใช้ในการติดตามเด็กพลัดหลง ในการทดลองจะใช้พื้นที่ จัดงานที่มีพื้นที่เปิดและอยู่ในบริเวณที่ระบบครอบคลุม อุปกรณ์ประกอบด้วย จุดติดตั้งโหนดอ้างอิง 3 จุด จุดลงทะเบียน 1 จุด และชุดติดตามเด็กจำนวน 1 ชุด ระบบสามารถค้นหาตำแหน่งของเด็กและสามารถแสดงตำแหน่งของเด็กในรูปแบบการต่อประสานด้วยกราฟฟิกของผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ประโยชน์ของโครงการ

- 1) สามารถค้นหาตำแหน่งที่เด็กพลัดหลงอยู่ได้
- 2) ค้นหาตำแหน่งเด็กพลัดหลงเพื่อป้องกันการลักพาตัวและอันตรายที่จะเกิดขึ้น
- 3) มีความสะดวกและรวดเร็วในการค้นหาเด็กพลัดหลงเพื่อป้องกันอันตราย
- 4) สามารถเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ปกครองได้ว่า การจัดงานมีการรักษาความปลอดภัยให้กับเด็กที่พลัดหลงโดยมีการติดตั้งระบบเครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

## 1.5 โครงสร้างของระบบติดตามเด็กพลัดหลง

### 1.5.1 จุดลงทะเบียน (Register)

จุดลงทะเบียนเป็นขั้นตอนแรกผู้ปกครองต้องมาลงทะเบียนเพื่อแจ้งข้อมูลต่างๆของเด็ก เช่น ชื่อ-นามสกุล อายุ เพศ ชื่อ-นามสกุลของผู้ปกครอง หรือลักษณะต่างๆที่สามารถทำให้ง่ายต่อการค้นหาเมื่อเกิดการพลัดหลง และเมื่อลงทะเบียนแล้วจะได้บอร์ดชุดติดตามตัวเด็กเพื่อนำมาเก็บไว้ที่ตัวเด็ก เมื่อต้องการค้นหาตำแหน่งก็ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณหาตำแหน่ง และแสดงผลให้เห็นว่าตำแหน่งที่เด็กอยู่อยู่บนส่วนใดของพื้นที่จัดงาน แสดงบนแผนที่

### 1.5.2 โหนดอ้างอิง (Node reference)

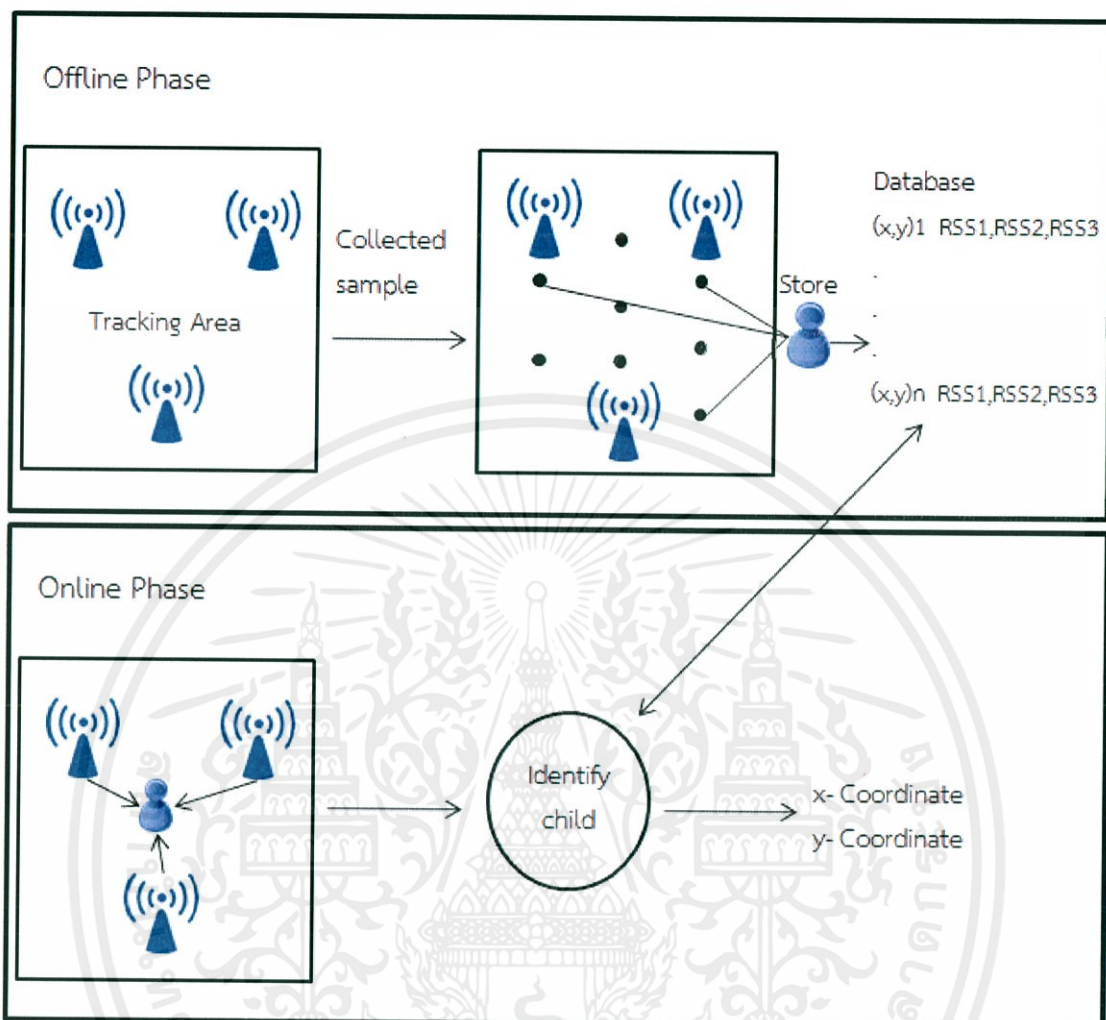
โหนดอ้างอิงเป็นจุดที่ติดตั้งบอร์ดโหนดอ้างอิงที่ประกอบด้วยเอ็กซ์บีโพร ซีรีส์ 1 (Xbee Pro series 1) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) โดยมีการออกแบบจุดที่ติดตั้งโหนดอ้างอิงให้ส่งสัญญาณให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่จัดงานทั้งหมด เมื่อทำการค้นหาตำแหน่งเด็กพลัดหลง ที่จุดลงทะเบียนจะทำการส่งงานโหนดอ้างอิงให้ทำงาน แล้วโหนดอ้างอิงก็จะทำการส่งสัญญาณค้นหาสัญญาณของชุดติดตามตัวเด็กที่อยู่กับตัวเด็ก จากนั้นเมื่อค้นหาสัญญาณเจอ ก็จะส่งค่าความแรงของสัญญาณของตำแหน่งที่เด็กพลัดหลงอยู่ กลับมาให้กับจุดลงทะเบียนใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดตำแหน่งที่เด็กพลัดหลงอยู่

### 1.5.3 ชุดติดตามตัวเด็ก

ชุดติดตามตัวเป็นบอร์ดที่มีเอ็กซ์บี (Xbee) ที่ให้เด็กเก็บไว้ เมื่อทำการค้นหาตำแหน่งโหนดอ้างอิงก็จะส่งสัญญาณมาค้นหาสัญญาณของชุดติดตามตัวเด็ก จากนั้นก็จะส่งสัญญาณไปยังโหนดอ้างอิง แล้วส่งไปประมวลผลที่จุดลงทะเบียน

การทำงานของระบบติดตามเด็กพลัดหลงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ระบบของการติดตามเด็กพลัดหลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network)

ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) เป็นระบบที่ประกอบไปด้วยโหนด (Node) หลายโหนดวางอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ โดยการส่งผ่านคลื่นสัญญาณวิทยุ โหนดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน คือ 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล 2) ตัวส่งสัญญาณความถี่วิทยุที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย และ 3) ตัวเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อสิ่งเร้ารอบตัวมันเช่นแสง, อุณหภูมิ, และความชื้น เป็นต้น ตัวเซ็นเซอร์สามารถอ่านปริมาณของสิ่งเร้าเหล่านี้เข้ามาเป็นข้อมูลเข้าสู่ตัวโหนดได้โดยคุณสมบัติการตรวจจับสิ่งเร้าของเซ็นเซอร์จะทำงานได้ใกล้หรือไกลขึ้นอยู่กับรัศมีการตรวจจับที่กำหนดไว้ในอุปกรณ์เซ็นเซอร์แต่ละตัวเซ็นเซอร์จะตรวจจับสิ่งเร้าในระยะที่อยู่ใกล้ๆ ได้ดีกว่าที่ระยะไกลออกไป

การนำอุปกรณ์สื่อสารไร้สายมาสร้างเป็นเครือข่ายเฝ้าสังเกตสถานที่อันตรายและไม่สามารถเข้าถึงได้เครือข่ายตรวจจับผู้บุกรุก อุปกรณ์สื่อสารไร้สายจะต้องเพิ่มความสามารถในการวัดค่าต่างๆ เข้าไปในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายให้รู้ถึงตำแหน่งที่แน่นอนของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่อยู่ในเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายที่เราสร้างขึ้น เพื่อนำไปพัฒนาคุณภาพของการรับส่งข้อมูลในเครือข่าย ข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายในเครือข่ายมีความสำคัญอยู่ 2 ประการคือ

##### 2.1.1 ด้านการกำหนดเส้นทางการรับส่งข้อมูล

เนื่องจากระยะการส่งสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายมีจำกัด เมื่อต้องการส่งข้อมูลต่างๆ ไปในเครือข่ายจะมีการเลือกเส้นทางที่ดี และมีประสิทธิภาพที่สุดเพื่อส่งข้อมูลดังนั้นการประมาณตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายจึงมีความสำคัญมากในการใช้เลือกเส้นทางการส่งข้อมูลที่ต้องการ และมีประสิทธิภาพที่สุด

##### 2.1.2 ด้านการประยุกต์ใช้

เราสามารถนำเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายมาประยุกต์ใช้ในด้าน การตรวจจับตำแหน่งของคนไข้ในโรงพยาบาลหรือตำแหน่งของเด็กที่พลัดหลงในสถานที่ต่าง, หน้าที่จอดรถ และตรวจจับความผิดปกติในพื้นที่ต่างๆ เป็นต้น ปัญหาหลักในระบบการทำงานคือ การประมาณตำแหน่งของอุปกรณ์ไร้สายในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

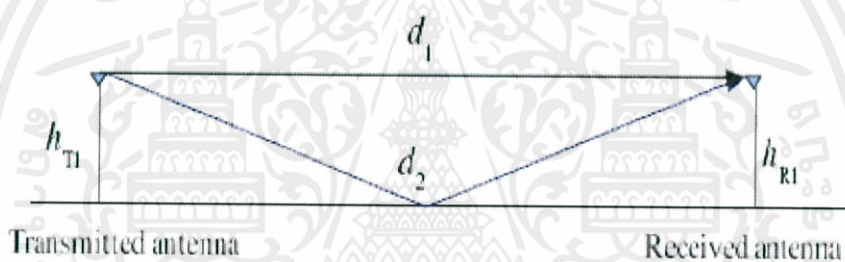
การนำซิกบี (Zigbee) มาสร้างเป็นเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อให้เป็นเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ รับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง ประหยัดพลังงาน สามารถสร้างเครือข่ายได้ด้วยตัวเอง มีราคาถูกลง และสามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบได้ง่าย

โดยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายมีโมเดลในการสื่อสาร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

### 2.1.3 โมเดลในการสื่อสาร

#### 2.1.3.1 การสื่อสารภายนอกอาคาร

การสื่อสารภายนอกอาคาร สายอากาศของโหนดเซ็นเซอร์ไร้สายด้านตัวรับจะอยู่สูงจากพื้น ( $h_{R1}$ ) โดยจะได้รับคลื่นจากสองทิศทางคือ คลื่นที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากสายอากาศฝั่งส่ง ( $d_1$ ) ระยะเสารับสัญญาณ ( $h_{T1}$ ) และคลื่นที่สะท้อนมาจากพื้น ( $d_2$ ) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

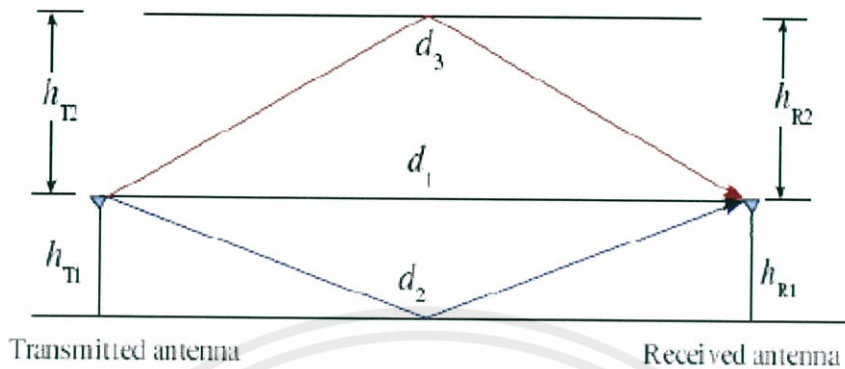


รูปที่ 2.1 โมเดลการสื่อสารภายนอกอาคาร [1]

#### 2.1.3.2 การสื่อสารภายในอาคาร

การสื่อสารภายในอาคาร จะมีความแตกต่างจากการสื่อสารภายนอกอาคารอยู่ตรงที่ การสื่อสารภายในอาคารจะมีคลื่นที่ได้รับจากการสะท้อนมาจากเพดาน ( $d_3$ ) ด้วย โดยความสูงของสายอากาศด้านรับที่ห่างจากเพดาน ( $h_{R2}$ ) และความสูงของเสาอากาศด้านส่งห่างจากเพดาน ( $h_{T2}$ ) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โมเดลการสื่อสารภายในอาคาร [1]

## 2.2 มาตรฐาน IEEE 802.15.4

ตามมาตรฐาน มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าซิกบี (Zigbee) ซิกบีเป็นเทคโนโลยีไร้สาย โดยมีการสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กมาก คำว่าซิกบีนั้นได้มาจากพฤติกรรมของการสื่อสารของผึ้ง ซึ่งการส่งข้อมูลข่าวสารของผึ้งนั้นจะทำการบินซิกแซคเพื่อบอกตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่ให้กับผึ้งพวกเดียวกัน ดังนั้นการทำงานของซิกบีจึงเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูลผ่านซิปเล็กๆจุดต่อจุดไปเรื่อย จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถวัดค่าความแรงของสัญญาณเพื่อนำมาวิเคราะห์หาระยะทางหรือตำแหน่งที่ต้องการได้

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 กำหนดโดยสหพันธ์ซิกบี (ZigBee Alliance) เป็นสมาคมที่ทำงานเพื่อควบคุมการใช้งานและการเชื่อมต่อบนเครือข่ายไร้สาย สหพันธ์ซิกบีเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ไม่แสวงหาผลกำไรซึ่งประกอบด้วยกลุ่มผู้ผลิตเซมิ-คอนดักเตอร์ ผู้ให้บริการเทคโนโลยี OEM (Original Equipment Manufacturing) และผู้ใช้โดยตรงทั่วโลก มีการรับสมาชิกเปิดกว้างสำหรับทุกหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวกับเครือข่ายโมดูลการสื่อสารซิกบี มาตรฐาน IEEE 802.15.4 นี้เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้พลังงานต่ำ และมีราคาถูก เหตุผลที่มาตรฐานนี้ใช้พลังงานต่ำคือ เพื่อให้สามารถทำเป็นระบบเครือข่ายไร้สายได้ ระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้ทุกสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะอยู่ในอาคาร หรือนอกอาคาร สามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้นานหลายเดือน ระบบนี้จึงเหมาะสมกับการตรวจจับ (Monitor) สิ่งที่น่าสนใจได้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.2.1 โครงสร้างเครือข่ายของซิกบี (Zigbee Network Topology) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายใช้โมดูลซิกบีจะต้องประกอบด้วยโหนด (Node) จำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือโหนดประสานงาน (Coordinator node) และโหนดลูกข่าย ชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal area network) ได้ แบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

2.2.1.1 ซิกบี ได้แบ่งชนิดอุปกรณ์ทางกายภาพ (Physical Device) ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) อุปกรณ์เต็มฟังก์ชัน (Full Function Device: FFD) หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย คือ อุปกรณ์ที่อาจจะทำหน้าที่เป็นเราท์เตอร์ (Router) หรือสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ โดยใช้พลังงานจากสายไฟฟ้า (Power Line) สามารถทำงานได้ทุกโครงข่ายงาน (Topology) และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อได้

2) อุปกรณ์ลดฟังก์ชัน (Reduce Function Device: RFD) หมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย คือ อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานแบตเตอรี่ (Battery) ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆได้ และถูกลดความสามารถในการทำโครงข่าย ซึ่งอุปกรณ์นี้สามารถทำโครงข่ายแบบดาว (Star) ได้ง่าย

2.2.1.2 ซิกบีได้แบ่งอุปกรณ์ทางตรรกะ (Logical Device) ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ซิกบีประสานงาน (Zigbee Coordinator: ZC)  
มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่างอุปกรณ์ปลายทางหรือเอนด์ดีไวซ์ (End Device) กับเราท์เตอร์ (Router) หรือ ตัวประสานงาน (Coordinator) กับตัวประสานงานด้วยกัน หรือตัวประสานงานกับเราท์เตอร์ โดยการกำหนดแอดเดรส (Address) ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงเครือข่ายที่สร้างขึ้นไม่ให้ซ้ำกัน ทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลในเครือข่ายซึ่งการทำงานดังกล่าวทำให้ซิกบีประสานงานเป็นอุปกรณ์เต็มฟังก์ชัน

2) ซิกบีเราท์เตอร์ (Zigbee Router: ZR)  
เป็นสื่อกลางมีหน้าที่รับส่งข้อมูลและจัดการเส้นทางต่างๆของข้อมูลที่ส่งภายในเครือข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ ซึ่งเทียบได้กับอุปกรณ์เต็มฟังก์ชัน

3) ซิกบีอุปกรณ์ปลายทาง (Zigbee End Device: ZED)  
เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุดท้ายซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ปลายทาง และยังคงยจัดเส้นทางของข้อความ โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับอุปกรณ์ลดฟังก์ชัน หรืออุปกรณ์เต็มฟังก์ชันขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเซ็นเซอร์ไร้สาย

สามารถแบ่งรูปแบบ เครือข่ายได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

### 2.2.2.1 เครือข่ายแบบดาว (Star Network)

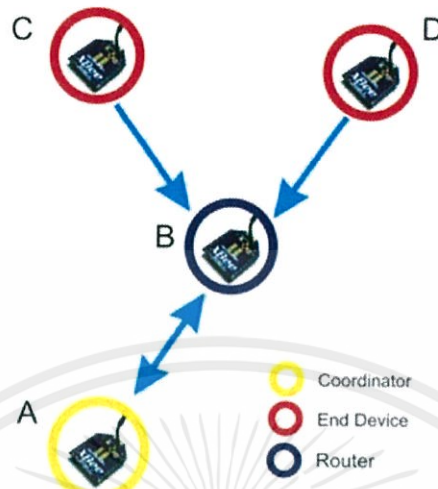
การเชื่อมต่อแบบสตาร์ (Star) หรือ แบบบรอดแคสต์ (Broadcast) เป็นการรับส่งข้อมูลแบบ ไม่เฉพาะเจาะจงจุดหมายปลายทาง หรืออุปกรณ์ซิกนัลทุกตัวที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันสามารถ รับข้อมูลทุกข้อมูลได้ทุกตัว สามารถแสดงได้ดังรูป 2.1



### 2.2.2.2 เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Networks)

ในเครือข่ายแบบนี้ อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อ หรือโมดูลเอ็กบี เพื่อทำการสื่อสารโดยมีโมดูลซิกนัลเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ โดยเครือข่ายแบบนี้ ตัวกลางในการเชื่อมต่อจะทำหน้าที่เราเตอร์ คือการหาทางเดินที่เร็วที่สุดในการสื่อสาร เครือข่ายแบบนี้จะสามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังปลายทาง ทั้งๆ ที่ไม่อยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ สามารถแสดงได้ดังรูป 2.2

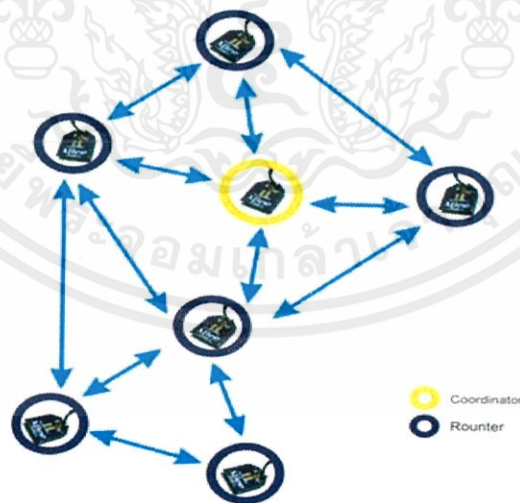
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครือข่ายแบบต้นไม้ [6]

### 2.2.2.3 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)

การเชื่อมต่อเครือข่ายแบบเมช (Mesh) เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากข้อมูลสามารถส่งไปถึงเป้าหมายได้หลายทางทำให้ระบบนี้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังจุดหมายปลายทางได้ แม้จะเกิดความเสียหายของระบบในบางส่วนก็ตาม (ขึ้นอยู่กับ การออกแบบระบบของผู้ใช้ด้วย) ระบบนี้จึงเป็นระบบที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก รูปแบบสามารถแสดงได้ดังรูป 2.3



รูปที่ 2.5 เครือข่ายแบบเมช [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.3 คุณสมบัติและคุณลักษณะทั่วไปของซิกบี

### 2.2.3.1 คุณสมบัติของซิกบี

ซิกบีได้กลายเป็นมาตรฐานการควบคุมสัญญาณเครือข่ายระดับโลก ซึ่งได้รับการออกแบบ โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) ประหยัดพลังงาน และง่ายต่อการพัฒนาปรับปรุง
- 2) มาตรฐานซิกบีตาม IEEE 802.15.4 กำหนดให้มีโหมดของการใช้พลังงาน 2 สถานะ คือ สถานะที่มีการรับและส่งข้อมูล ซึ่งเรียกว่าแอกทีฟ (Active) และอีกสถานะคือ สถานะที่ไม่มีการทำงานชั่วขณะหนึ่ง หรือเรียกว่าสลีป (Sleep)
- 3) อุปกรณ์หลักต้องใช้พลังงานตลอดเวลา อุปกรณ์ที่ใช้งานซิกบีจะมีลักษณะเป็นนิเวศวิทยามากกว่าอุปกรณ์แบบเดิมๆที่ต้องใช้กำลังส่งถึงเมกะวัตต์
- 4) ราคาประหยัด อุปกรณ์ที่ไม่มีราคาถูก เสียค่าติดตั้งและดูแลน้อย เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นแบบไพรมารี (Primary Cell)
- 5) ในแต่ละเครือข่ายสามารถมีจำนวนโหนดได้มาก

### 2.2.3.2 คุณลักษณะทั่วไปของซิกบี

อัตราการส่งข้อมูลมี 3 ระดับ คือ 250 kbps (ที่ความถี่ 2.4 GHz 16 channels) , 40 kbps (ที่ความถี่ 915 MHz 10 channel) , 20 kbps (ที่ความถี่ 868 MHz 1 channel) สำหรับประเทศไทยกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศอนุญาตให้ใช้โดยไม่ต้องขออนุญาต ย่านความถี่ใช้ในอเมริกาและออสเตรเลีย 915 MHz จำนวน 10 ช่องอัตรารับส่งข้อมูล 40 kbps ย่านความถี่ใช้งานยุโรป 868 MHz จำนวน 1 ช่องอัตรารับส่งข้อมูล 20 kbps สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มความถี่มาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Frequency Band) [7]

Band	Converge	Data Rate	Channels
2.4 GHz (ISM)	Worldwide	250 Kbps	16
915 MHz (ISM)	America	40 Kbps	10
868 MHz	Europe	20 Kbps	1

ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) มีประสิทธิภาพในเรื่องวงรอบของการใช้งานแต่ละแอปพลิเคชันต่ำ (<0.1%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ใช้งานเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยวิธี CSMA-CA (Carrier sense multiple access with collision avoidance) ก็คือ การตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณ

3) ประหยัดพลังงาน

4) ใช้โครงสร้างเครือข่ายแบบดาว (Star) แบบเครื่องต่อเครื่อง (peer-to-peer) และแบบเมช (Mesh) ได้ Multiple

5) รองรับอุปกรณ์ได้มากถึง 18450x1015 ตัว (Address ขนาด 64บิต) 65535 เครือข่าย

6) การทำงานของแอปพลิเคชันใช้หลักการแบบแบ่งเวลา โดยใช้เวลาแฝงน้อย

7) โพรโตคอลมีการทำฟูลแฮนด์เชค (Fully hand-shacked) เพื่อความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

8) ตามปกติใช้งานได้ในช่วง 50เมตร (ระยะทางในการใช้งานอยู่ในช่วง 5-500 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม)

## 2.2.4 ประเภทของการใช้งานช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ของซิกบี

### 2.2.4.1 ข้อมูลเป็นระยะ (Periodic data)

- 1) ข้อมูลเป็นระยะ แอปพลิเคชันเป็นตัวกำหนดอัตราส่ง เช่น เซ็นเซอร์
- 2) ถูกควบคุมโดยระบบบีคอน (Beaconing system) โดยเซ็นเซอร์จะตื่น (wake up) ขึ้นมาตรวจสอบว่ามีข้อมูลใดๆหรือไม่ จากนั้นก็กลับสู่โหมดสลีป (Sleep) เหมือนเดิม

### 2.2.4.2 ข้อมูลสม่ำเสมอ (Intermittent data)

- 1) ข้อมูลส่งบ้างหยุดบ้าง แอปพลิเคชันหรือส่งรับรีเลย์ภายนอกเป็นตัวกำหนดอัตราการส่ง เช่น สวิตช์ไฟ เป็นต้น
- 2) ถูกควบคุมระบบบีคอน หรือยกเลิกการเชื่อมต่อไปเลย การยกเลิกการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ต่อกับกับเครือข่ายเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

### 2.2.4.3 ข้อมูลซ้ำแบบแฝงค่า (Repetitive low latency data)

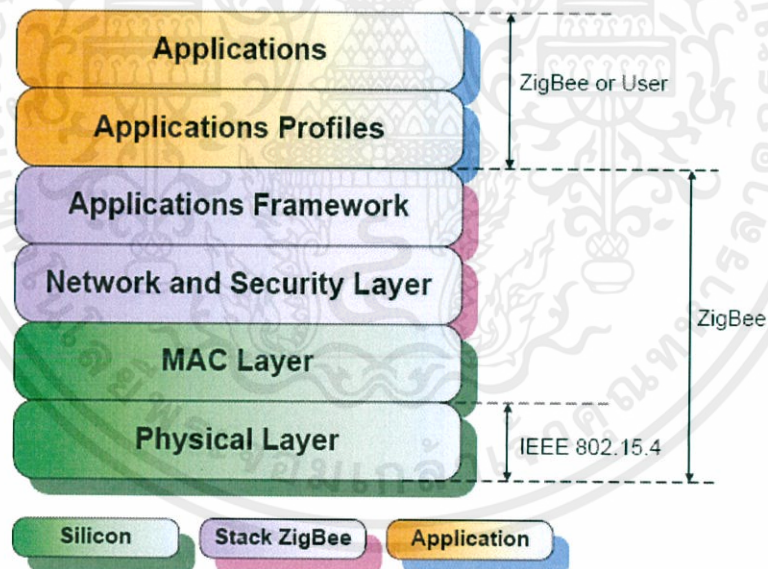
- 1) กำหนดแบ่งช่วงเวลาในการใช้งาน เช่น เมาส์
- 2) เลือกใช้วิธีการันตีช่วงเวลา (Guaranteed Time Slot: GTS) ในการควบคุม ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการให้บริการคุณภาพ (Quality Service: QOS) ที่กำหนดให้แต่ละอุปกรณ์กำหนดช่วงเวลาเพื่อป้องกันการแย่งกันใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 โพรโตคอลซิกบี (Zigbee Protocol)

โพรโตคอลซิกบีจะใช้เฉพาะในส่วนของชั้นโปรแกรมประยุกต์ (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 โดยมีโครงสร้างของโพรโตคอลซิกบีดังแสดงในรูปที่ 2.6

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีจุดมุ่งหมายเบื้องต้นเพื่อตรวจจับและควบคุมแอปพลิเคชันความสามารถในด้านการประหยัดพลังงานถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการที่จะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น จำนวนปริมาณข้อมูลเอาร์ทพุท (แบนด์วิธ) ที่ได้ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับไวร์เลส แลน ซึ่งต้องใช้ถึง 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) กับแอปพลิเคชันหลายตัวจึงจะมากเพียงพอ ระยะห่างระหว่างโหนด 2 โหนด อยู่ที่ 50 เมตรขึ้นไป และแต่ละโหนดที่แลกเปลี่ยนข้อมูลกันจะทำการสร้างเครือข่ายขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ครอบคลุมเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยมีโครงสร้างของโพรโตคอลซิกบีดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของโพรโตคอลซิกบี [8]

ชั้นโปรแกรมประยุกต์เป็นชั้นที่มีส่วนที่เรียกว่าโครงประกอบโปรแกรมประยุกต์ (Application Framework) โดยมีออบเจกต์ของอุปกรณ์ซิกบี (Zigbee Device Object หรือ ZDO) ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงและใช้งานในชั้นโปรแกรมประยุกต์และทำหน้าที่ในการรับส่ง

ข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับชั้นโปรแกรมประยุกต์ และส่วนของชั้นเครือข่าย ทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางของข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

### 2.3.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ชั้นกายภาพและแมค (Physical and MAC layers)

ในช่วงเวลาขณะหนึ่ง ทุกโซลูชันทำงานที่ความถี่ 2.4 GHz แต่เฉพาะที่อเมริกาเหนือทำงานที่ย่านความถี่ 915 MHz และที่ยุโรปทำงานที่ย่านความถี่ 868 MHz ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ฟรี ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากซิกบีจึงอาจจะสามารถใช้ได้ทั่วโลก ผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันทั้งหมดจะใช้งานได้ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ในทุกย่านความถี่ใช้ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) ที่ย่านความถี่ 868 MHz และ 915 MHz ใช้วิธีโบนารีเฟสชิฟคีย์อิง (Binary Phase Shift Keying) และที่ย่านความถี่ 2.4 GHz ใช้วิธี O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying)

ที่ย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้ฟรีเริ่มมีการใช้กันมากและมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น มาตรฐาน 802.15.4 มีคุณสมบัติมากมายที่จะทำให้แน่ใจว่ามีขั้นตอนการทำงานที่เชื่อถือได้ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เลวร้ายที่สุด โดยมีคีย์เวิร์ด 3 ตัว คือ ทำให้ช่องสัญญาณว่าง (Clear Channel Assessment) ประเมินคุณภาพ (Quality Assessment) และการตรวจจับตัวรับพลังงาน (Receiver Energy Detection) เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากตัวมันเอง เทคนิคที่เรียกว่า Carrier Sense Multiple Access (CSMA) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลซึ่งแน่ใจว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาการชนกันข้อมูลที่ถูกส่งอยู่ในรูปแพคเกจของซิกบีมีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ ซึ่งรวมโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลด้วย มีที่ว่างได้สูงสุด 104 ไบต์ เมื่อเปรียบเทียบกับอินเทอร์เน็ตแล้วค่อนข้างเล็กกว่า แต่แอปพลิเคชันมากมายซิกบีสามารถใช้เนื้อที่เท่านี้ได้อย่างเพียงพอ

คุณสมบัติที่เป็นลักษณะเรียลไทม์ ซิกบีสามารถกำหนดให้ข้อความมีลำดับความสำคัญสูงสุดได้ โดยใช้กลไกการแบ่งช่วงเวลา ดังนั้นข้อความที่มีลำดับความสำคัญสูงจะสามารถถูกส่งไปได้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซิกบีใช้แอดเดรส 2 ประเภท มี IEEE address ขนาด 64 บิต ซึ่งเปรียบเทียบกับไอพีแอดเดรสบนอินเทอร์เน็ต และมีอีก 16 บิตเป็น short address ซึ่งใช้เน็ตเวิร์คละครั้ง ดังนั้นจะสามารถสร้างโหนดได้ทั้งหมด  $2^{16} = 64000$  โหนด ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้าต้องการใช้จำนวนโหนดมากกว่านี้ต้องออกแบบเพื่อสร้างโหนดเกิดเวย์

### 2.3.2 เลเยอร์ซิกบี (The ZigBee upper layers)

เป็นเลเยอร์ที่อยู่ถัดขึ้นไปจากชั้น 802.15.4 ซึ่งเรียกว่ามาตรฐานซิกบี ซึ่งเลเยอร์นี้ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วย แอปพลิเคชันโพรไฟล์ (Application Profile) ,การตั้งค่าระบบรักษาความปลอดภัย (Security Setting) และข้อความ (messaging) ถึงแม้ว่าซิกบีมีสถาปัตยกรรมเป็นแบบตาข่าย (mesh) แต่ก็ไม่นับสนุนการทำงานกับสถาปัตยกรรมที่เป็นโทโพลยีแบบดาว(Star) ,แบบต้นไม้ (Tree) หรือแบบผสม (Hybrids) เลย ขึ้นอยู่กับว่าแอปพลิเคชันในแต่ละโทโพลยีจะมีข้อดีหรือข้อเสียอย่างไร โทโพลยีแบบดาวเป็นโทโพลยีที่ง่ายที่สุด ทุกๆโหนดจะเชื่อมต่อสื่อสารกับโหนดที่อยู่ตรงกลาง คล้ายดาว โทโพลยีแบบตาข่ายมีความซับซ้อนมาก แต่ละโหนดอาจมีการเชื่อมต่อกับโหนดอื่นๆ ที่อยู่ภายในช่วงได้ แต่เป็นการง่ายที่จะทราบว่ารูปแบบนี้ทำให้เกิดเส้นทางระหว่างเน็ตเวิร์คที่เป็นไปได้มากมาย ทำให้โทโพลยีมีความแข็งแกร่งทนทานเนื่องจากเส้นทางที่ใช้งานไม่ได้จะถูกละเว้นไป โทโพลยีแบบคลัสเตอร์หรือเป็นโทโพลยีแบบง่ายที่สุดที่เกิดจากการนำโทโพลยีแบบสตาร์และตาข่ายมารวมกัน

### 2.3.3 กลไกการรักษาความปลอดภัยของซิกบี

ซิกบีควบคุมความปลอดภัยในการส่งข้อมูลผ่านฮอป (Hop) โดยใช้ความปลอดภัยของเฟรมข้อมูลชั้นแมค (MAC data frame) แต่ถ้าเป็นการส่งแบบหลายฮอป (multi-hop) ซิกบีจะใช้ความปลอดภัยจากเลเยอร์ชั้นบนๆ (เช่น ชั้น NWK) ชั้นแมคใช้มาตรฐานการเข้ารหัสชั้นสูง (AES : Advanced Encryption Standard) โดยใช้อัลกอริทึมการเข้ารหัสลับ (Cryptographic) และจัดทำเป็นชุดรักษาความปลอดภัย (security suite) โดยใช้อัลกอริทึมมาตรฐานการเข้ารหัสชั้นสูง ในชุดนั้นจะป้องกันความลับ มีความถูกต้องและตรวจสอบความเป็นเจ้าของไว้กับเฟรมแมค ชั้นแมคไม่มีกระบวนการทำการรักษาความปลอดภัย (Security) โปรโตคอลชั้นบนจะมีหน้าที่ตั้งค่าง่ายและกำหนดระดับความปลอดภัยที่จะใช้เพื่อควบคุม

เทคโนโลยีซิกบี เป็นการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเริ่มจากการกำหนดมาตรฐานการรับ-ส่งข้อมูลแบบ IEEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน ความเร็วการรับส่งข้อมูลต่ำและมีราคาถูก การสื่อสาร ลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสาร ระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง เช่น บริเวณโรงงานหนึ่งๆอาจจะต้องใช้จำนวนเซ็นเซอร์ปริมาณมากๆ และเครื่องรับส่งที่มีราคาถูก และประหยัดพลังงาน

#### 2.3.3.1 การสื่อสารระยะไกลแบบซิกบีแตกต่างจากการสื่อสารแบบบลูทูธ ดังนี้

- 1) มีการเชื่อมต่ออย่างซับซ้อนเพื่อรองรับการเชื่อมต่อสำหรับเครือข่าย

ขนาดใหญ่

- 2) การใช้งานแบบประหยัดพลังงานเพื่อการใช้งานได้ยาวนานจาก

พลังงานแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) การสื่อสารระยะใกล้ในระยะ 10– 100 เมตร
- 4) เหมาะสำหรับการเฝ้าระวัง (Monitor) และการควบคุม (Control) ใช้งานอุตสาหกรรมงานสิ่งแวดล้อม งานก่อสร้างและงานทางการแพทย์
- 5) เน้นการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วประมาณ 125– 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)

### 2.3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลซิกบีในอุปกรณ์ต่างๆเป็นดังนี้

ตัวประสานการเชื่อมต่อซิกบี (Zigbee Coordinate) เริ่มต้นเครือข่ายโดยการตรวจสอบการเข้าใช้ช่องสัญญาณของสัญญาณวิทยุในบริเวณรอบๆ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ได้ถูกใช้โดยตัวประสานการเชื่อมต่อของซิกบีตัวอื่น ก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ จากนั้นตัวประสานการเชื่อมต่อของซิกบีจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายรองรับการเข้าร่วมเครือข่ายของอุปกรณ์ซิกบีปลายทาง (Zigbee End Device) และรองรับการร้องขออื่นๆตามมาตรฐานเดียวกันด้วย

อุปกรณ์ซิกบีปลายทางเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอไปยังตัวประสานการเชื่อมต่อของซิกบีประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆว่าตัวประสานการเชื่อมต่อของซิกบีใช้ช่องสัญญาณได้อยู่ เมื่อทำการเข้าร่วมเครือข่ายเสร็จสิ้นอุปกรณ์ซิกบีปลายทางจึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆผ่านทางตัวประสานการเชื่อมต่อของซิกบีได้

## 2.4 โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของซิกบี (Zigbee Routing Protocol)

### 2.4.1 โปรโตคอลค้นหาเส้นทาง AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector Routing Algorithm)

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของซิกบีเป็นโปรโตคอลหาเส้นทางที่นิยมมากชนิดหนึ่งสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) มีลักษณะคล้ายกับการหาเส้นทางจากต้นแบบไดนามิก (Dynamic Source Route Request หรือ DSR) ในส่วนที่มีการกระจายการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Broadcast Route Request) ไปยังเพื่อนบ้านและส่งข้อมูลการร้องขอเป็นการร้องขอเป็นแบบเครื่องต่อเครื่อง (Hop-By-Hop) ในการลดโอเวอร์เฮด (Over head) ของการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Route Request) แต่ละโหนดจะมีกระบวนการปรับปรุงตารางค้นหาเส้นทาง (Routing Table) ในการจัดการข้อมูลของเส้นทางในโหนดข้างเคียง แต่ละโหนดจะมีการปรับปรุงตารางเป็นคาบเวลา (Periodically) โดยที่ขึ้นอยู่กับกรร้องขอด้วย ในการปรับปรุงนั้นจะตรวจสอบแต่ละโหนดข้างเคียงและการกระจายไปยังโหนดอื่นๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม AODV มีจุดอ่อนอยู่ที่มีการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดสูง (high Mobility) ซึ่งสาเหตุทำให้มีการจราจรที่หนาแน่น (High Traffic) ที่เกิดจากการปรับปรุงตารางการลดความหนาแน่นของการจราจรในเครือข่ายจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยลดอัตราการปรับปรุงตารางการค้นหาเส้นทางได้ แต่ก็ส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการค้นหาเส้นทาง (Routing Failure) ได้เช่นกัน

AODV นั้นเป็นโปรโตคอลแบบแหล่งกำเนิดเริ่มต้นตามคำสั่งของการกระตุ้นหรือปฏิกิริยา (Source Initiated On-Demand Driven/Reactive) ซึ่งหาเส้นทางก็ต่อเมื่อต้นทาง (Source) ต้องการหาเส้นทางไปยังปลายทาง (Destination) เมื่อหาเส้นทางได้แล้วจะหยุดการค้นหา ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยลดการใช้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ในช่องสัญญาณแต่ละช่องจะต้องเสียเวลาในการหาเส้นทางใหม่เมื่อต้องการส่งข้อมูลเนื่องจากโปรโตคอลนี้ใช้ในลักษณะของเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น มีการย้ายตำแหน่งของโหนดที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Node) เป็นต้น โปรโตคอลนี้จะมีการส่งข้อความควบคุม (Control Message) เป็นช่วงๆเพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางหรือปรับปรุงเส้นทาง

สำหรับโหนดที่สามารถติดต่อได้โดยตรงจะเรียกว่าโหนดข้างเคียง (Neighbor) โดยโหนดจะเก็บข้อมูลของโหนดข้างเคียง เมื่อได้รับ Hello Message ที่แต่ละโหนดจะทำการกระจายข้อมูลออกมาตามเวลาที่กำหนดเอาไว้ เมื่อมีโหนดใดๆที่ต้องการส่งข้อความไปยังโหนดอื่นๆที่ไม่ใช่โหนดข้างเคียง โหนดตัวนั้นจะทำการขอเส้นทางบรอดแคสต์ (Broadcast Route Request: RREQ) ซึ่งในการขอเส้นทางบรอดแคสต์ (RREQ) จะประกอบไปด้วย ต้นทาง (Source) ปลายทาง (Destination) อายุ (Life Span) ของข้อมูลและหมายเลขลำดับ (Sequence Number)

การทำงานของการค้นหาเส้นทาง AODV จะเริ่มเมื่อโหนดต้นทางต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งข้อมูลการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Route Request หรือ RREQ) ไปยังโหนดข้างเคียงและโหนดที่ได้รับก็จะทำการส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียงต่อไปเรื่อยๆจนถึงโหนดปลายทางที่ต้องการที่จะติดต่อกับ เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ ตัวแรกที่มาถึงโหนดปลายทางจะส่งข้อความตอบกลับการค้นหาเส้นทาง (Route Reply) กลับไปยังโหนดต้นทางที่ทำการส่ง RREQ มาให้โดยส่งกลับไปให้เส้นทางที่ RREQ ตัวแรกมาถึง เพราะถือว่าใช้เวลาน้อยที่สุดใน การส่ง RREQ มาจากต้นทาง

## 2.5 การใช้ RSSI (Received Signal Strength Indication) ในการหาตำแหน่งในพื้นที่/ขอบเขตจำกัด

RSSI เป็นการวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณโดยทั่วไป ค่าบ่งชี้ความแรงสัญญาณที่ได้รับเป็นเทคโนโลยีของเครื่องรับวิทยุปกติผู้ใช้จะไม่สามารถมองเห็นได้ แต่จะสามารถรู้ได้จากเครือข่าย IEEE 802.15.4 ของซิกบี ค่า RSSI ที่ได้รับจะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

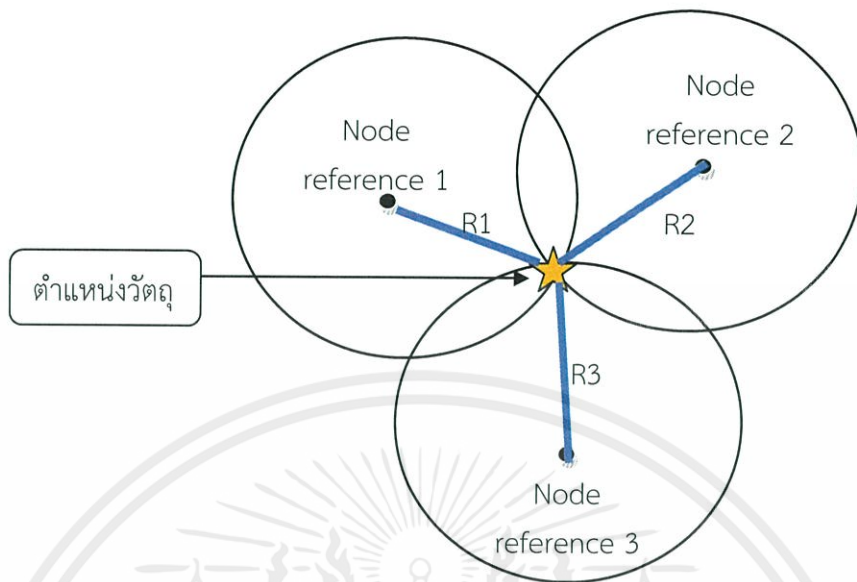
ถ้าค่า RSSI ที่ได้รับมีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง นั่นคือตัวส่งและตัวรับอยู่ใกล้กัน และในทางกลับกันหากค่า ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ ตัวส่งและตัวรับอยู่ไกลกัน เมื่อเราต้องการวิเคราะห์หาตำแหน่งของโหนดตัวรับที่เราต้องการทราบ โหนดตัวส่งจะทำการส่งสัญญาณออกไป เพื่อทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งจะเป็นค่าที่เรานำมาคำนวณหาตำแหน่ง

ข้อดีของการใช้การวัดแบบนี้คือ ไม่ต้องการฮาร์ดแวร์ที่มีราคาสูงและง่ายต่อการติดตั้งเหมาะสำหรับการวัดในเมืองหรือที่ร่ม ในเซลลูลาร์ (Cellular) และเครือข่ายวายแลน (WLAN network) มีอุปกรณ์สำหรับวัดค่า RSSI อยู่แล้วโดยไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ใดๆ สำหรับการวัดแบบโดยตรง (direct measurement) ไม่มีความน่าเชื่อถือเพราะว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของค่าความผิดพลาด (Error) มากซึ่งได้รับผลกระทบจากเฟดดิ้งที่ลดทอนและสะท้อน (Shadow fading) ค่อนข้างมาก การทำให้ค่า RSSI น่าเชื่อถือมากขึ้นจะต้องสร้างระบบในการจดจำพื้นที่นั้นๆ โดยการวัดค่าและเก็บข้อมูลไว้หลายๆครั้ง เมื่อวิเคราะห์ภายหลังก็จะมี ความผิดพลาดน้อยลง

วิธีนี้ไม่นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูงเนื่องจากค่าความแปรปรวนของสัญญาณจากสภาพแวดล้อมต่างๆกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสัญญาณมาจากหลายทิศทางและเกิดเงาสะท้อนของสัญญาณ (Shadowing effect) อย่างไรก็ตามวิธีการวัดความแรงของสัญญาณ (Signal-strength-based) มักนำไปใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งวัตถุหรือนำไปใช้ร่วมกับวิธี อื่นในการพิจารณา

นอกจากนี้เราสามารถเพิ่มความแม่นยำของการหาตำแหน่งวัตถุได้มากขึ้น โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์โดยโนดที่ใช้วัดวัดระยะทางต้องมีอย่างน้อย 3 โหนดในระนาบ 2 มิติ (หากเป็น ระบบ 3 มิติต้องการ 4 ระยะทางจาก 4 จุดสังเกต) ตำแหน่งของวัตถุจะอยู่ที่จุดตัด (Intersection) ของวงกลม 3 วงที่แต่ละวงมีรัศมีเท่ากับวัตถุไปยังจุดสังเกต ดังรูป 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การค้นหาตำแหน่งของวัตถุ

## 2.6 ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเชิงพลังงาน

ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเชิงพลังงานเป็นวิธีการวัดความแรงของสัญญาณในการส่งสัญญาณวิทยุ ตามความเป็นจริงของสัญญาณโดยทั่วไป เมื่อระยะทางไกลออกไปสัญญาณก็จะอ่อนลง ดังนั้นค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับนั้นก็จำเป็นต่อการส่งสัญญาณเช่นกัน เพราะจะสามารถรับรู้ได้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ระยะทางเท่าใด หรือกำลังในการส่งเท่าใดจึงจะเหมาะสมโดยค่า บ่งชี้ความแรงสัญญาณที่ได้รับมีหน่วยเป็น dBm (decibels mill watt)

สำหรับการวัดความแรงของสัญญาณ ที่แปลงค่าความแรงมาเป็นแรงดันไฟฟ้านั้น มักไม่ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีความแปรปรวนของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมสูง เพราะแต่ละสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน การที่จะทำให้ความแรงของสัญญาณมีความน่าเชื่อถือคือจะต้องเก็บข้อมูลไว้หลายๆ ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลังจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากต่าง ๆ ดังนี้

1) การสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non line of Sight: NLOS) ทำให้การวัดมุมในระยะทางที่ไกลจะก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การรบกวนของการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Accesses Interference) คือ เป็นปัญหาที่มักเกิดในระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) เกิดจากเครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงกว่าส่งสัญญาณไปรบกวนเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำกว่า

- การผันผวนในความเร็วของการแพร่กระจายสัญญาณ (Fluctuation in Signal Propagation Speeds) เกิดกับคลื่นเสียงที่การแพร่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงแลมหรืออุณหภูมิต่ำ และค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น

### 2.6.1 การวัดค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

การวัดค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับเป็นวิธีการวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สายตัวหนึ่งกับเซ็นเซอร์ไร้สายอีกตัวหนึ่งโดยมีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (2.1)

$$RSSI = (10n \log_{10} d + A) \tag{2.1}$$

เมื่อ RSSI คือ ค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ มีหน่วยเป็นเดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm)

$n$  คือ ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สาย

$A$  คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับใน 1 เมตร

จากสมการ (2.1) เราจะเห็นได้ว่า ถ้าค่าระยะทาง ( $d$ ) เพิ่มมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับลดลง เราจึงนำค่าการวัดนี้ไปใช้เพื่อหาระยะทาง และประมาณตำแหน่งวัตถุ

โดยค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ ต้องมีการคำนวณหาค่าทุกครั้ง เมื่อเปลี่ยนสถานที่ใช้งาน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$n_i = \left( \frac{RSSI_i + A}{-10 \log_{10} d_i} \right) \tag{2.2}$$

เมื่อ  $n_i$  คือ ค่าคงที่ของการกระจายสัญญาณของสถานที่นั้นๆ

$RSSI_i$  คือ ค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ มีหน่วยเป็นเดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm)

ที่ระยะต่างๆ

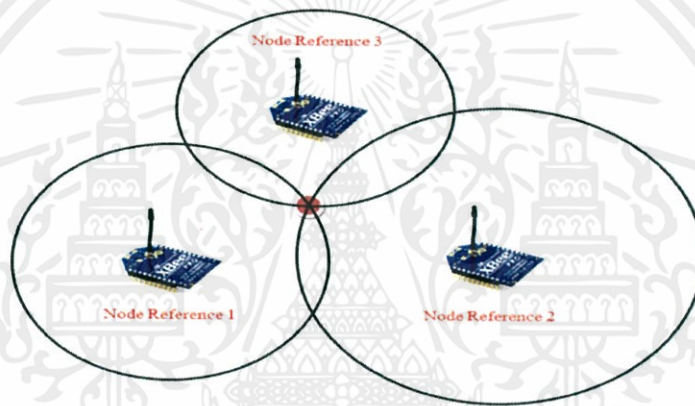
$d_i$  คือ ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือ ค่าความแรงของสัญญาณของโมดูลเอ็กซ์บีซีซีรีส์ 2 (XBee Pro Series 1 (RSSI Offset)) มีค่าเท่ากับ -40 dBm

### 2.3.2 การวิเคราะห์หาตำแหน่งโดยใช้ค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

การวิเคราะห์หาตำแหน่ง โดยใช้วิธีคำนวณจากสามเหลี่ยม (Triangulation) โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ในเรื่องของตรีโกณมิติ สำหรับการนำมาใช้งานนั้นคือ เมื่อเราต้องการวิเคราะห์หาตำแหน่งของโหนดตัวรับที่เราต้องการทราบ โหนดตัวส่งจะทำการส่งสัญญาณออกไปเพื่อทำการวัดหาค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งจะเป็นค่าที่เรานำมาคำนวณหาตำแหน่ง ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับการวิเคราะห์หาตำแหน่งได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับการวิเคราะห์ตำแหน่ง [10]

ในการคำนวณหาตำแหน่งของโหนดตัวรับ ทำได้โดยการกำหนดจุดของโหนดตัวรับที่เราต้องการทราบขึ้นมาจากนั้นใช้ สมการการหาตำแหน่ง (Distance formula) เพื่อหาระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงทั้ง 3 โหนดกับตำแหน่งของโหนดตัวรับ แล้วจะได้สมการเชิงเส้นมาจำนวน 3 สมการคือ

$$(N_1X - Rx)^2 + (N_1y - Ry)^2 = d_1^2 \quad (2.3)$$

$$(N_2X - Rx)^2 + (N_2y - Ry)^2 = d_2^2 \quad (2.4)$$

$$(N_3X - Rx)^2 + (N_3y - Ry)^2 = d_3^2 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $N_1x$  คือตำแหน่งในแนวแกน X ของโหนดอ้างอิงที่ 1 เหนือหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณหาตำแหน่งโหนดตัวรับได้ทั้งสามโหนดให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $N_{2X}$  คือตำแหน่งในแนวแกน X ของโหนดอ้างอิงที่ 2  
 $N_{3X}$  คือตำแหน่งในแนวแกน X ของโหนดอ้างอิงที่ 3  
 $N_{1Y}$  คือตำแหน่งในแนวแกน Y ของโหนดอ้างอิงที่ 1  
 $N_{2Y}$  คือตำแหน่งในแนวแกน Y ของโหนดอ้างอิงที่ 2  
 $N_{3Y}$  คือตำแหน่งในแนวแกน Y ของโหนดอ้างอิงที่ 3  
 $R_x$  คือระยะของตำแหน่งที่ทำการค้นหาในแนวแกน X  
 $R_y$  คือระยะของตำแหน่งที่ทำการค้นหาในแกน Y  
 $d_1$  คือระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 1 กับจุดติดตามตัวเด็ก  
 $d_2$  คือระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 2 กับจุดติดตามตัวเด็ก  
 $d_3$  คือระยะห่างระหว่างโหนดอ้างอิงที่ 3 กับจุดติดตามตัวเด็ก

ทำการแปลงสมการโดยนำสมการที่ (2.3) – (2.4) และสมการที่ (2.4) – (2.5) จะได้สมการใหม่เป็น

$$a * R_x + b * R_y = e \quad (2.6)$$

$$c * R_x + d * R_y = f \quad (2.7)$$

- เมื่อ
- a คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2.3) – (2.4) ในแกน X
  - b คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2.3) – (2.4) ในแกน Y
  - c คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2.4) – (2.5) ในแกน X
  - d คือค่าที่ได้จากสมการที่ (2.4) – (2.5) ในแกน Y
  - e คือค่าที่ได้จาก  $d_1 - d_2$
  - f คือค่าที่ได้จาก  $d_2 - d_3$

จากนั้นจึงใช้ Cramer's Rule เพื่อแก้สมการเพื่อหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเป็นตำแหน่งซึ่งการหาคำตอบ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.8) และ (2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_x = \frac{\text{Det} \begin{vmatrix} e & b \\ f & d \end{vmatrix}}{\text{Det} \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} \quad (2.8)$$

$$R_y = \frac{\text{Det} \begin{vmatrix} a & e \\ c & f \end{vmatrix}}{\text{Det} \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} \quad (2.9)$$

สำหรับการวิเคราะห์หาตำแหน่งแบบสามเหลี่ยม (Triangulation) นั้นสามารถคำนวณหาได้ทั้งระยะทางและทิศทางของเป้าหมายแต่จะมีข้อเสียตรงที่ว่า เมื่อเวลาผ่านไปหากเป้าหมายมีการย้ายตำแหน่งอยู่ตลอดเวลา จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน เราสามารถแก้ไขได้โดยการส่งและรับสัญญาณเป็นช่วงๆ ตามการกำหนดระยะเวลาของผู้ใช้

## 2.7 เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟingerprint-เบส location technique)

เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยวิธีฟingerprint-เบส (ในที่นี้จะเรียกสั้นๆว่าเทคนิคฟingerprint) เป็นการหาตำแหน่งจากการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสัญญาณที่รับได้จากวัตถุเป้าหมายกับพารามิเตอร์ของสัญญาณที่รับได้จากโหนดอ้างอิง ตำแหน่งของโหนดอ้างอิงที่มีสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณของวัตถุเป้าหมายมากที่สุดจะถูกประมาณว่าเป็นตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โดยวิธีการเปรียบเทียบในเทคนิคฟingerprint-เบสจะเรียกว่าการจับคู่แพทเทิร์น (Pattern matching) เทคนิคฟingerprint-เบสจะมีความแม่นยำมากกว่าเทคนิคการหาตำแหน่งระยะทาง เนื่องจากสัญญาณที่รับได้จากวัตถุเป้าหมายและจากโหนดอ้างอิงนั้นได้รวมผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นหรือสัญญาณรบกวนไว้แล้ว ดังนั้นการเปรียบเทียบสัญญาณที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันนี้ จะทำให้การประมาณค่าหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่า ในขณะที่เทคนิคการหาตำแหน่งที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทางนั้น การจะประมาณค่าหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายได้ถูกต้องแม่นยำ จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของพารามิเตอร์ของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งถ้าหากว่ามีการรบกวนต่อสัญญาณที่รับได้ (สัญญาณที่รับได้คาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น) จะมีการทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายตามมา อย่างไรก็ตาม เทคนิคฟingerprint-เบสจะมีกระบวนการในการวิเคราะห์และประมวลผลที่ซับซ้อนกว่าและใช้เวลามากกว่าเทคนิคการหาตำแหน่งที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการหาตำแหน่งด้วยฟingerprint มีหลักการในการหาตำแหน่งโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 จะทำการทดลองเพื่อเก็บค่าของสัญญาณ (หรือข้อมูล) ณ ตำแหน่งที่ทราบพิกัด โดยจะทำการเก็บค่าของสัญญาณที่หลายๆตำแหน่ง และจะจัดเรียงเก็บเป็นฐานข้อมูลที่มีสัมพันธ์กันระหว่างตำแหน่งที่ทราบพิกัดและสัญญาณ (ข้อมูล) ที่วัดได้ ณ ตำแหน่งนั้นๆ สัญญาณ (ข้อมูล) ที่ทำการเก็บในขั้นตอนนี้จะเรียกว่าฟingerprint (Fingerprint)

ขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย โดยทำการวัดสัญญาณ (ข้อมูล) จากวัตถุเป้าหมาย แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ (ข้อมูล) หรือที่เรียกว่าฟingerprint ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 โดยใช้อัลกอริทึมในการจับคู่แพทเทิร์น (pattern matching algorithm) ถ้าหากสัญญาณ (ข้อมูล) ของวัตถุเป้าหมายใกล้เคียงกับฟingerprint ที่ใดมากที่สุด ก็จะประมาณได้ว่าตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายจะเป็นตำแหน่งของฟingerprint นั้นๆ

### 2.7.1 อัลกอริทึมในการจับคู่แพทเทิร์น (Pattern Matching Algorithm)

การใช้อัลกอริทึม Nearest Neighbors ในการจับคู่แพทเทิร์นโดยมีหลักการง่ายๆ คือ หาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างค่า RSSI ที่เป็นฟingerprint กับค่า RSSI ของวัตถุเป้าหมายโดยใช้สมการยูคลิดีน แสดงได้ดังสมการ 2.10

$$e = \sqrt{\sum_{n=1}^N (r_{(n,t)} - r_{(n,gr)})^2} \quad (2.10)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของโหนดอ้างอิง

$r_{(n,t)}$  คือ ค่า RSSI ที่วัตถุเป้าหมายได้รับจากโหนดอ้างอิงที่ n

$r_{(n,gr)}$  คือ ค่า RSSI ของตำแหน่งฟingerprint หลังจากจัดกลุ่มอยู่ในกลุ่ม gr โดยค่า RSSI นี้รับได้จากโหนดอ้างอิงที่ n

## 2.8 ปัญหาที่พบในการส่งสัญญาณ

การประมาณค่าตำแหน่งจากการวัดที่มีสัญญาณรบกวนสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ หากเราเข้าใจถึงพฤติกรรมของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ชนิดของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับชนิดของสัญญาณและสิ่งแวดล้อมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1 เฟดดิ้งหลายทิศทาง และการลดทอน (Multipath Fading and shadowing)

ในการวัดความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุปัญหาแทรกสอดหลายทาง (Multipath fading) และการลดทอน (shadowing) เป็นสาเหตุให้เกิดความแปรปรวนได้ถึง 30-40 dB ในช่วงครึ่งความยาวคลื่น การกระจัดกระจายใกล้เครื่องรับจะทำให้เกิดการแปรผันทางมุม (Angle of arrival) ทำให้ค่าการวัดคลาดเคลื่อนไป ถ้าใช้วิธีคำนวณจากเวลาที่มาถึง (Time-of-Arrival) เมื่อเกิดการแทรกสอดหลายทาง จะทำให้เกิดค่าหน่วงเวลา (Delay) การเปรียบเทียบค่าเวลาคลาดเคลื่อนจากความ เป็นจริง

### 2.8.2 การส่งสัญญาณที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear-of-Sight: NLOS)

สำหรับวิธีวัดมุม(AOA) เมื่อใช้กับระยะทางไกลๆจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงสำหรับวิธีวัด ความต่างของเวลา (TOF) ถ้าเส้นทางไปยังเครื่องรับที่ใกล้ที่สุดถูกกีดขวางจะทำให้ผลของการวัดระยะทางไกลกว่าที่เป็นจริง

### 2.8.3 การรบกวนที่เข้าถึงแบบหลายทาง (Multiple-Access Interference)

ปัญหานี้มักเกิดกับระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) โดยเครื่องที่มีกำลังสูงไปรบกวนเครื่องที่มีกำลังต่ำกว่า สามารถเกิดกับระบบคลื่นเสียงและระบบคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ในระบบที่ใช้การวัดความแรงของสัญญาณที่ได้ (received signal strength indicator (RSSI)) จากคลื่นวิทยุราคาถูกเมื่อระบบไม่ใช่อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ค่าความแปรปรวนจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้เครื่องแปลงกำลัง

### 2.8.4 การผันผวนในความเร็วของการแพร่กระจายสัญญาณ (Fluctuations in Signal Propagation Speeds)

เกิดกับคลื่นเสียงที่การแพร่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกเช่น แรงแลมหรืออุณหภูมิและค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเมื่อระยะทางมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบและการจัดทำโครงงาน

#### 3.1 การออกแบบ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาใช้ในการติดตามเด็กพลัดหลง ในการทดลองจะใช้พื้นที่จัดงานที่มีพื้นที่โล่งและอยู่ในบริเวณที่ระบบครอบคลุม อุปกรณ์ประกอบด้วย จุดติดตั้งโหนดอ้างอิง 3 จุด จุดลงทะเบียน 1 จุด และชุดติดตามเด็กจำนวน 1 ชุด ในการออกแบบจุดโหนดอ้างอิงวงจรที่ใช้มีการใช้เอ็กซ์บี (Xbee) และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ส่วนจุดลงทะเบียนประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับค้นหาตำแหน่งเด็กพลัดหลง และเอ็กซ์บีที่จะส่งสัญญาณติดต่อไปยังโหนดอ้างอิงและชุดติดตามตัวเด็ก และชุดติดตามตัวเด็กประกอบด้วยบอร์ดเอ็กซ์บี

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) โหนดอ้างอิง จะประกอบด้วยบอร์ดเอ็กซ์บี (Xbee) และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
- 2) ชุดติดตามตัวเด็ก จะประกอบด้วยบอร์ดเอ็กซ์บี
- 3) จุดลงทะเบียน ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับค้นหาตำแหน่งเด็กพลัดหลง และบอร์ดเอ็กซ์บี

##### 3.2.1 การเลือกใช้อีเอ็กซ์บี (Xbee)

เนื่องจากโครงงานนี้ใช้ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สายโดยใช้อีเอ็กซ์บี ซึ่งเอ็กซ์บีจะมี 2 แบบ คือ เอ็กซ์บีโปร (Xbee PRO) และเอ็กซ์บีธรรมดา ซึ่งทั้งสองแบบมี 2 ซีรีส์ คือ ซีรีส์ 1 และ ซีรีส์ 2 สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบโมดูลเอ็กบี แต่ละรุ่น [12]

Feature	Series1	Series2	Series1 Pro	Series2 Pro
Power Input	3.3V @ 50mA	3.3V @ 40mA	3.3V @ 215mA	3.3V @ 295mA
Max data rate (Air)	250kbps	250kbps	250kbps	250kbps
Power Output	1mW output (+0dBm)	2mW output (+3dBm)	60mW output (+18dBm)	50mW output (+17dBm)
Distance	300ft (100m) range	400ft (120m) range	1 mile (1500m) range	1 mile (1600m) range
Antenna	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA	Wire,Chip,UFL,SMA
Peripheral	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins	6 10-bit ADC input pins 8 digital IO pins
Upgrade Firmware	Local	over-air configuration(ZB)	Local	over-air configuration(ZB)
Network	Point to point and multi-point networks	Point to point / multi-point / Mesh Network	Point to point and multi-point networks	Point to point / multi-point / Mesh Network

จากตารางพบว่าคุณสมบัติบางประการของโมดูลทั้งเอ็กบีโปร และเอ็กบีทั้งสองซีรีส์มีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

### 3.2.2 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของโมดูลเอ็กบีและโมดูลเอ็กบีโปร

#### 3.2.2.1 ข้อดีของโมดูลเอ็กบีเมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลเอ็กบีโปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) โมดูลเอ็กบีต้องการกระแสเพียง 45 มิลลิแอมป์ ที่แรงดัน 3.3 โวลต์ แต่โมดูลเอ็กบีโปร ต้องการกระแสในการส่งถึง 250 มิลลิแอมป์ ที่แรงดัน 3.3 โวลต์ เท่ากัน
- 2) โมดูลเอ็กบีมีช่องสัญญาณ 16 ช่องสัญญาณ ซึ่งมากกว่าโมดูลเอ็กบีโปร ซึ่งมีอยู่ 12 ช่องสัญญาณ
- 3) โมดูลเอ็กบีเล็กกว่าเอ็กบีโปร เอ็กบีมีขนาด 2.438 x 2.761 เซนติเมตร ซึ่งเล็กกว่าโมดูลเอ็กบีโปร ที่มีขนาด 2.438 x 2.761 เซนติเมตร

### 3.2.2.2 ข้อเสียของโมดูลเอ็กบีเมื่อเปรียบเทียบกับเอ็กบีโปร

- 1) ภายในอาคาร โมดูลเอ็กบีสามารถส่งสัญญาณได้ไกลเพียง 30 เมตร ในขณะที่เอ็กบีโปร สามารถส่งได้ถึง 90 เมตร
- 2) ภายนอกอาคาร โมดูลเอ็กบี สามารถส่งได้ 90 เมตร แต่โมดูลเอ็กบีโปรสามารถส่งได้ถึง 1600 เมตร
- 3) โมดูลเอ็กบีธรรมดาที่กำลังในการส่งสูงสุด 1 มิลลิวัตต์ (0dBm) แต่โมดูลเอ็กบีโปรสามารถส่งกำลังสูงสุดได้ถึง 60 มิลลิวัตต์ (18dBm)

## 3.2.3 หลักการพิจารณาในการเลือกเอ็กบี

### 3.2.3.1 การเลือกซีรีส์ (Series)

เอ็กบีจะมีซีรีส์อยู่ 2 ชนิดให้เลือกคือซีรีส์ 1 (Series1) และซีรีส์ 2 (Series2) โดยข้อแตกต่างคือการเชื่อมต่อทางด้านเครือข่าย (Network) โดยซีรีส์ 1 นั้น จะเป็นลักษณะแบบจุดต่อจุดและแบบหลายจุด (Point to point and multi-point networks) หรือไม่สามารถเชื่อมต่อกันแบบเครือข่ายเมช (Mesh Network) ได้ แต่ซีรีส์2 นั้น จะเพิ่มคุณสมบัติให้สามารถเชื่อมต่อแบบเครือข่ายเมชได้ และ ซีรีส์ 2 จะแบ่งเป็นอีก 2 รุ่นย่อยคือ Znet2.5 และ ZB ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างซีรีส์ 2 Znet2.5 และ ซีรีส์ 2 ZB คือ ซีรีส์ 2 ZB สามารถทำการอัปเดตเฟิร์มแวร์ (Firmware) ผ่านอากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.2 เลือกระยะการรับส่งสัญญาณ

เอ็กบีแยกรุ่นสำหรับเรื่องระยะการรับส่งอย่างชัดเจน ด้วยคำว่า "โปร (PRO)" ซึ่งระยะส่งจะมีความแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมเนื่องจากย่านความถี่ที่ใช้สูง มีค่า 2.4 จิกะเฮิร์ต อัตราการลดทอนสัญญาณจะสูงและสิ่งกีดขวางจะมีผลอย่างมาก

1) รุ่นระยะสั้น (ไม่มีคำว่าPRO) กำลังการส่ง 1-2 มิลลิวัตต์ จะมีกรณีที่ส่งในสภาพในร่ม (Indoor/Urban Range) จะส่งได้ในระยะ 30 เมตร และในสภาพกลางแจ้ง (Outdoor RF line-of-sight Range) จะส่งได้ในระยะ 90 เมตร ที่จะได้รับสัญญาณที่ความเร็วสูงสุด 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)

2) รุ่นส่วนรุ่นระยะไกล "โปร" กำลังส่งจะอยู่ในช่วง 50-60 มิลลิวัตต์ กรณีที่ส่งในสภาพในร่มจะส่งได้ในระยะ 90 เมตร และในสภาพกลางแจ้งจะส่งได้ในระยะ 1600 เมตร ที่จะได้รับสัญญาณที่ความเร็วสูงสุด 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)

โครงการนี้เลือกใช้เอ็กบี โปร ซีรีส์ 1 เพราะสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่ารุ่นเอกบีธรรมดา มีกำลังงานในการส่งสัญญาณมากกว่าอีกด้วย

### 3.2.4 ลักษณะการจัดวางขา และหน้าที่การใช้งานแต่ละขาของโมดูลเอ็กบี โปร ซีรีส์ 1 (Xbee Pro Series1)

การจัดวางตำแหน่งขา และลักษณะด้านหน้าและด้านหลังของโมดูลเอ็กบี โปร ซีรีส์ 1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ตามลำดับ หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของโมดูลเอ็กบีโปร และโมดูลเอ็กบี สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ด้านหน้าของเอ็กบี และการจัดวางตำแหน่งของขาเอ็กบี [13]



รูปที่ 3.2 ด้านหลังของเอ็กบี และตำแหน่งขาของเอ็กบี [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงหน้าที่การใช้งานแต่ละขาของโมดูลเอ็กบีโปร และโมดูลเอ็กบี [14]

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

### 3.2.5 การเลือกใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมและประมวลผล ดังนั้นระบบติดตามเด็กพลัดหลงจึงต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการตอบสนองที่รวดเร็ว เราจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

คุณสมบัติของ PIC16F877A

1) ซีพียู (CPU) เป็นแบบอาร์ไอเอสซี (RISC: Reduced Instruction Set Computer)

2) ความถี่สัญญาณนาฬิกา 20 MHz

3) หน่วยความจำ 8 กิโลเวิร์ด

4) หน่วยความจำแรม (RAM) 368 Kbyte

5) หน่วยความจำอีพีรอม (EEPROM) 256 Kbyte

6) มีสแต็ก 8 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) มีการจับเวลาทำงาน (Power up timer) และการจับเวลาวอตช์ด็อก (Watch Dog timer)

อีกทั้งมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถเขียนโปรแกรมใหม่ได้นับแสนครั้ง มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมที่บันทึกข้อมูลใหม่ได้นับล้านครั้ง และเป็น การแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน และมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ภาพรวมของ PIC16Fxxx/18Fxxx สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ภาพรวมของ PIC16Fxxx/18Fxxx [15]

ชิพ	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล		CAN Module	จำนวน I/O (บิต)	OSC (MHz)	Timer	PLL
		RAM	EEPROM					
16F84	1K Word	68	64	ไม่มี	13	4-10	1	ไม่มี
16F877	8K Word	368	256	ไม่มี	33	4-20	3	ไม่มี
18F442	16 KB	768	256	ไม่มี	34	40	4	มี
18F458	32 KB	1536	256	มี	34	40	4	มี

หมายเหตุ

- 1) 16F84/877 นั้น ใช้หน่วยความจำโปรแกรมขนาด 14 บิต ต่อ 1 คำ (Word)
- 2) เฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop) คือ วงจรที่สร้างความถี่ของสัญญาณนาฬิกา เป็น 4 เท่าจากเอ็กซ์เทล (XTAL)

ดังนั้น ถ้าเราเลือกโหมดเฟสล็อกลูป ก็จะใช้เอ็กซ์เทล ได้ไม่เกิน 10MHz และค่าตัวชี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16Fxxx/18Fxxx สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.4 ตารางรายชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16Fxxx/18Fxxx [16]

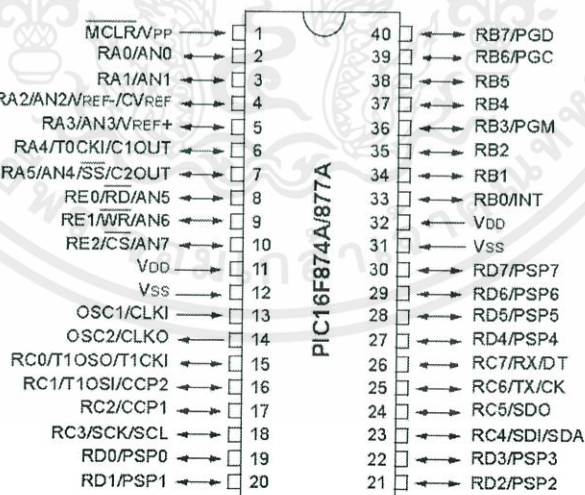
TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

3.2.6 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

40-Pin PDIP



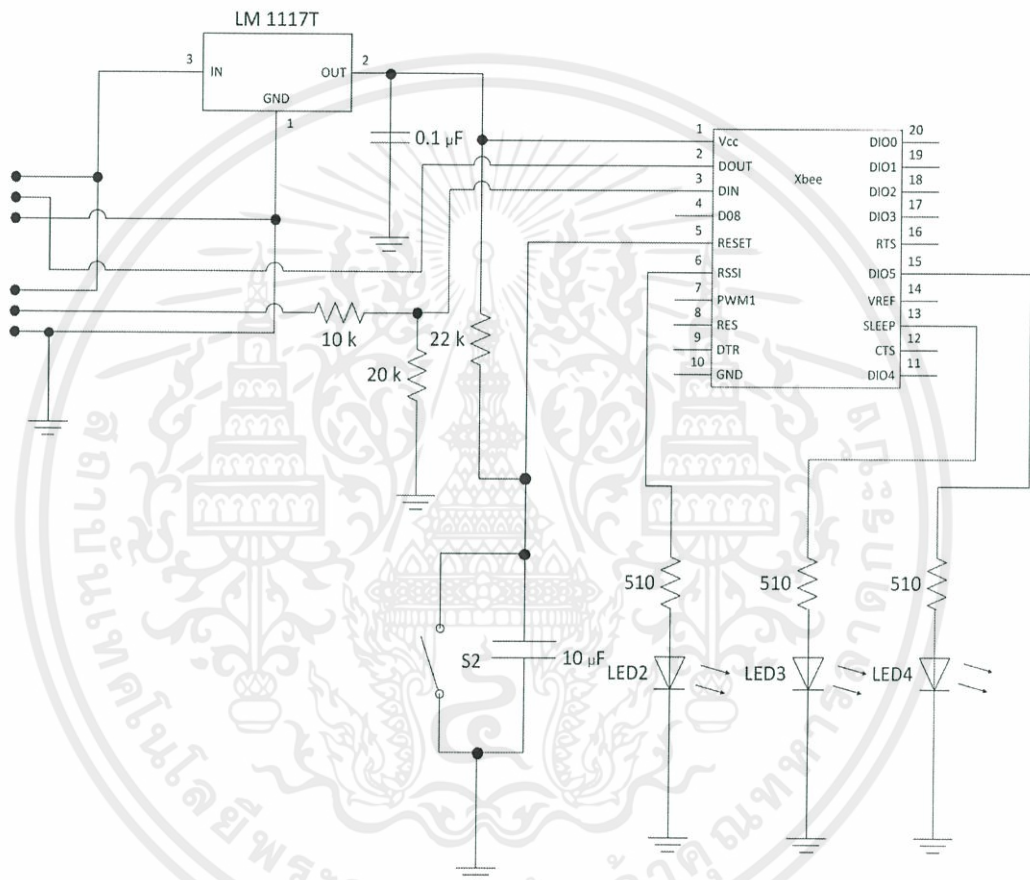
รูปที่ 3.3 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.3.2 บอร์ดชุดติดตามเด็ก (Child Target)

บอร์ดชุดติดตามเด็กจะประกอบด้วยอุปกรณ์คือเอ็กบีโปรซีรึส์ 1 วงจรจะเริ่มทำงานจากการจ่ายไฟ 9 โวลต์ ให้กับวงจรชุดติดตามตัวเด็ก จากนั้นจะผ่านวงจรเร็กกูเลตเพื่อลดระดับแรงดันให้เหลือ 3.3 โวลต์ เพื่อนำไปใช้กับโมดูลเอ็กบีโปร ซีรึส์ 1 ซึ่งจะมีหลอดไฟไดโอดเปล่งแสง แสดงสถานะของการทำงานต่างๆ รวมทั้งผลของการรับส่งสัญญาณด้วยโดยวงจรชุดติดตามตัวเด็กนี้จะทำการส่งสัญญาณกลับเมื่อมีการส่งสัญญาณมาจากไหนอ้างอิง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 บอร์ดชุดติดตามตัวเด็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การจัดเก็บผลการทดลอง

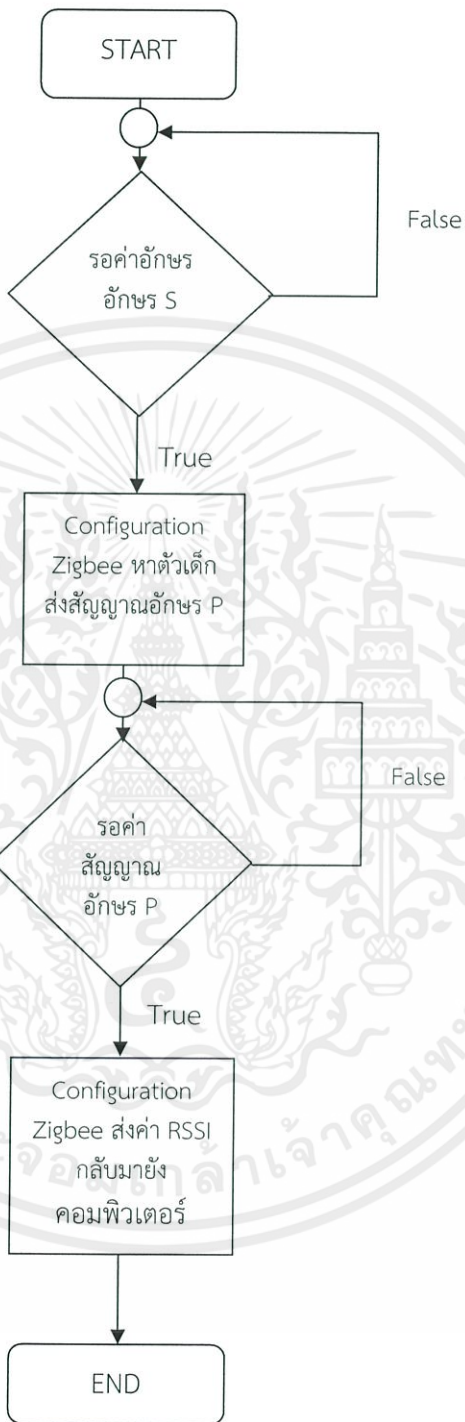
เริ่มจากการส่งงานจากคอมพิวเตอร์สั่งให้แต่ละโหนดติดต่อกับบอร์ดเด็กแล้วทำการเก็บค่า บ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่รับได้ ส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นนำค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ส่งกลับมาแต่ละโหนดมาทำการเปรียบเทียบกับดาต้าเบส (Database) ที่เก็บไว้ เพื่อหาพิกัด บอร์ดเด็ก โดยเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณที่ต่างกันน้อยที่สุดซึ่งจะได้ตำแหน่งของเด็กนั้น ออกมา

#### 3.4.1 ขั้นตอนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A)

การทำการส่งการไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อต้องการค้นหาตำแหน่งที่บอร์ดชุดติดตามตัวเด็ก อยู่ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังแผนภาพ รูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณ

##### วัตถุประสงค์

1) เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความแรงของสัญญาณ ทุกๆระยะทาง 1 เมตร รวมทั้งสิ้น 10 เมตร ภายในสถานที่การทดลอง

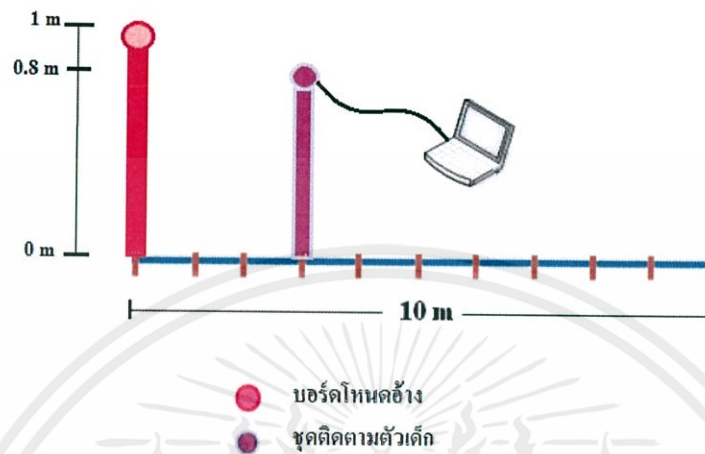
##### ข้อกำหนดในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบ

- 1.สายอากาศโหนดอ้างอิงสูงจากพื้น 1 เมตร
- 2.สายอากาศชุดติดตามตัวเด็กสูงจากพื้น 0.8 เมตร
- 3.ใช้พาวเวอร์ซีฟฟิลส์ในการจ่ายไฟให้กับบอร์ดโหนดอ้างอิงและชุดติดตามเด็กใช้ไฟเลี้ยงจากคอมพิวเตอร์

##### 4.1.1 วิธีการทดลอง

- 1.ทำการวางบอร์ดโหนดอ้างอิงและชุดติดตามเด็กให้ห่างกัน 1 เมตร
- 2.เก็บค่าความแรงของสัญญาณจากโปรแกรม x-ctu เก็บค่าทั้งหมด 50 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าที่ได้
- 3.เมื่อเสร็จสิ้นข้อที่ 2 ให้ทำตามข้อที่ 1 โดรนเลื่อนชุดติดตามเด็กออกห่างจากบอร์ดอ้างอิงทุกๆ 1 เมตร จนกระทั่งห่างกันเป็น 10 เมตร ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการทดลองได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ภาพจำลองแบบการทดลองการจัดวางตำแหน่งของโหนดอ้างอิงและชุดติดตามเด็ก เพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณ

จากการทดลองวัดค่าความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทางสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

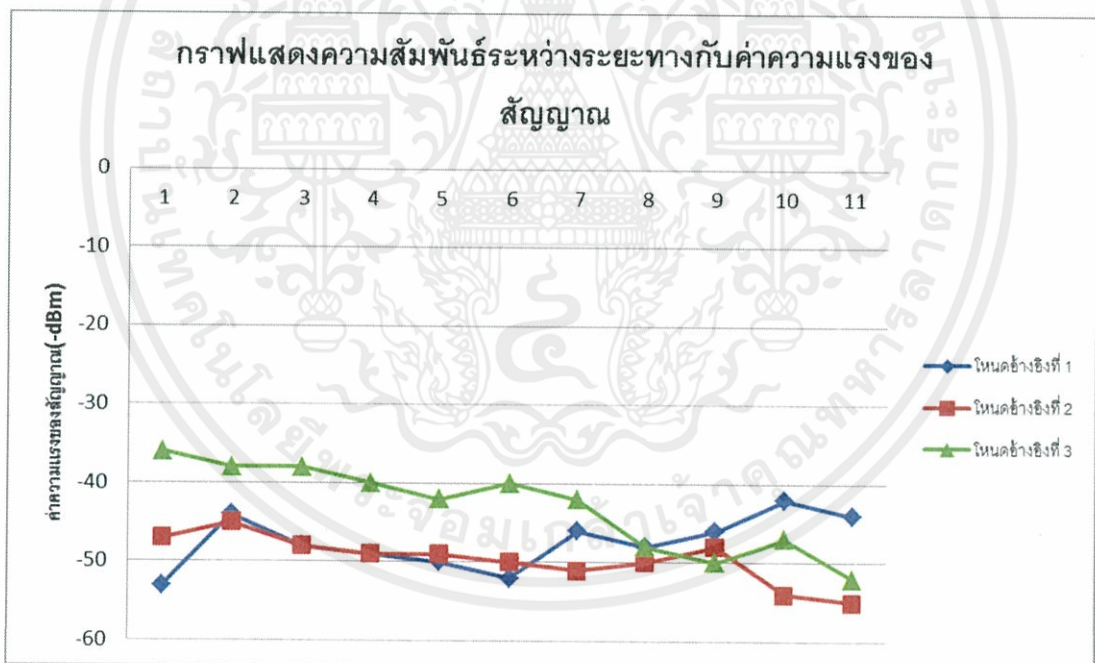
ตารางที่ 4.1 ค่าความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง

ระยะทาง (เมตร)	ค่าความแรงของสัญญาณ RSSI (-dBm)		
	Node 1	Node 2	Node 3
0	53	47	36
1	44	45	38
2	48	48	38
3	49	49	40
4	50	49	42
5	52	50	40
6	46	51	42

ตารางที่ 4.1 ค่าความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทาง (ต่อ)

ระยะทาง (เมตร)	ค่าความแรงของสัญญาณ RSSI (-dBm)		
	Node 1	Node 2	Node 3
7	48	50	48
8	46	48	50
9	42	54	47
10	44	55	52

จากค่าความแรงของสัญญาณเมื่อเทียบกับระยะทางที่วัดได้ดังตารางที่ 4.1 สามารถแสดงกราฟได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่าความแรงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองเก็บค่าความแรงของสัญญาณ เพื่อเป็นฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์ในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณในพื้นที่ทำการทดลอง
- 2) เพื่อนำค่าความแรงของสัญญาณมาเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลของเทคนิคฟิงเกอร์ปริ้นต์แต่ละตำแหน่ง

### อุปกรณ์

- |                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1) บอร์ดโหนดอ้างอิง                                             | 3 บอร์ด   |
| 2) คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม X-CTU                           | 1 เครื่อง |
| 3) บอร์ด ZX-XBee บอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เอ็กซ์บีไอพีไรเซอร์ 2 | 1 บอร์ด   |
| 4) ชุดติดตามตัวเล็ก                                             | 1 บอร์ด   |

### 4.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองเป็นการเก็บค่าความแรงของสัญญาณในพื้นที่ทำการทดลอง ซึ่งมีสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 4.3 โดยใช้สถานที่ทดลอง ณ ลานหน้าลิฟท์ ชั้น 6 อาคาร 12 ชั้น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

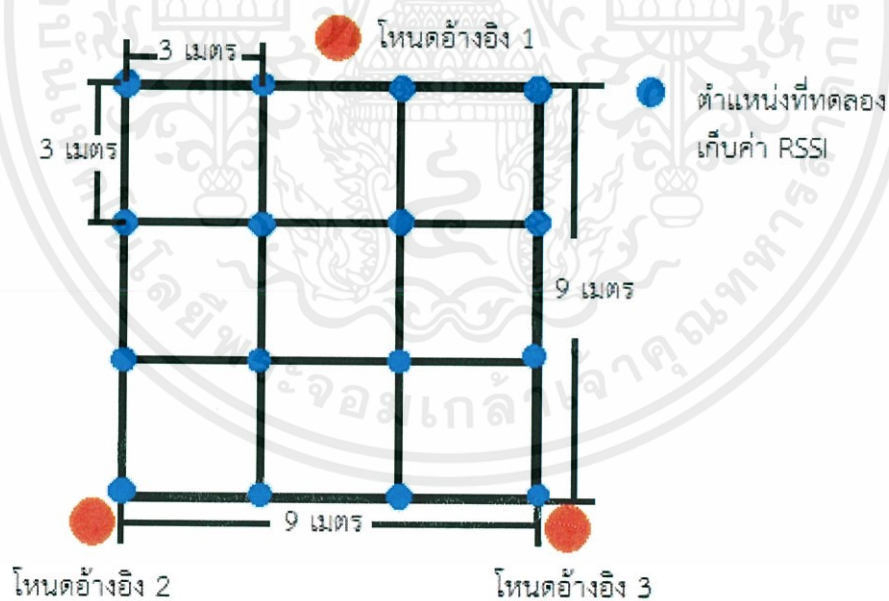
### 4.2.2 วิธีการทดลอง

- 1) จัดเตรียมพื้นที่ขนาดกว้าง 9 เมตร ยาว 9 เมตร
- 2) ทำการแบ่งพื้นที่ซึ่งมีระยะห่างแต่ละจุด จุดละ 3 เมตร ทำการเก็บค่า RSSI ของแต่ละโหนดอ้างอิงของตำแหน่งที่ (0,0), (0,3), (0,6), (0,9), (3,0), (3,3), (3,6), (3,9), (6,0), (6,3), (6,9), (9,0), (9,3), (9,6), (9,9) รวมทั้งหมด 16 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 4.4
- 3) ทำตามข้อ 2 จำนวน 10 รอบ แต่ละรอบให้ส่งค่า 20 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยและแต่ละรอบห่างกัน 10 นาที และนำค่า RSSI ทั้ง 10 รอบของแต่ละโหนดและแต่ละตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ยแล้วทำการเก็บค่าลงในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



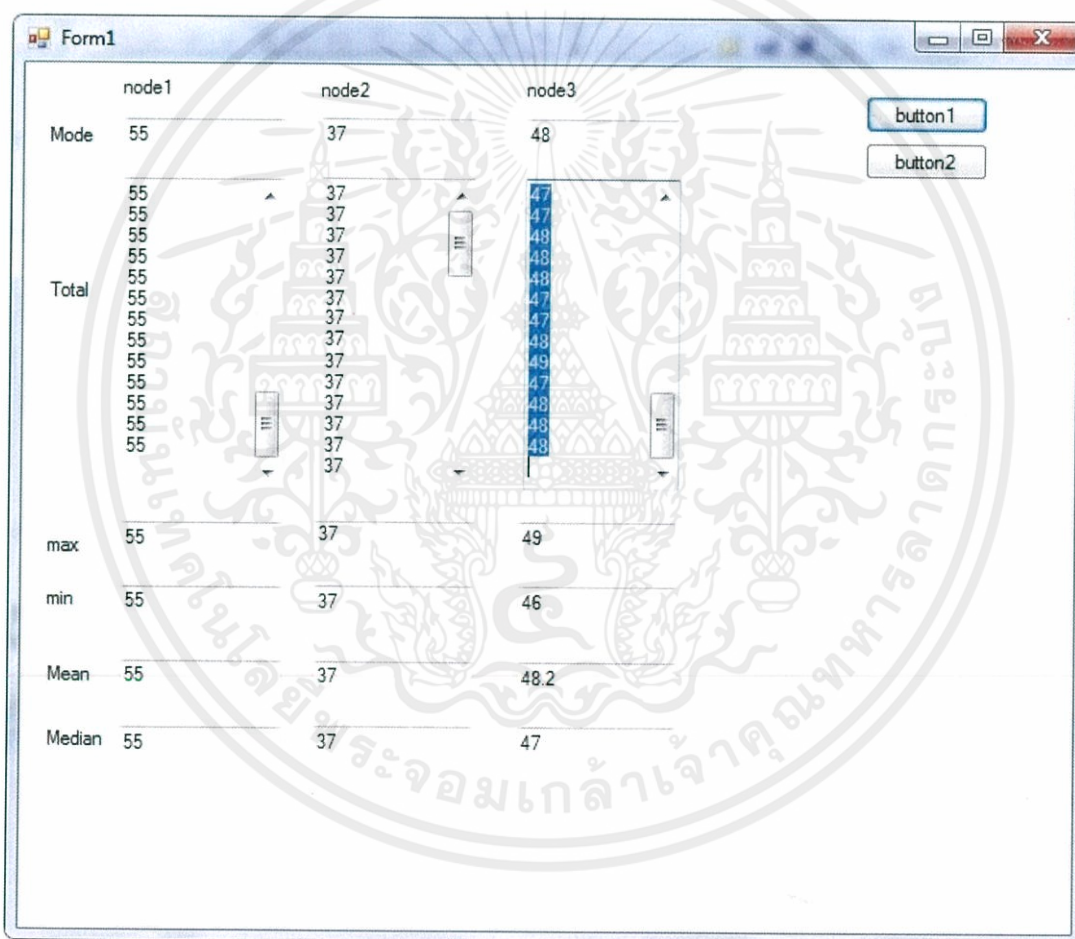
รูปที่ 4.3 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ทำการเก็บค่า RSSI ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองเพื่อเก็บค่าความแรงของสัญญาณ แล้วนำไปบันทึกเป็นฐานข้อมูล ซึ่งค่า RSSI ของแต่ละตำแหน่งที่ใช้ตัวรับเป็นโหนดอ้างอิง 3 ตัวจะแสดงตามหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บค่าดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 จะแสดงผลที่ได้จากการทดลองเก็บค่าความแรงของสัญญาณ ทั้ง 16 จุด จากตารางจะเฉลี่ยและแสดงค่าต่ำสุดค่ามากที่สุดของค่าความแรงของสัญญาณ ที่ได้รับการวัดทั้ง 10 รอบเพื่อดูว่าสัญญาณนั้นมีค่าความแรงของสัญญาณ เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง มากน้อยเท่าไร



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บค่าความแรงสัญญาณของแต่ละโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความแรงของสัญญาณแต่ละโหนดตำแหน่งที่ 1-16

ตำแหน่งที่	พิกัด (เมตร)	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)					
		node1		node2		node3	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	0,0	55	53	48	47	38	36
	Mean	54.9		47.2		36.8	
2	0,3	49	49	50	49	40	40
	Mean	49		49		40	
3	0,6	46	45	51	51	42	42
	Mean	45.2		51		42	
4	0,9	42	40	55	53	48	45
	Mean	40.1		54.1		47.1	
5	3,0	53	51	45	45	40	39
	Mean	51.2		45		39.4	
6	3,3	49	48	49	48	40	40
	Mean	48.7		48.4		40	
7	3,6	47	44	50	49	41	41
	Mean	45.4		50		41	
8	3,9	40	38	51	49	50	47
	Mean	39.3		50		48.2	
9	6,0	53	50	44	42	43	42
	Mean	52.7		43.4		42.3	
10	6,3	45	43	48	45	48	44
	Mean	44		45.2		48	
11	6,6	37	37	50	48	53	49
	Mean	37		48		52.5	
12	6,9	36	36	48	47	53	50
	Mean	36		47		52.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความแรงของสัญญาณแต่ละโหนดตำแหน่งที่ 1-16 (ต่อ)

ตำแหน่งที่	พิกัด (เมตร)	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)					
		node1		node2		node3	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
13	9,0	55	55	36	36	48	47
	Mean	55		36		47.3	
14	9,3	52	50	42	41	53	50
	Mean	51		41.7		51.1	
15	9,6	49	47	45	45	53	51
	Mean	48.4		45		52.6	
16	9,9	44	44	49	49	55	55
	Mean	44		49		55	

จากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยของความแรงสัญญาณที่ได้จากการทดลองไปบันทึกเป็นฐานข้อมูล (Database) เพื่อเก็บไว้เปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้เมื่อต้องการค้นหาตำแหน่งเด็ก แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่ทำการบันทึกเป็นฐานข้อมูล (Database)

ตำแหน่งที่	Position	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)		
		node1	node2	node3
1	0,0	54.9	47.2	36.8
2	0,3	49.0	49.0	40.0
3	0,6	45.2	51.0	42.0
4	0,9	40.1	54.1	47.1
5	3,0	51.2	45.0	39.4
6	3,3	48.7	48.4	40.0
7	3,6	45.4	50.0	41.0
8	3,9	39.3	50.0	48.2
9	6,0	52.7	43.4	42.3
10	6,3	44.0	45.2	48.0
11	6,6	37.0	48.0	52.5
12	6,9	36.0	47.0	52.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าความแรงของสัญญาณที่ทำการบันทึกเป็นฐานข้อมูล (Database) (ต่อ)

ตำแหน่งที่	Position	ค่าความแรงของสัญญาณ		
		node1	node2	node3
13	9,0	55.0	36.0	47.3
14	9,3	51.0	41.7	51.1
15	9,6	48.4	45.0	52.6
16	9,9	44.0	49.0	55.0

#### 4.3 ผลการทดลองการระบุพิกัดตำแหน่งของเด็กผ่านโปรแกรมแสดงผล

##### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อแสดงตำแหน่งที่ค้นหาบนแผนที่เพื่อให้ดูง่ายขึ้น
- 2) เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน

##### อุปกรณ์

- |                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 1) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์                                     | 3 บอร์ด   |
| 2) คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม X-CTU                         | 1 เครื่อง |
| 3) บอร์ด ZX-XBee บอร์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เอ็กซ์บีโปรซีรีส์ 2 | 1 บอร์ด   |
| 4) ชุดติดตามตัวเล็ก                                           | 1 บอร์ด   |

##### 4.3.1 กรอกข้อมูลเด็กลงในโปรแกรม

เป็นขั้นตอนแรก ผู้ปกครองจะต้องนำมาลงทะเบียนเพื่อรับชุดติดตามตัวเด็ก และต้องทำการกรอกลำดับ หมายเลขของอุปกรณ์ ข้อมูลชื่อ นามสกุลของเด็กและผู้ปกครองพร้อมเบอร์ติดต่อลงในโปรแกรมดังรูปที่ 4.6 ซึ่งต้องบอกรายละเอียดต่างๆดังนี้ 1) ลำดับ 2) หมายเลขของแท็ก (Tag) 3) ชื่อ 4) นามสกุล 5) เพศ 6) ชื่อผู้ปกครอง 7) นามสกุลผู้ปกครอง และ 8) เบอร์โทรศัพท์ จากนั้นเมื่อบันทึกข้อมูลครบทั้ง 8 อย่างแล้ว ข้อมูลที่กรอกจะบันทึกในรูปแบบรายการที่แสดงดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form1

1 of 1

ลงทะเบียน ค้นหา ข้อมูลการลงทะเบียน

## Minna no Tabō

かんぱん

No: 1 (1)

Tag ID: 40A1DA10 (2)

Child Name: เด็กดี (3)

Child Surname: ศิริประทีป (4)

Sex: ชาย (5)

Parent Name: สมชาย (6)

Parent Surname: ศิริประทีป (7)

Tel: 0894202735 (8)

รูปที่ 4.6 แสดงหน้าต่างกรอกข้อมูลเด็ก

Form1

1 of 1

ลงทะเบียน ค้นหา ข้อมูลการลงทะเบียน

No_	Tag ID	Child Name	Child Surname	Sex	Parent Name	Parent Surname	Tel_
1	40A1DA10	เด็กดี	ศิริประทีป	ชาย	สมชาย	ศิริประทีป	0894202735

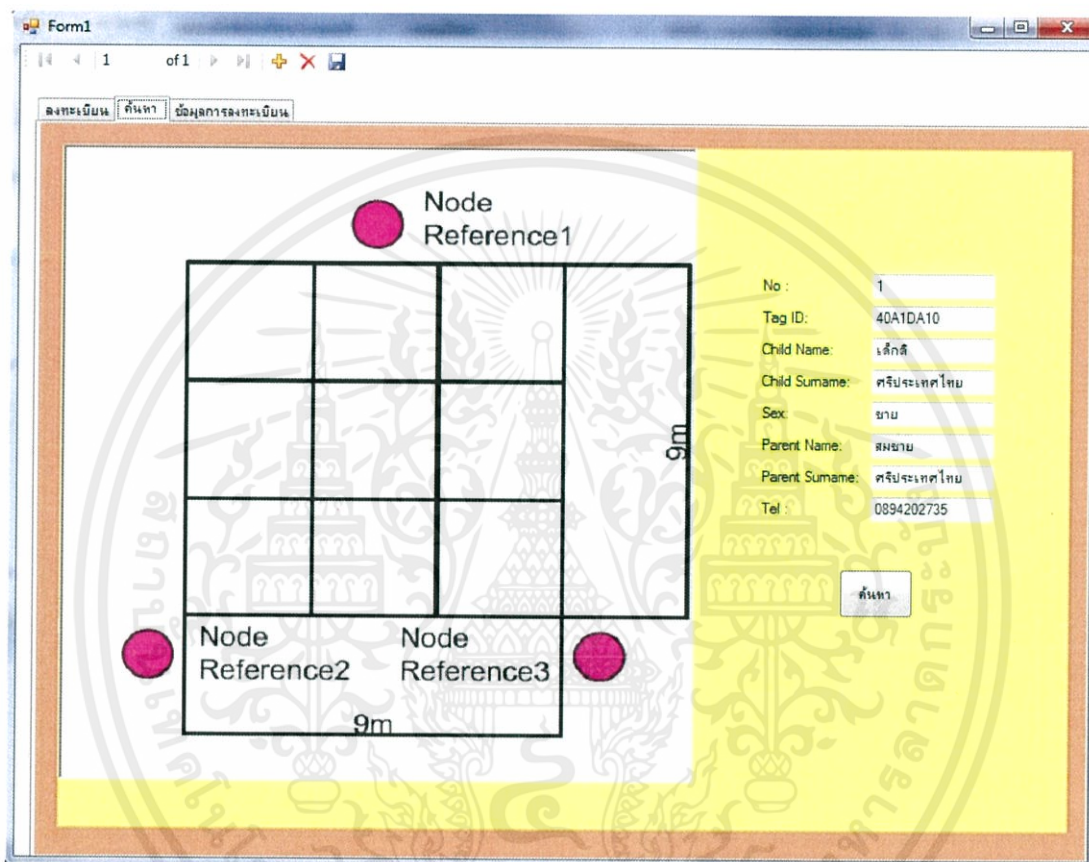
รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล (Database)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัท

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 แสดงผลพิกัดของเด็กผ่านโปรแกรมแสดงผล พร้อมตรวจสอบความคลาดเคลื่อน

นำโหนดอ้างอิงแต่ละโหนดไปวางไปยังตำแหน่ง 1-16 ตามที่แบ่งพิกัดไว้ โดยทำการวางแบบสุ่ม จากนั้นกดให้คำสั่งค้นหา เพื่อให้โปรแกรมแสดงผลตำแหน่งเด็กตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 โปรแกรมแสดงตำแหน่งพิกัดบนแผนที่

#### 4.3.3 ผลการทดลองที่ได้จากการแสดงตำแหน่งพิกัดบนแผนที่

จากการทดลองเพื่อทำการค้นหาพิกัดแต่ละตำแหน่ง โดยใช้อัลกอริทึม Nearest neighbor ในการหาค่าความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่างความแรงสัญญาณที่ได้จากการทดลองกับความแรงสัญญาณในฐานข้อมูล ดังที่เคยกล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 2.10

$$e = \sqrt{\sum_{n=1}^N (r_{(n,t)} - r_{(n,g_n)})^2} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $N$  คือ จำนวนของโหนดอ้างอิง

$r_{(n,t)}$  คือ ค่าความแรงสัญญาณที่โหนดเด็กได้รับจากโหนดอ้างอิงที่  $n$  ณ ตำแหน่งที่การวัด  $t$  ในขณะนั้น

$r_{(n,g_n)}$  คือ ค่าความแรงสัญญาณที่โหนดเด็กได้รับจากโหนดอ้างอิงที่  $n$  ที่เก็บไว้ในตำแหน่งของฐานข้อมูล  $g_n$

ในการทดลองค้นหาตำแหน่งจะทำการทดลอง 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 นาที ซึ่งค่าตำแหน่งที่ได้ในการทดลองแต่ละครั้ง แสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งของเด็กเทียบกับตำแหน่งที่แสดงผลบนโปรแกรม

พิกัด Child Target จริง	พิกัดที่ทดลอง(เมตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ตำแหน่งที่ 1 (0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
ตำแหน่งที่ 2 (0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)
ตำแหน่งที่ 3 (0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)
ตำแหน่งที่ 4 (0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)
ตำแหน่งที่ 5 (3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)
ตำแหน่งที่ 6 (3,3)	(0,3)	(3,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)
ตำแหน่งที่ 7 (3,6)	(0,6)	(0,6)	(3,6)	(3,6)	(0,6)
ตำแหน่งที่ 8 (3,9)	(3,9)	(3,9)	(0,9)	(3,9)	(3,9)
ตำแหน่งที่ 9 (6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)
ตำแหน่งที่ 10 (6,3)	(6,6)	(3,6)	(3,6)	(6,6)	(3,6)
ตำแหน่งที่ 11 (6,6)	(3,9)	(6,9)	(3,9)	(6,9)	(6,9)
ตำแหน่งที่ 12 (6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)
ตำแหน่งที่ 13 (9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)
ตำแหน่งที่ 14 (9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)
ตำแหน่งที่ 15 (9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)
ตำแหน่งที่ 16 (9,9)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)

จากผลการทดลองที่ได้ นำไปหาค่าความผิดพลาดของการทดลอง และค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดได้ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความผิดพลาดของการทดลอง และค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด

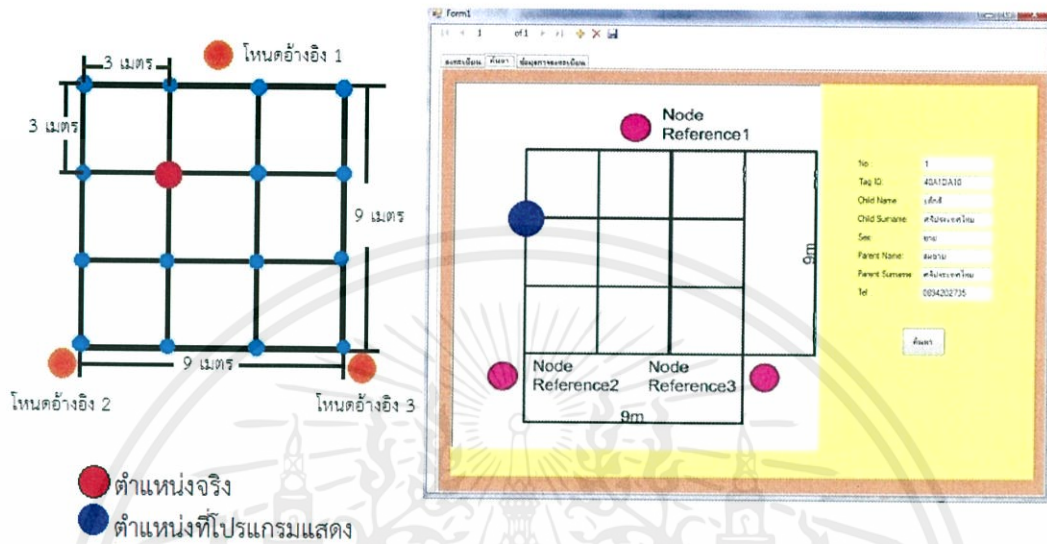
พิกัด Child Target จริง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)
ตำแหน่งที่ 1 (0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	0
ตำแหน่งที่ 2 (0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	0
ตำแหน่งที่ 3 (0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	0
ตำแหน่งที่ 4 (0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	0
ตำแหน่งที่ 5 (3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	0
ตำแหน่งที่ 6 (3,3)	(0,3)	(3,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	2.4
ตำแหน่งที่ 7 (3,6)	(0,6)	(0,6)	(3,6)	(3,6)	(0,6)	1.8
ตำแหน่งที่ 8 (3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)	0
ตำแหน่งที่ 9 (6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	0
ตำแหน่งที่ 10 (6,3)	(6,6)	(3,6)	(3,6)	(6,6)	(3,6)	3.75
ตำแหน่งที่ 11 (6,6)	(3,9)	(6,9)	(3,9)	(6,9)	(6,9)	3.5
ตำแหน่งที่ 12 (6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	0
ตำแหน่งที่ 13 (9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	0
ตำแหน่งที่ 14 (9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	0
ตำแหน่งที่ 15 (9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	0
ตำแหน่งที่ 16 (9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)	0
ค่าเฉลี่ย รวม						0.72

#### 4.3.4 การปรับค่าความแรงของสัญญาณที่ใช้เป็นฐานข้อมูล เพื่อลดค่าความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง

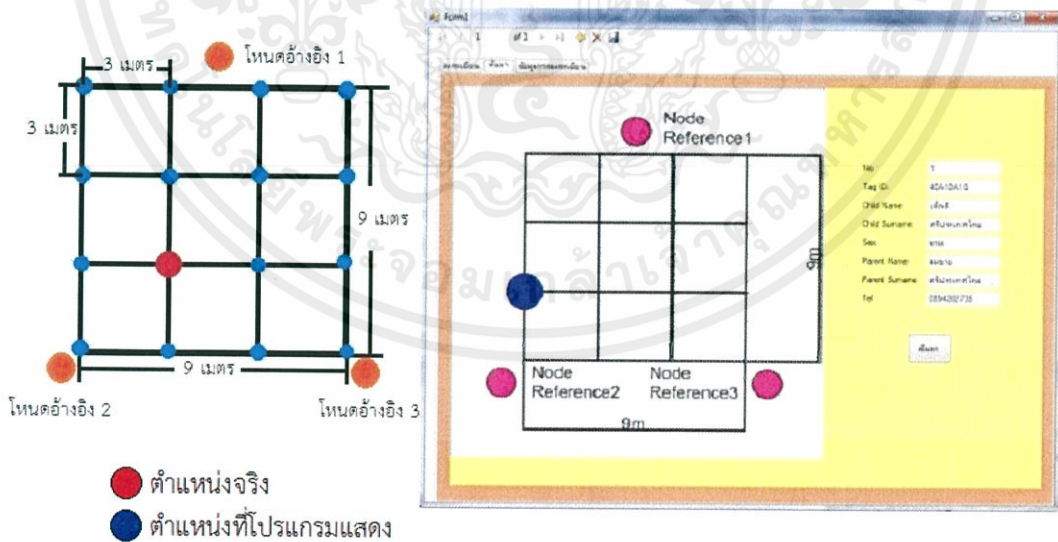
จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ในการทดลองครั้งแรก ที่ทำการทดลองค้นหาตำแหน่งทั้งหมด 5 รอบนั้น มีการระบุตำแหน่งที่ผิดพลาดทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ตัวอย่างการวัดที่เกิดความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริง สามารถแสดงได้ดังรูป 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 ดังนั้นเพื่อลดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

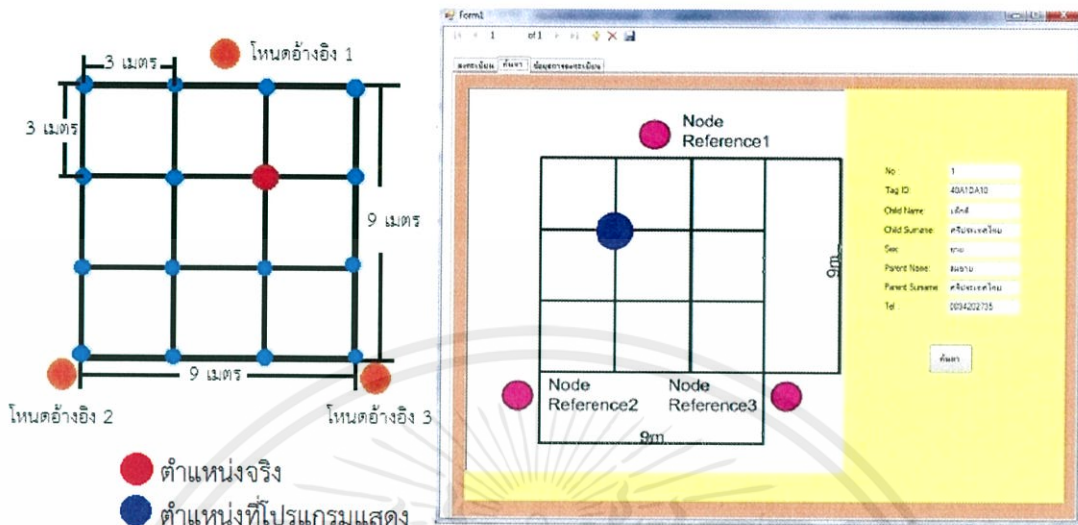
ผิดพลาดนี้จึงจะต้องทำการเปลี่ยนค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูลเพื่อให้ได้ระยะห่างยูคลิดีนน้อยที่สุด เพื่อให้โปรแกรมตัดสินใจได้อย่างที่ถูกต้อง



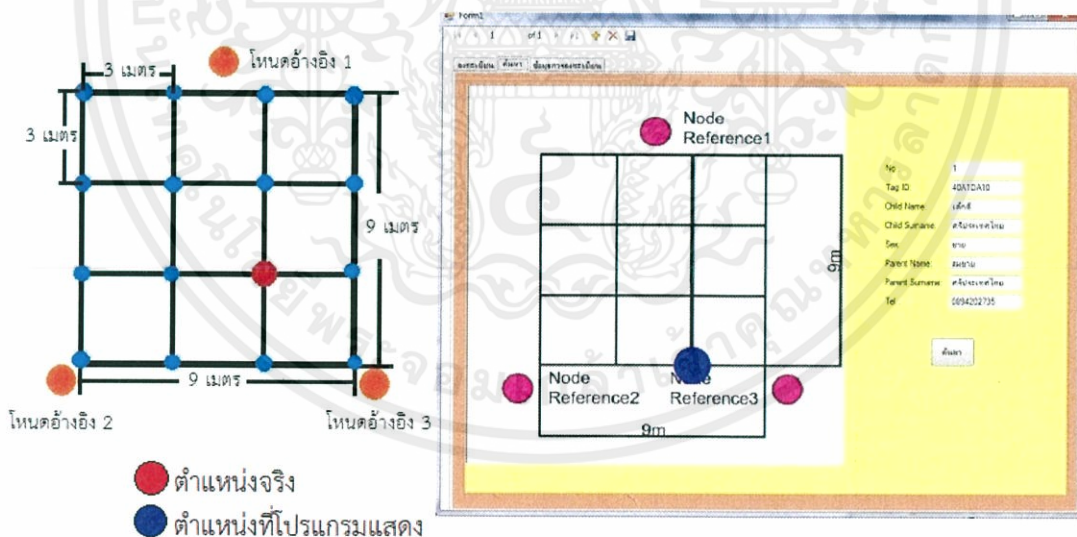
รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (0,3)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (0,6) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,3)



รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.12 แสดงถึงการตัดสินใจจุดที่ผิดพลาด เมื่อพิจารณาเฉพาะตำแหน่งที่มีการระบุตำแหน่งผิดพลาดเปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูล กับค่า RSSI ที่วัดได้ขณะที่ทดลอง นั้นเป็นดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูลกับค่า RSSI ที่วัดได้ขณะทดลอง

ตำแหน่งที่	Position	node	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)	
			RSSI database	RSSI จากทดลอง
6	3,3	node1	48.7	48.5
		node2	48.4	46.1
		node3	40.0	40.0
7	3,6	node1	41.8	41.7
		node2	50.0	47.0
		node3	45.8	45.5
9	6,0	node1	46.2	46.0
		node2	45.2	44.0
		node3	46.1	46.5
10	6,3	node1	42.7	42.5
		node2	48.0	45.5
		node3	48.5	48.5

จากตารางจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูลกับค่า RSSI ที่ได้จากการทดลอง ค่าที่ได้โหนดอิงที่มีความคาดเคลื่อนต่างจากค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูลเล็กน้อย ยกเว้นโหนดที่ 2 ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานไว้ว่าเนื่องจากค่า RSSI จากโหนดที่สองที่คาดเคลื่อนทำให้การระบุตำแหน่งมีความผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ปรับค่า RSSI ที่ใช้เป็นฐานข้อมูลของโหนดที่ 2 ใหม่

ทดลองวัดเฉพาะตำแหน่งที่ 6, 7, 9, 10 วัดค่า RSSI 10 รอบ แต่ละรอบห่างกัน 10 นาที จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยคลิตินจากสมการที่ 2.10 เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลเดิม ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า RSSI ที่เป็นฐานข้อมูลเดิม กับค่า RSSI ที่ได้จากการวัดค่าเฉลี่ยใหม่ เฉพาะโหนดที่ 2

ตำแหน่ง ที่	Position	ค่าความแรงของสัญญาณจาก โหนด 2 (-dBm)		ค่ายูคลิดีน	
		RSSI database เดิม	RSSI วัด ค่าเฉลี่ยใหม่	RSSI database เดิม	RSSI วัด ค่าเฉลี่ยใหม่
6	3,3	48.4	46.0	2.3	0.1
7	3,6	50.0	47.7	3.0	0.7
9	6,0	45.2	44.0	1.2	0.0
10	6,3	48.0	45.0	2.5	0.5

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองใหม่มีค่ายูคลิดีนน้อยกว่าค่าฐานข้อมูลเดิม ดังนั้นจึงทำการปรับแก้ฐานข้อมูลใหม่ ได้ทำการปรับแก้ฐานข้อมูลของความแรงสัญญาณในตารางที่ 4.3 ใหม่เป็นตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความแรงของสัญญาณที่ทำการปรับแก้ฐานข้อมูลแล้ว

ตำแหน่งที่	Position	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)		
		node1	node2	node3
1	0,0	54.9	47.2	36.8
2	0,3	49.0	49.0	40.0
3	0,6	45.2	51.0	42.0
4	0,9	40.1	54.1	47.1
5	3,0	51.2	45.0	39.4
6	3,3	47.0	46.0	42.4
7	3,6	41.8	47.7	45.8
8	3,9	39.3	50.0	48.2
9	6,0	52.7	43.4	42.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าความแรงของสัญญาณที่ทำการปรับแก้ฐานข้อมูลแล้ว (ต่อ)

ตำแหน่งที่	Position	ค่าความแรงของสัญญาณ (-dBm)		
		node1	node2	node3
10	6,3	46.2	44.0	46.1
11	6,6	42.7	45.0	48.5
12	6,9	36.0	47.0	52.7
13	9,0	55.0	36.0	47.3
14	9,3	51.0	41.7	51.1
15	9,6	48.4	45.0	52.6
16	9,9	44.0	49.0	55.0

หลังจากปรับแก้ฐานข้อมูลเสร็จแล้วทำการทดลองวัดใหม่อีกครั้งทั้ง 16 ตำแหน่ง โดยจะทำการทดลอง 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 10 นาที แล้วเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่โปรแกรมแสดง ซึ่งผลที่ได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งของเด็กเทียบกับตำแหน่งที่แสดงผลบนโปรแกรม

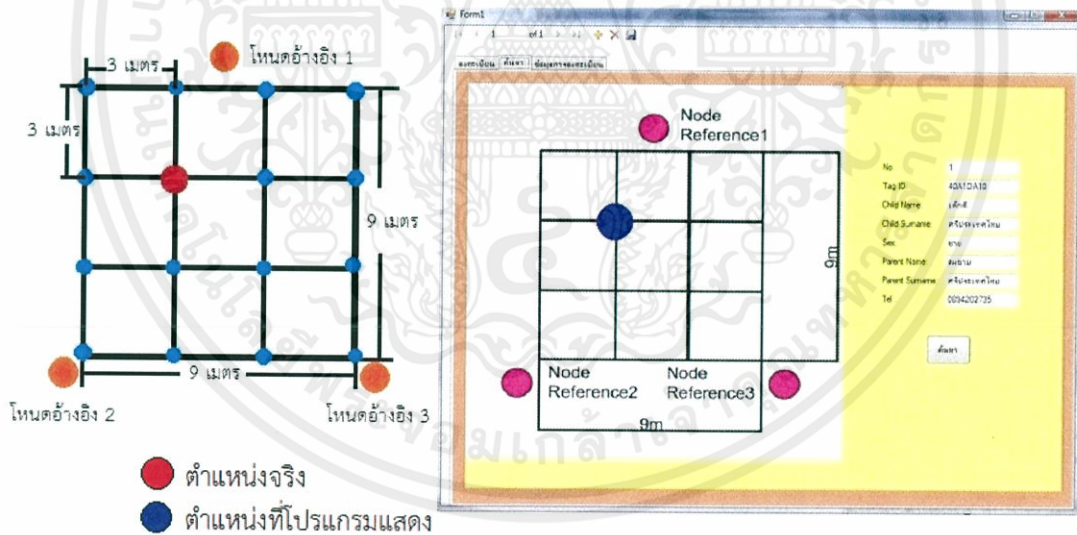
พิกัด Child Target จริง	พิกัดที่ทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ตำแหน่งที่ 1 (0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
ตำแหน่งที่ 2 (0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)	(0,3)
ตำแหน่งที่ 3 (0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)	(0,6)
ตำแหน่งที่ 4 (0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)	(0,9)
ตำแหน่งที่ 5 (3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)
ตำแหน่งที่ 6 (3,3)	(3,3)	(3,3)	(3,3)	(3,3)	(3,3)
ตำแหน่งที่ 7 (3,6)	(3,6)	(3,6)	(3,6)	(3,6)	(3,6)
ตำแหน่งที่ 8 (3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)	(3,9)
ตำแหน่งที่ 9 (6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)	(6,0)
ตำแหน่งที่ 10 (6,3)	(6,3)	(6,3)	(6,3)	(6,3)	(6,3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งของเด็กเทียบกับตำแหน่งที่แสดงผลบนโปรแกรม (ต่อ)

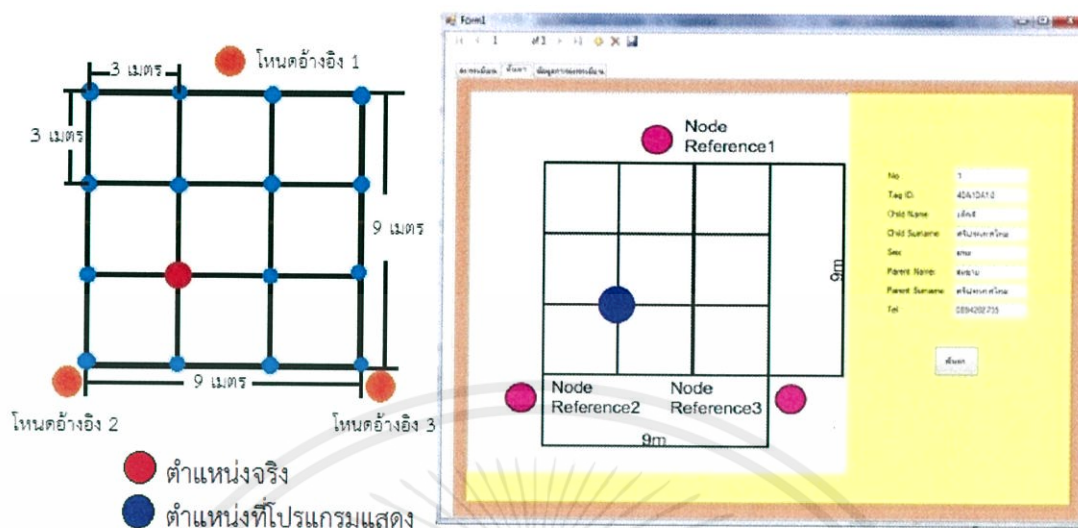
พิกัด Child Target จริง	พิกัดที่ทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ตำแหน่งที่ 11 (6,6)	(6,6)	(6,6)	(6,6)	(6,6)	(6,6)
ตำแหน่งที่ 12 (6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)	(6,9)
ตำแหน่งที่ 13 (9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)	(9,0)
ตำแหน่งที่ 14 (9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)	(9,3)
ตำแหน่งที่ 15 (9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)	(9,6)
ตำแหน่งที่ 16 (9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)	(9,9)

จากนั้นเปรียบเทียบภาพตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่โปรแกรมแสดง โดยตำแหน่งที่มีความผิดพลาดจากการวัดครั้งที่แล้ว เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าความแรงสัญญาณในฐานข้อมูลแล้วแสดงได้ดังรูปที่รูปที่ 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16

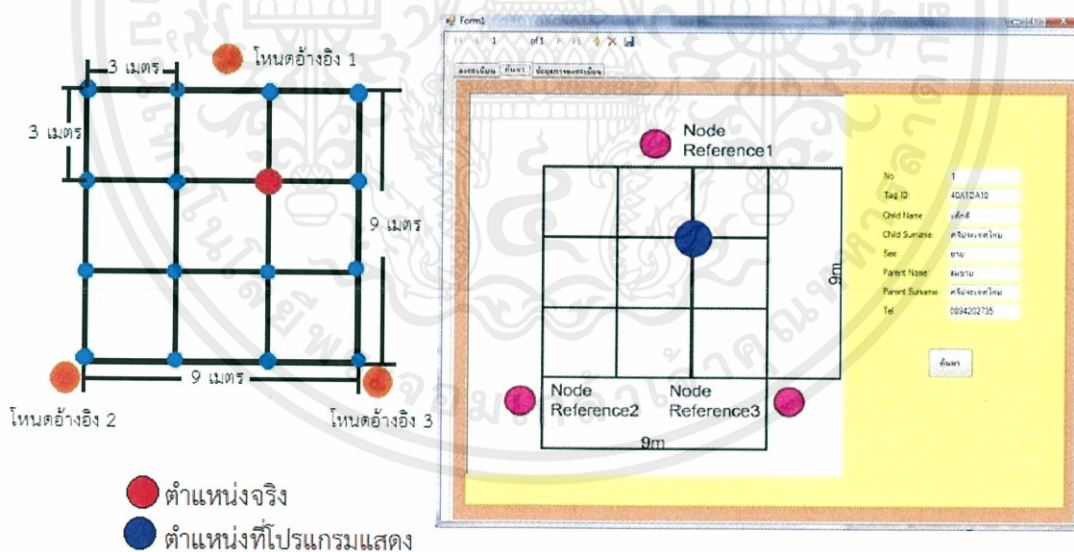


รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

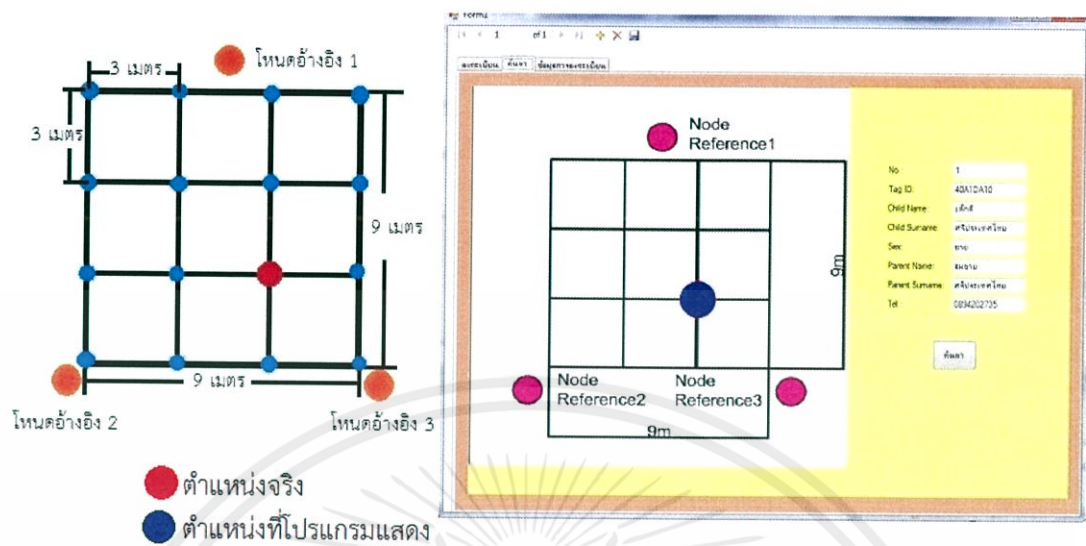


รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งจริงที่ (3,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (3,6)



รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,3) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงตำแหน่งจริงที่ (6,6) เทียบกับตำแหน่งที่ได้จากโปรแกรมประมวลผล (6,6)

ผลการทดลองพบว่าหลังจากปรับแก้ฐานข้อมูลแล้วทำการทดลองใหม่ดั้งเดิม ทำให้โปรแกรมตัดสินใจได้ตำแหน่งที่ถูกต้องทุกตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอเครื่องติดตามเด็กพลัดหลงด้วยโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้วิธีการฟิงเกอร์ปรีนต์ (Fingerprint) โดยบันทึกค่าความแรงของสัญญาณจากโหนดอ้างอิง มาทำการเก็บข้อมูลไว้ก่อน หลังจากนั้นการแสดงผลจะวัดความแรงสัญญาณมาเทียบกับข้อมูลที่เก็บไว้เพื่อแสดงตำแหน่ง ซึ่งผลการทดลองพบว่ามีความผิดพลาดของการระบุตำแหน่งเฉลี่ย 0.72 เมตร คิดเป็น แต่เมื่อทำการปรับค่าแก้มในตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนแล้วทำการวัดผลใหม่ทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง

### 5.2 ปัญหาที่พบ

เนื่องจากสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร สัญญาณที่วัดได้อาจไม่คงที่เท่าเดิมเสมอไป เนื่องจากสัญญาณมีการสะท้อน หักเห เลี้ยวเบนและเกิดปรากฏการณ์มัลติพาสซึ่งปรากฏการณ์นี้มีผลกระทบอย่างมากต่อการแพร่กระจายคลื่น ในการทดลองจะต้องวัดค่าเก็บผลในฐานข้อมูลแล้วทำการทดลองในวันเดียวกัน มิฉะนั้นจะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

สถานที่ที่ใช้ในการทดลองควรเป็นสถานที่ที่ไม่มีสิ่งรบกวนต่อการวัดความแรงของสัญญาณ เพราะจะทำให้ค่าความแรงของสัญญาณที่วัดได้มีค่าไม่คงที่และผิดพลาด และถ้าหากต้องการความแม่นยำที่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของโหนดอ้างอิง และเพิ่มอัลกอริทึมอื่นๆ เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบของวิธีฟิงเกอร์ปรีนต์ให้มีถูกต้องน่าเชื่อถือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] รัตนะ ผิวงาม. “ระบบระบุตำแหน่งวัตถุภายในอาคารโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานมาตรฐานซิกบี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554
- [2] พงศ์ศักดิ์ กীরติวินทกร. “การวิจัยและพัฒนาระบบการสื่อสารระยะใกล้ระหว่างเครื่องเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้มาตรฐานสากล IEEE 802.15.4 และโปรโตคอล Zigbee”  
<http://service.nectec.or.th/project0/pgShowPrj.php?chrFlg01=1&chvCodPrj=ll5101&color=brown>.
- [3] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “Zigbee คือ อะไร.”  
<http://www.thaieasyelec.com/electronics-in- chapter/what-is-zigbee.html>.
- [4] ศล. “Zigbee เบื้องต้น.” <http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=zol&date=11-02-2011&group=24&gblog=11>.
- [5] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “การใช้งานXbee เบื้องต้น.”  
<http://www.thaieasyelec.com/Review-Product-Article/what-is-xbee.html>
- [6] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “Xbee Basic Configuration in Network Application”  
<http://www.thaieasyelec.com/Embedded-Electronics-Application/Xbee-Basic-Configuration-in-Network-Application.html>.
- [7] อรดี มุสิกานนท์ “Zigbee ระบบสื่อสารทางเลือกในระบบ AMI” ไฟฟ้าสาร. 18 (กรกฎาคม 2554) : 45-48
- [8] Wikipedia. “Zigbee” <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>.
- [9] Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Protocol  
<http://dc125.4shared.com/doc/95lGoP9q/preview.html>
- [10] วิริยาภร ภัทรภากร และดร.วรรณรัช สันติอมรทัต. “การหาระยะทางในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ค่า RSSI”. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6, 8-9 พค. 2551.
- [11] พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์. “โครงการ การหาตำแหน่งของเป้าหมายในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานเทคโนโลยี Zigbee.” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, หลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555
- [12] Digi International. “Xbee/RF Family Features Comparison Matrix.”  
[www.digi.com/pdf/chart\\_xbee\\_rf\\_features.pdf](http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf)
- [13] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “การเลือกซื้อ Xbee เพื่อความเหมาะสมกับงานของคุณ.”  
<http://www.thaieasyelec.com/Review-Product-Article/How-to-choose-Xbee-with-suitable-your-project.html>
- [14] XBee Pro Manual. “Xbee Pro Pin Layout.”  
[http://www.aimagin.com/learn/index.php/XBee\\_Pro\\_Pin\\_Layout](http://www.aimagin.com/learn/index.php/XBee_Pro_Pin_Layout)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [15] ศุภชัย บุศราทิจ. “สถาปัตยกรรมของ PIC16f877 และ 16F84”  
<http://www.ett.co.th/article/pic/pic009.html>
- [16] Datasheet archive. “pic 18fxxx/pic16fxxx Datasheet”  
<http://www.datasheetarchive.com/pic%2018fxxx-datasheet.html>
- [17] บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. “การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับXbee เบื้องต้น.”  
<http://www.thaieasyelec.com/Review-Product-Article/xbee-with-microcontroller-PIC16F877.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมหน้าจแสดงผล

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;
using System.Drawing.Drawing2D;

namespace test3
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        Boolean IsMessured = false;

        Int16 power_mode;
        Int16 power_modey;
        Int16 power_modez;

        Double power_mean;
        Double power_meany;
        Double power_meanz;
        Double t1, t2, t3;

        String[] str_line = new String[20];
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
String[] str_pw = newString[20];
Int16[] power = newInt16[20];
String[] str_pwy = newString[20];
Int16[] powery = newInt16[20];
String[] str_pwz = newString[20];
Int16[] powerz = newInt16[20];
```

```
Int16[] power1 = newInt16[36];
Int16[] power2 = newInt16[36];
Int16[] power3 = newInt16[36];
Double[] ee = newDouble[36];
Double[] powerM1 = newDouble[8];
Double[] powerM2 = newDouble[8];
Double[] powerM3 = newDouble[8];
Double[] eM = newDouble[8];
double ans, ansM;
int k, p, q;
Boolean ais, aisM;

privatevoid Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Open();
    timer1.Enabled = true;

    this.database1TableAdapter.Fill(this.database1DataSet1.Database1);
}

privatevoid serialPort1_DataReceived(object sender,
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
{
}

privatevoid timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (ais == true)
    {
//MessageBox.Show("2");
        panel1.Refresh();
Graphics g = panel1.CreateGraphics();
Pen mypen = newPen(Color.Blue);

SolidBrush s = newSolidBrush(Color.Red);

//จุด 0,0
if (q == 0)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 75,75 , 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 75, 75, 40, 40);
    }else
//จุด 0,6
if (q == 1)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 75, 260, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 75, 260, 40, 40);
    }
else
//จุด 3,3
if (q == 2)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 175, 165, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 175, 165, 40, 40);
    }
else
//จุด 3,9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (q == 3)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 175, 355, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 175, 355, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,3
if (q == 4)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280, 165, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 165, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,6
if (q == 5)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280,260 , 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 260, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,0
if (q == 6)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 75, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 75, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,9
if (q == 7)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 355, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 355, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (q == 8)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280, 75, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 75, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,3
if (q == 9)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280, 165, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 165, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,6
if (q == 10)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280, 260, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 260, 40, 40);
    }
else
//จุด 6,9
if (q == 11)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 280, 355, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 280, 355, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,0
if (q == 12)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 75, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 75, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (q == 13)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 165, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 165, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,6
if (q == 14)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 260, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 260, 40, 40);
    }
else
//จุด 9,9
if (q == 15)
    {
        g.DrawEllipse(mypen, 380, 355, 40, 40);
        g.FillEllipse(s, 380, 355, 40, 40);
        IsMessured = false;
    }
    ais = false;
}

privatevoid btnStart_Click(object sender, EventArgs e)
{

}

privatevoid tabPage1_Click(object sender, EventArgs e)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

private void tabPage2_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
{
}

private void btnCo_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void btnStart_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
}

private void database1BindingNavigatorSaveItem_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Validate();
    this.database1BindingSource.EndEdit();
    this.tableAdapterManager.UpdateAll(this.database1DataSet1);
}

private void btnCo_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Write("P");
    Thread.Sleep(500);
    serialPort1.Write("Q");
    Thread.Sleep(500);
    serialPort1.Write("R");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int[] a = newint[20];
int[] b = newint[20];
int[] c = newint[20];

// MessageBox.Show("1");
    str_line[0] = serialPort1.ReadLine();
    a[0] = str_line[0].IndexOf("X");
    b[0] = str_line[0].IndexOf("Y");
    c[0] = str_line[0].IndexOf("Z");
    str_pw[0] = str_line[0].Substring(a[0] - 2, 2);
    str_pwy[0] = str_line[0].Substring(b[0] - 2, 2);
    str_pwz[0] = str_line[0].Substring(c[0] - 2, 2);
    power[0] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[0],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[0] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[0],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[0] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[0],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("2");

    str_line[1] = serialPort1.ReadLine();
    a[1] = str_line[1].IndexOf("X");
    b[1] = str_line[1].IndexOf("Y");
    c[1] = str_line[1].IndexOf("Z");
    str_pw[1] = str_line[1].Substring(a[1] - 2, 2);
    str_pwy[1] = str_line[1].Substring(b[1] - 2, 2);
    str_pwz[1] = str_line[1].Substring(c[1] - 2, 2);
    power[1] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[1],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[1] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[1],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[1] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[1],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("3");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_line[2] = serialPort1.ReadLine();
a[2] = str_line[2].IndexOf("X");
b[2] = str_line[2].IndexOf("Y");
c[2] = str_line[2].IndexOf("Z");
str_pw[2] = str_line[2].Substring(a[2] - 2, 2);
str_pwy[2] = str_line[2].Substring(b[2] - 2, 2);
str_pwz[2] = str_line[2].Substring(c[2] - 2, 2);
power[2] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[2],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[2] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[2],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[2] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[2],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("4");

str_line[3] = serialPort1.ReadLine();
a[3] = str_line[3].IndexOf("X");
b[3] = str_line[3].IndexOf("Y");
c[3] = str_line[3].IndexOf("Z");
str_pw[3] = str_line[3].Substring(a[3] - 2, 2);
str_pwy[3] = str_line[3].Substring(b[3] - 2, 2);
str_pwz[3] = str_line[3].Substring(c[3] - 2, 2);
power[3] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[3],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[3] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[3],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[3] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[3],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("5");

```

```

str_line[4] = serialPort1.ReadLine();
a[4] = str_line[4].IndexOf("X");
b[4] = str_line[4].IndexOf("Y");
c[4] = str_line[4].IndexOf("Z");
str_pw[4] = str_line[4].Substring(a[4] - 2, 2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_pwy[4] = str_line[4].Substring(b[4] - 2, 2);
str_pwz[4] = str_line[4].Substring(c[4] - 2, 2);
power[4] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[4],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[4] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[4],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[4] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[4],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("6");

```

```

str_line[5] = serialPort1.ReadLine();
a[5] = str_line[5].IndexOf("X");
b[5] = str_line[5].IndexOf("Y");
c[5] = str_line[5].IndexOf("Z");
str_pw[5] = str_line[5].Substring(a[5] - 2, 2);
str_pwy[5] = str_line[5].Substring(b[5] - 2, 2);
str_pwz[5] = str_line[5].Substring(c[5] - 2, 2);
power[5] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[5],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[5] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[5],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[5] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[5],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("7");

```

```

str_line[6] = serialPort1.ReadLine();
a[6] = str_line[6].IndexOf("X");
b[6] = str_line[6].IndexOf("Y");
c[6] = str_line[6].IndexOf("Z");
str_pw[6] = str_line[6].Substring(a[6] - 2, 2);
str_pwy[6] = str_line[6].Substring(b[6] - 2, 2);
str_pwz[6] = str_line[6].Substring(c[6] - 2, 2);
power[6] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[6],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        powery[6] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[6],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[6] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[6],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("8");

        str_line[7] = serialPort1.ReadLine();
        a[7] = str_line[7].IndexOf("X");
        b[7] = str_line[7].IndexOf("Y");
        c[7] = str_line[7].IndexOf("Z");
        str_pw[7] = str_line[7].Substring(a[7] - 2, 2);
        str_pwy[7] = str_line[7].Substring(b[7] - 2, 2);
        str_pwz[7] = str_line[7].Substring(c[7] - 2, 2);
        power[7] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[7],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powery[7] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[7],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[7] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[7],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("9");

        str_line[8] = serialPort1.ReadLine();
        a[8] = str_line[8].IndexOf("X");
        b[8] = str_line[8].IndexOf("Y");
        c[8] = str_line[8].IndexOf("Z");
        str_pw[8] = str_line[8].Substring(a[8] - 2, 2);
        str_pwy[8] = str_line[8].Substring(b[8] - 2, 2);
        str_pwz[8] = str_line[8].Substring(c[8] - 2, 2);
        power[8] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[8],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powery[8] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[8],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[8] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[8],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("10");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_line[9] = serialPort1.ReadLine();
a[9] = str_line[9].IndexOf("X");
b[9] = str_line[9].IndexOf("Y");
c[9] = str_line[9].IndexOf("Z");
str_pw[9] = str_line[9].Substring(a[9] - 2, 2);
str_pwy[9] = str_line[9].Substring(b[9] - 2, 2);
str_pwz[9] = str_line[9].Substring(c[9] - 2, 2);
power[9] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[9],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[9] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[9],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[9] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[9],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("11");

str_line[10] = serialPort1.ReadLine();
a[10] = str_line[10].IndexOf("X");
b[10] = str_line[10].IndexOf("Y");
c[10] = str_line[10].IndexOf("Z");
str_pw[10] = str_line[10].Substring(a[10] - 2, 2);
str_pwy[10] = str_line[10].Substring(b[10] - 2, 2);
str_pwz[10] = str_line[10].Substring(c[10] - 2, 2);
power[10] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[10],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[10] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[10],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[10] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[10],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("12");

str_line[11] = serialPort1.ReadLine();
a[11] = str_line[11].IndexOf("X");
b[11] = str_line[11].IndexOf("Y");
c[11] = str_line[11].IndexOf("Z");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_pw[11] = str_line[11].Substring(a[11] - 2, 2);
str_pwy[11] = str_line[11].Substring(b[11] - 2, 2);
str_pwz[11] = str_line[11].Substring(c[11] - 2, 2);
power[11] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[11],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[11] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[11],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[11] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[11],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("13");

```

```

str_line[12] = serialPort1.ReadLine();
a[12] = str_line[12].IndexOf("X");
b[12] = str_line[12].IndexOf("Y");
c[12] = str_line[12].IndexOf("Z");
str_pw[12] = str_line[12].Substring(a[12] - 2, 2);
str_pwy[12] = str_line[12].Substring(b[12] - 2, 2);
str_pwz[12] = str_line[12].Substring(c[12] - 2, 2);
power[12] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[12],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[12] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[12],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[12] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[12],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("14");

```

```

str_line[13] = serialPort1.ReadLine();
a[13] = str_line[13].IndexOf("X");
b[13] = str_line[13].IndexOf("Y");
c[13] = str_line[13].IndexOf("Z");
str_pw[13] = str_line[13].Substring(a[13] - 2, 2);
str_pwy[13] = str_line[13].Substring(b[13] - 2, 2);
str_pwz[13] = str_line[13].Substring(c[13] - 2, 2);
power[13] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[13],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        powery[13] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[13],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[13] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[13],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("15");

        str_line[14] = serialPort1.ReadLine();
        a[14] = str_line[14].IndexOf("X");
        b[14] = str_line[14].IndexOf("Y");
        c[14] = str_line[14].IndexOf("Z");
        str_pw[14] = str_line[14].Substring(a[14] - 2, 2);
        str_pwy[14] = str_line[14].Substring(b[14] - 2, 2);
        str_pwz[14] = str_line[14].Substring(c[14] - 2, 2);
        power[14] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[14],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powery[14] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[14],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[14] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[14],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("16");

        str_line[15] = serialPort1.ReadLine();
        a[15] = str_line[15].IndexOf("X");
        b[15] = str_line[15].IndexOf("Y");
        c[15] = str_line[15].IndexOf("Z");
        str_pw[15] = str_line[15].Substring(a[15] - 2, 2);
        str_pwy[15] = str_line[15].Substring(b[15] - 2, 2);
        str_pwz[15] = str_line[15].Substring(c[15] - 2, 2);
        power[15] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[15],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powery[15] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[15],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
        powerz[15] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[15],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("17");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_line[16] = serialPort1.ReadLine();
a[16] = str_line[16].IndexOf("X");
b[16] = str_line[16].IndexOf("Y");
c[16] = str_line[16].IndexOf("Z");
str_pw[16] = str_line[16].Substring(a[16] - 2, 2);
str_pwy[16] = str_line[16].Substring(b[16] - 2, 2);
str_pwz[16] = str_line[16].Substring(c[16] - 2, 2);
power[16] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[16],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[16] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[16],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[16] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[16],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("18");

str_line[17] = serialPort1.ReadLine();
a[17] = str_line[17].IndexOf("X");
b[17] = str_line[17].IndexOf("Y");
c[17] = str_line[17].IndexOf("Z");
str_pw[17] = str_line[17].Substring(a[17] - 2, 2);
str_pwy[17] = str_line[17].Substring(b[17] - 2, 2);
str_pwz[17] = str_line[17].Substring(c[17] - 2, 2);
power[17] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[17],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powery[17] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[17],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
powerz[17] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[17],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
//MessageBox.Show("19");

str_line[18] = serialPort1.ReadLine();
a[18] = str_line[18].IndexOf("X");
b[18] = str_line[18].IndexOf("Y");
c[18] = str_line[18].IndexOf("Z");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str_pw[18] = str_line[18].Substring(a[18] - 2, 2);
str_pwy[18] = str_line[18].Substring(b[18] - 2, 2);
str_pwz[18] = str_line[18].Substring(c[18] - 2, 2);
power[18] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[18],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[18] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[18],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[18] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[18],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
// MessageBox.Show("20");

str_line[19] = serialPort1.ReadLine();
a[19] = str_line[19].IndexOf("X");
b[19] = str_line[19].IndexOf("Y");
c[19] = str_line[19].IndexOf("Z");
str_pw[19] = str_line[19].Substring(a[19] - 2, 2);
str_pwy[19] = str_line[19].Substring(b[19] - 2, 2);
str_pwz[19] = str_line[19].Substring(c[19] - 2, 2);
power[19] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pw[19],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powery[19] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwy[19],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));
    powerz[19] = Convert.ToInt16(Int16.Parse(str_pwz[19],
System.Globalization.NumberStyles.HexNumber));

//node1
    power_mode = power.GroupBy(n1 => n1).OrderByDescending(g1 =>
g1.Count()).Select(g1 => g1.Key).FirstOrDefault();
//node2
    power_moday = powery.GroupBy(n1 => n1).OrderByDescending(g1 =>
g1.Count()).Select(g1 => g1.Key).FirstOrDefault();
//node3
    power_modez = powerz.GroupBy(n1 => n1).OrderByDescending(g1 =>
g1.Count()).Select(g1 => g1.Key).FirstOrDefault();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
t1 = (power[0] + power[1] + power[2] + power[3] + power[4] + power[5] +
power[6] + power[7] + power[8] + power[9] + power[10] + power[11] + power[12] +
power[13] + power[14] + power[15] + power[16] + power[17] + power[18] +
power[19]);
```

```
power_mean = t1 / 20;
```

```
t2 = (powery[0] + powery[1] + powery[2] + powery[3] + powery[4] +
powery[5] + powery[6] + powery[7] + powery[8] + powery[9] + powery[10] +
powery[11] + powery[12] + powery[13] + powery[14] + powery[15] + powery[16] +
powery[17] + powery[18] + powery[19]);
```

```
power_meany = t2 / 20;
```

```
t3 = (powerz[0] + powerz[1] + powerz[2] + powerz[3] + powerz[4] +
powerz[5] + powerz[6] + powerz[7] + powerz[8] + powerz[9] + powerz[10] +
powerz[11] + powerz[12] + powerz[13] + powerz[14] + powerz[15] + powerz[16] +
powerz[17] + powerz[18] + powerz[19]);
```

```
power_meanz = t3 / 20;
```

```
//=====
```

```
powerM1[0] = 41.0; powerM2[0] = 56.2; powerM3[0] = 58.3;
```

```
powerM1[1] = 51.6; powerM2[1] = 47.9; powerM3[1] = 60.3;
```

```
powerM1[2] = 46.3; powerM2[2] = 60.0; powerM3[2] = 57.0;
```

```
powerM1[3] = 51.3; powerM2[3] = 41.0; powerM3[3] = 55.5;
```

```
powerM1[4] = 54.3; powerM2[4] = 53.0; powerM3[4] = 62.4;
```

```
powerM1[5] = 46.7; powerM2[5] = 56.0; powerM3[5] = 57.0;
```

```
powerM1[6] = 42.9; powerM2[6] = 55.6; powerM3[6] = 74.7;
```

```
powerM1[7] = 44.2; powerM2[7] = 46.7; powerM3[7] = 48.9;
```

```
powerM1[8] = 38.4; powerM2[8] = 55.9; powerM3[8] = 50.3;
```

```
powerM1[9] = 42.0; powerM2[9] = 64.0; powerM3[9] = 48.6;
```

```
powerM1[10] = 41.3; powerM2[10] = 53.9; powerM3[10] = 54.0;
```

```
powerM1[11] = 46.8; powerM2[11] = 49.0; powerM3[11] = 40.7;
```

```
powerM1[12] = 38.7; powerM2[12] = 52.0; powerM3[12] = 56.8;
```

```
powerM1[13] = 42.0; powerM2[13] = 57.0; powerM3[13] = 47.3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

powerM1[14] = 52.0; powerM2[14] = 54.0; powerM3[14] = 39.7;
powerM1[15] = 42.0; powerM2[15] = 52.0; powerM3[15] = 36.4;

int n;
for(n=0;n<8;n++)
{
    Double[] aa = {power_mean,power_meany,power_meanz};
double op1 = Math.Pow(aa[0]-powerM1[n],2);
double op2 = Math.Pow(aa[1]-powerM2[n],2);
double op3 = Math.Pow(aa[2]-powerM3[n],2);
    ansM = op1 + op2 + op2;
    eM[n] = Math.Sqrt(ansM);
}

IsMessured = true;
ais = true;
}

privatevoid child_NameTextBox_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โค้ดโปรแกรมส่งงานโหนดอ้างอิง

### โหนดอ้างอิงที่ 1

```

#include <16f877A.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#use delay(clock=20000000)
#fuses HS,NOPROTECT,NOWDT
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,stream=node)
charmsg[20];
chardbn[10];
inti=0;
intk,j,t;
#INT_RDA
voidinterruptx ()
{
i++;
msg[i]=fgetc(node);
}
void main ()
{
while(1)
{
enable_interrupts(GLOBAL);
enable_interrupts(INT_RDA);
while(msg[i]!='P');

for(t=0;t<20;t++)
{
i= 0;
delay_ms(1000);
fprintf(node,"+++");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fprintf(node,"ATDH13A200\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDL406311B5\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);;
fprintf(node,"ATCN\r");
delay_ms(10);
fprintf(node,"P");
while (msg[i]!='P');
delay_ms(1000);
fprintf(node,"+++");
while(msg[i]!='O');
i = 0;
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDB\r");
delay_ms(100);

for(k=1;k<=i;k++)
dbn[k]=msg[k];
j = i;
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDH13A200\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDL404BC7EC\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATCN\r");

delay_ms(100);
fprintf(node,"");
for(k=3;k<j;k++)
{
fprintf(node,"%c",dbn[k]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    fprintf(node,"X");
    delay_ms(1000);
    }

}
}

```

## โหนดอ้างอิงที่ 2

```

#include <18f458.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <delay>
#include <clock.h>
#include <fuses.h>
#include <rs232.h>
#include <pin.h>
#include <stream.h>
#include <node.h>
#include <char.h>
#include <chardbn.h>
#include <int.h>
#include <intk.h>
#include <intj.h>
#include <intt.h>
#include <int_rda.h>
#include <voidinterruptx.h>
#include <i.h>
#include <msg.h>
#include <main.h>
#include <while.h>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
enable_interrupts(GLOBAL);
enable_interrupts(INT_RDA);
```

```
while(msg[i]!='Q');
```

```
for(t=0;t<20;t++)
```

```
{
```

```
  i= 0;
```

```
  delay_ms(1000);
```

```
  fprintf(node,"+++");
```

```
  while(msg[i]!='O');
```

```
  delay_ms(10);
```

```
  fprintf(node,"ATDH13A200\r");
```

```
  while(msg[i]!='O');
```

```
  delay_ms(10);
```

```
  fprintf(node,"ATDL406311B5\r");
```

```
  while(msg[i]!='O');
```

```
  delay_ms(10);
```

```
  fprintf(node,"ATCN\r");
```

```
  delay_ms(10);
```

```
  fprintf(node,"Q");
```

```
  while (msg[i]!='Q');
```

```
  delay_ms(1000);
```

```
  fprintf(node,"+++");
```

```
  while(msg[i]!='O');
```

```
  i = 0;
```

```
  delay_ms(10);
```

```
  fprintf(node,"ATDB\r");
```

```
  delay_ms(100);
```

```
for(k=1;k<=i;k++)
```

```
  dbn[k]=msg[k];
```

```
  j = i;
```

```
  delay_ms(10);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fprintf(node,"ATDH13A200\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDL404BC7EC\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATCN\r");
```

```
delay_ms(100);
fprintf(node,"");
for(k=3;k<j;k++)
{
fprintf(node,"%c",dbn[k]);
}
fprintf(node,"Y");
delay_ms(1000);
}
}
```

### โหนดอ้างอิงที่ 3

```
#include <16f877.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#use delay(clock=20000000)
#fuses HS,NOPROTECT,NOWDT
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,stream=node)
charmsg[20];
```

```
chardbn[10];
```

```
inti=0;
```

```
intk,j,t;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#INT_RDA
void interruptx ()
{
i++;
msg[i]=fgetc(node);
}

void main ()
{
while(1)
{
enable_interrupts(GLOBAL);
enable_interrupts(INT_RDA);

while(msg[i]!='R');

for(t=0;t<20;t++)
{
i= 0;
delay_ms(1000);
fprintf(node,"+++");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDH13A200\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDL406311B5\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);;
fprintf(node,"ATCN\r");
delay_ms(10);
fprintf(node,"R");
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while (msg[i]!='R');
delay_ms(1000);
fprintf(node,"+++");
while(msg[i]!='O');
i = 0;
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDB\r");
delay_ms(100);

for(k=1;k<=i;k++)
dbn[k]=msg[k];
    j = i;
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDH13A200\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATDL404BC7EC\r");
while(msg[i]!='O');
delay_ms(10);
fprintf(node,"ATCN\r");

delay_ms(100);
fprintf(node,"");
for(k=3;k<j;k++)
    {
fprintf(node,"%c",dbn[k]);
    }
fprintf(node,"Z\r\n");
delay_ms(1000);
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้