



การติดตามเป้าหมายในโรงเก็บอากาศยานด้วยระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
Target Tracking in Hangar of Aircraft Using Wireless Sensor Networks

พ.อ.อ.เฉลิมพล โกมะลานนท์
FS1 Chalermphol Gomalanont

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Computer Engineering
Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การติดตามเป้าหมายในโรงเก็บอากาศยานด้วยระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
ผู้เขียน พ.อ.อ.เฉลิมพล โกมะลานนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มิตะถา)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรัช สันติอมรทัต)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การติดตามเป้าหมายในโรงเก็บอากาศยานด้วยระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย
ผู้เขียน พ.อ.อ.เฉลิมพล โกมะลานนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบติดตามเป้าหมายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานด้วยระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายบนแพลตฟอร์ม Tmote Sky เพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยสำหรับการทำงานภายในโรงเก็บอากาศยานให้มากขึ้น ซึ่งระบบนี้จะทำการแจ้งเตือนผู้ขับขี่ทันทีหากเข้าไปใกล้บริเวณที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือสร้างความเสียหายให้กับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ ระบบนี้จะช่วยนำมาใช้แทนที่การเฝ้าระวังด้วยผู้ควบคุม

การพัฒนาระบบติดตามวัตถุภายในอาคารด้วยการนำเทคโนโลยีของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ การหาระยะทางและการหาตำแหน่ง โดยที่การหาระยะทางจะต้องใช้ค่าความแรงของสัญญาณหรือ RSSI (Received Signal Strength Indicator) ระหว่างโหนดที่เคลื่อนที่ (ติดตั้งบนพาหนะหรือผู้ปฏิบัติงาน) กับโหนดอ้างอิง (อยู่กับที่) มาคำนวณโดยอาศัยหลักการของการส่งหลายเส้นทางและการลดทอนของสัญญาณ โดยได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่า RSSI หลังจากนั้นนำระยะทางระหว่างโหนดเคลื่อนที่กับโหนดอ้างอิงมาคำนวณหาตำแหน่งของโหนดโดยใช้เทคนิค Trilateration ซึ่งจะทำให้การประมวลผลบนเครื่องแม่ข่าย พร้อมทั้งแสดงผล และหากโหนดเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่เสี่ยงให้เกิดอันตรายก็จะมีแจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ

ผลการทดสอบพบว่าระบบติดตามวัตถุที่มีความคลาดเคลื่อนในการหาตำแหน่งจากตำแหน่งจริงประมาณ ± 2.1 เมตร ผลการทดลองยังพบว่าคลื่นวิทยุความถี่ 2.4GHz มีความอ่อนไหวกับสิ่งรบกวนภายนอก อีกทั้งคุณภาพของเสาอากาศของ Tmote Sky ยังมีผลกับความแม่นยำของค่าความแรงของสัญญาณ

คำสำคัญ: เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย, Tmote Sky, RSSI, Trilateration

Thesis Title Target Tracking in Hangar of Aircraft using Wireless Sensor Networks
Author FS1 Chalermphol Gomalanont
Major Program Computer Engineering
Academic Year 2010

ABSTRACT

This research work introduces the target tracking in hangar of aircraft using wireless sensor networks technology on Tmote Sky platform to support the safety systems of the aircraft maintenance in the hangar. The system will alarm when the vehicle or human is moving into the dangerous zone. This system can be applied to monitor all possible dangerous events instead of the administrator.

We can develop the tracking system inside the building using wireless sensor networks with two processes: distance and position calculation. The distance estimation is measured by RSSI (Received Signal Strength Indicator) value between a moving node and reference nodes based on multipath and signal attenuation model. We analyzed the relation equation between the distance and RSSI. Then, Trilateration method is used to determine the position of the object. These two calculations are executed and displayed the results on the server. When a node moves into the risking zone, the alarm system will be activated and warned to the staff.

The experimental results of the target tracking system show the error about ± 2 meters. We found that the radio frequency at 2.4 GHz is very sensitive to the environment. The distance accuracy also depends on the quality of the antenna on Tmote Sky.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Tmote Sky, RSSI, Trilateration

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
ABSTRACT.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(8)
รายการภาพประกอบ.....	(9)
คำย่อและสัญลักษณ์.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network).....	5
2.2 ค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator, RSSI).....	5
2.3 การคำนวณหาตำแหน่ง.....	9
2.4 ระบบปฏิบัติการ TinyOS.....	11
2.5 ภาษา nesC.....	12
2.6 คุณสมบัติทั่วไปของ Tmote sky.....	14
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	17

3.1	โครงสร้างข้อมูลที่ใช้รับส่งในระบบ.....	18
3.2	หลักการทำงาน.....	18
บทที่ 4	การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	30
4.1	ผลการทดลองปัจจัยเรื่องผลกระทบของความสูงจากพื้นต่อค่า RSSI.....	31
4.2	ผลการทดสอบปัจจัยเรื่องรูปแบบการวางตัวของโหนด.....	32
4.3	ผลการทดสอบปัจจัยเรื่องรูปแบบการวางตัวของโหนดที่มีเสาอากาศ.....	33
4.4	ผลการทดลองหาตำแหน่งพิกัดของโหนด.....	35
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	37
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	37
5.2	ปัญหาและอุปสรรคจากการทำวิทยานิพนธ์.....	37
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	37
	บรรณานุกรม.....	38
	ภาคผนวก.....	40
	ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์.....	41
	ประวัติผู้เขียน.....	47

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 Power Output และการใช้พลังงาน.....	8
ตารางที่ 2-2 ความหมายของฟิลด์ในแพ็กเก็ตข้อมูล CC2420.....	15
ตารางที่ 2-3 ความหมายของฟิลด์ในแพ็กเก็ตข้อมูลในส่วน meta_data ของ CC2420.....	16
ตารางที่ 4-1 แสดงค่า RSSI ที่ส่งผลกับความสูงของการติดตั้งโหนด.....	31
ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างที่คำนวณได้จากค่า RSSI.....	33
ตารางที่ 4-3 แสดงค่า RSSI และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองวางโหนดที่มีเสาอากาศ.....	34
ตารางที่ 4-4 แสดงค่า พิกัด X,Y จริง กับค่าเฉลี่ยของ Xcal,Ycal ที่โหนดหาได้.....	36

รายการภาพประกอบ

		หน้า
รูปที่ 2-1	การส่งสัญญาณหลายเส้นทาง (multipath).....	7
รูปที่ 2-2	คุณสมบัติกระจายสัญญาณของเสาอากาศแบบ PCB บน Tmote Sky.....	7
รูปที่ 2-3	เทคนิคการหาพิกัด X(x,y) ด้วยวิธีการ Trilateration.....	9
รูปที่ 2-4	แสดงการตัดกันของระยะทางระหว่างโหนดของ Mobile Node และ Slave Node อย่างสมบูรณ์.....	10
รูปที่ 2-5	ข้อมูลที่ไม่แม่นยำจากการวัดระยะโดยอาศัยค่า RSSI.....	10
รูปที่ 2-6	รูปแบบแพ็คเกจ message_t.....	11
รูปที่ 2-7	ส่วนประกอบของโปรแกรมและการเชื่อมต่อของภาษา nesC.....	13
รูปที่ 2-8	โหนด Tmote sky.....	14
รูปที่ 3-1	ระบบการทำงานโดยรวม.....	17
รูปที่ 3-2	การส่ง packet ระหว่างโหนด.....	19
รูปที่ 3-3	ขั้นตอนการทำงานของ Mobile Node.....	20
รูปที่ 3-4	ขั้นตอนการทำงานของ Slave Node.....	22
รูปที่ 3-5	ขั้นตอนการทำงานของ Master Node.....	24
รูปที่ 3-6	ขั้นตอนการทำงานของ Base Station.....	25
รูปที่ 3-7	การแสดงผลในส่วนของ Text Mode.....	26
รูปที่ 3-8	แสดงผลแบบกระพริบ.....	27
รูปที่ 3-9	แสดงผลแบบค้างจุด.....	27
รูปที่ 3-10	แสดงผลแบบติดตามทิศทาง.....	28
รูปที่ 3-11	แสดงตำแหน่งของพาหนะภายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานที่อยู่ในเขตปลอดภัย.....	28
รูปที่ 3-12	แสดงตำแหน่งของพาหนะภายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานที่อยู่ในเขตปลอดภัยอันตราย.....	29
รูปที่ 4-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทาง.....	30
รูปที่ 4-2	กราฟแสดงผลกระทบของความสูงจากพื้นที่ที่มีผลต่อค่า RSSI.....	31
รูปที่ 4-3	กราฟแสดงผลกระทบของรูปแบบการวางตัวของโหนด.....	33
รูปที่ 4-4	การจำลองพิกัดต่างๆของโหนด.....	35
รูปที่ 4-5	กราฟเปรียบเทียบระหว่างพิกัดจริงกับพิกัดที่โหนดหาได้.....	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันการซ่อมบำรุงอากาศยานจะกระทำในโรงเก็บอากาศยานที่มีพื้นที่กว้างเพียงพอสำหรับจอดอากาศยานมากกว่าหนึ่งลำ อีกทั้งยังมีอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงมากมายหลายชนิด เช่นตู้คอนเทนเนอร์ และเครื่องมือทดสอบเครื่องยนต์ เป็นต้น อุปกรณ์ขนาดใหญ่เหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ไปมาภายในโรงเก็บอากาศยานได้ เช่นปั้นจั่นยกอุปกรณ์ และยานพาหนะชนิดต่างๆที่จะต้องแล่นผ่านบริเวณซ่อมบำรุงในพื้นที่อยู่ตลอดเวลา จึงมีโอกาสเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานหรือสร้างความเสียหายให้กับเครื่องมือที่มีราคาสูง อุบัติเหตุเหล่านี้มักจะเกิดขึ้นจากการที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบว่าตนเองเข้าไปอยู่ภายในบริเวณที่เสี่ยงอันตราย นอกจากนี้การซ่อมบำรุงจะมีการโยกย้ายอุปกรณ์และอากาศยานอยู่ทุกวัน ดังนั้นการมีระบบที่สามารถทราบตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานหรือยานพาหนะที่เคลื่อนที่ได้และสามารถปรับเปลี่ยนบริเวณของพื้นที่อันตรายในแต่ละวันได้ ก็จะช่วยทำให้สามารถแจ้งเตือนผู้ใช้พาหนะภายในโรงเก็บอากาศยานเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น

ระบบเฝ้าติดตามเดิมที่มีอยู่ใช้เสียงเตือนจากผู้ควบคุมที่คอยเฝ้าสังเกตการณ์อยู่บนที่สูงของโรงเก็บอากาศยาน หรือเป็นระบบการเฝ้าระวังที่ใช้เทคโนโลยี RFID (Radio Frequency Identification)[1] เป็นการบ่งชี้ตำแหน่งของวัตถุภายในอาคาร ซึ่งจะใช้วิธีการเฝ้าตรวจวัตถุที่ผ่านเครื่องอ่านเป็นระยะๆ เท่านั้นว่าผ่านจุดต่างๆไปแล้ว ดังนั้นความละเอียดของตำแหน่งจะขึ้นกับจำนวนของเครื่องอ่าน RFID ถ้าระบบต้องการทราบตำแหน่งที่ละเอียดจะต้องใช้เครื่องอ่าน RFID เป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้ต้นทุนของระบบสูง ซึ่งจุดประสงค์ของเทคโนโลยี RFID จะเป็นการระบุตัวตนจริงของวัตถุ ยานพาหนะ หรือสิ่งมีชีวิตที่ผ่านจุดๆหนึ่ง จึงไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เฝ้าติดตามวัตถุ อีกทั้งข้อจำกัดของเครื่องอ่านที่สามารถอ่าน tag ของ RFID ได้ในระยะไม่เกิน 5 เมตร และข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการอ่าน tag พร้อมกันมากกว่า 1 tag

ระบบ GPS (Global Position System) ก็ไม่สามารถนำมาใช้งานภายในตัวอาคารหรือโรงเก็บอากาศยานได้ เนื่องจากข้อจำกัดของระบบ GPS ที่จะต้องติดต่อกับดาวเทียม ดังนั้นจะสามารถใช้งานได้เฉพาะภายนอกอาคารหรือกลางแจ้งเท่านั้น การนำเทคโนโลยีของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หรือ Wireless Sensor Networks (WSNs) มาประยุกต์ใช้งานภายในโรงเก็บอากาศยาน

ยานจะช่วยในการหาตำแหน่ง (location) ของผู้ปฏิบัติงานหรือยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปมาในพื้นที่ภายในโรงเก็บอากาศยานได้

งานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสัญญาณ หรือค่า RSSI กับระยะทาง และนำเทคนิค Trilateration มาใช้คำนวณหาตำแหน่งพิกัดของวัตถุแบบทันเวลา ระบบที่พัฒนานี้จะใช้โหนด Tmote Sky ซึ่งได้ค่าความแรงของสัญญาณจากโมดูล CC2420 ที่เป็นภาครับส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz โดยอาศัยหลักการของ multipath และ attenuate ของสัญญาณ ระยะทางระหว่างโหนดเคลื่อนที่กับโหนดอ้างอิงที่ได้จากค่า RSSI จะถูกนำมาคำนวณหาตำแหน่งของโหนดที่เคลื่อนที่บนเครื่องแม่ข่ายเพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถแสดงผลการติดตามวัตถุเคลื่อนที่ได้ และเมื่อวัตถุที่ติดตั้งโหนดเคลื่อนที่เข้าไปใกล้บริเวณอันตรายก็จะแจ้งเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบทันที

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 Malguki: An RSSI based ad hoc location อัลกอริทึม[2]

ในบทความนี้ผู้เขียนได้กล่าวถึงการนำสมการต้นแบบที่ใช้เป็นสมการพื้นฐานในการคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดด้วยค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งสมการนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเช่นสิ่งกีดขวางและสิ่งรบกวนจากคลื่นสัญญาณอื่นๆ เป็นต้น ส่งผลให้เกิดการลดทอนสัญญาณที่ไม่เท่ากันและการเดินทางหลายเส้นทางของสัญญาณที่ต่างกัน สามารถนำสมการนี้มาใช้ได้กับงานวิจัยนี้ได้ ผู้วิจัยในบทความนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมในการหาตำแหน่งของโหนดขึ้นใหม่ที่มีความแม่นยำมากกว่าอัลกอริทึมอื่น แต่มีความแม่นยำมากกว่าวิธีการแบบ Trilateration ไม่มากนัก อีกทั้งอัลกอริทึมมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากกว่า

1.2.2 Location Sensing in Ubiquitous Computing [3]

บทความนี้อธิบายถึงการหาระยะทางด้วยวิธีต่างๆไม่ว่าจะเป็นการหาระยะทางจากวิธี TOA (Time-Of-Arrival) วิธีนี้ต้องทราบความเร็วของสัญญาณที่ใช้ต้องมีการ Synchronize ทางเวลากันระหว่างโหนดและบันทึกเวลาเมื่อสัญญาณเดินทางมาถึง วิธี TDOA (Time-Difference-of-Arrival) วิธีนี้คล้ายกับวิธี TOA เพียงแต่ต้องใช้สัญญาณสองชนิด ต้องทราบความเร็วของสัญญาณแต่ละชนิดและหาความต่างของเวลาเดินทางของสัญญาณจากฝั่งส่งมายังฝั่งรับเพื่อมาเปรียบเทียบเป็นระยะทาง วิธี AOA (Angle Of Arrival) วิธีนี้ใช้วัดทิศทางมาถึงของสัญญาณ ซึ่งวิธีนี้จะมี ความยุ่งยากทางด้านฮาร์ดแวร์เพราะต้องใช้ Array Antenna ในการรับสัญญาณ วิธี RSSI (Receive Signal Strength Indicator) เป็นวิธีที่ง่ายและราคาถูกที่สุด เนื่องจากโหนดแต่โหนดจำเป็นที่จะต้องมีการติดต่อสื่อสารกันโดยผ่านทางคลื่นวิทยุอยู่แล้ว จึงสามารถนำค่าความเข้มของสัญญาณวิทยุที่ใช้

ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างโหนดนี้มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาระยะทางได้ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาตำแหน่งของเซนเซอร์ไร้สาย เช่น วิธีการ Triangulation ต้องอาศัยการวัดระยะทางระหว่างโหนดด้วยวิธี AOA จึงจะใช้อัลกอริทึมนี้ได้ สำหรับอัลกอริทึม Multilateration ต้องอาศัยการวัดระยะทางระหว่างโหนดด้วยวิธี TDOA จึงจะใช้อัลกอริทึมนี้ได้และเป็นการหาตำแหน่งแบบ 3 มิติ Min-Max อัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมอย่างง่ายที่ใช้ในการหาตำแหน่งแต่ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนได้บอกได้ว่าเป็นบริเวณใดเท่านั้น Trilateration มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้มากที่สุด เพราะสามารถใช้หาตำแหน่งร่วมกับวิธี RSSI ได้อีกทั้งยังเป็นอัลกอริทึมอย่างง่ายที่ใช้หาตำแหน่งของวัตถุแบบสองมิติ

1.2.3 A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking[4]

เป็นการทดลองที่เน้นตรวจจับวัตถุเคลื่อนที่ที่ผ่านเข้ามาภายในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยสามารถแบ่งแยกประเภทวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ว่าเป็นประเภทไหน บุคคลมือเปล่า ทหาร หรือว่ายานพาหนะอีกทั้งยังสามารถบอกตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ด้วยว่าอยู่ตำแหน่งใดเพื่อใช้ในการแจ้งเตือนให้กับผู้สังเกตการณ์ว่าเป็นผู้บุกรุกจริงหรือไม่ โดยอาศัยความสามารถของเซนเซอร์ชนิดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ที่ตรวจจับแรงสั่นสะเทือน ความร้อน สนามแม่เหล็ก หรือเสียงเป็นต้น ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อบ่งบอกประเภท พฤติกรรม หรือตำแหน่งของวัตถุได้ หากเป็นผู้บุกรุกจริงก็จะทำการแจ้งเตือนให้กับผู้สังเกตการณ์ให้ทราบได้ ซึ่งสามารถนำตัวอย่างการแจ้งเตือนและการเฝ้าระวังมาใช้ได้ แต่ไม่สามารถนำวิธีในการหาตำแหน่งมาใช้ได้เนื่องจากต้องใช้ตัว เซนเซอร์จำนวนมากและชนิดของเซนเซอร์ที่หลากหลายทำให้ทั้งระบบมีราคาแพง อีกทั้งรูปแบบการหาตำแหน่งของวัตถุเป็นการประมาณค่าของเซนเซอร์ที่วางอยู่ในบริเวณที่ใกล้วัตถุเท่านั้น

1.2.4 Object tracking through RSSI measurements in wireless sensor networks[5]

ผลจากการทดลองในการติดตามวัตถุสามารถตอบสนองแบบทันเวลาได้เป็นอย่างดี เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังวัตถุโดยอาศัยการวัดระยะทางจากการใช้ RSSI ในพื้นที่ที่สนใจ โดยดูจากสัดส่วนการรับได้ของสัญญาณเพื่อเปรียบเทียบเป็นระยะทาง

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะหรือผู้ปฏิบัติงานภายในโรงเก็บอากาศยานด้วยเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและค่าความแรงของสัญญาณ โมดูล CC2420

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาระบบสำหรับใช้งานในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานของกองบิน โดยเป็นการหาตำแหน่งแบบ 2 มิติโดยใช้โหนดอ้างอิง 3 ตัว กำหนดให้ความสูงของโหนดที่ติดตั้งบนพาหนะและโหนดอ้างอิงจะต้องมีความสูง 2 เมตรเท่ากัน ทดสอบจริงบน โหนด Tmote sky
2. วิเคราะห์สิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการหา Location System จากระบบของ GPS, RFID และ WSN
2. ศึกษาค่า RSSI และวิธีการหาตำแหน่งจาก WSN
3. ออกแบบระบบการหาตำแหน่งและการแสดงผล
4. ทดสอบผลกระทบต่อค่า RSSI และความแม่นยำในการหาระยะทาง
5. ทดสอบการหาตำแหน่งของพาหนะ
6. สรุปผลและเขียนรายงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการในการออกแบบและประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายกับการติดตามเป้าหมาย
2. ได้ระบบติดตามเป้าหมายแบบทันเวลา และสามารถแจ้งเตือนภัยเมื่อเข้าสู่พื้นที่เสี่ยงภัยได้
3. ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสัญญาณกับระยะทางอย่างง่าย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามเป้าหมายบนเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยจะเริ่มจากการแนะนำระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย การหาระยะทางด้วยค่าความแรงของสัญญาณ การหาตำแหน่ง คุณสมบัติพื้นฐานและการพัฒนาโปรแกรมบน โหนด platform Tmote Sky

2.1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network)

จากบทสรุปของการพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายใน [6] ได้กล่าวไว้ว่าเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ตัวตรวจวัด (sensor) จำนวนมากสามารถเก็บรวบรวมและส่งข้อมูลแบบไร้สายจากในพื้นที่ที่สนใจกลับไปยังผู้ดูแลหรือเก็บบันทึกไว้ในเครื่องแม่ข่าย ซึ่งการประยุกต์ใช้งานสามารถทำได้หลากหลายเช่น การเฝ้าระวังสภาพแวดล้อมของป่า การตรวจดูพฤติกรรมของสัตว์ในพื้นที่อุทยาน และการเตือนภัยธรรมชาติ เป็นต้น โดยระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนี้จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญที่เรียกว่า โหนด (node หรือ mote) ซึ่งประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาครับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ตัวตรวจวัดและแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งหลักแนวคิดที่สำคัญของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายคือ โหนดจะต้องมีขนาดเล็กและราคาถูกเพื่อให้สามารถใช้งานเป็นจำนวนมากกระจายลงในพื้นที่ที่สนใจได้

2.2 ค่าความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator, RSSI)

การใช้ค่าความแรงของสัญญาณหรือที่เรียกสั้นๆว่าค่า RSSI สามารถนำมาหาความสัมพันธ์เพื่อแปลเป็นค่าระยะทางได้ โดยทั่วไปการวัดระยะทางด้วยคลื่นวิทยุนี้สามารถกระทำได้ 2 แบบคือ 1) การวัดจากค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) และ 2) การวัดบนพื้นฐานของ ToF (Time of Flight) ของสัญญาณวิทยุ (radio signal) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้ค่า RSSI วิธีนี้จะเป็นการวัดความสูงของคลื่นที่สถานีรับสามารถรับคลื่นวิทยุนั้นได้ การวัดค่าความแรงของสัญญาณ จะถูกนำมาคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดจากค่าการลดทอน เนื่องจากค่าการลดทอนจะขึ้นกับสภาพแวดล้อม สำหรับค่า path loss attenuation จะอยู่ในรูปของคลื่นความถี่วิทยุ สิ่งที่จะต้องทราบคือกำลังที่ใช้ในการส่ง เมื่อตัวรับ รับสัญญาณทราบก็จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณที่ส่ง ก็สามารถหาระยะห่างได้

ค่าความเข้มของสัญญาณจะแปรผันกับระยะทาง และจากโมเดล path loss ดังสมการที่ (2-1) [7] พบว่าถ้าต้องการให้ค่าของ RSSI เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย จะต้องเปลี่ยนแปลงระยะทางไปจากเดิมให้มากหลายเท่าตัว ซึ่งเป็นผลมาจากที่สมการใช้ค่า logarithm ในการคำนวณ

$$P_d = P_t - P_{PL(d_0)} - 10 \times n \times \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2-1)$$

กำหนดให้

P_d	คือ ค่าความเข้มของสัญญาณที่ตัวรับหน่วยเป็น dB ที่ระยะห่าง d
P_t	คือ ค่าความเข้มของสัญญาณที่ตัวส่งหน่วยเป็น dB ที่ระยะห่าง d
$P_{PL(d_0)}$	คือ ค่า path loss ณ จุดอ้างอิงระยะห่าง d_0
n	คือ ค่า path loss exponent ของระบบ แต่ละสถานที่จะไม่เท่ากัน
d	คือ ระยะทางระหว่างตัวปล่อยสัญญาณและตัวรับ
d_0	คือ ระยะทางอ้างอิงระหว่างตัวปล่อยสัญญาณและตัวรับ

ดังนั้นในการคำนวณหาระยะทางจะสามารถเปลี่ยนค่า P_d ที่ฝั่งตัวรับเป็นค่าระยะทาง d ตามสมการที่ (2-2) [7]

$$d = d_0 \times 10^{\frac{(P_t - P_{PLd_0} - P_d)}{10n}} \quad (2-2)$$

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของสัญญาณ

1. การลดทอนของสัญญาณ (attenuate)

ระหว่างสัญญาณเคลื่อนที่โดยมีความสัมพันธ์เป็น

$$\text{RSSI (watt)} \propto K/d^n \quad (2-3)$$

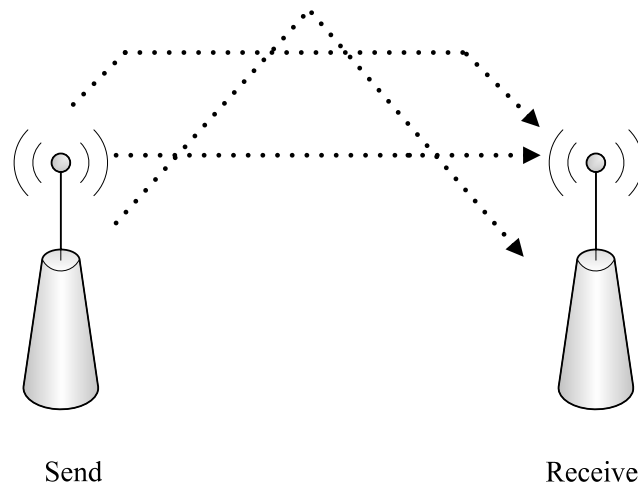
เมื่อ RSSI คือค่าพลังงานความเข้มสัญญาณหน่วยเป็น watt, K คือค่าคงที่ของระบบและ d คือระยะทางระหว่างหน่วยรับส่งและ n คือค่า path loss exponent ของระบบ

2. ความไม่สม่ำเสมอในตัวแปรระบบ (irregularity)

กำลังส่งของสัญญาณไม่คงที่ เนื่องจากความไม่คงที่ของแหล่งจ่ายพลังงาน ค่า path loss exponent ที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากสิ่งกีดขวางหรือกำแพงเป็นต้น คลื่นรบกวนในสภาพแวดล้อม (noise) ที่เปลี่ยนไปตามเวลาและเหตุการณ์ต่าง ๆ

3. การรับส่งสัญญาณจากหลายเส้นทาง (multipath)

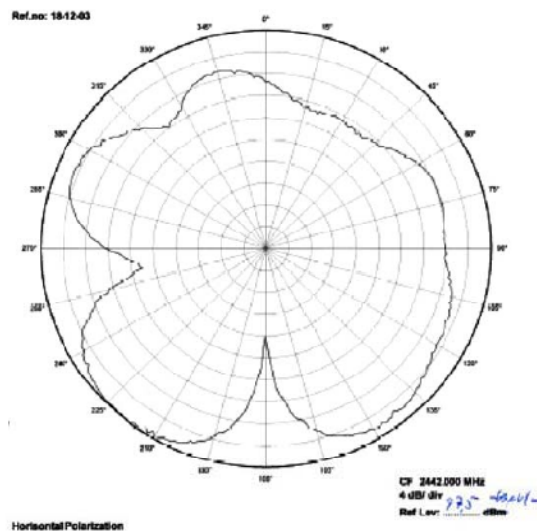
ดังรูปที่ 2-1 แสดงถึงสัญญาณเดินทางหลายเส้นทางในการสื่อสารครั้งเดียวกัน สามารถทำให้สัญญาณของข้อมูลเดียวกันรบกวนกันเอง



รูปที่ 2-1 การส่งสัญญาณหลายเส้นทาง (multipath)

4. การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากเสารับสัญญาณ (attitude of antenna)

เสารับส่งสัญญาณแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการรับและกระจายสัญญาณเฉพาะตัว รูปที่ 2-1 แสดงถึงค่าความเข้มของสัญญาณที่มุมต่างๆ ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่เมื่อมีมุมที่แตกต่าง ทำให้ค่าความเข้มของสัญญาณวิทยุที่วัดได้จากฝั่งรับขึ้นกับมุมที่เสาฝั่งส่งและฝั่งรับทำมุมกัน



รูปที่ 2-2 คุณสมบัติกระจายสัญญาณของเสาอากาศแบบ PCB บน Tmote Sky[8]

5. การคำนวณหาระยะทางบน Tmote Sky

โมดูลรับส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุบน Tmote Sky คือ CC2420 ย่านความถี่ 2.4GHz ISM band สามารถปรับเปลี่ยนระดับของกำลังส่งได้ 31 ค่าหรือ 31 Level ตั้งแต่ 1-31 โดยจะเปรียบเทียบค่า Output Power ในแต่ละระดับของกำลังส่งดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 Power Output และการใช้พลังงาน

PA_LEVEL	TXCTRL register	Output Power [dBm]	Current Consumption [mA]
31	0xA0FF	0	17.4
27	0xA0FB	-1	16.5
23	0xA0F7	-3	15.2
19	0xA0F3	-5	13.9
15	0xA0EF	-7	12.5
11	0xA0EB	-10	11.2
7	0xA0E7	-15	9.9
3	0xA0E3	-25	8.5

โดยจะมีรีจิสเตอร์เก็บค่า RSSI มีขนาด 8 บิตชื่อ RSSIAL[8] ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-4) [8]

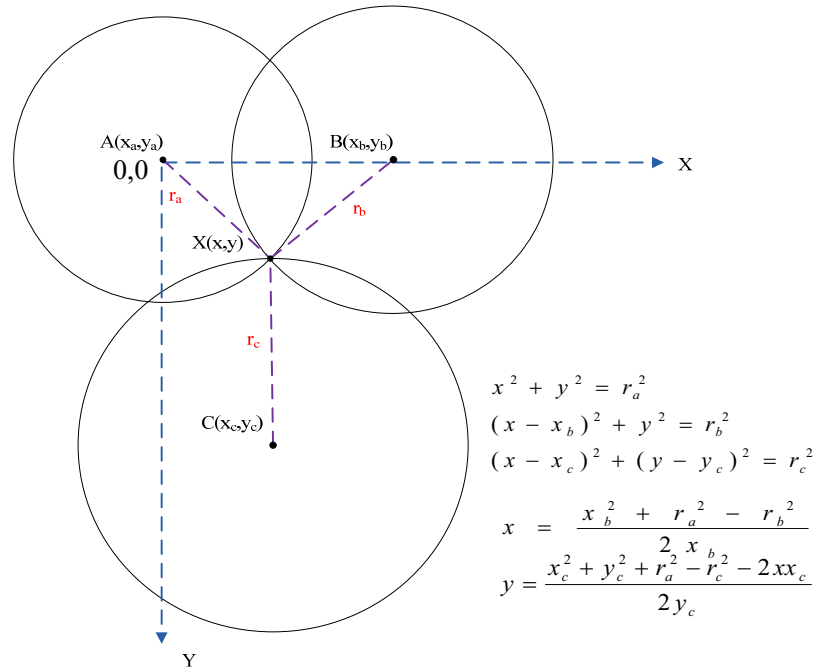
$$P = \text{RSSI}_{\text{AL}} + \text{RSSI}_{\text{offset}} [\text{dBm}] \quad (2-4)$$

โดยที่ค่า P คือกำลังการส่งซึ่งผู้ใช้ Tmote Sky สามารถกำหนดได้ 31 ค่าดังรายละเอียดข้างต้น สำหรับค่า $\text{RSSI}_{\text{offset}} [\text{dBm}]$ จะมีค่าอยู่ที่ -45 dBm โดยประมาณซึ่งค่า offset จะขึ้นกับชนิดของเสาอากาศด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำมาเทียบเคียงกับสมการ path loss ดังที่แสดงไว้ในสมการที่ 2-1 พบว่า [8]

$$\text{RSSI}(d) = P_t - P_{\text{PL}(d_0)} - 10 \times n \times \log(d/d_0) + X_\delta \quad (2-5)$$

โดยที่ค่า $\text{RSSI}(d)$ คือค่า RSSI ณ ระยะทาง d และ X_δ ตัวแปรที่เพิ่มขึ้นจากสมการที่ 2-1 คือ Gaussian ที่ zero mean ซึ่งจะหาได้จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับค่า RSSI ของการทดสอบบนโหนดจริง

2.3 การคำนวณหาตำแหน่ง



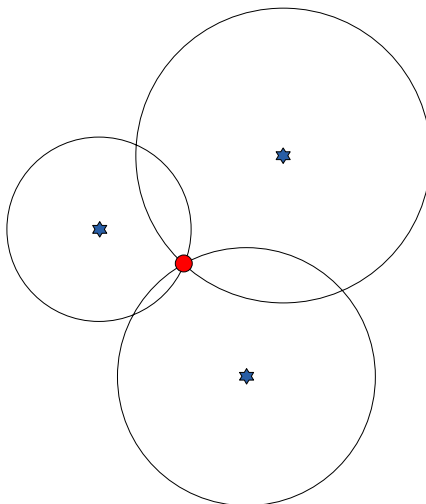
รูปที่ 2-3 เทคนิคการหาพิกัด $X(x,y)$ ด้วยวิธีการ Trilateration [9]

Trilateration เป็นเทคนิคที่ใช้ในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง โดยถ้าต้องการคำนวณพิกัดใน n มิติ จะต้องทราบระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงจำนวน $n + 1$ จุด ซึ่งเราสามารถหาระยะห่างนี้ได้โดยใช้ RSSI ผลลัพธ์ของการหาพิกัดด้วย Trilateration ที่ได้จะเป็นจุดตัดของวงกลมจำนวน $n + 1$ วง ซึ่งมีรัศมีเป็นระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิงจุดนั้นกับจุดที่ต้องการหาตำแหน่งดังรูปที่ 2-3 ได้แสดงตัวอย่างการคำนวณและรูปการหาตำแหน่งใน 2 มิติ โดยสมการนี้จะใช้ในการหาพิกัด ณ จุด $X(x,y)$ ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ทราบค่า การคำนวณจะเริ่มจากที่จะต้องทราบพิกัดอย่างน้อย 3 จุดคือ $A(x_a, y_a)$, $B(x_b, y_b)$ และ $C(x_c, y_c)$ มีระยะรัศมีระหว่างจุดอ้างอิง A , B และ C กับ จุดที่ต้องการทราบตำแหน่งเป็น r_a , r_b และ r_c ตามลำดับ ซึ่งทำการคำนวณหาได้จากการใช้ RSSI แล้วนำมาเขียนสมการหาพิกัดของ X กับ Y จากรูปที่ 2-3 ดังสมการที่ 2-6 และ 2-7

$$x = \frac{x_b^2 + r_a^2 - r_b^2}{2x_b} \quad (2-6)$$

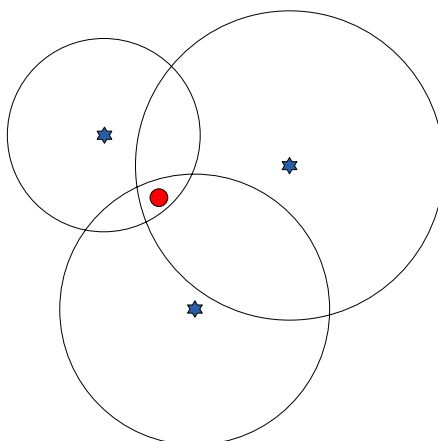
$$y = \frac{x_c^2 + y_c^2 + r_a^2 - r_c^2 - 2xx_c}{2y_c} \quad (2-7)$$

Trilateration เป็นอัลกอริทึมที่แม่นยำในการหาค่าตำแหน่งหากได้ค่า RSSI ที่แม่นยำ ก็สามารถหาจุดตัดจากการ Intersection ของทุกวง ได้ภายในจุดเดียวดังรูปที่ 2-4 โดยที่วงกลมสีแดง แทน Mobile Node และจุดรูปดาวสีน้ำเงินคือ Slave Node



รูปที่ 2-4 แสดงการตัดกันของระยะทางระหว่างโหนดของ Mobile Node และ Slave Node อย่างสมบูรณ์

แต่ในทางปฏิบัติระยะห่างระหว่าง Mobile Node และ Slave Node จะไม่เป็นไปตามรูปที่ 2-4 เสมอ เนื่องจากค่า RSSI ไม่คงที่ทำให้จุดตัดเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2-5 ฉะนั้นระยะทางที่ผิดพลาดไปจากจุดตัดที่ควรจะเป็นก็คือค่าผิดพลาด error และงานวิจัยนี้จะรายงานผลของระยะทางที่ผิดพลาดไว้ด้วย

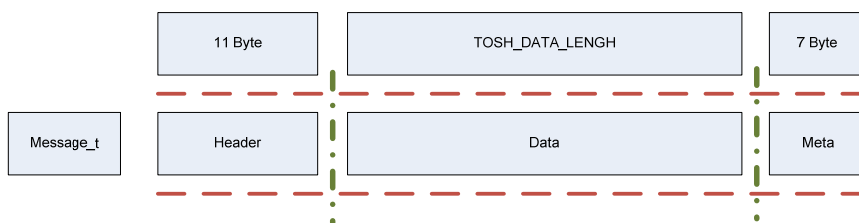


รูปที่ 2-5 ข้อมูลที่ไม่แม่นยำจากการวัดระยะโดยอาศัยค่า RSSI

ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจจะสามารถแก้ไขด้วยการหาค่าเฉลี่ยของค่า RSSI ในการวัดระยะทางระหว่าง Mobile Node และ Slave Node และเมื่อนำระยะทางทั้งหมดมาหาค่าตำแหน่งจาก Trilateration ได้แล้วก็ต้องนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับการหาตำแหน่งของพาหนะในขณะนั้น

2.4 ระบบปฏิบัติการ TinyOS[10]

TinyOS เป็นระบบปฏิบัติการที่มีขนาดเล็กสามารถแบ่งองค์ประกอบสำคัญๆ ออกเป็น component ซึ่งสามารถเรียกใช้หรือขยายความสามารถเพิ่มได้ผ่านทางข้อกำหนดของอินพุตเอาต์พุตที่เรียกว่า interface สามารถใช้ประยุกต์ในงานด้านต่างๆ ได้อย่างหลากหลายเพราะมีขนาดเล็กเหมาะแก่การใช้กับ sensor node โดยต้องการเนื้อที่ของหน่วยความจำเพียง 396 ไบต์ นอกจากนี้เป็นระบบปฏิบัติการที่ทำงานแบบ multitasking และ concurrency ซึ่งสามารถจัดการ process ได้หลาย process พร้อมๆกัน อีกทั้งยังสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานและยืดหยุ่นในการทำงานด้านอื่นๆ ด้วยสถาปัตยกรรมแบบ event-driven ระบบปฏิบัติการ TinyOS ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้กับหลาย platform เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430 เป็นต้น



รูปที่ 2-6 รูปแบบแพ็คเกจเกิด message_t

แพ็คเกจเกิด message_t เป็นรูปแบบข้อมูลตามมาตรฐานของ TinyOS 2.0 ที่ใช้การรับส่งข้อมูลระหว่างกันของเซนเซอร์โหนดในระบบ เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแสดงไว้ในรูปที่ 2-6 ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. Header มีขนาด 11 ไบต์ จะกำหนดเกี่ยวกับ address ของเซนเซอร์โหนดความยาวของข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลกัน เป็นต้น

2. Data โดยปกติจะมีขนาดเท่ากับ 29 ไบต์ ใช้เก็บข้อมูลหรือแพ็คเกจที่ต้องการ

3. Meta_data เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบสัญญาณ คุณภาพของสัญญาณ และค่า RSSI

2.5 ภาษา nesC

ภาษา nesC [11] มีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ผู้พัฒนาโปรแกรมจากภาษา nesC สามารถสร้างส่วนประกอบโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้สร้างระบบปฏิบัติการแบบทำงานพร้อมกันและมีการตรวจสอบขณะ compile ที่ดี

เนื่องจากระบบปฏิบัติการ TinyOS กำหนดกรอบของระบบปฏิบัติการอย่างชัดเจน ทำให้ภาษา nesC มีการกำหนดส่วนประกอบของโปรแกรมอย่างชัดเจน โดยมีการเชื่อมต่อแบบสองทิศทาง (bidirectional interface) นอกจากนี้ภาษา nesC ยังกำหนดการทำงานแบบพร้อมกันโดยใช้ task และ hardware event handlers และมีการตรวจสอบการชนกันของข้อมูลตั้งแต่การคอมไพล์โปรแกรม

2.5.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม (Component)

Component ต่างๆที่ทำงานร่วมกันจะอาศัย interface ในการกำหนดพฤติกรรมระหว่าง component ผ่านช่องทางทาง interface ในการเรียกใช้หรือขอใช้ฟังก์ชันการทำงานระหว่างกัน ซึ่งจะแบ่ง interface ออกเป็นสองประเภท

1. Provides จะให้บริการ โดย component ซึ่งหมายความว่าใน component นั้นจะมีการให้บริการอะไรบ้าง ซึ่งการใช้ interface แบบ provides จะต้องสร้างชุดฟังก์ชัน command ขึ้นที่แต่ละ interface ที่จะให้บริการ

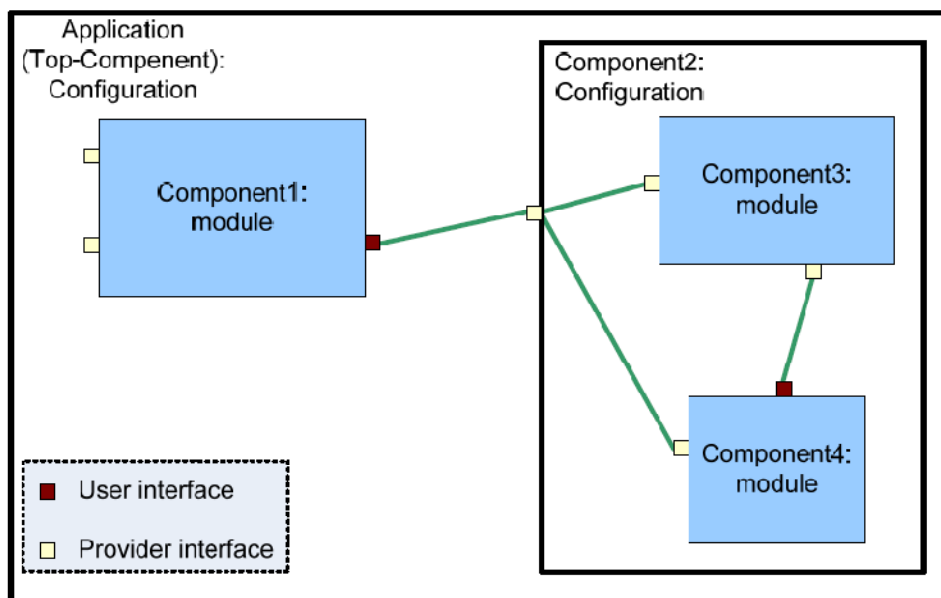
2. Uses เรียกใช้ โดย component คือเรียกใช้ฟังก์ชันผ่าน module อื่น ว่าต้องการขอใช้บริการอะไรผ่านทาง interface บ้าง ซึ่งการใช้ interface แบบ uses จะต้องสร้างชุดฟังก์ชัน event ขึ้นมารองรับและ event เป็นฟังก์ชันที่ถูกเรียกโดย component จาก interface เดียวกันซึ่งจะถูกใช้โดยอัตโนมัติเมื่อมีเหตุการณ์ที่สัมพันธ์กับฟังก์ชันที่กำหนดไว้

นอกจากการกำหนดพฤติกรรมของ component แล้ว แต่ละ component ในภาษา NesC ยังแบ่งเป็น 2 ส่วนหรือ 2 ไฟล์หลักๆคือ ส่วนของ module กับส่วนของ configuration ซึ่งภายใน module และ configuration จะมีการกำหนดพฤติกรรมผ่าน interface ว่าจะ provides หรือ users

module เป็นไฟล์ๆหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบของ component โดยจะมีโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อต่างๆ เช่นถ้ามีการเรียกใช้ interface ใดๆในส่วนของ module จะต้องสร้างฟังก์ชันนั้นไว้ด้วย

configuration เป็นไฟล์ๆหนึ่งที่อธิบายความสัมพันธ์ของโมดูลผ่านการเชื่อมต่อทาง interface เช่น module นี้ provides อะไรให้กับ module อื่น ในกรณีที่ไม่ใช่ module หลักของ

โปรเจกต์ แต่ถ้าเป็น module หลักของโปรเจกต์ จะต้องเรียกใช้ component mainC เพื่อเริ่มต้นการทำงาน



รูปที่ 2-7 ส่วนประกอบของโปรแกรมและการเชื่อมต่อของภาษา nesC

จากรูปที่ 2-7 แสดงถึงโครงสร้างโปรแกรมหลัก (Top-Component) ประกอบด้วยโมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 1 (Component1) และโครงสร้างส่วนประกอบโปรแกรม 2 (Component2) โดยโมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 1 เปิดให้ใช้ interface 2 ส่วน และขอใช้ interface จากโครงสร้างส่วนประกอบโปรแกรม 2 ภายในโครงสร้างส่วนประกอบโปรแกรม 2 ประกอบด้วยโมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 3 (Component3) กับ โมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 4 (Component4) โดยส่วนโมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 3 ให้โมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 4 ใช้ส่วนต่อเชื่อม โมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 3 และ 4 ทั้งคู่เปิดให้ใช้ส่วนต่อเชื่อมซึ่งคือส่วนที่เปิดให้โมดูลส่วนประกอบโปรแกรม 1 ใช้งานดังตัวอย่าง

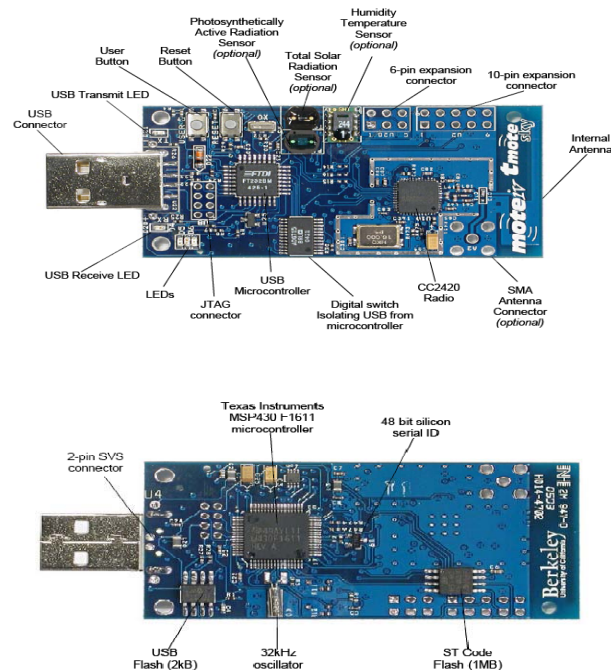
2.5.2 การทำงานแบบพร้อมกัน (Concurrency)

ระบบปฏิบัติการ TinyOS ทำงานอยู่ 2 แบบคือ แบบ tasks และแบบ hardware event handlers การทำงานแบบ task หากยังไม่เริ่มทำงาน งานที่ทำอยู่จะถูกเลื่อนออกไปเมื่อมีสิ่งมาขัดจังหวะ (interrupt) และเมื่อ task เริ่มทำงาน task จะทำงานที่เดียวจนเสร็จสมบูรณ์ในกรณีที่ไม่เกิดการขัดจังหวะของฮาร์ดแวร์แต่ task นั้นไม่มีผลบังคับให้ task อื่นทำงานต่อการทำงานแบบ hardware event handlers จะทำงานเมื่อเกิดการขัดจังหวะจากฮาร์ดแวร์และจะทำงานที่เดียวจนเสร็จสมบูรณ์และอาจจะมีผลบังคับให้เกิดการทำงาน task หรือ hardware event handlers ต่อได้ ซึ่ง

commands และ events ที่ถูกเรียกใช้งานจาก hardware event handler จะต้องประกาศคุณสมบัติเป็น Asynchronous เพื่อให้ตัวแปลโปรแกรมอนุญาตให้ commands หรือ events นั้นถูกเรียกโดย hardware event handler ได้

เนื่องจาก task และ hardware event handler อาจจะถูกเรียกทำงานจากโปรแกรมแบบ Asynchronous ทำให้อาจเกิดการแย่งกันใช้ทรัพยากร (race conditions) ได้ และอาจทำให้โปรแกรมทำงานผิดพลาด แต่สามารถป้องกันได้ โดยใช้ข้อมูลร่วมกันในการทำงานแบบ tasks เท่านั้นหรือใช้คำสั่ง atomic กับทุกข้อมูลที่มีการใช้งานร่วมกัน โดยคำสั่งที่อยู่ใน atomic จะถูกทำจนหมดโดยไม่ถูกขัดจังหวะ

2.6 คุณสมบัติทั่วไปของ Tmote sky



รูปที่ 2-8 โหนด Tmote sky[8]

คุณสมบัติทั่วไปของ Tmote sky มีดังนี้ คือ

- 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4 Chipcon Wireless Transceiver โมดูล CC2420 ดังรูปที่ 2-8
- สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 MHz รุ่น MSP430f1611 (มีขนาดหน่วยความจำ RAM 10k, 48k Flash)
- มีวงจร ADC และ DAC
- มีเสาอากาศในตัว สามารถส่งข้อมูลได้ไกล 50 เมตร ภายในอาคาร แล 125 เมตร ในที่โล่ง
- ประหยัดพลังงานสูง ใช้เวลาในการ wake-up น้อยกว่า 6 ไมโครวินาที
- โพรแกรมโดยผ่าน USB
- สามารถต่อเสาอากาศเพิ่มได้ และรองรับการทำงานของระบบปฏิบัติการ TinyOS

แพ็กเก็ตข้อมูล CC2420 เป็นแพ็กเก็ตที่ใช้ในการส่งข้อมูลโดยผ่านทางคลื่นวิทยุ ซึ่งมีฟิลด์ทั้งหมด 7 ฟิลด์ 11 ไบต์ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความหมายของฟิลด์ในแพ็กเก็ตข้อมูล CC2420

ชื่อฟิลด์	ตำแหน่งที่	ขนาดไบต์	คำอธิบาย
Length (Data Length)	0	1	จำนวนไบต์ข้อมูลที่อยู่ในส่วนของ data
FCF (Frame Control Field)	1-2	2	ใช้ในการระบุชนิดของแพ็กเก็ตว่า ต้องการให้มีสัญญาณ ACK หรือไม่
DSN (Data Sequence Number)	3	1	ลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูล
Destpan (Destination Pan ID)	4-5	2	Group ของเซนเซอร์โหนด
Dest (Destination Address)	6-7	2	Address ของเซนเซอร์โหนดปลายทาง
SRC (Source Address)	8-9	2	Address ของเซนเซอร์โหนดที่ส่งข้อมูล
Type (Packet Type)	10	1	บอกถึงชนิดของแพ็กเก็ตที่ใช้ในการส่งข้อมูล

สำหรับแพ็กเก็ตข้อมูลในส่วน meta_data ของ CC2420 มี 7 ฟิลด์ 9 ไบต์ ดังตารางที่ 2-3

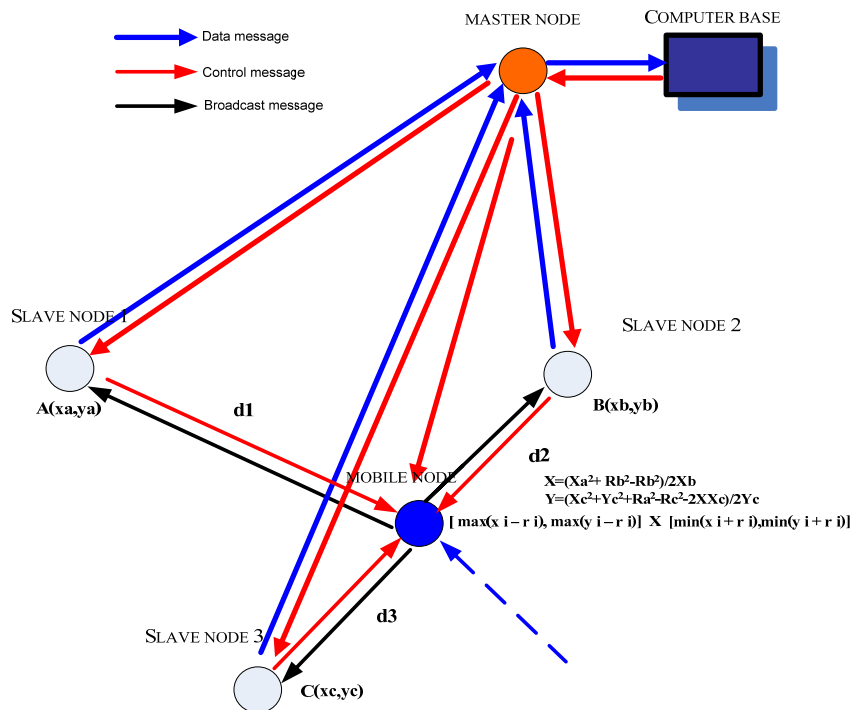
ตารางที่ 2-3 ความหมายของฟิลด์ในแพ็กเก็ตข้อมูลในส่วน meta_data ของ CC2420

ชื่อฟิลด์	ตำแหน่ง	ขนาดไบต์	คำอธิบาย
tx_power	0	1	ค่าพลังงานของเซนเซอร์โหนด
RSSI (Receive Signal Strength Indicator)	1	1	ค่าความแรงของสัญญาณฝั่งรับ
LQI (Link Quality Indicator)	2	1	คุณภาพของสัญญาณ
CRC (Cyclic Redundancy Check)	3	1	ฟิลด์นี้นำมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้
ACK (Acknowledge)	4	1	เป็นไบต์ที่ใช้ตรวจสอบการ acknowledged ของการส่งแพ็กเก็ต
Time	5-6	2	ยังไม่ทราบความหมายของฟิลด์นี้
Rx_Interval	7-8	2	ยังไม่ทราบความหมายของฟิลด์นี้

บทที่ 3

การออกแบบระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบเฝ้าติดตามวัตถุสำหรับใช้ในการแจ้งเตือนอันตรายของการช่อมอากาศยานภายในโรงเก็บอากาศยาน การทำงานโดยรวมของระบบแสดงไว้ในรูปที่ 3-1 ซึ่งเริ่มต้นจากการที่ Mobile Node เคลื่อนที่เข้ามาสู่ระบบเครือข่ายไร้สาย (ภายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยาน) Mobile Node ซึ่งเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ภายในขอบเขตของเครือข่ายสัญญาณของ Slave Node จะทำการ Broadcast Message (เส้นลูกศรสีดำ) ตลอดเวลาเพื่อให้ Slave Node แต่ละโหนดสามารถนำ Broadcast Message ที่ได้รับมาทำการคำนวณหาค่า RSSI เพื่อส่งต่อไปยัง Master Node (ลูกศรสีน้ำเงิน) จากนั้น Master Node จะทำการส่งต่อข้อมูลต่อไปยัง Computer Base เพื่อทำการประมวลผลหาค่าตำแหน่ง Mobile Node แสดงผลตำแหน่งของ Mobile Node ที่อยู่ในขณะนั้น และเมื่อ Mobile Node อยู่ในพื้นที่อันตรายก็จะทำการส่ง Control Message (ลูกศรสีแดง) ออกไปเพื่อทำการ Warning ให้กับ Mobile Node



รูปที่ 3-1 ระบบการทำงานโดยรวม

3.1 โครงสร้างข้อมูลที่ใช้รับส่งในระบบ

ในการรับส่งแพ็กเก็ตเกิดของ Mobile Node และ Slave Node จะมีรูปแบบแพ็กเก็ตเกิดในส่วน data แบบเดียวกันทั้งหมด ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

`nx_uint16_t name` => เป็นข้อมูลขนาด 16 บิต ซึ่งแบ่งเป็นสองชุด โดยเลข 8 บิตแรกจะทำให้ทราบว่าเป็น Mobile Node (โหนดสีน้ำเงินในรูปที่ 3-1) หรือ Slave Node (โหนด A, B และ C) และเลข 8 บิตชุดหลังจะเป็น NodeID โดย Node ชนิดเดียวกันจะไม่มี ID ซ้ำกัน

`nx_int8_t data` => เป็นข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งในที่นี้ก็คือ RSSI value ของ Mobile Node ที่ Slave Node คำนวณมาได้

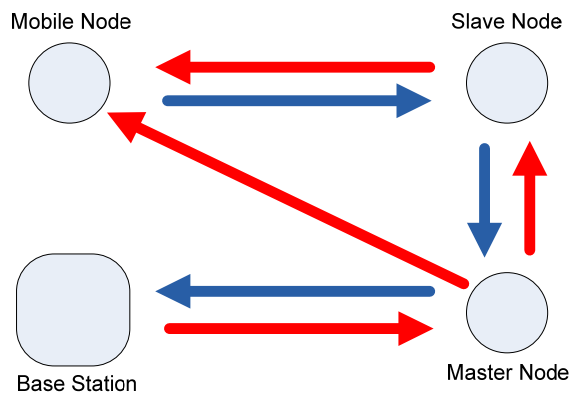
`nx_uint16_t packetM_seq` => เป็นข้อมูล 16 บิตที่ใช้เก็บ packet ID ที่ Mobile Node ส่งออกไป โดยจะไม่มีหมายเลขแพ็กเก็ตที่ซ้ำกัน

`nx_uint16_t packetS_seq` => เป็นข้อมูล 16 บิตที่ใช้เก็บ packet ID ที่ Slave Node ส่งออกไป โดยจะไม่มีหมายเลขแพ็กเก็ตที่ซ้ำกัน

3.2 หลักการทำงาน

Mobile Node เป็นโหนดที่ไม่ทราบตำแหน่งของตัวเอง แต่จะทำให้ทราบตำแหน่งได้โดยการส่งสัญญาณ Broadcast ออกมาเป็นระยะๆเพื่อเป็นการประกาศตัวเอง และเมื่อ Mobile Node เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่การทำงานของ Slave Node และ Slave Node ทั้งสามตัวสามารถรับสัญญาณจาก Mobile Node ได้ Slave Node ก็จะนำสัญญาณที่ได้จาก Mobile Node ซึ่งเป็น Packet ว่างเปล่า (`Packet message_t` ที่ไม่มีข้อมูลอยู่ในส่วนของ Data Field) จากนั้น Slave Node แต่ละตัวที่ได้รับ Packet จาก Mobile Node ก็จะนำ Packet เหล่านั้นมาคำนวณหาค่า RSSI, หมายเลข Mobile Node, ลำดับของ Packet จาก Mobile Node แล้วสร้างลำดับ Packet ของตัวเองขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มาใส่เข้าไปใน Packet ใหม่ของ Slave Node (ใส่ข้อมูลเข้าไปในส่วนของ Data Field ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ `Packet message_t`) ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อส่งสัญญาณออกไปเป็นแพ็กเก็ตไปที่ Master Node และ Master Node จะเป็นตัวรวบรวมข้อมูลเพื่อส่งเข้า Computer base โดยผ่านทางโปรแกรม `sf` ที่ใช้เป็น Serial Forwarder เพื่อรับ-ส่งข้อมูลผ่านเข้าออกทาง Socket ระหว่าง Master Node กับ Base Station โดยนำข้อมูลเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างโหนด ตำแหน่ง Mobile Node, แสดงผลเพื่อทำการติดตาม Mobile Node ว่าเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใด ภายในโรงเก็บอากาศยาน และเมื่อ Base Station คำนวณหาค่าตำแหน่งของ Mobile Node แล้วทราบว่า Mobile Node อยู่ในพื้นที่ที่อันตราย ต้องทำการ Warning Mobile Node โดยการส่ง Packet (รูปแบบ Packet เดียวกันกับที่ส่งออกมาจาก Mobile Node) เพียงแต่ระบุ ID ของ Mobile Node ปลายทางออกไป

ทาง Master Node เมื่อ Mobile Node ได้รับ Packet ที่มาจาก Master Node ก็จะทราบว่า Packet นี้ ถูกส่งมาเพื่อ Warning ก็จะทำกร Activate LED เพื่อเป็นการ Warning ผู้ขับขี่พาหนะ

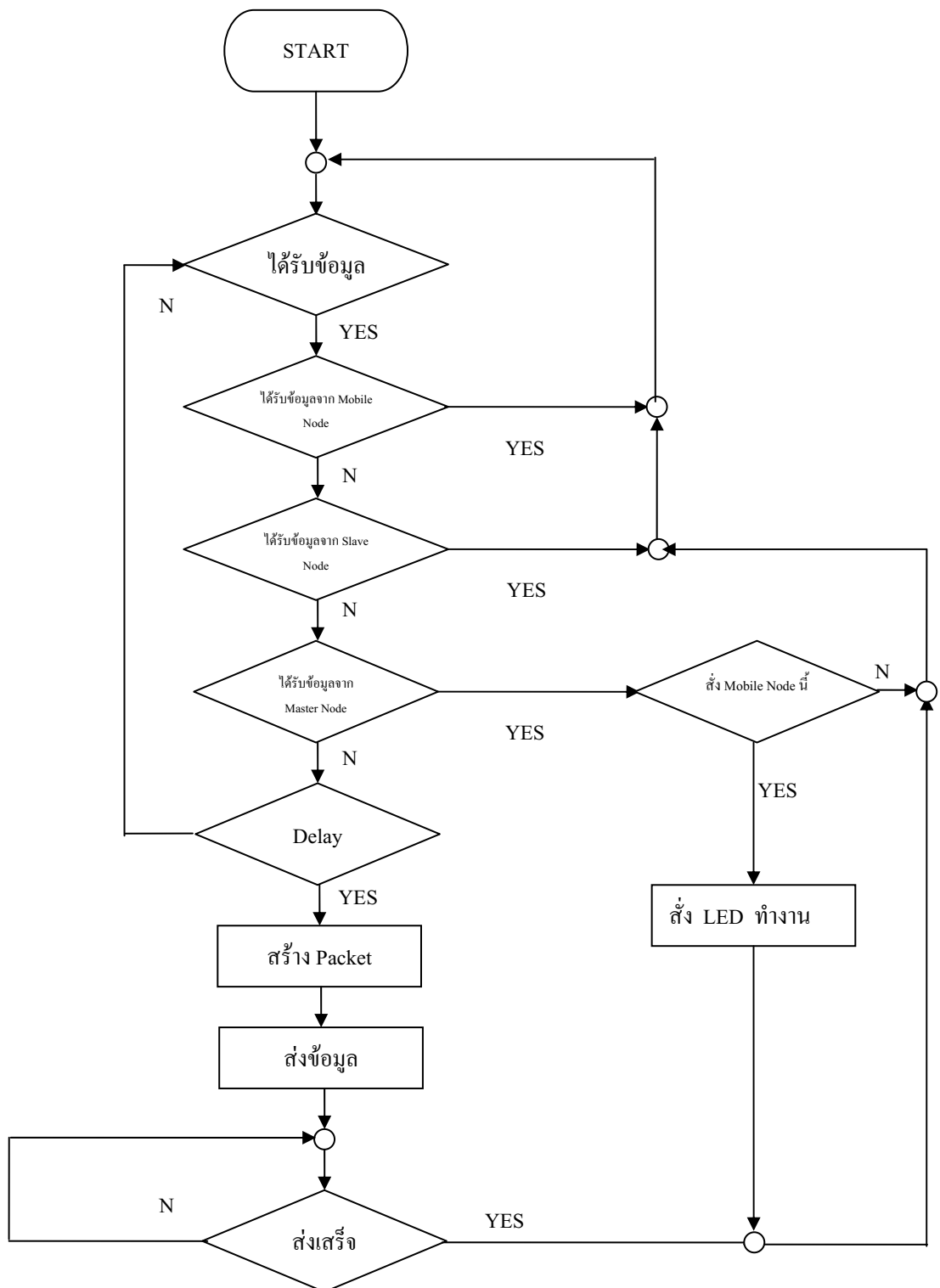


รูปที่ 3-2 การส่ง packet ระหว่างโหนด

จากรูปที่ 3-2 Packet เส้นสีน้ำเงินเป็น Packet ที่เริ่มการส่งออกมาจาก Mobile Node ได้มีการคำนวณค่า RSSI ที่ Slave Node จากนั้นถูกส่งต่อไปยัง Base Station โดยผ่าน Master Node ส่วน Packet เส้นสีแดงเป็น Control Message ที่ถูกส่งออกมาจาก Base Station เพื่อ Warning Mobile Node ก็ต่อเมื่อ Mobile Node เข้าสู่พื้นที่อันตราย เท่านั้น

3.2.1 การออกแบบการทำงานของ Mobile Node

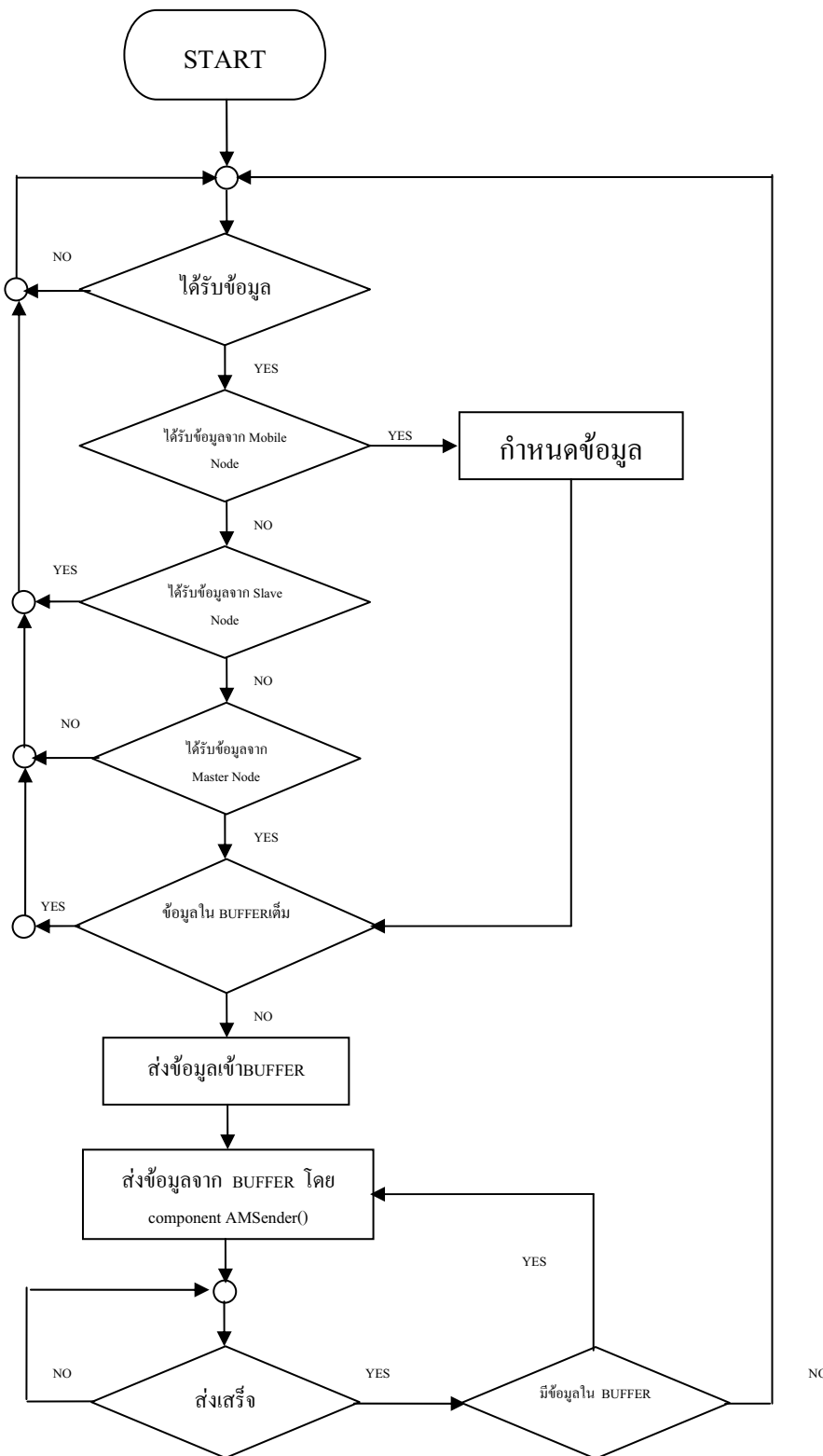
Mobile Node คือ โหนดใหม่ที่เข้ามาในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ซึ่งจะต้อง ร้องขอตำแหน่งที่ตั้งของโหนดในระบบ ดังนั้น Mobile Node โดยจะสร้าง Packet ส่งสัญญาณ broadcast ออกไปทุกๆช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าไม่ได้รับ Message แต่ถ้าหากได้รับ Message จากโหนดก็จะนำมาวิเคราะห์หว่านเป็น Message จากโหนดตัวไหน ถ้าเป็น Message จาก Mobile Node หรือ จาก Slave Node ก็จะไม่สนใจ แต่ถ้าเป็น Message จาก Master โหนดก็จะดูว่าใน Message นั้น ต้องการสั่งงานกับ Mobile Node ตัวไหนถ้าไม่ได้สั่งงานที่ Mobile Node ตัวนั้นๆก็จะไม่สนใจ แสดงว่า Message ที่ได้รับเป็นของ Mobile Node ตัวอื่น หาก Mobile Node เริ่มเข้าสู่พื้นที่ๆ อันตราย Base Station ก็จะส่ง Message Alarm เพื่อแจ้งเตือน Mobile Node ทันที ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 ขั้นตอนการทำงานของ Mobile Node

3.2.2 การออกแบบการทำงานของ Slave Node

Slave Node จะสนใจ Message เฉพาะ Mobile Node กับ Master Node เท่านั้น แต่จะไม่สนใจ Message จาก Slave Node ด้วยตัวเอง หน้าที่หลักของ Slave Node ก็คือการรับข้อมูลมาแล้วส่งต่อ คือถ้าเป็น Message จาก Mobile Node ก็จะทำการกำหนดข้อมูล ซึ่งการกำหนดข้อมูลนี้จะเป็นการวัดค่า RSSI จากโหนดตัวไหน แล้ว Slave Node หมายเลขใดเป็นตัวรับได้ รวมทั้งยังเป็นการกำหนด ลำดับของ Message ว่าเป็นลำดับที่เท่าไร จากนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลเข้า Buffer หาก Buffer นั้นว่างก็จะเข้าสู่กระบวนการ การส่งข้อมูลต่อไป แต่หากเป็นข้อมูลจาก Master Node มันก็จะส่งต่อได้เลยเพราะไม่ต้องทำการกำหนดข้อมูลเหมือน Master Node ดังรูปที่ 3-4

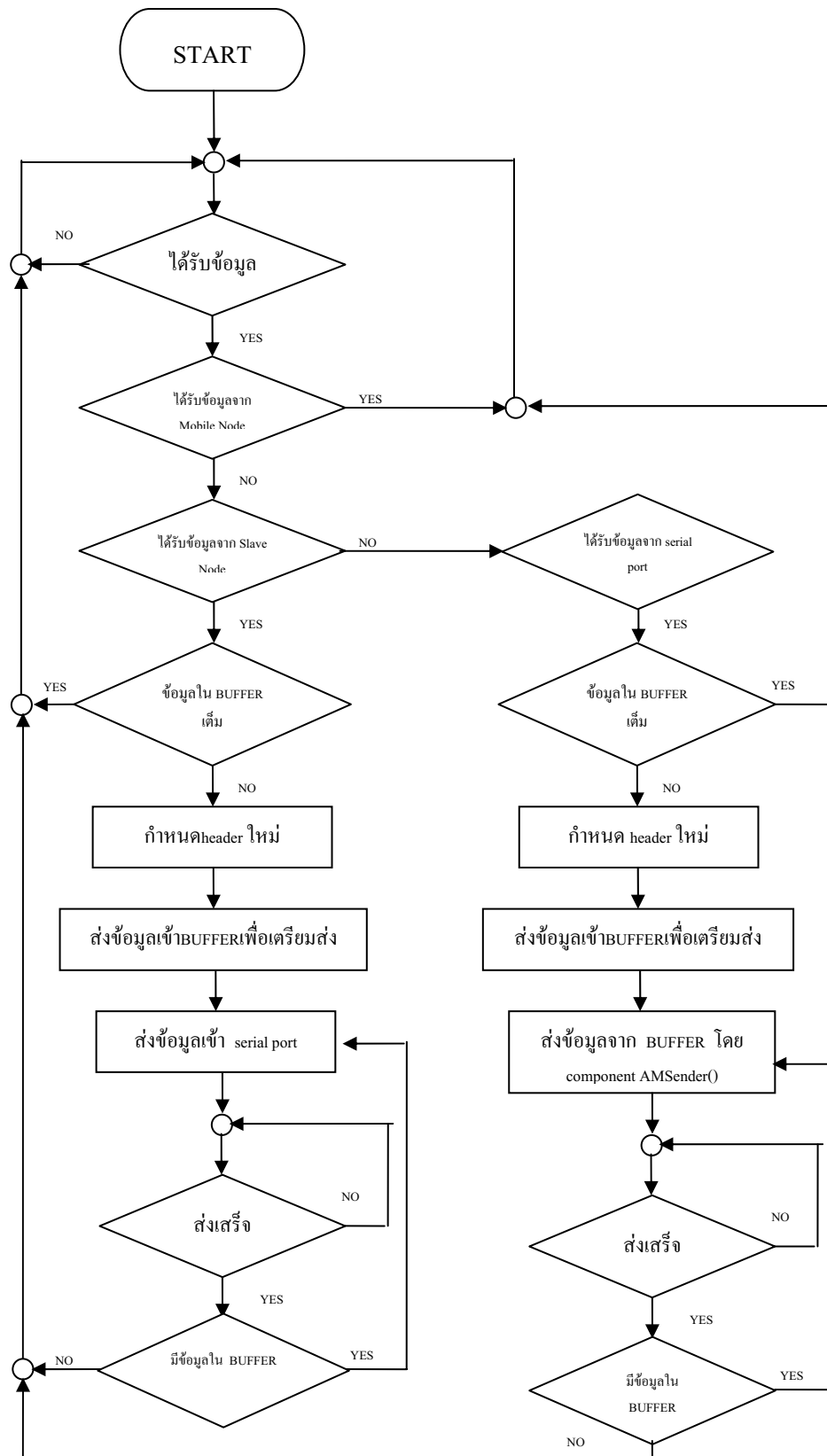


รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการทำงานของ Slave Node

3.2.3 การออกแบบการทำงานของ Master Node

เมื่อ Master Node ได้รับข้อมูล Master Node จะดูว่าเป็น Packet ที่มาจาก Mobile Node หรือไม่ (ดูจาก Header ของ Packet) หากเป็น Packet จาก Mobile Node จะไม่สนใจแต่จะดูว่าเป็น Packet จาก Slave Node หรือจาก Serial Port โดยแบ่งลักษณะข้อมูลการทำงานเป็นสองแบบ ถ้าเป็น Packet ที่มาจาก Slave Node หมายความว่า เป็นข้อมูลขาเข้า เพื่อนำมาประมวลผล ที่ Base Station ในการหาตำแหน่งของ Mobile Node ข้อมูลจะเข้าสู่ Buffer หาก Buffer ไม่เต็มก็นำข้อมูลเข้าสู่ Buffer เพื่อทำการกำหนดข้อมูลใหม่ จากนั้นก็เข้าไปสู่ Buffer ที่จะเตรียมส่งเข้าไปสู่ Base Station โดยผ่าน Serial Port เมื่อส่งข้อมูลผ่าน Serial Port ก็จะทำการตรวจสอบว่ายังมีข้อมูลเหลืออยู่หรือไม่ หากยังมีข้อมูลเหลือ ก็จะทำการส่งข้อมูลจนเสร็จ

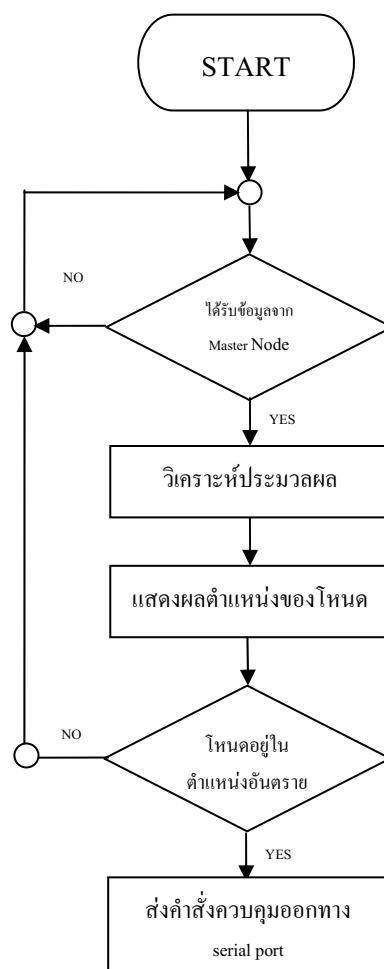
ถ้าเป็นข้อมูลที่มาจากพอร์ตอนุกรมจะตรวจสอบว่าภายใน Buffer เต็มหรือไม่ หากไม่เต็มก็จะส่งข้อมูลเข้า Buffer จากนั้นทำการกำหนดข้อมูลใหม่เพื่อส่งเข้าสู่ Buffer ที่จะทำการส่งข้อมูลออกไปยังปลายทางคือ Mobile Node จากนั้นก็จะส่ง Message Warning ออกไปซึ่งอยู่ในรูปแบบเดียวกับ message_t แต่ระบุปลายทางไปยัง Mobile Node โดยอาศัย component AMSEnder() ในการส่งและก็จะตรวจดูข้อมูลใน Buffer ขณะที่ส่งด้วยว่าเหลือข้อมูลใน Buffer หรือไม่หากยังคงเหลืออยู่ก็จะส่งต่อไปจนหมด ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของ Master Node

3.2.4 การออกแบบการทำงานของ Base Station

จะทำหน้าที่รับข้อมูลจาก Master Node แล้วนำข้อมูลจาก message_t มาประมวลผลตำแหน่งของ Mobile Node เพื่อแสดงผลตำแหน่งของ Mobile Node แบบ Real-Time หากตำแหน่งของ Mobile Node อยู่ในพื้นที่อันตราย ก็จะสร้าง Packet ส่งออกไปทาง Serial Port ใช้เป็น Message แจ้งเตือนไปยัง Mobile Node ด้วยการระบุหมายเลข Mobile Node ปลายทางที่จะส่งไป ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ขั้นตอนการทำงานของ Base Station

3.2.5 ส่วนแสดงผล

การแสดงผลสามารถแสดงผลได้สองแบบคือการแสดงผลแบบข้อความและแบบจุด ซึ่งการแสดงผลในแบบข้อความนั้นสามารถเรียกดูได้จากโปรแกรม sflisten ดังรูปที่ 3-7 ส่วนการแสดงผลแบบจุดสามารถเลือกแสดงได้ 3 แบบซึ่งแบบที่ 1 จะเป็นการแสดงผลตำแหน่งของ Mobile Node แบบกระพริบ เมื่อ Mobile Node เคลื่อนที่ ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของโหนดจะทำให้การแสดงผลของจุดกระพริบเพื่อดูตำแหน่งจริงของโหนดในขณะนั้น ตามรูปที่ 3-8 แบบที่ 2 เป็นการแสดงผลแบบค้างจุดดังรูปที่ 3-9 จะแสดงผลโดยการแสดงจุดที่ Mobile Node เคลื่อนที่ผ่าน แต่จุดที่แสดงจะไม่หายไป เพื่อใช้แสดงผลว่า Mobile Node ได้เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งใดบ้าง ส่วนแบบที่ 3 ได้แสดงผลพิกัดของโหนดชนิดติดตามทิศทาง มีลักษณะการทำงานคล้ายกับแบบค้างจุด ซึ่งจะบอกได้ว่า Mobile Node เคลื่อนที่ไปตำแหน่งไหนแล้ว เพียงแต่จะบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของโหนดด้วยการใช้เส้นบอกทิศทางสีเขียว ดังรูปที่ 3-10

```

/opt/tinyos-2.x/support/sdk/c

RSSI1=>-59.0000 RSSI2=>-59.0000 RSSI3=>-48.0000
X => 2.510000 Y => 5.835000

RSSI1=>-60.0000 RSSI2=>-61.0000 RSSI3=>-48.0000
X => -4482045.990000 Y => 5.812211

RSSI1=>-59.0000 RSSI2=>-59.0000 RSSI3=>-48.0000
X => 2.510000 Y => 5.835000

RSSI1=>-59.0000 RSSI2=>-61.0000 RSSI3=>-48.0000
X => -4482045.990000 Y => 5.835000

RSSI1=>-60.0000 RSSI2=>-61.0000 RSSI3=>-48.0000
X => -4482045.990000 Y => 5.812211

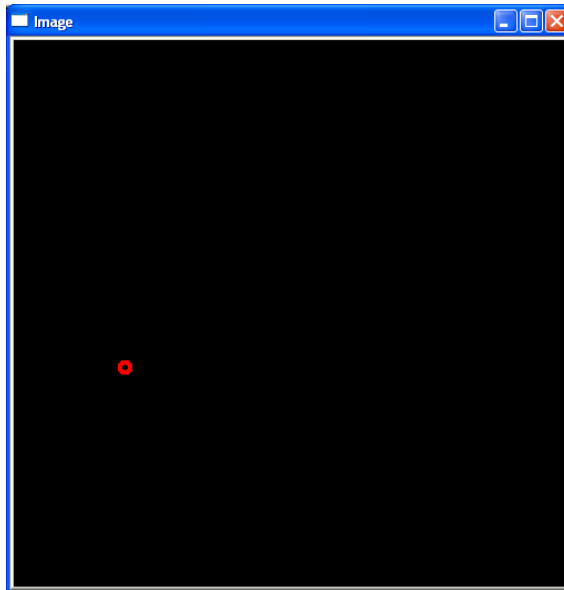
RSSI1=>-61.0000 RSSI2=>-62.0000 RSSI3=>-48.0000
X => -881508952834045.500000 Y => -4482042.665000

RSSI1=>-59.0000 RSSI2=>-59.0000 RSSI3=>-48.0000
X => 2.510000 Y => 5.835000

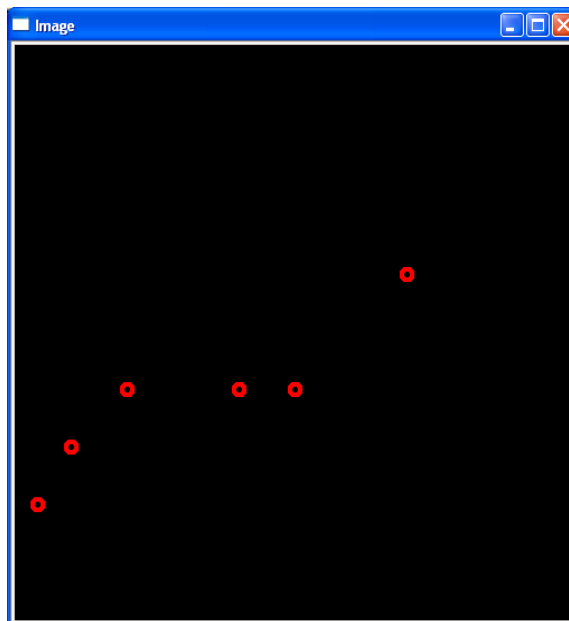
RSSI1=>-61.0000 RSSI2=>-62.0000 RSSI3=>-47.0000
X => -881508952834045.500000 Y => -4482042.665000

```

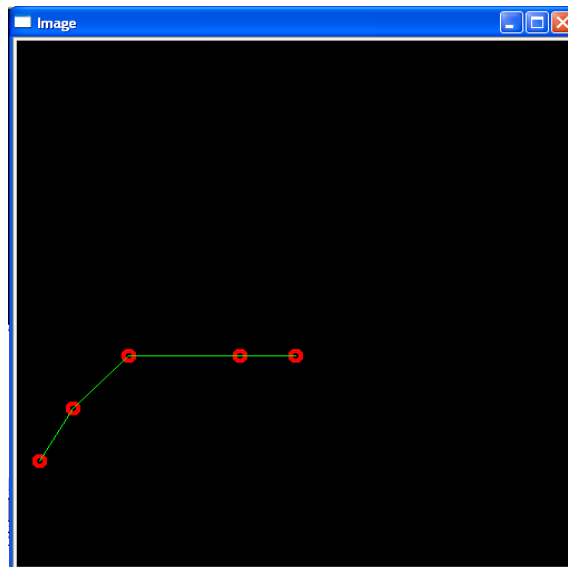
รูปที่ 3-7 การแสดงผลในส่วนของ Text Mode



รูปที่ 3-8 แสดงผลแบบกระพริบ

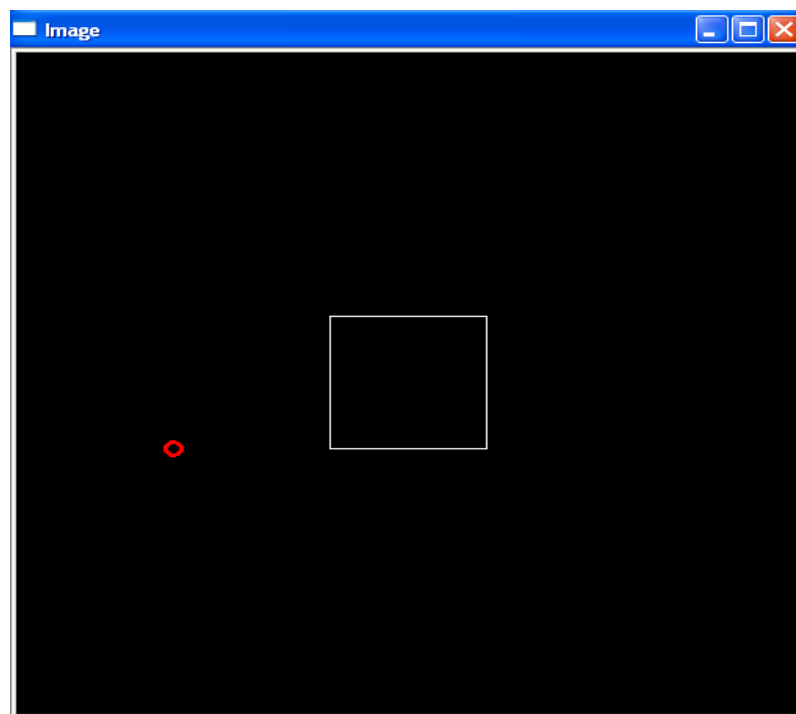


รูปที่ 3-9 แสดงผลแบบค้างจุด



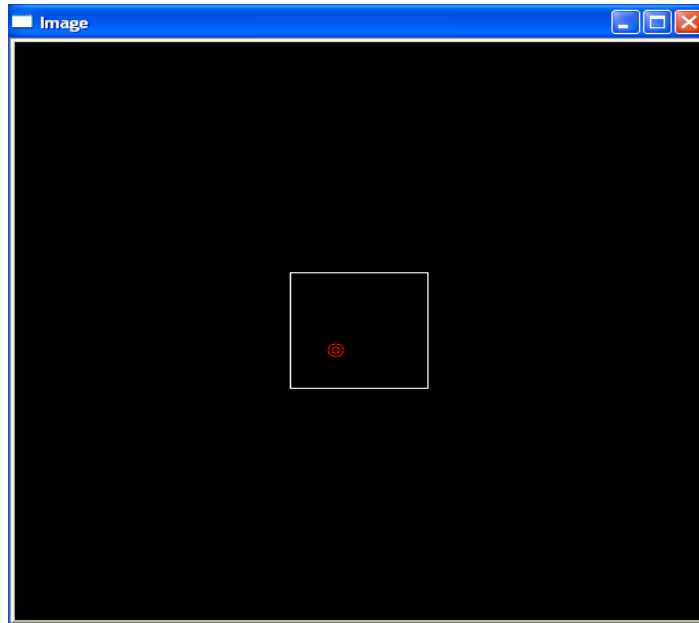
รูปที่ 3-10 แสดงผลแบบติดตามทิศทาง

จากรูปที่ 3-8 ถึง 3-10 เป็นการแสดงผลตำแหน่งของพาหนะเท่านั้น หากต้องการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการแจ้งเตือนจะต้องใช้การแสดงผลดังรูปที่ 3-11 ซึ่งจะแสดงถึงการที่พาหนะเคลื่อนที่อยู่ภายในโรงเก็บอากาศยานแต่ยังไม่เข้าไปในพื้นที่อันตราย โดยกำหนดพื้นที่อันตรายด้วยสี่เหลี่ยมสีขาว



รูปที่ 3-11 แสดงตำแหน่งของพาหนะภายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานที่อยู่ในเขตปลอดภัย

เมื่อพาหนะเข้าสู่พื้นที่อันตรายก็จะเปลี่ยนการแสดงผลจากจุดจากจุดธรรมดาไปเป็นวงกลมสองชั้นดังรูปที่ 3-12



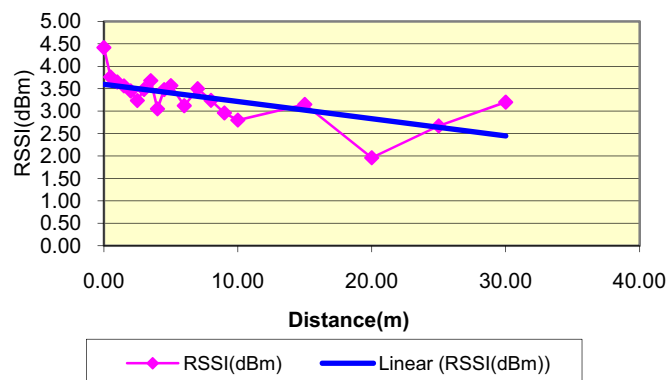
รูปที่ 3-12 แสดงตำแหน่งของพาหนะภายในพื้นที่โรงเก็บอากาศยานที่อยู่ในเขตปลอดภัยอันตราย

บทที่ 4

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลค่าความแรงของสัญญาณหรือ RSSI กับระยะทาง เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมใดบ้างที่ส่งผลต่อค่า RSSI เช่น ผลกระทบที่เกิดจากระดับความสูงของโหนดจากพื้นดิน ปัจจัยของรูปแบบในการวางโหนด และปัจจัยที่เกิดจากเสาอากาศ

การติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ไร้สายเข้ากับจุดต่างๆหรือบนตัวยานพาหนะนั้นจะต้องติดตั้งที่ความสูงระดับเดียวกันคือสูงจากพื้น 2 เมตรและจะต้องติดตั้งเสาอากาศของเราเตอร์ยี่ห้อ D-Link เป็นเสาอากาศที่ต่อภายนอกชนิด Omni Antenna เพื่อให้การปล่อยคลื่นสัญญาณวิทยุออกมาออกอย่างสม่ำเสมอทุกทิศทาง ซึ่งจะส่งผลให้ค่า RSSI แม่นยำมากขึ้น ทำให้การหาระยะทางและตำแหน่งถูกต้องตามไปด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบค่าของ RSSI ที่ได้จากโมดูล CC2420 ในสภาพแวดล้อมที่จะใช้งานคือโหนดความสูง 2 เมตรจากพื้นดินและมีการใช้เสาอากาศแบบ gateway router ทั่วไป การทดสอบกำลังให้ใช้กำลังในการส่งที่ระดับ 31 บน Tmote Sky เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI จากรีจิสเตอร์ RSSIAL กับระยะทาง ซึ่งในแต่ละหน่วยของระยะทางจะทำการทดสอบซ้ำ 100 ครั้งและนำค่าเฉลี่ยที่ได้มานำเสนอบนกราฟดังรูปที่ 4-1 เมื่อใช้วิธีการหาสมการแบบ smooth พบว่าค่า offset ในสมการที่ (2-3) ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะทางจากค่า RSSI เป็น -49dBm



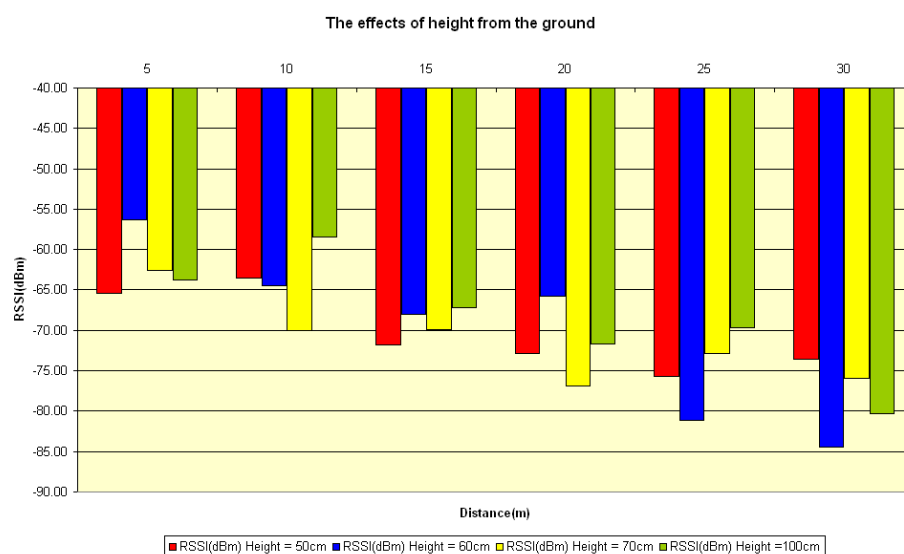
รูปที่ 4-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSSI กับระยะทาง

4.1 ผลการทดลองปัจจัยเรื่องผลกระทบของความสูงจากพื้นต่อค่า RSSI

ตารางที่ 4-1 แสดงค่า RSSI ที่ส่งผลกับความสูงของการติดตั้ง โหนด

D(m)	RSSI(dBm)			
	Height = 50cm	Height = 60cm	Height = 70cm	Height =100cm
5	-65.44	-56.27	-62.56	-63.73
10	-63.54	-64.43	-70.00	-58.47
15	-71.84	-68.05	-69.93	-67.19
20	-72.82	-65.80	-76.89	-71.70
25	-75.65	-81.10	-72.84	-69.67
30	-73.53	-84.50	-75.90	-80.36

เนื่องจากสัญญาณของคลื่นวิทยุสามารถสะท้อนกับพื้นดินและส่งผลกระทบต่อความเข้มของสัญญาณหรือค่า RSSI ที่ได้ การทดลองนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของโหนด (Height) ในการติดตั้งจากพื้นดินกับค่า RSSI ในระยะห่างที่วางโหนดกับ gateway (Distance, D) ที่แตกต่างกัน กำหนดให้ทำการทดสอบระยะความสูงของโหนด 4 ค่าได้แก่ 50 60 70 และ 100 เซนติเมตร นอกจากนี้ได้กำหนดระยะการทดสอบระหว่าง gateway และโหนดที่ 5 10 15 20 25 และ 30 เมตร จากการทดลองจะได้ค่า RSSI ดังตารางที่ 4-1 และสามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 4-2



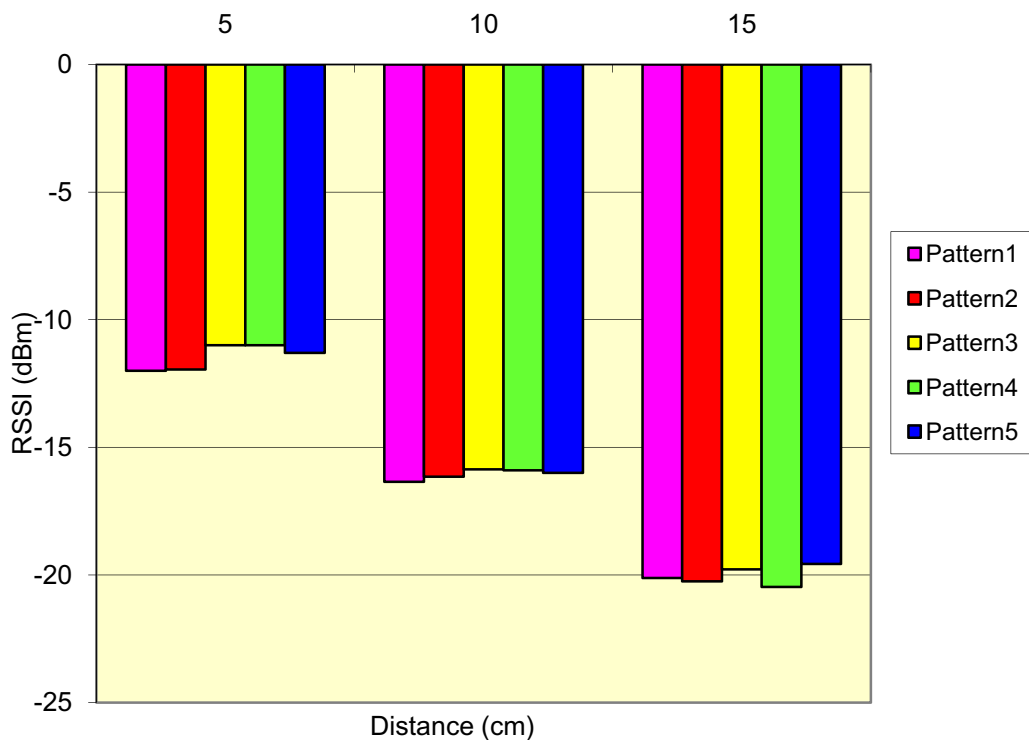
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงผลกระทบของความสูงจากพื้นที่มีผลต่อค่า RSSI

ตามทฤษฎี พื้นดินสามารถดูดซับสัญญาณคลื่นวิทยุได้ ยิ่งเสาอากาศอยู่ใกล้พื้นมาก สัญญาณก็ถูกดูดซับไว้มาก ค่า RSSI ที่วัดได้ก็จะมีค่าน้อย ดังนั้นหากการวางโหนดให้อยู่สูงจากพื้นมากก็จะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้แต่จากกราฟรูปที่ 4-2 พบว่าค่า RSSI ของทุกๆ ความสูงจากพื้นดินมีค่าแกว่งมาก หากพิจารณาเปรียบเทียบค่า RSSI ที่ระดับความสูง 50 เซ็นติเมตร กับค่า RSSI ที่ระดับความสูง 100 เซ็นติเมตร หรือค่า RSSI ที่ความสูง 60 เซ็นติเมตร กับค่า RSSI ที่ความสูง 100 เซ็นติเมตร จะพบว่าที่ระดับความสูง 100 เซ็นติเมตร จะมีค่า RSSI มากกว่าที่ระดับความสูง 50 เซ็นติเมตรและที่ระดับความสูง 60 เซ็นติเมตร

แต่การทดลองยังไม่สามารถสรุปได้ว่าที่ความสูงใดจึงจะไม่ทำให้ค่า RSSI แกว่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ระดับความสูงของการติดตั้งโหนดที่ประมาณ 2 เมตรหรือ 7 ฟุตตามคำแนะนำในบทความวิจัยที่[12]

4.2 ผลการทดสอบปัจจัยเรื่องรูปแบบการวางตัวของโหนด

การทดสอบนี้เป็นการหาปัจจัยขององศาของเสาอากาศระหว่างโหนดและ gateway บนระนาบเดียวกัน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดองศาของการวางโหนดระหว่างกันเป็น 5 แบบคือ 0 45 135 225 และ 315 องศา และมีระยะทางของการทดสอบที่ 5 10 และ 15 เซนติเมตร ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 4-3 พบว่าองศาของการวางโหนดเกือบจะไม่มีผลต่อค่า RSSI ที่สามารถอ่านได้จากโหนดที่อยู่บนระนาบเดียวกัน



รูปที่ 4-3 กราฟแสดงผลกระทบของรูปแบบการวางตัวของโหนด

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะทางจริงแล้วจะได้ระยะทางดังตารางที่ 4-2 ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบระหว่างระยะห่างจริงกับระยะห่างที่คำนวณได้จากค่า RSSI

ระยะทางจริง(cm)	ระยะทางเมื่อคำนวณจากค่า RSSI
5	4.77
10	9.50
15	17.26

4.3 ผลการทดสอบปัจจัยเรื่องรูปแบบการวางตัวของโหนดที่มีเสาอากาศ

กำหนดให้ Power Level ที่ 31 ในการทดลองนี้จะใช้เสาอากาศของเราเตอร์ยี่ห้อ D-Link เป็นเสาอากาศที่ต่อภายนอก มีระยะที่ใช้ในการทดสอบ คือ 117.6 เซนติเมตร และความสูงที่ใช้ทดสอบ คือ 22 เซนติเมตร ในการทดลองนี้จะใช้เซนเซอร์โหนด 4 ตัว คือ ตัวที่ใช้เสาอากาศบนบอร์ด 2 ตัวและตัวที่ใช้ภายนอก 2 ตัว และในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เซนเซอร์โหนด 2 ตัว โดย

ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็น Base Station ส่วน โหนดอีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลออกมา ในการวางตัวของโหนดแต่ละรูปแบบจะทำการเก็บค่า RSSI 1000 แพ็กเก็ตและทำซ้ำ 3 รอบ

การทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลภายในอาคาร และมีรูปแบบของการวางตัวของโหนดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบ A1 : โหนด Base Station และตัวส่งใช้เสาอากาศภายนอกทั้งคู่ โดยตัวส่งอยู่ห่างจาก Base Station 117.6 เซ็นติเมตร และตัวส่งอยู่สูงจากพื้นโต๊ะ 22 เซ็นติเมตร

รูปแบบ A2 : โหนด Base Station ใช้เสาอากาศบนบอร์ดและตัวส่งใช้เสาอากาศภายนอก โดยตัวส่งอยู่ห่างจาก Base Station 117.6 เซ็นติเมตร และตัวส่งอยู่สูงจากพื้นโต๊ะ 22 เซ็นติเมตร

รูปแบบ A3 : โหนด Base Station ใช้เสาอากาศภายนอกและตัวส่งใช้เสาอากาศบนบอร์ด โดยตัวส่งอยู่ห่างจาก Base Station 117.6 เซ็นติเมตร และตัวส่งอยู่สูงจากพื้นโต๊ะ 22 เซ็นติเมตร

รูปแบบ A4 : โหนด Base Station และตัวส่งใช้เสาอากาศบนบอร์ดทั้งคู่ โดยตัวส่งอยู่ห่างจาก Base Station 117.6 เซ็นติเมตร และตัวส่งอยู่สูงจากพื้นโต๊ะ 22 เซ็นติเมตร

ตารางที่ 4-3 แสดงค่า RSSI และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองวางโหนดที่มีเสาอากาศ

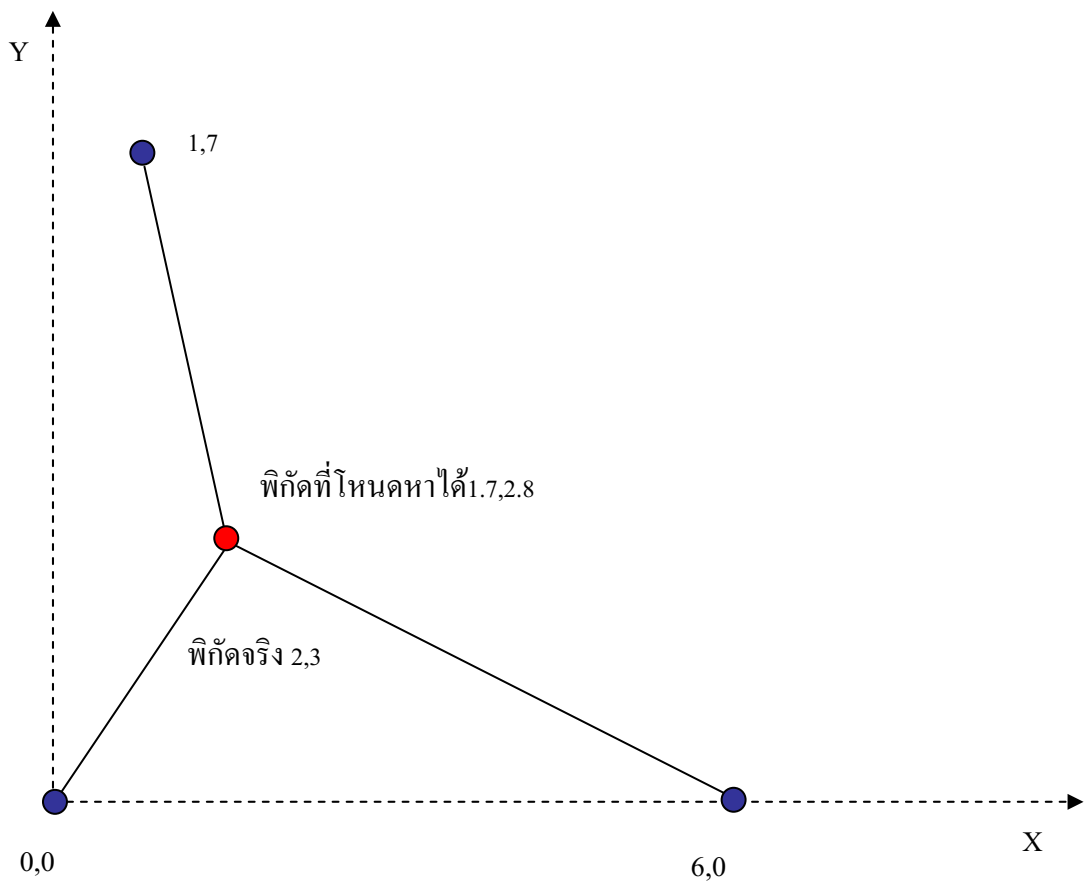
Distance/Hight	Pattern	RSSI	SD
117.6 cm/22cm	A1	-35.18	± 0.01
	A2	-46.13	± 0.07
	A3	-57.85	± 0.10
	A4	-65.66	± 0.19

จากตารางที่ 4-3 พบว่ารูปแบบ A1 มีค่า RSSI มากที่สุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึงรูปแบบการวางตัวนี้จะทำให้ได้ความแรงในการส่งมากที่สุดและได้ค่าข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงเนื่องจากโหนดทั้งสองใช้เสาอากาศภายนอกซึ่งมีรูปแบบการกระจายสัญญาณที่มีลักษณะเป็นวงกลมมากกว่าและหากมีการติดเสาอากาศให้โหนดเพียงโหนดเดียว การเลือกติดที่โหนดตัวส่งจะทำให้ค่าความแรงของสัญญาณมีค่ามากกว่าและมีการแกว่งน้อยกว่าการติดที่โหนด Base Station และการที่โหนดทั้งสองใช้เสาอากาศบนบอร์ดจะเป็นรูปแบบที่ทำให้ค่าความแรงของ

สัญญาณมีค่าน้อยที่สุดและแวกมากที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการติดเสาอากาศภายนอกจะทำให้ค่า RSSI มากขึ้นและมีการแวกน้อยลง ซึ่งจะให้ผลกับโหนดตัวส่งมากกว่าโหนดตัวรับ

4.4 ผลการทดลองหาค่าตำแหน่งพิกัดของโหนด

นำ Slave Node ทั้งสามตัว และ Mobile Node มาตั้งไว้ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ที่ความสูงที่เท่ากัน แล้วทำการวัดค่าที่พิกัดต่างๆตั้งแต่ พิกัดที่ (1,1) (2,2) (3,3) (4,4) (5,5) (6,6) การทดลองหาค่าตำแหน่งได้นำตัวโหนดวางไว้ที่พิกัดดังกล่าวทั้งไว้ไม่น้อยกว่า 2 นาทีและหาค่าเฉลี่ยแต่ละพิกัดไม่น้อยกว่า 100 ค่า ดังตัวอย่างในรูปที่ 4-4

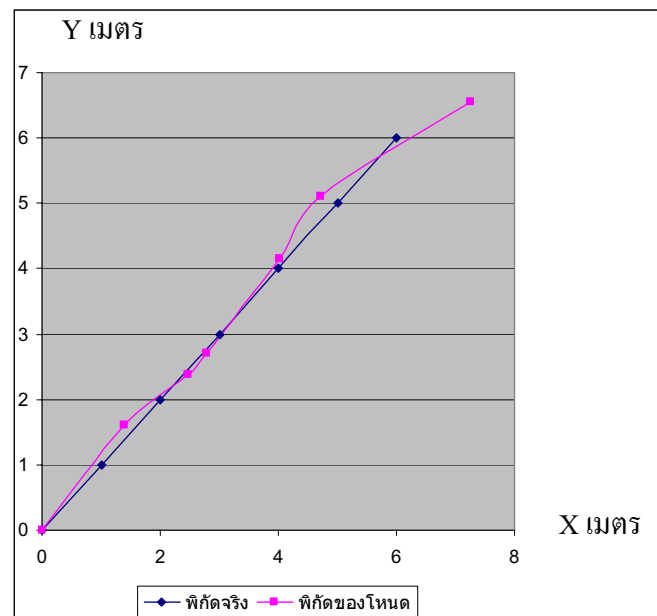


รูปที่ 4-4 การจำลองพิกัดต่างๆของโหนด

จากการทดลองบางครั้งมีค่าพิกัดที่แตกต่าง แต่เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยก็สามารถหาค่าที่มีความใกล้เคียงได้ ดังรูปที่ 4-5 ซึ่งนำข้อมูลมาจาก ตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 แสดงค่า พิกัด X,Y จริง กับค่าเฉลี่ยของ Xcal,Ycal ที่โหนดหาได้

X	Y	Xcal	Ycal
1	1	1.60	1.40
2	2	2.38	2.50
3	3	2.70	2.78
4	4	4.16	4.02
5	5	5.10	4.73
6	6	6.54	7.27



รูปที่ 4-5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างพิกัดจริงกับพิกัดที่โหนดหาได้

คลื่นวิทยุมีความอ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนมาก จึงทำให้ค่าพิกัดที่หาได้มีความไม่แน่นอนแกว่งไปมา ในบางครั้งถ้ามีคนเดินผ่านก็จะยิ่งผิดพลาดมากขึ้นไปจากเดิมอีก แต่ว่าเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจาก Averaging Position Estimate[13] ก็สามารทำให้ค่าเหล่านั้นใกล้เคียงกับค่าของพิกัดจริงมากขึ้นและเมื่อนำมาติดตั้งกับพาหนะเพื่อหาพิกัดและทำการแจ้งเตือนเมื่อเคลื่อนที่เข้าพื้นที่อันตรายแล้ว สามารถแจ้งเตือนได้ทันทั่วทั้งที่

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบและพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแบบทันเวลาภายในโรงเก็บอากาศยานเพื่อความปลอดภัยในการทำงานด้วยเทคโนโลยีของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น การหาระยะทางด้วย RSSI การหาตำแหน่งด้วยอัลกอริทึม Trilateration การกรองและการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล เพื่อให้การหาตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น ระบบดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นบน Platform ของ Tmote Sky ซึ่งใช้ RF Transceiver Chipcon CC2420 และ Microcontroller MSP430f1611

ผลจากการทดสอบมีความผิดพลาดไม่เกิน ± 2.1 เมตร ในการแสดงผลจากตำแหน่งจริงโดยคำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยทุกๆ การคำนวณพิกัด 4 ครั้ง ซึ่งสามารถแสดงตำแหน่งได้ 5 ครั้งต่อ 2 วินาที มีความเร็วในการตอบสนองเพียงพอต่อพาหนะเคลื่อนที่ที่มีความเร็วไม่เกิน 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แม้ว่าจะใช้อัลกอริทึมอย่างง่าย มีความซับซ้อนน้อยเพียงแต่ต้องใช้ในการกรองข้อมูลและเทคนิคต่างๆ จากการทดลองเข้าช่วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรคจากการทำวิทยานิพนธ์

ปัญหาใหญ่ของการหาตำแหน่งของพาหนะเคลื่อนที่คือค่า RSSI ที่อ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนและมีความไม่แน่นอน หากค่า RSSI ไม่มีความแน่นอนหรือนิ่งพอก็จะไม่สามารถที่จะหาตำแหน่งพิกัดที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ออกแบบมาเพื่อการติดตามพาหนะหรือวัตถุที่มีความเร็วไม่เกิน 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากมีผู้สนใจต้องการที่จะออกแบบระบบติดตามวัตถุที่มีความเร็วมากกว่านี้จะต้องใช้ความถี่ของ กระจายข้อความที่ Mobile Node ที่มีความถี่ต่อวินาทีสูงตามไปด้วย

บรรณานุกรม

- [1] วัชรกร หนูทอง, อนุกุล น้อยไม้และปรีนันท์ วรรณสว่าง, “RFID เทคโนโลยีสารสนเทศ ประโยชน์,” วารสาร NECTEC, กันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2547.
- [2] Jagoba Arias, Aitzol Zuloaga, Jesu’s La’zaro, Jon Andreu, and Armando Astarloa, “Malguki: an RSSI based ad hoc location อัลกอริทึม,” *Microprocessors and Microsystems resource management in Wireless and Adhoc Mobile Networks*, Vol. 28, Issue 8, pp. 403-409, October 2004.
- [3] Doina Bucur, “Location Sensing in Ubiquitous Computing,” *The Activity-Based Computing group at DAIMI*, Apr 6, 2006. Last Accessed 15 Aug 2008. [Online], [Avalable] : <http://www.daimi.au.dk/~doina/absg-loc/absg-loc.pdf>
- [4] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S.Kulkarni, U. Awmugam, M. Nesferenko, A. Vora and M. Miyashita, “A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking,” *Computer Networks Journal*, Vol. 46, Issue 5, pp. 605–634, December 2004.
- [5] F. Viani, L. Lizzi, P. Rocca, M. Benedetti, M. Donelli and A. Massa, “Object tracking through RSSI measurements in wireless sensor networks,” *Electronics Letters*, Vol. 44, Issue 10, pp.653 - 654, May 2008.
- [6] Deborah Estrin, Ramesh Govindan, John Heidemann and Satis Kumar, “Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Network”, *Proceedings of MOBICOMM*, pp. 263-270, 1999.
- [7] S. Phaiboon, “An Empirically Based Path Loss Model for Indoor Wireless Channels in Laboratory Building,” *Proceedings of IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering (TENCON’02)*, vol. 2, pp. 1020-1023, October 2002.
- [8] Tmote Sky: Last Accessed 25 June 2010, Datasheet [Online], [Avalable] : <http://www.eecs.harvard.edu/~konrad/projects/shimmer/references/tmote-sky-datasheet.pdf>

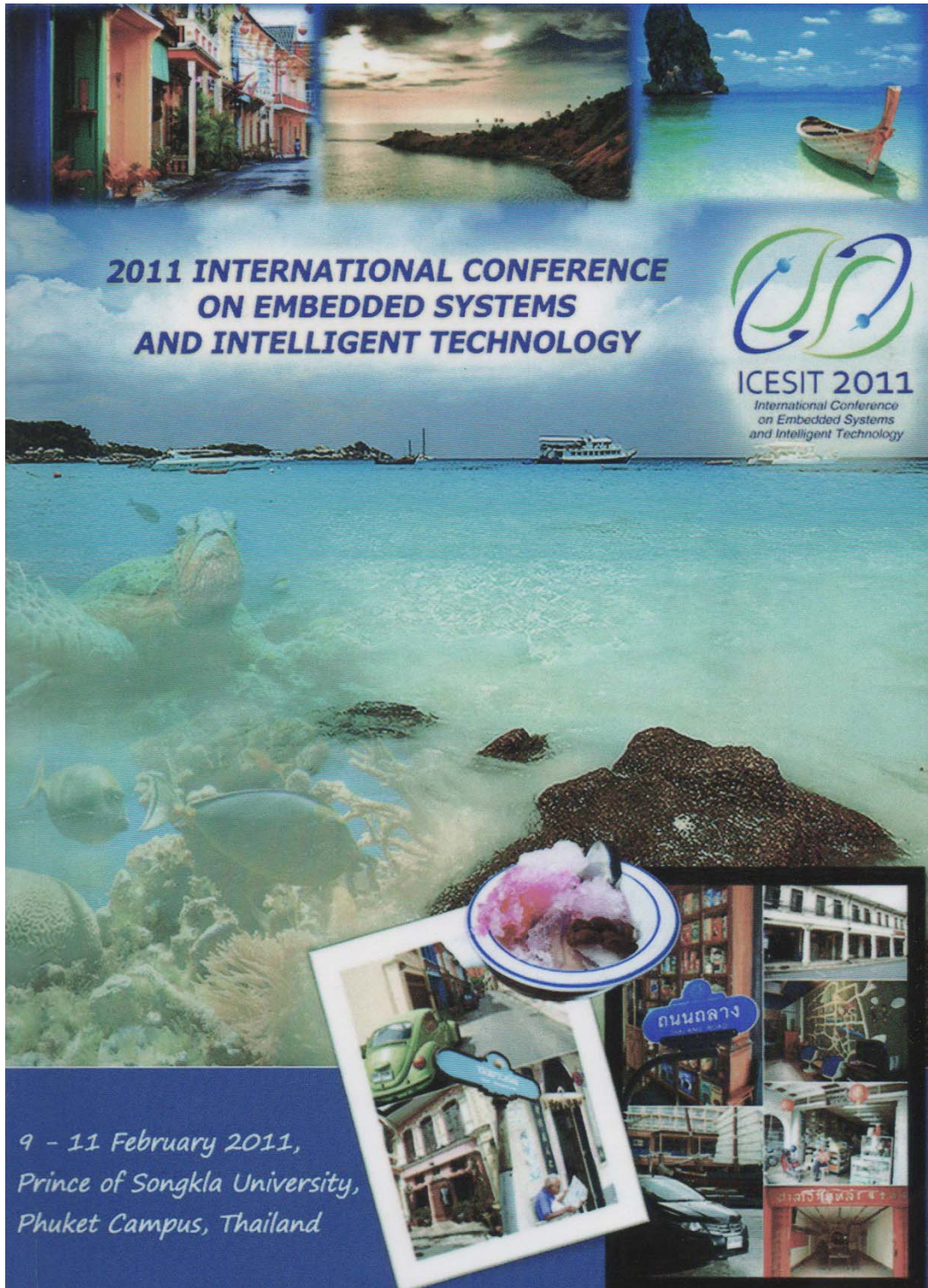
- [9] F. Thomas and L. Ros, "Revisiting Trilateration for Robot Localization," *IEEE Transactions on Robotics*, Vol.21, no.1, pp.93-101, February 2005.
- [10] Philip Levis, "TinyOS Programming," *Cambridge University Press*, 2009.
- [11] D. Gay, P. Levis, D. Culler and E. Brewer, "nesC 1.1 Language Reference Manual," May 2003.
- [12] Zhen Fang, and et.al., "RSSI variability characterization and calibration method in wireless sensor network," *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, pp. 1532-1537, 2010.
- [13] Cook, B and Buckberry, G and Scowcroft, I and Mitchell, JE and Allen" Indoor Location Using Trilateration Characteristics", *Proceedings of London Communications Symposium (LCS05)*, pp. 147 – 150, 2005

ภาคผนวก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์



**2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMBEDDED SYSTEMS AND
INTELLIGENT TECHNOLOGY (ICESIT2011)
FEB 9, 2011 - FEB 11, 2011, at PHUKET, THAILAND**



**2011 INTERNATIONAL CONFERENCE
ON EMBEDDED SYSTEMS
AND INTELLIGENT TECHNOLOGY**

ICESIT 2011
International Conference
on Embedded Systems
and Intelligent Technology

*9 - 11 February 2011,
Prince of Songkla University,
Phuket Campus, Thailand*

Object Tracking in Hangar of Aircraft using WSN

Chalermphol Gomalanont and W.Suntiamorntut
 Ubiquitous Networked Embedded System (UbiNES)
 Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
 Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 Thailand
 Email danger_engineer@hotmail.com, wannarat@coe.psu.ac.th

Abstract- In a recent year, wireless sensor network has been applied widely in many applications such as environment monitoring or military systems. The object tracking is the one application that gained very high attention in wireless sensor network research field. Our object tracking uses Received Signal Strength Indicator (RSSI) algorithm for indoor localization because GPS gives a poor performance. We applied object tracking using trilateration method based on RSSI to monitor the vehicle in the hangar of aircraft. The system built on IEEE 802.15.4 using CC2420 can make an alarm to the driver when the vehicle moving into the dangerous zone. The experimental result shows 80% accuracy.

Keyword- *Wireless Sensor Network, RSSI, Object Tracking, Trilateration*

I. INTRODUCTION

Many applications of wireless sensor network systems require the location together with sensing data. Because the Global Positioning System (GPS) cannot perform effectively in an indoor environment, wireless sensor network is used to locate a mobile object instead. Therefore, the power strength of radio frequency called Received Signal Strength Indication (RSSI) in wireless sensor network is considered to calculate the distance between objects.

Object tracking [1,2,3] on WSN requires precise and real-time ability. The general localization is classified into a range-based scheme[4,5] and a range-free scheme[6]. A range-based scheme can give more precise location than a range-free scheme. However, it requires expensive devices. Thus, most research works use a range-free scheme instead. Unfortunately, most range-free localization schemes cannot apply to use in real-time application. This paper will use range-based localization algorithms because node in WSN is cheap compared to another wireless system. We also observe and calculate the change of RSSI more frequently which is necessary for real-time application. Finally, the trilateration method for location estimation is also applied in order to locate moving object inside the hangar of the aircraft.

The rest of the paper is organized as follows. The related works are explained in section 2. Our object tracking is described in section 3. In section 4, we will show the experimental results and evaluation. The discussion and conclusion have been drawn in section 5.

II. RELATED WORKS

Object tracking has been deployed in many important

applications such as in [7], a vehicle or a human can be tracked when it passes through wireless sensor network. In WSN, there are centralized and distributed approaches. In centralization system, Base Station (BS) connecting to a laptop is used to decide whether a moving object is a target or not. In this case, every node will forward all information about the target back to BS. In contrast to distributed system, nodes in each region will perform by themselves, not only at base station.

There are several localization methods such as Direction of Arrival (DOA), Time Delay of Arrival (TDOA)[8] and Received Signal Strength (RSSI). DOA requires arrays at each sensor or synchronization. Meanwhile, TDOA requires an accuracy of relative time delays among sensor nodes. RSSI needs only signal attenuation model which is very easy and inexpensive.

From the experiments in many research works, we found that distance measurement is difficult because radio propagation models have multipath reflection and shadowing. The study of RSSI and Link Quality Indicator (LQI) performance can be found in [9]. The most important result found in this paper is the node heights give a big impact on link performance.

III. OBJECT TRACKING SYSTEM

In this section, the proposed object tracking system for a hangar of aircraft is presented. The system is designed and implemented based on RSSI and trilateration method using wireless sensor networks.

A. Problems Statement

The aircraft is normally maintained in a large hangar. However, there are several testing and measurement equipments located inside the hangar and also many vehicles moving around. It is a high risk area for workers. In addition, a risk area or zone is dynamic due to the changes of equipment location. Vehicle tracking system using wireless sensor network is therefore developed to observe and alarm to the workers if it enters to the dangerous area (red zone).

Positioning using range-based technique requires a distance among sensor nodes for trilateration. The distance estimation using RSSI and trilateration mathematic model will be explained in the next section.

B. Distance Estimation

Normally, the RSSI values are expressed in dBm using IEEE 802.15.4 radio interface. A compressed version of received power value is measured and stored in the RSSI register. This makes some least-significant digits after the decimal point are ignored and affect to the distance resolution. Increasing RSSI from one quantized level to another level requires long distance movement. The accurate position estimation becomes difficult.

The path loss model used in this paper is shown in Eq.1. The main characteristics are attenuation exponent (*n*) and the path loss ($P_{PL(d)}$) which can be obtained from each transmitter.

$$P_d = P_t - P_{PL(d)} \times 10 \times n \times \log_{10} \frac{d}{d_0} \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

Where P_t is the transmission power, P_d is the received power at distance *d*. The powers are expressed in dBm. As soon as we have got the received power (P_d), distance will be computed using this following expression:

$$d = d_0 \times 10^{\frac{P_t - P_{PL(d)} - P_d}{10n}} \dots\dots\dots \text{Eq.2}$$

The calculation is based on the exponent with base 10 therefore a small error of *n* or $P_{PL(d)}$ can produce a large distance error.

Since most sensor node uses only low-power microcontroller, the processing capability is limited. Therefore the RSSI to distance conversion processing should be skipped and using a raw RSSI instead.

RF module used in the object tracking system is implemented on CC2420 radio transceiver using IEEE 802.15.4 which the RSSI value is not exactly receive power. The equation 3 expresses how to convert RSSI value to the actual received power (*P*).

$$P = \text{RSSI} + \text{offset} \dots\dots\dots \text{Eq.3}$$

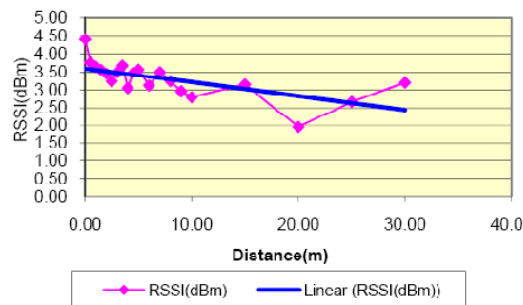


Figure 1 Smoothing algorithm applied on the raw RSSI at different distances using power level 31.

From our experiments, we found that the offset is approximately 49 dBm when using the power level 31. We also found that the RSSI value is not stable, especially in the hanger. Thus, several times of measurement (100 times) were done to find the average value in each distance as

shown in Figure1. Smoothing algorithm is applied to get the relation between the raw RSSI value and distance.

C. Position Estimation

The trilateration method is used to determine the position of the object using the geometry of triangles. The difference between this method and triangulation is the use of angle measurement. By using trilateration only two reference points, we can get the distance between them. In 2D, only 3 reference points are needed. The basic equation for a point (*x,y*) which centered of (x_a,y_a), (x_b,y_b) and (x_c,y_c) is shown in Figure2.

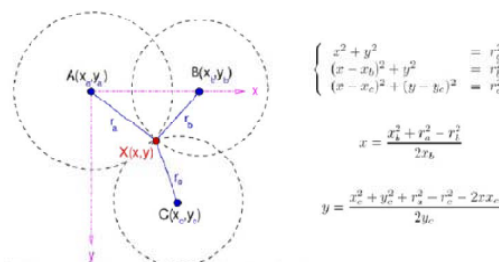


Figure 2 Trilateration Technique[10]

D. System Design

The system design for a real-time tracking is shown in Figure3. The system consists of three reference nodes (Slave node1, 2 and 3) at the preset coordinates. Blue node in Figure3 presents the mobile node (blind node) is moving into the system. Mobile node broadcasts signal to slave nodes nearby. The slave node replies and sends RSSI value to master node which is connected to computer. By forwarding all parameter information to computer, there is not many processing tasks on any node. This leads to save the energy consumption.

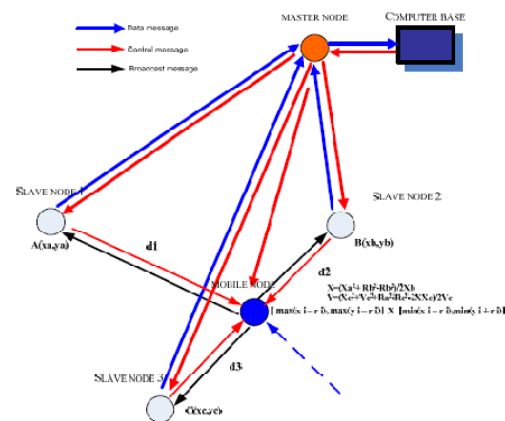


Figure 3 Tracking system architecture

The radio chip used in nodes is Chipcon CC2420 for RF transmission. We use in-house low-power node consists of MSP430F1611 and CC2420 with IEEE 802.15.4 standard running on TinyOS. There are two software modules. First, sensing module (on node) uses for getting RSSI (sflisten) which broadcast HELLO message every 100ms. Second module shown in Figure4, is software on PC which consists of application front end (user interface), TCP socket interface, RS232 interface (communicate with master node) and localization and positioning calculation. While The MAC layer protocol used in our implementation is the default TinyOS version, B-MAC.

B-MAC was designed for wireless sensor networks that gives a flexibility, low power operation, effective collision avoidance and channel utilization. B-MAC also supports on the fly reconfiguration. The preamble length can be matched with the interval channel checking. The advantage of B-MAC is the minimum Idle Listening period. Unfortunately, an overhearing problem cannot be solved. B-MAC is included in TinyOS and become a standard MAC protocol for sensor network.

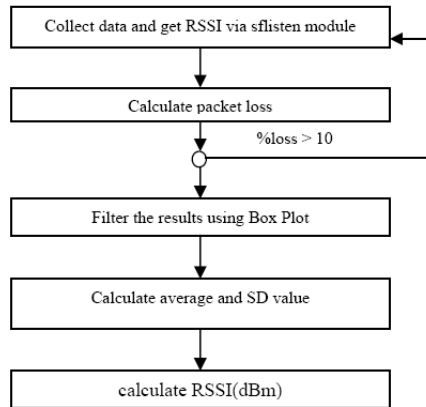


Figure4 Flow chart of RSSI processing on PC

The process of your software development can be found in Figure4. On the master node, sflisten module is run on TinyOS to collect the RSSI value. A RSSI value can has been sent out 100 times in every 100ms because of the unstable RSSI value. PC will use the set of RSSI value, only the packet loss is less than 10%. Box plot method is chosen to filter the RSSI value. Then later RSSI will be calculated after we get an average and SD value.

counter	Receiver ID	packet sequent	Input RF Power Level	LQI
---------	-------------	----------------	----------------------	-----

Figure5 Packet used in sflisten

The packet format used in the system is shown in Figure5 and having the detail below:

- Counter field has 1-byte is used to count the number of received packet.
- Receiver ID has 2-byte.
- Packet sequent has 2-byte. It is the number of packet.
- Input RF power level uses 1-byte using dBm.
- LQI has 1-byte.

The percentage of packet loss can be expressed:

$$\%loss = \frac{(packet_sequent_{counter_s} - packet_sequent_{counter_r} + 1)}{N} \times 100$$

While the Box Plot can be calculated as shown below:

$$P_{Q1} = 0.25 \times N$$

$$P_{Q3} = 0.75 \times N$$

Then we have to find the lower and upper bound.

$$\text{lower bound} = Q1 - 1.5 \times (IQR)$$

$$\text{upper bound} = Q3 + 1.5 \times (IQR)$$

$$IQR = Q3 - Q1$$

The data that is not in the range will be ignored.

IV. EXPERIMENT RESULTS

In order to track the real-time position of the vehicle, an application with Graphic User Interface (GUI) has been developed in C+. The position of mobile node is displayed as a red dot. The snapshot of this application is shown in Figure6. The square on the window shows the dangerous zone. If mobile node (attached on vehicle) moves into that area, the alarm system will be activated. We found the error at 2.1 m.

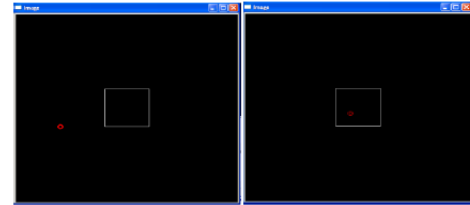


Figure6 Real-time vehicle monitoring application

V. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this paper, a real-time vehicle tracking in the hanger of the aircraft application prototype is presented. RSSI estimation and trilateration technique are employed to estimate vehicle's position. Refining algorithms were proposed to improve the accuracy on tracking a vehicle and the results were evaluated. Several raw RSSI to distance experiments were conducted to show its relation. RF module from Chipcon CC2420 has been used together with microcontroller MSP430f1611. Box plot is chosen to filter the RSSI value. Then later, the smoothing algorithm is applied to analyze the equation relation between raw RSSI

and distance. The RSSI conversion is not employed therefore we can have a low complexity algorithm. Moreover, the low cost nodes are deployed, we can have a range-base tracking which can give more accuracy. This prototype experiment is used as a proof-of-concept implementation of the proposed technique.

In conclusion, the application implemented in this paper provides an enhanced solution to track vehicle position in a hanger of the aircraft. We found the distance error at 2.1m.

REFERENCES

- [1] K. Benkic, M. Malajner, P. Planinsic, Z. Cucej, "Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee". I 5th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, (IWSSIP'08) Bratislava, Slovak Republic, pp. 303 - 306, 2008.
- [2] N. Iwakiri, T. Kobayashi, "Joint TOA and AOA/AOD Spectrum for Ultra-Wideband Indoor Double-Directional Channel Estimation", IEEE 68th Vehicular Technology Conference, (VTC'08) Calgary, Alberta, pp.1 - 5, 2008.
- [3] Lee, S.K. Park, Cho, Hong, S., W.D., "Object Tracking Based on RFID Coverage Visual Compensation in Wireless Sensor Network", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, (ISCAS'07) New Orleans, USA, pp. 1597 - 1600, 2007.
- [4] F. Viani, L. Lizzi, P. Rocca, M. Benedetti, M. Donelli, A. Massa, "Object tracking through RSSI measurements in wireless sensor networks", Electronics Letters, Volume 44, Issue 10, pp 653 - 654, May, 2008.
- [5] R.H. Wu, Y.H. Lee, H.w. Tseng, Y.G. Jan, M.H. Chuang, "Study of characteristics of RSSI signal", IEEE International Conference on Industrial Technology, Bhubaneswar, India, pp. 1-3, 2008.
- [6] Nirupama Bulusu, John Heidemann, and Deborah Estrin, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices," Proceedings of the IEEE Personal Communications Magazine, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, October 2000.
- [7] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, V. Mittal, H. Cao, M. Demirbas, M. Gouda, Y. Choi, T. Herman, S. Kulkarni, U. Awmugam, M. Nesferenko, A. Vora, M. Miyashita, "A line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking", *Computer Networks Journal*, Elsevier North-Holland, Inc., New York, USA, December 2004, Vol. 46, Issue 5, pp. 605-634.
- [8] J. N. Ash and R. L. Moses, "Acoustic time delay estimation and sensor network self localization", *Journal of the Acoustical Society of America*, August 2005, Volume 118, Issue 2, pp. 841-850.
- [9] M. M. Holland, R. G. Aures, and W. B. Heinzelman, "Experimental Investigation of Radio Performance in Wireless Sensor Networks", 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks (WiMesh'06), pp. 140-150, September 2006.
- [10] F. Thomas and L. Ros, *Revisiting Trilateration for Robot Localization*, IEEE Transactions on Robotics, vol.21, no.1, pp.93-101, February 2005.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	พ.อ.อ.เฉลิมพล โกมะลานนท์		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910120093		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัย	2548	
(วิทยาการคอมพิวเตอร์)	ราชภัฏสุราษฎร์ธานี		

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Chalemphol Gomalanont and W.Suntiamorntut," Target Tracking in hangar of aircraft using Wireless Sensor Networks", In Proceedings of 4th International Conference on Embedded System and Intelligent Technology 2011 (ICESIT2011),Phuket, Thailand 12th – 14th May 2010 pages 217-220.