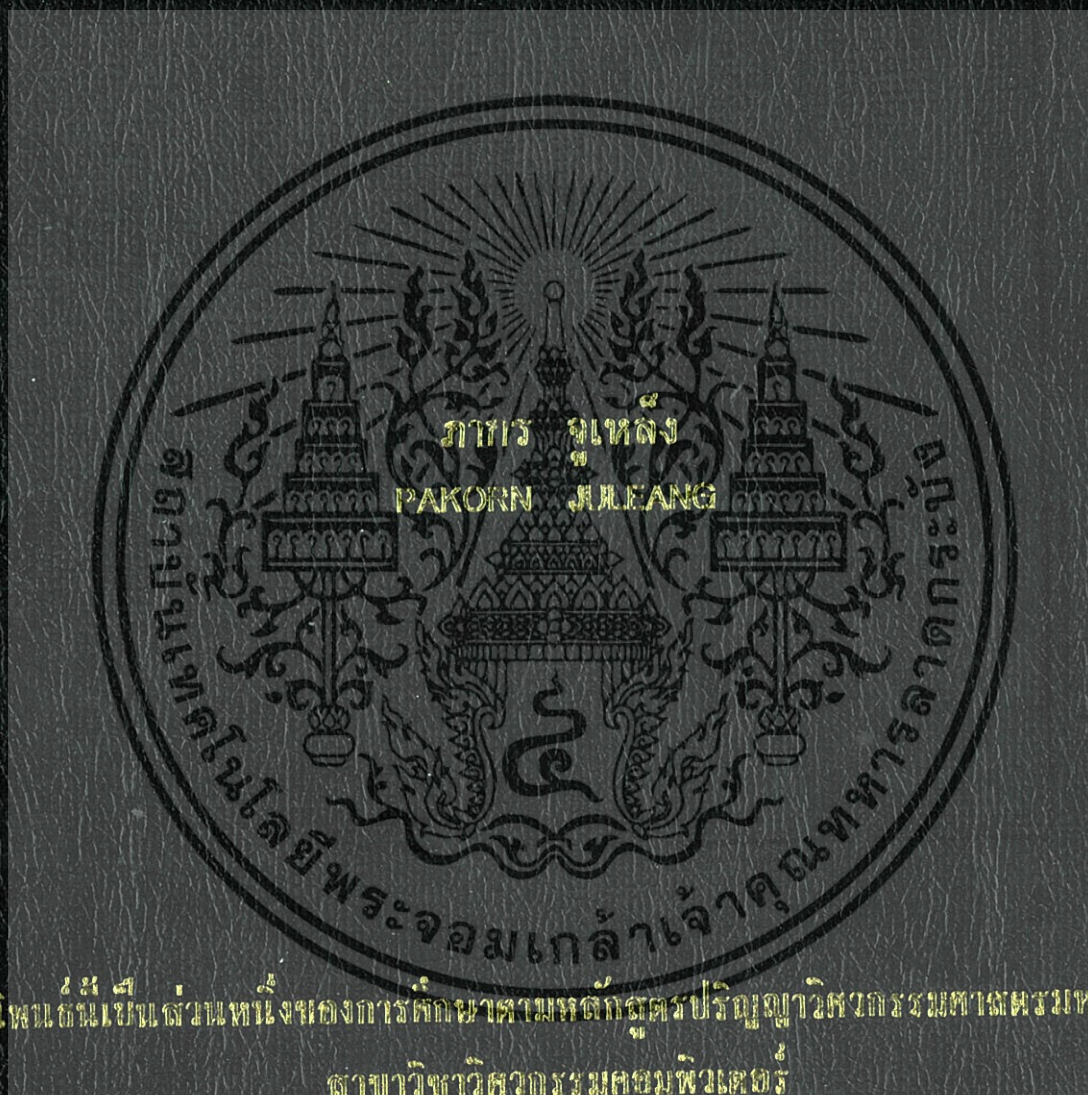


การส่งข้อมูลกลับสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์
ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจนับไร้สายโดยใช้ซิกบี

CONVERGECAST OF MULTI DESTINATIONS
IN ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-EN-M-070-030

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การส่งข้อมูลกลับสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์
ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ซิกบี

CONVERGECAST OF MULTI DESTINATIONS
IN ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK



ฉพ.
ฉ 1447
2553

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...110311
วัน,เดือน,ปี... 1 พ.ย. 2553

b.....12262808
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายใน KMUTL 2010-EN-M-070-039 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CONVERGECAST OF MULTI DESTINATIONS
IN ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK**



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

2010

KMITL 2010-EN-M-070-039

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การส่งข้อมูลกลับสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ซิกบี

Thesis Title Convergecast of Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network

นักศึกษา นายภากร จูเหล็ก

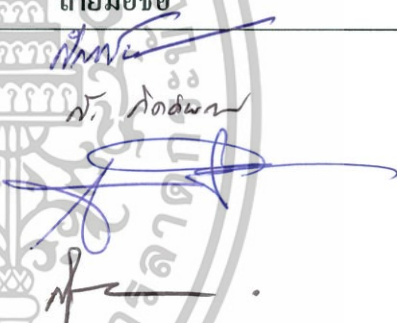
รหัสประจำตัว 51060717

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. สมศักดิ์ มิตะถา

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-070-039

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ศักดิ์ชัย	ทิพย์จักษ์รัตน์	
ผศ.ดร. สุรินทร์	กิตติธรรกุล	
รศ.ดร. อธิคม	ฤกษ์บุตร	
รศ.ดร. ปรีชา	บุภาพิน	
รศ.ดร. สมศักดิ์	มิตะถา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 13.30-15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

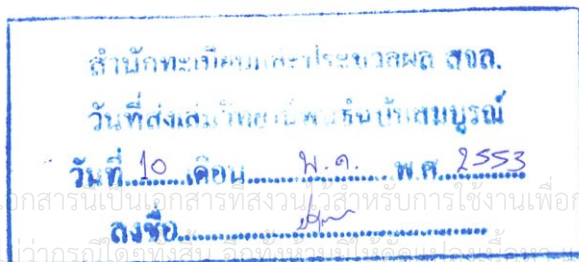
คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2553



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การส่งข้อมูลกลับสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ซิกบี
นักศึกษา	นายภากร จูเหล็ก
รหัสนักศึกษา	51060717
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการส่งข้อมูลกลับ (Convergecast) สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์
ปลายทางหลายอุปกรณ์ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ซิกบี ซึ่งเครือข่ายอุปกรณ์
ปลายทางหลายอุปกรณ์ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการ
ตรวจจับสภาพแวดล้อม (Monitoring System) และ Convergecast คือ กระบวนการพื้นฐานของ
เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย ในปัจจุบันงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งไปที่การศึกษา Convergecast
เพื่อความรวดเร็วและการลดการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตามการออกแบบวิธีการ Convergecast ที่
ดีจะต้องสอดคล้องกับมาตรฐาน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการเสนอวิธีการส่งข้อมูลกลับสำหรับ
เครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ซิกบี โดยเป็น
ลักษณะเครือข่ายแบบ Beacon-enabled และมีการพิสูจน์วิธีการที่นำเสนอด้วยการจำลองเครือข่าย
โดยวิธีการที่นำเสนอจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดของการส่งข้อมูลกลับสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์
ปลายทางหลายอุปกรณ์ในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยที่มีการใช้ทรัพยากรของเครือข่าย
ร่วมกัน และวิธีการที่นำเสนอยังสอดคล้องกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ด้วย ซึ่งผลการจำลอง
เครือข่ายพบว่า วิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีการที่เหมาะสมและนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

Thesis Title	Convergecast of multi destinations in Zigbee wireless sensor network
Student	Mr. Pakorn Juleang
Student ID.	51060717
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Somsak Mitatha

ABSTRACT

This thesis proposes convergecast of multi destinations in Zigbee wireless sensor network. Multi-destinations in wireless sensor network have extremely benefited for monitoring system. Then, convergecast is a fundamental operation in wireless sensor network. Existing convergecast solution focused on latency and energy consumption. However, a good design should be complaint to standard. This paper proposes convergecast solution of multi-destinations in Zigbee beacon-enabled wireless sensor network and proves that this solution is simulation. Our solution is optimal convergecast of multi-destination in wireless sensor network and using accompany with network's resource for all destinations. Then, our algorithm is compliant with the low-power design of IEEE 802.15.4. Simulation results show that the proposed algorithm can indeed achieve convergecast of multi-destinations.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. สมศักดิ์ มิตะธธา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร. ปรีชา ยูพาพิน ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ.....	4
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 พื้นฐานของ Zigbee.....	7
2.3 เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ.....	8
2.3.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเทคโนโลยีไร้สาย.....	8
2.3.2 การเปรียบเทียบ Zigbee กับ Bluetooth และ IEEE 802.11.....	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Zigbee และ IEEE 802.15.4.....	10
2.5 รูปแบบของเครือข่าย Zigbee.....	12
2.6 การสื่อสารข้อมูลของ Zigbee และ IEEE 802.15.4.....	14
2.6.1 CSMA-CA.....	14
2.6.2 เครือข่ายแบบ Beacon Enabled และ Nonbeacon Enabled.....	15
2.6.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล.....	16
2.6.4 Addressing.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ภาพรวม Protocol ของ Zigbee และ IEEE 802.15.4.....	17
2.8 การประยุกต์ใช้งาน Zigbee และ IEEE 802.15.4.....	21
2.8.1 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป.....	21
2.8.2 การออกแบบเครือข่าย Zigbee เพื่อสนับสนุน Multimedia.....	24
2.8.3 ระบบเครือข่าย Zigbee เพื่อการตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์.....	25
2.8.4 ระบบเครือข่าย Zigbee เพื่อการตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร.....	25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
2.9.1 ระบบ Sensor และ Application (Nano Scale Sensing).....	27
2.9.2 ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary.....	28
2.9.3 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย.....	28
บทที่ 3 ลักษณะและปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทาง หลายอุปกรณ์.....	31
3.1 ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์..	31
3.1.1 รูปแบบของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย.....	31
3.1.2 การส่งข้อมูลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย.....	34
3.1.3 ความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย.....	37
3.2 ปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์....	38
3.2.1 ปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย.....	38
3.2.2 ปัญหาการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย.....	39
3.2.3 ปัญหาความล่าช้าในเครือข่าย.....	40
บทที่ 4 การส่งข้อมูลย้อนกลับของเครือข่าย.....	43
4.1 การส่งข้อมูลย้อนกลับของเครือข่าย.....	43
4.2 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายรูปทรี.....	47
4.2.1 Random Assignment (RA)	47
4.2.2 Distributed Assignment (DSA)	47
4.2.3 Centralized Tree-Based Assignment (CTB).....	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.4 Random Plus Assignment (RPA).....	49
4.2.5 Distributed Plus Assignment (DPA).....	50
4.2.6 Fast Convergecast Assignment (FCA).....	51
4.3 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปวงแหวน.....	53
4.3.1 Random Assignment (RA)	53
4.3.2 Distributed Assignment (DSA)	54
4.3.3 Centralized Tree-Based Assignment (CTB).....	55
4.3.4 Random Plus Assignment (RPA).....	56
4.3.5 Distributed Plus Assignment (DPA).....	58
4.3.6 Fast Convergecast Assignment (FCA).....	59
บทที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับของเครือข่าย.....	62
5.1 การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย.....	62
5.2 การทดสอบและการจำลองเครือข่าย.....	67
5.3 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบทรี.....	72
5.4 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวน.....	137
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	138
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	138
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	140
บรรณานุกรม.....	141
ภาคผนวก.....	143
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของเครือข่าย.....	144
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	170
ประวัติผู้เขียน.....	185

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 1.....	73
5.2 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DCP	73
5.3 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DIP.....	74
5.4 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DBP.....	74
5.5 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.1.....	75
5.6 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8.....	75
5.7 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11.....	76
5.8 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14.....	76
5.9 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17.....	76
5.10 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20.....	77
5.11 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8.....	78
5.12 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11.....	78
5.13 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14.....	78
5.14 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17.....	79
5.15 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20.....	79
5.16 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8.....	80
5.17 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11.....	80
5.18 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14.....	81
5.19 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17.....	81
5.20 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20.....	81
5.21 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.2.....	83
5.22 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20.....	83
5.23 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30.....	84
5.24 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40.....	84
5.25 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50.....	84
5.26 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60.....	85
5.27 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20.....	86
5.28 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30.....	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.29 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40.....	86
5.30 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50.....	87
5.31 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60.....	87
5.32 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20.....	88
5.33 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30.....	88
5.34 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40.....	89
5.35 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50.....	89
5.36 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60.....	89
5.37 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.3.....	91
5.38 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1.....	91
5.39 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2.....	92
5.40 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3.....	92
5.41 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4.....	92
5.42 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5.....	93
5.43 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1.....	94
5.44 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2.....	94
5.45 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3.....	95
5.46 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4.....	95
5.47 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5.....	95
5.48 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1.....	97
5.49 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2.....	97
5.50 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3.....	97
5.51 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4.....	98
5.52 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5.....	98
5.53 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.4.....	99
5.54 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400.....	100
5.55 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600.....	100
5.56 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800.....	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.57 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000.....	101
5.58 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200.....	101
5.59 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400.....	102
5.60 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600.....	102
5.61 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800.....	103
5.62 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000.....	103
5.63 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200.....	103
5.64 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400.....	104
5.65 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600.....	105
5.66 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800.....	105
5.67 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000.....	105
5.68 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200.....	106
5.69 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.5.....	107
5.70 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10.....	107
5.71 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11.....	108
5.72 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12.....	108
5.73 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13.....	108
5.74 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14.....	109
5.75 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10.....	110
5.76 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11.....	110
5.77 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12.....	110
5.78 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13.....	111
5.79 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14.....	111
5.80 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10.....	112
5.81 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11.....	112
5.82 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12.....	113
5.83 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13.....	113
5.84 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14.....	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.85 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.6.....	115
5.86 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8.....	115
5.87 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9.....	116
5.88 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10.....	116
5.89 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11.....	116
5.90 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12.....	117
5.91 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8.....	118
5.92 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9.....	118
5.93 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10.....	118
5.94 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11.....	119
5.95 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12.....	119
5.96 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8.....	120
5.97 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9.....	120
5.98 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10.....	121
5.99 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11.....	121
5.100 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12.....	121
5.101 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 3.1.....	123
5.102 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40.....	124
5.103 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60.....	124
5.104 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80.....	124
5.105 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100.....	125
5.106 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120.....	125
5.107 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40.....	125
5.108 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60.....	126
5.109 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80.....	126
5.110 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100.....	126
5.111 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120.....	127
5.112 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40.....	127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.113 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60.....	127
5.114 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80.....	128
5.115 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100.....	128
5.116 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120.....	128
5.117 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 3.2.....	130
5.118 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10.....	131
5.119 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11.....	131
5.120 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12.....	131
5.121 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13.....	132
5.122 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14.....	132
5.123 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10.....	132
5.124 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11.....	133
5.125 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12.....	133
5.126 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13.....	133
5.127 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14.....	134
5.128 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10.....	134
5.129 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11.....	134
5.130 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12.....	135
5.131 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13.....	135
5.132 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14.....	135

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b	9
2.2 อัตราการส่งข้อมูลของ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b.....	10
2.3 IEEE 802.15.4 และ Zigbee	11
2.4 IEEE 802.15.4 Data Rate และการบวนการทางความถี่.....	12
2.5 เครือข่ายรูปแบบดาว.....	13
2.6 เครือข่ายรูปแบบ Peer to Peer	13
2.7 เครือข่ายรูปแบบทรี.....	13
2.8 อัลกอริทึม CSMA-CA.....	15
2.9 การส่งข้อมูลไป Coordinator.....	16
2.10 การส่งข้อมูลจาก Coordinator	17
2.11 สถาปัตยกรรมของ Zigbee	18
2.12 ย่านความถี่ของ IEEE 802.15.4.....	19
2.13 โครงสร้างของ Superframe	19
2.14 ระบบ multimedia บนเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย.....	25
2.15 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์.....	25
2.16 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร.....	26
2.17 อุปกรณ์ของระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร.....	26
2.18 ระบบ Nano-scale Sensing	28
2.19 เปรียบเทียบความล่าช้าเครือข่ายจากการใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน.....	29
3.1 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์.....	32
3.2 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์.....	33
3.3 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์.....	35
3.4 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์.....	36
3.5 ตัวอย่างระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำ.....	37
3.6 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง.....	38
3.7 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม.....	39
3.8 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย.....	40
3.9 ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee.....44
4.2	เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบวงแหวนโดยใช้มาตรฐาน Zigbee.....45
4.3	โครงสร้างของ Superframe.....46
5.1	การวิเคราะห์ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย.....63
5.2	ตัวอย่างปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย.....63
5.3	ตัวอย่างการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย.....64
5.4	โครงสร้างของ Superframe.....65
5.5	Conceptual Framework.....68
5.6	ตัวอย่างผลการจำลองเครือข่ายจากโปรแกรมที่พัฒนา.....70
5.7	เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee.....72
5.8	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ L(G).....77
5.9	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TS(G).....79
5.10	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TT(G).....82
5.11	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ L(G).....85
5.12	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TS(G).....87
5.13	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TT(G).....90
5.14	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ L(G).....93
5.15	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TS(G).....96
5.16	แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TT(G).....98
5.17	แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ L(G).....101
5.18	แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TS(G).....104
5.19	แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TT(G).....106
5.20	แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ L(G).....109
5.21	แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TS(G).....111
5.22	แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TT(G).....114
5.23	แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ L(G).....117
5.24	แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TS(G).....119
5.25	แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TT(G).....122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.26 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1.....	129
5.27 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1.....	129
5.28 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1.....	129
5.29 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2.....	136
5.30 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2.....	136
5.31 แสดงประสิทธิผลของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2.....	136



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน การใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับมีการใช้งานอย่างมาก และแพร่หลาย เพื่อที่จะนำมาใช้ให้เกิดความสะดวกสบาย ความปลอดภัย รวมถึงความแม่นยำ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ระบบอุปกรณ์ตรวจจับสำหรับประตูอัตโนมัติที่มีใช้อยู่ทั่วไปตามอาคารสำนักงานตามระบบขนส่งมวลชน ระบบอุปกรณ์ตรวจจับขนาดเล็กที่ใช้เทคโนโลยีทางด้านแสงเพื่อใช้วัดระยะทางในระดับนาโนเมตร ระบบอุปกรณ์ตรวจจับขนาดเล็กที่ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วในการตรวจจับสูงหรือสภาวะที่ไม่ปกติ (ภาคผนวก ข.) ระบบอุปกรณ์ตรวจจับภาพขนาดเล็กที่ใช้ในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กมาก เช่น ภายในร่างกายมนุษย์ (ภาคผนวก ข.) เป็นต้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย มีความสำคัญอย่างมาก และมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง อีกทั้งเริ่มมีความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจในปัจจุบัน ตัวอย่างของระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย เช่น ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home System) โดยมีการใช้งานในการตรวจจับความสว่างของบ้าน อุณหภูมิของบ้าน ปริมาณของน้ำฝน จากนั้นมีการพัฒนาระบบเพื่อที่จะตอบสนองต่ออุปกรณ์ตรวจจับเหล่านั้น ระบบบริหารจัดการที่จอดรถยนต์ (Car Parking Management System) โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจจับไร้สายนับจำนวนรถที่เข้าจอดในบริเวณที่จอดรถยนต์ เพื่อการบริหารงานอาคารจอดรถยนต์ ระบบระบุตำแหน่งบุคคล (Positioning System) โดยมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับไร้สายในการตรวจสอบตำแหน่งของบุคคลภายในอาคาร เป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้กับสถานที่สำหรับคนแก่ หรือคนที่ผิดปกติทางจิตใจ ระบบการบริหารงานด้านลอจิสติกส์ (Logistic System) เป็นการนำระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมาพัฒนาการบริหารจัดการ เช่น การทราบถึงสินค้าภายในรถขนส่งโดยที่ไม่ต้องหยุดจอดรถหรือเปิดท้ายรถ เป็นต้น

เทคโนโลยีในปัจจุบัน ที่มีการใช้งานทางการสื่อสารในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network : WSN) มีอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น RFID (Radio Frequency Identification) Bluetooth เป็นต้น แต่มีเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารที่เริ่มเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย คือ Zigbee โดยได้มีผู้ที่พัฒนาระบบทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายด้วย Zigbee มากมาย ตัวอย่างเช่น ระบบบ้าน [1] ระบบบริหารจัดการที่จอดรถยนต์ [2] ระบบระบุตำแหน่งบุคคล [3-5] ระบบติดตามสถานการณ์ [6-9] ระบบการบริหารงานด้านลอจิสติกส์ [10] ซึ่งตัวอย่างต่างๆที่กล่าวข้างต้น เป็นส่วนหนึ่งของการนำ

Zigbee มาประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (WSN) จะเห็นว่าเริ่มมีการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นและเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้นด้วย

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เห็นว่ามีความเหมาะสมอย่างมากต่อการใช้งานระบบติดตามสถานการณ์หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน ตัวอย่างเช่น ในบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ชาวบางปะกงส่วนใหญ่มีการเลี้ยงปลากระพง ซึ่งเป็นปลาที่หารายได้สำคัญให้กับผู้คนในบริเวณนี้ ถ้ามีการใช้งานในลักษณะที่เป็นระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มาติดตามสถานการณ์ของแม่น้ำบางปะกง เช่น ในวันหนึ่งๆ ปริมาณออกซิเจนเหมาะกับการให้อาหารหรือไม่ หรือมลพิษในแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยทำให้การพัฒนาวิธีการเลี้ยงปลากระพงมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และจะต้องเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์เนื่องจาก บริเวณที่เลี้ยงปลามีบริเวณที่กว้างมากกว่าระยะทางการส่งสัญญาณ ตำแหน่งที่ต้องการข้อมูลของแต่ละคนไม่เหมือนกัน และผู้เลี้ยงปลากระพงมีความต้องการข้อมูลของแม่น้ำบางปะกงในลักษณะของข้อมูลจริงตลอดเวลาและมากกว่า 1 คน ด้วยตัวอย่างเช่นนี้ทำให้งานวิจัยนี้เห็นว่าระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์มีประโยชน์เป็นอย่างมาก คือ ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่าย ช่วยลดความซับซ้อนของการส่งข้อมูลในเครือข่าย และช่วยให้การบริหารจัดการเครือข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นต้น

จากข้อมูลต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ในเรื่องของการใช้งานระบบอุปกรณ์ตรวจจับ ระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย Zigbee ประโยชน์ของการใช้งาน Zigbee และความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มุ่งหวังที่จะศึกษาและนำเสนอวิธีการเกี่ยวกับการส่งข้อมูลย้อนกลับในระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ (Convergecast of Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Convergecast of Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบติดตามสถานการณ์ (Monitoring System) หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน ซึ่งจะสอดคล้องกับมาตรฐาน ซิกบี โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐานซิกบี ครอบคลุมถึงเครือข่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดก็ตามอีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลักษณะวงแหวนและเครือข่ายในลักษณะทรี โดยเป็นการนำเสนอวิธีการที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด

1.2.1 ศึกษาระบบอุปกรณ์ตรวจจับ

1.2.2 ศึกษาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายในรูปแบบต่าง ๆ

1.2.3 ศึกษาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี

1.2.4 ศึกษาวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ในรูปแบบต่างๆ

1.2.5 พัฒนารูปแบบการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee มีวิธีการต่างๆมากมาย โดยแต่ละวิธีการจะมีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบอุปกรณ์ตรวจจับแตกต่างกัน ซึ่งสิ่งที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการส่งข้อมูลย้อนกลับ คือ การจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของการสื่อสารข้อมูล

วิธีการจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee มีวิธีการอื่นๆมากมาย เช่น Random Assignment (RA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) เป็นต้น ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ โดยเมื่อมีการจัดลำดับของข้อมูลที่เหมาะสมแล้วจะช่วยให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ดีมากขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Convergecast of Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) โดย Zigbee เป็นมาตรฐานของการส่งข้อมูลเริ่มมีการใช้งานเกี่ยวกับระบบอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก Zigbee เป็นมาตรฐานที่เน้นในส่วนของการใช้พลังงานต่ำ และบริษัทผู้พัฒนาอุปกรณ์การส่งสัญญาณ Zigbee พัฒนา Module ของ Zigbee ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากถึง 1.2 กิโลเมตร ด้วยเหตุผลสำคัญนี้ทำให้ Zigbee ถูกนำมาใช้อย่างมากในระบบอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สาย

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน โดยพิจารณาถึงการจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ลงใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่าย Zigbee ซึ่งลำดับข้อมูลจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน ซึ่งวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับ (Convegecast) ที่วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอได้เปรียบเทียบกับวิธีการต่างๆ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการอื่นๆ

วิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เรียกว่า Fast Convergecast Assignment (FCA) โดยจะมีการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ 5 วิธีการคือ Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) Centralized Tree-Based Assignment (CTB) Random Plus Assignment (RPA) และ Distributed Plus Assignment (DPA) โดยเปรียบเทียบจากการจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ขึ้นมาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเปรียบเทียบจากประสิทธิภาพของระบบอุปกรณ์ไร้สายโดยมาตรฐาน Zigbee ซึ่งถูกนำเสนอในงานวิจัย Meng-Shiuan Pan, Yu-Chee Tseng, Quick convergecast in Zigbee beacon-enabled tree-based wireless sensor networks, International journal of computer communications 31,999-1011, 2008. [11]

1.6 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เห็นว่าจะมีความสำคัญและประโยชน์อย่างมากต่อระบบติดตามสถานการณ์ หรือระบบงานเฉพาะด้านอื่นๆ รวมถึงเป็นการนำเสนอระบบอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ซึ่งเป็นวิธีการส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สายที่ถูกระบุเป็นมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และรูปแบบเครือข่ายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 2 รูปแบบ คือ เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) และเครือข่ายแบบต้นไม้ (Tree Topology) วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการที่เหมาะสม (Fast Convergecast Assignment) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ 1. บทนำ 2. วัตถุประสงค์ 3. ขอบเขตการวิจัย 4. วิธีการวิจัย 5. ผลการวิจัย 6. สรุปและข้อเสนอแนะ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานของระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ การเปรียบเทียบ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11 รูปแบบเครือข่าย Zigbee และ Protocol Layer ของ Zigbee และ IEEE 802.15.4 เป็นต้น และมีการกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 3 กล่าวถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ รวมถึงปัญหาของความล่าช้าในระบบ และปัญหาของการมีอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

บทที่ 4 กล่าวถึงอัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่นำเสนอ ทั้งอัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวนและแบบทรี

บทที่ 5 กล่าวถึงการจำลองและประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย จากวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการอื่นๆ (Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) Centralized Tree-Based Assignment (CTB) Random Plus Assignment (RPA) และ Distributed Plus Assignment (DPA)) โดยมีการเปรียบเทียบให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่มีมากขึ้น

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee รวมถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee โดยมีหัวข้อต่างๆดังนี้

- บทนำ
- พื้นฐานของ Zigbee
- เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ
- ความสัมพันธ์ระหว่าง Zigbee และ IEEE 802.15.4
- รูปแบบเครือข่าย Zigbee
- การสื่อสารข้อมูลของ Zigbee และ IEEE 802.15.4
- Protocol ของ Zigbee และ IEEE 802.15.4
- การประยุกต์ใช้งาน Zigbee และ IEEE 802.15.4
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication Systems) มีมากมายหลายรูปแบบ เช่น GSM , CDMA , วิทยุย่าน 27 Mhz และ 433Mhz , Wireless LAN , Wifi , WiMax ฯลฯ สำหรับในสมัยก่อน การจะทำเครื่องส่งเครื่องรับ ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ซึ่งจะสามารถออกแบบวงจรเครื่องส่ง เครื่องรับ มีหน้าที่ทำการ Matching สายอากาศ การออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ต่างๆ ฯลฯ แต่ในปัจจุบัน มีวงจรรวม RF ที่รวมเอาภาคการออกแบบของ RF Engineer เข้าไปหลายส่วน ทำให้ง่ายในระดับที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ก็สามารถสร้างวงจรส่งและรับได้แล้ว

งานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีความเกี่ยวข้องกับการสื่อสารทั้งสิ้น เช่น การสร้างเครือข่ายของระบบหนึ่งๆ การติดต่อสื่อสารใช้งานอุปกรณ์ RF Module และเป็นสิ่งที่น่าสนใจ คือ การสื่อสารเพื่อใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆผ่าน Interface ต่างๆ เช่น RS232(UART), SPI, I2C, CAN, RS485, Ethernet, LAN, TCP/IP และ USB เป็นต้น ผู้ที่ศึกษาซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารต่างๆ จะมีความเข้าใจเกี่ยวกับโปรโตคอลสื่อสาร สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียนรู้ การสื่อสารแบบอื่นๆได้ไม่ยาก การเขียนซอฟต์แวร์ลักษณะการรับ Stream Data เพื่อมาเก็บใน Buffer แล้วทำการ Encapsulate หรือ De-capsulate ข้อมูล (เช่น การเขียนโปรแกรมทางด้าน Network Security, UART, I2C เป็นต้น) แล้วนำข้อมูลไปใช้งาน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานทางด้านการติดต่อสื่อสารเกือบทุกรูปแบบ

สำหรับการอธิบายในเชิงทฤษฎีนั้น การสื่อสารแต่ละแบบควรที่จะอธิบายอ้างอิงกับ OSI Layer ได้ ยกตัวอย่าง ระบบเครือข่าย LAN จะใช้โปรโตคอล TCP/IP ซึ่งสามารถที่จะแยกได้ว่าขั้นตอนไหนจัดอยู่ในลำดับชั้น OSI Layer ใด สำหรับการสื่อสารไร้สายก็จะสามารถอ้างอิงได้ว่าเป็นภาคทางด้าน Physical Layer หรือชั้นที่สูงขึ้น แยกแยะได้ตาม OSI Layer เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติใช้งานจริง นักพัฒนาเพียงทราบทฤษฎีเพียงเล็กน้อย ก็พอที่จะสามารถนำไปพัฒนางานได้แล้ว โดยเฉพาะ Zigbee เป็นหัวข้องานวิจัยที่น่าสนใจ เพราะอย่างยิ่งมีปัญหาที่ต้องการการวิจัยต้องการแก้ไขให้เหมาะสมกับ Application ต่างๆ อีกมาก เช่น เรื่องการ Routing เรื่องการประหยัดพลังงาน เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ ไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ในการสื่อสาร จึงจำเป็นต้องมีการเรียนรู้และพยายามเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานต่างๆของ Zigbee

2.2 พื้นฐานของ Zigbee

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับพื้นฐานของ Zigbee ที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษา กล่าวคือ ชื่อเรียกของเทคโนโลยีการสื่อสาร ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซก และจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกันเกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee เป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายสากล กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็นกลุ่มองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไรซึ่งมีบริษัทต่างๆเข้าร่วมเป็นสมาชิกกว่า 300 ราย Zigbee เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็กนานเป็นเดือนเป็นปี เหมาะสมใช้งานกับระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ (Monitoring System)

ZigBee ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้ เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจิ๋ว จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ชั้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zigbee กำหนดย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 Ghz , ย่าน 915 Mhz และย่าน 868 Mhz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps, 40 Kbps และ 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน

ชนิดอุปกรณ์ของ ZigBee ที่มีอยู่ในเครือข่ายมีการกำหนดวิธีการแบ่งชนิดด้วยกัน 2 แบบ คือแบบ Physical Device และแบบ Logical Device

อุปกรณ์ Zigbee แบ่งตาม Physical Device มี 2 ประเภท คือ

1. Full Function Device : FFD เป็น เราเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก Power Line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

2. Reduced Function Device : RFD เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ star

อุปกรณ์ Zigbee แบ่งตามลักษณะการทำงาน (Logical Device) มี 3 ประเภท คือ

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2. End-device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะรับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณีขึ้นอยู่กับ Sensor ที่ใช้เช่น Sensor ที่ต้องการพลังงานสูงๆ

3. Router มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2.3 เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ

ส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงการเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของเทคโนโลยีไร้สายต่างๆ คือ WiMax, Mobile-Fi, ZigBee และ Ultrawideband และในส่วนของเปรียบเทียบ Zigbee กับ Bluetooth และ IEEE 802.11

2.3.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเทคโนโลยีไร้สาย

WiMax จะมีลักษณะคล้ายกับการทำงานของ Wi-Fi ที่สร้าง Hot Spot หรือจุดรับคลื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่งรอบๆเสาสัญญาณ โดยใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่องพร้อมกันได้คล้ายๆกับระบบ LAN แต่ไร้สาย แต่ WiMax แตกต่างกับ Wi-Fi ตรงที่ WiMax จะมีรัศมีการส่งคลื่นสัญญาณ

ได้ไกลกว่าหลายสิบลี้เท่า ว่ากันว่ามีการส่งคลื่นได้ถึงประมาณ 40-50 กิโลเมตร ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

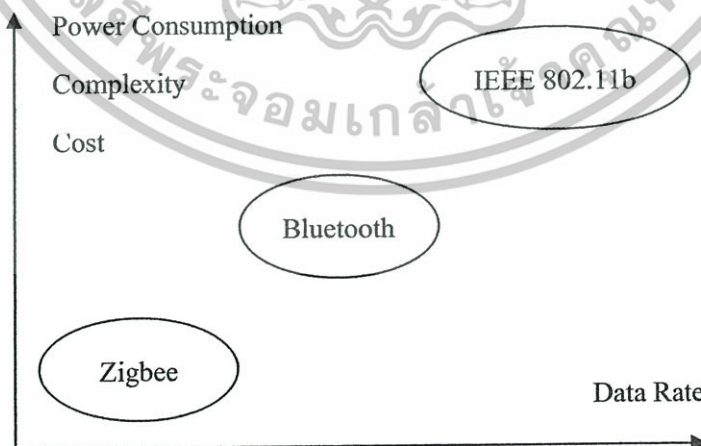
ในขณะที่ Mobile-Fi เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาให้ใช้งานสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในขณะที่เคลื่อนที่อยู่บนรถยนต์หรือรถไฟได้ด้วย

Ultrawideband ได้ถูกออกแบบมาให้เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่สามารถสนับสนุนการรับส่งไฟล์ขนาดใหญ่ได้ในระยะทางสั้นๆ เช่น การรับส่งไฟล์ภาพยนตร์ภายในบ้านจากเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะไปที่ทีวีดิจิทัล

สำหรับ Zigbee เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจำนวนมากเป็นพันๆ หมื่นๆ ชิ้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านชิปเล็กจิ๋วนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำ ท่อแก๊สโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมาก จึงสามารถฝังทิ้งไว้ในที่ห่างไกลได้เป็น 10 ปี ว่ากันว่าเทคโนโลยี Zigbee นี้จะช่วยทำให้บริษัทที่เกี่ยวข้องกับการส่งพลังงานเช่น น้ำมัน ประปา น้ำในเขื่อน ท่อแก๊ส สามารถประหยัดการสูญเสียได้อย่างน้อย 10-15% และในอนาคตอันใกล้เมื่อเทคโนโลยีนาโนก้าวหน้ามากขึ้น เซ็นเซอร์ Zigbee จะมีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุด สามารถฝังได้แม้กับในร่างกายของสิ่งมีชีวิตก็ได้

2.3.2 การเปรียบเทียบ Zigbee กับ Bluetooth และ IEEE 802.11

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารในรูปแบบต่างๆ กล่าวคือ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11 โดยทำการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน ความซับซ้อนของระบบ ราคา และอัตราการส่งข้อมูล โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b

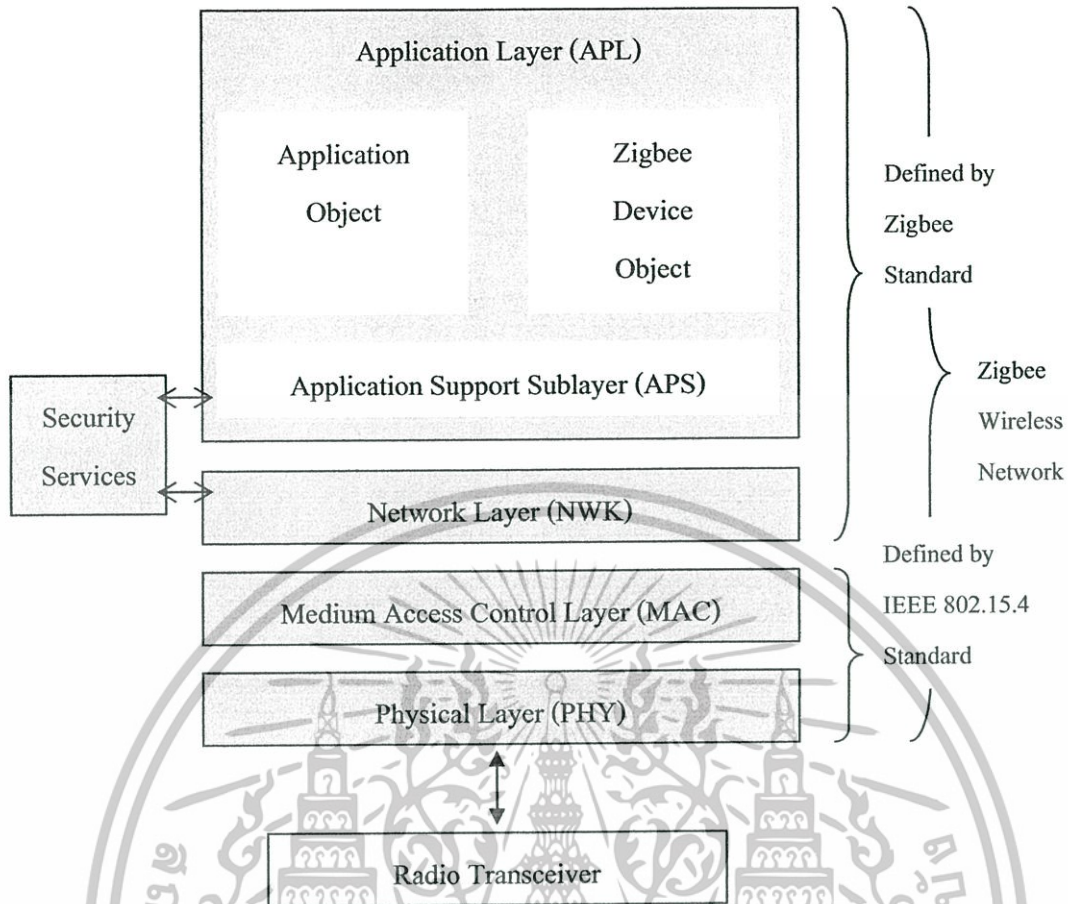
	Data Rate	Application Examples
Zigbee	20 to 250 kbps	Wireless Sensor Network
Bluetooth	1 to 3 Mbps	Wireless Headset
IEEE 802.11b	1 to 11 Mbps	Wireless Internet Connection

รูปที่ 2.2 อัตราการส่งข้อมูลของ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b

จากรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบ เปรียบเทียบ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b โดยจะเห็นว่า Zigbee จะมีการสิ้นเปลืองพลังงาน ความซับซ้อน และราคาต่ำกว่า Bluetooth โดยที่ IEEE 802.11b มีการสิ้นเปลืองพลังงาน ความซับซ้อน และราคาสูงที่สุด ขณะเดียวกันในเรื่องของอัตราเร็วการส่งข้อมูล Zigbee ก็มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลน้อยกว่า Bluetooth และ IEEE 802.11b ด้วยเช่นกัน (20 to 250 kbps)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Zigbee และ IEEE 802.15.4

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Zigbee และ IEEE 802.15.4 โดยที่มาตรฐาน Zigbee ได้นำ Physical Layer และ MAC layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ระดับต่ำ เช่น เรื่องของระดับกำลังสัญญาณ Link Quality, Access control และ Security เป็นต้น



รูปที่ 2.3 IEEE 802.15.4 และ Zigbee

จากรูป 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง IEEE 802.15.4 และ Zigbee กล่าวคือ เครือข่าย อุปกรณ์ไร้สายที่ใช้มาตรฐาน Zigbee ใน Layer ระดับล่าง Physical Layer (PHY) และ Medium Access Control Layer (MAC) จะใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ส่วน Layer ระดับบน Network Layer (NWK) และ Application Layer (APL) กำหนดโดย Zigbee

Zigbee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดย IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ถูกกำหนดไว้ใน ชั้น Physical layer มีอยู่ 3 ความถี่ คือ

- ย่านความถี่ 2.4 Ghz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
- ย่านความถี่ 915 khz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
- ย่านความถี่ 868 khz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps

โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ

902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ ยุโรป ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์

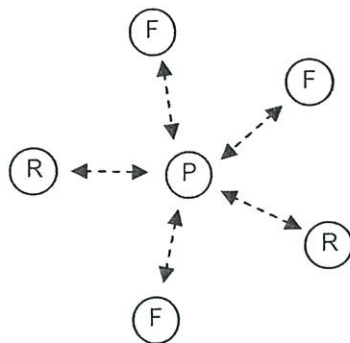
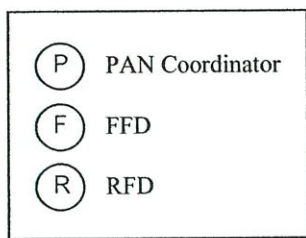
	Frequency (MHz)	Number of Channel	Modulation	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (kbps)	Symbol Rate (ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

รูปที่ 2.4 IEEE 802.15.4 Data Rate และการบวกรวมการทางความถี่

จากรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงรายละเอียดของย่านความถี่ทั้ง 3 ย่านความถี่ที่การใช้งานใน IEEE 802.15.4 โดยเครือข่าย Zigbee ก็ใช้ IEEE 802.15.4 ใน PHY Layer และ MAC Layer ด้วยเช่นกัน ทำให้เครือข่าย Zigbee มีย่านความถี่และรายละเอียดต่างๆตามรูปที่ 2.4 เช่นเดียวกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4

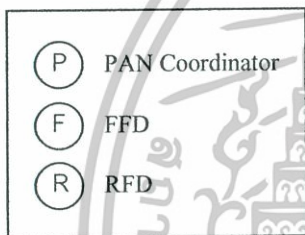
2.5 รูปแบบเครือข่าย Zigbee

ในส่วนของรูปแบบของเครือข่าย Zigbee (Zigbee Networking Topology) ถูกกำหนดเป็น 2 รูปแบบเครือข่าย ซึ่งจะถูกจัดการโดย Zigbee Networking Layer โดยจะต้องเป็น 1 ใน 2 รูปแบบที่ถูกกำหนดใน IEEE 802.15.4 กล่าวคือ เครือข่ายรูปแบบดาว (Star Topology) และเครือข่ายแบบ Peer to Peer



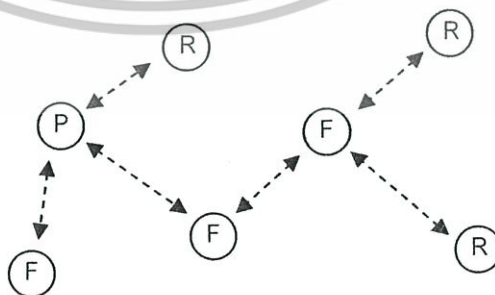
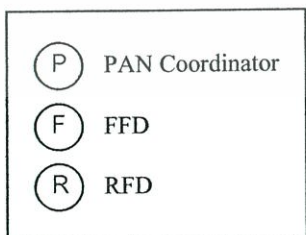
รูปที่ 2.5 เครือข่ายรูปแบบดาว

จากรูปที่ 2.5 แสดงเครือข่ายแบบดาว โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ ทุกๆอุปกรณ์ต่างๆในเครือข่าย Zigbee จะส่งสื่อสารข้อมูลได้เฉพาะกับ PAN Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) เท่านั้น



รูปที่ 2.6 เครือข่ายรูปแบบ Peer to Peer

จากรูปที่ 2.6 แสดงเครือข่ายแบบ Peer to Peer โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ ทุกๆอุปกรณ์ต่างๆในเครือข่าย Zigbee จะส่งสื่อสารข้อมูลกันได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องสื่อสารข้อมูลกับ PAN Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) เท่านั้น



รูปที่ 2.7 เครือข่ายรูปแบบทรี

โดยที่เครือข่ายแบบ Peer to Peer สามารถที่จะมีรูปแบบของเครือข่ายที่มีลักษณะการสื่อสารข้อมูลในลักษณะ Peer to Peer ได้หลากหลายรูปแบบ กล่าวคือ เครือข่ายแบบ Peer to Peer ก็คือ เครือข่ายแบบ Mesh (Mesh Topology) และเครือข่ายแบบ Peer to Peer ก็สนับสนุนเครือข่ายแบบทรี (Tree Topology) แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ จะมีการสื่อสารข้อมูลเป็นลำดับชั้นลงไปเรื่อย PAN Coordinator จะเป็นจุดเริ่มต้นของเครือข่าย อีกทั้งยังสนับสนุนเครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) ด้วยเช่นเดียวกัน

2.6 การสื่อสารข้อมูลของ Zigbee และ IEEE 802.15.4

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงการสื่อสารข้อมูลเบื้องต้นของ Zigbee และ IEEE 802.15.4 ตัวอย่างเช่น CSMA-CA รูปแบบการสื่อสารข้อมูล และ Addressing เป็นต้น

2.6.1 CSMA-CA

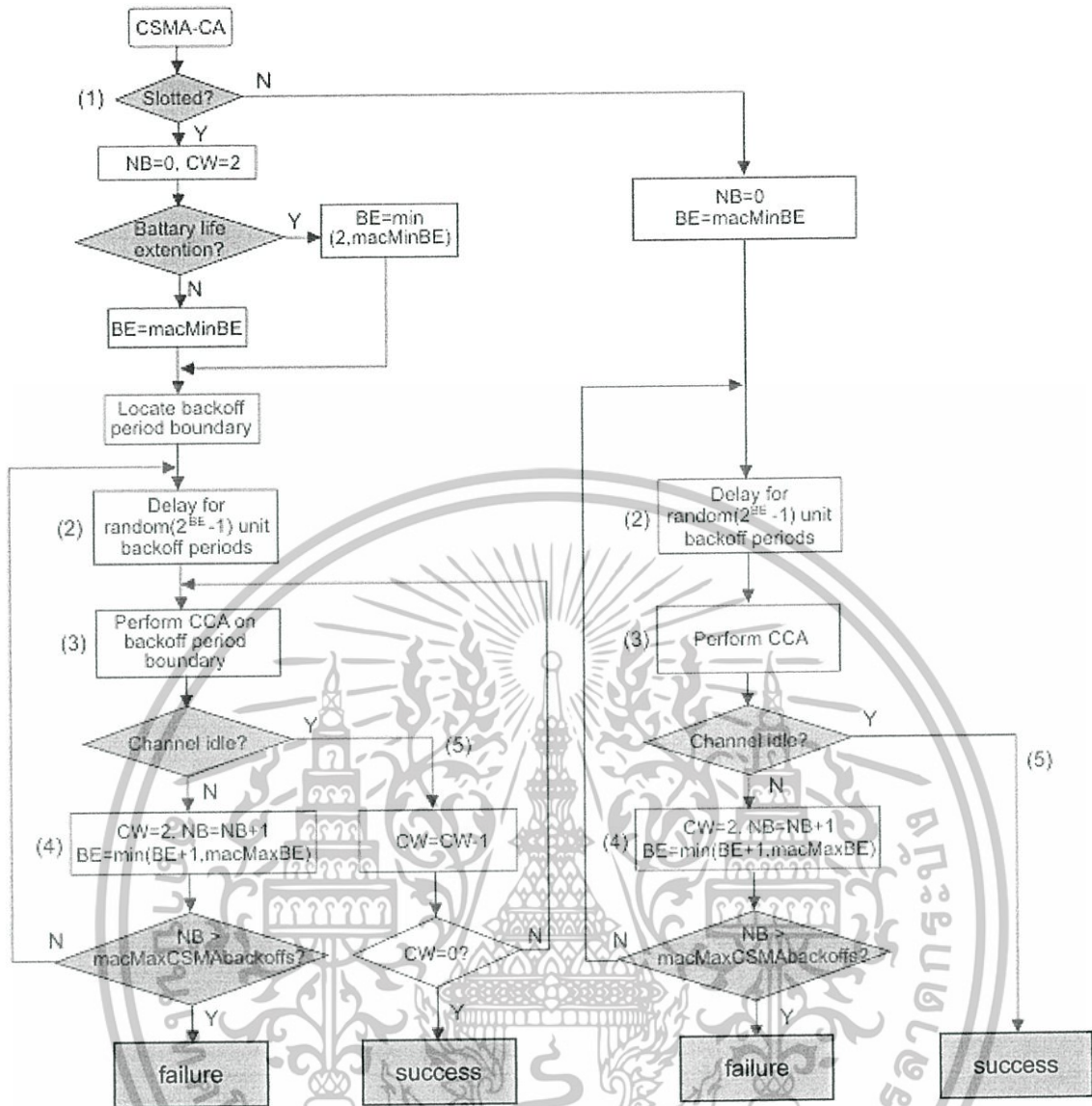
ลักษณะของการทำงานของ ZigBee คือ มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆ ทางเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน

CSMA-CA Algorithm มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องสามตัวคือ

NB(Number) - จำนวนครั้งที่ CSMA-CA Algorithm ต้องใช้เพื่อที่จะ Backoff ในขณะที่กำลังสื่อสารข้อมูลอยู่ซึ่งจะถูกกำหนดเป็น 0 ทุกครั้งที่เริ่มต้นส่งข้อมูล

CW(Contention Window length) - จำนวนของ Backoff Period ที่ใช้ในการ clear activity ก่อนที่จะเริ่มการส่งข้อมูล โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 2 ในแต่ละครั้ง และจะถูก reset เป็น 2 อีกครั้งเมื่อ channel มีการใช้งานอยู่

BE(Backoff Exponent) - เกี่ยวข้องกับจำนวนครั้งของ Backoff Period ที่อุปกรณ์นั้นจะต้องรอเพื่อที่จะกลับมาใช้ channel อีกครั้ง ขั้นตอนการทำงานของ CSMA-CA แสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 อัลกอริทึม CSMA-CA

2.6.2 เครือข่ายแบบ Beacon-Enabled และ Nonbeacon-Enabled

Beacon-Enabled และ Nonbeacon-Enabled คือวิธีการสำหรับ Channel Access โดยที่ Beacon คือ ข้อความที่มีรูปแบบเฉพาะที่ใช้ในการ Synchronize เวลาของแต่ละ Node ในเครือข่าย การที่อุปกรณ์ต่างๆในเครือข่ายมีการส่งข้อความ Beacon (Beacon Frame) ในการ Synchronize อุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการส่งข้อมูล ในลักษณะนี้จะเรียกว่า “Beacon-Enabled” โดยข้อได้เปรียบของการใช้ Beacon-Enabled คือ อุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ในเครือข่ายมีการ Wake Up เพื่อมารับ Beacon มีการรับข้อความ Beacon มีการ Synchronize กับอุปกรณ์อื่นๆ และก็กลับไปโหมด Sleep อีกครั้ง หมายความว่า จะต้องการมีการทำงานซ้ำๆลักษณะนี้ตลอดเวลา ทำให้การสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบ Nonbeacon-Enabled

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

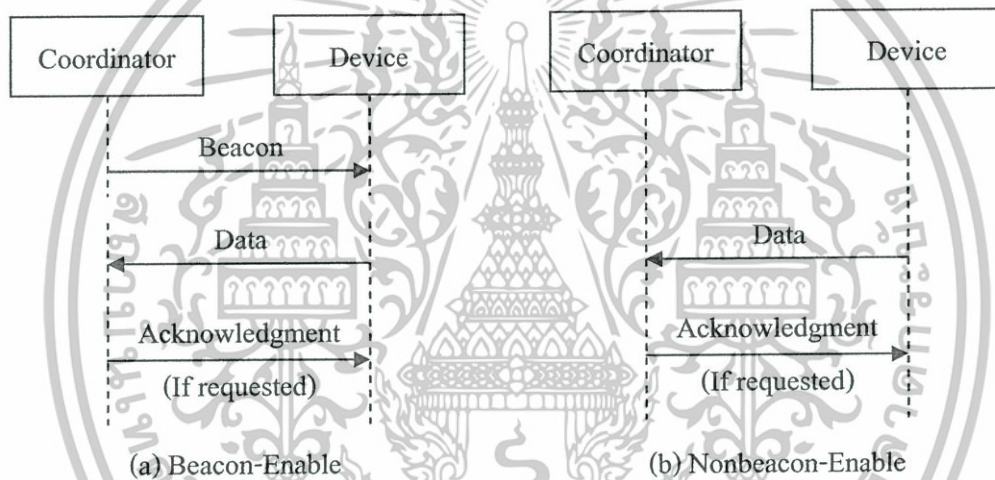
เครือข่ายแบบ Nonbeacon-Enabled คือการที่อุปกรณ์ต่างๆในเครือข่ายไม่มีการส่งข้อความ Beacon ในการ Synchronize อุปกรณ์ต่างๆ กล่าวคือ อุปกรณ์ต่างๆในเครือข่ายไม่จำเป็นต้องมีการ การ Synchronize เวลาของแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย ทำให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบ beacon-Enabled เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆในเครือข่ายมีการ Wake Up ที่น้อยกว่ามาก

2.6.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล

รูปแบบการสื่อสารข้อมูลหรือการส่งข้อมูลในเครือข่าย Zigbee มี 3 รูปแบบ ดังนี้

- การส่งข้อมูลไปที่ Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง)

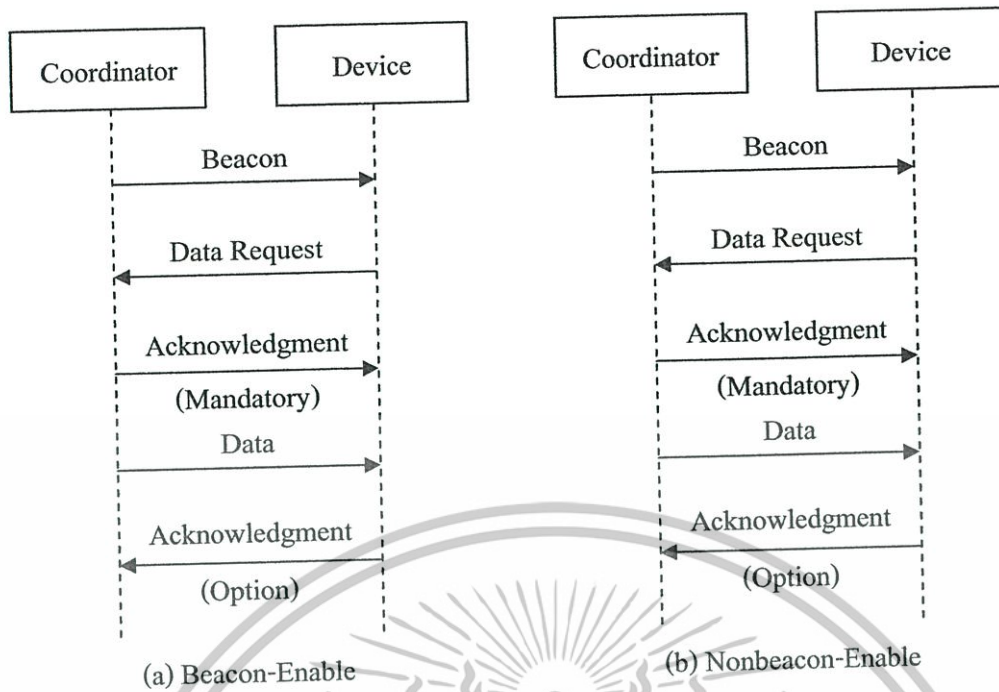
การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆไปยัง Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) ซึ่งมีการส่งข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 2.9 การส่งข้อมูลไป Coordinator

- การที่ส่งข้อมูลจาก Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง)

การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) ไปยังอุปกรณ์อื่นๆในเครือข่าย ซึ่งมีการส่งข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 2.10 การส่งข้อมูลจาก Coordinator

- การที่ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลโดยตรงของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย

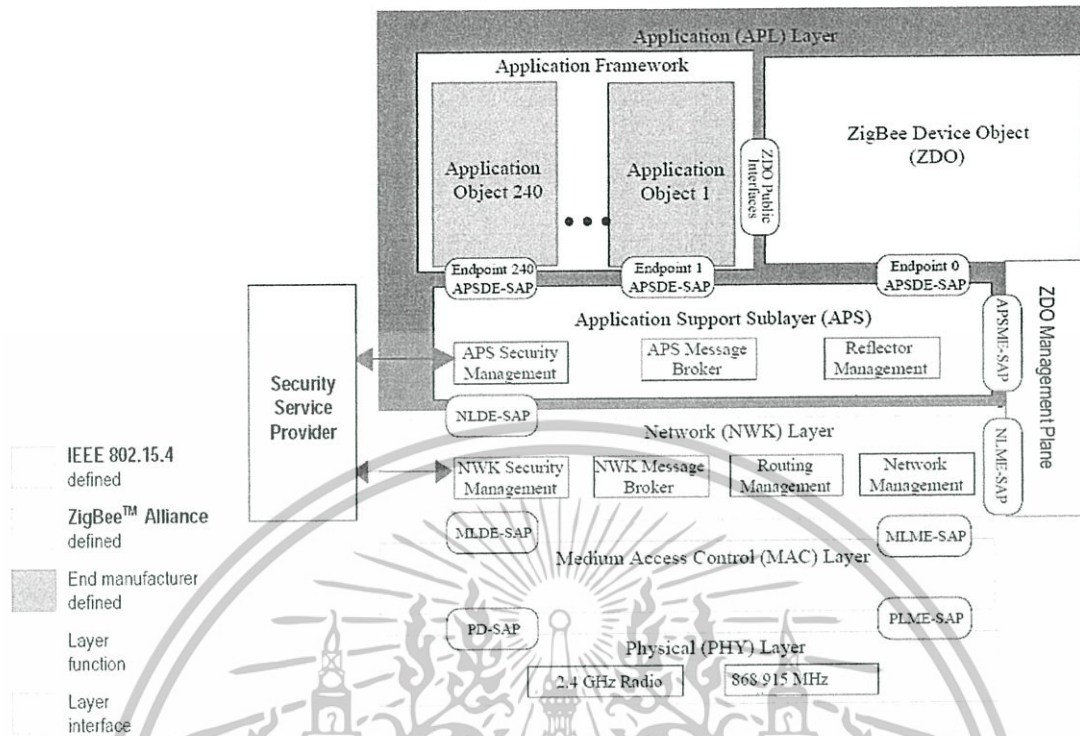
2.6.4 Addressing

อุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 จะมีการกำหนด Addressing 2 รูปแบบ กล่าวคือ ที่มีความยาว 64 bit (Extended Addressing) หรือที่ที่มีความยาว 16 bit (Short Addressing)

2.7 ภาพรวม Protocol ของ Zigbee และ IEEE 802.15.4

สถาปัตยกรรมของ Zigbee stack ดังรูปที่ 2.10 จะเป็นไปตาม OSI seven-layer model โดยในชั้นของ the physical layer (PHY) และ medium access control sub-layer (MAC) จะกำหนดตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และกำหนดตามมาตรฐานของ Zigbee ในชั้นของ the network layer (NWK) และ framework ในชั้นของ application layer ซึ่งจะมี the application support sub-layer (APS), the ZigBee device objects (ZDO) และ the manufacturer-defined application objects.

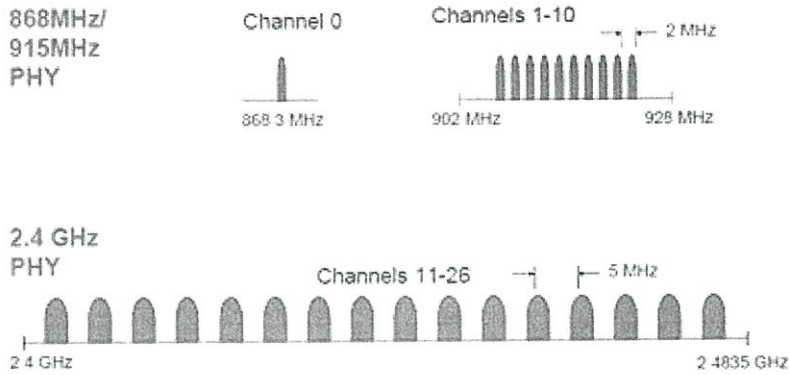
110311



รูปที่ 2.11 สถาปัตยกรรมของ Zigbee

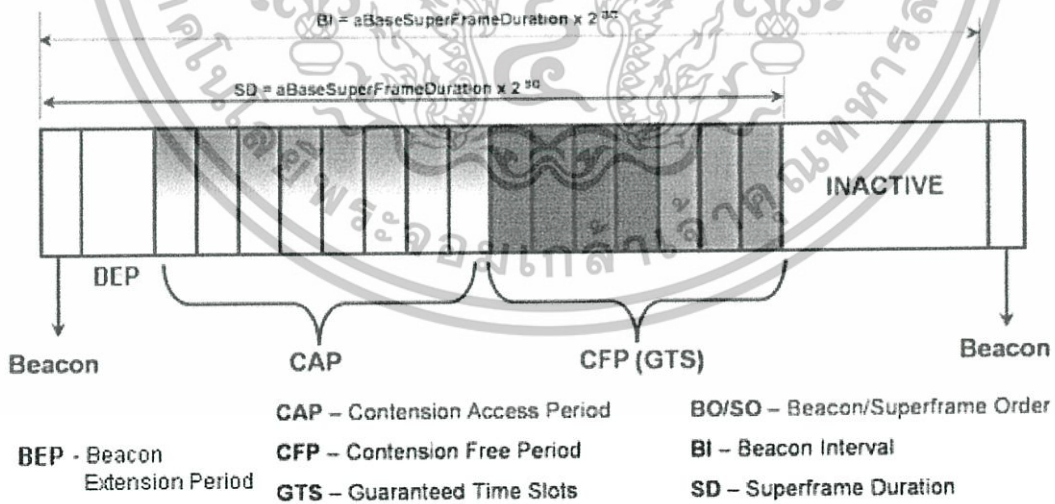
โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลางของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ แบบ Beacon-Enabled โดยที่จะเป็นการเป็นการพัฒนาวิธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง ให้มีประสิทธิภาพของเครือข่ายมากขึ้น กล่าวคือ มีขอบเขตที่จะพัฒนาวิธีการจัดลำดับของการส่งข้อมูลใน Superframe บน MAC Layer โดยวิธีการหรืออัลกอริทึมที่นำเสนอต้องมีความสอดคล้องกับมาตรฐาน Zigbee เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อ และสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน Zigbee ในปัจจุบันได้ ดังนั้น ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอ Protocol ของมาตรฐาน Zigbee และ IEEE 802.15.4 ที่สอดคล้องกับขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

IEEE 802.15.4 ได้ระบุ Physical และ Data link Protocols สำหรับ low-rate wireless personal area networks (LR-PAN) ใน Physical Layer มีความถี่ 3 ความถี่ กับ 27 Channel Channel 0 จะมีช่วงระหว่าง 868.0 ถึง 868.6 MHz Channel 1 ถึง Channel 10 ทำงานจาก 902.0 ถึง 928.0 MHz และแต่ละช่วงจะมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 40 kbps Channel 11 ถึง Channel 26 จะอยู่ในช่วง 2.4 ถึง 2.4835 GHz ซึ่งแต่ละช่วงมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 250 kbps แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 ย่านความถี่ของ IEEE 802.15.4

อุปกรณ์ IEEE 802.15.4 ถูกคาดหวังว่าจะมีพลังงานที่จะใช้งานอย่างจำกัด แต่ต้องมีการจัดการให้สามารถใช้ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน ดังนั้นการอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นประเด็นหลักที่พิจารณา อุปกรณ์ถูกแบ่งออกเป็น Full Function Devices (FFDs) และ Reduced Function Devices (RFDs) IEEE 802.15.4 สนับสนุนรูปแบบการสื่อสารแบบ Star และ Peer to Peer ในแต่ละ PAN จะมีหนึ่งอุปกรณ์ที่ถูกกำหนดขึ้นให้เป็น Coordinator ซึ่งจะมีหน้าที่สำหรับดูแลรักษาเครือข่าย FFD มีความสามารถเหมือนกับ Coordinator หรือมีความสัมพันธ์กับ Coordinator หรือเราเตอร์ที่ดำรงอยู่และเราเตอร์ที่เหมาะสม RFD สามารถที่จะมีความสัมพันธ์กับ Coordinator หรือเราเตอร์ที่ดำรงอยู่แต่จะไม่สามารถมีอุปกรณ์ถูกได้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ Superframe

Zigbee Coordinator กำหนดโครงสร้างของ Superframe ของเครือข่าย Zigbee ดังรูปที่ 2.12(a) โครงสร้างของ Superframe จะถูกควบคุมด้วย 2 ส่วนคือ Beacon Order (BO) และการคำนวณว่ากรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Superframe Order (SO) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความยาวของ Superframe และ Active portion สำหรับแต่ละเครือข่าย Beacon-enabled การกำหนดค่าของ BO และ SO ควรจะกำหนดตามความสัมพันธ์ $0 \leq SO \leq BO \leq 14$ แต่ละ Active Portion ประกอบด้วย 16 ช่องที่มีความยาวเท่ากัน ซึ่งประกอบด้วย Contention Access Period (CAP) และ Contention Free Period (CFP) ซึ่ง CAP ประกอบด้วย i Slot แรก ส่วน CFP จะประกอบด้วย $16-i$ Slot ที่ซึ่ง $1 \leq i \leq 16$ CSMA/CA ถูกใช้ใน CAP FFD ซึ่งต้องการอัตราการส่งข้อมูลคงที่สามารถตาม Guarantee Time Slots (GTS) จาก Coordinator CFP สามารถสนับสนุน GTS หลายๆ GTS ได้ และแต่ละ GTS อาจประกอบด้วยหลายๆ Slot ได้

ในเครือข่ายแบบ Star ของ beacon-enabled อุปกรณ์ต้องการกระทำสำหรับ $2^{(BO-SO)}$ portion ในแต่ละเวลา การเปลี่ยนค่าของ (BO-SO) ต้องปรับให้เหมาะสม อย่างไรก็ตาม เครือข่ายแบบ Star ของ beacon-enabled เราเตอร์มีการเลือกเวลาที่แตกต่างกันสำหรับการเริ่ม Active Portion เพื่อไม่ให้เกิดการชนกัน ค่าของ (BO-SO) จะถูกเลือก แต่ละเราเตอร์สามารถเลือกจาก $2^{(BO-SO)}$ slots ของ Active Portion ของมัน ในการแก้ไขของ IEEE 802.15.4 เราเตอร์สามารถเลือกหนึ่ง Active Portion เป็น Outgoing Superframe และบนพื้นฐานของ Active Portion ที่ถูกเลือกโดยอุปกรณ์ของมัน Active Portion จะเรียกว่า Incoming Superframe (ดังที่แสดงในรูป 2.12(b)) ใน Outgoing/Incoming Superframe เราเตอร์ถูกคาดหวังที่จะรับและส่ง beacon ถึง/จาก อุปกรณ์เราเตอร์หรืออุปกรณ์เราเตอร์เพื่อน เมื่อการเลือก Slot Active Portion ของเราเตอร์ข้างๆ ควรจะถูกเลื่อนไกลออกไปเพื่อหลบหลีกการรบกวน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีแรงจูงใจจากการสังเกตซึ่งรายละเอียดที่กำหนดไม่ชัดเจนเกี่ยวกับการเลือกสถานที่ของ Active Portion ของเราเตอร์ซึ่งคิดว่าจะทำให้ความล่าช้าของเครือข่ายลดลงได้ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณา 2 ชนิดของการเชื่อมต่อที่ซ้อนทับกันระหว่างเราเตอร์ซึ่ง 2 เราเตอร์มี การซ้อนทับกันทางตรง ถ้าอุปกรณ์ทั้งสองรับรู้อุปกรณ์ของมันและกันได้ และ 2 เราเตอร์มี การซ้อนทับกันทางอ้อม ถ้าอุปกรณ์ทั้งสองมีอุปกรณ์ข้างๆอย่างน้อยที่สุด 1 อุปกรณ์ที่ทั้งสองรับรู้ได้ การซ้อนทับกันของทั้งสองแบบควรจะถูกลีกล้างเมื่อมีการเลือก Active Portion ของเราเตอร์

Protocol ของเครือข่าย ZigBee ที่ถูกออกแบบโดย Zigbee Alliance เป็นเฉพาะในส่วน ของ Application layer, Application support layer และ Network layer เท่านั้น แต่ใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยจะมีโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังนี้

โครงสร้างของ Protocol ที่ถูกออกแบบโดย ZigBee

Application layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint อยู่ เรียกว่า Application framework โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

Network layer ทำหน้าที่ใช้ในการ routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

ขั้นตอนการทำงานของ Protocol ZigBee

ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee Coordinator

ZigBee Coordinator จะเริ่มต้นเครือข่าย โดยการตรวจสอบการใช้ช่องสัญญาณวิทยุภายในบริเวณรอบๆ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ไม่ถูกใช้โดย Coordinator ตัวอื่น ก็สามารถเริ่มต้นเครือข่ายได้ หลังจากนั้น Coordinator ก็จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย รองรับการทำงานร่วมกันของ ZigBee End-device และรองรับการร้องขออื่นๆ ตามมาตรฐานด้วยเช่นกัน

ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee End-device

ZigBee End-device จะเริ่มต้นการทำงาน โดยการร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายไปยัง Coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ว่า Coordinator ใช้ช่องสัญญาณได้อยู่เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว End-device จึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่านทาง Coordinator ได้ เช่น การส่งข้อความทั่วไป (Message), การร้องขอการ Binding (Binding request), การขอยกออกจากเครือข่าย

2.8 การประยุกต์ใช้งาน Zigbee และ IEEE 802.15.4

2.8.1 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งาน ZigBee ซึ่งการประยุกต์ใช้งานนั้น จะแบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 แบบคือ

1. ข้อมูลแบบ Periodic ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เซ็คข้อมูล และทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์ และมีเตอร์

2. ข้อมูลแบบ Intermittent เป็นลักษณะการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตซ์ไฟ

3. ข้อมูลแบบ Repetitive low latency ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อย ๆ โดยการสื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่วงเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการนำไปใช้ในงาน เช่น แมสส์ไร้สาย

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน ถ้านำมามาตรฐานเครือข่ายแบบไร้สาย IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้ โดยเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

กับอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับยกตัวอย่างได้ดังนี้

- ระบบการควบคุมอัตโนมัติ ที่บ้าน โรงงาน และ โกดังเก็บสินค้า เป็นต้น
- ระบบการติดตามสำหรับ ความปลอดภัย ชีวิตอนามัย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น
- การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้ใน การปฏิบัติการทางทหาร การทำงานของนักผจญ

เพลิง และ บริษัทที่ต้องการการตรวจหาตำแหน่งแบบเวลาจริง

- ให้ความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบ interactive
- ฯลฯ

มาตรฐาน 802.15.4 หรือ ZigBee ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก เช่น ในทางชีวิตอนามัย นอกจากนี้ Zigbee Wireless Network จะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงอุบัติเหตุต่างๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว เป็นต้น ทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และตัวอุปกรณ์มีช่วงการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้น นอกจากนี้ยังมีราคาแพงอีกด้วย แต่ใน Zigbee Wireless Network สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐานเช่น เซนเซอร์ และ Actuators ที่มีราคาถูก ทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่ต้องการ

สำหรับการประยุกต์ Zigbee Wireless Network มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้ อุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามา โทรศัพท์จะลดเสียงลงอัตโนมัติ โดยไม่ต้องเซตค่าต่างๆให้กับ อุปกรณ์ แต่อุปกรณ์จะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเรากายในบ้าน โดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มแสงหลอดไฟ อุณหภูมิ เพลง ช่องโทรทัศน์ และ Web Site โดยแต่ละอุปกรณ์จะเรียนรู้รสนิยมของแต่ละคนและบันทึกไว้

นอกจากนี้เราสามารถนำ Zigbee Wireless Network มาประยุกต์ใช้ในการคมนาคม กับ อุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่อยู่ตามท้องถนน ทางด่วน และที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆจะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนน อุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่รถวิ่งอยู่เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุ เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนน จะมีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยเช่น ไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมา และระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น

ประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถตรวจหาตำแหน่งของรถได้ ซึ่งจะคล้ายกับระบบ GPS แต่ระบบ GPS นี้ไม่สามารถตรวจหาตำแหน่งในบางสถานที่ได้ เช่นในอุโมงค์ ภายในอาคาร เป็นต้น และระบบ GPS ยังมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งมากกว่า การใช้งานใน Zigbee Wireless Network อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้งานในปัจจุบันที่ชัดเจนในการนำ Zigbee Wireless Network ไปใช้งาน คือ การที่ ZigBee(R) Alliance ประกาศว่า สมาคม Continua Health Alliance ซึ่งเป็นองค์ชั้นนำด้านการดูแลสุขภาพและเป็นเครือข่ายบริษัทด้านเทคโนโลยีสุขภาพชั้นนำที่ไม่หวังผลกำไรได้เลือกใช้บริการ ZigBee Health Care เป็นตัวกำหนดมาตรฐานเครือข่าย LAN (Local Area Network) ของทางสมาคม โดย ZigBee Health Care ให้บริการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายที่ช่วยรองรับการใช้งานอุปกรณ์หลายพันรายการในเครือข่ายเดียว ทั้งนี้ สมาคม Continua Health Care ได้แนะนำการใช้ ZigBee เพื่อกำหนดและควบคุมการติดตั้งระบบการทำงานในสถานประกอบการ ครั้วเรือน ศูนย์กิจกรรมสันทนาการ และสำนักงานใหญ่ที่ตั้งอยู่ทั่วทุกแห่ง

ZigBee Health Care เป็นมาตรฐานด้านการดูแลสุขภาพ ความแข็งแรง และความสมบูรณ์ของร่างกาย

ZigBee Health Care คือ บริการด้านการกำหนดมาตรฐานระดับโลกสำหรับการใช้อุปกรณ์ไร้สายที่เป็นระบบปฏิบัติการซึ่งใช้กันแพร่หลายมากขึ้น เพื่อช่วยให้การดูแลสุขภาพด้านการเฝ้าสังเกตอาการ และการรับมือกับโรคร้าย อาการผิดปกติ ปัญหาเรื่องโรคอ้วน รวมถึงภาวะชราภาพได้ตั้งแต่เนิ่นๆ นอกจากนี้ มาตรฐานดังกล่าวยังถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในครั้วเรือน ศูนย์ออกกำลังกาย สมาคมผู้สูงอายุ สถานพยาบาล และศูนย์บริการทางการแพทย์หลายแห่ง โดยบริการดังกล่าวสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า รวมถึงผู้ให้บริการด้านสุขภาพ ผู้ผลิตสินค้า และเจ้าหน้าที่กำหนดนโยบาย โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองของ ZigBee Health Care สามารถใช้งานได้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆของ ZigBee ที่ใช้ในบ้านเรือนและสถานประกอบการเชิงพาณิชย์ สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาเข้าชมที่เว็บไซต์

สำหรับแนวทางการดำเนินงานของสมาคม Continua Health Alliance นั้น ZigBee Health Care จะให้บริการด้านการเชื่อมต่อไร้สายที่ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงานในส่วนของกิจกรรมผู้ป่วยและอำนวยความสะดวกในการติดตามข้อมูลระหว่างการส่งผ่านเครือข่ายไร้สายภายนอกอาคาร โดย Zigbee ดำเนินระบบที่ทำงานสอดคล้องกับเทคโนโลยีไร้สายอื่นๆ เช่นระบบ Wi-Fi ได้เป็นอย่างดี นอกเหนือจากสมาคมแห่งนี้แล้ว ZigBee Health Care ยังให้บริการโซลูชั่นหลากหลายที่ประหยัดต้นทุนและผ่านรับการรับรองจากผู้ประกอบการด้านอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์รายใหญ่ของโลกหลายแห่ง

"การที่ Continua Health Alliance เลือกใช้บริการของ ZigBee Health Care สะท้อนให้เห็นถึงการยอมรับและการเล็งเห็นถึงความเป็นผู้นำของ ZigBee Health Care ที่ตอบสนองความต้องการของทางสมาคมได้เป็นอย่างดี" Rick Cnossen หัวหน้าและประธานคณะกรรมการบริหารกล่าว " ZigBee Health Care จะเป็นประโยชน์สำหรับการกำหนดแนวทางที่เฉพาะเจาะจงสำหรับใช้แอปพลิเคชัน LAN ประหยัดพลังงานทั่วโลก"

เครื่องมือที่ใช้งานตามมาตรฐานดังกล่าวจะช่วยยืดอายุผู้ป่วยให้มีชีวิตได้ยาวนานขึ้น โดยมาตรฐานดังกล่าวยังเพิ่มระดับความปลอดภัยที่จำเป็นต่อการคุ้มครองข้อมูลส่วนตัวและการปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของทางบริษัทและออกให้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้อ่านและผู้เห็นชอบใช้ประโยชน์จากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามข้อกำหนดให้สอดคล้องกับมาตรฐานด้านการกำกับดูแล

"ในฐานะที่เป็นบริษัทชั้นนำด้านการดูแลสุขภาพ ฟิลิปส์หวังที่จะใช้ ZigBee Health Care ในทุกผลิตภัณฑ์" พอล โคเบิร์ก ฟาน เดน บราก ผู้อำนวยการอาวุโสของ Royal Philips Electronics ซึ่งเป็นหนึ่งในคณะกรรมการบริหารของ Continua กล่าว "ZigBee Health Care ช่วยปูทางการกำหนดมาตรฐานที่สมบูรณ์แบบสำหรับการติดตามข้อมูลส่วนบุคคลไปจนถึงการใช้งานกับอุปกรณ์ทางการแพทย์"

ทั้งนี้ มาตรฐานของ ZigBee Health Care สามารถสนองตอบการใช้เทคโนโลยีไร้สายของ ZigBee ที่ถูกคิดค้นในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผู้บริโภค เครื่องใช้ที่ทำงานแบบอัตโนมัติภายในบ้าน และอุปกรณ์ที่มีระบบการทำงานอัตโนมัติในสถานประกอบการเชิงพาณิชย์

"ZigBee Alliance หวังเป็นอย่างยิ่งที่จะให้ความร่วมมือที่สร้างสรรค์และยาวนานกับสมาคม Continua Health Alliance และขอขอบคุณที่ Continua Health Alliance เลือกใช้ ZigBee Health Care" ดร.โรเบิร์ต เอฟ เฮติ ประธานของ ZigBee Alliance กล่าว "ZigBee Health Care พร้อมที่จะเป็นผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับการใช้งานในทุกวันนี้และหวังที่จะให้บริการระบบที่ผ่านการรับรองเพื่อนำไปใช้งานกับอุปกรณ์แต่ละชิ้นได้อย่างเหมาะสม"

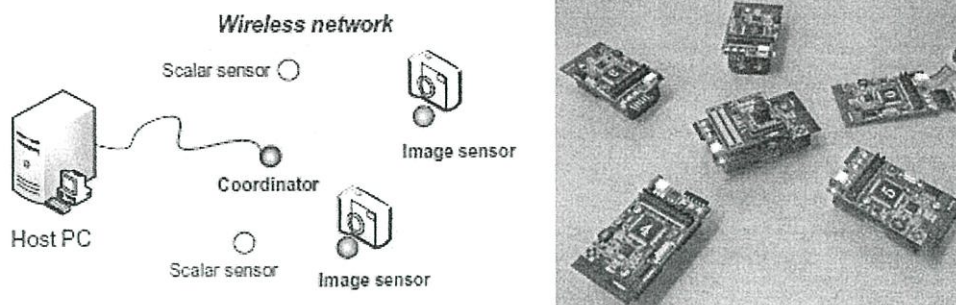
2.8.2 การออกแบบเครือข่าย Zigbee เพื่อสนับสนุน Multimedia

เรื่อง Design and implementation of enhanced IEEE 802.15.4 for supporting multimedia service in Wireless Sensor Networks

ผู้แต่ง Changsu Suh, Zeeshan Hameed Mir และ Young-Bae Ko

งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยใช้มาตรฐาน Zigbee และ IEEE 802.15.4 เป็นการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ Multimedia กล่าวคือ พัฒนาระบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่สามารถส่งข้อมูลที่เป็น Multimedia ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยี Zigbee มาประยุกต์ใช้และพัฒนา เป็นตัวอย่างหนึ่งของการใช้งาน Zigbee ในปัจจุบัน โดยแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการกำหนดวิธีการส่งข้อมูลในเครือข่าย Zigbee ที่เหมาะสม ก็จะสามารถนำไปใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่มีการส่งข้อมูลในลักษณะ Multimedia ได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการอัตราการส่งข้อมูลที่มาพอสมควร เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่

2.14



รูปที่ 2.14 ระบบ multimedia บนเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

2.8.3 ระบบเครือข่าย Zigbee เพื่อการตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์

เรื่อง ZigBee-based wireless sensor networks for monitoring animal presence and pasture time in a strip of new grass

ผู้แต่ง Changsu Suh, Zeeshan Hameed Mir และ Young-Bae Ko

งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ในการพัฒนาระบบการตรวจจับสภาพแวดล้อม (Monitoring System) เพื่อการเลี้ยงสัตว์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์

2.8.4 ระบบเครือข่าย Zigbee เพื่อการตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร

เรื่อง Sun, wind and water flow as energy supply for small stationary data acquisition platforms

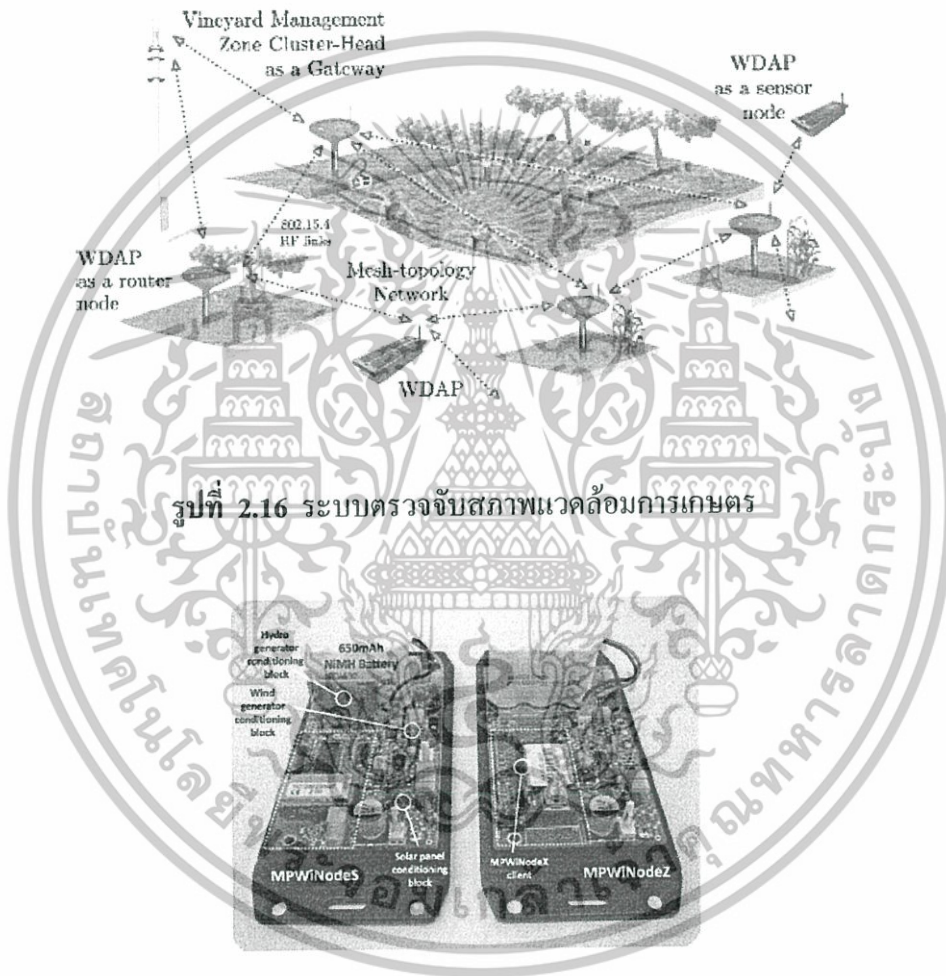
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้แต่ง Raul Moraisa, Samuel G. Matosb, Miguel A. Fernandesb,

Antonio L.G. Valentea, Salviano F.S.P. Soaresa, P.J.S.G. Ferreirac และ

M.J.C.S. Reisa

งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ในการพัฒนาระบบการตรวจจับสภาพแวดล้อม (Monitoring System) เพื่อการทำเกษตร ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.16 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร

รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ของระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่างๆที่นำเสนอข้างต้น เป็นงานวิจัยที่มีการเผยแพร่ในต่างประเทศ โดยแสดงให้เห็นว่า ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน การใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับ หรือการใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย มีการใช้งานอย่างมากและแพร่หลาย เพื่อที่จะนำมาใช้ให้เกิดความสะดวกสบาย ความปลอดภัย รวมถึงความแม่นยำ เป็นต้น และแสดงให้เห็นอีกว่า เทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการใช้งานทางด้านการสื่อสารในเครือข่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network : WSN) มีอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น RFID (Radio Frequency Identification) Bluetooth เป็นต้น แต่มีเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารที่เริ่มเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย คือ Zigbee โดยได้มีผู้ที่พัฒนาระบบทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายด้วย Zigbee มากมายดังตัวอย่าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆข้างต้น

ทั้งหมดที่กล่าวในหัวข้อนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของการประยุกต์ใช้งาน Zigbee Wireless Network ในปัจจุบัน ซึ่งในอนาคตการพัฒนา Application ของ Zigbee Wireless Network ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

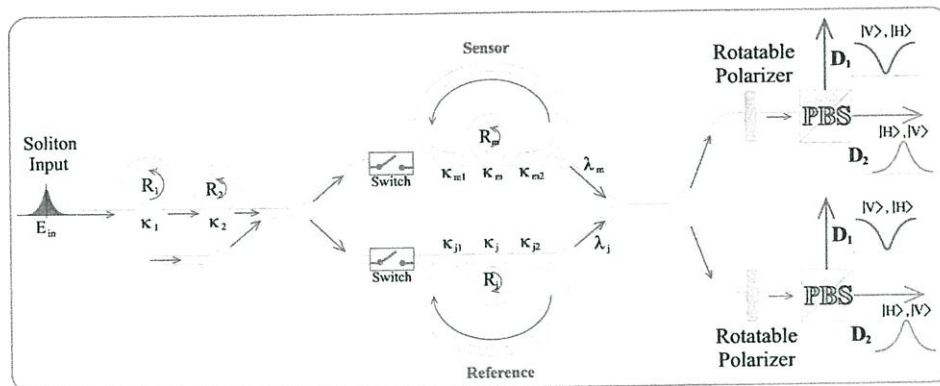
หัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในต่างประเทศ เช่น ระบบ Sensor ในปัจจุบันมีการใช้งานในลักษณะที่พิเศษอย่างไรบ้าง การพัฒนาระบบต่างๆ โดยการนำเครือข่าย Zigbee มาประยุกต์ใช้งานมีอย่างไรบ้าง ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.9.1 ระบบ Sensor และ Application (Nano Scale Sensing)

เรื่อง Nano-scale Sensing Transducer using Entangled Photon Walk-off Compensation

ผู้แต่ง P. Juleang, S. Mitatha, P. Bunyatnoparat และ P.P. Yupapin

งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงระบบ Sensor โดยเป็นระบบ Sensor ขนาดเล็กที่มีการพัฒนาโดยการนำนาโนเทคโนโลยีในส่วนของ Micro-Ring มาประยุกต์ใช้งาน เสนอแนวคิดใหม่ของ Nano-Sensing Transducer ระบบใช้ Nano-Waveguide กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยทางกายภาพที่มีผลต่อปริมาณการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ภายในอุปกรณ์ เช่น ครรชนหักเห หรือ ความยาวซึ่งการดูดซึมและปฏิบัติโดยการ Resonant สัญญาณ หลักการในการจับเก็บ Light Pulse ที่ระบุความยาวคลื่นถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Soliton Propagating ภายใน Micro-Ring ที่ Resonator สัญญาณสามารถเก็บไว้ภายใน Nano-Waveguide และสามารถตรวจพบสัญญาณต่างๆ ได้โดยใช้ตัว Optic/Quantum โปรเซสเซอร์ ซึ่งมีระบบ Sensor ที่นำเสนอ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.18 ระบบ Nano-scale Sensing

2.9.2 ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary

เรื่อง ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary

ผู้แต่ง Sinem Coleri Ergen

Email: csinem@eecs.berkeley.edu

งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงภาพรวมของเทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์ Zigbee ทั้งหมด กล่าวคือ กล่าวถึงความเป็นมาของมาตรฐาน Zigbee และ IEEE 802.15.4 การเปรียบเทียบ Zigbee กับ Bluetooth กล่าวถึงรูปแบบของเครือข่ายที่ใช้มาตรฐาน Zigbee และ IEEE 802.15.4 รวมถึงมีการกล่าวถึง Protocol บางส่วนของ Zigbee คือ IEEE 802.15.4 Physical Layer, IEEE 802.15.4 Mac Layer และ Zigbee Routing Layer

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การศึกษาเกี่ยวกับ Zigbee เริ่มมีผู้สนใจมากขึ้น และ Zigbee เริ่มมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network) ที่น่าศึกษาและน่าสนใจมากในปัจจุบัน

2.9.3 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

เรื่อง Quick convergecast in ZigBee beacon-enabled tree-based wireless sensor networks

ผู้แต่ง Meng-Shiuan Pan และ Yu-Chee Tseng

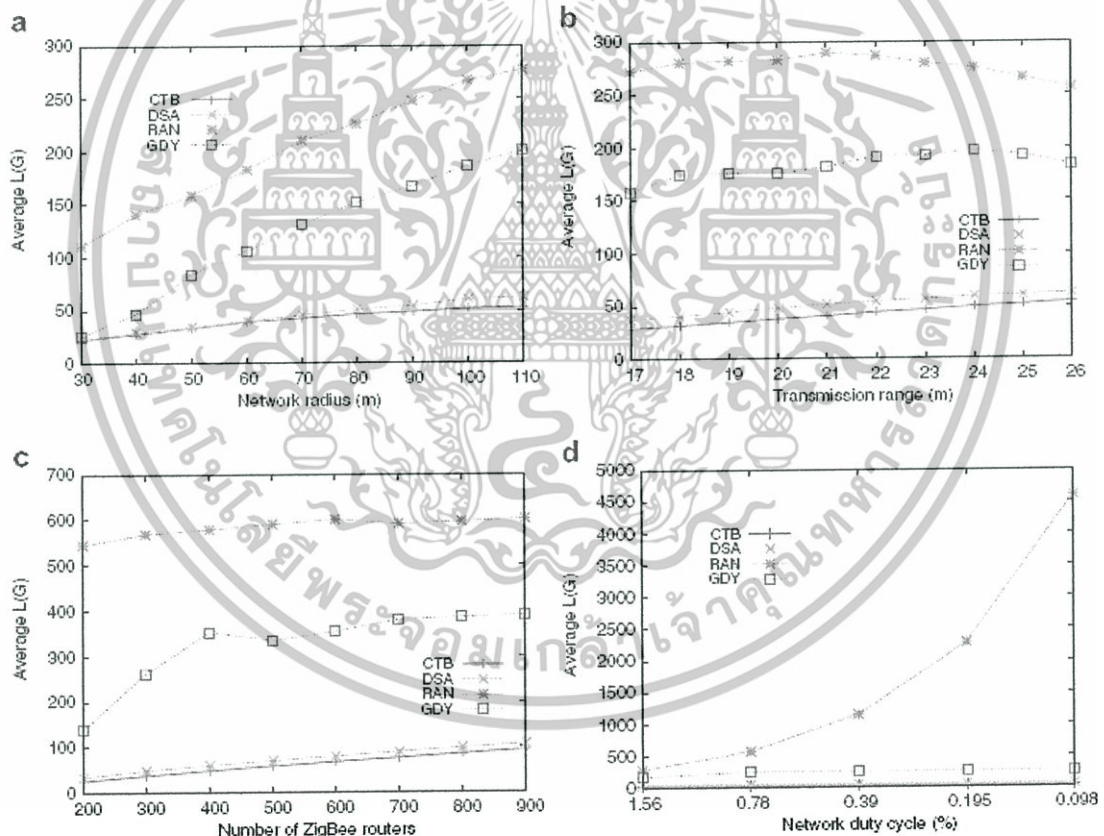
งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการส่งกลับข้อมูลซึ่งเป็นการทำงานขั้นพื้นฐานในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับแบบไร้สาย ในปัจจุบันการแก้ปัญหาการส่งข้อมูลกลับจะเป็นการเพิ่มความเร็วของเครือข่ายและลดการสิ้นเปลืองพลังงาน อย่างไรก็ตามการออกแบบที่ดีควรจะสอดคล้องกับมาตรฐานซึ่งจะต้องพิจารณาในส่วนนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการให้นิยามของ MDBS (minimum delay beacon scheduling proble) สำหรับการส่งกลับข้อมูลอย่างรวดเร็วในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้

เอกสารฉบับนี้โดยใช้นามมาตรฐานซิกบีและปัญหานี้คือรูปแบบ NP-complete การพัฒนาจะคำนึงถึงการไม่ว่ากรณีใดทุกสิ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบที่สิ้นเปลืองพลังงานต่ำของ IEEE 802.15.4 และจะเสนอทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับกรณีพิเศษและ Heuristic Algorithms สำหรับกรณีทั่วไป ผลการจำลองการทำงานจะแสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่นำเสนอสามารถส่งข้อมูลกลับอย่างรวดเร็วได้

โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่มีอุปกรณ์ปลายทางหรืออุปกรณ์ที่ต้องการข้อมูลจากเครือข่ายเพียงหนึ่งอุปกรณ์เท่านั้น

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินวิธีการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่มีอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐานซิกบี ในลักษณะเครือข่ายแบบทรีและแบบวงแหวน โดยนำเสนออัลกอริทึม 2 อัลกอริทึม คือ Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ซึ่งเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมพื้นฐาน คือ Random Assignment (RAN) และ Greedy Assignment (GDY) ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายได้ผล ดังภาพ



รูปที่ 2.19 เปรียบเทียบความล่าช้าเครือข่ายจากการใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน

สรุปผลของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการที่นำเสนอ Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ทำให้เกิดความล่าช้าของการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์น้อยกว่าวิธีการอื่นๆที่นำมาเปรียบเทียบ (Random Assignment (RAN) และ Greedy Assignment (GDY))



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ลักษณะและปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบ อุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

ในส่วนของบทนี้เป็นกรกล่าวถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบ
อุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์และความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์
ปลายทางหลายอุปกรณ์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของการศึกษาวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ รวมถึงมีการกล่าวถึง ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานในลักษณะเครือข่ายอุปกรณ์
ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งพิจารณาปัญหาที่สำคัญ 3 ปัญหาโดยมี
หัวข้อต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์
- ปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

ปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย

: Data Collision Problem (DCP)

ปัญหาของการส่งข้อมูล ไม่ถูกต้องในเครือข่าย

: Data Incorrect Problem (DIP)

ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย

: Delay Beacon Scheduling Problem (DBP)

3.1 ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

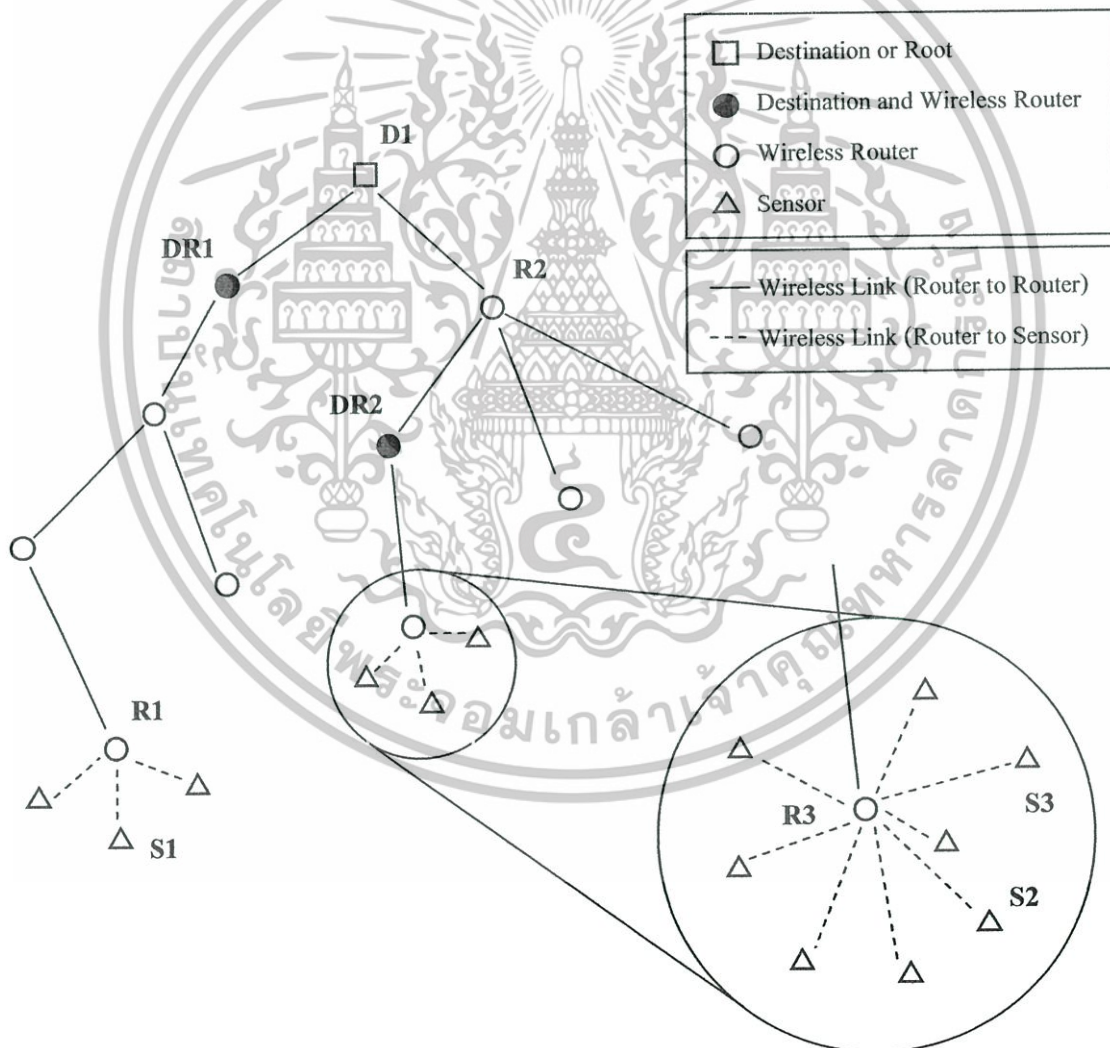
หัวข้อนี้จะแสดงถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทาง
หลายอุปกรณ์ รวมถึงอุปกรณ์ที่มีอยู่ในเครือข่าย การทำงานของเครือข่าย ลักษณะการส่งข้อมูล
ภายในเครือข่าย และความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย
อุปกรณ์

3.1.1 รูปแบบของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์
อุปกรณ์ปลายทาง (Destination) หมายถึง อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่
มีความต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) หมายถึง อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่ทำ
หน้าที่ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ หรือสิ่งต่างๆที่เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับนั้นๆสนใจ และส่ง

จากรูป 3.1 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ เป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ตรวจจับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ กล่าวคือ ข้อมูลจาก อุปกรณ์ตรวจจับ S1 เมื่อมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆก็จะมี การส่งข้อมูลไปยัง D1 ซึ่งเป็น อุปกรณ์ปลายทางเดียวของเครือข่าย โดยที่ Wireless Router R1 R2 และ R3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ส่ง ข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ (Multi Destinations in Wireless Sensor Network) หมายถึง เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย ที่มีอุปกรณ์ ที่ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ต่างๆ มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน ซึ่ง ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับทุกอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลกลับไปยังอุปกรณ์ปลายทางทุก อุปกรณ์ และอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงทุกอุปกรณ์



รูปที่ 3.2 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

จากรูป 3.2 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ตรวจจับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ กล่าวคือ ข้อมูลจาก อุปกรณ์ตรวจจับ S1 เมื่อมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆก็จะมีการส่งข้อมูลไปยัง D1 ซึ่งเป็น อุปกรณ์ปลายทางและเป็น Root ของเครือข่าย และข้อมูลจาก S1 อาจจะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง DR1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางอีกอุปกรณ์ด้วยเช่นกัน รวมถึงข้อมูลจาก S2 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ ปลายทาง D1 และ DR2 ทั้งสองอุปกรณ์ด้วย หรือข้อมูลจาก S3 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ ปลายทาง DR2 เพียงอย่างเดียว โดยที่ Wireless Router R1 R2 และ R3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูล ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

จากรูป 3.1 และ รูป 3.2 เป็นการแสดงถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย แบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์และหลายอุปกรณ์ โดยเครือข่ายทั้งสองลักษณะจะมีรูปแบบ และอุปกรณ์ใกล้เคียงกัน เพียงแต่เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย อุปกรณ์ จะเพิ่มเติมในส่วนของ Destination and Wireless Router ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆ ในเครือข่ายนอกจาก Root ที่ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยเช่นเดียวกัน

3.1.2 การส่งข้อมูลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย

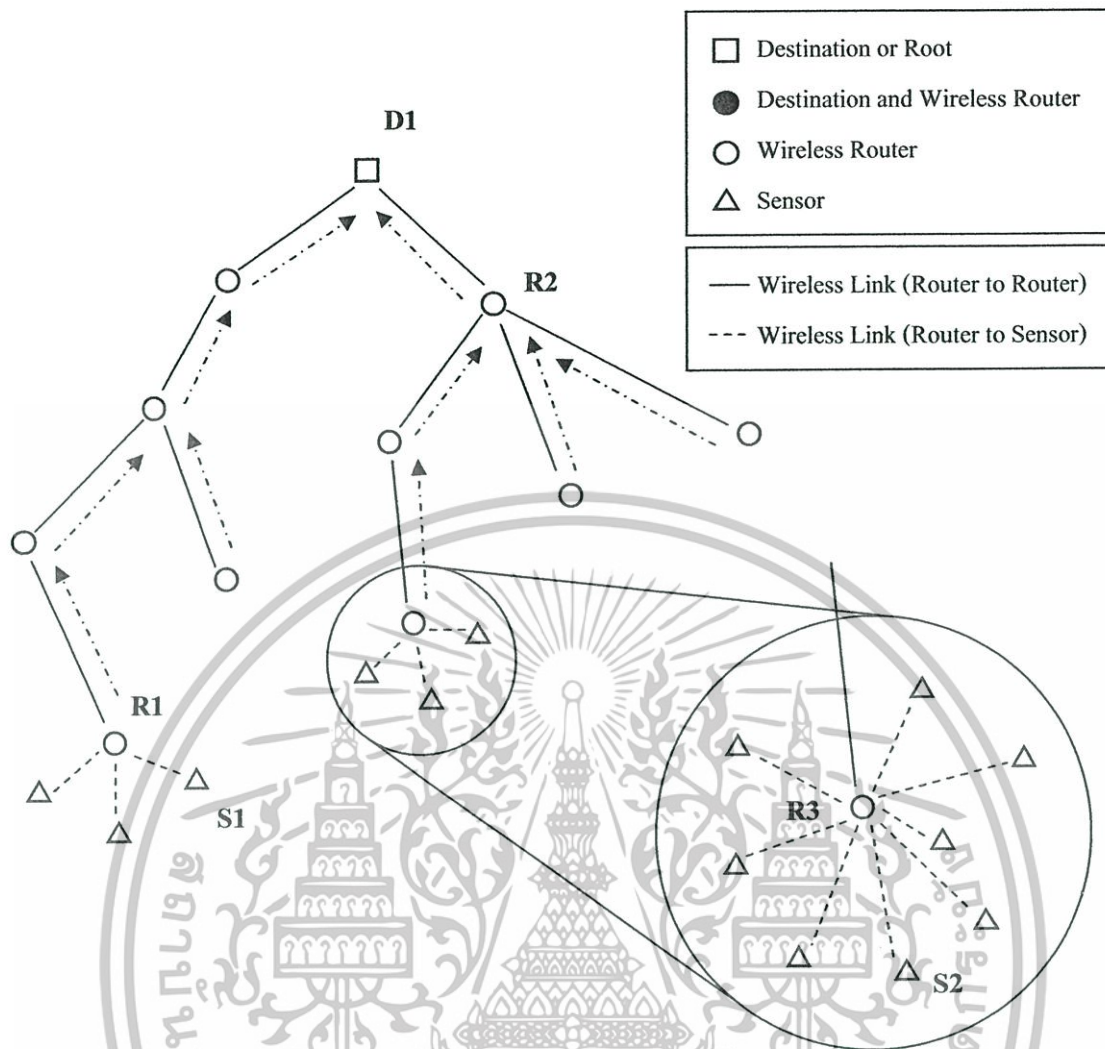
อุปกรณ์

ส่วนนี้เป็นการกล่าวถึงการส่งข้อมูล การสื่อสาร ในลักษณะของการส่งข้อมูลกลับสู่ ศูนย์กลาง ภายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยทั่วไป ทั้งที่เป็นแบบ อุปกรณ์ปลายทางหนึ่ง อุปกรณ์และอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

ลักษณะการทำงานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้โดยทั่วไป มีการทำงานคือ การที่ อุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ในเครือข่ายมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะมีการนำข้อมูลที่ ได้ส่งข้อมูลกลับไปยังศูนย์กลางของเครือข่าย โดยจะมีการส่งข้อมูลอีกรูปแบบหนึ่งคือ การ กระจายข้อมูลจากศูนย์กลาง เป็นการทำงานในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยการส่งข้อมูลจาก ศูนย์กลางของเครือข่ายไปยังอุปกรณ์ปลายทางต่างๆ

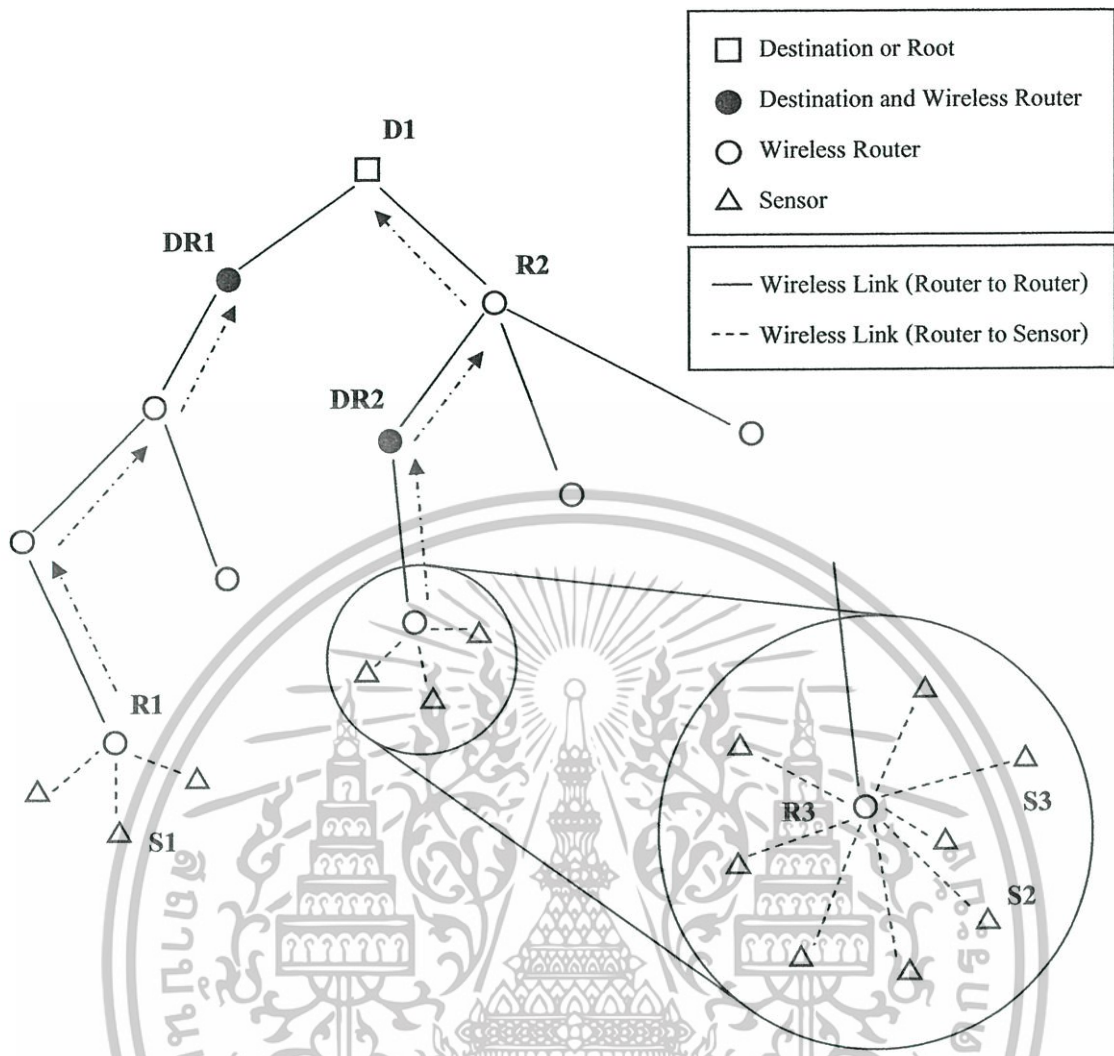
การกระจายข้อมูลจากศูนย์กลาง (Broadcast) หมายถึง การที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น อุปกรณ์ศูนย์กลางของเครือข่าย (Root) ส่งข้อมูลบางอย่าง ไปยังอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่าย โดย ผ่านไปทาง Wireless Router ต่างๆ

การส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) หมายถึง การที่อุปกรณ์ตรวจจับมีการ ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะมีการนำข้อมูลที่ ได้ ส่งข้อมูลกลับไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย (Root) โดยผ่านไปทาง Wireless Router ต่างๆ โดยในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะเป็นการพิจารณาการส่งข้อมูลของเครือข่ายในลักษณะของการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง เท่านั้น



รูปที่ 3.3 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.3 แสดงการส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ เป็นการอธิบายถึงการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ โดยที่อุปกรณ์ปลายทางทุกอุปกรณ์จะส่งข้อมูลกลับไปยังศูนย์กลางของเครือข่าย (Root) ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ถูกส่งผ่านที่ยัง R1 และส่งต่อไปยัง Wireless Router อื่นๆจนถึงศูนย์กลางของเครือข่าย เป็นต้น กล่าวคือ ข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับภายในเครือข่ายทั้งหมดจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของเครือข่ายทีเดียว

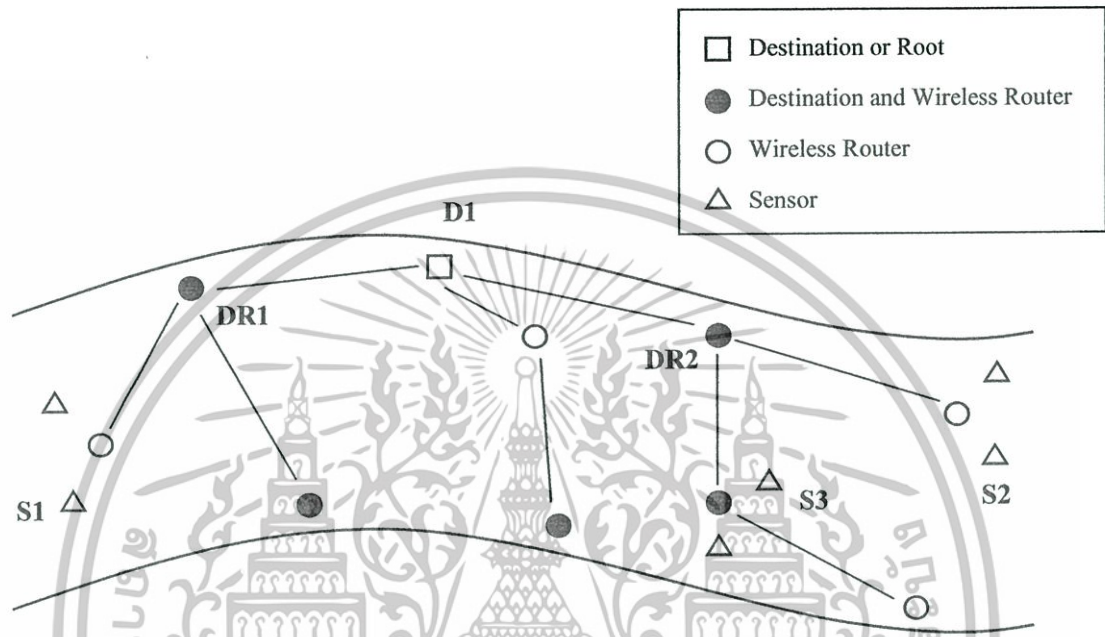


รูปที่ 3.4 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.4 แสดงการส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เป็นการอธิบายถึงการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 เป็นข้อมูลที่อุปกรณ์ปลายทาง DR1 ต้องการ แต่ D1 ไม่ต้องการ ดังนั้น ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 จึงถูกส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR1 เท่านั้น ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 เป็นข้อมูลที่อุปกรณ์ปลายทาง DR2 ต้องการ และ D1 ต้องการ ดังนั้น ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 จึงถูกส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง D1 ซึ่งเป็นศูนย์กลางของเครือข่าย โดยจะผ่านอุปกรณ์ปลายทาง DR2 ซึ่งต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 อุปกรณ์ปลายทาง DR2 ก็จะนำข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 ไปใช้งานได้

3.1.3 ความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย อุปกรณ์

ส่วนนี้กล่าวถึงความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เห็นว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการใช้งานระบบติดตามสถานการณ์ หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำ

จากรูป 3.5 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ (Multi Destinations in Wireless Sensor Network) ในลักษณะของระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำในบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ความกว้างของแม่น้ำประมาณ 700 เมตร ชาวบางปะกงส่วนใหญ่มีการเลี้ยงปลากระพง ซึ่งเป็นปลาที่ทำรายได้สำคัญให้กับผู้คนในบริเวณนี้ ถ้ามีการใช้งานในลักษณะที่เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มาติดตามสถานการณ์ของแม่น้ำบางปะกง เช่น ในวันหนึ่งๆ ปริมาณออกซิเจนเหมาะกับการให้อาหารหรือไม่ หรือมลพิษในแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยทำให้การพัฒนาวิธีการเลี้ยงปลากระพงมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และจะต้องเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์เนื่องจาก บริเวณที่เลี้ยงปลา มีบริเวณที่กว้างมากกว่าระยะทางการส่งสัญญาณ ตำแหน่งที่ต้องการข้อมูลของแต่ละคนไม่เหมือนกัน และผู้เลี้ยงปลากระพงมีความต้องการข้อมูลของแม่น้ำบางปะกงในลักษณะของข้อมูลจริงตลอดเวลาและมากกว่า 1 คน ด้วยตัวอย่างเช่นนี้ทำให้งานวิจัยนี้เห็นว่าระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์มีประโยชน์และมีความสำคัญเป็นอย่างมาก กล่าวคือ จากรูป D1 เป็นกระชังปลากระพงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย DR1 และ DR2 เป็นกระชังปลากะพงที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Wireless Router และต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง D1 DR1 และ DR2 ต้องการข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเวลาเดียวกัน (Real Time) S1 S2 และ S3 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ อธิบายได้ว่า D1 และ DR1 ต้องการข้อมูลจาก S1 ดังนั้นการส่งข้อมูลกลับจาก S1 จึงส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางมากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ เป็นต้น

3.2 ปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

หัวข้อนี้จะแสดงถึงปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ซึ่งพิจารณาปัญหาที่สำคัญ 3 ปัญหา ดังนี้

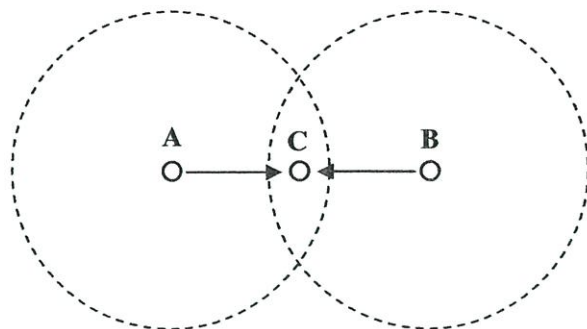
3.2.1 ปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย

ในการใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย จะพบปัญหาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลในเครือข่าย 2 แบบ ซึ่งทั้ง 2 แบบจะเป็นลักษณะของการชนกันของข้อมูลเนื่องมาจากการส่งข้อมูลออกอากาศเพื่อไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ถ้ามีการส่งที่ไม่เหมาะสมหรือมีเวลาในการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสม ซึ่งในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจำเป็นต้องพิจารณาให้ปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้ง 2 แบบนี้ไม่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.6 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง

จากรูปที่ 3.6 แสดงปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง กล่าวคือ เราเตอร์ A ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ B และในเวลาเดียวกันเราเตอร์ B ก็ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ A ด้วยเช่นกัน แล้วระสมิของการส่งสัญญาณของทั้งสองเราเตอร์ก็สามารถส่งสัญญาณถึงกันได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นก็จะเกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น โดยเราเตอร์ทั้งสองก็จะไม่สามารถรับข้อมูลของกันและกันได้



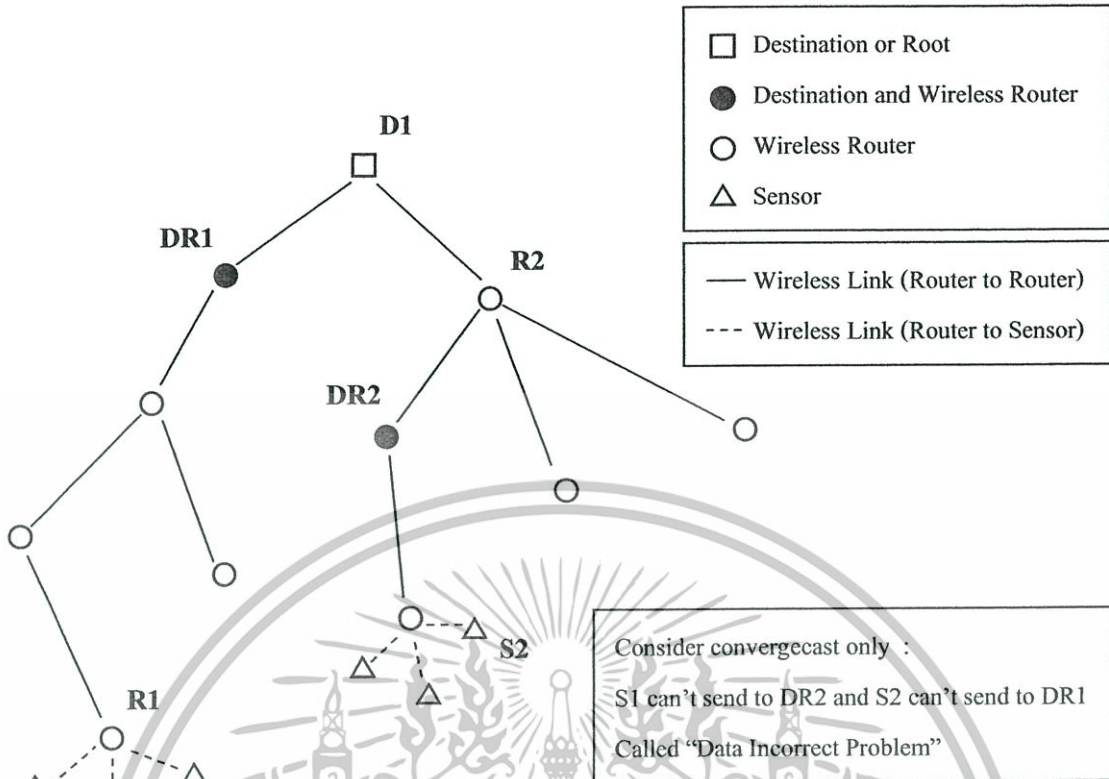
รูปที่ 3.7 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม

จากรูปที่ 3.7 แสดงปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม กล่าวคือ เราเตอร์ A ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ C และในเวลาเดียวกันเราเตอร์ B ก็ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ C ด้วยเช่นกัน แล้ววิธีของการส่งสัญญาณของทั้งสองเราเตอร์ก็สามารถส่งสัญญาณไปยังเราเตอร์ C ได้เช่นกัน เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นก็จะเกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น โดยเราเตอร์ทั้งสองก็จะไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังเราเตอร์ C ได้

3.2.2 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย เป็นปัญหาที่สำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ในลักษณะที่มีการส่งข้อมูลแบบส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว (Convergecast)

ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่ายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ หมายถึง การที่ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ ส่งข้อมูลกับยังศูนย์กลางของเครือข่ายแล้ว มีอุปกรณ์ปลายทางบางอุปกรณ์ไม่ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่ต้องการ ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการที่เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมีการจัดโครงสร้างของเครือข่ายไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.8 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

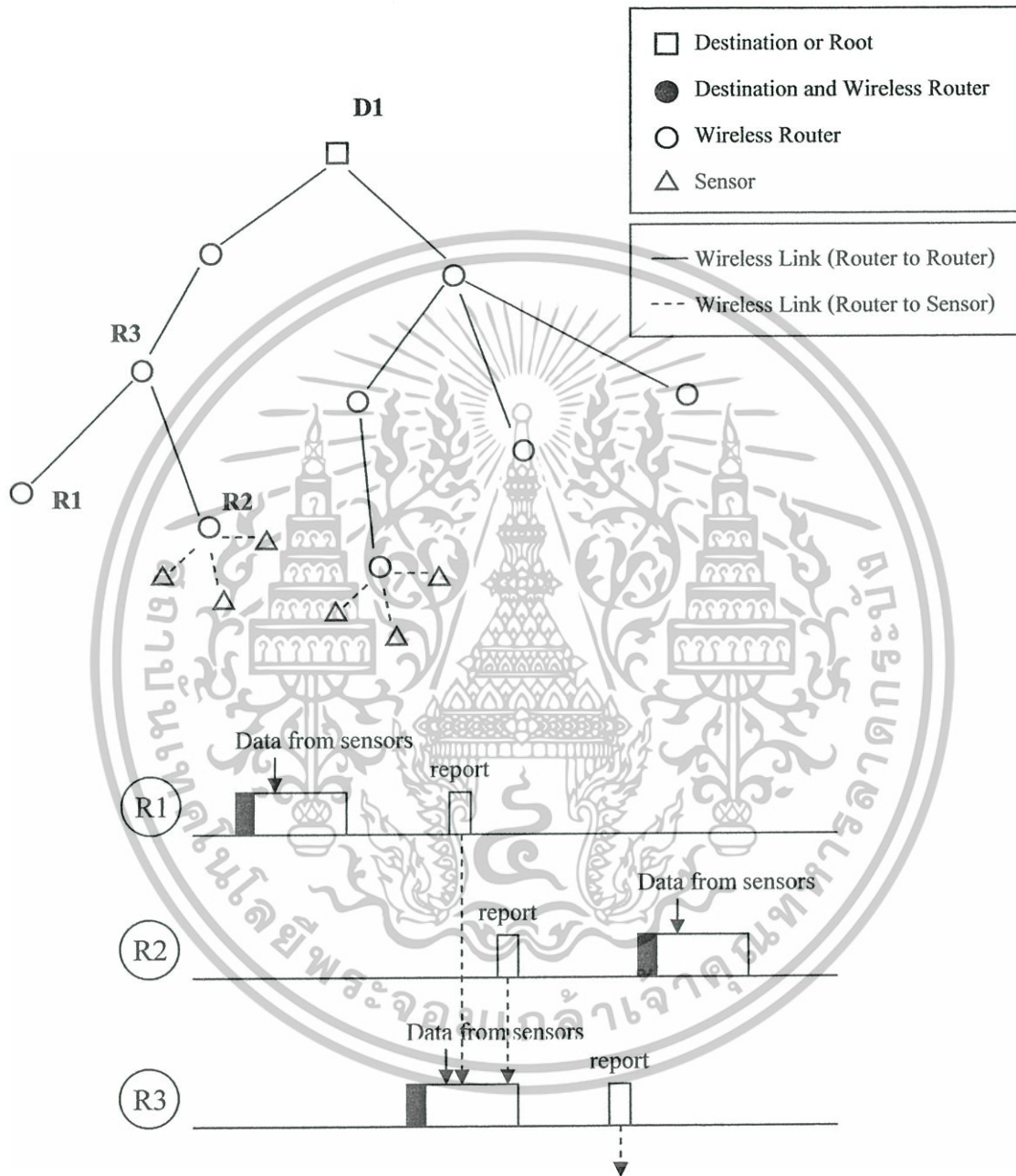
จากรูปที่ 3.9 แสดงปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย กล่าวคือ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ซึ่งอุปกรณ์ปลายทาง DR2 ต้องการข้อมูล เมื่อมีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง D1 (Convergecast) แล้ว อุปกรณ์ปลายทาง DR2 ก็ไม่สามารถทราบถึงข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ได้ ทำนองเดียวกัน ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 ซึ่งอุปกรณ์ปลายทาง DR1 ต้องการข้อมูล เมื่อมีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง D1 (Convergecast) แล้ว อุปกรณ์ปลายทาง DR1 ก็ไม่สามารถทราบถึงข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 ได้ หรือกล่าวได้ว่า ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR2 ได้ และข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR1 ซึ่งในลักษณะนี้ทำให้เกิดการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่ายเกิดขึ้น เรียกว่า Data Incorrect Problem (DIP)

3.2.2 ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย

ปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายนี้ เกิดขึ้นกับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยการที่ใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable มาเป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย โดยที่ปัญหานี้เกิดจากการจัดลำดับที่ไม่เหมาะสมของการส่งข้อมูลในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดลำดับที่ทำให้เกิดความล่าช้าในเครือข่าย หมายถึง การจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของการสื่อสารด้วยมาตรฐาน Zigbee ของการสื่อสารข้อมูลไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.9 ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

จากรูปที่ 3.8 แสดงปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายเมื่อมีการใช้ Zigbee กล่าวคือ จากภาพเราเตอร์ R1 และเราเตอร์ R2 ควรที่จะส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละอุปกรณ์บนเราเตอร์แต่ละตัวให้กับเราเตอร์ R3 เพื่อเราเตอร์ R3 จะส่งข้อมูลจากทั้งสองเราเตอร์ไปพร้อมกันให้กับเราเตอร์ในระดับบนถัดไป แต่ถ้าไม่มีการจัดลำดับการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสมดังภาพ ทำให้ข้อมูลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้าหรือการบริการอื่น ๆ ได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

เราเตอร์ R2 ไม่สามารถถูกเราเตอร์ R3 ส่งข้อมูลไปพร้อมกับข้อมูลของเราเตอร์ R1 ได้ จึงจำเป็นต้องรอรอบของ Superframe ถัดไป ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดความล่าช้าของข้อมูลในเครือข่ายเกิดขึ้น เรียกว่า Delay Beacon Scheduling Problem (DBP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การส่งข้อมูลย้อนกลับของเครือข่าย

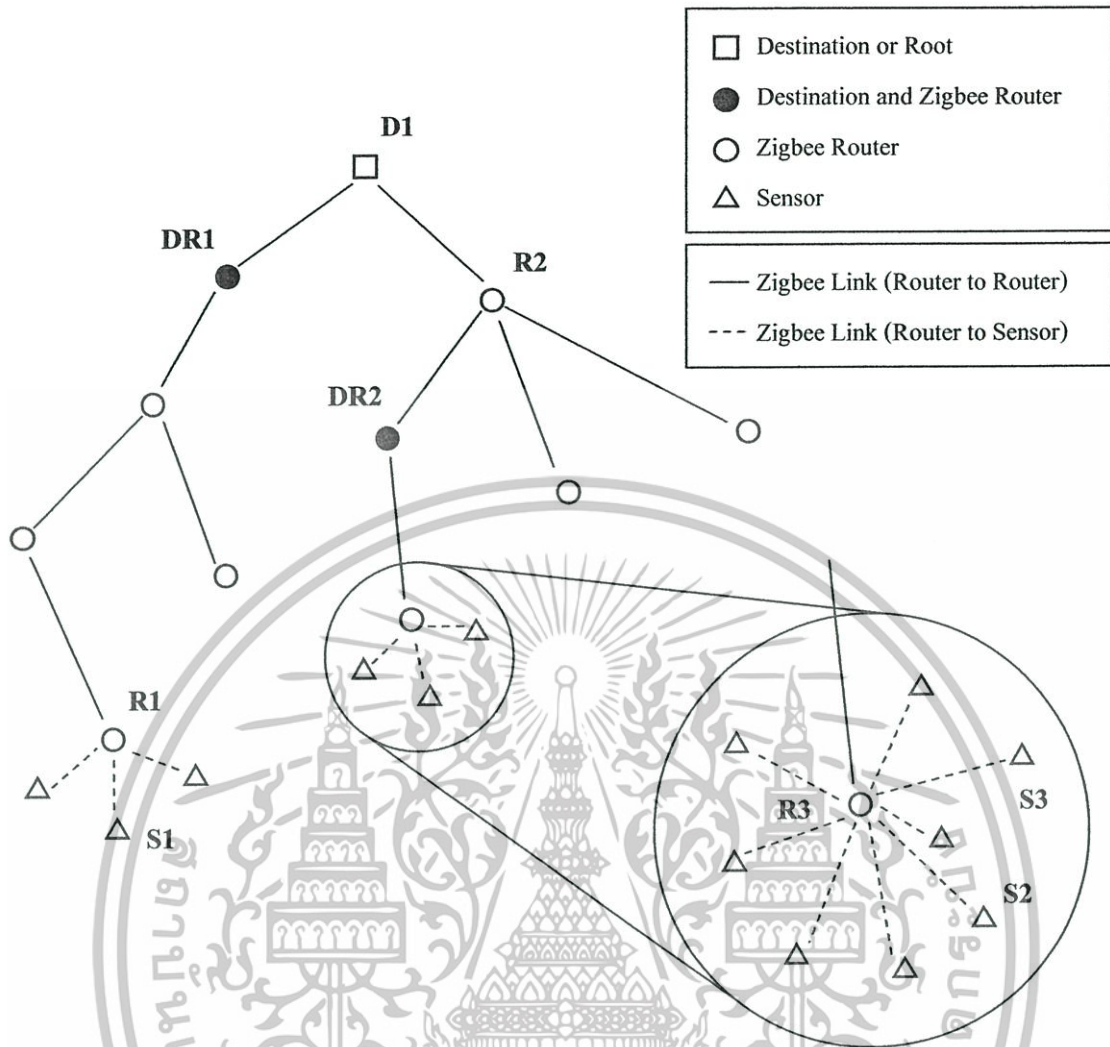
ในส่วนของบทนี้เป็นการกล่าวถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ลักษณะของการสื่อสาร มาตรฐานของการสื่อสารที่มีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย กล่าวถึงการวัดเครื่องมือ หรือคุณลักษณะของเครือข่ายที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย กล่าวถึงอัลกอริทึมพื้นฐานของการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee และนำเสนออัลกอริทึมของการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ทั้งรูปแบบเครือข่ายที่เป็นลักษณะวงแหวน (Ring Topology) และลักษณะทรี (Tree Topology) โดยมีหัวข้อดังนี้

- การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย
- อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวน
- อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบทรี

4.1 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย

หัวข้อนี้จะแสดงถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable กล่าวถึง ลักษณะของการสื่อสาร มาตรฐานของการสื่อสารที่มีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย รวมถึงรูปแบบของการสื่อสาร และรูปแบบของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่วิทยานิพนธ์นี้สนใจศึกษา

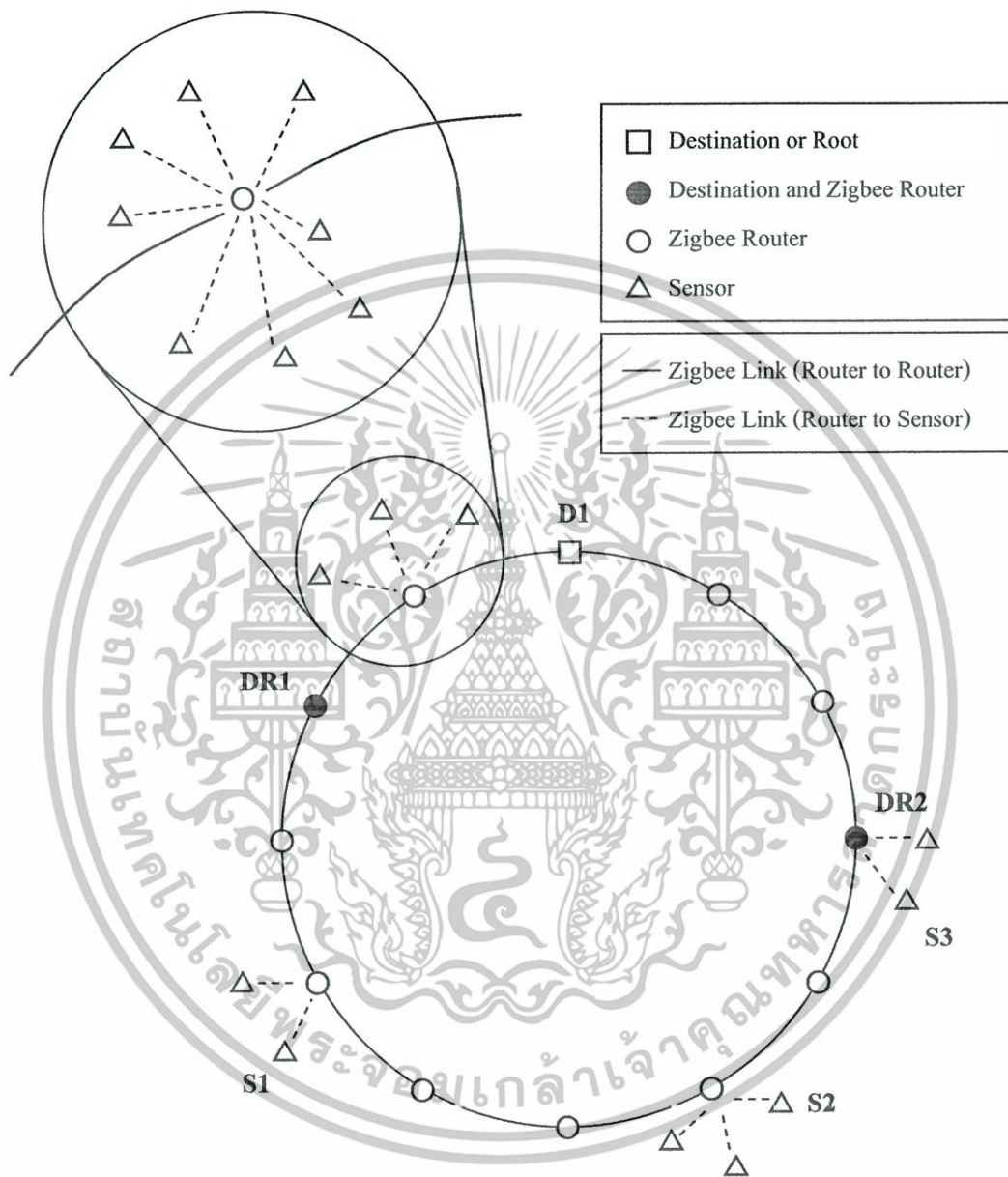
รูปแบบของเครือข่ายที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ที่เป็นแบบวงแหวน (Ring Topology) และแบบทรี (Tree Topology) ซึ่งทั้งสองแบบนี้ เป็นรูปแบบเครือข่ายที่นิยม และเหมาะสมสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย



รูปที่ 4.1 เครื่องข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรี โดยใช้มาตรฐาน Zigbee

จากรูป 4.1 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เครื่องข่ายรูปแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable เป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ตรวจจับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ กล่าวคือ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 เมื่อมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆก็จะมีการส่งข้อมูลไปยัง D1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางและเป็น Root ของเครือข่าย และข้อมูลจาก S1 อาจจะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง DR1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางอีกอุปกรณ์ด้วยเช่นกัน รวมถึงข้อมูลจาก S2 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง D1 และ DR2 ทั้งสองอุปกรณ์ด้วย หรือข้อมูลจาก S3 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR2 เพียงอย่างเดียว โดยที่ Zigbee Router R1 R2 และ R3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ข้ออธิบายข้างต้น เป็นลักษณะของการสื่อสารของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์เครือข่ายรูปแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายแบบทรี เพื่อให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้เกิดปัญหาหรือเกิดปัญหาน้อยที่สุดของปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย (Data Collision Problem : DCP) ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย (Delay Beacon Scheduling Problem : DBP) และปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (Data Incorrect Problem : DIP)



รูปที่ 4.2 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบวงแหวนโดยใช้มาตรฐาน Zigbee

จากรูปที่ 4.2 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบวงแหวนโดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายแบบวงแหวน เพื่อให้ไม่ให้เกิดปัญหาหรือเกิดปัญหาน้อยที่สุดของปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย (Data Collision Problem : DCP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปทรี

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ในเครือข่ายแบบทรี ที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีการ (Algorithm) การจัดลำดับของข้อมูล หรือ $s(v)$ ให้เครือข่ายมีค่าความล่าช้า หรือ $L(G)$ น้อยที่สุดเป็นการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด อีกทั้งยังต้องคำนึงไม่ให้เกิดปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่ายขึ้นในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ซึ่งส่วนนี้กล่าวถึงอัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปทรี

4.2.1 Random Assignment (RA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ด้วยวิธีการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบ (n) คือ $s(v) = n$ โดยที่ $n < k$

4.2.2 Distributed Assignment (DSA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down

- ถ้า v เป็น Root Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v) = k-1$
- ถ้า v เป็น Other Node บน Tree Network ให้ p คือค่าของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Parent Node ดังนั้น $p = t(\text{par}(v))$ โดยที่ $\text{par}(v)$ คือ Parent Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบมากที่สุด (n) โดยที่ $n < p$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

4.2.3 Centralized Tree-Based Assignment (CTB)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link หว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการชนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Bottom-Up

- ถ้า v เป็น Leaf Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$
- ถ้า v เป็น In-tree Node บน Tree Network ให้ m คือค่ามากที่สุดของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Children Node ดังนั้น $m = \max(t(\text{child}(v)))$ โดยที่ $\text{child}(v)$ คือ เซตของ Children Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวน

เต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) โดยที่ $n > m$ และอุปกรณ์ที่

กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 3 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) เท่ากับ n พิจารณาเงื่อนไข $s(\text{parent}(v)) - n \bmod k < (s(\text{parent}(v)) - s(v)) \bmod k$ และ $n \neq s(u)$ ถ้า $(u, v) \in E_1$ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข กำหนดค่าใหม่ $s(v) = n$

4.2.4 Random Plus Assignment (RPA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในขั้นที่ 1 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ($\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$) ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \subset \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย

ถ้าทำซ้ำขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำขั้นที่ 1

- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ด้วยวิธีการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบ (n) คือ $s(v) = n$ โดยที่ $n < k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว u ถ้า $(u, v) \in E_i$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$

ขั้นที่ 4 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 2 เมื่อทำถึงขั้นที่ 3 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้ คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มที่ได้จากการสุ่ม $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) = p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_i$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

4.2.5 Distributed Plus Assignment (DPA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_i = \{V, E_i\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_i ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_i$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในขั้นที่ 1 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ($\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$) ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \subset \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย

ถ้าทำซ้ำขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำขั้นที่ 1

- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down

- ถ้า v เป็น Root Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v) = k-1$
- ถ้า v เป็น Other Node บน Tree Network ให้ p คือค่าของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Parent Node ดังนั้น $p = (t(\text{par}(v)))$ โดยที่ $\text{par}(v)$ คือ Parent Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบมากที่สุด (n) โดยที่ $n < p$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 4 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 2 เมื่อทำถึงขั้นที่ 3 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้ คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มทีมากที่สุด $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) = p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

4.2.6 Fast Convergecast Assignment (FCA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link หว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการชนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ทำการกำหนดการเชื่อมต่อของเครือข่ายให้เป็นลักษณะของ Breadth First Search (BFS) Tree โดย Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในขั้นที่ 1 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย

ถ้าทำซ้ำขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Tree Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำขั้นที่ 1

- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Bottom-Up

- ถ้า v เป็น Leaf Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_r$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$
 - ถ้า v เป็น In-tree Node บน Tree Network ให้ m คือค่ามากที่สุดของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Children Node ดังนั้น $m = \max(t(\text{child}(v)))$ โดยที่ child(v) คือ เซตของ Children Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) โดยที่ $n > m$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_r$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$
- หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 4 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) เท่ากับ n พิจารณาเงื่อนไข $s(\text{parent}(v)) - n \bmod k < (s(\text{parent}(v)) - s(v)) \bmod k$ และ $n \neq s(u)$ ถ้า $(u, v) \in E_r$ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข กำหนดค่าใหม่ $s(v) = n$

ขั้นที่ 5 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 2 เมื่อทำถึงขั้นที่ 4 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้ คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มทีมากที่สุด $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) = p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_r$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

ถ้าเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ในเครือข่ายแบบทรี มีการใช้ Fast Convergecast Algorithm ในการกำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ของแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย ยืนยันได้ว่า จะเกิดปัญหา

ความล่าช้าของเครือข่ายน้อยที่สุด รวมถึงไม่เกิดปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และ ไม่เกิดปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

4.3 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปวงแหวน

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ในเครือข่ายแบบวงแหวน ที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็น การศึกษาและพัฒนาวิธีการ (Algorithm) การจัดลำดับของข้อมูล หรือ $s(v)$ ให้เครือข่ายมีค่าความ ล่าช้า หรือ $L(G)$ น้อยที่สุดเป็นการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด อีกทั้งยัง ต้องคำนึงไม่ให้เกิดปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ ถูกต้องในเครือข่าย ขึ้นในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ซึ่งส่วนนี้กล่าวถึงอัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ ตรวจจับไร้สายรูปวงแหวน

อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปวงแหวนมีวิธีการเหมือนกับอัลกอริทึม ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปทรี เนื่องจากมีหลักการคือ เปลี่ยนเครือข่ายในลักษณะวง แหวนในเป็นเครือข่ายรูปทรี

4.3.1 Random Assignment (RA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละ อุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายใน เครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูล ในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่ สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO/SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่าย ทั้งหมด

- ถ้า v เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับ ทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ขั้นที่ 3 กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ด้วยวิธีการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบ (n) คือ $s(v) = n$ โดยที่ $n < k$

4.3.2 Distributed Assignment (DSA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_r = \{V, E_r\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_r ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_r$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการชนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมด

- ถ้า V เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root
- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ขั้นที่ 3 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down

- ถ้า v เป็น Root Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v) = k-1$
- ถ้า v เป็น Other Node บน Tree Network ให้ p คือค่าของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Parent Node ดังนั้น $p = (t(\text{par}(v)))$ โดยที่ $\text{par}(v)$ คือ Parent Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบมากที่สุด (n) โดยที่ $n < p$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

4.3.3 Centralized Tree-Based Assignment (CTB)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือจำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือหมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมด

- ถ้า V เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root
- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่ม

ทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ขั้นที่ 3 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Bottom-Up

- ถ้า v เป็น Leaf Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$
- ถ้า v เป็น In-tree Node บน Tree Network ให้ m คือค่ามากที่สุดของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Children Node ดังนั้น $m = \max(t(\text{child}(v)))$ โดยที่ $\text{child}(v)$ คือ เซตของ Children Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) โดยที่ $n > m$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆ อุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 4 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) เท่ากับ n พิจารณาเงื่อนไข $s(\text{parent}(v)) - n \bmod k < (s(\text{parent}(v)) - s(v)) \bmod k$ และ $n \neq s(u)$ ถ้า $(u, v) \in E_1$ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข กำหนดค่าใหม่ $s(v) = n$

4.3.4 Random Plus Assignment (RPA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link หว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมด

- ถ้า V เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root
- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในขั้นที่ 2 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ($\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$) ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย
ถ้าทำซ้ำขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดคกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำขั้นที่ 1
- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ด้วยวิธีการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบ (n) คือ $s(v) = n$ โดยที่ $n < k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว u ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$

ขั้นที่ 5 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 2 เมื่อทำถึงขั้นที่ 3 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้ คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มที่ได้จากการสุ่ม $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) =$

$p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

4.3.5 Distributed Plus Assignment (DPA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการชนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ขั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมด

- ถ้า V เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในขั้นที่ 2 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \subset \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย

ถ้าทำซ้ำขั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆ ในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำขั้นที่ 1

- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down

- ถ้า v เป็น Root Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v) = k-1$
- ถ้า v เป็น Other Node บน Tree Network ให้ p คือค่าของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Parent Node ดังนั้น $p = t(\text{par}(v))$ โดยที่ $\text{par}(v)$ คือ Parent Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบมากที่สุด (n) โดยที่ $n < p$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆ อุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 5 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 3 เมื่อทำถึงขั้นที่ 4 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้ คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มทีมากที่สุด $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) = p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

4.3.6 Fast Convergecast Assignment (FCA)

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครือข่าย และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆ ภายในเครือข่าย และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ และ $s(v)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node v

ขั้นที่ 1 จาก G ซึ่งมีลักษณะการเชื่อมต่อในลักษณะ Ring Network โดย Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอุปกรณ์หนึ่งในเครือข่าย

ชั้นที่ 2 แบ่งกลุ่มของอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่ายออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทางซ้ายของ Root และกลุ่มทางขวาของ Root โดย V คือ จำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมด

- ถ้า V เป็นจำนวนคี่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-1)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root
- ถ้า V เป็นจำนวนคู่ จำนวนของกลุ่มทางซ้าย $n(LG) = (V)/2$ ด้วยการนับทวนเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(LG)$ โดยเริ่มจาก Root และจำนวนของกลุ่มทางขวา $n(RG) = (V-2)/2$ ด้วยการนับตามเข็มนาฬิกาเป็นจำนวนเท่ากับ $n(RG)$ โดยเริ่มจาก Root

โดยเมื่อถึงขั้นตอนนี้จะเป็นการเปลี่ยนจาก Ring Network ให้กลายเป็น Tree Network

ชั้นที่ 3 ตรวจสอบปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (DIP) จาก Tree Network ในชั้นที่ 2 จากเงื่อนไขของเครือข่าย อุปกรณ์ปลายทาง (D) ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ($\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$) ถ้า $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in \text{child}(D)$ เมื่อ $\text{child}(D)$ คือ เซตของ Children Node ทั้งหมดของ D

- ถ้ามีปัญหา DIP ให้ทำซ้ำในชั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่าย
ถ้าทำซ้ำชั้นที่ 1 โดยการเปลี่ยน Root ของ Network เป็นอุปกรณ์ปลายทางอื่นๆในเครือข่ายหมดแล้วยังมีปัญหา DIP เกิดขึ้น ทำการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทาง โดยที่อุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะต้องส่งข้อมูลถึงกันได้ จากนั้นกำหนดคคกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางเป็นหนึ่งอุปกรณ์ แล้วให้ทำซ้ำชั้นที่ 1
- ถ้าไม่มีปัญหา DIP ให้ทำขั้นที่ 4

ชั้นที่ 4 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Bottom-Up

- ถ้า v เป็น Leaf Node บน Tree Network ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_i$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq n$
- ถ้า v เป็น In-tree Node บน Tree Network ให้ m คือค่ามากที่สุดของการกำหนดค่า $t(v)$ ของ Children Node ดังนั้น $m = \max(t(\text{child}(v)))$ โดยที่ $\text{child}(v)$ คือ เซตของ Children Node ของ v ให้กำหนดค่า $t(v)$ เป็นจำนวน

เต็มที่มิใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด (n) โดยที่ $n > m$ และอุปกรณ์ที่

กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

หลังจากกำหนดค่าทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายแล้ว ทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์ โดย $s(v) = t(v) \bmod k$.

ขั้นที่ 5 ทำการเข้าถึงอุปกรณ์ (v) บน Tree Network ด้วยวิธีการ Top-Down กำหนดค่าของ Active Portion (Slots) เท่ากับ n พิจารณาเงื่อนไข $s(\text{parent}(v)) - n \bmod k < (s(\text{parent}(v)) - s(v)) \bmod k$ และ $n \neq s(u)$ ถ้า $(u, v) \in E_1$ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไข กำหนดค่าใหม่ $s(v) = n$

ขั้นที่ 6 ถ้ามีการจัดกลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางในขั้นที่ 3 เมื่อทำถึงขั้นที่ 5 จะได้ค่าของ Active Portion (Slots) ของกลุ่ม (n) กำหนดให้กับอุปกรณ์ปลายทางที่สามารถส่งข้อมูลตาม Tree Network ได้คือ $s(u) = n$ จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่นเท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มที่มากที่สุด $p > n$ และ $p < k$ กำหนด $s(v) = p \bmod k$ และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า $(u, v) \in E_1$ แล้ว $(t(u) \bmod k) \neq p$

ถ้าเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ในเครือข่ายแบบวงแหวน มีการใช้ Fast Convergecast Algorithm ในการกำหนดค่าของ Active Portion (Slots) ของแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย ยืนยันได้ว่า จะเกิดปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายน้อยที่สุด รวมถึงไม่เกิดปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และไม่เกิดปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

บทที่ 5

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับ ของเครือข่าย

ในส่วนของบทนี้เป็นการกล่าวถึงการเปรียบเทียบวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) กล่าวคือ เป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการพื้นฐาน โดยวิธีการที่นำเสนอเรียกว่า Fast Convergecast Algorithm (FCA) โดยเปรียบเทียบกันวิธีการพื้นฐานที่เรียกว่า Random Algorithm (RA) และ Random Plus Algorithm (RPA) ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณารูปแบบของเครือข่าย 2 รูปแบบ คือ เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) และเครือข่ายแบบทรี (Tree Topology) โดยมีหัวข้อ ดังนี้

- การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย
- การทดสอบและการจำลองเครือข่าย
- การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบทรี
- การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวน

5.1 การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย

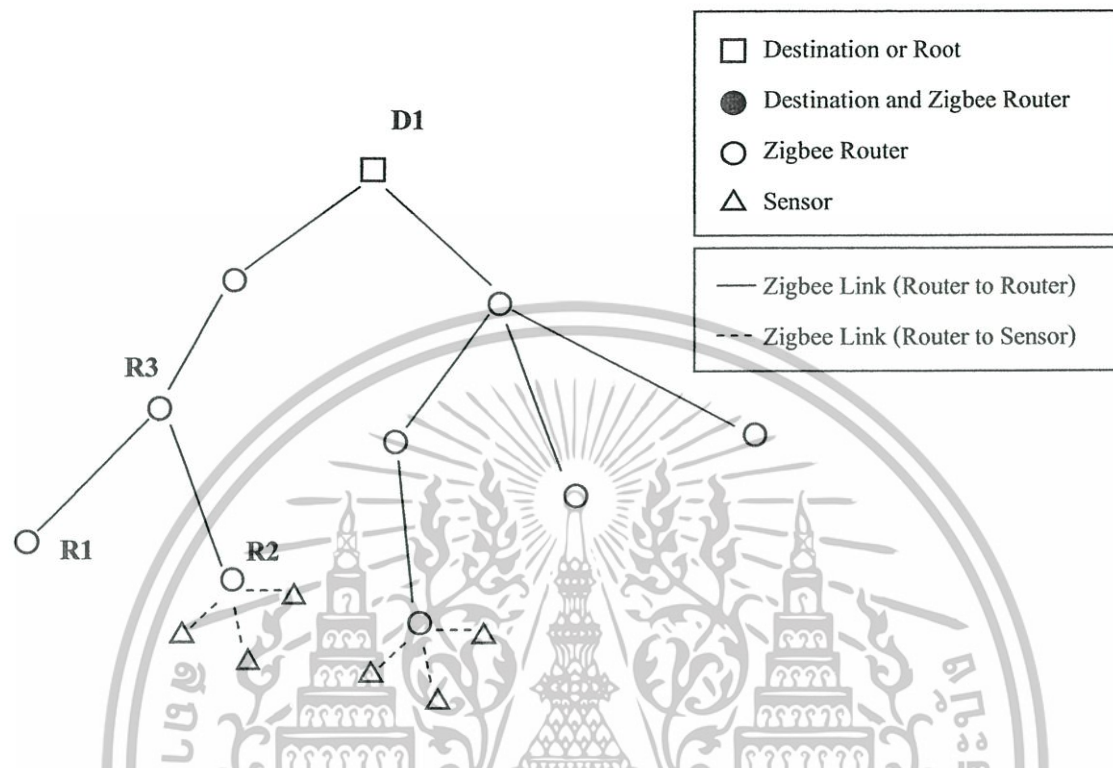
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการพัฒนาวิธีการส่งกลับข้อมูลของ เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น โดยการวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายมีการวัดจากค่าของเครือข่าย ดังนี้

- $L(G)$ คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ของเครือข่าย
 - $TS(G)$ คือ เวลาคงน้อยที่สุดเมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลในเครือข่ายจนถึงศูนย์กลาง
 - $TT(G)$ คือ เวลาคงน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานจนมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลาง
- การวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายมีการวัดจากค่าของเครือข่าย ดังนี้

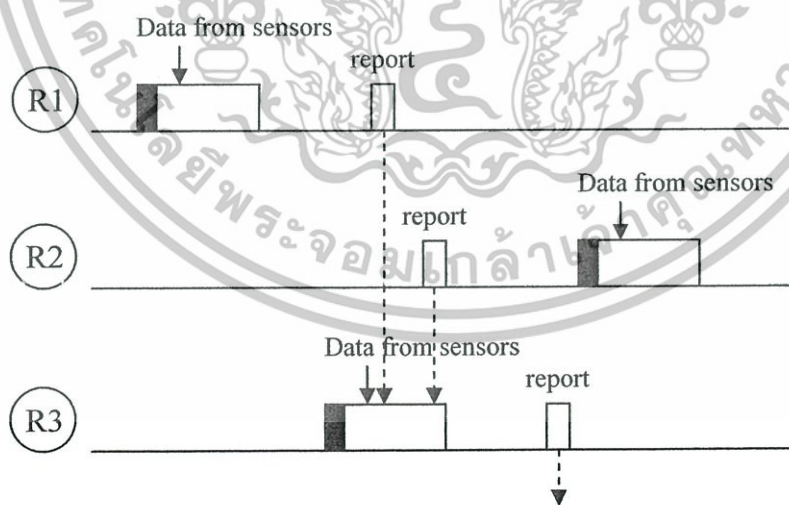
- Goodput(G) คือ อัตราส่วนของ frame ข้อมูลที่ศูนย์กลางของเครือข่ายสามารถรับได้สำเร็จ ต่อ Frame ข้อมูลทั้งหมด

- Channel Utilization(G) คือ อัตราส่วนของการใช้ Channel จริงในเครือข่ายต่อ Channel ที่ใช้งานได้

สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายที่ศึกษา คือ การจัดลำดับของการส่งข้อมูลใน Suoerframe บน MAC Layer โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

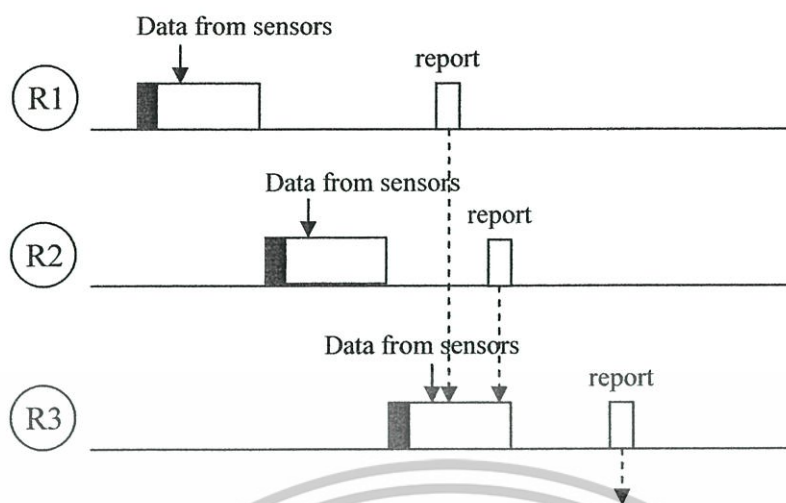


รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

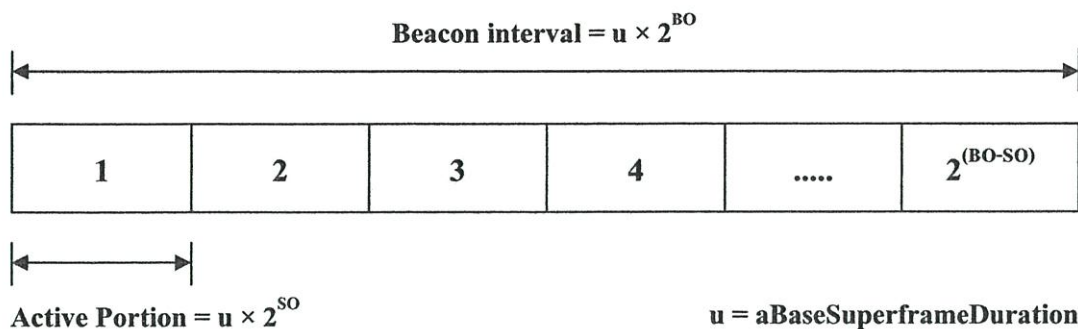


รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

จากรูป 5.1 5.2 และ 5.3 แสดงปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายเมื่อมีการใช้ Zigbee กล่าวคือ จากภาพเราเตอร์ R1 และเราเตอร์ R2 ควรที่จะส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละอุปกรณ์บนเราเตอร์แต่ละตัวให้กับเราเตอร์ R3 เพื่อเราเตอร์ R3 จะส่งข้อมูลจากทั้งสองเราเตอร์ไปพร้อมกันให้กับเราเตอร์ในระดับบนถัดไป แต่ถ้าวัดการนัดลำดับการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสมดังภาพ ทำให้ข้อมูลของเราเตอร์ R2 ไม่สามารถถูกเราเตอร์ R3 ส่งข้อมูลไปพร้อมกับข้อมูลของเราเตอร์ R1 ได้ จึงจำเป็นต้องรอรอบของ Superframe ถัดไป ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดความล่าช้าของข้อมูลในเครือข่ายเกิดขึ้น เรียกว่า Delay Beacon Scheduling Problem (DBP)

จากรูป 5.3 แสดงการนัดลำดับข้อมูลใน Superframe ที่เหมาะสม กล่าวคือ จากภาพเราเตอร์ R1 และเราเตอร์ R2 ส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละอุปกรณ์บนเราเตอร์แต่ละตัวให้กับเราเตอร์ R3 เพื่อเราเตอร์ R3 จะส่งข้อมูลจากทั้งสองเราเตอร์ไปพร้อมกันให้กับเราเตอร์ในระดับบนถัดไป ทำให้เกิดปัญหา Delay Beacon Scheduling Problem (DBP) น้อยที่สุด

ซึ่งการวัดว่าเครือข่ายใด มีความล่าช้าจากปัญหา Delay Beacon Scheduling Problem (DBP) มากน้อยเพียงใด สามารถพิจารณาได้ ดังนี้



A superframe can contain 2^{BO-SO} non-overlapped active portions (slots)

รูปที่ 5.4 โครงสร้างของ Superframe

กำหนดแบบจำลองของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ graph $G = \{V, E\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย เช่น Zigbee Router และ Destinations เป็นต้น และ E คือ Zigbee Link ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย (V) และกำหนด graph $G_1 = \{V, E_1\}$ โดยที่ V คืออุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย เช่น Zigbee Router และ Destinations เป็นต้น และ E_1 ที่ซึ่ง $(i, j) \in E_1$ ถ้า Zigbee Link ระหว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้งทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น (Data Collision Problem : DCP) และ k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe โดยไม่เกิดการซ้อนทับกัน ซึ่งเท่ากับ $k = 2^{(BO-SO)}$ ดังรูปที่ 5.4 และ $s(i)$ คือ หมายเลขหรือลำดับของ Active Portion (Slots) ของแต่ละ node i

โดยการจัดลำดับของ $s(i)$ ในโครงสร้างของ Superframe สำหรับแต่ละเราเตอร์ $i \in V$ ที่ซึ่ง $s(i)$ จะต้องเป็นจำนวนเต็ม และ $s(i) \in [0, k-1]$ และ $s(i) \neq s(j)$ ถ้า $(i, j) \in E_1$

เมื่อมีการกำหนด slot คือ $s(i)$ ของ graph G ทั้งหมดแล้ว ความล่าช้าของเครือข่าย (Report Latency) จาก node i ไปยัง node j ที่ซึ่ง $(i, j) \in E$ กำหนดให้เท่ากับ d_{ij} สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$d_{ij} = (s(j) - s(i)) \bmod k \quad (5.1)$$

- เมื่อ d_{ij} คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ระหว่าง node i และ node j
 $s(j)$ คือ ช่อง Active Portion หรือ Slot ของ node j
 $s(i)$ คือ ช่อง Active Portion หรือ Slot ของ node i
 k คือ จำนวนของ Active Portion (Slots) ที่สามารถใส่ใน Superframe

ความล่าช้าของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee คือ $L(G)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.2) ซึ่งในการออกแบบเครือข่ายที่ดีคือ การที่ทำให้ $L(G)$ มีค่าน้อยที่สุด

$$L(G) = \sum (d_{ij}) \text{ on longest part of network } (G) \quad (5.2)$$

เมื่อ $L(G)$ คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ของเครือข่าย (หน่วย)
 d_{ij} คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ระหว่าง node i และ node j
 G คือ เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

เวลาน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานจนมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลางของเครือข่าย คือ $TS(G)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3) ซึ่งในการออกแบบเครือข่ายที่ดีคือ การที่ทำให้ $TS(G)$ มีค่าน้อยที่สุด เวลาน้อยที่สุดเมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลในเครือข่ายจนถึงศูนย์กลางของเครือข่าย คือ $TT(G)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.4) ซึ่งในการออกแบบเครือข่ายที่ดีคือ การที่ทำให้ $TT(G)$ มีค่าน้อยที่สุด

$$TS(G) = ((u \times 2^{SO}) / \text{Symbol Rate}) \times L(G) \quad (5.3)$$

$$TT(G) = TS(G) + (((u \times 2^{SO}) / \text{Symbol Rate}) \times s(f)) \quad (5.4)$$

เมื่อ $TT(G)$ คือ เวลาน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานจนมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลาง (วินาที)
 $TS(G)$ คือ เวลาน้อยที่สุดเมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลในเครือข่ายจนถึงศูนย์กลาง (วินาที)
 $L(G)$ คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ของเครือข่าย (หน่วย)
 $s(f)$ คือ Active Portion (Slots) แรกที่มีการส่งข้อมูลในเครือข่าย
 Beacon Length คือ ค่าความยาวของ Beacon Frame (Byte)
 u คือ aBaseSuperframe Duration (Symbols)
 SO คือ Superframe Order
 Bit Rate คือ อัตราการส่งข้อมูลในเครือข่าย (bits/s)
 Symbol Rate คือ อัตราการส่งข้อมูลในเครือข่าย (Symbols/s)

การทดสอบประสิทธิภาพผลของเครือข่ายมีการทดสอบ Goodput(G) คือ อัตราส่วนของ frame ข้อมูลที่ศูนย์กลางของเครือข่ายสามารถรับได้สำเร็จ ต่อ Frame ข้อมูลทั้งหมด และ Channel Utilization(G) คือ อัตราส่วนของการใช้ Channel จริงในเครือข่ายต่อ Channel ที่ใช้งาน ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบและการจำลองเครือข่าย

หัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึง พารามิเตอร์ สภาพแวดล้อม และลักษณะของเครือข่ายที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable โดยในการจำลองเครือข่ายจะมีสมมติฐาน ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ที่วิทยานิพนธ์นี้สนใจที่จะศึกษา อธิบายได้ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 2.1 ถ้าขนาดของพื้นที่ต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 2.2 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 2.3 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 2.4 ถ้าระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

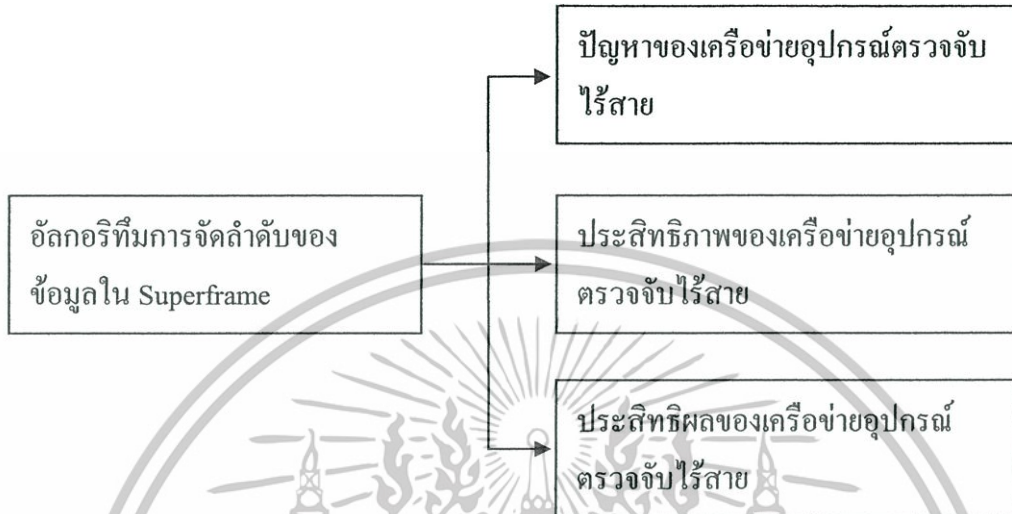
สมมติฐานย่อยที่ 2.5 ถ้าค่า Beacon Order (BO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 2.6 ถ้าค่า Superframe Order (SO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 3.1 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานย่อยที่ 3.2 ถ้าค่า Beacon Order (BO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน



รูปที่ 5.5 Conceptual Framework

การจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานทั้งสองข้างต้น มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการจำลองเครือข่าย ดังนี้

- Number Of Area	คือ จำนวนของพื้นที่ ($N \times N$) ช่อง
- Length Of Area	คือ ระยะห่างของศูนย์กลางแต่ละช่อง (เมตร)
- Number Of Router	คือ จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่าย (อุปกรณ์)
- Number Of Destination	คือ จำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่าย (อุปกรณ์)
- Length Of Router	คือ ระยะการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่าย (เมตร)
- aBaseSuperframe Duration	คือ aBaseSuperframe Duration ของเครือข่าย (symbol)
- Beacon Order	คือ ค่า Beacon Order (BO) ของเครือข่าย
- Superframe Order	คือ ค่า Superframe Order (SO) ของเครือข่าย
- Beacon Length	คือ ความยาวของ Beacon Frame (เมตร)
- Bit Rate	คือ อัตราการส่งข้อมูล (bit/s)
- Symbol Rate	คือ อัตราการส่งข้อมูล (symbol/s)
- Time for Simulation	คือ เวลาในการจำลองเครือข่าย (วินาที)
- Number of Error Report	คือ จำนวนของ Frame ที่ผิดพลาด (%)
- Length Of Head and Tail	คือ ความยาวของ Head และ Tail ของ Frame

เอกสารนี้เป็น Length Of Report ทรัพยากรใช้คือ ความยาวของ Frame ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A Unit Back Off Period คือ A Unit Back Off Period ของเครือข่าย (symbol)
- A CCA time คือ A CCA time ของเครือข่าย (symbol)
- MacMinBE คือ MacMinBE ของเครือข่าย
- A MaXBE คือ A MaXBE ของเครือข่าย
- MacMaxCSMABackOffs คือ MacMaxCSMABackOffs ของเครือข่าย
- Number Of Retransmission คือ จำนวนครั้งที่มีการส่งข้อมูลใหม่เมื่อผิดพลาด (ครั้ง)

การจำลองเครือข่ายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีการจำลองบนคอมพิวเตอร์โดยการ
พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อทดสอบปัญหาของเครือข่ายและทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย
โดยใช้ภาษา Python ในการจำลองเครือข่าย (ภาคผนวก ก.)



```

PythonShell
File Edit Shell Debug Options Windows Help
#####

welcome to Simulation
Convergecast of multi-destinations Zigbee beacon-enable wireless sensor network

Network Parameter
Number Of Area = 15 X 15
Length Of Area = 100 meters
Number Of All Router = 50 routers
Number Of Destination = 1 routers
Length Of Router = 400 meters
BaseSuperframeDuration = 960 symbols
Beacon Order (BO) = 14
Superframe Order (SO) = 10
Beacon Interval (BI) = 15720640 symbols
Superframe Duration (SD) = 983040 symbols
Duty Cycle = 6.25 %
Number Of Active Portion (k) = 16 slots
Beacon Length = 16 bytes
Bit Rate = 250000 bit/s
Symbol Rate = 62500 symbol/s
Time for Simulation = 900 second
Number of Error Report = 5 %
Length Of Head and Tail = 18 byte
Length Of Report = 16 byte
A Unit Back Off Period = 120 symbol
A CCA ime = 8 symbol
MacMinBE = 3
AlMaXBE = 5
MacMaxCSMABackOffs = 3
Number Of Retransmission = 2 time

Network Model
D = Destination of Network , R = Router of Network
-----R-----
R---RRR-----
----RRRR---R---
-----R-----R
-----R-----RR
-----R-----
-RR-----R-----
-----RR-----RR
-R-----R-----R-
-----R-----RRRR-
-DR-----RRF-
--R---R-R-----
R-----R-----
--R-R-RR-R-----
---R-----R---

Rule of Network
(y,x), (b,a), (b,a),... (y,x) = Destination of Network , (b,a) = Router of Network
(10,1), (10,2), (5,7), (1,5), (14,12), (13,2), (7,6), (21,2), (9,9), (8,12), (10,11), (13,7), (0,6), (11,6), (4,4), (9,10), (0,12), (4,14), (11,6), (13,4), (7,14), (1,0), (9,6), (6,2), (13,6), (8,8), (11,8), (3,7)

Report for RANDOM ASSIGNMENT (RA)
Latency of network (L(G)) : 59 unit
Latency of network (L(G)) : 927.98976 seconds
Time of network : 1148.19072 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 88.6486486486 %
Channel Utilization of network : 31.875 %
Number of drop frame : 1 frame

Report for DISTRIBUTED ASSIGNMENT (DA)
Latency of network (L(G)) : 14 unit
Latency of network (L(G)) : 220.20096 seconds
Time of network : 235.9296 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 96.6292134831 %
Channel Utilization of network : 32.65825 %
Number of drop frame : 3 frame

Report for CENTRALIZED TREE-BASED ASSIGNMENT (CTB)
Latency of network (L(G)) : 11 unit
Latency of network (L(G)) : 173.01504 seconds
Time of network : 173.01504 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 98.6111111111 %
Channel Utilization of network : 29.7416793103 %
Number of drop frame : 1 frame

Report for RANDOM PLUS ASSIGNMENT (RPA)
Latency of network (L(G)) : 49 unit
Latency of network (L(G)) : 770.70336 seconds
Time of network : 912.26112 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 97.5903614458 %
Channel Utilization of network : 31.9620253165 %
Number of drop frame : 2 frame

Report for DISTRIBUTE PLUS ASSIGEMENT (DPA)
Latency of network (L(G)) : 14 unit
Latency of network (L(G)) : 220.20096 seconds
Time of network : 235.9296 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 98.5915492958 %
Channel Utilization of network : 30.5379746835 %
Number of drop frame : 1 frame

Report for FAST CONVERGECAST ASSIGNMENT (FCA)
Latency of network (L(G)) : 11 unit
Latency of network (L(G)) : 173.01504 seconds
Time of network : 173.01504 seconds
Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)
GoodPut of network : 97.5 %
Channel Utilization of network : 33.1081081081 %
Number of drop frame : 2 frame

#####
>>> |
Ln: 34249 Col: 4

```

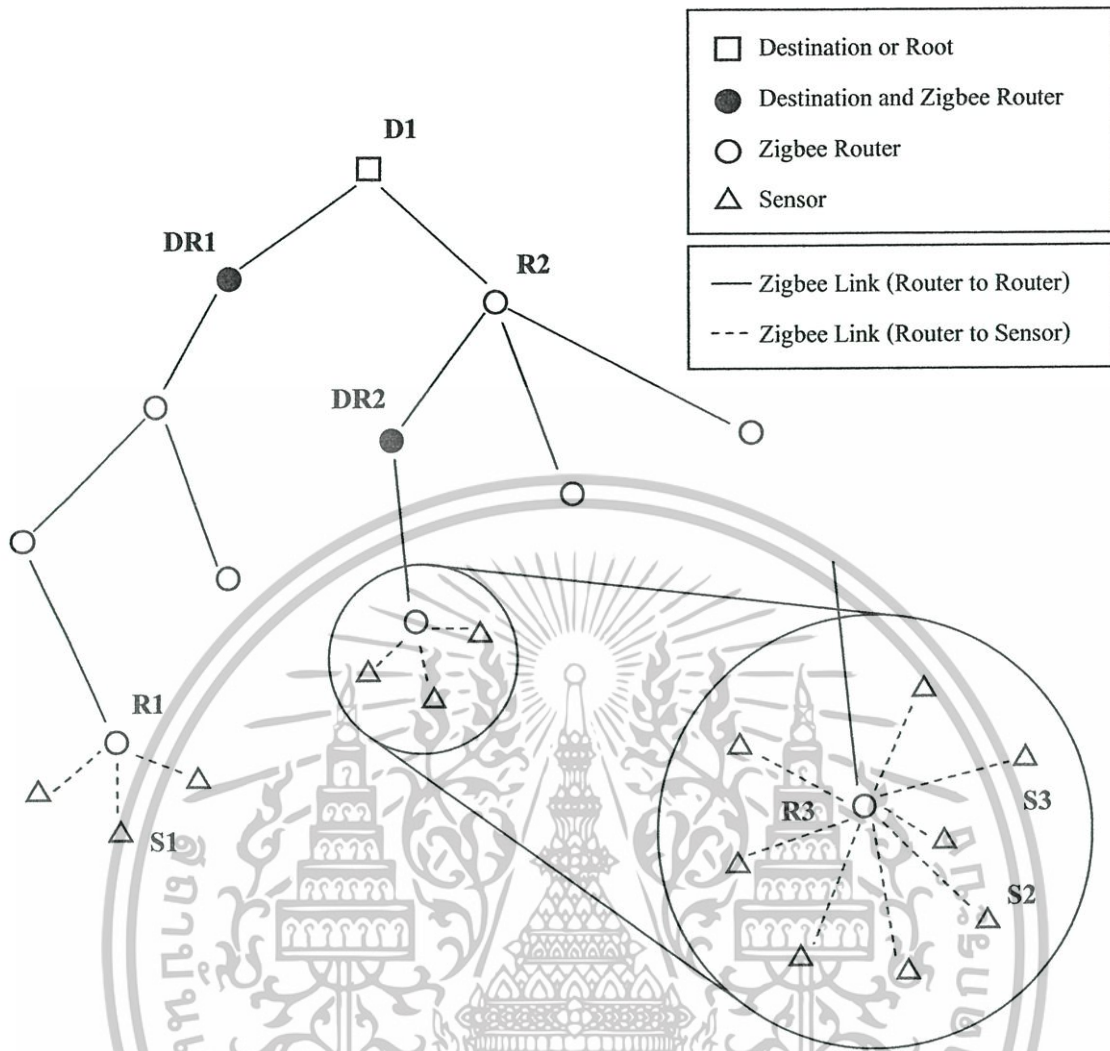
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลการจำลองเครือข่ายจากโปรแกรมที่พัฒนาใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมมติฐานที่ 1 มีวิธีการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 คือ จำลองเครือข่ายโดยกำหนดพารามิเตอร์ของเครือข่าย จากนั้นพิจารณาปัญหาต่างๆของเครือข่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้อัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างๆ

จากสมมติฐานที่ 2 มีวิธีการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2 คือ จำลองเครือข่ายโดยกำหนดพารามิเตอร์ของเครือข่าย จากนั้นพิจารณาประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้อัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างๆ

จากสมมติฐานที่ 3 มีวิธีการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3 คือ จำลองเครือข่ายโดยกำหนดพารามิเตอร์ของเครือข่าย จากนั้นพิจารณาประสิทธิผลของเครือข่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้อัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างๆ

การจำลองรูปแบบของเครือข่ายที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ที่เป็นแบบทรี (Tree Topology) เท่านั้น เนื่องจากอัลกอริทึมของการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบทรีเท่านั้น โดยอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบวงแหวนจะลักษณะเดียวกับเครือข่ายรูปแบบทรี ทำให้ผลการจำลองในเครือข่ายทั้งสองมีผลการจำลองที่เหมือนกัน เนื่องจากอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบวงแหวนคือการเปลี่ยนเครือข่ายรูปแบบวงแหวนในเป็นเครือข่ายรูปแบบทรีแล้วใช้อัลกอริทึมเหมือนกัน



รูปที่ 5.7 เครื่องข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee

จากรูปที่ 5.7 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ในลักษณะเครือข่ายแบบทรี (Tree Topology) ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีการทดสอบสมมติฐาน โดยการจำลองเครือข่ายในลักษณะนี้

5.3 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบทรี

5.3.1 การจำลองเครือข่ายรูปแบบทรีเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1

จากสมมติฐานที่ 1 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 1

Parameter	Value
Number Of Area	10 X 10 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	20 อุปกรณ์
Number Of Destination	2 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	10
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.2 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DCP

ครั้งที่	ปัญหาการชนกันของข้อมูล (DCP)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
4	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
5	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
เฉลี่ย	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

หมายเหตุ : มี หมายถึง มีปัญหาเกิดขึ้น

ไม่มี หมายถึง ไม่มีปัญหาเกิดขึ้น

ตารางที่ 5.3 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DIP

ครั้งที่	ปัญหาการส่งข้อมูลไม่ถูกต้อง (DIP)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
4	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
5	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
เฉลี่ย	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

หมายเหตุ : มี หมายถึง มีปัญหาเกิดขึ้น

ไม่มี หมายถึง ไม่มีปัญหาเกิดขึ้น

ตารางที่ 5.4 ผลการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 : DBP

ครั้งที่	ปัญหาความล่าช้าในเครือข่าย (DBP) เทียบจาก (TT(G))					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	มาก	-	น้อย	-	-	น้อย
2	มาก	-	น้อย	มาก	-	น้อย
3	-	น้อย	น้อย	มาก	น้อย	น้อย
4	-	-	-	มาก	-	-
5	มาก	-	น้อย	-	-	น้อย
เฉลี่ย	มาก	-	น้อย	มาก	-	น้อย

หมายเหตุ : มาก หมายถึง มีความล่าช้าในเครือข่ายมากที่สุดในการจำลองแต่ละครั้ง

น้อย หมายถึง มีความล่าช้าในเครือข่ายน้อยที่สุดในการจำลองแต่ละครั้ง

จากตารางที่ 5.2 5.3 และ 5.4 พบว่า อัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย อุปกรณ์ต่างกัน กล่าวคือ อัลกอริทึม Random Assignment (RA) เท่านั้นที่เกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล (DCP) เกิดขึ้น อัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) จะเกิดปัญหาการส่งข้อมูลไม่ถูกต้อง (DIP) เกิดขึ้น และอัลกอริทึม Random Assignment (RA) ทำให้ความล่าช้าของเครือข่ายในการส่งข้อมูลกลับมากที่สุด อัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ความล่าช้าของเครือข่ายในการส่งข้อมูลกลับน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การจำลองเครือข่ายรูปแบบทรีเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

จากสมมติฐานที่ 2 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน มีการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.1 ถ้าขนาดของพื้นที่ต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.1

Parameter	Value
Number Of Area	x
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	25 อุปกรณ์
Number Of Destination	2 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	10
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.6 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	27	14	10
2	-	-	-	17	14	12
3	-	-	-	21	12	13
4	-	-	-	21	15	14
5	29	14	15	26	15	15
เฉลี่ย	-	-	-	24.40	14.00	12.80

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสจว.ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	27	11	11
2	-	-	-	24	14	13
3	-	-	-	21	9	9
4	-	-	-	22	11	12
5	-	-	-	26	12	10
เฉลี่ย	-	-	-	24.00	11.40	11.00

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.8 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	41	8	9
2	-	-	-	44	12	9
3	-	-	-	38	8	12
4	-	-	-	40	13	9
5	-	-	-	31	9	10
เฉลี่ย	-	-	-	38.80	10.00	9.80

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.9 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	73	10	10
2	-	-	-	37	7	6
3	-	-	-	50	12	8
4	-	-	-	37	6	7
5	-	-	-	58	9	9
เฉลี่ย	-	-	-	51.00	8.80	8.00

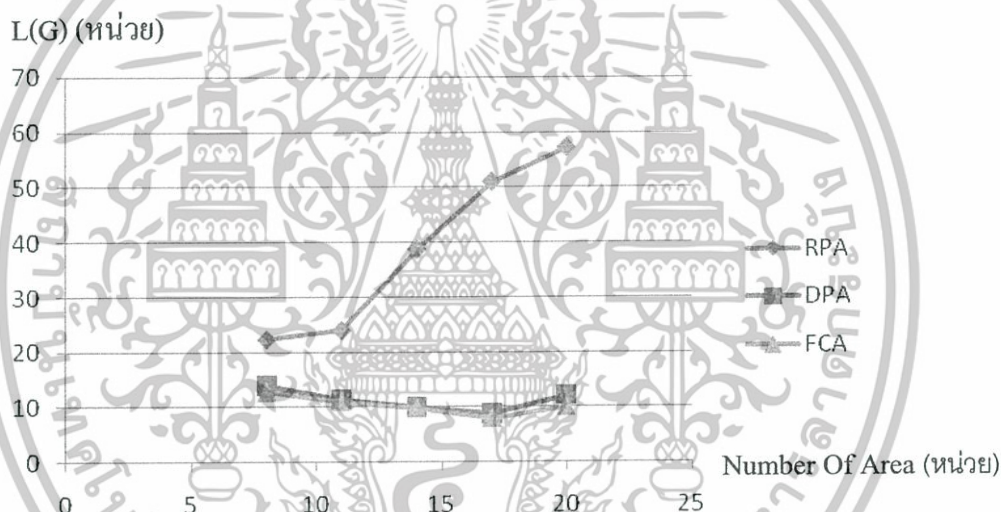
หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้เข้าศึกษาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	43	11	8
2	-	-	-	76	13	11
3	-	-	-	68	12	10
4	-	-	-	58	14	12
5	-	-	-	41	11	9
เฉลี่ย	-	-	-	57.20	12.20	10.00

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ L(G)

จากรูปที่ 5.8 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ L(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วยและมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ L(G) และมี L(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.11 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	424.68	220.20	157.29
2	-	-	-	267.39	220.20	188.74
3	-	-	-	330.31	188.74	204.47
4	-	-	-	330.31	235.93	220.20
5	456.14	220.20	235.93	408.95	235.93	235.93
เฉลี่ย	-	-	-	352.32	220.20	201.32

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.12 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	424.68	173.02	173.02
2	-	-	-	377.49	220.20	204.47
3	-	-	-	330.31	141.56	141.56
4	-	-	-	346.04	173.02	188.74
5	-	-	-	408.95	188.74	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	377.49	179.30	173.01

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.13 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	644.89	125.83	141.56
2	-	-	-	692.08	188.74	141.56
3	-	-	-	597.70	125.83	188.74
4	-	-	-	629.16	204.47	141.56
5	-	-	-	487.60	141.56	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	610.28	157.28	154.14

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.14 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17

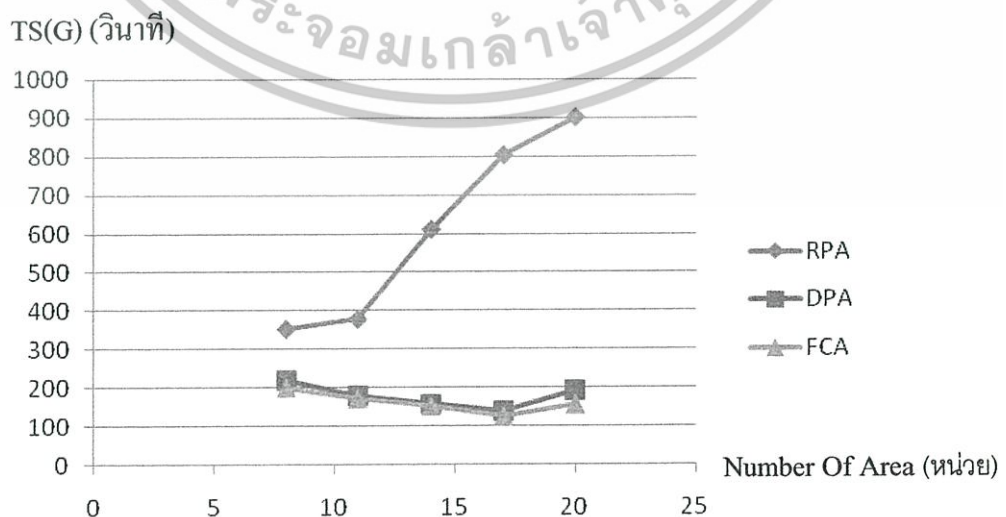
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	1148.22	157.29	157.29
2	-	-	-	581.97	110.10	94.37
3	-	-	-	786.45	188.74	125.83
4	-	-	-	581.97	94.37	110.10
5	-	-	-	912.29	141.56	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	802.18	138.41	125.83

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.15 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	676.35	173.02	125.83
2	-	-	-	1195.41	204.47	173.02
3	-	-	-	1069.58	188.74	157.29
4	-	-	-	912.29	220.20	188.74
5	-	-	-	644.89	173.02	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	899.70	191.89	157.28

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TS(G)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ TS(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ TS(G) และมี TS(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.16 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 8

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	424.68	235.93	157.29
2	-	-	-	408.95	235.93	188.74
3	-	-	-	503.33	235.93	204.47
4	-	-	-	456.14	361.77	220.20
5	581.97	251.66	235.93	644.89	267.39	235.93
เฉลี่ย	-	-	-	487.59	267.39	201.32

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.17 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 11

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	644.89	251.66	173.02
2	-	-	-	519.06	267.39	204.47
3	-	-	-	534.79	251.66	141.56
4	-	-	-	550.52	235.93	188.74
5	-	-	-	519.06	314.58	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	553.64	264.24	173.01

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.18 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 14

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	849.37	251.66	141.56
2	-	-	-	707.81	330.31	141.56
3	-	-	-	613.43	235.93	188.74
4	-	-	-	644.89	235.93	141.56
5	-	-	-	534.79	235.93	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	670.05	257.95	154.14

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.19 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 17

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	1242.60	251.66	157.29
2	-	-	-	739.27	283.12	94.37
3	-	-	-	786.45	267.39	125.83
4	-	-	-	660.62	251.66	110.10
5	-	-	-	990.93	251.66	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	883.97	261.09	125.83

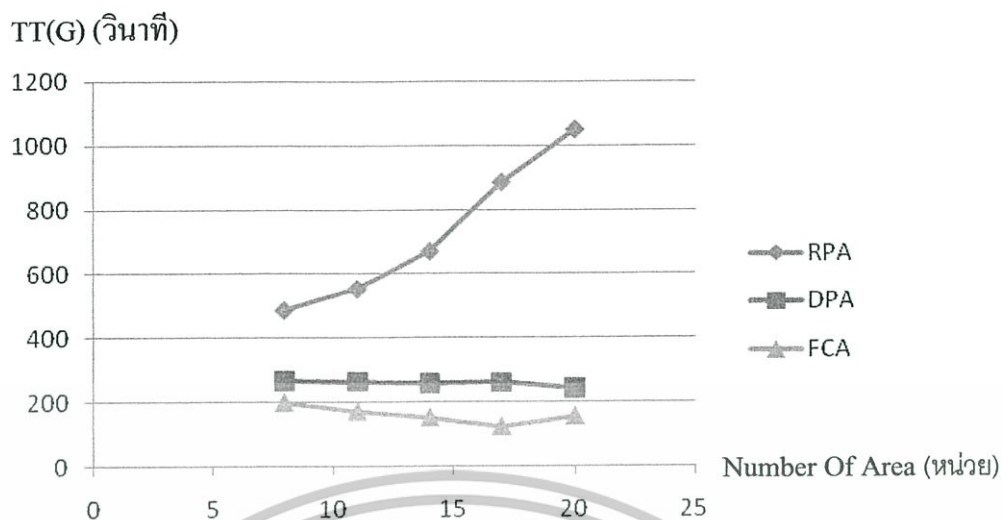
หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.20 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.1 : Number Of Area = 20

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	817.91	235.93	125.83
2	-	-	-	1384.16	235.93	173.02
3	-	-	-	1195.41	251.66	157.29
4	-	-	-	1053.85	235.93	188.74
5	-	-	-	786.45	251.66	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	1047.55	242.22	157.28

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.10 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ TT(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ TT(G) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.2 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.21 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.2

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	x
Number Of Destination	4 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	10
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.22 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	32	6	6
2	-	-	-	50	6	8
3	-	-	-	39	8	8
4	-	-	-	34	6	5
5	-	-	-	45	9	8
เฉลี่ย	-	-	-	40.0	7.0	7.0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.23 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	36	9	9
2	-	-	-	46	11	13
3	-	-	-	29	9	9
4	-	-	-	30	8	9
5	-	-	-	38	12	10
เฉลี่ย	-	-	-	35.8	9.8	10.0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.24 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	33	13	11
2	-	-	-	43	13	13
3	-	-	-	41	14	13
4	-	-	-	48	10	11
5	-	-	-	48	12	11
เฉลี่ย	-	-	-	42.6	12.4	11.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.25 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50

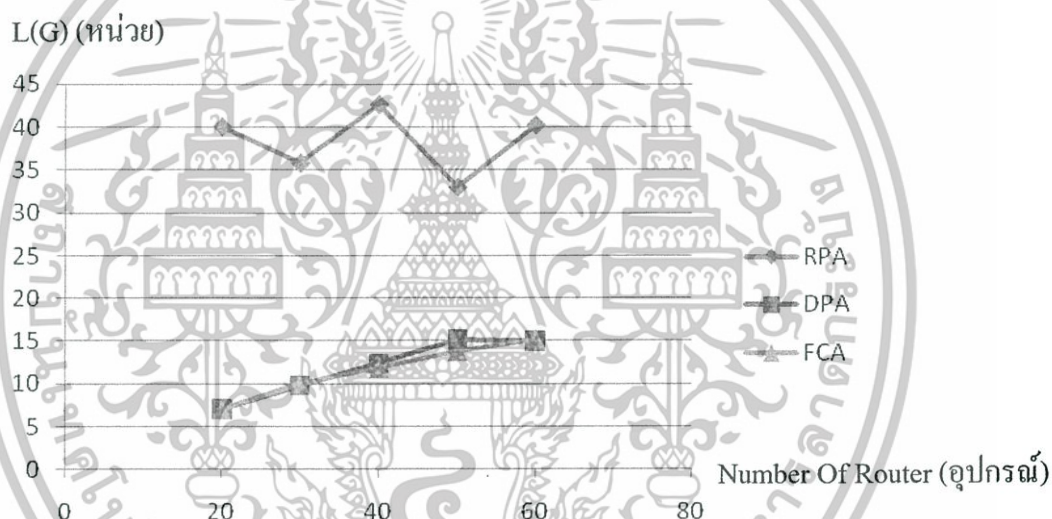
ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	34	14	14
2	-	-	-	28	16	16
3	-	-	-	40	15	12
4	-	-	-	33	16	14
5	-	-	-	30	15	13
เฉลี่ย	-	-	-	33.0	15.2	13.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.26 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	41	16	16
2	-	-	-	33	15	16
3	-	-	-	36	14	16
4	-	-	-	41	14	15
5	-	-	-	50	16	13
เฉลี่ย	-	-	-	40.2	15.0	15.2

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ L(G)

จากรูปที่ 5.11 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อ L(G) แต่ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลกระทบต่อ L(G) เพิ่มขึ้นด้วยเล็กน้อยและมี L(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.27 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	503.33	94.37	94.37
2	-	-	-	786.45	94.37	125.83
3	-	-	-	613.43	125.83	125.83
4	-	-	-	534.79	94.37	78.64
5	-	-	-	707.81	141.56	125.83
เฉลี่ย	-	-	-	629.16	110.10	110.10

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.28 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	566.24	141.56	141.56
2	-	-	-	723.54	173.02	204.47
3	-	-	-	456.14	141.56	141.56
4	-	-	-	471.87	125.83	141.56
5	-	-	-	597.70	188.74	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	563.09	154.14	157.28

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.29 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	519.06	204.47	173.02
2	-	-	-	676.35	204.47	204.47
3	-	-	-	644.89	220.20	204.47
4	-	-	-	754.99	157.29	173.02
5	-	-	-	754.99	188.74	173.02
เฉลี่ย	-	-	-	670.05	195.03	185.60

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.30 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50

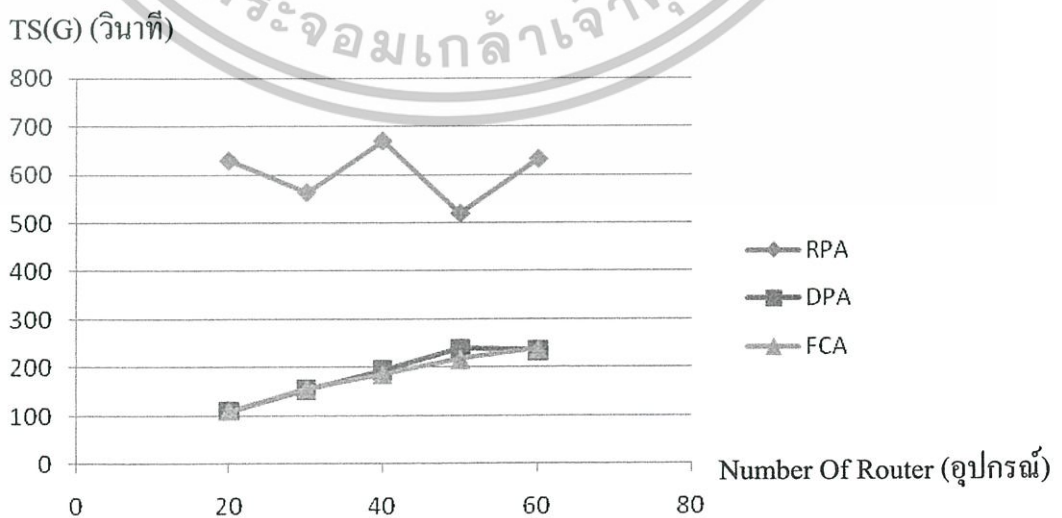
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	534.79	220.20	220.20
2	-	-	-	440.41	251.66	251.66
3	-	-	-	629.16	235.93	188.74
4	-	-	-	519.06	251.66	220.20
5	-	-	-	471.87	235.93	204.47
เฉลี่ย	-	-	-	519.05	239.07	217.05

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.31 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	644.89	251.66	251.66
2	-	-	-	519.06	235.93	251.66
3	-	-	-	566.24	220.20	251.66
4	-	-	-	644.89	220.20	235.93
5	-	-	-	786.45	251.66	204.47
เฉลี่ย	-	-	-	632.30	235.93	239.07

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TS(G)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.12 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ TS(G) แต่ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ TS(G) มากขึ้นด้วยเล็กน้อยและมี TS(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.32 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 20

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	550.52	251.66	94.37
2	-	-	-	833.64	235.93	125.83
3	-	-	-	629.16	235.93	125.83
4	-	-	-	581.97	235.93	78.64
5	-	-	-	786.45	235.93	125.83
เฉลี่ย	-	-	-	676.34	239.07	110.10

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.33 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 30

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	644.89	235.93	141.56
2	-	-	-	865.10	298.85	204.47
3	-	-	-	566.24	235.93	141.56
4	-	-	-	581.97	235.93	141.56
5	-	-	-	817.91	330.31	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	695.22	267.39	157.28

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.34 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	550.52	361.77	173.02
2	-	-	-	912.29	235.93	204.47
3	-	-	-	786.45	283.12	204.47
4	-	-	-	990.93	267.39	173.02
5	-	-	-	754.99	235.93	173.02
เฉลี่ย	-	-	-	799.03	276.82	185.60

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.35 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 50

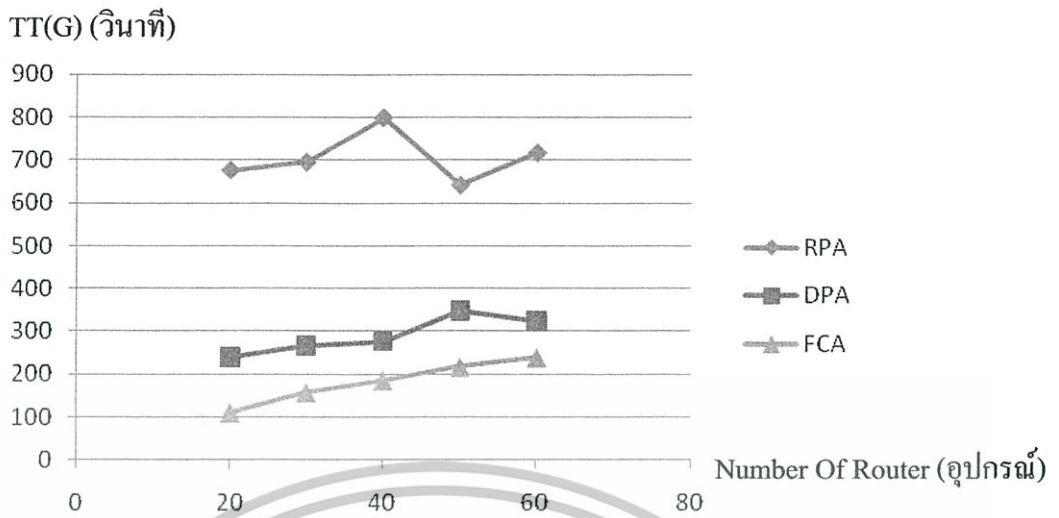
ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	692.08	267.39	220.20
2	-	-	-	534.79	361.77	251.66
3	-	-	-	629.16	267.39	188.74
4	-	-	-	660.62	487.60	220.20
5	-	-	-	692.08	361.77	204.47
เฉลี่ย	-	-	-	641.74	349.18	217.05

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.36 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.2 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	770.72	393.22	251.66
2	-	-	-	566.24	346.04	251.66
3	-	-	-	644.89	346.04	251.66
4	-	-	-	754.99	267.39	235.93
5	-	-	-	849.37	267.39	204.47
เฉลี่ย	-	-	-	717.24	324.01	239.07

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.13 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อ TT(G) แต่ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลกระทบต่อ TT(G) เพิ่มขึ้นด้วยเล็กน้อยและอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.3 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.37 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.3

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	30 อุปกรณ์
Number Of Destination	x
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	10
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.38 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	32	10	7	44	10	7
2	38	11	9	50	11	9
3	35	12	9	39	12	9
4	27	9	8	42	9	8
5	39	9	9	42	9	9
เฉลี่ย	34.2	10.2	8.4	43.4	10.2	8.4

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.39 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	34	13	9
2	-	-	-	46	15	10
3	39	12	-	40	12	9
4	-	-	-	31	12	8
5	-	-	-	25	7	8
เฉลี่ย	-	-	-	35.2	11.8	8.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.40 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	38	11	9
2	-	-	-	43	10	11
3	-	-	-	29	9	8
4	-	-	-	43	9	10
5	-	-	-	30	10	10
เฉลี่ย	-	-	-	36.6	9.8	9.6

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.41 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4

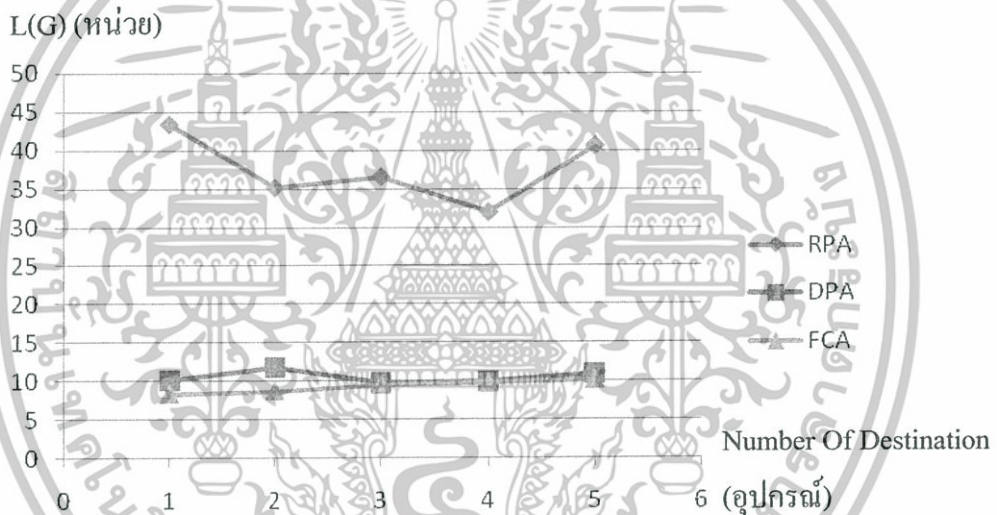
ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	31	11	10
2	-	-	-	27	10	12
3	-	-	-	30	10	8
4	-	-	-	39	9	9
5	-	-	-	33	10	10
เฉลี่ย	-	-	-	32.0	10.0	9.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.42 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	34	11	10
2	-	-	-	39	12	11
3	-	-	-	42	8	10
4	-	-	-	39	12	11
5	-	-	-	49	12	9
เฉลี่ย	-	-	-	40.6	11.0	10.2

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ L(G)

จากตาราง 5.38 พบว่า ในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ อัลกอริทึม Random Assignment (RA) ให้ L(G) ใกล้เคียงกับ อัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) ให้ L(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ให้ L(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA)

จากรูปที่ 5.14 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ L(G) แต่

L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ L(G) และมี L(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.43 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	503.33	157.29	110.10	692.08	157.29	110.10
2	597.70	173.02	141.56	786.45	173.02	141.56
3	550.52	188.74	141.56	613.43	188.74	141.56
4	424.68	141.56	125.83	660.62	141.56	125.83
5	613.43	141.56	141.56	141.56	141.56	141.56
เฉลี่ย	537.93	160.43	132.12	578.82	160.43	132.12

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.44 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	534.79	204.47	141.56
2	-	-	-	723.54	235.93	157.29
3	613.43	188.74	-	629.16	188.74	141.56
4	-	-	-	487.60	188.74	125.83
5	-	-	-	393.22	110.10	125.83
เฉลี่ย	-	-	-	553.66	185.59	138.41

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.45 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	597.70	173.02	141.56
2	-	-	-	676.35	157.29	173.02
3	-	-	-	456.14	141.56	125.83
4	-	-	-	676.35	141.56	157.29
5	-	-	-	471.87	157.29	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	575.68	154.14	150.99

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.46 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4

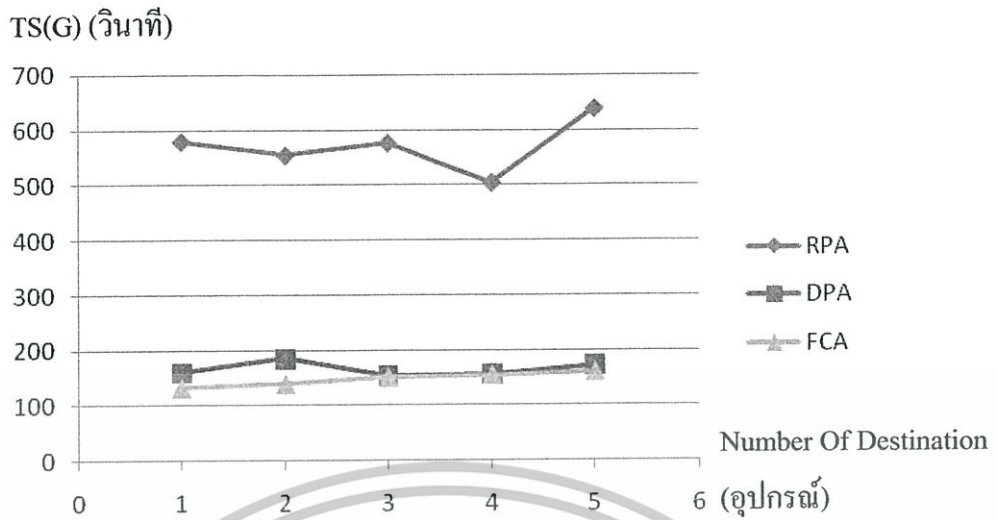
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	487.60	173.02	157.29
2	-	-	-	424.68	157.29	188.74
3	-	-	-	471.87	157.29	125.83
4	-	-	-	613.43	141.56	141.56
5	-	-	-	519.06	157.29	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	503.32	157.29	154.14

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.47 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	534.79	173.02	157.29
2	-	-	-	613.43	188.74	173.02
3	-	-	-	660.62	125.83	157.29
4	-	-	-	613.43	188.74	173.02
5	-	-	-	770.72	188.74	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	638.59	173.01	160.43

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TS(G)

จากตาราง 5.43 พบว่า ในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ อัลกอริทึม Random Assignment (RA) ให้ TS(G) ใกล้เคียงกับ อัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) ให้ TS(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ให้ TS(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA)

จากรูปที่ 5.15 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ TS(G) แต่ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ TS(G) และมี TS(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.48 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 1

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	613.43	298.85	110.10	770.72	298.85	110.10
2	707.81	267.39	141.56	786.45	267.39	141.56
3	550.52	314.58	141.56	613.43	314.58	141.56
4	424.68	267.39	125.83	723.54	267.39	125.83
5	629.16	267.39	141.56	865.10	267.39	141.56
เฉลี่ย	585.12	283.12	132.12	751.84	283.12	132.12

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.49 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 2

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	566.24	267.39	141.56
2	-	-	-	723.54	235.93	157.29
3	660.62	267.39	-	754.99	267.39	141.56
4	-	-	-	676.35	251.66	125.83
5	-	-	-	566.24	235.93	125.83
เฉลี่ย	-	-	-	657.47	251.66	138.41

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.50 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 3

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	644.89	235.93	141.56
2	-	-	-	896.56	251.66	173.02
3	-	-	-	503.33	251.66	125.83
4	-	-	-	865.10	267.39	157.29
5	-	-	-	660.62	267.39	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	714.10	254.80	150.99

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.51 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 4

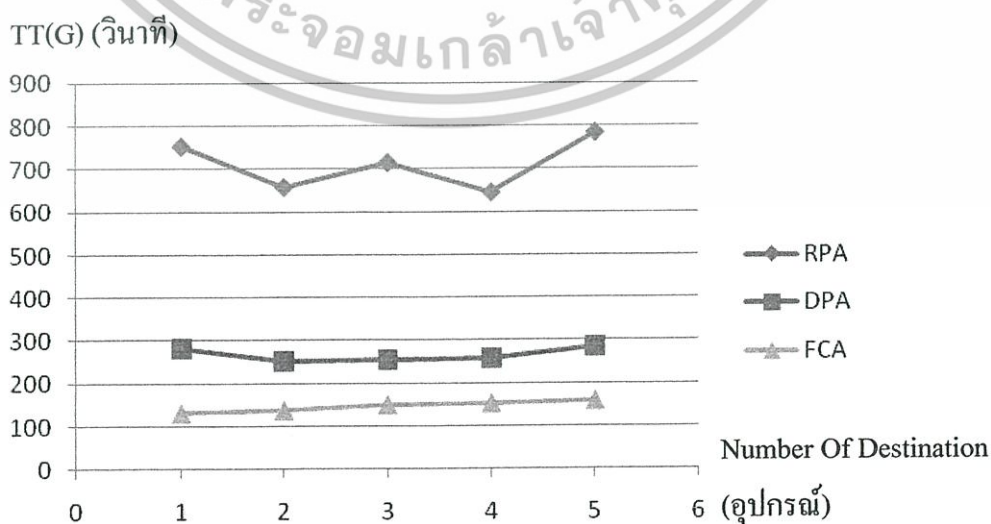
ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	597.70	235.93	157.29
2	-	-	-	581.97	235.93	188.74
3	-	-	-	629.16	267.39	125.83
4	-	-	-	723.54	267.39	141.56
5	-	-	-	692.08	283.12	157.29
เฉลี่ย	-	-	-	644.89	257.95	154.14

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.52 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.3 : Number Of Destination = 5

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	739.27	314.58	157.29
2	-	-	-	676.35	267.39	173.02
3	-	-	-	865.10	251.66	157.29
4	-	-	-	723.54	346.04	173.02
5	-	-	-	912.29	251.66	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	783.31	286.26	160.43

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TT(G)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 5.48 พบว่า ในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ อัลกอริทึม Random Assignment (RA) ให้ TT(G) ใกล้เคียงกับ อัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) ให้ TT(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ให้ TT(G) เหมือนกับ อัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA)

จากรูปที่ 5.16 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ TT(G) แต่ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ TT(G) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.4 ถ้าระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.53 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.4

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	30 อุปกรณ์
Number Of Destination	3 อุปกรณ์
Length Of Router	x
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	10
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.54 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	75	17	11
2	-	-	-	53	11	8
3	-	-	-	56	9	9
4	-	-	-	36	7	9
5	-	-	-	56	16	7
เฉลี่ย	-	-	-	55.2	12.0	8.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.55 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	44	13	14
2	-	-	-	25	13	11
3	-	-	-	30	11	11
4	-	-	-	51	11	12
5	-	-	-	29	9	9
เฉลี่ย	-	-	-	35.8	11.4	11.4

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.56 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	30	16	16
2	-	-	-	20	12	12
3	-	-	-	24	13	15
4	-	-	-	29	11	12
5	-	-	-	28	10	12
เฉลี่ย	-	-	-	26.2	12.4	13.4

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.57 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000

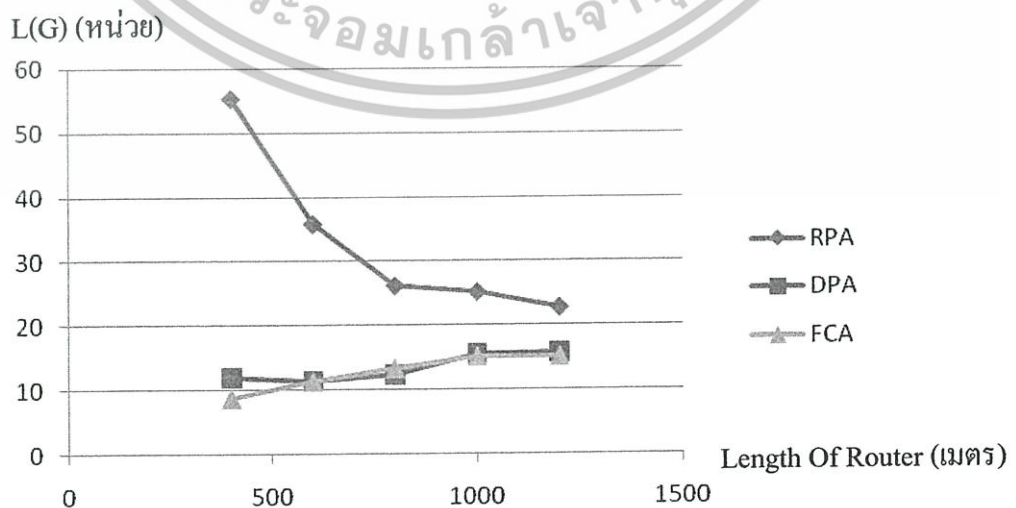
ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	20	16	15
2	-	-	-	29	16	16
3	-	-	-	23	15	15
4	-	-	-	27	15	15
5	-	-	-	27	16	15
เฉลี่ย	-	-	-	25.2	15.6	15.2

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.58 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	26	15	15
2	-	-	-	27	16	15
3	-	-	-	20	16	15
4	-	-	-	21	16	15
5	-	-	-	20	16	16
เฉลี่ย	-	-	-	22.8	15.8	15.2

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ L(G)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.17 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ L(G) น้อยลงแต่ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ L(G) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมี L(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.59 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	1179.68	267.39	173.02
2	-	-	-	833.64	173.02	125.83
3	-	-	-	880.83	141.56	141.56
4	-	-	-	566.24	110.10	141.56
5	-	-	-	880.83	251.66	110.10
เฉลี่ย	-	-	-	868.24	188.74	138.41

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.60 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	692.08	204.47	220.20
2	-	-	-	393.22	204.47	173.02
3	-	-	-	471.87	173.02	173.02
4	-	-	-	802.18	173.02	188.74
5	-	-	-	456.14	141.56	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	563.09	179.30	179.30

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.61 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	471.87	251.66	251.66
2	-	-	-	314.58	188.74	188.74
3	-	-	-	377.49	204.47	235.93
4	-	-	-	456.14	173.02	188.74
5	-	-	-	440.41	157.29	188.74
เฉลี่ย	-	-	-	412.09	195.03	210.76

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.62 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000

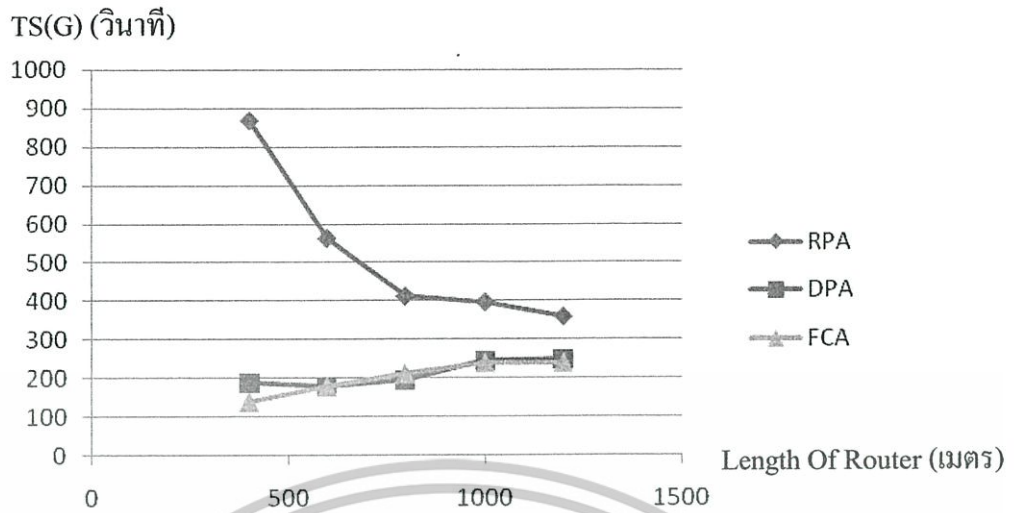
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	314.58	251.66	235.93
2	-	-	-	456.14	251.66	251.66
3	-	-	-	361.77	235.93	235.93
4	-	-	-	424.68	235.93	235.93
5	-	-	-	424.68	251.66	235.93
เฉลี่ย	-	-	-	396.37	245.36	239.07

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.63 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	408.95	235.93	235.93
2	-	-	-	424.68	251.66	235.93
3	-	-	-	314.58	251.66	235.93
4	-	-	-	330.31	251.66	235.93
5	-	-	-	314.58	251.66	251.66
เฉลี่ย	-	-	-	358.62	248.51	239.07

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TS(G)

จากรูปที่ 5.18 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TS(G) น้อยลงแต่ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ TS(G) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมี TS(G) ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.64 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 400

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	1305.51	487.60	173.02
2	-	-	-	849.37	235.93	125.83
3	-	-	-	1101.04	251.66	141.56
4	-	-	-	613.43	251.66	141.56
5	-	-	-	990.93	487.60	110.10
เฉลี่ย	-	-	-	972.05	342.89	138.41

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.65 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 600

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	896.56	346.04	220.20
2	-	-	-	597.70	330.31	173.02
3	-	-	-	613.43	314.58	173.02
4	-	-	-	959.47	346.04	188.74
5	-	-	-	456.14	298.85	141.56
เฉลี่ย	-	-	-	704.66	327.16	179.30

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.66 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 800

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	487.60	487.60	251.66
2	-	-	-	346.04	330.31	188.74
3	-	-	-	424.68	408.95	235.93
4	-	-	-	644.89	283.12	188.74
5	-	-	-	503.33	314.58	188.74
เฉลี่ย	-	-	-	481.30	364.91	210.76

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.67 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1000

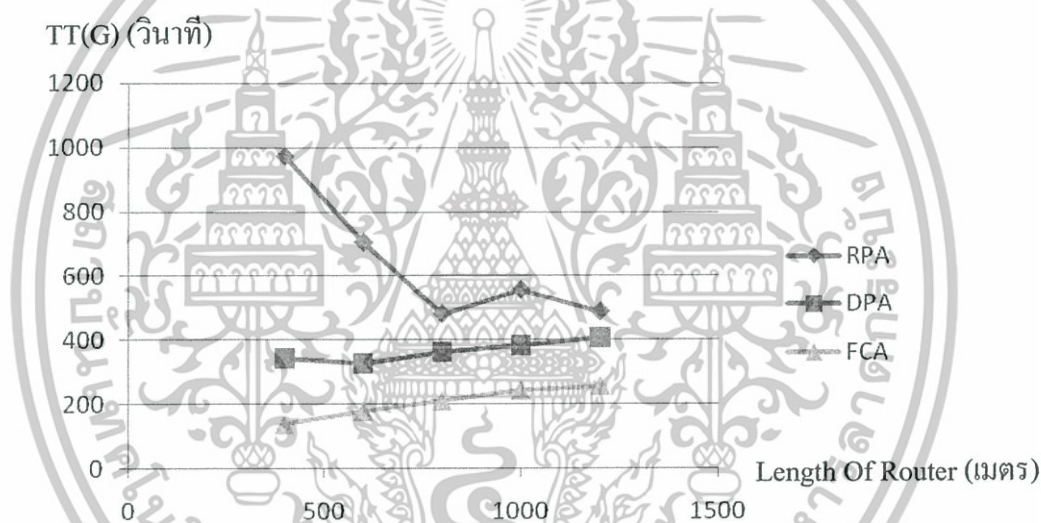
ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	534.79	361.77	267.39
2	-	-	-	660.62	393.22	251.66
3	-	-	-	597.70	235.93	235.93
4	-	-	-	519.06	440.41	235.93
5	-	-	-	471.87	487.60	235.93
เฉลี่ย	-	-	-	556.80	383.78	245.36

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.68 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.4 : Length Of Router = 1200

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	503.33	361.77	235.93
2	-	-	-	613.43	408.95	330.31
3	-	-	-	330.31	487.60	235.93
4	-	-	-	566.24	393.22	235.93
5	-	-	-	424.68	393.22	251.66
เฉลี่ย	-	-	-	487.59	408.95	257.95

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.19 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TT(G) น้อยลงแต่ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ TT(G) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.5 ถ้าค่า Beacon Order (BO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.69 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.5

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	30 อุปกรณ์
Number Of Destination	3 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	x
Superframe Order	8
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.70 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	5	6	4
2	-	-	-	8	8	4
3	-	-	-	7	7	7
4	-	-	-	9	4	4
5	-	-	-	9	7	7
เฉลี่ย	-	-	-	7.6	6.4	5.2

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.71 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	33	9	11
2	-	-	-	18	11	8
3	-	-	-	18	10	8
4	-	-	-	15	8	8
5	-	-	-	18	11	7
เฉลี่ย	-	-	-	20.4	9.8	8.4

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.72 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	28	11	9
2	-	-	-	25	9	7
3	-	-	-	35	7	8
4	-	-	-	28	10	8
5	-	-	-	44	10	7
เฉลี่ย	-	-	-	32.0	9.4	7.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.73 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	119	13	11
2	-	-	-	74	10	9
3	-	-	-	99	11	9
4	-	-	-	98	12	10
5	-	-	-	67	10	10
เฉลี่ย	-	-	-	91.4	11.2	9.8

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.74 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	132	9	10
2	-	-	-	191	12	10
3	-	-	-	173	10	10
4	-	-	-	190	12	9
5	-	-	-	114	9	11
เฉลี่ย	-	-	-	160.0	10.4	10

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ L(G)

จากรูปที่ 5.20 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ L(G) เพิ่มขึ้นอย่างมาก และ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ L(G) และทำให้ L(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.75 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	19.66	23.59	15.73
2	-	-	-	31.46	31.46	15.73
3	-	-	-	27.52	27.52	27.52
4	-	-	-	35.39	15.73	15.73
5	-	-	-	35.39	27.52	27.52
เฉลี่ย				29.88	25.16	20.44

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.76 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	129.77	35.39	43.25
2	-	-	-	70.78	43.25	31.46
3	-	-	-	70.78	39.32	31.46
4	-	-	-	58.99	31.46	31.46
5	-	-	-	70.78	43.25	27.52
เฉลี่ย				80.22	38.53	33.03

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.77 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	110.11	43.25	35.39
2	-	-	-	98.31	35.39	27.52
3	-	-	-	137.64	27.52	31.46
4	-	-	-	110.11	39.32	31.46
5	-	-	-	173.03	39.32	27.52
เฉลี่ย				125.84	36.96	30.67

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.78 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13

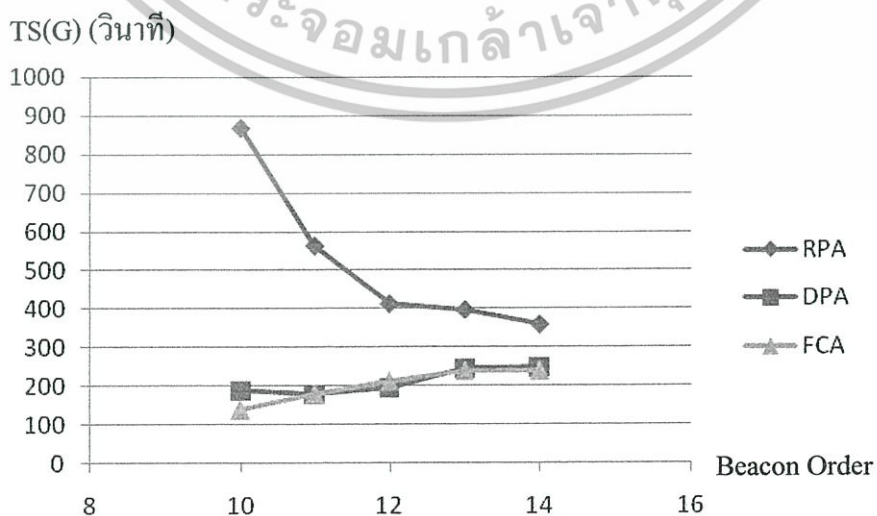
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	467.98	51.12	43.25
2	-	-	-	291.01	39.32	35.39
3	-	-	-	389.33	43.25	35.39
4	-	-	-	385.40	47.19	39.32
5	-	-	-	263.48	39.32	39.32
เฉลี่ย	-	-	-	359.44	44.04	38.53

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.79 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	519.11	35.39	39.32
2	-	-	-	751.14	47.19	39.32
3	-	-	-	680.35	39.32	39.32
4	-	-	-	747.20	47.19	35.39
5	-	-	-	448.32	35.39	43.25
เฉลี่ย	-	-	-	629.22	40.89	39.32

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TS(G)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.21 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TS(G) เพิ่มขึ้นอย่างมาก และ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ TS(G) และให้ TS(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.80 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	27.52	31.46	15.73
2	-	-	-	35.39	39.32	15.73
3	-	-	-	31.46	27.52	27.52
4	-	-	-	43.25	27.52	15.73
5	-	-	-	43.25	39.32	27.52
เฉลี่ย	-	-	-	36.17	33.02	20.44

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.81 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	157.30	62.92	43.25
2	-	-	-	94.38	58.99	31.46
3	-	-	-	70.78	58.99	31.46
4	-	-	-	58.99	51.12	31.46
5	-	-	-	98.31	70.78	27.52
เฉลี่ย	-	-	-	95.95	60.5	33.03

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.82 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 12

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	114.04	58.99	35.39
2	-	-	-	110.11	66.85	27.52
3	-	-	-	141.57	58.99	31.46
4	-	-	-	157.30	78.65	31.46
5	-	-	-	200.56	74.72	27.52
เฉลี่ย	-	-	-	144.71	67.64	30.67

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.83 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 13

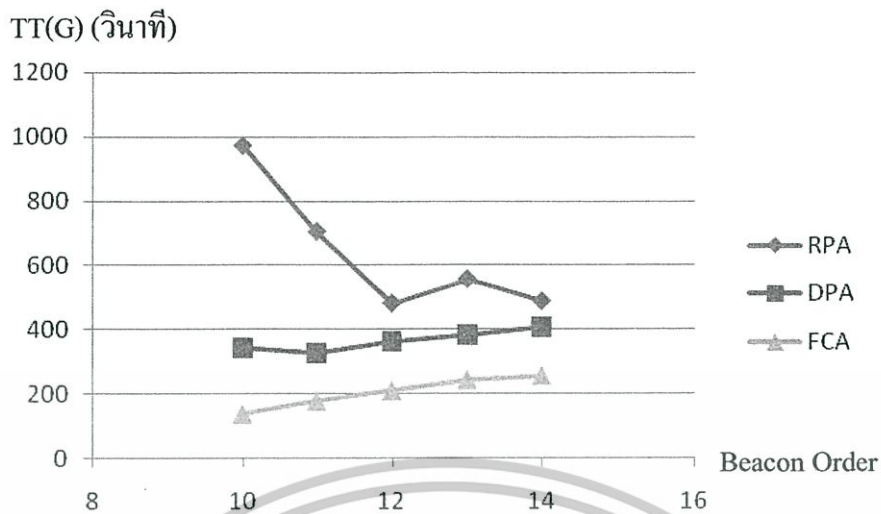
ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	519.11	121.91	43.25
2	-	-	-	381.46	149.44	35.39
3	-	-	-	479.78	121.91	35.39
4	-	-	-	389.33	145.50	39.32
5	-	-	-	263.48	121.91	39.32
เฉลี่ย	-	-	-	406.63	132.13	38.53

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.84 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.5 : Beacon Order = 14

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	609.56	255.62	39.32
2	-	-	-	912.37	283.15	39.32
3	-	-	-	802.26	247.75	39.32
4	-	-	-	971.36	251.69	35.39
5	-	-	-	487.65	267.42	43.25
เฉลี่ย	-	-	-	756.64	261.12	39.32

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.22 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TT(G) เพิ่มขึ้นอย่างมาก และ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) เมื่อ Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TT(G) เพิ่มขึ้นด้วยและอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ TT(G) และให้ TT(G) น้อยที่สุด

จากสมมติฐานย่อยที่ 2.6 ถ้าค่า Superframe Order (SO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.85 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 2.6

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	30 อุปกรณ์
Number Of Destination	3 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	x
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s

ตารางที่ 5.86 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	131	10	9
2	-	-	-	198	13	10
3	-	-	-	211	15	8
4	-	-	-	150	9	8
5	-	-	-	172	8	13
เฉลี่ย				172.4	11.0	9.6

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.87 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	74	10	13
2	-	-	-	61	8	9
3	-	-	-	100	10	9
4	-	-	-	45	12	10
5	-	-	-	89	11	12
เฉลี่ย	-	-	-	73.8	10.2	10.6

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.88 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	33	9	8
2	-	-	-	34	10	8
3	-	-	-	45	15	9
4	-	-	-	51	12	9
5	-	-	-	37	12	14
เฉลี่ย	-	-	-	40.0	11.6	9.6

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.89 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	15	10	14
2	-	-	-	13	11	13
3	-	-	-	14	15	12
4	-	-	-	19	8	8
5	-	-	-	21	8	8
เฉลี่ย	-	-	-	16.4	10.4	11.0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.90 ผลของ L(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12

ครั้งที่	L(G) (หน่วย)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	9	4	4
2	-	-	-	7	7	4
3	-	-	-	10	5	4
4	-	-	-	7	4	5
5	-	-	-	9	5	8
เฉลี่ย	-	-	-	8.4	5.0	5.0

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ L(G)

จากรูปที่ 5.23 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ L(G) ลดลงอย่างมาก แต่ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นไม่ส่งผลต่อ L(G) และให้ L(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.91 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	515.18	39.32	35.39
2	-	-	-	778.66	51.12	39.32
3	-	-	-	829.79	58.99	31.46
4	-	-	-	589.90	35.39	31.46
5	-	-	-	676.41	31.46	51.12
เฉลี่ย	-	-	-	677.98	43.25	37.75

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.92 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	581.99	78.64	102.24
2	-	-	-	479.75	62.91	70.78
3	-	-	-	786.48	78.64	70.78
4	-	-	-	353.91	94.37	78.64
5	-	-	-	699.97	86.51	94.37
เฉลี่ย	-	-	-	580.42	80.21	83.36

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.93 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	519.06	141.56	125.83
2	-	-	-	534.79	157.29	125.83
3	-	-	-	707.81	235.93	141.56
4	-	-	-	802.18	188.74	141.56
5	-	-	-	581.97	188.74	220.20
เฉลี่ย	-	-	-	629.16	182.45	150.99

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.94 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11

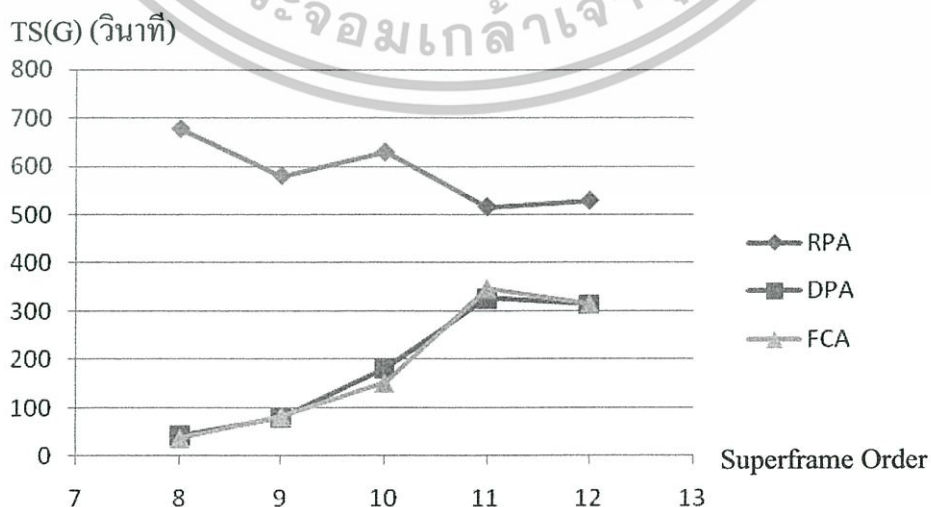
ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	471.86	314.57	440.40
2	-	-	-	408.95	346.03	408.95
3	-	-	-	440.40	471.86	377.49
4	-	-	-	597.69	251.66	251.66
5	-	-	-	660.61	251.66	251.66
เฉลี่ย	-	-	-	515.90	327.15	346.03

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.95 ผลของ TS(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12

ครั้งที่	TS(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	566.23	251.66	251.66
2	-	-	-	440.40	440.40	251.66
3	-	-	-	629.15	314.57	251.66
4	-	-	-	440.40	251.66	314.57
5	-	-	-	566.23	314.57	503.32
เฉลี่ย	-	-	-	528.48	314.57	314.57

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TS(G)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.24 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TS(G) ลดลงแต่ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นส่งผลให้ TS(G) มากขึ้นและให้ TS(G) ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.96 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 8

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	696.08	247.75	35.39
2	-	-	-	967.43	251.69	39.32
3	-	-	-	994.96	267.42	31.46
4	-	-	-	672.48	255.62	31.46
5	-	-	-	766.87	251.69	51.12
เฉลี่ย	-	-	-	819.56	254.83	37.75

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.97 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 9

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	621.32	267.40	102.24
2	-	-	-	503.34	243.80	70.78
3	-	-	-	833.67	267.40	70.78
4	-	-	-	542.67	243.80	78.64
5	-	-	-	739.29	267.40	94.37
เฉลี่ย	-	-	-	648.05	257.96	83.36

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.98 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 10

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	739.27	251.66	125.83
2	-	-	-	770.72	283.12	125.83
3	-	-	-	912.29	235.93	141.56
4	-	-	-	817.91	235.93	141.56
5	-	-	-	581.97	251.66	220.20
เฉลี่ย	-	-	-	764.43	251.66	150.99

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.99 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 11

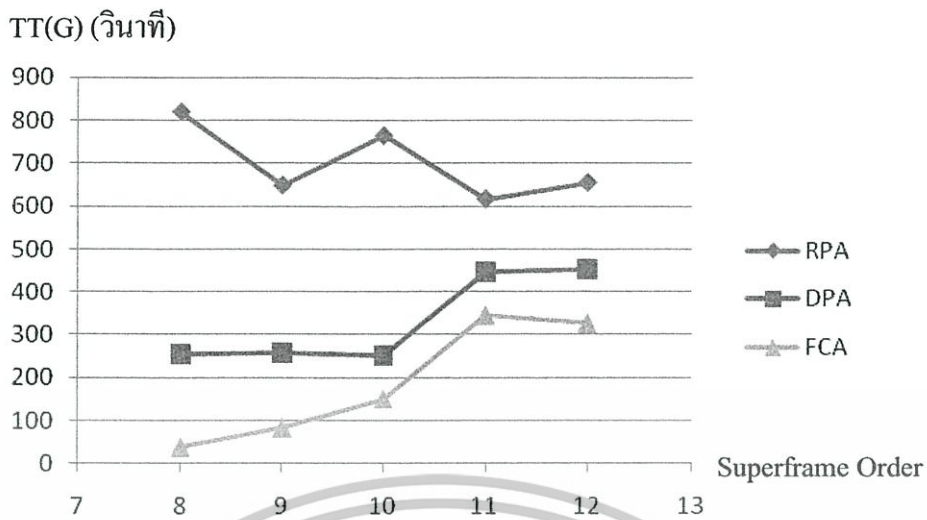
ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	629.15	534.78	440.40
2	-	-	-	534.78	471.86	408.95
3	-	-	-	566.24	471.86	377.49
4	-	-	-	597.69	471.86	251.66
5	-	-	-	754.98	283.12	251.66
เฉลี่ย	-	-	-	616.56	446.69	346.03

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น

ตารางที่ 5.100 ผลของ TT(G) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2.6 : Superframe Order = 12

ครั้งที่	TT(G) (วินาที)					
	RA	DSA	CTB	RPA	DPA	FCA
1	-	-	-	754.98	440.40	251.66
2	-	-	-	503.32	629.15	314.57
3	-	-	-	754.98	440.40	251.66
4	-	-	-	503.32	314.57	314.57
5	-	-	-	754.98	440.40	503.32
เฉลี่ย	-	-	-	654.31	452.98	327.15

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากเกิดปัญหาของเครือข่ายขึ้น



รูปที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.25 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ TT(G) ลดลงแต่ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) Superframe Order ของเครือข่ายมากขึ้นส่งผลให้ TT(G) มากขึ้นและอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ให้ TT(G) น้อยที่สุด

5.3.3 การจำลองเครือข่ายรูปแบบทรีเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3

จากสมมติฐานที่ 3 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน มีการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

จากสมมติฐานย่อยที่ 3.1 ถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.101 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 3.1

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	x
Number Of Destination	2 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	14
Superframe Order	11
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s
Time for Simulation	900 วินาที
Number of Error Report	5 %
Length Of Head and Tail	18 bytes
Length Of Report	16 bytes
A Unit Back Off Period	120 symbols
A CCA time	8
MacMinBE	3
AMaXBE	5
MacMaxCSMABackOffs	3
Number Of Retransmission	2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.102 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	93.22	37.50	2
2	100.00	40.95	0
3	96.55	38.82	2
4	95.52	41.76	2
5	98.36	42.44	0
เฉลี่ย	96.73	40.29	1.2

ตารางที่ 5.103 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	94.38	49.47	4
2	96.87	50.56	3
3	97.77	48.95	1
4	95.23	49.21	4
5	96.73	50.00	1
เฉลี่ย	96.19	49.63	2.6

ตารางที่ 5.104 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	93.18	59.63	2
2	92.00	62.76	5
3	95.68	58.07	5
4	93.16	59.89	5
5	93.16	61.38	5
เฉลี่ย	93.43	60.34	4.4

ตารางที่ 5.105 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	93.20	76.30	0
2	89.11	69.79	5
3	79.04	76.56	5
4	91.94	78.12	3
5	92.45	69.27	4
เฉลี่ย	89.14	74.00	3.4

ตารางที่ 5.106 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	89.78	79.94	6
2	85.48	76.56	7
3	82.53	84.11	1
4	93.08	78.12	6
5	80.11	73.95	0
เฉลี่ย	86.19	78.53	4.0

ตารางที่ 5.107 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	98.61	40.88	0
2	100.00	39.06	0
3	100.00	37.76	0
4	95.16	40.36	3
5	97.05	42.96	2
เฉลี่ย	98.16	40.20	1.0

ตารางที่ 5.108 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	95.06	49.73	0
2	90.00	46.35	0
3	94.44	47.91	4
4	95.74	49.47	2
5	98.79	48.43	1
เฉลี่ย	94.80	48.37	1.4

ตารางที่ 5.109 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	86.99	55.46	2
2	83.63	57.29	5
3	79.66	52.08	2
4	87.71	59.11	4
5	90.59	55.72	1
เฉลี่ย	85.71	55.93	2.8

ตารางที่ 5.110 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	75.00	64.06	1
2	81.01	64.84	2
3	74.46	63.54	0
4	72.15	65.88	0
5	74.82	55.98	4
เฉลี่ย	75.48	62.86	1.4

ตารางที่ 5.111 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	70.76	61.71	0
2	66.66	64.32	7
3	65.05	71.87	4
4	66.66	61.97	1
5	61.04	61.97	7
เฉลี่ย	66.03	64.36	3.8

ตารางที่ 5.112 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 40

ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	100.00	43.58	0
2	96.92	41.92	2
3	95.38	44.18	3
4	96.82	41.75	2
5	98.00	39.62	1
เฉลี่ย	97.42	42.21	1.6

ตารางที่ 5.113 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 60

ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	94.50	48.17	0
2	89.36	49.70	3
3	95.50	49.20	3
4	97.61	49.21	0
5	97.80	48.95	1
เฉลี่ย	94.95	49.04	1.4

ตารางที่ 5.114 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 80

เครื่องที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	80.50	49.47	3
2	83.63	54.16	3
3	87.90	51.30	1
4	84.42	56.91	4
5	84.61	54.16	0
เฉลี่ย	84.21	53.20	2.2

ตารางที่ 5.115 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 100

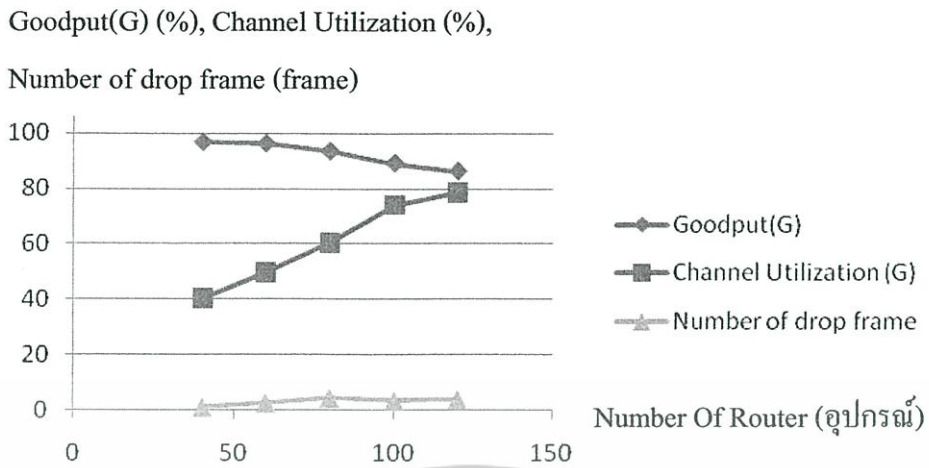
เครื่องที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	79.03	60.67	1
2	75.52	56.51	0
3	77.92	66.66	5
4	74.21	55.72	2
5	87.12	61.19	2
เฉลี่ย	78.76	60.15	2.0

ตารางที่ 5.116 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1 : Number Of Router = 120

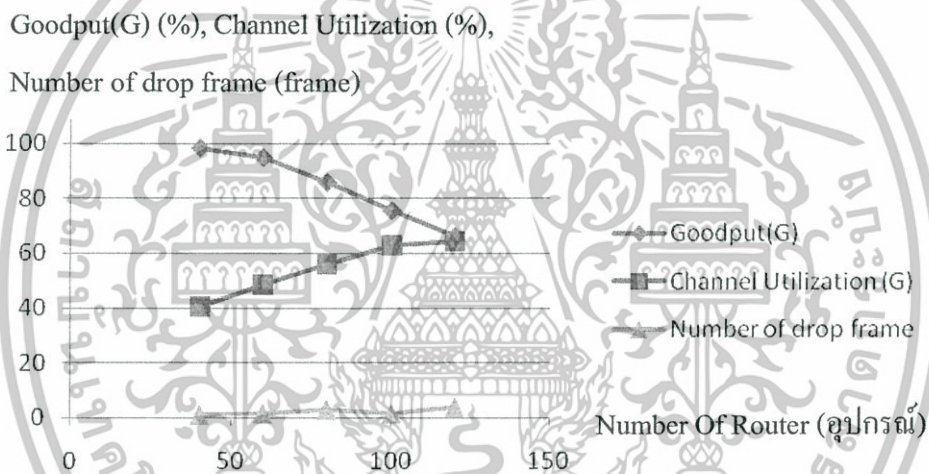
เครื่องที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	71.76	57.81	5
2	72.47	68.22	7
3	63.75	71.09	6
4	69.46	54.89	1
5	66.85	61.14	0
เฉลี่ย	68.85	62.63	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

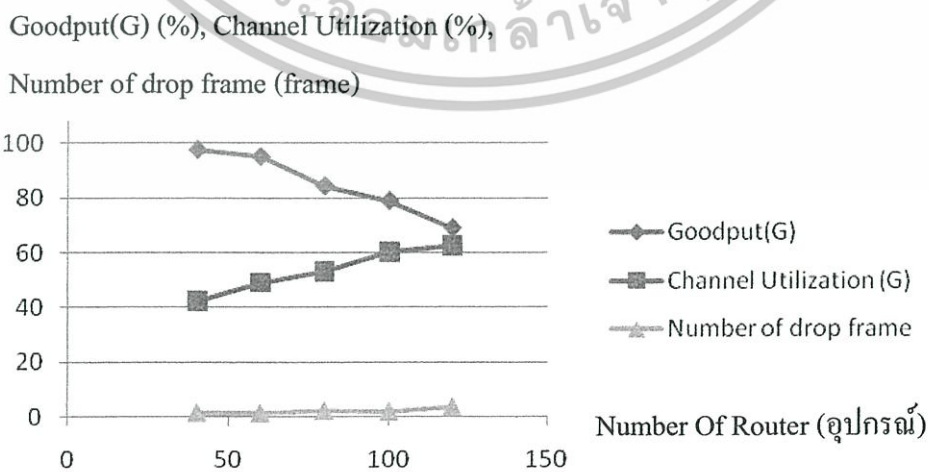
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1



รูปที่ 5.27 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1



รูปที่ 5.28 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยระบบบริหารการคลัง กรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.26 5.27 และ 5.28 พบว่า ทุกอัลกอริทึมถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ Goodput(G) ลดลง แต่ Channel Utilization (G) เพิ่มมากขึ้น โดยที่ Random Plus Assignment (RPA) จะมี Goodput(G) และ Channel Utilization (G) มากกว่าอัลกอริทึมอื่นเล็กน้อย

จากสมมติฐานย่อยที่ 3.2 ถ้าค่า Beacon Order (BO) ของเครือข่ายต่างกันและการอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจสอบไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน กำหนดพารามิเตอร์ของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

ตารางที่ 5.117 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในทดสอบสมมติฐานที่ 3.2

Parameter	Value
Number Of Area	15 x 15 หน่วย
Length Of Area	100 เมตร
Number Of Router	60 อุปกรณ์
Number Of Destination	2 อุปกรณ์
Length Of Router	500 เมตร
aBaseSuperframe Duration	960 symbols
Beacon Order	x
Superframe Order	8
Beacon Length	16 bytes
Bit Rate	250000 bit/s
Symbol Rate	62500 symbol/s
Time for Simulation	300 วินาที
Number of Error Report	5 %
Length Of Head and Tail	18 bytes
Length Of Report	16 bytes
A Unit Back Off Period	120 symbols
A CCA time	8
MacMinBE	3
AMaXBE	5
MacMaxCSMABackOffs	3
Number Of Retransmission	2 ครั้ง

ตารางที่ 5.118 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	89.57	80.00	1
2	89.18	75.00	5
3	94.16	74.06	3
4	89.67	77.50	5
5	87.65	79.06	3
เฉลี่ย	90.04	77.12	3.4

ตารางที่ 5.119 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	96.15	49.21	2
2	88.52	47.26	3
3	96.36	48.04	2
4	94.91	53.51	1
5	95.00	58.98	3
เฉลี่ย	94.18	51.40	2.2

ตารางที่ 5.120 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	100.00	37.50	0
2	95.45	37.50	1
3	93.54	33.20	0
4	96.77	35.15	1
5	100.00	36.71	0
เฉลี่ย	97.15	36.01	0.4

ตารางที่ 5.121 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	96.42	23.24	2
2	98.24	23.16	1
3	96.66	23.64	2
4	98.18	23.38	1
5	98.33	23.25	1
เฉลี่ย	97.56	23.33	1.4

ตารางที่ 5.122 ผลการใช้ RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14

ครั้งที่	RPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	100.00	18.35	0
2	96.42	19.68	1
3	100.00	17.67	0
4	96.66	18.06	1
5	95.83	18.35	1
เฉลี่ย	97.78	18.42	0.6

ตารางที่ 5.123 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	62.33	61.25	1
2	71.33	64.37	7
3	70.32	62.81	1
4	64.05	63.12	4
5	59.02	65.31	6
เฉลี่ย	65.41	63.37	3.8

ตารางที่ 5.124 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	93.75	50.78	3
2	84.74	47.26	2
3	91.37	50.00	2
4	90.47	55.85	2
5	93.05	55.85	3
เฉลี่ย	90.67	51.94	2.4

ตารางที่ 5.125 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	96.00	33.98	1
2	96.42	36.71	0
3	96.77	33.98	1
4	100.0	37.50	0
5	96.87	33.20	1
เฉลี่ย	97.21	35.07	0.6

ตารางที่ 5.126 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	96.61	22.24	2
2	98.30	22.93	1
3	95.16	23.4	3
4	95.23	24.02	3
5	96.92	23.36	2
เฉลี่ย	92.02	29.71	2.6

ตารางที่ 5.127 ผลการใช้ DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14

ครั้งที่	DPA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	100.00	18.55	0
2	100.00	19.82	0
3	96.29	18.30	1
4	96.15	17.87	0
5	96.15	17.18	1
เฉลี่ย	97.71	18.34	0.4

ตารางที่ 5.128 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 10

ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	66.20	64.80	0
2	71.22	57.56	3
3	76.10	64.47	0
4	71.91	62.50	0
5	62.26	64.80	4
เฉลี่ย	69.53	62.82	1.4

ตารางที่ 5.129 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 11

ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	95.52	51.56	2
2	96.15	44.92	2
3	91.66	47.65	2
4	93.22	49.21	2
5	90.47	55.64	3
เฉลี่ย	93.40	49.79	2.2

ตารางที่ 5.130 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 12

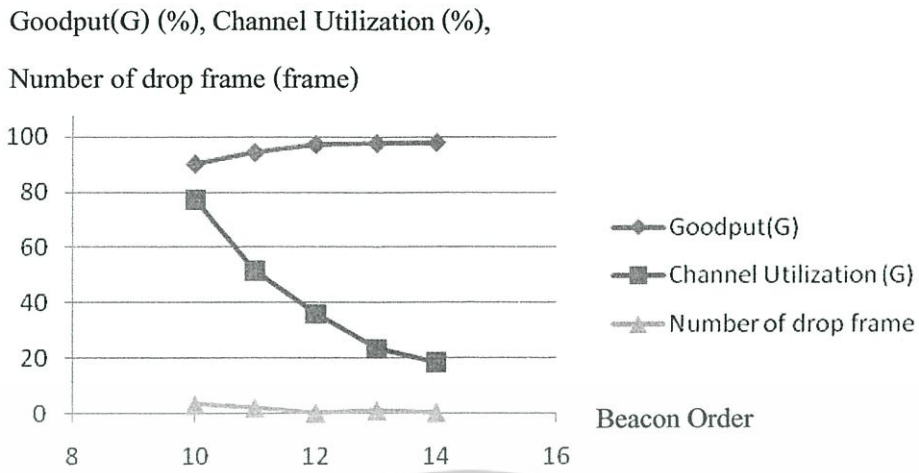
ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	96.96	36.25	1
2	100.00	35.88	0
3	96.29	35.54	1
4	96.77	38.70	1
5	100.00	38.79	0
เฉลี่ย	98.00	37.03	0.6

ตารางที่ 5.131 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 13

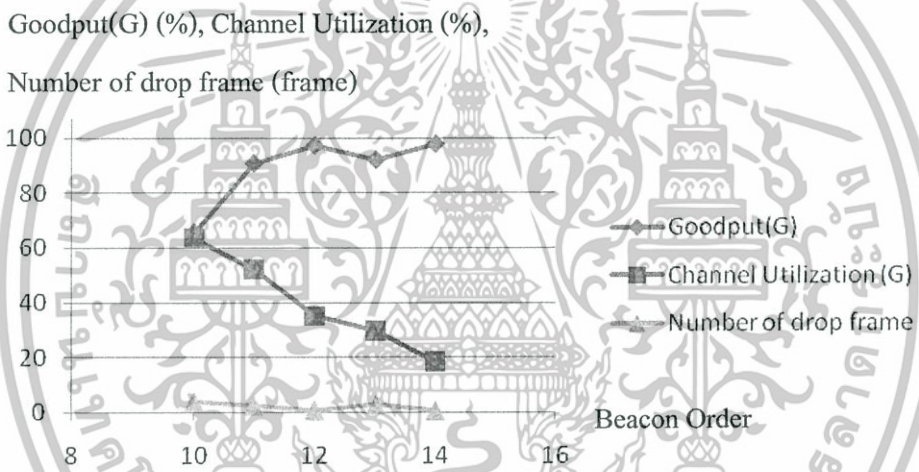
ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	100.00	24.75	0
2	98.30	24.29	1
3	98.33	23.42	1
4	100.00	25.12	0
5	96.15	23.87	2
เฉลี่ย	98.55	24.29	0.8

ตารางที่ 5.132 ผลการใช้ FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2 : Beacon Order = 14

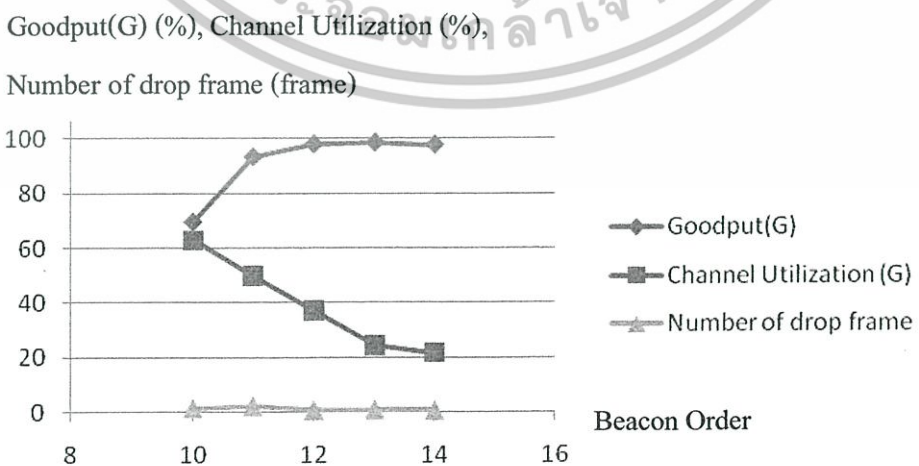
ครั้งที่	FCA		
	Goodput(G) (%)	Channel Utilization(G) (%)	Number of drop frame (frame)
1	98.28	21.54	1
2	96.55	21.56	1
3	100.00	22.53	0
4	94.28	22.07	1
5	100.00	20.77	0
เฉลี่ย	97.82	21.69	0.6



รูปที่ 5.29 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2



รูปที่ 5.30 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2



รูปที่ 5.31 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาเพื่อการค้าเท่านั้น ผู้ใช้และผู้ให้บริการรายอื่นที่ให้บริการด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.29 5.30 และ 5.31 พบว่า ทุกอัลกอริทึมถ้า Beacon Order มากขึ้นจะส่งผลให้ Goodput(G) ลดลง แต่ Channel Utilization (G) เพิ่มมากขึ้น โดยที่ทุกอัลกอริทึมจะมี Goodput(G) และ Channel Utilization(G) ไม่ต่างกัน

จากการทดสอบสมมติฐานที่ 3 พบว่า Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ทำให้เกิดปัญหา DIP ทำให้ค่าของประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่สามารถคำนวณได้ หรือ ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ผลการทดสอบทำให้ทราบว่า ไม่ว่าจะ เป็นเครือข่ายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์หรืออุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ก็ตาม ประสิทธิภาพของเครือข่ายจะไม่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใดก็ตาม และประสิทธิภาพของเครือข่าย ไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใด ในการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ก็ตาม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายเกิดขึ้นได้ทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะ มีประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ดีก็ตาม ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายขึ้นอยู่กับารออกแบบของเครือข่ายเป็นสำคัญ

5.4 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวน

การจำลองรูปแบบของเครือข่ายที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ที่เป็นแบบทรี (Tree Topology) เท่านั้น เนื่องจากอัลกอริทึมของการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบทรีเท่านั้น โดยอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบวงแหวนจะลักษณะเดียวกับเครือข่ายรูปแบบทรี ทำให้ผลการจำลองในเครือข่ายทั้งสองมีผลการจำลองที่เหมือนกัน เนื่องจากอัลกอริทึมของเครือข่ายรูปแบบวงแหวนคือการเปลี่ยนเครือข่ายรูปแบบวงแหวนให้เป็นเครือข่ายรูปแบบทรีแล้วใช้อัลกอริทึมเหมือนกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Network) มีการใช้งานอย่างมากและแพร่หลาย เพื่อที่จะนำมาใช้ให้เกิดความสะดวกสบาย ความปลอดภัย การตรวจจับต่างๆ รวมถึงด้านความแม่นยำของการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยใช้มาตรฐาน Zigbee มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง อีกทั้งเริ่มมีความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การนำระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมาใช้งานทางด้านการจัดการ Logistic เป็นต้น

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มีประโยชน์อย่างมากต่อการใช้งานระบบติดตามสถานการณ์ หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน กล่าวคือ ทำให้อุปกรณ์ในเครือข่ายมีจำนวนน้อยลงมาก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการพัฒนามาก เมื่อเทียบกับการพัฒนาเครือข่ายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์หลายๆเครือข่าย อีกทั้งยังทำให้ความซับซ้อนของการส่งข้อมูลในเครือข่ายลดน้อยลง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) ซึ่งเป็นวิธีการจัดลำดับของข้อมูลแต่ละอุปกรณ์ภายในโครงสร้างของ Superframe ของมาตรฐาน Zigbee โดยวิธีการที่นำเสนอเรียกว่า Fast Convergecast Algorithm (FCA) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ คือ Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) Centralized Tree-Based Assignment (CTB) Random Plus Assignment (RPA) และ Distributed Plus Assignment (DPA) ซึ่งจะศึกษาจากปัญหาต่างๆ ของเครือข่าย กล่าวคือ ปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย (Data Collision Problem : DCP) ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย (Delay Beacon Scheduling Problem : DBP) และปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (Data Incorrect Problem : DIP) รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่าย กล่าวคือ ค่าความล่าช้าของเครือข่าย (L(G)) เวลาคงน้อยที่สุดเมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลในเครือข่ายจนถึงศูนย์กลาง (TS(G)) และ เวลาคงน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานจนมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลาง (TT(G)) โดยพิจารณารูปแบบของเครือข่าย 2 รูปแบบ คือ เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) และเครือข่ายแบบทรี (Tree Topology)

การทดสอบวิธีการต่างๆ ในการจัดลำดับของข้อมูลแต่ละอุปกรณ์ภายในโครงสร้างของ Superframe ของมาตรฐาน Zigbee โดยการจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายทั้งเครือข่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบวงแหวน (Ring Topology) และเครือข่ายแบบทรี (Tree Topology) พบว่า วิธี Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) เกิดปัญหา DCP DIP และ DBP เกิดขึ้นมากในเครือข่าย วิธี Random Plus Assignment (RPA) ไม่เกิดปัญหา DCP DIP แต่ DBP เกิดขึ้นมากในเครือข่าย ส่วนวิธีการ Distributed Plus Assignment (DPA) และ Fast Convergecast Assignment (FCA) ไม่เกิดปัญหา DCP DIP และ DBP ก็เกิดขึ้นน้อยในเครือข่าย

การจำลองเครือข่ายเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่าย พบว่า วิธีการ Random Assignment (RA) Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ทำให้เกิดปัญหา DIP ทำให้ค่าของประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่สามารถคำนวณได้ หรือ ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้

พิจารณาค่า $L(G)$ พบว่า Random Plus Assignment (RPA) ให้ค่า $L(G)$ มากที่สุด ส่วน Distributed Plus Assignment (DPA) และ Fast Convergecast Algorithm (FCA) ให้ค่า $L(G)$ ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ $L(G)$ เป็นการวัดค่าความล่าช้าในเครือข่ายที่เกิดจากการจัดลำดับของการส่งข้อมูลไม่เหมาะสม ซึ่ง Distributed Plus Assignment (DPA) และ Fast Convergecast Assignment (FCA) มีวิธีการจัดข้อมูลที่เหมาะสมเหมือนกันแต่ด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน

พิจารณาค่า $TS(G)$ พบว่า Random Plus Assignment (RPA) ให้ค่า $TS(G)$ มากที่สุด ส่วน Distributed Plus Assignment (DPA) และ Fast Convergecast Assignment (FCA) ให้ค่า $TS(G)$ ใกล้เคียงกัน กล่าวคือ $TS(G)$ เป็นการวัดระยะเวลาตั้งแต่เริ่มการส่งข้อมูลจนถึงศูนย์กลาง ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก $L(G)$ จึงได้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับ $L(G)$

เมื่อพิจารณาค่า $TT(G)$ พบว่า Random Plus Assignment (RPA) ให้ค่า $TT(G)$ มากที่สุด Distributed Plus Assignment (DPA) ให้ค่า $TT(G)$ ปานกลางและ Fast Convergecast Algorithm (FCA) ให้ค่า $TT(G)$ น้อยที่สุด กล่าวคือ $TT(G)$ เป็นการวัดระยะเวลาตั้งแต่เครือข่ายเริ่มต้นทำงานจนถึงมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลาง ซึ่ง Distributed Plus Assignment (DPA) และ Fast Convergecast Assignment (FCA) จะมีข้อแตกต่างกันคือ Distributed Plus Assignment (DPA) อาจจะไม่ได้ออกส่งข้อมูลตั้งแต่ Active Portion (Slot) แรก ต่างจาก Fast Convergecast Assignment (FCA) จะเริ่มส่งข้อมูลจาก Active Portion (Slot) แรกเสมอ

การจำลองเครือข่ายเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย พบว่า ไม่ว่าจะ เป็นเครือข่ายแบบอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์ หรือเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ก็ตาม ประสิทธิภาพของเครือข่ายจะไม่แตกต่างกัน และประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใด ในการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ก็ตาม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายเกิดขึ้นได้ทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะ มีประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ดีก็ตาม ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายขึ้นอยู่กับกรออกแบบของเครือข่ายเป็นสำคัญ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สรุปได้ว่า Fast Convergecast Algorithm (FCA) เป็นวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลางของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon-Enabled ที่ทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เป็นเทคนิคหนึ่งเท่านั้นที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลในเครือข่าย ในส่วนของการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลางของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee โดยพิจารณาในส่วนของการจัดลำดับของข้อมูลแต่ละอุปกรณ์ภายในโครงสร้างของ Superframe ของมาตรฐาน Zigbee เท่านั้น ซึ่งยังมีส่วนอื่นๆที่สามารถทำให้การส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลางของเครือข่ายมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น อีกทั้งการพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายยังมีส่วนอื่นๆสำคัญอื่นๆ ตัวอย่างเช่น การ Synchronize กับของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย เป็นต้น



บรรณานุกรม

- [1] Yu-Ping Tsou, Chun-Yu Chen, Cheng-Ting Lin, **Zigbee technology development for smart home appliance application**, Energy & resource laboratory, Taiwan, 2007.
- [2] Sangmi Shim, Seungwoo Park, Seunghong Hong, **Parking management system using Zigbee**, International journal of computer science and network security, Vol.6, No.9B, September, 2006.
- [3] Woo-Chool Park, Myung-Hyun Yoon, **The Implementation of indoor location system to control Zigbee home network**, SICE-ICASE International joint conference, Korea, 2006.
- [4] Qingming Yao, Fei-Yue Wang, Fellow, **Location estimation in Zigbee network-based on fingerprinting**, IEEE online, 2007.
- [5] A. Marco, R. Casas, J. Falco, H. Gracia, J.I. Artigas, A. Roy, **Location-based services for elderly and disabled people**, International journal of computer communications 31, 2008.
- [6] Chae M.J., Yoo H.S., Kim J.R., **Bridge condition monitoring system using wireless network (CDMA and Zigbee)**, in Proceedings of ISARC, 332-334, 2006.
- [7] Jong-Won Kwon, Yong-Man Park, Sang-Jun Koo, **Design of air pollution monitoring system using zigbee network for Ubiquitous-City**, International conference on convergence information technology, 2007.
- [8] Raul Moraisa, Migual A. Fernandesb, Samuel G. Matosb, **A Zigbee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture**, International journal of computer and electronic in agriculture 62, 2008.
- [9] Mao-Cheng Huang, Jyun-Ciang Huang, Jing-Cyum You, Gwo-Jia Jong, **The wireless sensor network for home-care system using zigbee**, Taiwan, 2007.
- [10] L. Ruiz-Garcia, P. Barreiroa, J.I. Robla, **Performance of Zigbee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics**, International journal of food engineering 87,405-415, 2008.
- [11] Meng-Shiuan Pan, Yu-Chee Tseng, **Quick convergecast in Zigbee beacon-enabled tree-based wireless sensor networks**, International journal of computer communications 31,999-1011, 2008.

[12] Sinem Coleri Ergen, **ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary**, United States of America, 2004.

- [13] Changsu Suh, Zeeshen Hameed Mir, Young-Bea Ko, **Design and implementation of enhanced IEEE 802.15.4 for supporting multimedia service in wireless sensor networks**, International journal of computer communications, 2008.
- [14] Shahin Farahani, **Zigbee Wireless Network and Transceivers**. United States of America, Elsevier, 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

import random

import math

import copy

# Setting Parameter

NumberOfArea      = 15      # number N of area (NxN)
LengthOfArea      = 100     # meter
NumberOfRouter    = 60      # router
NumberOfDestination = 2     # router
LengthOfRouter    = 400     # meter
aBaseSuperframeDuration = 960 # symbol
BeaconOrder       = 14     # 0 <= BO <= 14
SuperframeOrder   = 8      # SO <= BO
BeaconLength      = 16     # byte
BitRate           = 250000  # bit/s
SymbolRate        = 62500   # symbols/s
TimeOfReport      = 300    # second
MaxErrorReport    = 5      # %
LengthOfHeaderAndTail = 18  # byte
LengthOfReport    = 16     # byte
AUnitBackOffPeriod = 120   # symbol
ACCATime          = 8      # symbol
MacMinBE          = 3
AMaXBE            = 5
MacMaxCSMABackOffs = 3
NumberOfRetransmission = 2

NumberOfReport     = 0
NumberOfErrorReport = 0

# Network Model

network = list(' ')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

tmp = "
for i in range(0,NumberOfArea) :
    tmp = tmp+'-'

for i in range(0,NumberOfArea) :
    t = list(tmp)
    network[i] = t
    if (i != NumberOfArea) :
        network = network + tmp_network

# Router Model
class router(object) :
    position = "
    parent = 0
    child = list('')
    slot = -1
    report = list('')
    def printrouter(self) :
        print 'position :'+str(self.position)
        print 'parent :'+str(self.parent)
        print 'child :'+str(self.child)
        print 'slot :'+str(self.slot)
        print 'report :'+str(self.report)
        return ''
    def addposition(self,iden) :
        self.position = iden
    def addparent(self,iden) :
        self.parent = iden
    def addchild(self,iden) :
        tmp = list('')
        self.child[len(self.child)-1] = iden
        self.child = self.child + tmp
    def addslot(self,iden) :

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

```

self.slot = iden

def addreport(self,report) : #report T=true F=flase
    tmp = list(' ')
    self.report[len(self.report)-1] = report
    self.report = self.report + tmp

# Function
def rand() : # random number (0,Number Of Area-1)
    return random.randint(0,NumberOfArea-1)

def printnetwork(a):
    for i in range(0,NumberOfArea) :
        tmp = "
        for j in range(0,NumberOfArea) :
            tmp = tmp+a[i][j]
        print tmp
    return ""

def printlist(r):
    for i in range(0,len(r)):
        print r[i]
    return ""

def randomdestination(network):
    for i in range(0,NumberOfDestination) :
        tmp1 = rand()
        tmp2 = rand()
        while (network[tmp1][tmp2] == 'D') :
            tmp1 = rand()
            tmp2 = rand()
        network[tmp1][tmp2] = 'D'

    return network

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

def randomrouter(network):
    for i in range(0,NumberOfRouter-NumberOfDestination) :
        tmp1 = rand()
        tmp2 = rand()
        while (network[tmp1][tmp2] == 'D' or network[tmp1][tmp2] == 'R') :
            tmp1 = rand()
            tmp2 = rand()
        network[tmp1][tmp2] = 'R'
    return network

```

```

def randomrule(network): # ((destination,router,...),...)
    tmp_rule = ''
    rule = list(tmp_rule)
    add_rule = list(tmp_rule)
    i = 0
    for j in range(0,NumberOfArea):
        for k in range(0,NumberOfArea):
            if network[j][k] == 'D' :
                tmp_rule = '('+str(j)+';'+str(k)+')'
                r = random.randint(0,NumberOfRouter-NumberOfDestination)
                for l in range(0,r) :
                    tmp1 = rand()
                    tmp2 = rand()
                    while (network[tmp1][tmp2] != 'R') :
                        tmp1 = rand()
                        tmp2 = rand()
                    t = '('+str(tmp1)+';'+str(tmp2)+')'
                    if (t not in tmp_rule) :
                        tmp_rule = tmp_rule + t
                rule[i] = tmp_rule
                if (i != NumberOfDestination-1) : rule = rule+add_rule
                i = i + 1
    return rule

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

def distance(a,b,c,d): # distance between(a,b) and (c,d)
    return (((abs(c-a)**2)+(abs(d-b)**2))**0.5)*LengthOfArea

def edge(network):
    tmp_interference = ''
    interference = list(tmp_interference)
    add_interference = list(tmp_interference)
    i = 0
    for j in range(0,NumberOfArea):
        for k in range(0,NumberOfArea):
            if ((network[j][k] == 'D' or (network[j][k] == 'R'))):
                for l in range(0,NumberOfArea):
                    for m in range(0,NumberOfArea):
                        if (network[l][m] == 'D' or network[l][m] == 'R'):
                            if (distance(j,k,l,m) <= LengthOfRouter):
                                tmp_interference = '('+str(j)+' '+str(k)+' '+str(l)+' '+str(m)+')'
                                if (j != l or k != m):
                                    interference[i] = tmp_interference
                                    interference = interference+add_interference
                                    i = i + 1
    del interference[len(interference)-1]
    return interference

def listpart(network):
    allpart = list(' ')
    i_allpart = 0
    tmp_use = list(' ')
    i_tmp_use = 0
    node = network[0]
    tmp_use[i_tmp_use] = node.position
    tmp_use = tmp_use+list(' ')
    i_tmp_use = i_tmp_use + 1

```

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while (len(tmp_use)-1 < NumberOfRouter) :
    part = list(' ')
    i_part = 0
    node = network[0]
    part[i_part] = node.position
    part = part+list(' ')
    i_part = i_part + 1
    while (node.child != list(' ')) :
        node = searchrouter(network,node.child[random.randint(0,len(node.child)-2)])
        part[i_part] = node.position
        part = part+list(' ')
        i_part = i_part + 1
    if (part not in allpart) :
        allpart[i_allpart] = part
        allpart = allpart+list(' ')
        i_allpart = i_allpart + 1
        for i in range(0,len(part)-1):
            if (part[i] not in tmp_use) :
                tmp_use[i_tmp_use] = part[i]
                tmp_use = tmp_use+list(' ')
                i_tmp_use = i_tmp_use + 1
    return allpart

def latency(node1,node2) :
    latency = (node1.slot - node2.slot)%(2**((BeaconOrder-SuperframeOrder)))
    return latency

def canassignment(network,edge,position,slot):
    for i in range(0,len(edge)-1) :
        if(position == selectfirst(edge[i])) :
            tmp_i = searchrouter(network,selectlast(edge[i])).slot
            if (tmp_i == slot) : return False
    return True

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

def searchrouter(network,position) :
    for i in range (0,len(network)-1) :
        if (network[i].position == position) :
            return network[i]

def selectfirst(tmp) :
    for i in range (0,len(tmp)) :
        if (tmp[i] == '(') :
            return tmp[0:i+1]

def selectlast(tmp) :
    for i in range (1,len(tmp)) :
        if (tmp[i] == '(') :
            for j in range (i,len(tmp)) :
                if (tmp[j] == ')') :
                    return tmp[i:j+1]

# Function for Algorithm
def settree(edge,root) :
    tree = list(' ')
    router_use = list(' ')
    tmp_position = root
    tmp_router_p = router()
    tmp_router_p.addposition(tmp_position)
    router_use[0] = tmp_position
    router_use = router_use + list(' ')
    tmp_use = 1
    for i in range(0,len(edge)) :
        if (selectfirst(edge[i]) == tmp_position) :
            tmp_router_p.addchild(selectlast(edge[i]))
            router_use[tmp_use] = selectlast(edge[i])

```

เอกสารนี้เป็น `router_use = router_use + list(' ')` เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    tmp_use = tmp_use + 1

tree[0] = tmp_router_p
tree = tree + list(' ')

tmp = 1
i = 0
while (tmp < NumberOfRouter) :
    #if (i >= len(tree)-1) : return router()
    childofparent = tree[i].child
    for j in range(0,len(childofparent)-1) :
        tmp_router = router()
        tmp_router.child = list(' ')
        tmp_router.addposition(childofparent[j])
        tmp_router.addparent(tree[i].position)
        for k in range(0,len(edge)-1) :
            if (childofparent[j] == selectfirst(edge[k])) :
                if (selectlast(edge[k]) not in router_use) :
                    tmp_router.addchild(selectlast(edge[k]))
                    router_use[tmp_use] = selectlast(edge[k])
                    router_use = router_use + list(' ')
                    tmp_use = tmp_use + 1
        tree[tmp] = tmp_router
        tree = tree + list(' ')
        tmp = tmp+1
    i = i + 1
return tree

def randomassignment(network) :
    for i in range (0,len(network)-1) :
        network[i].slot = random.randint(0,(2**(BeaconOrder-SuperframeOrder))-1)
    return network

def distributeassignment(network,edge) :

```

เอกสารนี้เป็น (2**(BeaconOrder-SuperframeOrder))-1 ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

network[0].slot = k
for i in range (1,len(network)-1) :
    slot_parent = searchrouter(network,network[i].parent).slot
    slot = slot_parent-1
    while not(canassignment(network,edge,network[i].position,slot)) :
        slot = slot-1
    slot = slot % (2**(BeaconOrder-SuperframeOrder))
    network[i].slot = slot
return network

```

```

def slotassignment(network,edge) :
    k = (2**(BeaconOrder-SuperframeOrder))-1
    tmp = len(network)-2
    for i in range (0,len(network)-1) :
        maxchild = 0
        for j in range (0,len(network[tmp].child)-1) :
            t = searchrouter(network,network[tmp].child[j]).slot
            if (maxchild < t) : maxchild = t
        slot = maxchild
        while not(canassignment(network,edge,network[tmp].position,slot)) :
            slot = slot+1
        slot = slot % (2**(BeaconOrder-SuperframeOrder))
        network[tmp].slot = slot
        tmp = tmp-1
    return network

```

```

def checkdip(network,rule) :
    for i in range (0,len(rule)) :
        tmp_a = 0
        tmp_b = 1
        child = list(' ')
        child[tmp_a] = selectfirst(rule[i])

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while (child[tmp_a] != '') :
    for j in range(0,len(tmp)) :
        if (tmp[j] != '') :
            child[tmp_b] = tmp[j]
            child = child + list(' ')
            tmp_b = tmp_b + 1
        tmp_a = tmp_a + 1
    if (child[tmp_a] != '') : tmp = searchrouter(network,child[tmp_a]).child
count = 0
for k in range(0,len(child)) :
    if (child[k] in rule[i]) :
        count = count + 1
c = 0
for l in range(len(rule[i])) :
    if (rule[i][l] == '(') :
        c = c + 1
if (count != c) :
    return False
return True

def listlatency(network,allpart) :
    listlatency = list(' ')
    for i in range(0,len(allpart)) :
        part = allpart[i]
        tmp_latency = 0
        for j in range(0,len(part)-2) :
            node1 = searchrouter(network,part[j])
            node2 = searchrouter(network,part[j+1])
            tmp_latency = tmp_latency + latency(node1,node2)
        listlatency[i] = tmp_latency
    listlatency = listlatency + list(' ')
return listlatency

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
def reportlatency(listlatency) :
```

```
    tmp = 0
```

```
    for i in range(0,len(listlatency)-1) :
```

```
        if (listlatency[i] > tmp) :
```

```
            tmp = listlatency[i]
```

```
    return tmp
```

```
def reportlatencytime(reportlatency) :
```

```
    total = int(reportlatency)
```

```
    symbol = (aBaseSuperframeDuration*(2.00**SuperframeOrder))*total
```

```
    time = symbol/SymbolRate
```

```
    return time
```

```
def reporttime(network,reportlatency) :
```

```
    time = 0
```

```
    total = 0
```

```
    tmp_slot = network[len(network)-2].slot
```

```
    total = int(reportlatency) + int(tmp_slot)
```

```
    symbol = (aBaseSuperframeDuration*(2.00**SuperframeOrder))*total
```

```
    time = symbol/SymbolRate
```

```
    return time
```

```
def randomreport(network) :
```

```
    tmp_number = 0
```

```
    total = 2**(BeaconOrder-SuperframeOrder)
```

```
    symbol = (aBaseSuperframeDuration*(2.00**SuperframeOrder))*total
```

```
    time = symbol/SymbolRate
```

```
    rangereport = int(TimeOfReport/time)
```

```
    for i in range(0,len(network)-1) :
```

```
        for j in range (0,rangereport) :
```

```
            tmp = random.randint(1,2)
```

```
            if (tmp == 1) :
```

```
                network[i].addreport('S')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    tmp_number = tmp_number + 1
else :
    network[i].addreport('_')
return tmp_number

# CSMA-CA
def csma(slot,r) :
    for i in range(1,MacMaxCSMABackOffs) :
        tmp = random.randint(0,(2**MacMinBE)-1)
        if (slot[tmp] == '_') :
            slot[tmp] = r
            return slot
    return slot

# senddata
def senddata(network) : # return list of data schedule
    data = list('_')
    total = 2** (BeaconOrder-SuperframeOrder)
    symbol = (aBaseSuperframeDuration*(2.00**SuperframeOrder))*total
    time = symbol/SymbolRate
    rangereport = int(TimeOfReport/time)
    for r in range(0,(rangereport)+((NumberOfRetransmission-1)*rangereport)) :
        for s in range(0,(2** (BeaconOrder-SuperframeOrder))) : # s = slot number
            # Slot Model
            tmp_slot = list('_')
            for l in range(0,(2**MacMinBE)-1) :
                tmp_slot = tmp_slot + list('_')
            tmp_slot[0] = 'B'
            for i in range(0,len(network)-1) :
                if (network[i].slot == s) :
                    if (network[i].child[0] == '_') :
                        if (r < len(network[i].report)) :

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ if (network[i].report[r] == 'S') : ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

re = 'S'

tmp1 = copy.deepcopy(tmp_slot)
tmp2 = copy.deepcopy(csma(tmp_slot,re))
if (tmp1 == tmp2) : # can not add in channel
    network[i].addreport('S') # fix retransimition = 2
else :
    if (r < len(network[i].report)) :
        if (network[i].report[r] == 'S') :
            re = 'S'
            tmp1 = copy.deepcopy(tmp_slot)
            tmp2 = copy.deepcopy(csma(tmp_slot,re))
            if (tmp1 == tmp2) : # can not add in channel
                network[i].addreport('S') # fix retransimition = 2
            else :
                re = 'O'
                tmp1 = copy.deepcopy(tmp_slot)
                tmp2 = copy.deepcopy(csma(tmp_slot,re))
                if (tmp1 == tmp2) : # can not add in channel
                    network[i].addreport('O') # fix retransimition = 2
        data[len(data)-1] = tmp_slot
        data = data + list(' ')
    tmp = len(data)-2
    while (data[tmp] == tmp_slot):
        del data[tmp]
        tmp = tmp - 1
    return data

```

Main Network Simmulation

```
print ""
```

```
network_model = network
```

```
network_model = randomdestination(network)
```

```
network_model = randomrouter(network_model)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

edge = edge(network_model)

tmp_random = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
destination_random = selectfirst(rule[tmp_random])
tree_random = settree(edge,destination_random)
tree_random = copy.deepcopy(tree_random)
tree_random = randomassignment(tree_random)

tmp_distribute = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
destination_distribute = selectfirst(rule[tmp_distribute])
tree_distribute = settree(edge,destination_distribute)
tree_distribute = copy.deepcopy(tree_distribute)
tree_distribute = distributeassignment(tree_distribute,edge)

tmp_slot = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
destination_slot = selectfirst(rule[tmp_slot])
tree_slot = settree(edge,destination_slot)
tree_slot = copy.deepcopy(tree_slot)
tree_slot = slotassignment(tree_slot,edge)

tree_random_plus = list(' ')
tree_distribute_plus = list(' ')
tree_fastconvergecast = list(' ')
for i in range (0,len(rule)) :
    destination = selectfirst(rule[i])
    tree_dip = settree(edge,destination)
    if (checkdip(tree_dip,rule)) :
        tree_random_plus = copy.deepcopy(tree_dip)
        tree_random_plus = randomassignment(tree_random_plus)

        tree_distribute_plus = copy.deepcopy(tree_dip)
        tree_distribute_plus = distributeassignment(tree_distribute_plus,edge)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

tree_fastconvergecast = copy.deepcopy(tree_dip)

tree_fastconvergecast = slotassignment(tree_fastconvergecast,edge)

print

#####

#####

print ""
print "welcome to Simulation"
print "Convergecast of multi-destinations Zigbee beacon-enable wireless sensor network"

# Network Parameter
print ""
print "Network Parameter"
print "Number Of Area = "+str(NumberOfArea)+" X "+str(NumberOfArea)
print "Length Of Area = "+str(LengthOfArea)+" meters"
print "Number Of All Router = "+str(NumberOfRouter)+" routers"
print "Number Of Destination = "+str(NumberOfDestination)+" routers"
print "Length Of Router = "+str(LengthOfRouter)+" meters"
print "aBaseSuperframeDuration = "+str(aBaseSuperframeDuration)+" symbols"
print "Beacon Order (BO) = "+str(BeaconOrder)
print "Superframe Order (SO) = "+str(SuperframeOrder)
print "Beacon Interval (BI) = "+str(aBaseSuperframeDuration*(2**BeaconOrder)+" symbols"
print "Superframe Duration (SD) = "+str(aBaseSuperframeDuration*(2**SuperframeOrder)+"
symbols"
print "Duty Cycle = "+str(100.00/(2**((BeaconOrder-SuperframeOrder))))+" %"
print "Number Of Active Portion (k) = "+str((2**((BeaconOrder-SuperframeOrder))))+" slots"
print "Beacon Length = "+str(BeaconLength)+" bytes"
print "Bit Rate = "+str(BitRate)+" bit/s"
print "Symbol Rate = "+str(SymbolRate)+" symbol/s"
print "Time for Simulation = "+str(TimeOfReport)+" second"
print "Number of Error Report = "+str(MaxErrorReport)+" %"
print "Length Of Head and Tail = "+str(LengthOfHeaderAndTail)+" byte"
print "Length Of Report = "+str(LengthOfReport)+" byte"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

print "A Unit Back Off Period = "+str(AUnitBackOffPeriod)+" symbol"
print "A CCA ime = "+str(ACCATime)+" symbol"
print "MacMinBE = "+str(MacMinBE)
print "AMaXBE = "+str(AMaXBE)
print "MacMaxCSMABackOffs = "+str(MacMaxCSMABackOffs)
print "Number Of Retransmission = "+str(NumberOfRetransmission)+" time"

# Network Model
print ""
print "Network Model"
print "D = Destonation of Network , R = Router of Network"
print printnetwork(network_model)
print "Rule of Network"
print "(y,x),(b,a),(b,a),... (y,x) = Destination of Network , (b,a) = Router of Network"
print printlist(rule)

#RANDOM ASSIGNMENT (RA)
allpart_random = listpart(tree_random)
listlatency_random = listlatency(tree_random,allpart_random)
reportlatency_random = reportlatency(listlatency_random)
reportlatencytime_random = reportlatencytime(reportlatency_random)
reporttime_random = reporttime(tree_random,reportlatency_random)
print 'Report for RANDOM ASSIGNMENT (RA)'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatency_random)+' unit'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatencytime_random)+' seconds'
print 'Time of netwrok : '+str(reporttime_random)+' seconds'
if (checkdip(tree_random,rule)) :
    print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'
else :
    print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'
NumberOfReport = randomreport(tree_random) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)

```

เอกสาร data = senddata(tree_random) เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of netwrok : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of netwrok : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""

#DISTRIBUTED ASSIGEMENT (DSA)
allpart_distribute = listpart(tree_distribute)
listlatency_distribute = listlatency(tree_distribute,allpart_distribute)
reportlatency_distribute = reportlatency(listlatency_distribute)
reportlatencytime_distribute = reportlatencytime(reportlatency_distribute)
reporttime_distribute = reporttime(tree_distribute,reportlatency_distribute)
print 'Report for DISTRIBUTED ASSIGEMENT (DSA)'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatency_distribute)+' unit'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatencytime_distribute)+' seconds'
print 'Time of netwrok : '+str(reporttime_distribute)+' seconds'
if (checkdip(tree_distribute,rule)) :
    print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'
else :
    print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'

NumberOfReport = randomreport(tree_distribute) # return number of report

```

```

data = senddata(tree_distribute)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of netwrok : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of netwrok : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""

#CENTRALIZED TREE-BASED ASSIGEMENT (CTB)
allpart_slot = listpart(tree_slot)
listlatency_slot = listlatency(tree_slot,allpart_slot)
reportlatency_slot = reportlatency(listlatency_slot)
reportlatencytime_slot = reportlatencytime(reportlatency_slot)
reporttime_slot = reporttime(tree_slot,reportlatency_slot)
print 'Report for CENTRALIZED TREE-BASED ASSIGEMENT (CTB)'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatency_slot)+' unit'
print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatencytime_slot)+' seconds'
print 'Time of netwrok : '+str(reporttime_slot)+' seconds'
if (checkdip(tree_slot,rule)) :
    print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'
else :
    print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'

```

```

NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)

data = senddata(tree_slot)

NumberOfReceive = 0.0

for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1

goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100

NumberOfUse = 0.0

for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1

channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of network :'+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of network :'+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame :'+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""

#RANDOM PLUS ASSIGNMENT (RPA)
print 'Report for RANDOM PLUS ASSIGNMENT (RPA)'
if (tree_random_plus != list('')) :
    allpart_random_plus = listpart(tree_random_plus)
    listlatency_random_plus = listlatency(tree_random_plus,allpart_random_plus)
    reportlatency_random_plus = reportlatency(listlatency_random_plus)
    reportlatencytime_random_plus = reportlatencytime(reportlatency_random_plus)
    reporttime_random_plus = reporttime(tree_random_plus,reportlatency_random_plus)
    print 'Latency of network (L(G)) :'+str(reportlatency_random_plus)+' unit'
    print 'Latency of network (L(G)) :'+str(reportlatencytime_random_plus)+' seconds'
    print 'Time of network :'+str(reporttime_random_plus)+' seconds'

    if (checkdip(tree_random_plus,rule)) :
        print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'
NumberOfReport = randomreport(tree_random_plus) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_random_plus)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of network : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of network : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""
else :
    tmp_random_plus = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
    destination_random_plus = selectfirst(rule[tmp_random_plus])
    tree_random_plus = settree(edge,destination_random_plus)
    tree_random_plus = copy.deepcopy(tree_random_plus)
    tree_random_plus = randomassignment(tree_random_plus)
    allpart_random_plus = listpart(tree_random_plus)
    listlatency_random_plus = listlatency(tree_random_plus,allpart_random_plus)
    reportlatency_random_plus = reportlatency(listlatency_random_plus)
    reportlatencytime_random_plus = reportlatencytime(reportlatency_random_plus)
    reporttime_random_plus = reporttime(tree_random_plus,reportlatency_random_plus)
    print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatency_random_plus)+' unit'
    print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatencytime_random_plus)+' seconds'

```

```

print 'Time of netwrok : '+str(reporttime_random_plus)+' seconds'
tree_random_plus = randomassignment(tree_random_plus)
print 'Network can use RPA but must be group Destination'
NumberOfReport = randomreport(tree_random_plus) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_random_plus)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilfization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of netwrok : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of netwrok : '+str(channelutilfization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""

```

#DISTRIBUTED PLUS ASSIGEMENT (DPA)

```
print 'Report for DISTRIBUTE PLUS ASSIGEMENT (DPA)'
```

```
if (tree_distribute_plus != list('')) :
```

```
    allpart_distribute_plus = listpart(tree_distribute_plus)
```

```
    listlatency_distribute_plus = listlatency(tree_distribute_plus,allpart_distribute_plus)
```

```
    reportlatency_distribute_plus = reportlatency(listlatency_distribute_plus)
```

```
    reportlatencytime_distribute_plus = reportlatencytime(reportlatency_distribute_plus)
```

```
    reporttime_distribute_plus = reporttime(tree_distribute_plus,reportlatency_distribute_plus)
```

```
    print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatency_distribute_plus)+' unit'
```

```
    print 'Latency of netwrok (L(G)) : '+str(reportlatencytime_distribute_plus)+' seconds'
```

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณใดทุกสิ่งอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

print 'Time of netwrok :'+str(reporttime_distribute_plus)+' seconds'
if (checkdip(tree_distribute_plus,rule)) :
    print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'
else :
    print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'
NumberOfReport = randomreport(tree_distribute_plus) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_distribute_plus)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of netwrok :'+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of netwrok :'+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame :'+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""
else :
    tmp_distribute_plus = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
    destination_distribute_plus = selectfirst(rule[tmp_distribute_plus])
    tree_distribute_plus = settree(edge,destination_distribute_plus)
    tree_distribute_plus = copy.deepcopy(tree_distribute_plus)
    tree_distribute_plus = distributeassignment(tree_distribute_plus,edge)
    allpart_distribute_plus = listpart(tree_distribute_plus)
    listlatency_distribute_plus = listlatency(tree_distribute_plus,allpart_distribute_plus)
    reportlatency_distribute_plus = reportlatency(listlatency_distribute_plus)

```

เอกสารนี้เผยแพร่โดยมูลนิธิเพื่อประโยชน์ด้านการศึกษา
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

reportlatencytime_distribute_plus = reportlatencytime(reportlatency_distribute_plus)
reporttime_distribute_plus = reporttime(tree_distribute_plus,reportlatency_distribute_plus)
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatency_distribute_plus)+' unit'
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatencytime_distribute_plus)+' seconds'
print 'Time of network : '+str(reporttime_distribute_plus)+' seconds'
print 'Network can use DPA but must be group Destination'
NumberOfReport = randomreport(tree_distribute_plus) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_distribute_plus)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of network : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of network : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""

```

#FAST CONVERGECAST ASSIGNMENT (FCA)

```
print 'Report for FAST CONVERGECAST ASSIGNMENT (FCA)'
```

```
if (tree_fastconvergecast != list('')) :
```

```
    allpart_fastconvergecast = listpart(tree_fastconvergecast)
```

```
    listlatency_fastconvergecast = listlatency(tree_fastconvergecast,allpart_fastconvergecast)
```

```
    reportlatency_fastconvergecast = reportlatency(listlatency_fastconvergecast)
```

```
    reportlatencytime_fastconvergecast = reportlatencytime(reportlatency_fastconvergecast)
```

```

reporttime_fastconvergecast =
reporttime(tree_fastconvergecast,reportlatency_fastconvergecast)
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatency_fastconvergecast)+' unit'
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatencytime_fastconvergecast)+' seconds'
print 'Time of network : '+str(reporttime_fastconvergecast)+' seconds'
if (checkdip(tree_fastconvergecast,rule)) :
    print 'Network dose not have Data Incorrect Problem (DIP)'
else :
    print 'Network have Data Incorrect Problem (DIP)'
NumberOfReport = randomreport(tree_fastconvergecast) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_fastconvergecast)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)) :
    for j in range(0,len(data[i])) :
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of network : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of network : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""
else :
    tmp_fastconvergecast = random.randint(0,NumberOfDestination-1)
    destination_fastconvergecast = selectfirst(rule[tmp_fastconvergecast])
    tree_fastconvergecast = settree(edge,destination_fastconvergecast)
    tree_fastconvergecast = copy.deepcopy(tree_fastconvergecast)

```

```

tree_fastconvergecast = slotassignment(tree_fastconvergecast,edge)
allpart_fastconvergecast = listpart(tree_fastconvergecast)
listlatency_fastconvergecast = listlatency(tree_fastconvergecast,allpart_fastconvergecast)
reportlatency_fastconvergecast = reportlatency(listlatency_fastconvergecast)
reportlatencytime_fastconvergecast = reportlatencytime(reportlatency_fastconvergecast)
reporttime_fastconvergecast =
reporttime(tree_fastconvergecast,reportlatency_fastconvergecast)
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatency_fastconvergecast)+' unit'
print 'Latency of network (L(G)) : '+str(reportlatencytime_fastconvergecast)+' seconds'
print 'Time of network : '+str(reporttime_fastconvergecast)+' seconds'
print 'Network can use FCA but must be group Destination'
NumberOfReport = randomreport(tree_fastconvergecast) # return number of report
NumberOfErrorReport = random.randint(0,NumberOfReport*MaxErrorReport/100)
data = senddata(tree_fastconvergecast)
NumberOfReceive = 0.0
for i in range(0,len(data)):
    for j in range(0,len(data[i])):
        if (data[i][j] == 'S') :
            NumberOfReceive = NumberOfReceive +1
goodput = ((NumberOfReceive-NumberOfErrorReport)/NumberOfReport) * 100
NumberOfUse = 0.0
for i in range(0,len(data)):
    for j in range(0,len(data[i])):
        if (data[i][j] == 'S' or data[i][j] == 'B' or data[i][j] == 'O') :
            NumberOfUse = NumberOfUse +1
channelutilization = (NumberOfUse/(len(data[0])*len(data)))*100
print 'GoodPut of network : '+str(goodput)+' %'
print 'Channel Utilization of network : '+str(channelutilization)+' %'
print 'Number of drop frame : '+str(NumberOfErrorReport)+' frame'
print ""
print
#####
#####

```

เอกสารนี้เป็นสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **P. Juleang, S. Mitatha, P. Bunyatneparat and P.P. Yupapin, “Nano-scale Sensing Transducer using Entangled Photon Walk-off Compensation”, Electrical Engineering Conference (EECON 32), Prachinburi, Thailand, October 28-30, 2009**
2. **P. Juleang, S. Glomglome, C. Vongchumyen, S. Mitatha and P.P. Yupapin, “Atomic Endoscope and Imaging using Atomic Recording based on Optical Tweezers”, Defence & Security Technology Conference 2009 (DSTC2009), Malaysia, October 6-7, 2009**
3. **P. Juleang, S. Mitatha and P.P. Yupapin, “Convergecast of multi-destinations in Zigbee tree-based wireless sensor network”, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS2010), Xi'an, China, March 22-26, 2010**



ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **P. Juleang, S. Mitatha, P. Bunyatneparat and P.P. Yupapin, “Nano-scale Sensing Transducer using Entangled Photon Walk-off Compensation”, Electrical Engineering Conference (EECON 32), Prachinburi, Thailand, October 28-30, 2009**








28 - 30 ตุลาคม 2552
โรงแรมทวาราวดี รีสอร์ท
ปราจีนบุรี

ไฟฟ้ากำลัง (PW)
 ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
 อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
 ไฟโตนิกส์ (PH)
 คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
 งานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
 ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
 วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)
 วิศวกรรมเครื่องกล (ME)

หมดเขตรับบทความ
 10 ก.ค. 2552
 แจ้งผลการพิจารณาบทความ
 21 ส.ค. 2552
 หมดเขตรับฉบับสมบูรณ์
 18 ก.ย. 2552

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

EECON-32

<http://eecon32.mahidol.ac.th>



Important Dates : 10 July 2009 - Manuscript Submissions
 21 August 2009 - Acceptance Notification
 18 September 2009 - Camera-Ready Submissions



Western Digital



TRIDI
 Telecommunications Research and
 Industrial Development Institute



ptt
 Group



NECTEC
 a member of NSTDA

32nd Electrical Engineering Conference
 28 - 30 October 2009
 Tawaravadee Resort Hotel, Prachinburi, Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nano-scale Sensing Transducer using Entangled Photon Walk-off Compensation

P. Julcang¹, S. Mitatha¹, P. Bunyatneparat¹ and P.P. Yupapin²

¹Hybrid Computing Research Laboratory, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
²Advanced Research Center for Photonics, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Corresponding author: <kyprech@kmitl.ac.th>

Abstract

We propose a new concept of a nano-sensing transducer system using a nano-waveguide. The small change in physical quantity affects to the change in device parameters such as refractive index or length which is relatively absorbed and observed by the resonant signals. In principle, the stored light pulse at the specified wavelength is generated by using a soliton propagating within the ring resonators, whereas the resonant signals can be stored within the nano-waveguide, i.e. a sensing transducer, which is formed by the sensing ring device. The induced change in the resonant signals by the surrounded environment is occurred, and can be detected by using the optical/quantum processor. Such a proposed device is namely suitable to perform the measurements in the nano-scale regime such as force, stress and temperature.

Keywords: Quantum metrology, Nano-transducer, Nano-scale measurement

1. Introduction

Nano-scale measurement has become the method that introduces many related research areas today. One of them is the nano-scale measurement resolution, i.e. nano-metrology which can be used to support and confirm the small scale measurement regime of the observed physical quantities. To date, there are many techniques that can be used to perform the nano-scale measurement resolutions and standards [1-4], however, the searching for new measurement methods still remains. Recently, Yupapin and Pornsuwancharoen [5] have shown the interesting result that a soliton pulse can be stretched or compressed and stored within a tiny device known as a "nano-waveguide". Several research works have also shown the interesting results that light can be stored within the micro-cavities [6], micro-sphere [7] and nano-waveguide [8]. Many earlier works of soliton applications in either theory or experimental works are found in a soliton application book by Hasegawa et al [9]. Many of the soliton related concepts in fiber optic are discussed by Agrawal [10]. The problems of soliton-soliton interactions [11], collision [12], rectification [13] and dispersion management [14] are required to solve and address. In practice, the soliton - soliton interaction would affect the dense wavelength division multiplexing (DWDM), however, this problem can be solved by using the suitable free spectrum range arrangement, which can be designed [15]. The promising concept is that light pulse can be generated, amplified and stored within a nano-waveguide, which is allowed to store

a narrow light pulse, i.e. a narrow spectral width at the specified wavelength. This can provide the required measurement in term of the change in optical resonant wavelength, whereas the measurement resolution of pm or fm can be easily achieved. To present this concept, the use of optical soliton in nano-ring resonator is formed by the large bandwidth signal, which can be compressed, filtered and stored within a nano-waveguide. Finally, the different resonant signals with different wavelengths are stored via the specific nano-waveguides in the waveguide, which is available for sensing applications. The changes in physical quantities in term of wavelength and walk-off length [16, 17] relating to the device parameters are observed and seen by the detector.

2. Operating Principle

To perform the proposed concept, a bright soliton pulse is introduced into the multi-stage nano-ring resonators as shown in Fig. 1, the input optical field (E_{in}) of the bright soliton pulse input is given by an Eq. (1)[5] as

$$E_{in}(t) = A \operatorname{sech} \left[\frac{T}{T_0} \right] \exp \left[\left(\frac{z}{2L_D} \right) - i\omega_0 t \right] \quad (1)$$

Where A and z are the optical field amplitude and propagation distance, respectively. T is a soliton pulse propagation time in a frame moving at the group velocity, $T = t - \beta_1 z$, where β_1 and β_2 are the coefficients of the linear and second order terms of Taylor expansion of the propagation constant. $L_D = T_0^2 / |\beta_2|$ is the dispersion length of the soliton pulse. T_0 in equation is the initial soliton pulse width. Where t is the soliton phase shift time, and the frequency shift of the soliton is ω_0 . This solution describes a pulse that keeps its temporal width invariance as it propagates, and thus is called a temporal soliton.

When a soliton peak intensity $(\beta_2 / \Gamma T_0^2)$ is given, then is known. For the soliton pulse in the micro ring device, a balance should be achieved between the dispersion length (L_D) and the nonlinear length ($L_{NL} = (1/\Gamma \phi_{NL})$, where $\Gamma = n_2 * k_0$, is the length scale over which dispersive or nonlinear effects makes the beam becomes wider or narrower. For a soliton pulse, there is a balance between dispersion and nonlinear lengths, hence $L_D = L_{NL}$.

When light propagates within the nonlinear material (medium), the refractive index (n) of light within the medium is given by

$$n = n_0 + n_2 I = n_0 + \left(\frac{n_2}{A_{\text{eff}}} \right) P, \quad (2)$$

where n_0 and n_2 are the linear and nonlinear refractive indexes, respectively. I and P are the optical intensity and optical power, respectively. The effective mode core area of the device is given by A_{eff} . For the micro ring and nano-ring resonators, the effective mode core areas range from 0.10 to 0.50 μm^2 [18], where they found that fast light pulse can be slow down experimentally after input into the nano-ring.

When a soliton pulse is input and propagated within a micro ring resonator as shown in Fig. 1, which consists of a series micro ring resonators. The resonant output is formed, thus, the normalized output of the light field is the ratio between the output and input fields ($E_{\text{out}}(t)$ and $E_{\text{in}}(t)$) in each roundtrip, which can be expressed as [5, 15]

$$\left[\frac{E_{\text{out}}(t)}{E_{\text{in}}(t)} \right]^2 = (1-\gamma) \left[1 - \frac{(1-(1-\gamma)x^2)\kappa}{(1-x\sqrt{1-\gamma}\sqrt{1-\kappa})^2 + 4x\sqrt{1-\gamma}\sqrt{1-\kappa}\sin^2(\frac{\phi_0}{2})} \right] \quad (3)$$

The close form of equation (3) indicates that a ring resonator in the particular case is very similar to a Fabry-Perot cavity, which has an input and output mirror with a field reflectivity, $(1-\kappa)$, and a fully reflecting mirror. x is the coupling coefficient, and $x = \exp(-\alpha L/2)$ represents a roundtrip loss coefficient, $\phi_0 = kLn_0$ and $\phi_{NL} = kLn_2 |E_{\text{in}}|^2$ are the linear and nonlinear phase shifts, $k = 2\pi/\lambda$ is the wave propagation number in a vacuum. Where L and α are a waveguide length and linear absorption coefficient, respectively. In this work, the iterative method is introduced to obtain the results as shown in equation (3), similarly, when the output field is connected and input into the other ring resonators.

3. Sensing Transducer

Initially, the large bandwidth signal within the microring device can be generated by using a soliton pulse input into the nonlinear microring resonator. This means that the broad spectrum of light can be generated after the soliton pulse is input into the ring resonator system. The schematic diagram of the proposed system is as shown in Fig. 1. A soliton pulse with 50 ns pulse width as shown in Fig. 2(a), peak power at 2.0 W is input into the system. The suitable ring parameters are used, for instance, ring radii $R_1 = 15.0 \mu\text{m}$, $R_2 = 9 \mu\text{m}$, $R_3 = R_4 = 9.0 \mu\text{m}$ and $R_d = 200.0 \mu\text{m}$. In order to make the system associate with the practical device [18, 19], the selected parameters of the system are fixed to $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$, $n_0 = 3.34$ (InGaAsP/InP), $A_{\text{eff}} = 0.50, 0.25 \mu\text{m}^2$ and $0.10 \mu\text{m}^2$ for a microring and nanoring resonator, respectively, $\alpha = 0.5 \text{ dBmm}^{-1}$, $\gamma = 0.1$. The coupling coefficient (κ) of the microring resonator ranged from 0.1 to 0.96. The nonlinear refractive index is $n_2 = 2.2 \times$

$10^{-13} \text{ m}^2/\text{W}$. In this case, the wave guided loss used is 0.5 dBmm^{-1} . The input soliton pulse is chopped (sliced) into the smaller signals spreading over the spectrum (i.e. broad wavelength) as shown in Fig. 2(b), which is shown that the large bandwidth signal is generated within the first ring device. The coupling coefficients are given as shown in the figures. The coupling loss is included due to the different core effective areas between micro and nanoring devices, which are given by 0.1dB. In Fig. 1, H and V is the horizontal and vertical polarize light respectively.

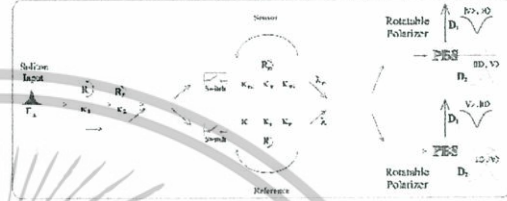


Fig. 1. Nano ring storage array waveguide system, (a) a sensing unit, (b) a distributed sensing system, where R_i : Ring radii, κ_i : Coupling coefficient, κ_{ij} : Coupling loss, λ_n : Signal output with wavelength λ_n , OSA: Optical Spectrum Analyzer.

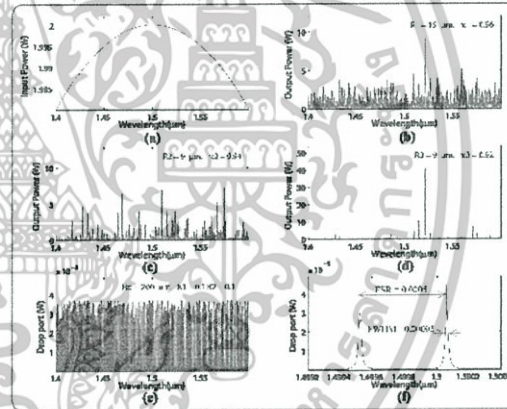


Fig. 2. Soliton output with the center wavelengths at 1.5 μm , where (a) input soliton, (b) ring R_1 , (c) ring R_2 , (d) ring R_3 , (e) and (f) drop port signals (ring R_4). (g) compressing spectral width signals.

4. Walk-off Compensation

In operation, the sensing and reference signals can be formed by using the system as shown in Fig. 1, whereas the generated soliton/signal can be stored within a nano-waveguide (ring R_s and R_t), which is confirmed by Yupapin and Poensuwancharoen [5]. Whereas the trapping pulse is circulated within the nano-waveguide (stopping/storing pulse), which is available to detect, i.e. it can be slowed down and detected by any available detector. They have also found that the light pulse energy recovery can be obtained by connecting into the nano-ring

device. By using an equation (3), the output light pulse within a ring R_d is obtained via the drop port, where the main parameters that can provide the constant coupling energy are κ_{d1} , κ_{d2} and the input power. The measurement is performed comparing to the reference transducer, which is formed the same resonant wavelength with the sensing transducer. The combination of the transducer and reference signals can be seen within the add/drop device. The induced change within the ring R_d is occurred and detected relating to the applied physical quantities, whereas the signal detection device can be optical spectrum analyzer, wavelength tuner, wavelength filter, or the recovery ring resonator. The plot of the entangled photon visibility and walk-off length compensation relating to the change in the applied parameter can be formed the measurement.

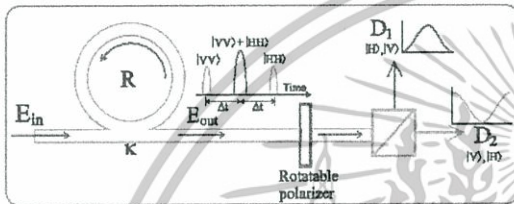


Fig. 3. A schematic of the entangled photon generation system; PBS: Polarizing Beam Splitter, Ds: Detectors.

In applications, the walk-off entangled state parameters involving in the measurement are related to the changes in the applied physical parameters such as force, stress, strain, heat, and pressure etc and the optical device property. However, the interested parameters in this proposed systems are concerned the optical birefringence parameters, which can be given by

$$\Delta\phi = \frac{2\pi(n_x - n_y)L_w}{\lambda} \quad (4)$$

Where $\Delta n = (n_x - n_y)$ is the optical birefringence, L_w is the entangled states walk-off length, and λ is the light source wavelength.

In principle, the movement of the signal and idler from the optimum location introduces the walk-off length change by the external or physical quantities, which can be compensated, i.e. measured. This effect is presented by the measurement parameter known as birefringence. The entangled photon visibility is randomly formed a pair of signal and idler, which was well described by reference [1]. When the measurement signal is generated then passing through the rotatable polarizer and polarizing beam splitter as shown in Fig. 3. The required azimuth angle is adjusted to obtain the specific orientation angle via the rotatable polarizer. The random entangled photon pair is split via a PBS and detected by the two detectors. In general, the entangled photon pairs may be formed by two different forms of the orientation angles (0° , 90°) or (135° , 180°), which is represented by light traveling into the optical components as described earlier. The entangled photon visibility is seen when the azimuth angle is rotated between

0 - 180° , where each peak power of the entangled photon pair is formed by each value of the maximum peak power at the specific orientation angle. In applications, the induced change due to the external disturbance on the stored light pulse within the sensing waveguide effects the change in the entangled photon phase shift, which is recovered by using the walk-off compensation. This is related to the change in the applied physical quantities such as force, temperature or strain on the sensing device.

5. Conclusions

We have proposed the interesting concept where the small scale measurement in the nano scale resolution regime is plausible, using the nano-waveguide transducer, whereas the measurement of physical quantities such as nano force, nano temperature, nano strain can be performed using the proposed system. The major advantage is the sensing device can be formed the storing signal which is capable to perform the long period of measurement, while the very narrow optical pulse has shown the potential of using such system for nano scale measurement and beyond. Finally, the quantum measurement concept is also plausible, which is allowed to obtain the increasing in measurement resolution. By using the polarization concept, the measurement of force under zero gravity perturbation is also available.

References

- [1] P.P. Yupapin, "Fiber optic sensing applications using the entangled state walk-off compensation," *Int. Light and Electron Opt.*, 120(2009)265-267.J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] P. Yabosdec, P. Phiphithirankarn and P.P. Yupapin, "A new concept of nano-strain monitoring using strain perturbation," *Int. Light and Electron Opt.*, 2008, DOI: 10.1016/j.jlco.2008.07.032.K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [3] N. Pornsuwancharoen, P. Phiphithirankarn, P.P. Yupapin and J. Ali, "Pulse polarization entangled photon generated by chaotic signal in a nonlinear micro ring resonator for Birefringence based sensing applications," *Opt. and Laser Technol.*, 41(6)(2009)788-793.
- [4] P.P. Yupapin and P. Yabosdec, "Optimum entangled photon generated by micro ring resonator for new generation interferometry use," *Int. Light and Electron Opt.*, 2008, DOI: 10.1016/j.jlco.2008.09.011.
- [5] P.P. Yupapin and N. Pornsuwancharoen, "Proposed nonlinear micro ring resonator arrangement for stopping and storing light," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 21(4)(2009)404-406.
- [6] M.F. Yanik and S. Fan, "Stopping light all optically," *Phys. Rev. Lett.*, 92(2004)083901.
- [7] Y. Zhao, H. W. Zhao, X. Y. Zhang, B. Yuan and S. Zhang, "New mechanisms of slow light and their applications", *Opt. and Laser Technol.*, 21(4)(2009)515-525.
- [8] N. Pornsuwancharoen and P. P. Yupapin, "Generalized fast, slow, stop, and store light optically

- within a nanoring resonator," *Microw. and Opt. Technol. Lett.*, 51(2009)899-902.
- [9] A. Hasegawa (Editor), "Massive WDM and TDM soliton transmission systems," Kluwer Academic Publishers, Netherland, 2000.
- [10] G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press, New York, 1995.
- [11] Yu. A. Simonov and J.A. Tjon, "Soliton-soliton interaction in confining models," *Phys. Lett.*, B 85(1979)380-384.
- [12] J. K. Drohm, L.P. Kok, Yu. A. Simonov, J.A. Tjon and A.I. Veselov, "Collision and rotation of solitons in three space-time dimensions," *Phys. Lett.*, B101(1981)204-208.
- [13] T. Iizuka and Y. S. Kivshar, "Optical gap solitons in nonresonant quadratic media," *Phys. Rev. E* 59(1999)7148 - 7151.
- [14] R. Ganapathy, K. Porsezian, A. Hasegawa, V.N. Serkin, "Soliton interaction under soliton dispersion management," *IEEE Quantum Electron.*, 44, 383-390(2008).
- [15] P.P. Yupapin, P. Saeng and C. Li, "Characteristics of complementary ring-resonator add/drop filters modeling by using graphical approach," *Opt. Commun.*, 272(2007)81-86.
- [16] S. Suchat, W. Khannam and P.P. Yupapin, "The entangled photon states recovery using a fiber ring resonator incorporating an erbium-doped fiber amplifier," *Opt. Eng.*, 47(6)(2008)100502-1.
- [17] P.P. Yupapin and S. Suchat, "Entangle photon generation using fiber optic Mach-Zehnder Interferometer incorporating nonlinear effect in a fiber ring resonator," *Nanophotonics*, 1(2007) 13504.
- [18] Y. Su, F. Liu and Q. Li, "System performance of slow-light buffering and storage in silicon nano-waveguide," *Proc. SPIE*, 6783(2007)67832P.
- [19] Y. Kokubun, Y. Hatakeyama, M. Ogata, S. Suzuki, and N. Zaizen, "Fabrication technologies for vertically coupled micro ring resonator with multilevel crossing busline and ultracompact-ring radius," *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electron.*, 11(2005)4-10.



Mr. Pakorn Juleang
Hybrid Computing Research
Laboratory, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of
Technology Ladkrabang, Bangkok
10520, Thailand
Interest : Optic Communication,
Wireless Communication

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

2. **P. Juleang, S. Glomglome, C. Vongchumyen, S. Mitatha and P.P. Yupapin, “Atomic Endoscope and Imaging using Atomic Recording based on Optical Tweezers”, Defence & Security Technology Conference 2009 (DSTC2009), Malaysia, October 6-7, 2009**

Atomic Endoscope and Imaging using Atomic Recording based on Optical Tweezers

P. Juleang⁽¹⁾, S. Glomglome⁽¹⁾, C. Vongchumyen⁽¹⁾, S. Mitatha⁽¹⁾ and P.P. Yupapin⁽²⁾

⁽¹⁾ Hybrid Computing Research Laboratory, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, kvocharo@kmitl.ac.th

⁽²⁾ Advanced Research Center for Photonics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, kypreech@kmitl.ac.th

Abstract We propose a new system of optical imaging using optical tweezers. A system consists of a dark soliton generation that can be used to probe atoms, where the imaging construction of the sampling target can be realized by using the trapped atom in the optical tweezers. The interaction, i.e. Interchange between the transmitted atoms and received atoms can be used for imaging construction. The advantage is that the optical tweezers in this case is a moveable probe, which can be imaging in any location of the interesting target.

Keywords: Atomic imaging, Optical tweezers, Atomic recording

Introduction

Modern endoscopes have been developed for 2 centuries and have provided several usages. The idea of endoscopy in modern era was first attempted by Bozzini in 1806 to investigate inside human body but it was not approved by Vienna medical society^{1,2}. Endoscopic technology has been continuously improved since that time. Nowadays, fiber optics technology has been used to build endoscopes. They work by propagating the light from the light source within optical fibers. When the light emits from the other ends of fibers to the object, it reflects back through fibers to receiver, a monitor for instance. Fiber optics endoscopes provide medical doctors visual images inside patients' bodies, they help diagnosing the cause of the disease more accurately. Besides providing visual images inside the body, they also have other functions when work with other tools, for instance, taking biopsies and endoscopic surgeries.

An endoscope built with latest technology provides sufficient image quality, but its quality can still be improved. The quality of an image retrieved from the latest endoscope is like a photograph taken from the camera. The disorder can be seen if it is large enough. However, some disorder that is very small like in atomic or molecular level cannot be shown with an ordinary endoscope. The combination of fiber optics endoscope with optical soliton that work in nanoscale can achieve that goal.

Dark Soliton Generation

The experimental configuration for the dual Brillouin fiber laser (DBFL) is shown in Fig. 1. The laser consists of a 7.7 km length Dispersion Compensate Fiber (DCF) as the non-linear gain medium that produces the first Stokes, a Brillouin pump (BP) that pumps a narrow signal with a power of 1.96 dBm and a wavelength of 1500 nm into the cavity. The two optical circulators used are labeled as C1 and C2. The signal from BP is injected into the cavity

from port 3 of C1 and detected at port 1 of C1 by the optical spectrum analyzer (OSA) with a resolution of 0.02nm. Port 3 and port 1 of C2 which is placed at the end side of the configuration, is connected to form the double pass configuration inside the linear cavity. This double pass configuration allows the signal from BP and the first Stokes to re-circulate into the DCF and hence producing a significant amplification with stable dual Brillouin peaks. The enhanced DBFL is obtained after the insertion of Raman pump (RP) with a pump power of 296 mW at a wavelength of 1420 nm into the linear cavity (Fig. 2). RP will pump the DCF thus enhancing the non-linear interaction of BP signal. A 1420/1500nm wavelength selective coupler (WSC) is used to combine the pump and laser wavelength.

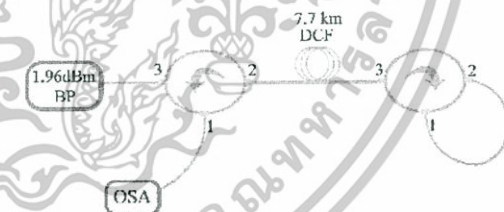


Fig. 1: DBFL configuration

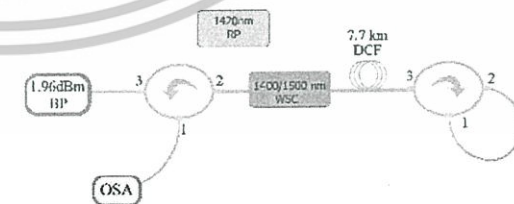


Fig. 2: Enhanced DBFL configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The stability of the dual Brillouin is shown in Fig. 3. Fig. 4 shows the stability of the enhanced dual Brillouin spectrum obtained by repeating the experiments. The dark soliton valley dept, i.e. potential well, is changed when it was modulated by the trapping energy as shown in Fig. 4. The trapping of photon within the dark well is occurred and seen, the recovery photon can be obtained by using the dark-bright soliton conversion, which is well analyzed by reference³, where the trapped photon or molecule can be released and seen separately from the dark soliton pulse, in practice, in this case the bright soliton is become alive and seen.

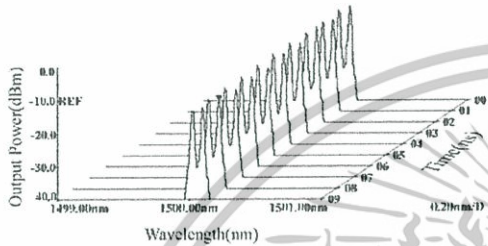


Fig. 3: DBFL spectrum train

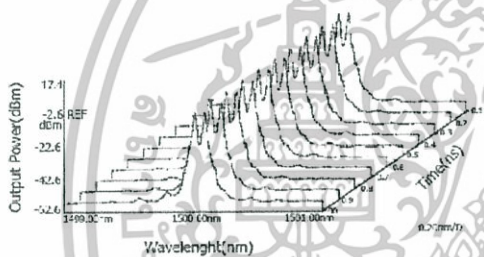


Fig. 4: Enhanced DBFL spectrum train with Raman pumping

Dark Soliton Generation using Gaussian pulse input

Optical soliton is recognized as the powerful light source for long distance link in optical communication. However, the pumping system is required before the soliton being generated. For simplicity, a Gaussian soliton is recommended to form the soliton instead of the pumping soliton. Moreover, one interesting aspect of the Gaussian soliton is that the non-dispersive soliton can be realized by using the 1,300 nm light source, which can be obtained by using the Gaussian soliton. Many research works have reported in use of a Gaussian pulse in both theoretical and experimental works⁴⁻⁷. Recently, the interesting aspect of light pulse propagating within a nonlinear microring device has been reported⁸, where the transfer function of the output at resonant condition is derived and studied. They found that the broad spectrum of light pulse can be transformed to the discrete pulses. An optical soliton is recognized as a powerful laser pulse, which can be used to enlarge the optical bandwidth when propagating within the nonlinear microring

resonator⁹⁻¹⁰. Moreover, the superposition of self-phase modulation (SPM) soliton pulses, where either bright or dark¹¹ solitons can generate the large output power. Therefore, in this work we are using a common laser source that can be used to generate dark soliton, with the broad center wavelengths within the range from 400-1,500 nm are used. One of the results has shown that by using the center wavelength at 1,300 nm with suitable parameters, the Gaussian soliton generation is plausible. By using the suitable microring parameters, most of the results have shown that the optical signals, i.e. Gaussian pulse can be amplified within the nonlinear ring resonator system.

Light from a monochromatic light source is launched into a ring resonator with constant light field amplitude (E_0) and random phase modulation, which is the combination of terms in attenuation (α) and phase(ϕ_0) constants, which results in temporal coherence degradation. Hence, the time dependent input light field (E_{in}), without pumping term, can be expressed as

$$E_{in}(t) = E_0 \exp(-\alpha L - j\phi_0(t)) \quad (1)$$

where L is a propagation distance (waveguide length).

We assume that the nonlinearity of the optical ring resonator is of the Kerr-type, i.e., the refractive index is given by

$$n = n_0 + n_2 I = n_0 + \left(\frac{n_2}{A_{eff}}\right) P \quad (2)$$

where n_0 and n_2 are the linear and nonlinear refractive indexes, respectively. I and P are the optical intensity and optical power, respectively. The effective mode core area of the device is given by A_{eff} . For the microring and nanoring resonators, the effective mode core areas range from 0.10 to 0.50 μm^2 ¹²

When a Gaussian pulse is input and propagated within a fiber ring resonator, the resonant output is formed, thus, the normalized output of the light field is the ratio between the output and input fields ($E_{out}(t)$ and $E_{in}(t)$) in each roundtrip, which can be expressed as¹³

$$\left[\frac{E_{out}(t)}{E_{in}(t)} \right]^2 = (1-\gamma) \frac{1 - (1-\gamma)x^2 \kappa}{(1-x\sqrt{1-\gamma}\sqrt{1-\kappa})^2 + 4x\sqrt{1-\gamma}\sqrt{1-\kappa} \sin^2(\frac{\phi}{2})} \quad (3)$$

Equation (3) indicates that a ring resonator in the particular case is very similar to a Fabry-Perot cavity, which has an input and output mirror with a field reflectivity, $(1-\kappa)$, and a fully reflecting mirror. κ is the coupling coefficient, and $x = \exp(-\alpha L/2)$ represents a roundtrip loss coefficient, $\phi_0 = kL n_0$ and $\phi_{nl} = kL \left(\frac{n_2}{A_{eff}}\right) P$ are the linear and nonlinear phase

shifts, $k = 2\pi/\lambda$ is the wave propagation number in a vacuum. Where L and α are a waveguide length

and linear absorption coefficient, respectively. In this work, the iterative method is introduced to obtain the results as shown in equation (3), similarly, when the output field is connected and input into the other ring resonators.

The input optical field as shown in equation (1), i.e. a Gaussian pulse, is input into a nonlinear microring resonator. By using the appropriate parameters, the chaotic signal is obtained by using equation (3). To retrieve the signals from the chaotic noise, we propose to use the add/drop device with the appropriate parameters. This is given in details as follows. The optical outputs of a ring resonator add/drop filter can be given by the equations (4) and (5).

$$\frac{|E_t|^2}{|E_{in}|^2} = \frac{(1-\kappa_1) - 2\sqrt{1-\kappa_1} \cdot \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\alpha z} \cos(k_n L) + (1-\kappa_2) e^{-2\alpha z}}{1 + (1-\kappa_1)(1-\kappa_2) e^{-2\alpha z} - 2\sqrt{1-\kappa_1} \cdot \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\alpha z} \cos(k_n L)} \quad (4)$$

and

$$\frac{|E_d|^2}{|E_{in}|^2} = \frac{\kappa_1 \kappa_2 e^{-\alpha z}}{1 + (1-\kappa_1)(1-\kappa_2) e^{-2\alpha z} - 2\sqrt{1-\kappa_1} \cdot \sqrt{1-\kappa_2} e^{-\alpha z} \cos(k_n L)} \quad (5)$$

where E_t and E_d represents the optical fields of the throughput and drop ports respectively. The transmitted output can be controlled and obtained by choosing the suitable coupling ratio of the ring resonator, which is well derived and described by reference.¹⁴ Where $\beta = kn_{eff}$ represents the propagation constant, n_{eff} is the effective refractive index of the waveguide, and the circumference of the ring is $L = 2\pi R$, here R is the radius of the ring. In the following, new parameters will be used for simplification, where $\phi = \beta L$ is the phase constant. The chaotic noise cancellation can be managed by using the specific parameters of the add/drop device, which the required signals at the specific wavelength band can be filtered and retrieved. κ_1 and κ_2 are coupling coefficient of add/drop filters, $k_n = 2\pi/\lambda$ is the wave propagation number for in a vacuum, and the waveguide (ring resonator) loss is $\alpha = 0.5 \text{ dBmm}^{-1}$. The fractional coupler intensity loss is $\gamma = 0.1$. In the case of add/drop device, the nonlinear refractive index is neglected.

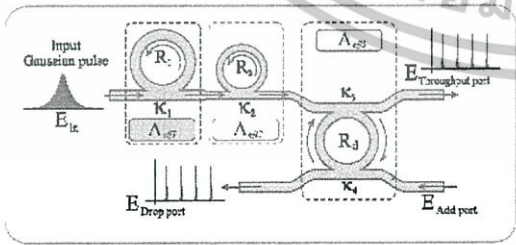


Fig. 5: A schematic of a Gaussian soliton generation system, where R_c : ring radii, κ_i : coupling coefficients, R_d : an add/drop ring radius, A_{eff} s: Effective areas.

From Fig. 5, in principle, light pulse is sliced to be the discrete signal and amplified within the first ring, where more signal amplification can be obtained by using the smaller ring device (second ring). Finally, the required signals can be obtained via a drop port of the add/drop filter. In operation, an optical field in the form of Gaussian pulse from a laser source at the specified center wavelength is input into the system.

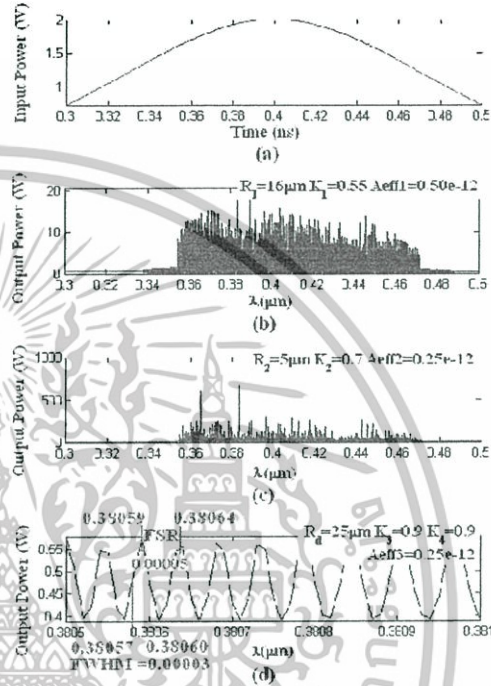


Fig. 6: Result of the spatial pulses with center wavelength at $0.40 \mu\text{m}$, where (a) the Gaussian pulse, (b) large bandwidth signals, (c) large amplified signals, (d) filtering and amplifying signals from the drop port.

From Fig. 6, the Gaussian pulse with center wavelength (λ_0) at $0.40 \mu\text{m}$, pulse width (Full Width at Half Maximum, FWHM) of 20 ns, peak power at 2 W is input into the system as shown in Fig. 6(a). The large bandwidth signals can be seen within the first microring device, and shown in Fig. 6(b). The suitable ring parameters are used, for instance, ring radii $R_1 = 16.0 \mu\text{m}$, $R_2 = 5.0 \mu\text{m}$, and $R_d = 25.0 \mu\text{m}$. In order to make the system associate with the practical device¹³, the selected parameters of the system are fixed to $n_0 = 3.34$ (InGaAsP/InP), $A_{eff} = 0.50 \mu\text{m}^2$ and $0.25 \mu\text{m}^2$ for a microring and add/drop ring resonator, respectively, $\alpha = 0.5 \text{ dBmm}^{-1}$, $\gamma = 0.1$. In this investigation, the coupling coefficient (κ) of the microring resonator is ranged from 0.55 to 0.90. The nonlinear refractive index of the microring used is $n_2 = 2.2 \times 10^{-17} \text{ m}^2/\text{W}$. In this case, the attenuation of light propagates within the system (i.e. wave guided) used is 0.5 dBmm^{-1} . After light is input into the system, the Gaussian pulse is chopped

(sliced) into a smaller signal spreading over the spectrum due to the nonlinear effects⁸, which is shown in Fig. 6(a). The large bandwidth signal is generated within the first ring device. In applications,

the specific input or out wavelengths can be used and generated. However, the amplified power is required to control to keep the device being realistic

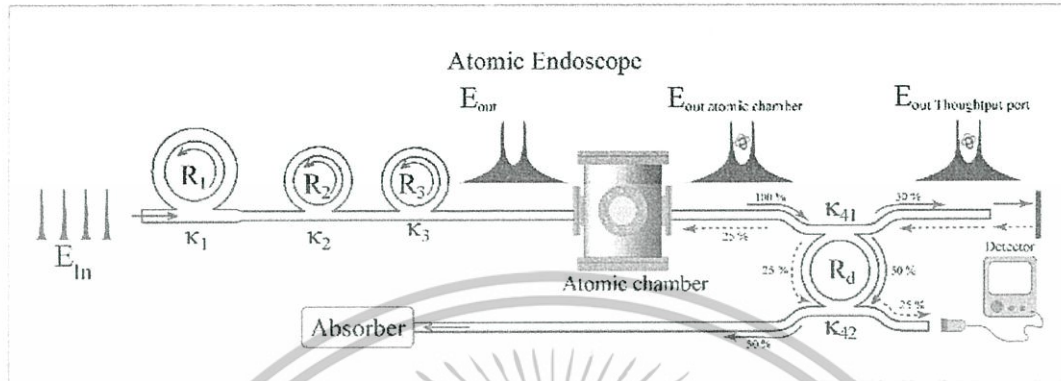


Fig. 7: Atomic endoscope and imaging mechanism diagram, where R_i : ring radii, κ_i : coupling coefficients, R_d : an add/drop ring radius, A_{eff} : Effective areas.

Dynamic tweezers generation by amplification of dark soliton in the microring resonator

The schematic diagram of the proposed system is as shown in Fig. 7. A soliton pulse with 50 ns pulse width, maximum power at 1.25 W is input into the system. The suitable ring parameters are used, for instance, ring radii $R_1 = 10.0 \mu\text{m}$. In order to make the system associate with the practical device⁹, the selected parameters of the system are fixed to $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$, $n_0 = 3.34$ (InGaAsP/InP), $A_{eff} = 0.50, 0.25 \mu\text{m}^2$ and $0.10 \mu\text{m}^2$ for a micro ring and nano ring resonator, respectively, $\alpha = 0.5 \text{ dBmm}^{-1}$, $\gamma = 0.1$. The coupling coefficient (kappa, κ) of the micro ring resonator is 0.009. The nonlinear refractive index is $n_2 = 2.2 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{W}$. In this case, the wave guided

loss used is 0.5 dBmm^{-1} . The input dark soliton pulse is chopped (sliced) into a smaller signal spreading over the spectrum as shown in Fig. 8(middle).

This is shown that the large bandwidth signal is generated within the first ring device, however, it is excepted the region that the signal level is very low or vanished, about $0.85-0.15 \times 10^4$ roundtrips, which is called a stop band. The plot of nonlinear behaviors is shown in Fig. 8(bottom), where the plot between output and input power (intensity) is seen. The bistability, bifurcation and chaos are occurred when the input intensity is increased, for instance, the first bistability is occurred when the input intensity is between 1.8-2.0 W.

Atomic endoscope device using interaction of reflective atom in the optical tweezers

The remaining part of proposed system is show in schematic diagram as in Fig. 7. The dynamic tweezers generated by a group of microring resonators ($R_{1,2,3}$) are beaming into atomic chamber to collect atoms, then they are feeding into Add/drop filter (R_d) which have 50% coupling coefficient, 50% though put and 50% dropping on an absorber. The 50% though put dynamic tweezers with trapping atoms are project directly to desire target area and reflect back into the same fiber. After that, The reflected-trapping atom in the dynamic tweezers are coupling to the same add/drop again. So only 25% of the reflected dynamic tweezers with trapping atoms are coupling to detector (the recovery photon can be obtained by using the detector or a dark-bright soliton conversions schematic). Finally, to create the image of targeting area the detector is use to analyze the interaction of trapping atom power with the targeted-imaging area.

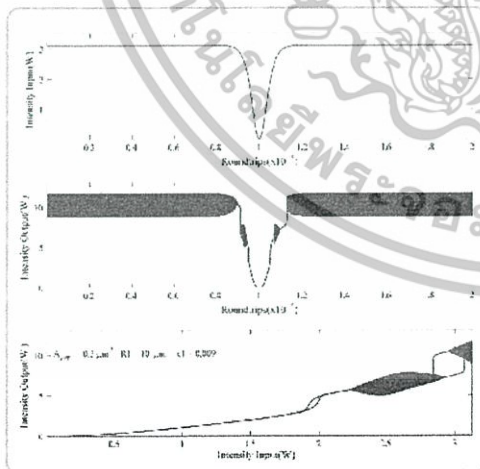


Fig. 8: Results obtained when a dark soliton pulse is input into a micro ring resonator, where $R_1 = 10 \mu\text{m}$, $A_{eff1} = 0.50 \mu\text{m}^2$, $\kappa_1 = 0.009$.

For safety reason, the coupling coefficients of all microring resonators κ_{11} and κ_{12} are designed to keep low output energy, such as 50% - 50 %.

Conclusions

Atomic endoscope and imaging are proposed in this paper by the propagation of a Gaussian pulse within microring resonator system. After a Gaussian pulse is input into designed system, dark solitons are generated. Then they are amplified to obtain dynamic optical tweezers that are going to atomic chamber. Then they are trapping the atom and going out the atomic chamber to add/drop filter. With a certain coupling coefficient of add/drop filter, The dynamic tweezers with trapped atom is beaming to targeting area. When contact, tweezers with trapped atom will interact with the target making some change to trapped atom and reflect back to the system. Tweezers will pass add/drop filter again and exit the system to the detector which are going to release trapped atom and examine it to create the value of a pixel of an image. All pixels of the image will be created by repeatedly performing the process to entire target area.

References

- 1 <http://en.wikipedia.org/wiki/Endoscopy#History>
- 2 http://laparoscopy.blogs.com/endoscopyhistory/chapter_06/
- 3 J. Hecht, "Half a century of laser weapons," *OPN*, 20(2)(2009)14-21.
- 4 D. Deng and Q. Guo, "Ince-Gaussian solitons in strongly nonlocal nonlinear media", *Opt. Lett.*, 32(2007)3206-3208.
- 5 G. Xia, Z. Wu, and J. Wu, "Effect of fiber chromatic dispersion on incident super-Gaussian pulse transmission in single-mode fibers." *Chinese J. Phys.*, 41(2)(2003)118-120.
- 6 S. Supparpola, Y. Sun and S. A. Chiramida, "Gaussian pulse decomposition: An intuitive model of electrocardiogram waveforms," *Annals of Biomedical Engineering*, 25(1997)252-260.
- 7 P.K.A. Wai, K. Nakkeeran, "On the uniqueness of Gaussian ansatz parameters equations: generalized projection operator method," *Phys. Lett., A*, 332 (2004)239-243.
- 8 P.P. Yupapin and W. Suwancharoen, "Chaotic signal generation and cancellation using a microring resonator incorporating an optical add/drop multiplexer, *Opt. Commun.*, 280(2007)343-350.
- 9 P.P. Yupapin, N. Pornsuwanchroen and S. Chaiyasoonthorn, "Attosecond pulse generation using nonlinear microring resonators," *Microw. and Opt. Technol. Lett.*, 50(2008)3108-3111.
- 10 N. Pornsuwanchroen and P.P. Yupapin, "Generalized fast, slow, stop, and store light optically within a nanoring resonator," *Microw. and Opt. Technol. Lett.*, 51(2009) 899-902.
- 11 Takeshi Iizuka and Yuri S. Kivshar, "Optical gap solitons in nonresonant quadratic media, *Phys. Rev. E* 59(1999)7148 - 7151.
- 12 Y. S. Kivshar and B. Luther-Davies, "Dark optical solitons: Physics and applications," *Phys. Rep.*, 298(1998)81-197.
- 13 P.P. Yupapin, P. Saeng and C. Li, "Characteristics of complementary ring-resonator add/drop filters modeling by using graphical approach," *Opt. Commun.*, 272(2007)81-86.
- 14 Q. Xu and M. Lipson, "All-optical logic based on silicon micro-ring resonators," 15 (3) (2007) 924-929.



ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

3. **P. Juleang, S. Mitatha and P.P. Yupapin, “Convergecast of multi-destinations in Zigbee tree-based wireless sensor network”, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS2010), Xi’an, China, March 22-26, 2010**

PIERS 2010 in Xian
Progress in Electromagnetics Research Symposium
22 - 26 March, 2010

Xian, CHINA

CALL FOR PAPERS

PIERS provides an international forum for reporting progress and recent advances in all aspects of electromagnetics. Spectra range from statics to RF, microwave, photonics, and beyond. Topics include radiation, propagation, diffraction, scattering, guidance, resonance, power, energy and force issues, and all applications and modern developments. Potential session organizers are welcome to propose specific technical topics by filling out the PIERS survey at <http://piers.org/>.

SUGGESTED TOPICS:

- | | |
|--|--|
| 1 Electromagnetic theory | 2 Computational electromagnetics, hybrid methods |
| 3 Spectra, time, and frequency domain techniques | 4 Fast iteration, large scale and parallel computation |
| 5 Transmission lines and waveguide discontinuities | 6 Resonators, filters, interconnects, packaging, MMIC |
| 7 Antenna theory and radiation | 8 Microstrip and printed antennas, phase array antennas |
| 9 RF and wireless communication, multipath | 10 Mobile antennas, conformal and smart skin antennas |
| 11 Power electronics, superconducting devices | 12 Systems and components, electromagnetic compatibility |
| 13 Nano scale electromagnetics, MEMS | 14 Magnetic levitation, transportation and collision avoidance |
| 15 Precision airport landing systems, GPS | 16 Radar sounding of atmosphere, ionospheric propagation |
| 17 Microwave remote sensing and polarimetry, SAR | 18 Subsurface imaging and detection technology, GPR |
| 19 Active and passive remote sensing systems | 20 Electromagnetic signal processing, wavelets, neural network |
| 21 Rough surface scattering and volume scattering | 22 Remote sensing of the earth, ocean, and atmosphere |
| 23 Scattering, diffraction, and inverse scattering | 24 Microwave and millimeter wave circuits and devices, CAD |
| 25 Optics and photonics, gyrotrons, THz technology | 26 Quantum well devices, microwave photonic systems, PBG |
| 27 Medical electromagnetics, biological effects, MRI | 28 Fiber optics, optical sensors, quantum computing |
| 29 Biological media, composite and random media | 30 Plasmas, nonlinear media, fractal, chiral media, LHM |
| 31 Constitutive relations and bianisotropic media | 32 Moving media, relativity, field quantization, and others |

PAPER SUBMISSION MUST BE RECEIVED BY 7 SEPTEMBER 2009

Abstract Guidelines: Authors are invited to submit a one-page abstract of no less than 250 words in English. No full-length paper is required. The abstract should explain clearly the content and relevance of the proposed technical contribution. On a separate page list the following information: (1) Title of the paper, (2) Name, affiliation, and email of each author, (3) Mailing address, (4) Telephone/Fax numbers, (5) Corresponding author and Presenting author, (6) Topic or Session Organizer, if applicable, (7) State if poster presentation is preferred.

Please use On-Line-Submission (<http://piers.org>) to submit your contribution or via email (tpc@piers.org and/or piers@ewt.mit.edu) by attachments. Authors are recommended to use *.tex, *.doc, or *.pdf as the file format. The abstract submission deadline is **7 SEPTEMBER 2009** and the author pre-registration deadline is **7 November 2009**.

Full-length Papers: Author of an accepted abstract is invited to (but is not required to) submit a full-length paper of no more than five pages. All full papers will be subject to a peer-review process. Only accepted and registered papers will be published in the final PIERS Proceedings and available online after the conference. Selected full-length papers will be published in **PIERS Online**. Please visit PIERS website for the latest PIERS sample files. The deadline for the submission of extended papers is **7 November 2009**.

PRESENTING AUTHORS MUST PRE-REGISTER BY 7 NOVEMBER 2009

Each presenting author is limited to presenting no more than three papers in oral and poster sessions, and must pre-register by paying a **non-refundable** fee of **US\$460** before **7 November 2009**. For students with valid identification, the non-refundable pre-registration fee is **US\$230**. Registration fee will be **\$580** after **7 November 2009**. Only pre-registered articles will be scheduled in the final Technical Program. Inclusion of the article in the Technical Program and PIERS Proceedings is guaranteed only after the registration of the presenting author is completed. Registration fee include admission to all technical sessions, break areas, and a copy of the draft proceedings in CD-ROM.

Updated and detail information will be posted at <http://piers.org> and <http://emacademy.org>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Convergecast of Multi-destinations in Zigbee Tree-based Wireless Sensor Network

P. Juleang¹, S. Mitatha¹, and P. P. Yupapin²

¹Hybrid Computing Research Laboratory, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

²Advanced Research Center for Photonics, Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract— Multi-destinations in wireless sensor network have extremely benefited for monitoring system. Then, convergecast is a fundamental operation in wireless sensor network. Existing convergecast solution focused on latency and energy consumption. However, a good design should be complaint to standard. This paper proposes convergecast solution of multi-destinations in Zigbee tree-based wireless sensor network and proves that this solution is simulation. Our solution is optimal convergecast of multi-destination in wireless sensor network and using accompany with network's resource for all destinations. Then, our solution is compliant with the low-power design of IEEE 802.15.4. Simulation results show that the proposed solution can indeed achieve convergecast of multi-destinations.

1. INTRODUCTION

Nowadays, usability of wireless sensor network (WSN) used widely. Especially, WSN used by Zigbee standard. For example, Smart home system [1] which increase capability more than regular home. Zigbee car parking management system [2] is using Zigbee network for spots status report such as having car in spot. Location system [3–5] is using Zigbee for identify position of person or thing such as for identify position of elderly and disabled people. Then, usability of Zigbee in monitoring system sense all environment such as bridge condition, air pollution, precision viticulture, home care system [6–9]. Including, Zigbee wireless sensor network have benefit for logistic system [10].

If usability of Zigbee wireless sensor network in present have system's design for Zigbee multi-destination wireless sensor network will have benefited for monitoring system. For example, mostly person in Bangpakong to rear snapper. If usability of wireless sensor network was happen for water and water pollution system will help fisherman for plan to rear snapper. Which, fishermen want monitoring system's data form Bangpakong river. This case, Multi-destinations in wireless sensor network have extremely benefited for monitoring system.

2. OVERVIEW OF ZIGBEE

Zigbee is a standard that defines a set of communication protocols for low-data-rate wireless network. Zigbee-based wireless devices operate in 868 MHz, 915 MHz and 2.4 GHz frequency bands. Then, the maximum data rate is 250 k bits per second. Zigbee is targeted mainly for battery-powered applications where low data rate, low cost and long battery life are main requirements. The Zigbee standard is developed by the Zigbee Alliance, which has hundreds of member companies, from semiconductor industry and software developers to original equipment manufacturer and installers.

There are two methods for channel access: contention based or contention free. In contention-based channel access, all the devices that want to transmit in the same frequency channel use the CDMA-CA, and the first one that finds the channel clear starts transmitting. In the contention-free method, the PAN coordinator dedicates a specific time slot to a particular device. This called a guaranteed time slot (GTS). To provide a GTS, the PAN coordinator needs to ensure that all the devices in the network are synchronized. Beacon is a message with specific format that is used to synchronize the clocks of nodes in network. A coordinator has the option to transmit beacon signals to synchronize the devices attached to it. This called a beacon-enabled PAN.

One of the advantages of a beacon-enabled network is the availability of guaranteed time slots (GTSs). The beacon are MAC frames that contain beacon information such as the time interval between the beacons and number of GTSs. In beacon-enable operation, it is possible to use a

superframe structure. A superframe, shown in Figure 1, is bounded by two beacon frame. The use of super frame structure is optional in the IEEE 802.15.4 standard. There can be up to three types of periods in a superframe: the contention access period (CAP), the contention-free period (CFP), and the inactive period. This paper proposes convergecast solution which is management other slot called slot assignment.

3. DECIDE PROBLEM

This section formally defines the convergecast problem in ZigBee networks [11]. Given a ZigBee network, we model it by a graph $G = \{V, E\}$ where V contains all routers and the coordinator and E contains all symmetric communication links between nodes in V . The coordinator also serves as the sink of the network. End devices can only associate with routers, but are not included in V . From G , we can construct an interference graph $G_I = \{V, E_I\}$ where edge $(i, j) \in E_I$ if there are direct/indirect interferences between i and j . We denote by $k = 2^{(BO-SO)}$ the number of active portions (or slots) per beacon interval [11].

The beacon scheduling problem is to find a slot assignment $s(i)$ for each router $i \in V$, where $s(i)$ is an integer and $s(i) \in [0, k - 1]$, such that router i 's active portion is in slot $s(i)$ and $s(i) \neq s(j)$ if $(i, j) \in E_I$. Here, the slot assignment means the position of the outgoing superframe of each router (the position of the incoming superframe, as clarified earlier, is determined by the parent of the router).

Given a slot assignment for G , the report latency from node i to node j [11], where $(i, j) \in E$, is the number of slots, denoted by d_{ij} , that node i has to wait to relay its collected sensory data to node j .

$$d_{ij} = (s(j) - s(i)) \bmod k. \quad (1)$$

Then, report latency of Zigbee beacon-enabled wireless sensor network $L(G)$ shown in Equation (2). Good design of Zigbee wireless sensor network designing is minimum report latency $L(G)$.

$$L(G) = \sum (d_{ij}) \text{ on longest part of network } (G). \quad (2)$$

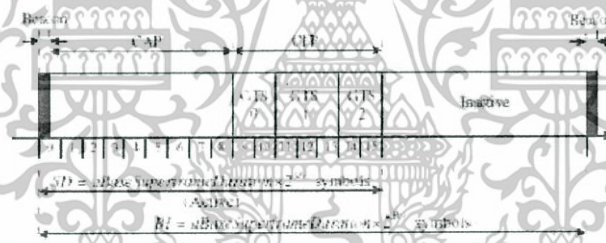


Figure 1: IEEE 802.15.4 superframe structure.

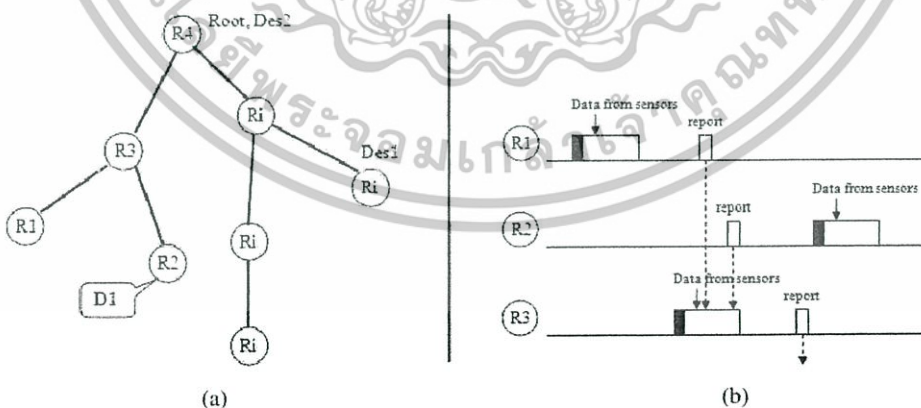


Figure 2: Problem of multi-destinations in wireless sensor network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Point, two problems of multi-destinations in wireless sensor network shown in Figure 2. Figure 2(a) shows sensors' data wanted form destination can't send to it too. This paper called Data Incorrect Problem (DIP). If slot assignment havn't optimal procedure then Data1 (D1) which wanted from Destination1 (Des1) not send to it (Figure 2(a)) or want have special procedure for sent to it which cause low-speed in network. Figure 2(b) shows convergecast problem cause more report latency or low-speed in Zigbee wireless sensor network. From Figure 2(a), router1 (R2) want send data to Des2 but have convergecast schedule shown in Figure 2(b) show data from R2 must wait a one superframe. But, if slots assignment have optimal procedure then data from R1 not wait that data from R1 send with data from R2 at the same time. This problem called Minimum Delay Beacon Scheduling Problem (MDBP) [11]. From two problems, this paper proposes convergecast solution of multi-destinations in Zigbee tree-based wireless sensor network for solve problems and minimum report latency $L(G)$.

4. CONVERGECAST SOLUTION

Convergecast solution proposed in this paper. Given $G = (V, E)$, $G_I = (V, E_I)$ and k , we propose solution. Our Solution is composed of the following step:

Step 1: From G , we first construct a breadth first search (BFS) tree T which rooted at one in destinations.

Step 2: Check DIP. Has DIP in tree network from Step 1?

Yes, it has. We do Step 1 by change root to other destinations.

No, it hasn't. We do Step 3.

If change root to all destinations then No in all answer. We must from into group of destinations which destinations in group must can send data to each destination. Look, each group is one destination, we do Step 1.

Step 3: We traverse vertices of T in a bottom-up manner. For these vertices in depth d , we first sort them according to their degrees in G_I in a descending order. Then we sequentially traverse these vertices in that order. For each vertex v in depth d visited, we compute a temporary slot number $t(v)$ for v as follows.

If v is a leaf node, we set $t(v)$ to the minimal non-negative integer l such that for each vertex u that has been visited and $(u, v) \in E_I$, $(t(u) \bmod k) \neq l$.

If v is an in-tree node, let m be the maximum of the numbers that have been assigned to v 's children, i.e., $m = \max(t(\text{child}(v)))$, where $\text{child}(v)$ is the set of v 's children. We then set $t(v)$ to the minimal non-negative integer $l > m$ such that for each vertex u that has been visited and $(u, v) \in E_I$, $(t(u) \bmod k) \neq (l \bmod k)$.

After every vertex v is visited, we make the assignment $s(v) = t(v) \bmod k$.

Step 4: Vertices are traversed sequentially from t in a top-down manner. When each vertex v is visited, we try to greedily find a new slot l such that $(s(\text{parent}(v)) - l) \bmod k < (s(\text{parent}(v)) - s(v)) \bmod k$, such that $l \neq s(u)$ for each $(u, v) \in E_I$, if possible. Then we reassign $s(v) = l$.

If multi-destinations in Zigbee tree-base beacon-enabled wireless sensor network used convergecast solution which this paper proposed such that wireless sensor network guarantee minimum report latency and solving Data Incorrect Problem (DIP).

5. SIMULATION RESULTS

The simulations results is show compared to the random slot assignment and our solution (our algorithm). Then, results shown in Figure 3. Figure 3(a) shows relationship between report latency of multi-destinations Zigbee wireless sensor network and number of Zigbee routers for two destinations network. However, Figure 3(b) shows relationship between report latency of multi-destinations Zigbee wireless sensor network and number of Zigbee routers for three destinations network.

Explaining, Figure 3(a) and Figure 3(b) show compared to the random slot assignment and our solution in multi-destinations Zigbee wireless sensor network. They are apparent our solution for slot assignment have report latency $L(G)$ less than random slot assignment. And, increasing of number of destinations cause decreasing-speed and increasing-report latency for the equal of number of routers in multi-destinations Zigbee wireless sensor network. Finally, our solution which proposed can indeed achieve convergecast of multi-destinations.

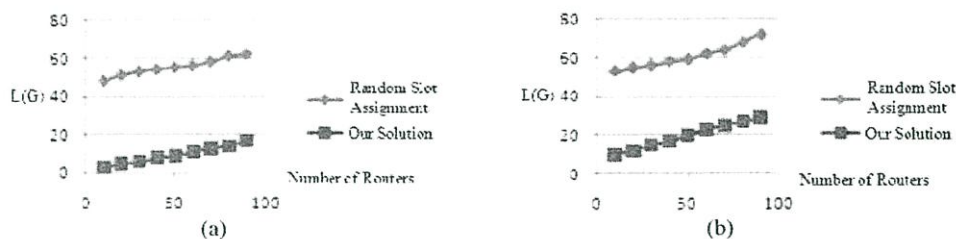


Figure 3: Graph show simulation results.

6. CONCLUSION

In this paper, we have propose convergecast solution of multi-destinations in Zigbee tree-based beacon-enabled wireless sensor network for solving DIP and decreasing report latency $L(G)$ which defined in Meng-Shiuan Pan, Yu-Chee Tseng [11]. It is a slot assignment which optimal convergecast and using accompany with network's resource for all destinations. Simulation, compared to the random slot assignment and our solution can effectively schedule the ZigBee routers' beacon times to achieve convergecast.

Future, it deserves to consider extending this work to multimedia of multi-destinations in Zigbee tree-based beacon-enabled wireless sensor network which extend from Changsu Suh, Zeeshan Hameed Mir, Young-Bea Ko [12] and multi-destinations in Zigbee mesh wireless sensor network.

REFERENCES

1. Tsou, Y.-P., C.-Y. Chen, and C.-T. Lin. "Zigbee technology development for smart home appliance application." Energy & Resource Laboratory, Taiwan, 2007.
2. Shim, S., S. Park, and S. Hong. "Parking management system using Zigbee." *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 6, No. 9B, September 2006.
3. Park, W.-C. and M.-H. Yoon. "The implementation of indoor location system to control Zigbee home network." *SICE-ICASE International Joint Conference*, Korea, 2006.
4. Yao, Q. and F.-Y. Wang. "Fellow, Location estimation in Zigbee network-based on fingerprinting." *IEEE Online*, 2007.
5. Marco, A., R. Casas, J. Falco, H. Gracia, J. I. Artigas, and A. Roy. "Location-based services for elderly and disabled people." *International Journal of Computer Communications*, Vol. 31, 2008.
6. Chae, M. J., H. S. Yoo, and J. R. Kim. "Bridge condition monitoring system using wireless network (CDMA and Zigbee)." *Proceedings of ISARC*, 332-334, 2006.
7. Kwon, J.-W., Y.-M. Park, and S.-J. Koo. "Design of air pollution monitoring system using zigbee network for Ubiquitous-City." *International Conference on Convergence Information Technology*, 2007.
8. Moraisa, R., M. A. Fernandesb, and S. G. Matosb. "A Zigbee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture." *International Journal of Computer and Electronic in Agriculture*, Vol. 62, 2008.
9. Huang, M.-C., J.-C. Huang, J.-C. You, and G.-J. Jong. "The wireless sensor network for home-care system using zigbee." *Proceedings of the Third International Conference on International Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Vol. 1, 643-646, Taiwan, 2007.
10. Ruiz-Garcia, L., P. Barreiroa, and J. I. Robla. "Performance of Zigbee-based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics." *International Journal of Food Engineering*, Vol. 87, 405-415, 2008.
11. Pan, M.-S. and Y.-C. Tseng. "Quick convergecast in Zigbee beacon-enabled tree-based wireless sensor networks." *International Journal of Computer Communications*, Vol. 31, 999-1011, 2008.
12. Suh, C., Z. H. Mir, and Y.-B. Ko. "Design and implementation of enhanced IEEE 802.15.4 for supporting multimedia service in wireless sensor networks." *International Journal of Computer Communications*, 2008.

ประวัติผู้เขียน

นายภากร จูเหล็ก เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้