

แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์  
ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี

Monitoring system platform for wireless sensor network using  
Zigbee technology



รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ มิตะถา (หัวหน้าโครงการ)  
นายภากร จูเหล็ก (ผู้ร่วมโครงการ)

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้องานวิจัย**

แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์  
ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี

Monitoring system platform for wireless sensor network using  
Zigbee technology

**หัวหน้าโครงการ**

รองศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ มิตะถา

**ผู้เข้าร่วมโครงการ**

นายภากร จูเหล็ง

**หน่วยงาน**

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์  
ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี โดยให้สามารถทำงานพื้นฐานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้  
สายได้ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะระบบงานตรวจจับสถานการณ์ได้ (Monitoring  
System) โดยไม่วิจัยในลักษณะรูปแบบการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งส่วนสำคัญในการนำเสนอ คือ  
การพัฒนาวิธีการใหม่ในการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย กล่าวคือ Fast Convertcast Algorithm  
ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพสูงสุด โดยทราบ  
จากการจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบวิธีการดังกล่าวเทียบกับวิธีการที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังมี  
การนำแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้  
มาตรฐานซิกบีที่นำเสนอ ไปศึกษาประยุกต์กับกรณีศึกษา การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์  
สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากระพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ซึ่งผลจากการวิจัยเชิงคุณภาพ พบว่า  
เป็นประโยชน์อย่างมาก ถ้ามีการนำมาใช้งานตามที่แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับ  
เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายควรจะเป็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	1
1.4 ทฤษฎีแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 เนื้อหาของรายงานการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พื้นฐานของ Zigbee	4
2.2 เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ	5
2.3 การสื่อสารข้อมูลของ Zigbee และ IEEE 802.15.4	7
2.4 Protocol ของ Zigbee และ IEEE 802.15.4	10
2.5 การประยุกต์ใช้งาน Zigbee และ IEEE 802.15.4	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 ลักษณะและปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	23
3.1 ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	23
3.2 ปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์	28
บทที่ 4 การส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของเครือข่าย	33
4.1 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย	33
4.2 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	36
บทที่ 5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของเครือข่าย	41
5.1 การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย	41
5.2 การทดสอบและการจำลองเครือข่าย	46
5.3 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	63
6.1 Hardware ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	63
6.2 Software ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	68
6.3 ภาพรวมของแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์	68
6.4 กรณีศึกษา	70
6.5 ผลการศึกษาจากกรณีศึกษา	72
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
7.1 สรุปผลการวิจัย	73
7.2 ข้อเสนอแนะ	75
บรรณานุกรม	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b	6
2.2 อัตราการส่งข้อมูลของ Zigbee Bluetooth และ IEEE 802.11b	7
2.3 อัลกอริทึม CSMA-CA	8
2.4 การส่งข้อมูลไป Coordinator	9
2.5 การส่งข้อมูลจาก Coordinator	10
2.6 สถาปัตยกรรมของ Zigbee	11
2.7 ยานความถี่ของ IEEE 802.15.4	12
2.8 โครงสร้างของ Superframe	12
2.9 ระบบ multimedia บนเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย	18
2.10 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์	18
2.11 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร	19
2.12 อุปกรณ์ของระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร	19
2.13 เปรียบเทียบความล่าช้าเครือข่ายจากการใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน	21
3.1 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์	24
3.2 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์	26
3.3 ตัวอย่างระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำ	27
3.4 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง	28
3.5 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม	29
3.6 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย	30
3.7 ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย	31
4.1 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยโซลูชันมาตรฐาน Zigbee	34
4.2 โครงสร้างของ Superframe	36
5.1 การวิเคราะห์ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย	42
5.2 ตัวอย่างปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย	42
5.3 ตัวอย่างการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย	43
5.4 โครงสร้างของ Superframe	44
5.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ L(G)	47
5.6 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TS(G)	48
5.7 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TT(G)	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ L(G)	49
5.9 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TS(G)	50
5.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TT(G)	50
5.11 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ L(G)	51
5.12 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TS(G)	52
5.13 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TT(G)	52
5.14 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ L(G)	53
5.15 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TS(G)	54
5.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TT(G)	54
5.17 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ L(G)	55
5.18 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TS(G)	56
5.19 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TT(G)	56
5.20 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ L(G)	57
5.21 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TS(G)	58
5.22 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TT(G)	58
5.23 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	59
5.24 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	60
5.25 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	60
5.26 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	61
5.27 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	61
5.28 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2	62
6.1 Microcontroller: PIC	63
6.2 สถาปัตยกรรมของ PIC32	64
6.3 Zigbee Module	65
6.4 การเชื่อมต่อของ Xbee	66
6.5 การเชื่อมต่อของ Xbee กับ MCU	67
6.6 ตัวอย่างการต่อ Xbee กับ Microcontroller PIC16F877	68
6.7 แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์	69
6.8 ระบบจากกรณีศึกษา	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน การใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตัวจับไร้สายเกิดขึ้นมากมาย เพื่อที่จะทำให้การใช้ชีวิต รวมถึงช่วยทำให้การทำงานต่างๆ ในลักษณะจำกัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การนำเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายไปใช้ในการใน Monitoring สภาพแวดล้อมเพื่อการเลี้ยงปลา กะพงในบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง การนำเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายไปใช้ในการช่วยเหลือบุคคลสูงวัย หรือบุคคลพิการให้สามารถใช้ชีวิตอยู่ในสถานที่ได้อย่างสะดวกและปลอดภัยยิ่งขึ้น และการนำเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายไปใช้ในกิจการทางด้านการทหาร เพื่อการรักษาความปลอดภัย หรือการเฝ้าระวังในพื้นที่ที่เสี่ยงภัยต่างๆ เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาและออกแบบแพลตฟอร์มระบบสมองกลฝังตัวสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตัวจับไร้สายให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้นและให้มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายอุปกรณ์ตัวจับไร้สายให้สามารถทำงานได้รวมเร็ว ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระบบสมองกลฝังตัวสำหรับระบบตรวจจับสถานการณ์
- 1.2.2 เพื่อศึกษามาตรฐานชิปที่ใช้ในระบบตรวจจับสถานการณ์
- 1.2.3 เพื่อออกแบบรูปแบบและเลือกใช้โปรตอลคอลลในระบบตรวจจับสถานการณ์
- 1.2.4 เพื่อออกแบบแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตัวจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานชิป
- 1.2.5 เพื่อทดลองการทำงานของระบบตรวจจับสถานการณ์โดยใช้มาตรฐานชิป
- 1.2.6 เพื่อทดลองประสิทธิภาพของระบบตรวจจับสถานการณ์โดยใช้มาตรฐานชิป

#### 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานชิป ในส่วนของวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มีวิธีการต่างๆมากมาย โดยแต่ละวิธีการจะมีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบอุปกรณ์ตรวจจับแตกต่างกัน ซึ่งสิ่งที่มีส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลย้อนกลับ คือ การจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของการสื่อสารข้อมูล

วิธีการจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee มีวิธีการอื่น ๆ มากมาย เช่น Random Assignment (RA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ โดยเมื่อมีการจัดลำดับของข้อมูลที่เหมาะสมแล้วจะช่วยให้ประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee ดีมากขึ้น

อีกทั้งแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีที่มีการนำเสนอ จะมีประโยชน์ต่อการใช้งานจริงในปัจจุบัน (กรณีศึกษา: การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากะพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง)

#### 1.4 ทฤษฎีแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี มีส่วนของการวิจัยซึ่งถือว่ามีผลกระทบต่อระบบมาก กล่าวคือ การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee โดย Zigbee เป็นมาตรฐานของการส่งข้อมูลมีเริ่มมีการใช้งานเกี่ยวกับระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายอย่างกว้างขวาง เนื่องจาก Zigbee เป็นมาตรฐานที่เน้นในส่วนของการใช้พลังงานต่ำ และบริษัทผู้พัฒนาอุปกรณ์การส่งสัญญาณ Zigbee พัฒนา Module ของ Zigbee ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลมากถึง 1.2 กิโลเมตร ด้วยเหตุผลสำคัญนี้ทำให้ Zigbee ถูกนำมาใช้อย่างมากในระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

การวิจัยนี้นำเสนอวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย แบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เพื่อนำมาใช้ในแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี โดยพิจารณาถึงการจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ลงใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่าย Zigbee ซึ่งลำดับข้อมูลจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน ซึ่งวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับที่นำเสนอได้เปรียบเทียบกับวิธีการต่างๆ

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในโครงการนี้ เป็นการวิจัยอุปกรณ์ระบบตรวจจับสถานการณ์ไร้สายโดยใช้มาตรฐาน ซิกบี ให้สามารถทำงานพื้นฐานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายได้ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะระบบงานตรวจจับสถานการณ์ได้ (Monitoring System) โดยไม่วิจัยในลักษณะรูปแบบการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง

กรณีศึกษาของการวิจัยจะใช้กรณีศึกษาตัวอย่าง คือ การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากะพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง เท่านั้น โดยเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ซึ่งจะนำผลการออกแบบที่ได้ไปเทียบเคียงและสอบถามข้อมูลจากผู้ที่คาดว่าจะมีการใช้งานแล้วเกิดประโยชน์

## 1.6 เนื้อหาของรายงานการวิจัย

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและมีการกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ รวมถึงปัญหาความล่าช้าของระบบที่เกิดขึ้น

บทที่ 4 กล่าวถึงอัลกอริทึมที่นำเสนอของการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่นำเสนอ

บทที่ 5 กล่าวถึงการจำลองและประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายของวิธีการที่นำเสนอ และวิธีการอื่นๆ

บทที่ 6 กล่าวถึงแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี และการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research)

บทที่ 7 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย และพื้นฐานของ แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยฉบับนี้ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษา และประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee โดยมีหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- พื้นฐานของ Zigbee
- เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ
- 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 พื้นฐานของ Zigbee

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับพื้นฐานของ Zigbee กล่าวคือ ชื่อเรียกของเทคโนโลยีการสื่อสาร ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมกรสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกันเกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee เป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายสากล กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็นกลุ่มองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไรซึ่งมีบริษัทต่างๆ เข้าร่วมเป็นสมาชิกกว่า 300 ราย Zigbee เป็นการสื่อสารแบบไร้สายที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทุนแดด ทุนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็กนานเป็นเดือนเป็นปี เหมาะสมใช้งานกับระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ (Monitoring System)

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

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 คือ แบบ 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 ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณีขึ้นอยู่กับ Sensor ที่ใช้เช่น Sensor ที่ต้องการพลังงานสูงๆ
3. Router มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

## 2.2 เปรียบเทียบ Zigbee กับมาตรฐานอื่นๆ

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

### 2.2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของเทคโนโลยีไร้สาย

WiMax จะมีลักษณะคล้ายกับการทำงานของ Wi-Fi ที่สร้าง Hot Spot หรือจุดรับคลื่นในบริเวณใดบริเวณหนึ่งรอบๆเสาสัญญาณ โดยใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่องพร้อมกันได้คล้ายๆกับระบบ LAN แต่ไร้สาย แต่ WiMax แตกต่างกับ Wi-Fi ตรงที่ WiMax จะมีรัศมีการส่งคลื่นสัญญาณได้ไกลกว่าหลายสิบเท่า ว่ากันว่ารัศมีการส่งคลื่นได้ถึงประมาณ 40-50 กิโลเมตร

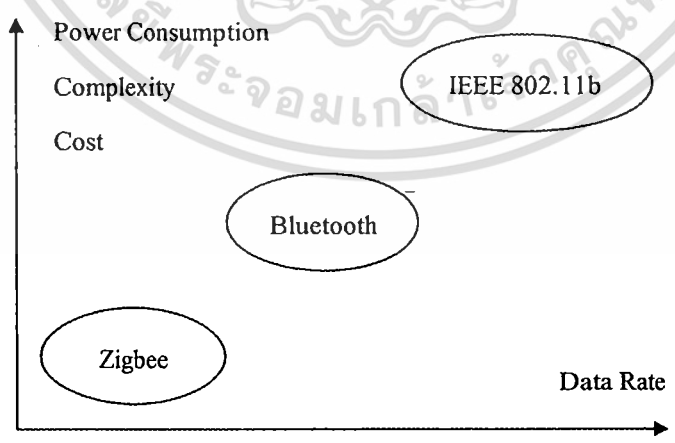
ในขณะที่ Mobile-Fi เป็นเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในขณะที่เคลื่อนที่อยู่บนรถยนต์หรือรถไฟได้ด้วย

\_\_\_ 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 จะมีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดสามารถฝังได้แม้กับในร่างกายของสิ่งมีชีวิตก็ได้

2.2.2 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	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 ด้วยเช่นเดียวกัน (20 to 250 kbps)

## 2.3 การสื่อสารข้อมูลของ Zigbee และ IEEE 802.15.4

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

### 2.3.1 CSMA-CA

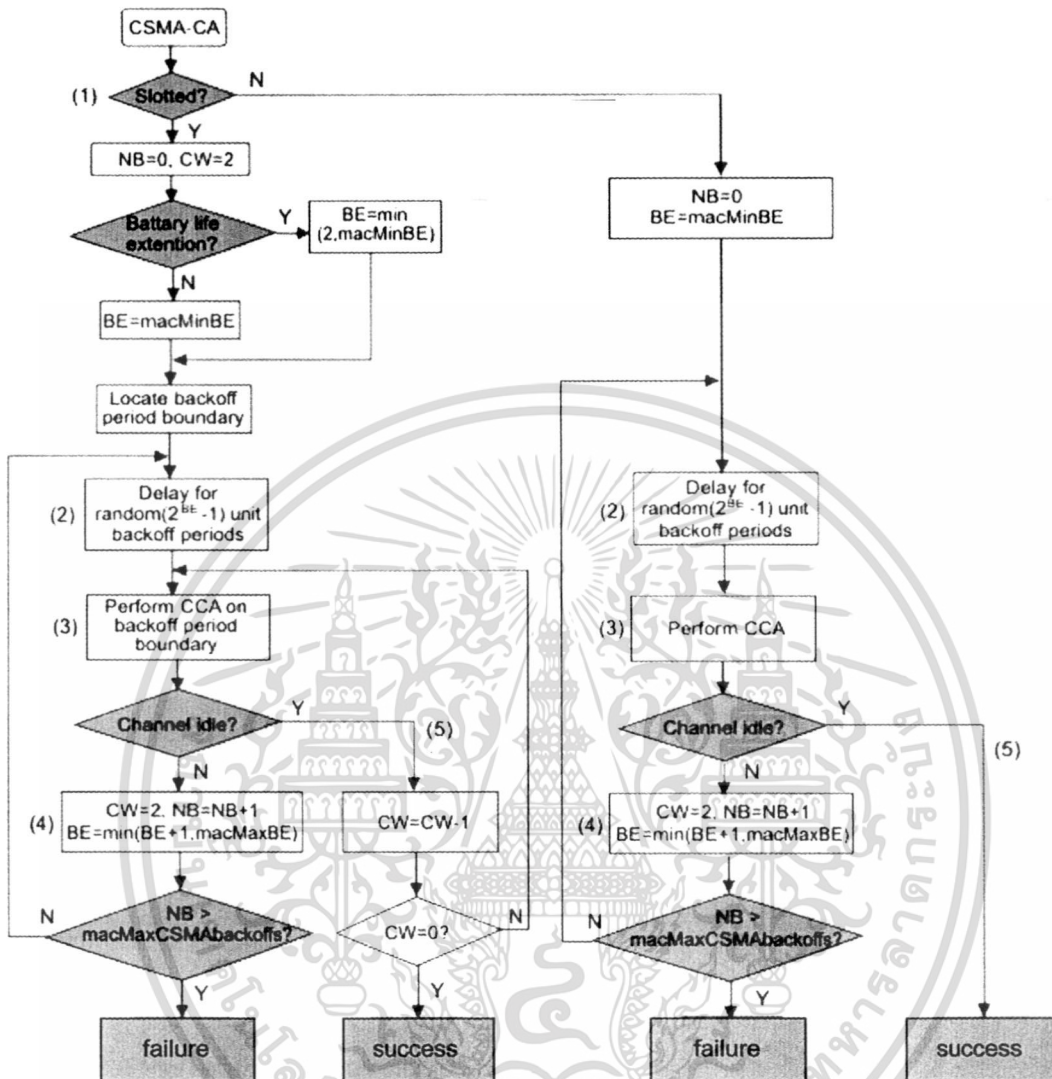
ลักษณะของการทำงานของ ZigBee คือ มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA - CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆ ทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน

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 ก่อนที่จะเริ่มการส่งข้อมูลโดยจะกำหนดค่าเริ่มต้นเป็น 2 ในแต่ละครั้ง และจะถูก reset เป็น 2 อีกครั้งเมื่อ channel มีการใช้งานอยู่

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



รูปที่ 2.3 อัลกอริทึม CSMA-CA

### 2.3.2 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 อุปกรณ์ทุกๆอุปกรณ์ในเครือข่ายมีการ Wake Up เพื่อมารับ Beacon มีการรับข้อความ Beacon มีการ Synchronize กับอุปกรณ์อื่นๆ และก็กลับไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด Sleep อีกครั้ง หมายความว่า จะต้องการมีการทำงานซ้ำๆ ลักษณะนี้ตลอดเวลา ทำให้การสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบ Nonbeacon-Enabled

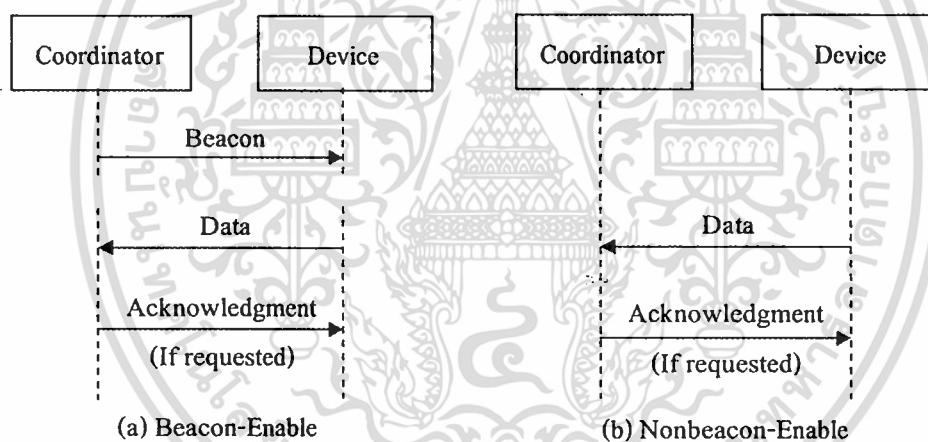
เครือข่ายแบบ Nonbeacon-Enabled คือการที่อุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายไม่มีการส่งข้อความ Beacon ในการ Synchronize อุปกรณ์ต่างๆ กล่าวคือ อุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายไม่จำเป็นต้องมีการ Synchronize เวลาของแต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย ทำให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าแบบ beacon-Enabled เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ในเครือข่ายมีการ Wake Up ที่น้อยกว่ามาก

### 2.3.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูล

รูปแบบการสื่อสารข้อมูลหรือการส่งข้อมูลในเครือข่าย Zigbee มี 3 รูปแบบ ดังนี้

- การส่งข้อมูลไปที่ Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง)

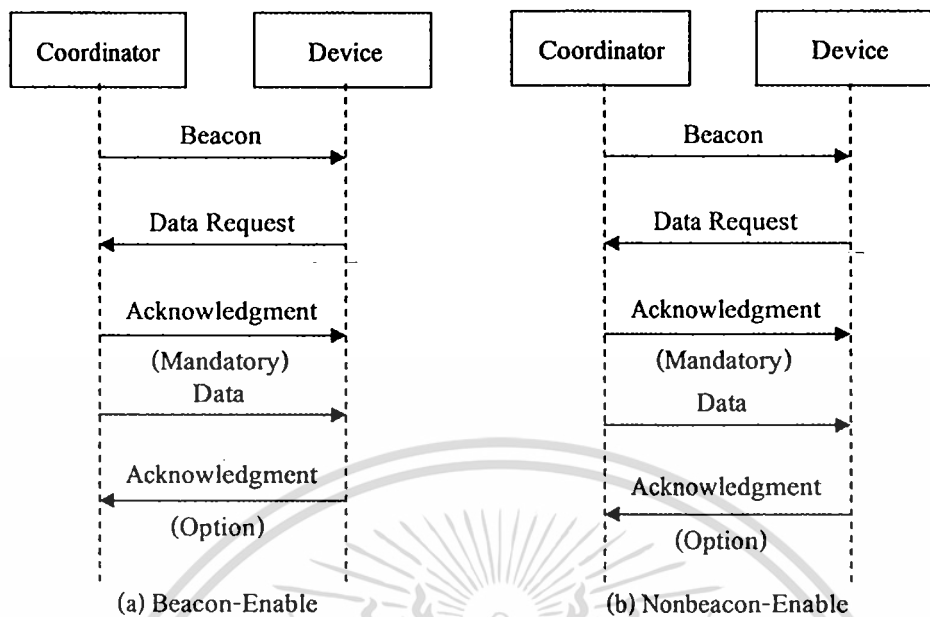
การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ ไปยัง Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) ซึ่งมีการส่งข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 2.4 การส่งข้อมูลไป Coordinator

- การที่ส่งข้อมูลจาก Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง)

การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Coordinator (อุปกรณ์ปลายทาง) ไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ในเครือข่าย ซึ่งมีการส่งข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 2.5 การส่งข้อมูลจาก Coordinator

- การที่ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์
- การส่งข้อมูลลักษณะนี้เป็นการส่งข้อมูลโดยตรงของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ในเครือข่าย

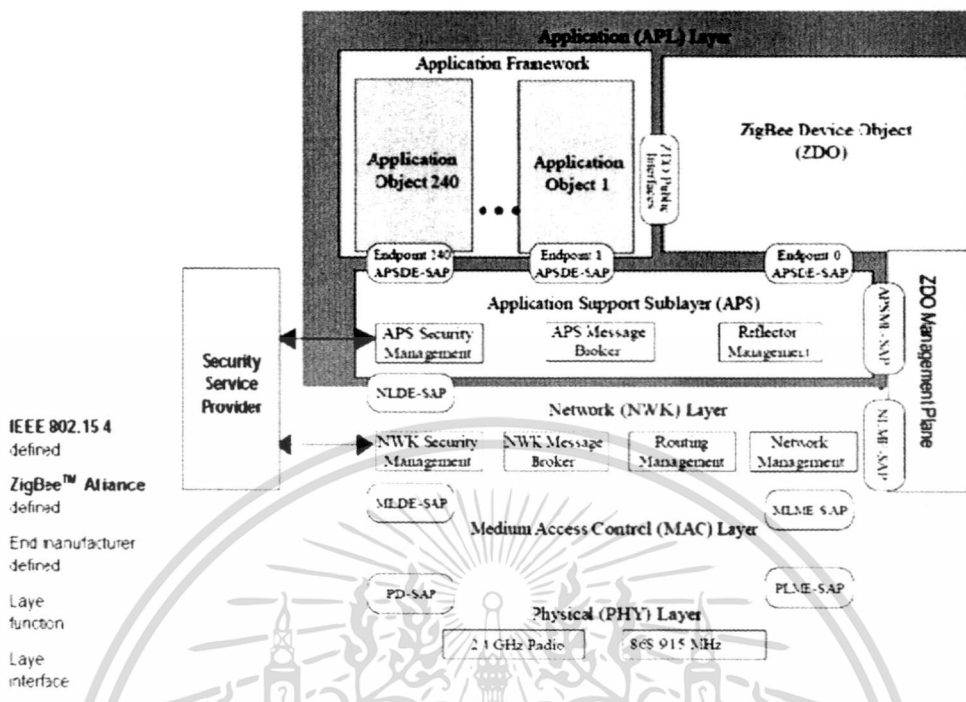
### 2.3.4 Addressing

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

## 2.4 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

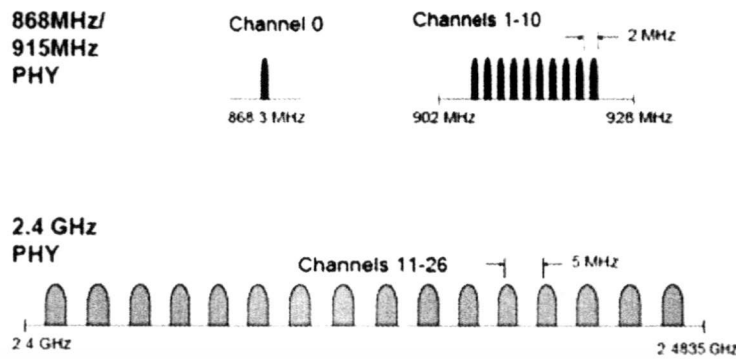


รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของ Zigbee

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

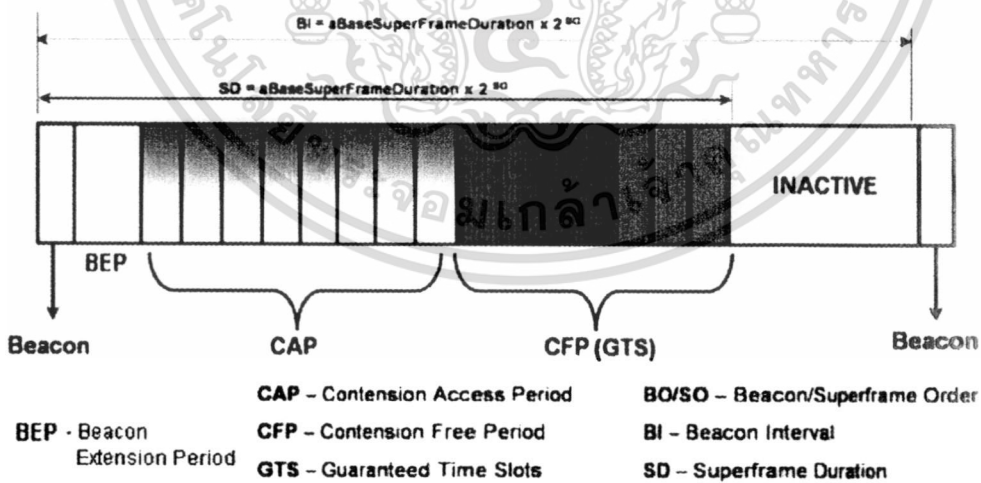
IEEE 802.15.4 ได้รับระบุ Physical และ Data link Protocols สำหรับ low-rate wireless personal area networks (LR-PAN) ใน Physical Layer มีความถี่ 3 ความถี่ กับ 27 Channel Channel 0 จะมีช่วงระหว่าง 868.0 ถึง 868.6 MHz Channel 1 ถึง Channel 10 ทำงานจาก 902.0 ถึง 928.0 MHz และแต่ละช่วงจะมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 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 หรือเราเตอร์ที่ดำรงอยู่แต่จะไม่สามารถมีอุปกรณ์ลูกได้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Superframe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zigbee Coordinator กำหนดโครงสร้างของ Superframe ของเครือข่าย Zigbee ดังรูปที่ 2.12(a) โครงสร้างของ Superframe จะถูกควบคุมด้วย 2 ส่วนคือ Beacon Order (BO) และ 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 ซึ่งต้องการอัตราการส่งข้อมูลคงที่สามารถถาม 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 ที่ถูกเลือกโดยอุปกรณ์พ่อของมัน Active Portion จะเรียกว่า Incoming Superframe (ดังที่แสดงในรูป 2.12(b)) ใน Outgoing/Incoming Superframe เราเตอร์ถูกคาดหวังที่จะรับและส่ง beacon ถึง/จากอุปกรณ์เราเตอร์ลูกหรืออุปกรณ์เราเตอร์พ่อ เมื่อการเลือก Slot Active Portion ของเราเตอร์ข้างๆ ควรจะถูกเลื่อนไกลออกไปเพื่อหลบหลีกการรบกวน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีแรงจูงใจจากการสังเกตซึ่งรายละเอียดที่กำหนดไม่ชัดเจนเกี่ยวกับการเลือกสถานที่ของ Active Portion ของเราเตอร์ซึ่งคิดว่าจะทำให้ความล่าช้าของเครือข่ายลดลงได้ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณา 2 ชนิดของการเชื่อมต่อที่ซ้อนทับกับระหว่างเราเตอร์ซึ่ง 2 เราเตอร์มี การซ้อนทับกันทางตรง ถ้าอุปกรณ์ทั้งสองรับรู้อุปกรณ์ของกันและกันได้ และ 2 เราเตอร์มี การซ้อนทับกันทางอ้อม ถ้าอุปกรณ์ทั้งสองมีอุปกรณ์ข้างๆอย่างน้อยที่สุด 1 อุปกรณ์ที่ทั้งสองรับรู้ได้ การซ้อนทับกันของทั้งสองแบบควรจะถูกหลีกเลี่ยงเมื่อมีการเลือก 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และ ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

Network layer ทำหน้าที่ใช้ในการ routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

### ขั้นตอนการทำงานของ Protocol ZigBee

#### ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee Coordinator

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

#### ขั้นตอนการทำงานของ ZigBee End-device

ZigBee End-device จะเริ่มต้นการทำงานโดยการร้องขอการเข้าร่วมเครือข่ายไปยัง Coordinator ประจำเครือข่ายนั้นๆ โดยการตรวจสอบผ่านช่องสัญญาณต่างๆ ว่า Coordinator ใช้ ช่องสัญญาณได้อยู่เมื่อเข้าร่วมเครือข่ายแล้ว End-device จึงสามารถทำการร้องขอคำสั่งอื่นๆ ผ่าน ทาง Coordinator ได้ เช่น การส่งข้อความทั่วไป (Message), การร้องขอการ Binding (Binding request), การขอยกออกจากเครือข่าย

## 2.5 การประยุกต์ใช้งาน Zigbee และ IEEE 802.15.4

### 2.5.1 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งาน ZigBee ซึ่งการประยุกต์ใช้งานนั้น จะ แบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 แบบคือ

1. ข้อมูลแบบ Periodic ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัว ตรวจสอบสัญญาณกระตุ้น เซ็คข้อมูล และทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์ และ มิเตอร์
2. ข้อมูลแบบ Intermittent เป็นลักษณะการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตซ์ไฟ
3. ข้อมูลแบบ Repetitive low latency ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อย ๆ โดยการ สื่อสารจะใช้วิธีจัดสรรช่วงเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการ นำไปใช้ในงาน เช่น เมาส์ไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน ถ้านำมาตรฐานเครือข่ายแบบไร้สาย IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้ โดยเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับยกตัวอย่างได้ดังนี้

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

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 มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นระบบเครือข่ายได้ เช่น เมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามา โทรศัพท์จะลดเสียงลงอัตโนมัติ โดยไม่ต้องเซตค่าต่างๆให้กับอุปกรณ์ แต่อุปกรณ์จะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเราภายในบ้าน โดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มแสงหลอดไฟ อุณหภูมิ เพลง ซองโทรศัพท์ และ Web Site โดยแต่ละอุปกรณ์จะเรียนรู้รสนิยมของแต่ละคนและบันทึกไว้

นอกจากนี้เราสามารถนำ Zigbee Wireless Network มาประยุกต์ใช้ในการคมนาคม กับอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆที่อยู่ตามท้องถนน ทางด่วน และที่อื่น ๆ ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆจะสื่อสารกันเองเป็นระบบเครือข่าย ในระหว่างการเดินทางของรถบนท้องถนน อุปกรณ์ที่อยู่ข้างทางจะส่งข้อมูลที่จำเป็นในการเดินทางสำหรับถนนที่รถวิ่งอยู่เช่น ความเร็วสูงสุดที่วิ่งได้ เส้นทางเป็นรถเดินทางเดียวหรือสองทาง สภาพการจราจร ข้อมูลอุบัติเหตุ เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ข้างถนนจะมีการทำงานแบบอัตโนมัติด้วยเช่น ไฟส่องทางจะลดความเข้มลงเมื่อไม่มีรถวิ่งผ่านมา และระบบควบคุมการจราจร เป็นต้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการใช้งานในปัจจุบันที่ชัดเจนในการนำ ZigBee Wireless Network ไปใช้งาน คือ การที่ ZigBee(R) Alliance ประกาศว่า สมาคม Continua Health Alliance ซึ่งเป็นองค์ชั้นนำด้านการดูแลสุขภาพและเป็นเครือข่ายบริษัทด้านเทคโนโลยีสุขภาพชั้นนำที่ไม่หวังผลกำไรได้เลือกใช้ บริการ ZigBee Health Care เป็นตัวกำหนดมาตรฐานเครือข่าย LAN (Local Area Network) ของทางสมาคม โดย ZigBee Health Care ให้บริการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายที่ช่วยรองรับการใช้งาน อุปกรณ์หลายพันรายการในเครือข่ายเดียว ทั้งนี้ สมาคม Continua Health Care ได้แนะนำการใช้ ZigBee เพื่อกำหนดและควบคุมการติดตั้งระบบการทำงานในสถานประกอบการ คริวเรือน ศูนย์กิจกรรมสันทนาการ และสำนักงานใหญ่ทั้งตั้งอยู่ทั่วทุกแห่ง

ZigBee Health Care เป็นมาตรฐานด้านการดูแลสุขภาพ ความแข็งแรง และความสมบูรณ์ของร่างกาย

ZigBee Health Care คือ บริการด้านการกำหนดมาตรฐานระดับโลกสำหรับการใช้อุปกรณ์ไร้สายที่เป็นระบบปฏิบัติการซึ่งใช้กันแพร่หลายมากขึ้น เพื่อช่วยให้การดูแลสุขภาพด้านการเฝ้าสังเกตอาการ และการรับมือกับโรคร้าย อาการผิดปกติ ปัญหาเรื่องโรคอ้วน รวมถึงภาวะชราภาพได้ตั้งแต่นั้นๆ นอกจากนี้ มาตรฐานดังกล่าวยังถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในคริวเรือน 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 และประหยัดพลังงาน ในส่วนของกิจกรรมผู้ป่วยและอำนวยความสะดวกในการติดตามข้อมูลระหว่างการส่งผ่านเครือข่ายไร้สายภายนอกอาคาร โดย ZigBee ดำเนินระบบที่ทำงานสอดประสานกับเทคโนโลยีไร้สายอื่นๆเช่นระบบ Wi-Fi ได้เป็นอย่างดี นอกเหนือจากสมาคมแห่งนี้แล้ว ZigBee Health Care ยังให้บริการโซลูชันหลากหลายที่ประหยัดต้นทุนและผ่านรับการรับรองจากผู้ประกอบการด้านอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์รายใหญ่ของโลกหลายแห่ง

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

เครื่องมือที่ใช้งานตามมาตรฐานดังกล่าวจะช่วยยืดอายุผู้ป่วยให้มีชีวิตได้ยาวนานขึ้น โดยมาตรการดังกล่าวยังเพิ่มระดับความปลอดภัยที่จำเป็นต่อการคุ้มครองข้อมูลส่วนตัวและการปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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 ที่ถูกติดตั้งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผู้บริโภค เครื่องใช้ที่ทำงานแบบอัตโนมัติภายในบ้าน และอุปกรณ์ที่มีระบบการทำงานอัตโนมัติในสถานประกอบการเชิงพาณิชย์

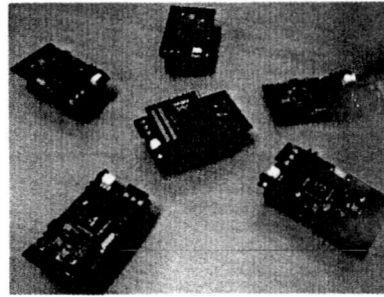
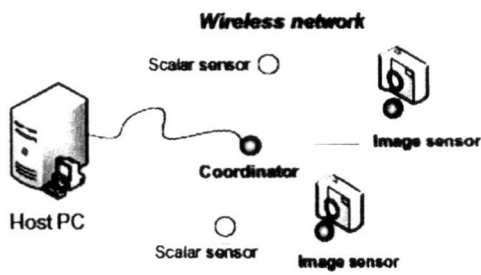
"ZigBee Alliance หวังเป็นอย่างยิ่งที่จะให้ความร่วมมือที่สร้างสรรค์และยาวนานกับสมาคม Continua Health Alliance และขอขอบคุณที่ Continua Health Alliance เลือกใช้ ZigBee Health Care" ดร.โรเบิร์ต เอฟ. เฮลีย์ ประธานของ ZigBee Alliance กล่าว "ZigBee Health Care พร้อมที่จะเป็นผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับการใช้งานในทุกวันนี้และหวังที่จะให้บริการระบบที่ผ่านการรับรองเพื่อนำไปใช้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

### 2.5.2 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



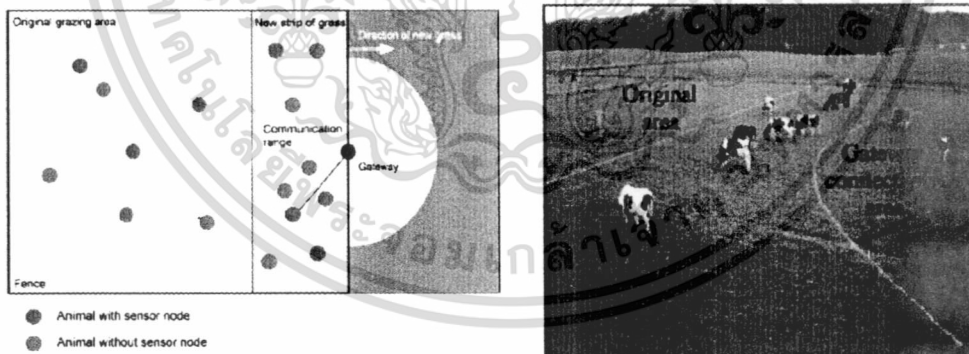
รูปที่ 2.9 ระบบ multimedia บนเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

### 2.5.3 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 2.10



รูปที่ 2.10 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์

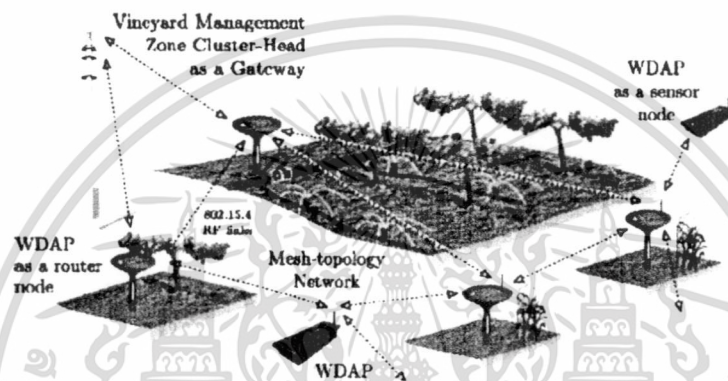
### 2.5.4 ระบบเครือข่าย Zigbee เพื่อการตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร

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

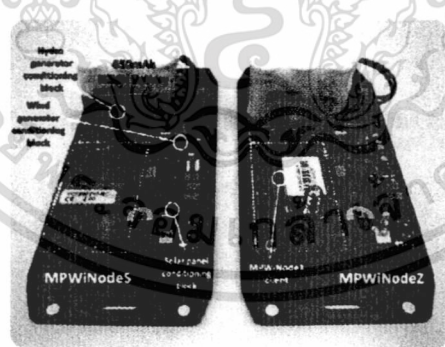
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) เพื่อการทำ การเกษตร ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้ มาตรฐาน Zigbee อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12



รูปที่ 2.11 ระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ของระบบตรวจจับสภาพแวดล้อมการเกษตร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่างๆที่นำเสนอข้างต้น เป็นงานวิจัยที่มีการ เผยแพร่ในต่างประเทศ โดยแสดงให้เห็นว่า ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน การใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ ตรวจจับ หรือการใช้งานทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย มีการใช้งานอย่างมากและแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะนำมาใช้ให้เกิดความสะดวกสบาย ความปลอดภัย รวมถึงความแม่นยำ เป็นต้น และแสดงให้เห็นอีกว่า เทคโนโลยีในปัจจุบันที่มีการใช้งานทางด้านการสื่อสารในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network : WSN) มีอยู่หลายเทคโนโลยี เช่น RFID (Radio Frequency Identification) Bluetooth เป็นต้น แต่มีเทคโนโลยีที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารที่เริ่มเข้ามามีบทบาทอย่างมากในระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย คือ Zigbee โดยได้มีผู้พัฒนาระบบทางด้านระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายด้วย Zigbee มากมายดังตัวอย่าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆข้างต้น

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

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 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

### 2.6.2 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

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

ผู้แต่ง Meng-Shiuan Pan และ Yu-Chee Tseng

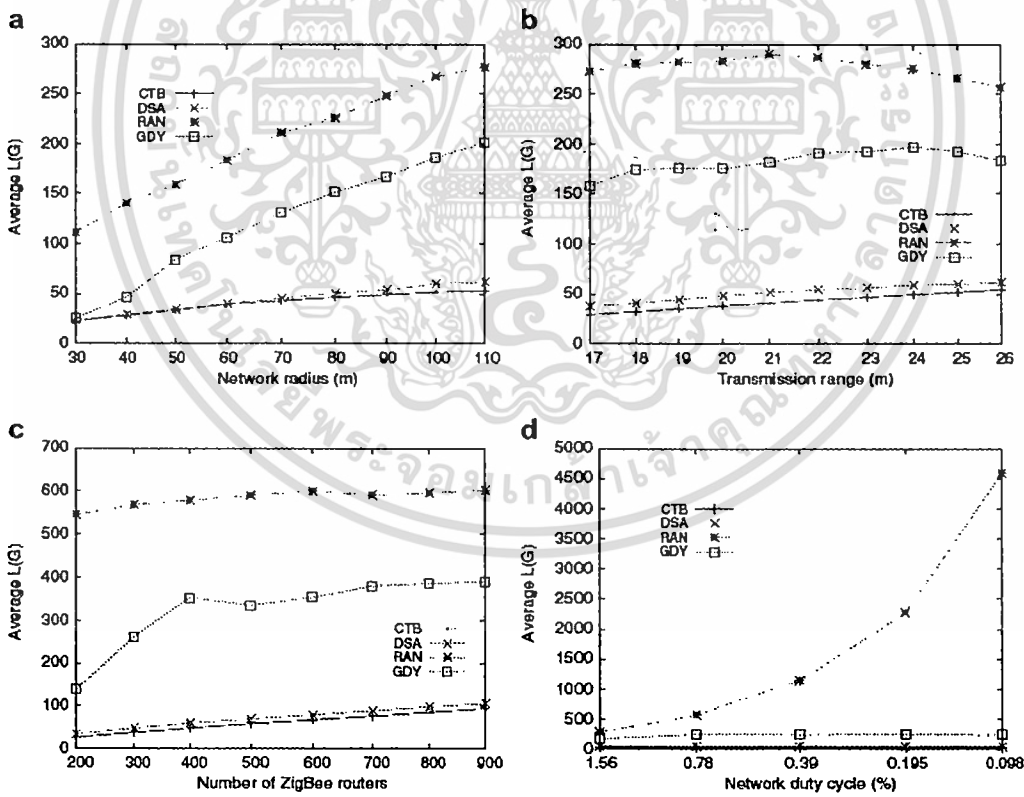
งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการส่งกลับข้อมูลซึ่งเป็นการทำงานขั้นพื้นฐานในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับแบบไร้สาย ในปัจจุบันการแก้ปัญหาการส่งข้อมูลกลับจะเป็นการเพิ่มความเร็วของเครือข่ายและลดการสิ้นเปลืองพลังงาน อย่างไรก็ตามการออกแบบที่ดีควรจะสอดคล้องกับมาตรฐานซึ่งจะต้องพิจารณาในส่วนนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการให้นิยามของ MDBS (minimum delay beacon scheduling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

proble) สำหรับการส่งกลับข้อมูลอย่างรวดเร็วในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยใช้มาตรฐานซิกบีและปัญหานี้คือรูปแบบ NP-complete การพัฒนาจะคำนึงถึงการออกแบบที่สิ้นเปลืองพลังงานต่ำของ 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 2.13 เปรียบเทียบความล่าช้าเครือข่ายจากการใช้อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลของงานวิจัยนี้ คือ วิธีการที่นำเสนอ Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ทำให้เกิดความล่าช้าของการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งอุปกรณ์น้อยกว่าวิธีการอื่นๆที่นำมาเปรียบเทียบ (Random Assignment (RAN) และ Greedy Assignment (GDY))



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ลักษณะและปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

ในส่วนของบทนี้เป็นการกล่าวถึงลักษณะของ เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย และมีการอธิบายถึง ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานในลักษณะเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบ อุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งพิจารณาปัญหาที่สำคัญ 3 ปัญหาโดยมีหัวข้อต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย
- ปัญหาของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์
  - ปัญหาของการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย
    - : Data Collision Problem (DCP)
  - ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย
    - : Data Incorrect Problem (DIP)
  - ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย
    - : Delay Beacon Scheduling Problem (DBP)

### 3.1 ลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

#### 3.1.1 คำจำกัดความ

แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีที่วิจัยในงานนี้ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทั่วไปได้ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอรูปแบบเป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อการศึกษามากขึ้น ในส่วนนี้ขออธิบายถึงคำจำกัดความต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

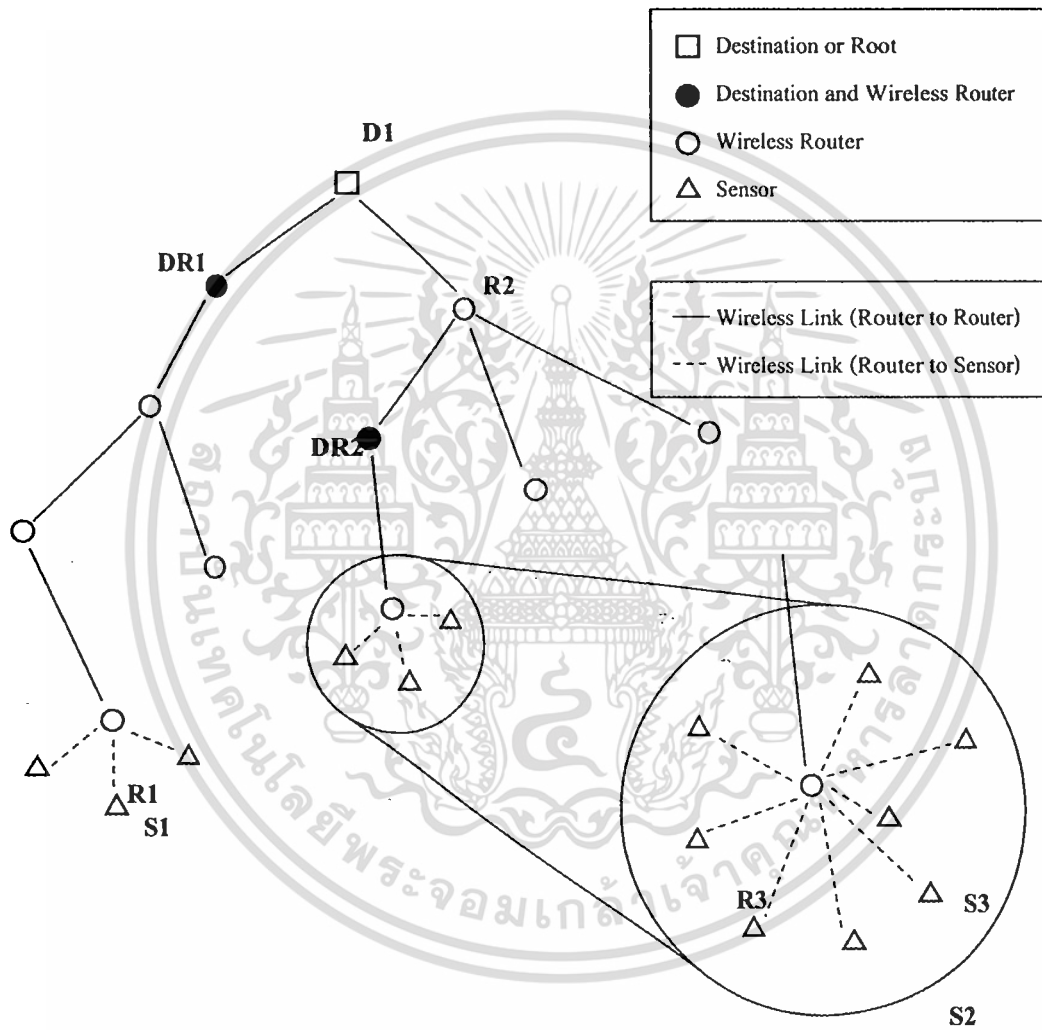
อุปกรณ์ปลายทาง (Destination) หมายถึง อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่มีความต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) หมายถึง อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่ทำหน้าที่ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ หรือสิ่งต่างๆที่เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับนั้นๆสนใจ และส่งข้อมูลที่ตรวจจับได้เหล่านั้นให้กับอุปกรณ์ปลายทาง ผ่านไปยังทางเส้นของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor Network) หมายถึง ระบบของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่สามารถทราบถึงข้อมูลที่เครือข่ายสนใจจากอุปกรณ์ตรวจจับ และสามารถส่งข้อมูลของการตรวจจับไปยังอุปกรณ์ปลายทางได้อย่างถูกต้อง

เครือข่ายไร้สาย (Wireless Sensor Network) หมายถึง เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับที่มีการส่งข้อมูลในลักษณะที่ไม่ต้องใช้สายสัญญาณ

เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจ็ับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ (Multi Destinations in Wireless Sensor Network) หมายถึง เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจ็ับไร้สาย ที่มีอุปกรณ์ที่ต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจ็ับ (Sensor) ต่างๆ มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน ซึ่งข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจ็ับทุกอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลกลับไปยังอุปกรณ์ปลายทางทุกอุปกรณ์ และอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงทุกอุปกรณ์



รูปที่ 3.1 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจ็ับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

จากรูป 3.1 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจ็ับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ตรวจจ็ับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ กล่าวคือ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจ็ับ S1 เมื่อมีการตรวจจ็ับสภาพแวดล้อมต่างๆก็จะมี การส่งข้อมูลไปยัง D1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางและเป็น Root ของเครือข่าย และข้อมูลจาก S1 อาจจะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง DR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

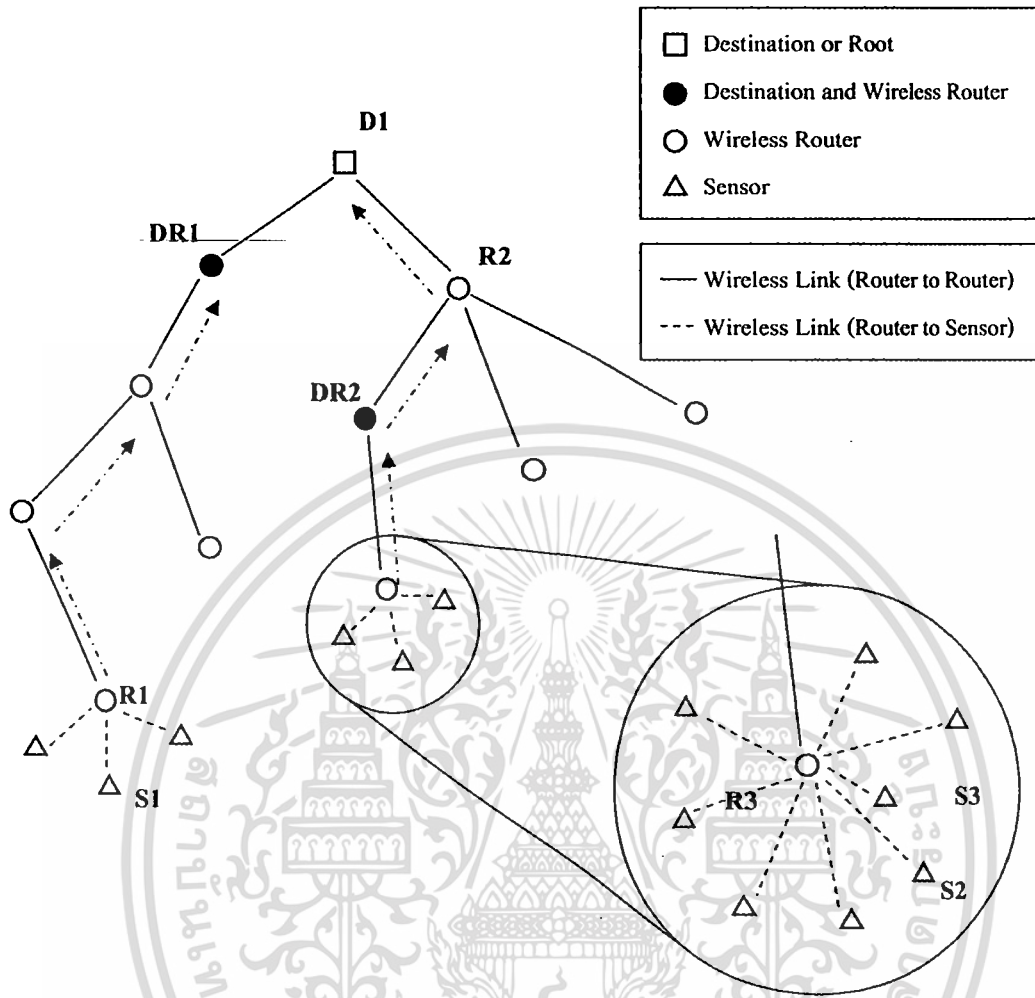
ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางอีกอุปกรณ์ด้วยเช่นกัน รวมถึงข้อมูลจาก S2 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง D1 และ DR2 ทั้งสองอุปกรณ์ด้วย หรือข้อมูลจาก S3 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR2 เพียงอย่างเดียว โดยที่ Wireless Router R1 R2 และ R3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง

### 3.1.2 การส่งข้อมูลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลาย อุปกรณ์

ลักษณะของการทำงานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยทั่วไป มีการทำงานคือ การที่อุปกรณ์ตรวจจับที่อยู่ในเครือข่ายมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะมีการนำข้อมูลที่ได้ส่งข้อมูลกลับไปยังศูนย์กลางของเครือข่าย โดยจะมีการส่งข้อมูลอีกรูปแบบหนึ่งคือ การกระจายข้อมูลจากศูนย์กลาง เป็นการทำงานในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยการส่งข้อมูลจากศูนย์กลางของเครือข่ายไปยังอุปกรณ์ปลายทางต่างๆ

การกระจายข้อมูลจากศูนย์กลาง (Broadcast) หมายถึง การที่อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ศูนย์กลางของเครือข่าย (Root) ส่งข้อมูลบางอย่าง ไปยังอุปกรณ์อื่นๆภายในเครือข่าย โดยผ่านทาง Wireless Router ต่างๆ

การส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง (Convergecast) หมายถึง การที่อุปกรณ์ตรวจจับมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะมีการนำข้อมูลที่ได้ ส่งข้อมูลกลับไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย (Root) โดยผ่านทาง Wireless Router ต่างๆ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการพิจารณาการส่งข้อมูลของเครือข่ายในลักษณะของการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางเท่านั้น

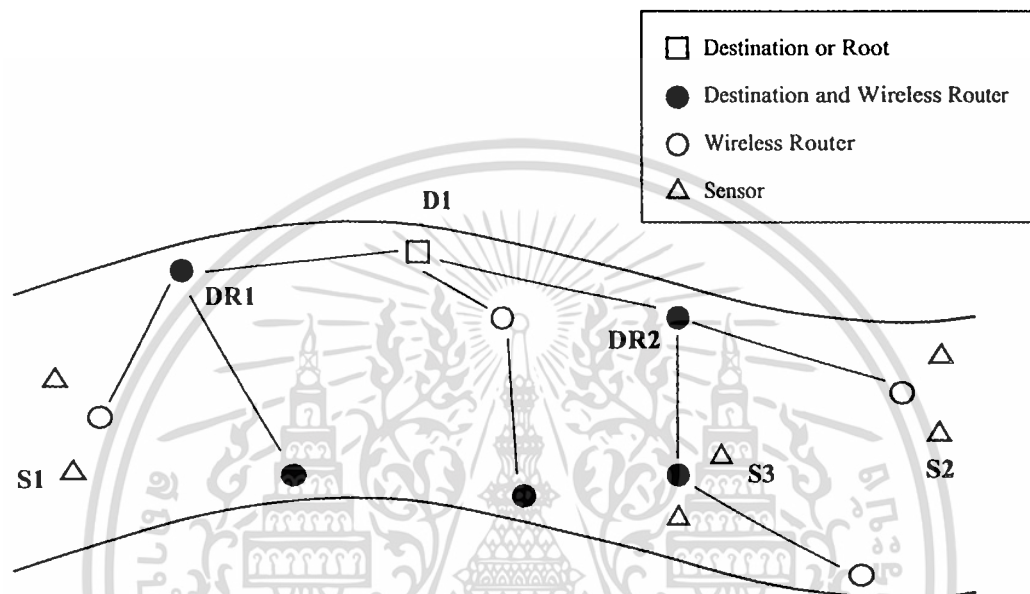


รูปที่ 3.2 การส่งข้อมูลในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.2 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 ความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์

ส่วนนี้กล่าวถึงความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งเห็นว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการใช้งานระบบติดตามสถานการณ์ หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำ

จากรูป 3.3 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ (Multi Destinations in Wireless Sensor Network) ในลักษณะของระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำในบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ความกว้างของแม่น้ำประมาณ 700 เมตร ชาวบางปะกงส่วนใหญ่มีการเลี้ยงปลากะพง ซึ่งเป็นปลาที่ทำรายได้สำคัญให้กับผู้คนในบริเวณนี้ ถ้ามีการใช้งานในลักษณะที่เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มาติดตามสถานการณ์ของแม่น้ำบางปะกง เช่น ในวันหนึ่งๆ ปริมาณออกซิเจนเหมาะกับการให้อาหารหรือไม่ หรือมลพิษในแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้นักพัฒนาวิธีการเลี้ยงปลากะพงมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และจะต้องเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์เนื่องจาก บริเวณที่เลี้ยงปลา มีบริเวณที่กว้างมากกว่าระยะทางการส่งสัญญาณ ตำแหน่งที่ต้องการข้อมูลของแต่ละคนไม่เหมือนกัน และผู้เลี้ยงปลากะพงมีความต้องการข้อมูลของแม่น้ำบางปะกงในลักษณะของข้อมูลจริงตลอดเวลาและมากกว่า 1 คน ด้วยตัวอย่างเช่นนี้ทำให้งานวิจัยนี้เห็นว่าระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์มีประโยชน์และมีความสำคัญเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

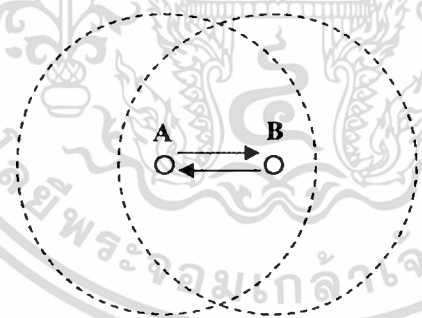
อย่างมาก กล่าวคือ จากรูป D1 เป็นกระซังปลากะพงที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย DR1 และ DR2 เป็นกระซังปลากะพงที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Wireless Router และต้องการข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้ง D1 DR1 และ DR2 ต้องการข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเวลาเดียวกัน (Real Time) 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

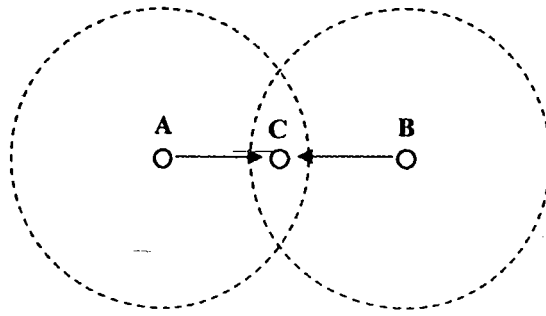
ในการใช้งานเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย จะพบปัญหาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลในเครือข่าย 2 แบบ ซึ่งทั้ง 2 แบบจะเป็นลักษณะของการชนกันของข้อมูลเนื่องมาจากการส่งข้อมูลออกอากาศเพื่อไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ มีลำดับการส่งที่ไม่เหมาะสมหรือมีเวลาในการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสม ซึ่งในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายจำเป็นต้องพิจารณาให้ปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้ง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



รูปที่ 3.4 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง

จากรูปที่ 3.4 แสดงปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยตรง กล่าวคือ เราเตอร์ A ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ B และในเวลาเดียวกันเราเตอร์ B ก็ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ A ด้วยเช่นกัน แล้ววิธีของการส่งสัญญาณของทั้งสองเราเตอร์ก็สามารถส่งสัญญาณถึงกันได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นก็จะเกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นโดยเราเตอร์ทั้งสองก็จะไม่สามารถรับข้อมูลของกันและกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



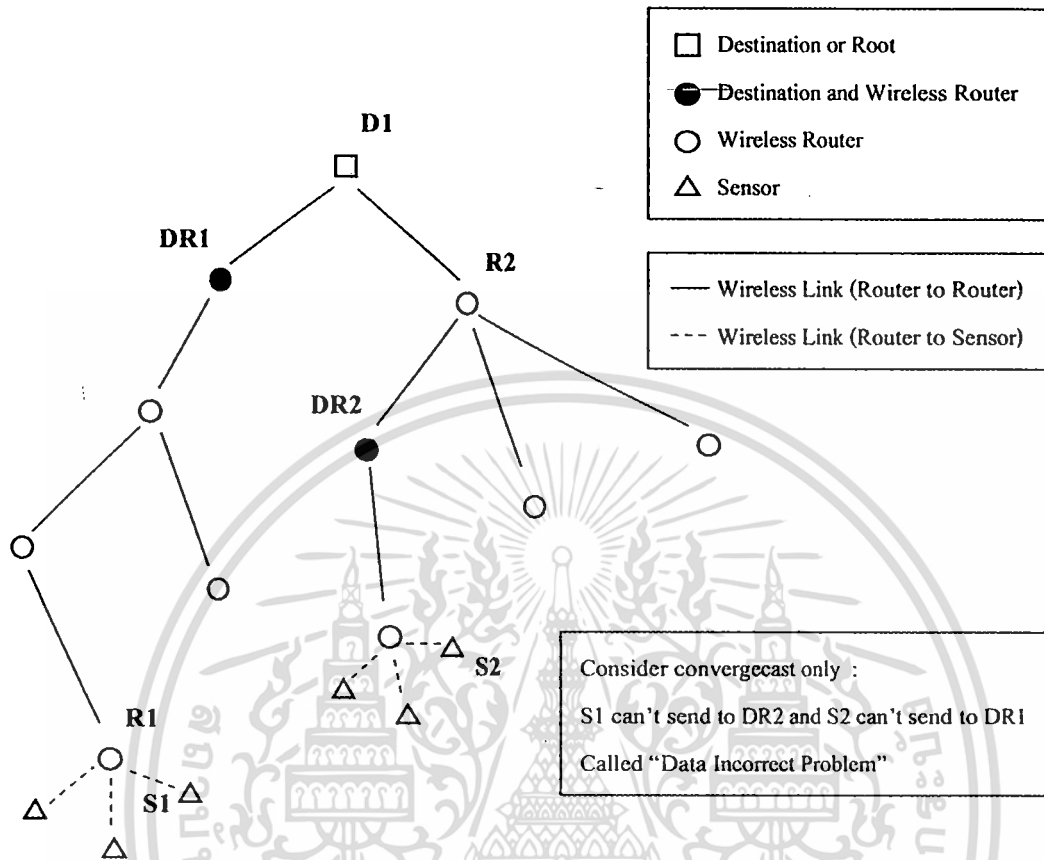
รูปที่ 3.5 ปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม

จากรูปที่ 3.5 แสดงปัญหาการชนกันของข้อมูลเครือข่ายโดยอ้อม กล่าวคือ เราเตอร์ A ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ C และในเวลาเดียวกันเราเตอร์ B ก็ต้องการส่งข้อมูลบางอย่างไปยังเราเตอร์ C ด้วยเช่นกัน แล้วรัศมีของการส่งสัญญาณของทั้งสองเราเตอร์ก็สามารถส่งสัญญาณไปยังเราเตอร์ C ได้เช่นกัน เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นก็จะเกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นโดยเราเตอร์ทั้งสองก็จะไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังเราเตอร์ C ได้

### 3.2.2 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย เป็นปัญหาที่สำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ในลักษณะที่มีการส่งข้อมูลแบบส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว (Convergecast)

ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่ายในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ หมายถึง การที่ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ ส่งข้อมูลกับยังศูนย์กลางของเครือข่ายแล้ว มีอุปกรณ์ปลายทางบางอุปกรณ์ไม่ได้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับที่ต้องการ ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการที่เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายมีการจัดโครงสร้างของเครือข่ายไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.6 ปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย

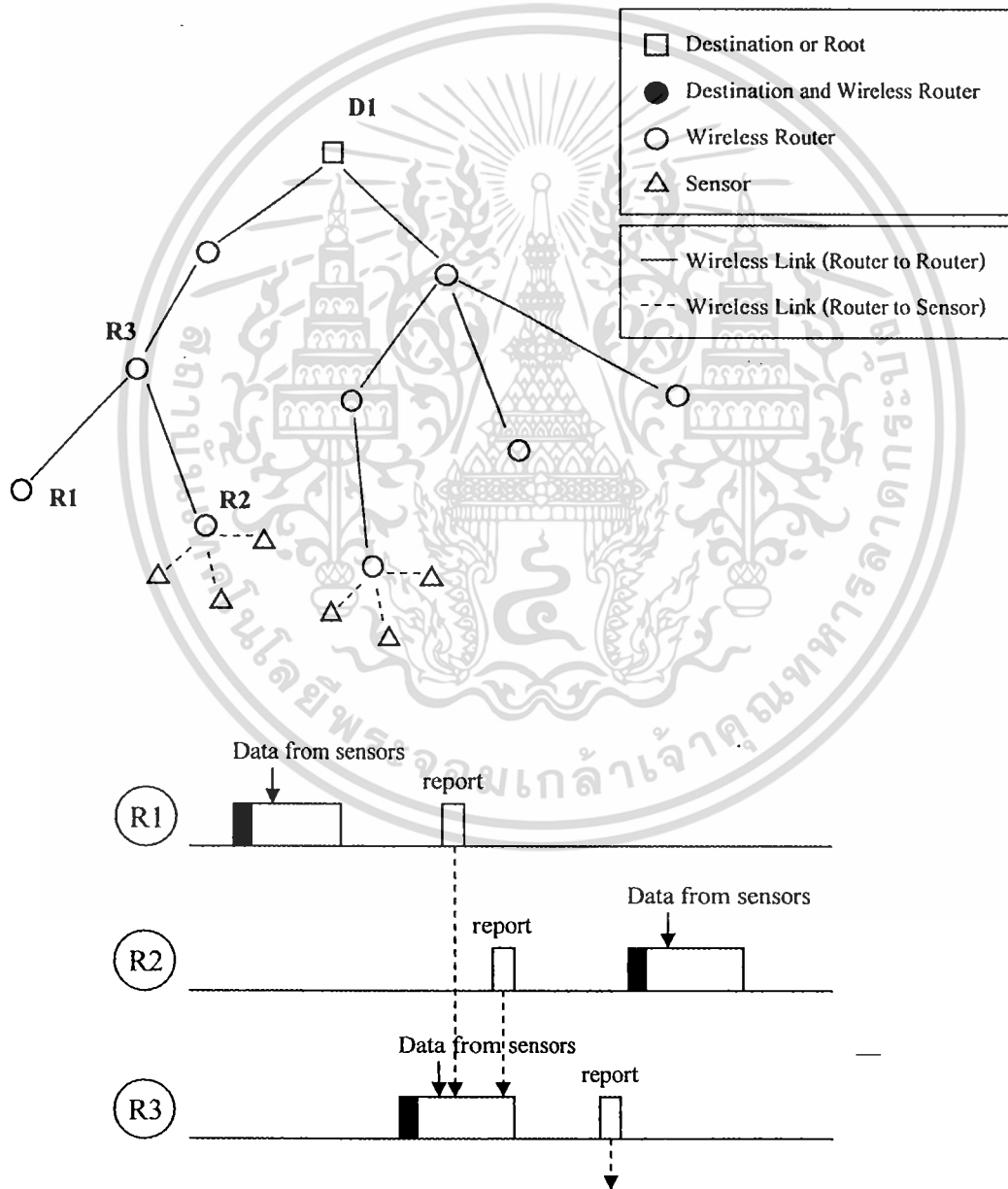
จากรูปที่ 3.6 แสดงปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย กล่าวคือ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ซึ่งอุปกรณ์ปลายทาง DR2 ต้องการข้อมูล เมื่อมีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง D1 (Convergecast) แล้ว อุปกรณ์ปลายทาง DR2 ก็ไม่สามารถทราบถึงข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 ได้ ทำนองเดียวกัน ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S2 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายนี้ เกิดขึ้นกับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยการใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable มาเป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย โดยที่ปัญหานี้เกิดจากการจัดลำดับที่ไม่เหมาะสมของการส่งข้อมูลในเครือข่าย

การจัดลำดับที่ทำให้เกิดความล่าช้าในเครือข่าย หมายถึง การจัดลำดับของข้อมูลจากอุปกรณ์ปลายทางแต่ละอุปกรณ์ใน Superframe บน Mac Layer ของการสื่อสารด้วยมาตรฐาน Zigbee ของการสื่อสารข้อมูลไม่เหมาะสม



รูปที่ 3.7 ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 แสดงปัญหาความล่าช้าของเครือข่ายเมื่อมีการใช้ Zigbee กล่าวคือ จากภาพ เราเตอร์ R1 และเราเตอร์ R2 ควรที่จะส่งข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับแต่ละอุปกรณ์บนเราเตอร์แต่ละตัวให้กับเราเตอร์ R3 เพื่อเราเตอร์ R3 จะส่งข้อมูลจากทั้งสองเราเตอร์ไปพร้อมกันให้กับเราเตอร์ในระดับบนถัดไป แต่ถ้าไม่การจัดลำดับการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสมดังภาพ ทำให้ข้อมูลของเราเตอร์ R2 ไม่สามารถถูกเราเตอร์ R3 ส่งข้อมูลไปพร้อมกับข้อมูลของเราเตอร์ R1 ได้ จึงจำเป็นต้องรอรอบของ Superframe ถัดไป ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดความล่าช้าของข้อมูลในเครือข่ายเกิดขึ้น เรียกว่า Delay Beacon Scheduling Problem (DBP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของเครือข่าย

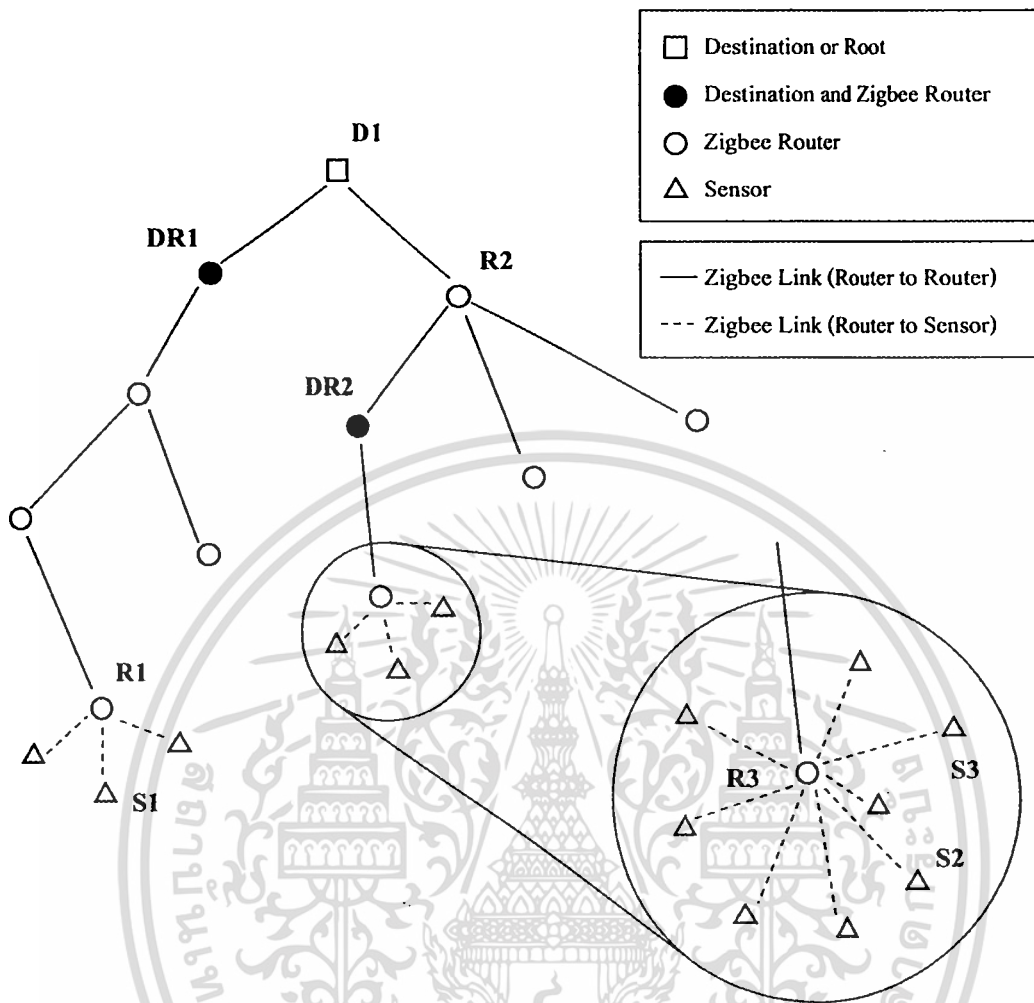
บทนี้กล่าวถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ซึ่งเป็นรูปแบบเครือข่ายที่ศึกษาในการพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ลักษณะของการสื่อสาร มาตรฐานของการสื่อสารที่มีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย กล่าวถึง การวัดเครื่องมือ หรือคุณลักษณะของเครือข่ายที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายนำเสนอ อัลกอริทึมของการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe บน Mac Layer ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee รูปแบบเครือข่ายที่เป็นลักษณะทรี (Tree Topology) โดยมีหัวข้อดังนี้

- การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย
- อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบวงแหวน
- อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายรูปแบบทรี

### 4.1 การส่งข้อมูลย้อนกลับในเครือข่าย

หัวข้อนี้จะแสดงถึงลักษณะของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable กล่าวถึง ลักษณะของการสื่อสาร มาตรฐานของการสื่อสารที่มีต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย รวมถึง รูปแบบของการสื่อสาร และรูปแบบของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่วิทยานิพนธ์นี้สนใจศึกษา

รูปแบบของเครือข่ายที่ศึกษานี้ เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ที่เป็นแบบทรี (Tree Topology) เท่านั้น ซึ่งเป็นรูปแบบเครือข่ายที่นิยม และเหมาะสมสำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย



รูปที่ 4.1 เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee

จากรูป 4.1 แสดงเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เครือข่ายรูปแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable เป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ตรวจจับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ กล่าวคือ ข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับ S1 เมื่อมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆก็จะมีการส่งข้อมูลไปยัง D1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางและเป็น Root ของเครือข่าย และข้อมูลจาก S1 อาจจะส่งข้อมูลไปยังปลายทาง DR1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ปลายทางอีก อุปกรณ์ด้วยเช่นกัน รวมถึงข้อมูลจาก S2 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง D1 และ DR2 ทั้งสอง อุปกรณ์ด้วย หรือข้อมูลจาก S3 ถูกส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง DR2 เพียงอย่างเดียว โดยที่ Zigbee Router R1 R2 และ R3 จะเป็นอุปกรณ์ที่ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ข้ออธิบายข้างต้น เป็นลักษณะของการสื่อสารของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ เครือข่ายรูปแบบทรีโดยใช้มาตรฐาน Zigbee ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการส่งข้อมูล

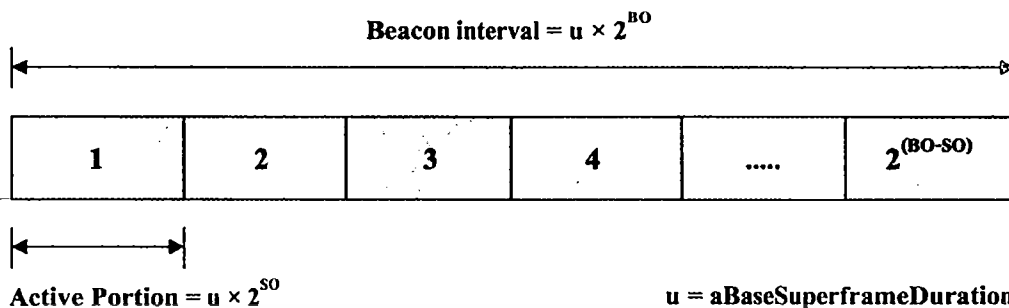
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่ายแบบทรี เพื่อให้ไม่ให้เกิดปัญหาหรือเกิดปัญหาน้อยที่สุดของปัญหาการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย (Data Collision Problem : DCP) ปัญหาของความล่าช้าในเครือข่าย (Delay Beacon Scheduling Problem : DBP) และปัญหาของการส่งข้อมูลไม่ถูกต้องในเครือข่าย (Data Incorrect Problem : DIP)

การศึกษาและพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable เป็นการพัฒนาวีธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลาง ซึ่งสิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายที่วิทยานิพนธ์นี้ศึกษา คือ การจัดลำดับของการส่งข้อมูลใน Superframe บน MAC Layer โดยวิธีการหรืออัลกอริทึมที่นำเสนอต้องมีความสอดคล้องกับมาตรฐาน Zigbee เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาต่อ และสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่รองรับมาตรฐาน Zigbee ในปัจจุบันได้ โดยมีอัลกอริทึมต่างๆ ดังนี้

- Random Assignment (RA)
- Distributed Assignment (DSA)
- Centralized Tree-Based Assignment (CTB)
- Random Plus Assignment (RPA) (พัฒนาในงานวิจัยนี้)
- Distributed Plus Assignment (DPA) (พัฒนาในงานวิจัยนี้)
- Fast Convergecast Assignment (FCA) (พัฒนาในงานวิจัยนี้)

Random Assignment (RA) เป็นอัลกอริทึมพื้นฐาน Distributed Assignment (DSA) และ Centralized Tree-Based Assignment (CTB) เป็นอัลกอริทึมซึ่งถูกนำเสนอในงานวิจัย 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] Random Plus Assignment (RPA) เป็นการพัฒนา Random Assignment (RA) ให้สามารถทำงานในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ Distributed Plus Assignment (DPA) เป็นการพัฒนา Distributed Assignment (DSA) ให้สามารถทำงานในเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ และ Fast Convergecast Assignment (FCA) เป็นอัลกอริทึมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



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

รูปที่ 4.2 โครงสร้างของ Superframe

## 4.2 อัลกอริทึมของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

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

### 4.2.1 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 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  $s(u) = n$  จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่น เท่ากับ  $p$  โดยที่  $p$  คือจำนวนเต็มที่ได้จากการสุ่ม  $p > n$  และ  $p < k$  กำหนด  $s(v) = p \bmod k$  และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว ( $u$ ) ถ้า  $(u, v) \in E_i$  แล้ว  $(t(u) \bmod k) \neq p$

#### 4.2.2 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 ว่าง 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 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  $(u, v) \in E_i$  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  $s(u) = n$  จากนั้นกำหนดให้อุปกรณ์อื่น เท่ากับ p โดยที่ p คือจำนวนเต็มทีมากที่สุด  $p > n$  และ  $p < k$  กำหนด  $s(v) = p \bmod k$  และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว (u) ถ้า  $(u, v) \in E_i$  แล้ว  $(t(u) \bmod k) \neq p$

#### 4.2.3 Fast Convergecast Assignment (FCA)

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 ว่าง node i และ node j มีการชนกันของข้อมูลในเครือข่ายทั้ง

ทางตรงและทางอ้อมเกิดขึ้น 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  $\{s_1, s_2, \dots, s_n\} \in \text{child}(D)$  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  $(u, v) \in E_i$  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  $t(v)$  เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ใช่จำนวนเต็มลบที่น้อยที่สุด ( $n$ ) โดยที่  $n > m$  และอุปกรณ์ที่กำหนดค่าไปแล้ว ( $u$ ) ถ้า  $(u, v) \in E_i$  แล้ว  $(t(u) \bmod k) \neq (n \bmod k)$

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

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  $(u, v) \in E_i$  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  $(u, v) \in E_i$  แล้ว  $(t(u) \bmod k) \neq p$

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของ เครือข่าย

กล่าวถึงการเปรียบเทียบวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลาง (Convergecast) ของเครือข่าย อุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee (Multi Destinations in Zigbee Wireless Sensor Network) กล่าวคือ เป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการพื้นฐาน โดยวิธีการที่นำเสนอเรียกว่า Fast Convergecast Algorithm (FCA) โดยเปรียบเทียบกันวิธีการพื้นฐานที่เรียกว่า Random Algorithm (RA) และ Random Plus Algorithm (RPA) ดังนี้

- การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย
- การทดสอบและการจำลองเครือข่าย
- การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

### 5.1 การวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย

การพัฒนาวิธีการส่งกลับข้อมูลของ เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon Enable ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น โดยการวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายมีการวัดจากค่าของเครือข่าย ดังนี้

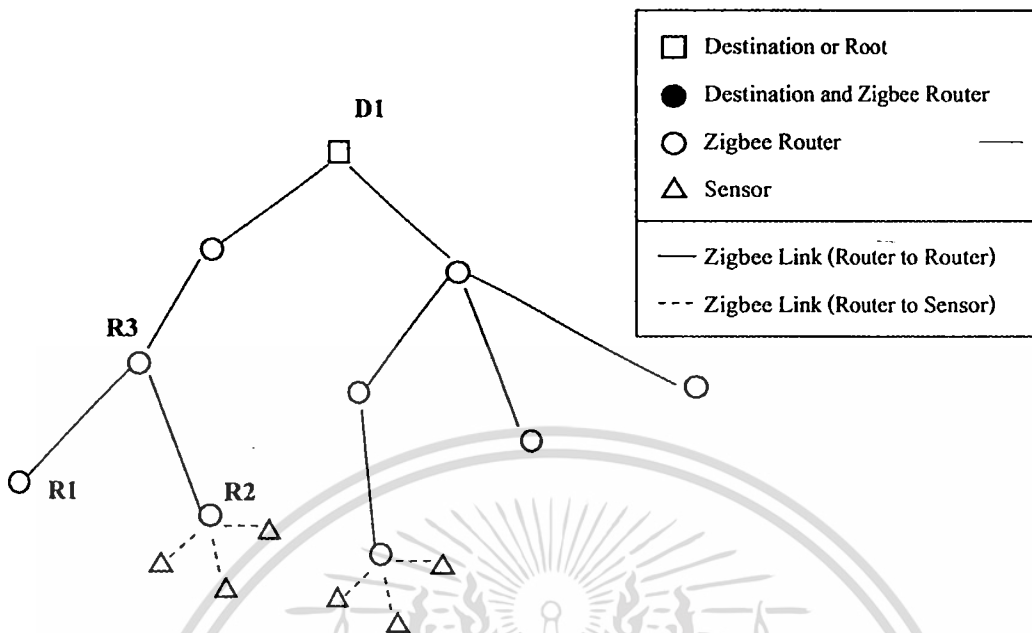
- L(G) คือ ค่าความล่าช้า (Report Latency) ของเครือข่าย
- TS(G) คือ เวลาร้อยที่สุดเมื่อเริ่มมีการส่งข้อมูลในเครือข่ายจนถึงศูนย์กลาง
- TT(G) คือ เวลาร้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานจนมีการส่งข้อมูลถึงศูนย์กลาง

การวัดประสิทธิผลของเครือข่ายมีการวัดจากค่าของเครือข่าย ดังนี้

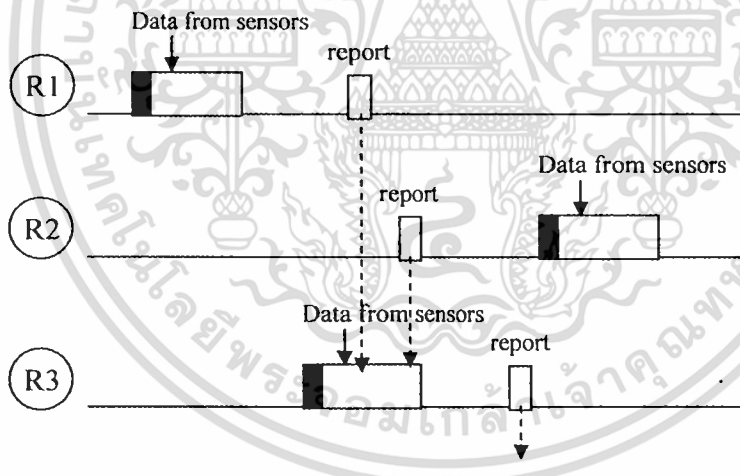
- Goodput(G) คือ อัตราส่วนของ frame ข้อมูลที่ศูนย์กลางของเครือข่ายสามารถรับได้สำเร็จ ต่อ Frame ข้อมูลทั้งหมด

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

สิ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายที่ศึกษา คือ การจัดลำดับของการส่งข้อมูลใน Suoerframe บน MAC Layer โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

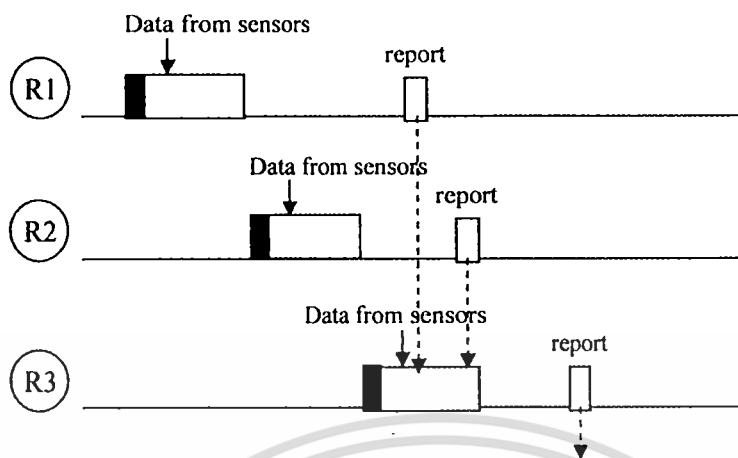


รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

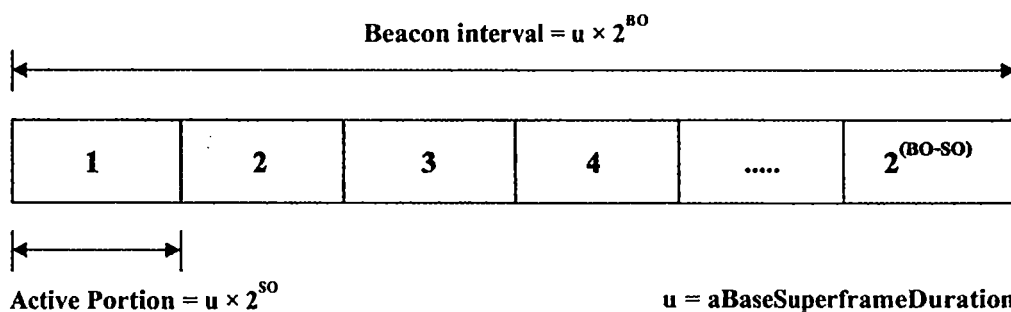


รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการแก้ปัญหาความล่าช้าของเครือข่าย

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

จากรูป 5.3 แสดงการจัดลำดับข้อมูลใน 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  $2^{80-50}$  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  $k = 2^{(80-50)}$  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)

การทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายมีการทดสอบ Goodput(G) คือ อัตราส่วนของ frame ข้อมูลที่ศูนย์กลางของเครือข่ายสามารถรับได้สำเร็จ ต่อ Frame ข้อมูลทั้งหมด และ Channel Utilization(G) คือ อัตราส่วนของการใช้ Channel จริงในเครือข่ายต่อ Channel ที่ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การทดสอบและการจำลองเครือข่าย

การทดสอบและจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบการทำงานของ Algorithm ที่นำเสนอ นั้น มีสมมติฐานของการจำลองเครือข่าย ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน

การจำลองเครือข่ายเพื่อทดสอบสมมติฐานทั้งสองข้างต้น มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการจำลองเครือข่าย ดังนี้

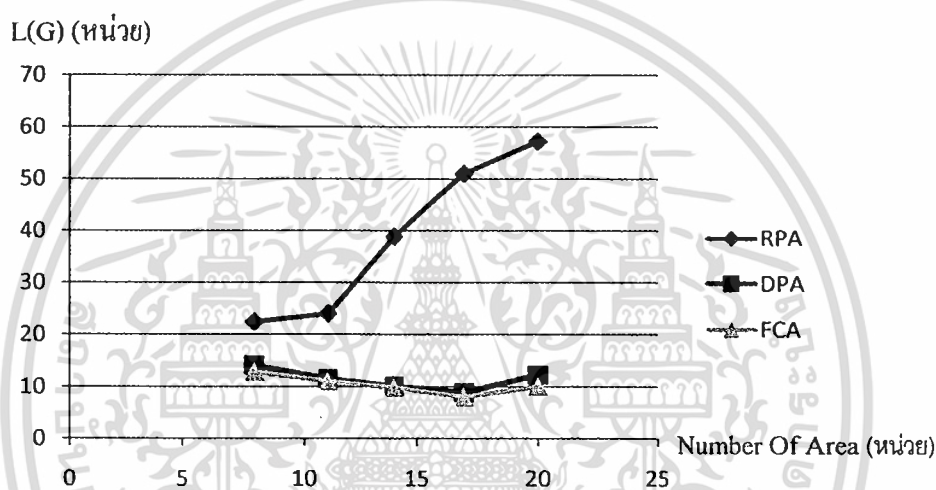
- Number Of Area คือ จำนวนของพื้นที่ ( $N \times N$ ) ช่อง
- Length Of Area คือ ระยะห่างของศูนย์กลางแต่ละช่อง (เมตร)
- Number Of Router คือ จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่าย (อุปกรณ์)
- Number Of Destination คือ จำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่าย (อุปกรณ์)
- Length Of Router คือ ระยะการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่าย (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
- Length Of Report คือ ความยาวของ Frame
- 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
- AMaxBE คือ AMaxBE ของเครือข่าย
- MacMaxCSMABackOffs คือ MacMaxCSMABackOffs ของเครือข่าย
- Number Of Retransmission คือ จำนวนครั้งที่มีการส่งข้อมูลใหม่เมื่อผิดพลาด (ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองเครือข่ายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีการจำลองบนคอมพิวเตอร์โดยการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อทดสอบปัญหาของเครือข่ายและทดสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย

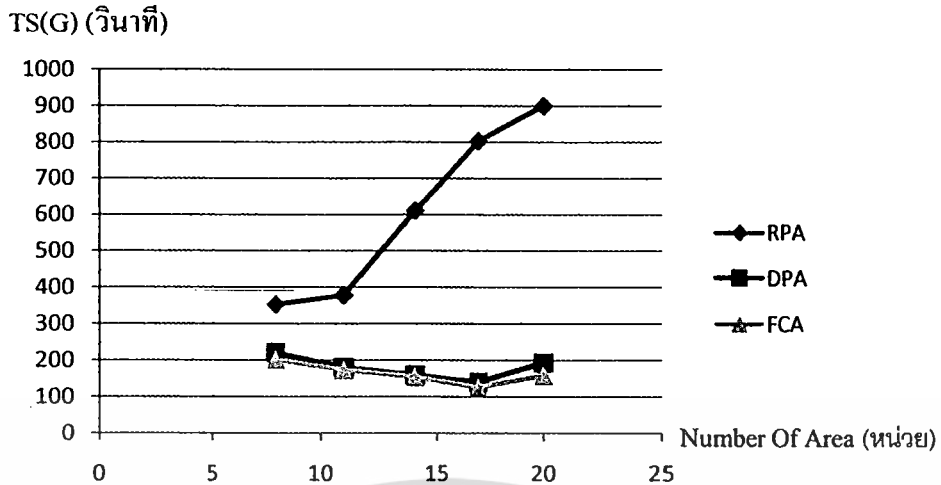
### 5.3 การจำลองเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

การจำลองเครือข่ายรูปแบบทรีเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 1 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน ได้ผลการทดสอบดังนี้



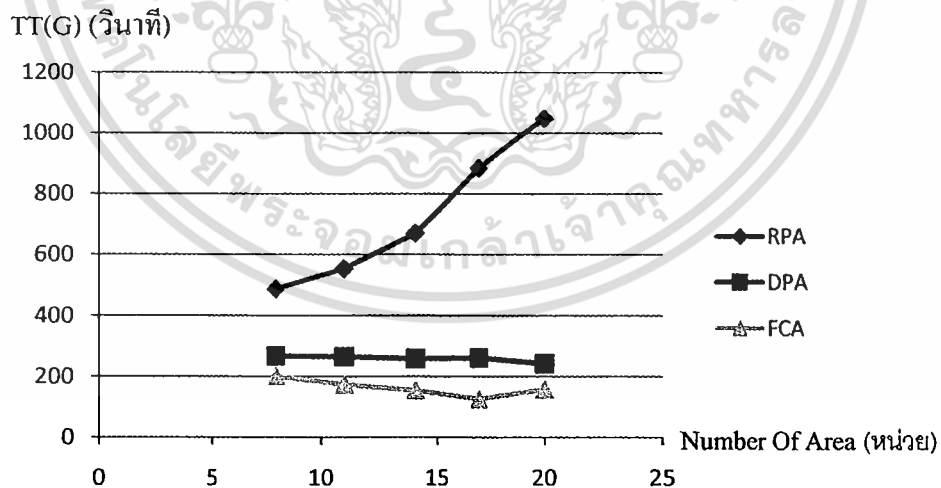
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ L(G)

จากรูปที่ 5.5 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ L(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วยและมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ L(G) และมี L(G) ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TS(G)

จากรูปที่ 5.6 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ TS(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วยและมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ TS(G) และมี TS(G) ใกล้เคียงกัน

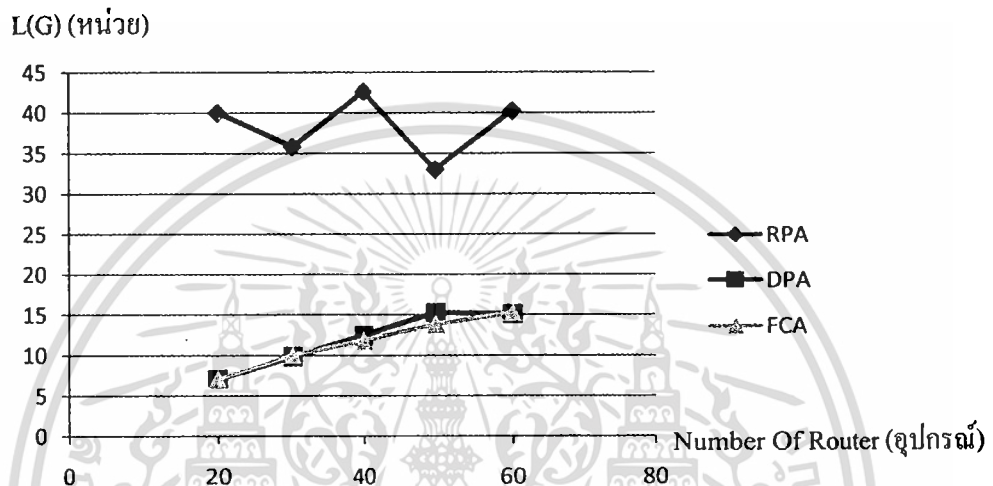


รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Area กับ TT(G)

จากรูปที่ 5.7 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งาน

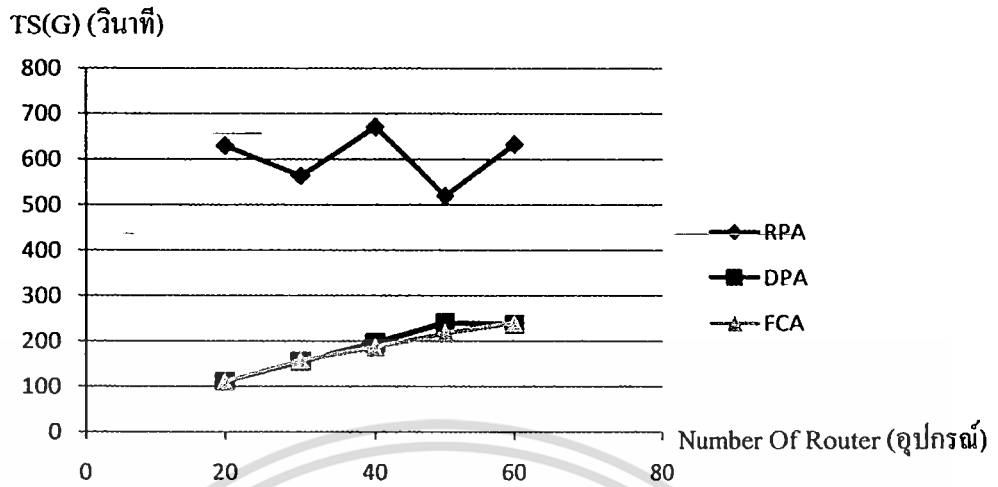
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อขนาดพื้นที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจะทำให้ TT(G) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วยและมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ขนาดไม่พื้นที่ไม่ส่งผลต่อ TT(G) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด



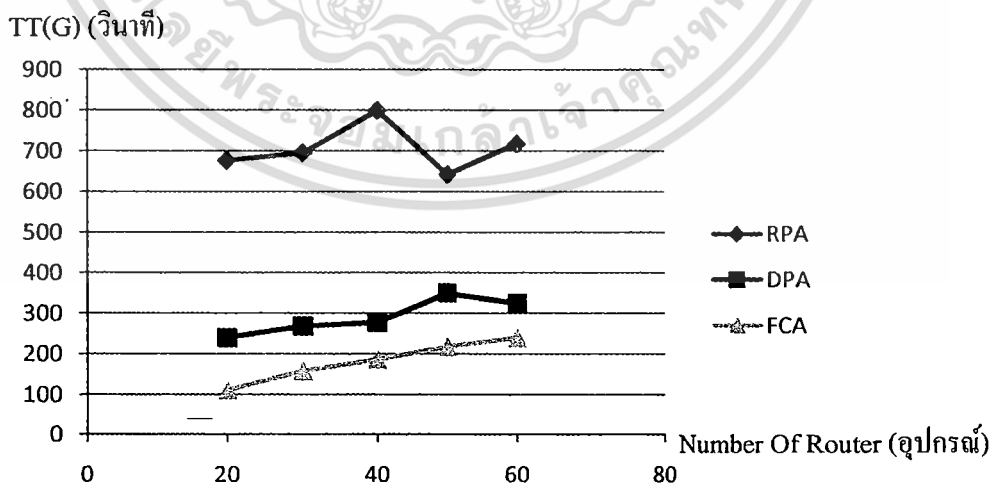
รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ L(G)

จากรูปที่ 5.8 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ L(G) แต่ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ L(G) มากขึ้นด้วยเล็กน้อยและมี L(G) ที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TS(G)

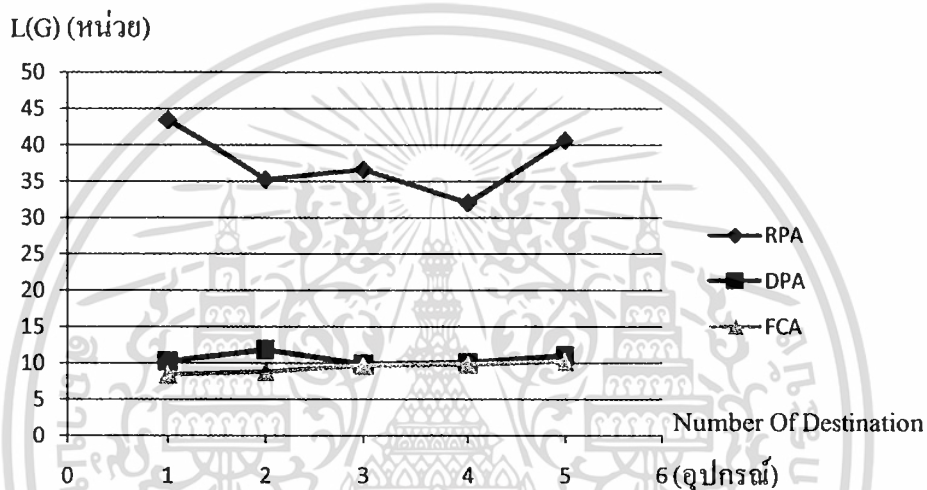
จากรูปที่ 5.9 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ TS(G) แต่ TS(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ TS(G) มากขึ้นด้วยเล็กน้อยและมี TS(G) ที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Router กับ TT(G)

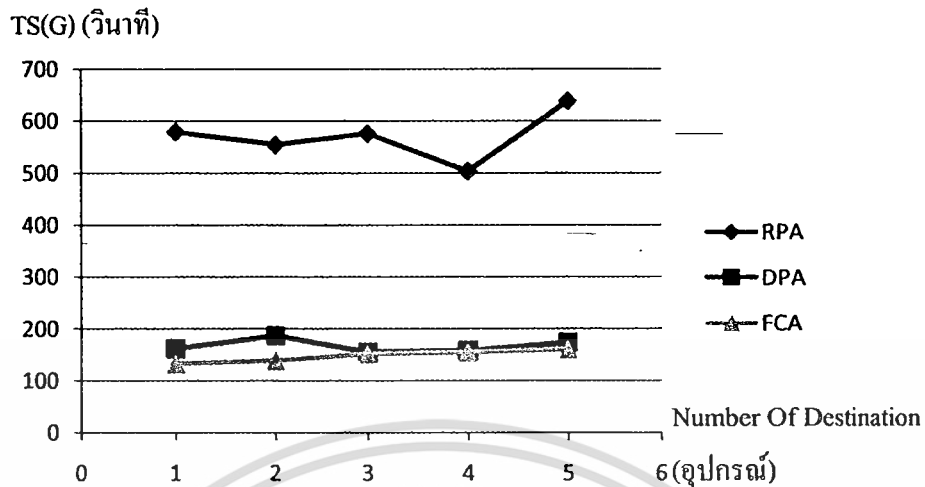
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ TT(G) แต่ TT(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) จำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ TT(G) มากขึ้นด้วยเล็กน้อยและอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ทำให้ TT(G) น้อยที่สุด



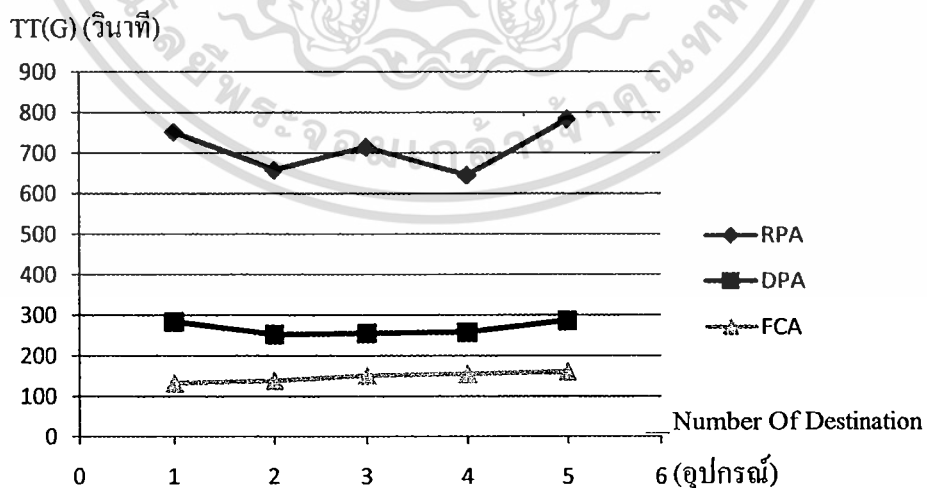
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ L(G)

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



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TS(G)

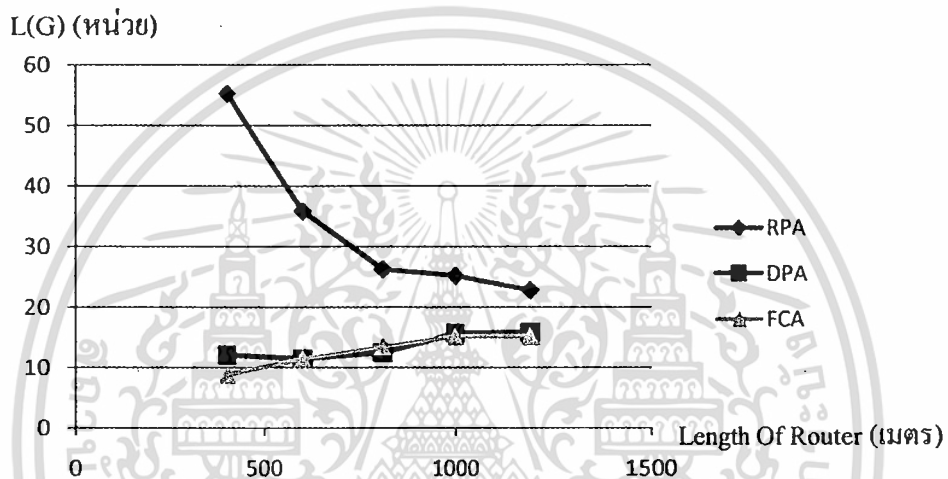
จากรูปที่ 5.12 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อจำนวนอุปกรณ์ปลายทางในเครือข่ายมากขึ้นจะไม่ส่งผลต่อ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



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของ Number Of Destination กับ TT(G)

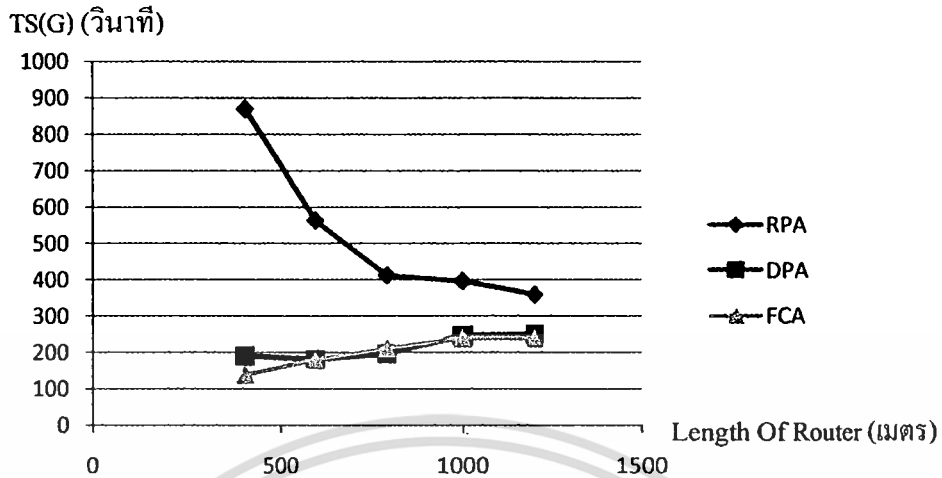
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 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



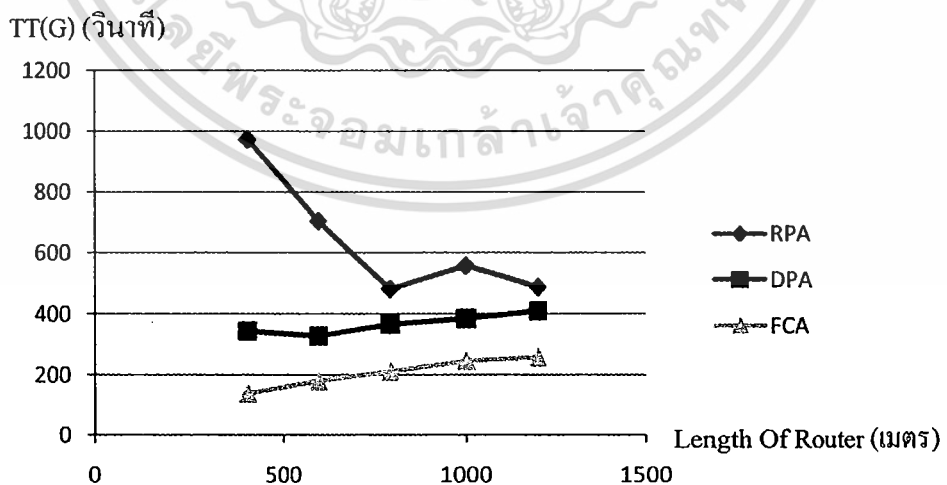
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ L(G)

จากรูปที่ 5.14 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อระยะเวลาการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ L(G) น้อยลง แต่ L(G) จะมีค่ามากที่สุด ส่วนอัลกอริทึม Distributed Plus Assignment (DPA) และอัลกอริทึม Fast Convergecast Assignment (FCA) ระยะเวลาการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลต่อ L(G) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมี L(G) ที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TS(G)

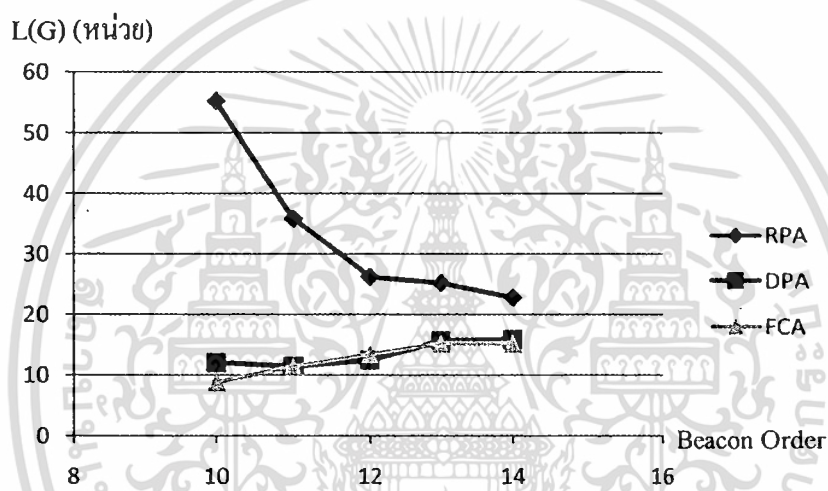
จากรูปที่ 5.15 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อระยะเวลาส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้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



รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของ Length Of Router กับ TT(G)

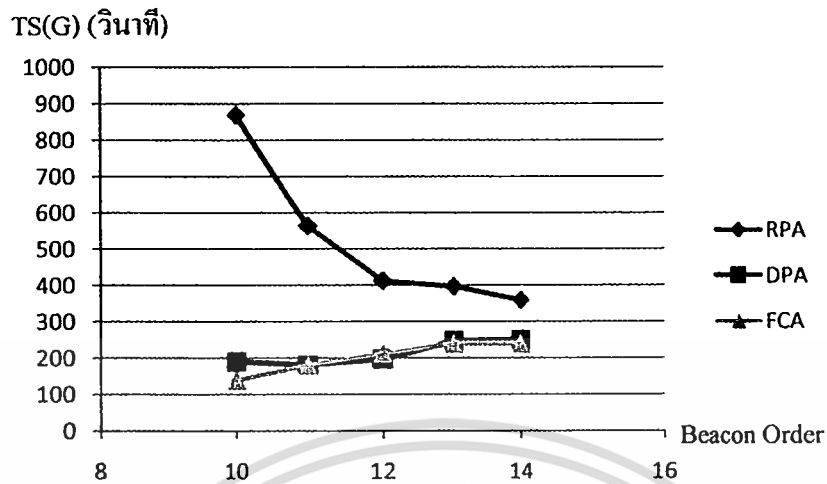
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



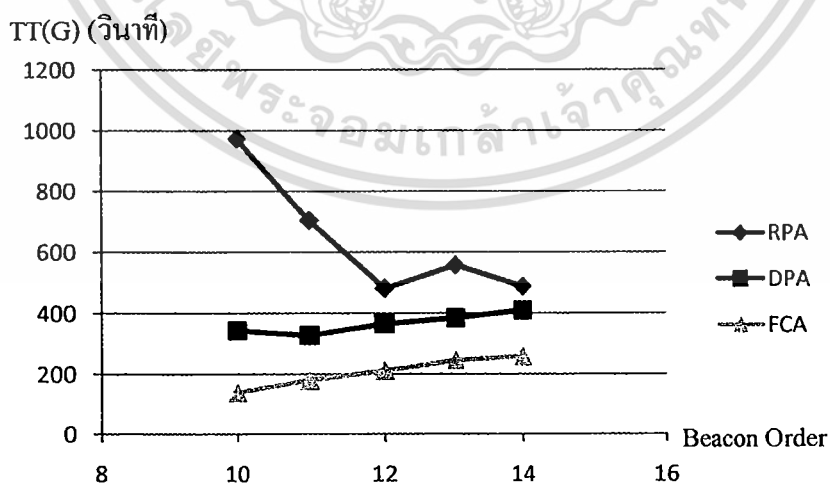
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ L(G)

จากรูปที่ 5.17 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) และ ทำให้ L(G) ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TS(G)

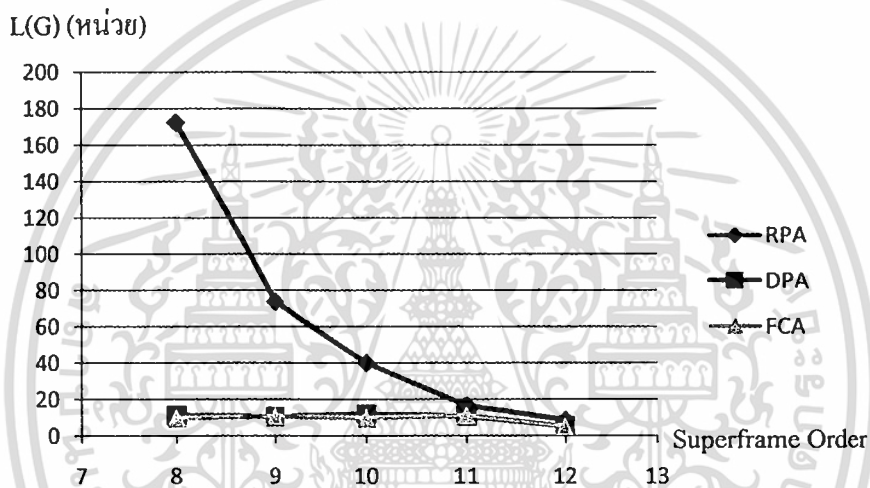
จากรูปที่ 5.18 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ Beacon Order ของเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ 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



รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ของ Beacon Order กับ TT(G)

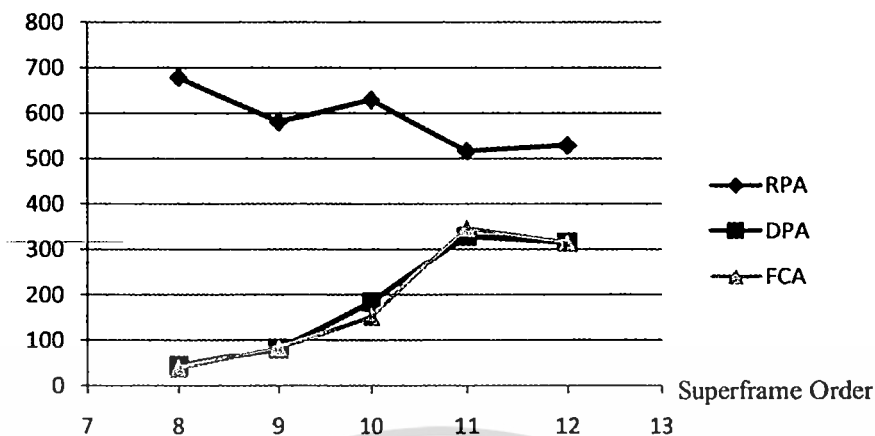
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



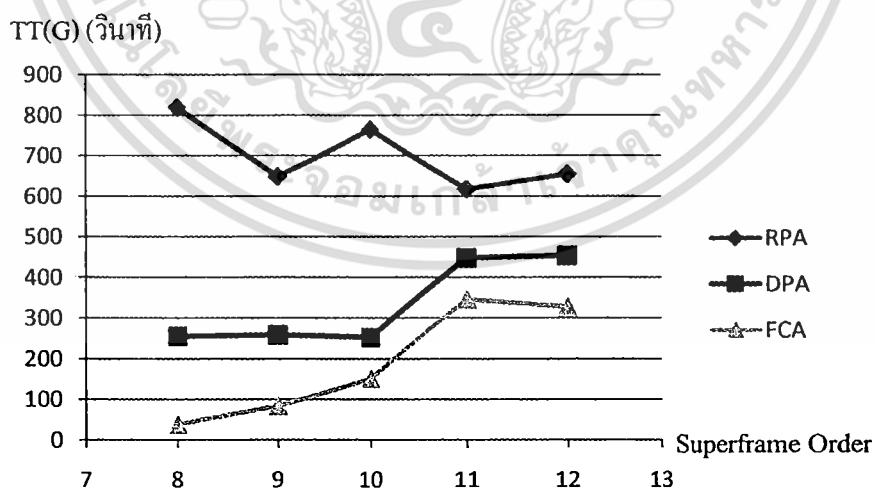
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ L(G)

จากรูปที่ 5.20 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ 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



รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TS(G)

จากรูปที่ 5.21 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

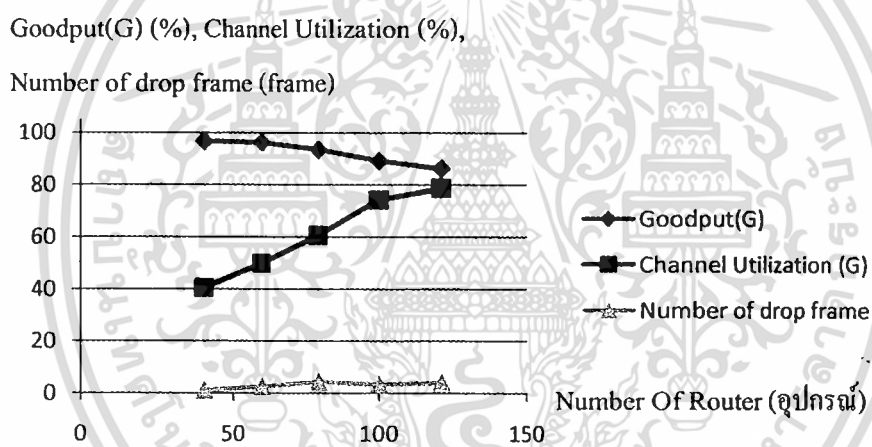


รูปที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ของ Superframe Order กับ TT(G)

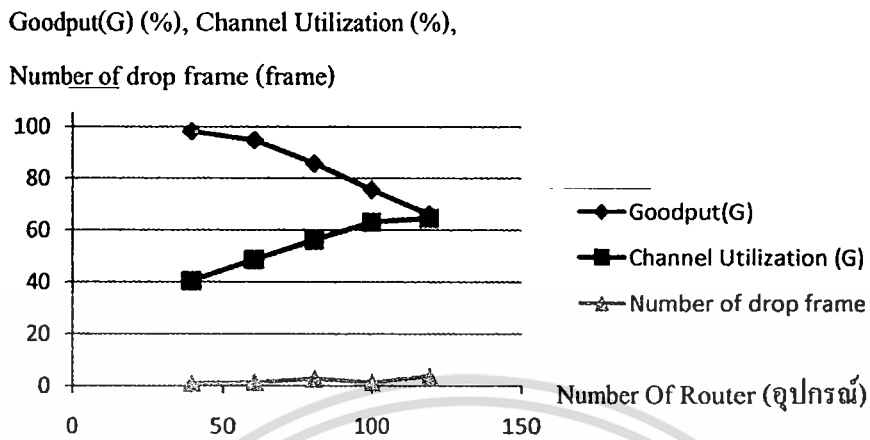
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.21 พบว่าอัลกอริทึม Random Assignment (RA) อัลกอริทึม Distributed Assignment (DSA) และอัลกอริทึม Centralized Tree-Based Assignment (CTB) ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ได้ ถ้ามีการใช้งานอัลกอริทึม Random Plus Assignment (RPA) เมื่อ 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

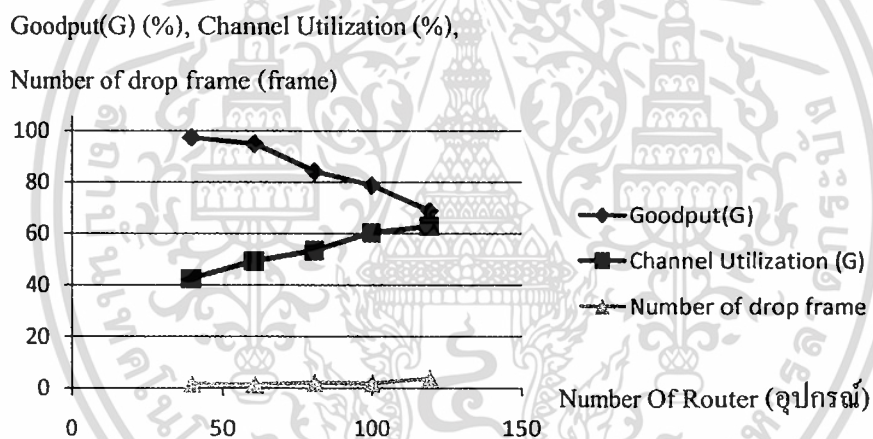
การจำลองเครือข่ายรูปแบบทรีเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2 ถ้าอัลกอริทึมการจัดลำดับของข้อมูลใน Superframe ต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ต่างกัน ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 5.23 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2



รูปที่ 5.24 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

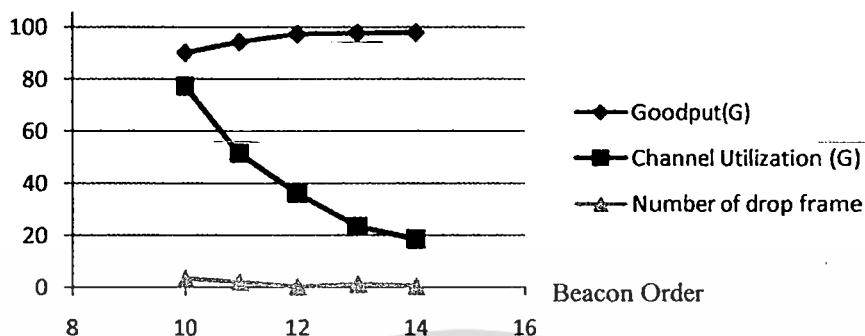


รูปที่ 5.25 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

จากรูปที่ 5.22 5.23 และ 5.24 พบว่า ทุกอัลกอริทึมถ้าจำนวนของอุปกรณ์ในเครือข่ายมากขึ้นจะส่งผลให้ Goodput(G) ลดลง แต่ Channel Utilization (G) เพิ่มมากขึ้น โดยที่ Random Plus Assignment (RPA) จะมี Goodput(G) และ Channel Utilization (G) มากกว่าอัลกอริทึมอื่นเล็กน้อย

Goodput(G) (%), Channel Utilization (%),

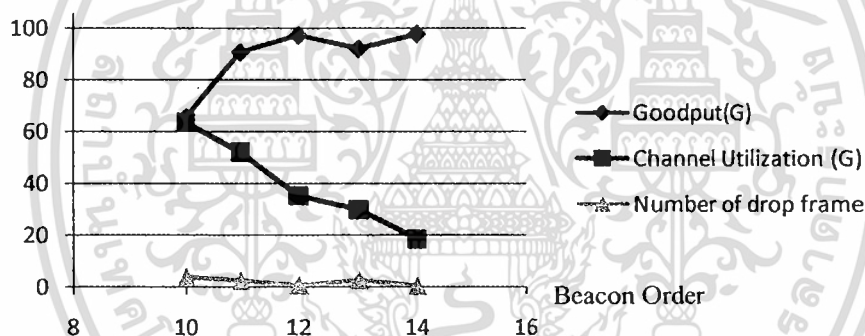
Number of drop frame (frame)



รูปที่ 5.26 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม RPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

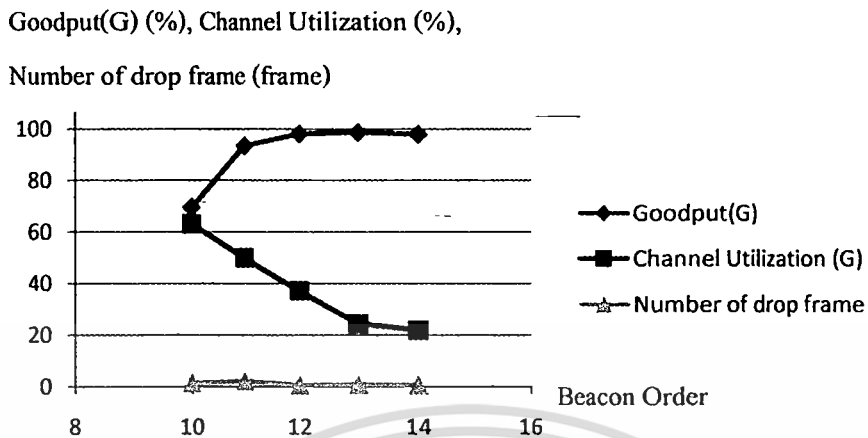
Goodput(G) (%), Channel Utilization (%),

Number of drop frame (frame)



รูปที่ 5.27 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม DPA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 แสดงประสิทธิภาพของการใช้อัลกอริทึม FCA เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ 2

จากรูปที่ 5.25 5.26 และ 5.27 พบว่า ทุกอัลกอริทึมถ้า Beacon Order มากขึ้นจะส่งผลให้ Goodput(G) ลดลง แต่ Channel Utilization (G) เพิ่มมากขึ้น โดยที่ทุกอัลกอริทึมจะมี Goodput(G) และ Channel Utilization(G) ไม่ต่างกัน

ผลการทดสอบทำให้ทราบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใด ในการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ก็ตาม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายเกิดขึ้นได้ทุกรูปแบบไม่ว่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ก็ตาม ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายขึ้นอยู่กับ การออกแบบของเครือข่ายเป็นสำคัญ

## แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่าย อุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

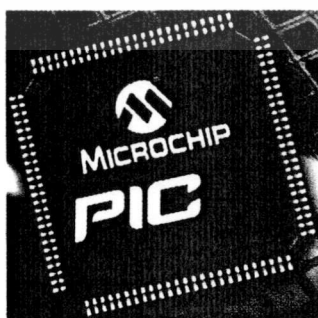
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี ซึ่งการออกแบบในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นความเข้าใจการทำงานหลัก ไม่ได้คาดหวังจะให้เป็นการออกแบบโดยละเอียด เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีนั้น สามารถเกิดขึ้นจริงได้ และนำไปอธิบาย ศึกษาในกรณีศึกษาต่อไปได้ โดยมีหัวข้อต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- Hardware ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย
- Software ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย
- ภาพรวมของแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์
- กรณีศึกษา
- ผลการศึกษาจากกรณีศึกษา

### 6.1 Hardware ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

#### 6.1.1 Microcontroller

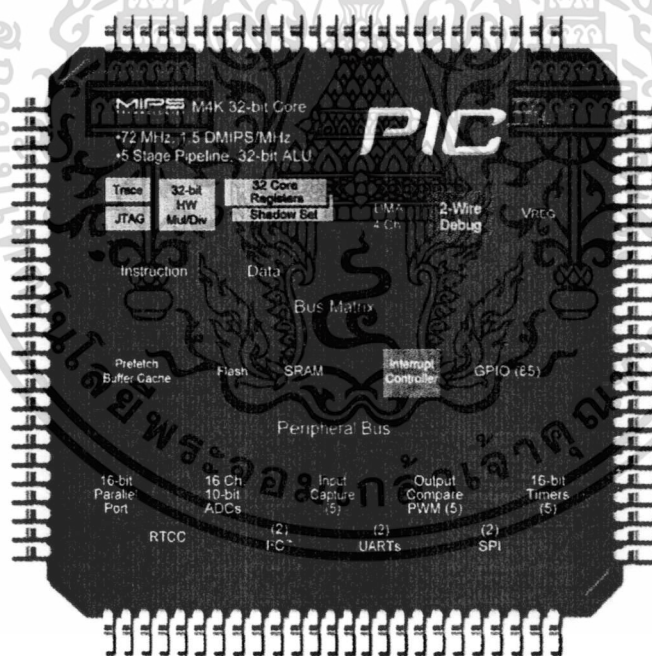
ในงานวิจัยแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี อุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อแพลตฟอร์ม คือ Microcontroller ซึ่งจะทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลจาก Sensor ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ถัดๆไป โดยใช้ Zigbee เป็นมาตรฐานในการสื่อสาร



รูปที่ 6.1 แสดง Microcontroller: PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC คือ Microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของเจ้า microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวนี้ PIC จะยึดถือการออกแบบที่ว่ารวมทุกอย่างไว้ใน chip ตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเติม ผลที่ตามมาคือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ chip อื่นมาเพิ่มเติมเลย นี่คือคุณสมบัติพิเศษของ PIC ครับ ซึ่งปัจจุบันหลายบริษัทที่ผลิต microcontroller ก็เริ่มจะหันมาเลียนแบบแนวทางนี้ครับ แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจาก concept ที่จะรวมทุกอย่างไว้ใน chip เดียว ทำให้ program memory และ data memory ไม่สามารถขยายโดยใช้กับ memory ภายนอกได้ (ในทางทฤษฎี นะครับ ของจริงนี้ทำได้ แต่ต้องใช้เทคนิคนิดหน่อยครับ ซึ่งไม่นิยม ต้องบอกกันไว้ก่อน) PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็กๆ ไม่ใช่งานใหญ่ๆ



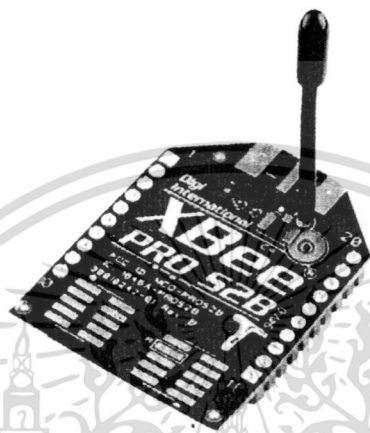
รูปที่ 6.2 แสดงสถาปัตยกรรมของ PIC32

จากรูปข้างต้นแสดงสถาปัตยกรรมของ Microcontroller: PIC32 ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ PIC32 ในการออกแบบ โดยทำหน้าที่ Microcontroller ในการประมวลผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.2 Zigbee Module

ในงานวิจัยแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี อุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อแพลตฟอร์มอีกตัวหนึ่ง คือ Zigbee Module ซึ่งจะทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสภาพแวดล้อมแต่ละตัว



รูปที่ 6.3 Zigbee Module

Xbee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน (อ้างอิงได้จาก Schematic) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ Xbee ต่อเข้ากับ UART ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้เลย Xbee สามารถใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee ได้ โดยที่ไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้างเครือข่าย Zigbee เลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว Xbee ให้เราสามารถ set parameter ผ่าน software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง), ผ่านทาง At command (เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือ ผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set Xbee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee แล้ว เราจะเรียก Xbee แต่ละตัวว่าเป็น Node

โดยงานวิจัยนี้ Zigbee Module จะใช้ Xbee Series 2 (ZB) ซึ่งเป็น Zigbee Module รับส่งสัญญาณไร้สาย ย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐานโปรโตคอล ZigBee/IEEE 802.15 โดยใช้พลังงานต่ำ (ที่ 3.3 Volt) รับส่งข้อมูลอัตราความเร็ว 250Kbps สายอากาศแบบ Whip antenna รองรับเครือข่ายแบบ mesh

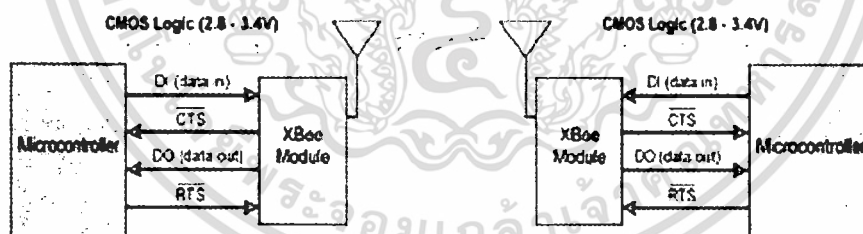
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features:

- 3.3V @ 295mA
- 250kbps Max data rate
- 50mW output (+17dBm)
- 1 mile (1600m) range
- Built-in antenna
- Fully FCC certified
- 6 10-bit ADC input pins
- 8 digital IO pins
- 128-bit encryption
- Local or over-air configuration
- AT or API command set

## การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Xbee เบื้องต้น

ถ้าใช้ MCU ที่ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 Volt ท่านสามารถต่อ Xbee เข้ากับ MCU ได้โดยตรง โดยที่ Xbee จะใช้ DI(ขา3) ซึ่งเป็น Rx ของ Xbee , DO (ขา2) ซึ่งเป็น Tx ของ Xbee , Supply Voltage ใช้ขา VCC(ขา1) ต่อกับ 3.3 Volt และ GND(ขา10) ต่อกับ Ground ในเบื้องต้นเพียงเท่านี้ก็สามารถเขียนโปรแกรมต่อได้



รูปที่ 6.4 การเชื่อมต่อของ Xbee

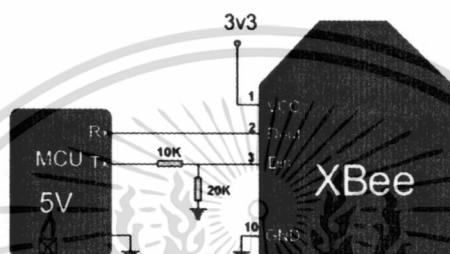
ถ้าต้องการให้สามารถ Update Firmware ได้ด้วย ต้องต่อขา DI , DO , RTS และ DTR(ขา 9) ออกมาเข้า MAX232 เพื่อต่อ DB9เข้าคอมพิวเตอร์และให้ต่อใช้งาน CTS(ขา12) และ RTS(ขา16) ของ Xbee ด้วยครับ

สำหรับการออกแบบใช้ Serial Port UART แบบ Virtual Com Port (RS232 to USB) สามารถใช้ IC FT232RL Serial to USB ได้ เพื่อใช้งานผ่านพอร์ต USB เนื่องจาก Xbee กินไฟเลี้ยง 3.3V ดังนั้นหากใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้ไฟเลี้ยง 5V จะต้องใช้การแก้ปัญหาเรื่อง

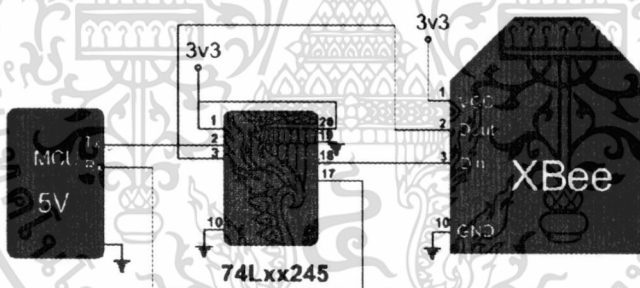
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสัญญาณ Logic ระหว่าง 3.3V / 5V เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเช่น ข้อมูลที่รับส่งทาง UART (Tx,Tx) อาจจะเป็นข้อมูลขยะ (อ่านไม่เป็นตัวอักษร) ได้ ซึ่งตัวที่จะแก้ไขได้คือใช้ IC 74Lx245 ( ES , ThaiEasyElec) หรือ ใช้โมดูลสำเร็จรูป Logic Level Converter 8 Channel หรือ Logic Level Converter เพื่อให้เชื่อมต่อ Xbee ที่ทำงานที่ Supply Voltage 3.3V กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้ Supply Voltage 5V ได้

### การเชื่อมต่อ Xbee กับ MCU



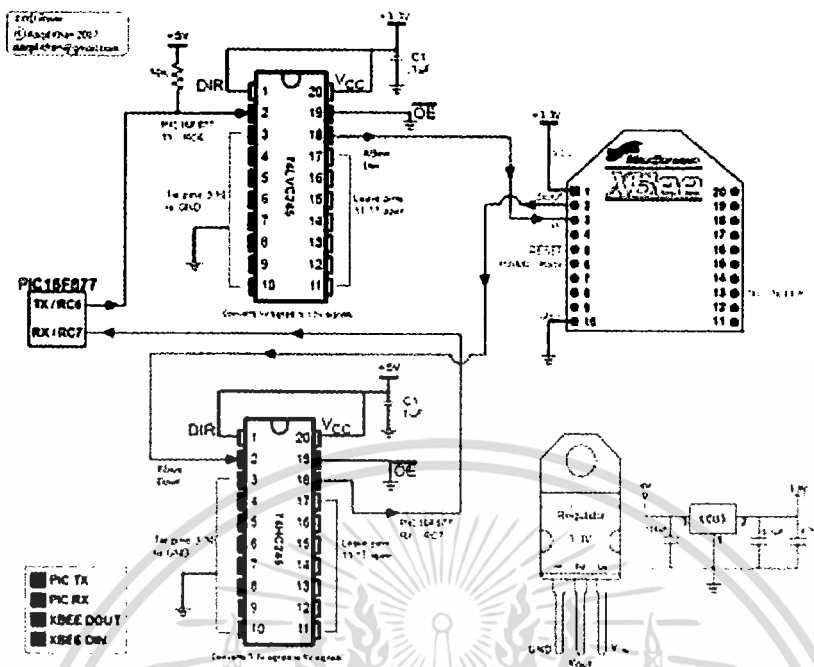
วิธีที่ 1 ง่ายและถูก แต่ไม่ควรใช้กับ baudrate สูงๆ และต้องระมัดระวังในการต่อวงจร



วิธีที่ 2 ปลอดภัย มีเสถียรภาพมากกว่า ใช้กับ baudrate สูงๆ ได้ดี

รูปที่ 6.5 การเชื่อมต่อของ Xbee กับ MCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 ตัวอย่างการต่อ Xbee กับ Microcontroller PIC16F877

รูปที่ 6.6 แสดง Schematic ซึ่งเป็นตัวอย่างการต่อวงจร Xbee กับ IC 74Lx245 ร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง 5V

### 6.2 Software ของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย

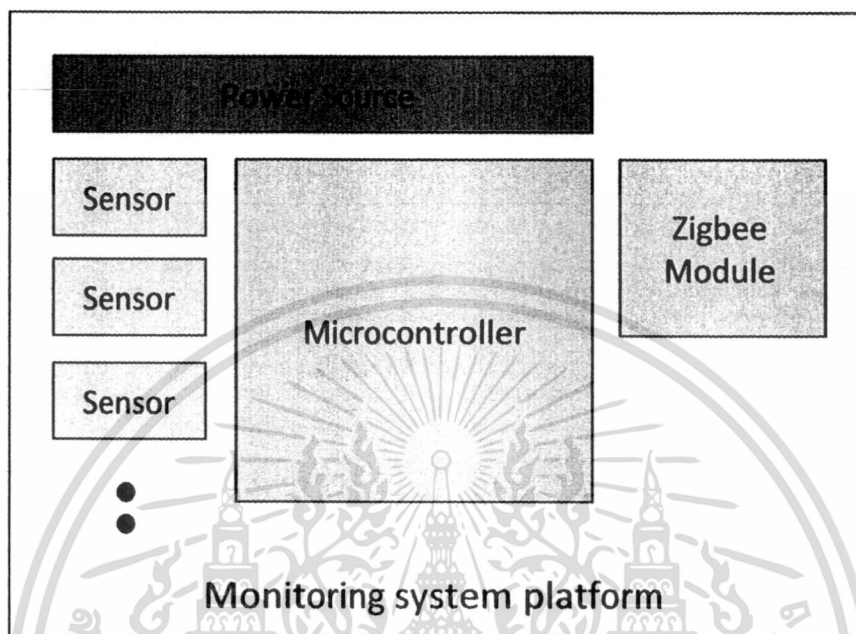
จากการการจำลองเครือข่ายที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 5 แล้วนั้น สรุปได้ว่า Fast Convergecast Algorithm (FCA) เป็นวิธีการส่งข้อมูลย้อนกลับศูนย์กลางของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบ อุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์โดยใช้มาตรฐาน Zigbee แบบ Beacon-Enabled ที่ทำให้เครือข่าย มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด ดังนั้น ในการส่งข้อมูลของแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับ สถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี จะใช้วิธีการนี้ (FCA) ในการส่งข้อมูลกลับสู่ศูนย์กลางเพื่อให้แพลตฟอร์มที่ออกแบบมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด การออกแบบเพื่อที่จะพัฒนา Software เห็นควรให้การทำงานของการทำงานของการส่งข้อมูลย้อนกลับสู่ ศูนย์กลางของคล็องกับ Fast Convergecast Algorithm (FCA)

### 6.3 ภาพรวมของแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์

ในส่วนก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงส่วนสำคัญ ที่จะรวมและประกอบกลายเป็นแพลตฟอร์มของ ระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นความเข้าใจการทำงานหลัก ไม่ได้คาดหวังจะให้เป็นการออกแบบโดยละเอียด โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 6.7 แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์

ส่วนประกอบด้าน Hardware ที่สำคัญของแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีคือ Microcontroller ซึ่งจะทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลจาก Sensor ตรวจจับสภาพแวดล้อมต่างๆ จากนั้นก็จะส่งต่อไปยังอุปกรณ์ถัดๆ ไป โดยใช้ Zigbee เป็นมาตรฐานในการสื่อสาร รวมถึง Zigbee Module ซึ่งจะทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับสภาพแวดล้อมแต่ละตัว ได้กล่าวถึงไปแล้วในข้างต้น เพื่อให้การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับสภาพแวดล้อมทำงานได้อย่างสมบูรณ์จะต้องมีส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องอีก ดังนี้

- Sensor จะทำหน้าที่ในการตรวจจับสภาพแวดล้อมรอบๆ อุปกรณ์จากนั้นก็จะเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งข้อมูลต่อไปยัง Microcontroller เพื่อประมวลผลต่อไปได้ โดยงานวิจัยนี้เพื่อให้สามารถทำงานพื้นฐานของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายได้ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในลักษณะระบบงานตรวจจับสถานการณ์ได้ (Monitoring System) โดยไม่วิจัยในลักษณะรูปแบบการใช้งานที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้น Sensor ภายในงานวิจัยนี้จึงกล่าวถึงเพียงเพื่อบอกว่า มีส่วนร่วมกับการทำงานของระบบอย่างไรเท่านั้น ตัวอย่างของ Sensor ในการตรวจจับสภาพแวดล้อม คือ Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

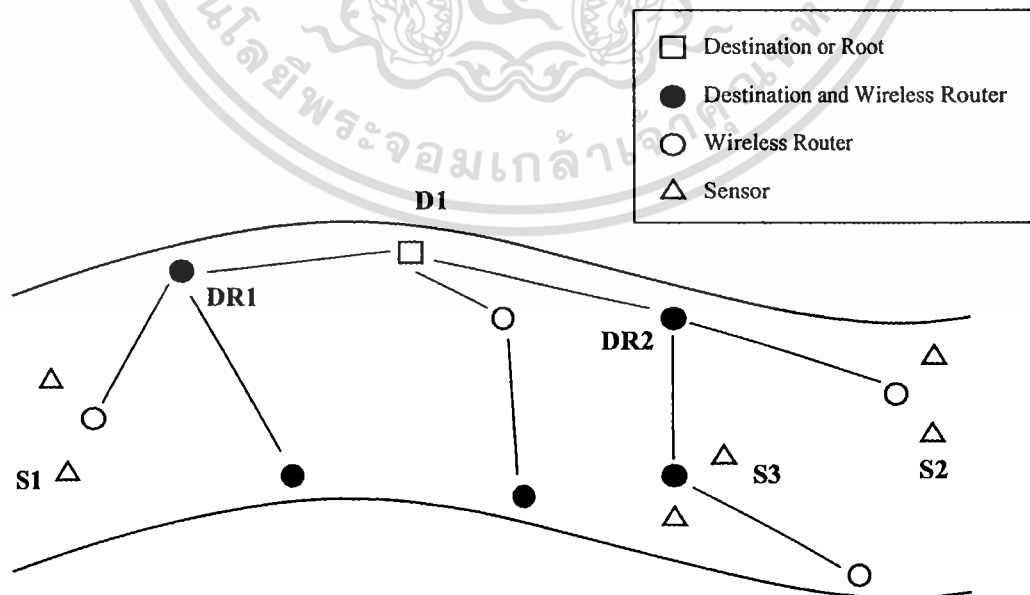
ตรวจจับอุณหภูมิ, Sensor ตรวจจับความเร็วกระแสไฟฟ้า, Sensor ตรวจจับปริมาณออกซิเจนในน้ำและ Sensor ตรวจจับปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

Power Source เป็นแหล่งพลังงานที่อุปกรณ์ตรวจจับสภาพแวดล้อมจะต้องนำมาใช้เพื่อให้ตัวอุปกรณ์สามารถทำงานได้ เนื่องจากงานวิจัยแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายที่ใช้มาตรฐานซิกบีในการสื่อสาร ซึ่งต้นกำเนิดของ Zigbee ก็ถือกำเนิดมาจากการประหยัดพลังงาน ดังนั้น Power Source จึงเป็นสิ่งควรให้ความสำคัญในลำดับรองลงมา เนื่องจากเป็นระบบตรวจจับสถานการณ์ถ้าแหล่งพลังงานสามารถสร้างได้จากสภาพแวดล้อมรอบข้างก็จะเป็นการดี เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน การใช้การไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เป็นต้น

การจะเป็นแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีได้ จะต้องประกอบด้วย Hardware และ Software ส่วนรายละเอียดด้าน Software ทั้งหมดก็ได้กล่าวถึงไปแล้วในข้างต้นเช่นกัน

### 6.4 กรณีศึกษา

ส่วนนี้กล่าวถึงความสำคัญของเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ ซึ่งเห็นว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการใช้งานระบบติดตามสถานการณ์ หรือระบบที่มีการใช้งานเฉพาะด้าน งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอกรณีศึกษา การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากระพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง เพื่อเป็นการยืนยันว่า ระบบที่ได้ออกแบบขึ้นมีประโยชน์จริงต่อการใช้งานจริง



รูปที่ 6.8 ระบบจากกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 6.8 แสดงระบบจากกรณีศึกษาตัวอย่าง การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อม สำหรับการเลี้ยงปลากะพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ในลักษณะของระบบติดตามสถานการณ์สภาพแม่น้ำในบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง ความกว้างของแม่น้ำประมาณ 700 เมตร ชาวบางปะกงส่วนใหญ่มีการเลี้ยงปลากะพง ซึ่งเป็นปลาที่หารายได้สำคัญให้กับผู้คนในบริเวณนี้ ถ้ามีการใช้งานในลักษณะที่เป็นเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์ มาติดตามสถานการณ์ของแม่น้ำบางปะกง เช่น ในวันหนึ่งๆ ปริมาณออกซิเจนเหมาะกับการให้อาหารหรือไม่ หรือมลพิษในแม่น้ำบางปะกงมีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาวิธีการเลี้ยงปลากะพงมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น และจะต้องเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์เนื่องจากบริเวณที่เลี้ยงปลาบริเวณที่กว้างมากกว่าระยะทางของการส่งสัญญาณ ตำแหน่งที่ต้องการข้อมูลของแต่ละคนไม่เหมือนกัน และผู้เลี้ยงปลากะพงมีความต้องการข้อมูลของแม่น้ำบางปะกงในลักษณะของข้อมูลจริงตลอดเวลาและมากกว่า 1 คน ด้วยตัวอย่างเช่นนี้ทำให้งานวิจัยนี้เห็นวาระบบอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายแบบอุปกรณ์ปลายทางหลายอุปกรณ์มีประโยชน์และมีความสำคัญเป็นอย่างมาก กล่าวคือ จากรูป D1 เป็นกระชังปลากะพงที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย 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

ข้างต้นเป็นมาอธิบายถึงรูปแบบของกรณีศึกษาตัวอย่าง โดยงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลของระบบที่ได้ออกแบบ ไปทำวิจัยเชิงคุณภาพโดยการสอบถามจากผู้ที่มีอาชีพเลี้ยงปลากะพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

#### กลุ่มตัวอย่าง

- สอบถามจากผู้เลี้ยงปลากะพง 4 คน ซึ่ง คือ
  - อดีตสมาชิกสภาจังหวัดฉะเชิงเทรา
  - อดีตผู้จัดการธนาคารออมสิน สาขา บางปะกง
  - อดีตผู้ใหญ่บ้านหมู่ 9 ต.บางปะกง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา
  - ผู้ใหญ่บ้านหมู่ 19 ต.บางปะกง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา

#### แนวคำถาม

- ลักษณะภาพรวมทั่วไปของการเลี้ยงปลากะพง
- ปัญหาที่สำคัญของการเลี้ยงปลากะพง
- ถ้ามีระบบตรวจจับตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อม จะช่วยการเลี้ยงปลากะพงดี

#### ขึ้นอย่างไร

- ระบบตรวจจับตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่นำเสนอเป็นประโยชน์หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.5 ผลการศึกษาจากกรณีศึกษา

จากการสอบถามข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แนวคำถามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น พบคำตอบที่มีนัยสำคัญว่า

**คำถาม** ลักษณะภาพรวมทั่วไปของการเลี้ยงปลากะพง

**คำตอบ** การเลี้ยงปลากะพงเป็นการเลี้ยงในกะชัง บริเวณปากแม่น้ำที่มีน้ำไหล อาหารของปลากะพงเป็นปลาสดขนาดเล็ก คุณภาพของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงปลากะพง ไม่ว่าจะเป็นการตายของปลา หรือปริมาณอาหารที่ปลาจะกินในแต่ละวัน เป็นต้น

**คำถาม** ปัญหาที่สำคัญของการเลี้ยงปลากะพง

**คำตอบ** ปัญหาที่สำคัญของการเลี้ยงปลากะพง คือ

ข้อที่ 1 ปัญหาปลาตายกะทันหัน เมื่อคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงต่ำลงอย่างรวดเร็ว

ข้อที่ 2 ปัญหาค่าอาหารซึ่งเป็นปลาสดขนาดเล็กแพงมาก

**คำถาม** ถ้ามีระบบตรวจจับตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อม จะช่วยการเลี้ยงปลากะพงดีขึ้นอย่างไร

**คำตอบ** ช่วยได้มาก โดยเฉพาะใน 2 เรื่อง เรื่องที่ 1 ถ้ารู้ว่ำนำเสียกำลังมาแล้วจะมีผลทำให้ปลาตาย เนื่องจากในการเลี้ยงปลาในปัจจุบันสภาพของน้ำในแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว และสิ่งที่จะมีผลทำให้คุณภาพน้ำลดลงมีมากขึ้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นอุปสรรคอย่างยิ่งต่อการเลี้ยงปลากะพง เรื่องที่ 2 ถ้ารู้ว่ำนสภาพน้ำดีหรือไม่ เพื่อการคาดการณ์ปริมาณอาหารของปลาได้อย่างถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากปัจจุบันอาหารปลากะพงซึ่งเป็นปลาสดขนาดเล็กมีราคาแพงมาก อีกทั้งปริมาณการกินอาหารของปลาขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำในแม่น้ำค่อนข้างมาก กล่าวคือ ถ้าน้ำคุณภาพดีปลาจะกินเยอะ น้ำคุณภาพไม่ดีปลาจะกินน้อย ซึ่งถ้าทราบปริมาณอาหารที่ปลาจะกินแต่ละวันอย่างใกล้เคียงก็จะช่วยลดต้นทุนการเลี้ยงปลากะพงได้มาก

**คำถาม** ระบบตรวจจับตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่นำเสนอเป็นประโยชน์หรือไม่

**คำตอบ** เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะใน 2 เรื่อง เรื่องที่ 1 ถ้ารู้ว่ำนำเสียกำลังมาแล้วจะมีผลทำให้ปลาตาย เรื่องที่ 2 ถ้ารู้ว่ำนสภาพน้ำดีหรือไม่ เพื่อการคาดการณ์ปริมาณอาหารของปลาได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

**กล่าวโดยสรุป** คือ การนำแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบีที่นำเสนอ ไปศึกษาประยุกต์กับกรณีศึกษา (การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากะพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง) จากการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงคุณภาพ พบว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล รวมถึงจะเป็นประโยชน์อย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายโดยใช้มาตรฐานซิกบี ซึ่งได้พัฒนาวิธีการใหม่ในการส่งข้อมูลกลับศูนย์กลางของระบบตรวจจับสถานการณ์โดยใช้มาตรฐานซิกบี ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน พบว่าวิธีการ 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

การจำลองเครือข่ายเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพผลของเครือข่าย พบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใด ในการจัดลำดับข้อมูลใน Superframe ก็ตาม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายเกิดขึ้นได้ทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะมึประสิทธิภาพที่ดีหรือไม่ดีก็ตาม ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเครือข่ายขึ้นอยู่กับกรออกแบบของเครือข่ายเป็นสำคัญ

การนำแพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ตรวจจับไร้สาย โดยใช้มาตรฐานซิกบีที่นำเสนอ ไปศึกษาประยุกต์กับกรณีศึกษา (การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์ สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากระพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง) พบว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการสอบถามข้อมูลผู้เกี่ยวข้องโดยตรง พบว่า จะเป็นประโยชน์อย่างมาก ถ้ามีการนำมาใช้งานตามที่แพลตฟอร์มของระบบตรวจจับสถานการณ์สำหรับเครือข่ายอุปกรณ์ ตรวจจับไร้สายควรจะเป็นได้

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของ การดำเนินโครงการวิจัย ควรสร้างผลงานที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อการ ทดสอบต่อสภาพแวดล้อมจริง รวมถึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการประยุกต์ใช้งานตามกรณีศึกษา (การใช้ระบบตรวจจับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมสำหรับการเลี้ยงปลากระพงบริเวณลุ่มแม่น้ำบางปะกง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Sinem Coleri Ergen, **ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary**, United States of America, 2004.
- [8] Changsu Suh, Zeeshan 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.
- [9] Shahin Farahani, **Zigbee Wireless Network and Transceivers**. United States of America, Elsevier, 2008.