



การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุด
ภายในอาคาร

โดย

| | | | |
|------------|-------------|--------------|----------|
| นางสาวชลดา | ศรีบุรินทร์ | รหัสนักศึกษา | B4901310 |
| นายอดิศร | บึงศรี | รหัสนักศึกษา | B4907732 |

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

หัวข้อโครงการ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบ
จุดต่อจุดภายในอาคาร

โดย 1. นางสาวชลดา ศรีบุรินทร์ B 4901310
2. นายอดิสร บังศรี B 4907732

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชุตินา พรหมมาก
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่ 3/2552

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารสัญญาณไร้สายได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำรงชีวิตของคนทุกคนในสังคมมากและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.15.4 Zigbee เป็นเทคโนโลยีที่มีการลงทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูง โครงการนี้จะนำเสนอการศึกษา การสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุด (point – to – point) ภายในอาคาร เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้งานเครือข่าย Zigbee ภายในอาคารที่มีโครงสร้างของอาคารและสิ่งแวดล้อมที่ต่างกันไป โดยทำการทดลองและวัดประสิทธิภาพการสื่อสารบนเครือข่ายจริง เพื่อศึกษาหาผลกระทบต่อ คุณภาพของสัญญาณ และวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณ การสื่อสารภายในเครือข่าย Zigbee ที่ใช้งานภายในอาคาร เพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุดภายในอาคารสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงการได้รับความช่วยเหลือด้านต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชุติมา พรหมมาก ผู้ที่เป็นแนวความคิดริเริ่มในโครงการเรื่อง การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุดภายในอาคาร ซึ่งได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำ นอกจากนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกๆ คนที่คอยให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำโครงการในด้านต่างๆ และสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ท่านให้การดูแลเอาใจใส่คอยให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างมาโดยตลอด จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวไปแล้วไว้ ณ ที่นี้ สำหรับส่วนดีของโครงการชิ้นนี้ ขออุทิศให้แก่คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำโครงการ หากโครงการชิ้นนี้มีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำโครงการใคร่ขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวชลดา

นายอดิสร

บังศรี

ศรินทร์รินทร์



สารบัญ

| | | |
|--|------|----------|
| เรื่อง | หน้า | |
| บทคัดย่อ | ก | |
| กิตติกรรมประกาศ | | ข |
| สารบัญ | | ค |
| สารบัญรูป | | ฅ |
| สารบัญตาราง | | ด |
| บทที่ 1 บทนำ | | 1 |
| 1.1 บทนำ | | 1 |
| 1.2 หลักการและเหตุผล | | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ | | 3 |
| 1.4 ขอบเขตงาน | | 3 |
| 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | | 4 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | | 5 |
| 2.1 บทนำ | | 5 |
| 2.2 ระบบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | | 5 |
| 2.2.1 มาตรฐานของระบบเครือข่าย ZigBee | | 5 |
| 2.3 โครงสร้างของโปรโตคอล ZigBee | | 8 |
| 2.3.1 Zigbee โปรโตคอลสแตก | | 9 |
| 2.3.2 การรักษาความปลอดภัย | | 10 |
| 2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบเครือข่าย ZigBee | | 10 |
| 2.4.1 แบบ Physical Device | | 10 |
| 2.4.1.1 Full function device (FFD) | | 10 |
| 2.4.1.2 Reduced function device (RFD) | | 11 |
| 2.4.2 แบบ Logical Device | | 11 |
| 2.4.2.1 Coordinator | | 11 |
| 2.4.2.2 End device | | 11 |
| 2.4.2.3 Router | | 11 |
| 2.5 Topology ของระบบเครือข่าย ZigBee | | 12 |
| 2.5.1 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network) | | 12 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า | |
|--------|---|----|
| 2.5.2 | เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree) | 12 |
| 2.5.3 | เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network) | 13 |
| 2.6 | ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) | 14 |
| 2.6.1 | ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย | 14 |
| 2.7 | ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11 | 15 |
| 2.7.1 | วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11 | 15 |
| 2.8 | ประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 18 |
| 2.8.1 | ค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength indication) กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 18 |
| 2.8.2 | กำลังส่งสัญญาณ (Power level) กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 18 |
| 2.8.3 | ช่องสัญญาณ (channel) กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 18 |
| 2.8.4 | ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 18 |
| 2.8.5 | จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งาน ณ เวลาเดียวกันกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 19 |
| 2.8.6 | สภาพแวดล้อมกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 19 |
| 2.9 | ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) | 19 |
| 2.9.1 | ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) กับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS) | 20 |
| 2.9.2 | SNR กับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS) | 20 |
| 2.9.3 | ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS) | 20 |
| 2.9.4 | จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งาน ณ เวลาเดียวกันกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS) | 21 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า | |
|----------------|--|-----------|
| | 2.9.5 สภาพแวดล้อมกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS) | 21 |
| บทที่ 3 | หลักการการทำงานของอุปกรณ์และโปรแกรมการใช้งานของระบบเครือข่าย ZigBee | 22 |
| 3.1 | บทนำ | 22 |
| 3.2 | หลักการการทำงานของโมดูล XBee 2 | 22 |
| 3.2.1 | คุณสมบัติโดยทั่วไปของโมดูล XBee-Pro | 24 |
| 3.2.2 | คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูลของโมดูล XBee-Pro | 24 |
| 3.3 | หลักการการทำงานของบอร์ดเชื่อมต่อโมดูล XBee (ZX-XBee) | 27 |
| 3.4 | โปรแกรม X-CTU | 29 |
| 3.4.1 | หลักการการทำงานของบอร์ดเชื่อมต่อโมดูล XBee (ZX-XBee) | 29 |
| 3.5 | การใช้งานโมดูลเบื้องต้น | 32 |
| 3.6 | การทำ Loop Back | 38 |
| 3.6.1 | Loop Back Adapter | 39 |
| 3.7 | การใช้โปรแกรม wirelessmon | 40 |
| บทที่ 4 | การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 48 |
| 4.1 | บทนำ | 48 |
| 4.2 | แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 4 | 48 |
| 4.3 | รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลอง | 49 |
| 4.3.1 | รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1 | 49 |
| 4.3.2 | รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2 | 49 |
| 4.4 | รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4 | 49 |
| 4.4.1 | รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4 เครื่องที่ 1 | 49 |
| 4.4.2 | รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4 เครื่องที่ 2 | 49 |
| 4.5 | รายละเอียดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง | 50 |
| 4.5.1 | รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1 | 50 |
| 4.5.2 | รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2 | 50 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า | |
|--------|---|----|
| 4.6 | พื้นที่ที่ทำการทดสอบ | 50 |
| 4.6.1 | แผนผังอาคาร ตำแหน่ง โมดูล XBee-Pro และตำแหน่ง Access Point | 51 |
| 4.7 | วิธีการวัดค่า Received signal strength indication และ Accuracy Percentage | 52 |
| 4.7.1 | ทดสอบโดยกำหนดให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์ | 52 |
| 4.7.2 | ทดสอบโดยกำหนดให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์ แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB | 53 |
| 4.7.3 | ทดสอบโดยกำหนดการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง | 55 |
| 4.7.4 | ทดสอบโดยกำหนดการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB | 57 |
| 4.8 | ผลการทดลองการศึกษาค่าผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 59 |
| 4.8.1 | การศึกษาค่าผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาค่าผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์ | 59 |
| 4.8.2 | การศึกษาค่าผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาค่าผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์แต่ มีการ Download file ขนาด 10 MB | 63 |
| 4.8.3 | การศึกษาค่าผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาค่าผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์ | 65 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| และห้องอาหารว่าง | |
| 4.8.4 การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์ และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB | 68 |
| 4.9 การวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 70 |
| 4.9.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการวัดประสิทธิภาพการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์ | 70 |
| 4.9.1.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ(Power Level) และช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI)ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 70 |
| 4.9.1.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 72 |
| 4.9.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการวัดประสิทธิภาพการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์แต่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้ | 73 |
| 4.9.2.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ(Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI)ในการศึกษาผลกระทบของ | 73 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | |
| 4.9.2.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 74 |
| 4.9.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพัก รอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง ขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) | 75 |
| 4.9.3.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 75 |
| 4.9.3.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 78 |
| 4.9.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพัก รอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง ขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) | 80 |
| 4.9.4.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) | 80 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|-----------|
| และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI)ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | |
| 4.9.4.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 83 |
| บทที่ 5 การศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 95 |
| 5.1 บทนำ | 95 |
| 5.2 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 3 | 95 |
| 5.3 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลอง | 95 |
| 5.3.1 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1 | 95 |
| 5.3.2 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2 | 96 |
| 5.4 รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 3 | 96 |
| 5.5 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง | 96 |
| 5.5.1 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1 | 96 |
| 5.5.2 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2 | 96 |
| 5.6 พื้นที่ทำการทดสอบ | 97 |
| 5.7 วิธีการวัดค่า Throughput | 98 |
| 5.7.1 ทดสอบโดยกำหนดค่าให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 98 |
| 5.7.2 ทดสอบโดยกำหนดค่าให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร | 99 |
| 5.7.3 ทดสอบโดยกำหนดค่าให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร | 100 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| 5.7.4 ทดสอบโดยกำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ระยะทาง 10 เมตร | 102 |
| 5.8 ผลการทดลองการศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย | 104 |
| 5.8.1 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายกรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 104 |
| 5.8.2 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย กำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ที่ระยะทาง 2 เมตร | 105 |
| 5.8.3 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย กำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ที่ระยะทาง 5 เมตร | 107 |
| 5.8.4 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย กำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ที่ระยะทาง 10 เมตร | 108 |
| 5.9 การวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย | 110 |
| 5.9.1 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย | 110 |

สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------------|
| กรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | |
| 5.9.2 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ระยะทาง 2 เมตร | 111 |
| 5.9.3 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ระยะทาง 5 เมตร | 112 |
| 5.9.4 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่ระยะทาง 10 เมตร | 113 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ | 117 |
| 6.1 บทนำ | 117 |
| 6.2 สรุปผลการทดสอบ | 117 |
| 6.3 ปัญหาและอุปสรรค | 118 |
| 6.4 ขีดจำกัดของโครงการ | 119 |
| 6.5 ข้อเสนอแนะ | 119 |
| ประวัติผู้เขียน | 120 |
| บรรณานุกรม | 121 |
| ภาคผนวก | 122 |

สารบัญรูป

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1.1 แสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายภายในอาคาร | 1 |
| รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบช่วงความถี่ของมาตรฐานต่างๆ | 6 |
| รูปที่ 2.2 แสดงจำนวนช่องสัญญาณแต่ละย่านความถี่ | 7 |
| รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆ แต่ละย่านความถี่ | 8 |
| รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee | 9 |
| รูปที่ 2.5 แสดงประเภทอุปกรณ์ของ IEEE 802.15.4 | 11 |
| รูปที่ 2.6 แสดงประเภทอุปกรณ์ของ ZigBee Protocol และ IEEE 802.15.4 | 11 |
| รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Star | 12 |
| รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster Tree | 12 |
| รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh | 13 |
| รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางการสื่อสารระหว่าง XBee กับ XBee-Pro | 23 |
| รูปที่ 3.2 แสดงโมดูล XBee ที่มีสายอากาศแบบต่างๆ | 23 |
| รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเทคนิคระหว่าง XBee กับ XBee-Pro | 25 |
| รูปที่ 3.4 แสดงการจัดขาของโมดูล XBee-Pro และฟังก์ชันในการทำงาน | 26 |
| รูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดของบอร์ด ZX-XBee เชื่อมต่อโมดูล XBee-Pro กับคอมพิวเตอร์ | 27 |
| รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดวงจรของบอร์ด ZX-XBee เชื่อมต่อโมดูล XBee-Pro กับคอมพิวเตอร์ | 28 |
| รูปที่ 3.7 แสดงย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณของโมดูล XBee-Pro | 29 |
| รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกของโมดูล XBee-Pro | 32 |
| รูปที่ 3.9 แสดงหน้าจอการเลือกพอร์ตของโปรแกรม X-CTU | 33 |
| รูปที่ 3.10 แสดงหน้าต่างการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดและคอมพิวเตอร์สำเร็จ | 34 |
| รูปที่ 3.11 แสดง หน้าต่างแท็บ Modem Configuration สำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ | 35 |
| รูปที่ 3.12 แสดงการตั้งค่า PL (Power Level) ของโมดูล XBee-Pro | 36 |
| รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างแท็บ Range Test สำหรับการทดสอบการใช้งาน | 36 |
| รูปที่ 3.14 แสดงหน้าต่างแท็บ Terminal สำหรับการใช้คำสั่ง AT Command | 38 |
| รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อ pin ของหัวต่อ DB-9 ของอุปกรณ์ LoopBack Adapter | 39 |
| รูปที่ 3.16 แสดงการทำ Loop Back ของการสื่อสารไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 39 |
| รูปที่ 3.17 แสดงการทำ Loop Back ของโปรแกรม X-CTU | 40 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.18 แสดงโปรแกรม WirelessMon | 41 |
| รูปที่ 3.19 แสดงรายละเอียดโปรแกรม WirelessMon | 42 |
| รูปที่ 3.20 แสดง Status ของโปรแกรม WirelessMon | 42 |
| รูปที่ 3.21 แสดงSSID ของโปรแกรม WirelessMon | 43 |
| รูปที่ 3.22 แสดง Channel ของโปรแกรม WirelessMon | 43 |
| รูปที่ 3.23 แสดง Security ของโปรแกรม WirelessMon | 44 |
| รูปที่ 3.24 แสดง Rate Supported ของโปรแกรม WirelessMon | 44 |
| รูปที่ 3.25 แสดง RSSI ของโปรแกรม WirelessMon | 45 |
| รูปที่ 3.26 แสดง MAC Address ของโปรแกรม WirelessMon | 45 |
| รูปที่ 3.27 แสดง Network Type ของโปรแกรม WirelessMon | 46 |
| รูปที่ 3.28 แสดง Infrastructureของโปรแกรม WirelessMon | 46 |
| รูปที่ 3.29 แสดง First Time Seen ของโปรแกรม WirelessMon | 47 |
| รูปที่ 3.30 แสดง Last Time Seen ของโปรแกรม WirelessMon | 47 |
| รูปที่ 4.1 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 4 | 48 |
| รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวางเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ภายในอาคารวิชาการ ชั้น 4 | 51 |
| รูปที่ 4.3 รูปแบบการเชื่อมต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์ | 52 |
| รูปที่ 4.4 รูปแบบการเชื่อมต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์ แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB | 54 |
| รูปที่ 4.5 รูปแบบการเชื่อมต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง | 56 |
| รูปที่ 4.6 รูปแบบการเชื่อมต่อกำหนดการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB | 57 |
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและ ช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication ในการ ศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 71 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%)ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 72 |
| รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 74 |
| รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 75 |
| รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 77 |
| รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ(Channel)ที่มีผลต่อ Received signal strength indication ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 77 |
| รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 79 |
| รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel)ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee | 79 |
| รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบช่องสัญญาณย่านความถี่ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 80 |
| รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ(Channel)ที่มีผลต่อ Received signal strength indication ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 82 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 85 |
| รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel C เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 85 |
| รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel C เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 86 |
| รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 14 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 86 |
| รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 14 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 87 |
| รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 15 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 87 |
| รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 15 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 88 |
| รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 16 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 88 |
| รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 16 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 89 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 17 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 89 |
| รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเลือก Channel 17 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและไม่มีการ Download file | 90 |
| รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 91 |
| รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 92 |
| รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 93 |
| รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย | 94 |
| รูปที่ 5.1 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 3 | 95 |
| รูปที่ 5.2 ตำแหน่งการวางเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบหน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช | 97 |
| รูปที่ 5.3 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee | 98 |
| รูปที่ 5.4 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 2 เมตร | 100 |
| รูปที่ 5.5 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 5 เมตร | 101 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 5.6 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 10 เมตร | 103 |
| รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) ที่อาคารวิชาการชั้น 3 | 111 |
| รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน เครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2 เมตร | 112 |
| รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน เครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 5 เมตร | 113 |
| รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน เครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 10 เมตร | 114 |
| รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน เครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2, 5, 10 เมตร ตามลำดับ | 116 |

สารบัญตาราง

| เรื่อง | หน้า | |
|---------------|--|----|
| ตารางที่ 3.1 | ตารางแสดงความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณของ โมดูล XBee-Pro | 30 |
| ตารางที่ 3.2 | ตารางแสดงค่ากำลังส่งสัญญาณ (Power level) | 31 |
| ตารางที่ 4.1 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C | 59 |
| ตารางที่ 4.2 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel D | 60 |
| ตารางที่ 4.3 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel E | 60 |
| ตารางที่ 4.4 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel F | 60 |
| ตารางที่ 4.5 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 10 | 60 |
| ตารางที่ 4.6 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 11 | 61 |
| ตารางที่ 4.7 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 12 | 61 |
| ตารางที่ 4.8 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 13 | 61 |
| ตารางที่ 4.9 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14 | 61 |
| ตารางที่ 4.10 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15 | 62 |
| ตารางที่ 4.11 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16 | 62 |
| ตารางที่ 4.12 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17 | 62 |
| ตารางที่ 4.13 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C | 63 |
| ตารางที่ 4.14 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14 | 63 |
| ตารางที่ 4.15 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15 | 64 |
| ตารางที่ 4.16 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16 | 64 |
| ตารางที่ 4.17 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17 | 64 |
| ตารางที่ 4.18 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C | 65 |
| ตารางที่ 4.19 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel D | 65 |
| ตารางที่ 4.20 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel E | 66 |
| ตารางที่ 4.21 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel F | 66 |
| ตารางที่ 4.22 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 10 | 66 |
| ตารางที่ 4.23 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 11 | 66 |
| ตารางที่ 4.24 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 12 | 67 |
| ตารางที่ 4.25 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 13 | 67 |
| ตารางที่ 4.26 | ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14 | 67 |

สารบัญตาราง(ต่อ)

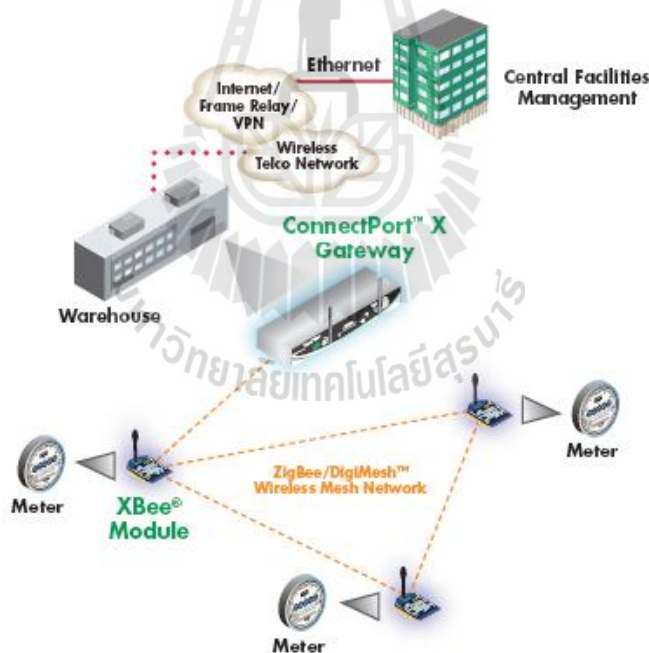
| เรื่อง | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15 | 67 |
| ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16 | 68 |
| ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17 | 68 |
| ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C | 69 |
| ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14 | 69 |
| ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15 | 69 |
| ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16 | 70 |
| ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17 | 70 |
| ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน เครือข่าย ZigBee | 105 |
| ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ระยะทาง 2 เมตร | 106 |
| ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ระยะทาง 5 เมตร | 108 |
| ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ระยะทาง 10 เมตร | 109 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เป็นเทคโนโลยีออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์แบบไร้สาย (Wireless Sensor Network) ที่ใช้อัตราการส่งข้อมูลต่ำ โดยเฉพาะมี ราคาถูกและประหยัดพลังงาน โดยมีแอปพลิเคชันจำนวนมากที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่าย ZigBee ลักษณะนี้ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสาร ระหว่างเครื่องตรวจวัดหรือเซ็นเซอร์ที่ต้องการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนสำหรับการติดตั้ง เช่น การสร้างระบบเครือข่ายอัตโนมัติ ระบบรักษาความปลอดภัยภายในบ้าน ระบบเครือข่ายในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบเครือข่ายตรวจสอบรถบรรทุกภายในเหมืองแร่ ระบบเครือข่ายไร้สายทาง การเกษตร และ แอปพลิเคชันอื่นๆ



รูปที่ 1.1 แสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายภายในอาคาร

เมื่อเปรียบเทียบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่ายอื่นๆแล้ว ระบบเครือข่าย ZigBee มีความซับซ้อนน้อยกว่าจึงช่วยลดทรัพยากรที่ต้องใช้งาน และที่สำคัญเป็นมาตรฐานการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคโนโลยี IEEE 802.15.4 สำหรับการรับ-ส่งข้อมูลเบื้องต้นในวงจรเครื่องรับวิทยุ (Physical Layer) และการควบคุมการรับ-ส่ง (Link layer) ซึ่งมีช่องสัญญาณย่านความถี่ที่สามารถ

ใช้งานได้มีสามย่านความถี่ ซึ่งแต่ละย่านความถี่ยังแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณต่างๆ มีอัตราการการส่งข้อมูลที่ความเร็วประมาณ 20 – 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) ระยะทางในการติดต่อสื่อสารประมาณ 10 – 1500 เมตร และความสามารถในการปรับแต่งเครือข่ายและความปลอดภัยของระบบที่ดี

ข้อจำกัดของระบบเครือข่าย Zigbee

ถึงแม้ว่าข้อดีจะมีมากมายแต่ระบบเครือข่าย ZigBee ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการด้วยกัน ระบบเครือข่าย ZigBee มีช่องสัญญาณย่าน ความถี่สำหรับการทำงานเป็นสามย่านความถี่ คือ 2.4 GHz, 915 MHz, 868 MHz ในแต่ละย่านความถี่จะมีจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดอยู่ช่วงหนึ่ง ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 11-26) และเป็นย่านความถี่ที่สามารถใช้ในประเทศไทยได้

จุดอ่อนและข้อบกพร่อง

โดยช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักสำคัญของย่านนี้คือการวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณต้องเป็นแบบ Line of Sight จะได้กำลังส่งสูงสุด ถ้าการวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณไม่เป็นแบบ Line of Sight ระยะการรับสัญญาณจะลดลง และ ปัญหาหลักๆ ที่พบคือ

สัญญาณรบกวน เนื่องจากมีสัญญาณ แพร่กระจายอยู่ในอากาศและไม่จำกัดขอบเขตอยู่ในเฉพาะภายในอาคาร อุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่คือ Bluetooth และ Wireless Lan โดยที่ใช้ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz โดยสัญญาณรบกวนอาจจะทำให้สมรรถนะของเครือข่าย ZigBee ลดลง เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ใช้ช่องสัญญาณย่านความถี่เดียวกันเครือข่าย ZigBee

1.2 หลักการ และเหตุผล

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของคนทุกคนในสังคมมากและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee ก็เป็นระบบเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก เป็นการสื่อสารที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ มีราคาถูก ใช้พลังงานต่ำ การใช้งานเครือข่าย ZigBee ภายในอาคารที่มีโครงสร้างของอาคารและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณและการสื่อสารได้ การประเมินค่าประสิทธิภาพของระบบไร้สาย โดยจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อ

ประสิทธิภาพของระบบไร้สายเพื่อนำไปสู่การแก้ไขและพัฒนาระบบไร้สายให้สามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อคุณภาพการให้บริการเพิ่มมากขึ้น

โครงการนี้จะทำการศึกษาคือการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ZigBee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุด (point – to – point) โดยจะทำการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณในรูปของค่าความแรงของสัญญาณ(Received signal strength indication)ที่วัดได้เมื่อทำการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของการส่งสัญญาณ เช่น ช่องสัญญาณ(channel) และกำลังส่งสัญญาณ (Power level) ZigBee เมื่อใช้งานเครือข่ายภายในอาคาร ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโครงการนี้สามารถใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพการสื่อสารภายในเครือข่าย ZigBee ที่ใช้งานภายในอาคารได้ต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคือการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุดภายในอาคาร
2. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่าย ZigBee ในประเด็นต่างๆ เช่น คุณภาพของสัญญาณ เวลาในการรับและส่งข้อมูลในแต่ละครั้ง และค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) เป็นต้น
3. เพื่อวิเคราะห์คุณภาพการสื่อสารภายในเครือข่าย ZigBee ที่ใช้ช่องสัญญาณ (channel) และกำลังส่งสัญญาณ (Power level) ของ ZigBee ที่แตกต่างกัน
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในภาคทฤษฎีของวิชาต่างๆที่ได้จากการศึกษา มาปฏิบัติและประยุกต์ใช้ได้จริง

1.4 ขอบเขตงาน

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม X-CTU เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ของเครือข่าย ZigBee ณ ระยะต่างๆภายในอาคาร
3. สํารวจสถานที่ กำหนดพารามิเตอร์ของเครือข่าย ZigBee เพื่อศึกษาผลที่เกิดจากการใช้ช่องสัญญาณ(channel) และกำลังส่งสัญญาณ(Power level) ของ ZigBee ที่แตกต่างกัน
4. ทดลองวัดคุณภาพความแรงของสัญญาณจากสถานการณ์ต่างๆในสภาพแวดล้อมจริง

5. ศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณ(channel)และกำลังส่งสัญญาณ(Power level) ของ ZigBee
6. วิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นเช่น คุณภาพของสัญญาณและค่าความแรงของสัญญาณ(RSSI)
7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา นำมาพล็อตกราฟ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้เกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ZigBee
2. มีความรู้เกี่ยวกับคุณภาพสัญญาณและผลกระทบต่างๆของประสิทธิภาพการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee
3. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้งาน โปรแกรม X-CTU เบื้องต้น
4. ผลงานที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณภาพการสื่อสารภายในเครือข่าย ZigBee
5. สามารถนำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบอาชีพ
6. สามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ
7. สามารถแก้ปัญหาจากการปฏิบัติงานจริง เช่น การแก้ปัญหาต่างๆการทำงานเป็นทีม



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องระบบ เครือข่าย ZigBee รายละเอียดถึง ระบบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

2.2 ระบบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

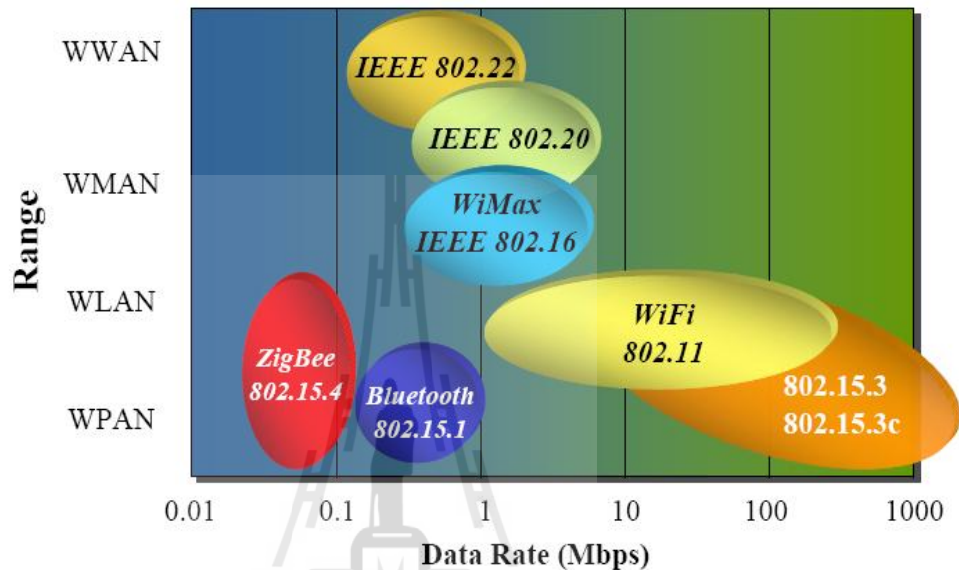
ชื่อ ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน ที่เกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่โดยมีกลุ่ม ZigBee Alliance เป็นหน่วยกำหนดมาตรฐาน

ZigBee ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้ เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็กจิ๋ว จำนวนเป็นพันๆ หมื่นๆ ชิ้นที่ฝังอยู่ตามส่วนต่างๆ ในอาคาร สำนักงาน โรงงาน หรือแม้แต่ในบ้าน การทำงานของมันจะเป็นการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณข้อมูล ผ่านชิปเล็กจิ๋วนี้จุดต่อจุดไปเรื่อยๆ จนถึงปลายทางที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้อาจจะเป็นการวัดอุณหภูมิ การเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต จับปริมาณมลพิษในอากาศ ปริมาณน้ำ ท่อแก๊สโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่กินไฟน้อยมาก

2.2.1 มาตรฐานของระบบเครือข่าย ZigBee

ระบบเครือข่าย ZigBee ใช้ข้อกำหนด IEEE 802.15.4 เป็นชั้น Medium Access control (MAC) และชั้นฟิสิกอล (Physical) ของตัวมันเอง กำหนดขึ้น สำหรับโครงข่าย WPAN ที่มีอัตราการรับส่ง ข้อมูลไม่สูงมากประมาณ 1 ถึง 5 Mbps แต่มีการใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษประมาณ 100 uW (แบตเตอรี่มีอายุ การใช้งานได้หลายเดือนหรือหลายปี) ซึ่งจะเป็มาตรฐานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ , กล้องถ่ายรูป, เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา และเครื่องเล่นเพลง MP3 เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีร่างมาตรฐานย่อยซึ่งเรียกว่า IEEE 802.15.4a สำหรับอัตราการรับส่งข้อมูลไม่เกิน 1 Mbps แต่มีระยะ การส่งไกลมากขึ้นได้ถึง 75 เมตร แต่ยังคงมีอัตรา

การใช้พลังงานต่ำมาก (สามารถใช้ได้หลายเดือน กรณีใช้ แบตเตอรี่) ถูกออกแบบมาสำหรับโครงข่าย Wireless sensor network และโครงข่ายไร้สายสำหรับอุปกรณ์ควบคุม ในโรงงานอุตสาหกรรม คำที่ใช้ในการทำตลาดของโครงข่าย WPAN ของกลุ่มบริษัทผู้ผลิตบางบริษัทจะให้ชื่อว่า XBee



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบช่วงความถี่ของมาตรฐานต่างๆ

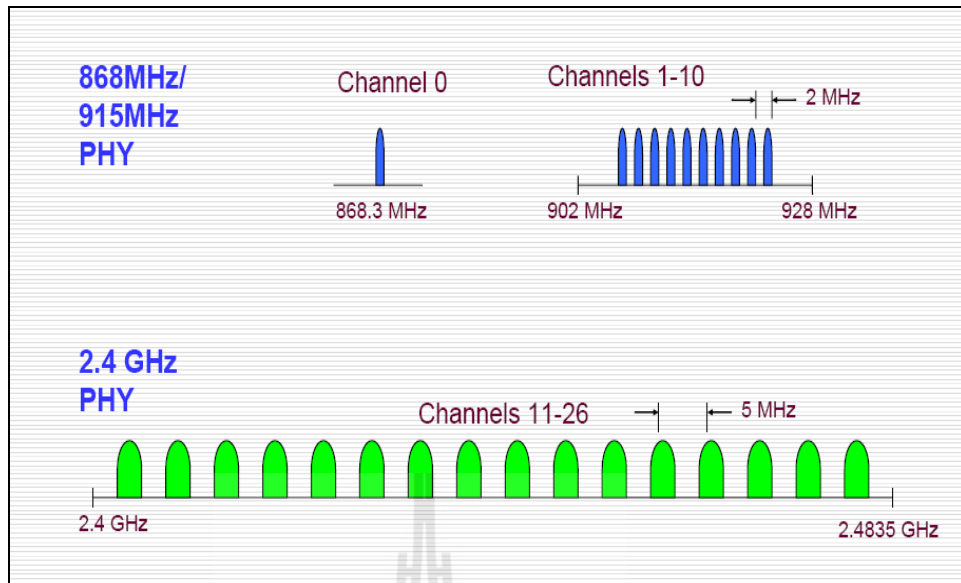
IEEE 802.15.4 ได้กำหนดช่องสัญญาณย่านความถี่สำหรับการทำงานเป็นสามย่านความถี่ คือ 2.4 GHz, 915 MHz, 868 MHz ในแต่ละย่านความถี่จะมีจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดอยู่ช่วงหนึ่ง ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz จะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 11-26) ช่องสัญญาณละ 5 MHz ซึ่งมีความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณย่อยตามสมการดังนี้

$$\text{Center Frequency} = 2.405 + (\text{CH} - 11d) * 5 \text{ MHz}$$

สำหรับ CH = หมายเลขของช่องสัญญาณ

d = decimal

ย่านความถี่ 868 MHz จะมีช่องสัญญาณ 1 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 0 และย่านความถี่ 915 MHz จะมีช่องสัญญาณ 10 ช่อง (ช่องสัญญาณที่ 1-10) ช่องสัญญาณละ 2 MHz



รูปที่ 2.2 แสดงจำนวนช่องสัญญาณแต่ละย่านความถี่

ใช้การผสมสัญญาณ (modulation) แบบ Offset Quadrature Phase Shift Keying (Offset-QPSK) และใช้การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ที่มีอัตราการสเปรดดิ้ง (spreading) ๒ ล้าน chip/sec ควบคุมการรับส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอลแบบ Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA) และเพื่อให้การสื่อสารเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นมาตรฐานเดียวกัน

อัตราการส่งข้อมูลของระบบเครือข่าย ZigBee ขึ้นอยู่กับย่านความถี่ที่ใช้งาน ย่านความถี่ 2.4 GHz จะให้อัตราการส่งข้อมูล 250 kbps, ย่านความถี่ 915 MHz จะให้อัตราการส่งข้อมูล 40 kbps และย่านความถี่ 868 MHz จะให้อัตราการส่งข้อมูล 20 kbps อัตราการส่งข้อมูลที่แท้จริงจะน้อยกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากการเพิ่มเฮดเดอร์และความล่าช้าที่เกิดในกระบวนการทำงาน

ความยาวสูงสุดของ MAC แพ็กเก็ต คือ 127 ไบต์ รวมทั้งมีค่า CRC 16 บิตที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของเฟรม นอกจากนี้ IEEE 802.15.4 ใช้กระบวนการยืนยันการได้รับข้อมูล (Acknowledgement)

| <u>BAND</u> | <u>COVERAGE</u> | <u>DATA RATE</u> | <u>CHANNELS</u> |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 2.4 GHz | ISM Worldwide | 250 kbps | 16 |
| 915 MHz | ISM Americas | 40 kbps | 10 |
| 868 MHz | Europe | 20 kbps | 1 |

รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆ แต่ละย่านความถี่

2.3 โครงสร้างของโปรโตคอล ZigBee

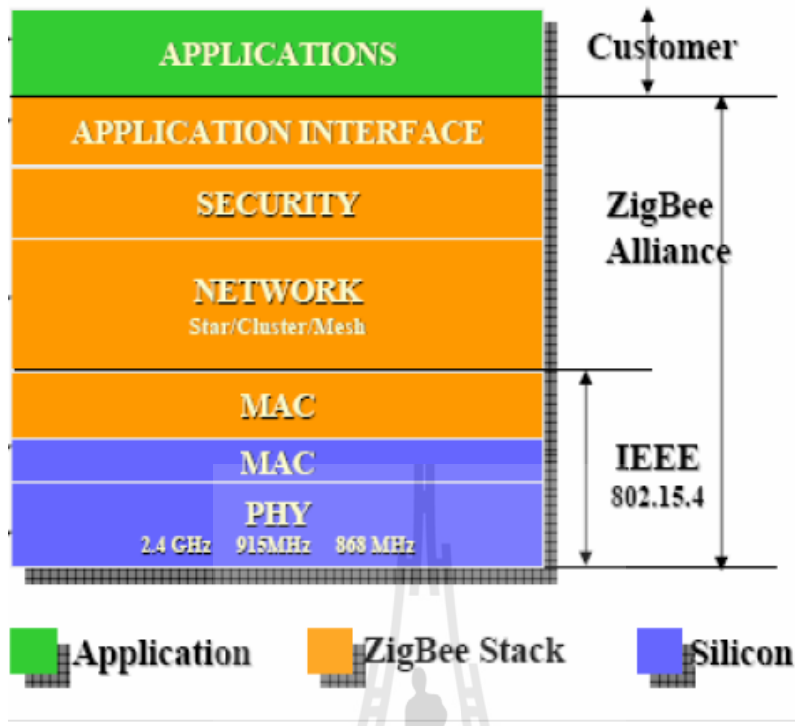
Application Layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint เป็นการทำงานบนเฟรม (Application Framework) โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งานบน Application Layer และออกแบบการใช้งานแอปพลิเคชันโปรไฟล์

Application Support Sub-Layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรม Application Layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application Layer

Network Layer ทำหน้าที่ใช้ในการหาเส้นทาง (Routing) ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน ทำหน้าที่การจัดการ Topology การจัดการ MAC การจัดการด้านความปลอดภัย และการค้นหาโปรโตคอล

MAC Layer ทำหน้าที่เข้าถึงช่องสัญญาณ การส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ และทำการ PAN maintenance

Physical Layer ทำหน้าที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ การส่งและรับข้อมูล



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของโปรโตคอล Zigbee

โปรโตคอล ZigBee ถูกออกแบบมาเฉพาะในส่วนของ Application layer, Application support layer และ Network layer เท่านั้น แต่ใช้ MAC layer และ Physical layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

2.3.1 Zigbee โปรโตคอลสแตก

ชั้นสแตก ZigBee ประกอบด้วย ชั้นเครือข่าย ชั้นแอปพลิเคชัน และการให้บริการรักษาความปลอดภัย (SSP) อุปกรณ์แต่ละหัวข้อของ ZigBee ควรมีลักษณะพิเศษที่สามารถใช้งานได้ทั้งแบบสาธารณะและส่วนตัว ซึ่งรูปแบบนั้นจะถูกนิยามตามสภาพแวดล้อมของแอปพลิเคชัน ชนิดของอุปกรณ์คลัสเตอร์ถูกใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร รูปแบบการติดต่อแบบสาธารณะรับรองการให้บริการที่ต่างกันของผู้ให้บริการสำหรับที่ว่างแอปพลิเคชันเดียวกัน

อุปกรณ์ถูกนิยามโดยรูปแบบและถูกประกอบด้วยวัตถุแอปพลิเคชันต่างๆ แต่ละวัตถุแอปพลิเคชันถูกติดต่อกับส่วนพักของสแตก ZigBee โดย endpoint ซึ่งมีที่อยู่องค์ประกอบในอุปกรณ์ การติดต่อสื่อสารถูกสร้างจาก endpoint ไปยัง endpoint และส่งผ่านโครงสร้างข้อมูลที่ถูกเรียกโดยคลัสเตอร์ คลัสเตอร์จะมีกลุ่มของแอททริบิวต์ที่จำเป็นสำหรับการใช้ข้อมูลร่วมกัน

ระหว่างวัตถุแอปพลิเคชัน คลัสเตอร์ถูกใช้ในแอปพลิเคชันพิเศษซึ่งถูกนิยามลงในรูปแบบของตัวมันเอง แต่ละอินเตอร์เฟสสามารถส่งหรือรับข้อมูลในรูปแบบของคลัสเตอร์ได้

0 และ 255 เป็น endpoint พิเศษถูกใช้สำหรับการตั้งค่าและการจัดการของการเข้าถึงอุปกรณ์ ZigBee แอปพลิเคชันสามารถติดต่อสื่อสารกับชั้นอื่นๆของสแตก ZigBee ที่ติดตั้ง และตั้งค่าไว้แล้วได้ การเพิ่ม endpoint 0เป็นวัตถุของอุปกรณ์ ZigBee (ZigBee Device Object) endpoint 255 ถูกใช้เพื่อส่งไปยังทุกๆ endpoint ขณะที่ endpoint 241- 254 ถูกจองไว้ แอปพลิเคชันที่สนับสนุนชั้นที่ต่ำกว่าที่ติดต่อกับ endpoint กับ ชั้นเครือข่าย SSP เป็นตัวช่วยให้ endpoint ทั้งหมด กับการส่งข้อมูล การรักษาความปลอดภัย และการ Binding (การ Binding เป็นความสามารถในการจับความแตกต่างแต่ละอุปกรณ์เข้าด้วยกัน เช่น สวิตช์)

ชั้นเครือข่ายใช้อุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ ในการหาเส้นทางของข้อความ และการค้นหาเครือข่าย การสนับสนุนแอปพลิเคชันในชั้นต่ำกว่าถูกให้บริการในชั้นนี้ แอปพลิเคชันสามารถคอนฟิกและส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ของชั้นเครือข่ายผ่านทาง ZDO

2.3.2 การรักษาความปลอดภัย

SSP เป็นตัวรักษาความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม การรักษาความปลอดภัยของระบบถูกนิยามที่รูปแบบระดับของโพรไฟล์ ซึ่งการนิยามชนิดขององค์ประกอบการรักษาความปลอดภัยในเครือข่ายพิเศษ แต่ละชั้น MAC เครือข่าย และชั้นแอปพลิเคชัน สามารถรักษาความปลอดภัย และใช้กุญแจรักษาความปลอดภัยร่วมกันได้เพื่อการลดการเก็บความต้องการ SSP ถูกติดตั้งและคอนฟิกผ่านทาง ZDO และต้องการองค์ประกอบพิเศษ

การถอดรหัสพื้นฐาน ZigBee พิเศษนิยามให้การใช้ “tru st center” หรือ การไว้ใจ ศูนย์กลางเหมือนกับเป็นอุปกรณ์ในเครือข่ายที่ใช้กระจายกุญแจรักษาความปลอดภัย

2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบเครือข่าย ZigBee

ชนิดอุปกรณ์ของ ZigBee สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบ Physical Device และแบบLogical Device

2.4.1 แบบ Physical Device เป็นอุปกรณ์ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งจะมีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

2.4.1.1 Full function device (FFD) เป็นเราเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดต่อกันได้

โดยสามารถทำงานได้ใน 3 รูปแบบ คือ personal area network (PAN) coordinator, coordinator, a device ซึ่ง FFD สามารถติดต่อไปยัง RFD หรือ FFD ตัวอื่นๆ ได้

2.4.1.2 Reduced function device (RFD) เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่ายใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ได้ ซึ่ง ถูกออกแบบให้มีรูปแบบการทำงานที่ง่าย เช่น สวิตช์ หลอดไฟ อินฟราเรดเซนเซอร์ เป็นต้น RFD จะมีการส่งข้อมูลน้อยและสามารถติดต่อไปยัง FFD ได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ดังนั้น RFD จึงใช้พลังงานและหน่วยความจำน้อย

| Device Type | Services Offered | Typical Power Source | Typical Receiver Configuration |
|-------------------------------|------------------|----------------------|--------------------------------|
| Full Function Device (FFD) | Most or All | Mains | On when Idle |
| Reduced Function Device (RFD) | Limited | Battery | Off when Idle |

รูปที่ 2.5 แสดงประเภทอุปกรณ์ของ IEEE 802.15.4

2.4.2 แบบ Logical Device เป็นอุปกรณ์ของ ZigBee Protocol จะมีอยู่ 3 ตัว คือ Coordinator, End device, Router ซึ่งจะมีการทำงานดังนี้

2.4.2.1 Coordinator เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD โดย Coordinator จะมี 1 ตัวในระบบเครือข่ายทำหน้าที่สร้างระบบเครือข่าย กำหนด Network Address และ เก็บตาราง binding

2.4.2.2 End device เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD หรือ RFD มีหน้าที่ตรวจสอบ หรือ / และ ควบคุมการทำงานต่างๆ

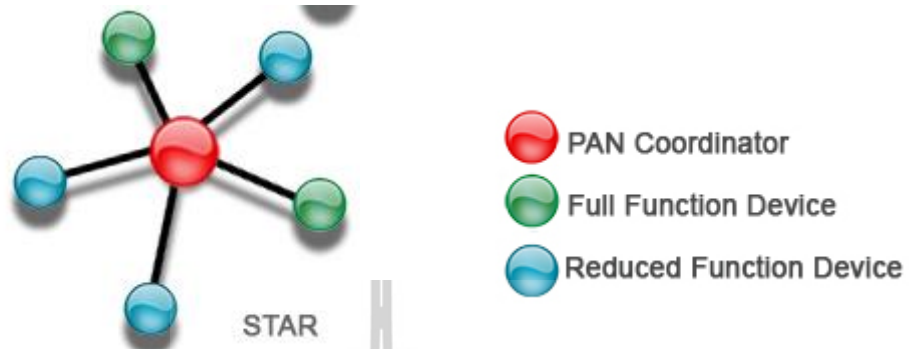
2.4.2.3 Router เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD มีหน้าที่เพิ่มระยะให้กับระบบเครือข่าย และเพิ่มจำนวนของจุดเชื่อมต่อ และอาจจะตรวจสอบ หรือ/และ ควบคุมการทำงานต่างๆ ได้เหมือนกับ End device

| ZigBee Protocol Device | IEEE Device Type | Typical Function |
|------------------------|------------------|---|
| Coordinator | FFD | One per network. Forms the network, allocates network addresses, holds binding table. |
| Router | FFD | Optional. Extends the physical range of the network. Allows more nodes to join the network. May also perform monitoring and/or control functions. |
| End | FFD or RFD | Performs monitoring and/or control functions. |

รูปที่ 2.6 แสดงประเภทอุปกรณ์ของ ZigBee Protocol และ IEEE 802.15.4

2.5 Topology ของระบบเครือข่าย ZigBee

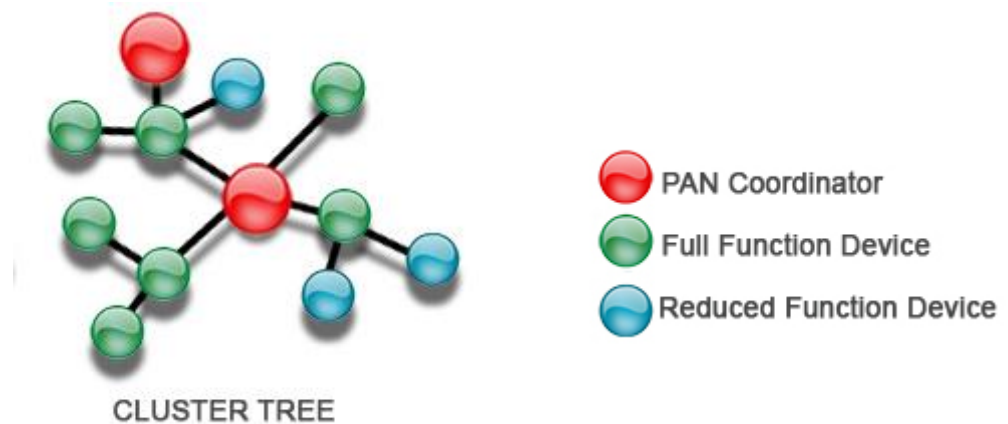
2.5.1 เครือข่ายแบบสตาร์ (Star Network)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Star

ประกอบด้วยจุดเชื่อมต่อโปรโตคอล ZigBee 1 จุด และอุปกรณ์ปลายทางหลาย ๆ ในเครือข่ายแบบสตาร์อุปกรณ์ปลายทางทั้งหมดจะสื่อสาร กับอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้น ถ้าอุปกรณ์ปลายทางหนึ่งต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ปลายทางอื่น ๆ ต้องส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อทำหน้าที่ส่งข้อมูล ไปยังผู้รับ

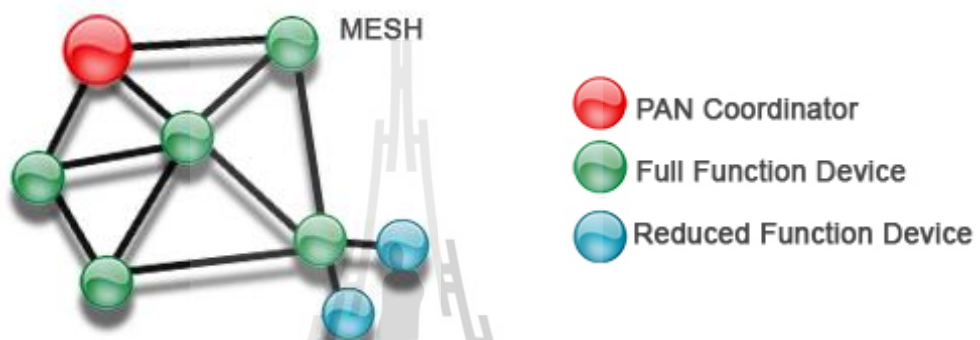
2.5.2 เครือข่ายแบบต้นไม้ (Cluster Tree)



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Cluster Tree

ในเครือข่ายนี้ อุปกรณ์ปลายทางจะสามารถเชื่อมต่อได้กับอุปกรณ์เชื่อมต่อหรือ ZigBee โปรโตคอลเราเตอร์ ทำหน้าที่ 2 ประเภท คือ เพิ่มจำนวนโหนดที่สามารถเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่าย และขยายขนาดของเครือข่าย เนื่องจาก เราเตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังจุดต่างๆของเครือข่ายได้ โดยที่ อุปกรณ์ปลายทางไม่จำเป็นต้องอยู่ในระยะการส่งสัญญาณวิทยุ

2.5.3 เครือข่ายแบบเมช (Mesh Network)



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเครือข่ายแบบ Mesh

เครือข่ายแบบเมชใช้กับเครือข่ายแบบต้นไม้ ยกเว้นอุปกรณ์ FFD สามารถส่งข้อมูลไปยัง FFD อื่นได้โดยตรงไม่ต้องผ่านโครงสร้างต้นไม้ ข้อมูลที่ส่งไปยัง RFD จะต้องทำการต่อผ่าน อุปกรณ์ RFD ก่อนหน้า ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้ คือ ช่วยลดอัตราความล่าช้าของการส่ง และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

เครือข่ายแบบต้นไม้และเครือข่ายแบบเมช มีอีกชื่อว่า เครือข่ายหลายจุด (Multi-Hop) ขณะที่เครือข่ายแบบสตาร์เป็น เครือข่ายจุดเดียว (Single-Hop) เครือข่ายโปรโตคอล ZigBee เป็นเครือข่ายแบบเชื่อมต่อได้หลายอุปกรณ์พร้อมกัน ซึ่งหมายความว่า จุดเชื่อมต่อ ในเครือข่ายทุกจุดมีสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารเท่าๆกันมีวิธีการเชื่อมต่อแบบหลายอุปกรณ์พร้อมกัน 2 วิธี ได้แก่ Beacon และ Non-Beacon การเชื่อมต่อแบบ Non-Beacon ทุกจุดเชื่อมต่อในเครือข่ายส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาที่ช่องสัญญาณว่างอยู่ ในเครือข่ายแบบ Beacon จุดเชื่อมต่อจะสามารถส่งข้อมูลได้ในเวลาที่ถูกระบุไว้ล่วงหน้าเท่านั้น

2.6 ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1971 บนเกาะฮาวาย โดยโปรเจกต์ของนักศึกษาของมหาวิทยาลัยฮาวาย ที่ชื่อว่า “ALOHNET” ขณะนั้นลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ Bi-directional ส่งไป-กลับง่ายๆ ผ่านคลื่นวิทยุ สื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 เกาะโดยรอบ และมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะๆหนึ่ง ที่ชื่อว่า Oahu

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนไร้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ , ทะลุกำแพง, เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนี้ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย ที่สำคัญก็คือ การที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

2.6.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1. mobility improves productivity & service มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อ กับเครือข่ายตลอดเวลา トラバドที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาส่งข้อมูล
2. installation speed and simplicity สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล และไม่รกรุงรัง
3. installation flexibility สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแค่มิพีซีการ์ดมาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊ก หรือพีซี ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที
4. reduced cost-of-ownership ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วยความสะดวกในการติดตั้ง

5. scalability เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก

ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์เพียงไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสามารถสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่ายได้

2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE802.11 ซึ่งได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 โดย IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) และเป็นเทคโนโลยีสำหรับ WLAN ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือข้อกำหนด (Specification) สำหรับอุปกรณ์ WLAN ในส่วนของ Physical (PHY) Layer และ Media Access Control (MAC) Layer โดยในส่วนของ PHY Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 Mbps โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 และ 5 GHz, และ อินฟราเรด (Infarred) (1 และ 2 Mbps เท่านั้น) สำหรับในส่วนของ MAC Layer มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับหลักการ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครือข่าย LAN แบบใช้สายนำสัญญาณ นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEEE802.11 ยังกำหนดให้มีทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) ด้วย

2.7.1 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวจะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 และ 2 Mbps ด้วยสื่อ อินฟราเรด (Infarred) หรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก WEP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย WLAN ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชัน

แรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อีกมาก IEEE จึงได้จัดตั้ง คณะทำงาน (Task Group) ขึ้นมาหลายชุดด้วยกันเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มี ศักยภาพสูงขึ้นโดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11g, และ IEEE 802.11i

- **IEEE 802.11b**

คณะทำงานชุด IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่ยอมรับและ ใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุง ความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz (เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้อย่าง สาทกสำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดย อุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย, และเตาไมโครเวฟ) ส่วน ใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้และใช้เครื่องหมายการค้าที่ยอมรับกันในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูก กำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatability Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับ เครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และ สามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

- **IEEE 802.11a**

คณะทำงานชุด IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อ ปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps แต่จะใช้ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มี สัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามข้อเสียหนึ่งของ มาตรฐาน IEEE 802.11a ที่ใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ 5 GHz ก็คือในบางประเทศย่านความถี่ดังกล่าวไม่ สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการใช้งานอุปกรณ์ IEEE 802.11a เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้ ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ก็คือรัศมีของสัญญาณมีขนาดเล็กค่อนข้างสั้น

(ประมาณ 30 เมตร ซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร สำหรับการใช้งานภายในอาคาร) อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN ยังมีราคาสูงกว่า IEEE 802.11b WLAN ด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IEEE 802.11a WLAN จึงได้รับความนิยมน้อยกว่า IEEE 802.11b WLAN มาก

- **IEEE 802.11g**

คณะกรรมการชุด IEEE 802.11g ได้ใช้เทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุ ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b WLAN ได้ (backward-compatible) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มสูงกว่าอุปกรณ์ IEEE 802.11g WLAN จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายหากมีราคาไม่แพงจนเกินไปและน่าจะมาแทนที่ IEEE 802.11b ในที่สุด ตามแผนการแล้วมาตรฐาน IEEE 802.11g จะได้รับการตีพิมพ์ประมาณช่วงกลางปี พ.ศ. 2546

- **IEEE 802.11e**

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานหลักการ Quality of Service สำหรับ application เกี่ยวกับมัลติมีเดีย (Multimedia) เนื่องจาก IEEE 802.11e เป็นการปรับปรุง MAC Layer ดังนั้นมาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้

- **IEEE 802.11i**

คณะกรรมการชุดนี้ได้รับมอบหมายให้ปรับปรุง MAC Layer ของ IEEE 802.11 ในด้านความปลอดภัย เนื่องจากเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN มีช่องโหว่อยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) ด้วย key ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คณะกรรมการชุด IEEE 802.11i จะนำเอาเทคนิคขั้นสูงมาใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลด้วย key ที่มีการเปลี่ยนค่าอยู่เสมอและการตรวจสอบผู้ใช้ที่มีความปลอดภัยสูง มาตรฐานเพิ่มเติมนี้จึงสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ทุกเวอร์ชันได้

2.8 ประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็น ค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength indication), กำลังส่งสัญญาณ (Power level), ช่องสัญญาณ(channel), ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่ง, จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งานในเวลาเดียวกัน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมต่างๆที่อยู่รอบๆ ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ทั้งสิ้น

2.8.1 ค่าความแรงของสัญญาณ(Received signal strength indication)กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ความแรงของสัญญาณ(Received signal strength indication) หรือ RSSI เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณที่ได้รับในเทอมของพลังงานมีหน่วยเป็น dBm (decibels milliwatt) โดยค่า RSSI จะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ นั่นคือ ถ้าค่า RSSI มีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง นั่นคือตัวส่งและตัวรับอยู่ใกล้กัน และในทางกลับกันหากค่า RSSI มีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ ตัวส่งและตัวรับอยู่ไกลกัน

2.8.2 กำลังส่งสัญญาณ (Power level)กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

กำลังส่งสัญญาณ (Power level) เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณ โดยเมื่อค่า Power level มีค่าต่ำ ระดับกำลังส่งของสัญญาณก็จะมีค่าต่ำ ทำให้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับมีค่าน้อย และเมื่อค่า Power level มีค่าสูงขึ้น ระดับกำลังส่งของสัญญาณก็จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับมีค่ามาก

2.8.3 ช่องสัญญาณ(channel)กับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ช่องสัญญาณ(channel) มีผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee กล่าวคือ การเลือกใช้ ช่องสัญญาณ(channel) ในย่านความถี่ใกล้เคียงกันเกิดสัญญาณรบกวนจะมีผลต่อการรับส่งข้อมูล

2.8.4 ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee กล่าวคือ ถ้าไฟล์ที่รับ-ส่งเป็นไฟล์ขนาดใหญ่ก็จะส่งผลให้รับ-ส่งข้อมูลได้ช้ากว่าไฟล์

ขนาดเล็ก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือถ้ารับ-ส่งข้อมูลด้วยไฟล์ขนาดใหญ่จำนวน n ไฟล์ กับรับ-ส่งไฟล์ขนาดเล็กจำนวน n ไฟล์ ที่ระดับความแรงเดียวกัน ไฟล์ขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการรับ -ส่งข้อมูลที่สูงกว่าไฟล์ขนาดเล็กนั่นเอง

2.8.5 จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งาน ณ เวลาเดียวกันกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

เมื่อมีผู้ใช้งานพร้อมๆกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee กล่าวคือเมื่อมีผู้ใช้งานพร้อมๆกันหลายคนก็จะเกิดการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลให้การรับ-ส่งข้อมูลเป็นไปได้ช้าลง และยังมีผู้ใช้งานพร้อมๆกันมากๆก็จะส่งผลให้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลต่ำลงและส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นหรือประสิทธิภาพของระบบลดลงนั่นเอง

2.8.6 สภาพแวดล้อมกับประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

สภาพแวดล้อมในที่นี้หมายถึงสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบๆ อุปกรณ์ ZigBee ซึ่งสภาพแวดล้อมนี้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่นเดียวกับปัจจัยอื่นๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของอาคารหรือคนที่อยู่ภายในบริเวณนั้นๆล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นผนัง, เสา, พื้นที่ที่เป็นมุมอับ หรือแม้กระทั่งผู้คนที่เดินไปเดินมาล้วนส่งผลให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงทั้งสิ้น (ระดับความแรงของสัญญาณลดลง) ปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ยากจะควบคุม ในบางครั้งแค่มีคนเดินผ่านเพียงแค่ช่วงเวลาสั้นๆก็จะส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงหรือแม้จะอยู่ห่างกันเพียงระยะทางไกลๆแต่มีเสาขวางอยู่เพียงนิดเดียวก็ส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงได้ เช่นเดียวกัน จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่ภายในอาคารเดียวกันแต่ห้องที่อยู่ติดกันจะรับสัญญาณได้ไม่เท่ากัน ซึ่งสิ่งกีดขวางนี้ถ้ามีผลทำให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงมากเท่าใดก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ลดลงด้วยเช่นกัน

2.9 ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ไม่ว่าจะเป็น ระดับความแรงสัญญาณ (Signal Strength), ระดับ SNR, ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่ง, จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งาน ณ เวลาเดียวกัน รวมไปถึงสภาพแวดล้อมต่างๆที่อยู่รอบๆเครือข่ายท้องถิ่น

ไร้สายนั้น ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งสิ้น

2.9.1 ความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) กับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS)

ความแรงของสัญญาณหรือ Signal Strength เป็นค่าที่บ่งบอกว่า ณ ตำแหน่งนั้นๆจะมีระดับความแรงของสัญญาณเท่าใด ความแรงของสัญญาณจะมีค่าเป็นลบเสมอ โดยที่ระดับความแรงของสัญญาณจะมีค่าสูงเมื่ออยู่ใกล้ๆ Access Point (AP) และเมื่อระยะห่างระหว่าง Access Point (AP) กับคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นระดับความแรงของสัญญาณก็จะลดลงจนกระทั่งไม่สามารถจับสัญญาณจาก Access Point (AP) ตัวเดิมได้

ความแรงของสัญญาณมีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) เนื่องจากเมื่อระดับความแรงของสัญญาณลดลงก็จะส่งผลให้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นและยังสัญญาณมีค่าต่ำมาก (น้อยกว่า -80 dB) ก็จะส่งผลให้รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้หรือรับ-ส่งได้ช้ามากๆ

2.9.2 SNR กับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS)

SNR หรือค่า Signal to Noise Ratio เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณและสัญญาณรบกวน ค่า SNR ที่มีค่ามากย่อมหมายถึงประสิทธิภาพของสัญญาณที่ดี โดยที่ค่า SNR จะแปรผันกับระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) นั่นคือ ยิ่งค่าความแรงของสัญญาณมีค่ามากก็จะส่งผลให้ค่า SNR มีค่ามากตามไปด้วยและถ้าความแรงของสัญญาณมีค่าลดลงก็จะส่งผลให้ค่า SNR มีค่าลดลงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ค่า SNR จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เช่นเดียวกับระดับความแรงของสัญญาณ ค่า SNR ที่สูงๆก็จะส่งผลให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วแต่ถ้าค่า SNR มีค่าต่ำๆก็จะส่งผลให้การรับ-ส่งข้อมูลเป็นไปได้ช้าลง

2.9.3 ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS)

ขนาดของไฟล์ที่รับ-ส่งมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย กล่าวคือ ถ้าไฟล์ที่รับ-ส่งเป็นไฟล์ขนาดใหญ่ก็จะส่งผลให้รับ-ส่งข้อมูลได้ช้ากว่าไฟล์ขนาดเล็ก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือถ้ารับ-ส่งข้อมูลด้วยไฟล์ขนาดใหญ่จำนวน n ไฟล์ กับรับ-ส่งไฟล์ขนาดเล็กจำนวน n ไฟล์ ที่ระดับความแรงเดียวกัน ไฟล์ขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการรับ-ส่งข้อมูลที่สูงกว่าไฟล์ขนาดเล็กนั่นเอง

2.9.4 จำนวนผู้ใช้งานที่ใช้งาน ณ เวลาเดียวกันกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS)

เมื่อมีผู้ใช้งานพร้อมๆกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย กล่าวคือเมื่อมีผู้ใช้งานพร้อมๆกันหลายคนก็จะเกิดการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ซึ่งจะส่งผลให้การรับ-ส่งข้อมูลเป็นไปได้ช้าลง และยังมีผู้ใช้งานพร้อมกันมากๆก็จะส่งผลให้อัตราการรับ-ส่งข้อมูลต่ำลงและส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นหรือประสิทธิภาพของระบบลดลงนั่นเอง

2.9.5 สภาพแวดล้อมกับประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANS)

สภาพแวดล้อมในที่นี้หมายถึงสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบๆ AP ซึ่งสภาพแวดล้อมนี้มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่นเดียวกับปัจจัยอื่นๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของอาคารหรือคนที่อยู่ภายในบริเวณนั้นๆล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นผนัง, เสา, พื้นที่เป็นมุมอับ หรือแม้กระทั่งผู้คนที่เดินไปเดินมาล้วนส่งผลให้ประสิทธิภาพของสัญญาณลดลงทั้งสิ้น (ระดับความแรงของสัญญาณลดลง) ปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยที่ยากจะควบคุม ในบางครั้งแม้มีคนเดินผ่านเพียงแค่ช่วงเวลาสั้นๆก็จะส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงหรือแม้จะอยู่ห่างกันเพียงระยะทางไกลๆแต่มีเสาขวางอยู่เพียงนิดเดียวก็ส่งผลให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงได้เช่นเดียวกัน จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่ภายในอาคารเดียวกันแต่ห้องที่อยู่ติดกันจะรับสัญญาณได้ไม่เท่ากัน ซึ่งสิ่งกีดขวางนี้ถ้ามีผลทำให้ระดับความแรงของสัญญาณลดลงมากเท่าใดก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายลดลงด้วยเช่นกัน

ปัจจัยที่กล่าวมาทั้งหมดล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee ซึ่งประสิทธิภาพของระบบที่ลดลงจะส่งผลต่อจำนวนข้อมูล (Throughput) ที่สามารถรับ-ส่งได้มีค่าลดลงตามไปด้วย

บทที่ 3

หลักการการทำงานของอุปกรณ์และโปรแกรมการใช้งานของระบบเครือข่าย ZigBee

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการการทำงานของอุปกรณ์และโปรแกรมการใช้งานของระบบเครือข่าย ZigBee รายละเอียดถึงหลักการการทำงานของโมดูล XBee หลักการทำงานของบอร์ดเชื่อมต่อโมดูล XBee(ZX-XBee) โปรแกรม X-CTU การใช้งานโมดูล XBee เบื้องต้น การทำ Loop Back และการใช้งานโปรแกรม Wireless Mon

3.2 หลักการทำงานของโมดูล XBee

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่จะใช้ในการทดลองนี้ ได้เลือกโมดูลที่มีชื่อว่า XBee เป็นชื่อของเครื่องหมายการค้า โมดูล XBee นี้มีหลากหลายแบบให้เลือกใช้งาน โดยอุปกรณ์โมดูล XBee นี้ได้แบ่งออกเป็น 2 series ซึ่งมี series 1 และ series 2 ทั้งสอง series นี้มีราคาแตกต่างกัน ในการสื่อสารไม่สามารถใช้งานต่าง series กันได้ ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้งาน series 2 เพราะว่า series 2 จะมีข้อดีก็คือ มีการใช้งานที่ง่าย สามารถที่จะสื่อสารกันได้ในแบบ Mesh และสามารถที่จะตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านระบบไร้สายโดยที่ไม่ต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านการทำงานของบอร์ดเชื่อมต่อโมดูล XBee อุปกรณ์โมดูล XBee แต่ละ series ได้แบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยได้แบ่งออกตามระยะทางการสื่อสารของอุปกรณ์ได้ดังนี้

XBee แบบธรรมดา

- กำลังในการส่ง 1-2 mW
- ระยะทางในการสื่อสารภายในอาคารประมาณ 30 เมตร
- ระยะทางในการสื่อสารภายนอกอาคารประมาณ 100-120 เมตร

XBee-Pro

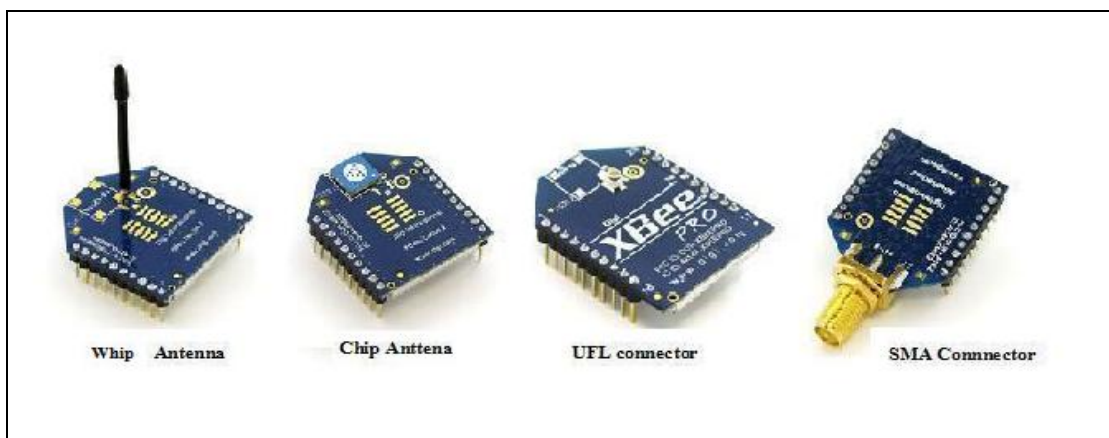
- กำลังในการส่ง 50-60 mW
- ระยะทางในการสื่อสารภายในอาคารประมาณ 100 เมตร
- ระยะทางในการสื่อสารภายนอกอาคารประมาณ 1,500 เมตร

| Module | Antenna Type | Outdoor Distance (Visual Line-of-Sight) | Indoor Distance (Office Building) | Indoor Distance (Warehouse) |
|----------|--------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|
| XBee | Chip | 470 ft. (143 m) | 80 ft. (24 m) | - |
| | Whip | 845 ft. (258 m) | 80 ft. (24 m) | 84 ft. (26 m) |
| XBee-PRO | Chip | 1690 ft. (515 m) | 140 ft. (43 m) | - |
| | Whip | 4382 ft. (1335 m) | 140 ft. (43 m) | 355 ft. (108 m) |

รูปที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบระยะทางการสื่อสารระหว่าง XBee กับ XBee-Pro

อุปกรณ์โมดูล XBee แบบธรรมดาและ XBee -Pro นั้นยังสามารถแบ่งย่อยเป็นได้หลายประเภทตามสายอากาศของตัวโมดูล เพื่อนำไปใช้งานที่เหมาะสม

- **สายอากาศแบบ Whip** มีลักษณะคือมีสายอากาศที่เห็นได้ชัดเจน ทำให้ประสิทธิภาพมากแบบ Chip สามารถสื่อสารที่ระยะได้ไกล แต่ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการบรรจุลงในกล่องซึ่งจะทำให้ชุดอุปกรณ์มีขนาดใหญ่
- **สายอากาศแบบ Chip** มีลักษณะของสายอากาศเป็นแบบ Chip ทำให้สามารถสื่อสารในระยะที่สั้นกว่าแบบอื่น เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบที่จะซ่อนไว้ในกล่องขนาดเล็ก ทำให้ชุดอุปกรณ์ดูสวยงาม
- **UFL Connector** มีการใช้สายอากาศโดยใช้ตัวแปลง UFL to SMA ต่อกันมาแล้ว ต่อเข้ากับสายอากาศ 2.4 GHz ที่ภายนอก เหมาะสำหรับซ่อนไว้ในกล่อง ปลอดภัยจากน้ำฝนฝุ่น ละอองต่างๆ ได้
- **SMA Connector** มีลักษณะคล้ายๆกับแบบ UFL Connector แต่ไม่ต้องแปลง สามารถนำสายอากาศ 2.4 GHz มาต่อได้เลย แต่มีข้อเสียตรง Connector SMA เสียบหรือขึ้นสนิมได้ง่าย



รูปที่ 3.2 แสดงโมดูล XBee ที่มีสายอากาศแบบต่างๆ

3.2.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโมดูล XBee-Pro

จากการทดลองนี้ได้ออกโมดูล XBee-Pro มาใช้ในการทดลองเพราะมีการใช้งานที่ง่าย มีระยะทางในการสื่อสารไร้สายได้ไกล ใช้ความถี่สัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz ที่สามารถใช้งานได้ในประเทศไทย ใช้พลังงานต่ำ และยังสามารถนำอุปกรณ์ไปประยุกต์ใช้งานอย่างอื่นได้ ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งโมดูล XBee-Pro นี้คุณสมบัติโดยทั่วไปดังนี้

- ขนาด 0.96x1.297 นิ้ว หรือ 2.438x3.294 เซนติเมตร
- ความถี่ในการทำงาน 2.4 GHz
- สายอากาศแบบ Whip
- ระยะทางในการสื่อสารไร้สายในร่มสูงสุดประมาณ 100 เมตร
- ระยะทางในการสื่อสารไร้สายกลางแจ้ง (line of sight) สูงสุดประมาณ 1,500 เมตร
- กำลังส่ง 60 mW (18 dBm)
- ความไวในการรับสัญญาณ -100 dBm (1% packet error rate)
- การทำงานของขาพอร์ตสามารถกำหนดผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU เพื่อให้ทำงานเป็น
 - อินพุตอะนาล็อกสำหรับวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็น ดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต
 - อินพุต เอาต์พุตดิจิตอล
- ไฟเลี้ยง 2.8 ถึง 3.4 V
- กระแสไฟฟ้า
 - เมื่อส่งข้อมูล 215 mA
 - รับข้อมูล 55 mA
 - โหมดลดพลังงาน น้อยกว่า 10 μ A
- อุณหภูมิใช้งาน -40 ถึง 85 °C

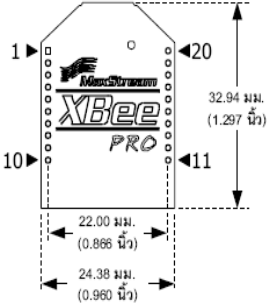
3.2.2 คุณสมบัติด้านการสื่อสารข้อมูลของโมดูล XBee-Pro

- มีอัตราถ่ายทอข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ 250,000 บิตต่อวินาที
- มีอัตราการถ่ายทอข้อมูลอนุกรม (บอดเรต) 1,200 ถึง 115,200 บิตต่อวินาที
- สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์มาสเตอร์และสเลฟได้
- มีรูปแบบโครงข่ายข้อมูลที่รองรับแบบ จุดต่อจุด (Point-to-Point), จุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) และเข้ากันได้กับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4
- สามารถตั้งค่า PAN ID, Channel, Addresses
- เทคโนโลยีในการกระจายคลื่น DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

- รองรับการดำเนินงานคำสั่งทั้งแบบ API และ AT Command สามารถกำหนดได้ผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU
- การรับรองมาตรฐาน
 - สหรัฐอเมริกา (FCC Part 15.247) OUR-XBEEPRO
 - แคนาดา (IC) 4214A XBEEPRO
 - ยุโรป (CE) ETSI (ที่กำลังส่งสูงสุด 10 dBm)
 - ญี่ปุ่น 005NYCA0378 (ที่กำลังส่งสูงสุด 10 dBm)

| Specifications | | XBee | XBee-PRO |
|-------------------------|----------------------------------|--|--|
| Performance | Indoor/Urban Range | up to 100 ft. (30 m) | up to 300 ft. (100 m) |
| | Outdoor RF line-of-sight Range | up to 300 ft. (100 m) | up to 1 mile (1.6 km) |
| | Transmit Power Output | 1 mW (0 dBm) | 60 mW (18 dBm)*, 100 mW EIRP* |
| | RF Data Rate | 250,000 bps | 250,000 bps |
| | Receiver Sensitivity | -92 dBm (1% PER) | -100 dBm (1% PER) |
| Power Requirements | Supply Voltage | 2.8 – 3.4 V | 2.8 – 3.4 V |
| | Transmit Current (typical) | 45 mA (@ 3.3 V) | 215 mA (@ 3.3 V, 18 dBm) |
| | Idle / Receive Current (typical) | 50 mA (@ 3.3 V) | 55 mA (@ 3.3 V) |
| | Power-down Current | < 10 μ A | < 10 μ A |
| General | Frequency | ISM 2.4 GHz | ISM 2.4 GHz |
| | Dimensions | 0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm) | 0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm) |
| | Operating Temperature | -40 to 85° C (industrial) | -40 to 85° C (industrial) |
| | Antenna Options | U.FL Connector, Chip Antenna or Integrated Whip Antenna | U.FL Connector, Chip Antenna or Integrated Whip Antenna |
| Networking and Security | Supported Network Topologies | Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer and Mesh | Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer and Mesh |
| | Number of Channels | 16 Direct Sequence Channels (software selectable) | 12 Direct Sequence Channels (software selectable) |
| | Filtration Options | PAN ID, Channel & Source/Destination Addresses | PAN ID, Channel & Source/Destination Addresses |
| Agency Approvals | FCC Part 15.247 | OUR-XBEE | OUR-XBEEPRO |
| | Industry Canada (IC) | 4214A-XBEE | 4214A-XBEEPRO |
| | Europe (CE) | ETSI | ETSI (Max TX output = 10 mW) |

รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเทคนิคระหว่าง XBee กับ XBee-Pro



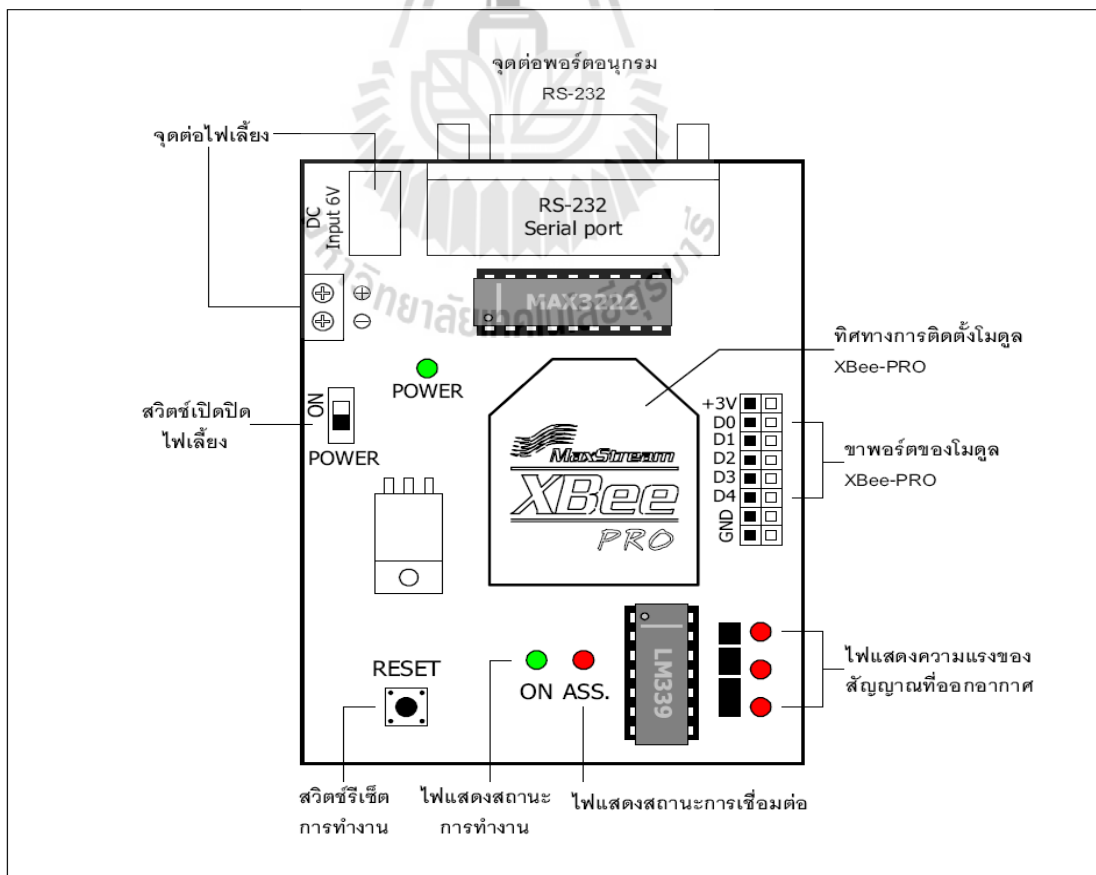
| ขาที่ | ชื่อขา/การทำงาน |
|-------|--|
| 1 | Vcc : ขาดไฟเลี้ยง +3.3V |
| 2 | DOUT : ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม |
| 3 | DIN : ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม |
| 4 | DO8 : ขาเอาต์พุตดิจิตอล ช่อง 8 |
| 5 | RESET : ขารีเซตหลัก (แอกตีฟ "0") |
| 6 | PWM0/RSSI : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 0 และขาเอาต์พุตแสดงแรงของการรับสัญญาณ |
| 7 | PWM1 : ขาเอาต์พุต PWM ช่อง 1 |
| 8 | ไม่ใช้งาน |
| 9 | DTR/SLEEP_RQ/DI8 : ขาอินพุตรับสัญญาณให้หยุดทำงานเข้าสู่โหมดสลีป หรือเป็นขาอินพุตดิจิตอลช่อง 8 |
| 10 | GND : ขาดกราวด์ |
| 11 | AD4/DIO4 : ขาอินพุตอะนาล็อก 4 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 4 |
| 12 | CTS/DIO7 : อินพุตรับสัญญาณแจ้งการส่งข้อมูลจากโฮสต์ (Clear-To-Send) ใช้ในการควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 7 |
| 13 | ON/SLEEP : ขาแสดงสถานะการทำงาน "1" : อยู่ในโหมดทำงานปกติ "0" : อยู่ในโหมดสลีป |
| 14 | VREF : ขาดต่อแรงดันอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ภายใน XBee-PRO |
| 15 | Associated/AD5/DIO5 : ขาแสดงสถานะการเชื่อมต่อ หรือ ขาอินพุตอะนาล็อก 5 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 5 |
| 16 | RTS/AD6/DIO6 : ขาเอาต์พุตแจ้งความพร้อมในการส่งข้อมูล (Ready-To-Send) ใช้ควบคุมจังหวะการรับส่งข้อมูล หรือเป็นขาอินพุตอะนาล็อก 6 หรือเป็นขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 6 |
| 17 | AD3/DIO3 : ขาอินพุตอะนาล็อก 3 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 3 |
| 18 | AD2/DIO2 : ขาอินพุตอะนาล็อก 2 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 2 |
| 19 | AD1/DIO1 : ขาอินพุตอะนาล็อก 1 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 1 |
| 20 | AD0/DIO0 : ขาอินพุตอะนาล็อก 0 หรือ ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล 0 |

รูปที่ 3.4 แสดงการจัดขาของโมดูล XBee-Pro และฟังก์ชันในการทำงาน

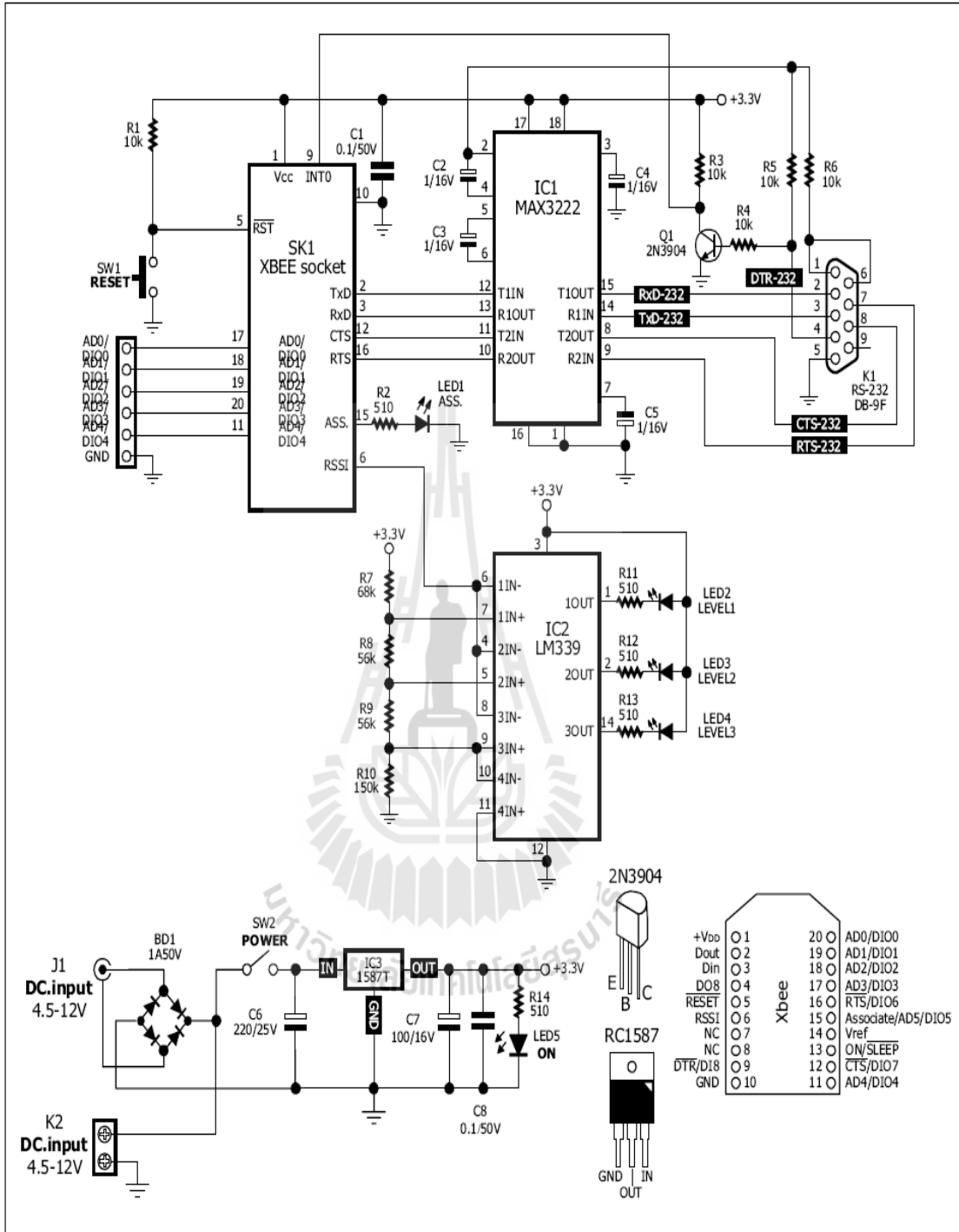
3.3 หลักการทำงานของบอร์ดเชื่อมต่อโมดูล XBee (ZX-XBee)

บอร์ดเชื่อมต่อ โมดูล XBee (ZX-XBee) เป็นบอร์ดสำหรับติดตั้งโมดูล XBee-Pro เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์สำหรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดของบอร์ดและวงจรดังนี้

- มีขนาด 2.25x3.5 นิ้ว
- มีคอนเน็คเตอร์ตัวเมียสำหรับติดตั้งโมดูล XBee และ XBee-Pro
- มีจุดต่อขาพอร์ต D0 ถึง D4 ของโมดูล XBee-Pro ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะการทำงานได้ผ่านทางซอฟต์แวร์ X-CTU
- เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- ใช้งานกับซอฟต์แวร์ X-CTU เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ และใช้ในการอัปเดตเฟิร์มแวร์
- ใช้ไฟเลี้ยงในย่าน +4.5 ถึง 12 V บนบอร์ดมีวงจรควบคุมไฟเลี้ยงที่คงที่ +3.3 V
- มี LED แสดงความพร้อมในการติดต่อสื่อสารข้อมูล ASS.
- มี LED แสดงความแรงของการส่งกระจายคลื่น 3 ระดับ (จะแสดงผลเมื่อมีการรับส่งข้อมูลเท่านั้น)



รูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดของบอร์ด ZX-XBee เชื่อมต่อโมดูล XBee-Pro กับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดวงจรของบอร์ด ZX-XBee เชื่อมต่อโมดูล XBee-Pro กับคอมพิวเตอร์

3.4 โปรแกรม X-CTU

X-CTU เป็น Software interface บนคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยในการ Update Firmware การทดสอบการใช้งาน การตั้งค่าพารามิเตอร์ใน XBee โดยสามารถ Download Software user interface ที่ใช้ร่วมกับ XBee ชื่อ X-CTU ได้ฟรีจาก Maxstream (Digi) สำหรับคอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ XBee-Pro นั้น ควรมีคุณสมบัติดังนี้

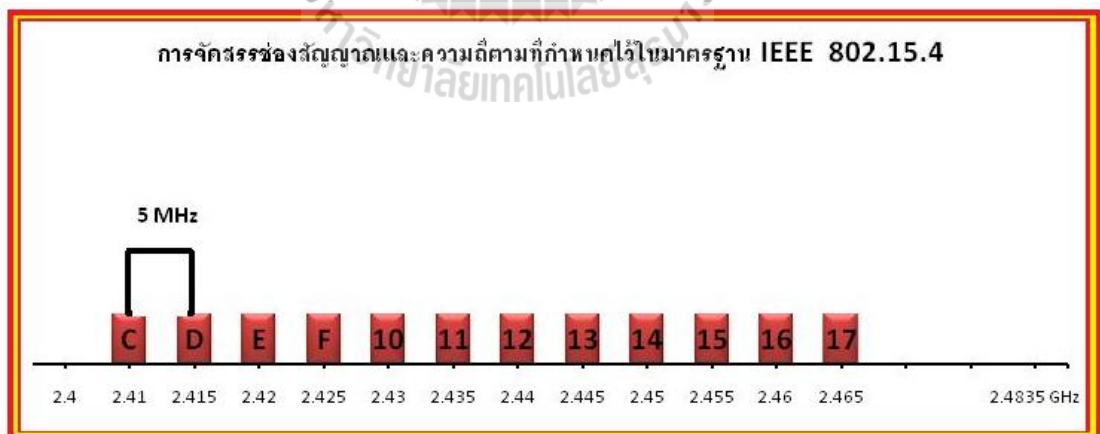
- ซีพียู ความเร็ว 500 MHz ขึ้นไป
- หน่วยความจำแรม 256 MB
- ฮาร์ดดิสก์มีเนื้อที่ว่าง 100 MB เป็นอย่างน้อย
- ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP เซอร์วิสแพ็คเกจ 2
- มีพอร์ตอนุกรมว่างอย่างน้อย 1 พอร์ต ถ้ามีเฉพาะพอร์ต USB ต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณ

พอร์ต USB เป็นพอร์ตอนุกรม RS-232 แบบที่ใช้สายสัญญาณครบทั้ง 9 เส้น โดยจะต้องทำการติดตั้งไดรเวอร์ให้เรียบร้อยเสียก่อน

3.4.1 รีจิสเตอร์ที่ควรทราบของโมดูล XBee-Pro

ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโมดูล XBee-Pro สามารถจัดเครือข่ายได้หลายรูปแบบ โดยการแยกช่องสัญญาณและเครือข่าย รีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดการเกี่ยวกับเครือข่าย มีดังนี้

CH (Channel) ใช้กำหนดช่องสัญญาณ สามารถเลือกได้ตั้งแต่ 0x0C ถึง 0x17 โดยที่แต่ละช่องไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามช่องสัญญาณกันได้ ซึ่งโมดูล XBee-Pro นี้มี 16 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.7 แสดงย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณของโมดูล XBee-Pro

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณของโมดูล XBee-Pro

| Channel | ความถี่ที่ใช้ (GHz) |
|---------|---------------------|
| C | 2.410 |
| D | 2.415 |
| E | 2.420 |
| F | 2.425 |
| 10 | 2.430 |
| 11 | 2.435 |
| 12 | 2.440 |
| 13 | 2.445 |
| 14 | 2.450 |
| 15 | 2.455 |
| 16 | 2.460 |
| 17 | 2.465 |

Baud (Baud Rate) คืออัตราการถ่ายทอข้อมูลอนุกรม (บอดเรต) ได้ตั้งแต่ 1,200 ถึง 115,200 บิตต่อวินาที

- 1,200 bps
- 2,400 bps
- 4,800 bps
- 9,600 bps
- 19,200 bps
- 38,400 bps
- 57,600 bps
- 115,200 bps

ID (PAN ID / Personal Area Network ID) ใช้กำหนดหมายเลขเครือข่าย เลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 จนถึง 0xFFFFE โดยแต่ละเครือข่ายจะไม่สามารถส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายได้ ยกเว้นกำหนดด้วยค่า 0xFFFFE จะสามารถส่งข้อมูลไปทุกเครือข่ายได้ แต่จะไม่สามารถรับข้อมูลจากเครือข่ายอื่นได้

MY (16-bit Source Address) ใช้กำหนดแอดเดรส 16 บิต ของแต่ละโมดูล และเลือกค่าได้ตั้งแต่ 0x0000 ถึง 0xFFFF และสามารถยกเลิกแอดเดรส 16 บิตนี้เพื่อไปใช้แอดเดรสขนาด 64 บิตที่รีจิสเตอร์ SH และ SL แทนได้เพื่อขยายให้มีจำนวนโมดูลลูกข่ายได้มากขึ้น โดยกำหนด MY เป็น 0xFFFFE และ 0xFFFF

SH และ SL (Serial Number High/Low) เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าหมายเลขเฉพาะหรือ Serial number ของแต่ละโมดูล สามารถใช้เป็นแอดเดรส 64 บิต (SH รวมกับ SL) โดยต้องการยกเลิกแอดเดรส 16 บิตที่รีจิสเตอร์ MY ก่อน ค่าในรีจิสเตอร์ SH และ SL ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

DH และ DL (Destination Address High/Low) ใช้กำหนดแอดเดรสของโมดูลตัวรับ

- ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจิสเตอร์ MY (แอดเดรส 16 บิต) ให้กำหนดค่าของรีจิสเตอร์ DH เป็น 0x0000 และ DL เป็นค่า MY ของโมดูลตัวรับ

- ถ้าโมดูลตัวรับใช้รีจิสเตอร์ SH รวมกับ SL (แอดเดรส 64 บิต) ให้กำหนดค่าของรีจิสเตอร์ DH เป็นค่าของ SH และค่าของรีจิสเตอร์ DL เป็นค่าของ SL ของโมดูลตัวรับ

PL (Power Level) เป็นกำลังส่งสัญญาณ (Power level) เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณ สามารถเลือกค่าความแรงของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 ถึง 4 ค่า ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่ากำลังส่งสัญญาณ (Power level)

| Power Level | กำลังส่ง (dBm) |
|-------------|----------------|
| 0 - LOWEST | 10 |
| 1 - LOW | 12 |
| 2 - MEDIUM | 14 |
| 3 - HIGH | 16 |
| 4 - HIGHEST | 18 |

การตั้งค่าของโมดูล XBee-Pro ทำได้ 2 ทางคือ ใช้โปรแกรม X-CTU กับบอร์ด ZX-XBee ต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม อีกทางหนึ่งคือใช้ AT Command

3.5 การใช้งานโมดูลเบื้องต้น

โมดูล XBee-Pro สามารถใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องมีการตั้งค่าใดๆ ทั้งสิ้น โดยค่าตั้งต้นที่มาจากโรงงานผู้ผลิตคือ อัตราบอดเป็น 9,600 บิตต่อวินาที 8 บิตข้อมูล ไม่มีการตรวจสอบพาริตี และ 1 บิตหยุด

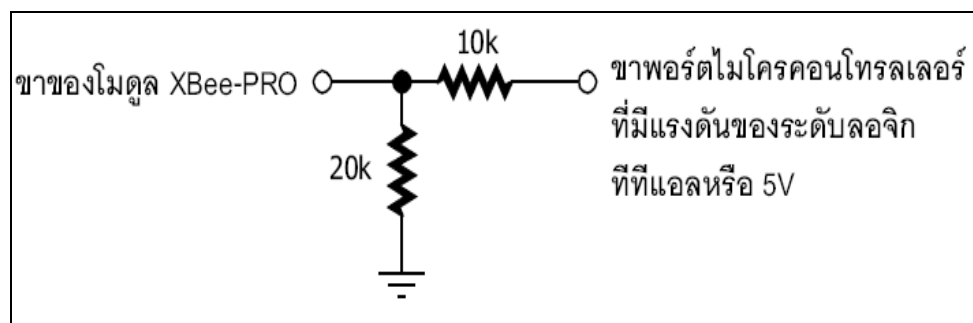
ติดตั้งโปรแกรม X-CTU เวอร์ชันล่าสุด ดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ของผู้ผลิตที่ www.maxstrewam.net ซึ่งการติดตั้งเหมือนกับการติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ทั่วไป

ติดตั้งโมดูล XBee-Pro ลงบนบอร์ด ZX-XBee ต้องระวังเรื่องตำแหน่งขาและทิศทางของโมดูลต้องติดตั้งให้ถูกต้อง และไม่เกิดการเหลื่อมกันเด็ดขาด เพราะหากติดตั้งผิดแล้ว เมื่อจ่ายไฟ จะทำให้โมดูลเสียหายทันที

ต่อสายเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมระหว่างบอร์ด ZX-XBee กับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ถ้าคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีเฉพาะพอร์ต USB ต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณพอร์ต USB เป็นพอร์ตอนุกรม RS-232 แบบที่ใช้สายสัญญาณครบทั้ง 9 เส้น โดยจะต้องทำการติดตั้งไดรเวอร์ให้เรียบร้อยก่อน

จ่ายไฟให้แก่บอร์ด สำหรับไฟเลี้ยงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง +6 ถึง +12 V กระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 300 mA แนะนำให้ใช้ +6 V จะเห็น LED ในตำแหน่ง POWER และ ON ติด และ LED ในตำแหน่ง ASS.กะพริบ หากไม่เป็นไปตามนี้ ให้รีบปิดสวิทช์ ปลดไฟเลี้ยงแล้วตรวจสอบ การติดตั้งโมดูล XBee-Pro ทันที รวมทั้งตรวจไฟเลี้ยงที่ขา Vcc ของ XBee-Pro ว่าต้องอยู่ในช่วง +2.8 ถึง +3.3V โดยในการตรวจสอบนั้นต้องถอดโมดูล XBee-Pro ออกมาก่อน แล้ววัดแรงดันที่คอนเน็คเตอร์ตัวเมียที่ใช้งานสำหรับติดตั้งโมดูล XBee-Pro

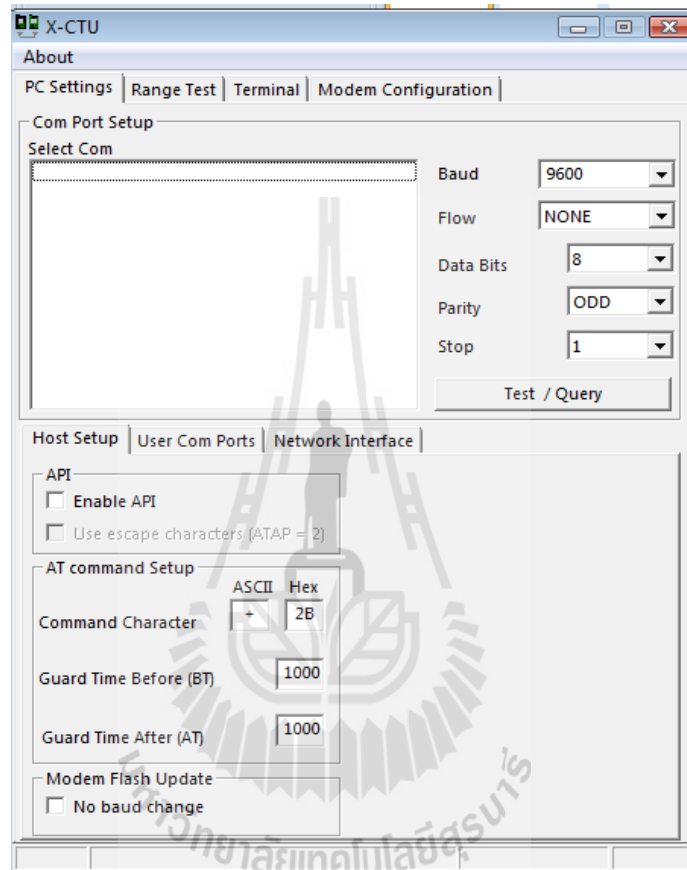
แต่เนื่องจาก XBee-Pro ต้องการไฟเลี้ยงในย่าน +2.8 ถึง +3.3V และขาสัญญาณทั้งหมดทำงานในระบบบัส 3V ดังนั้นหากนำไปเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรืออุปกรณ์ภายนอกที่ใช้ระบบบัส 5V จะต้องมีการลดแรงดันที่ขาพอร์ตลงด้วย



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรสำหรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกของโมดูล XBee-Pro

เปิดโปรแกรม X-CTU โดยดับเบิลคลิกที่ไอคอน  บน Desktop ของคอมพิวเตอร์ หรือคลิกที่

Start → All Programs → Digi-Maxstream → X-CTU
หน้าต่างกำหนดการเชื่อมต่อจะปรากฏขึ้นมาดังรูป



รูปที่ 3.9 แสดง หน้าจอการเลือกพอร์ตของโปรแกรม X-CTU

ให้ทำเลือกพอร์ตที่ทำการเชื่อมต่อ เลือกอัตราบอด (Baud rate) เป็น 9600, Data 8 บิต, Parity ไม่มี การตรวจสอบ และ Stop เป็น 1 บิต

ตรวจสอบการเชื่อมต่อ กดปุ่ม Test/Query เพื่อทดสอบการติดต่อระหว่าง XBee-Pro กับ โปรแกรม X-CTU หากติดต่อกันได้จะปรากฏหน้าต่างแจ้งผลการติดต่อและข้อมูลทางฮาร์ดแวร์ เบื้องต้นของโมดูล XBee-Pro ดังรูป

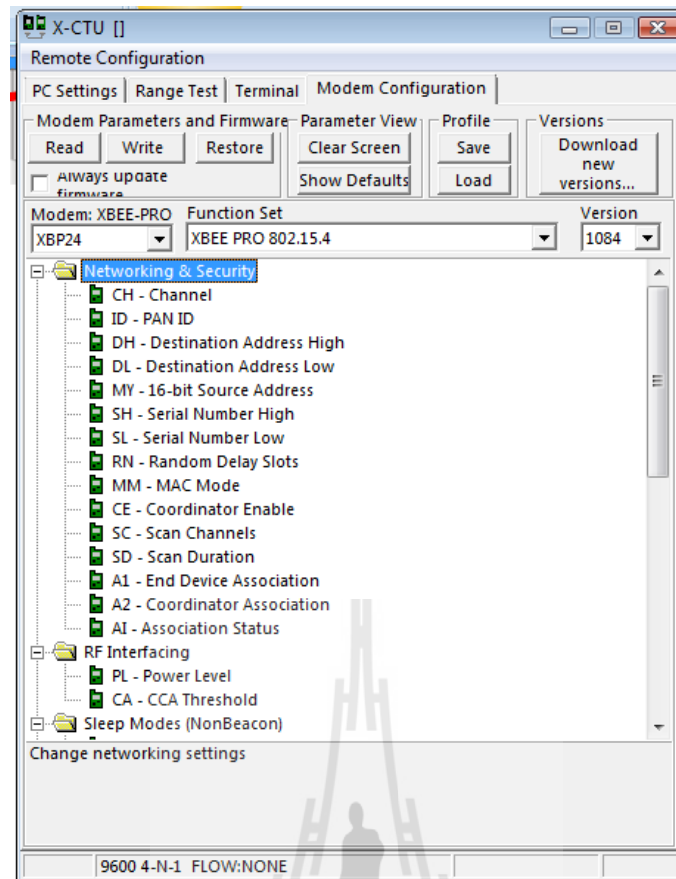


รูปที่ 3.10 แสดง หน้าต่างการเชื่อมต่อระหว่าง บอร์ด และ คอมพิวเตอร์ สำเร็จ

หากมีการแจ้งความผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ให้รีบปิดสวิทช์ ปลดไฟเลี้ยงแล้ว ตรวจสอบการติดตั้งโมดูล XBee-Pro และการเชื่อมต่ออีกครั้ง รวมทั้งตำแหน่งขาพอร์ตด้วย ตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยแท้ปเมนูแบ่งเป็น 4 หัวข้อหลักคือ

- PC Setting
- Range Test
- Terminal
- Modem Configuration

หลังจากนั้นคลิกไปที่แท็บ Modem Configuration แล้วกดปุ่ม Read ในกรอบ Modem Parameter and Firmware จะปรากฏข้อมูลชื่อรุ่นของโมดูล XBee-Pro ชื่อฟังก์ชัน หมายเลขเวอร์ชันของเฟิร์มแวร์แล้วค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนค่าคอนฟิกูเรชันได้ตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการเลือกอัตราบอดใหม่ กำหนดรูปแบบการทำงานของขาพอร์ตของ XBee-Pro เนื่องจากขาพอร์ตของ XBee-Pro สามารถใช้งานเป็นอินพุตอะนาลอกเพื่อเชื่อมต่อกับตัวตรวจสอบจับที่ได้ให้ผลการทำงานเป็นแรงดัน ส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลความละเอียด 10 บิตภายในโมดูล XBee-Pro ซึ่งผู้ใช้งานสามารถอ่านค่าออกไปได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้งาน XBee-Pro ร่วมกับตัวตรวจจับการทำงานเป็นโครงข่ายตัวตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network) ได้

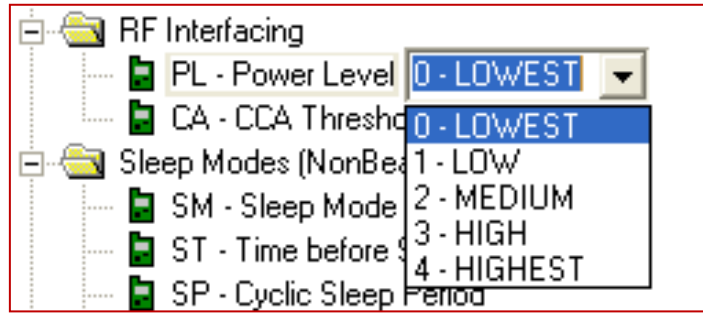


รูปที่ 3.11 แสดง หน้าต่างแท็บ Modem Configuration สำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

หากต้องการเปลี่ยนอัตราบอดให้ไปที่หัวข้อ Serial Inerfacing คลิกเลือกที่บรรทัด BD-Interface Data Rate จะปรากฏเมนูให้เลือกค่าอัตราบอด 8 ค่า ตั้งแต่ 1,200 ถึง 115,200 bps การเปลี่ยนการทำงานของขาพอร์ต ให้เลือกไปที่หัวข้อ I/O Setting แล้วเลือกไปที่ขาพอร์ตที่ต้องการเปลี่ยนค่า จะปรากฏช่องให้เลือกฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งมีด้วยกัน 5 แบบคือ

- 0 - DISABLE หมายถึง ปิดการทำงาน (ปกติเป็นค่าตั้งต้น)
- 1 - NA หมายถึง ยังไม่มีการกำหนดฟังก์ชัน หรือสำรองไว้
- 2 - ADC หมายถึง เลือกเป็นอินพุตอะนาลอก
- 3 - DI หมายถึง เลือกเป็นอินพุตดิจิทัล
- 4 - DO LOW หมายถึง เลือกเอาต์พุตดิจิทัลลอจิกต่ำ
- 5 - DO HIGH หมายถึง เลือกเอาต์พุตดิจิทัลลอจิกสูง

การเลือก PL (Power Level) เป็นกำลังส่งสัญญาณ (Power level) เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณ สามารถเลือกค่าความแรงของสัญญาณได้ตั้งแต่ 0 ถึง 4 ค่า ดังรูป

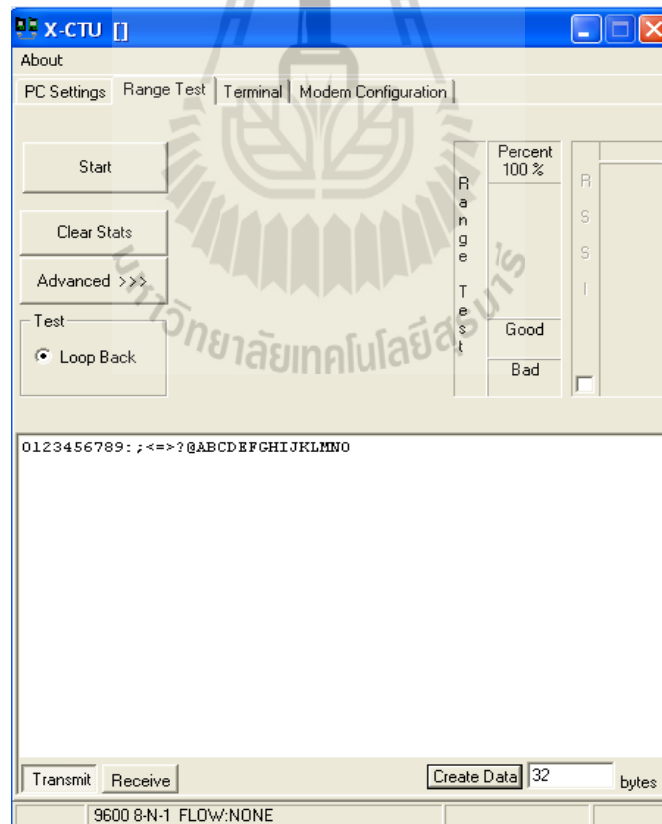


รูปที่ 3.12 แสดงการตั้งค่า PL (Power Level) ของโมดูล XBee-Pro

นอกจากนี้ยังมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สามารถเลือกตั้งค่าได้ตามต้องการ เช่น End device, Coordinator โดยจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการนำไปใช้งานของโมดูล XBee-Pro

จากนั้นกดปุ่ม **Write** รอสักครู่ เพื่อเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee จะสังเกตเห็นด้านล่างของหน้าต่าง Modem Configuration จะแสดงข้อความเพื่อแจ้งสถานการณ์ทำงาน แสดงว่า การกำหนดค่าเสร็จสมบูรณ์

การทดสอบ การใช้งาน โดยการคลิกไปที่แท็บ Range Test เป็นการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างโมดูลที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน โดยการให้ ฝั่งหนึ่งกด Start เพื่อส่งข้อมูล และอีกฝั่งกด Start เพื่อรับข้อมูล



รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างแท็บ Range Test สำหรับการทดสอบการใช้งาน

การใช้คำสั่ง AT Command โดยการคลิกไปที่แท็บ Terminal เป็นเมนูสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ XBee-Pro และเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผ่านคำสั่ง AT Command มีค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเช่น ID , DH , DL , MY , WR , CN , VR , ND , DN , RO , BD เป็นต้น

การติดต่อสื่อสารกับอีกฝ่าย เริ่มแรกจะทำการ ส่ง “+++” แล้วโดยไม่ต้อง Enter ซึ่งอีกฝ่ายจะตอบกลับมาว่า “OK” (ให้รออีกฝ่ายตอบกลับมา) การส่ง “+++” เป็นการบอกว่าเราจะเริ่มทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ แต่ถ้าไม่มีการส่ง “+++” ไปก่อน โมดูล XBee-Pro จะเข้าใจว่าเป็นข้อมูลซึ่งหลังจากที่ส่ง “+++” ไปโปรแกรมจะมี Time out ประมาณ 10 วินาที หากไม่พิมพ์คำสั่งหรือพิมพ์คำสั่งซ้ำเกินไปจะทำการออกจากคำสั่งทันที ถ้าต้องการสื่อสารกันจะต้องส่ง “+++” ไปให้ใหม่อีกครั้ง

ในการพิมพ์คำสั่ง AT Command นั้นจะพิมพ์ติด ๆ กัน เมื่อเสร็จแล้ว enter ซึ่งคำสั่ง AT Command พื้นฐานมีดังนี้

- **ATID [ENTER]** เป็นการกำหนด ID ของการสื่อสาร (PAN ID) ซึ่ง โมดูล XBee-Pro ทั้ง 2 ตัวจะต้องตั้งให้เหมือนกัน เพราะจะทำให้ XBee-Pro เข้าใจว่าเป็นคนละเครือข่าย

- **ATDH [ENTER]** เป็นการกำหนดหมายเลขของ XBee-Pro ปลายทาง (DH)

- **ATDL [ENTER]** เป็นการกำหนดหมายเลขของ XBee-Pro ปลายทาง (DL) ซึ่งค่า DH และ DL นี้หากใช้โมดูล XBee-Pro ร่วมกันหลายตัว จะใช้ Set Destination Address ที่ต้องการจะใช้ติดต่อกัน

- **ATMY [ENTER]** เป็นการกำหนดหมายเลขของตัวเอง

- **ATWR [ENTER]** เป็นการสั่งให้บันทึกค่าที่เรากำหนดไว้ลงบน XBee-Pro ถ้าไม่ใช้คำสั่งนี้ XBee-Pro ก็ยังสามารถทำงานได้ปกติ แต่เกิดไฟดับขึ้นมา XBee-Pro จะกลับไปเป็นค่าที่ทำการบันทึกไว้ครั้งสุดท้าย

- **ATCN [ENTER]** จบการตั้งค่าพารามิเตอร์

- **ATVR [ENTER]** ดู firmware version ของ โมดูล XBee-Pro

- **ATND [ENTER]** สั่งให้ค้นหา node อื่น ๆ และทำการรายงานสถานะ

- **ATDN [STRING][ENTER]** ให้กำหนด Destination Node ตาม หมายเลข SH , SL ของ [STRING] ซึ่งเป็นชื่อ Node ที่สามารถตั้งได้ไม่เกิน 20 ตัวอักษร ASCII

- **ATRO [ENTER]** กำหนดค่า Packetization Timeout (ได้ 255 ค่า ตั้งแต่ 0-0xFF)

- **ATBD [ENTER]** กำหนดค่า Baud Rate ของ XBee-Pro ที่ใช้ติดต่อกับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์

เมื่อหมดเวลา Time Out ของ Command โหมดหรือเมื่อใช้คำสั่ง ATCN จบการตั้งค่าพารามิเตอร์แล้วจะสามารถรับส่งข้อมูลกันได้เลย

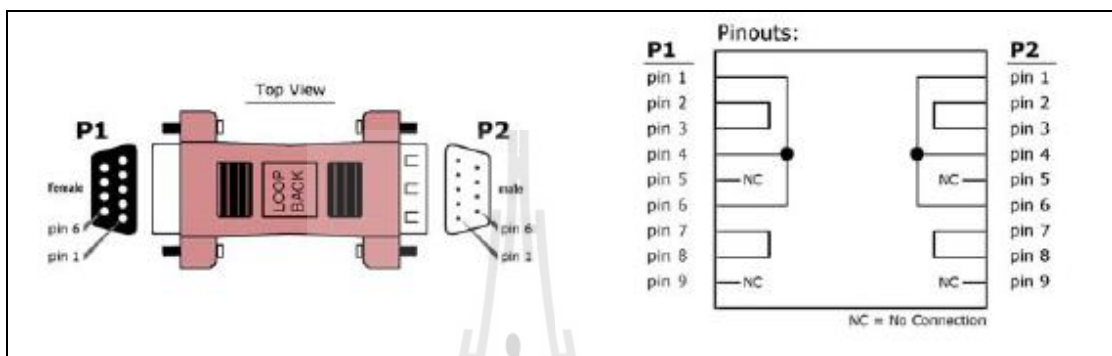
รูปที่ 3.14 แสดงหน้าต่างแท็บ Terminal สำหรับการใช้คำสั่ง AT Command

3.6 การทำ Loop Back

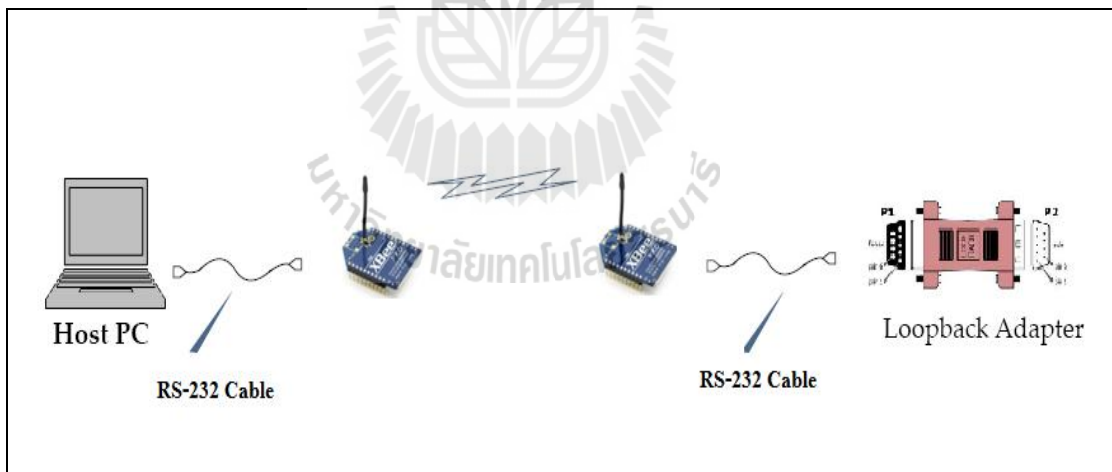
การทำ Loop Back คือการติดต่อสื่อสารกันโดยส่งสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภาคส่ง ไปยังอุปกรณ์ภาครับ จากนั้นอุปกรณ์ภาครับก็จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลที่ได้รับส่งกลับมายังอุปกรณ์ภาคส่ง ซึ่งอุปกรณ์ภาคส่งจะได้รับสัญญาณข้อมูลกลับคืนมา ซึ่งในการทดสอบกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 แต่จะใช้ LoopBack Adapter ต่อเข้าไปแทน

3.6.1 LoopBack Adapter

LoopBack Adapter จะเป็นตัวกำหนดให้อุปกรณ์โมดูล XBee-Pro ทำงานเป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (repeater) โดยการส่งข้อมูลอนุกรมกลับ เสมือนว่าอุปกรณ์โมดูล XBee-Pro ที่ได้รับข้อมูลเป็นตัวส่งข้อมูล ซึ่งจะใช้ Pin ของหัวเชื่อมต่อ DB-9 เป็นอุปกรณ์ LoopBack Adapter ซึ่ง Pin จะทำการเชื่อมต่อดังรูป



รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อ pin ของหัวต่อ DB-9 ของอุปกรณ์ LoopBack Adapter

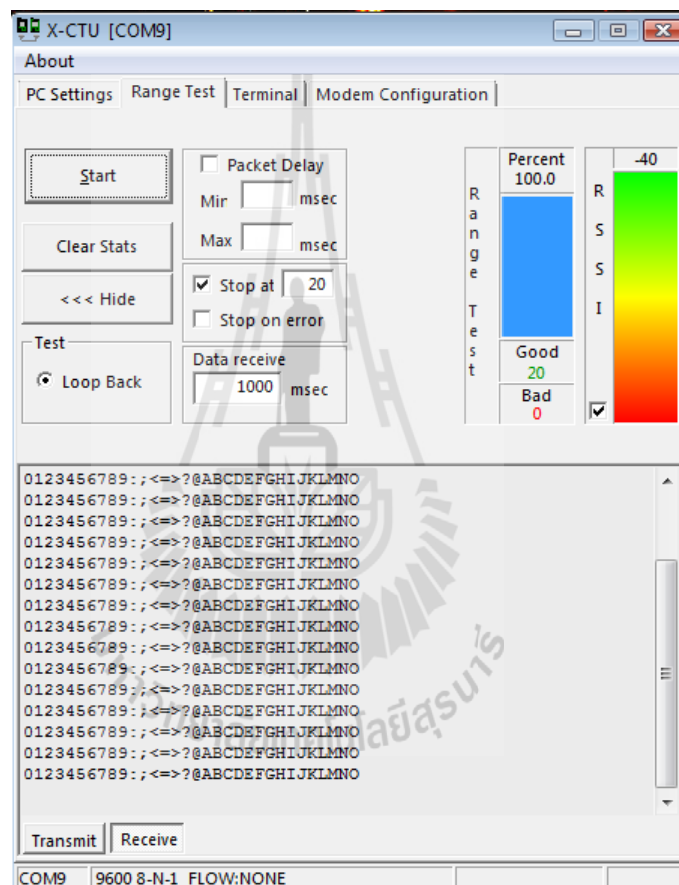


รูปที่ 3.16 แสดงการทำ Loop Back ของการสื่อสารไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ในการทำ Loop Back นั้น จะใช้โปรแกรม X-CTU โดยเลือกแท็บ Range Test เป็นการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างโมดูลที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกัน โดยให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล กด Strat เพื่อส่งข้อมูล การทดสอบจะส่งข้อมูลที่มีขนาดไฟล์ 32 bytes คือ “ 0123456789;=<=>?@ABCDEFGHIJKLMNO ” ซึ่งเป็นข้อความสำเร็จรูปที่อยู่ภายใน

โปรแกรม การส่งข้อมูลกำหนดให้ส่งข้อมูล 20 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลา 1000 msec จากโหมด Range Test นี้สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

- Received signal strength indication (RSSI)
- Accuracy Percentage (% การถูกต้อง)
- Good จำนวนครั้งที่ได้รับข้อมูลกลับมาอย่างถูกต้อง
- Bad จำนวนครั้งที่เกิดความผิดพลาดในการรับข้อมูลกลับมา



รูปที่ 3.17 แสดงการทำ Loop Back ของโปรแกรม X-CTU

3.7 การใช้โปรแกรม wirelessmon

โปรแกรม wirelessmon หรือ wireless monitor เป็นโปรแกรมสำหรับดูสัญญาณอุปกรณ์เครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ความแรงของสัญญาณ ช่องสัญญาณ (channel) และสามารถบอกรายละเอียดอื่น ๆ อีกมากมาย โดยในการทดลองจะใช้ โปรแกรม wirelessmon ในการอ่านค่าพารามิเตอร์ดังนี้

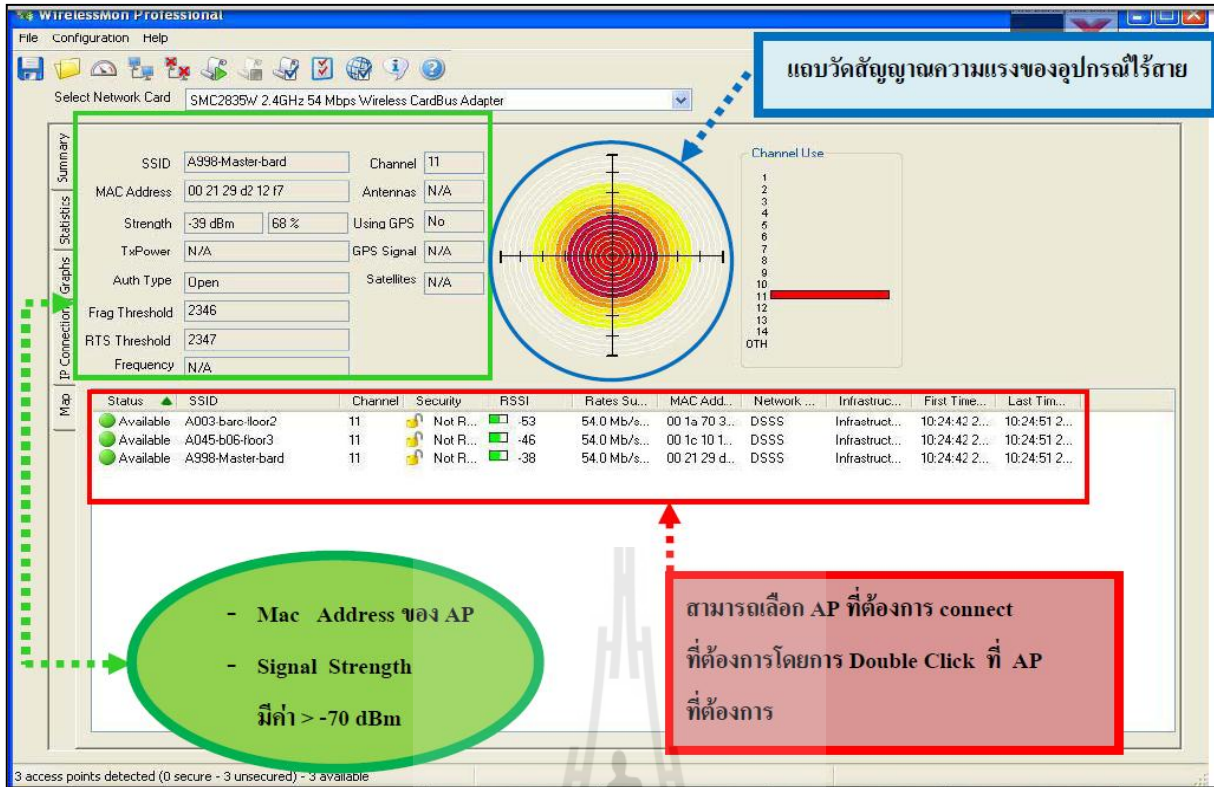
- SSID (ชื่อเครือข่าย)
- Mac Address ของ **Access Points**
- Signal Strength
- Channel



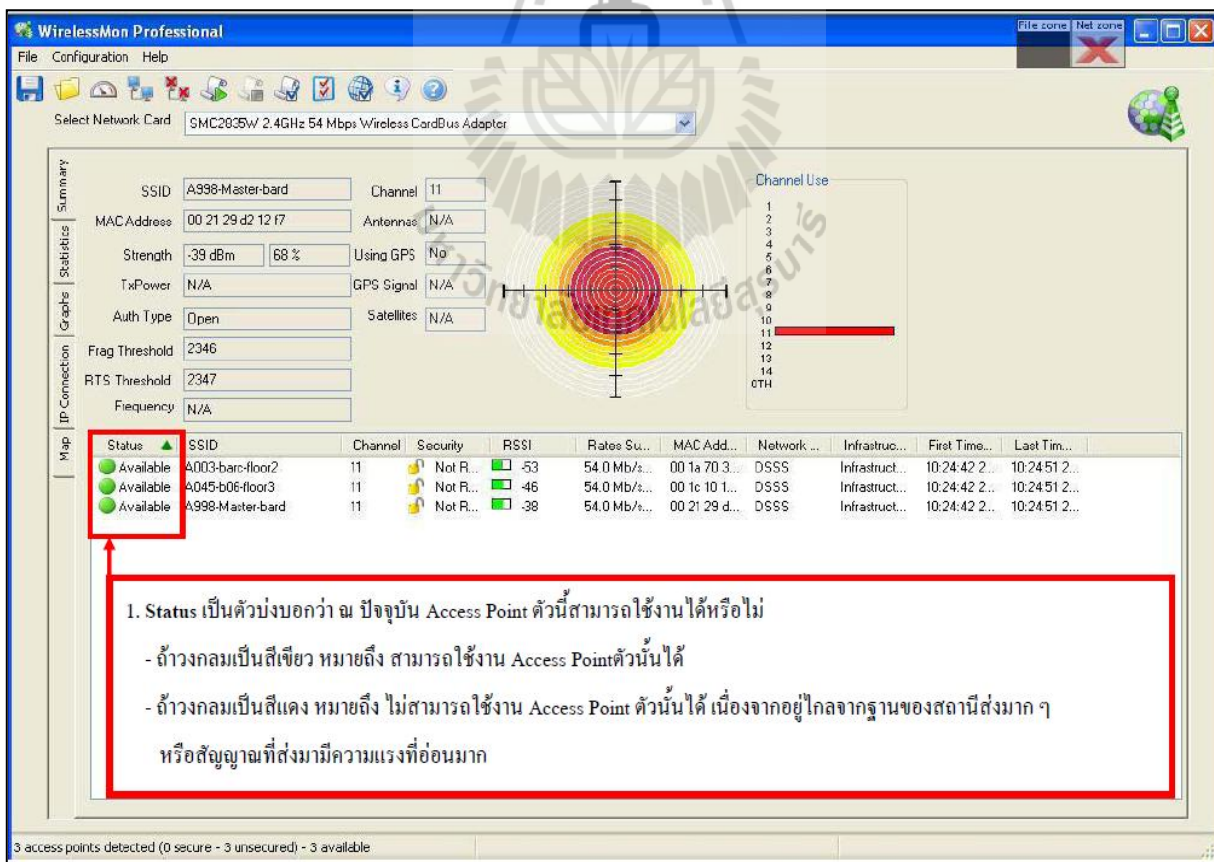
เมื่อติดตั้งโปรแกรม WirelessMonเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ Double Click ที่ไอคอน หรือไปที่เมนู Start => Program => WirelessMon => เลือก WirelessMon จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรม Wirelessmon Professional

| Status | SSID | Channel | Security | RSSI | Rates Su... | MAC Add... | Network ... | Infrastruc... | First Time... | Last Tim... |
|-----------|------------------|---------|----------|------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Available | A003-barc-floor2 | 11 | Not R... | -53 | 54.0 Mb/s... | 00 1a 70 3... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A045-b06-floor3 | 11 | Not R... | -46 | 54.0 Mb/s... | 00 1c 10 1... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A998-Master-bard | 11 | Not R... | -38 | 54.0 Mb/s... | 00 21 29 d... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |

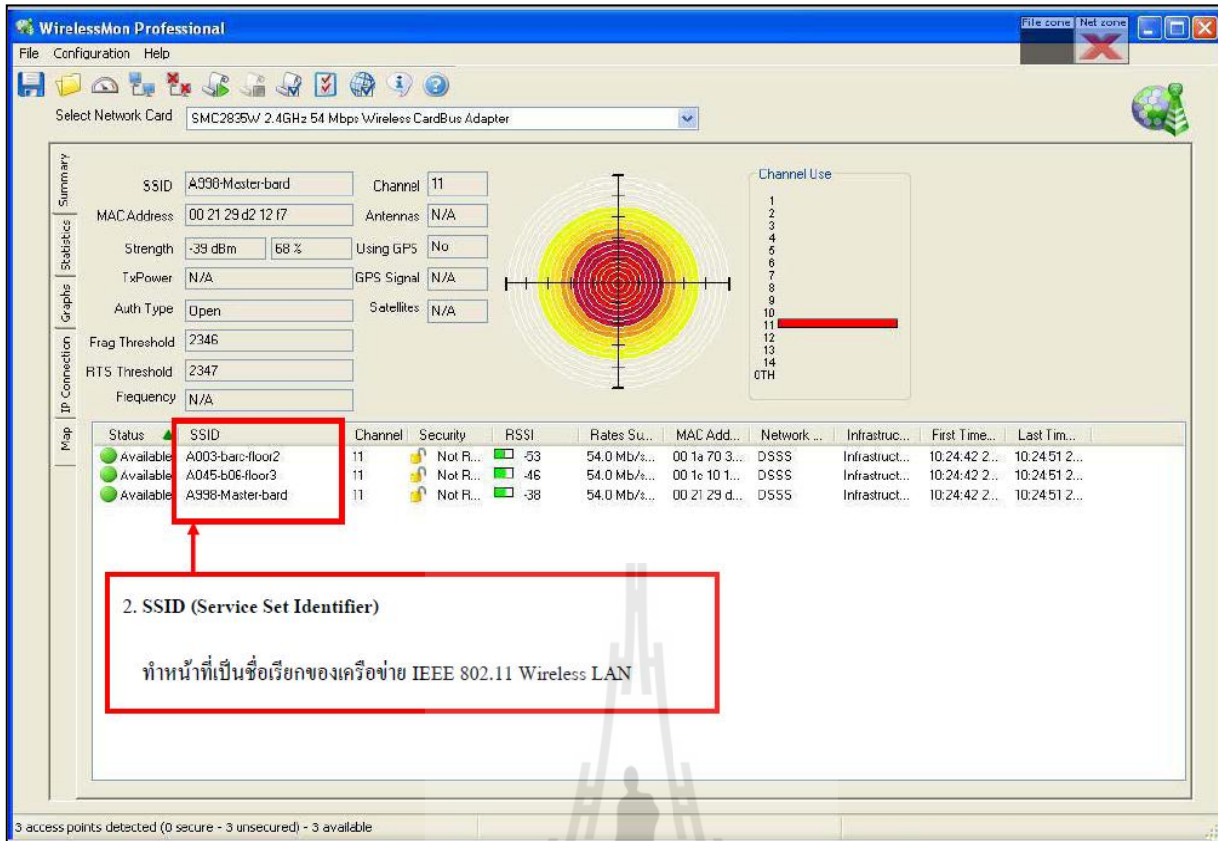
รูปที่ 3.18 แสดงโปรแกรม WirelessMon



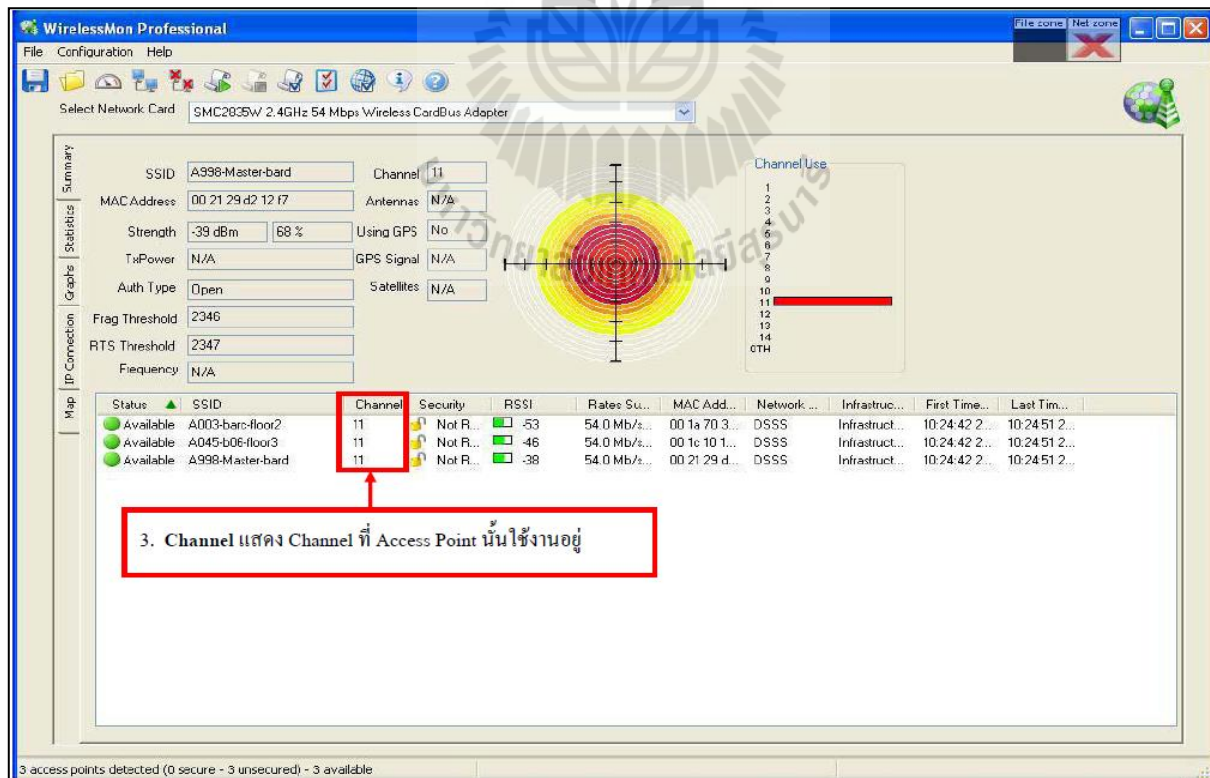
รูปที่ 3.19 แสดงรายละเอียดโปรแกรม WirelessMon



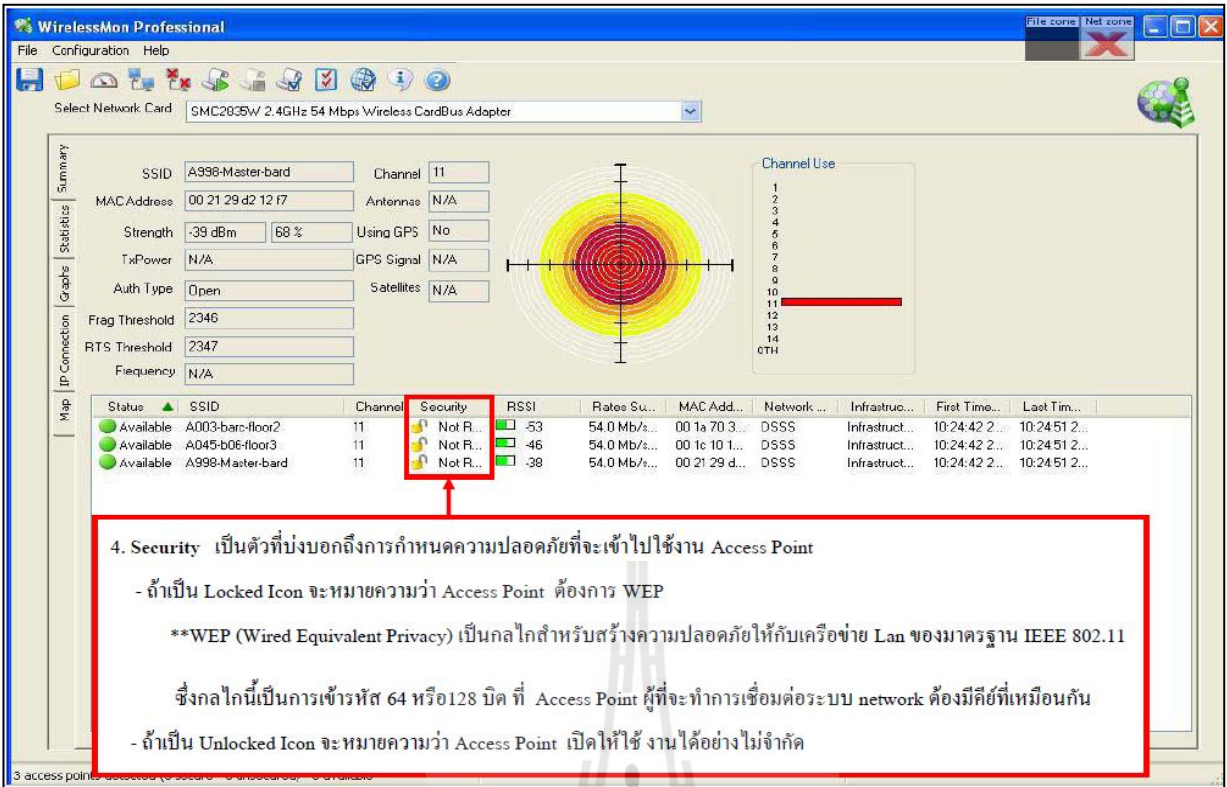
รูปที่ 3.20 แสดง Status ของโปรแกรม WirelessMon



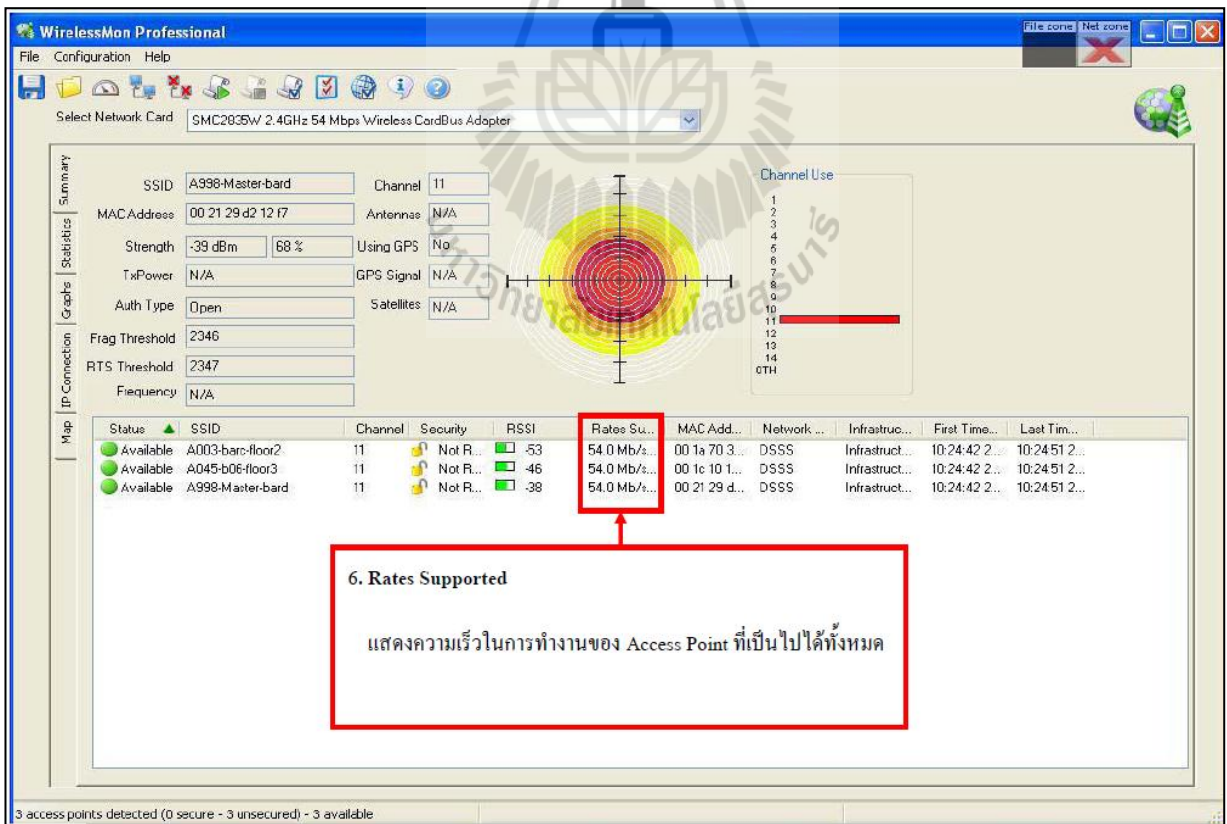
รูปที่ 3.21 แสดง SSID ของโปรแกรม WirelessMon



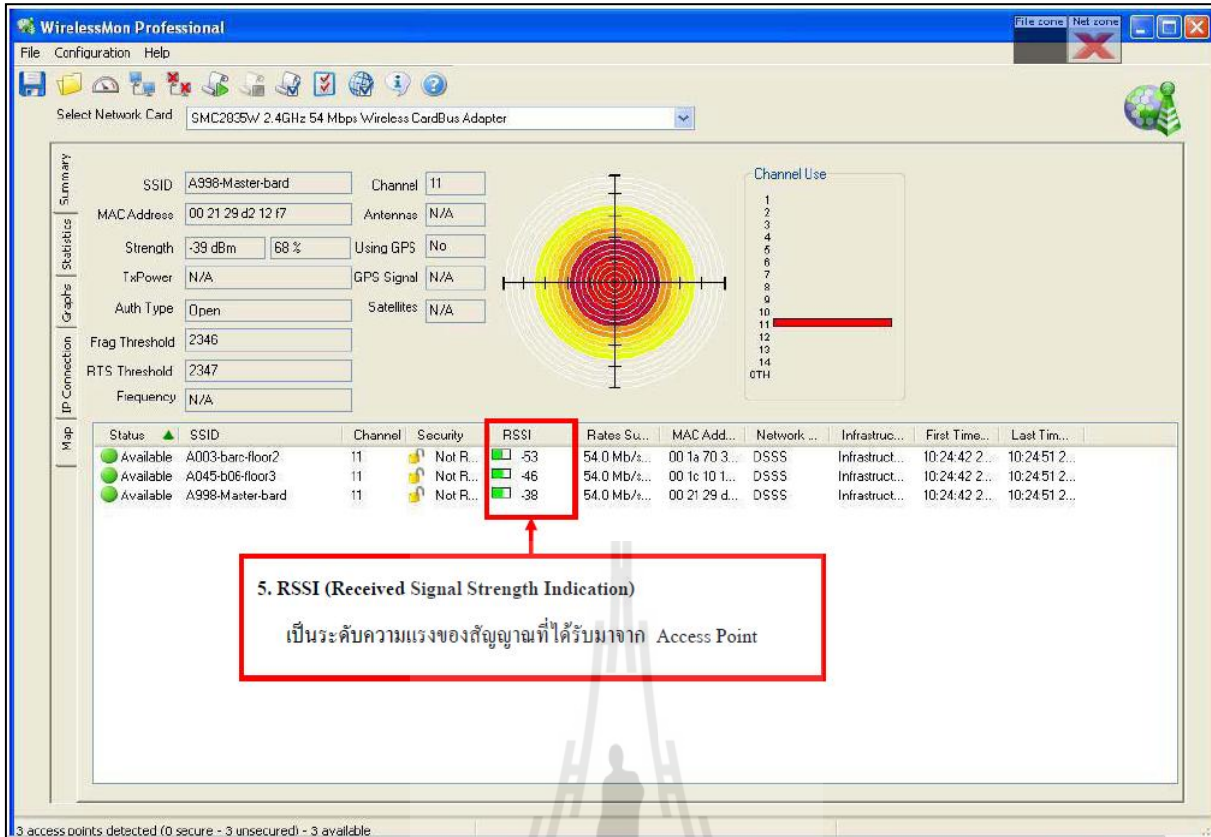
รูปที่ 3.22 แสดง Channel ของโปรแกรม WirelessMon



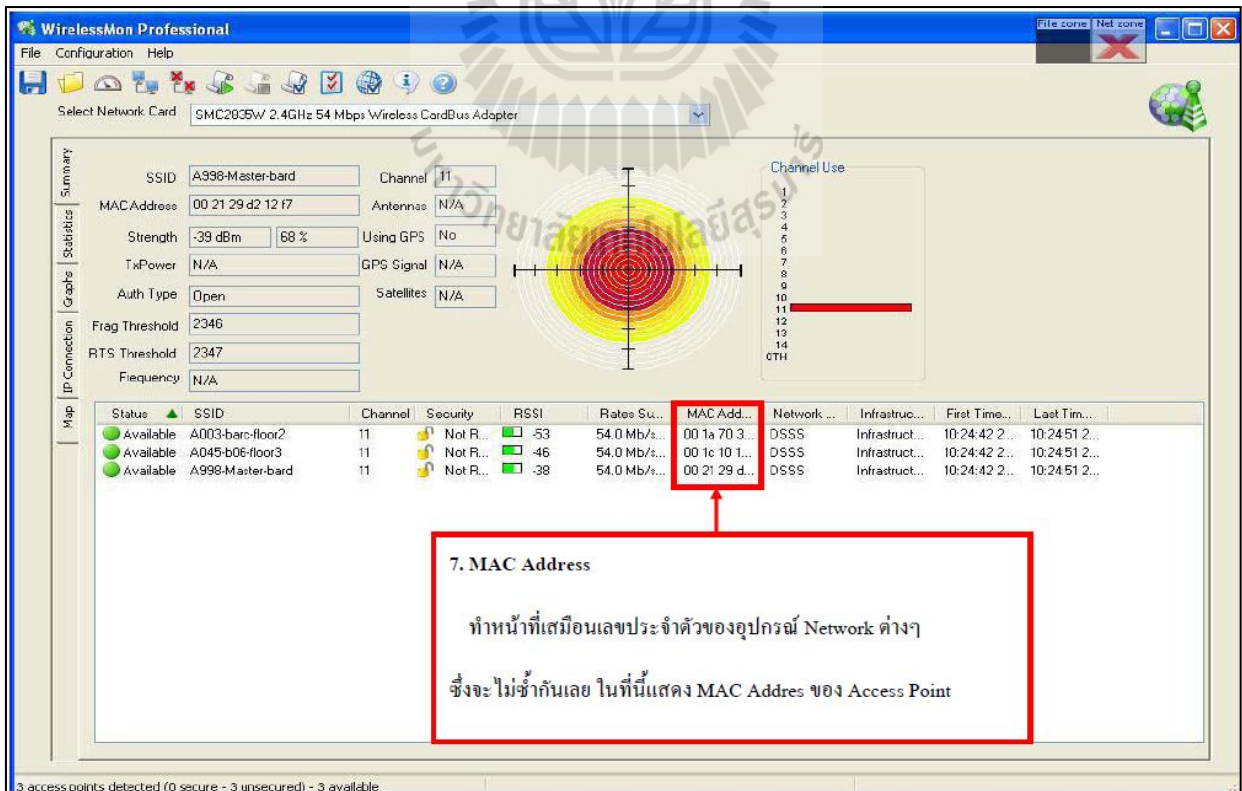
รูปที่ 3.23 แสดง Security ของโปรแกรม WirelessMon



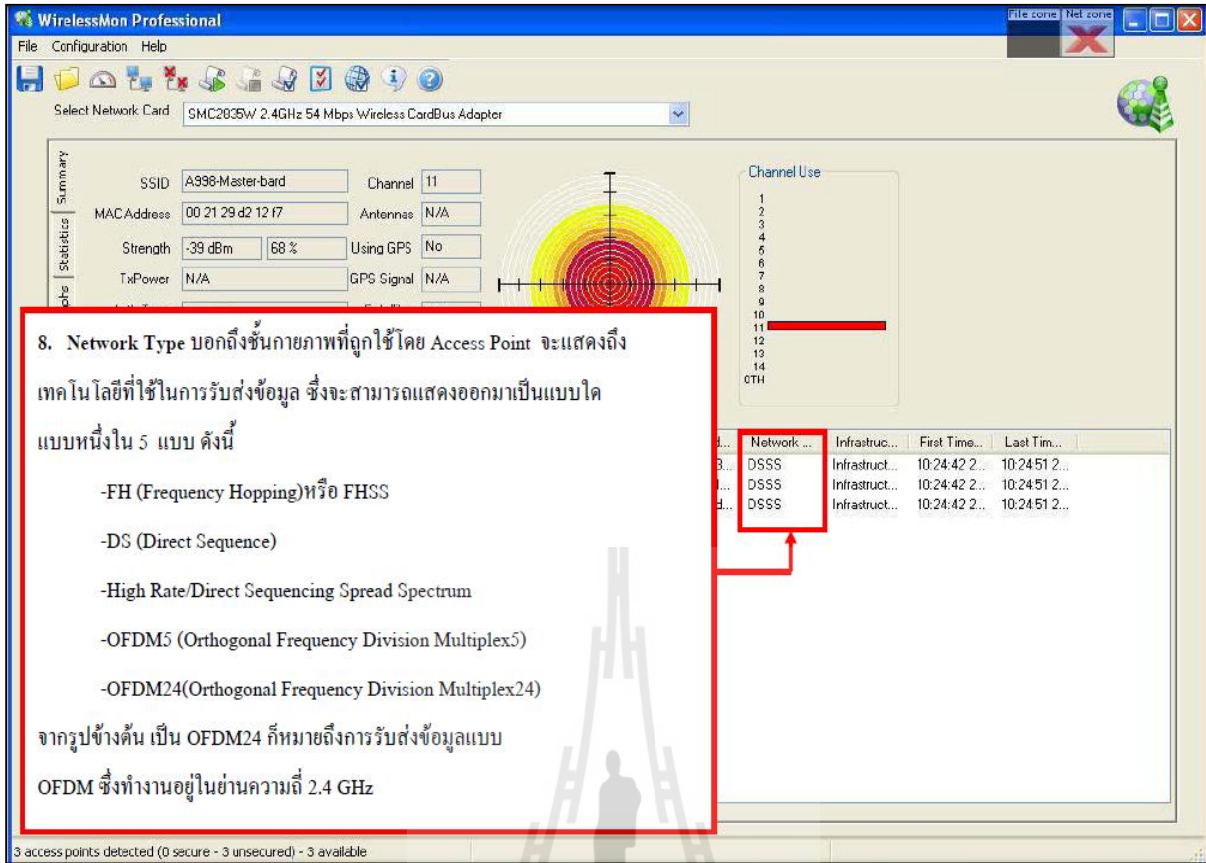
รูปที่ 3.24 แสดง Rate Supported ของโปรแกรม WirelessMon



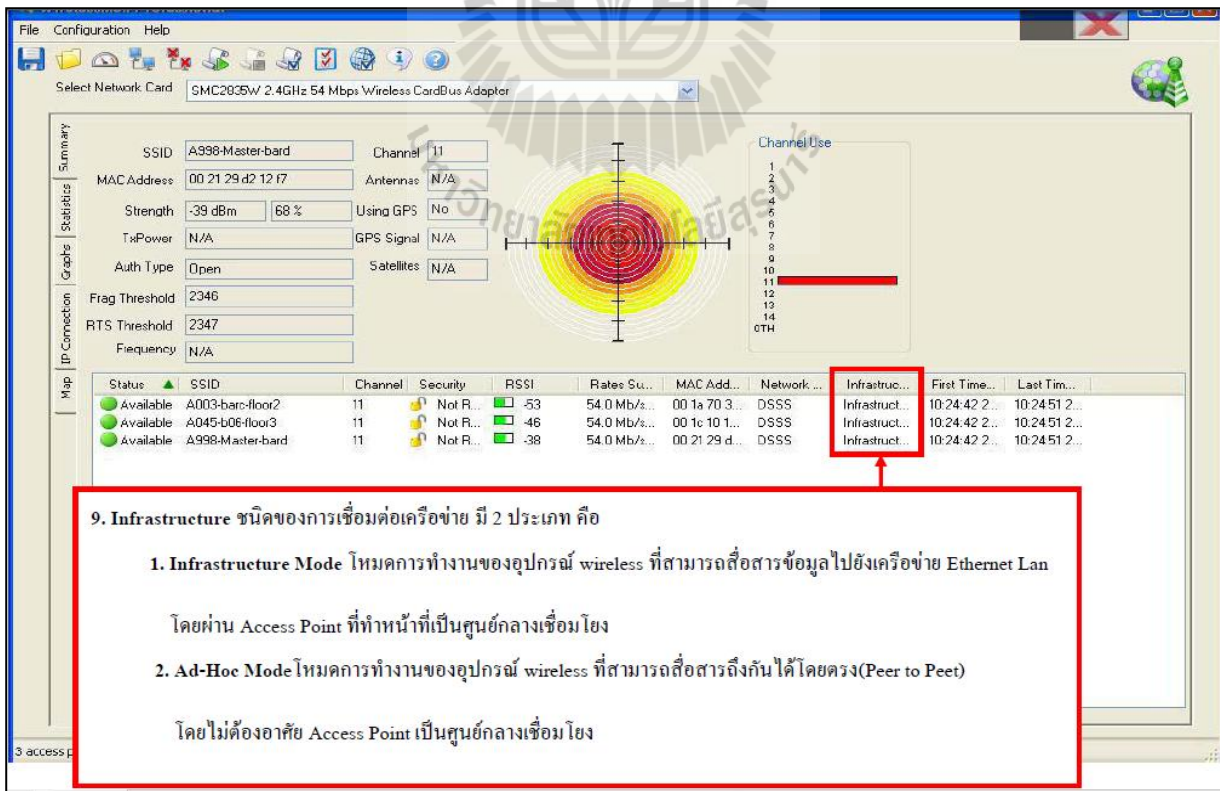
รูปที่ 3.25 แสดง RSSI ของโปรแกรม WirelessMon



รูปที่ 3.26 แสดง MAC Address ของโปรแกรม WirelessMon



รูปที่ 3.27 แสดง Network Type ของโปรแกรม WirelessMon



รูปที่ 3.28 แสดง Infrastructureของโปรแกรม WirelessMon

WirelessMon Professional

Select Network Card: SMC2835W 2.4GHz 54 Mbps Wireless CardBus Adapter

Summary:

SSID: A998-Mester-bard Channel: 11
 MAC Address: 00 21 29 d2 12 f7 Antennas: N/A
 Strength: -39 dBm 68 % Using GPS: No
 TxPower: N/A GPS Signal: N/A
 Auth Type: Open Satellites: N/A
 Frag Threshold: 2346
 RTS Threshold: 2347
 Frequency: N/A

Channel Use:

| Status | SSID | Channel | Security | RSSI | Rates Su... | MAC Add... | Network ... | Infrastruc... | First Time... | Last Tim... |
|-----------|------------------|---------|----------|------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Available | A003-barc-floor2 | 11 | Not R... | -53 | 54.0 Mb/s... | 00 1a 70 3... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A045-b06-floor3 | 11 | Not R... | -46 | 54.0 Mb/s... | 00 1c 10 1... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A998-Mester-bard | 11 | Not R... | -38 | 54.0 Mb/s... | 00 21 29 d... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |

10. First Time Seen แสดงวันและเวลาที่อุปกรณ์ถูกค้นพบครั้งแรก
 Time format is: "hour:minute:second"

3 access points detected (0 secure - 3 unsecured) - 3 available

รูปที่ 3.29 แสดง First Time Seen ของโปรแกรม WirelessMon

WirelessMon Professional

Select Network Card: SMC2835W 2.4GHz 54 Mbps Wireless CardBus Adapter

Summary:

SSID: A998-Mester-bard Channel: 11
 MAC Address: 00 21 29 d2 12 f7 Antennas: N/A
 Strength: -39 dBm 68 % Using GPS: No
 TxPower: N/A GPS Signal: N/A
 Auth Type: Open Satellites: N/A
 Frag Threshold: 2346
 RTS Threshold: 2347
 Frequency: N/A

Channel Use:

| Status | SSID | Channel | Security | RSSI | Rates Su... | MAC Add... | Network ... | Infrastruc... | First Time... | Last Tim... |
|-----------|------------------|---------|----------|------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| Available | A003-barc-floor2 | 11 | Not R... | -53 | 54.0 Mb/s... | 00 1a 70 3... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A045-b06-floor3 | 11 | Not R... | -46 | 54.0 Mb/s... | 00 1c 10 1... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |
| Available | A998-Mester-bard | 11 | Not R... | -38 | 54.0 Mb/s... | 00 21 29 d... | DSSS | Infrastruc... | 10:24:42 2... | 10:24:51 2... |

11. Last time Seen แสดงวันและเวลาที่อุปกรณ์ถูกพบครั้งสุดท้าย
 Time format is: "hour:minute:second"

3 access points detected (0 secure - 3 unsecured) - 3 available

รูปที่ 3.30 แสดง Last Time Seen ของโปรแกรม WirelessMon

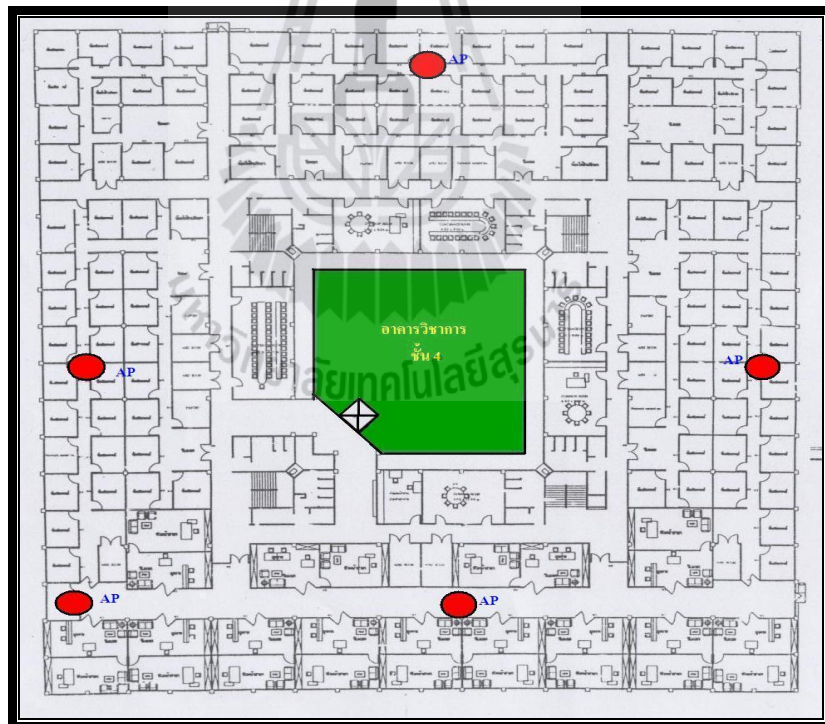
บทที่ 4

การศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพแวดล้อมของอาคารวิชาการ ชั้น 4 รวมไปถึงรายละเอียดโมดูล XBee-Pro, รายละเอียดของ Access Points, คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

4.2 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 4



รูปที่ 4.1 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 4

● แสดงตำแหน่งของ Access Point ที่อยู่ภายในชั้น 4

4.3 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1

Serial Number High: 0013A200

Serial Number Low: 402C324A

Channel: C, D, E, F, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 และ 17

4.3.2 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2

Serial Number High: 0013A200

Serial Number Low: 404BCD6B

Channel: C, D, E, F, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 และ 17

4.4 รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4

4.4.1 รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4 เครื่องที่ 1

MAC: 001bd41S1S70

SSID: SUTwifi

Channel: 11

4.4.2รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 4 เครื่องที่ 2

MAC: 001S6217Sd90

SSID: SUTwifi

Channel: 11

4.5 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

4.5.1 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1

- ยี่ห้อ ACER Aspire 5593NWXMi
- Intel (R) Core(TM)2 CPU
- T5500 @ 1.66 GHz.
- 504 MB of RAM
- Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack2
- Intel(R) Pro/Wireless3945BG Network Connection
- 802.11b/g Wireless LAN

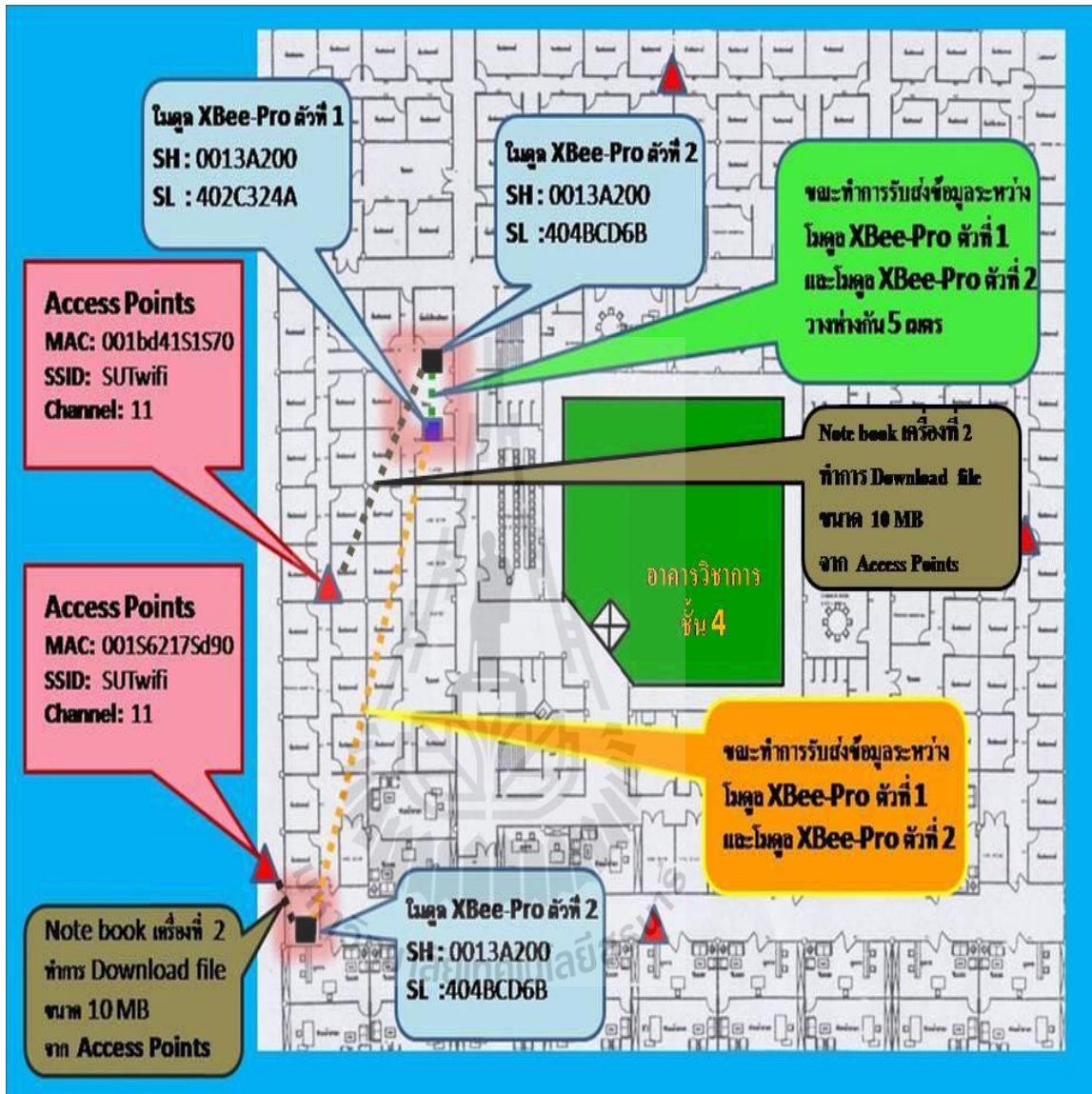
4.5.2 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2

- ยี่ห้อ COMPAQ Presario CQ45
- Intel (R) Core(TM)2 Dual CPU
- T5800 @ 2.00 GHz.
- 504 MB of RAM
- Windows Vista™ Ultimate copyright© 2006 Microsoft
- Webcam 1.3 MP
- Intel(R) Wireless WiFi Link
- 802.11b/g Wireless LAN

4.6 พื้นที่ทำการทดสอบ

ทำการทดสอบที่อาคารวิชาการ ชั้น 4 โดยทำการทดสอบในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง โดยแผนผัง อาคารและตำแหน่ง Access Point แสดงดังรูปที่ 4.1 และตำแหน่งการวางจุดทดสอบภายในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง แสดงดังรูปที่ 4.2

4.6.1 แผนผังอาคาร ตำแหน่งโมดูล XBee-Pro และตำแหน่ง Access Point



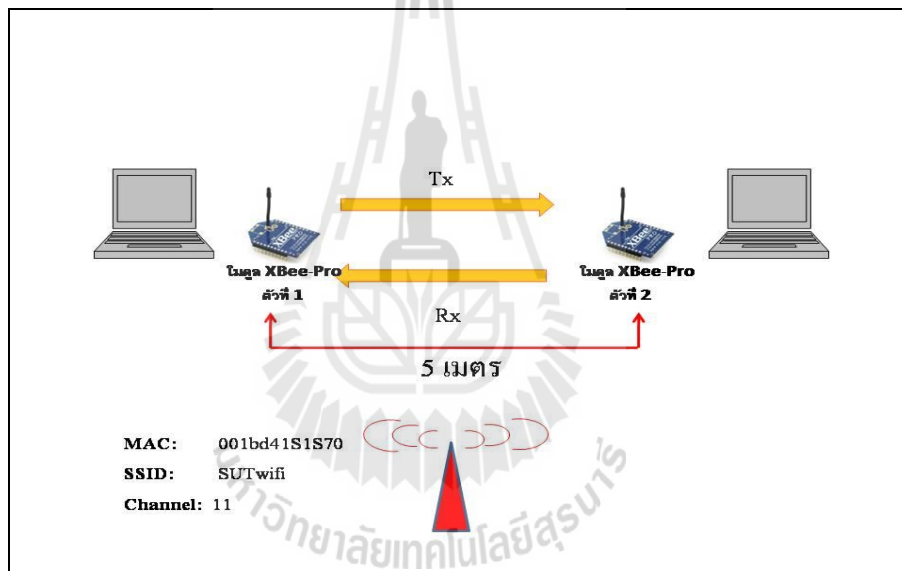
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวางเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ
ภายในอาคารวิชาการ ชั้น 4

- ▲ แสดง Access Points
- แสดง โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1
- แสดง โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2

4.7 วิธีการวัดค่า Received signal strength indication และ Accuracy Percentage

4.7.1 ทดสอบโดยกำหนดให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์

1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro เข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro เข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชุดมีระยะห่างกัน 5 เมตร โดยการวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณเป็นแบบ Line of Sight ในการทดสอบจะเลือกช่วงเวลาตอนกลางวันเพื่อลดปัจจัยของจำนวนผู้ใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 รูปแบบการเชื่อมต่อ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์

2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ C และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2

3. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การตั้งค่า ค่า PL ทั้งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 และบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองชุดจะต้องกำหนดค่า PL ให้มีค่าที่เท่ากัน จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด

6. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

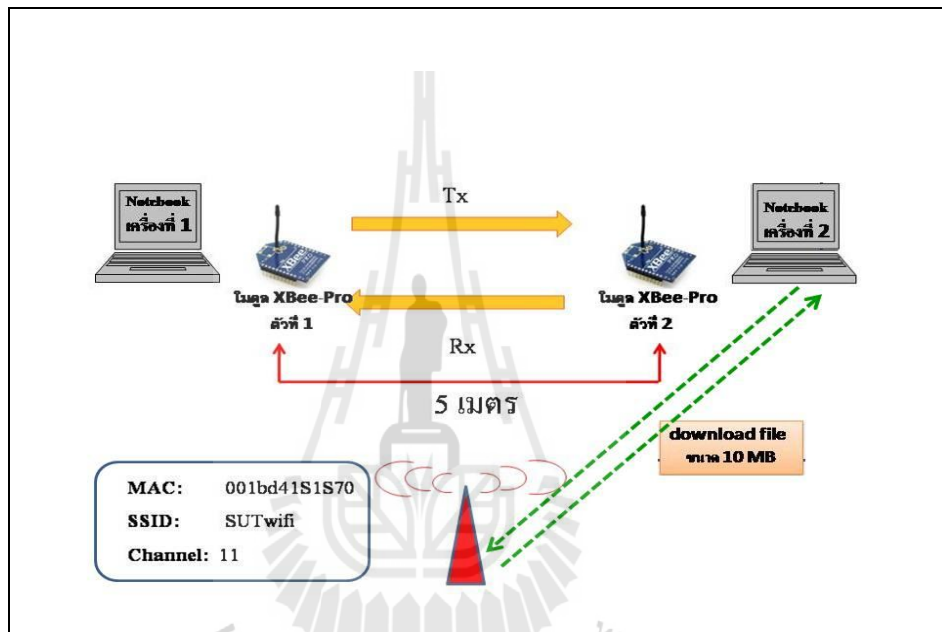
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ D, E, F, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0, 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1

4.7.2 ทดสอบโดยกำหนดให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องปฏิบัติการอาจารย์ แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro เข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro เข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชุดมีระยะห่างกัน 5 เมตร โดยการวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณเป็นแบบ Line of Sight ในการทดสอบจะเลือกช่วงเวลาตอนกลางคืนเพื่อลดปัจจัยของจำนวนผู้ใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้สื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 4.4

2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ C และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook

เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 แต่จะกำหนดให้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการ download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>



รูปที่ 4.4 รูปแบบการเชื่อมต่อ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์ แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

3. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การตั้งค่า ค่า PL ทั้งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 และบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองชุดจะต้องกำหนดค่า PL ให้มีค่าที่เท่ากัน จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด

6. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

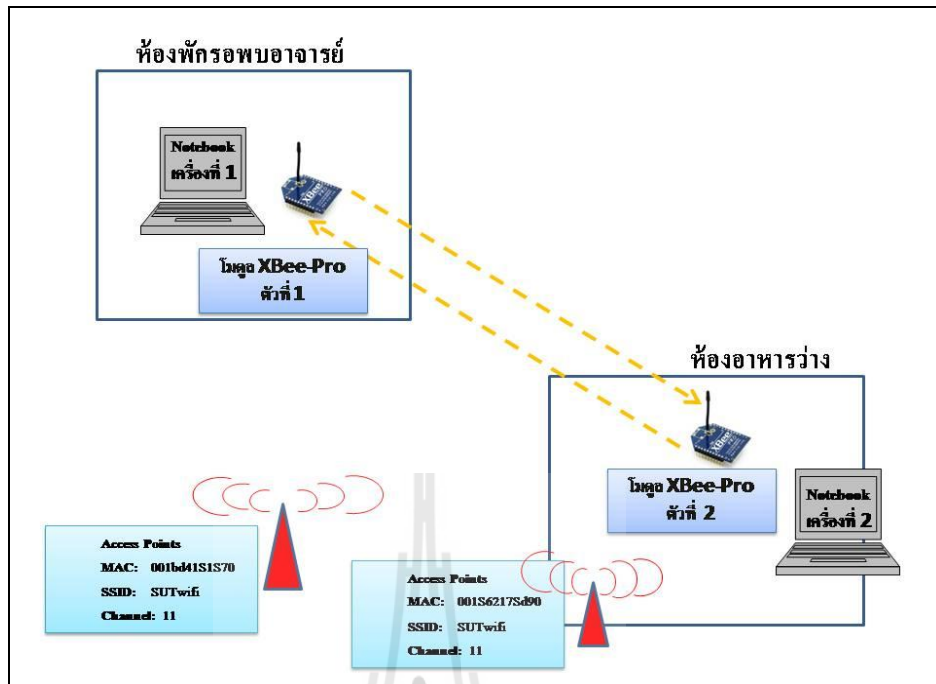
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ 14, 15, 16, 17 ตามลำดับซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0, 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1

4.7.3 ทดสอบโดยกำหนดการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee อยู่ใน

ห้องฟักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง

1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 โดยการวางตำแหน่งให้ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์ และ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูลซึ่งอยู่ในห้องอาหารว่าง เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ในการทดสอบจะเลือกช่วงเวลาตอนกลางคืนเพื่อลดปัจจัยของจำนวนผู้ใช้งานระบบ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 4.5

2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ C และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2



รูปที่ 4.5 รูปแบบการเชื่อมต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee
อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง

3. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การตั้งค่า ค่า PL ทั้งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 และบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองชุดจะต้องกำหนดค่า PL ให้มีค่าที่เท่ากัน จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด

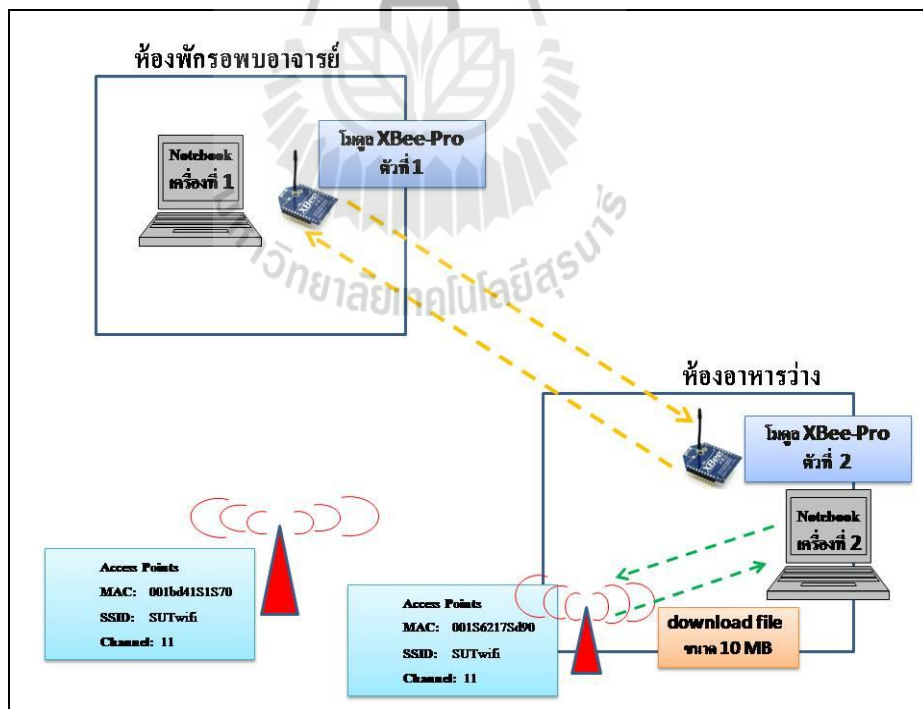
6. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% ความถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ D, E, F, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0, 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU

ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1

4.7.4 ทดสอบโดยกำหนดการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 โดยการวางตำแหน่งให้ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์ และ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูลซึ่งอยู่ภายในห้องอาหารว่าง เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ในการทดสอบจะเลือกช่วงเวลาตอนกลางวันเพื่อลดปัจจัยของจำนวนผู้ใช้งานระบบ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแบบการเชื่อมต่อกำหนดการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

2. ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ C และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 แต่จะกำหนดให้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการ download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

3. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำการตั้งค่า ค่า PL ทั้งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 และบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 โดยที่อุปกรณ์ทั้งสองชุดจะต้องกำหนดค่า PL ให้มีค่าที่เท่ากัน จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด

6. ทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% ความถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่จะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU จะทำการเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ 14, 15, 16, 17 ตามลำดับซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเพิ่มค่า PL (Power Level) โดยเลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 0, 1, 2, 3, และ 4 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่า Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% การถูกต้อง) โดยบันทึกจากโปรแกรม X-CTU ของคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 ที่ทำการเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1

4.8 ผลการทดลองการศึกษามลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสารของ เครื่องข่าย ZigBee

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษามลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสารของ เครื่องข่าย ZigBee โดยใช้โมดูล XBee-Pro และอ่านค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม X-CTU ทำการ บันทึกค่าพารามิเตอร์ กรณีทดสอบแล้วสังเกตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (% ความถูกต้อง) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกรณีต่างๆ และทำการศึกษามลกระทบที่เกิดขึ้นรวมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อทำการศึกษามลกระทบ ของเครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครื่องข่าย ZigBee ในกรณีต่าง ๆ

4.8.1 การศึกษามลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษามลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครื่องข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษามลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษามลกระทบ ของเครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครื่องข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์ พบว่าการเพิ่ม กำลัง ส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นไม่มีผลต่อทุกๆ พารามิเตอร์ คือ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage มีความถูกต้องของ ข้อมูลเนื่องจากการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตร ดังนั้นเมื่อกำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้ด้วย จากการทดลองนี้เป็นการนำ ค่าของ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage จำนวน 3 ครั้งมาเฉลี่ยกัน เพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel D

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel E

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel F

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 10

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 11

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 12

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 13

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

4.8.2 การศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์ แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB พบว่าการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage คือ มีความถูกต้องของข้อมูลเนื่องจากการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตรแต่พบว่า มีความล่าช้าของข้อมูล ส่วน Received signal strength indication มีค่าลดลงแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากมีสัญญาณรบกวนจากการ Download file ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ดังนั้นเมื่อกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อ Accuracy Percentage แต่จะมีผลต่อ Received signal strength indication จากการทดลองนี้เป็นการนำค่าของ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage จำนวน 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -41.33 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -47.33 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -42.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -45.67 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -44.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -42.34 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -42.67 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -41 |

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -52.34 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -46.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -43 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -41 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40.34 |

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -46.67 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -44.34 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -48 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -40.67 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -40 |

4.8.3 การศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์ และห้องอาหารว่าง พบว่าการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นมีผลต่อทุกๆพารามิเตอร์ คือ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage มีความไม่ถูกต้องของข้อมูล เกิดความผิดพลาดของข้อมูล เนื่องจากการสื่อสารกัน มีระยะทางการวางตำแหน่งที่ห่างกันคนละห้อง มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง มีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นเมื่อกำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้ด้วย จากการทดลองนี้เป็นการนำค่าของ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage จำนวน 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -80 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -75.33 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -71 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -70 |

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel D

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -80 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -75.33 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -71 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -70 |

ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel E

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -74.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -73.67 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -73 |

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel F

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -74.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -73.67 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -76 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -73 |

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 10

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|------|-------------------------|------------|
| 0 | 19 | 1 | 95 | -81.67 |
| 1 | 19.66 | 0.33 | 98.33 | -79.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -81 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -73.67 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -71.38 |

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 11

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -79 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -77 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -73 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -73.67 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -69.33 |

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 12

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -81 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -84 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -81 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -77.33 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -78 |

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 13

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -80.33 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -79 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -82 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -78.67 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -77 |

ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dB) |
|-------------|-------|------|-------------------------|-----------|
| 0 | 19.66 | 0.33 | 98.33 | -77.66 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -74.66 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -72.66 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -72 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -71 |

ตารางที่ 4.27 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|------|-------------------------|------------|
| 0 | 18.66 | 1.33 | 93.33 | -87 |
| 1 | 19 | 1 | 95 | -85.33 |
| 2 | 19 | 1 | 95 | -83.67 |
| 3 | 19.33 | 0.66 | 96.67 | -79 |
| 4 | 19.66 | 0.33 | 98.33 | -74.33 |

ตารางที่ 4.28 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|------|-------------------------|------------|
| 0 | 19.66 | 0.33 | 98.33 | -86.33 |
| 1 | 18 | 2 | 90 | -89.88 |
| 2 | 18.66 | 1.33 | 93.33 | -85.33 |
| 3 | 19 | 1 | 95 | -77.66 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -77.33 |

ตารางที่ 4.29 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|------|-------------------------|------------|
| 0 | 16.66 | 3.34 | 83.33 | -92.33 |
| 1 | 18 | 2 | 90 | -87.67 |
| 2 | 18.33 | 1.67 | 91.66 | -83 |
| 3 | 19.33 | 0.67 | 96.67 | -78.67 |
| 4 | 19.33 | 0.67 | 96.67 | -75 |

4.8.4 การศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักروبอาจารย์และห้องอาหารว่าง แต่มีการ Download file ขนาด 10 MB

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักروبอาจารย์และห้องอาหารว่าง และมีการ Download file ขนาด 10 MB พบว่าการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นมีผลต่อทุกๆพารามิเตอร์ คือ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage มีความไม่ถูกต้องของข้อมูล เกิดความผิดพลาดของข้อมูล เนื่องจากการสื่อสารกัน มีระยะทางการวางตำแหน่งที่ห่างกันคนละห้อง มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีสิ่งกีดขวาง มีสัญญาณรบกวนจากการ Download file ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

(Wireless LAN) ดังนั้นเมื่อกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ เพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้ด้วย จากการทดลองนี้เป็นการนำค่าของ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage จำนวน 3 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.30 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel C

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|------|-----|-------------------------|------------|
| 0 | 20 | 0 | 100 | -78 |
| 1 | 20 | 0 | 100 | -73.67 |
| 2 | 20 | 0 | 100 | -72.67 |
| 3 | 20 | 0 | 100 | -71 |
| 4 | 20 | 0 | 100 | -69.67 |

ตารางที่ 4.31 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 14

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|------|-------------------------|------------|
| 0 | 12 | 8 | 60 | -80.66 |
| 1 | 11.66 | 8.34 | 55 | -82 |
| 2 | 10 | 10 | 50 | -76 |
| 3 | 13.66 | 6.34 | 68.33 | -73.67 |
| 4 | 13 | 7 | 65 | -72 |

ตารางที่ 4.32 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 15

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|-------|-------------------------|------------|
| 0 | 9 | 11 | 45 | -85 |
| 1 | 9.33 | 10.67 | 46.67 | -78.33 |
| 2 | 13 | 7 | 65 | -78.33 |
| 3 | 12.33 | 7.67 | 61.67 | -79.33 |
| 4 | 13.33 | 6.67 | 66.67 | -77 |

ตารางที่ 4.33 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 16

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|-------|-------------------------|------------|
| 0 | 11 | 9 | 55 | -86 |
| 1 | 9.33 | 10.67 | 46.67 | -92.33 |
| 2 | 10.66 | 9.34 | 53.33 | -78.33 |
| 3 | 11 | 9 | 55 | -77.33 |
| 4 | 10.67 | 9.34 | 53.33 | -81 |

ตารางที่ 4.34 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ Channel 17

| Power Level | Good | Bad | Accuracy Percentage (%) | RSSI (dBm) |
|-------------|-------|-------|-------------------------|------------|
| 0 | 11 | 9 | 55 | -84.66 |
| 1 | 10.66 | 9.64 | 53.33 | -84.33 |
| 2 | 8 | 12 | 40 | -92.33 |
| 3 | 9.33 | 10.67 | 45.67 | -82 |
| 4 | 11.33 | 8.67 | 56.67 | -75.66 |

4.9 การวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของ เครื่องข่าย ZigBee

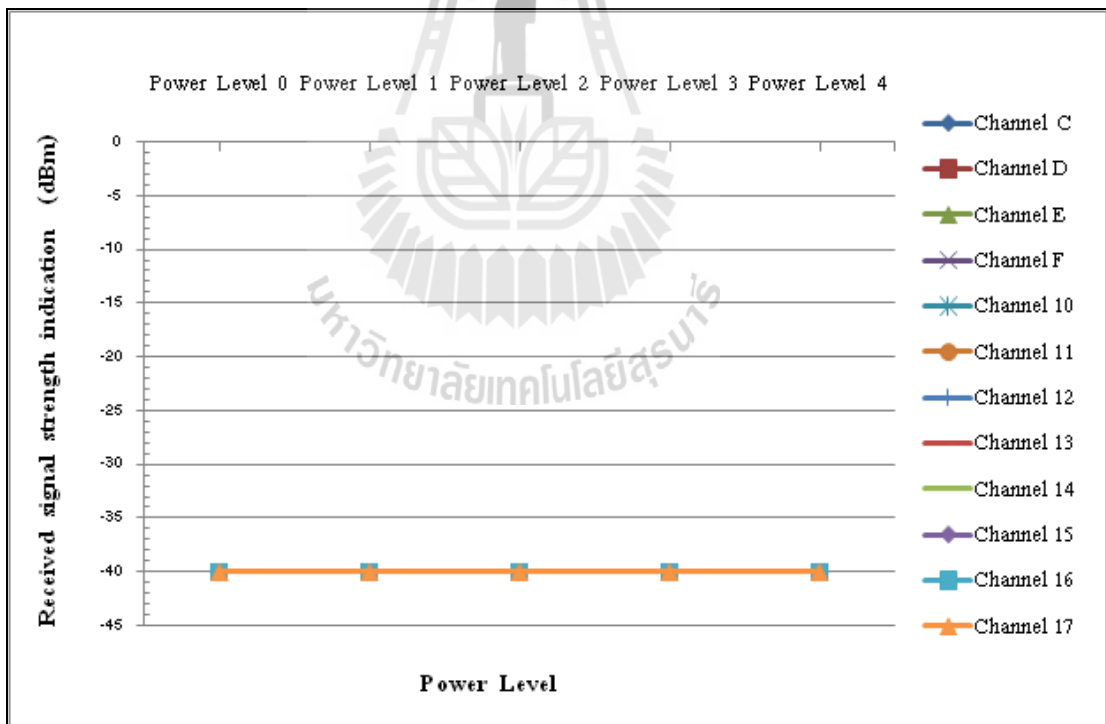
ในการวิเคราะห์ การศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสาร ของ เครื่องข่าย ZigBee จะแบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กรณีตามผลการทดลอง การศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครื่องข่าย ZigBee ดังนี้

4.9.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการวัดประสิทธิภาพการ สื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครื่องข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักรอพบอาจารย์

4.9.1.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่อง สัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครื่องข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Received signal strength indication (RSSI) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า ที่กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ตั้งแต่ 0 – 4 มีค่า Received signal strength indication (RSSI) เท่ากับ -40 dBm เท่ากันของทุกช่องสัญญาณ (Channel) จึงทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงของทุกๆ ช่องสัญญาณ (Channel) การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นจึงไม่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI)

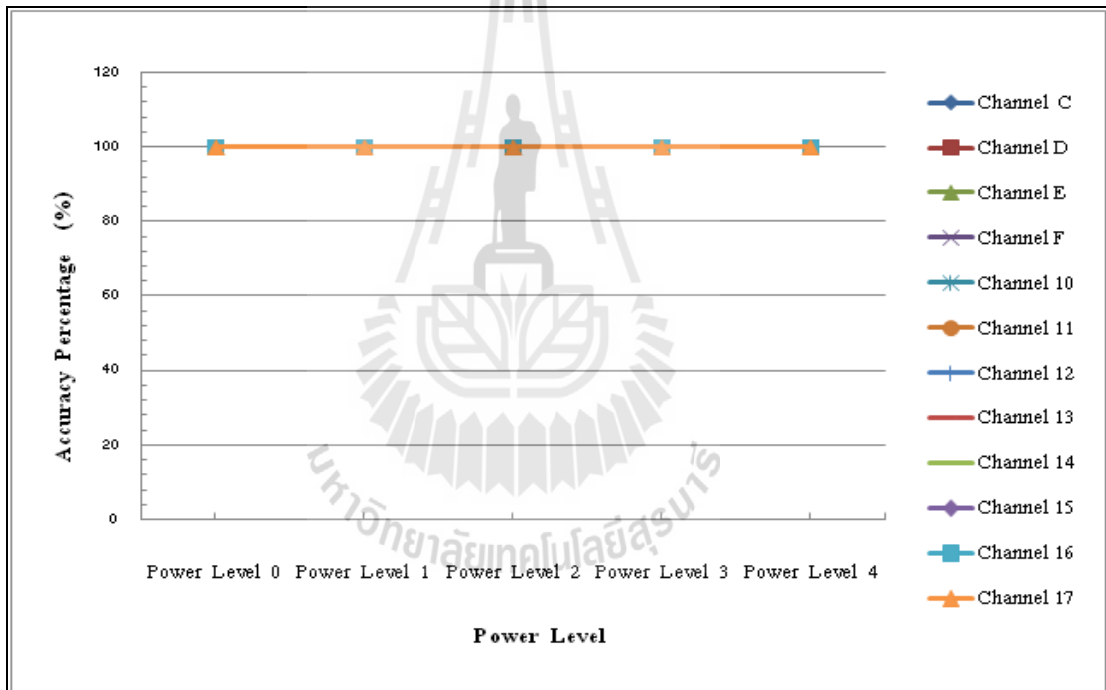
สำหรับสาเหตุที่ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นทำให้ไม่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) เนื่องจากเป็นการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตร และอุปกรณ์ Xbee-Pro มีกำลังส่งสัญญาณสูงสุด -40 dBm จึงทำให้การศึกษาลักษณะของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ที่อยู่ในห้องฟักรอพบอาจารย์มีประสิทธิภาพดีมาก



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

4.9.1.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า ที่ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ตั้งแต่ 0 – 4 มีค่า Accuracy Percentage (%) เท่ากับ 100% เท่ากัน ของทุกช่องสัญญาณ (Channel) จึงทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงของทุกๆ ช่องสัญญาณ (Channel) การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นจึงไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

สำหรับสาเหตุที่ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นทำให้ไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) เนื่องจากการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตร และอุปกรณ์ Xbee-Pro มีกำลังส่งสัญญาณสูงสุด -40 dBm ทำให้ Accuracy

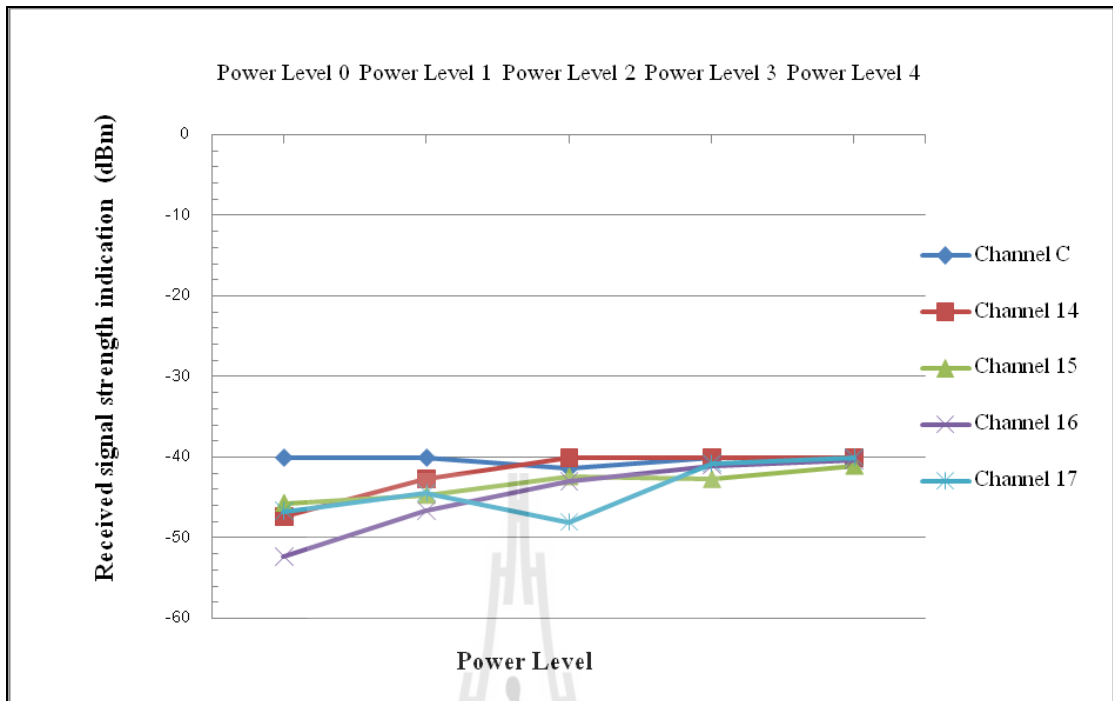
Percentage (%) เท่ากับ 100 % จึงทำให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์มีประสิทธิภาพดีมาก

4.9.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ และช่องสัญญาณ ที่มีผลต่อ Received signal strength indication และ Accuracy Percentage ในการวัดประสิทธิภาพการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องฟักรอพบอาจารย์แต่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

4.9.2.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Received signal strength indication (RSSI) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า ที่กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ตั้งแต่ 0 – 4 มีค่า Received signal strength indication (RSSI) เพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบ ช่องสัญญาณ (Channel) แต่ละช่องสัญญาณ พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) C มีค่าประมาณ -40 dBm ส่วนช่องสัญญาณ (Channel) 14, 15, 16, 17 จะมีค่า Received signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่าเล็กน้อย และเมื่อเพิ่ม กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) มีค่าใกล้เคียง -40 dBm

สำหรับสาเหตุที่ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นทำให้มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) เนื่องจากมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) มีผลทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) มีค่าต่ำ และเมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ให้มีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) มีค่าใกล้เคียง -40 dBm เพราะเป็นการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตร



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ(Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

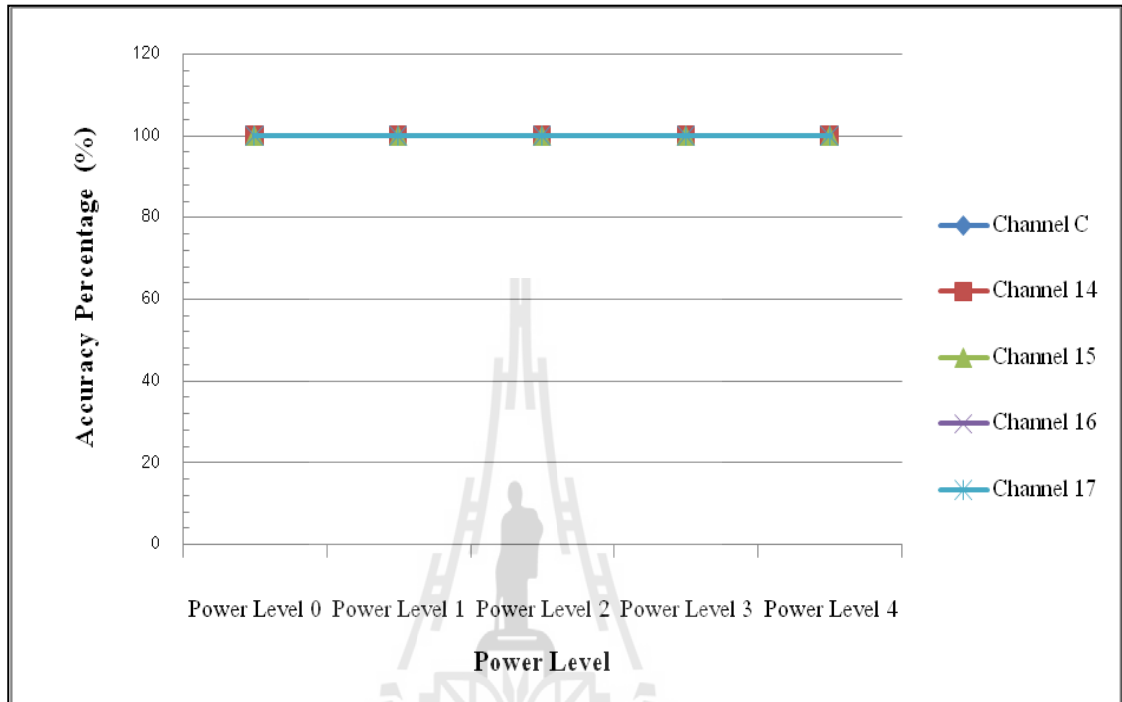
4.9.2.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า ที่ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ตั้งแต่ 0 – 4 มีค่า Accuracy Percentage (%) เท่ากับ 100% เท่ากัน ของทุกช่องสัญญาณ (Channel) จึงทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงของทุกๆ ช่องสัญญาณ (Channel) การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) จึงไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%)

สำหรับสาเหตุที่เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้น และมีการ Download file 10 MB ทำให้ไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) เนื่องจากการสื่อสารกันแบบ Line of Sight ที่ระยะทาง 5 เมตร ทำให้ Accuracy Percentage (%) เท่ากับ 100 % แต่จะพบว่าการรับส่งข้อมูลมีเวลาที่ล่าช้ากว่าที่ไม่มีการ Download file 10 MB

แต่การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย
ประสิทธิภาพดีมาก

ZigBee ที่อยู่ภายในห้องพักอพบอาจารย์มี



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

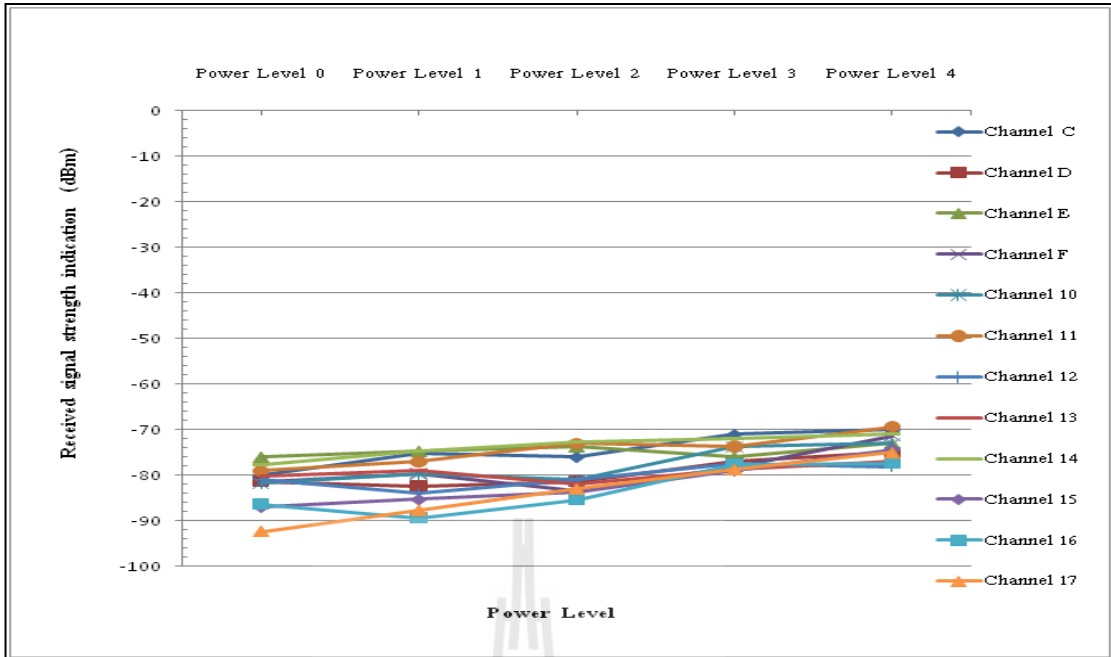
4.9.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ภายในห้องพักอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง ขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

4.9.3.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

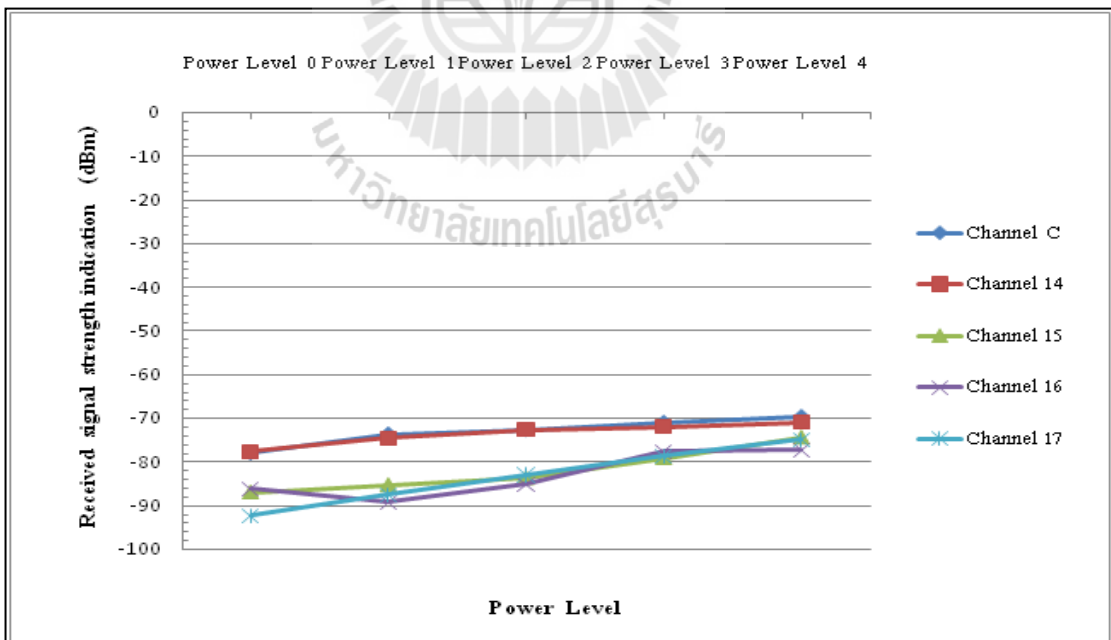
เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Received signal strength indication (RSSI) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) 0 ,1 ,2 ,3 ,4 ตามลำดับใน แต่ละช่องสัญญาณ (Channel) ทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) เพิ่มขึ้นตามลำดับไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบ ช่องสัญญาณ (Channel) แต่ละช่องสัญญาณ พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) 15 ,16 ,17 จะมีค่า Received signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่าช่องสัญญาณ (Channel) อื่น ๆ และ ช่องสัญญาณ (Channel) อื่น ๆ นั้นจะมีค่า Received signal strength indication (RSSI) ใกล้เคียงกัน จึงทำให้กราฟมีลักษณะซ้อนทับกัน ดังนั้นจึงเลือกลักษณะกราฟของช่องสัญญาณ (Channel) C , 14 , 15 , 16 , 17 เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นได้ชัด ดังกราฟรูปที่ 4.12

จากกราฟรูปที่ 4.12 พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 มีค่า Received signal strength indication (RSSI) ใกล้เคียงกัน และ สูงกว่า ช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 จึงทำให้ ช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 มีผลต่อ ค่า Received signal strength indication (RSSI)

สำหรับสาเหตุที่ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นทำให้มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) เนื่องจากการสื่อสารกันมีระยะทางการวางตำแหน่งที่ห่างคนละห้อง มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง มีสิ่งกีดขวาง เมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16 ,17 ตามลำดับ ซึ่งย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.455 , 2.460 , 2.465 GHz ตามลำดับ อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 ทำให้เกิดการรบกวนกันของย่านความถี่ระหว่างระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ตามลำดับ ซึ่งมีย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.410 และ 2.450 GHzตามลำดับไม่ได้อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 ที่อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 GHz จึงทำให้ช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ไม่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ดังนั้นเมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 ส่งผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ด้วย



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ(Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ(Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) การศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

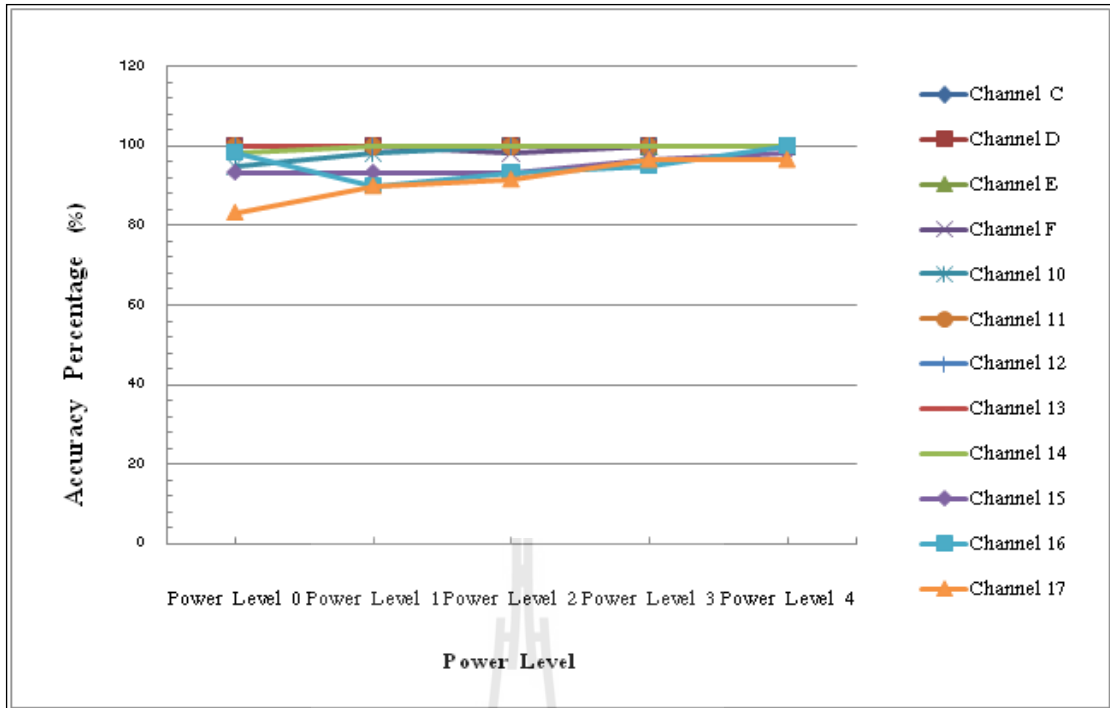
4.9.3.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) 0 ,1 ,2 ,3 ,4 ตามลำดับ จะเห็นได้ชัด ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 ,17 จะมีค่า Accuracy Percentage (%) เพิ่มขึ้นตามลำดับไปด้วย และมีค่าต่ำกว่าช่องสัญญาณ (Channel) อื่น ๆ โดยที่ช่องสัญญาณ (Channel) อื่น ๆ จะมีค่า Accuracy Percentage (%) ใกล้เคียงกันมากเกือบจะ 100% จะสังเกตได้จากกราฟ ที่มีการซ้อนทับกัน ดังนั้นจึงเลือกลักษณะกราฟของช่องสัญญาณ (Channel) C , 14 , 15 , 16 , 17 เพื่อ เปรียบเทียบให้เห็นได้ชัด ดังกราฟรูปที่ 4.14

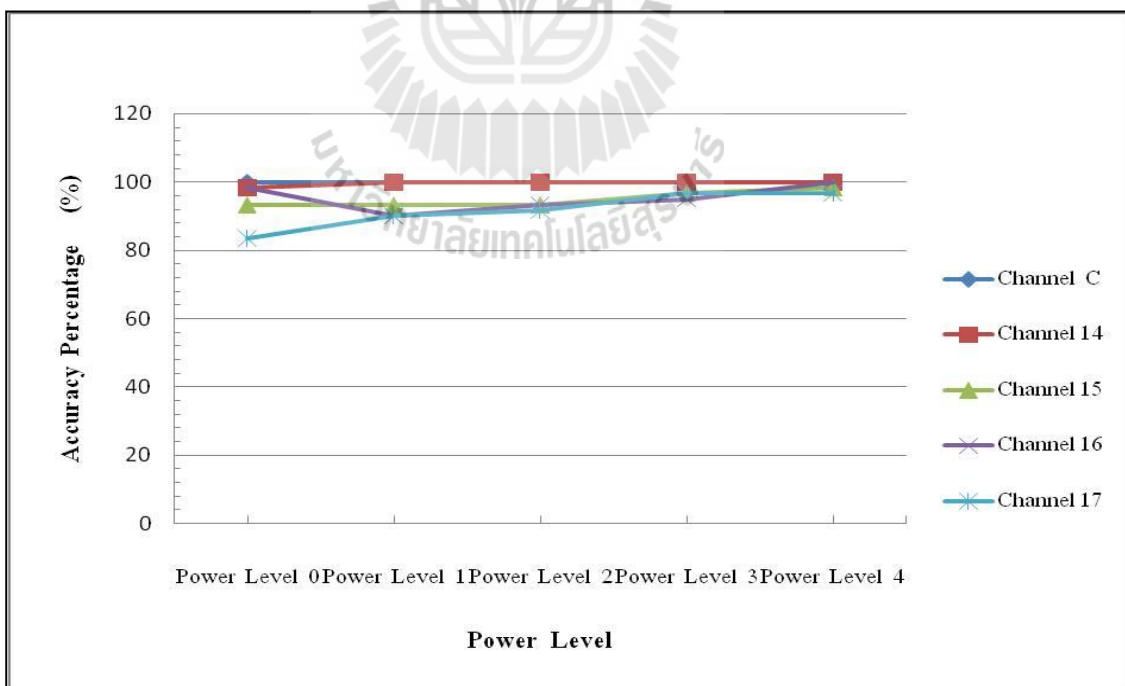
จากกราฟรูปที่ 4.14 พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 มีค่า Accuracy Percentage (%) ใกล้เคียงกัน และ สูงกว่า ช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 จึงทำให้ช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 ,17 มีผลต่อ ค่า Accuracy Percentage (%)

สำหรับสาเหตุที่ เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 ในขณะที่มีการสื่อสารอยู่นั้นทำให้มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) เนื่องจากใน การสื่อสารกันมีระยะทางการวางตำแหน่งที่ห่างคนละห้อง มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง มีสิ่งกีดขวาง

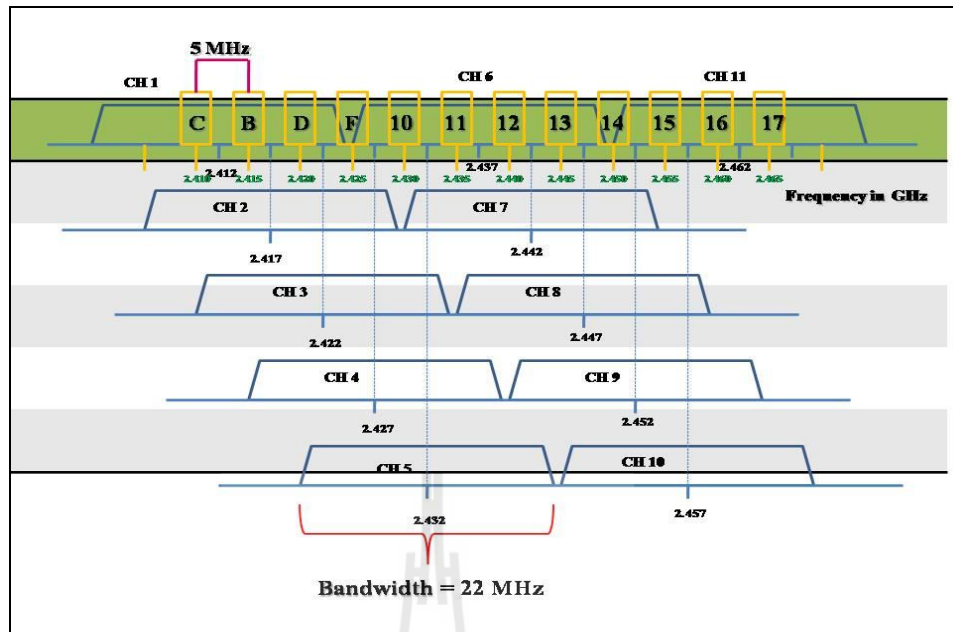
เมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16 ,17 ตามลำดับ ซึ่งย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.455 , 2.460 , 2.465 GHz ตามลำดับ อยู่ในช่วงช่องสัญญาณ ย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 ทำให้เกิดการรบกวนในย่านความถี่กันระหว่างระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) และการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ตามลำดับ ซึ่งมีย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.410 และ 2.450 GH ตามลำดับไม่ได้อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 ที่อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 GHz จึงทำให้ช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ดังนั้นเมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณ (Channel) 15 , 16 , 17 ส่งผลต่อ Accuracy Percentage (%)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee



รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan)และการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

4.9.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณและช่องสัญญาณที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) และ Accuracy Percentage (%)ในการศึกษาผลกระทบของ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee อยู่ในห้องพักรอพบอาจารย์และห้องอาหารว่าง ขณะที่มีกร Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN)

4.9.4.1 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI)ในการศึกษาผลกระทบของ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Received signal strength indication (RSSI) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) 0 ,1 ,2 ,3 ,4 ตามลำดับ ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) C ,14 ,15 ,16 ,17 ทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) เพิ่มขึ้นตามลำดับไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบ ช่องสัญญาณ (Channel) แต่ละช่องสัญญาณ พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) 15

,16 ,17 จะมีค่า Received signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่าช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 โดยที่ช่องสัญญาณ (Channel) C มีค่า Received signal strength indication (RSSI) มากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบช่องสัญญาณ (Channel) ระหว่างกราฟรูปที่ 4.12 ขณะไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)กับกราฟรูปที่ 4.16 ขณะที่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) พบว่า

- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) C จะมีค่าReceived signal strength indication (RSSI) ใกล้เคียงกันมาก

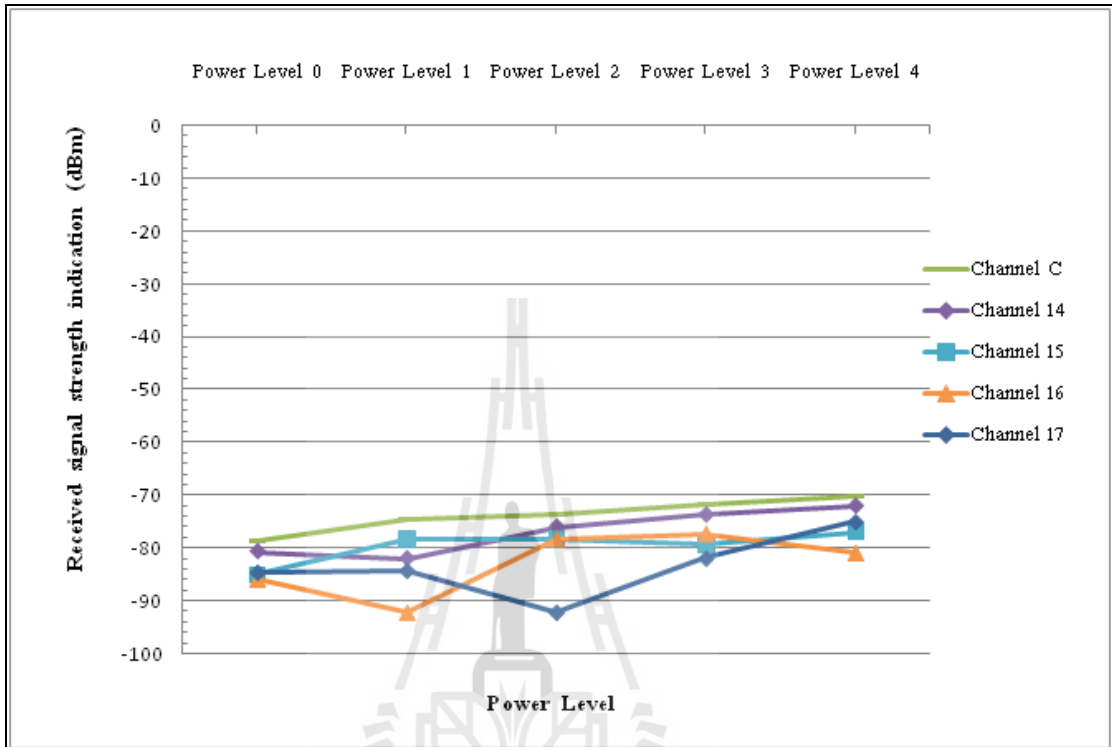
- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 14 ในขณะที่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)จะมีค่าReceived signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่าในขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 15 ,16 ,17 ตามลำดับ ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) จะมีค่าReceived signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่าในขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

ดังนั้น ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) มีผลทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่า ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MBผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

สำหรับสาเหตุที่ การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) มีผลทำให้ค่า Received signal strength indication (RSSI) ต่ำกว่า ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB) ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) เนื่องจากในการ

สื่อสารกันมีสัญญาณรบกวนจากการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

เมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16, 17 ตามลำดับ ซึ่งย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.455, 2.460, 2.465 GHz ตามลำดับอยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 ที่อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 ทำให้เกิดการรบกวนกันของย่านความถี่ระหว่างระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย Zigbee และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ตามลำดับ ซึ่งมีย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.410 และ 2.450 GHz ตามลำดับไม่ได้อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 ที่อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 GHz จึงทำให้ที่ช่องสัญญาณ (Channel) C ไม่มีผลต่อ Received signal strength indication

(RSSI) แต่ช่องสัญญาณ (Channel) 14 มีย่านความถี่ใกล้เคียงกันมากกับช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 จึงทำให้มีผลต่อ Received signal strength indication (RSSI) ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) แต่ค่า Received signal strength indication (RSSI) จะสูงกว่าช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16, 17

4.9.4.2 ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee

เมื่อสังเกตข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับ กำลังส่งสัญญาณ (Power Level) ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) พบว่า เมื่อเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) 0, 1, 2, 3, 4 ตามลำดับ ในแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) C, 14, 15, 16, 17 ทำให้ค่า Accuracy Percentage (%) เพิ่มขึ้นตามลำดับไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบช่องสัญญาณ (Channel) แต่ละช่องสัญญาณ พบว่า ช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16, 17 จะมีค่า Accuracy Percentage (%) ต่ำกว่าช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 โดยที่ช่องสัญญาณ (Channel) C มีค่า Accuracy Percentage (%) มากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบช่องสัญญาณ (Channel) ระหว่างกราฟรูปที่ 4.14 ขณะไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) และกราฟรูปที่ 4.16 ขณะที่มีการ download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) พบว่า

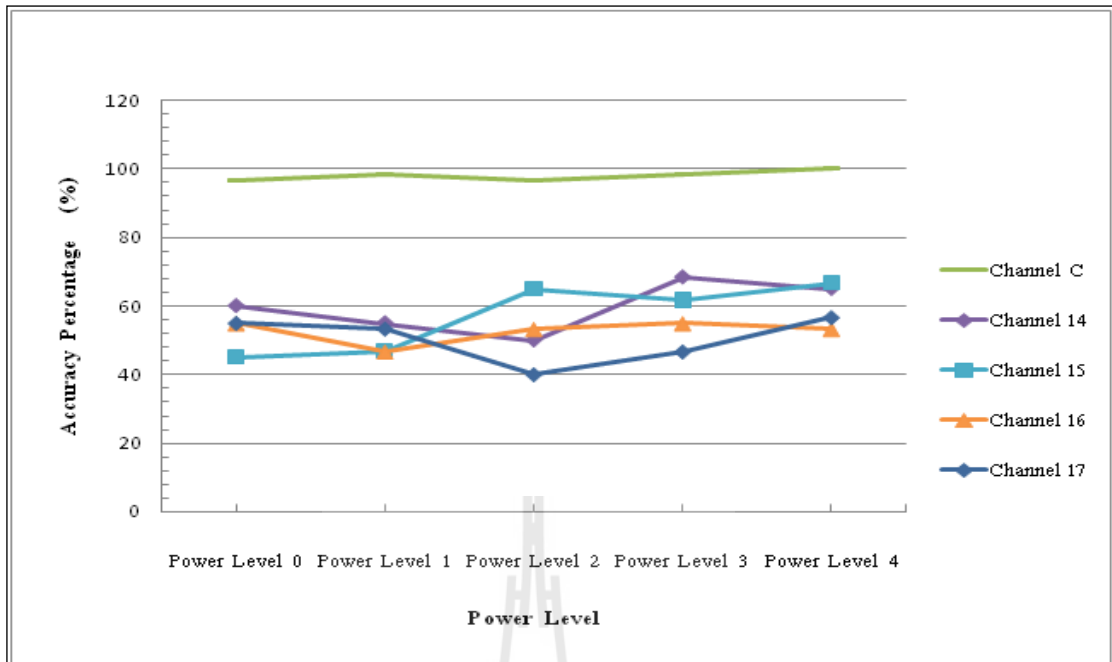
- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) C จะมีค่า Accuracy Percentage (%) ค่าใกล้เคียงกัน
- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 14 ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) จะมีค่า Accuracy Percentage (%) ต่ำกว่าในขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) อย่างเห็นได้ชัด
- ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16, 17 ตามลำดับ ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) จะมีค่า Accuracy Percentage (%) ต่ำกว่าในขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

ดังนั้น ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่าย

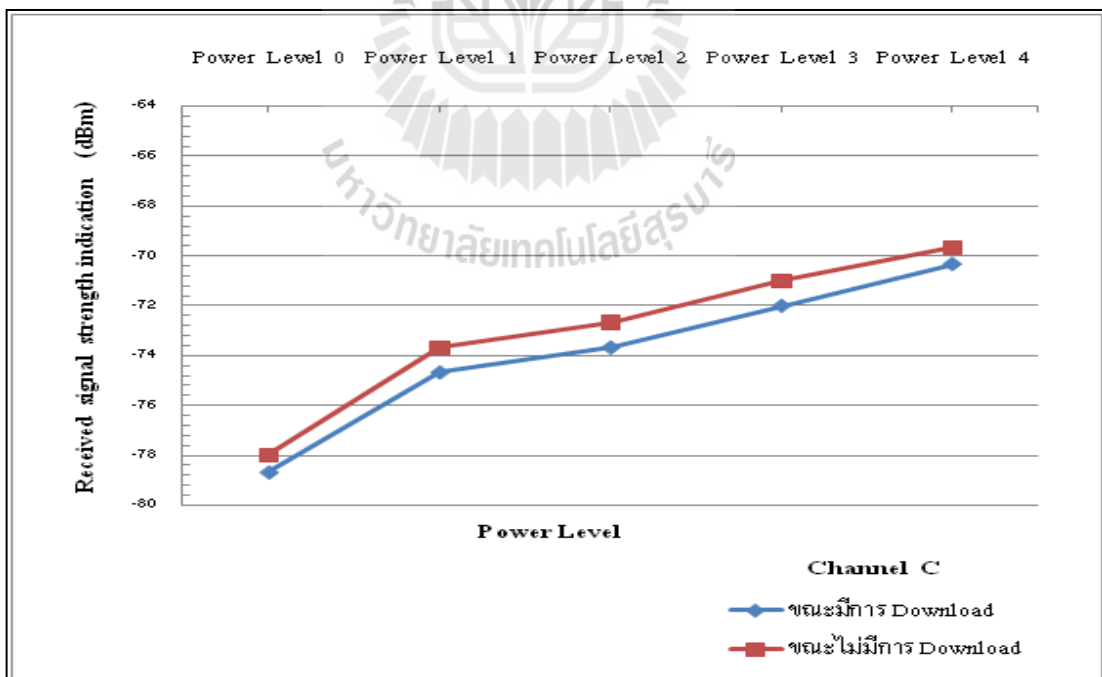
ท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) มีผลทำให้ค่า Accuracy Percentage (%) ต่ำกว่า ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่ไม่มี การ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

สำหรับสาเหตุที่ การเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) มีผลทำให้ค่า Accuracy Percentage (%) ต่ำกว่า ผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะที่ไม่มี การ Download file 10 MB) เนื่องจากในการสื่อสารกันมีสัญญาณรบกวนจากการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

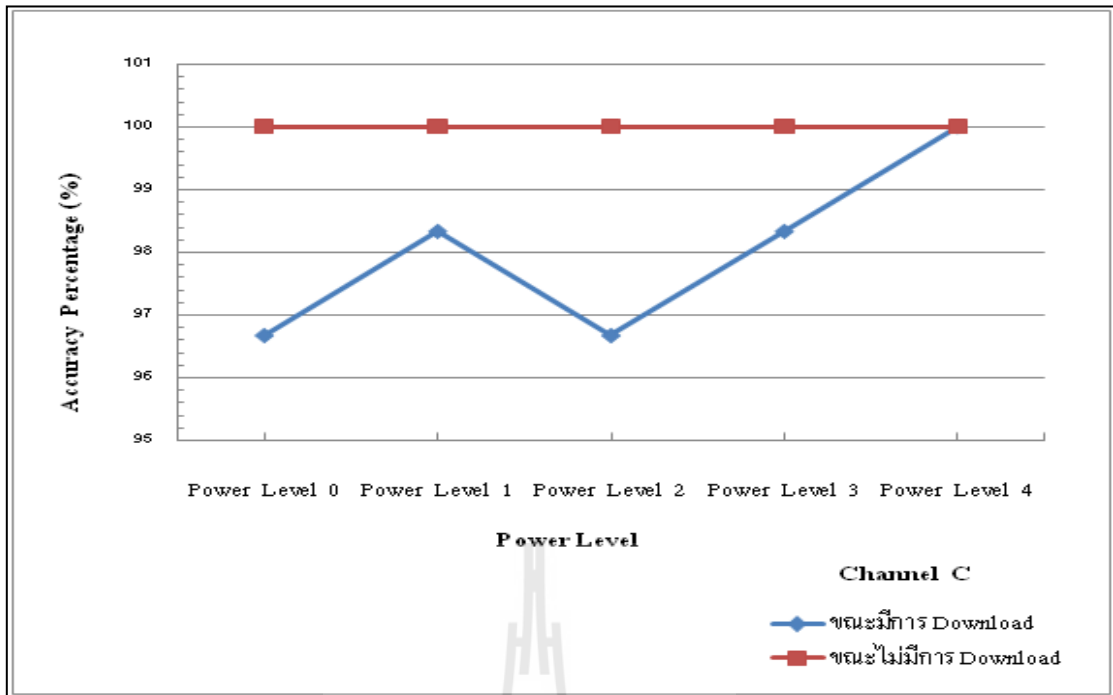
เมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16 ,17 ตามลำดับ ซึ่งย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.455 , 2.460 , 2.465 GHz ตามลำดับ อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 ทำให้เกิดการรบกวนกันของย่านความถี่ระหว่างระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กับการสื่อสารสัญญาณ ไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) C และ 14 ตามลำดับ ซึ่งมีย่านความถี่ของแต่ละช่องสัญญาณ (Channel) นั้นมีค่า 2.410 และ 2.450 GHz ตามลำดับไม่ได้อยู่ในช่วงช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 อยู่ในย่านความถี่ 2.451 – 2.473 GHz จึงทำให้ที่ช่องสัญญาณ (Channel) C ไม่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) แต่ช่องสัญญาณ (Channel) 14 มีย่านความถี่ใกล้เคียงกันมากกับช่องสัญญาณย่านความถี่ของ ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Lan) ที่ช่องสัญญาณ (Channel) 11 จึงทำให้มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) แต่ค่า Accuracy Percentage (%) จะสูงกว่าช่องสัญญาณ (Channel) 15, 16 ,17



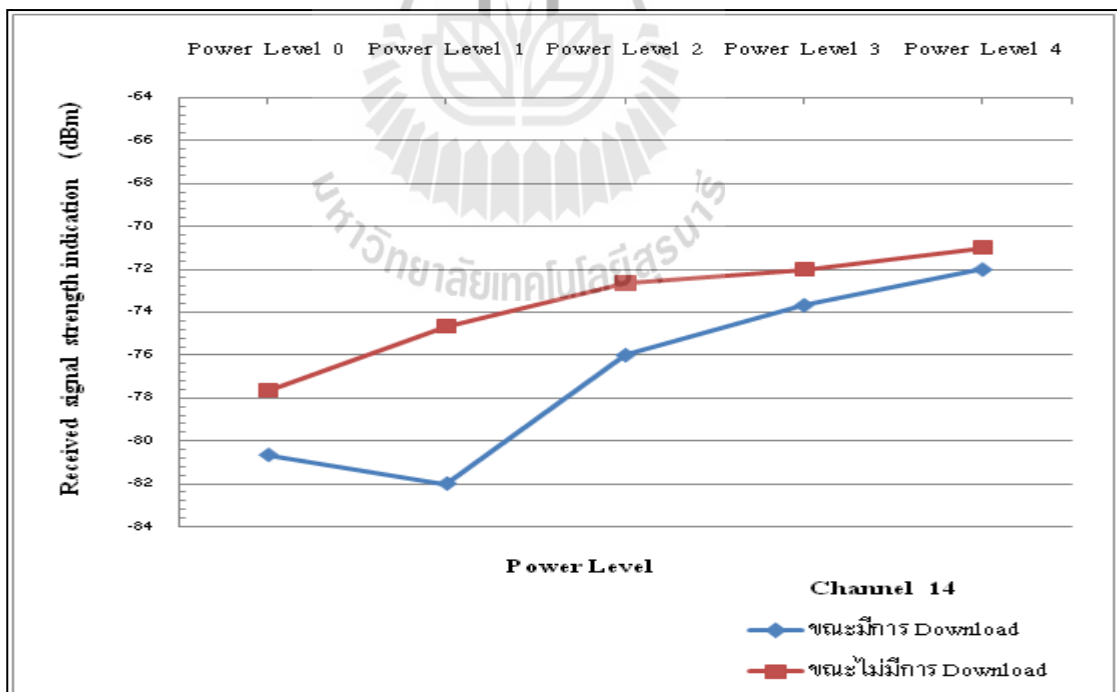
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลกระทบของการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) และ ช่องสัญญาณ (Channel) ที่มีผลต่อ Accuracy Percentage (%) ในการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



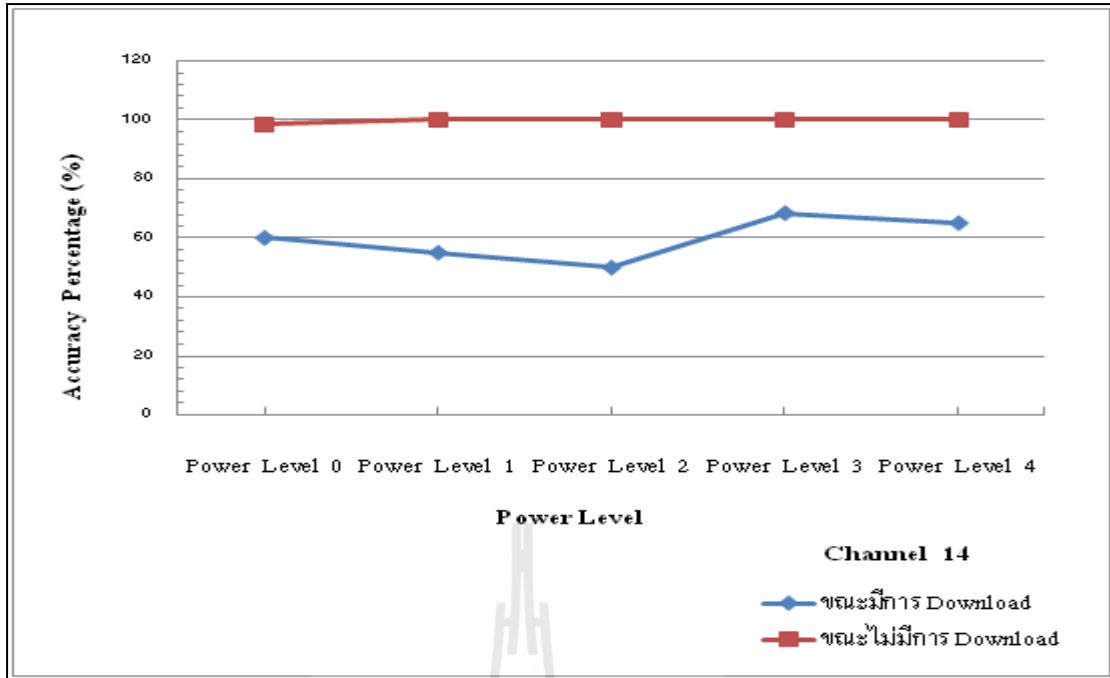
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel C เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



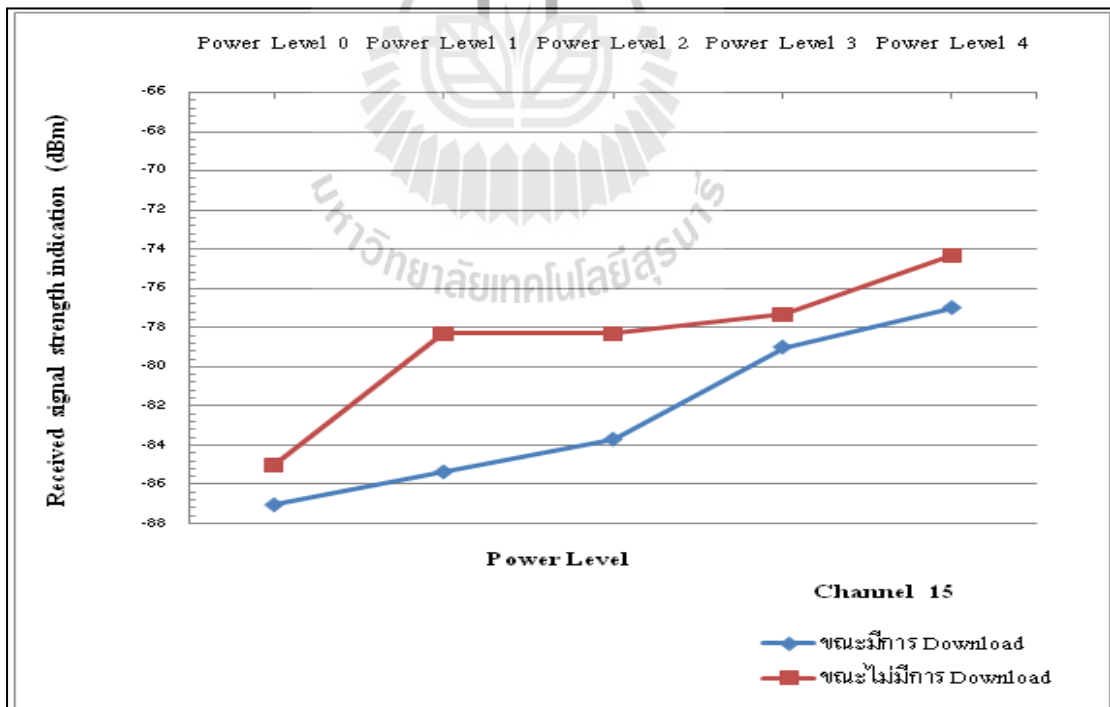
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel C เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



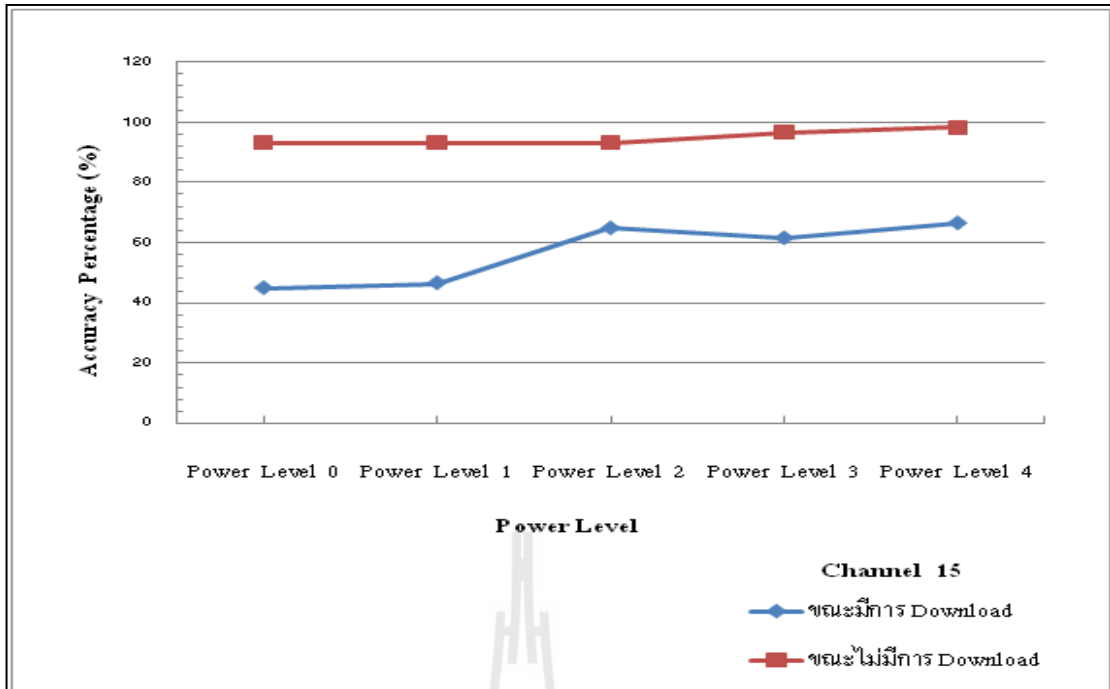
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 14 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



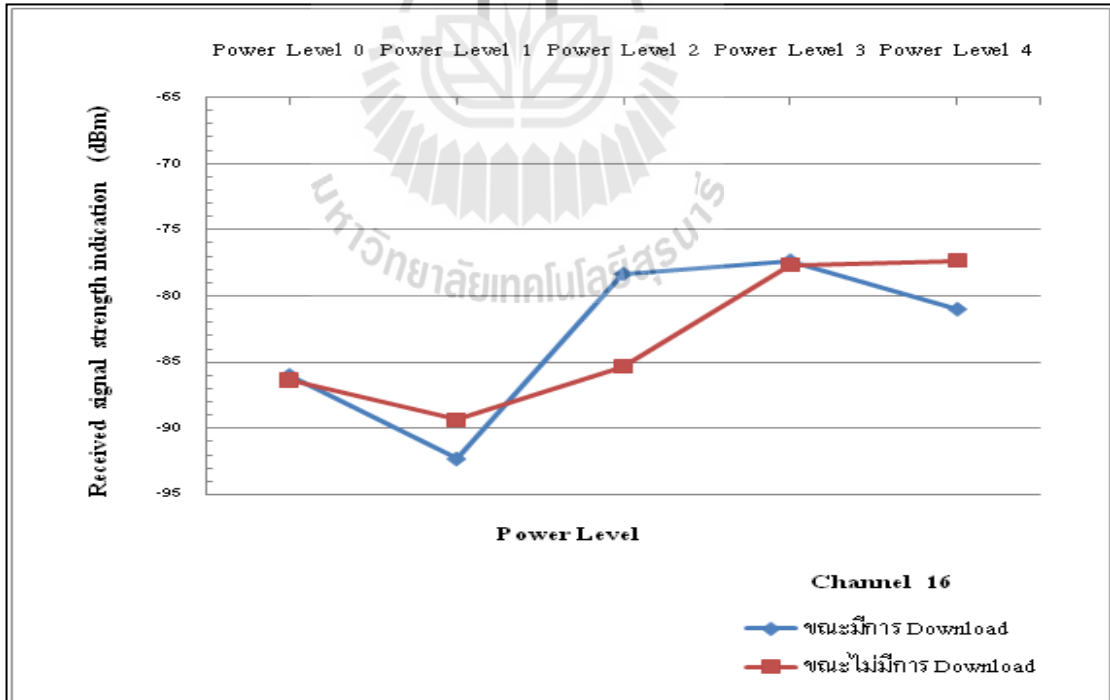
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 14 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



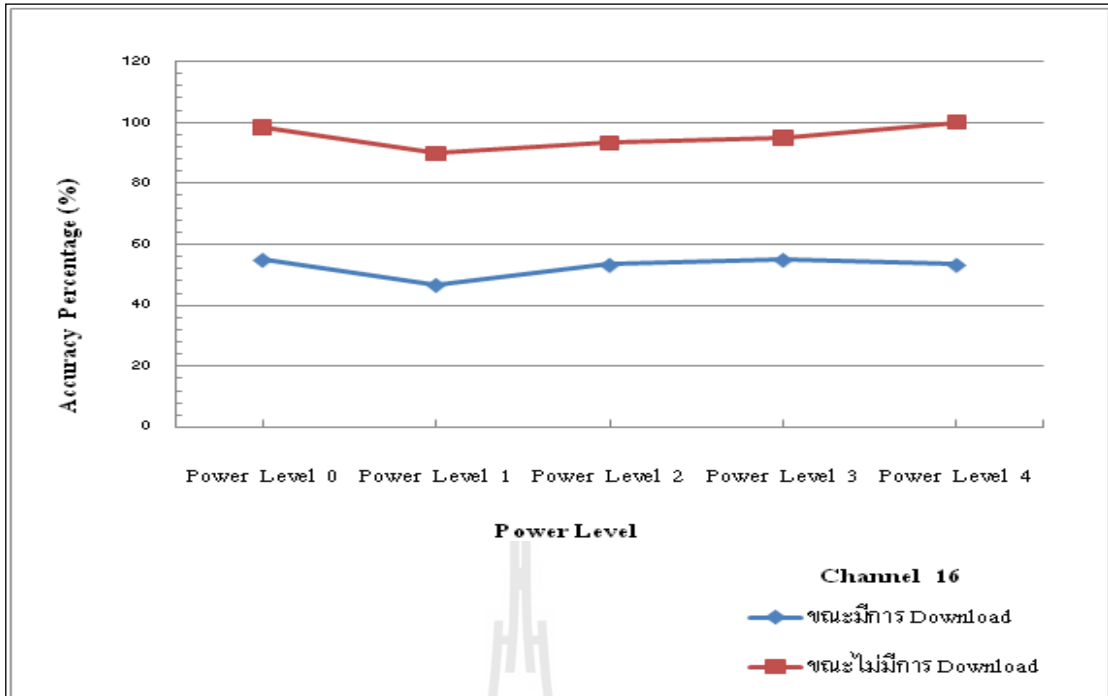
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 15 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



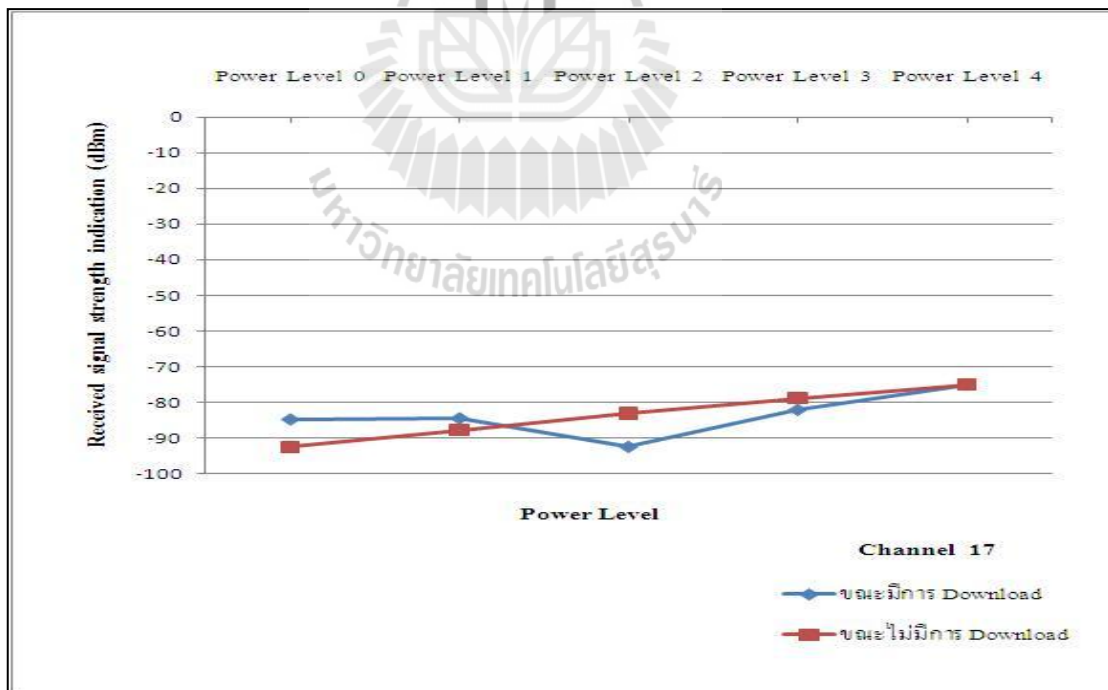
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 15 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



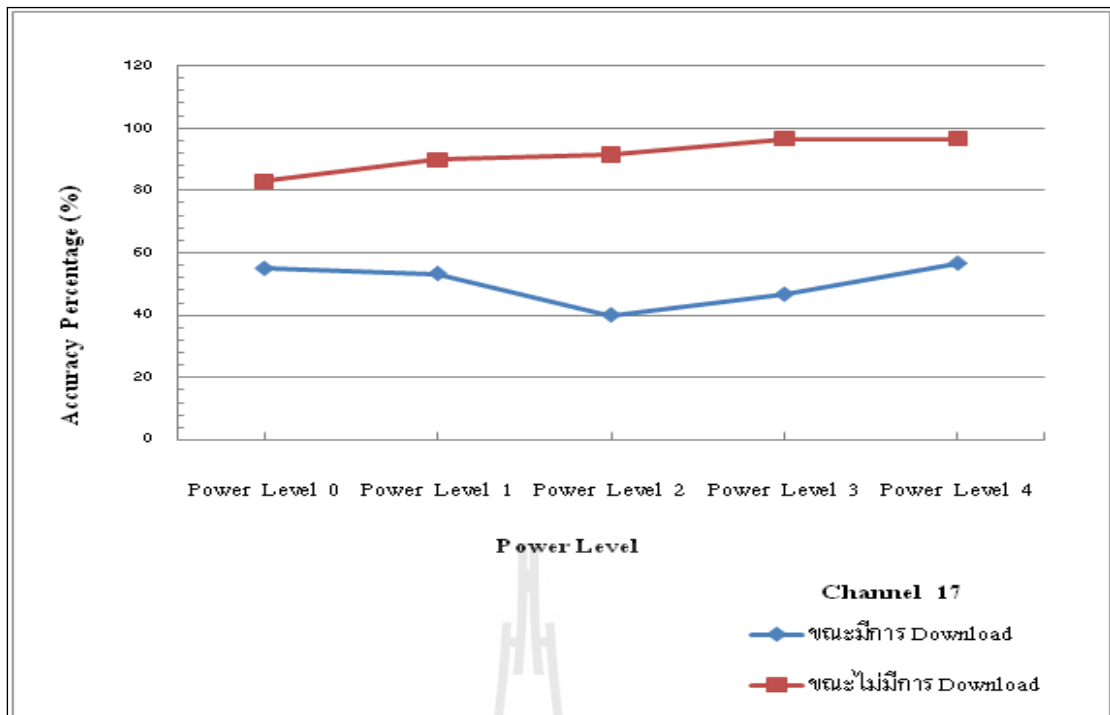
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 16 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 16 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file

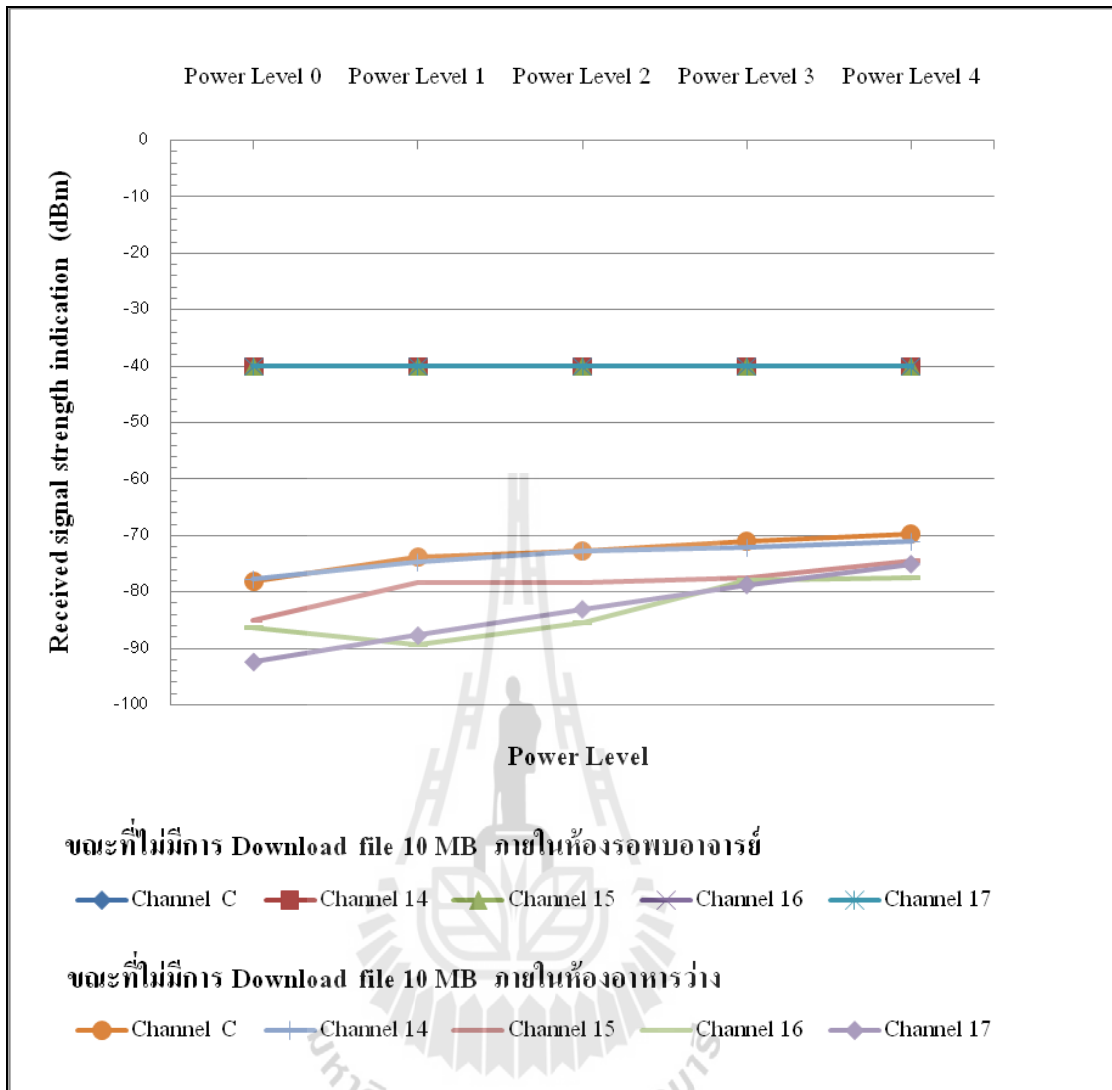


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 17 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file

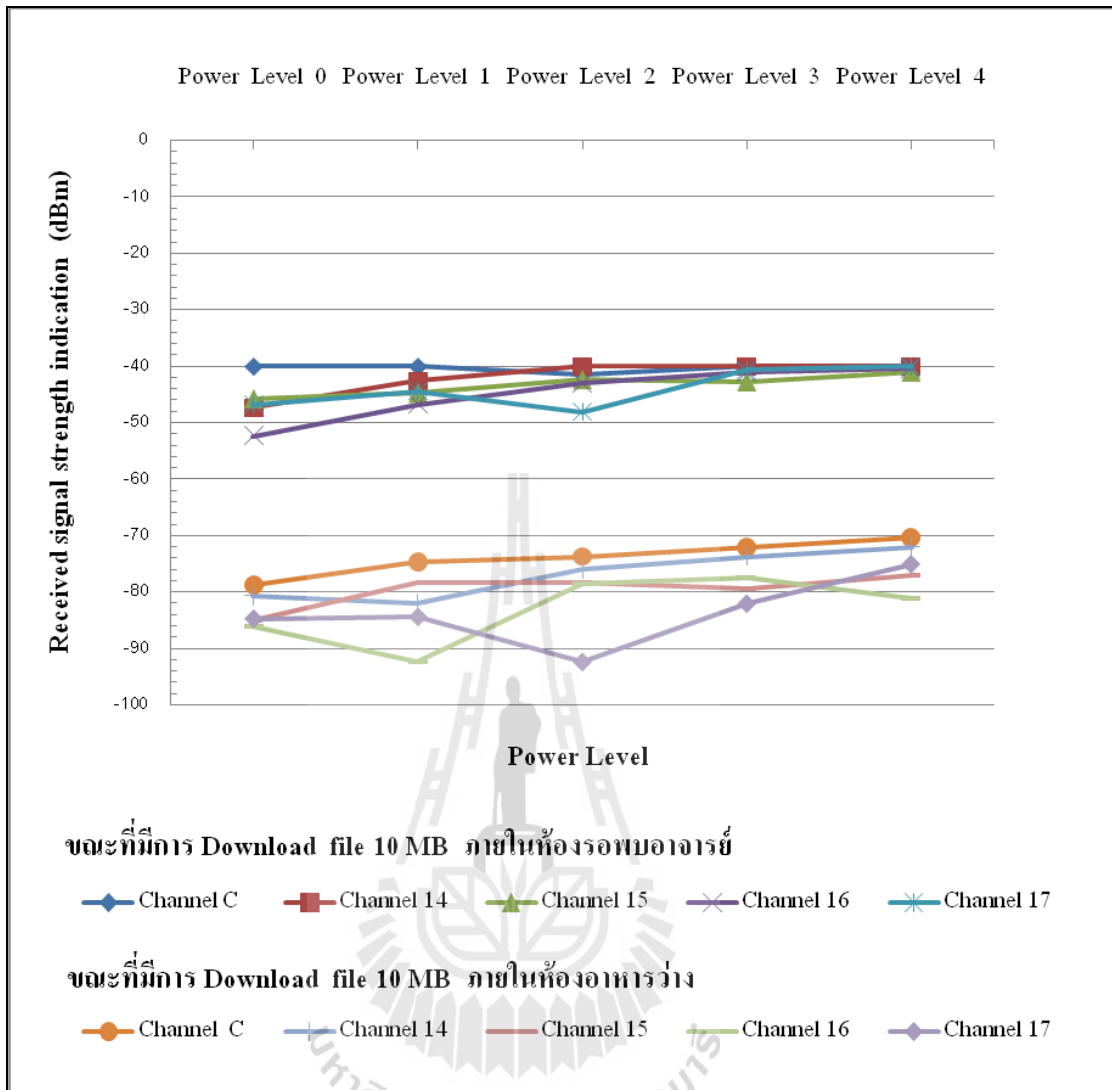


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเลือก Channel 17 เปรียบเทียบขณะมีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)และไม่มีการ Download file

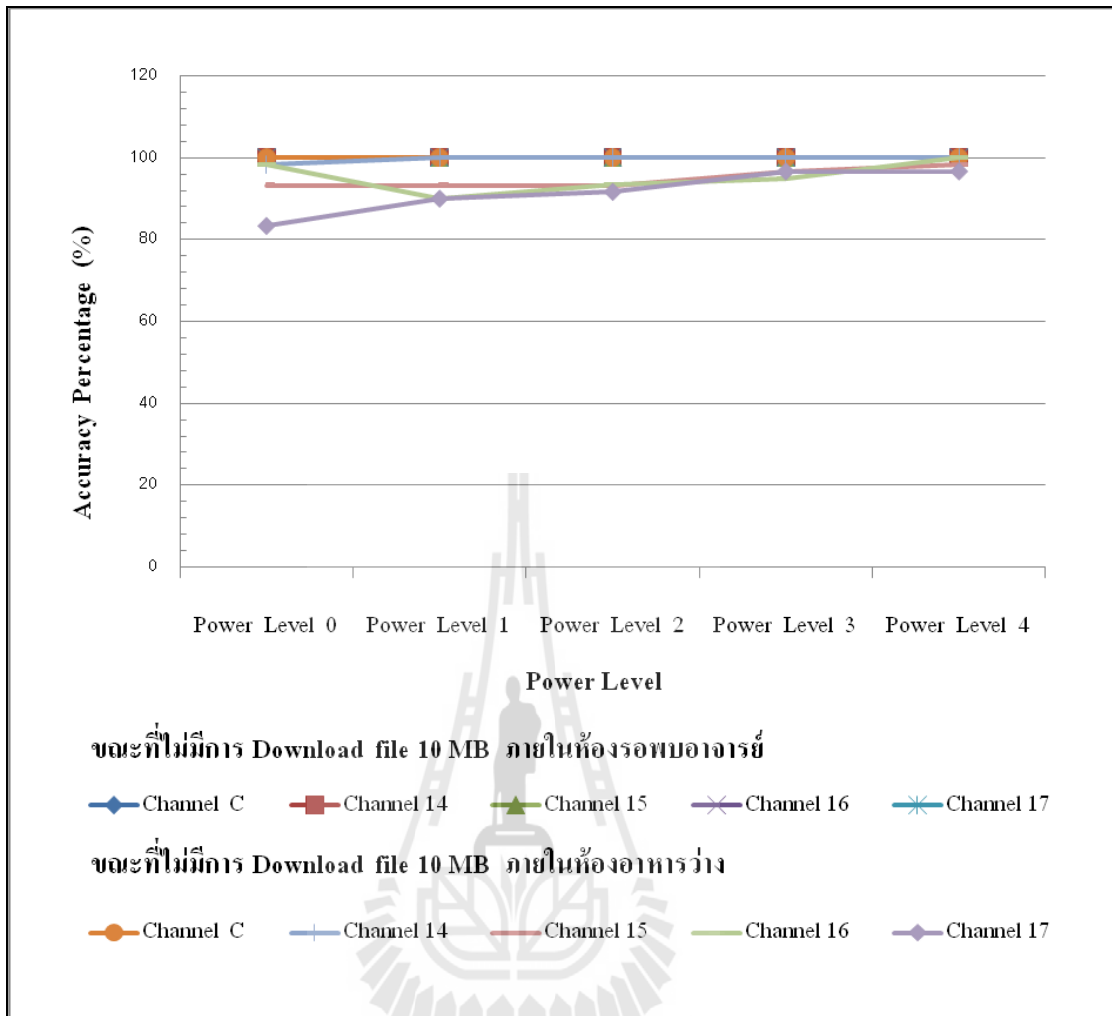




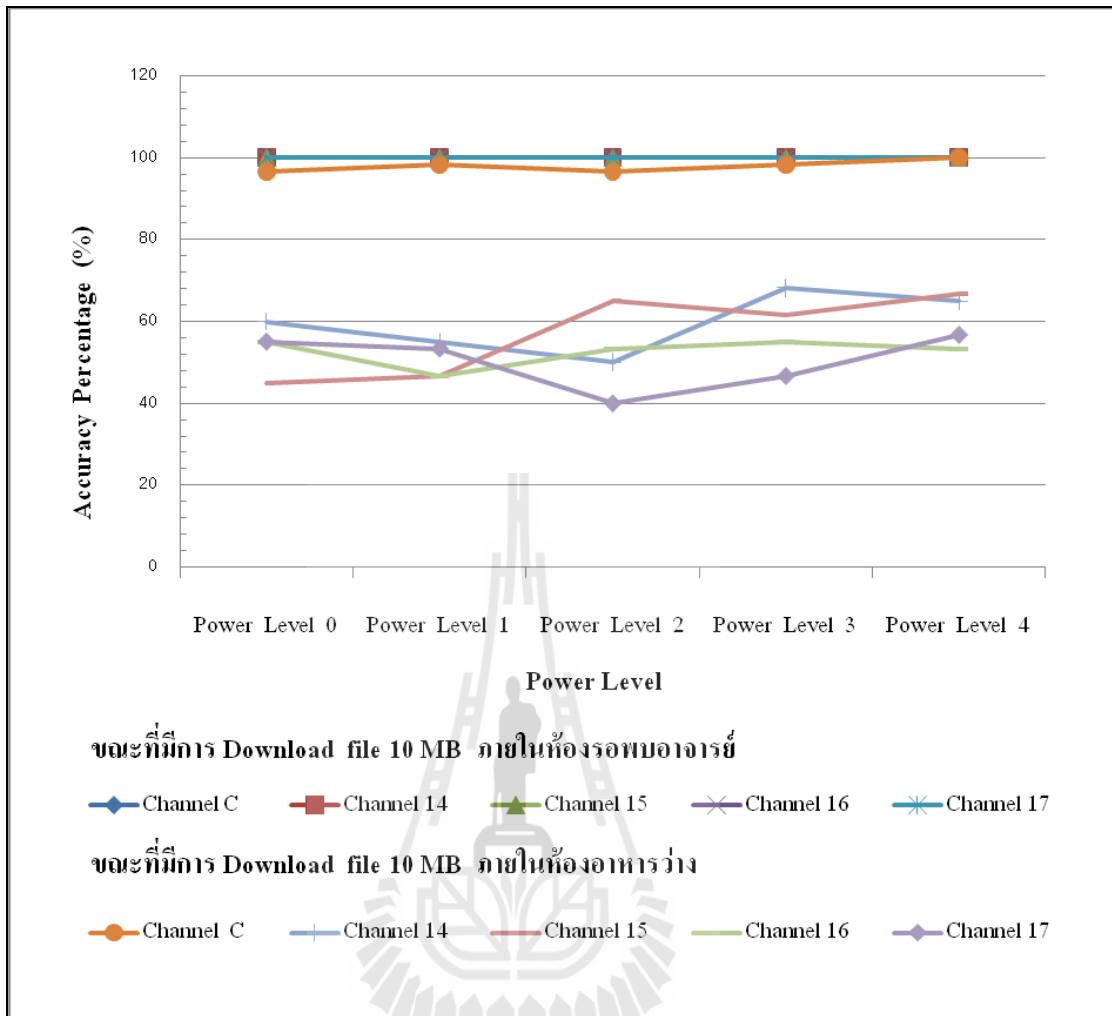
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง RSSI (dBm) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเปรียบเทียบขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy Percentage (%) กับกำลังส่งสัญญาณ (Power Level) เมื่อเปรียบเทียบขณะที่มีการ Download file 10 MB ผ่านระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)

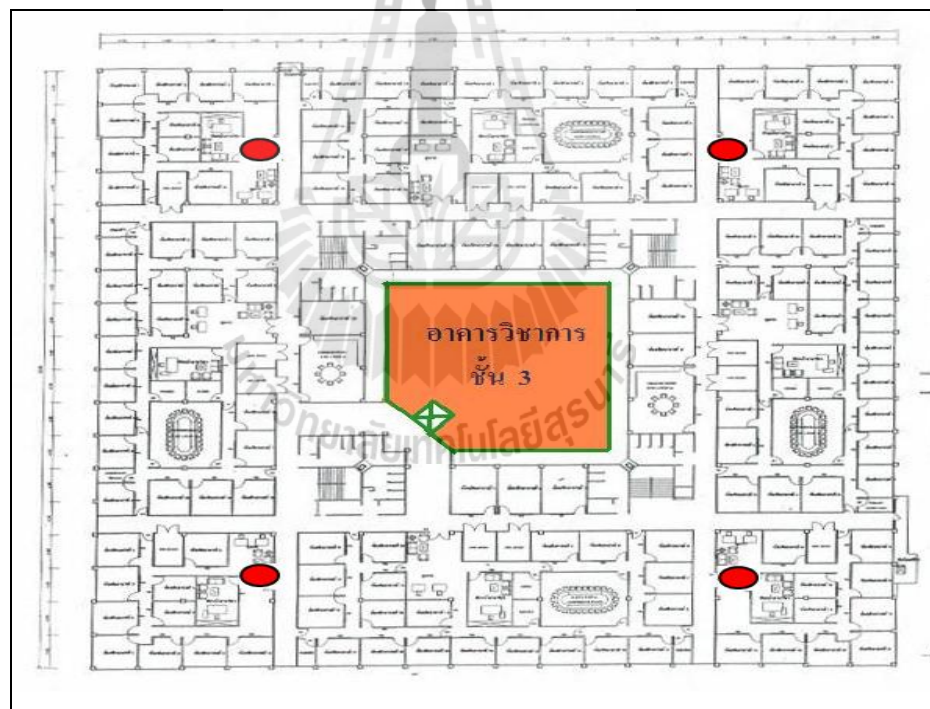
บทที่ 5

การศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพแวดล้อมของอาคารวิชาการ ชั้น 3 รวมไปถึงรายละเอียดโมดูล XBee-Pro, รายละเอียดของ Access Points, คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า Throughput ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

5.2 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 3



รูปที่ 5.1 แผนผังโครงสร้างอาคารวิชาการ ชั้น 3

● แสดงตำแหน่งของ Access Point ที่ใช้ในการทดสอบ

5.3 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลอง

5.3.1 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1

Serial Number High: 0013A200

Serial Number Low: 402C324A

Channel: 11

5.3.2 รายละเอียดโมดูล XBee-Pro ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2

Serial Number High: 0013A200

Serial Number Low: 404BCD6B

Channel: 11

5.4 รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 3

5.4.1 รายละเอียด Access Points ที่จุดทดสอบภายในอาคารวิชาการชั้น 3 เครื่องที่ 1

MAC: 001bd4868ae0

SSID: SUTwifi

Channel: 6

5.5 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

5.5.1 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 1

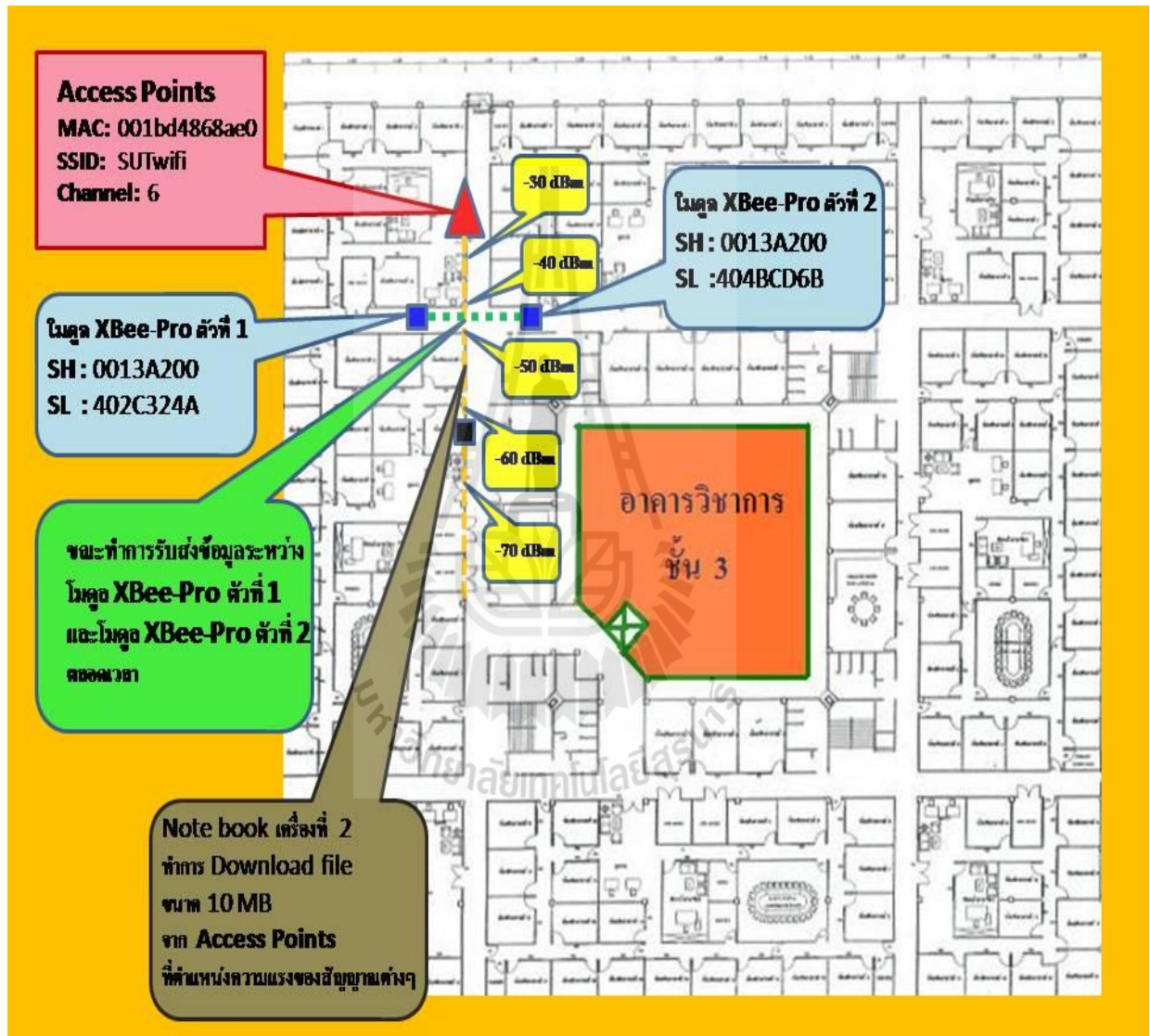
- ยี่ห้อ ACER Aspire 5593NWXMi
- Intel (R) Core(TM)2 CPU
- T5500 @ 1.66 GHz.
- 504 MB of RAM
- Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack2
- Intel(R) Pro/Wireless 3945BG Network Connection
- 802.11b/g Wireless LAN

5.5.2 รายละเอียดคอมพิวเตอร์ Notebook ที่ใช้ในการทดลองเครื่องที่ 2

- ยี่ห้อ COMPAQ Presario CQ45
- Intel (R) Core(TM)2 Dual CPU
- T5800 @ 2.00 GHz.
- 504 MB of RAM
- Windows Vista™ Ultimate copyright© 2006 Microsoft
- Webcam 1.3 MP
- Intel(R) Wireless WiFi Link
- 802.11b/g Wireless LAN

5.6 พื้นที่ทำการทดสอบ

ทำการทดสอบที่อาคารวิชาการ ชั้น 3 โดยทำการทดสอบบริเวณหน้าห้องสาขาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยแผนผังอาคารและตำแหน่ง Access Point แสดงดังรูปที่ 5.1 และตำแหน่งการวางจุดทดสอบบริเวณหน้าห้องสาขาเทคโนโลยีผลิตพืช แสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งการวางเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช

- ▲ แสดง Access Points
- แสดง โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 2
- แสดง Note book เครื่องที่ 2

5.7 วิธีการวัดค่า Throughput

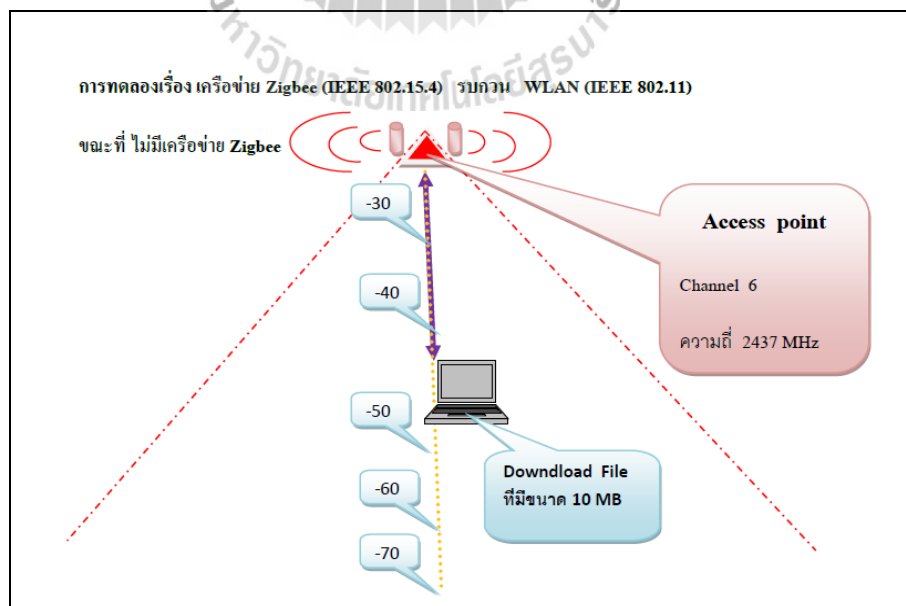
5.7.1 ทดสอบโดยกำหนดให้ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

1. คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณ สูงสุดที่ -30 dBm ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

2. ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง

3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) แต่จะทำการเปลี่ยนค่าความแรงของสัญญาณที่ -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.4 ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

4. ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง



รูปที่ 5.3 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

5.7.2 ทดสอบโดยกำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร

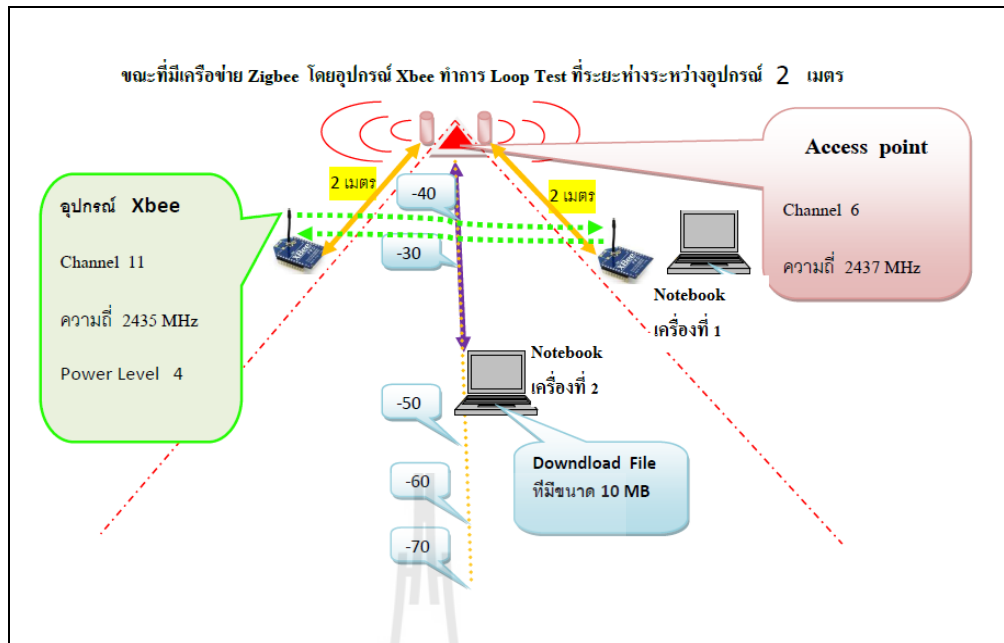
1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ 11 และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 4 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2

2. การวางตำแหน่งให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 2 เมตร และโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 2 เมตรเช่นเดียวกัน

3. คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณ สูงสุดที่ -30 dBm ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

4. เมื่อได้ตำแหน่งที่จะใช้ในการ Download file แล้วจากนั้น ให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 และทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file จำนวน 10 ครั้ง แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.5

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) แต่จะทำการเปลี่ยนค่าความแรงของสัญญาณที่ -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.5 ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>



รูปที่ 5.4 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 2 เมตร

6. ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง โดยที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ตลอดเวลา

5.7.3 ทดสอบโดยกำหนดให้มีการสื่อสาร สัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร

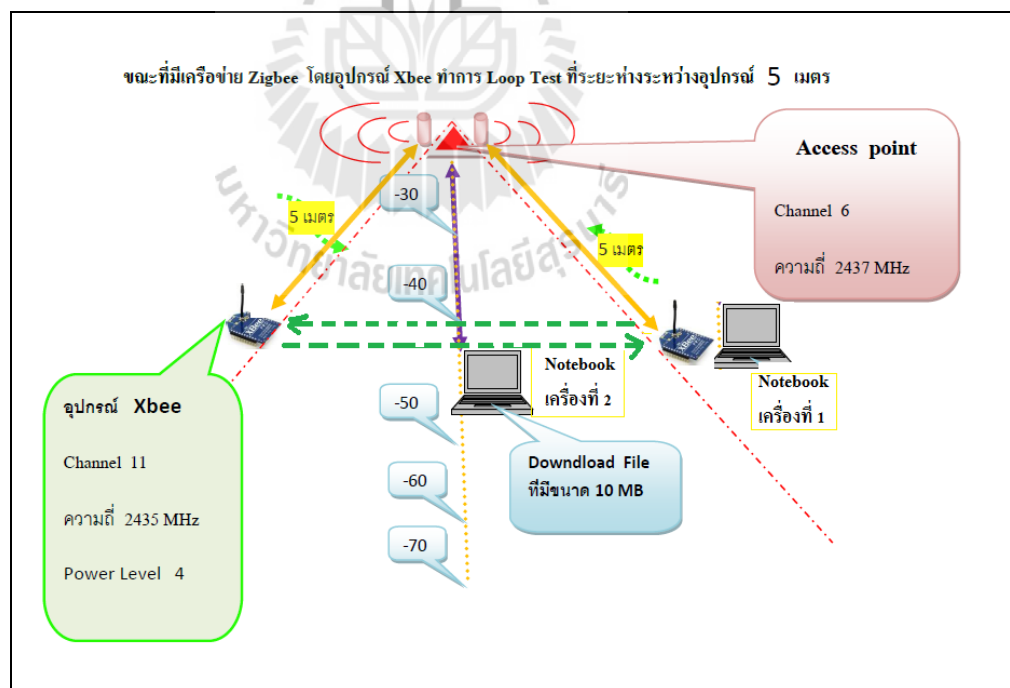
1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ 11 และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 4 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่

โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องมีการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2

2. การวางตำแหน่งให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 5 เมตร และโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 5 เมตรเช่นเดียวกัน

3. คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณ สูงสุดที่ -30 dBm ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

4. เมื่อได้ตำแหน่งที่จะใช้ในการ Download file แล้วจากนั้นให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 และทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.6



รูปที่ 5.5 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 5 เมตร

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) แต่จะทำการเปลี่ยนค่าความแรงของสัญญาณที่ -40 dBm, -50 dBm , -60 dBm , -70 dBm ตามลำดับ แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.6 ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline /10M.bmp>

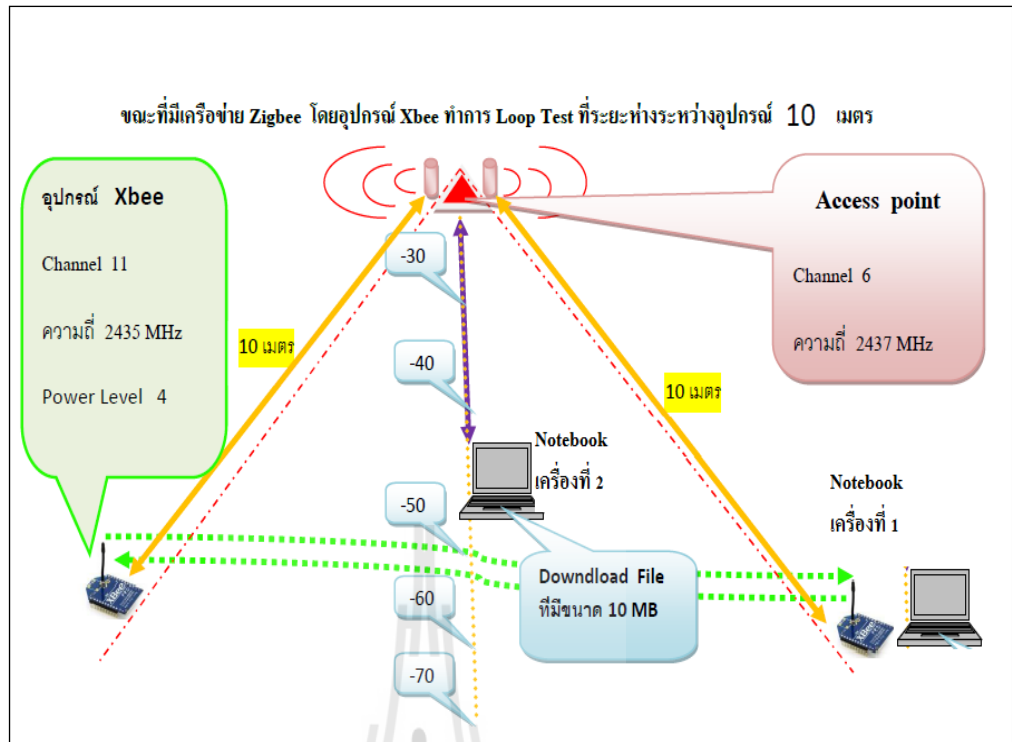
6. ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time)ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง โดยที่โมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ตลอดเวลา

5.7.4 ทดสอบโดยกำหนดให้มีการสื่อสาร สัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 10 เมตร

1. เชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 และเชื่อมต่อบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่โปรแกรม X-CTU ได้แก่ค่า CH (Channel) โดยเลือกใช้ช่องสัญญาณค่า CH เท่ากับ 11 และค่า PL (Power Level) เลือกกำลังส่งสัญญาณค่า PL เท่ากับ 4 จากนั้นเขียนลงบนบอร์ด ZX-XBee ทั้งสองชุด เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล และกำหนดให้บอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 เป็นอุปกรณ์รับข้อมูล เมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลนั้นกลับมา (Loop Back) ที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่เป็นอุปกรณ์ภาคส่งข้อมูล ซึ่งบอร์ด ZX-XBee ที่มีโมดูล XBee- Pro ตัวที่ 2 ขณะทำการ Loop Back ไม่ต้องการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2

2. การวางตำแหน่งให้ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งอยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 10 เมตร และ โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 10 เมตรเช่นเดียวกัน

3. คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณ สูงสุดที่ -30 dBm ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/ Photos/couseonline/10M.bmp>



รูปที่ 5.6 รูปแบบการ Download file ขนาด 10 MB จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ห่างจาก Access Points เป็นระยะทาง 10 เมตร

4. เมื่อได้ตำแหน่งที่จะใช้ในการ Download file แล้วจากนั้นให้โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 และทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file จำนวน 10 ครั้ง แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.7

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 เปิดใช้งานโปรแกรม wirelessmon เพื่อดูค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) แต่จะทำการเปลี่ยนค่าความแรงของสัญญาณที่ -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ แสดงรูปแบบการทำงานดังรูป 5.7 ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่จะใช้ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp>

6. ทำการ Download file ขนาด 10 MB จาก website <http://eng.sut.ac.th/tce/Photos/couseonline/10M.bmp> แล้วบันทึกค่าเวลา (Time) ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทดลองทำการ Download file จำนวน 10 ครั้ง โดยที่โมดูล XBee-Pro ตัวที่ 1 ที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 1 เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลไปหาโมดูล XBee-Pro ตัวที่ 2 ตลอดเวลา

5.8 ผลการทดลองการศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของ เครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสาร ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยใช้โมดูล XBee-Pro ทั้งสองตัวทำการติดต่อสื่อสารกัน และคอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download file จาก Access Points ทำการอ่านค่าเวลา (Time)ที่ใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB ทำการบันทึกค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Throughput ทดสอบแล้วสังเกต Throughput ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกรณีต่างๆ และทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นรวมทั้งเปรียบเทียบผลการทดลอง ในกรณีต่าง ๆ

5.8.1 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่า การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)กรณีที่ไม่มีการสื่อสาร สัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่ไม่มีการสื่อสาร สัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee พบว่าในขณะที่คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download file จากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จะมีเวลาที่แตกต่างกันคือ คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download file อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ Access Points เวลาที่ใช้จากการ Download file จะมีค่าน้อย แสดงว่า ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณสูงสุดที่จะใช้เวลาน้อย ซึ่งจะนำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณหาค่า Throughput ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากการทดลองนี้เป็นการนำค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จำนวน 10 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

| Signal Strength (dBm) | | จำนวนครั้งในการ Download file ขนาด 10 MB | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Avg |
| -30 | Time (sec) | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2.3 |
| | Throughput (MB/sec) | 5 | 3.34 | 5 | 5 | 5 | 3.34 | 3.34 | 5 | 5 | 5 | 4.502 |
| -40 | Time (sec) | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3.9 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.4 | 2.4 | 3.34 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 2.584 |
| -50 | Time (sec) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| -60 | Time (sec) | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.9 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| -70 | Time (sec) | 6 | 8 | 6 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7.1 |
| | Throughput (MB/sec) | 1.67 | 1.25 | 1.67 | 1.25 | 1.42 | 1.25 | 1.42 | 1.42 | 1.42 | 1.42 | 1.419 |

5.8.2 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) โดยกำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร พบว่าในขณะที่คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download fileจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จะมี

เวลาที่แตกต่างกันคือ คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download file อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ Access Points เวลาที่ใช้จากการ Download file จะมีค่าน้อย แสดงว่า ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณสูงสุดที่จะใช้เวลาน้อย และยังพบว่า ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าเท่ากับ -40 dBm ซึ่งอยู่ใกล้อุปกรณ์ Access Points ที่สุด เพราะว่า อยู่ในแนวระนาบเดียวกับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่กำลังทำการรับส่งข้อมูลกัน สังเกตจากรูปที่ 5.5 และนำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณหาค่า Throughput ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากการทดลองนี้เป็นการนำค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จำนวน 10 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร

| Signal Strength (dBm) | | จำนวนครั้งในการ Download file ขนาด 10 MB | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Avg | |
| -30 | Time (sec) | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.2 |
| | Throughput (MB/sec) | 3.34 | 3.34 | 2.5 | 3.34 | 3.34 | 2.5 | 3.34 | 3.34 | 3.34 | 3.34 | 3.34 | 3.172 |
| -40 | Time (sec) | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3.7 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 3.34 | 3.34 | 3.34 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.752 |
| -50 | Time (sec) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4.0 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| -60 | Time (sec) | 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5.2 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 2 | 1.67 | 1.67 | 2 | 2 | 2 | 1.67 | 2 | 2 | 2 | 1.921 |
| -70 | Time (sec) | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6.2 |
| | Throughput (MB/sec) | 1.67 | 1.67 | 1.42 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.42 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.67 | 1.62 |

5.8.3 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) โดยกำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร พบว่าในขณะที่คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download fileจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จะมีเวลาที่แตกต่างกันคือ คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download file อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ Access Points เวลาที่ใช้จากการ Download file จะมีค่าน้อย แสดงว่า ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีค่าความแรงของสัญญาณสูงสุดที่จะใช้เวลาน้อย และยังพบว่า ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN)ที่มีค่าเท่ากับ -40 dBm มีค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB มีค่าที่สูงกว่าที่ -50 dBm เพราะว่า อยู่ในแนวระนาบเดียวกับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่กำลังทำการรับส่งข้อมูลกัน สังกัดจากรูปที่ 5.6 และนำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณหาค่า Throughput ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากการทดลองนี้เป็นการนำค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จำนวน 10 ครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการทดสอบเมื่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร

| Signal Strength (dBm) | | จำนวนครั้งในการ Download file ขนาด 10 MB | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Avg |
| -30 | Time (sec) | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2.4 |
| | Throughput (MB/sec) | 3.34 | 3.34 | 5 | 3.34 | 3.34 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.336 |
| -40 | Time (sec) | 4 | 4 | 11 | 4 | 4 | 4 | 12 | 4 | 4 | 4 | 5.5 |
| | Throughput (MB/sec) | 2.5 | 2.5 | 0.9 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 0.83 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.173 |
| -50 | Time (sec) | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 5.0 |
| | Throughput (MB/sec) | 2 | 2 | 2 | 1.67 | 2 | 2.5 | 2 | 1.67 | 2.5 | 2 | 2.034 |
| -60 | Time (sec) | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6.9 |
| | Throughput (MB/sec) | 1.67 | 1.67 | 1.42 | 1.42 | 1.67 | 2 | 1.67 | 2 | 2 | 1.67 | 1.719 |
| -70 | Time (sec) | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7.7 |
| | Throughput (MB/sec) | 1.25 | 1.42 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.42 | 1.25 | 1.25 | 1.42 | 1.25 | 1.301 |

5.8.4 การศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) โดยกำหนดให้มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ที่ระยะทาง 10 เมตร

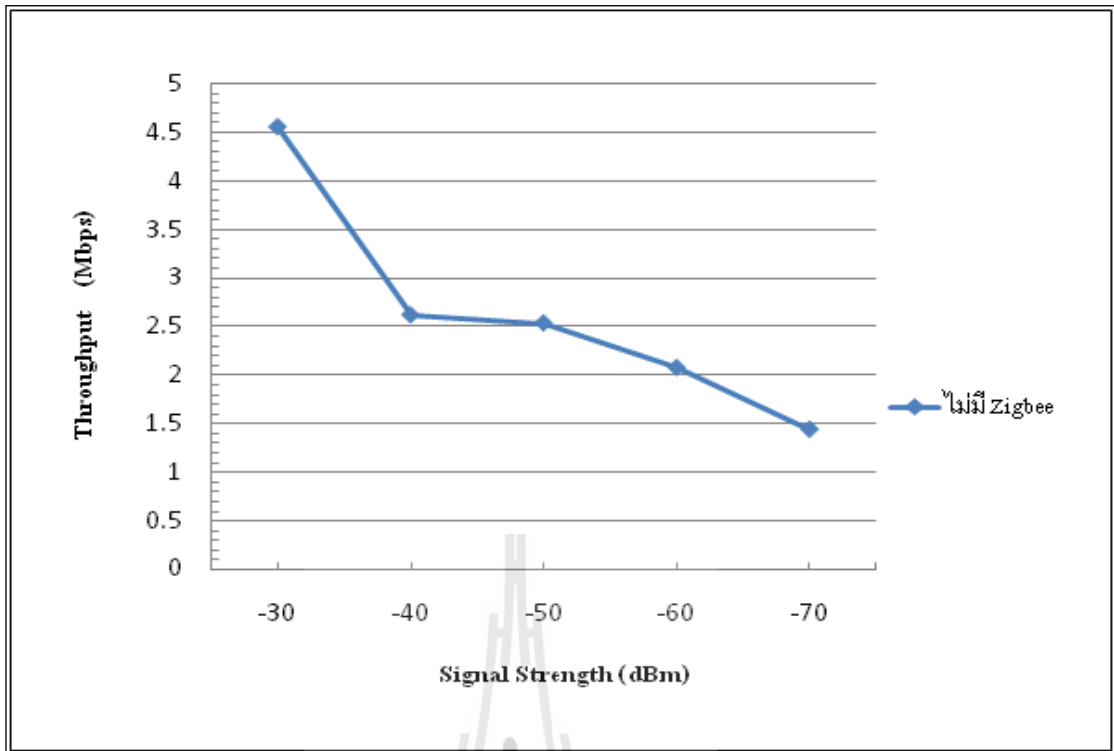
ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 10 เมตร พบว่าในขณะที่คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 มีการ Download fileจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย(Wireless LAN) ค่า Time(sec) ที่ได้จากเวลาใช้ในการ Download file ขนาด 10 MB จะมี

5.9 การวิเคราะห์การศึกษาผลกระทบของ เครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย

ในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองที่หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยทำการดาวน์โหลดไฟล์พร้อมๆ กัน กับการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ในการทดลองได้กำหนดจุดตำแหน่งที่จะใช้ในการดาวน์โหลดไฟล์ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณ และทำการดาวน์โหลดไฟล์จำนวน 10 ครั้งหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลด จากนั้นนำค่าเวลาที่ได้นี้มาคำนวณหาค่า Throughput นำมาพล็อตกราฟ ซึ่งการทดลองได้แบ่งออกเป็น 4 กรณีได้ผลออกมาดังต่อไปนี้

5.9.1 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee

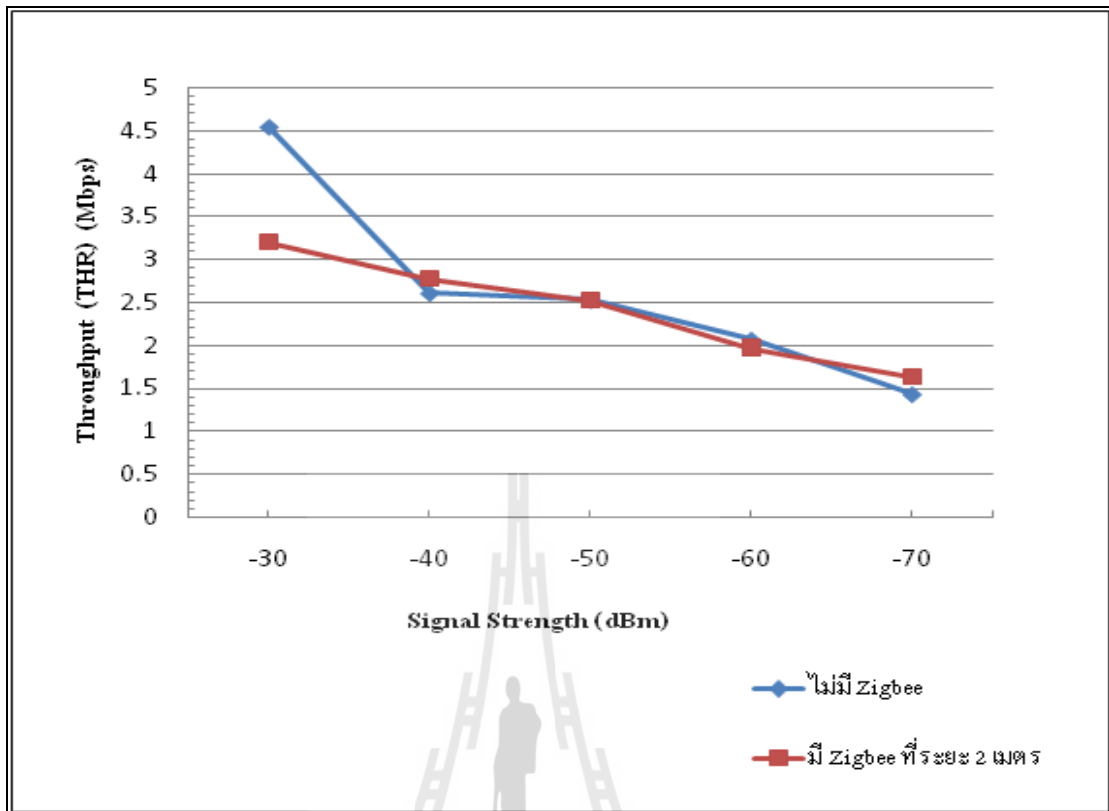
เมื่อสังเกตข้อมูลที่ได้จากกราฟดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นการพล็อตกราฟจากการวัดค่าของสัญญาณในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 10 MB ที่ความแรงของสัญญาณตั้งแต่ -30dBm, -40dBm, -50dBm, -60dBm, -70dBm ตามลำดับ โดยแกนตั้งแสดงค่า Throughput มีหน่วยเป็น Mbps และแกนนอนแสดงถึงค่าความแรงของสัญญาณมีหน่วยเป็น dBm พบว่าที่ระดับความแรงของสัญญาณมาก ปริมาณ Throughput ที่ได้จะมีค่ามาก ที่ระดับความแรงของสัญญาณน้อย ปริมาณ Throughput จะยังมีค่าน้อย เมื่อพิจารณาที่กราฟจะเห็นได้ว่าที่ความแรงตั้งแต่ -40 dBm, -50 dBm, -60dBm จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความแรงตั้งแต่ -70 dBm ค่าที่ได้จะมีค่าน้อย แสดงว่ายิ่งที่ความแรงของสัญญาณมากและทำการดาวน์โหลด จะทำให้เวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลดทำได้เร็วขึ้น



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) ที่อาคารวิชาการชั้น 3

5.9.2 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 2 เมตร

เมื่อสังเกตข้อมูลที่ได้จากกราฟดังรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นการพล็อตกราฟ จากการวัดค่าของสัญญาณในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 10 MB ที่ความแรงของสัญญาณตั้งแต่ -30 dBm, -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ พบว่าที่ความแรงของสัญญาณ -40 dBm อยู่ใกล้อุปกรณ์ Access Points ที่สุด และที่ความแรงของสัญญาณ -30 dBm จะอยู่ถัดไป แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของอุปกรณ์ในการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee อยู่ในแนวระยะของการดาวน์โหลดไฟล์ ทำให้ค่าของความแรงของสัญญาณมีความผันแปร และสังเกตจากข้อมูลการรับส่งข้อมูลของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เกิดความผิดพลาดด้วย และที่ความแรงของสัญญาณ -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ มีปริมาณ Throughput ลดลงตามความแรงของสัญญาณ

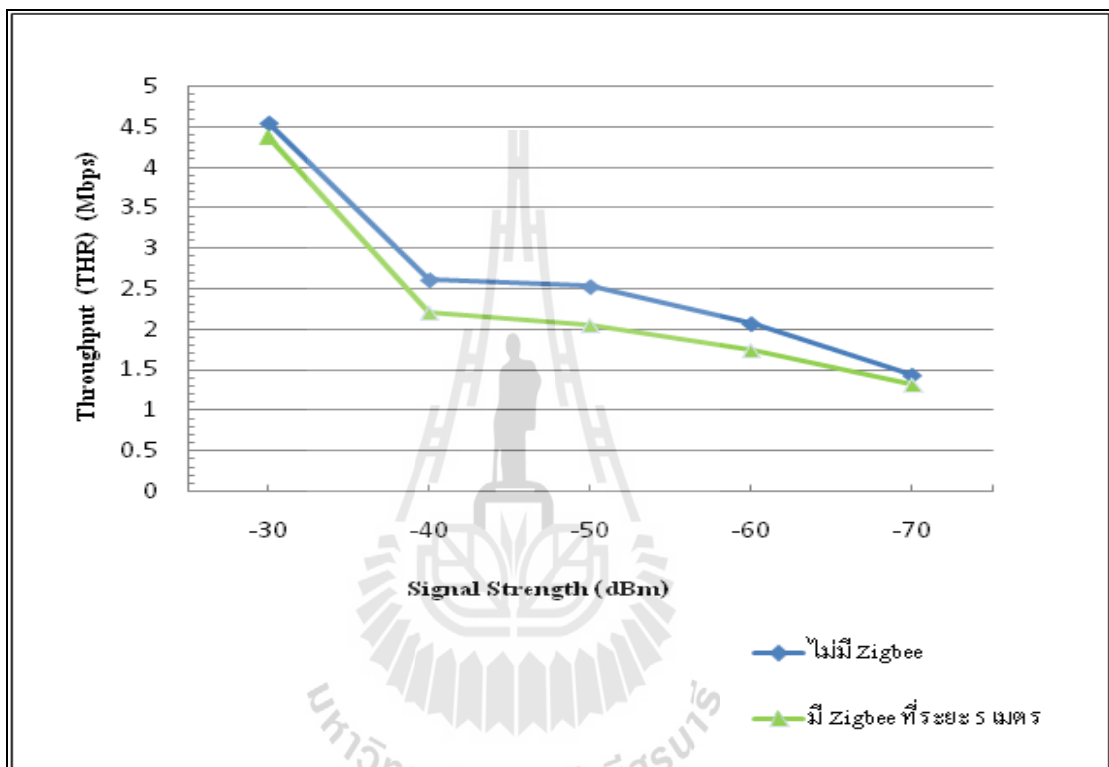


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2 เมตร

5.9.3 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ครอบคลุมระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 5 เมตร

เมื่อสังเกตข้อมูลที่ได้จากกราฟดังรูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นการพล็อตกราฟ จากการวัดค่าของสัญญาณในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 10 MB ที่ความแรงของสัญญาณตั้งแต่ -30 dBm, -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ พบว่าที่ความแรงของสัญญาณ -30 dBm อยู่ใกล้อุปกรณ์ Access Points ที่สุด มีปริมาณ Throughput ที่ได้มีค่ามาก เพราะ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ไม่ได้อยู่ในแนวระยะของการดาวน์โหลดไฟล์ ทำให้ค่าของความแรงของสัญญาณมีค่ามาก เสมือนไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และ

ที่ความแรงของสัญญาณ -40 dBm มีปริมาณ Throughput ลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เพราะว่าที่ความแรงของสัญญาณ -40 dBm ตำแหน่งที่ทำการดาวน์โหลดไฟล์ อยู่ในแนวระยะของอุปกรณ์ในการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ส่งผลให้มีปริมาณ Throughput ลดลงและที่ความแรงของสัญญาณ -50dBm, -60dBm, -70dBm ตามลำดับ มีปริมาณ Throughput ลดลงตามความแรงของสัญญาณ

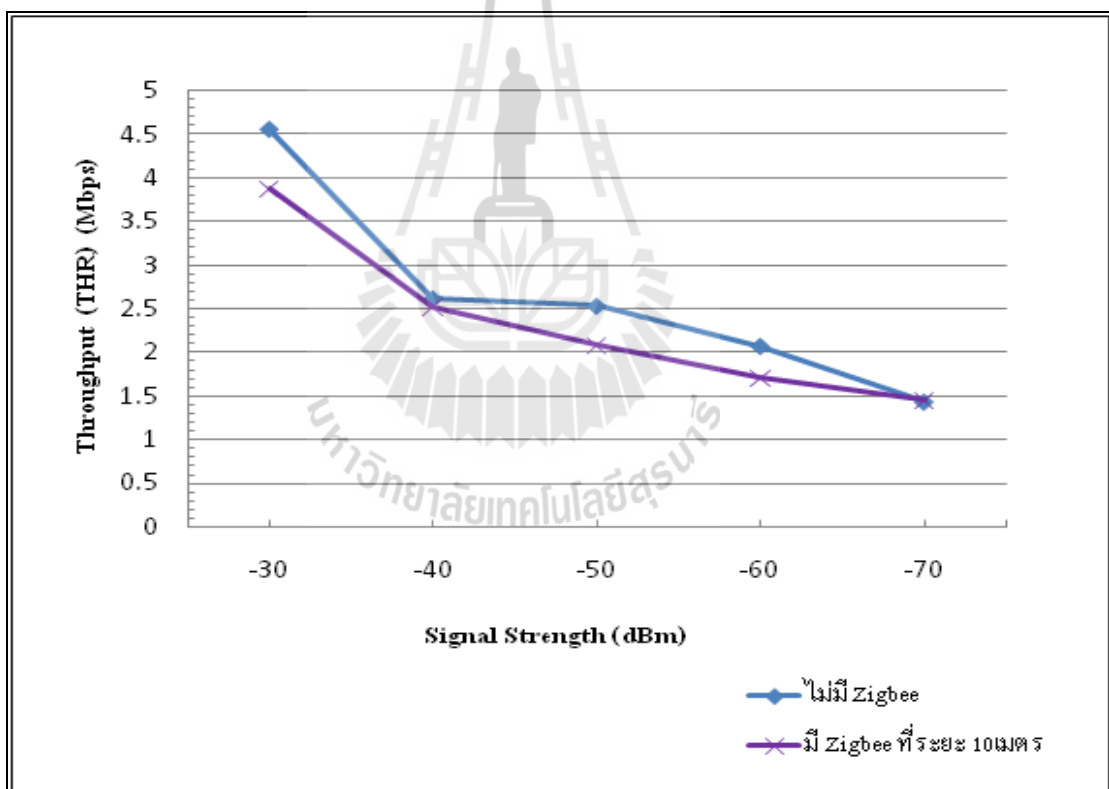


รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 5 เมตร

5.9.4 วิเคราะห์ผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่มีผลต่อ Throughput ในการศึกษาว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รบกวนระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) กรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ห่างจากระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN) ที่ระยะทาง 10 เมตร

เมื่อสังเกตข้อมูลที่ได้จากกราฟดังรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นการพล็อตกราฟ จากการวัดค่าของสัญญาณในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่หน้าห้องสาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตพืช โดยใช้คอมพิวเตอร์ Notebook เครื่องที่ 2 ทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาด 10 MB ที่ความแรงของสัญญาณตั้งแต่ -30

dBm, -40 dBm, -50 dBm, -60 dBm, -70 dBm ตามลำดับ พบว่าที่ความแรงของสัญญาณ -30 dBm อยู่ใกล้อุปกรณ์ Access Points ที่สุด มีปริมาณ Throughput ที่ได้มีค่ามาก เพราะ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ไม่ได้อยู่ในแนวระยะของการดาวน์โหลดไฟล์ ทำให้ค่าของความแรงของสัญญาณมีค่ามาก เสมือนไม่มี การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และที่ความแรงของสัญญาณ -40 dBm, -50dBm, -60dBm, -70dBm ตามลำดับ มีปริมาณ Throughput ลดลงตามความแรงของสัญญาณ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ค่าความแรงของสัญญาณในกรณีที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee จะมีปริมาณ Throughput มากกว่ากรณีที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ตำแหน่งที่ทำการดาวน์โหลดไฟล์ อยู่ในห่างจากแนวระยะของ อุปกรณ์ในการ สื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ส่งผลให้มีปริมาณ Throughput ลดลงไม่มากนัก

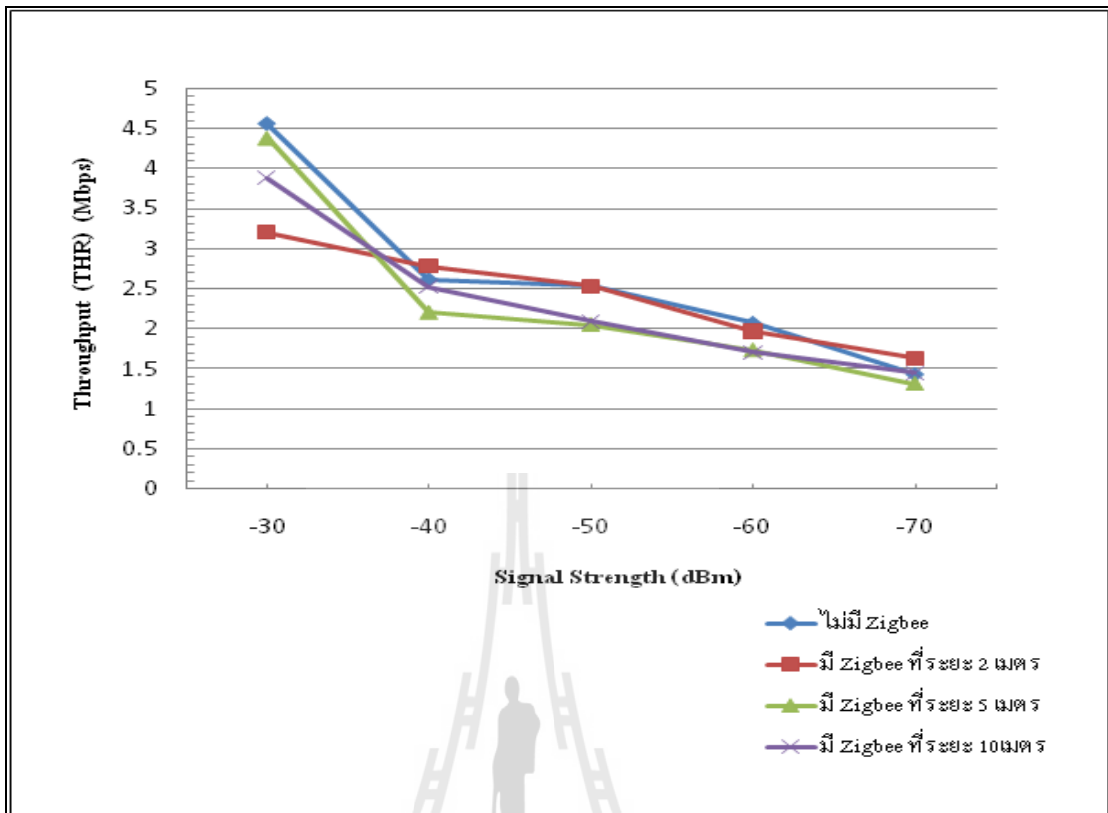


รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 10 เมตร

จากกราฟดังรูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่าน

เครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2, 5, 10 เมตรตามลำดับ จะพบว่าการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2 เมตร มีลักษณะที่แตกต่างไปจากกราฟอื่น โดยที่ ค่าของความแรงของสัญญาณที่ -30 dBm จะมีปริมาณ Throughput ลดลงที่สุด แต่เมื่อค่าของความแรงของสัญญาณที่ -40 dBm จะมีปริมาณ Throughput สูงสุด และมีลักษณะความชันของกราฟน้อยกว่ากราฟ อื่น จากผลการทดลอง ขณะที่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะห่างจาก Access Point 2 เมตร นั้น เมื่อวัดค่าของความแรงของสัญญาณได้ -40 dBm ซึ่งอยู่ใกล้ Access Point มากที่สุด จึงทำให้ค่า Throughput ณ ตำแหน่งนี้ ยังมีค่าสูงสุดกว่า การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะห่างจาก Access Point ที่กรณีอื่น แต่เมื่อวัดค่าของความแรงของสัญญาณที่ ระยะห่างออกจาก Access Point พบว่าค่าของความแรงของสัญญาณ -30 dBm อยู่ในแนวระยะของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee พอดี ทำให้ค่าของความแรงของสัญญาณ มีความผิดเพี้ยนจึงทำให้ค่า Throughput มีค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบจาก การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะห่างจาก Access Point ที่ระยะห่าง 5, 10 เมตรและ ไม่มี ZigBee ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณ (Channel) ของ Access Point โดยใช้ช่องสัญญาณ (Channel) ที่ 6 มีย่านความถี่ 2437 MHz และช่องสัญญาณ (Channel) ของ เครือข่าย Zigbee ที่ ใช้ช่องสัญญาณ (Channel) ที่ 11 มีย่านความถี่ 2435 MHz ซึ่งมีย่านความถี่ใกล้เคียงกัน จึง ส่งผลให้การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LAN)



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Throughput (Mbps) และ Signal Strength (dBm) เปรียบเทียบขณะที่ไม่มีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee และมีการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ที่ระยะ 2, 5, 10 เมตร ตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

6.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดสอบทั้งหมดว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee รวมไปถึงผลจากการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee และการศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

6.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบ นี้ได้ผลสรุปว่า ช่องสัญญาณ(channel) มีผลต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee จะมีอยู่หลายปัจจัย ดังนี้

1. การซ้อนทับของช่องสัญญาณ (channel) ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้ช่องสัญญาณของเครือข่าย ZigBee ในย่านความถี่ใกล้เคียงกับช่องสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีผลต่อการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee เนื่องจากเกิดการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันนั่นเอง

2. การซ้อนทับของช่องสัญญาณ (channel) ของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การเลือกใช้ช่องสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในย่านความถี่ใกล้เคียงกับช่องสัญญาณของเครือข่าย ZigBee มีผลต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เนื่องจากเกิดการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันนั่นเอง

3. ระยะห่างระหว่างตัว โมดูล XBee มีผลต่อสัญญาณรบกวน คือ เมื่อระยะห่าง ใกล้สัญญาณรบกวนจะมีการรบกวนน้อย ส่งผลต่อ ความถูกต้องของข้อมูลของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างให้ ใกล้กันสัญญาณรบกวนจะมีความแรงสัญญาณลดลง ทำให้มีความผิดพลาดของข้อมูล

4. ความแรงสัญญาณของเครือข่าย ZigBee ที่เครื่องผู้ใช้ได้รับจากการเพิ่มกำลังส่งสัญญาณ จะมีผลต่อการรับส่งข้อมูลของการสื่อสารเครือข่าย ZigBee ยิ่งความแรงสัญญาณลดต่ำลงก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลต่ำลงเช่นเดียวกัน และยังถ้าความแรงสัญญาณเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

5. การใช้งานระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในขณะที่มีการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ซึ่งจากการทดสอบพบว่าถ้ามีผู้ใช้งานในการดาวน์โหลดข้อมูล จากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะส่งผลให้พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแสดงถึงประสิทธิภาพการสื่อสาร ของเครือข่าย ZigBee คือค่า RSSI และ

Accuracy Percentage ลดลงแสดงถึง ประสิทธิภาพในการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee ที่ลดลง เนื่องจากมีเกิดการใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสารร่วมกัน

6. การใช้งานระบบเครือข่าย ZigBee ในขณะที่มีการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ถ้ามีการใช้งานระบบเครือข่าย ZigBee ขณะผู้ใช้งานทำการดาวน์โหลดข้อมูลจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะส่งผลให้ พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแสดงถึงประสิทธิภาพการสื่อสาร ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย คือ ปริมาณ Throughput ลดลงแสดงถึง ประสิทธิภาพในการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ลดลง เนื่องจากมีเกิดการใช้ช่องสัญญาณในการสื่อสารร่วมกัน

ในการศึกษา ผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee และการศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้เป็นการศึกษาเพื่อที่จะเน้นไปสู่การต่อยอดเพื่อปรับปรุงผลต่อ การสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปในอนาคต

6.3 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหาเรื่องของ อุปกรณ์โมดูล XBee เนื่องจากในการทดลองมีการตั้งค่าพารามิเตอร์หลายครั้ง บางครั้งจะทำให้อุปกรณ์โมดูล XBee เกิดความผิดพลาดไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดได้ โดยจะต้องทำการแก้ไขโดยรีเซ็ตตัวโมดูล XBee แล้วทำการตั้งค่าพารามิเตอร์เข้าโมดูล XBee ใหม่อีกครั้ง
2. ปัญหาเรื่อง การทดสอบวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะเกิดการล่าช้าเป็นอย่างมาก เนื่องจากในการทดสอบวัดค่าจะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งแล้วโหลดค่าลงบนบอร์ดก่อนเสมอก่อนที่จะทำการวัดค่าซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนาน
3. ปัญหาเรื่องการให้สัญญาณในการสื่อสาร เนื่องจากในการทดลองอยู่ห่างไกลกัน ส่งผลต่อการสื่อสารกัน ซึ่งผู้ทดลองจะไม่สามารถทราบได้ว่าจะพร้อมส่งข้อมูลได้เมื่อไหร่
4. ปัญหาเรื่องเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless LANS) เนื่องจากการทดลองต้องมีการกำหนดการรบกวนระบบ ดังนั้นขณะทดลองต้องไม่ผู้ใช้อื่นใช้งานอยู่
5. ปัญหาสภาพแวดล้อม ในการทดลองจะต้องจำกัดสภาพแวดล้อมเดิม เวลาเดิมทุกครั้ง หากต้องการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจะต้องทำการทดลองใหม่ทั้งหมด
6. ปัญหาเรื่องสถานที่ทำการทดสอบ เนื่องจากสถานที่ที่ไปทำการทดสอบเป็นห้องอาหารว่าง จึงไม่สามารถควบคุมคนที่เดินผ่านไปผ่านมาได้ จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ผู้จัดทำโครงการจึงต้องวัดค่าหลายๆค่าเพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากที่สุด

7. ปัญหาเรื่องของโปรแกรม Wireless Mon ที่ใช้ในการตรวจวัดระดับความแรงสัญญาณช่องสัญญาณ และค่าอื่นๆ ซึ่งเราต้องทำการติดตั้งโปรแกรมนี้ทุก 30 วัน

6.4 ขีดจำกัดของโครงการ

1. จากการศึกษาผลกระทบของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อการสื่อสารของเครือข่าย ZigBee และการศึกษาผลกระทบของเครือข่าย ZigBee ต่อการสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้ จะทำการศึกษาการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย Zigbee ที่มีรูปร่างโครงข่ายแบบจุดต่อจุด (point – to – point) เพียงแบบเดียวเท่านั้น

2. ระบบเครือข่าย Zigbee มีช่องสัญญาณย่านความถี่สำหรับการทำงานเป็นสามย่านความถี่ คือ 2.4 GHz, 915 MHz, 868 MHz ซึ่งย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่สามารถใช้ใน ประเทศไทยได้

6.5 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบเพื่อการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ควรเลือกสถานที่ที่ใช้ทำการทดสอบอย่างเหมาะสม คือที่บางช่วงสัญญาณบริเวณที่ทำการทดสอบจะเป็นพื้นที่โล่ง บางช่วงจะเป็นพื้นที่อับ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการทดสอบได้

2. ในการทดสอบไม่ว่าจะเป็นทดลองประเภทใดก็ตามจะต้องทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลหลายๆครั้ง แล้วนำมาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง

3. ในการทดสอบเพื่อเพื่อการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารสัญญาณไร้สายผ่านเครือข่าย ZigBee ถ้าไปทำการทดลองเก็บข้อมูลด้วยตัวเองมันสังเกตไม่ให้อุปกรณ์ที่ใช้งานเปลี่ยนไปจับ Access Point ตัวอื่น

ประวัติผู้เขียน



นางสาว ชลดา ศรีนรินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ.2531 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลท่าศาลา อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน เลย์พิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดเลย เมื่อปี พ.ศ.2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นายอดิศร บังศรี เกิดเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ.2530 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบุญวัฒนา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ .ศ. 2548 ปัจจุบันเป็นนักศึกษา ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

- [1] <http://www.zigbee.org>
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee_specification
- [3] http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf
- [4] <http://nservice.yru.ac.th/doc/wlan/manual-wirelessmon.pdf>
- [5] http://mobliezigbee.blogspot.com/2007_08_05_archive.html
- [6] <http://www.brothersoft.com/wirelessmon-38485.html>
- [7] <http://www.buycoms.com/upload/coverstory/121/Wireless.html>
- [8] <http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl.jsp?kb=125>
- [9] <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee.jsp>
- [10] <http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/NX-SKIT-XBEE.PDF>
- [11] <http://www.microwatt.co.uk/services/wireless>
- [12] <http://www.softlist.net/program/wirelessmon-image.html>
- [13] <http://www.thaieasyelec.com/Embedded-Electronics-Application/what-is-zigbee.html>
- [14] <http://dkc1.digikey.com/us/en/ph/rabbit/zigbee.html>
- [15] <http://zigbee-interference.blogspot.com>
- [16] <http://210.86.188.155/knowledge/Zigbee.pdf>

ภาคผนวก

Received Signal Strength Indication (RSSI)

Received Signal Strength Indication หรือ RSSI เป็นวิธีการวัดความแรงของสัญญาณในการส่งสัญญาณวิทยุ ตามความเป็นจริงของสัญญาณโดยทั่วไป เมื่อระยะทางไกลออกไปสัญญาณก็จะอ่อนลง ดังนั้นค่า RSSI นั้นก็จำเป็นต่อการส่งสัญญาณเช่นกัน เพราะจะได้รู้ว่า เครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานอยู่นั้นจะมีประสิทธิภาพที่ระยะทางเท่าใด หรือกำลังในการส่งเท่าใดจึงจะเหมาะสม

สำหรับการวัดความแรงของสัญญาณ ที่แปลงค่าความแรงมาเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้น และมักไม่ใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากมีความแปรปรวนของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมสูง เพราะแต่ละสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกัน การจะทำให้ RSSI มีความน่าเชื่อถือคือจะต้องเก็บข้อมูลไว้หลาย ๆ ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ภายหลัง จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากต่าง ๆ ดังนี้

Non line of Sight (NLOS) คือ การสื่อสารแบบไม่เป็นเส้นตรง ทำให้การวัดมุมในระยะทางที่ไกลจะก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

Multiple Access Interference คือ เป็นปัญหาที่มักเกิดในระบบ CDMA เกิดจากเครื่องส่งที่มีกำลังส่งสูงกว่าส่งสัญญาณไปรบกวนเครื่องส่งที่มีกำลังส่งต่ำกว่า

Fluctuation in Signal Propagation Speeds เกิดกับคลื่นเสียงที่การแพร่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น แรงแลมหรืออุณหภูมิ และค่าความชื้นในอากาศ ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อระยะทางมากขึ้น

Throughput

Throughput คือ หน่วยวัดประสิทธิภาพในการทำงานของสายส่งผ่านข้อมูล เครือข่ายคอมพิวเตอร์ และการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานในระบบเครือข่ายที่สามารถวัดเป็นประสิทธิภาพของงาน หรือปริมาณงานที่ได้เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ไป (Throughput) ในการทำงานได้แก่

- การเชื่อมต่อของอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์
- ชนิดของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งผ่านระหว่างเครือข่าย
- รูปแบบของเครือข่าย
- จำนวนของผู้ใช้งาน

- จำนวนของผู้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์
- จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เป็นต้น

Throughput โดยทั่ว ๆ ไปเราจะนิยามว่าปริมาณงานคือ ปริมาณงานที่ทำในหนึ่งหน่วยเวลา แต่คำว่า "งาน" หมายถึง จำนวนครั้งของรายการเปลี่ยนแปลง (Transaction) ที่เกิดขึ้น ระบบที่มีปริมาณงานมากจะมีประสิทธิภาพการทำงานดี และระบบที่มีปริมาณงานต่ำก็จะถือว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานที่ไม่ดี ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพการทำงาน (Throughput) จะใช้แนวคิด “ปริมาณงานที่สามารถทำได้ภายในหนึ่งหน่วยเวลา”

$$\text{Throughput} = \text{Total data} / \text{Total time}$$

Total data คือ จำนวนข้อมูลที่ส่งทั้งหมด หาได้จาก acknowledge number ของ ACK segment สุดท้ายลบด้วย sequence number ของ segment แรกที่เริ่มส่งข้อมูล

Total time คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมด หาได้จากเวลาที่ได้รับ ACK segment สุดท้ายลบด้วยเวลาส่ง segment แรกที่เริ่มส่งข้อมูล

