

# การทดสอบประสิทธิภาพระบบ

## เครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

## Testing of Wireless Mesh Network

## Performance

### บทคัดย่อ

การติดต่อสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้รับความนิยมแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการบำรุงรักษาที่ประหยัดกว่าระบบเครือข่ายแบบใช้สาย บทความนี้นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย โดยทำการทดสอบขนาดของกำลังส่งของอุปกรณ์เราเตอร์ที่กำหนดค่าผ่านทางโปรแกรมเฟิร์มแวร์ Freifunk และทำการทดสอบวัดประสิทธิภาพอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย โดยในการทดสอบจะมีการใช้สายอากาศสามแบบคือ สายอากาศที่ติดมากับตัวเครื่องสายอากาศแบบกระป๋องและสายอากาศแบบรอบทิศทาง ผลการทดสอบพบว่าสามารถควบคุมกำลังส่งของอุปกรณ์เราเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายผ่านทางเฟิร์มแวร์ได้ โดยอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลจะมีความแตกต่างกันตามชนิดของสายอากาศที่ใช้งาน และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ในระบบเครือข่าย ผลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลเพื่อนำไปใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันอื่นได้

คำหลัก : ระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย, อัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูล

## **Abstract**

Wireless communication is wide-spread used at present due to its lower installation and maintenance cost. This paper describes a wireless mesh network performance testing which examines the transmitter power of the router, controlled by firmware Freifunk. Furthermore, the performance of data transfer rate between the routers in the network is also evaluated. Three types of antenna will be used, the original one that was designed to use with the router, Cantenna and Omni-antenna. Experimental results show that the transmitting power can be controlled by firmware to match with the effective range. Moreover, data transfer rate can be evaluated when effective range changes.

**Keywords** : Wireless mesh network, Data transfer rate

## 1. บทนำ

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ในปัจจุบันสามารถพบการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ในทุกวงการ เช่น การใช้งานทั่วไปในสำนักงาน การใช้งานทางการแพทย์ รวมถึงการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม โดยในระยะแรกการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์จะถูกออกแบบให้มีลักษณะการใช้งานแบบรวมศูนย์ เช่น เมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ต่อมาเมื่อเทคโนโลยีมีการพัฒนามากขึ้นก็มีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลออกมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อความสะดวกในการติดต่อสื่อสารและรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงได้มีการคิดค้นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อให้สามารถใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น สามารถใช้ทรัพยากรต่างๆ ร่วมกันได้ เช่น เครื่องพิมพ์ สามารถทำการติดต่อสนทนาผ่านระบบเครือข่าย, การประชุมทางไกล รวมถึงการแชร์ไฟล์หรือซอฟต์แวร์ต่างๆ ได้ ระบบเครือข่ายสำหรับเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่นำมาทดสอบคือระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายที่มีลักษณะการเชื่อมต่อที่เครื่องเราเตอร์ทุกเครื่องในระบบเครือข่ายจะเชื่อมต่อถึงกันหมด ซึ่งทำให้สามารถสำรองเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลได้เป็นอย่างดี เช่นเมื่อมีอุปกรณ์เราเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งเกิดความเสียหายก็ยังมีเส้นทางอื่นที่สามารถจัดส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ปลายทางได้

ความเร็วในการรับส่งข้อมูลผ่านทางระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ขนาดของไฟล์ข้อมูล ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งก็คือคุณภาพของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร การทดสอบนี้ต้องการจะตรวจสอบหากำลังส่งที่แท้จริงของอุปกรณ์เราเตอร์

ที่ใช้ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายที่ใช้โปรแกรมเฟิร์มแวร์เป็นตัวควบคุมกำลังส่ง ทำการทดสอบระดับของสัญญาณในระยะห่างต่างๆ ที่ใช้ทำการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์รวมถึงอัตราการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์เราเตอร์เมื่อใช้เสาอากาศที่มีลักษณะแตกต่างกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย และนำไปสู่การพัฒนาสร้างระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย (Mesh Network)

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายเป็นระบบเครือข่าย WLAN ที่ทุกโหนดสามารถที่จะเชื่อมต่อกับโหนดอื่นๆ ได้โดยอัตโนมัติ โดยแต่ละโหนดสามารถที่จะติดต่อสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโหนดอื่นที่อยู่ในระบบเครือข่ายเดียวกันได้ การกำหนดเส้นทางของการรับส่งข้อมูลจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นจะต้องเข้าไปตั้งค่าด้วยตัวเอง ส่วนประกอบหลักของระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายที่นำมาทดสอบคือ อุปกรณ์เราเตอร์รุ่น Linksys WRT54GL และเฟิร์มแวร์ Firefunk (5) เมื่อทำการติดตั้งเฟิร์มแวร์ลงในอุปกรณ์เราเตอร์และทำการตั้งค่าให้เป็นระบบเครือข่ายเดียวกันโดยกำหนดการทำงานในโหมด Ad-hoc และอุปกรณ์เราเตอร์ทั้งหมดในระบบเครือข่ายจะต้องใช้ชื่อระบบเครือข่ายเดียวกัน (Service Set Identifier : SSID) จึงสามารถที่จะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่เชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์เราเตอร์ได้

สำหรับระบบเครือข่ายแบบไร้สายจะมีความถี่สำหรับอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์

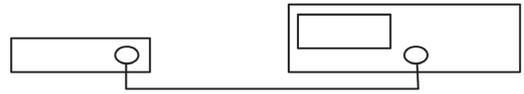
และการแพทย์ที่เรียกว่า ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band) ในระบบเครือข่ายแบบไร้สายจะใช้ช่วงความถี่อยู่สองมาตรฐาน คือ IEEE 802.11a ที่มีช่วงความถี่ 5.15-5.725 GHz และมาตรฐาน IEEE 802.11b/g ที่มีช่วงความถี่ 2.4-2.4835 GHz ในระบบเครือข่ายไร้สายที่ทำการทดสอบจะใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b/g ซึ่งแถบความถี่ที่ไม่มีการซ้อนทับกันจะมีอยู่สามช่องคือ 1, 6 และ 11 ในการติดตั้งเฟิร์มแวร์ลงบนอุปกรณ์เราเตอร์สามารถกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้งานได้ในการทดสอบนี้จะใช้ช่อง 6 ที่มีความถี่ขนาด 2.437 GHz โดยจะมีขนาดของแบนด์วิดท์เท่ากับ 20 MHz ขนาดของกำลังส่งที่อนุญาตให้ใช้ได้คือ 100 mW หรือเท่ากับ 20 dBm สามารถที่จะเพิ่มขนาดของกำลังส่งได้ด้วยอัตราการขยายของสายอากาศที่ใช้งาน

## 2.2 คำสั่งที่ใช้สำหรับวัดอัตราการรับส่งข้อมูล

การวัดอัตราการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้คำสั่งสำหรับการตรวจสอบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่าย หรือการใช้โปรแกรมต่างๆ ในการทดสอบส่งข้อมูลที่ สามารถกำหนดขนาดได้เพื่อวัดอัตราการรับส่งข้อมูล ในการทดสอบนี้จะใช้คำสั่ง ping -l (12) ผ่านทาง Command-line interface ใช้โปรแกรม Qcheck (7) ในการทดสอบ Response Time และ Throughput ของระบบเครือข่าย และในโปรแกรมเฟิร์มแวร์ Freifunk จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโนดในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

## 3. การทดสอบ

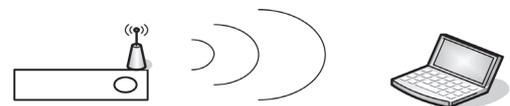
### 3.1 การทดสอบกำลังส่งสัญญาณที่ความถี่ผ่านทางเฟิร์มแวร์



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการทดสอบกำลังส่งของสัญญาณด้วยเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์

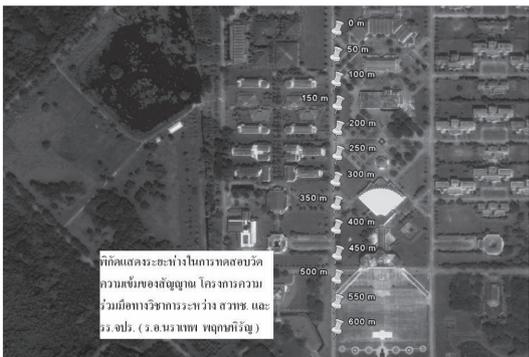
ในการทดสอบนี้จะทำการวัดกำลังการส่งสัญญาณของอุปกรณ์เราเตอร์ Linksys WRT54GL โดยจะเชื่อมต่ออุปกรณ์เราเตอร์เข้ากับเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์แล้วทำการวัดค่าของสัญญาณที่พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับสายอากาศโดยตรง การกำหนดค่ากำลังส่งจะทำผ่านทางเฟิร์มแวร์ Freifunk ที่สามารถปรับตั้งค่า Tx Power ได้จนถึงค่า 96 ในการวัดจะต้องทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เราเตอร์และเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์ด้วยสายนำสัญญาณ ค่าที่วัดได้จะต้องนำมาคิดคำนวณรวมกับอัตราการลดทอนของสายนำสัญญาณและอัตราการลดทอนของตัวเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์เอง ซึ่งชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้จะมีอัตราการลดทอนรวม -10 dBm เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับเครื่องมือวัด

### 3.2 การทดสอบความเข้มของสัญญาณด้วยโปรแกรม Network Stumbler



รูปที่ 2 ภาพแสดงการทดสอบกำลังของสัญญาณที่ได้รับในระยะต่างๆ ของเสาชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะทำการวัดระดับของสัญญาณที่เครื่องโน้ตบุ๊กได้รับจากอุปกรณ์เราเตอร์ที่ระยะห่างที่แตกต่างกันจำนวน 13 ระยะคือ 1, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550 และ 600 เมตร ในแนวเส้นตรงโดยใช้โปรแกรม Network Stumbler (6) โปรแกรมนี้สามารถใช้หาค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal/Noise) เป็นหน่วย dBm ในการทดสอบนี้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กรุ่น Sony VGN-423S ที่มีการ์ดระบบเครือข่ายไร้สายรุ่น Intel(r)Pro/Wireless 3945 BG Network Connection เป็นส่วนประกอบ ในการทดสอบนี้จะทำการเปรียบเทียบระดับความเข้มของสัญญาณโดยใช้เสาอากาศที่แตกต่างกัน 3 แบบคือ เสาอากาศเดิมที่ติดตั้งมาพร้อมกับอุปกรณ์เราเตอร์ (9) เสาอากาศที่ทำจากกระป๋อง (10) และเสาอากาศแบบรอบทิศทาง (11) ค่ากำลังส่งที่ใช้ทำการทดสอบจะกำหนดผ่านทางเฟิร์มแวร์ Freifunk โดยจะกำหนดให้มีค่า Tx Power สูงสุดคงที่

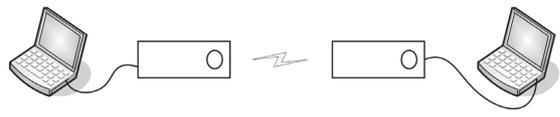


รูปที่ 3 ตำแหน่งและระยะของจุดที่ทำการวัดความเข้มของสัญญาณ

ในรูปที่ 3 เป็นการแสดงตำแหน่งบริเวณที่ใช้ในการทดสอบวัดกำลังส่งด้วยโปรแกรม Network Stumbler พื้นที่ที่ใช้ในการวัดจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่มีสิ่งกีดขวางเส้นทางการแพร่

กระจายคลื่นวิทยุ โดยจะจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์เราเตอร์พร้อมด้วยสายอากาศไว้ที่จุด 0 m และทำการวัดบันทึกผลต่อเนื่องในระหว่างการเคลื่อนที่ออกจากจุดแหล่งกำเนิดไปตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้จนถึงระยะ 600 เมตร

### 3.3 การทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างโน้ต



รูปที่ 4 ภาพแสดงการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลผ่านทางเราเตอร์ จำนวน 2 ตัว

การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายจะผ่านทางอุปกรณ์เราเตอร์ โดยที่อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ในการทดสอบนี้จะหาอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องที่เชื่อมต่อกันผ่านทางระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย โดยจะทำการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์เพื่อหาอัตราการรับส่งข้อมูลที่ระบบเครือข่ายสามารถทำได้เมื่อใช้เสาอากาศที่แตกต่างกัน ในการทดสอบจะใช้เสาอากาศที่เหมือนกันทั้งสองด้านเพื่อวัดประสิทธิภาพสองเสาอากาศแต่ละแบบ โดยจะกำหนดให้มีค่า Tx Power ของเฟิร์มแวร์สูงสุดคงที่ แล้วทำการวัดอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้คำสั่ง ping -l และใช้โปรแกรม Qcheck ในการทดสอบ Response Time และ Throughput ของระบบในเฟิร์มแวร์ Freifunk จะสามารถวัดค่าประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อระหว่างโน้ตของระบบเครือข่ายได้ด้วยค่า Expect Transmission

Count (EXT) (8) โดยค่าที่ใกล้เคียงกับ 1 จะแสดงถึงการเชื่อมต่อที่ดี ถ้าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจาก 1 มากแค่ไหนก็แสดงว่าการเชื่อมต่อก็ไม่ดีมากขึ้นด้วย



รูปที่ 5 ตำแหน่งและระยะของจุดที่ทำการวัดอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างสองโหนดในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

### 3.4 การทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

ในการทดสอบนี้จะแบ่งชุดอุปกรณ์ออกเป็นสองชุดคือ ชุดที่หนึ่งจะใช้สายอากาศแบบกระป๋องทำการเชื่อมต่อระหว่างเราเตอร์หมายเลข 5 และเราเตอร์หมายเลข 6 (ดูรูปที่ 6 ประกอบ) ซึ่งมีระยะห่างกันเท่ากับ 165 เมตร และชุดที่สองจะใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางติดตั้งแทนเสาอากาศแบบกระป๋องแล้วทำการวัดเปรียบเทียบอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างปลายทางทั้งสองด้านคือระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเราเตอร์หมายเลข 1 และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเราเตอร์หมายเลข 10 ซึ่งอุปกรณ์เราเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะมีระยะที่ห่างกันในแนวเส้นตรงเท่ากับ 425 เมตร

การเลือกภูมิประเทศในการทดสอบแบ่งออกเป็นสองส่วนคือบริเวณที่เป็นกลุ่มอาคาร

(M1 - M5) และบริเวณที่เป็นที่โล่ง (M6 - M10) เพื่อให้คล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมที่นำไปใช้งานจริง เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ไว้ในบริเวณอาคารจะมีการลดทอนของสัญญาณคลื่นวิทยุที่มากกว่า จึงต้องทำการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ไว้ในระยะห่างที่น้อยกว่าการวางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบในที่โล่งแจ้ง

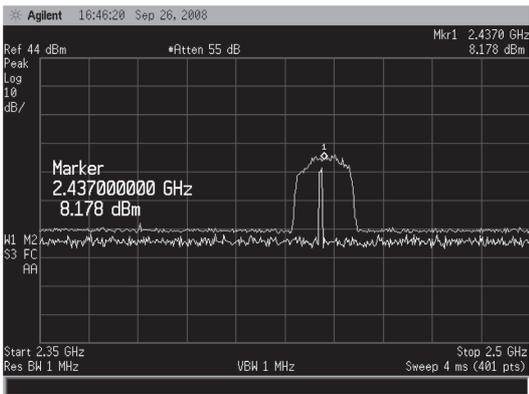


รูปที่ 6 ตำแหน่งและระยะของจุดที่ทำการวัดอัตราการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

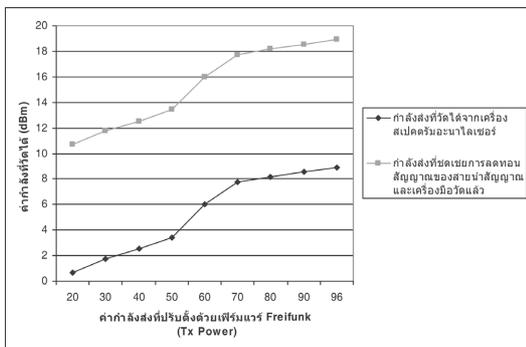
## 4. ผลการทดสอบ

### 4.1 ผลการทดสอบกำลังส่งสัญญาณที่ควบคุมผ่านทางเฟิร์มแวร์

ขั้นตอนการทดสอบกำลังส่งสัญญาณของอุปกรณ์เราเตอร์จะทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อปรับค่า Tx Power ในเฟิร์มแวร์ Freifunk แล้วจะสามารถอ่านค่าของกำลังส่งสัญญาณได้จากเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยได้กำหนด Marker สำหรับอ่านค่าไว้ที่ความถี่ 2.437 GHz ซึ่งเป็นความถี่ของช่องสัญญาณที่ 6 จากรูปที่ 7 จะเห็นขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้งานเท่ากับ 20 MHz ในการทดสอบจะปรับค่า Tx Power เป็นจำนวน 9 ขนาดคือ 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 96 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่สามารถปรับตั้งได้ในเฟิร์มแวร์ Freifunk



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการวัดสัญญาณด้วยเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์



รูปที่ 8 ตำแหน่งและระยะของจุดที่ทำการวัดอัตราการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

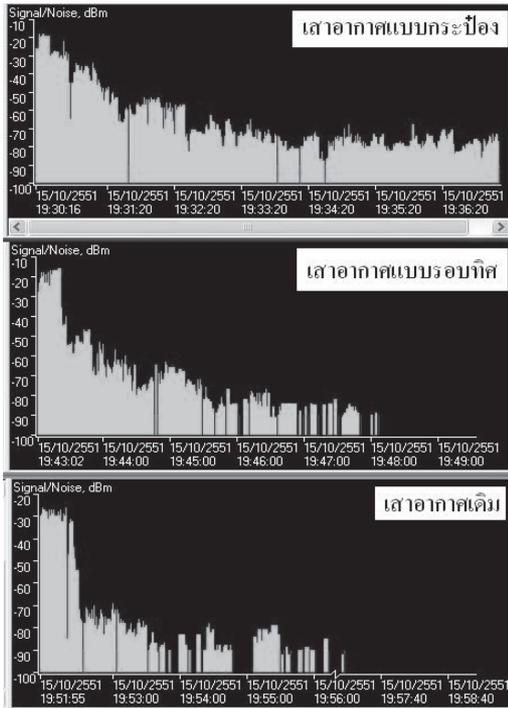
รูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงผลของการทดสอบโดยเส้นกราฟสีน้ำเงินจะเป็นขนาดของกำลังส่งจริงของอุปกรณ์เราเตอร์ Linksys WRT54GL ที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องสเปคตรัมอะนาไลเซอร์ โดยจะได้ค่าสูงสุดเมื่อ Tx Power เท่ากับ 96 จะสามารถวัดค่าได้เท่ากับ 8.915 dBm หรือเท่ากับ 7.789 mW เมื่อคิดขดเขยค่าการลดทอนสัญญาณของสายนำสัญญาณและเครื่องมือวัดจำนวน 10 dBm แล้วจะได้ค่ากำลังส่งสูงสุดเท่ากับ

18.915 dBm หรือเท่ากับ 77.893 mW ดังแสดงด้วยเส้นกราฟสีชมพูในรูปที่ 8 ค่าที่ได้นี้จะขึ้นอยู่กับเวลาที่กำหนดไว้ว่ากำลังส่งของอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายไร้สายจะต้องไม่เกิน 100 mW

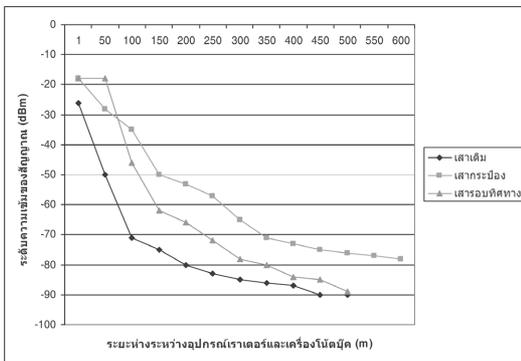
#### 4.2 ผลการทดสอบความเข้มของสัญญาณด้วยโปรแกรม Network Stumbler

ในการทดสอบนี้จะตั้งค่ากำลังส่งของอุปกรณ์เราเตอร์ด้วยเฟิร์มแวร์ไว้ที่ระดับสูงสุดที่ แล้วทำการวัดค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Network Stumbler โดยจะทำการทดสอบวัดค่าในระยะห่าง 1, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550 และ 600 เมตร ในแนวเส้นทางตรง โดยเคลื่อนที่ออกจากเสาอากาศและทำการบันทึกผลอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากโปรแกรม Network Stumbler พบว่าลักษณะเส้นกราฟแสดงความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากเสาอากาศเดิมจะมีความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเมื่ออยู่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดคลื่น เสาอากาศแบบรอบทิศทางจะมีประสิทธิภาพในการรับคลื่นที่ดีกว่าเสาอากาศเดิมแต่ก็มีความไม่ต่อเนื่องของสัญญาณเมื่อระยะห่างออกไปมากกว่า 300 เมตร และไม่สามารถวัดความเข้มของสัญญาณได้เมื่อห่างออกไปมากกว่า 500 เมตร เสาอากาศแบบกระป๋องจะมีความต่อเนื่องของสัญญาณที่ดีกว่าในระยะห่าง 600 เมตรยังสามารถวัดระดับความเข้มของสัญญาณได้ -78 dBm ซึ่งเป็นระยะที่เสาอากาศอีกสองแบบไม่สามารถทำงานได้แล้ว



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงความเข้มของสัญญาณที่วัดโดยโปรแกรม Network Stumbler ของเสืออากาศทั้งสามแบบ

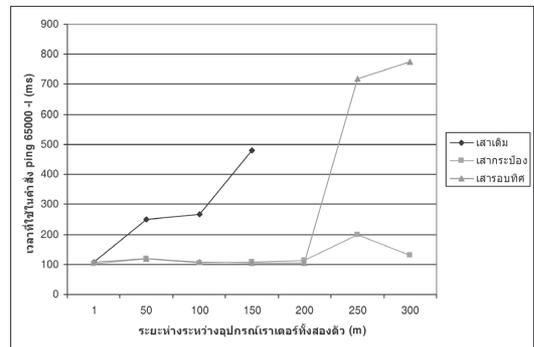


รูปที่ 10 เส้นกราฟแสดงระดับความเข้มของสัญญาณ (dBm) ต่อระยะห่างต่างๆ ของเสืออากาศทั้ง 3 แบบ ที่วัดโดยโปรแกรม Network Stumbler

รูปที่ 10 เป็นการแสดงค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จากเสืออากาศทั้ง 3 แบบ ในระยะห่างที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าความเข้มของสัญญาณที่ได้จากเสืออากาศเดิมจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เราเตอร์ เสืออากาศแบบกระป๋องจะมีระดับความเข้มของสัญญาณที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบในระยะห่างที่เท่ากันโดยเฉพาะเมื่อมีระยะทางมากกว่า 100 เมตรขึ้นไป

### 4.3 ผลการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลเน็ต

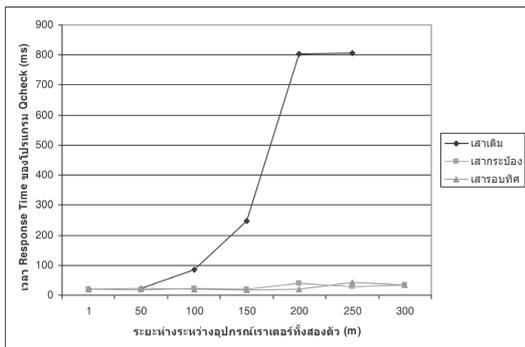
ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เราเตอร์ 2 ตัวที่อยู่ห่างกันในระยะที่กำหนดคือ 1, 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 เมตร โดยจะทำการทดสอบด้วยเสืออากาศทั้ง 3 แบบ ขนาดของกำลังส่งของอุปกรณ์เราเตอร์จะกำหนดให้มีค่าสูงสุดคงที่



รูปที่ 11 เส้นกราฟแสดงระยะเวลาของคำสั่ง ping -l 65000 ระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ที่ระยะห่างต่างกัน

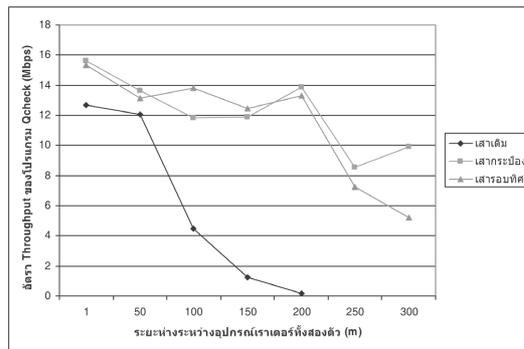
รูปที่ 11 เป็นการแสดงค่าระยะเวลาที่ได้จากคำสั่ง ping -l 65000 พบว่าเสืออากาศแบบกระป๋องและเสืออากาศแบบรอบทิศจะมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันจนถึงระยะ 200 เมตร

เมื่อระยะห่างออกไปมากกว่า 200 เมตร อัตราการรับส่งข้อมูลของเสาอากาศแบบกระป๋องจะดีกว่าเสาอากาศอีกสองแบบที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อใช้เสาอากาศเดิมที่ระยะทางมากกว่า 50 เมตรขึ้นไปจะใช้เวลาในการทดสอบด้วยคำสั่ง ping -l 65000 ที่มากกว่าเสาอากาศอีกสองแบบอย่างชัดเจน เมื่อระยะทางมากกว่า 150 เมตรก็ไม่สามารถที่จะทำการวัดค่าด้วยคำสั่งนี้ได้



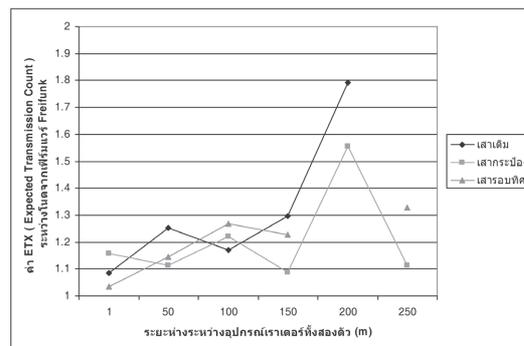
รูปที่ 12 เส้นกราฟแสดงค่า Response Time ระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ที่ระยะห่างต่างกัน

ในรูปที่ 12 เป็นการแสดงผลการวัดค่า Response Time ในโปรแกรม Qcheck ในการทดสอบจะกำหนดขนาดของข้อมูลเท่ากับ 32000 bytes พบว่าเมื่อระยะทางมากกว่า 50 เมตรขึ้นไปอัตราการรับส่งข้อมูลของเสาอากาศแบบเดิมจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสาอากาศแบบกระป๋องและเสาอากาศแบบรอบทิสมาก



รูปที่ 13 เส้นกราฟแสดงค่า Throughput ระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ที่ระยะห่างต่างๆ

ในรูปที่ 13 เป็นการแสดงผลการวัดค่า Throughput ในโปรแกรม Qcheck ในการทดสอบจะกำหนดขนาดของข้อมูลเท่ากับ 1000 kBytes พบว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ได้จะสัมพันธ์กับการทดสอบอื่นๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นคือ ตั้งแต่ระยะ 50 เมตรขึ้นไปประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลของเสาอากาศเดิมจะดีกว่าเสาอากาศแบบกระป๋องและเสาอากาศแบบรอบทิส



รูปที่ 14 เส้นกราฟแสดงค่า EXT ของเฟรมแวร์ Freifunk ระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ที่ระยะห่างต่างกัน

ในรูปที่ 14 เป็นการแสดงค่า Expected Transmission Count ของเฟิร์มแวร์ Freifunk ระหว่างโนดที่เป็นอุปกรณ์เราเตอร์ทั้งสองตัวเมื่อใช้เสาอากาศที่แตกต่างกัน พบว่าการเชื่อมต่อจะมีระดับที่ใกล้เคียงกันในช่วง 50 เมตรแรก แต่เมื่อระยะห่างออกไปมากกว่า 150 เมตร ประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อของเสาอากาศแบบกระป๋องจะดีกว่าเสาอากาศอีกสองแบบ

#### 4.4 ผลการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

ตารางที่ 1 ค่าที่ได้จากการทดสอบอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย

ลักษณะการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย	ใช้สายอากาศแบบกระป๋องในการเพิ่มระยะทาง	ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางการเพิ่มระยะทาง
Ping -l 65000	43 ms	35 ms
Response Time ของโปรแกรม Qcheck	987 ms	1086 ms
Throughput ของโปรแกรม Qcheck	251.351 kbps	133.358 kbps
ETX ของเฟิร์มแวร์ Freifunk	1.240	1.341

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเราเตอร์ M1 และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเราเตอร์ M2 ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายในแบบที่ใช้เสาอากาศแบบกระป๋องและแบบที่ใช้เสาอากาศแบบรอบทิศเป็นอุปกรณ์เพิ่มระยะการทำงานระหว่างเราเตอร์ M5 และเราเตอร์ M6 จะมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน ค่า EXT

ในตารางที่ 1 จะเป็นการวัดค่าระหว่างเราเตอร์ M5 และ M6 เปรียบเทียบคุณสมบัติการเชื่อมต่อของโนดทั้งสองในการใช้เสาอากาศที่แตกต่างกัน โดยพบว่า การเชื่อมต่อโดยใช้เสาอากาศแบบกระป๋องจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเสาอากาศแบบรอบทิศ

## 5. สรุป

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบกำลังส่งของอุปกรณ์เราเตอร์ด้วยการปรับตั้งค่า Tx Power ขนาดต่างๆ ผ่านทางเฟิร์มแวร์ Freifunk นั้นทำให้สามารถหาขนาดกำลังส่งจริงที่ออกมาจากอุปกรณ์เราเตอร์เมื่อกำหนดให้ Tx Power เท่ากับ 96 ก็จะได้กำลังส่งจริงของอุปกรณ์เราเตอร์เท่ากับ 18.915 dBm หรือเท่ากับ 77.893 mW อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์ เสาอากาศที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดีจะช่วยให้สามารถขยายเพิ่มกำลังส่งที่ออกมาจากอุปกรณ์เราเตอร์ได้ ทำให้สามารถส่งสัญญาณไปไกลขึ้นและครอบคลุมรัศมีการใช้งานเพิ่มขึ้น เสาอากาศเดิมที่ติดตั้งมากับอุปกรณ์เราเตอร์จะมีรัศมีการทำงานอยู่ในช่วงระยะ 50 เมตร ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในระยะทางไกลๆ มากกว่า 50 เมตร เมื่อต้องการจะขยายเพิ่มระยะทางการติดต่อสื่อสารหรือการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายที่อยู่ห่างกันก็ควรจะใช้สายอากาศแบบบังคับทิศ ตัวอย่างเช่นเสาอากาศแบบกระป๋องที่ทำได้ง่ายและมีราคาประหยัด ที่สามารถนำไปใช้งานได้ดีจนถึงระยะห่าง 200 เมตร โดยจะมีอัตรา Throughput ของข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่ระหว่างอุปกรณ์เราเตอร์สองตัวที่ 13.841 Mbps

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายที่ต้องเพิ่มระยะทางในการติดต่อสื่อสารเมื่อใช้เสาอากาศแบบกระป๋องมาใช้งานที่ระยะห่าง 165 เมตร และมีระยะทางแนวเส้นตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางสองเครื่องเท่ากับ 425 เมตร ในสภาพแวดล้อมที่เป็นที่โล่งและกลุ่มอาคารจะมีค่า Throughput เท่ากับ 251.351 kbps

## 5.2 งานวิจัยในอนาคต

ผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะทำการขยายเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การใช้งานมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มจำนวนของลูกข่ายในระบบได้ ด้วยศักยภาพของระบบที่มีอยู่สามารถนำไปพัฒนาใช้งานได้หลายรูปแบบรวมถึงการใช้งานในพื้นที่ประสบภัยพิบัติพื้นที่เสี่ยงภัยที่ต้องใช้การตรวจการด้วยกล้องหรือพื้นที่บริเวณกว้างที่มีความต้องการใช้ระบบเครือข่ายร่วมกัน เนื่องจากสามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็วสามารถตอบสนองต่อการต้องการใช้งานด้วยอัตราการรับส่งข้อมูลและความน่าเชื่อถือในการทำงานได้เป็นอย่างดี การขยายผลของงานวิจัยในอนาคตสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์เราเตอร์ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่ายและการทดสอบสายอากาศแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มระยะการติดต่อสื่อสารของระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย รวมถึงการออกแบบชุดอุปกรณ์ให้มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ มีระบบป้องกันฟ้าผ่า เพื่อนำไปใช้งานภายนอกอาคารและการพัฒนาการใช้งานโดยใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และเป็นส่วนหนึ่งของ “โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กับโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการเพื่อการวิจัยด้านความมั่นคงปลอดภัยเทคโนโลยีสารสนเทศ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า รหัสโครงการ NT-B-22-15-99-48-11 ผู้เขียนขอขอบคุณ พ.อ.ปรัชญา เฉลิมวัฒน์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำแนะนำต่างๆ ในการทดสอบเป็นอย่างดี โดยมีทีมงานวิจัยคือ นนร.นวพล วรรณายก นนร.สุเทพ วัฒนาอุดม นนร.พีรพงศ์ พรหมเกตู และ นนร.ชรินทร์ บุญส่ง กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

## เอกสารอ้างอิง

- (1) William Schweber, (1991). Electronic Communication System : Prentice-Hall.
- (2) John Griffiths, (1987). Radiowave propagation and antennas : an introduction : Prentice-Hall (UK).
- (3) Simon Haykin, (1994). Communication systems 3<sup>rd</sup> ed. : John Wiley & Sons.
- (4) จตุชัย แพงจันทร์, อนุโชติ วุฒิพรพงษ์, (2456). เจาะระบบ Network ฉบับสมบูรณ์ : ไอทีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์.
- (5) Freifunk Sites, <http://freifunk.net>
- (6) Netstumbler Sites, <http://netstumbler.com>
- (7) Qcheck - Network Performance Measurement Sites, <http://ixiacom.com>
- (8) Wiki Seites, <http://wiki.leipzig.freifunk.net/EXT-Wert>
- (9) Linksys Seites, <http://www.linksys.com>
- (10) Can Antenna Seites, <http://www.tresselt.de/wlan.htm>
- (11) Antenna Seites, <http://www.wifimove.com>
- (12) Ping Seites, <http://www.microsoft.com>