



โนดแบ่งสี่ส่วนที่สื่อสารสองทางเต็มอัตราสำหรับเครือข่ายไร้สาย
Full-Duplex 4-Sector Node for Wireless Networks

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



โนดแบ่งสี่ส่วนที่สื่อสารสองทางเต็มอัตราสำหรับเครือข่ายไร้สาย
Full-Duplex 4-Sector Node for Wireless Networks

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุซารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

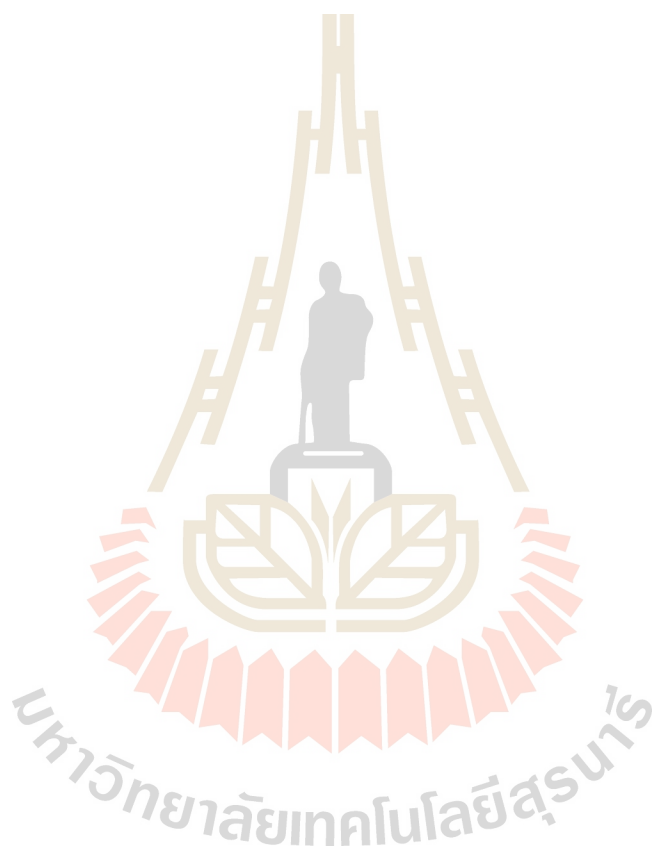
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2561

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้



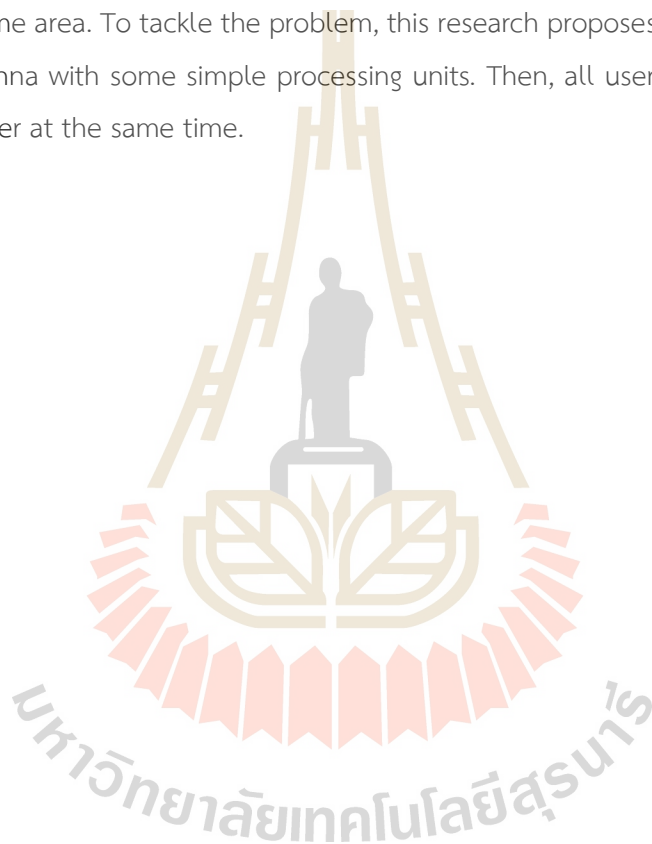
ผู้วิจัย
กันยายน 2561

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารไร้สายมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เป้าหมายหลักของระบบการสื่อสารไร้สายนั้นต่างมีความต้องการในการรองรับผู้ใช้บริการให้มากขึ้น รับและส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น มีพื้นที่การให้บริการที่ครอบคลุม มาตรฐานของการสื่อสารไร้สายยังได้มีการใช้เทคโนโลยีของสายอากาศมาช่วยในการพัฒนาระบบการสื่อสารไร้สาย ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีสายอากาศแบบฉลัด ทั้งแบบปรับเลือกลำคลื่น (Switched beam antenna) สายอากาศแบบปรับตัวได้ (Adaptive array antenna) ซึ่งแต่ละแบบก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารให้ตรงเป้าหมายและครอบคลุมพื้นที่โดยการอาศัยรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศที่ได้ออกแบบมา โดยส่วนใหญ่แล้วมักมีการใช้งานของสายอากาศแบบรอบทิศทาง(Omni-Directional Antenna) ซึ่งมีการแผ่กระจายคลื่นทุกทิศทางเท่ากันแต่หากเมื่อผู้ใช้งานอยู่ส่วนขอบของการแผ่กระจายคลื่นจะได้รับสัญญาณที่อ่อน และผู้ใช้งานจะไม่สามารถรับส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะหาทางใช้งานความสามารถของสายอากาศมาช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยที่เลือกใช้งานสายอากาศแบบมีทิศทางซึ่งมีความกว้างลำคลื่นกำลัง 90 องศา มาใช้งานประกอบกัน 4 ต้นให้ครอบคลุมทุกทิศทางและสายอากาศทั้ง 4 ต้นทำงานร่วมกันในการรับส่งข้อมูลซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานพร้อม ๆ กันได้ โดยใช้งานกันคนละลำคลื่นเพื่อรับและส่งข้อมูลและสายอากาศแต่ละต้นก็สามารถส่งข้อมูลหากันได้ด้วย

Abstract

As the rapid growth of wireless communications so far, it needs to serve the increasing number of users providing in terms of high-speed data transmission and better coverage area. One alternative to do so is the utilization of smart antenna systems both of switched beam and adaptive antennas. Usually, they employ an omnidirectional antenna resulting in some advantages as follows. There will be a weak signal in some area. To tackle the problem, this research proposes the utilization of 4-sector antenna with some simple processing units. Then, all users can communicate to each other at the same time.



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	ข
สารบัญ	ค
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.6 วิธีการดำเนินการ.....	3
1.6.1 แนวทางการดำเนินการ.....	3
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้.....	4
2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย.....	5
2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11.....	5
2.2.2 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN.....	8
2.2.3 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).....	8
2.3 เทคโนโลยีสายอากาศ	9
2.2.1 สายอากาศ(Antenna)	9
2.2.2 สายอากาศฉลาด(Smart Antenna).....	12
2.2.3 สายอากาศแบบแบ่งส่วน (Sector antenna)	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ค่าพิสัยสามารถ(Throughput).....	16
2.5 ค่าความหน่วง (delay).....	16
2.6 สรุปปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.7 สรุป.....	19
3 การวิเคราะห์ค่าพิสัยสามารถและเวลาหน่วง 20	
3.1 กล่าวนำ.....	20
3.2 รูปแบบห่วงโซ่มาคอฟ.....	20
3.3 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง	26
3.4 การวิเคราะห์จากการลงวัดจริง.....	26
3.4.1 WiFi Adapters for Savvius Omnippeek.....	27
3.4.2 ข้อมูลเฉพาะทางเทคนิคของ Capture Engine for OmniPeek.....	29
3.5 สรุป.....	32
4 ผลการดำเนินการเบื้องต้นของการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้สายอากาศ แบบหลายเซ็กเตอร์.....	34
4.1 กล่าวนำ.....	34
4.2 การวางแผนการทดลอง.....	34
4.3 ผลการวัดทั้ง 4 รูปแบบ.....	39
4.4 สรุป.....	47
5 บทสรุปและแนวทางการวิจัยที่ต้องดำเนินการต่อ.....	48
5.1 บทสรุป.....	48
5.2 แนวทางการวิจัยที่ต้องดำเนินการต่อ.....	48
รายการอ้างอิง.....	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์ต้องการใช้การสื่อสารข้อมูลตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ตเพื่อสืบค้นข้อมูล การถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล การสนทนาหรือการส่งข้อความถึงผู้อื่น เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า ผู้ใช้บริการระบบสื่อสารไร้สายมีเพิ่มมากขึ้นจากอดีต และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกมากในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบสื่อสารไร้สายมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของ ผู้ใช้งาน ทั้งในเรื่องของอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลให้เร็วขึ้น เรื่องของความอิสระในการเคลื่อนที่เมื่อสื่อสาร ความต้องการพื้นที่ที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น หรือกระทั่งคุณภาพของระบบที่ต้องน่าเชื่อถือโดยมีความถูกต้องและแม่นยำ ทั้งนี้ก็เพื่อรองรับกับความต้องการในการสื่อสารข้อมูลมัลติมีเดีย ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลภาพ เสียง วิดีโอ และข้อมูลสื่อสารอื่น ๆ ในอนาคต ความต้องการทั้งหลายนี้จะต้องถูกพัฒนาบนทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและต้องถูกใช้อย่างเต็มประสิทธิภาพความเร็วในการรับและส่งข้อมูลเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนมากคงเป็นหนึ่งในความสำคัญที่นักวิจัยหลายๆ คนให้ความสนใจ รวมไปถึงมาตรฐานของระบบสื่อสารไร้สายที่พัฒนาก็ยังคงให้ความสำคัญเรื่องนี้เป็นหลัก ในส่วนของมาตรฐานไร้สายไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สายที่พัฒนาจากยุคที่ 1 จนถึงยุคที่ 4 และกำลังมีการพัฒนาต่อไปยังยุคที่ 5 ซึ่งเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่สื่อสารได้เพียงเสียงพูด จนในปัจจุบันสามารถรับส่งข้อมูลมัลติมีเดียได้ในเวลาอันรวดเร็ว อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถรับส่งข้อมูลและใช้งานแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือพูดคุยกันได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสะดวกสบายคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

การให้บริการการสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีการให้บริการที่ครอบคลุมและทั้งถึง สัญญาณส่งส่งออกจากภาคส่งต้องมีความแรงของสัญญาณเพื่อให้ผู้รับนั้นได้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ซึ่งในการที่จะให้บริการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีของสายอากาศเข้ามาช่วยเพื่อให้ได้ความแรงของสัญญาณที่ดี ทิศทางของสัญญาณที่ต้องการแม่นยำ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีของสายอากาศในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายถูกนำไปปรับใช้ตามความต้องการที่แตกต่างกันออกไป เช่น สายอากาศแบบฉลาด สายอากาศแบบมีทิศทาง สายอากาศหลายต้น เป็นต้น ดังแสดงในงานวิจัยที่ [1]-[12] ในการใช้งานสายอากาศแบบฉลาดเนื่องจากระบบสายอากาศฉลาดสามารถลดการทับซ้อนของสัญญาณ ทั้งยัง กำจัดการแทรกสอดของสัญญาณและการรบกวนกันระหว่างผู้ใช้งาน และที่สำคัญยังทนทานต่อการ

จางหายของสัญญาณอีกด้วย มีการเปรียบเทียบการทำงานของสายอากาศหลากหลายแบบทั้งในแบบสายอากาศไดเวอร์ซิตี (diversity antenna) ซึ่งคือการใช้สัญญาณจากสายอากาศทุกตัวรวมกัน สายอากาศปรับลำคลื่น (switched-beam antenna) ซึ่งสายอากาศสามารถปรับรูปแบบลำคลื่นได้ และสายอากาศปรับตัว (adaptive antenna) โดยสายอากาศปรับตัวจะสามารถปรับเปลี่ยนแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นได้อัตโนมัติ เพื่อเพิ่มคุณภาพของการรับส่งสัญญาณดังแสดงในงานวิจัยที่ [1]-[7]

ในสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional Antenna) เป็นการใช้งานของสายอากาศที่มีรูปแบบบีบไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างแน่นอนซึ่งทำให้ส่งหาผู้รับได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ทั้งนี้ยังเป็นสายอากาศที่มีอัตราขยาย (Gain) สูง ในเทคโนโลยีการใช้สายอากาศหลายต้น (multiple-antenna technology) เป็นการเพิ่มจำนวนของสายอากาศจากเดิมที่มีเพียงแค่หนึ่งต้นได้ถูกพัฒนาเป็นการใช้สายอากาศหลายต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย ทั้งนี้ยังเป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนน้อย ต้นทุนต่ำ อีกทั้งลดสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้งานอื่น ๆ ได้ [8]-[12]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 การบันทึกข้อมูลแต่ละรอบการวัดประสิทธิภาพจากสายอากาศจริงต้องทำในวันเดียวกันช่วงเวลาเดียวกัน

1.4.2 เขียนโปรแกรมทดสอบการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 ใช้สายอากาศแบบ 4 เซ็กเตอร์ที่มีความกว้างลำคลื่นกำลังแต่ละเซ็กเตอร์เท่ากับ 90 องศา เพื่อให้ครอบคลุม 360 องศา

1.5.2 วัดประสิทธิภาพจากสายอากาศจริง

1.5.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สายอากาศ 4 เซ็กเตอร์ทางคณิตศาสตร์

1.5.4 จำลองการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สายอากาศ 4 เซ็กเตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.6 วิธีการดำเนินการ

1.6.1 แนวทางการดำเนินการ

- 1.6.1.1 สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.6.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบสื่อสารไร้สายแบบที่มีการใช้สายอากาศแบบเซ็กเตอร์
- 1.6.1.3 วัดประสิทธิภาพ
- 1.6.1.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สายอากาศ 4 เซ็กเตอร์ทางคณิตศาสตร์
- 1.6.1.5 จำลองการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สายอากาศ 4 เซ็กเตอร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.6.1.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย
- 1.6.1.7 จัดทำงานวิจัยและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของผลวิจัย

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.6.2.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำราจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.6.2.2 ศึกษาและทดสอบการทำงานของสายอากาศแบบแบ่งส่วน
- 1.6.2.3 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วง
- 1.6.2.4 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยที่ได้จากเทคนิคการประเมินตนเองที่นำเสนอ และรวบรวมข้อมูล เพื่อเขียนงานวิจัย

1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1.6.3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 1.6.3.2 โปรแกรม MATLAB
- 1.6.3.3 โปรแกรม Savvius Omnippeek
- 1.6.3.4 อุปกรณ์การวัดชื่อ Savvius Wi-Fi Adapter

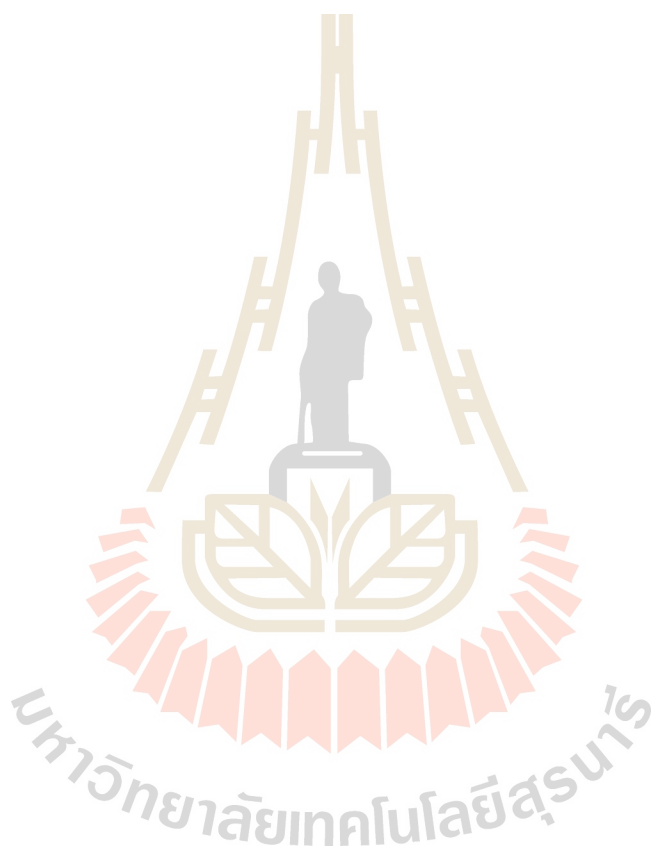
1.6.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1.6.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการทดสอบการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์
- 1.6.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลการวัดผลในแต่ละรอบอย่างต่อเนื่อง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้

1.7.1 ได้องค์ความรู้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น

1.7.2 ได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้งานสายอากาศแบบ 4 เซ็กเตอร์ โดยที่สามารถ ลดสัญญาณการแทรกสอด ได้อัตราขยายที่สูงขึ้นรอบทิศทาง มีสภาพเจาะจงทิศทางที่สูงขึ้น ปริมาณงานต่อหน่วยเวลาเพิ่มขึ้นและเวลาหน่วงลดลง



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วงของเครือข่ายไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วน ซึ่งประกอบด้วย เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย เทคโนโลยีสายอากาศ การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วง เนื้อหาดังกล่าวข้างต้นจะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญซึ่งนำไปสู่การแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วน

2.2 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เครือข่าย LAN แบบไร้สาย หรือ WLAN (Wireless LAN) กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากประโยชน์ของ WLAN มีอยู่มากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง WLAN สร้างความสะดวกสบายและมีอิสระในการใช้งานและติดตั้งเครือข่าย ยิ่งในปัจจุบันเครือข่ายไร้สายมีผู้ใช้งานอย่างแพร่หลายและจำเป็นที่จะต้องมโนดที่ให้สัญญาณอย่างครอบคลุมทั่วถึง เพื่อให้ผู้ใช้งานจะได้ใช้งานในเครือข่ายนั้น ๆ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เทคโนโลยี WLAN ทำให้การเชื่อมต่อกันของผู้ใช้งานไม่ว่าผู้ใช้งานจะใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในบ้านหรือสำนักงาน โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ไม่ต้องมีการใช้งานสายนำสัญญาณอีกต่อไป ผู้ใช้งานจะสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายจากตำแหน่งที่อยู่ในรัศมีของสัญญาณได้อย่างเป็นอิสระจากตำแหน่งต่าง ๆ

เทคโนโลยีไร้สายมีอยู่หลายแบบ เช่น Bluetooth , IEEE 802.11, IrDA , HiperLAN, HomeRF, และ GPRS เป็นต้น แต่ที่นิยมกันเป็นอย่างมากสำหรับ WLAN คือเทคโนโลยีตามมาตรฐาน IEEE 802.11 เพราะอุปกรณ์ที่ใช้กับ IEEE 802.11 WLAN ราคาถูก มีการรับส่งข้อมูลกันได้ดี ง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน

2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 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 WLAN ได้กำหนดให้อุปกรณ์มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว

1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อ 3 ประเภทให้เลือกใช้ได้แก่ คลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 และ 5 กิกะเฮิรตซ์ และ อินฟราเรด (Infrared) ที่ความเร็ว 1 และ 2 เมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้นสำหรับในส่วนของ 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 มาตรฐาน IEEE 802.11 มีวิวัฒนาการหลากหลายเพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN โดยคณะทำงาน (Task Group) ทั้งกลไกการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) และการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ที่มีชื่อเรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) คณะทำงานที่น่าสนใจและมีผลงานเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g และ IEEE 802.11n

IEEE 802.11a คณะทำงานชุดนี้ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 โดยใช้เทคโนโลยีที่ชื่อว่า โอเอฟดีเอ็ม (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลในความเร็วสูงสุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที ที่ย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ แต่ในย่านความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ก็มีบางความถี่ที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้โดยอิสระเพราะมีการจัดสรรให้ใช้งานสำหรับกิจการอื่นอยู่ก่อนแล้ว อีกอย่างคือมีรัศมีสั้นประมาณ 30 เมตรซึ่งสั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร ใ้สำหรับการใช้งานภายในอาคาร ทั้งนี้อุปกรณ์ IEEE 802.11a ก็มีราคาสูงอีกด้วย

IEEE 802.11b คณะทำงานชุดนี้ได้ตีพิมพ์เพิ่มเติมเมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและมีการงานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ซึ่งมีความสามารถในการใช้งานของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่ 11 เมกะบิตต่อวินาที ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ใช้ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ DSSS โดยย่านความถี่ที่ใช้เป็น ISM (Industrial, Scientific and Medical) Band จากระดับความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ คือทำได้เพียง 11 เมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้น เมื่อเทียบกับระบบ LAN แบบมีสาย ที่มาตรฐานปัจจุบันอยู่ที่ระดับ 100 เมกะบิตต่อวินาที และล่าสุดมาตรฐานความเร็ว 1 กิกะบิตต่อวินาที กำลังเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเห็นว่า IEEE 802.11b ค่อนข้างช้ากว่ามาก ไม่เพียงเท่านั้น คลื่นความถี่วิทยุที่ 2.4 GHz ที่ IEEE 802.11b ใช้อยู่ในยังมีอุปกรณ์อื่น ๆ ร่วมใช้งานอยู่ด้วยหลายชนิด เช่น โทรศัพท์ไร้สายและเตาไมโครเวฟ ที่สำคัญแต่ละผลิตภัณฑ์มีความสามารถทำงานร่วมกันได้ ซึ่งหากมีอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานอยู่ใกล้ๆ กับเครือข่าย IEEE 802.11b ก็จะทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลช้าลง แต่จุดเด่นคือการใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ค่อนข้างต่ำ เพียง 2.4 GHz นั้นทำให้ IEEE 802.11b มีระยะทางในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ค่อนข้างไกล ทำให้ชุดเครือข่ายไร้สายแบบ IEEE 802.11b ไม่จำเป็นต้องมีจุดรับส่งสัญญาณ หรือที่เรียกกันว่า Access Point หรือ Hot Spot มาก ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดี มาตรฐานนี้มีระบบเข้ารหัสข้อมูลแบบ WEP ที่ 128 บิต

IEEE 802.11g หรือเรียกอีกอย่างว่าคลาสจี (Class g) คณะทำงานชุดนี้ใช้เทคโนโลยีโอเอฟดีเอ็มมาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g ซึ่งความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงที่สุดที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที ส่วนรัศมีของสัญญาณจะอยู่ระหว่าง IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b ได้อีกด้วย

IEEE 802.11n ในส่วนนี้มีมีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดด้วยการใช้เทคโนโลยีมากมายเข้ามาเพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลให้สูงขึ้นโดยจะมีความเร็วอยู่ที่ 300 เมกะบิตต่อวินาทีหรือเร็วกว่าระบบแลนแบบมีสายที่มาตรฐาน 100 BASE-TX นอกจากนี้ยังมีระยะการให้บริการเพิ่มขึ้น โดยเทคโนโลยีที่มาตรฐาน 802.11n นำมาใช้คือเทคโนโลยีโมโม (MIMO : multiple-input and multiple-output) ซึ่งมีการรับส่งข้อมูลจากสายส่งหลาย ๆ ต้นพร้อม ๆ กัน ทำให้ได้ความเร็วสูงขึ้น และยังใช้คลื่นความถี่แบบความถี่คู่ (Dual-Band) คือใช้ความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ และ 5 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้น ๆ ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับความถี่ใด หากประเทศใดที่ยังไม่มีการอนุมัติให้ใช้เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11a อาจจะมีปัญหาเมื่อจะใช้งานเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11n

IEEE 802.11ac เป็นมาตรฐานที่จะมาแทนมาตรฐาน IEEE 802.11n โดยมีผู้ผลิตชิปเซ็ตอย่าง Broadcom และเหล่าผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายชั้นนำร่วมผลักดันมาตรฐานนี้ให้เข้าไปอยู่ในมาตรฐาน Wi-Fi Alliance ให้ได้ มาตรฐาน IEEE 802.11ac นั้น ได้มีการปรับปรุงเรื่องของการเข้ารหัสใหม่และมีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้ ทำให้สามารถทำความเร็วต่ำสุดตามทฤษฎีต่อ 1 เสาถึง 433 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEEE 802.11n ที่เป็นแบบ 3 เสา ซึ่งมีความเร็วอยู่ที่ 450 เมกะบิตต่อวินาที การที่ IEEE 802.11ac ออกแบบมาโดยคำนึงถึงอุปกรณ์พกพาแบบต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือโน้ตบุ๊ก ที่มีความบางมาก ๆ เป็นสำคัญ เพราะว่าการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้เน้นการเชื่อมต่อไร้สายกันมากขึ้น แต่ก็ไม่ค่อยมีพื้นที่ในการใส่เสารับส่งสัญญาณจำนวนมากและถึงใส่ได้ก็มักมีปัญหาเรื่องพลังงานอยู่ดี ทำให้เกิดการจำกัดความเร็วในการเชื่อมต่อผ่านระบบไร้สาย แต่ด้วยความเร็วขั้นต่ำที่มาตรฐานนี้ทำได้อาจจะช่วยให้การโอนถ่ายข้อมูลมีความเร็วมากขึ้นโดยไม่ต้องใช้เสารับส่งสัญญาณจำนวนมาก ซึ่งประหยัดพลังงานอีกด้วย

IEEE 802.11ad หรือคลาส เอดี (Class ad) หรือ WiGig เกิดจากการผลักดันจากผู้ผลิตฮาร์ดแวร์ เมื่อ พ.ศ. 2012 Marvell และ Wilocity ได้ประกาศการเป็นคู่ค้าใหม่เพื่อนำ Wi-Fi Solution แบบ Tri-Band ใหม่ออกสู่ตลาด โดยการใช้ความถี่ที่ 60 กิกะเฮิรตซ์สำหรับส่งข้อมูลมากในระยะใกล้ ๆ ค่าวิสัยสามารถทางทฤษฎีสูงถึง 7 กิกะบิตต่อวินาที

2.2.2 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN

ลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่าย WLAN ทั่วไปแล้วอุปกรณ์ในเครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะเชื่อมต่อกันในลักษณะของโหมด Infrastructure ซึ่งเป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายใน WLAN สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นได้ โหมด Infrastructure นี้เครือข่าย IEEE 802.11 WLAN จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Desktop, Laptop, หรือ PDA ต่าง ๆ) ที่มีอุปกรณ์ Client Adapter เพื่อใช้รับส่งข้อมูลผ่าน IEEE 802.11 WLAN และสถานีแม่ข่าย (Access Point) ซึ่งทำหน้าที่ต่อเชื่อมสถานีผู้ใช้เข้ากับเครือข่ายอื่น

2.2.3 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)

กลไก CSMA/CA ถูกนำมาใช้เพื่อจัดสรรการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน CSMA with Random Back-Off เป็นเทคนิคอย่างง่ายสำหรับจัดสรรการใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้งานแต่ละคนอย่างยุติธรรม หลักการทำงานของ CSMA คือเมื่อสถานีหนึ่งต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณ สถานีดังกล่าวต้องตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่ามีสถานีอื่นทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่และรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างแล้วสถานีที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะต้องรอต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่งซึ่งแต่ละสถานีได้กำหนดระยะเวลาในการรอดังกล่าวไว้แล้วด้วยการสุ่มค่าหลังจากเสร็จการใช้ช่องสัญญาณครั้งก่อน สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะมีสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณก่อน แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีกลไกดังกล่าวอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลในเวลาพร้อม ๆ กันซึ่งจะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณได้

สำหรับการหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้น มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาที่แต่ละสถานีใน Basic Service Set (BSS) หรือ Independent Basic Service Set (IBSS) อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นบางสถานี (Hidden Node Problem) กลไกดังกล่าวมีการทำงานดังนี้ เมื่อสถานีที่ต้องการจะส่งแพคเกจข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้วจะทำการส่งแพคเกจสั้นๆ ที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพคเกจข้อมูลจริง ซึ่งแพคเกจ RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึง Address ของสถานีผู้ส่งและผู้รับ เมื่อสถานีผู้รับได้ยินสัญญาณ RTS ก็จะต้องรีบกลับมาด้วยการส่งสัญญาณ CTS (Clear To Send) ซึ่งจะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าจะสถานีที่กำลังจะทำการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุก ๆ สถานีใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้ยินสัญญาณ RTS หรือไม่มี CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS ทุก ๆ สถานีจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่จะระบุไว้ใน Duration ID ซึ่งช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกสถานีที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้ง

ค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ทุก ๆ สถานีจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวเข้าร่วมกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริง ๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่ดังในงานวิจัย

2.3 เทคโนโลยีสายอากาศ

2.2.1 สายอากาศ(Antenna)

สายอากาศเป็นหัวใจสำคัญของเครือข่ายไร้สายซึ่งสายอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน สายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศโทรทัศน์ในบ้าน มักติดตั้งไว้บนหลังคา ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไม้คัลอย เป็นเพียงสายไฟสั้นๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือเป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็ก ๆ เท่านั้น คำว่าสายอากาศ เป็นศัพท์เฉพาะด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์บัญญัติขึ้นจากคำศัพท์ในภาษาอังกฤษ "antenna" หรือ "aerial" ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจเขียนอักษรย่อ Ant. อย่างไรก็ตาม บุคคลทั่วไปนิยมเรียกว่า เสาอากาศ อาจจะเป็นเพราะเดิมใช้เสาสูงๆ สำหรับติดตั้งสายอากาศนั่นเอง สายอากาศเป็นส่วนที่ใช้แพร่กระจายคลื่นความถี่วิทยุออกไปตามการออกแบบใช้งานของสายอากาศ ส่วนความถี่ใช้งานนั้นจะถูกออกแบบให้ใช้ตามย่านความถี่นั้น ๆ เฉพาะ ไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz ต้องใช้กับสายอากาศ 2.4 GHz เท่านั้น (ยกเว้นอุปกรณ์ภาครับอย่างเดียวเช่น วิทยุ FM-AM)

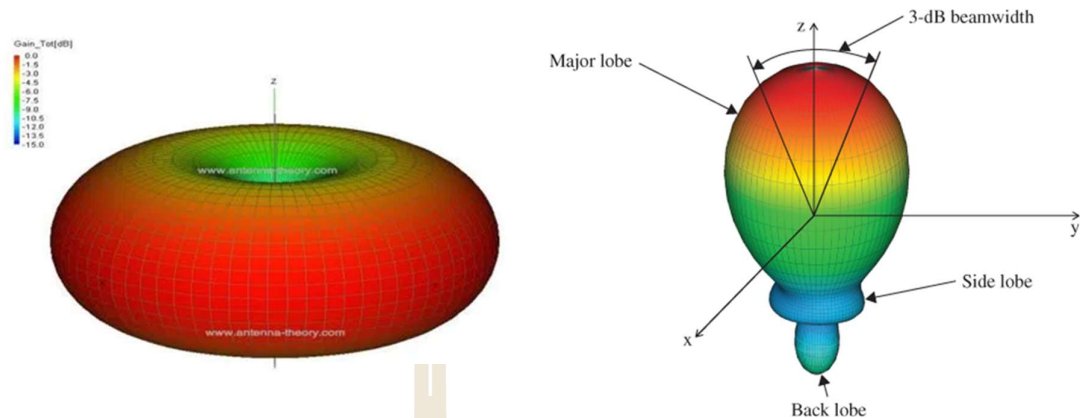
ช่วงความถี่ (Bandwidth) ของสัญญาณคือความแตกต่างระหว่างสัญญาณความถี่สูงและต่ำ จะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น (Wavelength, λ) ซึ่งแต่ละความถี่ก็จะถูกออกแบบสายอากาศแตกต่างกันไปตามการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงช่วงความถี่ ความยาวคลื่น และการใช้งาน

Frequency Band Name	Frequency Range	Wavelength (Meters)	Application
Extremely Low Frequency (ELF)	3-30 Hz	10,000-100,000 km	Underwater Communication
Super Low Frequency (SLF)	30-300 Hz	1,000-10,000 km	AC Power (though not a transmitted wave)

Ultra-Low Frequency (ULF)	300 - 3000 Hz	100-1,000 km	
Very Low Frequency (VLF)	3-30 kHz	10-100 km	Navigational Beacons
Low Frequency (LF)	30-300 kHz	1-10 km	AM Radio
Medium Frequency (MF)	300 - 3000 kHz	100-1,000 m	Aviation and AM Radio
High Frequency (HF)	3-30 MHz	10-100 m	Shortwave Radio
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	1-10 m	FM Radio
Ultra-High Frequency (UHF)	300 - 3000 MHz	10-100 cm	Television, Mobile Phones, GPS
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	1-10 cm	Satellite Links, Wireless Communication
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	1-10 mm	Astronomy, Remote Sensing
Visible Spectrum	400 - 790 THz	380 - 750 nm (nanometers)	Human Eye

ทั้งนี้สายอากาศสามารถออกแบบให้ส่งหรือรับคลื่นวิทยุได้ในทุกทิศทางแนวราบเท่ากันที่เรียกว่าสายอากาศรอบตัว (Omnidirectional antenna) สามารถรับส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ รับและส่งได้ในทิศทางเฉพาะที่เรียกว่าสายอากาศเฉพาะทิศทาง (Directional antenna) หรือสายอากาศอัตราขยายสูง (High gain antenna) สามารถรับส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดและจะมีอัตราขยาย (gain) สูงกว่าประเภทอื่น สายอากาศทั้งสองแบบมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น จากสายอากาศมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปแบบของสายอากาศเป็นหลัก



รูปที่ 2.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศรอบตัวและสายอากาศเฉพาะทิศทาง

อัตราขยาย (gain) เป็นความสามารถของสายอากาศในการรับส่งคลื่นวิทยุ สายอากาศแต่ละแบบมีอัตราขยายแตกต่างกัน สายอากาศแบบทิศทางเดียวจะมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศแบบกึ่งรอบตัว และแบบรอบตัวโดยลำดับ ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป สายอากาศที่มีอัตราขยายสูง จะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ได้ดีมาก ตัวเลข ซึ่งมีหน่วยวัดอัตราการขยายได้แก่

dB_i เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบ Isotropic

dB_d เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบ Dipole

โดยที่ $2.15 \text{ dB}_i = 0 \text{ dB}_d$

อัตราขยายยิ่งสูง ระยะทางยิ่งไปได้ไกลขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงการกระจายคลื่นจะยิ่งแคบลง

คุณสมบัติของสายอากาศในทางทฤษฎีจะมีลักษณะการกระจายคลื่นสองแบบคือ

1. แนวตั้ง (Vertical) จะมองการแพร่กระจายคลื่นจากมุมมองด้านข้างของสายอากาศ
2. แนวนอน (Horizontal) จะมองการแพร่กระจายคลื่นจากมุมมองด้านบนของสายอากาศ

แต่ในความเป็นจริงการกระจายคลื่นมีหลายรูปแบบทั้งแบบแนวสายตา สะท้อนวัตถุ สะท้อนผิวโลก หรือชั้นเมฆ ขึ้นอยู่กับระยะทาง สิ่งกีดขวาง ฯลฯ

2.2.2 สายอากาศฉลาด (Smart Antenna)

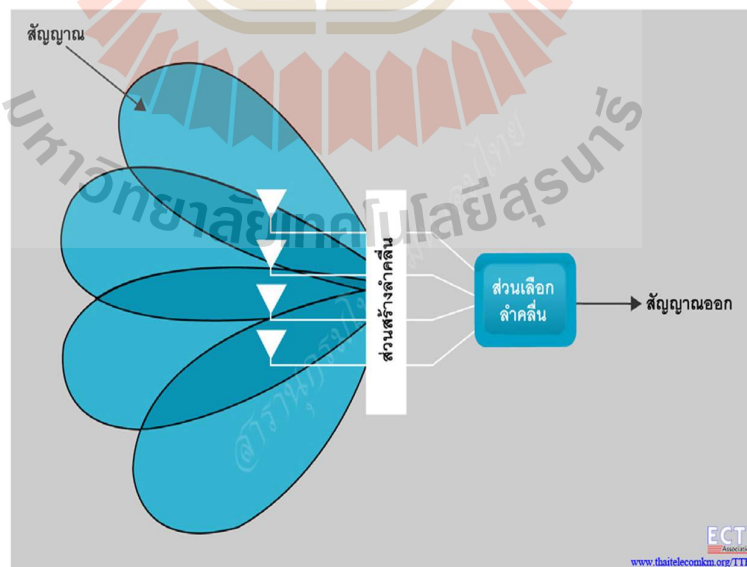
สายอากาศฉลาดประกอบด้วยกลุ่มของสายอากาศหลาย ๆ ต้น จัดเรียงตัวกันในรูปแบบต่าง ๆ ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณทั้งทางเวลาและทางพื้นที่ ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสื่อสารไร้สายดีขึ้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการสื่อสารไร้สาย เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของช่องสัญญาณซึ่งมีอยู่จำกัดในขณะที่จำนวนผู้ใช้งานการสื่อสารไร้สายเพิ่มมากขึ้น สายอากาศฉลาด

ช่วยปรับปรุงความสามารถของระบบ ได้โดยการเพิ่มความจุของช่องสัญญาณและประสิทธิภาพในการจัดการสเปกตรัม การขยายขอบเขตการครอบคลุมของสัญญาณ และการปรับลำคลื่นของสัญญาณหลายๆ ลำคลื่นตามทิศทางของสัญญาณ

นอกจากนี้ ยังช่วยลดปัญหาการประวิงเวลา(delay) ของสัญญาณ ซึ่งเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่สัญญาณที่มาถึงทางด้านรับมากกว่าหนึ่งเส้นทางเนื่องจากการสะท้อนของสัญญาณกับวัตถุต่าง ๆ เช่น อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น สัญญาณเหล่านี้แม้จะเป็นสัญญาณเดียวกัน มาจากแหล่งเดียวกัน แต่มาถึงปลายทางไม่พร้อมกันดังนั้นสัญญาณจะถูกประวิงไปมากน้อยไม่เท่ากัน ตามเส้นทางที่มีระยะสะท้อนต่างกัน ปัญหาเหล่านี้สามารถทำให้ลดน้อยลงได้ด้วยการใช้งานสายอากาศผลาด ที่มีสามารถในการปรับลำคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการ ในขณะที่เดียวกันก็จะสามารถกำหนดไม่ให้รับสัญญาณ ที่ไม่ต้องการได้เช่นกัน

สายอากาศผลาดแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก ดังนี้

1. สายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่น (Switched beam antenna) ประกอบด้วยสายอากาศชนิดระบุทิศทางแบบเจาะจงทิศทางซึ่งมีลักษณะลำคลื่นแคบ (Narrow beam) ซึ่งไปในทิศทางที่ต้องการ สายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่นถูกออกแบบโดยการนำสายอากาศชนิดระบุทิศทางมาจัดเรียงกันในทิศทางต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยขณะใช้งานระบบจะเลือกลำคลื่นหนึ่งจากหลายๆ ลำคลื่น เพื่อใช้ในการรับและการส่งสัญญาณ โดยทั่วไปลำคลื่นที่ถูกเลือก คือ ลำคลื่นที่มีทิศทางของสัญญาณที่แรงที่สุด



รูปที่ 2.2 สายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่นกับโครงสร้างพื้นฐาน

การทำงานของสายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่นประกอบด้วยสี่ขั้นตอนดังนี้

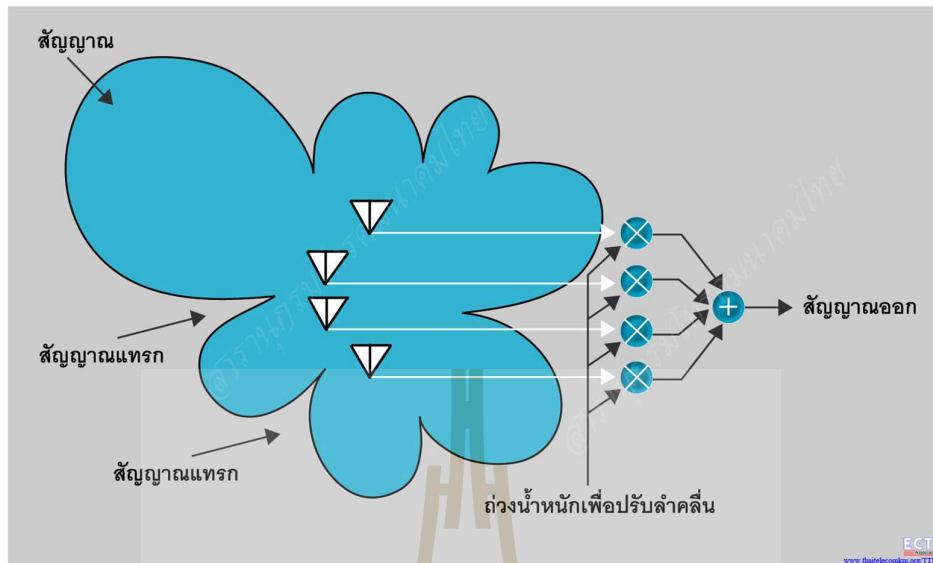
- ตรวจสอบทิศทางความแรงของสัญญาณ
- ทำการเลือกลำคลื่นเพียงหนึ่งลำคลื่น ที่ถูกเลือกไว้อย่างเหมาะสม
- ใช้ลำคลื่นในทิศทางที่เลือกไว้เมื่อผู้ใช้ไม่มีการเคลื่อนที่
- สับเปลี่ยนลำคลื่นเดิมไปยังลำคลื่นใหม่ เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่น

นอกจากนี้การรวมสัญญาณออกของสายอากาศหลายๆ ตัว ทำให้สายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่นสามารถสร้างแบบรูปการแผ่พลังงานได้หลากหลายมากขึ้นซึ่งทำให้ระบบมีทางเลือกของแบบรูปการแผ่พลังงานที่มากกว่าการใช้สายอากาศต้นเดียว

สายอากาศแบบปรับเลือกลำคลื่นมีข้อดีคือ มีความซับซ้อนน้อย สามารถติดตามสัญญาณได้รวดเร็วตามอัตราการปรับเปลี่ยนลำคลื่น แต่ก็ยังมีข้อด้อยคืออัตราการขยายสัญญาณต่ำในทิศทางที่อยู่ระหว่าง ลำคลื่นและการลดจำนวนสัญญาณแทรกมีข้อจำกัด รวมทั้งในกรณีที่สัญญาณไม่ชัดเจน มีการบดบังสัญญาณ มีการแทรกสอดของสัญญาณ หรือมีสัญญาณมาถึงในมุมกว้างหลายๆ มุม อาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณได้

2. สายอากาศแบบปรับตัวได้ (Adaptive array antenna)

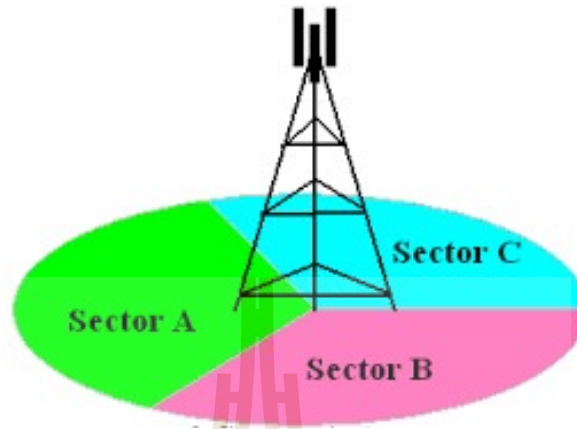
สายอากาศชนิดที่สามารถปรับเปลี่ยนลำคลื่นให้ชี้ไปในทิศทางใดๆ ได้โดยอิสระโดยในด้านส่งจะทำการปรับเปลี่ยนสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นเพื่อให้รูปแบบการแพร่กระจายของลำคลื่นแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโดยรวมปรับเปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการ ส่วนในด้านรับ จะใช้การปรับเปลี่ยนสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้น เพื่อให้ได้สัญญาณในทิศทางที่ต้องการมีความแรงขึ้น ในขณะเดียวกันก็ลดทอนความแรงของสัญญาณในทิศทางที่ไม่ต้องการด้วย ดังรูปที่ 2.3 การปรับเปลี่ยนสัญญาณเหล่านี้สามารถทำได้ด้วยวิธีทางดิจิทัลโดยใช้วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าที่มี การปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักอัตโนมัติ โดยหาค่าผิดพลาดจากการประมาณที่ น้อยที่สุดระหว่างรูปแบบการแพร่กระจาย แบบรูปการแผ่พลังงานของลำคลื่นที่ออกแบบ กับรูปแบบการแพร่กระจายแบบรูปการแผ่พลังงานของลำคลื่นจริง สายอากาศปรับตัวได้มีข้อดีคือมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ดี ไม่ต้องการการปรับแต่งสายอากาศ (Calibration) มีประสิทธิภาพดี แม้แต่ในกรณีที่จำนวนสัญญาณมากกว่าจำนวนสายอากาศ แต่ก็ยังมีข้อด้อยคือ มีความซับซ้อนสูงมากกว่าสายอากาศฉลาดแบบปรับเลือกลำคลื่น ต้องการสัญญาณอ้างอิงที่ดี เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และต้องการหน่วยประมวลผลความเร็ว



รูปที่ 2.3 พื้นฐานสายอากาศแบบปรับตัวได้

2.2.3 สายอากาศแบบแบ่งส่วน (Sector antenna)

สายอากาศแบบแบ่งส่วนหรือสายอากาศแบบเซ็กเตอร์คือชนิดของสายอากาศแบบเจาะจงทิศทางซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของการแพร่กระจายคลื่น การแบ่งส่วน (sector) ถูกใช้กับความหมายของเรขาคณิตซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวัดรอบวงกลมในลักษณะมุม 60° , 90° , และ 120° การออกแบบ จะมีมุมเล็กน้อยที่รองรับการซ้อนทับกันเมื่อติดตั้งลักษณะหลายๆเซ็กเตอร์ การติดตั้งเป็นลักษณะเป็นวงกลม ส่วนใหญ่ใช้สำหรับสายอากาศ ของสถานีฐานของโทรศัพท์ (cell phone based-station) แต่ก็ถูกใช้ในลักษณะของการสื่อสารโทรศัพท์ไร้สาย (mobile communications) เช่น Wi-Fi Network ข้อจำกัดคือระยะทางประมาณ 4-5 กิโลเมตรหรือชนิดของเซ็กเตอร์ สายอากาศแบบเซ็กเตอร์นี้จะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบลักษณะFan-Shape (ทิศทาง Horizontal ลักษณะกว้างและ Vertical ลักษณะแคบ) ที่เห็นใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นแบบ 3 เซ็กเตอร์ความกว้าง horizontal ของลำคลื่นมุม 66° ซึ่งหมายถึงความแรงของสัญญาณจะมีมุม $\pm 33^\circ$ (3dB down) จากความแรงสัญญาณสูงสุดที่จุดกึ่งกลาง (Center) และที่มุม $\pm 60^\circ$ เป็นบริเวณขอบของความแรงสัญญาณเซ็กเตอร์ซึ่งอัตราขยายของสายอากาศจะมีเพียงเล็กน้อย ความกว้าง Vertical ของลำคลื่นไม่มากกว่า 15° ซึ่งหมายถึง 7.5° ในแต่ละทิศทาง



รูปที่ 2.4 สายอากาศแบบ 3 เซ็กเตอร์

สายอากาศแบบเซ็กเตอร์ถูกนำมาใช้งานเพื่อเพิ่มความกว้างของพื้นที่ควบคุม และจำนวนผู้ใช้งาน สายอากาศแบบเซ็กเตอร์จะถูกติดตั้งอยู่ที่เดียวกันและแยกตามมุมที่แตกต่างกัน ในการติดตั้งจะไม่ติดตั้งในแนวราบ (azimuth) แต่จะติดตั้งเพื่อยิงลงมาหาพื้น พลังงานถูกปล่อยออกมาอย่างจำกัด ด้วยพื้นที่ Vertical และมุมที่แคบ ทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ใช้พลังงานการส่งน้อย ถึงแม้ว่าระยะการส่งจะจำกัดแต่กลับให้อัตราเร็ว (data rates) ที่สูงและประสิทธิภาพของสัญญาณที่ครอบคลุมพื้นที่สม่ำเสมอ การส่งสัญญาณลงด้านล่างช่วยแก้ปัญหา เช่น การรบกวนกันของ cell ใหญ่ๆ ซึ่งเซ็กเตอร์ช่วยลดความกว้างของลำคลื่น สายอากาศแบบเซ็กเตอร์นี้มีประโยชน์หลายอย่างไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มความจุของระบบ ลดการรบกวนกันของสัญญาณ เพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่ง สามารถเพิ่มกรณีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse factor) ได้มากขึ้น และยังสะดวกต่อการติดตั้งและบำรุงรักษาอีกด้วย

2.4 ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

หมายถึงปริมาณงานที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้ มักใช้เปรียบเทียบระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน โดยจะต้องนับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในเรื่องเดียวกัน หรือจะต้องกำหนดเวลาให้เท่ากัน แล้วเปรียบเทียบดูว่าคอมพิวเตอร์ใดจะมีปริมาณงานมากกว่ากัน นั่นคือความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยปราศจากข้อผิดพลาดใด ๆ ต่อหน่วยเวลา ซึ่งก็คือเป็นจำนวน transaction/request ที่ถูกสร้างขึ้นหรือทำงานได้ในช่วงเวลาการทดสอบหนึ่งๆ ค่าใช้สำหรับบอกว่า

ระบบงานมีความสามารถในการจัดการงานจำนวนเท่าไรในแต่ละหนึ่งหน่วยเวลานั้น ๆ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที(bps)

2.5 ค่าความหน่วง (delay)

เวลาที่หน่วงทั้งหมดมาจาก เวลาที่อุปกรณ์ทำงาน, เวลาที่ข้อมูลรอคิวเพื่อส่งอยู่, เวลาที่ใช้ในการส่ง ข้อมูลออกไป, เวลาที่ข้อมูลวิ่งผ่านสายไฟใน

2.6 สรุปรูปที่ศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถแบ่งปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารในระบบไร้สายภายใต้มาตรฐาน 802.11 มีการพิจารณาค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วงจากรูปแบบการใช้งานของสายอากาศผลลาด พิจารณาจากการรับส่งข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ พิจารณาช่วงเวลาที่ใช้งาน สายอากาศแบบเจาะจงทิศทางมาใช้ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะมีมีการพิจารณาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์แสดงค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วง มีรูปแบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์ และบางงานวิจัยก็มีการวัดจริงด้วย

สายอากาศผลลาด

จากอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันมีการวิเคราะห์เพื่อนพัฒนาประสิทธิภาพของเครือข่ายไร้สาย ได้มีการเสนอแนวคิดต่าง ๆโดยมีค่าวิสัยสามารถ เวลาหน่วง เป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งในงานวิจัยที่ [1] ,[2], [5], [6] ได้นำเสนอการพิจารณาระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้สายอากาศผลลาดเข้ามาแก้ปัญหาเรื่องการรบกวนกันของสัญญาณที่ภาครับ งานวิจัยดังกล่าวได้ใช้สายอากาศผลลาด และพิจารณาด้วยการใช้งานห่วงโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) ในพื้นที่การส่งที่ไม่มีการรบกวนกันของสัญญาณ งานวิจัยนี้ดังกล่าวพบว่าสายอากาศแบบปรับตัวได้ให้ค่าวิสัยสามารถดีที่สุด พิจารณาโปรโตคอลในชั้น MAC และ PHY ที่มีการใช้ RTS/CTS เข้ามาพิจารณา ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้สายอากาศผลลาดทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถที่สูง

Contention Window Size

ในงานวิจัยที่ [3] นำเสนอการพิจารณาขนาดของ Contention Window Size ที่เหมาะสมต่อการใช้งานเมื่อมีจนวนโนดและจำนวนการสื่อสารพร้อม ๆ กันที่แตกต่างกันไปว่าควรใช้ Contention Window Size ขนาดเท่าใดจึงจะเหมาะสม

Program Computer

ในงานวิจัยที่ [4],[11] นำเสนอการพิจารณาการใช้สายอากาศผลลาดในเครือข่ายไร้สายซึ่งพิจารณาด้วยการจำลองใน Network Simulator-2 ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งมีการพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักของระบบสายอากาศพิจารณาว่าได้รับข้อมูลจากไหนแล้วพิจารณาอัตราขยายพร้อมกับ

พิจารณากำลังส่งเพื่อที่จะช่วยในเรื่องของการหาปลายทางที่จะส่งว่าถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้ยังมีการพิจารณามุมของการส่งเมื่อมีการส่งหลายทิศทางอีกด้วย พบว่าเมื่อมีมุมที่มากขึ้นจะได้ค่าวิสัยสามารถที่คงที่

สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง

ในงานวิจัยที่ [7]-[9] นำเสนอรูปแบบการพิจารณาค่าวิสัยสามารถด้วยการใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทางใน ช่วยในการกำหนดรูปแบบลำคลื่น ในงานวิจัยที่ [10] นำเสนอการใช้สายอากาศแบบเจาะจงทิศทางมาใช้ร่วมกันโดยแบ่งส่วน งานวิจัยที่ [12] ใช้สายอากาศแบบหลายตัว แก้ปัญหาในการใช้งานโปรโตคอลของ MAC งานวิจัยที่ [13] เพิ่มอัตราขยายความจุ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคืออัตราขยายที่ใช้งานและความกว้างลำคลื่นที่ใช้

ห้วงโซ่มาคอฟควบคุมกับการใช้ RTS/CTS

ในงานวิจัยที่ [14] – [24] , [29] นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถด้วยการใช้ห้วงโซ่มาคอฟพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการส่งข้อมูล และวิเคราะห์ควบคู่ไปกับการใช้งาน RTS/CTS เพื่อหาค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วงขอแต่ละระบบที่พิจารณา จะแตกต่างกันออกไปตามการพิจารณาขนาดของหน้าต่างและการกำหนดพารามิเตอร์ในชั้น MAC และ PHY ที่แตกต่างกันออกไป

โปรโตคอล

ในงานวิจัยที่ [25] นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการพิจารณา MAC โปรโตคอลในระบบสื่อสารไร้สายพบว่าค่าวิสัยสามารถจะขึ้นอยู่กับจำนวนสถานีที่ใช้งานและภาระงานสูงสุดที่ระบบได้รับ และเมื่อปรับขนาดหน้าต่างก็จะพบค่าวิสัยสามารถที่คงที่อีกด้วย

โนดคอขวด

ในงานวิจัยที่ [26] นำเสนอการพิจารณาการสื่อสารทิศทางเดียวโดยใช้ RTS/CTS โดยจะพิจารณาที่โนดคอขวดเป็นสำคัญซึ่งเป็นโนดที่มีการจราจรคับคั่งที่สุดซึ่งจะเป็นตัวบอกได้ว่าประสิทธิภาพของระบบจะเป็นอย่างไร และเมื่อพิจารณาภาระงานของระบบเปลี่ยนไประดับหนึ่งจะได้ค่าวิสัยสามารถที่คงที่อีกด้วย

เวลาในการรับ-ส่งข้อมูล

ในงานวิจัยที่ [27] , [30] นำเสนอการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการพิจารณาเวลาต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการสื่อสารไร้สายภายใต้ปรากฏการณ์ระงับ (Capture Effect) โดยใช้ความน่าจะเป็นของ Capture เข้ามาพิจารณา ซึ่งจะทำได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับจำนวนโนดที่จะใช้งาน ทั้งนี้ยังได้เปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์อีกและพบว่าไปในทิศทางเดียวกัน

จำนวน Active Node

ในงานวิจัยที่ [28] นำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการพิจารณาโนดที่ใช้งานเพื่อนำไปสู่การหาค่าวิสัยสามารถพบว่ายิ่งจำนวนโนดมากขึ้นยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลง

จากการสำรวจบริษัทนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดพบว่า การมุ่งประเด็นไปยัง การพิจารณาคว่าวิสัยสมารถและเวลาหน่วงของระบบการสื่อสารไร้สายภายใต้ IEEE 802.11 มีการพิจารณาหลากหลายรูปแบบ ทั้งการใช้เทคนิคสายอากาศฉลาด การพัฒนาโปรโตคอล การพิจารณา โหนดที่ใช้งาน พิจารณาโนดคอขวด พิจารณาโปรโตคอลหรือปรับเปลี่ยนโปรโตคอล เป็นต้น แต่ผู้วิจัยจึง ได้เล็งเห็นว่ายังมีอีกแนวทางคือการใช้งานสายอากาศแบบแบ่งส่วน ซึ่งเป็นการใช้งานสายอากาศแบบ เจาะจงทิศทางรวมกันหลายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยไม่จำเป็นต้องไปยุ่งยากในส่วนของ การปรับปรุงโปรโตคอลเดิมที่ได้อยู่แล้วซึ่งง่ายต่อการใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีในปัจจุบัน ผู้วิจัยเห็นถึง ความจำเป็นที่จะต้องริเริ่มการทำวิจัยในการพิจารณาระบบสื่อสารท้องถิ่นไร้สายที่สายอากาศแบบ หลายเซ็กเตอร์เพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้งานด้วยการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ การใช้สายอากาศแบบหลายเซ็กเตอร์

2.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เริ่มด้วยมาตรฐานของการใช้งานการ สื่อสารไร้สายที่ใช้งานกันเป็นมาตรฐานระดับโลก ต่อด้วยหัวใจหลักของการใช้งานการสื่อสารไร้สาย นั้นก็คือสายอากาศ ซึ่งเป็นหลักสำคัญเพราะเป็นตัวรับส่งสัญญาณของการสื่อสารไร้สาย ซึ่งมี หลากหลายรูปแบบและมีการปรับปรุงพัฒนามาจนเกิดสายอากาศฉลาดที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย จนมาถึงสิ่งที่บ่งบอกประสิทธิภาพของระบบนั้นคือคว่าวิสัยสมารถและเวลาหน่วง ซึ่งเป็นตัวหลักใน การบอประสิทธิภาพการสื่อสาร และในบทนี้ยังอ้างอิงถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน สายอากาศและรูปแบบวิธีการวิเคราะห์คว่าวิสัยสมารถและเวลาหน่วง ตลอดจนรูปแบบการรับส่ง ข้อมูลในระบบเครือข่ายไร้สายที่ได้ประสิทธิภาพของโนดการสื่อสารไร้สายที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เมื่อมีผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น

บทที่ 3

การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วง

3.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและเวลาหน่วงที่ผ่านมาพบว่านิยมใช้วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยจะเน้นการพิจารณาจากการใช้ความน่าจะเป็นจากห่วงโซ่มาคอฟ (Markov chain) เพื่อพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสื่อสารแบบไร้สายขึ้น นั่นคือ อาจเกิดการชนกันของข้อมูลเมื่อส่งออกไป หรือเกิดการส่งไปแล้วข้อมูลเสียหายทำให้เกิดการรับข้อมูลที่ผิดพลาดหรือไม่สำเร็จ เป็นต้น ซึ่งมักจะมีการนำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับการจำลองสถานะการณ์ในคอมพิวเตอร์และการวัดผลทดลองจากการทดลองจริง เพื่อให้เห็นได้ชัดเจนว่าสิ่งที่วิเคราะห์หรือระบบที่กำลังวิเคราะห์มีประสิทธิภาพอย่างแท้จริง

3.2 รูปแบบห่วงโซ่มาคอฟ

ตัวแบบมาร์คอฟ (Markov Model) คือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวแปร เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมในอนาคตของตัวแปรนั้น มีการอนุมานว่าความน่าจะเป็นของ State ปัจจุบัน เกิดจากความน่าจะเป็นของ State ก่อนหน้า ดังนั้น ทุก ๆ State จึงมีการยึดโยงกับ State ก่อนหน้า เหมือนกับการทำนายดินฟ้าอากาศ เพื่อหาความน่าจะเป็นในการเกิดปรากฏการณ์ ฟ้าโปร่ง ฝนตก หรือ มีเมฆ โดยการหาความน่าจะเป็นในการเกิดปรากฏการณ์นั้น ๆ

1. เหตุการณ์ (Event) : สิ่งนี้อาจเกิดขึ้นหรือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
2. สถานะหรือสถานะ (State) : สภาพที่เป็นอยู่ในเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งสถานะนั้น ๆ อาจจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลงก็ได้ แต่ในระยะยาว สถานะนั้น ๆ จะคงที่

แต่เนื่องจาก Markov Model มีข้อจำกัด จึงมีแนวคิดค้น Hidden Markov Model ขึ้นมา โดยให้การอนุมานว่า ความน่าจะเป็นของ State ปัจจุบัน เกิดจากความน่าจะเป็นของ State ก่อนหน้าก็จริง แต่เราไม่สามารถรู้สิ่งที่เกิดขึ้นจาก State เหล่านั้นได้ เพราะ State เหล่านั้นถูกซ่อนอยู่ ทำให้เราต้องหาความน่าจะเป็นจาก State ที่ไม่ถูกซ่อนไว้ เหมือนกับการที่เราเป็นนักโทษ เราไม่เห็นเดือนเห็นตะวัน เราไม่รู้ว่่าตอนนี้ข้างนอก ฟ้าโปร่ง, ฝนตก หรือ มีเมฆ เราเพียงหาความน่าจะเป็นได้จากผู้คุมนักโทษที่เอาอาหารมาส่งเรา ว่าเขาถือร่มหรือไม่ถือร่มมา จากนั้นเราก็อนุมานต่าง ๆ นา ๆ ว่าอากาศข้างนอกน่าจะเป็น ฟ้าโปร่ง หรือ ฝนตก หรือ มีเมฆ เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีประเด็นเรื่องของทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งเป็นแกนหลักของ Hidden Markov Models ซึ่งอย่างที่เรารู้ ๆ กันว่า ทฤษฎีความน่าจะเป็น คือทฤษฎีที่เราจะคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากอัตราส่วนของ จำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ หารด้วย จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด ถ้าเราเปรียบเทียบว่า Hidden Markov Models เป็นระบบปฏิบัติการ บรรดาอัลกอริทึมต่าง ๆ อย่าง Baum–Welch algorithm, Viterbi algorithm และ Forward–backward algorithm ก็เปรียบได้กับ Device Driver ที่สร้างมาเพื่อใช้กับระบบปฏิบัติการ นั่นคือยังมีโอกาสอีกมากมายในอนาคต ที่จะมีผู้คิดค้นวิจัยพบอัลกอริทึมใหม่ ๆ เพื่อมาใช้กับ Hidden Markov Models เหมือนกับที่มีการสร้าง Device Driver ใหม่ ๆ เพื่อมาใช้กับระบบปฏิบัติการ

เรื่องของการประยุกต์ใช้งาน Hidden Markov Models ไปยังสาขาต่าง ๆ ซึ่งปัจจุบันผู้เผยแพร่ที่ถนัดเฉพาะด้านก็จะเน้นแต่งตำราเพื่อใช้ Hidden Markov Models กับสาขาของตัวเอง โดยหนังสือที่ผมเห็นส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์ทางด้าน Speech Recognition, การเงิน และ Bioinformatics

สรุปแล้ว การจะทำความเข้าใจกับ Hidden Markov Models ได้ต้องทำความเข้าใจ 4 ลำดับอันได้แก่

1. ทำความเข้าใจกับทฤษฎีพื้นฐานก่อนจะมาเป็น Hidden Markov Models และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ทำความเข้าใจกับทฤษฎีของตัว Hidden Markov Models เอง
3. ทำความเข้าใจกับอัลกอริทึมต่าง ๆ ที่สร้างขึ้นเพื่อ Hidden Markov Models ซึ่งเปรียบได้กับการทำความเข้าใจ Device Drivers ที่สร้างขึ้นเพื่อระบบปฏิบัติการ
4. ทำความเข้าใจกับวิธีการในการประยุกต์ Hidden Markov Models เพื่อใช้แก้ปัญหาในเรื่องที่เราสนใจ

คุณสมบัติสำคัญของปัญหา ที่จะนำตัวแบบมาร์คอฟมาแก้ปัญหา

- ปัญหานั้นต้องมีผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจำนวนที่แน่นอนจำนวนหนึ่ง
- ค่าความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ถัดไป ต้องขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ก่อนหน้า
- ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดผลลัพธ์ต่าง ๆ ต้องมีค่าคงที่เสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป

Transition Probability (ความน่าจะเป็นการเปลี่ยน)

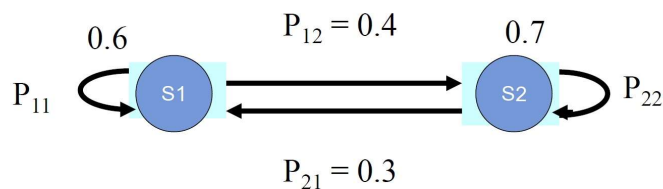
- สัญลักษณ์ S แทนสถานะ j ใด ๆ (เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, n$) เช่น บริษัทหนึ่งมีพนักงาน 3 สถานะ
 $S_1 =$ พนักงานระดับปฏิบัติการ, $S_2 =$ หัวหน้างาน, $S_3 =$ ผู้บริหาร
- สัญลักษณ์ S_{ij} แทน ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก S_i ไป S_j

เช่น $P_{12} = 0.4$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก

S_1 ไปเป็น S_2 มีค่าเท่ากับ 0.4

การแสดงค่าความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสามารถทำได้ 2 วิธี

- วิธีที่ 1 การใช้ไดอะแกรมแสดงสถานะ (State Diagram)

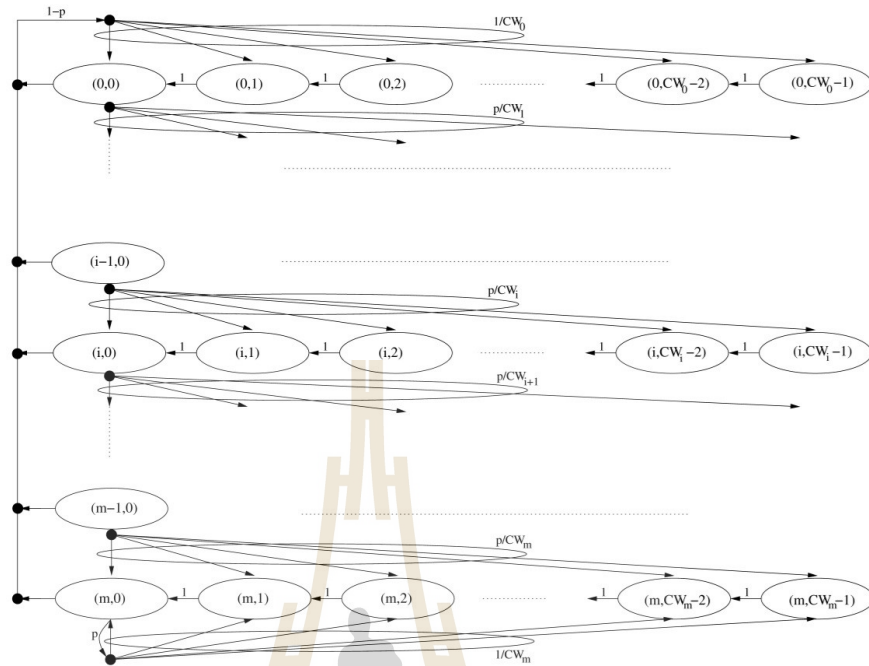


- วิธีที่ 2 การใช้ทรานสิชันเมทริกซ์ (Transition Matrix)

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสถานะความน่าจะเป็นในการเปลี่ยน

จากสถานะ	เปลี่ยนไปเป็นสถานะ		รวม
	S1	S2	
S1	0.6	0.4	1
S2	0.3	0.7	1

ซึ่งเมื่อมาเป็นเรื่องของเครือข่ายไร้สายแล้วท่วงโซ่มาคอฟ เป็นวิธีการที่ทำให้เห็นได้ชัดเจนเกี่ยวกับกรณีความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูล เป็นการจำแนกออกกว่ามีการส่งไปแล้วโอกาสที่จะเกิดการรับหรือส่งข้อมูลนั้นเป็นไปได้อย่างไรบ้าง เช่น เกิดการชนกันของข้อมูล ข้อมูลส่งไม่สำเร็จ เกิดการส่งข้อมูลใหม่โดยใช้การนับถอยหลังเวลา เป็นต้น ซึ่งการพิจารณาสิ่งที่จะเกิดขึ้นดังกล่าวนี้เป็นสิ่งที่จะนำไปสู่การพิจารณาค่าวิสัยสมารถ และค่าเวลาหน่วงได้ ดังที่ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 พบว่ามีการพิจารณารูปแบบท่วงโซ่มาคอฟในการพิจารณาความน่าจะเป็นเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ค่าวิสัยสมารถและเวลาหน่วงเป็นจำนวนมากนิยมพิจารณาในรูปแบบของการใช้ไดอะแกรมแสดงสถานะ (State Diagram) ดังตัวอย่างจากงานวิจัยที่ [16]



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงตัวอย่างห่วงโซ่มาคอฟจากงานวิจัยที่ [16]

$$CW_i = 2^i (CW_{min} + 1)$$

$$W_{min} = CW_{min} + 1$$

$$CW_{max} = 2^m W_{min} - 1$$

ที่สถานะ $(i, 0)$ การสุ่มค่า backoff จะถูกเลือกกระหว่าง 0 และ $(0, CW_0 - 1)$ ที่ความน่าจะเป็น $\frac{1-p}{CW_0}$ ในกรณีที่ถูกแทนที่ด้วยสถานะ $(0,0)$ ถึง $(0, CW_0 - 1)$

ในกรณีที่เกิดการชนกันของข้อมูล หรือที่สถานะ $(i - 1, 0)$ การสุ่มค่า backoff จะถูกเลือกกระหว่าง 0 และ $CW_i - 1$ ที่ความน่าจะเป็น $\frac{p}{CW_i}$ ในกรณีที่ถูกแทนที่ด้วยสถานะ $(i,0)$ ถึง $(i, CW_i - 1)$

ให้ p คือความน่าจะเป็นที่สำเร็จ

$$p = 1 - (1 - \pi)^{N-1} \quad (1)$$

และให้การกระจายตัวของห่วงโซ่มาร์คอฟเป็น

$$b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P \{s(t) = i, b(t) = k\}, i \in (0, m), k \in (0, CW_i - 1)$$

และเมื่อการนับถอยหลังมาถึง 0 จะได้ความน่าจะเป็นในการส่งที่จะสุ่มเลือกเป็น

$$\pi = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \quad (2)$$

และเมื่อนำ p มาพิจารณาจะได้เป็น

$$\begin{cases} b_{i,0} = p^i b_{0,0} & 0 < i < m \\ b_{m,0} = \frac{p^m}{1-p} b_{0,0} \\ b_{i,k} = \frac{CW_i - k}{CW_i} b_{i,0} & 0 \leq i \leq m, \quad 0 \leq k \leq CW_i - 1 \end{cases} \quad (3)$$

และเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (3)

$$b_{i-1,0} \cdot p = b_{i,0} \text{ เมื่อ } 0 < i < m \text{ และ } b_{m-1,0} \cdot p = (1-p)b_{m,0}$$

สมการที่ (3) จะอธิบายได้ว่า $\sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p}$ ทำให้ได้

$$b_{i,k} = \frac{CW_i - k}{CW_i} \cdot \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i = 0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot (b_{m-1,0} + b_{m,0}) & i = m \end{cases} \quad (4)$$

และทำการหา $b_{0,0}$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{CW_i-1} b_{i,k} \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{CW_i-1} \frac{CW_i - k}{CW_i} \\ &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{CW_i + 1}{2} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \frac{2^i W_{min} + 1}{2} \\ &= b_{0,0} \frac{W_{min} + 1}{2} + \sum_{i=1}^{m-1} \left(b_{0,0} p^i \left(\frac{2^i W_{min} + 1}{2} \right) \right) + \left(\frac{b_{0,0} p^m}{1-p} \right) \left(\frac{2^m W_{min} + 1}{2} \right) \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W_{min} + 1 + \sum_{i=1}^{m-1} ((2p)^i W_{min} + p^i) + \frac{p^m}{1-p} (2^m W_{min} + 1) \right] \\ &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W_{min} \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

จะได้สมการ

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W_{min}+1) + pW_{min}(1-(2p)^m)} \quad (6)$$

และได้

$$\begin{aligned} \pi &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W_{min}+1) + pW_{min}(1-(2p)^m)} \\ &= \frac{2}{1+W_{min} + pW_{min} \sum_{k=0}^{m-1} (2p)^k} \end{aligned} \quad (7)$$

จากนั้นก็ทำการคำนวณเพื่อหาค่า p และ π เพื่อนำไปหาค่าผลรวมที่ได้ทั้งหมดของการส่ง

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{E[\text{Payload information transmitted in a slot time}]}{E[\text{Duration of slot time}]} \\ &= \frac{P_s P_{tr} L}{P_s P_{tr} T_s + P_{tr}(1-P_s)T_c + (1-P_{tr})T_{id}} \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ

P_{tr} คือความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลอย่างน้อยหนึ่งข้อมูลในการพิจารณา slot หนึ่งโดยที่

$$P_{tr} = 1 - (1-\pi)^N$$

L คือค่าเฉลี่ยของขนาดแพคเกจ (average packet payload size)

T_s คือค่าเฉลี่ยทางเวลาที่ต้องการส่งแพคเกจขนาด L

P_s คือความน่าจะเป็นที่ส่งข้อมูลสำเร็จ

$$P_s = \frac{N\pi(1-\pi)^{N-1}}{1-(1-\pi)^N}$$

T_{id} คือระยะเวลาว่าง idle period (ใน slot หนึ่งเดียว)

T_c คือค่าเฉลี่ยเวลาที่เสียไปเมื่อข้อมูลชนกัน

$$\begin{cases} T_s = H + L + SIFS + \sigma + ACK + DIFS + \sigma \\ T_c = H + L + DIFS + \sigma \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} T_s = RTS + SIFS + \sigma + CTS + SIFS + \sigma + H + L + SIFS + \sigma + ACK + DIFS + \sigma \\ T_c = RTS + DIFS + \sigma \end{cases}$$

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าข้อมูลทางเวลาในชั้น PHY

(Inter frame space and CW time for different PHY layers.)

<i>Parameters</i>	<i>802.11a</i>	<i>802.11b</i> (<i>FH</i>)	<i>802.11b</i> (<i>DS</i>)	<i>802.11b</i> (<i>IR</i>)	<i>802.11b</i> (<i>High Rate</i>)
<i>Slot Time (μs)</i>	9	50	20	8	20
<i>SIFS (μs)</i>	16	28	10	10	10
<i>DIFS (μs)</i>	34	128	50	26	50
<i>EIFS (μs)</i>	92.6	396	364	205 or 193	268 or 364
<i>CW_{min}(SlotTime)</i>	15	15	31	63	31
<i>CW_{max}(SlotTime)</i>	1023	1023	1023	1023	1023
<i>Physical Data Rate (Mbps)</i>	6 to 54	1 and 2	1 and 2	1 and 2	1, 2, 5.5, and 11

3.3 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง

เป็นการนำข้อมูลรูปแบบการรับส่งข้อมูลการจัดวางโนด ความคุมพารามิเตอร์ที่มีในเครือข่ายที่ใช้รับส่งข้อมูลให้เหมือนกับที่ระบุไว้ใน การทดลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจะได้นำผลมาเปรียบเทียบกัน ซึ่งในการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากที่ได้ศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมมา นิยมใช้โปรแกรม MATLAB และ Network Simulator2,3 (NS2,3) ซึ่งสามารถจำลองการรับส่งข้อมูลของโนดต่าง ๆ เพื่อให้เห็นภาพมากขึ้นในการรับส่งข้อมูล ทั้งนี้ผลที่จะได้ก็สามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลทางคณิตศาสตร์และผลการวัดจริงเพื่อเป็นการสนับสนุนกันและกัน

3.4 การวิเคราะห์จากการลองวัดจริง

ในการวัดผลจะมีการใช้งานอุปกรณ์วัดชื่อว่า SAVVIUS WIFI ADAPTER FOR OMNIPEEK ประกอบกับใช้โปรแกรม OMNIPEEK โดยในการวัดจะใช้ SAVVIUS WIFI ADAPTER ตั้งไว้บริเวณที่มีการใช้งานเครือข่ายไร้สาย ซึ่งตัวอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำการตรวจจับสัญญาณไร้สายต่าง ๆ ที่มีบริเวณนั้น ๆ แล้วแสดงผลในโปรแกรม OMNIPEEK ซึ่งอุปกรณ์นี้มีความสามารถในการบอกว่ามีการใช้งานของใครบ้างโดยสามารถบอกเป็น MAC Address ได้ และยังสามารถบอกได้ว่ามีการใช้งานของโปรโตคอลใดบ้าง

3.4.1 WiFi Adapters for Savvius Omnipeek

ความสามารถของ WiFi Adapters for Omnipeek

- จับภาพข้อมูลแพคเก็ตแบบไร้สายบนมาตรฐาน 802.11 ช่องสัญญาณ (a / b / g / n / ac) สำหรับการวิเคราะห์ด้วย Savvius Omnipeek และ Capture Engine for Omnipeek
- วิเคราะห์ข้อมูล WLAN 802.11ac ได้ถึง 2 streams การรับ / ส่ง (การรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย 867 เมกะบิตต่อวินาที) หรือข้อมูล WLAN 802.11n ได้ถึง 3 streams การรับ / ส่ง (การรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย 450 เมกะบิตต่อวินาที)
- วิเคราะห์ข้อมูล WLAN โดยใช้ช่องสัญญาณ 20 เมกะเฮิร์ตซ์, 40 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือ 80 เมกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นอยู่กับอะแดปเตอร์ที่เลือก
- ใช้อะแดปเตอร์หลายตัวเพื่อจับภาพและวิเคราะห์ข้อมูลจากหลายช่องพร้อมกัน
- ดำเนินการวิเคราะห์ WLAN โดยละเอียดตั้งแต่ L2 ถึง L7 รวมถึงการวิเคราะห์ข้ามเขต (roaming)

Possible Applications

- ใช้อะแดปเตอร์เดียวเพื่อสแกนสภาพแวดล้อม WLAN ของคุณเพื่อตรวจหาเครือข่ายไคลเอ็นต์และช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่
- ใช้อะแดปเตอร์เดียวเพื่อมุ่งเน้นไปที่ช่องเฉพาะเพื่อวิเคราะห์การรับส่งข้อมูล 802.11 (การจัดการ, การควบคุม, ข้อมูล)
- ใช้อะแดปเตอร์หลายตัวสำหรับการวิเคราะห์พร้อมกันในหลายช่องทางรวมถึงการโรมมิ่งไคลเอ็นต์

The Challenge

ส่วนที่ง่ายนั้นคุณเป็นผู้อยู่เบื้องหลัง คุณเลือกวิเคราะห์เครือข่าย WLAN ที่ดีที่สุด และการแก้ไขปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ใช้งาน-Savvius Omnipeek® ตอนนี้คุณต้องมีอะแดปเตอร์ที่ OmniPeek สามารถใช้จับการรับส่งข้อมูลไร้สายของคุณ รวมทั้ง 2-stream 802.11ac Omnipeek สนับสนุนอะแดปเตอร์ WLAN ที่มีราคาไม่แพงในท้องตลาด



รูปที่ 3.3 SAVVIUS WIFI ADAPTER FOR OMNIPEEK
ที่มา: <https://www.savvius.com/>

The Solution: WiFi Adapters for OmnipEEK

Savvius™ ทำให้ตัวเลือกนี้ง่ายขึ้นด้วยอะแดปเตอร์ WiFi สำหรับ OmnipEEK อะแดปเตอร์จับภาพ WLAN ที่มีคุณสมบัติครบถ้วนของคุณเชื่อมต่อกับพอร์ต USB ภายนอกและรวมสายเคเบิลต่อเพื่อให้คุณสามารถใช้อะแดปเตอร์ได้หลายตัวพร้อมกัน วิทยุอะแดปเตอร์สำหรับ OmnipEEK (11n) รองรับการจับ packet บน WLANs กับโคลเอนได้ถึง 3 สตรีม 802.11n (450 เมกะบิตต่อวินาที) ด้วยแบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 40 เมกะเฮิร์ตซ์; วิทยุอะแดปเตอร์สำหรับ OmnipEEK (11ac) รองรับการจับภาพแพคเกจบน WLANs กับโคลเอนได้ถึง 802.11ac 2 สตรีม (867 เมกะบิตต่อวินาที) ด้วยแบนด์วิดท์ 20 เมกะเฮิร์ตซ์, 40 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 80 เมกะเฮิร์ตซ์ อะแดปเตอร์ทั้งสองเป็นแบบ dual-band ทำงานในคลื่น 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์ (b / g / n) และ 5 กิกะเฮิร์ตซ์ (a / n / ac) แต่ละเครื่องสนับสนุนการจับภาพแบบไร้สายด้วยทั้ง Savvius OmnipEEK และ Capture Engine for OmnipEEK และไดร์เวอร์ที่สนับสนุนจะพร้อมใช้งานกับการติดตั้งผลิตภัณฑ์ของ Savvius คุณสามารถรวบรวมข้อมูลไร้สายได้จากช่องสัญญาณ 802.11 ช่องสัญญาณสากล (a / b / g / n / ac) ดังนั้นจึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานภาคสนามทั่วโลก

ในโลกแห่งความเป็นจริง WLAN จะถูกใช้งานผ่านหลายช่องทาง คุณต้องจับข้อมูลในช่องสัญญาณทั้งหมดที่ใช้งานอยู่พร้อม ๆ กันดังนั้นคุณจึงไม่สูญเสียข้อมูลที่สำคัญ อะแดปเตอร์ Wi-Fi สำหรับ OmnipEEK ใช้กับ OmniPeek สนับสนุนการรวมหลายแชนเนลเพื่อให้คุณสามารถวิเคราะห์เครือข่ายแบบ Roaming ได้อย่างสมบูรณ์ซึ่งจำเป็นต้องทำให้บริการต่างๆเช่น Voice over Wireless (VoFi) ทำงานได้อย่างราบรื่นสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่ของคุณ

ข้อมูลเฉพาะทางเทคนิคของ Capture Engine for OmniPeek (Capture Engine for OmniPeek 9.0 Technical Specifications)

1. เครือข่ายที่สนับสนุน (Supported Networks)

Capture Engine จะวิเคราะห์การรับส่งข้อมูลบนเครือข่าย Ethernet, 1/10 กิกะบิต, 802.11, เสียง และ วิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต

- Ethernet and Gigabit
 - Ethernet IEEE 802.3
 - Ethernet Type 2
 - อัตราเร็วของข้อมูล(Data rates): 10, 100, และ 1000 เมกะบิตต่อวินาที
- เครือข่ายไร้สาย(Wireless)
 - Wireless 802.11 a/b/g/n/ac
 - 802.11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, 72, 96, 108 เมกะบิตต่อวินาที
 - 802.11b: 1, 2, 5.5, และ 11 เมกะบิตต่อวินาที
 - 802.11g: 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48, 54 เมกะบิตต่อวินาที
 - 802.11n: ได้ถึง 450 เมกะบิตต่อวินาที (3-Stream)
 - 802.11ac: ได้ถึง 867 เมกะบิตต่อวินาที

2. อะแดปเตอร์เครือข่ายที่รองรับ(Supported Network Adapters)

- Ethernet Card

โปรแกรมจะทำงานร่วมกับอะแดปเตอร์ที่รองรับ NDIS 3 หรือสูงกว่า อะแดปเตอร์อินเทอร์เน็ตทั้งหมดในท้องตลาดปัจจุบันมีข้อกำหนดนี้

- Wireless LAN Adapter

สำหรับการตรวจจับแพ็คเก็ตไร้สาย OmniPeek ต้องติดตั้งไดรเวอร์ที่สนับสนุนเครือข่ายอะแดปเตอร์ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดไดรเวอร์ได้ที่ www.savvius.com/support/downloads/drivers

3. Voice and Video over IP

Jitter software resolution:	±1 มิลลิวินาที
Packet delay variation resolution:	±1%
Packet loss resolution:	±1%
MOS (Mean Opinion Score) resolution:	±0.001

- General Statistics
 - MAPDV jitter และ Packet loss

- Voice
 - MOS (MOS-LQ, MOS-CQ, MOS-PQ, MOS-Nom)
 - R Factor (Listening, Conversational, G.107, Nominal)
- Video
 - VS-AQ: Video Service Audio Quality
 - VS-MQ: Video Service Multimedia Quality
 - VS-PQ: Video Service Picture Quality
 - VS-TQ: Video Service Transmission Quality
 - MOS (MOS-A, MOS-AV, MOS-MQ, MOSV)
- Protocols
 - Avaya CCMS, SIP, SCCP, RTSP, MGCP, H.323
- Codecs
 - Voice: G.711 u-law, G.711 a-law, G.722 64k, G.723.1 5.3K, G.723.1 6.3K, G.726, G.729a, G.728, GIPS iLBC, GSM 6.10
 - Video: H.261, H.263, H.264
 - Audio: MPEG-4 AAC

4. ระบบปฏิบัติการที่สนับสนุน(Supported Operating Systems)

- Windows Server 2003
- Windows 7
- Windows Server 2008
- Windows 8
- Windows Server 2012 R2

ระบบปฏิบัติการทั้งหมดต้องใช้ Microsoft Internet Explorer 9

Minimum System Requirements

Capture Engine สนับสนุนคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป, เดสก์ท็อปและแล็ปท็อปนานเท่าที่ต้องการเพื่อใช้งานระบบปฏิบัติการที่สนับสนุน เมื่อต้องการวิเคราะห์การรับส่งข้อมูล 10 กิกะบิต Gigabit หรือ Wireless จำเป็นต้องใช้การ์ดวิเคราะห์เครือข่ายหรือ Wireless LAN Adapter ขึ้นอยู่กับการรับส่งข้อมูลและการทำงานโดยเฉพาะของ Capture Engine Enterprise ความต้องการอาจจะมีสูงมาก

Recommended System

- Intel Core i3 หรือโปรเซสเซอร์ที่สูงขึ้น
- 4G RAM
- 40GB available HD space

5. Heavier Usage Recommendations

สิ่งที่สนับสนุนประสิทธิภาพที่เหนือกว่า ได้แก่ CPU ความเร็วสูง, dual CPUs, ระบบจัดเก็บข้อมูลดิสก์ประสิทธิภาพสูง (RAID 0) และพื้นที่ว่างในฮาร์ดดิสก์เพิ่มเติมตามที่ต้องการที่จะบันทึกไฟล์ที่คุณวางแผนจะจัดการ

Recommended Hardware

The Savvius Omnipliance network capture และวิเคราะห์แอปพลิเคชัน Savvius Omnipliance เป็นโซลูชันแบบครบวงจรที่จะช่วยให้วิศวกรเครือข่ายมีการมองเห็นแบบเรียลไทม์และการมองเห็นภายหลังการ capture ในกลุ่มเครือข่ายระยะไกล แต่ละเครื่องใช้ซอฟต์แวร์ Capture Engine ของ Savvius และส่งการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์และติดตามผลลัพธ์ไปยังคอนโซลกลาง OmniPeek เครื่องมือจับภาพและวิเคราะห์เครือข่ายเป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูลที่เหมาะสำหรับแอปพลิเคชันด้านนิติเวชเครือข่าย, เช่นการดำเนินการตอบสนองต่อเหตุการณ์และการสืบสวนการปฏิบัติตามข้อกำหนด

สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุปกรณ์ network capture และวิเคราะห์ข้อมูลของ Savvius Omnipliance

โปรดไปที่: https://www.savvius.com/products/overview/omnipliance_family

ติดต่อ sales@savvius.com เพื่อดูข้อมูลและราคาเพิ่มเติม

Error Packet Capture

Capture Engine มีความสามารถในการจับแพ็คเก็ตข้อผิดพลาดบนเครือข่าย ข้อผิดพลาดเหล่านี้ ได้แก่ Runt, Oversize, Frame Alignment และ CRC Errors ในการที่ capture errors กลุ่ม Gigabit 1/10 คุณต้องใช้ Savvius Adapter สำหรับ Omnipliance ส่วนในการ capture errors เครือข่ายไร้สายต้องติดตั้งการ์ดไร้สายที่รองรับซึ่งมีไดรเวอร์พิเศษของ Savvius

Capture Engine Manager for OmniPeek

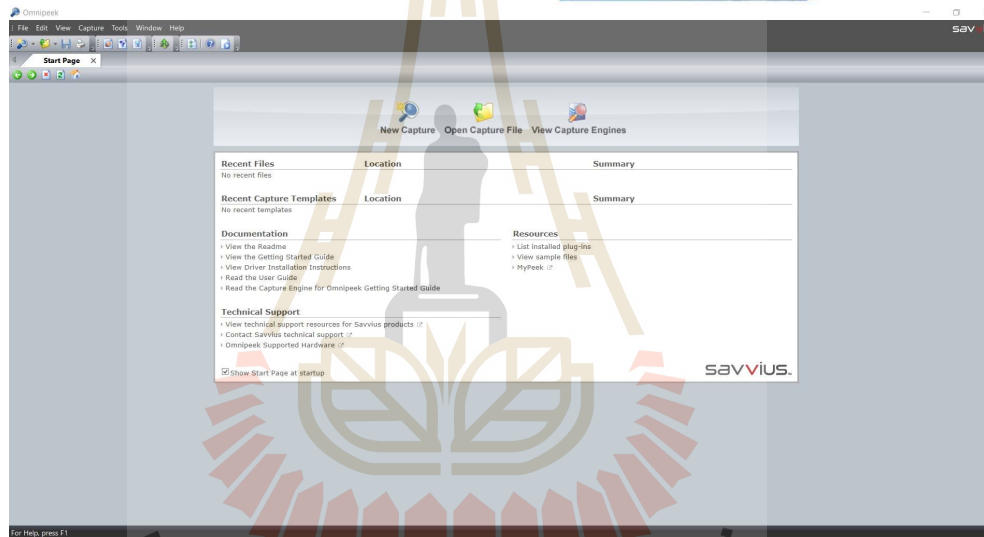
ทั้ง OmniPeek network analyzers และ Capture Engine software ,Capture Engine Manager ช่วยให้ผู้ใช้สามารถจัดการ Capture Engines ได้หลายรูปแบบจากคอนโซลเดียวและกำหนดค่า Remote Engine ที่เชื่อมต่อกัน

การใช้ Capture Engine Manager ผู้ใช้สามารถอัปเดตซอฟต์แวร์ Remote Engine และกระจายการตั้งค่าสำหรับ filters, alarms, graphs, and capture templates สำหรับกลุ่มของ Remote Engines ที่สามารถเข้าถึงเครือข่ายได้ การสื่อสารระหว่าง Capture Engine Manager และ Capture Engine ใด ๆ ที่ต้องการ เครือข่าย TCP/IP จะเชื่อมต่อทั้งสองเข้าด้วยกัน ในทางกลับกันต้องการให้แต่ละเครื่อง(ที่ Remote Engine กำลังทำงานอยู่และเครื่องที่ Capture Engine Manager กำลังทำงานอยู่)ต้องมีการเชื่อมต่อ network interface card (NIC) เพื่อใช้สำหรับเครือข่ายที่ให้บริการ บางการ์ดที่ถูกระบุสนับสนุนโดย Remote Engine อาจจะไม่สามารถใช้งานได้กับเครือข่ายที่ให้บริการ ยกตัวอย่างเช่น การ์ดของ 802.11 WLAN ไม่สามารถใช้งานเครือข่ายที่อยู่ในโหมด RF Monitor การ์ดพิเศษบางอันเช่น 10G Adapter และ 10G Adapter for Omnipliance เหมาะสำหรับการจับภาพและไม่มีความสามารถในการส่งแพ็คเก็ตจ ไม่สามารถให้บริการเครือข่ายได้

3.5 สรุป

บทนี้ได้พิจารณาวิธีการต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ค่าพิกัดและค่าความหน่วงของระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบหลายเซ็กเตอร์ด้วยการนำมาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้ห่วงโซ่มาร์คอฟมาช่วยในการพิจารณาความน่าจะเป็นของสิ่งที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลในแต่ละครั้งคอป โดยจะวิเคราะห์รูปแบบความน่าจะเป็นของสิ่งที่จะเกิดขึ้นระหว่างการส่งแพ็คเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทาง เช่น ความน่าจะเป็นของการชนกัน การส่งล้นไหล(ข้อมูลหายระหว่างส่ง ,ส่งไม่ถึงปลายทาง) ทั้งนี้ยังมีวิธีการที่จะนำเอารูปแบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้สายอากาศหลายเซ็กเตอร์นี้ไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองสถานการณ์เมื่อจะไปใช้งานจริง และท้ายที่สุดคือการทดลองจริงโดยใช้สายอากาศหลายเซ็กเตอร์ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองแล้วและจะได้แสดงผลในบทถัดไป

savvius Omnipeek.



รูปที่ 3.4 OMNIPEEK

บทที่ 4

ผลการดำเนินการเบื้องต้นของการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารไร้สาย ที่ใช้สายอากาศแบบหลายเซ็กเตอร์

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายและทำการวัดผลจริงซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของการใช้สายอากาศแบบเซ็กเตอร์แทนการใช้งานสายอากาศแบบรอบตัว ซึ่งผู้ทำวิจัยได้ทำการวัดค่าออกมาเป็นค่าวิสัยสามารถจากแต่ละการเชื่อมต่อจากโนดไปยังผู้ใช้งาน ทำการวัดด้วยอุปกรณ์วัดค่าที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ทำการแสดงค่าวิสัยสามารถจากการใช้งานอินเทอร์เน็ตจากโนดที่แตกต่างกัน คือ โหนดที่ใช้สายอากาศรอบตัว 1 ตัว โหนดที่ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัว โหนดที่ใช้งานสายอากาศรอบตัว 4 ตัวแต่มีการแบ่งส่วนด้วยกล่องเหล็ก และโนดที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนที่มีกำลังคลื่นครึ่งลำ 90 องศา มาเปรียบเทียบกับ เพื่อนำผลดังกล่าวมาสร้างแนวทางการวิจัยต่อไป

4.2 การวางแผนการทดลอง

ทำการเลือกใช้งานอุปกรณ์ที่จะนำมาทำการทดลองโดยผู้ทดลองเลือกใช้งานเราเตอร์ที่มีการใช้งานสายอากาศ 1 ตัว มาใช้งาน 4 ตัว แต่พบว่าในปัจจุบันมีการผลิตเราเตอร์ที่ใช้สายอากาศ 2 ตัว ขึ้นไปจึงได้ทำการใช้งานเราเตอร์ที่มี 2 ตัวแต่ถอดออก 1 ตัวแล้วทำการปิดการใช้งานสายอากาศ 1 ตัวโดยใช้อิมพีแดนซ์ 50 โอห์มปิดไว้



รูปที่ 4.1 Router ที่ใช้งาน



รูปที่ 4.2 กล่องเหล็กที่ใช้แบ่งเซ็กเตอร์ของสายอากาศ



รูปที่ 4.3 สายอากาศ 4 เซ็กเตอร์ที่มีกำลังคลื่นครั้งลำ 90 องศา

โดยในการทดลองจะใช้งานคอมพิวเตอร์ 4 เครื่อง มาต่อกับโนตที่นำมาเปรียบเทียบกัน 4 แบบ วางไว้ในมุมที่ต่างกัน 90 องศา ให้ใกล้กับโนตที่ระยะทาง 30 เซนติเมตรโดยจะทำการเปลี่ยนโนตที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เป็นการใช้งานเราเตอร์ทั้ง 4 แบบดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น แล้วที่การใช้งานอินเทอร์เน็ตบนคอมพิวเตอร์ทั้งดูหนังออนไลน์ ดูวิดีโอขนาด 4K และดาวน์โหลดหนัง เพื่อให้มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตอย่างเต็มที่ แล้วทำการใช้อุปกรณ์วัดที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 นั่นคือ WiFi Adapter ที่วางอยู่ระหว่างโนตกับคอมพิวเตอร์วัดค่าวิสัยสามารถแล้วเทียบผลกันออกมา ในช่วงแรกๆที่ทำการทดลอง ทำการวัดแต่ละครั้งด้วยเวลา 1 ชั่วโมงและทำซ้ำกัน 3 รอบต่อ 1 ชนิดโนต เมื่อได้ค่าวิสัยสามารถออกมาพบว่าได้ออกมาเป็นค่าเฉลี่ยแล้วไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อเห็นผลได้ชัดเจน ซึ่งคาดว่าเพราะอินเทอร์เน็ตที่เราใช้งานนั้นมีผู้อื่นใช้งานร่วมด้วยทำให้แต่ละช่วงเวลาที่เรทำการวัดผลนั้นควบคุมการปล่อยสัญญาณไม่ได้ จึงได้ทำการทดลองอีกรูปแบบคือการใช้งานโนตที่แตกต่างกัน 4 โนต แล้วทำการวัดค่าและบันทึกผลควบคู่ไปด้วยในเวลา 1 ชั่วโมงต่อการใช้งานหนึ่งโนต ซึ่งได้เห็นค่าที่ละเอียดมากขึ้นและจะแสดงผลในหัวข้อถัดไป

โนตรูปแบบที่ 1 คือโนตที่ใช้สายอากาศรอบตัว 1 ตัว

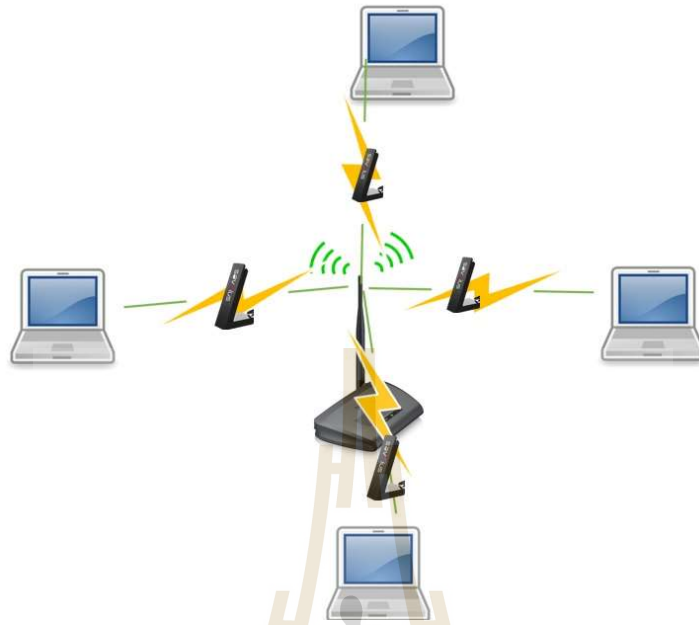
โนตรูปแบบที่ 2 คือโนตที่ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัว

โนตรูปแบบที่ 3 คือโนตที่ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัวแต่แบ่งเซ็กเตอร์ด้วยกล่องเหล็ก

โนตรูปแบบที่ 4 คือโนตที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งเซ็กเตอร์ 4 เซ็กเตอร์

ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับก็คือรูปแบบโนตที่ 1 จะเกิดการแย่งกันของข้อมูลทำให้มีผลของค่าวิสัยสามารถต่ำสุด รองลงมาคือรูปแบบโนตที่ 2 เพราะคาดว่าเมื่อใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัวจะทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ และต่อมามีจะเป็นรูปแบบโนตที่ 3 หรือ 4 ก็ได้ เพราะคาดว่าเมื่อเป็นสายอากาศแบบเซ็กเตอร์แล้วจะมีการแย่งกันใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

รูปที่ 4.4 ถึง 4.7 เป็นการแสดงสภาพแวดล้อมของการทดสอบสมรรถนะของระบบใน 4 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ใช้สายอากาศต้นเดียว แบบที่ 2 ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ต้น แบบที่ 3 ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ต้นซึ่งแบ่งเซ็กเตอร์ด้วยกล่องโลหะ และแบบสุดท้าย แบบที่ 4 ใช้สายอากาศแบบแบ่งเซ็กเตอร์ 4 เซ็กเตอร์



รูปที่ 4.4 รูปแบบโน้ตรูปแบบที่ 1 ใช้สายอากาศรอบตัว 1 ตัว



รูปที่ 4.5 รูปแบบ โน้ตรูปแบบที่ 2 ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัว



รูปที่ 4.6 รูปแบบโนทรูปแบบที่ 3 ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัวแต่แบ่งเซ็กเตอร์ด้วยกล่องเหล็ก



รูปที่ 4.7 รูปแบบโนทรูปแบบที่ 4 ใช้สายอากาศแบบแบ่งเซ็กเตอร์ 4 เซ็กเตอร์

4.3 ผลการวัดทั้ง 4 รูปแบบ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าวิสัยสามารถของโนตรูปแบบที่ 1 คือโนตที่ใช้สายอากาศรอบตัว 1 ตัว

Probe	Time	R1(kbps)	R2(kbps)	R3(kbps)	R4(kbps)
1	2	18,000.00	8,300.00	9,100.00	6,300.00
2	3	18,400.00	8,100.00	9,300.00	6,600.00
3	3	503.00	306.00	268.00	224.00
4	4	18,400.00	7,900.00	8,600.00	6,700.00
1	10	19,200.00	8,100.00	8,500.00	7,300.00
2	10	19,100.00	8,000.00	8,600.00	7,300.00
3	11	509.00	312.00	260.00	233.00
4	11	18,300.00	7,800.00	8,500.00	7,200.00
1	15	19,500.00	8,400.00	8,600.00	7,600.00
2	15	19,400.00	8,400.00	8,600.00	7,600.00
3	16	516.00	329.00	256.00	243.00
4	16	18,600.00	8,200.00	8,400.00	7,400.00
1	20	19,900.00	8,600.00	8,600.00	7,700.00
2	20	19,800.00	8,500.00	8,500.00	7,700.00
3	21	527.00	326.00	253.00	247.00
4	21	19,200.00	8,100.00	8,300.00	7,500.00
1	25	20,700.00	8,000.00	8,800.00	7,900.00
2	25	20,500.00	7,900.00	8,700.00	7,900.00
3	26	542.00	303.00	258.00	251.00
4	26	19,700.00	7,500.00	8,400.00	7,600.00
1	30	21,100.00	7,400.00	8,900.00	8,000.00
2	30	21,000.00	7,300.00	8,900.00	8,000.00
3	31	553.00	283.00	262.00	254.00
4	31	20,200.00	6,900.00	8,600.00	7,700.00
1	35	21,700.00	6,800.00	8,900.00	8,000.00
2	35	21,600.00	6,800.00	8,900.00	8,000.00
3	36	561.00	264.00	262.00	257.00
4	36	20,700.00	6,400.00	8,600.00	7,700.00
1	40	22,000.00	6,500.00	9,000.00	8,100.00
2	40	22,000.00	6,500.00	9,000.00	8,100.00
3	41	569.00	255.00	264.00	257.00
4	41	21,100.00	6,200.00	8,600.00	7,800.00
1	45	22,100.00	6,500.00	9,000.00	8,000.00
2	45	22,000.00	6,400.00	9,000.00	8,000.00
3	46	568.00	255.00	264.00	256.00
4	46	21,000.00	6,200.00	8,600.00	7,700.00
1	50	22,000.00	6,500.00	9,000.00	8,000.00
2	50	21,900.00	6,500.00	9,000.00	8,100.00
3	51	565.00	254.00	264.00	256.00
4	51	21,000.00	6,200.00	8,700.00	7,800.00
1	55	21,800.00	6,500.00	9,100.00	8,100.00
2	55	21,800.00	6,500.00	9,000.00	8,100.00
3	56	561.00	255.00	263.00	256.00
4	56	20,700.00	6,200.00	8,700.00	7,800.00
1	60	21,500.00	6,600.00	9,000.00	8,000.00
2	60	21,500.00	6,600.00	9,000.00	8,000.00
3	61	52,700.00	241.00	249.00	242.00
4	61	20,500.00	6,300.00	8,700.00	7,800.00

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 2 คือโนดที่ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัว

Probe	Time	R1(kbps)	R2(kbps)	R3(kbps)	R4(kbps)
1	2	31,100.00	12,000.00	28,000.00	348.00
2	2	26,500.00	12,400.00	28,800.00	316.00
3	3	29,700.00	11,600.00	20,700.00	616.00
4	3	30,200.00	11,400.00	28,200.00	395.00
1	10	30,500.00	12,500.00	28,100.00	298.00
2	10	27,900.00	12,700.00	28,300.00	272.00
3	10	29,900.00	12,800.00	19,800.00	551.00
4	10	30,400.00	12,800.00	28,100.00	359.00
1	15	30,800.00	13,300.00	28,300.00	285.00
2	15	28,900.00	13,500.00	28,500.00	267.00
3	15	30,300.00	13,400.00	20,000.00	521.00
4	16	30,600.00	13,200.00	28,400.00	352.00
1	20	30,900.00	12,800.00	28,700.00	285.00
2	20	29,000.00	12,900.00	28,800.00	268.00
3	20	30,400.00	12,600.00	19,700.00	516.00
4	21	30,600.00	12,400.00	28,800.00	354.00
1	25	31,200.00	12,700.00	28,700.00	276.00
2	25	28,600.00	12,900.00	29,000.00	258.00
3	25	30,700.00	12,800.00	19,800.00	511.00
4	26	30,900.00	12,700.00	28,900.00	345.00
1	30	31,300.00	12,600.00	28,600.00	275.00
2	30	29,900.00	12,800.00	28,800.00	256.00
3	30	30,800.00	12,800.00	19,800.00	500.00
4	30	30,900.00	12,700.00	28,700.00	335.00
1	35	31,000.00	12,600.00	28,400.00	268.00
2	35	29,700.00	12,700.00	28,600.00	290.00
3	35	30,600.00	12,600.00	19,500.00	489.00
4	36	30,700.00	12,500.00	28,400.00	328.00
1	40	30,800.00	12,400.00	28,200.00	275.00
2	40	29,600.00	12,600.00	28,400.00	258.00
3	40	30,300.00	12,500.00	19,400.00	487.00
4	40	30,400.00	12,400.00	28,100.00	335.00
1	45	30,800.00	12,400.00	28,100.00	276.00
2	45	29,700.00	12,600.00	28,300.00	259.00
3	45	30,400.00	12,400.00	19,600.00	493.00
4	45	30,500.00	12,400.00	28,200.00	336.00
1	50	30,800.00	12,200.00	28,100.00	276.00
2	50	29,800.00	12,400.00	28,300.00	259.00
3	50	30,400.00	12,300.00	19,500.00	497.00
4	51	30,500.00	12,100.00	28,100.00	336.00
1	55	30,800.00	12,100.00	27,800.00	278.00
2	55	29,800.00	12,200.00	28,100.00	262.00
3	55	30,400.00	12,100.00	19,400.00	502.00
4	56	30,600.00	12,100.00	27,900.00	337.00
1	60	30,900.00	12,100.00	27,800.00	276.00
2	60	30,000.00	12,300.00	28,200.00	259.00
3	60	30,500.00	12,100.00	19,100.00	505.00
4	61	30,600.00	12,000.00	27,900.00	337.00

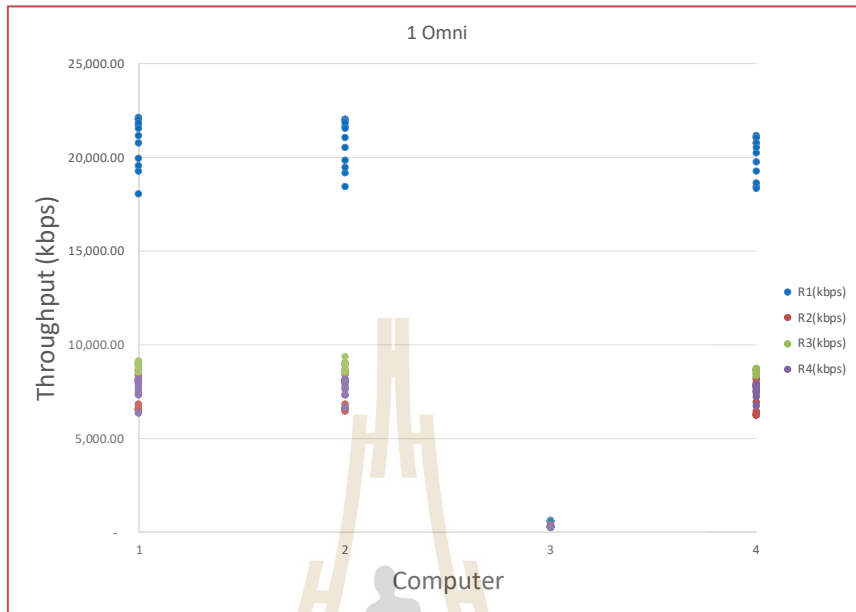
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 3 คือโนดที่ใช้สายอากาศรอบตัว 4 ตัว แต่แบ่งเซ็กเตอร์ด้วยกล่องเหล็ก

Probe	Time	R1(kbps)	R2(kbps)	R3(kbps)	R4(kbps)
1	4	33,600.00	10,300.00	14,700.00	991.00
2	4	25,400.00	18,800.00	16,600.00	1,056.00
3	5	21,900.00	11,200.00	26,600.00	748.00
4	5	22,100.00	11,400.00	16,200.00	2,740.00
1	10	31,700.00	10,500.00	15,500.00	1,020.00
2	10	24,700.00	18,700.00	17,600.00	1,080.00
3	10	22,000.00	10,700.00	27,300.00	785.00
4	11	22,800.00	11,000.00	16,600.00	2,850.00
1	15	31,200.00	10,500.00	15,400.00	1,030.00
2	15	24,600.00	18,500.00	17,700.00	1,090.00
3	16	22,000.00	10,400.00	27,400.00	792.00
4	16	22,700.00	10,600.00	16,800.00	2,870.00
1	20	31,300.00	10,400.00	15,600.00	1,040.00
2	20	24,800.00	18,400.00	17,900.00	1,090.00
3	21	22,100.00	10,400.00	27,400.00	791.00
4	21	22,600.00	10,800.00	17,000.00	2,820.00
1	25	31,000.00	10,500.00	15,800.00	1,030.00
2	25	24,900.00	18,300.00	18,100.00	1,080.00
3	25	22,100.00	10,400.00	27,400.00	791.00
4	25	22,500.00	10,700.00	17,000.00	2,810.00
1	30	31,200.00	10,700.00	15,800.00	1,030.00
2	30	25,200.00	18,600.00	18,200.00	1,090.00
3	30	22,300.00	10,500.00	27,400.00	796.00
4	31	23,100.00	10,800.00	17,200.00	2,790.00
1	35	31,000.00	10,700.00	15,600.00	1,020.00
2	35	24,000.00	18,700.00	17,900.00	1,080.00
3	36	22,200.00	10,700.00	27,200.00	796.00
4	36	22,800.00	11,000.00	17,000.00	2,790.00
1	40	30,900.00	10,800.00	15,600.00	1,040.00
2	40	24,800.00	18,900.00	18,000.00	1,090.00
3	40	22,100.00	10,800.00	27,300.00	841.00
4	41	22,800.00	11,100.00	17,000.00	2,790.00
1	45	30,700.00	10,800.00	15,500.00	1,030.00
2	45	24,600.00	18,900.00	17,900.00	1,090.00
3	46	21,900.00	10,800.00	27,100.00	817.00
4	46	22,500.00	11,100.00	16,900.00	2,770.00
1	50	30,500.00	10,800.00	15,500.00	1,040.00
2	50	24,500.00	18,800.00	17,900.00	1,090.00
3	50	21,800.00	10,700.00	27,200.00	825.00
4	50	22,400.00	11,000.00	16,900.00	2,800.00
1	55	30,300.00	10,900.00	15,500.00	1,030.00
2	55	24,400.00	19,000.00	17,900.00	1,080.00
3	55	21,700.00	10,800.00	27,200.00	820.00
4	56	22,200.00	11,100.00	16,900.00	2,790.00
1	60	30,100.00	10,800.00	15,600.00	1,040.00
2	60	24,300.00	19,000.00	18,000.00	1,080.00
3	60	21,600.00	10,700.00	27,300.00	825.00
4	60	22,100.00	11,100.00	17,000.00	2,800.00

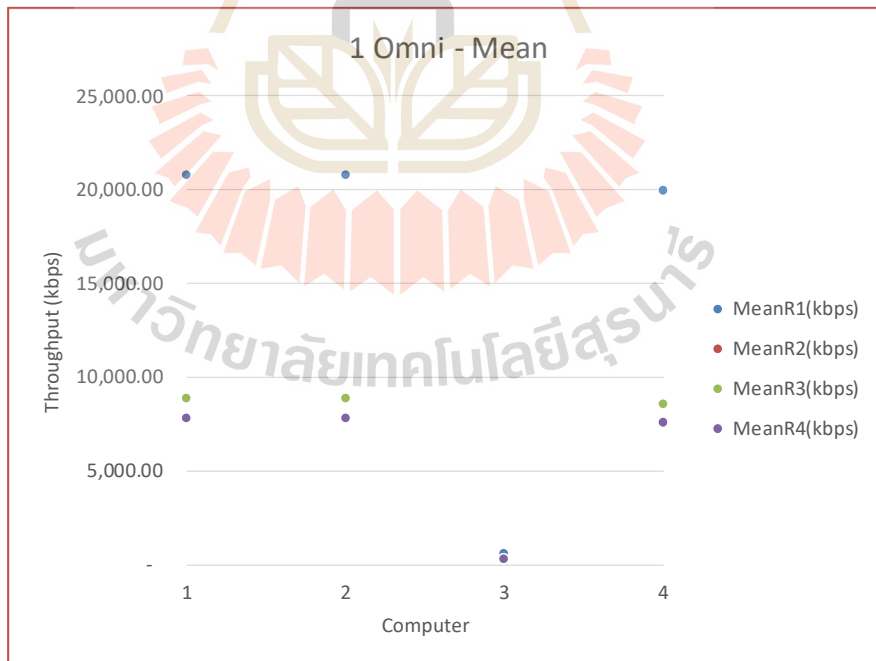
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 4 คือโนดที่ใช้สายอากาศแบบ
แบ่งเซ็กเตอร์ 4 เซ็กเตอร์

Probe	Time	R1(kbps)	R2(kbps)	R3(kbps)	R4(kbps)
1	3	18,900	16,100	30,500	718
2	3	24,000	13,400	31,100	629
3	4	24,200	16,300	999	655
4	4	16,100	15,800	30,300	734
1	10	16,100	14,300	32,000	787
2	10	20,500	11,400	33,100	747
3	11	19,800	14,200	888	749
4	11	23,900	14,100	31,600	836
1	15	16,800	14,300	32,000	741
2	15	20,900	11,700	33,000	684
3	15	20,900	14,700	832	682
4	16	24,300	14,300	31,500	786
1	20	17,400	13,900	32,300	723
2	20	21,700	11,300	33,000	660
3	21	21,500	14,000	811	665
4	21	24,500	13,500	31,500	764
1	25	17,400	13,700	32,000	702
2	25	21,800	11,000	32,900	657
3	26	21,500	13,900	811	666
4	26	24,600	13,500	31,600	765
1	30	17,300	13,400	32,200	727
2	30	21,600	10,800	33,100	676
3	30	21,300	13,700	815	679
4	30	24,700	13,300	31,800	788
1	35	17,000	13,300	32,300	745
2	35	21,400	10,600	33,300	693
3	35	21,200	13,600	807	697
4	36	24,800	13,200	31,800	809
1	40	17,200	13,300	32,100	742
2	40	21,700	10,600	33,100	692
3	40	21,300	13,500	789	700
4	41	24,700	13,200	31,800	812
1	45	16,900	13,200	32,100	762
2	45	21,600	10,500	33,100	725
3	45	21,300	13,500	797	728
4	46	24,800	13,100	31,800	840
1	50	16,500	13,200	32,300	783
2	50	21,200	10,500	33,300	728
3	50	20,900	13,500	808	734
4	51	24,500	13,100	31,900	843
1	56	16,900	13,200	32,200	777
2	56	21,800	10,500	33,300	726
3	56	21,500	13,600	805	732
4	57	24,600	13,200	31,800	849
1	60	16,500	13,300	32,400	800
2	60	21,100	10,500	33,100	752
3	60	20,700	13,600	789	757
4	60	24,400	13,200	31,700	874

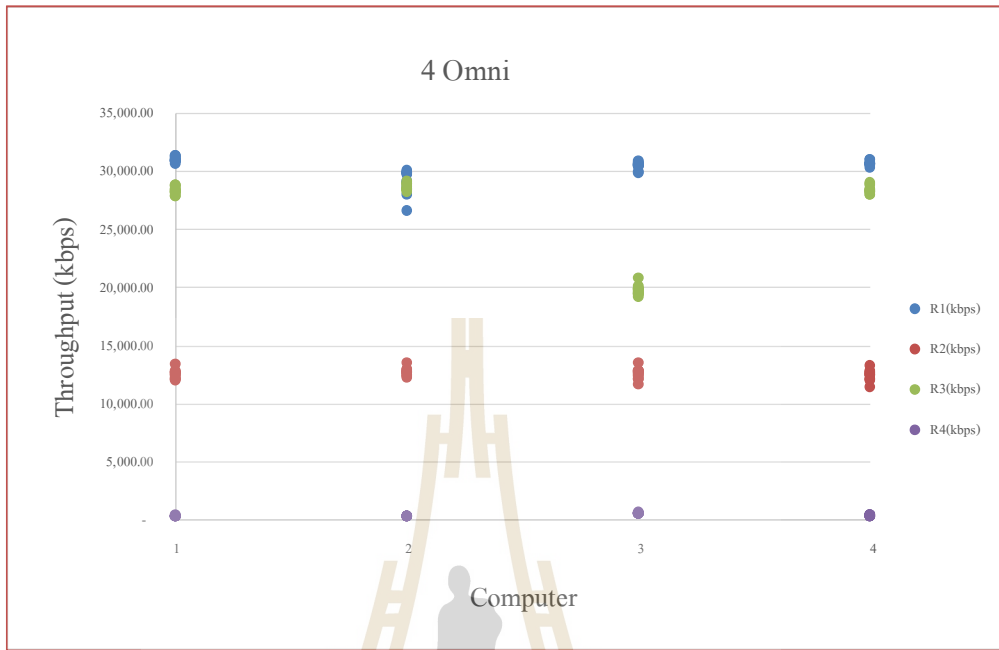
และเมื่อนำค่าทั้งหมดมาทำการแสดงความสัมพันธ์ด้วยกราฟได้ผลดังนี้



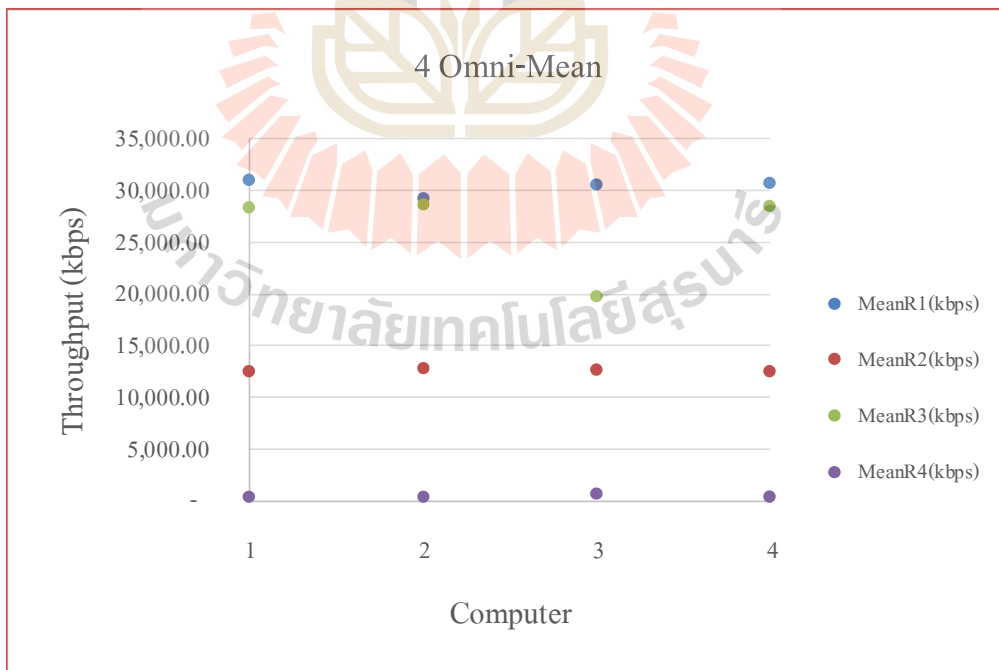
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 1



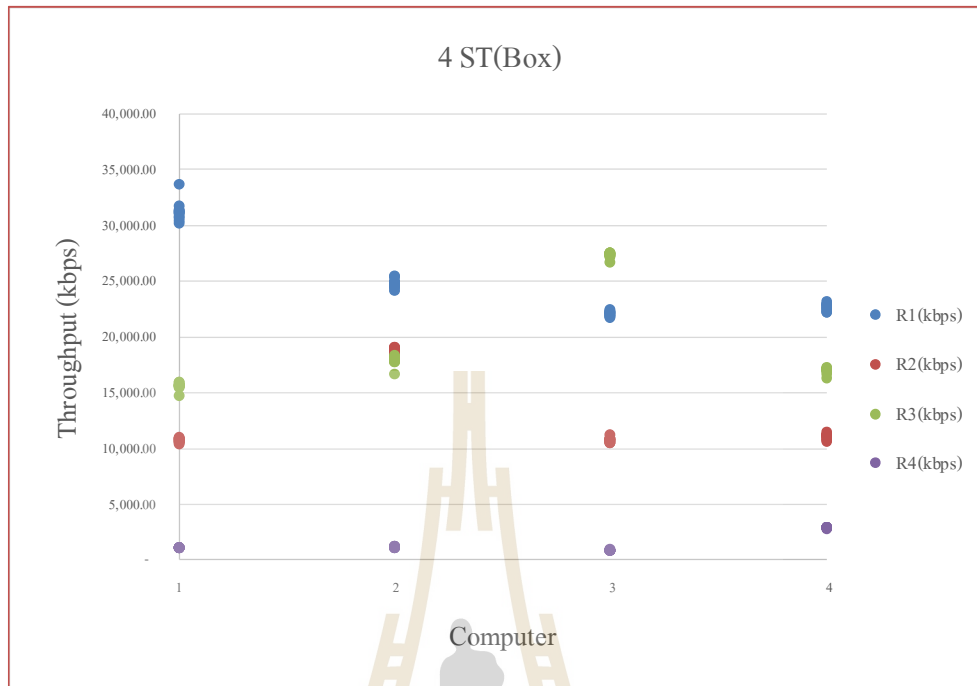
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเฉลี่ยของโนดรูปแบบที่ 1



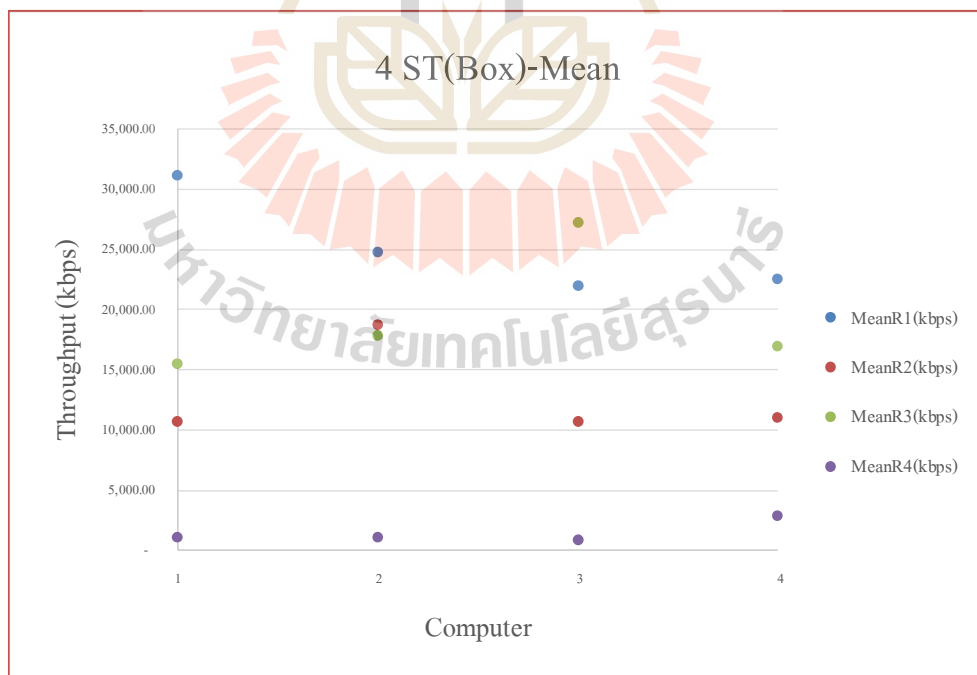
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 2



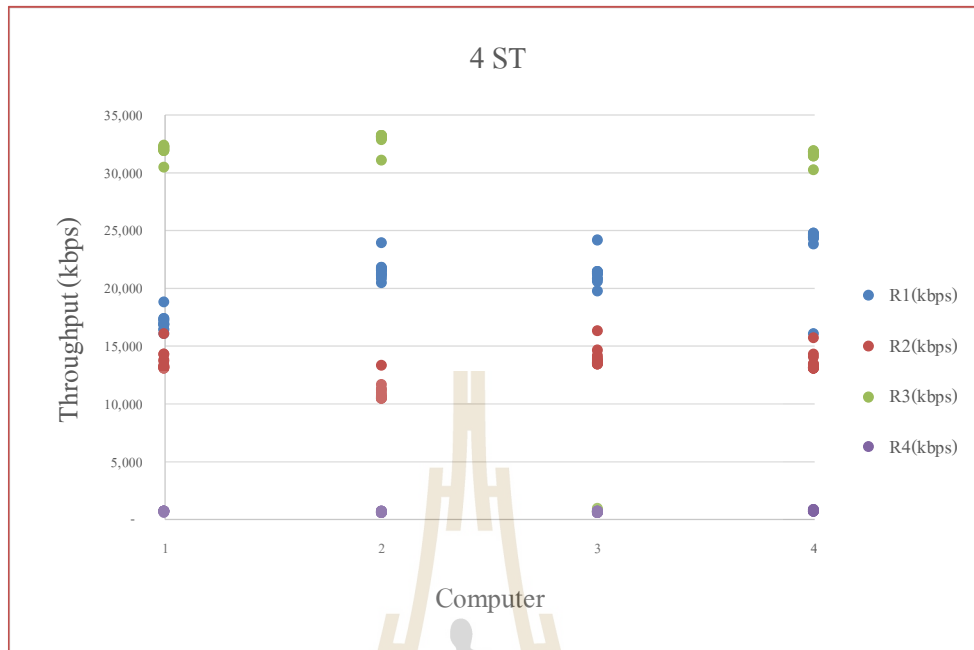
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเฉลี่ยของโนดรูปแบบที่ 2



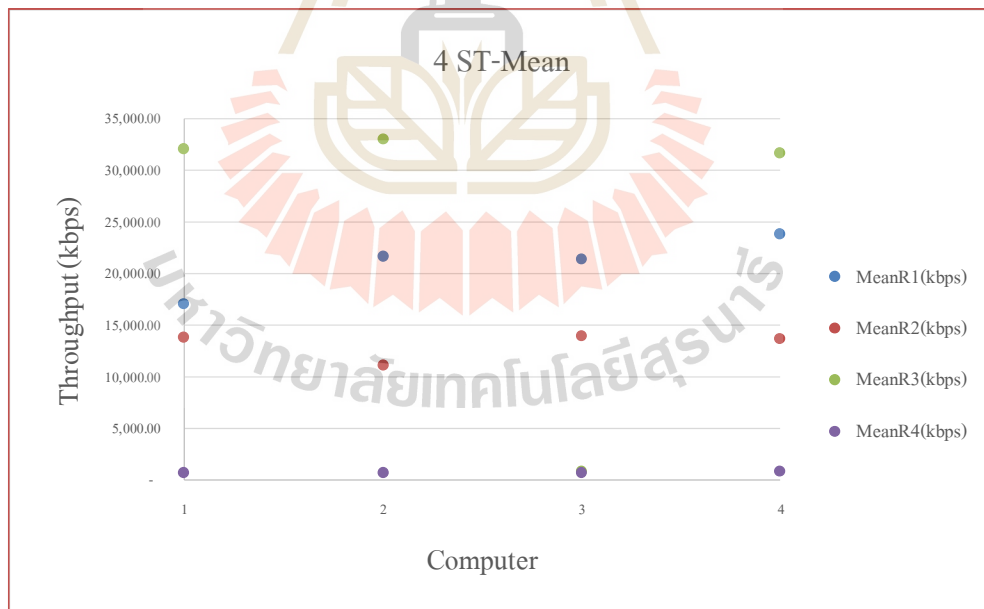
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 3



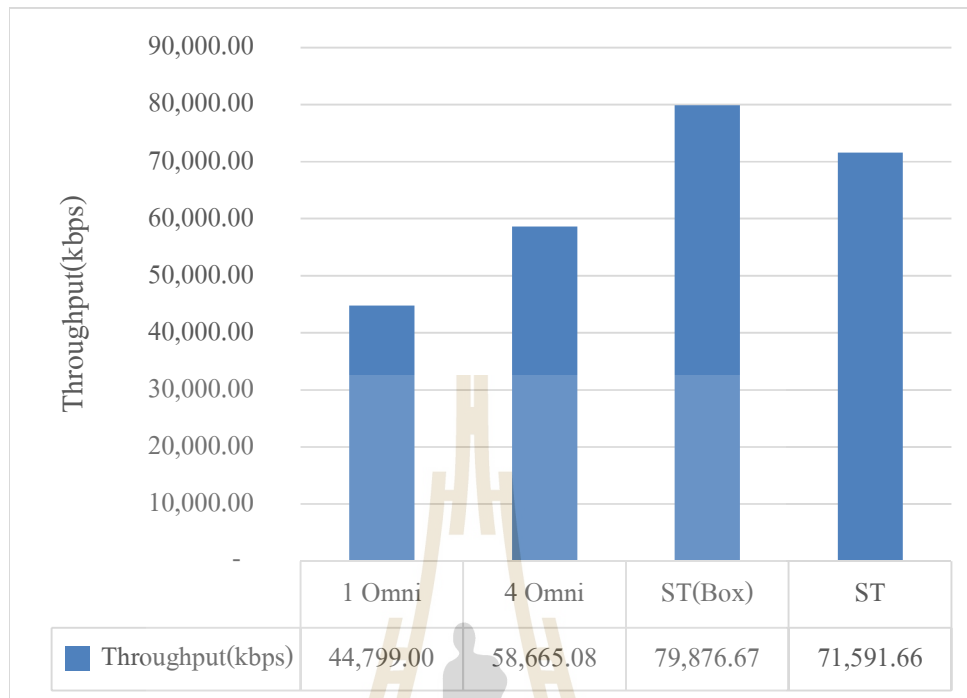
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเฉลี่ยของโนดรูปแบบที่ 3



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของโนดรูปแบบที่ 4



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเฉลี่ยของโนดรูปแบบที่ 4



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถเฉลี่ยของโนดทั้ง 4 รูปแบบ

จากผลการทดสอบรูปที่ 4.8 ถึง 4.16 ผลทั้งหมดทำให้ทราบว่าการทำงานของสายอากาศแบบแบ่งส่วนนั้น มีแนวโน้มการใช้งานที่ดีกว่าการใช้สายอากาศแบบรอบตัวแบบเดี่ยวและแบบ 4 ต้น คาดว่าเมื่อเป็นสายอากาศแบบแบ่งส่วนแล้วมีการแบ่งการใช้งานของสายอากาศได้ดีขึ้น หรือเป็นส่วนมากขึ้น หรือมีการรบกวนกันของสัญญาณน้อยลงซึ่งเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้

4.4 สรุป

ในบทนี้ผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาและจุดมุ่งหมายของงานวิจัย ที่เห็นได้จากผลจากการวัดจริงของแต่ละสถานการณ์ คือเมื่อใช้งานสายอากาศแบบแบ่งส่วนให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าการใช้สายอากาศแบบรอบตัวต้นเดี่ยวและการใช้สายอากาศรอบตัว 4 ต้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าเมื่อเราใช้งานสายอากาศต้นเดี่ยวแล้วมีผู้ใช้งานจะมีการแย่งใช้สัญญาณกัน ส่วนเมื่อใช้งานสายอากาศสี่ต้นในย่านความถี่เดียวกันช่องสัญญาณเดียวกันจะทำให้เกิดการแทรกสอด หรือการรบกวนกันของสัญญาณในโนดนั้น ๆ จากสายอากาศที่ใช้งานในโนดนั้น ๆ แลเมื่อใช้งานสายอากาศแบบแบ่งส่วนแล้วสายอากาศแต่ละตัวก็ส่งสัญญาณให้ผู้ใช้งานในรัศมีของสายอากาศแต่ละตัวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพไม่รบกวนกันเมื่อส่งสัญญาณ และผู้ใช้งานใช้ได้พร้อมกันโดยไม่ต้องแย่งสัญญาณจากสายอากาศต้นเดียวกัน

บทที่ 5

บทสรุปและแนวทางการวิจัยที่จะต้องดำเนินการต่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำงานของระบบไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนโดยเริ่มจากการทำความเข้าใจเทคโนโลยีไร้สายว่ามีความเป็นมาอย่างไร ปัจจุบันมีการใช้งานตามมาตรฐานใดบ้าง และในระบบสื่อสารไร้สายมีหัวใจหลักอยู่ที่สายอากาศ ซึ่งมีการใช้งานหลากหลายรูปแบบมีเทคโนโลยีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสื่อสารไร้สายมากมาย และสามารถบ่งบอกประสิทธิภาพของระบบสื่อสารไร้สายได้จากการวิเคราะห์ค่าวิสัยสมรรถนะและเวลาหน่วง ซึ่งสามารถเห็นได้จากผลการวัดจริง การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแสดงในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในการวัดจริงได้ถูกอธิบายไปแล้วในบทที่ 3 และผลการวัดจริงได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มที่ดีขึ้นของการใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนเมื่อเทียบกับการใช้งานสายอากาศแบบรอบตัว ซึ่งสายอากาศแบบรอบตัว 1 ต้นมีค่าวิสัยสมรรถนะน้อยสุด จากการเปรียบเทียบทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นการใช้สายอากาศรอบตัวสี่ต้น หรือแบบแบ่งส่วนในตัวเองและแบบแบ่งส่วนโดยใช้กล่องเหล็ก โดยคาดคะเนว่าเป็นเพราะการใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนนั้นทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานสายอากาศแต่ละต้นได้อย่างเต็มที่โดยไม่ต้องไปเบียดเบียนจากสายอากาศต้นอื่น และคาดเดาว่าเมื่อใช้สายอากาศแบบแบ่งส่วนแล้วนั้น จะไม่เกิดการแทรกสอดกันของสัญญาณในโนดเดียวกันของสายอากาศแต่ละต้น ทั้งนี้สายอากาศแต่ละต้นก็สามารถรับส่งสัญญาณได้พร้อมๆ กัน แลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ดีกว่าการใช้สายอากาศต้นเดียวที่คาดว่ามีการชนกันของข้อมูลเมื่อมีผู้ใช้หลายคนใช้งานพร้อม ๆ กัน ทั้งนี้ยังคาดว่า จะสามารถแก้ปัญหาการไม่ทราบถึงโนดข้าง ๆ หรือเรียกได้ว่าไม่มีปัญหาของโนดซ่อนนั่นเอง ซึ่งจะมีผลสนับสนุนจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และผลการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกด้วย

รายการอ้างอิง

- [1] Singh, Harkirat, and Suresh Singh. "Smart-802.11 b MAC protocol for use with smart antennas." Communications, 2004 IEEE International Conference on. Vol. 6. IEEE, 2004.
- [2] Babich, Fulvio, et al. "Performance evaluation of distributed wireless networks using smart antennas in low-rank channel." IEEE transactions on communications 55.7 (2007): 1344-1353.
- [3] Babich, F., and M. Comisso. "Optimum contention window for 802.11 networks adopting directional communications." Electronics Letters 44.16 (2008): 994-995.
- [4] Babich, Fulvio, et al. "The simulation of smart antennas in network simulator-2 using MATLAB." Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks, 2009. CAMAD'09. IEEE 14th International Workshop on. IEEE, 2009.
- [5] Babich, Fulvio, and Massimiliano Comisso. "Throughput and delay analysis of 802.11-based wireless networks using smart and directional antennas." IEEE Transactions on Communications 57.5 (2009).
- [6] Xu, Ke, Benjamin T. Garrison, and Kuang-Ching Wang. "Performance modeling for IEEE 802.11 vehicle-to-infrastructure networks with directional antennas." Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE. IEEE, 2010.
- [7] Chen, Yin, et al. "Throughput analysis in mobile ad hoc networks with directional antennas." ad hoc networks 11.3 (2013): 1122-1135.
- [8] Chen, Zhijiao, et al. "Shaped beam synthesis with 4-element conformal array for a semi-smart Picocell sector antenna." Microwave Conference (APMC), 2015 Asia-Pacific. Vol. 3. IEEE, 2015.
- [9] Liu, Xiaohan, Hiraku Okada, and Kenichi Mase. "Performance of wireless mesh networks with three sector antenna." Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), 2010 Sixth International Conference on. IEEE, 2010.
- [10] Wang, Cheng-Xiang, et al. "Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks." IEEE Communications Magazine 52.2 (2014): 122-130.

- [11] Ahmed, N., et al. "**Augmentation of directional and sector antenna support in NS2.**" Computational Intelligence and Networks (CINE), 2015 International Conference on. IEEE, 2015.
- [12] Spyropoulos, Akis, and Cauligi S. Raghavendra. "**Capacity bounds for ad-hoc networks using directional antennas.**" Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference on. Vol. 1. IEEE, 2003.
- [13] Choudhury, Romit Roy, and Nitin H. Vaidya. "**Deafness: A MAC problem in ad hoc networks when using directional antennas.**" Network protocols, 2004. ICNP 2004. Proceedings of the 12th IEEE international conference on. IEEE, 2004.
- [14] Wu, Haitao, et al. "**A simple model of IEEE 802.11 wireless LAN.**" Info-tech and Info-net, 2001. Proceedings. ICII 2001-Beijing. 2001 International Conferences on. Vol. 2. IEEE, 2001.
- [15] Chatzimisios, P., A. C. Boucouvalas, and V. Vitsas. "**Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 a wireless LANs.**" Electronics Letters 40.14 (2004): 915-916.
- [16] Bianchi, Giuseppe. "**Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function.**" IEEE Journal on selected areas in communications 18.3 (2000): 535-547.
- [17] Zhang, Qi, Villy B. Iversen, and Frank HP Fitzek. "**Throughput and delay performance analysis of packet aggregation scheme for prma.**" Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on. IEEE, 2007.
- [18] Daneshgaran, Fred, et al. "**Unsaturated throughput analysis of IEEE 802.11 in presence of non ideal transmission channel and capture effects.**" IEEE Transactions on Wireless Communications 7.4 (2008): 1276-1286.
- [19] Hung, Fu-Yi, and Ivan Marsic. "**Performance analysis of the IEEE 802.11 DCF in the presence of the hidden stations.**" Computer Networks 54.15 (2010): 2674-2687.
- [20] Laddomada, Massimiliano, et al. "**On the throughput performance of multirate IEEE 802.11 networks with variable-loaded stations: analysis, modeling, and a novel proportional fairness criterion.**" IEEE Transactions on Wireless Communications 9.5 (2010).

- [21] Bianchi, Giuseppe. "IEEE 802.11-saturation throughput analysis." IEEE communications letters 2.12 (1998): 318-320.
- [22] Jang, Beakcheol, and Mihail L. Sichitiu. "IEEE 802.11 saturation throughput analysis in the presence of hidden terminals." IEEE/ACM Transactions on Networking (TON) 20.2 (2012): 557-570.
- [23] Dai, Lin, and Xinghua Sun. "A unified analysis of IEEE 802.11 DCF networks: Stability, throughput, and delay." IEEE Transactions on Mobile Computing 12.8 (2013): 1558-1572.
- [24] Chen, Qian, et al. "Directional cooperative MAC protocol design and performance analysis for IEEE 802.11 ad WLANs." IEEE Transactions on Vehicular Technology 62.6 (2013): 2667-2677.
- [25] Bianchi, Giuseppe, Luigi Fratta, and Matteo Oliveri. "Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs." Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1996. PIMRC'96., Seventh IEEE International Symposium on. Vol. 2. IEEE, 1996.
- [26] Sugimoto, Takuya, et al. "Maximum throughput analysis for RTS/CTS-used IEEE 802.11 DCF in wireless multi-hop networks." Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2010 International Conference on. IEEE, 2010.
- [27] Cai, Baoguo, and Xuening Miao. "Saturation throughput analysis of IEEE 802.11 DCF under capture effect." Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference on. IEEE, 2012.
- [28] Siripongwutikorn, Peerapon. "Throughput analysis of an IEEE 802.11b multihop ad hoc network." TENCON 2006. 2006 IEEE Region 10 Conference. IEEE, 2006.
- [29] Senthilkumar, T. D., A. Krishnan, and P. Kumar. "New approach for throughput analysis of IEEE 802.11 in adhoc networks." Electrical and Computer Engineering, 2008. ICECE 2008. International Conference on. IEEE, 2008.
- [30] Lauwens, Ben, Bart Scheers, and Antoine Van de Capelle. "Throughput Analysis of Multi-Hop CSMA/CA Wireless Networks." Sarnoff Symposium, 2008 IEEE. IEEE, 2008.