# กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย

# PERFORMANCE IMPROVEMENT MECHANISM FOR ROUTING-BASED DYNAMIC CHANNEL ASSIGNMENT ALGORITHM IN WIRELESS MESH NETWORKS


**พนา จันทิวาสน์**

PANA JANTIVAS


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**พ.ศ.2556**


KMITL-2013-EN-M-070-086

# PERFORMANCE IMPROVEMENT MECHANISM FOR ROUTING-BASED DYNAMIC CHANNEL ASSIGNMENT ALGORITHM IN WIRELESS MESH NETWORKS

PANA JANTIVAS

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

KMITL-2013-EN-M-070-086

COPYRIGHT 2013
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย

**Thesis Title** Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks

**นักศึกษา** นายพนา จันทิวาสน์

**รหัสประจำตัว** 53611105

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์

**หมายเลขวิทยานิพนธ์** KMITL-2013-EN-M-070-086

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| ผศ.ดร.สุรินทร์ | กิตติธรกุล | |
| ดร.วรวัฒน์ | ลิ้มโภคา | |
| รศ.ดร.สมภพ | ภูริวิกรัยพงศ์ | |
| ดร.ปกรณ์ | วัฒนจตุรพร | |
| ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย | ทิพย์จักษุรัตน์ | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** วันจันทร์ที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เวลา 11.00-13.00 น.

**สถานที่สอบ** ณ อาคาร ECC ห้อง ECC-810

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

**คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว**

**(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)**

**คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2556**

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย |
| **นักศึกษา** | นายพนา จันทิวาสน์ |
| **รหัสประจำตัว** | 53611105 |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| **พ.ศ.** | 2556 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์ |


## บทคัดย่อ


การจัดสรรช่องสัญญาณและการค้นหาเส้นทางเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในเครือข่ายเมชไร้สาย กระบวนการทั้งสองสามารถทำงานร่วมกันได้ เช่นในงานวิจัย การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางที่เรียกว่า (R-CA) จากการพิจารณาการทำงานของ R-CA เราพบว่าประสิทธิภาพของ R-CA สามารถปรับปรุงให้สูงขึ้นได้โดยการลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกต วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราเสนอ กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง เราเรียกวิธีการที่นำเสนอว่า PIM-R-CA เราประเมินประสิทธิภาพของ PIM-R-CA โดยเปรียบเทียบกับวิธีการ R-CA ด้วยการจำลองการทำงาน และผลการจำลองการทำงานได้แสดงให้เห็นว่า PIM-R-CA สามารถลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตได้ดีกว่าวิธีการของ R-CA และส่งผลให้อัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จและทรูพุทของ PIM-R-CA สูงกว่าของ R-CA

| | |
|---|---|
| **Thesis** | Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks |
| **Student** | Mr.Pana Jantivas |
| **Student ID.** | 53611105 |
| **Degree** | Master of Engineering |
| **Program** | Computer Engineering |
| **Year** | 2013 |
| **Thesis Advisor** | Asst.Prof.Dr. Sakchai Thipchaksurat |

# ABSTRACT

The channel assignment and routing algorithms are the essential processes in wireless mesh networks. The both algorithms can work together such as in the research entitled “Routing-based dynamic channel assignment algorithm in wireless mesh networks (R-CA)”. We have considered that the performance of R-CA algorithm can be improved by reducing delay and loss of packets. In this thesis, we have proposed the improvement scheme for R-CA called “Performance improvement mechanism for routing-based dynamic channel assignment algorithm (PIM-R-CA)”. We have evaluated the performances of PIM-R-CA comparing with those of R-CA algorithm using simulation. The simulation results have shown that PIM-R-CA can reduce delay and loss of packets better than those of R-CA. The packet delivery ratio and throughput provided by PIM-R-CA are also higher than those of R-CA.

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะการทำการวิจัย การเขียน ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายภราดา นาคสุข ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมภาษา C++ อย่างละเอียด

ขอขอบคุณ นายพุฒิพงศ์ เกิดพิพัฒน์ นายรณชัย สังหมื่นเม้า และนายศุภกิจ เจริญศิริสุทธิกุล ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม NS-2 การทำการจำลอง และ การวิเคราะห์ผลการจำลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และ น้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคนที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยกำลังทรัพย์และเป็นกำลังใจให้สามารถศึกษาจนสำเร็จลุล่วง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

พนา จันทิวาสน์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... I
ABSTRACT ..... II
กิตติกรรมประกาศ ..... III
สารบัญ ..... IV
สารบัญตาราง ..... VI
สารบัญรูป ..... VII
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ..... 2
1.3 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ ..... 2
1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ ..... 3
บทที่ 2 เครือข่ายไร้สายและการจัดสรรช่องสัญญาณ ..... 5
2.1 ความเป็นมาของระบบเครือข่ายไร้สาย ..... 5
2.1.1 Infrastructure Mode ..... 7
2.1.2 Ad Hoc mode ..... 8
วิวัฒนาการของมาตรฐาน 2.1.3IEEE 802.11 ..... 9
2.2 ระบบเครือข่ายเมชไร้สาย ..... 12
2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานหลักของเครือข่ายเมชไร้สาย ..... 13
2.2.2 โครงสร้างเครือข่ายผู้ใช้งานในข่ายเมชไร้สาย ..... 14
2.2.3 โครงสร้างเครือข่ายเมชไร้สายแบบไฮบริด ..... 15
2.3 การแบ่งช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สาย ..... 16
ช่องสัญญาณที่ทับซ้อนกัน 2.3.1(Overlapping Channel) ..... 16
ช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน 2.3.2(Non-Overlapping Channel) ..... 17
2.3.3 เครือข่ายเมชไร้สายแบบหลายช่องสัญญาณ ..... 18
2.4 เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณ ..... 19
การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ 2.4.1Fixed (static) Channel Assignment (FCA) ..... 20
การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัต 2.4.2Dynamic Channel Allocation (DCA) ..... 22
2.4.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบผสม (Hybrid Channel Assignment) ..... 24
บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 28
3.1 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สาย ..... 28

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง .....32
3.2.1 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย.....32
3.2.2 วิธีการจัดการการตอบสนอง .....35
3.2.3 การทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวน การค้นหาเส้น .....36
3.2.4 วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....39
บทที่ 4 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่นำเสนอ .....40
4.1 กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่อง สัญญาณแบบพลวัตด้วย
กระบวนการค้นหาเส้นทาง .....40
4.1.1 การปรับปรุงเพิ่มเติมโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง.....40
ขันตอนการทำงานของ 4.1.2PIM-R-CA.....43
ตัวอย่างการทำงานของวิธีการ 4.1.3PIM-R-CA.....49
บทที่ 5 การจำลองการทำงานของระบบและผลการจำลอง.....53
5.1 พารามิเตอร์ของการจำลองการทำงาน .....53
5.2 วิธีการคำนวณผลการจำลอง .....55
การคำนวนค่าดีเลย์ 5.2.1.....55
การสูญหายของแพ็คเกต 5.2.2 .....56
การคำนวนค่าอัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จ 5.2.3 .....56
การคำนวณค่าทรูพุท 5.2.4.....56
การชนกันของแพ็คเกต 5.2.5 .....57
5.3 ผลการจำลองการทำงาน .....57
5.3.1การจำลองอัตราการส่งแพ็คเกต.....57
การจำลองจำนวนการเชื่อมต่อ 5.3.2.....61
บทที่ 6 บทสรุป.....67
6.1 สรุปผลการจำลองการทำงาน .....67
6.2 อุปสรรคและปัญหา.....67
6.3 แนวทางการปรับปรุงในอนาคต.....68
เอกสารอ้างอิง.....69
ภาคผนวก.....72
ประวัติผู้เขียน .....80

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางช่องสัญญาณของโหนด ..... 21
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลช่องสัญญาณ ..... 32
ตารางที่ 4.1(a) ตารางเส้นทางของโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม ..... 43
ตารางที่ 4.1(b) ตารางเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่เพิ่มข้อมูลช่องทาง ..... 43
ตารางที่ 4.2 ตารางข้อมูลช่องสัญญาณ ..... 44
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ ..... 54

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 ความสามารถของเครือข่ายไร้สาย ..... 6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างเครือข่ายไร้สายทั่วไป ..... 7
รูปที่ 2.3 Infrastructure Mode ..... 8
รูปที่ 2.4 Ad Hoc mode ..... 9
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทั่วไปของเครือข่ายเมชไร้สาย ..... 13
รูปที่ 2.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อของผู้ใช้งานในเครือข่ายข่ายเมชไร้สาย ..... 14
รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อของเครือข่ายเมชแบบไฮบริด ..... 15
รูปที่ 2.8 การแบ่งช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz ..... 16
รูปที่ 2.9 non-overlaping channel ..... 17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างโหนดแบบช่องสัญญาณเดียว ..... 18
รูปที่ 2.11 โครงสร้างโหนดแบบหลายช่องสัญญาณ ..... 19
รูปที่ 2.12 การทำงานของวิธีการ KN-CA ..... 21
รูปที่ 3.1 Joint Channel Assignment and Routing Architecture ..... 31
รูปที่ 3.2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย ..... 34
รูปที่ 3.3 วิธีการจัดการการตอบสนอง ..... 35
รูปที่ 3.4 การทำงานของวิธีการ R-CA แบบ 2 โหนด ..... 36
รูปที่ 3.5 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการว่างพร้อมใช้งาน ..... 37
รูปที่ 3.6 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการไม่ว่างแต่ให้รอช่องสัญญาณว่าง ..... 38
รูปที่ 3.7 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการไม่ว่างและต้องหาเส้นทางผ่านโหนดอื่น ..... 38
รูปที่ 4.1(a) รูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางในโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม ..... 41
รูปที่ 4.1(b)รูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางในโพรโทคอล AODV ที่ได้ปรับปรุง ..... 41
รูปที่ 4.2(a) รูปแบบของแพ็คเกตตอบรับในโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม ..... 42
รูปที่ 4.2(b) รูปแบบของแพ็คเกตตอบรับในโพรโทคอล AODV ที่ได้ปรับปรุง ..... 42
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อของโหนด ..... 43
รูปที่ 4.4 การทำงานของโหนดต้นทาง ..... 44
รูปที่ 4.5 การทำงานของวิธีการแบบกระจาย ..... 46
รูปที่ 4.6 การทำงานของโหนดปลายทาง ..... 47
รูปที่ 4.7 การทำงานของวิธีจัดการการตอบสนอง ..... 48
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการทำงานเบื้องต้นระหว่าสองโหนด ..... 49
รูปที่ 4.9 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการ ..... 50

# สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

รูปที่ 4.10 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่างพร้อมให้บริการและเป็นโหนดที่ไม่เคยติดต่อ .....51
รูปที่ 4.11 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่างพร้อมให้บริการและเป็นโหนดที่เคยติดต่อ .....52
รูปที่ 5.1 รูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการจำลอง.....55
รูปที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยของดีเลย์เทียบกับอัตราการส่งแพ็คเกต .....58
รูปที่ 5.3 การสูญหายของแพ็คเกตกับอัตราการส่งแพ็คเกต.....59
รูปที่ 5.4 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเกต .....60
รูปที่ 5.5 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเกต .....61
รูปที่ 5.6 การสูญหายของแพ็คเกตกับจำนวนการเชื่อมต่อ.....62
รูปที่ 5.7 การชนกันของแพ็คเกตกับจำนวนการเชื่อมต่อ .....63
รูปที่ 5.8 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับจำนวนการเชื่อมต่อ .....64
รูปที่ 5.9 ทรูพุทกับจำนวนการเชื่อมต่อ.....65

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันถูกแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ การสื่อสารฮอพเดียว (Single-hop Communications) เป็นการสื่อสารถึงกันผ่านทางเสาสัญญาณตัวกลางเพียงตัวเดียว เช่น ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Cellular Network) ระบบเครือข่ายไร้สายที่ใช้งานตามบ้านหรือสำนักงานทั่วไปที่ใช้งานแอคเซสพอยต์เป็นตัวกลาง (Wireless Local Area Network) และระบบไวแม็กซ์ (WiMax Network) เป็นต้น ทำให้เกิดข้อจำกัด เช่น จำนวนช่องสัญญาณของเสาสัญญาณตัวกลางที่ไม่เพียงพอในการให้บริการเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวนมากเนื่องจากทรัพยากรความถี่ที่ให้บริการมีช่องสัญญาณจำนวนจำกัด จึงได้เกิดแนวคิดของการสื่อสารแบบหลายฮอพ (Multi-hop Communications) การสื่อสารแบบนี้ส่วนมากอยู่ภายใต้มาตรฐานของ IEEE 802.11 แบบมัลติฮอพ เช่น เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) เครือข่ายเมชไร้สาย (Wireless Mesh Network) และเครือข่ายเคลื่อนที่แอดฮอค (Mobile ad-hoc Network) เป็นต้น ซึ่งการสื่อสารแบบหลายฮอพจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลผ่านตัวกลางเพียงตัวเดียว สามารถกระจายการส่งข้อมูลผ่านไปยังโหนดอื่นๆ ในเครือข่ายได้

เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเครือข่ายไร้สายแบบหลายฮอพที่นิยมนำมาใช้งานและมีการศึกษากันหลากหลายเพราะเครือข่ายไร้สายแบบเมชนั้นโหนดสามารถเชื่อมต่อกับโหนดอื่นๆ ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงได้หลายโหนด ทำให้โหนดในเครือข่ายแต่ละโหนดสามารถสร้างเส้นทางเชื่อมต่อได้มากกว่าหนึ่งเส้นทางทำให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมาก เครือข่ายเมชไร้สายเดิมมีช่องสัญญาณในการให้บริการเพียงช่องสัญญาณเดียว เมื่อมีปริมาณการส่งข้อมูลในเครือข่ายหนาแน่นขึ้น จะทำให้เกิดดีเลย์ในการรับส่งข้อมูล จึงเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับเครือข่ายเมชไร้สายที่มีหลายช่องสัญญาณ [7] [17] ทำให้โหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีช่องทางในการรับส่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งช่องทาง ถึงแม้ว่าโหนดต่างๆ ในเครือข่ายมีช่องทางการเชื่อมต่อได้หลายช่องทางแล้วก็ยังทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ที่ต้องการเชื่อมต่อกับเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพ จึงเกิดการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ในเครือข่ายเกิดขึ้น

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) [1] เป็นวิธีหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายโดยยึดหลักของการค้นหาเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางแบบ Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) และจัดสรร

ช่องสัญญาณให้กับโหนดไปพร้อมกัน โหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะเป็นผู้ร้องขอช่องทางที่ต้องการใช้โดยส่งไปพร้อมกับแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง ทำให้เมื่อร้องขอเส้นทางไปที่โหนดเดิมหลายครั้ง เกิดการสร้างเส้นทางไปยังโหนดเดียวกันโดยใช้ช่องสัญญาณไม่ซ้ำกัน ด้วยเหตุนี้เมื่อเครือข่ายมีการรับส่งข้อมูลมากขึ้นอาจจะทำให้เกิดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตเพิ่มขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เราสนใจในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) เพื่อลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่าย โดยกำหนดให้โหนดที่ต้องการร้องขอเส้นทางจะต้องส่งข้อมูลสถานะช่องสัญญาณของตนเองมาในแพ็คเกตร้องขอเพื่อให้โหนดที่ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางพิจารณาเลือกจัดสรรช่องสัญญาณให้ โดยที่โหนดที่รับคำร้องขอเส้นทางจะพิจารณาความเหมาะสมในการจัดสรรช่องสัญญาณโดยดูจากประวัติการใช้งานถ้าเคยมีการส่งข้อมูลมาก่อนก็จะได้รับช่องสัญญาณเดิมไปใช้งานทันที แต่ถ้าเป็นโหนดใหม่ที่ขอใช้งานช่องสัญญาณก็จะคัดเลือกช่องสัญญาณที่เหมาะสมให้จากการพิจารณาสถานะช่องสัญญาณโหนดที่ร้องของและโหนดที่รับคำร้องขอ ดังนั้นในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย” (Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks) จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์ไว้ดังนี้

- ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเทคนิคและวิธีการใหม่สำหรับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สาย เพื่อลดดีเลย์ในการส่งข้อมูล การสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่าย เพิ่มอัตตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายและทำให้ทรูพุทของเครือข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้น
- นำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตแบบต่างๆ มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์และข้อดีข้องเสียของแต่ละวิธีเพื่อนำไปประยุกต์ในการออกแบบวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- สามารถนำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ออกแบบไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างถูกต้อง
- วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ออกแบบมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

## 1.3 หลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการนำเสนอกลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย โดยปรับปรุงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับคำร้องขอที่เข้ามาโดยใช้กระบวนการพิจารณาว่า ถ้าเป็น

โหนดที่ไม่เคยเข้ามาใช้งานหรือไม่เคยส่งข้อมูลมาก่อนจะจัดเป็นโหนดใหม่โหนดที่รับคำร้องจะนำข้อมูลสถานะช่องสัญญาณที่โหนดที่ส่งคำร้องใส่มาในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาพิจารณาร่วมกับสถานะช่องสัญญาณของตนเอง โดยที่ถ้ามีช่องสัญญาณที่พร้อมใช้งานร่วมกันก็จะจัดสรรช่องสัญญาณนั้นให้กับโหนดที่ส่งคำร้องขอมา แต่ถ้าไม่มีช่องสัญญาณที่พร้อมใช้งานร่วมกันก็จะเก็บที่อยู่ของโหนดที่ส่งคำร้องขอไว้ในคิวเพื่อรอช่องสัญญาณว่างต่อไป แต่เมื่อคำร้องที่เข้ามานั้นมาจากโหนดที่เคยได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณมาก่อนแล้วหรือโหนดที่เคยส่งข้อมูลมาก่อนแล้วจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณเดิมที่เคยใช้งาน ถ้าช่องสัญญาณนั้นว่างก็จะสามารถใช้งานได้ทันที แต่ถ้าช่องสัญญาณนั้นไม่ว่างก็จะให้รออยู่ในคิวเพื่อรอช่องสัญญาณว่างต่อไป ซึ่งผลที่ออกมาจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สายที่เรานำเสนอนี้ ดีเลย์ในการส่งข้อมูลในเครือข่ายลดลง ทำให้การสูญหายของแพ็คเกตระหว่างการส่งน้อยลงและอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ค่าทรูพุทของเครือข่ายดีขึ้นเมื่อมีจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายจำนวนมาก

## 1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สาย ซึ่งจะประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

อธิบายถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ หลักการใหม่ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และ รายละเอียดขั้นตอนการศึกษาโดยสรุปของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เครือข่ายไร้สายและเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณ

อธิบายถึง ระบบเครือข่ายไร้สายทั่วไป ระบบเครือข่ายเมชไร้สายรูปแบบต่างๆ เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ และเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สาย

บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อธิบายถึง งานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายและนำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สายมาก่อนหน้านี้ และอธิบายถึงงานวิจัยที่สนใจและนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 4 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตที่นำเสนอ

อธิบายถึง กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กลไกการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับคำร้องของที่เข้ามา และกลไกการจัดสรรคิวที่เข้าใช้งานช่องสัญญาณของคำร้องต่างๆ

บทที่ 5 การจำลองการทำงานและผลการจำลอง

แสดงรูปแบบการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายเมชไร้สายที่ใช้งาน กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางแบบเดิม รวมทั้งการวิเคราะผลการจำลองการทำงาน

บทที่ 6 บทสรุป

สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวิธีการที่ได้นำเสนอ พร้อมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทำวิจัยต่อไป

# บทที่ 2

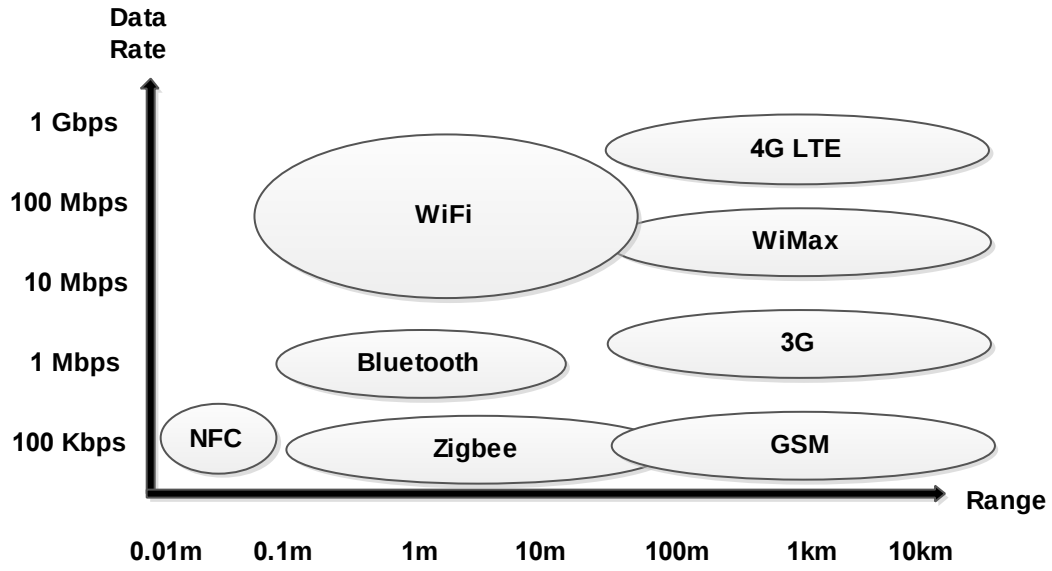
# เครือข่ายไร้สายและการจัดสรรช่องสัญญาณ

เครือข่ายไร้สายถือเป็นระบบเครือข่ายที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันทั้งเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เครือข่ายเมชไร้สาย เป็นต้น ระบบเครือข่ายไร้สายใช้งานคลื่นวิทยุในการสื่อสารจึงต้องมีระบบจัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร การจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายแบ่งเป็นหลายรูปแบบ เช่น การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ แบบพลวัต และแบบรวมทั้งแบบคงที่และพลวัต ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของเครือข่ายไร้สายและการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

## 2.1 ความเป็นมาของระบบเครือข่ายไร้สาย

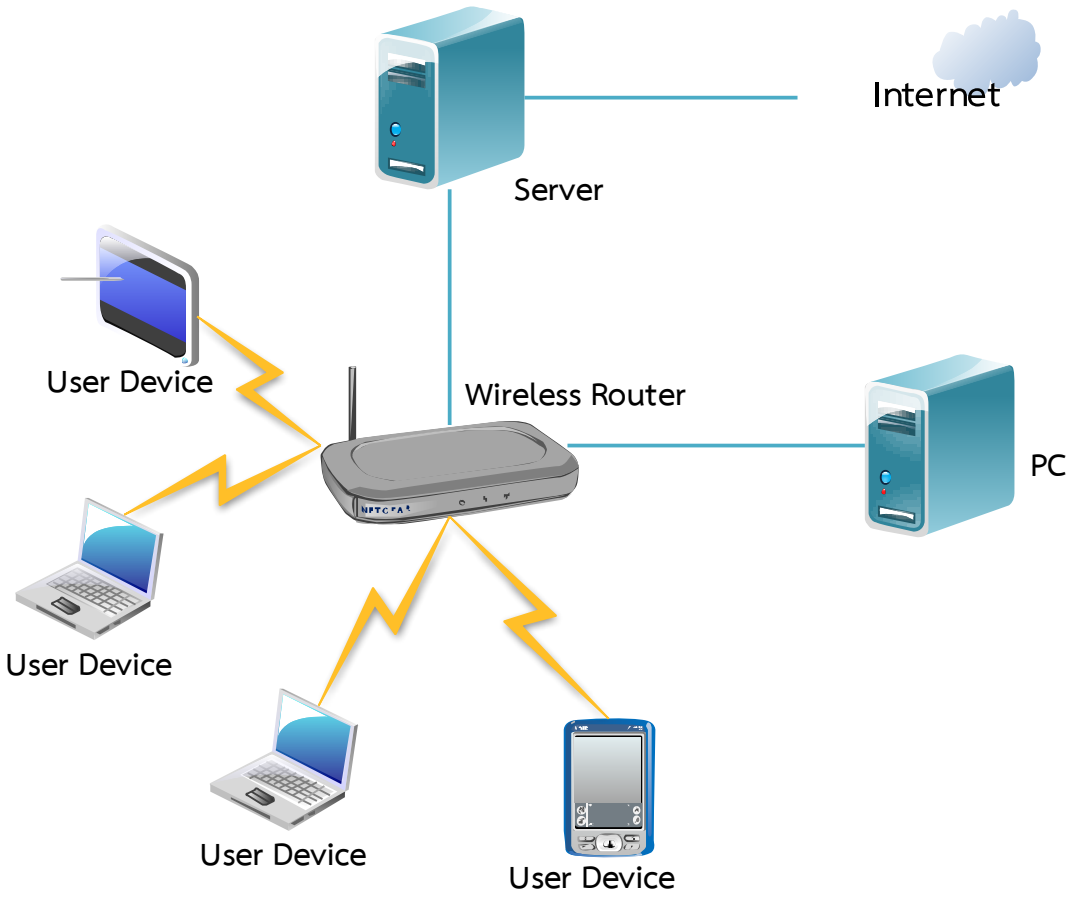
ระบบเครือข่ายไร้สาย Wireless Local Area Network (WLAN) คือเทคโนโลยีที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง กลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ สามารถสื่อสารกันโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการสร้างช่องทางการสื่อสาร ประวัติความเป็นมาในปี ค.ศ. 1970, prof. N. Abramson แห่งมหาวิทยาลัยฮาวายได้พัฒนาเครือข่ายสื่อสารแบบไร้สายขึ้นเป็นครั้งแรกของโลก ในชื่อ ALOHAnet โดยใช้คลื่นของวิทยุสมัครเล่นแบบต้นทุนต่ำ โดยตัวระบบได้มีการใช้คอมพิวเตอร์ทั้งหมด 7 ตัวกระจายไปยังเกาะต่างๆ 4 เกาะแล้วทำการสื่อสารมาที่ศูนย์คอมพิวเตอร์กลางที่เกาะโออาฮู โดยไม่ใช้สายโทรศัพท์เลย ในปี ค.ศ. 1979, F.R. Gfeller และ U. Bapst ได้เผยแพร่งานวิจัยในวารสาร IEEE เพื่อรายงานผลของการทดลองระบบเครือข่ายไร้สายโดยใช้คลื่นรังสีอินฟราเรด จากนั้นไม่นาน ในปี ค.ศ. 1980, P. Ferrert ได้รายงานผลของการทดลองใช้คลื่นวิทยุ spread spectrum รหัสเดี่ยวสำหรับการสื่อสารแบบไร้สายในที่ประชุมโทรคมนาคมระดับชาติของ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) จากนั้นในปี ค.ศ. 1984 มีการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นรังสีอินฟราเรดและ spread spectrum แบบ CDMA สำหรับเครือข่ายสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายในสำนักงาน และมีการตีพิมพ์ในวารสาร Computer Networking Symposium ของ IEEE และจากนั้นได้มีการตีพิมพ์ต่อในวารสาร Communication Society ของ IEEE ในปี ค.ศ. 1985 M. Marcus ได้ทำการทดลองและนำเสนอคลื่น ISM Band เพื่อนำเทคโนโลยีไร้สายบนความถี่ Spread Spectrum ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ต่อมา M. Kavehrad ได้รายงานผลของการทดลองระบบ PBX โดยใช้การเข้ารหัสแบบผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ทีละหลายคน Code Division Multiple Access (CDMA) จน

ต่อมาได้มีการพัฒนาแลนไร้สายรุ่นใหม่ขึ้นมา และมีการปรับปรุงเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ โดยแบ่งตามความเร็วในการใช้งานและระยะทาง ในการรับส่งข้อมูล




รูปที่ 2.1 ความสามารถของเครือข่ายไร้สาย

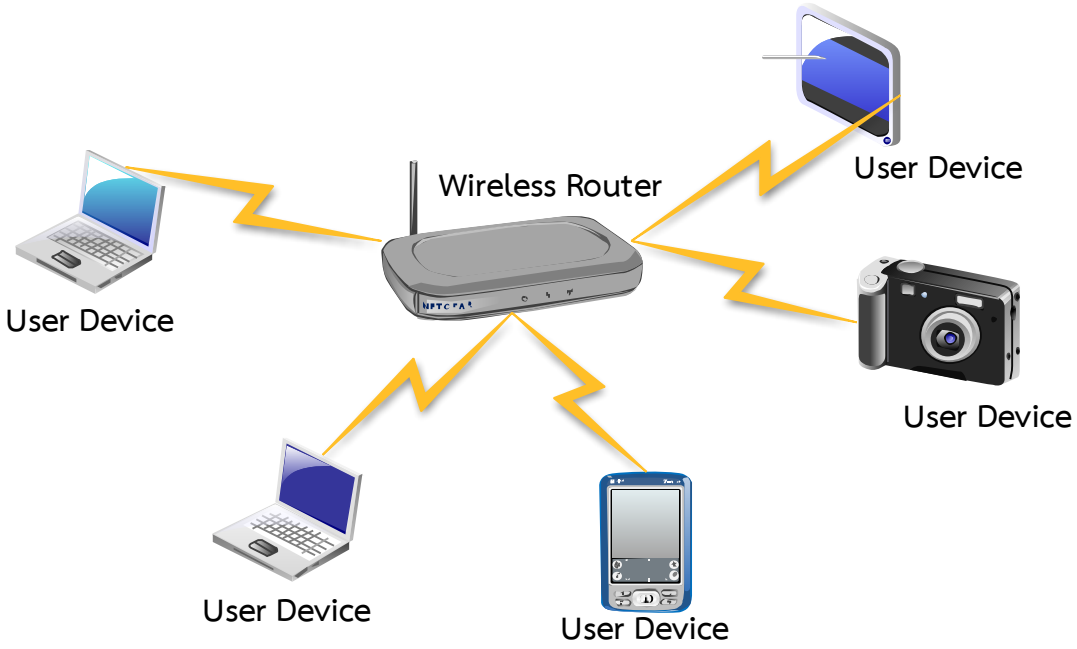
สำหรับเทคโนโลยีระบบเครือข่ายไร้สายได้ถูกนำมาใช้ในเมืองไทยประมาณปี พ.ศ. 2544 ในขณะนั้นยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพงมาก ในช่วงแรกระบบเครือข่ายไร้สายได้รับความนิยมใช้ในสถานศึกษา และในอาคารสำนักงานเป็นส่วนใหญ่ และต่อมาเนื่องจากความสะดวกและความได้เปรียบของระบบเครือข่ายไร้สาย จึงมีการนำมาใช้ในสถานที่ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก เช่น ในบ้านสำหรับการใช้งานอินเตอร์เน็ตร่วมกันหลาย ๆ คนพร้อมกัน ในสถานพักตากอากาศ อพาร์ตเม้นต์ สถานีรถไฟ ร้านกาแฟ ห้างสรรพสินค้า หรือในสนามบิน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีการใช้ระบบเครือข่ายไร้สาย ในบริเวณที่ยังไม่ได้วางระบบเครือข่ายมีสายเอาไว้ เพื่อขยายพื้นที่ให้บริการให้ครบคลุม จนถึงปัจจุบันระบบเครือข่ายไร้สายได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากราคาอุปกรณ์นั้นมีราคาถูกลงมากสามารถหาซื้อได้ง่ายขึ้นและสามารถติดตั้งการใช้งานได้ด้วยตัวเองไม่ต้องอาศัยช่างผู้ชำนาญการ จากรูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของระบบเครือข่ายไร้สายที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในปัจจุบันโดยมี Wireless Router หรือ Wireless Access Point เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ไร้สายในเครือข่ายหรือการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่ายกับเครือข่าย Internet นอกจากนี้อุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สายยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีสายผ่านทาง Wireless Router ตัวเดียวกันได้ โครงสร้างของระบบเครือข่ายไร้สายสามารถแบ่งออกเป็นสองรูปแบบหลักๆ คือ Infrastructure Mode และ Ad-Hoc mode ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้




รูปที่ 2.2 โครงสร้างเครือข่ายไร้สายทั่วไป

### 2.1.1 Infrastructure Mode

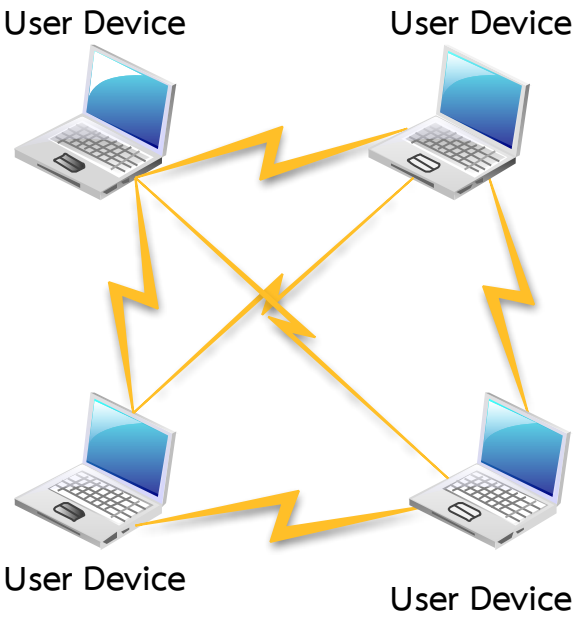
ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Infrastructure Mode ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Wireless Router หรือเรียกว่า Access Point (AP) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน (User Device) หรือ ระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานด้วยกันเอง ซึ่งถ้าอุปกรณ์ของผู้ใช้งานในเครือข่ายต้องการที่จะติดต่อกันเองหรือต้องการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นๆ จะต้องติดต่อกันผ่านทาง AP เท่านั้น โดยที่ AP จะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบตัวเสาสัญญาณของ AP อุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ในรัศมีของ AP จะเชื่อมต่อเข้ากับ AP เดียวกันอุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่อยู่ภายในรัศมี AP เดียวกันก็จะกลายเป็นเครือข่ายเดียวกันทันที อุปกรณ์ของผู้ใช้งานจะติดต่อกับ AP เพื่อออกสู่เครือข่าย Internet เท่านั้น ซึ่ง AP 1 จุด สามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลได้ถึง 15-20 อุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน แต่ในปัจจุบันมีความพยายามที่จะเพิ่มปริมาณการให้บริการให้มากขึ้นซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป เครือข่ายแบบ Infrastructure Mode เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการขยายเครือข่ายในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากหรือไม่สามารถลากสายเข้าไปได้หรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายมีสายแบบเดิมในสำนักงาน, ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการทำงานให้มากขึ้น




รูปที่ 2.3 Infrastructure Mode

### 2.1.2 Ad Hoc mode

รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Ad-hoc Mode หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Peer to Peer เป็นลักษณะ การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ของผู้ใช้งานอื่นๆ ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปเป็นการใช้งาน Network Interface Cards (NIC) ร่วมกันโดยอาจจะมีตัวกลางซึ่งเป็นอุปกรณ์ของผู้ใช้งานตัวใดตัวหนึ่งในเครือข่ายทำหน้าที่ติดต่อกับเครือข่ายอื่น เช่น ระบบแบบมีสาย เครือข่าย Internet หรือระบบไร้สายแบบอื่นๆ เป็นต้น เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล หรือ อาจจะทำงานเป็นเครือข่ายแบบปิด (Offline Mode) ไม่มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่นๆ เพื่อความปลอดภัยก็เป็นได้ โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความสามารถและสิทธิต่างๆ เท่าเทียมกันคือสามารถทำงานของตนเองได้และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ โดยสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานอื่นๆ ในเครือข่ายได้มากกว่า 1 เครื่องอีกด้วย เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วในการใช้งานเพราะไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ เพิ่มเติม ยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามป่าเขา หรือสถานที่ที่ยากต่อการเข้าถึง เพื่อวัดอุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น หรือ ทุ่นลอยน้ำเพื่อตรวจจับคลื่นสึนามิ ใช้การประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่ที่ต้องการความรวดเร็วในการติดตั้งระบบเครือข่าย เป็นต้น ตัวอย่างการเชื่อมต่อของ Ad-hoc mode จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.4




รูปที่ 2.4 Ad Hoc mode

### 2.1.3 วิวัฒนาการของมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2540 ซึ่งอุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าว จะมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1 ถึง 2 Mbps ด้วยการสื่อสารผ่านคลื่นอินฟาเรดหรือคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz และมีกลไก Wired Equivalent Privacy (WEP) ซึ่งเป็นกลไกสำหรับเข้ารหัสเพื่อรักษาความปลอดภัยให้กับเครือข่ายไร้สายได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11 เวอร์ชั่นแรกเริ่มมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีการรองรับหลักการ Quality of Service (QoS) ซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งกลไกรักษาความปลอดภัยที่ใช้ยังมีช่องโหว่อยู่มาก IEEE จึงได้จัดคณะทำงานขึ้นมาหลายชุดด้วยกัน เพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติมมาตรฐานให้มีศักยภาพสูงขึ้น โดยคณะทำงานกลุ่มที่มีผลงานที่น่าสนใจและเป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่ IEEE 802.11a , IEEE 802.11b, IEEE802.11g และ IEEE 802.11n

#### 2.1.3.1 IEEE 802.11a

IEEE 802.11a ได้ตีพิมพ์เป็นมาตรฐานเมื่อปี พ.ศ. 2542 มาตรฐาน IEEE 802.11a ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps บนคลื่นความถี่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่สาธารณะสำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อื่นน้อยกว่าในย่านความถี่ 2.4 GHz อย่างไรก็ตามคลื่นความถี่ 5 GHz ในบางประเทศไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างสาธารณะ เช่น ประเทศไทย เนื่องจากความถี่ย่าน 5 GHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับ

กิจการอื่นแล้ว นอกจากนี้ IEEE 802.11a มีรัศมีของสัญญาณค่อนข้างสั้นมากโดยประมาณ 30 เมตร จาก AP (โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง) สั้นกว่ารัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11b ที่มีขนาดประมาณ 100 เมตร จาก AP (โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง) สำหรับการใช้งานภายในอาคารและยังมีความสามารถในการทะลุผ่านสิ่งกีดขวางน้อยกว่า IEEE 802.11b อีกด้วย

#### 2.1.3.2 IEEE 802.11b

IEEE 802.11b เป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Complimentary Code Keying (CCK) ผนวกกับเทคโนโลยี Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz IEEE 802.11b ใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าว ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับเครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่า เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

#### 2.1.3.3 IEEE 802.11g

IEEE 802.11g ได้มีการนำเทคโนโลยี OFDM มาประยุกต์ใช้ในช่องสัญญาณวิทยุความถี่ 2.4 GHz ซึ่งอุปกรณ์ IEEE 802.11g มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps ส่วนรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11g จะอยู่ระหว่างรัศมีสัญญาณของอุปกรณ์ IEEE 802.11a และ IEEE 802.11b เนื่องจากความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สาธารณะสากล อีกทั้งอุปกรณ์ IEEE 802.11g ยังสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ IEEE 802.11b ได้

#### 2.1.3.4 IEEE 802.11n

มาตรฐาน IEEE 802.11n อุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่างๆ จะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ในอัตราความเร็ว 600 Mbps ซึ่งเร็วกว่า 802.11g ถึง 4 เท่า นอกจากนี้ยังขยายระยะสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้งานมาตรฐานนี้ได้ไกลกว่ามาตรฐานเดิมอีกกว่าร้อยละ 50 IEEE 802.11n ใช้เทคโนโลยี Multiple Input Multiple Output (MIMO) ซึ่งอุปกรณ์เครือข่ายจะรับสัญญาณด้วยเสาอากาศหลายๆ ตัว และนำสัญญาณมาประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing algorithms) เพื่อรวมสัญญาณหลายๆ สัญญาณให้เป็นสัญญาณเดียวยิ่งไปกว่านั้นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานเทคโนโลยี MIMO สามารถจัดการกับการไหลของข้อมูลได้มากกว่าเทคโนโลยีไร้สาย 802.11g ไม่เพียงแต่ช่วยให้การส่งข้อมูลทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ยังช่วยเพิ่มความเสถียรของเครือข่าย เพิ่มความสามารถในการป้องกันสัญญาณ

รบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ 2.4GHz เหมือนกัน และ ยังใช้งานร่วมกับมาตรฐาน 802.11b และ 802.11g เดิมได้อีกด้วย

#### 2.1.3.5 IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac เป็นมาตรฐานของเครือข่ายไร้สายแบบใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อมาแทนที่มาตรฐาน IEEE 802.11n โดยที่ IEEE 802.11ac นั้นได้มีการปรับปรุงเรื่องของการเข้ารหัสใหม่และมีการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น Beamforming เป็นต้น IEEE 802.11ac นั้นออกแบบมาโดยคำนึงถึงอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต เป็นต้น ความเร็วต่ำต่อ 1 เสาสัญญาณมีความเร็วถึง 433 Mbps ซึ่งมีความเร็วใกล้เคียงกับมาตรฐาน IEEE 802.11n แบบ 3 เสา ที่มีความเร็วอยู่ที่ 450 Mbps ซึ่งจะช่วยให้การโอนถ่ายข้อมูลนั้นมีความเร็วมากขึ้น โดยไม่ต้องใช้เสารับส่งสัญญาณจำนวนมาก ทำให้ช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานอีกด้วย ข้อมูลทางเทคนิคของมาตรฐาน IEEE 802.11ac มีดังนี้

- ใช้คลื่นความถี่ 5 GHz แทนที่ 2.4 GHz ที่ใช้งานกันในอุปกรณ์ไร้สายแบบเดิม
- ใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณใหม่ และ ใช้งานแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นเป็น 80 MHz หรือ 160 MHz ทำให้ความเร็วที่ได้ต่อ 1 เสาสูงถึง 433 Mbps ที่ 80 MHz และ 866 Mbps ที่ 160 MHz ในขณะที่มาตรฐาน IEEE 802.11n จะอยู่ที่ 72 Mbps ที่ 20 MHz และ 150 Mbps ที่ 40 MHz
- รองรับเสาอากาศตั้งแต่ 1 – 8 ต้น ดังนั้น 802.11ac จะสามารถทำความเร็วได้ถึง 3.6 Gbps ซึ่งมากกว่า IEEE 802.11n ที่ทำได้เพียง 600 Mbps
- รองรับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบใหม่ ๆ เป็นมาตรฐานเดียวกัน เช่น Beamforming ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณเข้าไปยังอุปกรณ์โดยตรง และ Multi-user MIMO ที่ทำให้เราท์เตอร์สามารถแยกเสาสัญญาณที่มีอยู่ไปรับส่งสัญญาณกับอุปกรณ์หลาย ๆ ตัว ทำให้อุปกรณ์ไม่ต้องแย่งแบนด์วิดท์กันใช้งานเหมือนระบบ MIMO แบบเก่าและยังคงรองรับมาตรฐานไร้สายแบบเก่าอยู่เช่นเดิม

#### 2.1.3.6 IEEE 802.11s

IEEE 802.11s เป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้เครือข่ายไร้สายสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้เองโดยไม่ต้องพึ่งโครงสร้างพื้นฐานในลักษณะของเครือข่ายเมชไร้สายโดยอุปกรณ์จุดเข้าถึงสัญญาณหรือเรียกว่า Mesh Router ทำให้สามารถสร้างเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างกว่างขวาง โดยใช้ Mesh Router หลายๆ ตัวเชื่อมต่อกันโดยไม่ต้องเดินสายสัญญาณไปยัง Mesh Router ทุกตัวในเครือข่ายซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

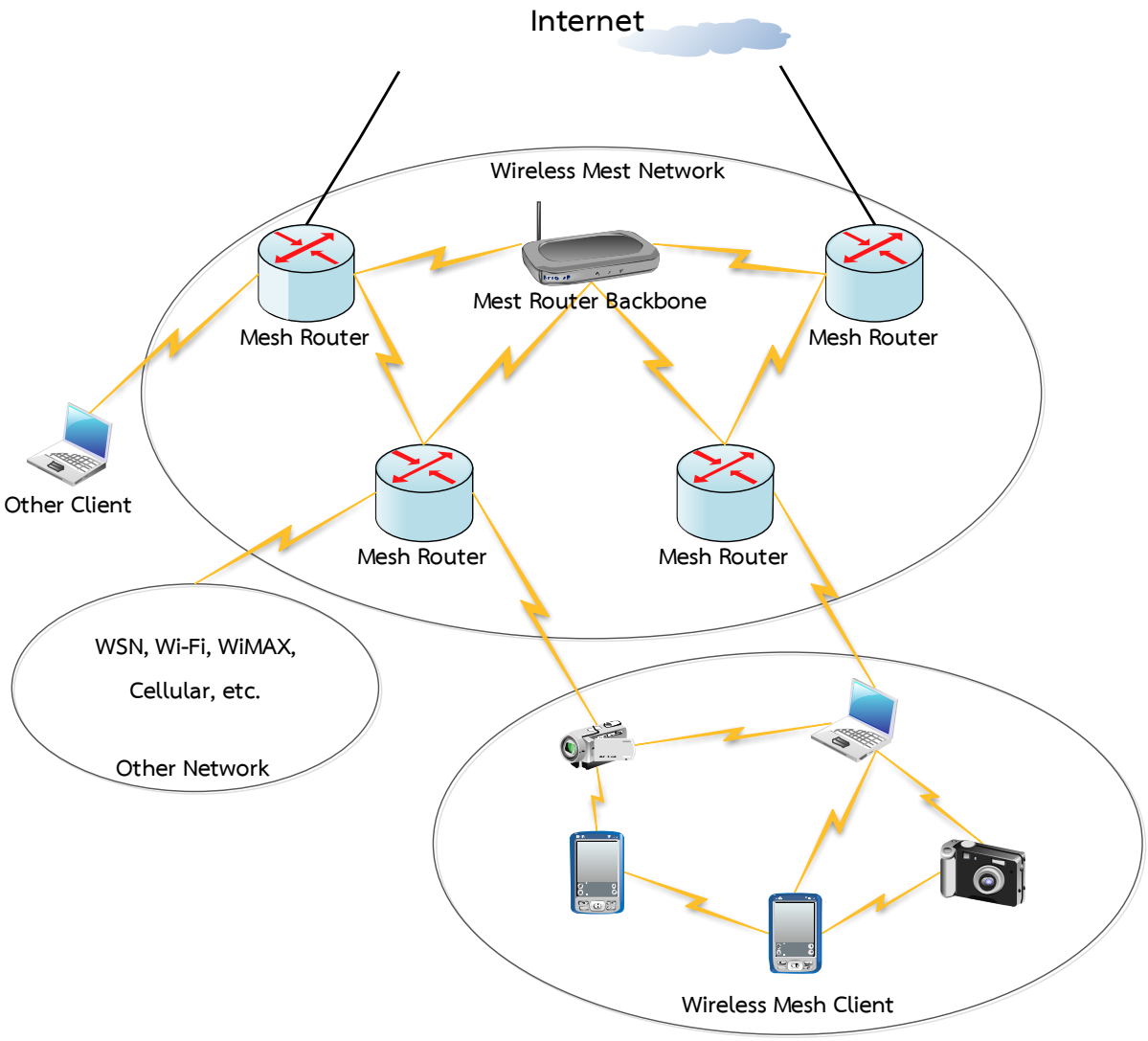
## 2.2 ระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

IEEE 802.11s เครือข่ายเมชไร้สาย Wireless Mesh Networks (WMN) ได้รับการอนุมัติมาตรฐานในวันที่ 30 กันยายน 2553 เป็นกลุ่มของอุปกรณ์ที่ติดต่อกันผ่านคลื่นความถี่ สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้เองได้โดยตรงในลักษณะแบบ Ad-hoc เครือข่ายเมชไร้สายเป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้เครือข่ายไร้สาย ทำให้สามารถสร้างเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริการกว้าง โดยใช้ Mesh Router หลาย ๆ ตัวเชื่อมต่อกันโดยไม่ต้องเดินสายสัญญาณไปยัง Mesh Router ทุกตัว อาจจะเลือกเพียงตัวใดตัวหนึ่งในเครือข่าย หรืออาจจะไม่ต้องติดต่อกับเครือข่ายอื่นเลย ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วจะมีข้อจำกัดเรื่องของระยะทางและสิ่งกีดขวางที่จะทำให้คลื่นวิทยุส่งไปไม่ถึงเป้าหมายที่ต้องการ โดยเฉพาะการส่งข้อมูลภายในอาคาร เนื่องจากส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นบ้านเรือนหรืออาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ มักจะมีการฝังวัสดุที่เป็นฉนวนเอาไว้ภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ ทำให้คลื่นวิทยุไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางเหล่านี้ได้อย่างสะดวกตัวรับสัญญาณก็จะรับสัญญาณด้วยระดับกำลังสัญญาณที่ต่ำกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ซึ่งในปัจจุบัน ระบบเครือข่ายไร้สายเป็นที่แพร่หลายในองค์กรต่าง ๆ แต่ยังมีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณระหว่าง Wireless Router แต่ละจุดจำเป็นต้องผ่านสายเคเบิลซึ่งเชื่อมโยงระหว่าง Wireless Router แต่ละตัวผ่านเครือข่ายหลัก ดังนั้น เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ทำให้ Mesh Router แต่ละตัวสามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้โดยตรงแบบไร้สาย ไม่ต้องผ่านสายเคเบิล ที่มีระยะทางสามารถเชื่อมต่อกันได้ ซึ่งเครือข่ายเมชไร้สายใช้งานได้ทั้งเครือข่ายไร้สายแบบภายในและภายนอกทั้งแบบที่ใช้ภายในอาคารขนาดเล็กหรือเครือข่ายขนาดใหญ่ ซึ่งอุปกรณ์หลักที่เครือข่ายเมชไร้สายส่วนใหญ่ใช้มีดังนี้

- Mesh Router Backbone จะทำหน้าที่หลักในการส่งต่อข้อมูลไปยังส่วนต่างๆ ของเครือข่ายและทำหน้าที่ทั้งควบคุมดูแลการจัดการเครือข่ายเมชไร้สายทั้งหมดซึ่ง Mesh Router Backbone จะทำหน้าที่ในการเริ่มการทำงานของเครือข่ายเมชและจัดการ Mesh Router ตัวอื่นๆ ที่อยู่ในเครือข่าย และยังสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกได้

- Mesh Router เป็นส่วนของเครือข่ายเมชไร้สายที่มีการทำงานคล้ายกับ Mesh Router Backbone โดยสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอก เช่น เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตภายนอกได้และจะเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน (Mesh Client) ที่สามารถใช้อุปกรณ์ไร้สายทั่วไปในการเชื่อมต่อมายัง Mesh Router เนื่องจากในเครือข่ายเมชไร้สายนั้นจะมีเรื่องของปริมาณความจุมากกว่าในเครือข่ายไร้สายทั่วไปเพราะนอกจากช่องสัญญาณที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งานแล้วนั้น ยังต้องมีช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อกันเองเพื่อรับส่งข้อความหรือคำสั่งต่างๆ ของ Mesh Router ด้วย ดังนั้นการเชื่อมต่อที่ใช้ระยะทางที่ดีที่สุด ใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด และประหยัดเวลาที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น และยังเป็นตัวรวบรวมข้อมูลจาก Mesh Client และ Mesh Router อื่นที่ต้องการส่งข้อมูลมาให้และส่งข้อมูลผ่านไปยัง Mesh Router อื่นๆ ต่อไป

- Mesh Client คืออุปกรณ์ของผู้ใช้งานที่ต้องการเข้าใช้งานในเครือข่ายเมชไร้สายโดยจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทางเดียว คือ สามารถเชื่อต่อกับ Mesh Router ได้เพียงครั้งละหนึ่งตัวเท่านั้น




รูปที่ 2.5 โครงสร้างทั่วไปของเครือข่ายเมชไร้สาย

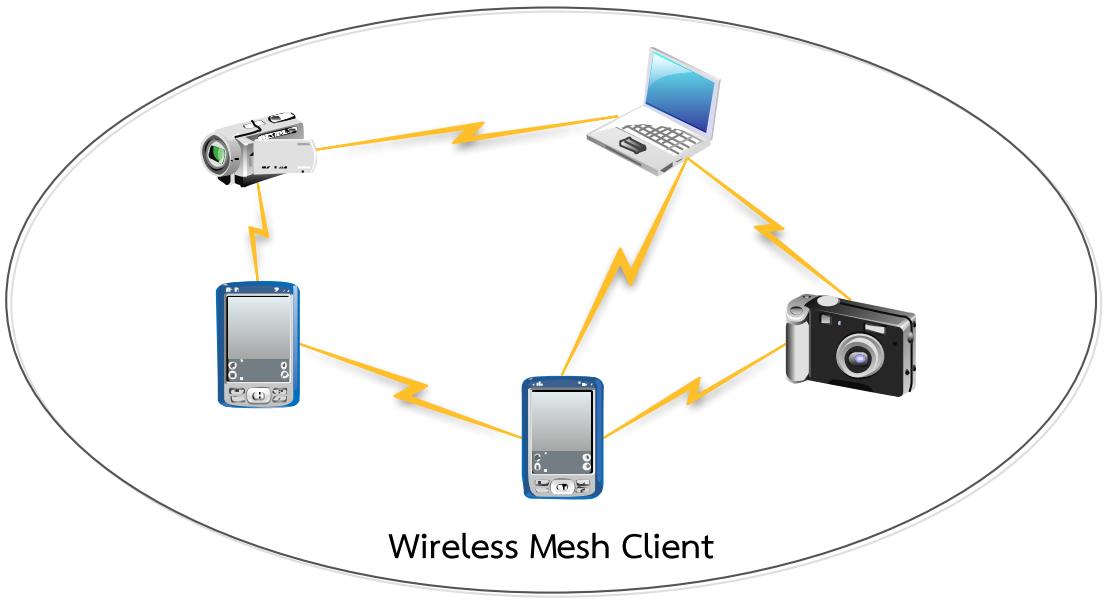
### 2.2.1 โครงสร้างพื้นฐานหลักของเครือข่ายเมชไร้สาย

จากรูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของเครือข่ายเมชไร้สาย โครงสร้างแบบนี้จะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักของเครือข่ายเมช โดยอุปกรณ์หลักที่อยู่ในเครือข่ายคือ Mesh Router โดยจะมีการเชื่อมต่อกันเองของ Mesh Router และ Mesh Router เพื่อนบ้านสำหรับให้บริการกับเครือข่ายของ Mesh Client หรือเครือข่ายอื่นๆ ที่เชื่อมต่อเข้ากับ Mesh Router ต่างๆ ทำให้เครือข่ายของ Mesh Client หรือ เครือข่ายอื่นที่เชื่อมต่อกับ Mesh Router สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้ผ่านทาง

เครือข่ายของ Mesh Router ซึ่ง Mesh Router ต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายเมชจะทำการเชื่อมต่อกันเองไว้หลายเส้นทางเพื่อรักษาเสถียรภาพของเครือข่ายเมื่อมีเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเกิดเสียหายก็ยังจะสามารถให้บริการต่อได้ผ่านเส้นทางอื่นๆ ที่ได้สร้างไว้ เครือข่ายต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายของ Mesh Router นั้นสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยวิธีที่เรียกว่า Infrastructure meshing คือจะมี Mesh Router หลักทำหน้าที่เป็นเกตเวย์หรือบริด (Gateway/Bridge) ให้ลูกข่ายที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายของ Mesh Router และเครือข่ายของ Mesh Router

### 2.2.2 โครงสร้างเครือข่ายผู้ใช้งานในข่ายเมชไร้สาย

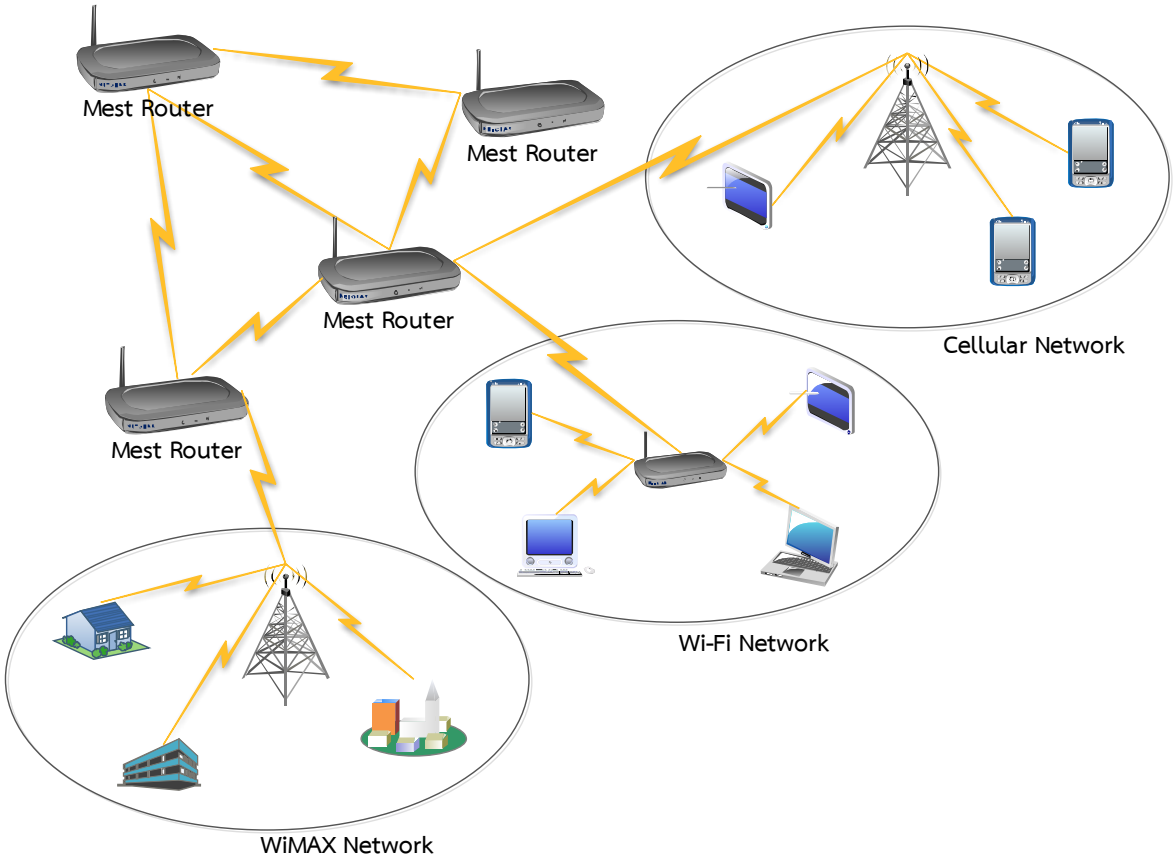
จากรูปที่ 2.6 แสดงถึงโครงสร้างเครือข่ายของ Mesh Client ในช่วงเริ่มแรกของเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานจะใช้การเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายเมชแบบกลุ่มเฉพาะ ในเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานนั้นจะใช้การเชื่อมต่อกันระหว่างเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานกันเองเพียงหนึ่งต่อหนึ่งเท่านั้นโดยจะไม่มีระบบการค้นหาเส้นทางเหมือนในเครือข่ายของ Mesh Router ดังนั้นเมื่อมีความต้องการใช้งานของผู้ใช้งานในระบบมากขึ้น เครือข่ายเมชของผู้ใช้งานจึงมีการเพิ่มฟังก์ชันการหาเส้นทางและต้องสามารถจัดการระบบได้ด้วยตัวของ Mesh Client เอง ซึ่งทำให้ Mesh Client แต่ละตัวนั้นจะมีความสามารถไกล้เคียงกับ Mesh Router สามารถสื่อสารกับ Mesh Client อื่นๆ ในเครือข่ายได้โดยตรงและสามารถส่งข้อมูลหรือข่าวสารไปยัง Mesh Client ปลายทางที่ไม่สามารถติดต่อได้โดยตรงผ่านทาง Mesh Client อื่นๆ ไปจนถึง Mesh Client ปลายทางที่ต้องการผ่านระบบการค้นหาเส้นทางเหมือนในระบบเครือข่ายของ Mesh Router นั้นเอง




รูปที่ 2.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อของผู้ใช้งานในเครือข่ายเมชไร้สาย

### 2.2.3 โครงสร้างเครือข่ายเมชไร้สายแบบไฮบริด

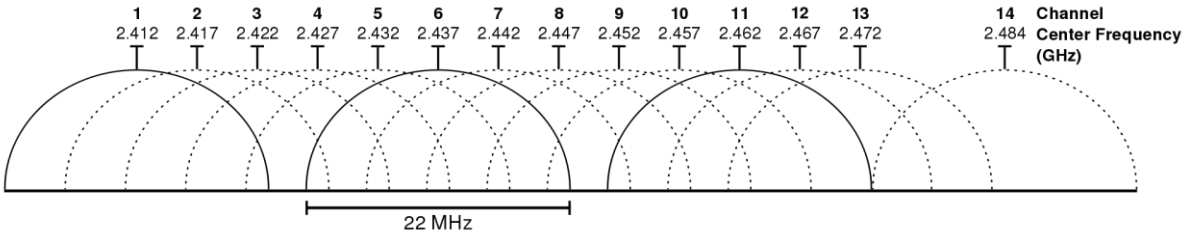
โครงสร้างแบบไฮบริดนี้จะเป็นการรวมกันของโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมชไร้สายหรือเครือข่ายของ Mesh Router ที่เป็นโครงสร้างหลักของระบบเครือข่าย และโครงสร้างเครือข่ายเมชของ Mesh Client ในที่นี้ประกอบด้วยเครือข่ายหลายแบบเช่น Wi-Fi, WiMAX, เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Cellular Network), เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Networks) และระบบเครือข่ายแบบอื่นๆ เป็นต้น ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 โดยที่เครือข่ายของ Mesh Client ต่างๆ สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายอื่นๆ ได้โดยผ่านเครือข่ายของ Mesh Router ที่กระจายไปตามพื้นที่ต่างๆ ทำให้สามารถขยายพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายเช่นเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครือข่าย Wi-Fi โดยใช้เครือข่ายของ Mesh Router เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลแทนที่การเดินสายสัญญาณไปยังพื้นที่ต่างๆ




รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อของเครือข่ายเมชแบบไฮบริด

## 2.3 การแบ่งช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายไร้สาย

ในย่านความถี่ช่อง 2.4 GHz ที่นิยมใช้งานกันในเครือข่ายไร้สายทั่วไป (IEEE 802.11 b/g/n) ที่เรียกว่าความถี่ย่านเสรี Industrial Sciences Medicine Band (ISM Band) หรือคลื่นความถี่สาธารณะสำหรับอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์และการแพทย์โดยย่านความถี่สำหรับคลื่นวิทยุในโลกนี้ ได้มีการควบคุมการเป็นเจ้าของหรือใช้งาน ซึ่งในการทำงานวิจัยที่ต้องการใช้คลื่นความถี่การขอคลื่นความถี่มาใช้งานทำได้ค่อนข้างยาก จึงมีการตั้ง ISM Band นี้ขึ้นมาสำหรับการวิจัยโดยเฉพาะ โดยแบ่งเป็นสามย่านความถี่ คือ 900 MHz 2.4 GHz และ 5.7 GHz สำหรับมาตรฐานของเครือข่ายไร้สายตาม IEEE 802.11 จะใช้สองย่านความถี่คือ 2.4 GHz และ 5.7 GHz แต่เนื่องจากความถี่ 5.7 GHz นั้น มีการยอมให้ใช้ได้เฉพาะบางประเทศเท่านั้น ส่วนที่เหลืออาจจะถูกจัดสรรไปให้กับองค์กรต่าง ๆ ก่อนจะมีการประกาศ ISM Band ทำให้มาตรฐาน IEEE 802.11a ไม่สามารถใช้งานได้ในประเทศบางประเทศรวมถึงประเทศไทยด้วย เราจึงใช้งานได้เฉพาะ IEEE 802.11b และ IEEE 802.11g เท่านั้น การพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11g ก็มาจากเหตุผลนี้เช่นกัน ซึ่งการแบ่งช่วงความถี่ต่างๆ ของย่านความถี่เสรี 2.4 GHz แสดงดังรูปที่ 2.8




รูปที่ 2.8 การแบ่งช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz

ย่านความถี่บนช่วง 2.4 GHz ที่นิยมใช้งานในเครือข่ายไร้สายนั้นสามารถแบ่งออกเป็นทั้งหมด 14 ช่องสัญญาณแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณละ 5 MHz ตั้งแต่ช่วงคลื่น 2.412 – 2.484 ซึ่งการใช้งานช่องสัญญาณที่ถูกแบ่งออกมานั้นจะถูกนำมาใช้งานแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ ช่องสัญญาณที่ทับซ้อนกัน (Overlapping Channel) และช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน (Non-Overlapping Channel)

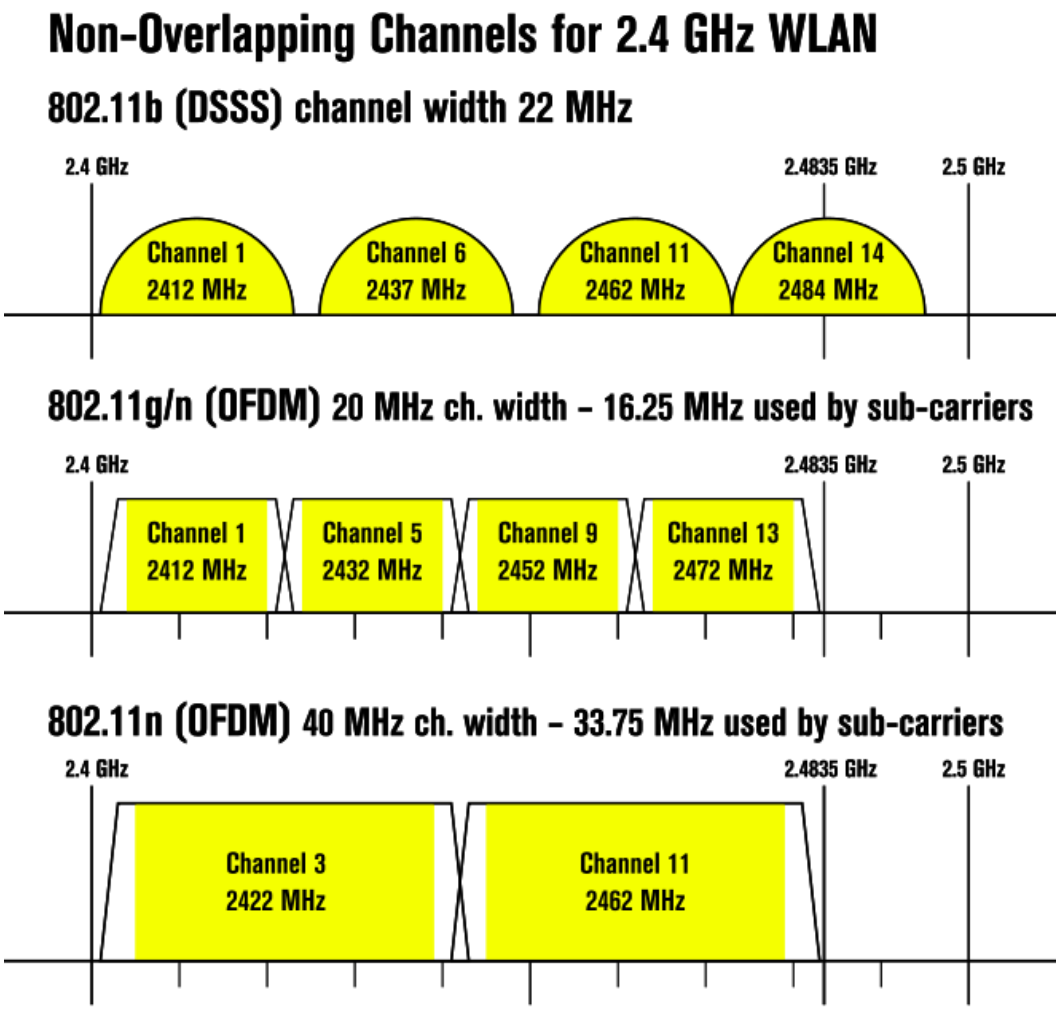
### 2.3.1 ช่องสัญญาณที่ทับซ้อนกัน (Overlapping Channel)

หมายถึงการนำช่องสัญญาณทั้งหมด 14 ช่องที่แบ่งออกมานั้นมาใช้งานทั้งหมด 13 ช่องสัญญาณโดยเหลือช่องสัญญาณที่ 14 ไว้เป็นช่องสัญญาณสงวน การนำช่องสัญญาณทั้ง 13 ช่องสัญญาณมาใช้งาน มีข้อดีคือ จะได้ช่องสัญญาณสำหรับให้บริการจำนวนมาก สามารถให้รองรับการให้บริการกับผู้ที่ต้องการใช้งานได้มาก แต่การใช้งานช่องสัญญาณที่ทับซ้อนกันนั้นมีข้อเสียอยู่หลายอย่าง จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าแต่ละช่องสัญญาณจะถูกรบกวนได้ง่ายจากช่องสัญญาณ

ข้างเคียง ซึ่งถ้ามีการใช้งานช่องสัญญาณเต็มทุกช่องสัญญาณจะทำให้เครือข่ายมีการรบกวนกันตลอดเวลา อาจทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงได้จากการเกิดการสูญหายของข้อมูลที่ส่งเมื่อมีการรบกวนในปริมาณมาก

### 2.3.2 ช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน (Non-Overlapping Channel)

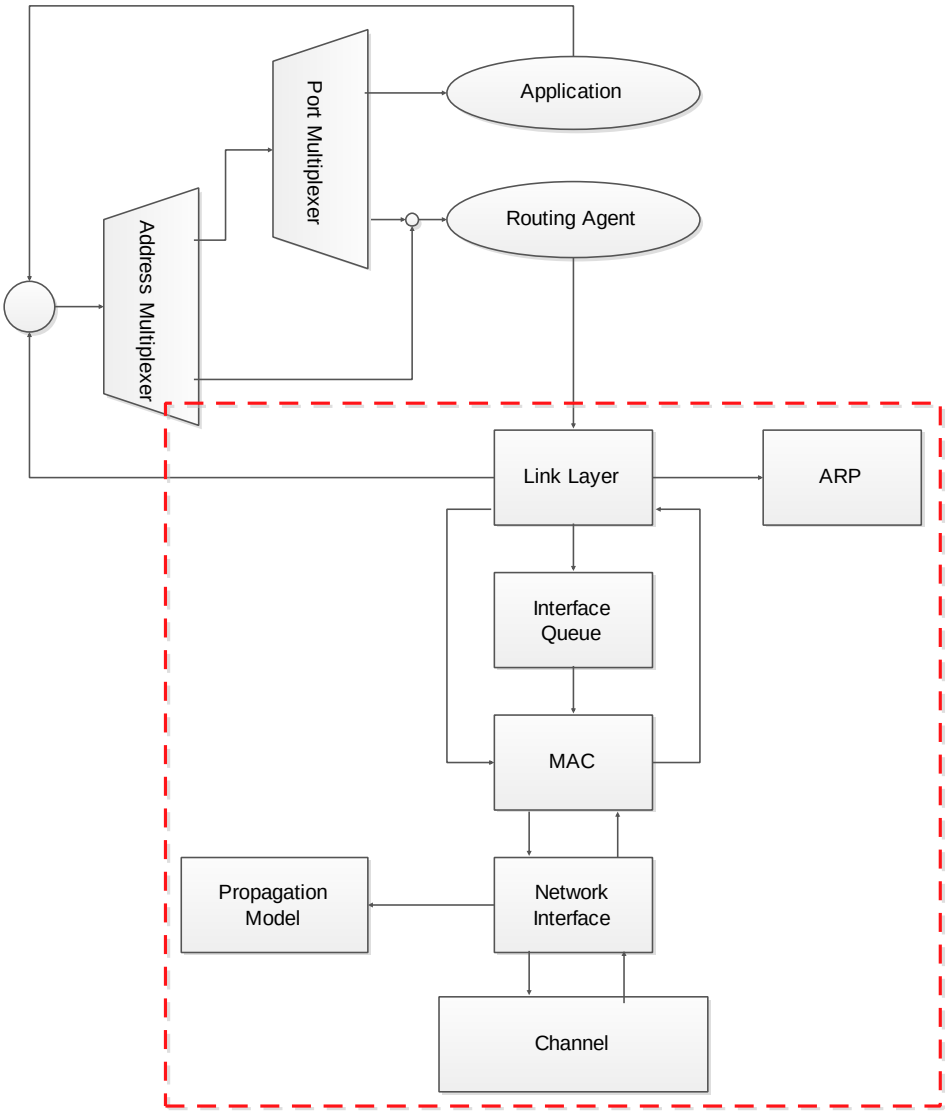
เป็นการเลือกใช้งานช่องสัญญาณจากทั้งหมด 14 ช่องสัญญาณเลือกมาใช้งานเฉพาะช่องสัญญาณที่จะไม่เกิดการรบกวนกับเกิดขึ้นจากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าในแต่ละมาตรฐานของระบบเครือข่ายไร้สายจะมีการเลือกใช้งานช่องสัญญาณที่แตกต่างกันไปตามความกว้างของช่องสัญญาณที่ต้องการในมาตรฐานต่างๆ การใช้งานช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกันนี้ จะทำให้ไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างใช้งานทำให้มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลมากกว่าเกิดการสูญหายและเสียหายของข้อมูลน้อย แต่ข้อเสียคือจะสามารถให้บริการกับผู้ใช้งานได้น้อยลง




รูปที่ 2.9 non-overlaping channel

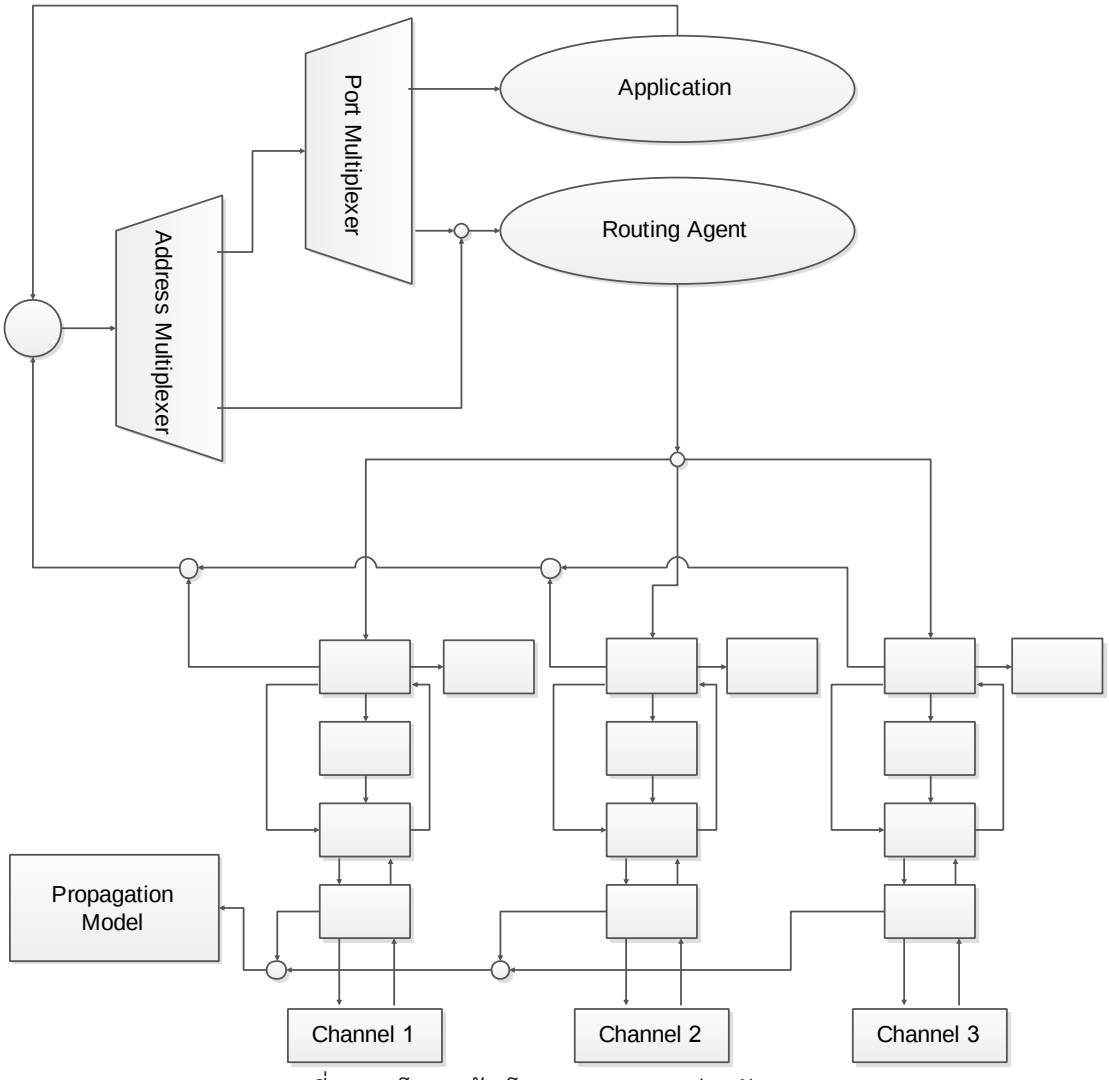
### 2.3.3 เครือข่ายเมชไร้สายแบบหลายช่องสัญญาณ

ในเครือข่ายเมชไร้สายนั้นในช่วงแรกของการนำมาใช้งานนั้นจะมีการใช้งานเพียงช่องสัญญาณเดียว (Single Channel) โดยเลือกใช้งานช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งและใช้งานช่องสัญญาณนั้นไปตลอดจนกว่าจะมาการเปลี่ยนแปลงจากผู้ดูแลระบบเครือข่าย การที่โหนดในเครือข่ายมีช่องสัญญาณให้บริการเพียงช่องสัญญาณเดียวนั้นทำให้มีผู้ใช้งานที่สามารถเชื่อมต่อซึ่งกันและกันได้เพียงโหนดเดียว จึงทำให้เมื่อมีโหนดในเครือข่ายจำนวนมากและมีโหนดที่ต้องการใช้บริการโหนดเดียวกันหลายโหนดทำให้เกิดการรอคอยเพื่อใช้บริการถ้าโหนดที่ใช้งานช่องสัญญาณอยู่ใช้งานเป็นเวลานานหรือไม่ยอมคืนช่องสัญญาณให้กับโหนดนั้นจะทำให้โหนดอื่นไม่สามารถเข้ามาใช้งานได้ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงอย่างมาก จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงโครงสร้างของโหนดในเครือข่ายเมชไร้สายที่มีช่องทางการเชื่อมต่อช่องทางเดียวและมีช่องสัญญาณเดียวในการให้บริการ




รูปที่ 2.10 โครงสร้างโหนดแบบช่องสัญญาณเดียว

ดังนั้นในเวลาต่อมาจึงมีผู้เสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายเมชไร้สายโดยการเพิ่มช่องทางการเชื่อมต่อให้กับโหนดในเครือข่าย จากงานวิจัย [7] ได้มีการนำเสนอวิธีการ Multi Interface Multi Channel (MIMC) ในเครือข่ายเมไร้สายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายเมชไร้สายโดยเพิ่มช่องทางในการเชื่อมต่อและเพิ่มช่องสัญญาณที่ให้บริการโดยการปรับปรุงจากโครงสร้างของโหนดจากรูปที่ 2.10 ส่วนที่อยู่ในกรอบสีแดงนั้นจะถูกเพิ่มขึ้นมาตามจำนวนช่องทางการเชื่อมต่อและสัญญาณ โดยแต่ละชุดจะเชื่อมโยงกับ Routing Agent เดียวกัน และใช้งาน Propagation Model ชุดเดียวกัน ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.11




รูปที่ 2.11 โครงสร้างโหนดแบบหลายช่องสัญญาณ

## 2.4 เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณ

ในการติดต่อสื่อสารด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุหรือสัญญาณความถี่ในระบบเครือข่ายไร้สายต่างๆ เช่น เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ เครือข่าย WI-FI และเครือข่าย Ad-hoc เป็นต้น ที่มีการให้บริการแบบ

หลายช่องสัญญาณต้องมีระบบการจัดการความถี่ (Frequency Management System) หรือระบบจัดการช่องสัญญาณ (Channel Management System) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการรบกวนกันระหว่าง 2 คลื่นความถี่ที่มีความถี่ใกล้เคียงกันและเป็นระบบจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ที่เข้ามาขอใช้บริการให้สามารถใช้งานช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกันในเวลาเดียวกัน เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สายสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลักๆ คือ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ (Static Channel Assignment) และ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัต (Dynamic Channel Assignment) อีกทั้งยังมีรูปแบบที่เป็นแบบผสมผสานระกว่าแบบคงที่และแบบพลวัต (Hybrid Channel Assignment) ซึ่งจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

### 2.4.1 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ Fixed (static) Channel Assignment (FCA)

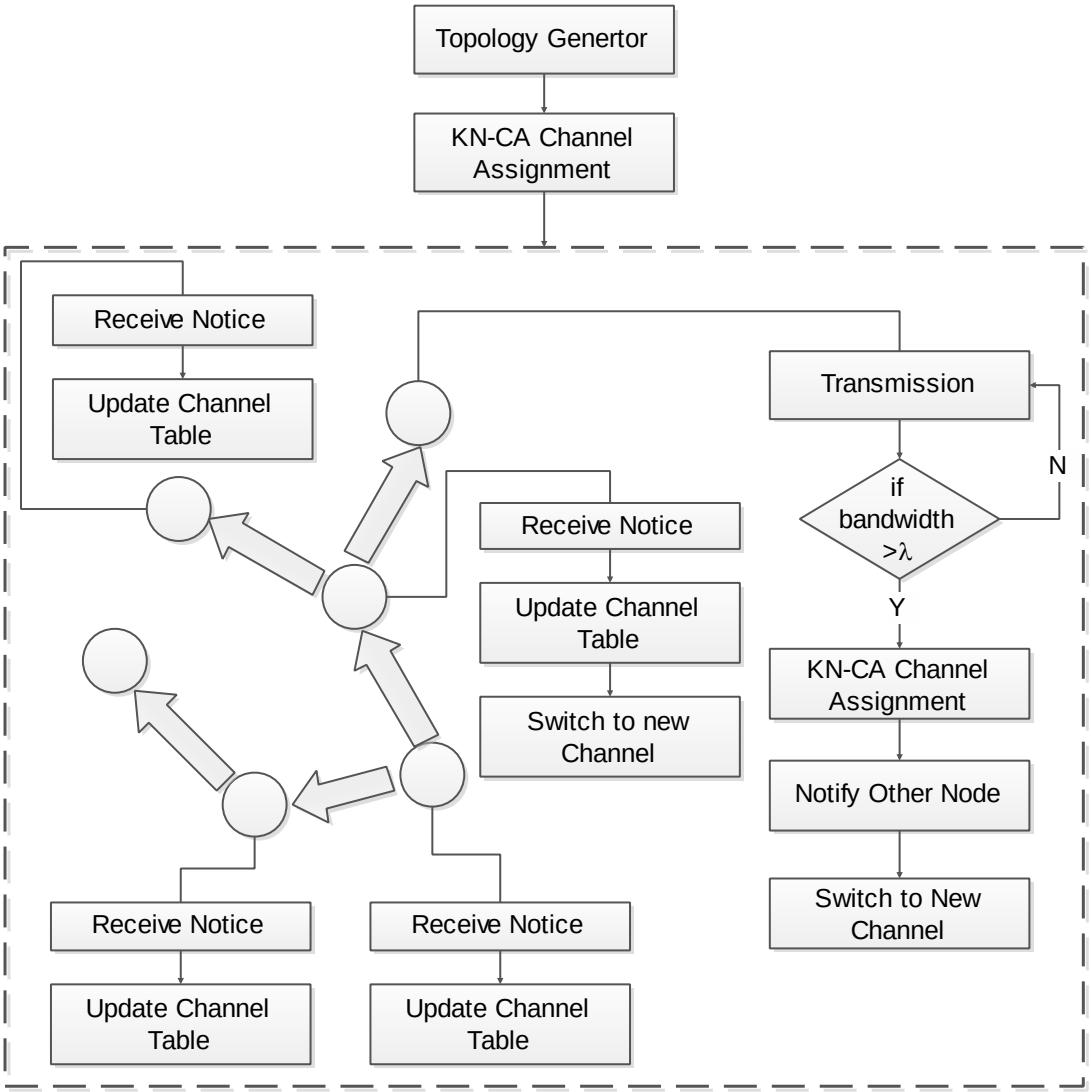
ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบดั้งเดิมอย่างเช่น ระบบเครือข่ายโทรศัพท์ในยุคแรกๆ และระบบ WLAN แบบ Access Point นั้นช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับโหนดให้บริการหรือโหนดต่างๆ ที่ให้บริการนั้น จะมีการแบ่งแยกหรือถูกกำหนดโดยใช้ตารางการแบ่งช่องสัญญาณให้แต่ละโหนดให้บริการ โหนดต่างๆ จะมีช่องสัญญาณที่ตายตัวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่ใช้งานและถ้ามีหลายโหนดให้บริการอยู่ภายในบริเวณใกล้เคียงกันแต่ละโหนดก็จะได้ช่องสัญญาณที่ไม่ซ้ำกัน ข้อดีของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่คือ ง่ายต่อการออกแบบโปรแกรม การกำหนดช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ และยังง่ายต่อการผลิตฮาร์ดแวร์ เพราะช่องสัญญาณถูกกำหนดมาตั่งแต่แรกอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมควบคุมจัดการช่องสัญญาณให้ยุ่งยาก เมื่อเริ่มใช้งานตัวควบคุมของโหนดให้บริการก็จะดูว่าตัวเองนั้นถูกกำหนดให้ใช้งานช่องสัญญาณใด แต่การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่นั้นก็ทำให้เกิดข้อเสียขึ้นมากมาย เช่น ถ้ามีโหนดใดโหนดหนึ่งมีผู้ใช้งานจำนวนมากจนทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่ไม่เพียงพอในการให้บริการในทางตรงข้ามโหนดอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงที่มีผู้ใช้งานน้อย และมีช่องสัญญาณว่างอยู่มาก ทำให้ไม่สามารถดึงช่องสัญญาณจากโหนดอื่นๆ ที่เหลืออยู่มาให้บริการแทนได้ ทำให้ประสิทธิภาพการให้บริการต่ำลงอย่างมาก ไม่สามารถใช้งานคลื่นความถี่ที่มีอยู่ได้อย่างเต็มที่ และ เมื่อต้องมีการปรับปรุงเพิ่มหรือลดอุปกรณ์ในเครือข่ายจะทำให้เกิดความยุ่งยากอย่างมากเพราะจะต้องมีการจัดทำตารางความถี่ใหม่ทำให้มีผลกระทบไปยังโหนดอื่นๆ โดยไม่จำเป็น

Xiaoguang Li และคณะ [14] นำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายแบบคงที่และการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ควบคู่กันไปโดยเรียกวิธีการที่เขานำเสนอว่า KN-CA โดยใช้การพิจารณาข้อมูลต่างๆ ในการตัดสินใจเลือกช่องสัญญาณและค้นหาเส้นทางของโหนด เช่น ข้อมูลของจำนวนเพื่อบ้าน สถานะของช่องสัญญาณที่พร้อมให้บริการ ข้อมูลของแบนด์วิดท์ของแต่ละช่องสัญญาณและค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 จากการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เขาได้น้ำเสนอ

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ได้ดียิ่งขึ้นและยังเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของวิธีการ KN-CA ได้ดีกว่าการหาเส้นทางของ AODV แบบเดิม

| Notation | Description |
|---|---|
| neighbor_Set | จำนวนของเพื่อนบ้าน |
| channelList | จำนวนของช่องสัญญาณที่พร้อมใช้งาน |
| channel_Group | ช่องสัญญาณที่สามารถจัดสรรให้กับเครือข่ายได้ |
| interface_Group | จำนวนของการเชื่อมต่อของของทุกๆ โหนด |
| channelState | ข้อมูลแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ |

ตารางที่ 2.1 ตารางช่องสัญญาณของโหนด




รูปที่ 2.12 การทำงานของวิธีการ KN-CA

จากรูปที่ 2.12 แสดงถึงกระบวนการทำงานของวิธีการ KN-CA โดยวิธีการนี้จะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ในเครือข่ายที่ร้องของเข้ามาโดยพิจารณาจากข้อมูลแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณที่มีอยู่ของโหนดว่าเพียงพอสำหรับให้บริการหรือไม่ โดยจะมีการตรวจสอบจากตารางที่ได้นำเสนอไปแล้วข้างต้น

Wei. Wang และคณะ [16] นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้งาน Genetic Algorithm (GA) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ในเครือข่ายเมชไร้สายโดยสนใจเครือข่ายเมชไร้สายแบบกริดเป็นหลัก

Mahesh K. Marina และคณะ [4] นำเสนอวิธีการ Connected Low Interference Channel Assignment (CLICA) โดยออกแบบการจัดสรรช่องสัญญาณโดยแปลงปัญหาของเครือข่ายให้อยู่ในรูปแบบปัญหาของ NP-complete และนำเสนอวิธีการ Greedy Heuristic เพื่อหาคำตอบของปัญหา และนำเสนอวิธีการค้นหาเส้นทางการเชื่อมต่อในเครือข่ายที่มีค่าการรบกวนน้อยที่สุดโดยใช้วิธีการ Coloring Problem เป็นตัวสร้างค่าน้ำหนักของกราฟให้สอดคล้องกับรูปแบบของโพรโทคอล และใช้กราฟแสดงสถานะของช่องสัญญาณ ทำให้สามารถลดค่าการรบกวนช่องสัญญาณได้

Habiba Skalli และคณะ [10] นำเสนอถึงปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายในหลายรูปแบบทั้งการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ แบบพลวัต และ แบบผสมผสานระหว่างคงที่และพลวัต โดยนำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในแต่ละรูปแบบมาทำการจำลองและวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นของแต่ละวิธี และได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาเรียกว่า MesTiC เป็นวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่โดยใช้ค่าอันดับของโหนด ค่าของปริมาณการจราจรข้อมูลในเครือข่ายช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณ โดยค่าของอันดับของแต่ละโหนด R (node) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$\mathrm{R\,(node)} = \frac{\mathrm{Aggregate\ traffic\,(node)}}{\mathrm{min\ hops\ from\ gateway\,(node)\ *\ number\ of\ radios\,(node)}} \qquad 2.1$$

MesTiC เลือกใช้วิธีการแบบคงที่เพื่อให้แน่ใจว่าการจัดสรรช่องสัญญาณต่างๆ สามารถนำมาบริหารจัดการได้ง่ายเมื่อต้องใช้งานช่องสัญญาณร่วมกัน วิธีการนี้สามารถลดปริมาณการรบกวนของช่องสัญญานในเครือข่ายลงได้ โดยเทียบกับวิธีการของ Hyacinth ที่เคยกล่าวไปแล้วข้างต้น

### 2.4.2 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัต Dynamic Channel Allocation (DCA)

จากปัญหาที่กล่าวมาจึงทำให้เกิดวิธีการกำหนดช่องสัญญาณที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความถี่และเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการของเครือข่ายให้มากขึ้นจึงเกิด

เป็นวิธีการกำหนดช่องสัญญาณแบบพลวัต การจัดสรรช่องสัญญาณโดยวิธีนี้จะไม่มีการจองหรือกำหนดช่องสัญญาณให้กับโหนดใดๆ อยู่ก่อนล่วงหน้ายกเว้นช่องสัญญาณเฉพาะ เช่น ช่องสัญญาณควบคุมที่ไว้ใช้งานในการ รับ-ส่งคำสั่ง เป็นต้น รูปแบบการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายไร้สายนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

- Centralized Dynamic Channel Assignment หมายถึงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบรวมศูนย์กลาง คือการจัดสรรช่องสัญญาณโดยใช้ตัวควบคุมกลาง Mesh Router Backbone หรือในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกว่า Mobile Switching Center (MSC) เป็นตัวกลางในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่าย เมื่อเครือข่ายเริ่มทำงานตัวควบคุมกลางของเครือข่ายจะทำหน้าที่จัดสรรแบ่งช่องสัญญาณให้กับโหนดในเครือข่ายเพื่อนำไปให้บริการ เมื่อโหนดใดๆ ที่อยู่ในเครือข่ายมีผู้ใช้บริการจำนวนมากจะทำการติดต่อมายังตัวควบคุมกลางเพื่อขอยืมช่องสัญญาณจากโหนดอื่นที่ยังว่างอยู่ไปให้บริการ การจัดสรรช่องสัญญาณในลักษณะนี้นิยมใช้งานในระบบเครือข่ายโทรศัพท์และระบบเครือข่ายไร้สายที่เป็นแบบ Infrastructure เป็นหลัก การจัดสรรช่องสัญญาณลักษณะนี้มีข้อดีคือ สามารถมีการบริหารจัดการช่องสัญญาณของโหนดต่างๆ ได้เป็นอย่างดีมีการยืมใช้งานช่องสัญญาณด้วยกันได้เพราะมีตัวควบคุมเป็นตัวกลางในการจัดการให้ทั้งหมดทำให้เครือข่ายมีความยืนหยุ่นมากขึ้น แต่ก็ยังมีข้อเสียบางอย่างเช่น การที่ต้องมีตัวควบคุมกลางทำให้เกิดการต้องส่งคำสั่งและการร้องขอต่างๆ ระหว่างตัวควบคุมกลางและโหนดในเครือข่ายมาก ทำให้เกิดการจราจรในเครือข่ายหนาแน่นขึ้น
- Distributed Dynamic Channel Assignment หมายถึงการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย คือ แต่ละโหนดในเครือข่ายจะมีระบบการควมคุมและจัดการช่องสัญญาณในตัวเองเมื่อมีการร้องขอช่องสัญญาณเข้ามาโหนดจะทำการเลือกช่องสัญญาณให้กับคำร้องขอนั้นๆ โดยขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการเลือกช่องสัญญาณ การจัดสรรช่องสัญญาณแบบนี้มีข้อดีคือแต่ละโหนดในเครือข่ายสามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับคำร้องขอได้อย่างอิสระ ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางคอยควบคุม ทำให้ลดปริมาณการจราจรในเครือข่ายลงได้ แต่ก็มีข้อเสียคือเมื่อแต่ละโหนดสามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้เองทำให้โหนดที่อยู่ใกล้กันอาจเลือกใช้งานช่องสัญญาณเดียวกันหรือใกล้เคียงกันทำให้เกิดการชนกันของช่องสัญญาณและเกิดการรบกวนโหนดข้างเคียง

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตนั้นเป็นที่สนใจอย่างมากและถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายเพราะทำให้เครือข่ายมีความยืดหยุ่นมากกว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่อย่างมาก รองรับการให้บริการได้เพิ่มมากขึ้น แต่ก็มีข้อเสียบางประการเช่น ช่องสัญญาณที่ถูกปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลานั้น อาจทำให้ไม่สามารถรับประกันได้ว่าข้อมูลจะถูกส่งถึงปลายทางได้อย่างสมบูรณ์

Sadeq Ali Makram และคณะ [11] นำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สายโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่ม หรือที่เรียกว่า Cluster Channel Assignment (CCA) เพื่อเพิ่มทรูพุตและลดการรบกวนช่องสัญญาณของเครือข่ายโดยการลดความถี่ในการสลับช่องสัญญาณและเพิ่มการเรียกคืนช่องสัญญานที่ไม่มีการใช้งานแล้วกลับมาเพื่อใช้งานใหม่อย่างรวดเร็วภายในกลุ่ม จากสมการที่ 2.2

$$| Kc_i | = \begin{cases} |n_i, \frac{k}{n}|, if \ \ |K| > |NC_i| \\ 1, otherwise \end{cases} \qquad 2.2$$

$| Kc_i |$ หมายถึงจำนวนของช่องสัญญาณที่สามารถจัดสรรให้กับกลุ่ม $C_i$ และเป็นสัดส่วนกับจำนวนของโหนด $n_i$ ที่อยู่ในกลุ่ม $C_i$ ซึ่งมีจำนวนของช่องสัญญาณที่ว่างพร้อมใช้งาน $|K|$ มากกว่าจำนวนของเพื่อนบ้าน $| NC_i |$ แต่ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ แต่ละกลุ่มจะได้รับการจัดสรรเพียงช่องสัญญาณเดียว

$$Kc_i \subset \begin{cases} K \backslash (K \cap K_{NC_i}), \ if \ \ |K_{NC_i}| < |K| \\ \min(K_{NC_i}), \ otherwise \end{cases} \qquad 2.3$$

จากสมการที่ 2.3 หมายถึงชุดของช่องสัญญาณ $Kc_i$ ที่จะได้รับการจัดสรรให้กับกลุ่ม $C_i$

### 2.4.3 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบผสม (Hybrid Channel Assignment)

การจัดช่องสัญญาณแบบผสมเป็นการดึงข้อดีของการจัดสรรช่องสัญญาณทั้งแบบคงที่และแบบพลวัตมาใช้งานร่วมกันโดยจะใช้การแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 2 แบบ คือช่องสัญญาณที่จะใช้การจัดสรรแบบคงที่และกลุ่มที่จะใช้การจัดสรรแบบพลวัต เพื่อใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามสถานะการณ์ที่กำหนดของแต่ละกลุ่มโดยจะมีช่องสัญญาณที่ถูกแยกไว้เพื่อเป็นช่องสัญญาณที่ใช้ควบคุมเพื่อแบ่งกลุ่มของผู้ใช้งานที่เข้ามาขอใช้งานช่องสัญญาณโดยในระบบเครือข่ายไร้สายทั่วไปและในเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สายสามารถแบ่งได้ 4 ประเภทคือ

1. Macrodiversity ซึ่งเป็นการปรับปรุงเพิ่มจากวิธี FCA โดยที่ยังมีการกำหนดตารางความถี่อยู่ เมื่อมีการขอใช้งานเกิดขึ้น โหนดขอใช้บริการก็จะร้องขอช่องสัญญาณกับโหนดให้บริการที่อยู่ใกล้ที่สุดหรือมีสัญญาณแรงสุดก่อน เมื่อโหนดดังกล่าวไม่มีช่องสัญญาณว่าง โหนดขอใช้บริการดังกล่าวก็

จะร้องขอช่องสัญญาณกับโหนดให้บริการที่รับสัญญาณได้แรงน้องลงไป ข้อดีของวิธีนี้คือ โอกาสที่โหนดขอใช้บริการจะถูกบล็อกจะน้อยกว่าวิธี FCA เนื่องจากยังมีโอกาสหาช่องสัญญาณจากโหนดให้บริการใกล้เคียงที่มีช่องสัญญาณว่างอยู่ แต่ก็ยังไม่ดีที่สุดเนื่องจากไม่สามารถนำความถี่ที่ว่างแต่อยู่ไกลออกไปมาใช้ได้

2. Channel borrowing มีหลักการคือ การยืมช่องสัญญาณที่ว่างจากโหนดใกล้เคียงมาใช้ โดยวิธีที่มีการเสนอมา 4 แบบดังต่อไปนี้

2.1 Simple borrowing ช่องสัญญาณจะยังถูกกำหนดอย่างแน่นอนให้กับแต่ละโหนดให้บริการเหมือน FCA ต่อเมื่อในโหนดให้บริการนั้นมีการใช้ช่องสัญญาณเต็มและต้องการเพิ่ม ก็จะขอยืมช่องสัญญาณจากโหนดให้บริการรอบข้างที่มีช่องสัญญาณว่างอยู่มาใช้ วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า FCA ในช่วงที่มีการจราจรข้อมูลต่ำๆ แต่ช่วงปริมาณการจราจรข้อมูลสูงๆ จะทำให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า FCA เนื่องจากว่าเมื่อมีการยืมช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกล็อกไม่ให้โหนดที่ให้บริการในบริเวณนั้นสามารถใช้ช่องสัญญาณซ้ำได้ เมื่อมีการจราจรข้อมูลสูงขึ้นการยืมช่องสัญญาณก็มากขึ้นทำให้ช่องสัญญาณที่ถูกล็อกก็มากขึ้นด้วย

2.2 Hybrid assignment เป็นการรวมข้อดีของวิธี Simple borrowing กับ FCA โดยการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถถูกยืมได้ โดยการแบ่งช่องสัญญาณในแต่ละโหนดให้บริการออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเรียกว่า nominal channel เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ได้ทั้งโหนดให้บริการนั้นๆ ไม่อนุญาตให้ยืม และอีกกลุ่มเรียกว่า borrowed channel เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ได้ทั้งโหนดให้บริการนั้นๆ และให้ยืมได้ อัตราส่วนของช่องสัญญาณทั้ง 2 กลุ่มในแต่ละโหนดให้บริการ จะหาได้จากรูปแบบการกระจายของทราฟฟิกในตอนออกแบบโครงข่ายในตอนแรก วิธีการนี้จะให้ประสิทธิรูปที่ดีทุกช่วงความหนาแน่นการจราจรข้อมูล

2.3 Borrowing with channel ordering (BCO) เนื่องจากรูปแบบการกระจายของทราฟฟิกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ การกำหนดอัตราส่วนที่แน่นอนสำหรับช่องสัญญาณทั้ง 2 กลุ่ม จะให้ประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร หลักการของ BCO ก็คือทุกช่องสัญญาณสามารถถูกยืมได้หมด โดยจะมีการกำหนดลำดับในการยืมช่องสัญญาณ ซึ่งคิดจากความน่าจะเป็นที่จะถูกยืมของช่องสัญญาณนั้นๆ การร้องขอที่เกิดขึ้นในโหนดให้บริการจะใช้ช่องสัญญาณที่มีความน่าจะเป็นที่จะถูกยืมของช่องสัญญาณน้อยที่สุดก่อน และช่องสัญญาณที่ถูกยืมไปก็จะเป็นช่องสัญญาณที่มีความน่าจะเป็นที่จะถูกยืมของช่องสัญญาณมากที่สุด ด้วยวิธีนี้อัตราส่วนของช่องสัญญาณทั้ง 2 กลุ่มก็จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพทราฟฟิก

2.4 Borrowing with directional channel locking จาก simple borrowing เมื่อมีการยืมช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกล็อกไม่ให้โหนดให้บริการในบริเวณที่สามารถใช้ช่องสัญญาณซ้ำใช้ได้ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง จึงมีการปรับปรุงโดยใช้เงื่อนไขที่ว่าเมื่อมีการยืมช่องสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกล็อคเฉพาะโหนดให้บริการในทิศทางที่มีผลกระทบเท่านั้น

ข้อดีของวิธี borrowing ก็คือสามารถปรับปรุงจาก FCA ได้ง่าย เนื่องจากยังใช้หลักการพื้นฐานของ FCA อยู่ และให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่มีข้อเสียก็คือระบบต้องมีการตรวจสอบสถานะของแต่ละช่องสัญญาณ ว่าช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถูกยืมโดยโหนดอื่น หรือถูกล็อก เป็นต้น ซึ่งทำให้ระบบการจัดการมีความซับซ้อน และปริมาณสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลเหล่านี้ ก็จะสูงและไปโหลดการทำงานของระบบ

3. Flexible channel allocation วิธีนี้ช่องสัญญาณจะถูกกำหนดเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกจะถูกกำหนดช่องสัญญาณอย่างแน่นอนให้กับแต่ละโหนดให้บริการเหมือน FCA แต่จะมีช่องสัญญาณอีกกลุ่มหนึ่งเก็บไว้เป็นช่องสัญญาณสำหรับใช้ร่วมกันของระบบ ซึ่งเรียกว่า pool channel ซึ่งโหนดควบคุมจะเป็นตัวที่ดูแลและกำหนดช่องสัญญาณกลุ่มนี้ให้กับโหนดให้บริการที่ต้องการ ข้อดีของวิธีนี้ก็คือลดปริมาณสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลเพื่อตรวจสอบสถานะ

4. Self-adaptive เพื่อหลีกเลี่ยงการวางแผนความถี่และการจัดการจากโหนดควบคุม จึงมีการคิดวิธีการกำหนดช่องสัญญาณแบบ Self-adaptive โดยที่โหนดให้บริการหรือตัวควบคุมโหนดให้บริการสามารถเลือกช่องสัญญาณได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องส่งสัญญาณไปขอจากโหนดควบคุมซึ่งวิธีการนี้จัดอยู่ในประเภทการควบคุมแบบกระจาย การกำหนดช่องสัญญาณจะถูกกำหนดเมื่อมีการร้องขอเท่านั้น

Krishna N. Ramachandran และคณะ [13] นำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายโดยใช้งานโครงสร้าง Hyacinth ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เรียกว่า Breadth First Search Channel Assignment (BFS-CA) โดยคำนึงถึงความเสถียรของระบบเครือข่ายเมชไร้สายและความสมดุลของการสร้างเส้นทางเพื่อลดการรบกวนกับที่เกิดขึ้นในเครือข่ายเมชไร้สายและเครือข่ายไร้สายแบบผสมโดยที่โหนดต่างๆ ในเครือข่ายที่ใช้ในการจำลองจะถูกกำหนดให้เป็นแบบกราฟเพื่อที่จะใช้หลักการของ BFS ได้อย่างสมบูรณ์ การจัดสรรช่องสัญญาณเริ่มต้นในเครือข่ายหาได้จากสมการเพื่อหาค่าอันดับ $R_c$

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} Rank_c^i}{n} \qquad 2.4$$

โดยเมื่อ n คือจำนวนของเมชเราเตอร์และ $\sum_{i=1}^{n} Rank_c^i$ คืออันดับของช่องสัญญาณ c ที่เราเตอร์ i สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณที่ไม่ใช่ช่องสัญญาณเริ่มต้นจะใช้วิธีการของ กราฟที่เรียกว่า multi-radio conflict graph (MCG) ในการจัดสรรต่อไป

P. Kyasanur และคณะ [20][21] นำเสนอวิธีการ Link Layer Protocols for Radio Assignment (LLP) โดยกำหนดคลื่นความถี่ออกเป็นสองกลุ่มหลักๆ คือ กลุ่มที่มีการใช้งานเป็น

เวลานานเรียกว่า (Fix) เป็นการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ให้กับโหนดที่เข้ามาขอใช้งานเป็นเวลานานจึงจะใช้การจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ให้โดยที่ในแต่ละโหนดที่จะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณจะได้รับช่องสัญญาณที่ไม่ซ้ำกันไป และกลุ่มที่มีการใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ เรียกว่า (switchable) ซึ่งเป็นกลุ่มของโหนดที่เข้ามาขอใช้งานเป็นเวลาไม่นานซึ่งจะใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตสลับกันไปเรื่อยๆ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรของข้อมูลที่ต้องการใช้งาน โดยที่ในโหนดต่างๆ จะมีการสร้าง ตารางเพื่อเก็บขอมูลขึ้นมาสองแบบคือ ตารางเก็บเพื่อนบ้าน (NeighborTable) เพื่อใช้เก็บข้อมูลของเพื่อนบ้านและช่องสัญญาณที่กำหนดให้ใช้งานแบบคงที่ และข้อมูลช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดในตารางเพื่อนบ้าน จะถูกนำมาใช้ปรับปรุง ข้อมูลในตารางช่องสัญญาณที่ถูกใช้งาน (ChannelUsageList) โดยจะใช้แพ็คเกตทักทาย (Hello Packet) ในตรวจสอบเพื่อนบ้านใกล้เคียงและรับข้อมูลกลับมาจากเพื่อนบ้านเพื่อพิจารณาต่อไป เมื่อโหนดใดๆ เลิกใช้งานช่องสัญญาณหรือออกจากเครือข่ายไปแล้ว ข้อมูลช่องสัญญาณที่กำหนดให้และช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานก็จะถูกลบออกจากสองตารางนี้ทันที

# บทที่ 3

# งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้มีการกล่าวถึงความเป็นมาของเครือข่ายไร้สายแบบต่างๆ และเทคนิคในการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ไปแล้ว ในส่วนนี้ของวิทยานิพนธ์จะเป็นการนำเสนอเกี่ยวกับงานวิจัยที่ให้ความสนใจและนำเสนอเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ทั้งแบบคงที่ แบบพลวัต และแบบผสมผสาน ในเครือข่ายเมชไร้สาย และนำเสนอรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษาและนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพต่อไป

## 3.1 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สาย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สายเพื่อจัดการกับปัญหาของการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อลดดีเลย์และลดการดรอปแพ็คเกตของเครือข่าย วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายได้รับการศึกษาและนำเสนอมาหลากหลายวิธีโดยในแต่ละวิธีจะมีการนำเสนอแนวทางแตกต่างกันไป วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ได้รับความนิยมและถูกนำมาศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายเมชไร้สายดังนี้

Yahuan Wei และคณะ [3] นำเสนอวิธีการ Centralized Maxflow-based Channel Assignment Algorithm (CMCA) เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายโดยใช้ข้อมูลความต้องการใช้งานทราฟฟิกของเครือข่ายใช้ในการคำนวนหาค่าอัตตราการไหลของข้อมูลในเครือข่ายเพื่อแบ่งทราฟฟิกให้กระจายไปยังช่องทางต่างๆ และจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดในเครือข่ายตามข้อมูลที่คำนวณได้วิธีที่คณะผู้วิจัยนำเสนอสามารถช่วยลดการรบกวนกันของช่องสัญญาณในเครือข่ายและเพิ่มทรูพุตของเครือข่ายให้สูงขึ้น ดีกว่าวิธีการที่อ้างอิง

Maryam Amiri Nezhad และคณะ [5] นำเสนอวิธีการ Semi-dynamic and Distributed Channel Assignment Mechanism (SICA) เป็นการประยุกต์ใช้งานทฤษฎีของ Game โดยการประยุกต์วิธีการเรียนรู้แบบ on-line ซึ่งจะสมมติให้แต่ละโหนดจะมีข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์แบบและตระหนักถึงค่าการรบกวนกันของช่องสัญญาณในเครือข่ายโดยค่าต่างๆ ที่นำไปใช้ในวิธีการของเกมส์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$B_{i,neig}(c) = \frac{T_{i,busy}(c)}{T_{i,busy}(c) + T_{i,idle}(c)} \qquad 3.1$$

จากสมการที่ 3.1 เป็นสมการหาค่าของ normalized bandwidth ที่จะถูกใช้งานจากโหนดที่ร้องของช่องสัญญาณโดยที่ $T_{i,busy}(c)$ หมายถึงเวลาที่ช่องสัญญาณนั้นไม่พร้อมใช้งาน และ $T_{i,idle}(c)$ หมายถึงเวลาที่ช่องสัญญาณว่างให้พร้อมใช้งาน

$$R_i(c) = \sum_{k \in N_i} f_{k,c} \qquad 3.2$$

จากสมการที่ 3.2 เป็นสมการหาค่าของจำนวนของโหนดในชุดของ $N_i$ ที่มีการปรับตาม R ให้กับช่องสัญญาณ c ในช่องเวลาที่กำหนดโดยที่ $N_i$ คือจำนวนโหนดที่อยู่ในช่วงที่มีการบกวนของโหนด I และจากสมการนี้จะสามารถคำนวณหาค่าของ bandwidth loss function ได้จากสมการที่ 3.3 ดังนี้

$$M_{i,B} = \frac{1}{2}(B_{i,neig}(c) + \frac{R_{i(c)}}{N_i}) \qquad 3.3$$

จากสมการที่ 3.4 เป็นสมการการหาค่าของ switching delay loss function ของทุกๆ ช่องสัญญาณ โดยที่ $c_i$ หมายถึงช่องสัญญาณที่เริ่มใช้งานในโหนด i

$$M_{i,D}(c, S_{-i}) = \begin{cases} \frac{D_s}{T_H}, & c \neq c_i \\ 0, otherwise \end{cases} \qquad 3.4$$

ในท้ายที่สุดจากสมการที่ 3.5 เป็นสมการที่การนำค่าที่ได้จากการคำนวน bandwidth loss function และ switching delay loss function มาเพื่อนำไปใช้งานในวิธีการของเกมส์ที่ใช้ในการเลือกช่องสัญญาณและเส้นทางการส่งข้อมูลต่อไป

$$M_i(c, S_{-i}) = \gamma M_{i,B}(c, S_{-i}) + (1-\gamma) M_{i,D}(c, S_{-i}) \qquad 3.5$$

จากงานวิจัยสามารถลดค่าการรบกวนของช่องสัญญาณในเครือข่ายและทำให้ค่าดีเลย์ในการส่งข้อมูลและโอเวอร์เฮดในเครือข่ายลดลง ทำให้อัตราการส่งแพ็คเกตในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น

Weisheng Si และคณะ [6] กล่าวถึงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายในรูปแบบวิธีต่างๆ อธิบายถึงข้อดีข้อเสียของวิธีการแบบต่างๆ ทั้งการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ คงที่

และแบบพลวัต และสรุปถึงข้อดีข้อเสียของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ที่เคยถูกเสนอเป็นงานวิจัยมาแล้วดังนี้

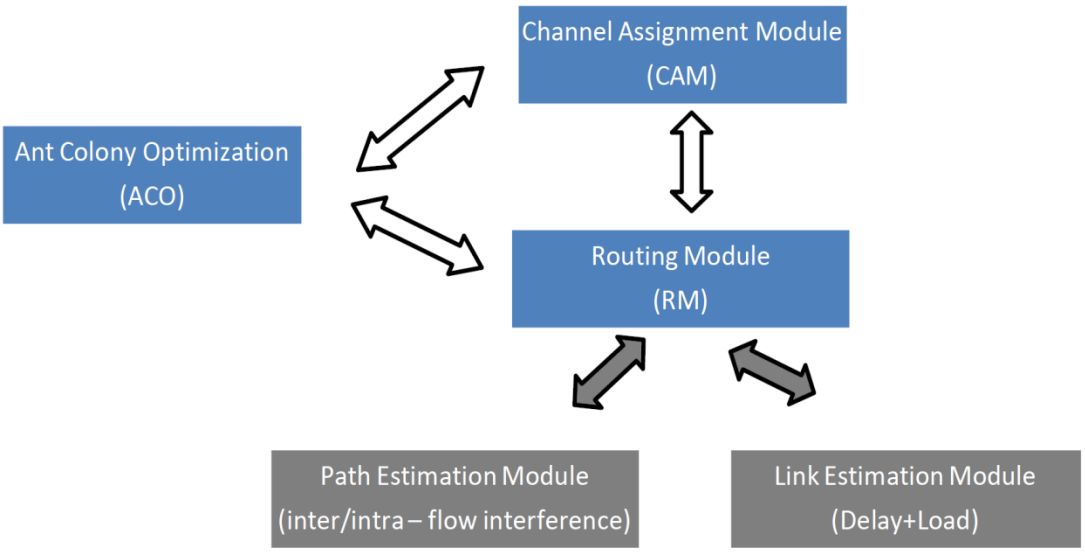
1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ graph-based algorithms ทั้งหมด 4 วิธีดังนี้ Connected Low Interference Channel Assignment (CLICA), Minimum Interference Survivable Topology Control (INSTC), Centralized Tabu-based Algorithm (CTA) และ Breadth First Search Channel Assignment (BFS-CA)
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ network flows ทั้งหมด 3 รูปแบบดังนี้ Load Aware Channel Assignment (LA-CA), Balanced Static Channel Assignment (BSCA) & Packing Dynamic Channel Assignment (PDCA) และ Joint Routing Channel Assignment and Link Scheduling (RCL)
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ network partitioning 2 รูปแบบคือ Matroid Cardinality Intersection Channel Assignment (MCI-CA) และ Maxflow-based Centralized Channel Assignment (MCCA)
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ gateway-oriented 3 วิธีการได้แก่ Hyacinth, DMesh และ Cluster-based Multipath Topology control and Channel assignment (CoMTaC)
5. เปรียบเทียบการจัดสรรช่องสัญญาณแบบ peer-oriented ทั้งหมด 5 วิธีได้แก่ Probabilistic Channel Usage based Channel Assignment (PCU-CA), Joint Optimal Channel Assignment and Congestion Control (JOCAC), Superimposed Code based Channel Assignment (SC-CA), Distributed Greedy Algorithm (DGA) และ Self-Stabilizing Channel Assignment (SS-CA)

Ashish Raniwala และคณะ [7] นำเสนอรายละเอียดของโครงสร้างระบบเครือข่ายเมชไร้สายที่มีหลายช่องทางการเชื่อมต่อหลายช่องสัญญาณ (Multi-Interface Multi-Channel) โดยเรียกโครงสร้างที่เสนอนี้ว่า Hyacinth ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ถูกอ้างถึงและนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย และผู้วิจัยยังได้เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในโครงสร้าง Hyacinth ในงานวิจัย [8] นำเสนอวิธีการจัดการปัญหาของการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายเมชไร้สายแบบจัดการที่ศูนย์กลาง หรือที่เรียกว่า Centralized Channel Assignment (C-HYA) โดยใช้โครงสร้างของ Hyacinth เป็นโครงสร้างหลัก โดยให้ความสนใจเส้นทางส่งข้อมูลที่เกิดเหตุขัดข้องเมื่อโหนดเปลี่ยนช่องสัญญาณโดยใช้สมการที่ 3.6 ประมาณค่าความจุของลิ้งค์ดังนี้

$$bw_i = \frac{\phi_i}{\sum_{j \in Intf(i)} \phi_j} * C \qquad 3.6$$

โดยที่ $\phi_i$ คือค่าของปริมาณการใช้งานของลิ้งค์ i, $Intf(i)$ คือค่าของชุดของลิ้งค์จำลองทั้งหมดในโซนของการเชื่อมต่อของลิ้งค์ i และ C คือค่าของความจุของช่องสัญญาณ วิธีการนี้ต้องใช้งานโหนดทุกๆโหนด เพื่อคำนวณหาค่าของการรบกวน

Fawaz Bokhari และคณะ [9] นำเสนอการออกแบบ routing module (RM) และ channel assignment module (CAM) โดยใช้หลักการของ Ant Colony Optimization (ACO) ในการเลือกเส้นทางและจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดในเครือข่ายและกำหนดเป็นกรอบการทำงานในการค้นหาเส้นทางและจัดสรรช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ของวิธีการของมดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ




รูปที่ 3.1 Joint Channel Assignment and Routing Architecture

Fei Ye และคณะ [12] นำเสนอวิธีการ integer linear programming (ILP) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบคงที่ในเครือข่ายเมชไร้สาย โดยการนำวิธีการ ILP มาแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการของ graph coloring problem และเทคนิค linear programming โดยทำการทดลองกับ โครงสร้างเครือข่ายแบบเมชไร้สายแบบตาราง (Grid) และ เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring) วิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถเพิ่มทรูพุทของเครือข่ายให้สูงขึ้นได้

Anand Prabhu Subramanian และคณะ [15] ได้เสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายแบบรวมศูนย์กลางและแบบกระจาย เพื่อลดค่าของการรบกวน

ช่องสัญญาณสูงสุดเมื่อจำนวนของความถี่มีจำนวนจำกัด โดยใช้เทคนิคการค้นหาของ Tabu ในการกำหนดสีของโหนดในกราฟ แต่วิธีการนี้จะใช้ได้ดีในเครือข่ายแบบคงที่

## 3.2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาและสนใจเกี่ยวกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตในเครือข่ายเมชไร้สาย ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการที่เขาได้นำเสนอและวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและหาแนวทางปรับปรุงแก้ไขปัญหาเหล่านั้น Weifeng Sun และคณะ [1][2] เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (R-CA) โดยที่แต่ละโหนดที่อยู่ในเครือข่ายที่ใช้ในการจำลองจะมีการสร้างตารางข้อมูลขึ้นมาในแต่ละโหนดเรียกว่าตารางข้อมูลช่องสัญญาณ (Channel Information) ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วย

- ข้อมูลช่องสัญญาณที่คาดว่าจะได้ใช้งาน (Cpre) ใช้กำหนดช่องสัญญาณที่โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางคาดว่าจะได้ใช้งาน
- ข้อมูลสถานะของช่องสัญญาณที่ไม่สามารถใช้งานได้หรือว่ามีการใช้งานอยู่แล้ว (Ccur) ใช้ตรวจสอบว่าช่องสัญญาณช่องใดบ้างที่ไม่สามารถใช้งานได้ในขณะนั้นหรือว่าช่องสัญญาณนั้นมีการใช้งานอยู่แล้ว
- ข้อมูลเวลาที่แต่ละโหนดใช้ในการรับส่งข้อมูล (Tpre) เป็นข้อมูลของเวลาที่โหนดใช้ในการรับส่งข้อมูลอยู่ในขณะนั้น

| | |
|---|---|
| Channel expected to occupy by communication | $C_{pre}$ |
| Channel occupied by communication | $C_{cur}$ |
| Expected completion time for data transmission | $T_{pre}$ |

ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลช่องสัญญาณ

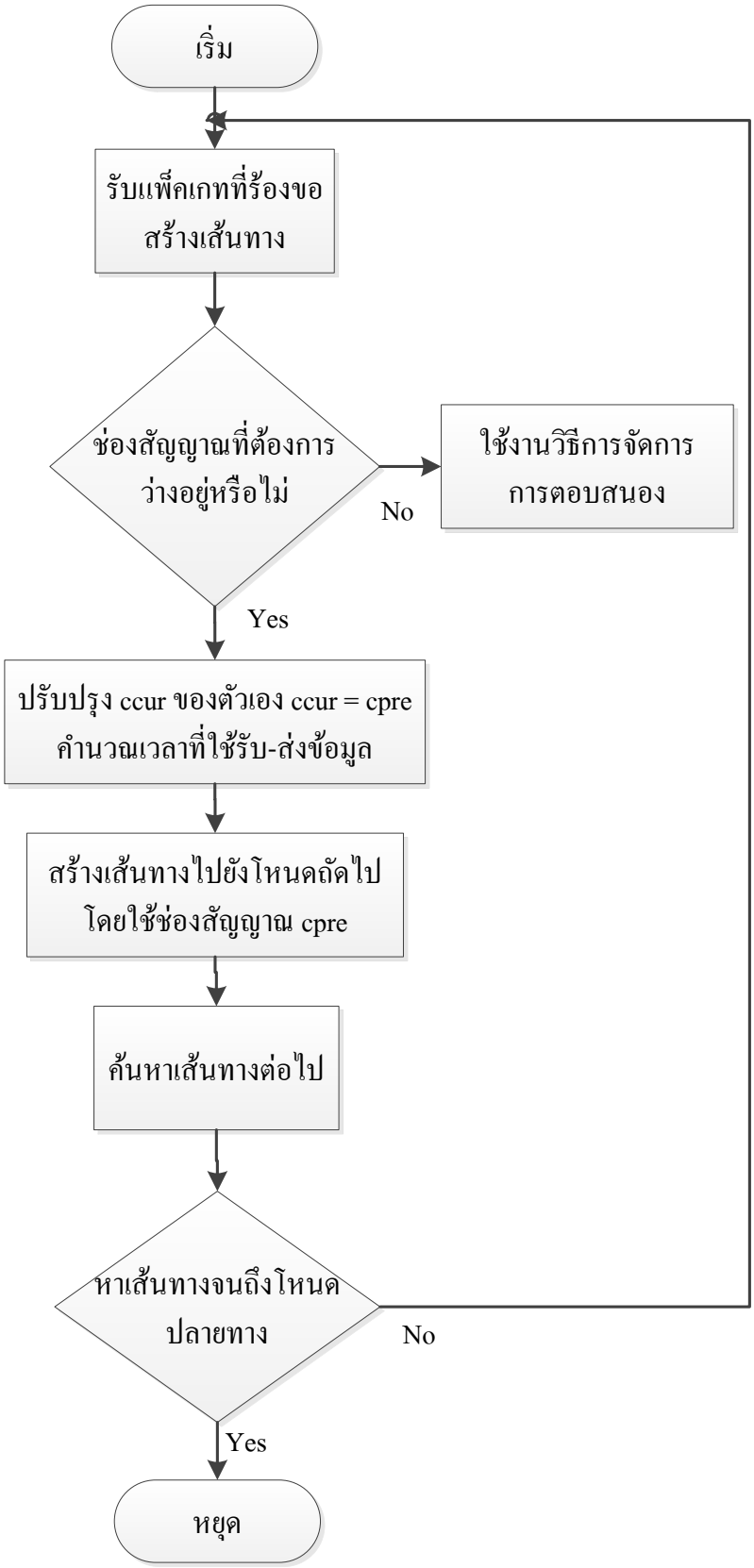
การทำงานของวิธีการวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองขั้นตอน คือ วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย และ วิธีการจัดการการตอบสนอง

### 3.2.1 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย

วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย เป็นวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณหลักที่ใช้จัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดที่ส่งกระจายแพ็คเกตร้องของเส้นทางเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง

เมื่อโหนดต่างๆ ที่เป็นโหนดเพื่อบ้านของโหนดที่กระจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางก็จะดำเนินการดังที่แสดงในผังงานรูปที่ 3.2 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

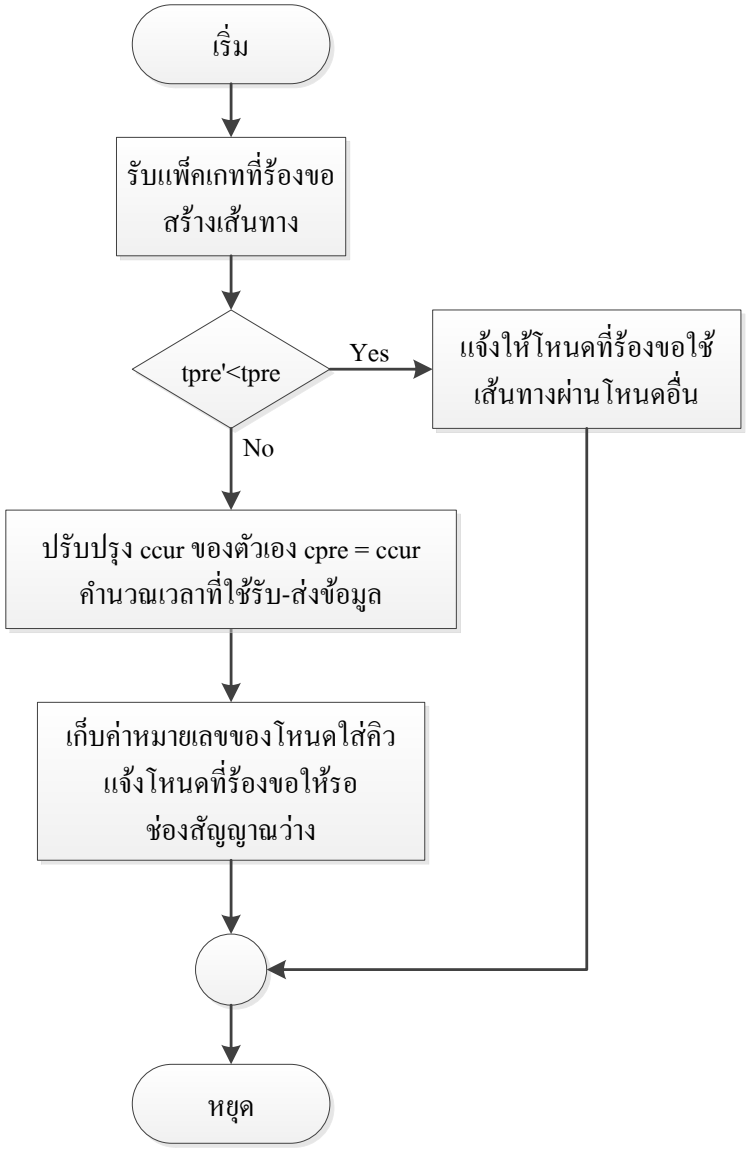
- เมื่อโหนดใดต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทางจะสร้างแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง Route Request packet (RREQ Packet) ตามโพรโทคอลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางในงานวิจัยที่สนใจนี้ผู้วิจัยเลือกใช้งานโพรโทคอล Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV) โดยเพิ่มข้อมูลของช่องสัญญาณที่คาดว่าจะได้ใช้งานหรือช่องสัญญาณที่ต้องการใช้งาน (Cpre) และเวลาที่จะใช้ในการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง (Tpre) เพิ่มเข้าไปในแพ็คเกต RREQ ที่จะส่งออกไป
- เมื่อโหนดข้างเคียงได้รับแพ็คเกตร้องของเส้นทาง จะเริ่มทำงานวิธีการแบบการกระจายโดยนำข้อมูลของช่องทางที่คาดว่าจะได้ใช้งาน (Cpre) ที่อยู่ในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาตรวจสอบกับข้อมูลช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานอยู่ของตัวเอง (Ccur) ในตารางช่องสัญญาณของตนเอง ถ้าช่องสัญญาณที่มากับแพ็คเกตร้องขอไม่มีการใช้งาน (สถานะว่าง) จะจัดสรรช่องสัญญาณนั้นให้ทันที แต่ถ้าช่องสัญญาณนั้นกำลังถูกใช้งานอยู่ (สถานะไม่ว่าง) จะใช้วิธีการจัดการการตอบสนองมาช่วยตัดสินใจตอบกลับไปว่า ให้รอใช้งานช่องสัญญาณหรือ ให้หาเส้นทางผ่านโหนดอื่น ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป
- หลังจากที่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้แล้วโหนดจะทำการปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเองโดยกำหนดให้ข้อมูลช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง Ccur มาเท่ากับค่าของช่องสัญญาณที่โหนดที่ส่งคำร้องขอมา Cpre ต้องการ (Ccur == Cpre) ทำให้ช่องสัญญาณนั้นมีสถานะกลายเป็นไม่ว่างและนำเวลาที่โหนดส่งแพ็คเกตร้องเส้นทางเพิ่มมาในแพ็คเกตที่ต้องการใช้ส่งข้อมูลมาเก็บไว้ในตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเอง
- สร้างเส้นทางส่งข้อมูลให้กับโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาตามวิธีของโพรโทคอล AODV ทำการปรังปรุงตารางเส้นทาง (Routing Table) ของโหนดโดยในวิธีการนี้จะมีการเพิ่มข้อมูลของช่องสัญญาณที่ใช้งานของเส้นทางต่างๆ เข้าไปในตารางเส้นทางของโหนดด้วย
- ทำการตรวจสอบตามวิธีการของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางว่าเป็นโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะกระจายแพ็คเกตร้องของเส้นทางต่อไปแต่ถ้าเป็นโหนดปลายทางแล้วก็จะทำการตอบกลับไปยังโหนดต้นทางด้วยแพ็คเกตตอบรับเส้นทาง Route Reply Packet (RREP Packet) และเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับช่องสัญญาณกลับไปยังโหนดต้นทางต่อไป




รูปที่ 3.2 วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย

### 3.2.2 วิธีการจัดการการตอบสนอง

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงแผนภาพการทำงานของวิธีการจัดการการตอบสนองเมื่อช่องสัญญาณที่โหนดร้องขอมีสถาะไม่ว่างพร้อมให้บริการหรือไม่พร้อมใช้งาน ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการจัดการการตอบสนองไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาเพื่อตัดสินใจว่าจะให้รอใช้งานช่องสัญญาณที่ต้องการหรือให้หาเส้นทางผ่านทางโหนดอื่น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



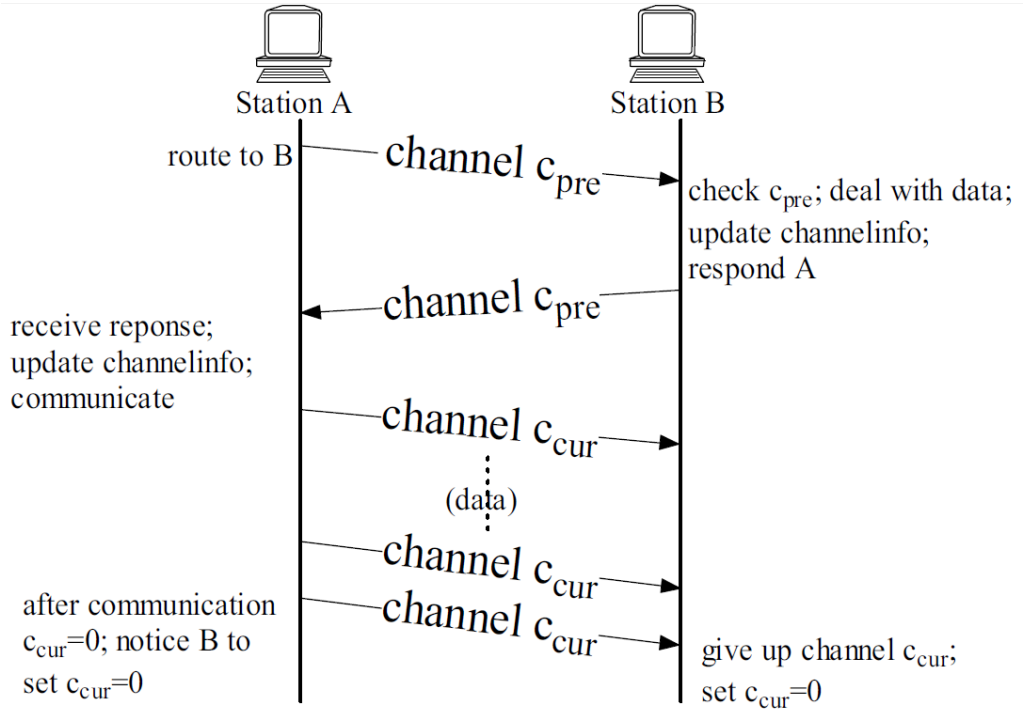

รูปที่ 3.3 วิธีการจัดการการตอบสนอง

- นำข้อมูลช่องสัญญาณและเวลาที่อยู่ในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาทำการพิจารณา โดยกำหนดให้เวลาของโหนดที่ส่งแพ็คเกตของมาต้องการใช้งานคือ (tpre) และเวลาของโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางกำลังใช้งานอยู่ (tpre') โดยเป็นเวลาของช่องสัญญาณเดียวกับที่โหนดร้องขอต้องการมาทำการเปรียบเทียบกับกัน

- ถ้าเวลาของโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมากกว่าเวลาของโหนดรับแพ็คเกตร้องของเส้นทางกำลังใช้งานช่องสัญญาณนั้นอยู่ จะตอบกลับไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาให้สร้างเส้นทางผ่านไปยังโหนดอื่น
- ถ้าเวลาของโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางน้อยกว่าเวลาที่โหนดรับแพ็คเกตร้องของเส้นทางกำลังใช้งานช่องสัญญาณนั้นอยู่จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางช่องสัญญาณของตนเองด้วยข้อมูลช่องสัญญาณและเวลาที่โหนดร้องของส่งมาในแพ็ตเก็ตร้องของเส้นทาง แล้วจึงเก็บที่อยู่ของโหนดร้องขอไว้ในคิวโหนดที่รอใช้ช่องสัญญาณโดยที่คิวโหนดที่รอใช้ช่องสัญญาณจะถูกสร้างไว้ตั้งแต่เริ่มทำงานเพื่อเก็บที่อยู่ของโหนดที่รอใช้ช่องสัญญาณของโหนดนั้นๆ และแจ้งกลับไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางให้รอช่องสัญญาณที่ต้องการว่างพร้อมใช้งาน

### 3.2.3 การทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้น

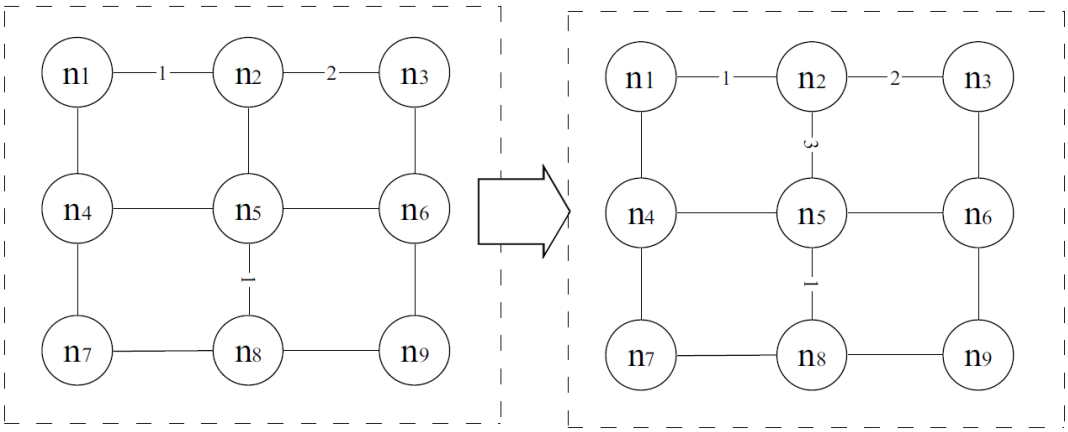
จากรูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างวิธีการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางอย่างง่ายโดยเป็นตัวอย่างการทำงานระหว่าง 2 โหนด โหนด A ต้องการจะส่งข้อมูลไปยังโหนดไปยังโหนด B จะมีการทำงานดังต่อไปนี้




รูปที่ 3.4 การทำงานของวิธีการ R-CA แบบ 2 โหนด

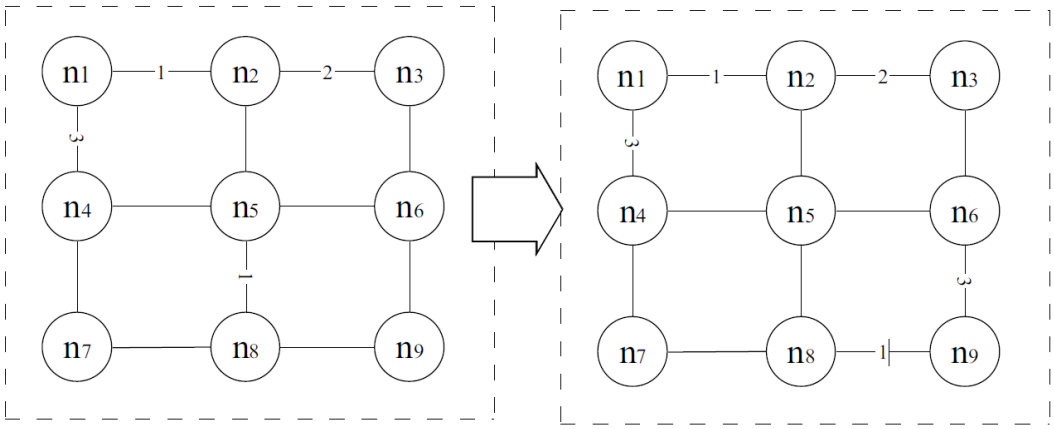
- โหนด A จะส่งคำร้องขอเส้นทางเพื่อใช้ส่งข้อมูลไปยังโหนด B โดยเพิ่มข้อมูลที่กล่าวไปแล้วข้างต้นไปในแพ็คเกตที่ส่งไป
- โหนด B จะนำค่าของ Cpre ที่โหนด A ส่งมาตรวจสอบในตารางข้อมูลช่องสัญญาณของโหนด B ทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางข้อมูลช่องสัญญาณของโหนด B และตอบกลับไปยังโหนด A
- โหนด A ได้รับการตอบกลับจากโหนด B สามารถใช้งานช่องสัญญาณที่ต้องการได้จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางช่องสัญญาณของโหนด A และเริ่มทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณที่เชื่อมโยงกันไว้
- เมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้วโหนด A จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเองให้ช่องสัญญาณที่ใช้งานเสร็จแล้วว่าง และ แจ้งกลับไปยังโหนด B ส่งข้อมูลเสร็จสิ้นและคืนช่องสัญญาณที่ใช้งานให้โหนด B
- โหนด B ได้รับการแจ้งส่งข้อมูลเสร็จสิ้นและคืนช่องสัญญาณจากโหนด A โหนด B ทำการยกเลิกช่องสัญญาณที่กำลังใช้งานอยู่กับโหนด A ให้ว่างและทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางช่องสัญญาณของโหนด B

จากรูปที่ 3.5 – 3.7 จะแสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางทั้งหมด 3 สถานการณ์คือ รูปที่ 3.5 ช่องสัญญาณที่โหนดร้องของต้องการมีสถานะว่างพร้อมใช้งาน รูปที่ 3.6 ช่องสัญญาณที่โหนดร้องขอต้องการมีสถานะไม่ว่างต้องหาเส้นทางผ่านโหนดอื่น และ รูปที่ 3.7 ช่องสัญญาณที่โหนดร้องขอต้องการมีสถานะไม่ว่างให้รอช่องสัญญาณว่าง โดยแต่ละโหนดในเครือข่ายจะประกอบด้วยช่องทางเชื่อมต่อ 4 ช่องทางและ 4 ช่องสัญญาณที่ไม่มีการรบกวนกัน



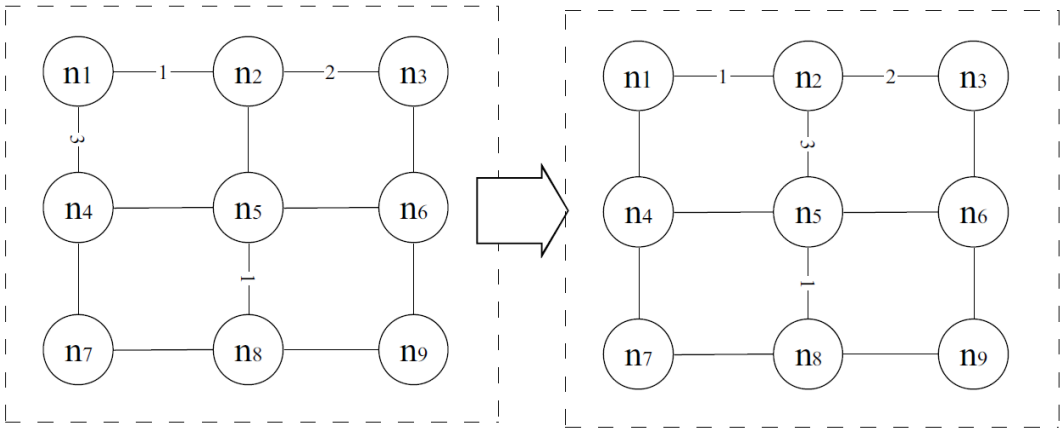

รูปที่ 3.5 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการว่างพร้อมใช้งาน

จากรูปที่ 3.5 โหนด 2 และ โหนด 3 กำลังใช้ช่องสัญญาณ 2 ในการส่งข้อมูลโหนด 2 ทำการปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเองแล้วกระจายข้อมูลช่องสัญญาณของตัวเองไปยังโหนดข้างเคียงเมื่อโหนด 5 ได้รับข้อมูลช่องสัญญาณของโหนด 2 โหนด 5 จะตั้งค่า Ccur ของตนเองให้เป็น 2 จากข้อมูลช่องสัญญาณจากโหนด 2 เมื่อโหนด 5 ได้รับข้อมูลคำร้องขอเส้นทางและช่องสัญญาณจากโหนด 8 โหนด 8 ต้องการใช้งานช่องสัญญาณ 1 โหนด 5 ตรวจสอบข้อมูลตารางช่องสัญญาณของตนเองพบว่าช่องสัญญาณ 1 ยังว่างอยู่ โหนด 5 กับโหนด 8 จึงสามารถใช้งานช่องสัญญาณ 1 ได้




รูปที่ 3.6 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการไม่ว่างแต่ให้รอช่องสัญญาณว่าง

จากรูปที่ 3.6 โหนด 2 และ 4 จะแจ้งโหนด 5 ว่าช่องสัญญาณ 1 2 และ 3 ไม่ว่าง โหนด 5 จะปรับปรุงข้อมูลในตารางช่องสัญญาณของตัวเองตามข้อมูลที่ได้รับจากโหนด 2 และ 4 เมื่อโหนด 5 ได้รับคำร้องขอสร้างเส้นทางจากโหนด 8 โดยที่โหนด 8 ต้องการใช้ช่องสัญญาณ 1 โหนด 5 ตรวจสอบตารางช่องสัญญาณของตนเองพบว่าช่องสัญญาณ 1 ไม่พร้อมใช้งานจึงเรียกใช้งาน วิธีการจัดการการตอบสนอง เมื่อเปรียบเทียบเวลาแล้วจึงตอบกลับไปยังโหนด 8 ให้หาเส้นทางผ่านโหนดอื่น




รูปที่ 3.7 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณที่ต้องการไม่ว่างและต้องหาเส้นทางผ่านโหนดอื่น

จากรูปที่ 3.7 โหนด 2 และ 4 แจ้งโหนด 5 ว่าช่องสัญญาณ 1 2 และ 3 ไม่ว่าง โหนด 5 ปรับปรุงข้อมูลในตารางช่องสัญญาณของตนเอง เมื่อโหนด 5 ได้รับคำร้องขอสร้างเส้นทางจากโหนด 8 โหนด 8 ต้องการใช้งานช่องสัญญาณ 1 โหนด 5 ตรวจสอบในตารางข้อมูลช่องสัญญาณแล้วพบว่าช่องสัญญาณ 1 ไม่พร้อมใช้งานจึงเรียกใช้งานวิธีการจัดการการตอบสนอง เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาใช้งานแล้ว โหนด 5 ตอบกลับไปยังโหนด 8 ให้รอช่องสัญญาณว่าง

### 3.2.4 วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการพิจารณาและจำลองการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง พบว่าวิธีการนี้เกิดปัญหา ทำให้เกิดดีเลย์และการสูญหายของแพ็ตเก็ต ส่งผลให้ค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายลดลงและทำให้เกิดการสูญหายของแพ็คเกตข้อมูลในเครือข่ายสูงมากขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น

- ของการซ้ำซ้อนกันของช่องทางที่กำหนดให้กับโหนดร้องขอที่เป็นโหนดเดียวกันเปลี่ยนไปเรื่อยๆ เมื่อโหนดร้องขอที่เป็นโหนดเดียวกันมีการร้องขอเส้นทางมาหลายครั้งจะได้ช่องสัญญาณที่เปลี่ยนไปเรื่อยๆ
- การที่โหนดที่ส่งคำร้องขอเส้นทางกำหนดช่องสัญญาณที่ต้องการใช้งานไปด้วยจะทำให้เกิดความไม่สัมพันธ์กันของช่องสัญญาณที่ต้องการใช้งานและช่องสัญญาณที่ว่างอยู่จริง ทำให้ไม่สามารถได้รับช่องสัญญาณที่ว่างอยู่มาใช้งาน
- ทำให้เมื่อโหนดต้องไปรอใช้ช่องสัญญาณที่ต้องการโดยที่มีช่องสัญญาณอื่นว่างอยู่หรือต้องหาช่องสัญญาณผ่านโหนดอื่นที่อาจจะเป็นเส้นทางที่ไม่ดีทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (R-CA) ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เราจึงได้นำเสนอวิธีการเพื่อแก้ปัญหาและปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการลดดีเลย์ และ การสูญหายของแพ็ตเก็ตในเครือข่าย เรียกว่า กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks (PIM-R-CA) ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

# บทที่ 4

# วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่นำเสนอ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่แล้วของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายที่ทางผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอโดยประกอบด้วยส่วนที่ได้มีการปรับปรุงจากวิธีการเดิมที่ได้นำเสนอไปแล้ว วิธีการใหม่ที่ได้นำเสนอ และแสดงถึงวิธีการทำงานของวิธีการทำงานในรูปแบบต่างๆ ของวิธีการที่ได้นำเสนอดังต่อไปนี้

## 4.1 กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง

จากที่ได้มีการกล่าวถึงวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) ในส่วนก่อนหน้านี้นั้น เมื่อมีการร้องขอเส้นทางจากโหนดเดียวกันหลายๆ ครั้งโหนดที่รับคำร้องขอเส้นทางจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดเดียวกันเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ตามช่องสัญญาณที่มีสถานะว่างพร้อมใช้งาน หรือจากช่องสัญญาณที่พร้อมใช้งานมากที่สุดเมื่อแต่ละช่องสัญญาณนั้นมีสถานะไม่พร้อมใช้งาน ทำให้การส่งข้อมูลผ่านโหนดเดียวกันที่มีต้นทางหรือปลายทางต่างกันจะใช้ช่องสัญญาณต่างกัน ทำให้มีโหนดที่ต้องรอช่องสัญญาณในคิวมาก และยังทำให้แต่ละโหนดที่ต้องรับส่งข้อมูลต้องสลับช่องสัญญาณเปลี่ยนไปเรื่อยๆ บ่อยครั้งมาก เมื่อมีการส่งข้อมูลปริมาณมากขึ้นส่งผลให้เกิดดีเลย์และแพ็คเกตสูญหายระหว่างการส่งเป็นจำนวนมาก ทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายมีค่าลดลง จากการพิจารณาการทำงานของวิธีการ R-CA เราพบว่าประสิทธิภาพของวิธีการ R-CA ยังสามารถปรับปรุงให้สูงขึ้นได้โดยการลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในอัตตราการส่งข้อมูลสำเร็จและทรูพุทของเครือข่ายให้สูงขึ้น ดังนั้นเราจึงเสนองานวิจัย กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks (PIM-R-CA) การทำงานของ PIM-R-CA สามารถอธิบายได้ดังนี้

### 4.1.1 การปรับปรุงเพิ่มเติมโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง

การทำงานเริ่มจากกระบวนการค้นหาเส้นทางซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โพรโทคอล Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ที่มีการปรับปรุงให้สามารถทำงานแบบหลายการเชื่อมต่อหลายช่องสัญญาณ Multi-Channel Multi-Interface (MIMC) [17][19] เราได้เพิ่มข้อมูลของสถานะ

ช่องสัญญาณและข้อมูลเวลาที่ต้องการใช้ส่งข้อมูลจากตารางข้อมูลช่องสัญญาณของโหนดที่ส่งคำร้องไปในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบโครงสร้างของแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง Route Request Packet (RREQ Packet) เป็นรูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางหลักใช้งานในโพรโทคอล AODV ซึ่งในรูปที่ 4.1(a) นั้นคือรูปแบบของแพ็คเกตร้องของเส้นทางแบบเดิมตามมาตรฐานของ AODV ที่ยังไม่ได้มีการเพิ่มเติมข้อมูลใดๆ และในรูปที่ 4.1(b) นั้นเป็นรูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางที่ได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของข้อมูลสถานะช่องสัญญาณ Ccur เป็นส่วนที่แสดงถึงสถานะของช่องสัญญาณในขณะนั้นของโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล Tpre เป็นเวลาที่โหนดที่ต้องการส่งข้อมูลใช้ในการส่งข้อมูล โดยข้อมูลที่เพิ่มไปในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางนั้นเพื่อให้โหนดที่ได้รับแพ็คเกตร้องของเส้นทางไปนั้นใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดและตัดสินใจในกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการ

| Type | \|J\|R\|G\|D\|U\| | Reserved | Hop Count |
|---|---|---|---|
| RREQ ID | | | |
| Destination IP Address | | | |
| Destination Sequence Number | | | |
| Originator IP Address | | | |
| Originator Sequence Number | | | |

รูปที่ 4.1(a) รูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางในโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม

| Type | \|J\|R\|G\|D\|U\| | Reserved | Hop Count |
|---|---|---|---|
| RREQ ID | | | |
| Destination IP Address | | | |
| Destination Sequence Number | | | |
| Originator IP Address | | | |
| Originator Sequence Number | | | |
| **Channel Status “Ccur”** | | | |
| **Completion time for data transmission “Tpre”** | | | |

รูปที่ 4.1(b) รูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางในโพรโทคอล AODV ที่ได้ปรับปรุง

| Type | \|R\|A\| | Reserved | Prefix Sz | Hop Count |
|---|---|---|---|---|
| Destination IP Address | | | | |
| Destination Sequence Number | | | | |
| Originator IP Address | | | | |
| Lifetime | | | | |

รูปที่ 4.2(a) รูปแบบของแพ็คเกตตอบรับในโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม

| Type | \|R\|A\| | Reserved | Prefix Sz | Hop Count |
|---|---|---|---|---|
| Destination IP Address | | | | |
| Destination Sequence Number | | | | |
| Originator IP Address | | | | |
| Lifetime | | | | |
| **Response Information** | | | | |

รูปที่ 4.2(b) รูปแบบของแพ็คเกตตอบรับในโพรโทคอล AODV ที่ได้ปรับปรุง

หลังจากที่โหนดที่ได้รับคำร้องของเส้นทางได้ทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับคำร้องของแล้วนั้นในการตอบรับเส้นทางไปยังโหนดที่ส่งคำร้องมานั้นจะใช้แพ็คเกตตอบรับคำร้องขอเส้นทาง Route Reply Packet (RREP Packet) เพื่อตอบกลับไปยังโหนดที่ส่งคำร้องขอเส้นทางว่าให้ใช้เส้นทางผ่านทางโหนดใดบ้างและได้มีการเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนของข้อมูลการตอบสนองดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 เพื่อให้โหนดที่ส่งคำร้องทราบว่าโหนดที่ต้องทำการติดต่อด้วยนั้นได้สามารถใช้งานช่องสัญญาณใดในการสื่อสารหรือไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ต้องหาเส้นทางผ่านโหนดอื่นจากรูปที่ 4.2(a) คือรูปแบบของแพ็คเกตตอบรับการร้องขอเส้นทางแบบเดิมที่ยังไม่ได้เพิ่มข้อมูล และในรูปที่ 4.2(b) นั้นเป็นรูปแบบแพ็คเกตตอบรับการร้องขอเส้นทางที่ได้มีการเพิ่มข้อมูลการตอบสนองเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณเข้าไปซึ่งข้อมูลต่างๆ ที่ตอบกลับไปยังโหนดที่ส่งคำร้องขอนั้นจะได้อธิบายในส่วนต่อไป นอกจากการเพิ่มเติมข้อมูลเข้าไปในแพ็คเกตในการค้นหาเส้นทางแล้ว วิธีการที่นำเสนอยังได้มีการเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนของตารางข้อมูลเส้นทาง (Routing Table) ที่ใช้ในการเก็บช่องทางที่ใช้ไปยังโหนดที่อยู่ข้างเคียงของวิธีการค้นหาเส้นทางแบบ AODV ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 ด้านบนของตัวลูกศรจะเป็นตารางเส้นทางแบบเดิมที่ยังไม่ได้มีการเพิ่มเติมข้อมูลใดๆ โดยเป็นตัวอย่างของตารางเส้นทางของโหนด 2 ที่แสดงในรูปที่ 4.3 เป็นตัวอย่างของการเชื่อมต่อของโหนดในเครือข่ายไร้สายและได้มีการค้นหาเส้นทางและสร้างตารางเส้นทางโดยใช้กระบวนการค้นหาเส้นทางแบบ AODV ซึ่งข้อมูลที่อยู่ในตารางเส้นทางจะประกอบไปด้วย Sequence Number (Seq) ใช้ในการระบุว่าเส้นทาง

ใหนใหม่หรือดีกว่ากัน Destination Node (Dest) คือโหนดปลายทางที่จะต้องส่งข้อมูลไป Next hop คือโหนดต่อไปที่ต้องส่งข้อมูลไปให้ และ Hop Count จำนวนของโหนด

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการเชื่อมต่อของโหนด

| Node 2 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Seq | Dest | Next Hop | Hop Count | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 1 | 3 | 3 | 1 | |
| 1 | 4 | 3 | 2 | |

ตารางที่ 4.1(a) ตารางเส้นทางของโพรโทคอล AODV แบบดั้งเดิม

| Node 2 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Seq | Dest | Next Hop | Hop Count | **iface** |
| 1 | 1 | 1 | 1 | **1** |
| 1 | 3 | 3 | 1 | **2** |
| 1 | 4 | 3 | 2 | **2** |

ตารางที่ 4.2(b) ตารางเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่เพิ่มข้อมูลช่องทาง

และในตารางด้านล่างไต้ลูกศรคือตารางเส้นทางของโหนดที่มีการเพิ่มข้อมูลของช่องทางการเชื่อมต่อหรือช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อสำหรับเส้นทางไปยังโหนดต่างๆ (iface) โดยช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดไว้ในตารางเส้นทางนั้นคือช่องสัญญาณที่ได้รับการจัดสรรมาจากวิธีการที่นำเสนอ และช่องสัญญาณที่แต่ละเส้นทางที่ไปยังโหนดถัดไป (Next hop) ใดรับการจัดสรรนั้นจะได้รับไม่ซ้ำกันแต่ถ้าเป็นโหนดถัดไปที่เป็นโหนดเดียวกันซึ่งหมายถึงโหนดถัดไปนั้นเคยได้รับการจัดสรรอยู่ก่อนแล้วก็จะได้รับช่องสัญญาณเดียวกันดังที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.1

### 4.1.2 ขันตอนการทำงานของ PIM-R-CA

การทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ที่นำเสนอจะมีการสร้างตารางข้อมูลช่องสัญญาณ (Channel Info) ขึ้นมาเพิ่มเติมในแต่ละโหนดที่อยู่ในเครือข่ายเพื่อเป็นตารางที่ใช้เก็บขอมูลเกี่ยวกับช่องสัญญาณของโหนดนั้นๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งประกอบไปด้วย

| | |
|---|---|
| ข้อมูลสถานะช่องสัญญาณของโหนด | Ccur |
| ข้อมูลเวลาที่โหนดใช้รับส่งข้อมูล | Tpre |

ตารางที่ 4.3 ตารางข้อมูลช่องสัญญาณ

- Ccur หมายถึง สถานะของช่องสัญญาณของโหนด ใช้เก็บข้อมูลสถานะของช่องสัญญาณของแต่ละโหนดในเครือข่ายประกอบด้วย 2 สถานะคือ ช่องสัญญาณว่างพร้อมใช้งานจะมีสถานะเป็น 0 และช่องสัญญาณไม่ว่างพร้อมใช้งานหรือมีการใช้งานอยู่มีสถานะเป็น 1
- Tpre หมายถึง เวลาที่โหนดต้องการใช้ในการส่งข้อมูล ใช้ในการเก็บข้อมูลเวลาที่โหนดใช้ในการรังส่งข้อมูลหรือเวลาที่เหลือที่ต้องใช้ในการรับส่งข้อมูลของโหนด

ตารางข้อมูลช่องสัญญาณของแต่ละโหนดจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเพราะเมื่อโหนดใดๆ ที่เป็นโหนดส่งข้อมูลเมื่อส่งข้อมูลเสร็จสิ้นจะแจ้งไปยังโหนดที่รับข้อมูลให้ยกเลิกการใช้งานช่องสัญญาณที่ตนเองใช้งานอยู่เพื่อปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณและนำช่องสัญญาณนั้นๆ ไปให้บริการกับโหนดอื่นต่อไป การทำงานของวิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนต์สามารภแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนวิธี ได้แก่ วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจาย และ วิธีการจัดการการตอบสนอง เป็นวิธีการที่ใช้ในการตัดสินใจเมื่อไม่มีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการ ซึ่งทั้งสองวิธีการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.7 การทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ในส่วนของโหนดต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลดังที่แสดงในผังงานรูปที่ 4.4 มีการทำงานดังนี้

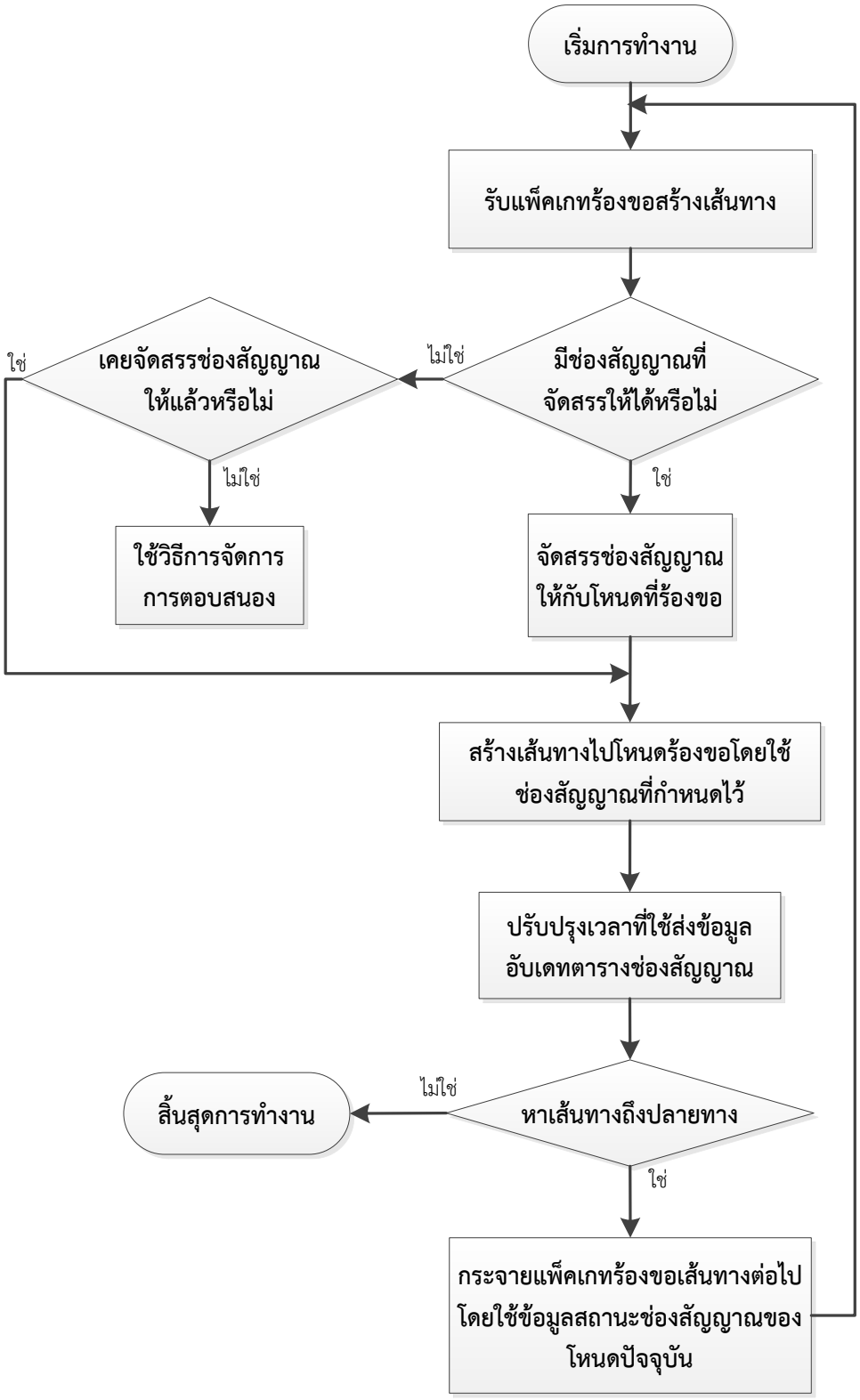
รูปที่ 4.2 การทำงานของโหนดต้นทาง

เริ่มต้นเมื่อโหนดในเครือข่ายที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทางจะทำการสร้างแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง RREQ Packet จากรูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางที่ได้มีการแสดงไปแล้วดังรูปที่ 4.1 โดยใช้รูปแบบของแพ็คเกตร้องขอเส้นทางรูปแบบใหม่ที่ได้ปรับปรุงเพิ่มในส่วนของข้อมูลสถานะช่องสัญญาณและเวลาที่ต้องการใช้ในการส่งข้อมูลเข้าไป เมื่อสร้างแพ็คเกตด้วยข้อมูลร้องขอเส้นทางเสร็จจึงเพิ่มข้อมูลเกียวกับสถานะช่องสัญญาณและเวลาที่ต้องการใช้ส่งข้อมูลเพิ่มเข้าไปแล้วจึงเริ่มกระจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางนั้นออกไปเพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านที่อยู่รอบข้างรับ เมื่อโหนดรอบข้างได้รับก็จะทำการพิจารณาจัดสรรช่องสัญญาณโดยใช้วิธีการที่นำเสนอต่อไป

จากที่กล่าวถึงโหนดต้นทางเริ่มมีการกระจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางออกมาแล้วเมื่อโหนดใกล้เคียงกับโหนดที่การจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางได้รับแพ็คเกต โหนดที่ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจะเริ่มทำงานวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบกระจายเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณดังที่แสดงในผังงานรูปที่ 4.5 โดยมีขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

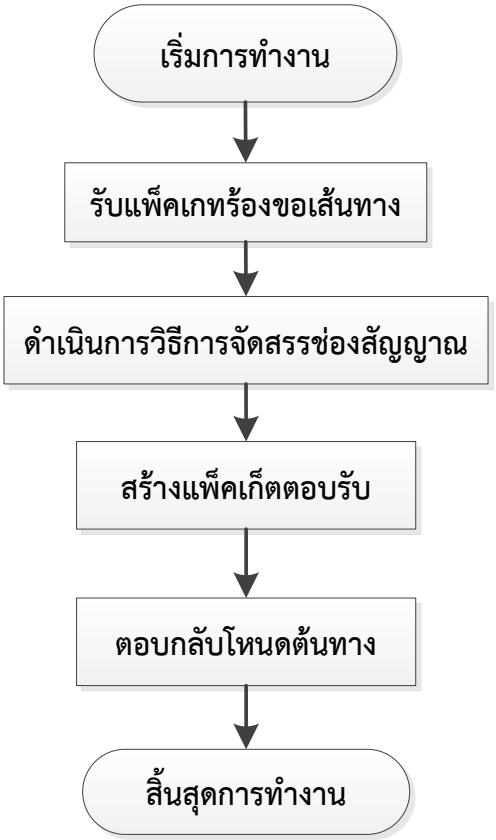
- เริ่มจากเมื่อได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจะตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณที่อยู่ในแพ็คเกตกับสถานะช่องสัญญาณในตารางช่องสัญญาณของตนเองว่าโหนดมีช่องสัญญาณที่ว่างพร้อมให้บริการตรงกันอยู่หรือไม่ ถ้ามีช่องสัญญาณที่ว่างพร้อมให้บริการก็จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณนั้นให้กับโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอมา
- ถ้าไม่มีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการจะทำการตรวจสอบต่อไปว่าโหนดที่ส่งแพ็คเกตคำร้องขอมานั้นเป็นโหนดที่เคยส่งแพ็คเกตร้องขอมาก่อนหรือเคยจัดสรรช่องสัญญาณให้แล้วหรือไม่โดยสามารถดูได้จากตารางเส้นทางของโหนดว่าโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางนั้นมาเคยได้รับเส้นทางผ่านโหนดมาแล้วหรือไม่ ถ้าเป็นโหนดที่เคยส่งข้อมูลมาก่อนแล้วโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจะทำการคำนวณเวลาที่โหนดนั้นต้องการใช้งานและสร้างเส้นทางไปยังโหนดนั้นโดยใช้ช่องสัญญาณเดิมที่โหนดนั้นเคยได้รับโดยสามารถดูช่องสัญญาณที่เคยได้รับได้จากตารางเส้นทางของโหนด แต่ถ้าโหนดนั้นเป็นโหนดที่ไม่เคยส่งข้อมูลมาก่อนหรือไม่เคยติดต่อกันมาก่อนยังไม่มีข้อมูลในตารางเส้นทางและไม่มีช่องสัญญาณที่พร้อมจัดสรรให้บริการได้จะต้องเรียกใช้วิธีการจัดการการตอบสนองเพื่อตัดสินใจว่าจะให้โหนดนั้นๆ รอการจัดสรรช่องสัญญาณให้หรือให้โหนดนั้นหาเส้นทางผ่านโหนดอื่นๆ ต่อไป
- ในกรณีที่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาได้ไม่ว่าจะเป็นจัดสรรช่องสัญญาณให้โหนดใหม่หรือจัดสรรช่องสัญญาณเดิมที่เคยใช้งาน โหนดจะทำการสร้างเส้นทางไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาไว้ในตารางเส้นทางของโหนดแล้วจึงทำการปรับปรุงตารางช่องสัญญาณของโหนดให้ช่องสัญญาณที่จัดสรรไปแล้วนั้นอยู่ในสถานะไม่ว่าง

- ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการของการค้นหาเส้นทางว่าเป็นโหนดปลายทางหรือไม่ถ้าเป็นโหนดปลายทางแล้วก็จะมีการตอบกลับไปยังโหนดต้นทางโดยจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป




รูปที่ 4.3 การทำงานของวิธีการแบบกระจาย

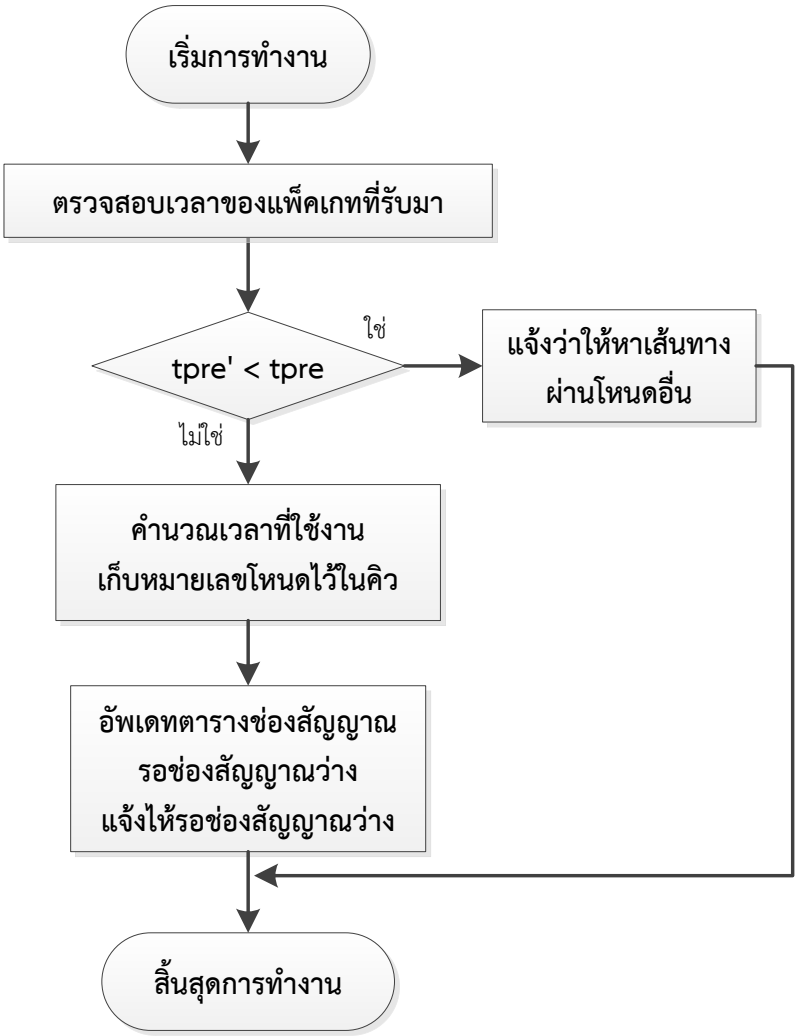
- แต่ถ้ายังไม่ไช่โหนดปลายทางก็จะทำการปรับปรุงแพ็คเกตร้องขอเส้นทางโดยใช้ข้อมูลสถานะช่องสัญญาณของโหนดปัจจุบันที่จะกระจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางต่อแล้วจึงกระจายแพ็คเกตร้องขอเส้นทางต่อไปเพื่อค้นหาเส้นทางให้ถึงปลายทางที่ต้องการ




รูปที่ 4.4 การทำงานของโหนดปลายทาง

ในกรณีที่โหนดที่ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางเป็นโหนดปลายทางที่โหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลด้วยนั้นจะมีขั้นตอนการทำงานดังที่แสดงในผังงานรูปที่ 4.6 เมื่อโหนดได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจะดำเนินการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยวิธีการแบบกระจายที่ได้นำเสนอหลังจากที่ได้มีการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางของโหนดและในตารางขอมูลช่องสัญญาณเรียบรอยแล้ว จะทำการตรวจสอบตามวิธีการทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง AODV เมื่อพบว่าตนเองเป็นโหนดปลายทางจึงทำการสร้างแพ็คเกตตอบรับการสร้างเส้นทาง (RREP) โดยเพิ่มข้อมูลในส่วนของข้อมูลการตอบสนองเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณเข้าไปในแพ็คเกตด้วยและส่งแพ็คเกตนั้นกลับไปตามเส้นทางที่ได้มีการสร้างไว้แล้วในตารางเส้นทางของโหนดต่างๆ เมื่อโหนดที่อยู่ในเครือข่ายได้รับแพ็คเกตตอบรับนี้ก็จะทำการส่งต่อกันไปเรื่อยๆ โดยใช้ข้อมูลเส้นทางที่ได้สร้างไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการค้นหาเส้นทางและช่องสัญญาณที่จัดสรรไว้สำหรับเส้นทางนั้น

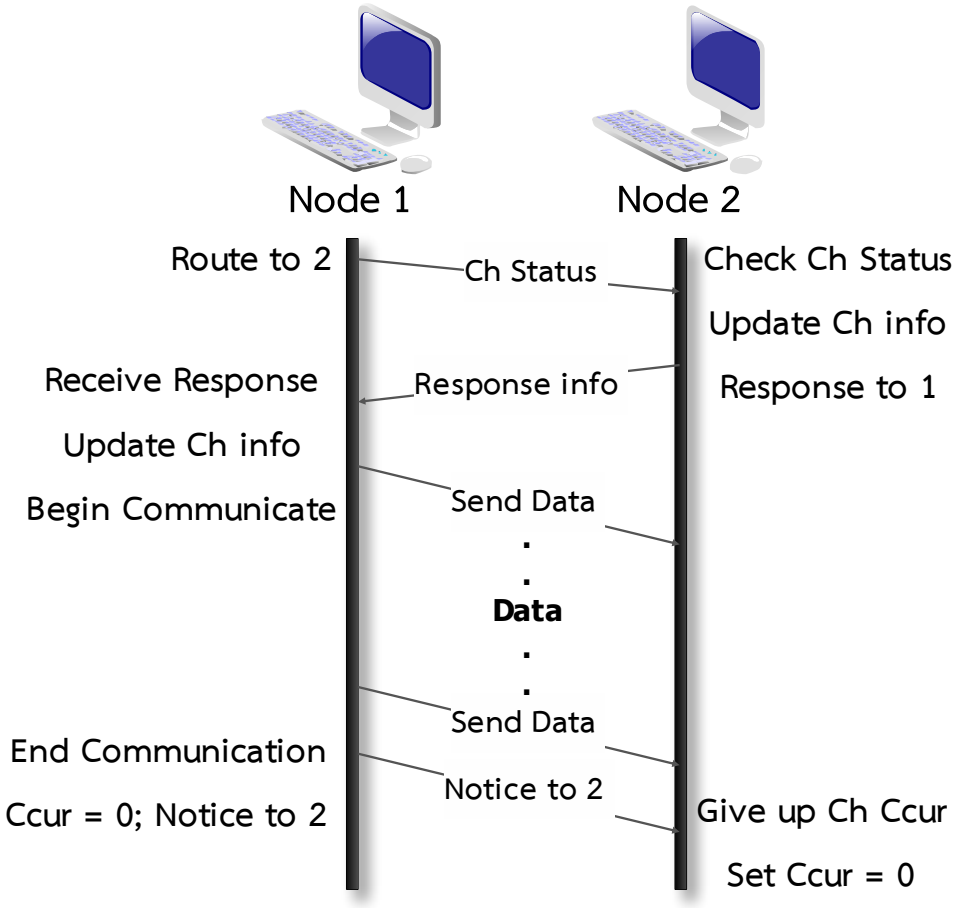
จากผังงานในรูปที่ 4.7 วิธีจัดการการตอบสนองเมื่อไม่มีช่องสัญญาณที่สามารถจัดสรรให้โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาในกรณีที่โหนดนั้นไม่เคยมีการส่งข้อมูลกับโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางนั้นมาก่อน คือ เป็นโหนดใหม่ที่เพิ่งเข้ามาขอสร้างเส้นทางส่งข้อมูลครั้งแรก หรือ ไม่เคยมีข้อมูลอยู่ในตารางเส้นทางของโหนดมาก่อน โดยจะนำเวลาที่โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางต้องการใช้ส่งข้อมูลที่อยู่ในในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางโดยกำหนดให้เป็น (tpre') เปรียบเทียบกับเวลาของโหนดที่ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางกำลังใช้งานช่องสัญญาณอยู่กำหนดให้เป็น (tpre) ถ้า tpre' น้อยกว่า tpre จะแจ้งกลับไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางมาว่าไม่พร้อมให้บริการให้สร้างเส้นทางผ่านโหนดอื่น แต่ถ้าไม่ใช่จะคำนวนเวลาที่โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางต้องการใช้งานและเก็บที่อยู่ของโหนดนั้นไว้ในคิวเพื่อรอช่องสัญญาณว่างเมื่อมีการคืนช่องสัญญาณจากโหนดอื่นที่ใช้งานอยู่ ทำการปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเองและแจ้งกลับไปยังโหนดที่ส่งคำร้องขอเส้นทางให้รอช่องสัญญาณว่าง




รูปที่ 4.5 การทำงานของวิธีจัดการการตอบสนอง

### 4.1.3 ตัวอย่างการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA

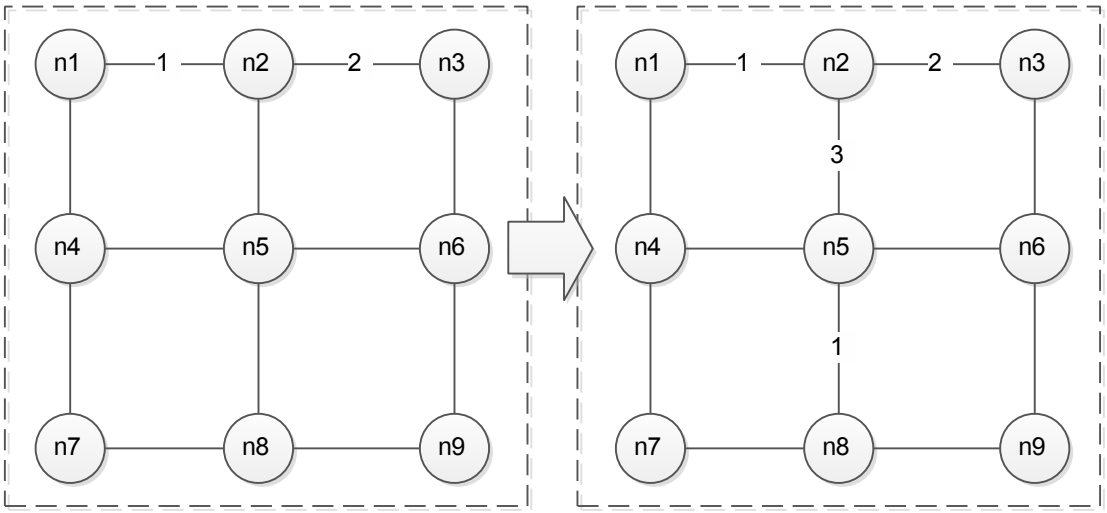
จากการทำงานของวิธีการ R-CA ที่ได้มีการอธิบายไปแล้วในส่วนก่อนหน้านี้ในส่วนนี้จะแสดงถึงการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ทั้งการทำงานอย่างง่ายระหว่างสองโหนด และการทำงานในรูปแบบอื่นๆ ดังต่อไปนี้




รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทำงานเบื้องต้นระหว่าสองโหนด

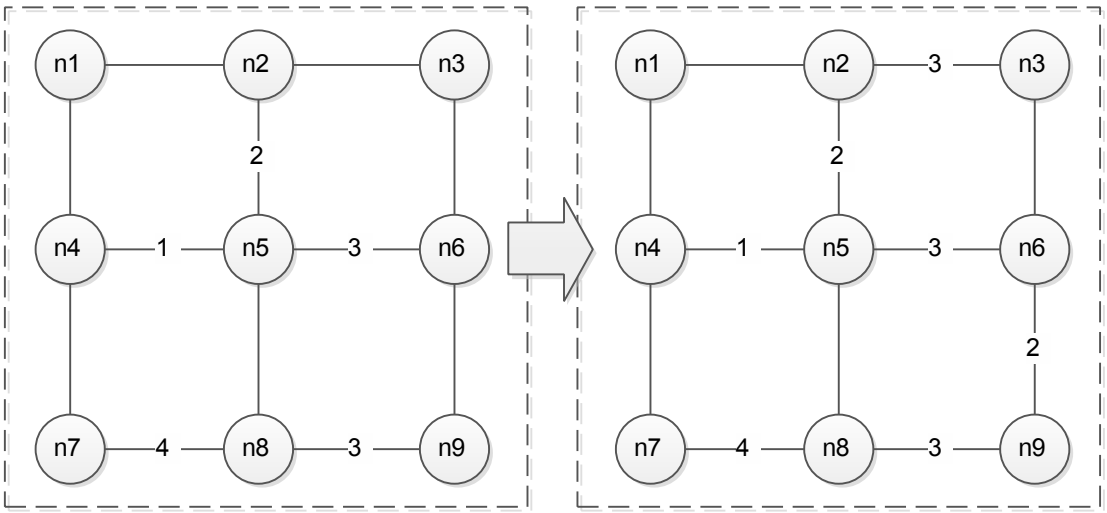
จากรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ระหว่างโหนดสองโหนดที่ต้องการเชื่อมต่อกันโดยกำหนดให้โหนดที่ 1 เป็นโหนดที่ต้องการส่งข้อมูล และโหนดที่ 2 เป็นโหนดที่ต้องรับข้อมูลโดยกำหนดให้ทั้งสองโหนดมีสถานะที่พร้อมใช้งานรับส่งข้อมูล โดยเริ่มจากเมื่อโหนด 1 ต้องการส่งข้อมูลโหนด 1 จะทำการเรียกใช้วิธีการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายโดยในวิธีการที่นำเสนอนี้ใช้กระบวนการค้นหาเส้นทางแบบ Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV Routing) โหนด 1 จะกระจายแพ็คเกตคำร้องขอสร้างเส้นทาง Route Request Packet (RREQ) ไปยังโหนด 2 โดยมีการเพิ่มเติมข้อมูล สถานะช่องสัญญาณของโหนด 1 เข้าไปในแพ็คเกตร้องขอเส้นทางตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นเมื่อโหนด 2 ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจากโหนด 1 จะทำการตวรจสอบสถานะช่องสัญญาณของโหนด 1 ที่ได้รับมาในแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง กับ สถานะช่องสัญญาณของตนเองเมื่อมีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการจะทำการ ปรับปรุงข้อมูลตาราง

ช่องสัญญาณของตนเองและตอบกลับด้วยแพ็คเกตตอบรับการสร้างเส้นทางโดยเพิ่มข้อมูลที่ตอบกลับไปให้กับโหนด 1 ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น เมื่อโหนด 1 ได้รับแพ็คเกตตอบรับการร้องขอเส้นทางจากโหนด 2 แล้วนำข้อมูลที่โหนด 2 ตอบมาให้ มาทำการปรับปรุงข้อมูลตารางช่องสัญญาณของโหนด 1 แล้วจึงเริ่มทำการส่งข้อมูลไปยังโหนด 2 โดยใช้ช่องสัญญาณที่โหนด 1 และโหนด 2 ได้กำหนดกันไว้ เมื่อส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วโหนดที่ 2 จะทำการตั้งค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูลกับโหนด 2 นั้นให้ว่างพร้อมใช้งานและแจ้งไปยังโหนด 2 ว่าส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วเมื่อโหนด 2 ได้รับการแจ้งว่าส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วจะทำการยกเลิกช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับโหนด 1 ให้มีสถานะว่างพร้อมใช้งานต่อไป




รูปที่ 4.7 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการ

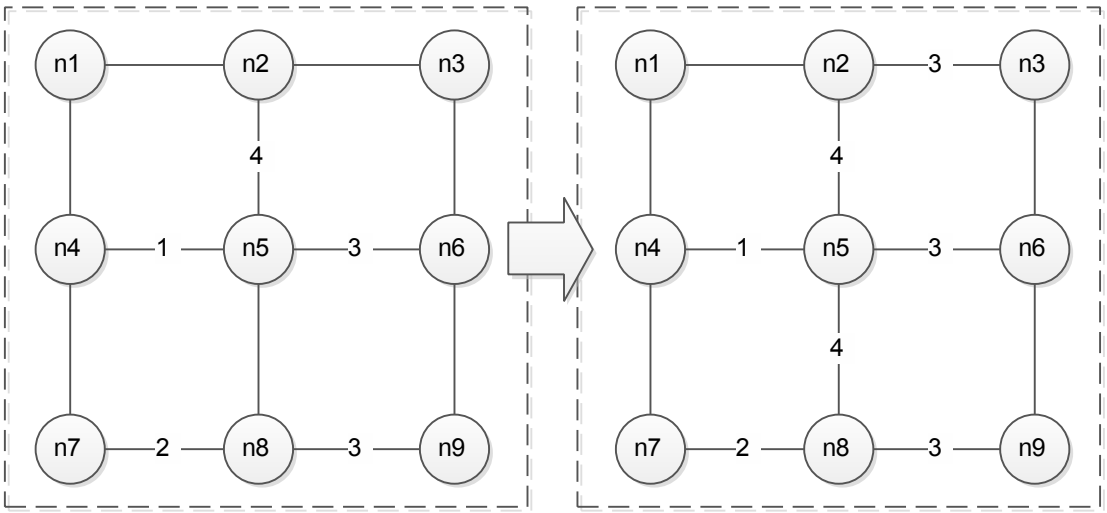
จากรูปที่ 4.9 แสดงวิธีการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA เมื่อช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการ จากรูป ทางด้านซ้าย n1 กับ n2 ใช้ช่องสัญญาณ 1 ในการสื่อสาร n2 กับ n3 ใช้ช่องสัญญาณ 2 และเมื่อโหนด n8 ต้องการติดต่อกับโหนด n5 โหนด n8 จะส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางไปยังโหนด n5 โดยเพิ่มสถานะช่องสัญญาณของตนเองไปในแพ็คเกต เมื่อโหนด n5 ได้รับแพ็คเกตจึงตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณของโหนด n8 กับสถานะช่องสัญญาณของตนเองในตารางข้อมูลช่องสัญญาณพบว่าช่องสัญญาณ 1, 2, และ 4 ของโหนด n8 ว่างพร้อมใช้งาน และจากตารางข้อมูลช่องสัญญาณของโหนด n5 ช่องสัญญาณ 1, 2, 3, และ 4 ว่างพร้อมใช้งานเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงจัดสรรช่องสัญญาณ 1 ให้กับโหนด n8 และทำการปรังปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณของ n5 ว่าช่องสัญญาณ 1 ไม่ว่าง ทพการสร้างเส้นทางไปยังโหนด n8 โดยใช้ช่องสัญญาณ 1 ทำการปรับปรุงตารางเส้นของของตนเอง และตอบกลับไปยังโหนด n8 ว่าสามารถใช้ช่องสัญญาณ 1 ในการสื่อสารได้ดังรูปที่ 4.9 ทางด้านขวา นอกจากนี้เมื่อโหนด n5 ต้องการติดต่อกับโหนด n2 ซึ่งโหนด n2 จะมีช่องสัญญาณที่ 3 และ 4 ว่างอยู่ โหนด n5 จึงสามารถใช้งานช่องสัญญาณที่ 3 ในการเชื่อมต่อกับ n2 ได้




รูปที่ 4.8 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่างพร้อมให้บริการและเป็นโหนดที่ไม่เคยติดต่อ

จากรูปที่ 4.10 แสดงถึงการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ที่นำเสนอในกรณีที่โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางเป็นโหนดใหม่ที่ไม่เคยเข้ามาติดต่อกับโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางและโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอไม่มีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการเป็นเวลานานมากทำให้ต้องหาเส้นทางผ่านโหนดอื่น จากรูปจะเห็นว่า โหนด n2 และ n5 ใช้งานช่องสัญญาณ 2 ในการสื่อสาร โหนด n4 และ n5 ใช้งานช่องสัญญาณ 1 ในการสื่อสาร โหนด n6 และ n5 ใช้งานช่องสัญญาณ 3 ในการสื่อสาร โหนด n7 และ n8 ใช้งานช่องสัญญาณ 4 ในการสื่อสาร และโหนด n9 และ n8 ใช้งานช่องสัญญาณ 3 ในการสื่อสาร ดังนั้นเมื่อโหนด n8 ต้องการสร้างเส้นทางสื่อสารกับโหนด n5 เมื่อโหนด n5 ได้รับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางจากโหนด n8 จึงทำการตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณของโหนด n8 พบว่าช่องสัญญาณ 1 และ 2 ของโหนด n8 ว่างพร้อมใช้งาน และจากตารางช่องสัญญาณของ n5 พบว่ามีช่องสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณเดียวที่ว่างพร้อมให้บริการ จึงทำให้ทั้งสองโหนดมีช่องสัญญาณที่ว่างไม่ต้องกันทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ จึงทำการตรวจสอบในตารางเส้นทาง พบว่า n8 ไม่เคยมีการติดต่อส่งข้อมูลกันมาก่อนจึงใช้วิธีการจัดการการตอบสนองในการติดสินใจ พบว่าไม่มีช่องสัญญาณใดพร้อมให้บริการเป็นเวลานานจึงแจ้งกลับไปยังโหนด n8 ให้ทำการค้นหาเส้นทางผ่านโหนดอื่น จากรูปจะเห็นได้ว่า n8 จะติดจ่อกับโหนด 5 ได้โดยการส่งข้อมูลผ่านไปยังโหนด n9 และ โหนด n6 แทนถึงจะเป็นการส่งข้อมูลที่ใช้ระยะทางที่ไกลกว่าเดิมแต่ก็ทำให้ไม่ต้องรอจนช่องสัญญาณของโหนด n5 ว่างพร้อมใช้งานถึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ซึ่งทำให้เกิด ดีเลย์ในการส่งข้อมูลมากขึ้น

จากรูปที่ 4.10 แสดงถึงการทำงานของวิธีการที่นำเสนอในกรณีที่โหนดที่ส่งแพ็คเกตร้องขอเส้นทางและช่องสัญญาณเป็นโหนดที่เคยเข้ามาติดต่อกับโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขออยู่ก่อนแล้วและโหนดที่รับแพ็คเกตร้องขอไม่มีช่องสัญญาณว่างพร้อมให้บริการแต่จะได้รับช่องสัญญาณเดิมที่เคยได้รับการจัดสรรไปแล้วในการใช้งานจากรูปจะเห็นว่า โหนด n2 และ n5 กำลังใช้งานช่องสัญญาณ 4




รูปที่ 4.9 การทำงานเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่างพร้อมให้บริการและเป็นโหนดที่เคยติดต่อ

ในการสื่อสาร โหนด n4 และ n5 ใช้งานช่องสัญญาณ 1 ในการสื่อสาร โหนด n6 และ n5 ใช้งานช่องสัญญาณ 3 ในการสื่อสาร โหนด n7 และ n8 ใช้งานช่องสัญญาณ 2 ในการสื่อสาร และโหนด n9 และ n8 ใช้งานช่องสัญญาณ 3 ในการสื่อสาร เมื่อโหนด n8 ต้องการสื่อสารกับโหนด n5 โหนด n8 จะส่งแพ็คเกตร้องของเส้นทางพร้อมด้วยข้อมูลสถานะช่องสัญญาณของตนเองไปยังโหนดรอบข้าง เมื่อโหนด n5 ได้รับแพ็คเกตร้องของเส้นทางจากโหนด n8 จะทำการตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณที่ได้รับมาพบช่องสัญญาณ 1 และ 4 ของโหนด n8 ว่างพร้อมใช้งาน และจากข้อมูลตารางสถานะช่องสัญญาณของโหนด n5 พบว่าช่องสัญญาณ 2 ว่างพร้อมให้บริการเพียงช่องสัญญาณเดียวซึ่งช่องสัญญาณ 2 ของโหนด n8 ไม่ว่าง จึงทำการตรวจสอบรวจสอบในตารางเส้นทางแล้วพบว่า n8 เคยมีการติดต่อและได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณ 4 ในการใช้งานมาก่อนแล้วจึงจัดสรรช่องสัญญาณเดิมที่โหนด n8 เคยได้รับในการใช้งาน

จากตัวอย่างการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA สามารถจัดสรรช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพและมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เมื่อเทียบกับวิธีการ R-CA เดิมที่มีการกำหนดช่องสัญญาณที่ต้องการใช้งานมาตั่งแต่ต้นทำให้ทำให้มีโอกาศที่จะไม่ได้ใช้งานช่องสัญญาณที่ต้องการสูงทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายในด้านต่างๆ ลดลง อีกทั้งวิธีการ PIM-R-CA ยังสามารถทำงานร่วมกับกระบวนการค้นหาเส้นทาง AODV ได้เป็นอย่างดี

# บทที่ 5

# การจำลองการทำงานของระบบและผลการจำลอง

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลการจำลองการทำงานโดยที่ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน วิธีการที่ใช้ในการคำนวณและประเมินผลของการจำลอง กราฟที่ใช้ในการแสดงผลการจำลองของวิธีการที่นำเสนอและการวิจารณ์ผลการจำลองที่แสดงในกราฟรูปต่างๆ ที่แสดงว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการเดิม

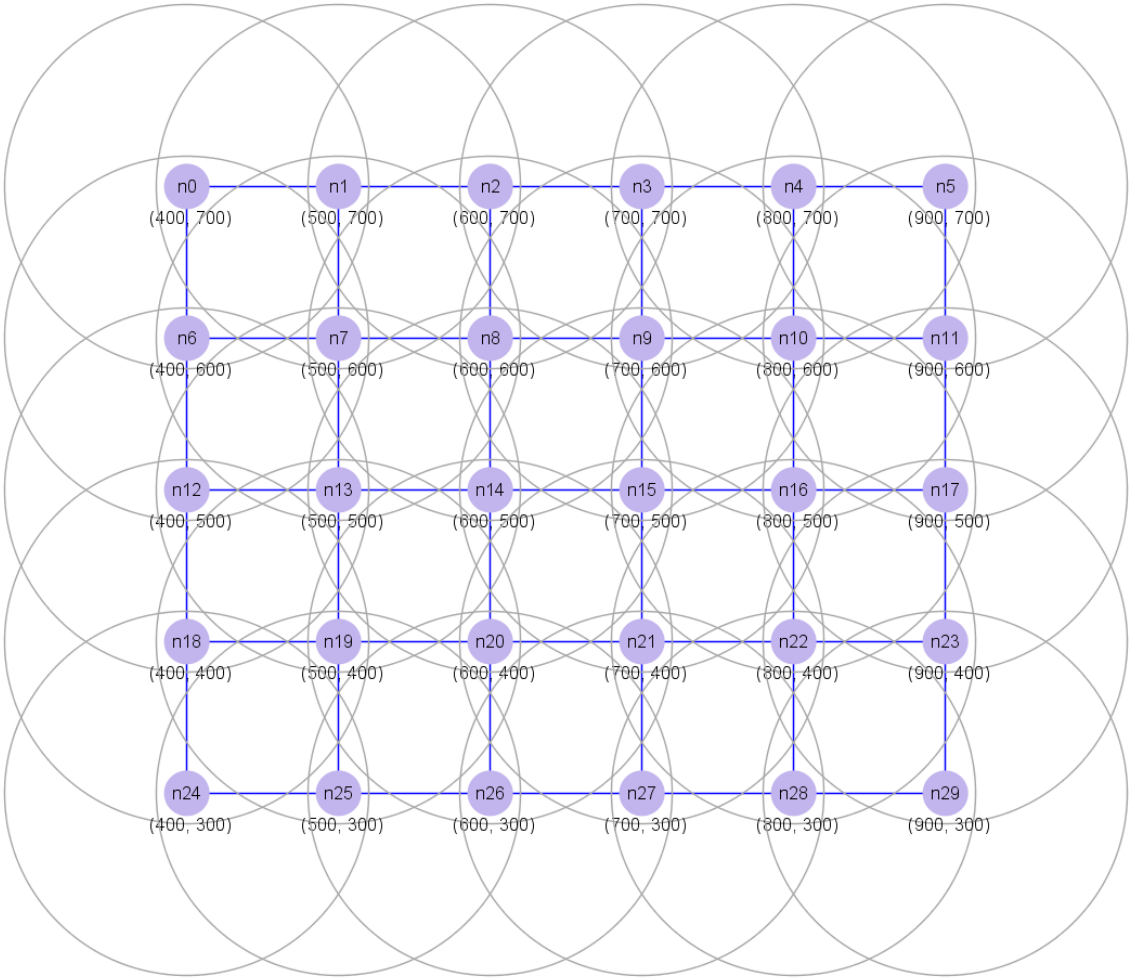
## 5.1 พารามิเตอร์ของการจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการที่นำเสนอเรียกว่า “กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึม การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย” (PIM-R-CA) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำมาปรับปรุงเรียกว่า “การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง” (R-CA) โดยทำการจำลองโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu Linux เวอร์ชั่น 12.04 Long Term Support (LTS) โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองคือโปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย Network Simulation (NS) เวอร์ชั่น 2.35 ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบเผยแพร่ซอสโค้ด (Open Source) ที่แจกให้ใช้งานฟรี และได้มีการติดตั้งส่วนเสริมเพิ่มเติมของโปรแกรม NS2 ที่เรียกว่า Multi Interface Multi Channel (MIMC) [17] ที่ได้มีการปรับปรุงโพรโทคอล Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ของโปรแกร NS2 ซึ่งเป็นโปรโทคอลหลักที่ใช้ในการจำลอง ปรับปรุงชั้นของ MAC Layer และส่วนอื่นๆ ในโปรแกรม NS2 เพื่อให้สามารถจำลองการทำงานแบบหลายช่องทางเชื่อมต่อหลายช่องสัญญาณได้ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เราประเมินประกอบด้วย ดีเลย์ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง การสูญหายของแพ็คเกตข้อมูลระหว่างการรับส่งในเครือข่าย การชนกันของแพ็คเกตข้อมูลในเครือข่าย อัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่าย และทรูพุทเฉลี่ยของเครือข่าย ในการจำลองการทำงานเราได้กำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ การส่งข้อมูลเป็นแบบ Constant Bit Rate (CBR) ขนาดของแพ็คเกต 512 ไบต์ เวลาในการจำลอง 100 วินาที จำนวนการเชื่อมต่อและช่องสัญญาณของแต่ละโหนด 4 ช่องสัญญาณ จำนวนโหนดในเครือข่าย 30 โหนด แต่ละโหนดมีคิวที่ใช้เก็บโหนดที่รอใช้งานช่องสัญญาณ 10 และมีพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ในการจำลองจะแสดงในตารางที่ 5.1 ดังต่อไปนี้

| พารามิเตอร์ | ค่าที่กำหนด |
|---|---|
| ระบบปฏิบัติการ | Ubuntu 12.04.2 LTS |
| โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง | NS-2.35 |
| พื้นที่ที่ใช้ในการจำลอง | 1200 * 1200 |
| เวลาในการจำลอง | 100 วินาที |
| จำนวนช่องสัญญาณ | 4 |
| จำนวนโหนด | 30 |
| ระยะห่างระหว่างโหนด | 100 เมตร |
| ระยะทางที่โหนดส่งข้อมูลได้ | 120 เมตร |
| ระยะที่จะเกิดการรบกวนช่องสัญญาณ | 250 เมตร |
| ขนาดของแพ็คเกต | 512 กิโลไบต์ |
| จำนวนคิวรอใช้งานช่องสัญญาณสูงสุด | 10 |
| Routing Protocol | AODV + MIMC Extention |
| Propagation Model | TwoRayGround |
| ชนิดของคิว | DropTail/PriQueue |
| รูปแบบของเสาสัญญาณ | OmniAntenna |
| แพ็คเกตสูงสุดในคิว | 50 |
| CSThresh_ | 3.65262e-10 |
| RXThresh_ | 6.88081e-09 |
| Pt_ | 0.281838 |

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์

จากรูปที่ 5.1 เป็นการแสดงรูปแบบของระบบเครือข่ายที่ใช้ในการจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA ที่นำเสนอ โดยจะเป็นเครือข่ายไร้เมชไร้สายที่มีการวางโหนดเป็นตารางแบบ Grid จากรูปจะประกอบไปด้วย โหนดต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองทั้งหมด 30 โหนด ตำแหน่งของโหนดระบุอยู่ในในระนาบแบบ 2 มิติ (x,y) และเส้นรอบวงที่อยู่โดยรอบของโหนดหมายถึงขอบเขตในการ รับส่งข้อมูลของโหนดต่างๆ ในเครือข่าย การเลือกโหนดต้นทางและโหนดปลายทางในเครือข่ายจะใช้การสุ่มเลือกโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง แต่ละโหนดจะมีพารามิเตอร์ต่างๆ ดังที่แสดงไปแล้วในตารางค่าพารามิเตอร์




รูปที่ 5.1 รูปแบบเครือข่ายที่ใช้ในการจำลอง

## 5.2 วิธีการคำนวณผลการจำลอง

จากการจำลองการทำงานของงานวิจัยที่นำเสนอในโปรแกรมจำลอง NS2 ในที่นี้โปรแกรมจำลองจะไม่ได้ให้ผลออกมาในรูปแบบที่ต้องการโดยที่ผลจะออกมาในรูปแบบของไฟล์พฤติกรรมของแพ็คเกตต่างๆ (Trace File) เช่น แพ็ตเก็ตถูกส่งออกจากโหนดใด เวลาเท่าใด เป็นแพ็ตเก็ตประเภทใด เป็นต้น ซึ่งต้องใช้ Alfred Aho, Peter Weinberger and Brian Kernighan (AWK Script) ในการกรองสิ่งเหล่านั้นออกมาให้เป็นผลของการจำลองที่ต้องการต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 5.2.1 การคำนวนค่าดีเลย์

ดีเลย์ หมายถึงเวลาที่แพ็คเกตหนึ่งๆ ถูกส่งจากต้นทางไปถึงยังปลายทาง ในการจำลองจะเป็นการหาค่าดีเลย์ของแพ็ตเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่ถูกในจากต้นทางต่างๆ ไปยังปลายทางต่างๆ โดยใช้เวลาที่โหนดปลายทางได้รับแพ็ตเก็ตข้อมูล ลบกับ เวลาที่โหนดต้นทางนั้นส่งแพ็ตเก็ตนั้นๆ ออกมา ในผลการจำลองที่นำเสนอเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยของดีเลย์ที่หาได้ดังที่จะแสดงในสมการที่ 5.1

$$Average_Delay = \frac{\sum T_{recv} - T_{send}}{pkt_{data}} \quad 5.1$$

$\sum T_{recv} - T_{send}$ คือการรวมเวลาดีเลย์ของแพ็คเกตข้อมูลทั้งหมดที่ส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง

$T_{recv}$ คือเวลาที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเกตข้อมูลใดๆ เข้ามา

$T_{send}$ คือเวลาที่โหนดต้นทางส่งแพ็คเกตขอมูลใดๆ ออกไป

$pkt_{data}$ คือจำนวนของแพ็คทั้งหมดที่มีการวัดค่าดีเลย์

### 5.2.2 การสูญหายของแพ็คเกต

การสูญหายของแพ็ตเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่ายจากหลายสาเหตุเช่น คิวของโหนดเต็มไม่สามารถรับแพ็ตเพิ่มได้อีกโหนดก็จะทำการดรอปแพ็ตเก็ตทิ้ง การชนกันของแพ็คเกตในเครือข่าย และแพ็คเกตที่หมดเวลาแต่ยังส่งไม่ถึงปลายทางก็จะเกิดการสูญหาด้วยเช่นกัน ในการนับจำนวนของการสูญหายของแพ็ตเก็ตในเครือข่ายนั้นจะใช้เงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้นนั้นในการนับว่าเป็นแพ็คเกตที่เกิดการสูญหายในระบบ

### 5.2.3 การคำนวนค่าอัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จ

อัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จหมายถึงอัตตราส่วนระหว่างแพ็คเกตข้อมูลที่ปลายทางได้รับทั้งหมดกับจำนวนแพ็ตเก็ตข้อมูลที่ส่งออกจากต้นทางทั้งหมด ดั่งจะแสดงให้เห็นดังสมการที่ 5.2

$$PDF = \frac{\sum pkt_{recv}}{\sum pkt_{send}} \quad 5.2$$

$\sum pkt_{recv}$ คือจำนวนแพ็คข้อมูลทั้งหมดที่โหนดปลายทางได้รับ

$\sum pkt_{send}$ คือ จำนวนแพ็คเกตข้อมูลทั้งหมดที่ส่งออกจากโหนดต้นทาง

### 5.2.4 การคำนวณค่าทรูพุท

ทรูพุทหมายถึงปริมาณทราฟฟิกหรือแบนด์วิดธ์ที่สามารถถ่ายโอนได้ในช่วงเวลาใดๆ หรือเป็นปริมาณแพ็ตเก็ตที่โหนดต่างๆ สามารถรับส่งได้ในช่วงเวลาใดๆ ในการวัดผลการจำลองที่จะแสดงในกราฟผลการจำลองนั้นจำใช้การคำนวนหาค่าทรูพุทดังสามารถแสดงในสมการที่ 5.3

$$Througthput = (pkt_received * pkt_size * 8) / runtime \quad 5.3$$

$pkt_received$ คือ แพ็คเกตข้อมูลที่ปลายทางได้รับ

$pkt_size$ คือ ขนาดของแพ็ตเก็ตหน่วยเป็น ไบต์ ต้องคูณด้วย 8 เพื่อแปลงให้เป็นบิท

$runtime$ คือ เวลาที่ใช้ในการจำลองการทำงานสามารถหาได้จากสมการที่ 5.4

$$runtime = T_{end} - T_{begin} \quad 5.4$$

$T_{end}$ คือเวลาที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเกตข้อมูลแพ็คเกตสุดท้าย

$T_{begin}$คือเวลาที่โหนดต้นทางเริ่มส่งแพ็คเกตข้อมูลแพ็ตเก็ตแรกออกไป

### 5.2.5 การชนกันของแพ็คเกต

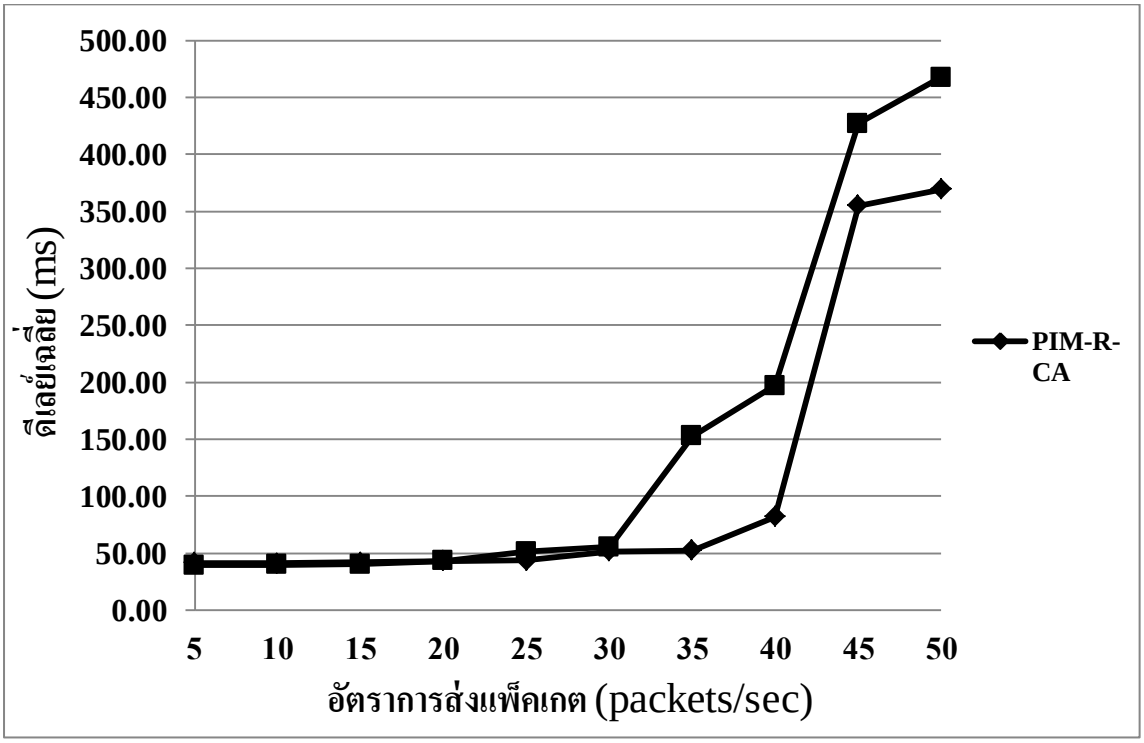
การชนกันของแพ็คเกตเป็นอีกสาเหตุหลักหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่าย ทำหเครือข่ายเกิดดีเลย์มากขึ้นเพราะว่าต้องมีการส่งแพ็คเกตเดิมใหม่มากขึ้น และส่งผลให้เกิดอันตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายที่ลดลง และทรูพุตของเครือข่ายก็จะลดลงตามไปด้วย การชนกันของแพ็คเกตอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น การที่โหนดที่ติดต่อกันอยู่นั้นมีการใช้งานช่องสัญญาณที่ตรงกันในบางช่วงเวลา หรืออาจเกิดจากการรบกวนกันของช่องสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียงกัน

## 5.3 ผลการจำลองการทำงาน

จากการจำลองเราได้วัดประสิทธิภาพของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) ที่เราได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้และวิธีการที่เราได้นำเสนอเรียกว่ากลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (PIM-R-CA) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงกราฟผลการจำลอง รวมทั้งได้มีการอธิบายและวิจารณ์ผลการจำลองของวิธีการ R-CA เปรียบเทียบกับวิธีการ PIM-R-CA ผลของการจำลองต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ถึง 5.9 ตามลำดับการทำการจำลองของทั้งสองวิธีการจะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบดังนี้

### 5.3.1 การจำลองอัตราการส่งแพ็คเกต

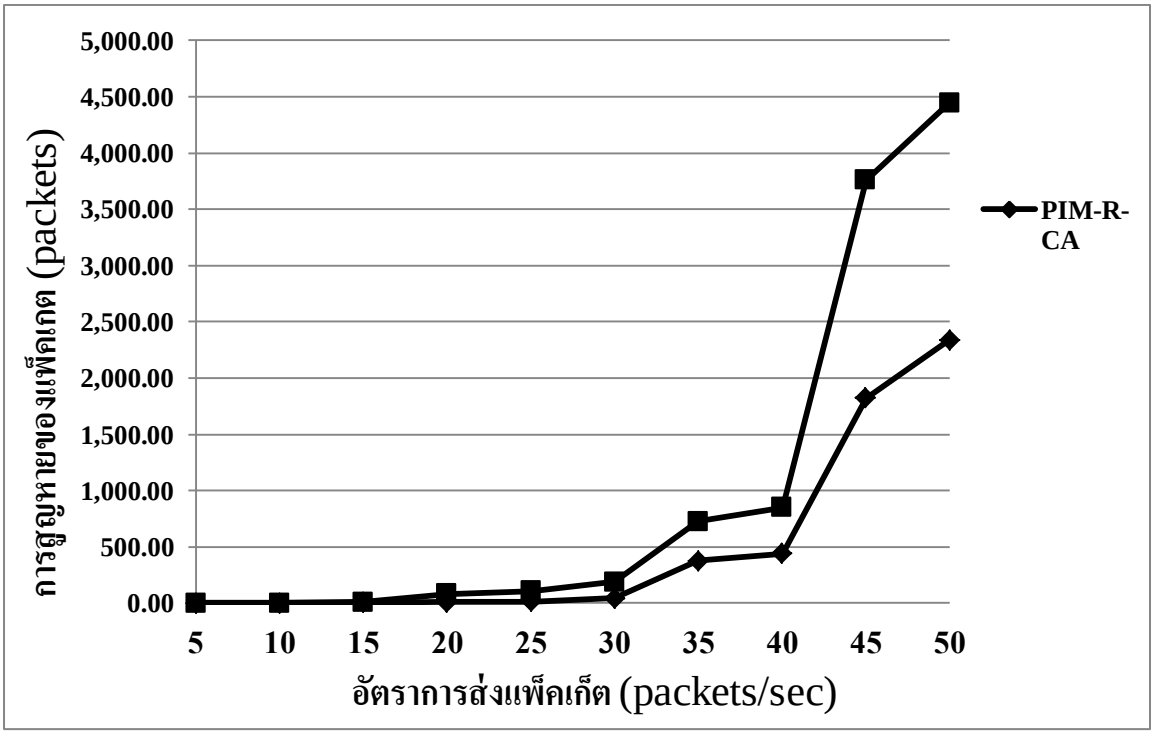
การจำลองอัตตราการส่งแพ็ตเก็ตนั้นเป็นการจำลองโดยกำหนดให้ จำนวนการเชื่อมต่อ (Connection) ในเครือข่ายอยู่ที่ 4 การเชื่อมต่อทุกๆ การจำลอง แต่จะเพิ่มจำนวนของอัตราการส่งแพ็คเกตของโหนดขึ้นเรื่อยๆ โดยเริ่มจาก 5 แพ็ตเก็ตต่อวินาที และเพิ่มขึ้นที่ละ 5 แพ็คเกต ไปเรื่อยๆ จนถึง 50 แพ็คเกตต่อวินาที




รูปที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยของดีเลย์เทียบกับอัตราการส่งแพ็คเกต

ดีเลย์ของการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายนั้นถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ส่งผลกับการทำงานของเครือข่าย ทั้งการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายซึ่งทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายลดลงและยังทำให้ ทรูพุทโดยรวมของระบบเครือข่ายมีค่าน้อยลงตามไปด้วย จากรูปที่ 5.2 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของดีเลย์ในการส่งข้อมูลในเครือข่ายที่เราได้ทำการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA นั้นให้ค่าของดีเลย์ที่น้อยลงกว่าวิธีการ R-CA อย่างชัดเจน โดยที่ในช่วงแรกของการจำลองเมื่ออัตตราการส่งแพ็ตเก็ตมีค่าระหว่าง 5 – 30 แพ็คเกตต่อวินาทีนั้นค่าดีเลย์ที่ได้ออกมาจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากอาจเนื่องมาจากโหนดต่างๆ ในเครือข่ายนั้นยังมีปริมาณข้อมูลที่วิ่งผ่านน้อยหรือมีแพ็ตเก็ตอยู่ในคิวที่รอการส่งต่อไปยังโหนดอื่นน้อยอยู่จึงทำให้ทั้งสองวิธีนี้มีค่าดีเลย์ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออัตราการส่งแพ็คเกตมีค่าตั้งแต่ 35 แพ็คเกตต่อวินาทีขึ้นไปนั้นจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนมากขึ้นโดยสาเหตุที่ทำให้ค่าดีเลย์ของวิธีการ R-CA เริ่มเพิ่มขึ้นสูงกว่าวิธรการ PIM-R-CA นั้นอาจเนื่องมาจากปริมาณการจราจรในเครือข่าย หรือ ทราฟฟิกในเครือข่ายเริ่มมากขึ้นทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลที่ส่งในเครือข่ายทำให้เกิดการดรอปแพ็คเกตที่สูงมาก หรือคิวของโหนดในเครือข่ายเริ่มไม่เพียงพอในการให้บริการในการเก็บแพ็คเกตที่ต้องการส่งต่อไปยังโหนดอื่นๆ อันเนื่องมาจากโหนดใดๆ ในเครือข่ายนั้นต้องรองรับแพ็คเกตเป็นจำนวนมากในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งและต้องมีการสลับช่องสัญญาณเพื่อให้บริการกับแพ็คเกตที่มาจากโหนดต่างกันหรือโหนดเดียวกันที่ไม่ได้ใช้งานช่องสัญญาณเดิมทำให้โหนดต้องเสียเวลาในการสลับช่องสัญญาณมากจึงทำให้ค่าดีเลย์ของ

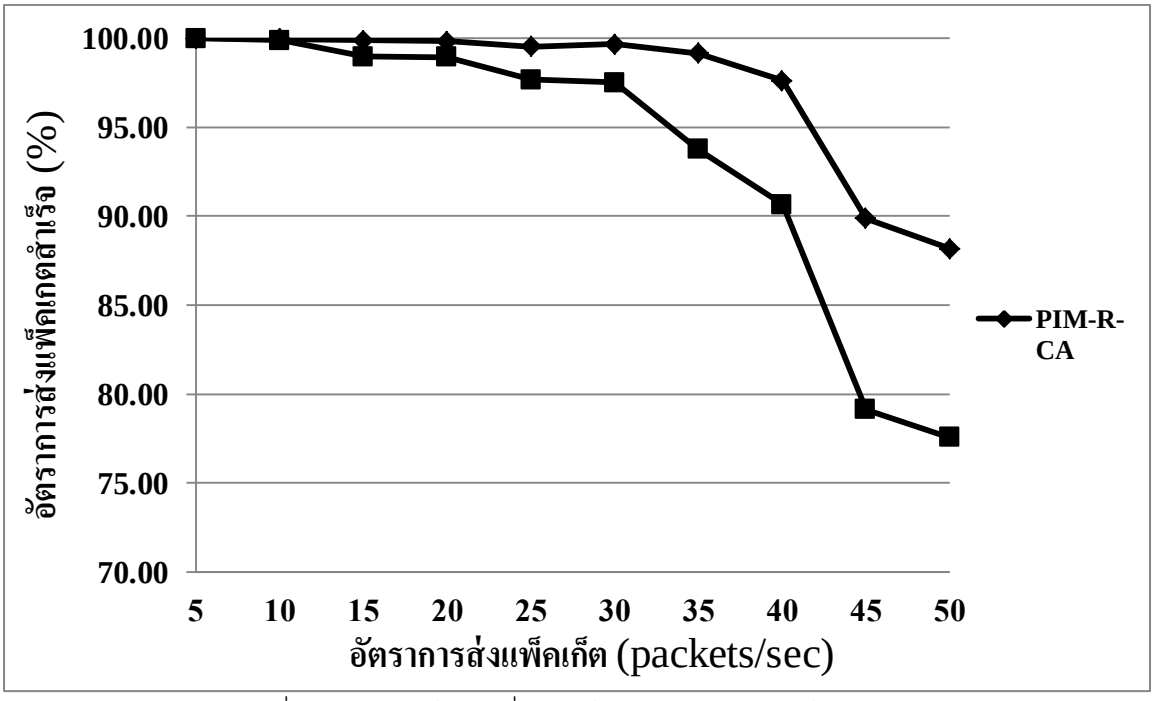
วิธีการ R-CA นั้นสูงกว่าวิธีการ PIM-R-CA ที่มีการปรับปรุงการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ที่ต้องการส่งข้อมูลได้ดีมากขึ้น




รูปที่ 5.3 การสูญหายของแพ็คเกตกับอัตราการส่งแพ็คเกต

รูปที่ 5.3 เป็นการแสดงให้เห็นถึงปริมาณของแพ็คเกตที่เกิดสูญหายไปในระระหว่างการส่งข้อมูลในเครือข่ายเทียบกับอัตราการส่งแพ็คเกต โดยที่แพ็คเกตที่สูญหายนั้นอาจเกิดจากหลากหลายสาเหตุด้วยกันเช่น เกิดการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่าย คิวของโหนดเต็มทำให้ต้องดรอปแพ็คเกตทิ้ง เป็นต้น จากรูปที่ ... จะเห็นได้ในส่วนแรกของผลการจำลองนั้นวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA มีค่าอัตราการสูญหายของแพ็คเกตใกล้เคียงกันมากตั้งแต่อัตตราการส่งแพ็คเกตที่ 5 ถึง 15 แพ็คเกตต่อวินาที แต่หลังจากนั้นตั่งเริ่มแต่อัตตราการส่งแพ็คเกตที่ 20 แพ็คเกตต่อวินาทีเป็นต้นไปพบว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้อัตราการสูญหายของแพ็คเกตที่ต่ำกว่าวิธีการ R-CA อย่างเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงที่อัตราการส่งแพ็คเกตที่ 50 แพ็คเกตต่อวินาทีจะเห็นได้ว่ากราฟนั้นมีแนวโน้มที่ต่างกันมาก จากที่ได้กล่าวมาเป็นการแสดงให้เห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA นั้นสามารถลดดีเลย์และการสูญหายหรือการดรอปของแพ็คเกตในเครือข่ายได้ดีกว่าวิธีการ R-CA ส่งผลให้การวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายในส่วนอื่นๆ ของเครือข่ายมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเช่นกันดังที่แสดงในรูปที่ ... เป็นการแสดงให้เห็นถึงอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จของเครือข่ายกับอัตราการส่งแพ็คเกตที่เพิ่มขึ้น จากภาพจะเห็นได้ว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้ค่าอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จที่สูงกว่าวิธีการ R-CA ด้วยเหตุที่กล่าวไปแล้วเบื่องต้นจากภาพจะเห็นได้ว่าในส่วนเริ่มต้นของการจำลองในช่วงที่อัตตราการส่งแพ็คเกตที่ 5 ถึง 10

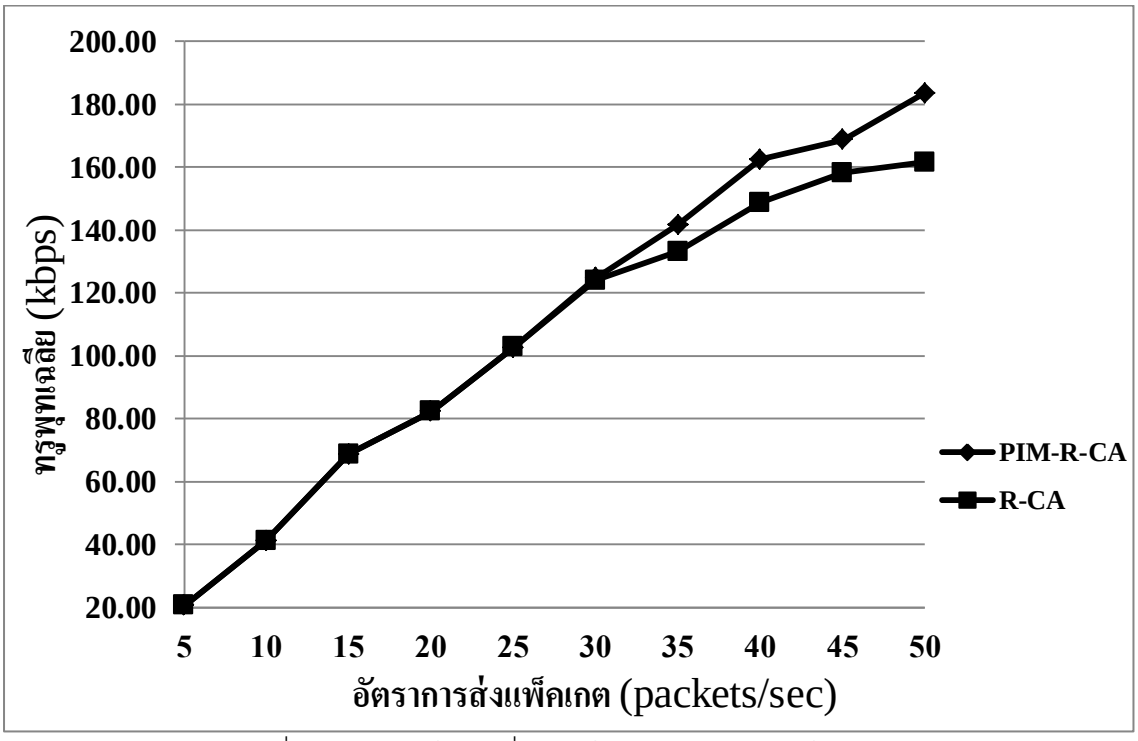
แพ็คเกตต่อวินาทีนั้นค่าอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จทั้งของวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากจนเส้นของกราฟทับจนเป็นเส้นเดียวกัน




รูปที่ 5.4 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเกต

หลังจากอัตตราการส่งข้อมูลที่ 15 แพ็คเกตต่อวินาทีขึ้นไปจนถึงอัตราการส่งแพ็คเกตที่ 50 แพ็คเกตต่อวินาที จะเริ่มเห็นความต่างของทั้งสองวิธีได้อย่างชัดเจนจะเห็นได้ว่า วิธีการ PIM-R-CA นั้นจะให้ค่าของอัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จที่สูงกว่าวิธีการ R-CA เมื่ออัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นนั้นหมายถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลการสื่อสารข้อมูลในเครือข่ายมีความสำเร็จสูงขึ้น ข้อมูลถูกส่งจากต้นทางไปถึงยังปลายทางมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ทรูพุทโดยรวมของเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นอีกด้วยดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.4

จากรูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงผลการจำลองทรูพุทของเครือข่ายของทั้งวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA จากรูปจะเห็นได้ว่าจากจุดเริ่มต้นของกราฟตั้งแต่อัตตราการส่งแพ็คเกตที่ 5 แพ็คเกตต่อวินาที จนถึง อัตราการส่งแพ็คเกตที่ 30 แพ็คเกตต่อวินาที ทรูพุทของทั้งวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันมากจากกราฟจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของทั้งสองวิธีการจะทับกันไปจนเหมือนเป็นเส้นเดียวกัน แต่หลังจากที่อัตตราการส่งแพ็คเกตที่ 35 แพ็คเกตต่อวินาทีขึ้นไปนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการ PIM-R-CA จะให้ค่าทรูพุทที่สูงกว่าวิธีการ R-CA อย่างเห็นได้ชัดเจนและมีแนวโน้มห่างกันไปเรื่อยๆ จนถึงอัตราการส่งแพ็คเกตที่ 50 แพ็คเกตต่อวินาที



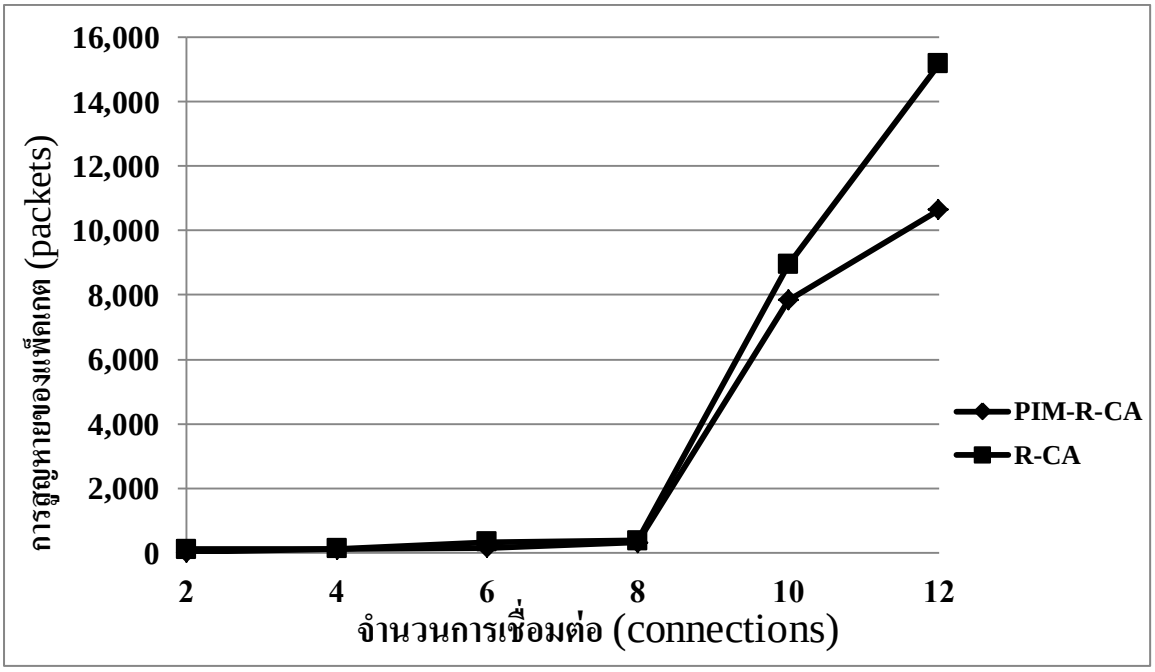

รูปที่ 5.5 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเกต

จากการจำลองการทำงานโดยกำหนดให้ในเครือข่ายมีจำนวนของการเชื่อมต่อคงที่ที่ 4 การเชื่อมต่อและกำหนดให้อัตตราการส่งแพ็คเก็ตเริ่มต้นที่ 5 แพ็คเกตต่อวินาที ทำการจำลองเพิ่มอัตราการเพิ่มขึ้นครั้งละ 5,10,15,20,... แพ็คเกตต่อวินาทีจนถึงอัตราการส่งแพ็คเกต 50 แพ็คเกตต่อวินาที จากกราฟผลการจำลองที่ได้แสดงไปแล้วนั้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA นั้นสามารถลดค่าดีเลย์ของเครือข่ายลงได้โดยให้ค่าดีเลย์ที่น้อยกว่าวิธีการ R-CA อย่างเห็นได้ชัดเจนซึ่งเมื่อเครือข่ายมีค่าของดีเลย์ที่ลดลงแล้วนั้นเป็นผลให้เกิดการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายที่น้อยลงอีกด้วยดังที่แสดงไปแล้วในรูปที่ 5.3 จากผลการจำลองของดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตที่ลดลงของวิธีการ PIM-R-CA ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่ายนั้นเพิ่มขึ้นดังที่แสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ 5.4 และ 5.5 วิธีการ PIM-R-CA ให้ค่าของอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จและค่าของทรูพุทค่าที่สูงมากกว่าวิธีการ R-CA ขึ้นอย่างชัดเจน

### 5.3.2 การจำลองจำนวนการเชื่อมต่อ

การจำลองจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายเป็นการจำลองโดยที่จะกำหนดให้ค่าของอัตราการส่งแพ็คเกตนั้นมีค่าคงที่อยู่ที่ 25 แพ็คเกตต่อวินาทีแต่จะเพิ่มในส่วนของการเชื่อมต่อระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางขึ้น โดยเริ่มจาก 2 การเชื่อมต่อ และเพิ่มขึ้นทีละ 2 การเชื่อมต่อไปเรื่อยๆ จนถึง 12 การเชื่อมต่อ ในการจำลองโดยใช้การเพิ่มของจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายและกำหนดให้ค่าอัตราการส่งแพ็คเกตคงที่จะทำการวัดประสิทธิภาพในการจำลองออกมาใน 4 รูปแบบ

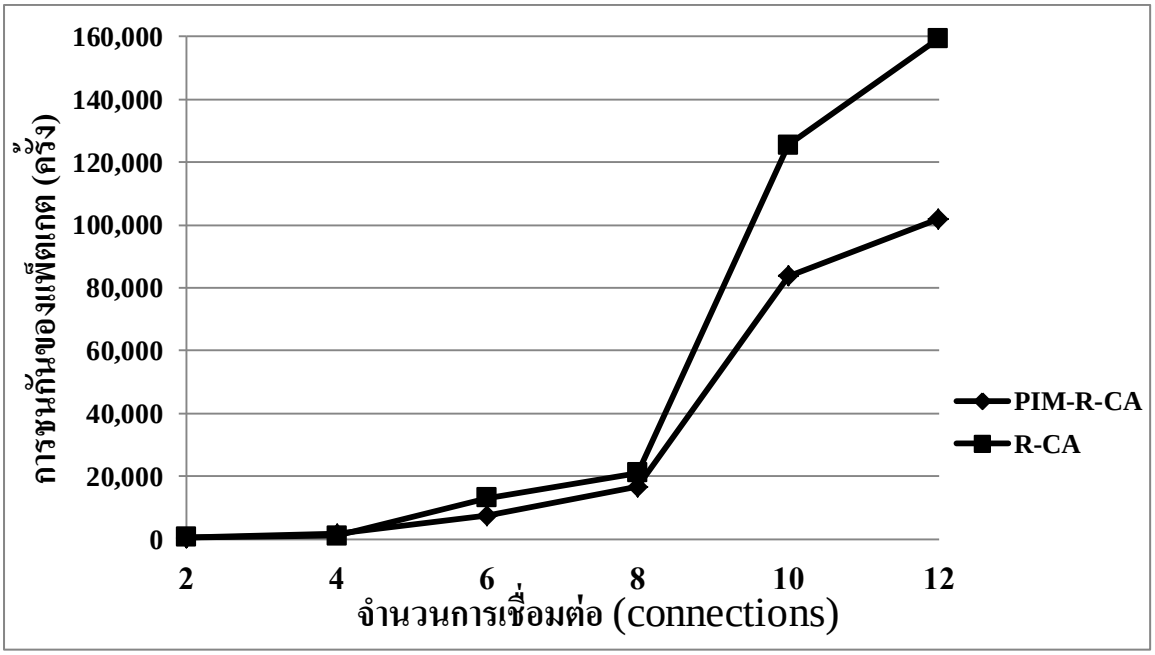
คือ การสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่าย อัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จของเครือข่าย การชนกันของแพ็คเกตข้อมูลระหว่าการส่งในเครือข่าย และ สุดท้ายการวัดค่าทรูพุทของเครือข่าย




รูปที่ 5.6 การสูญหายของแพ็คเกตกับจำนวนการเชื่อมต่อ

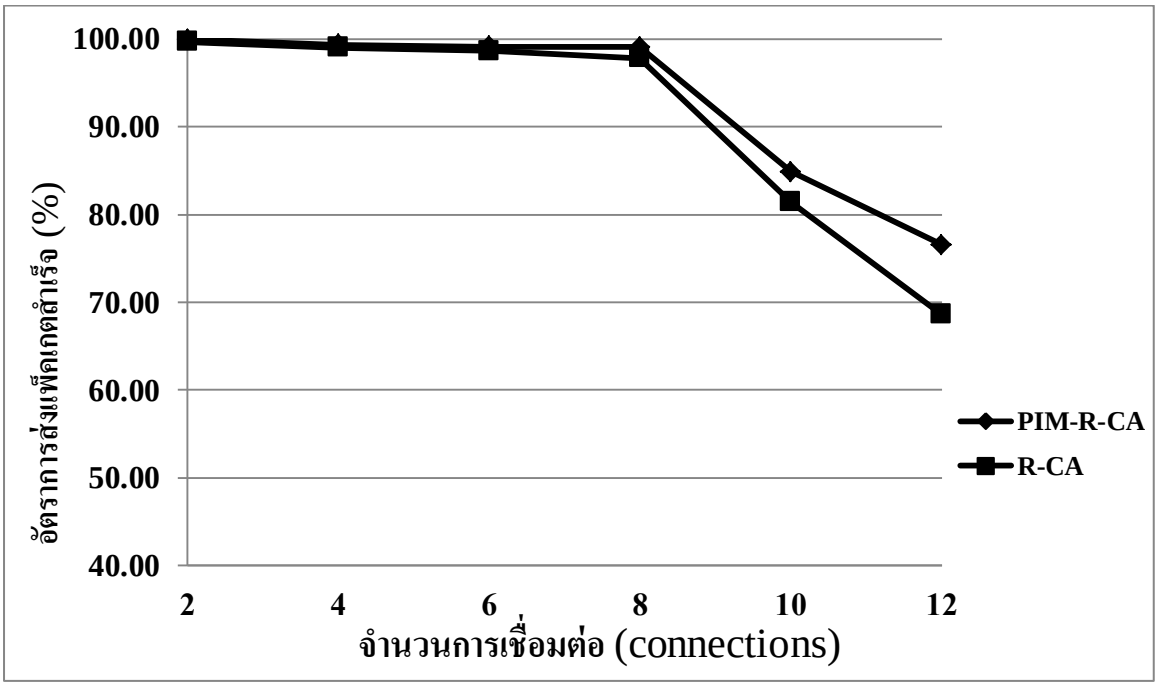
การจำลองการทำงานเพื่อวัดค่าของการสูญหายของแพ็คเกตในกรณีที่เป็นการเพิ่มจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายดังที่แสดงให้เห็นจากรูปที่ 5.6 นั้น เมื่อเริ่มต้นการจำลองเครือข่ายจะมีการส่งข้อมูลกัน 2 การเชื่อมต่อ หมายถึง จะมีต้นทาง 2 โหนด และปลายทาง 2 โหนดที่ไม่ซ้ำกัน โดยในการจำลองที่ 2 การเชื่อมต่อถึง 8 การเชื่อมต่อนั้น ปริมาณการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายของทั้งวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากจากรูปจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นนั้นจะทับกันจนเหมือนเป็นเส้นเดียวกันซึ่ง อาจเกิดจาก คิวในการรอรับการให้บริการของแพ็คเกตในแต่ละโหนดยังไม่เต็ม หรือในเครือข่ายนั้นยังมีจำนวนของการเชื่อมต่อไม่มากเกินไป และมีอัตราการส่งข้อมูลที่โหนดต่างๆ สามารถให้บริการได้ไม่เกินความสามารถของโหนดทำให้ไม่มีการสลับช่องสัญญาณที่มากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โหนดต่างๆ ต้องทำงานหนักขึ้น แต่หลังจากที่การเชื่อมต่อมาค่าตั้งแต่ 10 การเชื่อมต่อขึ้นไปในเครือข่ายนั้นจะเห็นได้ว่า วิธีการ PIM-R-CA เริ่มจะให้ค่าการสูญหายของแพ็คเกตที่น้องลงกว่าวิธีการ R-CA และที่การเชื่อมต่อที่ 12 การเชื่อมต่อในเครือข่ายวิธีการ PIM-R-CA จะให้ค่าการสูญหายของแพ็คเกตที่ดีกว่าวิธีการ R-CA อย่างเห็นได้ชัดมากขึ้น ซึ่งเกิดจากเมื่อมีการเชื่อมต่อในเครือข่ายมากขึ้นนั้นแต่ละโหนดในเครือข่ายจะต้องให้บริการกับโหนดอื่นๆ ที่อยู่โดยรอบมากขึ้น หรือให้บริการกับโหนดจำนวกมากขึ้นทำให้ช่องสัญญาณที่จะจัดสรรให้กับโหนดต่างๆ เริ่มไม่เพียงพอในการให้บริการจึงทำให้เกิดการรอคิวใช้งานช่องสัญญาณและทำให้โหนด

ต่างๆ ต้องสลับช่องสัญญาณไปมาเพื่อให้บริการกับโหนดต่างๆ มากขึ้นบางครั้งทำให้แพ็คเกตที่รอรับบริการต้องถูกดรอปทิ้งไปเพราะไม่มีช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานได้




รูปที่ 5.7 การชนกันของแพ็คเกตกับจำนวนการเชื่อมต่อ

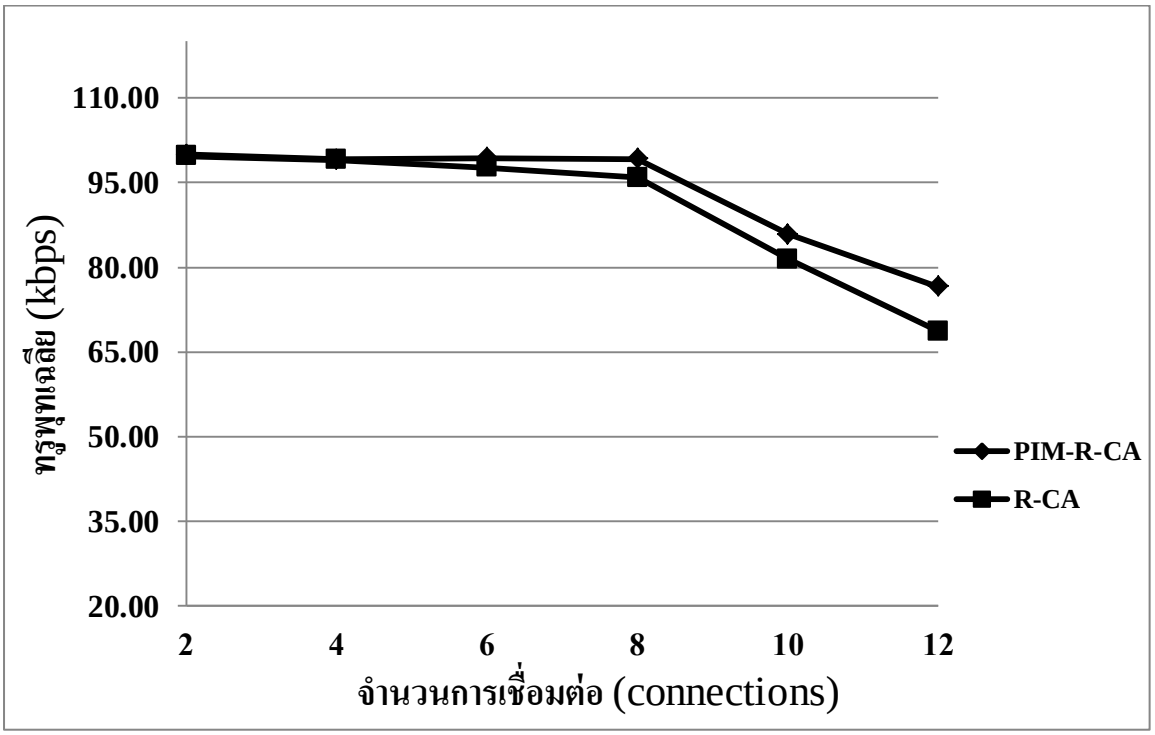
การชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่อาจทำให้เกิดการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นดังที่แสดงในภาพที่ 5.7 เป็นกราฟที่แสดงปริมาณการชนกันของแพ็คเกตข้อมูลที่เกิดในการจำลองการทำงานของเครือข่าย ซึ่งการชนกันของแพ็คเกตข้อมูลในเครือข่ายอาจเกิดขึ้นจากหลากหลายสาเหตุ เช่น โหนดที่อยู่ใกล้เคียงกันมีการใช้งานช่องสัญญาณที่ใกล้เคียงกับหรือใช้งานช่องสัญญาณทับกันซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน หรือเกิดจากการที่โหนดมีการสลับช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ที่มาขอใช้บริการแล้วเกิดได้ช่องสัญญาณเดียวกันก็จะทำให้เกิดการชนกันตลอดเวลาเป็นต้น จากภาพแสดงให้เห็นว่าในจุดแรกของการจำลองเมื่อในเครือข่ายมีการเชื่อมต่อที่ 2 และ 4 การเชื่อมต่อนั้น เส้นกราฟของวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA นั้นจะมีความใกล้เคียงกันมากจนเส้นกราฟทั้งสองเส้นทับกับ และหลังจากนั้นตั้งแต่การเชื่อมต่อที่ 6 และ 8 การเชื่อมต่อเส้นกราฟของทั้งสองวิธีการเริ่มมีระยะห่างระหว่างกันเกิดขึ้นในช่องนี้มีการชนกันของแพ็คเกตน้อยอาจเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกับการเกิดการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่าย คือ ในเครือข่ายยังมีการเชื่อมต่อน้อยแต่ละโหนดมีความสามารถในการให้บริการกับโหนดต่างๆ ที่มาขอใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างเต็มที่ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็คเกตน้อย แต่ตั้งแต่การเชื่อมต่อที่ 10 และ 12 การเชื่อมต่อนั้นจะค่อนข้างเห็นได้ชัดว่ามีการเกิดการชนกันของแพ็คเกตเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด




รูปที่ 5.8 อัตราแพ็คเกตที่ส่งสำเร็จกับจำนวนการเชื่อมต่อ

เส้นกราฟแสดงความแตกต่างระหว่าวิธีการ R-CA และวิธีการ PIM-R-CA ที่เพิ่มมากขึ้นนั้น เป็นการแสดงให้เห็นว่า วิธีการ PIM-R-CA นั้นสามารถลดการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายลงดีกว่าวิธีการ R-CA ซึ่งจากรูปที่ 5.6 กราฟแสดงการสูญหายของแพ็คเกตและ รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่าย จะเห็นได้ว่าทั้งสองกราฟมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันและไปในทางเดียวกัน ซึ่งหมายถึงการสูญหายของแพ็คเกตส่วนใหญ่ในเครือข่ายนั้นเกิดจากเมื่อมีปริมาณของการเชื่อมต่อในเครือข่ายมากขึ้นส่งผลให้มีการจราจรในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เกิดความหนาแน่นของแพ็คเกตที่รับส่งกันในเครือข่ายมากทำให้เกิดการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายที่สูง จึงส่งผลให้เกิดการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายที่สูงตามไปด้วย

จากรูปกราฟที่ 5.6 และ 5.7 แสดงถึงการสูญหายและการชนกันของแพ็คเกตที่เกิดขึ้นในเครือข่ายซึ่งทั้งสองการจำลองนั้นได้แสดงว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้อัตราการสูญหายและการชนกันของแพ็คเกตที่น้อยลงกว่าวิธีการ R-CA ซึ่งทั้งการชนกันของแพ็คเกตและการสูญหายของแพ็คเกตในเครือข่ายเป็นส่วนสำคัญที่จะส่งผลให้เกิดอัตราการการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายซึ่งเมื่อการสูญหายของแพ็คเกตและการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายน้อยลงนั้นก็จะส่งผลให้เกิดการส่งแพ็คเกตสำเร็จถึงปลายทางได้มากขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 5.8 กราฟการจำลองอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายเทียบกับจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายจากรูปจะเห็นได้ว่าในส่วนเริ่มแรกของการจำลองที่อัตราการส่งแพ็คเกตที่ 2 ถึง 6 การเชื่อมต่อในเครือข่ายอัตราการส่งแพ็คเกตในเครือข่ายจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากจนเส้นกราฟของทั้งสองวิธีการนั้นทับกันเป็นเส้นเดียว




รูปที่ 5.9 ทรูพุทกับจำนวนการเชื่อมต่อ

หลังจากนั้นตั้งแต่การจำนวนการเชื่อมต่อที่ 8 การเชื่อมต่อขึ้นไปจนถึง 12 การเชื่อมต่อในเครือข่ายจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จของวิธีการ PIM-R-CA นั้นมีค่าที่สูงกว่าวิธีการ R-CA อยู่พอสมควรและยังมีแนวโน้มที่เส้นกราฟของทั้งสองวิธีจะห่างกันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งทั้งค่าของอัตราการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายและค่าของอัตราการสูญหายของแพ็คเกตของวิธีการ PIM-R-CA ที่ลดลงน้อยกว่าวิธีการ R-CA ส่งผลให้วิธีการอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จของวิธีการ PIM-R-CA ที่สูงกว่าแล้วนั้นยังมีผลทำให้ค่าทรูพุทของเครือข่ายของวิธีการ PIM-R-CA นั้นมีค่าสูงกว่าวิธีการ R-CA อีกด้วยดังที่แสดงให้เห็นในภาพที่ 5.9 การแสดงทรูพุทที่วัดได้ของเครือข่ายเทียบกับจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายจากภาพจะเห็นได้ว่าในส่วนเริ่มต้นการจำลองที่การเชื่อมต่อที่ 2 ถึง 4 การเชื่อมต่อในเครือข่ายค่าทรูพุทของทั้งสองวิธีการมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากเห็นได้จากเส้นกราฟของทั้งสองวิธีที่ทันกันเป็นเส้นเดียว แต่หลังจากการเชื่อมต่อที่ 6 การเชื่อมต่อเป็นต้นไปจนถึง 12 การเชื่อมต่อนั้นจะเห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA นั้นจะให้ค่าของทรูพุทของเครือข่ายที่ดีกว่าวิธีการ R-CA และยังมีแนวโน้มที่ดีกว่ามากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งค่าของทรูพุทที่แสดงนั้นก็สอดคล้องกับค่าของอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายเช่นเดียวกัน ยิ่งมีจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จและค่าของทรูพุทของเครือข่ายก็จะมีค่าลดน้อยลง เนื่องมาจากปริมาณของแพ็คเกตข้อมูลที่มีการรับส่งกันในเครือข่ายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นแต่จำนวนของโหนดในเครือข่ายยังมีจำนวนเท่าเดิมและ ช่องสัญญาณที่ให้บริการของแต่ละโหนดนั้นก็มีจำนวนจำกัด ทำให้โหนดแต่ละโหนดต้องทำงานหนักเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้โหนดในเครือข่ายที่ต้องรองรับจำนวนการจราจรที่หนาแน่นเกิด

คิวของโหนดเต็มทำให้ต้องดรอปแพ็คเกตเพิ่มมากขึ้น และยังเกิดการชนกันของแพ็คเกตที่สูงขึ้นอีกด้วยจึงส่งผลให้ค่าของอัตตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่ายและทรูพุทของเครือข่ายมีค่าลดลงเมื่อมีการเชื่อมต่อที่เพิ่มมากขึ้น

จากรูปของกราฟแสดงผลการจำลองการทำงานของวิธีการ R-CA ที่ทำการศึกษาและวิธีการ PIM-R-CA ที่นำเสนอ ในการจำลองทั้งสองรูปแบบคือ การจำลองอัตราการส่งแพ็คเกต การเชื่อมต่อคงที่ที่ 4 การเชื่อมต่อแต่ทำการเพิ่มปริมาณการส่งแพ็คเกตต่อวินาทีให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ 5,10,15 20,... จนถึง 50 แพ็คเกตต่อวินาทีใน 1 การเชื่อมต่อในเครือข่าย และการจำลองการเชื่อมต่อที่กำหนดให้อัตราการส่งแพ็คเกตต่อ 1 การเชื่อมต่อคงที่ที่ 25 แพ็คเกตต่อวินาที แต่ทำการเพิ่มจำนวนการเชื่อมต่อในเครือข่ายให้สูงขึ้นตั้งแต่ 2,4,6,.. จนถึง 12 การเชื่อมต่อ นั้นวิธีการ PIM-R-CA สามารถลดดีเลย์ การสูญหายของแพ็คเกต และการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายได้ดีกว่าวิธีการ R-CA อย่างเห็นได้ชัดซึ่งการที่ดีเลย์ การสูญหายของแพ็คเกตและการชนกันของแพ็คเกตในเครือข่ายลดลงนั้นส่งผลให้ประสิทธิภาพต่างๆ ของเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเห็นได้จากจากกราฟที่แสดงถึง อัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จในเครือข่าย และ ทรูพุท ของเครือข่ายที่วิธีการ PIM-R-CA มีค่าที่สูงกว่าวิธีการ R-CA และมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้น

# บทที่ 6

# บทสรุป

## 6.1 สรุปผลการจำลองการทำงาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (R-CA) วิธีการที่เรานำเสนอเรียกว่ากลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (PIM-R-CA) วิธีการของ R-CA ใช้การร้องขอช่องสัญญาณโดยต้นทางจะระบุช่องสัญญาณที่ตนเองต้องการไปพร้อมกับแพ็คเกตร้องขอเส้นทางไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาช่องสัญญาณที่ต้องการไม่พร้อมให้บริการทำให้ต้องรอใช้งานช่องสัญญาณที่ต้องการเป็นเวลานานหรือไม่สามารถใช้งานช่องสัญญาณนั้นได้เลยทำให้เกิดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตสูงขึ้นเมื่อปริมาณข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง จากปัญหาดังกล่าวเราเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยกลไกการพิจารณาสถานะการใช้งานช่องสัญญาณของโหนดร้องขอเปรียบเทียบกับสถานะการใช้งานช่องสัญญาณในแต่ละโหนดเพื่อพิจารณาช่องสัญญาณที่เหมาะสมผ่านทางแพ็คเกตร้องขอเส้นทาง จากการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า PIM-R-CA สามารถลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกตได้มากกว่าวิธีการของ R-CA ส่งผลให้อัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จและทรูพุทเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกับวิธีการของ R-CA

## 6.2 อุปสรรคและปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับคือปัญหาของการทำการจำลองระบบเครือข่าย เนื่องจากการทำงานของวิธีการ R-CA ที่ได้นำมาศึกษาและปรับปรุงและวิธีการที่นำเสนอ PIM-R-CA ซึ่งทั้งสองวิธีการนี้ในโปรแกรมจำลองเครือข่ายที่นำมาใช้ในการจำลอง Network Simulation เวอร์ชั่น 2 (NS2) นั้นไม่สามารถใช้ในการจำลองระบบเครือข่ายที่ต้องการของทั้งสองวิธีการได้โดยตรง เพราะโปรแกรม NS2 ส่วนหลักๆ เช่น ชั้นของ MAC และ โพรโทคอลที่ใช้ในการจำลองนั้นไม่รองรับการจำลองเครือข่ายที่มีการให้บริการแบบหลายการเชื่อมต่อหลายช่องสัญญาณ Multi-Interface Multi-Channel (MIMC) ทำให้ต้องหาส่วนเสริมของโปรแกรม NS2 มาติดตั้งเพิ่มเติม ซึ่งส่วนเสริมของโปรแกรมจำลองที่นำมาใช้งานคือ [17] เป็นส่วนของโปรแกรม NS2 ที่นิยมนำมาใช้งานในการจำลองระบบเครือข่ายที่โหนดมีหลายช่องทางและหลายช่องสัญญาณเช่นในการจำลองการทำงานข้องเครือข่าย เมชไร้สาย เป็นต้น

## 6.3 แนวทางการปรับปรุงในอนาคต

จากการจำลองการทำงานของวิธีการจัดการช่องสัญญาณ PIM-R-CA ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเกต ทำให้เพิ่มอัตราการส่งแพ็คเกตสำเร็จและทรูพุทในเครือข่ายให้สูงขึ้นได้แล้วนั้น ทางผู้จัดทำยังเห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA ยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นอีกได้โดยอาจนำวิธีการของ ปัญญาประดิษ หรือวิธีการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วนในการประมวลผลเพื่อให้ได้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ดีมากยิ่งขึ้นเช่นวิธีการ Cellular Learning Automata (CLA) ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีผู้ให้ความสนใจจำนวนมากและถูกนำมาประยุกต์จำลองการทำงานในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครือข่าย Ad-hoc อย่างแพร่หลาย นอกจากอาจทำให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นแล้วยังอาจเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สายให้ได้เส้นทางที่ดีมากยิ่งขึ้น

# เอกสารอ้างอิง

[1] Weifeng S., Tong F., Feng X., Zhenquan Q. and Rong C. “R-CA: A Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks.”, **International Conference on Autonomic & Trusted Computing**, Oct. 2010, pp. 228 – 232

[2] Weifeng S., Tong F., Feng X., Zhenquan Q. and Rong C. “A dynamic channel assignment strategy based on cross-layer design for wireless mesh networks.”, **International Journal of Communication Systems**, Vol. 25, no. 9, Sept. 2012, pp. 1122–1138

[3] Yahuan W., Zhihui G. and Taoshen L. “A Channel Assignment Algorithm for Wireless Mesh Networks Using the Maximum Flow Approach.”, **Journal of Network**, Vol. 6, no. 6, June 2011, pp. 879-882

[4] Mahesh K. Marina, and Samir R. Das. “A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks.”, **International Conference on Broadband Networks**, Vol.1, Oct. 2005, pp. 381 – 390

[5] Maryam A. Nezhad and Llorenc¸ C. Alabern. “Adaptive Channel Assignment for Wireless Mesh Networks Using Game Theory.”, **International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems**, Oct. 2011, pp. 746 - 751

[6] Weisheng S., Selvadurai S. and Albert Y. Zomaya. “An overview of Channel Assignment methods for multi-radio multi-channel wireless mesh networks.”, **Journal of Parallel and Distributed Computing**, Vol. 70, no. 5, May 2010, pp. 505–524

[7] Ashish R. and Tzi-cker C. “Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network.”, **Computer and Communications Societies**, Vol. 3, March, 2005, pp. 2223–2234

[8] Ashish R., Kartik G., and Tzi-cker C. “Centralized channel assignment and routing algorithms for multichannel wireless mesh networks.”, **Mobile Computing and Communications Review**, Vol. 8, no. 2, April, 2004, pp. 50-65

[9] Fawaz B. “Channel Assignment and Routing in Multiradio Wireless Mesh Networks using Smart Ants.”, **International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops**, March 2011, pp. 403-404

[10] Habiba S., Samik G., Sajal K. Das., Luciano L. and Marco C. “Channel Assignment Strategies for Multiradio Wireless Mesh Networks: Issues and Solutions.”, **IEEE Communications Magazine**, Vol. 45, no. 11, Nov. 2007, pp. 86 -95

[11] Sadeq A. Makram., Mesut G., Amine K. and Martin K. “Dynamic Channel Assignment for Wireless Mesh Networks using Clustering.”, **International Conference on Networking,** April 2008, pp. 539 - 544

[12] Fei Y., Qing C. and Zhisheng N. “End-to-End Throughput-Aware Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks.”, **IEEE Global Telecommunications Conference**, Nov. 2007, pp. 1375 - 1379

[13] Krishna N. Ramachandran., Elizabeth M. Belding., Kevin C. Almeroth. and Milind M. Buddhikot. “Interference-Aware Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks.”, **International Conference on Computer Communications**, April 2006, pp. 1-12

[14] Xiaoguang L. and Changqiao X. “Joint Channel Assignment and Routing in Real Time Wireless Mesh Network.”, **Wireless Communications and Networking Conference**, April 2009, pp. 1-6

[15] Anand P. Subramanian., Himanshu G. and Samir R. Das. “Minimum Interference Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks.”, **Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks**, June 2007, pp. 481-490

[16] Wei W., Jun Z., Supeng H. and Jun L. “Optimization of Static Channel Assignment in Multi-Radio Multi-Channel Wireless Mesh Network.”, **International Conference on Communication Systems**, Nov. 2008, pp. 1171-1175

[17] Ramon A. Calvo., and Jesus P. Campo. “Adding Multiple Interface Support in NS-2.”, January 2007

[18] Andrey V. Krendzel, Editors. **Wireless Mesh Networks – Efficient Link Scheduling, Channel Assignment and Network Planning Strategies**. Rijeka, Croatia: InTech, Inc. 2012.

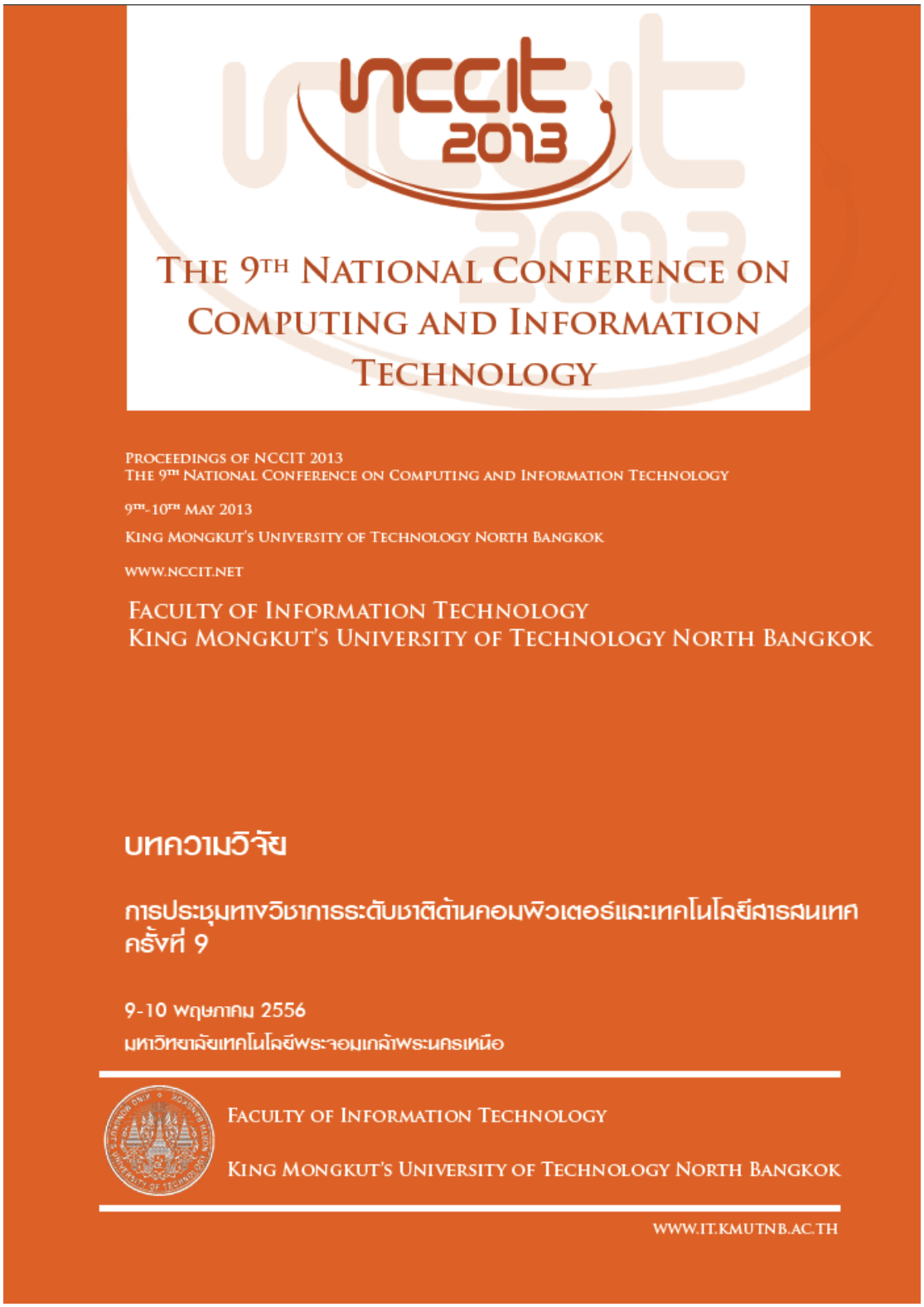
[19] Bo W. “**NS2 Notebook: Multi-channel Multi-interface Simulation in NS2 (2.29)**” [Online]. Available : http://www.cse.msu.edu/ ~wangbo1/ns2/nshowto8.html. 2009.

[20] P. Kyasanur and N. Vaidya, “Routing and link-layer protocols for multi-channel multiinterface ad hoc wireless networks.”, **Mobile Computing and Communications Review**, January 2006, vol. 10, no. 1, pp. 31-43

[21] P. Kyasanur and N. Vaidya, “Routing and interface assignment in multi-channel multiinterface wireless networks.”, **IEEE Wireless Communications and Networking Conference**, March 2005, Vol. 4, pp. 2051- 2056

# ภาคผนวก

**งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**



The 9th National Conference on Computing and Information Technology NCCIT2013

# กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเมชไร้สาย

# Performance Improvement Mechanism for Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm for Wireless Mesh Networks

*พนา จันทิวาสน์ (Pana Jantivas)[1] และศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์ (Sakchai Thipchaksurat)[2]*
*สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์*
*สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

## บทคัดย่อ

*การจัดสรรช่องสัญญาณและการค้นหาเส้นทางเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในเครือข่ายเมชไร้สาย กระบวนการทั้งสองสามารถทำงานร่วมกันได้ เช่นในงานวิจัย การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางที่เรียกว่า (R-CA) จากการพิจารณาการทำงานของ R-CA เราพบว่าประสิทธิภาพของ R-CA สามารถปรับปรุงให้สูงขึ้นได้ โดยการลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ต ดังนั้นงานวิจัยที่เราเสนอ กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง เราเรียกวิธีการที่นำเสนอว่า PIM-R-CA เราประเมินประสิทธิภาพของ PIM-R-CA โดยเปรียบเทียบกับวิธีการ R-CA ด้วยการจำลองการทำงานและผลการจำลองการทำงานได้แสดงให้เห็นว่า PIM-R-CA สามารถลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ตได้ดีกว่าวิธีการของ R-CA และส่งผลให้อัตราการส่งแพ็คเก็ตสำเร็จและทรูพุทของ PIM-R-CA สูงกว่าของ R-CA*

คำสำคัญ: เครือข่ายเมชไร้สาย การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัต การค้นหาเส้นทาง

## Abstract

*The channel assignment and routing algorithms are the essential processes in wireless mesh networks. The both algorithms can work together such as in the research entitled "Routing-based dynamic channel assignment algorithm in wireless mesh networks (R-CA)". As we have considered R-CA algorithm; we found that the performance of R-CA can improved by reducing delay and loss of packets. In this research, we propose "Performance improvement mechanism for routing-based dynamic channel assignment algorithm". Called PIM-R-CA. We evaluate the performances of PIM-R-CA comparing with those of R-CA algorithm using simulation. The simulation results show that PIM-R-CA can reduce delay and loss of packets better than those of R-CA. The packet delivery ratio and throughput provided by PIM-R-CA are also higher than those of R-CA.*

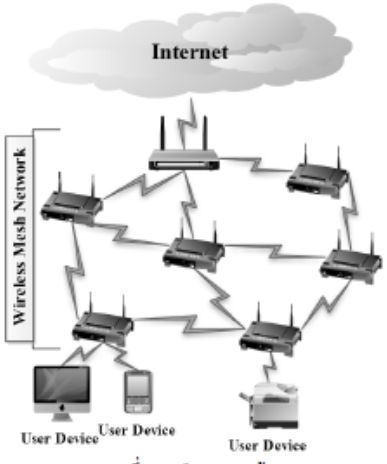
**Keyword**: Wireless Mesh Network, Dynamic Channel Assignment, Routing Algorithm

## 1. บทนำ

ระบบการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันถูกแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ การสื่อสารยอพเดียว (Single-hop Communications) เป็นการสื่อสารถึงกันผ่านทางเสาสัญญาณตัวกลางเพียงตัวเดียว ทำให้เกิดข้อจำกัด เช่น จำนวนช่องสัญญาณของเสาสัญญาณตัวกลางที่ไม่เพียงพอในการให้บริการเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวนมาก เป็นต้น จึงได้เกิดแนวคิดของการสื่อสารแบบหลายยอพ (Multi-hop Communications) การสื่อสารแบบนี้ส่วนมากอยู่ภายใต้มาตรฐานของไอสามอี 802.11 แบบมัลติยอพ เช่น เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เครือข่ายเมชไร้สาย และเครือข่ายเคลื่อนที่แอดยอค เป็นต้น เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเครือข่ายไร้สายที่นิยมนำมาใช้งานและมีการศึกษากันหลากหลายเพราะเครือข่ายไร้สายแบบเมชนั้นโหนดสามารถเชื่อมต่อกับโหนดอื่นๆ ได้หลายโหนด ทำให้โหนดในเครือข่ายแต่ละ โหนดสามารถเชื่อมต่อได้มากกว่าหนึ่งเส้นทางทำให้การรับส่งข้อมูล

มีประสิทธิภาพมาก ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างของเครือข่ายเมชไร้สายประกอบด้วย เมชเราเตอร์ไร้สาย และ อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เมชเราเตอร์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อกับเมชเราเตอร์อื่นได้มากกว่าหนึ่งโหนดและมีเมชเราเตอร์หนึ่งที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต อุปกรณ์ของผู้ใช้จะเชื่อมต่อกับเมชเราเตอร์ เครือข่ายเมชไร้สายเดิมมีช่องสัญญาณในการให้บริการเพียงช่องสัญญาณเดียว เมื่อมีผู้ใช้งานหนาแน่นขึ้น จะทำให้เกิดคิดเลย์ในการรับส่งข้อมูล จึงเริ่มมีการศึกษาเกี่ยวกับเครือข่ายเมชไร้สายที่มีหลายช่องสัญญาณ [1] [2] ทำให้โหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีช่องทางในการรับส่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งช่องทาง

ถึงแม้ว่าโหนดต่างๆ ในเครือข่ายมีช่องทางการเชื่อมต่อได้หลายช่องทางแล้วก็ยังทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ที่ต้องการเชื่อมต่อกับเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพ จึงเกิดการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดต่างๆ ในเครือข่ายเกิดขึ้น




ภาพที่ 1: เครือข่ายเมชไร้สาย

การจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) [3] เป็นวิธีหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณในเครือข่ายเมชไร้สายโดยยึดหลักของการค้นหาเส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางแบบ Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) และจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดไปพร้อมกัน โหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะเป็นผู้ร้องขอช่องทางที่ต้องการใช้โดยส่งไปพร้อมกับแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง ทำให้เมื่อร้องขอเส้นทางไปที่โหนดเดิมหลายครั้ง เกิดการสร้างเส้นทางไปยังโหนดเดียวกันโดยใช้ช่องสัญญาณไม่ซ้ำกัน ด้วยเหตุนี้เมื่อเครือข่ายมีการรับส่งข้อมูลมากขึ้นอาจจะทำให้เกิดคิดเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ตเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้เราสนใจในการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) เพื่อลดคิดเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ต เราเสนอกลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง เรียกว่า PIM-R-CA โดยให้ผู้ที่ต้องการส่งข้อมูลส่งสถานะช่องสัญญาณของตัวเองทั้งหมดไปในแพ็คเก็ตร้องขอการสร้างเส้นทาง เพื่อให้ผู้รับตรวจสอบและเลือกช่องสัญญาณที่ถูกต้องเหมาะสมให้

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆ ดังนี้ ส่วนที่ 2 อธิบายถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 อธิบายถึงวิธีการที่เราได้นำเสนอในงานวิจัยนี้เรียกว่า PIM-R-CA ส่วนที่ 4 แสดงถึงการจำลองการทำงานและผลการจำลองการทำงาน ส่วนที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยนี้

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาของการจัดสรรช่องสัญญาณโดยทั่วไปมีการศึกษากันในระบบเครือข่ายเคลื่อนที่แอดฮอค ภายใต้พื้นฐานของการศึกษานี้จึงมีการนำเสนอ ทฤษฎีและวิธีการ

M. Kodialam และคณะ [4] ได้เปรียบเทียบการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล 3 รูปแบบ คือ การหลีกเลี่ยงการชนกันแบบหลัก การหลีกเลี่ยงการชนกันที่ผู้รับ และ การหลีกเลี่ยงการชนกันทั้งผู้ส่งและผู้รับ การรบกวนในงานวิจัยมีค่าการรบกวนช่องสัญญาณค่อนข้างสูง เมื่อโหนดใดรับส่งข้อมูลโหนดอื่นที่อยู่ใกล้เคียงจะไม่สามารถ รับหรือส่งข้อมูลได้ A. Raniwala และคณะ [5] นำรายละเอียดของโครงสร้างระบบเครือข่ายและปัญหาของการจัดสรรช่องสัญญาณในระบบเครือข่ายไปใช้ในวิธีการ NP difficult multiple subset problem สำหรับ M.K. Marina และคณะ [6] นำเสนอวิธีการ Connected Low Interference Channel Assignment (CLICA) แก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยวิธี Coloring Problem โดยสร้างค่าน้ำหนักของกราฟให้สอดคล้องกับรูปแบบของโพรโทคอล และใช้กราฟแสดงสถานะของช่องสัญญาณ ทำให้สามารถลดค่าการรบกวนช่องสัญญาณได้ A.P. Subramanian และคณะ

[7] ได้เสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อลดค่าของการรบกวนช่องสัญญาณสูงสุดเมื่อจำนวนของความถี่มีจำนวนจำกัด โดยใช้เทคนิคการค้นหาของ Tabu ในการกำหนดสีของโหนดในกราฟความขัดแย้ง แต่วิธีการนี้จะใช้ได้ดีในเครือข่ายแบบคงที่ A. Raniwala และคณะ [8] เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณโดยใช้ Greedy algorithm โดยให้ความสนใจเส้นทางส่งข้อมูลที่เกิดเหตุขัดข้องเมื่อโหนดเปลี่ยนช่องสัญญาณ วิธีการนี้ต้องใช้งานโหนดทุกๆ โหนด เพื่อคำนวณหาค่าของการรบกวน K. Ramachandran และคณะ [9] นำเสนอวิธีโครงสร้างของ Hyacinth โดยคำนึงถึงความเสถียรของระบบเครือข่ายเมชและความสมดุลของการสร้างเส้นทาง

W.F. Sun และคณะ [3] เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (R-CA)โดยสร้างตารางข้อมูลขึ้นมาในแต่ละโหนดเรียกว่าตารางข้อมูลช่องสัญญาณ (Channel Information) ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลช่องสัญญาณที่คาดว่าจะได้ใช้งาน (Cpre) ใช้กำหนดช่องสัญญาณที่โหนดต้องการใช้งาน ข้อมูลช่องสัญญาณที่ไม่สามารถใช้งานได้ (Ccur) ใช้ตรวจสอบว่าช่องสัญญาณช่องใดบ้างที่ไม่สามารถใช้งานได้ในขณะนั้นและข้อมูลเวลาที่แต่ละโหนดใช้ในการรับส่งข้อมูล (Tpre) เป็นข้อมูลของเวลาที่โหนดใช้ในการรับส่งข้อมูลอยู่ในขณะนั้น วิธีการแบบ R-CA สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองวิธี คือ วิธีการแบบกระจาย และ วิธีการจัดการการตอบสนอง

วิธีการ R-CA เมื่อโหนดใดต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทางจะสร้างแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง (RREQ) โดยเพิ่มข้อมูลช่องสัญญาณที่คาดว่าจะได้ใช้งาน และเวลาที่จะใช้ส่งข้อมูลเข้าไป เมื่อโหนดข้างเคียงได้รับแพ็คเก็ตร้องของเส้นทางจะเริ่มทำงานวิธีการแบบการกระจาย โดยนำข้อมูลของช่องทางที่คาดว่าจะได้ใช้งานที่มากับแพ็คเก็ตมาตรวจสอบกับข้อมูลในตารางข้อมูลช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานอยู่ของตัวเอง ถ้าไม่มีการใช้งาน (สถานะว่าง) จะจัดสรรช่องสัญญาณนั้นให้ แต่ถ้ากำลังถูกใช้งานอยู่ (สถานะไม่ว่าง) จะใช้วิธีการจัดการการตอบสนองมาช่วยตัดสินใจ โดยนำค่าของเวลาที่โหนดร้องขอส่งมาในแพ็คเก็ตมาเปรียบเทียบกับเวลาที่ตัวเองใช้รับส่งข้อมูลอยู่ ถ้าเวลาที่โหนดร้องขอมามากกว่าเวลาที่ตัวเองกำลังใช้งานอยู่ ก็แจ้งกลับไปให้รอช่องสัญญาณว่าง แต่ถ้าไม่ใช่ จะแจ้งกลับให้สร้างเส้นทางผ่านไปยังโหนดอื่น

จากการพิจารณาและจำลองการทำงานพบว่าวิธีการ R-CA เกิดปัญหาของการซ้ำซ้อนกันของช่องทางที่กำหนดให้กับโหนดร้องขอที่เป็นโหนดเดียวกันเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ตในการส่งข้อมูลสูง ส่งผลให้ค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายลดลงและทำให้เกิดการสูญหายของแพ็คเก็ตข้อมูลในเครือข่ายสูงมากขึ้น

## 3. งานวิจัยที่นำเสนอ

วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) เมื่อมีการร้องขอเส้นทางจากโหนดเดียวกันหลายๆ ครั้ง โหนดที่รับคำร้องขอเส้นทางจะจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโหนดเดียวกันเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ทำให้การส่งข้อมูลไปโหนดเดียวกันที่ปลายทางต่างกันใช้ช่องสัญญาณต่างกัน ทำให้มีโหนดที่ต้องรอช่องสัญญาณในคิวมาก เมื่อมีการส่งข้อมูลปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เกิดดีเลย์และแพ็คเก็ตสูญหายระหว่างการส่งเป็นจำนวนมาก ทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายมีค่าลดลง จากการพิจารณาการทำงานของ R-CA เราพบว่าประสิทธิภาพของ R-CA ยังสามารถปรับปรุงให้สูงขึ้นได้โดยการลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ต ดังนั้นเราจึงเสนองานวิจัย กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง เราเรียกวิธีการที่เรานำเสนอว่า PIM-R-CA การทำงานของ PIM-R-CA สามารถอธิบายได้ดังนี้

การทำงานเริ่มจากกระบวนการค้นหาเส้นทางซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โพรโทคอล Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ที่มีการปรับปรุงให้สามารถทำงานแบบหลายการเชื่อมต่อหลายช่องสัญญาณได้

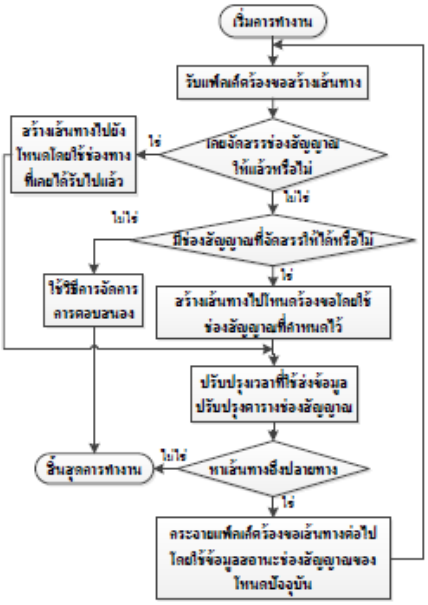
ตารางที่ 1: ตารางข้อมูลช่องสัญญาณ

| | |
|---|---|
| ข้อมูลสถานะช่องสัญญาณของโหนด | Ccur |
| ข้อมูลเวลาที่โหนดใช้รับส่งข้อมูลในขณะนั้น | Tpre |

เราได้เพิ่มข้อมูลของสถานะช่องสัญญาณและข้อมูลเวลาที่ต้องการใช้ส่งข้อมูลจากตารางข้อมูลช่องสัญญาณของโหนดที่

ส่งคำร้องไปในแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงเป็นผังงานในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

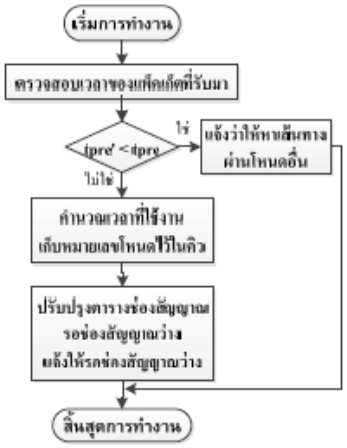
จากภาพที่ 2 เมื่อโหนดใกล้เคียงได้รับคำร้องขอเส้นทาง โหนดที่รับการร้องขอจะตรวจสอบว่าโหนดที่ส่งแพ็คเก็ตมาเคย




ภาพที่ 2: การทำงานของโหนดที่รับการร้องขอ

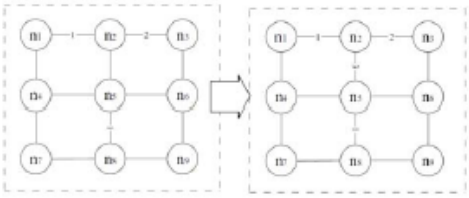
จัดสรรช่องสัญญาณให้หรือไม่ ถ้าใช่โหนดที่รับการร้องขอจะคำนวณเวลาที่โหนดนั้นต้องการใช้งานและสร้างเส้นทางไปยังโหนดนั้น โดยใช้ช่องสัญญาณเดิมที่โหนดนั้นเคยได้รับและปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณ แต่ถ้าไม่ใช่จะตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณของโหนดที่รับมากับสถานะช่องสัญญาณของตัวเองในตารางข้อมูลช่องสัญญาณ ถ้ามีช่องสัญญาณที่พร้อมใช้งานตรงกันจะสร้างเส้นทางไปยังโหนดที่ส่งคำร้องมาโดยใช้ช่องสัญญาณนั้น โหนดที่รับการร้องขอจะคำนวนเวลาที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลและปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณ โหนดที่รับการร้องขอจะตรวจสอบว่าถ้าเป็นปลายทางของการร้องขอแล้วก็จะส่งแพ็คเก็ตตอบกลับไป แต่ถ้าไม่ใช่จะแก้ไขสถานะช่องสัญญาณในแพ็คเก็ตให้เป็นสถานะช่องสัญญาณของตนเองและกระจายแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางต่อไป ถ้าไม่มีช่องสัญญาณพร้อมใช้งานตรงกันจะเรียกใช้วิธีการจัดการการตอบสนอง

จากภาพที่ 3 วิธีจัดการการตอบสนองเมื่อไม่มีช่องสัญญาณที่สามารถจัดสรรให้โหนดที่ส่งคำร้องขอมา เราจะนำเวลาที่โหนดร้องขอใช้ส่งข้อมูลในแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง (tpre') เปรียบเทียบกับเวลาที่โหนดนั้นใช้รับส่งข้อมูล (tpre) ถ้า tpre' น้อยกว่า tpre จะแจ้งกลับไปยังโหนดร้องขอว่าไม่พร้อมให้บริการให้สร้างเส้น




ภาพที่ 3: การทำงานของวิธีจัดการการตอบสนอง

ทางผ่านโหนดอื่น แต่ถ้าไม่ใช่ จะคำนวนเวลาที่โหนดที่ส่งการร้องขอต้องการใช้งานและเก็บที่อยู่ของโหนดไว้ในคิวเพื่อรอช่องสัญญาณว่างเมื่อมีการคืนช่องสัญญาณจากโหนดอื่นที่ใช้งานอยู่ ทำการปรับปรุงตารางข้อมูลช่องสัญญาณของตนเองและแจ้งกลับไปยังโหนดที่ส่งคำร้องขอเส้นทางให้รอช่องสัญญาณว่าง



ภาพที่ 4: การทำงานของ PIM-R-CA

ภาพที่ 4 แสดงวิธีการทำงานของวิธีการ PIM-R-CA ในภาพที่ 4 ทางด้านซ้าย n1 กับ n2 ใช้ช่องสัญญาณ 1 ในการสื่อสาร n2 กับ n3 ใช้ช่องสัญญาณ 2 และ n8 กับ n5 ใช้ช่องสัญญาณ 1 เมื่อโหนด 5 ต้องการติดต่อกับโหนด 2 โหนด 5 จะส่งแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางไปยังโหนด 2 โดยเพิ่มสถานะช่องสัญญาณของตนเองไปในแพ็คเก็ต เมื่อโหนด 2 ได้รับแพ็คเก็ตจึงตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณของตนเองในตารางข้อมูลช่องสัญญาณพบว่าช่องสัญญาณ 1 และ 2 ไม่พร้อมใช้งานจึงนำช่องสัญญาณ 3 ที่พร้อมใช้งานมา

ตรวจสอบกับสถานะช่องสัญญาณของโหนด 5 พบว่าช่องสัญญาณ 3 ของโหนด 5 พร้อมใช้งานเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงจัดสรรช่องสัญญาณ 3 ให้กับโหนด 5 ทำการปรับปรุงตารางช่องสัญญาณของตนเอง และ ตอบกลับไปยังโหนด 5 ว่าสามารถใช้ช่องสัญญาณ 3 ในการสื่อสารได้ดังภาพที่ 4 ทางด้านขวา

## 4. การจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของ PIM-R-CA โดยเปรียบเทียบกับวิธีการ R-CA โปรแกรม NS (Network Simulation) เวอร์ชั่น 2.35 มีการติดตั้งส่วนเสริม Multi Interface Multi Channel (MIMC) [10] ที่ได้ปรับปรุงโพรโทคอล Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ชั้นของ MAC และส่วนอื่นๆ ในโปรแกรม NS2 เพื่อให้สามารถจำลองแบบหลายช่องสัญญาณได้ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เราประเมินประกอบด้วย ดีเลย์ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง การสูญหายของแพ็คเก็ต อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่าย และทรูพุท

### 4.1 พารามิเตอร์ของการจำลองการทำงาน

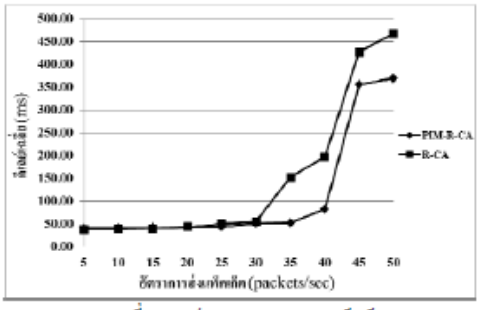
ในการจำลองการทำงานเราได้กำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ การส่งข้อมูลเป็นแบบ Constant Bit Rate (CBR) ขนาดของแพ็คเก็ต 512 ไบต์ เวลาในการจำลอง 100 วินาที จำนวนช่องสัญญาณของแต่ละโหนด 4 จำนวนโหนดในเครือข่าย 30 โหนด แต่ละโหนดไม่มีการเคลื่อนที่ มีคิวที่ใช้เก็บโหนดที่รอใช้งานช่องสัญญาณ 10 และมีพารามิเตอร์อื่นๆ จะแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: แสดงค่าพารามิเตอร์

| พารามิเตอร์ | ค่าที่กำหนด |
|---|---|
| โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง | NS-2.35 |
| พื้นที่ที่ใช้ในการจำลอง | 1200 * 1200 |
| เวลาในการจำลอง | 100 วินาที |
| จำนวนช่องสัญญาณ | 4 |
| จำนวนโหนด | 30 |
| ระยะห่างระหว่างโหนด | 100 เมตร |
| ระยะทางที่โหนดส่งข้อมูลได้ | 120 เมตร |
| ระยะที่จะเกิดการรบกวนช่องสัญญาณ | 250 เมตร |
| ขนาดของแพ็คเก็ต | 512 ไบต์ |

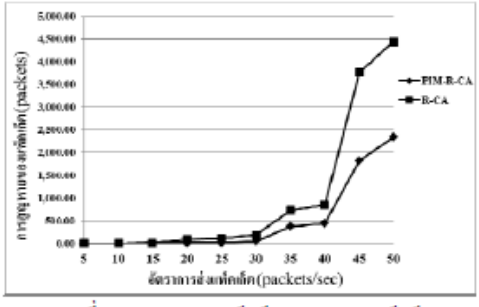
### 4.2 ผลการจำลองการทำงาน

จากการจำลองเราได้วัดประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (R-CA) และ กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมของการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (PIM-R-CA) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นผลการจำลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5 ถึง 8 ตามลำดับ




ภาพที่ 5: ดีเลย์เฉลี่ยกับอัตราการส่งแพ็คเก็ต

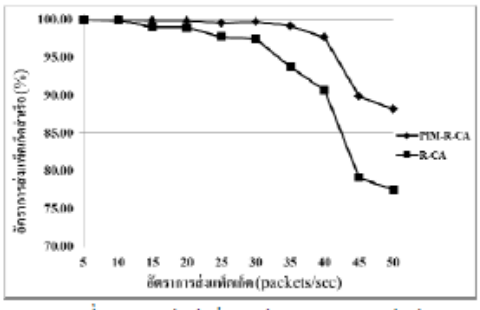
ดีเลย์ของการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายนั้นถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ส่งผลกับการทำงานของเครือข่าย ทั้งการสูญหายของแพ็คเก็ตในเครือข่ายซึ่งทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จในเครือข่ายลดลงและยังทำให้ทรูพุทโดยรวมของระบบเครือข่ายมีค่าน้อยลงตามไปด้วย จากภาพที่ 5 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของดีเลย์ในการส่งข้อมูลในเครือข่ายที่เราได้จำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้ค่าของดีเลย์น้อยลงกว่าวิธีการ R-CA อย่างชัดเจนเมื่ออัตราการส่งแพ็คเก็ตมีค่ามากกว่า 35 แพ็คเก็ตต่อวินาที




ภาพที่ 6: การสูญหายของแพ็คเก็ตกับอัตราการส่งแพ็คเก็ต

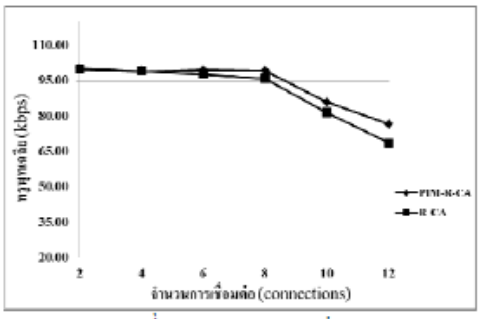
ภาพที่ 6 แสดงการสูญหายของแพ็คเก็ตกับอัตราการส่งแพ็คเก็ต จะเห็นได้ว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้อัตราการสูญหาย

ของแพ็คเก็ตที่ต่ำกว่าวิธีการ R-CA ภาพที่ 7 แสดงอัตราการส่งแพ็คเก็ตสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเก็ต จากภาพจะเห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้ค่าอัตราการส่งแพ็คเก็ตสำเร็จที่สูงกว่าวิธีการ R-CA ทั้งนี้เนื่องจากการสูญหายของแพ็คเก็ตที่ต่ำกว่าของวิธี PIM-R-CA เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ R-CA ดังแสดงในภาพที่ 6




ภาพที่ 7: อัตราแพ็คเก็ตที่ส่งสำเร็จกับอัตราการส่งแพ็คเก็ต

ทรูพุทกับอัตราการเชื่อมต่อแสดงในภาพที่ 8 เราจะเห็นว่าวิธีการ PIM-R-CA ให้ค่า ทรูพุทที่สูงกว่าวิธีการ R-CA เมื่ออัตราการเชื่อมต่อมีค่าตั้งแต่ 5 อัตราการเชื่อมต่อขึ้นไป




ภาพที่ 8: ทรูพุทกับจำนวนการเชื่อมต่อ

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้เราเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย (R-CA) วิธีการที่เรานำเสนอเรียกว่ากลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทาง (PIM-R-CA) วิธีการของ R-CA ใช้การร้องขอช่องสัญญาณโดยต้นทางจะระบุช่องสัญญาณที่ตนเองต้องการไปพร้อมกับแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งอาจก่อให้เกิดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ตสูงขึ้นเมื่อปริมาณข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง จากปัญหาดังกล่าวเราเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยกลไกการพิจารณาสถานะการใช้งานช่องสัญญาณของโหนดร้องขอเปรียบเทียบกับสถานะการใช้งานช่องสัญญาณในแต่ละโหนดเพื่อพิจารณาช่องสัญญาณที่เหมาะสมผ่านทางแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง จากการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า PIM-R-CA สามารถลดดีเลย์และการสูญหายของแพ็คเก็ตได้มากกว่าวิธีการของ R-CA ส่งผลให้อัตราการส่งแพ็คเก็ตสำเร็จและทรูพุทเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกับวิธีการของ R-CA

## เอกสารอ้างอิง

[1] T.C. Chiueh, and A. Raniwala, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," *IEEE Computer and Communications Societies*, Vol. 3, pp. 2223–2234, March, 2005.

[2] B. Wang, "NS2 Notebook: Multi-channel Multi-interface Simulation in NS2 (2.29)," http://www.cse.msu.edu/~wangbo1/ns2/nshowto8.html.

[3] W.F.. Sun, R. Cong, F. Xia, X. Chen, and Z. Qin, "R-CA: A Routing-based Dynamic Channel Assignment Algorithm in Wireless Mesh Networks," *Autonomic & Trusted Computing* , pp. 228 - 232, Oct, 2010.

[4] M. Kodialam, and T. Nandagopai, "The effect of interference on the capacity of multi-hop wireless networks," *Information Theory*, pp. 470, June, 2004.

[5] A. Raniwala, K. Gopalan, and T. Chiueh, "Centralized channel assignment and routing algorithms for multichannel wireless mesh networks," *ACM SIGMOBILE*, Vol.8, pp. 50-65, April, 2004.

[6] M.K. Marina, and S.R. Das, "A topology control approach for utilizing multiple channels in multi-radio wireless mesh networks," *BroadNets*, Vol.1, pp. 381 – 390, 2005.

[7] A.P. Subramanian, H. Gupta, S.R. Das, and J. Cao, "Minimum interference channel assignment in multiradio wireless mesh networks," *IEEE Trans. Mobile Computing*, Vol.7, pp. 1459 - 1473, Dec, 2008.

[8] A. Raniwala, and T. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," *IEEE Trans. INFOCOM*, Vol.3, pp. 2223-2234, March, 2005.

# ประวัติผู้เขียน


| | |
|---|---|
| ชื่อ-นามสกุล | นายพนา จันทิวาสน์ |
| วัน เดือน ปีเกิด | 19 ตุลาคม 2529 ที่ราชบุรี |
| ที่อยู่ | 25 หมู่ที่ 3 |
| | ตำบลโพหัก อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี 70160 โทร. 032387246 |
| ประวัติการศึกษา | 2552 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ |
| | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ความชำนาญเฉพาะด้าน | 1.) ระบบเครือข่ายไร้สาย |
| | 2.) ออกแบบระบบเครือข่าย |


ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย


[1] พนา จันทิวาสน์ และศักดิ์ชัย ทิพย์จักษุรัตน์ “กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับอัลกอริทึมการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัตด้วยกระบวนการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเมชไร้สาย,” การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9, พฤษภาคม 2556, หน้า 492 - 497