

การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบพูลดูเพลกซ์อัตโนมัติใน
กรณีที่มีสถานีซ้อนเร้น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE ANALYSIS OF ASYMMETRIC FULL DUPLEX MEDIUM ACCESS CONTROL
PROTOCOL IN THE PRESENCE OF HIDDEN STATION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบพูลดูเพลกซ์อสมมาตรในกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้น
โดย	นายธีศิษฐ์ ศรีประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

ธีศิษฏ์ ศรีประเสริฐ : การวิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตรในกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้น. (PERFORMANCE ANALYSIS OF ASYMMETRIC FULL DUPLEX MEDIUM ACCESS CONTROL PROTOCOL IN THE PRESENCE OF HIDDEN STATION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจำลองทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบทั้งในสถานะที่มีและไม่มีสถานีซ่อนเร้น ในงานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษามาตรฐานโพรโทคอล IEEE802.11 และประเมินค่าทราฟฟิคของระบบโดยพิจารณาถึงผลกระทบของการมีอยู่ของสถานีซ่อนเร้น ผลการทดสอบพบว่าสถานีซ่อนเร้นเป็นปัญหาหลักของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่อาศัยกลไกการจับมือสองทาง กล่าวคือ ค่าทราฟฟิคของระบบลดลงจากกรณีที่ไม่มีสถานีซ่อนเร้นอย่างมีนัยสำคัญ ในทางปฏิบัติ การใช้กลไกการจับมือแบบสี่ทางเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้งานเพื่อแก้ปัญหาของสถานีซ่อนเร้น ผลการทดสอบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างโครงข่ายกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกระบวนการขอการส่งแพ็กเก็ตที่เอสและการตอบรับด้วยแพ็กเก็ตซีทีเอสเป็นกลไกที่ช่วยลดผลกระทบของสถานีซ่อนเร้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องตรงกับงานวิจัยที่มีอยู่เดิม

ผู้เขียนได้ทำการพัฒนาโปรแกรมต่อยอดให้สามารถจำลองการทำงานของระบบการสื่อสารแบบฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตร เพื่อใช้ในการศึกษา วิเคราะห์ และประเมินสมรรถนะ ในการใช้งานโปรแกรมสามารถกำหนดให้สถานีอยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ เพื่อให้สามารถจำลองสถานการณ์ที่มีสถานีซ่อนเร้นในรูปแบบต่างกันได้ได้ตามต้องการ โดยได้ทำการจำลองในหลาย ๆ สถานการณ์ ในขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 และ 32 ผลการทดสอบพบว่ากรณีที่สถานีไม่มีการซ่อนเร้นกันเลยทำให้ไม่สามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ เนื่องจากสัญญาณรบกวนกันของสถานีที่อยู่ใกล้กัน เมื่อนำวิธีผลกระทบจากการยึดได้ มาใช้งาน ผลการทดสอบทำให้สามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ และได้ค่าทราฟฟิคที่ดีขึ้น ในการทดลองต่อไปคือการทำในรูปแบบที่มีสถานีซ่อนเร้นกัน ผลการทดลองพบว่าสามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ และเมื่อนำวิธีผลกระทบจากการยึดได้ มาใช้งานทำให้ค่าทราฟฟิคดีขึ้นประมาณ 5-10 % โดยประมาณ การทดลองต่อไปเป็นการทดลองเพิ่มสถานีส่งให้มากขึ้น ผลการทดลองพบว่าค่าทราฟฟิคจะลดลงตามลำดับจำนวนสถานีทั้งในกรณีที่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้ และไม่ใช้เพราะสถานีที่มากขึ้นจะทำการแย่งกันส่งสัญญาณชนกัน และสิ่งที่สังเกตที่ได้จากการทดลองของการใช้ผลกระทบจากการยึดได้ ก็คือสถานีปลายทางจะรับข้อมูลได้อย่างยุติธรรมมากขึ้น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170375621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Full Duplex, Hidden station, Mac Protocol, Wireless LAN

Theesid Sriprasert : PERFORMANCE ANALYSIS OF ASYMMETRIC FULL DUPLEX MEDIUM ACCESS CONTROL PROTOCOL IN THE PRESENCE OF HIDDEN STATION. Advisor: Asst. Prof. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D.

The thesis proposed the function of media access control (MAC) protocol called asymmetrical duplex with computer simulation in order to access the system performance both in hidden stations and non-hidden stations. In this thesis, the author studied the IEEE802.11 protocol standard and estimated the network throughput of the system with considering the impact of existing hidden stations. The result showed that hidden stations were the main problem of media access control (MAC) protocol resorting two-way handshaking mechanism. That was the network throughput diminished in case there was no hidden stations insignificance. In practice, the four-way handshaking technique was utilized to solve the hidden stations' problem. The experimental result with a developed program of the network example exhibited that adding the process of requesting sending RTS package and acknowledge was the mechanism to reduce the impact of hidden stations effectively corresponded to the existing research.

The author developed further a program to be able to simulate the function of the communication system in the form of full-duplex in asymmetric way to study, analyze and access the performance. The utilization of the program can define specific positions so that the author can simulate situations with different hidden stations as desired. The author simulated different situations in different window sizes 16 and 32. The simulation results showed that non-hidden stations could not form full-duplex due to the noise of nearby stations. When using the capture effect, the results could create full-duplex and make better throughput up to 5-10 percent approximately. The further simulation result was adding more transmission stations leading throughput to reduce respective stations in case of both using capture effect and none. This was because the more stations were, the more collisions signals made. More importantly, the author observed the results of using the capture effect were that the destination station could receive information more fairly

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ สหายวิจิตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ จันทร์ภักดี และรองศาสตราจารย์ วรากร ศรีเชวงทรัพย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการ บุคลากร เพื่อนทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัย โทรมนาคม กลุ่มปฏิบัติการวิจัยโครงข่ายไร้สาย ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณขอผู้ที่มีอุปการะคุณที่สำคัญ โดยกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจ เชื่อมั่นและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ธีศิษฐ์ ศรีประเสริฐ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. วัตถุประสงค์.....	3
1.3. ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1. โพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11.....	4
2.1.1. การวิเคราะห์แบบจำลองมาคอฟเซนโพรโทคอล 802.11.....	6
2.1.2. การคำนวณการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ของ IEEE 802.11.....	13
2.2. โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์.....	14
2.3. สถานีซ่อนเร้น.....	15
2.4. ผลกระทบจากการยึดได้.....	16
2.5. โพรโทคอล เอ-ดูเพลกซ์.....	18
2.5.1. การคำนวณการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ.....	20
บทที่ 3 โปรแกรมจำลองการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 แบบเทคนิคจับมือสองทางสามารถเพิ่มสถานีซ่อนเร้น.....	22
3.1. หลักการทำงานของโปรแกรมเทคนิคจับมือสองทาง.....	22

3.2. แสดงผลของโปรแกรมจับมือสองทางและผลการทดลองของโปรแกรม	28
3.3. ผังงานโปรแกรมจับมือสองทางโดยการใช้ไพซีม	34
3.4. สรุปผลการทดลอง.....	38
บทที่ 4 โปรแกรมจำลองการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 แบบเทคนิคจับมือสี่ทางสามารถเพิ่มสถานีซ่อนเร้น	39
4.1. ขนาดเฟรมของ อาร์ทีเอส และ ซีทีเอส.....	39
4.2. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรมและการเก็บข้อมูล.....	41
4.3. ผังงานโปรแกรมจับมือสี่ทาง โดยใช้ไพซีม	42
4.4. การเชื่อมต่อตำแหน่งที่ตั้งของสถานีในโปรแกรม	47
4.5. โปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง	49
4.6. ผลการทดลองโปรแกรมเทคนิคจับมือสี่ทาง	57
4.6.1. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงชิง 32 ทั้งกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น	57
4.6.2. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 128 ทั้งกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น จำนวน 5 สถานี	61
4.6.3. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงชิง 32 ทั้งกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น จำนวนสถานี 10 สถานี	63
4.6.4. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงชิง 128 ทั้งกรณีที่มีสถานีซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น จำนวนสถานี 10 สถานี	67
4.7. เปรียบเทียบค่าทรูพุตกับกับโปรแกรมจำลอง IEEE802.11.....	69
4.8. สรุปผลการทดลอง.....	72
บทที่ 5 โปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์ อสมมาตร ในกรณีที่ไม่มีและมีส่วนีซ่อนเร้น	73
5.1. วิเคราะห์สมรรถนะของการสื่อสารแบบฟูลดูเพลกซ์ในภาวะที่มีสถานีซ่อนเร้น	74
5.2. ผังงานโปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตร โดยใช้ ไพซีม.....	82

5.3. โปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางพลาสมาแบบอสมมาตร	89
5.4. ผลการทดลองโปรแกรมจำลอง	95
5.4.1. การทดลองโปรแกรมจำลองพลาสมาสถานะทั้งหมด 5 สถานี กรณีมีสถานีซ่อนเร้น ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 ทั้งใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้	95
5.4.2. การทดลองโปรแกรมจำลองพลาสมาสถานะทั้งหมด 10 สถานี กรณีมีสถานีซ่อนเร้น ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 ทั้งใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้	103
5.5. เปรียบเทียบค่าทรูพุตในภาพรวมในหน้าต่างช่วงชิง 16	107
5.6. การทดลองในหลายช่วงการสุ่ม	108
5.7. สรุปผลการทดลอง	111
บทที่ 6 สรุป	112
บรรณานุกรม	114
ประวัติผู้เขียน	118

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ประเภทของฟูลดูเพลกซ์.....	2
รูปที่ 2.1 เทคนิคจับมือสองทาง.....	4
รูปที่ 2.2 เทคนิคจับมือสี่ทาง.....	5
รูปที่ 2.3 แบบจำลองมาคอฟเชนสำหรับแบล็กออปวินโดวไซด์.....	6
รูปที่ 2.4 เวลาโดยเฉลี่ยที่ช่องรับรู้ว่าไม่ว่างและไม่ว่างระหว่างการชนกัน.....	13
รูปที่ 2.5 ฟูลดูเพลกซ์.....	14
รูปที่ 2.6 สถานีที่ซ่อนเร้นกัน.....	15
รูปที่ 2.7 สัญญาณรบกวนจากสถานีอื่น.....	16
รูปที่ 2.8 เอ-ดูเพลกซ์ (a) สถานการณ์ “ AP-short (b) สถานการณ์ “ AP longer.....	18
รูปที่ 2.9 การสร้างโดยปราศจากฟูลดูเพลกซ์.....	19
รูปที่ 3.1 ผังงานหลักของเทคนิคจับมือสองทาง.....	22
รูปที่ 3.2 ผังงานของสถานะไอเดิล.....	23
รูปที่ 3.3 ผังงานหลักการทำงานของสถานะกำลังรอ.....	24
รูปที่ 3.4 ผังงานกำลังรอสุดท้าย.....	25
รูปที่ 3.5 ผังงานส่งสำเร็จ.....	26
รูปที่ 3.6 ผังงานของการชนกัน.....	27
รูปที่ 3.7 หน้าต่างไพทอนที่ไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้น(1).....	28
รูปที่ 3.8 ผลของโปรแกรมในแบบที่ไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้น(2).....	29
รูปที่ 3.9 หน้าต่างไพทอนที่มีสถานีที่ซ่อนเร้น(1).....	30
รูปที่ 3.10 ผลของโปรแกรมในแบบที่มีสถานีซ่อนเร้น(2).....	31
รูปที่ 3.11 ผลของโปรแกรมในแบบที่มีสถานีที่ซ่อนเร้น.....	31

รูปที่ 3.12 ผลของโปรแกรมในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น	32
รูปที่ 3.13 ค่าทรูพุดของโปรแกรมจำลองเทียบกับค่าของเชิงคณิตศาสตร์.....	33
รูปที่ 3.14 ผังงานขั้นตอนการเช็คข้อมูลและส่งเฟรมยืนยัน.....	34
รูปที่ 3.15 ผังงานขั้นตอน ดีไอเอฟเอส ของเทคนิคจับมือสองทาง.....	35
รูปที่ 3.16 ผังงานขั้นตอนส่งข้อมูลของเทคนิคจับมือสองทาง.....	36
รูปที่ 3.17 ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค.....	36
รูปที่ 3.18 เปรียบค่าทรูพุดจับมือสองทางกรณีมีสถานีซ้อนเร้นกับไม่มีซ้อนเร้น	37
รูปที่ 3.19 การจัดสถานีซ้อนเร้น	38
รูปที่ 4.1 ขนาดของเฟรมขอการส่ง.....	39
รูปที่ 4.2 ขนาดเฟรมอนุญาตการส่ง	40
รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมจับมือสี่ทิศทาง	41
รูปที่ 4.4 ผังงานขั้นตอนเฟรมอนุญาตการส่ง	42
รูปที่ 4.5 ผังงานขั้นตอนการเช็คข้อมูลและส่งเฟรมยืนยัน.....	43
รูปที่ 4.6 ผังงานขั้นตอน ดีไอเอฟเอส ของเทคนิคจับมือสี่ทาง	44
รูปที่ 4.7 ผังงานขั้นตอนการขอการส่ง.....	45
รูปที่ 4.8 ผังงานขั้นตอนการเช็คเฟรมอนุญาตการส่งและส่งข้อมูล.....	45
รูปที่ 4.9 ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค	46
รูปที่ 4.10 การตั้งค่าตำแหน่งของสถานีในโปรแกรมไพทอน.....	47
รูปที่ 4.11 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีและตัวเอพี.....	48
รูปที่ 4.12 ภาพรวมผลของการทำงานโปรแกรมจำลองจับมือสี่ทาง	49
รูปที่ 4.13 ภาพโดยขยายของการส่งข้อมูลของสถานี.....	50
รูปที่ 4.14 ผลของการทำงานโปรแกรม	51
รูปที่ 4.15 สถานีที่ไม่ซ้อนเร้นจากกัน	51
รูปที่ 4.16 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ้อนเร้นจากกัน	52

รูปที่ 4.17 ภาพรวมผลของการทำงานโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางในกรณีที่มีการส่งไม่สำเร็จ	53
รูปที่ 4.18 ภาพโดยขยายของการส่งข้อมูลโดยมีการส่งไม่สำเร็จ	54
รูปที่ 4.19 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันและตัวของ เอพี กรณีแรก.....	55
รูปที่ 4.20 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันและตัวของ เอพี กรณีสอง.....	56
รูปที่ 4.21 สถานีทั้งหมด 5 สถานี ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน	57
รูปที่ 4.22 ผลการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 32.....	58
รูปที่ 4.23 สถานีทั้งหมด 5 สถานี ที่มีการซ่อนเร้นจากกัน.....	59
รูปที่ 4.24 ผลการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 32	60
รูปที่ 4.25 ผลการส่งข้อมูลของ 5 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกันหน้าต่างช่วงชิง 128.....	61
รูปที่ 4.26 การส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่มีการซ่อนเร้นจากกันหน้าต่างช่วงชิง 128.....	62
รูปที่ 4.27 สถานีทั้งหมด 10 สถานี ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน	63
รูปที่ 4.28 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 32.....	64
รูปที่ 4.29 สถานีทั้งหมด 10 สถานี ที่มีการซ่อนเร้นจากกัน.....	65
รูปที่ 4.30 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่มีการซ่อนเร้นจากกันบางสถานี หน้าต่างช่วงชิง 32.....	66
รูปที่ 4.31 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกันหน้าต่างช่วงชิง 128	67
รูปที่ 4.32 การส่งข้อมูลทั้งหมดของ 10 สถานีที่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 128	68
รูปที่ 4.33 ค่าทรูพุด IEEE802.11 ของเปียงกี ในหลายสถานการณ์.....	69
รูปที่ 4.34 ทรูพุดของเทคนิคจับมือสี่ทางของทั้งที่และไม่มีสถานีซ่อนเร้น	70
รูปที่ 5.1 การทำงานของโพรโทคอล เอ-ดูเพลกซ์	73
รูปที่ 5.2 เอพี และสถานีที่มีบางสถานีซ่อนเร้นจากกัน	74
รูปที่ 5.3 การจำลองการส่งเฟรม ของแต่ละสถานีที่มีการซ่อนเร้นในฟูลดูเพลกซ์.....	74
รูปที่ 5.4 แบบจำลองมาคอฟเชนคิดแบบมีซ่อนเร้น	75
รูปที่ 5.5 ฝั่งงานขั้นตอนของ เอพี แรกเริ่ม.....	82

รูปที่ 5.6	ผังงานขั้นตอนของ เอพี ช่วงสร้างฟูลดูเพล็กซ์	83
รูปที่ 5.7	ผังงานขั้นตอนการส่งข้อมูลของ เอพี	84
รูปที่ 5.8	ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค ของ เอพี	84
รูปที่ 5.9	ผังงานขั้นตอนการเช็ค ดีไอเอฟเอส ของสถานี	85
รูปที่ 5.10	ผังงานขั้นตอนการเช็คเวกเตอร์การจัดสรรเครือข่าย ของสถานีและการสร้างฟูลดูเพล็กซ์	86
รูปที่ 5.11	ผังงานขั้นตอนการขอการส่งของสถานี	87
รูปที่ 5.12	ผังงานการเช็คอนุญาตการส่งและส่งข้อมูลของสถานี	87
รูปที่ 5.13	ผังงานการเช็ค เอซีเค ของตัวสถานี	88
รูปที่ 5.14	ภาพขยายของการส่งข้อมูลของโพรโทคอลฟูลดูเพล็กซ์แบบอสมมาตร	89
รูปที่ 5.15	การส่งข้อมูลของสถานีในรูปที่ 5.14	91
รูปที่ 5.16	การส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเพราะเกิดการชน	92
รูปที่ 5.17	การแสดงการส่งจากรูปที่ 5.16	92
รูปที่ 5.18	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม	94
รูปที่ 5.19	สถานีที่ไม่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี	95
รูปที่ 5.20	ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.19	95
รูปที่ 5.21	สถานีที่ไม่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี	97
รูปที่ 5.22	ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.21	97
รูปที่ 5.23	สถานีที่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี	99
รูปที่ 5.24	ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.23	99
รูปที่ 5.25	สถานีที่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี	101
รูปที่ 5.26	ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.25	101
รูปที่ 5.27	สถานีทั้งหมด 10 สถานีที่บางสถานีซ่อนเร้นจากกัน	103
รูปที่ 5.28	ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.27	103
รูปที่ 5.29	สถานีทั้งหมด 10 สถานีที่บางสถานีซ่อนเร้นจากกัน	105

รูปที่ 5.30 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.29	105
รูปที่ 5.31 ค่าทรูพุดหน้าต่างช่วงชิง 16 ของโปรแกรมที่ใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้	107
รูปที่ 5.32 การทดลองในหลายช่วงการสุ่มไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้	108
รูปที่ 5.33 การทดลองในหลายช่วงการสุ่มใช้ผลกระทบจากการยึดได้	109

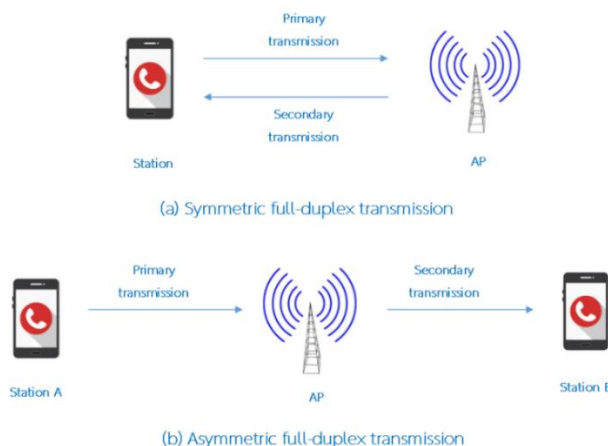


บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาปริมาณความต้องการรับส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารโทรคมนาคมได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ ๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการตอบสนองความต้องการเหล่านี้ หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งในปัจจุบันคือ การสื่อสารไร้สายอินแบนด์ฟูลดูเพล็กซ์ (in-band full duplex) [1]หรือที่เรียกโดยย่อว่า ไอบีเอฟดี ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบสองทางที่สามารถรับส่งข้อมูลไปและกลับได้ในเวลาเดียวกันโดยใช้แถบความถี่เดียวกัน การสื่อสารรูปแบบใหม่นี้มีข้อแตกต่างจากการสื่อสารแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือในอดีตการที่อุปกรณ์สื่อสารจะสามารถรับส่งสองทิศทางพร้อมกันได้นั้น อุปกรณ์แต่ละฝั่งจะต้องใช้แถบคลื่นความถี่ที่ต่างกัน (out-of-band full-duplex) แต่หากมีแถบความถี่เพียงชุดเดียวให้ใช้งานสำหรับการสื่อสารแบบไปกลับสองทาง อุปกรณ์แต่ละฝั่งจะต้องสลับกันส่งคนละเวลา (half-duplex) [2] ไม่สามารถรับและส่งพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน

ในหลักการแล้วการสื่อสารอินแบนด์ฟูลดูเพล็กซ์มีความสามารถในการเพิ่มความจุของระบบไร้สายฮาล์ฟดูเพล็กซ์แบบดั้งเดิมได้ดีกว่าถึงสองเท่า [3] ด้วยเหตุนี้ จึงเริ่มมีงานวิจัยเพื่อพัฒนาโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (MAC) รูปแบบใหม่ที่เรียกว่า โพรโทคอลฟูลดูเพล็กซ์(Full Duplex medium access control) [4] เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากเทคนิคการสื่อสารไร้สายอินแบนด์ฟูลดูเพล็กซ์ได้อย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ที่ผ่านมามีการเสนอโพรโทคอลฟูลดูเพล็กซ์ สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และสามารถจัดแบ่งประเภทของโพรโทคอลเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ โพรโทคอลแบบสมมาตร (symmetric FD MAC) และโพรโทคอลแบบอสมมาตร (asymmetric FD MAC) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โพรโทคอลแบบสมมาตรเป็นการสื่อสารในกรณีที่อุปกรณ์ทั้งเอพี(ตัวกลาง)และสถานีล้วนมีขีดความสามารถในการรับและส่งได้พร้อมกันบนคลื่นความถี่เดียวกัน ส่วนโพรโทคอลแบบอสมมาตรเป็นกรณีที่เฉพาะอุปกรณ์เอพีเท่านั้นที่มีขีดความสามารถในการสื่อสารฟูลดูเพล็กซ์ ในขณะที่สถานีแต่ละแห่งยังคงใช้เทคโนโลยีที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน นั่นคือ ในขณะที่ขณะหนึ่งสถานีสามารถส่งหรือรับได้เพียงอย่างเดียวหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 1.1 ประเภทของฟูลดูเพลกซ์

อย่างไรก็ตามปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างเครื่องก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงจะต้องได้รับการแก้ไขในการส่งข้อมูลแบบอสมมาตร ดังแสดงในรูป 1.1b ข้างต้น เมื่อได้รับข้อมูลจาก เอพี สถานี B อาจพบสัญญาณรบกวนจากการส่งของสัญญาณของสถานี A ได้ Tang and Wang [5] นำเสนอโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์ที่เรียกว่า *asymmetrical duplex* มาแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนของสถานีโดยใช้ คือการสำรวจผลกระทบจากการยึดได้ [6] โดยใช้การจัดเรียงแพ็กเก็ตเกิด (*packet-alignment-based capture effect*) เพื่อสร้างลิงก์คู่ระหว่าง เอพี และสถานีสองตัวที่แตกต่างกัน เพื่อให้โอกาสในการรับสัญญาณที่สูงขึ้นไปยังสถานีที่มีการรบกวนระหว่างสถานี จากนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งผ่านเครือข่ายให้มากที่สุด จึงมีการกำหนดปัญหาการปรับให้เหมาะสมสำหรับการคำนวณการส่งสัญญาณที่ดีที่สุดของ เอพี และสถานี

ในระบบเครือข่ายไร้สาย แบบเก่ามีปัญหาสถานีที่ซ่อนเร้น (*hidden station*) [7] , [8] อยู่ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพเครือข่ายลดลง ปัญหาสถานีที่ซ่อนเร้นได้ปิดการใช้งานความสามารถในการรับรู้ว่ามีประสิทธิภาพและการส่งสัญญาณของสถานีที่ซ่อนอยู่อาจทำให้เกิดการชน ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 ทั้งที่เป็นเทคนิคการจับมือสองทางและเทคนิคการจับมือสี่ทาง เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของระบบในภาวะที่มีและไม่มีสถานีซ่อนเร้น จากนั้นจะได้ทำการพัฒนาต่อยอดให้โปรแกรมสามารถจำลองการทำงานของโพรโทคอลฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตรในภาวะที่มีและไม่มีสถานีซ่อนเร้น

1.2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลกระทบของการมีสถานีซ้อนเร้นของโพรโทคอล IEEE802.11
2. ศึกษาโพรโทคอล IEEE802.11 ที่สนับสนุนการสื่อสารไร้สายแบบพลูคูเพลกซ์
3. วิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอลการสื่อสารแบบไร้สายแบบพลูคูเพลกซ์แบบอสมมาตรและเปรียบเทียบกับผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในภาวะที่มีผลกระทบของสถานีที่ซ้อนเร้นและไม่มีสถานีที่ซ้อนเร้น
4. นำทฤษฎีผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาทำในเรื่องความยุติธรรมการส่งและรับของสถานีที่ซ้อนเร้นของโพรโทคอลพลูคูเพลกซ์แบบอสมมาตร

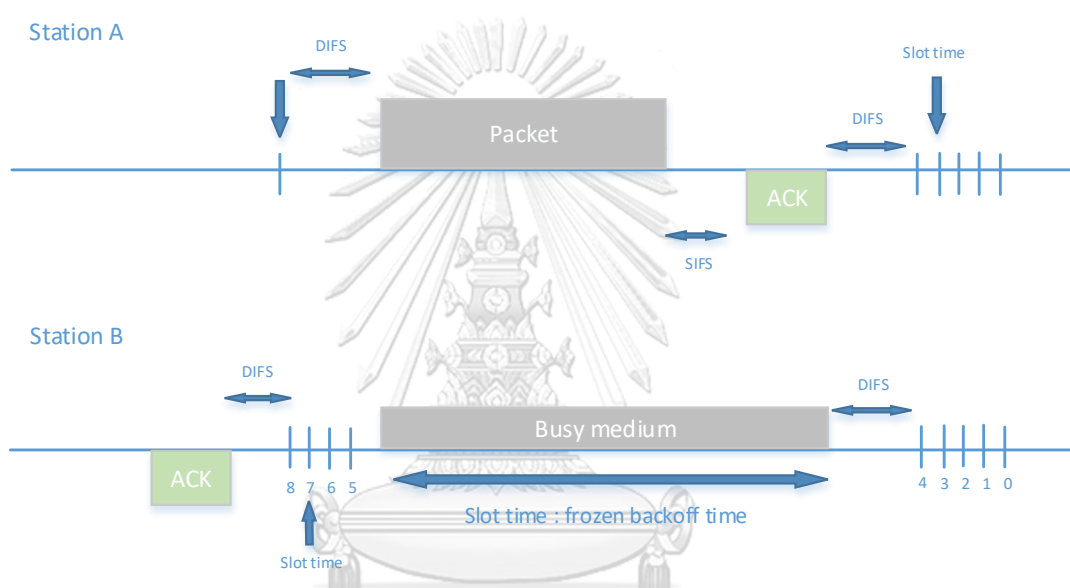
1.3. ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของการทำงานของการสื่อสารไร้สายของโพรโทคอล IEEE802.11 ที่มีการเพิ่มกลไกการทำงานแบบพลูคูเพลกซ์เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบ
2. พัฒนาแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของการสื่อสารแบบพลูคูเพลกซ์ในภาวะที่มีสถานีซ้อนเร้น โดยพิจารณาปัญหาและผลกระทบของสัญญาณการรบกวนที่เกิดจากสถานีที่ซ้อนเร้นกัน
3. นำทฤษฎีผลกระทบจากการยึดได้เข้ามาช่วยทำในเรื่องความยุติธรรมการส่งและรับของในเรื่องสถานีซ้อนเร้นกันได้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1. โพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงรายละเอียดการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 หรือ ดีซีเอฟ (distributed coordination function) [2] และในที่นี้จะอ้างถึงโพรโทคอลนี้โดยย่อว่า โพรโทคอลดีซีเอฟ เพื่อให้สถานีส่งสัญญาณหลาย ๆ สถานีในพื้นที่ให้บริการเดียวกันสามารถแบ่งปันและใช้งานช่องสัญญาณร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการสำคัญของโพรโทคอลดีซีเอฟ คือความพยายามในการลดปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ตให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยใช้หน้าต่างช่วงชิงที่ปรับขนาดได้

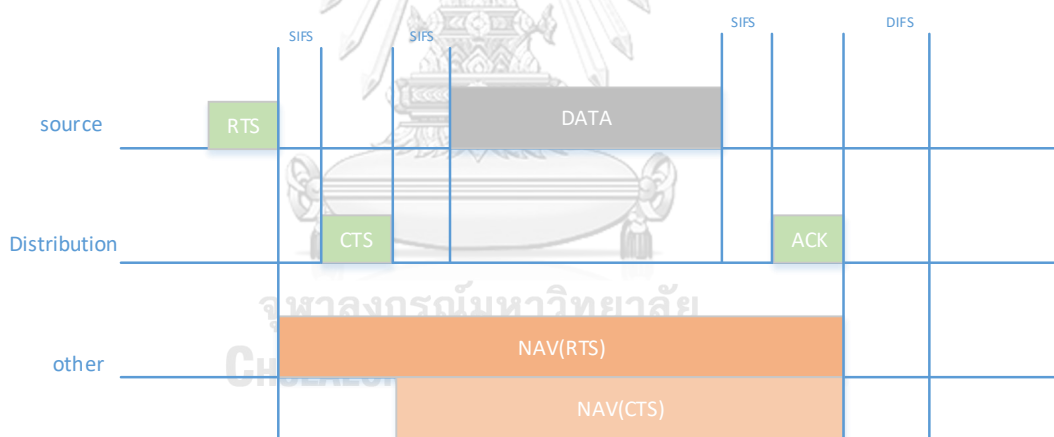


รูปที่ 2.1 เทคนิคจับมือสองทาง

ในที่นี้ จะขออธิบายการทำงานของโพรโทคอลดีซีเอฟโดยใช้ตัวอย่างการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของสถานีสองแห่ง ได้แก่ สถานี A และ B บนช่องสัญญาณเดียวกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ในตัวอย่างนี้เป็นสถานการณ์ที่สถานี B เพิ่งส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของตนเองเป็นผลสำเร็จ และได้รับแพ็กเก็ตยืนยันหรือเอซีเค(ACK) จากภาครับปลายทาง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้และยืนยันว่าการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของสถานี B สำเร็จ สถานี B มีความประสงค์จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลใหม่ต่อเนื่องอีกครั้ง ในกรณีของสถานี B หากต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลใหม่อีกครั้ง นอกจากจะต้องรอให้ช่องสัญญาณว่างลงเป็นเวลานานเท่ากับ (distributed interframe space ,DIFS) ยังต้องดำเนินกลไกการแบล็กออฟอย่างสุ่ม (random backoff time) ตามขนาดหน้าต่างช่วงชิงต่ำสุด (minimal contention window, W_{min}) กล่าวคือให้สถานี B เลือกตัวเลขอย่างสุ่มในช่วง $[0, W_{min}-1]$ เป็นค่าตั้งต้น สำหรับการนับถอยหลังลงทีละหนึ่งทุก ๆ ช่วงเวลาสล็อตที่ผ่านไปโดยที่ยังพบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่ ในตัวอย่างนี้สถานี B เลือกตัวเลข 8 เป็นค่าตั้งต้น ในระหว่างที่สถานี B กำลังลดค่าตัวเลขที่นับลงทีละหนึ่ง สถานี A ก็มีความ

ประสงค์จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลด้วยเช่นกัน สถานี A จึงตรวจสอบสถานะของช่องสัญญาณว่ามีการใช้งานอยู่หรือไม่เป็นระยะเวลา ดีไอเอฟเอส ในลักษณะเดียวกับที่สถานี B ทำ หากแต่สถานี A สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของตนเองออกได้ทันทีโดยไม่ต้องดำเนินการตามกลไกแบล็กออฟเพราะเป็นการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลครั้งแรก ในจังหวะเวลาที่สถานี A ส่งแพ็กเก็ตของตนเองออกนั้น สถานี B นับค่าลดลงถึง 5 ซึ่งเมื่อตรวจพบว่าช่องสัญญาณมีการใช้งานอยู่ก็จะหยุดกระบวนการนับถอยหลัง (frozen backoff time) และหยุดการทำงานชั่วคราวเป็นเวลานานเท่ากับความยาวของแพ็กเก็ตข้อมูล ความยาวของเวลาเอสไอเอฟเอส (short interframe space, SIFS) และความยาวของแพ็กเก็ต เอซีเค หลังจาก สถานี A สิ้นสุดการส่งแพ็กเก็ตของตนเองแล้ว สถานี B จึงเริ่มกลับมานับถอยหลังต่อจนถึงเลข 0 สถานีก็จะสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้อีกครั้ง

จากที่กล่าวอธิบายมาข้างต้นนั้นจะเรียกว่า เทคนิคการจับมือสอง (two-way handshaking technique) เป็นการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลการเข้าถึงขั้นพื้นฐาน ดีซีเอฟ ได้กำหนดเทคนิคการจับมืออีกรูปแบบหนึ่งขึ้นมาก็คือเทคนิคจับมือสี่ทาง (four-way handshaking technique) เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่ดีขึ้นกว่าเดิม กลไกนี้รู้จักกันในชื่อ อาร์ทีเอส / ซีทีเอส แสดงในรูปที่ 2.2 ประกอบ



รูปที่ 2.2 เทคนิคจับมือสี่ทาง

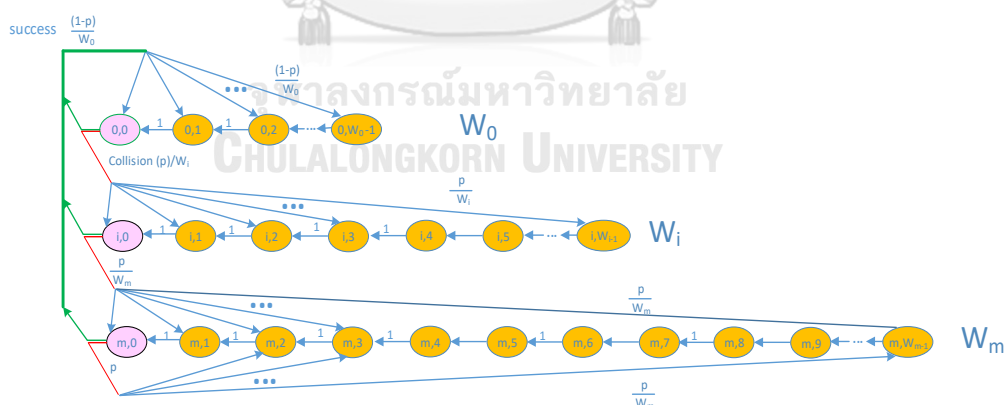
จากรูปจะเห็นได้ว่ามีแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะต้องทำการส่งสถานีจะทำการรอกจนกว่าช่องจะรับรู้ว่าจะไม่มีการใช้งานและว่างเท่ากับ ดีไอเอฟเอส และทำตามเงื่อนไขของดำเนินกลไกการแบล็กออฟ จากนั้นแทนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลทันทีทันใดแบบเทคนิคการจับมือสอง แต่ในเทคนิคแบบสี่ทิศทางจะทำการส่งเฟรมสั้นพิเศษออกไปที่สถานีรับ เรียกว่า อาร์ทีเอสหรือขอส่ง (request to send ,RTS) เมื่อสถานีรับสัญญาณตรวจพบเฟรม อาร์ทีเอส และทางช่องสัญญาณทางสถานีรับนั้นว่าง จะทำการตอบสนองตามหลังช่วงช่องสัญญาณ เอสไอเอฟเอส พร้อมกับเฟรมสั้นๆก็คืออนุญาตส่งหรือซีทีเอส (clear to send ,CTS) เมื่อสถานีส่งได้รับเฟรม ซีทีเอส จะได้รับอนุญาตให้ทำการส่งได้ ก็จะทำการส่ง

ข้อมูล ในส่วนของเฟรม อาร์ทีเอส และ ซีทีเอส นั้นจะมีข้อมูลความยาวของแพ็กเก็ตที่จะส่ง ข้อมูลนี้ จะสามารถทำการอ่านได้ในทุกๆสถานะที่ต้องการทำการส่ง ซึ่งจะมีการอัปเดตเวกเตอร์การจักรสรร เครือข่ายเสมอ(Network allocation vector ,NAV) ดังนั้นเมื่อมีสถานะที่ซ่อนอยู่จากสถานะที่ต้องการ ส่งหรือสถานะรับสัญญาณโดนการตรวจจับเพียงเฟรมเดียวระหว่างเฟรม อาร์ทีเอส และ ซีทีเอส ก็จะสามารถชะลอการส่งต่อได้อย่างเหมาะสมและหลีกเลี่ยงการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะชนกันได้

เทคนิคแบบจับมือสี่ทางหรือ กลไก อาร์ทีเอส / ซีทีเอส มีประสิทธิภาพมากในแง่ของ ประสิทธิภาพของระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการพิจารณาแพ็กเก็ตข้อมูลขนาดใหญ่ที่จะทำการส่ง เนื่องจากจะช่วยลดความยาวของเฟรมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการช่วงชิงการส่ง

2.1.1. การวิเคราะห์แบบจำลองมาคอฟเชนโพรโทคอล 802.11

การวิเคราะห์แบบจำลองของโพรโทคอล IEEE802.11 [2] , [9] สามารถทำได้โดยใช้ แบบจำลองมาคอฟเชนแบบดิสครีตทางเวลา (discrete-time Markov chain) โดยมีข้อสมมติฐานว่า สามารถจำลองสถานะของสถานีแต่ละสถานีแยกจากกันได้ แบบจำลองของสถานีหนึ่งสถานีได้แสดงไว้ ในตัวอย่างรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบสถานะที่แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกคือสถานะของสถานีที่อยู่ใน แฉวแรก มีทั้งหมด W_0 สถานะ กลุ่มที่สองคือสถานะของสถานีที่อยู่ในแฉวที่สอง มีทั้งหมด W_i สถานะ ซึ่งในสถานะแฉวที่สองจะขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเป็นสองเท่าของหน้าต่างช่วงชิงของสถานะแรก กลุ่มที่สามคือสถานะของสถานีที่อยู่ในแฉวที่สาม มีทั้งหมด W_m สถานะซึ่งจะมีหน้าต่างช่วงชิงเป็น สองเท่าของหน้าต่างช่วงชิงในสถานะที่สอง



รูปที่ 2.3 แบบจำลองมาคอฟเชนสำหรับแบล็กออฟวินโดวไซด์

จากรูปที่ 2.3 จะสามารถกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเขียนเป็นสมการ คณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P\{i, k | i, k+1\} = 1 \quad k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \quad (2.1)$$

$$P\{0, k | i, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0} \quad k \in (0, W_0 - 1) \quad i \in (0, m) \quad (2.2)$$

$$P\{i, k | i-1, 0\} = \frac{P}{W_i} \quad k \in (0, W_i - 1) \quad i \in (1, m) \quad (2.3)$$

$$P\{m, k | m, 0\} = \frac{P}{W_m} \quad k \in (0, W_m - 1) \quad i \in (0, m) \quad (2.4)$$

สมการที่ (2.1) เป็นค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสถานะที่อยู่ภายในระดับเดียวกัน สามารถเขียนแยกเป็นสมการย่อยสำหรับค่า k แต่ละค่าเพื่อให้เห็นภาพเข้าใจได้ง่ายขึ้น

$$P\{i, 0 | i, 1\} = 1 \quad i \in (0, m)$$

$$P\{i, 1 | i, 2\} = 1 \quad i \in (0, m)$$

⋮

$$P\{i, W_0 - 2 | i, W_0 - 1\} = 1 \quad i \in (0, m)$$

สมการเหล่านี้ระบุว่าสถานะนี้จะเปลี่ยนสถานะจาก $i, k+1$ ไปสู่สถานะ i, k ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 มีความหมายว่าสถานะของสถานีจะขยับจากสถานะด้านขวามือไปทางซ้ายทุกครั้งที่เวลาของระบบผ่านไปหนึ่งโหม้สล็อต

สมการที่ (2.2) เป็นค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสถานะที่อยู่ ณ ตำแหน่งซ้ายมือสุดของแต่ละกลุ่มไปยังสถานะในกลุ่มที่หนึ่ง ตัวอย่างเช่น สถานีมีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะ 0 ของกลุ่มที่หนึ่ง ไปยังสถานะทุกสถานะในกลุ่มที่หนึ่ง

$$P\{0, 0 | 1, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0}$$

$$P\{0, 1 | 1, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0}$$

$$P\{0, W_0 - 1 | 1, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0}$$

สมการเหล่านี้จะระบุว่าความสำเร็จจะวนกลับเขาสถานะในกลุ่มแรกดังสมการ $0, k$ ไป $0, k+1$ ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{(1-p)}{W_0}$ มีความหมายว่าสถานะของสถานีจากด้านซ้ายมือจะขยับวนกลับเข้าที่เดิมหรือที่อื่นในกลุ่มแรก

สมการที่ (2.3) เป็นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสถานะที่อยู่ในแถวลำดับที่สอง เป็นต้นไป สามารถเขียนแยกเป็นสมการย่อยของค่า i ได้ดังนี้

$$P\{2, k | 1, 0\} = \frac{P}{W_i}$$

$$P\{3, k | 2, 0\} = \frac{P}{W_i}$$

$$\vdots$$

$$P\{i, k | i-1, 0\} = \frac{P}{W_i}$$

สมการเหล่านี้จะระบุว่าเปลี่ยนสถานะในกรณีที่สถานะนี้สำเร็จและมีการขยายหน้าต่างช่วง
ซึ่งขึ้น ด้วยความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ $\frac{P}{W_i}$

สมการที่ (2.4) เป็นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของสถานะภายในระดับเดียวกันใน
สถานะสุดท้าย สามารถเขียนแยกเป็นสมการย่อยของค่า k ได้ดังนี้

$$P\{m, 0 | m, 0\} = \frac{P}{W_m}$$

$$P\{m, 1 | m, 0\} = \frac{P}{W_m}$$

$$\vdots$$

$$P\{m, k | m, 0\} = \frac{P}{W_m}$$

สมการเหล่านี้จะระบุว่าเปลี่ยนสถานะของสถานะที่อยู่ในแถวด้านซ้ายสุดในกลุ่มสุดท้าย

$$P\{m, k | m, 0\} = \frac{P}{W_m} \quad k \in (0, W_m - 1) \quad i \in (0, m)$$

เมื่อแบบจำลองมาร์คอฟเข้าสู่สถานะอยู่ตัวก็จะสามารถสร้างสมการสมดุลโดยรวม (global balance equation) โดยดูที่ค่าสถานะ $m = 0$

$$\text{สถานะ } (0, 0) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,0} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,1}$$

$$\text{สถานะ } (0, 1) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,1} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,2}$$

$$\text{สถานะ } (0, 2) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,2} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,3}$$

$$\text{สถานะ } (0, 3) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,3} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,4}$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\text{สถานะ } (0, 14) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,14} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,15}$$

$$\text{สถานะ } (0, 15) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,15} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะข้างต้น ได้ดังต่อไปนี้

สถานะ (0,0) สมการสมดุลคือ $b_{0,0} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,1}$ นำค่าสถานะ (0,1) มาแทนตัว

แปรลง สถานะ (0,0) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{0,0} = 16\left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$

สถานะ (0,1) สมการสมดุลคือ $b_{0,1} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,2}$ นำค่าสถานะ (0,2) มาแทนตัว

แปรลง สถานะ (0,1) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{0,1} = 15\left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$

⋮

สถานะ (0,14) สมการสมดุลคือ $b_{0,14} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + b_{0,15}$ นำค่าสถานะ (0,15) มา

แทนตัวแปรลง สถานะ (0,14) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{0,14} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$

สถานะ (0,15) สมการสมดุลคือ $b_{0,15} = \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$

นำทุกสถานะมารวมกันจะได้ดังต่อไปนี้ $\sum_{k=0}^{15} b_{0,k} = b_{0,0} + b_{0,1} + \dots + b_{0,15}$

$$\sum_{k=0}^{15} b_{0,k} = 16\left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + 15\left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + \dots + \left(\frac{1-p}{W_0}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})$$

$$\sum_{k=0}^{15} b_{0,k} = (1-p)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0})\left(\frac{16}{W_0} + \frac{15}{W_0} + \dots + \frac{1}{W_0}\right)$$

$$\left(\frac{16}{W_0} + \frac{15}{W_0} + \dots + \frac{1}{W_0}\right) = \left(\frac{W_0 + 1}{2}\right) \text{ where } W_0 = 16$$

นำมาจัดรูปจะได้เป็นสมการที่ (1) ดังนี้

$$\sum_{k=0}^{15} b_{0,k} = (1-p)\left(\frac{W_0 + 1}{2}\right)(b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) \text{-----(1)}$$

เมื่อแบบจำลองมาคอฟเข้าสู่สถานะอยู่ตัวก็จะสามารถสร้างสมการสมดุลโดยรวม (global balance equation) โดยดูที่ค่าสถานะ $m = 1$

$$\text{สถานะ (1,0) สมการสมดุลคือ } b_{1,0} = b_{1,1} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$$

$$\text{สถานะ (1,1) สมการสมดุลคือ } b_{1,1} = b_{1,2} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$$

$$\text{สถานะ (1,2) สมการสมดุลคือ } b_{1,2} = b_{1,3} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$$

⋮

สถานะ (1,30) สมการสมมูลคือ $b_{1,2} = b_{1,3} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$

สถานะ (1,31) สมการสมมูลคือ $b_{1,31} = \frac{p}{W_1} b_{0,0}$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะข้างต้น ได้ดังต่อไปนี้

สถานะ (1,0) สมการสมมูลคือ $b_{1,0} = b_{1,1} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$ นำค่าสถานะ (1,1) มาแทนตัวแปรลง

สถานะ (1,0) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{1,0} = \frac{32}{W_1} pb_{0,0}$

สถานะ (1,1) สมการสมมูลคือ $b_{1,1} = b_{1,2} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$ นำค่าสถานะ (1,2) มาแทนตัวแปรลง

สถานะ (1,1) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{1,1} = \frac{31}{W_1} pb_{0,0}$

สถานะ (1,2) สมการสมมูลคือ $b_{1,2} = b_{1,3} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$ นำค่าสถานะ (1,3) มาแทนตัวแปรลง

สถานะ (1,2) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{1,2} = \frac{30}{W_1} pb_{0,0}$

⋮

สถานะ (1,30) สมการสมมูลคือ $b_{1,30} = b_{1,31} + \frac{p}{W_1} b_{0,0}$ นำค่าสถานะ (1,31) มาแทน

ตัวแปรลง สถานะ (1,0) จะได้ดังต่อไปนี้ $b_{1,30} = \frac{2}{W_1} pb_{0,0}$

สถานะ (1,31) สมการสมมูลคือ $b_{1,31} = \frac{p}{W_1} b_{0,0}$

นำทุกสถานะมารวมกันจะได้ดังต่อไปนี้ $\sum_{k=0}^{31} b_{1,k} = b_{1,0} + b_{1,1} + b_{1,2} + \cdots + b_{1,31}$

$$\sum_{k=0}^{31} b_{0,k} = \frac{32}{W_1} pb_{0,0} + \frac{31}{W_1} pb_{0,0} + \cdots + \frac{1}{W_1} pb_{0,0}$$

$$\sum_{k=0}^{31} b_{0,k} = pb_{0,0} \left(\frac{32}{W_1} + \frac{31}{W_1} + \cdots + \frac{1}{W_1} \right)$$

นำมาจัดรูปจะได้เป็นสมการที่ (2) ดังนี้

$$\sum_{k=0}^{31} b_{0,k} = pb_{0,0} \left(\frac{2W_1 + 1}{2} \right) \quad \text{ที่ } W_1 = 32 \text{-----(2)}$$

เมื่อแบบจำลองมารคอฟเข้าสู่สถานะอยู่ตัวก็จะสามารถสร้างสมการสมดุลโดยรวม (global balance equation) โดยดูที่ค่าสถานะ $m = 2$

$$\text{สถานะ (2,0) สมการสมดุลคือ } b_{2,0} = b_{2,1} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0}$$

$$\text{สถานะ (2,1) สมการสมดุลคือ } b_{2,1} = b_{2,2} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0}$$

$$\text{สถานะ (2,2) สมการสมดุลคือ } b_{2,2} = b_{2,3} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0}$$

⋮

$$\text{สถานะ (2,62) สมการสมดุลคือ } b_{2,62} = b_{2,63} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0}$$

$$\text{สถานะ (2,63) สมการสมดุลคือ } b_{2,63} = \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0}$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะข้างต้น ได้ดังต่อไปนี้

$$\text{สถานะ (2,0) สมการสมดุลคือ } b_{2,0} = b_{2,1} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0} \text{ นำค่าสถานะ (2,1) มาแทน}$$

$$\text{ตัวแปรลง สถานะ (2,0) จะได้ดังต่อไปนี้ } b_{2,0} = \frac{64}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

$$\text{สถานะ (2,1) สมการสมดุลคือ } b_{2,1} = b_{2,2} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0} \text{ นำค่าสถานะ (2,2) มาแทนตัว}$$

$$\text{แปรลง สถานะ (2,1) จะได้ดังต่อไปนี้ } b_{2,1} = \frac{63}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

$$\text{สถานะ (2,2) สมการสมดุลคือ } b_{2,2} = b_{2,3} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0} \text{ นำค่าสถานะ (2,3) มาแทนตัว}$$

$$\text{แปรลง สถานะ (2,2) จะได้ดังต่อไปนี้ } b_{2,2} = \frac{62}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

⋮

$$\text{สถานะ (2,62) สมการสมดุลคือ } b_{2,62} = b_{2,63} + \frac{p}{W_2} b_{1,0} + \frac{p}{W_2} b_{2,0} \text{ นำค่าสถานะ}$$

$$(2,63) \text{ มาแทนตัวแปรลง สถานะ (2,62) จะได้ดังต่อไปนี้ } b_{2,62} = \frac{2}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

$$\text{สถานะ (2,63) สมการสมดุลคือ } b_{2,63} = \frac{1}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

นำทุกสถานะมารวมกันจะได้ดังต่อไปนี้

$$\sum_{k=0}^{63} b_{1,k} = b_{1,0} + b_{1,1} + b_{1,2} + \cdots + b_{1,63}$$

$$\sum_{k=0}^{63} b_{0,k} = \frac{64}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0}) + \frac{63}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0}) + \cdots + \frac{1}{W_2} p(b_{1,0} + b_{2,0})$$

$$\sum_{k=0}^{63} b_{0,k} = p(b_{1,0} + b_{2,0}) \left(\frac{64}{W_2} + \frac{63}{W_2} + \dots + \frac{1}{W_2} \right)$$

$$\sum_{k=0}^{63} b_{0,k} = p(b_{1,0} + b_{2,0}) \left(\frac{4W_2 + 1}{2} \right) \quad \text{ที่ } W_2 = 64 \text{ -----(3)}$$

จากทฤษฎีของมาคอฟเชนจะทำให้ได้ว่าผลรวมองสมการทั้งหมดเท่ากับ 1 ดังต่อไปนี้

$$\sum_{k=0}^{15} b_{0,k} + \sum_{k=0}^{31} b_{1,k} + \sum_{k=0}^{63} b_{2,k} = 1$$

และทำการใช้สมการที่ 1,2,3 เข้าไปแทนสมการผลรวมได้ดังต่อไปนี้

$$(1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) (b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0}) + pb_{0,0} \left(\frac{2W+1}{2} \right) + p(b_{1,0} + b_{2,0}) \left(\frac{4W+1}{2} \right) = 1$$

$$\left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{2W+1}{2} \right) \right) b_{0,0} + \left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{4W+1}{2} \right) \right) b_{1,0} + \left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{4W+1}{2} \right) \right) b_{2,0} = 1$$

ใช้สมการ $b_{1,0} = pb_{0,0}$ และใช้ $b_{2,0} = p(b_{1,0} + b_{2,0}) = \frac{p^2}{(1-p)} b_{0,0}$ จะได้ดังต่อไปนี้

$$\left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{2W+1}{2} \right) \right) b_{0,0} + \left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{4W+1}{2} \right) \right) pb_{0,0} + \left((1-p) \left(\frac{W+1}{2} \right) + p \left(\frac{4W+1}{2} \right) \right) \frac{p^2}{(1-p)} b_{0,0} = 1$$

$$\left((1-p)(W+1) + p(1-p)(2W+1) + p^2(1-p)(4W+1) + p^3(4W+1) \right) b_{0,0} = 2(1-p)$$

$$\left((W+1) - p(W+1) + p(2W+1) + 2p^2W \right) b_{0,0} = 2(1-p)$$

$$\left((W+1) + pW + 2p^2W \right) b_{0,0} = 2(1-p)$$

$$b_{0,0} = \frac{2(1-p)}{\left((W+1) + pW + 2p^2W \right)} = \frac{2(1-p)}{(W+1) + pW(1+2p)}$$

ในส่วนของถัดไปคือการคำนวณการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหรือค่าค่าทรูพุดของงาน (Performance Analysis) ของ IEEE 802.11

2.1.2. การคำนวณการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ของ IEEE 802.11

$$S = \frac{P_S P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_S T_S + P_{tr} (1 - P_S) T_C}$$

โดยที่ s แทนวิสัยสามารถของระบบปกติ

P_S = ความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ

P_{tr} = ความน่าจะเป็นในการส่งอย่างน้อย 1 สถานี

$E[P]$ = ขนาดน้ำหนักเฉลี่ยของเพย์โหลด

σ = ระยะเวลาของช่วงเวลาว่าง

T_S = เวลาโดยเฉลี่ยที่ช่องรับรู้ว่าไม่ว่าง

T_C = เวลาเฉลี่ยที่แต่ละสถานีรับรู้ว่าจะช่องไม่ว่างระหว่างการชนกัน

โดย p คือความน่าจะเป็นในการชน สามารถหาได้จากดังต่อไปนี้

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1}$$

โดย P_S หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_S = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n}$$

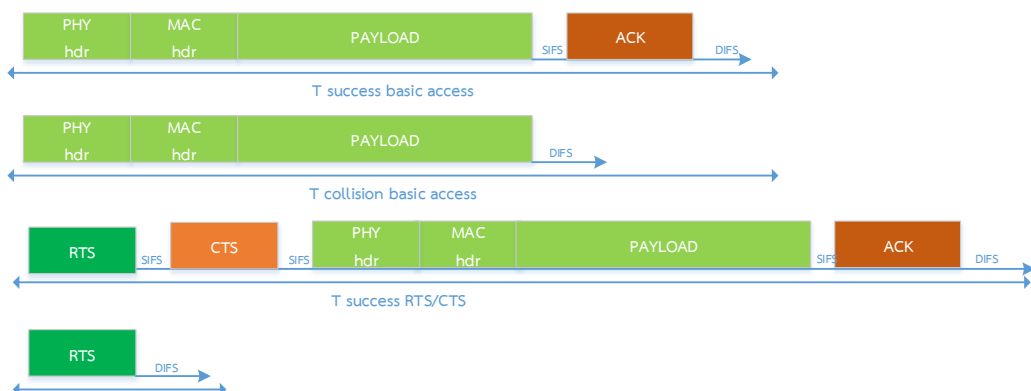
โดย τ คือความน่าจะเป็นในการส่งผ่านสำหรับสถานีช่องสถานี

$$\tau = \frac{2(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^2)}$$

โดย P_{tr} หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n$$

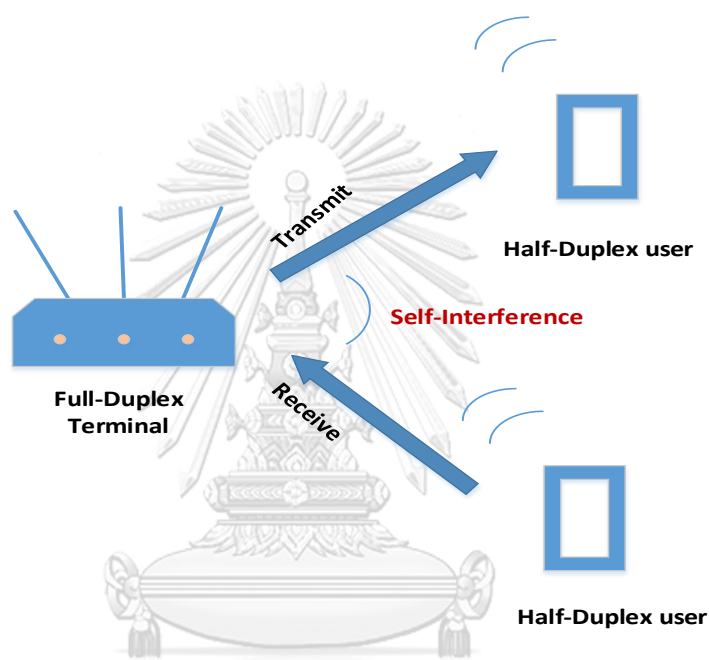
และ T_S, T_C สามารถหาได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 เวลาโดยเฉลี่ยที่ช่องรับรู้ว่าไม่ว่างและไม่ว่างระหว่างการชนกัน

2.2. โพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์

ในส่วนนี้จะสรุปคุณสมบัติหลักของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์ [3] ที่เสนอในบทความนี้ โพรโทคอลได้รับการออกแบบตามกลไกการเข้าถึงพื้นฐานที่ระบุในโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 พิจารณาระบบเครือข่ายไร้สาย ที่ เอพี ทำหน้าที่เป็นสถานีตัวกลางและสถานีโดยรอบหลายแห่งสื่อสารกับ เอพี โดยสถานีทั้งหมด (เอพี และ สถานี) ติดตั้งความสามารถของเทคนิคการสื่อสารไร้สายอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์ ช่องสล็อตตามเวลา



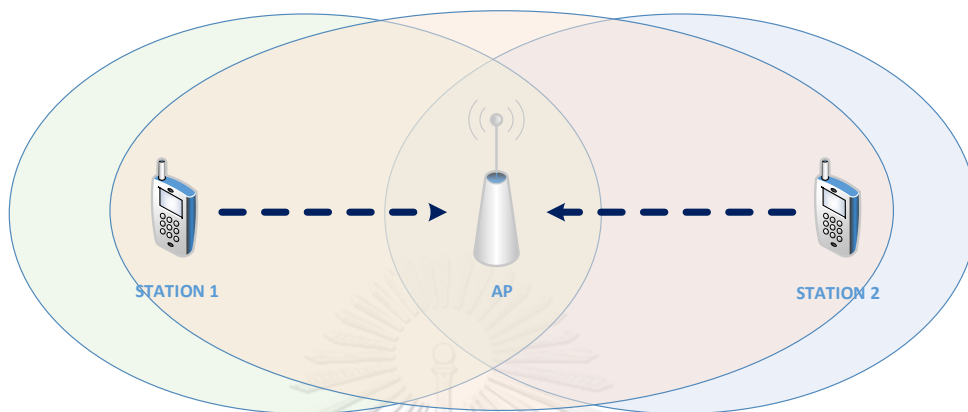
รูปที่ 2.5 ฟูลดูเพลกซ์

เทคโนโลยีไร้สายแบบอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์หรือเรียกว่าเทคนิคการสื่อสารไร้สายอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์[4] คือเทคโนโลยีที่จะช่วยให้สถานีไร้สายส่งและรับพร้อมกันในย่านความถี่เดียวกันเพื่อเพิ่มปริมาณงานของระบบสื่อสารไร้สายและเครือข่าย เทคนิคนี้กล่าวถึงความท้าทายที่สำคัญของเครือข่ายมือถือรุ่นใหม่ (5G) เช่นปริมาณงานประสิทธิภาพสเปกตรัมเวลาแฝงและการเชื่อมต่อ แต่อุปสรรคที่ใหญ่ที่สุดในการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์มาใช้คือสัญญาณการรบกวนตัวเอง (interference caused) [10, 11] คือการรบกวนที่เกิดจากการส่งสัญญาณไปยังสัญญาณที่ได้รับ บางแห่งใช้ฟรอนต์เอนด์หรือตัวดูเพลกซ์เพื่อป้องกันการรบกวนตนเองเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนตนเอง

เทคโนโลยีไร้สายแบบอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์จะสามารถทำให้สถานีสามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลและสามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในช่วงความถี่เดียวกันได้ ดังนั้น เทคโนโลยีไร้สายแบบอินแบนด์ฟูลดูเพลกซ์ จะสามารถช่วยพัฒนาทำให้เกิดประโยชน์ในหลาย ๆ อย่าง เช่น ปริมาณงานประสิทธิภาพ

สเปกตรัมเวลาแฝงและการเชื่อมต่อที่ดีขึ้น ลดการชนกันของสัญญาณเนื่องจากการซ่อนเร้นจากสถานีที่มองไม่เห็น โดยเฉพาะเนื่องจากสถานีที่เป็นฟูลดูเพลกซ์จะสามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลจากสถานีอื่นได้พร้อมกันในขณะที่ตัวสถานีกำลังส่งข้อมูล

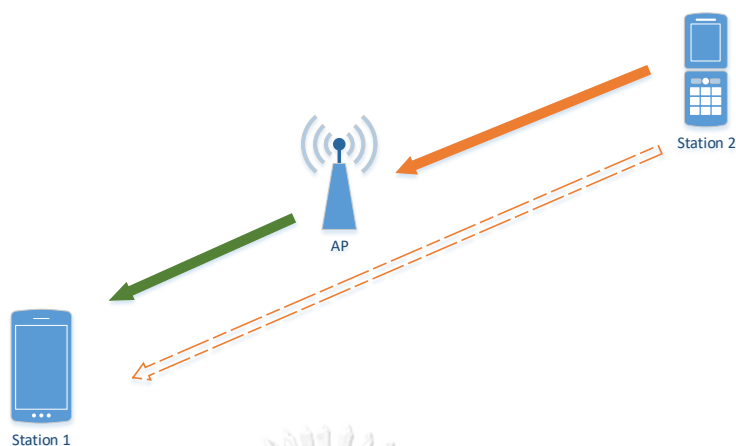
2.3. สถานีซ่อนเร้น



รูปที่ 2.6 สถานีที่ซ่อนเร้นกัน

โดยจากรูปที่ 2.6 จะเป็นตัวอย่างของสถานีที่ซ่อนเร้น(hidden station) [7] โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อสถานีที่ 1 ทำการส่ง รัศมีการรับรู้ของสถานีที่ 1 จะครอบคลุมแค่ตัว เอพี แต่จะไม่สามารถเห็นได้ว่ามี สถานีที่ 2 อยู่ในช่องสัญญาณด้วย เมื่อทำการส่งออกไปเวลาพร้อมกับสถานีที่ 2 ทำการส่งข้อมูลนั้นก็มีสิทธิ์ที่จะชนกันได้เพราะอีกสถานี(สถานีที่ 2) ก็คิดว่าช่องสัญญาณว่าง เมื่อเกิดการชนกันของข้อมูลนั้นแล้ว จะทำให้การส่งข้อมูลนั้นไม่สำเร็จและสูญเสียเวลาและต้องทำการส่งใหม่อีกครั้ง โดยการส่งใหม่อีกครั้งก็มีโอกาสที่จะชนได้เหมือนเดิม และจะทำให้ค่าทรูพุตของงานนั้นมีค่าที่ได้น้อยมาก หรือก็คือค่าการส่งสำเร็จที่ได้จะมีค่าน้อยมาก นั่นจึงเป็นปัญหาสำคัญของการที่มีสถานีซ่อนเร้นจากช่องสัญญาณในการส่ง

2.4. ผลกระทบจากการยึดได้



รูปที่ 2.7 สัญญาณรบกวนจากสถานีอื่น

ในการเข้าถึงแบบสุ่มหากมีการส่งมากกว่าหนึ่งเฟรมพร้อมกันจะเกิดการชนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ได้ทำลายทุกเฟรมเสมอไป หากกำลังรับของเฟรมที่ชนกันมีขนาดใหญ่พอกว่าอีกเฟรมหนึ่งผู้รับจะสามารถถอดรหัสเฟรมนี้ได้อย่างถูกต้อง กระบวนการรับเฟรมจากการชนเฟรมดังกล่าวเรียกว่าผลกระทบจากการยึดได้ (capture effect) [6, 12] โดยปกติถ้าเฟรมที่แข็งแกร่งกว่าเฟรมอื่นจะง่ายต่อการถอดรหัสเฟรมนี้เนื่องจากตัวรับสัญญาณได้รับการซิงโครไนซ์กับเฟรมแรกแล้ว อย่างไรก็ตามหากเฟรมที่อ่อนแอกว่ามาก่อนจำเป็นต้องมี MIM [13] เพื่อถอดรหัสเฟรมที่แข็งแกร่งกว่า ในกรณีนี้เนื่องจากตัวรับได้รับการซิงโครไนซ์กับเฟรมที่อ่อนแอกว่าความแรงของสัญญาณของเฟรมที่แข็งแกร่งจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าเฟรมที่อ่อนแอกว่าเพื่อให้ตัวรับสามารถซิงโครไนซ์กับตัวรับที่แข็งแกร่งกว่าเพื่อใช้ผลกระทบจากการยึดได้ เนื่องจากเครื่องรับต้องใช้เวลาระยะหนึ่งเพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ แม้ว่าเฟรมที่แข็งแกร่งจะมาถึงก่อนหน้าก็จำเป็นต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าระยะเวลาอคอยเพียงพอ แสดงให้เห็นว่าแม้แต่สองเฟรมก็มาพร้อมกันผลกระทบจากการยึดได้ อาจยังคงประสบความสำเร็จในเครือข่าย 802.11

โดยจากในภาพที่ 2.7 แสดงจะเห็นได้ว่าการที่สถานีที่ 2 ทำการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี จะมีสัญญาณรบกวนซึ่งมากระทบกับตัวสถานีที่ 1 ในขณะเวลาเดียวกันกับที่สถานีที่ 1 กำลังได้รับข้อมูลของ เอพี โดยปกติทั่วไปเหตุการณ์แบบนี้จะทำให้การได้รับข้อมูลของตัวสถานีที่ 1 มีปัญหาเพราะจะได้รับข้อมูลที่รับมาจากการได้ยินของสถานีที่ 2 พร้อมกัน และจะทำให้การได้รับข้อมูลไม่ได้ อันเกิดมาจากการรบกวนกันของสัญญาณ

โดยจะนำเรื่อง ผลกระทบจากการยึดได้เข้ามาช่วย คือการจะกำหนดค่าที่ควรได้ยินของผลกระทบจากการยึดได้ ที่มากกว่าเท่าไรถึงจะทำให้สถานีปลายทางสามารถรับข้อมูลจากตัว เอพี ได้(อยู่ในการทดลองในบทที่5) จะทดลองให้สถานีใดที่จะสามารถแยกการรับเสียงจากสถานีตัวที่ส่งได้

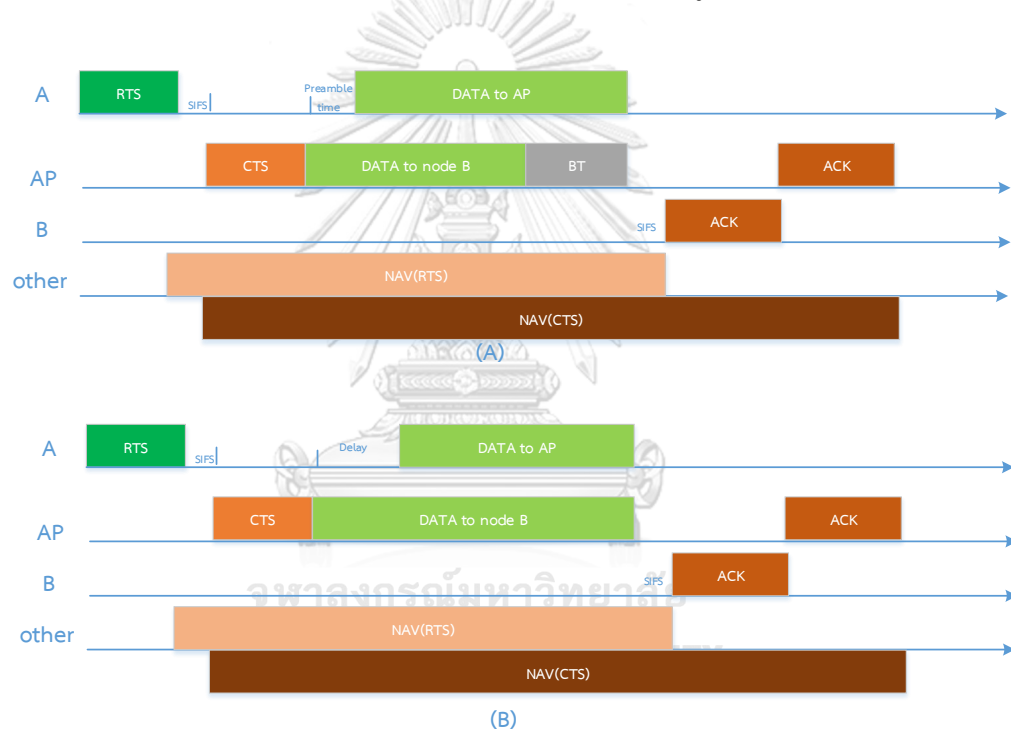
จะต้องมีค่าการไถ่คืนที่มากกว่าค่าค่าผลกระทบจากการยึดได้ ที่ได้ทำการตั้งไว้ โดยในโปรแกรมจำลองได้กำหนดค่าผลกระทบจากการยึดได้ไว้ที่ 5 ด้วยกัน โดยการมองของสัญญาณนั้นในโปรแกรมจะสมมุติฐานการมองเป็นระยะทางที่ห่างกันของสถานี

ในงานวิจัยนี้สนใจเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของฟลูดูเพลกซ์และฮาร์ฟดูเพลกซ์ โดยในส่วนถัดไปของเนื้อหาจะเป็นการนำเสนอโพรโทคอลที่เป็นการทำงานร่วมกันของ ฟลูดูเพลกซ์และฮาร์ฟดูเพลกซ์ก็คือ โพรโทคอลเอ-ดูเพลกซ์(A-Duplex)



2.5. โพรโทคอล เอ-ดูเพลกซ์

โพรโทคอล ที่เรียกว่า เอ-ดูเพลกซ์ [5] ได้รับการออกแบบมาสำหรับการสื่อสารไร้สาย เอพี มีความสามารถในการทำดูเพลกซ์เต็มรูปแบบ แต่สถานีทั้งหมดสามารถทำงานได้ในโหมด ฮาล์ฟดูเพลกซ์เท่านั้น ในการใช้ความสามารถแบบฟูลดูเพลกซ์ในการสื่อสารไร้สายนี้จำเป็นต้องสร้างลิงค์คู่แบบอสมมาตร ดังที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ การส่งข้อมูลจะต้องให้เอพี ไปยังสถานีปลายทาง จำเป็นต้องเริ่มต้นก่อน อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานีอยู่ในโหมดฮาล์ฟดูเพลกซ์เมื่อตรวจพบการส่งข้อมูลดังกล่าวจะถือว่าช่องสัญญาณไม่ว่างและไม่สามารถเริ่มการเชื่อมโยงที่สองกับ เอพี ได้ โดยในการแก้ไขปัญหานี้กลไก อาร์ทีเอส / ซีทีเอส จะถูกเพิ่มเข้าไปในโพรโทคอล เพื่อเริ่มการเชื่อมโยงที่สามารถเริ่มการเชื่อมโยงระหว่าง เอพี ถึง สถานีได้ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



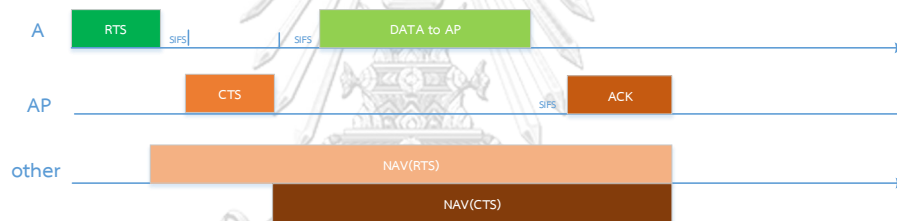
รูปที่ 2.8 เอ-ดูเพลกซ์ (a) สถานการณ์ “AP-short” (b) สถานการณ์ “AP longer”

โดยขั้นตอนในการตั้งค่าลิงค์ฟูลดูเพลกซ์จะเริ่มต้นด้วยเฟรม อาร์ทีเอส โดยสถานีเสมอ ดังนั้น เอพี จึงไม่สร้างเฟรม อาร์ทีเอส ใด ๆ แต่ได้แค่ตอบสนองต่อด้วยเฟรม ซีทีเอส โดยจะสามารถเกิดได้ 3 กรณี เมื่อสถานีได้รับผ่านเฟรม อาร์ทีเอส จำเป็นต้องพิจารณาสองกรณี: 1) เอพี สามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีอื่นเพื่อสร้างฟูลดูเพลกซ์ 2) เอพี ไม่มีข้อมูลสำหรับสถานีอื่น กรณีที่สามคือ เอพี ได้รับช่องสัญญาณก่อน

กรณีแรกแสดงในรูปที่ 2.8 สถานี A ส่งเฟรม อาร์ทีเอส ไปยัง เอพี ก่อน เมื่อ เอพี พบว่ามีแพ็กเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับสถานี B ดังนั้น เอพี จะตอบกลับเฟรม ซีทีเอส ไปยังสถานี A

จากนั้นส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังสถานี B เมื่อสถานี A ได้รับเฟรม ซีทีเอส พบว่าระยะเวลาในเฟรม ซีทีเอส นานกว่าระยะเวลา ดังนั้นสถานี A จึงรู้ว่า เอพี ตั้งใจที่จะสร้างฟูลดูเพล็กซ์ จากนั้นสถานี A ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง เอพี หลังจากผ่านไประยะหนึ่งซึ่งอย่างน้อยก็นานกว่าเวลาพีแอมป์เบิ้ล ซึ่งมีสองสถานการณ์ในกรณีนี้ หากเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก เอพี ไปยังสถานี B สั้นกว่าเวลาส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของลิงค์อื่นบวกกับเวลาพีแอมป์เบิ้ลตามที่แสดงโดยสถานการณ์ "AP-short" ในรูปที่ 8 (a) ดังนั้น จะทำให้ เอพี ส่งสัญญาณไม่ว่าง(busytone) เพื่อให้แน่ใจว่าการส่งสองครั้งเสร็จสิ้นในเวลาเดียวกัน

มีฉะนั้นตามที่แสดงโดยสถานการณ์ "AP longer" ในรูปที่ 8 (b) สถานี A จะชะลอการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเป็นเวลาหนึ่งพอสสมควรเพื่อให้การส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสองครั้งเสร็จสิ้นพร้อมกัน เมื่อสถานี A และ เอพี เสร็จสิ้นการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล สถานี B จะส่งคืนเฟรม เอซีเค ไปยัง เอพี ก่อนจากนั้น เอพี จะส่งคืนเฟรม เอซีเค ไปยังสถานี A เมื่อได้รับเฟรม เอซีเค จากสถานี B เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของ เอ-ดูเพล็กซ์ นั้นถูกต้อง ระยะเวลาใน อาร์ทีเอส และ ซีทีเอส ต้องได้รับการคำนวณอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.9 การสร้างโดยปราศจากฟูลดูเพล็กซ์

ในกรณีที่สองเมื่อ เอพี ไม่มีข้อมูลสำหรับสถานี ดังนั้นขั้นตอนการดำเนินการจะแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อ เอพี ไม่พบแพ็กเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับสถานีอื่น ๆ ทั้งหมดจะตอบกลับเฉพาะเฟรม ซีทีเอส เท่านั้น จากกรอบ ซีทีเอส สถานี A พบว่าระยะเวลาในเฟรม ซีทีเอส เท่ากันกับระยะเวลา ดังนั้น สถานี A จึงรู้ว่า เอพี จะไม่สร้างฟูลดูเพล็กซ์ ดังนั้นสถานี A จึงเพียงชะลอเวลา เอสไอเอฟเอส จากนั้นจึงเริ่มการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อ เอพี ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูล เอพี จะส่งคืน เอซีเค ไปยังสถานี A ในกรณีที่สาม เอพี อาจได้รับช่องสัญญาณก่อนโดยการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลโดยไม่มี การแลกเปลี่ยน อาร์ทีเอส / ซีทีเอส โดยไม่สามารถตั้งค่าฟูลดูเพล็กซ์ได้ในกรณีนี้ด้วยเหตุผลสองประการ ประการแรกสถานีไม่รองรับการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถสร้างฟูลดูเพล็กซ์แบบสมมาตรได้ ประการที่สองสถานีไม่สามารถตัดสินใจกันเองได้ว่าอันไหนสามารถเริ่มลิงค์แบบสมมาตรเพื่อสำรวจผลกระทบจากการยึดได้ ได้ หาก เอพี ดำเนินการตัดสินใจแล้วสถานะคิวตลอดจนความยาวของแพ็กเก็ตข้อมูลแรกในคิวของสถานีแต่ละรายจะต้องถูกรายงานไปยัง เอพี เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนดังกล่าวการตั้งค่าฟูลดูเพล็กซ์จะไม่มีในกรณีที่สาม

2.5.1. การคำนวณการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

โดยในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ทราฟฟิค (Saturation throughput) [5] ของ เอ-ดูเพลกซ์ เพื่อศึกษาการปรับปรุงปริมาณงานผ่าน 802.11 ดีซีเอฟ “ Saturation” หมายถึง เอพี และสถานีมีข้อมูลสำหรับส่งเสมอ โดยงานวิจัยบอกว่าประสิทธิภาพของโพรโทคอล 802.11 จะถูกวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองมาครอฟเซน โดยการวิเคราะห์เดียวกันสามารถนำมาใช้ได้ที่นี่ แต่ต้องพิจารณาความแตกต่างที่สำคัญสองประการใน เอ-ดูเพลกซ์ ชั้นแรกเมื่อสถานีและ เอพี ซนกัน สถานียังคงสามารถรับช่องสัญญาณได้สำเร็จเนื่องจากความสามารถฟูลดูเพล็กซ์เต็มรูปแบบที่ เอพีประการที่สองผลกระทบจากการยึดได้ มีอยู่ใน เอ-ดูเพลกซ์

ในระบบที่ใช้งานได้จริงเครือข่ายมาครอฟเซนของ เอพี และสถานีอาจแตกต่างกันเนื่องจากหน้าตาการแข่งขันสำหรับพวกเขาแตกต่างกัน ตั้งค่าหน้าต่างช่วงชิงขั้นต่ำ W_0 และสูงสุด $2^{m_0}W_0$ สำหรับ เอพี และหน้าต่างช่วงชิงขั้นต่ำ w และสูงสุด $2^m w$ สำหรับสถานี หลังจากการวิเคราะห์มาครอฟเซน สามารถรับ P_t คือความน่าจะเป็นในการส่งผ่านสำหรับสถานีในช่องเป็น

$$P_t = \frac{2}{1 + W = pW \sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i}$$

โดยที่ p คือ ความน่าจะเป็นของการชนกันตามเงื่อนไขสำหรับสถานี

ใน เอ-ดูเพลกซ์ การส่งข้อมูลที่ประสบความสำเร็จจากสถานีจะเกิดขึ้นเมื่อสถานีรายใดรายหนึ่งได้รับช่องไม่ว่า เอพี จะได้รับช่องหรือไม่ก็ตาม ดังนั้น p สามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$P = 1 - (1 - P_t)^{N-1}$$

โดยที่ N คือจำนวนของสถานี

ต่อมาในทิศทางเดียวกัน จะกำหนด P_{t0} คือความน่าจะเป็นในการส่งผ่านสำหรับ เอพี ได้ดังนี้

$$P_{t0} = \frac{2}{1 + W_0 = pW_0 \sum_{i=0}^{m-1} (2P_0)^i}$$

โดยที่ P_0 คือความน่าจะเป็นของการชนกันตามเงื่อนไขของ เอพี ดังต่อไปนี้

$$P_0 = 1 - (1 - P_{t0})^N$$

เนื่องจาก เอพี ส่งสัญญาณสำเร็จเมื่อสถานีทั้งหมดนิ่งเฉย

โดยทราฟฟิค S สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$S = \frac{(P_A + P_C + P_C P_{Ca})E\{L_p\}}{(1 - P_{tr})T_{slot} + P_A T_{s1} + P_C T_{s2} + P_C P_{Ca} T_{add} + P_{col} T_c}$$

โดยที่ P_{tr} คือความน่าจะเป็นของการส่งอย่างน้อย 1 สถานี

P_A และ P_C ถูกกำหนดให้เป็นความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จที่ เอพี และสถานีตามลำดับ

P_{Ca} คือความน่าจะเป็นเฉลี่ยของผลกระทบจากการยึดได้

P_{col} คือความน่าจะเป็นในการชนกัน

T_{s1} และ T_{s2} เป็นเวลาเฉลี่ยของการส่งข้อมูลที่ประสบความสำเร็จสำหรับ เอพี และสำหรับสถานีตามลำดับ

T_{add} เป็นเวลาเพิ่มเติมสำหรับเอฟเฟกต์การจับ

T_c คือเวลาชนกัน

$E\{L_p\}$ คือขนาดน้ำหนักรวมเฉลี่ยในเฟรมข้อมูล

สมการข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่าวิสัยสามารถมีส่วนร่วมโดยองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ การส่งข้อมูลจาก เอพี ไปยังสถานีโดยไม่ใช้เอฟเฟกต์การดักจับ สองคือการส่งข้อมูลจากสถานีไปยัง เอพี และสามคือการส่งข้อมูลจาก เอพี ไปยังสถานีด้วยเอฟเฟกต์การดักจับ แต่จะต้อง ไม่รวมค่าใช้จ่ายจาก อาร์ทีเอส, ซีทีเอส, เอซีเค ฯลฯ ค่าเวลาที่ใช้ทั้งหมดดังกล่าวถูกคิดโดย T_{s1} และ T_{s2} ดังนี้

$$\begin{cases} T_{s1} = E\{T_{AP}\} = E\{T_{Data}\} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DIFS} \\ T_{s2} = E\{T_A\} = T_{RTS} + 3T_{SIFS} + T_{CTS} + E\{T_{Data}\} + T_{ACK} + T_{DIFS} \\ T_c = T_{RTS} + T_{DIFS} \end{cases}$$

เนื่องจากมี N สถานี และ 1 เอพี ดังนั้น P_{tr} สามารถกำหนดได้โดยดังต่อไปนี้

$$P_{tr} = 1 - (1 - P_{to})(1 - P_t)^N$$

เมื่อสถานีทำการเจียบหมดและมี เอพี ส่งข้อมูลเพียงอันเดียวและ เอพี สามารถส่งสำเร็จ ดังนั้นจะทำให้ P_A กำหนดได้ดังนี้

$$P_A = P_{to}(1 - P_t)^N$$

สถานีทำการส่งข้อมูลสำเร็จเมื่อสถานีเพียงรายเดียวส่ง ไม่ว่า เอพี จะทำการเจียบหรือแอ็คทีฟก็ตาม ดังนั้น P_C จะกำหนดได้โดย

$$P_C = NP_t(1 - P_t)^{(N-1)}$$

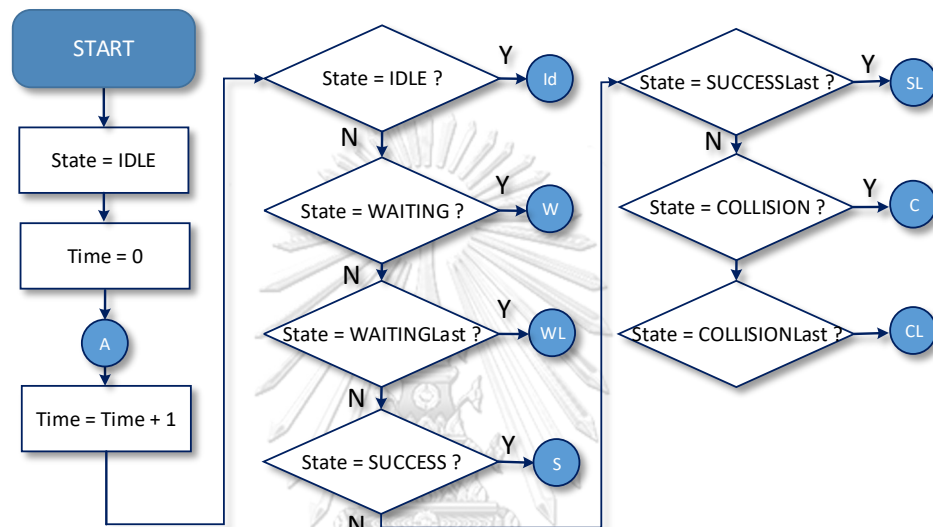
ความน่าจะเป็นของการชนกันสามารถกำหนดได้โดย

$$P_{col} = P_{tr} - P_A - P_C$$

บทที่ 3 โปรแกรมจำลองการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตามมาตรฐาน IEEE802.11 แบบเทคนิคจับมือสองทางสามารถเพิ่มสถานีซ่อนเร้น

โดยในบทนี้จะเป็นการนำเสนอโปรแกรมเทคนิคสองทางจับมือ ในตัวโปรแกรมจะสามารถทำการเพิ่มสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันได้ [14] ตัวโปรแกรมทำการสร้างโดยไพทอน ต่อไปนี้จะเป็นการแสดงการทำงานของโปรแกรมโดยผ่านผังงาน เริ่มต้นจากการอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

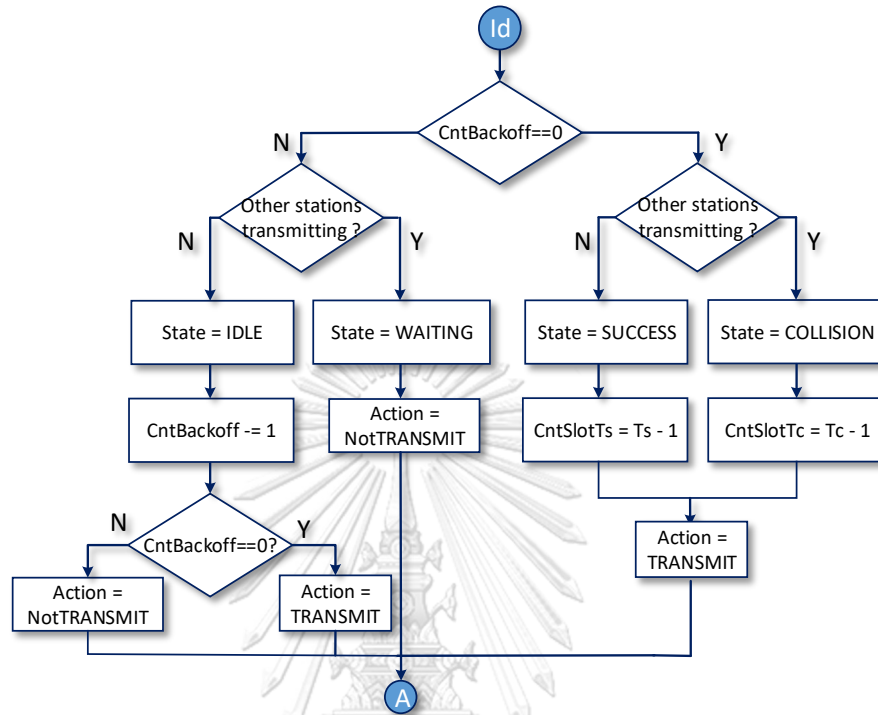
3.1. หลักการทำงานของโปรแกรมเทคนิคจับมือสองทาง



รูปที่ 3.1 ผังงานหลักของเทคนิคจับมือสองทาง

ในตัวโปรแกรมจะเป็นการทำงานไปที่ละสล็อตเวลา จะทำการเช็คสถานะทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสล็อต ว่าไปอยู่ในสถานะตรงไหน โดยจุดเริ่มต้นของโปรแกรมจะเริ่มที่สถานะไอดีล และ เวลาเท่ากับศูนย์ หลังจากนั้นทุกสล็อต จะเข้าตรวจสอบทุก ๆ สถานะ ว่า ณ ปัจจุบันอยู่ในสถานะอะไร โดยจะทำงานวนเป็นลูปกลับมาที่ จุดวงกลมเอทุกครั้งที่เสร็จสิ้นการเช็คสถานะ(จุดเชื่อมต่อเอในรูป 3.1 จะใช้แค่ภายในบทนี้เท่านั้น) ดังในรูป และการทำงานของโปรแกรมจะทำงานวนครบจำนวน สล็อต ที่โปรแกรมกำหนดหรือเป้าหมายของโปรแกรมที่ต้องการทำงาน

ในส่วนถัดไปจะเป็นการอธิบายขั้นตอนย่อยของโปรแกรมโดยแบ่งเป็นสถานะ โดย สถานะไอดีล จะเป็นสถานะแรก จะแสดงผังงานดังภาพที่ 3.2 ด้านล่างนี้

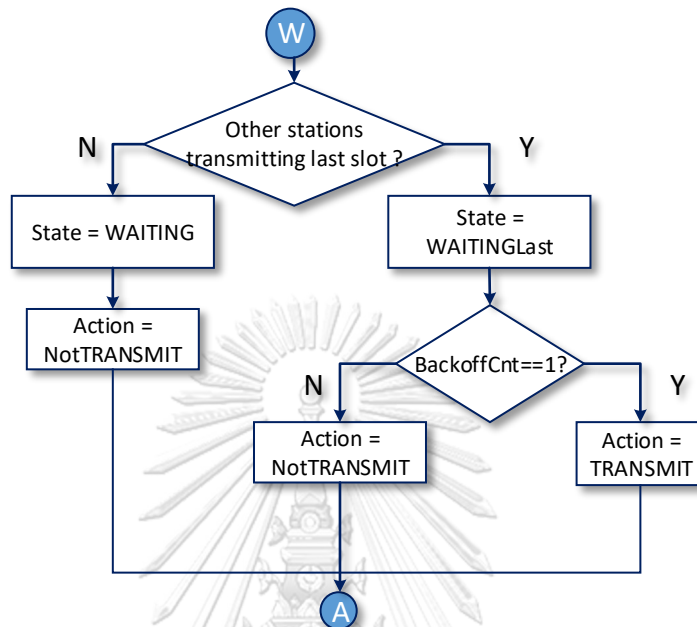


รูปที่ 3.2 ผังงานของสถานะไอดีล

หลังจากได้ทำการเริ่มโปรแกรม และเข้ามายังสถานะไอดีล(IDLE)ทางโปรแกรมจะทำการเช็คแบล็กออฟ(CntBackoff) (มองตามทฤษฎีคือค่าการนับค่าแบล็กออฟ)[2] ของโปรแกรมว่ามีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หากค่า แบล็กออฟ มีค่าเท่ากับ 0 นั้นหมายความว่า จะทำการส่งข้อมูลออกไป แต่ในขณะเดียวกัน ทางโปรแกรมก็จะมีการเช็คว่ามีสัญญาณในสล็อต เดียวกันของสถานีมีการส่งข้อมูล เหมือนกันหรือไม่ ถ้าหากมีการส่งข้อมูล ในช่วงเวลาเดียวกัน จะทำให้สถานะ กลายเป็นส่งข้อมูลเกิดการชนกัน (collision) และหลังจากนั้นจะให้ สล็อตทีซี(CntSlotTc) ลบออกไป 1 ไปในช่วงเวลาถัดไป แต่ถ้าในตรงข้าม หากในช่วงเวลาเดียวกัน ไม่มีข้อมูลที่ส่งในเวลาเดียวกัน สถานะจะเป็นสำเร็จ (Success) และจะทำการให้ สล็อตทีเอส(CntSlotTs) ลบออกไป 1 ไปในช่วงเวลาถัดไป นั่นก็หมายความว่าทำการส่งสำเร็จ

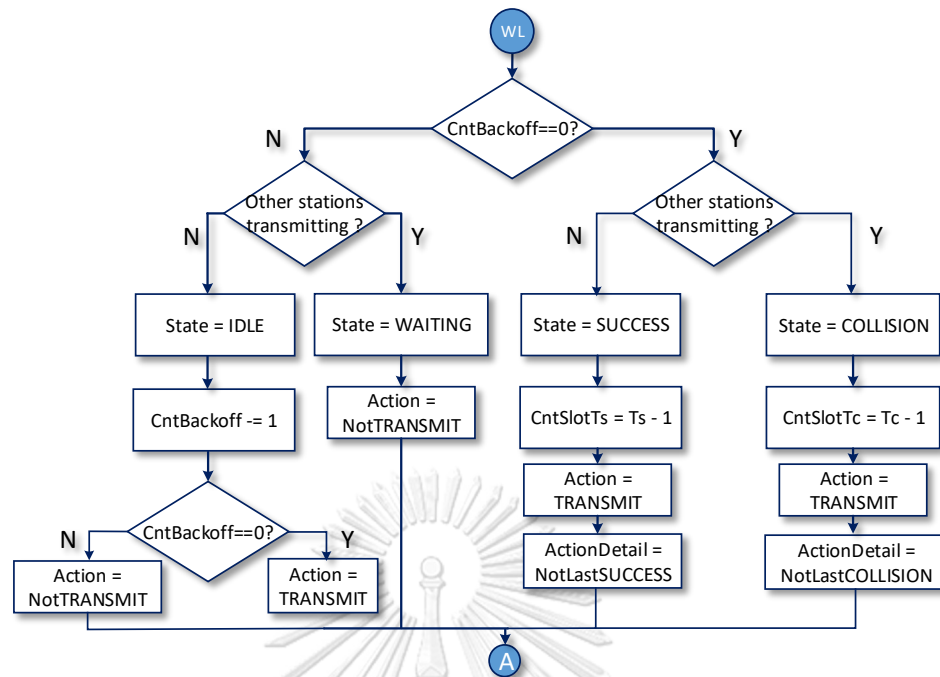
แต่ในทางตรงกันข้ามช่วงเช็ค แบล็กออฟ เท่ากับ 0 หากพบว่าไม่เท่ากับ 0 ก็จะต้องทำการเช็คว่ามีสถานีตัวอื่นทำการส่งข้อมูลหรือไม่ หากมีสถานีตัวอื่นทำการส่งข้อมูลจะทำให้เข้าสู่สถานะรอ (Waiting) นั่นก็คือจะทำการรอ และกลับไปในเวลาถัดไป แต่ในทางตรงกันข้าม หากไม่มีสถานีตัวอื่น

ทำการส่งข้อมูล จะทำให้มีการลดแบล็กออฟ ลงไป 1 ช่วงเวลา ในช่วงเวลาที่ผ่านไป และจะทำการเช็คแบล็กออฟ อีกครั้งว่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หากใช่ก็จะเข้าสู่สถานะเตรียมการส่งครั้งถัดไป แต่ถ้าหากว่ายังไม่ใช่ก็จะกลับเข้าสู่ลู่อ



รูปที่ 3.3 ผังงานหลักการทำงานของสถานะกำลังรอ

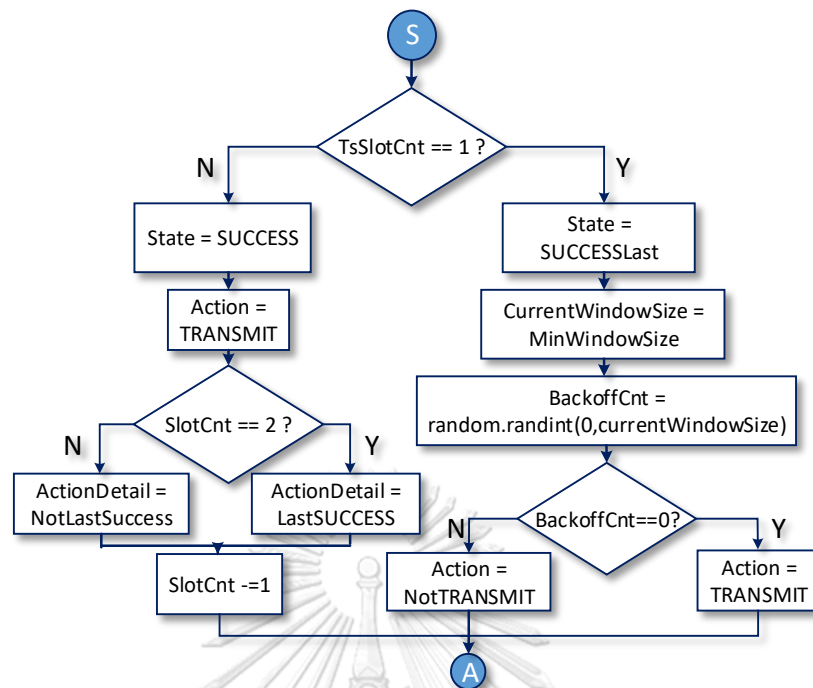
จากรูปภาพ 3.3 ข้างต้นจะเป็นสถานะกำลังรอ(Waiting) หรือช่วงรอการนับการส่งข้อมูล ในช่วงเข้า สถานะ จะทำการเช็คว่ามีสัญญาณในช่วงเวลาที่รอเป็นสัญญาณสุดท้ายแล้วหรือยัง หากพบว่าเป็นสัญญาณสุดท้ายที่รอแล้ว จะเข้าสู่สถานะกำลังรอสุดท้าย(WaitingLast) และทำการเช็คว่ามีสัญญาณเท่ากับ 1 เพื่อทำการเช็คการเปลี่ยนสถานะว่าจะพร้อมส่งในครั้งถัดไปหรือไม่ โดยหากว่ามีสัญญาณเท่ากับ 1 นั้นหมายความว่า ในครั้งถัดไปสัญญาณจะเท่ากับ 0 หรือก็คือจะพร้อมส่งในครั้งถัดไป แต่ในทางตรงข้ามหากยังไม่เท่ากับ 0 ก็จะไม่พร้อมส่งในครั้งถัดไป ในทางตรงข้ามช่วงการเช็คว่ามีสัญญาณเป็นสัญญาณสุดท้ายแล้วหรือยัง ถ้ายังสถานะก็จะยังคงอยู่ในสถานะเท่ากับกำลังรอต่อไปและทำการวนเข้าสู่ลู่อ



รูปที่ 3.4 ผังงานกำลังรอสุดท้าย

จากรูปภาพที่ 3.4 จะเป็นการทำงานหลังจากผ่านมาจากสถานะกำลังรอโดยสถานะกำลังรอสุดท้าย มีหน้าที่ในการเช็คค่าแบล็กออฟมีค่าเท่ากับ 0 หรือยังเพื่อที่จะทำการส่งข้อมูลออกไป โดยจะทำการเช็ค หากว่าแบล็กออฟเท่ากับ 0 ในตัวโปรแกรมจะทำการเช็คต่อว่าในเวลานั้นมีสถานีอื่นจะทำการส่งด้วยเหมือนกันหรือไม่ หากมีสถานีอื่นทำการส่งด้วยเช่นกัน สถานะจะเท่ากับ ข้อมูลจะชนกัน หลังจากนั้นจะทำการลด สล็อตที่ซี ลงไป 1 แต่ในทางตรงกันข้าม หากในเวลานั้นไม่มีสถานีอื่นทำการส่งข้อมูลก็จะเข้าสู่สถานะ สำเร็จและทำการลด สล็อตที่เอส ลงไป 1 เช่นกัน

ในขณะเดียวกันช่วงการเช็คแบล็กออฟ เท่ากับ 0 หากแบล็กออฟ ยังไม่เท่ากับ 0 นั้นหมายความว่าตัวสถานียังไม่ต้องการส่งข้อมูล ต่อมาตัวโปรแกรมจะทำการเช็คค่าสถานีตัวอื่นมีการส่งข้อมูลหรือไม่ หากพบว่า สถานีตัวอื่นทำการส่งข้อมูลอยู่ จะทำให้สถานีเข้าสู่สถานะกำลังรอนั้นเอง แต่ในทางตรงกันข้ามหากยังไม่มีการส่งข้อมูล จะทำให้สถานีทำการนับแบล็กออฟ ถอยหลังลงอีก 1 และต่อมาทางตัวโปรแกรมจำทำการเช็คสถานะ โดยการตรวจสอบค่าแบล็กออฟว่าเท่ากับ 0 พร้อมทั้งจะส่งหรือยัง หากเท่ากับ 0 ก็จะทำการเตรียมส่งในเวลาถัดไป แต่หากว่าไม่ในเวลาถัดไปก็จะไม่ทำการส่ง

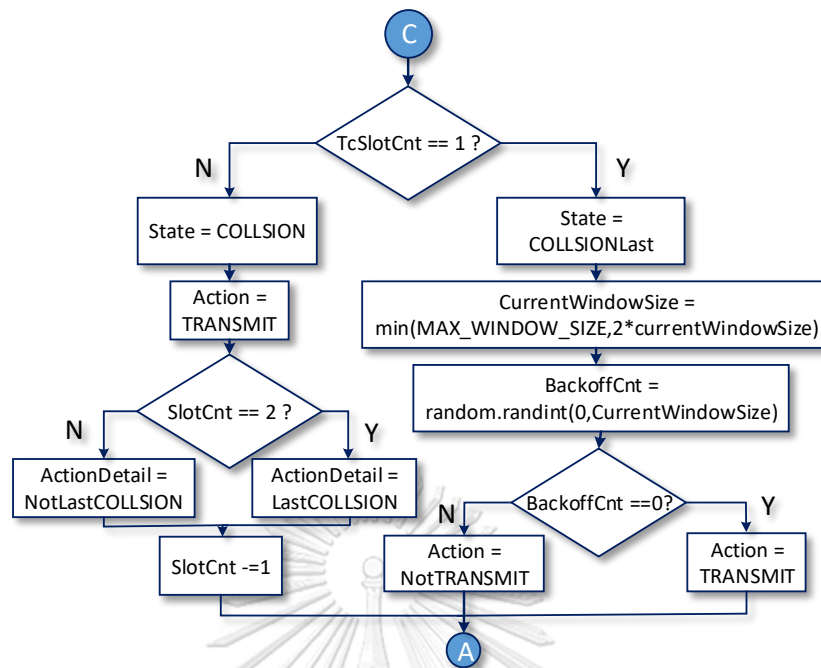


รูปที่ 3.5 ฝั่งงานส่งสำเร็จ

หลังจากเข้าสู่สถานะสำเร็จ(Success) ทางตัวโปรแกรมจะทำการเช็ค สล็อตทีเอส หรือ เวลาส่งของข้อมูลว่าสล็อตคงเหลือเท่ากับ 1 หากว่าเท่ากับ 1 นั้นหมายความว่า จะทำการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะสำเร็จสุดท้าย ในช่วงเวลาถัดไป แล้วทำการสุ่มแบล็กออฟใหม่อีกครั้ง โดยขนาดหน้าต่างที่จะทำการสุ่มนั้น จะอยู่ในช่วง 0 จนถึง หน้าต่างปัจจุบัน และหลังจากนั้น จะทำการเช็คค่าแบล็กออฟว่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หากใช่ ก็จะทำให้การเตรียมการส่งในช่วงเวลาถัดไป

แต่ในทางตรงข้ามช่วงของการเช็ค สล็อตทีเอส ว่าเท่ากับ 1 หากยังไม่เท่ากับ 1 ก็ยังคงอยู่ในสถานะสำเร็จเช่นเดิมและทำการลดสล็อตลงไปอีก 1 ในช่วงเวลาถัดไป

สำหรับในส่วนถัดไปก็คือสถานะสำเร็จสุดท้ายนั้นโดยรวมจะมีการทำงานที่คล้ายกับสถานะสำเร็จสุดท้าย โดยที่ในการทำงานจะเป็นการเช็คสถานะว่าสล็อต ของสถานะนั้นอยู่ในช่วงสุดท้ายพร้อมจะเปลี่ยนเป็นสถานะ อื่นแล้วหรือหรือว่าจะยังคงอยู่ในสถานะเดิมนั่นเอง



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันของการชนกัน

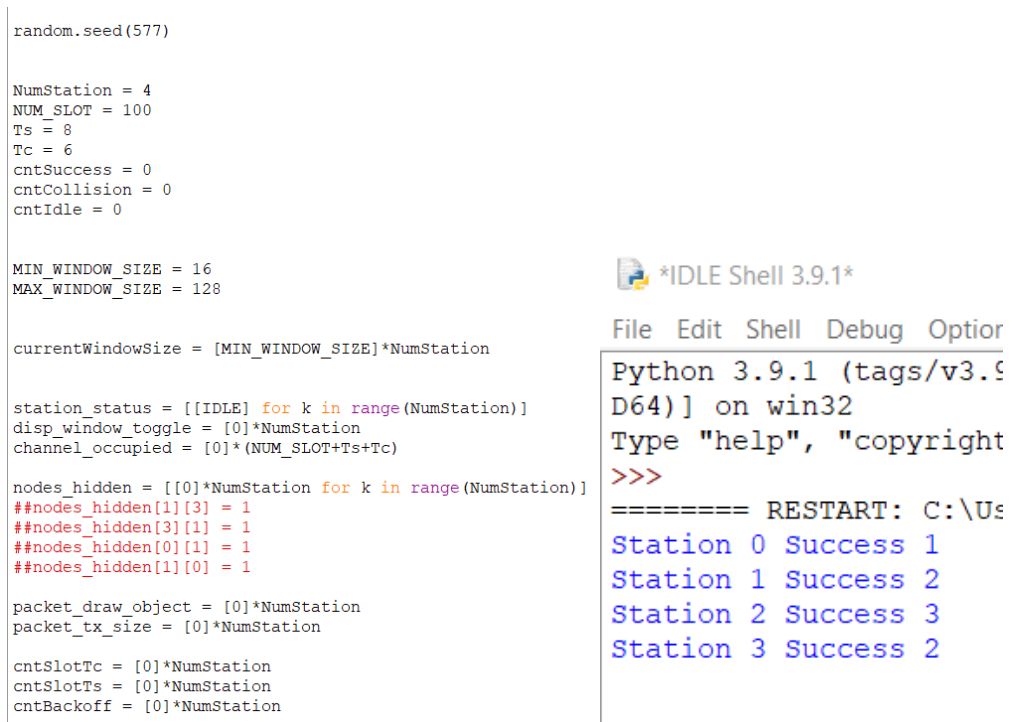
ในรูปที่ 3.6 ข้างต้นนั้นเป็นสถานการณ์ชนกัน(Collision) โดยในการทำงานของ สถานะนี้คือการเช็ค สล็อตที่ชี้ ว่าเท่ากับ 1 ไข่หรือไม่ หรือก็คือการเช็ค สล็อตเวลา ของข้อมูล ที่ส่งแล้วเกิดการชนกันว่าจะหมดหรือยัง โดยถ้าหากว่า สล็อตที่ชี้ เท่ากับ 1 แล้วจะนำไปสู่สถานการณ์ชนกันสุดท้ายในช่วงเวลาถัดไป แล้วจะทำการขยายขนาดของหน้าต่าง เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าตามหลักทฤษฎีของการขยายขนาดหน้าต่างที่มีการชนกัน [2] ต่อมาหลังจากทำการขยายหน้าต่าง เสร็จแล้วจะทำการ สุ่มแบล็กออฟใหม่ และทำการเช็คค่าแบล็กออฟที่ได้ โดยที่ถ้าแบล็กออฟที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 นั้นหมายความว่า จะทำการส่งในช่วงเวลาถัดไป

ในทางตรงกันข้ามในการเช็คค่า สล็อตที่ชี้ ว่าเท่ากับ 1 หรือไม่ หากยังไม่มีค่าเท่ากับ 1 นั้นหมายความว่า จะยังคงอยู่ในสถานการณ์ชนต่อไป และในส่วนถัดไปจะทำการเช็ค สล็อต อีกครั้งว่ามีค่าเท่ากับ 2 หรือไม่ หากไข่ก็จะทำการอัปเดตและบอกว่าเป็นการชนกันสุดท้าย(LastCOLLISION)และทำการ ลดสล็อตลงไปอีก 1

สำหรับในส่วนถัดไปก็คือสถานะ การชนกันสุดท้าย โดยรวมจะมีการทำงานที่คล้ายกับสถานะ กำลังรอสุดท้ายและสถานะสำเร็จสุดท้าย ที่กล่าวมาก่อนข้างต้น โดยที่ในการทำงานจะเป็นการเช็คสถานะว่าสล็อต ของสถานะนั้นอยู่ในช่วงสุดท้ายพร้อมจะเปลี่ยนเป็นสถานะอื่นแล้วหรือว่าจะยังคงอยู่ในสถานะเดิม

3.2. แสดงผลของโปรแกรมจับมือสองทางและผลการทดลองของโปรแกรม

ในส่วนถัดไปจะเป็นรายละเอียดการแสดงผลของโปรแกรมจับมือสองทาง และผลการทดลองของโปรแกรม



```

random.seed(577)

NumStation = 4
NUM_SLOT = 100
Ts = 8
Tc = 6
cntSuccess = 0
cntCollision = 0
cntIdle = 0

MIN_WINDOW_SIZE = 16
MAX_WINDOW_SIZE = 128

currentWindowSize = [MIN_WINDOW_SIZE]*NumStation

station_status = [[IDLE] for k in range(NumStation)]
disp_window_toggle = [0]*NumStation
channel_occupied = [0]*(NUM_SLOT+Ts+Tc)

nodes_hidden = [[0]*NumStation for k in range(NumStation)]
##nodes_hidden[1][3] = 1
##nodes_hidden[3][1] = 1
##nodes_hidden[0][1] = 1
##nodes_hidden[1][0] = 1

packet_draw_object = [0]*NumStation
packet_tx_size = [0]*NumStation

cntSlotTc = [0]*NumStation
cntSlotTs = [0]*NumStation
cntBackoff = [0]*NumStation

```

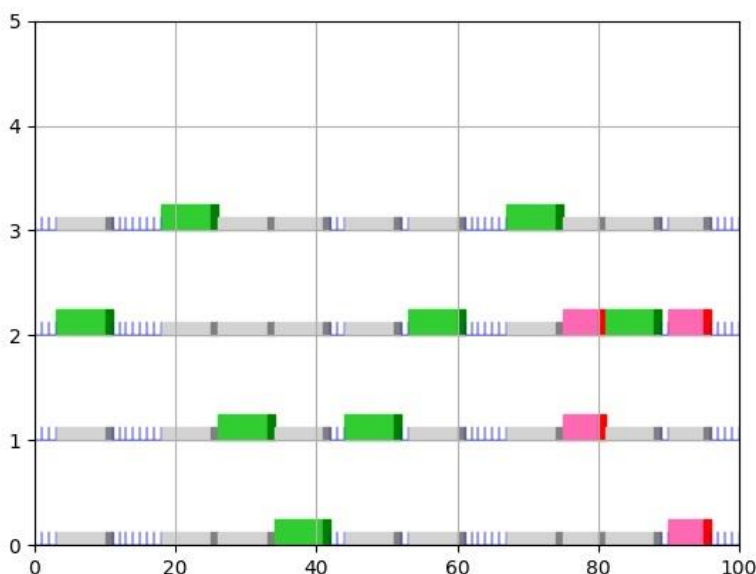
```

Python 3.9.1 (tags/v3.9.13:
D64)] on win32
Type "help", "copyright
>>>
===== RESTART: C:\Us
Station 0 Success 1
Station 1 Success 2
Station 2 Success 3
Station 3 Success 2

```

รูปที่ 3.7 หน้าต่างไพทอนที่ไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้น(1)

จากรูปที่ 3.7 จะเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมไพทอน ที่สามารถทำการตั้งค่า ค่าต่าง ๆ ของโปรแกรมได้ตามที่ต้องการ เช่น จำนวนสถานีที่จะใช้ส่งข้อมูล , ขนาดของหน้าต่างช่วงชิง เป็นต้น โดยในรูปที่ 3.7 นั้นจะแสดงให้เห็นว่าในตัวโปรแกรมจะไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้น ระหว่างกัน และเมื่อทำการทำงานโปรแกรม ตัวโปรแกรมจะสามารถเก็บผลของการส่งข้อมูล ได้ว่า ในแต่ละสถานีที่ทำการส่งนั้น มีการส่งข้อมูล สำเร็จกี่ครั้ง โดยตัวอย่างในรูปที่ 16 จะมีการบอกว่า สถานีที่ 0 ส่งสำเร็จ 1 ครั้ง, สถานีที่ 1 ทำการส่งสำเร็จ 2 ครั้ง เป็นต้น



รูปที่ 3.8 ผลของโปรแกรมในแบบที่ไม่มีสถานีที่ซ้อนเร้น(2)

จากรูปที่ 3.8 จะเป็นการแสดงภาพของการส่งข้อมูล ที่ 0 ถึง 4 รวม 4 สถานี โดยทั้ง 4 สถานีไม่มีการซ้อนเร้นจากกัน โดยเป็นตัวอย่างของการทำงานโปรแกรมจำลองที่มีสล็อตเวลา จำนวน 100 ช่องด้วยกัน โดยในโปรแกรม กล่องสีเทาคือช่วงที่สถานีทำการรอส่งข้อมูล ในขณะที่มีสถานีอื่นทำการส่ง ข้อมูล ส่วนถัดมาคือกล่องสีเขียวคือช่วงที่สถานีทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง และสุดท้ายกล่องสีชมพูคือช่วงที่สถานีทำการส่งข้อมูลแล้วเกิดการชนกันนั่นเอง โดยในรูปที่ 3.8 จะแสดงให้เห็นว่าจะเกิดการส่งข้อมูลชนกัน ในระหว่าง สถานีที่ 1 และ สถานีที่ 2 ทำการส่งข้อมูลพร้อมกัน จึงทำให้การส่งข้อมูล ดังกล่าวไม่สำเร็จและจะต้องทำการสุ่มค่าแบบสุ่มใหม่เพื่อทำการส่งใหม่อีกครั้ง และจากในรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่า สถานีที่ 0 ทำการส่งทั้งหมด 2 ครั้ง แบ่งออกเป็นส่งสำเร็จ 1 ครั้ง และเกิดการชนกัน 1 ครั้งกับ สถานีที่ 2 ส่วนถัดมาคือสถานีที่ 1 กับสถานีที่ 3 ทำการส่งสำเร็จทั้งหมด 2 ครั้ง และสุดท้ายสถานีที่ 2 ทำการส่งทั้งหมด 5 ครั้ง แบ่งออกเป็นส่งข้อมูลสำเร็จ 3 ครั้งและการเกิดการชนกันของข้อมูลทั้งหมด 2 ครั้ง

ในส่วนถัดไปจะเป็นรายละเอียดการแสดงผลของโปรแกรมจับมือสองทางในรูปแบบที่มีสถานีที่ซ่อนเร้น

```

random.seed(577)

NumStation = 4
NUM_SLOT = 100
Ts = 8
Tc = 6
cntSuccess = 0
cntCollision = 0
cntIdle = 0

MIN_WINDOW_SIZE = 16
MAX_WINDOW_SIZE = 128

currentWindowSize = [MIN_WINDOW_SIZE]*NumStation

station_status = [[IDLE] for k in range(NumStation)]
disp_window_toggle = [0]*NumStation
channel_occupied = [0]*(NUM_SLOT+Ts+Tc)

nodes_hidden = [[0]*NumStation for k in range(NumStation)]
nodes_hidden[1][3] = 1
nodes_hidden[3][1] = 1
##nodes_hidden[0][1] = 1
##nodes_hidden[1][0] = 1

```

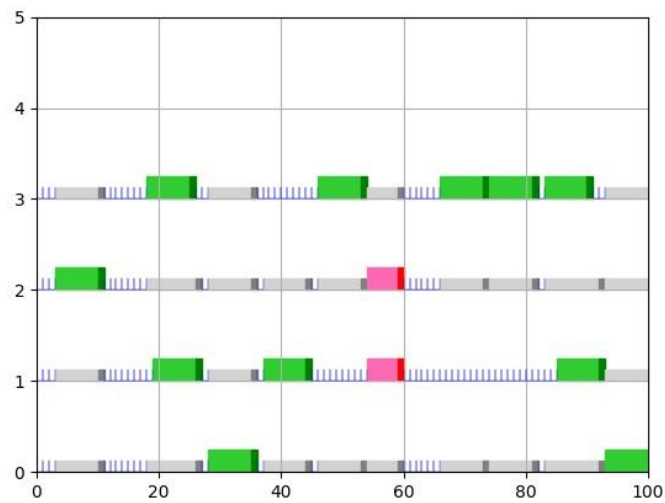
```

===== RESTART: C:\U
Station 0 Success 1
Station 1 Success 1
Station 2 Success 1
Station 3 Success 3

```

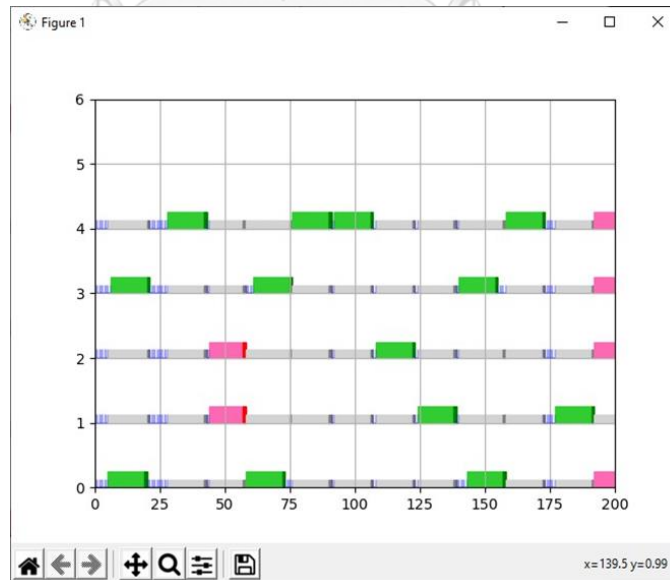
รูปที่ 3.9 หน้าต่างไฟทอนที่มีสถานีที่ซ่อนเร้น(1)

จากรูปภาพที่ 3.9 จะเป็นการแสดงโปรแกรมไฟทอน ที่คล้ายกับการอธิบายในรูปที่ 3.7 ก่อนหน้า แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ในที่จะสามารถทำการแก้ไขและเพิ่มสถานีที่สามารถซ่อนจากกันได้ โดยในรูปที่ 3.9 นั้น ได้แสดงว่า สถานีที่ 1 ทำการซ่อนเร้นจากสถานีที่ 3 และสถานีที่ 3 ก็ทำการซ่อนเร้นจากสถานีที่ 1 เหมือนกัน



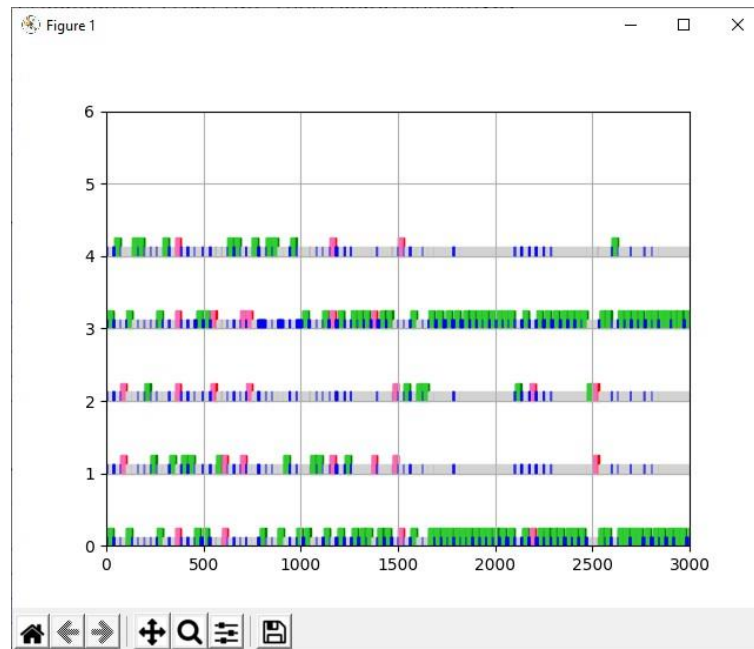
รูปที่ 3.10 ผลของโปรแกรมในแบบที่มีสถานีซ้อนเร้น(2)

จากรูปภาพข้างต้นจะเป็นผลจากการจำลองโปรแกรมไพทอน ที่ทำการแสดงผลของการทำงานโดยมีด้วยกันทั้งหมด 4 สถานี โดยที่สถานีที่ 1 และสถานีที่ 3 เป็นสถานีที่ซ้อนจากกัน หมายความว่า เมื่อสถานีที่ 1 ทำการส่งข้อมูลไปแล้ว ทางสถานีที่ 3 จะไม่สามารถทำการรับรู้ได้นั่นก็คืออาจจะทำการชนกันได้ โดยในรูปภาพที่ 3.10 นั้น จะพบว่า สถานีที่ 1 เกิดการชนกันกับสถานีที่ 3 เป็นบางข้อมูลจึงทำให้ส่งไม่สำเร็จ



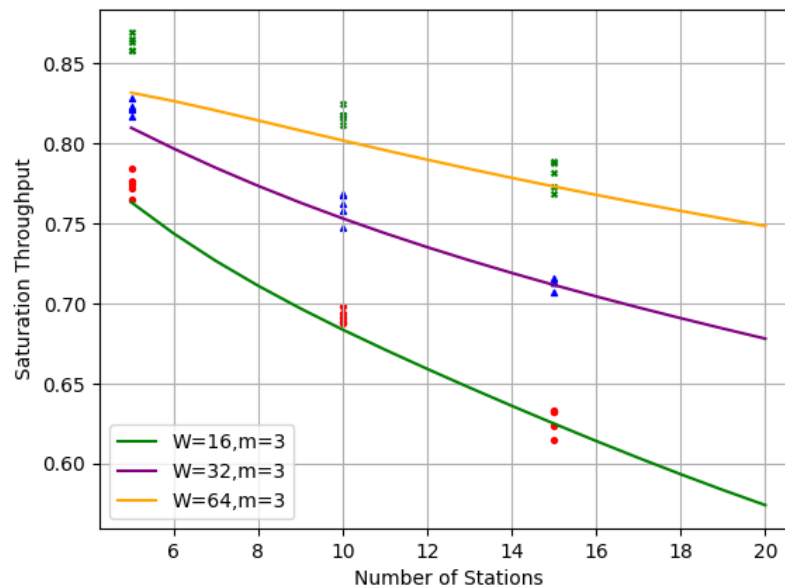
รูปที่ 3.11 ผลของโปรแกรมในแบบที่มีสถานีที่ซ้อนเร้น

โดยภาพที่ 3.11 เป็นอีกตัวอย่างที่แสดงให้เห็นของจากการจำลองโปรแกรมที่มีสถานีซ้อนจากกัน ในภาพเป็นสถานีที่ 0 กับสถานีที่ 3 ซ้อนจากกัน จึงทำให้มีข้อมูลเกิดการชนกันและทำการส่งไม่สำเร็จในบางช่วง



รูปที่ 3.12 ผลของโปรแกรมในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น

โดยจากในรูปที่ 3.12 มีสถานีทั้งหมด 5 สถานีด้วยกัน โดยตัวโปรแกรมจะทำงานโปรแกรมแล้วจะเห็นได้ว่าสถานีที่ 0 กับ สถานีที่ 3 นั้นเป็นสถานีที่ซ้อนเร้นจากกัน โดยในตัวโปรแกรมเป็นการแสดงผลของการส่งข้อมูลในระยะยาว จะเห็นได้ว่าในตอนแรกของการส่งข้อมูลนั้น จะมีทั้งช่วงที่ส่งแล้วเกิดการชนกันหรือเกิดการส่งสำเร็จบ้างเป็นครั้งคราว โดยสถานีอื่นที่ได้ยินทุกสถานีจะสามารถทำการดูว่าช่องสัญญาณว่างหรือไม่และทำการกลับเมื่อช่องสัญญาณไม่ว่าง ยกเว้นแต่สถานีที่ซ้อนเร้นจากกันจะไม่สามารถรับรู้ได้ โดยในรูปจะพบว่าเมื่อผ่านไปในระยะยาว สถานีที่ 0 กับสถานีที่ 3 ที่ซ้อนจากกัน จะทำการยึดช่องสัญญาณก็คือทำการส่งข้อมูลเรื่อย ๆ แต่การส่งข้อมูลนั้น ก็จะไม่สำเร็จได้ เพราะว่าเกิดการชนกันกับอีกสถานีที่ซ้อนเร้นจากกัน และทำให้สถานีตัวอื่นที่กลับนั้นเสียเวลาในการส่งไปโดยปริยาย นั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าทราฟฟิคของงานที่ได้จึงมีค่าที่ตกต่ำลงมาอย่างมาก



รูปที่ 3.13 ค่าทฤษฎีของโปรแกรมจำลองเทียบกับค่าของเชิงคณิตศาสตร์

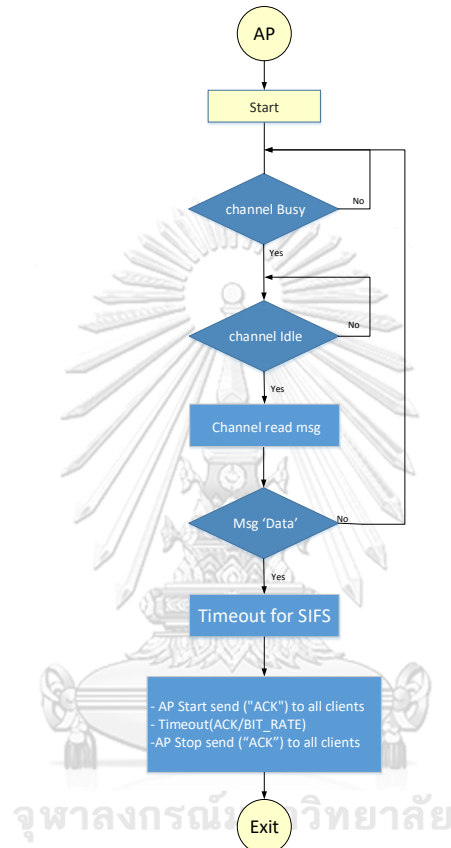
จากรูปภาพที่ 3.13 เป็นการเอานำค่าทฤษฎีจากโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับค่าคำนวณในเชิงคณิตศาสตร์[2]โดยค่าทฤษฎีที่ทำการเปรียบเทียบทางคณิตศาสตร์นั้นประกอบไปด้วย 3 ช่วงด้วยกันก็คือ ช่วงขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16,32,64 และทุกช่วงขนาดของหน้าต่าง สามารถทำการขยายได้ 3 ระดับด้วยกัน โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมา โดยผลการทดลองทางคณิตศาสตร์นั้น ได้สุ่มหลาย ๆ ครั้งและหลาย ๆ ช่วงในช่วงขนาดแต่ละหน้าต่าง โดยผลการทดลองนั้นได้ใกล้เคียงกับทฤษฎีของการคิดแบบเชิงคณิตศาสตร์ แต่ผลการทดลองของในเชิงโปรแกรมนั้นจะมีค่าที่ดีกว่าเพียงเล็กน้อย

โดยต่อมาได้ทำการทดลองคิดค่าทฤษฎีของงานโดยทำการคิดเพิ่มสถานที่ที่ซ่อนเร้นจากกัน โดยทฤษฎีที่ออกมาที่ค่อนข้างแตกต่างจากการที่ไม่มีซ่อนเร้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในช่วง ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 มี 5 สถานี และมี 1 สถานีที่ซ่อนเร้นจากตัวสถานีตัวอื่น ค่าทฤษฎีจะอยู่ที่ประมาณ 0.05455, 0.025752, 0.2146 เป็นต้น โดยจะเห็นได้ว่าค่าทฤษฎีของงานนั้นได้ลดลงมาประมาณ 70-80 % ของงานเดิมที่เคยได้ นั้นเป็นเพราะว่าการเกิดการชนกันและทำให้ส่งผลต่อการส่งข้อมูลในระยยะยาวนั่นเอง

ในส่วนถัดไปเป็นการสร้างโปรแกรมจำลองอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ไพทอน โดยใช้ไพซิม(Pysim) เข้ามาช่วยในการทำ

3.3. ผังงานโปรแกรมจับมือสองทางโดยการใช่ไพซิม

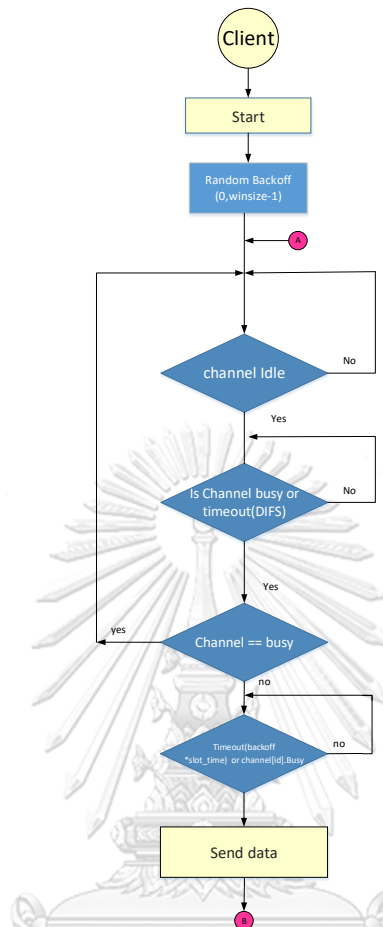
โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนของ เอพี และตัวของสถานี โดยมีผังงานต่อไปนี้



รูปที่ 3.14 ผังงานขั้นตอนการเช็คข้อมูลและส่งเฟรมยืนยัน

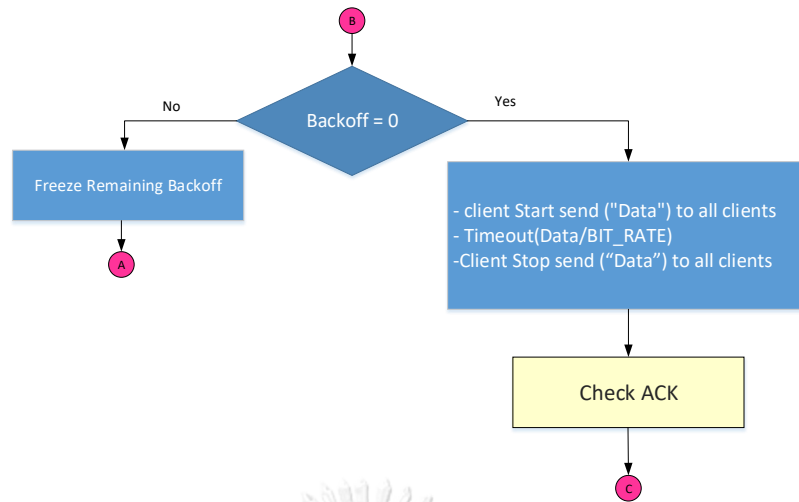
โดยการทำงานจะทำเป็นขั้นตอนกระบวนการทำงานจะเหมือนมาตรฐาน IEEE802.11 ในเทคนิคจับมือสองทาง โดยทางตัว เอพี จะทำการรอข้อมูลก่อนเพื่อให้แน่ใจว่าตัว เอพี ได้รับข้อมูล และจะทำการส่งเฟรมยืนยันกลับไปทางสถานี เพื่อยืนยันว่าได้รับข้อมูลสำเร็จแล้ว

ในส่วนต่อมาเป็นผังงานการทำงานของสถานี โดยมีด้วยกัน 3 ขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้



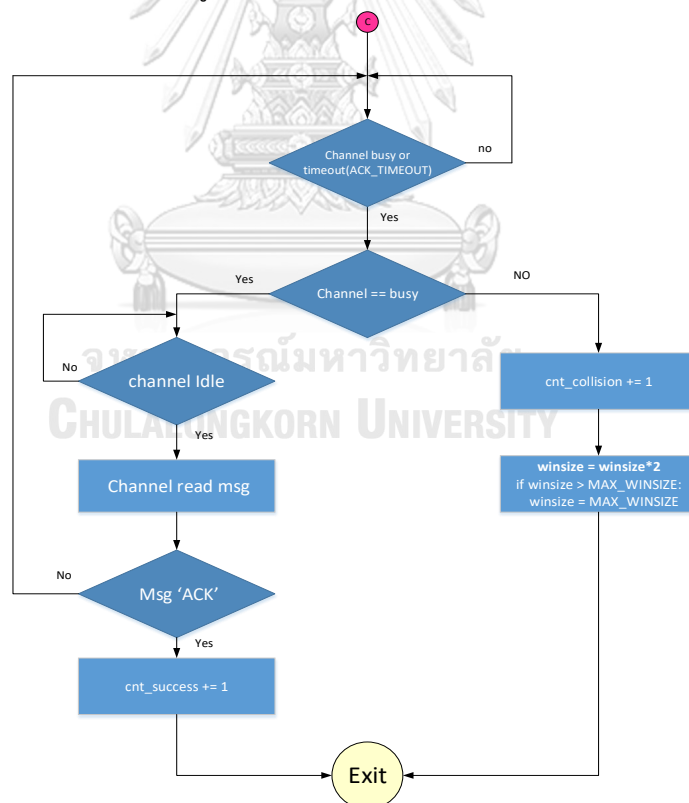
รูปที่ 3.15 ผังงานขั้นตอน ดีไอเอฟเอส ของเทคนิคจับมือสองทาง

ในผังงานในรูปที่ 3.15 นั้นจะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของช่วงต้นของสถานีโดยจะทำการเช็คช่วงการรอนับ ดีไอเอฟเอส นั้นสำเร็จหรือไม่ ถ้าช่วงในการรอ ดีไอเอฟเอสสำเร็จจะสามารถไปในผังงานต่อไปได้ก็คือช่วงของการส่งข้อมูลออกไป



รูปที่ 3.16 ผังงานขั้นตอนส่งข้อมูลของเทคนิคจับมือสองทาง

ในผังงานรูป 3.16 นั้นเป็นขั้นตอนทางเลือกหลังจากผ่านขั้นตอน ดีไอเอฟเอสมา โดยจะทำการเช็คค่าค่าแบล็กออฟเท่ากับ 0 หรือยัง ถ้ายังก็วนกลับเข้าหาจุดเอดังในรูป แต่ถ้ามีค่าแบล็กออฟเท่ากับ 0 ก็จะเข้ากระบวนการส่งข้อมูลออกไปและไปต่อในขั้นตอนการเช็ค เอซีเค ในจุด E

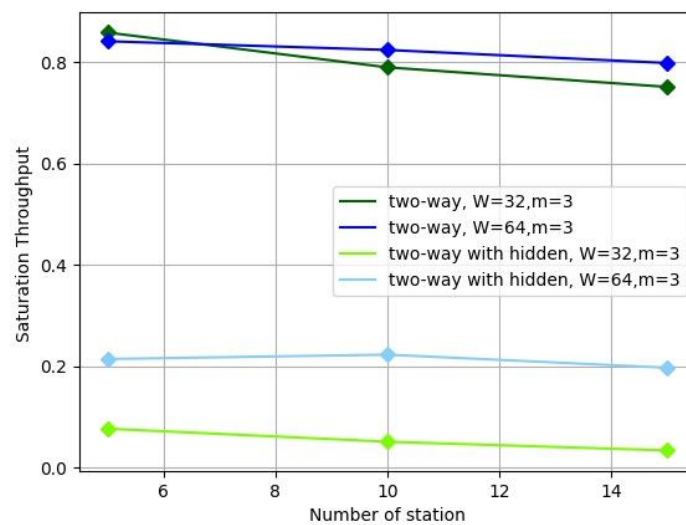


รูปที่ 3.17 ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค

จากรูปที่ 3.17 จะเป็นขั้นตอนการเช็คค่าตัวสถานะที่ได้รับ เอซีเค มายืนยันแล้วหรือไม่เพื่อเป็นการเช็คว่าการส่งข้อมูลสำเร็จหรือไม่ โดยในขั้นตอนจะเห็นได้ว่า ถ้าสถานะที่ได้รับ เอซีเค กลับมายืนยันก็

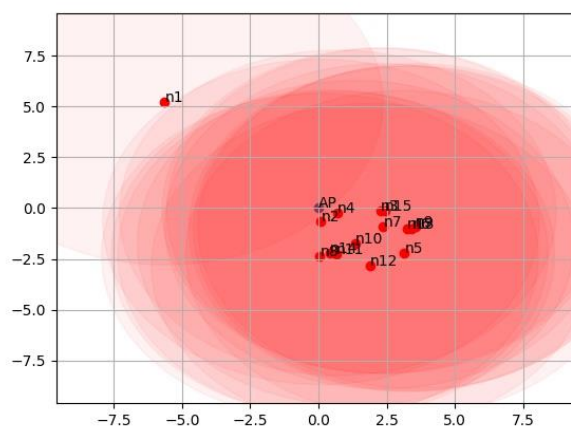
จะนับว่าถือส่งสำเร็จ แต่ในทางตรงกันข้ามหรือหมดระยะเวลาการรอของช่วงเอซีเค้นั้น จะถือว่าไม่ได้รับการยืนยัน และจะทำให้เห็นว่า การส่งนั้นไม่สำเร็จ

ต่อไปจะเป็นผลการเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองไฟซิมค่าทรูพุตเทคนิคจับมือสองทางที่มีสถานีซ้อนเร้น กับไม่มีสถานีซ้อนเร้น



รูปที่ 3.18 เปรียบค่าทรูพุตจับมือสองทางกรณีมีสถานีซ้อนเร้นกับไม่มีสถานีซ้อนเร้น

จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าทรูพุตของเทคนิคจับมือสองทางไฟซิม นั้นจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับโปรแกรมก่อนหน้านี้และเมื่อนำมาทดลองกับกรณีที่มีสถานีที่ซ้อนเร้นนั้นจะเห็นได้ว่าค่าทรูพุตจะลดลงค่อนข้างมากอย่างเห็นได้ชัด อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่สถานีที่ซ้อนเร้นนั้นจะเข้ามาแทรกแซงสถานีอื่น ๆ ที่ทำการส่ง ส่วนการวางตำแหน่งสถานี ตัวอย่างจะสามารถดูภาพตัวอย่างได้จากภาพต่อไป



รูปที่ 3.19 การจัดสถานีซ้อนเร้น

จากภาพข้างต้น จะเป็นตัวอย่างการวางตำแหน่งสถานี ที่ให้สถานีที่ 1 ทำการซ้อนจากสถานีอื่นทุกตัว(สถานี 2-15) จากนั้นจะพบว่าสถานีที่ 1 จะทำการส่งทุกเมื่อเวลามาถึงนั่นเอง จะทำให้เกิดการกวนของสถานีอื่น ๆ ที่ จะทำการส่ง อันเป็นผลให้ค่าทฤษฎีที่ได้นั้นมีค่าที่ต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด

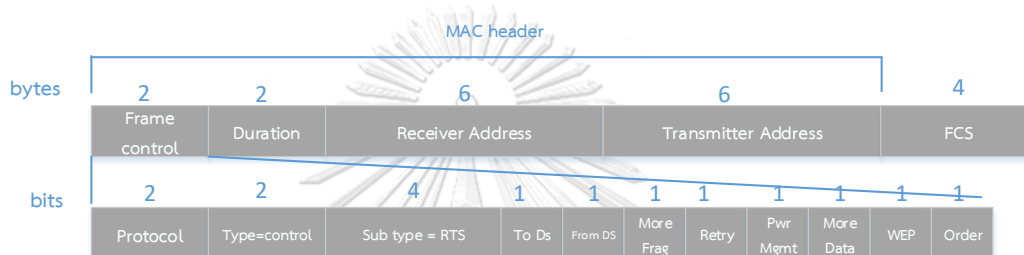
3.4. สรุปผลการทดลอง

โดยในวิธีการเทคนิคจับมือสองทางนั้นเป็นวิธีการเพียงเบื้องต้นแบบง่ายเท่านั้น มีความง่ายในการทำงาน เพียงแค่ต้องการส่งข้อมูลเมื่อเห็นว่าช่องสัญญาณว่างก็จะทำการส่งข้อมูล เมื่อถึงเวลาส่งของตัวเอง แต่ในขณะที่ช่องสัญญาณไม่ว่าง ตัวสถานีเองก็จะหลับเพื่อทำการรอ แต่ก็จะมีโอกาสในการส่งข้อมูลที่ชนกันได้ง่าย ยิ่งเมื่อมีเรื่องของสถานีซ้อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ยิ่งทำให้เกิดการชนกันได้ง่ายมากขึ้น เพราะสถานีที่ซ้อนจากตัวอื่นจะไม่สามารถรับรู้ได้ว่า มีตัวสถานีอื่นที่ทำการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณอยู่ จึงทำให้เกิดการชนกันได้ จึงทำให้การส่งไม่สำเร็จ และงานที่ได้ก็จะได้น้อยลงตามลำดับ ค่าทฤษฎีนั้นจะลดลงมาจากแต่เดิมที่ประมาณ 70-80 % ด้วย เทคนิคจับมือสองทางนั้นไม่เหมาะกับการมีสถานีที่ซ้อนเร้นตามในงานที่เคยทำมาก่อนหน้านี้[2] และในบทนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนโปรแกรมให้มีการใช้ของ ไพซิม เข้ามาทำ เพื่อความสะดวกและง่ายของการทำตัวโปรแกรมมากขึ้นนั่นเอง ในบทถัดไปจะเป็นการนำเสนอ วิธีเทคนิคจับมือสี่ทาง ซึ่งจะเป็นวิธีการที่ช่วยในการมีสถานีซ้อนเร้นได้เป็นอย่างดี

บทที่ 4 โปรแกรมจำลองการทำงานของโพรโทคอลการเข้าถึงตัวกลางที่รองรับตาม มาตรฐาน IEEE802.11 แบบเทคนิคจับมือสี่ทางสามารถเพิ่มสถานีซ่อนเร้น

ในบทนี้จะทำการอธิบายถึงโปรแกรมจำลองของ IEEE802.11 เทคนิคจับมือสี่ทาง โดยการทำงานของโปรแกรม นั้นจะมีวิธีการทำงานโดยรวมที่ค่อนข้างคล้ายกับของ วิธีเทคนิคจับมือสองทางแต่จะแตกต่างกันตรงที่ว่าเมื่อช่องสถานีเห็นช่องสัญญาณว่างก็จะทำการส่งเฟรมขอการส่งหรืออาร์ทีเอสออกไป เมื่อช่องสถานีเห็นว่าช่องสัญญาณว่าง ก็จะทำการส่ง เฟรมอนุญาตการส่งหรือซีทีเอสตอบกลับ โดยภายในเฟรม อาร์ทีเอสและซีทีเอส[15] จะมีรายละเอียดดังนี้

4.1. ขนาดเฟรมของ อาร์ทีเอส และ ซีทีเอส

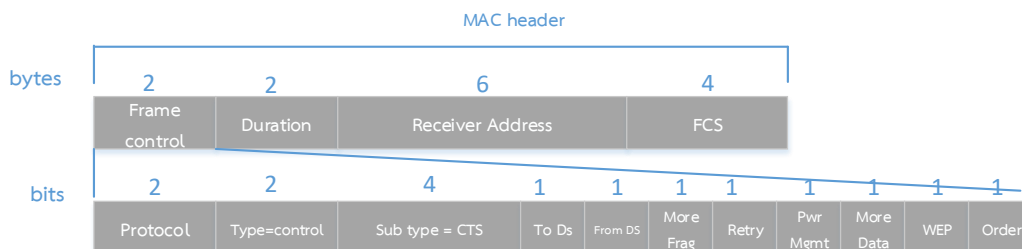


รูปที่ 4.1 ขนาดของเฟรมขอการส่ง

เฟรม อาร์ทีเอส จะมีขนาด 20 ไบต์ จะประกอบรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เฟรมควบคุม(Frame Control) สิ่งนี้เหมือนกับเฟรม ระบบเครือข่ายไร้สายทั่วไปที่ใช้สำหรับควบคุม สำหรับประเภทย่อยเฟรม อาร์ทีเอส ถูกตั้งค่าเป็น 1011
2. ระยะเวลา(Duration) ผู้ส่งจำเป็นต้องประมาณเวลาที่ต้องใช้สำหรับเฟรม การแลกเปลี่ยน ดังนั้นจะคำนวณเวลาหลังจาก อาร์ทีเอส สิ้นสุดลง เวลานี้มักจะดูแลระยะเวลาของเฟรม ซีทีเอส เฟรม เอซีเค สุดท้าย และเวลาที่ส่งเฟรมหรือส่วนแรก ระยะเวลา อาร์ทีเอส จะเท่ากับสาม เอสไอเอฟเอส โดยประมาณ หน่วยเป็นไมโครวินาที
3. แอดเดรส-1(Address-1) ที่อยู่สถานีรับซึ่งจะเป็นผู้รับเป้าหมายของเฟรมที่ใหญ่กว่า
4. แอดเดรส-2(Address-2) ที่อยู่ของตัวส่งสัญญาณของเฟรม ระบบเครือข่ายไร้สาย อาร์ทีเอส

โดยต่อไปจะเป็นขนาดของเฟรม ซีทีเอส โดยจะมีขนาดที่สั้นกว่าของ อาร์ทีเอส จะมีเพียงขนาดเท่ากับ 14 ไบต์ จะมีรายละเอียดดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ขนาดเฟรมอนุญาตการส่ง

ภายในเฟรม ซีทีเอส จะประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เฟรมควบคุม : ตั้งค่าเป็น 1100
2. ระยะเวลา : ตัวส่งสัญญาณของเฟรม ซีทีเอส ใช้ฟิลด์ระยะเวลาของเฟรม อาร์ทีเอส ที่ได้รับเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณระยะเวลา ผู้ส่งลบเวลาที่จำเป็นสำหรับเฟรม ซีทีเอส, เอสไอเอฟเอส ก่อนเฟรม ซีทีเอส จากฟิลด์ระยะเวลาที่กล่าวถึงในเฟรม อาร์ทีเอส และแทรกฟิลด์นี้ในฟิลด์ระยะเวลาของตนเอง
3. แอดเดรส-1 สถานีตัวรับของเฟรม ซีทีเอส เหมือนกับที่อยู่สถานีเฟรม อาร์ทีเอส ที่ส่งก่อนหน้านี้ ดังนั้นเลเยอร์จะคัดลอกที่อยู่ของเครื่องส่งสัญญาณเป็นที่อยู่ของผู้รับ

4.2. ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรมและการเก็บข้อมูล

โดยในส่วนต่อไปจะเป็นการนำเสนอโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคจับมือสี่ทาง โดยในตอนเริ่มจะเป็นการนำเสนอ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองโปรแกรม

```

SIM_TIME = 100000 # us
NUM_CLIENTS = 5
MIN_WINSIZE = 32
m = 3
MAX_WINSIZE = (2**m)*MIN_WINSIZE
BIT_RATE = 1 # Mbps

PACKET_PAYLOAD = 8184 # bits
MAC_HEADER = 272 # bits
PHY_HEADER = 128 # bits
DATA = PHY_HEADER + MAC_HEADER + PACKET_PAYLOAD
ACK = 112 + PHY_HEADER # bits
RTS = 160 + PHY_HEADER # bits
CTS = 112 + PHY_HEADER # bits

SLOT_TIME = 50 # us
SIFS = 28 # us
DIFS = 128 # us
ACK_TIMEOUT = 300 # us
CTS_TIMEOUT = 300 # us

cnt_request = 0
cnt_success = 0
cnt_collision = 0

```

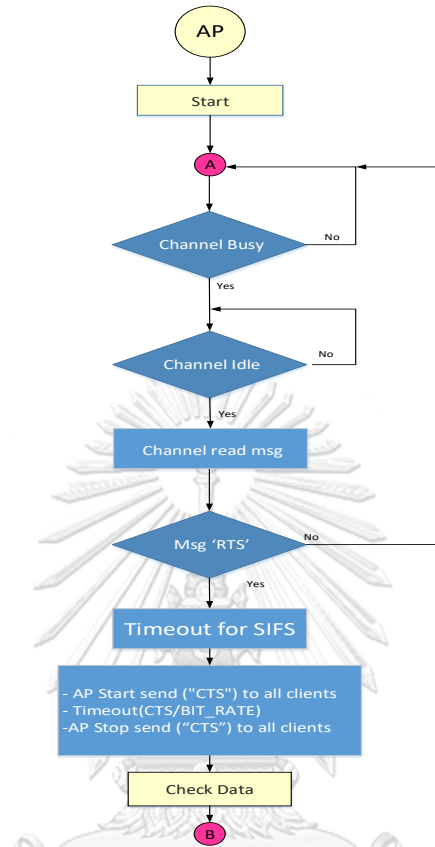
รูปที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมจับมือสี่ทิศทาง

โดยจากภาพที่ 4.3 จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำงานโปรแกรมจำลองโฟตอน โดยในการทดลองจะใช้สล็อตเวลาจำนวน 1000000 ไมโครวินาที ในการทำงานและเก็บผล ใช้บิตเรทที่ 1 โดยขนาดของข้อมูลอื่น ๆ จะมีดังในรูปที่ 4.3

ในช่วงของการรอ เอสไอเอฟเอส,ดีไอเอฟเอส จะทำการใส่ตามการอ้างอิงของเปียงกี [2] โดย เอสไอเอฟเอส จะมีค่าเท่ากับ 28 ไมโครวินาที และของ ดีไอเอฟเอส จะเท่ากับ128 ไมโครวินาที ส่วนของช่วงของในการรอเวลาที่จำกัดการรอของ เอซีเค และ ซีทีเอส จะใช้การรอที่เท่ากัน นั่นคือ 300 ไมโครวินาที ซึ่งหมายความว่า ถ้าเลยระยะเวลาที่ทางโปรแกรมกำหนดไว้ จะทำให้การส่งข้อมูลไม่สำเร็จ

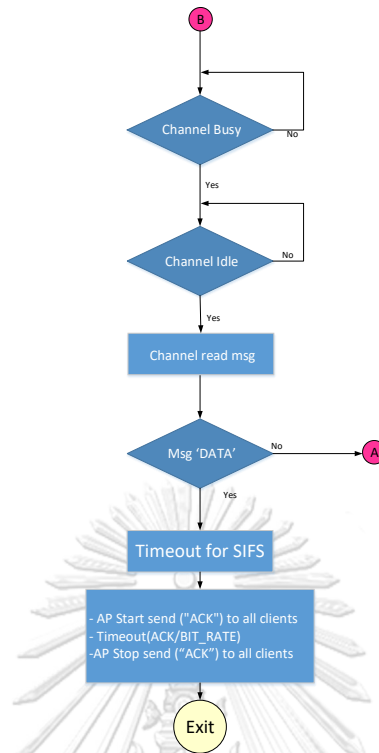
4.3. ฟังก์ชันโปรแกรมจับมือสื่ทาง โดยใช้ไฟซิม

ในส่วนนี้เป็นฟังก์ชันของ เอพี โดยมีด้วยกัน 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 ฟังก์ชันขั้นตอนเฟรมอนุญาตการส่ง

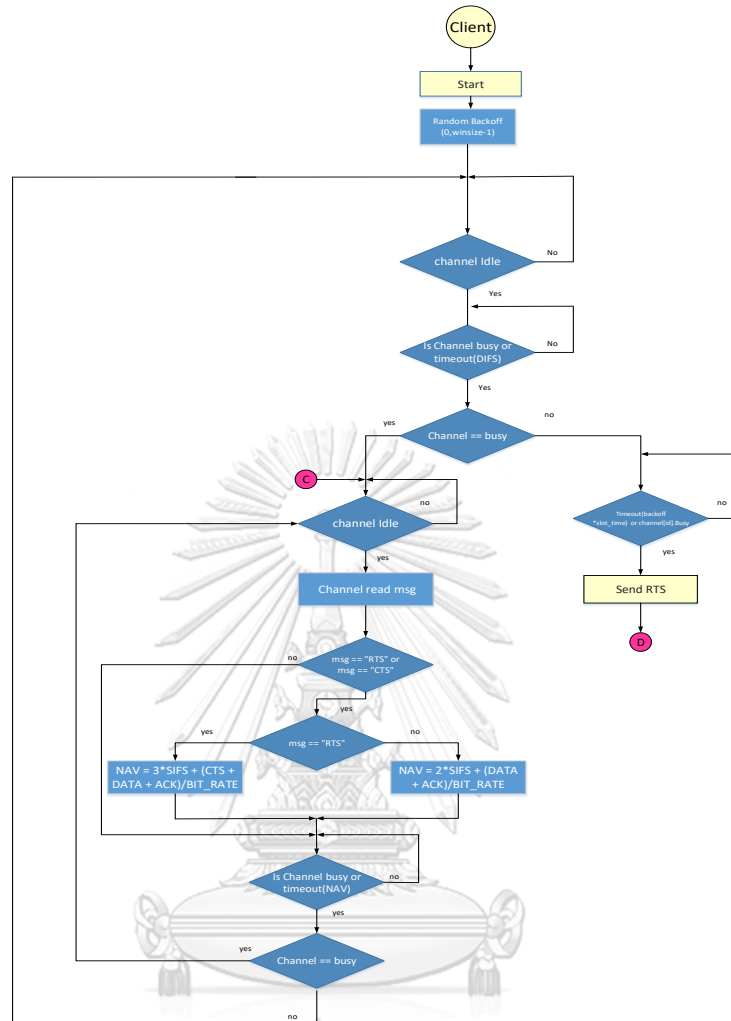
ในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเป็นขั้นตอนการทำงานของตัว เอพี จะทำการรอจนกว่าจะได้รับเฟรมขอการส่งมาถึง หลังจากการเช็คแล้วว่าได้รับเฟรมขอการส่ง ทางตัว เอพี จะทำการกระบวนการส่งเฟรมอนุญาตการส่ง ออกไปเพื่อยืนยันให้สามารถส่งข้อมูลมาได้



รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันขั้นตอนการเช็คข้อมูลและส่งเฟรมยืนยัน

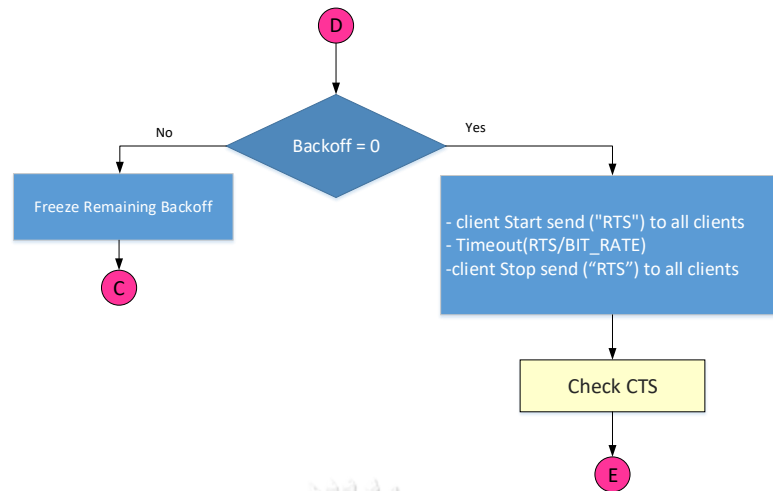
ในรูปที่ 4.5 จะเป็นการเช็คที่ตัว เอพี ได้รับข้อมูลแล้วรียิง โดยจะมีขั้นตอนเหมือนกับที่อธิบายไว้ในก่อนหน้าในส่วนของเทคนิคจับมือสองทาง และสุดท้ายถ้าพบว่าทางตัว เอพี ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะส่งตัวยืนยันตอบกลับไปหรือเฟรม เอซีเค

โดยในส่วนถัดไปเป็นผังงานขั้นตอนต่าง ๆ ของสถานี มีด้วยกัน 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



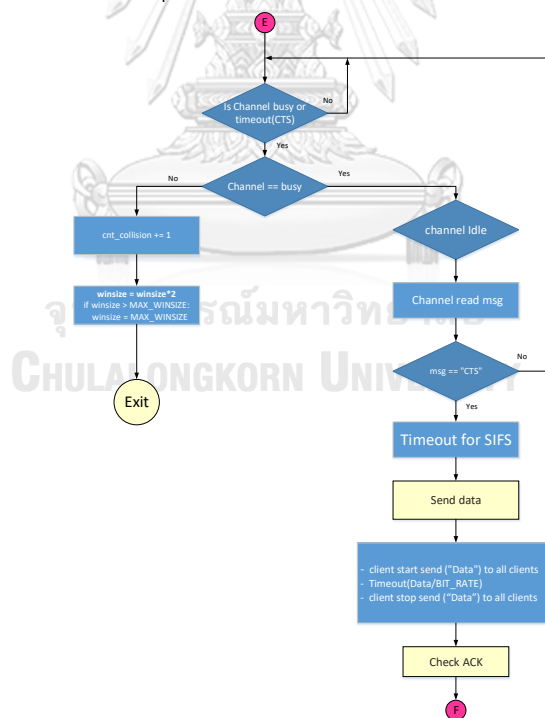
รูปที่ 4.6 ผังงานขั้นตอน ดีไอเอฟเอส ของเทคนิคจับมือสือทาง

ในผังงานขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนตรวจสอบ ดีไอเอฟเอส จะคล้ายคลึงกับขั้นตอนของเทคนิคจับมือสองทางก่อนหน้า แต่จะแตกต่างกันตรงที่ตรงช่วงการรอเวลาให้ครบของ ดีไอเอฟเอส ถ้ามีเฟรมเข้ามาขัดช่วงการรอ(อาร์ทีเอส, ซีทีเอส) จะต้องทำให้มีการอัปเดตเวกเตอร์การจัสตรรเครือข่าย รอเป็นระยะเวลาเท่ากับจำนวนนี้ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ารอจนครบเวลากำหนดของ ดีไอเอฟเอสแล้วจะให้ไปทำในขั้นตอนต่อไปก็คือก็ขอการส่งหรือ อาร์ทีเอส หรือก็คือจุดเชื่อมต่อกับ D



รูปที่ 4.7 ผังงานขั้นตอนการขอการส่ง

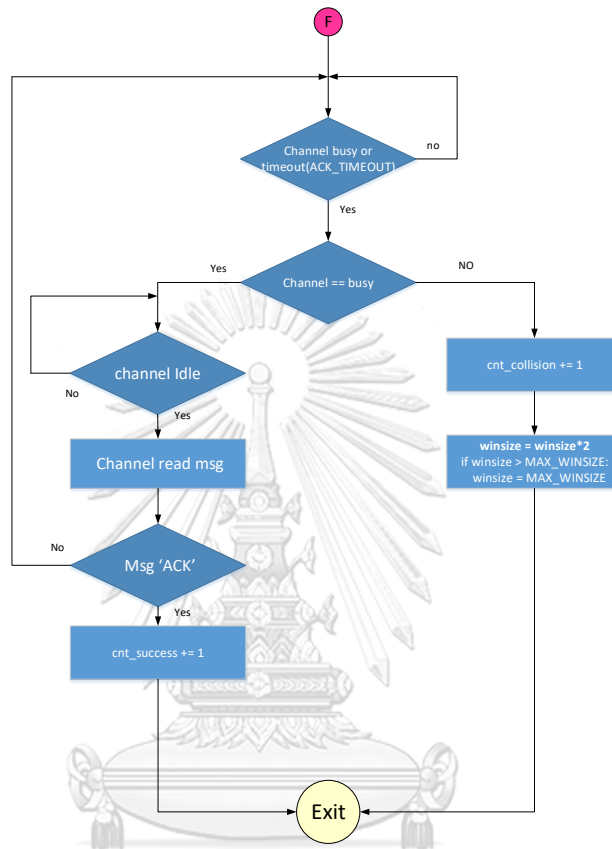
ในรูปข้างต้นจะเป็นผังงานการขอการส่งโดยมีการเช็คค่าแบล็กออฟว่าเท่ากับ 0 หรือยัง ถ้าในตัวโปรแกรมมีการเช็คแล้วว่ายังไม่เท่ากับ 0 ก็จะวนกลับเข้าหาจุดเชื่อมต่อ C แล้วค่อยวนกลับมาทำใหม่อีกรอบ แต่ในทางตรงกันข้าม มีการเช็คแล้วว่าเท่ากับ 0 ก็จะเริ่มกระบวนการทำการขอส่ง แล้วจะมาเริ่มทำการเช็คว่าได้รับ เฟรมอนุญาตการส่งหรือยังในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.8 ผังงานขั้นตอนการเช็คเฟรมอนุญาตการส่งและส่งออกข้อมูล

โดยในรูปที่ 4.8 นั้นจะมี 2 กระบวนการในผังงานด้วยกัน ก็คืออย่างแรก จะทำการเช็คค่าตัวสถานีนั้นทำการรอแล้วได้รับเฟรมอนุญาตการส่งหรือยัง ในระยะเวลาที่กำหนด ถ้าครบกำหนดเวลาในการรอแล้วยังไม่ได้รับเฟรมอนุญาตการส่งจะถือว่าการส่งไม่สำเร็จและทำการขยายหน้าต่างช่วงชิง

อีกเท่าตัวและวนกลับเข้าไปทำใหม่ตั้งแต่ต้น แต่ในทางตรงข้ามถ้าได้รับเฟรมอนุญาตการส่ง ก็จะเริ่มกระบวนการส่งข้อมูลออกไปยังเป้าหมาย และจะนำไปสู่ขั้นตอนการเช็ค เอซีเค ในส่วนสุดท้ายของโปรแกรม



รูปที่ 4.9 ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค

ในส่วนของผังงานในรูปที่ 4.9 จะเป็นขั้นตอนที่เหมือนกันในรูปผังงานก่อนหน้าในบทที่ 3 ของเทคนิคจับมือสองทาง

ในการทำงานโปรแกรมจำลอง จะทำการเก็บค่าผลของการส่งเฟรมข้อมูลอยู่ในรูปตัวแปรคือ Cnt_Request คือการเก็บผลของการขอส่งข้อมูล
 Cnt_success คือทำการส่งสำเร็จ
 Cnt_collision คือจะทำการเก็บผลของการส่งข้อมูลไม่สำเร็จหรือชน(ตัวขอการส่ง)

4.4. การเซตตำแหน่งที่ตั้งของสถานีในโปรแกรม

ในส่วนถัดไปจะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับการจัดตำแหน่งของสถานีในโปรแกรมไพทอนที่ใช้ โดยมี ดังนี้

```

random.seed(2)
AP_position = (0,0)

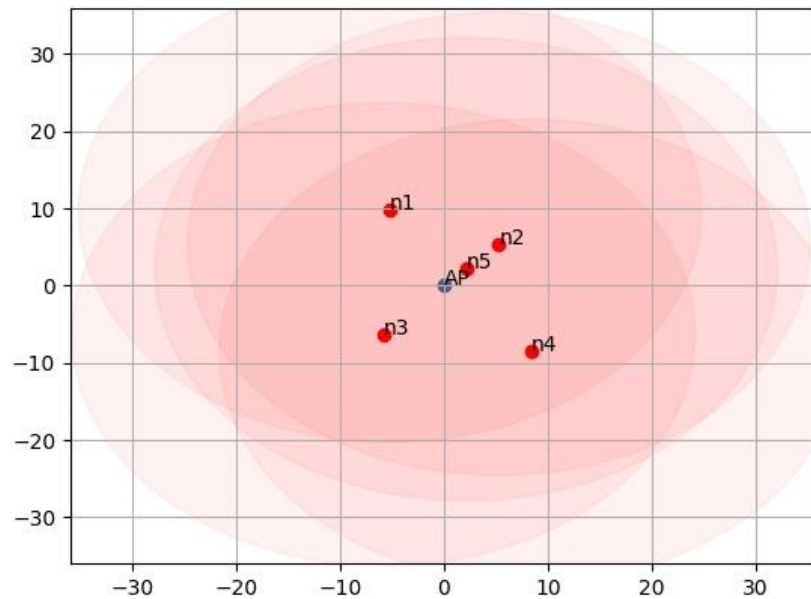
r = 30
Client_position = []
while True:
    x = random.uniform(-10, -5)
    y = random.uniform(5, 10)
    if x**2+y**2 <= r**2:
        Client_position.append((x,y))
        break
while True:
    x = random.uniform( 5, 10)
    y = random.uniform( 5, 10)
    if x**2+y**2 <= r**2:
        Client_position.append((x,y))
        break
while True:
    x = random.uniform(-10, -5)
    y = random.uniform(-10, -5)
    if x**2+y**2 <= r**2:
        Client_position.append((x,y))
        break
while True:
    x = random.uniform( 5, 10)
    y = random.uniform(-10, -5)
    if x**2+y**2 <= r**2:
        Client_position.append((x,y))
        break

for i in range(4, NUM_CLIENTS):
    while True:
        x = random.uniform(-10, 10)
        y = random.uniform(-10, 10)
        if x**2+y**2 <= (r/2)**2:
            Client_position.append((x,y))
            break

```

รูปที่ 4.10 การตั้งค่าตำแหน่งของสถานีในโปรแกรมไพทอน

จากรูปภาพที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการวางตำแหน่ง เอพี หรือตัวรับข้อมูลไว้เป็นศูนย์กลางของแผนที่ของการส่งข้อมูล จะอยู่ที่ตำแหน่ง 0,0 และจะให้ทุกสถานีทำการส่งอยู่รอบตัวของ เอพี โดยจากตัวอย่างในรูปที่ 4.10 ทำการกำหนดรัศมีของการได้ยินของสถานีไว้ที่ 30 หน่วย เพื่อที่จะสามารถทำให้ทุกสถานีในเครือข่ายไม่ซ้อนทับกัน และได้ยินในทุกครั้งที่มีการส่งสัญญาณ โดยหลักการทำงานโปรแกรมจะได้รูปดังภาพต่อไปนี้

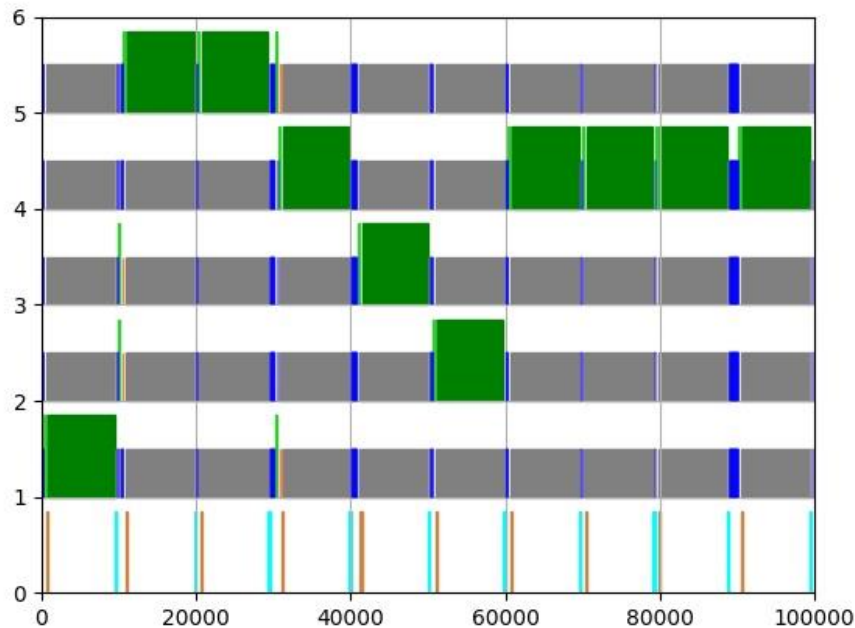


รูปที่ 4.11 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีและตัวเอพี

จากรูปภาพจะเห็นได้ว่า มีจุด เอพี ที่เป็นสีน้ำเงินอยู่ตรงกลางของแผนที่หรือก็คือจุดที่ 0,0 ของแกน โดยในที่นี้จะทำการเซตพื้นที่ทั้งหมดไว้ที่ 30x30 หน่วยด้วยกัน และจะมีสถานีอีก 5 สถานี ทำการสุ่มในตำแหน่งอยู่โดยรอบเอพี โดยแต่ละสถานีจะมีรัศมีการได้ยิน ในตัวอย่างจากรูปภาพที่ 4.11 นั้น ได้เซตการได้ยินของสถานีรัศมีไว้ที่ 30 หน่วยด้วยกัน และในส่วนของตัว เอพี นั้น จะมีการเซตให้สามารถได้ยินของทุก ๆ สถานีด้วยกัน เพราะว่าทำการสมมุติฐานว่า ทุก ๆ สถานีต้องการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี

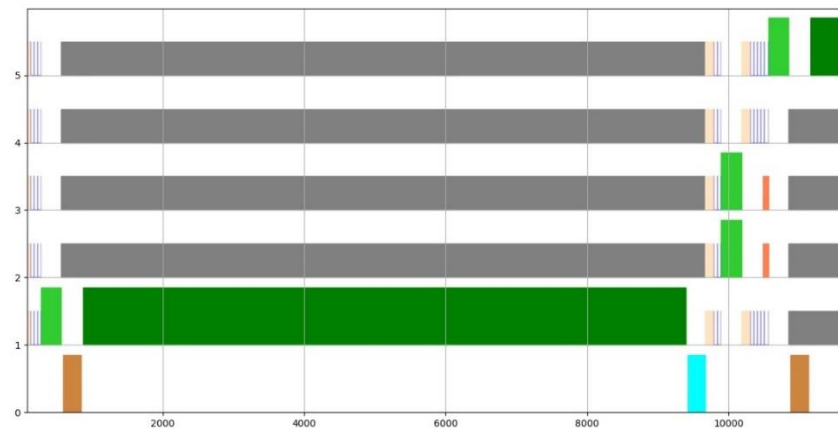
4.5. โปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง

โดยในส่วนถัดไปของเนื้อหาจะเป็นตัวอย่างของการทำงานข้อมูลของโปรแกรมการจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง



รูปที่ 4.12 ภาพรวมผลของการทำงานโปรแกรมจำลองจับมือสี่ทาง

จากรูปภาพที่ 4.12 เป็นตัวอย่างของภาพรวมของการทำงานโปรแกรมจับมือสี่ทางแบบไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้นจากกัน โดยมี สถานีทั้งหมดด้วยกัน 5 สถานี ก็คือสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 5 และมีตัวเอพีอยู่ 1 ตัวนั้นก็คือสถานีตัวเลข 0 ดังในรูปภาพที่ 4.12 โดยจากในภาพจะเป็นการตอบกลับไปมาของการส่งข้อมูล โดยในภาพจะเป็นการทำงานโดยส่งข้อมูลจากตัวสถานีไปยังตัว เอพี และมีการตอบของตัวเอพี มาเป็นระยะ โดยในรูปภาพจะเป็นภาพรวมโดยเห็นตั้งแต่ต้นจนจบของการทำงานที่ทำงานบนสล็อตเวลา 100000 สล็อตเวลา โดยในส่วนของการขยายเพื่ออธิบายรายละเอียดย่อยของโปรแกรมจะนำเสนอในภาพต่อไป



รูปที่ 4.13 ภาพโดยขยายของการส่งข้อมูลของสถานี

จากภาพที่ 4.13 เป็นภาพโดยขยายจากภาพที่ 4.12 ก่อนหน้าโดยเป็นการขยายให้เห็นการส่งข้อมูลได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จะมีด้วยกัน 5 สถานี และมี 1 เอพี ที่เป็นตัวจุดศูนย์กลางของทุกสถานี จะคอยรับข้อมูลมาจากตัวสถานี โดยการทำงานของโปรแกรมจำลองได้ทำเลียนแบบการทำงานตามทฤษฎีเทคนิคจับมือสี่ทางอย่างถูกต้อง [2] โดยจากรูปภาพ สีแต่ละสีจะบ่งบอกความหมายดังต่อไปนี้



หมายถึง เฟรมของขอการส่งที่ทำการขอส่งข้อมูล



หมายถึง เฟรมของอนุญาตการส่งที่ทำการยืนยันว่าช่องสัญญาณว่าง ซึ่งมาจากการตอบกลับของเอพี



หมายถึง ข้อมูลที่ทำการส่งมาจากตัวสถานีไปยังตัวรับ เอพี



หมายถึง ช่วงที่สถานีตัวอื่นเห็นว่าช่องสัญญาณไม่ว่างและทำการหลับ



หมายถึง เฟรมยืนยันของตัว เอพี ส่งกลับไปหาสถานีต้นทางเพื่อที่จะยืนยันว่า ตัวปลายทางเอพีได้รับข้อมูลจากตัวสถานีเรียบร้อยแล้ว



หมายถึง ช่วงระยะเวลาของดีไอเอฟเอสเป็นการนับเวลาก่อนจะเริ่มทำการนับถอยหลังแบล็กออฟ


```

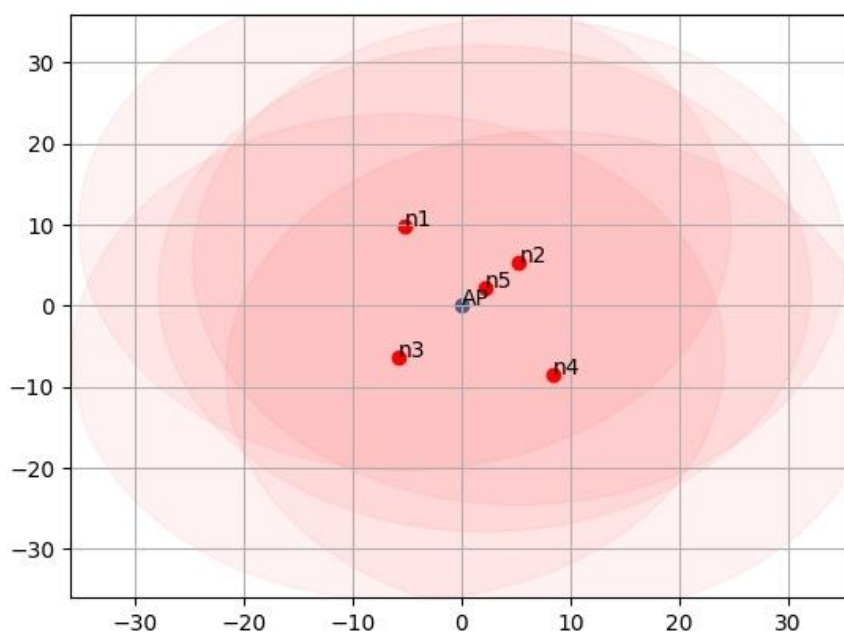
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: []}
Number of request: 15
Number of success: 10
Number of collision: 4
Throughput 0.8524

```

รูปที่ 4.14 ผลของการทำงานโปรแกรม

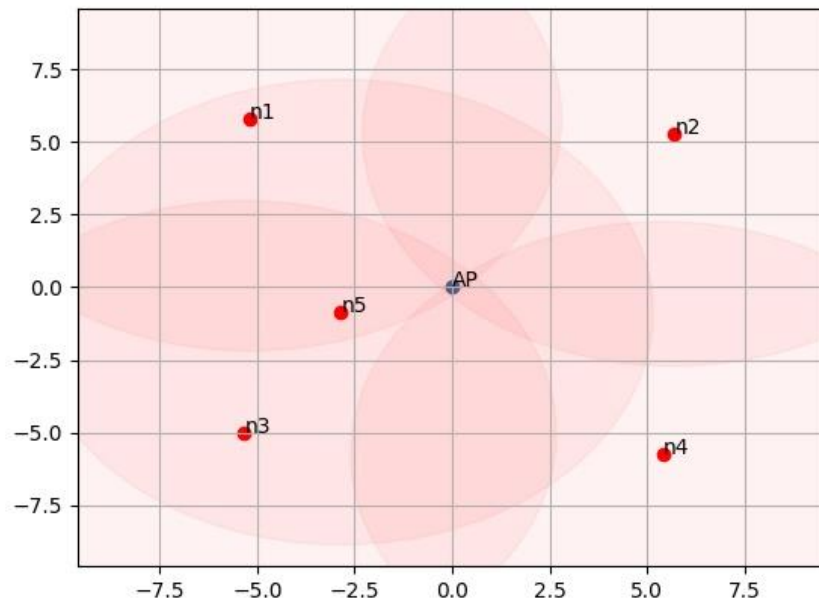
โดยจากรูปภาพที่ 4.14 นั้นเป็นตัวอย่างของการทำงานโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยในตัวผลลัพธ์จะสามารถบอกได้ว่าสถานีตัวไหนทำการชอนจากสถานีตัวไหนได้ โดยในรูปภาพที่ 4.15 นั้นจะเห็นได้ว่าทุกสถานีนั้นไม่มีการชอนจากสถานีตัวไหน

นอกจากนี้ทางโปรแกรมยังสามารถรายงานจำนวนการขอการส่งของสถานี, จำนวนของการส่งข้อมูลได้สำเร็จ, จำนวนการชนกันของกันของเฟรมขอการส่ง



รูปที่ 4.15 สถานีที่ไม่ชอนเร้นจากกัน

ในส่วนต่อไปจะเป็นตัวอย่างของโปรแกรมเทคนิคจับมือสี่ทางที่สถานีมีการชอนเร้นจากกัน และเกิดการชนในบางกรณี

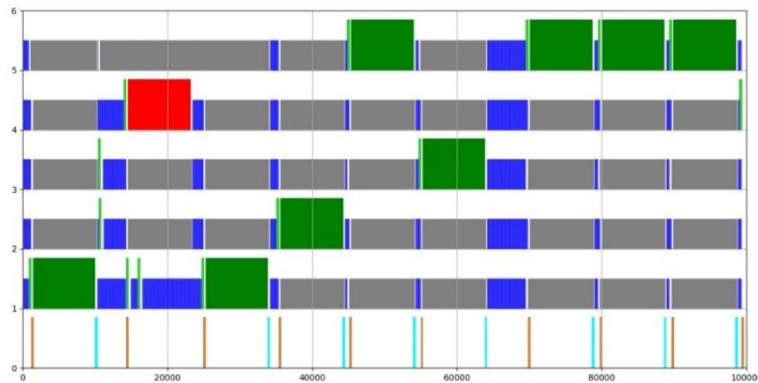


รูปที่ 4.16 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ้อนเร้นจากกัน








จากรูปภาพข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่ามีสถานีด้วยกันทั้งหมด 5 สถานีและจะมีบางสถานีที่ทำการซ้อนเร้นจากสถานีตัวอื่น ยกตัวอย่างเช่นสถานีที่ 4 ทำการซ้อนเร้นจากทุกสถานีด้วยกัน โดยดูจากรัศมีของการได้ยินของสถานีที่ 4 (วงกลมสีแดง) นั้นจะครอบคลุมแค่ตัวของ เอพี แต่ไม่ครอบคลุมสถานีตัวอื่นใด ๆ ทั้งสิ้น

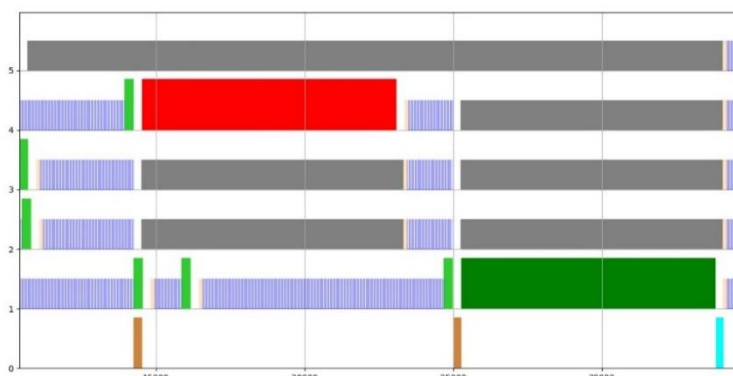
อีกตัวอย่างจากรูปภาพคือ สถานีที่ 1 นั้นทำการซ้อนเร้นจากทุกสถานียกเว้นแต่สถานีที่ 5 ที่ได้ยินสถานีที่ 1 เป็นต้น

ในส่วนถัดไปจะเป็นผลของตัวอย่างการทำงานข้อมูลจากโปรแกรมเทคนิคจับมือสี่ทางที่มีการส่งข้อมูลชนกัน



รูปที่ 4.17 ภาพรวมผลของการทำงานโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางในกรณีที่มีการส่งไม่สำเร็จ

-  หมายถึง เฟรมขอการส่งที่ทำการขอส่งข้อมูล
-  หมายถึง เฟรมอนุญาตการส่งที่ทำการยืนยันว่าช่องสัญญาณว่าง ซึ่งมาจากการตอบกลับของ เอพี
-  หมายถึง ข้อมูลที่ทำการส่งมาจากตัวสถานีส่งไปยังตัวรับ เอพี
-  หมายถึง ช่วงที่สถานีตัวอื่นเห็นว่าช่องสัญญาณไม่ว่างและทำการหลับ
-  หมายถึง เฟรมยืนยันของตัวเอพีส่งกลับไปหาสถานีเพื่อที่จะยืนยันว่า ตัวปลายทาง เอพี ได้รับข้อมูลจากตัวสถานี
-  หมายถึง ช่วงระยะเวลาของดีไอเอฟเอสเป็นการนับเวลาก่อนจะเริ่มทำการนับถอยหลังแบล็ก
-  หมายถึง การส่งข้อมูลนั้นไม่สำเร็จหรือเกิดการชนกัน



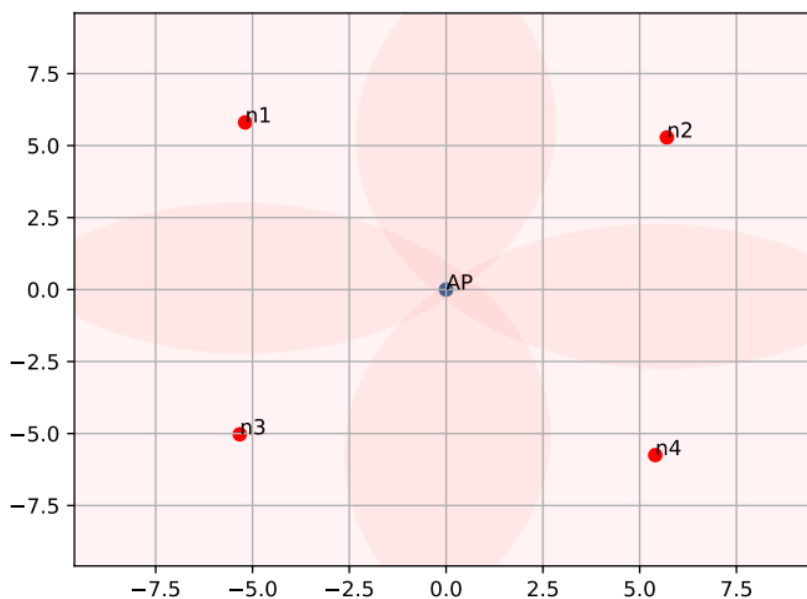
รูปที่ 4.18 ภาพโดยขยายของการส่งข้อมูลโดยมีการส่งไม่สำเร็จ

จากรูปภาพที่ 4.18 นั้นจะมี 2 เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นก็คือ

เหตุการณ์ที่ 1 เกิดการชนกันของการส่ง เฟรมขอการส่ง ที่สถานีที่ 3 และสถานีที่ 4 โดยดูได้จากในรูปภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าการส่งเฟรม อาร์ทีเอส ในเวลาใกล้เคียงกันจึงทำให้เกิดการชนกันทำให้เกิดการขยายขนาดของหน้าต่างช่วงชิง และทำการสับเปลี่ยนบัลลูนเพื่อทำการส่งใหม่อีกครั้ง โดยสาเหตุที่ เฟรมขอการส่งของทั้งสถานีเกิดการชนกันนั้นมาจากการที่ สถานีที่ 3 และสถานีที่ 4 เกิดการชนจากกัน และเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถรับรู้ได้ว่าเมื่อสถานีใดสถานีหนึ่งทำการส่งเฟรมขอการส่งออกไปนั้น

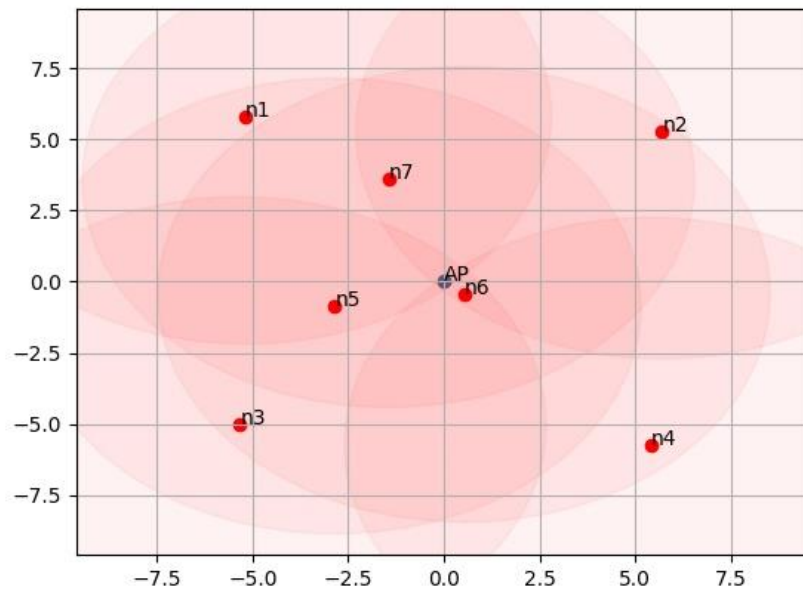
เหตุการณ์ที่ 2 เกิดการส่งของข้อมูลไม่สำเร็จเพราะเกิดจากการสถานีที่ชนจากกัน โดยดูได้จากรูปภาพที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าสถานีที่ 1 กับสถานีที่ 4 ชนจากกันจึงทำให้ไม่สามารถรับรู้การส่งเฟรมขอการส่ง เมื่อสถานีที่ 4 ทำการส่งเฟรมขอการส่งออกไปและกำลังจะได้รับเฟรมอนุญาตการส่งจากตัว เอพี นั้นสถานีที่ 1 ที่ชนจากสถานีที่ 4 ไม่เห็นเฟรมขอการส่งของสถานีที่ 1 ก็ถึงเวลาส่งเฟรมขอการส่งพอดี ประกอบกับเวลานั้น ตัว เอพี ส่ง เฟรมอนุญาตการส่งกลับมาหาสถานีที่ 4 พอดี นั้นจึงทำให้สถานีที่ 4 ทำการส่งข้อมูลไปทันทีหลังจากได้รับเฟรมอนุญาตจากตัว เอพี และส่วนสถานีที่ 1 นั้นหลังจากส่งเฟรมขอการส่งสวนออกไปแล้วนั้นไม่ได้รับอนุญาตตอบกลับมาจึงทำการรอ ดีไอเอฟเอส และทำการนับบัลลูนใหม่ต่อ พอได้ช่วงเวลาที่ต้องส่ง เฟรมขอการส่งอีกครั้งจึงทำให้ส่งออกไป แต่ในขณะเดียวกันนั้น สถานีที่ 4 กำลังส่งข้อมูลอยู่ จึงทำให้ตัว เอพี รับข้อมูลเฟรมพร้อมกันทั้ง 2 ทาง ก็คือตัวข้อมูลของสถานีที่ 4 กับ เฟรมขอการส่งของสถานีที่ 1 จึงทำให้การส่งข้อมูลครั้งนี้ล้มเหลว ไม่ได้รับเฟรมยืนยันจากตัว เอพี เพราะ ตัว เอพี จะสามารถรับข้อมูลได้เพียง 1 ช่องเท่านั้น

จากตัวอย่างก่อนหน้าจะเป็นการเซตตำแหน่งของสถานีโดยจะไม่มี การซ้อนรัศมีจากกัน แต่ใน ตัวอย่างต่อไปจะเป็นการเซตตำแหน่งของสถานีโดยสถานีจะทำการซ้อนรัศมีจากกันได้ โดยจากรูปภาพ 4.19 ก่อนหน้านั้น จะกำหนดรัศมีของสถานีแต่ละสถานี โดยให้รัศมีเท่ากับ 8 หน่วย จะแสดงดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.19 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ้อนรัศมีจากกันและตัวของ เอพี กรณีแรก

จากรูปภาพที่ 4.19 จะสามารถเห็นได้ว่ามีด้วยกัน 4 สถานีด้วยกัน และทุกสถานีมีรัศมีการได้ยินที่ 8 หน่วย จะครอบคลุมถึงตัว เอพี แต่ทว่าจะไม่ครอบคลุมถึงสถานีตัวอื่น ๆ เช่น สถานีที่ 3 จะซ้อนรัศมีจากสถานีที่ 1 , 2 , 4 เป็นต้น ดังนั้นจึงหมายความว่าสถานีตัวอื่นจะไม่สามารถรับรู้การส่งข้อมูลของสถานีที่ 3 ด้วยกัน ดังนั้นเมื่อสถานีที่ 3 ทำการส่งข้อมูลสถานีอื่น ๆ จะไม่สามารถรับรู้ได้ แต่จะมารับรู้ว่าช่องสัญญาณไม่ว่างก็ต่อเมื่อมีการตอบกลับของตัว เอพี ที่ตอบ ซีทีเอส ไปยังสถานีที่ 3 โดยการตอบของ เอพี จะครอบคลุมทุก ๆ สถานีในรัศมีของ เอพี นั่นจึงเป็นการเคลียว่าช่องสัญญาณไม่ว่างระดับนี้



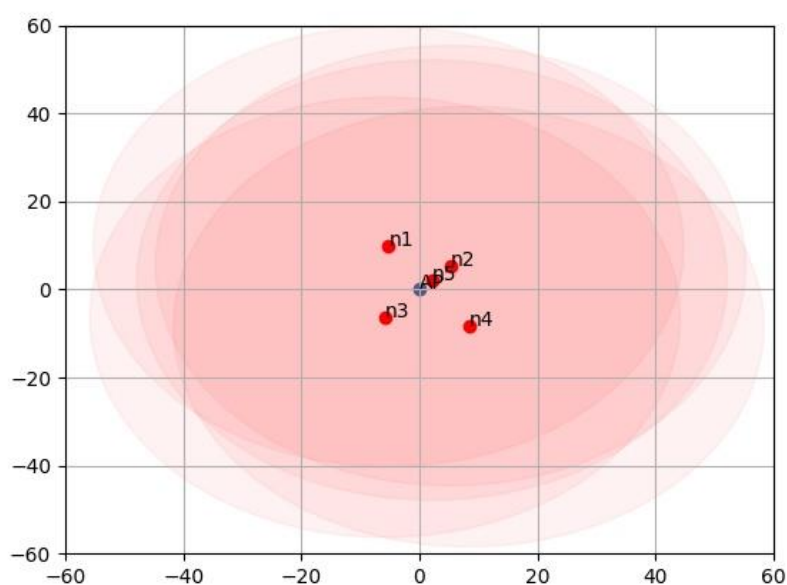
รูปที่ 4.20 การกำหนดตำแหน่งของแต่ละสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันและตัวของ เอพี กรณีที่สอง

จากภาพที่ 4.20 โดยจากในภาพเป็นอีกตัวอย่างของการมีสถานีซ่อนเร้นจากสถานีอื่น โดยในตัวอย่างสถานีที่ 3 ทำการซ่อนเร้นจากสถานีที่ 1, 2, 4 แต่ทว่ากลับไม่ได้ซ่อนเร้นจากสถานีที่ 5,6,7 ตามลำดับ นั้นหมายความว่า เมื่อสถานีที่ 3 ทำการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี สถานีตัวอื่นที่ 1,2,4 จะไม่สามารถทำกับรับรู้ได้ และจะไม่หลับลงแต่จะยังคงทำหน้าที่นับแบล็กออฟต่อไปสักกระยะหนึ่ง แต่จะมาหยุดนับและหลับเมื่อตัวเอพีทำการส่งเฟรมอนุญาตการส่งกลับมายังเป้าหมาย และได้ยินจึงหลับ ซึ่งแตกต่างจากสถานีที่ 5,6 ที่ไม่ได้ซ่อนเร้นจากสถานีที่ 3 ดังนั้นเมื่อสถานีที่ 3 ทำการส่งข้อมูลไปยังตัวเป้าหมาย เอพี ก็จะทำให้สถานีที่ 5, 6 ได้ยินทันทีและจะทำการหลับทันทีโดยไม่ได้รอการได้ยินการตอบกลับของเฟรมอนุญาตการส่งของตัวเอพี

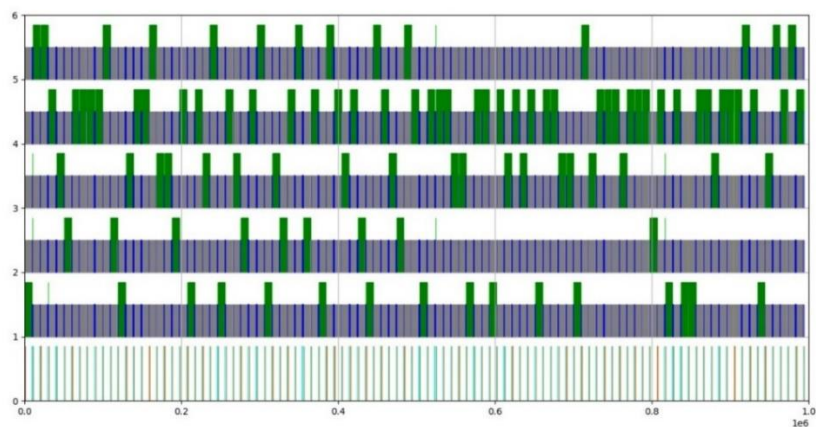
4.6. ผลการทดลองโปรแกรมเทคนิคจับมือสี่ทาง

ในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการทดลองของโปรแกรมจำลองในช่วงที่มีสถานีทั้งหมดเท่ากับ 5 , 10 , 15 ในช่วงขนาดหน้าต่างช่วงซึ่งเท่ากับ 32 และ 128 โดยจะมีทั้งที่สถานีไม่มีการซ่อนเร้นกันของสถานี และมีการซ่อนเร้นกันของสถานีที่ทำการส่งข้อมูลโดยในที่นี้จะทำการแสดงเพียง ช่วงจำนวนทั้งหมดของ 5 และ 10 สถานีเท่านั้น โดยจะมีการสุ่มทดลองในหลาย ๆ ช่วงด้วยกัน

4.6.1. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงซึ่ง 32 ทั้งกรณีที่สถานีซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 4.21 สถานีทั้งหมด 5 สถานี ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน
CHULALONGKORN UNIVERSITY



```

Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: []}
Number of request(Stations): 110
Number of collision(RTS from Stations): 8
Number of success(Data from Stations): 101
Throughput 0.860924

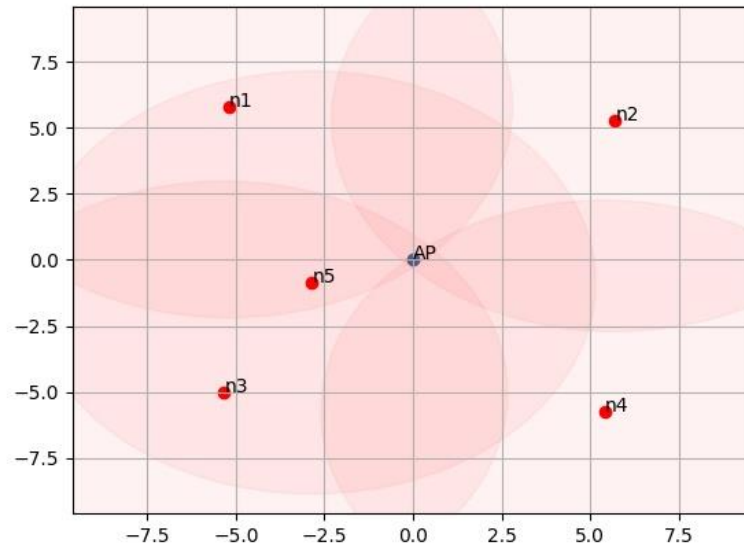
```

รูปที่ 4.22 ผลการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 32

จากรูปภาพที่ 4.22 จะแสดงให้เห็นว่าจะมีการบอกว่าในส่วนของสถานีที่ซ่อนเร้นไม่มีก็คือไม่มีสถานีที่ทำการซ่อนเร้นจากสถานีอื่นใด ๆ มีการขอการส่งข้อมูลทั้งหมดจากสถานีด้วยกันที่ 110 ครั้ง มีจำนวนข้อมูลที่ส่งสำเร็จที่ 101 ครั้ง และมีเกิดการชนกันของเฟรมขอการส่งอยู่ที่ 8 ครั้ง

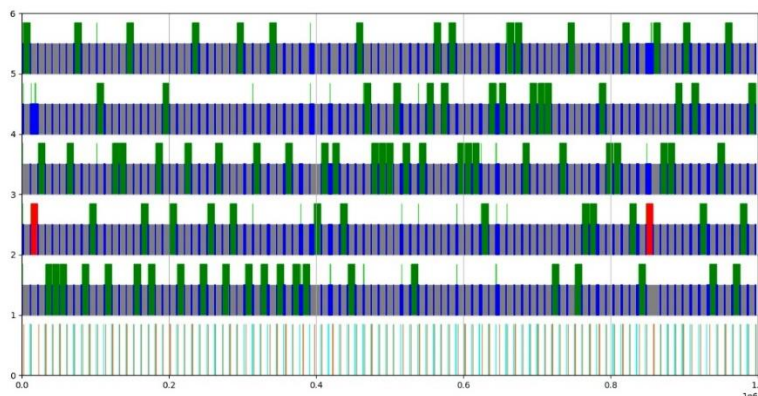
ค่าทฤษฎีของงานจะได้อยู่ที่ 0.860924 จากการวิเคราะห์ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีในระดับนี้ เพราะขนาดหน้าต่างช่วงชิงเท่ากับ 32 ทำให้การสุ่มแบล็กออฟของสถานีไม่ต้องรอนานจึงทำให้มีการส่งของข้อมูลที่มากขึ้นด้วย และทำให้ค่าทฤษฎีออกมาดี และอีก 1 ปัจจัยก็คือจำนวนสถานีทั้งหมดมีน้อยก็คือมี 5 สถานี ทำให้มีการแย่งกันการส่งไม่มากตาม

ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง 5 สถานี ที่มีสถานีซ้อนเร้นกัน หน้าต่างช่วงชิง 32



รูปที่ 4.23 สถานีทั้งหมด 5 สถานี ที่มีการซ้อนเร้นจากกัน

จากรูปภาพที่ 4.23 ที่แสดงจะเห็นได้ว่ามีสถานีที่ทำการซ้อนเร้นจากสถานีตัวอื่น โดยดูได้จากรัศมีของการได้ยินไม่ได้ครอบคลุมในทุก ๆ ตัวของทุกสถานี



```

Hidden node {1: [2, 3, 4], 2: [1, 3, 4, 5], 3: [1, 2, 4], 4: [1, 2, 3, 5], 5: [2, 4]}
Number of request(Stations): 130
Number of collision(RTS from Stations): 37
Number of success(Data from Stations): 92
Throughput 0.784208

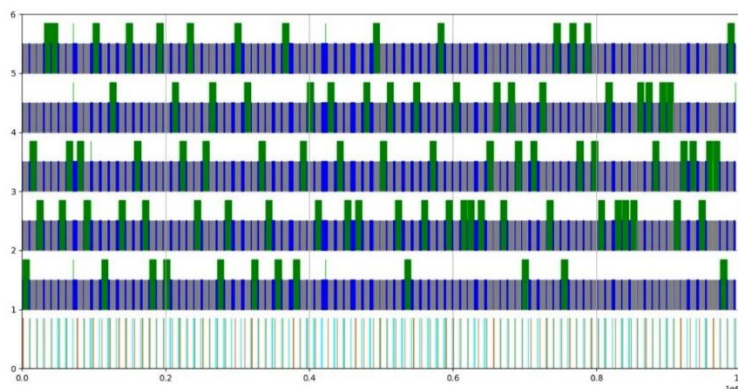
```

รูปที่ 4.24 ผลการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่มีการชนกัน หน้าต่างช่วงชิง 32

จากรูปภาพที่ 4.24 นั้น จะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 5 สถานีที่มีบางสถานีทำการชนกันจากสถานีตัวอื่นได้ โดยดูได้จากภาพที่ 4.23 ก่อนหน้า ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอส่งของตัวสถานีนั้นจะอยู่ที่ 130 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จของสถานีอยู่ที่ 92 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่งอยู่ที่ 37 ครั้ง

โดยสุดท้ายในส่วนของทรูพุดของงานจะลงมาอยู่ที่ 0.784208 พบว่าในตัวอย่างภาพที่ 4.24 มีการชนกันของข้อมูลที่ส่งไปยังตัว เอพี จากสถานีตัวที่ 2 เนื่องมาจากสถานีที่ 2 ชนกันจากสถานีอื่นทั้งหมดโดยดูจากภาพที่ 4.23 ประกอบ มีบางครั้งที่เกิดการชนกันในการส่ง ทำให้ส่งข้อมูลไม่สำเร็จแต่เป็นเพียงเล็กน้อยจากการส่งทั้งหมด และพบว่ามีชนกันของการส่งเฟรมขอการส่งที่มากขึ้นอย่างชัดเจนเพราะเนื่องมาจากสาเหตุการชนกันของสถานี

4.6.2. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทาง ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 128 ที่สถานีที่สถานีซ้อนเร้นและไม่ซ้อนเร้น จำนวน 5 สถานี



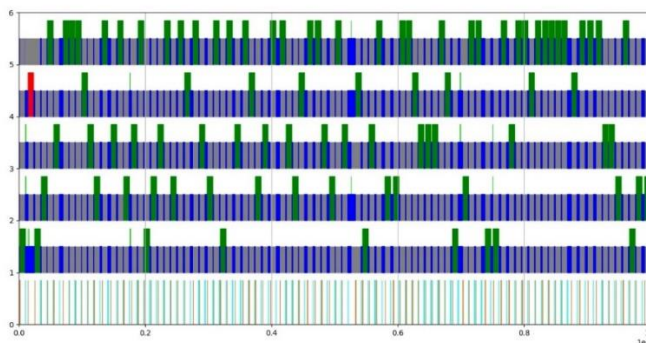
```
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: []}
Number of request(Stations): 98
Number of collision(RTS from Stations): 7
Number of success(Data from Stations): 90
Throughput 0.76716
```

รูปที่ 4.25 ผลการส่งข้อมูลของ 5 สถานีที่ไม่มีการซ้อนเร้นจากกันหน้าต่างช่วงชิง 128

จากรูปภาพที่ 4.25 นั้นจะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 5 สถานีที่ไม่มีการซ้อนเร้นจากกัน โดยมีขนาดหน้าต่างเริ่มต้นของหน้าต่างช่วงชิงอยู่ที่เท่ากับ 128 ส่วนในด้านของการวางตำแหน่งของสถานีสามารถดูได้จากรูปภาพที่ 4.21 เนื่องจากใช้ในสถานการณ์เดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงขนาดของหน้าต่างช่วงชิง ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอส่งของสถานีทั้งหมดจะอยู่ที่ 98 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จอยู่ที่ 90 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่งอยู่ที่ 7 ครั้ง

โดยสุดท้ายในส่วนของการสูญเสียของงานนั้นจะลงมาอยู่ที่ 0.76716 โดยจะพบว่าค่าการสูญเสียลดลงมาจากเดิมในตัวอย่างในรูปภาพที่ 4.22 นั้นก็เพราะว่ามีการส่งสำเร็จที่น้อยลงจากเดิม เนื่องจากขนาดหน้าต่างช่วงชิง เริ่มต้นนั้นใหญ่ในระดับที่ 128 แต่สถานีเท่าเดิมคือ 5 สถานี ทำให้เวลาสำหรับการนับแบล็กออฟอาจจะได้ตัวเลขที่เยอะ และจะทำให้รอนานขึ้น ทำให้เสียเวลาในการรอนานขึ้น ส่งข้อมูลได้น้อยลงประมาณ 10 % จากที่ควรจะได้ จากการวิเคราะห์จะทำให้ได้ว่าการเลือกจำนวนสถานีกับขนาดหน้าต่างช่วงชิงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำให้ได้ค่าการสูญเสียที่ขึ้น

ส่วนต่อไปเป็นส่วนของที่มีสถานีทั้งหมด 5 สถานี ขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเท่ากับ 128 และมีสถานีที่ชนกัน



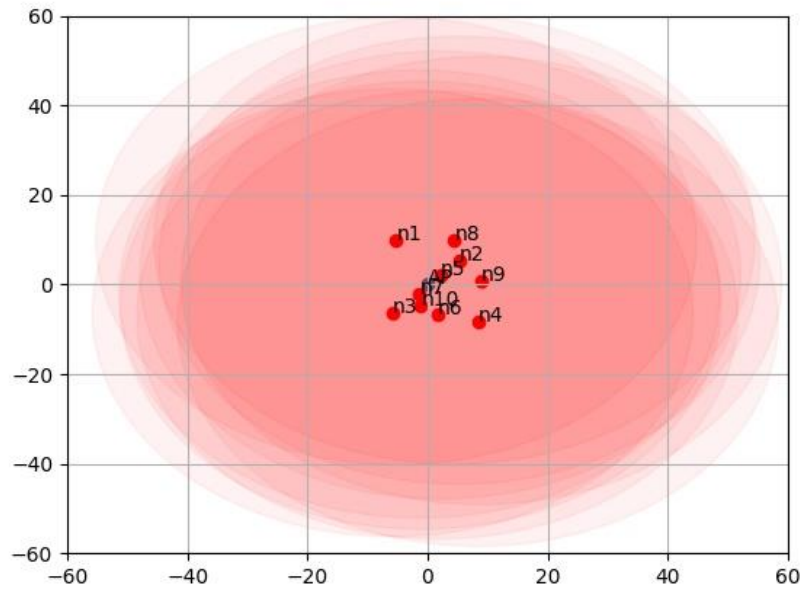
```
Hidden node {1: [2, 3, 4], 2: [1, 3, 4, 5], 3: [1, 2, 4], 4: [1, 2, 3, 5], 5: [2, 4]}
Number of request(Stations): 92
Number of collision(RTS from Stations): 19
Number of success(Data from Stations): 72
Throughput 0.613728
```

รูปที่ 4.26 การส่งข้อมูลทั้งหมด 5 สถานีที่มีการชนกันหน้าต่างช่วงชิง 128

จากรูปภาพที่ 4.26 นั้นจะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 5 สถานีที่มีการชนกัน โดยที่มีขนาดหน้าต่างเริ่มต้นของหน้าต่างช่วงชิงอยู่ที่เท่ากับ 128 ส่วนในด้านของการวางตำแหน่งของสถานีนั้น สามารถดูได้จากรูปภาพที่ 4.23 เนื่องจากใช้ในสถานการณ์เดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงขนาดของหน้าต่างช่วงชิง ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอส่งของสถานีทั้งหมดนั้นจะอยู่ที่ 92 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จอยู่ที่ 72 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่งอยู่ที่ 19 ครั้ง

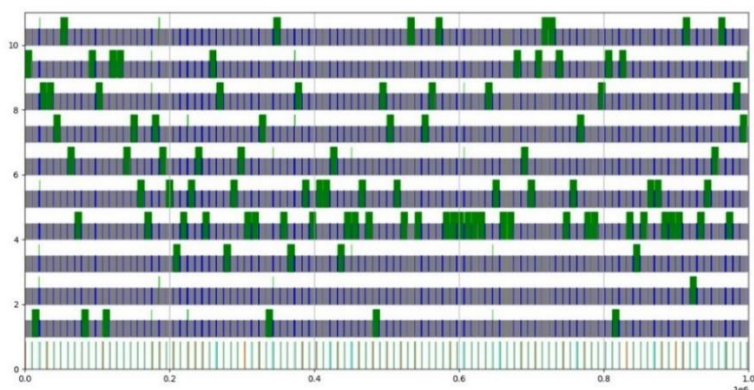
โดยสุดท้ายในส่วนของทรูพัตของงานนั้นจะลงมาอยู่ที่ 0.613728 โดยเมื่อเทียบกับผลตัวอย่างในรูปที่ 4.24 จะพบว่าค่าทรูพัตลดลงประมาณ 10 % จากเดิม จะมีการส่งงานที่ได้น้อยลง เพราะขนาดของหน้าต่างช่วงชิงที่มากขึ้น ทำให้มีการรอแบล็กออฟที่นานขึ้น แต่จะพบว่ามีการชนกันของข้อมูลที่น้อยมากขึ้น แม้จะมีสถานีที่ชนกัน

4.6.3. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองเทคนิคจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงชิง 32 ทั้ง
กรณีทีสถานีสอนเร้นและไม่สอนเร้น จำนวนสถานี 10 สถานี



รูปที่ 4.27 สถานีทั้งหมด 10 สถานี ไม่มีการสอนเร้นจากกัน

โดยจากภาพที่ 4.27 นั้นจะเห็นได้ว่าไม่มีสถานีใดที่หลุดออกจากรัศมีการได้ยินของกันละกัน
ของทุกสถานี และมีสถานีทั้งหมด 10 สถานี



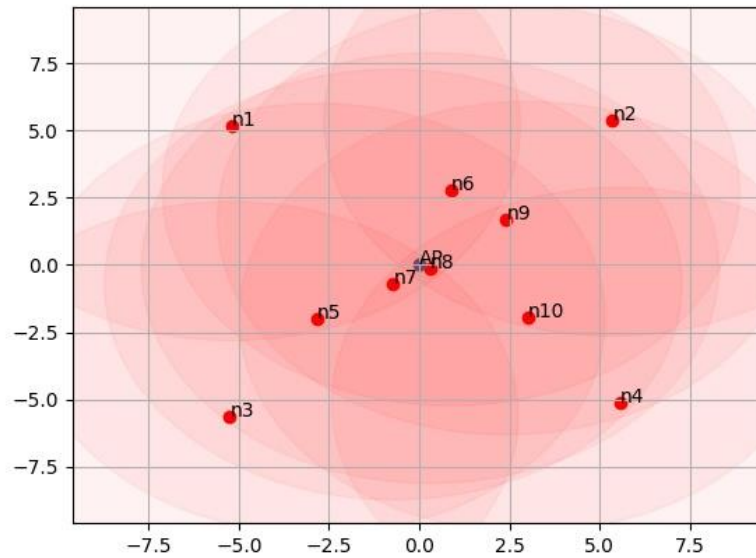
```
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: [], 6: [], 7: [], 8: [], 9: [
], 10: []}
Number of request(Stations): 126
Number of collision(RTS from Stations): 24
Number of success(Data from Stations): 101
Throughput 0.860924
```

รูปที่ 4.28 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่ไม่มีการซ่อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 32

จากรูปภาพที่ 4.28 นั้นจะแสดงให้เห็นว่า มีการขอการส่งข้อมูลของสถานีทั้งหมดที่ 126 ครั้ง มีจำนวนที่ส่งข้อมูลสำเร็จที่ 101 ครั้ง และมีเกิดการชนกันของเฟรมขอการส่งอยู่ที่ 24 ครั้ง โดยค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.860924

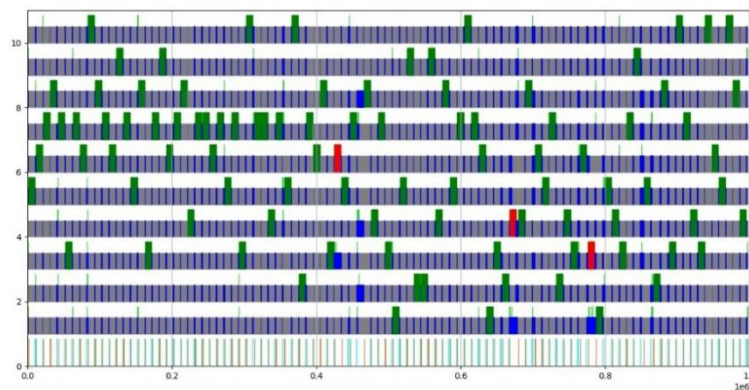
โดยเมื่อทำการเทียบกับข้อมูลของการส่งข้อมูลของตัวสถานี 5 สถานีนั้นจะเห็นว่าทางของ 10 สถานีนั้นจะมีการชนของตัวขอทำการส่งที่มากขึ้นกว่าเพราะ ขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นเท่าเดิมคือ 32 แต่มีจำนวนของจำนวนสถานีที่เพิ่มเข้ามา ดังนั้นจะเกิดโอกาสที่ส่งแล้วชนกันมากขึ้นกว่าเดิม แต่จะทดแทนกับจำนวนสถานีที่เยอะขึ้น

ส่วนต่อไปเป็นส่วนของที่มิสถานี่ทั้งหมด 10 สถานี่ ขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเท่ากับ 32 และมีบางสถานี่ที่ซ้อนเร้นจากกัน



รูปที่ 4.29 สถานี่ทั้งหมด 10 สถานี่ ที่มีการซ้อนเร้นจากกัน

โดยจากรูปภาพที่ 4.29 ที่แสดงนั้นจะเห็นได้ว่ามีสถานี่ที่ทำการซ้อนเร้นจากสถานี่ตัวอื่น ดูได้จากรัศมีของการได้ยื่นไม่ได้ครอบคลุมในทุก ๆ ตัวของสถานี่ แต่จะมีบางตัวที่ไม่มีการซ้อนเร้นจากสถานี่ตัวอื่น



```

Hidden node {1: [2, 3, 4, 9, 10], 2: [1, 3, 4, 5, 7], 3: [1, 2, 4, 6, 9,
10], 4: [1, 2, 3, 5, 6], 5: [2, 4], 6: [3, 4], 7: [2], 8: [], 9: [1, 3],
10: [1, 3]}
Number of request(Stations): 152
Number of collision(RTS from Stations): 56
Number of success(Data from Stations): 95
Throughput 0.80978

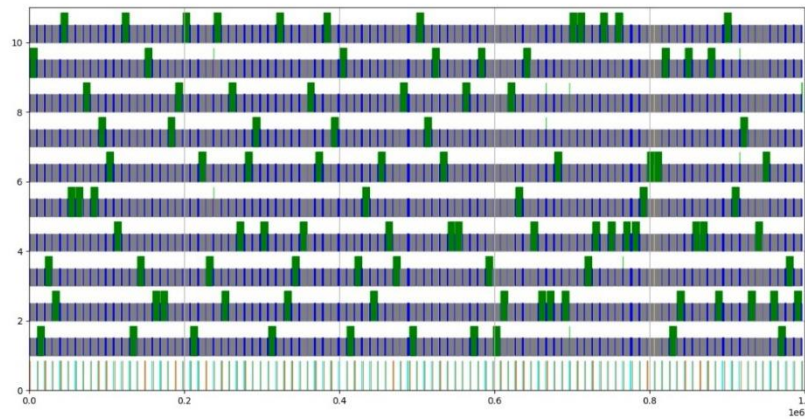
```

รูปที่ 4.30 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่มีการชนกันบางสถานี หน้าต่างช่วงชิง 32

จากรูปภาพที่ 4.30 นั้นจะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 10 สถานีที่มีบางสถานีชนกัน โดยมีความยาวหน้าต่างเริ่มต้นของหน้าต่างช่วงชิงอยู่ที่เท่ากับ 32 ส่วนในด้านของการวางแผนของสถานีนั้น สามารถดูได้จากรูปภาพที่ 4.29 ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอการส่งของสถานีทั้งหมดนั้นจะอยู่ที่ 152 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จอยู่ที่ 95 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่ง 56 ครั้ง

โดยสุดท้ายในส่วนของทราฟฟิคของงานนั้นจะอยู่ที่ 0.80978 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยจากการวิเคราะห์จะพบว่าการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเล็กน้อย และการส่งขอการส่งที่ส่งออกไปชนกันเยอะมาก เพราะเป็นสถานการณ์ที่ชนกัน และจำนวนของหน้าต่างช่วงชิงที่เท่ากับ 32 ไม่ได้เยอะมากเมื่อเทียบกับจำนวนสถานีที่เยอะขึ้น แต่ในรูปของการใช้เทคนิคสี่มือจับทางนั้นจะสามารถทำให้ค่าทราฟฟิคของงานยังออกมาในระดับที่ดีกว่าเทคนิคจับมือสองทางก่อนหน้า

4.6.4. ผลการทดลองโปรแกรมจำลองจับมือสี่ทางขนาดหน้าต่างช่วงชิง 128 ทั้งกรณีที่สถานีช้อนเร้นและไม่ช้อนเร้น จำนวนสถานี 10 สถานี



```
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: [], 6: [], 7: [], 8: [], 9: [
], 10: []}
Number of request(Stations): 109
Number of collision(RTS from Stations): 8
Number of success(Data from Stations): 100
Throughput 0.8524
```

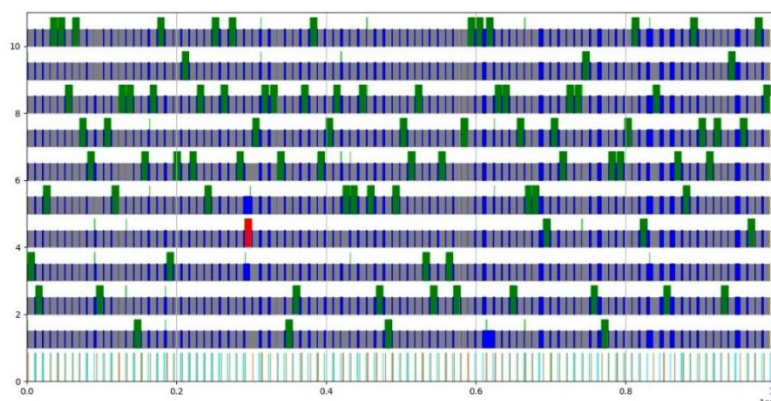
รูปที่ 4.31 การส่งข้อมูลทั้งหมด 10 สถานีที่ไม่มีการช้อนเร้นจากกันหน้าต่างช่วงชิง 128

จากรูปภาพที่ 4.31 นั้นจะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 10 สถานีที่ไม่มีการช้อนเร้นจากกัน โดยมีขนาดหน้าต่างเริ่มต้นของหน้าต่างช่วงชิงอยู่ที่เท่ากับ 128 ส่วนในด้านของการวางตำแหน่งของสถานีนั้น สามารถดูได้จากรูปภาพที่ 4.27 เนื่องจากใช้ในสถานการณ์เดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงขนาดของหน้าต่างช่วงชิง

ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอส่งของสถานีทั้งหมดนั้นจะอยู่ที่ 109 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จอยู่ที่ 100 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่งอยู่ที่ 8 ครั้ง

โดยสุดท้ายในส่วนของทรูพุดของงานนั้นจะอยู่ที่ 0.8524 พบว่าค่าทรูพุดจะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีไม่ได้ต่างจากตัวอย่างการใช้หน้าต่างช่วงชิง 32 เนื่องมาจากยังส่งข้อมูลได้อยู่ในกรณีสุ่มครั้งนี้ และจะเห็นว่าเมื่อขนาดหน้าต่างช่วงชิงใหญ่ขึ้นนั้น จะทำให้การส่งเฟรมขอการส่งชนกันน้อยลง

ส่วนต่อไปเป็นส่วนของที่มีสถานีทั้งหมด 10 สถานี ขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเท่ากับ 128 และมีสถานีที่ซ้อนเร้นจากกัน



```
Hidden node {1: [2, 3, 4, 9, 10], 2: [1, 3, 4, 5, 7], 3: [1, 2, 4, 6, 9, 10], 4: [1, 2, 3, 5, 6], 5: [2, 4], 6: [3, 4], 7: [2], 8: [], 9: [1, 3], 10: [1, 3]}
Number of request(Stations): 121
Number of collision(RTS from Stations): 30
Number of success(Data from Stations): 91
Throughput 0.775684
```

รูปที่ 4.32 การส่งข้อมูลทั้งหมดของ 10 สถานีที่มีการซ้อนเร้นจากกัน หน้าต่างช่วงชิง 128

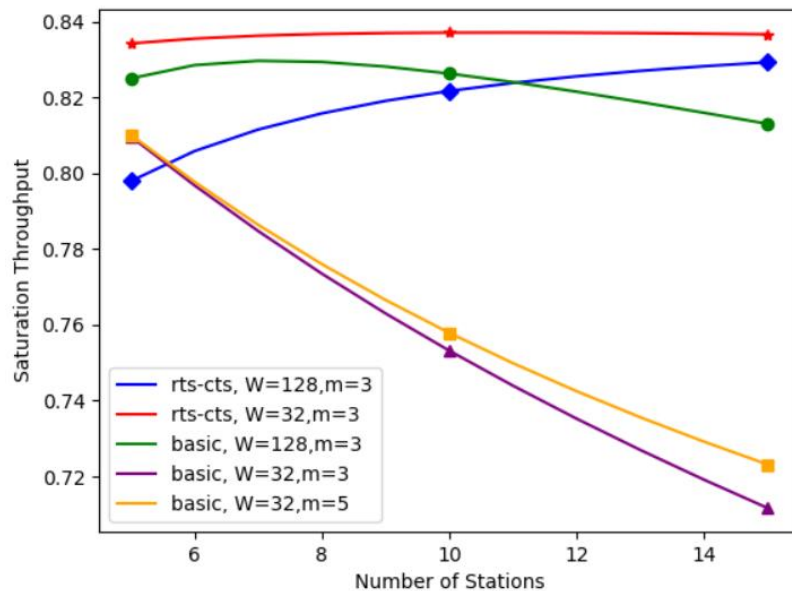
จากรูปภาพที่ 4.32 นั้นจะเป็นการแสดงผลของการทำงานทั้งหมดของ 10 สถานีที่มีบางสถานีซ้อนเร้นจากกัน โดยมีขนาดหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นอยู่ที่เท่ากับ 128 ส่วนในด้านการวางตำแหน่งของสถานีนั้น สามารถดูได้จากรูปภาพที่ 4.29 เนื่องจากใช้ในสถานการณ์เดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงขนาดของหน้าต่างช่วงชิง

ในส่วนของจำนวนที่ทำการขอส่งของสถานีทั้งหมดนั้นจะอยู่ที่ 121 ครั้ง จำนวนการส่งข้อมูลสำเร็จอยู่ที่ 91 และจำนวนที่เกิดการชนกันของการขอส่งของสถานีอยู่ที่ 30 ครั้ง

โดยสุดท้ายในส่วนของทรูพัตของงานนั้นจะลงมาอยู่ที่ 0.775684 โดยจะแตกต่างจากผลในรูปที่ 4.31 ประมาณ 5 % เท่านั้น โดยจะพบว่าค่าของการส่งชนกันน้อยลงอย่างชัดเจนเนื่องจากขนาดของหน้าต่างช่วงชิงที่มากขึ้น ทำให้โอกาสการส่งไปชนกันน้อยลง ถึงแม้ว่าสถานีนั้น ๆ จะเป็นสถานีที่ซ้อนเร้นจากกันก็ตาม

4.7. เปรียบเทียบค่าทราฟฟิคกับโปรแกรมจำลอง IEEE802.11

โดยเนื้อหาถัดไปนี้จะเป็นการนำผลจากโปรแกรมจำลองมาเทียบทราฟฟิคงาน ของ IEEE802.11 พื้นฐาน โดยสามารถดูค่าทราฟฟิคของ IEEE802.11 โดยการอ้างอิงจากเบียงกี้ [2] ได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.33 ค่าทราฟฟิค IEEE802.11 ของเบียงกี้ ในหลายสถานการณ์

โดยจากรูปภาพที่ 4.33 นั้นจะมีทั้งในรูปแบบเทคนิคจับมือสองทางและรูปแบบเทคนิคจับมือสี่ทาง[2]แต่ในที่นี้ขอนำแค่ส่วนของรูปแบบเทคนิคจับมือสี่ทางมาเทียบเท่านั้น โดยจากภาพที่ 4.33 นั้นจะทำการสนใจที่เส้นสี น้ำเงิน และสีแดงเท่านั้น เพราะเป็นของรูปแบบเทคนิคจับมือสี่ทาง

โดยจากผลการทดลองโปรแกรมจำลองจับมือสี่ ได้กำหนดสถานการณ์เหมือนทางด้านบนคือ ช่วงหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นที่ 32 และ 128 โดยมีการทดลองหลายช่วงสถานีด้วยกัน โดยสรุปสามารถดูผลได้ดังนี้

หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 5 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.860924

หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 10 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.869448

หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 15 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.856887

หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 5 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.76716

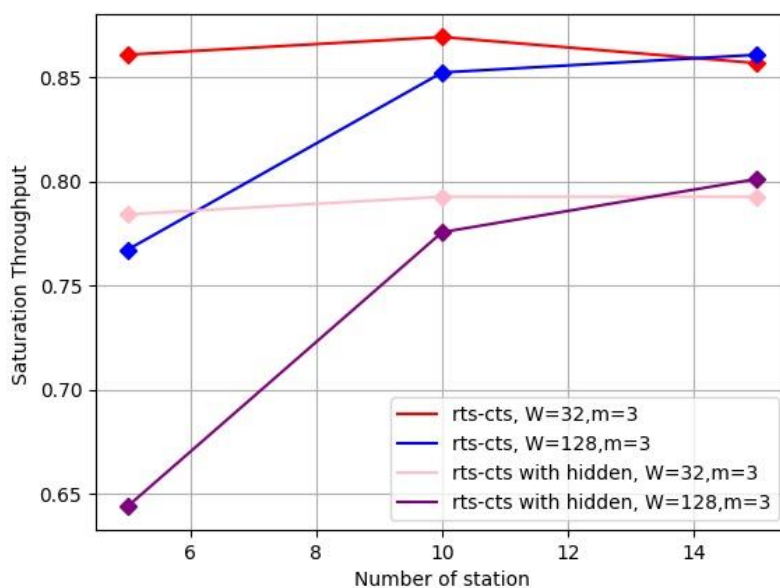
หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 10 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.8524

หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 15 สถานีไม่มีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.86092

โดยในส่วนถัดไปจะเป็นของการทดลองที่มีของสถานีที่ซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้องหรือก็คือมี สถานีที่ซ่อนเร้น

หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 5 สถานีมีการซ่อนเร้น ค่าทราฟฟิคของงานจะได้อยู่ที่ 0.784208

หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 10 สถานีมีการชอนเร้น ค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.792732
หน้าต่างช่วงชิง 32 ของ 15 สถานีมีการชอนเร้น ค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.792732
หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 5 สถานีมีการชอนเร้น ค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.6438
หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 10 สถานีมีการชอนเร้น ค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.775684
หน้าต่างช่วงชิง 128 ของ 15 สถานีมีการชอนเร้น ค่าทรูพุตของงานจะได้อยู่ที่ 0.801256



รูปที่ 4.34 ทรูพุตของเทคนิคจับมือสี่ทางของทั้งที่และไม่มีสถานีชอนเร้น

จากรูปที่ 4.34 นั้นเป็นการเปรียบเทียบให้เห็น โดยทำเป็นกราฟเปรียบเทียบการทำเทคนิคจับมือสี่ทางทั้งกรณีที่มีชอนเร้นกับไม่มีสถานีชอนเร้นกัน โดยเส้นสีน้ำเงินเป็นแนวโน้มของสถานีที่ไม่ชอนเร้นของขนาดหน้าต่างช่วงชิง 128 จะเห็นได้ว่า ค่าทรูพุตจะไม่ได้สูงมากในช่วงสถานีที่ 5 เพราะขนาดของหน้าต่างช่วงชิงใหญ่และสถานีมีน้อยจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีขนาดหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นที่ใหญ่ แต่จะมีค่าทรูพุตที่ดีขึ้นตามลำดับเมื่อมีสถานีมากขึ้น ค่างานทรูพุตก็จะได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับ เส้นสีม่วงก็คือมีสถานีชอนเร้นกันนั้นจะพบว่าค่าทรูพุตจะลดลงจากเดิมที่ควรจะได้ประมาณ 10 % และจะดีขึ้นตามลำดับเมื่อสถานีมากขึ้นเช่นกัน

โดยในส่วนการเปรียบเทียบต่อไปคือช่วงขนาดหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นที่ 32 จะเห็นได้ว่าเส้นสีแดงคือช่วงที่ไม่มีสถานีชอนเร้น สถานีเริ่มต้นที่ 5 ขนาดหน้าต่างช่วงชิงเท่ากับ 32 นั้นจะมีค่าทรูพุตที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเพราะว่าเหมาะสม ขนาดหน้าต่างช่วงชิงน้อย สถานีมีจำนวนไม่มาก จึงได้ผลออกมาดี และเมื่อเพิ่มจำนวนสถานีมากขึ้นค่าทรูพุตก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และค่าทรูพุตจะเริ่มนิ่งเมื่อสถานี

มากกว่า 10 สถานี และเมื่อเทียบกับช่วงที่มีสถานีซ่อนเร้น หรือเส้นสีชมพูในรูป 4.34 จะพบว่าค่าทรูพุดจะลดลงมาจากเดิมที่ควรจะได้ประมาณ 5-10 % ได้ แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีไม่ได้แย่เท่ากับตอนเทคนิคจับมือสองทางที่ค่าทรูพุดจะลดลงอย่างมาก และเมื่อทำการเพิ่มสถานีมากขึ้นเรื่อย ๆ แนวโน้มของค่าทรูพุดก็จะเพิ่มมากขึ้นในระดับไม่เยอะมากจากแต่เดิมและจะเริ่มจะลดลงในระยะยาว



4.8. สรุปผลการทดลอง

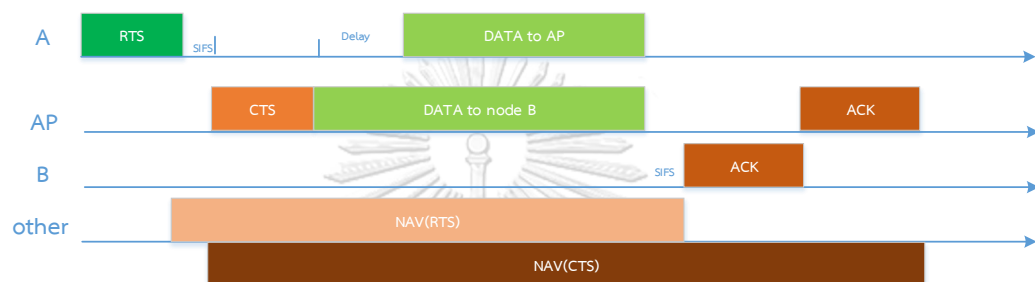
จากการทดลองในหลายช่วงขนาดของหน้าต่างช่วงชิงและหลายช่วงของจำนวนสถานี ทั้ง 5 สถานี จนไปถึงระดับที่ 10 สถานี ทั้งที่มีการซ่อนเร้นจากกันและไม่มีการซ่อนเร้นจากกันนั้น จะพบได้ว่าค่าทรูพุตของช่วงที่สถานีไม่มีการซ่อนเร้นจากกันนั้นจะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ๆ โดยผลของการทดลองนั้นจะคล้ายคลึงกับทรูพุตของ IEEE802.11 พื้นฐานเป็นอย่างมาก [2] โดยจากรูปกราฟจะเห็นว่าดีขึ้นตามลำดับโดยในช่วงเริ่มต้นที่ 5 สถานีนั้นค่าทรูพุตอาจจะยังไม่ได้ดีเท่าที่ควรเพราะ จำนวนสถานีน้อย ได้งานที่ไม่มากตาม แต่เมื่อเพิ่มสถานีมากขึ้น จะได้ค่าทรูพุตของงานที่มากขึ้นตามลำดับ

เมื่อทำการทดลองต่อในส่วนของสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันนั้น ทำการทดลองในรูปแบบที่คล้ายกันก็คือในช่วงสถานีที่เท่ากัน ขนาดของหน้าต่างช่วงชิงเท่ากัน ค่าทรูพุตของตัวสถานีที่ซ่อนเร้นมีค่าที่ลดลงตามลำดับในทุก ๆ ช่วงจากค่าของสถานีที่ไม่ซ่อนเร้น เพราะอาจเกิดการชนกันของการขอการส่งข้อมูลได้ แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ไม่ได้แย่นักเมื่อทำการเทียบกับค่าทรูพุตของงานเทคนิคจับมือสองทาง สาเหตุมาจากตัวของจับมือสี่ทางนั้นจะมีการของการส่งไปก่อน หรือก็คือตัวอาร์ทีเอส เมื่อเกิดการชน จะสูญเสียงานและเวลาเพียงเล็กน้อย ไม่ได้เทียบเท่ากับวิธีการของจับมือสองทางที่ทำการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ทันทีเมื่อเห็นช่องสัญญาณว่าง

โดยในเนื้อหาบทถัดไปจะเป็นโปรแกรมจำลองของโพรโทคอลฟลูตดูเพลกซ์แบบอสมมาตรแบบ ทั้งที่มีสถานีที่ซ่อนเร้นและไม่ซ่อนเร้น

บทที่ 5 โปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์ อสมมาตรในกรณีที่ไม่มีและมีสถานีซ่อนเร้น

ในส่วนตัวไปนี้จะเป็นการนำเสนอโปรแกรมการจำลองที่เป็นของโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบฟูลดูเพลกซ์อสมมาตรโดยในตัวโปรแกรมจะมีทั้งกรณีที่ไม่มีสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันและมีสถานีที่ซ่อนเร้นจากกันได้ โดยได้ทำการทำการจำลองตามโพรโทคอล เอ-ดูเพลกซ์ บางส่วน



รูปที่ 5.1 การทำงานของโพรโทคอล เอ-ดูเพลกซ์

โดยจากในภาพที่ 5.1 นั้นจะเป็นโพรโทคอลฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตรตามที่ได้อธิบายไปในบทที่ 2 ก่อนหน้านี้ [5] โดยในที่นี้จะวิเคราะห์และทำโปรแกรมจำลองตามกรณีที่มีขนาดข้อมูลส่งไปยังสถานีปลายทางที่ใหญ่กว่าสถานีต้นทางที่ส่งมายังเอพี และจะมีการคิดค่าล่าช้าของเวลา (DELAY) เกิดขึ้นในช่วง ๆ หนึ่งเพื่อให้การส่งข้อมูลแพ็กเก็ตของทั้งสองชนิดได้รับการส่งที่เสร็จพร้อมกันได้ ในส่วนช่วงล่าช้าของเวลานั้นจะทำการคิดได้โดย

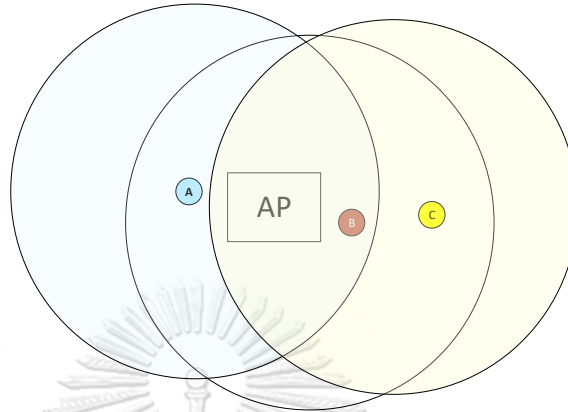
$$DELAY = T2 - T1$$

โดยที่

$T2$ = เวลาของการส่งข้อมูลของ เอพี ไปยังสถานีปลายทาง

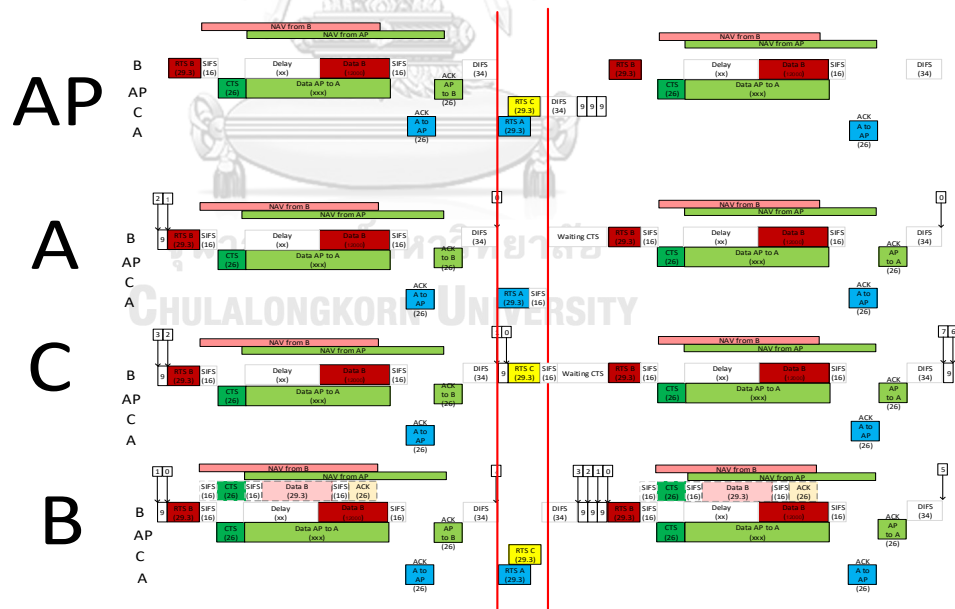
$T1$ = เวลาของการส่งข้อมูลของตัวสถานีต้นทางไปยังตัว เอพี

5.1. วิเคราะห์สมรรถนะของการสื่อสารแบบฟูลดูเพลกซ์ในภาวะที่มีสถานีซ้อนเร้น
 ทำการพิจารณาปัญหาและผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสถานีที่ซ้อนเร้นกัน



รูปที่ 5.2 เอพี และสถานีที่มีบางสถานีซ้อนเร้นจากกัน

โดยจากในรูป 5.2 จะเป็นตัวอย่าง มี 1 เอพี กับ 3 สถานีก็คือ สถานี A , B และ C โดยที่ สถานี A และ สถานี C ทำการซ้อนเร้นจากกัน โดยจะไม่สามารถรับรู้ได้เมื่อมีการส่งข้อมูล โดยจะจำลองการส่งข้อมูลของแต่ละเฟรมดังรูปด้านล่างต่อไปนี้

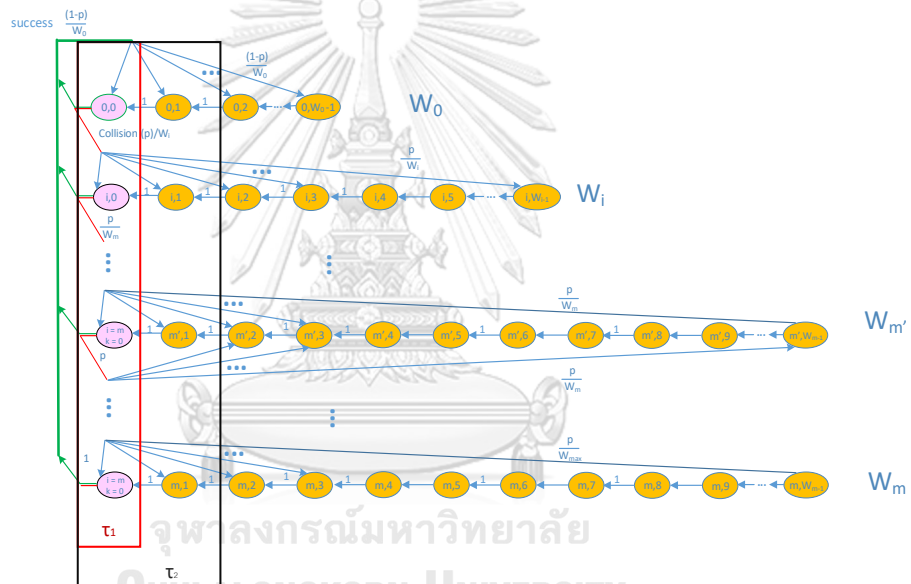


รูปที่ 5.3 การจำลองการส่งเฟรม ของแต่ละสถานีที่มีการซ้อนเร้นในฟูลดูเพลกซ์

จากในรูปภาพที่ 5.3 จะเป็นการแสดงถึงเหตุการณ์จำลองโดยทุกสถานีทำการนับแบล็ก ออฟลงเพื่อเตรียมทำการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าในขั้นต้นนั้น สถานี B ได้ทำการขอการส่งไปยังตัว เอพี เสร็จเรียบร้อยและประกาศออกมา ทุกสถานีสามารถทราบได้ว่ามีการ

จัดส่งข้อมูล โดยในที่นี้จะมองว่าเป็น τ_1 หรือก็คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สถานีเริ่มทำการส่งข้อมูล (สถานี B มองเห็นทุกสถานีและทุกสถานีรับรู้จาก B) แต่เมื่อสถานี B ทำการส่งเสร็จสิ้น ทุกสถานีจะเริ่มกลับมานับแบล็กออฟต่อหลังจากกลับไประยะเวลาหนึ่ง และขอทำการส่งใหม่อีกครั้ง โดยในครั้งนี้ สถานี A และ C ทำการขอการส่งเฟรม ตามลำดับ ทำให้เกิดการชนกันของเฟรมได้เพราะ 2 สถานีซ่อนเร้นจากกัน ทำให้ไม่สามารถรับรู้ว่ามีสถานีใดสถานีหนึ่งทำการส่ง และเมื่อเกิดเหตุการณ์แบบนี้หลังจากรอเฟรมอนุญาตการส่งครบเวลา สถานีจะรับรู้ว่าการชนของเฟรมหรือส่งเฟรมไม่สำเร็จ ทำให้ทุกสถานีทำการนับแบล็กออฟใหม่อีกครั้ง โดยจากในรูป ในช่วงเวลาของเฟรมขอการส่ง จะให้เป็น τ_2 หรือก็คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สถานีเริ่มทำการส่งข้อมูลยึดตามขนาดของขอการส่ง

เมื่อนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบของแบบจำลองมาคอฟเชน [9] โดยจะสามารถมองได้ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 5.4 แบบจำลองมาคอฟเชนคิดแบบมีซ่อนเร้น

จากรูป จะสามารถกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$P\{i, k | i, k + 1\} = 1 \quad k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \quad (1)$$

$$P\{0, k | i, 0\} = \frac{(1-p)}{W_0} \quad k \in (0, W_0 - 1) \quad i \in (0, m) \quad (2)$$

$$P\{i, k | i - 1, 0\} = \frac{p}{W_i} \quad k \in (0, W_i - 1) \quad i \in (1, m) \quad (3)$$

$$P\{0, k | m, 0\} = \frac{1}{W_0} \quad k \in (0, W_0 - 1) \quad (4)$$

เมื่อแบบจำลองมาร์คอฟเข้าสู่สถานะอยู่ตัวก็จะสามารถสร้างสมการสมดุลโดยรวม โดยดูที่ค่าสถานะ $i = 0$ จะได้ดังต่อไปนี้

$$\text{เมื่อ } (0, 0) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,0} = \frac{1-p}{W_0} b_{0,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{1,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{2,0} + \dots + \frac{1}{W_0} b_{m,0} + b_{0,1}$$

$$\text{เมื่อ } (0, 1) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0,1} = \frac{1-p}{W_0} b_{0,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{1,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{2,0} + \dots + \frac{1}{W_0} b_{m,0} + b_{0,2}$$

⋮

$$\text{เมื่อ } (0, W_0 - 1) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{0, W_0 - 1} = \frac{1-p}{W_0} b_{0,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{1,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{2,0} + \dots + \frac{1}{W_0} b_{m,0}$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะ $(0, 0)$ ได้ดังต่อไปนี้

$$b_{0,0} = W_0 \left[\frac{1-p}{W_0} b_{0,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{1,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{2,0} + \dots + \frac{1}{W_0} b_{m,0} \right]$$

$$b_{0,0} = (1-p) [b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0} + \dots + b_{m-1,0}] + b_{m,0}$$

$$b_{0,0} = (1-p) \left[\sum_{i=0}^{m-1} b_{i,0} \right] + b_{m,0}$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะ $(0, 1)$ ได้ดังต่อไปนี้

$$b_{0,1} = (W_0 - 1) \left[\frac{1-p}{W_0} b_{0,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{1,0} + \frac{1-p}{W_0} b_{2,0} + \dots + \frac{1}{W_0} b_{m,0} \right]$$

$$b_{0,1} = \frac{(1-p)(W_0 - 1)}{W_0} [b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0} + \dots + b_{m-1,0}] + \frac{(W_0 - 1)}{W_0} b_{m,0}$$

ดังนั้น สำหรับ $k \in \{1, 2, \dots, W_0 - 1\}$ จะได้ดังนี้

$$b_{0,k} = \frac{(W_0 - k)(1-p)}{W_0} \left[\sum_{i=0}^{m-1} b_{i,0} \right] + \frac{b_{m,0}}{W_0} (W_0 - k) \quad (\text{A})$$

เมื่อแบบจำลองมาร์คอฟเข้าสู่สถานะอยู่ตัวก็จะสามารถสร้างสมการสมดุลโดยรวม โดยดูที่ค่าสถานะ

$$i = 1$$

$$\text{สถานะ } (1,0) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{1,0} = \frac{p}{W_1} b_{0,0} + b_{1,1}$$

$$\text{สถานะ } (1,1) \text{ สมการสมดุลคือ } b_{1,1} = \frac{p}{W_1} b_{0,0} + b_{1,2}$$

⋮

$$\text{สถานะ } (0, W_0 - 1) \text{ สมการสมดุล } b_{1, W_0 - 1} = \frac{p}{W_1} b_{0,0}$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะ (1,0) ได้ดังต่อไปนี้

$$b_{1,0} = W_1 \left[\frac{p}{W_1} \right] b_{0,0} \quad (\text{a})$$

เช่นเดียวกันกับ

$$b_{2,0} = W_2 \left[\frac{p}{W_2} \right] b_{1,0} \quad (\text{b})$$

$$b_{3,0} = W_3 \left[\frac{p}{W_3} \right] b_{2,0} \quad (\text{c})$$

⋮

$$b_{m,0} = W_{\max} \left[\frac{p}{W_{\max}} \right] b_{m-1,0} \quad (\text{d})$$

ทำการลดรูปตัวแปรสมการสถานะ (1,1) ได้ดังต่อไปนี้

$$b_{1,1} = (W_1 - 1) \left[\frac{p}{W_1} \right] b_{0,0}$$

ดังนั้นสำหรับกรณี $k \in \{1, 2, \dots, W_0 - 1\}$ จะได้กรณีทั่วไปดังต่อไปนี้

$$b_{1,k} = (W_1 - k) \left[\frac{p}{W_1} \right] b_{0,0} \quad (\text{B})$$

นำ (a) (b) (c) (d) มาใช้ และ

$$b_{i,0} = p^i b_{0,0} \quad 0 < i \leq m$$

และจาก (A) สำหรับ $k = 0$,

$$\sum_{i=0}^{m-1} (1-p) b_{i,0} + b_{m,0} = b_{0,0}$$

และเมื่อนำมาแทนค่า สำหรับ $k = 0$ จะได้ว่ารูปทั่วไปดังนี้

$$b_{i,k} = \left\{ \left[\frac{W_{i-k}}{W_i} \right] \times \begin{cases} p^i b_{0,0} & 0 < i \leq m \\ \sum_{i=0}^{m-1} (1-p)b_{i,0} + b_{m,0} & i = 0 \end{cases} \right\} \quad (C)$$

จากสมการ (C) กรณี $i = 0$ นำค่า $\sum_{i=0}^{m-1} (1-p)b_{i,0}$ ไปจัดให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{m-1} b_{i,0} &= b_{0,0} + b_{1,0} + b_{2,0} + \cdots + b_{m-1,0} \\ &= b_{0,0} + pb_{1,0} + p^2 b_{2,0} + \cdots + p^{m-1} b_{m-1,0} \\ &= b_{0,0} [1 + p + p^2 + \cdots + p^{m-1}] \\ &= b_{0,0} [1 + p + p^2 + \cdots + p^{m-1} + p^m - p^m] \\ &= b_{0,0} \left[\frac{1-p^m}{1-p} \right] \end{aligned}$$

และเมื่อกลับมามีวิเคราะห์ สมการ (C) กรณี $i = 0$ จะทำให้พบว่า

$$\sum_{i=0}^{m-1} (1-p)b_{i,0} + b_{m,0} = (1-p)b_{0,0} \left[\frac{1-p^m}{1-p} \right] + p^m b_{0,0} = b_{0,0}$$

ดังนั้น เมื่อนำกลับเข้าไปแทนสมการ (C) จะได้ ค่า k ใด ๆ ดังต่อไปนี้

$$b_{i,k} = \left[\frac{W_{i-k}}{W_i} \right] p^i b_{0,0} \quad 0 \leq i \leq m \quad (D)$$

จากทฤษฎีของมาคอฟเชนจะทำให้ได้ว่าผลรวมของสมการทั้งหมดเท่ากับ 1 ดังต่อไปนี้

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

สำหรับกรณีหน้าต่างช่วงซึ่ง ค่า $i < m'$ จะใช้ $W_i = 2^i W_0$

เมื่อ $m \leq m'$

$$\begin{aligned}\sum_{i=0}^m p^i (W_i + 1) &= \left[\sum_{i=0}^m p^i \times 2^i W_0 + \sum_{i=0}^m p^i \right] \\ &= \left[W_0 \sum_{i=0}^m (2p)^i + \sum_{i=0}^m p^i \right] \\ &= \left[W_0 \times \frac{1 - (2p)^{m+1}}{1 - (2p)} + \frac{1 - p^{m+1}}{1 - p} \right]\end{aligned}$$

จากสมการ (E) เมื่อนำกลับไปแทนค่า จะได้ดังต่อไปนี้

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{W_0(1-(2p)^{m+1})(1-p) + (1-2p)(1-p^{m+1})}$$

สำหรับกรณีหน้าต่างช่วงซึ่ง ค่า $i > m'$ จะใช้ $W_i = 2^{m'} W_0$

และเมื่อ $m > m'$

$$b_{0,0} = \frac{2}{\sum_{i=0}^{m'} p^i (W_i + 1) + \sum_{i=m'+1}^m p^i (W_i + 1)} \quad (\text{F})$$

$$\sum_{i=m'+1}^m p^i (W_i + 1) = \left[\sum_{i=m'+1}^m p^i W_i + \sum_{i=m'+1}^m p^i \right]$$

จากนั้นทำการ แทนค่า $i-1 = m'$ และ $j = i-1$ ลงไป จะทำให้ได้

$$\begin{aligned}\sum_{i=m'+1}^m p^i (W_i + 1) &= \left[\sum_{j=m'}^{m-1} p^j 2^{m'} W_0 + \sum_{j=m'}^{m-1} p^j \right] \\ &= \left[(2^{m'} W_0 + 1) \sum_{j=m'}^{m-1} p^j \right]\end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } \sum_{j=m'}^{m-1} p^j = p^{m'} \left[\frac{1 - p^{m-m'}}{1 - p} \right]$$

$$\text{ดังนั้น } \sum_{i=m'+1}^m p^i (W_i + 1) = \left[(2^{m'} W_0 + 1) p^{m'} \left[\frac{1 - p^{m-m'}}{1 - p} \right] \right] \text{ไปแทนในสมการ (F) จะได้}$$

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{W_0(1-(2p)^{m'+1})(1-p) + (1-2p)(1-p^{m'+1}) + p^{m'+1}(1-2p)(2^{m'} W_0 + 1)(1-p^{m-m'})}$$

จากการที่อธิบายข้างต้น ต่อไปนี้จะทำการพิสูจน์สำหรับค่า τ_1 ก็คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สถานีเริ่มทำการส่งข้อมูลโดยที่

$$\tau_1 = \sum_{i=0}^m b_{i,0}$$

$$\text{จากสมการ (D) ทำให้ได้ว่า } b_{i,k} = \left[\frac{W_{i-k}}{W_i} \right] p^i b_{0,0} \text{ ดังนั้น } b_{i,0} = p^i b_{0,0}$$

$$\tau_1 = \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0}$$

$$\tau_1 = \frac{1-p^{m+1}}{1-p} b_{0,0}$$

$$\tau_1 = \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0}$$

$$\tau_1 = b_{0,0} \left(\sum_{i=0}^m p^i \right)$$

$$\tau_1 = b_{0,0} (1 + p + p^2 + \dots + p^m)$$

$$p\tau_1 = b_{0,0} (p + p^2 + p^3 \dots + p^{m+1})$$

$$\tau_1 - p\tau_1 = b_{0,0} (1 - p^{m+1})$$

$$\tau_1 (1 - p) = b_{0,0} (1 - p^{m+1})$$

$$\tau_1 = b_{0,0} \frac{(1 - p^{m+1})}{(1 - p)}$$

โดยต่อไปจะเป็นการพิสูจน์สำหรับ τ_2 หรือก็คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สถานีเริ่มทำการส่งข้อมูลโดยยึดตามขนาดของขอการส่ง โดยขนาดของเฟรมจะขยายตามขนาดขอการส่ง ในที่นี้ทำการมองว่าคือตัว V จะทำให้ได้สมการ

$$\tau_2 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^v b_{i,k}$$

จากสมการ (D) ทำให้ได้ว่า $b_{i,k} = \left[\frac{W_i - k}{W_i} \right] p^i b_{0,0}$ ดังนั้น $b_{i,0} = p^i b_{0,0}$

$$\tau_2 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^v \left[\frac{W_i - k}{W_i} \right] p^i b_{0,0}$$

$$\tau_2 = \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} \sum_{k=0}^v \left[\frac{W_i - k}{W_i} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \sum_{i=0}^m \frac{p^i}{W_i} \sum_{k=0}^v [W_i - k]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \sum_{i=0}^m \frac{p^i}{W_i} \left[(V+1)W_i - \frac{(V+1)V}{2} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \sum_{i=0}^m \left[p^i (V+1) - p^i \frac{(V+1)V}{2W_i} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \sum_{i=0}^m \left[p^i (V+1) - p^i \frac{(V+1)V}{2 \times 2^i W_0} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \left[\sum_{i=0}^m p^i (V+1) - \sum_{i=0}^m p^i \frac{(V+1)V}{2 \times 2^i W_0} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \left[(V+1) \left(\frac{1-p^{m+1}}{1-p} \right) - \frac{(V+1)V}{2W_0} \sum_{i=0}^m \frac{p^i}{2^i} \right]$$

$$\tau_2 = b_{0,0} \left[(V+1) \left(\frac{1-p^{m+1}}{1-p} \right) - \frac{(V+1)V}{2W_0} \sum_{i=0}^m \left(\frac{p}{2} \right)^i \right]$$

ทำ $\sum_{i=0}^m \left(\frac{p}{2} \right)^i$ ให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้เท่ากับ $\sum_{i=0}^m \left(\frac{p}{2} \right)^i = \left(\frac{1 - \left(\frac{p}{2} \right)^{m+1}}{1 - \left(\frac{p}{2} \right)} \right)$ และนำกลับเข้าไปแทนค่า จะ

ทำให้ได้ว่า

$$\tau_2 = b_{0,0} \left[(V+1) \left(\frac{1-p^{m+1}}{1-p} \right) - \frac{(V+1)V}{2W_0} \left(\frac{1 - \left(\frac{p}{2} \right)^{m+1}}{1 - \left(\frac{p}{2} \right)} \right) \right]$$

สุดท้ายจะเป็นการพิสูจน์สำหรับ τ_3 ก็คือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ตัว เอพี จะเริ่มทำการส่งข้อมูลออกไป โดยกรณีของ τ_3 จะทำการคิดเหมือนกับ τ_2 ทุกประการ โดยขนาดของเฟรมจะขยายตามขนาดเฟรมข้อมูล ในที่นี้ทำการมองว่าเป็นตัว A จะทำให้ได้สมการ

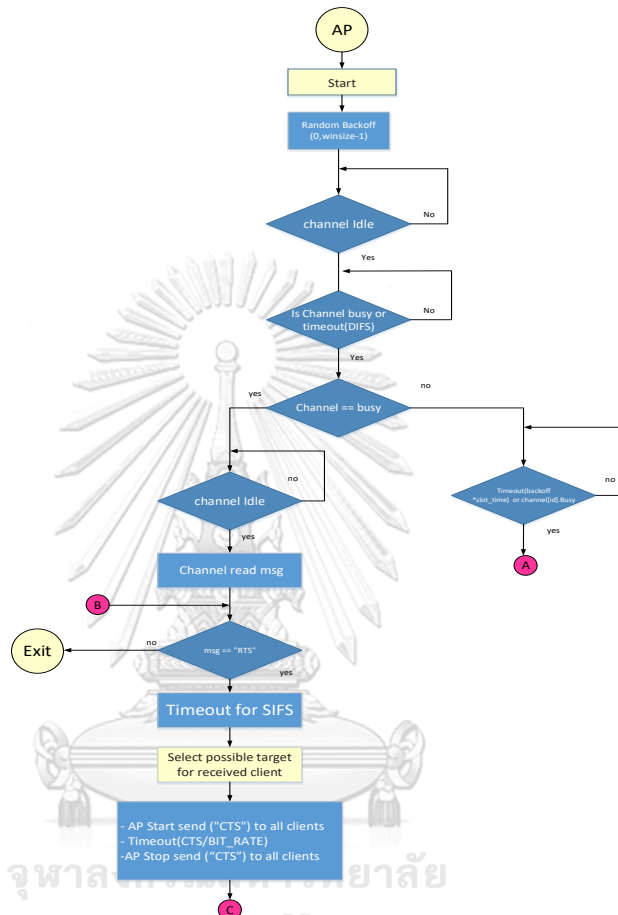
$$\tau_3 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^A b_{i,k}$$

$$\tau_3 = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^v \left[\frac{W_i - k}{W_i} \right] p^i b_{0,0}$$

$$\tau_3 = b_{0,0} \left[(A+1) \left(\frac{1-p^{m+1}}{1-p} \right) - \frac{(A+1)A}{2W_0} \left(\frac{1 - \left(\frac{p}{2} \right)^{m+1}}{1 - \left(\frac{p}{2} \right)} \right) \right]$$

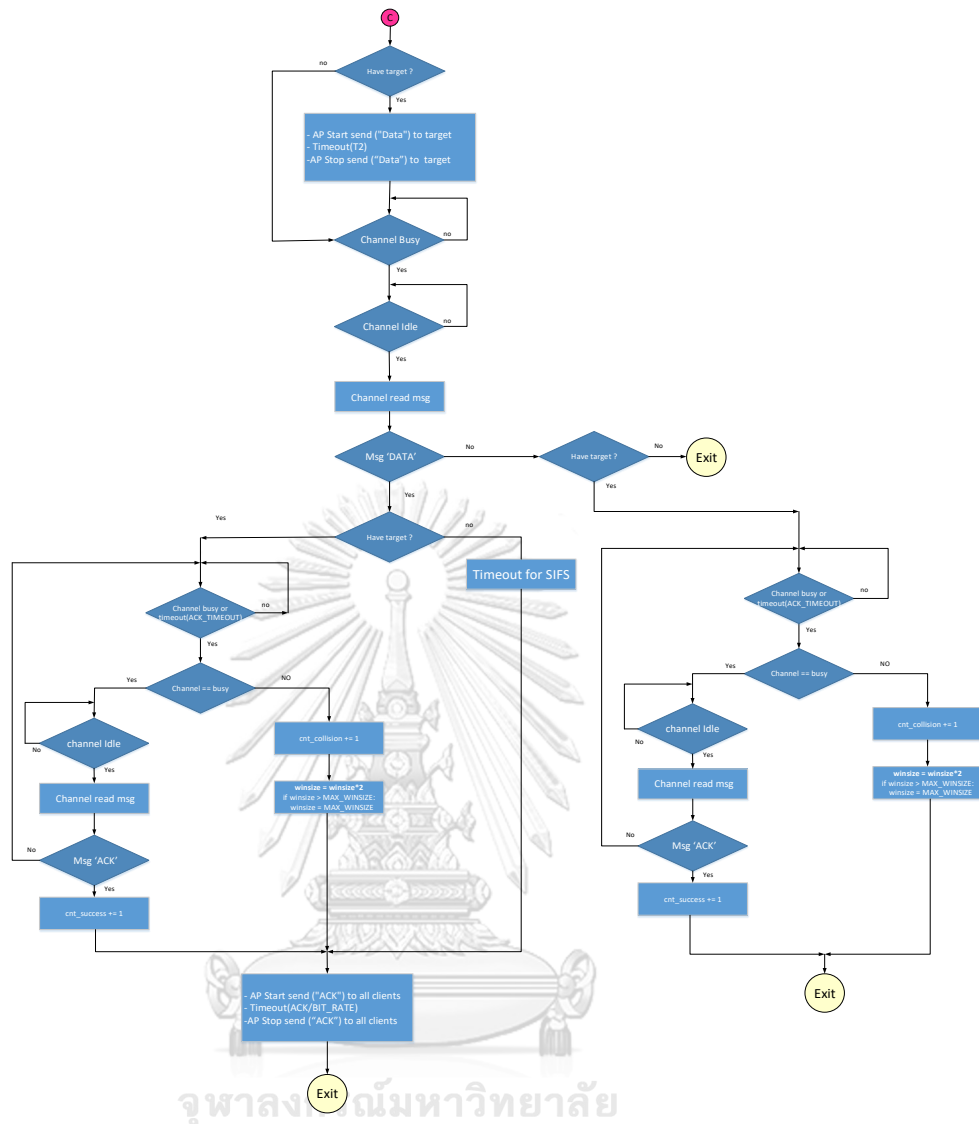
5.2. ผังงานโปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางฟูลดูเพลกซ์แบบ อสมมาตรโดยใช้ ไพซิม

โดยในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผังงานขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตร มีด้วยกัน 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของ เอพี และส่วนของสถานี โดยส่วน เอพี มีดังต่อไปนี้



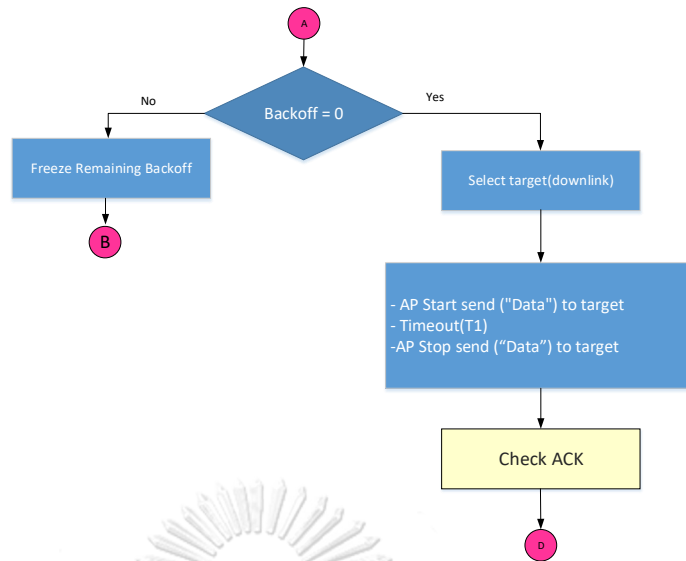
รูปที่ 5.5 ผังงานขั้นตอนของ เอพี แรกเริ่ม

ในผังงานนี้จะเห็นได้ว่า มีการทำงานที่ชัดเจนด้วยกัน 2 กระบวนการนั่นก็คือตัวของ เอพี จะทำการรอเฟรมการขอการส่งที่มาจากทางตัวสถานีเพื่อส่งเฟรมอนุญาตการส่งกลับไปไปยังจุดเชื่อมต่อที่จุด C และในอีกทางหนึ่งตัว เอพี ก็จะมีการนับค่าแบล็กออฟ และเมื่อนับค่าแบล็กออฟครบเวลาจะทำการส่งข้อมูลออกไปยังสถานีปลายทางทันทีโดยไปต่อที่ผังงานในจุดเชื่อมต่อที่ A



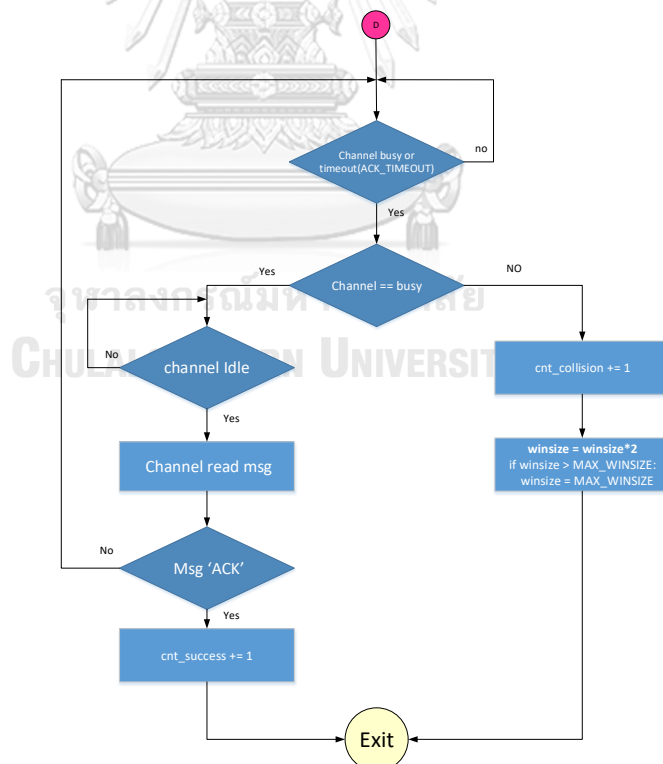
รูปที่ 5.6 ผังงานขั้นตอนของ เอพี ช่วงสร้างฟูลดูเพล็กซ์

โดยในรูปผังงานที่ 5.6 ในขั้นตอนเป็นส่วนต่อมาจากกรณีที่ เอพี ส่งเฟรมอนุญาตการส่งกลับไปยังสถานี หลังจากนั้น เอพี จะทำการส่งข้อมูลไปยังเป้าหมายปลายทาง(Downlink) ทันทีโดยจะเป็นการส่งปลายทางแล้วแต่ความเหมาะสมของโปรแกรม หลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบว่าทาง เอพี ได้รับเฟรมยืนยันการส่งจากสถานีปลายทางหรือยัง และถ้าใช่ก็จะส่งเฟรมตัวยืนยันกลับไปหาตัวสถานีต้นทาง (uplink) แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าตัว เอพี ไม่ได้รับข้อมูลจากตัวสถานีต้นทาง ก็จะไม่เป็นการสร้างฟูลดูเพล็กซ์ เพราะสาเหตุอาจเกิดการชนกันของการส่งข้อมูลสถานีต้นทางที่พอเป็นไปได้ ดังนั้นมีแค่ตัว เอพี ที่ส่งข้อมูลไปยังตัวสถานีปลายทางเท่านั้น



รูปที่ 5.7 ผังงานขั้นตอนการส่งข้อมูลของ เอพี

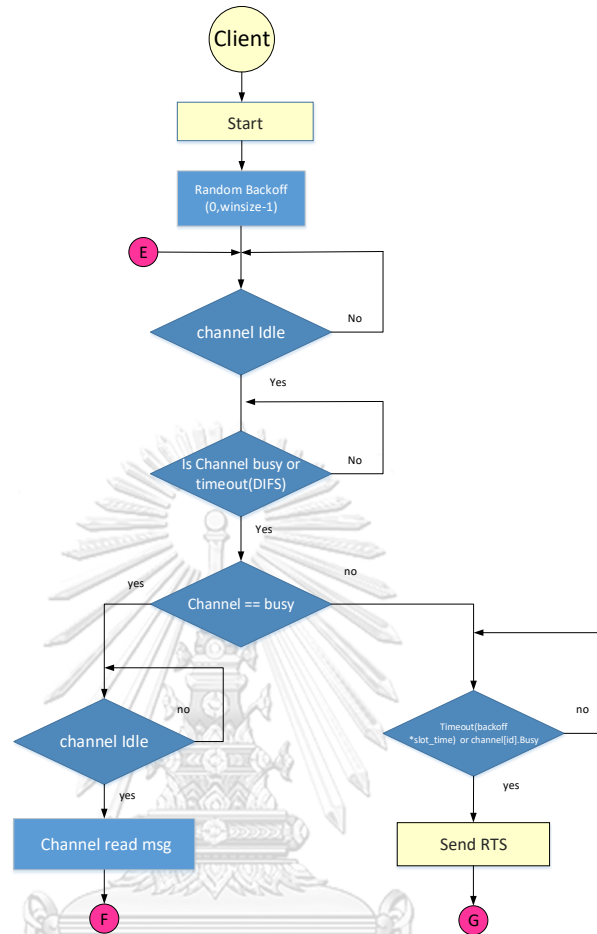
ในรูปที่ 5.7 นั้น เป็นจุดเชื่อมต่อที่มาจากรูป 5.5 จะเป็นการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทาง เมื่อนับแบล็กออฟของ เอพี ได้เท่ากับ 0 และในกรณีนี้จะไม่สนการสร้างฟูลดูเพลกซ์ออกมาเพราะเป็นการเริ่มส่งข้อมูลออกไปทันทีของตัว เอพี



รูปที่ 5.8 ผังงานขั้นตอนการเช็ค เอซีเค ของ เอพี

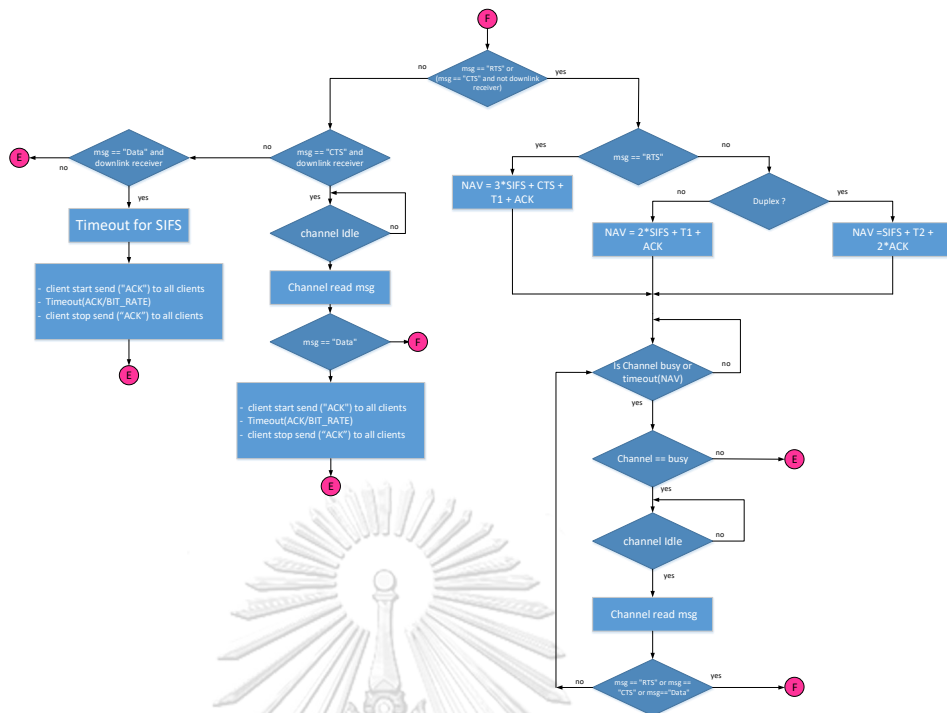
ในรูปที่ 5.8 นั้นจะเป็นการเช็คเฟรมยืนยันหรือ เอซีเค ว่าได้รับข้อมูลแล้ว กระบวนการทำจะคล้ายคลึงกับที่เคยอธิบายไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ก่อนหน้าแล้ว

โดยในส่วนถัดไปเป็นผังงานของสถานี โดยจะมีขั้นตอนหลักด้วยกัน 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้



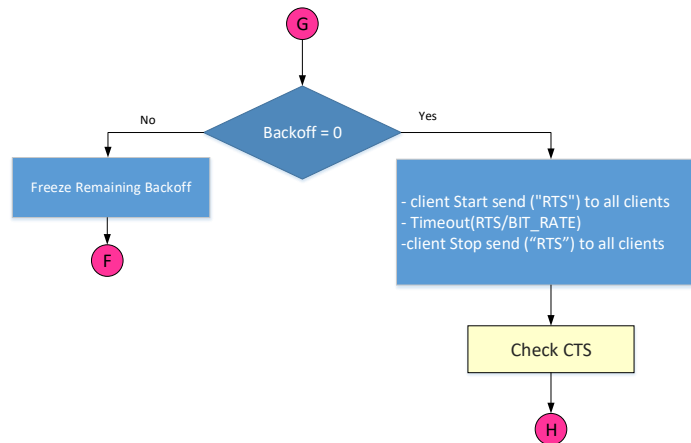
รูปที่ 5.9 ผังงานขั้นตอนการเช็ค ดีไอเอฟเอส ของสถานี

โดยในรูปที่ 5.9 นั้นจะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของสถานีว่าควรทำอะไร โดยจะมีการรอการนับเวลาให้ครบ ดีไอเอฟเอส ก่อนถึงจะเริ่มไปส่งเฟรมขอการส่งได้และไปที่จุดเชื่อมต่อที่จุด G นั้นเอง ส่วนในทางตรงกันข้ามนั้นในจุดที่รอเวลาไม่ครบ ดีไอเอฟเอส นั้นแสดงว่ามีเหตุการณ์เกิดขึ้น ทำให้ไปที่จุดเชื่อมต่อที่จุด F ในขั้นตอนต่อไป



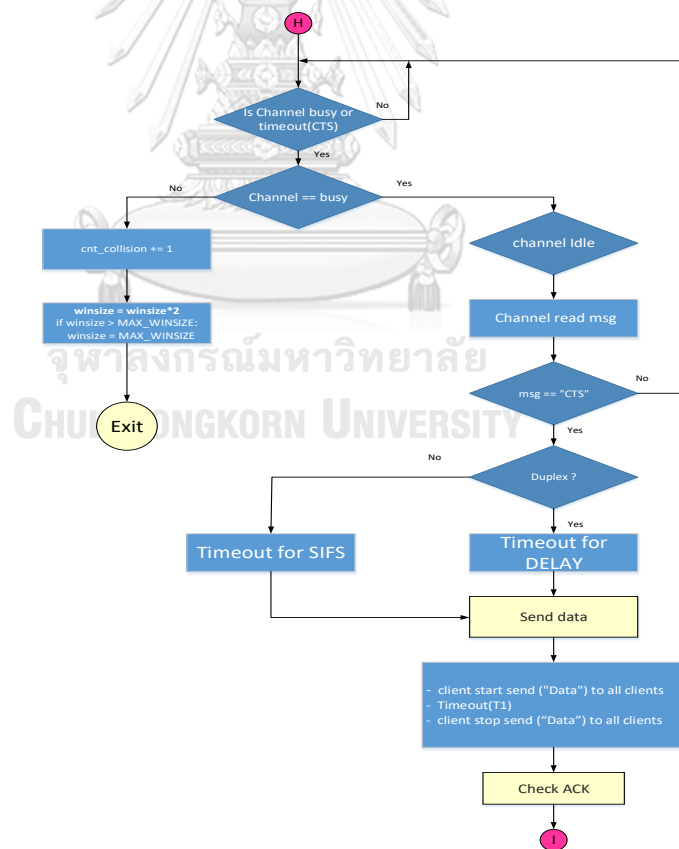
รูปที่ 5.10 ผังงานขั้นตอนการเช็คแวกเตอร์การจัดการจราจรเครือข่าย ของสถานีและการสร้างฟูลดูเพลกซ์

ในรูปที่ 5.10 นั้นเป็นช่วงมาจากจุดเชื่อมต่อที่จุด F รูปก่อนหน้าโดยจะเป็นการเช็ควาทางสถานีได้รับเฟรมข้อมูลอะไรมา ถ้าเป็นเฟรมของการขอการส่งหรืออนุญาตการส่งที่ไม่ใช่การสร้างฟูลดูเพลกซ์ก็จะทำให้สถานีทำการกลับตามแวกเตอร์การจัดการจราจรเครือข่าย ขึ้นอยู่ในแต่ละสถานีนั้น ๆ แต่ในทางตรงกันข้าม หากเฟรมข้อมูลที่ได้รับและเป็นการสร้างฟูลดูเพลกซ์ก็จะเข้าอีกเงื่อนไขแทน ก็คือทางด้านสถานีได้รับเฟรมอนุญาตการส่งก็จะรอข้อมูลและทำการกระบวนกรการส่งเฟรมยืนยันการส่งออกไปหา เอพี นั้นเองและในอีกทางหนึ่งก็คือตัวสถานีได้รับข้อมูลจากทาง เอพี โดยตรงและเมื่อเสร็จสิ้นก็จะส่งเฟรมยืนยันตอบกลับไปและเข้าจุดเชื่อมต่อใน E เพื่อทำผังงานขั้นตอนต่อไป



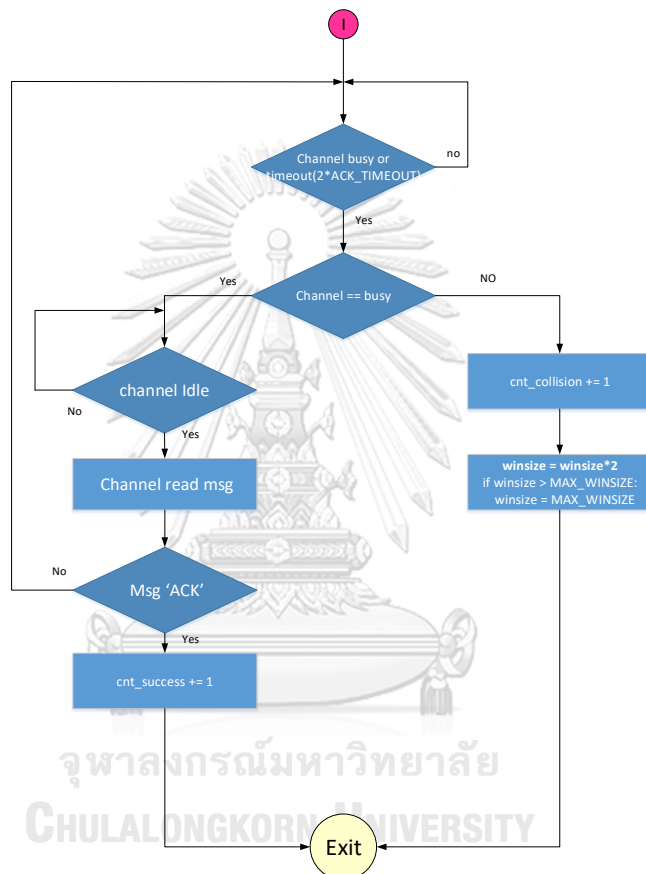
รูปที่ 5.11 ผังงานขั้นตอนการขอการส่งของสถานี

ในรูปที่ 5.11 นั้นเป็นผังงานที่มาจากจุดเชื่อมต่อดูจ G จากรูปที่ 5.09 จะเป็นกระบวนการเช็คค่าค่าแบล็กออฟของสถานีมีค่าเท่ากับ 0 หรือยัง เพื่อที่จะทำการขอการส่งออกไปหาขังตัว เอพี โดยจะไปทำในจุดเชื่อมต่อที่จุด H แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าแบล็กออฟไม่ใช่ 0 ก็จะวนกลับไปทำที่จุดเชื่อมต่อที่จุด F



รูปที่ 5.12 ผังงานการเช็คอนุญาตการส่งและส่งข้อมูลของสถานี

โดยในรูปที่ 5.12 เป็นขั้นตอนที่มาจากรูปที่ 5.11 โดยมาจุดเชื่อมที่ H ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเช็คว่าได้รับเฟรมอนุญาตการส่งแล้วหรือยัง โดยถ้ารอจนครบเวลาแล้วจะถือว่า การส่งล้มเหลวและจะขยายหน้าต่างช่วงซึ่งอีกเท่าตัวและวนไปทำใหม่ตั้งแต่ต้นของโปรแกรม แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าได้รับเฟรมอนุญาตการส่งก็จะทำการเช็คว่าเป็นการสร้างฟลูดูเพลกซ์หรือไม่ ถ้าเป็นการสร้างฟลูดูเพลกซ์ก็จะทำการรอเวลาที่ล่าช้าสักระยะหนึ่ง แล้วถึงจะเริ่มทำการส่งข้อมูลออกไปหายังตัว เอพี ให้เสร็จสิ้นและไปทำขั้นตอนต่อไปในจุดเชื่อมต่อไปจุด I

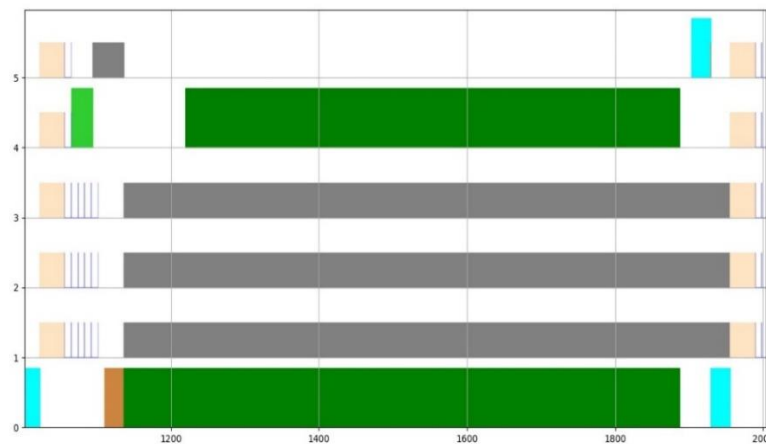


รูปที่ 5.13 ผังงานการเช็ค เอซีเค ของตัวสถานี

ในรูปที่ 5.13 นั้นเป็นจุดเชื่อมต่อ I ที่มาจากรูปที่ 5.12 นั้นกระบวนการทำงานจะค่อนข้างคล้ายกับ ผังงานการเช็คเฟรมการยืนยันในบทก่อนหน้าที่เคยอธิบายไว้ก่อนแล้วนั่นเอง

5.3. โปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางพุดูเพลกซ์แบบอสมมาตร









ในส่วนถัดไปจะเป็นการนำเสนอวิธีการทำงานโปรแกรมจำลองโพรโทคอลการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางพุดูเพลกซ์แบบอสมมาตร



รูปที่ 5.14 ภาพขยายของการส่งข้อมูลของโพรโทคอลพุดูเพลกซ์แบบอสมมาตร

จากรูปภาพที่ 5.14 จะเป็นการจำลองโพรโทคอลพุดูเพลกซ์แบบอสมมาตร ในแต่ละสีมี

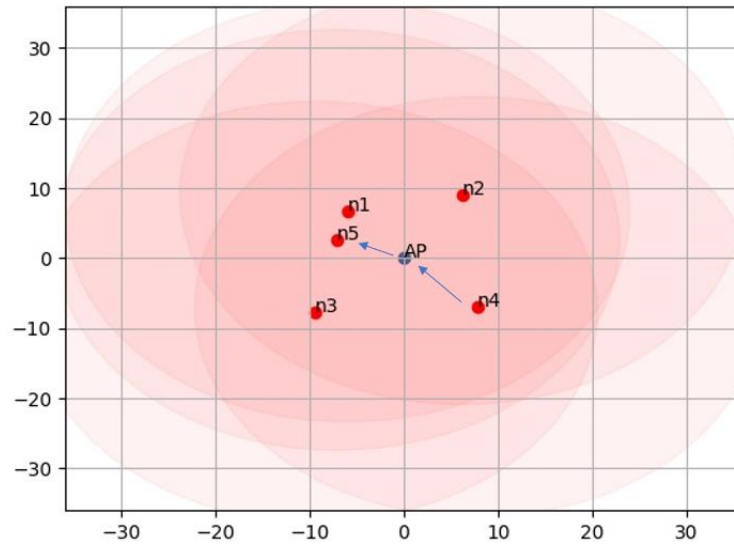
ความหมายดังต่อไปนี้

-  หมายถึง เปรมขอการส่งก่อนที่ทำการส่งข้อมูล
-  หมายถึง เปรมอนุญาตการส่งเพื่อยืนยันว่าช่องสัญญาณว่าง มาจากการตอบกลับของ เอพี
-  หมายถึง เปรมข้อมูลที่ทำการส่งออกไป
-  หมายถึง ช่วงที่สถานีตัวอื่นเห็นว่าช่องสัญญาณไม่ว่างและทำการหลับตามการจัดสรร
-  หมายถึง เปรมยืนยันว่าการส่งข้อมูลสำเร็จ
-  หมายถึง ช่วงระยะเวลาของดีไอเอฟเอสเป็นการนับเวลาก่อนจะเริ่มทำการนับถอยหลังแบล็ก
-  ออฟ
-  หมายถึง การนับดีไอเอฟเอสไม่ครบตามจำนวนเวลา

จากรูปภาพที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าเป็นการทำงานของโปรแกรมจำลองฟูลดูเพลกซ์แบบ อสมมาตร จะมีการทำงานรายละเอียดย่อยดังนี้ ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่า มีสถานีทั้งหมด 5 สถานี และ 1 เอพี ด้วยกัน จากภาพจะเห็นได้ว่า หลังจากสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 5 กำลังจะเริ่มการนับ แบล็กออพ เพื่อทำการขอส่งของข้อมูลนั้น สถานีที่ 4 ได้ถึงเวลาการขอการส่ง โดยจะส่งเฟรมออกไป โดยในรูปจะเป็นสีเขียวอ่อนไปหายังตัว เอพี หรือในรูปก็คือ สถานีที่ 0 นั้นเอง โดยหลังจาก เอพี ได้รับ เฟรมขอการส่งมาจากสถานีที่ 4 แล้วจะทำการตอบอนุญาตการส่งกลับไปยังตัวสถานีที่ 4 เพื่อทำการ ยืนยันว่าช่องสัญญาณว่างและจะคำนวณช่วงระยะเวลาล่าช้า ถึงจะทำการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี ในรูป แต่ในขณะที่เดียวกันทางสถานีอื่นที่ไม่ได้ทำการส่งข้อมูล ณ เวลานั้นก็จะทำการกลับทันทีโดยจะเป็น เส้นสีเทาตั้งในรูป ตัวอย่างเช่น สถานีที่ 1 ได้ยิน เอพี ตอบกลับเฟรมอนุญาตการส่งในช่วงนี้ก็จะ กลับทันที โดยไม่ได้สนใจว่า สถานีนั้นซ่อนจากสถานีอื่นที่ส่งหรือไม่ ละเมื่อได้ยินก็จะทำการกลับทันที เพื่อไม่ให้เกิดการชน

เมื่อส่งเฟรมอนุญาตกลับไปยังสถานีแล้ว ทางตัว เอพี ก็จะมีการเลือกสถานีตัวรับข้อมูลอีก ตัวหนึ่งเพื่อสร้างเป็นฟูลดูเพลกซ์นั่นเอง โดยตัว เอพี จะทำการเลือกเองโดยสถานีตัวรับนั้นจะต้องเป็น ตัวที่สามารถรองรับการได้รับข้อมูลของ เอพี โดยในรูปภาพข้างต้น จะเห็นได้ว่า ตัวสถานีที่ 5 นั้นทำ การรับข้อมูลได้และเมื่อสถานีที่ 5 รับ แพ็กเก็ต เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการส่งเฟรมยืนยันกลับไปหา ตัว เอพี เพื่อทำการยืนยันว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นสำเร็จแล้ว โดยในรูปเป็นสีฟ้า และเมื่อตัว เอพี ได้รับการ ยืนยันจากสถานีปลายทางแล้ว ก็จะเริ่มส่งเฟรมยืนยันไปยังสถานีต้นทาง

หลังจากที่ทุกสถานีที่ส่งข้อมูลไปยัง เอพี และตัว เอพี ได้รับการยืนยันจากเฟรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทุกตัวจะทำการเริ่มนับแบล็กออฟใหม่อีกครั้งหลังจากจบช่วง ดีไอเอฟเอส เพื่อทำการขอส่งข้อมูลอีกรอบนั่นเอง โดยสามารถดูตัวอย่างการส่งได้ทางรูปภาพที่ 5.15 ดังต่อไปนี้



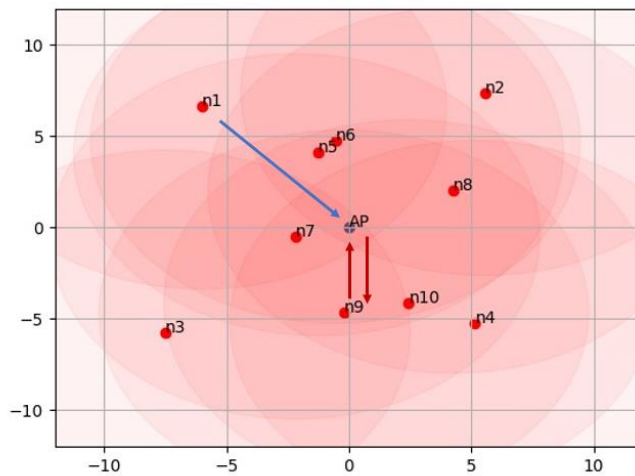
รูปที่ 5.15 การส่งข้อมูลของสถานีในรูปที่ 5.14



ในส่วนถัดไปจะเป็นตัวอย่างของการส่งข้อมูลของแบบพุลดูเพล็กซ์ที่ไม่สำเร็จ จะแสดงได้ดังในรูป 5.16 และ รูปที่ 5.17 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.16 การส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จเพราะเกิดการชน



รูปที่ 5.17 การแสดงการส่งจากรูปที่ 5.16

สีในตัวอย่างการส่งข้อมูลนั้นเหมือนก่อนหน้า แต่ในที่นี้ขอเพิ่มการอธิบายสีแดงเข้ามาเพิ่มเติม



หมายถึง การส่งข้อมูลไม่สำเร็จหรือเกิดการชนกัน

จากรูปภาพที่ 5.16 และภาพที่ 5.17 จะเป็นการแสดงของการส่งข้อมูลที่มีบางข้อมูลที่ส่งไม่สำเร็จ โดยจากรูปภาพที่ 5.16 นั้นจะเห็นได้ว่าสถานีที่ 9 ทำการเลือกที่จะส่ง ดังนั้นจะส่งเฟรมขอการส่งออกไปยังตัว เอพี เพื่อทำการขอส่ง และทาง เอพี ก็ตอบเฟรมอนุญาตการส่งกลับมา ซึ่งในช่วงก่อนหน้าที่จะทำการตอบกลับอนุญาตการส่งกลับมานั้น ตัวสถานีที่ 1 นั้นทำการขอส่งไปยังตัว เอพี ทั้งนี้ขั้นตอนสถานีที่ 1 ทำการขอการส่งนั้น สถานีที่ 1 ไม่เห็นว่าสถานีที่ 9 ทำการขอการส่งออกไป อันเป็นสาเหตุมาจากที่สถานีทั้งสองนั้นทำการซ่อนเร้นจากกัน จึงทำให้ไม่สามารถรับรู้ได้เมื่อมีเฟรมขอการส่งของตัวใดตัวหนึ่ง

ต่อมาในขณะที่ เอพี ตอบกลับสถานีต้นทางเสร็จแล้วก็จะส่งข้อมูลไปยังตัวสถานีตัวรับปลายทาง ซึ่งในรูป 5.16 นี้สถานีปลายทางคือสถานีที่ 1 แต่สถานีที่ 1 ไม่สามารถรับข้อมูล มาได้ เพราะเพิ่งทำการขอการส่งออกไปและอยู่ในช่วงรอเฟรมอนุญาตการส่งกลับมา และทำการนับ ดีไอเอฟเอส ใหม่เพื่อทำการแบล็กออฟใหม่อีกรอบ อันเป็นสาเหตุให้ ตัว เอพี ส่งข้อมูลไปยังตัวปลายทางไม่สำเร็จและไม่ได้รับ เฟรมยืนยันการส่งจากสถานีที่ 1 แต่ในอีกทางหนึ่ง การส่งข้อมูลของตัวสถานีที่ 9 สำเร็จได้ เพราะเป็นขาเข้าทางเดียว และได้รับการตอบรับเฟรมยืนยันจากตัว เอพี กลับมาได้

ในส่วนถัดไปจะเป็นการนำเสนอค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำงานโปรแกรมจำลองของระบบ
ฟลูตดูเพลกซ์อสมมาตร

```

SIM_TIME = 100000 # us
NUM_CLIENTS = 5
MIN_WINSIZE = 16
m = 3
MAX_WINSIZE = (2**m)*MIN_WINSIZE
BIT_RATE = 18 # Mbps
CAPTURE_RATE = 16
CAPTURE_THRESHOLD = 5

PACKET_PAYLOAD = 1500*8 # bits
MAC_HEADER = 272 # bits
PHY_HEADER = 20 # us
PHY_PREAMBLE = 16 # us
DATA = 1500*8 # bits
T1 = DATA/BIT_RATE
T2 = DATA/CAPTURE_RATE
DELAY = T2 - T1
ACK = 14*8/BIT_RATE + PHY_HEADER # us
RTS = 20*8/BIT_RATE + PHY_HEADER # us
CTS = 14*8/BIT_RATE + PHY_HEADER # us

SLOT_TIME = 9 # us
SIFS = 16 # us
DIFS = 34 # us
ACK_TIMEOUT = 180 # us
CTS_TIMEOUT = 180 # us

cnt_request = 0
cnt_success = 0
cnt_collision = 0

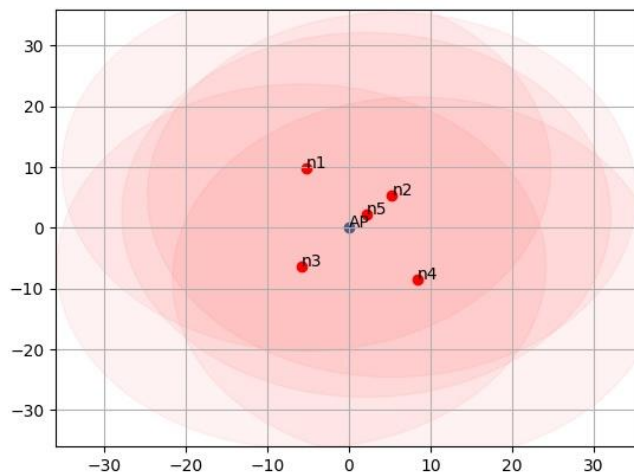
```

รูปที่ 5.18 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม

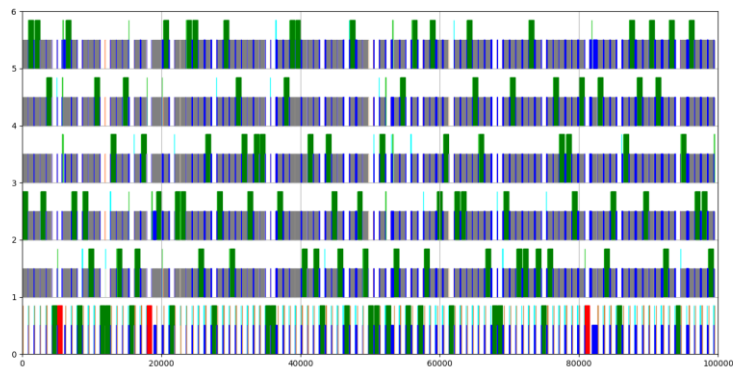
5.4. ผลการทดลองโปรแกรมจำลอง

5.4.1. การทดลองโปรแกรมจำลองฟลูตดูเพลกซ์สถานีทั้งหมด 5 สถานี กรณีมีสถานีซ่อน
เร้น ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 ทั้งใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้

5.4.1.1. การทดลองโปรแกรมจำลองฟลูตดูเพลกซ์สถานีทั้งหมด 5 สถานี กรณีไม่มี
สถานีซ่อนเร้น



รูปที่ 5.19 สถานีที่ไม่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี



```
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: []}
Capture node {1: [2, 3, 4, 5], 2: [3, 5], 3: [2, 5], 4: [1, 2, 3, 5], 5: []}
Number of request(Stations): 104
Number of success(Data of AP and stations): 108
Number of collision(Data of AP and stations): 3
Throughput 12.96
```

รูปที่ 5.20 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.19

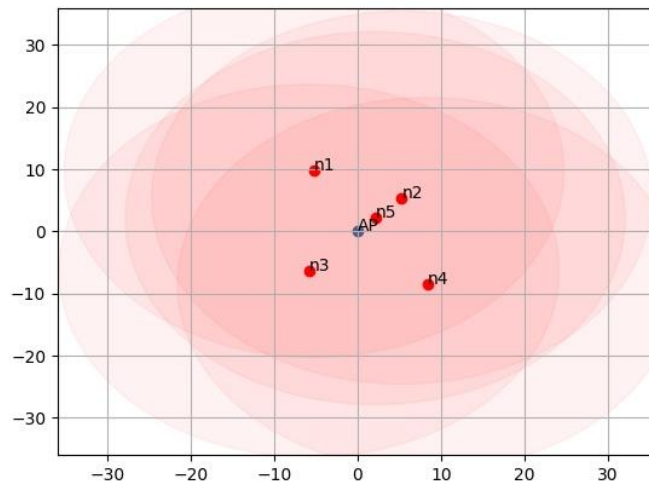
จากผลการทดลองทำงานโปรแกรมในภาพที่ 5.19 และ 5.20 นั้น เห็นว่าในทุกสถานีไม่มีสถานีที่ซ้อนเร้น มีค่าของการขอส่งทั้งหมดของตัวสถานีเท่ากับ 104 ครั้ง และมีการส่งข้อมูลสำเร็จของทั้งตัว เอพีและสถานีทั้งหมดเท่ากับ 108 ครั้ง และมีค่าทรูพุตที่ 12.96 Mbps

ในภาพที่ 5.20 บ่งบอกแสดงให้เห็นว่าการส่งข้อมูลในการสร้างฟูลดูเพลกซ์แบบที่ไม่มีสถานีซ้อนเร้นจากกัน ที่ตัว เอพี จะไม่สามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้เพราะเนื่องจากจะมีสัญญาณรบกวนกันของตัวส่งจากสถานีที่กำลังส่งไปยังตัว เอพี ไปกวน ตัวเอพี ที่ต้องการส่งข้อมูลไปยัง ตัวสถานีปลายทาง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่วิธีผลการทำงานที่ไม่มีสถานีใดซ้อนเร้นจากกันจะไม่สามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้เลย แต่ทว่าในมุมมองของการส่งข้อมูลของตัวเอพีเองนั้น ตัวเอพี สามารถส่งข้อมูลของตัวเองไปยังสถานีปลายทางได้โดยปราศจากการสร้างฟูลดูเพลกซ์เพราะว่า ตัวเอพี จะมีการนับแบล็คคอฟของตัวมันเองและเมื่อถึงเวลาที่ต้องการส่งหรือก็คือช่วงเวลาทีเอพีได้ค่าแบล็คคอฟเท่ากับ 0 ก็จะทำให้การส่งข้อมูลออกไปทันทีเป็นวิธีของเทคนิคจับมือสองทาง(ไม่มีการส่งเฟรมขอการส่งแบบตัวสถานี)

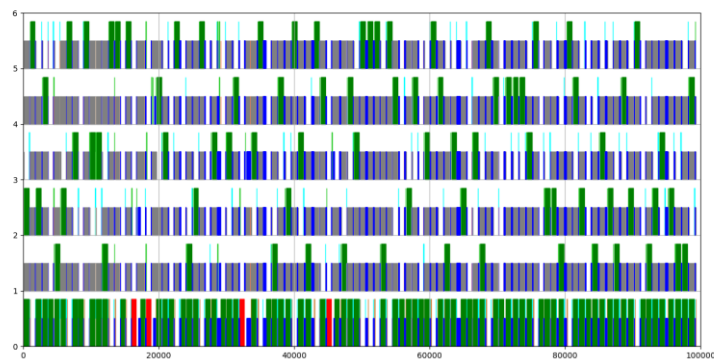
โดยวิธีที่จะทำให้ตัดสัญญาณรบกวนออกและสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ก็คือการนำ ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำ

5.4.1.2. การทดลองโปรแกรมจำลองฟูลดูเพลกซ์สถานีทั้งหมด 5 สถานี กรณีไม่มี มีสถานีซ่อนเร้นใช้ผลกระทบจากการยัดได้

ในการทดลองโปรแกรมต่อไปจะเป็นของการทดลองตัวอย่างเดียวกับก่อนหน้าแต่จะมีการนำผลกระทบจากการยัดได้เข้ามาช่วย โดยมีการกำหนดค่าของ ค่าผลกระทบจากการยัดได้ ว่าต้องเกิน 5 หน่วย จะทำให้สถานีตัวอื่นจะสามารถรับข้อมูลจาก เอพี ได้



รูปที่ 5.21 สถานีที่ไม่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี



```
Hidden node {1: [], 2: [], 3: [], 4: [], 5: []}
Capture node {1: [2, 3, 4, 5], 2: [3, 5], 3: [2, 5], 4: [1, 2, 3, 5], 5: []}
Number of request(Stations): 101
Number of success(Data of AP and stations): 157
Number of collision(Data of AP and stations): 4
Throughput 18.84
```

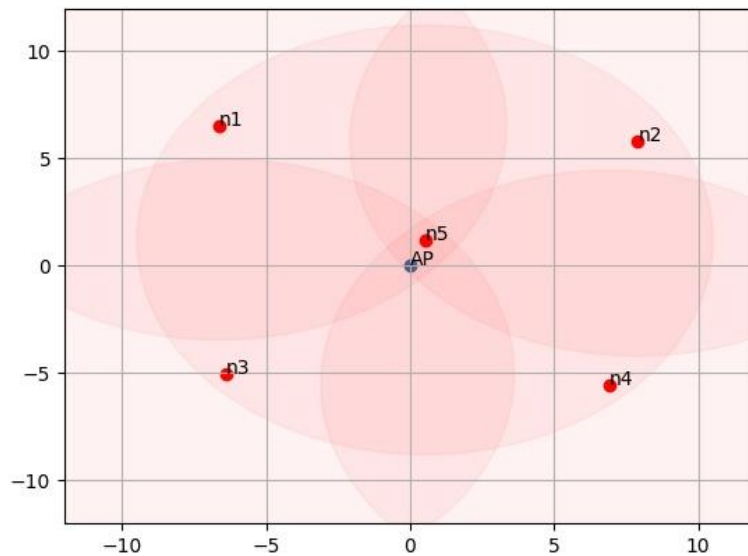
รูปที่ 5.22 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.21

จากผลการทดลองในภาพที่ 5.21 และ 5.22 แสดงให้เห็นอย่างแรกว่า ไม่มีสถานีใดทำการซ้อนเร้นกัน และผลของการผลกระทบจากการยึดได้ ที่ได้กำหนดในตัวโปรแกรมเพิ่มเติมนั้นแสดงให้เห็นว่าการมีผลกระทบจากการยึดได้ จะทำให้ส่งได้บางสถานี ตัวอย่างเช่น 3 : [2 , 5] หมายความว่า เมื่อ สถานีที่ 3 ทำการส่งข้อมูลไปยังตัว เอพี จะมีสถานีที่ 2 กับสถานีที่ 5 สามารถรับข้อมูลจากตัว เอพี ได้เพราะว่า หลังจากการคำนวณค่า ผลกระทบจากการยึดได้ ในทางโปรแกรมมีค่ามากกว่า 5 หน่วย เป็นต้น โดยจะแตกต่างจากเหตุการณ์ตัวอย่างก่อนหน้านี้ที่ไม่มีการใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ มาช่วยในการทำฟูลดูเพลกซ์ ดังนั้นวิธีนี้จึงสามารถทำให้มีการส่งข้อมูลจาก เอพี ไปยังตัวสถานีรับปลายทางได้

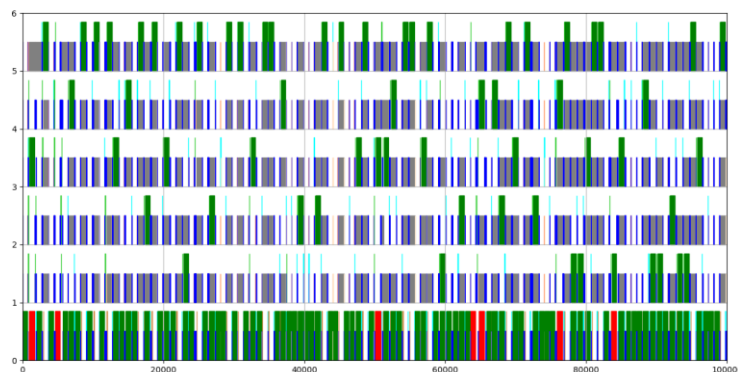
จากรูปที่ 5.22 ผลการทดลองโปรแกรมแสดงให้เห็นว่า มีการขอการส่งของตัวสถานีทั้งหมด 101 ครั้งและมีการส่งข้อมูลสำเร็จของตัวสถานีและตัวเอพีทั้งหมด 157 ครั้ง เกิดการชนกันของการส่งข้อมูลทั้งตัวเอพีและสถานีเท่ากับ 4 ครั้ง และสุดท้ายค่าทรูพุตของงานจะเท่ากับ 18.84 Mbps โดยจะเห็นว่าค่าทรูพุตนั้นมีค่าที่มากขึ้นกว่าเดิมในระดับหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากเกิดการสร้างฟูลดูเพลกซ์ที่จะทำให้ได้งานที่มากขึ้นกว่าเดิม

5.4.1.3. การทดลองโปรแกรมจำลองฟลูตดูเพลกซ์สถานีทั้งหมด 5 สถานี กรณีมี สถานีซ่อนเร้น

ในส่วนต่อไปจะเป็นการทดลองโปรแกรมฟลูตดูเพลกซ์แบบที่มีสถานีซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยจะเริ่มที่สถานีทั้งหมด 5 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16



รูปที่ 5.23 สถานีที่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี



```
Hidden node {1: [2, 3, 4], 2: [1, 3, 4], 3: [1, 2, 4], 4: [1, 2, 3], 5: []}
Capture node {1: [2, 4, 5], 2: [1, 3, 5], 3: [2, 4, 5], 4: [1, 3, 5], 5: []}
Number of request(Stations): 95
Number of success(Data of AP and stations): 141
Number of collision(Data of AP and stations): 7
Throughput 16.92
```

รูปที่ 5.24 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.23

จากรูปภาพที่ 5.23 และ 5.24 ข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีทั้งหมด 5 สถานี กับ เอพี โดยที่ สถานี บางตัวจะซ้อนเร้นจากสถานีตัวอื่นตัวอย่างเช่น สถานีที่ 1 ซ้อนเร้นจากสถานีที่ 2 , 4 , 3 แต่ไม่ได้ซ้อน จากสถานี 5 เป็นต้น ได้ดูจากรัศมีการได้ยินตามในรูปภาพที่ 5.24(วงกลมรัศมีสีแดงอ่อน) มีวิธีการ ทดลองนี้คิดไม่ได้ใช้ค่า ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำ

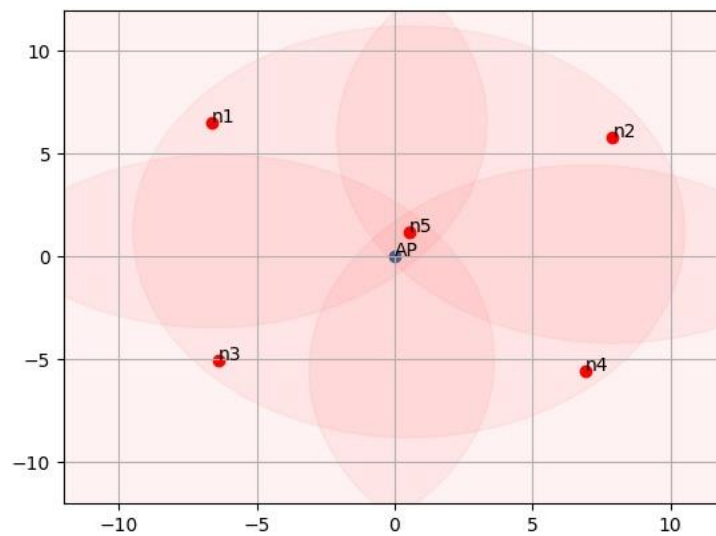
จากผลการทดลองในภาพที่ 5.24 จะเห็นได้ว่าการขอการส่งทั้งหมดของตัวสถานีที่ 95 ครั้ง มีการส่งข้อมูลสำเร็จของทั้งตัวสถานีและตัวเอพี 141 ครั้ง และมีการเกิดการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จทั้งตัว เอพีและสถานีทั้งหมด 7 ครั้ง ค่าทรูพุตของงานเท่ากับ 16.92 Mbps

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะพบว่ามีข้อมูลที่เกิดการชนกันได้เพราะเนื่องจากสถานีที่ ซ้อนเร้นจากกันทำการส่ง จะมีการส่งเฟรมขอการส่งออกไปโดยไม่รู้ว่ามีตัวอื่นส่งไปก่อนแล้ว และไป สวนกับเฟรมอนุญาตการส่งของ เอพี ที่ประกาศออกมา จึงทำให้เกิดการส่งข้อมูลไม่สำเร็จได้ในการส่ง ของตัว เอพี โดยได้อธิบายไปก่อนหน้านี้

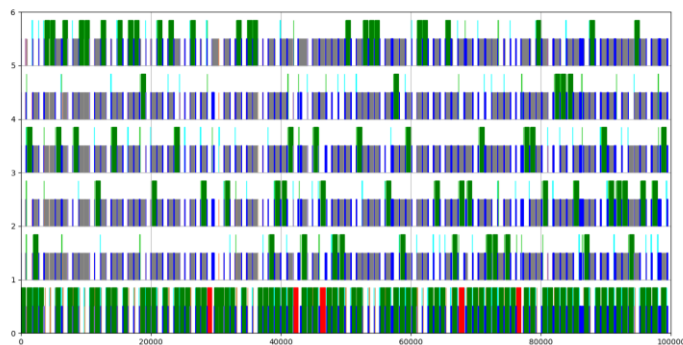


5.4.1.4. การทดลองโปรแกรมจำลองฟูลดูเพลกซ์สถานีทั้งหมด 5 สถานี กรณีมี สถานีซ่อนเร้นใช้ ผลกระทบจากการยึดได้

ในส่วนตัวไปจะเป็นการทดลองโปรแกรมฟูลดูเพลกซ์แบบที่มีสถานีซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมี สถานีทั้งหมด 5 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 และจะใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วย



รูปที่ 5.25 สถานีที่ซ่อนเร้นทั้ง 5 สถานี



```
Hidden node {1: [2, 3, 4], 2: [1, 3, 4], 3: [1, 2, 4], 4: [1, 2, 3], 5: []}
Capture node {1: [2, 4, 5], 2: [1, 3, 5], 3: [2, 4, 5], 4: [1, 3, 5], 5: []}
Number of request(Stations): 112
Number of success(Data of AP and stations): 151
Number of collision(Data of AP and stations): 5
Throughput 18.12
```

รูปที่ 5.26 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.25

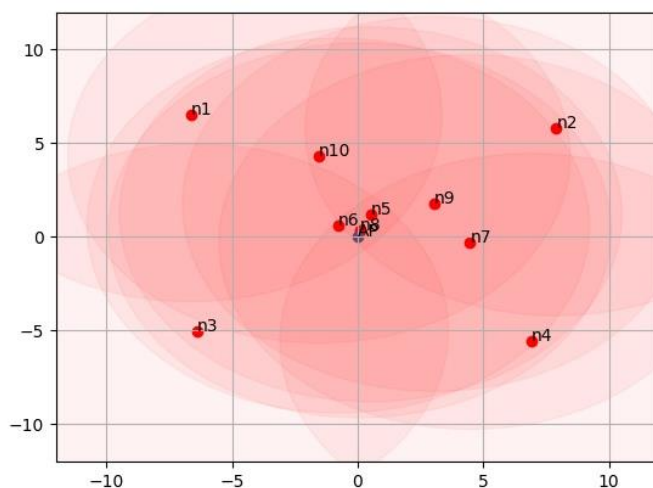
จากผลการทดลองในภาพที่ 5.25 และ 5.26 นั้นแสดงให้เห็นว่า มีการขอการส่งของสถานีทั้งหมดอยู่ที่ 112 ครั้งและมีการส่งข้อมูลสำเร็จของตัวเอพีและสถานีอยู่ที่ 151 ครั้ง เกิดการส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จของตัวเอพีและสถานีเท่ากับ 5 ครั้ง โดยค่าทราฟฟิคเท่ากับ 18.12 Mbps

จากการวิเคราะห์การทดลองสถานี 5 สถานี และใช้วิธี ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วย อาจจะทำให้ค่าทราฟฟิคของงานที่ได้มีค่ามากกว่าเดิมในระดับนี้ และสถานีที่ 5 จากแต่เดิมที่ไม่ค่อยได้รับข้อมูลเลยกลับได้รับข้อมูลมากขึ้นเพราะอยู่ใกล้ตัว เอพี โดยใช้วิธี ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วย จะพบว่าในสถานีที่ 5 จะมีการส่งเฟรมยืนยันไปยังตัวเอพี มากขึ้นในระดับนี้หรือหมายความว่าตัวสถานีที่ 5 จากแต่เดิมที่ไม่ค่อยได้รับข้อมูลจะได้รับมากขึ้น นั่นถือว่าเป็นเรื่องที่ดีเพราะจะเป็นการยุติธรรมกับในทุก ๆ สถานีว่ามีโอกาสในการได้รับกับการส่งที่พอ ๆ กัน แม้ว่าจะอยู่ในระยะทางที่แตกต่างกัน

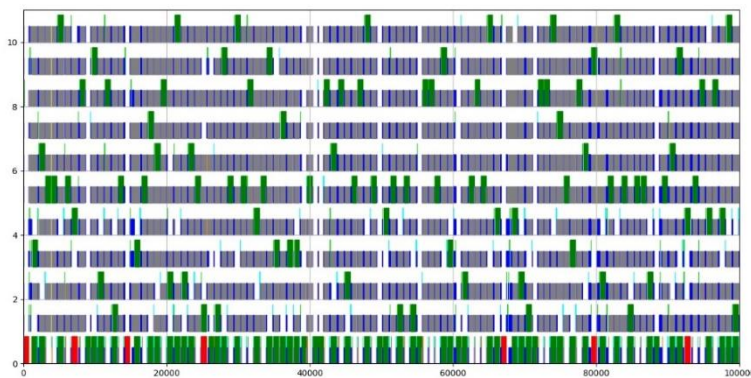


5.4.2. การทดลองโปรแกรมจำลองฟลูตเพลกซ์สถานีทั้งหมด 10 สถานี กรณีมีสถานี
ซ่อนเร้น ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 ทั้งใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้

5.4.2.1. โปรแกรมฟลูตเพลกซ์แบบที่มีสถานีซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมี สถานี
ทั้งหมด 10 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 ไม่ได้ใช้ ผลกระทบจากการยึดได้



รูปที่ 5.27 สถานีทั้งหมด 10 สถานีที่บางสถานีซ่อนเร้นจากกัน



```
Hidden node {1: [2, 3, 4, 7, 9], 2: [1, 3, 4, 6], 3: [1, 2, 4, 7, 9, 10], 4: [1,
2, 3, 10], 5: [], 6: [2], 7: [1, 3], 8: [], 9: [1, 3], 10: [3, 4]}
Capture node {1: [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9], 2: [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10], 3: [2, 4,
5, 6, 7, 8, 9, 10], 4: [1, 3, 5, 6, 8, 9, 10], 5: [8], 6: [8], 7: [5, 6, 8, 10],
8: [], 9: [5, 6, 8], 10: [4, 5, 6, 7, 8, 9]}
Number of request(Stations): 155
Number of success(Data of AP and stations): 153
Number of collision(Data of AP and stations): 7
Throughput 18.36
```

รูปที่ 5.28 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.27

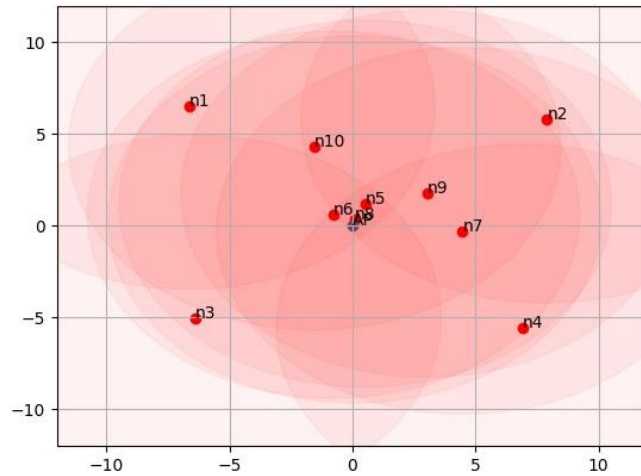
จากผลการทดลองในภาพที่ 5.27 และจากภาพที่ 5.28 มีการขอการส่งข้อมูลของตัวสถานีเท่ากับ 155 ครั้ง มีการส่งข้อมูลสำเร็จของตัวเอพีและตัวสถานีเท่ากับ 153 ครั้งด้วยกัน เกิดการส่งข้อมูลไม่สำเร็จของตัวเอพีและสถานีเท่ากับ 7 ครั้งด้วยกัน และค่าทรูพุตของงานจะอยู่ที่เท่ากับ 18.36 Mbps

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้เห็นได้ว่ามีสถานีทั้งหมด 10 สถานีและ 1 เอพี จะมีบางสถานีที่ทำการซ่อนเร้นจากสถานีตัวอื่นได้ โดยจะมีสถานีหมายเลขที่ 1 , 2 , 3 , 4 ที่ส่วนใหญ่จะซ่อนเร้นจากสถานีอื่นส่วนใหญ่ และจากรูปจะเห็นได้ว่าจะมีโอกาสได้รับข้อมูลจากตัว เอพี มากสุดเพราะอยู่ไกลจากสถานีอื่นและซ่อนเร้นจากตัวสถานีตัวอื่น และไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการได้ยินแทรกเสียงของตัวอื่น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ ตัว เอพี ทำการเลือกสถานีที่ซ่อนเร้นส่วนใหญ่ในการเป็นสถานีตัวรับ อาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความไม่ยุติธรรมสำหรับทุกสถานีในพื้นที่ของ เอพี เพราะจะมีบางตัวที่หมดสิทธิ์ในการขอรับข้อมูลจากตัวเอพี

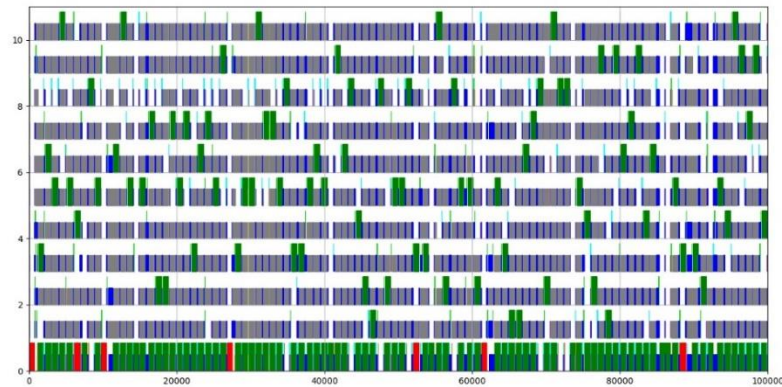


5.4.2.2. โปรแกรมฟลูตเพลกซ์แบบที่มีสถานีซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมี สถานีทั้งหมด 10 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิง16 ใช้ผลกระทบจากการยึดได้

ในส่วนต่อไปจะเป็นการทดลองโปรแกรมฟลูตเพลกซ์แบบที่มีสถานีซ่อนเร้นเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมี สถานีทั้งหมด 10 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิง 16 และจะใช้ผลกระทบจากการยึดได้



รูปที่ 5.29 สถานีทั้งหมด 10 สถานีที่บางสถานีซ่อนเร้นจากกัน



```
Hidden node {1: [2, 3, 4, 7, 9], 2: [1, 3, 4, 6], 3: [1, 2, 4, 7, 9, 10], 4: [1, 2, 3, 10], 5: [], 6: [2], 7: [1, 3], 8: [], 9: [1, 3], 10: [3, 4]}
Capture node {1: [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9], 2: [1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10], 3: [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], 4: [1, 3, 5, 6, 8, 9, 10], 5: [8], 6: [8], 7: [5, 6, 8, 10], 8: [], 9: [5, 6, 8], 10: [4, 5, 6, 7, 8, 9]}
Number of request(Stations): 165
Number of success(Data of AP and stations): 172
Number of collision(Data of AP and stations): 7
Throughput 20.64
```

รูปที่ 5.30 ผลการทำงานของโปรแกรมจากรูป 5.29

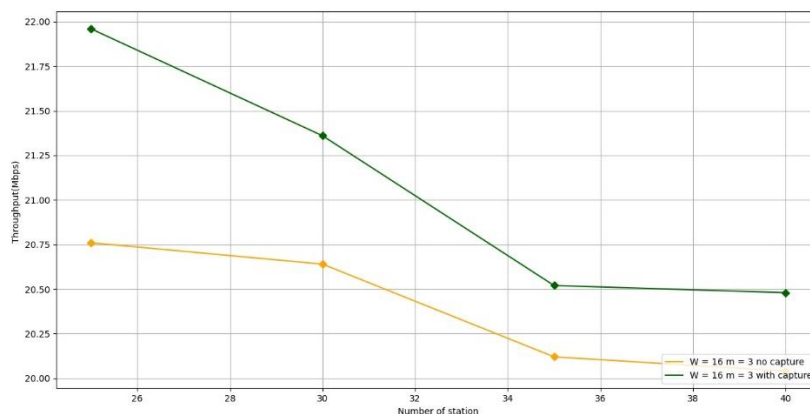
จากผลการทดลองที่แสดงในรูปภาพที่ 5.29 และ ภาพที่ 5.30 นั้นใช้ตัวอย่างเดียวกับตัวสถานี 10 สถานีก่อนหน้า แต่ทว่าในการทดลองนี้ใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำพูลดูเพลกซ์ โดยค่าต่าง ๆ ที่ได้มีดังนี้ มีการขอการส่งข้อมูลจากตัวสถานีทั้งหมดเท่ากับ 165 ครั้ง จำนวนส่งข้อมูลสำเร็จของตัวเอพีและสถานีเท่ากับ 172 และจำนวนการส่งไม่สำเร็จเท่ากับ 7 สุดท้ายค่าทรูพุตเท่ากับ 20.64 Mbps

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถเห็นได้ชัดว่าอย่างแรก ค่าทรูพุตดีขึ้นกว่าตัวอย่างก่อนหน้าที่ไม่ใช้วิธี ผลกระทบจากการยึดได้ ได้ในระดับหนึ่ง โดยในตัวอย่างนี้จะเห็นได้ชัด การส่งข้อมูลของตัว เอพี มีความกระจ่ายกันมากขึ้นมากกว่าตัวอย่างก่อนหน้าที่จะส่งข้อมูลไปยังสถานีที่ซ่อนเร้นมากกว่า ถือว่าเป็นเรื่องที่ดีมากขึ้นเพราะจะเป็นการยุติธรรมสำหรับในทุก ๆ สถานี มีสิทธิ์ในการขอรับแพ็กเก็ตเกิดข้อมูลจากตัว เอพี



5.5. เปรียบเทียบค่าทรูพุตในภาพรวมในหน้าต่างช่วงชิง 16

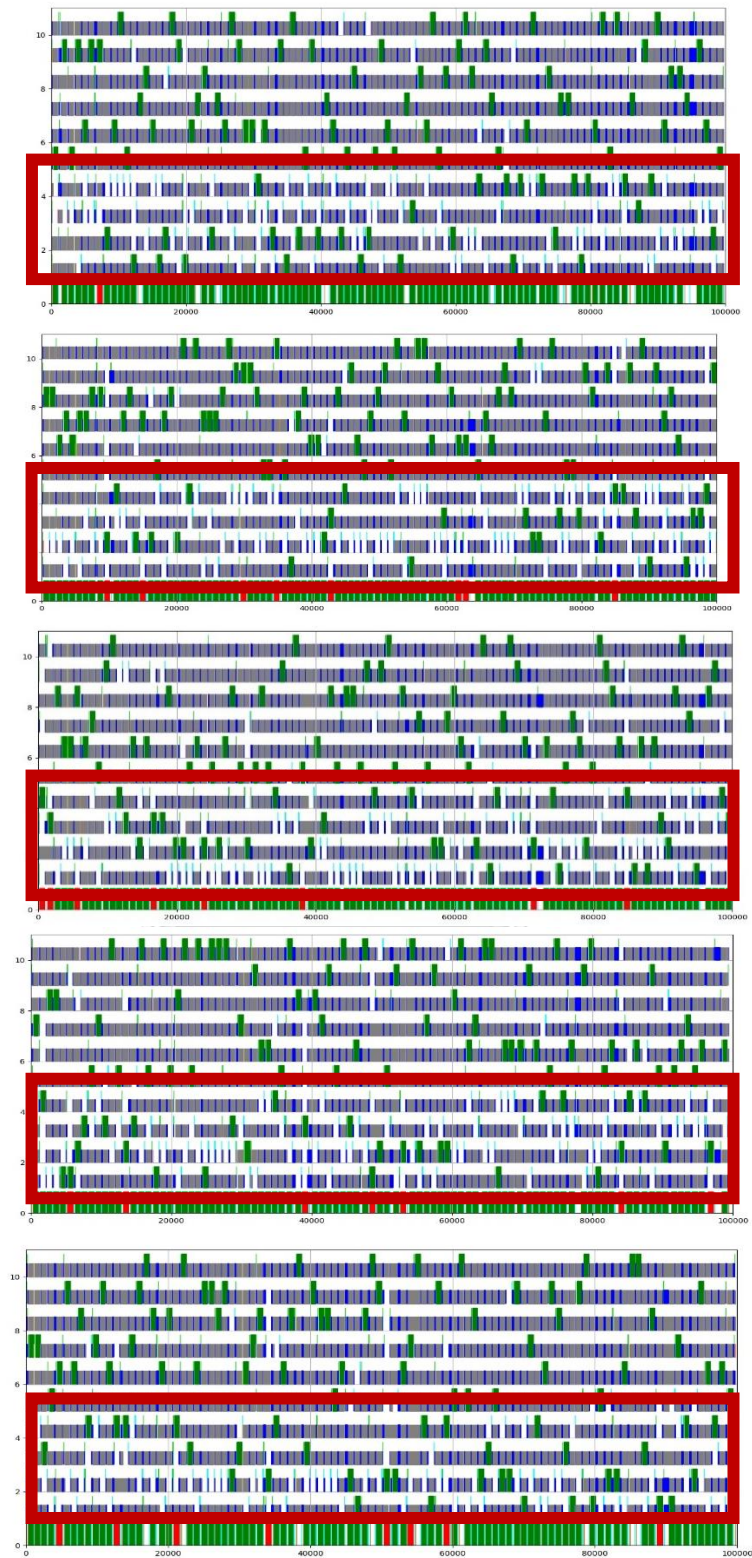
โดยในส่วนถัดไปจะเป็นการสรุปผลการทดลองในช่วงหลายสถานีโดยขนาดหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นที่ 16 และจำนวน 100,000 สล็อตเวลาในการทดลอง



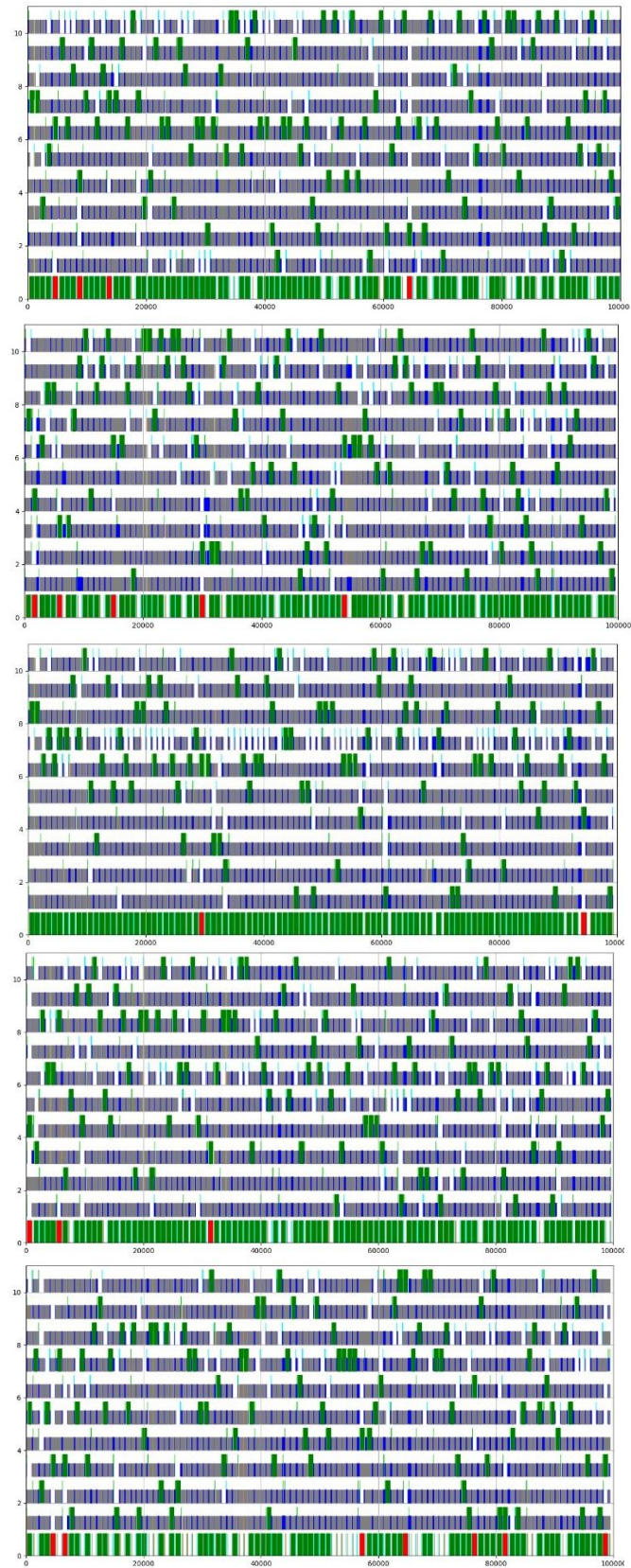
รูปที่ 5.31 ค่าทรูพุตหน้าต่างช่วงชิง 16 ของโปรแกรมที่ใช้และไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้

จากรูปภาพที่ 5.31 เป็นการกราฟการเปรียบเทียบการทดลองของสถานีทั้ง 20 สถานีไปจนถึง 40 สถานีด้วยกัน จะเป็นการเปรียบเทียบวิธีปกติและการใช้วิธีการ ผลกระทบจากการยึดได้เข้ามาทำ พบว่าช่วง การใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามา จะได้ค่าทรูพุตที่ดีขึ้นกว่าเดิมในทุกช่วงประมาณ 5-10 % ด้วยกัน และ เมื่อสถานีเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น พบว่าค่าทรูพุตจะลดลงตามลำดับ ทั้งกรณีที่ใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ และ ไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้ อันเนื่องมาจากการที่มีสถานีมากขึ้น การแย่งการใช้ก็ยิ่งมากขึ้น ทำให้งานที่ได้มีค่าลดลงไปตามลำดับเมื่อสถานีมากขึ้นกว่าเดิม

5.6. การทดลองในหลายช่วงการสุ่ม



รูปที่ 5.32 การทดลองในหลายช่วงการสุ่มไม่ใช้ผลกระทบจากการยึดได้



รูปที่ 5.33 การทดลองในหลายช่วงการสุ่มใช้ผลกระทบจากการยึดได้

จากการทดลองในรูปภาพที่ 5.32 และรูปภาพที่ 5.33 เป็นการทดลองในหลายช่วงการสุ่มในโปรแกรมจำลองฟลูอิดเพลกซ์สมมาตรด้วยกัน โดยกำหนดทดลองในช่วง 10 สถานี และมีการใช้วิธีปกติและใช้ผลกระทบจากการยึดได้ ตามลำดับ เข้ามาเปรียบเทียบกัน โดยจากรูปที่ 5.33 เป็นการแสดงการทำฟลูอิดเพลกซ์แบบปกติไม่มีการใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วย ในรูปภาพจะมีกรอบสีแดงเข้มแสดงให้เห็นว่าการส่งข้อมูลของ เอพี นั้นจะพยายามส่งไปที่สถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 4 เป็นส่วนใหญ่ จากโปรแกรมสถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 4 เป็นสถานีที่อยู่ไกลจากตัว เอพี หรืออยู่มุมของรูปภาพทั้ง 4 ของแกน เป็นการซ่อนเร้นและไกลจากสถานีอื่น สาเหตุที่ เอพี ส่งไปหาแค่สถานีที่ 1 ถึง สถานีที่ 4 เป็นส่วนใหญ่สาเหตุมาจากการที่ เอพี จะกลัวการส่งสัญญาณรบกวนกันของสถานีที่อยู่ใกล้กับตัว เอพี จะทำให้เป็นการไม่ยุติธรรมกับสถานีทุกตัวที่ต้องการข้อมูลของ เอพี

จากรูปภาพที่ 5.33 เป็นการแสดงการทำฟลูอิดเพลกซ์และใช้ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำ แสดงให้เห็นว่าการส่งข้อมูลของ เอพี มีการกระจายไปยังทุก ๆ สถานีมากขึ้นกว่าเดิมอย่างมาก จะไม่ส่งข้อมูลไปยังแค่สถานีที่ 1 ถึงสถานีที่ 4 เหมือนอย่างเคย การทำแบบนี้จะเป็นสิ่งที่ดีและมีการยุติธรรมสำหรับทุก ๆ สถานีรอบตัวของ เอพี มากขึ้นในการขอรับข้อมูลจากตัว เอพี

5.7. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองของบทนี้จะเป็นการสร้างฟลูดูเพลกซ์แบบสมมาตรขึ้นมา โดยในตัวโปรแกรมจะมีทั้งในรูปแบบที่มีสถานีที่ซ่อนเร้นกันกับสถานีที่ไม่ซ่อนเร้นจากกันได้ ในกรณีที่ไม่มีสถานีใดเลยซ่อนเร้นจากกัน จะไม่สามารถสร้างฟลูดูเพลกซ์ได้เลยถ้าไม่มีการใช้ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำเพราะจะเกิดสัญญาณรบกวนกันได้ที่ตัวส่งกับตัวรับ และค่าทรูพุดจะน้อยลงตามงานที่ได้

ส่วนในด้านของการมีสถานีที่ทำการซ่อนเร้นกันจะสามารถทำฟลูดูเพลกซ์ได้ทันทีไม่มีปัญหาใด ๆ แต่จะไม่มีควมกระจายของการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังทุกสถานีเพราะตัว เอพี จะกลัวการรบกวนของการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังสถานีปลายทาง อันเป็นสาเหตุให้เลือกที่จะส่งข้อมูลไปยังตัวสถานีที่ซ่อนเร้นเป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อใช้วิธีของผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยทำก็จะสามารถช่วยในการกระจายการส่งได้ในระดับหนึ่ง เป็นการยุติธรรมสำหรับทุก ๆ สถานีที่ต้องการจะรับข้อมูลของตัว เอพี ได้ และในส่วนของค่าทรูพุดอาจจะมีค่าที่ดีขึ้นกว่าเดิมได้ในระดับหนึ่ง และเมื่อเพิ่มสถานีเข้ามาแข่งขันมากขึ้นค่าทรูพุดจะลดลงเรื่อย ๆ ในระดับหนึ่งทั้งวิธีปกติและใช้ผลกระทบจากการยึดได้ เพราะว่ามีการแข่งขันขอการส่งกันมากขึ้นตามจำนวนสถานีที่มากขึ้น

บทที่ 6 สรุป

จากการศึกษาโพรโทคอล IEEE802.11 ตั้งแต่วิธีการเทคนิคจับมือสองทางและจับมือสี่ทางทั้งในระบบที่มีสถานีที่ซ่อนเร้นกับสถานีไม่มีการซ่อนเร้นของมัน พบว่าปัญหาหลักของการมีสถานีซ่อนเร้นเป็นตัวแปรสำคัญของการส่งข้อมูล ผลการทดลองเทคนิคจับมือสองทางในบทที่ 3 พบว่าการที่มีสถานีซ่อนเร้น จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลอย่างง่ายเพราะเมื่อสถานีเห็นว่าช่องสัญญาณว่าง จะทำการส่งข้อมูลออกไปโดยทันที โดยไม่มีการคำนึงถึงเรื่องเกี่ยวกับสถานีที่ซ่อนเร้นจะกระทำการส่งข้อมูลพร้อมกันหรือส่งข้อมูลไปก่อนหน้า อันเป็นสาเหตุของการเกิดชนกันของข้อมูล เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นการชนกันของสถานีที่ซ่อนเร้นจะมากขึ้น และยึดครองช่องสัญญาณทำให้ตัวอื่นยากที่จะได้ส่งข้อมูลและจะทำให้ค่าทราฟฟิคของงานที่ได้มีค่าต่ำมาก ถึงระดับที่ลดลงไป 70-80 % อันเป็นสาเหตุที่วิธีเทคนิคจับมือสองทางไม่เหมาะกับการที่มีสถานีซ่อนเร้นเป็นอย่างมาก ต่อมาได้ทำการทดลองเทคนิคจับมือสี่ทางกับการมีสถานีซ่อนเร้นจากกันโดยใช้โปรแกรมที่ทำการจำลองขึ้นมา พบว่าค่าทราฟฟิคอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเทคนิคจับมือสองทาง โดยภาพรวมค่าทราฟฟิคลดลงประมาณ 5-10 % จากแต่ที่เดิมควรจะได้ สาเหตุที่ค่าทราฟฟิคลดลงเพียงเล็กน้อยเพราะเกิดการชนกันของข้อมูลที่น้อยเนื่องมาจากเวลาเกิดการชนกัน จะเกิดที่เฟรมขอการส่ง ทำให้ช่วยในการชนกันของสถานีได้ทีละระดับหนึ่ง และเมื่อเวลาตัวเอพีทำการตอบกลับด้วยเฟรมอนุญาตการส่ง สถานีที่ซ่อนเร้นสามารถฟังการตอบกลับเฟรมอนุญาตการส่งของเอพีก่อนจะส่งเฟรมขอการส่ง วิธีเทคนิคจับมือสี่ทางจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีสถานีซ่อนเร้นและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับผลการทดลองที่มีก่อนหน้า [2, 9]

ในส่วนต่อมาก็ได้ทำการวิเคราะห์แบบจำลองสมรรถนะของการสื่อสารแบบฟูลดูเพลกซ์ในสถานการณ์ที่มีสถานีซ่อนเร้นและทำการพัฒนาโปรแกรมจากแต่เดิมจับมือสี่ทางเป็นแบบ ฟูลดูเพลกซ์แบบอสมมาตร เมื่อทำการสร้างก็จะพบปัญหาอย่างหนึ่งก็คือสัญญาณรบกวนของตัวส่งกับตัวรับ ทำให้ไม่สามารถสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ จึงได้ทำการทดลองใช้เทคนิคผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาช่วยในการทำฟูลดูเพลกซ์เพื่อที่จะสามารถตัดแยกสัญญาณรบกวนกัน จะมีการกำหนดค่าผลกระทบจากการยึดได้ ไว้ที่ 5 เดซิเบล โดยเมื่อสถานีตัวรับคำนวณแล้วมีค่าที่ได้มากกว่า 5 เดซิเบล จะสามารถทำการรับข้อมูลได้ โดยหลังจากได้ทำการใช้ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาทำให้พบว่า เอพี สามารถทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทางได้ในขณะที่รับข้อมูลในเวลาเดียวกันหรือก็คือเกิดการสร้างฟูลดูเพลกซ์และพบว่าค่าทราฟฟิคที่ได้มีค่าที่ดีมากในระดับหนึ่ง และได้นำโปรแกรมจำลองมาลองทดสอบกับช่วงที่มีสถานีที่ซ่อนเร้นจากกัน โดยจะทำทดสอบที่จำนวนสถานีเริ่มต้นที่ 5 สถานี ไปจนถึง 10 สถานี ขนาดหน้าต่างช่วงชิงเริ่มต้นที่ 16 จะพบว่าสามารถทำการสร้างฟูลดูเพลกซ์ได้ แต่ทางตัว เอพี จะทำการเลือกสถานีปลายทางเป็นสถานีที่ซ่อนเร้นเป็นส่วนใหญ่หรือก็คือตัวสถานีที่อยู่ไกลจากตัวสถานีอื่น

เพราะตัวเอพีกลัวการเกิดสัญญาณรบกวนกัน การทำแบบนี้จะไม่ยุติธรรมกับทุกสถานี เพราะถ้ามองในความเป็นจริง ทุกสถานีควรมีสิทธิในการได้รับข้อมูลอย่างเท่าเทียมกัน สุดท้ายได้นำวิธี ผลกระทบจากการยึดได้ เข้ามาทดลองและใช้เกณฑ์เดิมก็คือ ถ้าตัวรับได้ยืนมากกว่า 5 เดซิเบล จะสามารถรับข้อมูลได้ (ทางโปรแกรมวัดการจำลองเป็นระยะทางในการคิดเดซิเบลเป็นหน่วยในคอมพิวเตอร์) หลังจากทดลองกับโปรแกรมแล้วพบว่าอย่างแรกค่าทรูพุตดีขึ้นประมาณ 5-10 % อย่างที่สองที่พบคือการใช้ ผลกระทบจากการยึดได้ จะเป็นการช่วยในการได้รับข้อมูลของสถานีอย่างเท่าเทียมกันมากขึ้นของทุก ๆ สถานีที่เป็นตัวรับ ทำให้ช่วยในเรื่องของยุติธรรมในการส่งและรับของสถานีได้ในระดับนี้

ในส่วนของงานในอนาคต สามารถนำแบบจำลองและโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์พัฒนาต่อยอดเป็นฟูลดูเพลกซ์แบบซิมเมตริกซ์ โดยในการจำลองการส่งและรับได้ในช่วงสถานีเดียวกันหรือก็คือ ตัวสถานีส่งทำการส่งข้อมูลไปยังตัวเอพี และส่งข้อมูลกลับไปยังตัวสถานีรับที่เป็นตัวสถานีเดียวกันกับตัวสถานีที่ทำการส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน พร้อมกับการเพิ่มขนาดของข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้นทั้งในตัวสถานีที่เริ่มทำการส่งข้อมูลหรือตัวเอพีที่ทำการส่งข้อมูลไปยังสถานีปลายทาง

บรรณานุกรม

- [1] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo, D. W. Bliss, S. Rangarajan, and R. Wichman, "In-Band Full-Duplex Wireless: Challenges and Opportunities," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 9, pp. 1637-1652, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2330193.
- [2] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, 2000, doi: 10.1109/49.840210.
- [3] C. Chen, S. Hou, and S. Wu, "Saturation Throughput Analysis of an Asymmetric Full-Duplex MAC Protocol in WLANs With Hidden Terminals," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 69948-69960, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2880479.
- [4] S. Oashi and M. Bandai, "Performance of Medium Access Control Protocols for Full-Duplex Wireless LANs," in *2012 9th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT)*, 5-9 Nov. 2012 2012, pp. 1-4.
- [5] A. Tang and X. Wang, "A-Duplex: Medium Access Control for Efficient Coexistence Between Full-Duplex and Half-Duplex Communications," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 10, pp. 5871-5885, 2015, doi: 10.1109/TWC.2015.2443792.
- [6] J. Lee *et al.*, "An experimental study on the capture effect in 802.11a networks," presented at the Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization, Montreal, Quebec, Canada, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/1287767.1287772>.
- [7] S. Khurana, A. Kahol, S. K. S. Gupta, and P. K. Srimani, "Performance evaluation of distributed co-ordination function for IEEE 802.11 wireless LAN protocol in presence of mobile and hidden terminals," in *MASCOTS '99. Proceedings of the Seventh International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, 24-28 Oct. 1999 1999, pp. 40-47, doi: 10.1109/MASCOT.1999.805038.

- [8] O. Ekici and A. Yongacoglu, "IEEE 802.11a Throughput Performance with Hidden Nodes," *IEEE Communications Letters*, vol. 12, no. 6, pp. 465-467, 2008, doi: 10.1109/LCOMM.2008.080209.
- [9] F. Hung, S. Pai, and I. Marsic, "Performance Modeling and Analysis of the IEEE 802.11 Distribution Coordination Function in Presence of Hidden Stations," in *MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications conference*, 23-25 Oct. 2006 2006, pp. 1-7, doi: 10.1109/MILCOM.2006.302210.
- [10] A. S. Ibrahim, "Self-Interference Cancellation and Beamforming in Repeater-assisted Full-duplex Vehicular Communication," in *2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)*, 25-28 May 2020 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTC2020-Spring48590.2020.9128558.
- [11] N. Singh, D. Gunawardena, A. Proutiere, B. Radunovi, H. V. Balan, and P. Key, "Efficient and fair MAC for wireless networks with self-interference cancellation," in *2011 International Symposium of Modeling and Optimization of Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, 9-13 May 2011 2011, pp. 94-101, doi: 10.1109/WIOPT.2011.5930070.
- [12] C. Ware, J. Chicharo, and T. Wysocki, "Simulation of capture behaviour in IEEE 802.11 radio modems," in *IEEE 54th Vehicular Technology Conference. VTC Fall 2001. Proceedings (Cat. No.01CH37211)*, 7-11 Oct. 2001 2001, vol. 3, pp. 1393-1397 vol.3, doi: 10.1109/VTC.2001.956425.
- [13] Y. Kang, J. Lee, and C. Kim, "An opportunistic MIM-aware concurrent transmission protocol in IEEE802.11 WLANs," in *The International Conference on Information Networking 2011 (ICOIN2011)*, 26-28 Jan. 2011 2011, pp. 424-428, doi: 10.1109/ICOIN.2011.5723122.
- [14] T. Sriprasert *et al.*, "A Discrete-Time Simulation for Throughput Performance Evaluation of IEEE802.11 with Hidden Stations," in *2021 36th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, 27-30 June 2021 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ITC-CSCC52171.2021.9501431.
- [15] A. M. Sweedy, A. I. Semeia, S. Y. Sayed, and A. H. Konber, "The effect of frame length, fragmentation and RTS/CTS mechanism on IEEE 802.11 MAC

performance," in *2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 29 Nov.-1 Dec. 2010 2010, pp. 1338-1344, doi: 10.1109/ISDA.2010.5687095.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธีศิษฐ์ ศรีประเสริฐ
วัน เดือน ปี เกิด	2 สิงหาคม 2537
สถานที่เกิด	สิงห์บุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์ เอกคณิตศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	สิงห์บุรี
ผลงานตีพิมพ์	A Discrete-Time Simulation for Throughput Performance Evaluation of IEEE802.11 with Hidden Stations



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY