

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดเริ่มต้นโดยภาครับแบบมีประสิทธิภาพสำหรับโครงข่ายคลื่น
เสียงใต้น้ำ



นายณัฐฤทธิ์ ลีลาพิสุทธิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN EFFICIENT RECEIVER-INITIATED MEDIA ACCESS CONTROL (MAC) PROTOCOL FOR
UNDERWATER ACOUSTIC NETWORKS

Mr. Nuttarit Leelapisut



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดเริ่มต้นโดย ภาครับแบบมีประสิทธิภาพสำหรับโครงข่ายคลื่นเสียงใต้ น้ำ
โดย	นายณัฐฤทธิ์ สีลาพิสุทธิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.นิฏฐิตา เชิดชู

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต เบญจพลกุล)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.นิฏฐิตา เชิดชู)
.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ธีรวัฒน์ อีสสรียะกุล)

ณัฐฤทธิ สีสาทิสุทธิ : โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดเริ่มต้นโดยภาครับแบบมีประสิทธิภาพสำหรับโครงข่ายคลื่นเสียงใต้น้ำ (AN EFFICIENT RECEIVER-INITIATED MEDIA ACCESS CONTROL (MAC) PROTOCOL FOR UNDERWATER ACOUSTIC NETWORKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิริพิบูลกิจ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.นิภูฐิตา เชิดชู, 76 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางสำหรับโครงข่ายคลื่นเสียงใต้น้ำ แนวคิดในการพัฒนาโพรโทคอลที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธีการจับมือแบบเริ่มต้นด้วยภาครับร่วมกับการสุ่มเข้าใช้สล็อตสำหรับจองเข้าใช้ช่องสัญญาณ และการจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลหลังจากโนดภาครับรับรู้จำนวนข้อมูลที่ต้องการจะส่งมาทั้งหมดจากโนดรอบข้าง

โพรโทคอลที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการจองเข้าใช้ช่องสัญญาณและการจัดสรรช่องสัญญาณ เริ่มต้นจากการที่โนดภาครับประกาศข้อมูลควบคุมเพื่อแสดงความต้องการที่จะรับข้อมูล จากนั้นโนดที่ได้รับข้อมูลควบคุมจากโนดภาครับจะแจ้งเตือนโนดรอบข้าง และส่งจำนวนข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังโนดภาครับที่สล็อตเวลาที่เลือกแบบสุ่ม โนดภาครับทำการจองช่องสัญญาณและจัดสรรจำนวนช่องสัญญาณสำหรับให้โนดภาคส่งแต่ละโนดส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โพรโทคอลที่นำเสนอที่ทำการเลือกค่าจำนวนสล็อตสำหรับการจองและจำนวนข้อมูลที่จะรับได้สูงสุดที่เหมาะสมต่อรอบแล้ว จะมีสมรรถนะที่สูงกว่า RIPT ที่เป็นโพรโทคอลที่ใช้วิธีการจับมือแบบเริ่มต้นด้วยภาครับแบบดั้งเดิม

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT จะดีกว่า RIPT 25% โดยประมาณเมื่อมีค่าโหนดต่อโหนดมากกว่า 0.04 ในส่วนของค่าประวิงเวลาของข้อมูล E-RIPT จะมีค่าประวิงเวลาดำว่า RIPT ประมาณ 42% ที่โหนดต่อโหนดเท่ากับ 0.034 และเราพบว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมีความยุติธรรมในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมากกว่า RIPT

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5470493021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: MEDIA ACCESS CONTROL / UNDERWATER ACOUSTIC SENSOR NETWORKS
/ SIMULATION

NUTTARIT LEELAPISUT: AN EFFICIENT RECEIVER-INITIATED MEDIA ACCESS CONTROL (MAC) PROTOCOL FOR UNDERWATER ACOUSTIC NETWORKS.
ADVISOR: ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D., CO-ADVISOR:
NITTHITA CHIRDCHOO, Ph.D., 76 pp.

This thesis presents a development of a media access control protocol for underwater acoustic network. The concepts in developing the proposed protocol are receiver-initiated handshaking, random slot for channel reservation, and the channel will be reserved for data transmission after the receiver knows the number of packets which wish to send.

The proposed protocol (E-RIPT) can be divided into 2 main parts, channel reservation and channel assignment. First, the receiver broadcasts control packet to inform its neighboring nodes that the receiver is ready to receive packet(s). Then, neighboring nodes inform its neighboring node and send the number of packets wishing to send at the random selected time slot. The receiver will reserve the channel and assign the channel for each sender for sending packets to avoid packet collision. The simulation shows that the proposed protocol which selects the suitable number of reservation slots and the maximum number of receive packets per handshaking round has superior performance than the original receiver-initiated base protocol, RIPT.

Our results show that maximum throughput of E-RIPT is greater than RIPT about 25% when offered load per node is beyond 0.04. In the viewpoint of packet delay, the delay of E-RIPT is lower than the one of RIPT about 42% at offered load per node =0.034. Finally, we observe that our proposed protocol has the better fairness in number of packet transmission compared with RIPT.

Department: Electrical Engineering	Student's Signature
Field of Study: Electrical Engineering	Advisor's Signature
Academic Year: 2014	Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กระผมใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง สำหรับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.นิฏฐิตา เชิดชู อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมและ ผศ.สุวิทย์ นาค พิระยุทธ ซึ่งได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณอย่างยิ่งต่อ รศ. ดร. ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นในการจัดทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้าย ผมขอขอบคุณ เพื่อนๆในห้องวิจัยระบบการสื่อสารคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือมาตลอด และ ใคร่ขอกราบขอบพระคุณพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้การสนับสนุนและให้ กำลังใจแก่ผมตลอดเวลาจนได้สำเร็จการศึกษา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับช่องสัญญาณได้น้ำ	4
2.1 คุณสมบัติของช่องสัญญาณได้น้ำ.....	4
2.2 การเคลื่อนที่ของโนด.....	6
2.3 ความหนาแน่นของโนด	7
2.4 ปัจจัยอื่น ๆ	7
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง	9
3.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสาร	9
3.1.1. เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณ (Media Access Control) แบบกำหนดชัดเจน (Deterministic)	9
3.1.1.1. การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access-FDMA).....	9

3.1.1.2. การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access-TDMA).....	10
3.1.1.3. การร่วมเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบเข้ารหัส (Code Division Multiple Access -CDMA)	10
3.1.2. เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่กำหนดชัดเจน (Non-deterministic MAC Techniques)	11
3.1.2.1. การหยั่งสัญญาณ (Polling).....	11
3.1.2.2. เทคนิคการฟังช่องสัญญาณ (Channel Listening)	11
3.1.2.3. เทคนิคการจับมือ (Handshaking).....	12
3.1.2.4. อะโลฮา (ALOHA).....	12
3.2 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสารในได้น้ำ.....	13
บทที่ 4 การออกแบบโพรโทคอล E-RIPT.....	19
4.1 หลักการทำงานของโพรโทคอล E-RIPT	19
4.1.1 เริ่มต้นการทำงานโดยการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV.....	22
4.1.2 การแจ้งเตือนโนดนอกเครือข่ายการส่งข้อมูลด้วยแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 และการจองช่องสัญญาณโดยแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK.....	22
4.1.3 การประกาศลำดับและจำนวนการส่ง.....	23
4.1.4 การส่งข้อมูลและหมดเวลารอ (timeout)	24
4.2 เวลาเริ่มส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV.....	25
4.3 การเลือกกลุ่มเครือข่าย และการหยุดส่งสัญญาณเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล	26
4.3.1 ในกรณีได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV เมื่อโนดไม่ได้อยู่ในสถานะว่าง (Idle) หรือหยุดทำงาน (Silent).....	26
4.3.2 ในกรณีโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 หรือแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK.....	26
4.3.3 ในกรณี โหนดได้ยินแพ็กเก็ตควบคุม ORDER หรือแพ็กเก็ตควบคุม NTF2	26

บทที่ 5 การจำลองผลการทำงาน ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	27
5.1 การกำหนดขนาดของช่องสัญญาณสำหรับรับแพ็กเก็ต REV-ACK.....	29
5.1.1 ผลของวิสัยสามารถ	33
5.1.2 ผลของการประวิงเวลาของแพ็กเก็ต	34
5.2 จำนวนแพ็กเก็ตที่โนดฐานจะทำการรับสูงสุดต่อรอบที่เหมาะสม	34
5.2.1 ผลของวิสัยสามารถ	39
5.2.2 ผลของค่าประวิงเวลา	39
5.2.3. ผลของการเพิ่มระยะห่างของโนด.....	40
5.2.4. ผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของจำนวนการรับข้อมูลที่มากเกินไป	40
5.3 ผลการเปรียบเทียบโพรโทคอล ระหว่าง E-RIPT, RIPT และ MACA-U	45
5.3.1 ผลของค่าวิสัยสามารถ	47
5.3.2 ผลของค่าประวิงเวลา	49
5.3.3. ผลของค่าความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ	52
5.3.4. ผลของค่าความผิดพลาด.....	53
5.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีของเครือข่ายระหว่าง RIPT และ E-RIPT.....	54
สรุปผล	55
แนวทางการพัฒนาต่อ	55
รายการอ้างอิง	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	76

สารบัญรูป

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างความล้มเหลวของการตรวจจับช่องสัญญาณ.....	11
รูปที่ 3.2 รูปแบบการทำงานของ RIPT	16
รูปที่ 3.3 เหตุการณ์การส่งแพ็กเก็ต SIZE ซนกันที่โนดห่างจากโนดภาครับ 2 ช่วงโนด	17
รูปที่ 4.1 ตารางเวลาการทำงาน E-RIPT. โหนด “B”, “S” และ “O” หมายถึง โหนดฐาน, โหนดลูก ชาย และ โหนดที่อยู่ห่างออกไป 2 ช่วงโนดจากโนดฐาน	21
รูปที่ 5.1 รูปแบบทอพอโลยีที่ 1 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 1.....	28
รูปที่ 5.2 รูปแบบทอพอโลยีที่ 2 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 2.....	28
รูปที่ 5.3 รูปแบบทอพอโลยีที่ 3 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 3.....	28
รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 โดยเปลี่ยนแปลง s_{all}	30
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 โดยเปลี่ยนแปลง s_{all}	31
รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 โดยเปลี่ยนแปลงค่า s_{all}	31
รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 โดยเปลี่ยนแปลง s_{all}	32
รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 โดยเปลี่ยนแปลง s_{all}	32
รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 โดยเปลี่ยนแปลง s_{all} ..	33
รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 ที่ค่าโหลดต่อ โนดเต็ม (0.1336).....	36
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 ที่ค่าโหลดต่อ โนดเต็ม (0.1)	36
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อ โนดเต็ม (0.0669).....	37

รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 ที่ค่าโหลดต่อ
 โหนดเต็ม (0.1336)..... 37

รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 ที่ค่าโหลดต่อโหนด
 เต็ม (0.1)..... 38

รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อโหนด
 เต็ม (0.0669)..... 38

รูปที่ 5.16 ค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ระยะ 700 เมตร และ
 7,000 เมตร ที่ค่าโหลดต่อโหนดเต็ม (0.0669)..... **Error! Bookmark not defined.**

รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อ
 โหนดเต็ม (0.0669) ที่ M_{max} ตั้งแต่ 5-100 แพ็กเก็ต..... 41

รูปที่ 5.18 จำนวนโหนดในสถานะต่างๆ ช่วงเวลา 150,000-153,000 วินาที ของ E-RIPT ที่มี
 $M_{max} = 55$ 42

รูปที่ 5.19 จำนวนโหนดในสถานะต่างๆ ช่วงเวลา 150,000-153,000 วินาที ของ E-RIPT ที่มี
 $M_{max} = 60$ 42

รูปที่ 5.20 เวลาในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากที่สุดของโหนดฐานเทียบกับระยะส่งสัญญาณ..... 43

รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT 47

รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตข้อมูลของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT..... 48

รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกจากของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT ... 50

รูปที่ 5.24 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกจากแต่ละโหนดโดย MACA-U ที่โหลดต่อโหนด =
 0.0669..... 50

รูปที่ 5.25 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกจากแต่ละโหนดโดย RIPT ที่โหลดต่อโหนด = 0.0669 51

รูปที่ 5.26 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกจากแต่ละโหนดโดย E-RIPT $M_{max} = 20$ ที่โหลดต่อ
 โหนด = 0.0669 51

รูปที่ 5.27 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูส่งออกจากแต่ละโหนดโดย E-RIPT $M_{max} = 50$ โหลดต่อ
 โหนด = 0.0669 52

รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดการชนกับจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกลบของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT	53
รูปที่ ข.1 การเริ่มต้นของ E-RIPT	64
รูปที่ ข.2 ผังงานการเริ่มต้น REV	64
รูปที่ ข.3 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV	66
รูปที่ ข.4 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1	67
รูปที่ ข.5 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK.....	68
รูปที่ ข.6 ผังงานการทำงานของโนดฐานหลังจากที่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK จากโนดลูก ข่ายครบทั้งหมด	69
รูปที่ ข.7 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม ORDER.....	70
รูปที่ ข.8 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF2.....	71
รูปที่ ข.9 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อโนดได้รับแพ็กเก็ตข้อมูล	72
รูปที่ ค.1 ส่วนที่ทำการเปลี่ยนแปลงโดยค่าพื้นฐาน NS3 โมเดล UAN และสิ่งที่ต้องเขียนด้วยตนเอง เพิ่มเติม	75

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	สัญญาณที่ใช้สำหรับการอธิบายโพรโทคอล E-RIPT.	20
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณ เมื่อ $M_{\max} = 5$	24
ตารางที่ 5.1	รายละเอียดของรูปแบบทอพอโลยีที่ 1-3	27
ตารางที่ 5.2	ขนาดของแพ็คเกจควบคุม E-RIPT และทอพอโลยีของช่องสัญญาณ	30
ตารางที่ 5.3	พารามิเตอร์ของทอพอโลยีเพื่อใช้เปรียบเทียบ MACA-U, RIPT และ E-RIPT.....	45
ตารางที่ 5.4	กำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโพรโทคอล	46
ตารางที่ ข.1	สัญญาณที่ใช้อธิบายรูปแบบของชุดโพรโทคอล	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน การศึกษาในโลกได้นำเพื่องานวิจัย การป้องกันภัยพิบัติ การสำรวจภูมิศาสตร์ใต้ทะเล นั้นต่างก็มีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะการค้นหาทรัพยากรธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ตามความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น โดยในใต้น้ำนั้นมีทรัพยากรจำนวนมากที่ยังไม่ได้รับการสำรวจ เนื่องด้วยการสำรวจพื้นที่และการนำทรัพยากรขึ้นมาจากใต้น้ำนั้นทำได้ยากมากกว่าบนบก ด้วยสาเหตุต่าง ๆ เช่น ปัญหาทางการติดต่อสื่อสาร อันตรายจากการทำงาน รวมถึงชั่วโมงการทำงานที่ถูกจำกัดเมื่อทำงานในใต้น้ำ ถึงแม้ในปัจจุบันจะมียานพาหนะเพื่อให้มนุษย์สามารถทำงานอยู่ใต้น้ำได้นานมากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาเรื่องของความคับแคบรวมถึงการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดวิกฤติภัยบนพาหนะเพื่อแก้ไขปัญหการทำงานเมื่ออยู่ในใต้น้ำ ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ (sensor network) ในใต้น้ำ จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนแรงงานมนุษย์ในการทำงานด้านต่าง ๆ

ระบบเครือข่ายเซนเซอร์โดยส่วนใหญ่จะทำการติดตั้งเป็นแบบไร้สายเพื่อความสะดวกในการใช้งาน แต่ในการสื่อสารแบบไร้สายมีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับระบบสื่อสารแบบมีสาย ตัวอย่างเช่น คุณภาพของข้อมูลที่ได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณอาจจะทำให้ข้อมูลที่ได้รับนั้นไม่มีความน่าเชื่อถือ การเคลื่อนที่ของโนดเซนเซอร์ทำให้มีผลต่อเวลาการรับข้อมูลข่าวสาร โดยเฉพาะเมื่อทำการสื่อสารในใต้น้ำ โดยในการสื่อสารใต้น้ำนั้นมีข้อจำกัดมากกว่าการสื่อสารภาคพื้นดินทั้งความขนาดของแบนด์วิดท์ที่มี ค่าประวิงเวลาในการสื่อสารที่มากกว่าการสื่อสารแบบไร้สายภาคพื้นดิน รวมทั้งผลกระทบจากการรบกวนของสภาพแวดล้อมและช่องสัญญาณที่มากกว่า

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเพื่อพัฒนาการสื่อสารไร้สายในใต้น้ำ โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณการสื่อสารโดยใช้โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลาง (media access control protocol, MAC protocol) โดยโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารในใต้น้ำนั้นจะต้องคำนึงถึงมีข้อจำกัดที่มีมากกว่าโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารภาคพื้นดิน เนื่องด้วยคุณสมบัติเฉพาะของช่องสัญญาณการสื่อสารในใต้น้ำ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาของการสื่อสารใต้น้ำได้ทำการนำเทคนิคของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสารภาคพื้นดินมาดัดแปลงให้สามารถทำการสื่อสารในใต้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพในการสื่อสารได้ โดยเฉพาะการสื่อสารแบบเครือข่ายเฉพาะกิจไร้สาย (Ad-hoc Wireless Networks) เพื่อลดต้นทุนในการวางระบบสื่อสาร และเพิ่มความคลอบคลุมพื้นที่ จาก

การศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าโพรโทคอลส่วนใหญ่จะใช้วิธีจัดสรรเวลาของแต่ละโหนดในเครือข่าย เพื่อลดจำนวนการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลทำให้เครือข่ายสามารถทำการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานในการสื่อสาร

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการศึกษาการปรับปรุงและออกแบบโพรโทคอลสำหรับการติดต่อสื่อสารในได้นำที่มีประสิทธิภาพ โดยจะมุ่งเน้นประเด็นของการศึกษาออกแบบโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางเพื่อใช้กับเครือข่ายที่ทำการติดตั้งโหนดในแบบอพลวัต (static) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครือข่ายทั้งทางด้าน ค่าวิสัยสามารถ (throughput) ค่าประวิงเวลา (delay) และความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (fairness)

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการทำงานและข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของการส่งข้อมูลด้วยคลื่นเสียงได้นำ รวมถึงแนวทางในการพัฒนา แก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร
2. เสนอกระบวนการส่งข้อมูลในโครงข่ายสำหรับโหนดเซนเซอร์ (Sensor node) ได้นำโดยใช้เทคนิคการจับมือ (Handshaking) ร่วมกันกับการสุ่มเวลาเข้าใช้ช่องสัญญาณที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล
3. เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบโครงข่ายสำหรับการสื่อสารได้นำได้
4. ปรับปรุงโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางได้นำเพื่อให้มีวิสัยสามารถที่ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณในการสื่อสารได้นำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการใช้ช่องสัญญาณให้คุ้มค่า
2. ทำการทดลองการส่งข้อมูลในระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย NS3 version 3.14.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอ เทียบกับ เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณสื่อสารตัวอื่น เช่น RIPT โดยเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธี บรรทัดฐานผลลัพธ์
3. พิจารณาระบบที่ทุกโหนดไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่มีการสูญเสียข้อมูลจากช่องสัญญาณ และทุกโหนดสามารถสื่อสารกันแบบมัลติฮอป (multi-hop) โดยแต่ละโหนดมีระยะการส่งได้ 1 ช่วงโหนดและมีโครงสร้างของเครือข่ายเป็นแบบตาราง (grid)

1.4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณในได้นำ
2. ศึกษาศึกษาเทคนิคในเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณที่หลากหลาย พิจารณาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและหลักการดำเนินงานของวิธีการ เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณแบบต่างๆ
3. นำเสนอแนวความคิดการส่งข้อมูลโดยใช้ลักษณะของการจับมือ (handshaking) และการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่ง
4. จำลองแนวคิดที่นำเสนอและเปรียบเทียบผลจากการทดลองจากการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ
5. พิจารณาประสิทธิภาพของเทคนิคการส่งข้อมูลแบบต่างๆ ในด้านประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูล
6. ปรับปรุงเทคนิคการส่งข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
7. เขียนบทความทางวิชาการและนำเสนอผลงาน
8. สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถจำลองระบบการทำงานของโปรโตคอลที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
2. สามารถนำหลักการและแนวคิดในการปรับปรุงการส่งข้อมูลได้นำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทางด้านของความคุ้มค่าในการใช้ช่องสัญญาณ

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับช่องสัญญาณใต้น้ำ

คุณลักษณะของการสื่อสารในใต้น้ำนั้นมีความแตกต่างจากการสื่อสารภาคพื้นดิน โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มเติม [1] เช่น คุณสมบัติของช่องสัญญาณในใต้น้ำ การเคลื่อนที่ของโนด ความหนาแน่นของโนด ดังนั้น ก่อนออกแบบโปรโทคอลจึงต้องทราบถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของการสื่อสารใต้น้ำ เพื่อนำมาใช้ในออกแบบโปรโทคอลควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางอย่างมีประสิทธิภาพได้

2.1 คุณสมบัติของช่องสัญญาณใต้น้ำ

การสื่อสารใต้น้ำส่วนใหญ่จะใช้คลื่นสัญญาณเสียง (acoustic wave) เป็นคลื่นพาหะในการสื่อสารผ่านน้ำที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารใต้น้ำ แตกต่างจากการสื่อสารใต้น้ำภาคพื้นดินที่ใช้คลื่นสัญญาณทางวิทยุผ่านอากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของช่องสัญญาณใต้น้ำที่ต่างจากช่องสัญญาณในอากาศ ถ้านำคลื่นวิทยุมาใช้ในการสื่อสารใต้น้ำโดยตรง สัญญาณที่ส่งออกไปจะสามารถเดินทางออกไปได้เพียงในระยะทางที่สั้น (เช่น ได้ระยะทาง 6-10 เมตร ที่อัตราการส่ง 1-8 บิตต่อวินาที ด้วยความถี่คลื่นพาหะ 122 กิโลเฮิรตซ์ [2]) เนื่องด้วยในใต้น้ำมีการลดทอน (attenuation) ของสัญญาณวิทยุที่มากโดยถึงแม้จะใช้ความถี่ต่ำมาก ๆ (30 เฮิรตซ์ -300 เฮิรตซ์) เพื่อลดผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณ แต่อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ต้องมีเสาสัญญาณขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการรับสัญญาณ รวมถึงการส่งสัญญาณก็ยังคงจำเป็นต้องใช้พลังงานที่มากในการข้อมูลแต่ละครั้ง

การสื่อสารด้วยสัญญาณแสงนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานกับการสื่อสารบนเครือข่ายใต้น้ำ ด้วยเหตุผลมาจากการกระจัดกระจายของแสง (scattering) ในน้ำที่มีค่ามาก ทำให้โนดปลายทางไม่สามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากต้นทางได้อย่างถูกต้อง หรือสัญญาณที่ส่งไม่สามารถเดินทางไปถึงยังปลายทางได้ นอกจากนั้นการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณแสงนั้นจำเป็นต้องมีความแม่นยำสูงในการวางตำแหน่งของภาครับและภาคส่ง เนื่องมาจากการใช้ลำแสงแคบ (narrow laser beam) ในการส่งสัญญาณ แต่เนื่องด้วยโนดในใต้น้ำนั้นจะได้รับผลกระทบต่างๆ เช่น ผลกระทบจากกระแสน้ำ ทำให้ตำแหน่งของโนดเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย สัญญาณแสงจึงไม่เหมาะสำหรับที่จะใช้ในการสื่อสารใต้น้ำด้วยสาเหตุข้างต้น ส่งผลให้คลื่นสัญญาณเสียงจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมมากกว่าที่จะใช้สำหรับการสื่อสารใต้น้ำโดยเฉพาะการสื่อสารระยะไกล

ถึงแม้ว่าคลื่นสัญญาณเสียงจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่จะใช้กับการสื่อสารเครือข่ายใต้น้ำ เนื่องจากคลื่นเสียงมีค่าความสูญเสียในการส่งสัญญาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสัญญาณวิทยุ รวมทั้งมีการกระจัดกระจายของสัญญาณน้อยกว่าการส่งสัญญาณด้วยแสงมาก แต่การส่งสัญญาณ

ด้วยเสียงในได้นำก็มีข้อจำกัดต่าง ๆ จากช่องสัญญาณการสื่อสาร เช่น การสูญเสียในการเดินทางของคลื่น (path loss) สิ่งรบกวน (noise) การแพร่กระจายหลายเส้นทาง (multipath propagation) ความถี่ดอปเพลอร์ (doppler spread) และเวลาประวิงการแพร่กระจายที่มีค่ามาก (long propagation delay) โดยจากการศึกษาที่ [3] ได้แสดงว่า มีสาเหตุสำคัญ 3 ประการสำหรับการสูญเสียพลังงานของสัญญาณเสียงได้นำ คือ การสูญเสียจากการแพร่สัญญาณ (spreading loss) การสูญเสียจากการซึมซับพลังงาน (absorption loss) และความสูญเสียจากการกระจัดกระจายของสัญญาณ (scattering loss) โดยการสูญเสียจากการแพร่สัญญาณนั้น จะขึ้นอยู่กับระยะทางและรูปแบบการกระจายสัญญาณที่มีทั้งรูปแบบทรงกระบอกหรือรูปแบบทรงกลม โดยรูปแบบการกระจายสัญญาณแบบทรงกระบอกนั้นจะนำมาใช้กับการสื่อสารในน้ำตื้น โดยสัญญาณนั้นจะสามารถกระจายออกไปได้ทางด้านข้างเนื่องจากมีขอบเขตด้านบนและด้านล่างจำกัดจากสภาพแวดล้อม (เช่น ที่พื้นผิวทะเล และ พื้นทะเล) และรูปแบบการกระจายสัญญาณแบบทรงกลมเมื่อใช้กับการสื่อสารในน้ำลึก โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการกระจายสัญญาณทั้ง 2 รูปแบบแล้ว รูปแบบการกระจายสัญญาณแบบทรงกลมจะมีความสูญเสียมากกว่า เพราะพลังงานของสัญญาณจะถูกลดทอนด้วยตัวเลขยกกำลังที่สูงกว่า การสูญเสียจากการซึมซับพลังงานเป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานของสัญญาณที่ส่งออกไปได้ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อน โดยพลังงานที่สูญเสียจากการซึมซับพลังงานจะเพิ่มตามความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ ความสูญเสียจากการกระจัดกระจายของสัญญาณนั้น เกิดจากส่วนหนึ่งของคลื่นที่ถูกสะท้อนออกไปจากตัวรับและผลจากการเปลี่ยนแปลงและความขรุขระ (roughness) ของพื้นผิวทะเลจากการศึกษาที่ [4] เวลาในการกระจายของเส้นทางที่ถูกใช้ไปกับทุกสัญญาณที่แตกกระจายนั้น จะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันของ ระยะทาง ความถี่ และ ความเร็วลม การกระจายของการประวิงเวลาที่สูงสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องสัญญาณอย่างฉับพลัน และทำให้เกิดความยากในการประมาณคุณลักษณะช่องสัญญาณ (channel estimation)

การสื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงนั้นเหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับการสื่อสารใต้น้ำทั้งแบบระยะไกล (1 – 90 กิโลเมตร) หรือแบบมัลติฮอป (multi-hop) ที่มีระยะการส่ง 50-500 เมตร [5] แต่มีลักษณะเฉพาะบางอย่างที่ต้องคำนึงถึงเมื่อนำมาใช้ในการออกแบบระบบเครือข่ายการสื่อสารใต้น้ำ โดยใช้คลื่นเสียง เช่น ช่องสัญญาณใต้น้ำที่ใช้คลื่นเสียงในการสื่อสารมีแบนด์วิดท์ (bandwidth) ที่แคบส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูล (datarate) นั้นมีค่าน้อย นอกจากนั้นแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้นั้น ยังขึ้นกับความถี่คลื่นพาห้ (carrier frequency) โดยคลื่นพาห้ที่มีความถี่ระหว่าง 10 และ 15 กิโลเฮิร์ตซ์ จะได้แบนด์วิดท์ประมาณ 5 กิโลเฮิร์ตซ์ [6] รวมถึงระยะในการสื่อสาร ขนาดของแบนด์วิดท์จะแปรผกผันกับระยะทางที่ส่ง กล่าวได้คือถ้าส่งข้อมูลในระยะที่ไกลเกินกว่า 10,000 เมตร อาจจะมีแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้น้อยกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์ แต่ในขณะที่ส่งข้อมูลในระยะไม่เกิน 10 เมตร จะได้แบนด์

วิธืมากกว่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์ จากผลดังกล่าว ทำให้ช่องสัญญาณเสียงถูกจำกัดโดยคุณสมบัติของช่องสัญญาณ โดยจะสามารถประมาณอัตราการส่งข้อมูลได้โดยการคูณของอัตราการส่งข้อมูลกับระยะทางได้เป็น 40 กิโลเมตร·บิตต่อวินาที (km·bps) [7] สำหรับการสื่อสารแนวระนาบในใต้น้ำ โดยประสิทธิภาพนี้จะลดลงมากเมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารในแนวดิ่ง (horizontal channel) นอกจากนี้ในภายใต้แบนด์วิธที่จำกัดนี้ ช่องสัญญาณใต้น้ำก็มีปัญหาเรื่องของสัญญาณมีการส่งผ่านหลายเส้นทางและแปรเปลี่ยนตามเวลา (time-varying multi-path) ผลจากการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (inter-symbol interference -ISI) รวมถึงการเลื่อนและการกระจายของความถี่ดอปเพลอร์ (doppler shifts and spreads) ซึ่งในการสื่อสารใต้น้ำนั้นมักจะพบปัญหาเหล่านี้มากกว่าการสื่อสารภาคพื้นไร้สายด้วยช่องสัญญาณวิทยุ

นอกจากขนาดของแบนด์วิธที่มีขนาดจำกัดแล้ว ความเร็วของคลื่นเสียงในใต้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว โดยจะมีความเร็วอยู่ในช่วงระหว่าง 1,433 และ 1,554 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วในการเดินทางของคลื่นเสียงนั้นจะขึ้นกับอุณหภูมิและความดันของน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงของความเร็วคลื่นเสียงจะส่งผลต่อความแปรผันของเวลาประวิงการแพร่กระจายของสัญญาณ จึงเป็นการยากที่จะทำการประสานเวลาของโนดในเครือข่ายและการส่งข้อมูลให้ตรงตามเวลาที่กำหนดตลอดเวลา โดยทั่วไป จะกำหนดความเร็วในการส่งคลื่นสัญญาณเสียงในใต้น้ำให้มีค่าโดยประมาณคือ 1,500 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเร็วคลื่นสัญญาณวิทยุที่ใช้ในการสื่อสารภาคพื้นดินมาก ทำให้ต้องใช้เวลาที่คลื่นสัญญาณจะเดินทางไปถึงที่มากกว่าในการเดินทางไปถึงจุดหมาย (ประมาณ 6.7 วินาทีต่อ 1 กิโลเมตร) ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลและการตรวจจับสถานะของช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล

2.2 การเคลื่อนที่ของโนด

โนดเซนเซอร์ใต้น้ำนั้นถึงแม้ได้รับการออกแบบในการใช้งานให้เป็นโนดรูปแบบอพลวัต (static node) แต่มีโอกาสที่โนดจะมีการเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมโดยการเบี่ยงเบนองศาไปเล็กน้อยจากตำแหน่งเดิมเนื่องด้วยผลจากกระแสน้ำและคลื่นทะเล นอกจากนี้กลุ่มของยานขับเคลื่อนใต้น้ำด้วยตนเอง (autonomous underwater vehicle - AUV) อาจจะนำมาใช้สำหรับภารกิจการรับรู้ (sensing task) ซึ่งมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอด ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของโนดมีโอกาสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเครือข่ายซึ่งทำให้ยากต่อการออกแบบโปรโทคอล เช่น ทำให้เกิดปัญหาการจัดการเส้นทางเพราะความเสถียรของเส้นทางและการจัดการเส้นทางเป็นปัจจัยสำคัญเพิ่มขึ้นจากเรื่องของพลังงาน นอกจากนี้แล้วประสิทธิภาพการใช้ แบนด์วิธ [8] ในการออกแบบโปรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางก็มีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องด้วยต้องคำนึงถึงเวลาที่ข้อมูลจะไปถึงในขณะทีโนดเคลื่อนที่ไปด้วย รวมถึงในบางครั้งโนดอาจจะไม่ได้รับข้อมูลเนื่องจากโนดนั้นได้ออกจากระยะที่

สามารถติดต่อสื่อสารก่อนที่ข้อมูลจะมาถึง จากการทดลองพบว่า กระแสคลื่นโดยทั่วไปเคลื่อนที่โดยอัตราเร็ว 3-6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ 0.83 – 1.67 เมตรต่อวินาที) ในขณะที่กลุ่มของยานขับเคลื่อนได้นำด้วยตนเองที่มีอยู่ปัจจุบันที่ใช้งานระยะใกล้และเวลาสั้นเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.0 – 2.5 เมตรต่อวินาที ในกรณีใช้งานระยะไกลจะมีความเร็วอยู่ที่ 0.2-0.45 เมตรต่อวินาที [9]

2.3 ความหนาแน่นของโนด

ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ภาคพื้นดินส่วนใหญ่จะสมมติให้มีความหนาแน่นของโนดที่เท่ากัน และแต่ละโนดสามารถติดต่อกันได้ครอบคลุมโดยสมบูรณ์ (fully connect coverage) โดยใช้โนดเซนเซอร์ที่มีราคาถูกลงและมีขนาดเล็ก แต่โนดในเครือข่ายใต้น้ำนั้นมักจะติดตั้งแบบกระจายกัน [10] ออกไปในระยะไกลออกไปหลายกิโลเมตร ทำให้มีความหนาแน่นของโนดที่ต่ำส่งผลให้มีโอกาสที่จะเกิดการไม่เชื่อมโยงกันของเครือข่าย (network disconnectivity) ได้บ่อยครั้ง ปัจจัยหลักที่ทำให้เครือข่ายในการสื่อสารใต้น้ำนั้นมีความหนาแน่นของโนดที่ต่ำนั้น สืบเนื่องมาจากราคาของโนดเซนเซอร์ที่ใช้ใต้น้ำมีราคาสูง รวมถึงการติดตั้งโนดใต้น้ำที่โดยปกติจะติดตั้งอยู่ที่ระดับความลึกต่างกันทำให้มีลักษณะของเครือข่ายเป็นแบบ 3 มิติ จากการศึกษาที่ [11] เพื่อที่จะได้ความหนาแน่นของโนดเท่ากับพื้นที่ใน 2 มิติ ในพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด a^2 ปริมาตรทรงลูกบาศก์ a^3 ในแบบ 3 มิติ ด้วยรัศมีการส่งเท่ากัน ขนาดรัศมี r เครือข่ายแบบ 3 มิตินั้นจะต้องใช้โนดจำนวนมากกว่าแบบ 2 มิติ เป็นจำนวน $\frac{3a}{4r}$ โหนด

ความหนาแน่นของโนดในเครือข่ายนั้นมีผลกระทบอย่างมากในการออกแบบโปรโตคอล และเมื่อรวมกับผลจากการเคลื่อนที่ของโนดจะทำให้มีโอกาสเกิดการไม่เชื่อมโยงในเครือข่ายสูง โดยการไม่เชื่อมโยงของเครือข่ายและปัญหาทางด้านการประวิงเวลาเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโปรโตคอลสำหรับการสื่อสารใต้น้ำ

2.4 ปัจจัยอื่น ๆ

ถึงแม้ว่าโนดเซนเซอร์ทั้งบนบกและใต้น้ำจะใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน แต่โนดเซนเซอร์ใต้น้ำนั้นจะทำการอัดกระแสไฟใหม่หลังจากทำการติดตั้งแล้วจะทำได้ยากกว่า ต่างกับโนดเซนเซอร์บนบกที่อาจจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการช่วยอัดกระแสไฟใหม่ได้ โดยปกติแล้วโนดเซนเซอร์ใต้น้ำจะใช้วิธีการเปลี่ยนแบตเตอรี่แทนการอัดกระแสไฟใหม่ ดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโปรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในเครือข่ายใต้น้ำนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงการลดการใช้พลังงานโดยวิธีต่าง ๆ เช่น การหลีกเลี่ยงการชนกันของการส่งข้อมูล (collision avoidance) และ การตอบรับในชั้นข่ายเชื่อมโยง (link-layer acknowledgment) เป็นต้น

อัตราความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานในส่วนการทำงานที่ต่างกันของโมเด็มที่ใช้สื่อสารใต้น้ำ และโมเด็มที่ใช้คลื่นสัญญาณวิทยุเป็นหลักในการสื่อสารภาคพื้นดินนั้นมีความแตกต่างกันมาก โดยปกติการสื่อสารด้วยโมเด็มคลื่นวิทยุภาคพื้นดินในการเป็นภาครับหรือสถานะว่าง (idle) จะใช้พลังงานประมาณครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล [12] แต่ในโมเด็มใต้น้ำที่ใช้เสียงเป็นพื้นฐานในการสื่อสาร เช่นที่ใช้ใน WHOI [10] พลังงานที่ใช้รับหรือสถานะว่าง จะไม่ถึงร้อยละ 1 ที่ใช้ส่งข้อมูล ซึ่งมีความต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในการใช้พลังงานของการทำงานที่ต่างกัน ทำให้เกณฑ์การแลกเปลี่ยนของโหมดการทำงานในใต้น้ำจะค่อนข้างต่างกับการใช้บนโมเด็มที่ใช้สัญญาณวิทยุในการสื่อสารภาคพื้นดิน

นอกเหนือจากเรื่องของพลังงานแล้ว โนตเซนเซอร์ใต้น้ำมีแนวโน้มที่จะความล้มเหลวเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพและจากการกัดกร่อนจากน้ำทะเล ทำให้อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของเครือข่าย และทอพอโลยี (เช่น การออกจากเครือข่าย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโนต หรือพลังงานในโนตหมด) โพรโทคอลของที่ออกแบบมาจึงต้องรองรับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของเครือข่าย (เช่น ความหนาแน่นของโนต) เพื่อให้เครือข่ายยังสามารถทำการสื่อสารได้

เนื่องด้วยข้อจำกัดต่าง ๆ ในการสื่อสารใต้น้ำนั้นดังที่กล่าวมา จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโพรโทคอลสำหรับการสื่อสารในใต้น้ำที่มีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานขึ้น โดยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของช่องสัญญาณที่มีการประวิงเวลาการแพร่กระจายที่มาก เวลาที่สัญญาณเดินทางในน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และต้องประหยัดพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด รวมถึงจะต้องมีความสามารถในการปรับตัวตามทอพอโลยีได้

บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

ถึงแม้ว่า การสื่อสารใต้น้ำด้วยเสียงจะมีข้อแตกต่างกับการสื่อสารภาคพื้นดินด้วยคลื่นวิทยุ ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 แต่ก็ยังมีจุดมุ่งหมายหลายประการเหมือนกัน เช่น ความต้องการที่จะใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า การสื่อสารในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยที่นำโพรโทคอลการสื่อสารภาคพื้นดินมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารใต้น้ำเป็นจำนวนมาก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร

3.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสาร

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสารหลายรูปแบบได้ถูกนำเสนอสำหรับการใช้บนเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินด้วยจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ควมสามารถสูงสุดและลดอัตราการชนกันของข้อมูล โพรโทคอลที่นำเสนอบางส่วนก็มีการเพิ่มความสามารถอื่น ๆ เช่น การจัดการด้านตารางเวลาการทำงานของโหนด การหยุดการทำงานชั่วคราวเพื่อลดการใช้พลังงาน การจัดการด้านทอพอโลยีของเครือข่าย และการควบคุมพลังงานในการสื่อสาร

ถึงแม้ว่าโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายทั้งการสื่อสารใต้น้ำและการสื่อสารภาคพื้นดินจะจุดมุ่งหมายที่เหมือนกัน แต่ด้วยลักษณะของช่องสัญญาณใต้น้ำที่ใช้คลื่นเสียงในการสื่อสาร โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสารที่ใช้ภาคพื้นดินที่ได้รับการนำเสนอจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อนำโพรโทคอลเดียวกันมาใช้ใต้น้ำ อาจจะได้ประสิทธิภาพที่ต่ำเช่นเดียวกับที่ใช้ภาคพื้นดิน เนื่องด้วยช่องสัญญาณใต้น้ำมีค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายที่สูง และมีอัตราการส่งข้อมูล (bitrate) ที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบโพรโทคอลก็ยังสามารถนำเทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางของระบบเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน มาปรับใช้ในระบบการสื่อสารใต้น้ำเพื่อทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพได้

เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือแบบกำหนดชัดเจน (Deterministic) และแบบไม่กำหนดชัดเจน (Non-deterministic)

3.1.1. เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณ (Media Access Control) แบบกำหนดชัดเจน (Deterministic) มี 3 แบบ คือ FDMA , TDMA และ CDMA

3.1.1.1. การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access- FDMA) เป็นวิธีการแบ่งความถี่สัญญาณที่มีให้เป็นช่องสัญญาณ โดยสามารถใช้แต่ละช่องสัญญาณใน

การสื่อสารได้พร้อม ๆ กัน แต่ในการใช้เทคนิคนี้แต่ละโหนดต้องมีการติดตั้ง เครื่องรับส่งหลายตัว (multiple transceivers) เพื่อสนับสนุนการทำงานแบบช่องสัญญาณหลายความถี่ได้ ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเพิ่มขึ้น

3.1.1.2. การร่วมใช้ช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access-TDMA) ประสิทธิภาพของการสื่อสารโดยใช้วิธีนี้ขึ้นกับ การประสานเวลาของนาฬิกาเป็นหลัก โดยในการใช้วิธีนี้ จะสามารถให้ประสิทธิภาพสูงได้โดยการจัดช่วงเวลาของการส่งข้อมูลที่เหมาะสมให้กับโหนดในเครือข่าย อย่างไรก็ตาม ในการสื่อสารได้นี้มี ปัจจัยหลัก ๆ 2 ประการ ที่ทำให้วิธีนี้ทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร ประการแรก โหนดได้นี้มีส่วนใหญ่ต้องการให้ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ซึ่งทำให้มีโอกาสจะสูญเสียการประสานเวลาได้ง่ายโดยเฉพาะถ้านาฬิกาที่ใช้เป็นชนิดคุณภาพต่ำ เพื่อให้วิธีการแบ่งเวลาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้จำเป็นต้องมีการทำการประสานเวลาใหม่เป็นช่วง ๆ แต่การประสานเวลาของการสื่อสารได้นี้ทำได้ยากกว่าการสื่อสารภาคพื้นดินเนื่องด้วยผลกระทบจากช่องสัญญาณการสื่อสาร ประการที่สอง ผลจากการเวลาประวิงการแพร่กระจายที่มีค่ามากในการสื่อสารได้นี้ทำให้ต้องใช้เวลาที่มากขึ้น (เพื่อใช้ในการรองรับแพ็กเก็ตและ เวลาประวิงการแพร่กระจายในการส่งข้อมูล) ส่งผลให้ระบบการสื่อสารมีประสิทธิภาพต่ำ โดยประสิทธิภาพนั้นขึ้นกับ อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล กับเวลาประวิงการแพร่กระจายสูงสุดระหว่างโหนด ตัวอย่างเช่น ในการสื่อสารระยะไกลที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างโหนดสูงได้ถึง 6.67 วินาที ถ้าแพ็กเก็ตมีความยาวที่ใช้ในการส่งเป็นเวลา 1 วินาที ประสิทธิภาพสูงสุดที่ระบบจะให้ได้นั้นจะมีค่าประมาณแค่เพียง 13%

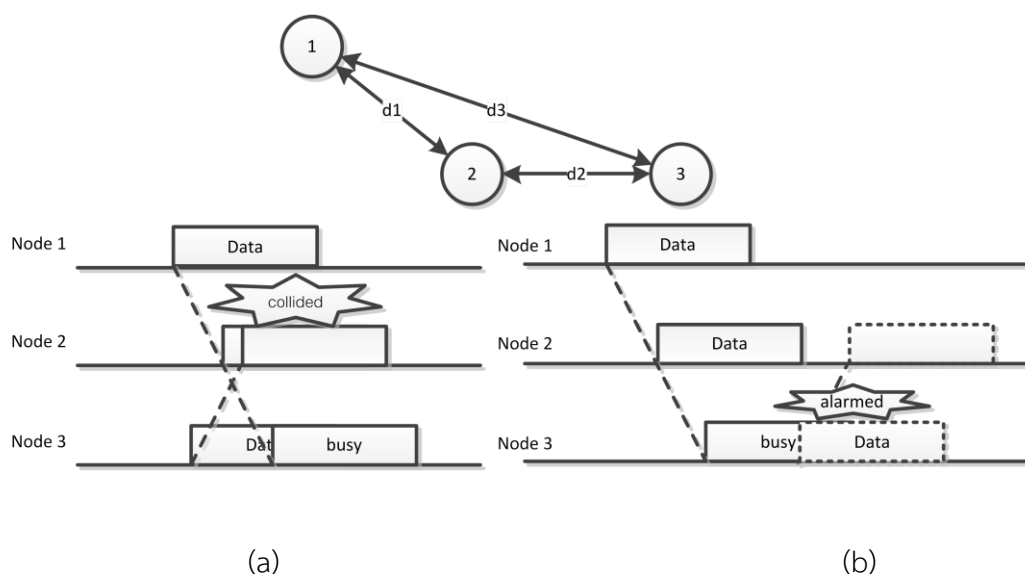
3.1.1.3. การร่วมเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบเข้ารหัส (Code Division Multiple Access - CDMA) ในการที่แบ่งแยกความแตกต่างระหว่างผู้ส่งข้อมูล CDMA จะใช้รหัสจำลอง (pseudo-noise code) ที่ต่างกัน สำหรับผู้ส่งทุกคนในระบบ โดยวิธีนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ วิธีแรกคือ การตรวจจับโดยผู้รับรายเดียว (single-user detection) ซึ่งจะตรวจจับโดยการให้สัญญาณจากผู้ใช้อื่นเสมือนเป็นสัญญาณรบกวน โดยจะไม่มีแบ่งข้อมูลจากหลายคน (multi-user information) หรือการประมวลผลข้อมูลร่วม (joint signal processing) วิธีที่ 2 คือ การตรวจจับโดยผู้รับหลายคน (multi-user detection) โดยจะประมวลสัญญาณข้อมูลจากหลายโหนดแล้วทำการแปลงข้อมูลที่ได้ออกมา แบบที่ใช้การตรวจจับโดยผู้รับหลายคนนั้นไม่เหมาะสมมาใช้ในการสื่อสารได้นี้ เนื่องจากในการสื่อสารได้นี้มีเวลาประวิงการแพร่กระจายที่สูงและต้องใช้เวลาในการส่งแพ็กเก็ตที่มาก รวมถึงการใช้ CDMA แบบที่ใช้การตรวจจับโดยผู้รับหลายคนนั้นจะมีความซับซ้อนสูง ซึ่งไม่เหมาะกับโหนดเซนเซอร์ที่ใช้ในได้นี้ [13] จากการศึกษาที่ [14] พบว่า CDMA ในเครือข่ายได้นี้ ให้ผลต่ำกว่า

TDMA เนื่องมาจาก ผลของการเดินทางหลายเส้นทางของข้อมูล (multipath) จากการกระทบผิวน้ำ และพื้นใต้น้ำเมื่อใช้ใต้น้ำ รวมทั้งผลจากเวลาประวิงการแพร่กระจายใต้น้ำ

3.1.2. เทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณแบบไม่กำหนดชัดเจน (Non-deterministic MAC Techniques)

3.1.2.1. การหยั่งสัญญาณ (Polling) ข้อได้เปรียบของการใช้เทคนิคการหยั่งสัญญาณ คือการรับประกันการเข้าใช้ช่องสัญญาณของทุกโหนด โดยไม่เกี่ยวข้องกับความต้องการสำหรับการใช้งานของแต่ละโหนดและอนุญาตให้มีเวลาประวิงของกลุ่มที่จะได้รับเป็นเวลาแน่นอน อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงในเครือข่ายใต้น้ำที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายที่นาน ในการทำการหยั่งสัญญาณจำเป็นต้องมีการติดต่อกับทุกโหนดเข้าด้วยกันก่อนที่จะมีการส่งข้อมูล แต่บางครั้งโหนดที่ได้รับการเลือกก็ไม่มีข้อมูลที่จะทำการส่ง จึงมีผลจากเวลาประวิงที่เกิดจากการเดินทางไป-กลับที่นาน (long round-trip delay) อันเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของช่องสัญญาณต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และการหยั่งสัญญาณนั้นมีโอกาสที่จะทำให้เครือข่ายนี้ไม่เสถียรได้ในกรณีที่มีโหนดล้มเหลวในเครือข่าย

3.1.2.2. เทคนิคการฟังช่องสัญญาณ (Channel Listening) นั้น ถูกนำไปใช้โดย โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางแบบตรวจรู้พาหะและตรวจหาการชน (Carrier Sense Multiple Access-CSMA) การหลีกเลี่ยงการชนนั้น สามารถทำได้โดยการตรวจสอบสถานะช่องสัญญาณก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล แต่วิธีนี้ก็ไม่สามารถทำงานได้ดีในการสื่อสารใต้น้ำเนื่องจากผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายที่มากทำให้ไม่สามารถยืนยันสถานะช่องสัญญาณที่แท้จริงได้ ตัวอย่างเช่นในช่วงก่อนการส่งข้อมูลโหนดอาจจะตรวจพบว่าช่องสัญญาณนั้นว่าง ถึงแม้ว่าโหนดข้างเคียงได้เริ่มทำการส่งข้อมูลอยู่ เนื่องด้วยผลจากเวลาประวิงการแพร่กระจายที่นานทำให้ตรวจไม่พบว่าช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งาน



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างความล้มเหลวของการตรวจจับช่องสัญญาณ

อยู่ แต่อย่างไรก็ตามในบางเหตุการณ์ถ้าโนดทำการส่งแพ็กเก็ตออกไปในขณะที่ตรวจพบการใช้งานช่องสัญญาณถูกใช้งานอยู่ ข้อมูลที่ส่งออกไปก็อาจจะไม่เกิดการชนกันที่โนดภาครับได้เช่นกัน

ตัวอย่างดังรูปที่ 3.1a แสดงเหตุการณ์โนดที่ต้องการจะส่งข้อมูลล้มเหลวในการตรวจจับช่องช่องสัญญาณ เริ่มต้นจากในขณะโนดหมายเลข 1 กำลังทำการส่งข้อมูลไปยังโนดหมายเลข 2 อยู่ ต่อมาโนดหมายเลข 3 มีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโนดหมายเลข 2 จึงทำการตรวจสอบช่องสัญญาณแต่ไม่พบว่าช่องสัญญาณมีการใช้งาน เนื่องจากสัญญาณที่เดินทางจากโนดหมายเลข 1 ยังเดินทางไปไม่ถึงโนดหมายเลข 3 ดังนั้นจึงตัดสินใจทำการส่งข้อมูลออกไป ทำให้ข้อมูลชนกัน ที่โนดหมายเลข 2 เพราะโนดหมายเลข 3 ล้มเหลวในการตรวจจับช่องสัญญาณแต่ทั้งนี้ ในกรณีตรวจจับช่องสัญญาณแล้วพบว่าช่องสัญญาณไม่ว่าง ก็ไม่ได้หมายความว่าหากทำการส่งข้อมูลออกไปจะเกิดการชนกันเสมอ ดังเช่นในรูปที่ 3.1b ที่โนดหมายเลข 3 ต้องการจะส่งข้อมูลไปยังโนดหมายเลข 2 ตรวจพบว่า โหนดหมายเลข 1 กำลังใช้งานช่องสัญญาณเพื่อส่งข้อมูลไปยังโนดหมายเลข 2 อยู่ ทำให้โนดหมายเลข 3 หยุดรอที่จะส่งข้อมูลถึงแม้ว่า โหนดหมายเลข 3 ทำการส่งข้อมูลออกไปในขณะนั้น ข้อมูลก็จะไม่เกิดการชนกันที่โนดหมายเลข 2 พบว่าการล้มเหลวในการใช้วิธีการตรวจจับข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารได้นี้มีเหตุผลหลักมาจาก เวลาประวิงการแพร่กระจายในช่องสัญญาณได้นี้มีค่ามาก จึงเป็นการยากที่จะใช้วิธีการนี้ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.2.3. *เทคนิคการจับมือ (Handshaking)* จะใช้วิธีแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมสั้น ๆ ก่อนที่จะส่งข้อมูล เช่น โพรโทคอลที่มีชื่อว่า MACA จะส่งแพ็กเก็ตควบคุมที่มีชื่อว่า Request-To-Send (RTS) และ Clear-To-Send (CTS) ก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ในเครือข่ายภาคพื้นดิน RTS/CTS ช่วยที่จะแก้ไขปัญหา การซ่อนและรับฟังของปลายทาง (hidden and exposed terminal) ในเครือข่ายแบบมัลติฮอป (multi-hops) อย่างไรก็ตามการนำเทคนิคการจับมือไปใช้ในการสื่อสารได้นี้โดยตรงให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีนัก เนื่องด้วยก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลภาคส่งกับภาครับจะมีการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมหลายครั้งในการแจ้งเตือนโนดรอบข้างเพื่อป้องกันการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล ทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการสื่อสารเนื่องด้วยสัญญาณเสียงในได้นี้มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ช้า (1,500 เมตรต่อวินาที) และโนดในได้นี้มีการกระจายตัวที่อยู่ไกลจากกัน (โดยปกติตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 เมตร) ทำให้มีผลจากเวลาประวิงที่นานซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสื่อสาร โดยถ้าเป็นการส่ง 1 ช่วงโนดนั้น การใช้ RTS/CTS ในการส่งข้อมูล 1 ครั้งจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการส่งแบบอะโลฮา

3.1.2.4. *อะโลฮา (ALOHA)* เป็นการส่งแบบมีเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณแบบสุ่มรูปแบบแรกๆ แต่ไม่นิยมที่จะนำมาใช้งานจริงเมื่อเน้นเรื่องประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล โดยโพรโทคอลแบบ pure Aloha นั้น จะให้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 18% ในการสื่อสารแบบไร้สายภาคพื้นดินเมื่อไม่มี

การประสานเวลาและ 36% เมื่อมีการจัดแบ่งเป็นช่วงเวลาในการสื่อสารภาคพื้นดินนั้น ประสิทธิภาพที่ได้จาก อะโลฮ่านั้นถือว่าต่ำเกินไป แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่สื่อสารในใต้น้ำการใช้ pure-ALOHA ใต้น้ำก็ยังให้ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 18% [15] ต่างจากโพรโทคอลที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารภาคพื้นดินที่มีความซับซ้อน กลับให้ผลที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นอย่างมาก ดังที่กล่าวมาว่าความซับซ้อนในการออกแบบสำหรับการสื่อสารภาคพื้นดิน ไม่ได้หมายความว่าทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าอะโลฮ่าเมื่ออยู่สถานะใต้น้ำเสมอไป

3.2 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบเครือข่ายการสื่อสารใต้น้ำ

ในการศึกษาเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณใต้น้ำนั้น มีการศึกษาทั้งทางด้านการใช้งานช่องสัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพ การประหยัดพลังงานในการส่งข้อมูลโดยหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล ความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Fairness) ดังเช่น ในการศึกษาที่ [16] Wen-Hwa Liao ได้นำเสนอ SF-MAC ซึ่งเป็นเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณซึ่งคำนึงถึงเรื่องความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยการใช้เทคนิคของการจับมือ และมีช่วงเวลารอรับสัญญาณ RTS เพื่อทำการประมวลผลว่า ใครเป็นโนดแรกที่ทำการส่งก่อน จึงค่อยทำการอนุญาตให้เริ่มการส่งข้อมูล

Hai-HengNg [17] ได้ใช้เทคนิคแบบการจับมือเพื่อใช้ในการจองช่องสัญญาณระหว่างโนดแล้วทำการส่งข้อมูลพร้อมกัน และทำการเปลี่ยนโนดเป็นภาครับเพื่อรับข้อมูลก่อนที่ข้อมูลจะมาส่งถึง โดยการแบ่งขนาดของแพ็กเก็ตให้เหมาะสมกับเวลาประวิงการแพร่กระจาย เพื่อที่จะลดผลจากเวลาประวิงการแพร่กระจายที่มาก โดยวิธีนี้จะใช้งานได้ดีเมื่อโนดอยู่ไกลจากกันมาก แต่ถ้าโนดอยู่ใกล้กันจะมีเวลาประวิงการแพร่กระจายที่น้อยทำให้ความยาวของแพ็กเก็ตที่ส่งได้จะลดลง ทำให้โนดเซนเซอร์จะต้องนำแพ็กเก็ตที่มี แบ่งออกเป็นแพ็กเก็ตขนาดเล็ก ๆ เพื่อการส่งและประกอบกันใหม่ที่ปลายทาง

กลุ่มของ Zhong Zhou [18] ได้นำเสนอเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้วิธี ตรวจสอบการชนกันร่วมกัน และ ใช้ลำดับการส่งสัญญาณเตือนโทนที่แยกจากช่องสัญญาณข้อมูล เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยเริ่มจากโนดที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังโนดปลายทางจะประกาศแพ็กเก็ตควบคุมไปยังทุกโนด ทำให้โนดอยู่ในสถานะเตือนโนดอื่น เมื่อโนดที่เป็นตัวรับได้ยินจากโนดส่งก็จะประกาศไปยังทุกโนดด้วยเช่นกันเป็นลักษณะของเทคนิคการจับมือเพื่อทำการเตรียมรับข้อมูล ถ้าโนดที่ไม่ได้ยินข้อมูลที่ประกาศออกไปในตอนต้น ประกาศออกมาเนื่องด้วยอยู่นอรัศมีการส่งต้องการส่งข้อมูล โนดที่อยู่ในสถานะเตือนได้ยิน และตรวจสอบพบว่าหากอนุญาตให้ส่งข้อมูลจะเกิดการชนกัน ก็ส่งสัญญาณเตือนด้วยโทนซึ่งจะไม่ชนกับข้อมูลที่กำลังส่งอยู่ ไปยังโนดที่จะส่งให้ยกเลิกการส่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลและ การประหยัดพลังงานของโนด รวมทั้งแก้ไข

ปัญหาปลายทางซ่อน (hidden terminal) แต่ทั้งนี้ ตัวโนดเซนเซอร์ที่ใช้ทุกตัว จะต้องสามารถส่งสัญญาณโทนได้ เพื่อที่จะสามารถใช้โพรโทคอลนี้ในการสื่อสารได้

Hun-Jin Cho [19] ใช้วิธี TDMA ในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลเพื่อที่จะประเมินลำดับความสำคัญในการส่งข้อมูล โดยทุกโนดจะจองช่องสัญญาณส่งไปยังโนดข้างเคียงซึ่งจะทำให้สามารถรู้ลำดับการส่งของการส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยแบ่งเวลาได้เป็น 3 ช่วงคือ การเข้าใช้แบบสุ่ม ช่วงจองช่องสัญญาณ และ ช่วงส่งข้อมูล โดยในช่วงเวลาเข้าใช้แบบสุ่มจะเป็นช่วงเวลาการแลกเปลี่ยนข้อมูลสถานะของโนดโดยใช้วิธี CSMA เมื่อได้รับข้อมูลจะทำการส่งต่ออีกครั้ง เพื่อให้เป็นข้อมูล 2 ช่วง โนดโดยข้อมูลเปล่านี้อาจเป็นตัวตัดสินความสำคัญโดยตัดสินจาก ลำดับพลังงานและ สถานะช่องสัญญาณ ในช่วงเวลาการจองช่องสัญญาณ ถ้าหากโนดมีข้อมูลที่จะส่ง จะทำการจองช่องสัญญาณ ในช่วงนี้โดยกำหนดความสำคัญจากช่วงก่อนหน้า แล้วจึงทำการส่งข้อมูลในส่วนในช่วงเวลาส่งข้อมูลตามช่องสัญญาณที่ได้จองไว้

ZhengPeng [20] ได้นำเสนอ COPE-MAC โดยใช้หลักการการจับมือหนึ่งครั้งแต่สามารถทำการจัดการส่งข้อมูลหลายครั้ง โดยการแบ่งปันข้อมูลกับโนดข้างเคียงเพื่อให้สามารถทำการจับมือแบบขนานได้แต่ในเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณนี้ ยังมีปัญหาในเรื่องของความยุติธรรมในการใช้ช่องสัญญาณ และ โนดทุกโนด จะต้องมีการประมวลผลที่ดีด้วยความซับซ้อนของโพรโทคอล รวมทั้งต้องมีความจุในการเก็บข้อมูลของโนดมาก เพื่อให้สามารถประมวลผลข้อมูลจากโนดข้างเคียงในการจัดเส้นทางและการส่งข้อมูล

Dario Pompili [13] ได้นำเสนอเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้เทคนิค CDMA ผสมกับ ALOHA ที่ชื่อว่า UW-MAC โดยการส่งแพ็กเก็ตขนาดเล็กที่เรียกว่า Extended Header ที่มีข้อมูลจุดหมายปลายทาง เส้นทางเดินทาง และอื่น ๆ ที่จำเป็นในการสร้างรหัสแพร่กระจายแบบไม่เป็นระเบียบ (chaotic spreading code) สำหรับข้อมูลจริง ออกไปแล้วส่งแพ็กเก็ตที่เข้ารหัส รหัสแพร่กระจายแบบไม่เป็นระเบียบหลังจากส่ง Extended Header ในทันที เมื่อโนดได้รับข้อมูล Extended Header ก็จะนำรหัส สร้าง รหัสแพร่กระจายแบบไม่เป็นระเบียบมาใช้กับแพ็กเก็ตที่ได้รับได้ เมื่อรับสำเร็จก็จะส่ง ACK กลับไปยังโนดส่ง โดยข้อมูลจะมีโอกาสชนกัน ในช่วงของการส่ง Extended Header หรือ ในกรณีที่ใช้รหัสการแพร่กระจายตรงกัน

Guangyu Fan [21] ได้นำเสนอเทคนิคของเข้าถึงช่องสัญญาณที่ใช้รูปแบบของ CDMA โดยการแบ่งการใช้งานรหัสการแพร่กระจาย (spreading code) ตามเส้นทางซึ่งกำหนดโดยแหล่งปลายทาง (sink) ให้กับเส้นทางของโนดข้อมูลจากจุดปลายทางต่าง ๆ ที่จะเข้าสู่โนดให้รหัสการแพร่กระจายต่างกันทุกเส้นทาง ในการทำเช่นนี้ มีข้อดีคือ เมื่อแต่ละเส้นทางได้รับรหัสการ

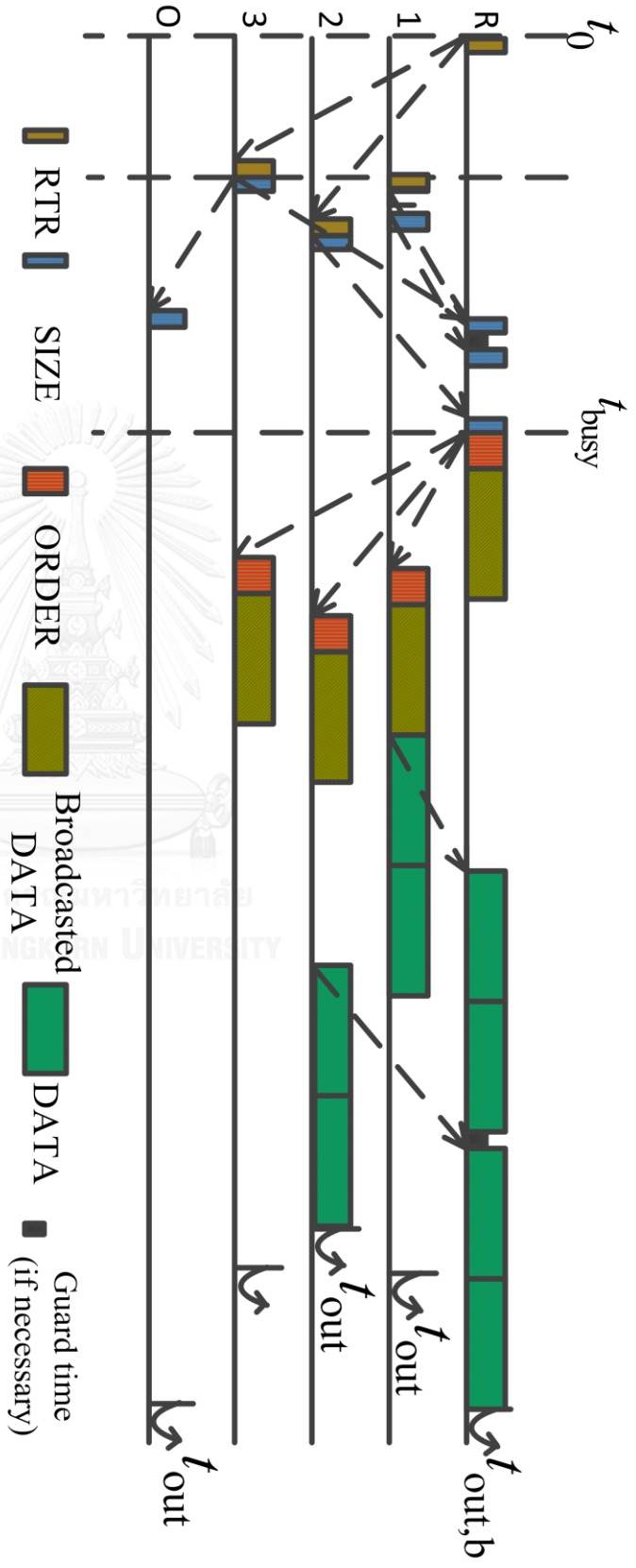
แพร่กระจายของตนเองแล้ว ก็จะสามารถส่งข้อมูลไปยังแหล่งปลายทางได้โดยไม่ชนกัน แต่ถ้าหากมีแหล่งปลายทางหลายแหล่ง ก็จะมีปัญหา ในการกระจายของรหัสแพร่กระจาย เนื่องจาก แต่ละแหล่งปลายทาง ก็จะแบ่งรหัสแพร่กระจายของตนเอง ซึ่งอาจทำให้มีการใช้รหัสแพร่กระจายที่ตรงกัน

จะเห็นได้ว่าวิธีการจับมือแบบ RTS/CTS ที่ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารเครือข่ายแบบมัลติฮอป เพื่อขจัดปัญหาการซ่อนและรับฟังของปลายทาง (hidden and exposed terminal problems) ได้ถูกนำมาปรับใช้ในการสื่อสารใต้น้ำ แต่เมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารใต้น้ำกลับพบปัญหาสำคัญ 2 ประการ อย่างแรก โหนดที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจำเป็นจะต้องมีการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมขั้นต่ำ 1 รอบเต็มในการส่งทุกครั้ง ทำให้เสียเวลาในการส่งไปกับผลของเวลาประวิงการแพร่กระจายซึ่งมีค่ามากกว่าการสื่อสารภาคพื้นดินมากส่งผลทำให้เครือข่ายการสื่อสารนั้นประสิทธิภาพต่ำ อย่างที่สองคือ ผลจากเวลาประวิงการแพร่กระจายนั้นส่งผลต่อความสามารถ ในการแก้ปัญหาซ่อนและรับฟัง (expose and hidden terminal problem) ของกลไก RTS/CTS เป็นผลทำให้โหนดอาจจะไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เนื่องมาจากการได้รับแพ็กเก็ตควบคุมที่ซ้ำเกินไป

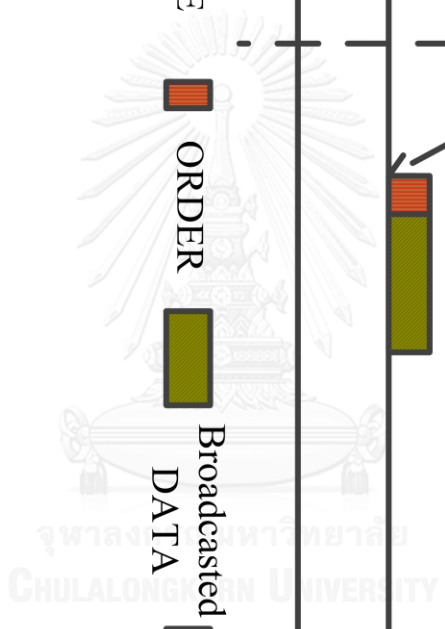
เพื่อแก้ปัญหาแทนที่จะใช้วิธีดั้งเดิมติดต่อ 3 ชั้นที่พบในโพรโทคอลโดยทั่วไป เช่น MACA นิภูฐิตา เชิดชู และคณะจึงได้นำเสนอโพรโทคอล RIPT [22] ที่ทำการรับส่งข้อมูลโดยเริ่มต้นด้วยภาครับ (receiver-initiated) โดยมีการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอน สามารถทำการรับ-ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้มากกว่า 1 แพ็กเก็ตจากโหนดที่ติดต่อได้ โดยลักษณะแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อกันเป็นลักษณะรถไฟ (packet-train) เพื่อจำนวนครั้งที่ทำการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมก่อนที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ซึ่งทำให้ลดผลจากค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายที่ใช้ไปในช่วงการจองช่องสัญญาณ

การทำงานของ RIPT นั้นเริ่มต้นจากโหนดภาครับทำการประกาศแพ็กเก็ต RTR เพื่อให้โหนดรอบข้างรับรู้ว่าโหนดพร้อมจะรับแพ็กเก็ตข้อมูล โหนดที่ได้รับแพ็กเก็ต RTR จะประกาศแพ็กเก็ต SIZE ไปยังโหนดภาครับเพื่อจะแจ้งถึงจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการจะส่ง เมื่อโหนดภาครับได้รับแพ็กเก็ต SIZE จากโหนดรอบข้างครบแล้วจะทำการประมวลผลและส่งแพ็กเก็ต ORDER เพื่อแจ้งจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลและเวลาที่จะให้แต่ละโหนดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมาตามเวลาที่กำหนด

ในการทำงานโดยใช้โพรโทคอล RIPT นั้น จะทำการจองช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารทั้งหมดตั้งแต่ในข้อมูลควบคุม RTR โดยการประกาศจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะรับได้ในแต่ละรอบ เพื่อให้โหนดที่ไม่เกี่ยวข้องหยุดการส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โดยจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะทำการรับทั้งหมดโดยประกาศออกไปใน RTR นั้น จะอาศัยข้อมูลจากในรอบก่อนหน้าเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะทำการรับในรอบปัจจุบัน แต่การกระทำเช่นนี้

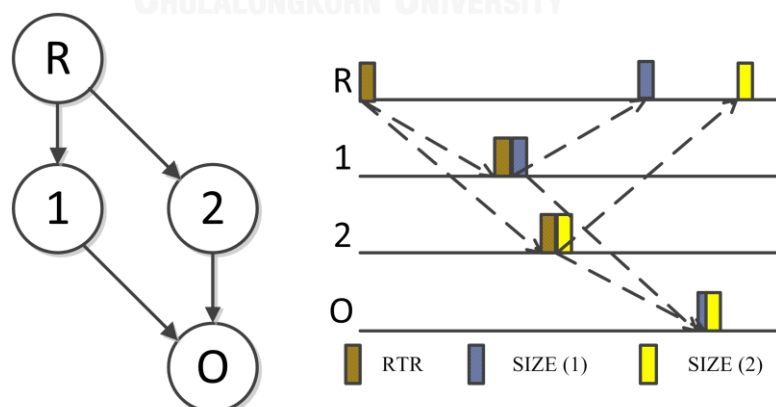


รูปที่ 3.2 รูปแบบการทำงานของ RIP



อาจจะทำให้เกิดการใช้ช่องสัญญาณที่ไม่คุ้มค่า เนื่องด้วยจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ประกาศไว้ว่าจะไม่เหมาะสมกับจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะโนดรอบข้างต้องการส่งมายังโนดภาครับในรอบปัจจุบัน หรือหากโนดภาครับนั้นยกเลิกการเป็นโนดภาครับด้วยเหตุผลบางอย่าง โหนดที่ได้รับการแจ้งเตือนการทำงานจากโนดภาครับนี้ก็ยังคงจำเป็นต้องรอตามเวลาที่ได้ถูกกำหนดมาตามที่กำหนดไว้ใน RTR ทำให้สูญเสียเวลาและโอกาสในการรับส่งข้อมูล ส่งผลทำให้เครือข่ายไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณการสื่อสารได้อย่างคุ้มค่า

โพรโทคอล RIPT นั้นเมื่อโนดได้รับ RTR จะทำการประกาศ SIZE กลับในเวลาที่ได้กำหนดไว้ โดยลักษณะให้แต่ละโนดทำการตอบกลับทำให้เร็วที่สุดโดยไม่ให้ SIZE ชนกันที่โนดภาครับ แต่ด้วยโพรโทคอล RIPT นั้นไม่ได้คำนึงถึงเวลาเริ่มต้นส่ง RTR จากโนดต่าง ๆ ทำให้เกิดผลจากระยะใกล้-ไกลของโนด (near-far effect) เป็นเหตุโนดที่อยู่ใกล้กว่ามีโอกาสเป็นโนดภาครับมากกว่าโนดที่อยู่ไกลกว่า จึงทำให้โนดในระบบไม่ได้รับความยุติธรรมที่เท่าเทียมกันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ นอกจากนี้แพ็กเก็ต SIZE ก็ยังได้ถูกนำไปใช้เพื่อแจ้งเตือนโนดรอบข้างเพื่อหยุดการส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล การกำหนดเวลาส่งที่แน่นอนของข้อมูลตอบกลับแพ็กเก็ต SIZE สามารถหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลที่โนดภาครับได้ แต่แพ็กเก็ต SIZE ที่ถูกส่งมาเพียงครั้งเดียวอาจจะสูญหายไปจากการชนกันของแพ็กเก็ตอื่น โดยเฉพาะแพ็กเก็ต SIZE ที่ประกาศจากโนดอื่นที่มีโนดภาครับเดียวกัน เพื่อแจ้งเตือนการทำงานจากโนดนอกกลุ่ม เนื่องจากหากเวลาที่รับแพ็กเก็ต SIZE มีเวลาที่ซ้อนกันเสมอจากการกำหนดเวลาส่งจะทำให้โนดนั้นไม่มีโอกาสได้รับการเตือน ทำให้โนดนั้นยังคงทำงานอยู่ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลได้



รูปที่ 3.3 เหตุการณ์การส่งแพ็กเก็ต SIZE ชนกันที่โนดห่างจากโนดภาครับ 2 ช่วงโนด

โพรโทคอล RIPT ไม่เหมาะสมในการใช้งานในสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยีได้ง่าย เช่น มีการเพิ่มโนดเข้าไปในระบบ หรือมีการย้ายตำแหน่งของโนด เพราะโนดทุกโนดในเครือข่ายบริเวณนั้นจำเป็นต้องมีการปรับเวลาใหม่ทั้งหมดให้เหมาะสม เพื่อที่จะทำให้โพรโทคอล RIPT สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

ในการแก้ปัญหาของ RIPT ที่กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ Enhance-Receiver-initiated Packet-Train (E-RIPT) ซึ่งได้ทำการพัฒนามาจาก RIPT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่าย ทำให้ระบบมีความยุติธรรมในการเข้าใช้งานของโนดมากขึ้น และลดความต้องการของระบบลงเพื่อให้ระบบมีความคล่องตัวในการใช้งานมากขึ้น รวมทั้งทำให้เครือข่ายสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



บทที่ 4

การออกแบบโพรโทคอล E-RIPT

ในการอธิบายต่อไปนี้จะกำหนดให้ โหนดฐาน (beacon) หมายถึงโหนดที่เป็นโหนดควบคุมการทำงานของเครือข่าย การส่งข้อมูล เพื่อที่รับข้อมูลจากโหนดลูกข่าย โหนดลูกข่าย (slave) หมายถึงโหนดที่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม (control packet) จากโหนดฐานโดยอาจจะมีแพ็กเก็ตข้อมูลส่งกลับไปยังโหนดฐาน เครือข่ายการส่งข้อมูลหมายถึงการจับกลุ่มระหว่างโหนดฐานและโหนดลูกข่าย โดยทุกโหนดในระบบนั้นสามารถทำงานเป็นได้ทั้งโหนดฐานและโหนดลูกข่าย เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้

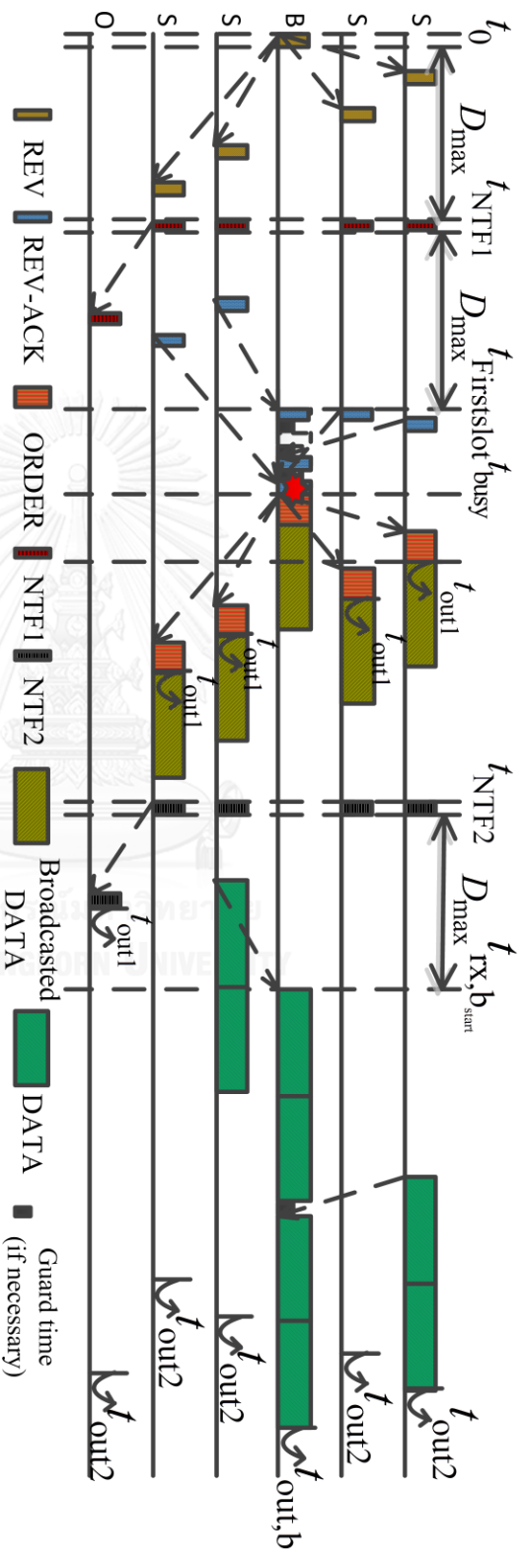
4.1 หลักการทำงานของโพรโทคอล E-RIPT

การทำงานของโพรโทคอล E-RIPT นั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงของการจองเข้าใช้ช่องสัญญาณ และช่วงของการจัดสรรช่องสัญญาณ ในการเริ่มการทำงานของโพรโทคอลนั้น เริ่มต้นที่โหนดฐานทำการประกาศแพ็กเก็ตควบคุม REV โดยภายในแพ็กเก็ต REV นั้น ประกอบด้วย หมายเลขโหนดที่ประกาศแพ็กเก็ต REV จำนวนช่องการจองช่องสัญญาณ (S_{all}) จำนวนแพ็กเก็ต BROADCAST ที่ต้องการส่ง จากนั้นเมื่อโหนดลูกข่ายได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV จะทำการคำนวณเวลาของช่วงที่ใช้ในการจองเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยโหนดฐานทั้งหมด แล้วทำการประกาศแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 ให้โหนดนอกเครือข่ายรับทราบถึงเวลาที่โหนดฐานใช้ในการจองช่องสัญญาณ โดยภายในแพ็กเก็ต NTF1 จะบอกเวลาที่โหนดลูกข่ายใช้ในการจองช่องสัญญาณกับโหนดฐาน หลังจากนั้นโหนดลูกข่ายจะเลือกช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มจากจำนวนที่กำหนดโดยโหนดฐาน แล้วทำการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK ไปยังช่องสัญญาณเวลาที่ได้เลือกไว้เพื่อแสดงความต้องการในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดฐาน โดยภายในแพ็กเก็ต REV-ACK จะมีหมายเลขโหนดลูกข่ายที่ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดฐาน จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งไปยังโหนดฐาน และเวลาที่โหนดใช้ในการจองเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยทั้งนี้แพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK จะไปแจ้งเตือนโหนดนอกเครือข่ายด้วยเช่นกันกับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 เพื่อลดโอกาสจากการที่โหนดนอกเครือข่ายไม่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 จากการชนกัน โดยเวลาที่ใช้ในการจองช่องสัญญาณทั้งหมดนี้ จะรองรับเวลาจนถึงโหนดลูกข่ายได้รับแพ็กเก็ตควบคุม ORDER จากโหนดฐาน และโหนดนอกเครือข่ายจะได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 จากโหนดลูกข่ายในช่วงของการจัดสรรช่องสัญญาณ

ช่วงการจัดสรรช่องสัญญาณนั้น จะเริ่มต้นหลังจากที่โหนดฐานได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK จากโหนดลูกข่ายในช่วงเวลาที่กำหนดครบแล้ว จะทำการจัดสรรจำนวนและเวลาที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมายังโหนดฐานทั้งหมด แล้วทำการประกาศเวลาที่ใช้ในการจองจัดสรรช่องสัญญาณทั้งหมด รวมถึง

ตารางที่ 4.1 สัญกรณ์ที่ใช้สำหรับการอธิบายโพรโทคอล E-RIPT.

สัญกรณ์	คำอธิบาย
t_0	เวลาที่โน้ตฐานเริ่มส่งแพ็กเก็ต REV
$t_{\text{FirstSlot}}$	เวลาที่โน้ตฐานเริ่มรับแพ็กเก็ต REV-ACK
t_{NTF1}	เวลาที่โน้ตลูกข่ายส่งแพ็กเก็ต NTF1.
t_{NTF2}	เวลาที่โน้ตลูกข่ายส่งแพ็กเก็ต NTF2.
$t_{\text{REV-ACK},x}$	เวลาที่โน้ต x ทำการส่งแพ็กเก็ต REV-ACK ไปยังโน้ตฐาน
t_{busy}	เวลาครบกําหนดการจําจําใช้ช่องสัญญาณที่โน้ตฐาน
$t_{\text{out},b}$	หมดเวลารอ (timeout) ที่โน้ตฐาน
$t_{\text{out}1,x}$	หมดเวลารอที่โน้ต x ซึ่งกําหนดโดยแพ็กเก็ต REV
$t_{\text{out}2,x}$	หมดเวลารอที่โน้ต x ซึ่งกําหนดโดยแพ็กเก็ต ORDER
$t_{\text{rx},b_{\text{start}}}$	เวลาที่โน้ตฐาน เริ่มรับแพ็กเก็ตข้อมูล จากโน้ตลูกข่าย
$t_{\text{lx},s(x,k)}$	เวลาที่โน้ต x ลำดับการส่ง k เริ่มส่งแพ็กเก็ตข้อมูล
$t_{\text{rx},b(x,k)}$	เวลาที่โน้ตฐานรับแพ็กเก็ตข้อมูล จากโน้ต x ลำดับการส่งที่ k เสร็จสิ้น
S_x	หมายเลขช่องสัญญาณที่ถูกเลือกโดยโน้ต x แบบสุ่ม
S_{all}	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดสำหรับการจําจําใช้ช่องสัญญาณ.
$M_{(x,k)}$	จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูล ที่โน้ต x ได้รับอนุญาตให้ส่งมายังโน้ตฐานที่ลำดับการส่งที่ k
M_{max}	จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูล สูงสุดที่โน้ตฐานสามารถรับได้ในแต่ละรอบการทำงาน
D_x	เวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างโน้ต x กับโน้ตฐาน.
$D_{x,y}$	เวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างโน้ต x กับโน้ต y .
D_{max}	เวลาประวิงการแพร่กระจายของระยะส่งไกลที่สุด.
T_x	เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านแพ็กเก็ตควบคุมขนาดคงที่ ชนิด x โดย $x \in \{\text{REV,REV-ACK,ORDER,NTF1,NTF2}\}$
T_{DATA}	เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านแพ็กเก็ตข้อมูลขนาดคงที่
$T_{\text{BROADCAST}}$	เวลาที่ใช้ในการส่งผ่านแพ็กเก็ต BROADCAST ขนาดคงที่
T_{guard}	เวลาคูม (Guard time) เพื่อที่จะป้องกันความผิดพลาดของการประมาณของการประวิงเวลาการแพร่กระจายระหว่างโน้ต



รูปที่ 4.1 ตารางเวลาการทำงานของ E-RPT. โหมด “B”, “S” และ “O” หมายถึง โหมดฐาน, โหมดถูกขยับ และ โหมดที่อยู่ทางออกไป 2 ช่วงนับจากโหมดฐาน

เวลาและจำนวนของแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะส่งมาจากแต่ละโหนดลูกข่ายในแพ็กเก็ตควบคุม ORDER เมื่อโหนดลูกข่ายได้รับแพ็กเก็ต ORDER จะทำการแจ้งเตือนโหนดนอกเครือข่ายด้วยแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 เพื่อแจ้งเวลาที่ใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณทั้งหมด จากนั้นโหนดลูกข่ายจะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดฐานตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ในแพ็กเก็ต ORDER

โดยโพรโทคอล E-RIPT สามารถแบ่งการทำงานทั้งหมดออกเป็น 4 ขั้นตอน โดย 2 ขั้นตอนแรกจะใช้สำหรับการจองช่องสัญญาณ และ 2 ขั้นตอนถัดมาจะอยู่ในช่วงของการจัดสรรช่องสัญญาณ แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 เริ่มต้นการทำงานโดยการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV เมื่อโหนดสถานะว่าง (Idle) ต้องการรับแพ็กเก็ตข้อมูลจากโหนดรอบข้างจะเปลี่ยนสถานะเป็นโหนดฐาน จากนั้นจะทำการประกาศแพ็กเก็ต REV เพื่อสร้างเครือข่ายในการส่งข้อมูลกับโหนดรอบข้าง โดยภายในแพ็กเก็ต REV ประกอบด้วย หมายเลขของโหนดฐานที่ประกาศแพ็กเก็ต REV จำนวนช่องที่ใช้สำหรับการจองช่องสัญญาณ (S_{all}) จำนวนแพ็กเก็ต BROADCAST ที่ต้องการจะส่ง รวมทั้งอาจจะมีตราเวลา (timestamp) ด้วยถ้ามีความจำเป็นต้องใช้

4.1.2 การแจ้งเตือนโหนดนอกเครือข่ายการส่งข้อมูลด้วยแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 และการจองช่องสัญญาณโดยแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK เมื่อโหนดสถานะว่างได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV โหนดจะเปลี่ยนสถานะเป็นโหนดลูกข่ายแล้วทำการประกาศแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 ที่เวลาประวิงการแพร่กระจาย (propagation delay) ของระยะส่งไกลที่สุดจากโหนดฐานเพื่อให้โหนดที่อยู่นอกเครือข่ายการส่งข้อมูลหยุดทำงาน (silent) เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โดยเวลาส่งแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 คือ

$$t_{NTF1} = t_0 + D_{max} + T_{REV} \quad (1)$$

หลังจากที่โหนดลูกข่ายได้ทำการส่งแพ็กเก็ต NTF1 แล้ว โหนดลูกข่ายจะตรวจสอบข้อมูลภายในโดยถ้ามีแพ็กเก็ตข้อมูล (DATA) ที่จะส่งไปยังโหนดฐาน โหนดลูกข่ายจะเลือกช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการจองช่องสัญญาณแบบสุ่ม (S_x) จากจำนวนที่กำหนดมาใน S_{all} ในแพ็กเก็ตควบคุม REV แล้วทำการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK เพื่อบอกจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีความต้องการจะส่งไปยังโหนดฐานตามช่องสัญญาณที่ได้เลือกไว้ โดยช่องสัญญาณที่สามารถส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK ได้ช่องแรกคือ

$$t_{FirstSlot} = t_0 + T_{REV} + 2D_{max} + T_{NTF1} + T_{guard} \quad (2)$$

และเวลาที่โหนดลูกข่ายจะส่งแพ็กเก็ต REV-ACK ที่เลือกช่องสัญญาณ S_x คือ

$$t_{REV-ACK,x} = t_{FirstSlot} + S_x \times (T_{rev-ack} + T_{guard}) - D_x; S_x \in \{0,1,2,\dots,S_{all}-1\} \quad (3)$$

โดย D_x เป็นเวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างโนดฐานและโนดลูกข่าย x และ T_{guard} คือ เวลาควบคุมที่ใส่ไว้เพื่อป้องกันการประเมินเวลาที่ผิดพลาดของเวลาประวิงของแต่ละโนด

โนดฐานจะเริ่มทำการประมวลผลแพ็กเก็ต REV-ACK ที่ได้รับมาจากโนดลูกข่าย หลังจากผ่านเวลาครบกำหนดการจองเข้าใช้ช่องสัญญาณที่โนดฐาน (t_{busy}) ตามสมการ

$$t_{\text{busy}} = t_{\text{FirstSlot}} + S_{\text{all}} \times T_{\text{rev-ack}} + (S_{\text{all}} - 1) \times T_{\text{guard}} \quad (4)$$

โดยทั้งนี้ โนดลูกข่าย x ก็สามารถคำนวณเวลา t_{busy} ได้เช่นกัน เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณเวลาสิ้นสุดการรอคอยแพ็กเก็ตควบคุมจากโนดฐาน ($t_{\text{out1},x}$) ได้ดังนี้

$$t_{\text{out1},x} = t_{\text{busy}} + T_{\text{BROADCAST}} + T_{\text{ORDER}} + D_x \quad (5)$$

เมื่อโนด y ซึ่งไม่ใช่โนดในเครือข่ายเดียวกันที่ได้รับแพ็กเก็ต NTF1 และ/หรือ REV-ACK จะทำการหยุดส่งสัญญาณ (silent) ตามที่ได้กำหนดมาจากโนดที่ส่งข้อมูลมา ตามเวลา $t_{\text{out1},x}$ คือ

$$t_{\text{out1},y} = t_{\text{busy}} + T_{\text{BROADCAST}} + T_{\text{ORDER}} + D_{\text{max}} + T_{\text{NTF2}} + D_{x,y} \quad (6)$$

โดย $D_{x,y}$ เป็น เวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างโนดลูกข่าย x กับโนดนอกเครือข่าย y

ในกรณีที่โนดในเครือข่ายหรือโนดนอกเครือข่ายที่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 หรือแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK ไม่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุมถัดไป (ORDER/NTF2) ก่อนเวลา t_{out1} โนดจะเปลี่ยนสถานะเป็นสถานะว่าง เพราะโนดนั้นจะตัดสินใจว่าโนดฐานที่จับกลุ่มอยู่ด้วยทำการยกเลิกเครือข่าย จึงไม่จำเป็นต้องรอระยะเวลาจนเสร็จสิ้นการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล เช่นเดียวกับโพรโทคอล RIPT ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียช่องสัญญาณโดยเปล่าประโยชน์จากการจองช่องสัญญาณที่ไม่ได้ใช้งาน ทำให้โนดมีโอกาสได้ใช้ช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น

4.1.3 การประกาศลำดับและจำนวนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของโนดลูกข่ายผ่านทางแพ็กเก็ตควบคุม ORDER หลังจากช่วงเวลาการจองการเข้าใช้ช่องสัญญาณ t_{busy} โนดฐานจะทำการจัดสรรจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะรับจากโนดลูกข่าย ตามที่ได้รับข้อมูลมาจากแพ็กเก็ต REV-ACK ที่โนดลูกข่ายได้ส่งมา เริ่มต้นจากโนดฐานจะให้ตัวเลขค่าความสำคัญแบบสุ่มกับหมายเลขของโนดที่ทำการส่งแพ็กเก็ต REV-ACK มายังโนดฐานได้สำเร็จแล้วทำการเรียงลำดับตามความสำคัญเพื่อเรียงลำดับการอนุญาตให้แต่ละโนดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการแบ่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่ทำการส่งในเครือข่ายออกเป็น 2 ชนิดคือ แพ็กเก็ตส่งต่อ (Relay packet) และ แพ็กเก็ตสร้างใหม่ (New packet) โดย แพ็กเก็ตส่งต่อ หมายถึง แพ็กเก็ตข้อมูลที่ได้รับมาจากโนดต้นทางแล้วต้องการส่งต่อไปยังปลายทางที่กำหนด และ แพ็กเก็ตสร้างใหม่ หมายถึง แพ็กเก็ตที่สร้างขึ้นด้วยตนเอง แล้วต้องการส่งออกไปยังปลายทางที่กำหนด

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการจัดสรรช่องสัญญาณ เมื่อ $M_{\max} = 5$

ลำดับ ความสำคัญ	หมายเลขโนด	แพ็กเก็ตส่งต่อ	แพ็กเก็ตใหม่	จำนวนที่ส่ง
1	โนดลูกข่าย #2	0	2	1
2	โนดลูกข่าย #3	3	3	3
3	โนดลูกข่าย #1	1	6	1
จำนวนที่ส่งทั้งหมด				5

หลังจากเรียงตามลำดับความสำคัญแล้ว โหนดฐานจะอนุญาตให้แพ็กเก็ตส่งต่อให้ทำการส่งเรียงโดยลำดับตามลำดับ หลังจากอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตส่งต่อแล้วยังเหลือช่องสัญญาณจะให้แพ็กเก็ตข้อมูลใหม่ (New packet) โดยเรียงลำดับตามความสำคัญ โดยจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่จะถูกส่งในแต่ละรอบนั้น จะต้องไม่เกินจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลสูงสุดที่โหนดฐานสามารถรับได้ในแต่ละรอบ (M_{\max}) เพื่อป้องกันโนดครอบครองช่องสัญญาณนานเกินไป โดยรูปแบบการส่งเป็นไปตามตัวอย่างดังตารางที่ 4.2 ที่มีขนาด $M_{\max} = 5$

หลังจากการจัดสรรช่องสัญญาณเสร็จสิ้น โหนดฐานจะทำการประกาศแพ็กเก็ตควบคุม ORDER ซึ่งประกอบไปด้วยหมายเลขจำนวนแพ็กเก็ตที่จะรับทั้งหมด และจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดและเวลาที่ให้แต่ละโนดลูกข่ายทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมายังโหนดฐาน

4.1.4 การส่งข้อมูลและหมดเวลารอ (timeout)

หลังจากที่โหนดฐานประกาศแพ็กเก็ตควบคุม ORDER แล้วถ้าหากโหนดฐานมีแพ็กเก็ต BROADCAST จะทำการประกาศต่อโดยทันที และโหนดฐานจะเริ่มรับข้อมูลจากโนดลูกข่ายตามเวลาดังนี้

$$t_{ix, \text{bstart}} = t_{\text{busy}} + 2D_{\max} + T_{\text{ORDER}} + T_{\text{NTF2}} + n \times T_{\text{BROADCAST}} \quad (7)$$

โดย n เป็นจำนวนแพ็กเก็ต BROADCAST

เมื่อโนดลูกข่ายได้รับแพ็กเก็ตควบคุม ORDER จะทำการส่งแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 เพื่อแจ้งให้โหนดรอบข้างทราบถึงเวลาสิ้นสุดการติดต่อสื่อสาร โดยเวลาที่ส่งแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 นั้นจะใช้เวลาประวิงการแพร่กระจายของระยะส่งไกลที่สุดจากโหนดฐาน ที่เวลา

$$t_{\text{NTF2}} = t_{\text{busy}} + T_{\text{ORDER}} + T_{\text{NTF2}} + n \times T_{\text{BROADCAST}} + D_{\max} \quad (8)$$

จากนั้นจะทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดฐานตามช่องสัญญาณที่ได้รับจากแพ็กเก็ต ORDER โดยลักษณะการส่งจะให้โนดภาครับสามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นรถไฟ ตามสมการดังนี้

$$t_{tx,s(x,0)} = t_{rx,b_{start}} - D_x \quad (9)$$

$$t_{rx,b(x,0)} = t_{tx,b_{start}} + M_{(x,0)} \times T_{DATA} \quad (10)$$

$$t_{rx,b(x,k)} = t_{tx,b(x,k-1)} + M_{(x,k-1)} \times T_{DATA} + T_{guard} \quad (11)$$

$$t_{tx,s(x,k)} = t_{rx,b(x,k-1)} - D_x + T_{guard} \quad (12)$$

โดย k เป็นลำดับการส่งที่ได้รับอนุญาตจากโนดฐาน เรียงตามค่าประวิงเวลาระหว่างโนดฐาน กับโนดลูกข่ายแต่ละตัวในเครือข่ายที่ได้รับอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดฐาน

ทั้งนี้ เวลาจรอบของเครือข่ายที่โนดฐาน คือ เวลาหลังจากที่โนดฐานได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลจากโนดลูกข่ายทั้งหมดตามที่ได้กำหนดไว้ในแพ็กเก็ตควบคุม ORDER คือ

$$t_{out,b} = t_{rx,b(x,last)} - T_{guard} \quad (13)$$

เวลาของการหมุนรอบแต่ละโนดลูกข่ายนั้นไม่จำเป็นต้องมีความยาวเท่ากัน แต่จะต้องไม่รบกวนกับโนดฐาน จนกระทั่งโนดฐานได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลครบทั้งหมด ดังนี้

$$t_{out2,x} = t_{out,b} - D_x \quad (14)$$

สำหรับโนดที่อยู่นอกเครือข่ายที่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 จะมีเวลาหมุนรอบที่กำหนดมาจากแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 คือ

$$t_{out2,y} = t_{out2,x} + D_{x,y} \quad (15)$$

4.2 เวลาเริ่มส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV

ในการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV นั้น จะใช้การแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) ที่มีค่าเฉลี่ย T_{avg} สำหรับระยะเวลาของส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV ในแต่ละครั้ง และเพื่อป้องกันการยึดครองช่องสัญญาณเพียงโนดเดียว จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการที่โนดทำงานอยู่ในสถานะโนดฐานซ้ำต่อเนื่อง เพื่อเปิดโอกาสให้โนดรอบข้างสามารถทำงานเป็นโนดฐานได้ โดยหลังจากสิ้นสุดรอบการส่งข้อมูล โนดที่ทำงานเป็นโนดฐานจะต้องรอเวลาเพิ่มขึ้นมากกว่าโนดอื่นอีก t_{limit} ก่อนจะทำหน้าที่เป็นโนดฐานได้อีกครั้ง หรือจะต้องทำหน้าที่เป็นโนดลูกข่ายก่อนจึงจะสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นโนดฐานได้อีกครั้ง

4.3 การเลือกกลุ่มเครือข่าย และการหยุดส่งสัญญาณเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล

ในการจับกลุ่มโหนดเพื่อสร้างเครือข่ายทำการติดต่อสื่อสารนั้น จะนับกลุ่มโดยการใช้หมายเลขโหนดฐานที่ทำการส่ง REV ออกไปเป็นเกณฑ์ แต่ในการติดต่อสื่อสารจริงนั้น เนื่องด้วยโหนดทุกโหนดสามารถทำตัวเป็นทั้งโหนดฐาน และโหนดลูกข่ายได้ รวมทั้งไม่จำเป็นจะต้องมีการจับกลุ่มการสื่อสารเพียงกลุ่มเดียวเสมอไป จึงอาจจะทำให้เกิดการจับกลุ่มสื่อสารหลายกลุ่มและเกิดการสร้างกลุ่มเครือข่ายที่ซ้อนกัน อันจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โปรโทคอลไม่สามารถทำงานได้อย่างที่ควรจะเป็นอันเนื่องมาจากการรบกวนจากการสื่อสารจากโหนดรอบข้าง ดังนั้นเพื่อที่จะให้โปรโทคอลสามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและมีความยุติธรรมในการใช้ช่องสัญญาณกับโหนดในระบบนั้นจำเป็นจะต้องมีการเลือกจับกลุ่มเครือข่ายหรือหยุดทำงานเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล ในกรณีได้รับแพ็กเก็ตควบคุมแต่ละชนิด ในสถานะของโหนดต่าง ๆ กันที่ไม่ใช่โหนดที่อยู่ในสถานะว่าง ดังนี้

4.3.1 ในกรณีได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV เมื่อโหนดไม่ได้อยู่ในสถานะว่าง (Idle) หรือหยุดทำงาน (Silent) โหนดจะทำการตรวจสอบก่อนว่าแพ็กเก็ตควบคุม REV ที่ได้รับมาใหม่นั้น ได้ถูกทำการส่งมาก่อนหรือหลังจากแพ็กเก็ตควบคุม REV ที่ได้รับมาก่อนหน้า หากแพ็กเก็ตควบคุม REV ที่ได้รับมาใหม่ได้ทำการถูกส่งมาก่อน โหนดจะทำการยกเลิกการติดต่อกับกลุ่มเดิมแล้วเปลี่ยนสถานะไปเป็นโหนดลูกข่ายในเครือข่ายกลุ่มใหม่ โดยโหนดฐานใหม่เป็นโหนดที่ทำการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV มา แต่ในกรณีที่โหนดนั้น หยุดทำงานและได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV จะทำการตรวจสอบเวลาสัญญาณสิ้นสุด t_{out1} แล้วทำการเพิ่มเวลาสิ้นสุดรอบการทำงานในกรณีที่เวลาสิ้นสุดหมดก่อนเวลา t_{out1} เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล

4.3.2 ในกรณีโหนดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1 หรือแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK จะทำการตรวจสอบก่อนว่า เป็นโหนดที่กำลังต้องการส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายกลุ่มเดียวกันหรือไม่ (ดูจากหมายเลขปลายทางที่ส่งไปถึง) หากไม่ใช่เครือข่ายกลุ่มเดียวกันและทำการคำนวณแล้วพบว่า เวลาเริ่มต้นการจับของข้อมูลปัจจุบัน ได้เริ่มทำงานหลังจากข้อมูลที่แจ้งมาในแพ็กเก็ตควบคุมควบคุมจะเปลี่ยนสถานะเป็นหยุดทำงาน (silent) แล้วตั้งค่าเวลา t_{out} ใหม่ที่จะไม่รบกวนกับ กลุ่มเดิมที่ติดต่อกับ และ กลุ่มใหม่ได้ไต่ขึ้นมาจากแพ็กเก็ตควบคุมควบคุม ในกรณีโหนดที่ไต่ขึ้นมา อยู่ในสถานะหยุดทำงานอยู่แล้วจะทำการเพิ่มเวลาสิ้นสุดเช่นเดียวกับทำในแพ็กเก็ตควบคุม REV

4.3.3 ในกรณี โหนดไต่ขึ้นมาแพ็กเก็ตควบคุม ORDER หรือแพ็กเก็ตควบคุม NTF2 โดยโหนดที่ไต่ขึ้นมาเป็นโหนดต่างเครือข่ายหรือหยุดทำงานอยู่จะเปลี่ยนสถานะเป็นหยุดทำงานและตั้งค่าเวลาจบรอบการทำงานไม่ให้รบกวนกับเครือข่ายเดิมและเครือข่ายใหม่

บทที่ 5

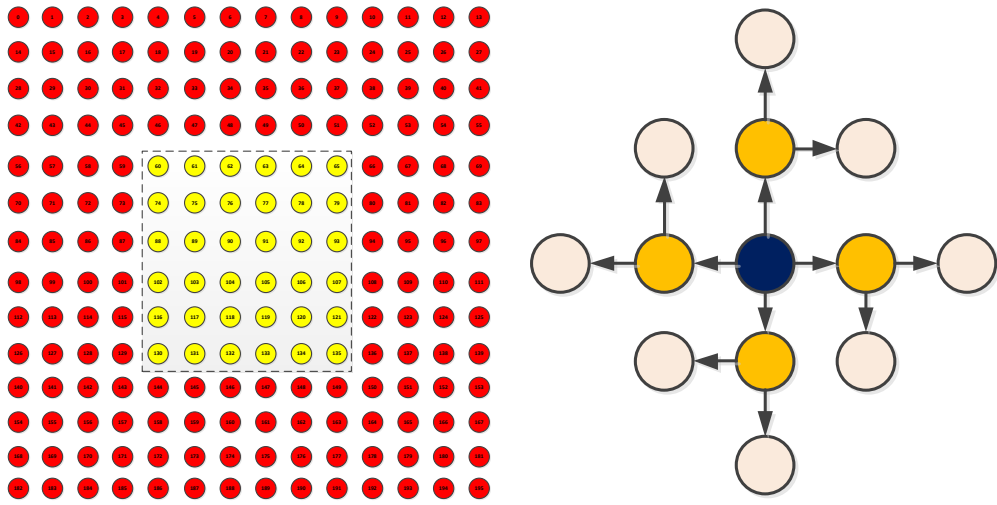
การจำลองผลการทำงาน ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการจำลองหาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการจำลองการทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ด้วยทอพอโลยี 3 รูปแบบที่มีความต่างของจำนวนโนดที่อยู่ในระยะส่งสัญญาณและเส้นทางการส่งข้อมูลเพื่อศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ตามรูปที่ 5.1-5.3 โดยแต่ละรูปแบบของทอพอโลยีจะมีความสัมพันธ์ตามตารางที่ 5.1 โดยมีการกำหนดระยะส่งสูงสุดนั้นเพื่อให้ครอบคลุมเฉพาะโนด 1 ช่วงโนดทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาจำนวนช่องสัญญาณสำหรับการจองเข้าใช้งาน และจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่รับได้ในแต่ละรอบที่จะให้ประสิทธิภาพดีที่สุด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานในด้านต่าง ๆ กับโพรโทคอล RIPT และ MACA-U ในทอพอโลยีที่ 3 ตามรูปที่ 5.3 โดยรายละเอียดของสภาพแวดล้อมการจำลองนั้น สามารถดูได้ที่ ภาคผนวก ก

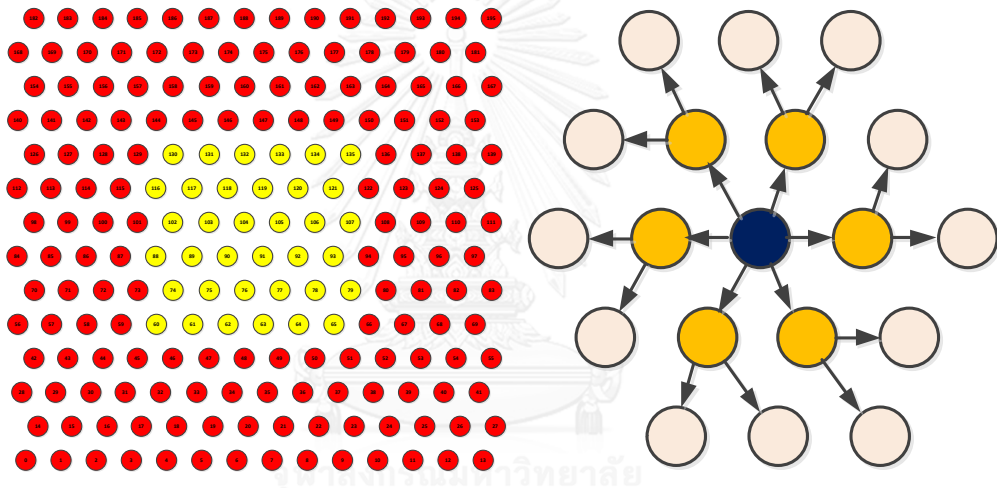
ในการเก็บค่าสถิติค่าต่าง ๆ นั้น จะทำการเก็บค่าเฉพาะ 36 โหนดที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของแต่ละทอพอโลยี เพื่อลดผลกระทบจากโนดที่อยู่บริเวณขอบของเครือข่าย แพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปจะมีจุดหมายปลายทางไปยังโนดที่อยู่ห่างออกไป 2 ช่วงโนดโดยใช้เส้นทางตามที่กำหนดตามรูปที่ 5.1-5.3 โดยแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งอยู่ในระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แพ็กเก็ตข้อมูลใหม่ คือ แพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งครั้งแรกจากต้นทาง และแพ็กเก็ตข้อมูลส่งต่อหมายถึงแพ็กเก็ตข้อมูลที่โนดที่ได้รับมาจากต้นทางแล้วต้องการทำการส่งต่อเพื่อไปยังโนดปลายทาง เพื่อในการวัดผลแบบมัลติฮอป ในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลจากแต่ละโนดเพื่อส่งไปยังปลายทางนั้น กำหนดให้แต่ละเส้นทางมีการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลที่เท่ากัน โดยจะนำค่าของโหลดที่ให้ต่อโนด (offered load per node) นำมาหารด้วยจำนวนโนดรอบข้างที่อยู่ห่างออกไป 2 ช่วงของแต่ละทอพอโลยีตาม แล้วใช้วิธีการสุ่มด้วยการแจกแจงปัวซอง (Poisson distribution) เพื่อการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลเพื่อส่งออกไปยังแต่ละเส้นทาง โดยมีค่าเฉลี่ยตามสมการที่ 16

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของรูปแบบทอพอโลยีที่ 1-3

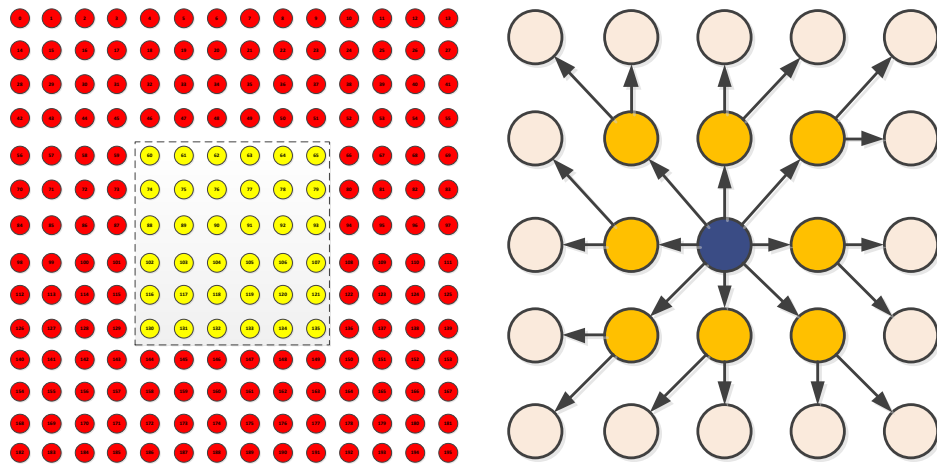
รูปแบบการจำลองที่	จำนวนโนด 1 ช่วงโนด	จำนวนโนด 2 ช่วงโนด	ระยะห่างแนวแกน x	ระยะห่างแนวแกน y	ระยะห่างระหว่างโนด	โนดอยู่ห่างจากจุดตัด	ระยะส่งสูงสุด
1	4	8	D	D	D	5%	1.2D
2	6	12	D	$\frac{\sqrt{3}}{2} D$	D	10%	1.3D
3	8	16	D	D	D, $\sqrt{2} D$	10%	1.75D



รูปที่ 5.1 รูปแบบทอพอโลยีที่ 1 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 1



รูปที่ 5.2 รูปแบบทอพอโลยีที่ 2 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 2



รูปที่ 5.3 รูปแบบทอพอโลยีที่ 3 และเส้นทางการส่งข้อมูลแบบที่ 3

$$\text{Mean Arrival Per Path} = \frac{\text{Offered load per node} \times \text{Data Rate}}{\text{Packet length} \times \text{No. 2-hop Neighbor}} \quad (16)$$

โดยค่าเฉลี่ยของแต่ละเส้นทางใช้กับทุกโหนดรวมทั้งโหนดที่อยู่ที่ขอบด้วย (โหนดที่อยู่ที่ขอบ จะมีขนาดของโหนดและจำนวนเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลน้อยกว่าโหนดที่อยู่ตรงกลางเพราะกำหนดให้แต่ละเส้นทางมีการสร้างของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เท่ากัน) โดยขนาดของแพ็กเก็ตควบคุมของ E-RIPT และค่าอื่น ๆ ที่ใช้ในการจำลองนั้นให้เป็นไปตามตารางที่ 5.2

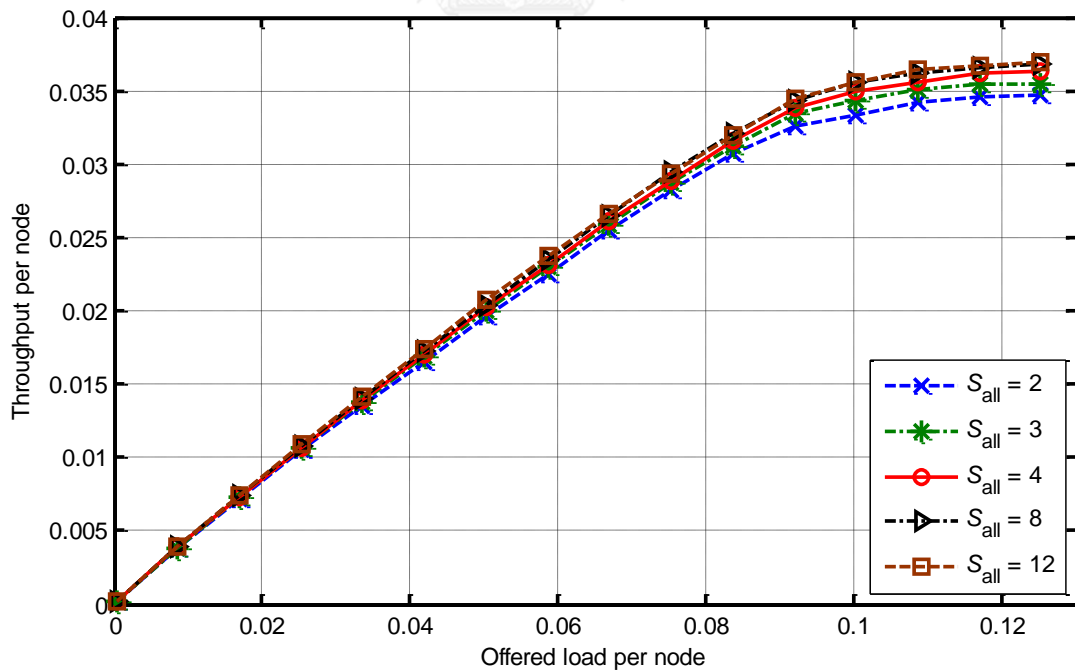
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โปรแกรม NS3 รุ่น 3.14.1 ในการจำลองผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของโพรโทคอล E-RIPT โดยการหาจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมเพื่อใช้สำหรับการเข้าใช้ช่องสัญญาณกับทอพอโลยีรูปแบบต่าง ๆ จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมที่โหนดฐานจะทำการรับต่อรอบการทำงานเพื่อให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโพรโทคอล RIPT และ MACA-U ทั้งทางด้าน ค่าวิสัยสามารถ ค่าประวิงเวลา ความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ และค่าของความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ต

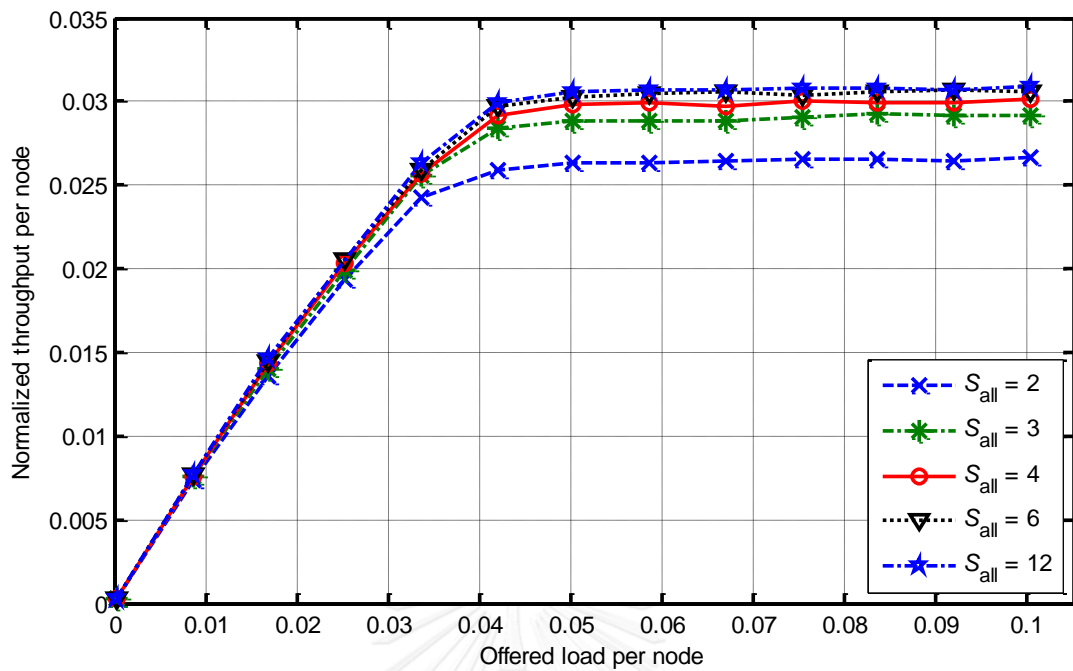
5.1 การกำหนดขนาดของช่องสัญญาณสำหรับรับแพ็กเก็ต REV-ACK

การศึกษาจำนวนช่องสัญญาณสำหรับการแจ้งความต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากโหนดลูกข่ายมายังโหนดฐาน (S_{all}) ที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารนั้น กำหนดให้ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลอยู่ที่ 2,400 บิต และมีระยะส่งสูงสุดอยู่ที่ 1,225 เมตรและในหนึ่งรอบการสื่อสาร โหนดฐานแต่ละโหนดจะรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้สูงสุด M_{max} อยู่ที่ 20 แพ็กเก็ตโดย การจำลองผลจะใช้ทอพอโลยี 3 รูปแบบตามรูปที่ 5.1-5.3

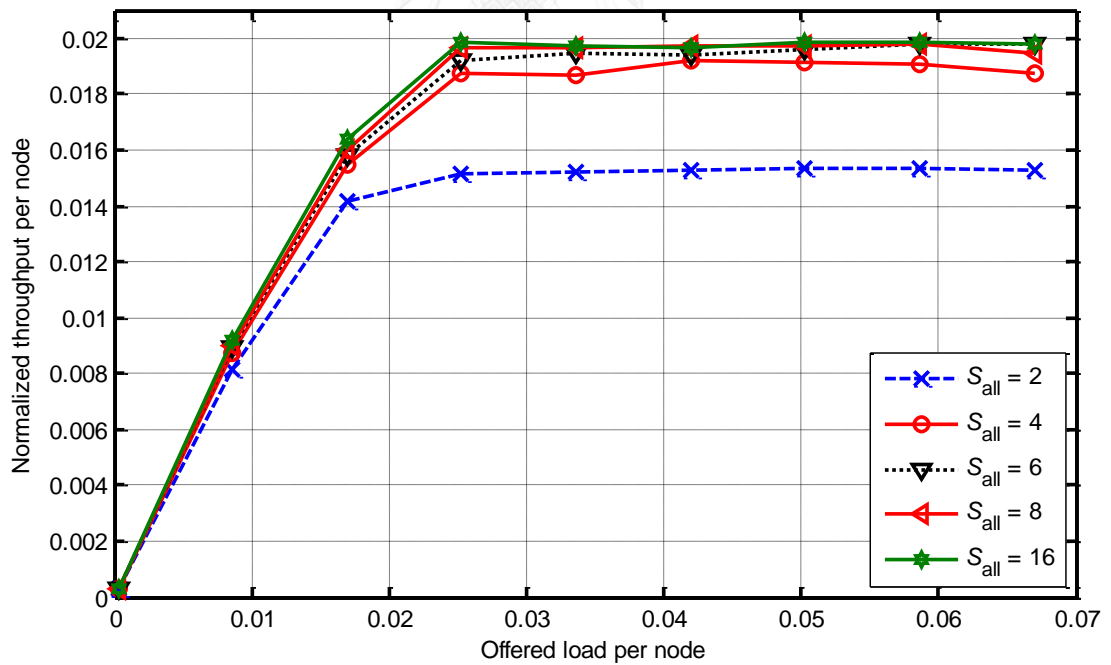
ตารางที่ 5.2 ขนาดของแพ็กเก็ตควบคุม E-RIPT และทอพอโลยีของช่องสัญญาณ

ชนิดของข้อมูล	ขนาดข้อมูล (ไบต์)	ขนาดข้อมูล (บิต)
ส่วนหัวข้อมูล (Header)	10	80
REV	6	48
REV-ACK	9	72
NTF1	7	56
NTF2	7	56
ORDER	23	184
ทอพอโลยีของช่องสัญญาณ		
ความเร็วเสียง	1,500 เมตรต่อวินาที	
อัตราการส่งข้อมูล	2,400 บิตต่อวินาที	

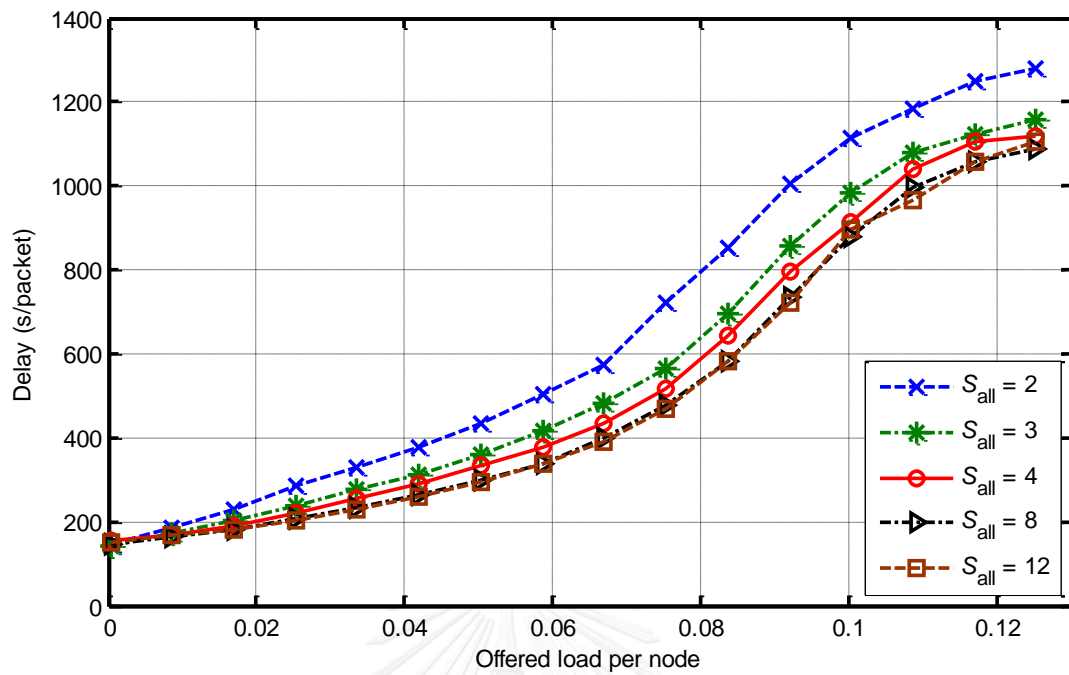
รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าวิสัยความสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 โดยเปลี่ยนแปลง S_{all}



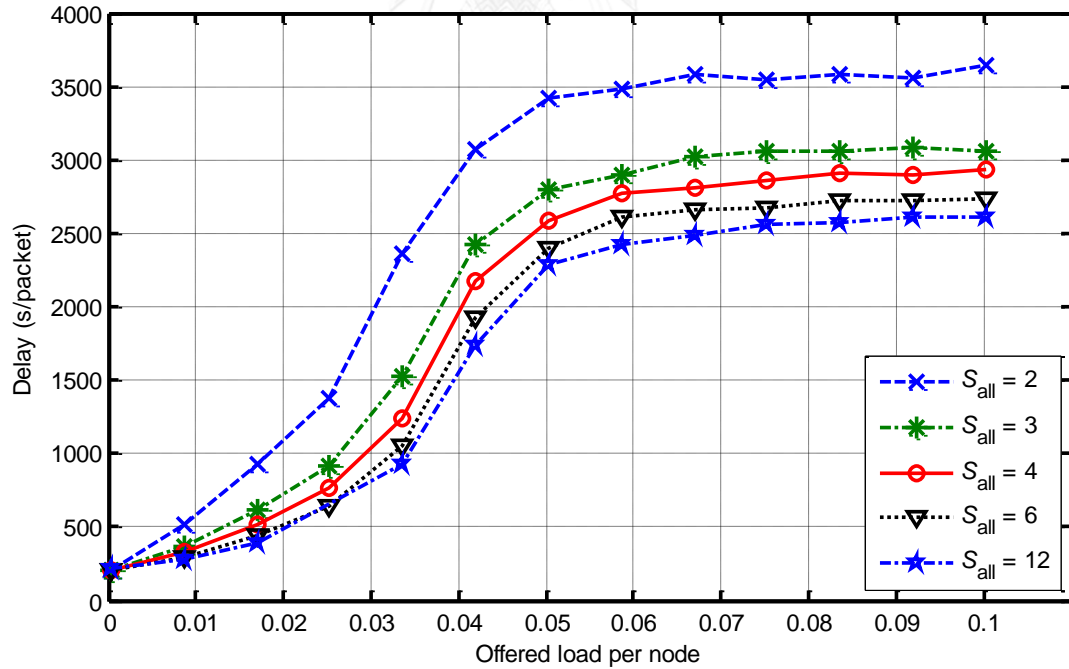
รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 โดยเปลี่ยนแปลง S_{all}



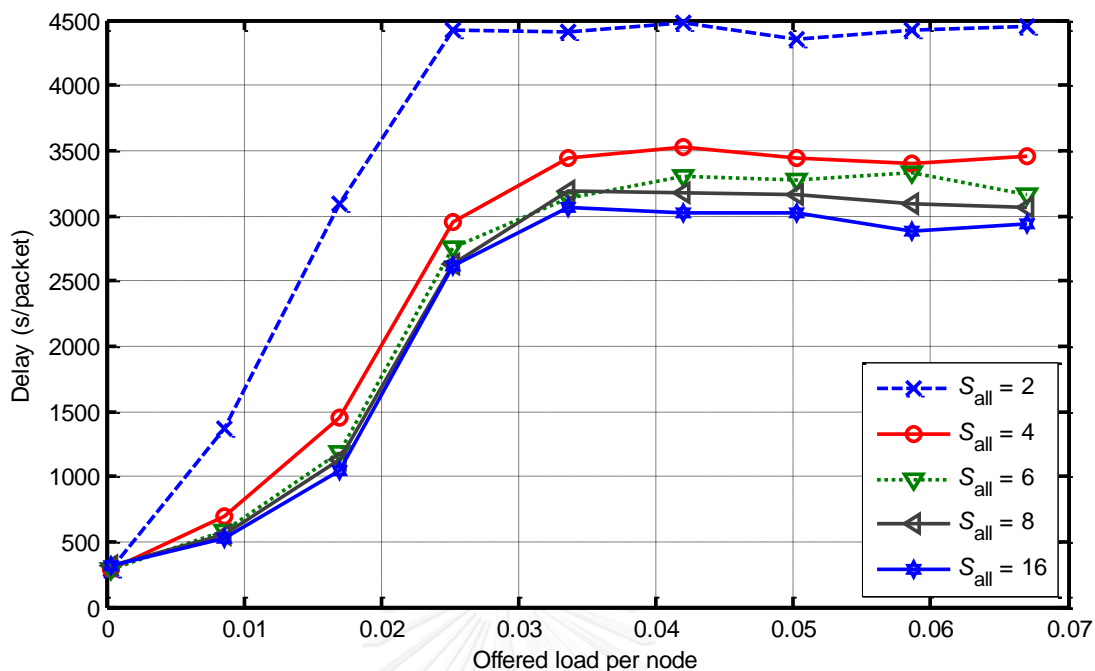
รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 โดยเปลี่ยนแปลงค่า S_{all}



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 โดยเปลี่ยนแปลง S_{all}



รูปที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 โดยเปลี่ยนแปลง S_{all}



รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 โดยเปลี่ยนแปลง S_{all}

5.1.1 ผลของวิสัยสามารถ

จากรูปที่ 5.4-5.6 จะเห็นได้ว่าเครือข่ายจะเข้าสู่สถานะช่องสัญญาณอิ่มตัวนั้น จะขึ้นกับขนาดของโหนดในระบบและจำนวนเส้นทางที่แพ็กเก็ตข้อมูลส่งไป โดยจำนวนเส้นทางสื่อสารของแต่ละโหนดที่มีจำนวนน้อยกว่าจะสามารถใช้งานได้ที่ขนาดของโหนดในระบบที่มากกว่าและให้ค่าวิสัยสามารถที่ดีกว่าจำนวนเส้นทางที่มากกว่า ณ โหนดมีค่าเท่ากัน จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของ E-RIPT จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อใช้จำนวนช่องสัญญาณ S_{all} ที่เหมาะสม แต่ในกรณีที่มีจำนวนช่องสัญญาณ S_{all} น้อยเกินไปจะทำให้ระบบมีค่าวิสัยสามารถที่ต่ำ เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณ S_{all} ที่น้อยจะทำให้มีโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเก็ต REV-ACK ที่ส่งมาจากโหนดลูกข่ายได้ง่าย ทำให้โหนดฐานจึงมีโอกาสที่จะได้รับข้อมูลที่ส่งมาจากโหนดลูกข่ายน้อยลงส่งผลให้โหนดฐานไม่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้กับโหนดลูกข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากรูปที่ 5.4-5.6 นั้นเมื่อ S_{all} มีขนาดที่น้อยกว่าจำนวนโหนดรอบข้าง 1 ช่วงโหนดที่ติดต่อกันจะทำให้ค่าวิสัยสามารถมีอัตราที่ลดลง โดยเฉพาะเมื่อมีขนาดของ S_{all} ที่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนโหนดรอบข้างที่ติดต่อกันแล้ว จะทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลงอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงที่มีขนาดของโหนดในระบบสูงขึ้น แต่เมื่อกำหนดขนาดของ S_{all} ที่มากกว่าจำนวนโหนดรอบข้างที่ติดต่อกันกลับไม่ได้ให้ค่าวิสัยสามารถที่ดีขึ้นมากนัก เพราะในแต่ละรอบการสื่อสารโหนดลูกข่ายที่ได้รับแพ็กเก็ต REV ไม่จำเป็นต้องมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังโหนดฐานโดยเฉพาะช่วงโหนดในระบบมีค่าต่ำ

หรือในบางครั้งโนตก็กำลังจับกลุ่มเครือข่ายกับกลุ่มอื่นอยู่ จึงไม่มีการตอบกลับของแพ็กเก็ต REV-ACK ไปยังโนตฐาน นอกจากนั้นในช่วงการส่งข้อมูลโนตภาครับ จะพยายามเลือกจำนวนโนตภาคส่งให้น้อยที่สุดในการส่งข้อมูลมายังโนตภาครับ โดยเฉพาะหากโนตนั้นมีข้อมูลที่ต้องการส่งมากเพียงโนตเดียว และได้รับความสำคัญเป็นลำดับต้น ๆ

5.1.2 ผลของการประวิงเวลาของแพ็กเก็ต

ผลของการประวิงเวลาของแพ็กเก็ตนั้นตามรูปที่ 5.7-5.9 จำนวนช่องสัญญาณเพื่อใช้จองเข้าใช้งาน S_{all} นั้นมีผลโดยตรงกับผลของการประวิงเวลา E-RIPT เนื่องด้วยการชนกันแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK ที่ส่งมาจากโนตที่ติดต่อก็ได้รอบข้าง ทำให้แต่ละแพ็กเก็ตที่สร้างขึ้นมาจำเป็นต้องใช้เวลาานมากขึ้นจึงจะได้รับการส่งไปถึงปลายทาง โดยจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมคือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจำนวนโนตที่โนตฐานสามารถติดต่อก็ได้เช่นเดียวกับที่กล่าวในผลของค่าวิสัยสามารถ

จากผลของค่าวิสัยสามารถและผลของค่าประวิงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลจะสังเกตได้ว่าถ้า S_{all} ยังมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนโนตที่อยู่ในระยะ 1 ช่วงโนตจากโนตฐาน เครือข่ายยังคงทำงานได้ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงไปเรื่อย ๆ ตามจำนวนโนตที่เพิ่มขึ้นมา และเมื่อ S_{all} มากกว่าจำนวนโนตที่ติดต่อก็ได้จะให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ S_{all} ที่มีขนาดเท่ากับจำนวนโนตที่ติดต่อก็ได้ แต่เนื่องด้วยในการจำลองนี้ เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตควบคุมนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูล จึงทำให้การจองช่องสัญญาณที่มากเกินไปมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพน้อยมาก ในการใช้งานจริงในได้นำข้อความที่ส่งออกไปจะต้องถูกเข้ารหัสต่าง ๆ เพื่อลดความผิดพลาดระหว่างการรับข้อมูล และความปลอดภัยในการสื่อสาร จึงทำให้มีขนาดของแพ็กเก็ตที่ใช้ในการส่งเพิ่มขึ้น หรือในโมเด็มที่ใช้ในการสื่อสารได้นำบางรุ่นก็ไม่สามารถปรับขนาดของแพ็กเก็ตที่จะส่งได้ทำให้ขนาดของแพ็กเก็ตควบคุมมีความยาวมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสื่อสาร ดังนั้นการเลือกขนาดของช่องสัญญาณที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นมากขึ้นสำหรับการใช้งานจริง โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเลือกขนาดของ S_{all} เท่ากับจำนวนโนตที่อยู่ในระยะที่โนตฐานติดต่อก็ได้

5.2 จำนวนแพ็กเก็ตที่โนตฐานจะทำการรับสูงสุดต่อรอบที่เหมาะสม

ในการสื่อสารแต่ละรอบของ E-RIPT จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุม เพื่อที่จะสามารถทำให้ส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง และลดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลจากการส่งแพ็กเก็ตจากโนตอื่นในเครือข่าย จึงทำให้มีการสูญเสียเวลาไปกับช่องสัญญาณในช่วงการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุม ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีมากเพื่อให้คุ้มค่างับเวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมก่อนทำการส่งข้อมูล (overhead) โดยจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะรับสูงสุดในแต่ละรอบ M_{max} นั้น ควรจะมีค่าขั้นต่ำดังนี้

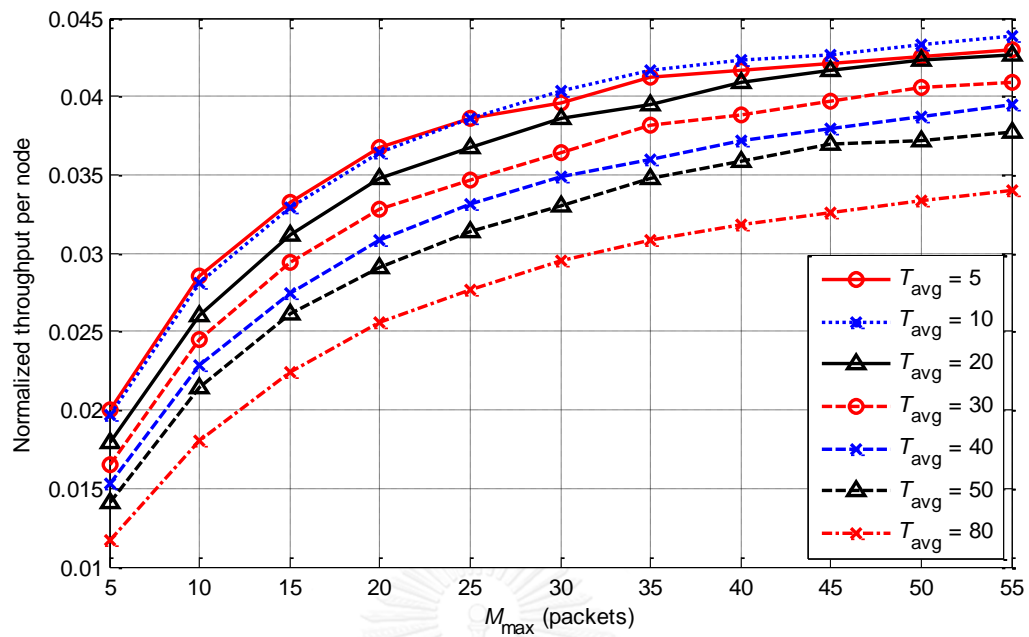
$$M_{\max} \geq \frac{T_{\text{REV}} + T_{\text{NTF1}} + 8 \times T_{\text{REV-ACK}} + T_{\text{ORDER}} + T_{\text{NTF2}} + 4D_{\max}}{T_{\text{DATA}}} \quad (17)$$

โดย T_{DATA} เป็นเวลาที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูล

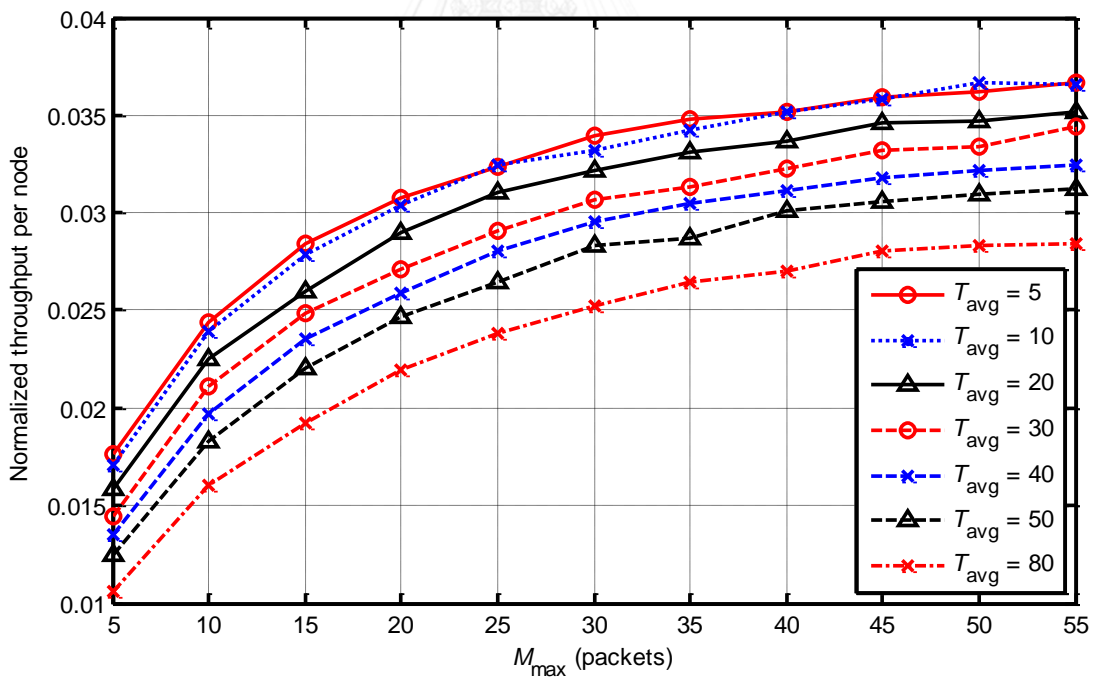
แต่ในทางกลับกัน ถ้าทำการกำหนดจำนวนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลสูงสุด M_{\max} ในแต่ละรอบที่มาก จะทำให้แต่ละโหนดในเครือข่ายครอบครองช่องสัญญาณนานมากขึ้น ทำให้โหนดอื่นไม่สามารถส่งข้อมูลหรือเป็นโหนดฐานได้เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล ส่งผลต่อความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของโหนดในเครือข่าย รวมทั้งถ้าหากกำหนดให้มีจำนวนรับแพ็กเก็ตข้อมูลสูงสุดที่มากเกินไป อาจจะทำให้โปรโตคอลไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากจะมีโหนดบางกลุ่มอาจจะถูกแจ้งให้ทำการหยุดส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันต่อเนื่องจากกลุ่มของโหนดที่ทำงานอยู่รอบข้าง ทำให้ไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปถึงยังปลายทางได้ จากการศึกษาพบว่าจำนวนการส่งแพ็กเก็ตสูงสุดที่เหมาะสมนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าประวิงเวลาสูงสุด ขนาดของแพ็กเก็ต และอัตราการส่งข้อมูล ดังนี้

$$M_{\max} \propto \left(\frac{1}{D_{\max}}, \frac{1}{\text{Packet Length}} \right) \quad (18)$$

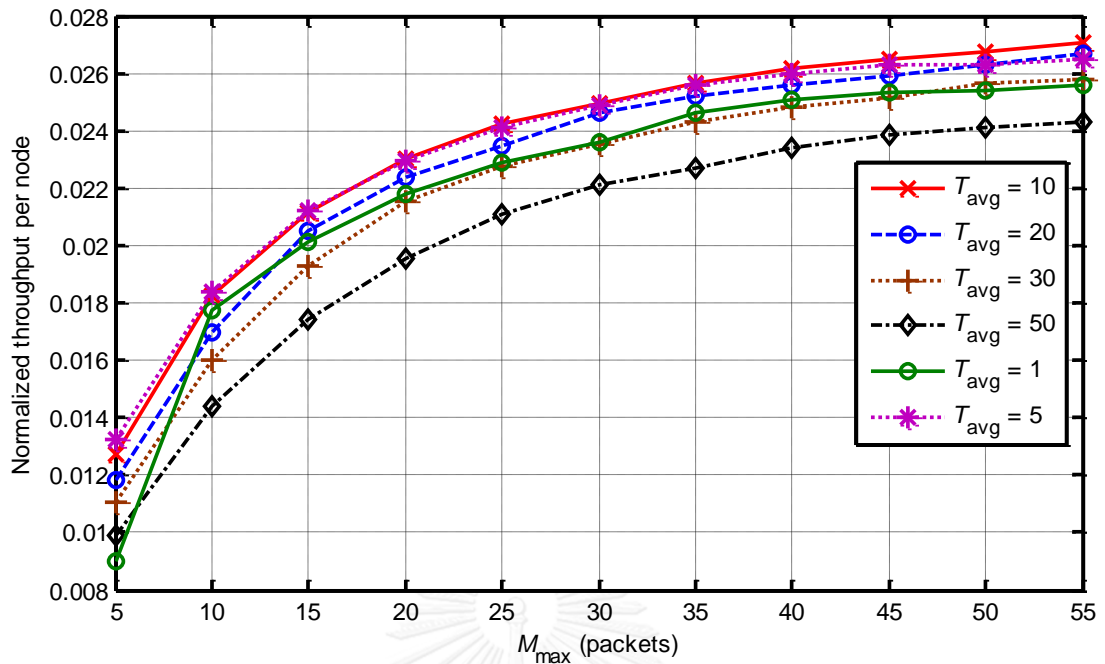
จากการศึกษาในทอพอโลยี 1-3 โดยทำการศึกษาที่สภาวะโหลดเต็มของแต่ละทอพอโลยี โดยให้มีขนาดของแพ็กเก็ตควบคุมต่าง ๆ ตามตารางที่ 5.2 ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลอยู่ที่ 2,400 บิต และระยะส่งสูงสุดอยู่ที่ 1,225 เมตร โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของการส่งแพ็กเก็ตควบคุม REV (T_{avg}) ด้วยแล้วทำการหาจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่รับส่งได้สูงสุดแต่ละรอบและ T_{avg} ที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถและค่าประวิงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล



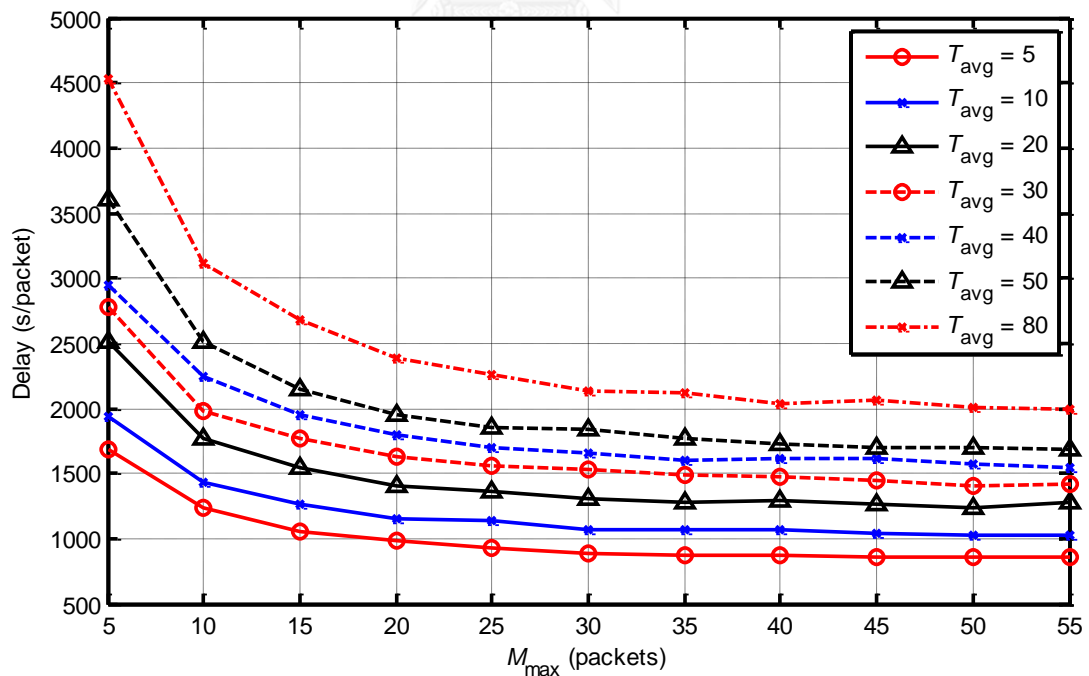
รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 ที่ค่าไหลต่อโนดเต็ม (0.1336)



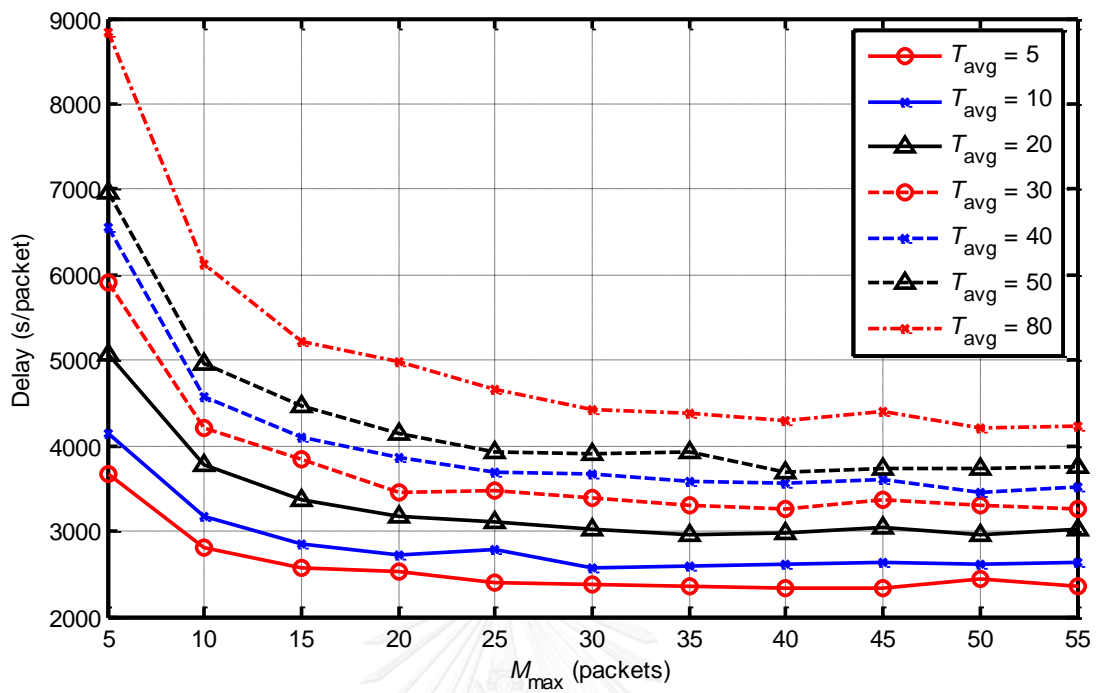
รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 ที่ค่าไหลต่อโนดเต็ม (0.1)



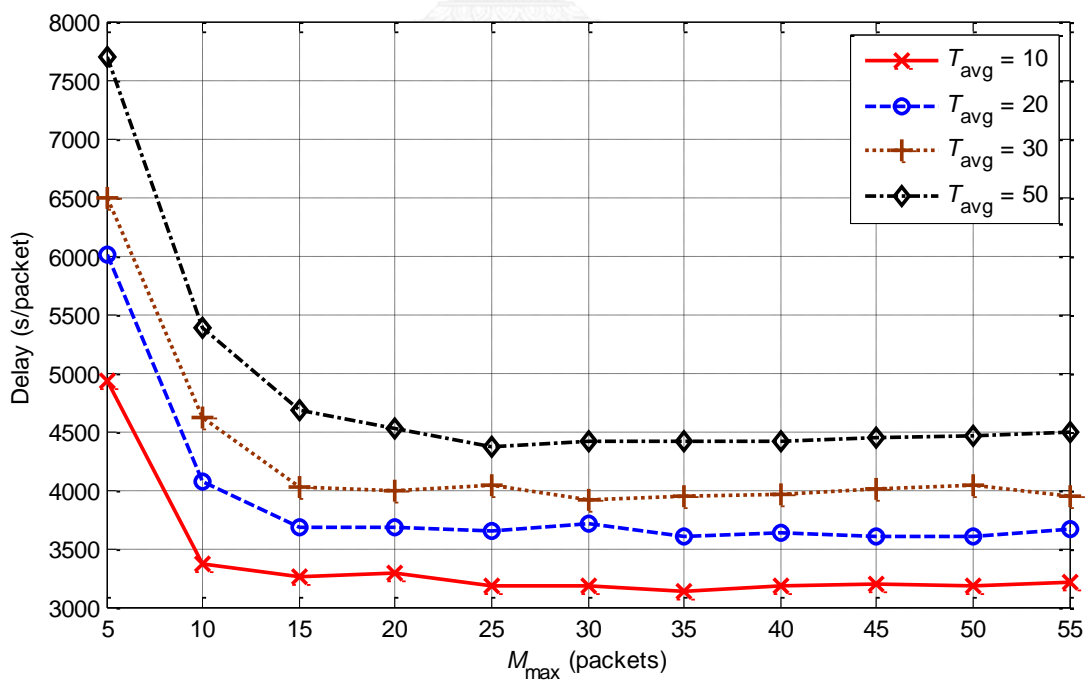
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อโนดเต็ม (0.0669)



รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 1 ที่ค่าโหลดต่อโนดเต็ม (0.1336)



รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 2 ที่ค่าโหลดต่อโนดเต็ม (0.1)



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบค่าประวิงเวลากับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อโนดเต็ม (0.0669)

5.2.1 ผลของวิสัยสามารถ

จากรูปที่ 5.10-5.12 พบว่าการเพิ่ม T_{avg} นั้น จะทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลลดลง โดยไม่ขึ้นกับทอพอโลยี เนื่องด้วยในรูปแบบของการเริ่มต้นด้วยภาครับ (receiver-initiate) นั้น โหนดจะสามารถส่งข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อมีโหนดต้องการจะทำการรับข้อมูลก่อน ในการเพิ่มความห่างของระยะเวลาในการเริ่มตัดสินใจเป็นโนดฐาน ทำให้โหนดในเครือข่ายต้องรอนานมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีอยู่ออกไปได้ แต่ในทางกลับการถ้าค่า T_{avg} ที่กำหนดมีขนาดน้อยเกินไปก็ส่งผลจะทำให้ค่าวิสัยสามารถมีค่าลดลง เพราะแต่ละโหนดพยายามแย่งกันที่จะเป็นโนดฐานทำให้จำนวนโหนดที่จะเป็นโนดลูกข่ายเพื่อทำการส่งข้อมูลลดลง รวมถึงจะทำให้ช่องสัญญาณถูกใช้เป็นการจองช่องสัญญาณโดยเฉลี่ยในระบบเพิ่มขึ้น และทำให้ใช้พลังงานมากขึ้นด้วยเพราะโหนดจะมีการส่งแพ็กเก็ตเพื่อแสดงความต้องการที่จะรับข้อมูลจากโหนดรอบข้างมากขึ้น

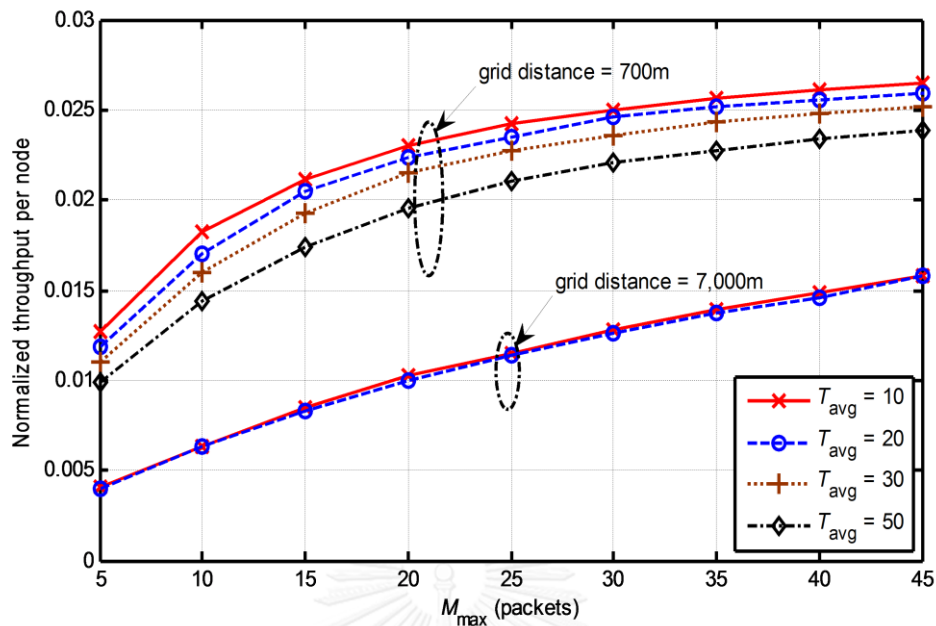
ขนาดของ M_{max} นั้นเมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของเครือข่ายที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการมีเส้นทางและโหนดที่ติดต่อได้น้อย เพราะในการทำการติดต่อแต่ละครั้ง ระบบจะมีการสูญเสียเวลาในช่วงเริ่มต้นเพื่อทำการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุม ถ้ามีการอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีจำนวนน้อยเกินไปจะทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการทำการติดต่อแต่ละครั้ง โดยเฉพาะช่วงที่มีโหนดมากที่แต่ละโหนดมีข้อมูลที่ต้องการจะส่ง และเมื่อมีเส้นทางในการติดต่อสื่อสารและจำนวนโหนดที่ทำการติดต่อที่ลดลงในขณะที่มีขนาดโหนดเท่าเดิมทำให้มีจำนวนกลุ่มที่สามารถติดต่อพร้อมกันในเครือข่ายได้มากขึ้น เป็นผลทำให้ค่าวิสัยสามารถที่เพิ่มขึ้นได้

5.2.2 ผลของค่าประวิงเวลา

จากรูปที่ 5.13-5.15 การที่แต่ละโหนดมีจำนวนโหนดที่ติดต่อได้น้อยจะทำให้มีการรบกวนโหนดรอบข้างน้อยลง ภายในเครือข่ายจึงมีจำนวนโหนดที่ทำการจับกลุ่มได้เพิ่มขึ้น ทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลสามารถส่งออกได้เร็วกว่าในเครือข่ายที่แต่ละโหนดสามารถติดต่อกับโหนดรอบข้างได้มากกว่า

เมื่อกำหนดให้ T_{avg} ที่น้อยจะทำให้ค่าประวิงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลทำการส่งมีค่าลดลง โดยค่าประวิงเวลาจะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อมีจำนวนเส้นทางการส่งข้อมูลและจำนวนโหนดที่แต่ละโหนดสามารถการติดต่อได้ลดลง โดยการกำหนดค่า T_{avg} นั้นไม่ขึ้นกับทอพอโลยีแต่ในการกำหนดค่าที่น้อยเกินไปจะทำให้ในระบบมีการส่งแพ็กเก็ต REV เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะช่วงที่มีโหนดต่ำ

ในการกำหนดขนาดของ M_{max} ที่น้อยเกินไปจะทำให้ค่าประวิงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องด้วยผลกระทบจากการใช้เวลาในการจองช่องสัญญาณ โดยเมื่อกำหนดให้ M_{max} มีขนาดที่เพิ่มขึ้นค่าประวิงเวลาจะลดลงจนคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เพราะแต่ละโหนดทำการจองช่องสัญญาณที่นานมากขึ้น เป็นผลทำให้โหนดรอบข้างจะต้องทำการหยุดส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของ



รูปที่ 5.16 ค่าวิสัยสามารถกับ M_{max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ระยะ 700 เมตร และ 7,000 เมตร ที่ค่าโหลดต่อโหนดเต็ม (0.0669) แพ็กเก็ตเมื่อดูจากค่าประวิงเวลานั้น พบว่าควรจะเลือกขนาดของ M_{max} ที่มากกว่า 20 ขึ้นไป ที่ระยะส่งของแต่ละโหนดมีขนาด 1,225 เมตร

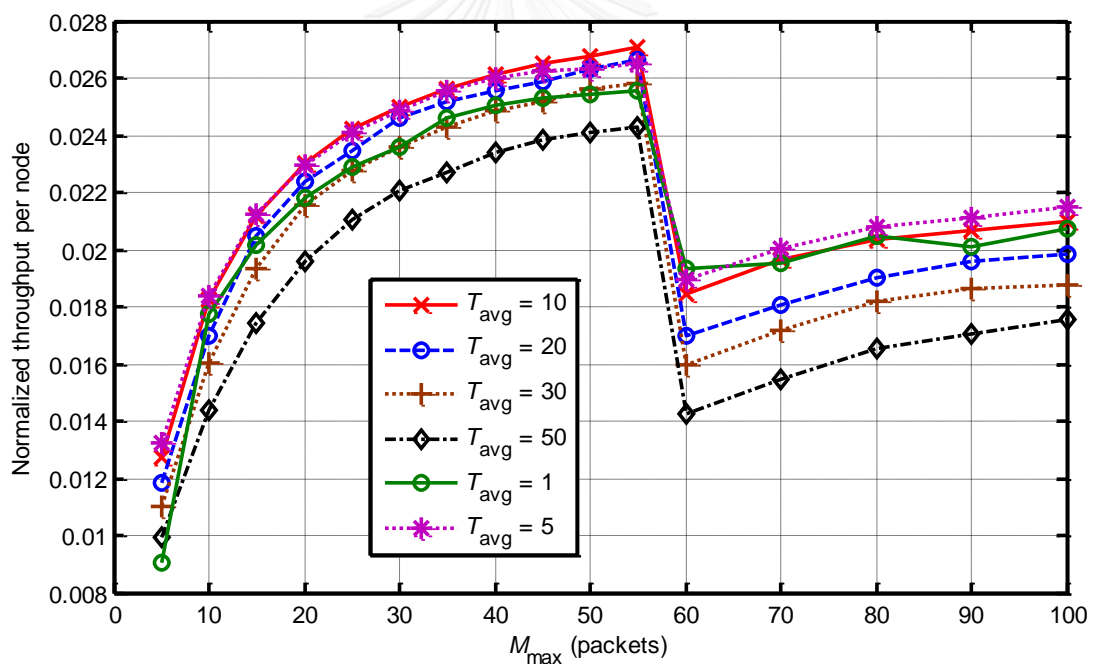
5.2.3. ผลของการเพิ่มระยะห่างของโหนด

จาก Error! Reference source not found. ในทอพอโลยีรูปแบบที่ 3 แต่ละโหนดในกริดจะมีระยะห่างของกริดอยู่ที่ 700 เมตรและ 7,000 เมตร ทำการเปลี่ยนค่า T_{avg} และ M_{max} เพื่อเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถ พบว่าเมื่อโหนดมีระยะห่างเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีค่าประวิงเวลาที่สัญญาณเดินทางถึงที่นานมากขึ้น ทำให้ในการติดต่อของแต่ละโหนดจำเป็นต้องใช้เวลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของ T_{avg} และ M_{max} นั้นก็ยังให้ผลเช่นเดียวกัน ทั้งระยะ 700 เมตร และ 7,000 เมตร คือการกำหนด T_{avg} ที่มากเกินไปและ M_{max} จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

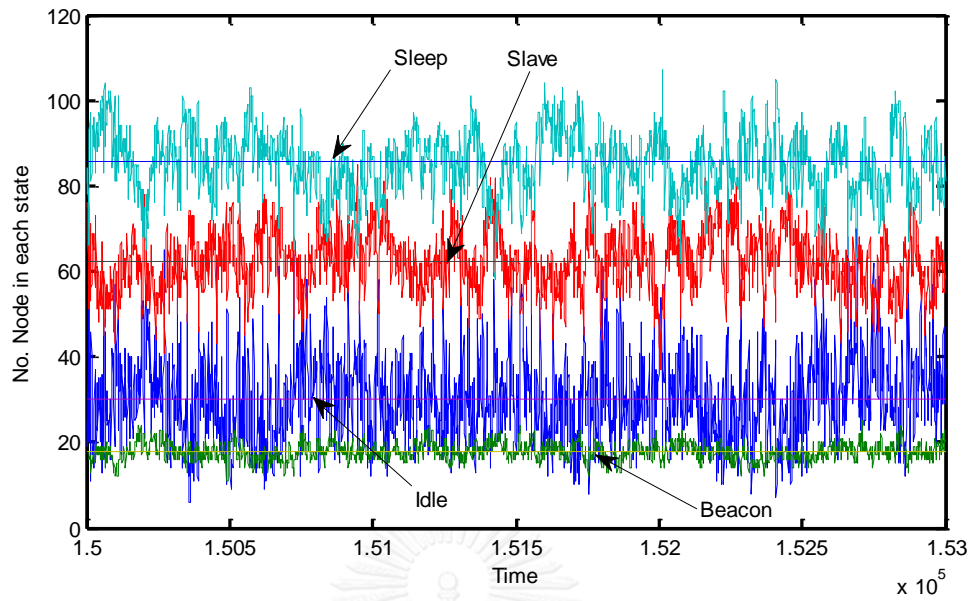
5.2.4. ผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของจำนวนการรับข้อมูลที่มากเกินไป

จากในหัวข้อที่ 5.2.2 การเพิ่มจำนวนรับข้อมูลสูงสุดใน 1 รอบ (M_{max}) จะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยไม่เกี่ยวข้องกับจำนวนโหนดรอบข้างและจำนวนเส้นทางที่ทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล โดยการเพิ่มขึ้นของ M_{max} จะทำให้โหนดฐานมีทางเลือกที่จะรับจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่มากขึ้น

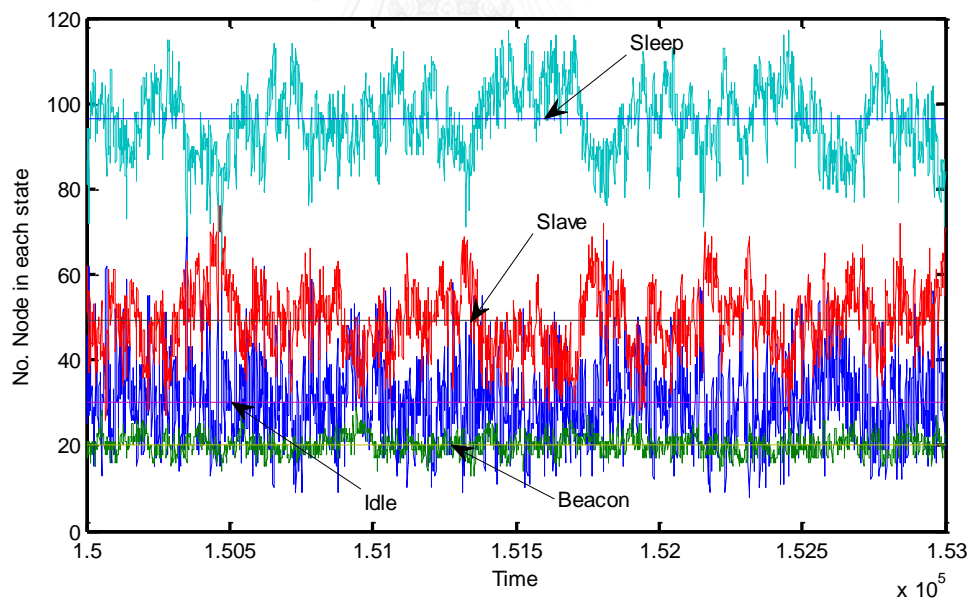
จากแต่นโหนดลูกข่ายในแต่ละรอบการจับมือ โหนดในเครือข่ายจึงสามารถใช้ช่องสัญญาณได้คุ้มค่ามากขึ้น แต่ทั้งนี้จากการศึกษาเพิ่มเติม เมื่อทำการกำหนดขนาด M_{\max} ที่มากเกินไปจะทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลงไปดังที่แสดงในรูปที่ 5.17 เนื่องจากโหนดมีการครอบครองช่องสัญญาณที่นานมากเพื่อทำการรับ-ส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ส่งผลให้โหนดรอบข้างจำเป็นต้องหยุดการทำงานเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตเกิดเป็นเวลานานและอาจจะได้รับผลจากโหนดรอบข้างที่ทำการแจ้งเตือนให้หยุดทำงานอย่างต่อเนื่องจากการทำงานในการส่งแพ็กเก็ตของโหนดที่อยู่ต่างกลุ่มกัน ทำให้โหนดนั้นไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ ส่งผลทำให้ไม่สามารถรับหรือส่งแพ็กเก็ตข้อมูล จากรูปที่ 5.18 และรูปที่ 5.19 พบว่าเมื่อทำการกำหนดให้มีค่า M_{\max} ที่มากเกินไป จะทำให้มีโหนดที่อยู่ในสถานะหยุดทำงานเพิ่มขึ้นแต่มีจำนวนโหนดที่อยู่ในสถานะโหนดลูกข่ายลดลง ทำให้การส่งข้อมูลภายในเครือข่ายมีจำนวนลดลงส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย



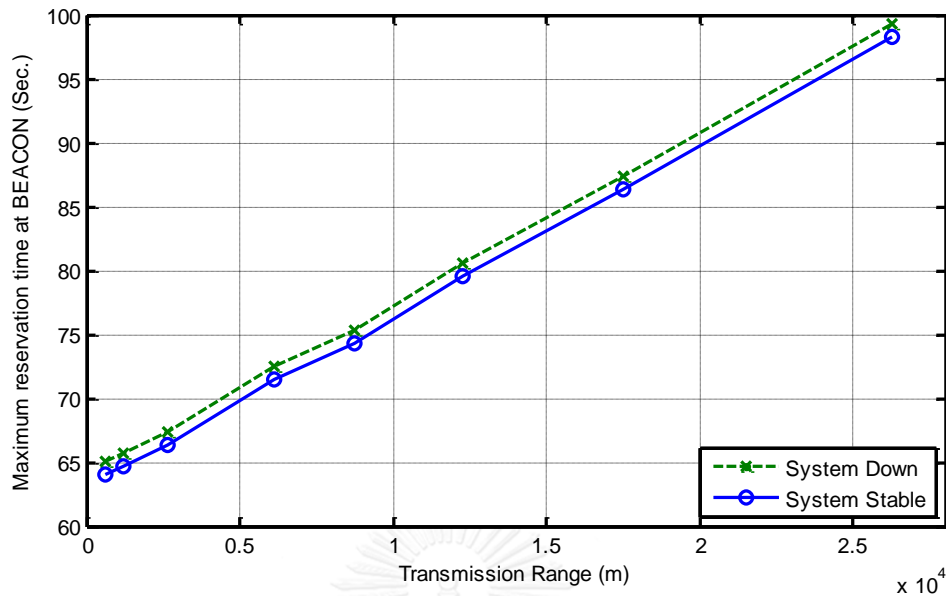
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถกับ M_{\max} ของ E-RIPT ในทอพอโลยีที่ 3 ที่ค่าโหลดต่อโหนดเต็ม (0.0669) ที่ M_{\max} ตั้งแต่ 5-100 แพ็กเก็ต



รูปที่ 5.18 จำนวนโนดในสถานะต่างๆ ช่วงเวลา 150,000-153,000 วินาที ของ E-RIPT ที่มี $M_{\max} = 55$



รูปที่ 5.19 จำนวนโนดในสถานะต่างๆ ช่วงเวลา 150,000-153,000 วินาที ของ E-RIPT ที่มี $M_{\max} = 60$



รูปที่ 5.20 เวลาในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากที่สุดของโหนดฐานเทียบกับระยะส่งสัญญาณ

จากการศึกษาเพิ่มเติมโดยการเปลี่ยนขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลและ M_{\max} เพื่อหาค่าความสัมพันธ์กันระหว่าง เวลาที่โหนดฐานสามารถทำการจองช่องสัญญาณที่มากที่สุดที่ทำให้โหนดในเครือข่ายยังทำงานปกติ และ ณ ตำแหน่งแรกที่ทำให้โหนดในเครือข่ายมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนไป เทียบกับระยะการส่งข้อมูลของโหนด โดยเวลาการเข้าใช้สัญญาณสูงสุดของโหนดฐาน T_{use} เป็นไปตามสมการที่ 19

$$T_{\text{use}} = T_{\text{REV}} + T_{\text{NTF1}} + 8 \times T_{\text{REV-ACK}} + T_{\text{ORDER}} + T_{\text{NTF2}} + 4D_{\max} + \frac{M \times (\text{Header} + \text{DATA}) \times 8}{2400} \quad (19)$$

จากรูปที่ 5.20 เมื่อทำการเพิ่มระยะส่งสัญญาณของโหนดในเครือข่าย จะทำให้เวลาที่โหนดฐานครองช่องสัญญาณสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็นแบบเชิงเส้น โดยที่ระยะหนึ่งๆ ถ้าทำการกำหนดขนาดของแพ็กเก็ตชนิดต่างๆ และจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งได้สูงสุดต่อรอบ M_{\max} ทำให้เวลา T_{use} ต่ำกว่าเส้น System Stable จะทำให้โหนดในเครือข่ายยังมีพฤติกรรมที่ปกติ โดยถ้าทำให้ T_{use} มีค่ามากกว่าเส้น System Down จะทำให้โหนดในระบบมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนไป ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกค่าให้มีค่าน้อยกว่าเส้น System Stable เพื่อให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพที่ดี

หมายเหตุ : ถึงแม้การเพิ่มระยะส่งสัญญาณจะทำให้โน้ตฐานสามารถมีเวลาในการครองช่องสัญญาณมากขึ้นก็ตาม แต่เวลาที่ใช้รับแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าน้อยลง เนื่องด้วยเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นจะมีค่าลดลงเพราะค่าประวิงเวลาในการสื่อสารโดยระยะการส่งข้อมูลของโน้ตเพิ่มขึ้น และในการจำลองผลวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แต่ละโน้ตไม่มีการส่งแพ็กเก็ต Broadcast ในสมการที่ 19 จึงไม่นำผลของแพ็กเก็ต BROADCAST มาร่วมด้วย



5.3 ผลการเปรียบเทียบโพรโทคอล ระหว่าง E-RIPT, RIPT และ MACA-U

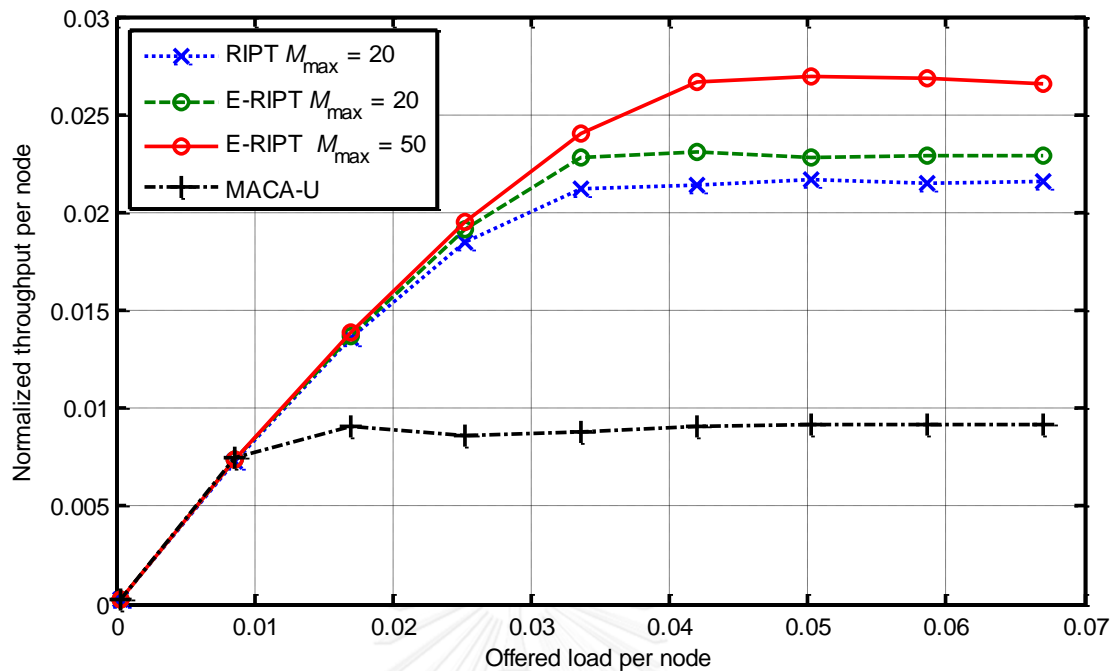
จากผลการทดลองที่ผ่านมา ทำให้สามารถเลือกค่าที่ดีที่สุดของ E-RIPT คือ $M_{\max} = 20$ และ 50 ที่ $T_{\text{avg}} = 10$ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ RIPT ที่มีขนาดของ $M_{\max} = 20$, $T_{\text{avg}} = 10$ โดยค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้เป็นตามตารางที่ 5.4 และใช้รูปทอพอโลยีแบบที่ 3 ตามรูปที่ 5.3 ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านต่าง ๆ ของโพรโทคอลและให้ค่าของทอพอโลยีที่เกี่ยวข้อง เป็นไปตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ของทอพอโลยีเพื่อใช้เปรียบเทียบ MACA-U, RIPT และ E-RIPT

รูปแบบเครือข่าย	ตามรูปที่ 7
ความเร็วเสียง	1500 เมตรต่อวินาที
ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล (Packetsize)	2400 บิต
อัตราการส่งข้อมูล (Datarate)	2400 บิตต่อวินาที
ระยะห่างของกริด (Grid distance)	700 เมตร
การวางโนด	-10% to +10% จากจุดตัดของกริด
ระยะส่งสูงสุดของโนด	1225 เมตร
เวลาทำการจำลอง	1,000,000 วินาที (ตัดออก 20% แรกของเวลา)

ตารางที่ 5.4 กำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละโปรโตคอล

ค่าพารามิเตอร์ของ E-RIPT	
จำนวนช่องสัญญาณการจอง S_{all}	8 ช่อง
จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลส่งสูงสุดต่อรอบ M_{max}	20 แพ็กเก็ต/ 50 แพ็กเก็ต
T_{avg}	10 วินาที
ชนิดของแพ็กเก็ต	ขนาดของแพ็กเก็ต (บิต)
ส่วนหัวของแพ็กเก็ตข้อมูล (Header)	80
REV (RTR)	48
REV-ACK (SIZE)	72
NTF1	56
NTF2	56
ORDER	184
ค่าพารามิเตอร์ของ RIPT	
จำนวนข้อมูลส่งสูงสุดต่อรอบ M_{max}	20 แพ็กเก็ต
T_{avg}	10 วินาที
ชนิดแพ็กเก็ต	ขนาดของแพ็กเก็ต (บิต)
ส่วนหัวของแพ็กเก็ตข้อมูล	80
RTR	40
SIZE	56
ORDER	184
ค่าพารามิเตอร์ของ MACA-U	
B_{min}/B_{max}	1/64
ชนิดแพ็กเก็ต	ขนาดของแพ็กเก็ต (บิต)
ส่วนหัวของแพ็กเก็ตข้อมูล	80
RTS	24
CTS	24



รูปที่ 5.21 การเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT

5.3.1 ผลของค่าวิสัยสามารถ

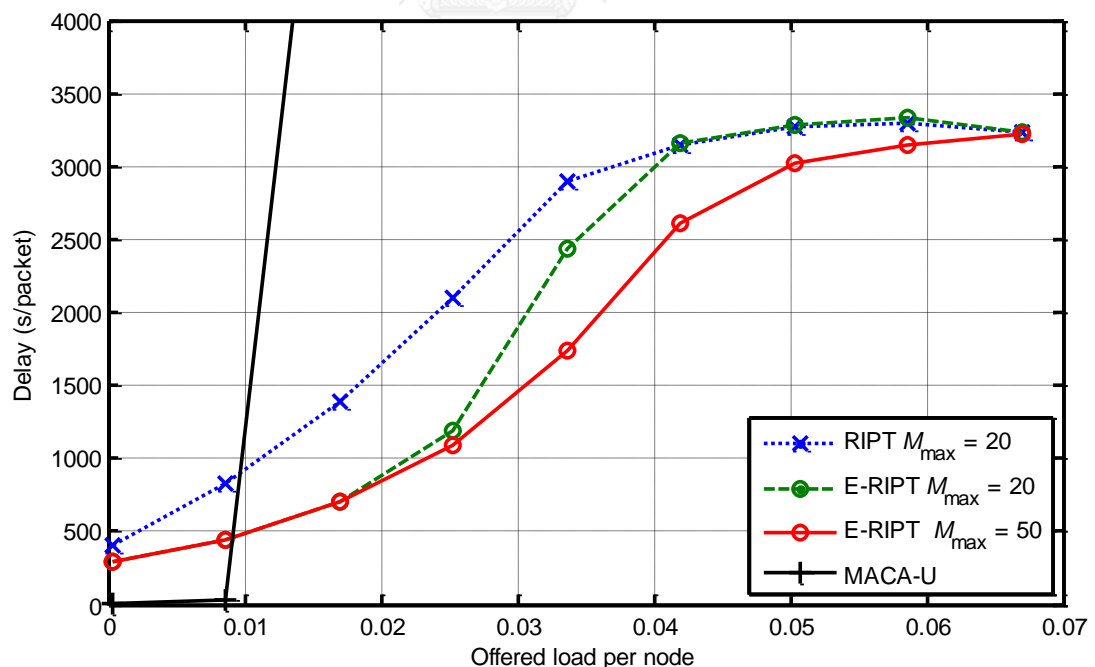
จากรูปที่ 5.21 จะเห็นได้ว่าทุกโพรโทคอลจะเข้าสู่ภาวะเสถียรเมื่อมีโหลดมากกว่า 0.34 หรือช่องสัญญาณนั้นอิ่มตัว เมื่อโหลดมีค่าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของ E-RIPT จะดีกว่าทั้ง MACA-U และ RIPT

MACA-U มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดเมื่อโหลดต่อโหนดในระบบมีค่ามากกว่า 0.01 เมื่อเทียบ RIPT และ E-RIPT เนื่องจาก MACA-U นั้นทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเพียง 1 แพ็กเก็ต ต่อการเชื่อมต่อกันของโหนด 1 รอบ ทำให้ประสิทธิภาพลดลง เนื่องด้วยการใช้ประโยชน์น้อยเกินไป (under-utilization) ของช่องสัญญาณอันมีผลเนื่องมาจากการประวิงเวลาที่ยาวในช่องสัญญาณเสียงได้น้ำ ทำให้มีผลกระทบจากสูญเสียเวลาไปกับการจองช่องสัญญาณก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล โดยโพรโทคอล RIPT นั้นให้ผลดีกว่า MACA-U เนื่องด้วย RIPT นั้นสามารถรับส่งข้อมูลได้มากกว่า 1 แพ็กเก็ตต่อการติดต่อ 1 รอบ ทำให้ลดผลกระทบจากเวลาที่ใช้ไปในการจองช่องสัญญาณได้ แต่จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่รับส่งได้ในแต่ละรอบนั้น จะถูกปรับโดยการคาดการณ์จากจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาในรอบก่อนหน้าซึ่งอาจจะไม่ตรงกับความต้องการในรอบปัจจุบัน ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลงเนื่องจากการจองขนาดของช่องสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ต่างกับ E-RIPT ที่จะทำการจองช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลหลังจากทราบความต้องการจากโหนดรอบข้างทั้งหมดทำให้สามารถจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมมากกว่า RIPT จึงลดการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์จากการช่องสัญญาณที่มากเกินไปและ

ลดการสูญเสียโอกาสการส่งข้อมูลเนื่องจากการจองช่องสัญญาณที่น้อยเกินไป จึงทำให้ E-RIPT มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ MACA-U และ RIPT

สิ่งที่ E-RIPT ต่างกับ RIPT อีกอย่างหนึ่งคือ ในกรณีที่โหนดไม่ได้ทำการส่งข้อมูลควบคุมตอบกลับมาในเวลาที่กำหนด E-RIPT จะทำการยกเลิกรอบการทำงานกับกลุ่มนั้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสการใช้งานช่องสัญญาณให้กับแต่ละโหนด ต่างจาก RIPT ที่จะต้องรอจนจบรอบการทำงานถึงแม้จะไม่ได้รับการแจ้งบอกจำนวนข้อมูลที่จะส่งจากโหนดฐานโดยแพ็กเก็ต ORDER ซึ่งเป็นการสูญเสียเวลาการใช้งานช่องสัญญาณไปโดยเปล่าประโยชน์ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

เมื่อทำการเปรียบเทียบ E-RIPT ด้วยกัน ที่อนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้สูงสุดที่ 20 และ 50 แพ็กเก็ตต่อรอบการทำงานการจับมือ จะพบว่าที่การอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้สูงสุด 50 แพ็กเก็ตจะให้ประสิทธิภาพดีกว่า เพราะเนื่องด้วย E-RIPT นั้น จะประกาศจำนวนข้อมูลที่จะส่งในแต่ละรอบหลังจากทำการรับทราบจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งจากโหนดรอบข้างแล้ว ทำให้การอนุญาตให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้มากกว่านั้นจะมีทางเลือกของจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะรับได้ในแต่ละรอบที่เหมาะสมมากกว่าการอนุญาตให้ส่งข้อมูลได้น้อยกว่า ทำให้ในช่วงที่มีโหลดที่มากขึ้นการอนุญาตให้ส่งข้อมูลได้สูงสุด 50 แพ็กเก็ตต่อรอบ จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้สูงสุดเพียง 20 แพ็กเก็ต



รูปที่ 5.22 การเปรียบเทียบค่าประวิงเวลาแพ็กเก็ตข้อมูลของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT

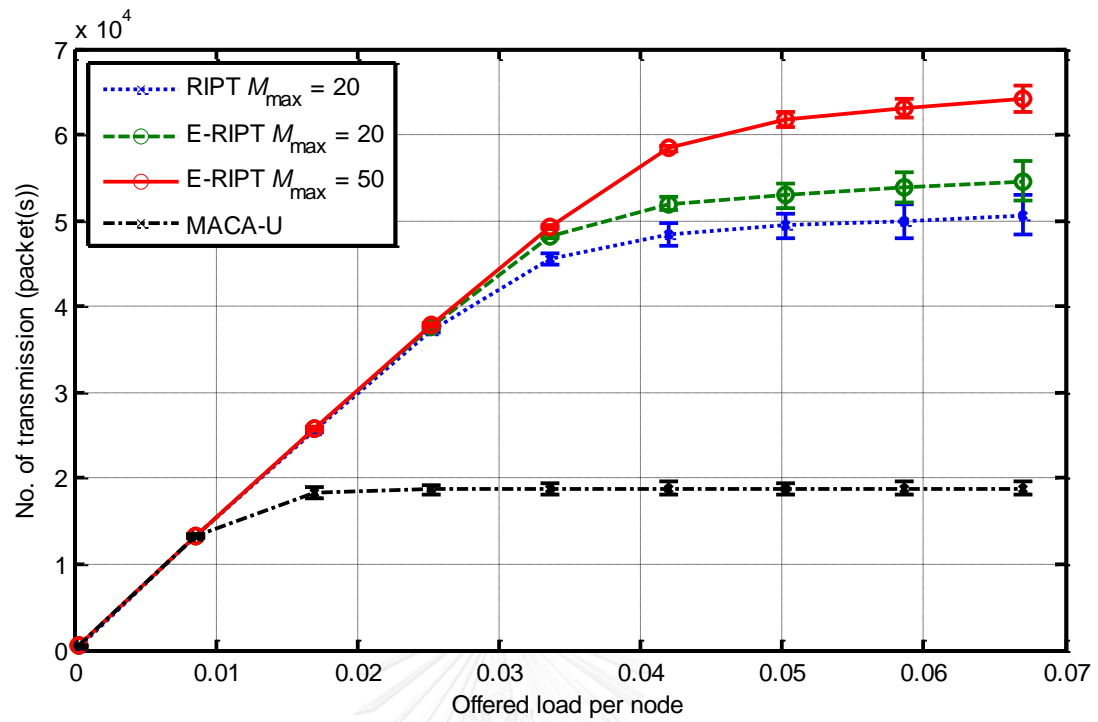
5.3.2 ผลของค่าประวิงเวลา

ในการคำนวณผลของค่าประวิงเวลานั้น จะทำการเก็บผลจากแพ็กเก็ตข้อมูลที่สำเร็จส่งถึงปลายทางเท่านั้น โดยจะทำการวัดเวลาตั้งแต่เริ่มสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลจนกระทั่งถึงปลายทางโดยเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการส่งแต่ละแพ็กเก็ตข้อมูล

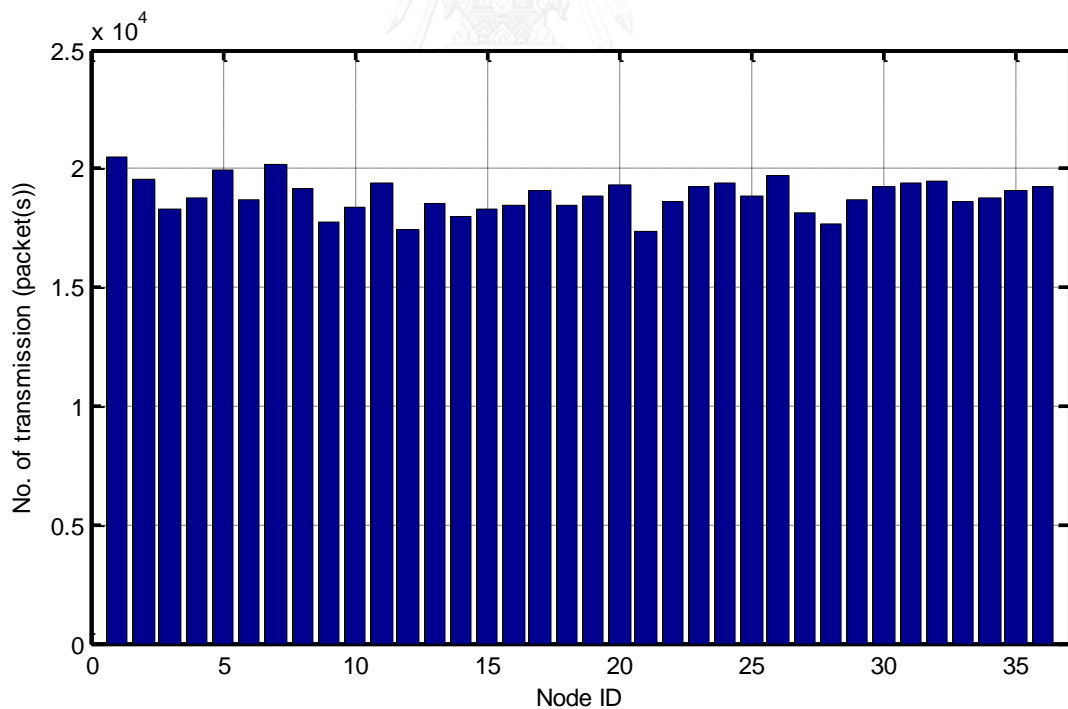
จากรูปที่ 5.22 จะเห็นได้ว่าที่โหลดต่ำ (<0.01) MACA-U จะมีค่าประวิงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่น้อยที่สุด เนื่องด้วย MACA-U เป็นลักษณะการติดต่อแบบ 3 ทางจะมีการสูญเสียทางเวลาในช่วงแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุมน้อยกว่า RIPT และ E-RIPT ซึ่งเป็นการติดต่อแบบ 4 ทาง แต่หลังจากที่โหลดมีค่ามากขึ้น RIPT และ E-RIPT นั้นสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า 1 แพ็กเก็ตต่อการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตควบคุม 1 ครั้ง แตกต่างจาก MACA-U ซึ่งส่งได้ทีละ 1 แพ็กเก็ต ทำให้ข้อมูลที่ส่งด้วย RIPT และ E-RIPT มีผลกระทบจากค่าประวิงเวลาจากการจองช่องสัญญาณน้อยกว่า MACA-U

การรับข้อมูลจากโหนดรอบข้างก่อนการประกาศจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่อนุญาตให้ส่งทั้งหมดของ E-RIPT นั้น ส่งผลทำให้มีค่าประวิงเวลาน้อยกว่า RIPT ดังเช่นที่กล่าวมาในผลของค่าวิสัยสามารถรวมทั้งในกรณีของ E-RIPT ที่มี $M_{\max} = 50$ ก็ให้ผลของค่าประวิงเวลาที่ต่ำกว่า $M_{\max} = 20$ เพราะที่ $M_{\max} = 50$ สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้เหมาะสมกว่า และสามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้มากกว่าต่อรอบการจับกลุ่มเมื่อมีโหลดที่มากขึ้น

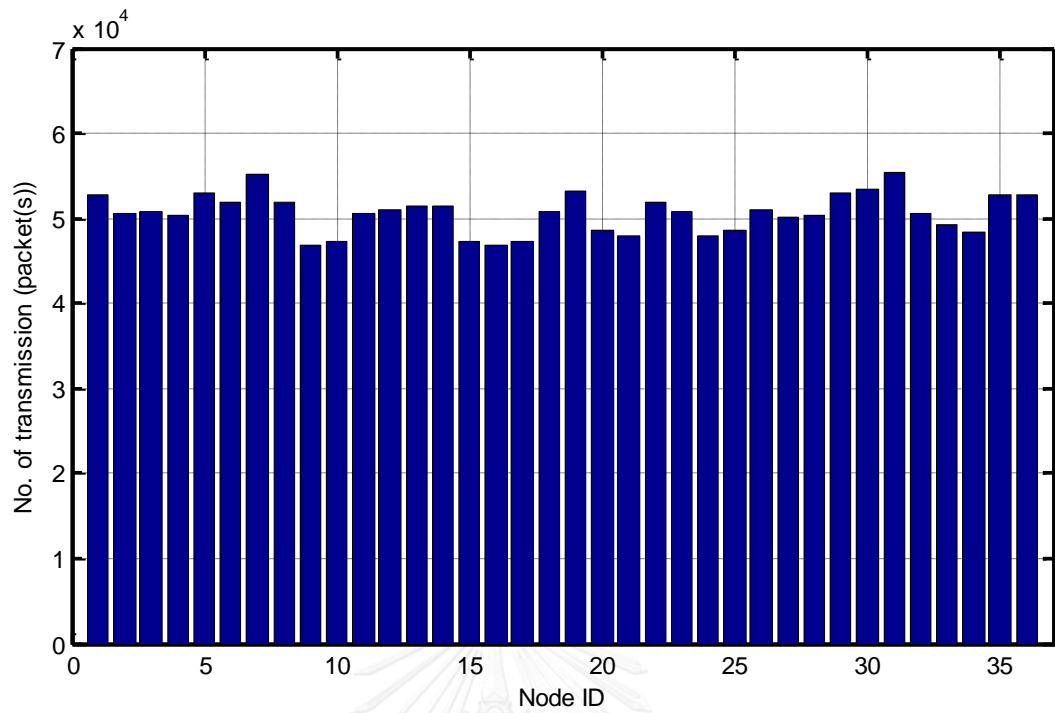
ในช่วงระบบอิ่มตัว จะพบว่า ค่าประวิงเวลาของ RIPT และ E-RIPT ที่มี $M_{\max} = 20$ จะมีค่าเข้าใกล้กันมากขึ้น เนื่องด้วยแต่ละโหนดนั้นมีข้อมูลที่จะส่งออกไป ทำให้ในการจับมือแต่ละรอบทั้ง RIPT และ E-RIPT มีการเลือกรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าสูงสุดตามที่ได้กำหนด



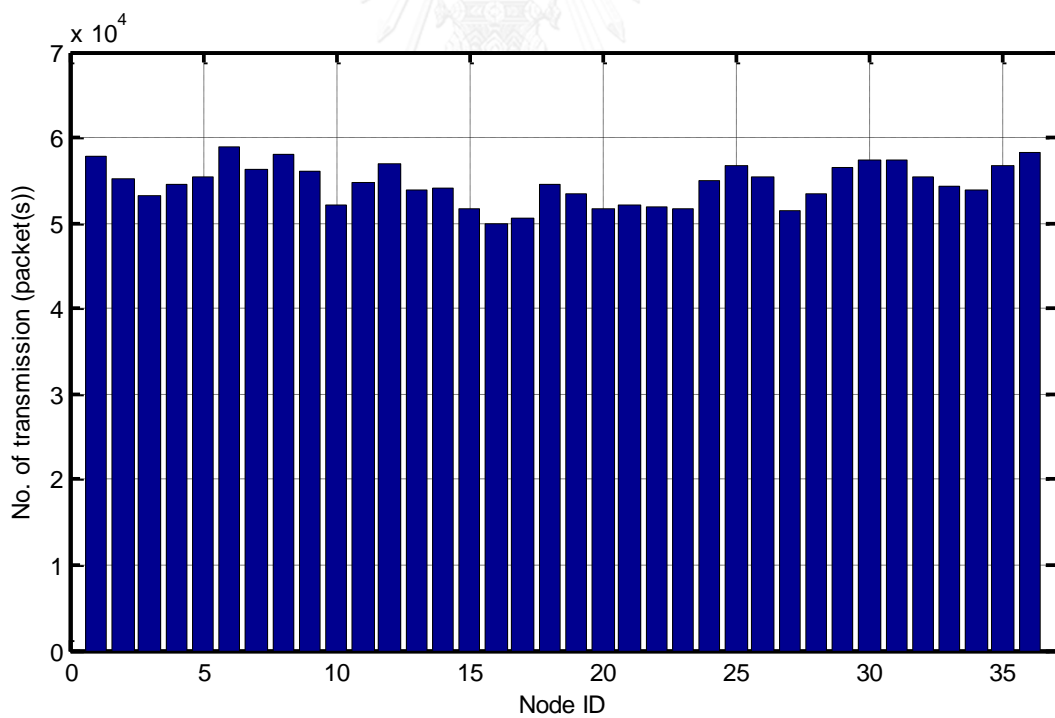
รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบจำนวนแพ็คเกจข้อมูลที่ถูส่งออกของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT



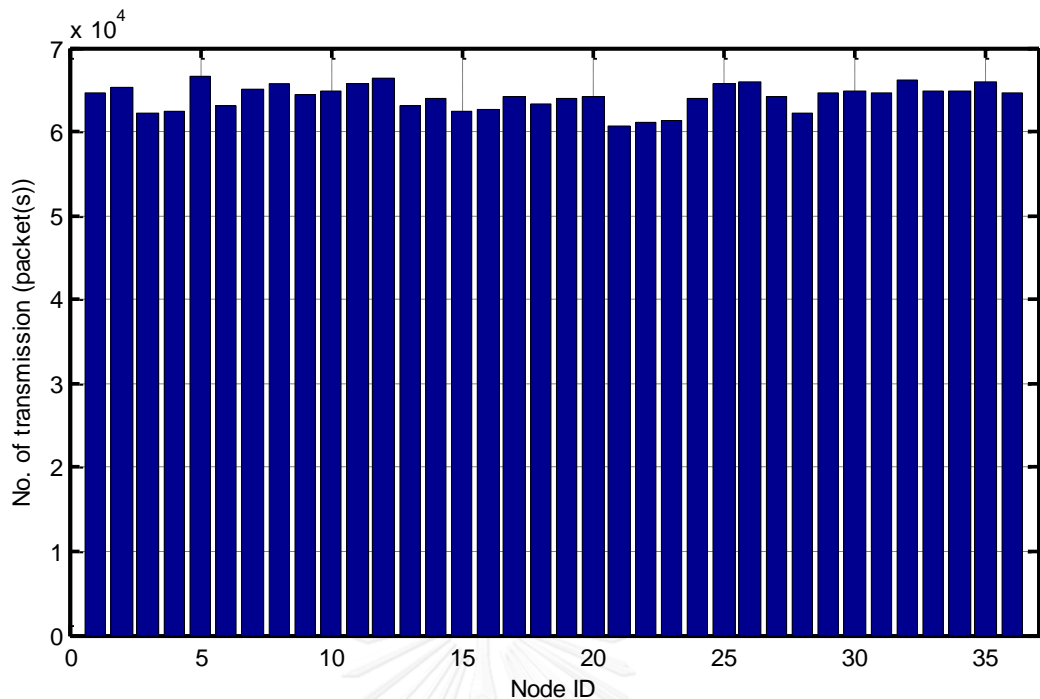
รูปที่ 5.24 จำนวนแพ็คเกจข้อมูลที่ถูส่งออกจากแต่ละโนดโดย MACA-U ที่โหลดต่อโนด = 0.0669



รูปที่ 5.25 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกจากแต่ละโหนดโดย RIPT ที่ไหลต่อโหนด = 0.0669



รูปที่ 5.26 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกจากแต่ละโหนดโดย E-RIPT $M_{\max} = 20$ ที่ไหลต่อโหนด = 0.0669



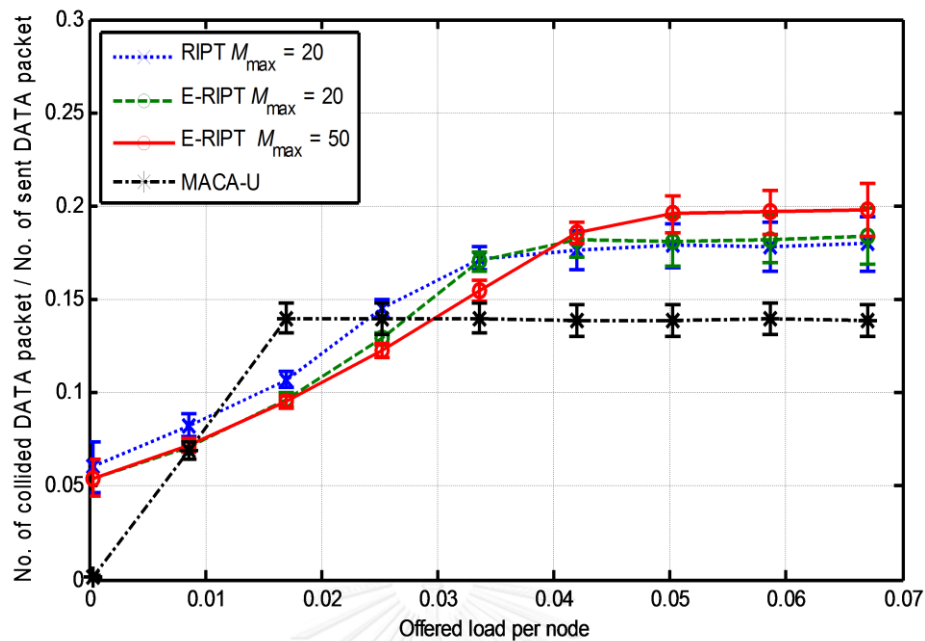
รูปที่ 5.27 จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกจากแต่ละโหนดโดย E-RIPT $M_{\max} = 50$ โหลดต่อโหนด = 0.0669

5.3.3. ผลของค่าความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ

ในการผลการทดลองหาความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณนั้น จะทำการหาจากจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกจากแต่ละโหนด ทั้งแพ็กเก็ตข้อมูลชนิดส่งต่อและชนิดสร้างใหม่ เพื่อให้ทราบถึงจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งทั้งหมด

จากรูปที่ 5.24-5.27 พบว่า MACA-U นั้น มีความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากที่สุด โดยแต่ละโหนดมีจำนวนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลใกล้เคียงกัน เนื่องด้วยโหนดแต่ละโหนดนั้นจะไม่มีกรยึดครองช่องสัญญาณเป็นเวลานาน ต่างจาก RIPT และ E-RIPT แต่เมื่อโหลดของระบบเพิ่มขึ้น (> 0.01) MACA-U มีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลน้อยที่สุด เนื่องจาก MACA-U สามารถส่งข้อมูลได้เพียง 1 แพ็กเก็ตต่อการติดต่อกัน 1 รอบ ทำให้ได้รับผลจากค่าประวิงเวลาจากช่องสัญญาณที่มากกว่า RIPT และ E-RIPT ที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้หลายแพ็กเก็ตต่อการติดต่อกัน 1 รอบ

RIPT นั้นจะทำการยึดครองช่องสัญญาณตั้งแต่การประกาศแพ็กเก็ตแรก ซึ่งการกระทำเช่นนี้ทำให้อาจจะมีการจองช่องสัญญาณเกินความจำเป็น อันเป็นการลดโอกาสการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากโหนดรอบข้างส่งผลต่อความยุติธรรมในการเข้าใช้งานของโหนดต่างจาก E-RIPT ที่รับรู้ความต้องการจากโหนดรอบข้าง ก่อนทำการจองช่องสัญญาณเท่าที่จำเป็น จึงทำให้ E-RIPT มีความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากกว่า RIPT โดยเฉพาะถ้าทำการอนุญาตให้ E-RIPT มีการรับจำนวนแพ็กเก็ตที่มากขึ้น



รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดการชนกับจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งของ MACA-U, RIPT และ E-RIPT

ก็จะทำให้โหนดสามารถมีทางเลือกจำนวนแพ็กเก็ตที่จะรับได้มากขึ้น แต่ถ้ากำหนดให้โหนดทำการจองช่องสัญญาณนานเกินไป จะทำให้โหนดในเครือข่ายสูญเสียความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณได้

5.3.4. ผลของค่าความผิดพลาด

เนื่องจากการจำลองผลนี้จะมีการสูญเสียของแพ็กเก็ต จากการชนกันของแพ็กเก็ตเท่านั้น และแพ็กเก็ตข้อมูลจะไม่มีการส่งซ้ำในกรณีที่เกิดความผิดพลาด จึงสามารถวัดค่าความผิดพลาดจากจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งออกไปหักออกด้วยจำนวนแพ็กเก็ตที่รับได้ ทั้งข้อมูลชนิดส่งต่อและสร้างใหม่ เพื่อหาโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลต่อการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกไป 1 ครั้ง โดยการวัดจากจำนวนที่ไม่ได้รับหารด้วยจำนวนครั้งที่ถูกส่งออกไป

จากรูปที่ 5.28 จะเห็นได้ว่าที่โหลดต่ำ (< 0.01) นั้น MACA-U จะมีค่าความผิดพลาดในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลน้อยที่สุด เนื่องด้วยในช่วงโหลดต่ำนั้น RIPT และ E-RIPT ที่มีลักษณะการทำงานแบบเริ่มต้นโดยภาครับจะมีการสร้างแพ็กเก็ตเริ่มต้นที่มาก เพื่อจะพยายามรับข้อมูลจากโหนดรอบข้างที่ไม่มีข้อมูลที่ส่งมายังโหนดฐานเลย ทำให้ในช่องสัญญาณมีการใช้งานอยู่ตลอด ต่างจาก MACA-U ที่ทำงานแบบเริ่มต้นโดยภาคส่ง ที่จะเริ่มต้นส่งข้อมูลควบคุมเมื่อต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทางเท่านั้น ทำให้มีการใช้ช่องสัญญาณเฉพาะเท่าที่จำเป็นจึงทำให้มีโอกาสรบกวนจากช่องสัญญาณน้อยกว่า แต่เมื่อมีค่าโหลดเพิ่มขึ้น (0.01 - 0.03) จะมีการใช้ช่องสัญญาณมากขึ้น การสื่อสารที่ใช้โพรโทคอล

MACA-U นั้น จึงได้รับผลจากช่องสัญญาณซ้อนเร้นทำให้แพ็กเก็ตที่ส่งออกไปเกิดการชนกัน จึงทำให้มีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังได้รับผลกระทบจากค่าประวิงเวลาที่มาก จึงทำให้มีอัตราการส่งข้อมูลได้น้อยลง ต่างจาก RIPT และ E-RIPT ที่ทำการรับส่งข้อมูลมากกว่า 1 แพ็กเก็ตต่อรอบ

ก่อนช่วงที่มีโหลดเต็มระบบ (< 0.04) E-RIPT นั้น มีค่าความผิดพลาด น้อยกว่า RIPT เนื่องจาก E-RIPT มีการเตือนโนตรอบข้างที่ดีกว่า RIPT เพราะ E-RIPT ในขณะที่ทำการจองช่องสัญญาณ จะทำการเตือนโนตรอบข้างด้วยข้อมูลควบคุม 2 ตัว ทำให้มีความครอบคลุมมากกว่า RIPT ที่มีโอกาสที่โนตไม่มีทางที่จะได้รับการแจ้งเตือนเนื่องจากการชนกันจากการกำหนดเวลาส่งแพ็กเก็ต SIZE จากแต่ละโนตรวมทั้ง E-RIPT ในช่วงทำการจองช่องสัญญาณมีช่วงเวลารับฟังจากโนตรอบข้างก่อนการทำงาน ต่างจาก RIPT ที่จะพยายามจะทำการตอบกลับแพ็กเก็ต SIZE ตามที่ได้กำหนดเวลาไว้ให้เร็วที่สุด ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการชนกันของกันของกลุ่มเครือข่ายได้ง่ายมากกว่า ทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปมีโอกาสเกิดการชนกันได้ แต่เมื่อโหลดเริ่มมีค่ามาก (> 0.04) E-RIPT มีอัตราการใช้งานของช่องสัญญาณมากกว่า RIPT จึงทำให้มีโอกาสที่แพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกชนนั้นมากกว่า RIPT โดยเฉพาะการให้ E-RIPT มีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลต่อรอบที่มากจะทำให้มีการชนกันของแพ็กเก็ตได้ง่ายมากขึ้น

5.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีของเครือข่ายระหว่าง RIPT และ E-RIPT

การเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีในเครือข่ายการสื่อสารนั้น มีโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของจำนวนโนต การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของโนต ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของโพรโทคอลการสื่อสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ RIPT นั้น การที่ระบบจะทำการเพิ่มจำนวนโนตในระบบได้โดยรบกวนกับโนตอื่นให้น้อยที่สุดนั้น RIPT จะต้องมีช่องสัญญาณสำหรับเข้าใช้งาน (ส่งแพ็กเก็ตควบคุม SIZE) ไว้ก่อนล่วงหน้า หรือไม่ก็ต้องทำการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาของแต่ละโนตที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้โพรโทคอลสามารถทำงานได้ปกติ ต่างจาก E-RIPT ที่สามารถเพิ่มโนตเข้าไปได้ทันทีขอให้อัตราประวิงเวลา 1 ช่วงโนตรอบข้างโนตที่ใส่ลงไป แต่จะทำให้ประสิทธิภาพนั้นลดลงไป ถ้าทำการกำหนดจำนวนช่องการจองแบบสุ่มที่น้อยเกินไป ทั้งนี้ ระบบของ E-RIPT จะทำงานได้ดีที่สุดถ้ามีจำนวนช่องการจอง เท่ากับจำนวนโนต 1 ช่วงโนตรอบข้าง

ในกรณีที่ทำการเปลี่ยนตำแหน่งของโนตในเครือข่ายนั้น ในโพรโทคอล RIPT จำเป็นต้องทำการตรวจสอบเวลาของ 2 ช่วงโนตที่เกี่ยวข้อง เนื่องด้วยค่าประวิงเวลาระหว่างโนตนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปอาจจะทำให้ตารางเวลาการสื่อสารผิดเพี้ยนไปได้จนทำให้ระบบทำงานผิดปกติ หรือ

ต้องทำการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาใหม่ทั้งหมด ต่างกับโพรโทคอล E-RIPT ที่เพียงตรวจสอบค่าเวลาประวิงที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างโนด 1 ช่วงเท่านั้นก็สามารถติดต่อสื่อสารกับโนดเดิมได้ทันที

สรุปผล

E-RIPT นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านของค่าวิสัยสามารถ, ค่าประวิงเวลา ดีกว่า RIPT และ MACA-U เนื่องด้วย E-RIPT สามารถใช้ช่องสัญญาณได้คุ้มค่ากว่า แต่ทั้งนี้ในการใช้ E-RIPT นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนโนดรอบข้างที่ทำการติดต่อสื่อสารในเครือข่าย เพื่อที่จะทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณการจองที่เหมาะสม และจำนวนแพ็กเก็ตที่จะทำการรับ-ส่งต่อรอบ เพื่อให้ระบบยังมีความยุติธรรมในการเข้าใช้งานและสามารถทำงานได้อย่างปกติ โดยจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่จะรับส่งได้สูงสุดต่อรอบนั้น ขึ้นกับระยะส่งสูงสุดของโนดและเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต นอกจากนี้ E-RIPT สามารถทำงานได้ดีในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างรวดเร็วเพราะสามารถประเมินจำนวนข้อมูลที่ต้องการรับ-ส่งได้ ก่อนทำการจองช่องสัญญาณสำหรับใช้ส่งข้อมูล รวมทั้งสามารถมีการปรับเปลี่ยนระบบได้สะดวกกว่า RIPT โดย E-RIPT มีต้องการให้แต่ละโนดทราบถึงค่าประวิงเวลาระหว่างโนดรอบข้างเท่านั้น จึงโดยไม่จำเป็นต้องปรับค่าเวลาการส่งของโนดตัวอื่นในเครือข่าย

แนวทางการพัฒนาต่อ

จะสังเกตได้ว่า การทำงานแบบเริ่มต้นโดยภาครับจะมีปัญหาเรื่องของค่าประวิงเวลาที่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงโหลดที่มีค่าน้อย ซึ่งบางครั้ง โหนดก็ไม่มีข้อมูลที่ต้องการจะส่งมายังโนดรับข้อมูล ทำให้เกิดการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่สูญเปล่าได้โดยง่าย เพื่อที่จะลดปัญหาที่แต่ละโนดไม่มีข้อมูลที่จะส่งนั้น ควรเพิ่มวิธีการสื่อสารแบบเริ่มต้นด้วยภาคส่งเข้าไปร่วมด้วยเพื่อให้ทำงานในช่วงที่มีค่าโหลดน้อย และให้คงการทำงานแบบเริ่มต้นโดยภาครับในช่วงที่มีโหลดมาก จะทำให้โพรโทคอลสามารถทำงานในช่วงของโหลดต่างๆได้ดีขึ้น

การลดจำนวนโนดที่ถูกทำให้หยุดทำงานโดยไม่จำเป็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายโดยรวมได้ เพราะในโพรโทคอลประเภทเริ่มต้นด้วยภาครับนั้นจะทำให้มีโนดในเครือข่ายต้องหยุดส่งข้อมูลเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของโนดจำนวนมาก ซึ่งการทำให้โนดหยุดทำงานมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารลดลงได้ โดยเฉพาะโนดที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการสื่อสารในขณะนั้น

การให้โนดมีความจำของจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เหลือที่ต้องการส่งมายังโนดภาครับ และจำนวนกลุ่มที่ได้อนุญาตให้แต่ละโนดส่งแพ็กเก็ตมาก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจ ทั้งนี้เพื่อให้โนดในเครือข่ายมีความยุติธรรมในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ทั้งช่วงระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพในการสื่อสารของเครือข่ายให้ดีขึ้นได้

นอกจากนั้นแล้ว การศึกษาผลกระทบของการให้แต่ละโนดรับจำนวนข้อมูลก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพื่อที่จะสามารถกำหนดขนาดของจำนวนกลุ่มที่ให้โพรโทคอลสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการสื่อสาร



รายการอ้างอิง

1. Akyildiz, I.F., D. Pompili, and T. Melodia, *Underwater acoustic sensor networks: research challenges*. *Ad hoc networks*, 2005. **3**(3): p. 257-279.
2. Schill, F., U.R. Zimmer, and J. Trumpf. *Visible spectrum optical communication and distance sensing for underwater applications*. in *Proceedings of ACRA*. 2004.
3. Preisig, J., *Acoustic propagation considerations for underwater acoustic communications network development*. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2007. **11**(4): p. 2-10.
4. Dahl, P.H., *High-frequency forward scattering from the sea surface: The characteristic scales of time and angle spreading*. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, 2001. **26**(1): p. 141-151.
5. Heidemann, J., et al. *Research challenges and applications for underwater sensor networking*. in *Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE*. 2006. IEEE.
6. Stojanovic, M. *Underwater acoustic communications: Design considerations on the physical layer*. in *Wireless on Demand Network Systems and Services, 2008. WONS 2008. Fifth Annual Conference on*. 2008. IEEE.
7. Kilfoyle, D.B. and A.B. Baggeroer, *The state of the art in underwater acoustic telemetry*. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*, 2000. **25**(1): p. 4-27.
8. Akkaya, K. and M. Younis, *A survey on routing protocols for wireless sensor networks*. *Ad hoc networks*, 2005. **3**(3): p. 325-349.
9. Furlong, M.E., S.D. McPhail, and P. Stevenson. *A concept design for an ultra-long-range survey class AUV*. in *OCEANS 2007-Europe*. 2007. IEEE.
10. Freitag, L., et al. *The WHOI micro-modem: an acoustic communications and navigation system for multiple platforms*. in *OCEANS, 2005. Proceedings of MTS/IEEE*. 2005. IEEE.
11. Witt, M. and V. Turau, *Geographic routing in 3d*. 6. Fachgespräch Sensornetzwerke, 2007: p. 75.

12. Harris III, A.F., M. Stojanovic, and M. Zorzi. *When underwater acoustic nodes should sleep with one eye open: idle-time power management in underwater sensor networks*. in *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks*. 2006. ACM.
13. Pompili, D., T. Melodia, and I.F. Akyildiz, *A CDMA-based medium access control for underwater acoustic sensor networks*. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 2009. **8**(4): p. 1899-1909.
14. Morns, I., et al. *Protocols for sub-sea communication networks*. in *OCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition*. 2001. IEEE.
15. Guo, X., M.R. Frater, and M.J. Ryan. *A propagation-delay-tolerant collision avoidance protocol for underwater acoustic sensor networks*. in *OCEANS 2006-Asia Pacific*. 2007. IEEE.
16. Liao, W.-H. and C.-C. Huang, *SF-MAC: A spatially fair MAC protocol for underwater acoustic sensor networks*. *Sensors Journal, IEEE*, 2012. **12**(6): p. 1686-1694.
17. Hai-Heng, N., S. Wee-Seng, and M. Motani. *BiC-MAC: Bidirectional-Concurrent MAC protocol with packet bursting for underwater acoustic networks*. in *OCEANS 2010*. 2010.
18. Zhou, Z., et al., *Handling triple hidden terminal problems for multichannel MAC in long-delay underwater sensor networks*. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 2012. **11**(1): p. 139-154.
19. Cho, H.-J., et al. *Contention free MAC protocol based on priority in underwater acoustic communication*. in *OCEANS, 2011 IEEE-Spain*. 2011. IEEE.
20. Peng, Z., et al. *COPE-MAC: a Contention-based medium access control protocol with Parallel Reservation for underwater acoustic networks*. in *OCEANS 2010 IEEE-Sydney*. 2010. IEEE.
21. Fan, G., et al. *An improved CDMA-based MAC protocol for underwater acoustic wireless sensor networks*. in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on*. 2011. IEEE.

22. Chirdchoo, N., W.-s. Soh, and K. Chua, *RIPT: A receiver-initiated reservation-based protocol for underwater acoustic networks*. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, 2008. **26**(9): p. 1744-1753.





ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สภาพแวดล้อมการจำลอง (Simulation Environment)

ผลที่ได้แสดงอยู่บนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม NS3 โดยจะแสดงรายละเอียดเพื่อที่จะสามารถใช้โปรแกรมอื่นทำการจำลองแล้วได้ผลเช่นเดียวกันได้

ค่าประวิงเวลา : คงที่อยู่ที่อัตรา 1,500 เมตรต่อวินาที

ค่าความผิดพลาดในช่องสัญญาณ : ในที่นี้ สมมุติให้การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณไม่มีความผิดพลาด เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจพฤติกรรมของโพรโทคอลที่ทำการศึกษาและออกแบบ

ระยะช่องตาราง : เพื่อให้แต่ละโพรโทคอลมีระยะส่งที่เท่ากันที่ 1,225 เมตร ในแต่ละทอพอโลยีจึงมีการกำหนดระยะห่างต่างดังนี้

1021 เมตรสำหรับทอพอโลยีแบบที่ 1 ในรูปที่ 5.1

942 เมตรสำหรับทอพอโลยีแบบที่ 2 ในรูปที่ 5.2

700 และ 7000 เมตร สำหรับทอพอโลยีแบบที่ 3 ในรูปที่ 5.3

ขนาดของเครือข่าย และการวางตำแหน่งของโนด : โหนด 36 โหนดจะถูกวางในรูปแบบของพลวัตซึ่งจะถูกวางตามรูปแบบทอพอโลยีที่กำหนด (รูปที่ 5.1-5.3) โหนดแทนที่จะวางที่จุดตัดของตารางโดยตรง เพื่อให้มีคุณลักษณะแบบสุ่ม จะกำหนดให้โนดสามารถวางออกจากจุดตัดของตารางในทิศทางของแนวแกน x และแนวแกน y ได้สูงสุด 5% สำหรับทอพอโลยีแบบที่ 1 และ 10% สำหรับทอพอโลยีในรูปแบบที่ 2 และ 3

ระยะการสื่อสาร : 1.2 เท่าของระยะช่องตารางสำหรับทอพอโลยีแบบที่ 1

1.3 เท่าของระยะช่องตารางสำหรับทอพอโลยีแบบที่ 2

1.75 เท่าของระยะช่องตารางสำหรับทอพอโลยีแบบที่ 3

โมเด็ม : โมเด็มแบบกึ่งสองทางมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นออกไปรอบๆ ตัวสายอากาศ (Half-duplex omnidirectional modem) ที่มีอัตราการส่งข้อมูล 2400 บิตต่อวินาที

การสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล : การสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลจะสร้างโดยแบบปัวซองโดยให้อัตราการส่งไปยังโนดภาครับแต่ละตัวในแต่ละเส้นทางเท่ากัน โดยค่าเฉลี่ยการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดปลายทางของทอพอโลยีในรูปแบบที่ 1-3 มีค่าเท่ากับ $\lambda' / (36 \times 8)$, $\lambda' / (36 \times 12)$, $\lambda' / (36 \times 16)$ ตามลำดับ โดยไม่มีการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลใหม่ในกรณีบัฟเฟอร์เต็ม

ขนาดของแพ็กเก็ต : ตามตารางที่ 5.4

การจัดเส้นทาง (Routing) : ตามรูปที่ 5.1-5.3

ขนาดของบัฟเฟอร์ (Buffer) : มี 2 บัฟเฟอร์โดยมีขนาดของแต่ละบัฟเฟอร์เท่ากับ 100 แพ็กเก็ตเพื่อใช้เก็บแพ็กเก็ตข้อมูลใหม่และแพ็กเก็ตข้อมูลส่งต่อ แยกจากกัน

การส่งข้อมูลซ้ำ : ไม่มีการส่งข้อมูลซ้ำ

ขนาดของ t_{limit} : 10 วินาที

การรับแพ็กเก็ตเพื่อการส่งต่อ : ในกรณีที่บัฟเฟอร์สำหรับแพ็กเก็ตส่งต่อไม่เพียงพอที่จะรับแพ็กเก็ตใหม่ได้ จะทำการรับเท่าที่รับจำนวนแพ็กเก็ตโดยไม่เกินจำนวนที่รับได้เท่านั้น



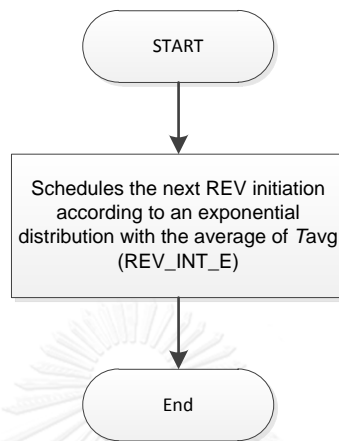


ภาคผนวก ข

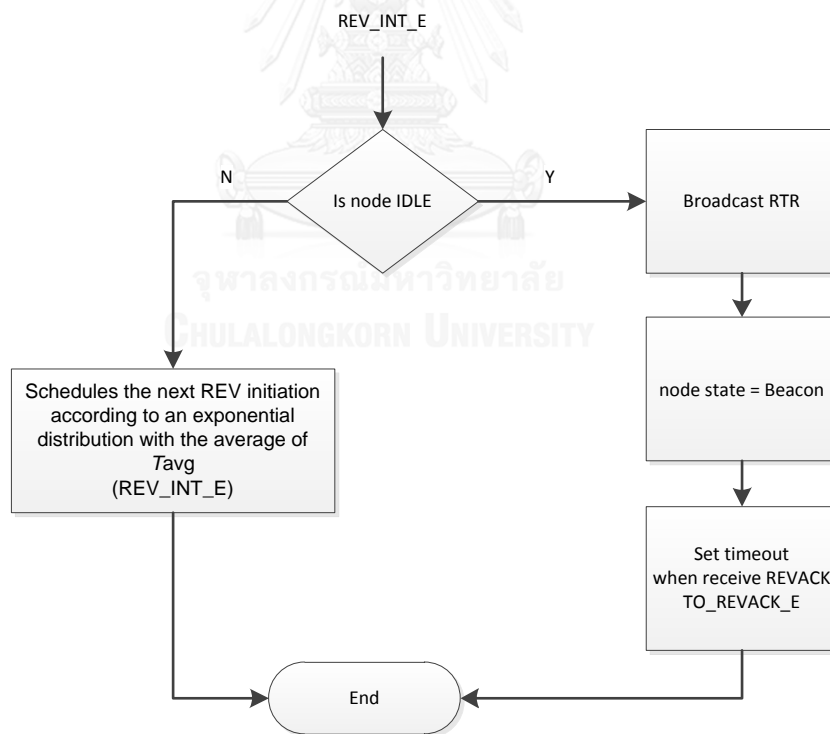
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปแบบของชุดโพรโทคอล (Protocol Stack)

ในส่วนนี้ โพรโทคอล E-RIPT จะถูกนำเสนอในรูปแบบของผังงาน (flow-chart) โดยจะอธิบายการที่โหนดจะตอบสนองเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่างๆ โดยสัญญาณที่ใช้ในผังงานจะสรุปอยู่ในตารางที่ 1ข.



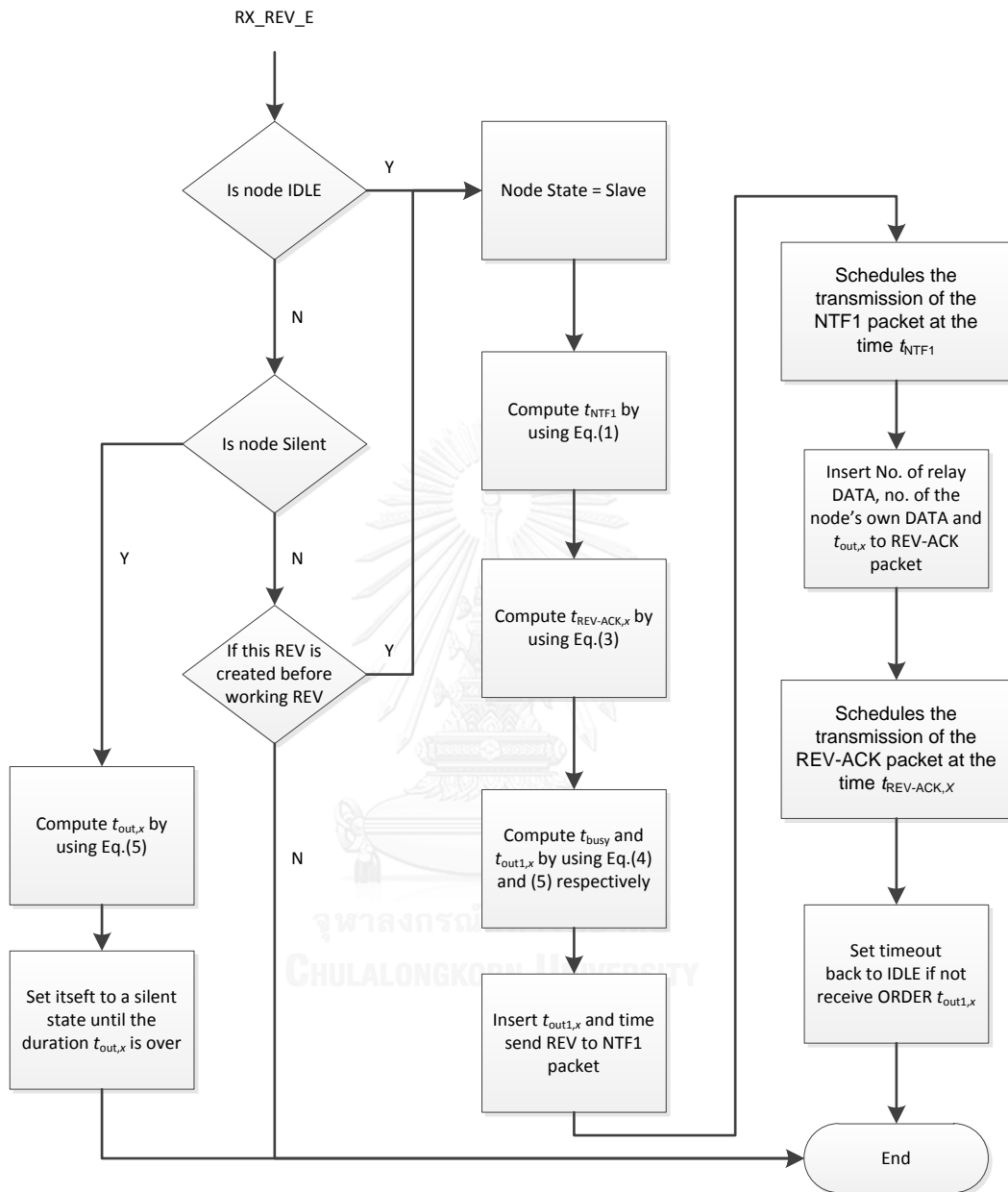
รูปที่ ข. 1 การเริ่มต้นของ E-RIPT



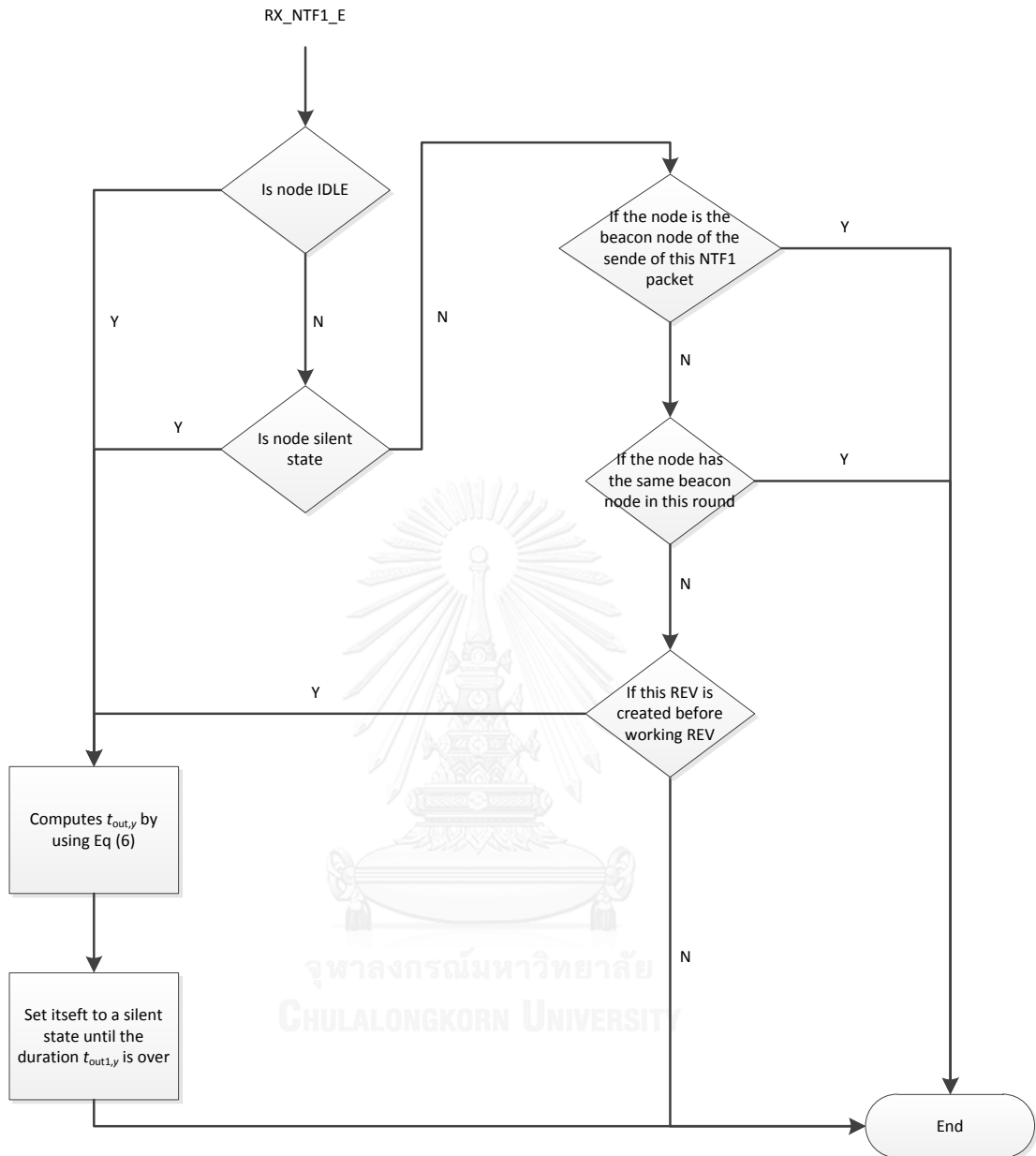
รูปที่ ข. 2 ผังงานการเริ่มต้น REV

ตารางที่ ข. 1 สัญกรณ์ที่ใช้อธิบายรูปแบบของชุดโปรโตคอล

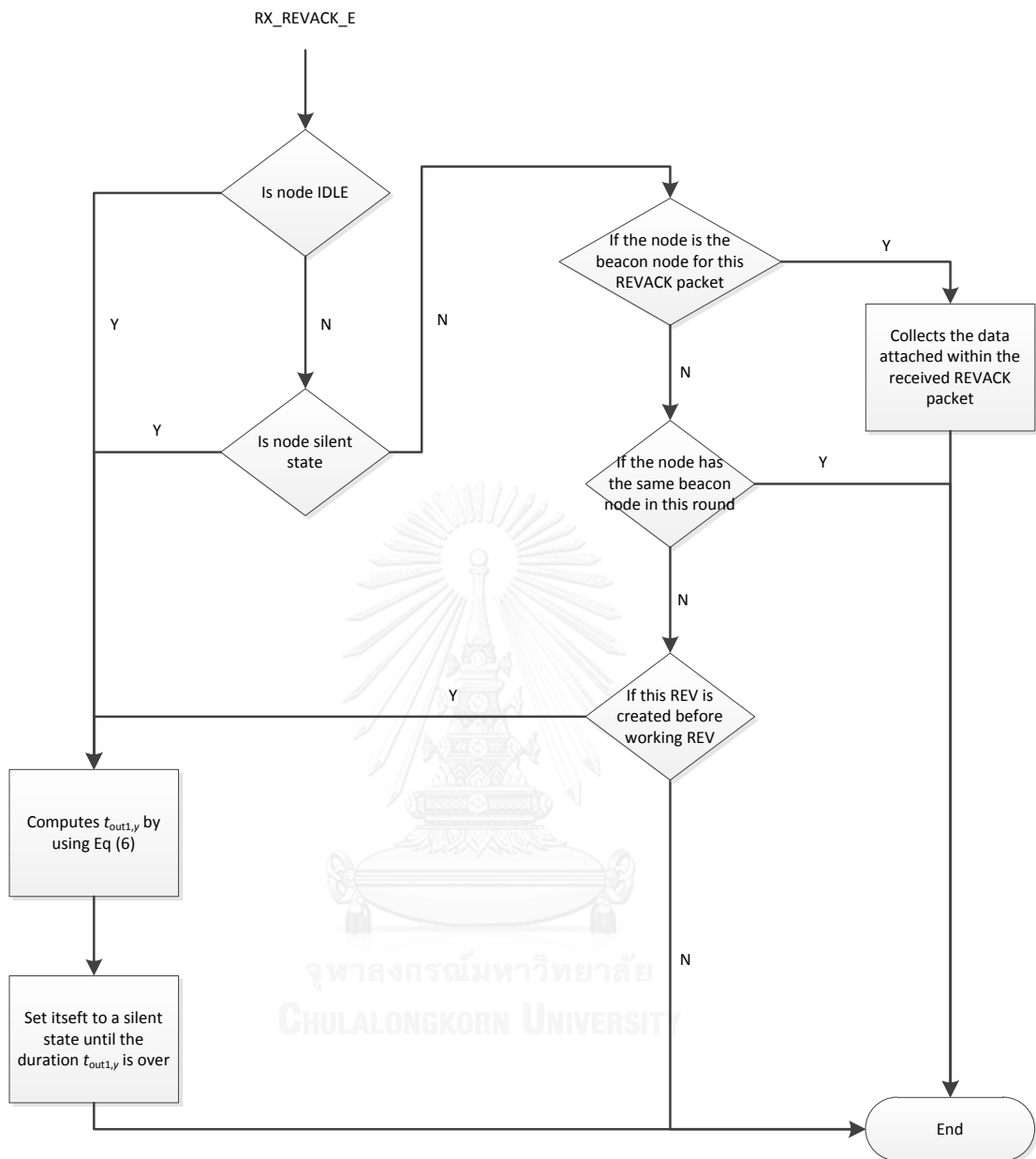
สัญกรณ์	คำอธิบาย
REV_INT_E	เหตุการณ์สร้างแพ็กเก็ต REV
TO_REVACK_E	เวลาสิ้นสุดสำหรับการรับแพ็กเก็ต REV-ACK
RX_REV_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ต REV
RX_NTF1_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ต NTF1
RX_REVACK_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ต REV-ACK
RX_ORDER_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ต ORDER
RX_NTF2_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ต NTF2
RX_DATA_E	เหตุการณ์รับแพ็กเก็ตข้อมูล



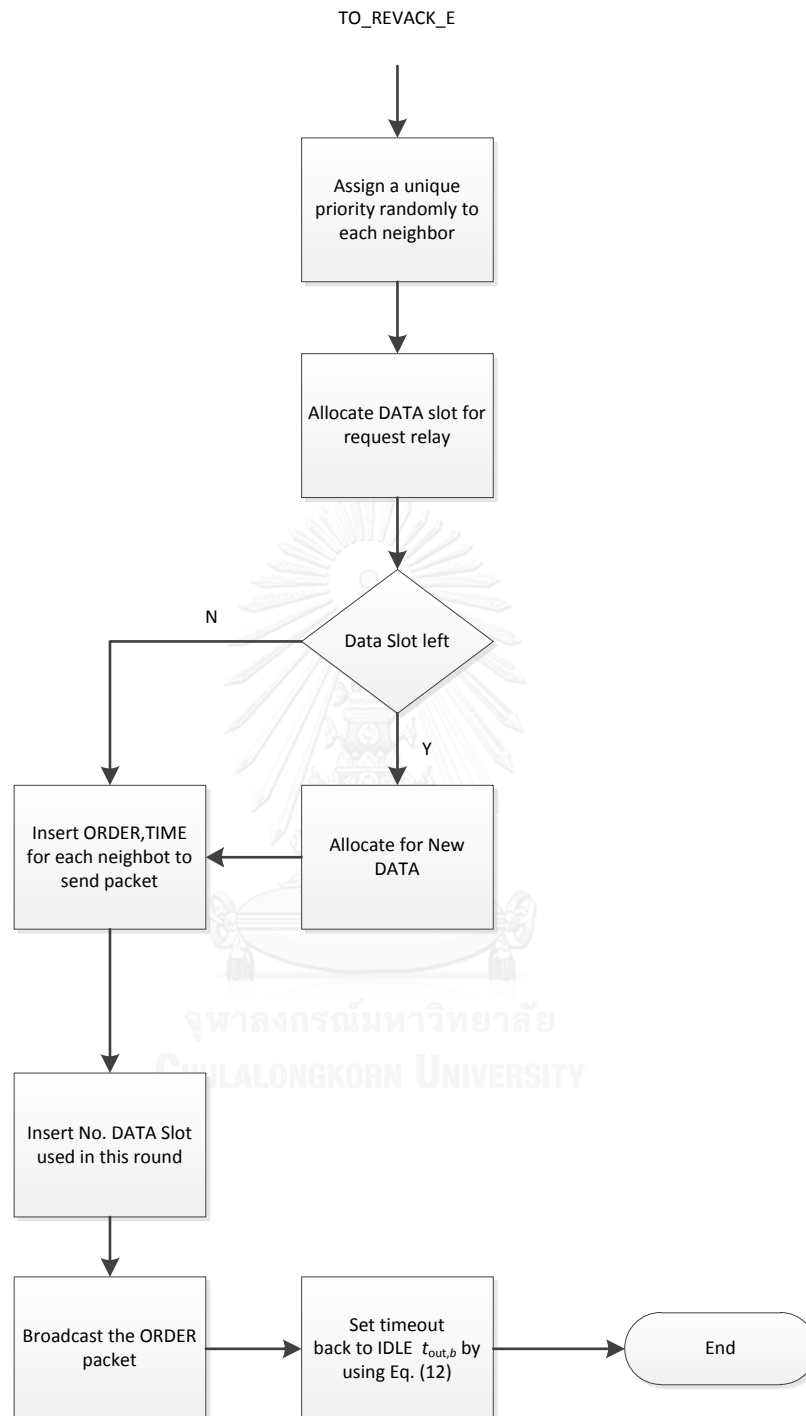
รูปที่ ข. 3 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อนอดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV



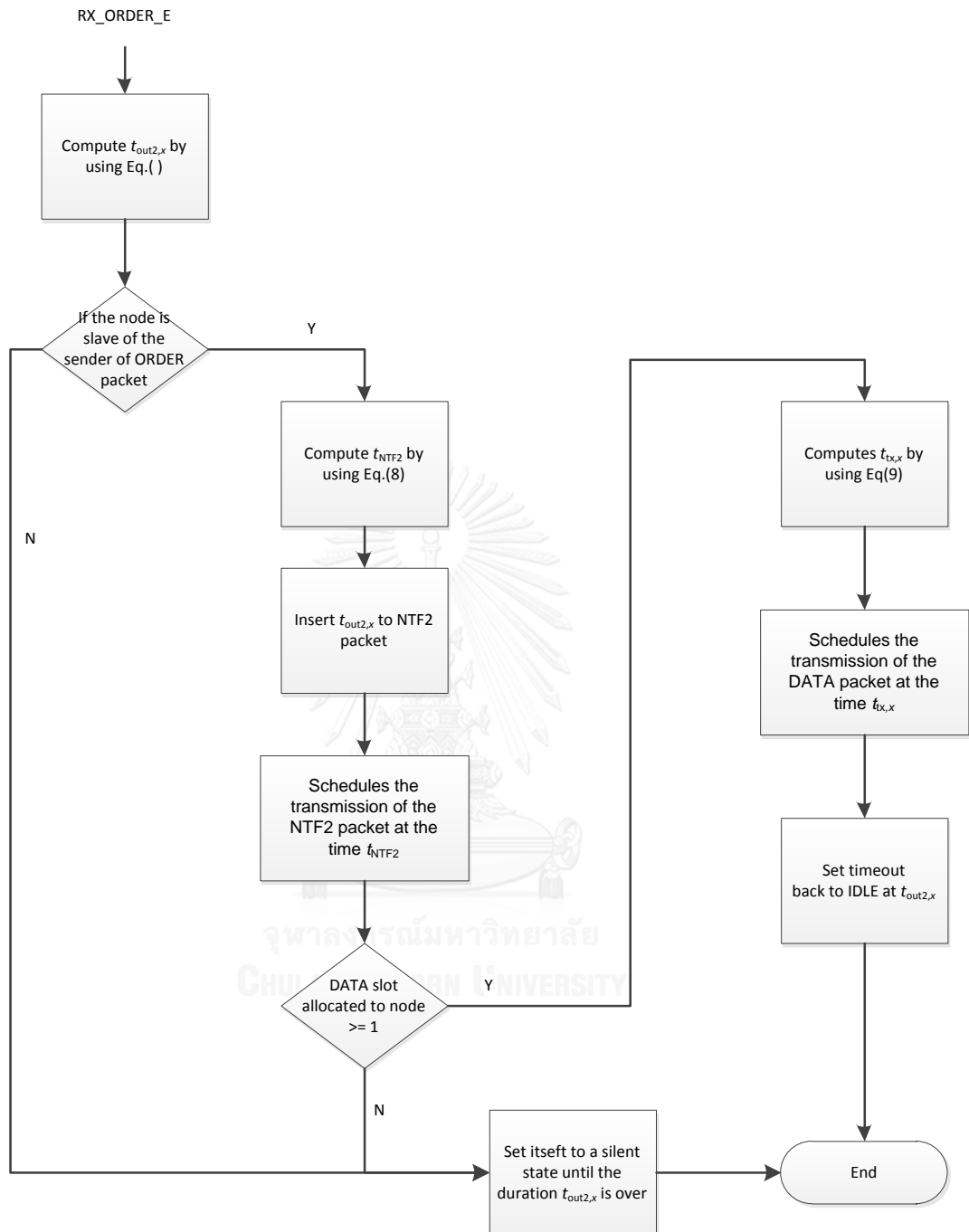
รูปที่ ข. 4 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อนอดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF1



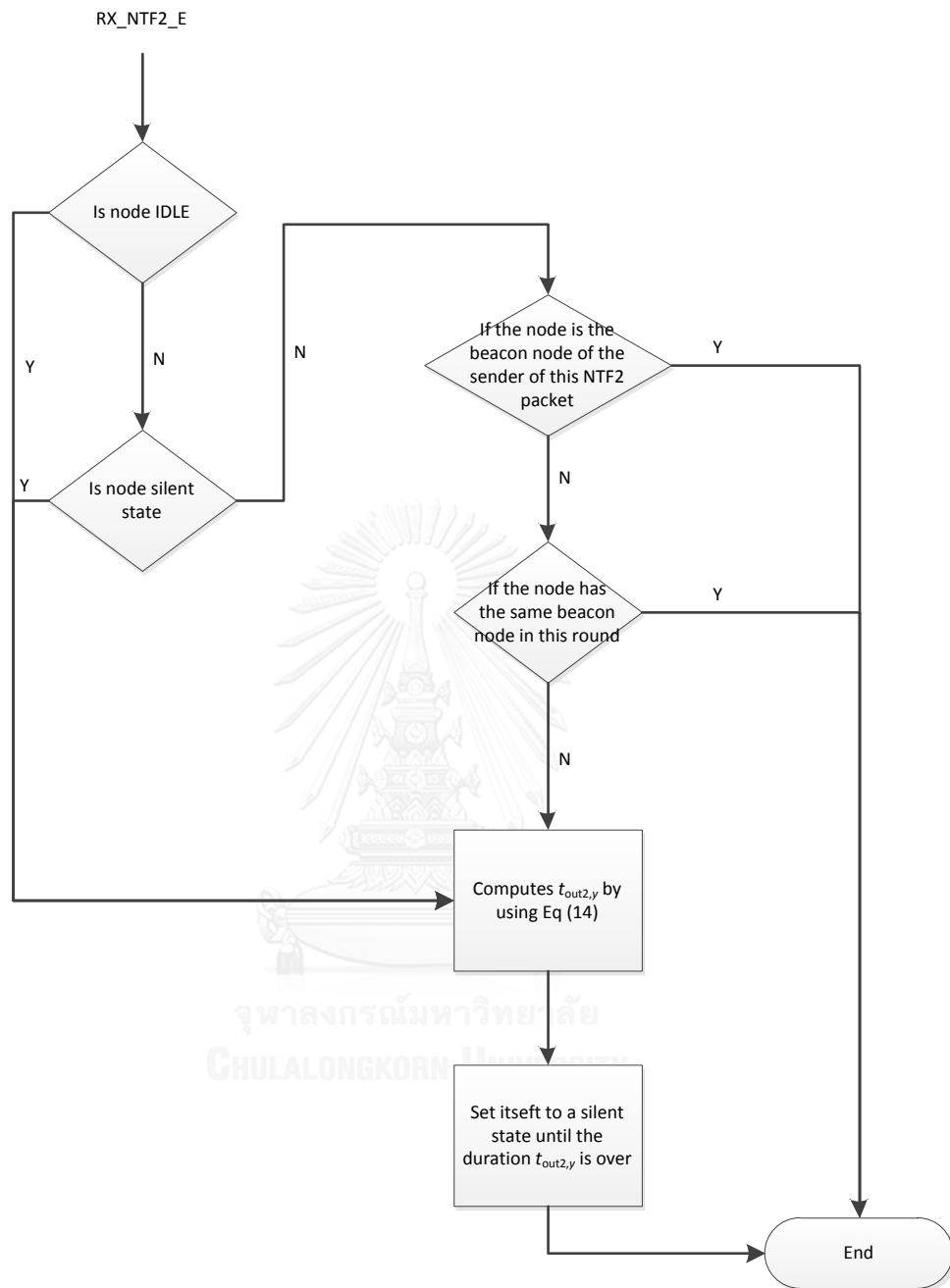
รูปที่ ข. 5 ฝั่งงานการทำงานของโนดเมื่อนอดได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK



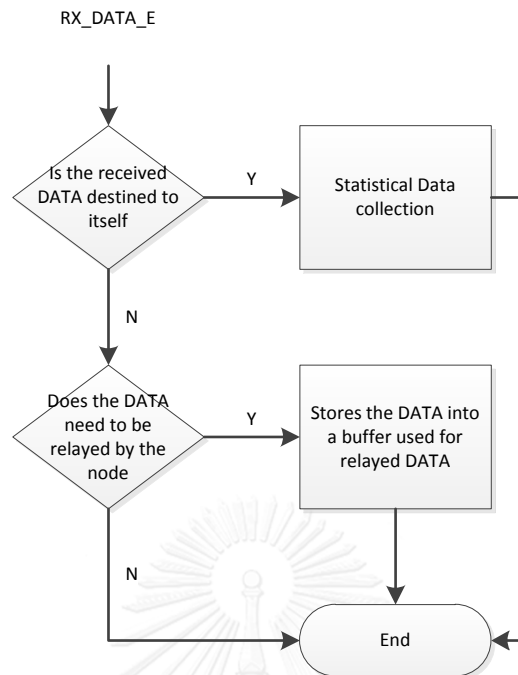
รูปที่ ข. 6 ฝั่งงานการทำงานของโน้ตฐานหลังจากที่ได้รับแพ็กเก็ตควบคุม REV-ACK จากโน้ตลูกข่ายครบทั้งหมด



รูปที่ ข. 7 ฝั่งงานการทำงานของโน้ตเมื่อโน้ตได้รับแพ็กเก็ตควบคุม ORDER



รูปที่ ข. 8 ผังงานการทำงานของโน้ตเมื่อโน้ตได้รับแพ็กเก็ตควบคุม NTF2



รูปที่ ข. 9 ผังงานการทำงานของโนดเมื่อนอดได้รับแพ็กเก็ตข้อมูล



ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โปรแกรมจำลอง NS3

NS3 เป็นโปรแกรมจำลองเครือข่ายโดยเป็นเหตุการณ์แบบวิฤต (discrete-event network simulator) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ใช้สำหรับการทำวิจัยและเพื่อการศึกษา NS3 เป็นซอฟต์แวร์ฟรี โดยได้รับอนุญาตภายใต้ GNU GPLv2 และอนุญาตให้ใช้สำหรับการทำวิจัยพัฒนาโดยสาธารณะ โดย NS3 สามารถดาวน์โหลดและศึกษาเพิ่มเติมได้จาก www.nsnam.org

NS3 เขียนโดยใช้ภาษา C++ หรือ Python โดยโมเดลส่วนใหญ่จะใช้ภาษา C++ ในการเขียน เพื่อที่จะสามารถใช้งาน NS3 ได้จะต้องมีความรู้พื้นฐานในการเขียนภาษา C++ ก่อน โดยในการรันโปรแกรม NS3 นั้น แนะนำให้ใช้ Linux เพื่อทำการจำลองผล แต่ท่านก็สามารถรันโปรแกรมบน window ได้โดยใช้ Cygwin แต่ในบางโมเดลอาจจะไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ

NS3 จะมีโมเดล (model) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทำการจำลองด้านต่าง ๆ อาทิ การติดต่อสื่อสารทางอินเทอร์เน็ต การส่งข้อมูล LTE การส่งสัญญาณไร้สาย เป็นต้น โดย NS3 จะมีตัวช่วยในการวางโนด รูปแบบการส่งข้อมูล เส้นทางการส่งข้อมูล โดยโมเดลที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้โมเดลเครือข่ายการสื่อสารด้วยเสียงในใต้น้ำ (UAN Model) ที่มีอยู่ใน NS3 เพื่อทำการจำลองการทำงานของโปรโตคอล

โมเดลเครือข่ายการสื่อสารด้วยเสียงในใต้น้ำ (UAN Model) นั้น สามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 ส่วน คือ ช่องสัญญาณ ชั้นกายภาพ (Phy Layer) การควบคุมการเข้าถึงของตัวกลาง (MAC) และ ยานเครื่องบินใต้น้ำโดยอัตโนมัติ (AUV) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จำเป็นต้องมีวิธีการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลแบบปัวซอง รูปแบบการวางตำแหน่งโนด การสร้างการจัดเส้นทาง และการสร้างตัวควบคุมการเข้าถึงของตัวกลาง เพื่อที่จะสามารถจำลองผลการทำงานของโปรโตคอลที่นำเสนอได้ โดยยังคงส่วนอื่นๆ ไว้เช่นเดิม

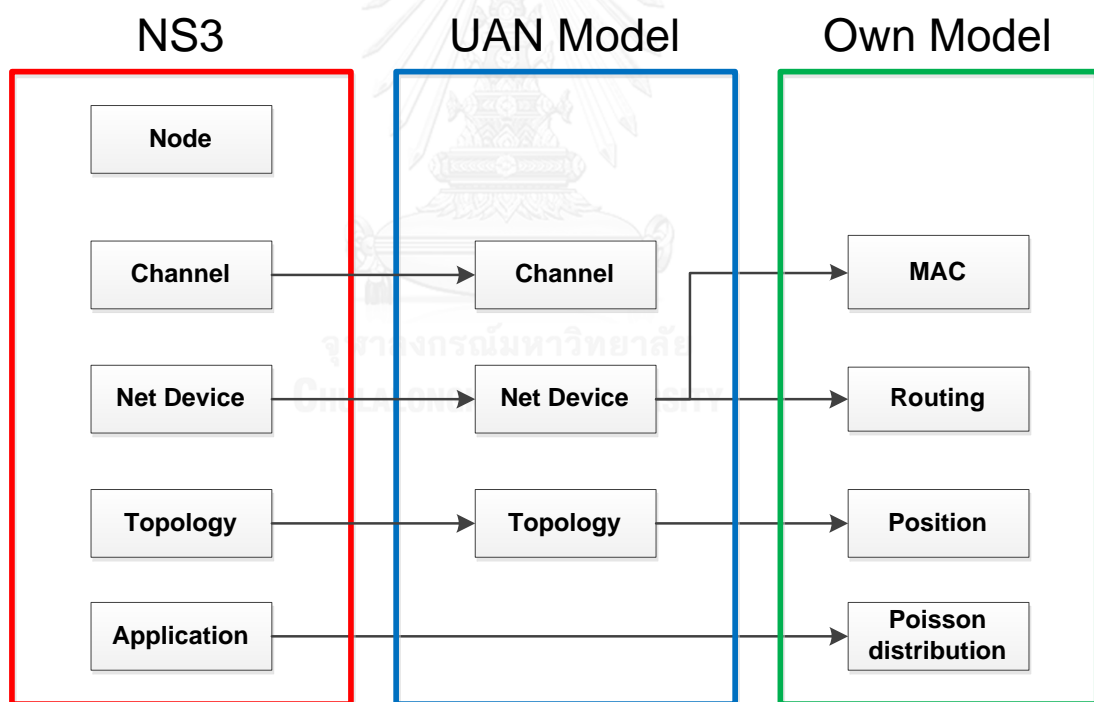
ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลแบบปัวซองนั้น จะใช้วิธีการดัดแปลงแฟ้มข้อมูล (file) ที่มีชื่อว่า on-off application เนื่องด้วยลักษณะการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลโดยปกติของแฟ้มข้อมูลนี้จะใช้วิธีการสร้างแบบส่งข้อมูลเป็นเวลาคงที่ แล้วทำการหยุดส่งข้อมูลตามเวลาที่กำหนด แต่ในการจำลองโปรโตคอลที่นำเสนอจะให้ทำการสร้างแพ็กเก็ตเพื่อสะสมอยู่ในบัฟเฟอร์ก่อนทำการส่งออกไป จึงทำการดัดแปลงให้ทำการสร้างแพ็กเก็ตโดยมีระยะเวลาห่างจากกันเป็นการสุ่มด้วยแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution)

การวางตำแหน่งโนดในแต่ละทอพอโลยีที่ใช้ในการจำลองผลจะต้องมีการกำหนดตำแหน่งการวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปแบบทอพอโลยีที่ 2 ตามรูปที่ 5.2 ที่จะต้องให้โนดในแถวคู่มือมีการเคลื่อนออกไปในแนวแกน x มีระยะห่าง $D/2$ เพื่อให้แต่ละโนดมีระยะห่างตามที่กำหนดในตารางที่ 5.1 ใน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีโนดที่ทำการจำลองทั้งหมด 196 โนดโดยจะมีทั้งหมด 14 แกว ในแต่ละแกวจะมีทั้งหมด 14 โนด

ในการสร้างแพ็กเก็ตเพื่อที่จะใช้ส่งใน NS3 นั้นสามารถกำหนดได้แค่หมายเลขของโนดต้นทางที่สร้างแพ็กเก็ต ข้อมูลภาพในแพ็กเก็ต และหมายเลขของโนดปลายทางแพ็กเก็ตที่จะส่งไปเท่านั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างการจัดเส้นทางเพื่อให้แพ็กเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโนดปลายทางได้ แต่ใน UAN Model ที่ใช้นั้นไม่สนับสนุนการจัดสรรเส้นทางที่ใช้ใน NS3 โดยปกติจึงจำเป็นต้องทำตารางเส้นทางส่งแพ็กเก็ตข้อมูลด้วย โดยการสร้างโปรแกรมเพื่อหาเส้นทางอัตโนมัติในการสร้างเป็นตารางออกมาของแต่ละทอพอโลยี เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังแต่ละโนด

ในการสร้างตัวควบคุมการเข้าถึงของตัวกลางที่นำเสนอ และตัวที่นำมาใช้เปรียบเทียบ จะนำโครงสร้างที่ได้รับการใช้งานใน NS3 มาปรับปรุงส่วนของ สถานะของโนด ชนิดของแพ็กเก็ตควบคุม เวลาการส่งแต่ละแพ็กเก็ต การตั้งเวลาต่างๆ เพื่อสามารถทำการจำลองการทำงานของโปรโตคอลที่นำเสนอและโปรโตคอลที่นำมาเปรียบเทียบได้



รูปที่ ค. 1 ส่วนที่ทำการเปลี่ยนแปลงโดยค่าพื้นฐาน NS3 โมเดล UAN และสิ่งที่ต้องเขียนด้วยตนเองเพิ่มเติม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐฤทธิ์ ลีลาพิสุทธิ เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษาที่ 2552 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2554

