นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

นางสาววิภาวี วิริยพงษ์สุกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

A PACKET DROPPING POLICY ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS

Ms.Wipawee Viriyapongsukit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
โดย	นางสาววิภาวี วิริยพงษ์สุกิจ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม)

วิภาวี วิริยพงษ์สุกิจ : นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (A PACKET DROPPING POLICY ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, 71 หน้า.

การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นการสื่อสารที่ได้รับความสนใจสูง เนื่องจากเป็นการสื่อสารที่มีลักษณะเฉพาะตัว เช่นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง การเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งส่งผลให้การรับ-ส่งข้อมูลนั้นได้รับผลกระทบจากการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ และเกิดความความล่าช้า ดังนั้นโพรโทคอลส่วนใหญ่ได้นำวิธีการทำงานแบบ Store-and-Forward มาใช้เพื่อช่วยให้การทำงานของโพรโทคอลมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจในเรื่องของการหาเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูลเป็นส่วนมาก แต่ปัญหาอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจนั่นคือ การจัดการบัฟเฟอร์ เนื่องจากมีข้อมูลจำนวนมากที่ถูกรับ-ส่งอยู่บนเครือข่าย และในความเป็นจริงขนาดบัฟเฟอร์ของโหนดย่อมมีอย่างจำกัด หากบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม จะมีวิธีจัดการกับข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์นั้นได้อย่างไร เพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ใช้ข้อมูลความหนาแน่น (จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน) มาประมาณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเกิดกรณีที่บัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ก็จะพิจารณาทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีค่าสำเนามากที่สุด เนื่องจากสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดนั้นสะท้อนถึงจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่ถูกแพร่ไปในระบบเป็นจำนวนมาก โอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดอื่นที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้ก็มีสูงเช่นกัน จากผลการทดลองนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าความเชื่อถือได้สูงกว่านโยบายอื่นๆ อีกทั้งยังมีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล และสามารถนำมาปรับใช้ได้กับโพรโทคอลที่มีพื้นฐานการทำงานแบบ Store-and-Forward สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5270498021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEYWORDS : VEHICULAR NETWORKS / PACKET DROPPING POLICY / BUFFER MANAGEMENT / STORE-AND-FORWARD / AD-HOC NETWORKS

WIPAWEE VIRIYAPONGSUKIT : A PACKET DROPPING POLICY ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS. ADVISOR : ASST. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., 71 pp.

Vehicular Ad-hoc Network (VANET) is one of the interesting research topics. Because VANET has some special characteristics such as speed of node and intermittent connectivity. Due to an intermittent connectivity or a long-time disconnection many protocols in VANET need a store-and-forward technique to improve their performance. So a node will store its data into its buffer then it can send the data to other nodes in such an intermittent connectivity scenario. However most of the researchers are interested only in a routing improvement. In fact node's buffer size is limited and node need a solution to manage their buffer so nodes can store the right packets and provide an efficient operation.

This thesis proposes a dropping policy for protocols in VANET. The proposed policy use number of packet copies to decide which packet will be dropped. When nodes receive the new packet and its buffer is full, a packet with highest copy value will be removed from nodes buffer. Moreover this thesis proposes the mechanism to estimate copy value based on density information and solutions for updating copy value in each scenario that is flexible for most of store-and-forward protocols for VANET. From the simulation results, all packets are distributed over nodes in scenarios with almost the same amount of packet copies. The policy also provides the highest reliability results among other traditional policies.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Science Advisor's Signature .....
Academic Year: 2011

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและแนวทางในการทำวิจัยที่ดี อีกทั้งยังแบ่งปันประสบการณ์ในเรื่องต่างๆ ให้แง่คิด และมุมมองในด้านต่างๆที่เป็นประโยชน์ ทั้งในการทำงานและการดำเนินชีวิต

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และให้มุมมองที่หลากหลายอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ทำให้ผู้วิจัยได้รับทั้งความรู้ประสบการณ์ที่ดีและมีโอกาสได้พบกับอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆและน้องๆที่ดี ขอบคุณทุกๆคนที่คอยให้ความช่วยเหลือแบ่งปันน้ำใจ แบ่งปันความสุข และเป็นกำลังใจให้ในยามที่ท้อแท้

และสุดท้าย ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย น้องสาว และญาติๆทุกคนที่คอยสนับสนุนให้ผู้ทำวิจัยได้ทำในสิ่งที่ชอบ เข้าใจ เป็นกำลังใจ และอยู่เคียงข้างกันตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน 4

1.5 คุณค่าทางวิชาการ 5

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก 6

2.1.2 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ 6

2.1.3 มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE) และ IEEE802.11p 7

2.1.4 การคำนวณพื้นที่ทับซ้อนของวงกลม 11

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ 19
3.1 แนวคิดในการออกแบบ 19
3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล 20
3.2.1 การประมาณจำนวนโหนดในพื้นที่ทับซ้อน 20
3.2.2 การคำนวณค่าสำเนา 22
3.2.3 ขั้นตอนการทำงาน 23
3.3 ตัวอย่างการทำงาน 24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 28
4.1 ตัววัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล 28
4.2 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล 29
4.3 โพรโทคอลที่ใช้ในการทดลองสมรรถนะของนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูล 29
4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 31
4.5 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล 34
4.6 ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบ 42
4.7 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล 60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 65
5.1 สรุปผลการวิจัย 65
5.2 ข้อจำกัด 66
5.3 ข้อเสนอแนะ 66
รายการอ้างอิง 68

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบมาตรฐาน IEEE 802.11 ต่างๆ [18] 11

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

ตารางที่ 4.1 (ก) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 100 คัน.....32

ตารางที่ 4.1 (ข) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 160 คัน.....32

ตารางที่ 4.1 (ค) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 280 คัน.....32

ตารางที่ 4.2 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 33

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ลักษณะของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง [3] 1

ภาพที่ 2.1 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก 6

ภาพที่ 2.2 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ [13] 7

ภาพที่ 2.3 มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE) และ IEEE 802.11p [14] 8

ภาพที่ 2.4 ลักษณะช่องสัญญาณและการใช้งานช่องสัญญาณ [14] 9

ภาพที่ 2.5 การตั้งเวลาสำหรับการทำงานในระดับความสำคัญ AC0 - AC3 [14] 10

ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ในการแบ่งความสำคัญของงานระหว่าง IEEE 1609
และ IEEE802.11p [14] 10

ภาพที่ 2.7 แสดงพื้นที่ทับซ้อนกันของวงกลม 11

ภาพที่ 2.8 แสดงการคำนวณพื้นที่ทับซ้อนกันของวงกลม 12

ภาพที่ 3.1 แสดงโหนดบริเวณของพื้นที่ทับซ้อนของการสื่อสาร 20

ภาพที่ 3.2 แสดงจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดต้นทาง 21

ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอ 24

ภาพที่ 3.4 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดต้นทางแพร่กลุ่มข้อมูลให้กับ
เพื่อนบ้านตนเอง 25

ภาพที่ 3.5 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดที่ถูกเลือกแพร่กลุ่มข้อมูลให้กับ
เพื่อนบ้านของตนเอง 25

ภาพที่ 3.6 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน และเพื่อนบ้าน
ทำการแพร่ข้อมูลแทน 26

ภาพที่ 3.7 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับข้อมูล 27

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของถนนที่ใช้ในการทดลอง 31

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล
ที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด 38

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล
ที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด 39

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล
ที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด 40

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล
ที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด 41

ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 48

ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 49

ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 50

ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 51

ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 52

ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 53

ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด
บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 54

ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 55

ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 56

ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 57

ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 58

ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที 59

ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล 63

ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล 63

ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล 64

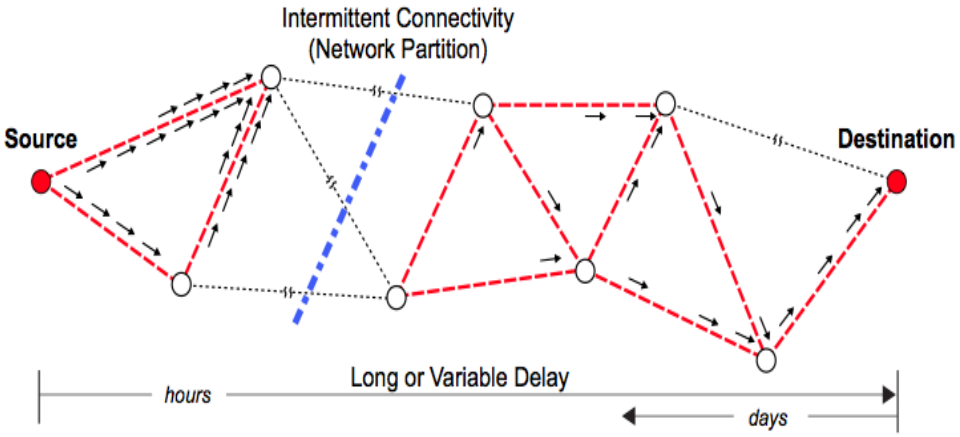
ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล 64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง (DTN : Delay Tolerant Network) [1][2] เป็นการสื่อสารที่ได้รับความสนใจในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากประเด็นที่เป็นปัญหาของการติดต่อสื่อสารข้ามเครือข่าย (Network) ที่ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันตลอดเวลาหรือมีการเชื่อมต่อกันเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) เช่น การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์พกพาหลากหลายชนิด รวมทั้งการสื่อสารข้ามอุปกรณ์ ส่งผลให้เกิดการส่งข้อมูลที่มีความล่าช้าสูงซึ่งต้องการการรองรับ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้การสื่อสารที่มีความล่าช้าของข้อมูลสูงมาก เช่น การสื่อสารระหว่างดวงดาวที่มีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วแสงหรือวิถีการโคจรของดาวบดบังเส้นทางการสื่อสาร และการสื่อสารระหว่างตัวเมืองกับชนบทที่ห่างไกล ซึ่งทำให้เกิดการแบ่งส่วนของเครือข่าย (Network Partition) โดยลักษณะของการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วงจะไม่มีเส้นทางจากต้นทาง (Source) ไปยังปลายทาง (Destination) ทำให้มีเวลาหน่วง (Delay) ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครือข่ายที่มีเส้นทางจากต้นทาง (Source) ไปยังปลายทาง (Destination) ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ลักษณะของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง [3]

การแก้ปัญหาการรับ-ส่งข้อมูลดังสถานการณ์ข้างต้นจำเป็นที่จะต้องให้โหนดระหว่างเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลต้องมีการจัดเก็บข้อมูลเอาไว้ก่อน เพื่อรับและส่งข้อมูลนั้นเมื่อมีโอกาส หลักการรับ-ส่งข้อมูลในลักษณะนี้เรียกว่า Store-and-Forward คือ เมื่อโหนดได้รับข้อมูลจะเก็บ

ข้อมูลนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ของตนเองจนกว่าข้อมูลนั้นจะหมดอายุ หรือโหนดอาจส่งต่อข้อมูลนั้นให้กับโหนดอื่นๆที่สามารถเชื่อมต่อกันได้ ดังนั้นวิธีการ Store-and-Forward สามารถช่วยให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การสื่อสารอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความสนใจสูง และจัดเป็นเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง [4] คือ การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (VANET : Vehicular Ad-hoc Network) [5] เนื่องจากว่า การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ มีลักษณะเฉพาะตัวที่ทำให้การส่งข้อมูลไม่สามารถทำได้อย่างราบรื่น และเป็นเอกลักษณ์เฉพาะ เช่น การเคลื่อนที่ที่มีความเร็วสูง การเปลี่ยนทิศทางอย่างกระทันหัน ซึ่งส่งผลให้การรับส่งข้อมูลนั้นได้รับผลกระทบจากการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ อีกทั้งบริเวณต่างๆในถนนก็มีความแตกต่างในด้านความหนาแน่น ตัวอย่างเช่นในบริเวณถนนทางหลวงระหว่างเมืองจะมีความหนาแน่นน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของรถยนต์ที่บริเวณสี่แยกในเมือง ซึ่งกรณีที่มีความหนาแน่นต่ำมากจะก่อให้เกิดการแบ่งส่วนของเครือข่าย และส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลสูง ซึ่งมีลักษณะเฉพาะเช่นเดียวกับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง ดังนั้นการแก้ปัญหาในการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่ายทั้งสองย่อมคล้ายคลึงกันด้วย

เมื่อพิจารณาปัญหาของเครือข่ายที่เกิดการเชื่อมต่อกันอย่างไม่ต่อเนื่องหรือมีการเชื่อมต่อกันเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) และมีความล่าช้าในการส่งข้อมูลเป็นเวลานานนั้น โพรโทคอลในการรับ-ส่งข้อมูลส่วนใหญ่ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ อาทิเช่น VADD [6], SADV [7], CAR [8], AckPBSM [9], DECA [10] จึงนำวิธีการรับ-ส่งข้อมูลแบบ Store-and-Forward มาใช้เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการทำงานของโพรโทคอลให้มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะและเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วงจะให้ความสนใจในเรื่องของการหาเส้นทางในการรับส่งข้อมูล (Routing) เป็นส่วนมาก แต่ปัญหาอีกประเด็นหนึ่งที่ควรจะต้องนำมาพิจารณานั่นคือ การจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer Management) เนื่องจากมีข้อมูลจำนวนมากที่ถูกรับ-ส่งอยู่บนเครือข่าย และในความเป็นจริงแล้วขนาดบัฟเฟอร์ของโหนดย่อมมีอยู่จำกัด หากเกิดเหตุการณ์ที่บัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม จะมีวิธีการในการจัดการกับข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนดนั้นได้อย่างไร เพื่อให้การรับ-ส่งข้อมูลยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นการออกแบบวิธีการจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer Management) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายเป็นสิ่งที่น่าสนใจและท้าทาย และสามารถนำมาปรับใช้ได้กับ

หลากหลายโพรโทคอลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ รวมทั้งเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง จากการศึกษามีงานวิจัยที่ออกแบบวิธีการจัดการบัฟเฟอร์ สำหรับโพรโทคอลที่มีการทำงานโดยใช้วิธีการ Store-and-Forward เป็นพื้นฐานในการทำงาน เพื่อช่วยให้การใช้งานบัฟเฟอร์นั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้แก่งานวิจัย A New Packet Dropping Policy in Delay Tolerant Network [11] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบใหม่ โดยที่จะพิจารณาจากค่าน้ำหนักของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ซึ่งค่าน้ำหนักของกลุ่มข้อมูลจะแทนความมีประโยชน์ของข้อมูลนั้น ในกรณีที่บัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ก็จะคำนวณค่าน้ำหนักของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ทั้งหมด แล้วนำค่าน้ำหนักของกลุ่มข้อมูลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกัน กลุ่มข้อมูลไหนมีค่าน้ำหนักน้อยที่สุดถือว่ามีประโยชน์น้อยสุดก็จะถูกทิ้งจากบัฟเฟอร์ และอีกงานวิจัยคือ Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks [12] งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและแบ่งขั้นตอนวิธีสำหรับการทิ้งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ Global Knowledge Based Drop (GBD) เป็นวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูล โดยพิจารณาจากค่าความมีประโยชน์ของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ การคำนวณค่าความมีประโยชน์จะต้องอาศัยพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลแบบ Global และ History Based Drop (HBD) เป็นวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่คำนวณค่าความมีประโยชน์ของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์เช่นเดียวกับ GBD แต่จะแตกต่างกันตรงที่ HBD จะใช้พารามิเตอร์ ได้แก่ จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดในเครือข่ายและจำนวนของโหนดที่เคยเห็นกลุ่มข้อมูลนั้นมาใช้ในการคำนวณ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นประสิทธิภาพของระบบในด้านของการทำให้ค่าความน่าเชื่อถือมากที่สุดหรือค่าเวลาหน่วงน้อยที่สุด จากงานวิจัยที่ได้กล่าวไปเป็นงานวิจัยที่ออกแบบสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง แต่ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ออกแบบวิธีการจัดการบัฟเฟอร์สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

การรับและส่งข้อมูลสำหรับยานพาหนะนั้นมักจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดเพื่อนบ้าน เช่น การแลกเปลี่ยนความหนาแน่น ตำแหน่ง และความเร็ว โดยเฉพาะข้อมูลด้านความหนาแน่นของโหนดเพื่อนบ้าน ที่สามารถทราบได้โดยไม่ต้องการอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง นอกจากนี้การทำงานของโพรโทคอลในการแพร่ข้อมูลสำหรับยานพาหนะนั้นมีหลักการทำงานร่วมดังนี้ ความต้องการโหนดเพื่อนบ้านในการส่งข้อมูลต่อไปยังโหนดอื่นๆ (Next Rebroadcast Node) การรองรับการส่งข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านที่ไม่ได้รับ ดังนั้นการออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะจึงมีประโยชน์สูงสุด เนื่องจากสามารถนำไปใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโพรโทคอลต่างๆได้โดยไม่ขึ้นกับโพรโทคอลใด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่สามารถนำมาปรับใช้กับโพรโทคอลบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (A Packet Dropping Policy on Vehicular Ad-hoc Networks) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของโพรโทคอลให้ดียิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การพัฒนาและทดสอบทำบนโปรแกรมจำลอง NS-2.34 (Network Simulation)

2. การจำลองพฤติกรรมการวิ่งของรถยนต์ทำบนโปรแกรมจำลอง SUMO (Simulation of Urban Mobility) โดยจำลองพฤติกรรมการวิ่งของรถยนต์บนถนนทางหลวง

3. การคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลในกรณีที่จะต้องใช้พื้นที่ทับซ้อนมาช่วยในการคำนวณด้วยนั้น จะสมมติว่าโหนดทั้งสองอยู่บริเวณขอบของระยะการสื่อสาร

4. โหนดจะแลกเปลี่ยนข้อมูลความหนาแน่นกับโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น

5. พิจารณาว่าทุกกลุ่มข้อมูลมีระดับความสำคัญเท่ากัน

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2. ออกแบบวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

3. พัฒนาวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลตามที่ได้ออกแบบไว้

4. สร้างชุดพฤติกรรมของรถยนต์แบบต่างๆเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบ

5. ทดสอบ และเก็บข้อมูล

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

7. ปรับปรุงแก้ไขส่วนที่มีการทำงานผิดพลาด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ระบบ

8. สรุป วิเคราะห์ผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

นำไปใช้ในโพรโทคอลต่างๆที่มีการพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบ Store-and-Forward เพื่อให้สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพและมีค่าความเชื่อถือได้มากขึ้น ในสภาวะที่มีขนาดบัฟเฟอร์จำกัด

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

1. หัวเรื่อง “A Novel Packet Dropping Policy for Vehicular Ad-Hoc Networks” โดย วิภาวี วิริยพงษ์สุกิจ กุลิสร์ ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The 13th IEEE International Conference on Communication and Technology (ICCT 2011)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองจี่หนาน (Jinan) ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 25-28 กันยายน 2554

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Wireless Ad-hoc Network) เป็นเครือข่ายไร้สายที่ไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานในการทำงาน โดยมีลักษณะการทำงานเป็นแบบ Multi-hop

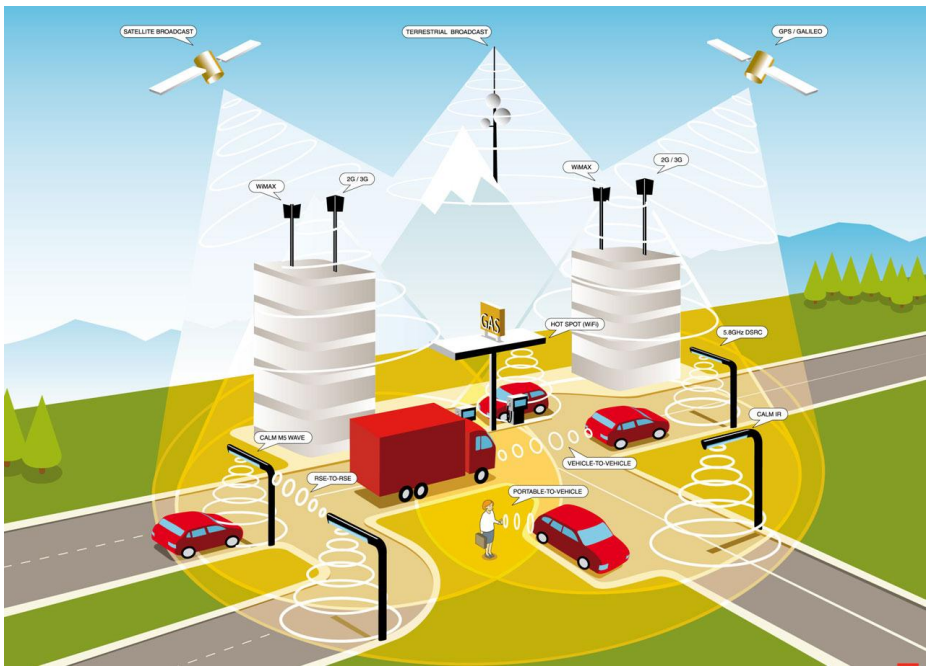
เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (MANET : Mobile Ad hoc Network) [5] ดังภาพที่ 2.1 จะประกอบด้วยโหนด (Node) หลายๆโหนดเชื่อมต่อกันผ่านการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication) โดยไม่จำเป็นจะต้องอาศัยสถานีแม่ (Access Point) ช่วยในการติดต่อสื่อสาร ลักษณะของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก โหนดจะติดต่อกันอย่างอิสระ โดยไม่มีโครงข่ายพื้นฐาน (Infrastructureless) ทำให้การเชื่อมต่อในเครือข่าย (Network) ไม่แน่นอน, โทโพโลยีของเครือข่ายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา (Dynamic Topology) มีข้อจำกัดในเรื่องพลังงานและข้อจำกัดในเรื่องของแบนด์วิดท์ (Bandwidth)

ภาพที่ 2.1 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

2.1.2 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (VANET : Vehicular Ad Hoc Network) [5] เป็นเครือข่ายที่ได้รับความสนใจสูงในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ดังภาพที่ 2.2 เนื่องจากลักษณะ

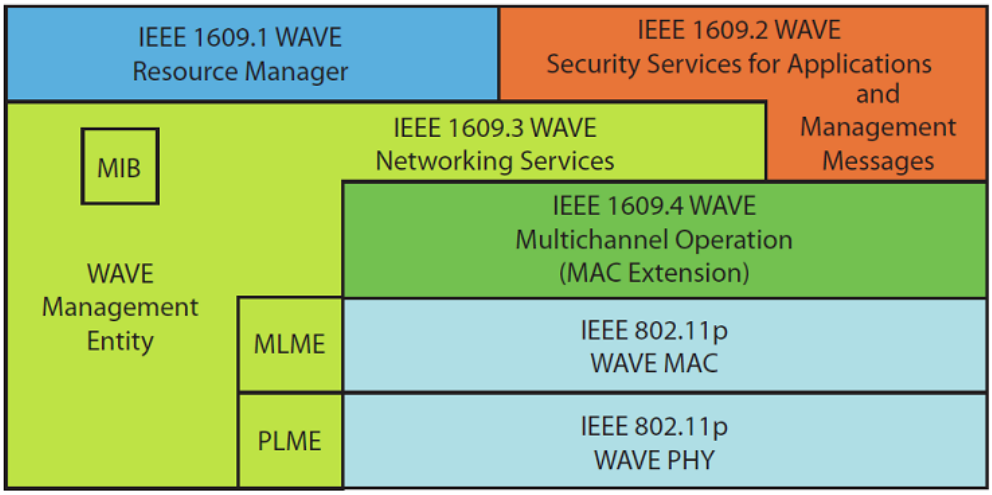
เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้นมีความเฉพาะตัวของเครือข่าย นั่นคือเป็นเครือข่ายที่มีการสื่อสารโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง มีการเปลี่ยนทิศทางของรถยนต์อย่างกระทันหัน อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของเครือข่ายอย่างรวดเร็ว (Dynamic Topology) ซึ่งทำให้การรับ-ส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้นเป็นไปอย่างไม่ราบรื่น เนื่องจากเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้นมีการเชื่อมต่อที่ไม่ต่อเนื่อง, สัญญาณการเชื่อมต่อขาดหายเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้โดยส่วนใหญ่แล้วโพรโทคอลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะจะนำวิธีการทำงานแบบ Store-and-Forward มาช่วยในการรับ-ส่งข้อมูลและเพื่อทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการแบบ Store-and-Forward นี้มีวิธีการทำงานดังนี้ เมื่อโหนดได้รับข้อมูลแล้ว โหนดจะเก็บข้อมูลนั้นไว้ในบัฟเฟอร์ของตนเองจนกว่าข้อมูลจะหมดอายุหรือส่งต่อให้กับโหนดอื่นๆเมื่ออยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลได้



ภาพที่ 2.2 เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ [13]

2.1.3 มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE) และ IEEE802.11p

มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE : Wireless Access in Vehicular Environments) และ IEEE802.11p มาตรฐานทั้งสองถูกกำหนดเพื่อใช้งานในการสื่อสารระหว่างพาหนะ ซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11p จะเป็นมาตรฐานในระดับ MAC และ PHY ส่วน IEEE 1609 (WAVE) เป็นมาตรฐานในระดับที่สูงกว่า โดยมาตรฐานทั้งสองทำงานร่วมกัน ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE) และ IEEE 802.11p [14]

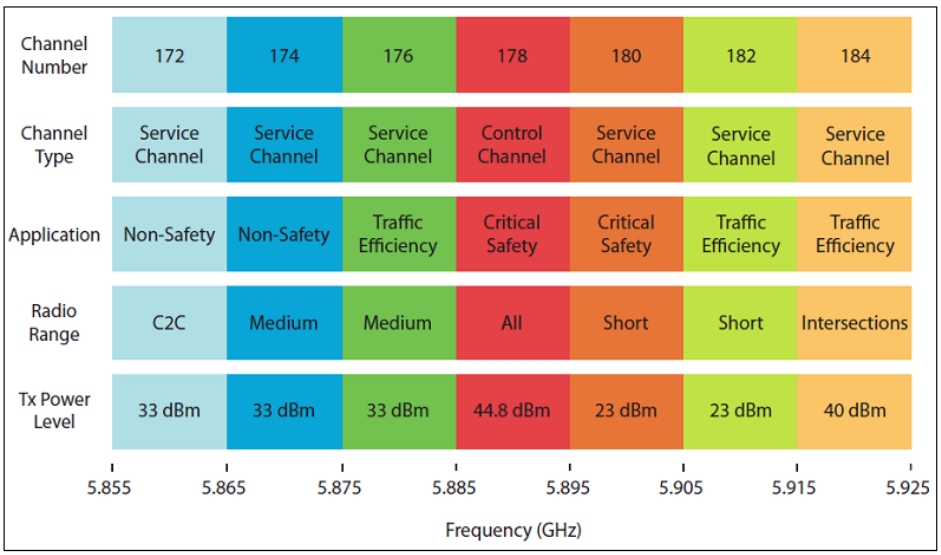
มาตรฐาน IEEE 1609 (WAVE : Wireless Access in Vehicular Environments) [15]

IEEE 1609 หรือ (WAVE : Wireless Access in Vehicular Environments) เป็นมาตรฐานในการทำงาน ดังต่อไปนี้ การจัดการและฟังก์ชั่นของเครือข่าย ความปลอดภัย การจัดการทรัพยากร และการสนับสนุนการทำงานแบบหลายช่องสัญญาณ (Multi - Channel Operation) โดยสามารถแยกมาตรฐาน IEEE 1609 ออกเป็นมาตรฐานย่อยได้ดังต่อไปนี้

- IEEE 1609.1 : มาตรฐานด้านการจัดการทรัพยากร
- IEEE 1609.2 : มาตรฐานด้านความปลอดภัย
- IEEE 1609.3 : มาตรฐานด้านการเชื่อมต่อและการจัดการ และมีส่วนเพิ่มเติมที่มีการจัดการในระดับ MAC และ PHY โดย MLME (MAC Layer Management Entity) และ PLME (PHY Layer Management Entity)
- IEEE 1609.4 : มาตรฐานด้านบน IEEE 802.11p เพื่อสามารถทำงานได้บนหลายช่องสัญญาณโดยไม่อาศัยข้อมูลจาก PHY

มาตรฐาน IEEE 1609.4 เป็นส่วนที่เชื่อมต่อการทำงานกับ IEEE 802.11p โดยตรงซึ่งมีการทำงานที่สำคัญคือ การแบ่งสัญญาณออกเป็นหลายช่องสัญญาณย่อย โดยในแต่ละช่องสัญญาณจะถูกใช้งานตามลักษณะของโปรแกรมประยุกต์และพฤติกรรมของโปรแกรม นอกจากนี้ในแต่ละช่องสัญญาณย่อยนั้นจะมีระดับการส่งสัญญาณที่ไม่เท่ากัน เช่น ช่องสัญญาณ

สำหรับเหตุฉุกเฉินจะมีระดับการส่งที่สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับช่องสัญญาณสำหรับบริการอื่นๆ เป็นต้น และมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น ช่องสัญญาณสำหรับการควบคุม (CCH : Control Channel) 1 ช่อง และช่องสัญญาณสำหรับบริการ (SCH : Service Channel) 6 ช่อง สามารถสรุปลักษณะของช่องสัญญาณต่างๆได้ ดังภาพที่ 2.4

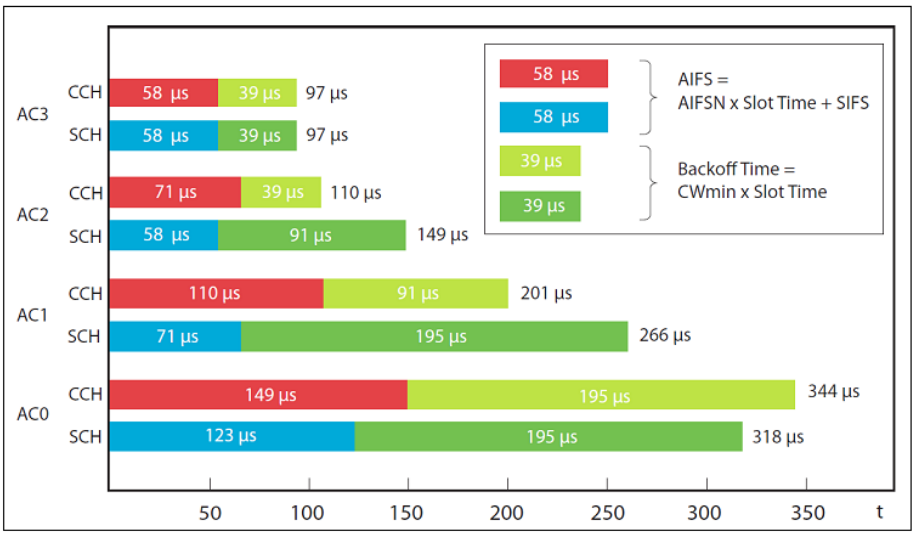


ภาพที่ 2.4 ลักษณะช่องสัญญาณและการใช้งานช่องสัญญาณ [14]

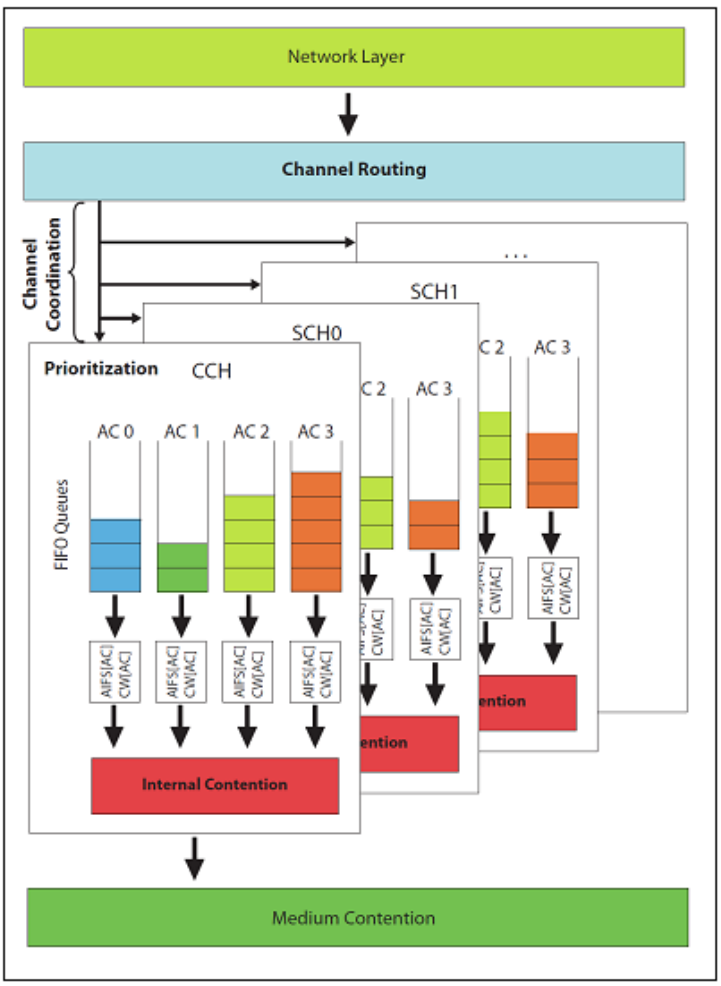
มาตรฐาน IEEE 802.11p (DSRC : Dedicated Short Range Communications) [16]

Dedicated Short Range Communications (DSRC) [17] เป็นคลื่นความถี่ที่อนุมัติโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) ในปี 1999 มีความถี่ที่ 5.9 GHz จำนวน 75 MHz เพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่างรถยนต์-รถยนต์ และโครงสร้างพื้นฐาน-รถยนต์ และในปี 2004 DSRC ถูกย้ายมาพัฒนาต่อในกลุ่มมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยใช้ชื่อว่า IEEE 802.11p

มาตรฐาน IEEE 802.11p แบ่งระดับความสำคัญในการเข้าถึงระดับ MAC โดยใช้มาตรฐานในการทำงานเช่นเดียวกับ IEEE 802.11e เรียกว่า Enhanced Distributed Coordination Function (EDCA) โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ AC0 – AC3 (Access Control) ระดับที่มีความสำคัญสูงสุดคือ AC3 นอกจากนี้ในแต่ละระดับความสำคัญตั้งแต่ AC0 - AC3 นั้นจะมีการตั้งเวลาที่ไม่เหมือนกันดังเช่นในภาพที่ 2.5 และการแบ่งระดับความสำคัญใน IEEE 1609.4 และ IEEE 802.11p มีความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.5 การตั้งเวลาสำหรับการทำงานในระดับความสำคัญ AC0 - AC3 [14]



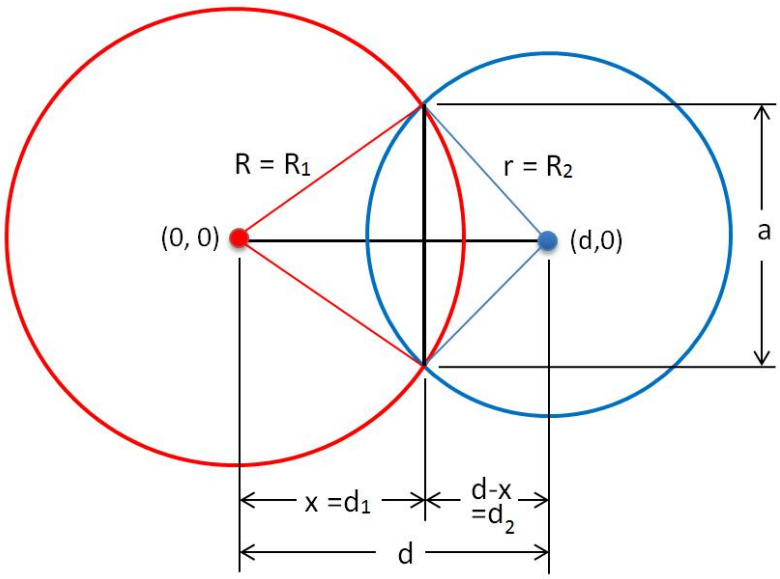
ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ในการแบ่งความสำคัญของงานระหว่าง IEEE 1609 และ IEEE802.11p [14]

การทำงานในระดับ PHY มาตรฐาน IEEE802.11p ทำงานที่ความถี่ 5.9GHz ที่ความกว้างของสัญญาณ 75MHz มีความกว้างของช่องสัญญาณย่อย 10 MHz อัตราการส่งข้อมูลสูง 27 Mbps และมีระยะการส่งข้อมูลสูงสุด 1000 เมตร สามารถเปรียบกับมาตรฐานอื่นๆได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบมาตรฐาน IEEE 802.11 ต่างๆ [18]

IEEE	Release[18]	Frequency (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data Rate (Mbps)	Modulation	Outdoor Distance (m.)
802.11a	Sep. 1999	5	20	54	OFDM	120
802.11b	Sep. 1999	2.4	20	11	DSSS	140
802.11g	Sep. 2003	2.4	20	54	OFDM,DSSS	140
802.11n	Oct. 2009	2.4/5	20/40	72.2/150	OFDM	250
802.11p	June 2010	5.9	10	6-27	OFDM	800

2.1.4 การคำนวณพื้นที่ทับซ้อนของวงกลม



ภาพที่ 2.7 แสดงพื้นที่ทับซ้อนกันของวงกลม

จากภาพที่ 2.7 ให้วงกลม 2 วงมีรัศมี R และ r , มีตำแหน่งเริ่มต้นที่ (0,0) และ (d,0) ตามลำดับ [19]

สมการของวงกลมทั้ง 2 วงคือ

$$x^2 + y^2 = R^2 \tag{1}$$

$$(x - d)^2 + y^2 = r^2 \tag{2}$$

นำสมการที่ 1 และ 2 มารวมกัน

$$(x - d)^2 + (R^2 - y^2) = r^2 \tag{3}$$

$$x^2 - 2dx + x^2 - x^2 = r^2 - R^2 \tag{4}$$

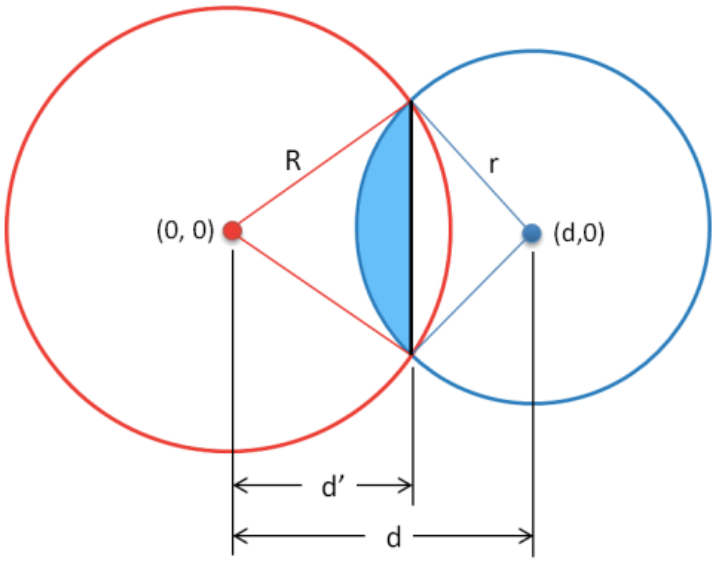
จัดรูปสมการจะได้

$$x = \frac{d^2 - r^2 + R^2}{2d} \tag{5}$$

ดังนั้น

$$d_1 = x = \frac{d^2 - r^2 + R^2}{2d} \tag{6}$$

$$d_2 = d - x = \frac{d^2 + r^2 - R^2}{2d} \tag{7}$$



ภาพที่ 2.8 แสดงการคำนวณพื้นที่ทับซ้อนกันของวงกลม

จากภาพที่ 2.8 สามารถคำนวณหาพื้นที่ส่วนที่แรเงาได้ดังนี้

$$A(R,d') = R^2\cos^{-1}\left(\frac{d'}{R}\right) - d'\sqrt{R^2 - d'^2} \quad (8)$$

ดังนั้นพื้นที่ทับซ้อนของวงกลมมีค่าเท่ากับ

$$A = A(R,d_1) + A(r,d_2) \quad (9)$$

$$\mathrm{A} = R^2\cos^{-1}\left(\frac{d^2+R^2-r^2}{2dR}\right) + r^2\cos^{-1}\left(\frac{d^2+r^2-R^2}{2dr}\right) - \frac{1}{2}\sqrt{(-d+r+R)(d+r-R)(d-r+R)(d+r+R)} \quad (10)$$

พื้นที่ทับซ้อนของวงกลม กรณีที่ $R = r$

$$A = R^2\cos^{-1}\left(\frac{d}{2R}\right) - \frac{d}{2}\sqrt{4R^2 - d^2} \quad (11)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาวิธีการจัดการบัฟเฟอร์สำหรับรถยนต์บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (VANET : Vehicular Ad-hoc Networks) จึงได้ศึกษางานวิจัยที่มีการพัฒนาบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง (DTN : Delay Tolerant Networks) เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนา ซึ่งการพัฒนาจะอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบ Store-and-Forward โดยโหนด (Node) ที่ได้รับข้อความจะเก็บข้อความนั้นไว้ในบัฟเฟอร์จนกว่าข้อความนั้นจะหมดอายุหรือโหนดที่เก็บข้อความจะส่งต่อข้อความให้กับโหนดอื่นที่อยู่ในระยะที่สามารถเชื่อมต่อกันได้ มีงานวิจัยที่ออกแบบวิธีการจัดการบัฟเฟอร์ หากเกิดกรณีที่บัฟเฟอร์ของโหนดเต็มที่น่าสนใจดังนี้

A New Packet Dropping Policy in Delay Tolerant Network [11] เป็นงานวิจัยที่ถูกพัฒนาอยู่บนพื้นฐานการทำงานแบบ Store-and-Forward งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงาน โดยสรุปให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Drop Head, Drop Tail, Random Drop ว่ายังทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพดีพอ จึงได้ออกแบบวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบใหม่ขึ้น โดยที่จะพิจารณาจากค่าน้ำหนักของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ซึ่งค่าน้ำหนักของข้อมูลจะแทนความมีประโยชน์ของข้อมูลนั้น

การคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูล (W_i) สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. ค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกส่งไปยังปลายทางได้โดยตรง ซึ่งอาศัยหลักการของ Inter-Contact-Time ระหว่างโหนด 2 โหนด ดังสมการที่ (12) โดย Wd_i แทนความน่าจะเป็นที่โหนดสามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางได้โดยตรง

$$Wd_i = 1 - e^{-\lambda T} \tag{12}$$

2. ค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังโหนดถัดไปจนกระทั่งส่งไปถึงยังปลายทาง โดยอาศัยการเก็บข้อมูลว่ามีจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลเท่าไหร่ที่ถูกส่งต่อในเครือข่าย ซึ่งได้จากการที่โหนดนับจำนวนสำเนาของข้อมูลที่ตัวเองได้ทำสำเนาขึ้น เมื่อโหนดเคลื่อนที่ไปพบกับโหนดอื่นที่อยู่ในระยะของการสื่อสาร โหนดก็จะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูล เพื่อให้ได้ค่าสำเนาของข้อมูลที่ทันสมัย ดังสมการที่ (13) โดย Wi_i ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังโหนดถัดไปและส่งไปถึงยังปลายทาง

$$Wi_i = \frac{N - TC_i}{N} \tag{13}$$

เมื่อคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูลทั้งสองส่วนแล้ว ก็นำค่าน้ำหนักที่ได้แต่ละส่วนมารวมกัน โดยมี ค่าพารามิเตอร์ α และ β มาช่วยทำให้อัตราส่วนของค่าน้ำหนักของข้อมูลมีความสมดุลกัน ดังสมการที่ (14)

$$Wi = \alpha Wd_i + \beta Wi_i \tag{14}$$

วิธีการคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูลจะเริ่มต้นขึ้นเมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ก็จะทำการคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ทั้งหมด จากนั้นนำค่าน้ำหนักของข้อมูลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกัน ข้อมูลไหนที่มีค่าน้ำหนักน้อยที่สุดถือว่ามีประโยชน์น้อยสุดก็จะถูกทิ้งจากบัฟเฟอร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Drop Head, Drop Tail และ Random Drop จากการทดลองใน [11] พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่นำมาเปรียบเทียบในด้านของความเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่นำเสนอ ในส่วนของการคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูลนั้น ต้อง

อาศัยข้อมูลจำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ Global โดยในความเป็นจริงแล้วเป็นการยากที่จะทราบจำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย ณ ขณะนั้นว่าเป็นเท่าไร

Optimal Buffer Management Policy on Delay Tolerant Networks [12] ซึ่งพัฒนาอยู่บนพื้นฐานการทำงานแบบ Store-and-Forward เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ได้พูดไป งานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการทิ้งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน ซึ่งมุ่งเน้นประสิทธิภาพของระบบในด้านของการทำให้ค่าความน่าเชื่อถือมากที่สุดหรือค่าเวลาหน่วงน้อยที่สุด

1. Global Knowledge Based Drop (GBD) เป็นวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูล โดยพิจารณาว่าถ้าหากบัฟเฟอร์ของโหนดเต็มควรที่จะทิ้งข้อมูลไหนที่จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด โดยคำนวณค่าความมีประโยชน์ของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน ในการคำนวณค่าความมีประโยชน์จะต้องอาศัยพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลแบบ Global

2. History Based Drop (HBD) เป็นวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่คำนวณค่าความมีประโยชน์ของข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์เช่นเดียวกับ GBD แต่จะแตกต่างกันตรงที่ HBD จะใช้พารามิเตอร์ได้แก่ จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดในเครือข่ายและจำนวนของโหนดที่เคยเห็นกลุ่มข้อมูลนั้น มาใช้ในการคำนวณ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะได้มาจากการที่โหนดเก็บข้อมูลที่มีลักษณะเป็นโครงสร้าง คือจะเก็บรายการของข้อมูลที่เคยได้รับทั้งหมด โดยจะมีรายละเอียดของข้อมูลว่าข้อมูลนี้มีโหนดไหนบ้างที่เคยเห็นมาก่อน

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Drop Front, Drop Tail, Drop Oldest และ Drop Youngest จากการทดลองใน [12] พบว่าวิธีการที่นำเสนอทั้งสองวิธี (GBD และ HBD) ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่นำมาเปรียบเทียบในด้านของความน่าเชื่อถือได้ และ ค่าเวลาหน่วง แต่เมื่อพิจารณางานวิจัยนี้พบว่าในการคำนวณหาค่าของความมีประโยชน์ของข้อมูลจะต้องอาศัยข้อมูลจำนวนของโหนดทั้งหมดที่มีในเครือข่ายที่เป็นข้อมูลแบบ Global ซึ่งในความเป็นจริงยากที่จะทราบข้อมูลนี้ได้ อีกทั้งการคำนวณหาค่าจำนวนสำเนาของข้อมูลทั้งหมดในเครือข่าย และจำนวนของโหนดที่เคยเห็นกลุ่มข้อมูลที่ได้มาจากการที่โหนดเก็บข้อมูลไว้ ซึ่งถ้าเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่มีจำนวนโหนดและจำนวนกลุ่มข้อมูลในเครือข่ายจำนวนมากก็จะทำให้โหนดต้องรับภาระในการเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยที่กล่าวมา สามารถสรุปหลักการทำงานของแต่ละวิธีการได้ตามตารางที่ 2.2 โดยจะนำนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอมาเปรียบเทียบ ซึ่งนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอได้ออกแบบมาสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นออกแบบมาสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

	A New Packet Dropping Policy in DTNs [11]	Optimal Buffer Management Policy on DTNs [12]	Proposed Policy on VANETs
พารามิเตอร์	● เวลาที่เหลือของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนโหนดทั้งหมด	● เวลาที่เหลือของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนโหนดทั้งหมด ● จำนวนโหนดที่เคยเห็นกลุ่มข้อมูล	● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน
ประเภทของข้อมูลที่ใช้	Global	Global	Local
กระบวนการทิ้งข้อมูล	คำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูล	คำนวณความมีประโยชน์ของกลุ่มข้อมูล	คำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล
ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล	● รายการของกลุ่มข้อมูลที่ได้รับ ● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนโหนดที่เคยเห็นกลุ่มข้อมูล	● จำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูล ● จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน
เปรียบเทียบกับ	● Drop Tail ● Drop Front ● Random Drop	● Drop Tail ● Rapid	● Drop Tail ● Drop Front ● Random Drop

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

	A new packet dropping policy in DTNs [11]	Optimal Buffer Management Policy on DTNs [12]	Proposed Policy on VANETs
ตัววัดประสิทธิภาพ	● อัตราการส่งข้อมูลที่สำเร็จ	● อัตราการส่งข้อมูลที่สำเร็จ ● ความหน่วงจากการส่ง	● ความเชื่อถือได้ ● จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบ ● ค่าใช้จ่าย

บทที่ 3
การออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมีแนวคิดที่สำคัญในการออกแบบดังต่อไปนี้

1) คุณสมบัติร่วมของการแพร่ข้อมูลของโพรโทคอลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โพรโทคอลส่วนใหญ่ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ จะมีลักษณะการทำงานแบบ Store-and-Forward คือโหนดที่ได้รับกลุ่มข้อมูลจะเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้ในบัฟเฟอร์จนกว่ากลุ่มข้อมูลนั้นจะหมดอายุหรือโหนดที่เก็บกลุ่มข้อมูลจะส่งต่อให้กับโหนดอื่นที่อยู่ในระยะการเชื่อมต่อถึงกัน เพื่อช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการทำงานของโพรโทคอลเหล่านี้ออกเป็นส่วนที่สำคัญคือ

- โหนดต้นทาง (Source node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง
- เมื่อโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ภายในระยะการสื่อสารได้รับข้อมูล ก็จะมีวิธีในการเลือกโหนดถัดไปที่จะทำหน้าที่ในการแพร่ข้อมูลไปยังโหนดอื่นๆ ซึ่งวิธีในการเลือกโหนดถัดไปนั้นจะขึ้นอยู่กับขั้นตอนวิธีของแต่ละโพรโทคอล
- เมื่อโหนดพบว่ามีโหนดเพื่อนบ้านบางโหนดที่ยังไม่ได้รับข้อมูล โหนดจะทำหน้าที่ในการแพร่ข้อมูลนั้นให้กับโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง

ดังนั้นการออกแบบนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลสามารถนำมาใช้งานได้กับโพรโทคอลส่วนใหญ่ได้ทันที นอกจากนี้โพรโทคอลส่วนใหญ่ใช้ปริมาณความหนาแน่น (จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน) ในการทำงาน ซึ่งข้อมูลความหนาแน่นนี้ได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดเพื่อนบ้านของโพรโทคอลอยู่แล้ว ปริมาณความหนาแน่นนี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล เนื่องจากจำนวนโหนดเพื่อนบ้านสะท้อนถึงจำนวนโหนดที่ได้รับกลุ่มข้อมูลหรือจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

2) การคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล โดยใช้ปริมาณความหนาแน่นทันที (จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน) จะทำให้ค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่ได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง เนื่องจากมีโหนดจำนวน

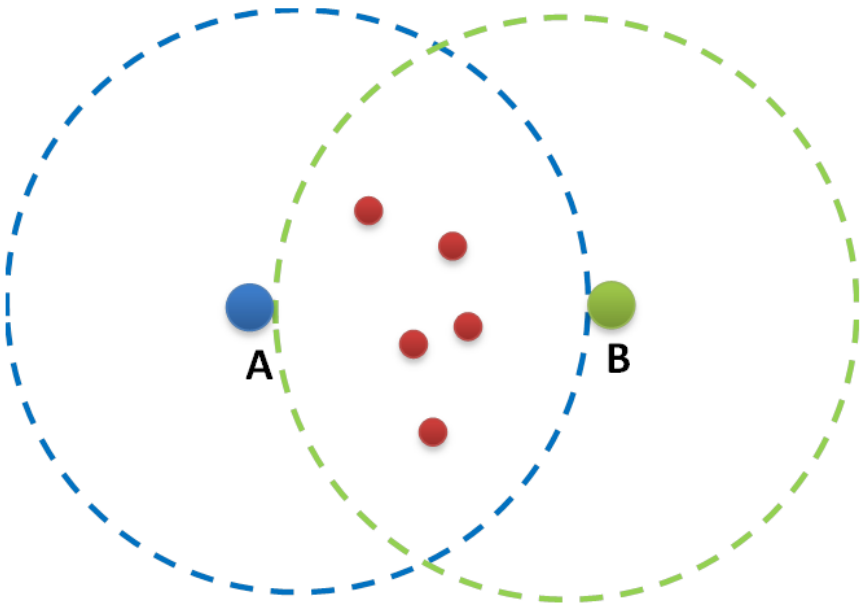
หนึ่งที่อยู่ในพื้นที่ทับซ้อนของระยะสื่อสาร ทำให้การคำนวณจำนวนของสำเนาเกิดความซ้ำซ้อน ดังนั้นหากสามารถประมาณจำนวนโหนดที่อยู่ในพื้นที่ทับซ้อนได้นั้น ก็จะช่วยทำให้การคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากขึ้น และส่งผลไปถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอลได้

3) นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลโดยพิจารณาจากค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด เนื่องจากค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดนั้นสะท้อนให้เห็นถึงจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่ถูกแพร่ไปในระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้ก็มีสูงด้วยเช่นกัน

3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล

3.2.1 การประมาณจำนวนโหนดในพื้นที่ทับซ้อน

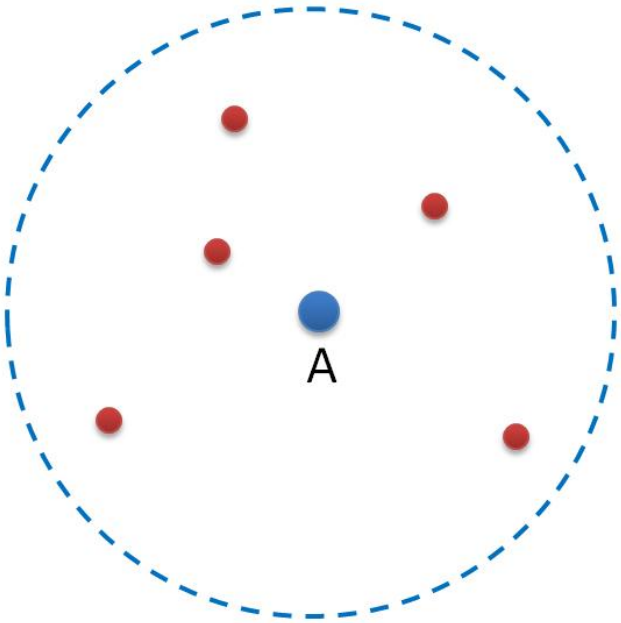
เนื่องจากเมื่อมีการแพร่ข้อมูลระหว่างโหนดสองโหนด โพรโทคอลมักเลือกโหนดบริเวณขอบของระยะการสื่อสารเป็นโหนดถัดไปที่ทำหน้าที่ในการแพร่กลุ่มข้อมูลต่อเพื่อลดปริมาณค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูล ดังนั้นในการแพร่ข้อมูลจึงมีลักษณะ ดังภาพที่ 3.1 ซึ่งแสดงตัวอย่างเมื่อ A เป็นโหนดต้นทางและเลือก B เพื่อเป็นโหนดทำการแพร่ต่อ จะสังเกตได้ว่าโหนดสีแดงบริเวณพื้นที่ทับซ้อนของการสื่อสารนั้นได้รับการแพร่ข้อมูลถึงสองครั้ง โหนดในบริเวณนั้นจึงไม่มีส่วนในการเพิ่มจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลในการแพร่ข้อมูลของโหนด B



ภาพที่ 3.1 แสดงโหนดบริเวณของพื้นที่ทับซ้อนของการสื่อสาร

ดังนั้นในการคำนวณหาจำนวนโหนดในพื้นที่ทับซ้อนในกรณีที่โหนดทราบแต่ความหนาแน่นสามารถทำได้โดยการประมาณความหนาแน่นในบริเวณพื้นที่ทับซ้อนของการสื่อสาร ซึ่งคำนวณจากความหนาแน่นของโหนดในพื้นที่ทับซ้อน และขนาดของพื้นที่ทับซ้อน

1) การประมาณความหนาแน่นของโหนดเพื่อนบ้านสามารถทำได้โดยการประมาณจากจำนวนของโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมดของโหนดใดๆ คือ ความหนาแน่นของโหนดเพื่อนบ้านต่อหนึ่งพื้นที่ของระยะการสื่อสารของโหนดนั้น ดังภาพที่ 3.2 จะสังเกตว่าโหนด A มีเพื่อนบ้านหนาแน่น 5 โหนดต่อหนึ่งพื้นที่ของระยะการสื่อสาร



ภาพที่ 3.2 แสดงจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดต้นทาง

2) การคำนวณหาอัตราส่วนพื้นที่ทับซ้อนกับพื้นที่ของระยะการสื่อสาร สามารถคำนวณได้จากการคำนวณพื้นที่ซ้อนทับของวงกลม จากสมการ (10) ที่กล่าวในทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เมื่อกำหนดให้ระยะห่างระหว่างโหนดคือ R และให้รัศมีในการสื่อสารของทุกโหนดเท่ากันที่ R จะสามารถหาพื้นที่ทับซ้อนของการสื่อสารได้ดังสมการ(15) ดังนั้นอัตราส่วนของพื้นที่ทับซ้อนในกรณีทั่วไปที่ระยะห่างระหว่างโหนด (d) มีค่าเท่ากับระยะของการสื่อสาร (R) กับพื้นที่ของระยะการสื่อสารคือ 0.39 ดังสมการ (16)

พื้นที่ทับซ้อนของวงกลมกรณีที่ $d = R$

$$Overlap\ Area = R^2 \cos^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{R^2}{2}\sqrt{3} \quad (15)$$

หาอัตราส่วนของพื้นที่ทับซ้อนกันของวงกลมต่อพื้นที่วงกลมได้จาก

$$Overlap\ Ratio = \frac{R^2 \cos^{-1}\left(\frac{1}{2}\right) - \frac{R^2}{2}\sqrt{3}}{\pi R^2} = 0.39 \quad (16)$$

3.2.2 การคำนวณค่าสำเนา

หลักการคำนวณและปรับปรุงค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆ ได้ตามขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีการทำงานแบบ Store-and-Forward ได้ 4 กรณี ดังต่อไปนี้

1) *กรณีที่โหนดต้นทาง (Source Node) แพร่ข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านตนเอง* ในกรณีนี้โหนดต้นทางเป็นโหนดเริ่มต้นในการแพร่กลุ่มข้อมูล ดังนั้นจำนวนสำเนาที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากการแพร่ของโหนดต้นทางเพียงโหนดเดียวเท่านั้น ดังนั้นค่าสำเนาในกรณีนี้จึงมีค่าเท่ากับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมดของโหนดต้นทาง ซึ่งเป็นจำนวนโหนดที่อยู่ในระยะการส่งของโหนดต้นทาง ดังสมการ (17) ให้ $copy$ คือ ค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล และ n_s เป็นจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดต้นทาง

$$copy = n_s \quad (17)$$

2) *กรณีโหนดที่ถูกเลือก (Next Rebroadcast Node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านของตนเอง* ในกรณีนี้แสดงว่าก่อนหน้านี้มีการแพร่กลุ่มข้อมูลนี้มาแล้ว และโหนดกำลังจะแพร่กลุ่มข้อมูลนี้ต่อไป โดยมีค่าสำเนาเดิมแนบมากับกลุ่มข้อมูลนั้น ดังนั้นการแพร่ในครั้งนี้จะเกิดพื้นที่ซ้อนทับของการสื่อสารขึ้นระหว่างโหนดก่อนหน้า (Precursor Node) และโหนดที่จะแพร่กลุ่มข้อมูลต่อ (Next Rebroadcast Node) จึงสามารถคำนวณค่าสำเนาได้จากการรวมค่าสำเนาเดิมและค่าสำเนาใหม่ และหักค่าสำเนาที่คาดว่าจะซ้ำซ้อนในพื้นที่ทับซ้อน ดังสมการ (18) โดยให้ $copy$ เป็นค่าสำเนาใหม่ $copy'$ เป็นค่าสำเนาเดิม n_p เป็นจำนวนเพื่อนบ้านของโหนดก่อนหน้า n_r เป็นจำนวนเพื่อนบ้านของโหนดที่ถูกเลือก และ α เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ทับซ้อนกับพื้นที่ระยะสื่อสาร (มีค่าเท่ากับ 0.39)

$$copy = (copy' + n_r) - (n_p \times \alpha) \quad (18)$$

3) *กรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน และเพื่อนบ้านทำการแพร่ข้อมูลแทน* ซึ่งในกรณีนี้จะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับกรณีที่ 2

4) *กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับข้อมูล* ในกรณีนี้จำนวนของสำเนาที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นจากจำนวนของโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อมูล นั่นคือจำนวนของโหนดที่แลกเปลี่ยนข้อมูลบีคอนแล้วพบว่ายังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้น ดังนั้นโหนดจะทำการนับจำนวนของบีคอนที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้นภายในเวลาก่อนจะมีการแพร่กลุ่มข้อมูล สามารถคำนวณค่าสำเนาได้ดังสมการ (19) ให้ $copy$ เป็นค่าสำเนาใหม่ $copy'$ เป็นค่าสำเนาเดิม และ n_b เป็นจำนวนบีคอนจากโหนดที่ไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้นภายในเวลาก่อนจะมีการแพร่กลุ่มข้อมูล

$$copy = copy' + n_b \tag{19}$$

3.2.3 ขั้นตอนการทำงาน

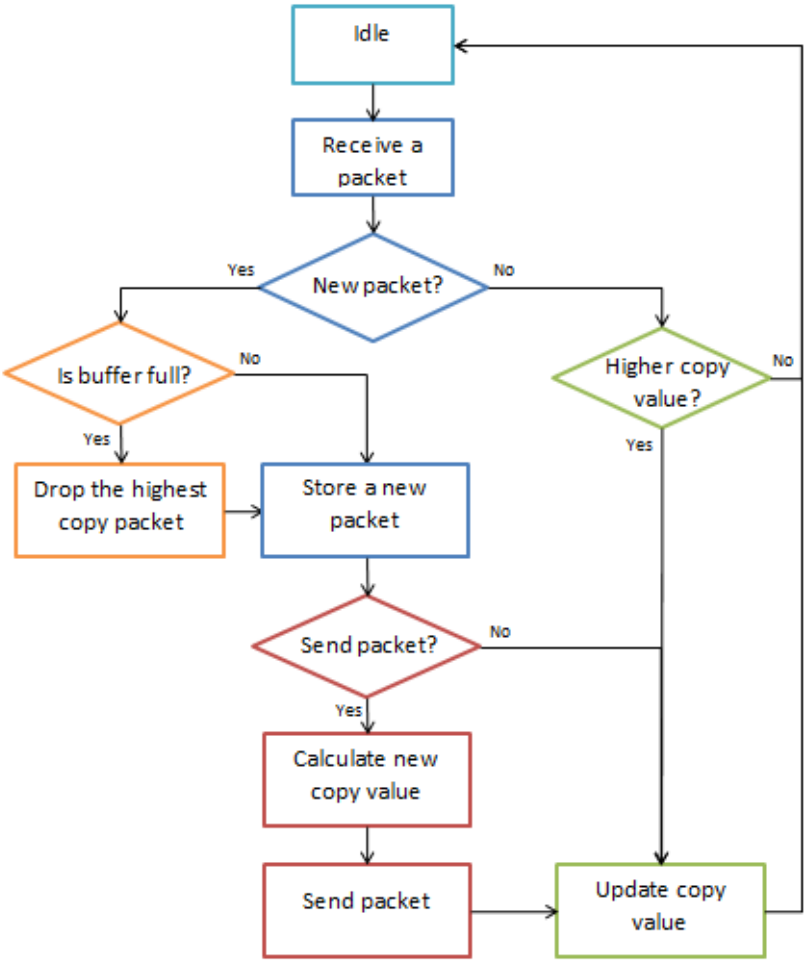
ขั้นตอนการทำงานสามารถแบ่งออกเป็นวิธีการทำงานที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

1) เมื่อโหนดได้รับกลุ่มข้อมูล โหนดจะทำการตรวจสอบว่าเป็นกลุ่มข้อมูลใหม่หรือไม่ หากไม่เป็นกลุ่มข้อมูลใหม่จะทำการตรวจสอบค่าสำเนา หากค่าสำเนาใหม่มีค่าสูงกว่าจะมีการปรับปรุงแทนค่าสำเนาเดิม

2) กรณีที่โหนดได้รับกลุ่มข้อมูลใหม่ โหนดจะตรวจสอบว่าบัฟเฟอร์มีขนาดพอสำหรับการเก็บข้อมูลหรือไม่ กรณีที่บัฟเฟอร์เต็มโหนดจะทิ้งกลุ่มข้อมูลเก่าในบัฟเฟอร์ที่มีค่าสำเนาสูงที่สุด จากนั้นจึงเก็บกลุ่มข้อมูลใหม่พร้อมเก็บค่าสำเนา

3) กรณีที่โหนดจะต้องแพร่กลุ่มข้อมูล ซึ่งเกิดขึ้นได้ 4 กรณีคือ การเริ่มต้นแพร่กลุ่มข้อมูล การถูกเลือกเพื่อแพร่กลุ่มข้อมูลต่อ การแพร่กลุ่มข้อมูลแทนโหนดที่ถูกเลือก และการแพร่ให้โหนดที่ได้รับกลุ่มข้อมูลไม่ครบ โหนดจะทำการคำนวณค่าสำเนาใหม่ตามกรณีต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว จากนั้นจึงแนบค่าสำเนาใหม่ไปพร้อมกับกลุ่มข้อมูล และแพร่กลุ่มข้อมูลนั้นออกไป จากนั้นจึงทำการปรับปรุงค่าสำเนาของตน

ขั้นตอนการทำงานสามารถสรุปได้ตามแผนภาพดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอ

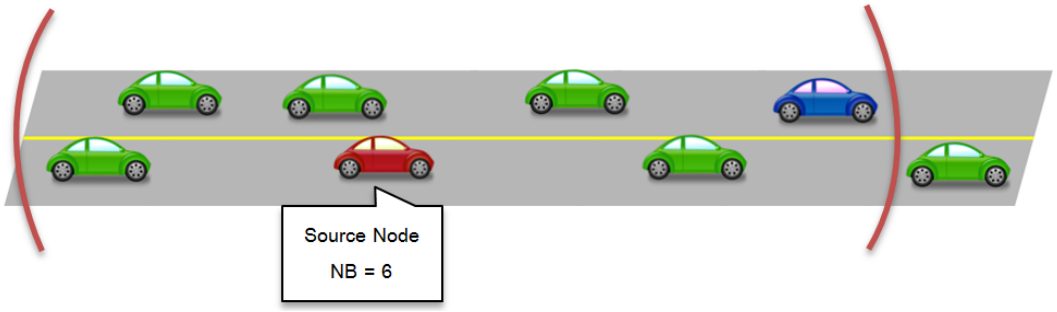
3.3 ตัวอย่างการทำงาน

ตัวอย่างการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลโดยแบ่งเป็นกรณีต่างๆตามขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีการทำงานแบบ Store-and-Forward ดังนี้

1) *กรณีที่โหนดต้นทาง (Source Node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านตนเอง*

โหนดต้นทางจะทราบว่ามีจำนวนเพื่อนบ้านทั้งหมดของตนเองเท่าไหร่ ดังภาพที่ 3.4 โหนดต้นทางจะแพร่กลุ่มข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมด 6 โหนด ดังนั้นจำนวนสำเนาของกลุ่ม

ข้อมูลก็จะมีค่าเท่ากับจำนวนเพื่อนบ้านของโหนดต้นทาง จากนั้นโหนดต้นทางจะแนบข้อมูลสำเนาไปกับกลุ่มของข้อมูลที่จะแพร่ให้กับโหนดเพื่อนบ้าน



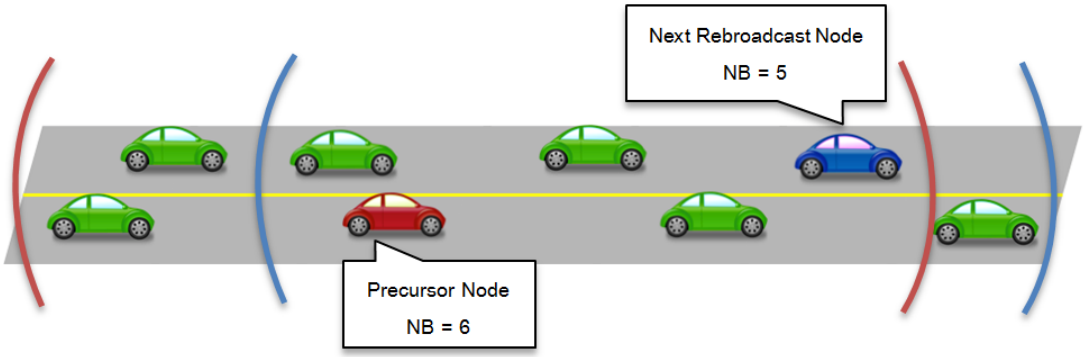
ภาพที่ 3.4 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดต้นทางแพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านตนเอง

ตัวอย่างการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล

$$copy = 6$$

2) *กรณีโหนดที่ถูกเลือก (Next Rebroadcast Node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านของตนเอง*

กรณีที่โหนดที่ถูกเลือก (Next Rebroadcast Node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านของตนเอง ดังภาพที่ 3.5 การแพร่ในครั้งนี้จะเกิดพื้นที่ซ้อนทับของการสื่อสารขึ้น เนื่องจากก่อนหน้านี้มีการแพร่ข้อมูลนี้มาแล้วโดยโหนดก่อนหน้า (Precursor Node) ซึ่งมีการแนบค่าสำเนาเดิมมากับกลุ่มข้อมูลนั้นด้วย ดังนั้นการคำนวณค่าสำเนาได้จากการรวมค่าสำเนาเดิมและค่าสำเนาใหม่ และหักค่าสำเนาที่คาดว่าจะซ้ำซ้อนในพื้นที่ทับซ้อนระหว่างโหนดก่อนหน้า (Precursor Node) และโหนดที่จะแพร่กลุ่มข้อมูลต่อ (Next Rebroadcast Node)



ภาพที่ 3.5 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดที่ถูกเลือกแพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านของตนเอง

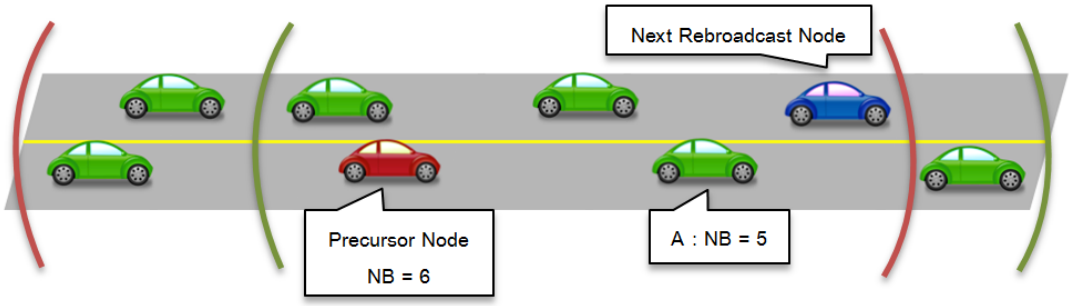
ตัวอย่างการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล

$$copy = (copy' + n_r) - (n_p \times \alpha)$$

$$copy = (6 + 5) - (6 \times 0.39) = 9$$

3) *กรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน และเพื่อนบ้านทำการแพร่ข้อมูลแทน*

การคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลกรณีที่โหนดที่ถูกเลือก (Next Rebroadcast Node) ไม่ทำงาน ดังภาพที่ 3.6 นั้น โหนดที่ได้รับกลุ่มข้อมูลจากโหนดก่อนหน้า (Precursor Node) ที่มีเวลาคอยสั้นที่สุดจะทำหน้าที่ในการแพร่ข้อมูลแทน จากรูปสมมติว่าโหนด A มีเวลาคอยสั้นสุดและเป็นโหนดที่ทำหน้าที่แทนโหนดที่ถูกเลือก ซึ่งวิธีการคำนวณค่าสำเนากลุ่มข้อมูลจะเหมือนกันกับกรณีที่โหนดที่ถูกเลือกแพร่กลุ่มข้อมูล



ภาพที่ 3.6 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน
และเพื่อนบ้านทำการแพร่ข้อมูลแทน

ตัวอย่างการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล

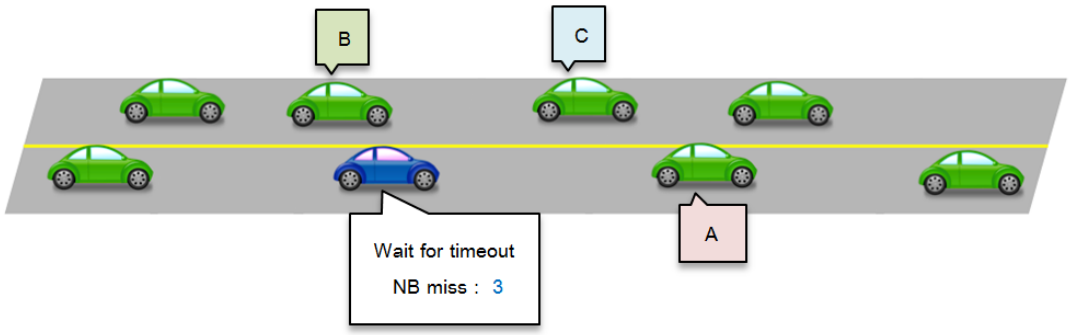
$$copy = (copy' + n_r) - (n_p \times \alpha)$$

$$copy = (6 + 5) - (6 \times 0.39) = 9$$

4) *กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล*

กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล ดังภาพที่ 3.7 จะสามารถทราบได้จากข้อมูลบีคอนที่โหนดใช้ในการแลกเปลี่ยนกัน จากภาพ สมมติว่าโหนดสีฟ้า ได้รับข้อมูลบีคอนแล้วพบว่า มีโหนด A ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล โหนดสีฟ้าก็จะทำการตั้งเวลาคอยเพื่อที่จะแพร่กลุ่มข้อมูลออกไป พร้อมทั้งนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อมูลที่ตรวจสอบพบภายในเวลา

ก่อนที่มีการแพร่ข้อมูล จากรูปคือโหนด B,C เมื่อเวลาคอยสิ้นสุดลงโหนดสีฟ้าก็จะทำการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล โดยนำค่าสำเนาของข้อมูลเดิมบวกกับจำนวนโหนดที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลซึ่งหาได้จากจำนวนบีคอนของโหนดที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้นภายในเวลาก่อนจะมีการแพร่กลุ่มข้อมูล จากนั้นก็แนบค่าที่คำนวณได้ไปกับกลุ่มข้อมูลที่ต้องส่งออกไป



ภาพที่ 3.7 แสดงการคำนวณค่าสำเนาในกรณีโหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับข้อมูล

<u>ตัวอย่างการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูล</u>

$$copy = copy' + n_b$$

$$copy = copy' + 3$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์สมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยเริ่มจากตัววัดสมรรถนะ (Performance Metric) ในแต่ละด้านดังนี้ ความเชื่อถือได้ จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบ และค่าใช้จ่าย กำหนดเครื่องมือต่างๆและสภาพแวดล้อมในการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ Drop Front, Drop Tail และ Random Drop เพื่อให้เห็นความแตกต่างทางด้านสมรรถนะของการทำงาน

4.1 ตัววัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล

ในการวัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลจะวัดสมรรถนะในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ความเชื่อถือได้ (Reliability) : เพื่อทดลองสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลในวิธีต่างๆ รวมทั้งนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่เสนอ โดยค่าความเชื่อถือได้จะแสดงถึงความสามารถของนโยบายต่างๆในการจัดการบัฟเฟอร์ที่มีอย่างจำกัดให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยค่าความเชื่อถือได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนรถที่ได้รับกลุ่มข้อมูลต่อจำนวนรถที่มีทั้งหมดในระบบ

2) จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบ : เนื่องจากวัตถุประสงค์สำคัญของนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลคือการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ถึงปลายทาง หรือกลุ่มข้อมูลที่หลงเหลืออยู่ในระบบมีการกระจายตัวที่ดี นั่นคือ หากกลุ่มข้อมูลใดยังไม่หมดอายุ ก็ควรที่จะมีโหนดที่เก็บกลุ่มข้อมูลนั้นเพื่อแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆ และในกรณีที่กลุ่มข้อมูลมีความสำคัญเท่ากันปริมาณของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบควรใกล้เคียงกัน เพื่อแสดงถึงสมรรถนะที่ดีของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลนั้น จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบคือจำนวนของกลุ่มข้อมูลนั้นๆที่โหนดในระบบเก็บเอาไว้ในบัฟเฟอร์

3) ค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำ (Retransmission Overhead) : เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพในการทำงานของนโยบายต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลนั้น เกี่ยวข้องกับปริมาณกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ ดังนั้นนโยบายที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงจึงมีค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย ค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำคือขนาดของกลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งเข้าไปในระบบโดยเป็นค่าใช้จ่ายต่อค่าความเชื่อถือได้ต่อกลุ่มข้อมูลต่อโหนด

4.2 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล

เนื่องจากนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลนี้ออกแบบมาเพื่อให้ทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนนนั้นไม่สามารถคาดเดาได้และยากต่อการจำลอง เพื่อให้เกิดความสมจริงและสะท้อนถึงผลที่จะเกิดขึ้นจริงในการทดลอง ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือในการจำลองสภาพการเคลื่อนที่บนถนนของยานพาหนะที่มีความสมจริง เช่น พฤติกรรมการเพิ่มความเร็ว การลดความเร็ว การแซง และการเลี้ยว เป็นต้น การทดลองสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลจึงประกอบด้วยโปรแกรมจำลอง ดังต่อไปนี้

1) โปรแกรมจำลอง SUMO v.0.10.3 (Simulation of Urban Mobility) [20] ซึ่งจำลองพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนนแบบเสมือนจริง โดยที่การสร้างการเคลื่อนที่นั้นสามารถกำหนดความเร็ว ลักษณะของรถยนต์ กำหนดจำนวนของรถยนต์บนถนน และรวมถึงทิศทางการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดลักษณะของถนนได้ตามต้องการ ซึ่งผลของการจำลองสามารถนำไปแปลงเพื่อใช้ในการทดลองโดยโปรแกรมจำลอง NS-2.34

2) TraNS v.1.0 (Traffic and Network Simulation Environment) [21] เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการแปลงบันทึกการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่ได้จากโปรแกรมจำลอง SUMO ซึ่งอยู่ในรูปภาษา XML ให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมจำลอง NS-2.34 สามารถนำไปใช้งานได้

3) โปรแกรมจำลอง NS-2.34 (Network Simulation) [22] เป็นโปรแกรมจำลองลักษณะการทำงานของเครือข่ายเสมือนจริง เพื่อแสดงให้เห็นผลของการทดลองสมรรถนะที่ให้ผลใกล้เคียงของจริง

ในการทดลองเริ่มต้นด้วยการสร้างการเคลื่อนที่ของรถยนต์ด้วยโปรแกรมจำลอง SUMO จากนั้นจึงแปลงรูปแบบการเคลื่อนที่ของโปรแกรมจำลอง SUMO โดยใช้ TraNS เพื่อให้สามารถใช้ได้กับโปรแกรมจำลอง NS-2.34 และจึงทดลองการทำงานของนโยบายโดยใช้รูปแบบการเคลื่อนตามที่สร้างไว้เป็นขั้นตอนสุดท้าย

4.3 โพรโทคอลที่ใช้ในการทดลองสมรรถนะของนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูล

โพรโทคอลที่ใช้ในการทดลอง คือ DECA (Density-Aware Reliable Broadcast Protocol for Vehicular Ad-hoc Networks) [10] ซึ่งเป็นโพรโทคอลสำหรับการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ โพรโทคอลมีการทำงานโดยใช้เทคนิค Store-

and-Forward ซึ่งตรงตามการออกแบบของนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะที่เสนอนี้ นอกจากนี้โหนดยังมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดเพื่อทราบความหนาแน่นของบริเวณโดยรอบ ดังนั้นจึงสามารถนำมาทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบต่างๆได้

หลักการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะจะประกอบด้วยส่วนการทำงานสำคัญ 4 ส่วนเช่นเดียวกันกับโพรโทคอลอื่นๆที่กล่าวมา โดย DECA ใช้ข้อมูลความหนาแน่นเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจเลือกโหนดถัดไปในการแพร่กลุ่มข้อมูล DECA และประกอบด้วยส่วนที่มีหน้าที่ต่างกัน 3 ส่วน คือ

1) การเลือกโหนดถัดไปในการแพร่กลุ่มข้อมูล โดย DECA จะเลือกโหนดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดที่อยู่ในรายการของเพื่อนบ้านที่เก็บไว้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเพื่อนบ้านผ่านการทำบีคอน

2) กระบวนการทำบีคอน DECA ใช้ระยะเวลาในการทำบีคอนที่ปรับเปลี่ยนไปตามจำนวนความหนาแน่นของรถยนต์รอบๆ หากมีความหนาแน่นสูง ระยะห่างระหว่างแต่ละบีคอนจะมีเวลานานกว่า

3) การคำนวณเวลาคอย ซึ่งในกรณีที่พบว่ามีโหนดที่ถูกเลือกไม่งาน หรือเพื่อนบ้านไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล DECA ใช้การสุ่มเวลานับถอยหลังเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างการแพร่โดยมีเวลาการคอยสูงสุดขึ้นกับจำนวนของเพื่อนบ้าน

ตัวอย่างเหตุการณ์การทำงานของ DECA เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปกติของโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

1) กรณีที่โหนดต้นทาง (Source Node) แพร่กลุ่มข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านตนเอง โหนดต้นทางจะเลือกโหนดเพื่อนบ้านที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดซึ่งอยู่ในรายการโหนดเพื่อนบ้าน จากนั้นจึงแนบเลขประจำตัวของโหนดเพื่อนบ้านไปกับกลุ่มข้อมูลเพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านนั้นทำหน้าที่แพร่กลุ่มข้อมูลต่อ

2) กรณีโหนดที่ถูกเลือก (Next Rebroadcast Node) แพร่กลุ่มข้อมูล เมื่อได้รับกลุ่มข้อมูลจากโหนดก่อนหน้าแล้วพบว่าตนเองเป็นโหนดที่ถูกเลือก โหนดนั้นจะเลือกโหนดที่มีความ

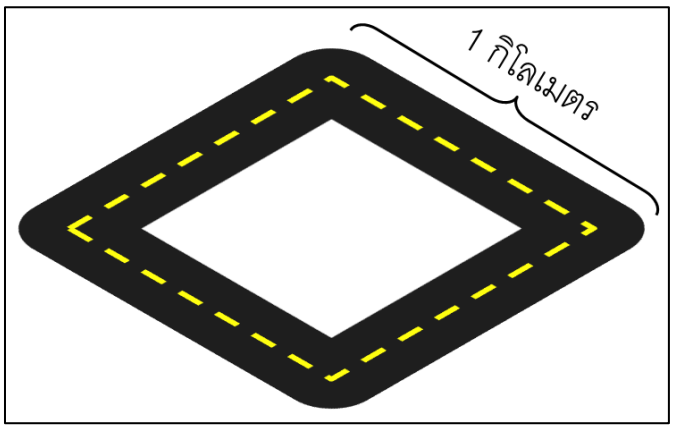
หนาแน่นสูงที่สุดที่ไม่ใช่โหนดก่อนหน้า แล้วทำการแนบหมายเลขประจำตัวของโหนดที่เลือกไปกับกลุ่มข้อมูลก่อนทำการแพร่กลุ่มข้อมูลนั้นต่อไป

3) *กรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน และเพื่อนบ้านทำการแพร่ข้อมูลแทน* เป็นกรณีที่โหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับกลุ่มข้อมูลพร้อมกับโหนดที่ถูกเลือก แล้วพบว่าโหนดที่ถูกเลือกนั้นไม่มีการแพร่กลุ่มข้อมูลนั้นซ้ำ โหนดนั้นจะทำการแพร่กลุ่มข้อมูลนั้นแทน เสมือนตนเองเป็นโหนดที่ถูกเลือก โดยการแพร่จะเกิดจากโหนดที่มีเวลาคอยสั้นที่สุด ซึ่งโหนดได้ตั้งไว้ตั้งแต่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้น

4) *กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านบางโหนดยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล* ในการแลกเปลี่ยนบีคอนภายในจะประกอบด้วยข้อมูลหมายเลขประจำตัวโหนด จำนวนเพื่อนบ้าน รวมถึงกลุ่มข้อมูลที่ได้รับไปแล้ว ทำให้โหนดสามารถทราบได้ว่ามีกลุ่มข้อมูลหมายเลขใดบ้างที่ตนหรือเพื่อนบ้านไม่ได้รับ หากพบว่ามีเพื่อนบ้านได้รับกลุ่มข้อมูลไม่ครบ โหนดนั้นจะทำการตั้งเวลาคอย และโหนดที่มีเวลาคอยสั้นสุดจะทำการแพร่กลุ่มข้อมูล อีกกรณีหนึ่งถ้าโหนดนั้นพบว่าตนเองมีกลุ่มข้อมูลไม่ครบ โหนดนั้นจะส่งบีคอนไปยังโหนดเพื่อนบ้านเพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านแพร่กลุ่มข้อมูลนั้นให้กับตนเอง

4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองจะใช้ลักษณะของถนนทางหลวงขนาดความยาวรวม 4 กิโลเมตร ถนนจะเป็นลักษณะของสี่เหลี่ยมจตุรัส มีความยาวด้านละ 1 กิโลเมตร รถยนต์สามารถวิ่งได้รอบ โดยเป็นถนน 2 ช่องทางจราจร คือ มี 1 ช่องทางสำหรับการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทาง โดยถนนที่ใช้ในการทดลองเป็นดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของถนนที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณของรถยนต์ในการทดลอง แบ่งออกเป็น จำนวนรถยนต์ทั้งหมด 100, 160 และ 280 คัน เพื่อความสมจริงในการทดลอง รถยนต์จะมีการเข้าและออกจากระบบทุกๆ 70 วินาที

เพื่อให้มีโหนดใหม่ที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลเข้ามาในระบบ ซึ่งจะสามารถทดลองสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลได้ดีขึ้น โดยลักษณะการเข้าออกของรถยนต์จะเป็นการสุ่มซึ่งไม่พิจารณาตำแหน่งของรถในขณะนั้น โดยปริมาณของรถยนต์ที่เข้า-ออกในระบบของแต่ละความหนาแน่นเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 (ก) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 100 คัน

เวลาในการทดสอบ (วินาที)	จำนวนรถยนต์ในระบบขณะทำการทดลอง	ปริมาณโหนดที่เข้าออกในระบบ
0 - 170	60	-
170 - 240	60	เข้า 20 คัน ออก 20 คัน
240 - 320	60	เข้า 20 คัน ออก 20 คัน

ตารางที่ 4.1 (ข) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 160 คัน

เวลาในการทดสอบ (วินาที)	จำนวนรถยนต์ในระบบขณะทำการทดลอง	ปริมาณโหนดที่เข้าออกในระบบ
0 - 170	80	-
170 - 240	80	เข้า 40 คัน ออก 40 คัน
240 - 320	80	เข้า 40 คัน ออก 40 คัน

ตารางที่ 4.1 (ค) ปริมาณของรถยนต์ในการทดลองที่มีรถในระบบทั้งหมด 280 คัน

เวลาในการทดสอบ (วินาที)	จำนวนรถยนต์ในระบบขณะทำการทดลอง	ปริมาณโหนดที่เข้าออกในระบบ
0 - 170	120	-
170 - 240	120	เข้า 80 คัน ออก 80 คัน
240 - 320	120	เข้า 80 คัน ออก 80 คัน

ในการทดลองจะประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลจำนวน 40 กลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลโดยเรียงจาก 1-40 ตามลำดับ ซึ่งจะถูกแพร่จากโหนดต้นทาง 40 โหนดแบบสุ่ม นั่นคือจะมี 1 โหนดในระบบขณะนั้นแพร่กลุ่มข้อมูลออกมา 1 กลุ่มข้อมูล โดยจะมีการสุ่มทุกๆ 0.5 วินาที จนกว่าจะครบ 40 กลุ่มข้อมูลในระบบ การทดลองใช้กลุ่มข้อมูลขนาด 512 ไบต์ แต่ละกลุ่มข้อมูลมีอายุ 200 วินาที โดยการทดลองจะเริ่มต้นหลังจากปล่อยให้รถยนต์มีการวิ่งไปแล้ว 100 วินาที และจบหลังจากกลุ่มข้อมูลตัวสุดท้ายหมดอายุ รวมการทดลองในโปรแกรมจำลองเป็นเวลา 320 วินาที ในการทดลองโหนดใช้ระบบสื่อสารไร้สายบนมาตรฐาน IEEE802.11 มีระยะสื่อสารสูงสุดที่ 250 เมตร การตั้งค่าของโพรโทคอล และค่าอื่นๆสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	จำนวนครั้งในการทดลอง : 10 ครั้ง ผลจากการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองต่อครั้ง : 320 วินาที
การสื่อสารไร้สาย	มาตรฐาน : IEEE802.11 ระยะสื่อสารสูงสุด : 250 เมตร
สภาพการจราจร	ปริมาณรถยนต์ (จำนวนรถยนต์ขณะทดสอบ) : 100 (60) , 160 (80), 280 (120) คัน ความเร็วสูงสุด : 50, 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
กลุ่มข้อมูล (Packet)	อายุ : 200 วินาที ขนาด : 512 ไบต์ จำนวนกลุ่มข้อมูลขณะทดสอบ : 40 กลุ่มข้อมูล
โพรโทคอลที่ใช้ในการทดลอง	โพรโทคอลที่ใช้ในการทดลอง : DECA ชนิดโพรโทคอล : โพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้ ช่วงเวลาการทำบีคอน : ทุก 1.5-7 วินาที เวลาในการรอแพร่กลุ่มข้อมูลสูงสุด : 0.2 วินาที ขนาดของบัฟเฟอร์ : 5,10,15,20 กลุ่มข้อมูล
นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	- Drop Tail - Drop Front - Random Drop - Proposed Policy

4.5 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล

- ค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด ดังภาพที่ 4.2

เมื่อพิจารณาที่บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล พบว่าค่าความเชื่อถือได้ของแต่ละนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ต่างความหนาแน่นกันนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนี้ Drop Front เป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่จะทิ้งกลุ่มข้อมูลตัวแรกที่อยู่ในบัฟเฟอร์ จะสังเกตได้ว่ากลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลน้อยจะมีค่าความเชื่อถือได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลมาก ส่วน Drop Tail เป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ให้ค่าความเชื่อถือได้น้อยที่สุด เนื่องจากนโยบายนี้จะทิ้งกลุ่มข้อมูลที่เป็นกลุ่มข้อมูลที่เพิ่งได้รับ ซึ่งเป็นการลดโอกาสที่กลุ่มข้อมูลนี้จะถูกแพร่ต่อไปยังโหนดอื่น ส่วน Random Drop จะสุ่มเลือกทิ้งกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ เมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม โดยให้ค่าความเชื่อถือได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มี

เมื่อเปรียบเทียบนโยบายเก่ากับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอ วิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถแพร่กลุ่มข้อมูลได้มากกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลอื่นๆ เนื่องจากนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอจะทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลมากที่สุดเมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ซึ่งจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดนั้น สะท้อนให้เห็นว่ามีจำนวนของกลุ่มข้อมูลถูกแพร่ไปในระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้ก็มีสูงด้วยเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูงด้วยนั่นเอง และเมื่อพิจารณาความแตกต่างที่จำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนดและ 280 โหนด พบว่าเมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้นที่จำนวนโหนด 280 โหนด Drop Front Drop Tail และ Random Drop ค่าความเชื่อได้มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณของโหนดที่เข้าออกในระบบมีมาก ทำให้กลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอส่งผลทำให้ค่าความเชื่อถือได้ของบางนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลมีค่าลดลง ส่วนค่าความน่าเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอยังคงให้ค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุด โดยที่การเปลี่ยนแปลงของระบบไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของนโยบาย

- ค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด ดังภาพที่ 4.3

เมื่อพิจารณาที่บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล พบว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอสามารถแพร่กลุ่มข้อมูลได้มากกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลอื่นๆ ซึ่งส่งผลทำให้ค่าความเชื่อถือได้มีค่าสูงด้วย แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล จะพบว่าเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์เพิ่มมากขึ้น ค่าความเชื่อถือได้ก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโหนดมีพื้นที่ในบัฟเฟอร์ให้เก็บกลุ่มของข้อมูลได้มากขึ้น ดังนั้นโอกาสที่กลุ่มของข้อมูลจะถูกแพร่ต่อไปในระบบ ถูกส่งไปถึงโหนดปลายทาง หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้ก็มีสูงเช่นกัน

ผลการทดลองที่จำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด มีความแตกต่าง คือ เมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้น Drop Front และ Drop Tail ค่าความเชื่อได้มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณของโหนดที่เข้าออกในระบบมีมาก ทำให้กลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอส่งผลทำให้ค่าความเชื่อถือได้มีค่าลดลง Random Drop เป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมเพียงวิธีการเดียวที่ปริมาณการเข้าออกของโหนดไม่ได้ส่งผลต่อค่าความเชื่อถือได้ คือ มีความเชื่อถือได้ใกล้เคียงกันในทุกการทดสอบ อาจเป็นเพราะบัฟเฟอร์ของโหนดมีปริมาณที่มากขึ้น อีกทั้งนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลเป็นแบบสุ่มด้วย ในส่วนของค่าความน่าเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอยังคงให้ค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุดในทุกการทดลอง

- ค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่ที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด ดังภาพที่ 4.4

เมื่อพิจารณาที่ขนาดของบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นคือ 15 กลุ่มข้อมูล จะเห็นว่าค่าความเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front และ Drop Tail จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความเชื่อถือได้ที่ขนาดบัฟเฟอร์ 5 และ 10 กลุ่มข้อมูล เนื่องจากโหนดมีพื้นที่ในบัฟเฟอร์ให้เก็บกลุ่มของข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง โอกาสที่กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บในบัฟเฟอร์จะถูกแพร่ต่อไปในระบบมีมากขึ้น อีกทั้งมีโหนดอื่นๆที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้รอที่จะแพร่ต่อ และโอกาสที่จะส่งไปถึงยังโหนดปลายทางก็มีมากขึ้นด้วย

ในทางตรงกันข้ามสำหรับ Random Drop และนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอนั้นสามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นได้จากภาพที่ 4.4 (ก) 4.4 (ข) และ 4.4(ค) ดังนี้ ที่จำนวนโหนด 100 โหนด และ 160 โหนด Random Drop และนโยบายการทิ้งข้อมูลที่

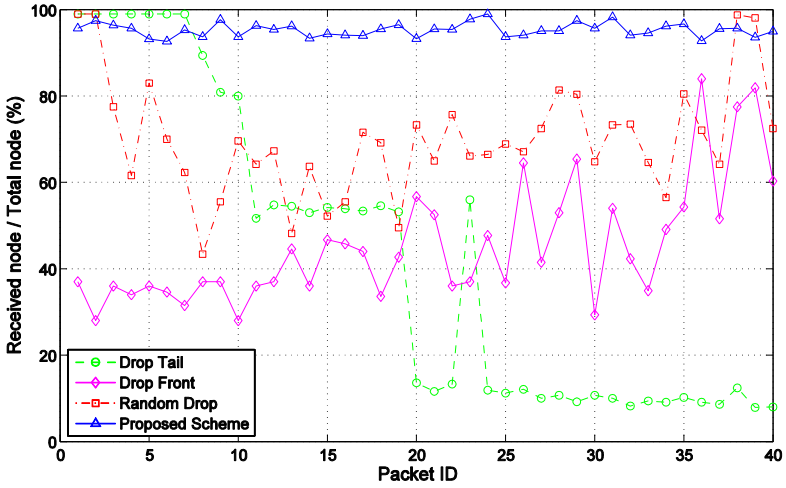
นำเสนอมีค่าความเชื่อถือได้ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่ดีกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front และ Drop Tail แต่เมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้นเป็น 280 โหนด Random Drop และนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีค่าความเชื่อถือได้ที่ลดลง จากข้อมูลในการทดลองพบว่า เนื่องจากนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลทั้งสองแบบสามารถที่จะกระจายกลุ่มข้อมูลไปยังโหนดในระบบได้มาก ทำให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหนดเข้าออกในระบบเกิดขึ้น โหนดในโพรโทคอลการแพร่กลุ่มข้อมูลที่นำมาทดสอบนั้นพยายามส่งกลุ่มข้อมูลไปยังโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้น โดยโหนดที่มีอยู่ในระบบที่มีกลุ่มข้อมูลที่โหนดเพื่อนบ้านไม่ได้รับเป็นจำนวนมาก โหนดเหล่านั้นจึงเกิดการแย่งกันส่งกลุ่มข้อมูลจนเกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณไร้สาย ทำให้โหนดเพื่อนบ้านไม่สามารถรับกลุ่มข้อมูลนั้นได้สำเร็จ อีกทั้งยังส่งผลต่อปริมาณค่าใช้จ่ายในระบบที่เกิดขึ้นดังในผลการทดลองถัดไปอีกด้วย ดังนั้นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอที่มีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่ดีกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Drop จึงได้รับผลกระทบต่อค่าความเชื่อถือได้มากกว่า Random Drop ส่วนกรณีของ Drop Front และ Drop Tail ค่าความเชื่อได้มีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณของโหนดที่เข้าออกในระบบมีมาก ทำให้กลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอส่งผลทำให้ค่าความเชื่อถือได้มีค่าลดลงเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา

- ค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด ดังภาพที่ 4.5

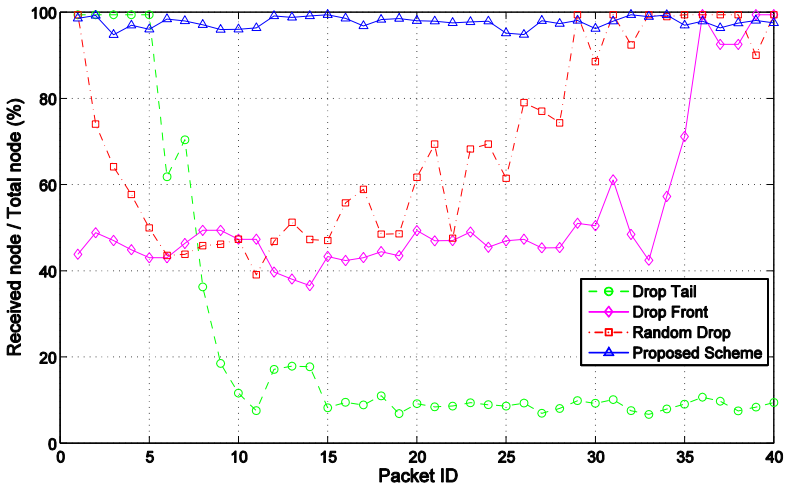
เมื่อพิจารณาที่ขนาดของบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น ที่มีขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ซึ่งเป็นบัฟเฟอร์ขนาดสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง พบว่าค่าความเชื่อถือได้ของทุกนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองที่บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล สำหรับ Drop Front และ Drop Tail เมื่อโหนดมีพื้นที่ในบัฟเฟอร์ให้เก็บกลุ่มของข้อมูลได้มากขึ้น โอกาสที่กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บในบัฟเฟอร์จะถูกแพร่ต่อไปในระบบมีมากขึ้น อีกทั้งมีโหนดอื่นๆที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้รอที่จะแพร่ต่อ และโอกาสที่จะส่งไปถึงยังโหนดปลายทางก็มีมากขึ้นด้วย ทำให้ค่าความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น

ส่วน Random Drop และนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอก็มีความแตกต่างของค่าความเชื่อถือได้ที่จำนวนโหนด 100 โหนด และ 160 โหนดกับจำนวนโหนด 280 โหนด คือ เมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้นที่จำนวน 280 โหนด ค่าความเชื่อถือได้ของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Drop และนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอ ให้ค่าความน่าเชื่อถือได้ลดลงเนื่องจากปัญหาการชนกันของสัญญาณที่โหนดพยายามแย่งส่งให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับกลุ่ม

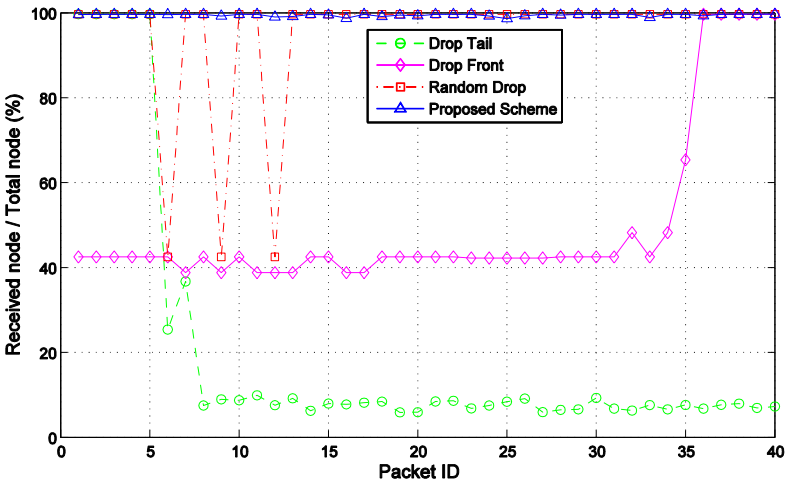
ข้อมูลไม่ครบ โดยในการทดลองนี้ Random Drop มีค่าความเชื่อได้ลดลงจนใกล้เคียงกับนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอเนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลที่ดีขึ้นมากเมื่อมีขนาดบัฟเฟอร์ในระบบถึง 20 กลุ่มข้อมูล ซึ่งปัญหาการชนกันขณะส่งข้อมูลนั้นจะอธิบายโดยละเอียดในผลการทดลองค่าใช้จ่ายของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล



ก)

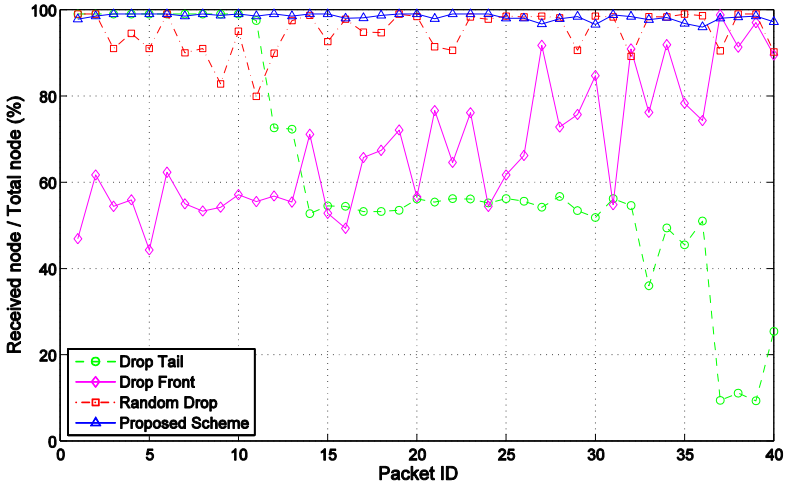


ข)

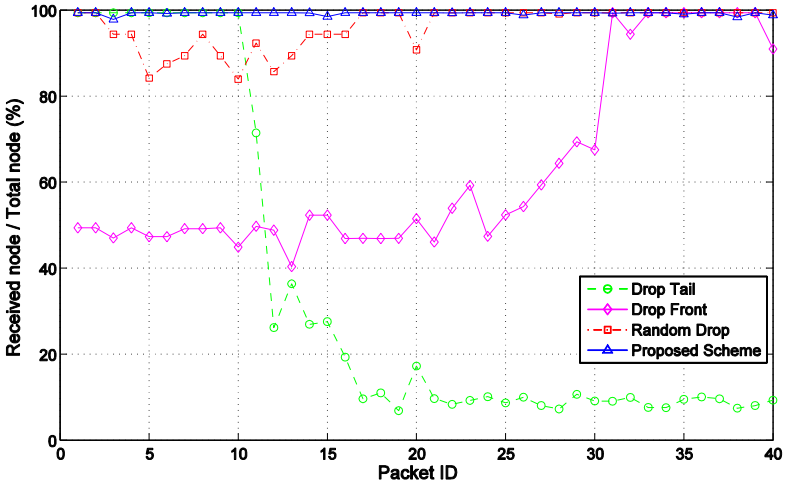


ค)

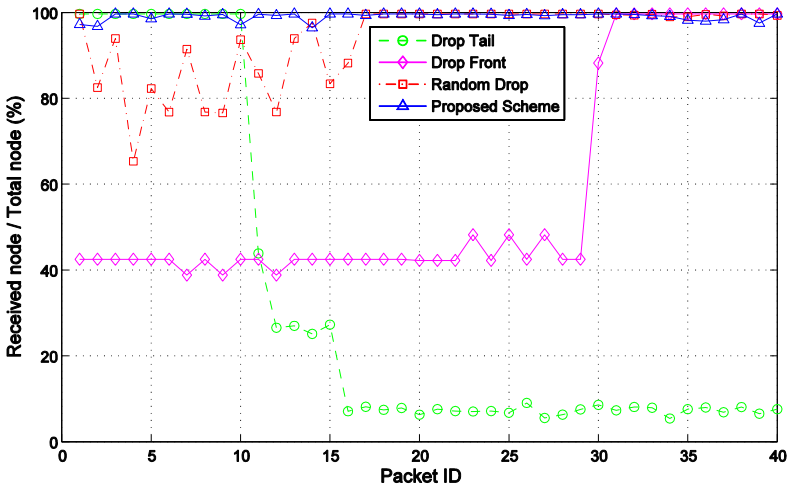
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด



ก)

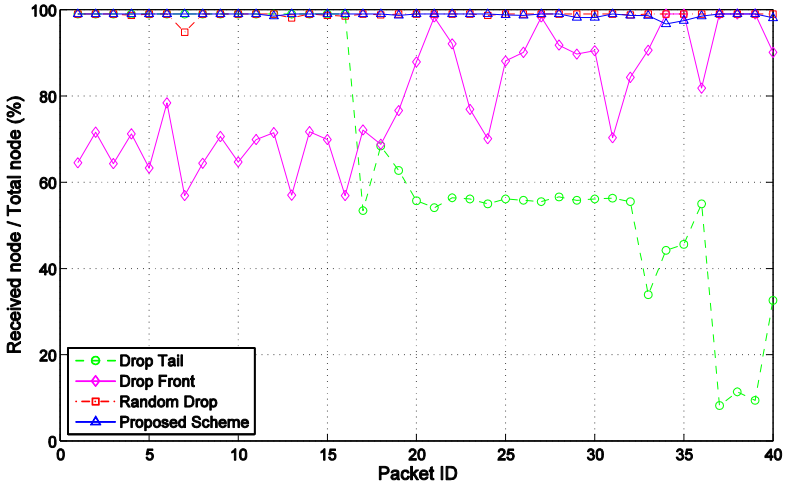


ข)

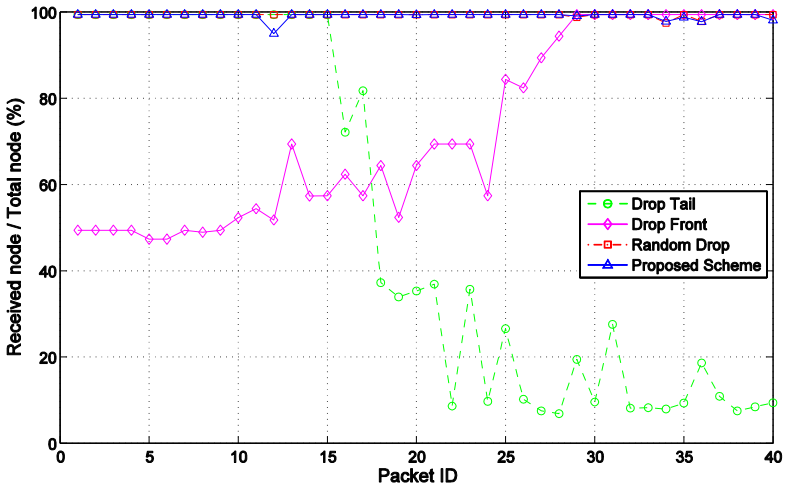


ค)

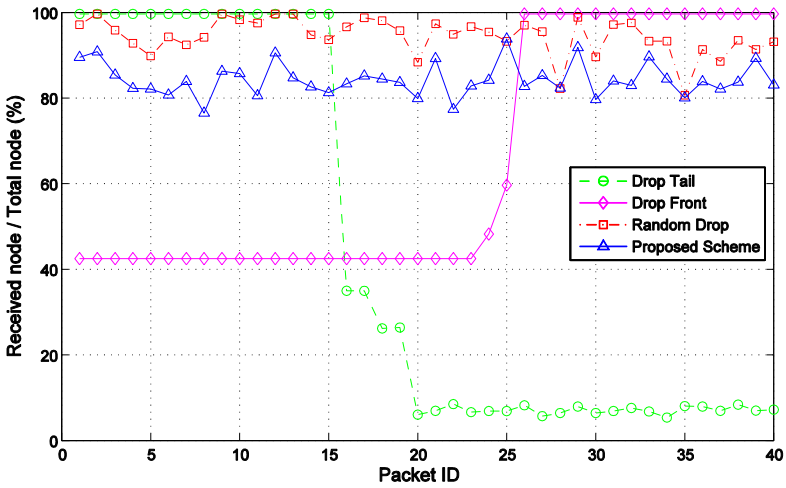
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด



ก)

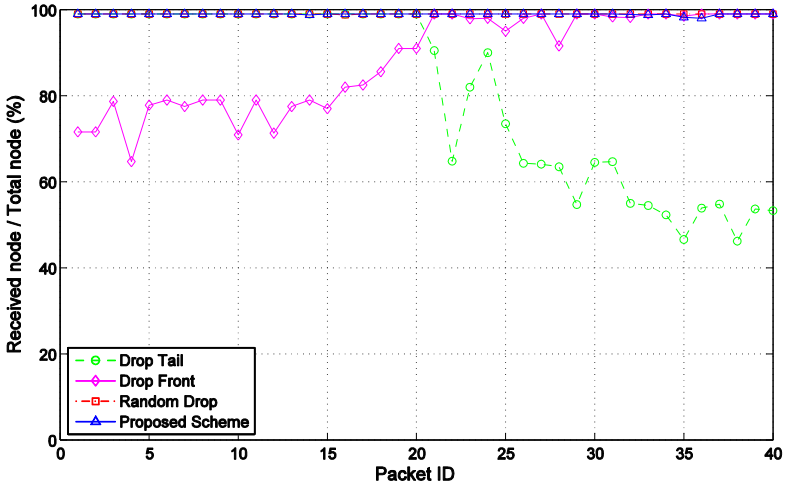


ข)

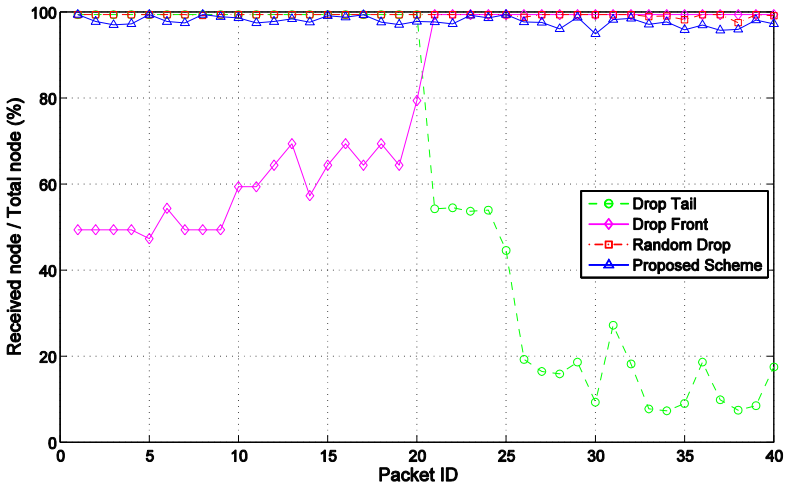


ค)

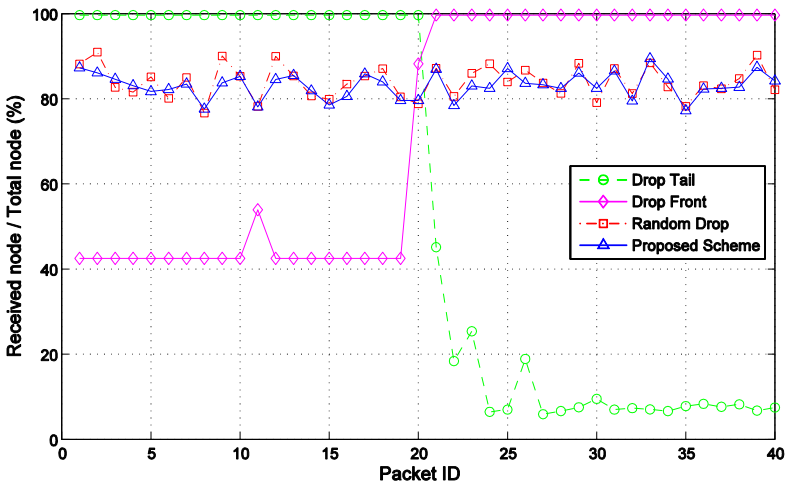
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด



ก)



ข)



ค)

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนของโหนด ก) 100 โหนด ข) 160 โหนด ค) 280 โหนด

4.6 ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบ

เนื่องจากวัตถุประสงค์สำคัญของนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลคือการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ถึงปลายทาง หรือกลุ่มข้อมูลที่หลงเหลืออยู่ในระบบมีการกระจายตัวที่ดี นั่นคือ หากกลุ่มข้อมูลใดยังไม่หมดอายุ ก็ควรมีโหนดที่เก็บกลุ่มข้อมูลนั้นเพื่อแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆ ในกรณีนี้พิจารณาจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบเมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที เนื่องจากกลุ่มข้อมูลที่ช่วงอายุ 0-70 วินาทีแรกไม่มีการเปลี่ยนแปลงของโหนดที่เข้าและออกจากระบบจึงเป็นการแสดงสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลในกรณีปกติ ดังนั้นจึงใช้ผลการทดลองขณะที่กลุ่มข้อมูลมีอายุครบ 50 วินาที อีกกรณีหนึ่งที่สามารถแสดงถึงสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลได้ คือ เมื่อมีโหนดเข้าและออกจากระบบซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กลุ่มข้อมูลมีอายุประมาณ 70-200 วินาที ดังนั้นการใช้ผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลมีอายุครบ 150 วินาที จึงเป็นการแสดงสมรรถนะของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเมื่อโหนดมีการเข้าและออกจากระบบ

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

จากภาพที่ 4.6 (ก) *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 วินาที* พบว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front มีจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบไม่สม่ำเสมอ นั่นคือจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลน้อยจะมีค่าน้อยกว่ากลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลมาก เนื่องจากเป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่จะทิ้งกลุ่มข้อมูลตัวแรกที่อยู่ในบัฟเฟอร์ จากรูป 4.6 (ก) จะสังเกตเห็นว่าที่หมายเลขประจำตัวของกลุ่มข้อมูลน้อยๆ จะไม่มีกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลนี้ไม่มีสมรรถนะที่ดี ซึ่งนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Tail จะให้ผลที่ตรงข้ามกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front เนื่องจากเป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่จะทิ้งกลุ่มข้อมูลที่เพิ่งได้รับ ซึ่งเป็นการลดโอกาสที่กลุ่มข้อมูลนี้จะถูกแพร่ต่อไปยังโหนดอื่น ส่งผลทำให้จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลน้อยจะมีค่ามากกว่ากลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลมาก ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าที่หมายเลขประจำตัวของกลุ่มข้อมูลมากๆ จะไม่มีกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบเลย ซึ่งแสดงให้เห็นการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของกลุ่มข้อมูล อีกทั้งนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Tail ไม่มีสมรรถนะที่ดีพอที่จะนำมาใช้งานเช่นเดียวกันกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front

ในส่วนของ Random Drop มีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลดีที่สุดเมื่อเทียบกับนโยบายเดิมที่มีอยู่ เนื่องจากเป็นนโยบายที่มีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบสุ่ม ซึ่งส่งผลทำให้จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของแต่ละกลุ่มข้อมูลมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับการสุ่มนั่นเอง

เมื่อพิจารณาจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล นั่นแสดงให้เห็นว่าทุกๆกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถบอกถึงสมรรถนะที่ดีของนโยบายได้ โดยที่นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอจะทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลมากที่สุด เมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ซึ่งจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่มีค่ามากที่สุดนั้น สะท้อนให้เห็นว่ามีจำนวนของกลุ่มข้อมูลถูกแพร่กระจายไปในระบบเป็นจำนวนมาก นั่นคือจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบก็มีค่ามากเช่นกัน ดังนั้นโอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้เพื่อที่จะแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆก็มีมากด้วย

จากภาพที่ 4.6 (ข) *ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 150 วินาที* จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูลเช่นเดียวกันกับกลุ่มข้อมูลที่มีอายุ 50 วินาที ส่วนนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม ได้แก่ Drop Front Drop Tail และ Random Drop ให้ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 วินาที แต่จะสังเกตเห็นว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม Drop Front Drop Tail และ Random Drop บางนโยบายให้ค่าจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบลดลงเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 วินาที อาทิเช่น Drop Front เนื่องจากเป็นนโยบายที่ทิ้งกลุ่มข้อมูลตัวแรกที่อยู่ในบัฟเฟอร์ เมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ดังนั้นเมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 วินาที กลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวน้อยจะถูกทิ้ง ทำให้จำนวนของกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวน้อยเหลืออยู่ในระบบน้อยมากหรืออาจจะไม่มีเลย ส่งผลทำให้เมื่อเวลาผ่านไปกลุ่มข้อมูลที่มีอายุ 150 วินาที จะเหลือเฉพาะกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวมาก ดังนั้นเมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็มกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวมากเหล่านี้ก็จะถูกทิ้ง ทำให้จำนวนของกลุ่มข้อมูลที่มีหมายเลขประจำตัวมากเหลืออยู่ในระบบน้อยลง เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 วินาที

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 160 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

จากภาพที่ 4.7 (ก) และ (ข) *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 160 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที* พบว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม ได้แก่ Drop Front Drop Tail และ Random Drop ให้ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที ส่วนผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าในทุกๆกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีและถูกแพร่กระจายไปในระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้เพื่อที่จะแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆก็มีมากด้วย แต่สิ่งที่สังเกตเห็นได้ว่าแตกต่างจากผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนโหนด 100 โหนดคือเมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 160 โหนด จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของทุกๆนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้นโอกาสที่โหนดจะเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้เพื่อรอที่จะแพร่ให้กับโหนดอื่นๆก็มีมากด้วย และกลุ่มข้อมูลก็จะถูกแพร่กระจายไปในระบบเป็นจำนวนมาก นั่นคือจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบก็มีค่ามากเช่นกัน

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 280 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

จากภาพที่ 4.8 (ก) และ (ข) *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 280 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที* พบว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม ได้แก่ Drop Front และ Drop Tail ให้ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองที่กลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด และ 160 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที แต่ในกรณีของ Random Drop มีความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในระบบเมื่อมีอายุ 50 วินาที โดยสังเกตได้ว่าจะมีบางกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนเหลืออยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก และบางส่วนก็มีเหลืออยู่น้อยมาก ซึ่งความไม่สม่ำเสมอนี้เกิดจากการสุ่มทิ้งกลุ่มข้อมูล ซึ่งอาจจะเกิดเหตุการณ์ที่กลุ่มข้อมูลถูกทิ้งจากระบบจนหมด หรือเกือบหมด ซึ่งส่งผลต่อค่าความเชื่อถือได้

หรือเพิ่มค่าใช้จ่ายในการส่งกลุ่มข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านได้ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าในทุกๆกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีและถูกแพร่กระจายไปในระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นโอกาสที่ข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้ว หรือมีโหนดที่ยังเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้เพื่อที่จะแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆก็มีมากด้วย

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10,15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

จากภาพที่ 4.9, 4.12 และ 4.15 *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10, 15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที* พบว่า จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล Drop Front และ Drop Tail ยังคงเป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ยังมีสมรรถนะที่ไม่ดีพอสำหรับการนำมาใช้งาน ส่วนนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดนั่นคือ Random Drop ซึ่งให้ค่าผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอ แต่จำนวนของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าไม่สม่ำเสมอเนื่องจากนโยบายในการทิ้งกลุ่มข้อมูลของ Random Drop นั่นเอง และผลการทดลองของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล นั่นแสดงให้เห็นว่าทุกๆกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถบอกถึงสมรรถนะที่ดีของนโยบายได้

เมื่อพิจารณาขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น 10, 15 และ 20 กลุ่มข้อมูลนั้น พบว่าเมื่อขนาดบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลือในระบบก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นนั้น โหนดจะมีพื้นที่ในการเก็บกลุ่มข้อมูลในบัฟเฟอร์มากขึ้นเพื่อแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆ

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10,15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 160 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

จากภาพที่ 4.10, 4.13 และ 4.16 *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10, 15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 160 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที* พบว่า นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม ได้แก่ Drop Front, Drop Tail และ Random Drop ให้ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปข้างต้น ส่วนจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ใน

ระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอในการทดลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูล นั่นแสดงให้เห็นว่าทุกๆกลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถบอกถึงสมรรถนะที่ดีของนโยบายได้เช่นเดียวกันกับกรณีที่มีจำนวนโหนด 100 โหนดที่ได้กล่าวมาข้างต้นด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาผลการทดลองขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น 10, 15 และ 20 กลุ่มข้อมูล และที่จำนวนโหนด 100 โหนด และ 160 โหนด พบว่าเมื่อขนาดบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลือในระบบก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นนั้น โหนดจะมีพื้นที่ในการเก็บกลุ่มข้อมูลในบัฟเฟอร์มากขึ้นเพื่อแพร่ต่อให้กับโหนดอื่นๆ ส่วนที่ความแตกต่างของจำนวนโหนด 100 โหนด และ 160 โหนดนั้น พบว่าเมื่อจำนวนโหนดในระบบเพิ่มขึ้นเป็น 160 โหนด จำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของทุกๆนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่โหนดจะเก็บกลุ่มข้อมูลนั้นไว้เพื่อรอที่จะแพร่ให้กับโหนดอื่นๆก็มีมากด้วย และกลุ่มข้อมูลก็จะถูกแพร่กระจายไปในระบบเป็นจำนวนมาก นั่นคือจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบก็มีค่ามากเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด

- ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10,15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 280 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที

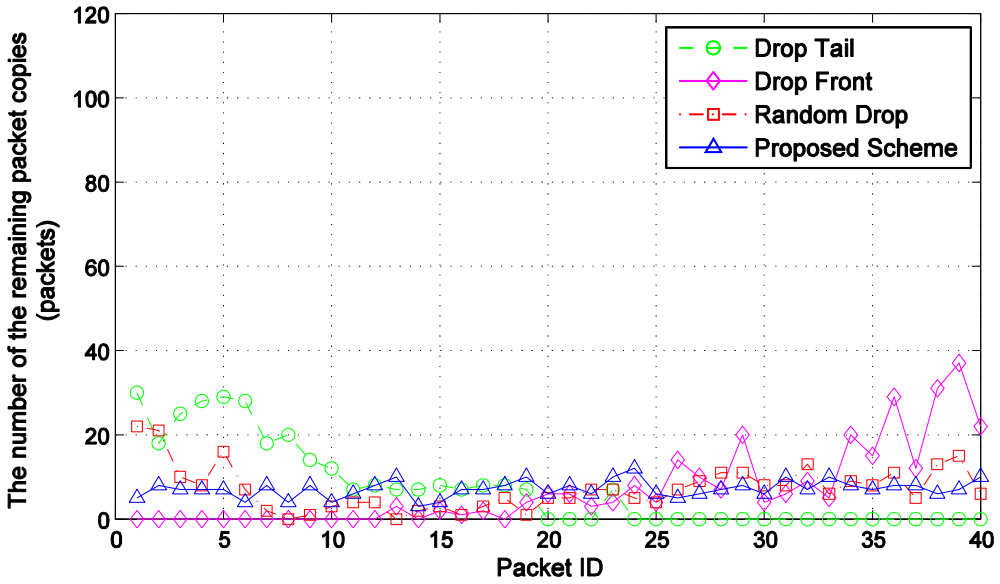
จากภาพที่ 4.11, 4.14 และ 4.17 *เมื่อพิจารณาผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10,15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 280 โหนด เมื่อกลุ่มข้อมูลมีอายุ 50 และ 150 วินาที* พบว่า นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม ได้แก่ Drop Front, Drop Tail และ Random Drop ให้ผลการทดลองจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปข้างต้น ส่วนจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอในการทดลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มข้อมูลเช่นกัน

แต่เมื่อพิจารณาผลการทดลองขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น 10, 15 และ 20 กลุ่มข้อมูล ของการทดลองที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด พบว่านโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่มีความสม่ำเสมอน้อยกว่าในการทดลองที่ 100 โหนดและ 160 โหนด ซึ่งสำหรับนโยบายการทิ้งของมูลแบบ Random Drop ก็มีผลในการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มจำนวนโหนดและเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์มีผลกระทบน้อยกว่าปัญหาที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ ผลการทดลองที่จำนวนโหนด 280 โหนดที่ได้รับผลกระทบเกิดจากสองกรณี คือ เมื่อโหนดมีขนาดของบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น และมีจำนวนโหนดในระบบเพิ่มมากขึ้นทำให้โหนดในระบบมี

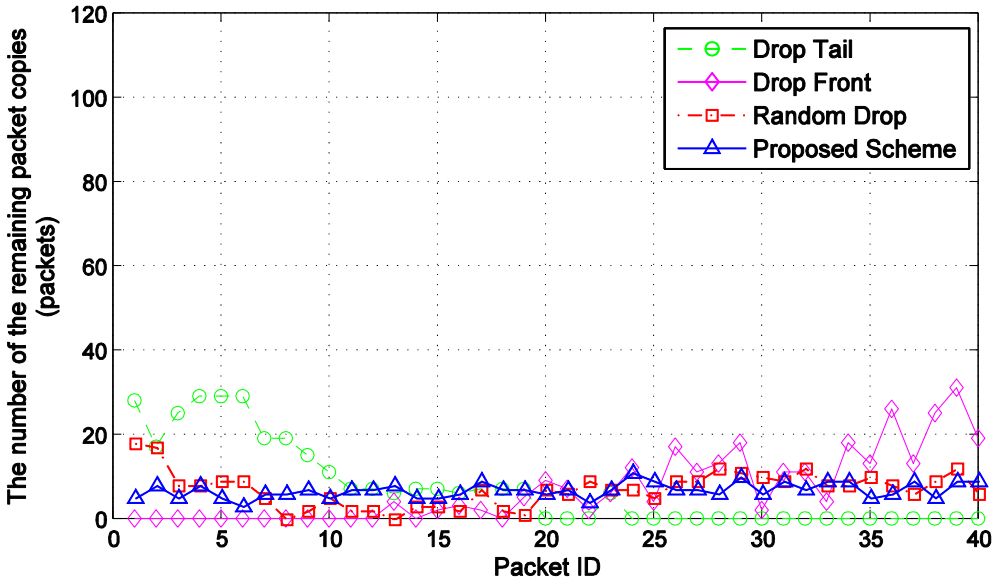
การส่งกลุ่มข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้นเพิ่มขึ้นมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการชนและทำให้กลุ่มข้อมูลนั้นไม่สามารถเพิ่มจำนวนสำเนาให้กับระบบได้ซึ่งส่งผลให้บางกลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งในที่ที่มีความหนาแน่นสูงมีจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบน้อยกว่ากลุ่มข้อมูลอื่นๆที่มีการส่งสำเร็จ ซึ่งในกรณีนี้สามารถเกิดขึ้นได้กับทั้ง Random Drop และนโยบายที่นำเสนอ ซึ่งเป็นขีดจำกัดของเครือข่าย และโพรโทคอลการแพร่ที่ใช้ ดังจะสังเกตได้จากผลการทดลองในภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17

กรณีที่สองเป็นกรณีต่อเนื่องจากกรณีแรก คือ เมื่อโหนดมีการส่งกลุ่มข้อมูลที่เพื่อนบ้านยังไม่ได้รับให้แก่โหนดเพื่อนบ้าน นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีการเพิ่มค่าสำเนาให้กับกลุ่มข้อมูลนั้นและจึงทำการส่งกลุ่มข้อมูลนั้นออกไป ซึ่งในกรณีที่การส่งนั้นไม่สำเร็จค่าสำเนาที่เพิ่มขึ้นจะไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงคือโหนดที่รอรับกลุ่มข้อมูลนั้นไม่ได้รับ กลุ่มข้อมูล และโหนดอื่นที่ได้รับอาจจะทำการเพิ่มค่าสำเนาตามการแพร่ใหม่ที่เกิดขึ้น ดังนั้นในกรณีนี้ที่มีความหนาแน่นสูงทั้งจำนวนโหนดและจำนวนกลุ่มข้อมูล หากกลุ่มข้อมูลไหนโหนดไม่สามารถส่งได้สำเร็จ แล้วทำการส่งซ้ำเป็นจำนวนมากก็จะทำให้เพิ่มค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลนั้นเกินกว่าความเป็นจริงมาก และส่งผลให้กลุ่มข้อมูลนั้นถูกทิ้งเมื่อบัฟเฟอร์ของโหนดเต็ม ซึ่งส่งผลให้ความสม่ำเสมอของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีน้อยลงกว่าการทดลองที่โหนดมีจำนวนน้อยกว่า

จากผลการทดลองสรุปได้ว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Front จะสังเกตเห็นว่าที่หมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลน้อยๆ จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีจำนวนน้อยมากหรืออาจจะไม่มีเลย ส่วนนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Drop Tail ก็เช่นเดียวกันคือที่หมายเลขประจำตัวกลุ่มข้อมูลมากๆ จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีจำนวนน้อยมากหรืออาจจะไม่มีเลย เมื่อพิจารณานโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Drop ที่ให้ผลการทดลองดีที่สุดในบรรดานโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มี แต่จำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลือในระบบจะมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเป็นนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบสุ่ม นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอให้สมรรถนะดีที่สุดในทุกความแตกต่างของจำนวนโหนดและขนาดบัฟเฟอร์เมื่อเทียบกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือ Drop Front Drop Tail และ Random Drop ทั้งนี้เพราะจำนวนกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆกลุ่มข้อมูล นั่นแสดงให้เห็นว่ากลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวที่ดีที่สุด แต่ในกรณีที่มีความหนาแน่นของโหนดสูงมาก ขีดจำกัดของเครือข่าย และโพรโทคอลส่งผลต่อความสามารถในการทำงาน ซึ่งส่งผลทำให้มีกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบไม่สม่ำเสมอเท่าการทดลองที่โหนดมีความหนาแน่นน้อย แต่ยังให้ผลการทดลองที่ดีกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบเดิม

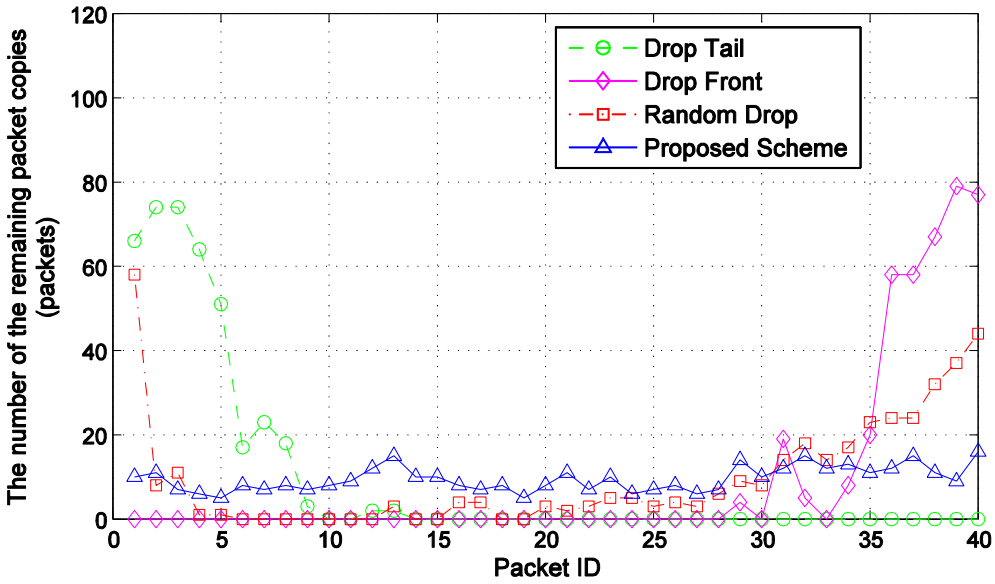


ก)

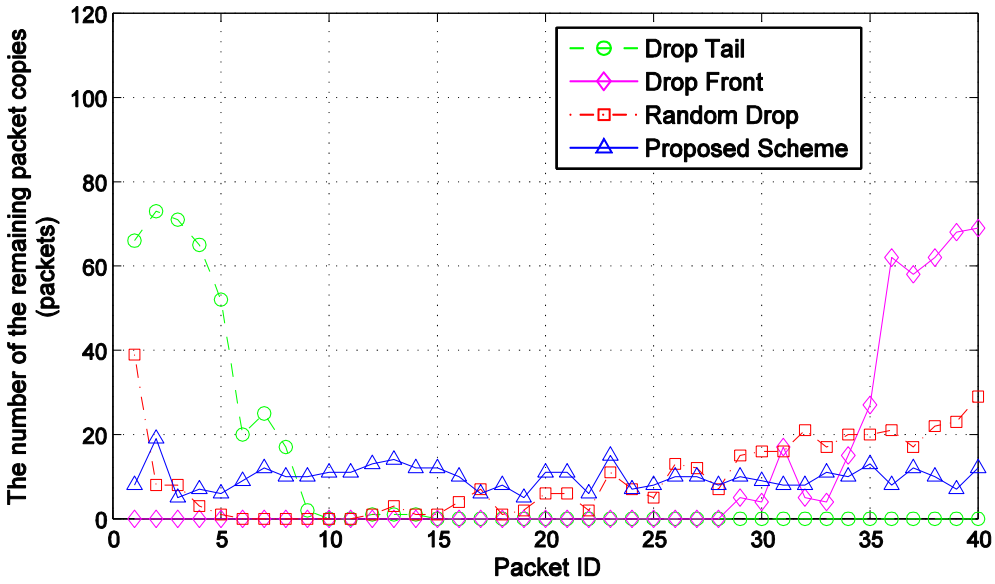


ข)

ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

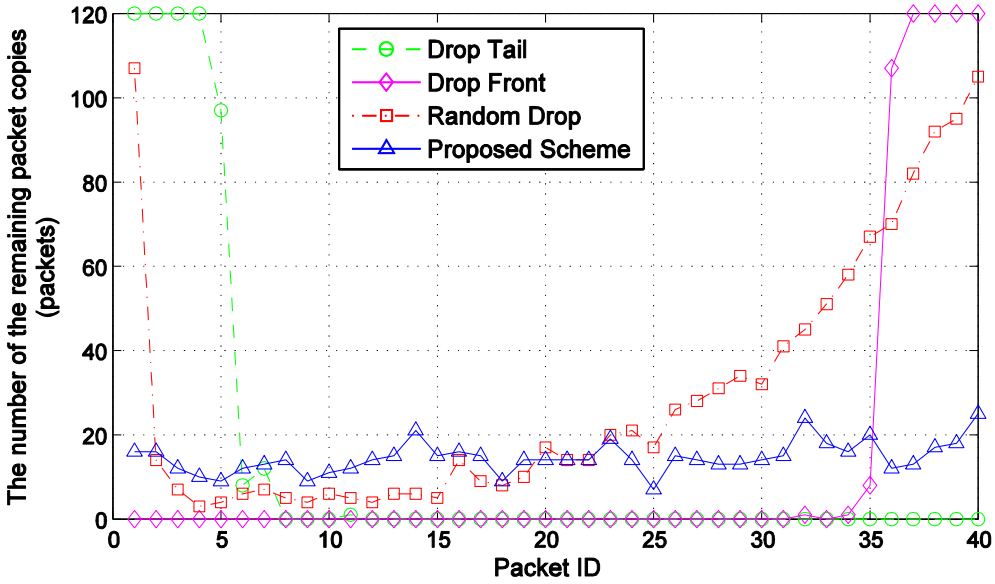


ก)

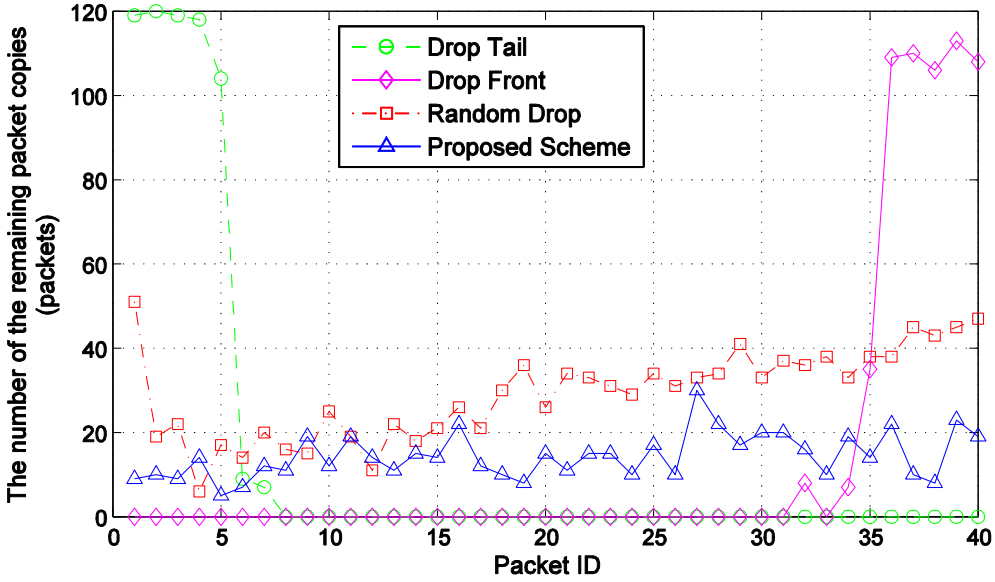


ข)

ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

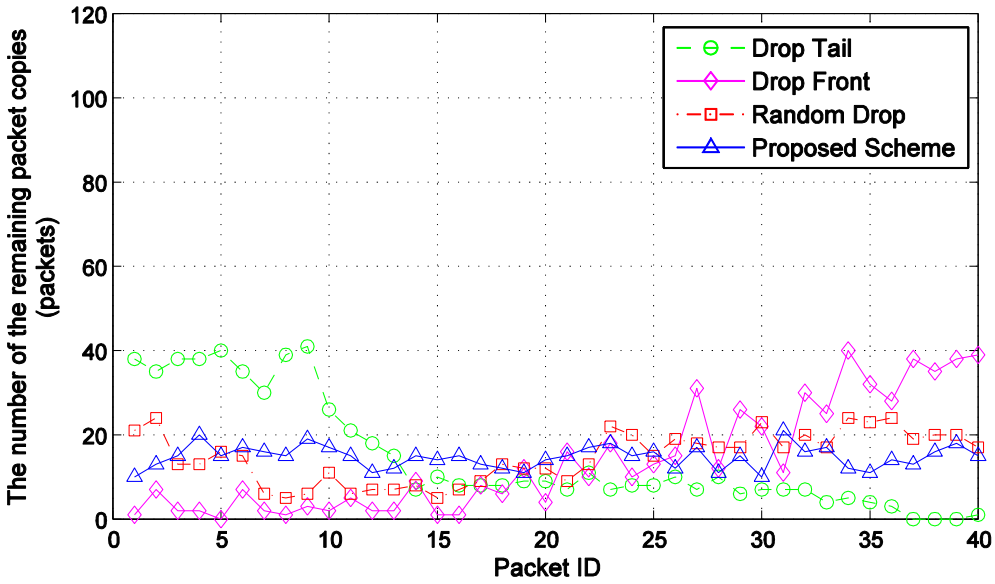


ก)

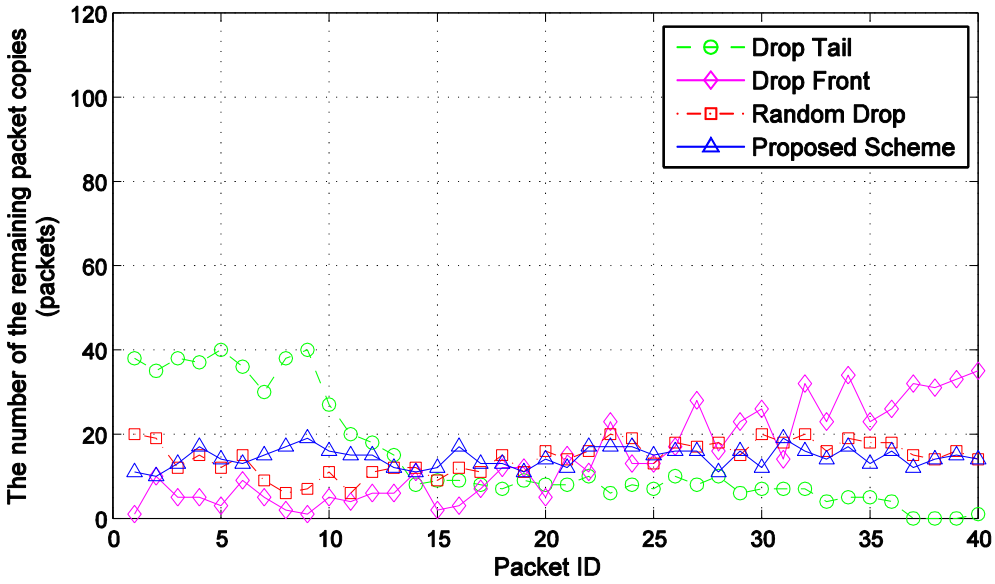


ข)

ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

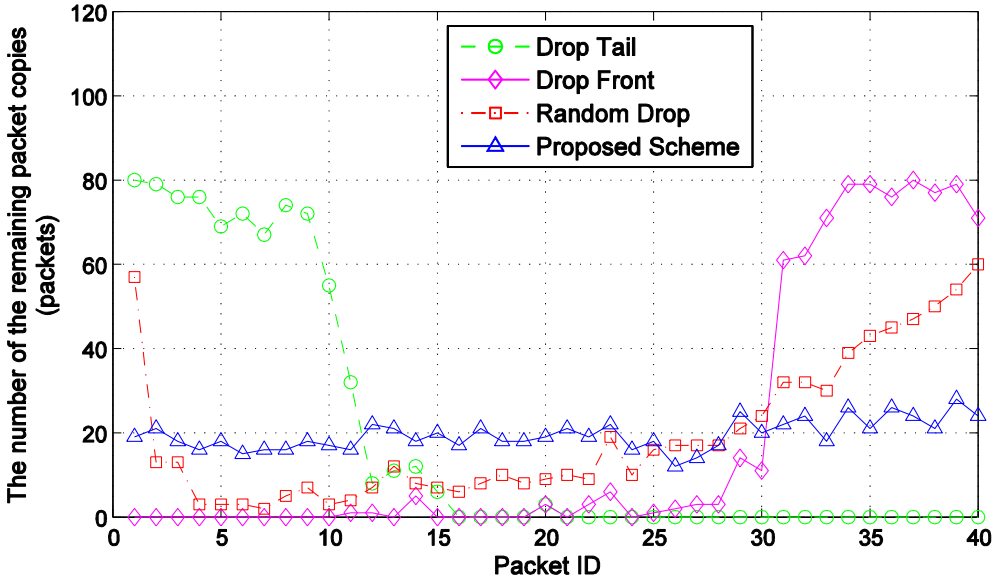


ก)

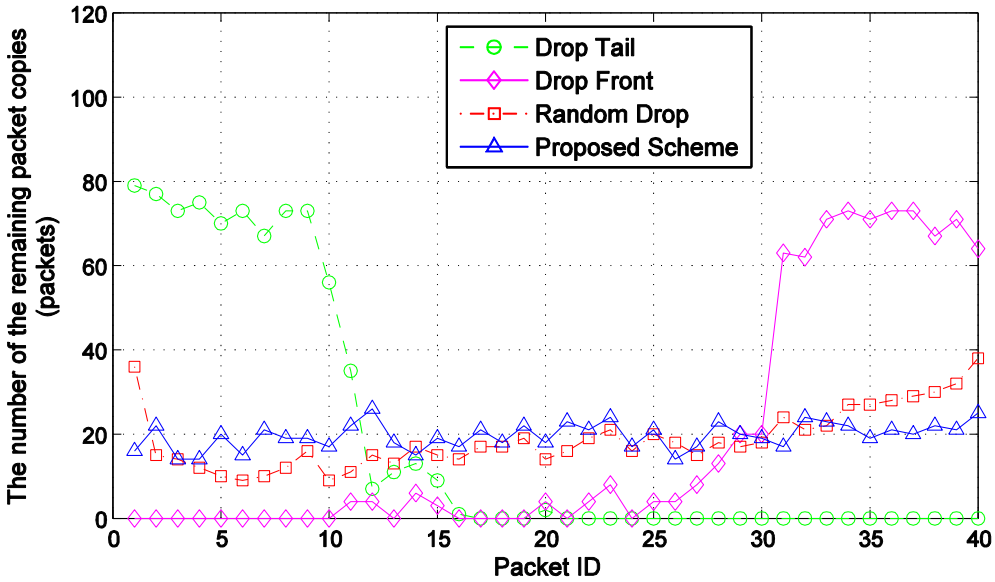


ข)

ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

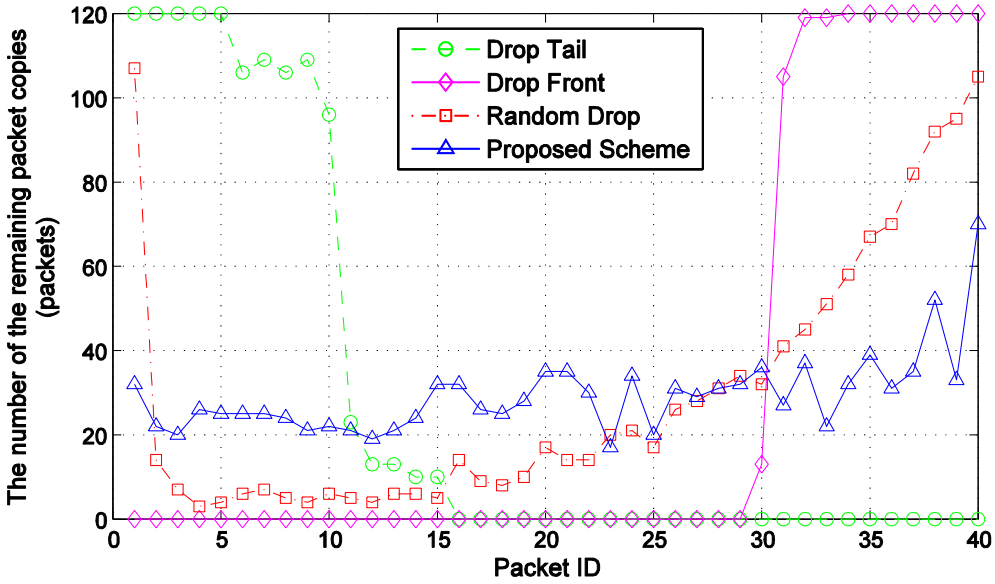


ก)

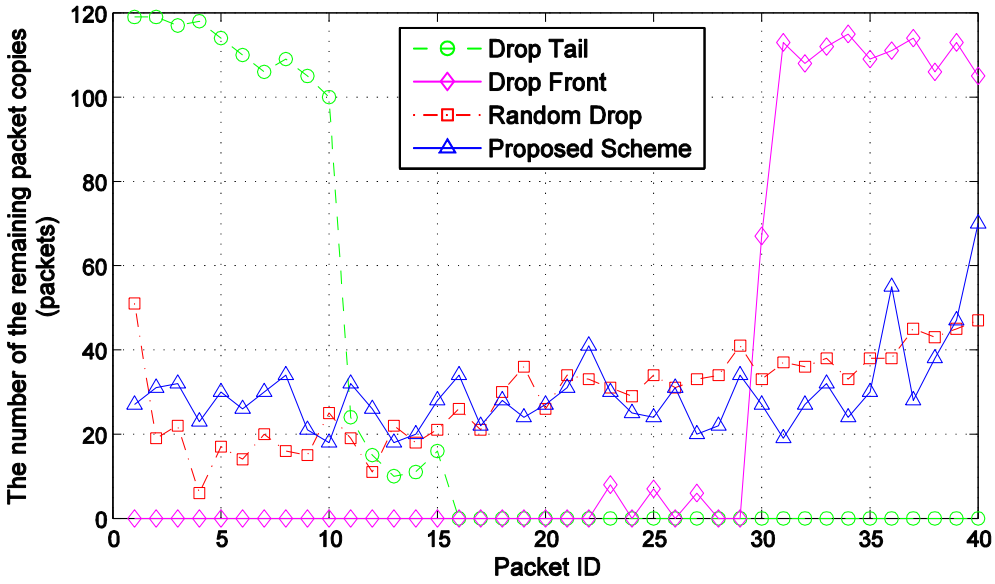


ข)

ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

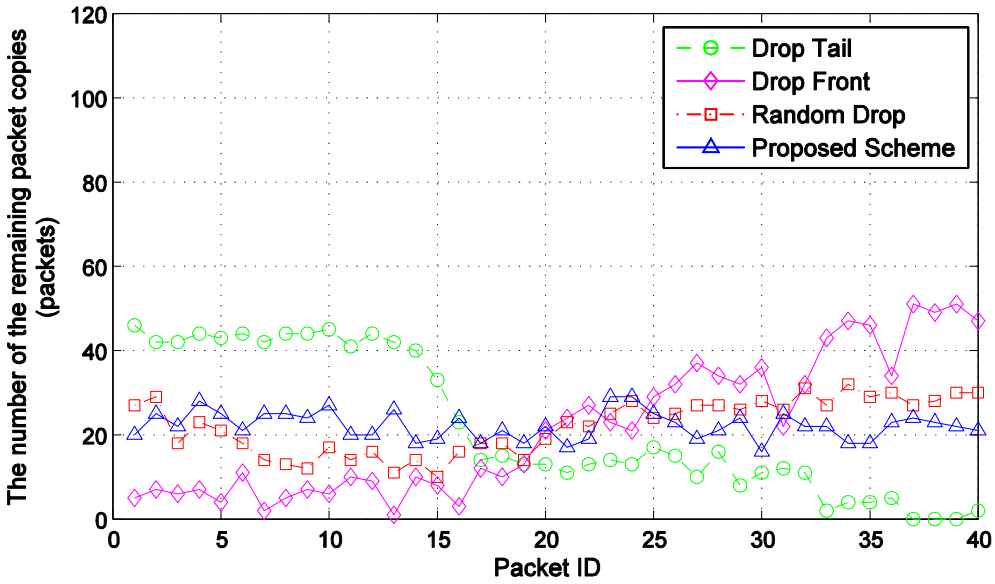


ก)

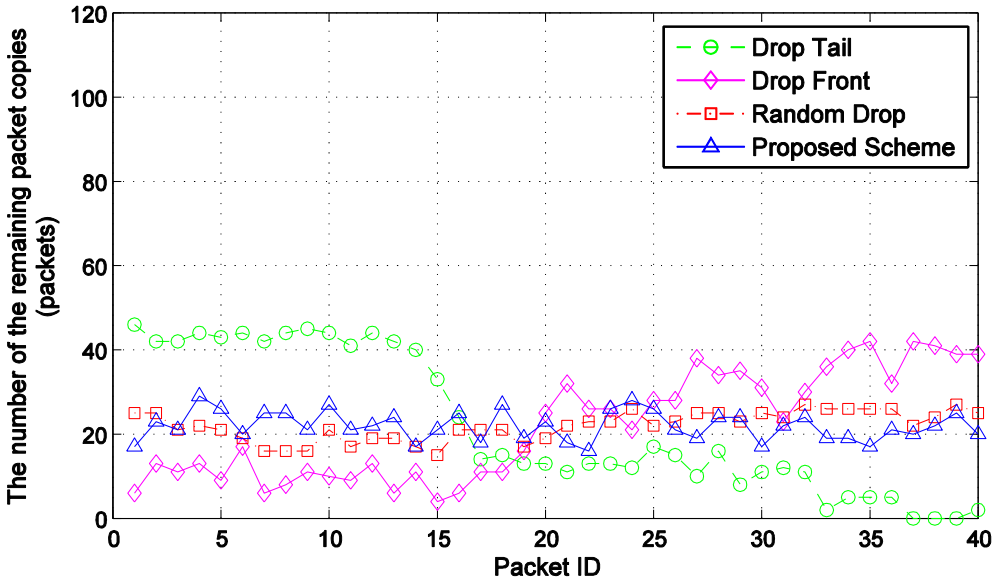


ข)

ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

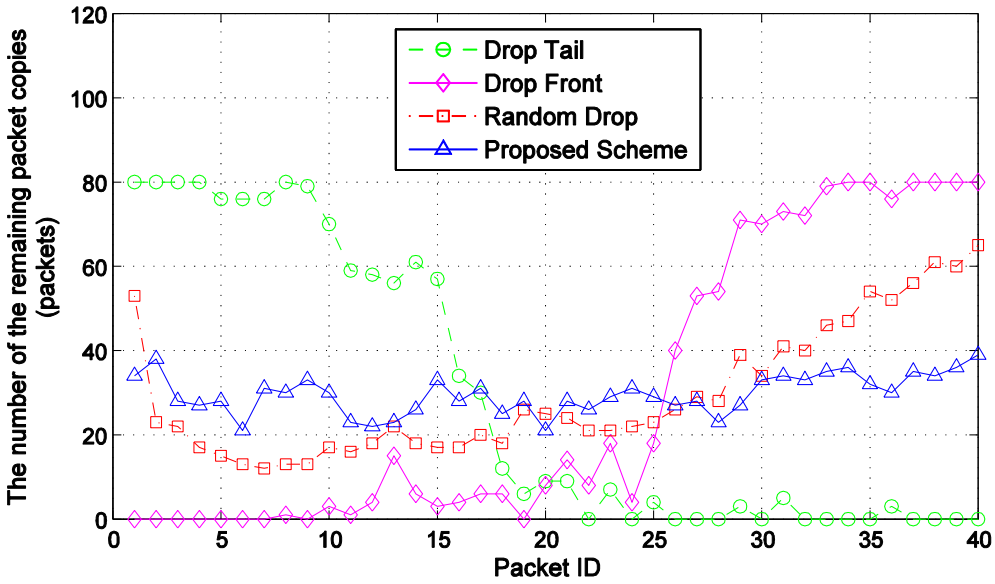


ก)

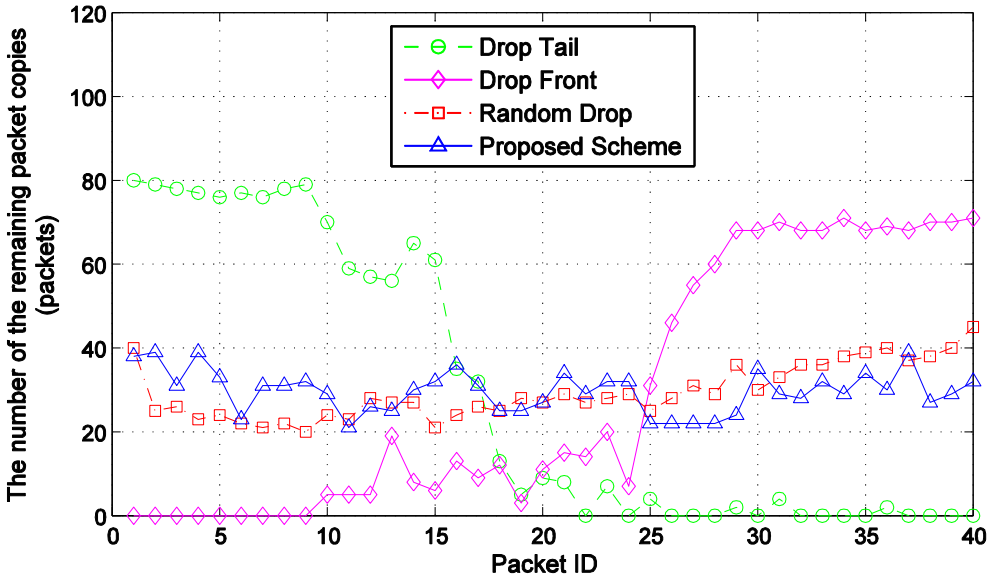


ข)

ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

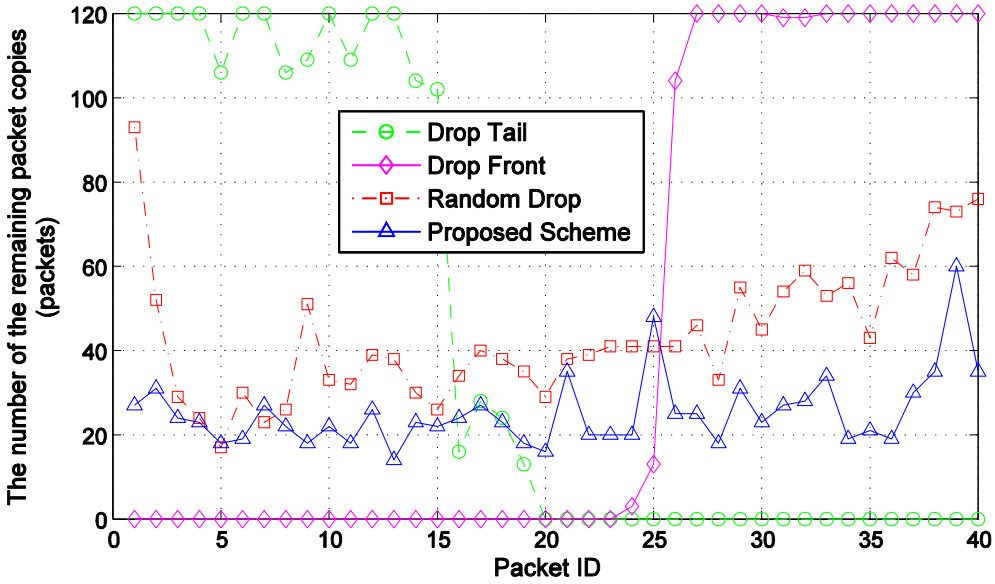


ก)

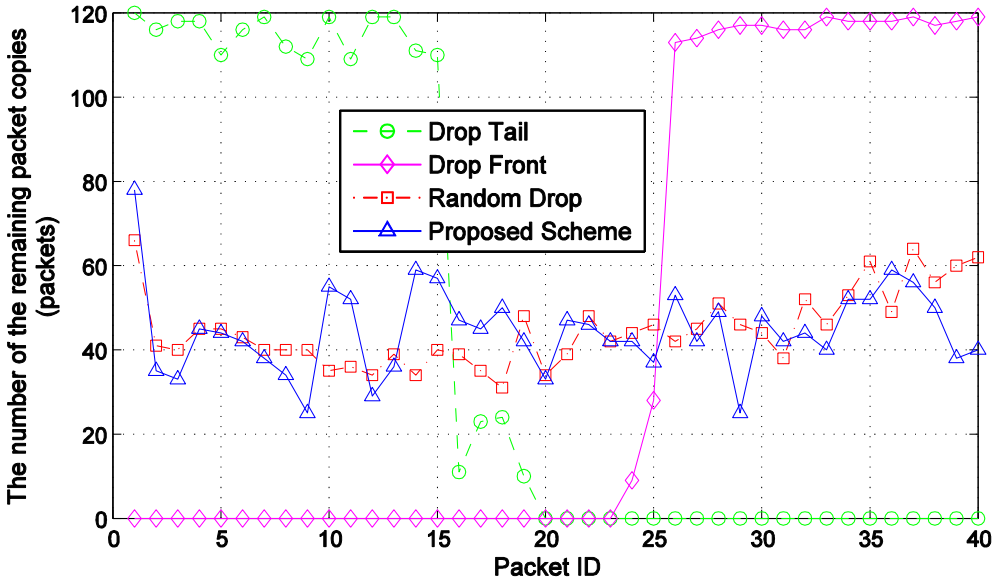


ข)

ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

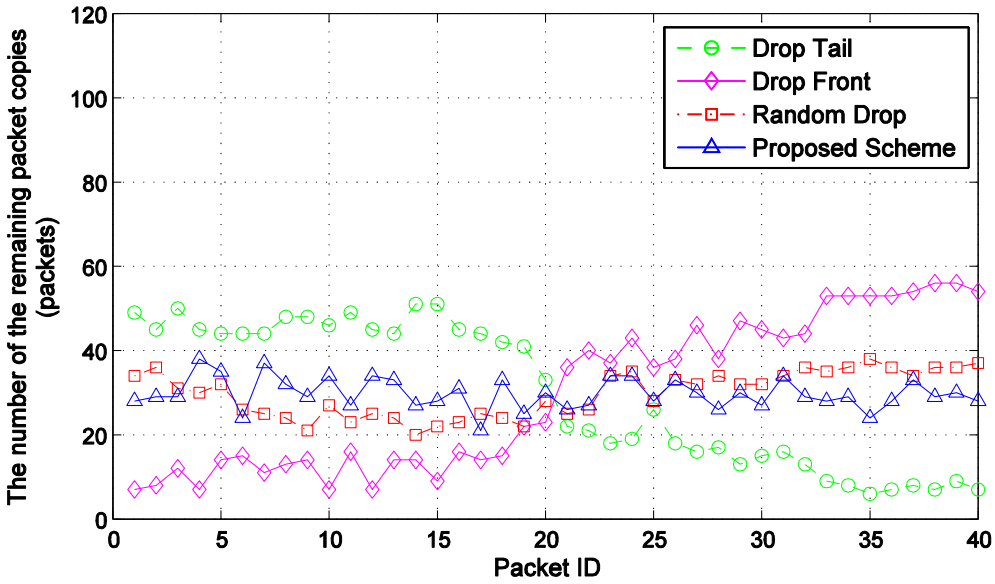


ก)

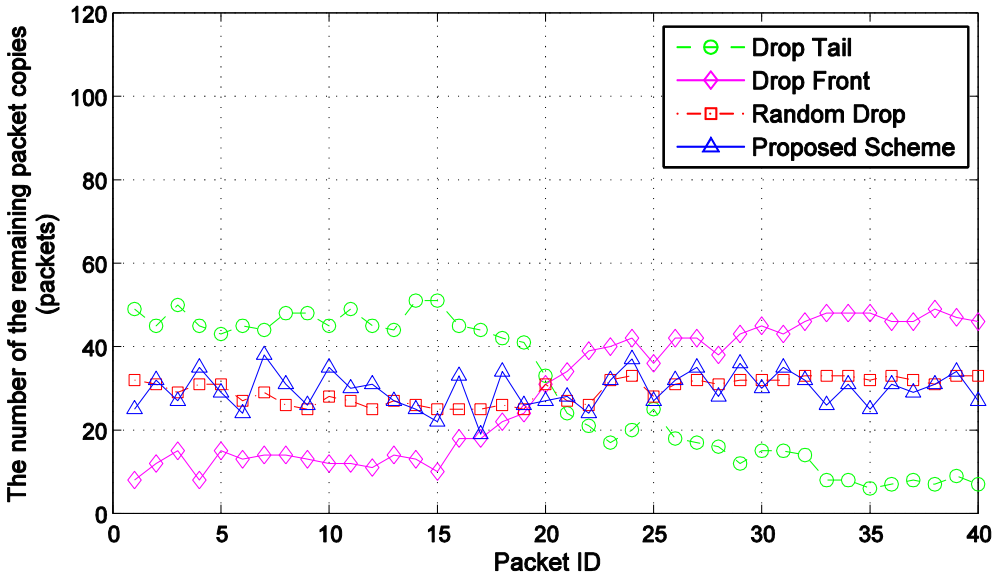


ข)

ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

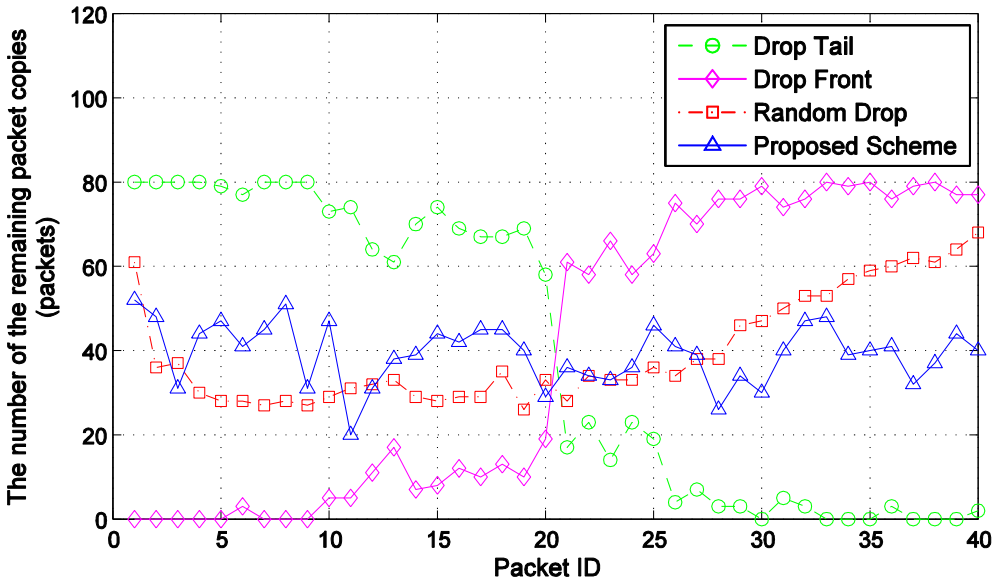


ก)

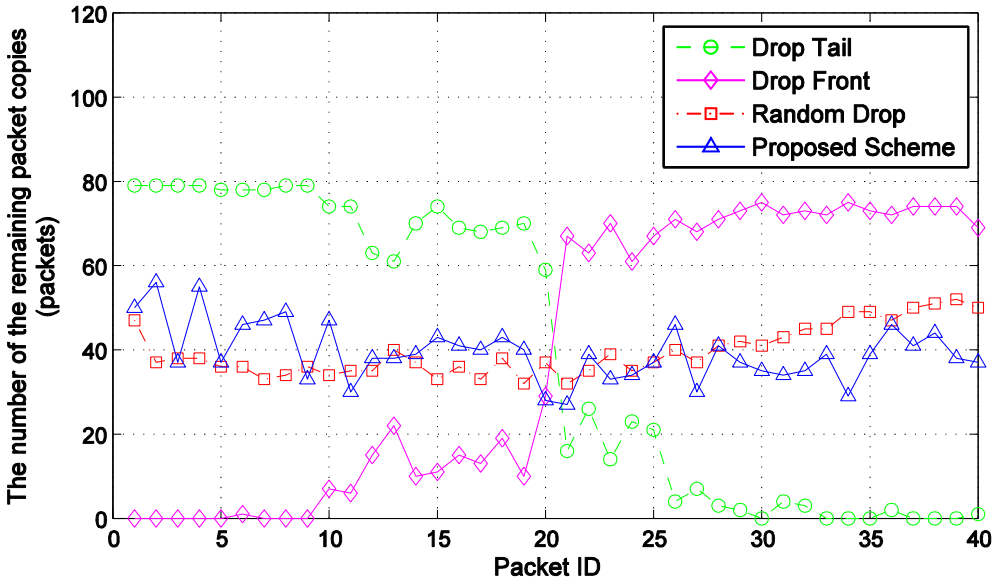


ข)

ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

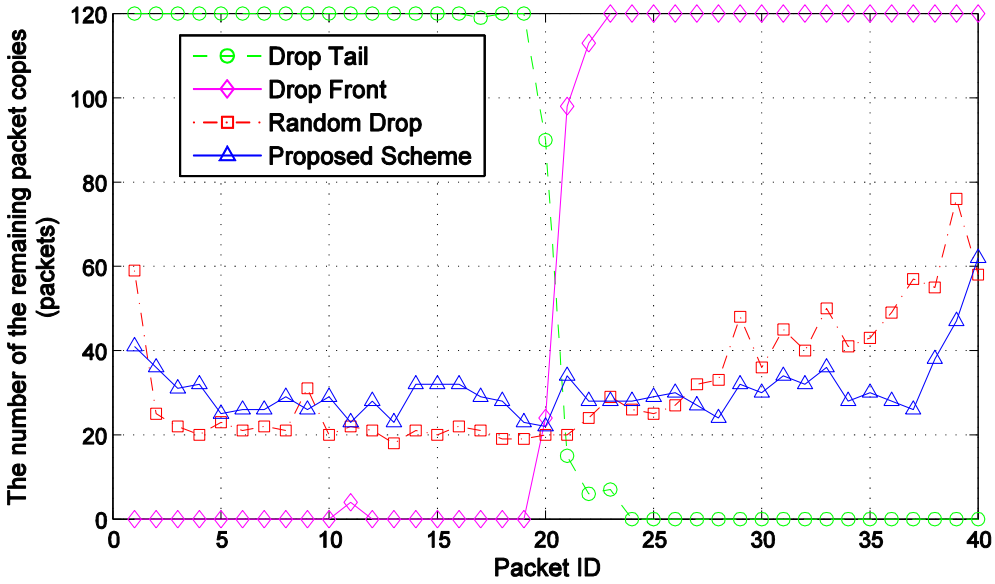


ก)

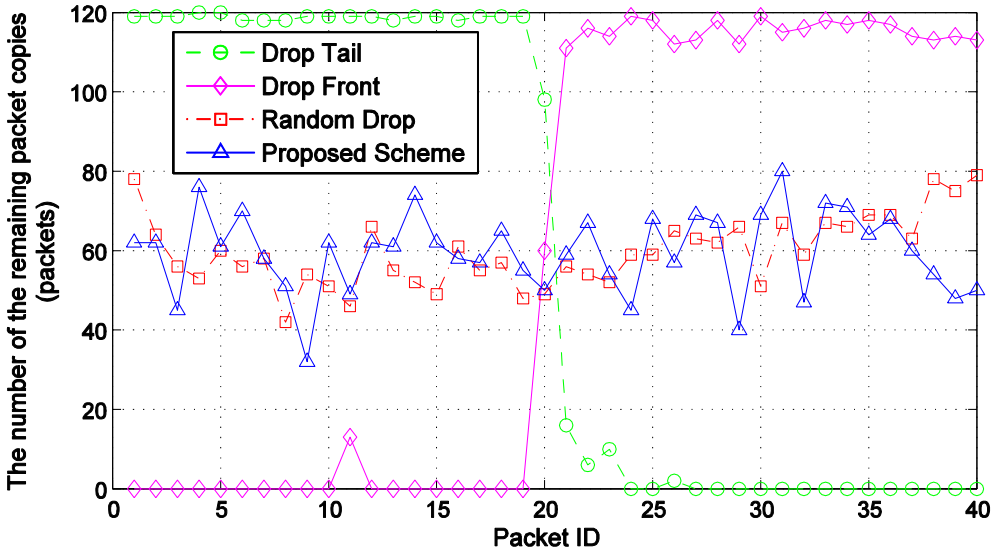


ข)

ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 160 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที



ก)



ข)

ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบที่มีจำนวนโหนด 280 โหนด บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่กลุ่มข้อมูลมีอายุ ก) 50 วินาที ข) 150 วินาที

4.7 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูล

- ผลการทดลองค่าใช้จ่ายจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด

จากภาพที่ 4.18 สังเกตได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากจำนวนบัฟเฟอร์ที่น้อยส่งผลให้นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิมสามารถเก็บกลุ่มข้อมูลได้มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอ ซึ่งส่งผลให้มีการส่งกลุ่มข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านได้น้อยกว่า ดังนั้นผลการทดลองของค่าใช้จ่ายต่อค่าความเชื่อถือได้นโยบายต่างๆจึงมีค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ใกล้เคียงกัน ในทุกการทดลอง ยกเว้น Random Drop ที่มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นในการทดลองที่ 280 โหนด ซึ่งจากกราฟกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลในภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาต้นของการทดลองที่บางกลุ่มข้อมูลจะมีอยู่ในระบบมาก และบางกลุ่มข้อมูลมีอยู่ในระบบน้อย ทำให้โพรโทคอลต้องส่งกลุ่มข้อมูลที่โหนดเพื่อนบ้านไม่มีเป็นจำนวนมากส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสูงขึ้นกว่านโยบายการทิ้งข้อมูลแบบอื่นๆ ซึ่งภายหลังปริมาณของกลุ่มข้อมูลในระบบจึงใกล้เคียงกัน

- ผลการทดลองค่าใช้จ่ายจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด

จากภาพที่ 4.19 เมื่อพิจารณาที่ทุกความหนาแน่น พบว่า Random Drop และนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายที่สูง ส่วน Drop Front และ Drop Tail มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใกล้เคียงกัน เนื่องจากนโยบายการทิ้งข้อมูลแบบ Drop Front และ Drop Tail จะเก็บเฉพาะกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาหลังสุด และหน้าสุดตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่เหลือจะกระจุกตัวอยู่เพียงไม่กี่กลุ่มข้อมูลเท่านั้นทำให้เมื่อโหนดต้องมีการส่งต่อ กลุ่มข้อมูลที่มีอยู่จึงมีอยู่น้อย และส่งผลให้ค่าความเชื่อถือได้ต่ำ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์เท่านั้น

ในกรณีของRandom Drop และนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง เนื่องจากการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบนั้นดีกว่าสองวิธีการข้างต้น ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในการส่งกลุ่มข้อมูลให้โหนดที่เข้า-ออกในระบบมาก เนื่องจากมีกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบครบ และทำให้ค่าความเชื่อถือได้สูงไปด้วย แต่ที่การทดลองที่มีจำนวนโหนด 280 โหนดมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นมากนั้นเกิดขึ้นจากปริมาณการส่งข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านมีปริมาณ

สูงขึ้นมากตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีโหนดจำนวนมากที่เข้าและออกจากระบบ โดยการส่งกลุ่มข้อมูลให้กับโหนดที่เข้ามาใหม่ในระบบยังส่งผลให้เกิดการชนกันของสัญญาณไร้สาย เนื่องจากจำนวนกลุ่มข้อมูลที่โหนดจะต้องส่งให้กับโหนดใหม่นั้นมีจำนวนถึง 40 กลุ่มข้อมูลจึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการส่งเพิ่มขึ้นด้วย ดังเช่นจะเกิดกับการทดลองที่มีจำนวนโหนดมากในการทดลองถัดไปเช่นกัน

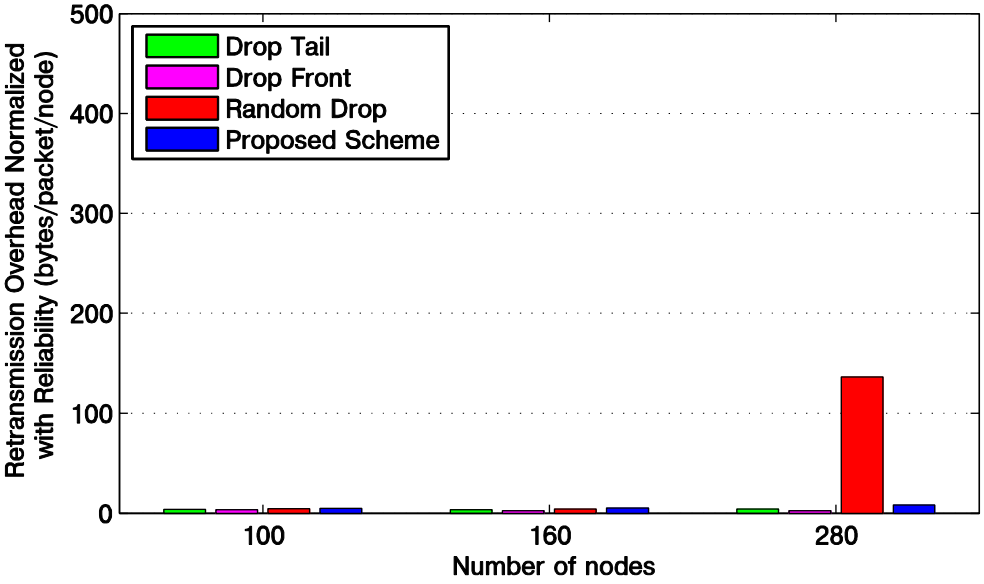
- ผลการทดลองค่าใช้จ่ายจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด

จากภาพที่ 4.20 สังเกตได้ว่าผลการทดลองนั้นเป็นไปตามผลการทดลองที่บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล แต่ทุกวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น เนื่องจากการที่โหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่ใหญ่ขึ้น ทำให้โหนดมีกลุ่มข้อมูลที่จะส่งต่อให้กับโหนดเพื่อนบ้านมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ผ่านมาในภาพที่ 4.18, 4.19 และนอกจากจำนวนบัฟเฟอร์มากขึ้นจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายแล้ว จำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นก็มีผลให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ที่เมื่อมีจำนวนโหนดที่มีกลุ่มข้อมูลที่จะส่งมากขึ้น ย่อมส่งผลให้เกิดการชนและการส่งซ้ำเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

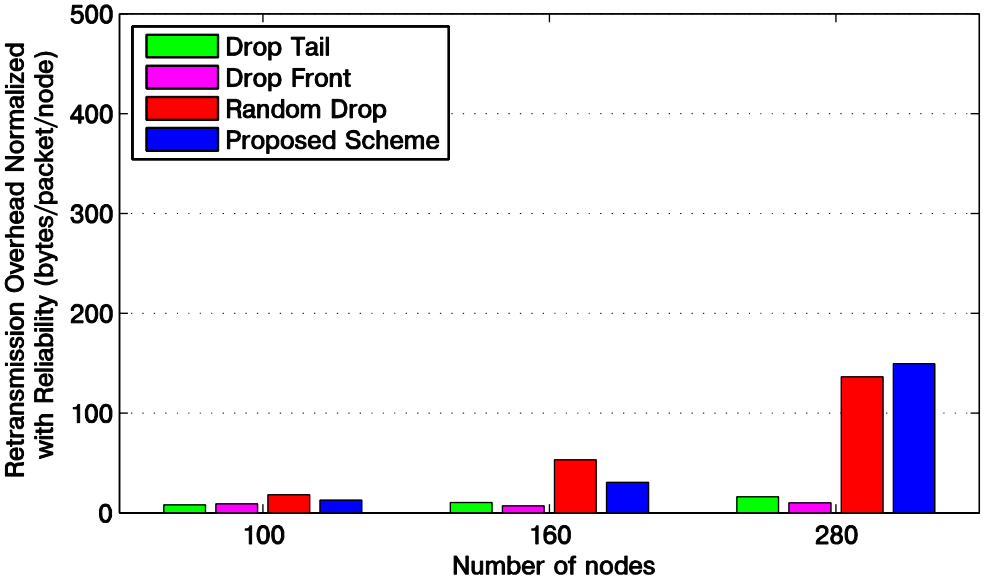
- ผลการทดลองค่าใช้จ่ายจากการทดลองบัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล ที่มีจำนวน 100 โหนด 160 โหนด และ 280 โหนด

จากภาพที่ 4.21 สังเกตได้ว่าที่การทดลองที่มีจำนวน 100 โหนดให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมด คือ ค่าใช้จ่ายของ Random Drop มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยค่าใช้จ่ายที่เกิดจากนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอ และ Drop Front และ Drop Tail มี ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด แต่ในการทดลองที่จำนวน 160 โหนด และ 280 โหนด ค่าใช้จ่ายของนโยบายการทิ้งข้อมูลที่นำเสนอมีค่าสูงที่สุด จากผลการทดลองค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเกิดขึ้นจากการพยายามแพร่กลุ่มข้อมูลซ้ำให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล เนื่องจากว่ามีโหนดจำนวนมากที่มีกลุ่มข้อมูลนั้นๆอยู่ นอกจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นแล้ว การแย่งกันแพร่กลุ่มข้อมูลของโหนดที่มีกลุ่มข้อมูลในบัฟเฟอร์ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแพร่ข้อมูลลดลง ดังนั้นผลของค่าความเชื่อถือได้จึงมีค่าลดลงด้วยดังภาพที่ 4.5

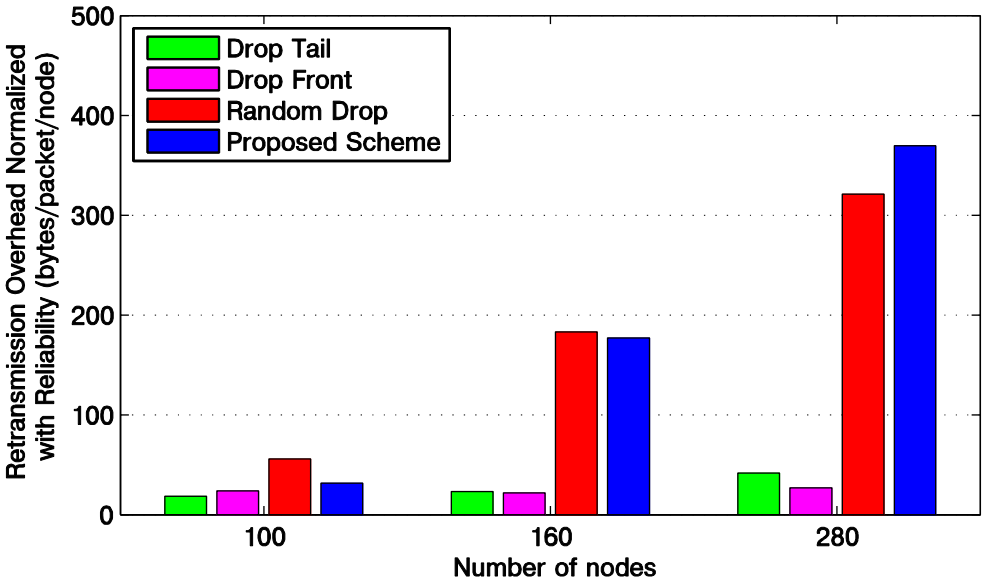
จากผลการทดลองสามรถสรุปได้ว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเชื่อถือได้ที่ให้แก่ระบบ และนอกจากนี้นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นใช้ค่าใช้จ่ายของตนเองที่เพิ่มขึ้นจากค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลการแพร่เดิมดังนี้ ในการแนบจำนวนสำเนาของกลุ่มข้อมูลไปกับการส่งใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 4 ไบต์ต่อการส่งซ้ำหนึ่งครั้ง และในการส่งบีคอนจะใช้ค่าใช่จ่ายเพิ่มขึ้นเพียงหนึ่งบิตต่อหนึ่งกลุ่มข้อมูลที่โหนดมีอยู่ในบัฟเฟอร์ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มแทบไม่ส่งผลต่อการใช้แบนด์วิดท์โดยรวมของทั้งระบบ และค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ใช้นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอ แต่ผลการทดลองค่าใช้จ่ายที่สูงนั้นเกิดจากขีดจำกัดของเครือข่ายไร้สายที่ส่งผลให้เกิดการชนกันของข้อมูลจนทำให้โพรโทคอลต้องมีการส่งซ้ำเป็นจำนวนมาก และส่งผลต่อค่าความเชื่อถือได้ของโพรโทคอลเอง



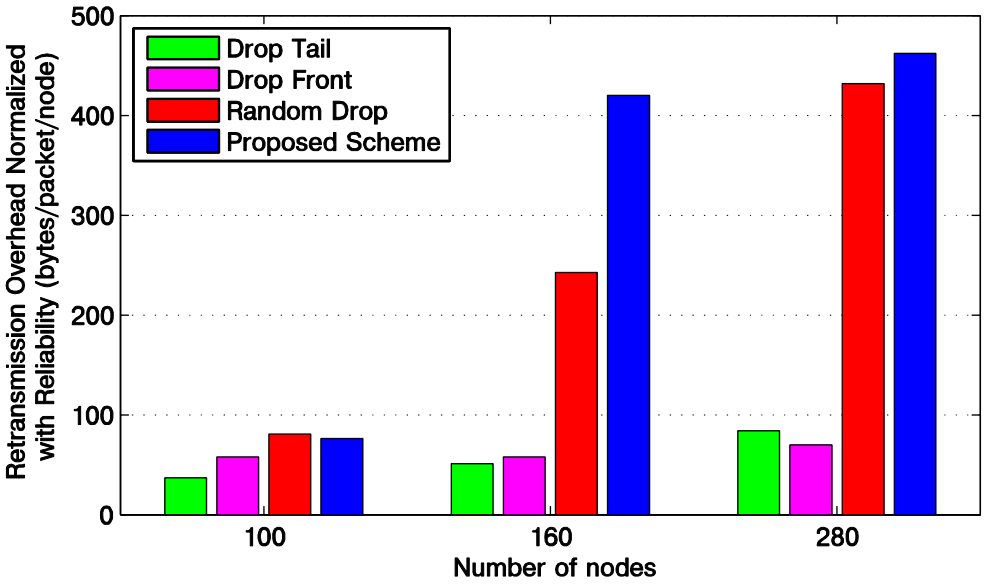
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 5 กลุ่มข้อมูล



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 10 กลุ่มข้อมูล



ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 15 กลุ่มข้อมูล



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งซ้ำที่บัฟเฟอร์ขนาด 20 กลุ่มข้อมูล

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลสำหรับโพรโทคอลแบบ Store-and-Forward ที่ทำงานอยู่บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าพบว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่ผ่านมานั้นถูกออกแบบให้ทำงานบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อเวลาหน่วง หรืองานวิจัยอื่นๆที่ออกแบบสำหรับทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมักจะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโพรโทคอลการหาเส้นทาง หรือการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ ดังนั้นงานวิจัยที่ออกแบบการสนับสนุนการทำงานของโพรโทคอลแบบ Store-and-Forward สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะจึงมีความน่าสนใจ

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์พื้นฐานการทำงานของโพรโทคอลแบบ Store-and-Forward สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งโพรโทคอลโดยส่วนใหญ่ไม่สนใจขนาดของบัฟเฟอร์สำหรับการเก็บข้อมูลซึ่งมีโอกาสเต็มได้ เมื่อเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น และมีแอพพลิเคชั่นจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้การทำงานที่สำคัญของโพรโทคอลเหล่านี้มีพื้นฐานในการทำงานที่สำคัญๆเหมือนกัน ดังเช่นการแพร่กลุ่มข้อมูลโดยมีโหนดที่ต้องทำหน้าที่แพร่กลุ่มข้อมูลต่อ การส่งข้อมูลให้กับโหนดที่ไม่ได้รับกลุ่มข้อมูล เป็นต้น ดังนั้นการออกแบบนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเพียงครั้งเดียวก็สามารถใช้กับโพรโทคอลที่มีอยู่ได้ทันที และส่วนสำคัญที่มีร่วมกันสำหรับโพรโทคอลที่ทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ คือ การแลกเปลี่ยนข้อมูลพื้นฐานระหว่างโหนดเพื่อนบ้าน เช่น ความหนาแน่น เป็นต้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ได้

นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอจึงใช้ข้อมูลความหนาแน่นนี้มาประมาณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีการประมาณจะแบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ กรณีโหนดต้นทางแพร่กลุ่มข้อมูลเอง กรณีโหนดที่ถูกเลือกแพร่กลุ่มข้อมูล กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านแพร่กลุ่มข้อมูลแทนโหนดที่ถูกเลือก และกรณีการแพร่กลุ่มข้อมูลที่โหนดเพื่อนบ้านไม่ได้รับ เมื่อบัฟเฟอร์เต็ม โหนดจะใช้ข้อมูลจากการประมาณค่าของสำเนานี้มาใช้ในการทิ้งกลุ่มข้อมูล โดยจะทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีค่าสำเนาสูงที่สุด เนื่องจากจะเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีในระบบเป็นจำนวนมาก และอาจจะเป็นกลุ่มข้อมูลที่ถึงโหนดปลายทางแล้ว จากผลการทดลองนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนี้สามารถให้ค่าความเชื่อถือได้สูง อีกทั้งการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่เหลืออยู่ในระบบมีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันในทุก

กลุ่มข้อมูล ดังนั้นการทำงานของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลนี้จึงสามารถทำงานได้ดีกว่านโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลเดิม และนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลอื่นๆ

5.2 ข้อจำกัด

นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนี้แม้ว่าจะสามารถจัดการบัฟเฟอร์เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด และเพื่อให้การกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลที่เหลือในระบบมีความสมดุล แต่วิธีการประมาณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลยังมีข้อจำกัด คือ การประมาณค่าอัตราส่วนของพื้นที่ทับซ้อนนั้นใช้การคำนวณอย่างง่าย โดยให้โหนดทั้งสองอยู่บริเวณขอบของระยะการสื่อสาร ซึ่งให้อัตราส่วนของบริเวณทับซ้อนเป็นค่าคงที่ที่ 0.39 ซึ่งในความเป็นจริงโหนดอาจจะมีพื้นที่ทับซ้อนที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าคงที่ที่กำหนดไว้

นอกจากนี้จากการคำนวณค่าสำเนาของกลุ่มข้อมูลโดยใช้จำนวนของโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น โดยที่ในการคำนวณ โหนดอาจจะมีการเข้าออกจากระบบ หรือโหนดอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งทำให้โหนดที่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้นถูกนับซ้ำในพื้นที่ของการคำนวณค่าสำเนาใหม่ ส่งผลให้ค่าสำเนาที่เกิดขึ้นไม่สอดคล้องกับจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่คงเหลืออยู่ในระบบจริง เมื่อมีการทิ้งกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวนมาก แต่ก็ไม่ส่งผลต่อการทำงานดังเช่นผลของการทดลอง เนื่องจากกลุ่มข้อมูลที่ถูกทิ้งมักจะมีโหนดที่ได้รับจำนวนมากแล้ว หรือส่งถึงโหนดปลายทางแล้ว ความแม่นยำของค่าสำเนาจึงไม่สำคัญเท่าแนวโน้มของค่าสำเนา

5.3 ข้อเสนอแนะ

นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอนั้นมีข้อจำกัดที่สามารถนำมาปรับปรุงได้เพื่อให้สามารถคำนวณค่าสำเนาได้อย่างแม่นยำ เพื่อนำค่าสำเนานี้ไปใช้สำหรับแอพพลิเคชั่นที่มีความต้องการมากกว่าการนำไปใช้ในการทิ้งข้อมูลเพียงอย่างเดียว หรือเพื่อใช้ในการตัดสินใจการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่มีความแม่นยำมากขึ้น หากมีการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ระบุตำแหน่งหรือจีพีเอสมาใช้งานจะสามารถหาตำแหน่งการทับซ้อนที่มีความแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถทราบจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ในระยะของการสื่อสารในขณะที่มีการแพร่กลุ่มข้อมูลได้ หรือนำมาใช้ในการคำนวณโหนดที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ทับซ้อนออกจากค่าสำเนาที่เพิ่ม โดยดูจากความสัมพันธ์การเป็นเพื่อนบ้านของโหนดต่างๆรอบตัวได้ นอกจากนี้การคำนวณค่าสำเนาควรมีการลดค่าสำเนาลงเมื่อผ่านช่วงระยะเวลาหนึ่ง คือ เป็นการคาดคะเนจำนวนของกลุ่มข้อมูลนั้นขณะปัจจุบันไม่ให้กลุ่มข้อมูลถูกทิ้งจนหายไปจากระบบได้

การให้ความสำคัญของกลุ่มข้อมูลที่ไม่เท่ากันแล้วส่งผลให้กลุ่มข้อมูลที่มีความสำคัญมากกว่าก็นับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจ แต่หากนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลมีความต้องการข้อมูลจำนวนมาก หรือมีความสามารถอื่นๆอาจจะทำให้นโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอสูญเสียความยืดหยุ่นในทำงาน และยากต่อการประยุกต์ได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาการทำงานของนโยบายการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอจะสังเกตได้ว่าสามารถนำไปประยุกต์ เพื่อนำข้อมูลเข้ามาช่วยในการตัดสินใจเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มความสามารถในการทำงานมากขึ้นได้ เนื่องจากถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้งานสูง และนำไปประยุกต์กับใช้โพรโทคอลแบบ Store-and-Forward สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะที่มีอยู่ได้

นอกจากนั้นหากนำวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบอื่นๆ เช่น วิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Early Detection (RED) [23] ซึ่งเป็นวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลก่อนที่บัฟเฟอร์จะเต็ม โดยมีการคำนวณความน่าจะเป็นของกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ คือจะมีการกำหนดค่า Threshold เอาไว้ หากค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้ของกลุ่มข้อมูลมีค่ามากกว่าค่า Threshold ก็จะเลือกทิ้งกลุ่มข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์โดยใช้วิธีการสุ่ม ซึ่งจะสังเกตว่าวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Early Detection (RED) มีลักษณะการทำงานที่ใกล้เคียงกับวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random ดังนั้นถ้านำมาทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ก็น่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random หรืออาจจะทำงานได้แย่กว่า เนื่องจากวิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลแบบ Random Early Detection (RED) นั้นถูกออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Congestion บน Gateway โดยใช้วิธีการทิ้งกลุ่มข้อมูลก่อนที่บัฟเฟอร์จะเต็ม ซึ่งเป็นการใช้งานบัฟเฟอร์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งยังลดโอกาสที่กลุ่มข้อมูลนั้นจะถูกเก็บในบัฟเฟอร์และถูกแพร่ต่อไปในระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่เรานำเสนอนั้นจะเป็นการทิ้งกลุ่มข้อมูลเมื่อบัฟเฟอร์เต็ม ทำให้กลุ่มข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์ได้มากกว่า ส่งผลให้มีโอกาสที่กลุ่มข้อมูลจะถูกแพร่กระจายไปในระบบก็มีมากกว่า ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอก็จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่าวิธีการแบบ Random Early Detection (RED)

รายการอ้างอิง

[1] Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Fall, K., Cerf, V., Durst, B., Scott, K. and Weiss, H. Delay-Tolerant Networking: An Approach to Interplanetary Internet, IEEE Communications Magazine 41, 6, (June 2003): 128-136.

[2] Fall, K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Proc. ACM 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM '03), New York, USA, 2003

[3] Warthman, F. Delay-Tolerant Networks (DTNs) A Tutorial, Version 1.1, 2003

[4] Olariu, S., and Weigle, M., C. Vehicular Networks: From Theory to Practice, Chapter 10, 2009

[5] Conti, M., and Giordano, S. Multihop Ad Hoc Networking: The Reality. IEEE Communications Magazine 45, 4, (April 2007): 88-95.

[6] Zhao, J., and Cao, G. VADD: Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology 57, 3, (May 2008): 1910-1922.

[7] Ding, Y., Wang, C., and Xiao, L. A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks, Proc.ACM the 4th ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET '07), New York, USA,2007

[8] Naumov, V., and Gross, T.R. Connectivity-aware routing (CAR) in vehicular ad hoc networks, IEEE the 26th International Conference on Computer Communications (INFOCOM'07), Anchorage, AK, May, 2007

[9] Ros, F. J., Ruiz, P. M., and Stojmenovic, I. Reliable and efficient broadcasting in vehicular ad hoc networks, IEEE the 69th Vehicular Technology Conference (VTC'09-Spring), Barcelona, Spain, April 26-29, 2009.

[10] Nakorn, N., N. and Rojviboonchai, K. DECA: Density-Aware Reliable Broadcasting in Vehicular Ad-Hoc Networks, IEEE the 7th International Conference on Electrical

Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON'10), Chiang Mai, Thailand, May 19-21, 2010.

[11] Ke, M., Nenghai, Y., and Bin, L. A new packet dropping policy in delay tolerant network, IEEE the 12th International Conference on Communication Technology (ICCT'10), pp.378-381, Nanjing, China, November 11-14, 2010.

[12] Krifa, A., Barakat, C., and Spyropoulos, T. Optimal Buffer Management Policies for Delay Tolerant Networks, IEEE the 5th Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'08), San Francisco, June 16-20, 2008.

[13] Kompfner, P. Cooperative Vehicle-Infrastructure System (CVIS) [Online]. (2009). Available from: http://cvisproject.org [2011, October 9]

[14] Grafling, S., Mahonen, P., and Riihijarvi, J. Performance Evaluation of IEEE 1609 WAVE and IEEE 802.11p for Vehicular Communications, 2010 Second International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Korea: IEEE, 2010

[15] U.S. Department of Transportation. IEEE 1609 - Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) [Online]. (2006). Available from : http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=80 [2011, October 9]

[16] IEEE. P802.11p/D11.0, Mar 2010 IEEE Draft Standard for Amendment to Standard [for] Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and Metropolitan networks-Specific requirements-Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications-Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. (June 15, 2010)

[17] Jiang, D. and Delgrossi, L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments, IEEE the 67th Vehicular Technology Conference (VTC'08-Spring), Singapore: IEEE, 2008.

[18] IEEE. IEEE 802.11 Official Timelines [Online] (2010). Available from: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm [2011, October 9]

[19] Weisstein, E., W. Circle-Circle Intersection. MathWorld [Online]. Available from: http://mathworld.wolfram.com/Circle-CircleIntersection.html [2011, October 9]

[20] German Aerospace Center (DLR). Simulation of Urban MObility (SUMO) [Online]. (2010). Available from: http://sumo.sourceforge.net [2011, October 9]

[21] Piorkowski, M., Raya, M., and Hubaux, J. P. Traffic and Network Simulation Environment (TraNS) [Online]. (2008). Available from: http://trans.epfl.ch [2011, October 9]

[22] Varadhan, K. The Network Simulator (NS-2) [Online]. (2010). Availabble from: http://www.isi.edu/nsnam/ns [2011, October 9]

[23] Floyd, S., and Jacobson, V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance, IEEE Transactions on Networking 1, (August 1993): 397 - 413.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิภาวี วิริยพงษ์สุกิจ เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านจะทิ้งพระ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552