กลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์บนถนน

นายรัฐพล ผิวกำพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

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.

SELECTIVE BROADCAST MECHANISM FOR VANET BASED ON ROAD INCIDENCE RELEVANCE ANALYSIS

Mr. Rattaphon Phiwkamphon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์บนถนน
โดย	นายรัฐพล ผิวกำพล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศุภกร สิทธิไชย)

รัฐพล ผิวกำพล : กลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์บนถนน. (SELECTIVE BROADCAST MECHANISM FOR VANET BASED ON ROAD INCIDENCE RELEVANCE ANALYSIS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, 59 หน้า.

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนท้องถนนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการจราจรที่คับคั่ง เนื่องจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้ส่งผลให้ยานพาหนะในบริเวณที่จุดเกิดเหตุเคลื่อนตัวได้ช้าและส่งผลกระทบออกไปเป็นวงกว้าง จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์เพื่อช่วยในการช่วยลดความคับคั่งของการจราจรด้วยการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะในระบบ โดยยานพาหนะที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนก็สามารถที่จะระมัดระวังอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงจุดเกิดอุบัติการณ์ได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์บนถนน ความสัมพันธ์ระหว่างอุบัติการณ์กับยานพาหนะแต่ละคันจะถูกพิจารณาวิธีการที่นำเสนอกำหนดให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้วิธีการที่นำเสนอช่วยลดการส่งที่ไม่จำเป็นเป็นสาเหตุให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ สำหรับการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนจะให้ยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุดทำการแพร่กระจายข้อความต่อเพื่อลดการส่งข้อความที่ซ้ำซ้อน นอกจากนี้ยังมีกลไกในการแพร่กระจายข้อความเป็นระยะเพื่อเพิ่มความสำเร็จในการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในสถานการณ์ที่เกิดการขาดช่วงของโครงข่าย สำหรับการประเมินสมรรถนะในวิทยานิพนธ์นี้ได้มุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนรวมไปถึงประสิทธิภาพในการแพร่สัญญาณ

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	**ลายมือชื่อนิสิต**	.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	**ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก**	.....
ปีการศึกษา	2555		

5470342921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: VEHICULAR AD HOC NETWORK/ SELECTIVE BROADCAST/ INCIDENCE RELEVANCE ANALYSIS.

RATTAPHON PHIWKAMPHON : SELECTIVE BROADCAST MECHANISM FOR VANET BASED ON ROAD INCIDENCE RELEVANCE ANALYSIS. ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 59 pp.

An accident on the road has always been a major cause of traffic congestion. The Incident Warning System (IWS) is designed to mitigate traffic congestion by forwarding a warning message to vehicles within system. After receiving the warning message, drivers can divert direction to avoid incident location. Therefore IWS can reduce the numbers of arriving vehicles to the incident location. This thesis proposed a broadcast mechanism for IWS based on incidence relevance analysis. The relationship between the vehicles and the incidence are investigated. The warning message would be delivered to the vehicles which are potentially affected by the incidence. The farthest vehicle from sender is used to rebroadcast. Besides, period broadcast from potential relay vehicle can improve received ratio in the system. Performance of proposed scheme is evaluated in term of warning effectiveness and efficiency of channel utilization.

Department :	Electrical Engineering	**Student's signature**	.....
Field of study :	Electrical Engineering	**Advisor's signature**	.....
Academic year :	2012		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เนื่องด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้ความรู้ พร้อมทั้งสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้งได้มอบหมายงานที่เป็นประโยชน์ ที่ทำให้นิสิตมีแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความเมตตาและความใส่ใจต่อนิสิตมาโดยตลอด นิสิตจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทับทิม อ่างแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาวน์ดิศ อัศวกุล และดร.ศุภกร สิทธิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่และรุ่นน้องในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษามาโดยตลอดโดยเฉพาะ Network Research Group (NRG) ขอขอบคุณ คุณศศิรมย์ เทียนน้อย สำหรับคำแนะนำอันมีประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดมา

ขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม และโครงการ $SP2GE12$ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างและคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ตลอดมา รวมทั้งให้โอกาสนิสิตได้ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ
กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ
สารบัญ . . . . . ช
สารบัญรูป . . . . . ฌ
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 4
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์ 5
2 หลักการและทฤษฎี 7
2.1 โครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ 7
2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ 8
2.3 การควบคุมเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Media Control) 9
2.3.1 มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) [17] 10
2.3.2 ช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูล (IFS: Inter-Frame Space) 12
2.4 การจำลองระบบในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ 12
2.4.1 การจำลองโครงข่าย 12
2.4.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลัง (Loss Model) 13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
3 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน 17
3.1 สมมติฐานของระบบ 18
3.2 รูปแบบของข้อความแจ้งเตือน 18
3.3 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบ 18
3.3.1 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบทางด่วน 20
3.3.2 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบในเขตเมือง . . 20
3.4 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน 23
3.4.1 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ 25
3.4.2 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด . 25
4 การจำลองโครงข่ายและผลการจำลองโครงข่าย 29
4.1 วิธีการจำลองโครงข่าย 29
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะของกลไก 31
4.3 การจำลองในสถานการณ์ทางด่วน 32
4.3.1 ผลการจำลองในระบบทางด่วน 35

4.4 การจำลองสถานการณ์สี่แยก 36
4.4.1 ผลการจำลองโครงข่ายระบบในพื้นที่สี่แยก 38
4.5 การจำลองสถานการณ์เขตเมือง 44
4.5.1 ผลการจำลองโครงข่ายในสถานการณ์เขตเมือง 46
4.6 สรุป 54
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 55
5.1 บทสรุป 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 59

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น 4
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ 8
รูปที่ 2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ: (a) Broadcast, (b) Multicast and (c) Unicast 9
รูปที่ 2.3 MAC 10
รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11p WAVE 11
รูปที่ 2.5 ช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูล (Inter-Frame Space) 12
รูปที่ 2.6 การกำหนดยานพาหนะที่มีสิทธิการถ่ายทอดในวิธีการของ PAB [8] 16
รูปที่ 3.1 ระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ (Incidence Warning System 17
รูปที่ 3.2 รูปแบบของข้อความแจ้งเตือน 19
รูปที่ 3.3 การพิจารณาความความเกี่ยวข้องระหว่างอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะในระบบทางด่วน 20
รูปที่ 3.4 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะในระบบที่เป็นเขตเมือง 21
รูปที่ 3.5 กลไกการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบ 23
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบระยะทางจากยานพาหนะถึงจุดเกิดอุบัติการณ์ (a) ระยะทางลดลงแสดงถึงยานพาหนะที่กำลังมุ่งหน้าสู่อุบัติการณ์; b) ระยะทางเพิ่มขึ้นแสดงถึงยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากอุบัติการณ์ 24
รูปที่ 3.7 การพิจารณาการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือน 25
รูปที่ 3.8 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ 26
รูปที่ 3.9 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล 28
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการจำลองโครงข่าย 30
รูปที่ 4.2 การจำลองอุบัติการณ์ในระบบทางด่วน 33
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยนจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์ทางด่วน 33
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะส่งผล 34
รูปที่ 4.5 อัตราส่วนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ถูกเตือนทันเวลาเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบทางด่วน 37
รูปที่ 4.6 อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบ 37
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน 38
รูปที่ 4.8 อัตราส่วนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ถูกเตือนทันเวลาเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบ 39
รูปที่ 4.9 อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบทางด่วน 39

รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในระบบทางด่วนเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระยะส่งสัญญาณ 40
รูปที่ 4.11 การจำลองระบบในพื้นที่สี่แยก 40
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์สี่แยก 41
รูปที่ 4.13 อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบพื้นที่สี่แยก 42
รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการแพร่กระจายในระบบพื้นที่สี่แยก 43
รูปที่ 4.15 อัตราการรับข้อความสำเร็จในระบบพื้นที่สี่แยกเมื่อพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณ 44
รูปที่ 4.16 อัตราส่วนระหว่างการแพร่กระจายต่อยานพาหนะในระบบพื้นที่สี่แยก 45
รูปที่ 4.17 ลักษณะทอพอโลยีของถนนและจุดเกิดอุบัติการณ์ที่พิจารณาในระบบเขตเมือง 47
รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยนจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์เขตเมือง 47
รูปที่ 4.19 อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง 48
รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง 49
รูปที่ 4.21 อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อทำการพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง 50
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพการแพร่กระจายเมื่องพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง 51
รูปที่ 4.23 อัตราข้อมูลสูญหายเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง 52
รูปที่ 4.24 อัตราข้อมูลสูญหายเมื่อทำการพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง . . 53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากจำนวนของยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดความคับคั่งของการจราจรรวมถึงจำนวนของอุบัติเหตุที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบจราจร โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ (Vehicular Ad hoc Network, VANET) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่ยานพาหนะในระบบสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรงเมื่ออยู่ในระยะการส่งสัญญาณโดยไม่ผ่านหน่วยกลาง (Central unit) หรือ สถานีฐาน (Base station) ในการติดต่อสื่อสาร เนื่องด้วยโนดในระบบคือยานพาหนะทำให้คุณสมบัติของโครงข่ายแอดฮอกยานพาหนะแตกต่างจากโครงข่ายแอดฮอกชนิดอื่นๆ เช่น การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงของโนดในระบบส่งผลให้การเชื่อมต่อของโครงข่ายถูกสร้างและยกเลิกอย่างรวดเร็ว รวมถึงรูปแบบของทอพอโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น มาตรฐานในการสื่อสารของโครงข่ายแอดฮอกยานพาหนะจึงถูกออกแบบขึ้นเป็นพิเศษเพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการเชื่อมต่อและรูปแบบการใช้งาน โดยยานพาหนะแต่ละคันต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับรับ-ส่งสัญญาณแบบไร้สาย นอกจากนี้ยานพาหนะสามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มความสามาถอื่นๆได้ เช่น มีการติดตั้งระบบจีพีเอส (Global Position System, GPS) และระบบแผนที่ดิจิทัลเพื่อระบุพิกัดและข้อมูลที่สำคัญ เช่น ชื่อถนน สถานที่ หรือสภาพจราจร เป็นต้น

รูปแบบการใช้งานโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามการใช้งาน คือ [1]

1. การใช้งานที่เพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้ เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างยานพาหนะและการสอบถามข้อมูลของลานจอดรถ เป็นต้น
2. การใช้งานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เช่น การแจ้งเตือนอุบัติการณ์ การแจ้งเตือนสิ่งผิดปกติภายในยานพาหนะและแจ้งเตือนสภาพถนนหรือสภาพอากาศ เป็นต้น
3. การใช้งานเชิงพาณิชย์ เช่น การโฆษณาในพื้นที่และการค้าขายผ่านอินเตอร์เน็ต เป็นต้น

งานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ (Incident warning system) ซึ่งเป็นระบบที่ทำการส่งข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์ให้กับยานพาหนะในระบบเมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้น เช่น อุบัติเหตุ สิ่งกีดขวางการจราจร และเหตุการณ์ฉุกเฉิน เป็นต้น เมื่อยานพาหนะที่ได้รับข้อความทราบถึงอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นก็สามารถระวังเหตุการณ์หรือตัดสินใจที่จะใช้เส้นทางอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงจุดเกิดอุบัติการณ์ ดังนั้นระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์จึงสามารถช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุและสามารถช่วยลดจำนวนของยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่จุดเกิดอุบัติการณ์ได้ ด้วยเหตุนี้ข้อความแจ้งเตือนจึงควรถูกส่งให้กับยานพาหนะในระบบอย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ดังนั้นการส่งข้อมูลที่เหมาะสมคือการส่งข้อมูลแบบแพร่กระจาย (Broadcast) เนื่องจากข้อมูลจะถูกส่งให้กับทุกยานพาหนะที่อยู่ในระยะการส่ง

สัญญาณของตัวส่ง โดยวิธีการแพร่กระจายที่ง่ายที่สุดคือการแพร่กระจายออก (Flooding) [2] ซึ่งเป็นวิธีที่ยานพาหนะต้นทางทำหน้าที่กระจายข้อความให้กับโนดอื่นๆที่อยู่ในระยะส่ง เมื่อยานพาหนะได้รับข้อความแจ้งเตือนจากยานพาหนะต้นทางก็จะแพร่กระจายข้อมูลนั้นต่อไปทันที การส่งข้อมูลแบบกระจายออกเป็นการส่งข้อมูลที่มีความซ้าซ้อนจำนวนมากและเป็นสาเหตุของการเกิดพายุการแพร่กระจาย (Broadcast storm) [3] เนื่องจากยานพาหนะทุกคันพยายามที่จะเข้าใช้ช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลต่อออกไป ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลส่งผลให้ข้อมูลสูญหายและเกิดความคับคั่งในโครงข่ายสูงส่งผลให้ยานพาหนะในระบบได้รับข้อมูลช้าลง

ด้วยเหตุนี้จึงมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงกลไกการส่งข้อมูลแบบแพร่กระจายเพื่อเป็นการลดจานวนของการส่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อน [4], [5], [6] เช่น มีการวิเคราะห์ว่า ยานพาหนะทุกคนไม่จำเป็นต้องถ่ายทอดข้อมูล เฉพาะยานพาหนะบางคันเท่านั้นที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดข้อมูล (Selective broadcast) หรือมีส่งข้อมูลให้อยู่ในพื้นที่จำกัดเท่านั้น (Geocast) ในงานวิจัย [7] ได้นำเสนอการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์ระหว่างยานพาหนะโดยพิจารณาในระบบที่มีถนนเป็นเส้นตรงทิศทางเดียว โดยกำหนดให้ยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุดเป็นตัวส่งข้อมูลต่อเท่านั้น เมื่อยานพาหนะแต่ละคันได้รับข้อมูลจะไม่ทาการส่งต่อข้อมูลออกไปในทันที แต่จะต้องคำนวนหาระยะเวลารอส่งข้อมูล ซึ่งระยะเวลารอส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตัวส่งและยานพาหนะแต่ละคัน ถ้ามีระยะห่างมากก็จะใช้ระยะเวลาในการรอส่งน้อย เมื่อยานพาหนะคันใดได้รับข้อมูลซ้ำก็จะยกเลิกระยะเวลาในการรอส่งข้อมูลทันที เพราะเป็นการรับรู้ว่าในระบบมีการส่งข้อมูลเดียวกันแล้วไม่จำเป็นต้องส่งซ้ำอีก ในงานวิจัยที่คล้ายกัน [8] ได้พัฒนาวิธีแพร่กระจายข้อมูลระหว่างยานพาหนะในระบบที่มีถนนเป็นเส้นตรงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการพิจารณาการส่งข้อมูลในระบบที่มีถนนเป็นแบบ 2 ทิศทางการจราจร มีการกำหนดให้ยานพาหนะแต่ละคันมีระยะเวลาการรอส่งต่อขึ้นอยู่กับระยะห่างจากตัวส่ง และความเร็วในการเคลื่อนที่ เมื่อยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุดและมีความเร็วสูงจะมีระยะเวลารอส่งข้อมูลน้อย ส่งผลให้การแพร่กระจายข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็วและทั่วถึง เนื่องจากความเร็วของยานพาหนะที่ทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลทำให้พื้นที่ในการแพร่กระจายข้อมูลนั้นมากขึ้น ในงานวิจัย [9] ได้เสนอวิธีการกระจายข้อมูลเฉพาะพื้นที่ (Geocast) โดยวัตถุประสงค์ของ [9] คือการถ่ายทอดข้อมูลให้กับยานพาหนะที่อยู่ในพื้นที่ที่กำหนด การตัดสินใจที่จะรับข้อมูลหรือทิ้งข้อมูลขึ้นอยู่กับตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะแต่ละคัน เฉพาะยานพาหนะที่อยู่ในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง (Zone of Relevance, ZOR) เท่านั้นที่จะตัดสินใจรับข้อมูล ส่วนยานพาหนะคันอื่นที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องก็จะทิ้งข้อมูล ซึ่งในงานวิจัย [9] ได้เพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลโดยการกำหนดพื้นที่ในการส่งต่อข้อมูล (Zone of Forwarding) เพื่อทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะที่อยู่ในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง (ZOR) ดังนั้นพื้นที่ในการส่งข้อมูลจึงมีขนาดใหญ่กว่าและอยู่ล้อมรอบพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์เสมอ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย [10] ที่มีการกำหนดพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง (ZOR) และพื้นที่ในการส่งต่อข้อมูล (ZOF) ด้วยเช่นกัน โดยนำปัจจัยทางเวลามาพิจารณาถึงพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นพื้นที่ที่เกี่ยวข้องจะเป็นแบบพลวัตและมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยทางเวลา ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นประโยชน์อย่างมากในการใช้งานแบบออนไลน์ เช่น การเล่นเกมระหว่างยานพาหนะ หรือการแบ่งปันวีดีโอระหว่างยานพาหนะ เป็นต้น

งานวิจัยที่ผ่านมาได้กำหนดขอบเขตการการแพร่กระจายข้อมูลในระบบโดยพิจารณาการใช้งานในถนนที่เป็นทางด่วน (Highway scenario) มีลักษณะของถนนที่เป็นเส้นตรง แต่ในการใช้งานของถนนในเขตเมืองนั้นมีความแตกต่างออกไป เนื่องจากลักษณะถนนในพื้นที่เขตเมืองมีความหลากหลาย มีการจราจรที่คับคั่ง นอกจากนี้สภาพภูมิประเทศในเขตเมืองนั้นเต็มไปด้วยอาคาร

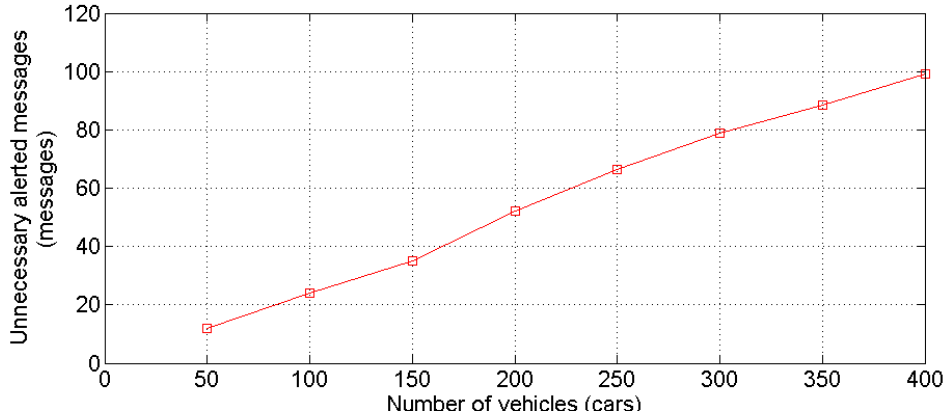
ตารางที่ 1.1: งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โปรโตคอล	รูปแบบของกลไก	ระบบ	สภาวะโครงข่าย	ตัวทวนสัญญาณ
IVG [7]	แบบเลือก/เฉพาะพื้นที่	ทางด่วน	หนาแน่น	ไม่ใช้
DRG [9]	แบบเลือก/เฉพาะพื้นที่	ทางด่วน	หนาแน่น/เบาบาง	ไม่ใช้
PAB [8]	แบบเลือก	ทางด่วน	หนาแน่น	ไม่ใช้
Mobicast [10]	เฉพาะพื้นที่	ทางด่วน	หนาแน่น	ไม่ใช้
UMB [11]	แบบเลือก	เขตเมือง	หนาแน่น	ใช้
EDB [12]	แบบเลือก	เขตเมือง	หนาแน่น	ใช้
Abiding[13]	เฉพาะพื้นที่	เขตเมือง	หนาแน่น/เบาบาง	ไม่ใช้

สิ่งก่อสร้างมากมาย ซึ่งทำให้เกิดปัญหา line-of-sight ดังนั้นกลไกการส่งข้อความในเขตเมืองจึงถูกออกแบบเพื่อให้เหมาะกับสถานการณ์ดังกล่าว ในงานวิจัย [11] ประกอบไปด้วยกลไกการแพร่กระจายข้อมูล 2 ส่วนคือ การแพร่กระจายข้อมูลในทิศทางปกติ และการแพร่กระจายข้อมูลในพื้นที่สี่แยก สำหรับการแพร่กระจายข้อมูลในทิศทางปกติจะใช้กลไกการแพร่กระจายข้อมูลแบบ RTS/CTS Handshake เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูล และเลือกยานพาหนะที่อยู่ไกลจากตัวส่งที่สุดเป็นตัวส่งข้อมูลต่อเพื่อแก้ปัญหาจากการแพร่กระจายออก โดยยานพาหนะที่ได้รับเลือกเป็นตัวส่งข้อมูลต่อจะทำการส่ง ACK แพคเกตกลับไปยังตัวส่งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการแพร่กระจายข้อมูล ในขณะที่ตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ถูกติดตั้งในพื้นที่สี่แยกเพื่อกระจายข้อมูลให้ครอบคลุมทุกทิศทาง นอกจากนี้ในงานวิจัย [12] ได้นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อมูลในเขตเมืองโดยใช้เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional antenna) ในการแพร่กระจายข้อความไปยังทิศทางที่ต้องการ มีการใช้ยานพาหนะที่อยู่ไกลจากยานพาหนะต้นทางที่สุดในการส่งข้อความต่อและติดตั้งตัวทวนสัญญาณที่สี่แยกเหมือนกับในงานวิจัย [11] แต่ในขณะเดียวกัน งานวิจัย [13] ได้เสนอกลไกการส่งข้อความแจ้งเตือนพื้นที่เฉพาะ โดยการพิจารณาว่า ข้อความแจ้งเตือนจะถูกส่งแบบแพร่กระจายออกภายในพื้นที่ที่กำหนดเท่านั้น เฉพาะยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้ามาภายในระยะของพื้นที่แจ้งเตือนเท่านั้นที่จะได้รับข้อมูล ดังนั้น เมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นบนถนน ระบบจะทำการคำนวนระยะที่ทำการแจ้งเตือนอย่างเหมาะสม โดยใช้พารามิเตอร์ที่เป็นจำนวนของยานพาหนะที่เข้าสู่ระบบแบบปัวซองก์ (Poisson)

ในตารางที่ 1 ได้ทำการสรุปคุณสมบัติของกลไกการแพร่กระจายข้อความที่เหมาะสมในระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ได้นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการแพร่กระจายข้อความแบบแพร่กระจายออกโดยการลดจำนวนครั้งในการถ่ายทอดข้อมูล ถึงแม้ว่าการส่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อนในระบบจะถูกลดลงแต่เมื่อพิจารณาถึงความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นพบว่ายังมียานพาหนะที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ยังได้รับข้อความอยู่ ซึ่งการส่งเหล่านี้ถือเป็นการส่งที่ไม่จำเป็น ในรูปที่ 1 แสดงถึงตัวอย่างผลการทดลองของโปรโตคอล UMB [11] ซึ่งเป็นโปรโตคอลการส่งข้อความแบบเลือกที่ไม่มีการพิจารณาถึงความเกี่ยวข้องระหว่างอุบัติการณ์และยานพาหนะในระบบ จะเห็นว่าเมื่อจำนวนยานพาหนะในระบบมากขึ้นข้อความแจ้งเตือนที่ถูกส่งให้กับยานพาหนะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ก็จะมีมากขึ้นด้วย

สำหรับกลไกส่งข้อความเฉพาะพื้นที่ (Geocast) สามารถแบ่งกลไกออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบอ้างอิงเครื่องบอกตำแหน่ง (Beacon-based) และปราศจากเครื่องบอกตำแหน่ง (Beaconless-



รูปที่ 1.1: ข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น

based) โดยกลไกแบบอ้างอิงเครื่องบอกตำแหน่งเป็นกลไกที่ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลของทอพอโลยีก่อนทำการส่งข้อมูล ในขณะที่กลไกที่ปราศจากเครื่องบอกตำแหน่งเป็นกลไกที่ทำการแพร่กระจายข้อมูลโดยปราศจากข้อมูลของทอพอโลยี ซึ่งรูปแบบให้เหมาะสำหรับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยคือแบบปราศจากเครื่องบอกตำแหน่ง [14] เพราะมุ่งเน้นประสิทธิภาพทางด้านเวลาและความครอบคลุมพื้นที่ในการส่งข้อมูลจึงทำให้มีการกำหนดพื้นที่ในการส่งข้อมูลอย่างง่าย ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัย [7] และ [9] ได้สมมุติให้พื้นที่ในการส่งข้อมูลคือพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังของอุบัติการณ์เนื่องจากโปรโตคอลดังกล่าวเป็นโปรโตคอลที่เหมาะสำหรับใช้งานบนทางด่วนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ส่วนงานวิจัย [13] ได้นำเสนอกลไกส่งข้อมูลสำหรับพื้นที่เฉพาะในระบบที่เป็นเขตเมือง โดยพื้นที่ที่กำหนดนั้นจะอยู่ล้อมรอบอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยดังกล่าวยังไม่ได้กล่าวถึงวิธีการกำหนดพื้นที่ในการส่งข้อมูลที่เหมาะสมหรือพิจารณาความจำเป็นของยานพาหนะในการได้รับข้อมูล ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนโดยเสนอแนวทางในการวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นแทนการระบุด้วยพื้นที่ การกำหนดบทบาทให้กับยานพาหนะในระบบถูกนำเสนอขึ้นเพื่อลดการส่งข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็นให้กับยานพาหนะที่ไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์และเพิ่มอัตราการรับข้อมูลให้กับยานพาหนะที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นการประเมินผลที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการแจ้งเตือน เช่น ปริมาณการใช้ช่องสัญญาณ อัตราการรับข้อมูล และระยะเวลาที่ใช้ในการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาหลักการทำงานและข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ รวมถึงแนวทางในการพัฒนา แก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสถานการณ์
2. เสนอกลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์บนถนน
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น

4. เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะได้

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พัฒนากลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เพื่อส่งข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์เท่านั้น
2. ทำการทดลองการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในระบบที่จำลองการจราจรมาจากสถานที่จริง เช่น แยกศาลาแดง แยกสุรวงศ์ เป็นต้น โดยพิจารณาการแพร่กระจายข้อมูลให้ครอบคลุมทุกทิศทางในพื้นที่สี่แยก
3. พิจารณาระบบที่มีอุบัติการณ์เกิดขึ้นเพียง 1 อุบัติการณ์ โดยอุบัติการณ์เกิดขึ้นที่ช่องจราจรเพียงฝั่งใดฝั่งหนึ่งเท่านั้นไม่พิจารณาอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นที่สี่แยก และอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อยานพาหนะที่อยู่ฝั่งตรงข้าม
4. ใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย Network Simulator 3 (NS3) เพื่อประเมินสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอ และจำลองระบบการจราจรด้วยโปรแกรม Simulation of Urban MObility (SUMO)
5. ระบบการจราจรที่พิจารณาไม่มีลักษณะที่เป็นแบบตาราง (Grid)
6. พิจารณาระบบเขตเมืองที่มีความยาวไม่เกิน 5 กิโลเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำหลักการและแนวคิดในการปรับปรุงการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นทางด้านของความปริมาณในการใช้ช่องสัญญาณและเพิ่มอัตราการรับข้อมูลของยานพาหนะที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์ทำให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายได้ในทุกทิศทางที่บริเวณสี่แยกโดยไม่ต้องใช้โนดข้างทาง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการติดตั้งระบบได้

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ วิธีการที่นำเสนอ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี: กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย โครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ รูปแบบการสื่อสารในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ และการจำลองระบบในโครงข่างแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

บทที่ 3 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน: นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนแบบเลือกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับเหตุการ์บนถนน รวมถึงรูปแบบของข้อความแจ้งเตือนและการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบ

บทที่ 4 การจำลองโครงข่ายและผลการจำลอง : กล่าวถึงวิธีการจำลองโครงข่ายรวมถึงผลการจำลองในสถานการณ์ต่างๆและการวิเคราะห์ผลการจำลอง

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 โครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

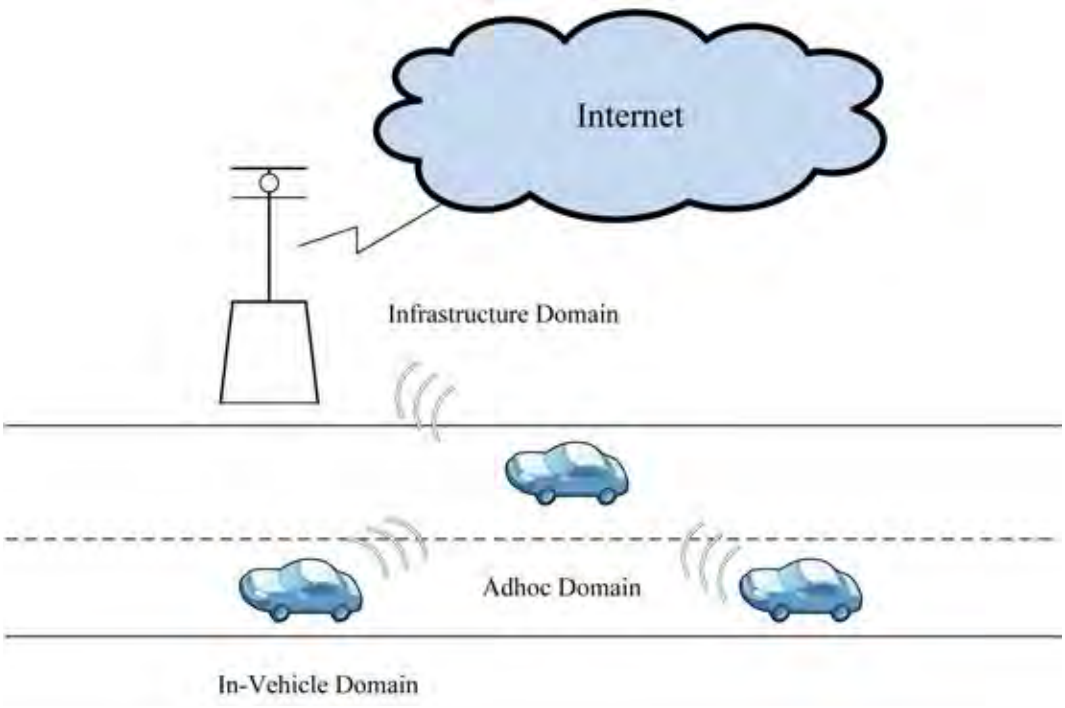
โครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะเป็นโครงข่ายสื่อสารแบบไร้สายสำหรับยานพาหนะที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับหน่วยกลาง (Central unit) หรือสถานีฐาน (Base station) โนดทุกโนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระและสามารถติดต่อกับโนดอื่นได้เมื่ออยู่ในระยะการส่งสัญญาณ (Transmission range) แต่เมื่อโนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารอยู่ห่างออกไปจากระยะการส่งสัญญาณ จะต้องมีการใช้โนดระหว่างทาง (Intermediate node) เพื่อช่วยในการถ่ายทอดข้อมูลไปยังปลายทาง การติดต่อสื่อสารของโนดในโครงข่ายนั้นสามารถติดต่อกันผ่านเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายระยะสั้น (Short-range wireless technology) ซึ่งโครงข่ายลักษณะนี้มีหลายประเภท เช่น เครือข่ายไร้สายแบบเมช (Wireless mesh network: WMN), โครงข่ายไร้สายของตัวตรวจจับ (Wireless sensor network: WSN), โครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่ (Mobile ad hoc network: MANET) เป็นต้น โดยโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะถูกจัดอยู่ในกลุ่มย่อยของโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่เพราะโนดในระบบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แต่เนื่องจากโนดในระบบของโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะคือรถยนต์จึงทำให้โครงข่ายแอดฮอกยานพาหนะมีความแตกต่างจากโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่ทั่วไป อันเนื่องมาจากคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1. **รูปแบบการเคลื่อนที่และพฤติกรรมของผู้ขับขี่:** เนื่องจากยานพาหนะต้องเคลื่อนที่ไปตามแนวโครงข่ายของถนนเท่านั้นจึงทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่มีความชัดเจน นอกจากนี้พฤติกรรมของผู้ขับขี่ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้รูปแบบการเคลื่อนของโนดมีความแตกต่างจากโครงข่ายชนิดอื่นๆ เช่นการเบรค การเร่ง การแซงของยานพาหนะ เป็นต้น

2. **ความเร็วของโนดในระบบและการเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยี:** ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบทางด่วน การเชื่อมต่อถูกสร้างและสูญหายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นรูปแบบของการสื่อสารของโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่ทั่วไปจึงไม่เหมาะสำหรับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

3. **การใช้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์:** ยานพาหนะสามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อให้ข้อมูลต่างๆทางภูมิศาสตร์ได้ เช่น จีพีเอส (GPS) แผนที่ดิจิตอล (Digital map) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อให้ข้อมูลทางด้านพิกัด ข้อมูลของถนน และสถานที่สำคัญๆต่างๆ เป็นต้น

โครงสร้างการสื่อสารของโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะสามารถแบ่งออกเป็นรูปแบบที่ต่างกันตามตามรูปแบบการใช้งาน เช่น การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ (Vehicle-to-vehicle, V2V) ระหว่างยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐาน (Vehicle-to-infrastructure, V2I) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ โดยประกอบไปด้วยโดเมนที่แตกต่างกัน 3 โดเมน ดังนี้



รูปที่ 2.1: โครงสร้างของโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

- *In-Vehicle Domain* เป็นระบบที่อยู่ภายในยานพาหนะ สามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติภายในหรือตรวจสอบสถานะของยานพาหนะเพื่อแจ้งให้กับผู้ใช้ได้ทราบ เช่น สภาพยางรถ ความผิดปกติของเครื่องยนต์ ความเร็วที่ใช้ เป็นต้น
- *Ad Hoc Domain* เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยตรง เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลต่างๆ เช่น ความผิดปกติของรถ สภาพผิวถนน เป็นต้น
- *Infrastructure Domain* เป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับโนดข้างทางเพื่อการใช้งานที่หลากหลาย ผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบอินเตอร์เน็ตผ่านโนดข้างทางเพื่อรับข้อมูลข่าวสารต่างๆ เช่น ข้อมูลด้านการจราจร ข้อมูลสภาพอากาศ เป็นต้น

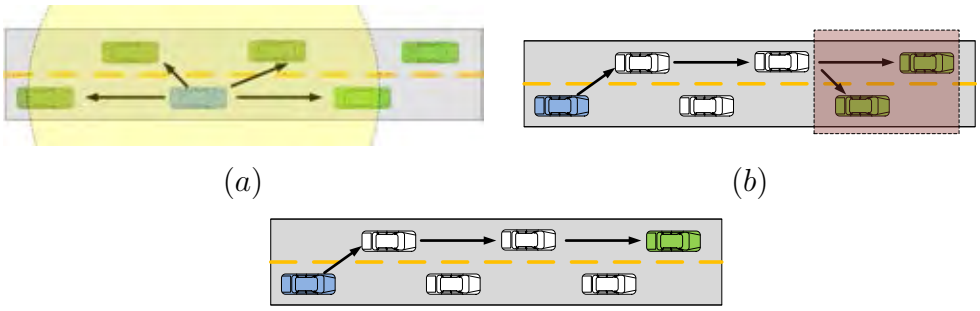
2.2 รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

งานวิจัย [15]และ [16] ได้แบ่งประเภทของรูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะออกเป็น 3 คือ

- การแพร่สัญญาณ (Broadcast) เป็นการแพร่กระจายข้อมูลแบบรอบทิศทางให้กับยานพาหนะที่อยู่ในระยะการส่ง การส่งลักษณะนี้จะไม่มีการระบุปลายทางที่ชัดเจน ยานพาหนะทุกคันที่อยู่ในระยะการส่งจะได้รับข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (a)
- การแพร่สัญญาณแบบหลายเส้นทาง (Multicast) เป็นการแพร่กระจายข้อมูลจากยานพาหนะต้นทาง 1 คัน เส้นทางในการส่งข้อมูลจะถูกสร้างไปยังกลุ่มของยานพาหนะปลายทาง หรือ

อีกชื่อหนึ่งเรียกว่า Geocast เป็นการแพร่กระจายข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังกลุ่มของยานพาหนะปลายทางที่ถูกระบุด้วยพิกัดทางภูมิศาสตร์ กล่าวคือ การสื่อสารจะเกิดขึ้นในเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการให้ได้รับข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (b)

- การแพร่สัญญาณแบบเส้นทางเดียว (Unicast) เป็นการส่งข้อมูลจากยานพาหนะต้นทาง 1 คัน ไปยังยานพาหนะปลายทางเพียงคันเดียว โดยอาจใช้การสร้างเส้นทางผ่านยานพาหนะอื่นๆ ในการช่วยถ่ายทอดข้อความจนกระทั่งถึงยานพาหนะปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (c)



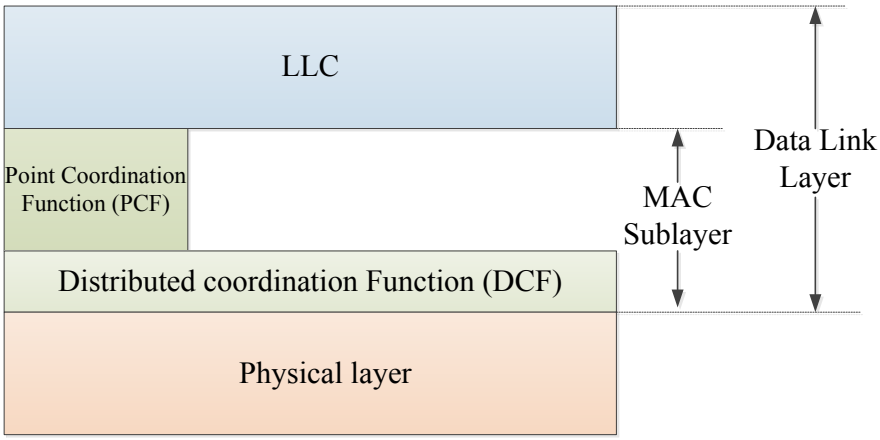
รูปที่ 2.2: รูปแบบการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ: (a) Broadcast, (b) Multicast and (c) Unicast

การส่งข้อมูลแต่ละแบบนั้นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน โดยการส่งแพร่สัญญาณแบบเส้นทางเดียว (Unicast) เหมาะสำหรับการส่งข้อความแบบเจาะจงผู้รับ เช่น การส่งข้อความขอข้อมูลของลานจอดรถ และการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ 2 คัน เป็นต้น แต่สำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์ เช่น การแจ้งเตือนความหนาแน่นของการจราจร การแจ้งเตือนอุบัติเหตุ ซึ่งจะต้องใช้ความรวดเร็วในการส่งข้อความให้รถในระบบ เพื่อ จะใช้วิธีการแพร่สัญญาณแบบหลายเส้นทาง (Multicast) หรือการแพร่สัญญาณ (Broadcast) เพราะวิธีการส่งข้อความดังกล่าวเป็นการส่งข้อความถึงกลุ่มของผู้รับซึ่งมีจำนวนมาก ทำให้ข้อความสามารถส่งถึงกลุ่มของยานพานหะปลายทางที่ได้อย่างรวดเร็ว

2.3 การควบคุมเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Medium Access Media Control)

การเข้าใช้ช่องสัญญาณของการสื่อสารไร้สายสามารถใช้งานได้อย่างอิสระทำให้เกิดการแย่งกันใช้งาน (Contention) บางครั้งส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็คเกต (Collsion packet) เนื่องจากตัวรับได้รับแพ็คเกตมากกว่า 1 แพ็คเกตในเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการจัดการเพื่อจัดสรรการเข้าใช้ช่องสัญญาณโดยเป็นหน้าที่ของชั้นควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (MAC layer) ซึ่งเป็นชั้นสื่อสารย่อยที่อยู่ในชั้นสื่อสารเชื่อมต่อข้อมูล (Datalink layer) โครงสร้างของชั้นสื่อสารเชื่อมต่อข้อมูลแสดงดังรูปที่ 6 การกำหนดรูปแบบการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

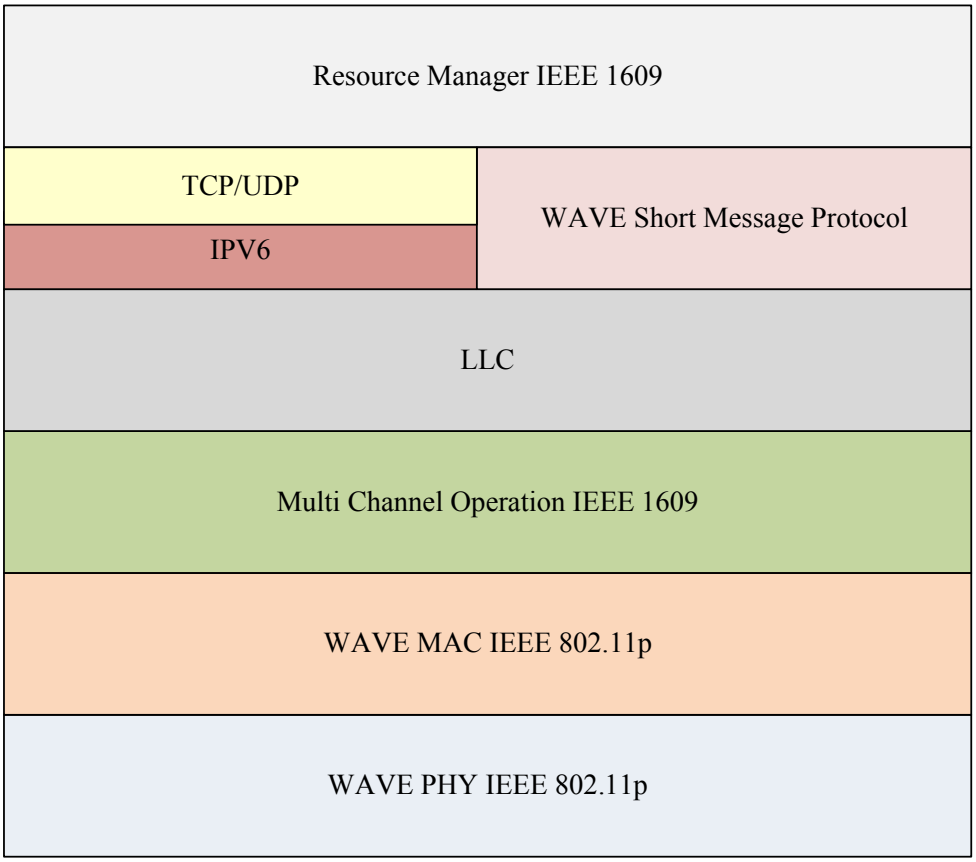
- การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจาย (DCF: Distributed Coordination Function) เป็นการทำงานที่อยู่ส่วนกลางที่สุดของชั้นควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ใช้หลักการทำงานของโปรโตคอล CSMA/CA เพื่อควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณเมื่อผู้ใช้ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยใช้การรอเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่ม (Random) เมื่อเกิดการเข้าใช้ช่องสัญญาณพร้อมกัน
- การเข้าใช้แบบกำหนดจุด (PCF: Point Coordination Function) เป็นชั้นการทำงานที่อยู่ถัดจากโหมดการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจาย การทำงานของการเข้าใช้แบบกำหนดจุดจะทำงานเพื่อไม่ให้เกิดการแย่งใช้ช่องสัญญาณ โดยจะสร้างระบบการตรวจสอบความพร้อมของช่องสัญญาณก่อนที่จะทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.3: MAC

2.3.1 มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) [17]

มาตรฐานการสื่อสารที่ใช้ในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะคือ IEEE 802.11p WAVE ซึ่งถูกออกแบบและพัฒนาเพื่อให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้งานกับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ โดยมีเป้าหมายหลักในการเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน เป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการความรวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือสูง เช่น ข้อมูลสภาพจราจร ข้อมูลสภาพอากาศ และข้อมูลข่าวสารทั่วไป เป็นต้น ดังนั้น ข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจึงต้องมีการจัดลำดับความสำคัญก่อนที่จะส่งออกไป โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยจะมีความสำคัญสูงที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE ใช้แบนด์วิธ 75 MHz ในย่านความถี่ 5.850-5.925 GHz ในการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ (Vehicle-to-Vehicle) และระหว่างยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ (Vehicle-to-Infrastructure) ที่อยู่ข้างถนน จากรูปที่ 2.4 แสดงสถาปัตยกรรมของมาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE จะเห็นว่ามาตรฐาน IEEE 802.11p จะถูกใช้งานในชั้นสื่อสาร



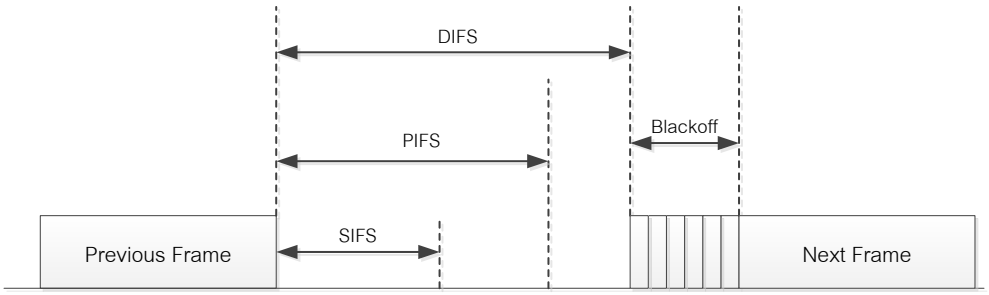
รูปที่ 2.4: สถาปัตยกรรมของ IEEE 802.11p WAVE

ควบคุมการเข้าใช้สื่อกลางและชั้นสื่อสารกายภาพเท่านั้น ส่วนชั้นอื่นๆจะถูกควบคุมโดยมาตรฐาน IEEE 1609 ซึ่งเป็นมาตรฐานของ WAVE

2.3.2 ช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูล (IFS: Inter-Frame Space)

ในการสื่อสารแบบไร้สายต้องจัดสรรช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูลอย่างเหมาะสมเพื่อกำหนดลำดับและป้องกันการชนกันระหว่างข้อมูล โดยช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีระยะเวลาไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5

- SIFS (Short Inter-Frame Space) เป็นช่องว่างเวลาที่น้อยที่สุด โดย SIFS จะใช้กเฟรมข้อมูลที่มีความสำคัญ เช่น เฟรมข้อมูลที่เป็น ACK ที่ใช้ในการตอบกลับของผู้รับไปยังผู้ส่งว่าได้รับข้อมูลแล้ว เป็นต้น
- DIFS (DCF Inter-Frame Space) เป็นช่องว่างเวลาที่นานกว่า SIFS นำไปใช้กับข้อมูลทั่วไป ที่มีการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจาย (DCF) เป็นการตรวจสอบความพร้อมของช่องสัญญาณก่อนส่งข้อมูล
- PIFS (PCF Inter-Frame Space) เป็นช่องว่างเวลาที่มากกว่า SIFS แต่เร็วกว่า DIFS ใช้ในการควบคุมเข้าใช้ช่อสัญญาณแบบกำหนดจุด (PCF)



รูปที่ 2.5: ช่องว่างระหว่างเฟรมข้อมูล (Inter-Frame Space)

2.4 การจำลองระบบในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ

2.4.1 การจำลองโครงข่าย

ในงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ นักวิจัยมักจะทำการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอด้วยการใช้โปรแกรมในการจำลองโครงข่าย ข้อดีของการใช้โปรแกรมจำลองโครงข่ายคือช่วยลดต้นทุนในการทำวิจัย เนื่องจากสามารถจำลองโครงข่ายที่มี

ขนาดใหญ่โดยใช้ต้นทุนไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับการทดลองจริง ทั้งยังสามารถปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ได้โดยง่าย ปัจจุบันโปรแกรมจำลองโครงข่ายหลากหลายโปรแกรม เช่น NS-2 (Network Simulator 2) [18], NS-3 (Network Simulator 3) [19] และ OMNeT++ [20] เป็นต้น โดยโปรแกรมจำลองโครงข่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ NS-3 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองโครงข่ายที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ในงานวิจัย [21] ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองโครงข่ายต่างๆ และพบว่า NS-3 ใช้ความเร็วในการประมวลผลเร็วที่สุด อีกทั้งยังใช้ทรัพยากรหน่วยความอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดอีกด้วย

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องการทดลองโดยใช้การจำลองสภาพแวดล้อมที่เสมือนจริงได้ถูกนำมาพิจารณา จากการที่โนดในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะคือรถยนต์ทำให้รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดในระบบจึงมีเอกลักษณ์เฉพาะ เช่น การเคลื่อนที่บนถนน การเบรค การเร่ง การหยุดรอสัญญาณไฟ เป็นต้น และเนื่องจากโปรแกรมจำลองโครงข่าย NS-3 ไม่สามารถจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่ให้เหมือนกับยานพาหนะได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้จำลองรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบจากโปรแกรมจำลองระบบจราจร SUMO (Simulation of Urban MObility) [22] ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองระบบการจราจรที่สามารถออกแบบทอพอโลยีของถนน และกำหนดจำนวนยานพาหนะในระบบได้ นอกจากนี้จุดเด่นสำคัญของ SUMO ก็คือสามารถใช้แผนที่จริงในการสร้างถนนได้อีกด้วย [23] โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก SUMO สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมจำลองระบบ NS-3 ในการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบได้อย่างดี

2.4.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลัง (Loss Model)

นอกจากการจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบ การจำลองระบบที่สมจริงควรคำนึงถึงการสูญเสียกำลังของสัญญาณด้วย เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งจากตัวส่งจะต้องเดินผ่านอากาศซึ่งอาจมีสัญญาณรบกวนต่างๆมากมาย ดังนั้นในการส่งสัญญาณแบบไร้สายจะต้องคำนึงถึงการสูญเสียกำลัง (Path Loss) เนื่องจากสัญญาณเคลื่อนที่แพร่กระจายออกไปด้วยมุมกว้าง ทำให้ความเข้มของสัญญาณอ่อนตัวลงไปตามระยะทาง โดยกำลังสูญเสียของสัญญาณในอากาศว่าง (Free Space Path Loss) สามารถคำนวนได้จากสมการ 2.1

$$FSPL = 20\log 10(d) + 20\log 10(f) + 32.44 \tag{2.1}$$

เมื่อ

$FSPL$ = กำลังสูญเสียในอากาศว่าง (dB)
d = ระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับ (กิโลเมตร)
f = ความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ (MHz)

โดยทั่วไปตัวส่ง (Transmitter) จะต้องส่งสัญญาณด้วยกำลังส่ง (Transmission Power) ขณะที่ตัวรับ (Receiver) จะสามารถตรวจจับสัญญาณได้ถ้าหากกำลังของสัญญาณที่ตรวจจับมีค่าไม่น้อยเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งกำลังสัญญาณที่ได้รับสามารถคำนวนได้จากสมการ 2.2

$$PW_r(dB) = PW_t + Gain - Loss \tag{2.2}$$

โดยที่

PW_r = กำลังของสัญญาณที่ตัวรับ (dB)
PW_{tr} = กำลังส่งสัญญาณที่ตัวส่ง (dB)
$Gain$ = อัตราขยายทั้งตัวรับและตัวส่ง
$Loss$ = กำลังสูญเสีย (dB)

ในโปรแกรมจำลองโครงข่าย NS-3 มีแบบจำลองสำหรับการจำลองการสูญเสียกำลังจากการส่งสัญญาณหลากหลายรูปแบบ และมีพารามิเตอร์ต่างๆที่สามารถปรับใช้ให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมจริงได้ โดยแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโครงข่ายแอดฮอกสำหรับยานพาหนะได้แก่

- แบบจำลองการสูญเสียแบบระยะทางลอการึทึม (Log Distance Propoagation Loss Model) เป็นแบบจำลองที่คำนวนหาอัตราสูญเสียจากสัญญาณไร้สายที่ได้รับจากสมการที่ 2.3

$$L(dB) = L_0 + 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} \tag{2.3}$$

โดย
L = อัตราการสูญเสียกำลัง (dB)
L_0 = อัตราการสูญเสียกำลังระหว่างทาง ณ ระยะอ้างอิง (dB)
n = เลขชี้กำลังระยะทางอัตราการสูญเสียกำลังระหว่างทาง
d_0 = ระยะอ้างอิง (เมตร)
d = รพยะห่างระหว่างยานพาหนะและตัวส่ง (เมตร)

- แบบจำลองการสูญเสียแบบนาคากามิ (Nakagami Propagation Loss Model เป็นแบบจำลองที่คำนวนการจางหายของสัญญาณที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางซึ่งทำให้สัญญาณจางหาย สามารถคำนวนได้จากสมการที่ 2.4

$$p(x : m, \omega) = \frac{2m^2}{\Gamma(m)\omega^m} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\omega}x^2} \tag{2.4}$$

โดย
m = ความเข้มของการจากหาย (fading depth parameter)
ω = กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับ (average received power)

ในการทดลองจะต้องเลือกแบบการจำลองการสูญเสียให้เหมาะกับสถานการที่ใช้เพราะแบบจำลองการสูญเสียทั้งสองแบบถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน เช่น ในระบบจราจรในเขตเมืองควรเลือกแบบจำลองการสูญเสียแบบนาคากามิ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่มีการคำนึงถึงการจางหายของสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางอันเนื่องมาจากอาคารและสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ในขณะที่แบบจำลองการสูญเสียแบบระยะทางลอการิทึมจะเหมาะกับระบบที่เป็นทางด่วนหรือการจราจรในเขตชนบทที่ไม่มีสิ่งกีดขวางมากนัก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้ทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ประเมินสมรรถนะระหว่างกลไกที่นำเสนอและกลไกของงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอเป็นกลไกการแพร่กระจายแบบเลือก ดังนั้นวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบจึงเป็นวิธีการที่เป็นกลไกแพร่กระจายแบบเลือกด้วย ดังนี้

1. Flooding [2] เป็นวิธีการแพร่กระจายแบบง่าย โดยหลังจากที่ยานพาหนะต้นทางสร้างและแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่อยู่ในระยะส่งสัญญาณ ยานพาหนะที่ได้รับข้อความจะทำการแพร่กระจายต่อทันทีหลังจากได้รับข้อความแจ้งเตือน ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้ข้อความแจ้งเตือนแพร่กระจายได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว

2. IVG (Inter-Vehicle Geocast) [7] เป็นกลไกการแพร่กระจายเฉพาะพื้นที่ โดยกำหนดให้พื้นที่ที่เกี่ยวข้องอยู่ในถนนเดียวกับยานพาหนะต้นทางและมีพิกัดอยู่ข้างหลังของยานพาหนะต้นทางเท่านั้น ถึงแม้ว่า IVG จะเป็นกลไกการแพร่กระจายเฉพาะพื้นที่ แต่ในกระบวนการเลือกยานพาหนะที่ทำการแพร่กระจายต่อจะใช้ยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุด ดังนั้น IVG จึงสามารถช่วยลดการแพร่สัญญาณที่ไม่จำเป็นได้

3. UMB (Urban Multi-hop Broadcast) [11] เป็นกลไกการแพร่กระจายแบบเลือกที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในเขตเมืองโดยเฉพาะ เนื่องจากกลไกแพร่กระจายแบบเลือกทั่วไปไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีแยกในระบบ ดังนั้นวิธีการที่ UMB นำเสนอคือการติดตั้งตัวทวนสัญญาณ (Repeater) ไว้ที่บริเวณสี่แยกเพื่อทำการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว

4. PAB (Position based Adaptive Broadcast) [8] เป็นกลไกการแพร่กระจายแบบเลือกที่มีการใช้อัลกอริทึ่มในการกำหนดยานพาหนะที่มีสิทธิในการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยยานพาหนะที่มีสิทธิถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือน นอกจากนี้ในกลไกของ PAB ได้มีการใช้ปัจจัยด้านระยะทางและปัจจัยทางด้านความเร็ว โดยที่ยานพานหะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุดและมีความเร็วมากที่สุดจะถูกกำหนดให้มีระยะเวลาในการรอส่งที่น้อยที่สุดดังสมการ

$$t_{delay} = \frac{k_1}{d_{i,j}^2} + (-1)^m \times k_2 \times |\overrightarrow{v_i}||\overrightarrow{vj}| \cos\theta \tag{2.5}$$

เมื่อ

t_{delay} = ระยะเวลาหน่วงที่ยานพาหนะถือข้อความรอก่อนส่งต่อออกไป (วินาที)
k_1, k_2 = ระยะเวลาหน่วงที่มากที่สุดที่ยานพาหนะใช้ถือข้อความรอก่อนส่ง (วินาที)
D_{sx}^{ϵ} = ระยะห่างระหว่างยานพาหนะ s (ตัวส่ง) และ ยานพาหนะ x (ตัวรับ)ใดๆ (เมตร)
R^{ϵ} = ระยะการส่งสัญญาณของยานพาหนะใดๆ (เมตร)

(x_i, y_i)	position of the vehicle i
(dx_i, dy_i)	velocity of the vehicle i
E	driver event (deceleration / ignore)
p	message contains E from sender
p'	updated p with current (x_i, y_i, dx_i, dy_i)
v_i	velocity of i
$d_{i,j}$	distance from i to j
$cos\Theta_{i,j}$	cosine value of angle between i and j

Run: Once receiver R_j get the message p from sender S_i

Input: p **Output:** E

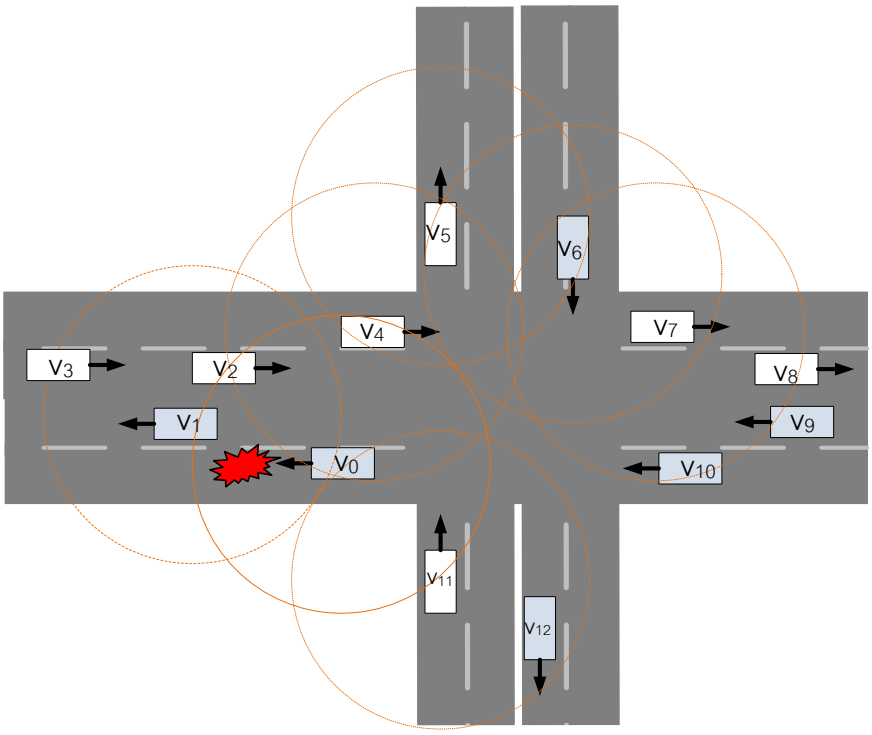
```
1:  If (duplicate_id(p)) {                          // check message id
2:    cancel_relay(p);                              // cancel the relay schedule
3:  }
4:  If (relaying_direction(p) != sender_direction(p)) {
5:    If (arrival_ direction(p) == BACK) {
6:      If (cosΘi,j > 0)                            // direction of dx same as Si
7:        ignore(p);                                // R1 ignores p
8:      Else                                        // direction of dx different from Si
9:        schedule_relay(p');                       // R4 schedules
10:   } Else {                                      // direction of arrival packet is front
11:     If ( cosΘi,j > 0)                           // direction of dx same as Si
12:       schedule_relay(p');                       // R3, R5 schedule
13:     Else                                        // direction of dx different from Si
14:       ignore(p);                                // R2 ignores p
15:   }
16: } Else {                                        // direction of relaying same as Si
17:   If (arrival_ direction(p) == BACK) {
18:     If ( cosΘi,j > 0)                           // direction of dx same as Si
19:       schedule_relay(p');                       // R9, R11 schedule
20:     Else                                        // direction of dx different from Si
21:       ignore(p);                                // R8 ignores p
22:   } Else {                                      // direction of arrival packet is front
23:     If ( cosΘi,j > 0)                           // direction of dx same as Si
24:       ignore(p);                                // R7 ignores p
25:     Else                                        // direction of dx different from Si
26:       schedule_relay(p');                       // R10 schedules
27:   }
28: }
```

รูปที่ 2.6: การกำหนดยานพาหนะที่มีสิทธิการถ่ายทอดในวิธีการของ PAB [8]

บทที่ 3

กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน

บทนี้นำเสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนแบบเลือกในระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ โดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น อาทิเช่น อุบัติเหตุ สิ่งกีดขวางช่องทางจราจร เป็นต้น ซึ่งอุบัติการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความคับคั่งของการจราจร เมื่อมียานพาหนะเข้ามาในถนนที่มีอุบัติการณ์เกิดขึ้นก็ยิ่งทำให้การจราจรติดขัดมากขึ้น จากรูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ เมื่อ V_0 ที่อยู่ในบริเวณจุดเกิดอุบัติการณ์ทำหน้าที่เป็นยานพาหนะต้นทาง (Source vehicle) เพื่อสร้างข้อความแจ้งเตือนและแพร่กระจายให้กับยานพาหนะอื่นๆในระบบ ทำให้ผู้ใช้ในระบบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนสามารถตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เพราะฉะนั้นการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนสามารถช่วยลดจำนวนของยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้าสู่จุดเกิดเหตุ รวมถึงการลดความคับคั่งของการจราจรเมื่อเกิดอุบัติการณ์บนถนน โดยวิธีการที่นำเสนอมีวัตถุประสงค์คือทำการส่งข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่เกี่ยวข้องและลดการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการรับข้อมูลของยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์อีกด้วย



รูปที่ 3.1: ระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์ (Incidence Warning System

3.1 สมมติฐานของระบบ

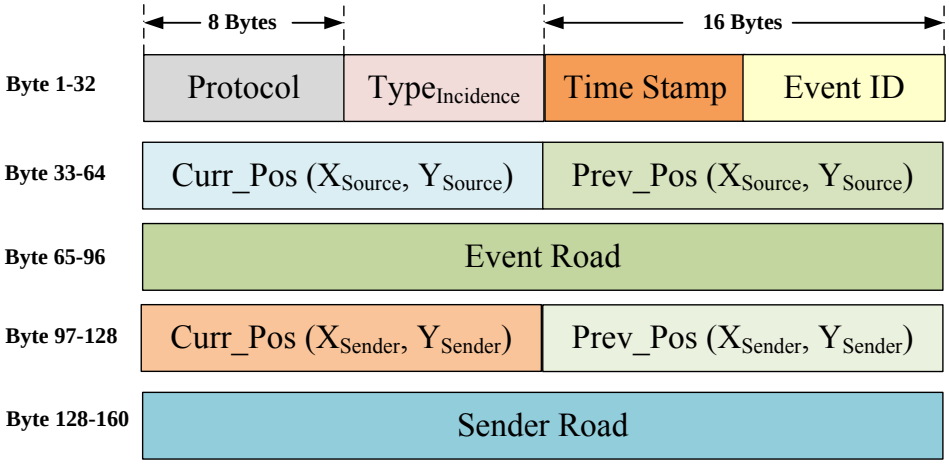
กำหนดให้ยานพาหนะแต่ละคันติดตั้งเสาอากาศแบบ Omni-Directional สำหรับการแพร่กระจายแบบรอบทิศทางโดยมีระยะการส่งสัญญาณจำกัด แผนที่ดิจิทัลและระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ถูกติดตั้งในยานพาหนะแต่ละคันเพื่อเพิ่มความสามารถในการให้ข้อมูลถนน ตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็วของยานพาหนะ ซึ่งยานพาหนะต้องทำการปรับข้อมูลของตำแหน่งทุกช่วงเวลาที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่และทำการบันทึกข้อมูลของช่วงเวลาที่ผ่านมา ดังนั้นจึงสามารถคำนวนหาความเร็วและทิศทางของยานพาหนะแต่ละคันได้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้สมมุติให้ตำแหน่งของยานพาหนะในระบบแทนด้วยพิกัด X,Y แทนพิกัดของละติจูดและลองติจูด เนื่องจากระบบที่พิจารณามีขนาดไม่ใหญ่มากเกินไป ทำให้การแปลงพิกัดจากระบบละติจูด-ลองติจูด ไปเป็นระบบบนแกน X,Y นั้นมีค่าผิดเพี้ยนไม่มากนัก [24] กลไกที่นำเสนอทำงานภายใต้ระบบที่มีถนนเป็นแบบ 2 ทิศทางจราจรที่สวนกันทั้งในระบบที่เป็นทางด่วนและเขตเมือง กำหนดให้ยานพาหนะที่ตรวจพบอุบัติการณ์ทำหน้าที่สร้างข้อความแจ้งเตือนในระบบมีเพียงคันเดียว ซึ่งกลไกที่นำเสนอพิจารณาอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นในช่องจราจรทิศทางใดทิศทางหนึ่งเท่านั้นและอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อการจราจรของยานพาหนะที่อยู่ในทิศทางการจราจรฝั่งตรงข้าม

3.2 รูปแบบของข้อความแจ้งเตือน

เมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นในระบบ ยานพาหนะต้นทางจะทำการสร้างข้อความแจ้งเตือนและส่งออกแบบแพร่กระจายให้กับยานพาหนะที่อยู่ในระยะการส่งสัญญาณ ซึ่งในเฟรมของข้อความแจ้งเตือนจะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลที่จำเป็นเพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการใช้งาน ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2 โดย 8 ไบท์แรกใช้ระบุถึงรูปแบบของโปรโตคอลที่ใช้ จากนั้น 8 ไบท์ต่อมาใช้บอกถึงประเภทของอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น โดยในไบท์ที่ 17-32 แสดงระยะเวลาของการแจ้งเตือนและหมายเลขของอุบัติการณ์สำหรับการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของข้อความแจ้งเตือน ในขณะที่ตำแหน่งและข้อมูลถนนของยานพาหนะต้นทางถูกแสดงไว้ในไบท์ที่ 33-64 และ 65-96 ตามลำดับ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ยานพาหนะต้นทางเป็นยานพาหนะที่ตรวจพบอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงสามารถอนุมานได้ว่าตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์คือตำแหน่งของยานพาหนะต้นและทิศทางการจราจรที่เกิดเหตุก็คือทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของยานพาหนะต้นทาง โดยข้อมูลดังกล่าวถูกใช้ในการพิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยานพาหนะที่ถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนต้องระบุตำแหน่งและข้อมูลถนนไว้ในไบท์ที่ 97-160 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวช่วยให้ยานพาหนะที่ได้รับข้อมูลสามารถพิจารณาการถ่ายทอดข้อมูลส่งผลให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายอยากครอบคลุมทุกทิศทางในพื้นที่สี่แยกได้

3.3 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบ

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงสถานการณ์ที่เกิดอุบัติการณ์ขึ้นบนถนน โดยยานพาหนะ V_0 ที่อยู่ใกล้อุบัติการณ์ที่สุดทำการสร้างข้อความแจ้งเตือนและแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะใน



รูปที่ 3.2: รูปแบบของข้อความแจ้งเตือน

ระบบ เนื่องจากลักษณะของการแพร่กระจายสัญญาณแบบรอบทิศทางนั้นมีลักษณะเป็นวงกลมที่มียานพาหนะที่ต้องการส่งข้อมูลอยู่ตรงกลาง การส่งลักษณะนี้ทำให้ยานพาหนะอื่นๆที่อยู่ในระยะการส่งได้รับข้อมูล จากนั้นยานพาหนะที่ได้รับข้อมูลก็จะทำการส่งข้อมูลต่อไป ทำให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะในระบบอย่างทั่วถึง แต่เมื่อพิจารณาถึงยานพาหนะที่จะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์พบว่ายานพาหนะบางคันไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นและมียานพาหนะบางคันเท่านั้นที่ควรได้รับการเตือนจากข้อความแจ้งเตือน ซึ่งจากรูปที่ 3.1 พบว่าเฉพาะยานพาหนะ V_6, V_{10}, V_9 และ V_{11} เท่านั้นที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากยานพาหนะดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่จุดเกิดอุบัติการณ์ ดังนั้น เพื่อให้เกิดการใช้ช่องสัญญาณให้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรส่งข้อความให้กับยานพาหนะที่มีความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์และลดการส่งข้อความที่ไม่จำเป็นให้น้อยที่สุด

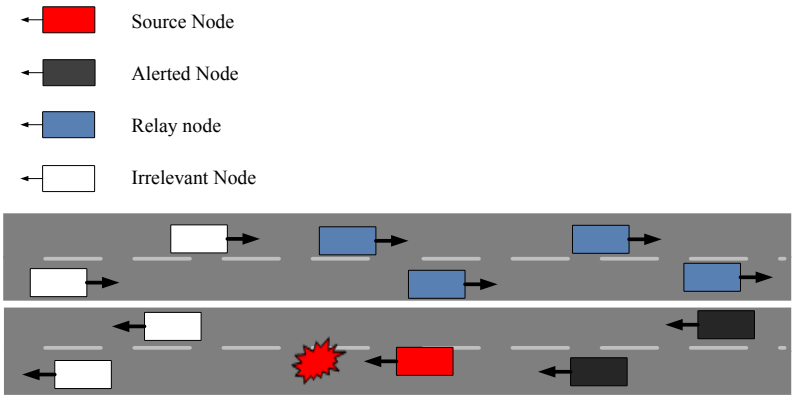
จากการพิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะและอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบเมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นได้ 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

- ยาพาหนะที่ได้รับผลกระทบ (Affected vehicles) คือ ยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น โดยข้อความแจ้งเตือนจะต้องแสดงผลให้กับผู้ใช้ได้รับรู้ถึงอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์จะต้อแพร่กระจายข้อมูลต่อให้กับยานพาหนะคันอื่นๆในระบบให้ทราบด้วย
- ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด (Potential relay vehicles) คือ ยานพาหนะที่ไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์เนื่องจากอยู่ในช่องจราจรที่มีทิศทางตรงข้ามกับอุบัติการณ์ โดยยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูลจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพหะที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ได้ นอกจากนี้ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูลยังสามารถแพร่กระจายข้อความเป็นระยะ (Period broadcast) เพื่อแก้ปัญหาจากการกระจายตัวของโครงข่ายทำซึ่งจะทำเกิดการข่ายช่วงของการสื่อสารได้อีกด้วย

- ยานพาหนะที่ไม่เกี่ยวข้อง (Irrelevant vehicles) คือ ยานพาหนะที่ไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ ดังนั้นข้อความแจ้งเตือนจึงไม่ถูกเตือนให้กับผู้ใช้และไม่ถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะใดๆในระบบ

3.3.1 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบทางด่วน

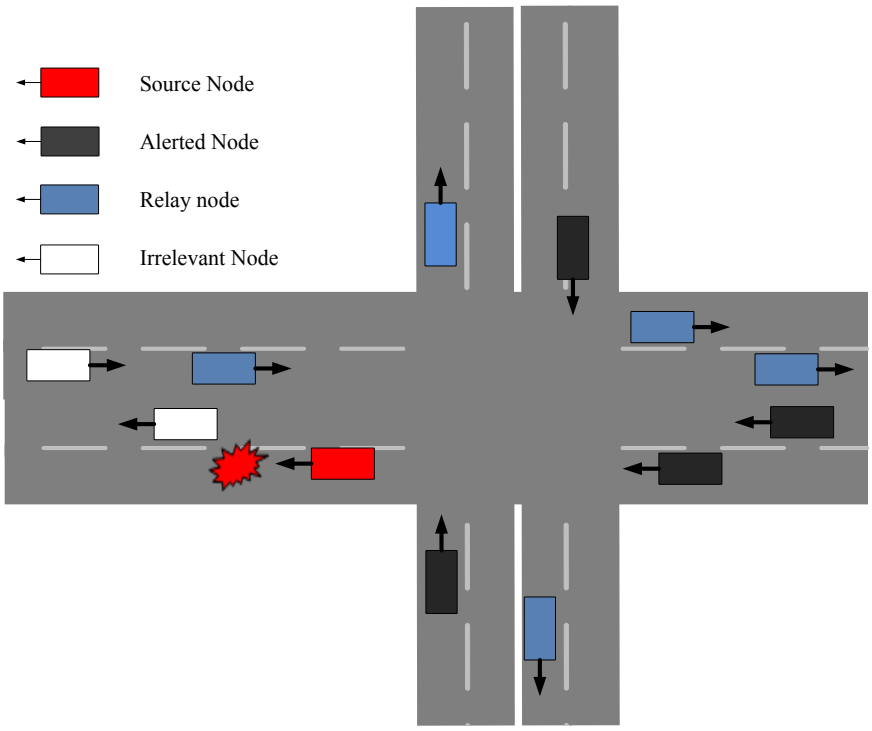
รูปที่ 3.3 แสดงถึงความเกี่ยวข้องระหว่างอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นและยานพาหนะในระบบที่เป็นทางด่วน โดยยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์คือยานพาหนะที่อยู่ในช่องทางจราจรเดียวกับจุดเกิดอุบัติการณ์และกำลังมุ่งหน้าเข้าสู่อุบัติการณ์ ดังนั้นยานพาหนะเหล่านี้จึงถูกกำหนดให้เป็น *ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ* ในขณะเดียวกันยานพาหนะที่อยู่ในทิศทางเดียวกับอุบัติการณ์แต่ได้เคลื่อนที่ผ่านจุดเกิดเหตุไปแล้วนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นจึงถูกกำหนดให้เป็น *ยานพหนะที่ไม่เกี่ยวข้อง* แม้ว่ายานพาหนะที่อยู่ในช่องจราจรตรงข้ามจะไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นแต่สามารถช่วยยานพาหนะต้นทางในการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบได้ ดังนั้นจึงถูกกำหนดให้เป็น *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด*



รูปที่ 3.3: การพิจารณาความความเกี่ยวข้องระหว่างอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะในระบบทางด่วน

3.3.2 การพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของยานพาหนะในระบบในเขตเมือง

เนื่องจากลักษณะของถนนในเขตเมืองและในเขตทางด่วนนั้นมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านความเร็วของยานพาหนะที่ใช้รวมถึงจำนวนแยกและสัญญาณไฟจราจรที่ไม่ปรากฏในระบบที่เป็นทางด่วน ดังนั้นการกำหนดให้ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์จึงควรเป็นยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ที่จะมุ่งหน้าเข้าสู่จุดเกิดอุบัติการณ์เท่านั้น เพราะยานพาหนะเหล่านี้ความจำเป็นที่จะต้องได้รับข้อความแจ้งเตือนเพื่อใช้ในการตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทาง ในขณะที่ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากจุดเกิดอุบัติการณ์นั้นเหมาะสมที่จะเป็นยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล เพราะสามารถทำให้



รูปที่ 3.4: การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะในระบบที่เป็นเขตเมือง

ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายในพื้นที่ที่มากขึ้น โดยตัวอย่างการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบที่เป็นเขตเมืองแสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.5 แสดงกระบวนการพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเริ่มต้นขึ้นหลังจากที่ยานพาหนะได้รับข้อความแจ้งเตือนครั้งแรกโดยใช้ข้อมูลของทิศทาง การเคลื่อนที่รวมถึงข้อมูลถนนที่ได้จากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกและแผนที่ดิจิทัล ในขั้นตอนแรกการเปรียบเทียบข้อมูลถนนของยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะโดยแบ่งเป็นการพิจารณายานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกับโน้ดต้นทางและการพิจารณายานพาหนะที่อยู่บนถนนอื่น จากนั้นทิศทางระหว่างยานพาหนะและยานพาหนะต้นทางได้ถูกนำมาพิจารณาสำหรับยานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกับยานพาหนะต้นทาง ซึ่งตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา สามารถแสดงถึงทิศทางของยานพาหนะนั้นๆ ด้วยเหตุนี้ยานพาหนะจึงสามารถทำการเปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะกับทิศทางของช่องจราจรที่เกิดเหตุการณ์ได้ เนื่องจากยานพาหนะต้นทางที่ตรวจพบอุบัติการณ์จะอยู่ในช่องจราจรเดียวกับจุดเกิดอุบัติการณ์ ดังนั้นทิศทางของยานพาหนะต้นทางจึงบ่งบอกถึงทิศทางของช่องจราจรที่เกิดเหตุ และเนื่องด้วยลักษณะของถนนที่มีสองทิศทางจราจรสวนกันเสมอ ทำให้สามารถคำนวนความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของยานพาหนะที่ได้รับข้อความและยานพาหนะที่ทำการส่งข้อความให้ได้ โดยที่ทิศทางของยานพาหนะต้นทางสามารถแทนได้ด้วยเวกเตอร์ $\overrightarrow{S}$ ดังสมการ

$$(X_t^S - X_{t-1}^S)\overrightarrow{i} + (Y_t^S - Y_{t-1}^S)\overrightarrow{j} = \overrightarrow{S} \tag{3.1}$$

เมื่อ $\overrightarrow{i}$ และ $\overrightarrow{j}$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยบนพิกัด X, Y โดยที่ X_t^S และ X_{t-1}^S คือตำแหน่งของยานพาหนะต้นทางบนแกน X ณ เวลาที่ทำการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนและตำแหน่ง ณ ช่วงเวลาก่อนหน้าตามลำดับ เช่นเดียวกับ Y_t^S และ Y_{t-1}^S บนแกน Y ในขณะที่ทิศทางของยานพาหนะใดๆที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนสามารถแสดงอยู่ในรูปของเวกเตอร์ $\overrightarrow{N}$ ดังสมการ

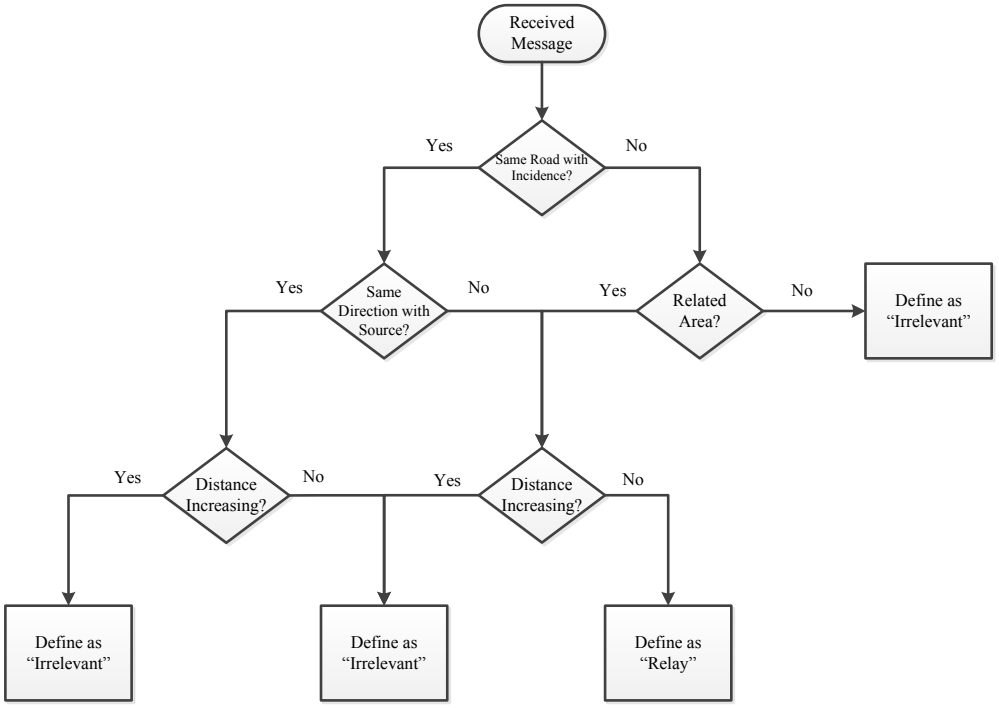
$$(X_t^N - X_{t-1}^N)\overrightarrow{i} + (Y_t^N - Y_{t-1}^N)\overrightarrow{j} = \overrightarrow{N} \tag{3.2}$$

โดยที่ X_t^N และ Y_t^N คือตำแหน่งของยานพาหนะ ณ เวลาปัจจุบัน และ X_{t-1}^N และ Y_{t-1}^N คือตำแหน่งของยานพาหนะใดๆ ณ เวลาก่อนหน้าบนพิกัด X, Y ตามลำดับ

เมื่อทำการดอทเวกเตอร์ระหว่างยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะที่ได้รับข้อความใดๆ ทำสามารถหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ระหว่างยานพาหนะได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการดอทเวกเตอร์ของยานพาหนะทั้งสองจะต้องมีค่าน้อยกว่าศูนย์ในกรณีที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน ในขณะที่ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน จะได้ผลลัพธ์ของการคูณเวคเตอร์มีค่ามากกว่าศูนย์ แต่ถ้าหากผลคูณของเวคเตอร์ทั้งสองมีค่าเท่ากับศูนย์ จะสามารถอนุมานได้ว่ายานพาหนะทั้งสองคันอยู่บนถนนที่แตกต่างกัน เนื่องจากการตัดกันของถนนสองเส้นที่ทำมุมตั้งฉากซึ่งกันและกัน

ขั้นตอนที่สำคัญในการพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์อีกขั้นตอนหนึ่งก็คือการเปรียบเทียบระยะทางจากจุดเกิดอุบัติการณ์ โดยทำการเปรียบเทียบระยะทางจากจุดอุบัติการณ์ ณ เวลาปัจจุบันกับช่วงเวลาก่อนหน้า ถ้ายานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้าสู่อุบัติการณ์จะมีระยะทาง ณ

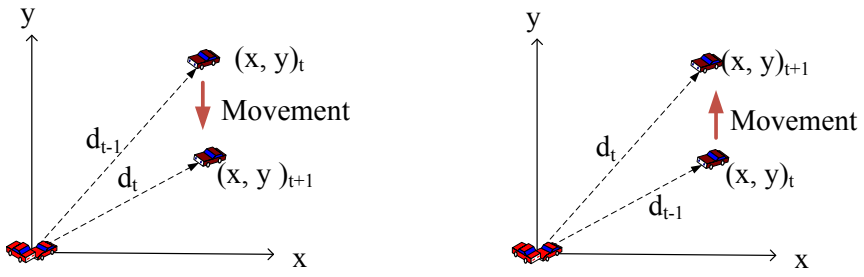
เวลาปัจจุบันที่น้อยกว่าระยะทางที่เวลาก่อนหน้า ในทางตรงกันข้ามยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากอุบัติการณ์จะมีระยะทางจากจุดเกิดเหตุมากกว่าระยะทางที่ช่วงเวลาก่อนหน้า ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.6 จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่ายานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับจุดเกิดเหตุและมีการเคลื่อนที่ที่เข้าหาจุดเกิดอุบัติการณ์นั้นมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ ดังนั้นจึงควรกำหนดให้เป็น *ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ* ในขณะเดียวกันยานพาหนะที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกับจุดเกิดเหตุถึงแม้จะไม่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์แต่ถ้ามีทิศทางการเคลื่อนที่ออกจากจุดเกิดเหตุสามารถช่วยในการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนได้จึงถูกกำหนดให้เป็น *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด* และยานพาหนะอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงถูกจัดอยู่ในประเภท *ยานพาหนะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์*



รูปที่ 3.5: กลไกการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบ

3.4 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน

จากการที่ยานพาหนะต้นทางมีระยะการส่งสัญญาณจำกัดส่งผลให้ยานพาหนะที่มีระยะห่างเกินกว่าระยะส่งสัญญาณของยานพาหนะต้นทางไม่ได้รับข้อความแจ้งเตือน จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีการกำหนดให้ *ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ* และ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด* ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดข้อความต่อ เนื่องจากยานพาหนะประเภทดังกล่าวอยู่ในพื้นที่ที่สามารถถ่ายทอดข้อความให้กับยานพาหนะที่มีความเกี่ยวข้องได้ นอกจากนี้เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาพายุการแพร่กระจาย



(a) (b)

รูปที่ 3.6: การเปรียบเทียบระยะทางจากยานพาหนะถึงจุดเกิดอุบัติการณ์
(a) ระยะทางลดลงแสดงถึงยานพาหนะที่กำลังมุ่งหน้าสู่อุบัติการณ์; b) ระยะทางเพิ่มขึ้น
แสดงถึงยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากอุบัติการณ์

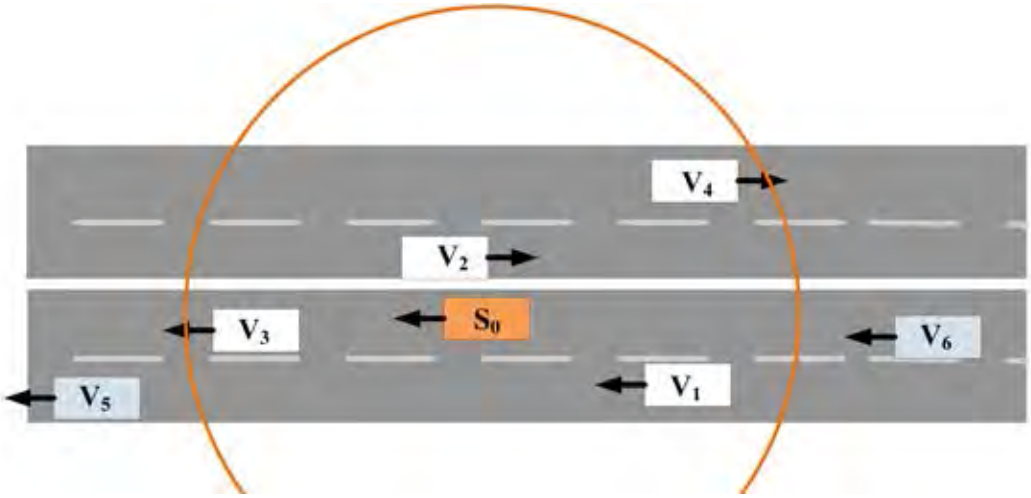
และการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น ยานพาหนะจะต้องทำการหน่วงเวลารอในส่งต่อข้อความต่อแทนการส่งต่อในทันที ในรูปที่ 3.7 ซึ่งแสดงตัวอย่างการพิจารณายานพาหนะที่ได้รับข้อความจาก V_0 จะเห็นได้ว่ายานพาหนะ V_4 สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนโดยให้พื้นที่ในการแจ้งเตือนมากที่สุด ดังนั้น ยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากที่สุดจึงควรมีระยะเวลาหน่วงน้อยที่สุด โดยระยะเวลาหน่วงในการรอส่งข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.3)

$$t_{defer} = t_{max} \times (1 - (\frac{d}{tr})) \tag{3.3}$$

เมื่อ

t_{defer} = ระยะเวลาหน่วงที่ยานพาหนะถือข้อความรอก่อนส่งต่อออกไป (วินาที)
t_{max} = ระยะเวลาหน่วงที่มากที่สุดที่ยานพาหนะใช้ถือข้อความรอก่อนส่ง (วินาที)
d = ระยะห่างระหว่างยานพาหนะและยานพาหนะที่ทำการส่งข้อมูล (เมตร)
tr = ระยะการส่งสัญญาณ (เมตร)

ด้วยเหตุนี้ยานพาหนะที่มีระยะห่างจากตัวส่งมากทำให้ระยะเวลาหน่วงในการรอส่งข้อความน้อย เมื่อระยะเวลาที่หน่วงไว้หมดลง ยานพาหนะที่อยู่ไกลจากตัวส่งที่สุดก็จะทำการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนก่อนโดยการแพร่กระจายต่อออกไปให้กับยานพาหนะที่อยู่ในระยะการส่งสัญญาณ เมื่อยานพาหนะอื่นๆที่กำลังหน่วงเวลารอส่งข้อความได้รับข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์เดิมซ้ำ ก็จะทำการพิจารณาว่าได้รับข้อความแจ้งเตือนซ้ำจากยานพาหนะที่อยู่ในถนนเดียวกันหรือไม่ หากได้รับข้อความซ้ำจากยานพาหนะในถนนเดียวกันก็จะยกเลิกการหน่วงเวลาและยกเลิกการส่งข้อความแจ้งเตือน วิธีการดังกล่าวทำให้ช่วยลดการส่งข้อความแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็นให้กับยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์เท่านั้น รวมถึงการใช้ประโยชน์จากข้อมูลถนนและหมายเลขอุบัติการณ์ในการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของข้อความแจ้งเตือนที่ได้รับจะทำให้ข้อความแจ้งเตือนนั้นสามารถแพร่กระจายได้อย่างครอบคลุมในพื้นที่ที่เป็นสี่แยก



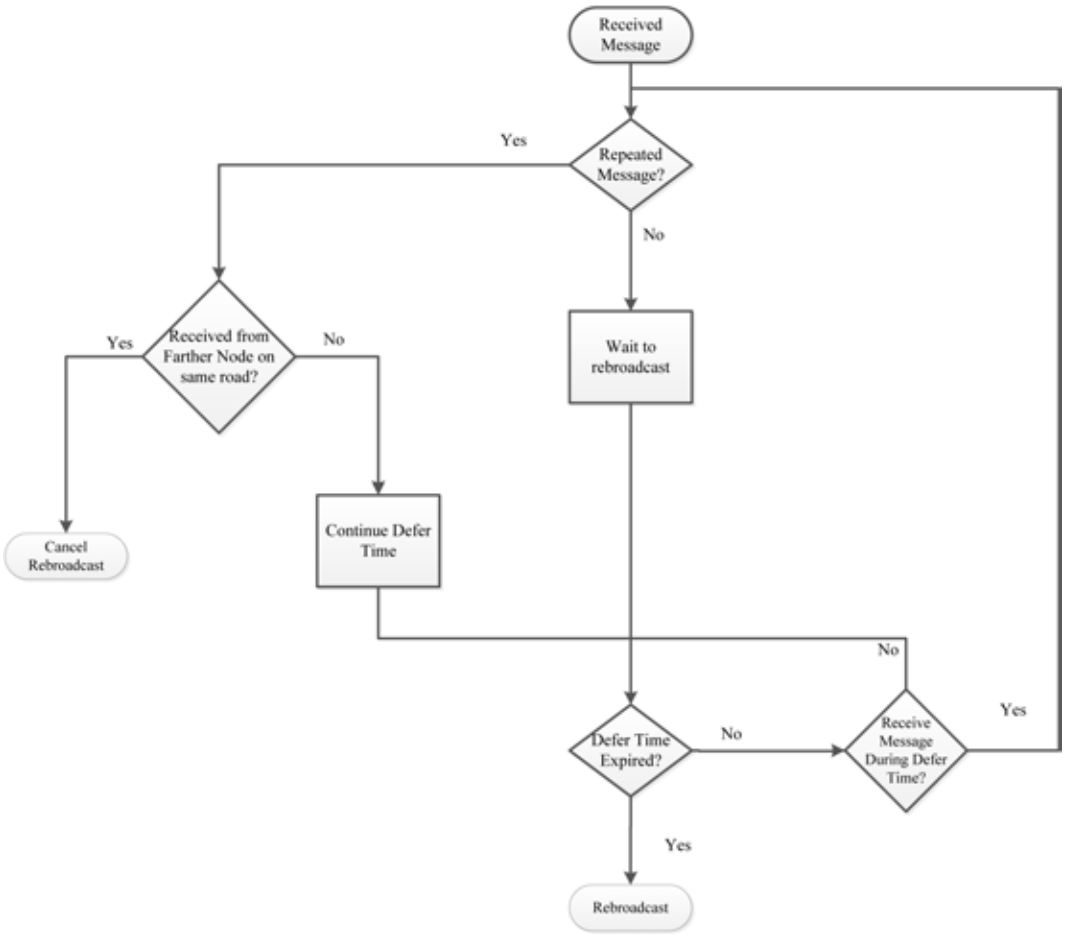
รูปที่ 3.7: การพิจารณาการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือน

3.4.1 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ

กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของ *ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ* ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 โดยในขั้นตอนแรกยานพาหนะทำการตรวจสอบความซ้ำซ้อนของข้อความจากหมายเลขอุบัติการณ์ โดยยานพาหนะจะทำการคำนวนระยะเวลาหน่วงตามสมการที่ 3.3 หากได้รับข้อความแจ้งเตือนเป็นครั้งแรก แต่ถ้าหากได้รับข้อความแจ้งเตือนที่มีหมายเลขอุบัติการณ์ซ้ำก็จะทำการตรวจสอบข้อมูลของถนนอีกครั้ง เนื่องจากพื้นที่บริเวณสี่แยกนั้นเกิดจากการที่ถนน 2 เส้นบรรจบกัน ดังนั้นการพิจารรณาข้อมูลถนนระหว่างตัวรับและตัวส่งทำให้สามารถช่วยให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายได้อย่างครอบคลุมในพื้นที่สี่แยก โดยยานพาหนะควรยกเลิกการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนเมื่อได้รับข้อความแจ้งเตือนที่มีหมายเลขอุบัติการณ์ซ้ำจากยานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกันและมีระยะห่างจากจุดเกิดอุบัติการณ์มากกว่าเท่านั้น เพราะข้อความแจ้งเตือนได้ถูกถ่ายทอดไปยังยานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกันแล้ว ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องถ่ายทอดข้อความซ้ำอีก ในขณะเดียวกัน หากได้รับข้อความซ้ำจากยานพาหนะที่อยู่คนละถนน ยานพาหนะก็จะเข้าทำกาอส่งข้อความแจ้งเตือนต่อไป เมื่อระยะเวลาหน่วงหมดลงยานพาหนะจึงทำการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนออกไป

3.4.2 กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด

รูปที่ 3.9 แสดงกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนสำหรับ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด* โดยจะใช้ระยะเวลาหน่วงรอส่งข้อความตามสมการ 3.3 เช่นเดียวกับกลไกของ *ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ* และมีการพิจารณายกเลิกการรอส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อได้รับข้อความแจ้งเตือนซ้ำจาก *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด* ที่อยู่ถนนเดียวกันและมีระยะห่างจากจุดเกิดเหตุที่มากกว่าเท่านั้น นอกจากนี้ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด* มีส่วนสำคัญในการช่วยเพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลในระบบด้วย เนื่องจากลักษณะยานพาหนะในระบบคือยานพาหนะที่มีความคล่องตัวสูงทำให้ทอพอโลจีของโครงข่ายเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในบางช่วงเวลาที่ความหนาแน่นของการจราจรเบาบางยานพาหนะในระบบมีระยะห่างกันมากกว่าระยะของการส่งข้อมูลส่งผลให้เกิดสภาวะกระจาย



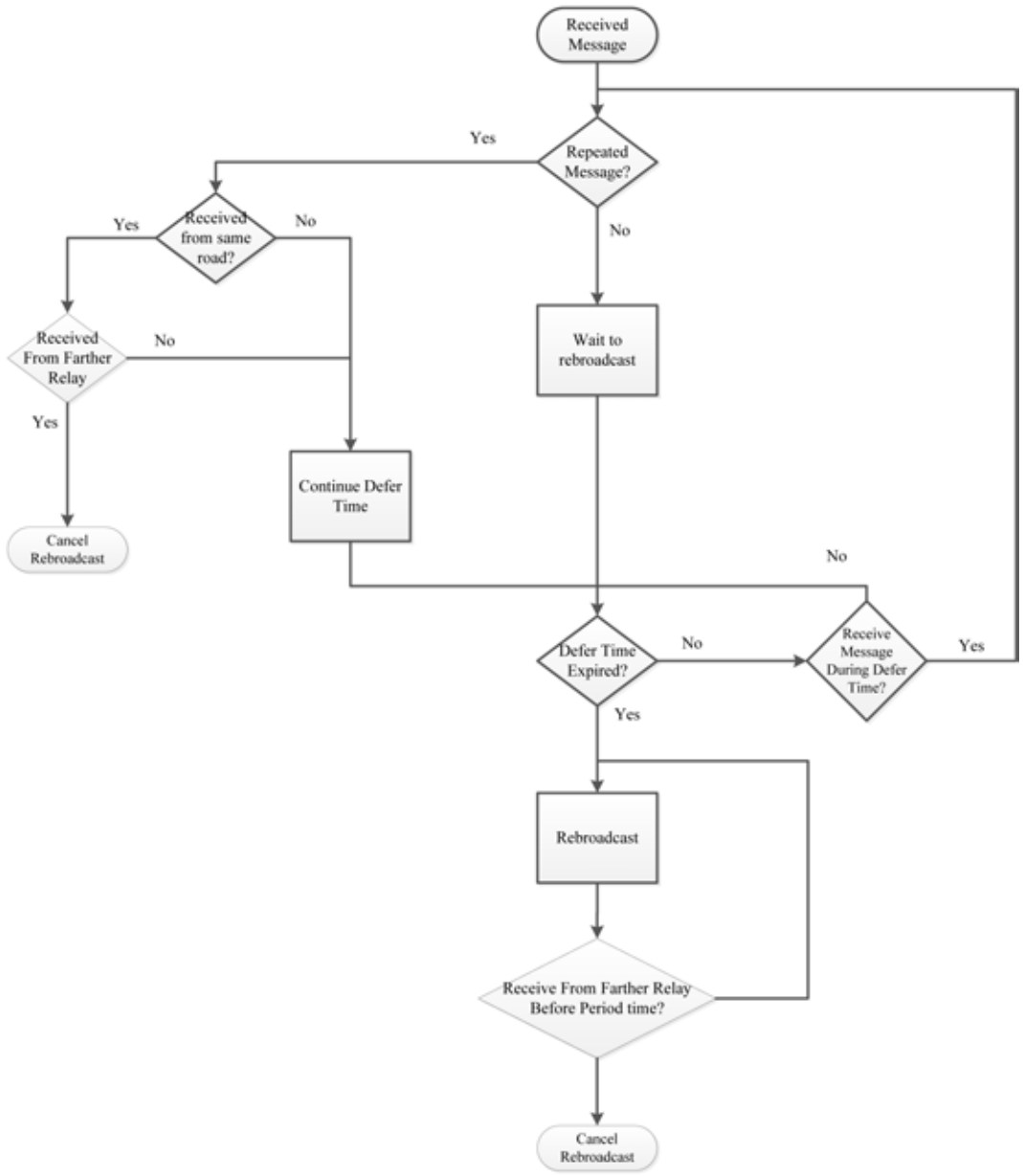
รูปที่ 3.8: กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบ

ตัวของโครงข่าย (Network Fragmentation) ส่งผลให้ข้อความแจ้งเตือนไม่สามารถแพร่กระจายต่อให้กับยานพาหนะอื่นๆในระบบได้อย่างทั่วถึง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต่ำเพราะไม่มียานพาหนะที่ทำหน้าที่ในการแพร่กระจายข้อมูลต่อออกไป จากปัญหาข้างต้นวิธีการที่นำเสนอจึงได้กำหนดให้ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเป็นรายคาบหลังจากถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนไปช่วงเวลาหนึ่งแล้วไม่ได้รับข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์เดิมซ้ำ ซึ่งหมายถึงไม่มียานพาหนะที่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดข้อมูลต่อออกไป โดย *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* จะต้องหน่วงเวลาสำหรับแพร่กระจายข้อความเป็นรายคาบด้วยเวลาที่เหมาะสม ช่วงเวลารายคาบจะต้องไม่มากเกินกว่าช่วงเวลาที่ยานพาหนะอื่นๆจะเคลื่อนที่เข้าและออกจากระยะการส่งของ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* วิธีการดังกล่าวจะช่วยให้ยานพาหนะในทิศทางตรงกันข้ามสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้มีพื้นที่ครอบคลุมมากขึ้นทำให้โอกาสที่ข้อความแจ้งเตือนจะถูกแพร่กระจายต่อมีมากขึ้นด้วย โดยระยะเวลารายคาบของ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* แสดงดังสมการ 3.4

$$t_{period} = \kappa \times (\frac{tr}{v_{self+v_{max}}}) \tag{3.4}$$

โดยที่ t_{period} คือระยะเวลารายคาบที่ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* ใช้หน่วงเวลารอส่งข้อความครั้งต่อไปหลังจากที่แพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนครั้งแรกไปแล้ว ในขณะที่ κ คือพารามิเตอร์ที่ปรับตามสภาวะความหนาแน่นของการจราจร ส่วน v_{self} และ v_{max} คือความเร็วเฉลี่ยของ *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* และความเร็วสูงสุดที่ยานพาหนะในระบบสามารถใช้ได้ตามลำดับ

ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ กลไกในการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน รวมไปถึงรูปแบบของข้อความแจ้งเตือนและสมมติฐานของระบบ ซึ่งวิธีที่นำเสนอได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบแจ้งพิกัดบนโลกและแผนที่ดิจิทัลเพื่อใช้ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างยานพาหนะและอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น โดยการพิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะในระบบกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำห้สามารถลดการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนที่ซ้ำซ้อนและไม่จำเป็นได้ นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอได้กำหนดให้มีการแพร่กระจายข้อมูลเป็นระยะโดย *ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล* เพื่อเพิ่มอัตราการรับส่งข้อมูลในกรณีที่เกิดปัญหาการขาดช่วงสื่อสารจากสภาวะเบาบางและการกระจายตัวของโครงข่าย



รูปที่ 3.9: กลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดข้อมูล

บทที่ 4

การจำลองโครงข่ายและผลการจำลองโครงข่าย

บทนี้กล่าวถึงการประเมินสมรรถนะของกลไกที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยในส่วนแรกกล่าวถึงวิธีการจำลองโครงข่าย พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะของกลไก จากนั้นในส่วนที่สองกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ศึกษาข้อดีและข้อเสียของวิธีที่นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.1 วิธีการจำลองโครงข่าย

การทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของกลไกการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การจำลองโครงข่ายดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งการจำลองโครงข่ายต้องจำลองให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงให้มากที่สุดเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะส่งผลต่อทอพอโลยีของโครงข่ายและทำให้ผลการทดลองเปลี่ยนไปตามลักษณะของทอพอโลยีที่แตกต่างกัน ทั้งนี้วิทยานิพนธ์นี้มีการใช้โปรแกรมจำลองโครงข่ายดังนี้

- Network Simulator 3 (NS3) เวอร์ชัน 3.14.1 [19] เป็นโปรแกรมจำลองโครงข่ายการสื่อสารแบบตามลำดับเหตุการณ์ (Discrete Event) ใช้สำหรับการจำลองการรับ-ส่งข้อมูลของโครงข่าย
- Simulation of Urban MObility (SUMO) เวอร์ชัน 0.12.3 [22] เป็นโปรแกรมจำลองระบบจราจร (Traffic generator) เพื่อกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบให้เหมือนกับยานพาหนะ
- MOVE เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่แปลงผลลัพธ์ที่ได้จาก SUMO ให้สามารถทำงานร่วมกับ NS3 ได้ เนื่องจากรูปแบบของไฟล์ที่ได้จาก SUMO ไม่สามารถทำงานร่วมกับ NS3 ได้โดยตรง ดังนั้น โปรแกรม MOVE จึงเป็นเสมือนตัวกลางในการทำงานร่วมกันของ NS3 และ SUMO

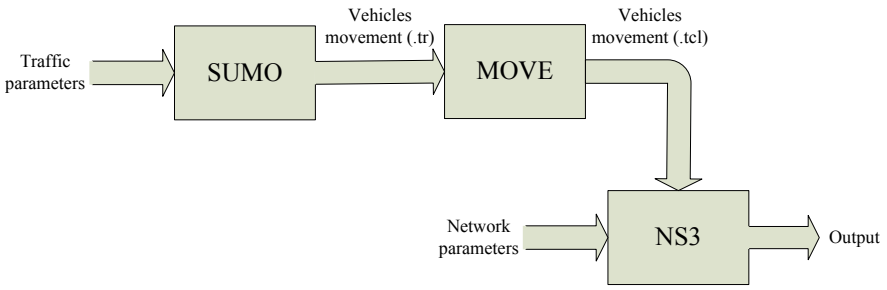
รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนในการจำลองโครงข่าย เริ่มจากสร้างระบบจราจรผ่านโปรแกรม SUMO โดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบจราจรเช่น โครงข่ายของถนน จำนวนยานพาหนะในระบบ และสี่แยก เป็นต้น ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จาก SUMO คือข้อมูลการเคลื่อนที่ของยานพาหนะต่างๆในรูปแบบข้อมูล .tr ซึ่งรูปแบบข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถทำงานร่วมกับ NS3 ได้โดยตรงจึงจำเป็นต้องทำการแปลงข้อมูลการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม MOVE เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบข้อมูล .tcl ที่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม NS3 ได้ จากนั้นทำการจำลองการรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเช่น ประเภทของช่องสัญญาณ อัตราการรับส่งข้อมูล รัศมีของการสื่อสาร เป็นต้น โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกป้อนให้กับโปรแกรม NS3 ที่มีหน้าที่หลักในการจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในระบบ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถจำลองโครงข่ายโดยให้สถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับการใช้งานในโครงข่าย

แอดฮอกระหว่างยานพาหนะมากที่สุดทั้งทางด้านการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบและด้านการสื่อสาร

สำหรับการทดลองในวิทยานิพนธ์ได้นี้ทำการประเมินสมรรถนะของกลไกที่นำเสนอและกลไกอื่นๆในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ ดังต่อไปนี้

- สถานการณ์ทางด่วน: สำหรับการประเมินสมรรถนะบนถนนที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งระบบทางด่วนที่พิจารณามีความยาว 5 กิโลเมตร และมีทิศทางการจราจร 2 ทิศทางตรงข้ามกัน โดยมีช่องจราจรทิศทางละ 3 ช่องจราจร
- สถานการณ์สี่แยก: สำหรับการประเมินสมรรถนะในพื้นที่สี่แยกที่ประกอบด้วยถนน 2 เส้นที่ตัดกัน ระบบสี่แยกที่พิจารณามีขนาด 5×3 ตารางกิโลเมตร โดยมีจำนวนสี่แยก 1 สี่แยก ที่มีสัญญาณไฟจราจร โดยมีทิศทางจราจร 2 ทิศทางและมีช่องจราจรทิศทางละ 3 ช่องจราจร
- สถานการณ์เขตเมือง: สำหรับการประเมินสมรรถนะในสถานที่จริงที่จำลองมาจากถนนและระบบจราจรจากข้อมูลของกรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาพื้นที่บริเวณถนนพระรามที่ 4 เป็นหลัก

นอกจากนี้การพิจารณาจำนวนตัวอย่างของทอพอโลยีได้มีความสำคัญต่อผลการทดลอง เนื่องจากยานพาหนะในระบบคือยาพาหนะที่มีความคล่องตัวสูงส่งผลทอพอโลจีของโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยจึงทำให้การเกิดอุบัติการณ์ที่ช่วงเวลาต่างกันส่งผลต่อรูปแบบทอพอโลยีที่ต่างกันด้วย การจำลองโครงข่ายโดยพิจารณาจำนวนตัวอย่างอุบัติการณ์เดียวจึงไม่เพียงพอต่อการประเมินสมรรถนะของกลไกและอาจทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองด้วยจำนวนทอพอโลยีที่หลากหลายเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองโดยสุ่มการเกิดอุบัติการณ์สถานการณ์ละ $200 - 400$ ตัวอย่างจากช่วงเวลาต่อเนื่องทุกๆ 1 วินาที ซึ่งการเกิดอุบัติการณ์ที่ช่วงเวลาที่หลากหลายทำให้ทอพอโลยีของโครงข่ายมีความหลากหลายด้วย การหาค่าเฉลี่ยผลการทดลองจากจำนวนตัวอย่างของทอพอโลยีในแต่ละสถานการณ์ทำให้สามารถวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะของกลไกได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น



รูปที่ 4.1: ขั้นตอนการจำลองโครงข่าย

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะของกลไก

การประเมินสมรรถนะของกลไกต่างๆ มีพารามิเตอร์ที่เป็นตัวชีวิตสมรรถนะของการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. **ค่าเฉลี่ยอัตราการรับ (Average received Ratio หรือ ARR)** แสดงถึงความสามารถของกลไกในการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือน โดยสามารถคำนวนได้จากค่าเฉลี่ยของจำนวนยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนต่อจำนวนของของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ดังแสดงในสมการ

$$ARR(\%) = \sum_{i=1}^{N} \frac{a_i^r}{a_i} \tag{4.1}$$

เมื่อ

a_i^r = จำนวนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนในทอพอโลยี i (คัน)
a_i = จำนวนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบทั้งหมดในทอพอโลยี i (คัน)
N = จำนวนทอพอโลยีที่ใช้ในแต่ละสถานการณ์

2. **ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการแจ้งเตือน (Average warning effectiveness หรือ α)** เป็นตัวชี้วัดที่บอกถึงประสิทธิภาพของการแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน เช่นการชนกันของยานพาหนะหรืออุบัติเหตุต่างๆ ซึ่งในสถานการณ์ดังกล่าวข้อความแจ้งเตือนมีความสำคัญอย่างมากที่จะช่วยให้ผู้ใช้ระมัดระวังถึงอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นและป้องกันการการชนเป็นลูกโซ่ (Chain collision) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบทางด่วนที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูง ข้อความแจ้งเตือนจึงควรถูกส่งให้กับยานพาหนะที่อยู่ไกลออกไปด้วยระยะเวลาที่เหมาะ ดังนั้นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการแจ้งเตือนจึงสามารถกำหนดให้เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่างยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนในเวลาที่เหมาะสมต่อยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนทั้งหมด ดังสมการ

$$\alpha(\%) = \sum_{i=1}^{N} \frac{a_i^\tau}{a_i^r} \tag{4.2}$$

เมื่อ

a_i^τ = จำนวนยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนทันเวลาในทอพอโลยี i (คัน)

3. **ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการแพร่กระจาย (Average broadcast effectiveness หรือ β)** เป็นตัวชี้วัดที่บอกถึงประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณโดยสามารถวัดได้จากจำนวนครั้งการแพร่จายต่อค่ายานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความ มีหน่วยเป็นการแพร่กระจายต่อยานพาหนะ ดังสมการ

$$\beta = \sum_{i=1}^{N} \frac{br_i}{a_i^r} \tag{4.3}$$

เมื่อ

br_i = จำนวนการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในทอพอโลยี i (ครั้ง)
a_i^r = จำนวนยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนในทอพอโลยี i (คัน)

4. **ค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหาย (Average Data Loss หรือ ADL)** เป็นตัวชี้วัดที่ตรวจสอบจำนวนข้อมูลที่สูญหายในระบบที่สูญหายอันเนื่องมาจากการการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้พิจาณาการสูญหายของข้อมูลในกรณีที่เกิดจากการชนกันของกลุ่มข้อมูลเท่านั้น (Packet collision) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เป็นผลกระทบจากปริมาณการแพร่สัญญาณโดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานการณ์ในเขตเมืองที่มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างยานพาหนะตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายมีหน่วยเป็นข้อมูลและสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$ADL(data) = \sum_{i=1}^{N} \frac{D_i^{loss}}{N} \tag{4.4}$$

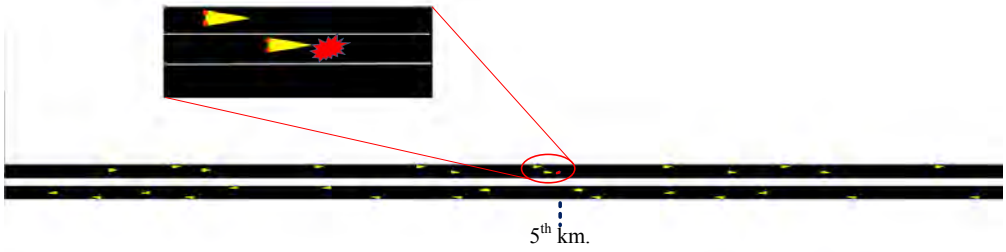
เมื่อ

D_i^{loss} = จำนวนข้อมูลสัญหายในแต่ละอุบัติการณ์ i (ข้อมูล)

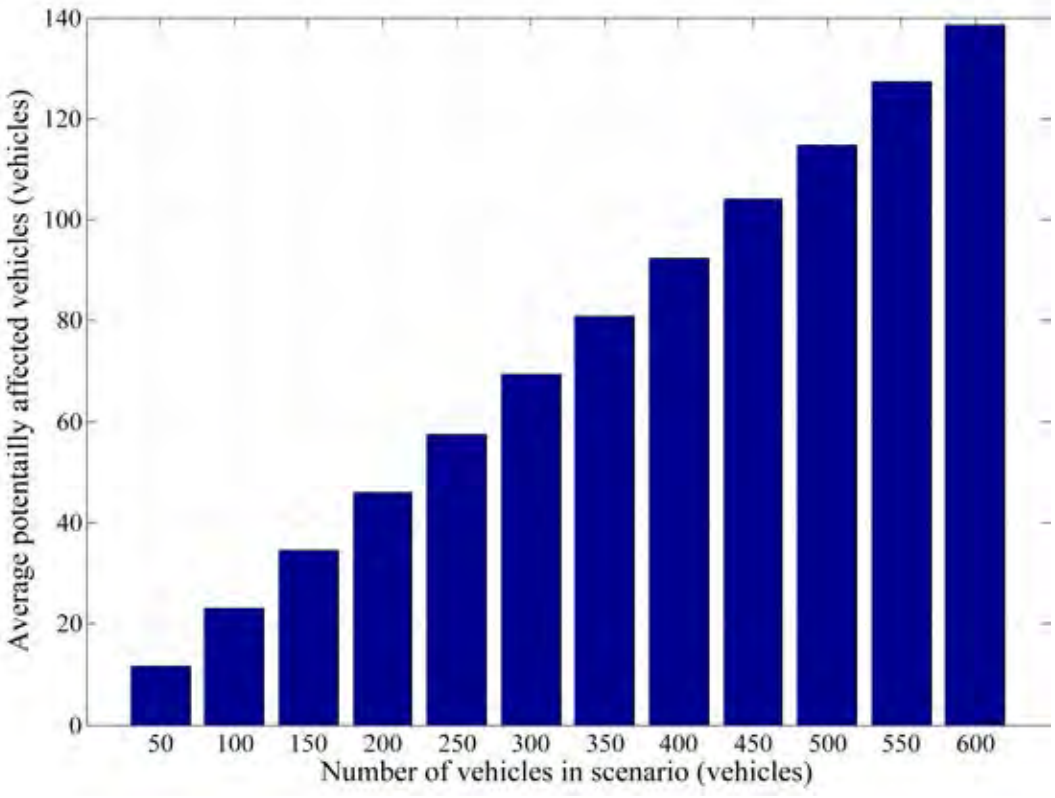
4.3 การจำลองในสถานการณ์ทางด่วน

สถานการณ์ทางด่วนที่พิจารณามีลักษณะถนนเป็นเส้นตรงยาว 5 กิโลเมตร ที่มีทิศทางการจราจร 2 ทิศทางตรงข้ามกัน และมีช่องจราจรทิศทางละ 3 ช่องจราจร โดยกำหนดให้อุบัติการณ์เกิดขึ้นที่กิโลเมตรที่ 2.5 บนช่องจราจรที่มีทิศทางมุ่งหน้าไปทางขวามือของระบบ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4.2 สำหรับกลไกที่นำมาเปรียบเทียบจะไม่รวมกลไกของ UMB เนื่องจากกลไกดังกล่าวมีการติดตั้งตัวทวนสัญญาณไว้ที่สี่แยกซึ่งในระบบทางด่วนที่พิจารณามีลักษณะถนนเป็นเส้นตรงไม่มีแยกใดๆ ในรูปที่ 4.3 แสดงถึงค่าเฉลี่ยจำนวนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ จะเห็นได้ว่าจำนวนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์มีค่าประมาณ 1 ใน 4 ของจำนวนยานพาหนะทั้งหมด ทั้งนี้เป็นเพราะการกำหนดให้เกิดอุบัติการณ์ที่จุดกึ่งกลางของระบบ ทำให้ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในสถานการณ์ดังกล่าวคือยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่ในช่องจราจรเดียวกับจุดเกิดเหตุและมีทิศทางการเคลื่อนที่เข้าหาจุดเกิดเหตุการณ์เท่านั้น

เนื่องจากสถานการณ์ทางด่วนที่พิจารณามีลักษณะเป็นเส้นตรง ทำให้เมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นยานพาหนะในระบบจึงไม่สามารถเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงจุดเกิดอุบัติการณ์ได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนสำหรับระบบทางด่วนจึงเป็นการแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ใช้เกิดความระมัดระวังอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นและป้องกันปัญหาการชนเป็นลูกโซ่ (Chain collision) ด้วยเหตุนี้ข้อความแจ้งเตือนต้องถูกส่งให้กับยานพาหนะที่เกี่ยวข้องได้รับผลกระทบภายในระยะเวลาที่ผู้ใช้สามารถตัดสินที่ระมัดระวังได้ทันเวลาก่อนที่จะเข้าสู่ระยะส่งผล (Effect distance) โดยใช้พื้นฐานของความหน่วงที่เกิดจากการเบรคของยานพาหนะและปฏิกิริยาตอบสนองของผู้ขับขี่ [25], [26] ในการคำนวนระยะส่งผลของแต่ละยานพาหนะ ดังสมการ



รูปที่ 4.2: การจำลองอุบัติการณ์ในระบบทางด่วน

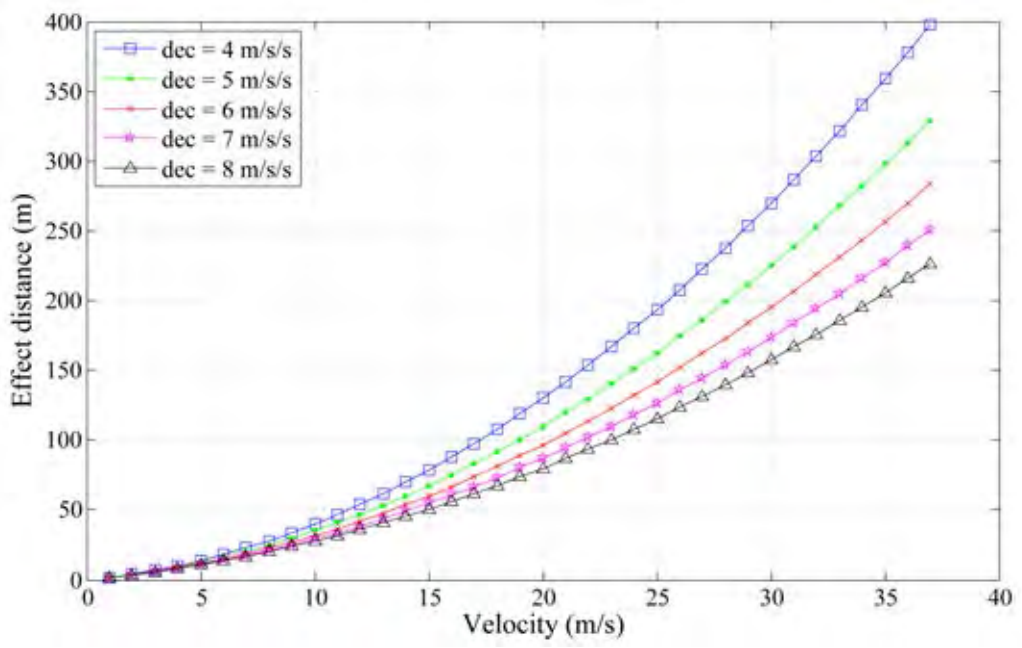


รูปที่ 4.3: ค่าเฉลี่ยนจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์ทางด่วน

$$Effectdistance = (\frac{v}{dec} + t_d) \times v \tag{4.5}$$

โดยที่

$Effectdistance$ = ระยะส่งผล (เมตร)
v = ความเร็วของยานพาหนะ (เมตร/วินาที)
dec = ความหน่วงที่เกิดจากการเบรค
t_d = ระยะเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของผู้ขับขี่ (วินาที)



รูปที่ 4.4: ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะส่งผล

สมการที่ 4.5 พิจารณาระยะทางที่ยานพาหนะใดๆที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสามารถชะลอความเร็วจนกระทั่งหยุดนิ่ง เห็นได้ว่าระยะส่งผลของการแจ้งเตือนขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของยานพาหนะแต่ละคัน เวลาในการชะลอความเร็วที่เกิดจากการเบรครวมถึงเวลาที่ผู้ขับขี่ทำปฏิกิริยาในการตัดสินใจ ซึ่งระยะเวลาในการหยุดยานพาหนะเท่ากับสัดส่วนของความเร็วกับความหน่วงที่เกิดจากการเบรคนำมารวมกับปฏิกิริยาของผู้ขับขี่ เมื่อนำระยะเวลาดังกล่าวมาคำนวนหาระยะทางที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้ในความเร็วปกติ ก็จะได้ผลลัพธ์ของระยะทางที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาดังกล่าว จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของยานพาหนะกับระยะส่งผล เมื่อกำหนดให้ระยะเวลาปฏิกิริยาตอบสนองของผู้ขับขี่คือ 1.5 วินาที [25] จะเห็นว่ายานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงควรจะมีระยะส่งผลที่มากขึ้นเพราะต้องใช้ระยะเวลาในการชะลอตัวมาก

จากข้อมูลข้างต้นสามารถประเมินประสิทธิภาพในการแจ้งเตือนของสถานการณ์ทางด่วนด้วยการตรวจสอบระยะห่างระหว่างจุดเกิดอุบัติการณ์กับตำแหน่งที่ยานพาหนะได้รับข้อความแจ้งเตือนเป็น

ตารางที่ 4.1: พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองระบบทางด่วน

Description	Value
scenario size	10 km
Number of vehicles	50-600 vehicles
transmission range	100-600 m
Maximum speed	34 m/s
Packet size	200 Bytes
MAC type	802.11p
t_{max}	0.1 s
κ	0.5
Data rate	11 Mbps
Number of topology	200-600
Loss model	Log distance
	$(n = 2, d_0 = 1m, L_0 = 46.6777dB)$
Simulation time	20 second

ครั้งแรก ซึ่งระยะส่งผลของยานพาหนะแต่ละคันมีความแตกต่างกันตามความเร็วที่ใช้ ทั้งนี้ผลการจำลองที่ได้มาจากการบันทึกผลหลังจากที่ยานพาหนะต้นทางแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนไปแล้วเป็นเวลา 10 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทางเท่ากับระยะปลอดภัย และเพื่อให้การจำลองระบบมีสภาวะใกล้เคียงกับระบบแจ้งเตือนเหตุการณ์ในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะมากที่สุดจึงต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับโปรแกรม SUMO และ NS3 โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบทางด่วนถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

4.3.1 ผลการจำลองในระบบทางด่วน

4.3.1.1 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะ

การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะทำได้โดยปรับเพิ่มจำนวนยานพาหนะในระบบตั้งแต่ 50 ถึง 600 คัน และกำหนดให้ระยะส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ 300 เมตร รูปที่ 4.6 แสดงถึงอัตราการรับข้อความสำเร็จ ซึ่งผลการจำลองแสดงเห็นได้ว่าแนวโน้มของอัตราการรับข้อความสำเร็จเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนยานพาหนะในระบบมีมากขึ้น ทั้งนี้เพราะจำนวนของยานพาหนะในระบบที่เพิ่มขึ้นส่งผลโดยตรงต่อความเชื่อมต่อของโครงข่าย โดยวิธีการที่นำเสนอสามารถถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอมีการกำหนดให้ยานพาหนะถ่ายทอดสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเป็นรายคาบในกรณีที่เกิดการขาดช่วงของโครงข่าย ทำให้มีการถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่อยู่ไกลออกไปได้มากขึ้น ในขณะเดียวกันสถานการณ์ที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะสูงทำให้การเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยีไม่ส่งผลต่อสภาวะการเชื่อมต่อของโครงข่ายมากนัก การแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนจึงสามารถทำได้อย่างทั่วถึงไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งผลการจำลองดังกล่าวสอดคล้องกับอัตราการรับ

ข้อความสำเร็จ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการแจ้งเตือน ซึ่งยานพาหนะแต่ละคันมีระยะส่งผลที่แตกต่างกันโดยอ้างอิงจากข้อมูลในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถทำการแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบทันเวลามากกว่าวิธีการอื่นๆเมื่อเปรียบเทียบในระยะเวลาการจำลองที่เท่ากัน

รูปที่ 4.7 แสดงถึงประสิทธิภาพของการใช้ช่องสัญญาณเมื่อทำการปรับจำนวนยานพาหนะในระบบ เห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีจำนวนการแพร่กระจายต่อจำนวนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับข้อความแจ้งเตือนน้อยกว่าวิธีการของ PAB, UMB และ Flooding เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอทำการส่งข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์เท่านั้น ถึงแม้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะมีจำนวนการแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่มากกว่ากลไก IVG ทั้งนี้ในสถานการณ์ทางด่วน ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์คือยานพาหนะที่อยู่ด้านหลังและอยู่บนถนนเดียวกับยานพาหนะต้นทางเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในกลไก IVG และเนื่องด้วยกระบวนการแพร่กระจายต่อของกลไก IVG มีความซับซ้อนที่น้อยกว่ากลไกที่นำเสนอ จึงทำให้วิธีการของ IVG สามารถลดจำนวนการส่งที่ไม่จำเป็นได้มากกว่า

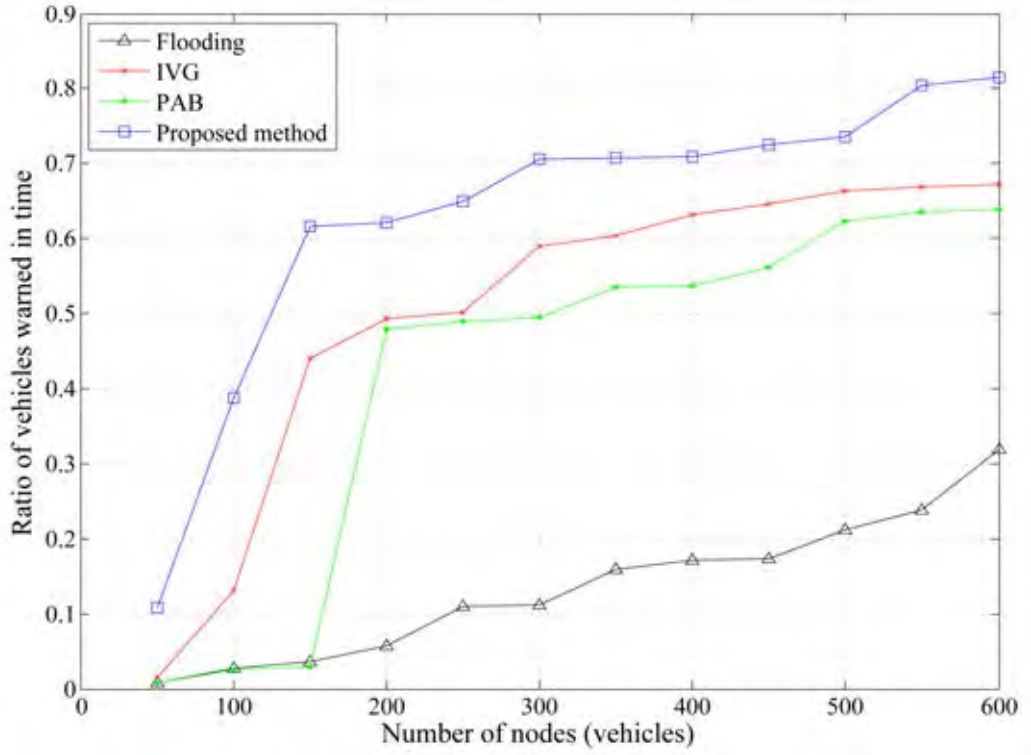
4.3.1.2 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับระยะส่งสัญญาณ

การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระยะส่งสัญญาณทำได้โดยกำหนดให้จำนวนยาพาหนะในระบบมีจำนวนเท่ากับ 300 คัน และปรับเพิ่มระยะส่งสัญญาณตั้งแต่ 100 ถึง 600 เมตร รูปที่ 4.9 แสดงอัตราการรับข้อความสำเร็จ ผลการจำลองแสดงเห็นได้ว่าเมื่อระยะส่งสัญญาณมากขึ้นทำให้สามารถถ่ายถอดข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะได้ไกลส่งผลให้มียานพาหนะได้รับข้อความแจ้งเตือนมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้อัตราส่วนยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ถูกเตือนทันเวลาจึงมีมากขึ้นด้วยตามที่แสดงในรูปที่ 4.9

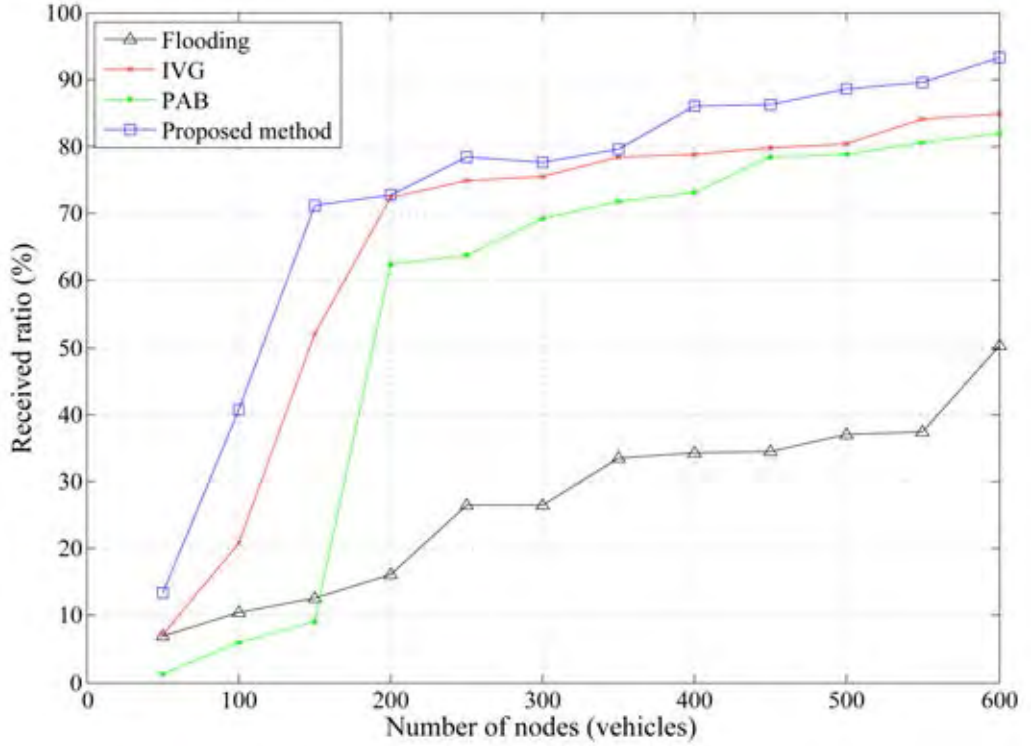
รูปที่ 4.10 แสดงผลการจำลองของอัตราส่วนการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนต่อยานพาหนะที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระยะส่งสัญญาณมากขึ้น โดยในสถานการณ์ที่ระยะส่งสัญญาณเท่ากับ 100 เมตร วิธีการที่นำเสนอมีการส่งข้อความแจ้งเตือนต่อยานพาหนะที่มากกว่าวิธีการอื่นๆเนื่องจากการแพร่กระจายเป็นรายคาบของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอด แต่ถึงแม้จะมีปริมาณการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่มากกว่าวิธีอื่น กลไกที่นำเสนอก็สามารถทำให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายได้อย่างทั่วถึงได้มากกว่าวิธีการอื่นๆด้วย

4.4 การจำลองสถานการณ์สี่แยก

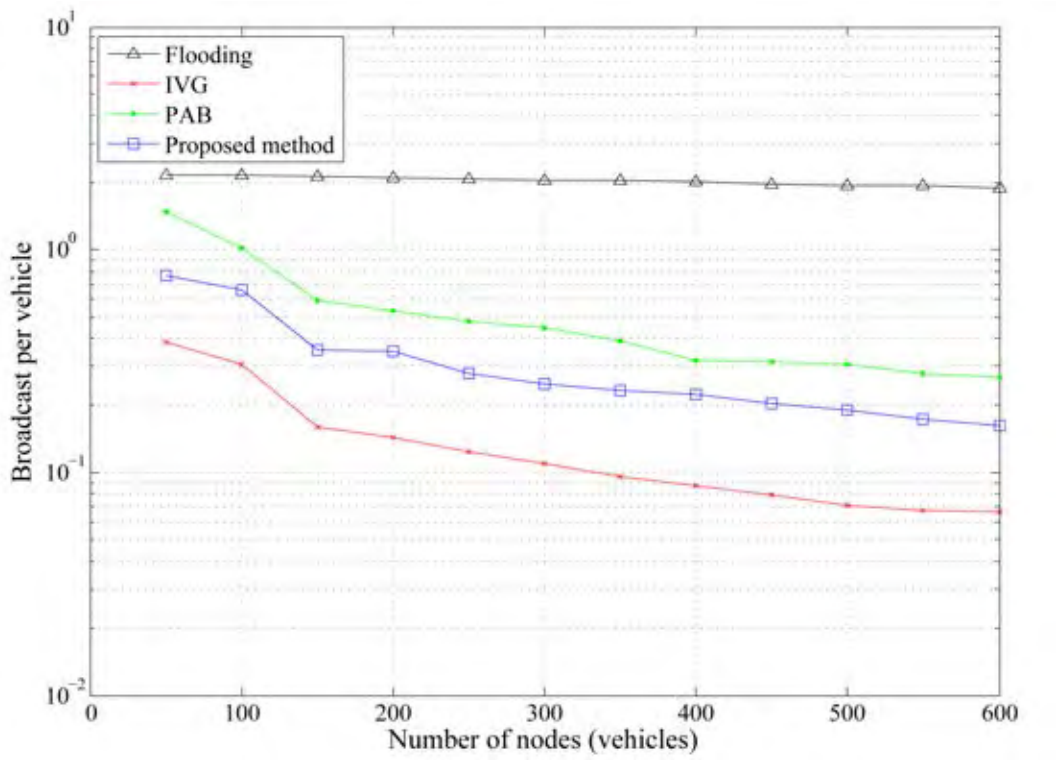
สถานการณ์สี่แยกพิจารณาประกอบไปด้วยถนน 2 เส้นตัดกันที่พิกัด $(1500, 0)$ กำหนดให้ถนนมีช่องจราจรทิศทางละ 3 ช่องจราจรและมีสัญญาณไฟจราจรที่สี่แยก เนื่องจากการจำลองในระบบพื้นที่สี่แยกมุ่งเน้นศึกษาการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนที่บริเวณสี่แยกเป็นหลักจึงมีการกำหนดให้จุดเกิดอุบัติอยู่บริเวณขอบของสถานการณ์ที่พิจารณา โดยกำหนดให้ถนนที่เกิดอุบัติการณ์เป็นถนนที่อยู่บนแกน X ที่พิดกัด $(4975, 0)$ ในช่องจราจรที่มีทิศทางตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ซึ่งการกำหนดจุดเกิดอุบัติการณ์ดังกล่าวทำให้ยานพาหนะประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนทั้งหมดถูกกำหนด



รูปที่ 4.5: อัตราส่วนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ถูกเตือนทันเวลาเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบทางด่วน



รูปที่ 4.6: อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบ



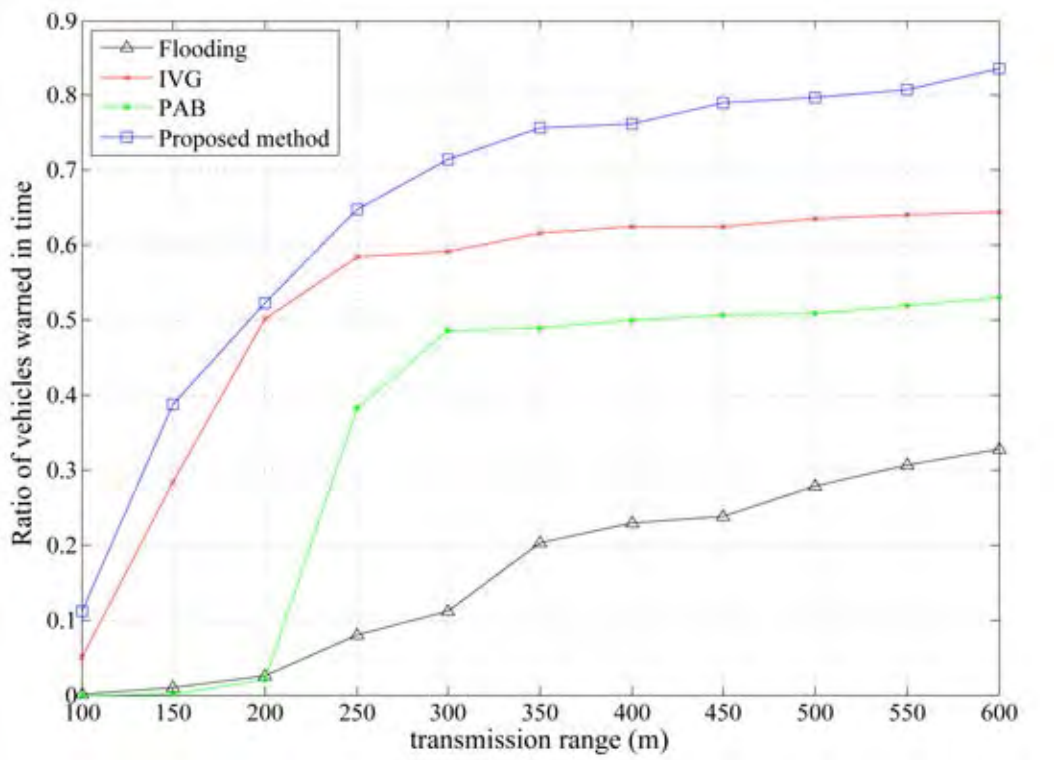
รูปที่ 4.7: ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน

ให้เป็นยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบดังแสดงในรูปที่ 4.12 สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในสถานการณ์สี่แยกถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

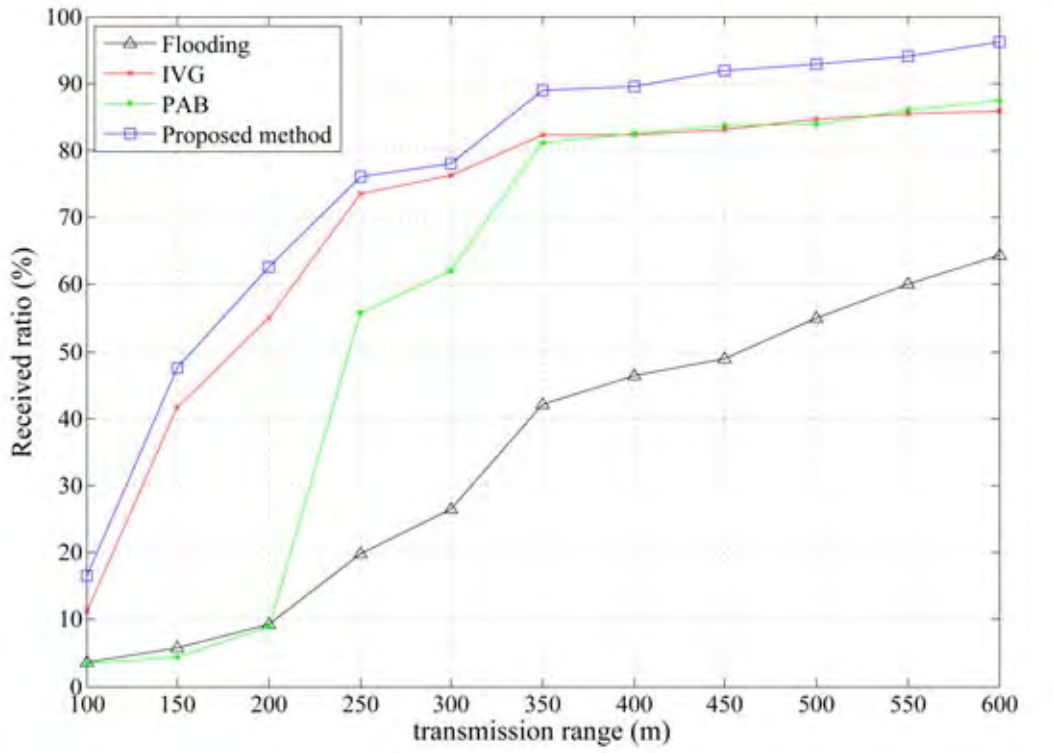
4.4.1 ผลการจำลองโครงข่ายระบบในพื้นที่สี่แยก

4.4.1.1 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะ

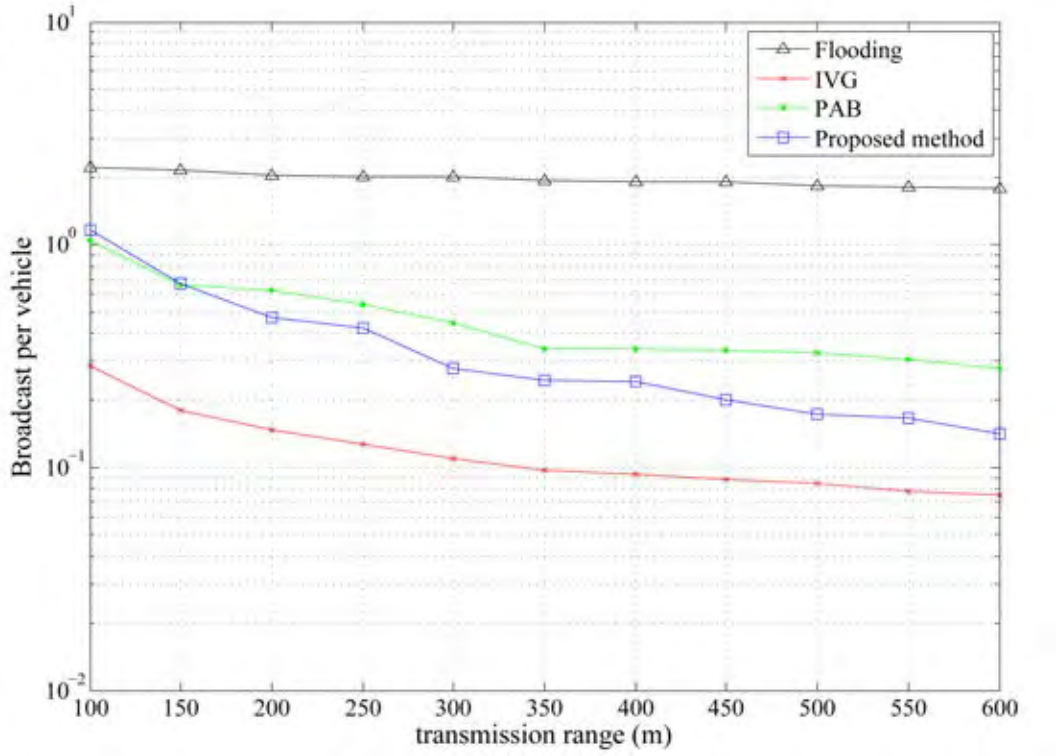
การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะทำได้โดยกำหนดให้ระยะส่งสัญญาณมีค่าคงที่เท่ากับ 300 เมตร และทำการปรับเพิ่มจำนวนยานพาหนะตั้งแต่ 50 – 600 คัน เพื่อทดสอบผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยีในสภาวะที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะที่แตกต่างกัน รูปที่ 4.13 แสดงถึงอัตราการรับข้อความสำเร็จ เห็นได้ว่ากลไก IVG มีอัตราการรับข้อความสำเร็จประมาณ 10 – 70 % สังเกตุได้ว่ากลไก IVG มีอัตราการรับข้อความน้อยที่สุดเมื่อโครงข่ายอยู่ในสภาวะที่มีความเชื่อมต่อสูง เนื่องจากวิธีการดังกล่าวถูกออกแบบมาเพื่อแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเฉพาะทางด่วนไม่สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้ทุกทิศทางในบริเวณสี่แยกได้ ส่วนกลไก PAB มีอัตราการรับข้อความสำเร็จต่ำเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีจำนวนยานพาหนะในระบบน้อย ในขณะที่กลไก UMB ที่ทำการติดตั้งตัวทวนสัญญาณไว้ที่สี่แยกก็สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้อย่างครอบคลุมในบริเวณสี่แยกในสภาวะที่มีจำนวนยานพาหนะมาก นอกจากนี้จะสังเกตุได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่มีจำนวนยานพาหนะในระบบมากกว่า



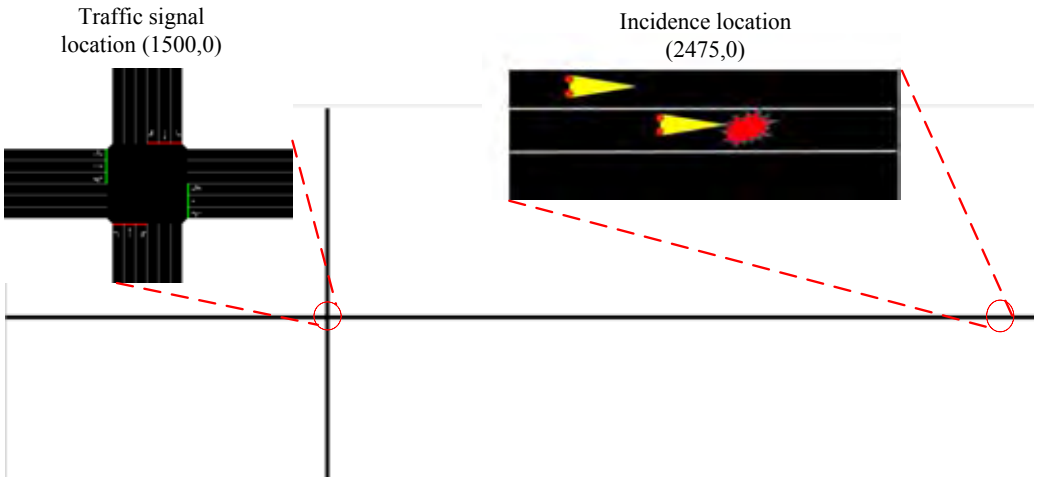
รูปที่ 4.8: อัตราส่วนของยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ถูกเตือนทันเวลาเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบ



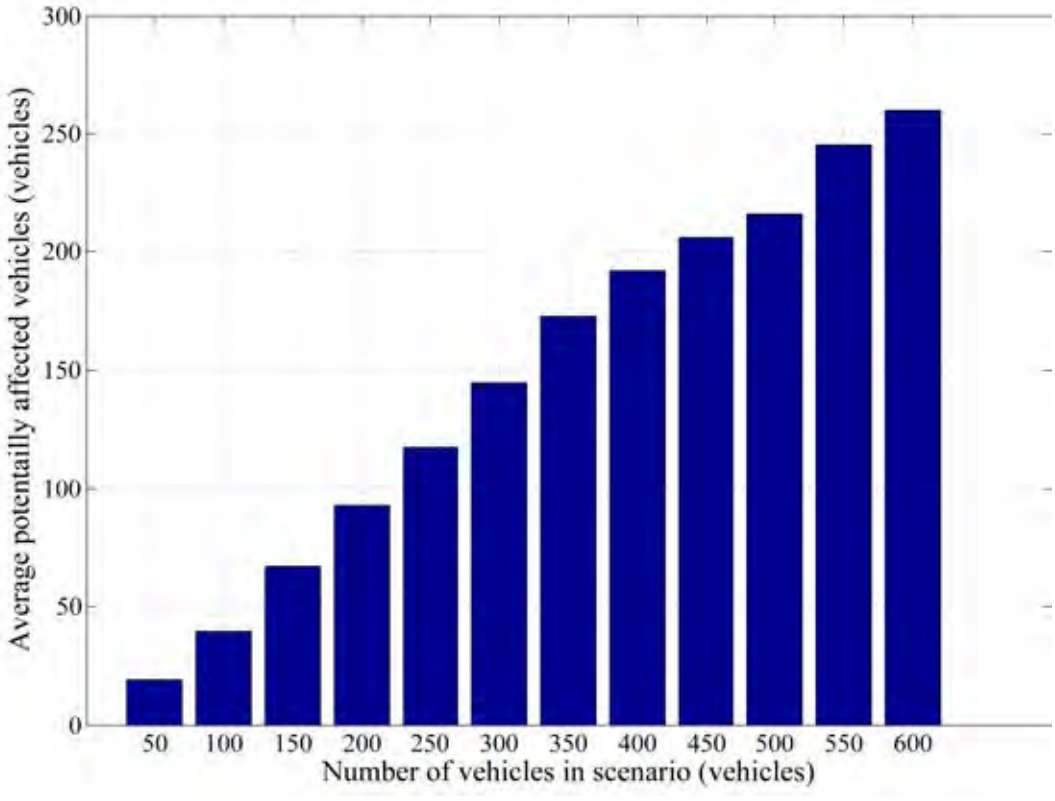
รูปที่ 4.9: อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบทางด่วน



รูปที่ 4.10: ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนในระบบทางด่วนเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระยะส่งสัญญาณ



รูปที่ 4.11: การจำลองระบบในพื้นที่สี่แยก

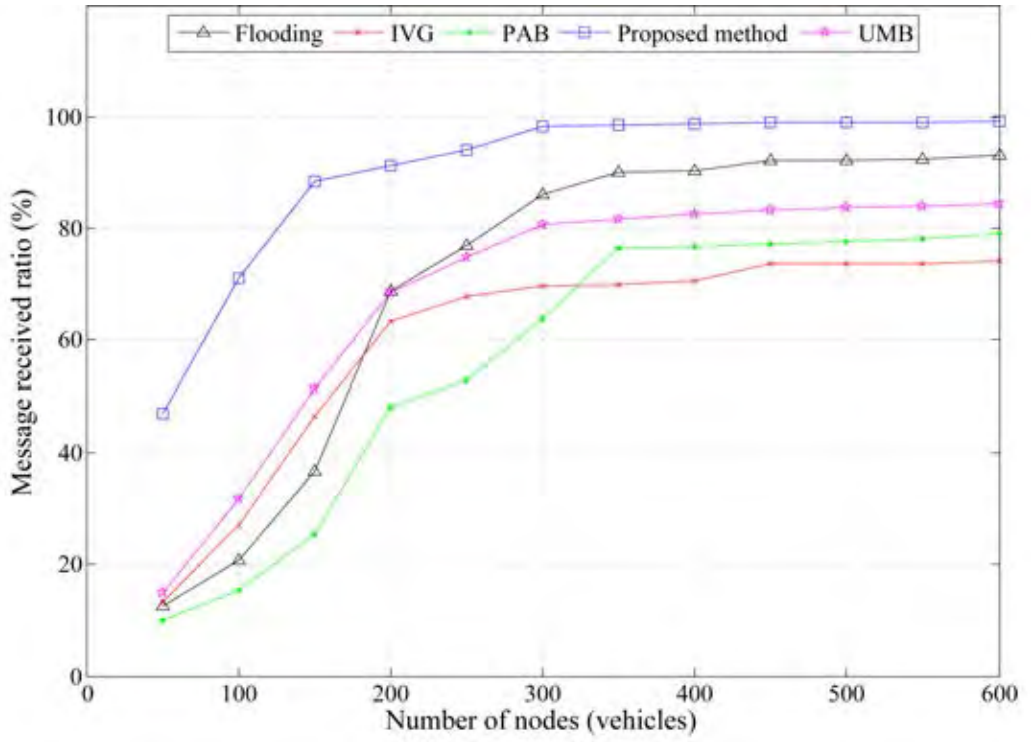


รูปที่ 4.12: ค่าเฉลี่ยจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์สี่แยก

ตารางที่ 4.2: พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองระบบพื้นที่สี่แยก

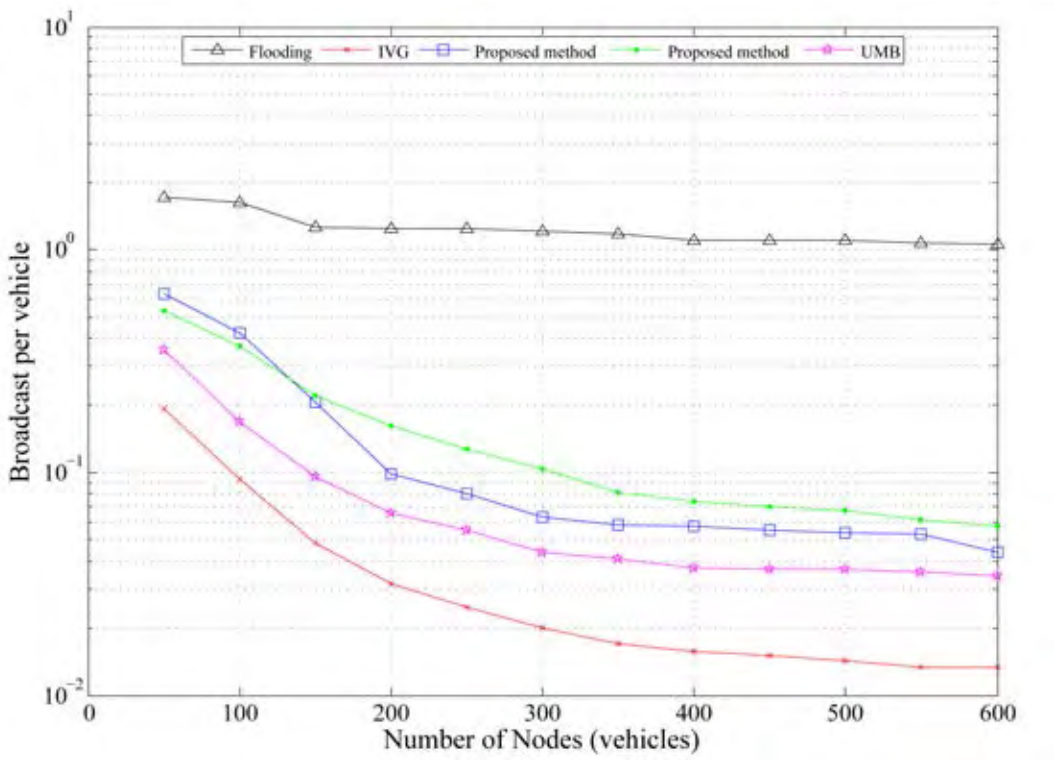
Description	Value
scenario size	5x2 km^2
Number of vehicles	50-600 vehicles
transmission range	100-600 m
Maximum speed	28 m/s
Packet size	200 Bytes
MAC type	802.11p
Data rate	11 Mbps
Number of topology	400-600
t_{max}	0.1 s
κ	0.5
Loss model	Log distance
	$(d_1 = 150m, d_2 = 300m, m_0 = 0.5, m_1 = 0.5, m_2 = 0.5)$ [27]
Simulation time	20 second

300 คันเป็นต้นไปที่อัตราการรับข้อความสำเร็จมีค่าประมาณ 100 % เนื่องจากอัลกอริทึ่มที่นำเสนอถูกออกแบบเพื่อให้ยานพาหนะที่อยู่บนถนนที่แตกต่างกันสามารถถ่ายทอดข้อความต่อได้ อีกทั้งยังมีการกำหนดให้ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเป็นรายคาบ จึงทำให้อัตราการรับข้อความของวิธีการที่นำเสนอมีมากที่สุดแม้อยู่ในสภาวะที่ความเชื่อมต่อของโครงข่ายเบาบาง



รูปที่ 4.13: อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบพื้นที่สี่แยก

รูปที่ 4.14 แสดงถึงประสิทธิภาพการแพร่กระจายในระบบสี่แยกเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบ เห็นได้ว่าอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะของกลไกต่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อยานพาหนะในระบบเพิ่มขึ้น ยกเว้นการแพร่กระจายแบบ Flooding ที่มีอัตราการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน 1 ครั้งต่อยานพาหนะ 1 คัน ซึ่งหมายถึงยานพาหนะทุกคันทำการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัตราการรับข้อความสำเร็จของ Flooding มีค่าสูง ในขณะที่ IVG มีอัตราส่วนการแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่น้อยที่สุดเพราะเป็นกลไกแพร่กระจายแบบเลือกที่ไม่ซับซ้อนและมีการแพร่กระจายให้กับยานพาหนะเพียงถนนเส้นเดียวเท่านั้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า UMB, PAB มีประสิทธิภาพการแพร่กระจายที่ดีกว่าวิธีที่นำเสนอ เนื่องจากวิธีที่นำเสนอมีการแพร่กระจายเป็นรายคาบ อีกทั้งการยกเลิกการรอแพร่กระจายของยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดจะต้องยกเลิกเมื่อได้รับข้อความแจ้งเตือนซ้ำจากยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดเท่านั้น จึงทำให้มีการแพร่กระจายที่มากกว่า UMB PAB และ IVG

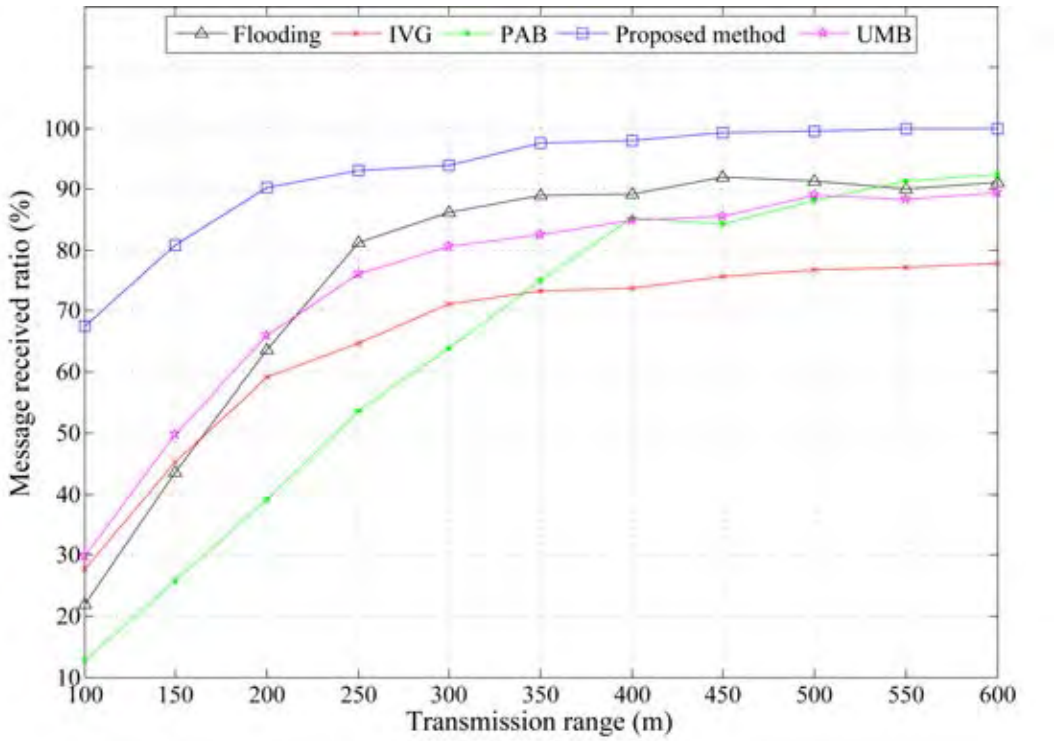


รูปที่ 4.14: ประสิทธิภาพการแพร่กระจายในระบบพื้นที่สี่แยก

4.4.1.2 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับระยะส่งสัญญาณ

การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับระยะส่งสัญญาณทำได้โดยกำหนดให้ยานพาหนะในระบบมีจำนวนเท่ากับ 300 คัน จากนั้นบันทึกผลการจำลองโดยปรับระยะส่งสัญญาณตั้งแต่ 100 ถึง 600 เมตร รูปที่ 4.15 แสดงถึงอัตราการรับข้อความสำเร็จ ที่มีแกน Y เป็นอัตราการรับข้อความสำเร็จมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และแกน X แสดงถึงการปรับระยะส่งสัญญาณมีหน่วยเป็นเมตร เห็นได้ว่าอัตราการรับข้อความสำเร็จมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะส่งสัญญาณ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการเลือกยานพาหนะที่ทำการแพร่กระจายต่อของกลไก PAB ไม่สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้อย่างทั่วถึงในกรณีที่มีระยะส่งสัญญาณน้อยกว่า 400 เมตร ส่วนกลไก IVG มีอัตราการรับข้อความสำเร็จสูงประมาณ 77 % ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าระยะส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนั้นครอบคลุมถึงยานพาหนะที่อยู่คนละถนนกับจุดเกิดอุบัติการณ์ด้วย ถึงแม้กลไก IVG มีการเลือกยานพาหนะแพร่กระจายต่อจากยานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกันเท่านั้น ในขณะที่กลไก UMB และการแพร่กระจายแบบ Flooding จะมีอัตราการรับข้อความสำเร็จประมาณ $80 - 90$ % ในกรณีที่มีระยะส่งสัญญาณมากกว่า 300 เมตร และเนื่องจากวิธีที่นำเสนอมีการกำหนดให้ยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดสามารถแพร่กระจายเป็นรายคาบเมื่อเกิดการขาดช่วงของโครงข่าย จึงทำให้สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้ดีกว่ากลไกอื่นๆแม้ในสภาวะการเชื่อมต่อที่เบาบาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระยะส่งสัญญาณมีค่ามากกว่า 350 เมตร กลไกที่นำเสนอสามารถให้อัตรารับข้อความสำเร็จสูงถึงประมาณ $98 - 100$ %

การพิจารณาประสิทธิภาพแพร่กระจายถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.16 โดยที่แกน Y แสดงถึงอัตราส่วน



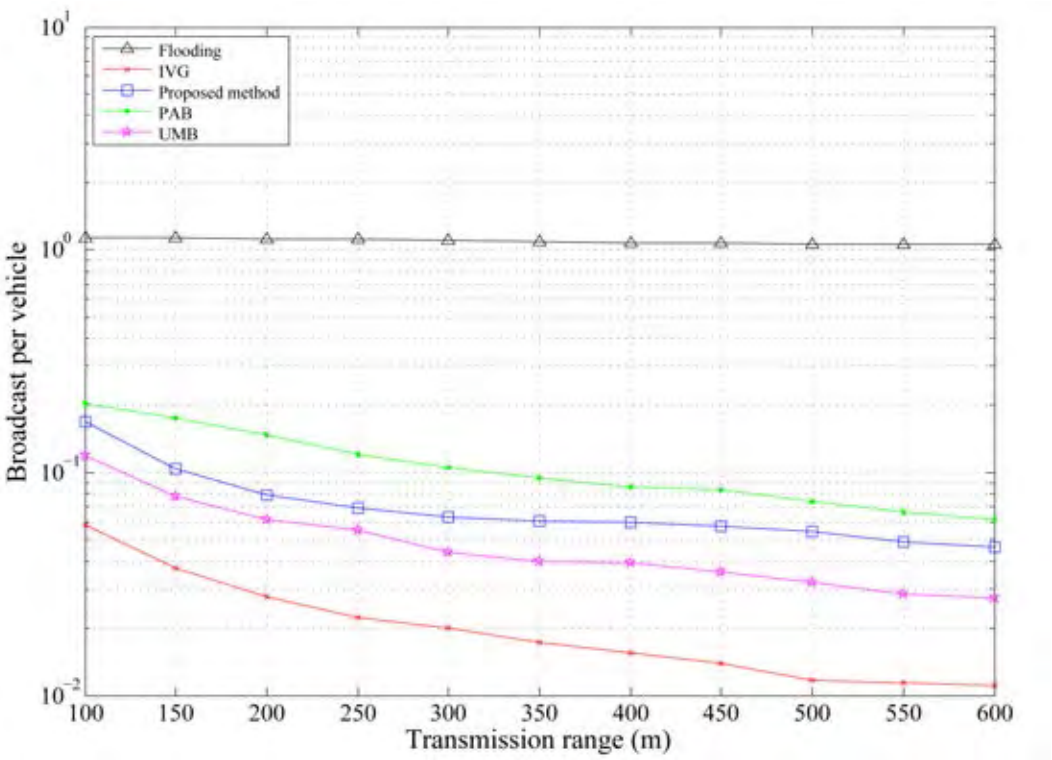
รูปที่ 4.15: อัตราการรับข้อความสำเร็จในระบบพื้นที่สี่แยกเมื่อพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณ

การแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบที่ได้รับการเตือน ส่วนแกน X แสดงถึงระยะส่งสัญญาณมีหน่วยเป็นเมตร ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีระยะส่งสัญญาณมากขึ้น กล่าวคือระยะส่งสัญญาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ยานพาหนะมีโอกาสได้รับข้อความแจ้งเตือนมากขึ้น กลไกการแพร่กระจายแบบเลือกจึงสามารถช่วยลดการแพร่กระจายที่ไม่จำเป็นได้มาก ในขณะที่การแพร่กระจายแบบ Flooding มีการแพร่กระจายโดยเฉลี่ยยานพาหนะละ 1 ครั้ง ส่วนกลไกที่นำเสมอมีอัตราการแพร่กระจายอยู่ที่ $0.05 - 0.2$ ครั้งต่อยานพาหนะ ตามด้วยกลไก PAB, UMB และ IVG ตามลำดับ

4.5 การจำลองสถานการณ์เขตเมือง

สถานการณ์ในเขตเมืองที่พิจารณาเป็นสถานการณ์ที่อ้างอิงจากสถานที่จริงในกรุงเทพมหานคร โดยจำลองพื้นที่ในบริเวณถนนพระรามที่ 4 เริ่มจากบริเวณแยกสะพานเหลือง (ถนนพระรามที่ 4 ตัดกับถนนบรรทัดทอง) ไปจนถึงแยกพระรามที่ 4 (ถนนพระรามที่ 4 ตัดกับถนนพระรามที่ 3) ในการจำลองนี้ได้พิจารณาสถานการณ์ที่ประกอบไปด้วยสี่แยกและถนนต่างๆที่เชื่อมต่อกับถนนพระรามที่ 4 ดังต่อไปนี้

- ถนนบรรทัดทอง ตั้งแต่บริเวณแยกบรรทัดทองจนถึงแยกสะพานเหลือง
- ถนนพญาไท ตั้งแต่บริเวณแยกปทุมวันจนถึงแยกสามย่าน



รูปที่ 4.16: อัตราส่วนระหว่างการแพร่กระจายต่อยานพาหนะในระบบพื้นที่สี่แยก

- ถนนสี่พระยา ตั้งแต่บริเวณแยกสี่พระยาจนถึงแยกสามย่าน
- ถนนอังรีดูนังค์ ตั้งแต่บริเวณแยกเฉลิมเผ่าจนถึงแยกอังรีดูนังค์
- ถนนสุรวงศ์ ตั้งแต่บริเวณใต้ทางด่วนพิเศษศรีรัชจนถึงแยกอังรีดูนังค์
- ถนนราชดำริ ตั้งแต่บริเวณแยกราชประสงค์จนถึงแยกศาลาแดง
- ถนนสีลม ตั้งแต่บริเวณแยกสีลม-แยกนราธิวาสจนถึงแยกศาลาแดง
- ถนนวิทยุ ตั้งแต่บริเวณแยกเพลินจิตจนถึงแยกวิทยุ
- ถนนสาทรเหนือ ตั้งแต่บริเวณแยกสาทร-นราธิวาสจนถึงแยกวิทยุ
- ถนนรัชดาภิเษก ตั้งแต่บริเวณแยกอโศกจนถึงแยกพระรามที่ 4
- ถนนพระรามที่สาม ตั้งแต่บริเวณสถานีรถไฟแม่น้ำจนถึงแยกพระรามที่ 4

สำหรับการจำลองระบบจราจรในสถานการณ์เขตเมืองกำหนดให้มีการจราจรบนถนนที่ระบุไว้ข้างต้นเท่านั้น โดยในรูปที่ 4.17 แสดงถึงลักษณะของระบบที่พิจารณา ซึ่งยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่บนถนนดังกล่าวจะต้องปฏิบัติตามสัญญาณไฟจราจรที่อยู่ตามสี่แยก ทั้งนี้ในการจำลองไม่พิจารณาถึงยานพาหนะที่เคลื่อนที่อยู่บนสะพานต่างๆ อาทิเช่น สะพานมิตรภาพไทย-ญี่ปุ่น สะพานข้ามแยกวิทยุ และทางด่วนยกระดับต่างๆ เป็นต้น กำหนดให้อุบัติการณ์เกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของสถานการณ์

ตารางที่ 4.3: พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับจำลองระบบเขตเมือง

Description	Value
scenario size	5x4 km^2
Number of vehicles	220-2200 vehicles
transmission range	100-600 m
Maximum speed	28 m/s
Packet size	200 Bytes
MAC type	802.11p
Data rate	11 Mbps
Number of topology	200-400
Loss model	Nakagami
	$(d_1 = 150m, d_2 = 300m, m_0 = 0.5, m_1 = 0.5, m_2 = 0.5)$ [27]
Simulation time	20 second
background data interval	0.5 second
background data size	800 Bytes

ที่พิจารณา ซึ่งก็คือบริเวณสวนลุมพินีระหว่างแยกศาลาแดงและแยกวิทยุ โดยช่องจราจรที่เกิดเหตุมีทิศทางมุ่งหน้าไปยังแยกวิทยุ สำหรับค่าเฉลี่ยของยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบเมื่อเกิดอุบัติการณ์ขึ้นในแต่ละสถานการณ์ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.18

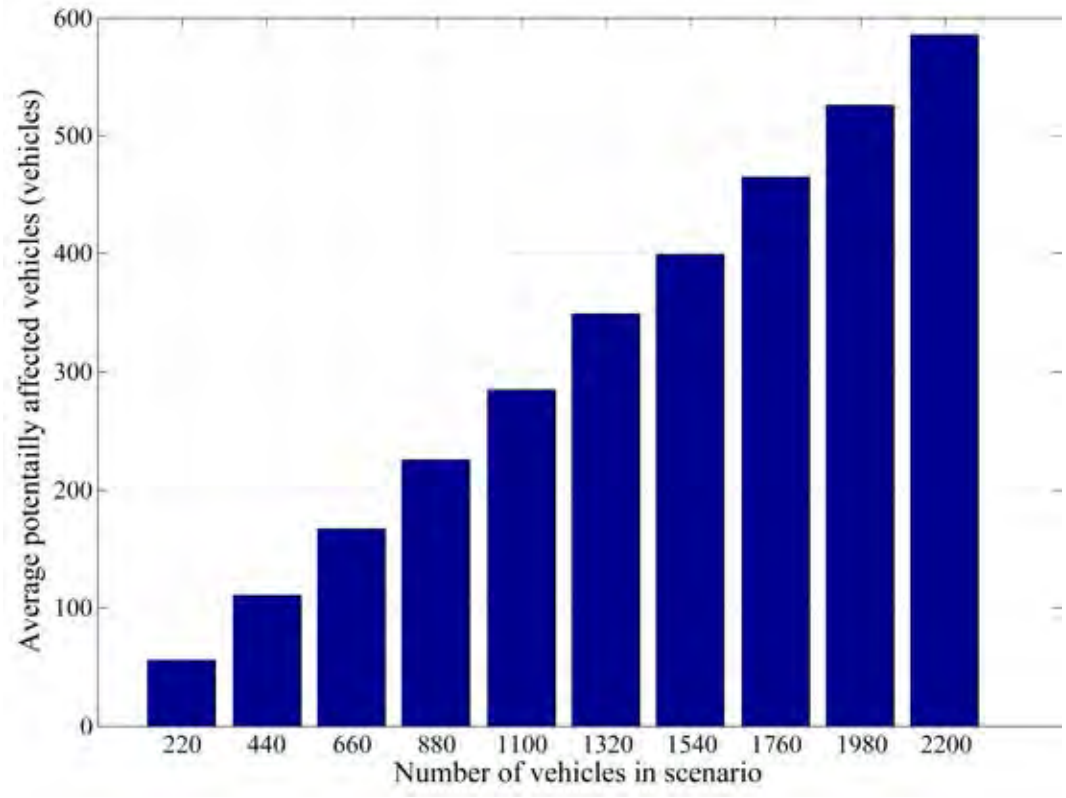
การจำลองสถานการณ์ในเขตเมืองมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการแพร่กระจายในสถานในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง อีกทั้งยังศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนด้วยกลไกต่างๆ โดยกำหนดให้มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างยานพาหนะอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการสื่อสารดังกล่าวเป็นการส่งข้อมูลที่เกิดทั่วไปในระบบและเป็นข้อมูลที่ไม่ได้มาจากระบบแจ้งเตือนจากระบบแจ้งเตือนเหตุการณ์ เช่น การแลกเปลี่ยนข้อมูลสภาพจราจร ข้อมูลสภาพอากาศ และข้อมูลทอพอโลยี เป็นต้น ในงานวิจัย [28] เรียกข้อมูลดังกล่าวว่า *ข้อมูลเบื้องหลัง (Background data)* ในการจำลองนี้ได้กำหนดให้ข้อมูลเบื้องหลังที่ถูกสร้างขึ้นมีรูปแบบการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบสุ่มทุกๆ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เขตเมืองดังแสดงในตารางที่ 4.3

4.5.1 ผลการจำลองโครงข่ายในสถานการณ์เขตเมือง

4.5.1.1 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะ

การจำลองโครงข่ายเพื่อศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในสถานการณ์เขตเมืองทำได้โดยกำหนดให้ยานพาหนะแต่ละคันมีระยะส่งสัญญาณเท่ากับ 300 เมตร และทำการปรับจำนวนของยานพาหนะในระบบตั้งแต่ $220 - 2200$ คัน เพื่อทดสอบผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยีในสภาวะที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะที่แตกต่างกัน รูปที่ 4.19 แสดงถึงอัตราการรับข้อความแจ้งเตือนสำเร็จ จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าเมื่อ

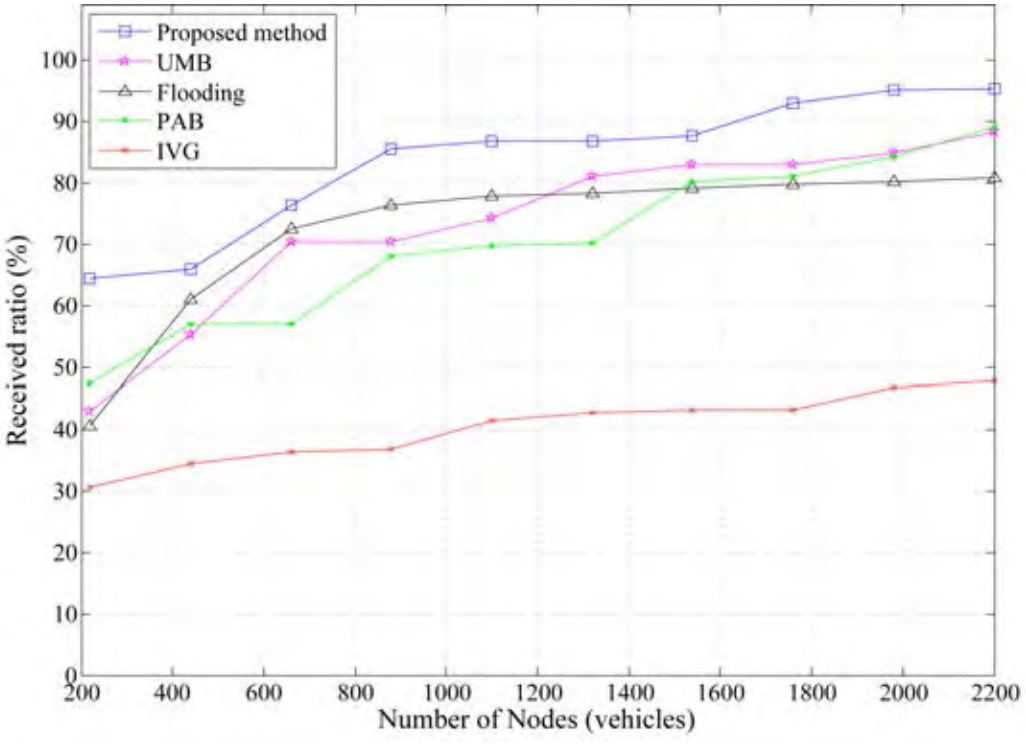
รูปที่ 4.17: ลักษณะทอพอโลยีของถนนและจุดเกิดอุบัติการณ์ที่พิจารณาในระบบเขตเมือง



รูปที่ 4.18: ค่าเฉลี่ยนจำนวนยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ในการจำลองสถานการณ์เขตเมือง

จำนวนยาพาหนะในระบบเพิ่มขึ้นอัตราการรับข้อความสำเร็จของทุกวิธีการจึงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกับการจำลองในสถานการณ์อื่นๆ เพราะจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่โครงข่ายจะมีความเชื่อมต่อกันมีมากขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายให้กับยานพาหนะได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยกลไก IVG มีอัตราการรับข้อความสำเร็จอยู่ที่ประมาณ $30-40$ % เพราะการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนส่วนมากถูกส่งให้กับยานพาหนะบนถนนพระรามที่ 4 เท่านั้น ในขณะที่ PAB มีอัตราการรับข้อความสำเร็จอยู่ที่ประมาณ $30-60$ % ถึงแม้ว่าว่าอัลกอริทึมของกลไก PAB สามารถช่วยให้ข้อความแจ้งเตือนได้ทุกทิศทางในบริเวณสี่แยก แต่ว่าการแพร่กระจายต่อโดยใช้ปัจจัยด้านความเร็วของยานพาหนะทำให้ข้อความแจ้งเตือนไม่สามารถถูกส่งได้อย่างทั่วถึงเท่าที่ควร

สำหรับกลไก UMB มีอัตราการรับข้อความสำเร็จอยู่ที่ $40-80$ % จะเห็นได้ว่าการติดตั้งตัวทวนสัญญาณที่สี่แยกช่วยให้ข้อความแจ้งเตือนสามารถแพร่กระจายได้ทุกทิศทางในบริเวณสี่แยก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กลไก UMB มีอัตราการรับข้อความสำเร็จค่อนข้างสูง ส่วนการแพร่กระจายแบบ Flooding ก็สามารถให้อัตราการรับข้อความสำเร็จที่ค่อนข้างสูงในสภาวะที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะสูง ส่วนกลไกที่นำเสนอมีอัตราการรับข้อความสำเร็จประมาณ $60-90$ % ซึ่งดีกว่าทุกวิธีการที่กล่าวมา ทั้งนี้เป็นเพราะกลไกที่นำเสนอกำหนดให้ยานพาหนะที่เคลื่อนที่ออกจากเหตุการณ์สามารถแพร่กระจายเป็นรายคาบได้ทำให้อัตราการรับข้อความสำเร็จมีมากขึ้น ในขณะที่กลไกอื่นๆ ข้อความแจ้งเตือนไม่สามารถแพร่กระจายต่อได้เมื่อเกิดการขาดช่วงของโครงข่าย

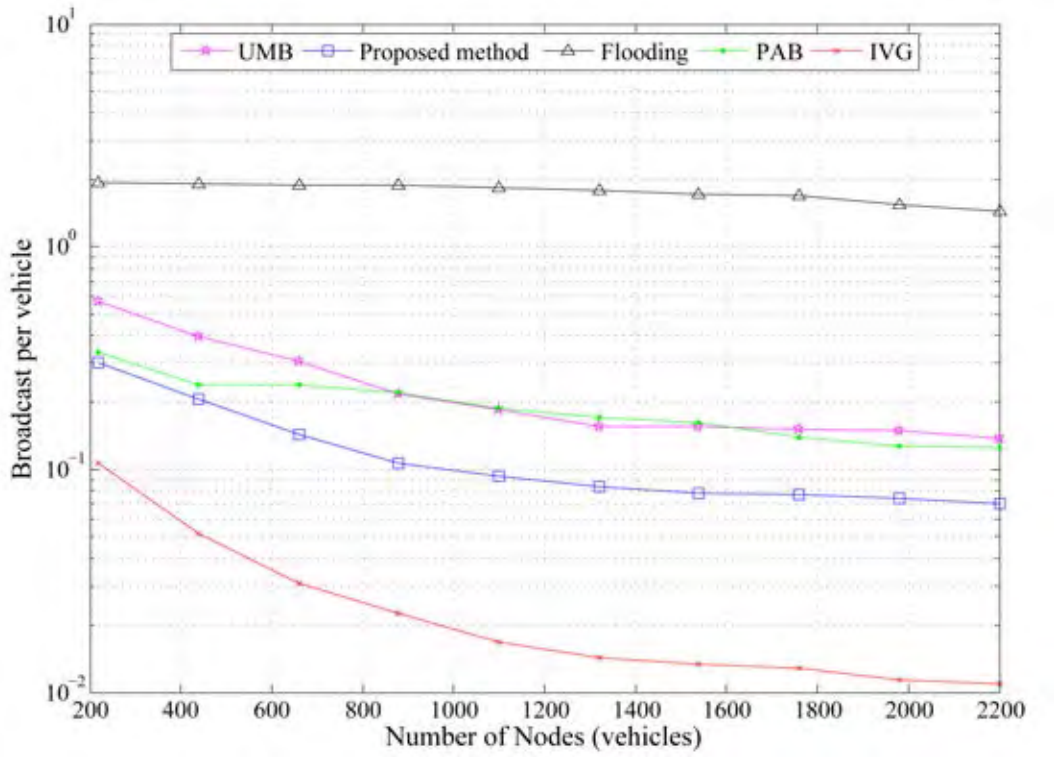


รูปที่ 4.19: อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง

การพิจารณาประสิทธิภาพในการแพร่กระจายสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ผลการจำลองแสดงเห็นถึงได้อัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีจำนวนยานพาหนะในระบบเพิ่ม

ขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อยานพาหนะเพิ่มขึ้นทำให้มียานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ได้รับข้อความแจ้งเตือนเพิ่มขึ้นต่อการแพร่กระจายหนึ่งครั้ง โดยจะเห็นได้ว่าวิธีการแพร่กระจายแบบ Flooding มีการแพร่กระจายทุกๆยานพาหนะประมาณ 1 คัน จึงทำให้มีอัตราการรับข้อความสำเร็จสูง ในขณะที่ IVG มีการแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่น้อยที่สุด เนื่องจาก IVG เป็นกลไกแพร่กระจายแบบเลือกที่มีความซับซ้อนต่ำ การเลือกยานพาหนะที่มีศักยภาพการถ่ายทอดอย่างง่ายด้วยปัจจัยด้านระยะทางทำให้กลไก IVG มีอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะน้อยที่สุด แต่เนื่องด้วยวิธีการดังกล่าวถูกออกแบบเพื่อใช้ในระบบทางด่วน จึงทำให้ข้อความแจ้งเตือนไม่สามารถแพร่กระจายได้อย่างครอบคลุมดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 4.19

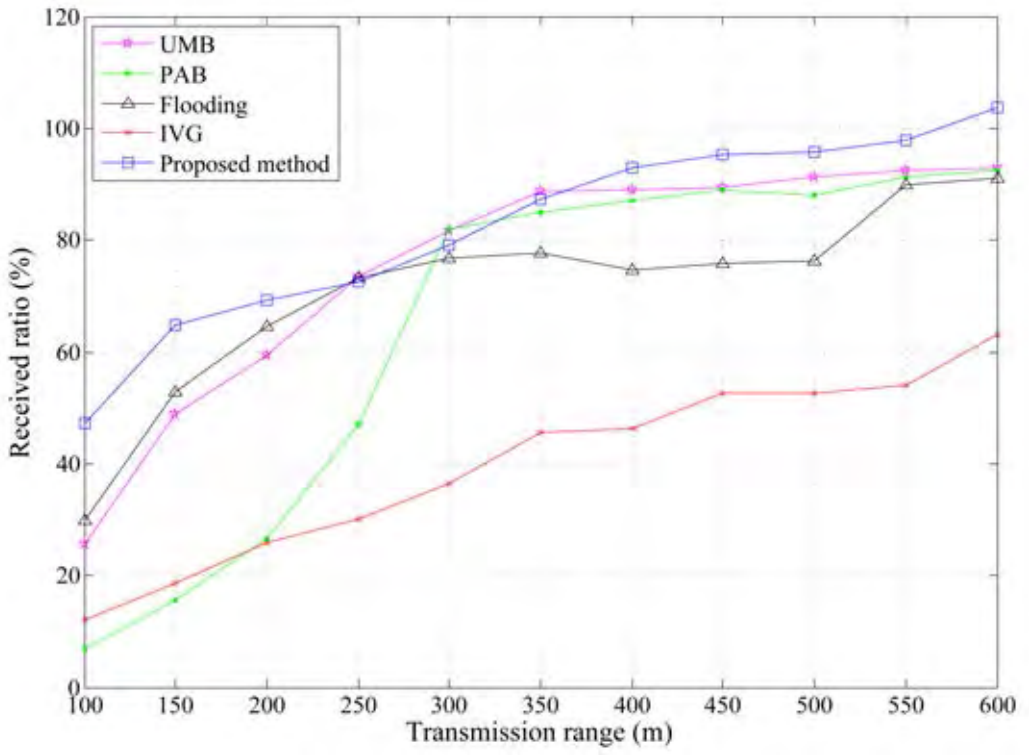
สำหรับ UMB และ PAB ที่เป็นกลไกแพร่กระจายแบบเลือกที่ถูกออกแบบเพื่อลดการแพร่กระจายที่ซ้ำซ้อนจาก Flooding อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการรับข้อความสำเร็จในระบบเขตเมือง แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวไม่ได้มีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างยานพาหนะในระบบกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น จึงทำให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะที่ไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ด้วย ส่งผลให้มีอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่มากกว่ากลไกที่นำเสนอ เพราะกลไกที่นำเสนอมีการพิจารณาแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ที่จะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ลดการแพร่กระจายที่ไม่จำเป็นในระบบได้ ถึงแม้การแพร่กระจายแบบรายคาบทำให้มีการแพร่กระจายที่มากขึ้นแต่ก็ไม่ได้ส่งผลต่อระบบมากนัก อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการรับข้อความสำเร็จอีกด้วย



รูปที่ 4.20: ประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง

4.5.1.2 การศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับระยะส่งสัญญาณ

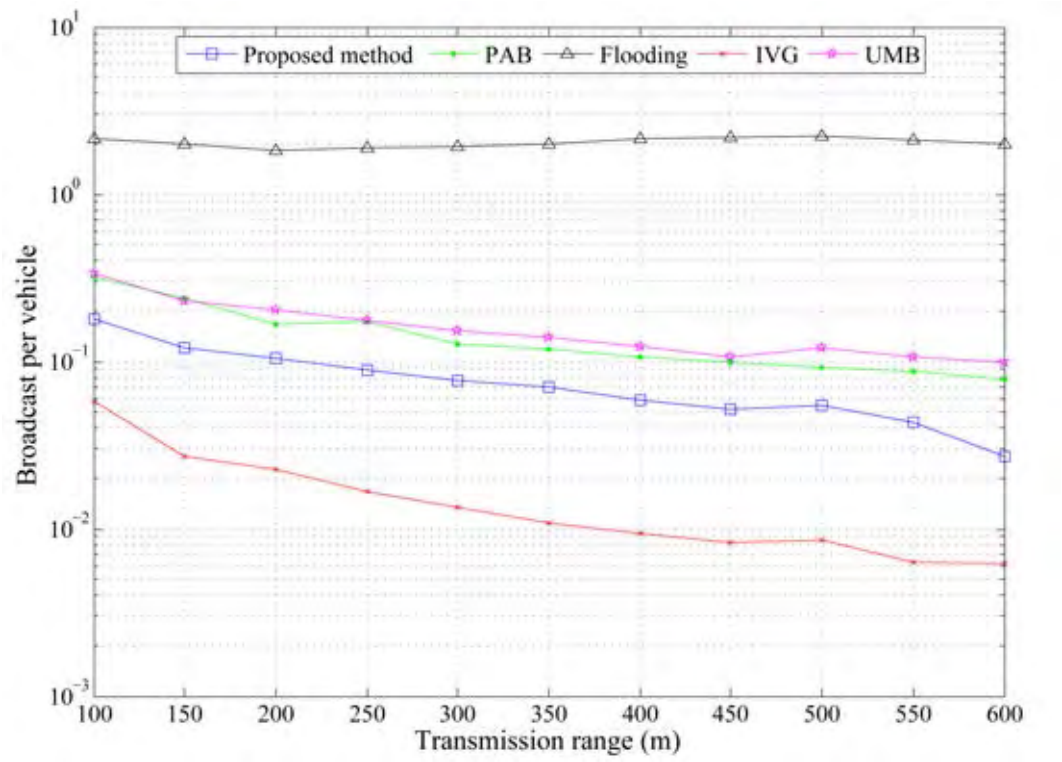
การจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับระยะส่งสัญญาณทำได้โดยกำหนดให้จำนวนของยานพาหนะในระบบมีค่าเท่ากับ 1540 คัน จากนั้นจำลองระบบโดยปรับระยะส่งสัญญาณตั้งแต่ 100 – 600 เมตร รูปที่ 4.21 แสดงถึงอัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อทำการปรับระยะส่งสัญญาณ เห็นได้ว่าเมื่อระยะส่งสัญญาณมากขึ้นทำให้ยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ได้รับข้อความแจ้งเตือนมากขึ้นเช่นเดียวกับในระบบอื่นๆ โดย IVG มีอัตราการรับข้อความสำเร็จประมาณ 20 – 60 % ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูงสำหรับกลไกที่ถูกออกแบบเพื่อการแพร่กระจายบนทางด่วน ถึงแม้ข้อความแจ้งเตือนจะถูกถ่ายทอดโดยยานพาหนะที่อยู่บนถนนเดียวกับจุดเกิดเหตุการณ์เท่านั้น แต่เมื่อระยะส่งสัญญาณมากขึ้นทำให้ยานพาหนะที่อยู่บนถนนย่อยๆต่างๆได้รับข้อความแจ้งเตือนด้วย จึงทำให้มีอัตราการรับข้อความสำเร็จค่อนข้างสูงในสภาวะที่มีระยะส่งสัญญาณในช่วง 450 – 600 เมตร ในขณะที่วิธีการอื่นๆก็สามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยาพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ได้สูงประมาณ 80 – 90 % ในสภาวะที่สามารถส่งสัญญาณได้ไกล แต่เมื่อพิจารณาสภาวะที่มีระยะส่งสัญญาณใกล้ เห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถถ่ายทอดข้อความแจ้งเตือนได้ดีกว่าวิธีการอื่นๆ ทั้งนี้เป็นเพราะการแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบและการแพร่กระจายรายคาบของยานพาหนะถ่ายทอด



รูปที่ 4.21: อัตราการรับข้อความสำเร็จเมื่อทำการพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง

สำหรับประสิทธิภาพการแพร่กระจายสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 4.22 เห็นได้ว่าอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในระบบอื่นๆ กล่าวคือระยะส่งสัญญาณที่ไกล

ขึ้นย่อมทำให้มียานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ได้รับข้อความแจ้งเตือนเพิ่มขึ้นด้วย โดยวิธีการแพร่กระจายแบบ Flooding มีอัตราการแพร่กระจายประมาณ 2 ครั้งต่อยานพาหนะ เนื่องจากมีการแพร่กระจายโดยยานพาหนะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ด้วย ในขณะที่ IVG ซึ่งเป็นกลไกแพร่กระจายแบบเลือกอย่างง่ายมีประสิทธิภาพการแพร่กระจายที่ดีที่สุด ตามด้วยวิธีการที่นำเสนอ, PAB และ UMB ตามลำดับ

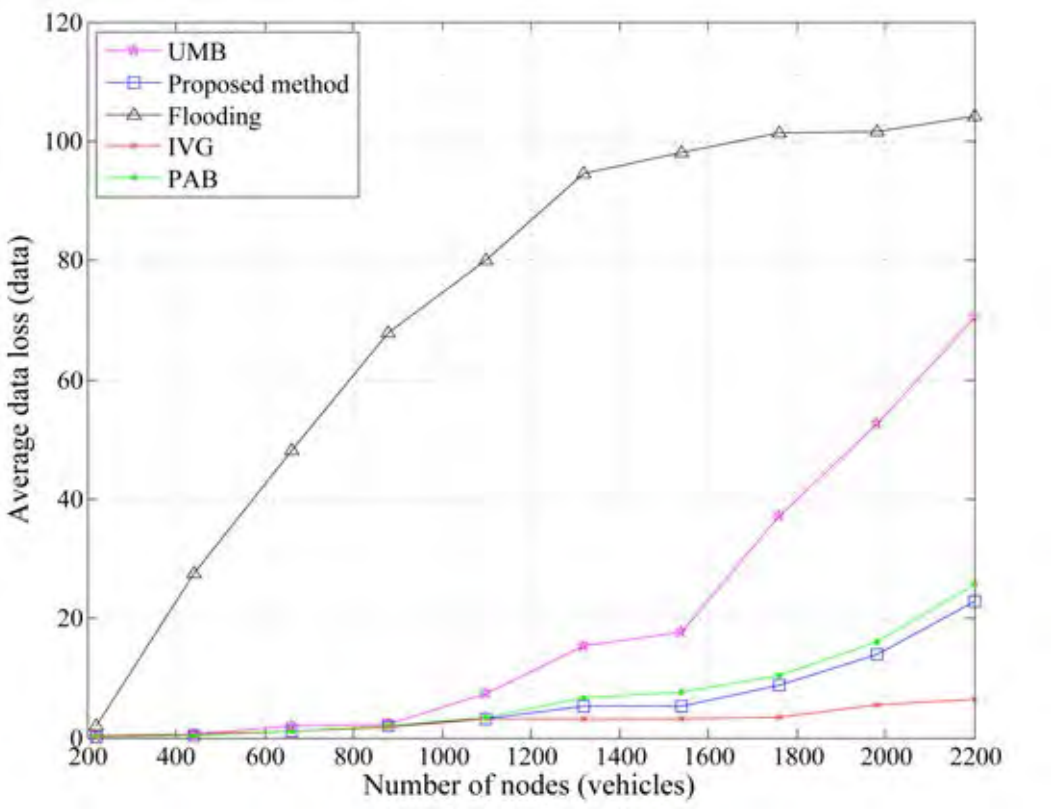


รูปที่ 4.22: ประสิทธิภาพการแพร่กระจายเมื่องพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง

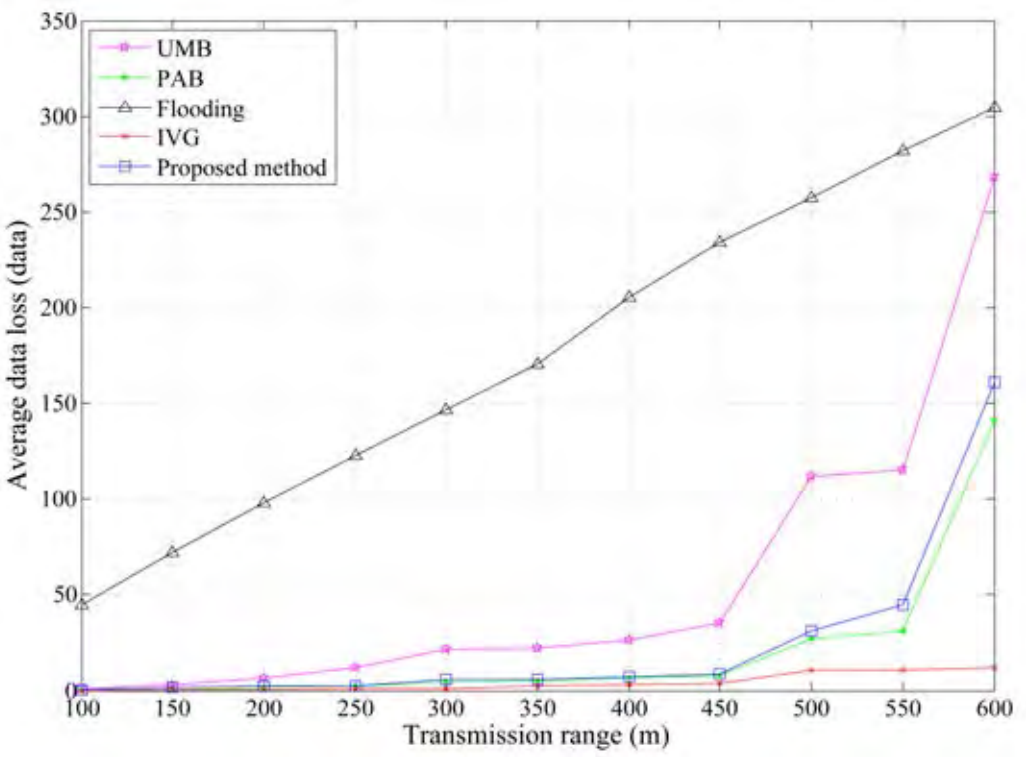
4.5.1.3 การศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือน

เมื่อการจำลองกำหนดให้มีข้อมูลเบื้องหลังที่ถูกใช้งานทั่วไปในโครงข่าย ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้ ซึ่งการพิจารณาผลกระทบดังกล่าวจะไม่พิจารณาความสูญเสียที่เกิดจากชั้นกายภาพ (Physical layer) แต่จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการชนกันของข้อมูลเท่านั้น เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผลการจำลองจึงกำหนดให้แบบจำลองการสูญเสียกำลังแบบระยะส่งสัญญาณ (Range propagation loss model) ซึ่งเป็นการจำลองแบบสูญเสียกำลังที่ถูกกำหนดตายตัวด้วยระยะส่งสัญญาณ กล่าวคือยานพาหนะที่อยู่ในระยะส่งสัญญาณจะได้รับข้อความแจ้งเตือนอย่างแน่นอน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถหาผลกระทบที่เกิดจากการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้ ในรูปที่ 4.23 แสดงถึงอัตราค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายในโครงข่ายเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายมีแนวโน้มสูงขึ้นในสภาวะ

ที่มีจำนวนยานพาหนะมากๆ เป็นเพราะเมื่อยานพาหนะมีจำนวนมากขึ้นทำให้ข้อมูลเบื้องหลังมีมากขึ้นส่งผลให้มีโอกาสที่จะถูกรบกวนโดยข้อความแจ้งเตือนมากขึ้นด้วย นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าอัตราค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายมีความสอดคล้องกับอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะ กล่าวคือกลไกที่มีการแพร่กระจายต่อยานพาหนะมากย่อมส่งผลให้มีอัตราค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายที่มากด้วย เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยข้อมูลสูญหายเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระยะส่งสัญญาณ เมื่อระยะส่งสัญญาณเพิ่มขึ้นวิธีการที่มีการแพร่กระจายต่อยานพาหนะมากก็ยิ่งทำให้มีโอกาสจะเกิดข้อมูลสูญหายในระบบมากเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.23: อัตราข้อมูลสูญหายเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนยานพาหนะในระบบเขตเมือง



รูปที่ 4.24: อัตราข้อมูลสูญหายเมื่อทำการพิจารณาการปรับระยะส่งสัญญาณในระบบเขตเมือง

4.6 สรุป

จากการจำลองการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนทั้งสามสถานการณ์ สามารถสรุปได้ว่า กลไกที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนได้อย่างทั่วถึงกว่ากลไกอื่นๆและทำให้ยานพาหนะที่อยู่ห่างจากอุบัติได้รับการแจ้งเตือนทันเวลามากขึ้น นอกจากนี้การพิจารณาแบ่งประเภทของยานพาหนะโดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ทำให้ข้อความแจ้งเตือนถูกแพร่กระจายได้อย่างทั่วถึงในพื้นที่สี่แยกโดยไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ ถึงแม้ว่ากลไกที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ได้มากกว่าวิธีอื่นๆ แต่ผลการจำลองโครงข่ายได้แสดงให้เห็นว่ากลไกที่นำเสนอสามารถแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนด้วยอัตราการแพร่กระจายต่อยานพาหนะที่เหมาะสมโดยแพร่กระจายให้กับยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์เท่านั้น อีกทั้งยังช่วยลดการเกิดของข้อมูลที่สูญหายได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอกลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกสำหรับระบบแจ้งเตือนเหตุการณ์ในโครงข่ายแอดฮอกระหว่างยานพาหนะ โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจาก GPS และแผนที่ดิจิทัลในการวิเคราะห์วามเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับบอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นเท่านั้น ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงพื้นฐานของระบบแจ้งเตือนเหตุการณ์ การแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบรวมไปถึงอัลกอริทึ่มที่ใช้ในกระบวนการแพร่กระจายต่อของยานพาหนะแต่ละประเภท ข้อจำกัดของกลไกที่นำเสนอคือ การกำหนดให้ยานพาหนะต้นทางที่ทำหน้าที่สร้างข้อความแจ้งเตือนต้องเป็นยานพาหนะที่อยู่ใกล้จุดเกิดอุบัติการณ์ที่สุดและเคลื่อนที่อยู่ในช่องจราจรทิศทางเดียวกับอุบัติการณ์เท่านั้น เพราะถ้ายานพาหนะต้นทางไม่ได้อยู่ในเงื่อนไขดังกล่าวอาจทำให้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์เกิดความผิดพลาดได้ เนื่องจากกลไกที่นำเสนอได้ใช้ข้อมูลที่มาจากยานพาหนะต้นทางในการพิจารณาความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์

จากการจำลองโครงข่ายด้วย NS3 สามารถสรุปได้ว่ากลไกที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งสถานการณ์ทางด่วนและเขตเมือง อัลกอริทึ่มที่นำเสนอทำให้ข้อความแจ้งเตือนถูกแพร่กระจายได้ทุกทิศทางในบริเวณสี่แยกโดยไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ ทำให้สามารถลดต้นทุนในการติดตั้งระบบ นอกจากนี้การแบ่งประเภทของยานพาหนะในระบบยังช่วยเพิ่มอัตราการรับข้อความสำเร็จได้ด้วยการแก้ปัญหาที่เกิดจากการขาดช่วงของโครงข่าย โดยการวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นทำให้ข้อความแจ้งเตือนถูกส่งให้กับยานพาหนะที่ได้รับผลกระทบจากอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นเท่านั้น ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณและช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการสูญหายของข้อมูลอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. พิจารณาถึงความสำคัญของข้อความแจ้งเตือน โดยศึกษาการลดความคับคั่งของการจราจรจากการแพร่กระจายข้อความแจ้งเตือนอุบัติการณ์บนถนน
2. พิจารณาความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการที่หลากหลายขึ้น เช่น การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นที่สี่แยก เป็นต้น
3. ทดสอบกลไกการแพร่สัญญาณแบบเลือกด้วยระบบทดสอบจริง (Testbed) โดยใช้การวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องระหว่างยานพาหนะกับอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานที่จริง แทนการจำลองโครงข่ายในวิทยานิพนธ์นี้

รายการอ้างอิง

[1] Liu, Y. Bi, J., and Yang, J. Research on Vehicular Ad Hoc Networks Chinese Control and Decision Conference (CCDC) 1 (2009) : 4430-4435.

[2] Willke, T.L. Tientrakool, P., and Maxemchuk, N.F. A Survey of Inter-Vehicle Communication Protocols and Their Applications. In IEEE Communications Surveys Tutorials 11 (2009) : 3-20.

[3] Tonguz, O.K. On the Broadcast Storm Problem in Ad hoc Wireless Networks . In Broadband Communications, Networks and Systems, 2006. BROADNETS 2006. 3 (2006) : 1-11.

[4] Theodore, L. Willke, Nicolas, P., and Maxemchuk, F. A Survey of Inter-Vehicle Communication Protocols and Their Applications. Journal of Information Science and Engineering 26 (2010) : 913-932.

[5] Yang, X. Liu, J., and Zhao, F. A Vehicle-to-Vehicle Communication Protocols for Cooperative Collision Warning. In IEEE Communication Survey and Tutorial 11 (2009) : pp. 3-20.

[6] Mariyasagayam, M. N. Osafune, T., and Lenardi, M. Enhanced Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB) for Active Safety Applications. In Proceedings of the 7th IEEE ITS Telecom., France 7 (2007) : 1-6.

[7] Bachir, A., and Benslimane, A. A Multicast Protocol in Ad hoc Networks Inter-Vehicle Geocast. In IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference 4 (2003) : 2456-2460.

[8] Yang, T.,and Chou, L. Position-based Adaptive broadcast for Inter-Vehicle Communications. In ICC Workshops '08. IEEE InternationalConference on 8 (2008) : 410-414.

[9] Joshi, H.P. Sichutiu, M., and Kihl. M. Distributed Robust Geocast Multicast Routing for Inter-Vehicle Communication. In 1st WEIRD Workshop on WiMax, Wireless and Mobility 1 (2007) : 20-26.

[10] Chen, Y. Lina, W., and Lee, S. L. Mobicast Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networkcs. In ACM/Springer Mobile Networks and Applications 15 (2010) : 20-35.

[11] Korkmaz, G. Ekici, E. Ozguner, F. and U. O zguner. Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems. in

ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks (VANET) 2 (2004) : 76-85.

[12] Li, D. Huang, H. Li, X. Li, M., and Tang, F. A Distance-based Directional broadcast Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Network. International Conference on WiCom 3 (2007) : 1520-1523.

[13] Yu, Q., and Heijenk, G. Abiding Geocast for Warning Message Dissemination in Vehicular Ad Hoc Network. In ICC workshop proceeding 1 (2008) : 400-404.

[14] Allal, S., and Boudjit, S. Geocast Protocols for VANETs: Survey and Guilines. In Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing 6 (2009) : 22-40.

[15] Lin, Y. Chen, Y., and Lee, S. Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives. Journal of Information Science and Engineering 26 (2010): 913-932.

[16] Schoch, E. Kargl, F., and Weber, M. Communication Patterns in VANETs. In IEEE Communications Magazine Volume 46 11 (November 2008) : 119-125.

[17] Jiang, D., and Delgrossi, L. IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments. In Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, 11 (2008) : 2036-2040.

[18] The Network Simulator NS-2. [Online]. Available from: http://www.isi.edu/nsam/ns/. [2012, October 12].

[19] The Network Simulator NS-3. [Online]. Available from: http://www.nsnam.org/. [2011, December 31].

[20] OMNET++ Community Site. [Online]. Available from: http://www.omnetpp.org/. [2012, October 12].

[21] Weingartner, E. Lehn, H., and Wehrle, K. A Performance Comparison of Recent Network Simulators. InProceedings of IEEE International Conference on Communications 9 (2009) : 1-5.

[22] The Simulation of Urban MObility (SUMO). [Online]. Available from: http://sumo.sourceforge.net/. [2012, November, 3].

[23] The Open Street Map. [Online]. Available from: http://www.openstreetmap.org/. [2012, November, 14].

[24] The GPS Coordinate Converter. [Online]. Available from: http://boulter.com/gps/. [2012, September, 3].

[25] Olson,P. L., and Sivak, M. Perception-response time to unexpected roadway hazards. In Human Factors, pp. 91-–96. Michigan : 1986.

[26] Biswas, S. Tatchikou, R., and Dion, F. Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety. IEEE Communications Magazine. 44 (2006) : 74-–82.

[27] Piangpoon Jakkaew. Application of ns-3 Platform for Performance Evaluationof Incidence Warning System Using VANET. Master' Thesis, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2010.

[28] Bur K., and kihl, M. Evaluation of Selective Broadcast Algorithms for Safety Applications in Vehicular Adhoc Networks. In International Journal of Vehicular Technology. 11 (2011) : 1-13.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรัฐพล ผิวกำพล เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2532 อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย เป็นบุตรของนายเทียนชัย ผิวกำพล และ นางรัชฎา ผิวกำพล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษาถัดมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ดำรงค์ตำแหน่งรองประธานกลุ่มความร่วมมือนิสิตบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย EEPSA-CU (Electrical Engineering Postgraduate Student Assembly of Chulalongkorn University) และตำแหน่งรองประธานชมรมบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย EGSA-CU (Engineering Graduate Student Association of Chulalongkorn University) ประจำปีการศึกษา 2555 และมีบทความวิชาการจากวิทยานิพนธ์ในระหว่างการศึกษาในระดับมหาบัณฑิตดังนี้

[1] P. Rattaphon, Saivichit, C. Selective Broadcast Mechanism for VANET based on Incidence Relevance Analysis. In IEECON 2013, pp. 284-287. March 2013. Chiang mai, Thailand, 2013.

[2] P. Rattaphon, Saivichit, C. Classification Algorithm for Selective Broadcast based on Road Incidence Relevance Analysis. In ECTI 2013, pp.!1706-1711. May 2013. Krabi, Thailand, 2013.