

การประเมินเปรียบเทียบแบบจำลองบน ns-3 และระบบทดสอบจริง:
กรณีศึกษาของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุการันท์ที่ใช้ VANET

นางสาวเพียงพูน จักรแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE EVALUATION OF NS-3 SIMULATOR
AND TESTBED PLATFORM: CASE STUDY OF
INCIDENT WARNING SYSTEM USING VANET

Miss Piangpoon Jakkaew

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 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินเปรียบเทียบแบบจำลองบน ns-3 และ
ระบบทดสอบจริง: กรณีศึกษาของระบบแจ้งเตือน
อุบัติเหตุที่ใช้ VANET

โดย

นางสาวเพียงพูน จักรแก้ว

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์นิต อัครกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์นิต อัครกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.กรรณิการ์ ศิริวงศ์ ณ อยุธยา)

เพียงพูน จักรแก้ว : การประเมินเปรียบเทียบแบบจำลองบน ns-3 และระบบทดสอบจริง: กรณีศึกษาของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์ที่ใช้ VANET (COMPARATIVE EVALUATION OF NS-3 SIMULATOR AND TESTBED PLATFORM: CASE STUDY OF INCIDENT WARNING SYSTEM USING VANET) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. เซาว์นดิศ อัครกุล, 58 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการจำลองระบบและการทดสอบจริงของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์สำหรับยานพาหนะด้วยการใช้โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ ซึ่งได้สร้างโค้ดใหม่ในการส่งต่อข้อมูลของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์ เพื่อใช้ในการจำลองระบบและทดสอบจริงด้วยการใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 โดยใช้โปรโตคอลการพลัดได้ง่ายในการกระจายข้อมูลแจ้งเตือน โค้ดที่พัฒนาขึ้นนั้นอยู่บนชั้นการประยุกต์ใช้ของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์ในระบบปฏิบัติการลินุกซ์ การทดลองแรกใช้การทดสอบจริงด้วยโครงข่ายแอตฮอกที่มีสี่โหนดซึ่งใช้แผ่นวงจรประสานไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11b/g การทดลองเป็นสภาพที่มีสองช่วงการเชื่อมต่อของโครงข่ายแอตฮอกในสภาพที่มีและไม่มีผลกระทบจากการรบกวน โดยผลของค่าอัตราส่วนการได้รับข้อมูลและค่าประวิงเวลาเป็นผลการทดลองที่พิจารณา จากผลการทดสอบจริงในระบบขนาดเล็กนี้พบว่า การทดสอบระบบด้วยการใช้การจำลองระบบไม่สามารถให้ผลที่น่าเชื่อถือได้เหมือนกับการทดสอบจริง เนื่องจากการตั้งค่าอย่างง่ายในการจำลองระบบไม่ได้สะท้อนถึงสภาพแวดล้อมที่แท้จริง การทดลองที่สองเป็นการทดลองของโครงข่ายแอตฮอกของรถยนต์ที่ใช้โหนดที่เป็นยานพาหนะสามโหนดซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในสภาพการติดต่อสื่อสารแบบแอตฮอกสองช่วงเชื่อมต่อที่สภาพแวดล้อมมีการรบกวนสัญญาณจากพื้นที่ทดสอบภายในมหาวิทยาลัย การทดลองที่สองนี้เป็นการหาค่ากำลังการส่ง และแบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายที่ใช้ในการจำลองระบบที่ทำให้ได้ค่าผลการทดลองใกล้เคียงกับการทดสอบจริงซึ่งสะท้อนสภาพแวดล้อมแบบเฉพาะเจาะจงของการทดสอบจริง โดยค่าพารามิเตอร์ที่หาได้นี้ถูกนำไปใช้ในการจำลองระบบที่โหนด 250 โหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในการทดลองสุดท้ายเป็นการจำลองระบบแบบเพื่อเน้นการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการตั้งค่าอย่างง่ายที่ใช้แบบจำลองการสูญเสียการแพร่กระจายแบบระยะทางลอการิทึม และการตั้งค่าที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริง ด้วยการตั้งค่าทั้งสองแบบดังกล่าวพบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มที่เหมือนกันเกือบทุกรูปแบบการทดลอง แต่ค่าของผลการทดลองคือค่าประวิงเวลาที่แต่ละโหนดจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนนั้นพบว่าผลจากการจำลองระบบที่ตั้งค่าสะท้อนสภาพแวดล้อมจริงมีค่าสูงกว่าการตั้งค่าอย่างง่าย ผลจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าถ้าส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์ด้วยความถี่มากขึ้นก็จะทำให้ค่าประวิงเวลาที่แต่ละโหนดได้รับข้อมูลเพิ่มขึ้น และทำให้อัตราส่วนการได้รับข้อมูลแจ้งเตือนแรกลดลงด้วย การค้นพบนี้สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นอย่างมากของข้อได้เปรียบเสียเปรียบในทางปฏิบัติที่จะต้องระวังในการเลือกปรับค่าอัตราการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นแนวทางในการวิจัยเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะรับประกันความสำเร็จของการทำงานของระบบได้ในอนาคต

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า. ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า. ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5170413521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: VEHICULAR AD HOC NETWORK/ ns-3/ INCIDENT WARNING SYSTEM/
PERFORMANCE EVALUATION.

PIANGPOON JAKKAEW : COMPARATIVE EVALUATION OF NS-3
SIMULATOR AND TESTBED PLATFORM: CASE STUDY OF INCIDENT
WARNING SYSTEM USING VANET . ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT
ASWAKUL, Ph.D., 58 pp.

This thesis is proposed with the experimental simulation and testbed of incident warning system for vehicles with a vehicular ad-hoc network (VANET) capability. Based on the ns-3 platform, a new code has been developed to simulate and emulate the message forwarding of incident warning system application. A warning message dissemination mechanism is a simple flooding protocol. The developed code is located on the layer of incident warning application upon the protocol stacks of UDP and IP in the Linux operating system. First experiments have been reported on an ad hoc network testbed with four nodes each with an IEEE 802.11b/g wireless interface card. The testbed consists of 2-hop ad hoc scenario. Message delivery ratio and message receiving delay have been reported in the scenarios with and without interference effects. Despite of small testbed size, the obtained results suggest interesting findings that can only be confirmed by the testbed, but not from simulations because using simple parameter settings in the simulation cannot reflect the real environment. Second experiments have been reported on VANET with three vehicle nodes with a constant velocity. The testbed consists of 2-hop ad hoc scenario with interference effects within the university area used in the test. Values of transmission power and propagation loss model in the latter simulation have been found in this experiment to reflect the specific environment of testbed. In particular, these values have later been used in the large network-size simulation of 250 nodes with a constant velocity. In this final simulation, which cannot inevitably be replicated by the actual testbed measurements, the focus is on comparing results between the simple setting using log distance propagation loss model and specific environment setting. Based on two settings, trend of the results are same in almost scenarios. But the values of the resultant delay in reaching the nodes nearby of specific environment setting are higher than simple setting. The results also suggest that if we send incident warning messages more frequently, then the message receiving delay of each node will be higher and the delivery success ratio will be lower. This finding therefore strongly reflects the necessary trade-off that, in practice, must be carefully calibrated by choosing an optimal rate of incident warning message generation. Future research into that optimization is expected to warrant a worthy fruitful implication.

Department : Electrical Engineering.

Field of Study : Electrical Engineering.

Academic Year :2010.....

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ สำเร็จ ลุล่วง ไป ได้ ด้วย ความ ช่วยเหลือ อย่าง ดี ยิ่ง จาก อาจารย์ ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.เชาวน์ดิศ อัครกุล ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำอันมีค่ายิ่งต่อผู้วิจัย อีกทั้งตรวจ ทานงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยโครงข่าย (Network Reserch Group) ซึ่งดูแลโดย ผศ. ดร. เชาวน์ดิศ อัครกุล และ ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร ที่จัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการทำงานของผู้วิจัยให้มี ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น รวมถึงให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการทำงานแก่ผู้วิจัย ทำให้งาน วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสะดวกราบรื่น

ขอขอบคุณอาจารย์ภัทรชาติ โกมลภิติ ผู้คอยให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ งานวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณการสนับสนุนอุปกรณ์วิจัยจาก TRIDI ตามโครงการ Center of Excellence in Lightwave and High-Speed Communications ดำเนินการโดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณเพื่อน พี่น้อง นักวิจัยทุกคน รวมถึงเจ้าหน้าที่ บุคลากรที่อยู่ในภาควิชาไฟฟ้า สาขา โทรคมนาคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ และเป็นกำลังใจที่ดียิ่ง ต่อผู้วิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอ มาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์	4
2 โครงข่ายแอตสอกของยานพาหนะและโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3	6
2.1 โครงข่ายแอตสอกของยานพาหนะ	6
2.2 มาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารแบบแอตสอกของยานพาหนะ	6
2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE	6
2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b	7
2.3 รูปแบบต่าง ๆ ของการส่งข้อมูล	7
2.3.1 แบบดึง	8
2.3.2 แบบผลัก	8
2.4 การประยุกต์ใช้โครงข่ายแอตสอกของยานพาหนะ	8
2.4.1 การประยุกต์เพื่อความเสถียรของสายของผู้ใช้	8
2.4.2 การประยุกต์เพื่อประโยชน์ด้านความปลอดภัย	8
2.5 โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3	9
2.5.1 องค์ประกอบของโปรแกรมจำลอง	10
2.5.2 การนำโปรแกรมจำลองไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จริง	11
3 โพรโตคอลและการทดสอบระบบด้วยโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3	13
3.1 โพรโตคอลแจ้งเตือนอุบัติเหตุการที่ทำการทดสอบ	13
3.2 การทดสอบระบบจำลองโครงข่ายแอตสอก	14
3.2.1 ผลกระทบของจำนวนโนดรถกวน	16
3.2.2 ผลกระทบของตำแหน่งโนดรถกวน	18
3.3 การทดสอบจริงของโครงข่ายแอตสอก	23
3.3.1 การทดสอบจริงในระบบที่ไม่มีการเคลื่อนที่	27
3.3.2 การทดสอบจริงในระบบที่มีการเคลื่อนที่	36
4 การจำลองโครงข่ายขนาดใหญ่โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง	39

	ช
บทที่	หน้า
4.1 การทดสอบระบบขนาดใหญ่เปรียบเทียบการตั้งค่าเบื้องต้นกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง	39
4.1.1 ผลกระทบของจำนวนโนดรบกวน	39
4.1.2 ผลกระทบของตำแหน่งโนดรบกวน	40
4.2 การทดสอบระบบขนาดใหญ่เปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลของโนดหลักที่แตกต่างกัน .	51
4.3 สรุป	51
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1 บทสรุป	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
รายการอ้างอิง	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบ	16
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์เน็ตบุ๊กที่ใช้ในการทดสอบจริง	27
ตารางที่ 3.3 เวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลของการจำลองระบบ	30
ตารางที่ 3.4 เวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลของการทดสอบจริง	31
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 1 ของการจำลองระบบ	31
ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 1 ของการทดสอบจริง	32
ตารางที่ 3.7 อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 2 ของการจำลองระบบ	32
ตารางที่ 3.8 อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 2 ของการทดสอบจริง	33
ตารางที่ 3.9 ค่าเฉลี่ยเวลาที่โนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโนด ส่งต่อ: อัตราการส่งต่อข้อมูลของโนดแจ้งเตือน 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล	34
ตารางที่ 3.10 ค่าเฉลี่ยเวลาที่โนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโนด ส่งต่อ: อัตราการส่งต่อข้อมูลของโนดแจ้งเตือน 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล	35
ตารางที่ 3.11 ค่าเฉลี่ยเวลาที่โนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโนด ส่งต่อ	38
ตารางที่ 3.12 การตั้งค่าในการจำลองระบบเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบจริง	38

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ชั้นการสื่อสารของมาตรฐาน WAVE [14]	7
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของโปรแกรมจำลอง ns-3	11
รูปที่ 2.3 การติดต่อสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์จริงของ ns-3	12
รูปที่ 3.1 แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเตือนอุบัติเหตุกรณีมีโนดที่เริ่มแจ้งข้อมูล 1 โนด	14
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของการส่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ	14
รูปที่ 3.3 แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเตือนอุบัติเหตุกรณีมีโนดแจ้งข้อมูล 2 โนด	15
รูปที่ 3.4 รูปแบบของตำแหน่งโนดแบบสุ่มทั้ง 2 แบบ	16
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุของการทดสอบผลกระทบของจำนวนโนดรถบวงน	17
รูปที่ 3.6 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก	19
รูปที่ 3.7 ความแปรปรวนของเวลาที่โนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก	20
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุของการทดสอบผลกระทบของตำแหน่งโนดรถบวงน	21
รูปที่ 3.9 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรถบวงนระหว่างช่องทางเดินรถ	22
รูปที่ 3.10 ความแปรปรวนของเวลาที่โนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรถบวงนระหว่างช่องทางเดินรถ	24
รูปที่ 3.11 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรถบวงนระหว่างช่วงถนน	25
รูปที่ 3.12 ความแปรปรวนของเวลาที่โนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรถบวงนระหว่างช่วงถนน	26
รูปที่ 3.13 การลดรัศมีการส่งต่อเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองระยะสั้น	28
รูปที่ 3.14 รูปแบบการทดลองของระบบทดสอบจริงแบบไม่มีการเคลื่อนที่กรณีไม่มีโนดรถบวงน	28
รูปที่ 3.15 รูปแบบการทดลองของระบบทดสอบจริงแบบไม่มีการเคลื่อนที่กรณีมีโนดรถบวงน	28
รูปที่ 3.16 ภาพการทดลองในระบบทดสอบที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่	29
รูปที่ 3.17 แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเตือนอุบัติเหตุกรณีมีโนดรถบวงน	30
รูปที่ 3.18 แผนที่เส้นทางการเดินรถในการทดสอบจริง	36
รูปที่ 3.19 สภาพแวดล้อมในการทดสอบจริงโดยการใช้ยานพาหนะ	37
รูปที่ 4.1 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก	41
รูปที่ 4.2 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุจากโนดหลัก	42
รูปที่ 4.3 หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก	43
รูปที่ 4.4 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก	44
รูปที่ 4.5 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุจากโนดหลัก	46
รูปที่ 4.6 หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก	47
รูปที่ 4.7 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก	48
รูปที่ 4.8 เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุจากโนดหลัก	49
รูปที่ 4.9 หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก	50
รูปที่ 4.10 ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลของโนดหลัก	52
รูปที่ 4.11 หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโครงข่ายแอตฮอกมีส่วนช่วยในการพัฒนาระบบการจราจร เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัย โดยเฉพาะโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ (VANETs, Vehicular Ad hoc Networks) เป็นโครงข่ายแอตฮอกที่โหนดในระบบเป็นยานพาหนะ ถูกนำไปใช้ในการพัฒนาระบบขนส่งอัจฉริยะ เช่น การตรวจจับสภาพจราจร การตรวจหาสถานที่เกิดเหตุฉุกเฉิน การเตือนภัยถึงสิ่งกีดขวางหรืออุบัติเหตุ เป็นต้น [1] ซึ่งระบบเหล่านี้จะสามารถเกิดขึ้นได้นั้น ยานพาหนะในระบบจะต้องมีความสามารถในการสื่อสาร การตรวจจับหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น และความสามารถในการเก็บข้อมูล โดยระบบประยุกต์เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ระบบที่เพิ่มความปลอดภัยให้ผู้ใช้ และระบบที่เพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้แต่ไม่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจกับระบบ ที่ให้ความปลอดภัยกับผู้ใช้ นั่นคือระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุ (incident warning system) เป็นการส่งข้อมูลเตือนให้กับยานพาหนะคันอื่นในระบบโดยยานพาหนะที่รับรู้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นคันหนึ่ง กระจายข้อมูลนี้ไปยังยานพาหนะอื่น ๆ ในระบบ สิ่งที่สำคัญในระบบนี้มี 3 ประเด็น คือ ข้อแรก ระบบจะต้องส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะคันอื่นในระบบให้ครอบคลุมยานพาหนะที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ข้อที่สอง ข้อมูลในระบบจะต้องมีอายุเพราะอุบัติเหตุไม่ได้เกิดอยู่ตลอดเวลา และไม่ได้เกิดที่ตำแหน่งเดิม เมื่อเกิดขึ้นแล้วก็คงอยู่ระยะหนึ่งแล้วจบลง และระบบจะต้องส่งข้อมูลนั้น ๆ ไปยังโหนดอื่นที่เกี่ยวข้องได้ ก่อนที่ข้อมูลจะหมดอายุลง และต้องส่งข้อมูลให้โหนดอื่นรับรู้ ก่อนที่โหนดเหล่านั้นจะไปถึงจุดที่เกิดอุบัติเหตุ และข้อสุดท้ายคือการส่งข้อมูลที่มีการกระจายข้อมูลน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพื่อลดการชนกันของเฟรมข้อมูลและการรบกวนสัญญาณสื่อสารไร้สายระหว่างโหนดใกล้เคียง

เพื่อให้ระบบ ทำงาน ได้ อย่าง สมบูรณ์ จะ ต้อง มี การ พิจารณา ถึง เงื่อนไข ที่ เกิด จาก ลักษณะ ของ โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ นั่นคือ โหนดในโครงข่ายชนิดนี้ จะ มีการเคลื่อนที่ และ ส่งผล ให้โทโพโลยี (topology) ของโครงข่ายเปลี่ยนแปลง จากลักษณะเหล่านี้ทำให้เกิดอุปสรรคในการส่งข้อมูลของระบบ นั่นคือ การขาดช่วงของการติดต่อสื่อสารในโครงข่าย (fragmentation) ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดอื่นของระบบได้ทันที จะต้องรอเวลาให้โหนดอื่นในระบบเข้ามาอยู่ในระยะการส่ง (transmission range) ซึ่งอาจทำให้ได้รับข้อมูลไม่ทันเวลา นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบควรจะเป็นการส่งข้อมูลโดยไม่เฉพาะเจาะจงผู้รับเพราะมียานพาหนะเป็นจำนวนมากจำเป็นต้องรู้ข้อมูล ดังนั้นการรับส่งข้อมูลในระบบจึงเป็นการส่งแบบกระจาย (broadcast) เทคนิคอย่างง่าย ที่ถูกนำมาพิจารณากันโดยทั่วไปของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุคือการส่งแบบฟลัดดิ้ง (flooding) ซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลของระบบโดยการส่งจากโหนดตั้งต้นหนึ่งโหนดกระจายข้อมูลออกไปให้ทั้งโครงข่าย โหนดที่อยู่ภายในระยะการส่งที่สามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องจะกระจายข้อมูลออกไปทันที ซึ่งการสื่อสารลักษณะนี้ทำให้เกิดปัญหาคือเมื่อมีโหนดจำนวนมากพยายามจะส่งข้อมูลออกไปจะทำให้เกิดการรบกวนกันหรือเกิดการชนกันของข้อมูลภายในระบบ และมีการรับส่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อนเป็นจำนวนมากโดยไม่จำเป็น คือโหนด ๆ หนึ่งอาจได้รับข้อมูลเดียวกันจากโหนดรอบข้างหลายโหนด และการรับส่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อนส่งผลให้เกิดความคับคั่งในโครงข่ายและส่งผลให้โหนดได้รับข้อมูลช้าลง

จะเห็นได้ว่าการประยุกต์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะเพื่อพัฒนาระบบความปลอดภัยบนท้อง

ถนนสามารถพิจารณาเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้หลายด้าน จึงมีงานค้นคว้าวิจัยที่พยายามพัฒนาการส่งข้อมูลของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุที่หลากหลายในอดีต เช่น มีการพิจารณาว่ายานพาหนะทุกคันในระบบไม่จำเป็นต้องรับรู้ข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น สำหรับถนนโดยทั่วไปนั้น ยานพาหนะสามารถวิ่งได้ 2 ทิศทาง คือ ยานพาหนะที่วิ่งเข้าสู่จุดที่เกิดอุบัติเหตุ และยานพาหนะที่วิ่งออกไปจากจุดเกิดอุบัติเหตุ จากการศึกษาจะพบว่า มีเพียงยานพาหนะที่วิ่งเข้าสู่จุดที่เกิดอุบัติเหตุเท่านั้นที่จำเป็นต้องรับรู้ข้อมูล ในงานวิจัย [2] จึงได้พิจารณาการรับส่งข้อมูลของยานพาหนะในทิศทางเดียวเท่านั้น แต่อาจมีหลายช่องทางจราจรบนถนน และพยายามแก้ไขปัญหาคือการส่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันของระบบโดยการให้โนดที่อยู่ไกลออกไปจากตัวส่งข้อมูลมากที่สุดเท่านั้นที่เป็นตัวส่งต่อข้อมูลโดยใช้ระยะเวลา รอส่งข้อมูล (waiting time) เป็นตัวกำหนดเวลาการส่งข้อมูล นั่นคือเมื่อโนดได้รับข้อมูลก็ไม่กระจายต่อออกไปทันที แต่จะคำนวณระยะเวลาการส่งข้อมูลโดยขึ้นกับระยะห่างจากโนดที่ส่งข้อมูลออกมา ถ้าอยู่ห่างมากก็จะมีระยะเวลาการรอมาก และโนดใดที่ได้รับข้อมูลซ้ำ ก็ทำการยกเลิกระยะเวลาการรอทันที เพราะเป็นการรับรู้แล้วว่ามีรถส่งต่อจากโนดที่อยู่ไกลออกไปจากตัวเองแล้ว ไม่จำเป็นต้องส่งซ้ำซ้อนอีก นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวได้เสนอวิธีที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาคือการขาดช่วงของการสื่อสารในโครงข่ายโดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนในการทำงานดังนี้ ขั้นแรกระบบเริ่มตรวจหาการขาดช่วงของการสื่อสารโดยโนดที่ทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลจะเก็บข้อมูลไว้ก่อนแล้วตั้งเวลารอไว้ หากหมดเวลาแล้วโนดนั้นยังไม่ได้รับข้อมูลเดิมกลับมา แสดงว่าโครงข่ายการสื่อสารได้ขาดช่วงไปแล้ว และเมื่อโนดใดพบว่าโครงข่ายการสื่อสารได้ขาดช่วงไปก็เริ่มทำงานขั้นตอนที่สอง คือโนดทำการส่งข้อมูลขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยเวลา และหมายเลขแสดงตัวตนของตัวเองออกไปทุกช่วงเวลา เพื่อค้นหายานพาหนะคันใหม่ที่วิ่งเข้าสู่ระบบ เมื่อมีโนดใหม่เข้ามาในระยะเวลาการส่งข้อมูลและได้รับข้อมูลระบุตัวตน โนดใหม่นั้นก็จะส่งข้อมูลตอบกลับมาซึ่งเป็นการแสดงว่าโครงข่ายได้กลับมาถูกเชื่อมต่่อีกครั้ง และทำให้สามารถกระจายข้อมูลออกไปได้อีกเรื่อย ๆ แต่ถ้าอายุของข้อมูลหมดลงแล้ว ยังไม่มียานพาหนะคันใหม่วิ่งเข้ามาในระบบ การทำงานดังกล่าวทั้งหมดก็หยุดลง

งานวิจัย [2] ยังไม่มีการระบุว่า การส่งข้อมูลเตือนดังกล่าว จะต้องส่งไปจนถึงตำแหน่งที่ไกลจากจุดที่เกิดอุบัติเหตุด้วยระยะเท่าใด เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวในงานวิจัย [3] จึงมีการแบ่งบริเวณอย่างง่าย คือบริเวณที่อยู่ในเขตเสี่ยงอันตราย (risk zone) กับบริเวณที่อยู่นอกเขตอันตราย โดยกลุ่มของยานพาหนะที่วิ่งเข้าสู่จุดเกิดอุบัติเหตุในบริเวณเสี่ยงอันตรายเท่านั้นที่ควรได้รับข้อมูลแจ้งเตือน อย่างไรก็ตามการทดสอบการทำงานในงานวิจัยนี้ [3] ยังใช้การแบ่งขอบเขตบริเวณอย่างง่ายที่กำหนดขึ้นเองซึ่งมีเพียงขอบเขตเดียว ความละเอียดในการแบ่งประเภทยานพาหนะในระบบยังมีไม่มาก ในงานวิจัย [4] จึงได้กำหนดขอบเขตของการกระจายข้อมูลโดยแบ่งเป็น 2 บริเวณในรูปแบบรัศมีรัศมีแรกเป็นรัศมีปลอดภัย (safety radius) รัศมีที่ 2 เป็นรัศมีการทำงาน (operating radius) โดยการส่งข้อมูลจะต้องส่งข้อมูลให้ยานพาหนะในบริเวณรัศมีการทำงานรับรู้ก่อนที่จะวิ่งเข้าสู่บริเวณในรัศมีปลอดภัย โดยการกำหนดขอบเขตเหล่านี้เป็นขอบเขตที่วัดตั้งแต่จุดที่เกิดอุบัติเหตุไปยังจุดที่ไกลพอที่จะทำให้ยานพาหนะในบริเวณนี้สามารถหลีกเลี่ยงจุดที่เกิดอุบัติเหตุได้ทัน การกำหนดขอบเขตของการกระจายข้อมูลช่วยให้ลดจำนวนการกระจายข้อมูลที่มากเกินไปในระบบ

การกำหนดขอบเขตในงานวิจัยทั้งสองทำเพื่อเป็นตัวกำหนดขอบเขตการส่งข้อมูลในระบบโดยพิจารณาภาพรวมของระบบไม่ได้พิจารณาลักษณะของยานพาหนะ ในงานวิจัย [5] มีการกำหนดพื้นที่ในการส่งข้อมูลโดยขึ้นกับความเร็วเฉลี่ยของโนดในระบบ ถ้าโนดภายในระบบมีความเร็วเฉลี่ยมาก ก็จะต้องมีพื้นที่ในการกระจายข้อมูลเป็นจำนวนมาก เพราะโนดจะวิ่งเข้าสู่จุดที่เกิดอุบัติเหตุอย่างรวดเร็วจึงต้องแจ้งให้รู้ล่วงหน้าอย่างรวดเร็วเช่นกัน ถ้าความเร็วเฉลี่ยน้อยแสดงว่าโนดวิ่งช้าซึ่งอาจจะสื่อถึงความหนาแน่นของโนดในระบบที่มีค่ามาก จึงไม่จำเป็นต้องกระจายข้อมูลออกไปไกล ก็

สามารถทำให้เกิดความปลอดภัยได้ เพราะโหนดไม่พยายามรับวิ่งเข้ามาและมีจำนวนโหนดหนาแน่นที่ช่วยเพิ่มจำนวนโหนดข้างเคียงที่ช่วยกันส่งต่อข้อมูลในระบบ นอกจากนี้เพื่อช่วยลดการสูญเสียทรัพยากรในการส่งข้อมูลซ้ำในระบบที่มียานพาหนะเคลื่อนที่ได้สองทิศทางทำให้มีการพิจารณาการทำงานในลักษณะที่ไม่จำเป็นต้องใช้การส่งข้อมูลขนาดเล็กเพื่อหาหนทางใหม่ที่ยานพาหนะที่เข้ามาในระบบ แต่ใช้ความช่วยเหลือจากยานพาหนะฝั่งตรงข้ามเข้ามาช่วยในการส่งต่อข้อมูลให้ไปถึงคันต่อไป

งานวิจัย [5] กำหนดให้ยานพาหนะวิ่งเข้าสู่ระบบด้วยความเร็วคงที่ด้วยค่าเฉลี่ยที่ได้กำหนดไว้แล้ว และรูปแบบการเคลื่อนที่ (mobility model) ก็เป็นรูปแบบที่ไม่เหมือนกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบจริง คือให้ยานพาหนะเคลื่อนที่โดยไม่มีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งผิดจากความเป็นจริงที่ยานพาหนะจะต้องเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของคันหน้า นอกจากนี้การตั้งค่าพื้นที่ในการสื่อสารโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยนั้น หากนำไปใช้จริง ระบบจะต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลความเร็วของยานพาหนะแต่ละคันในระบบเป็น จำนวนมากอยู่ตลอด จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยรวมแล้วจากการศึกษาจะพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบหรือสิ่งที่น่าสนใจด้วยการใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย (network simulation program) ซึ่งมีข้อดีในด้านความสามารถในการจำลองระบบขนาดใหญ่ และสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้โดยง่าย โปรแกรมจำลองโครงข่ายที่ใช้กันมาก เช่น ns-2 [6], OMNeT++ [7], JiST / SWANS [8] เพื่อพิจารณาความถูกต้องในการจำลองระบบโครงข่ายแอตฮ็อกเคลื่อนที่ (MANET) จึงมีงานวิจัย [9] ที่ได้ทำการเปรียบเทียบโปรแกรมจำลองต่าง ๆ ด้วยการให้ทุกโปรแกรมจำลองการส่งแบบกระจายออกไปยังทุกโหนดในระบบแล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลอง ผลการทดลองพบว่าการจำลองระบบด้วยโปรแกรมที่ต่างกันจะให้ผลการทดลองที่ต่างกันซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่าผลจากโปรแกรมใดให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่ากัน อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญในการวัดความถูกต้องคือการทดสอบจริงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง [10] การประเมินสมรรถภาพของโปรโตคอลจึงควรใช้ระบบทดสอบซึ่งเอื้อต่อการนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสถานการณ์จริงของระบบ ในประเด็นนี้จากการศึกษาโปรแกรม ns-3 [11] พบว่าโปรแกรม ns-3 นี้ข้อดีหลักคือโค้ด (code) จำลองระบบในคอมพิวเตอร์ และสามารถนำไปใช้ได้ทันทีกับการทดสอบในสถานการณ์จริงโดยการเปลี่ยนโมดูลของโปรแกรม ns-3 ที่ใช้ในการจำลองผลของระดับชั้นกายภาพ (physical layer) และระดับชั้นการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (medium access control layer) ให้เป็นการติดต่อสื่อสารโดยตรงกับการ์ดเชื่อมต่อโครงข่าย (network interface card) ของโหนดแต่ละโหนดในโครงข่ายที่ศึกษา นอกจากนี้มีผลงานวิจัย [12] ที่มีการเปรียบเทียบความสามารถของโปรแกรมจำลองต่าง ๆ และพบว่า ns-3 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในด้านการใช้ทรัพยากรความจำ และเวลาในการจำลอง

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุบนถนนที่ใช้โครงข่ายแอตฮ็อกยานพาหนะ โดยมีประเด็นหลักคือการนำโปรแกรม ns-3 มาประยุกต์ใช้ทั้งกับการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ 1 เครื่องเพื่อแทนการรับส่งข้อมูลของทั้งโครงข่าย รวมถึงการทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุด้วยการสร้างระบบจริง ๆ ขนาดเล็กและทำการทดลองในสถานการณ์ที่มีคอมพิวเตอร์หลายเครื่องถูกติดตั้งในยานพาหนะหลายคันเพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลอง ns-3 ในการทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุบนถนนที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบแอตฮ็อกระหว่างยานพาหนะ โดยสร้างแบบจำลอง

และทดสอบจริงในสถานการณ์ที่มีการรบกวน การรับส่งข้อมูลเพื่อประเมินผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ จำนวนโนตรบกวน และตำแหน่งโนตรบกวน ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานของระบบที่นำมาเป็นตัวอย่างในการทดลอง นอกจากนี้ จะทำการทดลองเปรียบเทียบผลการประเมินสมรรถนะของระบบเมื่อใช้การจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวและการทดสอบการรับส่งข้อมูลสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งในยานพาหนะจริงในสถานการณ์ของโครงข่ายขนาดเล็ก

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 เปรียบเทียบระหว่างการตั้งค่าอย่างง่ายที่ไม่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริง และการทดสอบจริงในโครงข่ายขนาดเล็กที่โนดในระบบไม่มีการเคลื่อนที่
2. หา ค่า พารามิเตอร์ ที่สะท้อน สภาพแวดล้อม จริง จาก การ ทดสอบ จริง ใน สภาวะ ที่ โน ด เป็น ยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ โดยการหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบจริง
3. นำค่า พารามิเตอร์ ที่สะท้อน สภาพแวดล้อม จริง จาก การ ทดสอบ จริง ใน สภาวะ ที่ โน ด เป็น ยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ ไปใช้ในการจำลองระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่มีการตั้งค่าอย่างง่ายที่ไม่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริง
4. ประเมินสมรรถนะของระบบที่ใช้ค่าอัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเตียนของโนดหลักแตกต่างกันตั้งแต่ 0.05 ถึง 0.5 วินาทีต่อข้อมูล โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

องค์ความรู้ในวิธีการตัดสินใจเลือกใช้การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการจำลองระบบที่ให้ผลสอดคล้องกับการทดสอบจริง และประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการใช้อัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเตียนที่ต่างกัน เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเตียนที่เหมาะสม

1.5 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอตฮอก พร้อมทั้งวิธีประเมินประสิทธิภาพของโปรโตคอลการส่งข้อมูลแบบต่างๆ และข้อดีข้อเสียของการใช้การประเมินประสิทธิภาพวิธีการจำลองระบบ และการทดสอบจริง

บทที่ 2 โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะและโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3: กล่าวถึงลักษณะของโครงข่ายแอตฮอกแบบต่างๆ วิธีการส่งข้อมูลในโครงข่ายแอตฮอก และลักษณะของโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3

บทที่ 3 โปรโตคอลและการทดสอบระบบด้วยโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3: อธิบายวิธีการทำงานของโปรโตคอลที่พิจารณา และแสดงผลการทดสอบระบบด้วยการจำลองโครงข่ายขนาดใหญ่ การทดลองเปรียบเทียบโครงข่ายขนาดเล็ก ระหว่าง การ จำลอง ระบบ และ การ ทดสอบ จริง และ การ

ทดสอบจริงในสภาพแวดล้อมที่ใช้ยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่ทดสอบจริง

บทที่ 4 การจำลองโครงข่ายขนาดใหญ่โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง: จำลองระบบขนาดใหญ่ด้วยการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่ทดสอบจริง เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำลองระบบแบบเดิม และแสดงผลการทดลองปรับเปลี่ยนค่าอัตราการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์ของโหนดหลัก

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ และโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3

2.1 โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ

โครงข่ายแอตฮอกเป็นโครงข่ายการสื่อสารแบบไร้สาย ที่ไม่มีการเชื่อมต่อเข้ากับสถานีฐาน (base station) ในการส่งข้อมูล โหนดแต่ละตัวในโครงข่ายติดต่อสื่อสารกันโดยตรง ซึ่งลักษณะของโครงข่ายแอตฮอก โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และสามารถติดต่อกับโหนดอื่นได้โดยตรงเมื่ออยู่ในระยะการส่ง (transmission range) แต่หากต้องการติดต่อสื่อสารกับโหนดที่อยู่ไกลออกไปจากระยะการส่งนั้น โหนดที่ต้องการสื่อสารจำเป็นต้องใช้โหนดระหว่างทาง (intermediate node) ในการช่วยส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทาง การติดต่อสื่อสารของโหนดภายในโครงข่ายสามารถติดต่อผ่านเทคโนโลยีไร้สายระยะสั้น (short-range wireless technology) โครงข่ายแอตฮอกมีอยู่หลายประเภท เช่น โครงข่ายไร้สายแบบเมช (wireless mesh network: WMN), โครงข่ายไร้สายของตัวตรวจจับ (wireless sensor network: WSN), โครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่ (mobile ad hoc network: MANET) และสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ (vehicular ad hoc network: VANET)

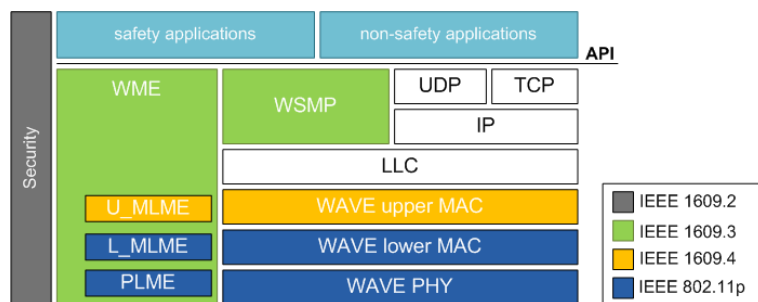
โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ คือโครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นกลุ่มของโหนดที่มีการเคลื่อนที่และเชื่อมต่อกันแบบไร้สายเป็นอุปกรณ์สื่อสารที่ติดตั้งในยานพาหนะ ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้แตกต่างจากโครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่แบบอื่น ๆ [13] คือ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ และข้อจำกัดในรูปแบบการเคลื่อนที่ซึ่งต้องเป็นไปตามแนวของโครงข่ายถนนเท่านั้น นอกจากนี้ปัจจัยด้านความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดในระบบซึ่งอาจจะเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของโหนดในโครงข่ายแอตฮอกเคลื่อนที่อื่น ๆ อย่างมาก การเคลื่อนที่เร็วนี้เองที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับโครงข่าย เพราะทำให้โครงข่ายเกิดสภาพขาดช่วงในการสื่อสารได้ง่าย บ่อยครั้ง และทำให้ไม่สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างปกติ ในบางช่วงเวลา ส่งผลให้การส่งข้อมูลเกิดการสูญหาย และต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับโทโพโลยีใหม่ของระบบอยู่ตลอด

2.2 มาตรฐานสำหรับการติดต่อสื่อสารแบบแอตฮอกของยานพาหนะ

ในงานวิจัยนี้ ใช้ การติดต่อสื่อสาร ระหว่างยานพาหนะ โดยใช้ การสื่อสาร ไร้สาย ระยะสั้น ซึ่งมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ก็คือ IEEE 802.11 ได้แก่ 802.11p WAVE และ 802.11b

2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE

ในปัจจุบันงานวิจัยด้านความปลอดภัยบนท้องถนนที่ใช้เทคโนโลยีแอตฮอกได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จนมีการพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) [14] เพื่อใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารของยานพาหนะ ซึ่งเป้าหมายหลักคือการออกแบบโปรแกรมประยุกต์ด้านความปลอดภัย ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกันระหว่างระบบสื่อสารข้อมูลด้านความปลอดภัยซึ่งต้องการความเชื่อถือได้สูง และความเร็วในการติดต่อสื่อสาร กับระบบสื่อสารข้อมูล



รูปที่ 2.1: ชั้นการสื่อสารของมาตรฐาน WAVE [14]

สำหรับผู้ขับซึ่งไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัย เช่น ข้อมูลความคับคั่งของการจราจร และข่าวสารทั่วไปด้านการจราจร เป็นต้น ด้วยเหตุนี้มาตรฐาน IEEE 802.11p WAVE จึงมีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลที่จะส่งออกไป ซึ่งข้อมูลด้านความปลอดภัยนั้นจะถูกจัดลำดับความสำคัญสูงสุด

IEEE 802.11p WAVE ทำงานได้โดยอาศัยการจัดสรรแถบสเปกตรัมเฉพาะเพื่อการสื่อสารระยะสั้น (Dedicated Short Range Communications: DSRC) ที่ความถี่ 5.9 GHz เพื่อใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะด้วยกันเอง และระหว่างยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่อยู่ข้างถนนโดย WAVE นั้นพัฒนามาบนพื้นฐานของ IEEE 802.11p จากรูปที่ 2.1 แสดงชั้นการสื่อสารของ DSRC จะเห็นว่ามาตรฐาน 802.11p จะจำกัดอยู่ที่ชั้นควบคุมการเข้าใช้สื่อกลางและชั้นกายภาพ ส่วนการทำงานของชั้นอื่นนั้นจะถูกควบคุมโดยมาตรฐาน IEEE 1609 [14] อย่างไรก็ตาม การใช้งานย่านความถี่ 5.9 GHz นี้ยังไม่ได้รับอนุญาตการใช้งานในปัจจุบันสำหรับประเทศไทย

2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b

เนื่องจาก งาน วิจัย นี้ มี เป้าหมาย หลัก ครอบคลุม การ ทดสอบ ระบบ แจ็ง เตือน อุบัติการณ์ ใน สถานการณ์จริง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงยังไม่สามารถใช้มาตรฐาน IEEE 802.11p ได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อทดสอบการทำงานในสภาพการรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายไร้สายจริง ๆ งานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาปรับใช้อุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b [15] แทน สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นใช้เทคโนโลยี CCK (Complimentary Code Keying) และ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุด 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งถูกจัดสรรไว้ และสามารถนำมาใช้ได้สำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ (ISM band) นอกจากนี้แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่แล้วสามารถสื่อสารแบบไร้สายได้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b อยู่แล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการทดสอบจริงของโปรแกรมประยุกต์ด้านความปลอดภัยโดยจะใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b แทน IEEE 802.11p ในระดับชั้นกายภาพและระดับชั้นการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง ส่วนระดับชั้นที่สูงขึ้นไปนั้นจะพัฒนาโมดูลสื่อสารเท่าที่จำเป็นจากโปรแกรม ns-3

2.3 รูปแบบต่าง ๆ ของการส่งข้อมูล

สำหรับโครงข่ายการติดต่อสื่อสารแบบแอดฮอก ในรูปแบบหลายช่วงเชื่อมต่อ (multi hop) เช่น ในโครงข่ายแอดฮอกของยานพาหนะนั้น ข้อมูลสามารถถูกส่งได้โดย 2 วิธี คือ แบบดึง (pull mode) และแบบผลัก (push mode) [16] โดยมีวิธีการดังนี้

2.3.1 แบบดึง

ข้อมูลจะถูกส่งระหว่างผู้รับและผู้ส่งโดยต้องมีการสื่อสารระหว่างกันก่อนที่จะส่งข้อมูล และจะมีการกำหนดโนดรับปลายทางอย่างชัดเจนว่าจะส่งไปให้ใคร ดังนั้นต้องมีการระบุตัวตนของโนดต้นทางกับปลายทางซึ่งอาจใช้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์บนพื้นผิวโลก เป็นตัวกำหนดตัวตน หรือใช้ตัวระบุอื่น ๆ

2.3.2 แบบผลัก

เป็นการกระจายข้อมูลและถ่ายทอดออกไปยังผู้รับทุกคนโดยไม่มีการกำหนดโนดปลายทาง โนดใดอยู่ในระยะสื่อสารก็สามารถรับได้ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องสร้างเส้นทางหรือการสื่อสารระหว่างผู้รับและผู้ส่งก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไป โดยปกติแล้วระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุจะทำการส่งข้อมูลแบบผลักเพราะเหมาะที่จะส่งไปยังทุกโนดที่อยู่ในบริเวณ ซึ่งวิธีที่ใช้กันทั่วไปเรียกว่าการส่งข้อมูลแบบฟลัดดิง โดยจะเป็นการกระจายข้อมูลจากโนดต้นทางออกไปรอบบริเวณผ่านการสื่อสารไร้สาย เมื่อโนดใดได้รับข้อมูลนั้นก็ทำการส่งต่อข้อมูลออกไปทันทีด้วยวิธีการกระจายข้อมูลเช่นกัน การส่งต่อข้อมูลในรูปแบบนี้มีโนดที่ช่วยในการส่งข้อมูลเป็นจำนวนมาก และมีความเหมาะสมกับการแจ้งเตือนอุบัติเหตุซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลสำคัญที่ควรจะต้องได้รับอย่างทั่วถึงกันในบริเวณโดยรอบจุดที่เกิดอุบัติเหตุขึ้น

2.4 การประยุกต์ใช้โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ

โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งอัจฉริยะ (intelligent transportation system: ITS) ซึ่งในอนาคตนั้นจะมีส่วนช่วยในการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะอย่างมีประสิทธิภาพและมีความสามารถมากยิ่งขึ้น โดยการนำมาประยุกต์ใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 การประยุกต์เพื่อความสะดวกสบายของผู้ใช้

การประยุกต์ประเภทนี้เป็นการเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้โดยสาร และทำให้การจราจรมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม หรือสามารถช่วยหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการเดินทางจากต้นทางไปยังจุดหมายปลายทางได้ ตัวอย่างของโปรแกรมประยุกต์ประเภทนี้ [1] ได้แก่ ระบบการแจ้งข้อมูลด้านการจราจร ระบบการแจ้งข้อมูลสภาพอากาศ ระบบการแจ้งข้อมูลที่ตั้งสถานที่สำคัญต่าง ๆ ระบบการแจ้งราคาสำหรับการผ่านทางหรือเข้าใช้บริการที่จอดรถ และระบบการติดต่อสื่อสารแบบโต้ตอบระหว่างยานพาหนะ เช่น การเข้าสู่อินเทอร์เน็ต หรือการดาวน์โหลดข้อมูล เป็นต้น

2.4.2 การประยุกต์เพื่อประโยชน์ด้านความปลอดภัย

การประยุกต์ประเภทนี้มุ่งส่งเสริมให้เกิดความปลอดภัยในการใช้ถนน (road safety) โดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยผ่านการติดต่อสื่อสารโดยตรงของยานพาหนะ ข้อมูลที่ได้รับอาจช่วยแจ้งให้ผู้ขับขี่ได้รับรู้ หรืออาจเป็นการนำไปกระตุ้นการทำงานด้านระบบความปลอดภัยของยานพาหนะโดยตรงได้ ตัวอย่างของโปรแกรมประยุกต์ประเภทนี้ [1] ได้แก่ ระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุ การแจ้งความปลอดภัยบริเวณทางแยกต่าง ๆ ป้ายจราจรที่แจ้งเตือนถึงสิ่งอันตราย และการเตือนถึงสภาพแวดล้อมบริเวณถนนเพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มมลภาวะ เป็นต้น สิ่งที่สำคัญของการประยุกต์ประเภทนี้ [2, 5] คือ

1. การแจ้งข้อมูลนั้นจะต้องมีผู้ได้รับข้อมูลเป็นจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อมั่นใจได้ว่ายานพาหนะทั้งหมดบนถนนจะปลอดภัย หรือหาเส้นทางหลีกเลี่ยงได้
2. การแจ้งข้อมูลจะต้องแจ้งให้ทันเวลา ก่อนที่ยานพาหนะแต่ละคันจะไปถึงจุดเกิดอุบัติเหตุ ถ้าแจ้งข้อมูลไม่ทันเวลา การแจ้งข้อมูลก็จะมีประโยชน์ สูญเสียทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ และลดความเชื่อถือ (credibility) ของระบบในเรื่องความปลอดภัยที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน
3. ระบบต้องเตือนภัยโดยลดการสูญเสีย การส่งข้อมูลที่ไม่จำเป็น หรือการส่งที่ซ้ำซ้อนได้ดี เนื่องจากการส่งข้อมูลของการประยุกต์ประเภทนี้เหมาะกับการส่งข้อมูลแบบกระจาย ดังนั้นต้องมีการจัดการการส่งที่ดีซึ่งจะทำให้สามารถลดความคับคั่งในโครงข่ายไร้สายและควบคุมเวลาประวิง (delay) ในการรับส่งข้อมูลได้

การประเมินสมรรถนะของการประยุกต์สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การจำลองและการทดสอบจริง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งสองวิธี ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรแกรมจำลองที่สามารถทำได้ทั้งจำลองและทดสอบจริง คือ โปรแกรมจำลอง ns-3

2.5 โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3

โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 [11] มีองค์ประกอบของการจำลองโครงข่ายไร้สายที่สามารถเรียกใช้และพัฒนาต่อได้ง่าย และมีแบบจำลองสำหรับชั้นการสื่อสารต่าง ๆ เพื่อรองรับการจำลองให้เหมือนกับการทำงานของโครงข่ายจริง นอกจากนี้ ทั้งการจำลองและทดสอบจริงนั้นสามารถใช้โปรแกรมเดียวกันได้โดยปรับเปลี่ยนโปรแกรมในส่วนการเรียกใช้ชั้นกายภาพและชั้นการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางเท่านั้น ซึ่งถ้าเป็นการทดสอบจริงแล้ว จะใช้การรับส่งเฟรมข้อมูลระหว่างโปรโตคอลที่ต้องการศึกษาซึ่งอยู่ในระดับชั้นข้างบนกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการสื่อสารจริง

โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 มีแบบจำลองที่ใช้สำหรับชั้นกายภาพไว้ให้เรียกใช้หลายรูปแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ การทดสอบเบื้องต้นใช้ค่ากำลังการส่ง (transmission power) ตามค่าตั้งต้น (default) เป็น 16.0206 dBm และได้ใช้แบบจำลองที่ถูกกำหนดเป็นค่าตั้งต้น ในโปรแกรมจำลอง ns-3 นั่นคือแบบจำลองเวลาประวิงการแพร่กระจายแบบความเร็วคงที่ (Constant Speed Propagation Delay Model) เป็นแบบจำลองที่เวลาประวิงการแพร่กระจายข้อมูลระหว่างโหนดแต่ละคู่มีค่าคงที่ ซึ่งใช้ค่าตั้งต้นคือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

แบบจำลองความสูญเสียการแพร่กระจายแบบระยะทางลอการิทึม (Log Distance Propagation Loss Model) แบบจำลองนี้คำนวณหาค่ากำลังสัญญาณไร้สายที่รับได้ จากสมการ : $L = L_0 + 10n \log_{10}(\frac{d}{d_0})$ โดย

- n : เลขชี้กำลังระยะทางอัตราการสูญเสียระหว่างทาง (path loss distance exponent)
- d_0 : ระยะอ้างอิง (reference distance (m))
- L_0 : อัตราการสูญเสียระหว่างทาง ณ ระยะอ้างอิง (path loss at reference distance (dB))
- d : ระยะทาง (distance (m))
- L : อัตราการสูญเสีย (path loss (dB))

ซึ่งค่าตั้งต้นที่ใช้ในโปรแกรมในการทดลองเบื้องต้นสำหรับแบบจำลอง เป็นดังนี้ [11]

- $n = 3$
- $d_0 = 1 \text{ m}$
- $L_0 = 46.6777 \text{ dB}$

เนื่องจากการจำลองระบบด้วยการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามค่าตั้งต้น ไม่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงกับการติดต่อสื่อสารของโครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ ดังนั้นในการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง ในการจำลองเลือกใช้แบบจำลองการจางหายของช่องสัญญาณนาคาгами (Nakagami Propagation Loss Model) เนื่องจากเป็นโมเดลที่เหมาะสมสำหรับการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณในสภาวะแอตฮอกของยานพาหนะ [20] เป็นโมเดลที่สะท้อนสภาพแวดล้อมที่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดแบบมีสิ่งกีดขวางจึงทำให้มีการจางหายของข้อมูล ซึ่งค่า m คือ ความเข้มของการจางหาย (fading intensity) เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยเมื่อค่า m มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงถึงสภาวะที่เข้าใกล้สภาพแวดล้อมที่ไร้สิ่งกีดขวางในการส่งข้อมูล (line of sight) มากขึ้น [21]

Nakagami Propagation Loss Model คำนวณหา กำลังของสัญญาณที่ได้รับ ได้ จากสมการ $p(x; m, \omega) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\omega^m} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\omega} x^2}$ โดย

- m : ความเข้มของการจางหาย (fading depth parameter)
- ω : กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับ (average received power)

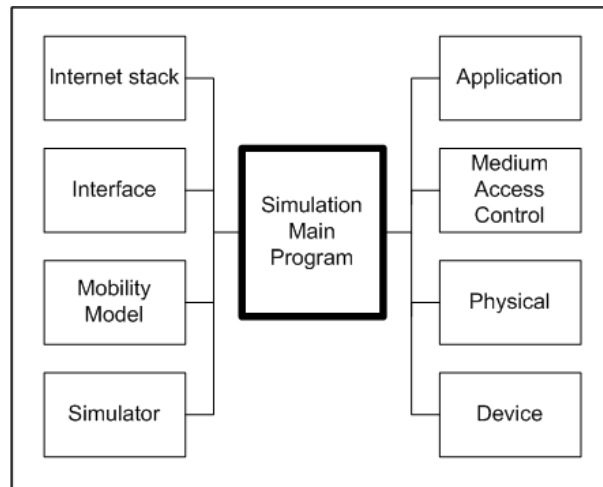
ในโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 นั้นแบบจำลองความสูญเสียการแพร่กระจาย มีผลต่อการสูญเสียกลุ่มข้อมูลที่ส่งออกจากต้นทางภายในระบบเท่านั้น โดยจะคำนวณตามสมการของแบบจำลอง ถ้าปลายทางมีกำลังรับต่ำกว่าเกณฑ์ก็จะถือว่าไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลนั้น ส่วนแบบจำลองที่ส่งผลต่อค่าประวิงเวลาในระบบคือแบบจำลองเวลาประวิงการแพร่กระจาย โดยในโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 มีแบบจำลองให้เลือกใช้สองแบบจำลองคือ แบบจำลองเวลาประวิงการแพร่กระจายแบบความเร็วดังที่ และอีกหนึ่งแบบจำลองคือ

แบบจำลองเวลาประวิงการแพร่กระจายแบบสุ่ม (Random Propagation Delay Model) ค่าของเวลาประวิงมาจากการสุ่มแบบเอกรูป (uniformly random) ตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 วินาที

โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 มีโครงสร้างหลักของการติดต่อสื่อสารในทุกชั้นของการสื่อสาร ทั้งยังพัฒนาโดยยึดรูปแบบพื้นฐานมาจาก ns-2 [6] ซึ่งได้รับความเชื่อถือและถูกนำมาใช้ศึกษาวิจัยในวงกว้าง (เช่น [2, 16]) ที่มีแบบจำลองของชั้นการสื่อสารต่างๆ ให้เรียกใช้แต่แตกต่างกันในรูปแบบการเขียนโปรแกรมและการเรียกใช้

2.5.1 องค์ประกอบของโปรแกรมจำลอง

โปรแกรมจำลอง ns-3 มีองค์ประกอบในการจำลองโครงข่ายเพื่อเป็นตัวช่วยในการพัฒนา ทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างของโครงข่ายเองทั้งหมด เพียงแต่ทำการเขียนโปรแกรมหลักเพื่อเรียกตัวช่วยต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.2 ในปัจจุบันเริ่มมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำโปรแกรมจำลอง ns-3 มาช่วยศึกษาระบบแอตฮอกระหว่างยานพาหนะมาบ้างแล้ว ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัย [17] พัฒนาโปรโตคอลในการกระจายข้อมูลระหว่างรถยนต์กับหน่วยติดต่ออื่น (V2X) เพื่อให้ส่งข้อมูลด้านความปลอดภัยได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะต่าง ๆ กัน โดยกำหนดให้ส่งข้อมูลในขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น ไม่ได้ส่งข้อมูลทั่วถนน และมีการหาระยะที่มีประสิทธิภาพ



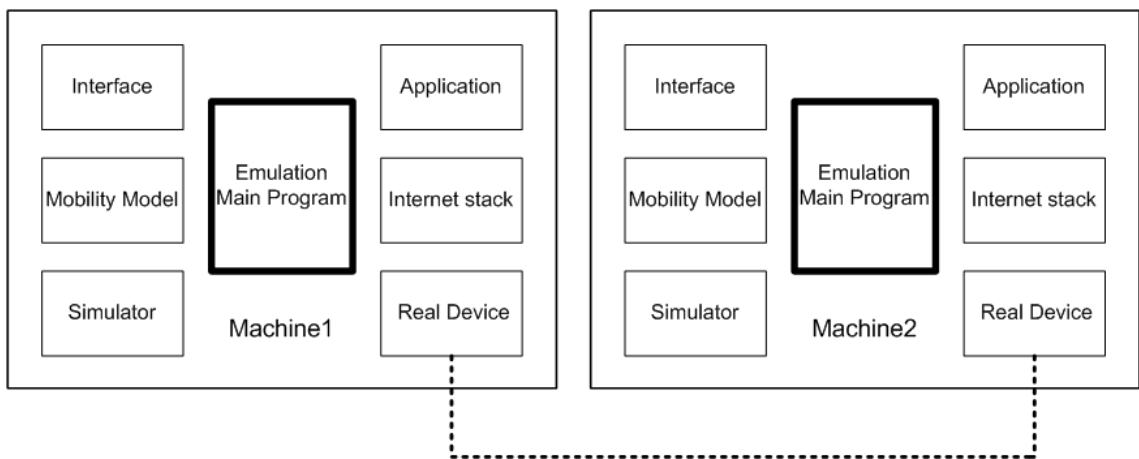
รูปที่ 2.2: องค์ประกอบของโปรแกรมจำลอง ns-3

ในการส่งข้อมูลมากที่สุด งานวิจัย [18] ได้เสนอรูปแบบการดำเนินการของโปรแกรมแบบคู่ขนานรูปแบบต่าง ๆ เพื่อลดเวลาในการประมวลผล โดยทดสอบการทำงานด้วยโครงข่ายยานพาหนะที่ส่งข้อมูลในขนาดต่าง ๆ ที่กระจายข้อมูลออกมาหนึ่งช่วงการสื่อสาร (hop) ซึ่งในการดำเนินการทุกรูปแบบจะให้ผลการทดลองที่เหมือนกัน แต่ใช้เวลาในการประมวลผลแตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยที่ [17, 18] พิจารณาในส่วนที่เป็นการจำลองระบบทั้งการพัฒนาโปรโตคอล และพัฒนาความรวดเร็วในการดำเนินงานของโปรแกรมตามลำดับ ซึ่งไม่ได้พิจารณาการใช้งานโปรแกรมจำลอง ns-3 ในส่วนของการทดสอบจริง

2.5.2 การนำโปรแกรมจำลองไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จริง

การนำโปรแกรมจำลอง ns-3 ไปใช้งานกับอุปกรณ์จริงสามารถทำได้โดยใช้ตัวช่วยที่เรียกว่า emulation helper แทนที่การใช้ตัวช่วยด้านการติดต่อสื่อสารของโปรแกรมจำลอง การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องทำได้ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าไม่มีการเรียกใช้โมดูลในส่วนของชั้นกายภาพ (physical) ชั้นการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (medium access control) และอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการสื่อสาร (device) เนื่องจากจะใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์จริงที่มีในคอมพิวเตอร์ (real device)

จากคุณสมบัติของ ns-3 ที่สามารถทำการจำลอง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จริงซึ่งทำให้ทดสอบจริงได้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้การทดลองในบางสถานการณ์เหมาะสมกับการจำลองทุกอย่างด้วยคอมพิวเตอร์ เช่นระบบที่มีขนาดใหญ่ และบางสถานการณ์เหมาะกับการทดสอบจริงซึ่งการทดลองในทั้งสองลักษณะนี้ก็สามารถใช้โปรแกรมจำลอง ns-3 เพียงโปรแกรมเดียวเพื่อทำการทดสอบได้ เพราะหากใช้โปรแกรมที่หลากหลายมาทดสอบ ก็ไม่สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ร่วมกันได้



รูปที่ 2.3: การติดต่อสื่อสารโดยใช้อุปกรณ์จริงของ ns-3

บทที่ 3

โปรโตคอลและการทดสอบระบบ ด้วยโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3

งานวิจัยนี้ทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของการประยุกต์รูปแบบการติดต่อสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอคระหว่างยานพาหนะโดยใช้ระบบทดสอบซึ่งสร้างขึ้นด้วยโปรแกรมจำลอง ns-3 โดยในที่นี่ได้พิจารณาสภาพแวดล้อมที่มีการรบกวนจากโนดอื่น ๆ ในสถานการณ์ต่าง ๆ

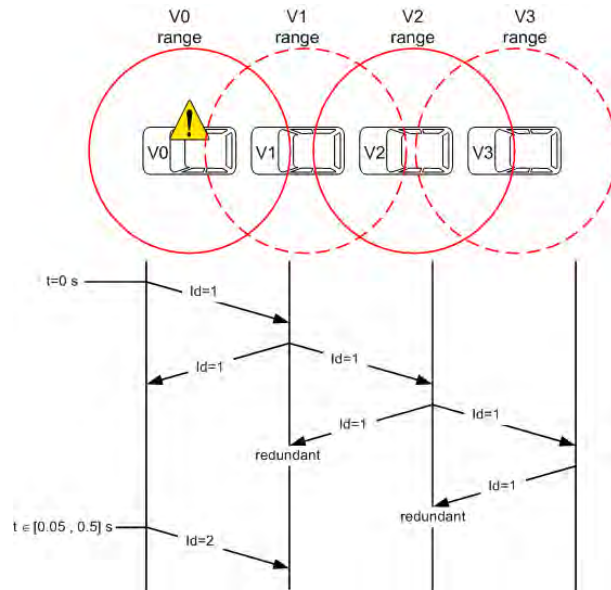
3.1 โปรโตคอลแจ้งเตือนอุบัติการณ์ที่ทำการทดสอบ

ในการทดสอบนั้น โหนดในระบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

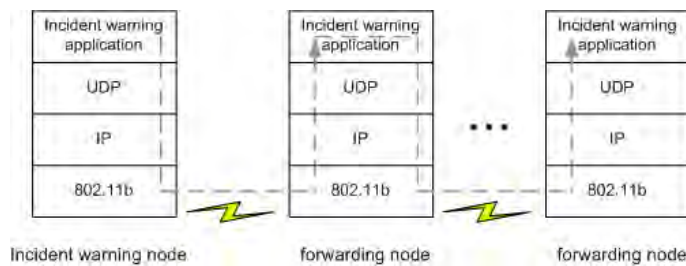
- โหนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์ (incident warning node) หมายถึง ยานพาหนะที่ตรวจพบหรือเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งจะเป็นโนดแรกที่เริ่มการแจ้งเตือนอุบัติการณ์นั้น ๆ และ
- โหนดส่งต่อข้อมูล (forwarding node) หมายถึง ยานพาหนะที่ได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์จากยานพาหนะอื่น และทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์นั้นออกไป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาโปรแกรมจำลอง ns-3 โดยการทดสอบด้วยโปรโตคอลที่ไม่ซับซ้อน เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นรูปแบบและความสามารถของโปรแกรมจำลองในการจำลองระบบในคอมพิวเตอร์และการทดสอบจริงเป็นหลัก ไม่ได้เป็นการพัฒนาโปรโตคอลเพื่อแก้ไขปัญหาการกระจายข้อมูลดังในงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ผ่านมา

สมมติให้โปรโตคอลแจ้งเตือนอุบัติการณ์มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 กล่าวคือ ยานพาหนะในระบบเคลื่อนไปทิศทางเดียวกันของถนน กำหนดให้คันแรกเป็นคันที่พบหรือเกิดเหตุฉุกเฉินและจะทำหน้าที่เป็นโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์ ในเอกสารสถาปัตยกรรมการติดต่อสื่อสารระบบจราจรอัจฉริยะสหภาพยุโรป [19] กำหนดว่าอัตราการส่งกลุ่มข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับโปรแกรมประยุกต์ด้านความปลอดภัยคือ 2 กลุ่มข้อมูลต่อวินาที (packets per second) และสูงสุด 20 กลุ่มข้อมูลต่อวินาที คือ 0.05-0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล ดังนั้นในโปรโตคอลที่ใช้ทดสอบในเบื้องต้นได้กำหนดให้โนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์ส่งข้อมูล (packet) เป็นรายคาบ (periodic) ทุก 0.5 วินาที ส่วนยานพาหนะด้านหลังทั้งหมดเป็นโนดส่งต่อข้อมูลเมื่อได้รับข้อมูลแล้วจะส่งต่อข้อมูลนั้นออกไปทันที การส่งข้อมูลในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรโตคอลแบบฟลัดดิ้งอย่างง่าย (simple flooding) [1] ซึ่งกระจายกลุ่มข้อมูลหมายเลขหนึ่ง ๆ เพียงครั้งเดียวเท่านั้น โหนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์จะสร้างกลุ่มข้อมูลทุกช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งกลุ่มข้อมูลที่สร้างขึ้นมาแต่ละครั้งจะมีหมายเลขต่างกันเป็นตัวเลขแสดงลำดับของกลุ่มข้อมูลที่สร้างขึ้น โดยหมายเลขนี้จะเป็เครื่องมือเพื่อช่วยลดความซ้ำซ้อนในการส่งต่อข้อมูลนั้นได้เพราะหากยานพาหนะคันใดพบว่าข้อมูลที่ได้รับมาเป็นข้อมูลที่มีเลขซ้ำ ยานพาหนะคันดังกล่าวก็จะไม่ส่งข้อมูลเดิมออกไปอีก ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.1 ยานพาหนะ V0 เป็นคันที่ตรวจพบอุบัติการณ์ที่เกิดขึ้น เช่น มีสิ่งกีดขวาง หรือเกิดอุบัติเหตุขึ้นด้านหน้า และดังนั้นยานพาหนะจึงเริ่มทำการกระจายข้อมูลออกไป และระบุเลขหมายกับกลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งต่อออกไปไว้เพื่อให้สามารถทราบได้ถึงโนดต้นทางได้เสมอ เมื่อ V1 ได้รับข้อมูลก็จะตรวจสอบว่าข้อมูลเป็นข้อมูลซ้ำหรือไม่โดยพิจารณาที่หมายเลขของโนด



รูปที่ 3.1: แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเตือนอุบัติการณ์กรณีมีโนดที่เริ่มแจ้งข้อมูล 1 โนด



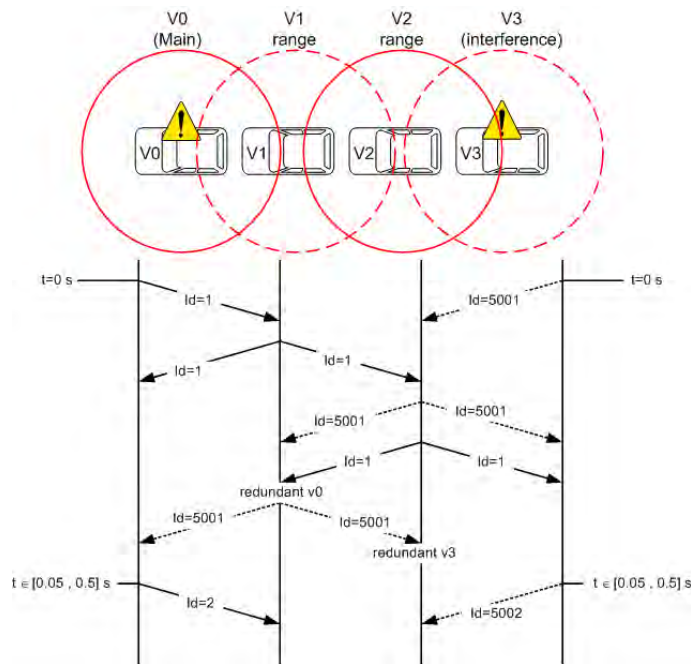
รูปที่ 3.2: โครงสร้างของการส่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

ต้นทางนี้ ถ้าไม่ซ้ำจึงทำการกระจายข้อมูลต่อไป การกระจายข้อมูลเป็นไปในรูปแบบนี้จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาของการทดสอบ

ถึงแม้ว่าโปรโตคอลที่ทำการทดสอบจะเป็นกรณีอย่างง่าย แต่ยังไม่มีการนำไปใช้จริงและไม่มีอยู่ในโมดูลที่มีใน ns-3 ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรโตคอลขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบจริงนั้นใช้ความสามารถในการเลียนแบบ (emulation) การทำงานจริงของอุปกรณ์สื่อสารใน ns-3 มาปรับใช้ โดยคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะใช้โปรแกรมที่สร้างขึ้นประมวลผลในระบบปฏิบัติการลินุกซ์เพื่อเป็นการนำโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบให้สามารถใช้งานได้ ดังแสดงรูปแบบการทำงานในรูปที่ 3.2

3.2 การทดสอบระบบจำลองโครงข่ายแอตฮอก

กำหนด ให้ มี จำนวน โน ด แจ้ง เตือน อุบัติการณ์ หลาย โน ด เพื่อ ทดสอบ การ ครอบคลุม การ ทำงาน ซึ่งกันและกัน ของ ระบบ แจ้ง เตือน อุบัติการณ์ ใน สภาพแวดล้อม ที่ มี การ ครอบคลุม จาก โน ด ต่าง ๆ ซึ่งโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์มี 2 ประเภทคือ



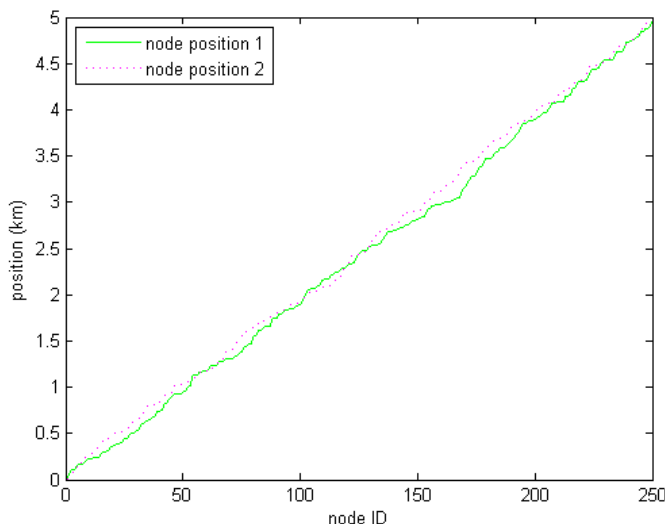
รูปที่ 3.3: แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเตือนอุบัติเหตุกรณีมีโนดแจ้งข้อมูล 2 โนด

- **โนดหลัก** (main node) หมายถึง โนดที่แจ้งเตือนอุบัติเหตุซึ่งเราสนใจศึกษาสมรรถนะในการรับส่งข้อมูล และจะได้ทำการวัดค่าต่าง ๆ เพื่อประเมินการทำงานของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุ
- **โนดรบกวน** (interference node) หมายถึง โนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุอื่น ๆ ซึ่งใช้จำลองการรบกวนการรับส่งข้อมูลของโนดหลัก ดังนั้นกลุ่มข้อมูลที่ส่งออกมาจากโนดรบกวนจะไม่ถูกรวบรวมค่าต่าง ๆ ในการประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบ

รูปที่ 3.3 แสดงการรับส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นได้เมื่อมีทั้งโนดหลักและโนดรบกวน กำหนดให้โนด V0 เป็นโนดหลัก โนด V1 และ V2 เป็นโนดส่งต่อ ส่วนโนด V3 เป็นโนดรบกวน เมื่อโนด V1 และ V2 ได้รับกลุ่มข้อมูลใด ๆ จะทำการตรวจสอบการซ้ำของข้อมูล ถ้าเป็นกลุ่มข้อมูลที่ยังไม่เคยทำการส่งมาก่อนก็จะส่งต่อกลุ่มข้อมูลนั้นทันที ตามหลักการของการส่งข้อมูลแบบแอตฮอก ในเวลาหนึ่ง ๆ โนดไม่สามารถรับกลุ่มข้อมูลจากหลายแหล่งได้พร้อมกัน และไม่สามารถรับพร้อมกับส่งกลุ่มข้อมูลได้ภายในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการมีโนดรบกวนจึงส่งผลกระทบต่อเวลาและโอกาสที่โนดจะได้รับข้อมูลซึ่งในแต่ละสภาพแวดล้อมก็จะมีผลกระทบที่แตกต่างกัน

การทดลองพิจารณาถนน 1 ทิศทาง ยาว 5 กิโลเมตร โดยกำหนดให้มียานพาหนะเป็นจำนวน 250 คันกระจายอยู่บนถนนนี้ โดยที่ตำแหน่งของโนดหรือยานพาหนะเป็นตัวแปรสุ่มแบบเอกกรุปต่อเนื่อง (continuous uniform) บนช่วงความยาวถนนที่พิจารณา ในการทดลองเบื้องต้นนี้สมมติให้โนดต่าง ๆ ยังไม่มีการเคลื่อนที่ ใช้เวลาจำลองระบบครั้งหนึ่ง 50 วินาทีซึ่งเป็นระยะเวลาที่คาดว่าระบบจะทำการรับส่งกลุ่มข้อมูลจนถึงยานพาหนะที่อยู่ไกลมากที่สุดจากโนดหลักซึ่งเริ่มต้นแจ้งเตือนอุบัติเหตุ การทดลองนี้กำหนดให้ตำแหน่งของโนดทั้ง 250 โนดเป็นตัวแปรสุ่มแบบเอกกรุปต่อเนื่อง 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อพิจารณาความแตกต่างของตำแหน่งโนดในระบบเหล่านั้นด้วย ซึ่งแต่ละรูปแบบจะทำการจำลอง 100 ครั้ง กำหนดให้โนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุส่งข้อมูลออกไปทุก 0.5 วินาที และตั้งค่า

พารามิเตอร์ของแต่ละชั้นการสื่อสารเป็นดังตารางที่ 3.1 ในชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในที่นี้เลือกใช้โปรโตคอล IEEE 802.11b เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้กับการทดสอบจริง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้คือคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก และยานพาหนะ โดยจะอธิบายการทดสอบจริงในหัวข้อที่ 3.3 ต่อไป



รูปที่ 3.4: รูปแบบของตำแหน่งโน้ตแบบสุ่มทั้ง 2 แบบ

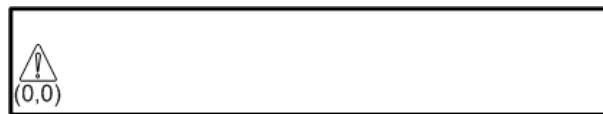
ตารางที่ 3.1: การตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบ

parameter	value
Application	Incident warning application
Network	Flooding
Medium Access Control	IEEE 802.11b
Transmission range (m)	200
Propagation delay model	Constant Speed Propagation Delay Model (3×10^8 m/s)
Propagation loss model	Log Distance Propagation Loss Model ($n = 3, d_0 = 1m, L_0 = 46.6777dB$)

3.2.1 ผลกระทบของจำนวนโน้ตรบกวน

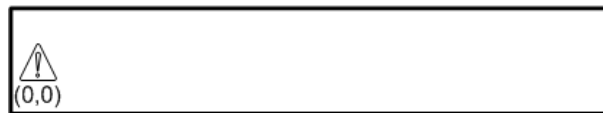
ในงานวิจัยนี้พิจารณาการสื่อสารแอดฮอกสองมิติ แนวนอนและแนวตั้งซึ่งแนวนอนคือแกน x และแนวตั้งคือแกน y โดยกำหนดให้ถนนที่ใช้ในการจำลองระบบทอดยาวในแนวแกน x และตำแหน่งของโน้ตกำหนดให้อยู่ในรูปคู่อันดับ (x, y) การทดลองแรกเปรียบเทียบผลกระทบของจำนวนโน้ตแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์โดยแบ่งโน้ตแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์เป็นสองประเภท คือ โน้ตหลักและโน้ตรบกวน ให้โน้ตหลักที่แจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์อยู่ที่ตำแหน่ง $(0 \text{ m}, 0 \text{ m})$ ส่วนโน้ตเริ่มแจ้งเตือน

อุปกรณ์โนดอื่นกำหนดให้เป็นโนดรบกวน การทดสอบนี้ได้เปรียบเทียบสภาพแวดล้อม 3 รูปแบบ คือมีจำนวนโนดเริ่มแจ้งเตือนอุปกรณ์ 1, 5 และ 10 โนด ตำแหน่งของโนดแจ้งข้อมูลเป็นดังรูปที่ 3.5 โดยรูปที่ 3.5(a) แสดงสภาพแวดล้อมที่ไม่มีกรรบกวน รูปที่ 3.5(b) มีโนดรบกวนอยู่ตลอดระยะหนึ่งกิโลเมตรทั้งหมดสี่โนดในอีกช่องทางเดินรถซึ่งระบุเป็นระยะห่าง 50 เมตร และรูปที่ 3.5(c) มีโนดรบกวนก้าโนดอยู่ตลอดทุกระยะหนึ่งกิโลเมตรเช่นกัน โดยสี่โนดแรกอยู่ช่องทางเดินรถเหนือโนดหลัก และอีกสี่โนดอยู่ช่องทางเดินรถใต้โนดหลัก และโนดรบกวนสุดท้ายอยู่ที่ปลายสุดของถนนในช่องทางเดินรถเดียวกันกับโนดหลัก



(a) โหนดแจ้งเตือนอุปกรณ์ 1 โนด

(1km, 50m) (2km, 50m) (3km, 50m) (4km, 50m)



(b) โหนดแจ้งเตือนอุปกรณ์ 5 โนด

(1km, 50m) (2km, 50m) (3km, 50m) (4km, 50m)



(1km, -50m) (2km, -50m) (3km, -50m) (4km, -50m)

(c) โหนดแจ้งเตือนอุปกรณ์ 10 โนด

รูปที่ 3.5: ตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุปกรณ์ของการทดสอบผลกระทบของจำนวนโนดรบกวน

ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่โนดในระยะห่างต่าง ๆ จากโนดหลักจะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก แสดงในรูปที่ 3.6 โดยแกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y คือเวลาที่ได้รับข้อมูลจากโนดหลัก ซึ่งมาจากการทดลองที่มีการตั้งค่าเหมือนกันยกเว้นตำแหน่งของโนดในระบบ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ที่ขอบเขตความเชื่อมั่น (confidence interval) มีค่า 95 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่าในสภาพแวดล้อมที่มีโนดรบกวนมากขึ้นก็ทำให้ใช้เวลาในการได้รับข้อมูลมากขึ้น และที่ระยะทางไกลจากโนดแจ้งข้อมูลมากขึ้นก็จะใช้เวลาในการได้รับข้อมูลมากขึ้นด้วย ในส่วนของโอกาสการได้รับข้อมูลแรกจากโนดหลักของโนดในระบบพบว่าทุกโนดมีโอกาสรับกลุ่มข้อมูลจากโนดหลัก 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากโนดหลักสร้างกลุ่มข้อมูลออกมาในแต่ละช่วงเวลามีหมายเลขของกลุ่มข้อมูล

แตกต่างกัน แม้จะใช้การส่งข้อมูลแบบพลัดตั้งอย่างง่ายก็ทำให้กลุ่มข้อมูลที่มาจากโนดหลักถูกส่งออกไปได้หลายครั้ง ซึ่งผลจากการใช้ตำแหน่งของโนดที่ต่างกันสองแบบมีแนวโน้มของสมรรถนะที่เหมือนกันดังกล่าว แต่มีค่าที่แตกต่างกัน แสดงว่าตำแหน่งของโนดในระบบจะส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพแต่ไม่มีผลต่อแนวโน้มประสิทธิภาพการทดลอง

ในรูปที่ 3.7 แสดงค่าความแปรปรวนของเวลาการได้รับข้อมูลของโนดที่ระยะห่างต่าง ๆ จากโนดหลัก จากการทดลองที่มีการตั้งค่าเหมือนกันยกเว้นตำแหน่งของโนดทั้ง 250 โนดในระบบที่มีตำแหน่งต่างกัน แกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y แสดงค่าความแปรปรวนของเวลาผลการทดลองพบว่าค่าการตั้งค่าการทดลองเหมือนกันให้ผลที่แตกต่างกัน และยังระยะห่างจากโนดหลักมากขึ้นก็ทำให้แนวโน้มของความแปรปรวนเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าตำแหน่งของโนดในระบบมีผลต่อการทดลอง ตำแหน่งแตกต่างกันก็ทำให้ได้ผลการทดลองที่ต่างกัน

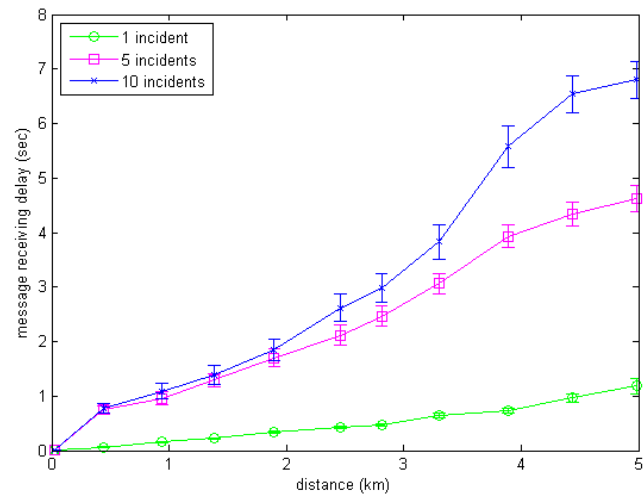
3.2.2 ผลกระทบของตำแหน่งโนดระบบ

ในการวัดผลกระทบของตำแหน่งโนดระบบนั้น ได้ทดลองโดยวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่มีโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์จำนวน 5 โนดอยู่ในตำแหน่งต่างกันทั้งหมด 5 รูปแบบเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากโนดระบบในระยะต่าง ๆ ทั้งระยะที่ใกล้และไกลจากโนดหลักดังรูปที่ 3.8 โดยในรูปที่ 3.8(a) โนดระบบมีทุกหนึ่งกิโลเมตรในช่องทางเดินรถเดียวกันกับโนดหลัก รูปที่ 3.8(b) โนดระบบวางอยู่ทุกหนึ่งกิโลเมตรในช่องทางเดินรถเหนือโนดหลัก รูปที่ 3.8(c) โนดระบบมีทุกหนึ่งกิโลเมตรเช่นกันแต่มีทั้งช่องทางเดินรถเหนือและใต้โนดหลัก รูปที่ 3.8(d) มีการระบบที่ระยะ 4 และ 5 กิโลเมตรทั้งช่องทางเดินรถเหนือและใต้โนดหลัก รูปแบบสุดท้ายมีการระบบที่กิโลเมตรที่ศูนย์และหนึ่งในช่องทางเดินรถเหนือและใต้โนดหลัก

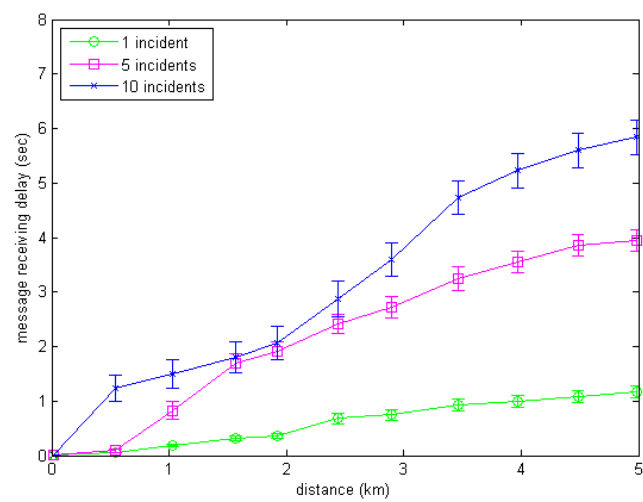
สิ่งที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมาก็คือในงานวิจัยอื่น [2, 3, 4, 5, 13, 16, 17] จะใช้เพียงรูปแบบตำแหน่งของโนดในระบบเพียงรูปแบบเดียวทดสอบประสิทธิภาพการทำงานแล้วนำมาสรุปผลโดยรวม แต่ในงานวิจัยนี้การจำลองใช้การสุ่มตำแหน่งของโนดในระบบที่แตกต่างกันโดยในการทดลองเบื้องต้นเปรียบเทียบสองแบบ พบว่าตำแหน่งของโนดในระบบทั้ง 250 โนดให้ค่าผลการทดลองที่ต่างกันแต่มีแนวโน้มเหมือนกัน จึงสรุปได้ว่าการจำลองระบบที่ใช้เพียงรูปแบบตำแหน่งเดียวแล้วนำมาสรุปผลนั้นยังเป็นการสรุปที่ไม่เป็นรูปแบบทั่วไป

3.2.2.1 พิจารณาตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์รูปแบบต่าง ๆ ในแนวแกน y

ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่โนดในระยะห่างต่าง ๆ จากโนดหลักจะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลักแสดงในรูปที่ 3.9(a) และ 3.9(b) แกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y คือเวลาที่ได้รับข้อมูลจากโนดหลัก เป็นผลการทดลองที่มีการตั้งค่าเหมือนกันยกเว้นตำแหน่งของโนดในระบบ แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่มีค่าขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบผลจากการวางโนดในรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 ผลการทดลองพบว่าไม่มีผลต่อการติดต่อสื่อสาร แสดงให้เห็นว่าการระบบในช่องทางเดินรถเดียวกันหรือต่างกันก็ไม่มีผลต่อเวลาประวิงที่โนด ณ ระยะต่าง ๆ จะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์จากโนดหลัก ถ้าอยู่ในระยะห่างจากโนดหลักในแนวแกน x เท่ากัน และในรูปแบบที่ 2 และ 3 ให้ผลค่าประวิงเวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งทั้งสองรูปแบบนี้มีโนดระบบอยู่ต่างช่องถนนกับโนดหลักเป็นระยะ 50 เมตรเหมือนกัน โอกาสการได้รับข้อมูลของโนดในระบบพบว่าทุกโนดมีโอกาสรับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก 100 เปอร์เซ็นต์เป็นผลจากการใช้โปรโตคอลแบบพลัดตั้งอย่างง่ายนั่นเอง

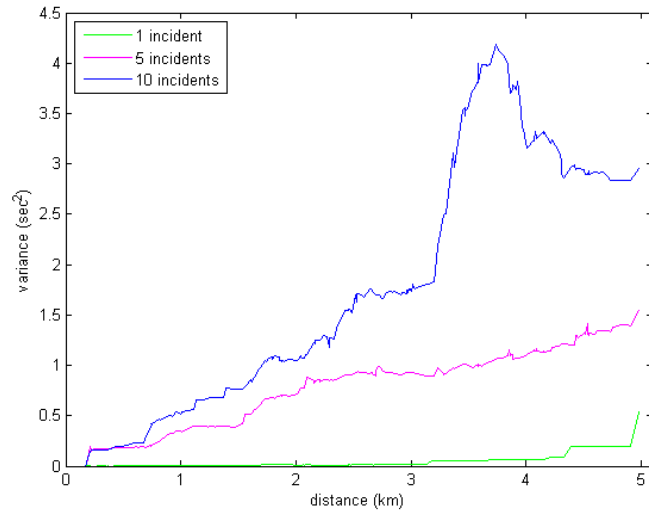


(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

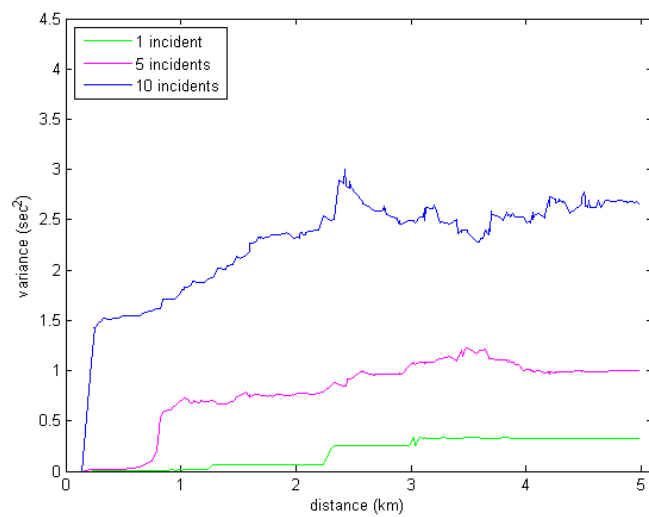


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

รูปที่ 3.6: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

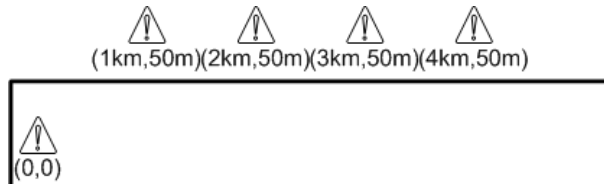


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

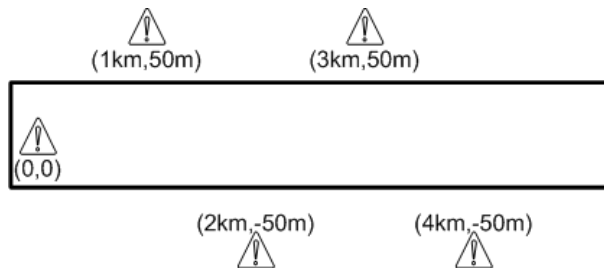
รูปที่ 3.7: ความแปรปรวนของเวลาที่โหนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโหนดหลัก



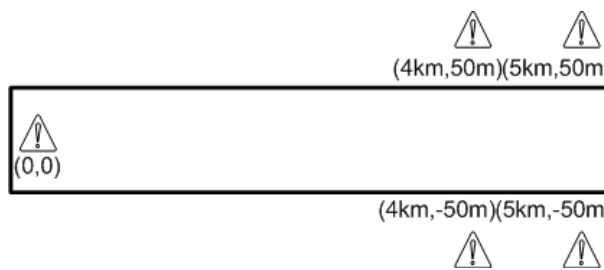
(a) การวางโนดแจ้งข้อมูลรูปแบบที่ 1



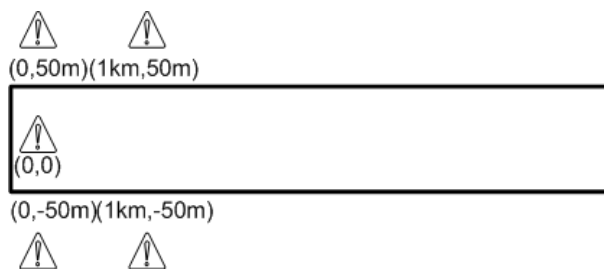
(b) การวางโนดแจ้งข้อมูลรูปแบบที่ 2



(c) การวางโนดแจ้งข้อมูลรูปแบบที่ 3

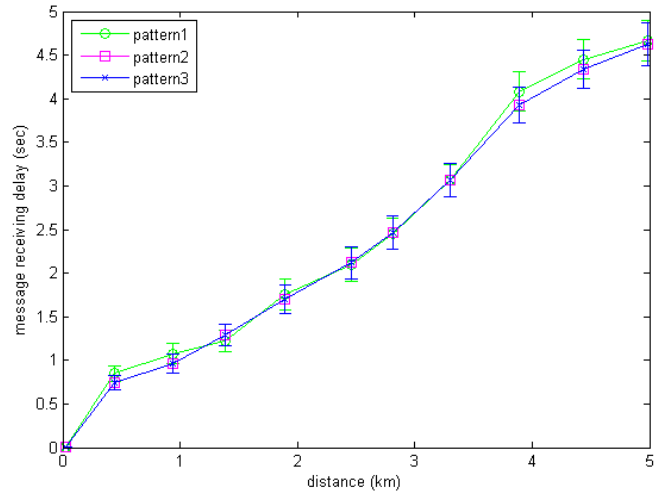


(d) การวางโนดแจ้งข้อมูลรูปแบบที่ 4

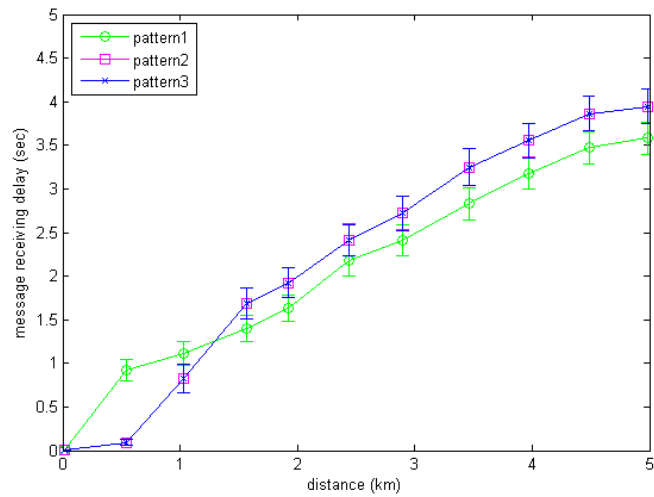


(e) การวางโนดแจ้งข้อมูลรูปแบบที่ 5

รูปที่ 3.8: ตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุการทดสอบผลกระทบของตำแหน่งโนดบริเวณ



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1



(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

รูปที่ 3.9: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรบกวนระหว่างช่องทางเดินรถ

ค่าความแปรปรวนของเวลาการได้รับข้อมูลของโนดที่ระยะห่างต่าง ๆ จากโนดหลักในรูปที่ 3.10(a) และ 3.10(b) มีตำแหน่งโนดในระบบต่างกัน แกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y แสดงค่าความแปรปรวนของเวลา ผลการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมากคือการตั้งค่าการทดลองเหมือนกันก็ให้ผลที่แตกต่างกันได้ถ้าตำแหน่งโนดในระบบต่างกัน และยิ่งระยะห่างจากโนดหลักมากขึ้นก็ทำให้แนวโน้มความแปรปรวนเพิ่มขึ้นด้วย จากผลการทดลองนี้สรุปได้เช่นกันว่าตำแหน่งของโนดในระบบมีผลต่อการทดลอง

3.2.2.2 พิจารณาตำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์รูปแบบต่าง ๆ ในแนวแกน x

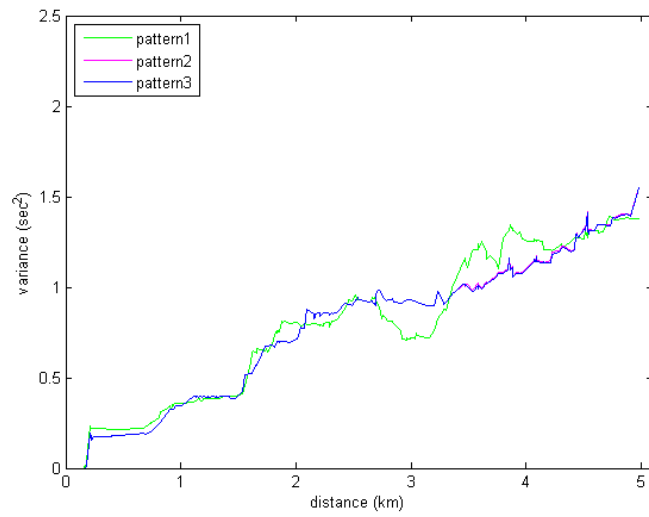
แนวโน้มของผลด้านเวลาประวิง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากรูปที่ 3.11 แสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองที่ค่าขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่ารูปแบบ 5 โนดครบวงส่งผลกระทบต่อระยะต้นของถนน ส่วนในรูปแบบที่ 4 นั้นในช่วงระยะแรกของถนน 2 กิโลเมตรจะให้ผลการทดลองที่เหมือนกับสภาพที่ไม่มีโนดครบวง แต่ระยะหลังจากนั้นโนดครบวงจากด้านท้ายถนนจะเริ่มส่งผลกระทบต่อระบบจากการส่งข้อมูลออกมาตลอดเวลา จึงมีการส่งต่อจากโนดด้านหลังออกมาเรื่อย ๆ ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบจากด้านท้าย ทุกการทดลองนั้นโอกาสการได้รับข้อมูลของโนดในระบบพบว่าทุกโนดมีโอกาสรับกลุ่มข้อมูลจากโนดหลัก 100 เปอร์เซ็นต์

ในรูปที่ 3.12 มีตำแหน่งโนดในระบบต่างกัน แกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y แสดงค่าความแปรปรวนของเวลาที่โนดในระยะห่างต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลจากโนดหลัก ผลการทดลองสรุปได้ว่าตำแหน่งของโนดในระบบมีผลต่อการทดลอง โดยที่ยิ่งระยะห่างจากโนดหลักมากขึ้นก็ทำให้มีแนวโน้มความแปรปรวนเพิ่มขึ้นด้วย

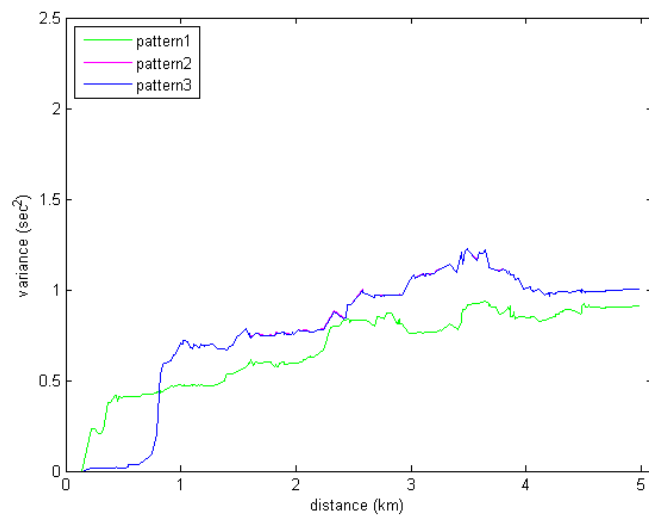
การทดสอบโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 ด้วยวิธีการจำลองระบบขนาดใหญ่ที่ผ่านมาเป็นการทดสอบระบบเบื้องต้นด้วยการตั้งค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นอย่างง่าย เพื่อทดสอบแนวโน้มของผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังนั้นผลที่ได้จึงไม่สามารถกล่าวได้ว่าเป็นผลการทดลองที่ถูกต้อง นอกจากนี้ผลการจำลองระบบที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่และมีตำแหน่งเป็นตัวแปรสุ่มแบบเอกรูปต่อเนื่องในแนวแกน x พบว่าตำแหน่งของโนดในระบบที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าของผลที่ได้ แต่ไม่มีผลต่อแนวโน้มของผล สรุปได้ว่าการทดสอบที่ต้องการพิจารณารูปแบบใดก็ควรจำลองระบบในรูปแบบที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามสถานะที่ต้องการพิจารณา ในการทดสอบขั้นต่อไปเป็นการทดลองในระบบขนาดเล็กด้วยการจำลองระบบเทียบผลกับการทดสอบจริงในสถานะที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของการตั้งค่าพารามิเตอร์เหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา และหลังจากนั้นจะทดสอบการทำงานของโปรโตคอลในสถานะที่โนดมีการเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่ใช้ยานพาหนะจริง และทำการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดสอบจริง เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการจำลองระบบขนาดใหญ่และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ตามสภาพแวดล้อมจริงต่อไป

3.3 การทดสอบจริงของโครงข่ายแอดฮอก

ความสามารถในการทำงานของ ns-3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จริงได้โดยแก้ไขโค้ดเพียงเล็กน้อย โดยการทดสอบระบบด้วยการทดสอบจริงในระบบขนาดเล็กนั้น คอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดสอบจริงมีคุณลักษณะดังตารางที่ 3.2 รูปแบบการทดลองประกอบไปด้วยการเปรียบเทียบการทำงานของโปรโตคอลที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่ในพื้นที่การทดลองขนาดเล็ก และการทดลองที่โนดมีการเคลื่อนที่ ดังนี้

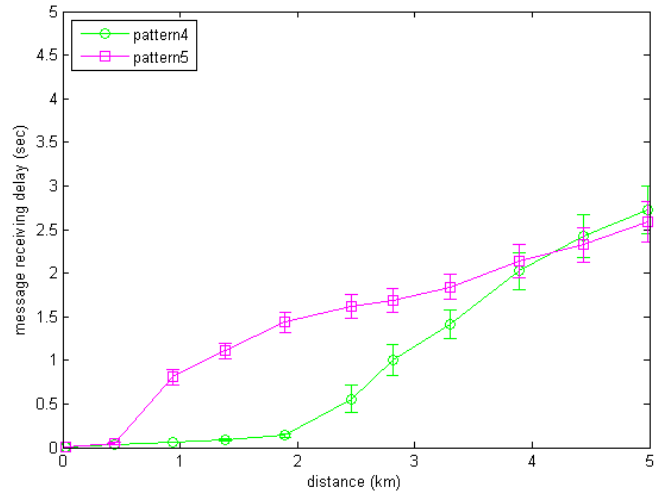


(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

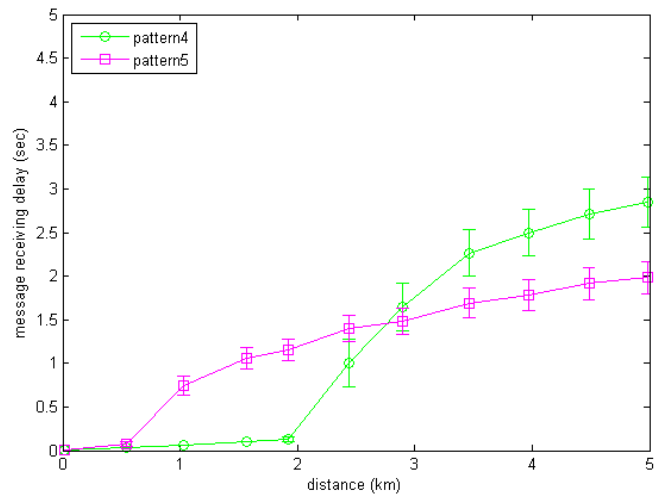


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

รูปที่ 3.10: ความแปรปรวนของเวลาที่โหนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโหนดหลัก พิจารณาการรบกวนระหว่างช่องทางเดินรถ

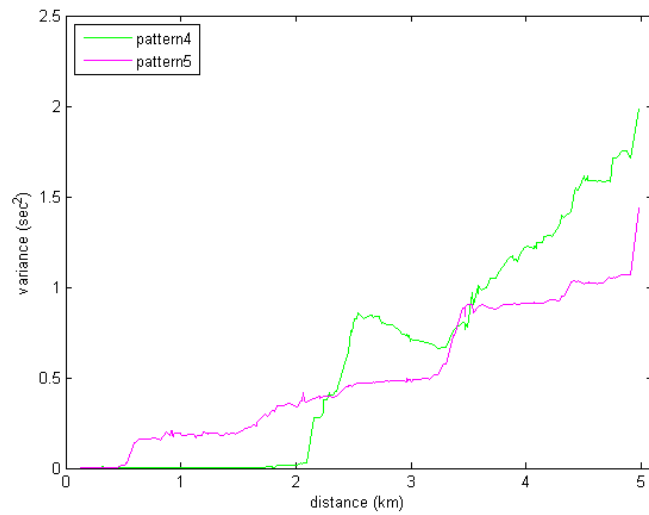


(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

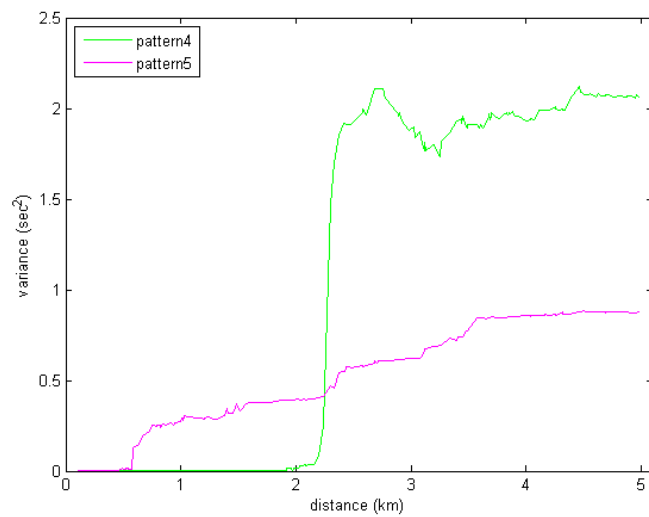


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

รูปที่ 3.11: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก พิจารณาการรบกวนระหว่างช่วงถนน



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1



(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

รูปที่ 3.12: ความแปรปรวนของเวลาที่โหนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโหนดหลัก พิจารณาการรบกวนระหว่างช่วงถนน

ตารางที่ 3.2: คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ใช้ในการทดสอบจริง

Model	Equipments
Fujitsu LifeBook S6311	Intel Centrino Duo Processor T2400 1.83 GHz processor 512MB DDR2 SDRAM intel PRO/Wireless 3945ABG/ 3945 BG network connection with Dual Antenna
IBM R51	intel Pentium M processor 725 1.6 GHz processor 256 MB DDR SDRAM intel pro/wireless 2200BG Network Connection 802.11b/g
Acer aspire one zg5	intel atom N270 1.6GHz single-core processor 1GB DDR2 SDRAM 802.11b/g wireless LAN card with an Atheros AR5BXB63 chipset

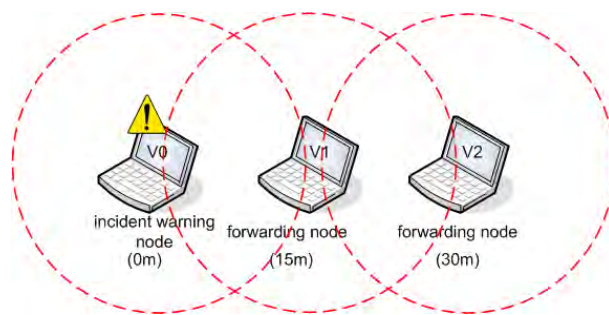
3.3.1 การทดสอบจริงในระบบที่ไม่มีการเคลื่อนที่

การทดสอบ เป็นการ ทดลอง เพื่อ เปรียบเทียบ ผล ระหว่าง การ จำลอง ระบบ และ การ ทดสอบ จริง ใน สถานการณ์ ที่ เหมือน กัน ซึ่ง จะ ทดลอง โดย การ จำลอง ระบบ ก่อน และ ทำ การ ทดสอบ จริง เพื่อ เปรียบเทียบ ความ ถูกต้อง ของ ผล การ จำลอง ก่อนหน้า โดย การ ทดสอบ จริง จะ ใช้ การ เชื่อมต่อ ผ่าน ทาง เครื่องข่าย ไร้สาย ใน สภาวะ แอดฮอค (ad hoc mode) โดย ลรัศมีการ ส่งต่อ ให้ เหมาะสม กับ สภาพ แวดล้อม ที่ ใช้ ในการ ทดลอง บน ฝ้า ของ อาคาร ซึ่ง มี ขนาด เล็ก โดย การ นำ คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ก ไว้ ใน กล้อง อลูมิเนียม ดัง รูป ที่ 3.13 ทำให้ ลรัศมีการ ส่งต่อ ลดลง เหลือ 20 เมตร เพื่อ เปรียบเทียบ การ ทำงาน ของ โปรโตคอล ที่ ไม่ มี การ ระบาย ดัง โทโพโลยี ใน รูป ที่ 3.14 และ กรณี ที่ มี การ ระบาย ซึ่ง ระบบ ทดสอบ กำหนด ให้ การ ระบาย อยู่ ระหว่าง โหนด แจ็ง เตือน และ โหนด ส่งต่อ ข้อมูล ตัวแรก ดัง รูป ที่ 3.15 โดย ประกอบ ไปด้วย 4 โหนด ซึ่ง ใน ที่ นี้ คือ โน้ตบุ๊ก คอมพิวเตอร์ ที่ ไม่ มี การ เคลื่อนที่ และ โหนด แจ็ง เตือน ส่ง ข้อมูล แจ็ง เตือน ออก ไป ด้วย อัตรา การ ส่ง ข้อมูล ทุก 0.05 วินาที และ 0.5 วินาที เป็น จำนวน 1000 กลุ่ม ข้อมูล ข้อมูล จะ ถูก ส่ง จาก โหนด ส่งต่อ ข้อมูล ตัวแรก ผ่าน ไป ยัง โหนด ส่งต่อ ข้อมูล ตัวที่ 2 และ เมื่อ โหนด ระบาย ทำงาน จะ ทำ การ ระบาย การ ติดต่อ สื่อสาร ของ โหนด ทั้ง ระบบ รูปแบบ การ ทดสอบ จริง เป็น ดัง รูป ที่ 3.16 คือ โหนด แจ็ง เตือน อุบัติการณ์ (V0) อยู่ที่ ตำแหน่ง เริ่มต้น และ โหนด ส่งต่อ อยู่ที่ ตำแหน่ง 15 เมตร (V1) และ 30 เมตร (V2) ตาม ลำดับ และมี โหนด ระบาย อยู่ที่ ตำแหน่ง 12 เมตร (V3)

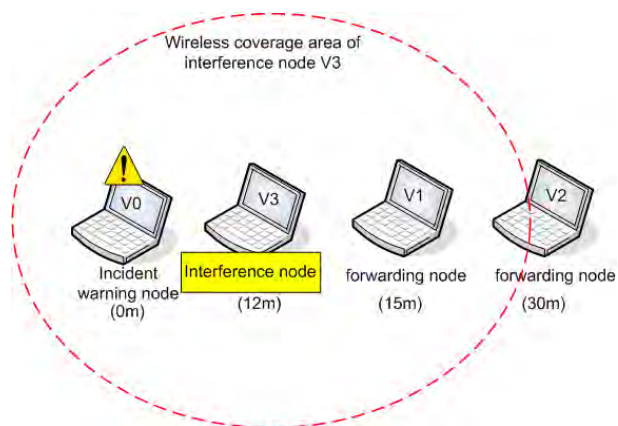
การ ทดสอบ พิจารณา การ ทำงาน ของ ระบบ ใน สภาพ ที่ มี การ ระบาย จาก โหนด ระบาย ภายนอก ซึ่ง โหนด ระบาย ใน ที่ นี้ แตกต่าง จาก การ ระบาย ใน การ จำลอง ระบบ ขนาด ใหญ่ ใน หัวข้อ ที่ 3.2 คือ โหนด ระบาย จะ ส่ง ข้อมูล ขนาด 1 กิโลไบต์ ออก มา ทุกๆ 0.01 วินาที และ เมื่อ โหนด ส่งต่อ ด้ รับ ข้อมูล นั้น จะ ไม่ มี การ ส่งต่อ ข้อมูล ไ้ ใด ๆ แผนภาพ เวลา ของ การ ส่ง ข้อมูล ใน สถานการณ์ ที่ มี โหนด ระบาย เป็น



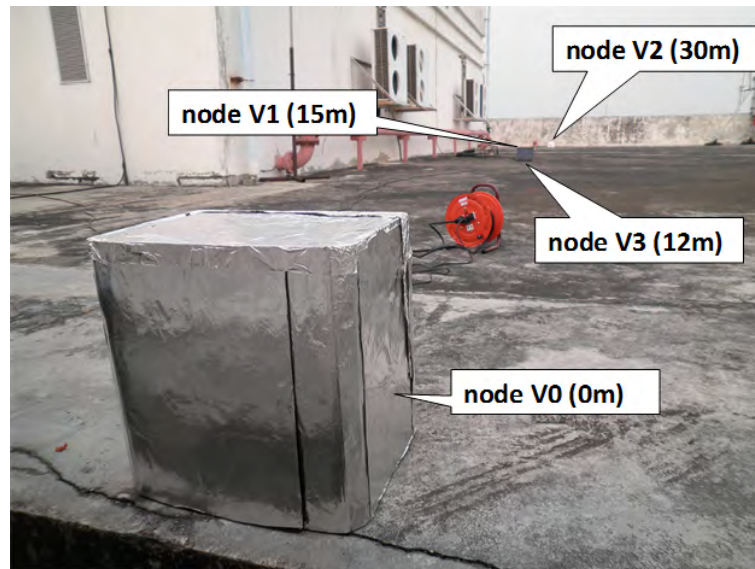
รูปที่ 3.13: การลดรัศมีการส่งต่อเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองระยะสั้น



รูปที่ 3.14: รูปแบบการทดลองของระบบทดสอบจริงแบบไม่มีการเคลื่อนที่กรณีไม่มีโน้ตบกววน



รูปที่ 3.15: รูปแบบการทดลองของระบบทดสอบจริงแบบไม่มีการเคลื่อนที่กรณีมีโน้ตบกววน



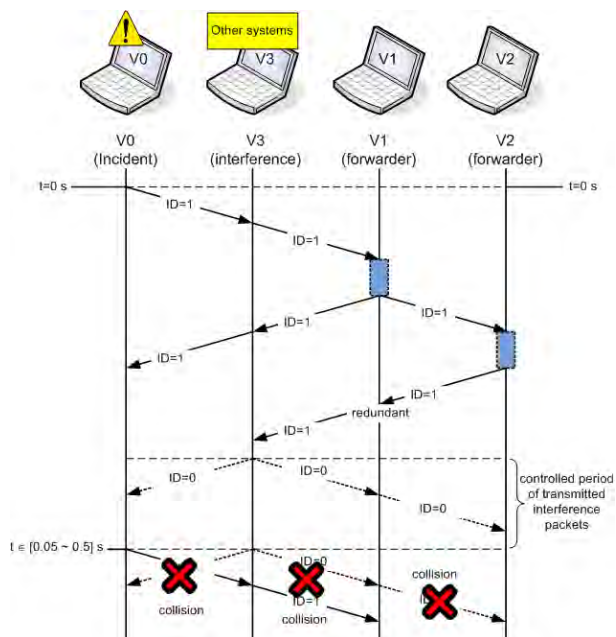
รูปที่ 3.16: ภาพการทดลองในระบบทดสอบที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่

ดังรูปที่ 3.17 การทดลองนี้เปรียบเทียบการทำงานของโปรโตคอลที่มีการรบกวนและไม่มีการรบกวน และเปรียบเทียบการทำงานของระบบเมื่อใช้อัตราการส่งข้อมูลของโหนดแจ้งเตือนที่แตกต่างกันระหว่างอัตรา 0.05 วินาทีต่อข้อมูล และ 0.5 วินาทีต่อข้อมูล นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลการทดลองจากการจำลองระบบที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์แบบเดียวกับหัวข้อที่ 3.2 และการทดสอบจริงด้วยสถานการณ์ในการทดสอบที่เหมือนกัน แต่มีตำแหน่งของโหนดแตกต่างจากการทดสอบจริงในอัตราส่วนเดียวกัน คือ โหนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุการณ์ V0 อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น และโหนดส่งต่อ V1 และโหนดส่งต่อ V2 อยู่ที่ตำแหน่ง 150 และ 300 เมตรตามลำดับ โดยมีโหนดรบกวน V3 อยู่ที่ตำแหน่ง 120 เมตร

ผลการทดลองในสภาพแวดล้อมที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่ในระยะการทดสอบ 30 เมตร โดยเริ่มต้นการวิเคราะห์ผลจากการจำลองระบบ และยืนยันผลการทดลองโดยการใช้การทดสอบจริง ซึ่งผลการทดลองประกอบด้วยค่าเวลาเฉลี่ยที่โหนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลจากการจำลองระบบและการทดสอบจริง ดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลจากที่โหนดแจ้งเตือนส่งออกมาทั้งหมด ในตารางที่ 3.5, 3.6 , 3.7 และ 3.8 ซึ่งเป็นผลการทดลองของการจำลองระบบและการทดสอบจริงของโหนดส่งต่อที่ 1 และโหนดส่งต่อที่ 2 ตามลำดับ อัตราส่วนการได้รับข้อมูลคือ ค่าจำนวนกลุ่มข้อมูลที่โหนดใด ๆ ได้รับต่อค่าจำนวนข้อมูลที่โหนดแจ้งเตือนส่งออกมาทั้งหมด โดยคิดผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์

จากค่าเวลาเฉลี่ยที่โหนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลและอัตราการได้รับกลุ่มข้อมูลที่สังเกตได้ พบว่าให้ผลการทดลองที่ตรงกันทั้งการจำลองและการทดสอบจริงนั่นคือ ในสภาพที่มีการรบกวนจะส่งผลให้มีค่าเวลาที่โหนดปลายทางได้รับข้อมูลเพิ่มขึ้น และอัตราการได้รับกลุ่มข้อมูลลดลง เนื่องจากในสภาพที่มีการรบกวนจะมีจำนวนกลุ่มข้อมูลวิ่งในระบบเพิ่มมากขึ้น และที่สังเกตได้อีกอย่างนั้นคือผลจากการจำลองระบบให้ค่าที่ดีกว่าการทดสอบจริงเสมอ เนื่องจากการทดสอบจริงนั้น นอกจากการรบกวนที่เราสร้างขึ้น ยังมีการรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ทำให้ลดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ในขณะที่การจำลองจะมีเฉพาะการรบกวนที่สร้างขึ้นเท่านั้น

นอกจากนี้ผลของค่าเวลาเฉลี่ยที่โหนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลของการจำลองระบบในตารางที่ 3.3 ในกรณีที่มีการรบกวน เมื่อเปรียบเทียบการใช้อัตราการส่งข้อมูลของโหนดแจ้งเตือนที่ต่างกัน



รูปที่ 3.17: แผนภาพเวลาของการส่งข้อมูลเพื่ออุบัติการณ์กรณีมีโน้ดรบกวน

ตารางที่ 3.3: เวลาเฉลี่ยที่โน้ดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลของการจำลองระบบ

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (msec)	interference (msec)
0.05	1	18.1	29.4
	2	18.1	28.7
	3	18.1	29.9
	4	18.1	28.2
	5	18.1	29.1
95% Confidence Interval		18.1±0	29.0±0.6
0.5	1	18.1	23.3
	2	18.1	23.3
	3	18.1	20.3
	4	18.1	21.3
	5	18.1	22.3
95% Confidence Interval		18.1±0	22.1±1.2

ตารางที่ 3.4: เวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลของการทดสอบจริง

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (msec)	interference (msec)
0.05	1	23.7	46.6
	2	26.7	47.4
	3	23.9	50.7
	4	27.9	49.4
	5	31.7	49.8
	95% Confidence Interval		26.8±3.1
0.5	1	21.0	46
	2	25.3	48.5
	3	22.1	53.7
	4	25.6	53.6
	5	28.7	54.0
	95% Confidence Interval		24.5±2.9

ตารางที่ 3.5: อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 1 ของการจำลองระบบ

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (%)	interference (%)
0.05	1	100	91.0
	2	100	89.6
	3	100	90.1
	4	100	90.7
	5	100	90.5
	95% Confidence Interval		100±0
0.5	1	100	100
	2	100	100
	3	100	100
	4	100	100
	5	100	100
	95% Confidence Interval		100±0

ตารางที่ 3.6: อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 1 ของการทดสอบจริง

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (%)	interference (%)
0.05	1	98.2	69.3
	2	99.3	72.2
	3	99.4	70.3
	4	98.5	72.5
	5	98.5	71.0
	95% Confidence Interval		98.8±0.5
0.5	1	98.7	85.1
	2	98.8	86.5
	3	99.5	83.3
	4	99.4	85.7
	5	98.8	84.4
	95% Confidence Interval		99.0±0.4

ตารางที่ 3.7: อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 2 ของการจำลองระบบ

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (%)	interference (%)
0.05	1	100	89.6
	2	100	88.5
	3	100	88.4
	4	100	89.7
	5	100	89.7
	95% Confidence Interval		100±0
0.5	1	100	96.8
	2	100	97.2
	3	100	97.5
	4	100	96.4
	5	100	97.4
	95% Confidence Interval		100±0

ตารางที่ 3.8: อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 2 ของการทดสอบจริง

incident generating rate (sec/message)	trial	non-interference (%)	interference (%)
0.05	1	96.0	57.7
	2	97.8	58.8
	3	94.2	59.7
	4	95.1	62.0
	5	51.0	57.6
	95% Confidence Interval		86.8±19.2
0.5	1	86.4	71.7
	2	96.6	75.2
	3	96.5	66.0
	4	90.9	70.1
	5	86.7	75.6
	95% Confidence Interval		91.4±4.8

จะเห็นว่าการใช้อัตราการส่งข้อมูล 0.5 วินาทีต่อข้อมูล จะมีค่าเวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลน้อยกว่าอัตราการส่งข้อมูล 0.05 วินาทีต่อข้อมูล แต่เมื่อดูผลของการทดสอบจริงในตารางที่ 3.4 กลับพบว่าการใช้อัตราการส่งข้อมูลของโนดแจ้งเตือนที่ต่างกันไม่มีผลให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลแตกต่างกันเลย และเมื่อพิจารณาอัตราการได้รับกลุ่มข้อมูลในสภาพที่มีการรบกวน เปรียบเทียบการใช้อัตราการส่งข้อมูลของโนดแจ้งเตือนต่างกันจากตารางที่ 3.5-3.8 พบว่าเมื่อใช้อัตราการส่งข้อมูล 0.5 วินาทีต่อข้อมูล จะทำให้มีอัตราการได้รับกลุ่มข้อมูลมากกว่ากรณีของอัตราการส่งข้อมูลทุก 0.05 วินาที เป็นผลที่สังเกตได้เหมือนกันทั้งในการจำลองระบบและการทดสอบจริง แม้ว่าอัตราการได้รับข้อมูลจากการจำลองและทดสอบจริงมีแนวโน้มที่เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าอัตราการได้รับข้อมูลจากการทดสอบจริงจะเห็นว่ามีความน้อยกว่าในการจำลองระบบมาก

จากผลการทดลองพบว่า การจำลองระบบจะให้ค่าอัตราส่วนการได้รับข้อมูลสูงกว่าการทดสอบจริง และมีค่าเวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับข้อมูลแรกน้อยกว่าการทดสอบจริง เนื่องจากการจำลองระบบมีการตั้งค่าพารามิเตอร์เหมือนกับการทดลองหัวข้อ 3.2 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้อ้างอิงกับการทดสอบจริง ผลการจำลองจึงมีค่าแตกต่างจากการทดสอบจริง ดังนั้น จึงได้ทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าผลการทดลองใกล้เคียงกับการทดสอบจริง โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดสอบจริงทั้งในสภาพที่มีการรบกวนและไม่มีการรบกวน ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล และ 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูลนั้น เป็นการทดสอบในสภาพแวดล้อมเดียวกันทั้งหมด ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงได้เลือกใช้การจำลองระบบในรูปแบบที่ไม่มี การรบกวนในระบบ ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล และ 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล เป็นตัวแทนในการเลือกหาค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่จะปรับในการจำลองระบบได้แก่ กำลังการส่ง และแบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจาย ซึ่งเมื่อกำลังการส่งลดลงจะส่งผลให้อัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลลดลง และเวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับข้อมูลเพิ่มขึ้น และแบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายนั้นจะส่งผลต่อค่าเวลาเฉลี่ยที่โนดปลายทางได้รับข้อมูล โดยเลือกใช้แบบจำลองค่าประวิงการแพร่กระจายที่มี 2

แบบจำลองในโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 คือแบบความเร็วคงที่และแบบสุ่มที่ได้ค่าประวิงเวลามาจากการสุ่มแบบเอกรูปตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 และปรับค่ากำลังการส่งเป็น 13, 14 และ 15 dBm ทำให้ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3.9 และ 3.10

ตารางที่ 3.9: ค่าเฉลี่ยเวลาที่โหนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโหนดส่งต่อ: อัตราการส่งต่อข้อมูลของโหนดแจ้งเตือน 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล

	delay (msec)	success ratio node1 (%)	success ratio node2 (%)
testbed			
95% Confidence Interval	26.8±3.1	98.8±0.5	86.8±19.2
Constant Propagation Loss Model			
simulation tx=13			
95% Confidence Interval	18.1±0	81.7±0.6	67.3±0.4
simulation tx=14			
95% Confidence Interval	18.1±0	98.5±0.3	96.8±0.7
simulation tx=15			
95% Confidence Interval	18.1±0	99.9±0.1	99.9±0.1
Random Propagation Loss Model			
simulation tx=13			
95% Confidence Interval	1028±23.5	50.7±1.6	28.8±1.8
simulation tx=14			
95% Confidence Interval	1030±11.2	63.3±1	41.4±1.4
simulation tx=15			
95% Confidence Interval	1012±11.3	66.5±1.7	46.6±1.2

จากผลการทดลองนั้นพบว่า ในโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 ไม่สามารถหาแบบจำลองค่าประวิงการแพร่กระจายที่ทำให้ได้ผลของค่าประวิงเวลาใกล้เคียงกับการทดสอบจริงได้ แต่ค่าอัตราส่วนการได้รับข้อมูลนั้นใกล้เคียงกับการทดสอบจริง ซึ่งในการทดลองด้วยอัตราการส่งข้อมูล 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล แสดงผลดังตารางที่ 3.9 มีค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ผลอัตราส่วนการได้รับกลุ่มข้อมูลใกล้เคียงกับการทดสอบจริงคือ แบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายแบบความเร็วคงที่ ด้วยกำลังส่ง 14 dBm และหากใช้แบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายแบบสุ่มและเพิ่มค่ากำลังการส่งมากขึ้นอีกก็จะทำให้ระยะเวลาการส่งของโหนดเกินที่กำหนดไว้คือ 200 เมตร และผลการทดลองด้วยอัตราการส่งข้อมูล 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูลในตารางที่ 3.10 เมื่อใช้แบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายแบบความเร็วคงที่ด้วยกำลังการส่ง 14 dBm จะทำให้ค่าอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโหนดส่งต่อตัวแรกใกล้เคียงกับการทดสอบจริง และเมื่อใช้แบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายแบบสุ่มด้วยกำลังการส่ง 14 dBm และ 15 dBm จะทำให้ค่าอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโหนดส่งต่อตัวที่สองใกล้เคียงกับค่าของการทดสอบจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้คือ แบบจำลองค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายแบบคงที่ด้วยกำลังการส่ง 14 dBm เพราะให้ผลการทดลองใกล้เคียงมากที่สุดในการจำลองทั้งสองแบบ

ตารางที่ 3.10: ค่าเฉลี่ยเวลาที่โหนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโหนดส่งต่อ: อัตราการส่งต่อข้อมูลของโหนดแจ้งเตือน 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล

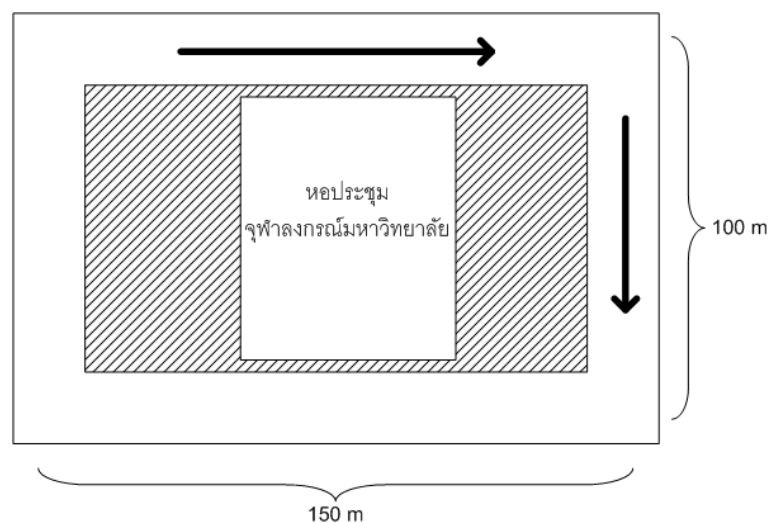
	delay (msec)	success ratio node1 (%)	success ratio node2 (%)
testbed			
95% Confidence Interval	24.5±2.9	99.0±0.4	91.4±4.8
Constant Propagation Loss Model			
simulation tx=13			
95% Confidence Interval	18.1±0	83.4±1	68.9±0.4
simulation tx=14			
95% Confidence Interval	18.1±0	98.3±0.5	97±0.7
simulation tx=15			
95% Confidence Interval	18.1±0	99.9±0.1	99.9±0.1
Random Propagation Loss Model			
simulation tx=13			
95% Confidence Interval	1023±15.8	79.8±1.0	62.3±1.4
simulation tx=14			
95% Confidence Interval	1020±9.5	94.5±0.5	88.8±0.4
simulation tx=15			
95% Confidence Interval	1012±11.66	96.1±0.5	92.2±0.5

ในการทดลองต่อไปเป็นการทดลองด้วยการทดสอบจริงในสถานการณ์ที่โนดเป็นยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่อ้างอิงจากการทดสอบจริงและนำไปใช้ในการจำลองระบบต่อไป

3.3.2 การทดสอบจริงในระบบที่มีการเคลื่อนที่

การจำลองระบบ นั้น มี ข้อเสีย คือ ผล ที่ได้ จาก การ จำลอง นั้น มีความ น่า เชื่อถือ ต่ำ เพราะ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ตั้งค่าไว้ นั้น ไม่เชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นหากทำการทดสอบจริงด้วยการใช้โปรแกรมเดียวกัน จะทำให้สามารถนำผล การทดลอง ที่ได้ มา ค้นหา ค่า พารามิเตอร์ ที่ อ้างถึง สภาพแวดล้อมจริงได้ เนื่องจากการทดสอบจริงมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของระบบ หากนำข้อดีของทั้งการจำลองและการทดสอบจริงมาใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง ก็จะทำให้ผลการจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นได้

การทดลองนี้ประกอบด้วยยานพาหนะ 3 คันที่มีคอมพิวเตอร์โนดบูตอยู่ข้างใน โดยยานพาหนะแต่ละคันจะวิ่งด้วยความเร็วไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 3.18 ยานพาหนะแต่ละคันอยู่ห่างกันเป็นระยะทางประมาณ 150 เมตร เพื่อให้โนดในระบบมีค่า 1 ช่วงการเชื่อมต่อ การทดสอบกำหนดให้โนดแรกเป็นโนดแจ้งเตือนส่งข้อมูลออกมา 1000 กลุ่มข้อมูล และใช้อัตราการส่งข้อมูลของโนดแจ้งเตือน 0.05 วินาทีต่อข้อมูล สภาพแวดล้อมของการทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18: แผนที่เส้นทางการเดินรถในการทดสอบจริง

การจำลองระบบในที่นี้ใช้แบบจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ (constant velocity) ซึ่งกำหนดความเร็วไว้ที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในการจำลองเลือกใช้โมเดลการจางหายของช่องสัญญาณนาคามีเนื่องจากเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณในสถานะแอดฮอกของยานพาหนะ [20] เป็นแบบจำลองที่สะท้อนสภาพแวดล้อมที่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างโนดแบบมีสิ่งกีดขวางจึงทำให้มีการจางหายของข้อมูล ซึ่งค่า m คือ ความเข้มของการจางหาย เป็นค่าที่ขึ้นกับสภาพแวดล้อม โดยเมื่อค่า m มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงถึงสถานะที่เข้าใกล้สภาพแวดล้อมที่ไร้สิ่งกีดขวางในการส่งข้อมูลมากขึ้น [21] และใช้แบบจำลองค่าประจิงเวลาการแพร่กระจายแบบสุ่ม โดยค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนในการจำลองระบบได้แก่ กำลังการส่ง และค่า



รูปที่ 3.19: สภาพแวดล้อมในการทดสอบจริงโดยการใช้ยานพาหนะ

m ในตารางที่ 3.11 แสดงผลการทดลองในรูปของค่าเฉลี่ยเวลาที่โนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราการส่วนได้รับข้อมูลของโนดส่งต่อตัวที่ 1 และตัวที่ 2 ในแถวแรกของตารางเป็นผลจากการทดสอบจริง นำมาเปรียบเทียบกับแถวถัดไปคือผลที่ได้จากการจำลองระบบที่มีการปรับค่าต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า ถ้าเลือกใช้ค่ากำลังการส่ง 17 dBm และค่า m เป็น 0.5 จะทำให้ได้ผลจากการจำลองระบบใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.11: ค่าเฉลี่ยเวลาที่โหนดปลายทางได้รับข้อมูล และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลของโหนดส่งต่อ

	delay (msec)	success ratio node1 (%)	success ratio node2 (%)
testbed			
95% Confidence Interval	82.4±3.7	42.2±2.4	20.1±1.4
simulation tx=16, m=0.4			
95% Confidence Interval	85.1±4.7	35.8±1.2	17.8±1.3
simulation tx=16, m=0.5			
95% Confidence Interval	91.3±3.2	39.3±1.2	19.0±0.9
simulation tx=16, m=0.6			
95% Confidence Interval	91.6±3.8	40.6±0.4	19.3±0.8
simulation tx=17, m=0.4			
95% Confidence Interval	84.2±4.3	38.3±1.5	21.0±1.4
simulation tx=17, m=0.5			
95% Confidence Interval	85.1±1.6	41.9±1.9	22.7±2.2
simulation tx=17, m=0.6			
95% Confidence Interval	89.2±2.7	44.9±1.1	24.0±0.9

ตารางที่ 3.12: การตั้งค่าในการจำลองระบบเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบจริง

parameter	value
transmission power	17 dBm
propagation delay model	Random Propagation Delay Model
propagation loss model	Nakagami Propagation Loss Model ($m=0.5$)

บทที่ 4

การจำลองโครงข่ายขนาดใหญ่โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริง

ในบทที่ผ่านมากล่าวถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองด้วยการจำลองระบบขนาดใหญ่เป็นการทดลองที่พิจารณาเบื้องต้น และทำการเปรียบเทียบการทำงานของการทำงานของการจำลองระบบเปรียบเทียบกับการทำงานจริงในระบบขนาดเล็กที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อแสดงถึงผลที่แตกต่างกันในด้านของค่าการทดลองอันเนื่องมาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการจำลองระบบที่ไม่สะท้อนสภาพแวดล้อมตามจริง แต่ก็ยังให้ผลทางด้านแนวโน้มที่เหมือนกัน และหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าผลการทดลองใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริงในสถานะที่โนดเป็นยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ ในบทนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากบทที่แล้วมาใช้ในการจำลองระบบขนาดใหญ่ และเปรียบเทียบกับผลก่อนหน้า

4.1 การทดสอบระบบขนาดใหญ่เปรียบเทียบการตั้งค่าเบื้องต้นกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง

การทดสอบใช้การจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองในรูปของเวลาที่โนดในระยะต่างๆ จากโนดหลักได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนข้อมูลแรกที่ส่งออกมาจากโนดหลัก และนอกจากนี้ยังแสดงผลของเวลาที่โนดในระยะต่าง ๆ จากโนดหลักได้รับข้อมูลแจ้งเตือนนับตั้งแต่เวลาที่โนดหลักเริ่มต้นส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมา เป็นการทดสอบเหมือนสถานการณ์ที่ผ่านมาทั้งหมด โดยในการจำลองระบบที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ตามสภาพแวดล้อมจริงนี้ กำหนดให้มีระยะห่างระหว่างโนดในระบบ 20 เมตร และแต่ละโนดวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.1.1 ผลกระทบของจำนวนโนดครบวง

การทดสอบนี้ได้เปรียบเทียบสภาพแวดล้อม 3 รูปแบบ คือมีจำนวนโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์ 1, 5 และ 10 โหนด ซึ่งมีโนดครบวงอยู่ตลอดระยะหนึ่งกิโลเมตร โดยผลการทดสอบแสดงค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่โนดได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก เป็นค่าเฉลี่ยที่มีค่าขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยแกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y คือเวลาที่ได้รับการแจ้งเตือนจากโนดหลัก

การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบที่มีการตั้งค่าอย่างง่ายในรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) และการตั้งค่าที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงในรูปที่ 4.1(c) พบว่าสิ่งที่มีแนวโน้มเหมือนกันนั่นคือ เมื่อระบบมีจำนวนโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์เพิ่มขึ้นก็จะทำให้มีค่าความแปรปรวนของค่าประวิงเวลามากขึ้น และโนดที่อยู่ห่างไกลจากโนดหลักมากขึ้นจะมีค่าความแปรปรวนของค่าประวิงเวลามากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสถานการณ์ที่มี 1 โหนดแจ้งเตือนนั้น ผลการทดลองทั้งค่าและแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าประวิงเวลามีความเหมือนกัน และจะเห็นว่าโนดที่อยู่ในระยะห่างจากโนดหลักไม่เกิน 1 กิโลเมตร จะใช้เวลาในการรับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลักเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อระยะห่างจากโนดหลักเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใช้เวลาในการรับข้อมูลจากโนดหลักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะทางมากกว่าการจำลองระบบอย่างง่าย ในกรณีที่จำนวนโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์ 5 และ 10 โหนด และพบว่ายังมีโนดแจ้งเตือนมากขึ้นยังมีอัตราการเพิ่มค่าเวลาในการรับข้อมูลจากโนดหลักสูงขึ้นมาก แต่เมื่อถึงระยะหนึ่ง

อัตราการใช้เพิ่มจะลดลง

ในรูปที่ 4.2 แสดงค่าเวลาที่โหนดใช้ในการรับข้อมูลแจ้งเตือนจากโหนดหลัก นับตั้งแต่โหนดหลักเริ่มส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมา โดยที่โหนดหลักนั้นจะส่งข้อมูลแจ้งเตือนหนึ่ง ๆ ออกมาหลายครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าโหนดในระบบทั้งหมดจะสามารถรับรู้ข้อมูลแจ้งเตือนนั้น จากผลการทดลองที่ใช้การตั้งค่าที่ไม่อิงสภาพแวดล้อมจริงดังรูปที่ 4.2(a) และ 4.2(b) พบว่ามีค่าเท่ากับเวลาที่โหนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโหนดหลักในรูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการจำลอง 100 ครั้งของหมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โหนดได้รับ แสดงว่าโหนดในระบบทั้งหมดได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ตัวที่หนึ่งที่ส่งออกมาจากโหนดหลักดังแสดงในรูปที่ 4.3(a) และ 4.3(b) และผลการทดลองที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริงรูปที่ 4.2(c) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาที่โหนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโหนดหลักในรูปที่ 4.1(c) ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นคือโหนดในระบบได้รับข้อมูลแจ้งเตือนจากโหนดหลักตั้งแต่ที่โหนดหลักส่งออกมาเป็นตัวแรก ๆ ดังรูปที่ 4.3(c)

สิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการจำลองระบบเมื่อใช้ค่าที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงคือ ในสภาพแวดล้อมจริงนั้นโหนดจะใช้ค่าเวลาในการรับข้อมูลมากกว่าการจำลองระบบที่ตั้งค่าอย่างง่าย ซึ่งเวลาในการได้รับข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุบนท้องถนน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมตามสถานการณ์ จะทำให้คาดการณ์ผลที่เกิดขึ้นจริงคลาดเคลื่อนได้ถึงสิบเท่า และจากผลที่สังเกตได้พบว่าการที่โหนดหลักส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมาหลายครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าโหนดในระบบจะสามารถได้รับข้อมูลแจ้งเตือนนั้น การที่ส่งออกมามากเกินไป ก็อาจจะเกินความจำเป็นเพราะโหนดในระบบจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ตัวแรก ๆ

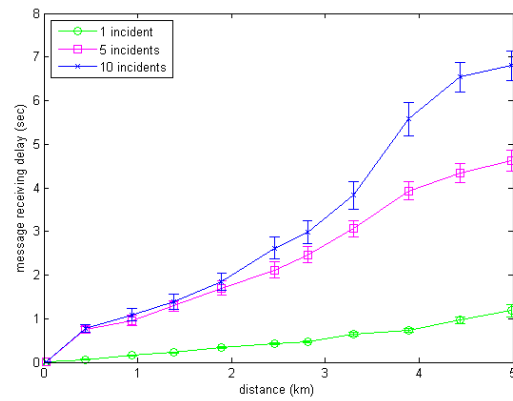
4.1.2 ผลกระทบของตำแหน่งโหนดบนถนน

ในการวัดผลกระทบของตำแหน่งโหนดบนถนนนั้น ได้ทดลองโดยวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่มีโหนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุอยู่ในตำแหน่งต่างกันทั้งหมด 5 รูปแบบ

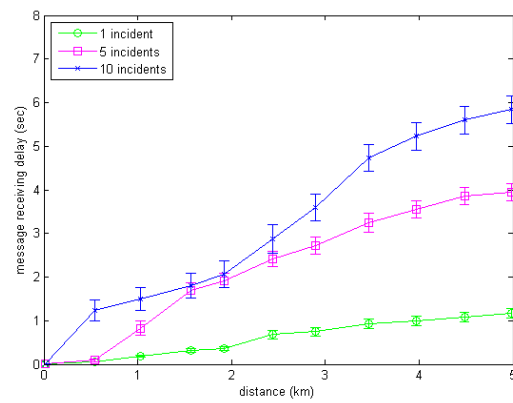
พิจารณาตำแหน่งโหนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุรูปแบบต่าง ๆ ในแนวแกน y

ในสถานการณ์นี้โหนดแจ้งเตือนอุบัติเหตุอีก 4 โหนดกระจายอยู่ในระยะทุก 1 กิโลเมตร ในช่องทางเดินรถต่าง ๆ กัน ผลการทดลองในรูปค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่มีค่าขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยแกน x คือระยะห่างจากโหนดหลัก และแกน y เป็นค่าประวิงเวลา ผลการทดลองจากการตั้งค่าแบบตั้งต้นในรูปที่ 4.4(a) และ 4.4(b) และผลจากการตั้งค่าสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงตามรูปที่ 4.4(c) มีผลการทดลองในส่วนที่เหมือนกันคือยิ่งระยะห่างจากโหนดหลักมากขึ้นก็ส่งผลให้มีความแปรปรวนของค่าประวิงเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นด้วย และการที่มีโหนดบนถนนอยู่ในระยะห่างทุก 1 กิโลเมตร ไม่ว่าจะอยู่ในช่องทางเดินรถรูปแบบต่างกัน ก็ให้ค่าเวลาเฉลี่ยที่เท่า ๆ กัน และพบว่าในระยะห่างจากโหนดหลักช่วงแรก ๆ นั้นจะมีค่าเวลาการได้รับข้อมูลแรกจากโหนดหลักเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ตามระยะทาง แต่เมื่อระยะทางที่ไกลขึ้นทำให้ใช้เวลาในการรับข้อมูลแจ้งเตือนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่สิ่งที่สังเกตได้จากการจำลองระบบด้วยค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงนั้น พบว่าอัตราการเพิ่มของเวลาประวิงสูงกว่าการจำลองอย่างง่ายมากจนโหนดสุดท้ายต้องใช้เวลาประมาณ 40 วินาทีในการได้รับข้อมูลแจ้งเตือนซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุ

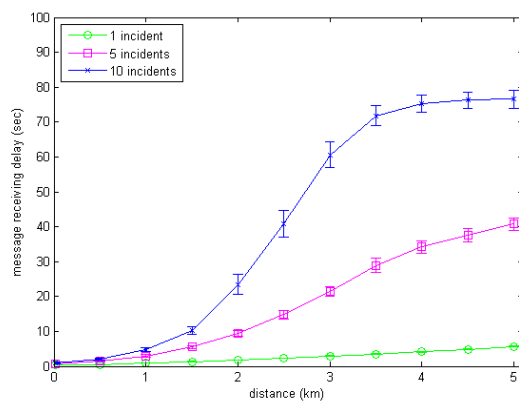
ในรูปที่ 4.5 แสดงค่าเวลาที่โหนดใช้ในการรับข้อมูลแจ้งเตือนจากโหนดหลัก นับตั้งแต่โหนดหลักเริ่มส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมา ผลการทดลองที่ใช้การตั้งค่าที่ไม่อิงสภาพแวดล้อมจริงดังรูปที่ 4.5(a) และ 4.5(b) พบว่ามีค่าเท่ากับเวลาที่โหนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโหนดหลักในรูปที่ 4.4(a) และ 4.4(b) แสดงว่าโหนดในระบบได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ที่โหนดหลักส่งออกมาตัวที่หนึ่งดังแสดง



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

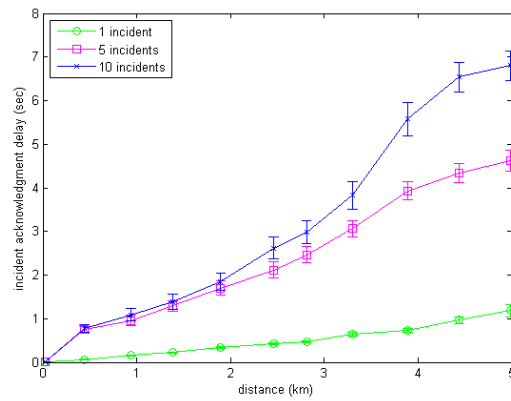


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

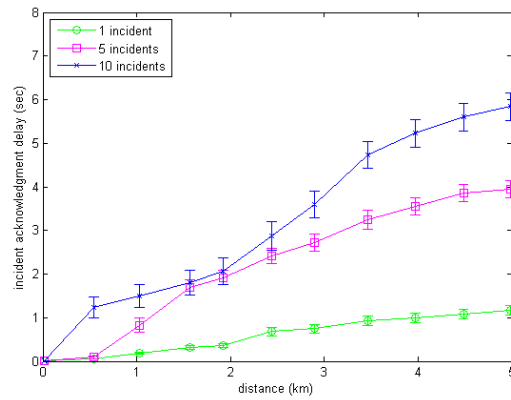


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

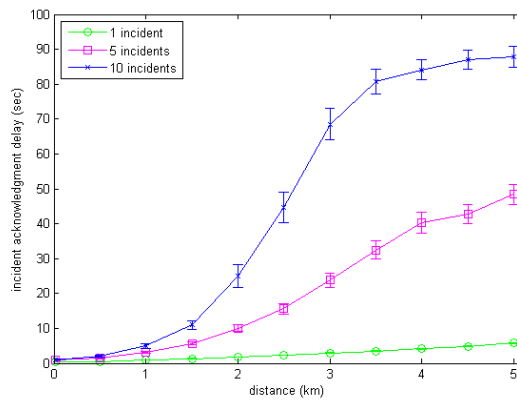
รูปที่ 4.1: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

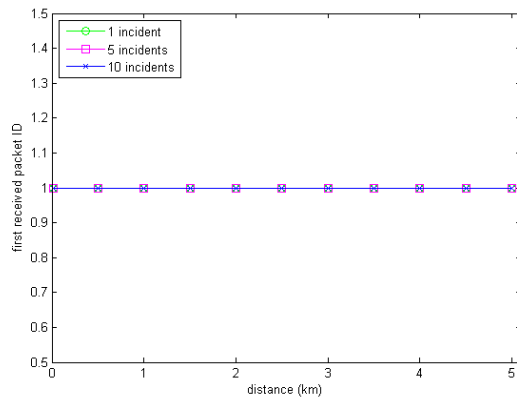


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

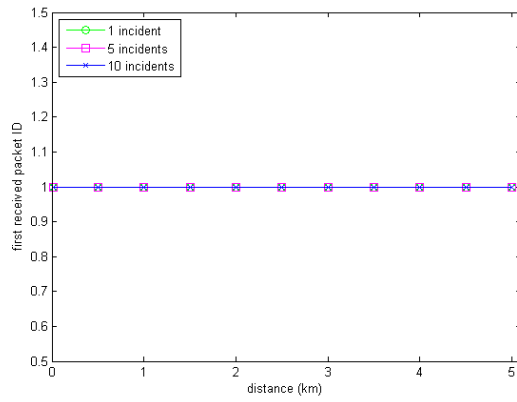


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

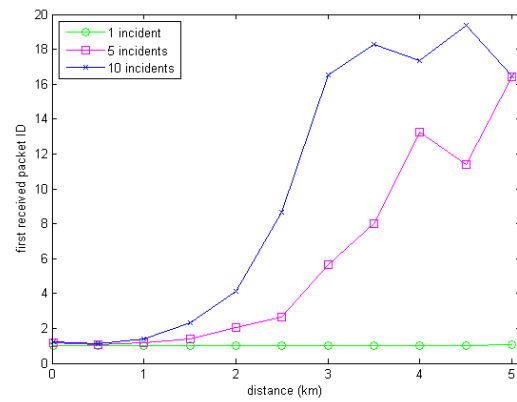
รูปที่ 4.2: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

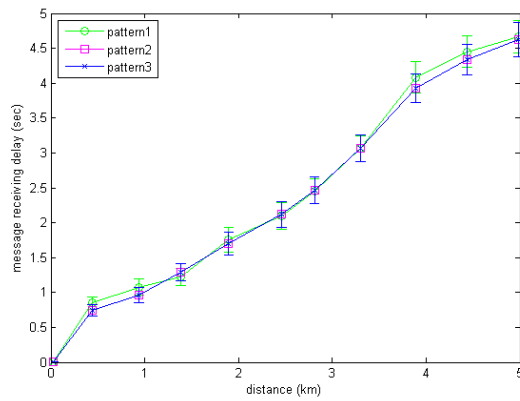


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

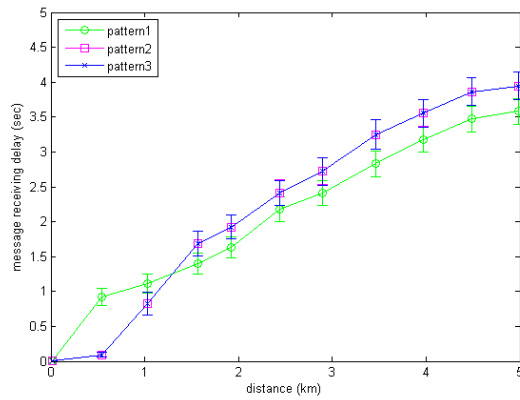


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

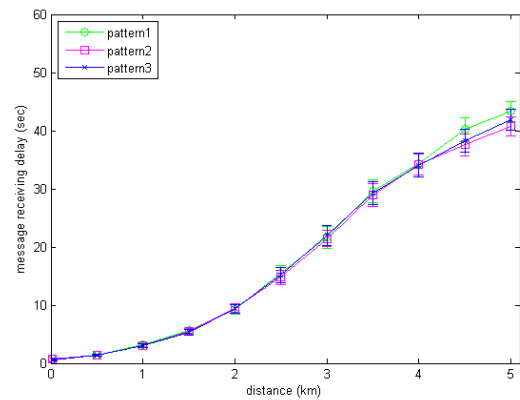
รูปที่ 4.3: หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1



(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2



(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

รูปที่ 4.4: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก

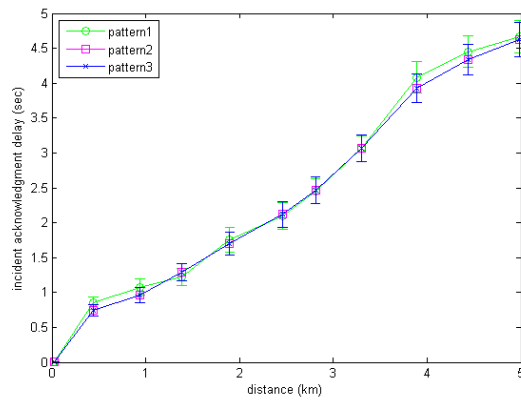
ในรูปที่ 4.6(a) และ 4.6(b) นอกจากนั้นผลการทดลองที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริงรูปที่ 4.5(c) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาที่โนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโนดหลักในรูปที่ 4.4(c) ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นคือโนดในระบบได้รับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลักตั้งแต่ที่โนดหลักส่งออกมาเป็นตัวแรก ๆ ดังรูปที่ 4.6(c)

พิจารณาดำแหน่งโนดแจ้งเตือนอุบัติการณ์รูปแบบต่าง ๆ ในแนวแกน x

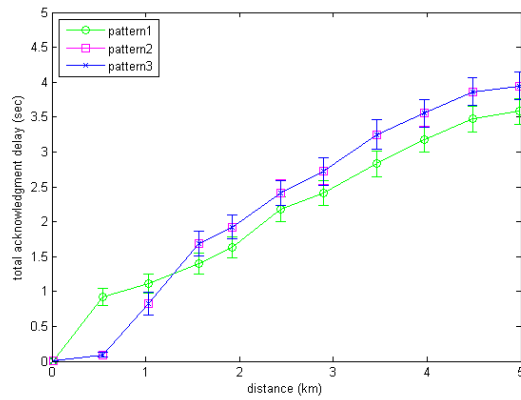
การทดลองรูปแบบนี้เปรียบเทียบการมีอยู่ของโนดรบกวนในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับโนดหลักคือรูปแบบที่ 5 และโนดรบกวนที่อยู่ไกลจากโนดหลักมากคือรูปแบบที่ 4 จากผลการทดลองค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่มีค่าขอบเขตความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ที่แกน x คือระยะห่างจากโนดหลัก และแกน y คือค่าเวลาที่โนดได้รับข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโนดหลัก โดยผลการทดลองของการตั้งค่าการจำลองแบบตั้งต้นแสดงในรูปที่ 4.7(a) และ 4.7(b) และการจำลองที่ตั้งค่าสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงให้ผลดังรูปที่ 4.7(c) ผลการทดลองที่เหมือนกันคือเมื่อระยะห่างจากโนดหลักมากขึ้น ทำให้มีความแปรปรวนของค่าเวลาเฉลี่ยที่โนดได้รับข้อมูลแจ้งเตือนแรกมากขึ้น และในรูปแบบตำแหน่งของโนดรบกวนแบบที่ 5 ที่โนดรบกวนอยู่ใกล้กับโนดหลักนั้นส่งผลกระทบต่อโนดหลักตั้งแต่ที่โนดหลักส่งออกมาในตัวแรก ๆ ส่วนในรูปแบบที่ 4 ที่โนดรบกวนอยู่ไกลจากโนดหลักก็จะทำให้ช่วงระยะใกล้โนดหลักนั้นใช้เวลาในการได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์แรกของโนดหลักเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่ระยะไกลออกไปทำให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระยะทาง โดยผลจากการจำลองที่ตั้งค่าพารามิเตอร์ตามสภาพแวดล้อมจริงกรณีที่มีโนดรบกวนอยู่ใกล้กับโนดหลักพบว่า มีค่าประวิงเวลาเพิ่มขึ้นตามระยะทางเป็นเชิงเส้นตั้งแต่โนดแรกจนโนดสุดท้ายในระบบ ซึ่งต่างจากการจำลองอย่างง่ายที่ในช่วงใกล้กับโนดหลักนั้นมีค่าประวิงเวลาน้อยมาก แล้วเพิ่มขึ้นในระยะ 50 เมตร แสดงให้เห็นว่าการจำลองระบบอย่างง่ายนั้นนอกจากจะทำให้ได้ค่าผลการทดลองที่แตกต่างจากการทดสอบจริงแล้ว ยังทำให้มีแนวโน้มที่แตกต่างกันด้วย และที่สังเกตได้คืออัตราการเพิ่มขึ้นของค่าประวิงเวลาในการจำลองที่ใช้ค่าพารามิเตอร์สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่ามาก

ในรูปที่ 4.8 แสดงค่าเวลาที่โนดใช้ในการรับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลัก นับตั้งแต่โนดหลักเริ่มส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมา ผลการทดลองที่ใช้การตั้งค่าที่ไม่อิงสภาพแวดล้อมจริงดังรูปที่ 4.8(a) และ 4.8(b) พบว่ามีค่าเท่ากับเวลาที่โนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโนดหลักในรูปที่ 4.7(a) และ 4.7(b) แสดงว่าโนดในระบบได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ที่โนดหลักส่งออกมาตัวที่หนึ่งดังรูปที่ 4.9(a) และ 4.9(b) นอกจากนั้นผลการทดลองที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริงรูปที่ 4.8(c) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเวลาที่โนดจะได้รับกลุ่มข้อมูลแจ้งเตือนแรกจากโนดหลักในรูปที่ 4.7(c) ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก นั่นคือโนดในระบบได้รับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลักตั้งแต่ที่โนดหลักส่งออกมาเป็นตัวแรก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.9(c)

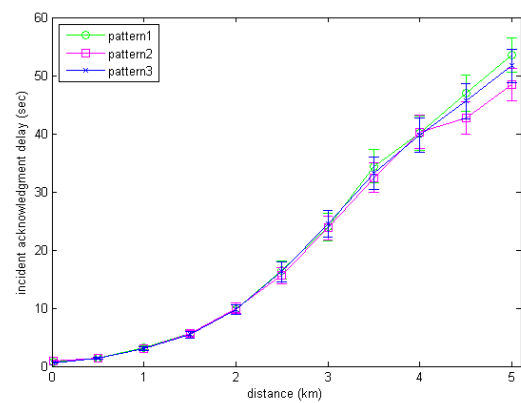
จากผลการทดลองเปรียบเทียบการจำลองระบบด้วยการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกัน สังเกตได้ว่าทำให้ได้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มเหมือนกันเกือบทุกกรณี ซึ่งถ้าเป็นระบบที่พิจารณาเฉพาะแนวโน้มแต่ไม่สนใจค่าที่ได้ก็สามารถใช้การจำลองระบบอย่างง่ายได้ แต่สำหรับระบบแจ้งเตือนอุบัติการณ์เพื่อความปลอดภัยบนท้องถนนนั้นค่าเวลาประวิงเป็นปัจจัยสำคัญจึงมีผลต่อการคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่าในบางกรณีการจำลองระบบอย่างง่ายก็ให้ผลที่มีแนวโน้มแตกต่างจากการจำลองระบบที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริง และเมื่อพิจารณาผลของค่าประวิงเวลาที่โนดจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลักนับตั้งแต่ที่ส่งออกมาจากโนดหลักเป็นตัวแรก เนื่องจากโนดหลักนั้นส่งข้อมูลแจ้งเตือนหนึ่งออกมาหลายตัวเพื่อเป็นการรับประกันว่าโนดในระบบจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอย่างแน่นอน จากผลที่สังเกตได้พบว่ากรณีที่โนดหลักส่งข้อมูลแจ้งเตือนออกมามากเกินไป ก็อาจจะเป็นจำนวนที่มากเกินไปเพราะโนดในระบบจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ตัวแรก ๆ แล้ว



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

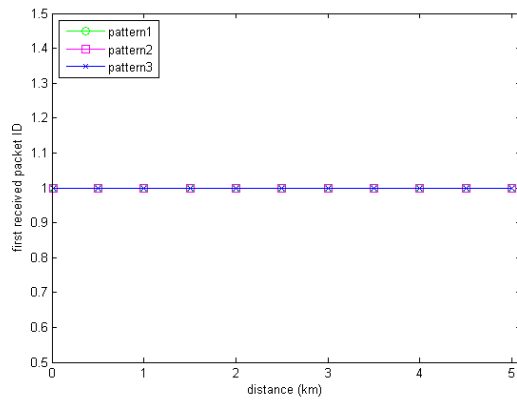


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

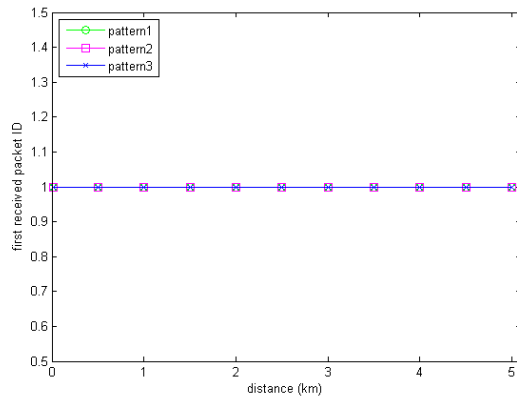


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

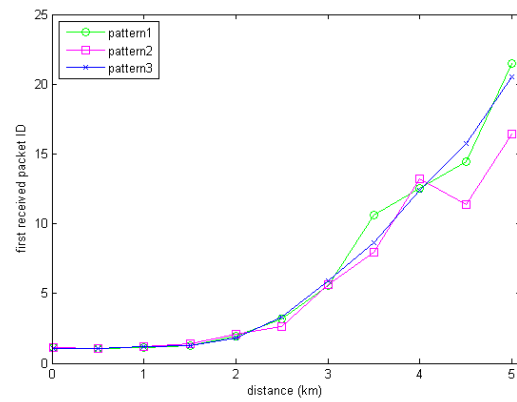
รูปที่ 4.5: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุการณจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

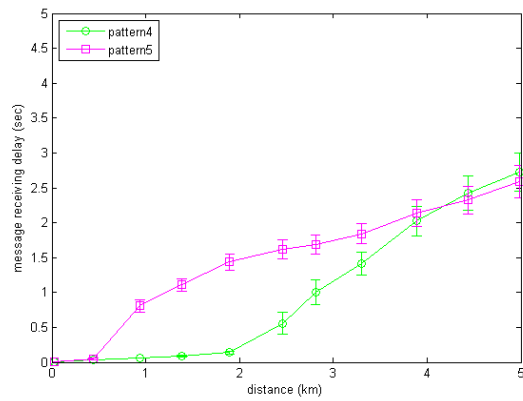


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

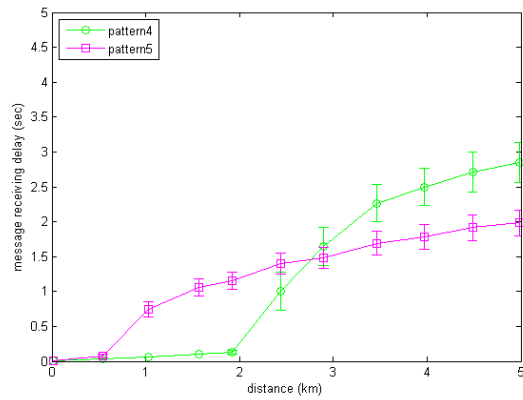


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

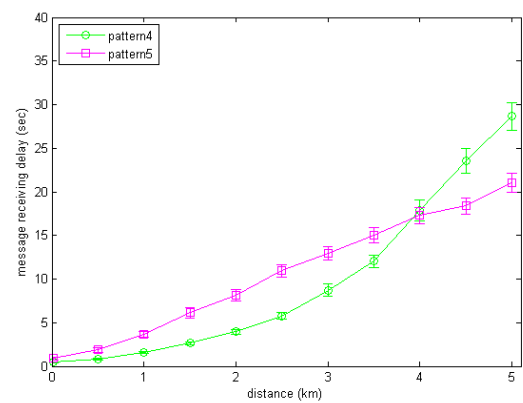
รูปที่ 4.6: หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

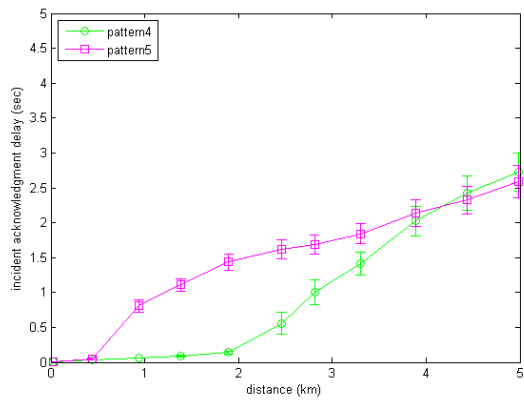


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

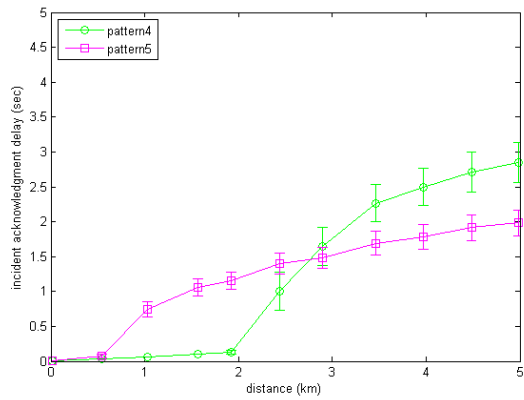


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

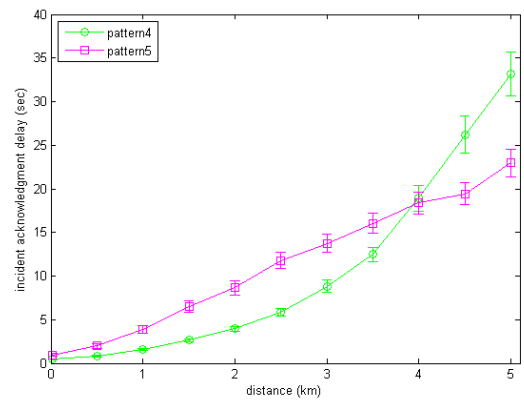
รูปที่ 4.7: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1

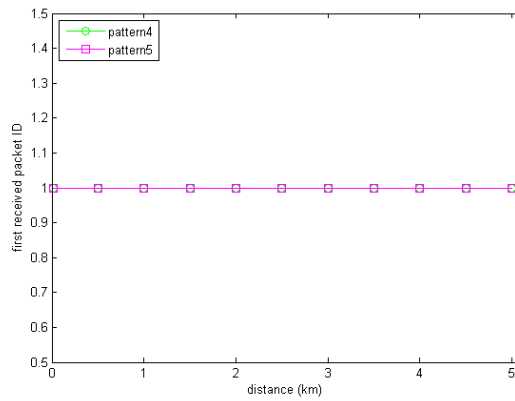


(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2

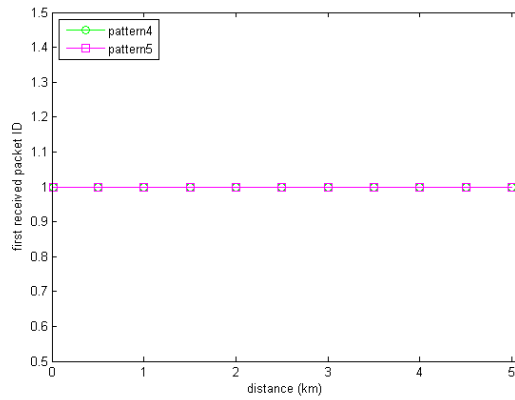


(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

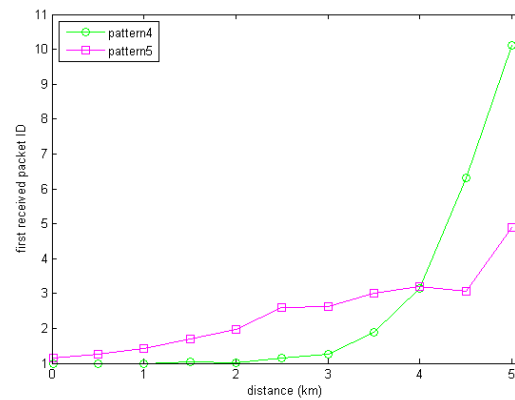
รูปที่ 4.8: เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุการณจากโนดหลัก



(a) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 1



(b) ตำแหน่งสุ่มแบบที่ 2



(c) การตั้งค่าที่ใกล้เคียงการทดสอบจริง

รูปที่ 4.9: หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก

4.2 การทดสอบระบบขนาดใหญ่เปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลของโนดหลักที่แตกต่างกัน

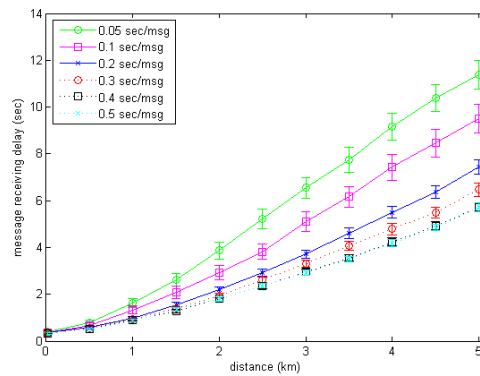
จากการทดสอบจริงในระบบขนาดเล็กที่โนดไม่มีการเคลื่อนที่นั้นพบว่า ในบางกรณีเมื่อใช้อัตราการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันจะส่งผลให้อัตราส่วนการได้รับข้อมูลไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลที่ควรนำมาพิจารณา ในหัวข้อนี้จึงได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบผลกระทบของการใช้อัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนในระบบแฉ่งเต็อนอุบัติเหตุการณ์ที่มีขนาดใหญ่ ด้วยการใช้อัตราการส่งข้อมูลที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริงที่โนดมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะห่างระหว่างแต่ละโนด 20 เมตร โดยผลการทดลองสังเกตจากเวลาที่โนดได้รับข้อมูลแรกจากโนดหลักดังรูปที่ 4.10(a) พบว่ายิ่งโนดอยู่ห่างจากโนดแฉ่งเต็อนมากขึ้นจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนมีผลต่อค่าประวิงเวลามากขึ้น ซึ่งในช่วงต้นของถนนนั้นอัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนที่ต่างกันแทบไม่มีผลต่อค่าประวิงเวลา ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับการทดสอบจริงในโครงข่ายขนาดเล็กที่โนดไม่เคลื่อนที่ที่พบว่าอัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนไม่มีผลต่อค่าประวิงเวลา ซึ่งเปรียบเทียบโนดในช่วงต้นของถนนในการจำลองระบบนั่นเอง และเมื่อสังเกตอัตราส่วนในการได้รับข้อมูลจากรูป 4.10(c) จะเห็นว่าถ้าเราใช้อัตราการส่งข้อมูลของโนดแฉ่งเต็อนออกมาถี่มากขึ้นจะทำให้ข้อมูลมีโอกาสสูญหายสูงกว่า และโนดในระยะห่างจากโนดหลักที่แตกต่างกันก็ม้อตราส่วนการได้รับข้อมูลใกล้เคียงกัน แสดงว่าระยะห่างจากโนดหลักมีผลกระทบต่อค่าประวิงเวลาอย่างชัดเจน แต่ส่งผลต่อโอกาสการได้รับไม่มากนัก

ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการเลือกอัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนที่เหมาะสม นอกจากการพิจารณาค่าประวิงเวลาที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก และอัตราส่วนการได้รับข้อมูลแฉ่งเต็อนแรกจากโนดหลัก ยังต้องพิจารณาค่าประวิงเวลาที่โนดจะได้รับข้อมูลแฉ่งเต็อนจากโนดหลักนับตั้งแต่โนดหลักส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนแรกออกมาด้วย และในการทดลองโดยสังเกตจากผลเบื้องต้นนี้ สามารถสรุปอย่างง่ายได้ว่าหากเลือกใช้อัตราการส่งข้อมูลที่มีความถี่ต่ำกว่าก็จะทำให้มีประสิทธิภาพของระบบที่ดีกว่า แต่ก็ต้องพิจารณาสถานการณ์ของการทดสอบด้วย เพราะในสถานการณ์แตกต่างกันก็จะทำให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันได้

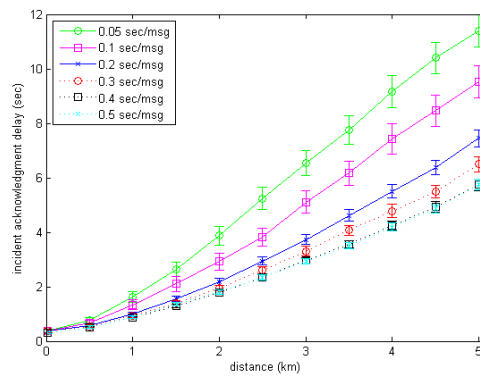
นอกจากนั้น ในการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบการทดลองในรูปที่ 4.10(a) และ 4.10(b) พบว่าค่าเวลาที่ใช้มีความใกล้เคียงกัน แสดงว่าโนดในระบบได้รับข้อมูลแฉ่งเต็อนจากโนดหลักตั้งแต่ตัวแรก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

4.3 สรุป

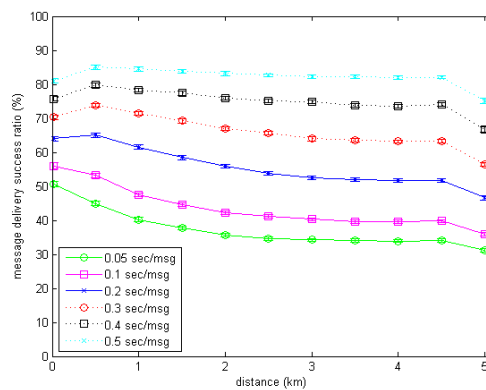
จากผลการทดลองทั้งหมดเห็นได้ว่า การจำลองระบบและการทดสอบจริงมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน และให้ค่าผลการทดสอบที่มีความแตกต่างกัน แต่สามารถทำให้ได้ค่ามีความใกล้เคียงกันได้เพื่อให้การจำลองระบบสะท้อนสภาพแวดล้อมตามจริงได้ โดยการทดสอบจริงเพื่อนำผลที่ได้ไปเทียบหาค่าพารามิเตอร์ที่สอดคล้องในการจำลองระบบ ซึ่งโปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีความสามารถทั้งในการจำลองระบบและนำไปทดสอบจริงด้วย นอกจากนี้ผลการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนอุบัติเหตุการณ์แสดงให้เห็นว่าระบบจะต้องมีการเลือกใช้อัตราที่เหมาะสมที่จำทำให้ส่งข้อมูลแฉ่งเต็อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะพิจารณาได้จากอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกันทำให้โนดใช้เวลาในการรับข้อมูลเพิ่มขึ้นตามระยะทาง และทำให้อัตราส่วนในการได้รับข้อมูลแตกต่างกัน แต่ไม่เพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากโนดหลัก



(a) เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะได้รับกลุ่มข้อมูลแรกจากโนดหลัก

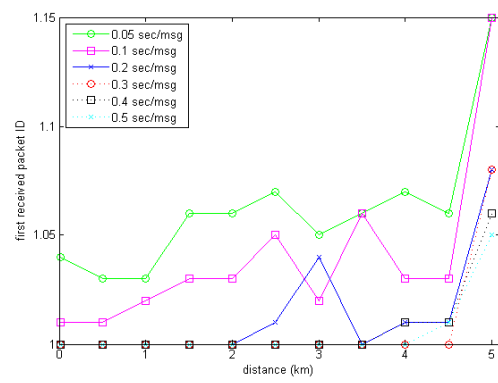


(b) เวลาประวิงที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะรับรู้การเกิดอุบัติเหตุจากโนดหลัก



(c) อัตราส่วนการได้รับข้อมูลแจ้งเตือนจากโนดหลัก

รูปที่ 4.10: ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการส่งข้อมูลของโนดหลัก



รูปที่ 4.11: หมายเลขกลุ่มข้อมูลแรกที่โนด ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้รับจากโนดหลัก

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 ในกรณีศึกษาของระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุที่ใช้โครงข่ายแอตฮอกของยานพาหนะ โดยการใช้ความสามารถในการจำลองระบบและการทดสอบจริงในโปรแกรมเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างการจำลองที่ตั้งค่าพารามิเตอร์อย่างง่ายกับการทดสอบจริง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ข้อดีของการจำลองระบบและการทดสอบจริงมาปรับใช้ร่วมกัน นั่นคือความสามารถในการจำลองระบบขนาดใหญ่ของการจำลองระบบและความสำเร็จของผลการทดสอบที่สะท้อนสภาพแวดล้อมจริงของการทดสอบจริง เพื่อนำมาปรับใช้การจำลองระบบที่ให้ผลน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยมีวิธีการคือ ทดสอบจริงในระบบขนาดเล็กในสภาวะที่โนตเป็นยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่เพื่อนำผลมาเทียบหาค่าพารามิเตอร์ในการจำลองระบบ และนำค่าไปใช้ในการจำลองระบบขนาดใหญ่เพื่อให้ผลการจำลองระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากการทดสอบจริงมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของโครงข่ายที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาการทดสอบระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุพบว่าการใช้อัตราการส่งข้อมูลแจ้งเตือนของโนตแจ้งเตือนอุบัติเหตุที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.05 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูล ถึง 0.5 วินาทีต่อกลุ่มข้อมูลส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง โดยเมื่อใช้อัตราการส่งข้อมูลด้วยความถี่ที่สูงกว่าจะมีโอกาสการสูญหายของข้อมูลมากกว่าการใช้อัตราการส่งข้อมูลด้วยความถี่ต่ำ และส่งผลให้ค่าประวิงเวลาที่โนตที่ระยะต่าง ๆ ได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุสูงกว่าการส่งด้วยความถี่ต่ำ และการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุที่โนตในระบบจะมีค่าประวิงเวลาเพิ่มขึ้นตามระยะทาง ซึ่งถ้าเลือกใช้อัตราการส่งไม่ถูกต้องจะทำให้โนตในระยะไกลได้รับข้อมูลช้าลงมาก แต่ในส่วนของการรับข้อมูลแจ้งเตือนนั้น ไม่ว่าโนตจะอยู่ห่างจากโนตหลักด้วยระยะเท่าใดก็จะมีผลกระทบที่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. อัตราการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุที่เหมาะสม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอให้เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุ ที่เกิดจากการใช้อัตราการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ซึ่งในระบบแจ้งเตือนอุบัติเหตุ นั้นมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาคือ เวลาที่โนตจะได้รับข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุ และโอกาสที่โนตจะได้รับข้อมูล เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ แล้วจะนำไปสู่การเลือกใช้อัตราที่เหมาะสมได้

2. การพิจารณาจำนวนการส่งข้อมูลแจ้งเตือน

ผลการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ แสดงให้เห็นว่าการส่งข้อมูลแจ้งเตือนหนึ่งหลาย ๆ ครั้งเพื่อเป็นการรับประกันการได้รับข้อมูลแจ้งเตือนของโนตในระบบ แม้ว่าจะมีส่วนช่วยให้โนตได้รับ

ข้อมูลทุกโนดจริง แต่กลับพบว่าโนดได้รับข้อมูลแจ้งเตือนตั้งแต่ตัวแรก ๆ แล้ว ดังนั้น การหาจำนวนการส่งซ้ำของข้อมูลแจ้งเตือนหนึ่งจากโนดหลักที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดจำนวนข้อมูลในระบบที่เกินความจำเป็น เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติการณ์ในอนาคตได้

3. การนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบโปรโตคอล

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองโครงข่าย ns-3 แสดงให้เห็นประโยชน์ของการนำมาพิจารณาการทดสอบประสิทธิภาพของโปรโตคอลที่ออกแบบได้อย่างไม่ยุ่งยาก และยังสามารถเปรียบเทียบหาค่าพารามิเตอร์กับสภาพแวดล้อมจริงเพื่อนำมาจำลองระบบต่อไปได้ จึงเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบโปรโตคอลที่มีความน่าเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Willke, T.L., Tientrakool, P., and Maxemchuk, N.F. A Survey of Inter-Vehicle Communication Protocols and Their Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 11, 2, 2009: 3-20.
- [2] Khakbaz, S., and Fathy, M. A. Reliable Method for Disseminating Safety Information in Vehicular Ad hoc Networks Considering Fragmentation problem. In Proceedings of the Fourth International Conference on Wireless and Mobile Communications, ICWMC '08, 2008: 25-30.
- [3] Bensilmane, A. Optimized Dissemination of Alarm messages in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET). In Proceedings of High Speed Networks and Multimedia Communications, HSNMC 2004, France, 2004:655-666.
- [4] Sun, Q., and Garcia-Molina, H. Using Ad-hoc Inter-vehicle Networks for Regional Alerts. In Technical Report. Stanford University, 2004.
- [5] Qiangyuan Y., and Heijenk, G. Abiding Geocast for Warning Message Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks. In Proceedings of IEEE International Conference on Communications Workshop, ICC Workshops '08, 2008: 400-404.
- [6] The network simulator ns-2. [Online]. Available from: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. [2009, October 10].
- [7] OMNET++ Community Site. [Online]. Available from: <http://www.omnetpp.org/>. [2010, January 25].
- [8] JiST - Java in Simulation Time / SWANS - Scalable Wireless Ad hoc Network Simulator. [Online]. Available from: <http://www.jist.ece.cornell.edu/>. [2010, January 25].
- [9] Cavin, D., Sasson, Y., and Schiper, A. On the Accuracy of MANET Simulators. In Proceedings of the second ACM international workshop on Principles of mobile computing, POMC'02, Toulouse, France, October 30-31, 2002: 38-43.
- [10] Andel, T.R., and Yasinsac, A. On the Credibility of Manet Simulations. IEEE Computer Society, 39, July 2006: 48-54.
- [11] The ns-3 network simulator. [Online]. Available from: www.nsnam.org/. [2009, October 10].
- [12] Weingartner, E., vom Lehn, H., and Wehrle, K. A performance comparison of recent network simulators. In Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC '09, 2009: 1-5.

- [13] Hawas, Y. E., and Napenas, M. J. B. Infrastructureless Inter-Vehicular Real-Time Route Guidance. In Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2008, Beijing, China, October 12-15, 2008: 1213-1219.
- [14] 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, VTC Spring 2008, May, 2008: 2036-2040.
- [15] IEEE 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. June, 2007.
- [16] Muhlethaler, P., Laouiti, A., and Toor, Y. Comparison of Flooding Techniques for Safety Applications in VANETs. In Proceedings of the 7th International Conference on ITS Telecommunications, ITST '07, 2007: 1-6.
- [17] Hrizi, F., and Filali, F. Achieving Broadcasting Efficiency in V2X Networks with a Distance-based Protocol. In Proceedings of the First International Conference on Communications and Networking, ComNet 2009, 2009: 1-8.
- [18] Hewan, T., Nekovee, M., and Coveney, P.V. Parameter Exploration in Parallel for Dynamic Vehicular Network Efficiency. In Proceedings of International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications, ACTEA '09, 2009: 16-20.
- [19] Bossom, R., et al. D31 European ITS Communication Architecture. Information Society Technologies Communication for e-Safety. 2009.
- [20] Taliwal, V., et al. Empirical Determination of Channel Characteristics for DSRC Vehicle-to-vehicle Communication. In Proceedings of The First ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, VANET'04. USA, October, 2004.
- [21] Torrent-Moreno, M., et al. Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 58, 7, September 2009: 3684-3702.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

เพียงพูน จักรแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนารีรัตน์จังหวัดแพร่ ในปีการศึกษา 2546 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จปีการศึกษาในปีการศึกษา 2553

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] P. Jakkaew, P. Komolkiti, and C. Aswakul. Application of ns-3 Platform for Performance Evaluation of Incident Warning System Using VANET. International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAT) 2010.

[2] P. Jakkaew, P. Komolkiti, and C. Aswakul. Preliminary ns-3 Evaluation of Ad Hoc Network Testbed for Incident Warning System Application. The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET) 2011