การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

นางสาวชญานิน ไทยนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A STUDY OF ADAPTIVE BEACON TRANSMISSION ON

VEHICULAR AD-HOC NETWORKS

Ms.Chayanin Thaina

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Computer Science

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
โดย	นางสาวชญานิน ไทยนะ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…………………………………………… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

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

…………………………………………… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)

…………………………………………… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม)

ชญานิน ไทยนะ : การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (A STUDY OF ADAPTIVE BEACON TRANSMISSION ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, 121 หน้า.

การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ประกอบด้วยพื้นฐานการทำงานที่สำคัญ คือ การส่งบีคอน เพื่อให้รถยนต์สามารถค้นพบรถยนต์คันอื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง และ แลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ ซึ่งโพรโทคอลส่วนใหญ่จะใช้การส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่ แต่การส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่นั้นเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของระบบ และอาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลได้ เนื่องจากการส่งบีคอนด้วยความถี่สูงในบริเวณที่มีความหนาแน่นของโหนดสูง จะทำให้เกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล และลดประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล ในทางตรงกันข้ามหากมีการส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำในบริเวณที่มีความหนาแน่นของโหนดน้อย จะทำให้โหนดค้นพบโหนดเพื่อนบ้านได้ช้า และทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลลดลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนจึงมีความจำเป็นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยจะนำผลการทดลองบนถนนทางหลวงมาใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน และใช้วิธีการทางด้านสถิติ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น วิธีการทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง คือ K-Nearest Neighbor และวิธีการปรับปรุงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน มาประยุกต์ใช้ในการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของรถยนต์ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการ และพารามิเตอร์ที่นำเสนอนั้น สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนได้รวมทั้งยังคงรักษาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลให้คงเดิม

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต..

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

ปีการศึกษา 2554

5270257021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE
KEYWORDS : VEHICULAR NETWORKS / BEACON / ADAPTIVE BEACON / AD-HOC

CHAYANIN THAINA : A STUDY OF ADAPTIVE BEACON TRANSMISSION ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS. ADVISOR : ASST. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., 121 pp.

A beacon mechanism is one of the most important modules for protocols in vehicular ad-hoc networks. A beacon message is required for neighbor discovery and local information exchange. Most of the protocols in vehicular ad-hoc networks use a short constant beacon interval which can cause lots of overhead. This can degrade protocols' performance due to collision. On the other hand, if protocols use beacon intervals that are too long, it may not be able to discover a neighbor node for their operations. In conclusion, protocols in vehicular ad-hoc networks need an adaptive beacon interval to provide an efficient operation.

This thesis studies several solutions to adapt the beacon interval. The simulation results from highway scenarios are used as training data for adaptive algorithms, which include linear regression analysis, a statistical technique, and K-Nearest Neighbor, a machine learning technique. In addition, a new parameter, "neighbor changing rate" is proposed to improve the previous adaptive solution call "Linear Adaptive Algorithm" (LIA). From the simulation results, the studied algorithms and the proposed parameters can help protocols to decrease their overhead, while maintaining the same performance comparing to their previous beacon mechanism.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และแนวทางในการทำวิจัยอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ผู้ซึ่งทุ่มเท อดทน และเสียสละเวลา รวมทั้งให้การดูแล และเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัย ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และให้แนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้ามาศึกษา ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ ประสบการณ์ที่ดีในการใช้ชีวิตในมหาวิทยาลัย และมีโอกาสได้พบกับอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆที่ดี ขอบคุณทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กัน

และสุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวทั้ง คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และญาติๆทุกคน ที่คอยสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเรียนรู้ และคอยเป็นที่ปรึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจ และอยู่เคียงข้างกันเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ
กิตติกรรมประกาศ........ ฉ
สารบัญ .... ช
สารบัญตาราง........ ญ
สารบัญภาพ .... ฎ
บทที่ 1 บทนำ........ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา........ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย........ 3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 3
1.5 คุณค่าทางวิชาการ........ 4
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์........ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง........ 5
2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก
(MANET : Mobile Ad-hoc Networks)........ 5
2.1.2 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
(VANET : Vehicular Ad-hoc Networks) 7
2.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis)........ 9
2.1.4 K-Nearest Neighbor........ 10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
บทที่ 3 การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก
บนยานพาหนะ 19
3.1 แนวคิดในการออกแบบ........ 20

หน้า

3.2 หลักการทำงาน 20
3.2.1 ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน 20
3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อมีการใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอน แบบคงที่ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน 21
3.2.3 ศึกษาวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน 32
3.3 ตัวอย่างการทำงาน 37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 44
4.1 โพรโทคอลที่นำมาใช้ทดสอบวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน 44
4.2 ตัววัดสมรรถนะของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน 44
4.3 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน 45
4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 46
4.5 ผลการทดลองของค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน 49
4.5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor 49
4.5.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR) 54
4.6 ผลการทดลองของค่าความเชื่อถือได้ 59
4.6.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor 59
4.6.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR) 64
4.7 ผลการทดลองของค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ 69
4.7.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor 69

หน้า

4.7.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)...............74
4.8 ผลการทดลองของความเร็วของการแพร่ข้อมูล..79
4.8.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor...79
4.8.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)...............88
4.9 ผลการทดลองจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ............97
4.9.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor...97
4.9.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)............106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..115
5.1 สรุปผลการวิจัย 115
5.2 ข้อจำกัด 117
5.3 ข้อเสนอแนะ...117
รายการอ้างอิง...119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์...121

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก และการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ 8
ตารางที่ 2.2 สรุปคุณลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
ตารางที่ 3.1 แสดงช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่น........ 31
ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่นของเครือข่าย 37
ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างค่าที่ใช้ในการคำนวณสมการการถดถอยเชิงเส้น 38
ตารางที่ 3.4 แสดงชุดข้อมูลตัวอย่างของวิธีการ K-Nearest Neighbor........ 40
ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 48

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของเครือข่าย ก) แบบพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน และ
ข) เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก 5
ภาพที่ 2.2 แสดงปัญหา Hidden terminal 6
ภาพที่ 2.3 แสดงปัญหา Fading 7
ภาพที่ 2.4 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ [14] 8
ภาพที่ 2.5 ลักษณะของกราฟจากกระบวนการ Linear Regression 10
ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น และ
การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น [8] 15
ภาพที่ 3.1 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง 23
ภาพที่ 3.2 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง 24
ภาพที่ 3.3 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง 25
ภาพที่ 3.4 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น
ก) 2 คัน/กิโมเมตร ข) 6 คัน/กิโลเมตร ค) 10 คัน/กิโลเมตร 26
ภาพที่ 3.5 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น
ก) 20 คัน/กิโมเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 40 คัน/กิโลเมตร 27
ภาพที่ 3.6 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น
ก) 60 คัน/กิโมเมตร ข) 80 คัน/กิโลเมตร 28
ภาพที่ 3.7 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่ความหนาแน่น
ก) 2 คัน/กิโมเมตร ข) 10 คัน/กิโลเมตร ค) 30 คัน/กิโลเมตร 29
ภาพที่ 3.8 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่ความหนาแน่น
ก) 60 คัน/กิโมเมตร ข) 80 คัน/กิโลเมตร 30
ภาพที่ 4.1 รูปแบบถนนที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรมจำลอง 46

หน้า

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 50
ภาพที่ 4.3 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 51
ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 52
ภาพที่ 4.5 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 53
ภาพที่ 4.6 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 55
ภาพที่ 4.7 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 56
ภาพที่ 4.8 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 57
ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 58
ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 60
ภาพที่ 4.11 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 61

หน้า

ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 62
ภาพที่ 4.13 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 63
ภาพที่ 4.14 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 65
ภาพที่ 4.15 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 66
ภาพที่ 4.16 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 67
ภาพที่ 4.17 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 68
ภาพที่ 4.18 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 70
ภาพที่ 4.19 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 71
ภาพที่ 4.20 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 72
ภาพที่ 4.21 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression
และ K-Nearest Neighbor 73
ภาพที่ 4.22 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 75

หน้า

ภาพที่ 4.23 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 76
ภาพที่ 4.24 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 77
ภาพที่ 4.25 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR 78
ภาพที่ 4.26 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่
1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 80
ภาพที่ 4.27 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่
1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 81
ภาพที่ 4.28 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่
5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 82
ภาพที่ 4.29 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่
5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 83
ภาพที่ 4.30 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่
10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 84
ภาพที่ 4.31 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่
10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 85
ภาพที่ 4.32 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่
15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร
ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 86

หน้า

ภาพที่ 4.33 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 87

ภาพที่ 4.34 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 89

ภาพที่ 4.35 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 90

ภาพที่ 4.36 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 91

ภาพที่ 4.37 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 92

ภาพที่ 4.38 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 93

ภาพที่ 4.39 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 94

ภาพที่ 4.40 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 95

ภาพที่ 4.41 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR 96

หน้า

ภาพที่ 4.42 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 98
ภาพที่ 4.43 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 99
ภาพที่ 4.44 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 100
ภาพที่ 4.45 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 101
ภาพที่ 4.46 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 102
ภาพที่ 4.47 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 103
ภาพที่ 4.48 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 104
ภาพที่ 4.49 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor 105
ภาพที่ 4.50 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR 107
ภาพที่ 4.51 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR 108

หน้า

ภาพที่ 4.52 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR............................109
ภาพที่ 4.53 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR 110
ภาพที่ 4.54 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR..........................111
ภาพที่ 4.55 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR 112
ภาพที่ 4.56 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR..........................113
ภาพที่ 4.57 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ
บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR 114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (MANET : Mobile Ad-hoc Networks) กำลังได้รับความนิยม และเป็นที่สนใจในการวิจัย เนื่องจากลักษณะการสื่อสารสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure-less) ดังนั้นโหนดเคลื่อนที่ (Mobile node) จึงสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องผ่านสถานีฐาน (Base station) หรือแอกเซตพอยต์ (Access point) ทำให้สามารถติดตั้งระบบได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเครือข่ายที่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน นอกจากนี้ยังมีการนำการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การสื่อสารบนเครือข่ายตัวรับรู้แบบไร้สาย (WSN : Wireless Sensor Networks) หรือการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (VANET : Vehicular Ad-hoc Networks) เป็นต้น โดยเฉพาะการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะที่มีงานวิจัยทางด้านนี้เป็นจำนวนมาก [1]

การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เป็นการสื่อสารระหว่างรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยพื้นฐานการทำงานที่สำคัญคือ รถยนต์จะต้องสามารถค้นพบรถยนต์คันอื่นที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง และ แลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ที่เป็นเอกลักษณ์สำหรับรถยนต์ที่มีการเปลี่ยนความเร็ว และทิศทางที่รวดเร็ว หรือการที่รถยนต์จะต้องวิ่งอยู่ภายในถนนเท่านั้น ทำให้โพรโทคอลที่จะทำงานอยู่บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้น จะใช้วิธีการส่งบีคอน (Beacon message) ซึ่งโพรโทคอลส่วนใหญ่จะใช้การส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่ เช่น 2 Hz. หรือส่งทุก 0.5 วินาที ดังตัวอย่างในโพรโทคอลหาเส้นทาง (Routing protocol) เช่น VADD [2] หรือ โพรโทคอลแพร่ข้อมูล (Broadcasting protocol) เช่น AckPBSM [3], DV-CAST [4] เป็นต้น เพื่อให้สามารถค้นพบโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ในบริเวณนั้นอย่างรวดเร็ว หรือมีข้อมูลที่มีความแม่นยำเพียงพอต่อการทำงาน ซึ่งการส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย (Overhead) และอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล เนื่องจากการส่งบีคอนด้วยความถี่สูงในบริเวณที่มีความหนาแน่นของโหนดสูง จะทำให้เกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล และทำให้ความเชื่อถือได้ (Reliability) ลดลง ในทางตรงกันข้ามหากมีการส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำในบริเวณที่มีความหนาแน่นของโหนดน้อย จะทำให้โหนดค้นพบโหนดเพื่อนบ้านได้ช้า และทำให้ความเชื่อถือได้ของโพรโทคอลลดลงเช่นเดียวกัน [5]

การปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจึงมีความจำเป็นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เนื่องจากจะช่วยลดค่าใช้จ่าย และรักษาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล ซึ่งการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนย่อมจะส่งผลต่อความเร็วในการค้นหาโหนดเพื่อนบ้าน รวมทั้งความแม่นยำในการทำงาน ดังนั้นการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนจึงเป็นเรื่องที่ท้าทาย และ มีงานวิจัยที่ทำขึ้นมาเพื่อปรับเวลาในการส่งบีคอน ได้แก่ Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad Hoc Networks [6], Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages [7], Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-Hoc Networks [8] และ Exploration of adaptive beaconing for efficient intervehicle safety communication [9] ซึ่งในแต่ละงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

งานวิจัย CAR [6] ใช้วิธีการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนตามจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน โดยที่ความถี่ในการส่งบีคอนจะน้อยลง เมื่อจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัย [7] ใช้เทคนิคการทำนายตำแหน่งปัจจุบันของโหนด โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากบีคอนล่าสุด ซึ่งการส่งบีคอนครั้งถัดไปจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ทำนายได้ (Predicted position) กับตำแหน่งที่แท้จริง (Actual position) ของโหนด หากตำแหน่งที่ทำนายได้ต่างจากตำแหน่งที่แท้จริงเกินค่าที่กำหนดไว้จะทำการส่งบีคอนครั้งใหม่

งานวิจัย [8] เสนอขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการคำนวณช่วงเวลาสำหรับการส่งบีคอนที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของเครือข่าย 2 วิธี โดยวิธีแรก คือการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (Linear Adaptive Algorithm) ซึ่งมีการกำหนดช่วงเวลาน้อยที่สุดและมากที่สุดในการส่งบีคอน และวิธีที่สอง คือการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (Step Adaptive Algorithm) โดยจะแบ่งช่วงตามระดับความหนาแน่นของเครือข่าย

งานวิจัย [9] เสนอแนวคิดการปรับค่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนตามสถานการณ์ของการจราจรปัจจุบัน โดยพิจารณาจากข้อมูลการเคลื่อนที่ของรถตัวเอง (Vehicle’s own movement) เช่น ความเร็ว และความเร่ง กับการเคลื่อนที่ของรถบริเวณรอบข้าง (Surrounding vehicles’ movement) เช่น รถวิ่งเข้าใกล้ หรือรถวิ่งตัดกัน เป็นต้น

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ยังไม่มีงานวิจัยใดที่มีการนำวิธีการทางด้านสถิติ วิธีการทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และวิธีการปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน มาประยุกต์ใช้ในการ

ปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน ซึ่งหากมีการนำวิธีการเหล่านี้มาใช้ จะช่วยให้การปรับค่าบีคอนมีความเหมาะสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่าย (Overhead) ที่เกิดจากการส่งบีคอนลดน้อยลง ทำให้ช่องสัญญาณในการสื่อสารมีที่ว่างมากขึ้นสำหรับบริการอย่างอื่นที่เพิ่มขึ้นได้ รวมทั้งยังคงรักษาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล และเนื่องจากแต่ละแอพพลิเคชั่น (Application) มีความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากมีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยพิจารณาถึงความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูลร่วมด้วย จะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอนได้มากยิ่งขึ้น โดยที่ประสิทธิภาพในการทำงานโดยรวมของระบบนั้นคงเดิมหรือเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน โดยที่ยังคงรักษาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) โหนดมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโหนดเพื่อนบ้าน ในระดับการรับส่งสัญญาณของตัวเองเท่านั้น

2) การพัฒนา และการทดสอบทำบนโปรแกรมจำลอง NS-2.34

3) การจำลองพฤติกรรมของรถยนต์ทำบนโปรแกรมจำลอง SUMO โดยใช้ถนนยาวตรงแทนการทดลองบนถนนทางหลวง และใช้ถนนรูปแบบตารางแทนการทดลองถนนในเมือง

4) โพรโทคอลที่นำมาทดสอบวิธีการที่นำเสนอนั้น เป็นโพรโทคอลที่ตระหนักถึงความเร็วในการแพร่ข้อมูลเท่านั้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาวิธีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

2) ทำการทดลองส่งบีคอนโดยใช้เวลาในการส่งบีคอน และค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน

3) รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำมาสรุปช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์

4) ศึกษาและค้นคว้าหาวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน

5) ออกแบบวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

6) ทดสอบ และเก็บข้อมูล

7) วิเคราะห์ผลการทดลอง

8) ปรับปรุง และแก้ไข เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด

9) สรุปผล และเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

1) การปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน เป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน และรักษาเร็วของการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) ให้เป็นไปตามความต้องการของแอพพลิเคชั่น

2) วิธีที่นำเสนอ สามารถนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของโพรโทคอลหรือแอพพลิเคชั่นที่ต้องการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอน เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

1) หัวเรื่อง “A Study of Adaptive Beacon Transmission on Vehicular Ad-Hoc Networks” โดย ชญานิน ไทยนะ, กุลิสร์ ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The 13th International Conference on Communication Technology (ICCT 2011)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองจี่หนาน (Jinan) ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 25-28 กันยายน 2554

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

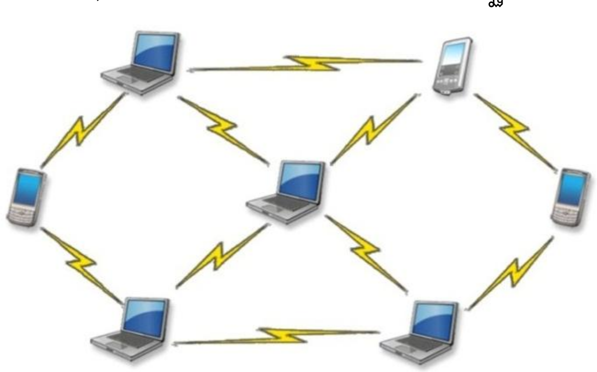
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 **การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก** (MANET : Mobile Ad-hoc Networks)

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก เป็นการสื่อสารไร้สายระหว่างโหนดเคลื่อนที่ (Mobile node) เช่น โทรศัพท์มือถือ, คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Notebook) และ PDA (Personal Digital Assistant) เป็นต้น โดยมีการทำงานแบบ multi-hop ซึ่งไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน ทำให้แต่ละโหนดเป็นอิสระในการติดต่อสื่อสาร

ประโยชน์ของการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก คือ สามารถทำงานในพื้นที่ที่ติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานไม่ได้ เช่น ในสนามรบ, ห้องประชุม และห้องเรียน เป็นต้น [10] ทำให้ติดตั้งระบบได้อย่างรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบที่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน

ก) เครือข่ายแบบพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน



ข) เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

ภาพที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของเครือข่าย ก) แบบพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน และ ข) เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก มีลักษณะเฉพาะ ดังนี้ [11]

- โหนดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic Topology) เนื่องจากแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

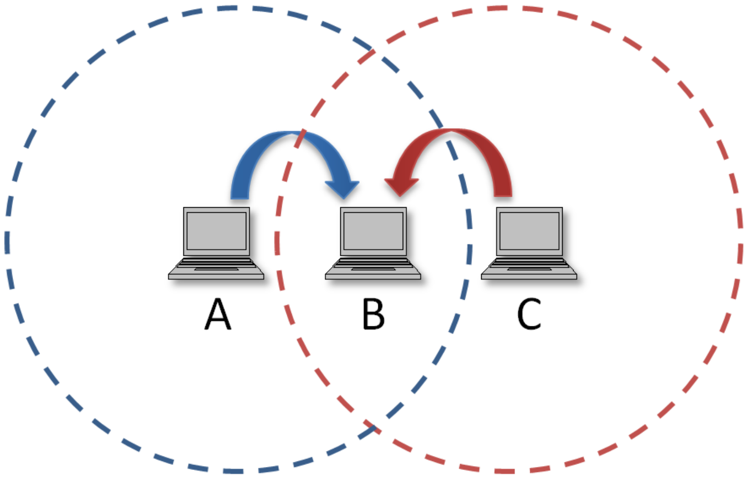
- ข้อจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ เนื่องจากเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งจะมีแบนด์วิดท์น้อยกว่าการสื่อสารแบบใช้สาย อาจจะทำให้เกิดปัญหาการคับคั่ง (Congestion) ของข้อมูล

- ข้อจำกัดทางด้านพลังงาน เนื่องจากโหนดใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

- ปัญหาทางด้านความปลอดภัย เนื่องจากเป็นเครือข่ายแบบไร้สาย

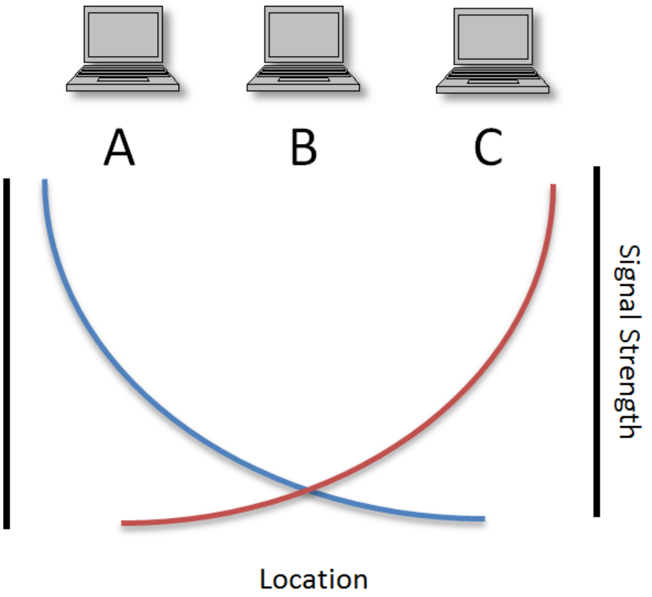
เนื่องจากลักษณะการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกนั้น โหนดจะมีการแพร่ข้อมูล (Broadcast) และใช้สื่อกลางร่วมกัน ดังนั้นอาจจะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณได้ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 กรณี [12] คือ

1) กรณีเมื่อมีโหนด 3 โหนด ได้แก่ โหนด A, B และ C โดยที่โหนด B สามารถติดต่อสื่อสารได้ทั้งโหนด A และ C แต่โหนด A และ C ไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันโดยตรงได้ ดังนั้น ในขณะที่โหนด A กำลังส่งข้อมูลให้โหนด B และโหนด C ก็ทำการส่งข้อมูลให้โหนด B เช่นเดียวกัน จะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณขึ้น และส่งผลให้โหนด B ไม่สามารถเข้าใจข้อมูลจากโหนด A และ C ได้ ซึ่งเรียกปัญหานี้ว่า Hidden Terminal



ภาพที่ 2.2 แสดงปัญหา Hidden terminal

2) อีกกรณีหนึ่งเมื่อโหนด 3 โหนด ได้แก่ โหนด A, B และ C โดยที่ทั้ง 3 โหนดอยู่ในระยะที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ แต่ในกรณีที่โหนด A กำลังส่งข้อมูลให้กับโหนด B แล้วเกิดการลดทอนของสัญญาณเมื่อวิ่งผ่านตัวกลาง ทำให้โหนด C ไม่ได้ยินการส่งข้อมูลของโหนด A ถ้าโหนด C ส่งข้อมูลไปหาโหนด B ด้วยก็จะทำให้เกิดการชนกัน ซึ่งปัญหานี้เรียกว่า Fading

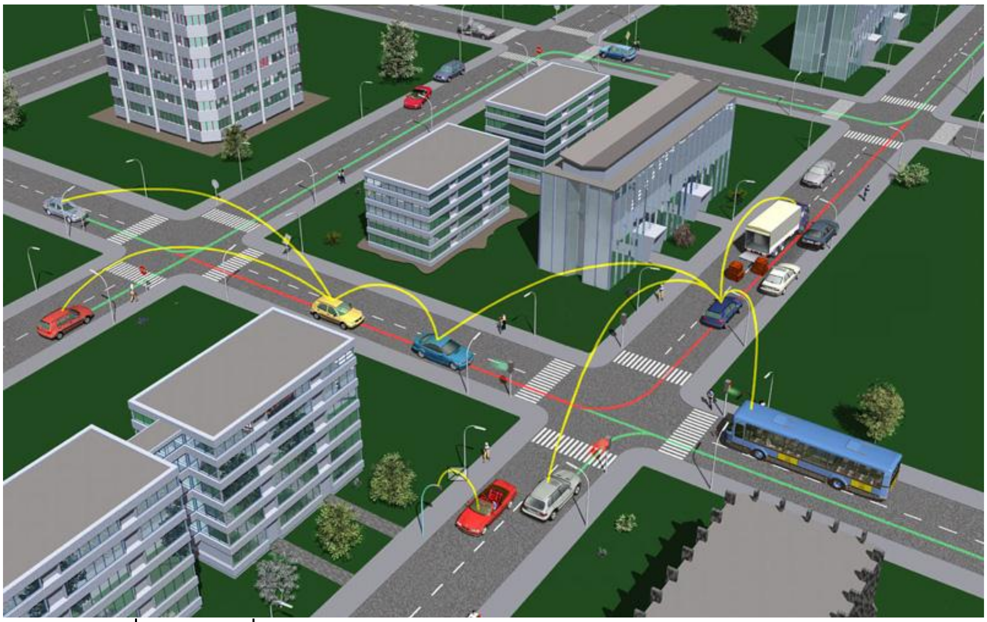


ภาพที่ 2.3 แสดงปัญหา Fading

ดังนั้นตามมาตรฐาน IEEE 802.11 [13] จึงได้มีการพัฒนากระบวนการทำงานเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โดยใช้ Request To Send (RTS) และ Clear To Send (CTS) เพื่อจองการเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อผู้ส่งต้องการจะส่งข้อมูล จะทำการส่ง RTS ไปให้ผู้รับก่อน จากนั้นผู้รับจึงส่ง CTS กลับไปให้ผู้ส่งเพื่อบอกว่าอนุญาตให้ผู้ส่งทำการส่งข้อมูลได้ ซึ่งโหนดอื่นๆที่ได้ยิน CTS จะไม่สามารถส่งข้อมูลได้ หากมีโหนดต้องการจะส่งข้อมูลจะต้องทำการสุ่มเวลารอ และเมื่อช่องสัญญาณว่างจึงทำการนับถอยหลังเวลารอ จากนั้นโหนดที่มีเวลารอสั้นที่สุดจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้

2.1.2 **การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ** (VANET : Vehicular Ad-hoc Networks)

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เป็นการสื่อสารไร้สายระหว่างรถยนต์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ ผู้ขับขี่หรือผู้โดยสารได้รับความปลอดภัย และความสะดวกสบายในการใช้รถใช้ถนน



ภาพที่ 2.4 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ [14]

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ มีลักษณะเฉพาะ ดังนี้ [15]

- โหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ดังนั้นเวลาในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดจะค่อนข้างน้อย
- โหนดมีจำนวนมาก เนื่องจากปัจจุบันมีจำนวนของรถยนต์บนท้องถนนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ
- โหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้โทโพโลยีเกิดการเปลี่ยนแปลงบ่อย

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก
และการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

คุณลักษณะ	**การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก**	**การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ**
ความเร็วในการเคลื่อนที่	ต่ำ	สูง
การเปลี่ยนแปลงของโทโพโลยี	ช้า	รวดเร็ว และเกิดขึ้นบ่อย
การแบ่งส่วนของเครือข่าย	น้อย	มาก
รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด	สุ่ม (Random)	เคลื่อนที่ตามถนน

การส่งบีคอนในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (Beaconing in VANETs)

การทำงานพื้นฐานที่สำคัญสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ คือ การส่งบีคอน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้โหนดสามารถค้นพบโหนดเพื่อนบ้าน (Neighbor node) และทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ โดยที่โพรโทคอลส่วนใหญ่จะมีการใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ เช่น 2 Hz. หรือส่งทุก 0.5 วินาที ซึ่งข้อมูลที่อยู่ในบีคอน อาจจะประกอบด้วย

- หมายเลขเฉพาะตัวของโหนด
- ตำแหน่ง, ความเร็ว และทิศทางของโหนด
- รายการของข้อความที่ได้รับ (Acknowledgement) เป็นต้น

2.1.3 **การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น** (Linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการพยายามหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่า หรือพยากรณ์ กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) หรือตัวแปรที่ทราบค่าแล้ว โดยที่ตัวแปรอิสระนั้นส่งผลกระทบต่อตัวแปรตาม ดังเช่นภาพที่ 2.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว แสดงดังสมการ (1)

$$\hat{Y} = a + bX \tag{1}$$

เมื่อ $\hat{Y}$ คือ ตัวแปรตาม

X คือ ตัวแปรอิสระ

a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

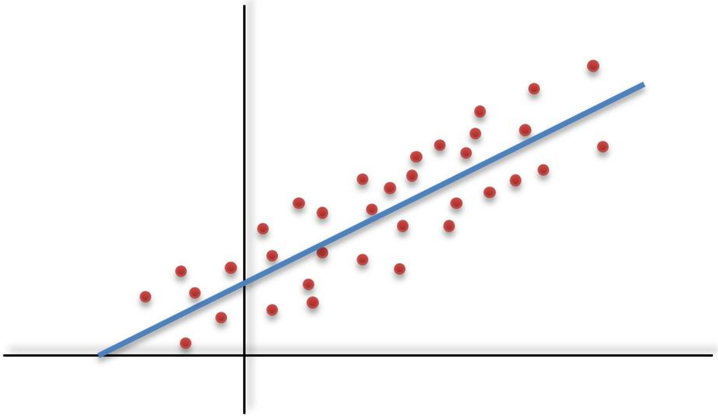
การหาค่าตัวแปร a และ b ทำได้ดังดังสมการ (2) และ (3)

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{3}$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (y) ทั้งหมด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ (x) ทั้งหมด



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของกราฟจากกระบวนการ Linear Regression

2.1.4 K-Nearest Neighbor

K-Nearest Neighbor เป็นเทคนิคหนึ่งในการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial intelligence) และ เป็นการเรียนรู้โดยตัวอย่าง (Instance-Based Learning) สามารถประมาณค่าได้ทั้ง discrete-valued หรือ real-valued [16] โดยที่

- Discrete-valued คือ ค่าที่แบ่งประเภทชัดเจน เช่น อ้วน หรือไม่อ้วน เป็นต้น

- Real-valued คือ ค่าที่บอกเป็นตัวเลขทศนิยม เช่น อุณหภูมิ, ระยะทาง เป็นต้น

การเรียนรู้ของ K-Nearest Neighbor จะมีการเก็บชุดตัวอย่างสอน (Training data) ในรูปแบบ $(x_i, f(x_i))$ โดยที่จะสมมุติว่าตัวอย่างสอนแต่ละตัวคือจุดที่อยู่ใน n-dimensional space ซึ่งในการใช้งานนั้นจะต้องมีการกำหนดค่า k เพื่อระบุจำนวน nearest neighbor ของชุดข้อมูลสอนที่จะนำมาใช้ในการหาค่าคำตอบที่ต้องการ

Nearest neighbor ของชุดข้อมูลสอน สามารถหาได้โดยใช้วิธีการวัดระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance) ดังนี้

ให้ x ประกอบด้วย *attribute* $< a_1x, a_2x, \ldots, a_nx >$ ดังนั้น a_rx คือ ค่าใน *attribute* ลำดับที่ r ของ x

ถ้ามีข้อมูลที่ต้องการหาคำตอบ คือ x_q

ค่าระยะทางระหว่าง x_q และ x_i เขียนแทนด้วย $d(x_q, x_i)$ สามารถหาได้ดังสมการ (4)

$$d(x_q, x_i) = \sqrt{\sum_{r=1}^{n}(a_r(x_q) - a_r(x_i))^2} \tag{4}$$

เมื่อหาค่าระยะทางครบทุกกรณี nearest neighbor คือ กรณีตัวอย่างที่มีระยะทางน้อยที่สุด k กรณี และสามารถหาค่าคำตอบได้ ดังสมการ (5)

$$\hat{f}(x_q) \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{k}(f(x_i))}{k} \tag{5}$$

Distanced-weighted nearest neighbor

เป็นเทคนิคการประมาณค่าที่ละเอียดมากขึ้น โดยจะมีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ของแต่ละ neighbor ซึ่งจะเป็นการให้ค่าน้ำหนักตามระยะทางของ neighbor นั้น กับข้อมูลที่ต้องการหาคำตอบ ดังสมการ (6)

$$w_i \equiv \frac{1}{d(x_q, x_i)^2} \tag{6}$$

เมื่อหาค่าค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละ nearest neighbor เสร็จแล้ว สามารถหาค่าคำตอบได้ดังสมการ (7)

$$\hat{f}(x_q) \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{k} w_i(f(x_i))}{\sum_{i=1}^{k} w_i} \tag{7}$$

เมื่อ w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละ neighbor

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่พัฒนาเกี่ยวกับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน มีการใช้วิธีการที่แตกต่างกันดังนี้

Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad Hoc Networks [6]

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การหาเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างโหนดต้นทาง (Source) และโหนดปลายทาง (Destination) โดยมีการใช้ “Guards” เป็นตัวช่วยในการติดตามตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทาง นอกจากนี้ยังนำเสนอวิธีในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน ซึ่งช่วงเวลาในการส่งบีคอนนั้นจะปรับไปตามจำนวนของโหนดเพื่อนบ้าน โดยที่ความถี่ในการส่งบีคอนจะต่ำลงเมื่อจำนวนเพื่อนบ้านมากขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

$$Beacon\ interval = 0.5 \times weight \tag{8}$$

เมื่อ $Beacon\ interval$ คือ ช่วงเวลาในการส่งบีคอน
$weight$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เป็นสัดส่วนกับจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน

ในงานวิจัยนี้ทำการปรับค่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยพิจารณาจากจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอนได้ในระดับนึงเท่านั้น

Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages [7]

นำเสนอวิธีการปรับปรุงตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านให้มีความแม่นยำมากขึ้น และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน โดยใช้ข้อมูลจากบีคอนที่ได้รับครั้งล่าสุดมาทำนายตำแหน่งของโหนด ซึ่งมีการทำงานดังนี้

- โหนดต้นทางใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากการแพร่ข้อมูล (Broadcast) ครั้งล่าสุด $p_0 = (x_0, y_0)$ ที่เวลา t_0 และข้อมูลตำแหน่งปัจจุบัน $p_1 = (x_1, y_1)$ ที่เวลา t_1 มาคำนวณทิศทาง และความเร็วในการเคลื่อนที่ $v = (s_x, s_y)$ ดังสมการ (9)

$$s_x = (x_1 - x_0)/(t_1 - t_0)$$
$$s_y = (y_1 - y_0)/(t_1 - t_0) \quad (9)$$

- โหนดต้นทางแนบข้อมูลหมายเลขประจำตัวของโหนด, ตำแหน่ง p_1 และเวกเตอร์ (Vector) v ไปกับบีคอน
- เมื่อโหนดที่ได้รับบีคอน (n_r) จากโหนดต้นทาง (n_s) ที่เวลา T_0 ต้องการข้อมูลตำแหน่งของโหนด n_s ที่เวลา T_1 จะคำนวณหาตำแหน่ง $P = (x_p, y_p)$ โดยใช้สมการ (10)

$$x_p = x_1 + s_x \times (T_1 - T_0)$$
$$y_p = y_1 + s_y \times (T_1 - T_0) \quad (10)$$

- โหนดต้นทางจะทำนายค่าตำแหน่งของตัวเอง และเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่แท้จริงเป็นระยะๆ จนกระทั่งค่าความผิดพลาด (Error) มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งแสดงว่าตำแหน่งที่ทำนายได้แตกต่างจากตำแหน่งปัจจุบันมากเกินไป จึงทำการส่งบีคอนครั้งใหม่ออกไป

วิธีการที่นำเสนอนี้ แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของตำแหน่งที่ได้จากการทำนาย และตำแหน่งที่แท้จริงของโหนด ซึ่งในการทำงานจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลตำแหน่ง (GPS)

Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-Hoc Networks [8]

เสนอวิธีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนให้เปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่นของเครือข่าย ซึ่งพิจารณาจากจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ดังสมการ (11)

$$s = (w_1 \times n) + (w_2 \times m) \quad (11)$$

เมื่อ	s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
	n	คือ	จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน
	m	คือ	จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด

w_1, w_2	คือ	ค่าถ่วงน้ำหนักจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด

เมื่อทราบค่าความหนาแน่น จะนำมาคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอน ซึ่งมีวิธีการคำนวณ 2 วิธี ดังนี้

1) การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA : Linear Adaptive Algorithm) มีสมการดังนี้

$$f(s) = \min(MinInv + (c \times s), MaxInv) \tag{12}$$

เมื่อ

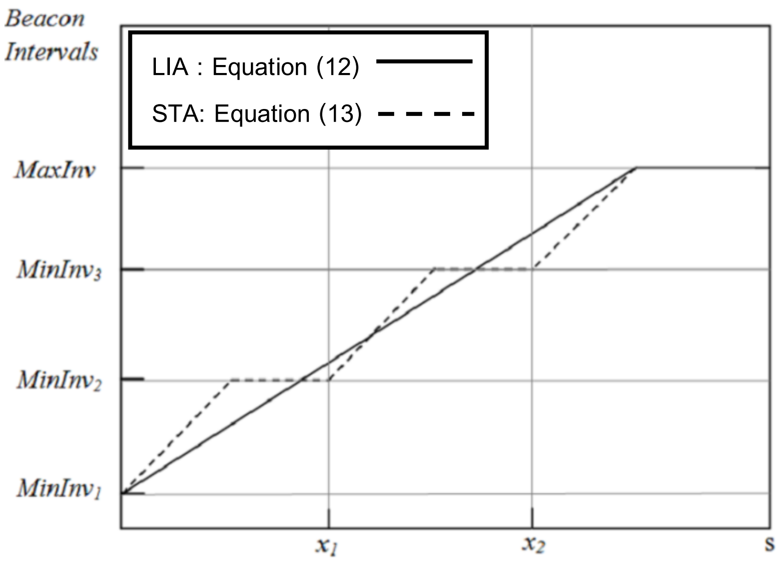
$f(s)$	คือ	ช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป
$MinInv$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุดในการส่งบีคอน
c	คือ	ค่าคงที่ในการเพิ่มเวลา
s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
$MaxInv$	คือ	ช่วงเวลายาวสุดในการส่งบีคอน

2) การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (STA : Step Adaptive Algorithm) มีสมการดังนี้

$$f(s) = \begin{cases} s \le x_1 & \min(MinInv_1 + (c_1 \times s), MinInv_2) \\ x_1 \le s \le x_2 & \min(MinInv_2 + (c_2 \times s), MinInv_3) \\ s > x_2 & \min(MinInv_3 + (c_3 \times s), MaxInv) \end{cases} \tag{13}$$

เมื่อ

$f(s)$	คือ	ช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป
$MinInv_1$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุดในการส่งบีคอน
$MinInv_2, MinInv_3$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุด เมื่อมีความหนาแน่นของเครือข่ายมากกว่า x_1 และ x_2
c_1, c_2, c_3	คือ	ค่าคงที่ในการเพิ่มเวลาในแต่ละขั้น
s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
$MaxInv$	คือ	ช่วงเวลายาวสุดในการส่งบีคอน



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น
และ การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น [8]

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยเน้นที่การทำให้ความเร็วในการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) เร็วที่สุด โดยไม่ได้พิจาณาในกรณีที่แต่ละแอพพลิเคชั่นต้องการความเร็วในการแพร่ข้อมูลไม่เท่ากัน

Exploration of adaptive beaconing for efficient intervehicle safety communication [9]

นำเสนอการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนตามสถานการณ์ของการจราจรปัจจุบัน โดยมีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถตัวเอง กับการเคลื่อนที่ของรถบริเวณรอบข้าง ดังนี้

1) การปรับค่าบีคอนโดยขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของรถตัวเอง (Adaptation Depending on a Vehicle’s Own Movement) ใช้เกณฑ์ในการพิจารณา คือ

- ความเร็ว (Velocity) ความถี่ในการส่งบีคอนควรที่จะสูงขึ้นเมื่อความเร็วของรถมากขึ้น
- การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ (Movement change) โดยพิจารณาจากความเร่ง (Acceleration) และ การเหวี่ยงของตัวรถ (Yaw rate) เนื่องจากสถานการณ์ที่รถมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว จะมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย จึงควรให้มีความถี่ในการส่งบีคอนสูง

- ประเภทของรถ หากเป็นรถเฉพาะ เช่น รถฉุกเฉิน หรือรถดับเพลิง เป็นต้น ควรจะมีความถี่ในการส่งบีคอนสูงกว่ารถทั่วไป

2) การปรับค่าบีคอนโดยขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของรถบริเวณรอบข้าง (Adaptation Depending on Surrounding Vehicles' Movement) แบ่งออกเป็น

- มุมมองมหทรรศน์ (Macroscopic aspect) พิจารณาจากความหนาแน่นของรถ โดยที่ความถี่ในการส่งบีคอนจะต่ำลงเมื่อความหนาแน่นของรถมากขึ้น

- มุมมองจุลทรรศน์ (Microscopic aspect) เป็นการปรับความถี่ในการส่งบีคอนให้สูงขึ้นเมื่อเกิดสถานการณ์เฉพาะ เช่น รถวิ่งเข้าใกล้กันมากเกิน หรือ รถกำลังจะเปลี่ยนเลนส์ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้กับการปรับค่าบีคอน ซึ่งเป็นเพียงทฤษฎีเท่านั้น ไม่ได้เสนอขั้นตอนวิธีในการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละงานวิจัยได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะ	CAR [6]	Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages [7]	Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-Hoc Networks [8]	Exploration of adaptive beaconing for efficient inter-vehicle safety communication [9]	**วิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่เสนอ แบบ** Linear Regression Analysis	**วิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่เสนอ แบบ** K-Nearest Neighbor	**วิธีการปรับปรุงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น โดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน**
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	- จำนวนเพื่อนบ้าน	- ตำแหน่ง - ทิศทาง - ความเร็ว	- จำนวนเพื่อนบ้าน - จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด	- ความเร็ว - ความเร่ง - การเหวี่ยงของรถ - ประเภทของรถ - ความหนาแน่น - สถานการณ์เฉพาะ	- จำนวนเพื่อนบ้าน - จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด - ความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูล	- จำนวนเพื่อนบ้าน - จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด - ความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูล	- จำนวนเพื่อนบ้าน - จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด - การเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน
วิธีการที่ใช้	ฟังก์ชันเชิงเส้น	- การทำนายตำแหน่งของโหนด	- การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น - การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น	ไม่ได้นำเสนอ	- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น	- การเรียนรู้จากตัวอย่าง	- การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

คุณลักษณะ	CAR [6]	Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages [7]	Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-Hoc Networks [8]	Exploration of adaptive beaconing for efficient inter-vehicle safety communication [9]	**วิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่เสนอ แบบ** Linear Regression Analysis	**วิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่เสนอ แบบ** K-Nearest Neighbor	**วิธีการปรับปรุงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น โดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน**
ข้อมูลตำแหน่ง (GPS)	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ไม่ใช้	ไม่ใช้
ช่วงเวลาในการส่งบีคอน (วินาที)	>=0.5	ไม่รู้	1.5-7	ไม่รู้	>=2.1509	1.5-9	>=1.5

บทที่ 3

การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ประกอบด้วยการทำงานที่สำคัญ คือ รถยนต์จะต้องมีการติดต่อสื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน โดยใช้วิธีการส่งบีคอน แต่เนื่องจากการกระจายตัวของรถยนต์บนถนนในแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ในบางบริเวณอาจจะมีความหนาแน่นของรถยนต์ต่ำ เช่น ถนนทางหลวง ในขณะที่บางบริเวณอาจจะมีความหนานแน่นของรถยนต์สูง เช่น บริเวณทางแยกของถนนในเมือง ดังนั้นการส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องค่าใช้จ่าย (Overhead) ที่เกิดจากการส่งบีคอน และ อาจจะทำให้เกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล และทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงได้

ดังนั้นการศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อหาวิธีการที่จะสามารถลดค่าใช้จ่าย และรักษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

การศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามพารามิเตอร์ใดบ้าง

2) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อมีการใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ และสรุปผลช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมสำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3) ศึกษาวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนได้

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบการศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ มีแนวคิดในการออกแบบดังต่อไปนี้

1) การที่รถยนต์มีการส่งบีคอนด้วยถี่คงที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในระบบเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากมีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนไปตามสภาวะแวดล้อมของรถยนต์จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในระบบลงได้

2) การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันมาทำการทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ จะช่วยให้เห็นแนวทางในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานของระบบสูงสุด

3) การใช้วิธีการทางด้านสถิติ วิธีการทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) และ การปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน ในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนจะทำให้การปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.2 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของการศึกษาการส่งบีคอนแบบปรับค่าได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ แบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน

เป็นการพิจารณาในเบื้องต้นว่ามีพารามิเตอร์อะไรบ้างที่ส่งผลต่อการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน ดังนี้

1) ข้อมูลของโหนด เช่น จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด เนื่องจากพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถสะท้อนถึงความหนาแน่นของเครือข่าย ดังนั้นจึงสามารถนำไปปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนได้ดังนี้

- เมื่อมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนดสูง ควรจะส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำ เพื่อลดการชนกันในการส่งข้อมูล

- เมื่อมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนดต่ำ ควรจะส่งบีคอนด้วยความถี่สูง เพื่อให้สามารถค้นพบโหนดเพื่อนบ้านได้อย่างรวดเร็ว

2) ความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) ของแอพพลิเคชั่น เนื่องจากแต่ละแอพพลิเคชั่นมีความต้องการทางด้านความเร็วในการแพร่ข้อมูลที่แตกต่างกัน ซึ่งหากเป็นแอพพลิเคชั่นที่ไม่ได้ต้องการความเร็วในการแพร่ข้อมูลสูงมาก สามารถปรับให้ความถี่ในการส่งบีคอนต่ำลงได้

3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อมีการใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน

เป็นการทดลองส่งบีคอนโดยใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ และใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน คือ มีความหนานแน่นของรถยนต์แตกต่างกัน และมีข้อความที่ส่งในระบบ 1 ข้อความ แล้วนำผลที่ได้มาสรุปช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยจะมีการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพการทำงานทางด้านค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน (Beacon overhead)

ค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน คำนวณจากแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งบีคอนของแต่ละโหนด และ แต่ละข้อความ

จากภาพที่ 3.1 แสดงค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บนถนนทางหลวง และ ถนนในเมือง สังเกตได้ว่าเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่สูง เช่น ส่งบีคอนทุก 0.1, 0.3 และ 0.5 วินาที ที่ความหนาแน่นของรถยนต์ระดับต่างๆ จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอนสูง โดยเฉพาะถนนในเมืองที่มีรถยนต์จำนวนมาก จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอนสูงกว่าถนนทางหลวง

2) ประสิทธิภาพการทำงานทางด้านความเชื่อถือได้ (Reliability)

ความเชื่อถือได้ คำนวณจากจำนวนรถยนต์ที่ได้รับข้อความหารด้วยจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในการทดลองแต่ละครั้ง

จากภาพที่ 3.2 แสดงความเชื่อถือได้ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง สังเกตได้ว่าบนถนนทางหลวงเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำ เช่น ส่งบีคอนทุก 5,

7 และ 9 วินาที ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของรถยนต์ต่ำ เช่น 2 และ 6 คัน/กิโลเมตร จะทำให้โหนดค้นพบโหนดเพื่อนบ้านได้ช้า ส่งผลให้ความเชื่อถือได้ลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่สูง เช่น ส่งบีคอนทุก 0.1 วินาที ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของรถยนต์มากขึ้น คือ 40, 60 และ 80 คัน/กิโลเมตร จะเกิดการชนกันของข้อมูล และทำให้ความเชื่อถือได้ลดลง

บนถนนในเมืองเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำ เช่น ส่งบีคอนทุก 5, 7 และ 9 วินาที ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของรถยนต์ต่ำ เช่น 2 คัน/กิโลเมตร จะทำให้โหนดค้นพบโหนดเพื่อนบ้านได้ช้า และส่งผลให้ความเชื่อถือได้ลดลงเช่นเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่สูง เช่น ส่งบีคอนทุก 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 วินาที ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของรถยนต์มากขึ้น คือ 10, 30, 60 และ 80 คัน/กิโลเมตร จะเกิดปัญหาการชนกันของข้อมูล และทำให้ความเชื่อถือได้ลดลงเช่นเดียวกัน

3) ประสิทธิภาพการทำงานทางด้านค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ (Retransmission)

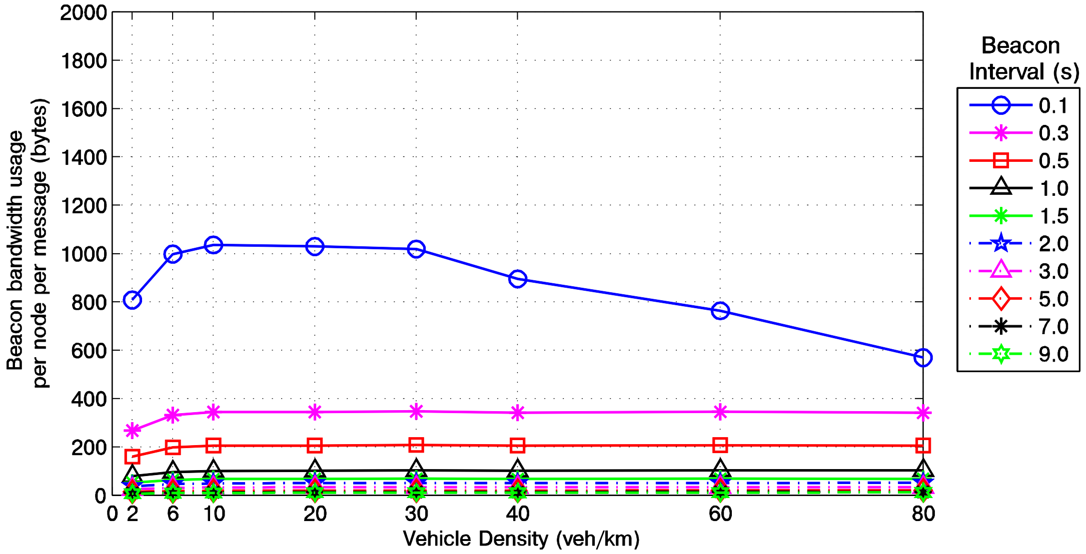
ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ คำนวณจากแบนด์วิดท์ที่แต่ละโหนดใช้ในการส่งข้อความแต่ละข้อความเพื่อให้รถยนต์ทั้งหมดได้รับข้อความในช่วงเวลาที่กำหนด

จากภาพที่ 3.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บนถนนทางหลวง และ ถนนในเมือง สังเกตได้ว่าเมื่อมีการส่งบีคอนด้วยความถี่สูง เช่น ส่งบีคอนทุก 0.1 วินาที จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแพร่ข้อมูลซ้ำสูง เนื่องจากการส่งบีคอนด้วยความถี่สูงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น

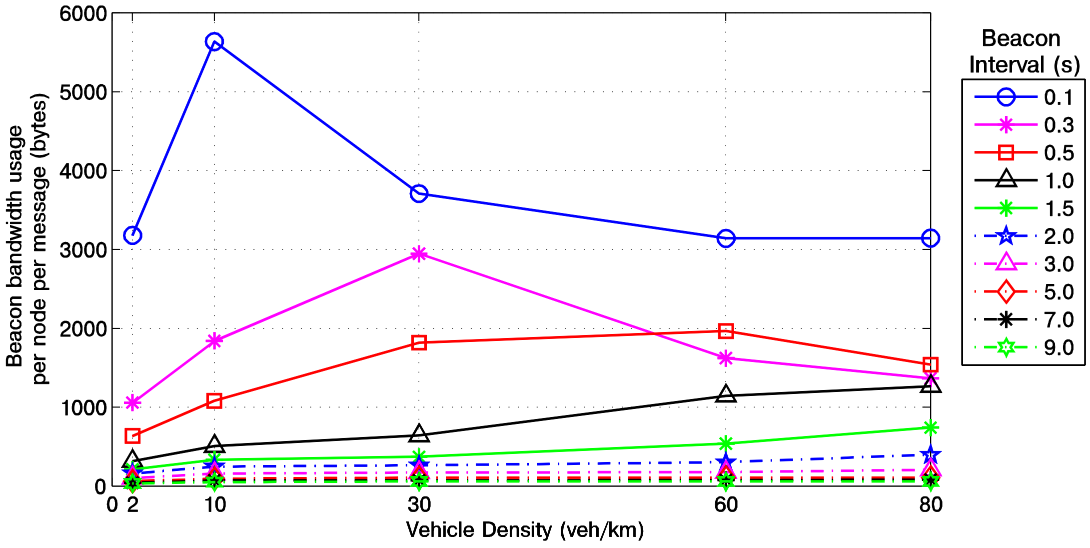
4) ประสิทธิภาพการทำงานทางด้านความเร็วของการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination)

ความเร็วของการแพร่ข้อมูล คำนวณจากจำนวนรถยนต์ที่ได้รับข้อความในแต่ละเวลา

จากภาพที่ 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.8 แสดงความเร็วของการแพร่ข้อมูล เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บนถนนทางหลวง และ ถนนในเมือง สังเกตได้ว่าที่ความหนาแน่นของโหนดในระดับต่างๆ จะมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการส่งบีคอนแตกต่างกันไป โดยที่เมื่อมีความหนาแน่นต่ำโหนดควรจะส่งบีคอนด้วยความถี่สูงขึ้น เพื่อให้มีความเร็วของการแพร่ข้อมูลสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น โหนดควรจะส่งบีคอนด้วยความถี่ต่ำลง เพื่อลดการชนกันในการส่งข้อมูล และจะทำให้ความเร็วของการแพร่ข้อมูลสูงขึ้น

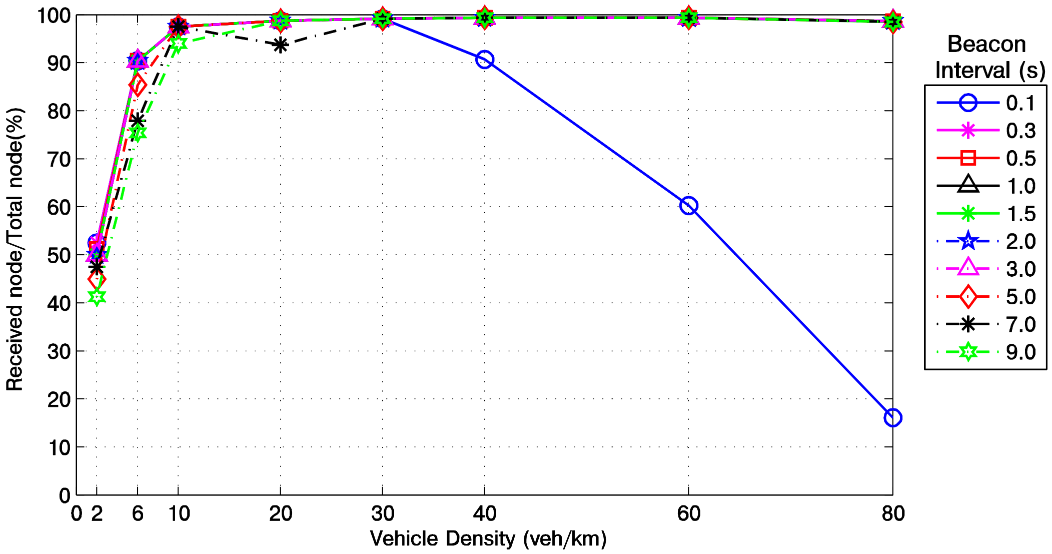


ก)

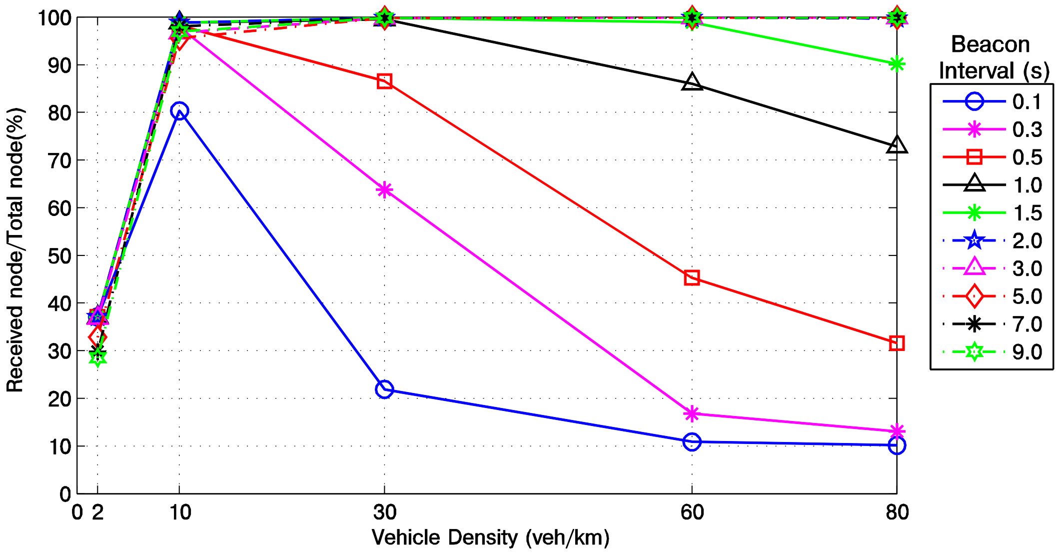


ข)

ภาพที่ 3.1 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งบีคอน เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง

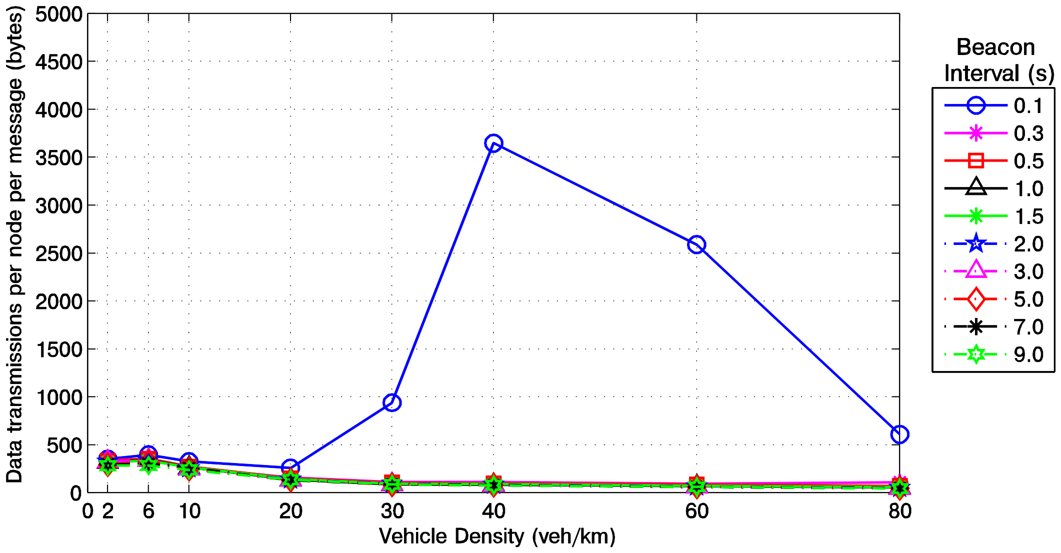


ก)

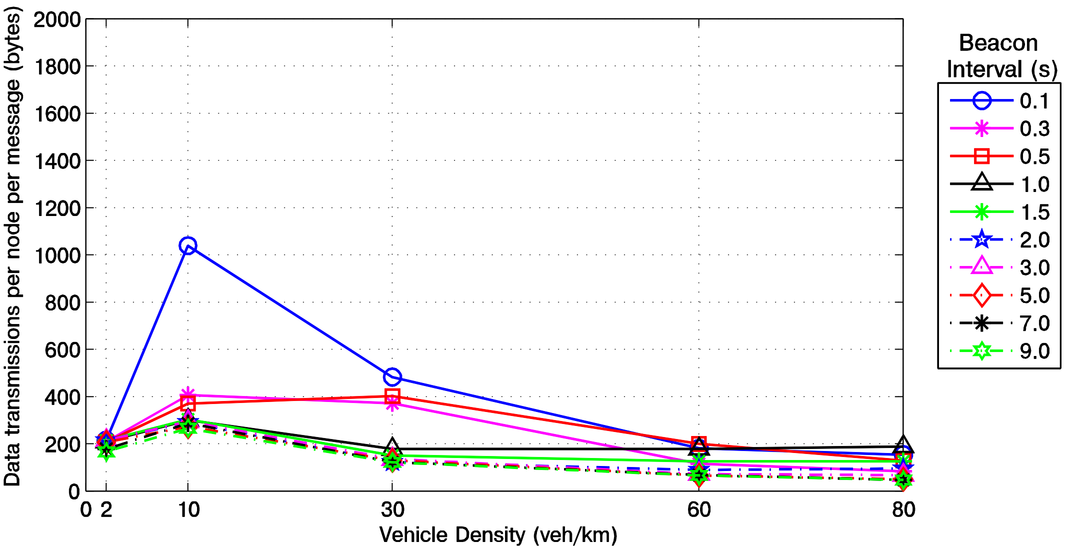


ข)

ภาพที่ 3.2 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง

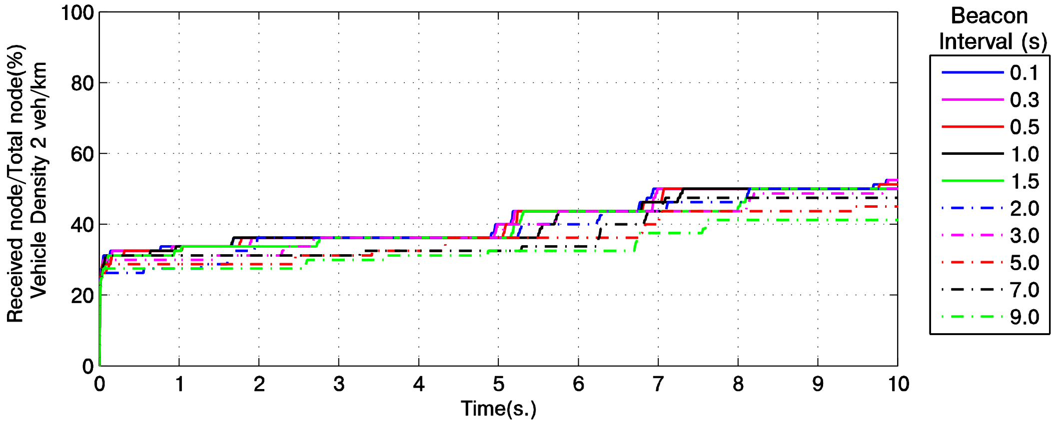


ก)

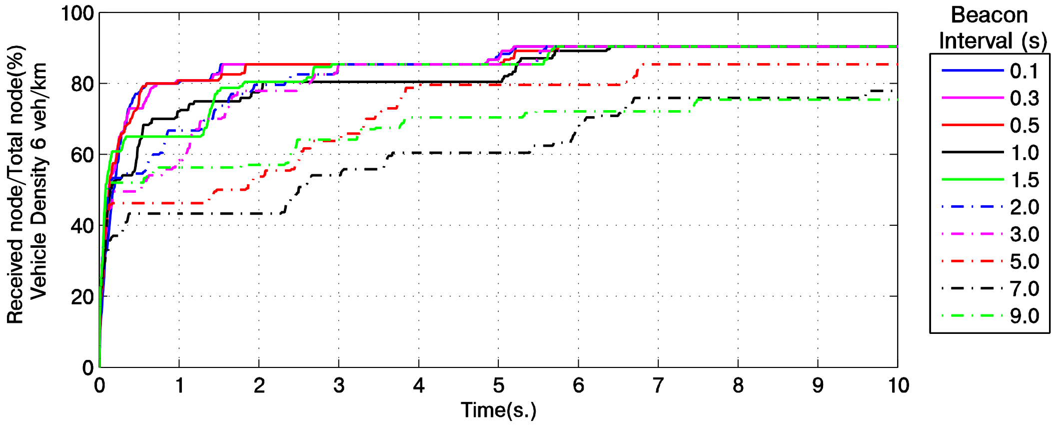


ข)

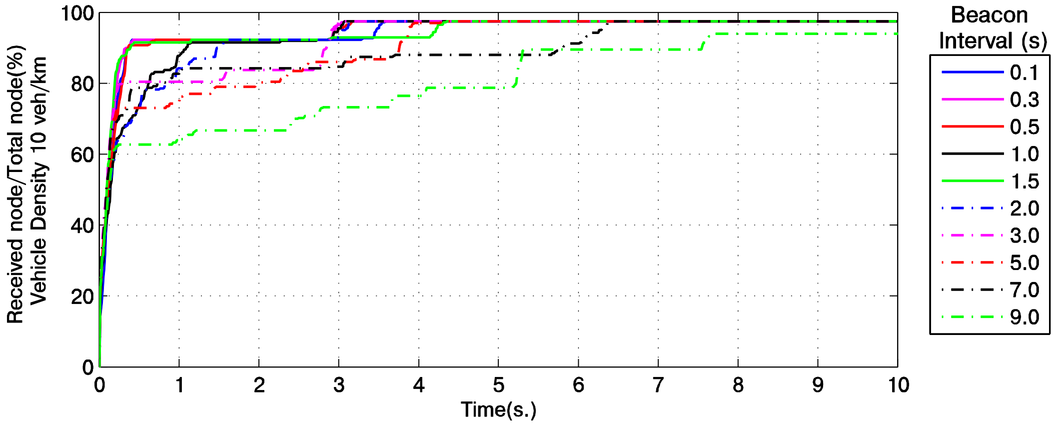
ภาพที่ 3.3 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ เมื่อส่งบีคอนด้วยความถี่คงที่บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง



ก)

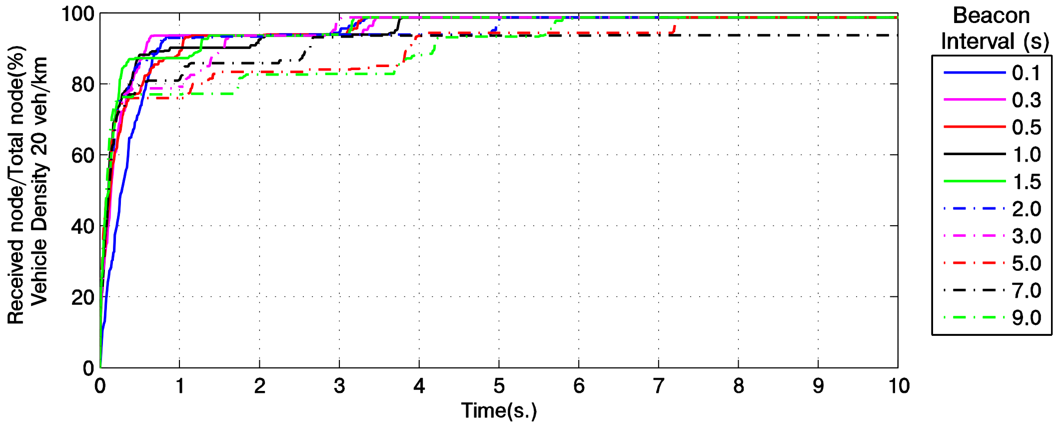


ข)

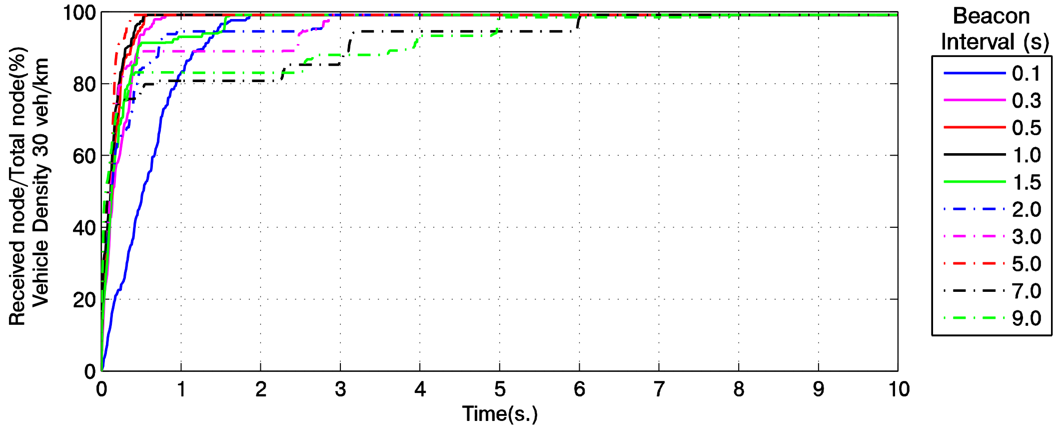


ค)

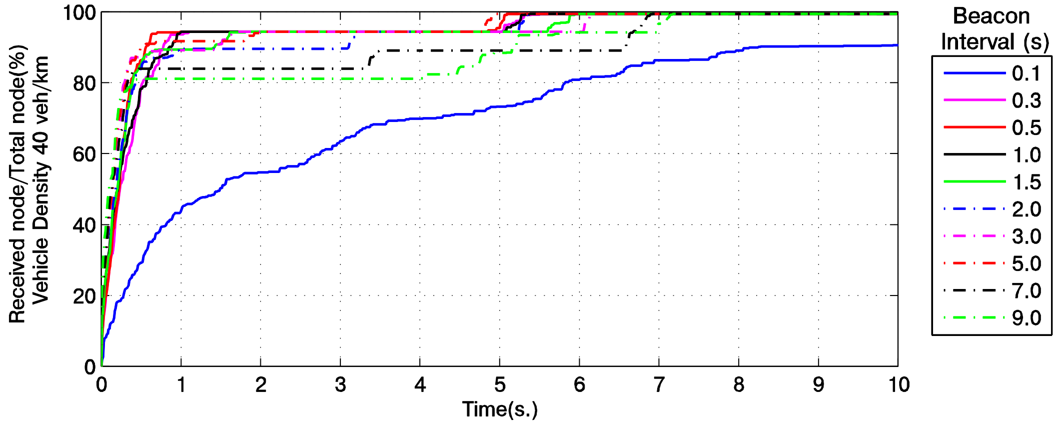
ภาพที่ 3.4 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น ก) 2 คัน/กิโมเมตร ข) 6 คัน/กิโลเมตร ค) 10 คัน/กิโลเมตร



ก)



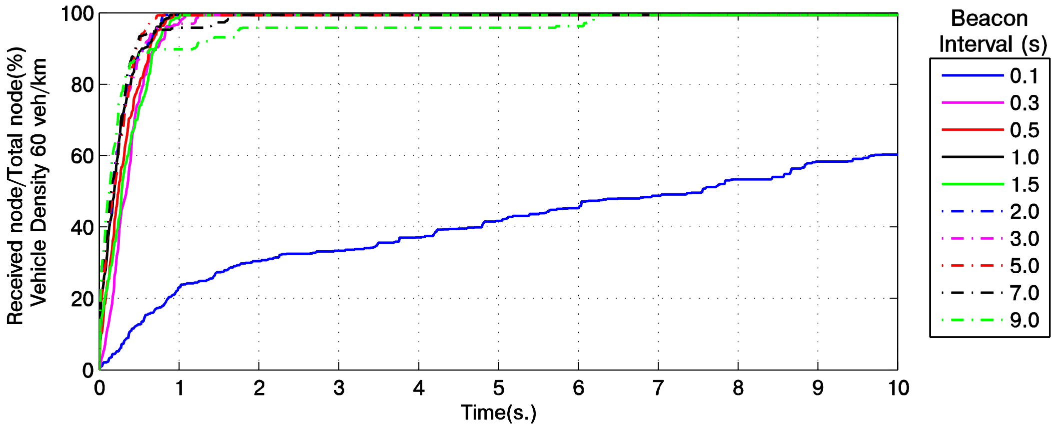
ข)



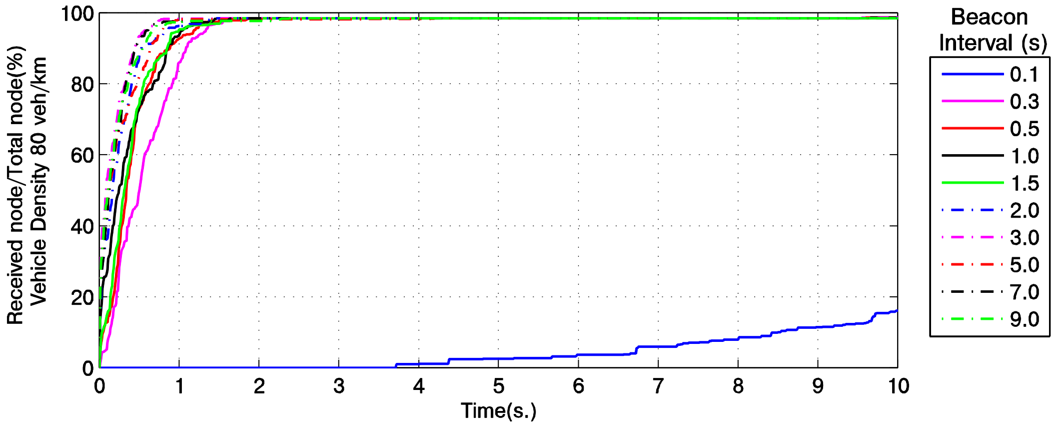
ค)

ภาพที่ 3.5 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น

ก) 20 คัน/กิโมเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 40 คัน/กิโลเมตร

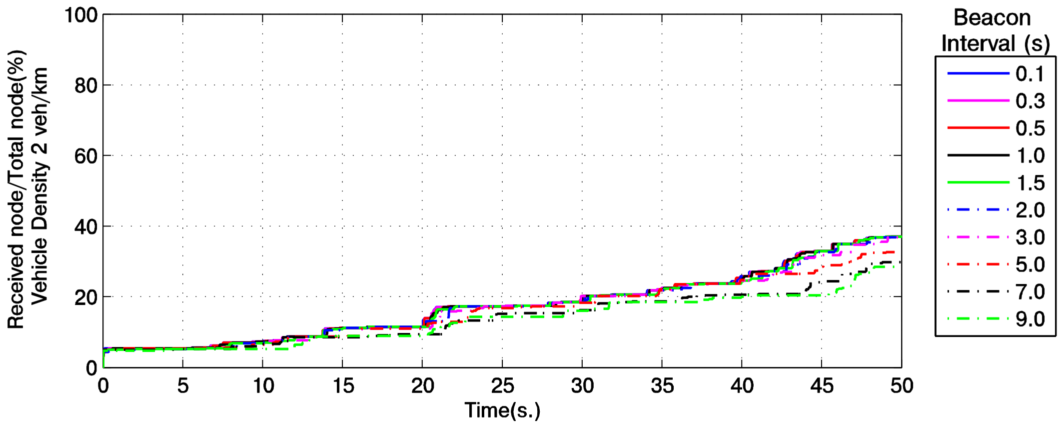


ก)

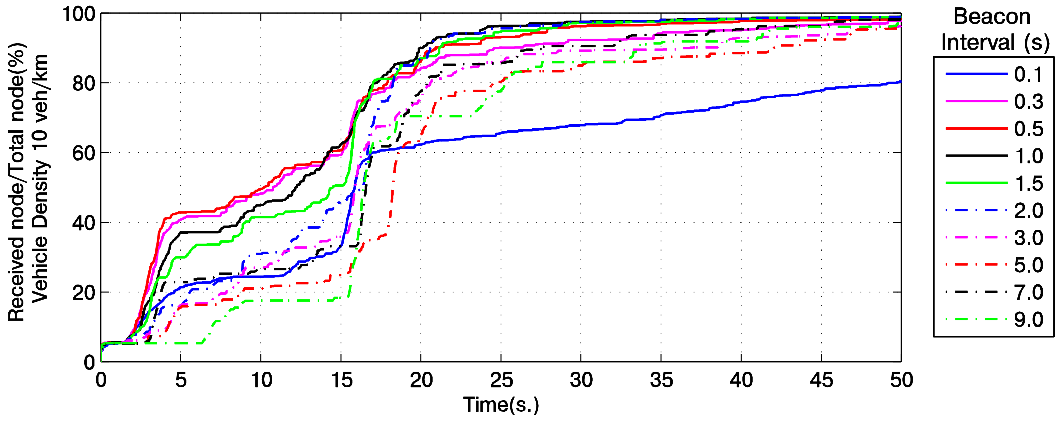


ข)

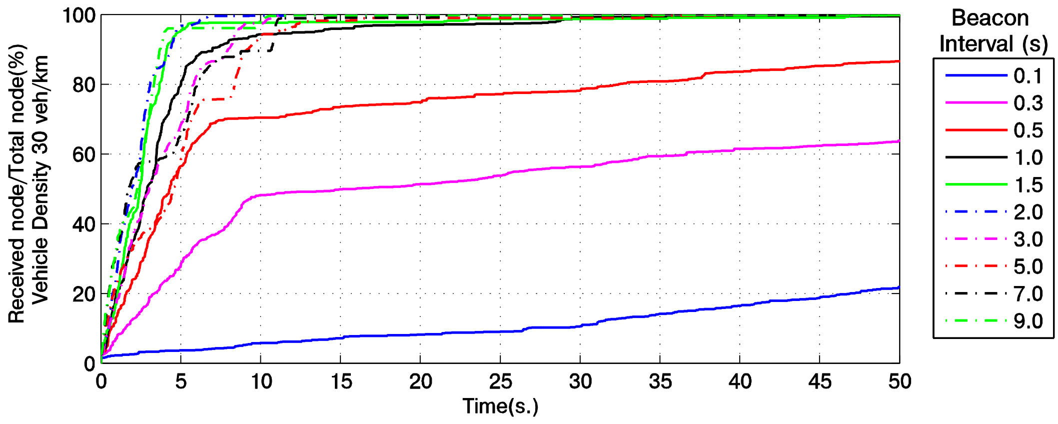
ภาพที่ 3.6 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่ความหนาแน่น ก) 60 คัน/กิโมเมตร ข) 80 คัน/กิโลเมตร



ก)



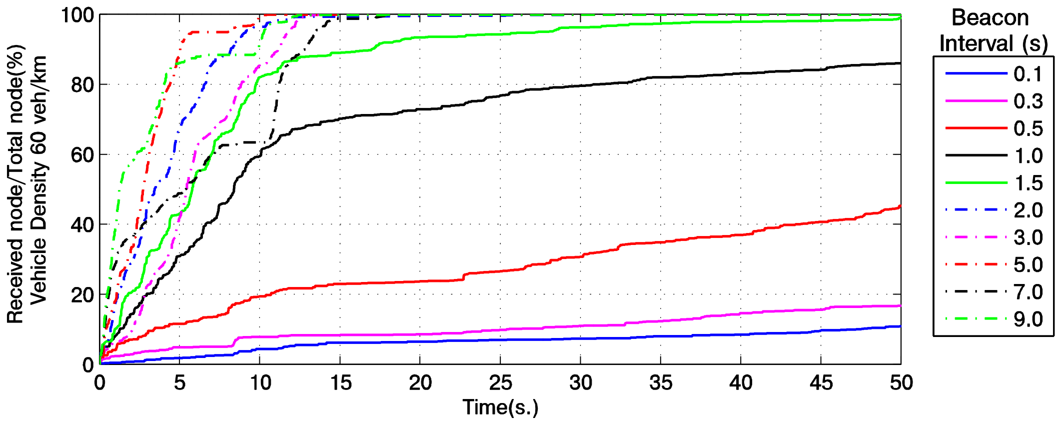
ข)



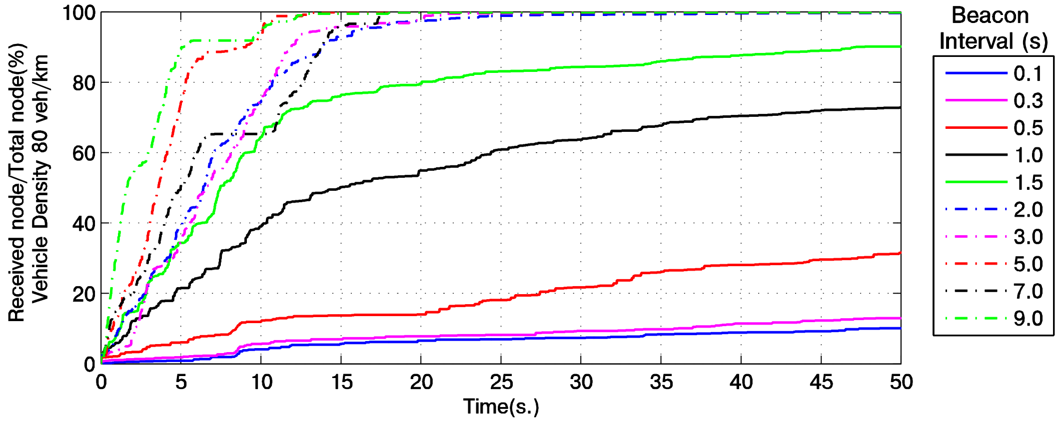
ค)

ภาพที่ 3.7 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่ความหนาแน่น

ก) 2 คัน/กิโมเมตร ข) 10 คัน/กิโลเมตร ค) 30 คัน/กิโลเมตร



ก)



ข)

ภาพที่ 3.8 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่ความหนาแน่น

ก) 60 คัน/กิโมเมตร ข) 80 คัน/กิโลเมตร

จากการทดลองส่งบีคอนโดยใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ สามารถสรุปค่าของช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดได้ โดยจะเลือกช่วงเวลาที่ช้าที่สุดที่มีความเชื่อถือได้ และมีความเร็วของการแพร่ข้อมูลเหมาะสมที่สุด โดยที่ผลการทดลองที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เลือกช่วงเวลาในการส่งบีคอน คือ ผลการทดลองที่ได้จากถนนทางหลวง เนื่องจากบนถนนทางหลวงมีการกระจายตัวของรถยนต์ค่อนข้างดี ซึ่งสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาการส่งบีคอน และพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างชัดเจน

ในกรณีศึกษาตัวอย่าง ทำการสรุปช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่นระดับต่างๆ และ พิจาณาความเร็วของการแพร่ข้อมูลให้เร็วที่สุดภายใน 10 วินาที ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่น

ความหนาแน่นของรถยนต์ (คัน/กิโลเมตร)	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน (วินาที)
2	1.5
6	3
10	7
20	7
30	9
40	9
60	9
80	9

3.2.3 ศึกษาวิธีการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อมีการใช้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนแบบคงที่ และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกัน ให้ผลการทดลองที่สามารถสรุปค่าของช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อใช้กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำมาใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน โดยใช้วิธีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอน ดังนี้ การใช้วิธีการทางด้านสถิติ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) การใช้วิธีการด้านการเรียนรู้ของเครื่อง คือ K-Nearest Neighbor และการปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน วิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนของแต่ละวิธีการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) เป็นวิธีการทางด้านสถิติที่สามารถหาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Math model) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่า กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) หรือตัวแปรที่ทราบค่าแล้ว โดยที่ตัวแปรอิสระนั้นส่งผลกระทบต่อตัวแปรตาม ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังนี้

- นำชุดข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง มาหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเครือข่าย (ตัวแปรอิสระ) และช่วงเวลาในการส่งบีคอน (ตัวแปรตาม) ซึ่งจะได้สมการออกมา คือ

$$\widehat{Y} = a + bX \qquad (14)$$

เมื่อ $\hat{Y}$ คือ ช่วงเวลาในการส่งบีคอน

X คือ ความหนาแน่นของเครือข่าย

a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งคำนวณดังสมการ (15) และ (16)

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (15)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (16)$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลช่วงเวลาในการส่งบีคอน (y) ทั้งหมด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลความหนาแน่นของเครือข่าย (x) ทั้งหมด

สามารถนำสมการนี้ไปใช้ในการคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ดังนี้

- โหนดนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด จากนั้นจึงทำการบวกค่าทั้งสอง ซึ่งค่าที่ได้นี้แทนความหนาแน่นของเครือข่าย X
- นำค่า X ที่คำนวณได้ ไปใส่ในสมการ (14) จะได้ค่า $\hat{Y}$ ซึ่งแทนช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป

2) วิธีการ K-Nearest Neighbor คือ เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) และ เป็นการเรียนรู้โดยตัวอย่าง (Instance-Based Learning) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังนี้

- แต่ละโหนดจะมีตารางที่เก็บข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละแถวของตาราง คือ คู่ของความหนาแน่นของเครือข่าย (x_i) และ ช่วงเวลาในการส่งบีคอน $(f(x_i))$
- กำหนดค่า k ที่ใช้ เพื่อระบุจำนวน nearest neighbor ของชุดข้อมูลตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการหาค่าคำตอบที่ต้องการ

แต่ละโหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปได้ ดังนี้

- โหนดนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด จากนั้นจึงทำการบวกค่าทั้งสอง ซึ่งค่าที่ได้นี้แทนความหนาแน่นของเครือข่าย (x_q)

- หา nearest neighbor ทั้งหมด โดยใช้สมการ (17) และค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละ neighbor โดยคำนวณจากสมการ (18)

$$d(x_q, x_i) = \sqrt{\sum_{r=1}^{n}(a_r(x_q) - a_r(x_i))^2} \tag{17}$$

$$w_i \equiv \frac{1}{d(x_q, x_i)^2} \tag{18}$$

- นำ nearest neighbor ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยตามค่าถ่วงน้ำหนัก โดยใช้สมการ (19) จะได้ $(\hat{f}(x_q))$ ซึ่งแทนช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป

$$\hat{f}(x_q) \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{k} w_i(f(x_i))}{\sum_{i=1}^{k} w_i} \tag{19}$$

3) การปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (Linear Adaptive Algorithm (LIA) with Neighbor Change Rate (NCR) (LIA+NCR)) เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน สามารถบอกแนวโน้มของความหนาแน่นของเครือข่ายในอนาคตได้ดังนี้

- ถ้ามีโหนดเพื่อนบ้านเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีแน้วโน้มที่โหนดกำลังเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นของเครือข่ายมากขึ้น ดังนั้นโหนดควรจะปรับให้มีการส่งบีคอนที่ความถี่ต่ำลงก่อนจะเข้าสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นมากขึ้น เพื่อลดโอกาสในการชนกันของข้อมูล
- ถ้ามีโหนดเพื่อนบ้านลดลงเรื่อยๆ มีแน้วโน้มที่โหนดกำลังเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นของเครือข่ายน้อย ดังนั้นโหนดควรจะปรับให้มีการส่งบีคอนที่ความถี่สูงขึ้นก่อนจะเข้าสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยลง เพื่อเพิ่มโอกาสในการค้นพบโหนดเพื่อนบ้าน

การปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน จะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

3.1) Neighbor Change Rate (NCR) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียวเป็นตัวปรับค่าของช่วงเวลาการส่งบีคอนโดยใช้

ฟังก์ชันเชิงเส้น เพื่อศึกษาแนวโน้มของกราฟเมื่อมีการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังนี้

- โหนดคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) โดยที่เมื่อมีโหนดเพื่อนบ้านเพิ่มขึ้น โหนดจะทำการเพิ่มค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านทีละ 1 และเมื่อมีโหนดเพื่อนบ้านลดลง โหนดจะทำการการลดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านลงทีละ 1

- โหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปได้ดังสมการ (20)

$$f(s) = \min(MinInv + (c \times NCR), MaxInv) \tag{20}$$

เมื่อ	$f(s)$	คือ	ช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป
	$MinInv$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุดในการส่งบีคอน
	c	คือ	ค่าคงที่ในการเพิ่มเวลา
	NCR	คือ	อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน
	$MaxInv$	คือ	ช่วงเวลายาวสุดในการส่งบีคอน

3.2) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (limited) (LIA+NCR (limited)) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะมีการจำกัดช่วงเวลาในการส่งบีคอนตามแบบวิธีการของการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม คือ อยู่ในช่วง 1.5-7 วินาที ซึ่งมีวิธีการทำงานในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังนี้

- โหนดคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) โดยที่เมื่อมีโหนดเพื่อนบ้านเพิ่มขึ้น โหนดจะทำการเพิ่มค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านทีละ 1 และเมื่อมีโหนดเพื่อนบ้านลดลง โหนดจะทำการการลดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านลงทีละ 1

- โหนดคำนวณค่าความหนาแน่นของเครือข่าย จากจำนวนของโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนดดังสมการ (21)

$$s = (w_1 \times n) + (w_2 \times m) \tag{21}$$

เมื่อ	s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
	n	คือ	จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน
	m	คือ	จำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด
	w_1, w_2	คือ	ค่าถ่วงน้ำหนักจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด

เมื่อทราบค่าความหนาแน่นของเครือข่าย และอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน จะนำมาคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอน ดังนี้

$$f(s) = \min(MinInv + (c \times (s + NCR)), MaxInv) \tag{22}$$

เมื่อ	$f(s)$	คือ	ช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป
	$MinInv$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุดในการส่งบีคอน
	c	คือ	ค่าคงที่ในการเพิ่มเวลา
	s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
	NCR	คือ	อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน
	$MaxInv$	คือ	ช่วงเวลายาวสุดในการส่งบีคอน

3.3) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (unlimited) (LIA+NCR (unlimited)) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะมีช่วงเวลาในการส่งบีคอนอยู่ในช่วงมากกว่า หรือเท่ากับ 1.5 วินาที ซึ่งมีวิธีการทำงานในการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังนี้

- โหนดคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) และค่าความหนาแน่นของเครือข่ายเช่นเดียวกับวิธีการ 3.2)

เมื่อทราบค่าความหนาแน่นของเครือข่าย และอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน จะนำมาคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอน ดังนี้

$$f(s) = MinInv + (c \times (s + NCR)) \tag{23}$$

เมื่อ	$f(s)$	คือ	ช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป

$MinInv$	คือ	ช่วงเวลาสั้นสุดในการส่งบีคอน
c	คือ	ค่าคงที่ในการเพิ่มเวลา
s	คือ	ความหนาแน่นของเครือข่าย
NCR	คือ	อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน

3.3 ตัวอย่างการทำงาน

จากตัวอย่างตาราง 3.1 จะได้ช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่น และพิจาณาความเร็วของการแพร่ข้อมูลให้เร็วที่สุดภายใน 10 วินาที จากนั้นนำข้อมูลความหนาแน่นมาแปลงเป็นจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ภายในระยะการเชื่อมต่อสูงสุด 250 เมตร ซึ่งจะแทนความหนาแน่นของเครือข่ายได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับความหนาแน่นของเครือข่าย

ความหนาแน่นของเครือข่าย	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน (วินาที)
1	1.5
3	3
5	7
10	7
15	9
20	9
30	9
40	9

ผลที่ได้จากตารางจะนำไปเป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสอนของแต่ละวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน ซึ่งมีตัวอย่างการทำงานของแต่ละวิธีการดังต่อไปนี้

1) ตัวอย่างการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

- นำชุดข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากตาราง 3.2 มาตัดข้อมูลที่เลือกช่วงเวลาในการส่งบีคอนเท่ากันออกให้เหลือเพียงแค่ข้อมูลตัวแรกเพียงตัวเดียว จะได้ชุดข้อมูลใหม่ คือ {(1,1.5),(3,3),(5,7),(15,9)} แล้วจึงนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเครือข่าย (ตัวแปรอิสระ) และช่วงเวลาในการส่งบีคอน (ตัวแปรตาม) ดังนี้

<u>ตัวอย่างการคำนวณสมการ</u>

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างค่าที่ใช้ในการคำนวณสมการการถดถอยเชิงเส้น

x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1.5	-5	-3.625	18.125	25
3	3	-3	-2.125	6.375	9
5	7	-1	1.875	-1.875	1
15	9	9	3.875	34.875	81
$\bar{x}$ = 6	$\bar{y}$ = 5.125			ผลรวม = 57.5	ผลรวม = 116

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย b

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \frac{57.5}{116} = 0.4957$$

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = 5.125 - 0.4957 \times 6 = 2.1509$$

จะได้สมการการถดถอยเชิงเส้น คือ

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 2.1509 + 0.4957X$$

จากนั้นโหนดสามารถนำสมการนี้ไปใช้ในการคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ ดังนี้

- ยกตัวอย่างให้ ณ ตอนนี้ โหนดมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน 3 โหนด และมีจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด 1 ข้อความ

จะได้ค่าความหนาแน่นของเครือข่าย คือ 3+1 = 4

- จากนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้แทนความหนาแน่นของเครือข่าย X ในสมการการถดถอย จะได้ค่า $\widehat{Y}$ ซึ่งแทนช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป ดังนี้

$$\widehat{Y} \ = 2.1509 + 0.4957X$$

$$\widehat{Y} \ = 2.1509 + (0.4957 \times 4) = \ 4.1337$$

ดังนั้นช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนด คือ 4.1337 วินาที

2) ตัวอย่างการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยใช้วิธีการ k-Nearest Neighbor

- แต่ละโหนดจะมีตารางที่เก็บชุดข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละแถวของตาราง คือ คู่ของความหนาแน่นของเครือข่าย (x_i) และ ช่วงเวลาในการส่งบีคอน $(f(x_i))$ ดังในตารางที่ 3.4

- กำหนดค่า k ที่ใช้ เพื่อระบุจำนวน nearest neighbor ของชุดข้อมูลตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการหาค่าคำตอบที่ต้องการ ซึ่งในกรณีตัวอย่าง กำหนดให้ค่า k เท่ากับ 2

จากนั้นโหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ ดังนี้

- ยกตัวอย่างให้ ณ ตอนนี้ โหนดมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน 3 โหนด และมีจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด 1 ข้อความ

จะได้ค่าความหนาแน่นของเครือข่าย คือ 3+1 = 4

- จากนั้นจึงนำค่าที่ได้นี้แทนความหนาแน่นของเครือข่าย (x_q) แล้วจึงหา nearest neighbor โดยคำนวณระยะห่างระหว่าง x_q และ x_i ดังนี้

$$d(x_q, x_i) = \sqrt{\sum_{r=1}^{n}(a_r\left(x_q\right) - a_r(x_i))^2}$$

ตารางที่ 3.4 แสดงชุดข้อมูลตัวอย่างของวิธีการ K-Nearest Neighbor

ความหนาแน่นของเครือข่าย (x_i)		ช่วงเวลาในการส่งบีคอน (วินาที) $f(x_i)$
(x_1)	1	1.5
(x_2)	3	3
(x_3)	5	7
(x_4)	10	7
(x_5)	15	9
(x_6)	20	9
(x_7)	30	9
(x_8)	40	9

$$d(x_q, x_1) = \sqrt{(4-1)^2} = 3 \qquad d(x_q, x_5) = \sqrt{(4-15)^2} = 11$$

$$d(x_q, x_2) = \sqrt{(4-3)^2} = 1 \qquad d(x_q, x_6) = \sqrt{(4-20)^2} = 16$$

$$d(x_q, x_3) = \sqrt{(4-5)^2} = 1 \qquad d(x_q, x_7) = \sqrt{(4-30)^2} = 26$$

$$d(x_q, x_4) = \sqrt{(4-10)^2} = 6 \qquad d(x_q, x_8) = \sqrt{(4-40)^2} = 36$$

- จากการคำนวณระยะห่างระหว่าง x_q และ x_i จะได้ nearest neighbor 2 ตัว ที่มีระยะห่างน้อยที่สุด คือ ชุดข้อมูลตัวอย่างคู่ที่ 2 และ 3

- จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละ nearest neighbor ดังนี้

$$w_i \equiv \frac{1}{d(x_q, x_i)^2}$$

$$w_2 \equiv \frac{1}{d\left(x_q, x_2\right)^2} = \frac{1}{1^2} = 1, \quad w_3 \equiv \frac{1}{d\left(x_q, x_3\right)^2} = \frac{1}{1^2} = 1$$

- นำ nearest neighbor ทั้งหมดมาหาคำตอบโดยเฉลี่ยตามค่าถ่วงน้ำหนัก จะได้ $(\hat{f}(x_q))$ ซึ่งแทนช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไป ดังสมการ

$$\hat{f}(x_q) \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{k} w_i(f(x_i))}{\sum_{i=1}^{k} w_i}$$

$$\hat{f}(x_q) = \frac{(1 \times 3) + (1 \times 7)}{1 + 1} = 5$$

ดังนั้นช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนด คือ 5 วินาที

3) ตัวอย่างการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนโดยใช้วิธีการปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน แบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้

3.1) Neighbor Change Rate (NCR) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียวเป็นตัวปรับค่าของช่วงเวลาการส่งบีคอนโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น

- ยกตัวอย่างให้ก่อนหน้านี้ โหนดมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน 3 โหนด และมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) เท่ากับ 2 จากนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน เช่น มีโหนดเพื่อนบ้านเพิ่มเข้ามา 2 โหนด โหนดจะทำการเพิ่มค่า (NCR) โดยการบวกหนึ่ง ดังนั้น ค่า NCR จะเท่ากับ 3

จากนั้นโหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ ดังนี้

$$f(s) = \min(MinInv + (c \times NCR), MaxInv)$$

เมื่อ กำหนดให้ $MinInv$ เท่ากับ 1.5, c เท่ากับ 0.2 และ $MaxInv$ เท่ากับ 7 จะได้

$$f(s) = \min(1.5 + (0.2 \times 3), 7) = 2.1$$

ดังนั้นช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนด คือ 2.1 วินาที

3.2) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (limited) (LIA+NCR (limited)) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะมีการจำกัดช่วงเวลาในการส่งบีคอน

- ยกตัวอย่างให้ก่อนหน้านี้ โหนดมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน 25 โหนด และมีจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด 5 ข้อความรวมทั้งมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) เท่ากับ 5 จากนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน เช่น มีโหนดเพื่อนบ้านลดลง 3 โหนด โหนดจะทำการลดค่า (NCR) โดยการลบหนึ่ง ดังนั้น ค่า NCR จะเท่ากับ 4

- จากนั้นโหนดจะคำนวณค่าความหนาแน่นของเครือข่าย คือ 22+5 = 27

โหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ ดังนี้

$$f(s) = \min(MinInv + (c \times (s + NCR)), MaxInv)$$

เมื่อ กำหนดให้ $MinInv$ เท่ากับ 1.5, c เท่ากับ 0.2 และ $MaxInv$ เท่ากับ 7

จะได้

$$f(s) = \min(1.5 + (0.2 \times (27 + 4)), 7) = 7$$

ดังนั้นช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนด คือ 7 วินาที

3.3) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (unlimited) (LIA+NCR (unlimited)) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะไม่จำกัดช่วงเวลานานที่สุดในการส่งบีคอน

- ยกตัวอย่างให้ก่อนหน้านี้ โหนดมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน 25 โหนด และมีจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด 5 ข้อความรวมทั้งมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน (NCR) เท่ากับ 5 จากนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน เช่น มีโหนดเพื่อนบ้านลดลง 3 โหนด โหนดจะทำการลดค่า (NCR) โดยการลบหนึ่ง ดังนั้น ค่า NCR จะเท่ากับ 4

- จากนั้นโหนดจะคำนวณค่าความหนาแน่นของเครือข่าย คือ 22+5 = 27

โหนดสามารถคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนดได้ ดังนี้

$$f(s) = MinInv + \left(c \times (s + NCR)\right)$$

เมื่อ กำหนดให้ $MinInv$ เท่ากับ 1.5, c เท่ากับ 0.2

$$f(s) = 1.5 \ + \left(0.2 \times (27 + 4)\right) = 7.7$$

ดังนั้นช่วงเวลาในการส่งบีคอนครั้งถัดไปของโหนด คือ 7.7 วินาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 โพรโทคอลที่นำมาใช้ทดสอบวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน

โพรโทคอลที่นำมาใช้ในการทดสอบ ได้แก่ โพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (DECA : Density-Aware Reliable broadcasting protocol on Vehicular Ad-hoc Networks) [5] ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ทำงานอยู่บนพื้นฐานของวิธีการ Store-and-Forward และมีการใช้ข้อมูลจากการส่งบีคอน เพื่อช่วยให้ทราบจำนวนความหนาแน่นของโหนด โดยที่ใช้วิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (Linear Adaptive Algorithm : LIA) ในการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน ซึ่งโพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมีหลักการทำงานดังนี้

1) เมื่อเริ่มต้นการแพร่ข้อมูล จะเริ่มจากโหนดต้นทางแพร่ข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งก่อนที่จะทำการแพร่นั้นโหนดต้นทางจะทำการเลือกโหนดถัดไปที่มีจำนวนความหนาแน่นสูงที่สุดจากรายการที่โหนดต้นทางเก็บไว้ เพื่อเป็นโหนดถัดไปในการแพร่ข้อมูล จากนั้นโหนดต้นทางจะแนบหมายเลขของโหนดถัดไปพร้อมกับแพร่ข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านของตน

2) เมื่อโหนดได้รับข้อมูลจากการแพร่ของโหนดก่อนหน้า แล้วทราบว่าตัวเองเป็นโหนดที่ถูกเลือก โหนดจะทำกระบวนการในการเลือกโหนดถัดไป โดยเลือกโหนดที่มีจำนวนความหนาแน่นสูงที่สุดจากรายการที่โหนดเก็บไว้ที่ไม่ใช่โหนดก่อนหน้า จากนั้นโหนดจะแนบหมายเลขของโหนดถัดไปที่เลือกไว้พร้อมกับแพร่ข้อความนั้นต่อไป

3) เมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่แพร่ข้อความต่อให้กับโหนดเพื่อนบ้าน โหนดอื่นๆที่ได้รับข้อความจะทำหน้าที่ในการแพร่ข้อมูลแทนโหนดที่ถูกเลือก โดยที่โหนดที่มีเวลาคอยสั้นที่สุด จะเป็นผู้ที่แพร่ข้อมูลแทน

4.2 ตัววัดสมรรถนะของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน

1) ค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน (Beacon overhead) เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการออกแบบการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้นเป็นการพยายามทำให้ค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยที่สุด ในขณะที่ยังคงรักษาประสิทธิภาพ

โดยรวมของระบบไว้ โดยที่ค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนจะคำนวณจากแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งบีคอนของแต่ละโหนดในหนึ่งข้อความ

2) ความเชื่อถือได้ (Reliability) เนื่องจากโพรโทคอลส่วนใหญ่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดอื่นโดยมีความเชื่อถือได้ ดังนั้นความเชื่อถือได้คำนวณจากจำนวนของโหนดที่ได้รับข้อมูลต่อจำนวนโหนดทั้งหมดในการทดลองแต่ละครั้ง

3) ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ (Retransmission) ในการแพร่ข้อมูลโดยที่ยังมีค่าความเชื่อถือได้สูงนั้นย่อมมีค่าใช้จ่ายที่สูงเช่นกัน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ซึ่งคำนวณจากแบนด์วิดท์ที่แต่ละโหนดใช้ในการส่งข้อมูลซ้ำของแต่ละข้อมูล เพื่อให้โหนดทั้งหมดได้รับข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนด สามารถแสดงปริมาณของเครือข่ายที่ถูกใช้ในการทำงานต่อการแพร่หนึ่งข้อมูล

4) ความเร็วของการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) เนื่องจากแอพพลิเคชั่นในปัจจุบันต้องการความเร็วในการแพร่ข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าสามารถตอบสนองความต้องการในด้านความเร็วให้แก่แอพพลิเคชั่นต่างๆได้ ก็จะทำให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยที่ความเร็วในการแพร่ข้อมูลจะคำนวณจากจำนวนของโหนดที่ได้รับข้อมูลต่อจำนวนโหนดทั้งหมด ณ เวลานั้น

5) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน (Number of beacon) เนื่องจากในการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกนั้น จำนวนครั้งในการส่งบีคอนเป็นสิ่งสำคัญที่จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้ช่องสัญญาณ ซึ่งคำนวณจากจำนวนครั้งในการส่งบีคอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ

6) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ (Number of retransmission) เนื่องจากจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำเป็นสิ่งสำคัญที่จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้ช่องสัญญาณ ซึ่งคำนวณจากจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ

4.3 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน

ในการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ จะต้องมีการจำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในสถาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จึงต้องใช้โปรแกรมที่ช่วยในการจำลองสภาพแวดล้อมให้มีความสมจริงมากที่สุด ดังนี้

1) โปรแกรมจำลอง NS-2.34 (Network Simulation) [17] เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อม การเคลื่อนที่ของรถยนต์ ให้มีความสมจริง

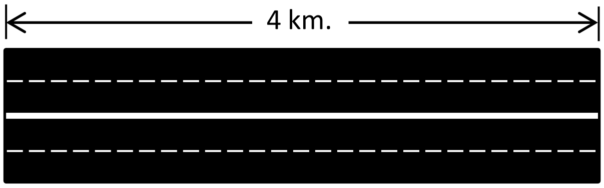
2) โปรแกรมจำลอง SUMO (Simulation of Urban MObility) [18] เป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองพฤติกรรมการวิ่งของรถยนต์บนถนน สามารถกำหนดคุณลักษณะต่างๆของรถยนต์ เช่น ความเร็ว ความหนาแน่น หรือถนนได้

3) โปรแกรม TraNS [19] เป็นโปรแกรมที่ใช้แปลงพฤติกรรมการวิ่งของรถยนต์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ XML ให้กลายเป็นรูปแบบ tcl ที่สามารถนำไปใช้บนโปรแกรมจำลอง NS-2.34 ได้

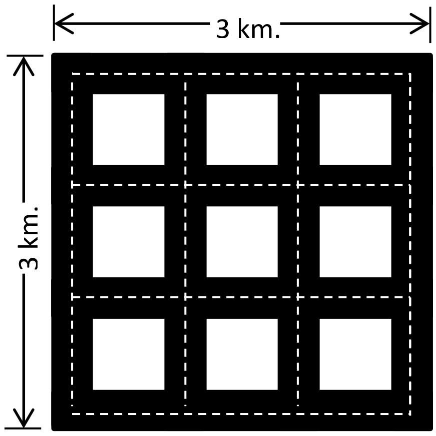
ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถยนต์โดยใช้โปรแกรม SUMO ซึ่งจะได้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถยนต์ออกมาในรูปแบบของ xml จากนั้นจะใช้โปรแกรม TraNS เพื่อแปลง xml ให้อยู่ในรูปแบบของ tcl ที่สามารถนำไปใช้งานบนโปรแกรมจำลอง NS-2.34 ได้

4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งลักษณะของถนนที่ใช้ในการทดสอบคือ ถนนทางหลวง และถนนในเมือง โดยที่ถนนทางหลวงจะเป็นลักษณะของทางตรงความยาว 4 กิโลเมตร มี 4 ช่องทางการจราจร และถนนในเมือง จะเป็นลักษณะของตารางขนาด 3x3 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยสี่แยกจำนวน 4 แยก และสามแยกจำนวน 8 แยก โดยที่ลักษณะของถนนที่ใช้เป็นไปดังภาพที่ 4.1 ความหนาแน่นของโหนดจะถูกแบ่งออกเป็นความหนาแน่นขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 4.1



ก) รูปถนนทางหลวง



ข) รูปถนนในเมือง

ภาพที่ 4.1 รูปแบบถนนที่ใช้ในการทดลองในโปรแกรมจำลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งข้อมูลที่ใช้ในการแพร่มีขนาด 512 ไบต์ โดยข้อมูลมีการกำหนดอายุดังนี้ บนถนนทางหลวงจะกำหนดให้ข้อมูลมีอายุ 10 วินาที ส่วนถนนในเมืองจะกำหนดให้

ข้อมูลมีอายุ 50 วินาที ซึ่งถ้าข้อมูลหมดอายุการทดลองในครั้งนั้นก็จะสิ้นสุดลงและจะเก็บผลการทดลองทันที ในการทดลองจะใช้ระบบสื่อสารไร้สายบนมาตรฐาน IEEE802.11 ซึ่งมีระยะสื่อสารสูงสุดที่ 250 เมตร โดยการตั้งค่าโพรโทคอล และค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองตามตารางที่ 4.1

วิธีการที่นำมาใช้เพื่อทดสอบการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนมีดังนี้

1) Linear Adaptive Algorithm (LIA) : การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นเป็นวิธีในการปรับค่าบีคอนให้เปลี่ยนแปลงไปตามความหนาแน่นของเครือข่าย โดยพิจารณาจากจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนด

2) Linear Regression Analysis : การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นวิธีการที่หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการทราบค่า กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทราบค่าแล้วโดยที่ตัวแปรอิสระนั้นจะส่งผลต่อตัวแปรตาม ในการทดลองการปรับค่าบีคอนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นนั้น ให้ตัวแปรตามคือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งบีคอน ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ความหนาแน่นของเครือข่าย

3) K-Nearest Neighbor (K-NN) : เป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งจะมีการเก็บชุดข้อมูลตัวอย่างสอน ในที่นี้คือข้อมูลการทดลองจากโปรแกรมจำลองของการส่งบีคอนในแต่ละช่วงเวลา แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการหาค่าส่งออก โดยกำหนดจำนวน k แทนจำนวนตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกับค่านำเข้า แล้วคำนวณค่าส่งออกโดยถ่วงน้ำหนักของค่าที่ได้จากตัวอย่างการสอน k ตัวนั้น

4) Neighbor Change Rate (NCR) : เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเป็นตัวปรับค่าช่วงเวลาของการส่งบีคอนโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น

5) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (limited) (LIA+NCR (limited)) : เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าแบบเชิงเส้น ซึ่งจะมีการจำกัดช่วงเวลาในการส่งบีคอน

6) Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (unlimited) (LIA+NCR (unlimited)) เป็นวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายในการปรับค่าโดยใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น ซึ่งจะไม่จำกัดช่วงเวลานานที่สุดในการส่งบีคอน

ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	จำนวนครั้งในการทดลอง : 10 ครั้ง ผลการทดลองใช้ค่าเฉลี่ย
มาตรฐานการสื่อสารไร้สาย	มาตรฐาน : IEEE802.11 ระยะการสื่อสารไร้สาย : 250 เมตร
จำนวนข้อความที่ใช้ในการทดสอบ	จำนวน : 1, 5, 10, 15 ข้อความ ความถี่ในการส่ง : ถนนทางหลวง 10 เฮิรตซ์/วินาที ถนนในเมือง 2 เฮิรตซ์/วินาที
สภาพจราจร	ถนนทางหลวง : 6, 10, 20, 30, 40, 60, 80 คัน/กิโลเมตร ความเร็วสูงสุด : 50, 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ถนนในเมือง : 2, 10, 30, 60, 80 คัน/กิโลเมตร ความเร็วสูงสุด : 120 กิโลเมตร/ชั่วโมง
ข้อความ	อายุข้อความ : ถนนทางหลวง 10 วินาที ถนนในเมือง 50 วินาที ขนาดของข้อความ : 512 ไบต์
Linear Adaptive Algorithm (LIA)	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน : ทุก 1.5 – 7 วินาที c = 0.2, MinInv = 1.5, MaxInv = 7
Linear Regression Analysis	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย : a = 2.1509, b = 0.4957
K-Nearest Neighbor (k-NN)	จำนวน Nearest Neighbor (k) = 2
Neighbor Change Rate (NCR)	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน : ทุก 1.5 – 7 วินาที c = 0.2, MinInv = 1.5, MaxInv = 7
Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (limited) (LIA+NCR (limited))	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน : ทุก 1.5 – 7 วินาที c = 0.2, MinInv = 1.5, MaxInv = 7
Linear Adaptive Algorithm with Neighbor Change Rate (unlimited) (LIA+NCR (unlimited))	ช่วงเวลาในการส่งบีคอน : >=1.5 วินาที c = 0.2, MinInv = 1.5
ความต้องการของแอพพลิเคชั่นทางด้านความเร็วของการแพร่ข้อมูล	ถนนทางหลวง : ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดภายใน 10 วินาที ถนนในเมือง : ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดภายใน 15 วินาที

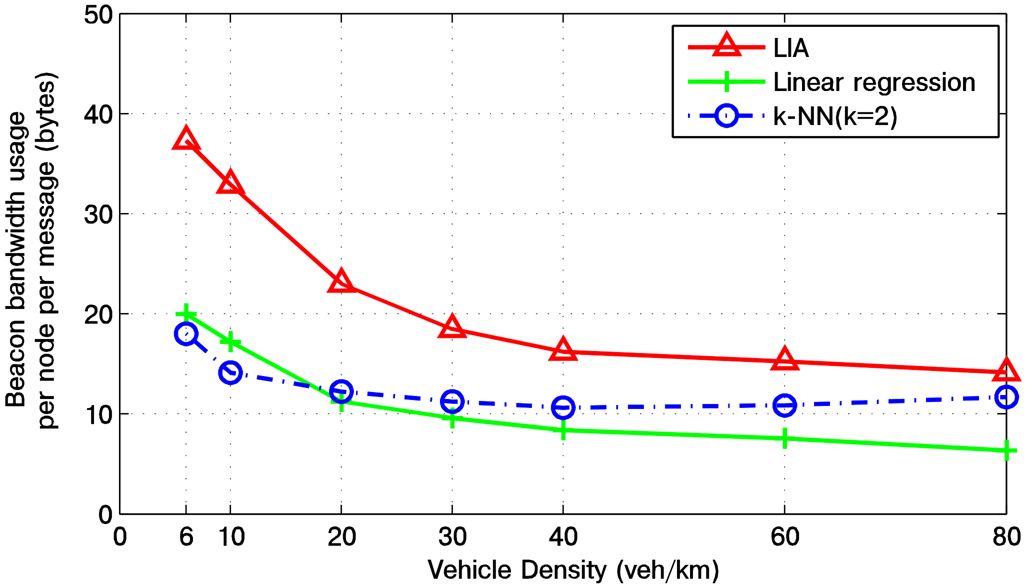
4.5 ผลการทดลองของค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน

4.5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor

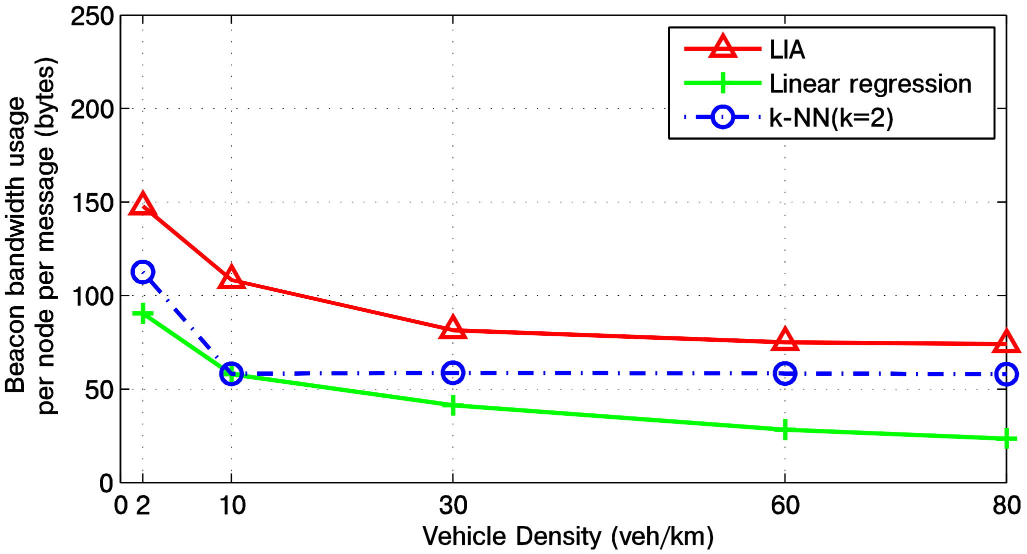
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.2 ก) และข) ซึ่งแสดงค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนเมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะให้ค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า เนื่องจากที่ความหนาแน่นต่ำโหนดจำเป็นจะต้องส่งบีคอนบ่อยกว่าเพื่อค้นหาโหนดเพื่อนบ้าน และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นจึงทำการลดความถี่ในการส่งบีคอนลงเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการชน และลดค่าใช้จ่ายรวมของทั้งระบบ นอกจากนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีการ K-Nearest Neighbor มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ในทุกความหนาแน่นของการทดลอง โดย K-Nearest Neighbor จะมีค่าใช้จ่ายลดลงมาจนถึงจุดหนึ่งก่อนจะมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจากการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนของ K-Nearest Neighbor เป็นไปตามค่าในตารางตัวอย่างที่ 3.4 ดังนั้นจึงมีช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่นานที่สุดเป็นเวลาคงที่ เช่นเดียวกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) เดิม ซึ่งค่าใช้จ่ายของบีคอนเกือบคงที่เมื่อความหนาแน่นสูง เพราะมีการจำกัดช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้เช่นเดียวกัน

กรณีของการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจะมีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลงทุกครั้งที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจึงมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนเมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายของการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor ในบริเวณที่มีความหนานแน่นของเครือข่ายสูง จะมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจากการทั้งสองวิธีนั้นมีการกำหนดขอบเขตในการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้ โดยการปรับแบบ K-Nearest Neighbor ให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจะได้ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อมีความหนาแน่นของเครือข่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีการจำกัดเวลาไว้ ดังนั้นวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจึงมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด

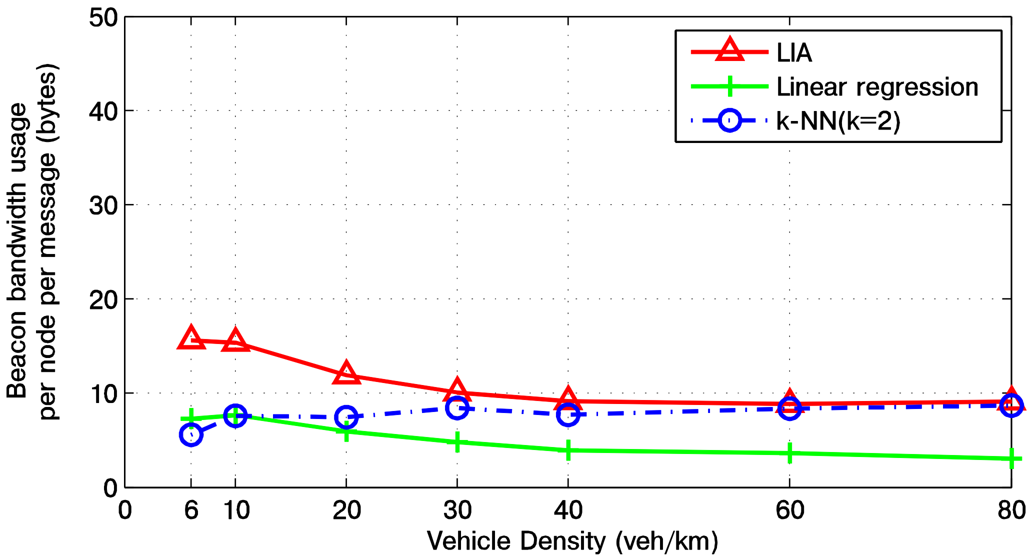


ก)

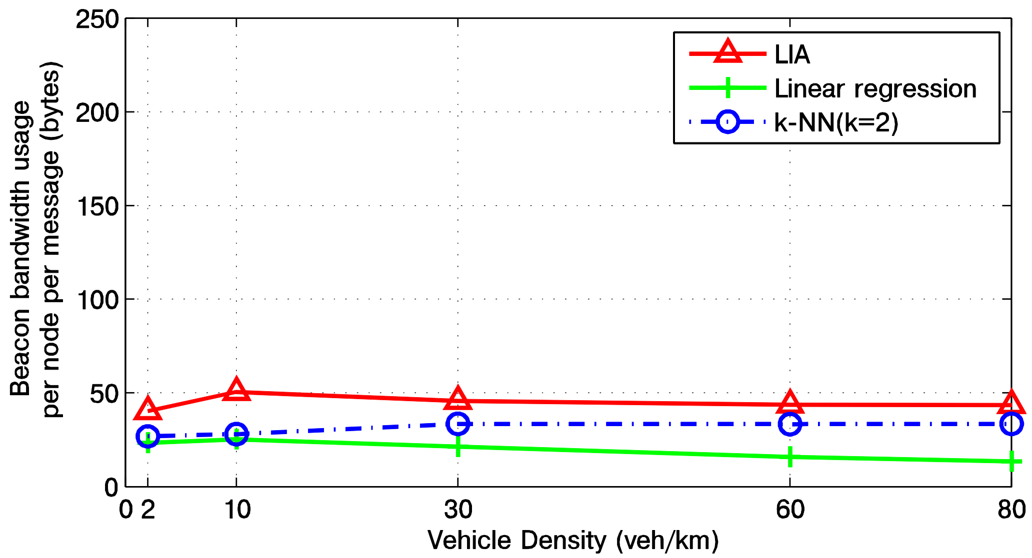


ข)

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

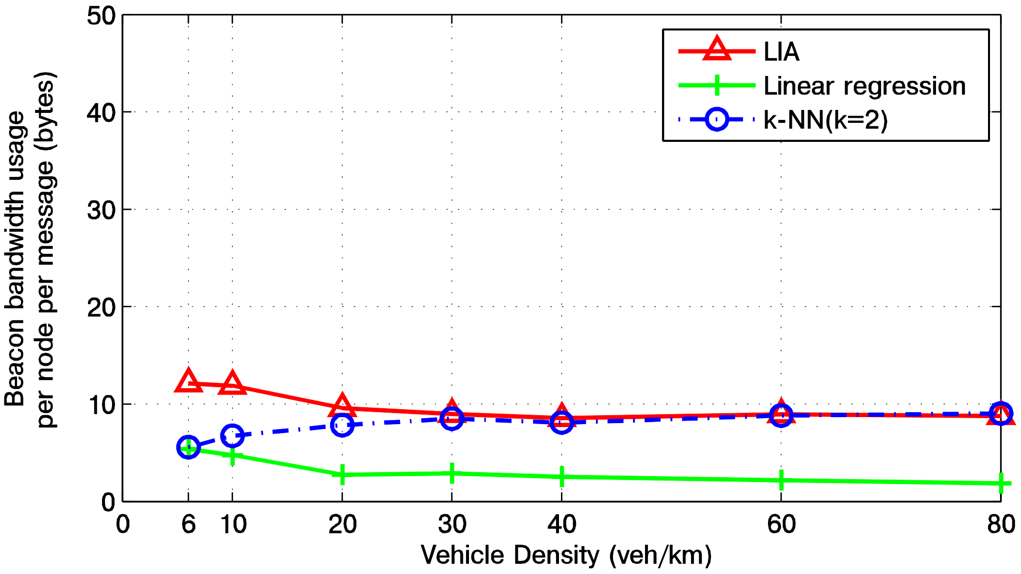


ก)

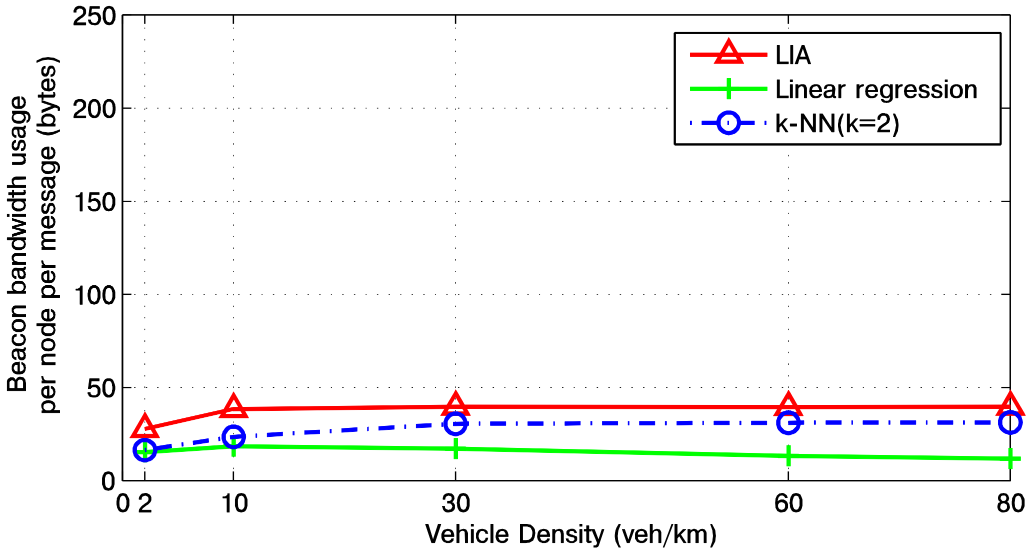


ข)

ภาพที่ 4.3 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

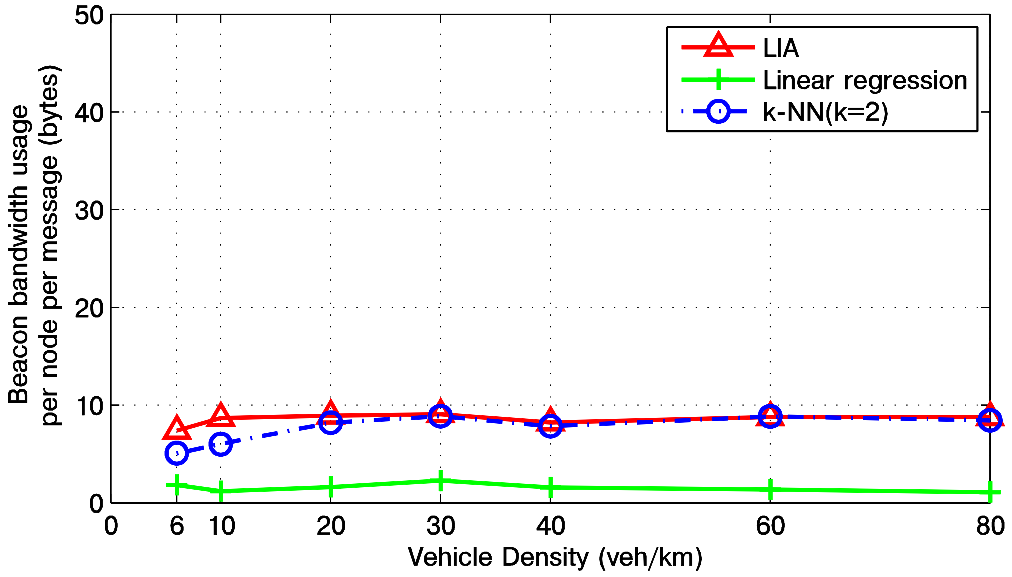


ก)

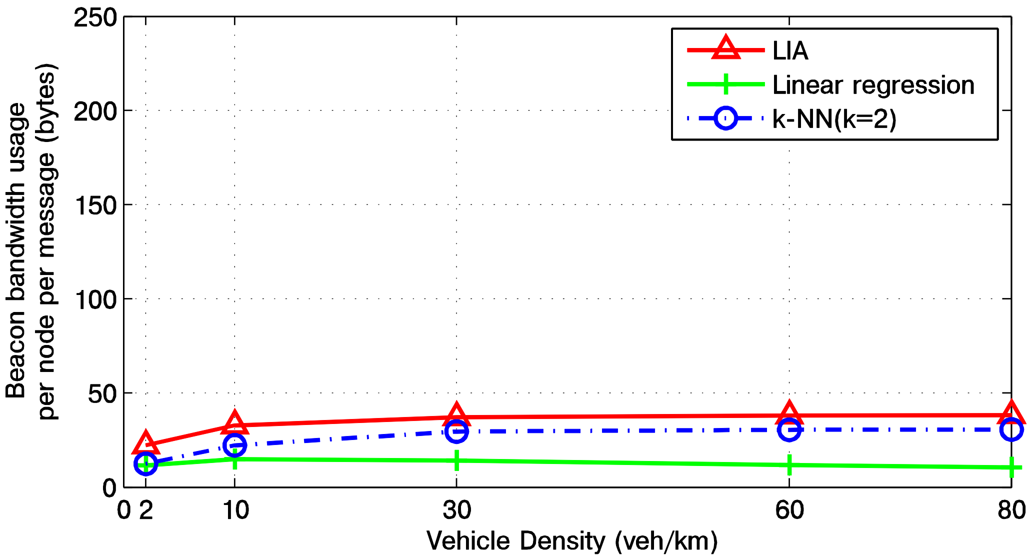


ข)

ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)



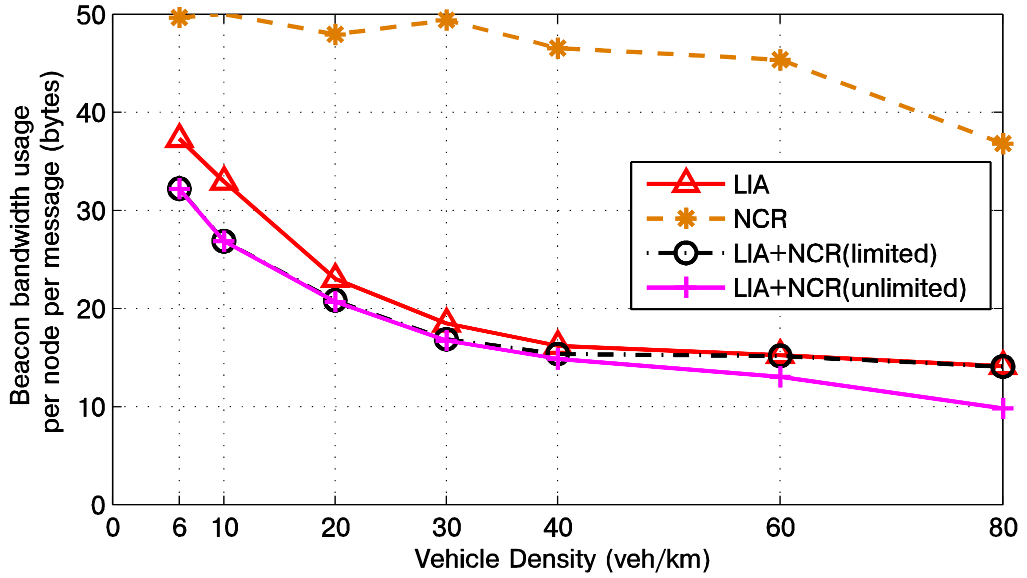
ข)

ภาพที่ 4.5 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

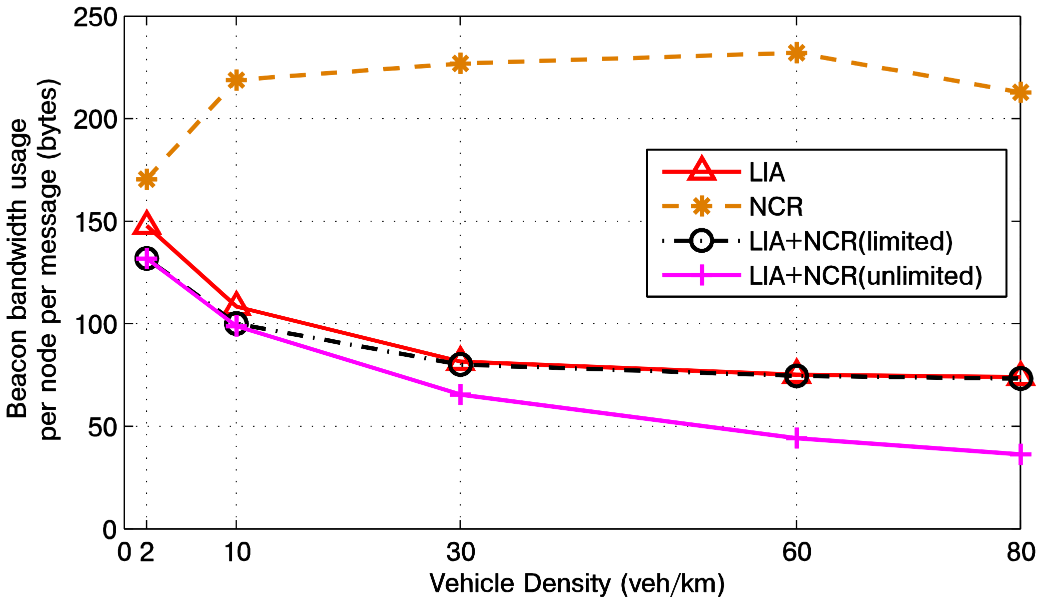
4.5.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนเมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง แสดงในภาพที่ 4.6 ก) และข) ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะให้ค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า เนื่องจากที่ความหนาแน่นต่ำโหนดจำเป็นที่จะต้องส่งบีคอนบ่อยกว่าเพื่อค้นหาโหนดเพื่อนบ้าน และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นจึงทำการลดความถี่ในการส่งบีคอนลงเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการชนกันของข้อมูล และลดค่าใช้จ่ายรวมของทั้งระบบ นอกจากนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียว (NCR) โดยไม่ได้พิจารณาความหนาแน่นของเครือข่ายนั้น มีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนสูงกว่าวิธีการอื่นมาก แสดงให้เห็นว่าการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ แต่เมื่อใช้วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่าย (LIA+NCR) จะมีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยกว่าวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม เนื่องจากการใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านร่วมด้วยทำให้สามารถคาดการได้ว่าโหนดกำลังมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้านมากขึ้นหรือลดลงแล้วปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนให้เหมาะสมตามสถานการณ์ที่คาดการไว้ได้ โดยที่วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบมีการจำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (limited)) จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม เมื่อมีความหนาแน่นต่ำ แต่เมื่อมีความหนาแน่นมากขึ้นทั้ง 2 วิธีการจะมีค่าใช้จ่ายลดลงมาจนถึงจุดหนึ่งก่อนจะมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจากมีการจำกัดช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้ ส่วนกรณีของวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) จะมีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลงทุกครั้งที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่ได้มีการจำกัดช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้ ดังนั้นการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) จึงมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่มีการแพร่มากกว่า 1 ข้อความ ดังผลที่แสดงในภาพที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 สังเกตได้ว่าวิธีการใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลาจะมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เมื่อมีความหนาแน่นของเครือข่ายมากขึ้น

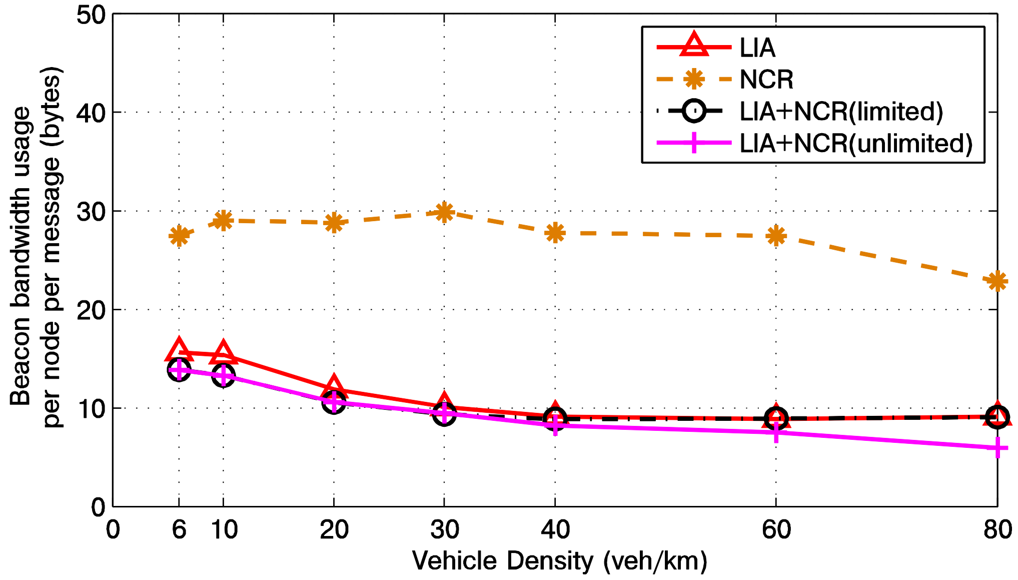


ก)

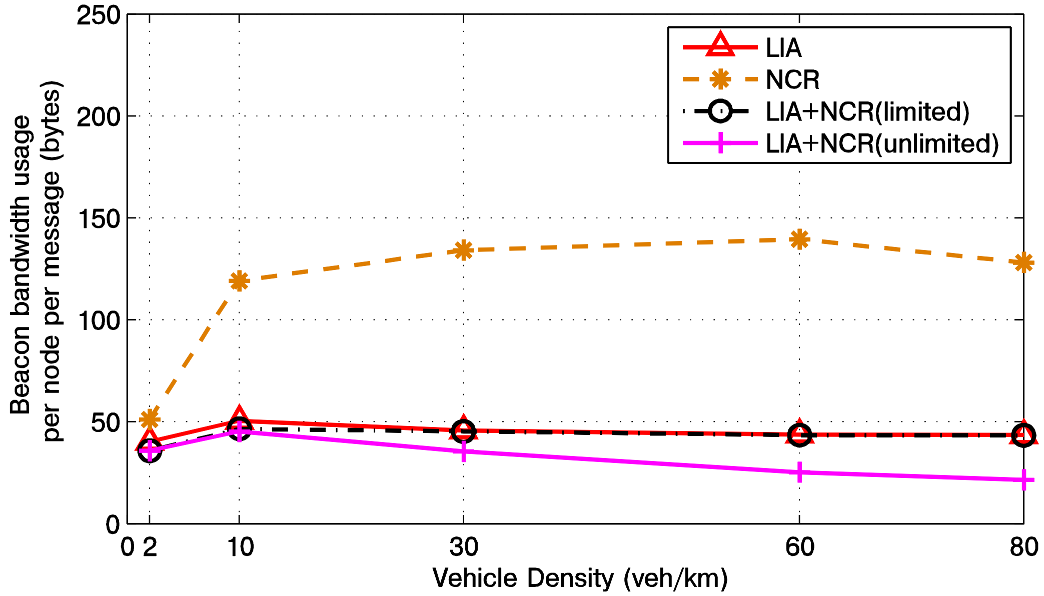


ข)

ภาพที่ 4.6 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

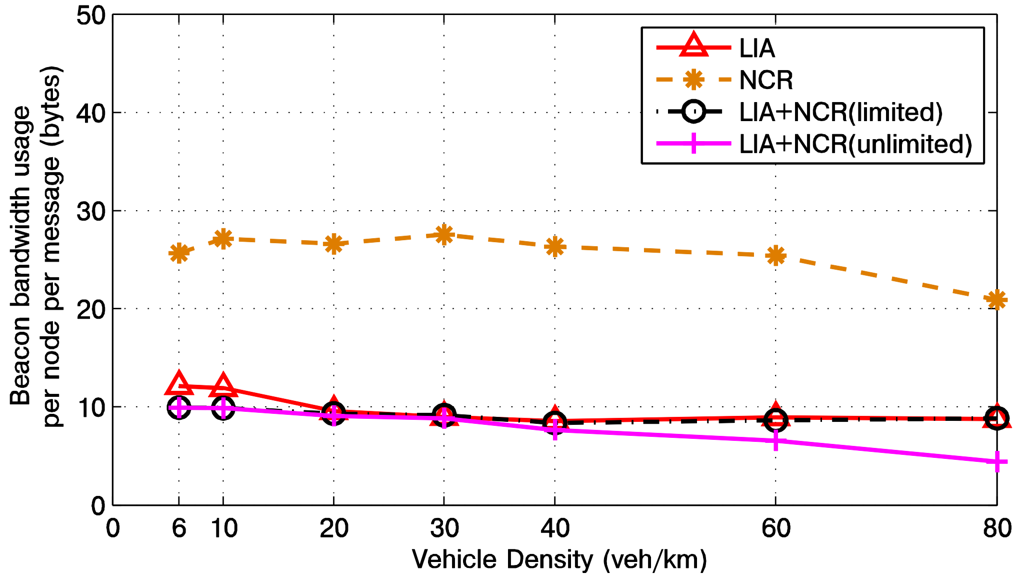


ก)

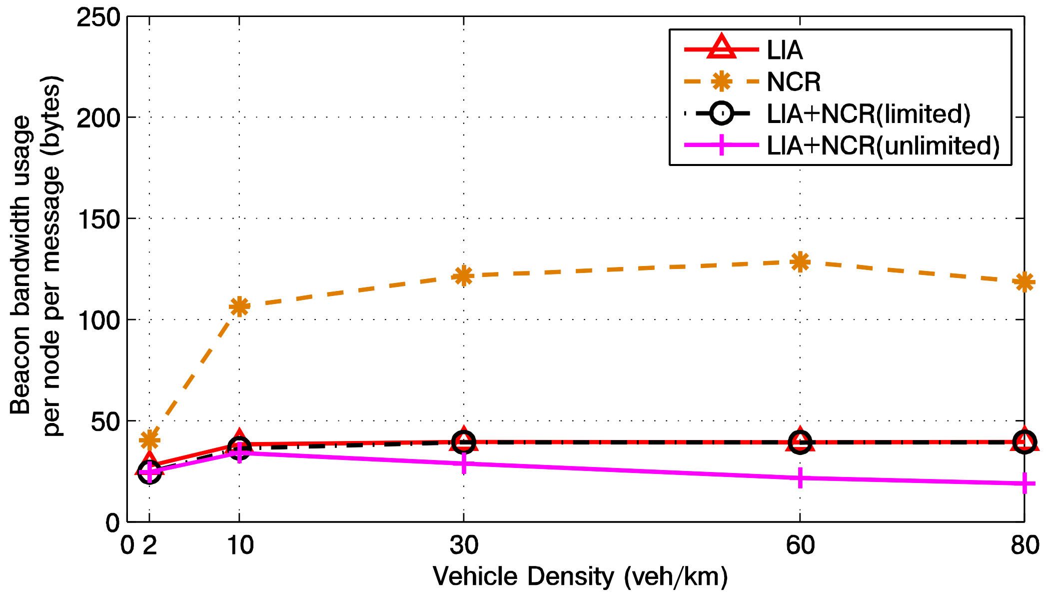


ข)

ภาพที่ 4.7 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

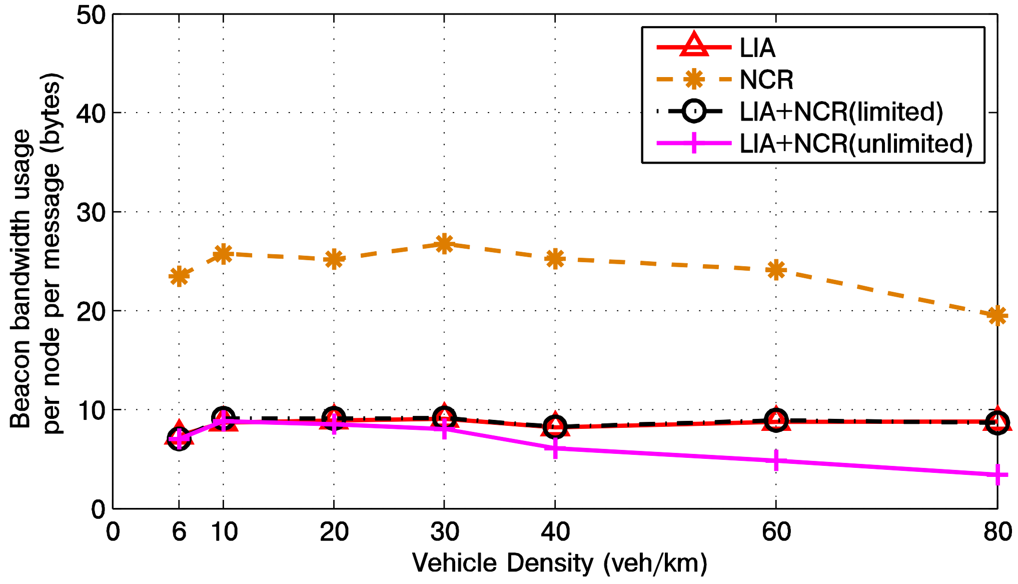


ก)

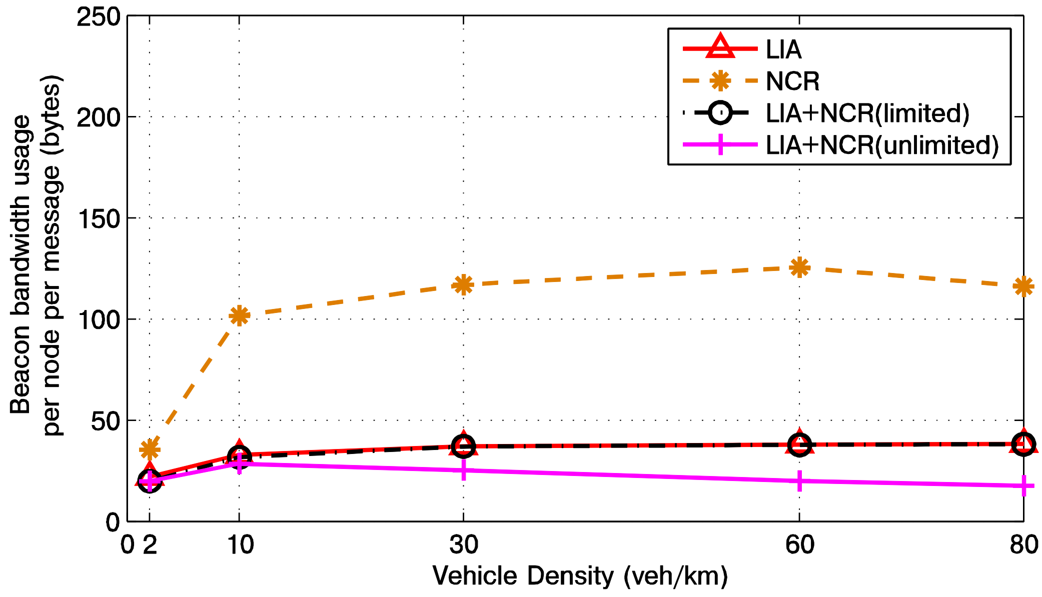


ข)

ภาพที่ 4.8 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)



ข)

ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอน ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

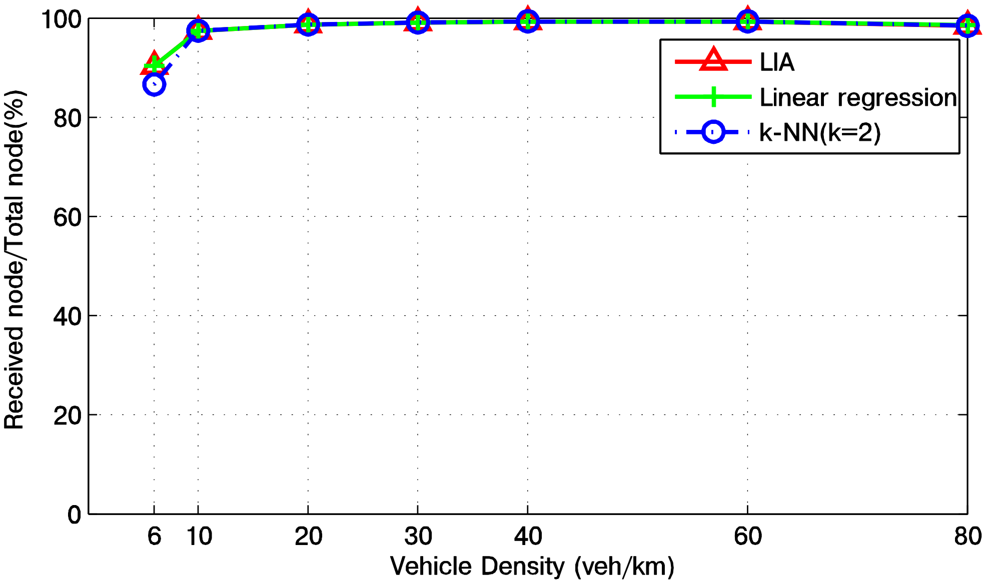
4.6 ผลการทดลองของค่าความเชื่อถือได้

4.6.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor

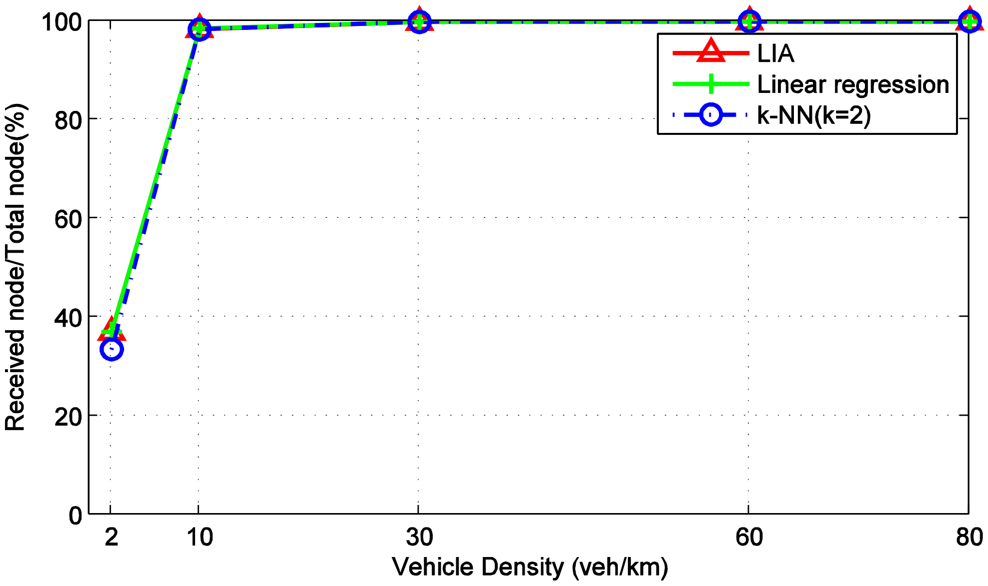
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.10 ก) และข) ซึ่งแสดงความเชื่อถือได้ของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบต่างๆ เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะให้ค่าความเชื่อถือได้ต่ำ เนื่องจากที่ความหนาแน่นต่ำโหนดมีโอกาสค้นพบโหนดเพื่อนบ้าน และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้น้อยกว่า และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นค่าความเชื่อถือได้จะสูง เนื่องจากมีโหนดจำนวนมากพอที่จะช่วยกันแลกเปลี่ยนข้อมูล

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่าที่ทุกความหนาแน่นวิธีการที่นำเสนอ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor สามารถให้ค่าของความเชื่อถือได้เหมือนกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ทั้งในกรณีของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ถึงแม้ว่าถนนในเมืองจะมีความซับซ้อนมากกว่าถนนทางหลวง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล นั่นคือ โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้โดยที่มีค่าความเชื่อถือได้เท่าเดิม แต่มีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลง

นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 แสดงความเชื่อถือได้ของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor สามารถให้ค่าของความเชื่อถือได้เหมือนกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แต่มีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลง

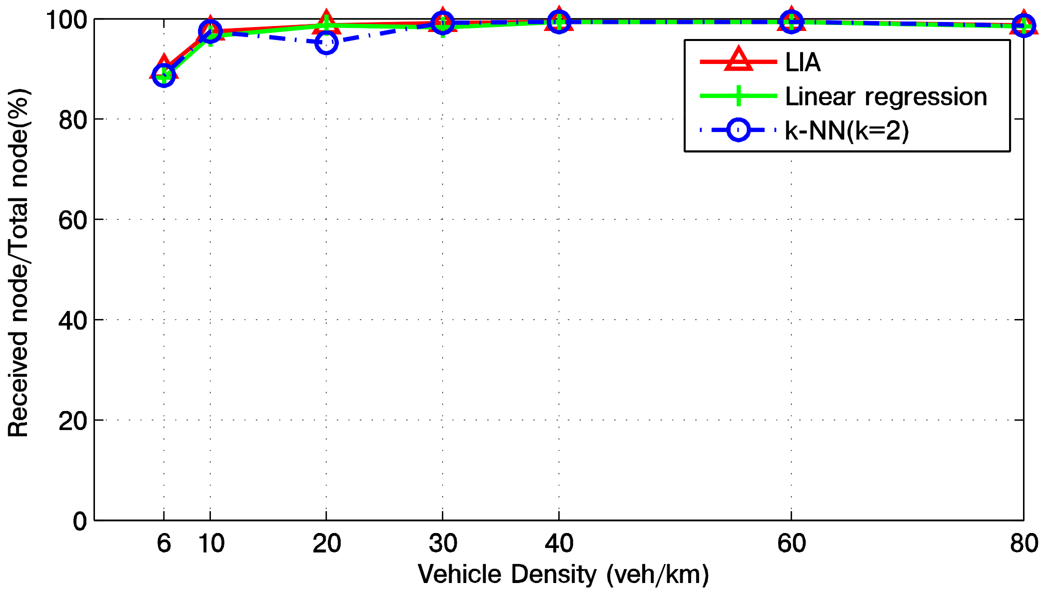


ก)

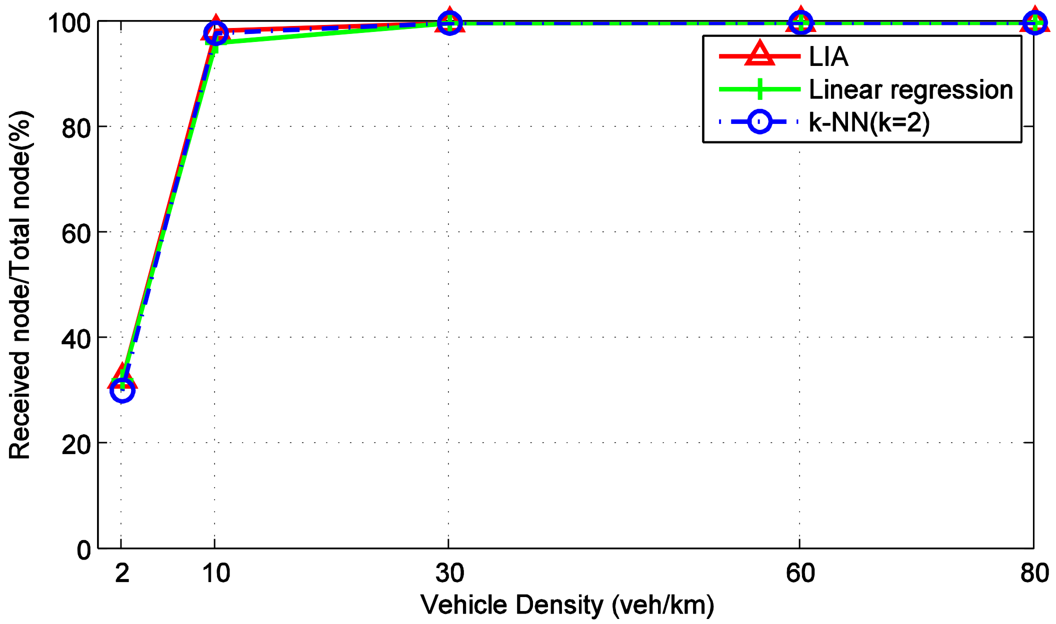


ข)

ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

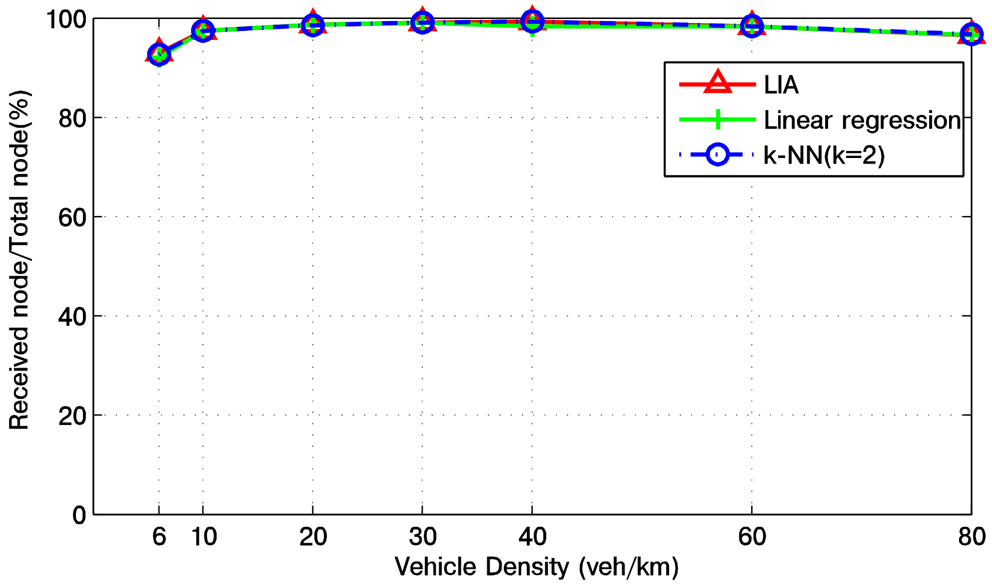


ก)

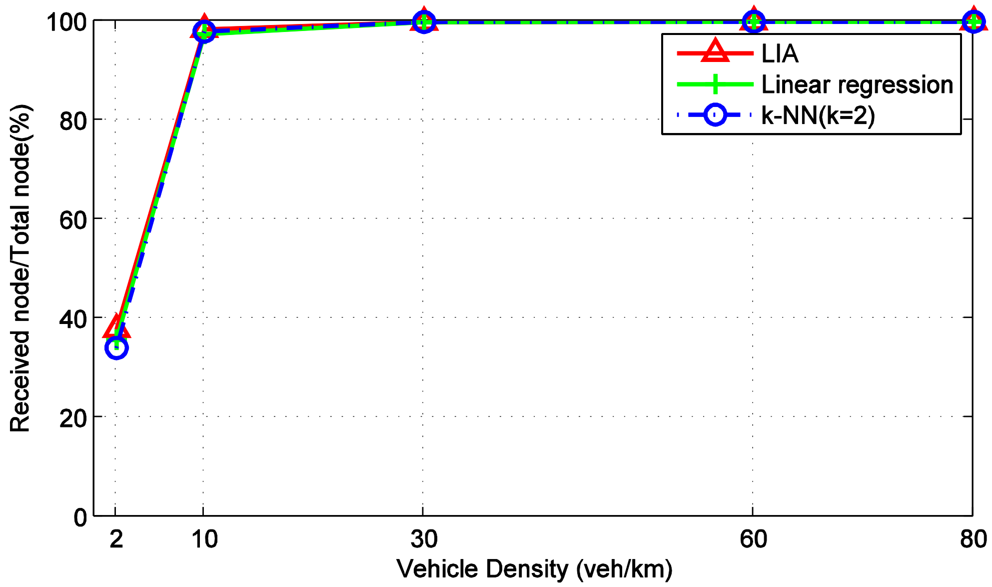


ข)

ภาพที่ 4.11 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

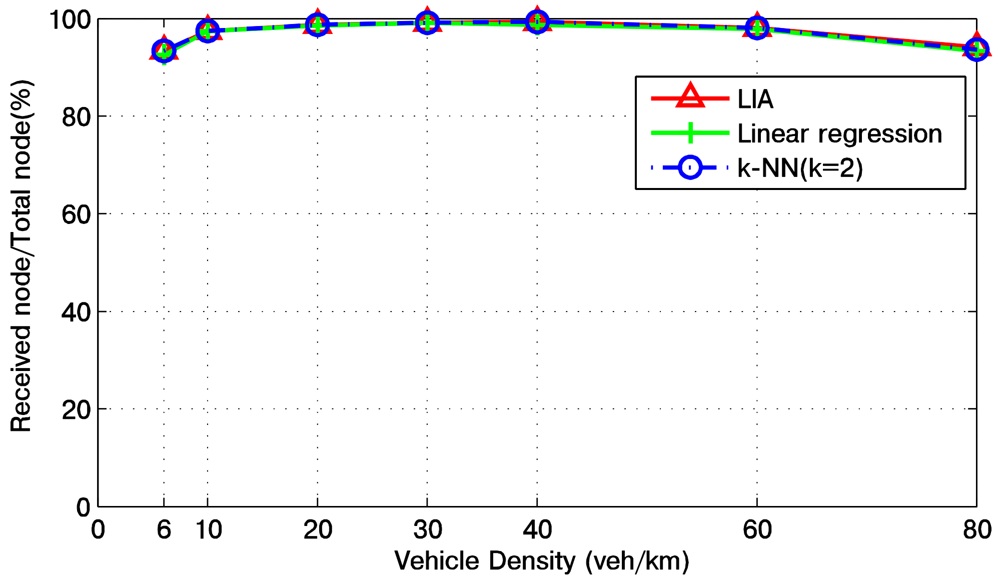


ก)

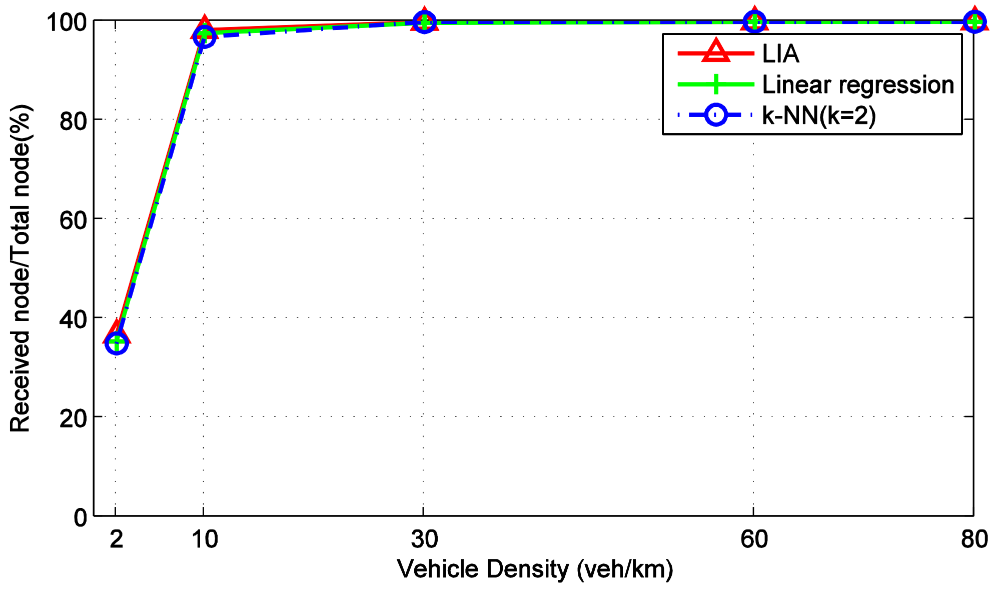


ข)

ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)



ข)

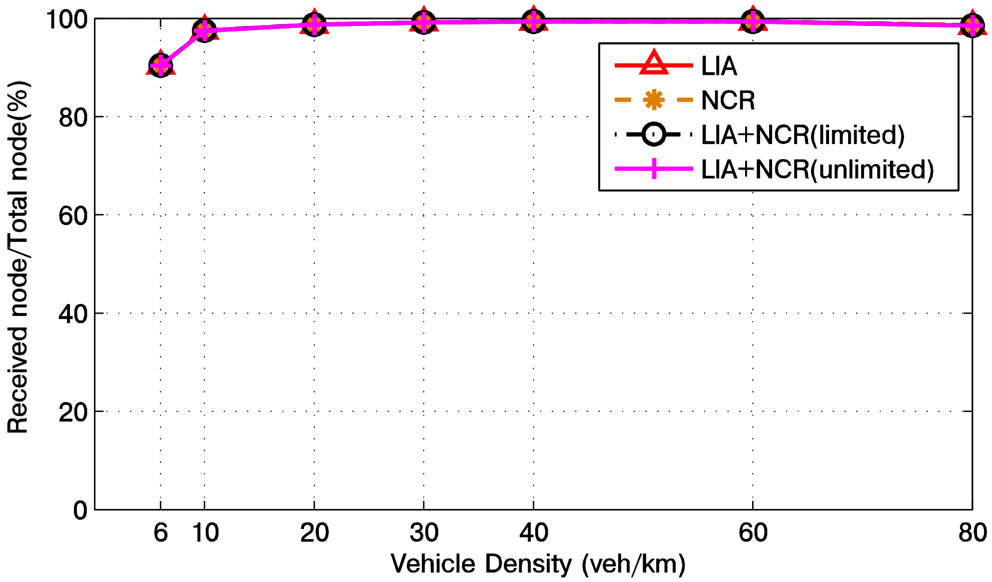
ภาพที่ 4.13 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

4.6.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)

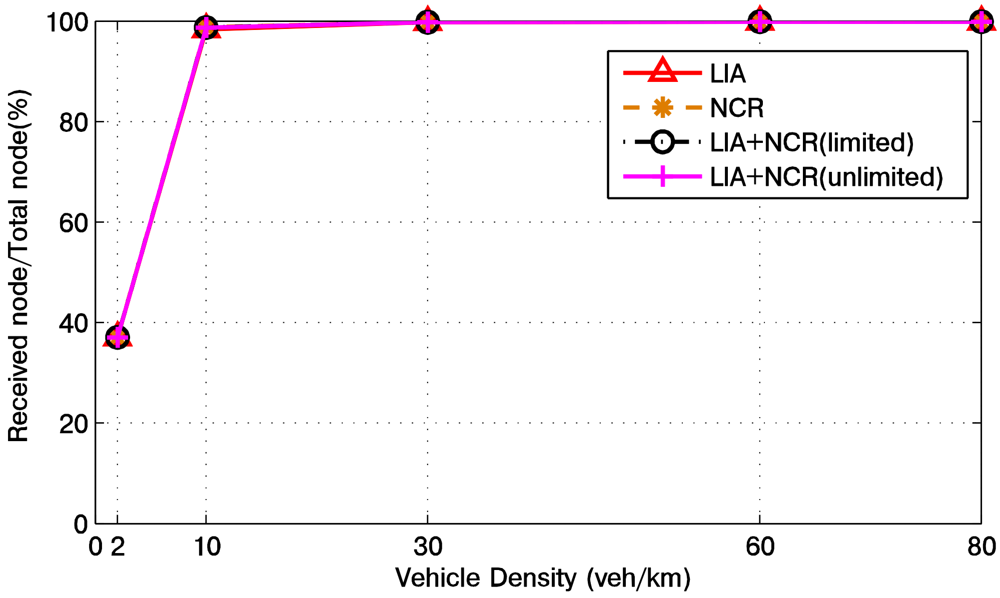
เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อถือได้เมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง แสดงในภาพที่ 4.14 ก) และข) ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะให้ค่าความเชื่อถือได้ต่ำ เนื่องจากที่ความหนาแน่นต่ำโหนดมีโอกาสค้นพบโหนดเพื่อนบ้าน และแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้น้อยกว่า และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นค่าความเชื่อถือได้จะสูง เนื่องจากมีโหนดจำนวนมากพอที่จะช่วยกันแลกเปลี่ยนข้อมูล

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่าที่ทุกความหนาแน่นวิธีการที่นำเสนอ คือ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบจำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (limited)) และ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) สามารถให้ค่าของความเชื่อถือได้เหมือนกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม ทั้งในกรณีของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ถึงแม้ว่าถนนในเมืองจะมีความซับซ้อนมากกว่าถนนทางหลวง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล นั่นคือ โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้โดยที่มีค่าความเชื่อถือได้เท่าเดิม แต่มีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลง

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่มีการแพร่มากกว่า 1 ข้อความ ดังผลการทดลองในภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 แสดงความเชื่อถือได้ของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ ทุกวิธีการที่นำเสนอสามารถให้ค่าของความเชื่อถือได้เหมือนกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนลงได้



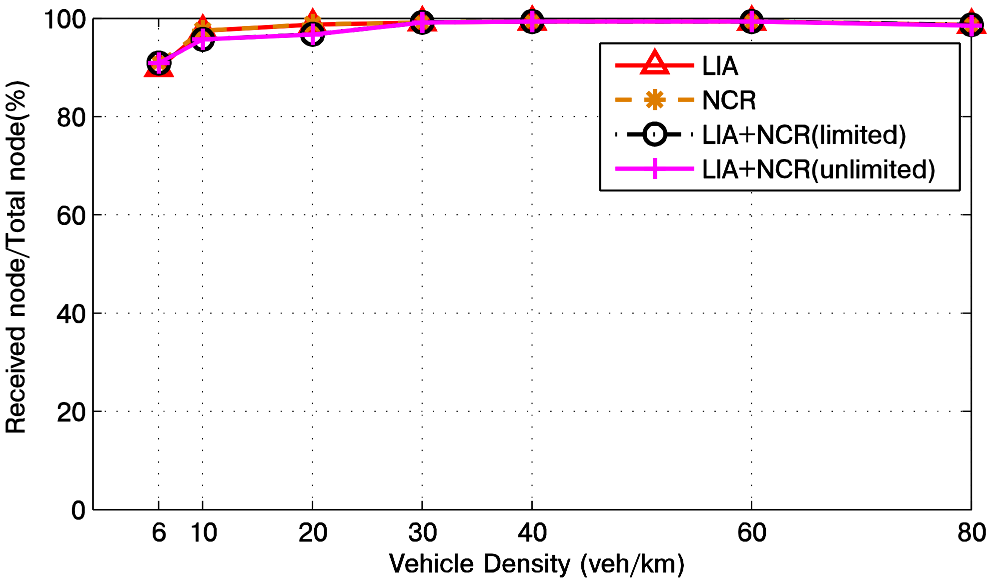
ก)



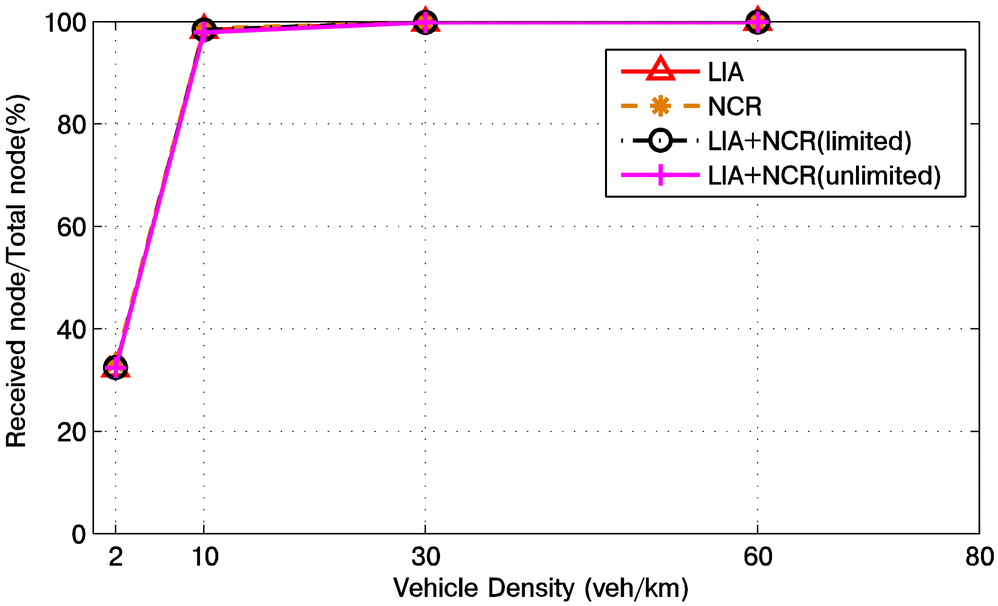
ข)

ภาพที่ 4.14 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ

บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR



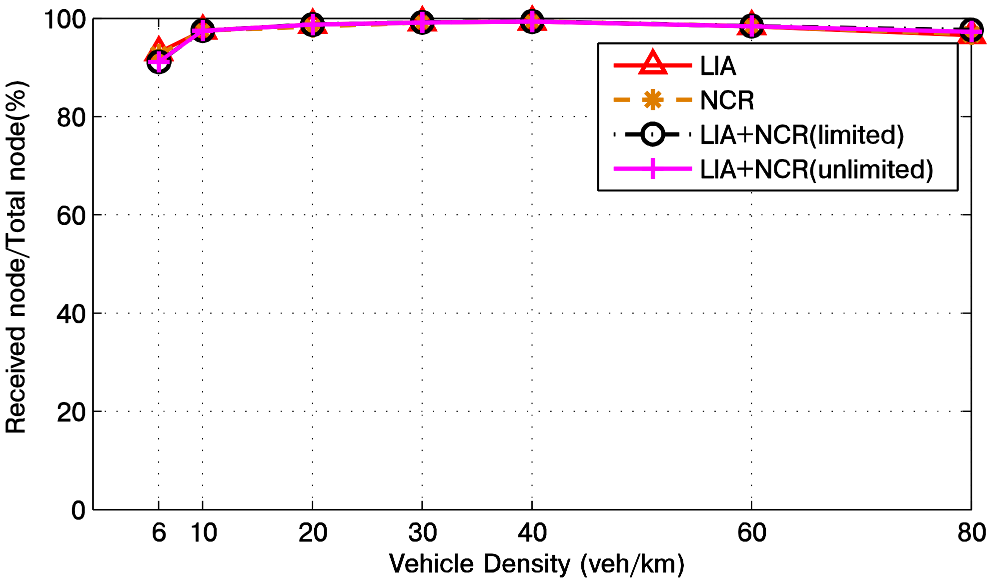
ก)



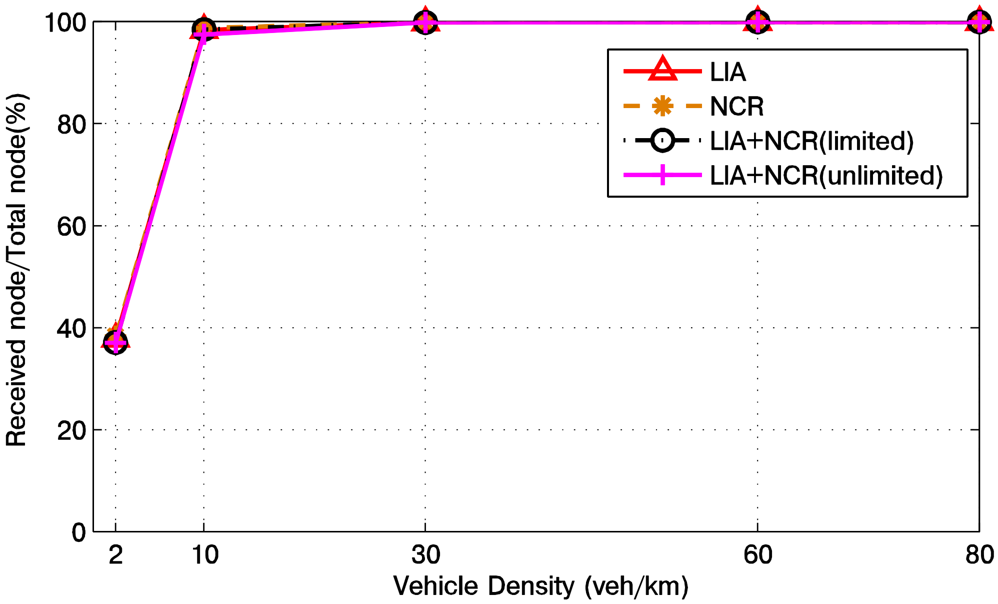
ข)

ภาพที่ 4.15 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ

บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR



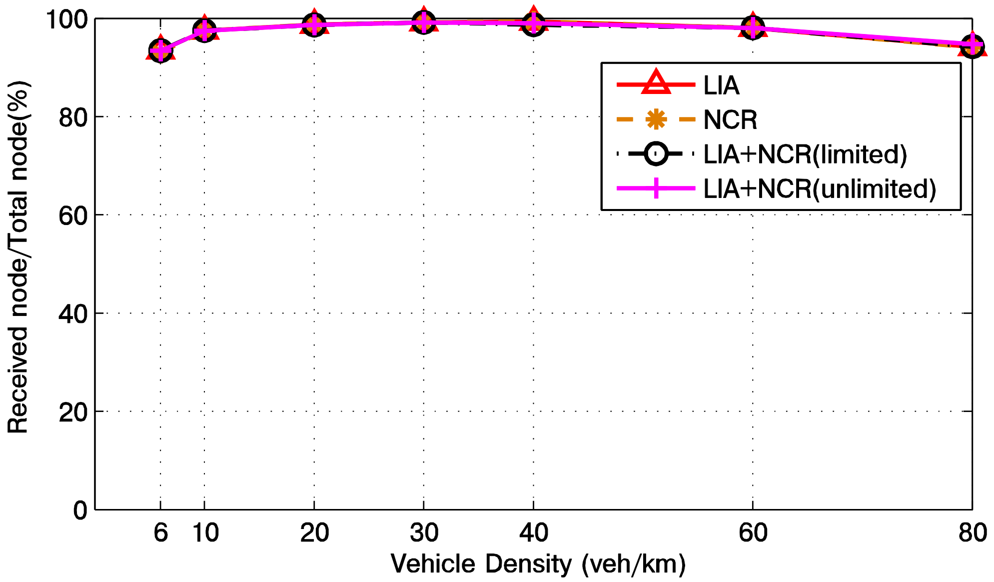
ก)



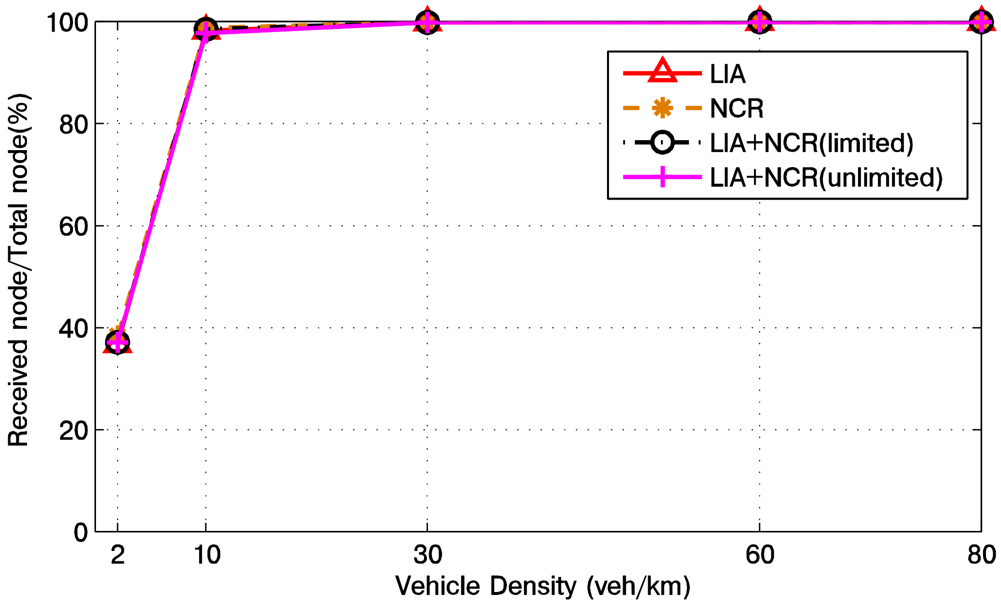
ข)

ภาพที่ 4.16 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ

บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)



ข)

ภาพที่ 4.17 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ

บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

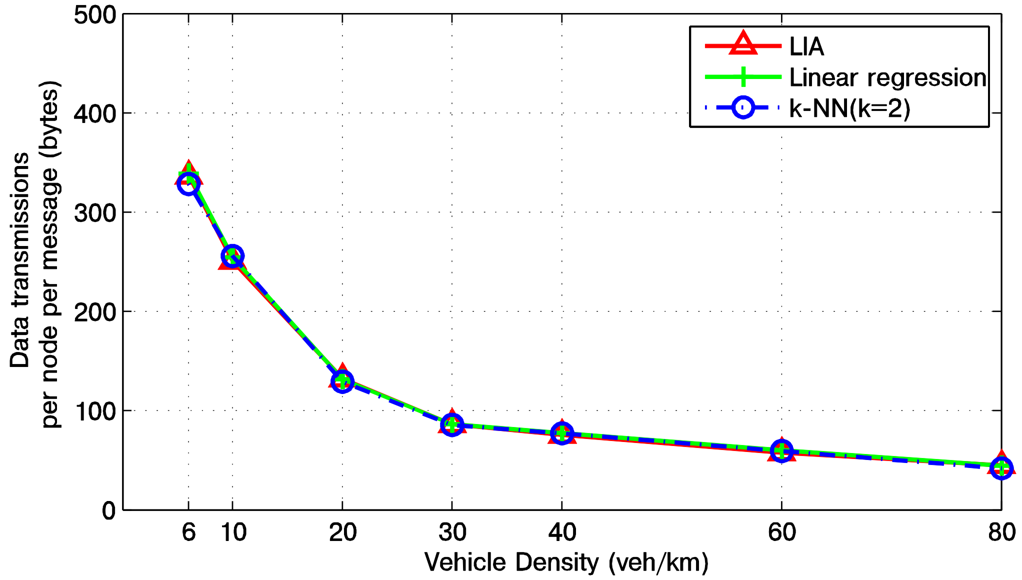
4.7 ผลการทดลองของค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ

4.7.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor

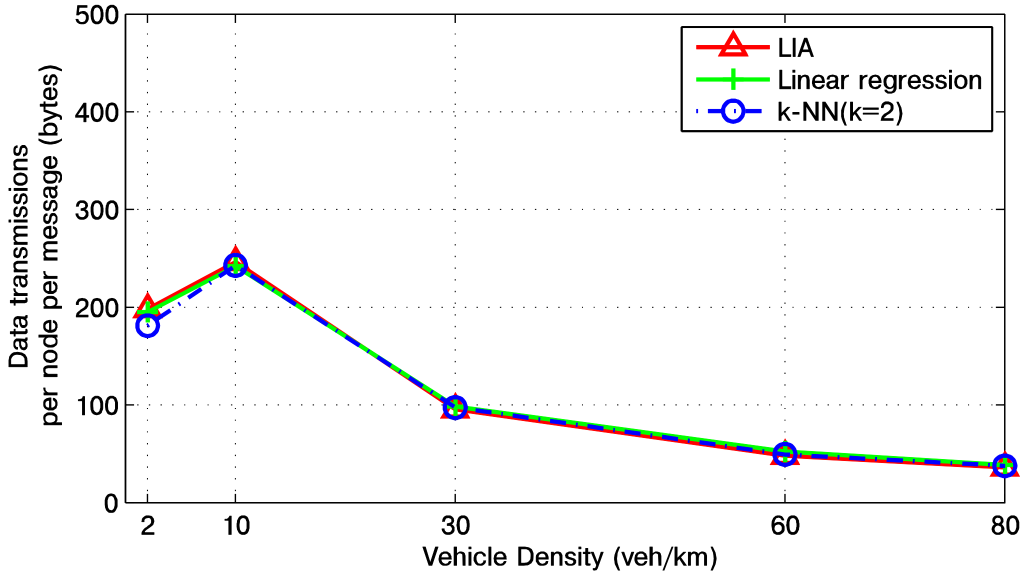
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.18 ก) และข) ซึ่งแสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบต่างๆ เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำสูง เนื่องจากในบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีจำนวนโหนดน้อย ดังนั้นทุกโหนดจึงต้องช่วยกันแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น เพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านได้รับข้อมูล และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำจะลดลง เนื่องจากจะมีโหนดที่ช่วยกันแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น ซึ่งเมื่อมีโหนดอื่นในบริเวณเดียวกันแพร่ข้อมูลหนึ่งแล้ว โหนดอื่นที่จะทำการแพร่ข้อมูลเดียวกัน จะหยุดแพร่ข้อมูลนั้น ทำให้ลดจำนวนการแพร่ข้อมูลซ้ำในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่าที่ทุกความหนาแน่นวิธีการที่นำเสนอ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor ให้ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำใกล้เคียงกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ทั้งในกรณีของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลทางด้านค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ นั่นคือ โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้โดยไม่ได้มีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนลงได้

นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 แสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลส่วนใหญ่ที่สอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor สามารถทำงานได้โดยมีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA)

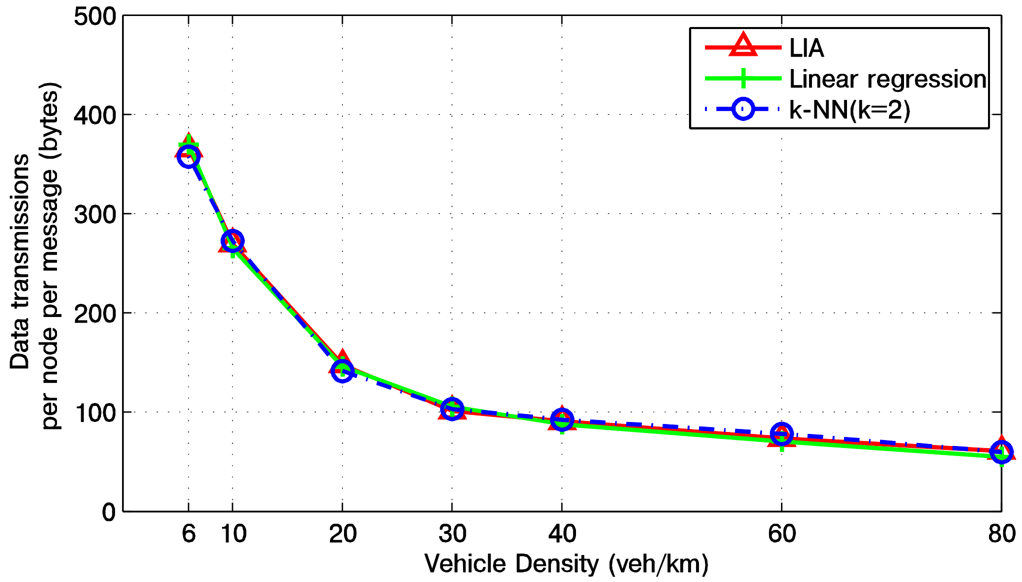


ก)

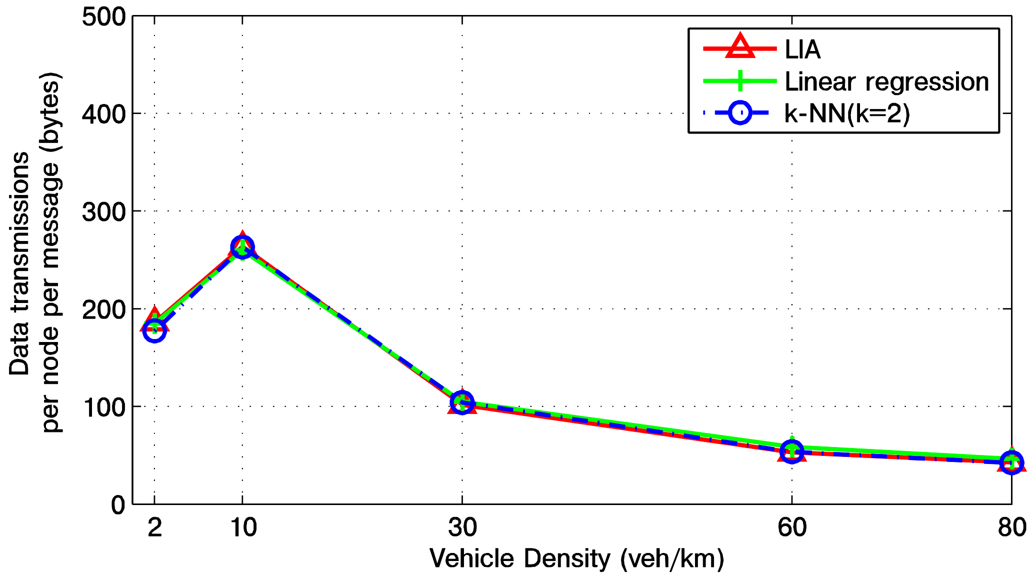


ข)

ภาพที่ 4.18 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

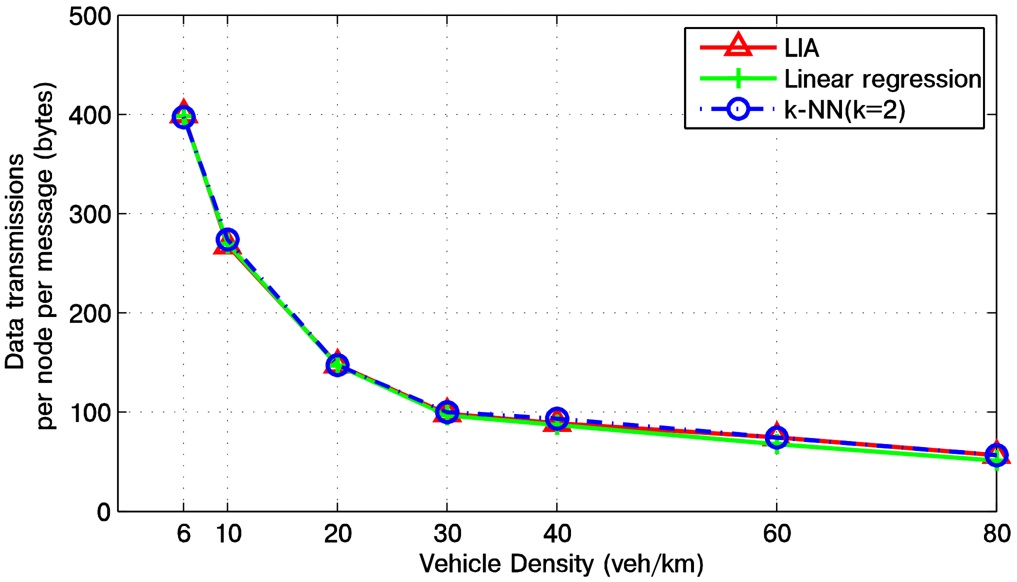


ก)

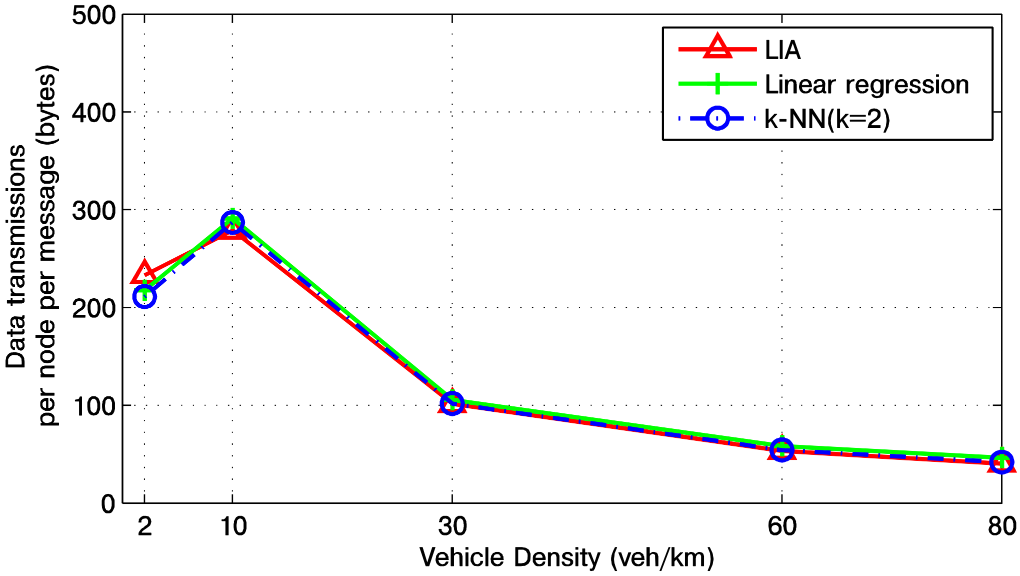


ข)

ภาพที่ 4.19 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

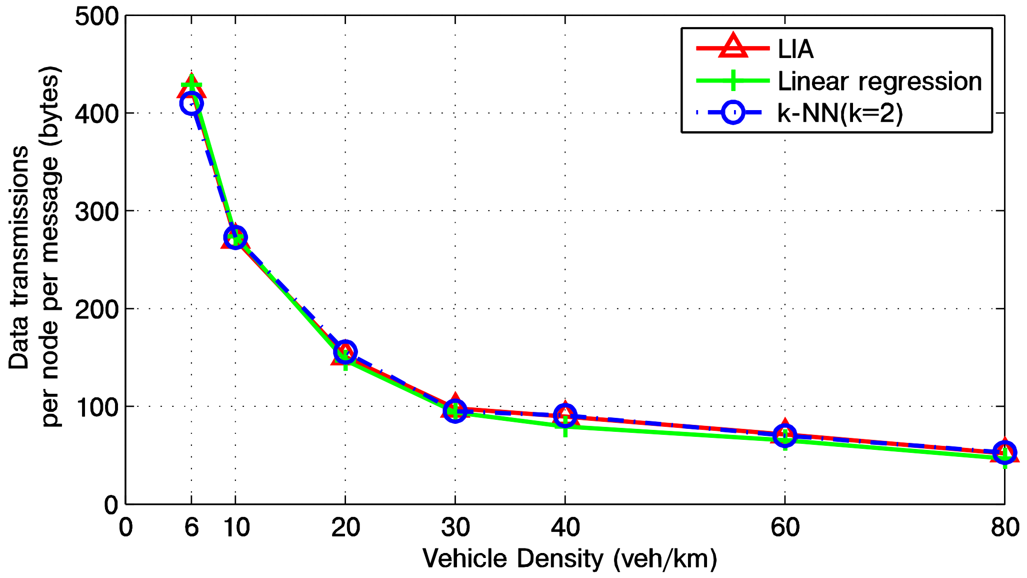


ก)

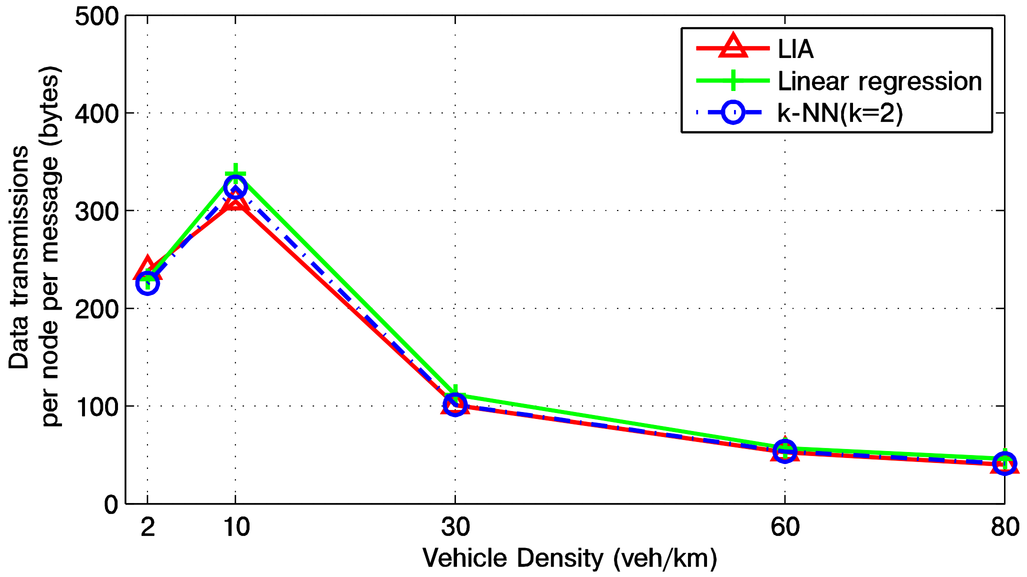


ข)

ภาพที่ 4.20 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ
บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)



ข)

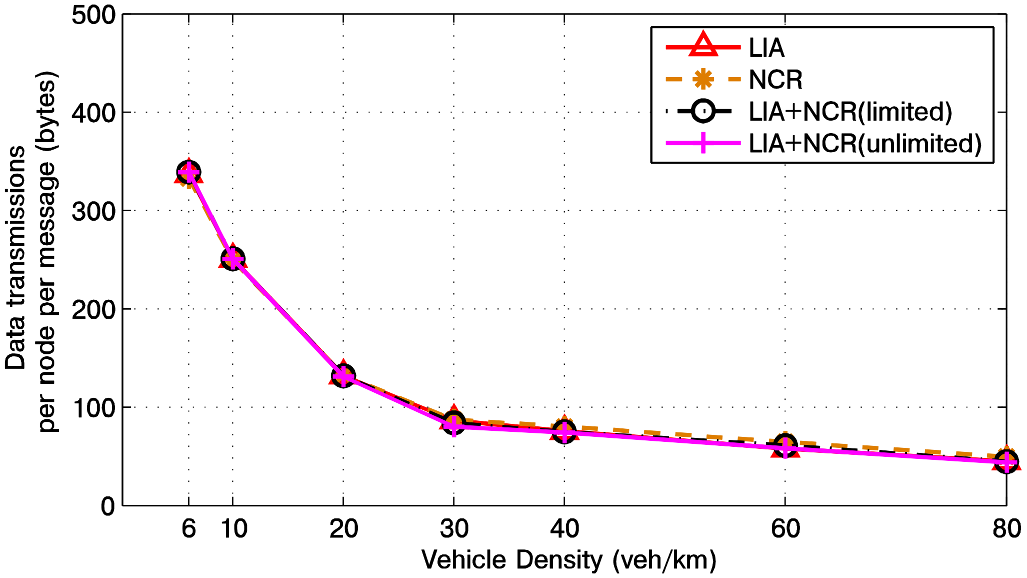
ภาพที่ 4.21 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

4.7.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)

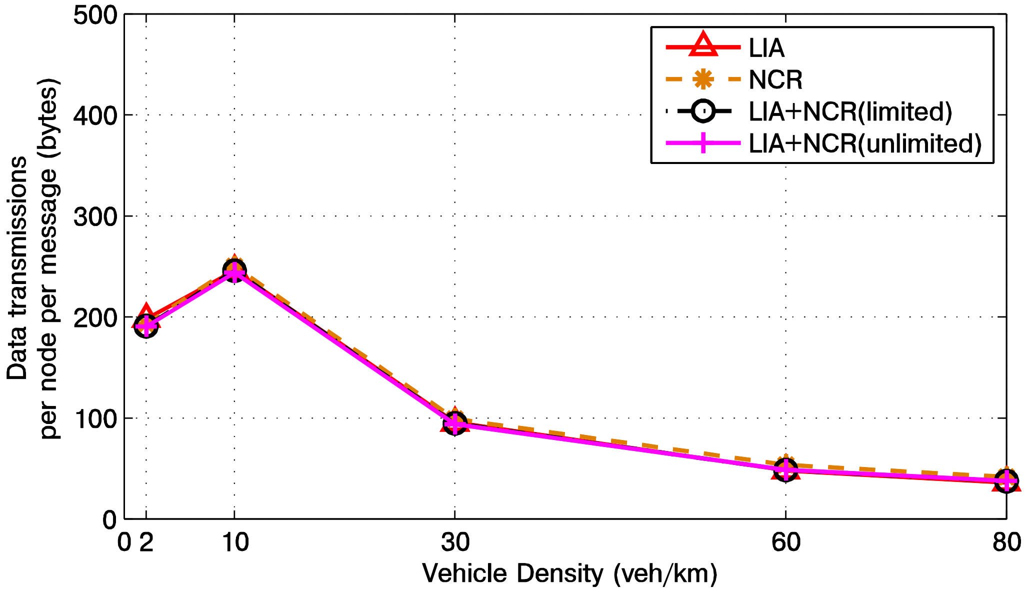
เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำเมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ บนถนนทางหลวงและถนนในเมือง แสดงในภาพที่ 4.22 ก) และข) ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำสูง เนื่องจากในบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำ จะมีจำนวนโหนดน้อย ดังนั้นทุกโหนดจึงต้องช่วยกันแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้นเพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านได้รับข้อมูล และเมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำจะลดลง เนื่องจากจะมีโหนดที่ช่วยกันแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น ซึ่งเมื่อมีโหนดอื่นในบริเวณเดียวกันแพร่ข้อมูลหนึ่งแล้ว โหนดอื่นที่จะทำการแพร่ข้อมูลเดียวกัน จะหยุดแพร่ข้อมูลนั้น ทำให้ลดจำนวนการแพร่ข้อมูลซ้ำในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่าที่ทุกความหนาแน่นวิธีการที่นำเสนอ คือ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบจำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (limited)) และ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) ให้ค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำใกล้เคียงกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม ทั้งในกรณีของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลทางด้านค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ นั่นคือ โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้โดยไม่ได้มีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำมากขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนลงได้

นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 แสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลส่วนใหญ่ที่สอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ วิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถทำงานได้โดยมีค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม

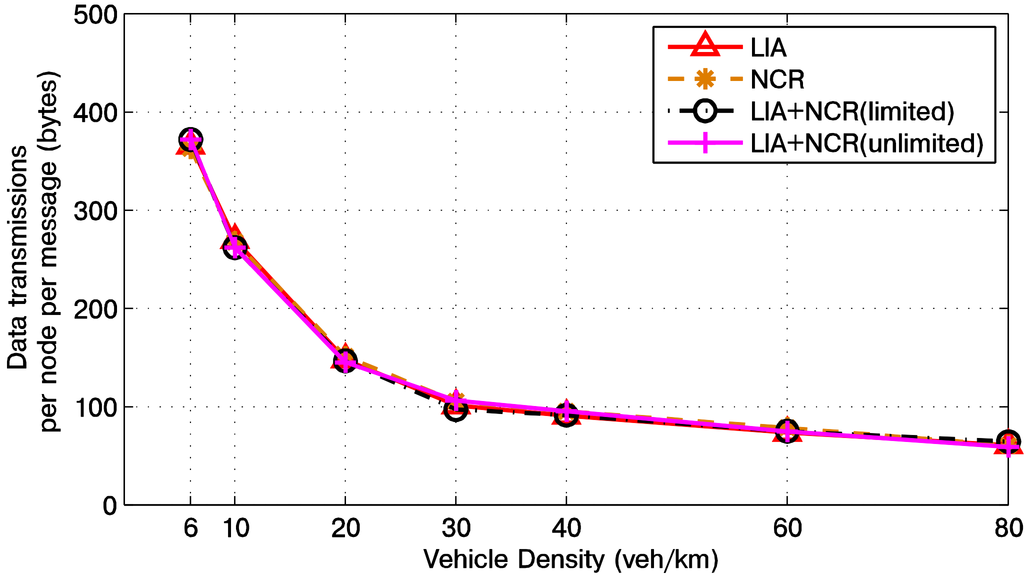


ก)

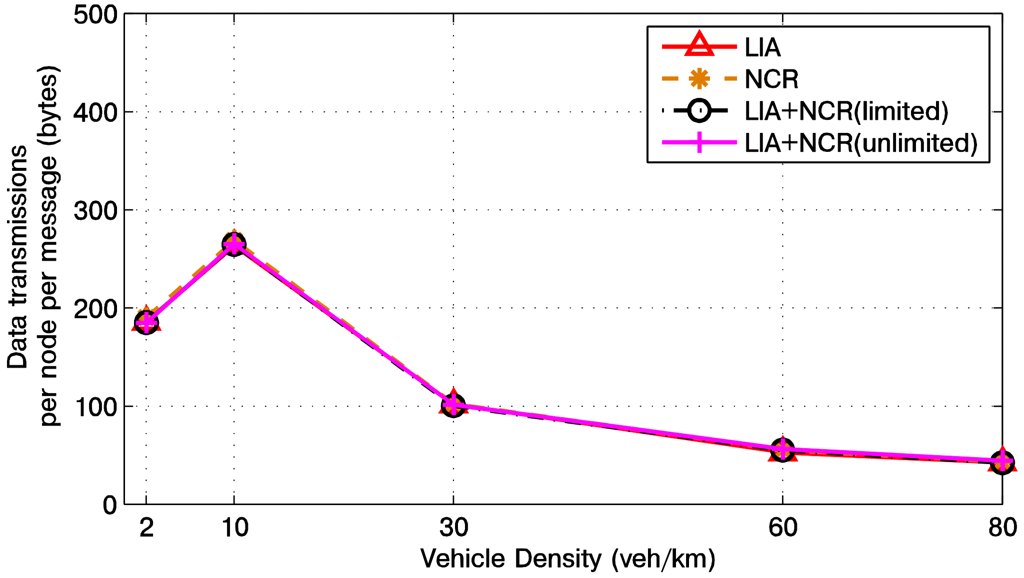


ข)

ภาพที่ 4.22 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

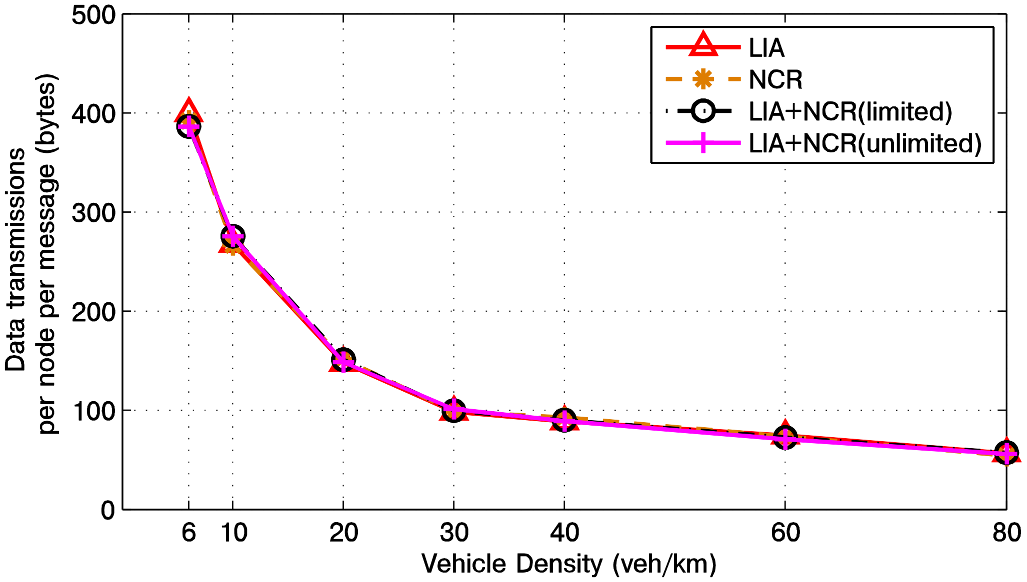


ก)

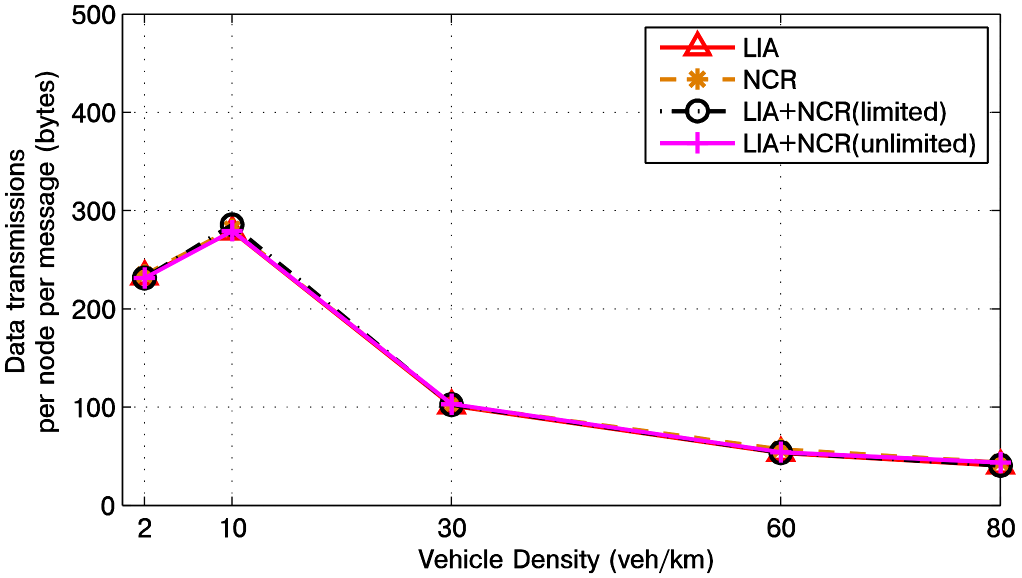


ข)

ภาพที่ 4.23 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

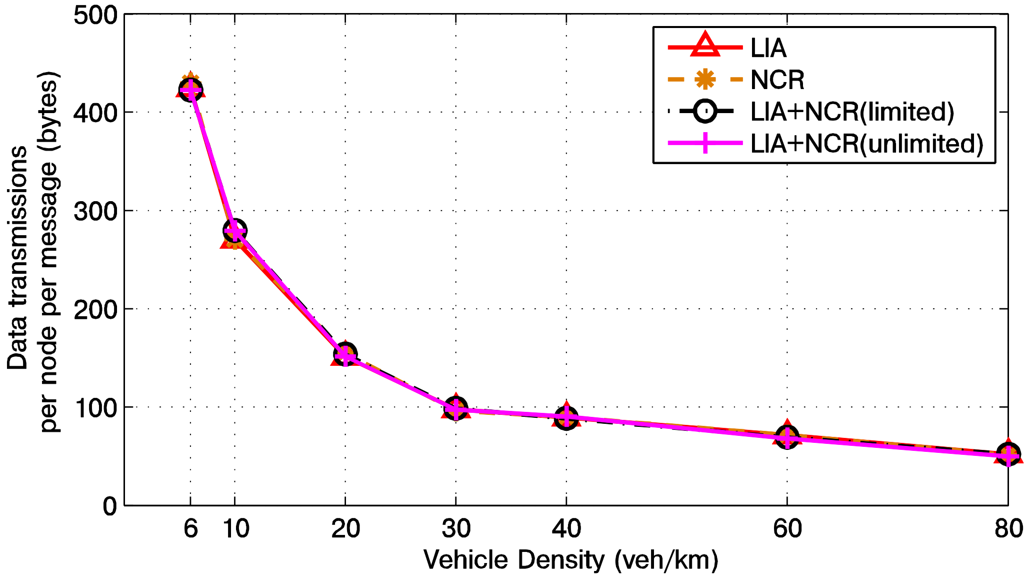


ก)

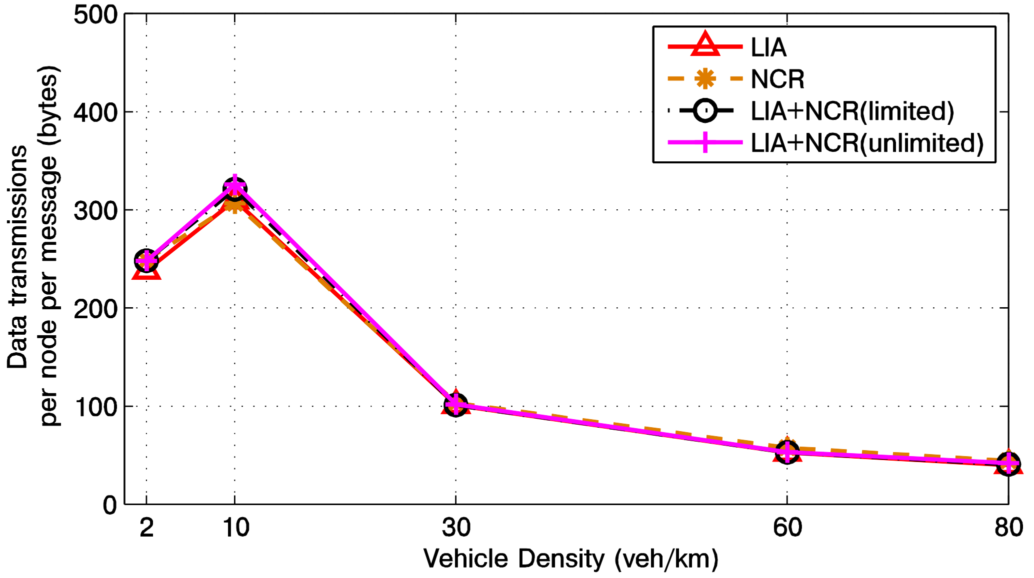


ข)

ภาพที่ 4.24 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)



ข)

ภาพที่ 4.25 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลซ้ำ ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ บน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง โดยใช้วิธี LIA+NCR

4.8 ผลการทดลองของความเร็วของการแพร่ข้อมูล

4.8.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor

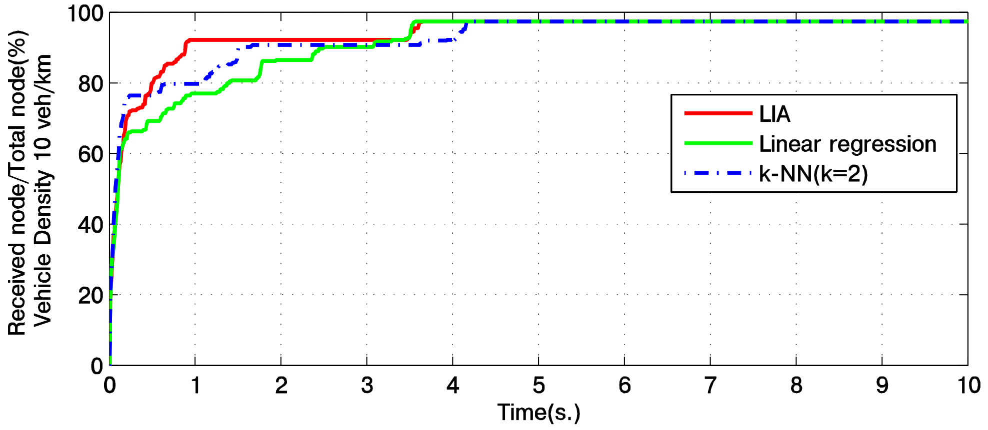
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.26 และ 4.27 ซึ่งแสดงความเร็วของการแพร่ข้อมูล ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น 10-80 คัน/กิโลเมตร บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีความเร็วของการแพร่ข้อมูลช้ากว่า เนื่องจากมีจำนวนโหนดที่ช่วยแพร่ข้อมูลน้อย แต่เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีความเร็วของการแพร่ข้อมูลเร็วขึ้น เนื่องจากมีโหนดที่ช่วยกันแพร่ข้อมูลมากขึ้น

จากตัวอย่างการทดลองมีการกำหนดความต้องการของแอพพลิเคชั่นให้มีความเร็วของการแพร่ข้อมูล ดังนี้ บนถนนทางหลวง มีการกำหนดให้มีค่าความเชื่อถือได้สูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 10 วินาที และบนถนนในเมือง มีการกำหนดให้มีค่าความเชื่อถือได้สูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 15 วินาที

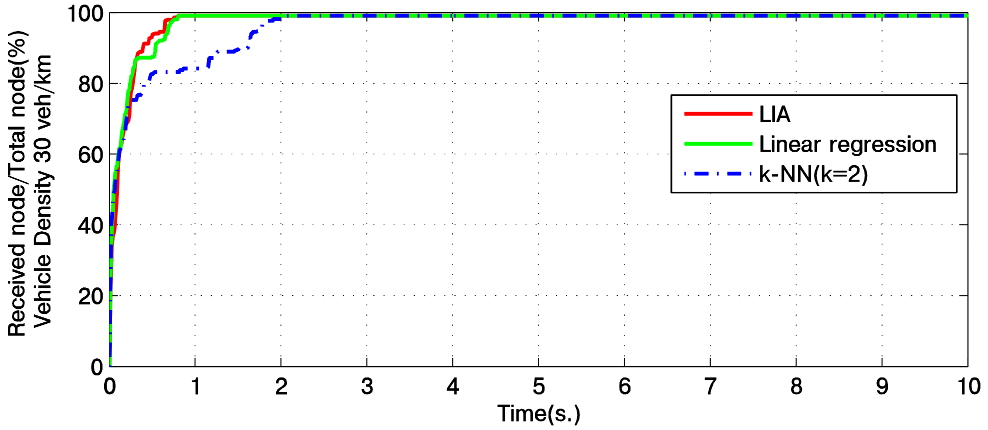
จากผลการทดลองบนถนนทางหลวงสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อถึงเวลา 10 วินาที วิธีการที่นำเสนอ คือ วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และ K-Nearest Neighbor สามารถให้ค่าความเชื่อถือได้เท่ากับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) และจากผลการทดลองบนถนนในเมืองสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อถึงเวลา 15 วินาที วิธีการที่นำเสนอ สามารถให้ค่าความเชื่อถือได้เท่ากับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) เช่นเดียวกัน ยกเว้นในกรณีที่มีความหนาแน่นของเครือข่าย 10 คัน/กิโลเมตร ซึ่งมีปัญหาในเรื่องการเกิดการแบ่งส่วนของเครือข่าย (Network partition) ทำให้แต่ละวิธีการไม่สามารถมีค่าความเชื่อถือสูงสุดได้ภายใน 15 วินาที

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นสามารถทำงานได้ตามความต้องการของแอพพลิเคชั่นทางด้านความเร็วของการแพร่ข้อมูล นอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนลงได้

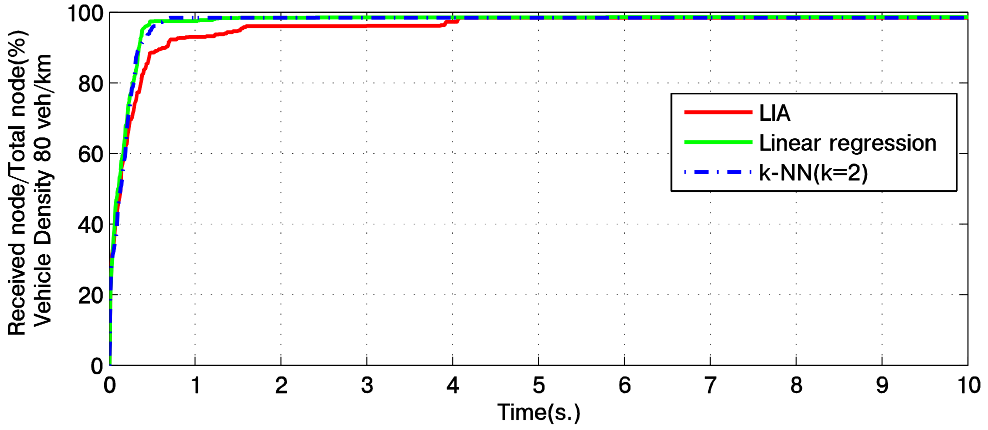
นอกจากนี้ผลการทดลองในภาพที่ 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 และ 4.33 แสดงความเร็วของการแพร่ข้อมูล เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลส่วนใหญ่ที่สอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ



ก)

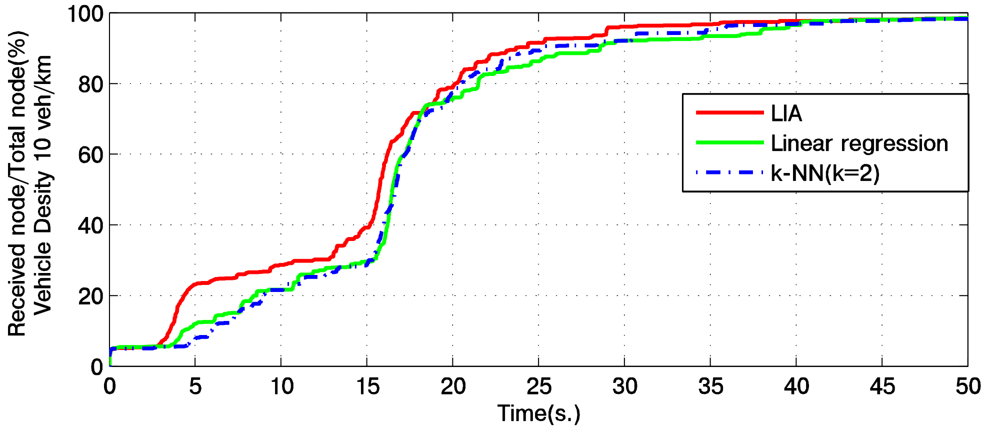


ข)

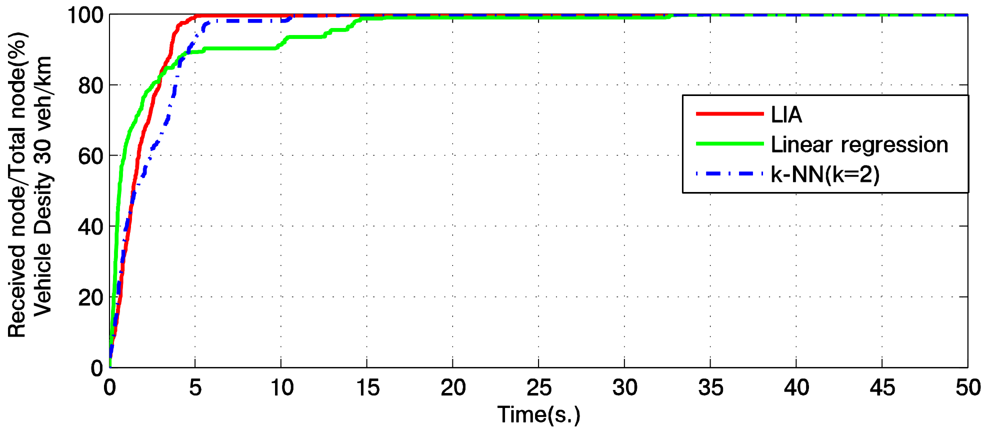


ค)

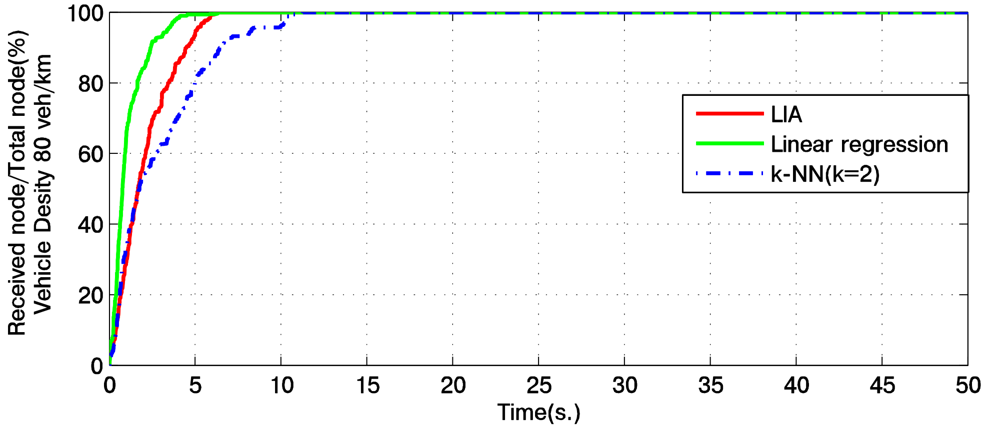
ภาพที่ 4.26 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

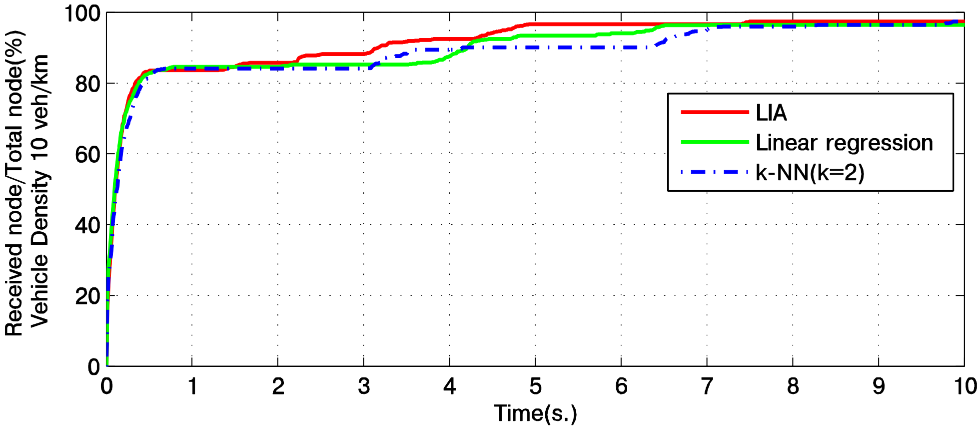


ข)

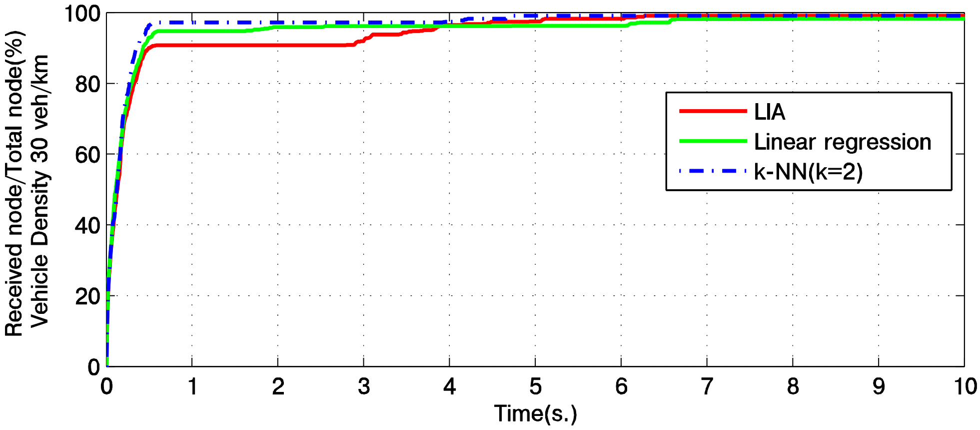


ค)

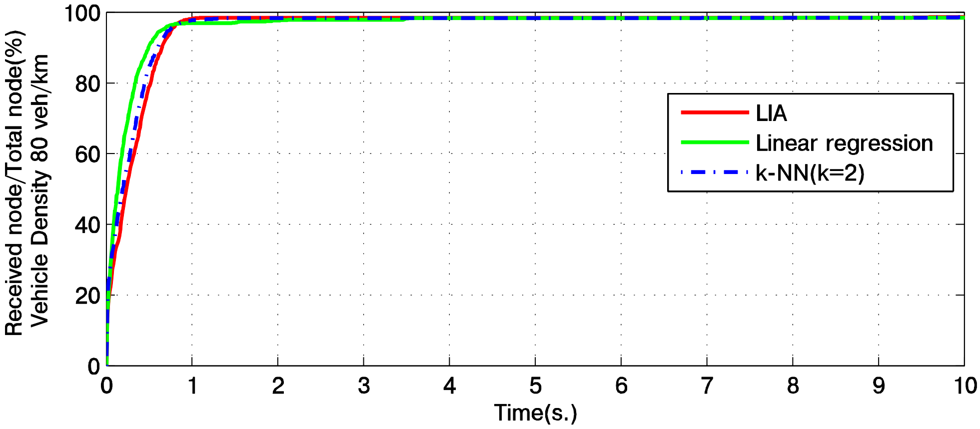
ภาพที่ 4.27 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

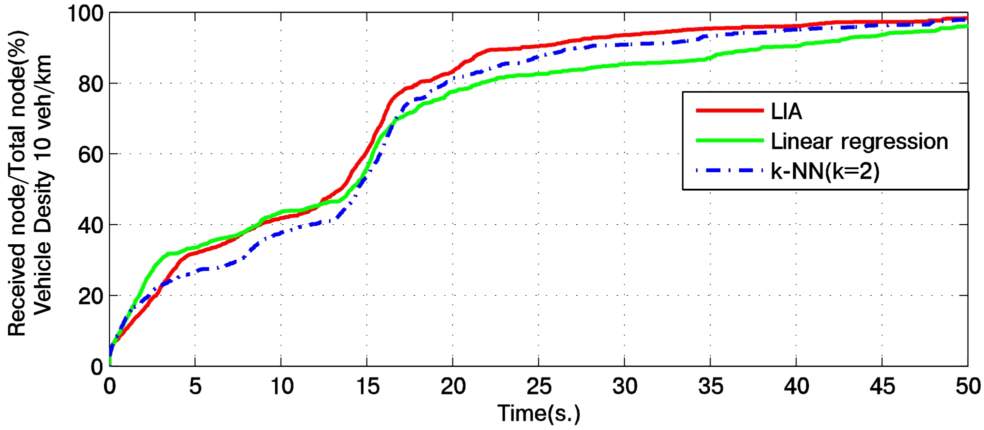


ข)

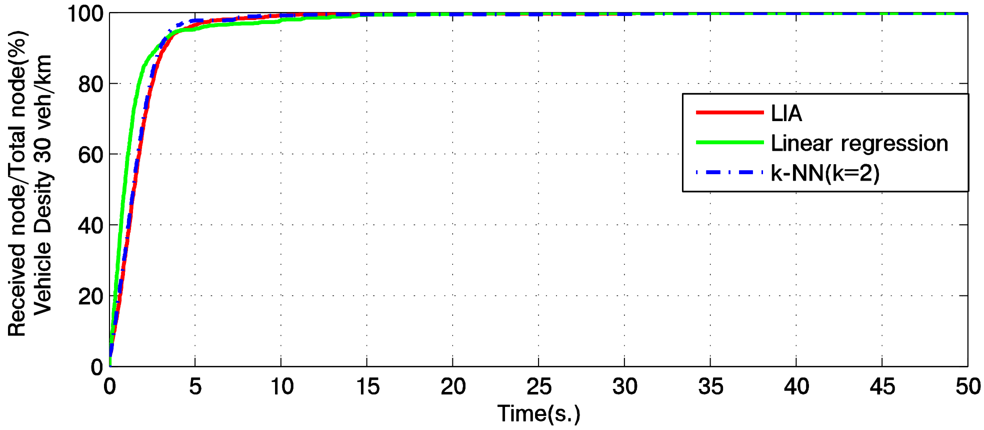


ค)

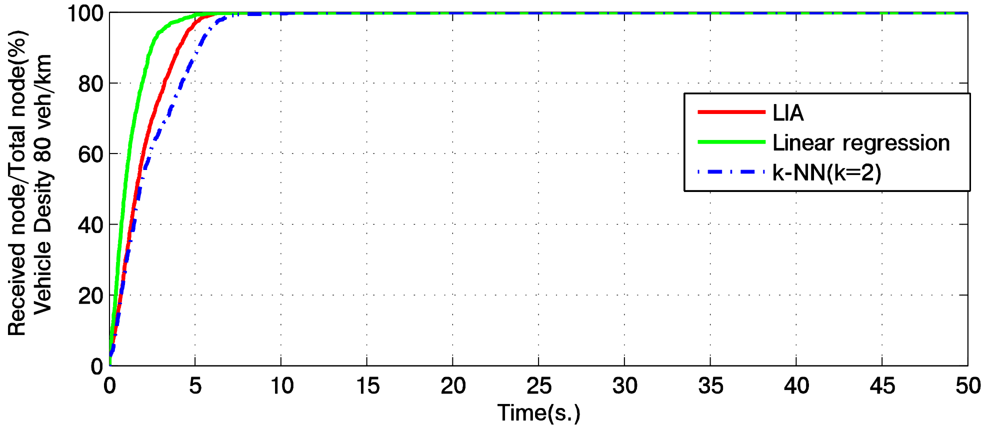
ภาพที่ 4.28 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

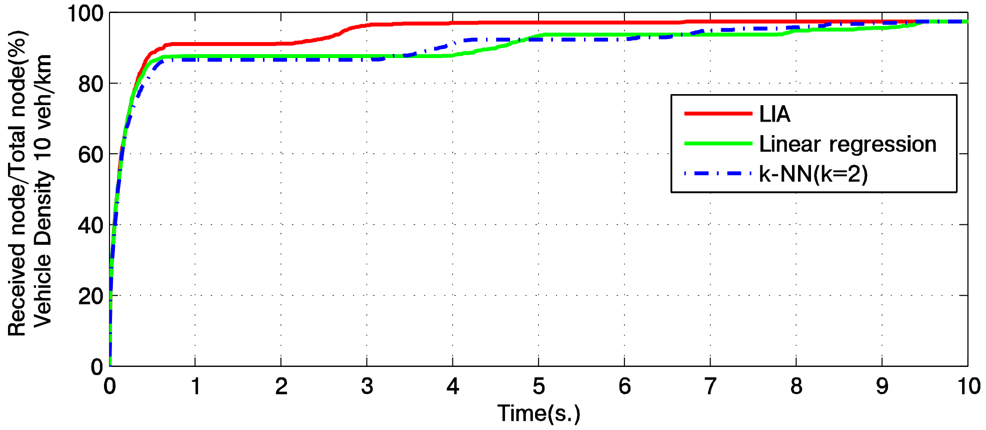


ข)

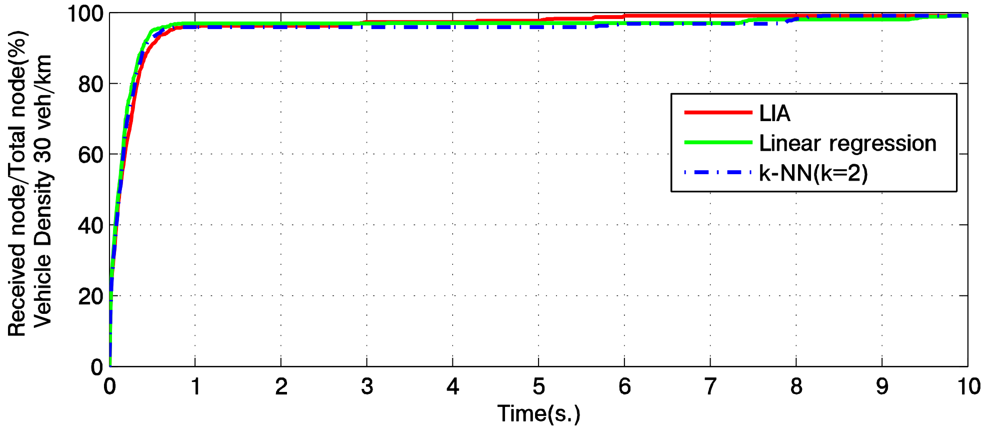


ค)

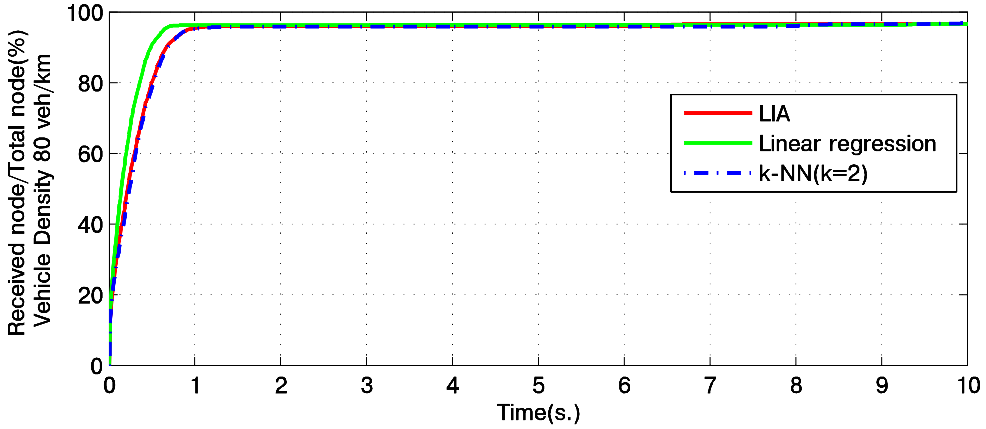
ภาพที่ 4.29 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

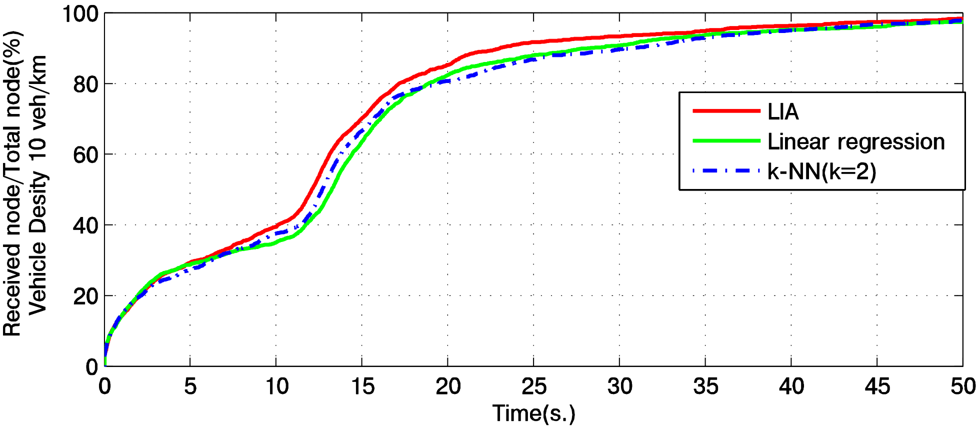


ข)

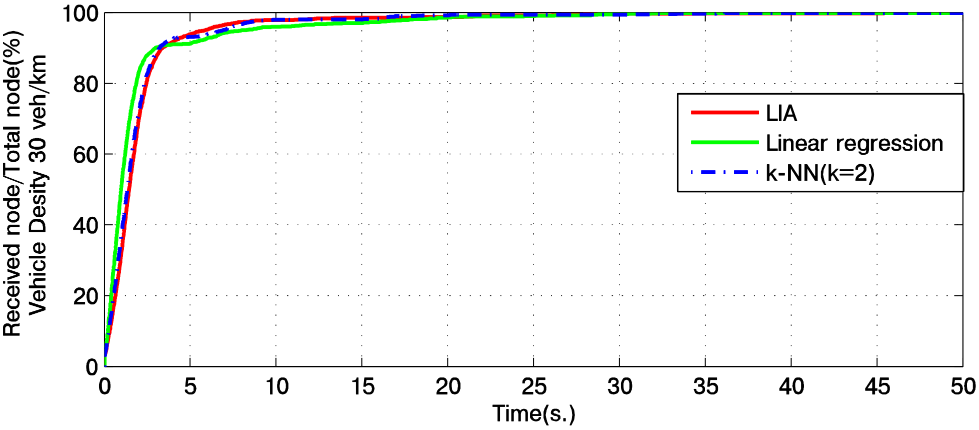


ค)

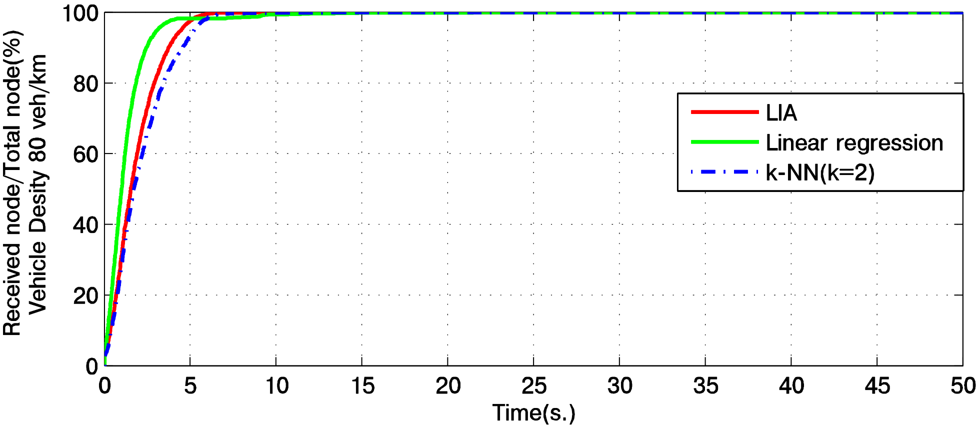
ภาพที่ 4.30 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

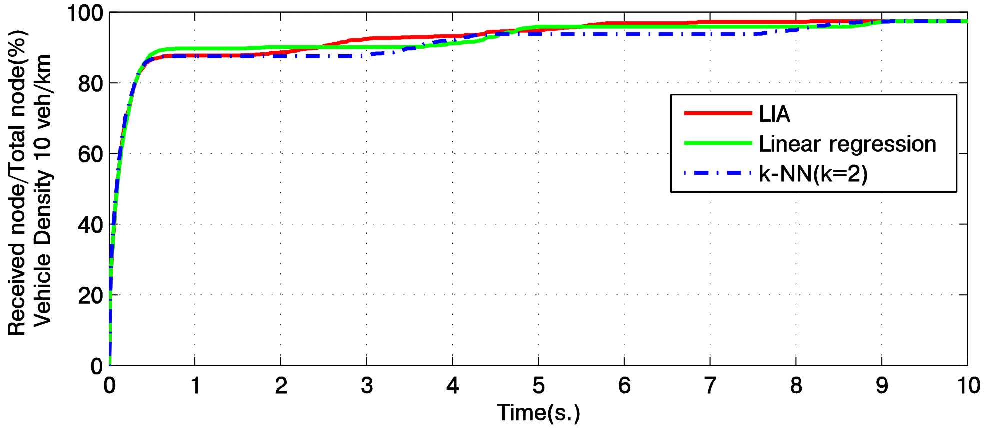


ข)

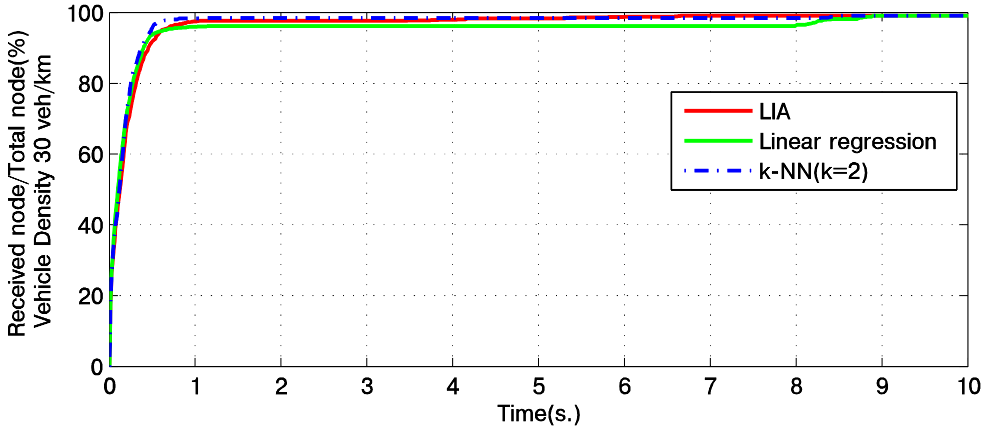


ค)

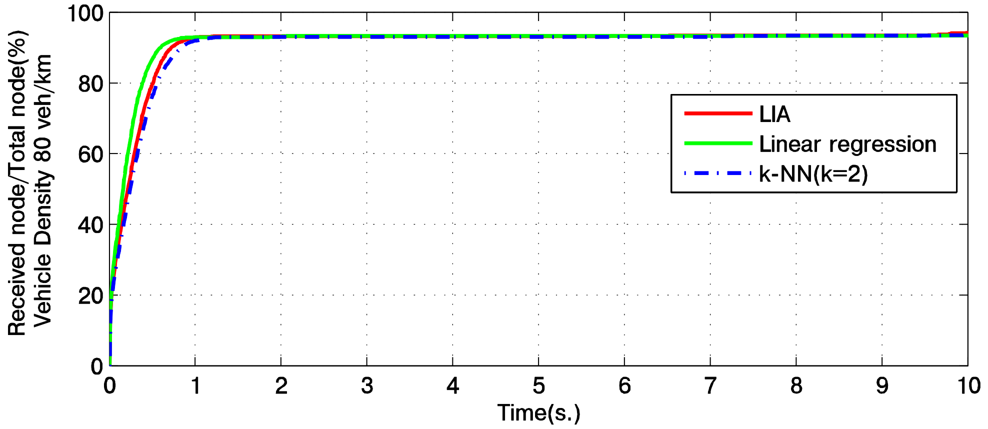
ภาพที่ 4.31 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)

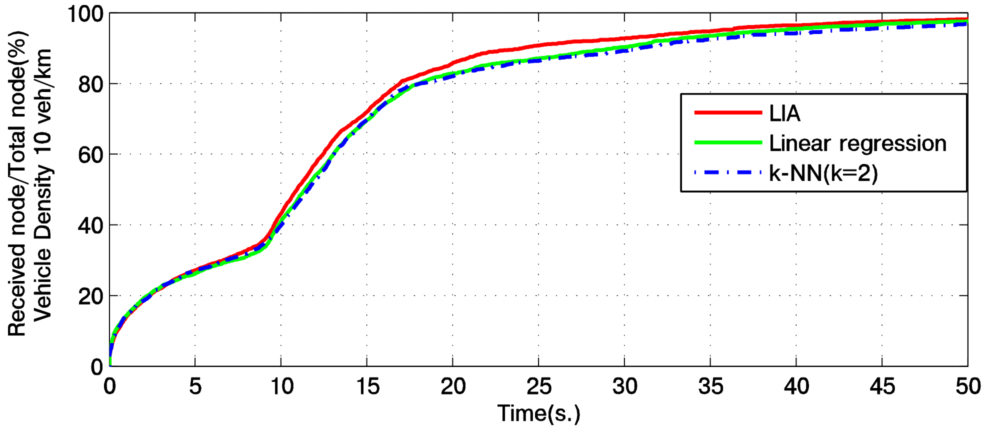


ข)

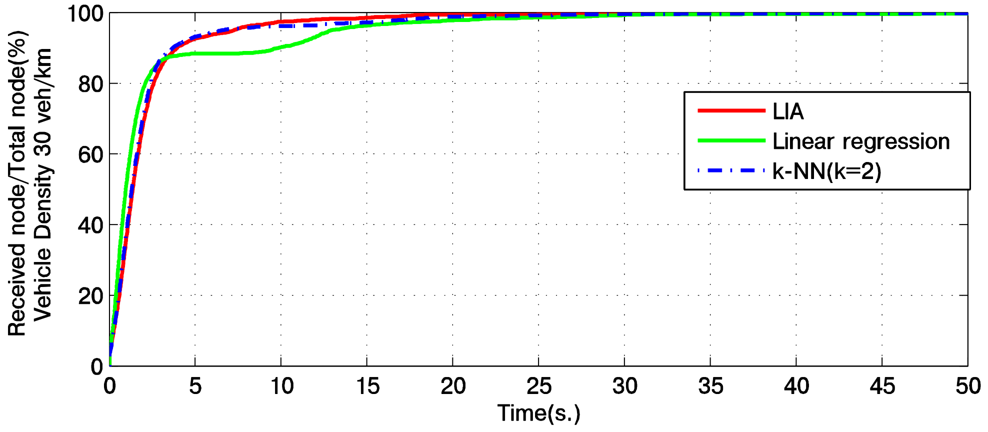


ค)

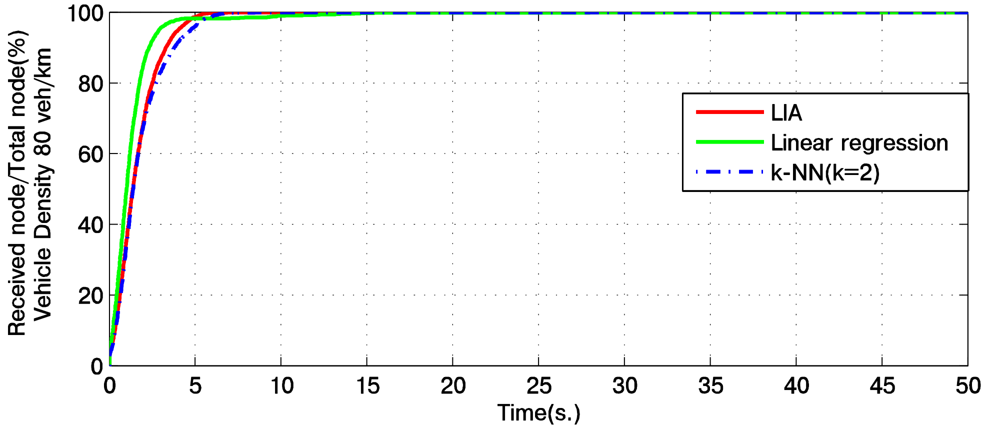
ภาพที่ 4.32 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)



ข)



ค)

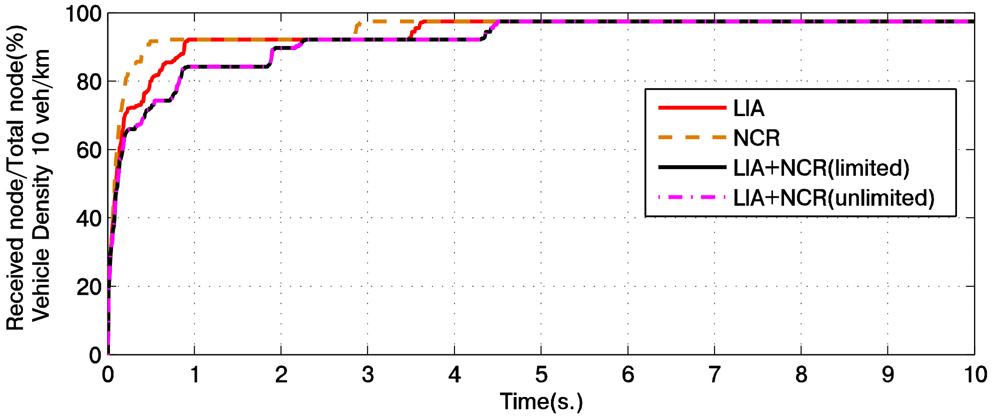
ภาพที่ 4.33 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

4.8.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)

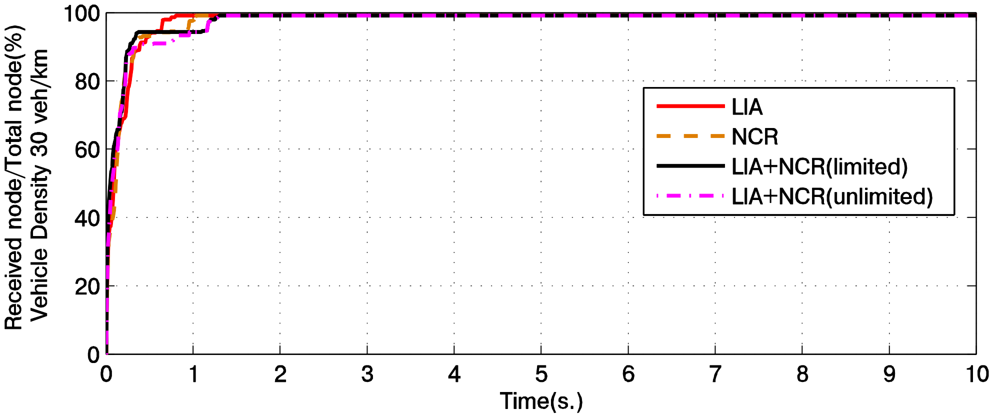
เมื่อพิจารณาความเร็วของการแพร่ข้อมูล เมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น 10-80 คัน/กิโลเมตร บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง แสดงในภาพที่ 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีความเร็วของการแพร่ข้อมูลช้ากว่า เนื่องจากมีจำนวนโหนดที่ช่วยแพร่ข้อมูลน้อย แต่เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีความเร็วของการแพร่ข้อมูลเร็วขึ้น เนื่องจากมีโหนดที่ช่วยกันแพร่ข้อมูลมากขึ้น

จากผลการทดลองสามารถสังเกตได้ว่าวิธีการที่นำเสนอ คือ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบจำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (limited)) และ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) สามารถให้ความเร็วของการแพร่ข้อมูลใกล้เคียงกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม ทั้งในกรณีของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล นั่นคือ โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้โดยที่มีความเร็วของการแพร่ข้อมูลเท่าเดิม แต่มีค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนน้อยลง

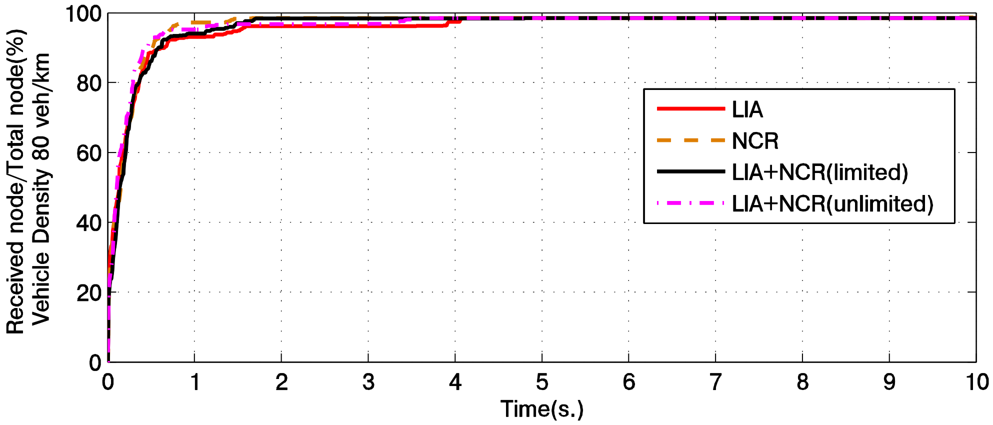
เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่มีการแพร่มากกว่า 1 ข้อความ ดังผลการทดลองในภาพที่ 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 และ 4.41 แสดงความเร็วของการแพร่ข้อมูลของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ ทุกวิธีการที่นำเสนอสามารถให้ความเร็วของการแพร่ข้อมูลใกล้เคียงกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม แต่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนลงได้



ก)

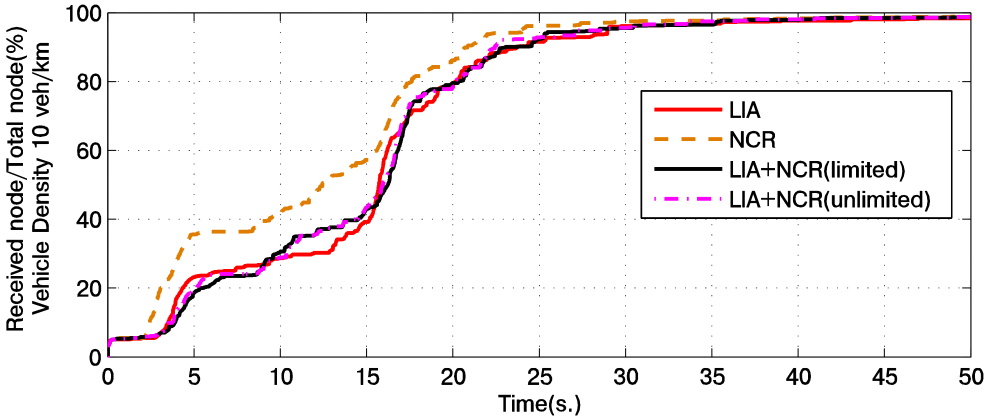


ข)

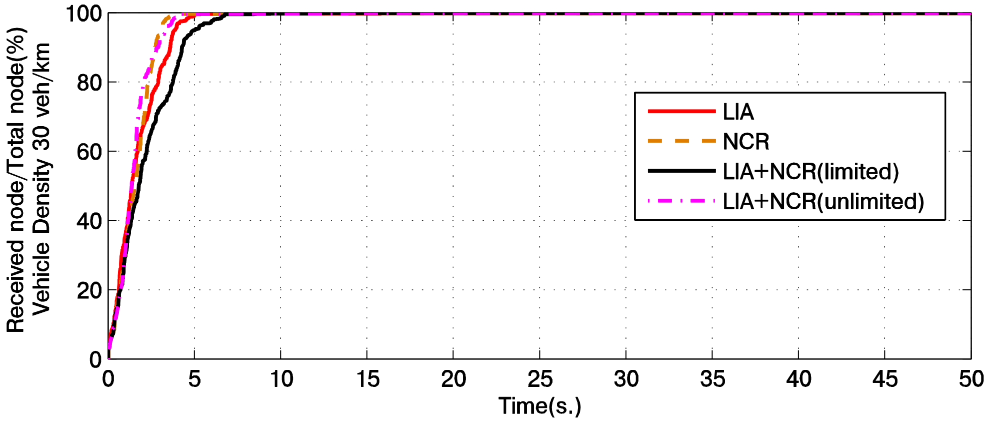


ค)

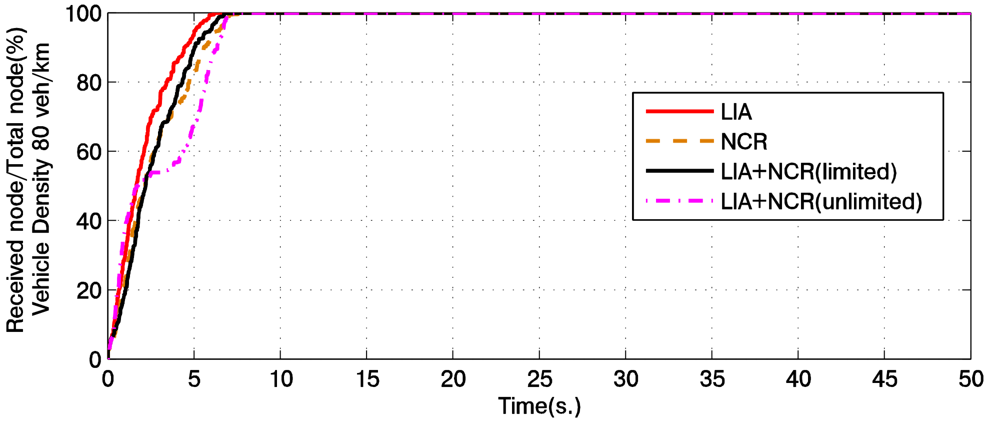
ภาพที่ 4.34 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

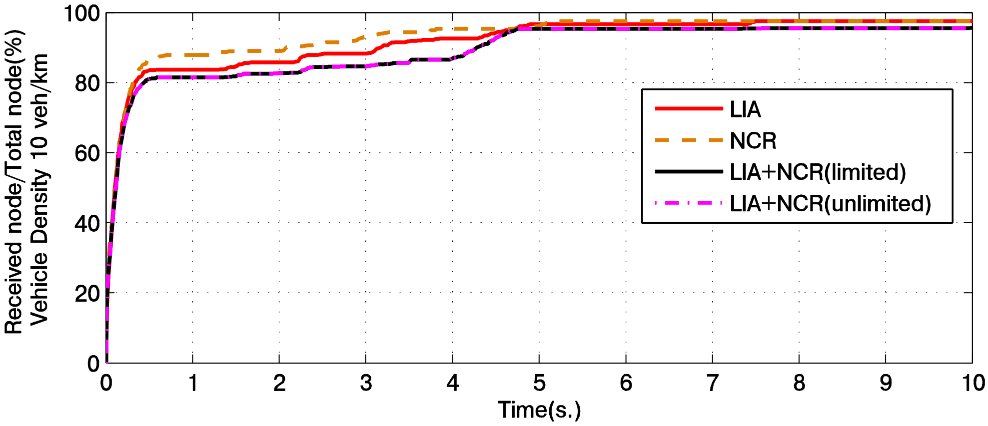


ข)

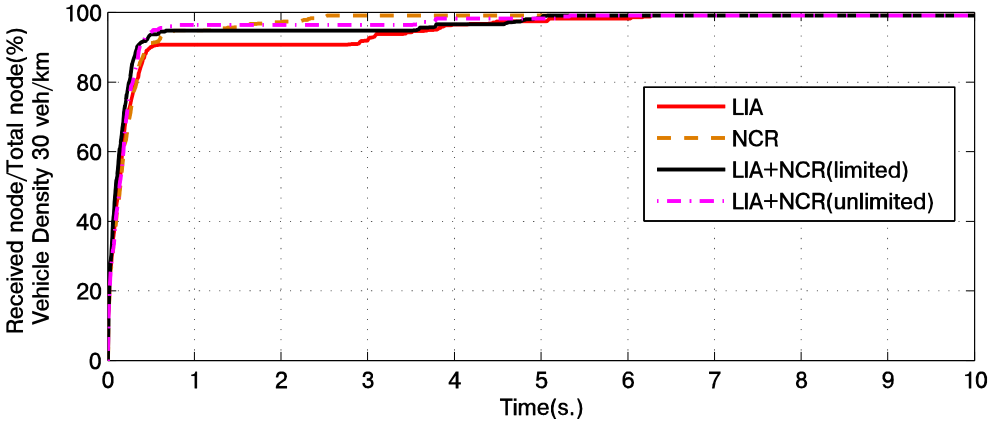


ค)

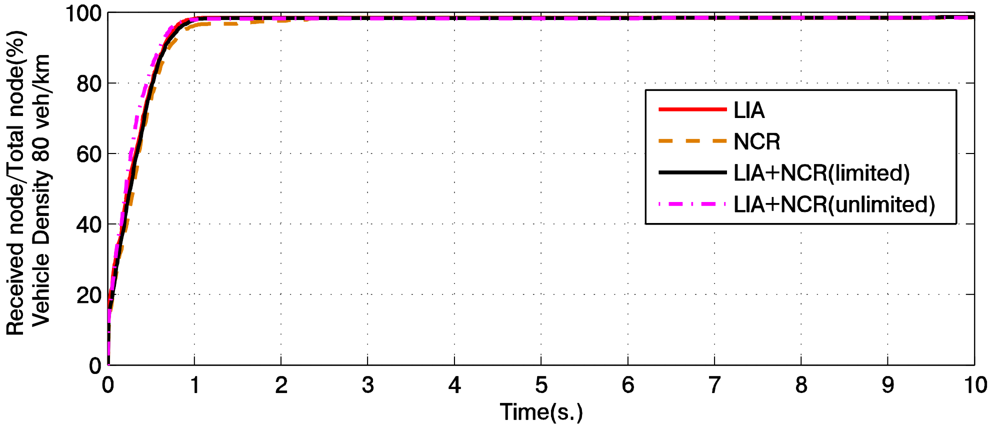
ภาพที่ 4.35 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

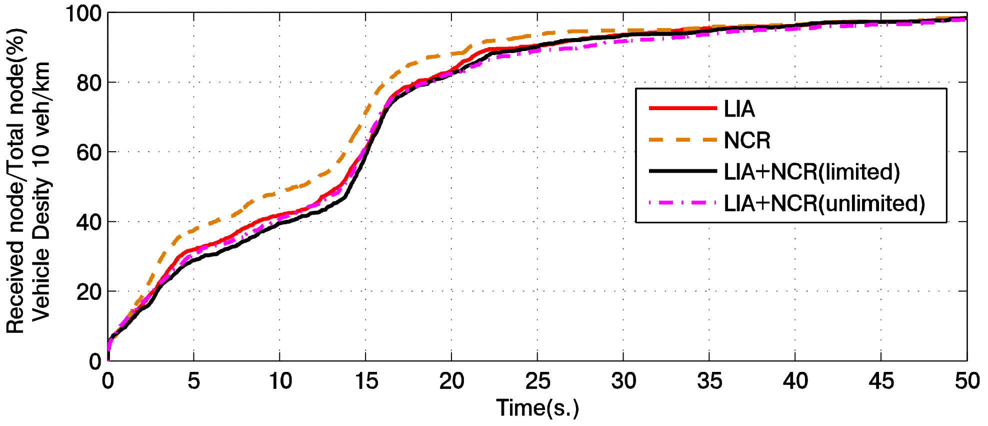


ข)

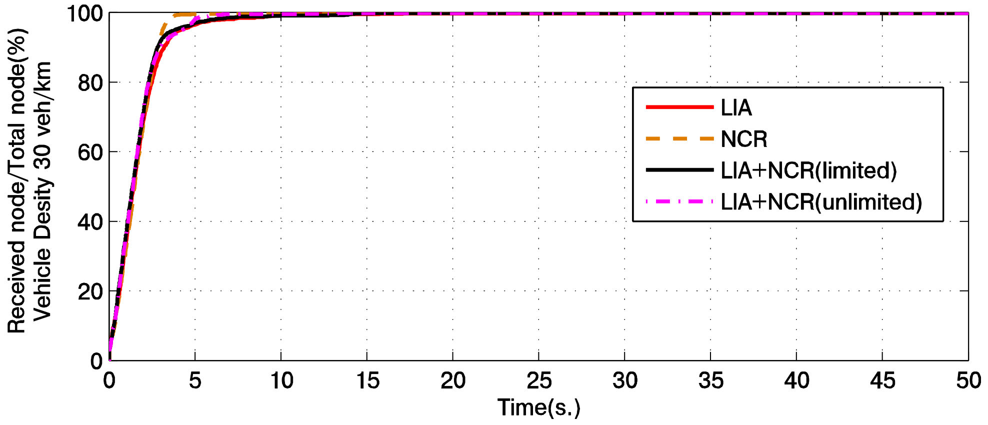


ค)

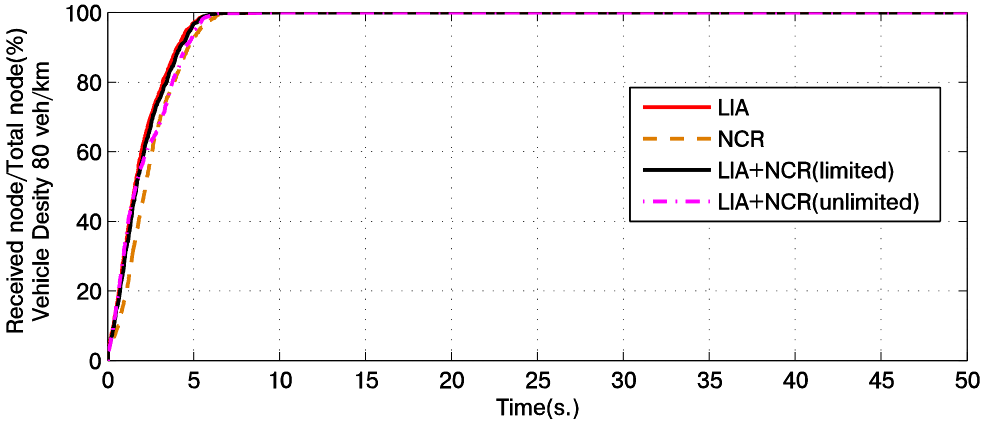
ภาพที่ 4.36 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

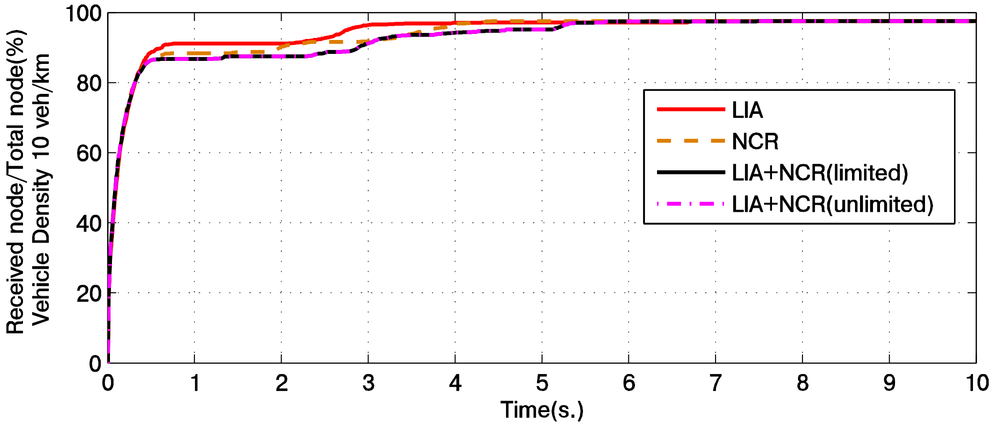


ข)

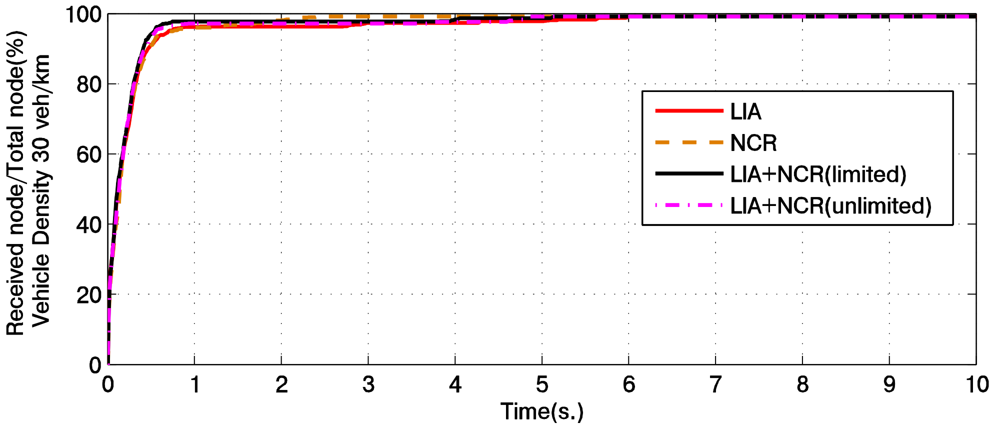


ค)

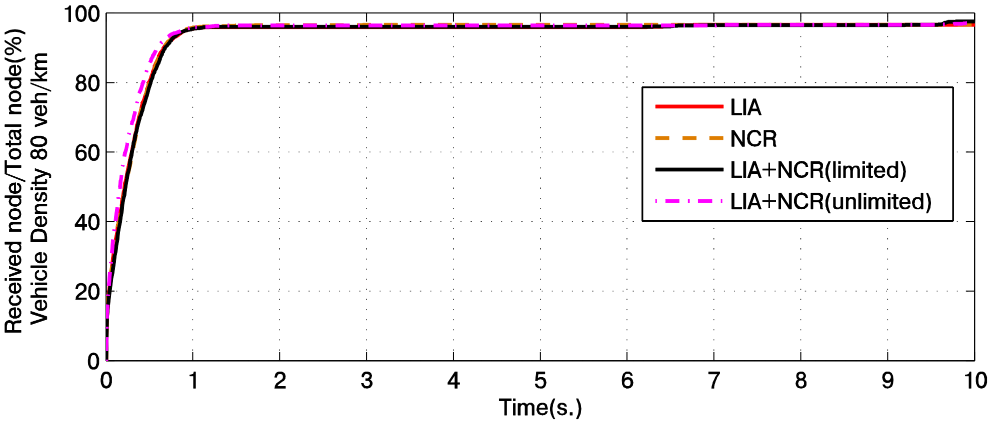
ภาพที่ 4.37 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

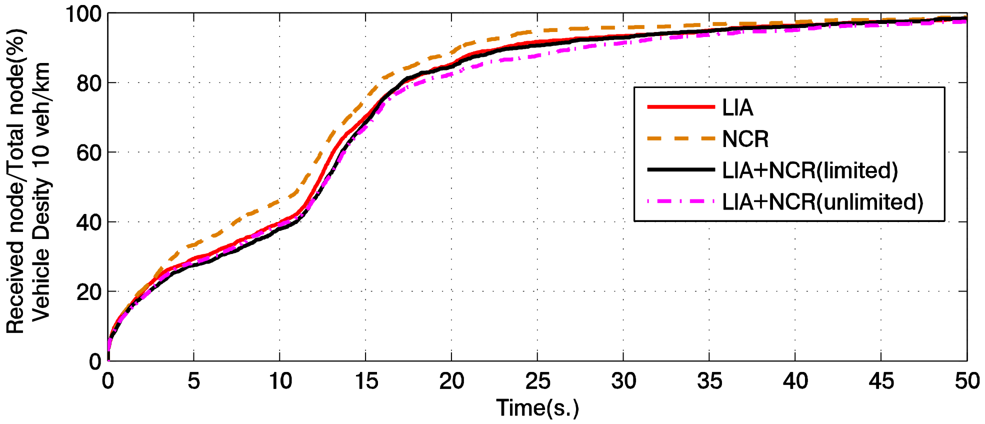


ข)

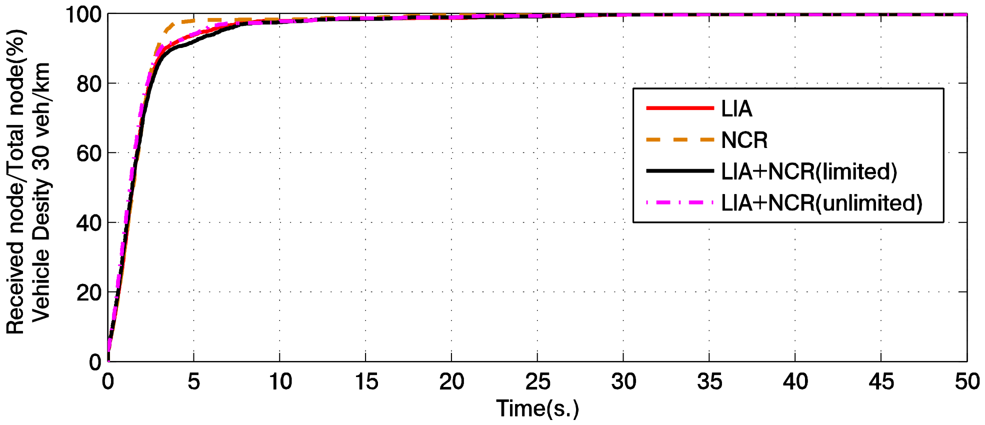


ค)

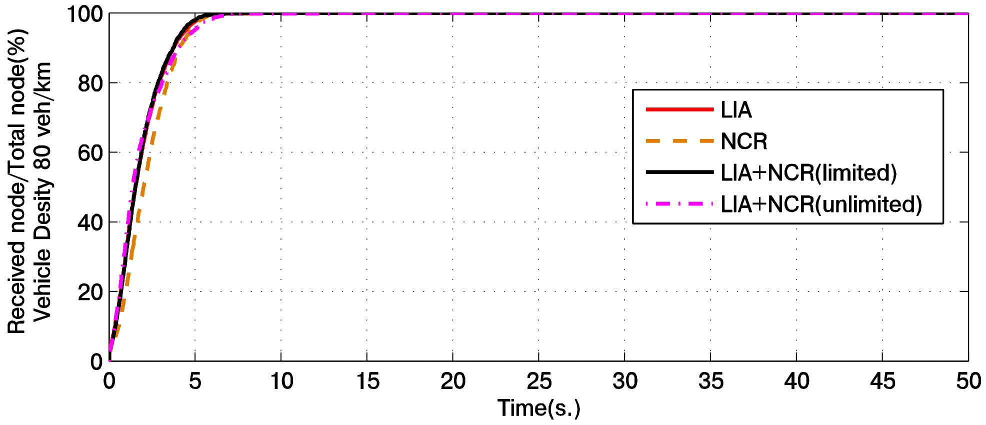
ภาพที่ 4.38 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

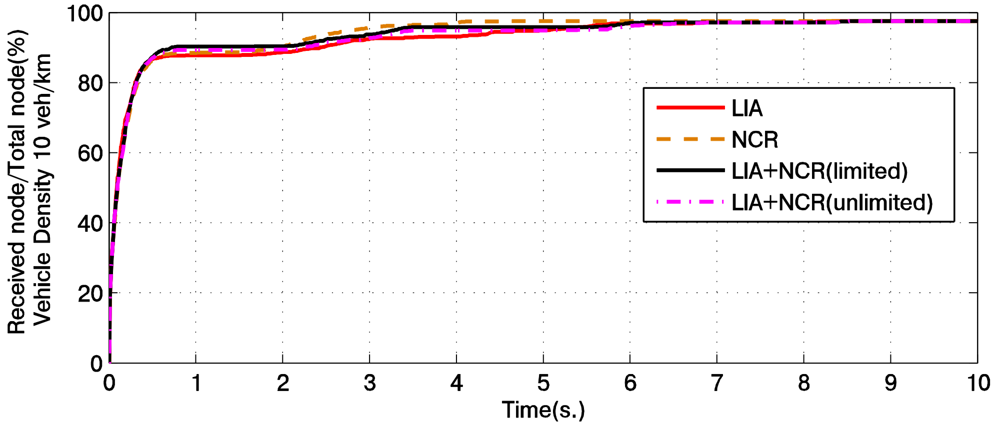


ข)

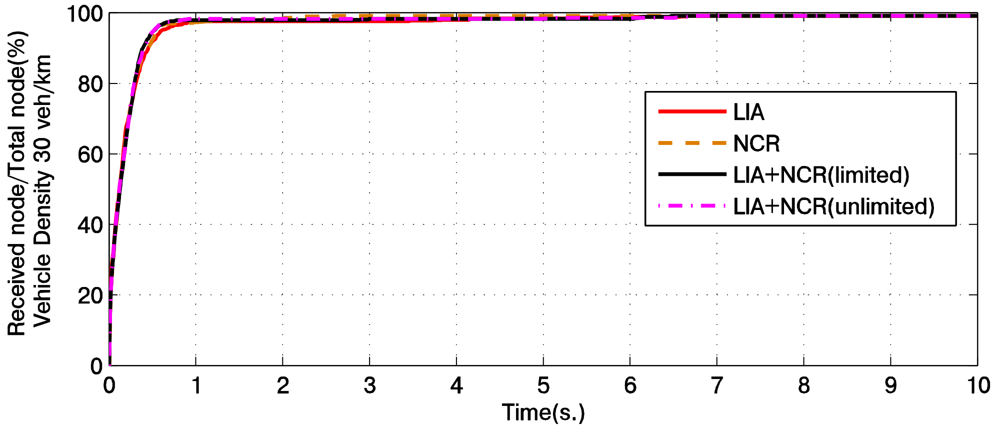


ค)

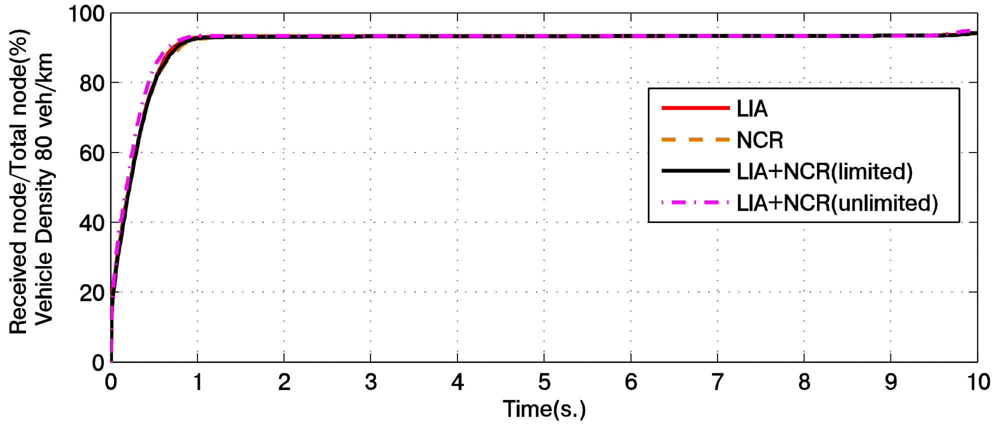
ภาพที่ 4.39 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

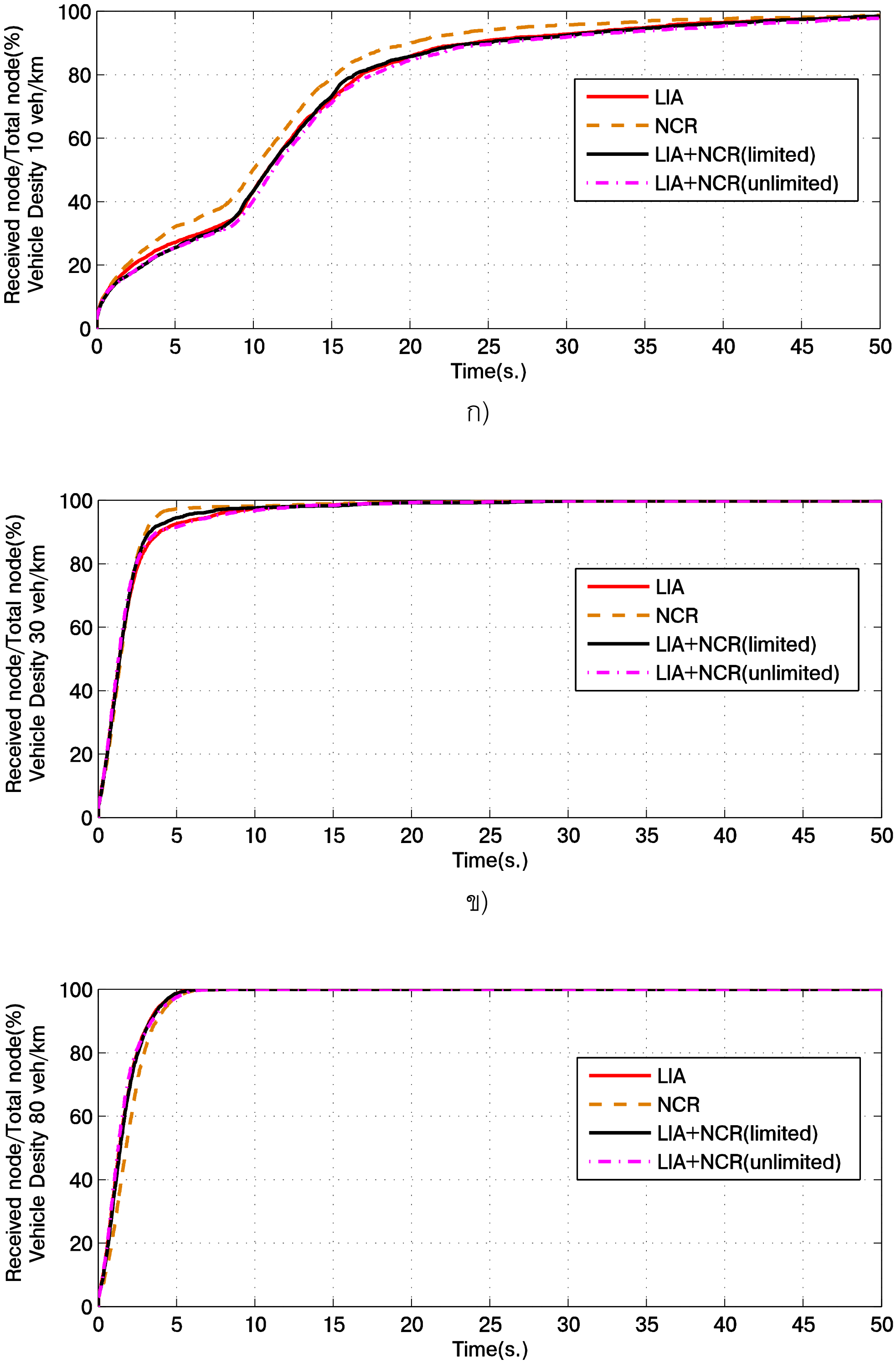


ข)



ค)

ภาพที่ 4.40 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)

ข)

ค)

ภาพที่ 4.41 ผลการทดลองความเร็วของการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ ที่ความหนาแน่น ก) 10 คัน/กิโลเมตร ข) 30 คัน/กิโลเมตร ค) 80 คัน/กิโลเมตร โดยใช้วิธี LIA+NCR

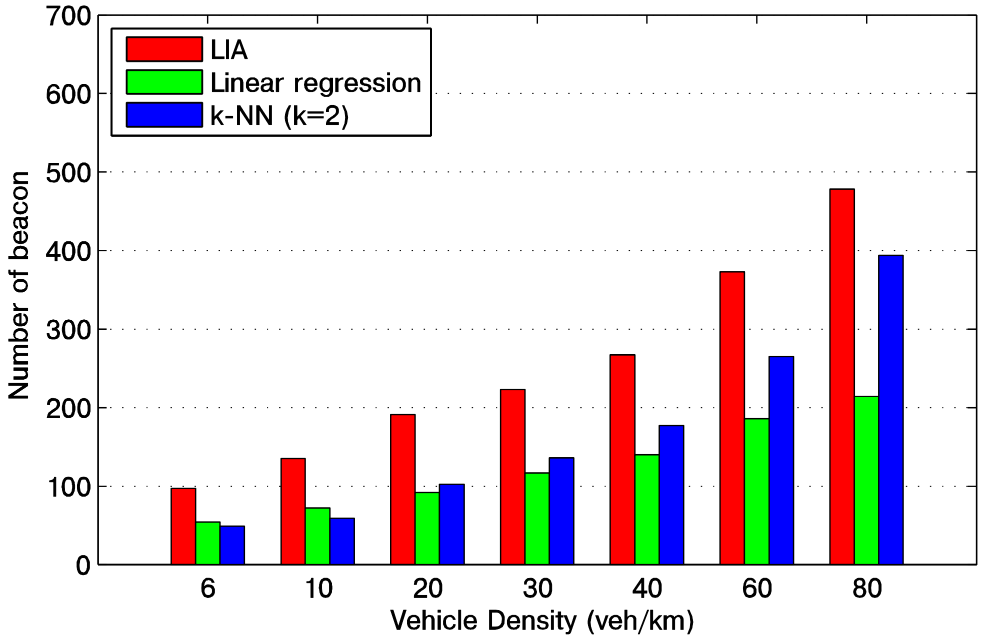
4.9 ผลการทดลองจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ

4.9.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และ K-Nearest Neighbor

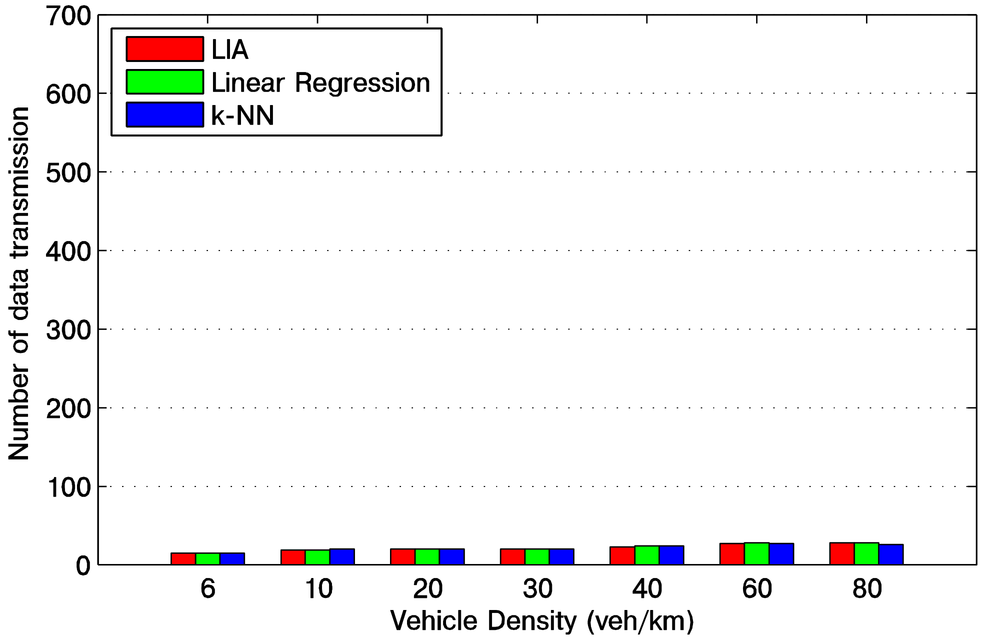
เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.42 และ 4.43 ซึ่งแสดงจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง เมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำน้อยกว่าเนื่องจากมีจำนวนโหนดในระบบน้อย แต่เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำจะสูงขึ้นเนื่องจากมีโหนดจำนวนมากที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูล

นอกจากนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอ คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีการ K-Nearest Neighbor มีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนต่ำกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ในทุกความหนาแน่นของการทดลอง ในขณะที่ยังสามารถรักษาระดับของจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำให้ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดการใช้ช่องสัญญาณได้

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่มีการแพร่มากกว่า 1 ข้อความ ดังผลการทดลองในภาพที่ 4.44, 4.45, 4.46, 4.47, 4.48 และ 4.49 แสดงจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำของวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน เมื่อมีการแพร่ข้อความที่ 5, 10 และ 15 ข้อความ ก็ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ ทุกวิธีการที่นำเสนอสามารถลดจำนวนครั้งในการส่งบีคอนให้ต่ำกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) โดยที่วิธีการ K-Nearest Neighbor จะลดจำนวนครั้งในการส่งบีคอนลงมาจนถึงจุดหนึ่งก่อนจะมีค่าเกือบคงที่ เนื่องจากการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนของ K-Nearest Neighbor มีการกำหนดช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่นานที่สุด เช่นเดียวกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) และกรณีของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนน้อยลงทุกครั้งที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจึงมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนน้อยที่สุด ในขณะที่สามารถรักษาระดับของจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำให้ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) ได้

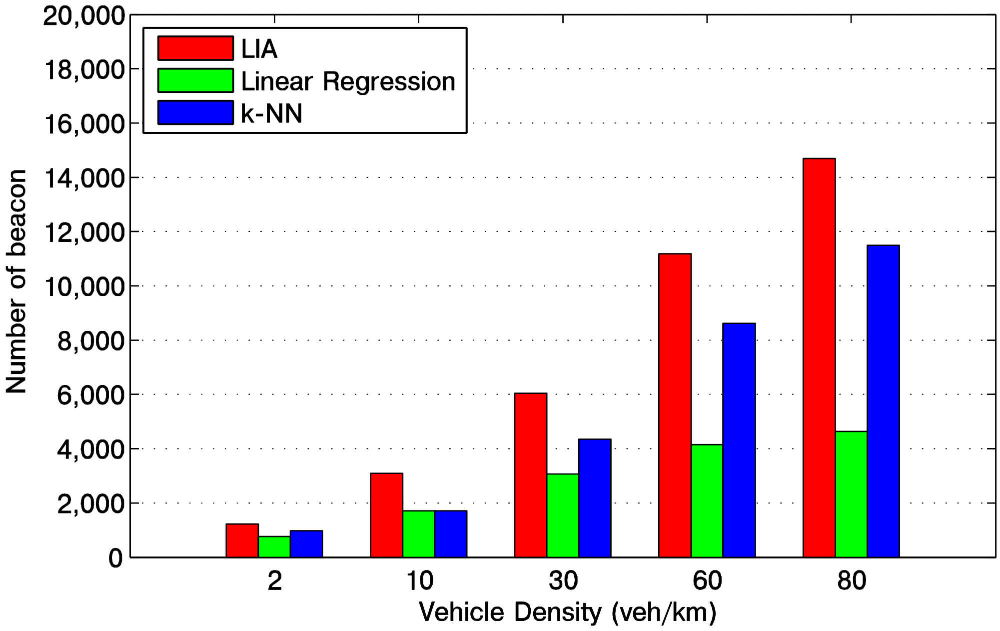


ก)

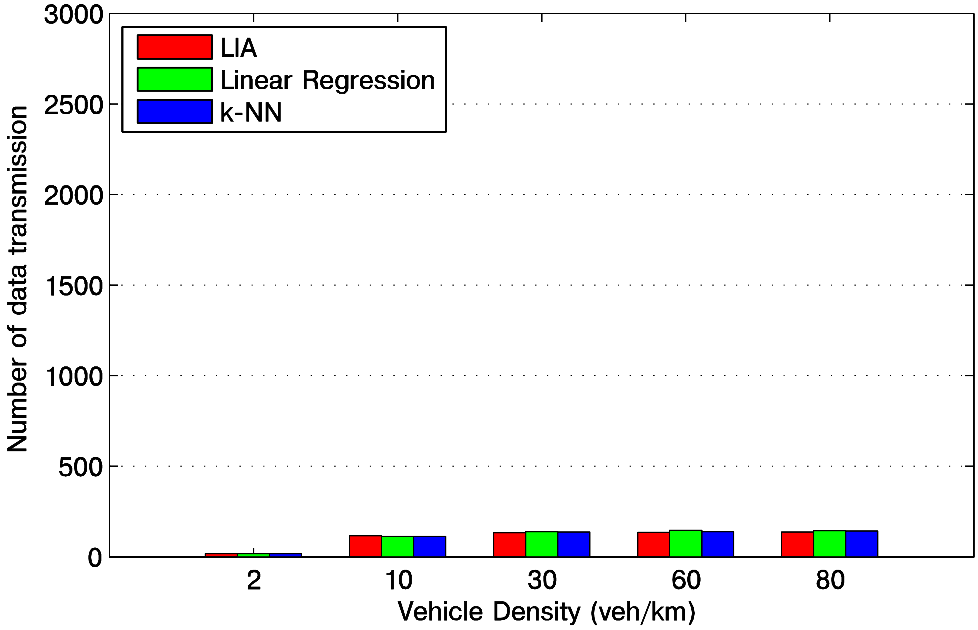


ข)

ภาพที่ 4.42 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

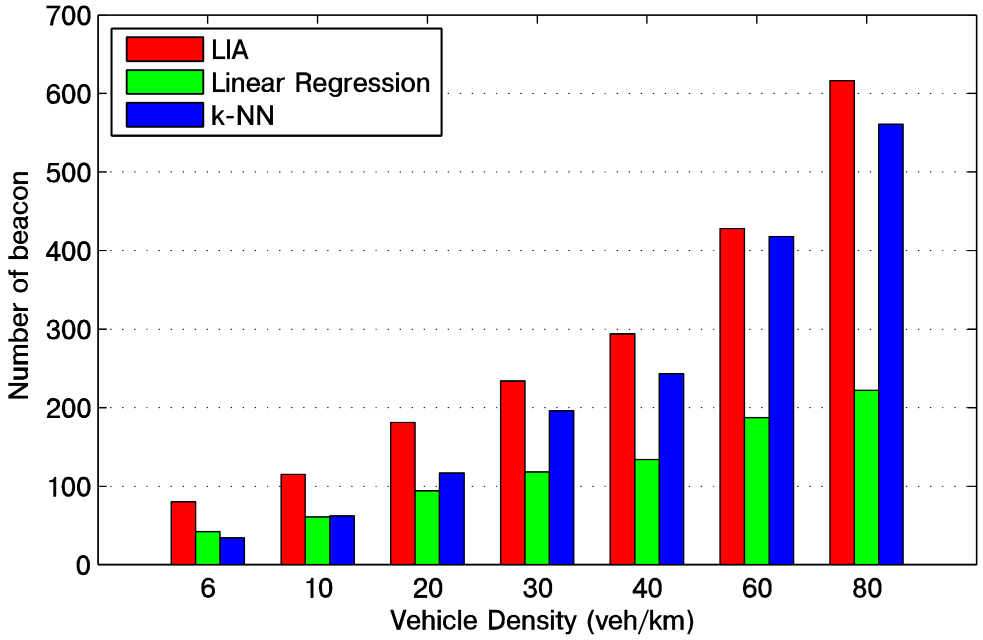


ก)

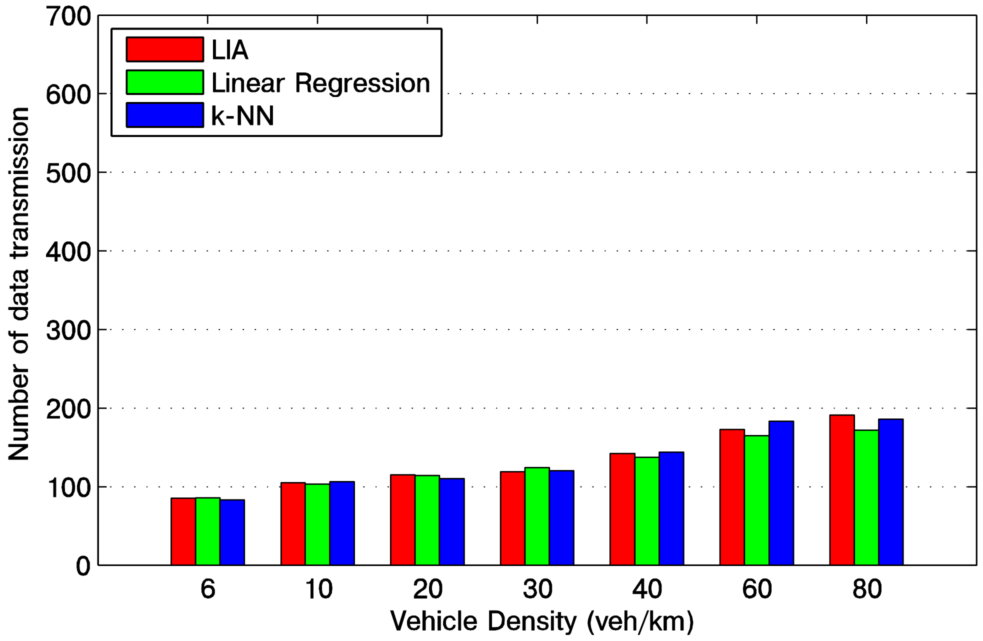


ข)

ภาพที่ 4.43 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

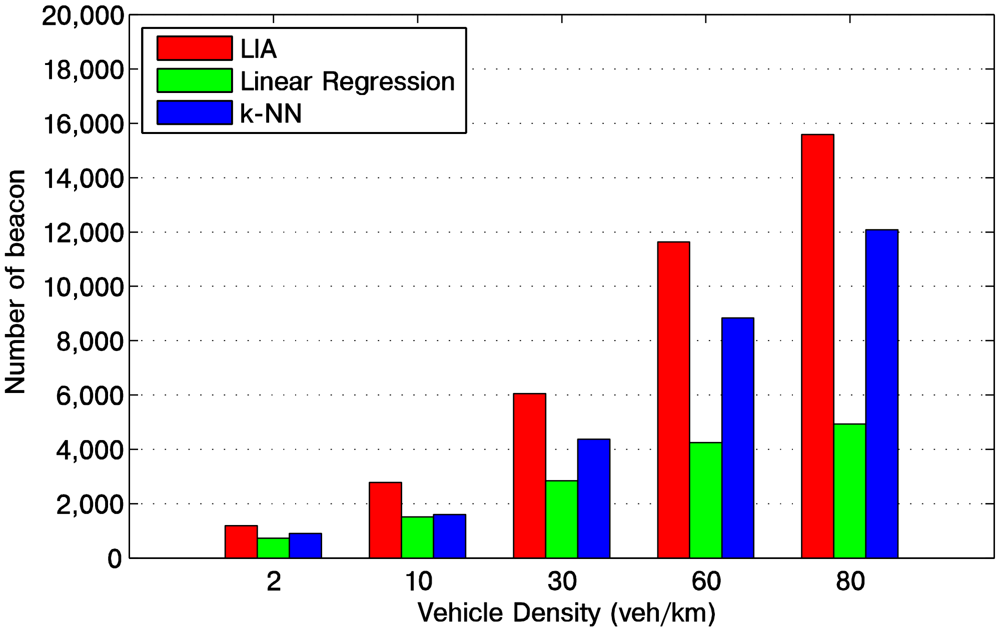


ก)

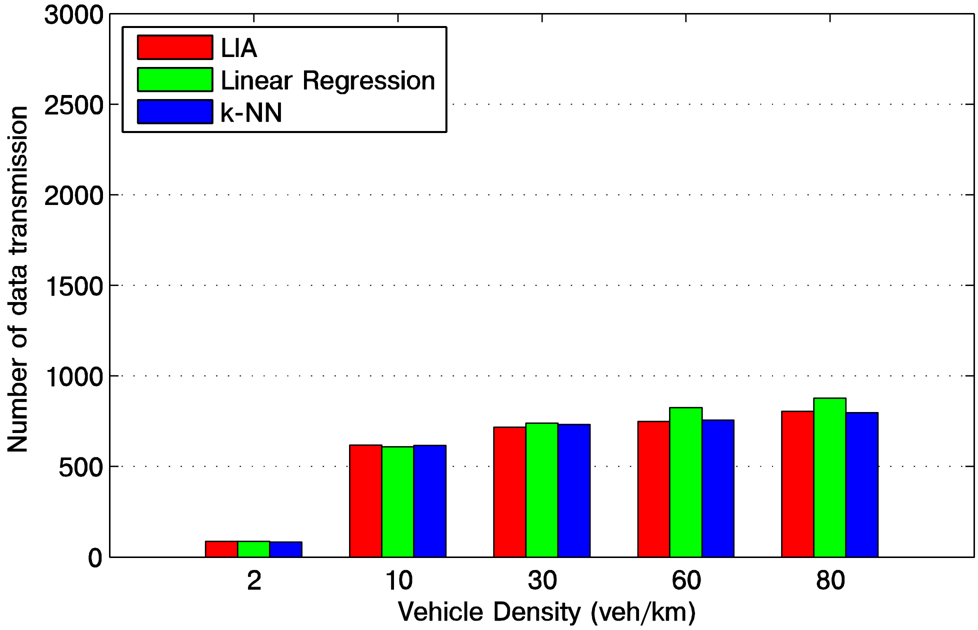


ข)

ภาพที่ 4.44 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

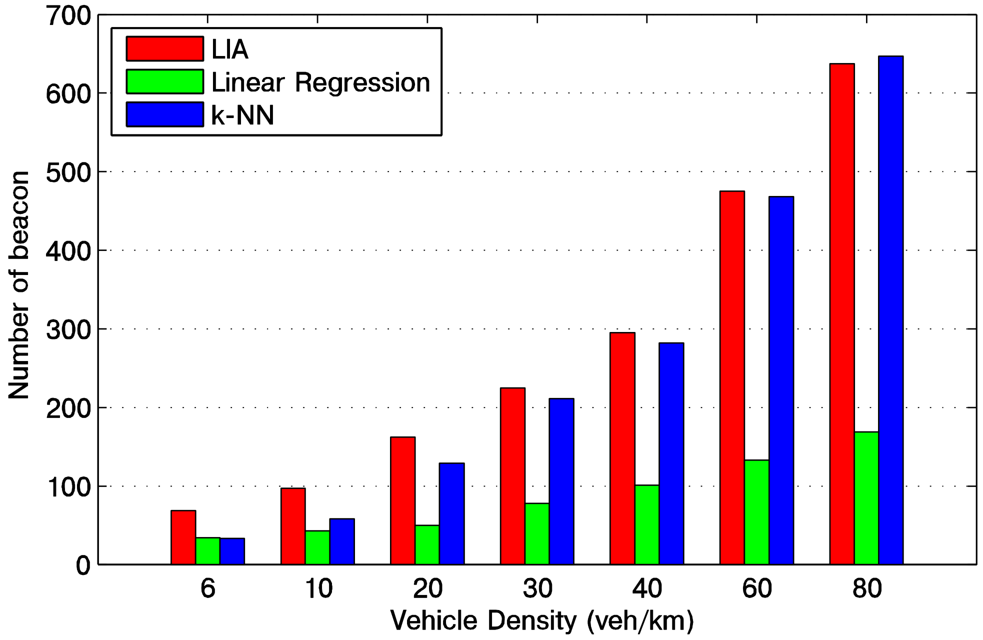


ก)

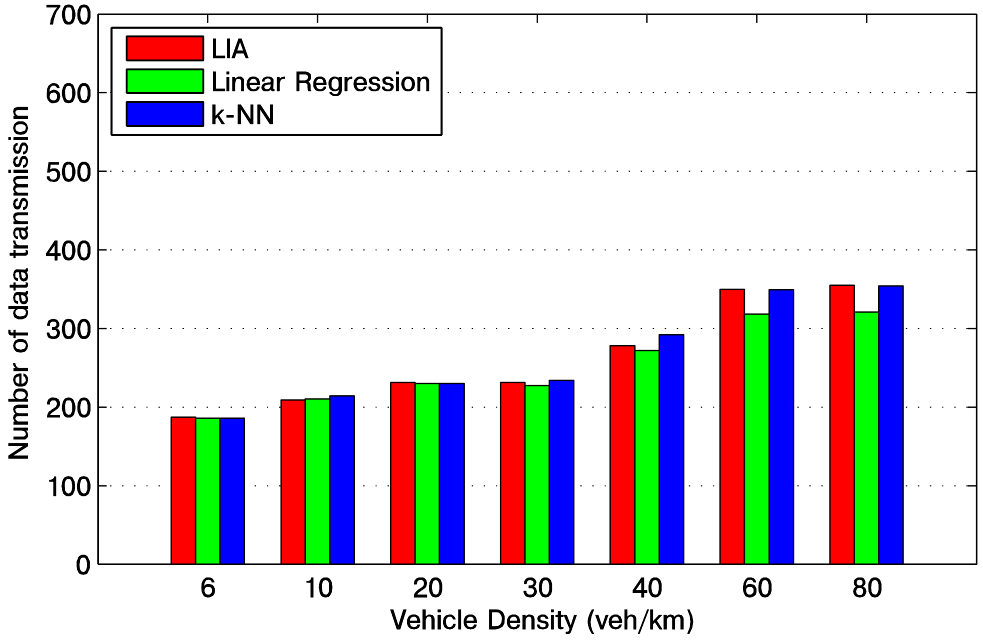


ข)

ภาพที่ 4.45 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

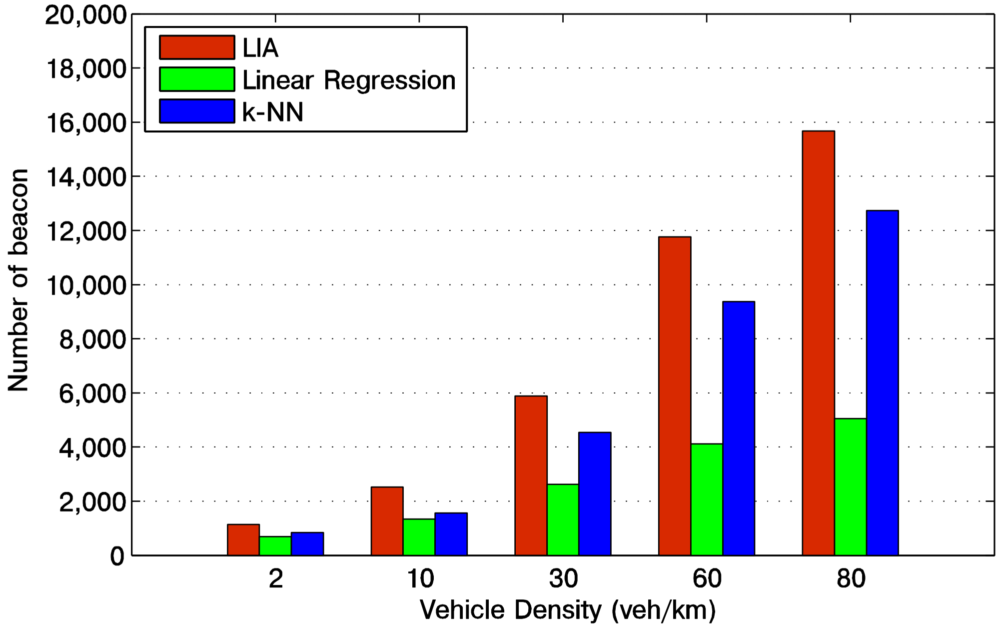


ก)

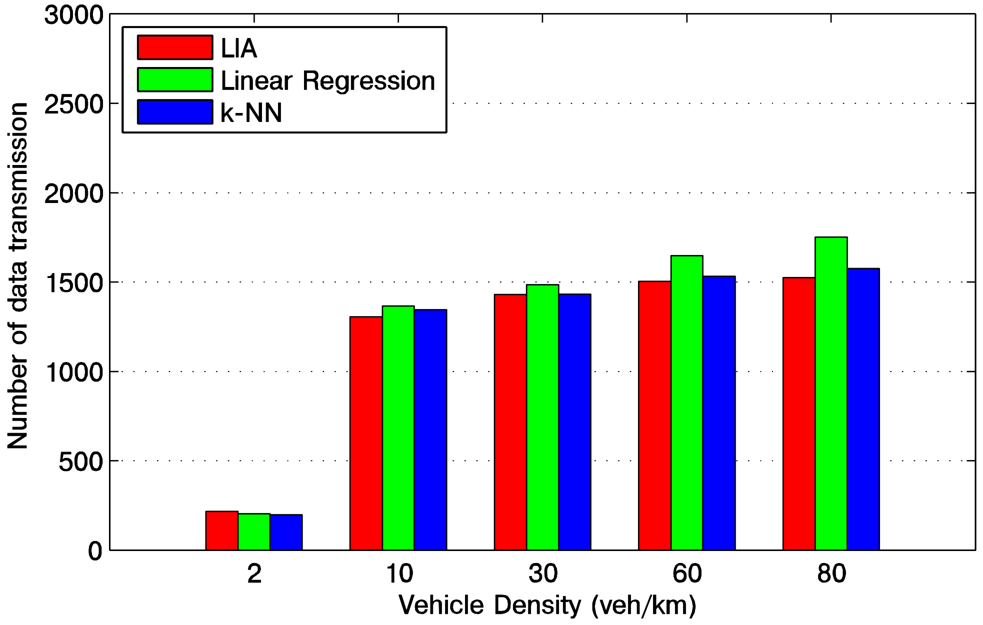


ข)

ภาพที่ 4.46 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

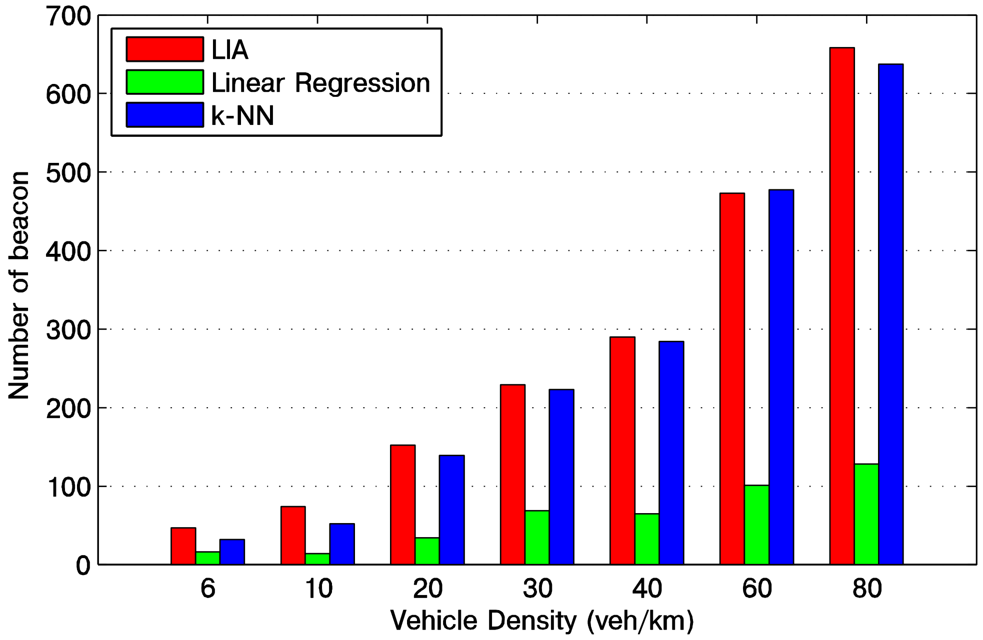


ก)

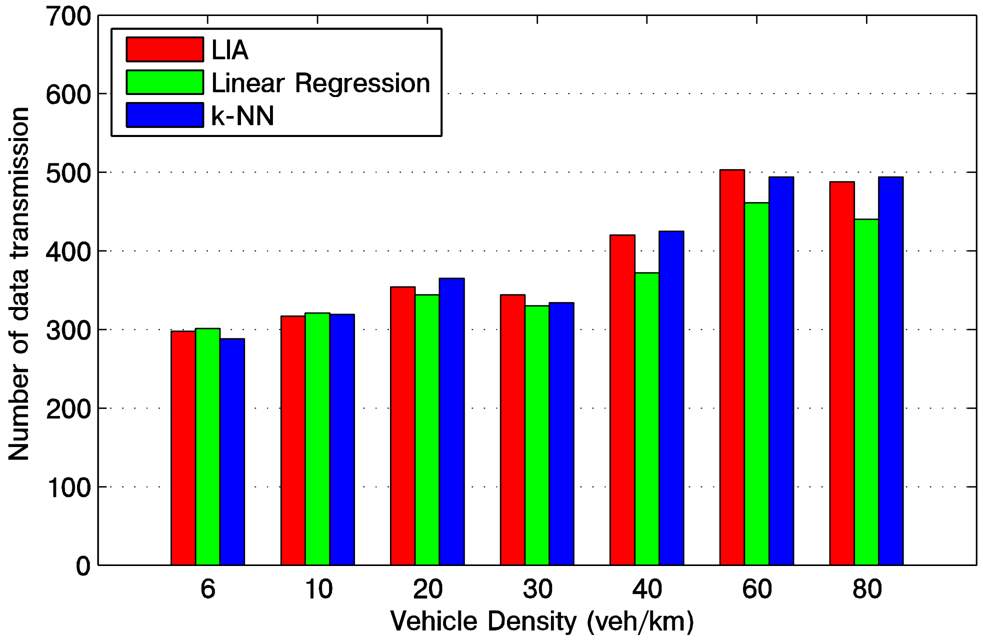


ข)

ภาพที่ 4.47 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

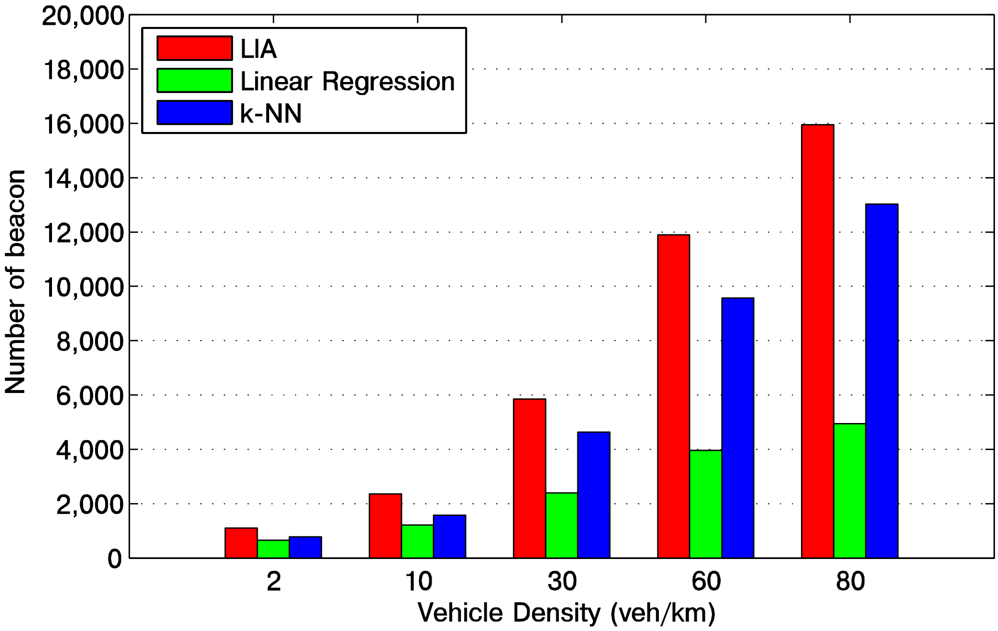


ก)

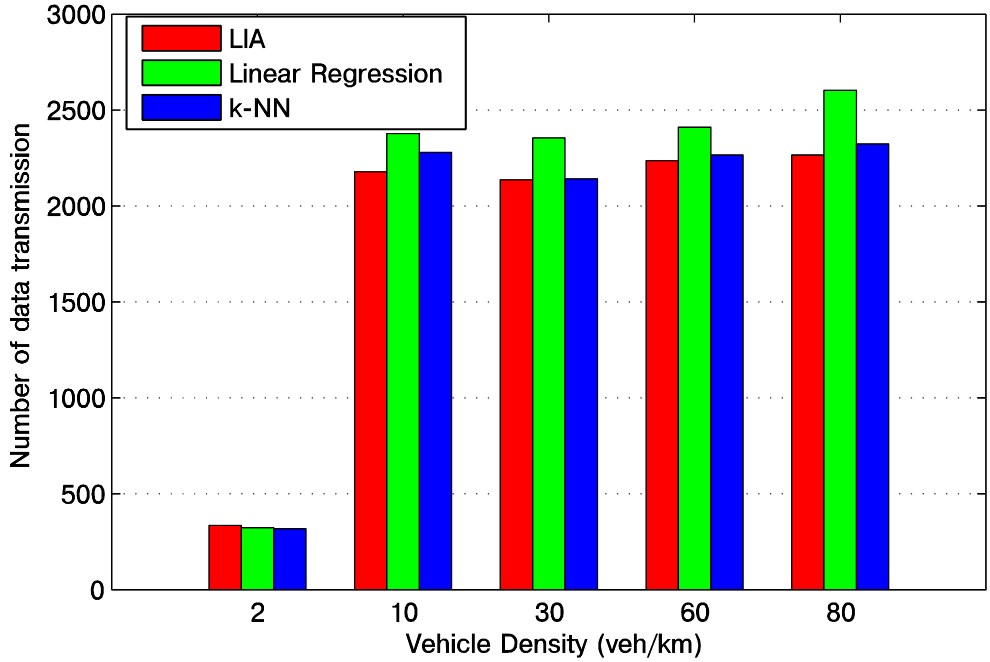


ข)

ภาพที่ 4.48 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor



ก)



ข)

ภาพที่ 4.49 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี Linear regression และ K-Nearest Neighbor

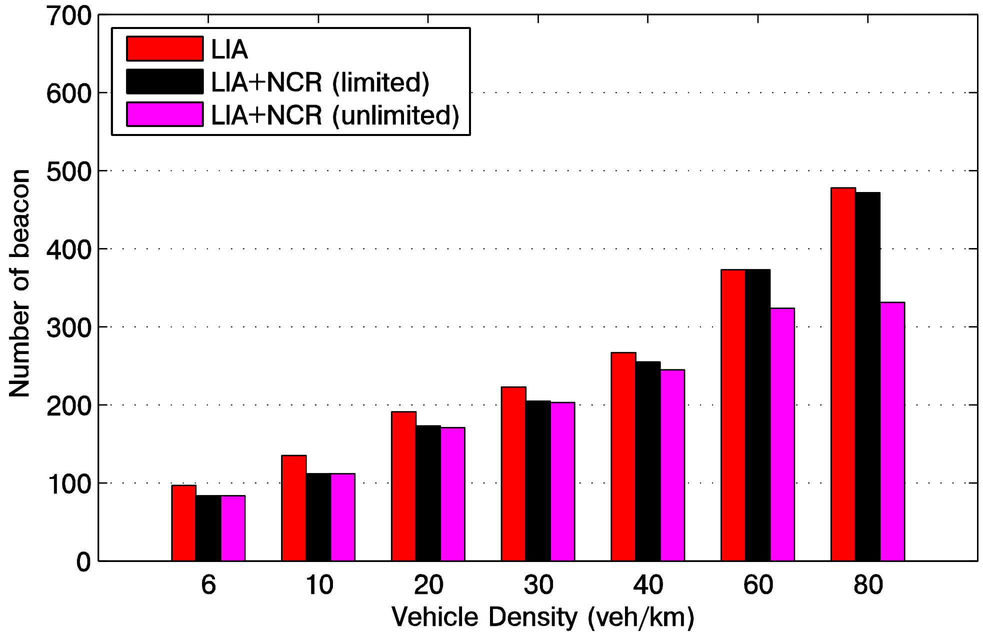
4.9.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม และ LIA แบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเพื่อนบ้าน (NCR)

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.50 และ 4.51 ซึ่งแสดงจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง และถนนในเมือง เมื่อมีการแพร่ 1 ข้อความ ตามลำดับ สังเกตได้ว่าในช่วงที่มีความหนาแน่นต่ำทุกวิธีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนจะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำน้อยกว่าเนื่องจากมีจำนวนโหนดในระบบน้อย แต่เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้นจำนวนครั้งในการส่งบีคอน และจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำจะสูงขึ้นเนื่องจากมีโหนดจำนวนมากที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูล

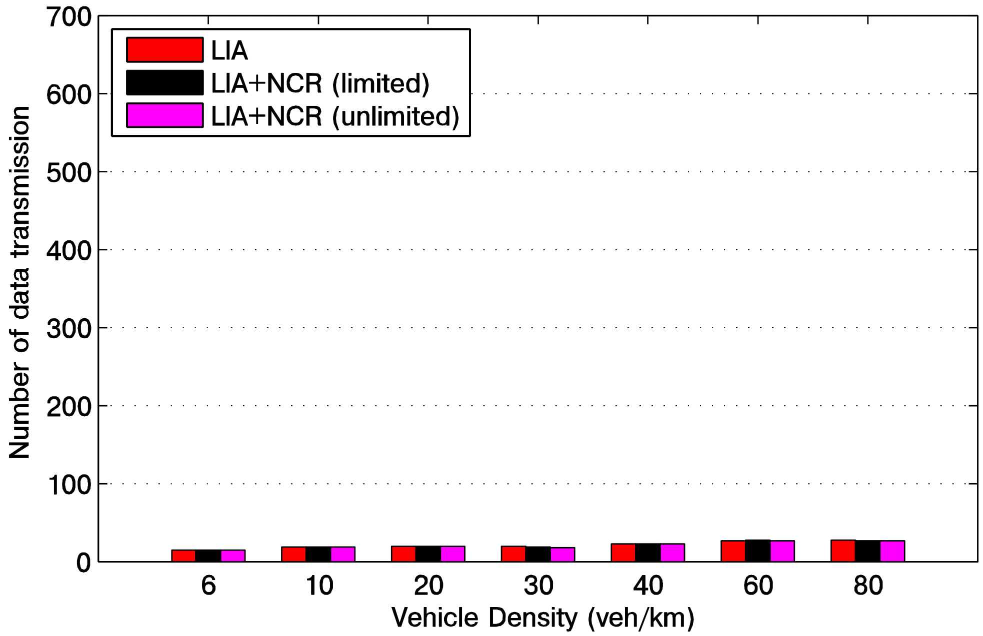
นอกจากนี้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นำเสนอ คือ วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่าย (LIA+NCR) มีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนต่ำกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม ในขณะที่ยังสามารถรักษาระดับของจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำให้ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิมได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดการใช้ช่องสัญญาณได้

วิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบมีการจำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (limited)) จะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนน้อยกว่าการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม เมื่อมีความหนาแน่นต่ำ แต่เมื่อมีความหนาแน่นมากขึ้นจะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนลดลงมาจนถึงจุดหนึ่งก่อนจะมีค่าเกือบคงที่เนื่องจากมีการจำกัดช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้ ส่วนกรณีของวิธีการปรับค่าบีคอนโดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) จะมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนน้อยลงทุกครั้งที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่ได้มีการจำกัดช่วงเวลาการส่งบีคอนที่นานที่สุดไว้ ดังนั้นการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนแบบใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน และความหนาแน่นของเครือข่ายแบบไม่จำกัดช่วงเวลา (LIA+NCR (unlimited)) จึงมีจำนวนครั้งในการส่งบีคอนน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ที่มีการแพร่มากกว่า 1 ข้อความ ดังผลที่แสดงในภาพที่ 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56 และ 4.57 ก็ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองเมื่อมีการแพร่ที่ 1 ข้อความ คือ วิธีการที่นำเสนอสามารถลดจำนวนครั้งในการส่งบีคอนลงได้ โดยที่ยังรักษาระดับของจำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำให้ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) แบบเดิม

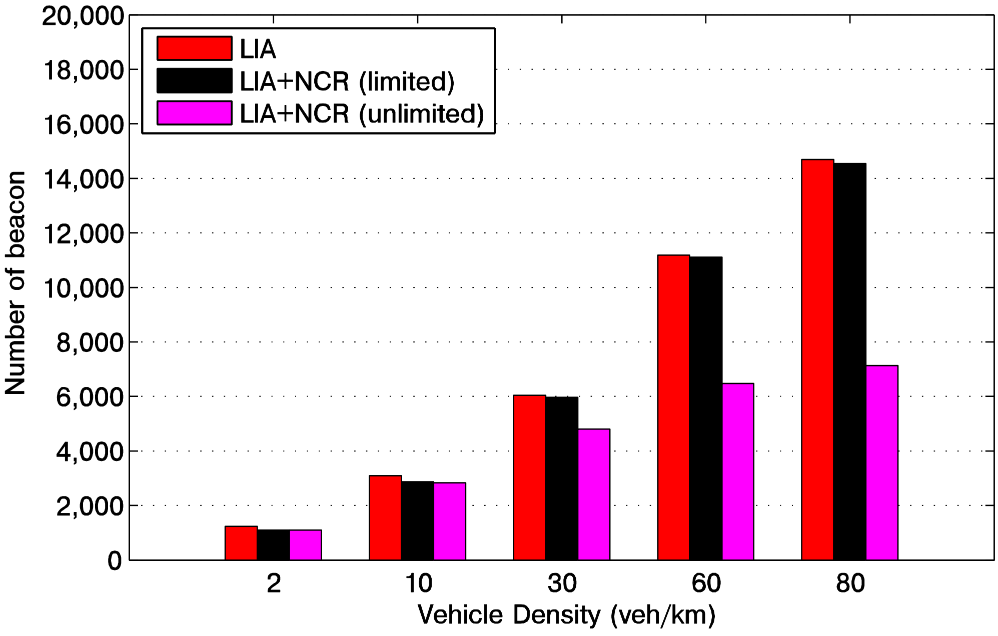


ก)

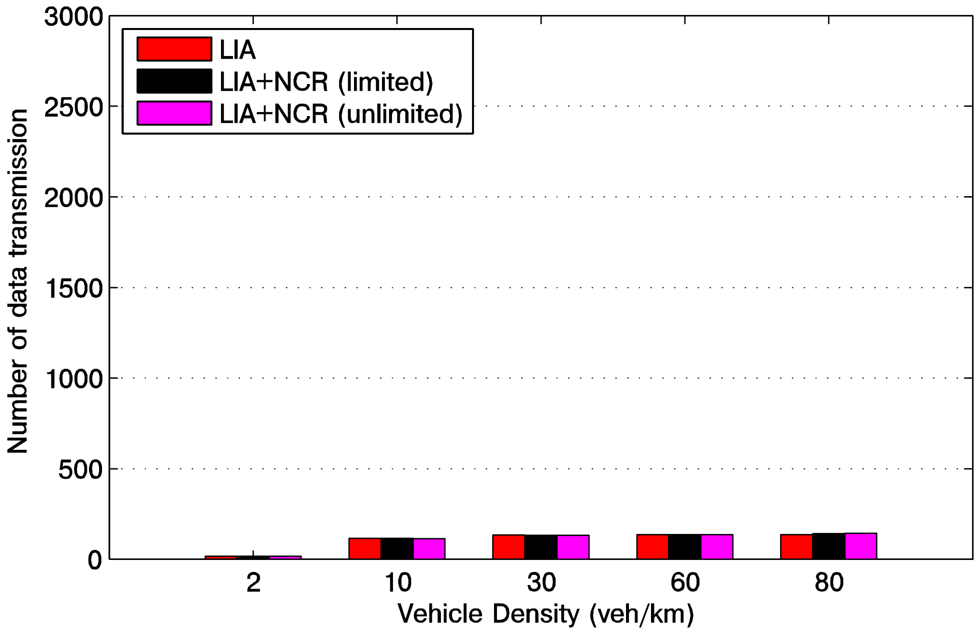


ข)

ภาพที่ 4.50 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

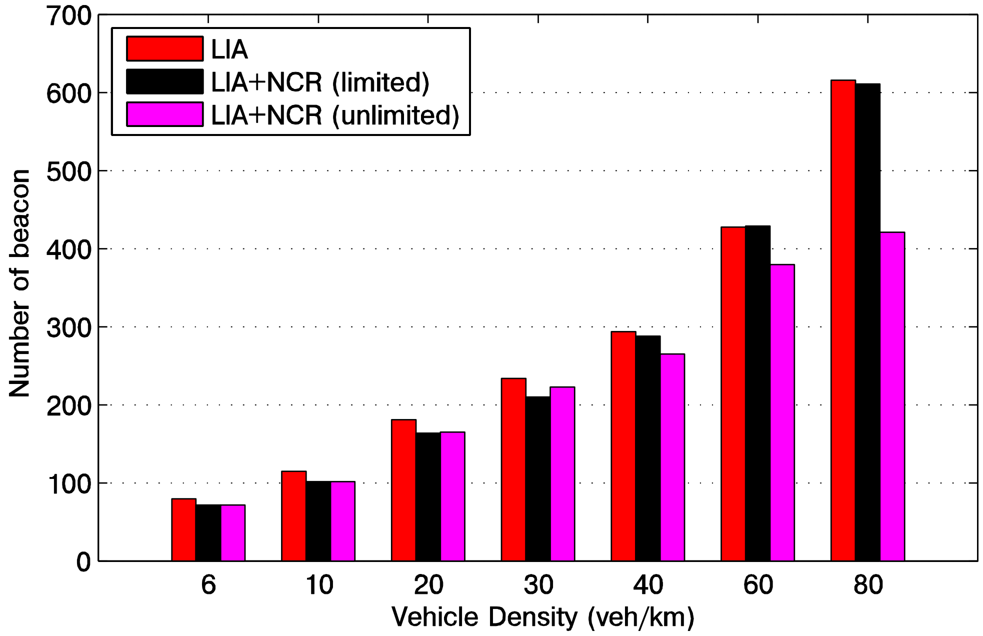


ก)

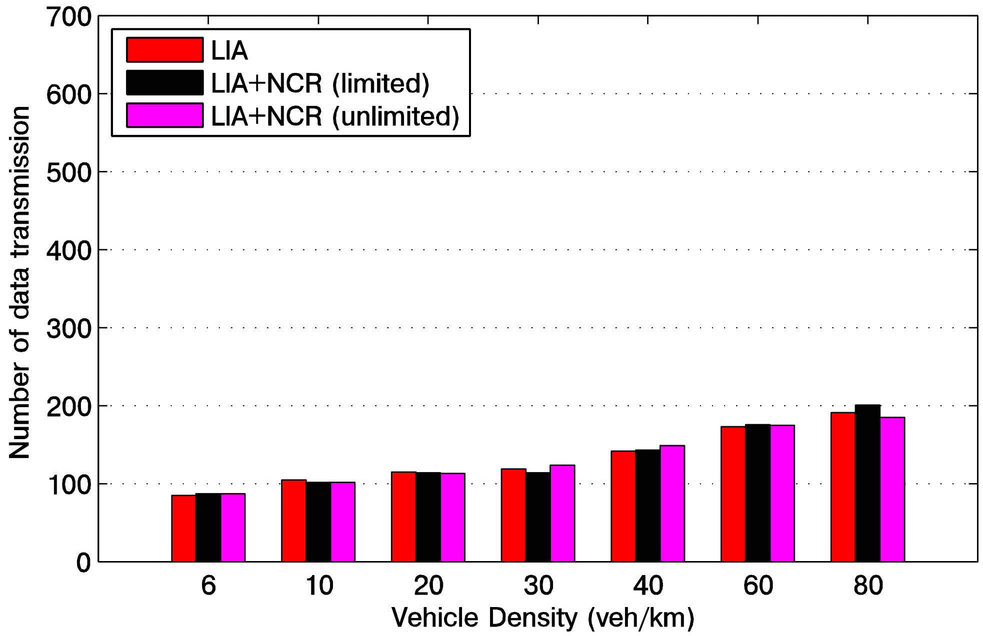


ข)

ภาพที่ 4.51 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 1 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

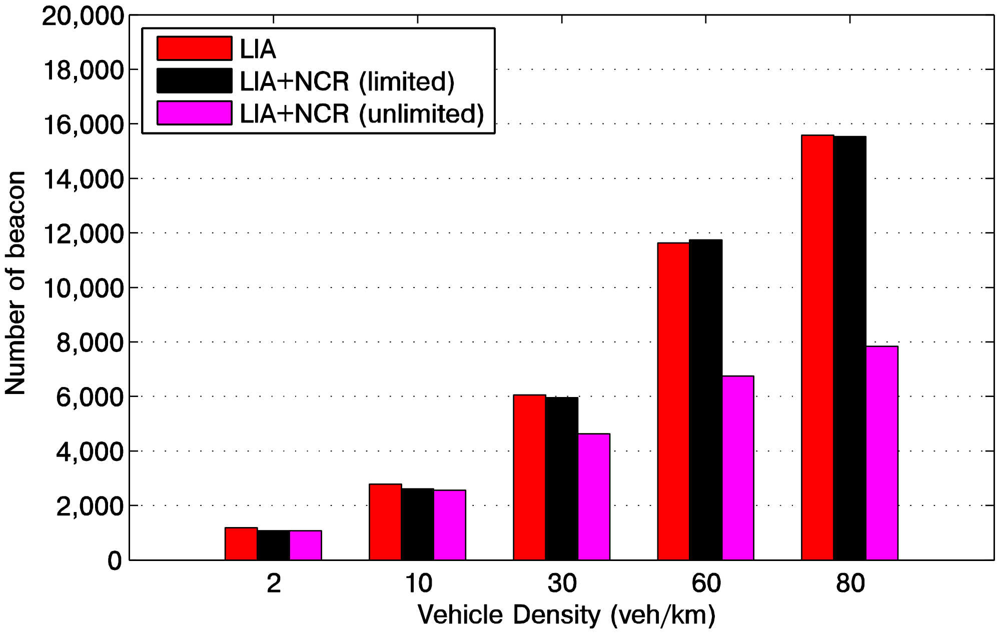


ก)

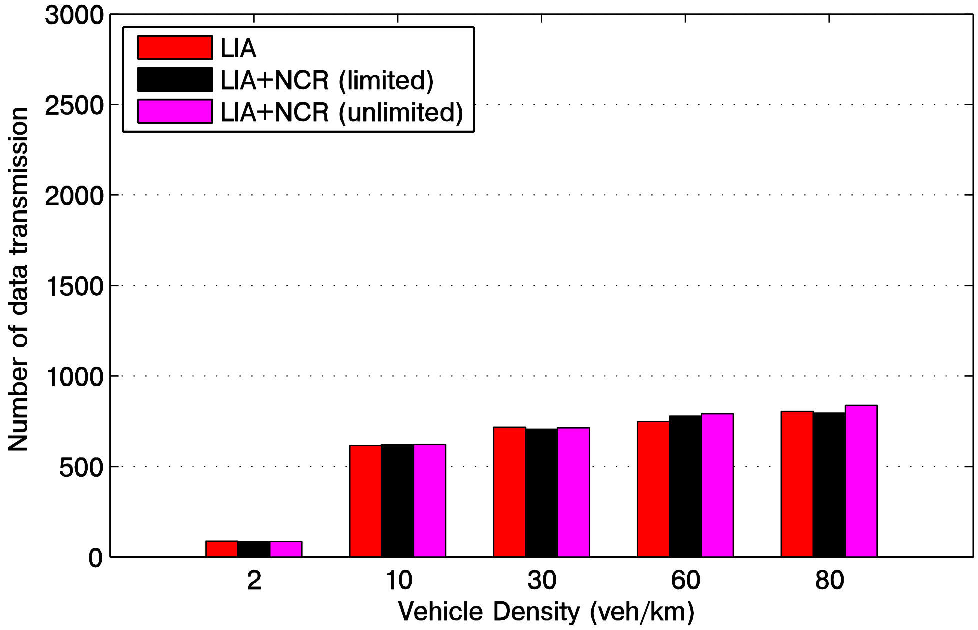


ข)

ภาพที่ 4.52 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

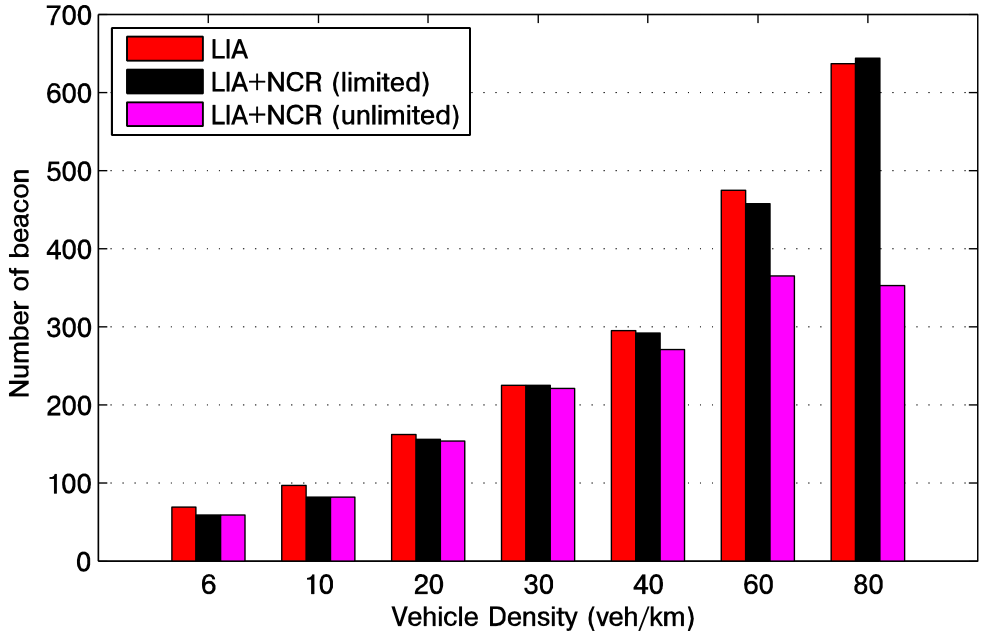


ก)

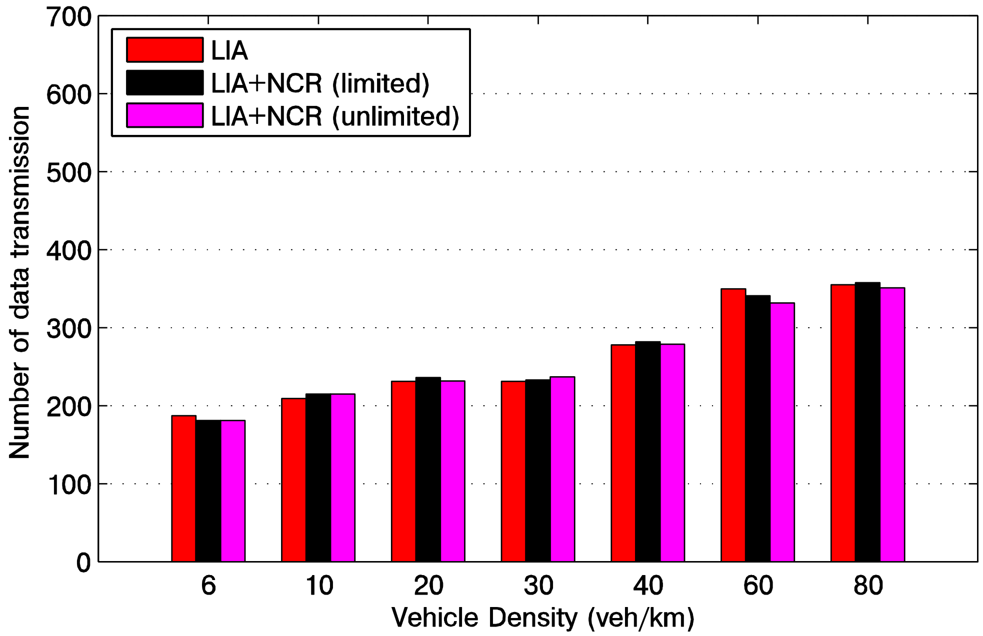


ข)

ภาพที่ 4.53 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 5 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

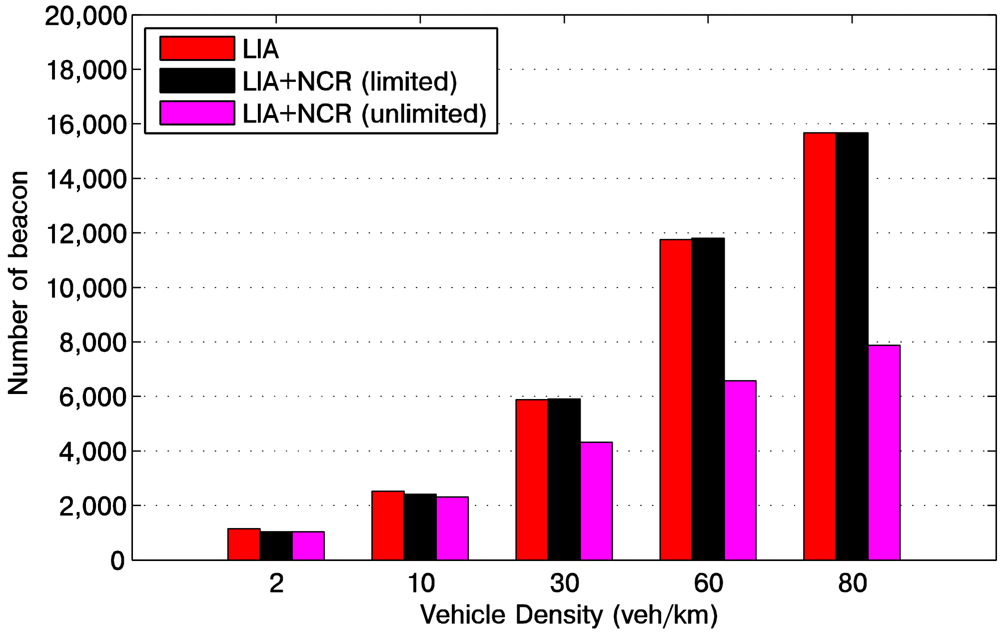


ก)

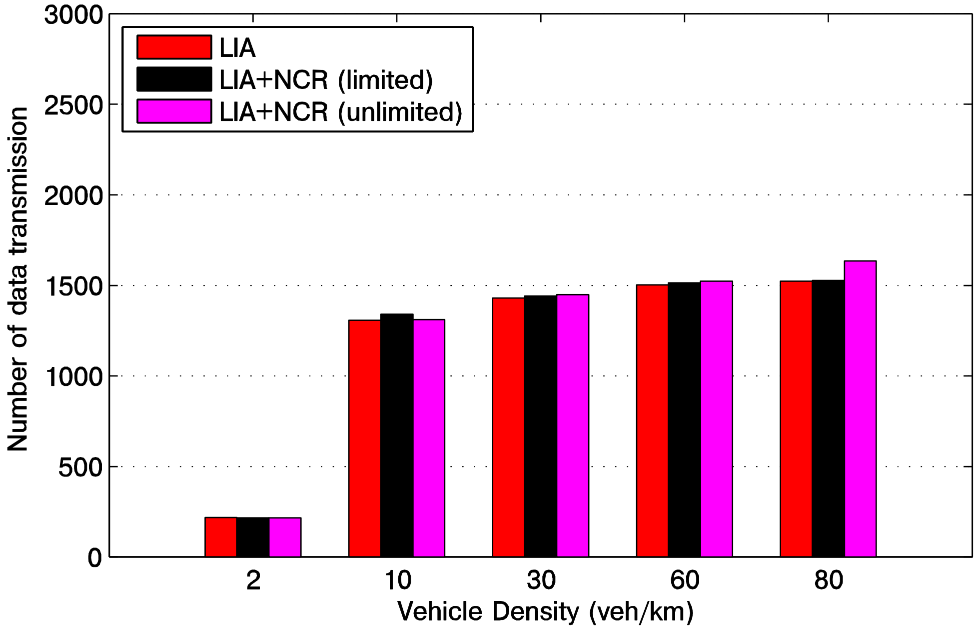


ข)

ภาพที่ 4.54 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำบนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

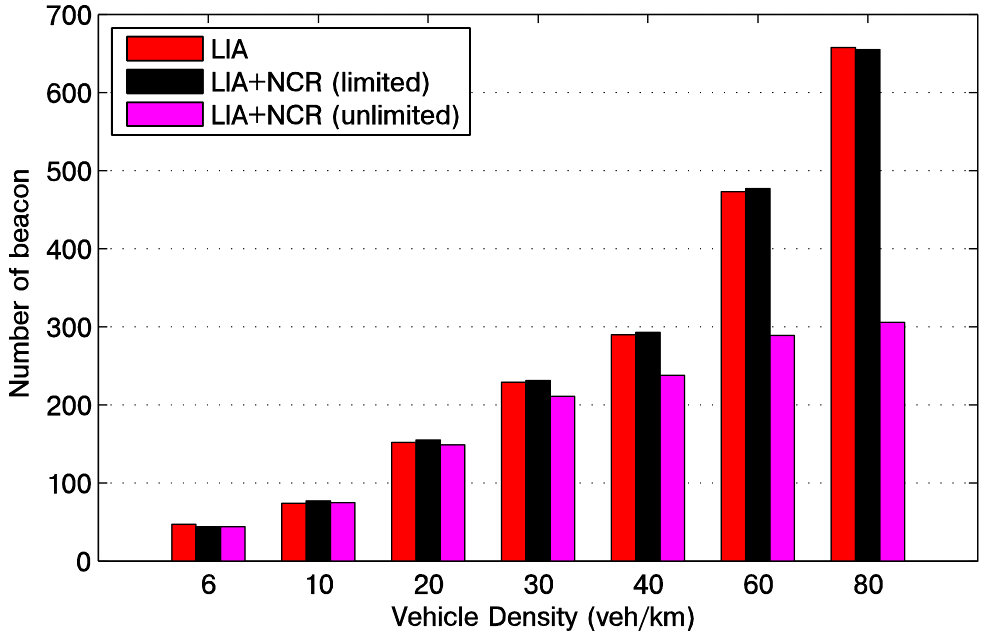


ก)

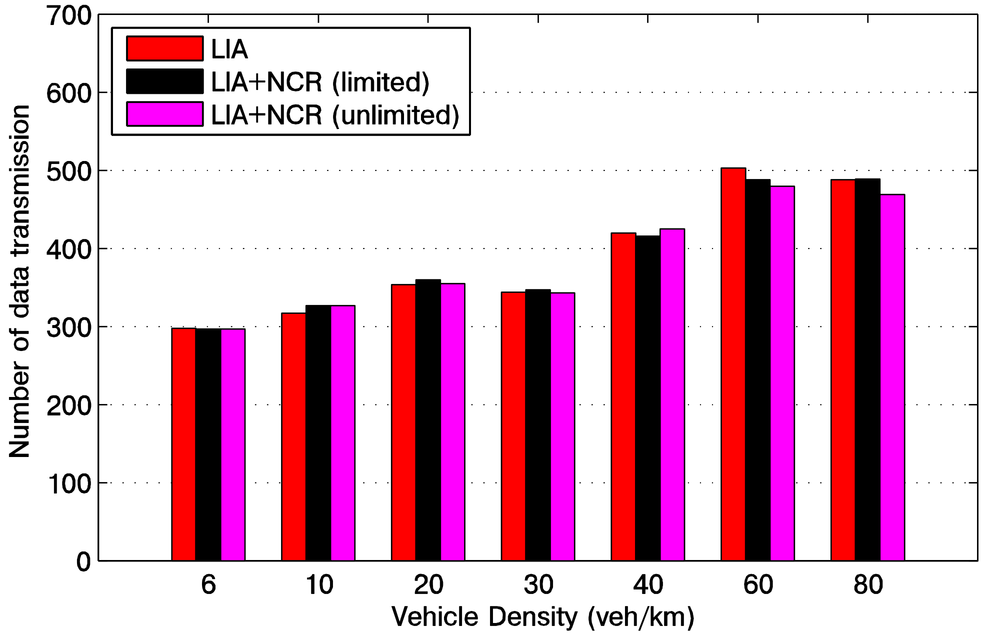


ข)

ภาพที่ 4.55 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 10 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

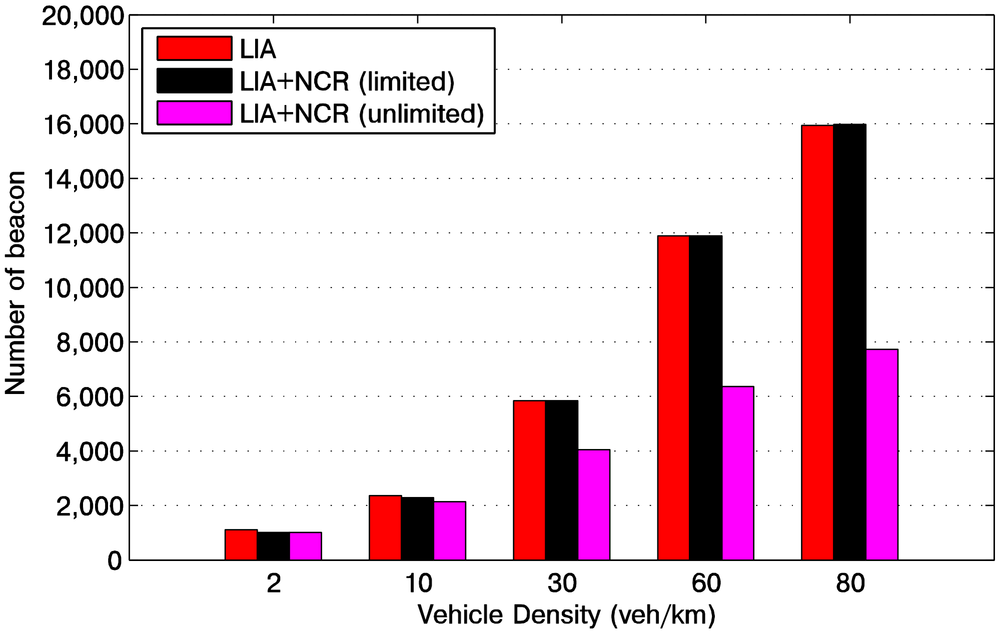


ก)

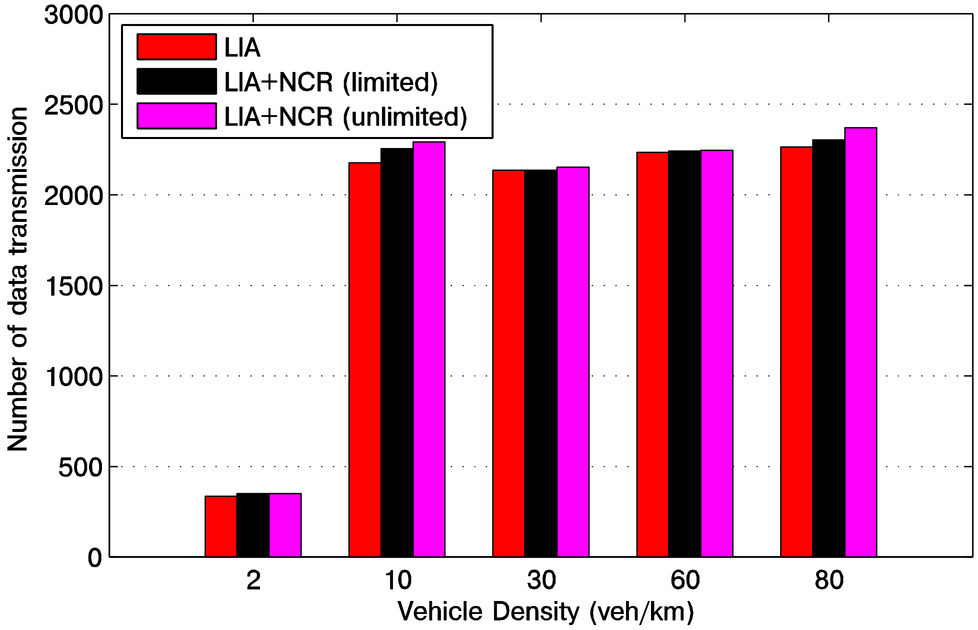


ข)

ภาพที่ 4.56 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำ บนถนนทางหลวง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR



ก)



ข)

ภาพที่ 4.57 ผลการทดลอง ก) จำนวนครั้งในการส่งบีคอน ข) จำนวนครั้งในการแพร่ข้อมูลซ้ำบนถนนในเมือง ที่มีการแพร่ 15 ข้อความ โดยใช้วิธี LIA+NCR

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสม เนื่องจากการทำบีคอนเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้โหนดในเครือข่ายได้รับข้อมูลพื้นฐานจากโหนดเพื่อนบ้านเพื่อนำมาประมวลผล หรือใช้ในการตัดสินในการทำงานอื่นๆ แต่การทำบีคอนนั้นก็ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบ อีกทั้งหากมีความถี่ในการทำบีคอนมากเกินไปก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ โดยที่การส่งบีคอนนั้นจะไปรบกวนต่อสัญญาณการส่งข้อมูลตามปกติได้ ดังนั้นการหาช่วงเวลาในการส่งบีคอนที่เหมาะสมกับสถานการณ์และแอพพลิเคชั่นที่นำไปใช้ย่อมจะให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด

ในงานวิจัยนี้นำข้อมูลการส่งบีคอนที่ช่วงเวลาคงที่ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยมีการกำหนดความหนาแน่นของโหนดในระบบ การกำหนดลักษณะของเส้นทางที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์พบว่าที่บริเวณที่โหนดมีความหนาแน่นสูงและมีการรับส่งข้อมูลปริมาณมาก ความถี่ในการส่งบีคอนที่สูงเกินไปจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวม แต่ในทางกลับกันหากใช้บีคอนที่มีช่วงเวลาห่างกันเกินไปก็จะส่งผลให้โพรโทคอลที่ทำงานด้วยไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะนำมาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้บีคอนแบบที่มีการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนโดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นย่อมที่จะเหมาะสมกว่า ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลจากการทดสอบที่ได้มาใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อนำไปหาช่วงเวลา การส่งบีคอนที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อม โดยใช้วิธีการหารูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้ วิธีการทางด้านสถิติ คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น วิธีการทางด้านการเรียนรู้ของเครื่อง คือ K-Nearest Neighbor และวิธีการปรับปรุงวิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นโดยใช้ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน

การปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนโดยวิธีการต่างๆนั้นพบว่าวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นให้ผลของการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนได้มากที่สุด และสามารถรักษาประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลให้อยู่ในระดับเดียวกันกับการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้นแบบธรรมดาได้ แต่ข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น คือ เนื่องจากวิธีการนี้ไม่ได้มีการจำกัดช่วงเวลาที่นานที่สุดในการทำบีคอน ดังนั้นหากมีความหนาแน่นของเครือข่ายมากเกินไปจะทำให้การคำนวณช่วงเวลาในการส่งบีคอนนานเกินไป จึงควรกำหนดช่วงเวลาที่นานที่สุดในการทำบีคอน ในกรณีที่นำไปใช้กับบริเวณที่มีความหนาแน่นของเครือข่ายสูง ส่วนวิธีการ K-Nearest Neighbor ให้ผลการทดลองที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการส่งบีคอนได้รองลงมาจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งวิธีการ K-Nearest Neighbor มีการกำหนดช่วงเวลาที่นานที่สุดในการทำบีคอนไว้ ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการนำไปใช้ในบริเวณที่มีความหนาแน่นของเครือข่ายมาก นอกจากนี้แนวความคิดในการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนโดยดูจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งจะเป็นการคาดการว่าโหนดกำลังมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้านมากขึ้น หรือลดลงเพื่อเป็นการรักษาระดับของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านให้คงที่ก็สามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนย่อมจะมีประโยชน์ต่อทุกโพรโทคอล และแอพพลิเคชั่นที่ต้องการใช้ข้อมูลจากเพื่อนบ้าน โดยที่การปรับช่วงเวลาการส่งบีคอนตามสภาพแวดล้อมนั้นยังคงให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการทำงาน แต่ลดค่าใช้จ่ายโดยรวมให้กับระบบได้ เป็นการส่งบีคอนโดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

นอกจากนั้น หากมองในมุมมองของผู้ใช้งาน (User) ที่ต้องการนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้งาน อาจจะมีการนำวิธีการต่างๆมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน โดยทำให้เป็นระบบอัตโนมัติ คือ เมื่อรถยนต์วิ่งเร็ว ซึ่งสัมพันธ์กับการที่รถวิ่งอยู่บนถนนที่มีการจราจรไม่หนาแน่นก็ควรจะใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และในทางตรงกันข้ามเมื่อรถยนต์วิ่งช้า ซึ่งสัมพันธ์กับการที่รถวิ่งอยู่บนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นก็ควรจะใช้วิธีการของ K-Nearest Neighbor ดังนั้น เมื่อระบบนำวิธีการต่างๆมาทำงานร่วมกันจะส่งผลให้ระบบสามารถทำงานได้โดยปรับการทำงานให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของรถยนต์ ซึ่งจะทำให้การทำงานนั้นเหมาะสมมากที่สุด

5.2 ข้อจำกัด

เนื่องจากในงานวิจัยนี้การปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนจะใช้การปรับจากจำนวนของโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความที่ส่งในระบบเท่านั้น ถึงแม้ว่าการทำงานนั้นจะต้องการข้อมูลในการทำงานน้อยกว่ามีความยืดหยุ่นในการทำงานมากกว่า แต่เมื่อนำไปใช้กับโพรโทคอลที่รู้ทิศทาง หรือตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านจะทำให้การปรับค่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนไม่ได้ใช้ข้อมูลในส่วนนี้ให้เป็นประโยชน์ ซึ่งโหนดอาจจะใช้ข้อมูลในส่วนนี้ในการคาดเดาการเคลื่อนที่ของโหนดเพื่อนบ้าน หรือสามารถรักษาระดับของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านได้

นอกจากนี้การเรียนรู้จากข้อมูลที่ผ่านการทดสอบจะทำให้การปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนนั้นเหมาะสมกับโพรโทคอลนั้นๆ หรือลักษณะของถนนนั้นๆ โดยที่เมื่อนำไปใช้งานในสถานการณ์ที่แตกต่างอาจจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ ดังนั้นหากระหว่างการทำงานโหนดสามารถตอบสนองการปรับค่าช่วงเวลาการส่งบีคอนต่อสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้จะทำให้การปรับค่าเวลานั้นมีประสิทธิภาพได้ตรงตามที่แอพพลิเคชั่น หรือโพรโทคอลต้องการได้

การศึกษาวิธีการปรับช่วงเวลาในการส่งบีคอนนี้สนใจเพียงแต่ช่วงเวลาในการส่งบีคอนเท่านั้น ซึ่งตรงตามจุดประสงค์ในการทำวิจัย แต่ในสถานการณ์จริงที่อาจจะมีบางโพรโทคอล หรือแอพพลิเคชั่นที่มีความอ่อนไหวต่อข้อมูลมาก อาจจะต้องใช้วิธีการอื่นในการทำงาน เช่น การปรับระยะการสื่อสารแทนการปรับช่วงเวลาการส่งบีคอน หรือการแนบข้อมูลไปกับข้อมูลที่มีการส่งกันระหว่างโหนดในชั้นอื่นๆของเครือข่าย ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของการปรับค่าช่วงเวลาในการส่งบีคอนดังที่กล่าวข้างต้น หากสามารถนำข้อมูล เช่น ความเร็ว ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของโหนดมาใช้ในการปรับค่าช่วงเวลาการทำบีคอนได้ก็จะสามารถทำให้การปรับค่าช่วงเวลาการทำบีคอนนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่อาจจะเป็นการลดความยืดหยุ่นในการใช้งานได้ เนื่องจากต้องการอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง โดยการทำงานอาจจะอยู่ในรูปแบบการคาดเดาเวลาที่โหนดเพื่อนบ้านจะออกจากระยะของการสื่อสาร

แล้วในช่วงเวลานั้นอาจจะต้องเพิ่มความถี่ในการทำบีคอนเพื่อหาโหนดเพื่อนบ้านมาทดแทน โดยที่โพรโทคอลอาจจะมีจำนวนของโหนดเพื่อนบ้านที่เหมาะสมกับการทำงานได้

นอกจากนี้ในกรณีการเรียนรู้โดยการใช้ข้อมูลที่มีการทดลองล่วงหน้า แล้วใช้แบบทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการส่งบีคอนขณะที่โหนดทำงาน โดยในระหว่างที่โหนดทำงานนั้นไม่มีการเปลี่ยนแบบในการคำนวณ ซึ่งหากโหนดสามารถเรียนรู้ได้ โดยดูจากความต้องการของแอพพลิเคชั่น หรือโพรโทคอล แล้วนำมาปรับค่าแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าเวลาได้ ก็จะทำให้การทำบีคอนตอบสนองต่อความต้องการในการทำงานได้หลากหลาย และมีประสิทธิภาพสูงสุด

รายการอ้างอิง

[1] Hartenstein, H., and Laberteaux, K. P. A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE Communications Magazine 46, 6 (June 2008): 164-171.

[2] Zhao, J., and Cao, G. VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Vehicular Technology 57, 3 (May 2008): 1910-1922.

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

[4] Tonguz, O. K., Wisitpongphan, N., and Bai, F. DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks, IEEE Wireless Communications 17, 2 (April 2010): 47-57.

[5] Nakorn N. N., and Rojviboonchai, K. DECA: Density-aware reliable broadcasting in vehicular ad hoc networks, IEEE International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON'10), pp. 598-602. Chaing Mai, Thailand: IEEE, 2010.

[6] Naumov, V., and Gross, T. R. Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad-hoc Networks, IEEE the 26th International Conference on Computer Communications (INFOCOM'07), pp.1919-1927. Anchorage, Alaska, USA: IEEE, 2007.

[7] Boukerche, A., Rezende, C., and Pazzi, R. W. Improving Neighbor Localization in Vehicular Ad Hoc Networks to Avoid Overhead from Periodic Messages, IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'09), Honolulu, Hawaii, USA: IEEE, 2009.

[8] Nakorn N. N., and Rojviboonchai, K. Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-hoc Networks, The 7th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE'10), Bangkok, Thailand, 2010.

[9] Schmidt, R., Leinmuller, T., Schoch, E., Kargl, F., and Schafer, G. Exploration of adaptive beaconing for efficient intervehicle safety communication, IEEE Network Magazine 24, 1 (January-February 2010): 14-19.

[10] Hoebeke, J., Moerman, I., Dhoedt, B., and Demeester, P. An Overview of Mobile Ad Hoc Networks: Applications and Challenges, Journal of the Communications Network 3 (July 2004): 60-66.

[11] Macker, J. P., and Corson, M. S. Mobile ad hoc networking and the IETF, Mobile Computing and Communication Review 2, 1 (January 1998): 9-14.

[12] Kurose, K. F., and Ross, K. W. Computer networking : a top down approach. 5th Ed. Pearson Education, 2010.

[13] IEEE. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. IEEE standard for information technology telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks specific requirements. (June 2007).

[14] CAR 2 CAR communication consortium. Mission&Objectives [Online]. Avaliable from: http://www.car-to-car.org/ [2011, July 23]

[15] Dahiya, A., and Chauhan, R. K. A Comparative study of MANET and VANET Environment, Journal of computing 2, 7 (July 2010): 87-92.

[16] Mitchell, T. M. Machine Learning, McGraw Hill, 1997.

[17] Varadhan, K. The Network Simulator (NS-2) [Online]. (2010). Avaliable from: http://www.isi.edu/nsnam/ns [2011, July 23]

[18] German Aerospace Center (DLR). Simulation of Urban MObility (SUMO) [Online]. (2010). Avaliable from: http://sumo.sourceforge.net [2011, July 23]

[19] Piorkowski, M., Raya, M., and Hubaux, J. P. Traffic and Network Simulation Environment (TraNS) [Online]. (2008). Avaliable from: http://trans.epfl.ch [2011, July 23]

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชญานิน ไทยนะ เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนทวีรัตน์ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2551 (เกียรตินิยมอันดับ 1) และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552