การแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

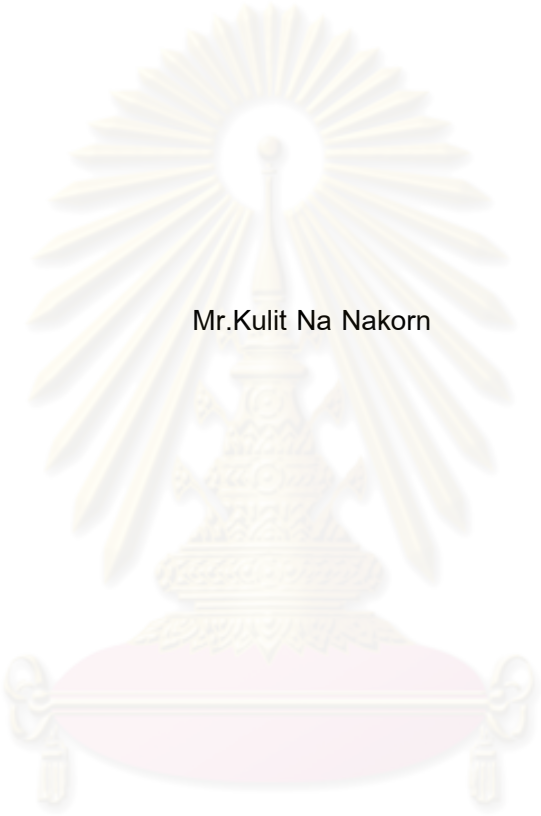
นายกุลิสร์ ณ นคร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELIABLE BROADCASTING ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS

Mr.Kulit Na Nakorn



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2010
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
โดย	นายกุลิสร์ ณ นคร
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ภาสกร ประถมบุตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กุลิสร์ ณ นคร : การแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (RELIABLE BROADCASTING ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, 75 หน้า

การแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบจราจรอัจฉริยะให้ประสบความสำเร็จ เนื่องจากบริการที่มีอยู่ในระบบการจราจรอัจฉริยะต้องการวิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้โดยมีความเร็วในการแพร่ข้อมูลสูง เพราะข้อมูลที่ทันสมัยส่งผลต่อความแม่นยำในการให้บริการ ดังนั้นการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก แต่งานวิจัยที่ผ่านมาของการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ไม่มีวิธีการใดที่ให้ความสำคัญกับความเร็วในการแพร่ข้อมูล และมีความยืดหยุ่นในการทำงาน คือ ไม่สามารถทำงานได้เมื่อไม่มีข้อมูลจากจีพีเอส

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยใช้วิธีการเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อมูลถัดไป เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานโดยไม่เสียเวลากับการตั้งเวลารอเช่นเดียวกับวิธีการอื่นๆ การตัดสินใจในการเลือกโหนดใช้ข้อมูลความหนาแน่นซึ่งยืดหยุ่นในการทำงานสูง หรือใช้ข้อมูลตำแหน่งจากจีพีเอสที่จะให้สมรรถนะในการทำงานสูงสุด จากผลการทดลองพบว่าวิธีการแพร่โดยใช้ความหนาแน่นสามารถทำงานได้โดยมีความเชื่อถือได้ที่สูงกว่า และมีใช้จ่ายในการทำงานน้อยกว่าวิธีอื่นๆ เมื่อใช้ข้อมูลตำแหน่งจะให้ความเร็วในการแพร่สูงที่สุด โดยที่ค่าความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายมีค่าใกล้เคียงกับการแพร่โดยใช้ข้อมูลความหนาแน่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต กุลิสร์ ณ นคร
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก Kultida Rojviboonchai
ปีการศึกษา 2553

5270278221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS : VEHICULAR NETWORKS/ RELIABLE BROADCAST/ AD-HOC/ STORE-AND-FORWARD

KULIT NA NAKORN : RELIABLE BROADCASTING ON VEHICULAR AD-HOC NETWORKS. THESIS ADVISOR : KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., 75 pp.

Reliable broadcasting in vehicular ad-hoc networks (VANET) is one of keys to success of services and applications on intelligent transportation system (ITS). The reason is that these applications need a way to exchange their information. There are many previous reliable broadcasting protocols on VANET but none of them have concerned to the speed of data dissemination. The speed of protocol can bring more accuracy service to ITS.

This thesis proposes density-aware reliable broadcasting in vehicular ad-hoc networks (DECA) and position-aware reliable broadcasting in vehicular ad-hoc networks (POCA). Both of them use the next rebroadcast node selection. The selection is made by source or precursor node to avoid waiting timeout which increase delay to each rebroadcasting. DECA uses only density information for selection algorithm so it does not require any position discover equipments. In the other hand, POCA uses position information for its selection to operate with highest performance. From simulation results, DECA provides more reliability and less overhead compare to previous solution. POCA have the fastest speed of data dissemination while its reliability and overhead results are close to DECA.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Computer Engineering Student's Signature Kulit Na Nakorn
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature Kultida Rojviboonchai
Academic Year: 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มิอาจสำเร็จสมบูรณ์ได้หากปราศจากความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และแนวทางในการทำงานวิจัยดีๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งทุ่มเทให้การดูแล เปี่ยมด้วยความสามารถ และเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เฉลิมเอก อินทนากร วิวัฒน์ ดร.ภาสกร ประถมบุตร และ ผศ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภา ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และให้มุมมองที่หลากหลายอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ ประสบการณ์ที่ดี ใช้การชีวิตในมหาวิทยาลัย และมีโอกาสได้พบกับอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆและน้องๆที่ดี ขอบคุณทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และแบ่งปันความสุขให้แก่กันเสมอ

และสุดท้าย ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย และญาติๆทุกคนที่คอยสนับสนุนให้ผู้ทำวิจัยชอบได้ทำในสิ่งที่ชอบ เข้าใจ เป็นกำลังใจ และอยู่เคียงข้างกันตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 5
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย..... 5
1.5 คุณค่าทางวิชาการ..... 6
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์..... 6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก..... 8
2.1.2 มาตรฐาน IEEE802.11P..... 9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 13
บทที่ 3 การออกแบบโพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ..... 19
3.1 แนวคิดในการออกแบบ..... 19
3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล..... 19
3.2.1 การเก็บข้อมูลของโพรโทคอล..... 20
3.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing)..... 21
3.2.3 การเลือกโหนดส่งต่อข้อความ (Preferred Node Selection Algorithm)..... 23
3.2.4 การคำนวณเวลารอ (Waiting Timeout Calculation)..... 25
3.3 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล..... 26
บทที่ 4 การออกแบบโพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่งสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ..... 28
4.1 แนวคิดในการออกแบบ..... 28
4.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล..... 29
4.2.1 การเก็บข้อมูลของโพรโทคอล..... 29

หน้า

4.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing)..... 30
4.2.3 การเลือกโหนดส่งต่อข้อความ (Preferred Node Selection Algorithm)..... 31
4.2.4 การคำนวณเวลารอ (Waiting Timeout Calculation)..... 34
4.4 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล..... 36
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล..... 38
5.1 ตัววัดสมรรถนะของโพรโทคอล (Performance Metrics)..... 38
5.2 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอล..... 39
5.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง..... 39
5.4 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ของโพรโทคอล..... 41
5.5 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของโพรโทคอล..... 44
5.6 ผลการทดลองความเร็วในการแพร่ข้อมูล..... 49
5.7 ผลการทดลองค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อ..... 52
5.8 การทดลองการแพร่ข้อความที่มีความหนาแน่นสูง..... 53
5.9 การวิเคราะห์การทำงานของโพรโทคอลทางคณิตศาสตร์..... 56
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 61
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 61
6.2 ข้อจำกัด..... 62
6.3 ข้อเสนอแนะ..... 62
รายการอ้างอิง..... 63
ภาคผนวก..... 66
ภาคผนวก ก การทดสอบช่วงเวลาการทำ Beacon สำหรับ DECA 67
ภาคผนวก ข การทดสอบช่วงเวลาการทำ Beacon สำหรับ POCA 71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบมาตรฐาน IEEE 802.11 ต่างๆ.....13
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ.....17
ตารางที่ 5.1 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง..... 41
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อของ DECA (%)... 52
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อของ POCA (%)... 52
ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงช่วงเวลาการทำ Beacon ที่เหมาะสมสำหรับ DECA.....67
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงช่วงเวลาการทำ Beacon ที่เหมาะสมสำหรับ POCA.....71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ [2]……1
รูปที่ 1.2 ลักษณะเฉพาะของรถยนต์บนถนน……..3
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างบริการในระบบจราจรอัจฉริยะ [2]……..4
รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก……8
รูปที่ 2.2 ปัญหา Hidden Terminal…… 9
รูปที่ 2.3 การจัดสรรช่องสัญญาณ DSRC ของสหรัฐอเมริกา [17]……...10
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการทำงานของ DSRC ที่ระยะต่างๆ [18]……..10
รูปที่ 2.5 มาตรฐานต่างๆของ IEEE ใน DSRC [17]……11
รูปที่ 2.6 Independent Basic Service Set และ Extended Service Set [17]……..12
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนการส่งข้อความที่ช่วงเวลาการทำ Beacon ต่างๆกัน…….. 22
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น……23
รูปที่ 3.3 ปัญหาการเลือกโหนดส่งต่อแบบวนซ้ำ…….. 24
รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล DECA……25
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุด……..26
รูปที่ 3.6 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อแบบปกติ……27
รูปที่ 3.7 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ……..27
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น……..31
รูปที่ 4.2 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล POCA…… 33
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุดกรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน……..35
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุดกรณีโหนดที่เพื่อนบ้านมีข้อความที่ยังไม่ได้รับ.35
รูปที่ 4.5 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อแบบปกติ……36
รูปที่ 4.6 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ……..37
รูปที่ 5.1 ลักษณะถนนที่ใช้ในการทดลอง ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง……40
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบน ก) ถนนทางหลวง
ข) ถนนในเมือง…….. 43
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำงานบน ก) ถนนหลวง ข) ถนนในเมือง.....46
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายจากการส่ง Beacon จากการทดลองบน ก) ถนนหลวง
ข) ถนนในเมือง……48
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบนถนนหลวงที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน....50
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมืองที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน..51
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความน่าเชื่อถือในการแพร่ข้อมูลบน ก)ถนนทางหลวง ข)ถนนในเมือง...54
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลบน ก)ถนนทางหลวง ข)ถนนในเมือง……55

หน้า

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบน ก)ถนนทางหลวง ข)ถนนในเมือง..... 56
รูปที่ 5.10 การคำนวณจำนวนรถยนต์ที่ได้รับข้อความใหม่.....58
รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ DECA..... 59
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ POCA.....60
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงผลของค่าใช้จ่ายจากช่วงเวลาการทำ Beacon ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ... 67
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 2-10 คัน/กิโลเมตร.....68
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 20-40 คัน/กิโลเมตร.....69
รูปที่ ก.4 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 60-80 คัน/กิโลเมตร.....70
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงผลของค่าใช้จ่ายจากช่วงเวลาการทำ Beacon ที่ความหนาแน่นต่าง ๆ... 71
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 2-10 คัน/กิโลเมตร.....72
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 20-40 คัน/กิโลเมตร.....73
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 60-80 คัน/กิโลเมตร.....74

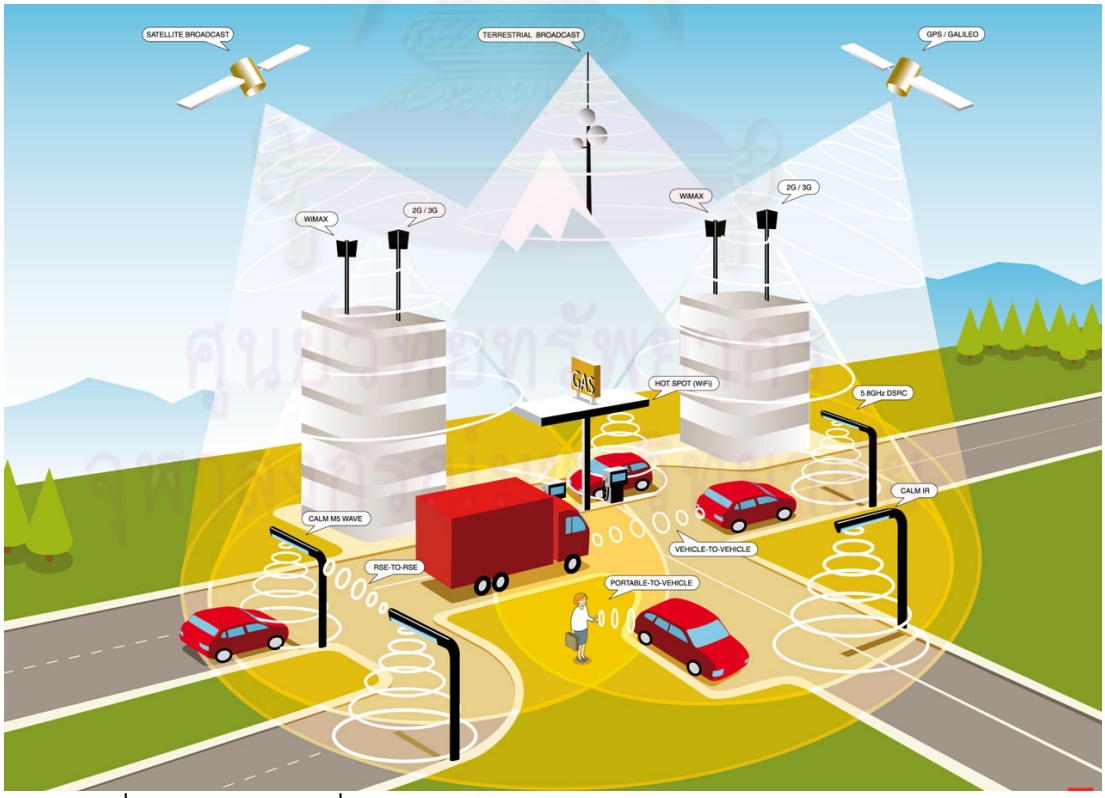
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (MANET : Mobile Ad-hoc Networks) เป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจในการวิจัย เนื่องจากการสื่อสารสามารถทำได้โดยไม่ต้องมีโครงสร้างพื้นฐาน สามารถเข้าไปทำงานในบริเวณที่ไม่สะดวกหรือไม่สามารถติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานได้ นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบน้อยกว่ารูปแบบการสื่อสารที่พึ่งการทำงานของโครงสร้างพื้นฐาน อีกทั้งยังเป็นการทำงานแบบกระจาย (Distributed System) ซึ่งมีความทนทานต่อการถูกโจมตีหรือข้อผิดพลาดจากศูนย์กลางที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆกัน เช่น การสื่อสารบนเครือข่ายตัวรับรู้แบบไร้สาย (WSN : Wireless Sensor Network) หรือการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ (VANET : Vehicular Ad-hoc Network) เป็นต้น โดยเฉพะการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งด้านการพัฒนาและวิจัย [1] มีโครงการที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารบนยานพาหนะจำนวนมากทั้งภายใน และภายนอกประเทศ เช่น CarTalk, CVIS และ IntelliDrive เป็นต้น



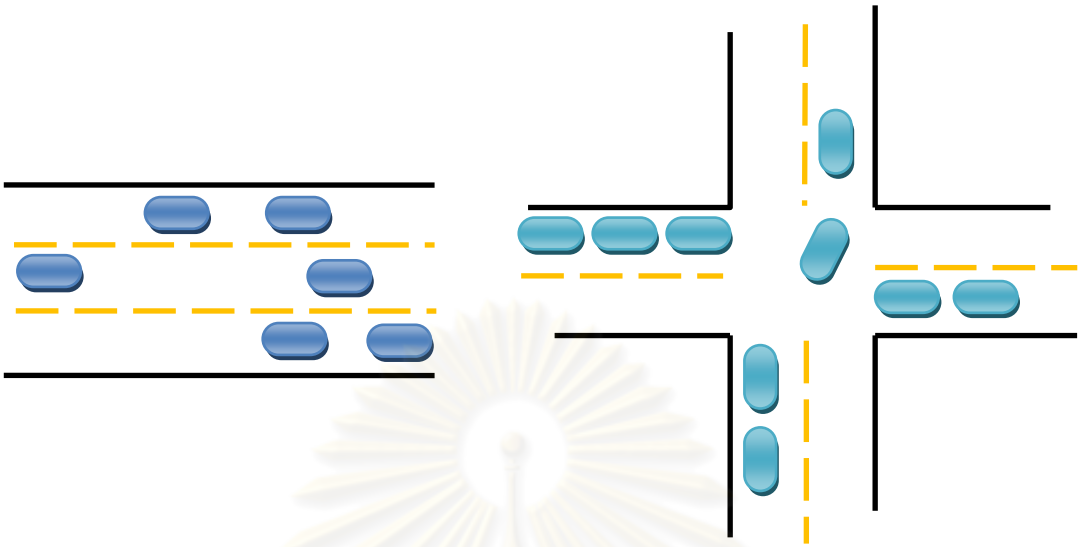
รูปที่ 1.1 ลักษณะการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ[2]

เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนารถยนต์ก็มีมากขึ้น ซึ่งทำให้ระบบการทำงานบนรถยนต์มีความซับซ้อนมากขึ้นและมีความต้องการพื้นฐานในการทำงานมากขึ้น ระบบที่ไม่เคยถูกติดตั้งบนรถยนต์ ตัวอย่างเช่นระบบนำทางจีพีเอส (Global Positioning System) [3] ถูกนำมาใช้จนเกือบเป็นอุปกรณ์พื้นฐานของรถยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งในการทำงานต้องการอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม เช่นกันระบบการทำงานในอนาคตอย่างระบบจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System)[4] ย่อมเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของรถยนต์ในอนาคตอันใกล้ แต่การทำงานของระบบจราจรอัจฉริยะนั้น นอกจากอุปกรณ์ที่จะถูกติดตั้งในรถยนต์แล้ว ยังจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถพื้นฐานในการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ระหว่างรถสู่รถ (Car-to-Car) หรือรถสู่โครงสร้างบนถนน (Car-to-Infrastructure)เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลและให้บริการได้อย่างแม่นยำ บริการบางชนิด เช่น ระบบหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ หรือบริการแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉิน บริการเหล่านี้นอกจากจะต้องการการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ (Reliable Broadcasting) เป็นพื้นฐานในการทำงานแล้ว โพรโทคอลที่สามารถทำงานภายในเวลาที่จำกัดเป็นเรื่องจำเป็น เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้รับความปลอดภัยที่สูงขึ้นจากความแม่นยำของบริการ

การทำงานของระบบจราจรอัจฉริยะผ่านโครงสร้างพื้นฐานที่ยังไม่พร้อม และการทำงานที่มีความล่าช้า ซึ่งไม่ทันท่วงทีขณะเกิดเหตุฉุกเฉิน จึงต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกในการสื่อสารข้อมูล ขณะเดียวกันหากนำการแพร่ข้อมูลแบบแอดฮอก แบบดั้งเดิม เช่น Simple Flooding ที่สามารถพัฒนาได้ง่ายนั้น แต่ไม่สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความหนาแน่นของโหนดต่ำ ซึ่งทำให้การส่งต่อข้อมูลไม่มีความเชื่อถือได้ เนื่องจากเมื่อโหนดได้รับข้อความจะทำการส่งต่อข้อความนั้นทันทีโดยไม่ใช้ข้อมูลในการตัดสินใจเพิ่มเติม หรือในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงก็ทำให้เกิดปัญหาการชนของข้อมูล (Broadcast Storming Problem)[5] ตัวอย่างเช่น กระบวนการค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) ที่ใช้ Simple Flooding ในการค้นหาเส้นทาง เมื่อนำมาทดสอบในสภาพแวดล้อมที่เป็นการจราจรของรถยนต์แล้วทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง [6] หรือปัญหาที่เกิดจากการขาดการเชื่อมต่อเป็นเวลานาน (Disconnected Network) ที่มักเกิดขึ้นบนถนนที่มีรถน้อย ก็ต้องการโพรโทคอลที่มีความสามารถรองรับการทำงานในสภาพเช่นนี้ได้ [7]

เมื่อพิจารณาวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้บนเครือข่ายแบบ MANET [8] [9] ซึ่งมีการนำเทคนิคต่าง ๆเข้ามาช่วยในการทำงาน ส่งผลให้โพรโทคอลมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น แต่เนื่องจากโพรโทคอลเหล่านี้ถูกออกแบบมาเพื่อการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแอดฮอกแบบทั่วไป ซึ่งโหนดถูกทดสอบโดยมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Random Waypoint Model) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับรถยนต์ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอย่างรวดเร็ว และมีพฤติกรรมที่ซับซ้อนกว่า เช่น การแซงของ

รถยนต์บนทางหลวง หรือในบริเวณหนึ่งอาจจะมีโหนดหนาแน่นมากกว่าอีกบริเวณหนึ่งมาก เช่น การจับกลุ่มของรถบริเวณทางหลวง หรือการหยุดรอสัญญาณไฟบริเวณสี่แยก



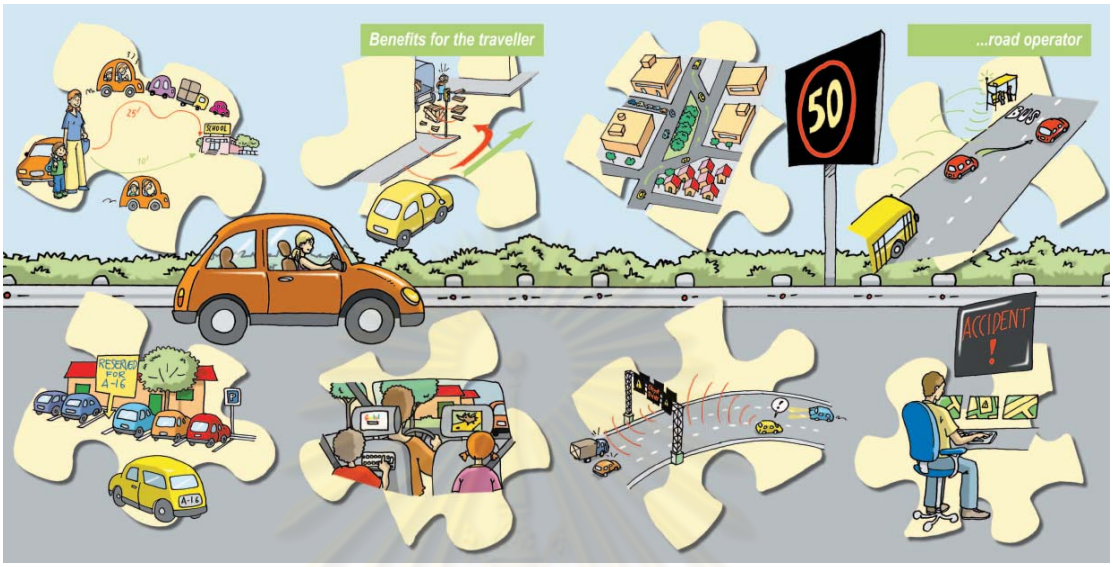
รูปที่ 1.2 ลักษณะเฉพาะของรถยนต์บนถนน

การแพร่ข้อมูลแบบเชื่อถือได้สำหรับรถยนต์จึงมีงานวิจัยที่ออกแบบมาทำงานโดยเฉพาะ ซึ่งแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อแบบเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) โดยใช้เทคนิค Store-and-Forward และหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการชนของข้อมูล (Broadcast Storming Problem) ได้แก่ Edge-Aware Epidemic Protocol (EAEP) [10] และ AckPBSM (Acknowledge Parameterless Broadcast Protocol in Static to Highly Mobile Ad-hoc Networks) [11]

การทำงานของ EAEP ใช้ข้อมูลของจีพีเอสมาช่วยในการทำงาน โดยหลักการทำงานของโพรโทคอลจะให้โหนดมีเวลารอช่วงระยะหนึ่งหลังจากได้รับข้อความจากโหนดอื่น จากนั้นจึงนับจำนวนครั้งที่โหนดข้างเคียงส่งข้อความมาคิดเป็นค่าของความน่าจะเป็นที่โหนดนั้นๆจะส่งต่อข้อความนั้น ซึ่งโหนดที่อยู่บริเวณขอบของการส่งข้อมูลจะมีค่าความน่าจะเป็นสูงกว่าโหนดบริเวณอื่นๆ จากการทดลองใน [10] โพรโทคอลถูกทดสอบบนถนนทางหลวงเท่านั้น และใช้เวลาในการแพร่ข้อมูลถึง 30 วินาทีเพื่อส่งให้รถยนต์ส่วนใหญ่ในพื้นที่

AckPBSM ใช้กระบวนการที่ซับซ้อนกว่า ซึ่ง AckPBSM ถูกพัฒนาขึ้นจาก PBSM [12] เป็นโพรโทคอลสำหรับการแพร่ข้อมูลบน MANET การทำงานของ AckPBSM จะใช้ข้อมูลจีพีเอส เพื่อทราบตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้าน โดยอาศัยการทำงานของ Beacon Message ซึ่ง AckPBSM จะนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการคำนวณเพื่อสร้าง Connected Dominating Sets (CDS) เมื่อมีการแพร่ข้อความเกิดขึ้น โหนดที่ได้รับข้อความจะตั้งเวลาช่วงหนึ่ง โดยที่โหนดที่เป็น CDS จะมีเวลาในการคอยสั้นกว่าก่อนการส่งต่อข้อความอีกครั้ง ในกรณีเกิดปัญหาการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ AckPBSM จะแนบการตอบรับข้อความ (Acknowledgement) เข้าไปกับ

Beacon Message เพื่อให้โหนดส่งข้อความให้กับโหนดเพื่อนบ้านกรณีที่มีข้อความไม่ครบ จากการทดลองใน [11] AckPBSM สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นการจราจรทั้งบนทางหลวงและถนนในเมืองได้ดีกว่า PBSM และ DV-CAST [13] ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างบริการในระบบจราจรอัจฉริยะ [2]

เมื่อพิจารณางานวิจัยที่กล่าวมาพบว่างานเหล่านี้สนใจในเรื่องของความเชื่อถือได้ (Reliability) และค่าใช้จ่ายในการทำงานของโพรโทคอล (Overhead) แต่ไม่มีการวัดประสิทธิภาพในเรื่องความเร็วของการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบจราจรอัจฉริยะ หรือการทำงานพื้นฐานอื่นๆที่ต้องการความแม่นยำในการทำงาน ซึ่งนับว่าเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะทำให้บริการบนระบบจราจรอัจฉริยะประสบความสำเร็จ ดังนั้นโพรโทคอลที่สามารถส่งข้อมูลโดยมีความเชื่อถือได้สูงที่สุด ภายในเวลาที่จำกัด และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เนื่องจากการได้รับข้อมูลที่เร็วกว่าข้อมูลย่อมมีประโยชน์มากกว่า อีกทั้งหากมีค่าใช้จ่าย (Overhead)ในการทำงานต่ำทำให้ช่องสัญญาณในการสื่อสารมีที่ว่างมากพอสำหรับบริการอื่นๆที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้โพรโทคอลหากสามารถทำงานได้ในสภาพที่ไม่มีข้อมูลจีพีเอสโดยที่ประสิทธิภาพในการทำงานลดลงบ้างแต่ยังมีความเชื่อถือได้คงเดิม และสามารถทำได้ดีมาก เมื่อมีข้อมูลจีพีเอส โดยทำงานอยู่บนพื้นฐานขั้นตอนการทำงานแบบเดิม จะสามารถเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงานบนความเป็นจริงที่ข้อมูลจีพีเอสไม่สามารถใช้งานได้ตลอดเวลาในการทำงานของโพรโทคอล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอโพรโทคอลสำหรับการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (Reliable Broadcasting on Vehicular Ad-Hoc Networks) เพื่อสนับสนุนการทำงานของบริการที่มีอยู่บนระบบจราจร

อัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) และเป็นพื้นฐานของโพรโทคอลการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1)โหนดมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเพื่อนบ้าน (Neighbor Node) ในระดับการรับส่งสัญญาณของตัวเองเท่านั้น โพรโทคอลจะใช้ข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านในการตัดสินใจเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อมูลต่อไป

2) การแพร่ของข้อมูลจะกระทำต่อไปจนกว่าข้อความนั้นจะหมดอายุตามที่ผู้เริ่มกำหนด (Source Node) หรือจนกว่าทุกโหนดในบริเวณได้รับข้อความ

3) การพัฒนาและการทดสอบทำบนโปรแกรมจำลอง NS-2.34 โดยนำผลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงผลการทดลอง

4) การจำลองพฤติกรรมของรถยนต์ทำบนโปรแกรมจำลอง SUMO โดยใช้ถนนยาวตรงแทนการทดลองบนถนนหลวง และใช้ถนนรูปแบบตารางแทนการทดลองถนนในเมือง

5) การทดสอบการทำงานของระบบจะทำบนระบบจำลองที่มีการสูญเสียหรือการผิดพลาดของข้อมูลในช่องสัญญาณไร้สาย (Wireless Channel) บนพื้นฐานของ IEEE802.11

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาวิธีการแพร่ข้อมูลพื้นฐานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับอุปกรณ์ทั่วไป

2) ศึกษาวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

3) ออกแบบวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

4) พัฒนาโพรโทคอลเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของการแพร่ข้อมูลแบบเชื่อถือได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

5) สร้างชุดพฤติกรรมของรถยนต์แบบต่างๆเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบ

6) ทดสอบ และเก็บข้อมูลการทำงานของโพรโทคอล

7) วิเคราะห์ผลการทดลอง

8) ปรับปรุงส่วนที่มีการทำงานผิดพลาดหรือเพื่อเพิ่มความสามารถให้กับการทำงานของโพรโทคอล

9) สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

1) ทำให้มีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้แบบความเร็วสูง (High Speed of Data Dissemination) สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ และมีค่าใช้จ่าย (Overhead) ในการทำงานลดลง โดยที่มีความเชื่อถือ (Reliability) ได้มากขึ้น

2) นำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของโพรโทคอลที่มีความซับซ้อนมากขึ้น หรือโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการการแพร่ข้อมูลเพื่อให้สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยลดความล่าช้าในการทำงาน และเพิ่มโอกาสในการทำงานอื่นๆ เนื่องจากสามารถลดภาระของเครือข่ายได้

3) เพื่อให้บริการของระบบจราจรอัจฉริยะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเชื่อถือได้มากขึ้น

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

1) หัวเรื่อง ”Efficient Beacon Solution for Wireless Ad-Hoc Networks” โดย ณวุฒ* ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The seventh International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2010)” ซึ่งจัดขึ้น ณ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 12-14 พฤษภาคม 2553

2) หัวเรื่อง ”DECA: Density-Aware Reliable Broadcasting in Vehicular Ad-Hoc Networks” โดย ณวุฒ* ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The seventh IEEE Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference (ECTI-CON 2010)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 19-21 พฤษภาคม 2553

3) หัวเรื่อง ”POCA: Position-Aware Reliable Broadcasting in Vehicular Ad-Hoc Networks” โดย กุลิสร์ ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The second IEEE Asia-Pacific Conference on Information Processing (APCIP 2010)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองหนานชาง (Nanchang) มณฑลเจียงซี (Jiangxi) ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 17-18 กันยายน 2553

4) หัวเรื่อง ”Comparison of Reliable Broadcasting Protocols on Vehicular Ad-Hoc Networks” โดย กุลิสร์ ณ นคร และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The 12th IEEE International Conference on Communication and Technology (ICCT 2010)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองหนานจิง (Nanjing) มณฑลเจียงสู (Jiangsu) ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 11-14 พฤศจิกายน 2553

*เปลี่ยนชื่อจาก ณวุฒ เป็น กุลิสร์ ณ วันที่ 15 กรกฎาคม 2553

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

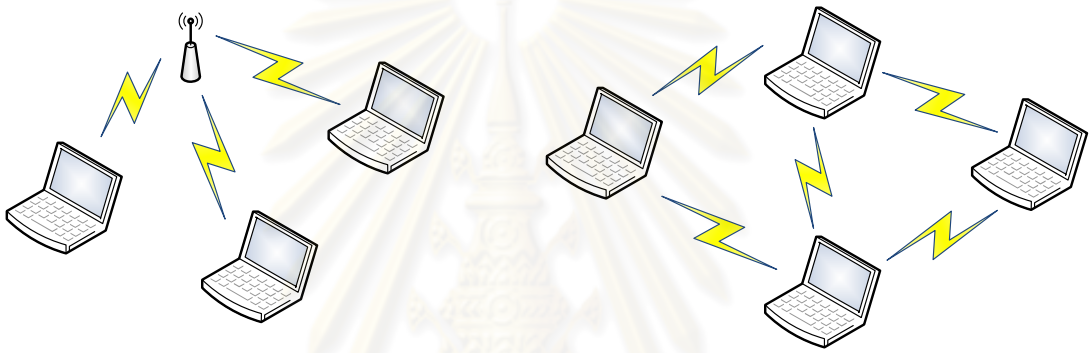
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกเป็นการสื่อสารไร้สายโดยมีการทำงานแบบ multi-hop ซึ่งต่างจากเครือข่ายไร้สายแบบปกติที่มีระยะการสื่อสารแค่ 1 hop และมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นศูนย์กลางในการทำงาน ได้แก่ Access Point ใน Wireless LAN หรือเสาส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่

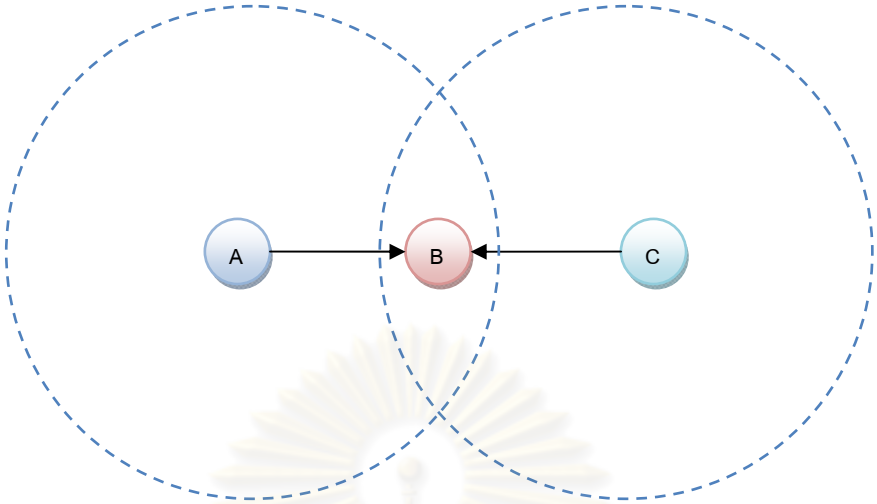


(ก) การทำงานแบบ 1 hop (ข) การทำงานแบบ multi-hop

รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก

ประโยชน์ของการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกคือการทำงานที่ไม่ต้องการโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งการติดต่อสื่อสารสามารถอยู่บนอุปกรณ์ใดๆ อีกทั้งยังสามารถทำงานในพื้นที่ที่ติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานไม่ได้ ได้แก่ ในพื้นที่สงคราม หรือในยามที่เกิดภัยธรรมชาติซึ่งโครงสร้างพื้นฐานถูกทำลาย[1] การทำงานโดยไม่ต้องการโครงสร้างพื้นฐานนั้นการพัฒนาสามารถทำได้บนตัวอุปกรณ์โดยตรงไม่เสียเวลา และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลโครงสร้างพื้นฐาน ทำให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

เนื่องจากการทำงานที่เป็นแบบกระจาย อุปกรณ์ทุกชิ้นมีอิสระในการติดต่อสื่อสารซึ่งกระทำผ่านสัญญาณไร้สายที่สามารถเกิดคลื่นรบกวนของสัญญาณ หรือการชนกันของสัญญาณได้ ในกรณีตัวอย่างเช่น มีโหนด A, B และ C ดังต่อไปนี้ กำหนดใน B อยู่ในระยะที่สามารถติดต่อได้ทั้ง A และ C แต่ A และ C นั้นไม่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง ปัญหาจะเกิดขึ้นเมื่อ A และ C ส่งสัญญาณไปยัง B พร้อมกัน ทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณ เรียกปัญหานี้ว่า Hidden Terminal ทำให้ B ไม่สามารถรับข้อมูลที่ถูกต้องจากทั้ง A และ C ได้ ทำให้เกิดการสูญเสียของข้อมูล [14]



รูปที่ 2.2 ปัญหา Hidden Terminal

ตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 [15] ในระดับ MAC นั้น มีการแก้ไขปัญหาของการชนกันของข้อมูลโดยใช้การส่งสัญญาณก่อนการส่งข้อมูลประกอบด้วย Request To Send (RTS) และ Clear To Send (CTS) โหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องส่ง RTS ออกไป จากนั้นโหนดที่จะรับข้อมูลจะตอบกลับด้วย CTS จึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ โดยโหนดในบริเวณนั้นที่ได้รับ CTS จะไม่สามารถส่งข้อมูลได้ หากมีโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะมีการตั้งเวลาเพื่อรอให้ช่องสัญญาณว่าง โดยช่วงเวลาได้จากการสุ่ม และเวลาจะนับถอยลงเมื่อช่องสัญญาณในบริเวณนั้นว่างเท่านั้นเพื่อให้ไม่เกิดการชนของสัญญาณ เมื่อมีการส่ง RTS ใหม่อีกครั้ง จากโหนดที่คอยอยู่เหมือนๆกัน นอกจากการหลีกเลี่ยงการชนของสัญญาณแล้ว การส่งข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายยังสามารถสูญเสียสัญญาณในระยะทางที่เดินทางไป การส่งข้อมูลในระดับ MAC จึงมีการส่งข้อความตอบรับ (Acknowledgement) กลับมา เมื่อการส่งข้อมูลครั้งนั้นสำเร็จ

แม้ในระดับ MAC จะมีการทำให้การส่งข้อมูลมีความเชื่อถือได้ แต่เป็นการทำงานในระดับ 1 hop เท่านั้น การแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อได้เป็นบริเวณกว้างจึงต้องการความช่วยเหลือจากการทำงานในระดับที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานบนเครือข่ายรถยนต์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆซึ่งต้องการวิธีการทำงานเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเชื่อถือได้สูงที่สุด

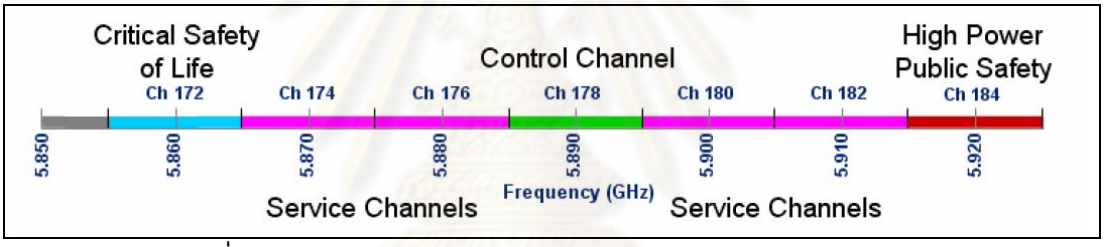
2.1.2 มาตรฐาน IEEE802.11P

เนื่องจากเครือข่ายไร้สายแบบใหม่ที่เกิดขึ้นบนพาหนะเช่นรถยนต์ เพื่อตอบสนองบริการทั้งทางด้านความปลอดภัย รวมทั้งความบันเทิง ซึ่งรถยนต์มีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและมีรูปแบบที่ซับซ้อนในการเคลื่อนที่ ดังนั้นการติดต่อสื่อสารจึงมีเวลาสำหรับการเชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูลเพียงสั้นๆ การทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 แบบเดิมใช้เวลานานในการเริ่ม

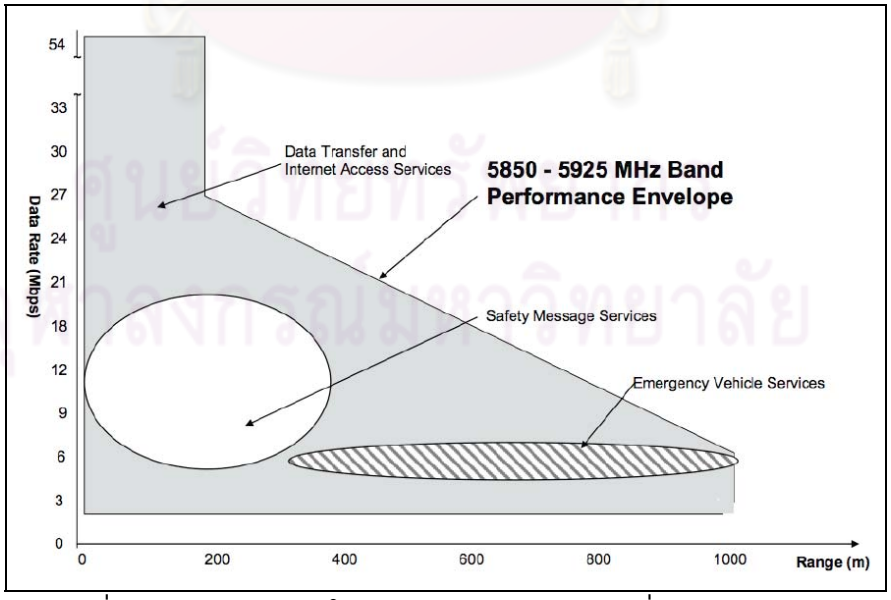
การเชื่อมต่อนานเกินไป อีกทั้งความสามารถในการทำงานในระดับกายภาพที่ต้องทำงานบนโหนดที่มีความเร็วสูง ดังนั้นจึงมีการร่างมาตรฐานใหม่สำหรับการทำงานของระบบการสื่อสารไร้สายจาก IEEE 802.11 [16] โดยใช้ความถี่ที่ 5.9 GHz สามารถสื่อสารระหว่างรถยนต์ หรือรถยนต์กับอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนถนนได้ ในระดับความเร็วอย่างน้อย 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีระยะทำการของสัญญาณประมาณ 1000 เมตร

จุดเริ่มต้นของ IEEE 802.11p มาจาก DSRC (Dedicated Short Range Communication) และ WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)[17]

Dedicated Short Range Communications (DSRC) เป็นคลื่นความถี่ที่อนุมัติโดยคณะกรรมาธิการการสื่อสารสหรัฐอเมริกา (Federal Communication Commission: FCC) ในปี 1999 มีความถี่ที่ 5.9 GHz จำนวน 75 MHz เพื่อใช้ในการสื่อสารระหว่างรถยนต์-รถยนต์ และโครงสร้างพื้นฐาน-รถยนต์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่เพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่และปรับปรุงการทำงานของระบบจราจร แต่ละช่องสัญญาณจะถูกนำมาใช้งานตามรูปที่ 4 ส่วนในยุโรปใช้คลื่นความถี่ที่ 5 GHz จำนวน 30 MHz ในการทำงาน



รูปที่ 2.3 การจัดสรรช่องสัญญาณ DSRC ของสหรัฐอเมริกา [17]



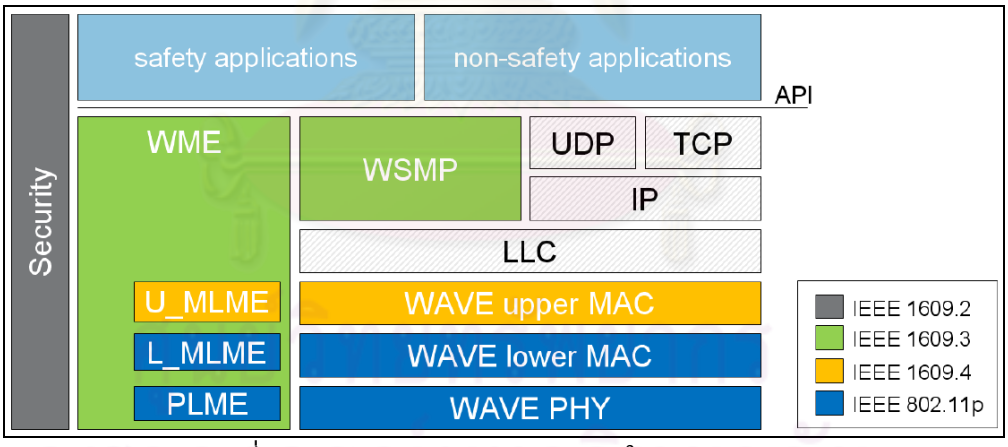
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการทำงานของ DSRC ที่ระยะต่างๆ [18]

ในปี 2004 DSRC ถูกย้ายมาพัฒนาต่อในกลุ่มมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยใช้ชื่อว่า IEEE 802.11p WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) ซึ่งหากพิจารณาถึง IEEE 802.11p เพียงอย่างเดียวเท่านั้นจะหมายถึงมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- ความสามารถในการทำงานพื้นฐานที่ WAVE ต้องการในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยไม่มีการใช้งาน Basic Service Set (BSS) เหมือนในมาตรฐาน IEEE 802.11 ตัวอื่นๆ
- เทคนิคการใช้สัญญาณ และส่วนต่อประสานของ WAVE ซึ่งถูกควบคุมโดย IEEE 802.11 MAC

ดังนั้น IEEE 802.11p เป็นเพียงส่วนหนึ่งของ WAVE ที่ควบคุมระดับ MAC และ PHY นอกจากนี้จึงมีมาตรฐานในการทำงานอื่นๆที่ถูกกำหนดใน IEEE 1609 ดังนี้

- IEEE 1609.2 : มาตรฐานด้านความปลอดภัย
- IEEE 1609.3 : มาตรฐานด้านการเชื่อมต่อและการจัดการ
- IEEE 1609.4 : มาตรฐานด้านบน IEEE 802.11p เพื่อสามารถทำงานได้บนหลายช่องสัญญาณโดยไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลจาก PHY



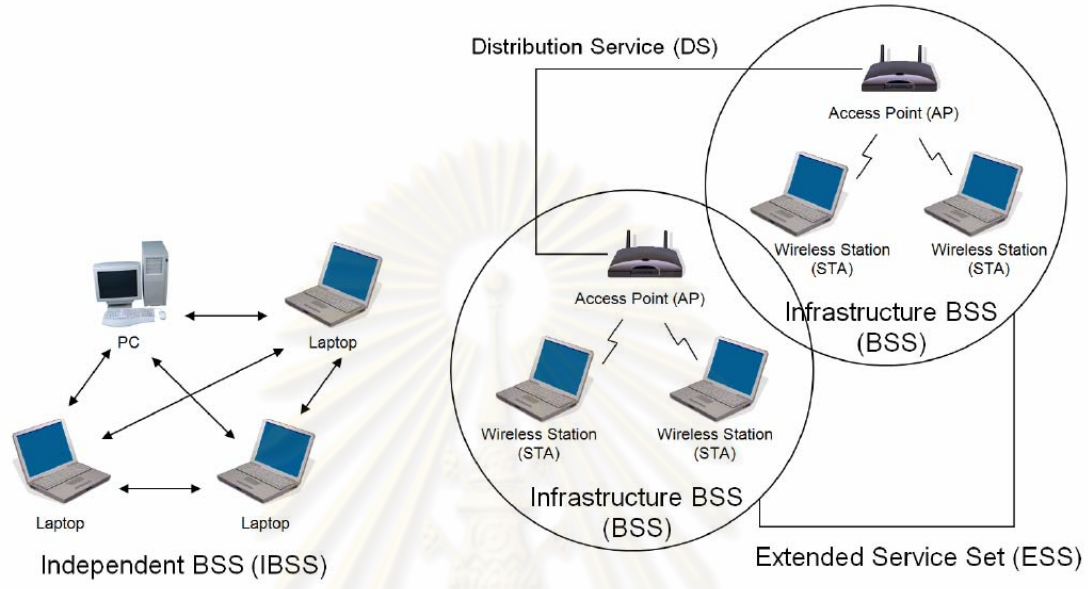
รูปที่ 2.5 มาตรฐานต่างๆของ IEEE ใน DSRC [17]

ความแตกต่างของ IEEE 802.11P และมาตรฐาน IEEE 802.11 อื่น ๆ

ระดับ MAC Layer

โดยปกติในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายในมาตรฐาน IEEE 802.11 ตัวอื่นๆจะประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ คือ กระบวนการของ Basic Service Set (BSS) ซึ่ง Access Point (AP) จะใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนจากคลื่นวิทยุที่ไม่เกี่ยวข้องได้ และโดยมี Extended Service Set ที่รวม BSS ใดๆเป็นแบบ Logical Link Control (LLC) หรือ IBSS (Independent

BSS) ซึ่งใช้ในการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก แต่ขั้นตอนในการทำงานที่ใช้เวลามากเกินไป ตั้งแต่การ Beacon Message ของ AP จนถึงขั้นตอนการยืนยันตัวตนและเชื่อมต่อ จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในรถยนต์ที่มีเวลาในการเชื่อมต่อสั้นมากๆ และเหตุการณ์ฉุกเฉินที่เวลามีความสำคัญต่อความปลอดภัย



รูปที่ 2.6 Independent Basic Service Set และ Extended Service Set [17]

ดังนั้นในการทำงานของ IEEE 802.11p จึงมีการทำงาน เรียกว่า “WAVE mode” ซึ่งอนุญาตให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยค่าของ BSSID เป็น “*” โดยที่ไม่จำเป็นต้องอยู่ใน BSS ใดๆ นั่นหมายความว่ารถยนต์สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้โดยตรงทันที เมื่ออยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน

การทำงานอีกรูปแบบหนึ่งเรียกว่า “WAVE BSS” (WBSS) โดยขั้นตอนการแพร่ Beacon Message ของ WAVE AP จะทำงานใน WAVE mode โดยมีข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับผู้รับในการเป็นสมาชิก WBSS นั้น ดังนั้นขั้นตอนในการเข้าร่วม WBSS จะสามารถทำได้โดยการโต้ตอบแค่ครั้งเดียวเท่านั้น

โหนดที่ทำงานใน WAVE mode จะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกของ WBSS แต่จะไม่สามารถเข้าร่วมเป็นสมาชิก BSS หรือ IBSS ได้ และไม่สามารถกระทำขั้นตอนการยืนยันตัวตนและเริ่มการเชื่อมต่อของ MAC ได้

ระดับ Physical Layer

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในระดับ MAC ที่สามารถเปลี่ยนแปลงผ่านการปรับปรุงซอฟท์แวร์ได้ ดังนั้นในระดับ PHY จึงมีการจำกัดให้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยหลีกเลี่ยงการ

เปลี่ยนการทำงานทั้งหมดของระบบเครือข่ายไร้สาย จึงเลือกใช้มาตรฐาน IEEE 802.11a เป็นมาตรฐานในการพัฒนา ซึ่งมีความกว้างช่องสัญญาณ 20 MHz เป็น 10 MHz และใช้ความถี่ที่ 5.9 GHz แต่ความสามารถในการรับส่งและสัญญาณมีสัญญาณรบกวนได้น้อยตามที่มาตรฐาน IEEE 802.11p กำหนดนั้น [17] มองว่าเป็นเรื่องท้าทายของผู้ผลิตอุปกรณ์ว่าจะสามารถทำได้ตามมาตรฐานหรือไม่

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบมาตรฐาน IEEE 802.11 ต่างๆ

IEEE	Release[23]	Frequency (GHz)	Bandwidth (MHz)	Data Rate (Mbps)	Modulation	Outdoor Distance (m.)
802.11a	Sep. 1999	5	20	54	OFDM	120
802.11b	Sep. 1999	2.4	20	11	DSSS	140
802.11g	Sep. 2003	2.4	20	54	OFDM,DSSS	140
802.11n	Oct. 2009	2.4/5	20/40	72.2/150	OFDM	250
802.11p	In progress, IEEE-SA Sponsors Ballots (Last Schedule, Nov. 2010)	5.9	10	6-27	OFDM (doubling 802.11a parameter)	Up to 1000

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่พัฒนาการแพร่ข้อมูลแบบเชื่อถือได้บนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับรถยนต์มักจะถูกพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบ Store-and-Forward คือ โหนดที่ได้รับข้อความจะเก็บข้อความไว้จนกระทั่งข้อความนั้นหมดอายุ โดยโหนดอาจจะส่งต่อข้อความทันที หรือเก็บข้อความนั้นไว้ เพื่อแพร่ข้อความให้แก่โหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อความในเวลาต่อมา มีงานวิจัยที่ออกแบบวิธีการแพร่ข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับรถยนต์ที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

PGB : Prefer Group Broadcast [6] เป็นขั้นตอนวิธีในการแพร่ข้อมูลสำหรับยานพาหนะเพื่อลดการเกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณในบริเวณที่มีความหนาแน่นสูง เช่น บริเวณสี่แยกที่มีไฟสัญญาณจราจร เป็นต้น PGB ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของการแพร่ข้อความ RREQ ของ AODV ที่เกิดการชนสูง เนื่องจากใช้การแพร่แบบ Simple

Flooding ที่ทุกโหนดจะส่งข้อความต่อทันที โดยไม่ใช้ข้อมูลใดๆในการตัดสินใจสำหรับการส่งต่อข้อความ และส่งผลให้ AODV มีประสิทธิภาพลดลงมาก การทำงานของ PGB โหนดจะใช้ระดับสัญญาณของโหนดเพื่อนบ้านในการคำนวณค่าเวลารอ โดยโหนดที่อยู่ห่างจากโหนดต้นทาง (Source) มากกว่าจะมีเวลารอสั้นกว่า ดังนั้นโหนดที่จะแพร่ต่อมาจึงมักจะเป็นโหนดที่บริเวณขอบของวงการแพร่ PGB จึงสามารถลดจำนวนข้อความ RREQ ได้เป็นจำนวนมาก แต่การทำงานของ PGB ยังไม่มีประสิทธิภาพในบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อย และ PGB ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการแพร่ RREQ ซึ่งไม่สนับสนุนการทำงานที่ต้องการการแพร่ข้อมูลความเชื่อถือได้

EAEP : Edge-Aware Epidemic Protocol [10] เป็นโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ มีลักษณะการทำงานแบบ Store-and-Forward หลักการทำงาน คือ เมื่อโหนดได้รับข้อความใหม่ โหนดจะคำนวณเวลารอโดยใช้ระยะทางจากตัวมันถึงผู้ส่ง ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลตำแหน่งของโหนดจากจีพีเอส โหนดที่มีเวลารอสั้นที่สุดคือโหนดบริเวณขอบของความกว้างสัญญาณของตัวส่ง ในขณะที่อยู่ในช่วงเวลาที่คอยโหนดจะทำการนับจำนวนครั้งที่มีการส่งต่อข้อความจากเพื่อนบ้าน เมื่อหมดเวลารอโหนดจะนับจำนวนครั้งที่เพื่อนบ้านส่งข้อความมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อความนั้นต่อ จากหลักการทำงาน EAEP ไม่สามารถทำงานได้บนสภาพแวดล้อมที่มีปัญหาการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) ได้ดี กรณีที่มีโหนดเพื่อนบ้านใหม่เข้ามาบริเวณที่มีการส่งข้อความเสร็จสิ้นแล้ว จะทำให้โหนดเพื่อนบ้านใหม่นั้นไม่ได้รับการส่งข้อความใหม่

การใช้ความน่าจะเป็นมาคำนวณว่าควรมีการส่งต่อข้อความนั้นหรือไม่ย่อมจะทำให้เกิดการส่งข้อความซ้ำมากกว่าหนึ่งครั้งในบริเวณเดียวกันได้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง นอกจากนี้จาก [10] พบว่า EAEP สามารถกำหนดทิศทางในการแพร่ข้อมูล อีกทั้งยังรองรับการแพร่ข้อมูลอิสระจากความสามารถในการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ แต่เป็นการทดลองเพียงในสภาพแวดล้อมที่เป็นถนนทางหลวงเท่านั้น จึงอาจจะสรุปได้ว่า EAEP ถูกออกแบบเพื่อทำงานบนถนนทางหลวง หรืออาจจะทำงานได้ไม่ดีบนถนนในเมือง เมื่อพิจารณาถึงผลการทดลอง [10] EAEP สามารถทำงานได้ดีกว่า Simple Flooding มากทั้งทางด้านความเชื่อถือได้ และประสิทธิภาพ แต่ใช้เวลาในการแพร่ข้อมูลให้กับรถยนต์ส่วนใหญ่บนถนนทางหลวงถึง 30 วินาที ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานกับบริการที่ต้องการความเร็ว และแม่นยำของข้อมูลสูง

DV-Cast : Distributed Vehicular Broadcast Protocol for Vehicular Ad-Hoc Networks [13] เป็นวิธีการแพร่ที่ออกแบบเพื่อให้แพร่ข้อมูลให้กับรถในบริเวณหนึ่งๆให้ได้รับมากที่สุด ตัวอย่างเช่นเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น โหนดต้องการส่งข้อความเตือนไปยังโหนดทั้งหมดที่ตามหลังเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร การทำงานจะอาศัยข้อมูลจีพีเอส และ Beacon Message เพื่อให้โหนดทราบถึงข้อมูลของตำแหน่งและทิศทางของโหนดเพื่อนบ้าน การทำงานจะแบ่งออกเป็นสามกรณี คือ 1) กรณีที่มีโหนดตามหลังที่อยู่ในระยะเชื่อมต่อ จะใช้การแพร่โดยตั้งเวลา

รอ โหนดที่อยู่บริเวณขอบของการแพร่จะมีเวลารอที่สั้นกว่า 2) กรณีที่ไม่พบโหนดตามหลังแต่มีโหนดที่วิ่งในทิศทางตรงข้าม โหนดจะแพร่ข้อความให้กับโหนดในทิศตรงข้ามทันที เพื่อให้โหนดนั้นเก็บข้อความและส่งต่อให้โหนดที่ตามหลังโหนดต้น (Source) ที่มีระยะห่างมากกว่าระยะสัญญาณ 3) กรณีที่ไม่พบโหนดใด โหนดจะเก็บข้อความนั้นไว้จนกว่าจะพบโหนดเพื่อนบ้านใหม่ การส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่โหนดนั้นคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างโหนดกับโหนดแพร่ก่อนหน้า (Source/Precursor Node) และค่าความน่าจะเป็นจะลดลงเมื่อได้ยินการแพร่จากโหนดเพื่อนบ้าน

จากหลักการทำงานจะพบว่า DV-Cast มีการทำงานแบบ store-and-forward และมีการทำงานที่คล้ายคลึงกับการทำงานของ EAEP ซึ่งใช้ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจการแพร่ข้อมูลของโหนด แต่มีการใช้ Beacon Message เพื่อทราบตำแหน่งและทิศทางของโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งทำให้การแพร่มีโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น แต่เนื่องจากการออกแบบที่เน้นให้มีการส่งข้อความแบบทิศเดียวมากกว่าทั้งสองทิศพร้อมกัน และโหนดไม่ทราบข้อมูลของข้อความที่เพื่อนบ้านมีจึงทำให้เกิดปัญหาในกรณีที่มีการขาดการเชื่อมต่อเป็นเวลานานได้เช่นเดียวกับ EAEP

AckPBSM : Acknowledge Parameterless Broadcast in Static to Highly Mobile Ad-Hoc Networks [11] เป็นอีกหนึ่งโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะที่ทำงานโดยใช้หลักการ Store-and-Forward ลักษณะการทำงานของ AckPBSM ในทุกๆช่วงเวลาหนึ่งโหนดจะมีการส่ง Beacon Message ให้กับโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งภายในจะประกอบด้วยตำแหน่งของโหนด และการตอบรับ (Acknowledgement) ของข้อความที่โหนดเพื่อนบ้านนั้นได้รับทั้งหมด ตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้าง Connected Dominating Sets (CDS) ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้ระยะห่างระหว่างแต่ละโหนด และความสามารถในการรับส่งสัญญาณ [12] ทำให้โหนดทราบได้ว่าตนเองอยู่ภายในกลุ่มของ CDS หรือไม่ ซึ่ง CDS จะเป็นกลุ่มของโหนดที่ต้องการให้มีการส่งต่อข้อมูลมากกว่า เมื่อมีการแพร่ข้อมูล ทุกโหนดจะมีการตั้งเวลารอโดยที่คำนวณจากจำนวนของเพื่อนบ้านที่อยู่รอบโหนดนั้น ซึ่งโหนดที่อยู่ใน CDS จะมีสมการในการคำนวณเวลาให้ได้ค่าที่น้อยกว่าเสมอ ในกรณีที่เมื่อหมดเวลารอ โหนดจะตรวจจะตรวจสอบว่ายังมีเพื่อนบ้านที่ไม่ได้รับข้อความหรือไม่ ในกรณีที่โหนดได้รับการตอบรับ (ACK) จากโหนดเพื่อนบ้านทุกโหนด โหนดนั้นจะไม่ทำการส่งข้อมูลต่อ ซึ่งจะสามารถลดจำนวนการส่งข้อความในแต่ละครั้งที่มีการแพร่ได้ แต่ในกรณีที่มีเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อความก็จะมีการส่งต่อให้ตามปกติ จากงานวิจัย AckPBSM สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นการจราจรทั้งบนทางหลวงและถนนในเมืองได้ดีกว่า PBSM และ DV-CAST [13] ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ

แต่เนื่องจากการทำงานของ AckPBSM ใช้การคำนวณเวลาจากจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเพื่อส่งข้อมูลต่อ ดังนั้นกรณีโหนดที่โหนดใน CDS เหมือนกัน หรือแม้แต่ไม่เป็นโหนดใน

CDS เหมือนกันแต่อยู่ในบริเวณเดียวกัน ย่อมมีโอกาสที่จะมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเท่ากัน และทำให้เวลาที่คำนวณได้มีค่าเท่ากัน ส่งผลให้มีการแพร่ข้อความนั้นพร้อมๆกัน เกิดการแพร่ซ้ำซ้อนที่บริเวณเดียวกันจำนวนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของ AckPBSM จึงลดลงมาก

เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยที่กล่าวมา สามารถสรุปการหลักทำงานของโพรโทคอลได้ตามตารางที่ 2.2 ซึ่งโพรโทคอลทั้งหมดการแพร่ข้อมูลแต่ละครั้งจำเป็นจะต้องมีการตั้งเวลารอเพื่อเก็บข้อมูลหรือคอยฟังโหนดเพื่อนบ้าน ดังนั้นการแพร่แต่ละครั้งจึงใช้ระยะเวลามากขึ้น เวลาที่โหนดในพื้นที่ทั้งหมดจะได้รับข้อความจะขึ้นอยู่กับเวลารอที่ใช้ในการแพร่แต่ละครั้งและจำนวน hop ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลโดยที่มีการกำหนดผู้ส่งไว้ล่วงหน้า สามารถทำให้การส่งต่อข้อความทำได้ทันที และลดจำนวนการแพร่ซ้ำในบริเวณการส่งเดียวกันได้

นอกเหนือจากการจัดการที่ระดับ Network Layer แล้วยังมีงานวิจัยที่พัฒนาการแพร่ข้อมูลที่มีขนาดเล็ก เช่นการแพร่ Beacon Message ให้กับเพื่อนบ้าน ในระดับ MAC Layer [19] งานวิจัยนี้สนใจเวลาที่ถูกใช้ไป และสนใจค่าใช้จ่าย (Overhead) ที่เกิดขึ้นขณะที่รถยนต์มีการแพร่ Beacon Message จำนวนมากเข้าสู่เครือข่าย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบขนาดของ Packet ในการทำ CTS และ RTS ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 [15] และ Beacon Message จะได้ความแตกต่างขนาดของข้อมูลไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการนำข้อมูลใน Beacon Message แนบเข้าไปกับ Packet ของ CTS และ RTS เพื่อลดปริมาณการส่งข้อความที่เกิดขึ้นในระบบ จึงเป็นวิธีการการส่งข้อมูลของ Beacon Message ที่น่าสนใจ และนำมาใช้ร่วมกันการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ที่มักจะมีการใช้งาน Beacon Message อยู่แล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

	PGB [6]	EAEP[10]	DV-CAST[13]	AckPBSM[11]	DECA	POCA
ตัวแปรในการพิจารณาโหนดส่งต่อ (forwarder node)	บริเวณของขอบการแพร่ข้อมูล	บริเวณของขอบการแพร่ข้อมูล	บริเวณของขอบการแพร่ข้อมูล	บริเวณที่เป็นส่วนเชื่อมต่อของกลุ่ม (Connected Dominating Set :CDS)	บริเวณที่มีความหนาแน่นสูง	บริเวณของขอบการแพร่ข้อมูล
วิธีการเลือกโหนดส่งต่อ	ใช้การตั้งเวลารอ	ใช้การตั้งเวลารอและคำนวณค่าความน่าจะเป็น	ใช้การตั้งเวลารอและคำนวณค่าความน่าจะเป็น	ใช้การตั้งเวลารอ	โหนดต้นทาง หรือโหนดก่อนหน้าเป็นผู้เลือก	โหนดต้นทาง หรือโหนดก่อนหน้าเป็นผู้เลือก
เวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในการแพร่ข้อมูลแต่ละครั้ง	เวลารอ และเวลาการส่ง	เวลารอ และเวลาการส่ง	เวลารอ และเวลาการส่ง	เวลารอ และเวลาการส่ง	เวลาการส่ง (propagation delay)	เวลาการส่ง (propagation delay)
ความซับซ้อนในการคำนวณเพื่อเลือกโหนดส่งต่อ	O(1)	O(1)	O(1)	$O(n^3)$	O(n)	O(n)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับบนยานพาหนะ(ต่อ)

	PGB [6]	EAEP[10]	DV-CAST[13]	AckPBSM[11]	DECA	POCA
ค่าที่ใช้ในการคำนวณเวลารอ	ระดับของสัญญาณจาก RSSI	ระยะทางระหว่างโหนดและโหนดก่อนหน้า	ระยะทางระหว่างโหนดและโหนดก่อนหน้า	จำนวนของโหนดเพื่อนบ้าน	จำนวนของโหนดเพื่อนบ้าน	ระยะทางระหว่างโหนดและโหนดก่อนหน้า
การตั้งเวลารอจะถูกใช้เมื่อ	ทุกๆครั้งเมื่อมีการส่งต่อข้อมูล	ทุกๆครั้งเมื่อมีการส่งต่อข้อมูล	ทุกๆครั้งเมื่อมีการส่งต่อข้อมูล	ทุกๆครั้งเมื่อมีการส่งต่อข้อมูล	เฉพาะเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ	เฉพาะเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ
ช่วงเวลาในการแพร่ Beacon	ปรับช่วงเวลาตามความหนาแน่นของโหนด	-	ทุก 1 วินาที	ทุก 0.5 วินาที	ปรับช่วงเวลาตามความหนาแน่นของเครือข่าย (ทุก 1.5-7 วินาที)	ปรับช่วงเวลาตามความหนาแน่นของเครือข่าย (ทุก 1.5-7 วินาที)
ข้อมูลภายใน Beacon Message	ข้อมูลจีพีเอส	-	ข้อมูลจีพีเอส	ข้อมูลจีพีเอส และข้อความตอบรับ (Acknowledge Message)	จำนวนเพื่อนบ้านและข้อความตอบรับ (Acknowledge Message)	ข้อมูลจีพีเอส และข้อความตอบรับ (Acknowledge Message)
การรองรับเครือข่ายที่มีปัญหาขาดการเชื่อมต่อเป็นเวลานาน	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่	ใช่	ใช่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบโพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

การแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (Density-Aware Reliable Broadcasting Protocol on Vehicular Ad-Hoc Networks : DECA) ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 3 ประการ ดังนี้ 1) ความเชื่อถือได้ (Reliability) ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักในการทำงานของโพรโทคอล 2) ค่าใช้จ่าย (Overhead) ที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อมูล และการแพร่จาก beacon message ซึ่งมีผลต่อระบบสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกที่มีทรัพยากรอย่างจำกัด 3) ความเร็วในการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) ซึ่งยิ่งมีความเร็วสูงยิ่งทำให้ข้อมูลนั้นมีค่ามากขึ้น และส่งผลให้บริการในระดับผู้ใช้มีความแม่นยำมากขึ้น

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบสำหรับโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมีแนวคิดในการออกแบบดังนี้

1) รถยนต์มักจะจับตัวกันเป็นกลุ่มบนถนน ดังนั้นการเลือกโหนดที่มีเพื่อนบ้านรอบข้างสูงสุดในการแพร่ข้อมูล ย่อมจะทำให้ข้อมูลนั้นครอบคลุมจำนวนโหนดได้มากกว่าโหนดอื่นๆ และหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นจากการแพร่ซ้ำในบริเวณเดิมเพื่อครอบคลุมจำนวนโหนดที่เท่ากัน

2) ความเร็วในการแพร่ข้อมูลขึ้นอยู่กับเวลารอ (Waiting Timeout) ดังนั้นการหลีกเลี่ยงการใช้งานเวลารอให้น้อยที่สุดจะสามารถลดความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นในการแพร่แต่ละครั้งได้ ส่งผลให้การทำงานของโพรโทคอลทำงานได้เร็วขึ้น

3) โพรโทคอลสามารถทำงานได้อย่างยืดหยุ่นโดยใช้เพียงข้อมูลที่มีในการทำงานเท่านั้น ดังนั้นโพรโทคอลจะสามารถทำงานได้ดีแม้จะไม่มีข้อมูลทางด้านตำแหน่งและทิศทางหรือข้อมูลจากจีพีเอส

3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล

หลักการทำงานที่สำคัญของโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) Store-and-Forward : การทำงานแบบ Store-and-Forward เพื่อรองรับการทำงานในสภาพที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆที่เกิดขึ้นได้บ่อย โดยโหนดที่ได้รับข้อความจะเก็บข้อความนั้นไว้ในหน่วยความจำจนกว่าข้อความนั้นจะหมดอายุ โหนดที่เก็บข้อความสามารถส่งต่อข้อความนั้นให้แต่โหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อความนั้นได้

2) Beaconing with Adaptive Intervals : การใช้ Beacon Message ในการค้นพบเพื่อนบ้าน แลกเปลี่ยนข้อมูล และใช้ในการตรวจสอบหาข้อความที่ยังไม่ได้รับ โดยการแลกเปลี่ยน Beacon Message จะเกิดขึ้นภายในระยะสัญญาณการสื่อสารของโหนด (1-hop neighbor node) โดยระยะเวลาในการส่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความหนาแน่นของเครือข่ายขณะนั้น (Adaptive Beaconing Intervals)

3) Preferred Node Selection Algorithm : การให้โหนดต้นทางหรือโหนดก่อนหน้า (Source/Precursor Node) เป็นผู้กำหนดโหนดที่จะส่งต่อข้อความ โดยใส่หมายเลขเฉพาะของโหนด (Node ID) แนบไปกับข้อความที่ส่ง การเลือกโหนดส่งต่อจะเลือกจากโหนดที่มีความหนาแน่นบริเวณนั้นสูงที่สุด (จำนวนโหนดเพื่อนบ้านมีมากที่สุด) เพื่อลดจำนวนครั้งในการส่งต่อข้อความ หลีกเลี่ยงการส่งข้อความซ้ำในบริเวณเดิม และหลีกเลี่ยงการใช้เวลารอ

4) Waiting Timeout Calculation : โหนดจะใช้การตั้งเวลารอ (Waiting Time) แบบสุ่มสำหรับทุกโหนดที่ได้รับข้อความใหม่ที่ไม่ใช่โหนดที่ถูกเลือก กรณีที่โหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงานหรือมีโหนดที่เห็นแก่ตัวทำงานอยู่ในระบบ โหนดอื่นสามารถส่งต่อข้อความ และเลือกโหนดส่งต่อใหม่จากรายชื่อเพื่อนบ้านของโหนดนั้นๆเอง

3.2.1 การเก็บข้อมูลของโพรโทคอล

รถยนต์แต่ละคัน หรือโหนดจะเก็บข้อมูลสำคัญ 3 ชุด คือ ข้อมูลของเพื่อนบ้าน คิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อ และข้อความที่ยังไม่หมดอายุ

1) ข้อมูลของเพื่อนบ้านจะประกอบ ด้วยหมายเลขประจำตัวของโหนด ความหนาแน่นของโหนด เพื่อใช้ในการเลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อความ

2) คิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อ เป็นรายละเอียดของข้อความพร้อมทั้งเวลาที่จะส่งข้อความออกไป คิวนี้ใช้เพื่อรอเวลาที่ข้อความนั้นจะถูกส่งต่อ แต่ในกรณีที่โหนดได้ยินโหนดเพื่อนบ้านส่งข้อความนั้นก่อน ข้อความก็จะถูกลบออกจากคิว เพื่อลดจำนวนการส่งของข้อความเดิมในบริเวณเดียวกัน ซึ่งคิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อไม่ใช่หน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อความนั้นไว้จนกว่าข้อความนั้นหมดอายุ

3) ข้อความที่ยังไม่หมดอายุ จะถูกเก็บไว้ตามหลักการทำงานแบบ Store-and-Forward เพื่อใช้ในการส่งให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่รับข้อมูลกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง ข้อความจะถูกเก็บจนกว่าข้อความนั้นจะหมดอายุ

3.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing)

ข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านจะได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่าน Beacon Message ซึ่งข้อมูลที่จะมีการส่งผ่านไปพร้อมกับ Beacon Message ประกอบด้วย

- หมายเลขเฉพาะตัวของโหนด

- ความหนาแน่นของพื้นที่ในบริเวณของโหนด โดยในที่นี้จะใช้จำนวนของเพื่อนบ้าน เป็นข้อมูลที่ใช้ในการเลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อมูล โหนดที่มีความหนาแน่นสูงสุดจะถูกเลือก

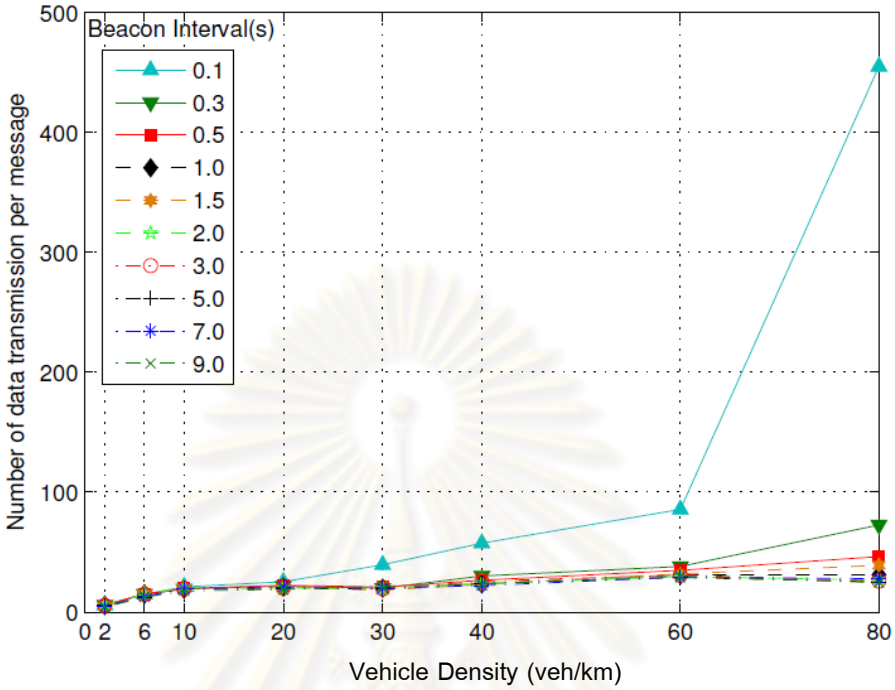
- รายการของข้อความที่ได้รับ ประกอบด้วยโหนดที่แพร่ข้อความ และหมายเลขเฉพาะของข้อความ ใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อความที่ยังไม่ได้รับหรือไม่ รายการของความที่ได้รับจะไม่ถูกเก็บลงในข้อมูลเพื่อนบ้าน เมื่อทำการตรวจสอบเสร็จจะถูกลบออก

การแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อนบ้านผ่านการทำ Beacon เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย (Overhead) ให้กับการทำงานของโพรโทคอล ในปกติการส่ง Beacon Message จะเป็นเวลาคงที่ เช่น ทุกหนึ่งวินาทีหรือ 1 Hz. ซึ่งหากพิจารณาถึงความสำคัญในการทำงานของโพรโทคอลแล้ว การแลกเปลี่ยน Beacon Message เกิดขึ้นเพื่อค้นหาโหนดเพื่อนบ้านในบริเวณการสื่อสาร ในกรณีที่มีความหนาแน่นของโหนดน้อย การทำ Beacon จำเป็นจะต้องมีความถี่สูงเพื่อให้สามารถพบเพื่อนบ้านได้เร็วที่สุด และในการกรณีที่มีความหนาแน่นสูงการทำ Beacon ที่ความถี่สูงจะก่อให้เกิดปัญหาการชน และส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลได้ ดังเช่นในกราฟรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงว่าการทำ Beacon ที่ความถี่สูง แม้ว่าจะทำให้โพรโทคอลมีข้อมูลที่ทันสมัยตลอดเวลา แต่ส่งผลเสียต่อการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ปัญหาการชนการของข้อมูล ทำให้มีจำนวนการส่งต่อข้อความสูงขึ้นเมื่อเทียบกับความถี่ที่ต่ำกว่า

ดังนั้นการเลือกใช้ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำ Beacon สำหรับความหนาแน่นของเครือข่ายในแต่ละพื้นที่สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของโพรโทคอลได้ โดยที่ความน่าเชื่อถือจากการแพร่ของโพรโทคอลยังมีค่าเท่าเดิม สามารถแบ่งความหนาแน่นของเครือข่ายที่เกิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ความหนาแน่นของโหนด หากมีจำนวนโหนดหนาแน่น ในบริเวณนั้นจะมีจำนวน Beacon Message จำนวนมาก ซึ่งเพิ่มโอกาสที่จะเกิดปัญหาการชนกัน

2) จำนวนของข้อความที่มีการแพร่ ในบริเวณที่มีการแพร่ข้อความสูง ย่อมทำให้จำนวนการใช้ทรัพยากรในพื้นที่มีสูง ซึ่งเพิ่มโอกาสที่จะเกิดปัญหาการชนเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงจำนวนการส่งข้อความที่ช่วงเวลาการทำ Beacon ต่างๆกัน

ความหนาแน่นที่จะเกิดขึ้นในการจราจรของเครือข่ายจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโหนด และจำนวนของข้อความที่มีในระบบ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการแสดงค่าความหนาแน่นของเครือข่ายได้ดังสมการที่ (1) โดยให้ d คือ ความหนาแน่นของเครือข่าย n คือ จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน m คือ จำนวนของข้อความในระบบ, w_1 และ w_2 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความในระบบตามลำดับ

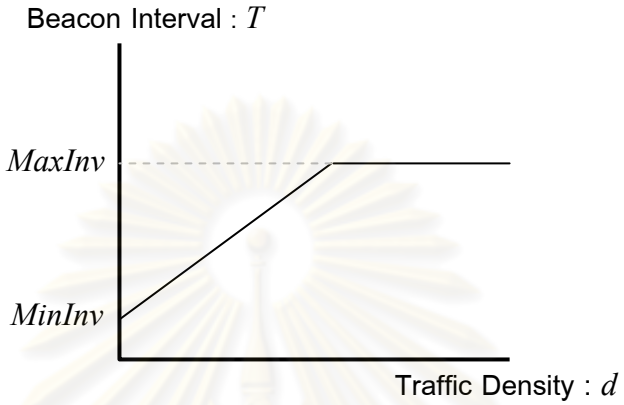
$$d = (w_1 \times n) + (w_2 \times m) \qquad (1)$$

ช่วงเวลาสำหรับการส่ง Beacon Message ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของเครือข่าย (Adaptive Beacon Interval) สามารถใช้สมการเชิงเส้นอย่างง่ายมาใช้ในการคำนวณค่าที่เหมาะสมโดยใช้ค่าความหนาแน่นของเครือข่ายเป็นตัวกำหนด และมีการกำหนดช่วงเวลาสั้นสุดและยาวสุด เพื่อให้โพรโทคอลยังสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสมรรถภาพคงเดิม เรียกการคำนวณช่วงเวลาแบบนี้ว่า การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (Linear Adaptive Algorithm: LIA)

การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) สามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (2) โดย T คือ ช่วงเวลาสำหรับการทำ Beacon ครั้งถัดไป $MinInv$ คือ ช่วงเวลาสั้นสุด c เป็นค่าคงที่ในการเพิ่มช่วงเวลา d ความหนาแน่นของเครือข่าย และ $MaxInv$ คือ ช่วงเวลายาวสุด

สามารถนำมาเขียนกราฟได้ตามรูปที่ 3.2 การคำนวณช่วงเวลาจะทำหลังจากมีการแพร่ Beacon Message ไปแล้ว และจะใช้ช่วงเวลาที่คำนวณได้เป็นเวลาที่จะทำ Beacon ในครั้งถัดไป

$$T = min(MinInv + (c \times d), MaxInv) \quad (2)$$



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น

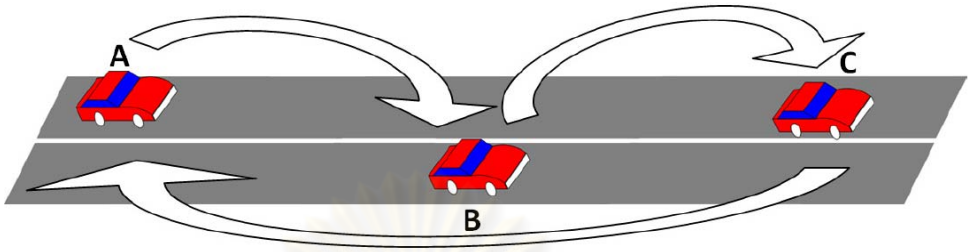
3.2.3 การเลือกโหนดส่งต่อข้อความ (Preferred Node Selection Algorithm)

การทำงานเมื่อเริ่มการแพร่ข้อความ โหนดที่เริ่มต้นการแพร่จะเลือกโหนดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดจากข้อมูลเพื่อนบ้านที่เก็บไว้ จากนั้นจึงแนบหมายเลขของโหนดนั้นพร้อมกับส่งข้อความออกไป โดยโหนดที่ได้รับข้อความนั้นแล้วพบว่าตัวเองเป็นโหนดที่ถูกเลือก ก็จะทำการเลือกโหนดที่ความหนาแน่นสูงสุดจากรายชื่อของตัวเอง แล้วแนบหมายเลขของโหนดนั้นลงไปกับข้อความก่อนส่งข้อความออกไป ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นจนกว่ารถยนต์ในบริเวณได้รับข้อความนั้นทั้งหมด หรือข้อความนั้นหมดอายุ

การเลือกโหนดที่จะส่งข้อความต่อนั้น จะเลือกโหนดที่มีความหนาแน่นสูงสุด โดยที่โหนดนั้นจะไม่ใช่โหนดที่ส่งข้อความก่อนหน้า (Precursor Node) และโหนดที่ถูกเลือกจะทำงานก็ต่อเมื่อโหนดนั้นไม่เคยได้รับข้อความมาก่อน เพื่อป้องกันการเลือกโหนดวนซ้ำเดิม ดังเช่นในรูปที่ 3.3 ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีนี้ที่ใช้ข้อมูลความหนาแน่นเท่านั้น เนื่องจากโหนดจะไม่ทราบตำแหน่งของเพื่อนบ้านในการเลือก และไม่เก็บข้อมูลว่าโหนดเพื่อนบ้านมีข้อความใดที่ได้รับแล้ว

รูปที่ 3.3 ปัญหาการเลือกซ้ำ เกิดขึ้นโดย A เลือกโหนด B เป็นโหนดที่ส่งต่อข้อมูล จากนั้น B จึงเลือกโหนด C เป็นโหนดที่มีความหนาแน่นสูงสุดที่ไม่ใช่โหนดที่ส่งก่อนหน้า (Precursor Node) แต่เมื่อ C ทำการเลือกโหนดในข้อมูลเพื่อนบ้าน ซึ่งหากมี A อยู่ A จะเป็นโหนดที่ถูกเลือกโดยที่ A เป็นโหนดที่มีความหนาแน่นสูงสุดและ A ไม่ใช่โหนดที่มีการส่งข้อมูล

ก่อนหน้า ในกรณีนี้การทำงานของโพรโทคอลจะไม่ให้ A ส่งข้อมูลซ้ำ ซึ่งจะเกิดความสูญเปล่าในการส่งข้อความเดิมในบริเวณที่โหนดได้รับข้อความแล้ว แต่จะให้โหนดที่ได้รับข้อความนั้นเป็นครั้งแรกซ่อมแซมการส่งข้อความแทน จะไม่เกิดปัญหานี้หากโพรโทคอลทำงานร่วมกับข้อมูลจีพีเอส



รูปที่ 3.3 ปัญหาการเลือกโหนดส่งต่อแบบวนซ้ำ

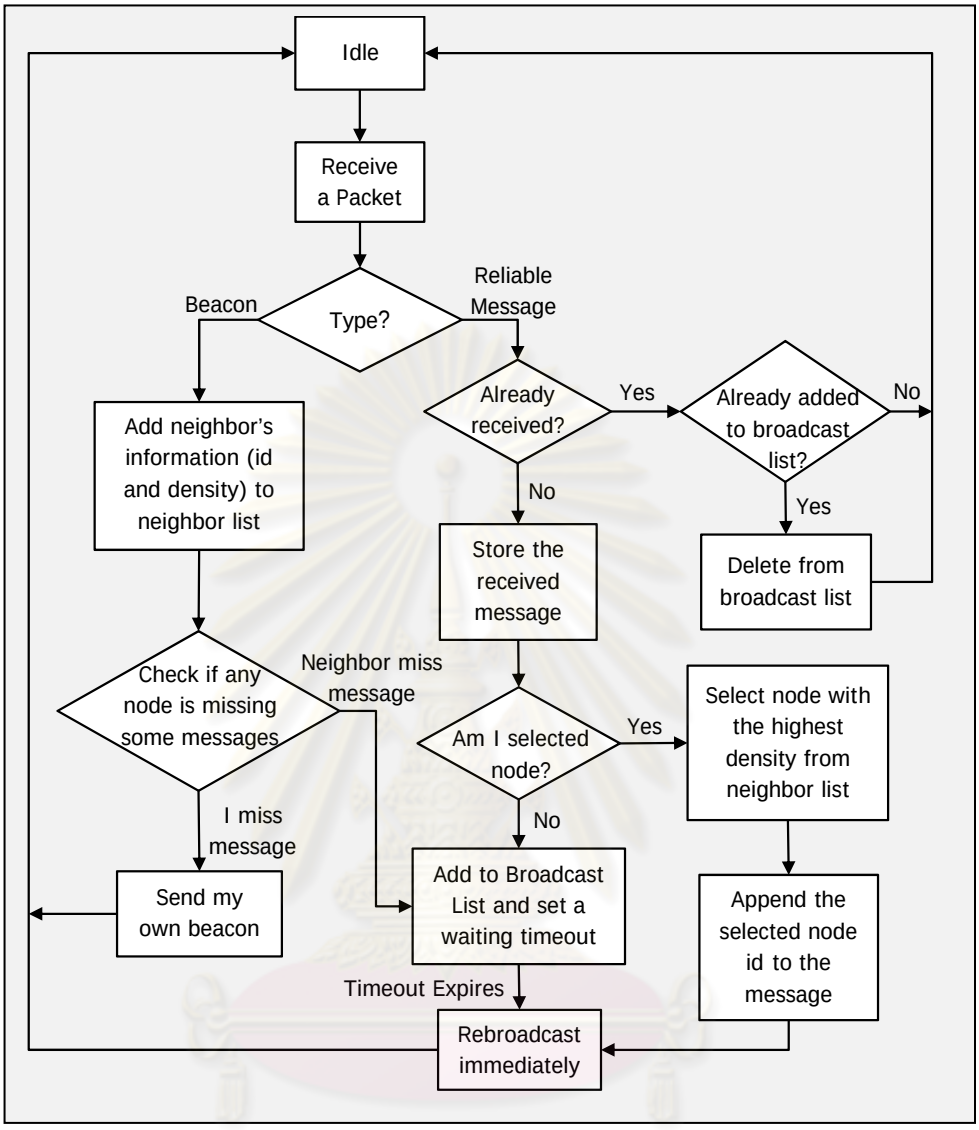
การซ่อมแซมการส่งข้อความเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงานตามที่กำหนด เกิดขึ้นได้เมื่อโหนดที่ถูกเลือกได้รับข้อความนั้นแล้วเช่นกรณีข้างต้น หรือเมื่อเกิดการชนทำให้โหนดที่ถูกเลือกไม่ได้รับข้อความนั้น หรือเกิดจากโหนดที่เห็นแก่ตัว ซึ่งได้รับข้อความแล้วไม่ทำการส่งข้อความนั้นต่อ กระบวนการซ่อมแซมนั้นจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่โหนดที่ไม่ใช่โหนดที่ถูกเลือกได้รับข้อความใหม่ โหนดจะตั้งเวลาเพื่อรอการส่งข้อความนั้นซ้ำอีกครั้ง ซึ่งหากมีการส่งข้อความนั้นซ้ำ ข้อความที่ถูกตั้งเวลาไว้จะถูกลบออกจากคิว แต่ในกรณีที่โหนดนั้นไม่ได้ยินการส่งข้อความซ้ำอีกครั้งจนกระทั่งเวลาที่ตั้งไว้หมด โหนดจะทำการส่งข้อความนั้นซ้ำอีกครั้ง พร้อมทั้งเลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อความใหม่จากข้อมูลเพื่อนบ้านที่มีอยู่ ซึ่งเมื่อโหนดหนึ่งได้ทำการซ่อมแซมโดยส่งต่อข้อความนั้นแล้ว โหนดอื่นๆที่อยู่ในบริเวณเดียวกันก็จะทำการลบข้อความนั้นออกจากคิว

เนื่องจากลักษณะเฉพาะของรถยนต์ที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆได้ ดังนั้นการใช้ Beacon Message จึงสามารถตรวจสอบได้เมื่อโหนดได้รับข้อความไม่ครบ โดยที่โหนดอื่นที่ได้รับ Beacon Message สามารถตรวจสอบได้ว่าข้อความแพร่ใดที่โหนดเพื่อนบ้านยังไม่ได้รับ รวมทั้งข้อความใดที่ตนเองยังไม่ได้รับเช่นกัน

- กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านได้รับข้อความไม่ครบ โหนดจะนำข้อความที่เก็บไว้ใส่ในคิวเพื่อรอการส่งต่อ และตั้งเวลาโดยการสุ่ม โหนดที่มีเวลารอน้อยที่สุดเท่านั้นจะทำการส่งข้อความให้โหนดเพื่อนบ้าน โหนดอื่นๆที่ได้ยินจะลบข้อความออกจากคิว ในการส่งข้อความในกรณีนี้โหนดที่ส่งข้อความจะไม่เลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อมูล เนื่องจากโหนดเพื่อนบ้านน่าจะมีข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านในบริเวณนั้นที่ดีกว่า

- กรณีที่โหนดพบว่าตนเองมีข้อความที่ขาดไป จะส่ง Beacon Message ทันที เพื่อขอรับข้อความจากโหนดที่มีข้อความที่ตนเองไม่มีอยู่ ก่อนที่โหนดนั้นจะหายไปจากบริเวณนั้น

การทำงานของโพรโทคอลสามารถสรุปได้ตามผังงานรูปที่ 3.4

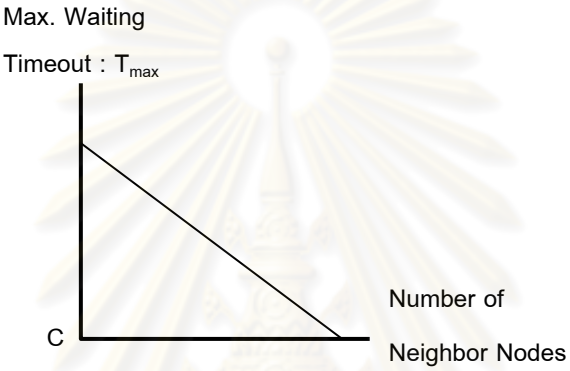


รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล DECA

3.2.4 การคำนวณเวลารอ (Waiting Timeout Calculation)

เมื่อโหนดได้รับข้อความใหม่ แต่พบว่าหมายเลขโหนดที่ถูกเลือกไม่ตรงกับตัวเอง โหนดนั้นจะตั้งเวลารอเพื่อคอยฟังโหนดที่จะส่งข้อความต่อ แต่ในกรณีที่ไม่มีโหนดใดแพร่ข้อความนั้น ซึ่งอาจจะเกิดได้ในกรณีโหนดที่ถูกเลือกเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเกิดความผิดพลาดในส่งข้อมูล หรืออาจจะเป็นเครือข่ายที่มีโหนดเห็นแก่ตัวอยู่ โหนดที่มีเวลารอสั้นสุดจะทำหน้าที่ส่งต่อข้อความนั้นแทน ดังนั้นระยะเวลาที่โหนดจะต้องรอนั้นจึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล คือ ในกรณีที่โหนดตั้งเวลารอนานเกินไปจะทำให้การแพร่ครั้งถัดไปช้าลงทำให้ความเร็วในการแพร่ลดลง หรือกรณีที่ตั้งเวลารอสั้นเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดการแพร่ซ้ำที่บริเวณเดียวกัน ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นได้

กรณีที่มีการใช้งานเวลารอ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ เมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงานดังที่กล่าวข้างต้น และกรณีที่โหนดเพื่อนบ้านมีข้อความที่ยังไม่ได้รับ ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีวิธีการคำนวณเวลาเช่นเดียวกัน เนื่องจากโหนดใน DECA ทราบข้อมูลของความหนาแน่น หรือจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น ดังนั้นหากโหนดที่มีจำนวนเพื่อนบ้านที่สุดทำการส่งต่อข้อมูล จะทำให้โอกาสในการแพร่ครั้งนั้นครอบคลุมโหนดจำนวนมากขึ้นด้วย ดังนั้นการคำนวณเวลารอสูงสุดจะคำนวณโดยให้โหนดที่มีเพื่อนบ้านจำนวนมากที่เวลารอสั้นที่สุด เพื่อป้องกันการแพร่ที่เวลาเดียวกันจึงใช้การสุ่มค่าในช่วง (C, Tmax] โดยที่ C มีค่าเป็นสองเท่าของค่าเวลาที่ใช้ในการส่ง (Propagation Delay) และ Tmax เป็นเวลารอสูงสุดที่คำนวณได้จากจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน สามารถอธิบายการคำนวณได้จากกราฟในรูปที่ 3.5

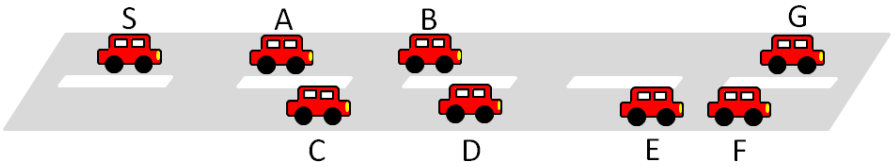


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุด

3.3 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล

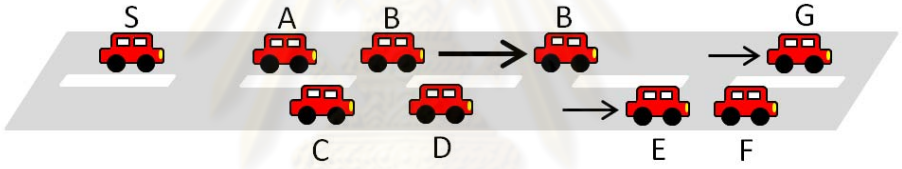
ในรูปที่ 3.6 เป็นการทำงานในลักษณะปกติ เมื่อโหนด S ต้องการเริ่มต้นแพร่ข้อมูลออกไป โหนด S มีโหนด A, B, C และ D เป็นโหนดเพื่อนบ้าน ในกรณีนี้ให้ D เป็นโหนดที่มีความหนาแน่นสูงสุด ดังนั้นในการแพร่ข้อความ S จึงเลือก D แนบไปกับข้อความ หลังจากการแพร่ข้อความของ S โหนด A, B, C และ D ได้รับข้อความพร้อมกัน เมื่อ D ได้รับข้อความ D ซึ่งทราบว่าตัวเองเป็นโหนดที่ถูกเลือกจะทำการส่งข้อมูลพร้อมทั้งเลือกโหนดส่งต่อข้อความต่อไป ซึ่งอาจจะเป็น E, F หรือ G

A, B และ C เมื่อได้รับข้อความแล้วพบว่าตนเองไม่ใช่โหนดที่ถูกเลือกจะนำข้อความใส่ลงในคิวและตั้งเวลา เพื่อรอการส่งต่อข้อความของ D ซึ่งในกรณีที่ D ไม่ได้ส่งต่อข้อความตามที่ S กำหนด A, B และ C จะทำการซ่อมแซม โดยโหนดที่มีเวลาในการคอยสั้นที่สุดจะเป็นผู้ส่งต่อข้อความ หาก B มีเวลารอสั้นสุด B จะทำการเลือกเพื่อนบ้านที่มีความหนาแน่นสูงสุด และส่งต่อข้อความ A และ C ที่ได้ยินการส่งต่อของ B จะลบข้อความนั้นออกจากคิว



รูปที่ 3.6 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อแบบปกติ

ในรูปที่ 3.7 แสดงการทำงานในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) ในกรณีนี้สมมติให้ E, F และ G อยู่ห่างออกไปจากระยะสัญญาณสื่อสารของ D เมื่อ S เป็นโหนดเริ่มต้นการแพร่ข้อความ และ D ถูกเลือก จากนั้น D จะเลือกโหนดส่งต่อถัดไป ซึ่งอาจจะเป็น A, B และ C ซึ่งในกรณีนี้ A, B และ C จะไม่ส่งข้อความต่อ เนื่องจากโหนดเหล่านี้ได้รับข้อความนั้นแล้ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป B แซง C และ D ทำให้พบกับรถยนต์บริเวณด้านหน้าซึ่งคือ E, F และ G หลังจากได้รับ Beacon Message B จะทราบว่าทั้ง 3 โหนดได้รับข้อความไม่ครบถ้วน B จะส่งต่อข้อความแต่ไม่ระบุโหนดส่งต่อ เนื่องจากว่าในพื้นที่ใหม่นั้น E, F และ G น่าจะมีข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านที่ดีกว่า B ดังนั้นหลังจากที่ E, F และ G ได้รับข้อความก็จะตั้งเวลา โหนดที่มีเวลาสั้นสุดก็จะเลือกโหนดที่จะส่งต่อถัดไป แทนที่การเลือกของ B



รูปที่ 3.7 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบโพรโทคอลสำหรับการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่ง สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

การแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่งสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (Position-Aware Reliable Broadcasting Protocol on Vehicular Ad-Hoc Networks : POCA) ถูกพัฒนาขึ้นจากขั้นตอนการทำงานของการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (DECA) แต่ใช้ข้อมูลตำแหน่ง และทิศทางทดแทน นอกจากนี้ยังพัฒนาส่วนการทำงานหลักให้โพรโทคอลสามารถทำงานโดยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีพื้นฐานการทำงานที่คำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 3 ประการเช่นเดิม 1) ความเชื่อถือได้ (Reliability) 2) ค่าใช้จ่าย (Overhead) และ 3) ความเร็วในการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination)

4.1 แนวคิดในการออกแบบ

การออกแบบสำหรับโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่งสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (POCA) มีแนวคิดในการออกแบบดังนี้

1) ระยะการเชื่อมต่อสูงสุดของโหนดจะมีค่ามากกว่าความกว้างของถนน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำงานในมาตรฐาน IEEE 802.11P ที่มีระยะการเชื่อมต่อสูงสุดที่ประมาณ 1 กิโลเมตร ดังนั้นความกว้างของถนนจึงไม่ใช่อุปสรรคในการแพร่ของมูล การออกแบบโพรโทคอลหากสามารถทำให้โหนดที่ส่งต่อแต่ละครั้งอยู่บริเวณขอบของวงการแพร่ จะสามารถเพิ่มความเร็วในการทำงาน และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อมูลได้

2) ความเร็วในการแพร่ข้อมูลขึ้นอยู่กับเวลารอ (Waiting Timeout) โดยหากทราบข้อมูลของตำแหน่งจะสามารถคำนวณเวลารอที่เหมาะสมได้ จึงจะสามารถใช้ลดเวลารอโดยรวมของระบบได้ อีกทั้งหากหลีกเลี่ยงการใช้งานเวลารอให้น้อยที่สุดดังเช่นการออกแบบของ DECA จะสามารถลดความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นในการแพร่แต่ละครั้งได้มากขึ้น ส่งผลให้การทำงานของโพรโทคอลทำงานได้เร็วขึ้น

3) เนื่องจาก POCA ต้องการเพิ่มความเร็วของโพรโทคอลให้ถึงขีดสุด จึงใช้ข้อมูลด้านตำแหน่ง และทิศทาง (ข้อมูลจากจีพีเอส) จึงมีความยืดหยุ่นในการทำงานน้อยกว่า DECA และมีค่าใช้จ่างสูงขึ้น แต่จะให้สมรรถนะที่เพิ่มขึ้น

4.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล

หลักการทำงานที่สำคัญของโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่งสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (POCA) เหมือนดังเช่นส่วนประกอบหลักของโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (DECA) ซึ่งจะกล่าวถึงความแตกต่างภายในของการทำงานหลักในแต่ละส่วน

1) Store-and-Forward : ใช้การทำงานแบบ Store-and-Forward เพื่อรองรับการทำงานในสภาพที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วง ๆที่เกิดขึ้นได้บ่อยในสภาพการทำงานบนรถยนต์เช่นเดียวกับ DECA

2) Beaconing with Adaptive Intervals : POCA ใช้ Beacon ที่ระยะเวลาในการส่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความหนาแน่นของโหนด และความหนาแน่นของเครือข่ายขณะนั้น (Adaptive Beaconing Intervals) โดยเพิ่มความซับซ้อนของฟังก์ชั่นในการคำนวณมากกว่าที่ใช้ใน DECA

3) Preferred Node Selection Algorithm : การให้โหนดต้นทางหรือโหนดก่อนหน้า (Source/Precursor Node) เป็นผู้กำหนดโหนดที่จะส่งต่อข้อความ โดยเลือกจากโหนดที่อยู่ในบริเวณที่ต้องการ (Preferred Distance) ซึ่งจะอยู่บริเวณขอบของการแพร่ เพื่อลดจำนวนครั้งการแพร่ข้อมูลในการครอบคลุมตามความยาวของถนนที่เท่ากัน

4) Waiting Timeout Calculation : POCA จะใช้เวลารอโดยคำนวณจากระยะห่างระหว่างโหนด ซึ่งจะแตกต่างกันในกรณีที่มีการรับข้อความใหม่จากโหนดอื่น และในกรณีที่พบเพื่อนบ้านไม่ได้รับข้อความ ซึ่งจะสามารถลดเวลารอได้มากกว่าแบบสุ่มใน DECA เนื่องจากมีข้อมูลในการทำงานมากกว่า

4.2.1 การเก็บข้อมูลของโพรโทคอล

รถยนต์แต่ละคัน หรือโหนดจะเก็บข้อมูลสำคัญ 3 ชุด คือ ข้อมูลของเพื่อนบ้าน คิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อ และข้อความที่ยังไม่หมดอายุ

1) ข้อมูลของเพื่อนบ้านจะประกอบ ด้วยหมายเลขประจำตัวของโหนด ความหนาแน่นของโหนด หรือตำแหน่งของโหนดกรณีมีการใช้งานจีพีเอส ใช้ในการเลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อความ

2) คิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อ เป็นรายละเอียดของข้อความพร้อมทั้งเวลาที่จะส่งข้อความออกไป คิวนี้ใช้เพื่อรอเวลาที่ข้อความนั้นจะถูกส่งต่อ แต่ในกรณีที่โหนดได้ยินโหนด

เพื่อนบ้านส่งข้อความนั้นก่อน ข้อความก็จะถูกลบออกจากคิว เพื่อลดจำนวนการส่งของข้อความเดิมในบริเวณเดียวกัน ซึ่งคิวของข้อความที่จะถูกส่งต่อไม่ใช่หน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อความนั้นไว้จนกว่าข้อความนั้นหมดอายุ

3) ข้อความที่ยังไม่หมดอายุ จะถูกเก็บไว้ตามหลักการทำงานแบบ Store-and-Forward เพื่อใช้ในการส่งให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่ยังไม่รับข้อมูลกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง ข้อความจะถูกเก็บจนกระทั่งหมดอายุ

4.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing)

ข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านจะได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่าน Beacon Message ซึ่งข้อมูลที่จะมีการส่งผ่านไปพร้อมกับ Beacon Message ประกอบด้วย

- หมายเลขเฉพาะตัวของโหนด

- ตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็วของโหนด (ข้อมูลจากจีพีเอส)

- รายการของข้อความที่ได้รับ ประกอบด้วยโหนดที่แพร่ข้อความ และหมายเลขเฉพาะข้อความ ใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีข้อความที่ยังไม่ได้รับหรือไม่ รายการของความที่ได้รับจะไม่ถูกเก็บลงในข้อมูลเพื่อนบ้าน เมื่อทำการตรวจสอบเสร็จจะถูกลบออก

เนื่องจากช่วงเวลาการทำ Beacon ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทำงานโพรโทคอลที่เกิดจาก ดังที่กล่าวในการออกแบบของ DECA (3.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน) ดังนั้นการทำ Beacon ใน POCA จึงใช้ช่วงเวลาการทำ Beacon ที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของเครือข่าย ซึ่งความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโหนด และจำนวนของข้อความที่มีการแพร่

ความหนาแน่นจะคำนวณได้ตามสมการเดียวกับ DECA ดังสมการที่ (1) โดยให้ d คือ ความหนาแน่นของเครือข่าย n คือ จำนวนโหนดเพื่อนบ้าน m คือ จำนวนของข้อความในระบบ w_1 และ w_2 คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนของข้อความในระบบตามลำดับ

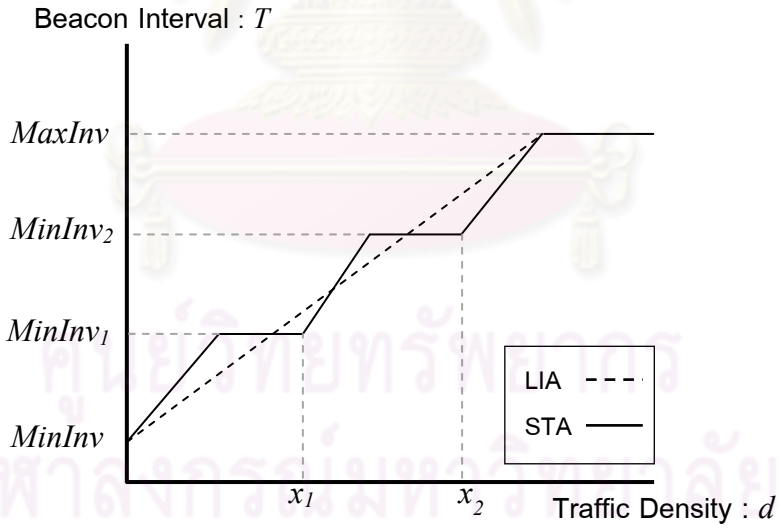
$$d = (w_1 \times n) + (w_2 \times m) \quad (1)$$

การคำนวณช่วงเวลาสำหรับการทำ Beacon ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของเครือข่าย (Adaptive Beacon Interval) ใน POCA จะมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยแบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆที่เหมาะสมสำหรับความหนาแน่นของเครือข่ายในแต่ละแบบ ลักษณะของกราฟความหนาแน่นจะมีลักษณะคล้ายขั้นบันไดจึงเรียกฟังก์ชันการคำนวณว่า การ

คำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (Step Adaptive Algorithm : STA) ในวิทยานิพนธ์นี้จะแบบขั้นการคำนวณออกเป็น 3 ขั้น คือ บริเวณที่มีความหนาแน่นสูง บริเวณที่มีความหนาแน่นปานกลาง และบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากความหนาแน่นของเครือข่ายที่แตกต่างกันจะมีค่าความชันที่เหมาะสมของฟังก์ชั่นแตกต่างกันด้วย โดยการแบ่งออกเป็นขั้น จะสามารถหาค่าของช่วงเวลาที่เหมาะสม ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นและยังให้ค่าของความน่าเชื่อถือคงเดิม

การคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้นสามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (3) โดย T คือ ช่วงเวลาสำหรับการทำ Beacon ครั้งถัดไป $MinInv$ คือ ช่วงเวลาสั้นสุด c_1 , c_2, c_3 เป็นค่าคงที่ในการเพิ่มช่วงเวลาในแต่ละขั้น $MinInv_1$, $MinInv_2$ คือ ช่วงเวลาสั้นสุด เมื่อมีความหนาแน่นของเครือข่ายมากกว่า x_1 และ x_2 ตามลำดับ d คือ ความหนาแน่นของเครือข่าย และ $MaxInv$ คือ ช่วงเวลายาวสุด สามารถนำมาเขียนกราฟได้ตามรูปที่ 4.2 จากกราฟสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) และการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (STA)

$$T = \begin{cases} d \le x_1 & min(MinInv_1+(c_1 \times s), MinInv_2). \\ x_1 \le d \le x_2 & min(MinInv_2+(c_2 \times s), MinInv_3). \\ d > x_2 & min(MinInv_3+(c_3 \times s), MaxInv). \end{cases} \quad (3)$$



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น

4.2.3 การเลือกโหนดส่งต่อข้อความ (Preferred Node Selection Algorithm)

เมื่อมีโหนดต้องการแพร่ข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆในเครือข่าย โหนดต้นทาง (Source) จะเหลือโหนดที่อยู่ในระยะที่เหมาะสมกับระยะเชื่อมต่อของตน โดยมีค่าประมาณ 80% ของระยะเชื่อมต่อสูงสุด เพื่อให้โหนดถัดไปที่จะส่งต่อข้อความมีระยะที่ไกลจากโหนดต้นทางเพื่อลด

จำนวนครั้งที่จะต้องแพร่ข้อความเพื่อครอบคลุมความยาวของเส้นทางที่เท่ากัน นอกจากนี้การไม่เลือกโหนดที่บริเวณขอบสุด เนื่องจากบริเวณขอบของการแพร่อาจจะเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูล และลดความผิดพลาดจากการเลือกโหนดที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วสูงอย่างรถยนต์

ขั้นตอนการเลือกโหนด ก่อนการเลือกโหนด โหนดต้นทาง (Source) จะปรับปรุงตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านโดยการใช้ข้อมูลล่าสุดจาก Beacon Message ที่ได้รับจากเพื่อนบ้าน ซึ่งมีทั้งตำแหน่ง ความเร็ว ทิศทางและเวลาที่ได้รับ Beacon Message จากนั้นโหนดต้นทางจะเลือกโหนดประกอบด้วย 2 โหนดจากทางด้านหน้าและด้านหลัง แล้วแนบหมายเลขของโหนดนั้นพร้อมกับส่งข้อความออกไป โดยโหนดที่ได้รับข้อความนั้นแล้วพบว่าตัวเองเป็นโหนดที่ถูกเลือก ก็จะทำการเลือกโหนดที่อยู่ระยะที่เหมาะสมสูงสุดจากรายชื่อของตัวเอง แล้วแนบหมายเลขของโหนดนั้นลงไปกับข้อความก่อนส่งข้อความออกไป โดยจะเลือกโหนดถัดไปเพียงโหนดเดียวตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของข้อความ ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นจนกว่ารถยนต์ในบริเวณได้รับข้อความนั้นทั้งหมด หรือข้อความนั้นหมดอายุ

การเลือกโหนดที่จะส่งข้อความต่อนั้น จะเลือกโหนดที่อยู่ในระยะเชื่อมต่อ โดยที่โหนดนั้นจะไม่ใช่โหนดที่ส่งข้อความก่อนหน้า (Precursor Node) และโหนดที่ถูกเลือกจะทำงานก็ต่อเมื่อโหนดนั้นไม่เคยได้รับข้อความมาก่อน เพื่อป้องกันการเลือกโหนดวนซ้ำเดิม ซึ่งอาจจะเกิดได้กรณีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง แต่ก็เป็นกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ยาก เมื่อความหนาแน่นของโหนดมีมากพอจนไม่เกิดการเชื่อมต่อเป็นช่วง ความเร็วในการเดินทางของข้อความจะมากกว่าความเร็วการเดินทางของรถยนต์มาก ดังนั้นการเลือกโหนดย้อนกลับจึงเกิดขึ้นได้ยาก

การซ่อมแซมการแพร่ข้อความเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงานตามที่กำหนด เกิดขึ้นได้เมื่อโหนดที่ถูกเลือกได้รับข้อความนั้นแล้วเช่นกรณีข้างต้น หรือเมื่อเกิดการชนทำให้โหนดที่ถูกเลือกไม่ได้รับข้อความนั้น หรือเกิดจากโหนดที่เห็นแก่ตัว ซึ่งได้รับข้อความแล้วไม่ทำการส่งข้อความนั้นต่อ กระบวนการซ่อมแซมนั้นจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่โหนดที่ไม่ใช่โหนดที่ถูกเลือกได้รับข้อความใหม่ โหนดจะตั้งเวลาตามระยะทาง(รายละเอียดการคำนวณอยู่ในส่วนถัดไป) เพื่อรอการส่งข้อความนั้นซ้ำอีกครั้ง ซึ่งหากมีการส่งข้อความนั้นซ้ำ ข้อความที่ถูกตั้งเวลาไว้จะถูกลบออกจากคิว แต่ในกรณีที่โหนดนั้นไม่ได้ยินการส่งข้อความซ้ำอีกครั้งจนกระทั่งเวลาที่ตั้งไว้หมด โหนดจะทำการส่งข้อความนั้นซ้ำอีกครั้ง พร้อมทั้งเลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อความใหม่จากข้อมูลเพื่อนบ้านที่มีอยู่ ซึ่งเมื่อโหนดหนึ่งได้ทำการซ่อมแซมโดยส่งต่อข้อความนั้นแล้ว โหนดอื่นๆที่อยู่ในบริเวณเดียวกันก็จะทำการลบข้อความนั้นออกจากคิว

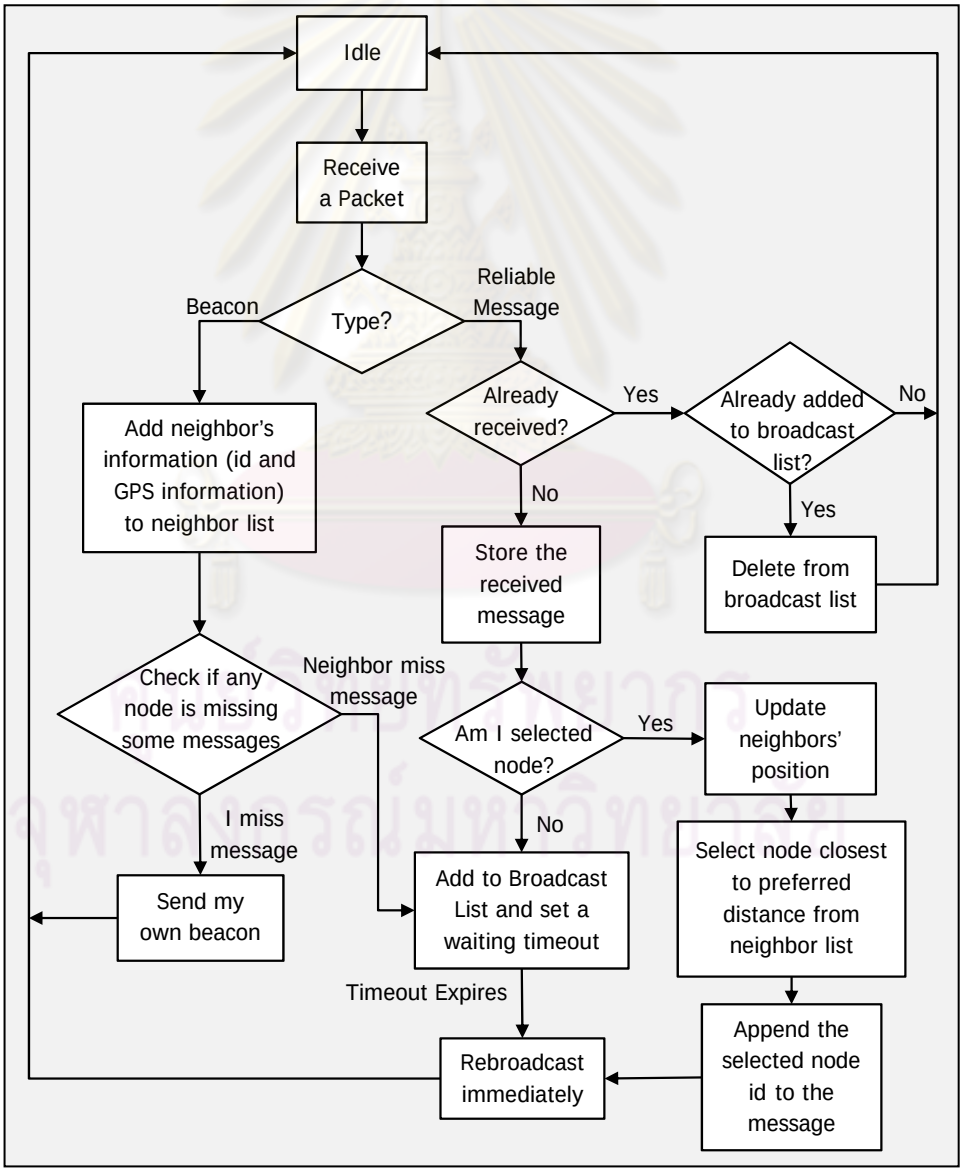
เนื่องจากลักษณะเฉพาะของรถยนต์ที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆได้ ดังนั้นการใช้ Beacon Message จึงสามารถตรวจสอบได้เมื่อโหนดได้รับข้อความไม่ครบ โดยที่โหนดอื่นที่

ได้รับ Beacon Message สามารถตรวจสอบได้ว่าข้อความแพร่ใดที่โหนดเพื่อนบ้านยังไม่ได้รับ รวมทั้งข้อความใดที่ตนเองยังไม่ได้รับเช่นกัน

- กรณีที่โหนดเพื่อนบ้านได้รับข้อความไม่ครบ โหนดจะนำข้อความที่เก็บไว้ใส่ในคิว เพื่อรอการส่งต่อ และตั้งเวลา โดยการตั้งเวลาจะกล่าวถึงอย่างละเอียดในส่วนถัดไป โหนดที่มีเวลารอน้อยที่สุดเท่านั้นจะทำการส่งข้อความให้โหนดเพื่อนบ้าน โหนดอื่นๆที่ได้ยินจะลบข้อความออกจากคิว ในการส่งข้อความในกรณีนี้ โหนดที่ส่งข้อความจะไม่เลือกโหนดที่จะส่งต่อข้อมูล เนื่องจากโหนดเพื่อนบ้านน่าจะมีข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านในบริเวณนั้นที่ดีกว่า

- กรณีที่โหนดพบว่าตนเองมีข้อความที่ขาดไป จะส่ง Beacon Message ทันที เพื่อขอรับข้อความจากโหนดที่มีข้อความที่ตนเองไม่มีอยู่ ก่อนที่โหนดนั้นจะหายไปจากบริเวณนั้น

การทำงานของโพรโทคอลสามารถสรุปได้ตามผังงานรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล POCA

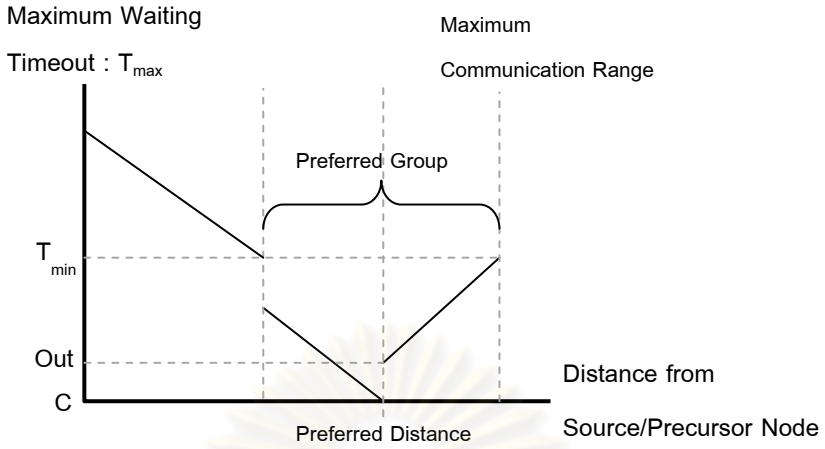
4.2.4 การคำนวณเวลารอ (Waiting Timeout Calculation)

การคำนวณเวลารอเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการลดเวลาในการทำงานโพรโทคอล และส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล ดังที่กล่าวในการออกแบบการทำงานของ DECA แต่เนื่องจาก POCA มีข้อมูลของตำแหน่งของโหนดในการทำงาน ดังนั้นการคำนวณเวลารอจึงมีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อนให้โพรโทคอลมีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดยแยกกรณีการคำนวณออกเป็น 2 กรณี คือ เมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน และกรณีที่โหนดเพื่อนบ้านมีข้อความที่ยังไม่ได้รับ ซึ่งทั้ง 2 กรณีมีวิธีการคำนวณเวลารอที่แตกต่างกันดังนี้

1) การคำนวณเวลารอเมื่อโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน

การตั้งเวลารอในกรณีนี้จะกระทำทันทีเมื่อโหนดได้รับข้อความใหม่ เพื่อให้การทำงานของโพรโทคอลสามารถทำได้ต่อเนื่องเมื่อมีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน ดังนั้นการตั้งเวลารอจำเป็นจะต้องให้มีระยะเวลาสั้นที่สุดเพื่อลดความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นกันโพรโทคอล โดยโหนดที่จะทำหน้าที่แทนควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับระยะของโหนดที่ถูกเลือกมากที่สุด โดยสามารถคำนวณระยะทางได้จากตำแหน่งของโหนดที่แนบมากับข้อความ ดังนั้นตำแหน่งของโหนดจึงนำมาใช้ในการคำนวณค่าเวลารอ โดยสามารถสรุปได้ดังกราฟในรูปที่ 4.3 ซึ่ง โหนดที่มีค่าห่างจากบริเวณที่โหนดต้องการ (Preferred Distance) ในช่วงหนึ่งจะถือว่าอยู่ในกลุ่มที่ต้องการมากกว่า(Preferred Group) จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มภายที่มีระยะห่างไม่เกินค่าระยะที่ต้องโหนดต้องการ ค่าของเวลารอจะถูกสุ่มให้มีค่าระหว่าง $(C,T_{max}]$ โดยที่ C คือ ค่าคงที่เป็นสองเท่าของเวลาที่ใช้ในการส่ง (Propagation Delay) และ T_{max} ได้จากการคำนวณ ค่าของโหนดที่อยู่ในกลุ่มแต่มีระยะห่างมากกว่าที่โหนดต้องการจะมีค่าเวลารอถูกสุ่มระหว่าง $(C+Out,T_{max}]$ การที่โหนดในกลุ่มนี้ถูกเพิ่มค่าขั้นต่ำ เนื่องจากโหนดใกล้บริเวณขอบของระยะเชื่อมต่อสูงสุดมีโอกาสที่จะได้รับข้อความที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนค่าของโหนดที่อยู่นอกกลุ่มจะมีเวลารอโดยสุ่มจาก $(T_{min},T_{max}]$ เพื่อให้โหนดที่อยู่ใกล้บริเวณของโหนดที่ถูกเลือกมีโอกาสทำงานแทนมากกว่า ตัวอย่างช่วงเวลาที่โหนดกลุ่มสุ่มได้ดังนี้ ให้ระยะการเชื่อมต่อสูงสุดมีค่า 250 เมตร ระยะที่ต้องการ (Preferred Distance) คือ 200 เมตร

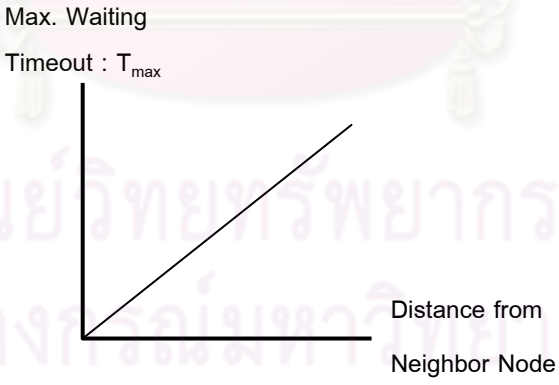
- โหนดในช่วงระยะที่โหนดก่อนหน้าต้องการ (Preferred Group) ระยะ 150-250 เมตร
  - โหนดที่มีระยะห่างน้อยกว่าระยะที่ต้องการ (150-200 เมตร) : $(C,T_{max}]$
  - โหนดที่มีระยะห่างน้อยกว่าระยะที่ต้องการ (200-250 เมตร) : $(C+Out,T_{max}]$
- โหนดนอกช่วงระยะที่โหนดก่อนหน้าต้องการ
  - โหนดที่มีระยะห่างระหว่าง 0-150 เมตร : $(T_{min},T_{max}]$



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุดกรณีโหนดที่ถูกเลือกไม่ทำงาน

2) การคำนวณเวลารอเมื่อโหนดเพื่อนบ้านมีข้อความที่ยังไม่ได้รับ

การคำนวณเวลารอในกรณีนี้เพื่อป้องกันโหนดที่จะพยายามส่งข้อความให้กับเพื่อนบ้านส่งพร้อมๆกัน แต่เพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านนั้นสามารถได้รับข้อความจากการส่งเพียงครั้งเดียว ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และความผิดพลาดจากการส่งข้อความ ดังนั้นโหนดที่อยู่ใกล้โหนดเพื่อนบ้านมากที่สุดจะเป็นโหนดที่ส่งข้อมูลให้ โดยการคำนวณเวลารอจะแปรผันตรงกันระยะทางระหว่างโหนดนั้นๆกับโหนดเพื่อนบ้าน ดังกราฟในรูปที่ 4.4 ค่าของเวลารอจะถูกสุ่มในช่วง (0,Tmax]



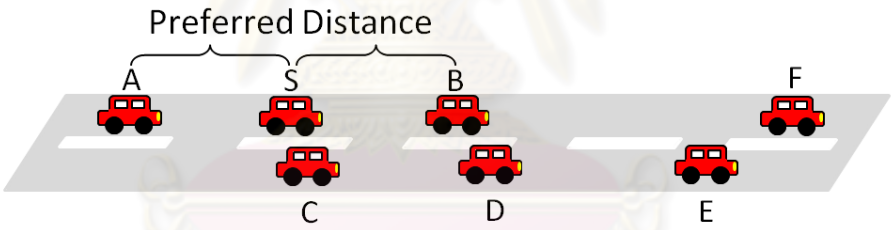
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการคำนวณเวลารอสูงสุดกรณีโหนดที่เพื่อนบ้านมีข้อความที่ยังไม่ได้รับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล

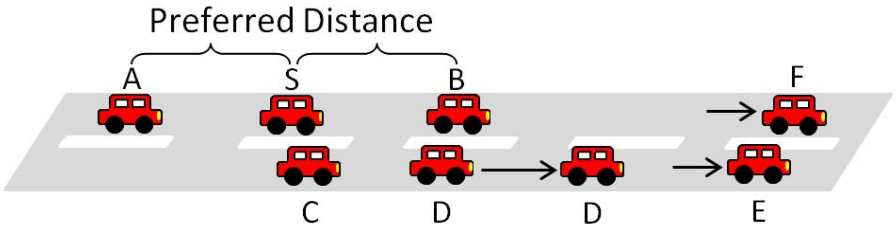
การทำงานของ POCA มีข้อแตกต่าง และส่วนเพิ่มเติมเพียงจาก DECA ดังตัวอย่างการทำงานต่อไปนี้ ในรูปที่ 4.4 เป็นการทำงานในลักษณะปกติ เมื่อโหนด S ต้องการเริ่มต้นแพร่ข้อมูลออกไป โหนด S มีโหนด A, B, C และ D เป็นโหนดเพื่อนบ้าน ในกรณีนี้ให้ A และ B เป็นโหนดที่อยู่ใกล้ระยะที่ S ต้องการมากที่สุด (Preferred Distance) ดังนั้นในการแพร่ข้อความ S จึงเลือก A และ B แนบไปกับข้อความ หลังจากการแพร่ข้อความของ S โหนด A, B, C และ D ได้รับข้อความพร้อมกัน เมื่อ A และ B ได้รับข้อความ A และ B ซึ่งทราบว่าตัวเองเป็นโหนดที่ถูกเลือกจะทำการส่งข้อมูลพร้อมทั้งเลือกโหนดส่งต่อข้อความต่อไป ในกรณีของ B โหนดเพื่อนบ้านที่จะถูกเลือกอาจจะเป็น E หรือ F

C และ D เมื่อได้รับข้อความแล้วพบว่าตนเองไม่ใช่โหนดที่ถูกเลือกจะนำข้อความใส่ลงในคิวและตั้งเวลา เพื่อรอการส่งต่อข้อความของ B ซึ่งในกรณีที่ B ไม่ได้ส่งต่อข้อความตามที่ S กำหนด C และ D จะทำการซ่อมแซม โดยโหนดที่มีเวลาในการรอสั้นที่สุดจะเป็นผู้ส่งต่อข้อความ ในกรณีนี้จะเป็น D เนื่องจาก D มีระยะทางใกล้ระยะที่ S ต้องการมากกว่า C จึงมีเวลารอสั้นกว่า C ดังนั้น B จะทำการเลือกเพื่อนบ้านที่ใกล้ระยะที่ต้องการมากที่สุด และส่งข้อความต่อ C ที่ได้ยินการส่งต่อของ B จะลบข้อความนั้นออกจากคิว



รูปที่ 4.5 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อแบบปกติ

ในรูปที่ 4.5 แสดงการทำงานในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ (Intermittent Connectivity) ในกรณีนี้สมมติให้ E และ F อยู่ห่างออกไปจากระยะสัญญาณสื่อสารของ B เมื่อ S เป็นโหนดเริ่มต้นการแพร่ข้อความ และ B ถูกเลือก จากนั้น B จะเลือกไม่โหนดส่งต่อถัดไป เนื่องจากไม่พบโหนดที่อยู่ด้านหน้าของตนในทิศทางการส่งข้อความ แต่เมื่อเวลาผ่านไป D แซง B ทำให้พบกับรถยนต์บริเวณด้านหน้าซึ่งคือ E และ F หลังจากได้รับ Beacon Message D จะทราบว่าทั้ง 2 โหนดได้รับข้อความไม่ครบถ้วน D จะส่งต่อข้อความแต่ไม่ระบุโหนดส่งต่อ เนื่องจากว่าในพื้นที่ใหม่นั้น E และ F น่าจะมีข้อมูลของโหนดเพื่อนบ้านที่ดีกว่า D ดังนั้นหลังจากที่ E และ F ได้รับข้อความก็จะตั้งเวลา F ที่มีระยะทางใกล้ระยะที่ D ต้องการมากกว่า E โหนด F จึงมีเวลารอสั้นที่สุดและเลือกโหนดที่จะส่งต่อถัดไปแทนที่การเลือกของ B



รูปที่ 4.6 ลักษณะของรถในการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์สมรรถนะของการแพร่ข้อความจากโพรโทคอล DECA และ POCA โดยเริ่มจากการกำหนดตัววัดสมรรถนะของระบบ (Performance Metrics) ในแต่ละด้าน คือ ความเชื่อถือได้ ค่าใช้จ่าย ความเร็วของการแพร่ข้อมูล และความสำเร็จในการเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อความต่อ กำหนดเครื่องมือ โปรแกรมจำลองที่ใช้ และสภาพแวดล้อมในการทดลอง ผลการการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะในแง่มุมต่างๆ คือ การทดสอบแบบหนึ่งข้อความ หลายข้อความพร้อมกัน และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งในการทดลองเหล่านี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างด้านสมรรถนะ และประสิทธิภาพระหว่างโพรโทคอลการแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบ DECA และ POCA กับโพรโทคอลอื่นๆ

5.1 ตัววัดสมรรถนะของโพรโทคอล (Performance Metrics)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลใน 4 ด้าน คือ

1) ความเชื่อถือได้ (Reliability) : วัตถุประสงค์หลักในการออกแบบโพรโทคอลคือสามารถส่งผ่านข้อมูลให้กับรถยนต์ในบริเวณพื้นที่หนึ่งหนึ่งให้ได้รับข้อมูลโดยที่มีความเชื่อถือได้ ดังนั้นค่าความเชื่อถือได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์จากจำนวนรถยนต์ที่ได้รับข้อความต่อจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในการทดลองแต่ละครั้ง ความเชื่อถือได้ที่สูงแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโพรโทคอล

2) ค่าใช้จ่าย (Overhead) ในการแพร่ข้อมูลโดยที่ยังมีความเชื่อถือสูงสุดย่อมมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า ดังนั้นในการทดลองจึงมีการนับจำนวนครั้งการส่งข้อความในการแพร่ข้อความซ้ำทั้งหมดเพื่อให้รถยนต์ทั้งหมดได้รับข้อความในช่วงเวลาที่กำหนด และจำนวนของ Beacon Message ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ค่าใช้จ่ายจะแสดงเป็นปริมาณของเครือข่ายที่ถูกใช้ในการทำงานต่อการแพร่หนึ่งข้อความ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอล

3) ความเร็วของการแพร่ข้อมูล (Speed of Data Dissemination) เนื่องจากการบริการที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับรถยนต์ในระบบจราจรอัจฉริยะ เช่น การหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ หรือการวางแผนการเดินทาง ซึ่งข้อมูลที่บริการเหล่านี้ใช้จำเป็นจะต้องเป็นข้อมูลที่ทันท่วงทีต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการแพร่ข้อมูลจึงจะต้องทำได้รวดเร็วพอที่จะให้ข้อความที่แพร่ออกไปยังมีประโยชน์ต่อระบบ ดังนั้นถ้าสามารถแพร่ข้อมูลได้รวดเร็วได้เท่าใดก็ยิ่งทำให้การแพร่ข้อมูลครั้งนั้นมีโอกาสนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มมากขึ้น

4) ความสำเร็จในการเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อความต่อ (Preferred Selection Success Rate) เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานของโพรโทคอล DECA และ POCA ขึ้นอยู่

กับความสำเร็จในการเลือกโหนดส่งต่อ การเลือกโหนดถัดไปจะสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อโหนดที่ถูกเลือกนั้นส่งต่อข้อความนั้นให้กับโหนดอื่นในระบบ ดังนั้นค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดที่จะส่งข้อความแสดงถึงความสามารถในการเลือกโหนดของโพรโทคอล

5.2 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอล

เนื่องจากโพรโทคอลถูกออกแบบเพื่อให้ทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นการจราจรของรถยนต์ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะมีการกำหนดการเคลื่อนไหวของรถยนต์บนถนน เพื่อให้ได้สภาพการทดลองในแต่ละโพรโทคอลที่เหมือนกัน นอกจากนี้การทดลองบนรถยนต์จริงยังต้องใช้งบประมาณที่สูง และไม่สามารถใช้โหนดจำนวนมากเพื่อทดลองได้ ดังนั้นในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลจึงใช้โปรแกรมจำลอง ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมจำลอง 2 ส่วน คือ

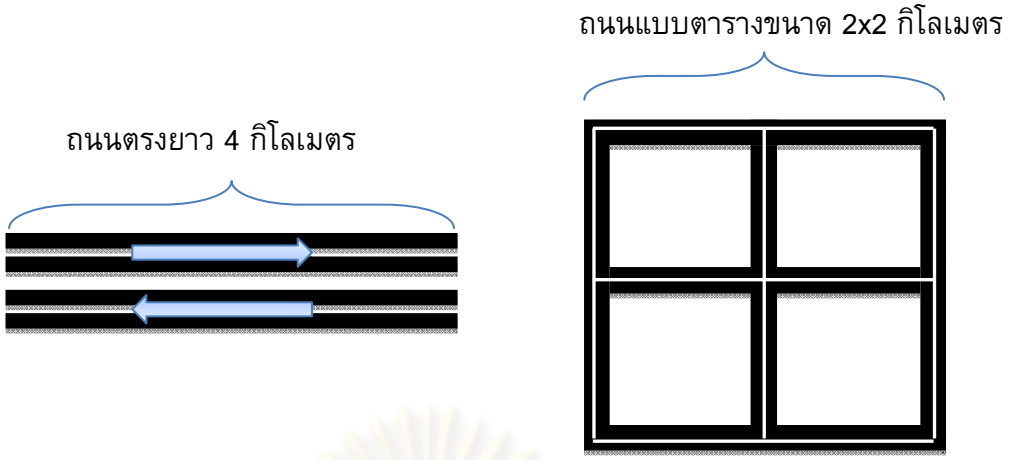
1) โปรแกรมจำลอง SUMO (Simulation of Urban Mobility) [20] ซึ่งจะจำลองพฤติกรรมเสมือนจริงของรถยนต์บนถนน สามารถกำหนดพฤติกรรมของรถยนต์ ความหนาแน่นของรถยนต์ และสามารถกำหนดลักษณะของถนนได้

2) โปรแกรมจำลอง NS-2.34 (Network Simulation) [21] เป็นโปรแกรมจำลองลักษณะการทำงานของเครือข่ายเสมือนจริง

ในการทดลองเริ่มต้นด้วยการจำลองพฤติกรรมของรถยนต์โดยใช้ SUMO สร้างพฤติกรรมการวิ่งของรถยนต์บนถนน จากนั้นจึงนำบันทึกการวิ่งของรถยนต์มาแปลงจากรูปแบบ XML เป็นรูปแบบ tcl ที่สามารถใช้ได้บนโปรแกรมจำลอง NS-2.34 โดยใช้โปรแกรม TraNS [22] ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ

5.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็นลักษณะของถนนทางหลวง และถนนในเมือง ถนนทางหลวงเป็นถนนทางตรงความยาว 4 กิโลเมตร มีช่องทางจราจรขนาด 4 ช่องทาง และถนนในเมืองเป็นถนนลักษณะตารางขนาด 2x2 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยสี่แยก 1 แยก และสามแยกจำนวน 4 แยก ทั้งหมดไม่มีไฟจราจร แต่ละแยกห่างกัน 1 กิโลเมตร มีช่องทางจราจรขนาด 2 ช่องทาง ความหนาแน่นของรถยนต์โดยเฉลี่ยถูกแบ่งออกเป็นความหนาแน่นขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 5.1 เพื่อทดสอบการทำงานของโพรโทคอล บนพฤติกรรมของรถยนต์ที่แตกต่างกันและผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของโพรโทคอล สภาพการจราจรถูกจำลองโดยใช้โปรแกรมจำลอง SUMO รุ่น 0.10.3 และบันทึกการวิ่งถูกแปลงรูปแบบโดยใช้โปรแกรม TraNS รุ่น 1.0



รูปที่ 5.1 ลักษณะถนนที่ใช้ในการทดลอง ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง

ในการทดลองใช้ NS-2.34 แต่ละครั้งจะมีข้อความที่ถูกแพร่จำนวน 1 ข้อความ ขนาด 512 ไบต์ ใช้ข้อความที่มีการกำหนดอายุ 10 วินาที ซึ่งหากข้อความหมดอายุจะสิ้นสุดการทดสอบครั้งนั้น และเก็บข้อมูลผลการทดลองทันที ทดลองระบบสื่อสารไร้สายของโหนดทำงานตามมาตรฐาน IEEE802.11 โดยที่มีการชนกันของสัญญาณตามปกติ มีระยะการเชื่อมต่อสูงสุดที่ 250 เมตร โพรโทคอลที่ใช้ในการเปรียบเทียบมี ดังนี้

- Simple Flooding (SF): วิธีการแพร่ข้อมูลแบบดั้งเดิมที่ไม่ต้องการข้อมูลในการทำงาน และสามารถแพร่ข้อมูลได้เร็วที่สุด

- Simple Flooding with Random Time of Rebroadcast (SFR) : วิธีการแพร่ข้อมูลเลียนแบบการทำงานของ SF แต่จะมีการหน่วงเวลาแบบสุ่มก่อนที่โหนดจะส่งต่อข้อมูลออกไป เพื่อจำลองลักษณะการทำงานของโพรโทคอลที่ใช้เทคนิค Store-and-Forward แบบง่ายๆ

- AckPBSM : โพรโทคอลการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ที่มีสมรรถนะดีที่สุดในงานวิจัยที่พบ ทำงานโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส ใช้เทคนิค Store-and-Forward และใช้ Beacon ในการทำงาน การตั้งค่าการทำงานเป็นไปตาม [11]

- DECA : การแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่นบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ ทำงานโดยไม่ใช้ข้อมูลจากจีพีเอส ใช้เทคนิค Store-and-Forward และใช้ Beacon ในการทำงาน

- POCA : การแพร่ที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกสำหรับยานพาหนะ ทำงานโดยใช้ข้อมูลจีพีเอส เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ใช้เทคนิค Store-and-Forward และใช้ Beacon ในการทำงาน

การทำ Beacon ของ DECA และ POCA คำนวณได้จาก LIA และ STA ตามลำดับ ซึ่งการปรับแต่งค่าเป็นไปตามความเหมาะสมของช่วงเวลาที่ได้จากผลการทดลองในโปรแกรมจำลอง ในภาคผนวก ก สำหรับ DECA และภาคผนวก ข สำหรับ POCA ซึ่งการปรับตั้งค่าข้างต้น และค่าอื่นๆที่กล่าวมาเป็นไปตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การตั้งค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	จำนวนครั้ง : 20 ครั้ง ผลการทดลองใช้ค่าเฉลี่ย ระยะเวลาในการทดลองต่อหนึ่งข้อความ : 20 วินาที
การสื่อสารไร้สาย	มาตรฐาน : IEEE802.11 ระยะเชื่อมต่อสูงสุด : 250 เมตร
สภาพการจราจร	ความหนาแน่นของรถยนต์ : 2, 6, 10, 20, 30, 40, 60, 80 คัน/กิโลเมตร ความเร็วสูงสุด : 50, 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
ข้อความ	อายุ : 10 วินาที ขนาด : 512 ไบต์
SFR	เวลารอสูงสุด : 2 วินาที
DECA	เวลารอสูงสุด : 0.2 วินาที ช่วงเวลาการทำบีคอน : LIA (ทุก 1.5-7 วินาที) c = 0.2, MinInv = 1.5, Maxine = 7
POCA	เวลารอสูงสุด : 0.3 วินาที ช่วงเวลาการทำบีคอน : STA (ทุก 1.5-7 วินาที) c_1 = 0.13, c_2 = 0.16, c_3 = 0.2 MinInv = 1.5, $MinInv_1$ = 2, $MinInv_2$ = 4, MaxInv = 7 x_1 = 5, x_2 = 20

5.4 ผลการทดลองค่าความเชื่อถือได้ของโพรโทคอล

- ค่าความเชื่อถือได้จากผลการทดลองบนถนนทางหลวง รูปที่ 5.2 ก)

เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นต่ำ (2-10 คัน/กิโลเมตร) DECA และ POCA สามารถแพร่ข้อมูลได้มากกว่าทุกโพรโทคอลที่นำมาเปรียบ โดยที่มีค่าความน่าเชื่อถือมากกว่าประมาณ 12.8% เนื่องจากโพรโทคอลทั้ง 2 พยายามที่จะแพร่ข้อมูลโดยไม่อาศัยการตั้งเวลารอซึ่งเพิ่มโอกาสในการแพร่ถึงรถยนต์ที่มีโอกาสพบกันเพียงแค่ครั้งเดียวในระยะเวลาสั้นๆได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ AckPBSM ที่มีความเชื่อถือได้ต่ำกว่า ส่วน SF และ SFR ที่ไม่ใช้ข้อมูลในการตัดสินใจ แต่ SFR จะให้สมรรถนะในการทำงานที่ดีกว่าเนื่องจากโหนดจะมีการหน่วงเวลาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งทำให้เพิ่มโอกาสส่งต่อให้กับโหนดเพื่อนบ้านอื่นๆ มากกว่า SF ที่จะแพร่

ข้อความทันทีที่ได้รับข้อความทันที ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของคุณสมบัติของโพรโทคอลแบบ Store-and-Forward

พิจารณาที่ความหนาแน่นปานกลาง (10-40 คัน/กิโลเมตร) DECA, POCA และ AckPBSM ที่ได้รับการออกแบบเพื่อทำงานบนรถยนต์สามารถทำการแพร่ได้ 100% ส่วน SFR ที่มีคุณสมบัติ Store-and-Forward แบบง่ายๆ สามารถทำงานได้ดีกว่า SF ประมาณ 5% ซึ่งที่ความหนาแน่นในระดับนี้ยังมีปัญหาการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆอยู่จึงทำให้ SF และ SFR ไม่สามารถให้ความเชื่อถือได้ที่ 100% แม้ว่า SFR จะมีการหน่วงเวลาในการส่งต่อข้อความแต่ก็ยังไม่เพียงในกรณีที่มีการขาดการเชื่อมเป็นเวลานาน

กรณีความหนาแน่นสูง (40-80 คัน/กิโลเมตร) ทุกโพรโทคอลสามารถทำงานได้ที่ความเชื่อถือได้ 100% ยกเว้น SF และ SFR ที่ความหนาแน่น 40 คัน/กิโลเมตร

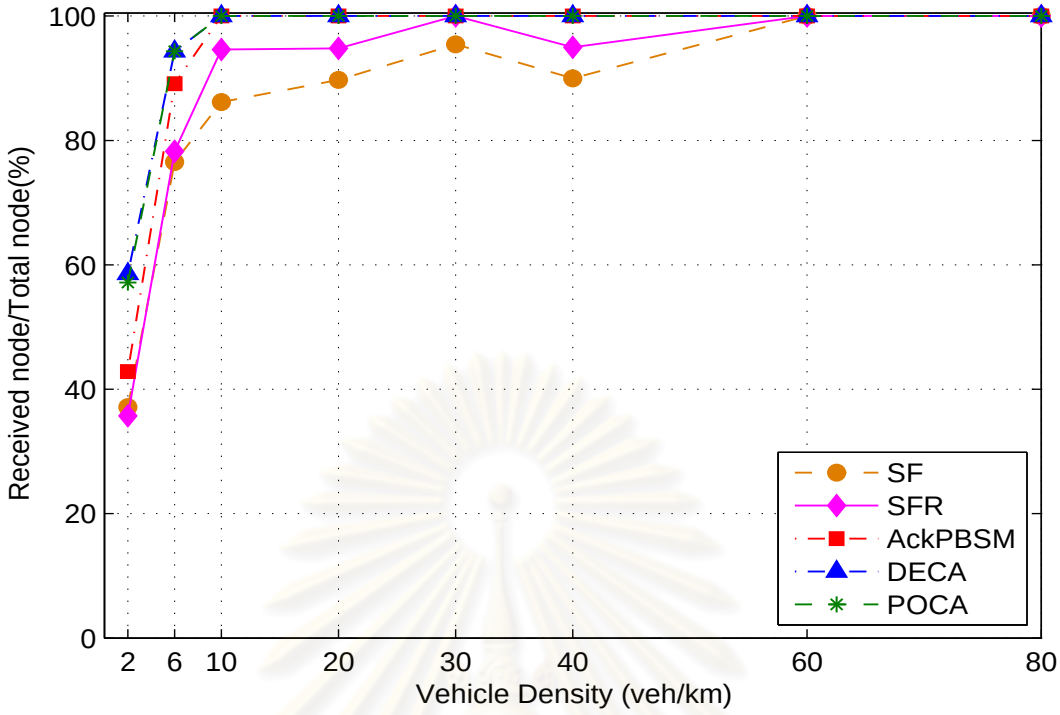
- ค่าความเชื่อถือได้จากผลการทดลองบนถนนในเมือง รูปที่ 5.2 ข)

เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นต่ำ (2-10 คัน/กิโลเมตร) เนื่องจากความซับซ้อนของถนนที่มากขึ้น ค่าความเชื่อถือได้ของทุกโพรโทคอลลดลง โดยที่ในระดับความหนาแน่นต่ำ DECA และ POCA สามารถแพร่ข้อมูลได้มากกว่าทุกโพรโทคอลเช่นเดียวกับการทดลองบนถนนทางหลวง

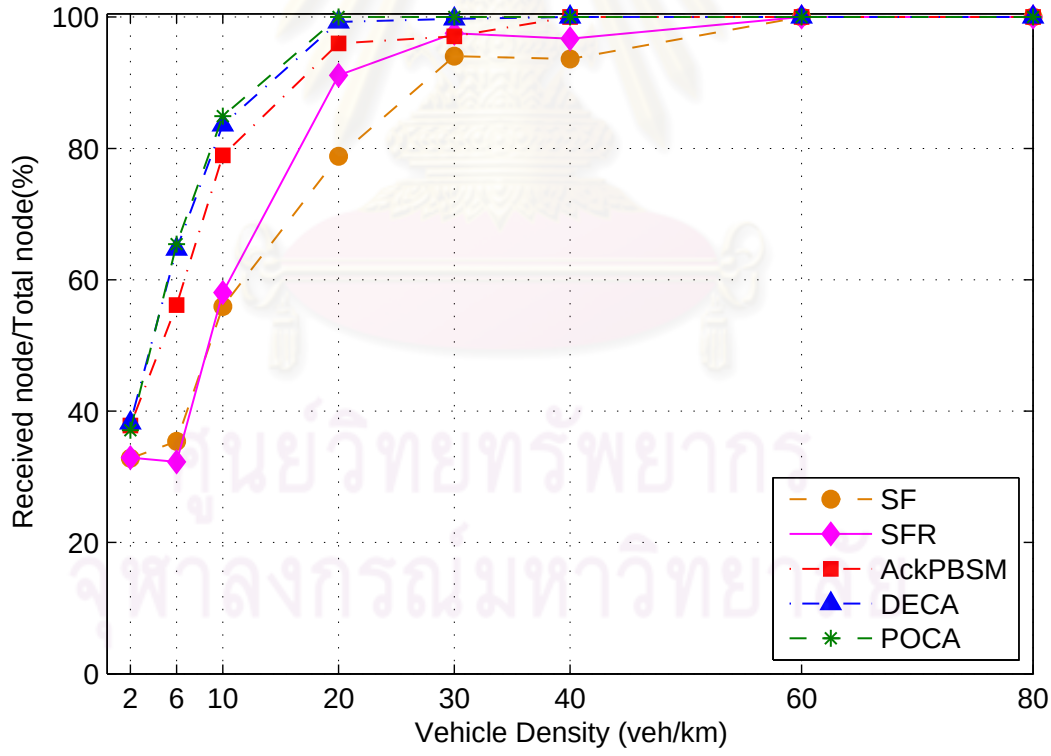
เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นปานกลาง (10-40 คัน/กิโลเมตร) DECA และ POCA เท่านั้นที่มีค่าความเชื่อถือถึง 100% AckPBSM ที่ใช้เวลารอทั้งการแพร่แบบปกติ และการแพร่เมื่อเจอเพื่อนบ้านใหม่ ซึ่งในบางกรณีโหนดที่แพร่ข้อความไม่ได้อยู่ใน CDS ทำให้การแพร่ช้าเกินไป และพลาดจากโหนดที่ต้องการส่งทำให้ค่าความเชื่อถือไม่ถึง 100% ส่วน SF และ SFR ก็มีปัญหากับการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆเช่นเดียวกับที่ความหนาแน่นต่ำ ซึ่ง SF และ SFR จะไม่ส่งต่อให้กับเพื่อนบ้านที่ยังไม่ได้รับข้อความได้ ซึ่งเป็นปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับโพรโทคอลอื่นๆที่ไม่มีสถานะภาพรับข้อความจากโหนดเพื่อนบ้าน

ที่ความหนาแน่นสูง (40-80 คัน/กิโลเมตร) ทุกโพรโทคอลสามารถทำงานได้ที่ความเชื่อถือได้ 100% ยกเว้น SF และ SFR ที่ความหนาแน่น 40 คัน/กิโลเมตร

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าความเชื่อถือได้ในการแพร่ข้อมูลของ DECA และ POCA เท่าเทียมกัน แม้ว่าจะมีใช้ข้อมูลในการทำงานที่แตกต่างกัน แต่ด้วยแนวคิดในการเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อมูลต่อโดยหลีกเลี่ยงการใช้เวลาคอม ทำให้โพรโทคอลทั้ง 2 มีความเชื่อถือได้ทั้งบนถนนทางหลวง และถนนในเมืองมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆ



ก)



ข)

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าความเชื่อถือได้จากการทดลองบน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง

5.5 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของโพรโทคอล

ผลค่าใช้จ่ายในการทำงานของโพรโทคอลยิ่งมีค่าน้อยยิ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอล โดยผลการทดลองบนถนนทางหลวง และถนนในเมืองในรูปที่ 5.3 ก) และข) ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาตามรูปกราฟจะสังเกตได้ว่าลักษณะค่าใช้จ่ายของทั้งการทดลองบนถนนทางหลวง และบนถนนในเมืองมีลักษณะสอดคล้อง สามารถนำมาพิจารณาแต่ละโพรโทคอลได้ดังนี้

โพรโทคอลที่มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสูงที่สุด คือ AckPBSM ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า SF และ SFR ประมาณ 2 เท่าที่ทุกระดับความหนาแน่นของรถ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็นส่วนที่เกิดจากการทำ Beacon ที่มีความถี่สูงถึง 2 ครั้ง/วินาที โดยเป็นจากการออกแบบที่มีการตรวจสอบการรับข้อความของเพื่อนบ้านก่อนจะมีการส่งข้อความต่อ ทำให้ต้องการการทำ Beacon ที่มีความถี่สูงเพื่อลดความล่าช้าในการทำงาน อีกทั้งภายใน Beacon มีข้อมูลจีพีเอสและข้อความตอบรับจากโหนดเพื่อนบ้าน (Acknowledge Message) ที่มีขนาดใหญ่ จึงทำให้ขนาดของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการทำ Beacon มีขนาดประมาณ 55% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด อีกส่วนหนึ่งคือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแพร่ข้อมูล ซึ่ง AckPBSM ใช้จำนวนโหนดเพื่อนบ้านในการคำนวณค่าเวลารอ ดังนั้นในบริเวณของถนนส่วนเดียวกัน โหนดในบริเวณนั้นก็จะมีจำนวนเพื่อนบ้านเท่ากันเช่นกัน ทำให้เกิดการแพร่ข้อมูลซ้ำในบริเวณเดียวกันเป็นจำนวนมาก แม้ว่าโหนดที่จะทำการแพร่ข้อมูลนั้นมาจากโหนดที่อยู่ใน CDS ถึง 70-80% และจากกราฟเมื่อพิจารณาเพียงแค่ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแพร่ AckPBSM จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า SF และ SFR เล็กน้อยในทุกๆความหนาแน่น

SF และ SFR ที่ไม่มีการทำ Beacon ค่าใช้จ่ายจึงเกิดจากการแพร่ข้อความซ้ำ ซึ่งโหนดทุกคนที่ได้รับข้อความใหม่จะแพร่ข้อความนั้นซ้ำอีกครั้ง ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจึงสูงและจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเชื่อถือได้ คือ ยิ่งมีรถยนต์ได้รับข้อความมากขึ้นก็จะยิ่งมีค่าใช้จ่ายได้การทำงานของโพรโทคอลมากขึ้น

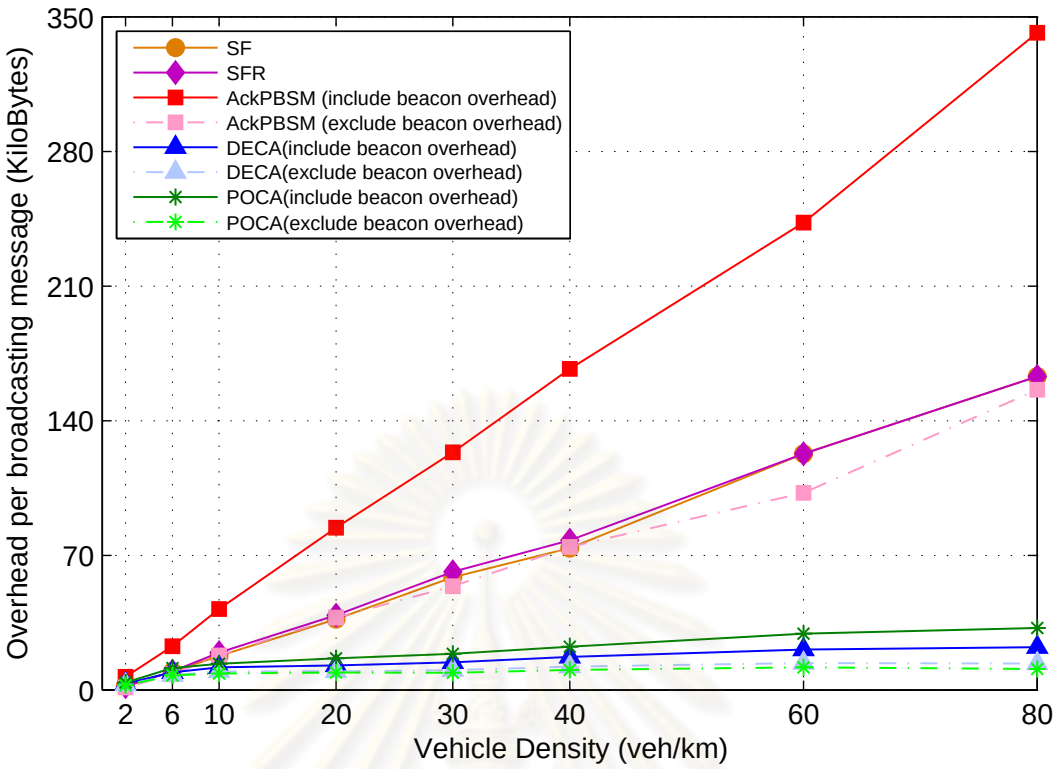
DECA และ POCA ใช้วิธีการให้โหนดต้นทางหรือโหนดก่อนหน้าเลือกโหนดถัดไปในการแพร่ข้อความต่อ ดังนั้นในบริเวณหนึ่งจะมีเพียงแค่โหนดเดียวเท่านั้นในการแพร่ข้อความจึงมีจำนวนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นน้อยและเกือบคงที่เมื่อมีค่าความหนาแน่นของรถยนต์สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเฉพาะ DECA ที่ใช้ความแน่นเท่านั้นในการเลือกโหนดถัดไป ซึ่งโหนดจะไม่สามารถรู้ตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านได้เลย แต่ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่มักจะจับตัวกันเป็นกลุ่ม เช่น บนถนนทางหลวงที่รถยนต์วิ่งเกาะกลุ่มกัน หรือบนถนนในเมืองที่รถยนต์มันจะติดอยู่บริเวณสี่แยกที่มีไฟจราจร การเลือกโหนดที่มีความสูงสุดในการแพร่ต่อจึงเป็นการรับประกันว่าในการแพร่ครั้งนั้นจะมีจำนวนโหนดที่จะได้รับข้อความมากกว่า แต่การที่

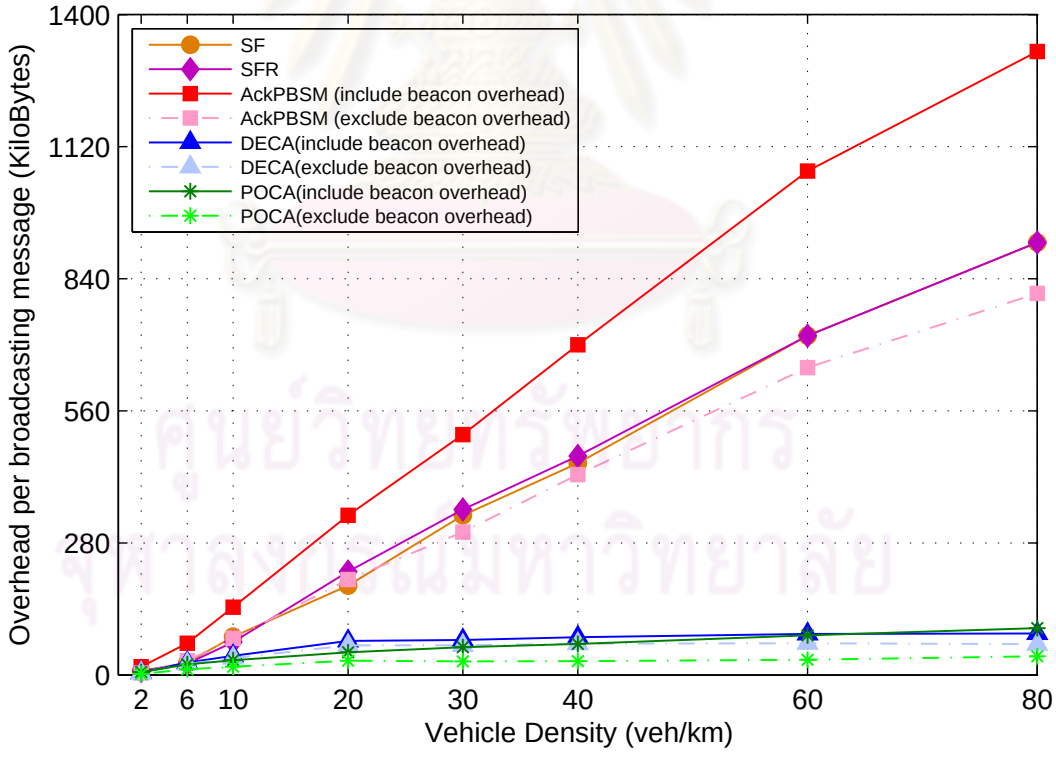
ทราบเฉพาะความหนาแน่นจะมีผลต่อการแพร่ในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนขึ้น เช่น ถนนในเมือง เนื่องจากการจับกลุ่มของรถจะหนาแน่นสูงในบริเวณหนึ่งๆ ทำให้การแพร่ซ้ำเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากขึ้น ข้อความจึงจะมีการกระจายตัวออกไป ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีความหนาแน่นมากขึ้นจะมีจำนวนการแพร่ข้อความซ้ำเพิ่มขึ้นด้วยเล็กน้อย แต่ในกรณีของถนนทางหลวงที่ไม่มีความซับซ้อนของถนน DECA จึงมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำใกล้เคียงกับ POCA ที่มีข้อมูลในการทำงานมากกว่า และเนื่องจากการใช้เพียงแค่ข้อมูลความหนาแน่นทำให้ขนาดของ Beacon เล็กมาก เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด DECA จึงเป็นโพรโทคอลที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในการทดลองบนถนนทางหลวง อีกทั้งการที่ใช้เฉพาะข้อมูลความหนาแน่นซึ่งได้จากการนับจำนวนของเพื่อนบ้านในบริเวณ 1 hop ทำให้ DECA มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงกว่า POCA และ AckPBSM ที่ต้องใช้ข้อมูลจากจีพีเอสในการทำงานเท่านั้น

POCA เป็นโพรโทคอลที่ออกแบบเพื่อให้มีสมรรถนะในการทำงานสูงสุด ต่อยอดโดยการใช้ขั้นตอนในทำงานเช่นเดียวกับ DECA ที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยเปลี่ยนเป็นการใช้ข้อมูลจากจีพีเอสในการทำงาน จากการทดลองพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจาก POCA จะมีค่าต่ำที่สุดในทุกความหนาแน่น ทุกสภาพแวดล้อมของถนน เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำ เนื่องจาก POCA ใช้ตำแหน่งในการเลือกโหนดถัดไป ดังนั้นเมื่อโหนดมีความหนาแน่นสูงขึ้น โหนดที่ถูกเลือกจะมีระยะห่างจากโหนดที่เลือกใกล้เคียงกับระยะห่างที่โหนดต้องการ (Preferred Distance) มากขึ้น ค่าใช่จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำจึงมีค่าเกือบคงที่ แต่ด้วยขนาดของ Beacon ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากข้อมูลจีพีเอสทำให้เมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครือข่าย POCA มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า DECA ในการทดลองบนถนนทางหลวง แต่เมื่อจำนวนโหนดมีมาก และถนนที่ซับซ้อนขึ้นเช่นในการทดลองบนถนนในเมืองข้อมูลที่ได้จากจีพีเอสทำให้ POCA ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนคุ้มค่ากับขนาดของ Beacon ที่เพิ่ม เนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำได้มากกว่า DECA ที่ทราบเพียงแค่ข้อมูลความหนาแน่น และให้ผลการทดลองโดยมีค่าใช่จ่ายรวมต่ำกว่า DECA ในเกือบทุกความหนาแน่น

จากผลการทดลองสามารถสรุปค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำ การเลือกโหนดเพื่อแพร่ข้อความต่อของ DECA และ POCA มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงกว่าใช้การตั้งเวลารอเพียงอย่างเดียว ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นที่ความหนาแน่นสูงขึ้นเกือบคงที่ทั้งในการทดลองบนถนนทางหลวง และถนนในเมือง เนื่องจากจะมีโหนดเพียงโหนดเดียวที่จะแพร่ข้อความในบริเวณการเชื่อมต่อหนึ่งๆ และนอกจากนี้การออกแบบการทำงานที่ยืดหยุ่นสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำ Beacon ได้ โดยการใช้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของเครือข่าย ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้มาก เมื่อเปรียบกับ AckPBSM ที่มีการทำ Beacon แบบช่วงเวลาคงที่



ก)



ข)

รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำงานบน ก) ถนนหลวง ข) ถนนในเมือง

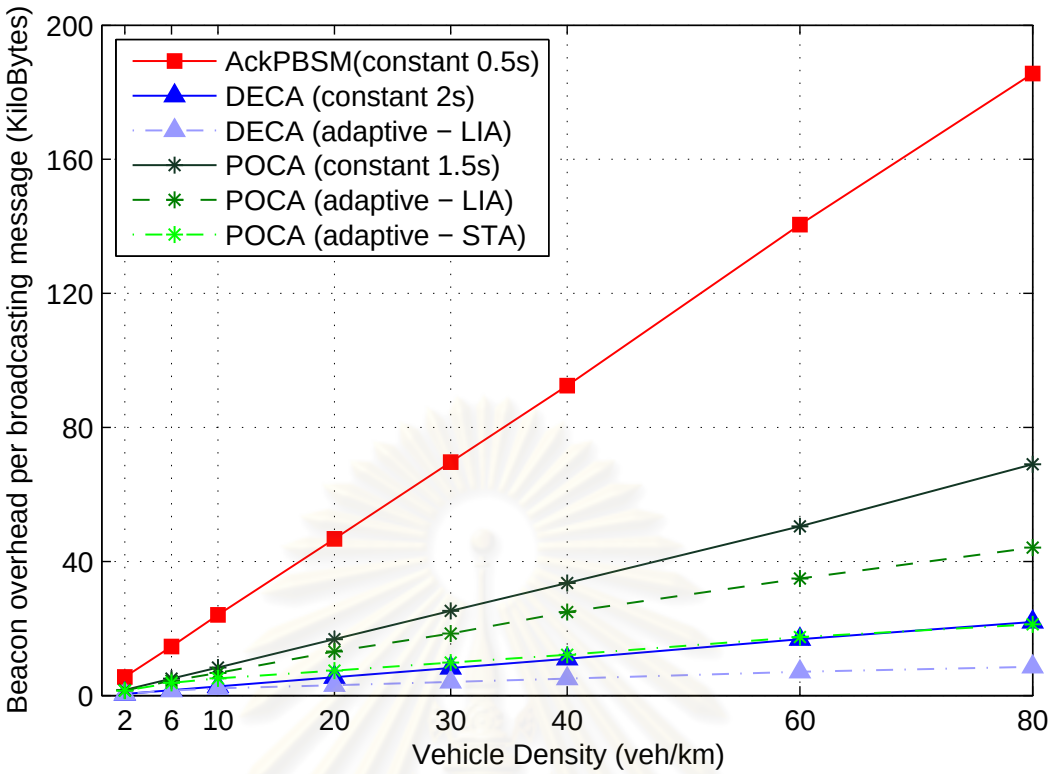
เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำ Beacon เป็นค่าใช้จ่ายที่สูงเมื่อเปรียบเทียบจากค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแพร่ข้อความซ้ำซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการแพร่ข้อมูล ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสร้างการทดลองเพื่อเปรียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำ Beacon แบบใช้ช่วงเวลาคงที่ของ DECA และ POCA โดยมีค่าความเชื่อถือ และค่าใช้จ่ายในการแพร่ซ้ำใกล้เคียงกับการช่วงเวลาแบบปรับตัว โดยมีผลของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามกราฟในรูปที่ 5.4

ในการทดลองนี้แสดงในเห็นว่าการใช้ช่วงเวลาการทำ Beacon ที่มีการปรับตัวได้ตามสภาพความหนาแน่นของเครือข่ายสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เป็นจำนวนมาก สำหรับ DECA ที่ใช้การคำนวณช่วงเวลาปรับแบบเชิงเส้น (LIA) ซึ่งมีช่วงการทำ Beacon ระหว่าง 1.5-7 วินาที สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำ Beacon ได้ประมาณ 57%

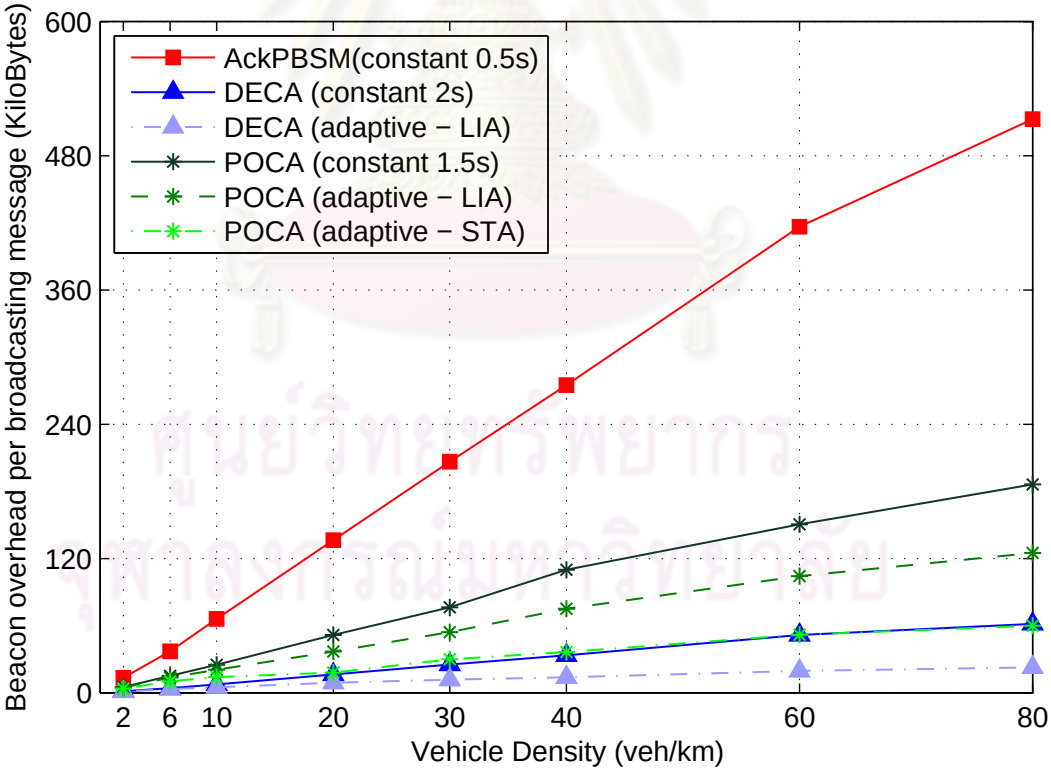
ส่วนค่าใช้จ่ายจาก Beacon ของ POCA ที่เดิมมีค่าสูงมากเนื่องจากการต้องการข้อมูลที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูงเนื่องจากรถยนต์มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่รวดเร็ว และผลจากข้อมูลจากจีพีเอสที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อมูลความหนาแน่นมาก จึงใช้วิธีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (STA) ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำ Beacon ได้ถึง 64% ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายของ DECA แบบช่วงเวลาคงที่

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง DECA และ POCA กับ AckPBSM จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจาก Beacon ของ DECA และ POCA มีค่าน้อยกว่ามาก แต่เนื่องจากการทำงาน AckPBSM ที่ขึ้นอยู่กับข้อความตอบรับจากเพื่อนบ้าน ดังนั้นการเปลี่ยนช่วงเวลาตามสภาพความหนาแน่นของเครือข่ายไม่สามารถทำได้โดยตรง เพราะจะส่งผลกระทบต่อการเวลารอของโหนดที่จะแพร่ข้อความต่อไป แต่โดยดัดแปลงการทำงานของ AckPBSM เพื่อให้สามารถใช้งาน Beacon ที่มีช่วงเวลาแบบปรับตัวได้ จากการทดลองโดยที่ให้ AckPBSM ยังมีค่าความน่าเชื่อถือ และค่าใช่จ่ายจากการแพร่คงเดิมเช่นเดียวกับการทำ Beacon แบบช่วงเวลาคงที่ การใช้ Beacon แบบช่วงเวลาปรับตัวได้นั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เพียง 24% เท่านั้น เนื่องจากความไม่ยืดหยุ่นในการทำงานของโพรโทคอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก)



ข)

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายจากการส่ง Beacon จากการทดลองบน ก) ถนนหลวง ข) ถนนในเมือง

5.6 ผลการทดลองความเร็วในการแพร่ข้อมูล

ผลการทดลองความเร็วในการแพร่ข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาเดียวกันโพรโทคอลที่มีค่าความเชื่อถือสูงกว่า แสดงถึงความเร็วในการแพร่ที่เร็วกว่า ผลแบ่งออกเป็น 2 รูป คือ รูปที่ 5.5 และ 5.6 แสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลจากการทดลองบนถนนทางหลวง และบนถนนในเมืองตามลำดับ โดยผลการทดลองจะแสดงตัวแทนของความหนาแน่นในแต่ละช่วงดังนี้ ความหนาแน่นที่ 6 คัน/กิโลเมตรเป็นความหนาแน่นต่ำ ความหนาแน่นที่ 30 คัน/กิโลเมตรเป็นความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นที่ 60 คัน/กิโลเมตรเป็นความหนาแน่นสูง

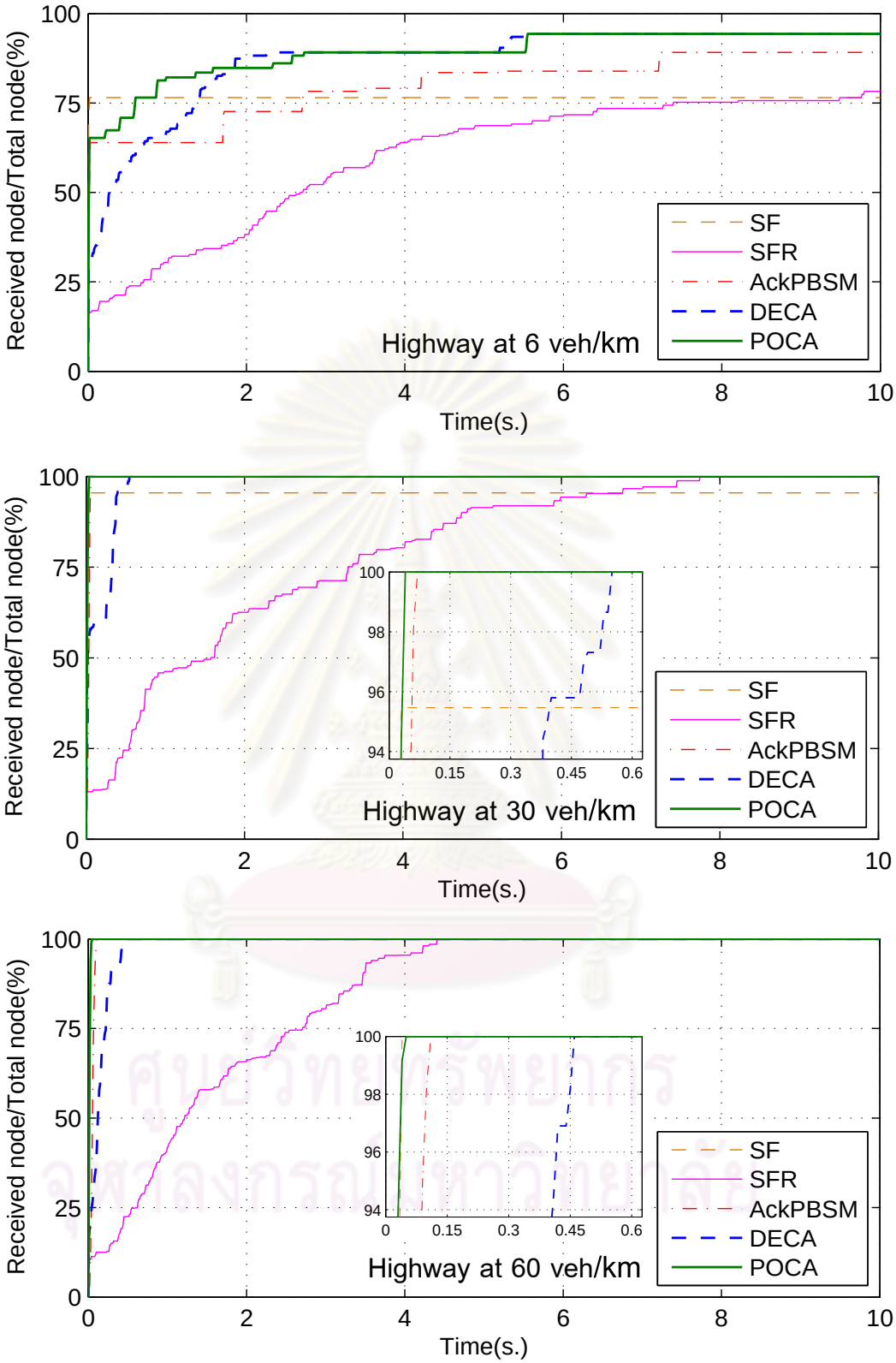
ในทุกการทดลองและความหนาแน่น SF จะเป็นโพรโทคอลที่มีความเร็วสูงที่สุดเสมอ เนื่องจากโหนดจะแพร่ข้อความทันทีที่ได้รับข้อความใหม่ แต่เนื่องจากไม่สามารถทำงานในสภาพที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆได้จึงมีความหนาแน่นต่ำ และ SFR จะเป็นโพรโทคอลที่มีการทำงานช้าที่สุดเสมอเนื่องจากใช้การสุ่มเวลาหน่วงในก่อนจะมีการแพร่ข้อความต่อไปให้โหนดอื่นจึงเป็นโพรโทคอลที่มีความเร็วในการแพร่ข้อความช้าที่สุดในการทดลอง

ความเร็วในการแพร่ข้อความของ DECA จะมีความเร็วช้ากว่า POCA เนื่องจากการเลือกโหนดจะมีโอกาสที่เลือกโหนดซ้ำเดิม และทำให้ต้องใช้การตั้งเวลารอเพื่อทำงานต่อ อีกทั้งในการแพร่ข้อมูลนั้น DECA จะไม่สามารถรู้ถึงตำแหน่งของโหนดถัดไปที่เลือกทำให้ต้องมีการแพร่หลายครั้งเพื่อให้กระจายตัวไปยังบริเวณอื่นๆที่โหนดยังไม่ได้รับข้อความนั้น ทำให้ความเร็วในการแพร่ข้อความของ DECA ช้ากว่า AckPBSM และ POCA

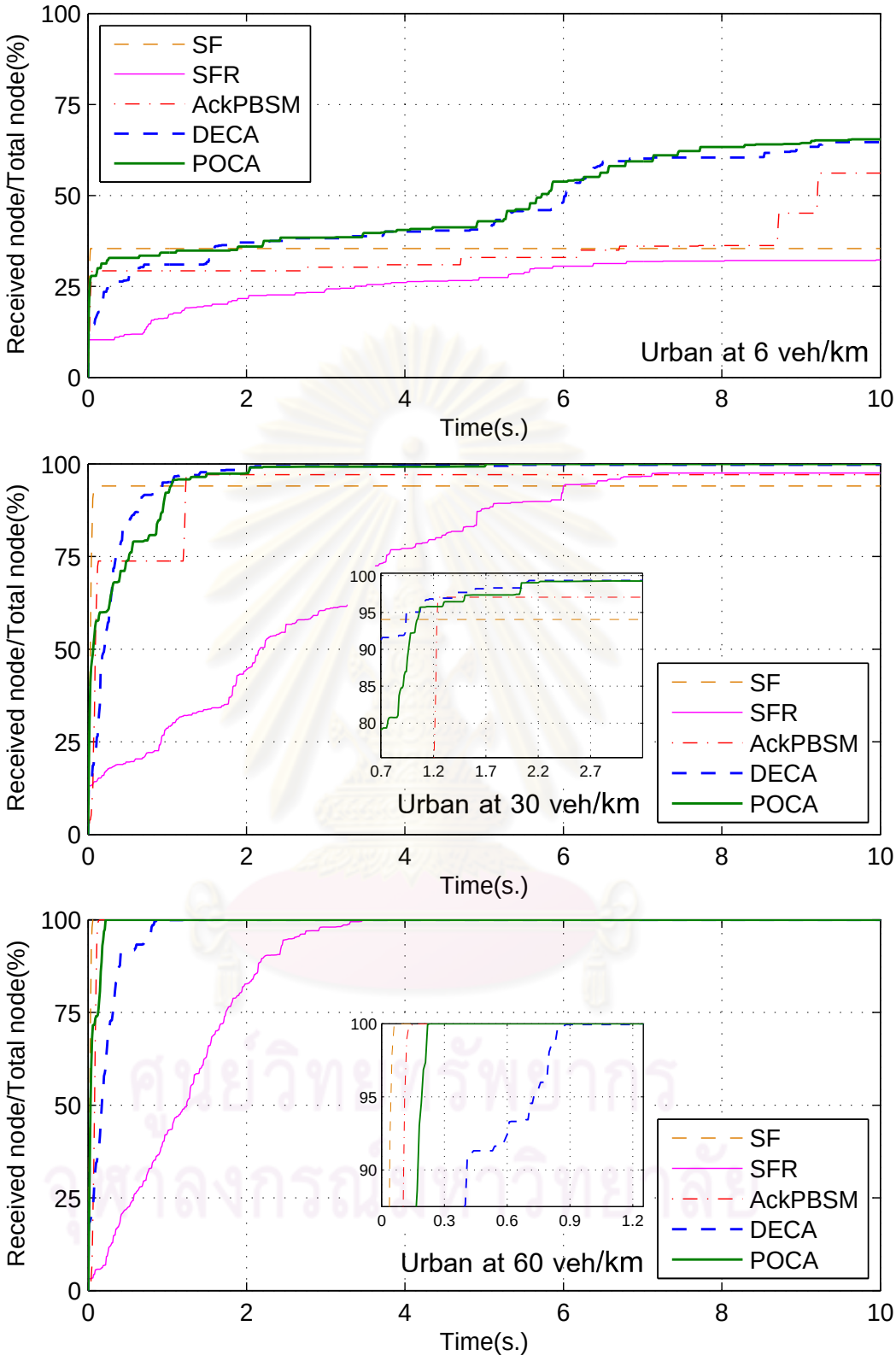
AckPBSM สามารถแพร่ข้อมูลได้อย่างมีความเร็วสูงโดยช้ากว่าเพียงแค่ POCA เท่านั้น แต่เนื่องด้วยการที่มีค่าใช้จากการแพร่ซ้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นความเร็วในการแพร่ข้อมูลจึงมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับ SF ที่มีความเร็วในการแพร่ช่วงเริ่มต้นสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะช้าลง เนื่องจากกระบวนการตั้งเวลารอของโพรโทคอล แต่อย่างไรก็ตามการที่มีการแพร่ซ้ำเป็นจำนวนมากย่อมจะส่งผลในการทำงานที่มีความหนาแน่นของเครือข่ายสูงมากได้

POCA สามารถทำงานได้เร็วที่สุดในการทดลองบนถนนทางหลวง เนื่องจากสอดคล้องกับพฤติกรรมการเลือกโหนดโดยใช้ระยะทางระหว่างโหนดซึ่งส่งผลให้ความเร็วในการทำงานบนถนนทางหลวงมีความเร็วสูงสุดเทียบเท่ากับความเร็วในการแพร่ของ SF แต่เมื่อถนนมีความซับซ้อนมากขึ้นในสภาพการทดลองบนถนนในเมืองจะยังคงมีความเร็วช้ากว่า SF หรือ AckPBSM ในบางกรณี เนื่องจากจำนวนครั้งในการแพร่ซ้ำที่มีจำนวนน้อยกว่ามากจึงทำให้โอกาสในการแพร่มีน้อยกว่า

การออกแบบให้ DECA และ POCA ทำงานโดยหลีกเลี่ยงการใช้เวลารอนั้นสามารถทำให้การแพร่ข้อมูลมีความเร็วสูงได้โดยที่มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่ามาก โดย POCA ที่ถูกออกแบบให้มีสมรรถนะสูงสุด สามารถแพร่ได้ที่ความเร็วเทียบเท่า SF ซึ่งมีความเร็วสูงที่สุด



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบนถนนหลวงที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบนถนนในเมืองที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน

5.7 ผลการทดลองค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อ

เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานของ DECA และ POCA ขึ้นอยู่กับความสำเร็จในการเลือกโหนดที่จะแพร่ข้อความถัดไปซึ่งจะทำให้การทำงานของโพรโทคอลทั้งสองไม่ต้องพึ่งการตั้งเวลารอในกรณีที่การเลือกโหนดไม่สำเร็จ

ผลการทดลองค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดของ DECA ในตารางที่ 5.2 สามารถประมาณค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดบนถนนทางหลวงโดยเฉลี่ยได้ 74% และบนถนนในเมืองได้ 66% ซึ่งค่าความสำเร็จในการเลือกของ DECA มีค่าไม่สูง เนื่องจาก DECA ไม่ทราบตำแหน่งของเพื่อนบ้าน และเลือกโหนดที่ความหนาแน่นสูงสุด โดยที่การเลือกที่ไม่สำเร็จแบ่งออกได้จาก 2 สาเหตุ คือ การเลือกโหลดที่ได้รับข้อความนั้นแล้วซึ่งคิดเป็น 84.5% ของความผิดพลาดทั้งหมด และความผิดพลาด 16.5% เกิดจากการเลือกโหนดที่ไม่อยู่ในระยะของการเชื่อมต่อแล้ว สำหรับ POCA ในตารางที่ 5.3 สามารถประมาณค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดบนถนนทางหลวงโดยเฉลี่ยได้ 94.4% และบนถนนในเมืองได้ 94.1% มีความผิดพลาดในการเลือกน้อยกว่า DECA มาก เพราะ POCA ทราบตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้าน และมีการปรับปรุงตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านก่อนเลือกโหนด แต่ความผิดพลาดประมาณ 97.8% เกิดจากการเลือกโหนดที่ไม่อยู่ในระยะการเชื่อมต่อ เพราะข้อมูลจาก Beacon ไม่ทันสมัยพอ และ POCA เลือกเฉพาะโหนดที่มีตำแหน่งด้านหน้าของทิศการเคลื่อนที่ของข้อความ ดังนั้นจึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเลือกโหนดที่เคยได้รับข้อความนั้นแล้ว

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อของ DECA (%)

ความหนาแน่น (คัน/กม.) / ถนน	**2**	**6**	**10**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**
ทางหลวง	71.4	54.5	80.7	76	82.6	75	63.3	88.9
ในเมือง	75	72.2	64.3	64.4	54.8	57.1	64.7	75.9

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าความสำเร็จในการเลือกโหนดแพร่ข้อความต่อของ POCA (%)

ความหนาแน่น (คัน/กม.) / ถนน	**2**	**6**	**10**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**
ทางหลวง	99.9	100	96.4	95.4	93.3	95.2	92.9	81.9
ในเมือง	95.1	89.4	93.2	97.4	96.1	95.2	92.8	93.4

5.8 การทดลองการแพร่ข้อความที่มีความหนาแน่นสูง

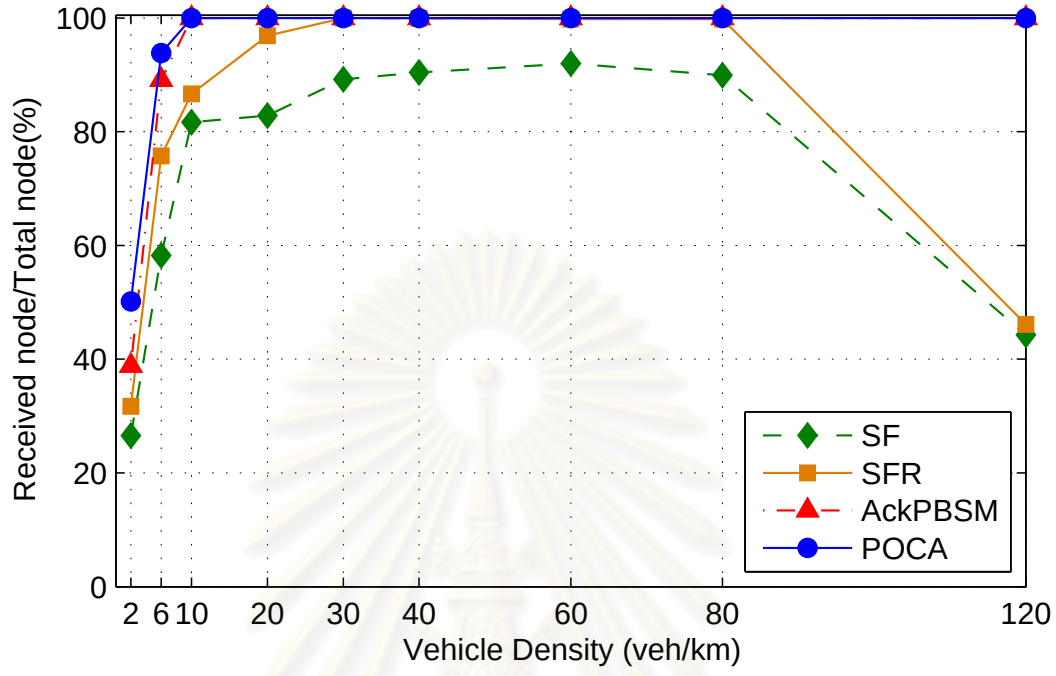
การทดลองในส่วนที่ผ่านมาทั้งหมดจะใช้ข้อความในการส่งเพียงข้อความเดียวเท่านั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโพรโทคอล แต่ในการทดลองนี้จะทดลองในสภาพที่มีความหนาแน่นสูงเพื่อทดสอบความสามารถของโพรโทคอลเมื่อถูกนำไปใช้งานจริงซึ่งมีจำนวนข้อความที่ถูกแพร่ในระบบมากกว่าหนึ่งข้อความที่เวลาพร้อมกัน ในการทดลองใช้ 5 ข้อความ และทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีรถยนต์ความหนาแน่นสูงสุด 120 คัน/กิโลเมตร ผลที่ได้เป็นการเฉลี่ยจากทดลอง 20 ครั้ง ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อนำไปปรับปรุงและแก้ไขการทำงานของโพรโทคอลให้มีสมรรถนะ และประสิทธิภาพสูงที่สุดจึงเลือกเฉพาะ POCA มาทดลองเปรียบเทียบกับโพรโทคอลอื่นๆเท่านั้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพและสมรรถนะในการทำงานสูงที่สุดในการทดลองที่ผ่านมา

*ค่าความเชื่อถือได้*ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองเพียงหนึ่งข้อความ POCA ให้ความเชื่อถือได้สูงที่สุดในทุกการทดลอง ส่วน AckPBSM สามารถทำงานได้ดีและให้ความเชื่อถือได้ที่ 100% ที่ความหนาแน่น 10 คัน/กิโลเมตร สำหรับถนนทางหลวง และ 60 คัน/กิโลเมตร บนถนนในเมือง SFR สามารถทำงานได้ดีและมีความเชื่อถือได้ 100% ที่ความหนาแน่น 30-80 คัน/กิโลเมตร สำหรับถนนทางหลวง ในกรณีอื่นๆ SFR มีปัญหาจากการเชื่องต่อเป็นช่วงๆ และปัญหาการชนที่สูงจึงไม่ค่าความเชื่อถือไม่ถึง 100% ส่วน SF ก็มีปัญหาจากการเชื่องต่อเป็นช่วงๆ ที่ความหนาแน่นต่ำ และปัญหาการชนกันจากการแพร่ที่ความหนาแน่นสูงจึงไม่มีค่าความเชื่อถือถึง 100% ในทุกการทดลอง

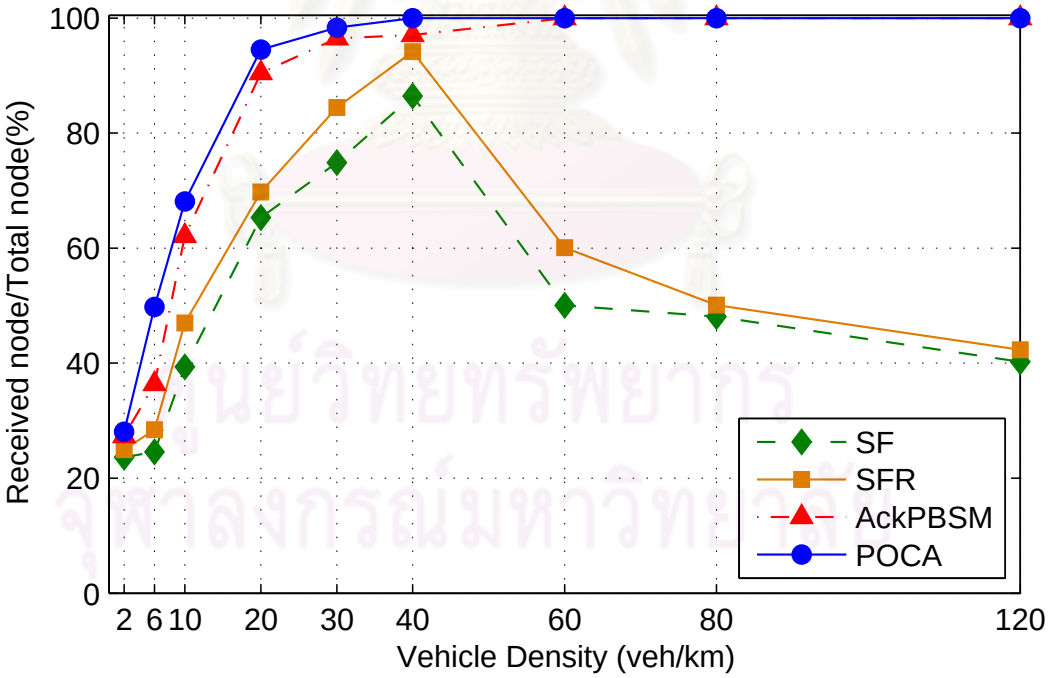
*ค่าใช้จ่าย*ที่เกิดขึ้นก็มีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมา แต่สัดส่วนค่าใช้จ่าย Beacon จาก AckPBSM น้อยลง เนื่องจากจำนวนข้อความที่ส่งในเวลาเดียวกันมีมากขึ้น แต่การทำ Beacon ยังคงเท่า จึงทำให้ค่าใช้จ่าย Beacon ต่อหนึ่งข้อความมีค่าลดลง สำหรับ POCA จะมีสัดส่วนที่ลดลงมากกว่า เนื่องจากในการคำนวณช่วงเวลาของ Beacon ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเครือข่ายซึ่งมีจำนวนของข้อความในระบบในการคำนวณด้วย จึงทำให้ค่าใช้จ่ายจาก Beacon มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่มีการแพร่เพียงข้อความเดียว

ความเร็วในการแพร่ข้อมูล จะผลที่เปลี่ยนแปลงจากเดิมเล็กน้อย เนื่องจากการที่มีการแพร่จำนวนมากเกิดขึ้นในเครือข่ายทำให้การทำงานของ SF และ AckPBSM มีความเร็วลดลง เนื่องจากการชนกันของข้อมูล และจัดการของชั้น MAC ทำให้การทำงานของ POCA มีความเร็วสูงกว่า SF ในกรณีที่มีความหนาแน่นสูง และเร็วกว่า AckPBSM ในทุกค่าความหนาแน่น

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนการทำงานของ POCA นั้นสามารถรองรับการทำงานที่มีความหนาแน่นสูงได้เป็นอย่างดี และยังแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่แตกต่างจากโพรโทคอลอื่นๆได้เด่นชัดขึ้น สามารถนำไปปรับปรุงการทำงานของ DECA ได้

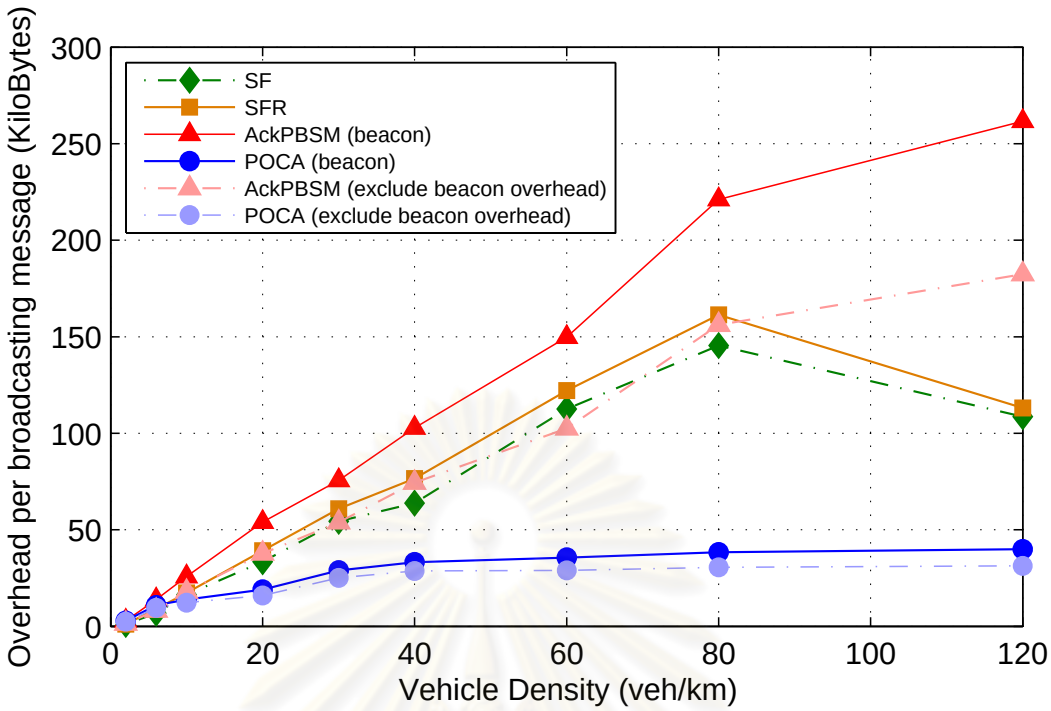


ก)

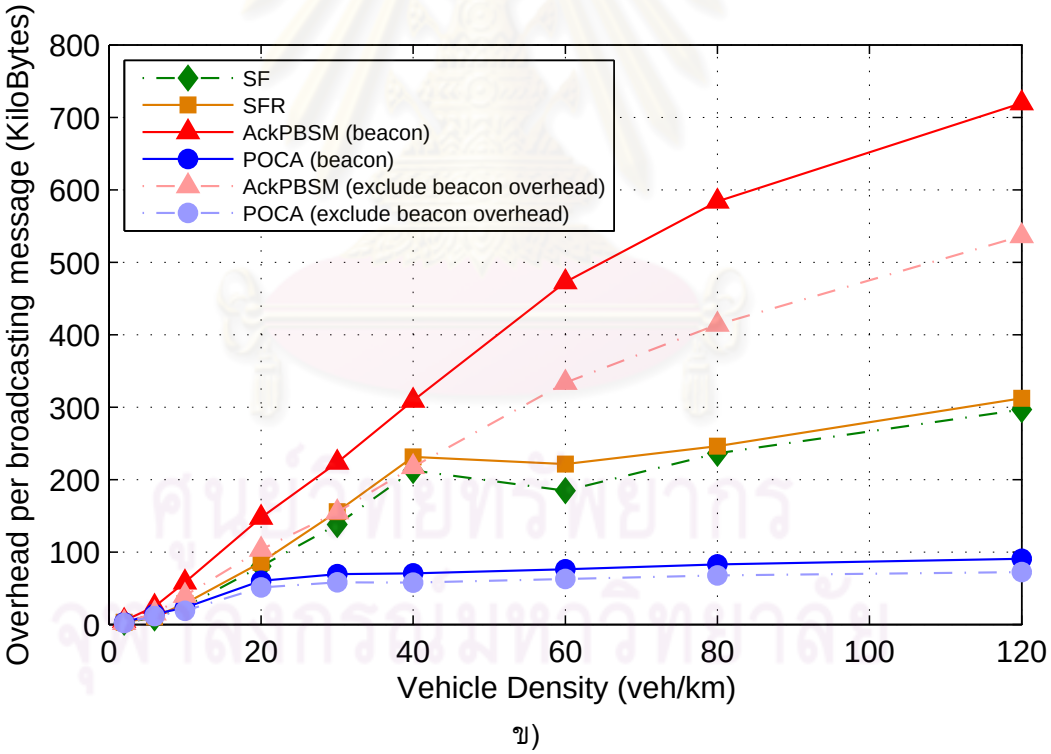


ข)

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความน่าเชื่อถือในการแพร่ข้อมูลบน ก) ถนนทางหลวง ข) ถนนในเมือง

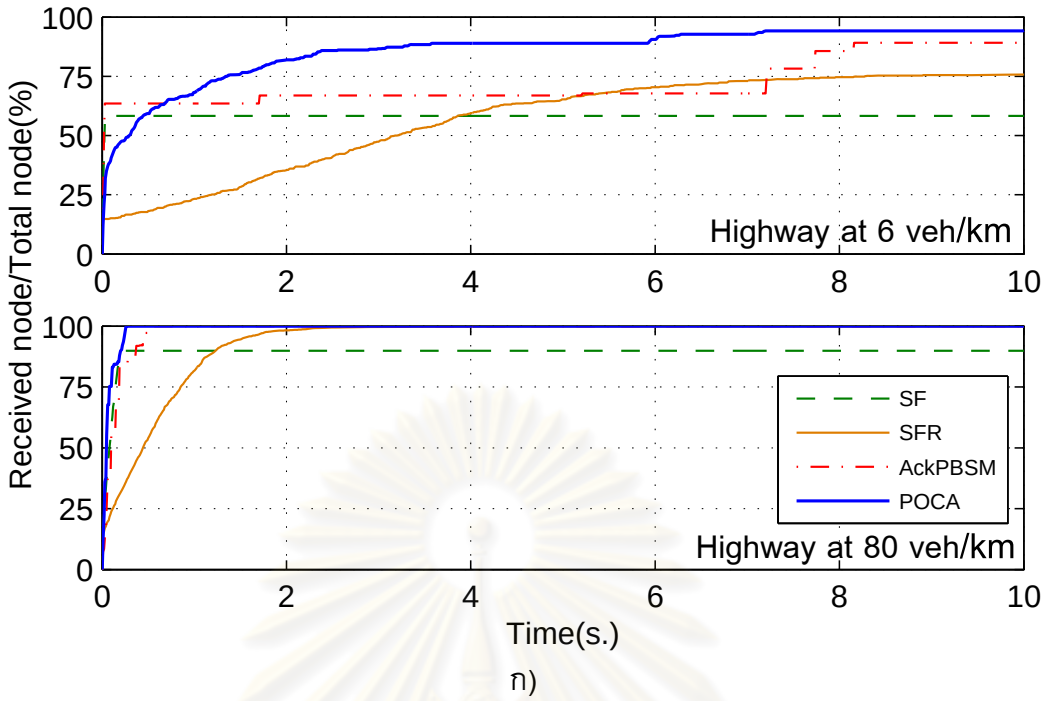


ก)

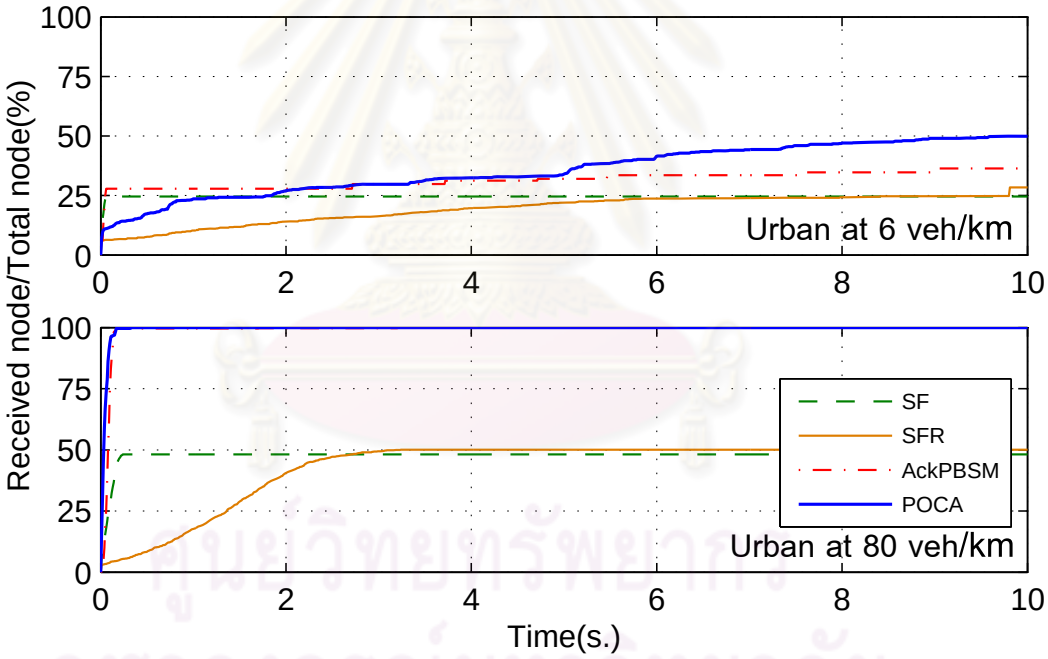


ข)

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการแพร่ข้อมูลบน ก)ถนนทางหลวง ข)ถนนในเมือง



ก)



ข)

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความเร็วในการแพร่ข้อมูลบน ก)ถนนทางหลวง ข)ถนนในเมือง

5.9 การวิเคราะห์การทำงานของโพรโทคอลทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากการทดสอบการทำงานของโพรโทคอลโดยใช้โปรแกรมจำลองไม่สามารถคาดเดาพฤติกรรมของโพรโทคอลได้อย่างละเอียด ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สามารถช่วยอธิบายการทำงานของโพรโทคอลที่เกิดขึ้นและสามารถบอกสิ่งที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมในการทำงานได้ละเอียดยิ่งขึ้น

ในวิทยานิพนธ์นี้มีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นโดยสนใจค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแพร่ข้อความซ้ำซึ่งสามารถบอกประสิทธิภาพของโพรโทคอลได้ จากการใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะสามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายน้อยสุด (Lower Bound) และค่าใช้จ่ายมากที่สุด (Upper Bound)

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำงานของ DECA และ POCA มีหลักการทำงานที่สำคัญเหมือนกัน คือ การเลือกโหนดที่จะทำการแพร่ถัดไป ดังนั้นโหนดที่จะได้รับข้อความใหม่ในแต่ละครั้งของการแพร่ข้อความสามารถประมาณค่าได้ดังนี้

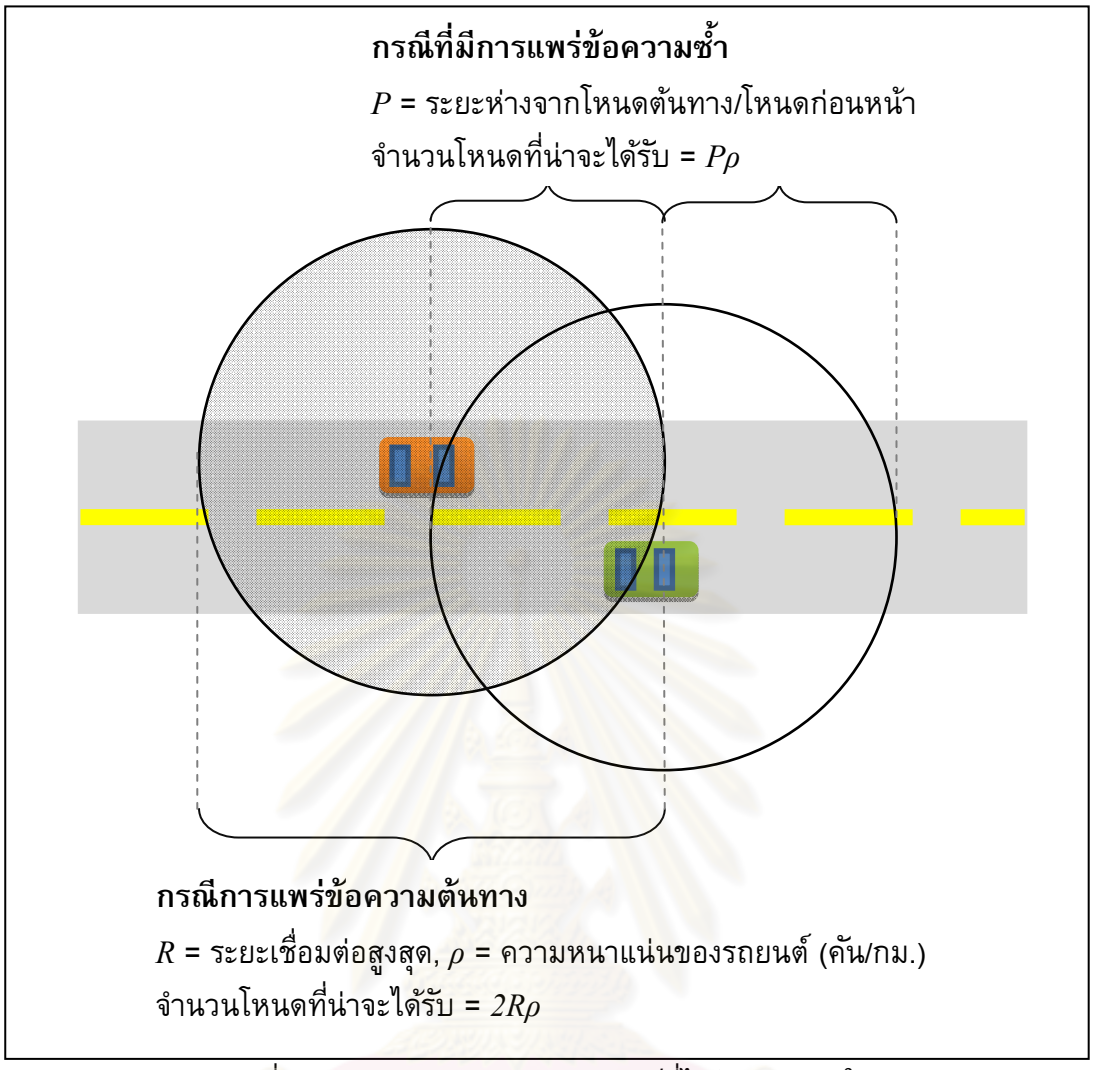
- การแพร่ข้อความครั้งแรก โหนดที่จะได้รับข้อความใหม่จะมีจำนวนขึ้นอยู่กับระยะการเชื่อมต่อสูงสุดและความหนาแน่นของโหนด โหนดที่ได้รับคือพื้นที่แรงเงาจากรูปที่ 5.10
- การแพร่ข้อความซ้ำ โหนดที่จะได้รับข้อความใหม่จะมีจำนวนขึ้นอยู่กับระยะการห่างจากโหนดที่แพร่ข้อความก่อนหน้าและความหนาแน่นของโหนด โหนดที่ได้รับคือพื้นที่ภายในวงกลมที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่แรงเงาจากรูปที่ 5.10

ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ โหนดจำเป็นจะต้องมีการแพร่ซ้ำ 1 ครั้งทุกครั้งที่เจอโหนดเพื่อนบ้านใหม่ที่ยังไม่ได้รับข้อความนั้น ดังนั้นจำนวนครั้งในการแพร่ข้อความซ้ำเพื่อให้โหนดในบริเวณทั้งหมดได้รับข้อความ สามารถคำนวณได้จาก 2 กรณีคือเมื่อมีการเชื่อมต่อแบบปกติ และเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ เมื่อให้รถยนต์มีการกระจายตัวแบบพัวซอง (Poisson Distribution) สามารถคำนวณจำนวนครั้งที่มีการแพร่ทั้งหมดได้ตามสมการ (4) เมื่อ RR คือ จำนวนครั้งในการส่งข้อความซ้ำ R คือ ระยะการเชื่อมต่อสูงสุด ρ คือ ความหนาแน่นของรถยนต์ (คัน/กิโลเมตร) n คือจำนวนรถยนต์ทั้งหมดในระบบ P เป็นระยะห่างระหว่างโหนดที่ถูกเลือกและโหนดต้นทางหรือโหนดก่อนหน้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อจำนวนการแพร่

$$RR = (1 - e^{-R\rho})\left(\frac{n - (2R\rho)}{P\rho}\right) + (e^{-R\rho})(n) \qquad (4)$$

การคำนวณขอบเขตของค่าใช้จ่ายน้อยสุด หรือจำนวนการแพร่ซ้ำน้อยที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อการแพร่แต่ละครั้งเกิดขึ้นบริเวณระยะการเชื่อมต่อสูงสุด (ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อสูงสุด 250 m จะได้ P = 250) กรณีที่มีการยกเว้นคือ ระยะเฉลี่ยระหว่างรถยนต์มีค่าน้อยกว่าระยะการเชื่อมต่อสูงสุด ($\frac{1}{\rho}$ < R) ขอบเขตของค่าใช้จ่ายน้อยสุดจะมีค่าเท่ากับ n เนื่องจากจะมีการแพร่ซ้ำเมื่อมีการเจอโหนดเพื่อนบ้านใหม่เท่านั้น

การคำนวณขอบเขตของค่าใช้จ่ายมากที่สุด หรือจำนวนการแพร่ซ้ำมากที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อโหนดที่ถูกเลือกมีระยะห่างกับโหนดที่ส่งต่อสั้นที่สุดหรือมีระยะประมาณ P = $\frac{1}{\rho}$ แต่



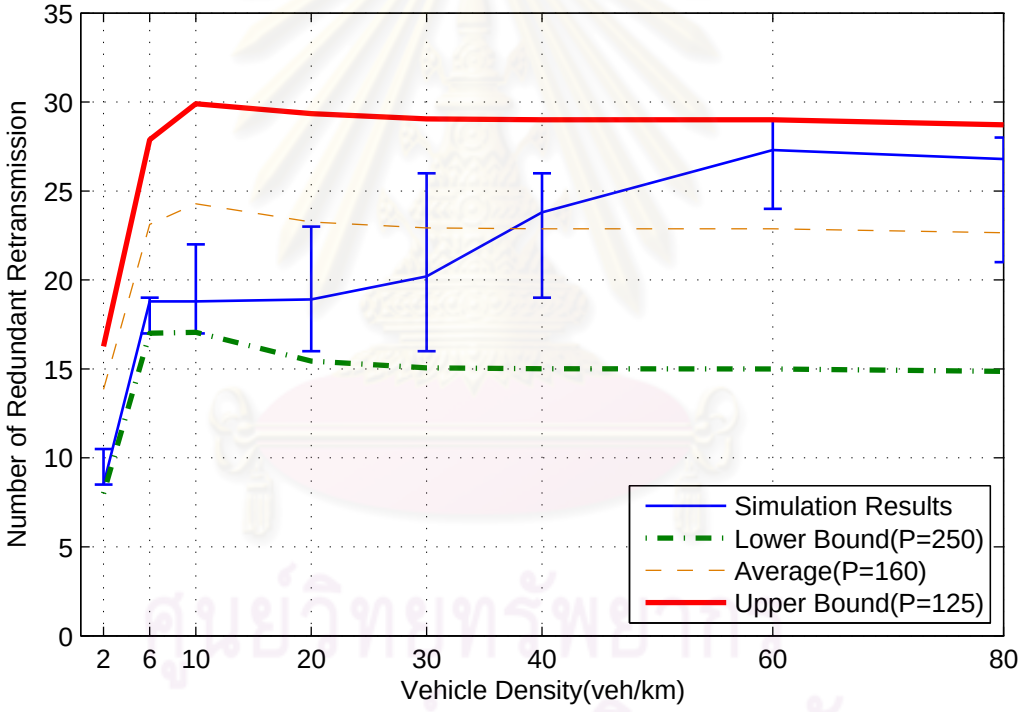
รูปที่ 5.10 การคำนวณจำนวนรถยนต์ที่ได้รับข้อความใหม่

จากการทำงานของโพรโทคอลโหนดที่จะทำการแพร่ซ้ำจะต้องไม่เคยได้รับข้อความนั้นมาก่อน ดังนั้นในครั้งที่สองโหนดจะไม่อยู่ในบริเวณของระยะการเชื่อมต่อสูงสุดก่อนหน้า จะได้โหนดที่มีระยะห่างสั้นที่สุดเป็น $P = R - \frac{1}{\rho}$ ซึ่งระยะห่างขอโหนดครั้งถัดไปในการแพร่จะเกิดเหตุการณ์ซ้ำเดิม สามารถเฉลี่ยระยะในการแพร่ข้อความซ้ำในกรณีที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดได้ $P = \frac{R}{2}$ (ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อสูงสุด 250 m จะได้ P = 125)

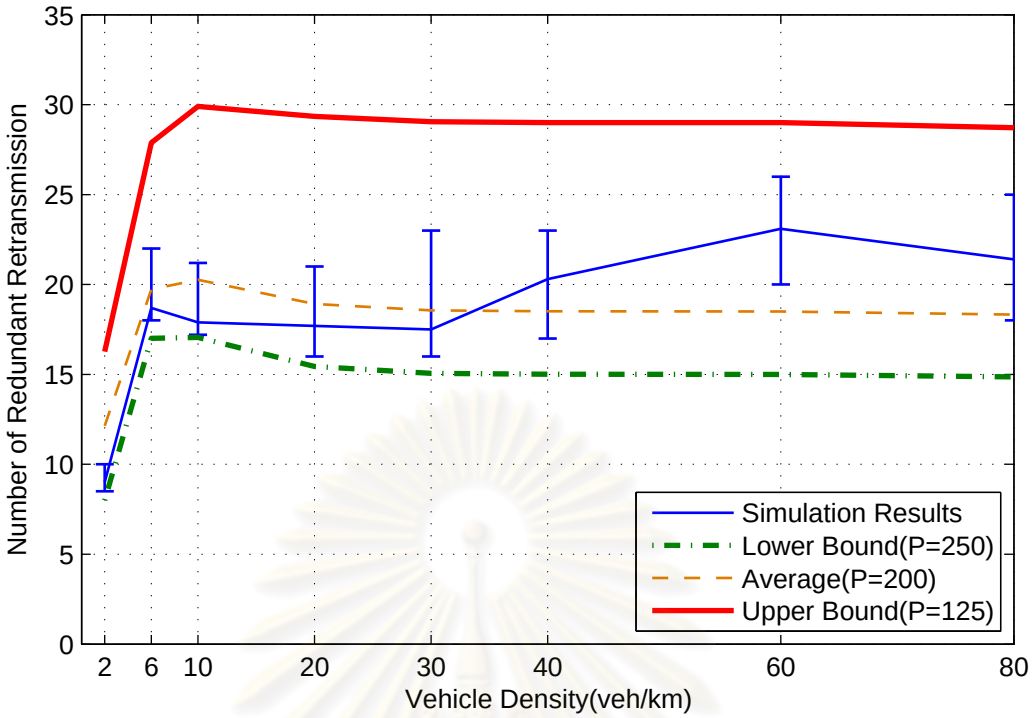
การคำนวณขอบเขตของค่าใช้จ่ายเฉลี่ย หรือจำนวนการแพร่ซ้ำที่แสดงถึงพฤติกรรมของโพรโทคอล ในกรณีของ DECA เนื่องจากโหนดจะเลือกโหนดถัดไปโดยการใช้ความหนาแน่น ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลจากการทดลองในโปรแกรมจำลองจะได้ระยะห่างของโหนดถัดไปเฉลี่ย 160 เมตร ดังนั้นจะได้ P = 160 ส่วนกรณีของ POCA ที่ใช้ตำแหน่งของโหนดในการเลือกซึ่งจะมีระยะที่โหนดต้องการ (Preferred Distance) ที่ 80% ของระยะการเชื่อมต่อสูงสุดดังนั้น P = 200 ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อสูงสุด 200 เมตร

ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลองจากโปรแกรมจำลองในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ มีค่าใกล้เคียงจากผลการทดลอง และค่าใช้จ่ายจากการทดลองจากโปรแกรมจำลองมีค่าอยู่ภายในขอบเขตของค่าใช้มากที่สุด และน้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ จากรูปที่ 5.11 และ 5.12 จำนวนของค่าใช้จ่ายมากที่สุดและน้อยที่สุดจากโปรแกรมจำลองแสดงโดยเส้นกราฟในแนวตั้งสีน้ำเงิน ดังนั้นการวิเคราะห์พฤติกรรมโพรโทคอลทางคณิตศาสตร์จากสมการ (4) สามารถคาดเดาพฤติกรรมของ DECA และ POCA โดยคร่าวๆ ได้

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในเบื้องต้นนั้นไม่ได้นำค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการชนกันของข้อมูล หรือความผิดพลาดที่เกิดจากการเลือกโหนดมาพิจารณา ดังนั้นผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จึงไม่สามารถให้ค่าใช้จ่ายที่แม่นยำสูงเมื่อเปรียบกับค่าใช้จ่ายจากการทดลองในโปรแกรมจำลอง



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ DECA



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบผลจากการทดลองและผลจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ POCA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยงานวิจัยได้เสนอวิธีการทำงานของวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือใน 2 รูปแบบ วิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่น (DECA) และวิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่ง (POCA)

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์วิธีการแพร่ข้อมูลก่อนหน้า ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นการตัดสินใจในการแพร่โดยใช้ความน่าจะเป็น และใช้การตั้งเวลารอ ซึ่งทั้งสองวิธีต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลก่อนที่จะมีการตัดสินใจได้ทำให้การทำงานมีความล่าช้า และเกิดการแพร่ซ้ำที่บริเวณระยะการเชื่อมต่อเดียวกันได้ เนื่องจากแต่ละโหนดจะเป็นผู้ตัดสินใจเอง งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการแพร่โดยให้โหนดต้นทาง หรือโหนดก่อนหน้าเป็นผู้เลือกโหนดแพร่ถัดไป ซึ่งช่วยทำให้มีเพียงโหนดเดียวในบริเวณการเชื่อมต่อ และสามารถแพร่ข้อมูลต่อไปได้โดยไม่มีความล่าช้าจากการใช้ตั้งเวลารอ โดยการเลือกโหนดจะขึ้นอยู่กับข้อมูลซึ่งงานวิจัยนี้เสนอการเลือกด้วยข้อมูลความหนาแน่น หรือตำแหน่ง

วิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลความหนาแน่น (DECA) เป็นวิธีการแพร่ที่ไม่ต้องการข้อมูลจีพีเอสในการทำงานซึ่งมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆที่มีประสิทธิภาพดีซึ่งต้องการใช้ข้อมูลจีพีเอสในการทำงานทั้งสิ้น จากผลการทดลอง DECA สามารถทำงานได้โดยมีความเชื่อถือได้สูง มีค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำแม้ว่าจะมีความเร็วในการแพร่ข้อมูลไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น แต่ให้ความยืดหยุ่นในการทำงานสูงที่สุด

วิธีการแพร่ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้แบบรู้ข้อมูลตำแหน่ง (POCA) เป็นวิธีการแพร่ที่พัฒนาต่อยอดจาก DECA โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสซึ่งทำให้มีความยืดหยุ่นน้อยลง แต่ให้สมรรถนะในการทำงานสูงสุด จากผลการทดลองสามารถให้ค่าความเชื่อได้สูงที่สุด มีค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำที่สุด และมีความเร็วในการแพร่ข้อมูลเทียบเท่า Simple Flooding ในกรณีที่มีความแน่นของเครือข่ายสูงมาก POCA สามารถทำงานได้เร็วกว่า Simple Flooding

นอกจากนี้งานวิจัยยังได้เสนอวิธีการใช้ Beacon แบบช่วงเวลาปรับซึ่งเป็นค่าใช่จ่ายที่เกิดขึ้นในการแพร่ข้อมูล ซึ่งมีการคำนวณช่วงเวลาปรับตัวแบบเชิงเส้น (LIA) และช่วงเวลาปรับตัวแบบขั้น (STA) จากผลการทดลองการใช้ช่วงเวลา Beacon แบบปรับตัวได้สามารถลดค่าใช้จ่ายจาก Beacon ได้อย่างน้อย 60%

6.2 ข้อจำกัด

แม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะ และประสิทธิภาพของวิธีการแพร่ DECA และ POCA แต่โพรโทคอลทั้งสองยังมีข้อจำกัดในการทำงานที่มีความหนาแน่นสูงมากๆ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หากนำไปใช้งานจริง ซึ่งปริมาณของข้อความ และจำนวนรถยนต์ในระบบจะมีจำนวนมากกว่าในโปรแกรมจำลองเป็นจำนวนมาก เนื่องจากทรัพยากรที่มีจำกัดเครือข่ายไร้สาย แม้ว่าทั้งสองโพรโทคอลจะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ต่ำมากเมื่อเทียบกันวิธีการอื่นๆ แต่สังเกตได้ว่าในขณะที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการแพร่ข้อความซ้ำก็มีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งมีสาเหตุมาจากการเลือกโหนด และการชนกันของการแพร่ข้อมูล และการทำ Beacon

นอกจากนี้ขนาดของ Beacon ที่จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อมีข้อความมากขึ้นซึ่งไม่เหมาะนำมาใช้งานจริงเนื่องจากไม่สามารถคาดเดาพฤติกรรมได้ แม้ว่าจะมีการนำแฮชมาใช้ในการตรวจสอบ แต่ก็ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่ากันการแนบข้อความตอบรับแบบปกติ

ผลการทดลองของโพรโทคอลเกิดจากการใช้โปรแกรมจำลองทั้งหมดซึ่งไม่สามารถทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อนำมาใช้บนอุปกรณ์จริง

6.3 ข้อเสนอแนะ

DECA และ POCA สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากนำมาใช้งานร่วมกัน เนื่องจากในสภาพการใช้งานจริง POCA จะไม่มีข้อมูลจีพีเอสที่แม่นยำที่จะนำมาใช้งานได้ตลอดเวลา หรือในกรณีที่มีรถยนต์ผสมกันระหว่างรถยนต์ที่มีอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมและรถยนต์ที่ไม่มีอุปกรณ์ ซึ่งจำเป็นจะต้องพึ่งวิธีการอื่นในการทำงานในกรณีนี้คือ DECA ทำให้โพรโทคอลมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงสุด สามารถตัดสินใจแบบผสมโดยใช้ข้อมูลเท่าที่มีอยู่ได้ ซึ่งหากนำมาพัฒนาลงบนอุปกรณ์จริงจะสามารถทำให้โพรโทคอลทำงานได้ในทุกๆ สภาวะ และใช้การประมาณค่าใช้จ่ายทางคณิตศาสตร์อย่างแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะทำให้โพรโทคอลสามารถคาดเดาพฤติกรรมและสามารถคาดเดาคุณภาพของการทำงานที่บริการจะได้รับหากให้โพรโทคอลทำการแพร่ข้อมูล

นอกจากนี้การทำ Beacon ให้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งวิธีการทำช่วงเวลาในปัจจุบันใช้ข้อมูลที่มีอยู่ล่วงหน้าในการกำหนดฟังก์ชันเพื่อหาค่าเวลา แต่หากสามารถใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการฝึกให้โพรโทคอลสามารถตอบสนองต่อความหนาแน่นของเครือข่ายแบบต่างๆได้ ทำให้การใช้งาน Beacon ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือใช้วิธีการอื่นๆ เช่น การส่งข้อมูลโดยแนบข้อมูลจาก Beacon ไปกับข้อความ CTS และ RTS ในระดับชั้น MAC ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำงานของโพรโทคอลได้มากกว่าเดิม

รายการอ้างอิง

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

[2] Kompfner, P. Cooperative Vehicle-Infrastructure System (CVIS). [online]. 2009. Available from: http://cvisproject.org [2010, October 28]

[3] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J. GPS theory and practice. New York, USA: 2001.

[4] PIARC. The intelligent transport system handbook. New York, USA : Thomson press, 2004.

[5] Ni, S., Tseng, Y., Chen, Y., and Sheu, J. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. Proc. ACM international conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, USA: IEEE, 1999.

[6] Naumov, V., Baumann, R., and Gross, T. An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. Proc. ACM the 7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing (MobiHoc'06), Florence, Italy: ACM, 2006.

[7] Wisitpongphan, N., Bai, F., Mudalige, P., and Tonguz, O. K. On the routing problem in disconnected vehicular ad hoc networks. IEEE the 26th International Conference on Computer Communications (INFOCOM'07), Anchorage, Alaska, USA: IEEE, 2007.

[8] Williams, B., and Camp, T. Comparison of broadcasting techniques for mobile adhoc networks, Proc. ACM the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing (MobiHoc'02), Lausanne, Switzerland: ACM, 2002.

[9] Pongthawornkamol, T., Nahrstedt, K. and Wang, G. HybridCast: A hybrid probabilistic/deterministic approach for adjustable broadcast reliability in mobile wireless ad hoc networks, IEEE International Conference on Communications (ICC'09), Dresden, Germany: IEEE, 2009

[10] Nekovee, M., and Bjarni, B. B. Reliable and efficient information dissemination in intermittenly connected vehicular ad hoc networks, IEEE the 65th Vehicular Technology Conference (VTC'07-Spring), Dublin, Ireland: IEEE, 2007.

[11] Ros, J. F., 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.

[12] Khan, A. A., Stojmenovic, I., and Zeguia, N. Parameterless broadcasting in static to highly mobile wireless ad hoc, sensor and actautor networks, IEEE the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'08), Okinawa, Japan: IEEE, 2008.

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

[14] Siva Ram Murthy, C. and Manoj, B.S. Ad Hod Wireless Netowrks : Architectures and Protocols, Prentice Hall Professional Technical Reference. 6 (Feb 2008).

[15] 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).

[16] IEEE. Project Authorization Request - 802.11p. [online]. (2006). Available from: http://standards.ieee.org/board/nes/projects/802-11p.pdf [2010, October 28]

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

[18] Federal Highway Administration. VII Architecture and Functional Requirements. [online]. (July 2005). Available from: http:// ral.ucar.edu/projects/vii.old/vii/docs/VIIArchandFuncRequirements.pdf [2010, October 28]

[19] Farnoud (Hassanzadeh), F. and Valaee, S. Reliable broadcast on safety messages in vehicular adhoc network, IEEE the 28th International Conference on Computer Communications (INFOCOM'09), Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, 2009.

[20] German Aerospace Center (DLR). Simulation of Urban MObility (SUMO) [online]. (2010). Available from: http://sumo.sourceforge.net [2010, October 28]

[21] Varadhan, K. The Network Simulator (NS-2). [online]. (2010). Availabble from: http://www.isi.edu/nsnam/ns [2010, October 28]

[22] Piorkowski, M., Raya, M., and Hubaux, J. P. Traffic and Network Simulation Environment (TraNS). [online]. (2008). Available from: http://trans.epfl.ch [2010, October 28]

[23] IEEE. IEEE 802.11 Official Timelines. [online]. (2010). Available from: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm [2010, October 28]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

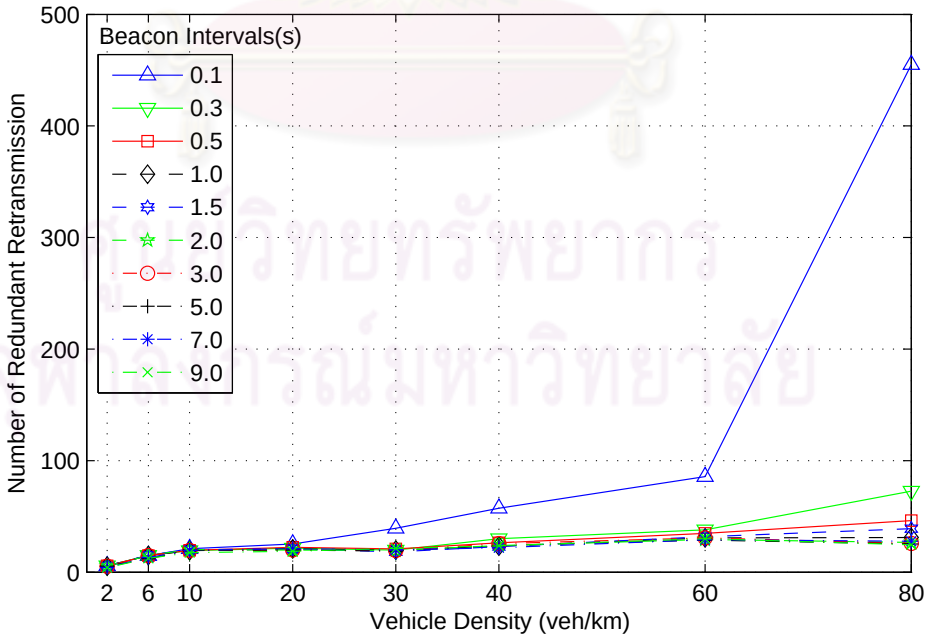
การทดสอบช่วงเวลาการทำ Beacon สำหรับ DECA

เนื่องจากช่วงเวลาในการทำ Beacon ที่ความหนาแน่นของโหนดในสภาพแวดล้อมต่าง มีช่วงเวลาที่เหมาะสมคือไม่สั้นจนเกินไปจนสิ้นเปลืองทรัพยากรที่อยู่จำกัดโดยไม่มีประโยชน์หรือยาวเกินไปจนทำให้การทำงานของโพรโทคอลไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้เพื่อนำค่าเวลาที่เหมาะไปใช้ในการหาช่วงเวลาที่ปรับตัวได้ตามความหนาแน่นของเครือข่าย โดยการทดลองทำบนสภาพแวดล้อมของถนนทางหลวง ที่ระยะเชื่อมต่อสูงสุด 250 เมตร

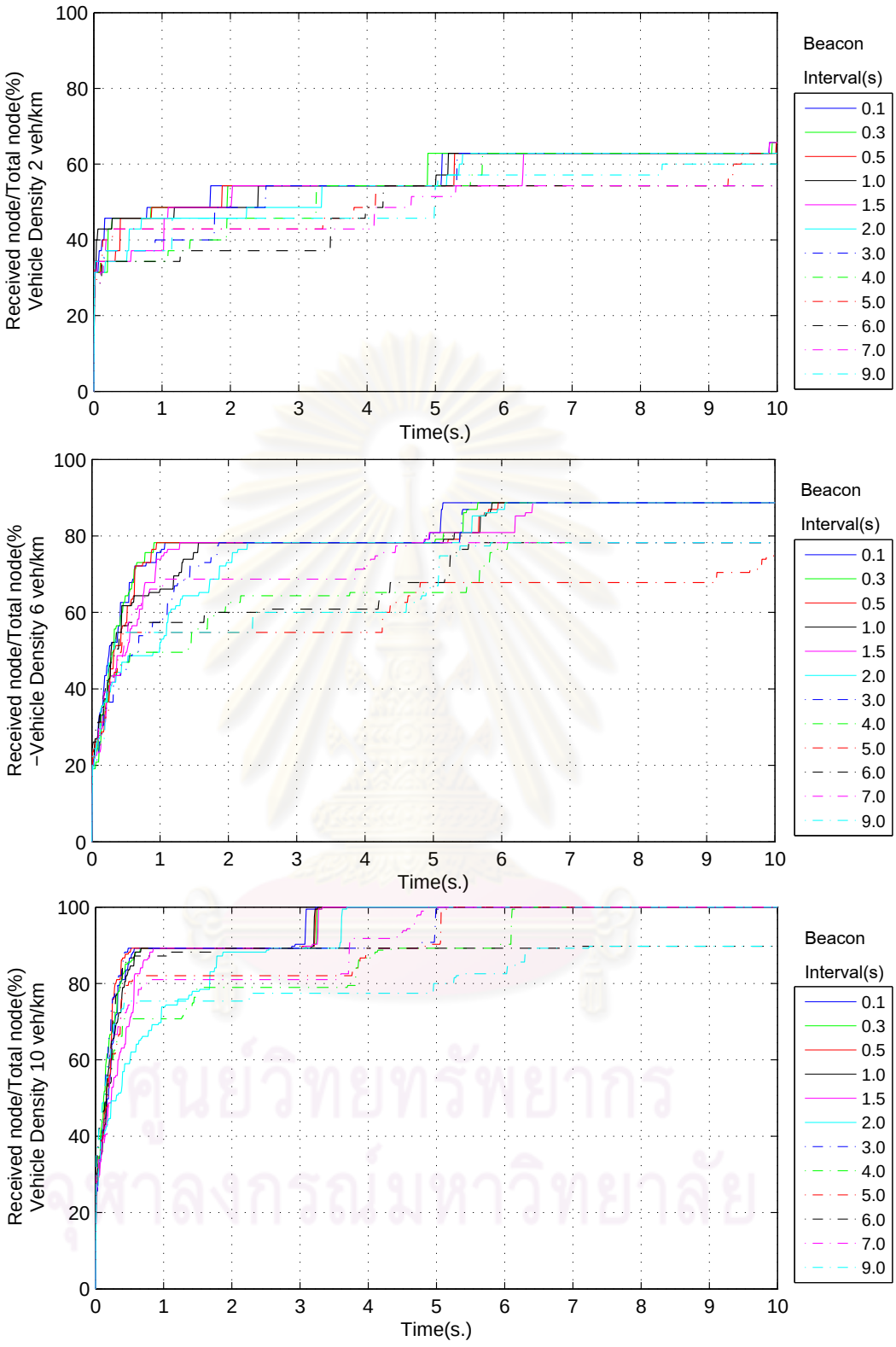
พิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสม จากผลการทดลองดังกราฟ โดยการเลือกช่วงเวลาที่ช้าที่สุดที่มีความเชื่อถือได้ และมีความเร็วในการแพร่ข้อความเร็วเป็นช่วงเวลาที่มีความเร็วในช่วง 1 วินาทีแรก โดย DECA มีช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ความหนาแน่นต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงช่วงเวลาการทำ Beacon ที่เหมาะสมสำหรับ DECA

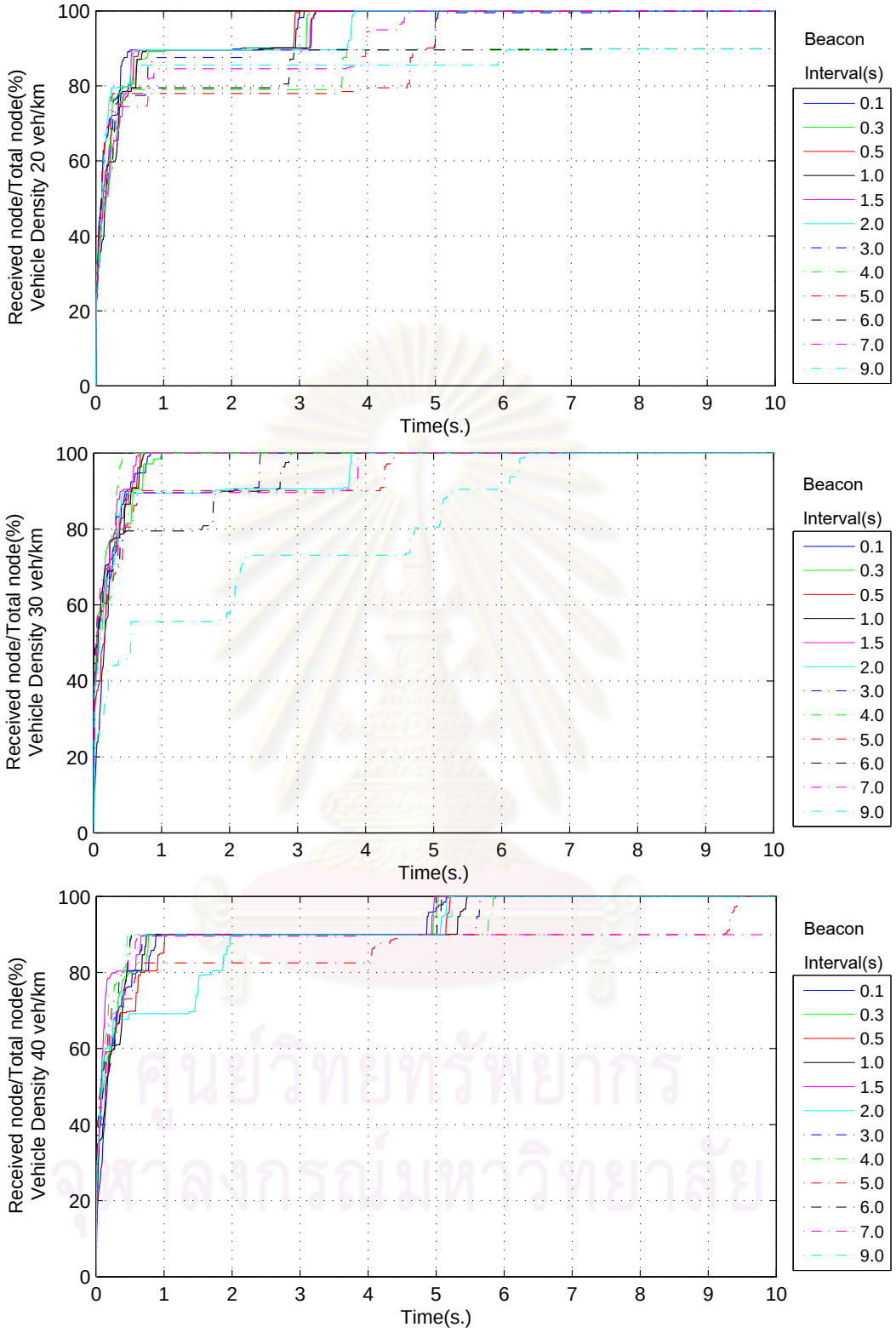
ความหนาแน่นของรถยนต์ (คัน/กม.)	ช่วงเวลาการทำ Beacon (วินาที)
2 – 10	3
20 – 40	4
60 – 80	7



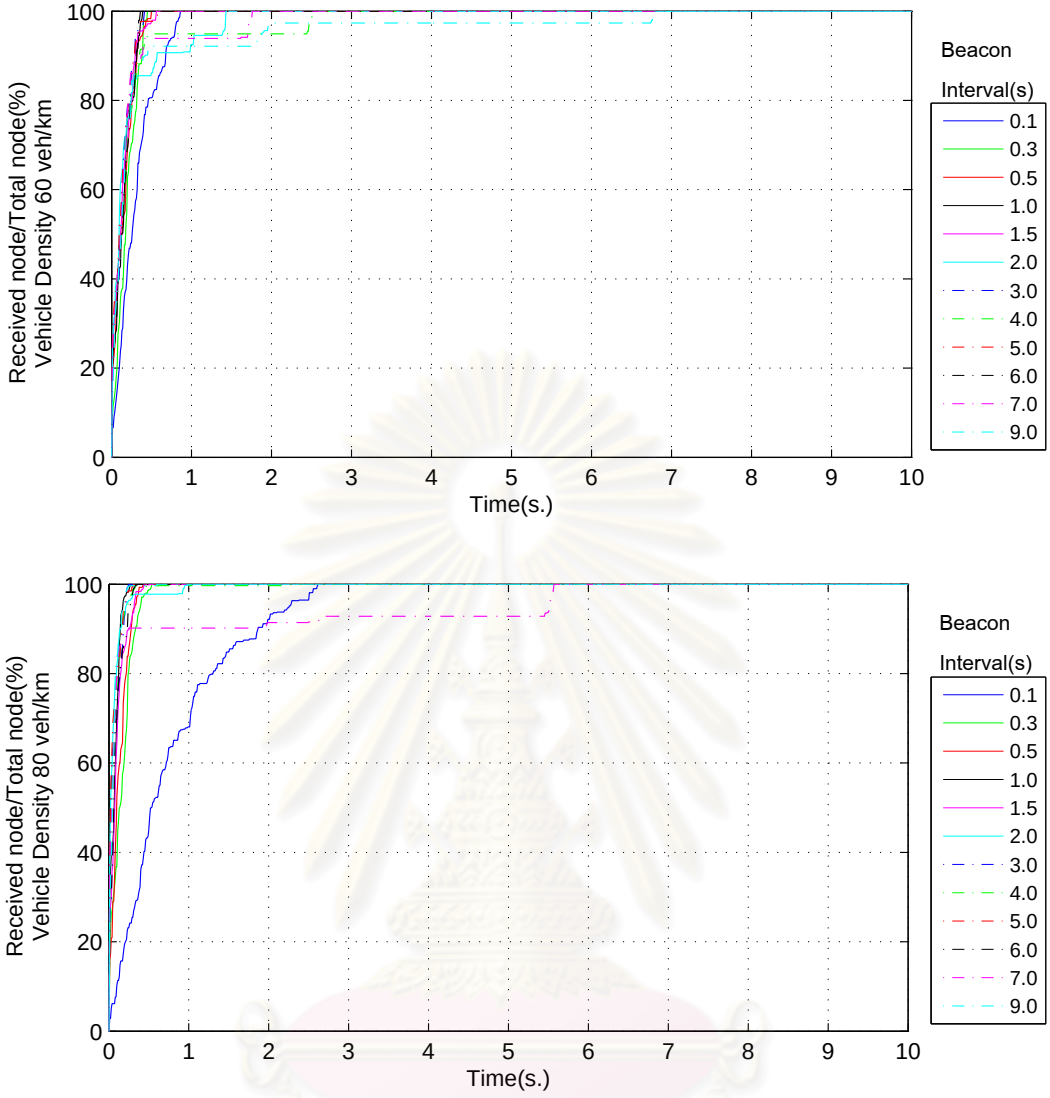
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงผลของค่าใช้จ่ายจากช่วงเวลาการทำ Beacon ที่ความหนาแน่นต่างๆ



รูปที่ ก.2 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 2-10 คัน/กิโลเมตร



รูปที่ ก.3 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 20-40 คัน/กิโลเมตร



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 60-80 คัน/กิโลเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

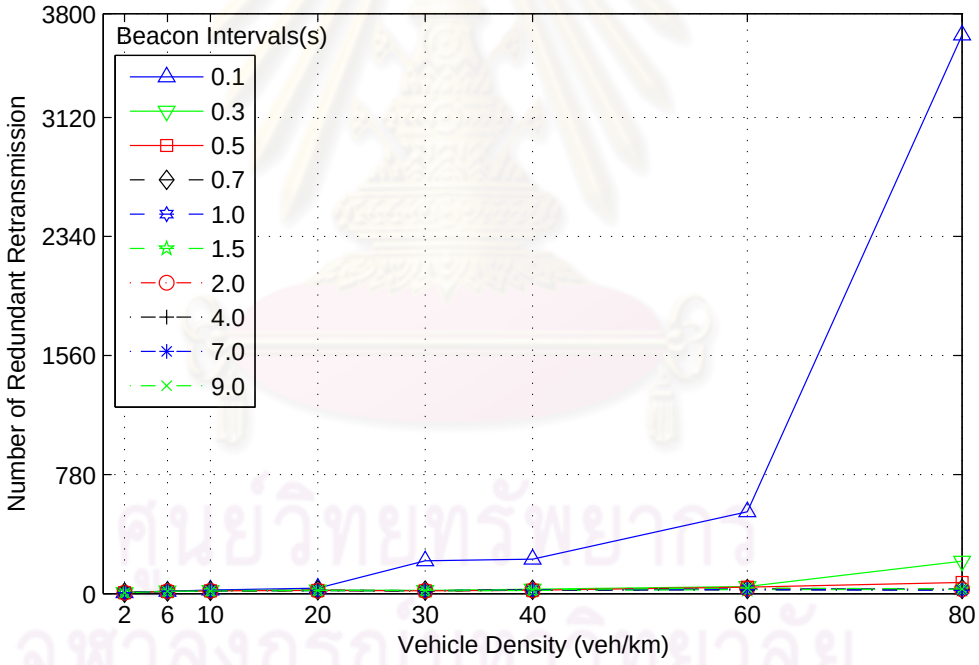
ภาคผนวก ข

การทดสอบช่วงเวลาการทำ Beacon สำหรับ POCA

พิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสม จากผลการทดลองดังกราฟ โดยการเลือกช่วงเวลาที่ช้าที่สุดที่มีความเชื่อถือได้ และมีความเร็วในการแพร่ข้อความเร็วเป็นช่วงเวลาที่มีความเร็วในช่วง 1 วินาทีแรก โดย POCA มีช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ความหนาแน่นต่างๆ ดังนี้

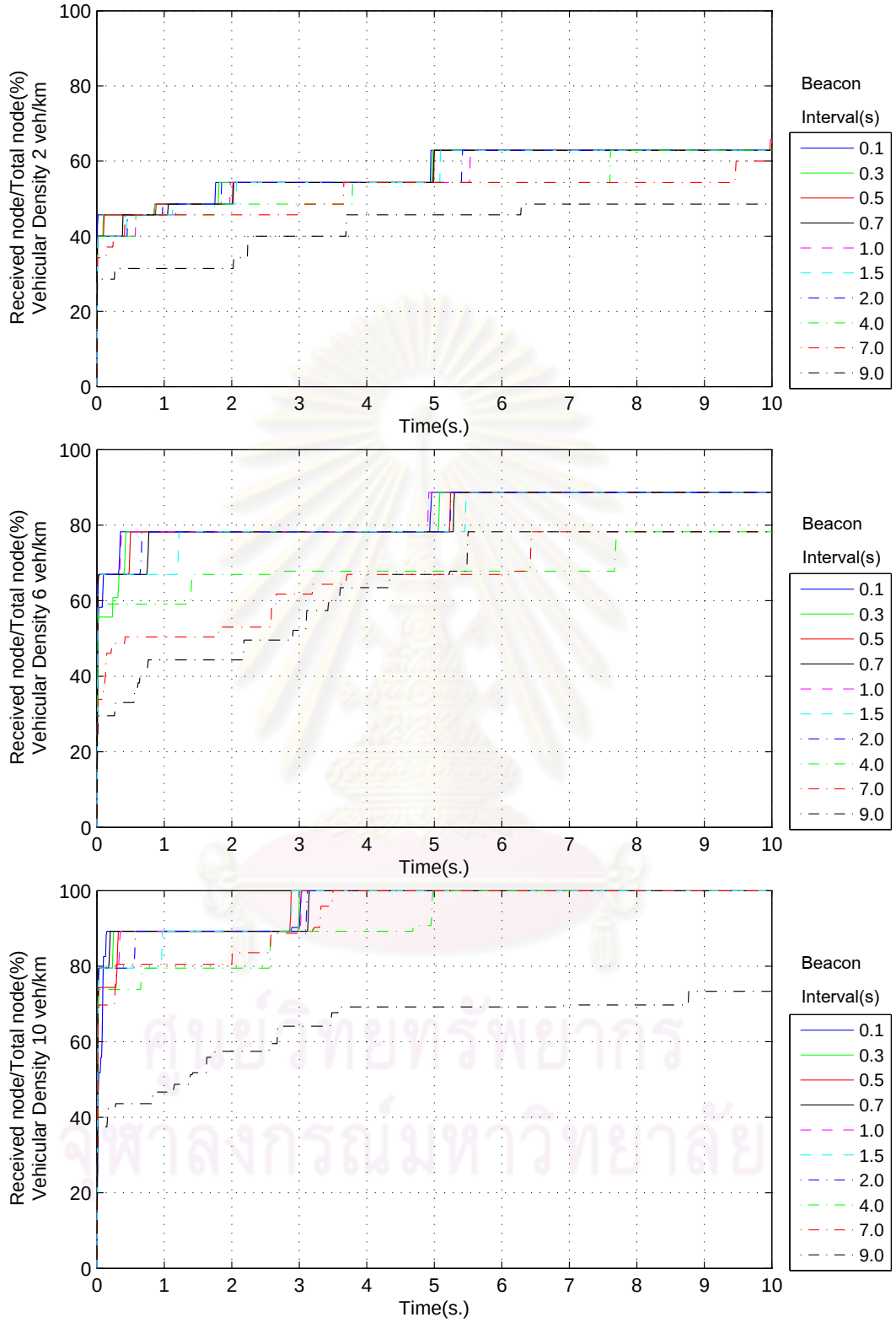
ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงช่วงเวลาการทำ Beacon ที่เหมาะสมสำหรับ POCA

ความหนาแน่นของรถยนต์ (คัน/กม.)	ช่วงเวลาการทำ Beacon (วินาที)
2 – 10	2
20 – 40	4
60 – 80	7

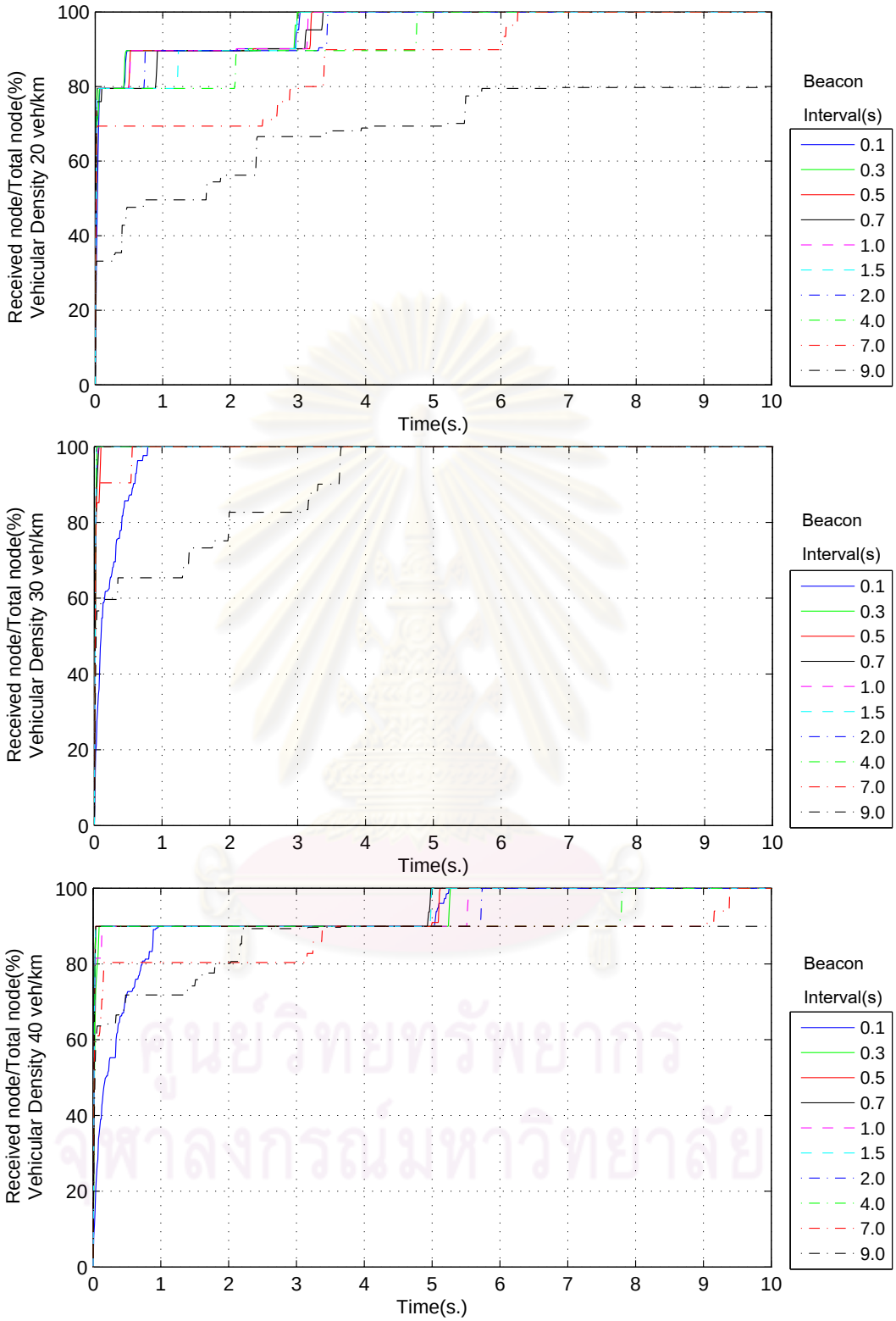


รูปที่ ข.1 กราฟแสดงผลของค่าใช้จ่ายจากช่วงเวลาการทำ Beacon ที่ความหนาแน่นต่างๆ

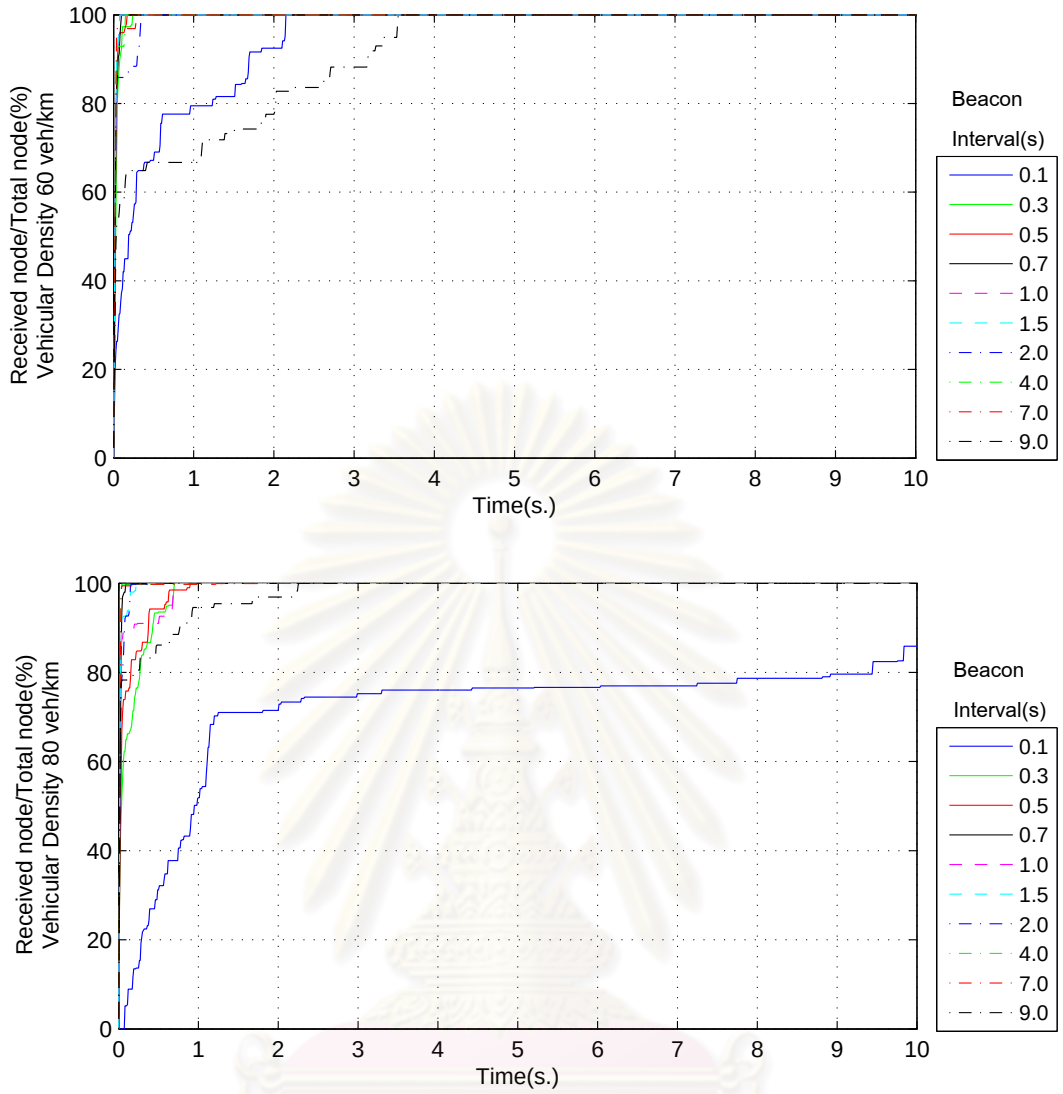
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 2-10 คัน/กิโลเมตร



รูปที่ ข.3 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 20-40 คัน/กิโลเมตร



รูปที่ ข.4 กราฟแสดงผลความเร็วในการแพร่ข้อความที่ช่วงความหนาแน่น 60-80 คัน/กิโลเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกุลิสร์ ณ นคร เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 (เกียรตินิยมอันดับ 2) และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย