โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

นายเกียรติคุณ กาวิละ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

A COOPERATIVE-BLOOM FILTER-ASSISTED QUERY PROTOCOL FOR DATA ACCESS IN VANETS

Mr. Kiattikun Kawila

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
โดย	นายเกียรติคุณ กาวิละ
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ภิรมย์โสภา)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกียรติคุณ กาวิละ : โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ. (A COOPERATIVE-BLOOM FILTER-ASSISTED QUERY PROTOCOL FOR DATA ACCESS IN VANETS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, 57 หน้า.

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นการสื่อสารรูปแบบหนึ่ง ของเครือข่ายไร้สาย ที่พิจารณายานพาหนะที่มีการเคลื่อนย้าย เป็นเหมือนโหนดในเครือข่าย แต่ละโหนดสามารถสื่อสารกับโหนดอื่นๆ ได้โดยตรง และไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการทำงานจากโครงสร้างพื้นฐานในเครือข่ายเกี่ยวกับยานพาหนะนั้น เป็นสิ่งที่กำลังท้าทายถึงการเคลื่อนย้ายข้อความสอบถามสำหรับข้อมูลที่ร้องขอให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อโหนดปลายทาง อยู่ภายนอกระยะขอบเขตของการสื่อสารจากโหนดผู้ร้องขอ นี่เป็นเพราะว่า ขั้นตอนวิธีการกำหนดเส้นทางต่างๆ ต้องประสบกับการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่ายอย่างบ่อยครั้ง ปัญหาที่กล่าวถึงนี้ นำมาซึ่งการแบ่งแยกของเครือข่ายมากมายต่อเส้นทางของการสื่อสาร วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นการสื่อสารแบบหนึ่งฮอพระหว่างยานพาหนะ กับสถานีฐานที่อยู่ริมถนน โดยการร้องขอข้อมูลภายในหนึ่งฮอพของการสื่อสารเท่านั้น และไม่จำเป็นต้องใช้ ขั้นตอนวิธีการกำหนดเส้นทาง เพื่อสร้างเส้นทางของการเคลื่อนย้ายข้อมูล ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอโพรโทคอลการสอบถามใหม่สำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เรียกว่า COBRA-Q ซึ่งโพรโทคอล COBRA-Q นี้ สามารถทำงานได้บนยานพาหนะที่มีการเคลื่อนย้าย และบรรลุเป้าหมาย ถึงการเคลื่อนย้ายข้อมูลที่ร้องขอภายในหนึ่งฮอพของการสื่อสาร โพรโทคอล COBRA-Q ได้ประยุกต์ใช้ตัวกรองของบลูม ซึ่งเป็นโครงสร้างข้อมูลความน่าจะเป็นชนิดหนึ่ง เพื่อเก็บรักษาและย่อส่วนบันทึกของประวัติการเดินทาง ของยานพาหนะ ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูล ในแง่ของตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จ ตัวชี้วัดความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล และตัวชี้วัดค่าใช้จ่ายของการใช้ข้อความสอบถาม ได้อย่างมีนัยสำคัญ โพรโทคอล COBRA-Q สามารถสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูล บนยานพาหนะที่มีการเคลื่อนย้าย และการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	....
ปีการศึกษา	2556		

5470130121 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS: VANETS / QUERY / BLOOM FILTER / DATA ACCESS / VEHICULAR AD HOC NETWORKS

KIATTIKUN KAWILA: A COOPERATIVE-BLOOM FILTER-ASSISTED QUERY PROTOCOL FOR DATA ACCESS IN VANETS. ADVISOR: ASST. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., 57 pp.

Vehicular ad-hoc networks (VANETs) are wireless networks that use moving vehicles as nodes in the network. Each node can communicate to others directly and does not need infrastructure. In vehicular networks, it is challenging to transfer a query message for a requesting data efficiently when the destination node is out of transmission range from the requester node. This is because many routing algorithms suffer from the intermittent connectivity of network that happens frequently. The mentioned problem leads to many network partitions along the path of communication. This thesis focuses on communication between vehicles to roadside unit stations by requesting data only one-hop communication from the requesting node and does not need to use any routing algorithms to create data transfer path. This thesis proposes a novel query protocol for data access in VANETs called COBRA-Q. The COBRA-Q protocol can work on moving vehicles and achieve to transfer the requesting data within one-hop communication. The COBRA-Q protocol applies Bloom filter that is a probabilistic data structure to keep and compress records of the traveling history of vehicles. From the simulation results, the proposed protocol can significantly improve the performance of data access in term of percentage of success, delay of data access and overhead of sending query metrics. The COBRA-Q protocol can supports for data access over moving vehicles and intermittent connectivity of network.

Chulalongkorn University

Department:	Computer Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Computer Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2013		

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้ถ่ายทอดประสบการณ์ต่างๆ และข้อคิด เพื่อให้เป็นแรงผลักดันในการดำเนินชีวิต และการทำงานในภายภาคหน้า จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ภิรมย์โสภา และรองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และแนวคิด ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษา หาความรู้และมอบประสบการณ์ที่ดีในการใช้ชีวิตในมหาวิทยาลัย ได้พบ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยแนะนำสิ่งดีๆ คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในช่วงเวลาต่างๆ

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และญาติๆ ที่คอยสนับสนุน ให้ผู้วิจัยให้ได้มีโอกาสศึกษาเล่าเรียน คอยให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจ อยู่เสมอๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 5

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 6

1.5 คุณค่าทางวิชาการ 7

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8

2.1.1 การสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ 8

2.1.2 มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11p 9

2.1.3 โครงสร้างของการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต และแอพพลิเคชั่นการเข้าถึงข้อมูล 10

2.1.4 ตัวกรองของบลูม 10

2.1.4.1 การเพิ่มข้อมูล และการทดสอบการเป็นสมาชิก 12

2.1.4.2 ความน่าจะเป็นของผลบวกลวง 13

2.1.5 โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายไร้สาย GPSR 14

2.1.5.1 กฎมือขวา 15

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

2.2.1 Road Network Based Adaptive Query Evaluation in VANET [5] 16

2.2.2 FleaNet: A Virtual Market Place on Vehicular Networks [6] 16

2.2.3 Typhoon: Resource Sharing Protocol for Metropolitan Vehicular Ad hoc Networks [7] 17

2.2.4 V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs [8] 18

หน้า

บทที่ 3 โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ 20
3.1 แนวคิดในการออกแบบ 20
3.2 หลักการทำงาน 22
3.2.1 การแบ่งแผนที่ออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก 23
3.2.2 หน่วยความจำ 24
3.2.3 เงื่อนไขของการค้นหาเพื่อนบ้านสำหรับการเข้าถึงข้อมูล 25
3.3 แผนภาพการทำงานของโพรโทคอล COBRA-Q 26
3.3.1 ลักษณะของการทำงานกรณีทั่วไป 26
3.3.2 ลักษณะของการทำงานกรณีที่โหนดได้รับแพ็คเกต 27
3.3.3 ลักษณะของการทำงานกรณีที่โหนดต้องการเข้าถึงข้อมูล 28
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 30
4.1 โพรโทคอลที่นำมาใช้ทดสอบวิธีการเข้าถึงข้อมูล 30
4.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของการเข้าถึงข้อมูล 30
4.3 เครื่องมือที่ในการวัดสมรรถนะของการเข้าถึงข้อมูล 31
4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 32
4.5 ผลการทดลองของอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล 33
4.6 ผลการทดลองของความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล 36
4.7 ผลการทดลองของการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม 39
4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานโดย GPSR 41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 43
5.1 สรุปผลการวิจัย 43
5.2 การคาดคะเนและการอภิปราย 44
5.2.1 การพิจารณาการเข้าถึงข้อมูลของโพรโทคอล COBRA-Q กับการเข้าถึงข้อมูลที่อาศัยเทคนิคจากการส่งข้อมูลแบบเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง หรือ Delay-tolerant networking (DTN) 44
5.2.2 การพิจารณาการเข้าถึงข้อมูลของโพรโทคอล COBRA-Q กับการปรับค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถาม หรือ Query Interval 45

หน้า

5.3 ข้อจำกัด 47

5.4 ข้อเสนอแนะ 49

รายการอ้างอิง 50

ภาคผนวก 52

ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย 53

ภาคผนวก ข การแปลงข้อมูลการเคลื่อนที่จากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถทำงานได้บนโปรแกรมจำลองเครือข่าย 55

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 57

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11p เทียบกับมาตรฐานอื่น... 9
ตารางที่ 2.2 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลบวกลวง 14
ตารางที่ 2.3 สรุปรายละเอียดในแต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อความสอบถาม..................... 19
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลบวกลวง 25
ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง... 33
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ....................... 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ระบบการจราจรอัจฉริยะ [1] 1
ภาพที่ 1.2 การเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่เกิดขึ้นจริง จากพื้นที่บางส่วนของเขตปทุมวัน ใน กรุงเทพมหานคร 3
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของการสื่อสารที่เกิดขึ้นระหว่างยานพาหนะ [13] 9
ภาพที่ 2.2 แสดงการทำงานแอพพลิเคชั่นของการเข้าถึงข้อมูล 10
ภาพที่ 2.3 ตัวกรองของบลูม 11
ภาพที่ 2.4 ภาพรวมของตัวกรองของบลูม (a) และ (b) คือการเพิ่มสมาชิก *A* และ สมาชิก *B*, (c) และ (d) คือการทดสอบการเป็นสมาชิกของ *A* และ *C* 13
ภาพที่ 2.5 การเลือกผู้ส่งต่อแพ็คเกตของโพรโทคอล GPSR 14
ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการเลือกผู้ส่งต่อเชิงละโมบได้ 15
ภาพที่ 2.7 แสดงภาพของผู้ส่งและพื้นที่เป้าหมาย 16
ภาพที่ 2.8 แสดงการส่งข้อความสอบถามของ FleaNet 17
ภาพที่ 2.9 แสดงภาพของโพรโทคอลเมื่อสี่เหลี่ยมสีเทาเข้มคือจุดที่โพรโทคอลกำหนด (a) คือมุมมองของผู้ต้องการแบ่งสรร (b) มุมมองของผู้ร้องขอ (c) มุมมองทั้ง a และ b ซ้อนทับกัน 18
ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของปัญหาการจัดการข้อมูล และปัญหากรณีที่รถยนต์บางคันเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม 18
ภาพที่ 3.1 อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลด้วยระยะห่าง 500 เมตร ถึง 2,000 เมตร ของ GPSR 20
ภาพที่ 3.2 การกระจายตัวของความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามต่อการรับข้อมูลตอบกลับหนึ่งครั้ง ที่ระยะห่าง 500 เมตร ของ GPSR 21
ภาพที่ 3.3 Network unreachable 22
ภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการแบ่งแผนที่ออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก 23
ภาพที่ 3.5 แสดงแผนที่โลก 24
ภาพที่ 3.6 แผนภาพแสดงตัวจับเวลา (a) ตัวจับเวลาระบุตำแหน่ง (b) ตัวจับเวลาบีคอน 27
ภาพที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานเมื่อได้รับแพ็คเกต (a) การรับบีคอน (b) การรับข้อความสอบถาม 28
ภาพที่ 3.8 แผนภาพแสดงสถานะของการทำงานฝั่งผู้ส่งข้อความสอบถาม 29
ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงสถานะของการทำงานฝั่งผู้รับข้อความสอบถาม 29
ภาพที่ 4.1 (a) สภาพแวดล้อมแบบถนนทางหลวง (b) สภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด 32

หน้า

ภาพที่ 4.2 สภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง 33
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง 34
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด 35
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง 36
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง 37
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด 38
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง 39
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวงที่ระยะห่าง 500 เมตร 40
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริดที่ระยะห่าง 500 เมตร 40
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมืองที่ระยะห่าง 500 ถึง 2,000 เมตร 41
ภาพที่ 4.12 แสดงสัดส่วนของข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด โดย GPSR 42
ภาพที่ 4.13 แสดงสัดส่วนของข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง โดย GPSR 42
ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความถี่ของจำนวนหมายเลขพื้นที่ที่ยานพาหนะวิ่งผ่านโดยเฉลี่ย ช่วงเวลา 8.00 - 10.00 นาฬิกา 48
ภาพที่ 5.2 ความน่าจะเป็นของผลบวกลวงกับจำนวนสมาชิกที่เพิ่มขึ้น 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

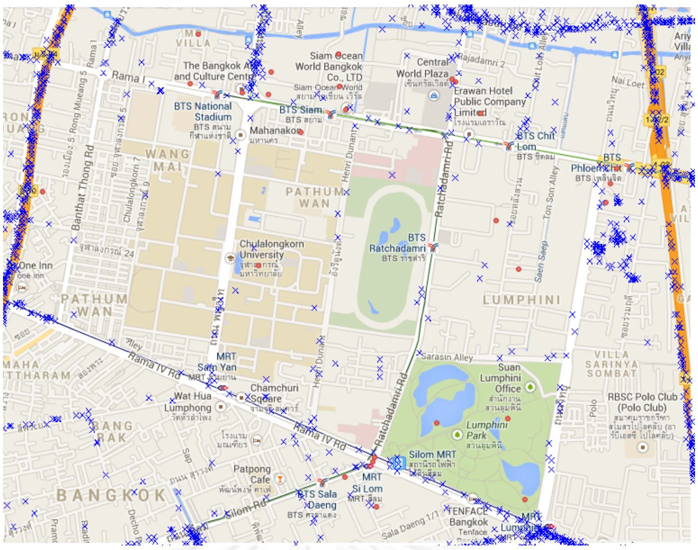
1.1 ที่มาและความสำคัญ

การสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ (VANETs: Vehicular Ad-hoc Networks) เป็นเทคโนโลยีของการสื่อสารที่ทำให้ยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่ในท้องถนน สามารถสื่อสารกับสิ่งต่างๆ ที่อยู่ภายในระยะการสื่อสารของตน ผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ถูกติดตั้งไว้ในยานพาหนะนั้นๆ ตามมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย 802.11p ที่ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานกลาง โดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers) หรือ IEEE ซึ่งถูกพัฒนาขึ้น เพื่อสนับสนุนและรองรับการสื่อสารไร้สาย หรือแอพพลิเคชั่น (Application) ประเภทต่างๆ ที่หลากหลายในเครือข่ายบนยานพาหนะ เช่น การขับขี่อย่างปลอดภัย (Driving safety), การเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการ (Data access), ระบบการจราจรอัจฉริยะ (ITS: Intelligent Transportation System) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 และการโฆษณา (Advertisement) เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จึงทำให้การสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นที่นิยม และได้รับความสนใจในการวิจัยอย่างต่อเนื่อง จากลักษณะของการสื่อสารดังกล่าว ยานพาหนะแต่ละคันสามารถสื่อสารกับยานพาหนะคันอื่นๆ หรือสิ่งต่างๆ ที่อยู่ภายในเครือข่าย เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้อย่างอิสระ โดยที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งการทำงานจาก

ภาพที่ 1.1 ระบบการจราจรอัจฉริยะ [1]

โครงสร้างพื้นฐานใดๆ (Infrastructure-less) ถึงแม้ว่าตำแหน่งของยานพาหนะต้นทาง กับตำแหน่งของปลายทางที่ต้องการสื่อสาร ไม่ได้อยู่ภายในระยะขอบเขตของการสื่อสารซึ่งกันและกัน ยานพาหนะต้นทางก็ยังคงสามารถที่จะทำการสื่อสารกับปลายทางได้ โดยใช้วิธีการสื่อสารแบบหลายฮอพ (Multi-hop communication) ผ่านโหนดอื่นๆ ในเครือข่ายแทน แต่เนื่องจากโหนดในเครือข่ายของการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เกิดการเคลื่อนที่บ่อยครั้ง จึงทำให้โพรโทคอลสำหรับค้นหาเส้นทาง (Routing Protocol) แบบดั้งเดิมบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Ad-hoc network) ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2] [3] [4] กับสถานการณ์ที่โหนดในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยส่วนหนึ่งที่ได้นำเสนอโพรโทคอลสำหรับการค้นหาเส้นทาง เพื่อรองรับการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนโหนดเคลื่อนที่ (MANETs: Mobile Ad-hoc Networks) อย่างไรก็ตามคุณสมบัติ และลักษณะของครือข่ายดังกล่าวนั้น ยังคงมีความแตกต่างกับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น โหนดในเครือข่ายบนยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง, โทโพโลจี (Topology) ของเครือข่ายเปลี่ยนแปลงบ่อย โหนดในเครือข่ายถูกจำกัดการเคลื่อนที่ ภายใต้เงื่อนไขของกฎการจราจร เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของเครือข่ายบนยานพาหนะนี้ ได้นำไปสู่การเกิดปัญหาของการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอ (Intermittent connectivity problem) ของเครือข่าย ทำให้เส้นทางของการเข้าถึงข้อมูล และเส้นทางของการส่งผ่านข้อมูลในเครือข่าย ระหว่างโหนดต้นทางกับตำแหน่งของปลายทางถูกแบ่งแยก (Partition) ออกจากกัน ซึ่งเหตุการณ์ในลักษณะดังกล่าวนี้ สามารถเกิดขึ้นได้บ่อยครั้งกับเครือข่ายบนยานพาหนะ ถึงแม้ว่าจะเป็นสถานการณ์ที่โหนดในเครือข่ายมีความหนาแน่นสูง เช่น ในกรณีของชั่วโมงเร่งด่วน เป็นต้น เส้นทางของการส่งข้อมูลก็สามารถเกิดการแบ่งแยกออกเป็นหลายๆ ช่วงได้เสมอ ดังแสดงในภาพที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 1.2 การเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่เกิดขึ้นจริง จากพื้นที่บางส่วนของเขตปทุมวัน ในกรุงเทพมหานคร

ลักษณะของการสื่อสารเพื่อการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการ ตามวิธีการพื้นฐานของเครือข่ายโหนดต้นทางจะสร้างข้อความสอบถาม (Query Message) ขึ้น และส่งข้อความสอบถามนั้นออกไปยังปลายทางของข้อมูล เพื่อแจ้งให้ปลายทางของข้อมูลนั้นรับทราบถึงเจตนาของโหนดผู้ส่งข้อความสอบถาม หลังจากที่ปลายทางได้รับข้อความสอบถาม ปลายทางนั้นก็จะตอบกลับด้วยข้อมูลที่สอดคล้องกับข้อความสอบถามที่ได้รับ กลับไปยังโหนดต้นทางที่เป็นผู้ส่งข้อความสอบถามทันที (สมมติในกรณีที่ปลายทางคือผู้ที่มีข้อมูลที่โหนดต้นทางต้องการอยู่) ซึ่งรูปแบบของการสื่อสารโดยใช้ข้อความสอบถามสามารถแบ่งได้สองประเภทคือ การสื่อสารแบบหนึ่งฮอพ และการสื่อสารแบบหลายฮอพ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อความสอบถามเพื่อสนับสนุน และรองรับการเข้าถึงข้อมูลในการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ได้แก่ Road Network Based Adaptive Query Evaluation in VANET, FleaNet: A Virtual Market Place on Vehicular Networks, Typhoon: Resource Sharing Protocol for Metropolitan Vehicular Ad hoc Networks, V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs

แต่ละงานวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

งานวิจัย [5] ใช้วิธีการส่งข้อความสอบถามแบบหลายฮอพ และในข้อความสอบถามที่ถูกส่งออกไปจะมีการกำหนดแผนการทำงานแนบไปกับข้อความสอบถาม เพื่อให้ข้อความสอบถามสามารถไปยังพื้นที่เป้าหมาย และพื้นที่เป้าหมายสามารถตอบข้อมูลที่ต้องการกลับมาได้

งานวิจัย [6] ใช้วิธีการส่งข้อความสอบถามแบบหนึ่งฮอพ โดยการกระจาย (Broadcast) ข้อความสอบถามกับทุกพื้นที่ที่ผู้ส่งเคลื่อนที่ผ่าน และการตอบกลับของข้อมูลที่ต้องการนั้น จากการทำงานของโพรโทคอล จะเป็นในรูปแบบหลายฮอพ

งานวิจัย [7] โพรโทคอลจะกำหนดจุดที่สามารถส่งข้อความสอบถามที่แน่นอนตามพื้นที่ต่างๆ บนแผนที่ ซึ่งรูปแบบของการส่งข้อความสอบถามเป็นแบบหลายฮอพ และกระจายไปยังจุดทุกจุด ดังกล่าวที่อยู่ภายในขอบเขตพื้นที่การสอบถามของตนเอง

งานวิจัย [8] ใช้วิธีการส่งข้อความสอบถาม ไปยังโหนดในกลุ่มของตน สามารถเป็นได้ทั้งแบบหนึ่งฮอพหรือแบบหลายฮอพ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เน้นการออกแบบ และการทดลองบนการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง

เนื่องจากคุณสมบัติที่เฉพาะของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ และปัญหาของการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ระยะห่างหรือจำนวนฮอพของการสื่อสาร จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการสื่อสาร ในขณะที่เส้นทางของการสื่อสารไกลมากขึ้น โอกาสที่เส้นทางของการสื่อสารนั้นจะประสบกับปัญหาการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่าย มีโอกาสที่สูงขึ้นตาม ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดต่ำลง ทั้งในแง่ของตัวชี้วัดต่างๆ เช่น อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล อัตราส่วนของการโอนถ่ายข้อมูล ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล และค่าใช้จ่ายของการสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นการสื่อสารเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด สามารถกระทำได้ เมื่อระยะห่างหรือจำนวนฮอพของการสื่อสารมีจำนวนน้อยที่สุด จากงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้น ยังไม่มีงานวิจัยไหนที่เน้นการส่งข้อความสอบถามเพื่อการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการ และได้รับข้อมูลตอบกลับภายในระยะหนึ่งฮอพของการสื่อสาร ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอโพรโทคอลสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ด้วยการสื่อสารแบบหนึ่งฮอพ ชื่อโพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูม (COBRA-Q: A Cooperative-Bloom filter-Assisted Query Protocol) ซึ่งโพรโทคอลดังกล่าว ได้อาศัยคุณสมบัติเฉพาะของเครือข่ายบนยานพาหนะ ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของโหนด มาประยุกต์ใช้เพื่อการเข้าถึงข้อมูลจากแหล่งที่มีการกระจายข้อมูล ในพื้นที่ต่างๆ ของแผนที่ โดยการค้นหาข้อมูลที่ต้องการจากโหนดเพื่อนบ้าน แทนการเข้าถึงข้อมูลด้วยวิธีการสื่อสารแบบหลายฮอพ จากแหล่งข้อมูลโดยตรง ซึ่ง COBRA-Q จะพิจารณาข้อมูลที่ต้องการ จากเส้นทางการเคลื่อนที่ในอดีตของแต่ละโหนดที่เป็นเพื่อนบ้าน ซึ่งโหนดเพื่อนบ้านใดที่เคยเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่มีกระจายข้อมูลนั้น จะเป็นผู้ถูกเลือกสำหรับการเข้าถึงข้อมูล จากแนวคิดที่ได้กล่าวในข้างต้น การบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนด จึงถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทำงาน เนื่องจากหน่วยความจำของแต่ละโหนด จะต้องมีขนาดที่ใหญ่เพียงพอตามขนาดของแผนที่ที่ใช้ หรือตามปริมาณของพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่ง จากการศึกษาพบว่า โครงสร้าง

ข้อมูลชนิดหนึ่งที่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยในอดีต และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ชื่อตัวกรองของบลูม [9] หรือ Bloom filter มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ สำหรับการบันทึกหรือจดจำเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนด ซึ่งตัวกรองของบลูมนี้มีขนาดของหน่วยความจำคงที่เสมอ แม้ว่าขนาดของแผนที่ที่ใช้จะมีขนาดใหญ่มากขึ้น หรือปริมาณของพื้นที่ที่ถูกแบ่งมีจำนวนที่สูงขึ้น จากผลลัพธ์ของการทดลองพบว่า COBRA-Q สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในสถานการณ์จำลองอย่างง่าย สถานการณ์จำลองแบบเมือง และสถานการณ์ที่ใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่จริงจากพื้นที่ส่วนหนึ่งของเขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ในแง่ของตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล และค่าใช้จ่ายของการสื่อสารจากการใช้ข้อความสอบถาม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และออกแบบการส่งข้อความสอบถามสำหรับการร้องขอข้อมูลที่สนใจภายในหนึ่งฮอพการสื่อสาร ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งจะเน้นการปรับปรุงในเรื่องของค่าใช้จ่ายของการสื่อสาร การส่งข้อความสอบถามที่ไม่จำเป็น ปรับปรุงความล่าช้าในการตอบกลับของข้อมูล และอัตราความสำเร็จของการร้องขอข้อมูล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) การพัฒนา และทดลองกระทำบนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 (NS 3.15) โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการเข้าถึงข้อมูลของโพรโทคอลในงานวิจัยนี้ กับการเข้าถึงข้อมูลแบบดั้งเดิม ที่พึ่งการทำงานผ่านโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง ของโพรโทคอลเครือข่ายไร้สายชื่อ Greedy Perimeter Stateless Routing หรือ GPSR
2) พฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่นำมาใช้ในการทดลอง มีเพียงสองชนิดดังนี้ ชนิดที่หนึ่งคือ พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ถูกจำลองขึ้นมาโดยโปรแกรมจำลอง Simulation of Urban Mobility หรือ SUMO ชนิดที่สองคือพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจำนวนหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจริงภายในพื้นที่ที่เป็นส่วนหนึ่งของเขตปทุมวัน ในกรุงเทพมหานคร
3) โพรโทคอลในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบโดยเน้นการสื่อสารเพื่อการเข้าถึงข้อมูลของพื้นที่ที่ต้องการ ผ่านการสื่อสารแบบหนึ่งฮอพกับโหนดที่เป็นเพื่อนบ้านของผู้ที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลเท่านั้น
4) แต่ละโหนดในเครือข่าย จะกระทำการส่งข้อมูลเพื่อแสดงถึงการคงอยู่ในเครือข่าย ให้กับโหนดอื่นๆ ที่อยู่ภายในระยะการสื่อสารของตนเอง
5) การกระทำการทดลองในแต่ละโพรโทคอล แต่ละโหนดที่กระทำการส่งข้อความสอบถามจะหยุดการส่งข้อความสอบถามก็ต่อเมื่อโหนดที่ร้องขอข้อมูลนั้น ได้รับข้อมูลที่ต้องการแล้ว

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษารูปแบบของแอพพลิเคชั่น ที่เกิดขึ้นในการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ จากงานวิจัยที่ผ่านมา และวิธีการต่างๆ ในการใช้ข้อความสอบถามเพื่อร้องขอข้อมูลที่สนใจ
2) ศึกษาวิธีการทำงานของตัวกรองของบลูม การกระทำที่รองรับ และข้อจำกัดของการทำงาน
3) กระทำการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวกรองของบลูม และศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ
4) ศึกษาการทำงานของโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 และทดลองการทำงานร่วมกับพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ที่ถูกสร้างโดยโปรแกรม SUMO
5) กระทำการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะแบบพึ่งการทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง GPSR บนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 ในสถานการณ์จำลองเมืองแบบกริด
6) วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากข้อ 5) และศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้การเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
7) รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นกับตัวกรองของบลูมในข้อ 3) และผลจากการวิเคราะห์ในข้อ 6) เพื่อออกแบบโพรโทคอลสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ
8) กระทำการทดลองเบื้องต้น เกี่ยวกับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะกับโพรโทคอลที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 7) บนสถานการณ์เดียวกันกับการทดลองในข้อ 5)
9) ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจากข้อ 5) และข้อ 8)
10) ทำการแก้ไขและปรับปรุงประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ออกแบบเพิ่มเติม
11) กระทำการทดลองเกี่ยวกับการเข้าถึงข้อมูลแบบละเอียด ทั้งวิธีแบบดั้งเดิม ซึ่งพึ่งการทำงานจากโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง และการทำงานโดยใช้โพรโทคอลที่ออกแบบ ในสถานการณ์จำลองเมืองแบบกริด
12) รวบรวมผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแบบละเอียดจากข้อ 11)
13) จัดเตรียมการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ออกแบบ กับสถานการณ์การเคลื่อนที่จริง โดยทำการแปลงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ที่ได้จากข้อมูลดิบ ให้สามารถนำมาใช้กับโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 ได้
14) กระทำการทดลอง และเก็บผลข้อมูลของโพรโทคอลที่ได้ออกแบบโดยทำการเปรียบเทียบกับการเข้าถึงข้อมูลแบบพึ่งการทำงานจากโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง บนพฤติกรรมการเคลื่อนที่จริงจากข้อ 13)
15) วิเคราะห์ผลการทดลองในสถานการณ์จริงจากข้อ 14)

16) ปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้โพรโทคอลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด
17) สรุปผลการทดลอง และเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

1) โพรโทคอลที่นำเสนอ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแอพพลิเคชั่นที่ไม่เกี่ยวกับความปลอดภัยบนถนนแบบเมืองได้หลากหลาย เช่น ความบันเทิง, ข้อมูลการท่องเที่ยว, สิ่งโฆษณา เป็นต้น
2) โพรโทคอลที่นำเสนอ ได้นำคุณสมบัติที่เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา
3) โพรโทคอลที่นำเสนอ แสดงให้เห็นถึงอัตราความสำเร็จของการได้รับข้อมูลที่สูง ช่วยลดค่าใช้จ่ายของการสื่อสารอันเนื่องมาจากการส่งข้อความสอบถามที่ไม่จำเป็น และปรับปรุงความล่าช้าของการได้รับข้อมูล
4) การนำข้อมูลพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่เกิดขึ้นจริง ภายในพื้นที่ที่เป็นส่วนหนึ่งของเขตปทุมวัน ในกรุงเทพมหานครมาทำการทดลอง และแสดงให้เห็นว่า โพรโทคอลที่ถูกออกแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

1) หัวเรื่อง “Cobra-Q: A Cooperative-Bloom Filter-Assisted Query Protocol for Data Access in VANET” โดย เกียรติคุณ กาวิละ และ ธนาภูมิ แดนมณี และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “15th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT 2013)” ซึ่งจัดขึ้น ณ กุ้ยหลิน ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 17-19 พฤศจิกายน 2556 [10]
2) หัวเรื่อง “Performance of a Cooperative-Bloom Filter-Assisted Query Protocol for Data Access in Bangkok Scenario” โดย เกียรติคุณ กาวิละ และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “11th International Joint Conference on Computer Sciences and Software Engineering (JCSSE 2014)” ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองพัทยา ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 14-16 พฤษภาคม 2557 [11]

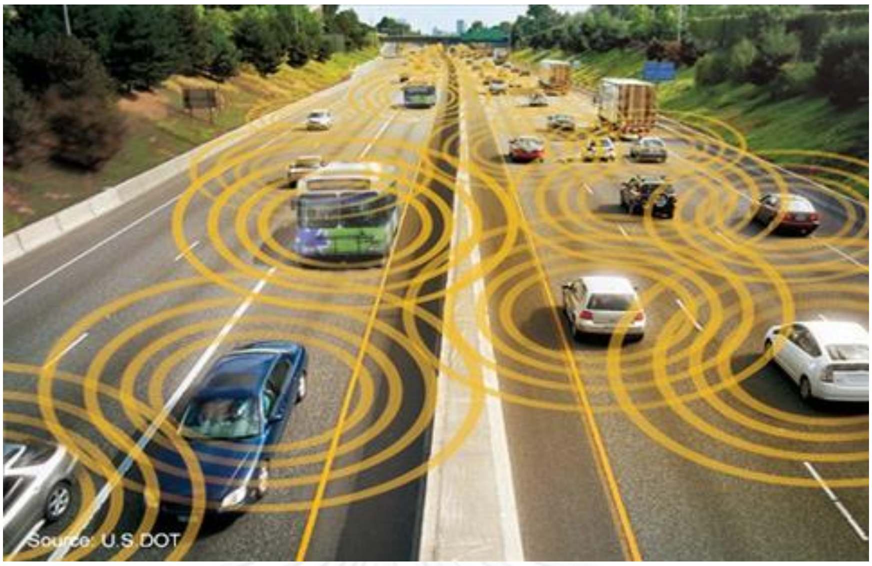
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

การสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการสื่อสาร ที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ถูกติดตั้งไว้บนยานพาหนะ ตามมาตรฐานการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย 802.11p [12] ที่ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานกลาง โดยสถาบันวิชาชีพวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers) หรือ IEEE และเมื่อยานพาหนะที่มีอุปกรณ์สื่อสารไร้สายนี้ เคลื่อนที่ออกไปในท้องถนน ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ที่เป็นลักษณะแบบถนนทางหลวง (Highway) หรือเป็นพื้นที่ในลักษณะของเขตเมืองขนาดใหญ่ (Urban) ก็จะทำให้ยานพาหนะต่างๆ เหล่านั้นเกิดเป็นกลุ่มของเครือข่ายขนาดใหญ่ที่สามารถสื่อสารระหว่างกันเองได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ในลักษณะเช่นเดียวกันกับเครือข่ายแบบแอดฮอก โดยที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการทำงานผ่านอุปกรณ์สื่อสารที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบ หรือโครงสร้างพื้นฐานใดๆ แต่สิ่งที่ทำให้เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมีความแตกต่าง และโดดเด่นกว่าเครือข่ายแอดฮอกลักษณะอื่นๆ คือคุณสมบัติที่เฉพาะตัว ดังนี้

- *โหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง* ตามความเร็วของยานพาหนะ
- *จำนวนโหนดในเครือข่ายที่เกิดขึ้นมีปริมาณมาก* โดยเฉพาะเครือข่ายในเขตพื้นที่แบบเมือง ซึ่งคุณสมบัตินี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อ ปริมาณของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลานั้นเช่นกัน
- *โทโพโลจีของเครือข่ายเปลี่ยนแปลงบ่อย* อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ขับขี่ ความซับซ้อนของโครงสร้างถนนและเงื่อนไขของการจราจร เป็นต้น
- *พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของโหนด สามารถทำนายได้ในเบื้องต้น* เช่น ทิศทางที่โหนดกำลังมุ่งไป เป็นต้น
- *โหนดในเครือข่ายถูกจำกัดการเคลื่อนที่ให้วิ่งอยู่บนเส้นของถนนเท่านั้น*



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของการสื่อสารที่เกิดขึ้นระหว่างยานพาหนะ [13]

2.1.2 มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11p

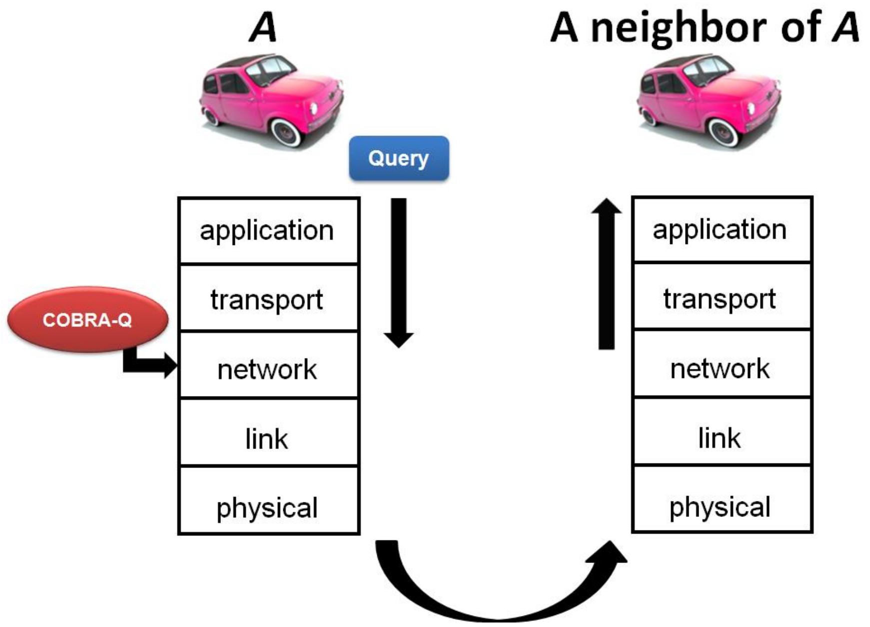
มาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นสำหรับการสื่อสารไร้สายในสภาพแวดล้อมเกี่ยวกับยานพาหนะ (WAVE: wireless access in vehicular environments) เพื่อตอบสนองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ หรือ ระหว่างยานพาหนะกับหน่วยสื่อสารริมถนน (Roadside Unit) หรือ ระหว่างยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐานริมถนน (Roadside infrastructure) เป็นต้น นำไปสู่ประโยชน์ต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ ทั้งแอพพลิเคชั่นที่เกี่ยวกับความปลอดภัย เช่น ระบบช่วยขับขี่ ระบบแจ้งเตือนอันตราย การจราจรอัจฉริยะ เป็นต้น และแอพพลิเคชั่นที่ไม่เกี่ยวกับความปลอดภัย เช่น ด้านความบันเทิง การเข้าข้อมูล การโฆษณา สนับสนุนการท่องเที่ยว เป็นต้น มาตรฐานของการสื่อสารนี้จะใช้ย่านความถี่ที่ 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz) โดยมีระยะขอบเขตของการสื่อสารไกลถึง 1,000 เมตร [12] ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของเทคโนโลยี IEEE 802.11p เทียบกับมาตรฐานอื่น

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11p เทียบกับมาตรฐานอื่น

เทคโนโลยี	วิธีการโมดูเลต (Modulation)	อัตราเร็ว (Mbps)	ระยะทางสูงสุด (เมตร)	ความถี่ (GHz)
IEEE 802.11a	OFDM	54	30	5
IEEE 802.11b	DSSS	11	100	2.4
IEEE 802.11g	OFDM	54	100	2.4
IEEE 802.11n	MIMO-OFDM	600	100	2.4/5
IEEE 802.11p	OFDM (Doubling 802.11a parameter)	6-27	1000	5.9

2.1.3 โครงสร้างของการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต และแอพพลิเคชั่นการเข้าถึงข้อมูล

ชั้นของโครงสร้างของการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต (Internet protocol stack) แบ่งออกเป็นห้าชั้นด้วยกัน ถ้าหากพิจารณาผ่านมุมมองของผู้ใช้งานก็จะเริ่มจากการติดต่อโครงสร้างนี้ผ่านชั้นแอพพลิเคชั่น (Application Layer) ซึ่งถือเป็นชั้นลำดับสูงสุดของโครงสร้าง เมื่อผู้ใช้งานมีความต้องการเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่ใดๆ ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ แอพพลิเคชั่นก็จะทำการสร้างข้อความสอบถามที่ระบุพื้นที่ที่ต้องการเข้าถึงข้อมูล หลังจากนั้นข้อความสอบถามดังกล่าวก็จะถูกส่งลงไปยังชั้นลำดับล่างของโครงสร้างจนถึงชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งในชั้นนี้ โพรโทคอล COBRA-Q ที่เป็นโพรโทคอลสำหรับการเข้าถึงข้อมูล ที่ถูกเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ก็จะทำการพิจารณาว่า สามารถส่งข้อความสอบถามเพื่อการเข้าถึงข้อมูล จากเพื่อนบ้านใดได้บ้าง หลังจากการพิจารณา และได้คำตอบแล้ว ข้อความสอบถามก็จะถูกส่งต่อไปยังชั้นลำดับล่างของโครงสร้าง จนกระทั่งถูกส่งออกไปยังสื่อทางอากาศ ไปยังโหนดเพื่อนบ้านที่เป็นผู้ถูกพิจารณา เพื่อนบ้านดังกล่าวก็จะได้รับข้อความสอบถามนั้นผ่านชั้นโครงสร้างของตน จากชั้นลำดับล่างขึ้นมาจนถึงชั้นแอพพลิเคชั่น หลังจากนั้น ข้อมูลที่ถูกร้องขอก็จะถูกส่งกลับไปหาผู้ที่ร้องขอข้อมูลในที่สุด



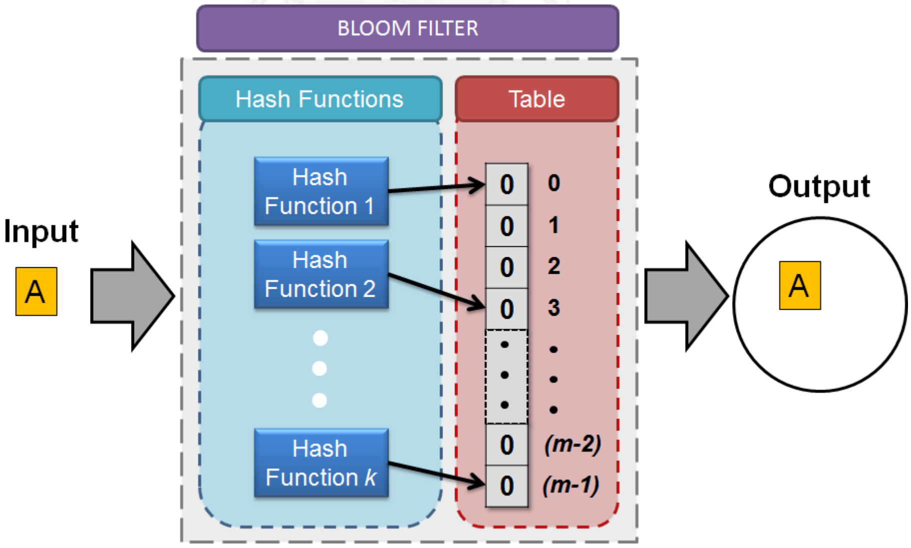
ภาพที่ 2.2 แสดงการทำงานแอพพลิเคชั่นของการเข้าถึงข้อมูล

2.1.4 ตัวกรองของบลูม

ตัวกรองของบลูม (Bloom filter) คือ โครงสร้างข้อมูลรูปแบบหนึ่งที่ถูกคิดขึ้นโดยเบอร์ตัน ฮาเวิร์ด บลูม (Burton H. Bloom) ในปี ค.ศ. 1970 [9] เพื่อสนับสนุนการทดสอบถึงการเป็นสมาชิกของเซต ว่ามีข้อมูลที่เรากำลังสนใจนี้ เป็นสมาชิกของเซตอยู่หรือไม่ บนพื้นฐานของการทำงานผ่าน

ฟังก์ชั่นแฮช และสามารถค้นหาคำตอบของปัญหาได้ โดยใช้เวลาคงตัว O(1) กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบไม่ขึ้นกับจำนวนของข้อมูล ในการค้นหาคำตอบด้วยโครงสร้างข้อมูลชนิดนี้ ถึงแม้จะมีผลลัพธ์ที่เป็นผลบวกลวง (False Positive) เกิดขึ้น แต่ในการค้นหาคำตอบนี้ สามารถรับรองได้อย่างแน่นอนว่าคำตอบของปัญหาจะไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นผลลบลวง (False Negative) เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในการตรวจสอบการเป็นสมาชิกของข้อมูลหนึ่งๆ ถ้าผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ ได้ค่าความจริงเท่ากับจริง (คือมีข้อมูลที่สนใจอยู่ในเซต) คำตอบที่ได้นี้ อาจจะเป็นคำตอบที่ตอบผิดได้ แต่ถ้าหากว่า ผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ ได้ค่าความจริงเท่ากับเท็จ (คือไม่มีข้อมูลที่สนใจอยู่ในเซต) คำตอบที่ได้นี้สามารถรับประกันได้อย่างแน่นอนว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องเสมอ เป็นต้น

ตัวกรองของบลูมเป็นโครงสร้างข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในหลากหลายงาน ที่มีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินการข้อมูลในลักษณะของรายการ หรือลักษณะของเซตข้อมูล ซึ่งการกระทำพื้นฐาน (Operation) กับตัวกรองของบลูมนั้น รองรับการเพิ่มข้อมูล (Insertion) และการค้นหาข้อมูล (Search) แต่จะไม่รองรับการกระทำที่เกี่ยวข้องกับการลบข้อมูล (Deletion) ความถูกต้องแม่นยำของตัวกรองของบลูม ขึ้นอยู่กับปัจจัยสามปัจจัย คือ ขนาดของตารางไบนารี่ จำนวนฟังก์ชั่นแฮช และจำนวนของสมาชิกที่ถูกเพิ่มลงในเซต ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในลำดับต่อไป



ภาพที่ 2.3 ตัวกรองของบลูม

ตัวกรองของบลูมมีองค์ประกอบที่สำคัญสองส่วนดังแสดงในภาพที่ 2.3 ดังนี้

- *ฟังก์ชั่นแฮช* มีหน้าที่สำหรับคำนวณค่านำเข้า (input) ของตัวกรองของบลูม ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณของฟังก์ชั่น คือค่าที่ระบุตำแหน่งบนตารางในตัวกรองของบลูม ซึ่งตัวกรองของ

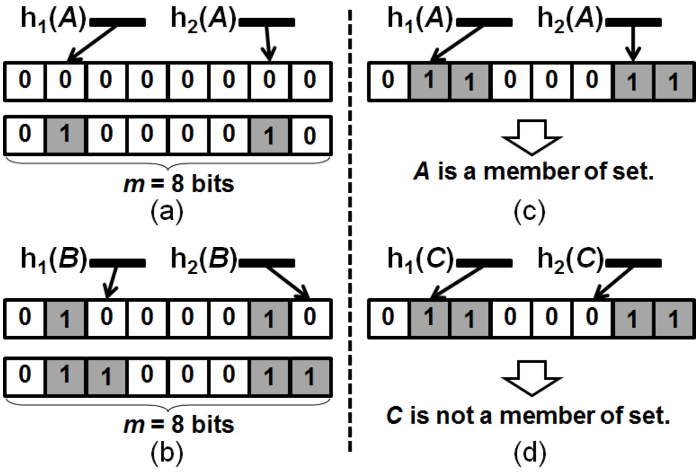
บลูมใดๆ สามารถมีฟังก์ชั่นแฮช สำหรับการคำนวณค่านำเข้าได้มากกว่าหนึ่งฟังก์ชั่น ตั้งแต่ฟังก์ชั่นที่หนึ่ง จนถึงฟังก์ชั่นที่ k

- *ตารางค่าไบนารี่* มีหน้าที่สำหรับบันทึกค่านำเข้าของตัวกรองของบลูมตามผลลัพธ์จากการคำนวณของฟังก์ชั่นแฮช ซึ่งมีขนาดของตารางคงที่เท่ากับ m บิต แต่ละตำแหน่งบิตบนตารางจะเก็บค่าศูนย์ หรือหนึ่งเท่านั้น

2.1.4.1 การเพิ่มข้อมูล และการทดสอบการเป็นสมาชิก

การเพิ่มข้อมูลเข้าไปในตัวกรองของบลูม ซึ่งหลักการทำงานนั้น เปรียบเสมือนการปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวกรอง และตำแหน่งใดที่มีน้ำไหลผ่าน ตัวกรองของบลูมก็จะบันทึกตำแหน่งของช่องนั้นไว้ ดังนั้นก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลนำเข้า จะต้องนำข้อมูลนำเข้า มาคำนวณด้วยฟังก์ชั่นแฮชของตัวกรองของบลูมก่อน ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณของฟังก์ชั่นแฮชแต่ละฟังก์ชั่น จะระบุตำแหน่งบนตารางที่ใช้สำหรับการบันทึก และเปลี่ยนค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่ระบุ จากค่าศูนย์ให้เป็นค่าหนึ่งเพื่อให้ตัวกรองของบลูมจดจำว่า ข้อมูลนำเข้านี้ เคยผ่านตัวกรอง ณ ตำแหน่งนั้นๆ

ภาพที่ 2.4 (a) แสดงถึงการเพิ่ม *A* เข้าตัวกรองของบลูม กับตารางไบนารี่ที่มีขนาด 8 บิต (m=8) และฟังก์ชั่นแฮชสองฟังก์ชั่นคือ $h_1(x)$ และ $h_2(x)$ ในขั้นตอนเบื้องต้น ตารางไบนารี่ของตัวกรองของบลูมจะกำหนดค่าศูนย์ ให้กับทุกๆ ตำแหน่งในตาราง เมื่อไม่มีสมาชิกใดๆ อยู่ในเซต หลังจากนั้น เมื่อต้องการเพิ่มสมาชิกใหม่ *A* ให้เป็นสมาชิกของเซต *A* ก็จะถูกคำนวณด้วยแฮชฟังก์ชั่น $h_1(x)$ และ $h_2(x)$ เพื่อระบุตำแหน่งที่สอดคล้องกับการเป็นสมาชิกของ *A* ลงในเซต ซึ่งผลลัพธ์ของการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่หนึ่ง และตำแหน่งที่หก จะถูกกำหนดค่าให้เป็นหนึ่ง ดังนั้น หลังจากเพิ่มสมาชิก *A* ลงในเซต ก็จะทำให้เกิดเป็นตารางไบนารี่ค่าใหม่คือ 0100 0010 และเมื่อทำการเพิ่มสมาชิก *B* เป็นลำดับถัดไปต่อจากสมาชิก *A* สมาชิกใหม่ *B* ก็จะถูกดำเนินการในลักษณะเช่นเดียวกันกับการเพิ่มสมาชิก *A* โดยใช้ฟังก์ชั่นแฮชชุดเดิม ($h_1(x)$ และ $h_2(x)$) กับตารางไบนารี่ที่บันทึกการเป็นสมาชิกของสมาชิก *A* แล้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (b) และได้ตารางไบนารี่ค่าใหม่คือ 0110 0011



ภาพที่ 2.4 ภาพรวมของตัวกรองของบลูม (a) และ (b) คือการเพิ่มสมาชิก *A* และ สมาชิก *B*, (c) และ (d) คือการทดสอบการเป็นสมาชิกของ *A* และ *C*

สำหรับการทดสอบการเป็นสมาชิกของข้อมูลกับตัวกรองของบลูม จะกระทำในลักษณะเดียวกันกับการเพิ่มข้อมูลนำเข้า โดยนำข้อมูลที่ต้องการทดสอบนั้นมาคำนวณด้วยฟังก์ชั่นแฮชชุดเดิม ถ้าหากตำแหน่งทุกๆ ตำแหน่งบนตารางที่ฟังก์ชั่นแฮชระบุมีค่าเท่ากับค่าหนึ่งทุกตำแหน่ง ตัวกรองของบลูมก็จะให้ผลลัพธ์ของการทดสอบมีค่าความจริงเท่ากับจริง (คือมีข้อมูลที่กำลังสอบถาม อยู่ในเซต) แต่ถ้ามีเพียงตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่ฟังก์ชั่นแฮชระบุมีค่าเท่ากับค่าศูนย์ ตัวกรองของบลูมก็จะให้ผลลัพธ์ของการทดสอบมีค่าความจริงเท่ากับเท็จ (คือไม่มีข้อมูลที่กำลังสอบถาม อยู่ในเซต)

ภาพที่ 2.4 (c) แสดงการทดสอบการเป็นสมาชิก *A* กับตัวกรองของบลูม โดยเริ่มจากฟังก์ชั่นแฮช $h_1(x)$ และ $h_2(x)$ คำนวณตำแหน่งบนตารางไบนารี่ ซึ่งค่าจากตำแหน่งทั้งสองคือบิตหนึ่ง ดังนั้นตัวกรองของบลูมนี้ก็จะให้คำตอบของการทดสอบการเป็นสมาชิกของ *A* มีค่าความจริงเท่ากับจริง ภาพที่ 2.4 (d) แสดงการทดสอบการเป็นสมาชิกของ *C* กับตัวกรองของบลูม ซึ่งให้ผลลัพธ์ของการทดสอบกับค่าความจริงเท่ากับเท็จ เนื่องจากค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ฟังก์ชั่นแฮชระบุมีบิตศูนย์เกิดขึ้น

2.1.4.2 ความน่าจะเป็นของผลบวกลวง

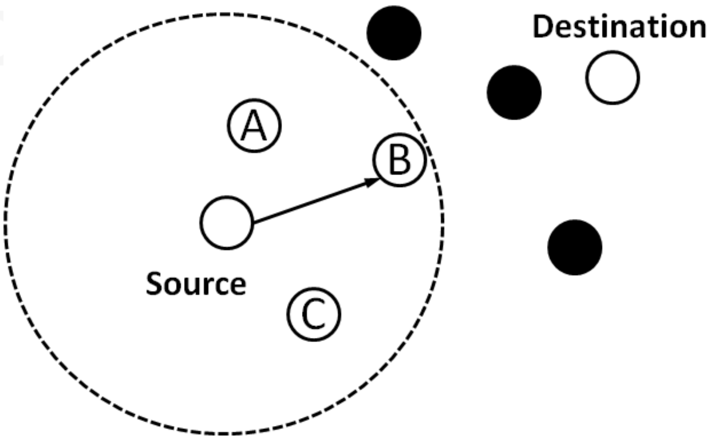
ความน่าจะเป็นของผลบวกลวง (False Positive Probability) จากงานวิจัย [14] ได้วิเคราะห์ผลเชิงคณิตศาสตร์เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของผลบวกลวงที่เกิดขึ้นในตัวกรองของบลูม และแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ พบว่ามีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่สามปัจจัย คือ จำนวนของการใช้ฟังก์ชั่นแฮช ขนาดของตารางไบนารี่ และจำนวนของสมาชิกที่ถูกเพิ่ม ซึ่งการปรับค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลบวกลวงของตัวกรองของบลูมได้ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลบวกลวง

พารามิเตอร์	ผลกระทบที่เกิดกับผลบวกลวง
จำนวนของฟังก์ชั่นแฮช (*k*)	จำนวนฟังก์ชั่นแฮชที่ใช้มากกว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงต่ำกว่า
ขนาดตารางไบนารี่ (*m*)	ขนาดของตารางที่ใหญ่กว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงต่ำกว่า
จำนวนของสมาชิกที่ถูกเพิ่ม (*n*)	ตัวกรองที่มีจำนวนสมาชิกมากกว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงสูงกว่า

2.1.5 โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายไร้สาย GPSR

Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks หรือ GPSR [15] คือโพรโทคอลค้นหาเส้นทางเชิงตำแหน่ง (Position-based routing protocol) สำหรับเครือข่ายไร้สายที่ได้รับความนิยมอย่างมากรูปแบบหนึ่ง ถูกคิดขึ้นมาโดย Brad Karp และ H. T. Kung ซึ่งจะใช้ตำแหน่งของเราเตอร์กับตำแหน่งของปลายทาง สำหรับการตัดสินใจเพื่อส่งต่อแพ็คเกตในเครือข่ายโดยอาศัยหลักการของการส่งต่อเชิงละโมบ (Greedy forwarding) เมื่อโหนดใดๆ ก็ตามต้องการส่งแพ็คเกตไปยังปลายทางของตน GPSR จะทำการเลือกเพื่อนบ้านที่มีตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งของปลายทางมากที่สุด ให้เป็นผู้ส่งต่อแพ็คเกตนั้น และกระบวนการนี้ก็จะถูกกระทำซ้ำๆ จนกระทั่งแพ็คเกตนั้นส่งไปถึงโหนดปลายทาง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เมื่อโหนดต้นทาง (Source node) ต้องการส่งแพ็คเกตไปยังโหนดปลายทาง (Destination node) ซึ่ง ณ เวลานั้นโหนดต้นทางมีโหนดที่เป็นโหนดเพื่อนบ้านสามโหนดคือ โหนด *A* โหนด *B* และโหนด *C* จากภาพแสดงให้เห็นว่าเพื่อนบ้านโหนด *B* คือผู้ที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับปลายทางมากที่สุด ดังนั้น โหนดต้นทางก็จะส่งแพ็คเกตนั้นไปให้โหนดเพื่อนบ้าน *B* เพื่อให้ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งต่อลำดับถัดไป

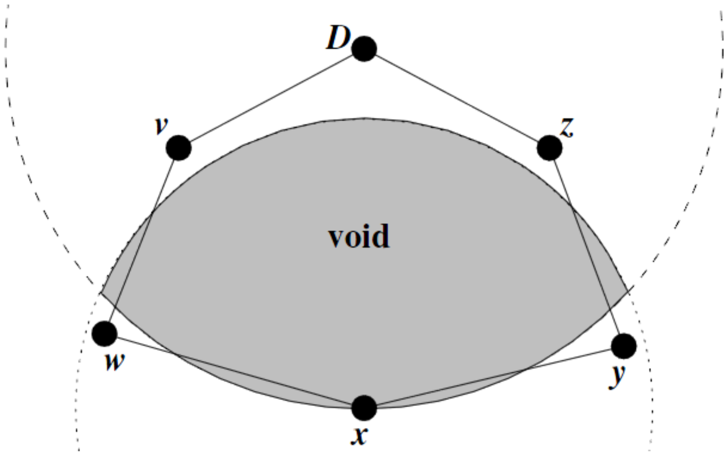


ภาพที่ 2.5 การเลือกผู้ส่งต่อแพ็คเกตของโพรโทคอล GPSR

เพื่อสนับสนุนการทำงานของ การตัดสินใจเลือกผู้ส่งต่อ แต่ละโหนดในเครือข่ายจะทำการส่งบีคอนแบบกระจายเป็นระยะๆ ซึ่งภายในของแต่ละบีคอน จะบรรจุเพียงแค่หมายเลขไอดี และตำแหน่งของตนเองเท่านั้น (ค่าตำแหน่งของโหนดได้รับจากอุปกรณ์ค้นหาตำแหน่ง GPS) โหนดใดๆ ในเครือข่าย เมื่อรับบีคอน ก็จะทำการนำข้อมูลจากบีคอนนั้น ใส่ลงไปในตารางเพื่อนบ้านของตน กับค่าระยะเวลาที่สามารถคงอยู่ได้ (Lifetime) ในตารางเพื่อนบ้านเท่ากับ *T* เมื่อ *T* มีค่าเท่ากับ 4.5 เท่าของช่วงเวลาในการส่งบีคอน

2.1.5.1 กฎมือขวา

เมื่อกรณีที่ GPSR ไม่สามารถใช้วิธีการตัดสินใจเลือกผู้ส่งต่อเชิงละโมบได้ GPSR จะทำการเปลี่ยนวิธีการตัดสินใจโดยอาศัยหลักการของกฎมือขวา (The Right-Hand Rule) แทน ซึ่งจะใช้ตำแหน่งของปลายทางเป็นจุดอ้างอิง และโหนดเพื่อนบ้านลำดับแรกตามกฎมือขวา จะเป็นผู้ถูกเลือกให้เป็นผู้ส่งต่อ และกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างซ้ำๆ จนกระทั่งพบว่า สถานการณ์นั้น สามารถกลับไปใช้วิธีการเลือกผู้ส่งต่อเชิงละโมบได้ปกติ



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการเลือกผู้ส่งต่อเชิงละโมบได้

จากภาพที่ 2.6 เมื่อโหนด *x* ต้องการส่งแพ็คเกตไปยังปลายทาง *D* แต่ไม่สามารถดำเนินการตัดสินใจเพื่อเลือกเพื่อนบ้านให้เป็นผู้ส่งต่อ ที่มีตำแหน่งที่ใกล้กับโหนดปลายทางกว่าตำแหน่งของตนเองได้ ในกรณีนี้ GPSR จะเปลี่ยนการตัดสินใจโดยใช้วิธีการตามกฎมือขวาแทน เมื่ออ้างอิงจากตำแหน่งของโหนดปลายทาง โหนดเพื่อนบ้านลำดับแรกที่พบตามกฎมือขวา คือ โหนด *w* จะเป็นผู้ถูกเลือกให้เป็นผู้ส่งต่อแทน ดังนั้นเส้นทางของการส่งแพ็คเกตที่ได้คือ *x -> w -> v -> D*

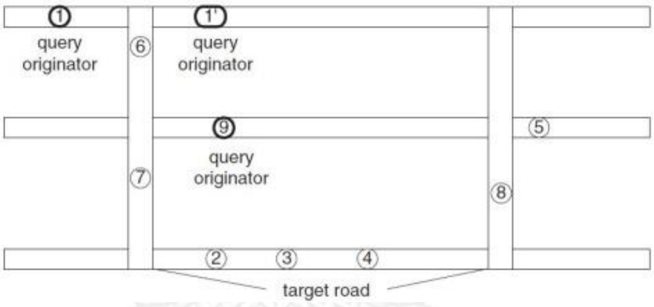
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ได้พัฒนาเกี่ยวกับการใช้ข้อความสอบถาม เพื่อรองรับแอพพลิเคชั่นไม่เกี่ยวกับความปลอดภัย มีดังนี้

2.2.1 Road Network Based Adaptive Query Evaluation in VANET [5]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ วิธีการส่งข้อความสอบถามแบบปรับตัวได้ ในการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเพื่อร้องขอข้อมูลการจราจรในพื้นที่เป้าหมาย โดยใช้วิธีการกำหนดแผนการ ซึ่งแผนการนี้จะระบุรายละเอียดการทำงานต่างๆ ไว้ จากนั้นจะแนบแผนการนี้ไปกับข้อความสอบถาม และงานวิจัยดังกล่าวได้พัฒนาเพิ่มเติม ในส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อรองรับกรณีที่มีผู้ส่งข้อความสอบถามมากกว่าหนึ่งข้อความไปยังพื้นที่เป้าหมายเดียวกัน

รูปแบบการส่งข้อความสอบถาม เป็นการ*ส่งแบบเดี่ยว*บน*การสื่อสารแบบหลายฮอพ*



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพของผู้ส่งและพื้นที่เป้าหมาย

ในงานวิจัยนี้ใช้การสื่อสารเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการจากพื้นที่ที่ห่างไกล ด้วยวิธีการส่งข้อความสอบถามแบบหลายฮอพ ไปยังพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งการสื่อสารแบบหลายฮอพ ส่งผลให้โอกาสที่จะได้รับการตอบกลับมานั้นน้อยมาก

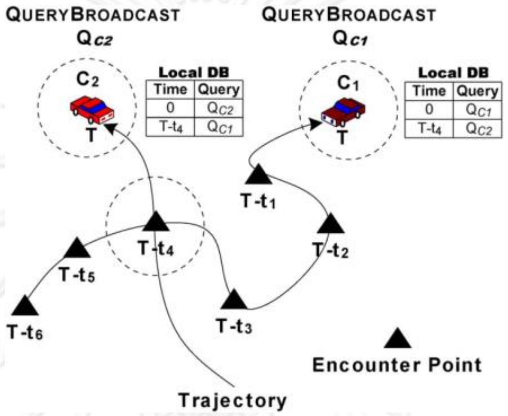
2.2.2 FleaNet: A Virtual Market Place on Vehicular Networks [6]

นำเสนอรูปแบบการทำตลาดเสมือนบนเครือข่ายยานพาหนะ ซึ่งรูปแบบดังกล่าว ถูกออกแบบเพื่อรองรับในกรณีที่มีผู้ต้องการซื้อหรือต้องการเสนอขายสินค้า ผ่านการใช้ข้อความสอบถาม และส่งข้อความสอบถามแบบกระจายไปยังโหนดเพื่อนบ้านเพียงหนึ่งฮอพในขณะที่ผู้ส่งเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งทุกๆ โหนดที่ได้รับข้อความสอบถาม จะต้องทำการพิจารณาตลอดว่าในกลุ่มข้อความสอบถามที่ตนเก็บสะสมไว้ มีข้อความสอบถามคู่ใดที่เข้าคู่กันบ้าง ถ้าพบข้อความสอบถามที่เข้าคู่กัน โหนดดังกล่าวก็จะส่งข้อความแจ้งไปยังทั้งสองฝ่ายที่เป็นเจ้าของข้อความแต่ละข้อความ หลังจากทั้งสองฝ่ายได้รับแล้ว ก็เริ่มการซื้อขายจริงในลำดับต่อไป

รูปแบบของข้อความที่ใช้มีสามชนิด ดังนี้

- ข้อความสอบถาม (Query message)
- ข้อความเข้าคู่กัน (Match message)
- ข้อความการซื้อขาย (Transaction message)

รูปแบบการส่งข้อความสอบถาม เป็นการ*ส่งแบบกระจาย*ให้ทุกเพื่อนบ้าน ใน*หนึ่งฮอพการสื่อสาร* และส่งเป็นช่วงๆ



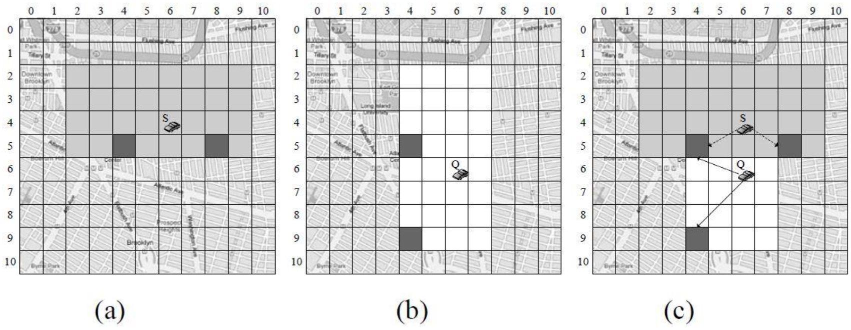
ภาพที่ 2.8 แสดงการส่งข้อความสอบถามของ FleaNet

จากภาพที่ 2.8 แม้จะเป็นการส่งข้อความสอบถามเพียงหนึ่งฮอพ แต่โดยภาพรวมของการทำงาน ยังคงเป็นการสื่อสารแบบหลายฮอพ และโอกาสที่จะเกิดการซื้อขายจริงๆ จะลดต่ำลงถ้าหากว่าผู้ต้องการขาย และผู้ต้องการซื้อ ต่างไม่ได้รับข้อความเข้าคู่

2.2.3 Typhoon: Resource Sharing Protocol for Metropolitan Vehicular Ad hoc Networks [7]

นำเสนอโพรโทคอลสำหรับการใช้ทรัพยากรร่วมกันสำหรับเครือข่ายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะในนครหลวง ซึ่งโพรโทคอล จะกำหนดจุดสำหรับแบ่งสรรทรัพยากรที่แน่นอนบนแผนที่ และแต่ละโหนดในเครือข่ายจะทราบจุดแต่ละจุดเหล่านี้ เมื่อมีผู้ที่ต้องการที่จะแบ่งสรรหรือร้องขอทรัพยากร ก็จะทำการส่งทรัพยากรหรือส่งข้อความสอบถามไปยังทุกๆ จุดที่โพรโทคอลกำหนดให้ดังที่ได้กล่าวข้างต้นภายในขอบเขตการสื่อสารของตนเอง

รูปแบบการส่งข้อความสอบถาม เป็นการ*ส่งแบบเดี่ยว*ไปยังจุดทุกจุดที่กำหนดบน*การสื่อสารแบบหลายฮอพ*



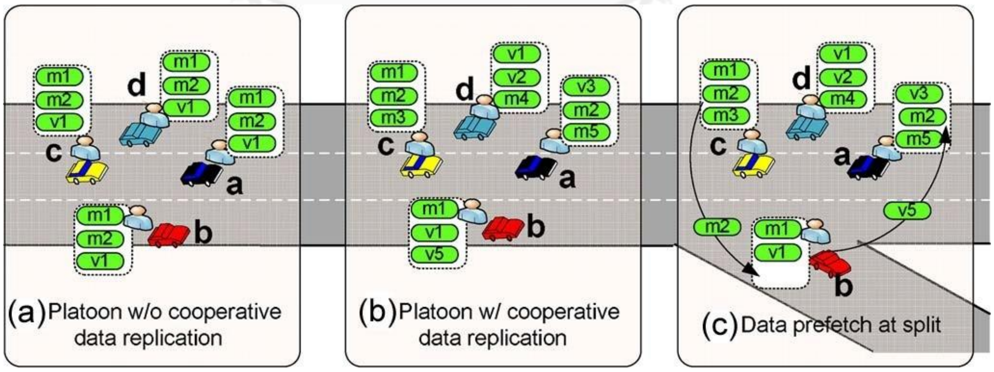
ภาพที่ 2.9 แสดงภาพของโพรโทคอลเมื่อสี่เหลี่ยมสีเทาเข้มคือจุดที่โพรโทคอลกำหนด (a) คือมุมมองของผู้ต้องการแบ่งสรร (b) มุมมองของผู้ร้องขอ (c) มุมมองทั้ง a และ b ซ้อนทับกัน

จากภาพที่ 2.9 การทำงานจะเป็นการสื่อสารแบบหลายฮอพ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลจะต่ำลงมาก ถ้าหากสิ่งที่ส่งไป (ทั้งทรัพยากรหรือข้อความสอบถาม) ไปไม่ถึงจุดสีเทาเข้ม

2.2.4 V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs [8]

นำเสนอวิธีการแก้ไขการเข้าถึงข้อมูล ในการสื่อสารไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ จากงานวิจัยได้พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในถนนแบบทางหลวง บนสมมติฐานที่ว่า การเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนนแบบทางหลวงมักจะเกิดในรูปแบบของการเกาะกลุ่มกัน และได้พัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการจัดการการกระจายของข้อมูลให้ทั่วถึงทั้งกลุ่ม เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ทั้งรองรับปัญหาในกรณีที่มีรถยนต์บางคันเคลื่อนที่ออกนอกกลุ่ม

รูปแบบการส่งข้อความสอบถามเป็นได้ทั้ง*แบบหนึ่งฮอพ ก*และ*แบบหลายฮอพ*



ภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของปัญหาการจัดการข้อมูล และปัญหากรณีที่รถยนต์บางคันเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม

งานวิจัยดังกล่าวไม่ได้เน้นการออกแบบเพื่อรองรับเครือข่ายถนนแบบเมือง และการส่งข้อความสอบถามเป็นได้ทั้งแบบหนึ่งฮอพและแบบหลายฮอพ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นสามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละงานวิจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 2.3 สรุปรายละเอียดในแต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อความสอบถาม

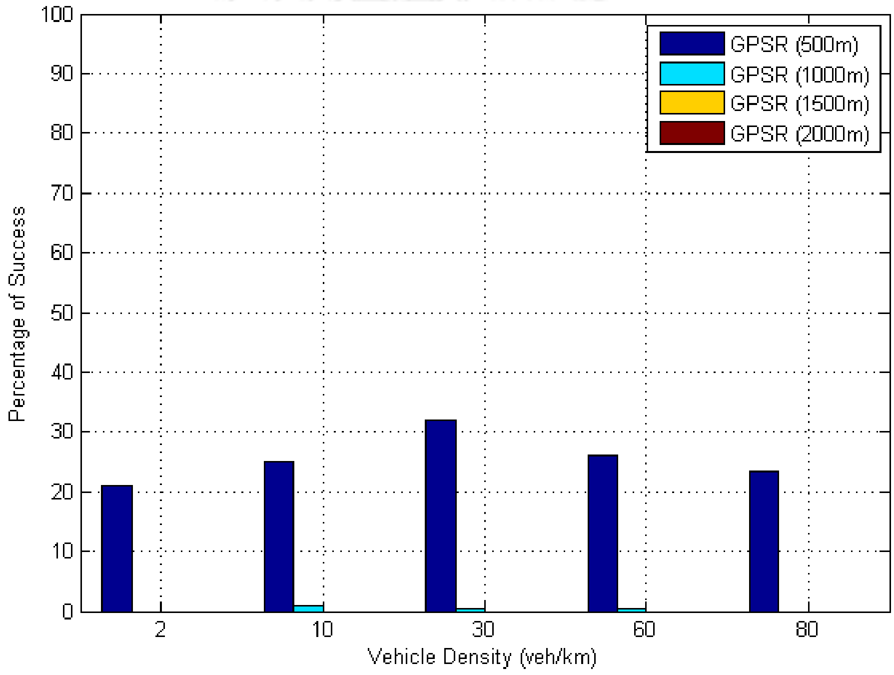
ลักษณะที่สำคัญของโพรโทคอล	Road Network Based Adaptive Query Evaluation in VANET	FleaNet: A Virtual Market Place on Vehicular Networks	Typhoon: Resource Sharing Protocol for Metropolitan Vehicular Ad hoc Networks	V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs
วิธีการส่งข้อความสอบถาม	ส่งแบบเดี่ยว	ส่งแบบกระจายเป็นช่วงๆ	ส่งแบบเดี่ยวไปยังจุดทุกจุดที่โพรโทคอลกำหนดไว้	ส่งแบบเดี่ยว
การสื่อสาร	แบบหลายฮอพ	แบบหนึ่งฮอพและแบบหลายฮอพ	แบบหลายฮอพ	แบบหนึ่งฮอพและแบบหลายฮอพ
ลักษณะเด่นที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล	แนบแผนการไปกับข้อความสอบถาม	การจับคู่ของสองข้อความสอบถามที่เข้าคู่กัน	การกำหนดจุดที่แน่นอนบนแผนที่ ตามการทำงานของโพรโทคอล	การจัดการการกระจายข้อมูลจากแต่ละโหนดให้ทั่วถึงภายในกลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

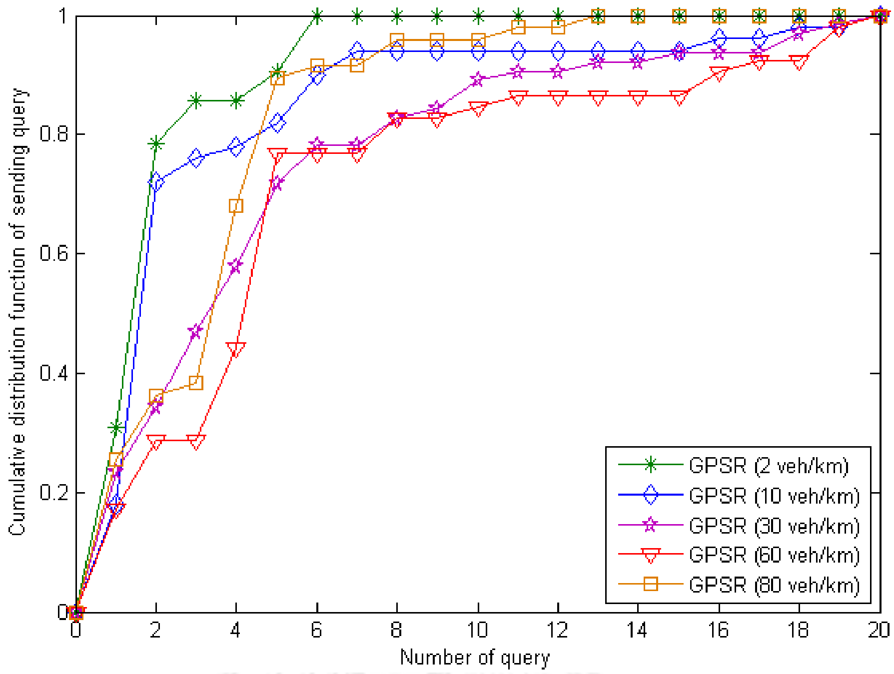
บทที่ 3
โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

การเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่ายถือเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งส่งผลกระทบเชิงลบต่อประสิทธิภาพของเส้นทางของการส่งข้อมูลในการสื่อสารไร้สาย เพราะปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดการแบ่งแยกของเครือข่าย (Network partition) เมื่อเส้นทางของการส่งข้อมูลใดๆ ที่ถูกสร้างจากการทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง มีการแบ่งแยกเกิดขึ้น การส่งข้อมูลหรือแพ็คเกตใดๆ บนเส้นทางนั้นก็จะล้มเหลวลงในที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการส่งข้อความสอบถามหรือ เป็นการส่งข้อมูล ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยเฉพาะเครือข่ายในพื้นที่แบบเมือง ที่ประกอบไปด้วยโครงสร้างของถนน และเงื่อนไขของการจราจรที่ซับซ้อน ซึ่งมักจะมีการแบ่งแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามทางแยกของถนน



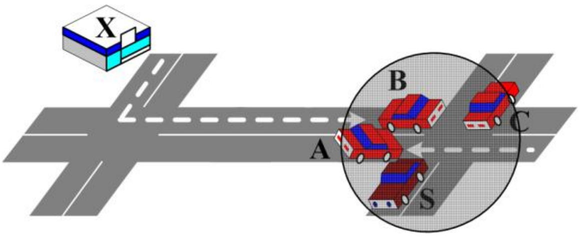
ภาพที่ 3.1 อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลด้วยระยะห่าง 500 เมตร ถึง 2,000 เมตร ของ GPSR



ภาพที่ 3.2 การกระจายตัวของความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามต่อการรับข้อมูลตอบกลับหนึ่งครั้ง ที่ระยะห่าง 500 เมตร ของ GPSR

จากภาพที่ 3.1 และ 3.2 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์จากการร้องขอข้อมูลด้วยการสื่อสารแบบหลายฮอพ ไปยังพื้นที่ที่อยู่เกินกว่าระยะการสื่อสารของผู้ร้องขอ (กรณีที่แต่ละโหนดในเครือข่ายมีระยะของการสื่อสารเท่ากับ 250 เมตร) ซึ่งมีระยะห่างตั้งแต่ 500 เมตร ถึง 2000 เมตร ด้วยโพรโทคอล ในการหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายไร้สาย GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks ซึ่งผลลัพธ์จากกราฟ แสดงให้เห็นถึง อัตราความสำเร็จในการร้องขอและได้รับข้อมูลตอบกลับต่ำ เมื่อระยะห่างมากขึ้น อีกทั้งยังเกิดการส่งข้อความสอบถามซ้ำๆ หลายครั้ง

เมื่อพิจารณาจากลักษณะโหนดในเครือข่าย นอกจะมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอแล้ว ยังอาจทำให้พบกับสถานการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถสื่อสารไปยังจากพื้นที่ที่ต้องการได้ (Network unreachable) ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 3.3 เมื่อโหนด *S* ต้องการเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งที่ *X* (พื้นที่ที่มีการกระจายข้อมูลอยู่ เช่น ห้างสรรพสินค้า หรือ โรงแรม เป็นต้น) และ *X* อยู่เกินกว่าระยะการสื่อสารของโหนด *S* ซึ่ง ณ สถานการณ์นี้ไม่พบโหนดใดๆ เลยที่จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อไปถึงพื้นที่ *X* โพรโทคอลค้นหาเส้นทางก็จะแจ้งกับโหนด *S* ด้วย network unreachable ดังนั้นโหนด *S* ก็จะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลจากพื้นที่ *X* ได้ในที่สุด



ภาพที่ 3.3 Network unreachable

เมื่อลองพิจารณาสถานการณ์ดังภาพที่ 3.3 อีกครั้ง แม้ว่าโหนด *S* จะถูกตัดขาดจากพื้นที่ที่ต้องการเข้าถึงข้อมูล แต่ในเชิงภูมิศาสตร์ ยังคงเชื่อมต่อถึงกันโดยเส้นของถนน ซึ่งโหนด *S* มีโหนดเพื่อนบ้านคือ โหนด *A* โหนด *B* และโหนด *C* ถ้าหากว่า *S* รู้ว่าเพื่อนบ้าน *B* คือผู้ที่เคยขับผ่านพื้นที่ที่ *S* กำลังสนใจอยู่ ก็จะทราบได้ว่า *B* คือผู้ที่มีข้อมูลนั้นแล้ว ซึ่ง *S* สามารถดึงข้อมูลจากเพื่อนบ้าน *B* ได้ทันที โดยที่ไม่จำเป็นต้องสร้างการเชื่อมต่อไปยังพื้นที่ *X* จากตัวอย่างดังกล่าวนี้ จะเห็นได้ว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดในอดีตคือกุญแจสำคัญ สามารถนำมาช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาของการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่ายได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว แต่ละโหนดมักจะมีลักษณะของการเคลื่อนที่ในอดีตที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวของผู้ขับขี่ยานพาหนะนั้นๆ [16] ในงานวิจัยนี้จึงได้นำคุณสมบัตินี้มาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ

3.2 หลักการทำงาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้การอ้างอิงสมมติฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับการเข้าถึงข้อมูลที่สนใจในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกมีดังนี้

- ยานพาหนะทุกคันติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย (Communication device) อุปกรณ์ค้นหาตำแหน่ง (GPS device) และแผนที่ดิจิตอล (Digital map)
- ยานพาหนะทุกคันเมื่อผ่านพื้นที่ที่มีการกระจายข้อมูล เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม เป็นต้น จะได้รับข้อมูลจากพื้นที่นั้น และจะเก็บข้อมูลไว้ไปตลอดจนกระทั่งสิ้นสุดการเดินทางของยานพาหนะ
- โดยทั่วไปยานพาหนะแต่ละคันมีการเคลื่อนที่เพียงระยะทางสั้นๆ เท่านั้น เมื่อเทียบกับเส้นทางที่มีทั้งหมดบนแผนที่ และขนาดของข้อมูลของแอพพลิเคชั่นมีขนาดที่เล็ก เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับโฆษณา ข้อมูลข้อเสนอพิเศษ เป็นต้น ดังนั้น ปัจจัยที่เกี่ยวกับขนาดพื้นที่เก็บข้อมูลจึงถือว่ามีขนาดที่ใหญ่มากพอ ที่สามารถรองรับได้

หลักการของการส่งข้อความสอบถามสำหรับการเข้าถึงข้อมูลจากพื้นที่ที่สนใจ ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ มีดังต่อไปนี้

3.2.1 การแบ่งแผนที่ออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก

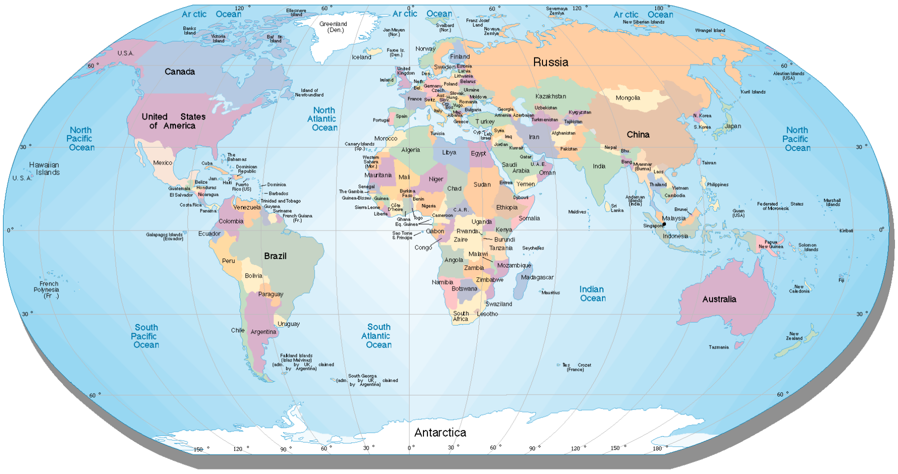
ในมุมมองการทำงานของโพรโทคอล จะแบ่งแผนที่ออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ที่มีขนาดเท่าๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 3.4 สำหรับการระบุตำแหน่งของโหนดที่เคลื่อนที่ รวมถึงตำแหน่งของโครงสร้างพื้นฐานที่ทำหน้าที่กระจายข้อมูลตามจุดต่างๆ บนแผนที่ด้วย ซึ่งแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็กนี้ จะถูกระบุด้วยตัวเลขค่าหนึ่งที่เรียกว่า หมายเลขพื้นที่ (Region ID) เมื่อโหนดใดๆ ก็ตามในเครือข่าย ต้องการเข้าถึงข้อมูลจากพื้นที่พื้นที่หนึ่งที่กำลังสนใจ ก็จะทำการหยิบหมายเลขพื้นที่ ที่สอดคล้องกับตำแหน่งที่มีอยู่ของแหล่งข้อมูลนั้น และนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าของ COBRA-Q เพื่อดำเนินการค้นหา และการเข้าถึงข้อมูลจากตารางเพื่อนบ้านของโหนดในลำดับต่อไป

ภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการแบ่งแผนที่ออกเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก

สำหรับการประยุกต์ใช้งานการแบ่งแผนที่จริง ให้เป็นพื้นที่ขนาดเล็กตามแนวคิดของการใช้งานของ COBRA-Q เนื่องจากแผนที่ของโลก เมื่อทำการแบ่งระบบพิกัดให้อยู่ในรูปของ ละติจูด (Latitude) ลองจิจูด (Longitude) บนหน่วยของเลขฐานสิบ จะมีค่าขอบเขตของพิกัดดังนี้ [17]

- *ค่าสูงสุดของลองจิจูด* (Maximum Longitude) เท่ากับ 179.999989
- *ค่าสูงสุดของละติจูด* (Maximum Latitude) เท่ากับ 85.000000
- *ค่าน้อยสุดของลองจิจูด* (Minimum Longitude) เท่ากับ -179.999989
- *ค่าน้อยสุดของละติจูด* (Minimum Latitude) เท่ากับ -85.000000

ซึ่งมีพื้นที่ผิวทั้งหมดประมาณ 510,072,000 ตารางกิโลเมตร ดังภาพที่ 3.5 เมื่อแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 500×500 ตารางเมตร (ขนาดของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่ถูกแบ่งนี้จะมีความสัมพันธ์กับระยะการสื่อสารของโหนดในเครือข่ายที่ 250 เมตร) จะสามารถมีจำนวนของหมายเลขพื้นที่ได้ทั้งหมดเท่ากับ 2,040,288,000 พื้นที่ หมายเลขของแผนที่ก็จะเริ่มนับจากแถวบนสุด และไล่จากซ้ายไปขวา ซึ่งจะถูกนำไปใช้เพื่อรองรับแอพพลิเคชั่นของการเข้าถึงข้อมูลบน COBRA-Q



ภาพที่ 3.5 แสดงแผนที่โลก

3.2.2 หน่วยความจำ

ในขณะที่โหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ไปตามถนน แต่ละโหนดก็จะทำการบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดลงในหน่วยความจำของตน ดังนั้นในมุมมองการทำงานของโพรโทคอล COBRA-Q เส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดคือ การเก็บบันทึกค่าของหมายเลขพื้นที่ตามลำดับที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของโหนดที่เกิดขึ้นตามแผนที่ และทุกๆ ครั้งที่โหนดเคลื่อนที่เข้าไปในหมายเลขพื้นที่ค่าใหม่ (โหนดสามารถทราบตำแหน่งของตนเองได้จากการอ่านค่าจากอุปกรณ์ GPS) หมายเลขพื้นที่นี้ก็จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำของโหนด เมื่อถึงช่วงเวลาของการส่งบีคอนของโหนด COBRA-Q ก็จะแนบหน่วยความจำนี้ลงไปในแพ็คเกตของบีคอนด้วย โหนดใดๆ ก็ตามที่ได้รับบีคอนนี้ก็จะทำการปรับข้อมูลของตารางเพื่อนบ้านของตน โดยบันทึกหน่วยความจำแนบติดกับหมายเลขเพื่อนบ้านตามข้อมูลที่ได้รับจากบีคอนแพ็คเกต

หน่วยความจำที่ใช้สำหรับการบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดถือเป็นสิ่งที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบโดยตรง ต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เนื่องจากหน่วยความจำนี้จะต้องมีขนาดที่คงที่ และสามารถทำงานได้ภายใต้การกระทำที่สำคัญ ดังนี้

- *การเพิ่มข้อมูล* หน่วยความจำต้องสามารถเพิ่มข้อมูลได้ โดยที่ขนาดของหน่วยความจำคงที่
- *การค้นหาข้อมูล* หน่วยความจำที่ดีจะต้องสามารถค้นหาข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณโหนดในเครือข่ายที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณของเพื่อนบ้านที่มีอยู่ในตารางเพื่อนบ้านด้วยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการใช้งานหน่วยความจำ COBRA-Q นำตัวกรองของบลูม มาประยุกต์ใช้เพื่อจดจำเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนด เนื่องจากตัวกรองของบลูมมีคุณสมบัติที่สนับสนุนการกระทำทั้งการเพิ่มข้อมูลและการค้นหาข้อมูล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถค้นหาคำตอบได้ด้วยเวลาคงตัวเท่ากับ O(1) กับขนาดของตารางที่คงที่ ดังนั้นทุกครั้งที่โหนดเคลื่อนที่เข้าไปยังหมายเลขพื้นที่ใหม่ หมายเลขพื้นที่นั้นก็จะเป็นข้อมูลนำเข้าของตัวกรองของบลูม ของโหนดนั้นๆ ทุกครั้งก่อนการส่งบีคอนแพ็คเกต COBRA-Q ก็จะแนบตัวกรองของบลูมลงในแพ็คเกตของบีคอน ดังนั้นลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนด ก็จะถูกแทนที่ด้วย ตารางไบนารี่ซึ่งมีเพียงค่าศูนย์ หรือค่าหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วโหนดในเครือข่ายบนยานพาหนะ มักจะมีลักษณะของการเคลื่อนที่ ในรูปแบบของการเดินทางที่มีปลายทางของการเคลื่อนที่ ดังนั้น เส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดจึงเป็นการเคลื่อนที่เพียงแค่บางส่วนของแผนที่เท่านั้น [16] ซึ่งส่งผลให้ปริมาณของหมายเลขพื้นที่ที่เคลื่อนผ่าน มีจำนวนที่น้อยตาม

3.2.3 เงื่อนไขของการค้นหาเพื่อนบ้านสำหรับการเข้าถึงข้อมูล

โพรโทคอล COBRA-Q จะทำการพิจารณาเพื่อนบ้านสำหรับการเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่หนึ่ง ตัวกรองของบลูมของโหนดเพื่อนบ้านนั้น ให้ผลลัพธ์การค้นหาคำตอบของการเป็นสมาชิกของเซตกับหมายเลขพื้นที่ที่พิจารณา มีค่าความจริงเท่ากับจริง

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลบวกลวง

พารามิเตอร์	ผลกระทบที่เกิดกับผลบวกลวง
จำนวนของฟังก์ชั่นแฮช (k)	จำนวนฟังก์ชั่นแฮชที่ใช้มากกว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงต่ำกว่า
ขนาดตารางไบนารี่ (m)	ขนาดของตารางที่ใหญ่กว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงต่ำกว่า
จำนวนของสมาชิกที่ถูกเพิ่ม (n)	ตัวกรองที่มีจำนวนสมาชิกมากกว่าจะให้อัตราของผลบวกลวงสูงกว่า

เนื่องจากผลบวกลวงของตัวกรองของบลูม มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการทำงานของโพรโทคอล และจากงานวิจัย [14] พบว่ามีพารามิเตอร์จำนวนหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำของการค้นหาคำตอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งตัวกรองของบลูมใดๆ ที่มีขนาดของตารางไบนารี่ที่เท่ากันและจำนวนของฟังก์ชั่นแฮชที่เท่ากันแล้ว ตัวกรองที่มีจำนวนสมาชิกที่น้อยกว่า จะให้ผลลัพธ์ของการค้นหาแล้วให้คำตอบด้วยอัตราของผลบวกลวงที่ต่ำกว่า ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำคุณสมบัตินี้มาประยุกต์ใช้ เพิ่มความแม่นยำในการพิจารณาตัวกรองของบลูมจากตารางเพื่อนบ้าน ดังเงื่อนไขที่สอง

เงื่อนไขที่สอง เพื่อนบ้านที่ผ่านการพิจารณาจากเงื่อนไขที่หนึ่ง และตัวกรองของบลูมมีจำนวนสมาชิกที่น้อยที่สุดจะเป็นผู้ที่ถูกเลือกสำหรับการเข้าถึงข้อมูลจากพื้นที่ที่สนใจ

3.3 แผนภาพการทำงานของโพรโทคอล COBRA-Q

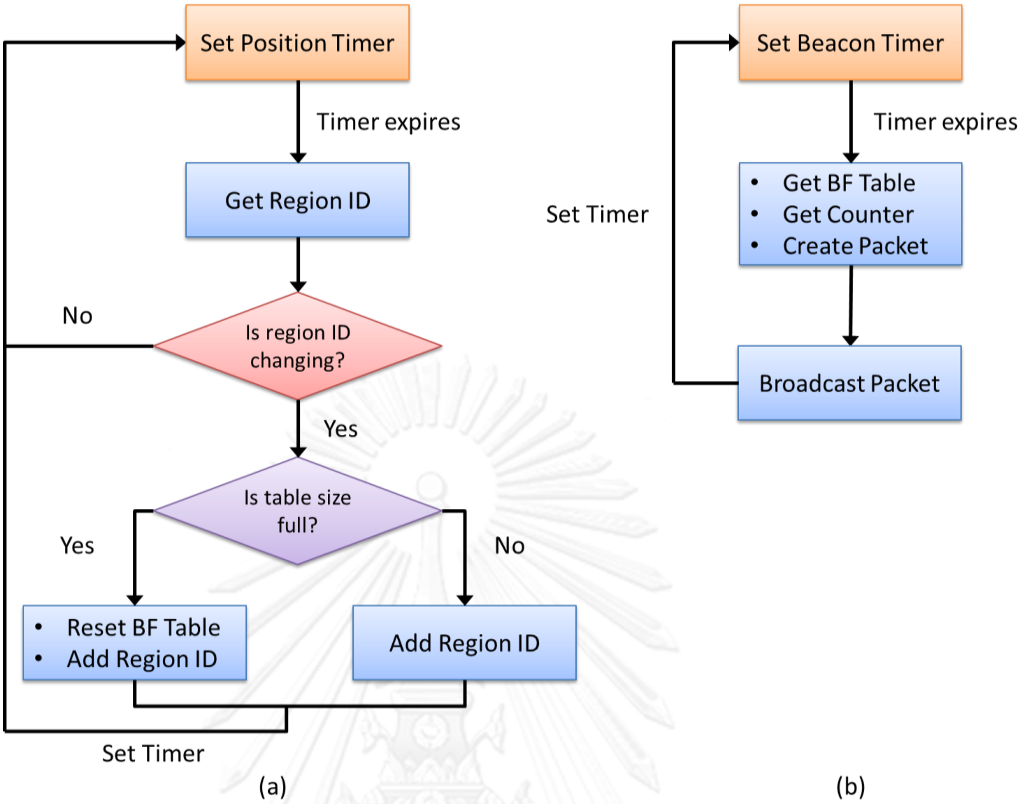
3.3.1 ลักษณะของการทำงานกรณีทั่วไป

การทำงานทั่วไปของโพรโทคอล COBRA-Q ประกอบด้วยสองส่วน ดังนี้

1) *การตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนด* แต่ละโหนดในเครือข่ายจะทำการตรวจสอบตำแหน่งของตนตามลักษณะของการแบ่งพื้นที่เป็นระยะๆ เพื่อใช้ในการบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนด
2) *การแสดงถึงการคงอยู่ของโหนดในเครือข่าย* แต่ละโหนดในเครือข่ายจะทำการส่งบีคอนแบบกระจายไปยังโหนดอื่นๆ ที่อยู่ภายในระยะขอบเขตของการสื่อสารของตน เพื่อแสดงถึงการคงอยู่ของโหนดในเครือข่าย

ตัวจับเวลาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานกรณีทั่วไปของ COBRA-Q มีดังนี้

1) *ตัวจับเวลาระบุตำแหน่ง* (Position Timer) ทุกๆ ค่าคงที่เวลาค่าหนึ่ง โหนดจะนำค่าระบุพิกัดมาตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดตามการแบ่งของหมายเลขพื้นที่ของโพรโทคอล เมื่อได้หมายเลขพื้นที่แล้ว ก็จะทำการตรวจสอบกับค่าหมายเลขพื้นที่ก่อนหน้า ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าเปลี่ยนแปลง COBRA-Q ก็จะนำหมายเลขพื้นที่ที่ได้นั้น เข้าไปเป็นสมาชิกตัวกรองของบลูมของตนเอง เพื่อบันทึกเส้นทางการเคลื่อนที่ของตนเอง จากนั้นจึงตั้งตัวจับเวลาใหม่ แต่ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด COBRA-Q ก็จะตั้งตัวจับเวลาใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 (a) ในกรณีที่จำนวนสมาชิกของตัวกรองของบลูมมีจำนวนสูงถึงขอบเขตค่าหนึ่ง COBRA-Q ก็จะกำหนดค่าของสมาชิกของตัวกรอง เป็นค่าศูนย์ จากนั้นจึงนำค่าหมายเลขพื้นที่ค่าใหม่ที่ได้ใส่เข้าไปในตัวกรอง
2) *ตัวจับเวลาบีคอน* (Beacon Timer) แต่ละโหนดในเครือข่ายจะทำการส่งบีคอนเพื่อบ่งบอกถึงการคงอยู่ของโหนดทุกค่าคงที่เวลาค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อถึงช่วงเวลาของการส่งบีคอน COBRA-Q จะทำการแนบตารางตัวกรองของบลูมของตน และจำนวนสมาชิกของตัวกรองลงในบีคอน หลังจากนั้น จึงทำการส่งบีคอนออกไปตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 (b)

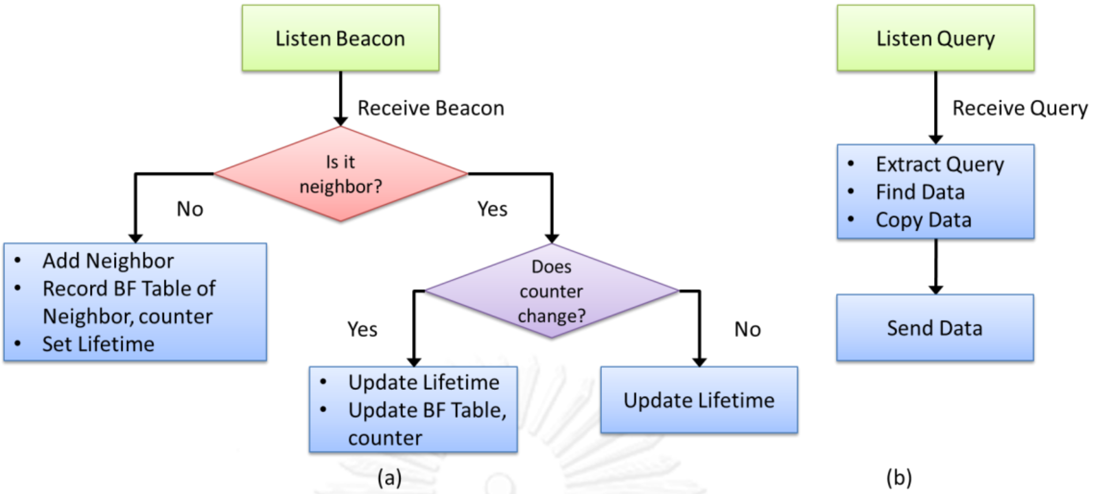


ภาพที่ 3.6 แผนภาพแสดงตัวจับเวลา (a) ตัวจับเวลาระบุตำแหน่ง (b) ตัวจับเวลาบีคอน

3.3.2 ลักษณะของการทำงานกรณีที่โหนดได้รับแพ็คเกต

แพ็คเกตที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของโพรโทคอล COBRA-Q มีอยู่สองชนิด ดังนี้

1) *บีคอน* (Beacon packet) ทุกครั้งของการรับบีคอน COBRA-Q จะทำการตรวจสอบการเป็นเพื่อนบ้านของโหนดที่เป็นผู้ส่งบีคอน ในกรณีที่โหนดดังกล่าวไม่ได้เป็นโหนดเพื่อนบ้าน โพรโทคอลก็จะทำการบันทึกโหนดๆ นั้นลงในตารางเพื่อนบ้าน พร้อมกับตารางตัวกรองของบลูมและค่าของจำนวนสมาชิกที่ได้จากบีคอน ส่วนกรณีที่โหนดๆ นั้นมีข้อมูลการเป็นเพื่อนบ้านอยู่ในตารางแล้ว โพรโทคอลก็จะทำแก้ไขข้อมูลของเพื่อนบ้านนั้นให้เป็นไปตามค่าที่ได้รับมาใหม่จากบีคอน ดังแสดงในภาพที่ 3.7 (a)
2) *ข้อความสอบถาม* (Query packet) โหนดใดๆ ในเครือข่ายที่ได้รับข้อความสอบถาม จะทำการตรวจสอบข้อมูลที่มีอยู่กับข้อความสอบถาม เมื่อพบว่ามีข้อมูลที่ถูกร้องขอ ก็จะทำการคัดลอกข้อมูล และส่งข้อมูลที่คัดลอกนั้นกลับไปยังผู้ร้องขอทันที ดังแสดงในภาพที่ 3.7 (b)

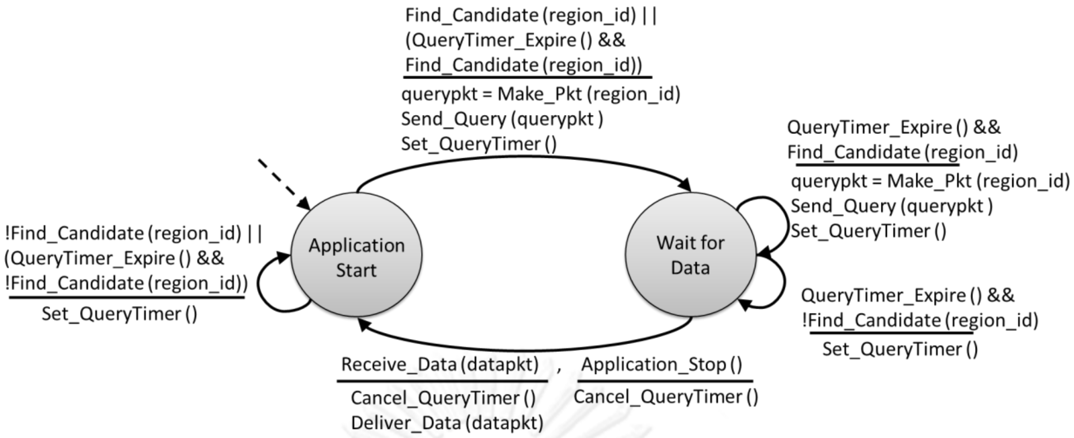


ภาพที่ 3.7 แผนภาพแสดงการทำงานเมื่อได้รับแพ็คเกต (a) การรับบีคอน (b) การรับข้อความสอบถาม

3.3.3 ลักษณะของการทำงานกรณีที่โหนดต้องการเข้าถึงข้อมูล

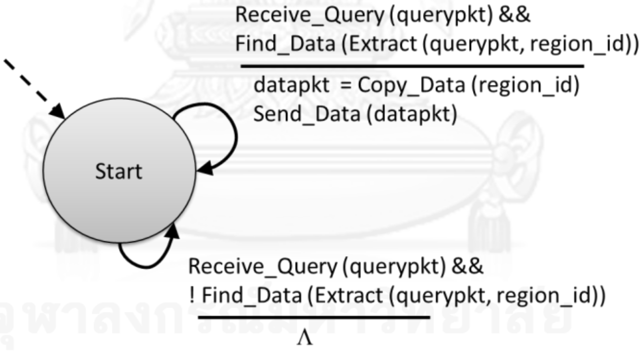
สถานะของการทำงานที่เกิดขึ้น ในกรณีที่โหนดต้องการเข้าถึงข้อมูลมีดังนี้

1) *สถานะของการทำงานฝั่งผู้ส่งข้อความสอบถาม* เมื่อโหนดต้องการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่าย โพรโทคอลจะนำหมายเลขพื้นที่ของข้อมูลที่ถูกระบุ มาพิจารณาเพื่อค้นหาโหนดเพื่อนบ้านผู้ที่มีข้อมูลดังกล่าว ในกรณีที่ค้นพบโหนดเพื่อนบ้านนั้น COBRA-Q ก็จะสร้างข้อความสอบถามขึ้น และส่งข้อความสอบถามออกไป จากนั้นก็จะเปลี่ยนสถานะของตนจากสถานะเริ่มต้น เป็นสถานะของการรอคอยข้อมูล เมื่อโหนดได้รับข้อมูลที่ต้องการ ก็จะเปลี่ยนสถานะของการทำงานกลับมายังสถานะเริ่มต้นอีกครั้ง ส่วนในกรณีที่โหนด ไม่ค้นพบโหนดเพื่อนบ้านที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ หรือกรณีที่โหนดส่งข้อความสอบถามออกไปแล้ว แต่ยังไม่ได้รับข้อมูลตอบกลับมา COBRA-Q ก็จะตั้งเวลาของการส่งข้อความสอบถามใหม่ตามค่าเวลาค่าคงที่ค่าหนึ่ง และคงสถานะของการทำงานไว้ตามสถานะปัจจุบัน เมื่อการตั้งเวลานี้หมดลง COBRA-Q จะเริ่มการส่งข้อความสอบถามเพื่อการเข้าถึงข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แผนภาพแสดงสถานะของการทำงานฝั่งผู้ส่งข้อความสอบถาม

2) *สถานะของการทำงานฝั่งผู้รับข้อความสอบถาม* ในกรณีที่โหนดใดๆ ในเครือข่ายได้รับข้อความสอบถาม ก็จะทำการตรวจสอบข้อความสอบถามนั้น กับข้อมูลที่มีอยู่ ในกรณีที่พบข้อมูล โหนดจะทำการคัดลอกข้อมูล แล้วส่งข้อมูลที่ถูกคัดลอกนั้นกลับไปยังโหนดผู้ร้องขอ ในกรณีที่ไม่พบข้อมูลโหนดก็จะคงสถานะของการทำงานลักษณะเดิมต่อไป ซึ่งสถานะของการทำงานฝั่งผู้รับข้อความสอบถามมีเพียงสถานะเดียว ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนภาพแสดงสถานะของการทำงานฝั่งผู้รับข้อความสอบถาม

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะทำการอธิบายถึงวิธีการทดลอง และการวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูม สำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ กับตัวชี้วัดสมรรถนะต่างๆ เช่น อัตราความถูกต้องในการเลือกเพื่อนบ้าน อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล ค่าใช้จ่ายของการสื่อสาร เป็นต้น และทำการวิเคราะห์ผลทดลอง

4.1 โพรโทคอลที่นำมาใช้ทดสอบวิธีการเข้าถึงข้อมูล

เนื่องจากวิธีการทำงานของ COBRA-Q จะทำการเข้าถึงข้อมูลของพื้นที่ที่สนใจ ผ่านโหนดเพื่อนบ้าน แทนการเข้าถึงข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบหลายฮอพ ไปยังตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลนั้นๆ ดังนั้น เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูล ในงานวิจัยนี้ก็จะทำการเปรียบเทียบการเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพของโพรโทคอล COBRA-Q กับวิธีการของการเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพผ่านการทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ารูปแบบแนวคิดของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางที่มีความเหมาะสมที่สุด กับสภาพแวดล้อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงบ่อยในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนั้น คือโพรโทคอลในลักษณะของการค้นหาเส้นทางบนพื้นฐานที่เกี่ยวกับตำแหน่ง (Position-based routing protocol) [4] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกโพรโทคอล GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks [15] ที่มีลักษณะของการค้นหาเส้นทางบนพื้นฐานเกี่ยวกับตำแหน่งมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูล ซึ่งโพรโทคอล GPSR นี้ได้รับความนิยมอย่างมากในการทำการวิจัยในการสื่อสารไร้สาย

4.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของการเข้าถึงข้อมูล

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* (Percentage of Success) เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกว่าจากจำนวนโหนดที่เริ่มส่งข้อความสอบถามทั้งหมด จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาของการทดสอบ มีโหนดที่สามารถส่งข้อความสอบถาม และได้รับข้อมูลตอบกลับมาโดยคิดเป็นอัตราความสำเร็จเท่าไหร่
- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* (Delay of data access) เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกเวลาที่สูญเสียไปของการรอการตอบกลับของข้อมูล หลังจากการเริ่มส่งข้อความสอบถาม สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.1

$$Delay\ of\ data\ access = t_{RECV_DATA_TIME} - t_{START_TIME} \qquad (4.1)$$

- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* (Cumulative distribution function of sending query) แสดงถึงจำนวนของข้อความสอบถามที่ถูกใช้สำหรับการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการเมื่อได้รับข้อมูลนั้นกลับมา ซึ่งค่านี้สามารถบ่งบอกได้ถึงค่าใช้จ่ายของการสื่อสารของข้อความสอบถาม

4.3 เครื่องมือที่ในการวัดสมรรถนะของการเข้าถึงข้อมูล

ในการวัดสมรรถนะของการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ เพื่อให้การทดสอบมีความใกล้เคียงกับเครือข่ายแอดฮอกบนยานพาหนะจริง และได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้โปรแกรมจำลองเพื่อการทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่เสนอ ดังต่อไปนี้

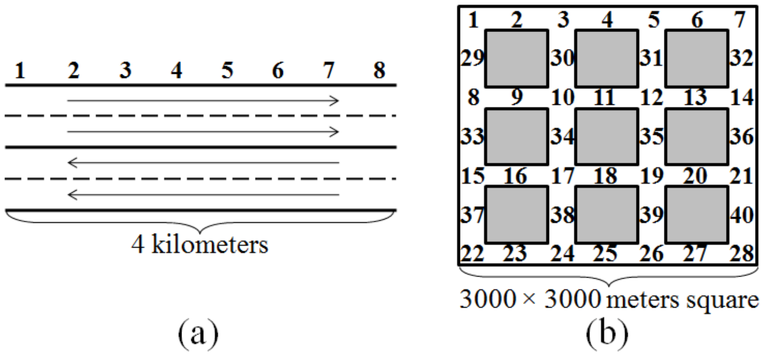
- *โปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15* (NS 3.15) [18] คือโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจำลองเครือข่ายในลักษณะต่างๆ สามารถรองรับได้ทั้งการจำลองเครือข่ายไร้สาย หรือเครือข่ายแบบมีสายปกติ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการทำวิจัย
- *โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเวอร์ชั่น 0.10* (SUMO: Simulator of Urban Mobility) [19] คือโปรแกรมที่ช่วยสร้างพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งสามารถกำหนดได้หลากหลายสภาพแวดล้อม เช่น การเคลื่อนที่บนเครือข่ายแบบถนนทางหลวง การเคลื่อนที่บนเครือข่ายแบบเมืองในลักษณะถนนแบบกริด หรือการจำลองในเครือข่ายกับแผนที่จริง เป็นต้น และสามารถกำหนดปริมาณความหนาแน่นของเครือข่ายได้
- *โปรแกรม Traffic and Network Simulation Environment (TraNS)* [20] เวอร์ชั่น Lite คือโปรแกรมที่ใช้สำหรับการแปลงไฟล์ของพฤติกรรมการเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างด้วยโปรแกรม SUMO ให้อยู่ในรูปแบบของ ns2-format เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 ได้

ในการทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบบนสถานการณ์สามสถานการณ์ด้วยกัน คือ เครือข่ายบนถนนทางหลวง เครือข่ายเมืองแบบกริด และเครือข่ายของจริงแบบเมือง ซึ่งเครือข่ายสองแบบแรกจะใช้โปรแกรม SUMO ในการสร้างลักษณะของถนนและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในเครือข่ายแต่ละแบบขึ้นมาก่อน จากนั้นก็จะใช้โปรแกรม TraNS แปลงไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม SUMO ให้อยู่ในรูปของ ns2-format หลังจากนั้นจึงนำไฟล์ ns-format นี้ไปใช้ในการจำลองเครือข่าย บนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3.15 ส่วนของสถานการณ์เครือข่ายจริง ในงานวิจัยนี้ได้นำบันทึกพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริงจาก “มูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย” หรือ “Intelligent Traffic Information Center” (iTIC) [21] ซึ่งเป็นข้อมูลของปี

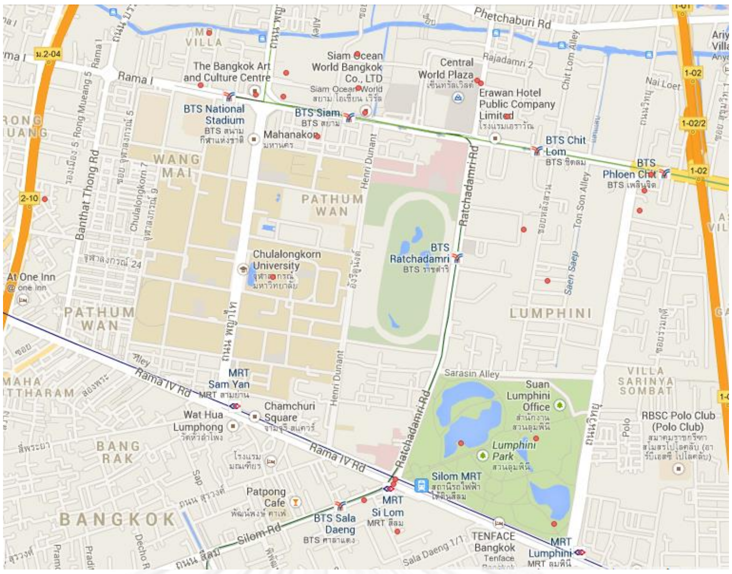
2012 มาทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ ns2-format ซึ่งแสดงรายละเอียด และวิธีการแปลงในภาคผนวกของเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

สภาพแวดล้อมของการทดลองแบ่งออกเป็นสามรูปแบบด้วยกัน คือสภาพแวดล้อมแบบถนนทางหลวง สภาพแวดล้อมลักษณะของการจำลองเมืองบนถนนแบบกริด และสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง ซึ่งลักษณะของสภาพแวดล้อมแบบถนนทางหลวงมีลักษณะคือ เป็นถนนเส้นตรงความยาว 4 กิโลเมตร มีสองช่องทางการจราจรในแต่ละทิศทางของการเคลื่อนที่ และจะถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็น 8 พื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (a) สภาพแวดล้อมลักษณะของการจำลองเมืองบนถนนแบบกริด จะเป็นลักษณะของเส้นถนนตีเป็นตารางกริดขนาด 3000×3000 ตารางเมตร มีหนึ่งช่องทางการจราจรต่อทิศทางของการเคลื่อนที่ ไม่มีสัญญาณจราจรตามทางแยก และถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็น 40 พื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (b) ทั้งสองสภาพแวดล้อม จะถูกจำลองที่ความหนาแน่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 สภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง คือบันทึกการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่เกิดขึ้นจริงซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของเขตปทุมวัน ในกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในภาพที่ 4.2 เนื่องจากบันทึกการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ จำนวนของยานพาหนะที่ถูกบันทึกมีปริมาณที่น้อยเกินไปกับขนาดของการจราจรที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นเพื่อให้เกิดการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ โดยมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่จริงมากที่สุด จึงได้สุ่มจำนวนยานพาหนะเพิ่ม ซึ่งจากการสุ่มนี้จะสุ่มใช้ช่วงเวลาที่มีความสอดคล้องกัน คือเป็นยานพาหนะที่เกิดขึ้นในวันเดียวกันของสัปดาห์ และมีช่วงเวลาการเคลื่อนที่ที่ตรงกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สุ่มจำนวนยานพาหนะจากวันศุกร์ เวลา 8.00 – 10.00 นาฬิกา จำนวนทั้งหมด 1,977 คัน กับพื้นที่ประมาณ 10 ตารางกิโลเมตร ซึ่งจะแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยขนาด 500×500 ตารางเมตรเท่าๆกัน ออกเป็น 48 พื้นที่



ภาพที่ 4.1 (a) สภาพแวดล้อมแบบถนนทางหลวง (b) สภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด



ภาพที่ 4.2 สภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง

ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ถนนทางหลวง	เมืองแบบกริด	ของจริงแบบเมือง
ขนาดของข้อมูลที่ถูกส่ง	512 ไบต์		
ขนาดของตารางตัวกรองของบลูม	8 ไบต์		
ช่วงเวลาของการส่งบีคอน	1 วินาที		
ช่วงเวลาของการส่งข้อความสอบถาม	3 วินาที		
ความหนาแน่นของโหนดในเครือข่าย (คันต่อกิโลเมตร)	10 - 80	2 - 80	60.875
จำนวนโหนดผู้ร้องขอ	8	40	200
จำนวนหมายเลขพื้นที่	8	40	48
ระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูล	500 1,000 1,500 และ 2,000 เมตร		
ระยะของการสื่อสารไร้สาย	250 เมตร		
ระยะเวลาของการทำงานของแอพพลิเคชั่น	60 วินาที		180 วินาที
จำนวนครั้งของการทดสอบ	5 ครั้ง		

4.5 ผลการทดลองของอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล

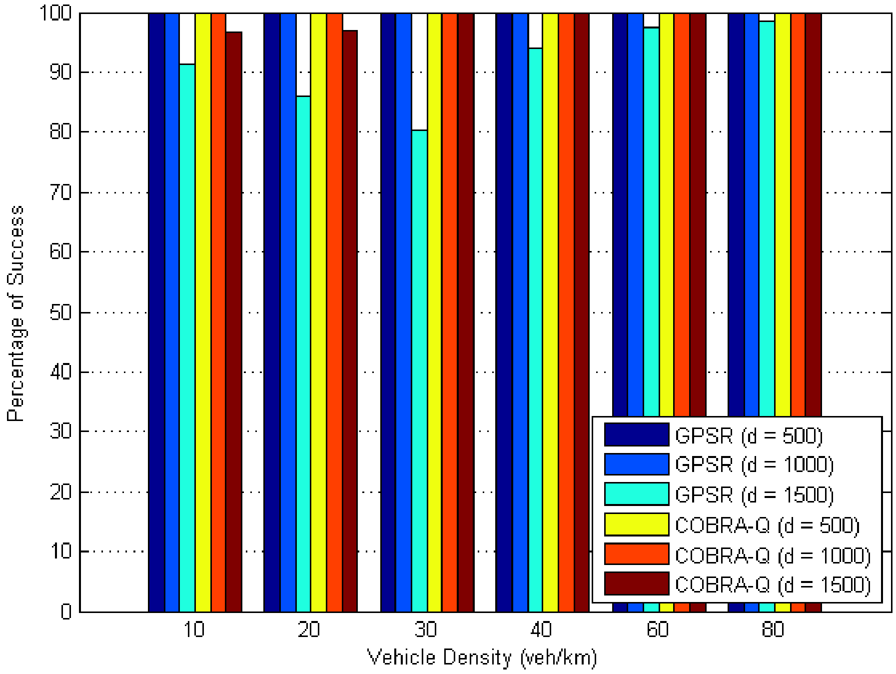
การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง แสดงในภาพที่ 4.3

เนื่องจากลักษณะของสภาพแวดล้อมถนนทางหลวงคือถนนเส้นตรง พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จึงอยู่ในลักษณะของการวิ่งไปในทิศทางเดียวตามช่องทางของถนนเสมอ ดังนั้นใน

การทดสอบการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมนี้จึงกำหนดให้โหนดที่ต้องการเข้าถึงข้อมูล สุ่มเลือกพื้นที่ที่ต้องการ จากพื้นที่ที่อยู่ด้านหน้าของทิศทางที่โหนดโหนดนั้นกำลังมุ่งไป กับระยะห่างต่างๆ

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR การเข้าถึงด้วยวิธีนี้สามารถทำได้ด้วยอัตราความสำเร็จสูงที่ทุกๆ ระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูล เนื่องจาก ลักษณะของสภาพแวดล้อมนี้เป็นการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว จึงทำให้ลักษณะของการเชื่อมต่อของเครือข่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มาก และยังคงมีความต่อเนื่องไปจนถึงตำแหน่งปลายทางของการสื่อสาร

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q การเข้าถึงข้อมูลด้วยวิธีการของ COBRA-Q สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากลักษณะของสภาพแวดล้อมนี้เอื้อประโยชน์ต่อการเข้าถึงข้อมูลอย่างมาก แม้ว่าข้อมูลที่ต้องการเข้าถึงนั้นจะอยู่ไกลมากก็ตาม COBRA-Q ก็ยังสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ จากโหนดที่เคลื่อนที่ในทิศทางที่ตรงกันข้าม

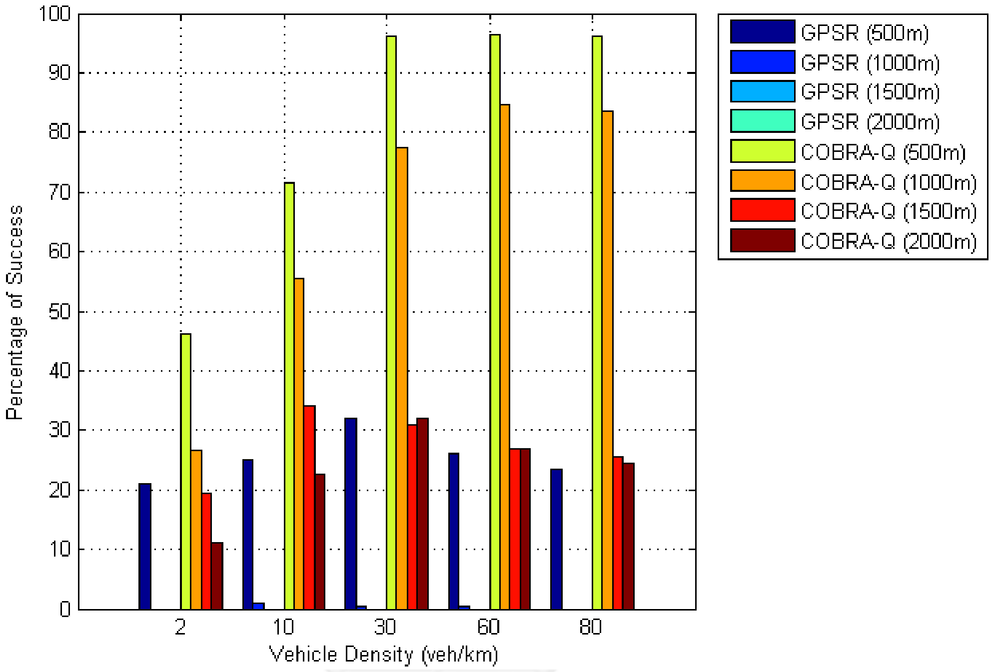


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง

การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด แสดงในภาพที่ 4.4

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR จากกราฟ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพนั้นให้ค่าอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลต่ำอย่างมาก หรือไม่สำเร็จเลยที่ระยะห่างที่มากขึ้น สาเหตุเนื่องจากปัญหาของการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอของเครือข่ายที่เกิดขึ้นบนเส้นทางระหว่างทางแยกของถนนที่ห่างมากถึง 1,000 เมตร

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q จากกราฟ COBRA-Q สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยค่าอัตราความสำเร็จที่สูง ในทุกๆ ความหนาแน่นของเครือข่าย ถึงแม้ว่าผลลัพธ์จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่า การเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ไกลๆ มีค่าที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งสาเหตุนี้เกิดจากข้อจำกัดการจำลองการเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่าย และระยะเวลาที่ถูกจำกัดโดยเวลาของการจำลองเครือข่าย

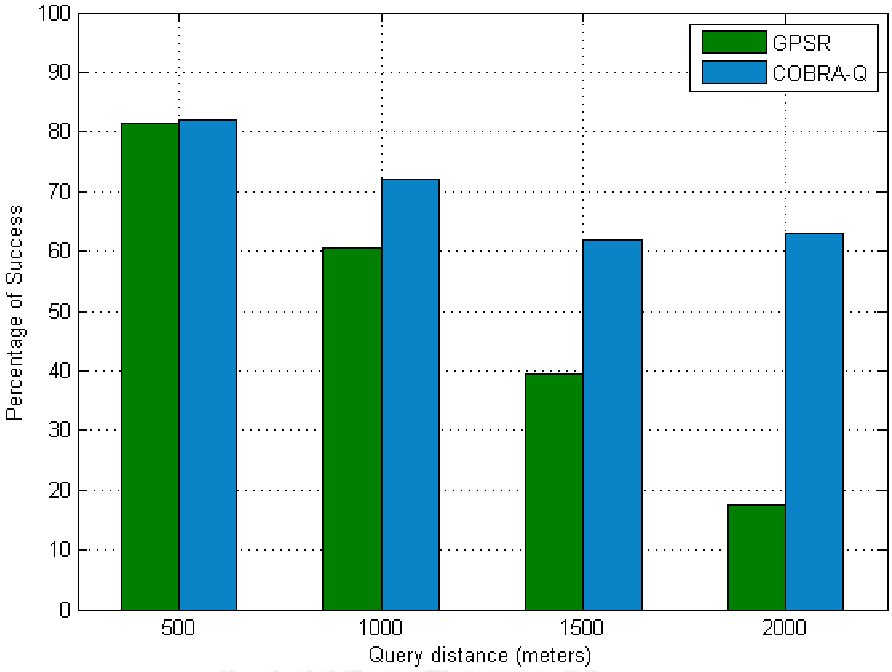


ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด

การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง แสดงในภาพที่ 4.5

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR ให้ค่าอัตราความสำเร็จที่สูง ในระยะห่างต่างๆ เมื่อเทียบกับผลจากการทดลองในเครือข่ายเมืองแบบกริด เนื่องจากปริมาณโหนดในเครือข่ายเมืองของจริงนี้มีปริมาณที่สูงมาก เมื่อเทียบกับขนาดของแผนที่ ถึงอย่างไรก็ตามค่าอัตราความสำเร็จนี้มีแนวโน้มที่ลดต่ำลง เมื่อระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลอยู่ไกลจากโหนดผู้ร้องขอมากขึ้น

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q จากกราฟแสดงให้เห็นว่า COBRA-Q สามารถเข้าถึงข้อมูลด้วยค่าอัตราความสำเร็จที่สูงมากกว่า 60% ที่ทุกๆ ระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูล แม้ว่าระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลจะอยู่ไกลจากตำแหน่งของผู้ร้องขอ ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการทำงานของตัวกรองของบลูม



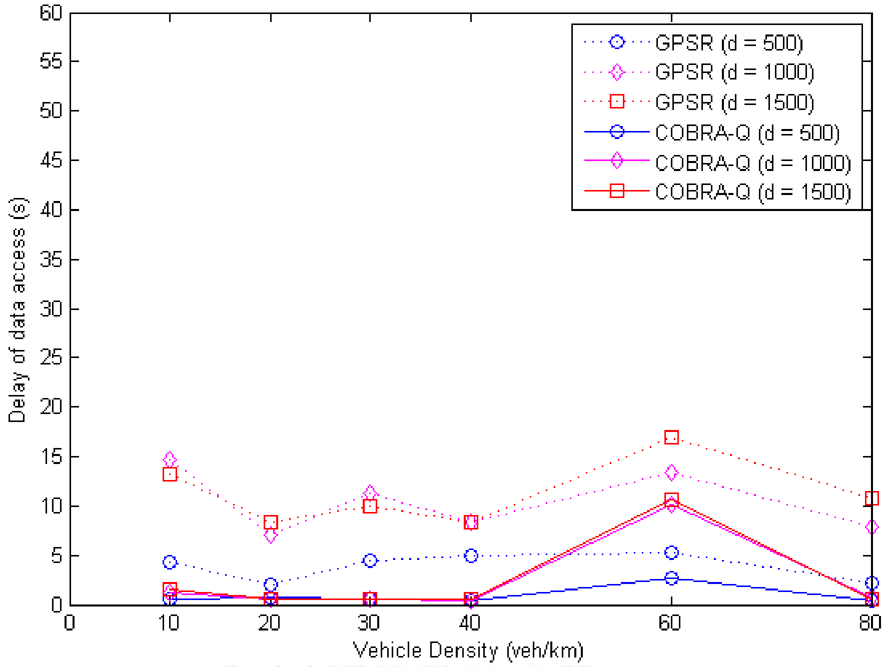
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง

4.6 ผลการทดลองของความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล

การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง แสดงในภาพที่ 4.6

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR แม้ว่าผลลัพธ์จากภาพที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นว่าการเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพจะมีค่าอัตราความสำเร็จที่สูง ทุกๆ ความหนาแน่น แต่ก็ให้ค่าเวลาความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่สูงเช่นกัน และมีแนวโน้มว่าค่าเวลาความล่าช้านี้จะสูงมากขึ้นเมื่อระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลอยู่ไกลมากขึ้น

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q จากกราฟ สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า COBRA-Q สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยค่าความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่ต่ำมาก ถึงแม้ว่าจะมีบางช่วงของความหนาแน่นมีค่าความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่สูงขึ้นมา แต่ก็ยังคงถือว่าต่ำกว่าการเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพ



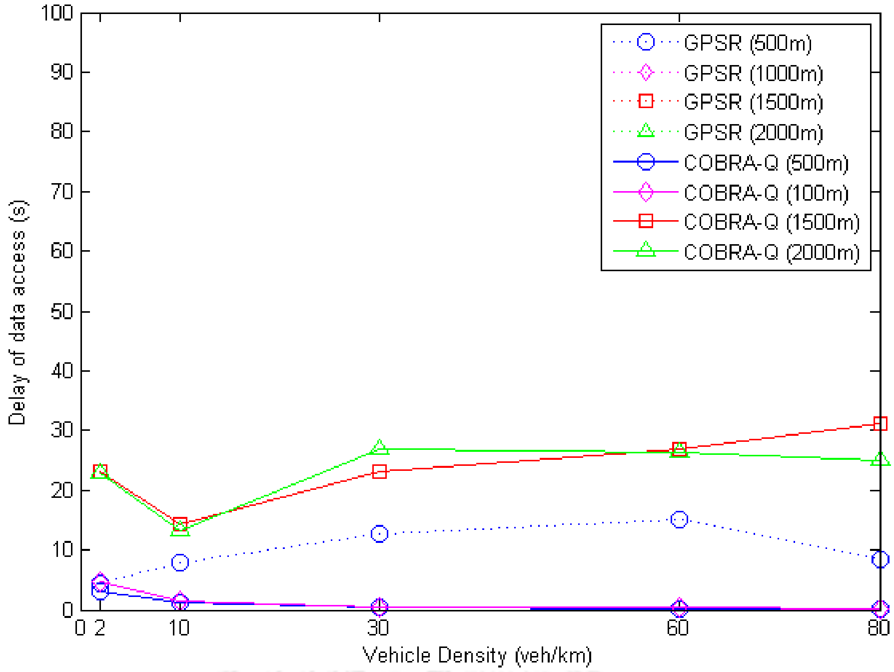
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง

การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด แสดงในภาพที่ 4.7

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR เนื่องจากการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริดนี้ไม่สามารถทำงานได้ เมื่อระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลสูงมากขึ้น กราฟนี้จึงแสดงให้เห็นแค่ผลลัพธ์จากการเข้าถึงข้อมูลที่ระยะห่าง 500 เมตร

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q จากกราฟ แสดงให้เห็นว่า COBRA-Q ให้ค่าความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่ค่อยข้างคงที่ที่ทุกๆ ค่าความหนาแน่นของโหนดในเครือข่าย แต่ก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่อระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลมีระยะทางที่ไกลจากโหนดผู้ร้องขอมากขึ้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY



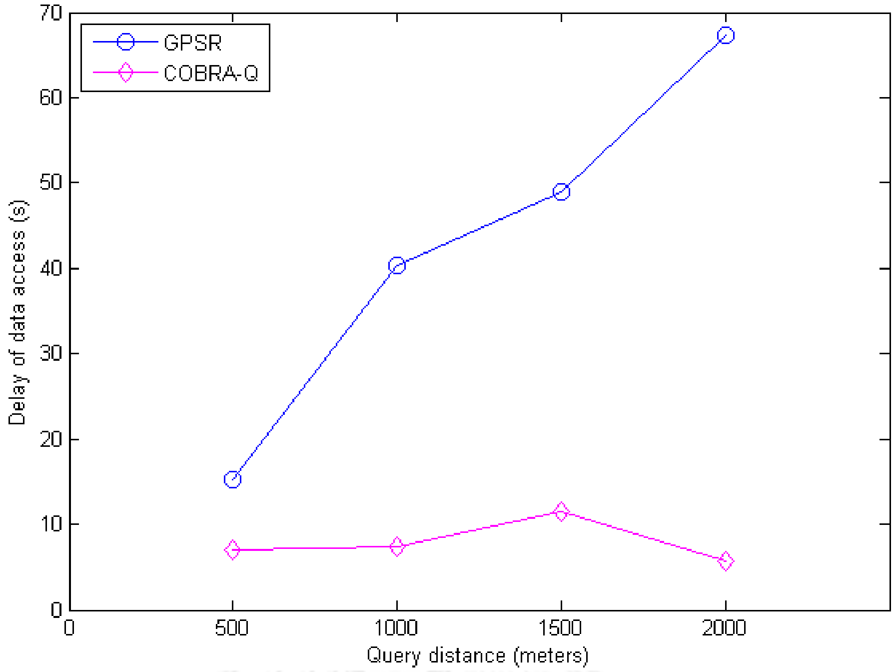
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด

การเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง แสดงในภาพที่ 4.8

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR จากกราฟแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมืองให้ค่าความล่าช้าที่สูงมาก ถึงแม้ว่าปริมาณโหนดในเครือข่ายจะมีปริมาณมากก็ตาม

การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ของการเข้าถึงข้อมูลโดย COBRA-Q ในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ามาก โดยให้ค่าอัตราความสำเร็จที่สูง ด้วยค่าความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่ต่ำกว่าการเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพ

CHULALONGKORN UNIVERSITY



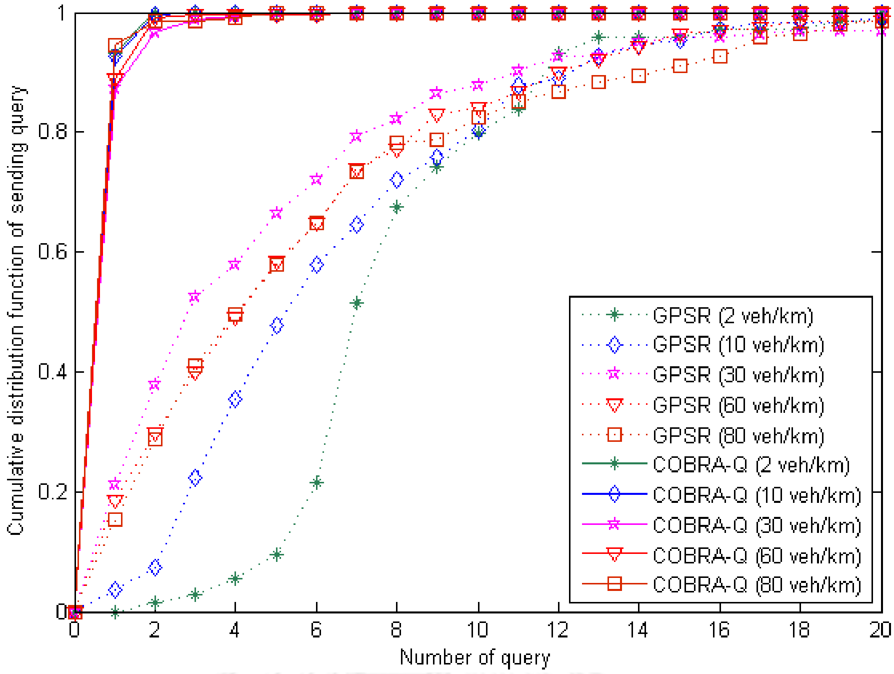
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง

4.7 ผลการทดลองของการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม

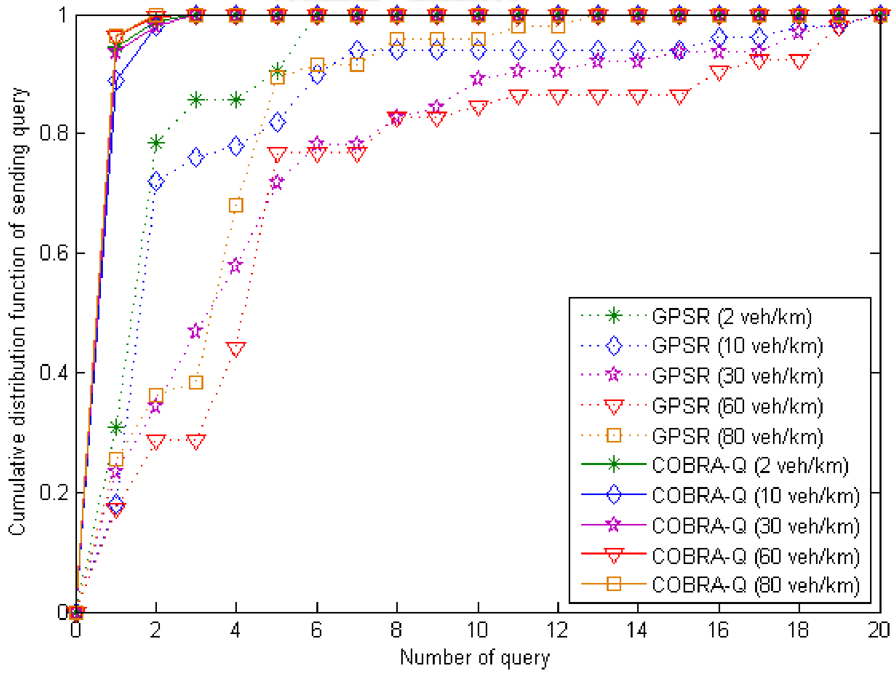
จากภาพที่ 4.9 ถึง ภาพที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามที่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง ระหว่างการเข้าถึงข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบหลายฮอพด้วย GPSR และการเข้าถึงข้อมูลด้วย COBRA-Q จากทั้งสามสภาพแวดล้อมของเครือข่าย ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายของการสื่อสารที่เกิดจากการเข้าถึงข้อมูล

การเข้าถึงข้อมูลแบบหลายฮอพด้วย GPSR การเข้าถึงข้อมูล GPSR มีการใช้ข้อความสอบถามที่มากเกินไปเมื่อที่กับการเข้าถึงข้อมูล เพียงแค่หนึ่งแพ็คเกต

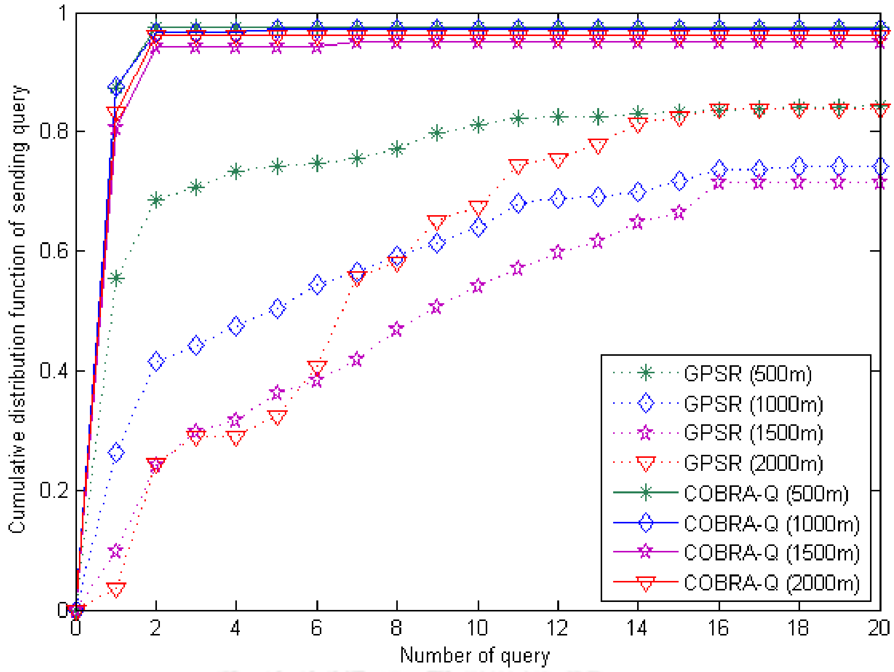
การเข้าถึงข้อมูลแบบหนึ่งฮอพด้วย COBRA-Q สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก ผลลัพธ์ของการตัดสินใจของตัวกรองของบลูมในเงื่อนไขที่หนึ่ง และเงื่อนไขที่สอง เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในอดีตของโหนดเพื่อนบ้าน



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวงที่ระยะห่าง 500 เมตร



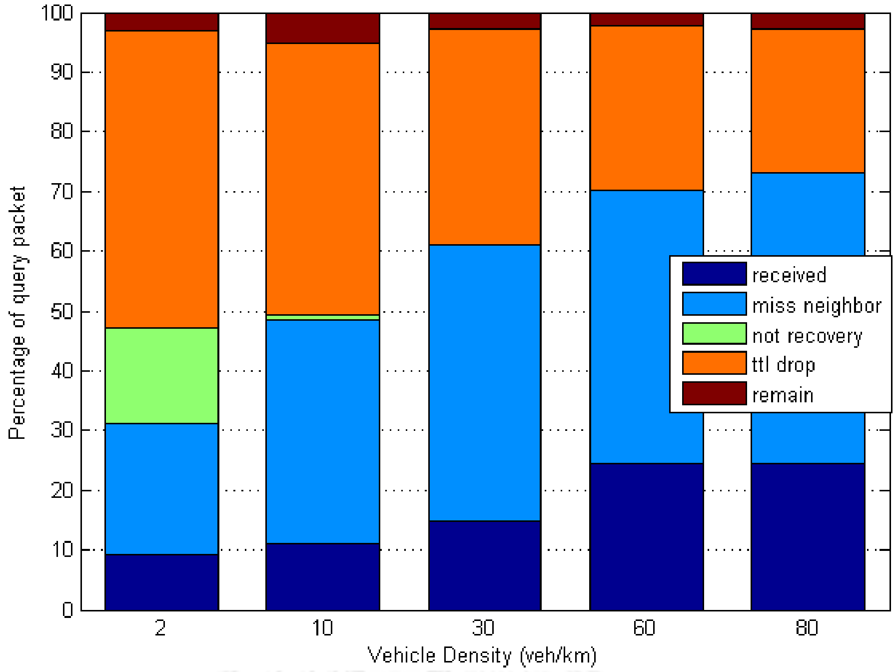
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริดที่ระยะห่าง 500 เมตร



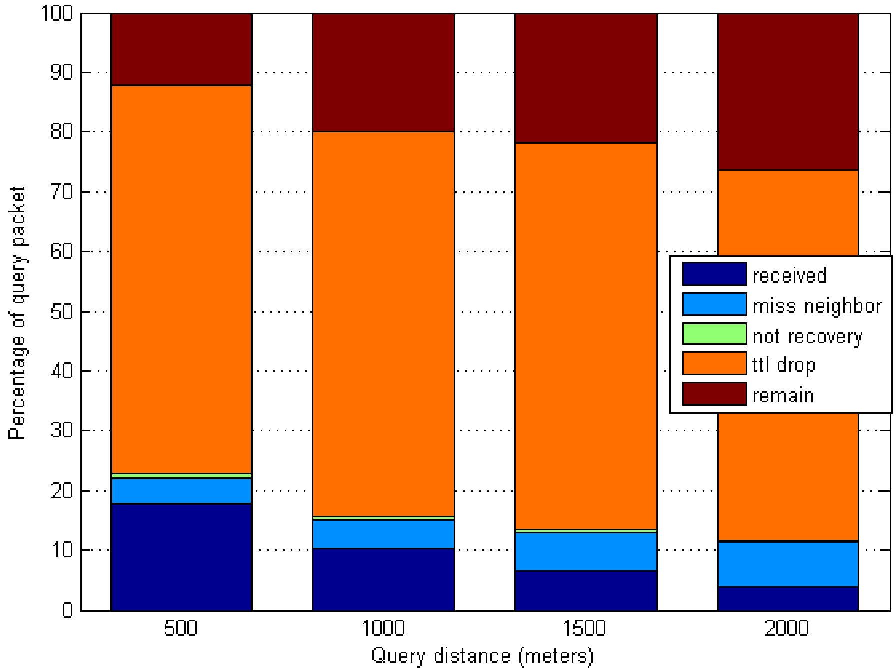
ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถามในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมืองที่ระยะห่าง 500 ถึง 2,000 เมตร

4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานโดย GPSR

- *Received* จำนวนของข้อความสอบถามทั้งหมดที่ส่งไปถึง และปลายทางได้รับ จะสังเกตได้ว่าอัตราส่วนของความสำเร็จของการรับข้อความสอบถามมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความหนาแน่นของโหนดในเครือข่ายสูงขึ้นในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริดดังภาพที่ 4.12 และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อระยะห่างของการเข้าถึงข้อมูลไกลมากขึ้น ดังภาพที่ 4.13
- *Miss neighbor* จำนวนของข้อความสอบถามทั้งหมดที่หายไปจากการที่ GPSR เลือกเพื่อนบ้านที่ออกไปจากระยะของการสื่อสารแล้ว ซึ่งสาเหตุของปัญหานี้เกิดจาก การที่ GPSR มีตารางเพื่อนบ้านที่ล้าสมัย เนื่องจากการกำหนดค่าเวลาของการคงอยู่ (lifetime) ของเพื่อนบ้านนานเกินไป
- *Not recovery* จำนวนของข้อความสอบถามทั้งหมดที่ถูกทิ้งจากการที่ไม่สามารถส่งต่อแพ็คเกตได้อีก เนื่องจากไม่มีโหนดที่เป็นเพื่อนบ้านอยู่ในตารางเพื่อนบ้านเลย ซึ่งกรณีจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความหนาแน่นของโหนดในเครือข่ายต่ำ
- *Ttl drop* จำนวนของข้อความสอบถามทั้งหมดที่ถูกทิ้งเนื่องจาก อายุของแพ็คเกตหมดลง
- *Remain* จำนวนของข้อความสอบถามทั้งหมดที่ยังคงตกค้างอยู่ในการสื่อสารไร้สาย



ภาพที่ 4.12 แสดงสัดส่วนของข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด โดย GPSR



ภาพที่ 4.13 แสดงสัดส่วนของข้อความสอบถามที่ถูกใช้งานสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมือง โดย GPSR

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอโพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้วิธีการสื่อสารแบบหลายฮอพ มักจะเกิดความล้มเหลวของการสื่อสาร สาเหตุเนื่องมาจากเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะมีการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นจากคุณสมบัติที่เฉพาะตัวของเครือข่าย เช่น โหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง โทโพโลจีเปลี่ยนแปลงบ่อย ความซับซ้อนของเงื่อนไขของการจราจร เป็นต้น ซึ่งทำให้หลากหลายโพรโทคอลสำหรับค้นหาเส้นทางในชั้นของเครือข่าย ประสบกับปัญหาการแบ่งแยกที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งบนเส้นทางของการส่งข้อมูล

จากคุณสมบัติที่เฉพาะตัวของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะพบว่า สามารถนำคุณสมบัติเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เข้ากับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายได้ เพื่อสนับสนุนแอพพลิเคชั่นที่หลากหลายที่สามารถเกิดขึ้นได้ในอนาคต เช่น ข้อมูลการท่องเที่ยว ข้อมูลจากร้านค้าต่างๆ ข้อมูลการโฆษณา ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่พัก หรือโรงแรม เป็นต้น โพรโทคอลที่ถูกเสนอได้นำลักษณะของการเคลื่อนที่ของโหนดในอดีตมาช่วยตัดสินในการเข้าถึงข้อมูล ซึ่งลักษณะของการเคลื่อนที่ในอดีตนี้จะเป็นสิ่งที่สามารถบอกได้ว่า โหนดที่กำลังพิจารณานี้เคยเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่เรากำลังสนใจอยู่หรือไม่ และจะดำเนินการเข้าถึงข้อมูลนี้จากโหนดที่ถูกพิจารณานี้แทนการเข้าถึงข้อมูลจากตำแหน่งที่อยู่จริงของข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ลักษณะการเดินทางของแต่ละโหนด เป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาโพรโทคอลใหม่ เพื่อสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ ซึ่งลักษณะการเดินทางในอดีตของโหนดนี้ จะถูกเก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำของโหนดเป็นระยะๆ เมื่อถึงช่วงเวลาของการส่งบีคอนของโหนด ก็จะทำการแนบหน่วยความจำนี้ลงในแพ็คเกตของบีคอนด้วย เมื่อโหนดใดๆ ในเครือข่าย ต้องการเข้าถึงข้อมูลที่สนใจจะทำการตรวจสอบลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดเพื่อนบ้าน จากข้อมูลในตารางเพื่อนบ้าน หลังจากนั้นก็จะดำเนินการเข้าถึงข้อมูลจากเพื่อนบ้านแทน

จากแนวคิดของการประยุกต์ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนด งานวิจัยนี้จึงได้ นำโครงสร้างข้อมูลชนิดหนึ่งซึ่งมีความเหมาะสม ในการใช้งานสำหรับการบันทึกลักษณะของการเคลื่อนที่ของโหนด ซึ่งโครงสร้างข้อมูลชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า ตัวกรองของบลูม ตัวกรองของบลูมสามารถบันทึกลักษณะการ

เคลื่อนที่ของโหนดกับขนาดของตารางเก็บที่มีขนาดที่คงที่เสมอ ซึ่งอาศัยหลักการทำงานผ่านฟังก์ชั่นแฮช

จากการทดสอบของโพรโทคอลที่เสนอ แสดงให้เห็นว่า COBRA-Q สามารถเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในสภาพแวดล้อมถนนทางหลวง สภาพแวดล้อมเมืองแบบกริด และสภาพแวดล้อมของจริงแบบเมืองและผลลัพธ์ของการทดสอบให้ค่าอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูลสูง ภายใต้ค่าความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูลที่ต่ำ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายของการสื่อสารจากการใช้ข้อความสอบถาม

5.2 การคาดคะเนและการอภิปราย

5.2.1 การพิจารณาการเข้าถึงข้อมูลของโพรโทคอล COBRA-Q กับการเข้าถึงข้อมูลที่อาศัยเทคนิคจากการส่งข้อมูลแบบเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง หรือ Delay-tolerant networking (DTN)

เนื่องจากการส่งข้อมูลในเครือข่าย DTN จะอาศัยเทคนิคของการส่งต่อข้อมูลในลักษณะที่เรียกว่า store-carry-forward กับการส่งแบบ flooding เป็นหลัก ยกตัวอย่างเช่น การทำงานของโพรโทคอล epidemic [22] คือเมื่อโหนดผู้ส่งอยู่ในสถานการณ์ที่ไม่สามารถส่งต่อข้อมูลได้ เช่น กรณีที่ไม่มีโหนดเพื่อนบ้านเลย เป็นต้น โหนดดังกล่าวก็จะถือข้อมูลนั้นไปกับการเคลื่อนที่ของตน จนกว่าข้อมูลจะหมดอายุ หรือจนกว่าจะค้นพบโหนดที่สามารถส่งต่อข้อมูลได้ จากลักษณะของการส่งต่อข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำมาพิจารณาถึงการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะสามารถทำงานได้เช่นกัน แต่ถึงอย่างไรก็ตามการเข้าถึงข้อมูลเป็นการสื่อสารในลักษณะของสองทิศทาง คือ การส่งข้อความสอบถามไปยังแหล่งข้อมูล และการตอบกลับข้อมูลที่สอดคล้องมายังผู้ร้องขอ ซึ่งจากการสื่อสารทั้งสองทิศทางนี้ หากเลือกใช้วิธีการของโพรโทคอล epidemic จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าจำนวนของการส่งที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีปริมาณที่สูง ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูลตามตัวชี้วัดต่างๆ ดังนี้

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* ตัวชี้วัดนี้อาจจะมีแนวโน้มที่ดีกว่าการเข้าถึงข้อมูลจากโพรโทคอล COBRA-Q ในกรณีที่โหนดในเครือข่ายมีการกระจายตัวทั่วทุกทางแยก ถึงแม้ว่าจะเป็นสถานการณ์ที่เกิดความไม่ต่อเนื่องของโหนดระหว่างทางแยกก็ตาม เนื่องจากเป็นการส่งในลักษณะของการ flooding มาในหลากหลายทิศทาง จึงทำให้โหนดผู้ร้องขอมีโอกาสได้รับข้อมูลมากขึ้น อย่างไรก็ตามแต่ตัวชี้วัดนี้ก็อาจมีแนวโน้มที่แย่กว่าได้ หากการเข้าถึงข้อมูลนั้น เกิดการแบ่งแยก หรือถูกตัดขาดจากแหล่งข้อมูลโดยสิ้นเชิง

- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* ตัวชี้วัดนี้มีแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ทั้งสองทาง คือดีกว่าหรือแย่กว่าโพรโทคอล COBRA-Q เนื่องจากเหตุผลในลักษณะเช่นเดียวกันกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล อีกทั้งในกรณีที่โพรโทคอล COBRA-Q ไม่สามารถทำงานได้ เช่น สถานการณ์ที่ถนนส่วนใหญ่เป็นถนนแบบวิ่งทางเดียว เป็นต้น
- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* ตัวชี้วัดนี้จะมีแนวโน้มที่แย่ลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับการเข้าถึงข้อมูลโดยโพรโทคอล COBRA-Q เนื่องจากจำนวนของข้อความสอบถามที่ส่งมีปริมาณที่สูงมาก ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายของการสื่อสารที่สูงตาม จากการส่งแบบ flooding

จากการพิจารณาย่อยในแต่ละตัวชี้วัดข้างต้น แม้ว่าการเข้าถึงข้อมูลโดยอาศัยเทคนิคการทำงานในเครือข่ายแบบ DTN จะมีโอกาสที่ทำให้ค่าของตัวชี้วัดในสองลำดับแรกดีกว่า แต่จากการพิจารณานั้นเป็นเพียงการพิจารณาการเข้าถึงข้อมูลในกรณีที่มีผู้ร้องขอเพียงโหนดเดียว ดังนั้นเมื่อมีปริมาณของจำนวนโหนดผู้ร้องขอมากขึ้น การเข้าถึงข้อมูลในลักษณะนี้จะทำงานได้แย่ลง หรือไม่สามารถทำงานได้เลย เนื่องจากปริมาณของข้อความสอบถามที่ถูกส่งออกไปและข้อมูลที่ถูกส่งกลับมาเกิดขึ้นทั่วทั้งเครือข่ายซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคับคั่งของข้อความสอบถามและข้อมูลที่ตอบกลับ

5.2.2 การพิจารณาการเข้าถึงข้อมูลของโพรโทคอล COBRA-Q กับการปรับค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถาม หรือ Query Interval

กรณีของการลดค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถามกับโพรโทคอล GPSR

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มที่ดีขึ้น เนื่องจากเครือข่ายบนยานพาหนะโทโพโลจีเกิดการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ดังนั้นการลดค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถามนี้ จะทำให้เกิดการส่งข้อความสอบถามบ่อยมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปลายทางมีโอกาสได้รับมากยิ่งขึ้น แต่ถึงอย่างไรก็ตาม แนวโน้มนี้ก็เป็นเพียงส่วนเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากการตอบกลับของข้อมูลก็ยังคงมีลักษณะเช่นเดิม
- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มที่ดีขึ้นแต่จะดีขึ้นไม่มากนัก ขึ้นอยู่กับการตอบกลับของข้อมูล ซึ่งสาเหตุที่ดีขึ้นนี้มีเหตุผลในลักษณะเช่นเดียวกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล
- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* มีแนวโน้มที่แย่ลงเนื่องจากปริมาณของการส่งข้อความสอบถาม มีปริมาณที่สูงมากขึ้น

กรณีของการลดค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถามกับโพรโทคอล COBRA-Q

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มดีขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือไม่ต่างจากเดิม เนื่องจากโพรโทคอล COBRA-Q เป็นการพิจารณาข้อมูลจากเพื่อนบ้าน ซึ่งการทำงานของตัวกรองของบลูมจะไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นผลลบลวงเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มความถี่ของการสอบถาม ในสถานการณ์ที่โหนดผู้ร้องขอไม่พบเพื่อนบ้านที่มีข้อมูลที่ต้องการเลย ซึ่งผลลัพธ์ของการสอบถามก็ยังคงได้คำตอบเดิม เป็นต้น
- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มที่ดีขึ้นแต่เป็นการเพิ่มขึ้นที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากเหตุผลในลักษณะเดียวกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่โหนดผู้ร้องขอเลือกเพื่อนบ้านผิด
- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* ไม่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ เนื่องจากตัวชี้วัดดังกล่าวเกิดจากการตอบคำถามของตัวกรองของบลูมเป็นหลัก

กรณีของการเพิ่มค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถามกับโพรโทคอล GPSR

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มที่แย่ลงเนื่องจากปริมาณการส่งข้อความสอบถามมีปริมาณที่น้อยลง
- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* มีแนวโน้มที่แย่ลงอย่างมาก เมื่อข้อความสอบถามส่งไปไม่ถึงตำแหน่งของปลายทาง ซึ่งเป็นเหตุผลในลักษณะเดียวกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล
- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* มีแนวโน้มที่แย่ลงสืบเนื่องจากสาเหตุเดียวกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล เมื่อการส่งข้อความสอบถามไม่สำเร็จ โพรโทคอลก็จะต้องส่งข้อความสอบถามอีกต่อไปเรื่อยๆ

กรณีของการเพิ่มค่าของช่วงเวลาในการส่งข้อความสอบถามกับโพรโทคอล COBRA-Q

- *อัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล* ไม่ส่งผลต่อตัวชี้วัดในกรณีที่ตัวกรองของบลูมตอบได้อย่างแม่นยำ แต่จะส่งผลให้ตัวชี้วัดนี้แย่ลงเล็กน้อย เมื่อตัวกรองของบลูมตอบผิดบ่อยครั้ง
- *ความล่าช้าของการเข้าถึงข้อมูล* เกิดผลกระทบในลักษณะเช่นเดียวกันกับตัวชี้วัดอัตราความสำเร็จของการเข้าถึงข้อมูล
- *การกระจายค่าความน่าจะเป็นสะสมของการส่งข้อความสอบถาม* ไม่ส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้ เนื่องจากตัวชี้วัดดังกล่าวเกิดจากการตอบคำถามของตัวกรองของบลูมเป็นหลัก

5.3 ข้อจำกัด

โพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และการทดสอบ บนสมมติฐานที่จำกัดคือ ยานพาหนะใดๆ ในเครือข่ายที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีการกระจายข้อมูล จะต้องได้รับข้อมูลของพื้นที่นั้น และเก็บข้อมูลนี้ไว้จนกระทั่งสิ้นสุดการเดินทาง

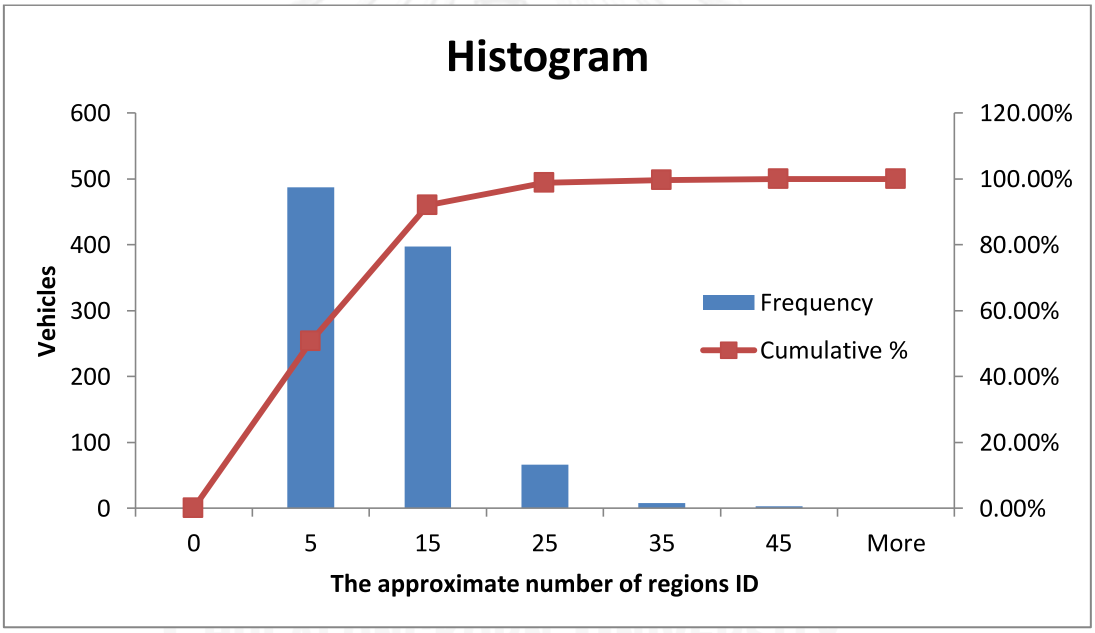
ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบการเข้าถึงข้อมูล จากพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ทดสอบนี้ เป็นเพียงข้อมูลที่มีเพียงหนึ่งแพ็คเกต กับขนาด 512 ไบต์ ซึ่งในการทำงานของแอพพลิเคชั่นจริง อาจจะมีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่กว่ามาก และอาจส่งผลให้มีปริมาณแพ็คเกตของข้อมูลที่มากกว่าหนึ่งแพ็คเกต ดังนั้นโพรโทคอลที่ถูกเสนอในงานวิจัยนี้ จึงยังไม่สามารถรับประกันได้อย่างแน่นอนว่าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อข้อมูลมีขนาดที่มากกว่าหนึ่งแพ็คเกต

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำตัวกรองของบลูมมาประยุกต์ใช้ เพื่อบันทึกลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดในอดีต ดังนั้นข้อมูลนำเข้าของตัวกรองที่เกิดขึ้น คือลำดับของหมายเลขพื้นที่ที่โหนดเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวกรองของบลูมถูกออกแบบเพื่อรองรับการทำงานกับข้อมูลนำเข้าชนิดข้อความ การที่นำตัวกรองของบลูมมาใช้ในการบันทึกค่าของตัวเลขโดยตรง ที่มีขนาดและค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลน้อยกว่า จึงส่งผลกระทบต่อค่าความน่าจะเป็นที่ตัวกรองของบลูมจะให้ผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเป็นผลบวกลวงมีค่าสูงมากขึ้นเชิงปฏิบัติ ซึ่งต่างจากค่าของความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเชิงทฤษฎีประมาณ 2.69% โดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 5.1 โพรโทคอล COBRA-Q เลือกใช้ขนาดตารางตัวกรองของบลูมเท่ากับ 8 ไบต์ กับฟังก์ชั่นแฮช 4 ฟังก์ชั่นตามความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่จริง ดังแสดงในภาพที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความถี่ของจำนวนหมายเลขพื้นที่ที่ยานพาหนะวิ่งผ่านโดยเฉลี่ย (จากการทดลองในบทที่ 4 ได้แบ่งพื้นที่ขนาด 500×500 ตารางเมตร บนการทดลองวิ่งที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง) แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยสะสมที่ 91.99% จำนวนพื้นที่ที่วิ่งผ่านสูงสุดคือ 15 พื้นที่ เมื่อนำตัวกรองขนาดดังกล่าวมาทำการทดสอบ เพื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่จะให้ผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเป็นผลบวกลวงของโพรโทคอล COBRA-Q จากภาพที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าจำนวนพื้นที่ที่สามารถรองรับได้มากที่สุด โดยค่าความน่าจะเป็นของผลบวกลวงไม่เกิน 20% เท่ากับ 14 พื้นที่ (ความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเท่ากับ 0.186 หรือ 18.6%)

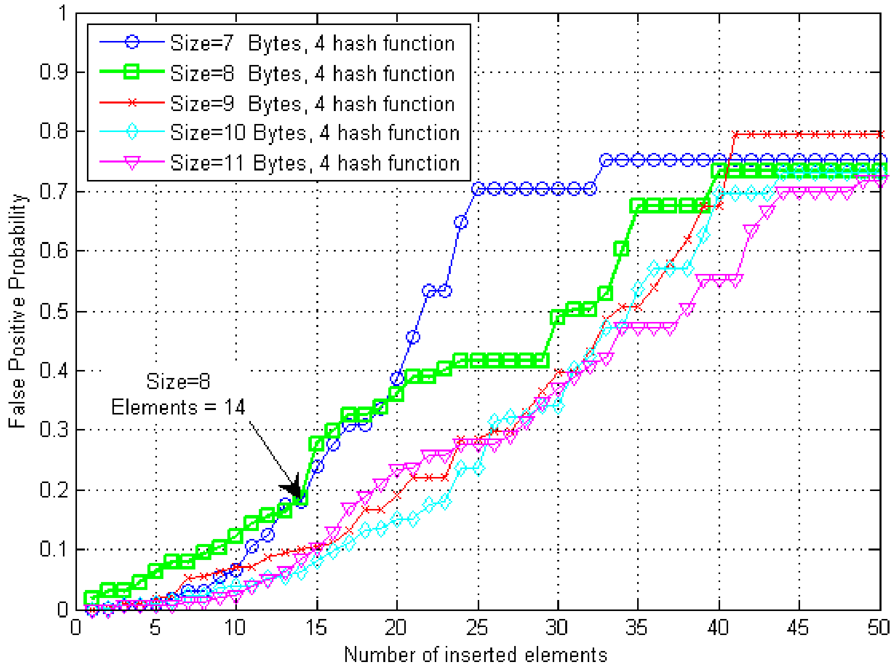
สำหรับกรณีที่ต้องการบันทึกลักษณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ยาวนานมากขึ้น หรือมากกว่า 2 ชั่วโมง จะต้องใช้ตัวกรองของบลูมที่มีขนาดตารางที่ใหญ่มากขึ้น ที่สอดคล้องกับค่าของความน่าจะเป็นที่จะให้ผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเป็นผลบวกลวงไม่เกิน 20% ดังแสดงในภาพที่ 5.2เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นของผลบวกลวงที่สูงมากเกินไปจะส่งผลให้โพรโทคอล COBRA-Q มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ลดต่ำลงจากการเลือกเพื่อนบ้านผิดบ่อยครั้ง

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ

ขนาดของตารางไบนารี่ (ไบต์)	จำนวนของฟังก์ชั่นแฮช	ความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเชิงทฤษฎี	ความน่าจะเป็นของผลบวกลวงเชิงปฏิบัติ
7	4	0.090909091	0.106
8	4	0.083333333	0.156
9	4	0.076923077	0.094
10	4	0.071428571	0.064
11	4	0.066666667	0.104



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความถี่ของจำนวนหมายเลขพื้นที่ที่ยานพาหนะวิ่งผ่านโดยเฉลี่ยช่วงเวลา 8.00 - 10.00 นาฬิกา



ภาพที่ 5.2 ความน่าจะเป็นของผลบวกลวงกับจำนวนสมาชิกที่เพิ่มขึ้น

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโพรโทคอลการสอบถามโดยใช้ตัวกรองของบลูมสำหรับการเข้าถึงข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะนี้ ได้นำตัวกรองของบลูมมาประยุกต์ใช้สำหรับการบันทึกลักษณะของการเดินทางของโหนดในเครือข่าย ซึ่งยังไม่ได้ทำการศึกษาในเชิงลึกว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้งานคืออะไร เช่น ขนาดของตารางที่ใช้ จำนวนฟังก์ชั่นแฮชที่ใช้ เป็นต้น

ในบางสถานการณ์ที่ COBRA-Q ไม่สามารถทำงานได้ เช่น พื้นที่บนถนนวิ่งทางเดียว เป็นต้น เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการเข้าถึงข้อมูล สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเป็นแบบผสมได้ เช่น เปลี่ยนวิธีการเข้าถึงข้อมูลจากการสื่อสารแบบหนึ่งฮอพ เป็นการสื่อสารแบบหลายฮอพแทน โดยอาศัยการทำงานจากโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง

รายการอ้างอิง

1. ETSI, The European Telecommunications Standards Institute.
2. V. Naumov and T. R. Gross, Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad Hoc Networks, in IEEE the 26th International Conference on Computer Communications (INFOCOM'07). 2007: Anchorage, Alaska, USA.
3. F. Li and Y. Wang, Routing in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey, in IEEE Vehicular Technology Magazine. 2007. p. 12-22.
4. S.M. Bilal, C.J. Bernardos, and C. Guerrero, Position-based routing in vehicular networks: A survey. Journal of Network and Computer Applications, 2013. 36(2): p. 685–697.
5. J. Gao, J. Han, D. Yang, and T. Wang, Road Network Based Adaptive Query Evaluation in VANET, in The Ninth International Conference on Mobile Data Management (MDM '08). 2008: Beijing, China.
6. U. Lee, J. Lee, J.S. Park, and M. Gerla, FleaNet: A Virtual Market Place on Vehicular Networks. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2010. 59: p. 344-355.
7. G.Y. Cahng, J.P. Sheu, and J.H. Wu, Typhoon: Resource Sharing Protocol for Metropolitan Vehicular Ad hoc Networks, in IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'10). 2010: Sydney, Australia.
8. Y. Zhang and G. Cao, V-PADA: Vehicle-Platoon-Aware Data Access in VANETs. IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2011. 60(5): p. 2326-2339.
9. B.H. BLOOM, Space/Time Trade-offs in Hash Coding with Allowable Errors, in Communications of the ACM. 1970. p. 422-426.
10. K. Kawila, T. Danmanee, and K. Rojviboonchai, Cobra-Q: A Cooperative-Bloom Filter-Assisted Query Protocol for Data Access in VANET, in 15th IEEE International Conference on Communication Technology(ICCT2013). 2013: Guilin, China.
11. K. Kawila, and K. Rojviboonchai, Performance of a Cooperative-Bloom Filter-Assisted Query Protocol for Data Access in Bangkok Scenario. in 11th International Joint Conference on Computer Sciences and Software Engineering (JCSSE 2014). 2014. PATTAYA, THAILAND.
12. 802.11p-2010 - IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. 2010. p. 1 - 51.
13. OTREC, Oregon Transportation Research and Education Consortium.

14. S. Tarkoma, C.E. Rothenberg, and E. Lagerspetz, Theory and Practice of Bloom Filters for Distributed Systems. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, 2012. 14: p. 131-155.
15. B. Karp and H.T. Kung, GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks, in Proc. of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000). 2000: Boston, MA, USA.
16. N. Lu, T.H. Luan, M. Wang, X.S. Shen, and F. Bai, Capacity and Delay Analysis for Social-Proximity Urban Vehicular Networks, in The 31st Annual IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM'12). 2012: Orlando, Florida USA.
17. The ArcGIS Data Appliance. Available from: http://help.arcgis.com/en/data-appliance/4.0/help/basemap/index_Left.htm#CSHID=world_boundaries_places.htm%3F|StartTopic=content%2Fworld_boundaries_places.htm%3F|SkinName=agda.
18. ns-3. Available from: http://www.nsnam.org/.
19. SUMO (Simulation of Urban MObility). Available from: http://sumo-sim.org/.
20. TraNS (Traffic and Network Simulation Environment). Available from: http://lca.epfl.ch/projects/trans/.
21. The Intelligent Traffic Information Center Foundation (iTIC). Available from: http://www.iticfoundation.org/.
22. A. Vahdat and D. Becker, Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. 2000. p. 18.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบจากมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย

```
admiral@adhoc-labs-server:~/Desktop/Longdo Traffic Data/2012-06-07$ cat 201206-01.txt | more
nRF2IJs7u0JH5VhzlbQeOQ,CAR6,000003.000,A,1326.83500,N,10101.27667,E,0,260,010612,,,A***,AUTO
SFlO4aTfyRkf2mGoUM4FCw,CAR6,000002.000,A,1335.98000,N,10101.11000,E,29.69762419008,20,010612,,,A***,AUTO
SyO+iT4RiMLdhEqtiNi5jA,TRUCK4,000022.000,A,1338.47452,N,10041.82126,E,23.758099352064,285,010612,,,A***,AUTO
CWAeYrHPUI87CEQmjWzN8w,TRUCK4,000002.000,A,1337.62462,N,10035.70420,E,29.69762419008,120,010612,,,A***,AUTO
OvkaE2c5Izhs1BbFibN2lA,TRUCK4,000034.000,A,1338.70540,N,10041.46516,E,16.738660907136,105,010612,,,A***,AUTO
USgzkohkAr6zNUQcCzmQNQ,TRUCK4,000030.000,A,1551.24198,N,10405.70648,E,32.937365010816,135,010612,,,A***,AUTO
gFpNaj3QcXcBrkcDEqt3Cw,TRUCK4,000040.000,A,1439.68238,N,10123.99826,E,26.9978401728,255,010612,,,A***,AUTO
FgxOB4mBXlH4nGLJnV2Cmw,TRUCK4,000010.000,A,1634.50498,N,10249.29522,E,34.557235421184,165,010612,,,A***,AUTO
xMjzMltDCn9GGoPwfpxbVg,TRUCK4,000014.000,A,1640.51974,N,10246.16592,E,0,285,010612,,,A***,AUTO
qrjvak4gqsCoXanNOlf1ng,TRUCK5,000012.000,A,728.55395,N,10004.34555,E,37.257019438464,11,010612,,,A***,AUTO
EdvpHw9wFfRjojb7tVNxgA,TRUCK5,000018.000,A,750.75827,N,9935.38788,E,29.157667386624,13,010612,,,A***,AUTO
LMbue9F3EPA3uxZ1FABi6Q,TRUCK5,000011.000,A,1247.10028,N,10109.59885,E,24.29805615552,21,010612,,,A***,AUTO
neKVyGG6t7B1QFPrm9dmIQ,TRUCK5,000036.000,A,1251.74612,N,10104.87976,E,31.317494600448,7,010612,,,A***,AUTO
FJL4BPZixpuurT4tLwxvoQ,TRUCK5,000043.000,A,1327.72749,N,10059.73999,E,42.116630669568,20,010612,,,A***,AUTO
AU6ez41kfeV0uC1/jf6oFw,TRUCK5,000118.000,A,1507.10512,N,10143.41156,E,32.937365010816,1,010612,,,A***,AUTO
SW8iy0F3Sb05RVfCx/VqkA,TRUCK5,000034.000,A,1626.41937,N,10249.74243,E,11.879049676032,13,010612,,,A***,AUTO
x1HZG6NnXIoEWpducAQ7iA,TRUCK5,000038.000,A,1437.55619,N,10323.41095,E,25.917926565888,5,010612,,,A***,AUTO
Fft+uftuOMgktQYLVpEXVg,TRUCK5,000006.000,A,1704.45427,N,10255.70389,E,31.857451403904,1,010612,,,A***,AUTO
ply40eNkMd1Ulg/IVz1Skg,TRUCK5,000010.000,A,1524.95550,N,10008.81927,E,14.038876889856,999,010612,,,A***,AUTO
hBgz0FBxH0Hw9bBVuPmOyQ,TRUCK5,000012.000,A,1256.91250,N,10054.34662,E,5.939524838016,11,010612,,,A***,AUTO
oxBZyoxMpAp3wNV68KbZeA,TRUCK5,000014.000,A,1439.23590,N,10238.79868,E,23.218142548608,7,010612,,,A***,AUTO
Du9ronrgEnNgqSOa1Y+mJQ,TRUCK5,000118.000,A,708.73588,N,10017.27554,E,23.218142548608,16,010612,,,A***,AUTO
JMh9XVvb8LsNWSLyjYGCpw,TRUCK5,000120.000,A,806.37041,N,9940.14313,E,24.838012958976,999,010612,,,A***,AUTO
TxE96edhD1YXTM1Ne1+rSw,TRUCK5,000004.000,A,1456.05602,N,10140.97855,E,32.937365010816,23,010612,,,A***,AUTO
ruatTX382NuUFAgsD7iTwg,TRUCK5,000014.000,A,1347.20654,N,10022.38647,E,30.237580993536,6,010612,,,A***,AUTO
vck981u+P4cYVHGMPIWr6A,TRUCK5,000116.000,A,754.24866,N,9935.96329,E,31.857451403904,22,010612,,,A***,AUTO
G5IfGLt8WcTGFrbZTr432g,TRUCK5,000024.000,A,1258.26164,N,10129.71710,E,31.857451403904,10,010612,,,A***,AUTO
dfSxg5eGm9V8PU1b0ePILw,TRUCK5,000030.000,A,1536.32910,N,10233.73535,E,41.036717062656,12,010612,,,A***,AUTO
iC7z66vs+unk5YlcChXvTw,TRUCK5,000106.000,A,805.90847,N,9940.00717,E,28.077753779712,1,010612,,,A***,AUTO
nGWseIAstg5l6XhzEr1qVA,TRUCK5,000028.000,A,1528.78149,N,10230.89951,E,25.917926565888,2,010612,,,A***,AUTO
BSi/xy5m6ccUo0KblZJjvA,TRUCK5,000010.000,A,1327.22155,N,10110.50430,E,18.89848812096,11,010612,,,A***,AUTO
```

องค์ประกอบในแต่ละส่วนจากตัวอย่างของข้อมูลดิบ

- *Field ที่ 1* คือ Unique ID ของยานพาหนะแต่ละคัน
- *Field ที่ 2* คือแหล่งข้อมูล ซึ่งถูกแยกตามชนิดของยานพาหนะ ดังนี้ TRUCK, CAR, MOBILE (มือถือ) และ PUBLIC (TAXI or BUS) ชื่อแหล่งข้อมูลจะมีตัวเลขกำกับ เช่น TRUCK1, TRUCK2, CAR1, CAR2 เพื่อบ่งบอกว่าเป็นข้อมูลที่มาจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน
- *Field ที่ 3 เป็นต้นไป* คือรูปแบบข้อมูลตามมาตรฐาน NMEA (RMC sentence) ที่ตัด field แรกออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A
```

รายละเอียดของข้อมูลแต่ละส่วนตามมาตรฐาน NMEA (RMC sentence) มีดังนี้

- ***$GPRMC*** คือส่วนที่ถูกตัดออกจากข้อมูลดิบ
- ***123519*** คือเวลาที่ถูกบันทึกที่ 12:35:19 UTC
- ***A*** คือส่วนที่บ่งบอกสถานะของข้อมูล เมื่อ A=Active และ V=Void
- ***4807.038,N*** คือค่าละติจูดในหน่วยดีกรีเท่ากับ 48 deg 07.038' N

- ***01131.000,E*** คือลองจิจูดในหน่วยดีกรีเท่ากับ 11 deg 31.000' E
- ***022.4*** คือความเร็วของยานพาหนะที่พื้นผิวโลกในหน่วย knots
- ***084.4*** Track angle in degrees
- ***230394*** คือวันที่ 23 เดือนมีนาคม ปีค.ศ. 1994
- ***003.1,W*** คือ Magnetic Variation ซึ่ง *6A คือ checksum data ขึ้นต้นด้วย * เสมอ

รายละเอียดเพิ่มเติมของข้อมูลดิบ

- บางแหล่งข้อมูลไม่ได้ส่ง Track angle มาให้ ค่าจะเป็น 0 หรือ -1
- ทุกๆ ข้อมูลไม่มีค่า Magnetic Variation
- บางแหล่งข้อมูลจะส่งข้อมูลเดิมซ้ำๆ มาเรื่อยๆ แม้ว่ายานพาหนะจอดอยู่นิ่ง (ตำแหน่งสุดท้ายก่อนดับเครื่อง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

การแปลงข้อมูลการเคลื่อนที่จากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถทำงานได้บนโปรแกรมจำลองเครือข่าย

การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) *การแปลงหน่วยของค่าละติจูด และค่าลองจิจูด* เนื่องจากค่าที่ได้จากข้อมูลดิบเป็นค่าพิกัดในหน่วยของ degree ดังนั้นจะต้องแปลงค่าให้เป็นหน่วยของ decimal ก่อน จึงจะสามารถนำมาใช้งานได้ ดังสมการ

$$Decimal\ Degrees = Degrees + \left(\frac{Minutes}{60}\right) + \left(\frac{Seconds}{3600}\right)$$

2) *การแปลงพิกัดของจุดกำเนิด* เนื่องจากการทำงานในโปรแกรมจำลองเครือข่ายตำแหน่งของแต่ละโหนดที่เกิดขึ้น อ้างอิงระยะห่างจากจุดกำเนิดพิกัด (0, 0) ในหน่วยของเมตร ดังนั้นตำแหน่งของค่าละติจูด และค่าลองจิจูดที่ได้ จะต้องถูกแปลงให้เป็นค่าระยะห่างจากจุดกำเนิดตามขนาดของแผนที่ที่ใช้ โดยกำหนดให้พิกัดแรกของแผนนั้น คือพิกัดอ้างอิง (0, 0) สามารถคำนวณค่าระยะห่างให้สอดคล้องกับระยะห่างจริง บนพื้นผิวโลกดังสมการ

$$dlon = lon2 - lon1$$
$$dlat = lat2 - lat1$$
$$a = \left(\sin\left(\frac{dlat}{2}\right)\right)^2 + \cos(lat1) \times \cos(lat2) \times \left(\sin\left(\frac{dlon}{2}\right)\right)^2$$
$$c = 2 \times \arctan\left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}}\right)$$
$$d = R \times c$$

เมื่อ

lon1, *lon2* คือค่าลองจิจูดของตำแหน่งที่หนึ่ง และตำแหน่งที่สอง

lat1, *lat2* คือค่าละติจูดของตำแหน่งที่หนึ่ง และตำแหน่งที่สอง

R คือรัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 6,373 กิโลเมตร

d คือระยะห่างของพิกัดละติจูด ลองจิจูด ระหว่างจุดสองจุด

3) *การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของ ns2-format* เนื่องจากโปรแกรมจำลองเครือข่ายเวอร์ชั่น 3 จะอ่านไฟล์ข้อมูลการเคลื่อนที่ของโหนดตามรูปแบบไฟล์ของ ns2 ดังนั้นจะต้องนำข้อมูลที่ได้จากสองขั้นตอนแรก มาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของ ns2-format ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ส่วนดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง การกำหนดจุดเริ่มต้นของโหนดในเครือข่าย ซึ่งจะกำหนดค่าตามพิกัดของ (*X*, *Y*, *Z*)

$node set X_ x1

$node set Y_ y1

$node set Z_ z1

ส่วนที่สอง การกำหนดการเคลื่อนที่ของโหนด ซึ่งจะต้องระบุ เวลาในหน่วยวินาที หมายเลขโหนด พิกัด (*X*, *Y*) ของตำแหน่งปลายทาง และความเร็วในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง

$ns at $time $node setdest x2 y2 speed

ก่อนที่จะทำการแปลงข้อมูลจากขั้นที่หนึ่งและสอง ไปสู่ขั้นตอนที่สาม จะต้องทำการจัดเรียงข้อมูลการเคลื่อนที่ของแต่ละยานพาหนะทั้งหมดตามค่าเวลาของข้อมูล จากนั้นให้อ่านข้อมูลตำแหน่งแรกของทุกโหนด เพื่อสร้างจุดเริ่มต้นในส่วนที่หนึ่ง เมื่อแปลงจุดเริ่มต้นของโหนดทุกโหนดครบแล้ว จึงทำการแปลงส่วนที่สองตามเส้นเวลาการเคลื่อนที่ ดังตัวอย่างด้านล่าง

```
$node_(0) set X_ 1091.3
$node_(0) set Y_ 1757.4
$node_(0) set Z_ 0.0000000
$node_(1) set X_ 2269.1
$node_(1) set Y_ 2536
$node_(1) set Z_ 0.0000000
$node_(2) set X_ 162.1
$node_(2) set Y_ 589.5
$node_(2) set Z_ 0.0000000
$ns_ at 0 "$node_(0) setdest 1091.3 1757.4 0"
$ns_ at 0 "$node_(1) setdest 2269.1 2536 0"
$ns_ at 0 "$node_(2) setdest 162.1 589.5 0"
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกียรติคุณ กาวิละ เกิดเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลพะเยา จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ในปีการศึกษา 2553 (เกียรตินิยมอันดับ 1) และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University