กลไกการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานระบบคลาวด์ สำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

Cloud-based Data Dissemination Mechanism for Vehicular Networks

วาทิน ใจบุญ

Vatin Jaiboon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Information Technology

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กลไกการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานระบบคลาวด์ สำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

Cloud-based Data Dissemination Mechanism for Vehicular Networks

วาทิน ใจบุญ

Vatin Jaiboon

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in Information Technology

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ กลไกการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานระบบคลาวด์ สำหรับเครือข่ายยานพาหนะ
ผู้เขียน นายวาทิน ใจบุญ
สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ดร. จิรวัฒน์ แท่นทอง)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. วโรดม วีระพันธ์)

.....กรรมการ
(ดร. จิรวัฒน์ แท่นทอง)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. ภุชงค์ อุทโยภาศ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ดร. จิรวัฒน์ แท่นทอง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(นายวาทิน ใจบุญ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายวาทิน ใจบุญ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ กลไกการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานระบบคลาวด์ สำหรับเครือข่ายยานพาหนะ
ผู้เขียน นายวาทิน ใจบุญ
สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกลไกการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะแบ่งเป็น 3 ส่วน ในส่วนที่ 1 คือ วิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย ส่วนที่ 2 คือ วิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง ส่วนที่ 3 คือ เว็บเซอร์วิสสำหรับการกระจายข้อมูล ส่วนที่ 1 ในส่วนวิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย เป็นอัลกอริทึมสำหรับการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการกระจายข้อมูลชื่อ SCBC ซึ่งเป็นการพัฒนาจากวิธีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCB เพื่อเป็นการเพิ่มทางทางเลือกในการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยให้สามารถกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud เพื่อลดความล่าช้าในการกระจายข้อมูล จากผลการทดลองพบว่าวิธี SCBC ให้ผลลัพธ์ในแง่ของความล่าช้าในการกระจายข้อมูลต่ำกว่าวิธี SCB มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วของยานพาหนะ หรือเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทาง ส่วนที่ 2 ในส่วนวิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง เป็นอัลกอริทึมสำหรับการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง ผู้วิจัยได้ออกแบบข้อความที่ใช้ส่งระหว่างระบบโครงสร้างพื้นฐานและยานพาหนะ เพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud ที่มี Data Center ทำหน้าที่เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อเก็บข้อมูลสาระบันเทิงที่ฝากไว้ให้กับยานพาหนะปลายทาง จากผลการทดลองพบว่าการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud ที่เสนอให้ผลดีกว่าการส่งผ่าน RSU แบบเดิม 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในส่วนของการส่งผ่านข้อมูล และความล่าช้าของการส่งข้อมูล เมื่อมีจำนวนยานพาหนะที่รับข้อมูลเพิ่มขึ้นและเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load ในระบบ ส่วนที่ 3 ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาเว็บเซอร์-วิซที่ทำงานอยู่ในชั้น SaaS ของผู้ให้บริการคลาวด์ เพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลทั้งข้อมูลด้านความปลอดภัยและข้อมูลสาระบันเทิงสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ โดยยานพาหนะจะสามารถเรียกใช้บริการได้ตั้งแต่การสมัครขอรับบริการ การร้องขอรับส่งข้อมูล การแจ้งสถานะของยานพาหนะ และการขอรายการข้อมูลสาระบันเทิง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการกระจายข้อมูลด้วย VDDaaS ดีกว่าการกระจายแบบดั้งเดิม เมื่อจำนวนยานพานะที่ใช้บริการส่งข้อมูลพร้อมกันมีจำนวนมากและมีระยะการส่งข้อมูลที่ไกล

คำสำคัญ : เครือข่ายยานพาหนะ, การคำนวณแบบคลาวด์, การกระจายข้อมูล และเว็ปเซอร์วิซ

Thesis Title	Cloud-based Data Dissemination Mechanism for Vehicular Networks
Author	Mr. Vatin Jaiboon
Major Program	Information Technology
Academic Year	2017

ABSTRACT

This thesis presents the mechanisms of vehicular network dissemination which divided into three parts. The first part is the method of safety data dissemination. The secondary is the method of infotainment dissemination and the last part is a web service for data dissemination. In the first part, we design the safety data dissemination mechanism for vehicular networks, called Stored-Carry Broadcast Cloud-based (SCBC). The SCBC is developed from SCB technique to increase the channel of data dissemination via RSU Cloud for data delivery delay. The results are presented that the proposed technique improves the delivery delay better than SCB. In the second part, we design the infotainment data dissemination mechanism for vehicular networks. The message structures and the architecture are created to support data dissemination via RSU cloud which has the data center to be the caching storage of the large data from the source vehicle during the packet delivery processing to the destination vehicle. The results are revealed that the proposed model is better than the traditional model in term of throughput and delivery delay when increasing the traffic load and the receiver in the system. In the third part, we design and develop the web service based on Software as a Service (SaaS) of cloud computing, called Vehicular Data Dissemination as a Service (VDDaaS). The service solves the issue of the second part in cases of the traffic load and the computing performance limited of the RSU cloud. The VDDaaS supports both safety and infotainment data, and provides four services including of subscribing, requesting of sending/receiving data, updating status, and getting information list. The results are shown the comparison between traditional RSU and the RSU that connected with VDDaaS, the RSU with VDDaaS is better than the traditional RSU.

Keywords: Vehicular Network, Cloud Computing, Data Dissemination, Web service

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร. จิรวัฒน์ แท่นทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และได้ช่วยตรวจทานแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งแนะนำแนวทางการจัดทำวิทยานิพนธ์อย่างทุ่มเทและใส่ใจ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วโรดม วีระพันธ์ และ ผศ.ดร. ภุชงค์ อุทโยภาศ ซึ่งให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมถึงอาจารย์คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทุกท่าน ที่ช่วยแบ่งปันประสบการณ์ และถ่ายทอดวิชาความรู้ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่คอยช่วยเหลือในการประสานงานด้านเอกสาร และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ระหว่างการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เนื่องจากผู้เขียนมีความเชื่อมั่นว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์แก่งานวิจัยในอนาคตอยู่ไม่มากก็น้อย จึงขอมอบความดีให้แก่ผู้เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวถึงไปข้างต้นทั้งหมด รวมถึงเพื่อนนักศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่อยู่เคียงข้างและช่วยให้คำปรึกษาต่าง ๆ ที่สำคัญ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา นางสาวชุติมณฑน์ รักนะ นางสาวประทุมเกสร บุญแสง และบุคคลที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จทั้งการสนับสนุนและให้กำลังใจ จนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จด้วยดี

วาทิน ใจบุญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์ ตัวย่อ และคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 คำถามวิจัย	3
1.4 ความสำคัญและประโยชน์ของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เครือข่ายยานพาหนะ	4
2.2 การคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing)	12
2.3 การประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ในเครือข่ายยานพาหนะ	17
2.4 เว็บเซอร์วิส	19
2.5 Long Term Evolution (LTE)	22
2.6 Handover	23
บทที่ 3 วิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยด้วยการประยุกต์ใช้ RSU Cloud	26
3.1 ความเป็นมา	26
3.2 งานวิจัยที่นำเสนอ	27
3.3 วิธีการทดลอง	29
3.4 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง SCB และ SCBC	32
3.5 วิเคราะห์และสรุปผล	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงด้วยการประยุกต์ใช้ RSU Cloud	36
4.1 ความเป็นมา	36
4.2 งานวิจัยที่นำเสนอ	37
4.3 วิธีการทดลอง	49
4.4 วิเคราะห์และสรุปผล	52
บทที่ 5 เว็บเซอร์วิซสำหรับการกระจายข้อมูลสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ	55
5.1 ความเป็นมา	55
5.2 งานวิจัยที่นำเสนอ	56
5.3 วิธีการทดลอง	68
5.4 วิเคราะห์และสรุปผล	74
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	83
6.1 สรุปผลการวิจัย	83
6.2 ประโยชน์ต่อวงวิชาการ	84
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ	85
เอกสารอ้างอิง	86
ประวัติผู้เขียน	90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างข้อมูล 11
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบ RSU Cloud กับ RSU แบบเดิม 14
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์ 31
ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทาง 32
ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว 33
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์ 50
ตารางที่ 5.1 ชนิดของข้อความ 58
ตารางที่ 5.2 ฟิลด์ข้อมูลที่ใช้เหมือนกัน (Normal Field) 59
ตารางที่ 5.3 ฟิลด์ข้อมูลที่แตกต่างกัน (Optional Field) 59
ตารางที่ 5.4 ฟิลด์ข้อมูลที่แตกต่างกัน (Optional Field) (ต่อ) 60
ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 69
ตารางที่ 5.6 VDDaaS Services 72

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแบบการสื่อสารในเครือข่ายยานพาหนะ	5
รูปที่ 2.2 การกระจายข้อมูลแบบ Flooding	6
รูปที่ 2.3 การกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Forward	7
รูปที่ 2.4 การกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Broadcast	8
รูปที่ 2.5 RSU Scenario	10
รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมการคำนวณแบบคลาวด์	13
รูปที่ 2.7 การทำงานของ RSU Cloud	14
รูปที่ 2.8 สถาปัตยกรรมของ RSU Micro-datacenter	15
รูปที่ 2.9 สถาปัตยกรรมของ VCC	17
รูปที่ 2.10 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ SOAP	20
รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง SOAP Message ที่ใช้ในการเรียกเว็บเซอร์วิซ	21
รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง SOAP Message ที่ตอบกลับมาจากเว็บเซอร์วิซ	21
รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ REST	21
รูปที่ 2.14 สถาปัตยกรรมของ LTE	22
รูปที่ 2.15 X2 Handover	24
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCB	27
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCBC	28
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของการทำงานของ SCB	29
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการทำงานของ SCBC	30
รูปที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทาง	33
รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว	34
รูปที่ 4.1 รูปแบบของ RSU Cloud	37
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนวิธีการทำงานของ Algorithm ในภาพรวม	39
รูปที่ 4.3 Sequence Diagram ระหว่าง Vehicle, RSU Cloud และ Data Center	40
รูปที่ 4.4 Subscribe Message	41
รูปที่ 4.5 Request Message	42
รูปที่ 4.6 Update Status Message	43
รูปที่ 4.7 Get Infotainment List Message	43

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 Infotainment List Message 44
รูปที่ 4.9 Algorithm 1 : Vehicles 45
รูปที่ 4.10 Algorithm 2 : RSU Cloud 46
รูปที่ 4.11 Algorithm 3 : Data Center 48
รูปที่ 4.12 ตัวอย่าง Scenario การกระจายข้อมูลใน RSU ปกติ 49
รูปที่ 4.13 ตัวอย่าง Scenario การกระจายข้อมูล RSU Cloud 49
รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่งข้อมูล (Throughput) เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load ในระบบ 52
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delay Delayเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load ในระบบ 52
รูปที่ 5.1 สถาปัตยกรรมของการกระจายข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้ RSU 57
รูปที่ 5.2 Subscribe Sequence Diagram 60
รูปที่ 5.3 Upload Infotainment Sequence Diagram 61
รูปที่ 5.4 Download Infotainment Sequence Diagram 61
รูปที่ 5.5 Update Status Sequence 62
รูปที่ 5.6 Upload Safety Message Sequence Diagram 62
รูปที่ 5.7 Algorithm for Vehicle 64
รูปที่ 5.8 RSU algorithm 65
รูปที่ 5.9 VDDaaS algorithm 67
รูปที่ 5.10 Traditional RSU with Infotainment Dissemination 68
รูปที่ 5.11 Infotainment Dissemination with VDDaaS 69
รูปที่ 5.12 ภาพรวมการทำงานของเว็บเซอร์วิซ VDDaaS 72
รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Thoughput เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ 75
รูปที่ 5.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Response Time เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ 75
รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่ง 76

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่ง 77

รูปที่ 5.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ส่งข้อมูล (จำนวน RSU ตั้งแต่ 2 ตัวถึง 11 ตัว) 78

รูปที่ 5.18 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 256 กิโลบิตต่อวินาที 79

รูปที่ 5.19 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 512 กิโลบิตต่อวินาที 79

รูปที่ 5.20 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับไฟล์ขนาด 10,000 กิโลไบต์ 80

รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Response Time เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ User Load 81

สัญลักษณ์ ตัวย่อ และคำย่อ

AP	Access Point
DSRC	Dedicated Short Range Communication
IaaS	Infrastructure as a Service
OBU	On Board Units
PaaS	Platform as a Service
REST	Representational State Transfer
RSU	Road Side Unit
SaaS	Software as a Service
SCF	Store-Carry-Forward
SCB	Store-Carry-Broadcast
SCBC	Store-Carry-Broadcast-Cloud-Based
SDN	Software Defined Networking
SOAP	Simple Object Access Protocol
V2V	Vehicular-to-Vehicular
V2I	Vehicular-to-Infrastructure
VANETs	Vehicular Ad-hoc Networks
VM	Virtual Machines
VCC	Vehicular Cloud Computing

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา (Statement of the Problem)

ในอนาคตยานพาหนะจะมีการเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่ายยานพาหนะ เพื่อช่วยแก้ปัญหาการจราจร เช่น การส่งข้อมูลแจ้งเตือนอุบัติเหตุ หรือข้อมูลด้านความปลอดภัยบนท้องถนน นอกจากนี้ยังรองรับการสื่อสารข้อมูลด้านความบันเทิงภายในระบบเครือข่ายด้วย การสื่อสารของยานพาหนะจะถูกแบ่งเป็นสองรูปแบบ คือ การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับโครงข่ายสื่อสารผ่านเสารับส่งสัญญาณยานข้างทาง (RSU) โดยทั้งสองแบบจะใช้เทคนิคการกระจายข้อมูลจากต้นทางไปหาปลายทาง แต่ก็ยังมีปัญหาของการรับส่งข้อมูล เช่น ความล่าช้าในการกระจายข้อมูล ซึ่งอาจส่งผลทำให้มีการสูญหายของข้อมูล เนื่องจากปัญหาสำคัญ คือ ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาบนทางหลวงจึงต้องมีการนำเสนอเทคนิคเข้ามาช่วยในการรับส่งข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาที่ยังมีอยู่และช่วยเพิ่มประสิทธิการกระจายข้อมูลให้กับเครือข่ายยานพาหนะรองรับทั้งข้อมูลด้านความปลอดภัยและข้อมูลสาระบันเทิง

ในงานวิจัยนี้มองเห็นถึงปัญหาการกระจายข้อมูลจากการที่ได้ศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา ซึ่งปัญหาหลัก คือ ความล่าช้าในการกระจายข้อมูล และระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทางและปลายทางที่ห่างกันทำให้ไม่สามารถกระจายข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแก้ปัญหาเบื้องต้นทำได้โดยการเพิ่มเสารับส่งสัญญาณข้างทางเข้ามาช่วยในการกระจายข้อมูล แต่ยังมีปัญหาเรื่องความล่าช้าที่เกิดจากการส่งผ่านข้อมูลผ่านเสาสัญญาณระยะไกล และการรับส่งข้อมูลจำนวนมากในเวลาเดียวกันจึงมีการนำเสนอเทคนิคการคำนวณแบบคลาวด์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณและการกระจายข้อมูล เทคนิคนี้เป็นการนำข้อดีของการคำนวณแบบคลาวด์มาใช้ คือ ความยืดหยุ่นในการจัดการทรัพยากร การใช้ทรัพยากรร่วมกันในโครงข่าย ทำให้ลดปัญหาความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเสาสัญญาณจำนวนมากและทำให้มีการใช้ทรัพยากรในเครือข่ายยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในการวิจัยในครั้งนี้นำเสนอกลไก 3 ส่วน ดังนี้

1) วิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย เป็นอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย สำหรับการกระจายข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะปลายทางที่มีระยะทางห่างกัน ผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการกระจายข้อมูลชื่อ SCBC ซึ่งเป็นการพัฒนาจากวิธีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCB

2) วิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง เป็นอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงสำหรับการกระจายข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะปลายทางที่มีระยะทางห่างกัน ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud ที่มี Data Center ซึ่งทำหน้าที่เป็นพื้นที่จัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อเก็บข้อมูลสาระบันเทิงที่ฝากไว้ให้กับยานพาหนะปลายทาง

3) เว็บเซอร์วิซเพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลทั้งข้อมูลด้านความปลอดภัยและข้อมูลสาระบันเทิงสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

1.2 วัตถุประสงค์ (Objective)

1.2.1 เพื่อนำเสนอการใช้เทคนิคของการคำนวณแบบคลาวด์มาช่วยในการกระจายข้อมูลของเครือข่ายยานพาหนะ ลดความล่าช้า (Delivery Delay) และเพิ่มอัตราส่งข้อมูล (Throughput) ในการกระจายข้อมูล

1.2.2 วิเคราะห์ ประเมินผล และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเทคนิคเดิมและเทคนิคใหม่ที่นำเสนอโดยมีตัวชี้วัด คือ ความล่าช้า (Delivery Delay) และอัตราส่งข้อมูล (Throughput)

1.2.3 งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงค้นคว้าเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายการคำนวณแบบคลาวด์มาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายยานพาหนะ เพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถนำไปพัฒนางานวิจัยให้เกิดขึ้นได้จริงในอนาคต

1.3 คำถามวิจัย (Research Question)

1.3.1 สามารถนำข้อดีของเทคนิคการคำนวณแบบคลาวด์มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะได้อย่างไร

1.3.2 สามารถใช้วิธีการใดได้บ้างในการวัดประเมินคุณภาพการทำงานของเครือข่ายยานพาหนะ

1.3.3 สามารถออกแบบเทคนิคการกระจายข้อมูลให้รองรับการนำไปใช้งานจริงได้อย่างไรในปัจจุบัน

1.4 ความสำคัญและประโยชน์ของการวิจัย

1.4.1 สามารถนำองค์ความรู้ใหม่ที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาระบบเครือข่ายยานพาหนะ

1.4.2 เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะไปเป็นต้นแบบในการติดตั้ง และออกแบบระบบเครือข่ายยานพาหนะสำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

1.4.3 เพื่อนำเว็บเซอร์วิสที่ออกแบบและพัฒนาไปประยุกต์ใช้ในการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

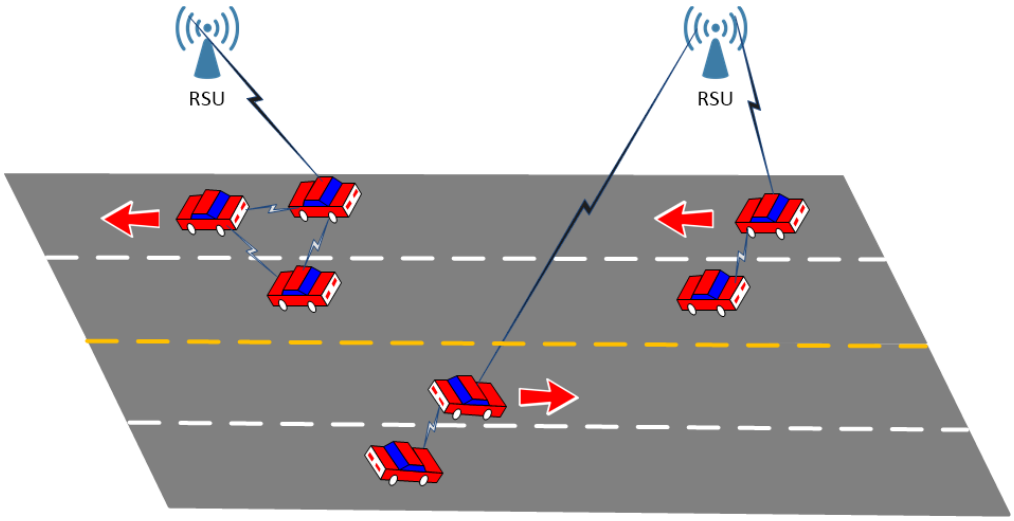
เป็นการศึกษาพัฒนาอัลกอริทึมและเว็บเซอร์วิซสำหรับสนับสนุนการทำงานของเครือข่ายยานพาหนะที่มีการสื่อสารแบบ V2I ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างกลุ่มยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐานผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทาง เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพ คือ Packet Delivery Delay และ Throughput

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายยานพาหนะ

เครือข่ายยานพาหนะ คือ รูปแบบการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันของยานพาหนะ ในอนาคตเครือข่ายการสื่อสารยานพาหนะจะมีรูปแบบการสื่อสารสองรูปแบบ คือ รูปแบบที่หนึ่ง Vehicular-to-Vehicular (V2V) เป็นการสื่อสารระหว่างยานพาหนะตั้งแต่ 2 คันขึ้นไป โดยใช้วิธีการสร้างเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) ภายในยานพาหนะแต่ละคันจะมีอุปกรณ์จัดการเส้นทางติดตั้งอยู่ และเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ คือ IEEE 802.11p และ IEEE 1609 (Maia, *et al.,* 2013) จากงานวิจัยของ Shahid (Whaiduzzaman, *et al.*, 2014) DSRC ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของ VANAETs ซึ่ง DSRC ใช้คลื่นความถี่ 75 เมกะเฮิรตซ์ ในแถบความถี่ 5.9 กิกะเฮิรตซ์ ในประเทศสหรัฐอเมริกา ขณะที่ในฝั่งยุโรปและญี่ปุ่นจะใช้คลื่นความถี่ 30 เมกะเฮิรตซ์ ในแถบความถี่ 5.8 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งสามารถให้บริการได้ทั้งแบบ V2V และ V2I และสนับสนุนอัตราข้อมูลถึง 27 เมกะบิตต่อวินาที แสดงว่าการถ่ายโอนไฟล์ขนาด 3.375 เมกะไบต์ จะใช้เวลา 1 วินาที ดังนั้นหากยานพาหนะต้องการส่งข้อมูลเช่นไฟล์ภาพจากกล้องหน้ารถที่มีขนาด 33.75 เมกะไบต์ ด้วยรูปแบบการสื่อสารแบบ V2V ยานพาหนะจำเป็นต้องอยู่ในระยะการกระจายข้อมูล 250 เมตร (Sou and Lee, 2012) อย่างน้อย 10 วินาที รูปแบบที่สอง คือ Vehicular-to-Infrastructure (V2I) เป็นการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับระบบโครงข่ายยานพาหนะ เพื่อถ่ายโอนข้อมูลระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะที่อยู่ห่างไกลผ่านสถานีรับส่งสัญญาณข้างทาง หรือ Road Side Unit (RSU) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการสื่อสารในเครือข่ายยานพาหนะ

RSU หรือ Road Side Unit คือ เสารับส่งสัญญาณข้างทางเป็นอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่กำหนดไว้ตามแนวถนนทางหลวง ที่จะช่วยเพิ่มระยะการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ โดยจะทำการสื่อสารกันระหว่าง RSU กับ OBU (On Board Units) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่ถูกติดตั้งไว้ภายในยานพาหนะ โดยองค์กร C2C-CC (CAR 2 CAR Communication Consortium) ที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของผู้ผลิตยานพาหนะในฝั่งยุโรปได้กำหนดมาตรฐานของ RSU ให้มีหน้าที่หลัก ดังนี้

1) ช่วยขยายช่วงการสื่อสารระหว่างยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะปลายทาง ซึ่งจะเกิดจากการส่งต่อข้อมูล จากยานพาหนะต้นทางไปยัง RSU และส่งต่อไปยังยานพาหนะปลายทาง

2) ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย เช่น แจ้งเตือนเขตพื้นที่อันตราย

3) ให้บริการสำหรับการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแก่ยานพาหนะ

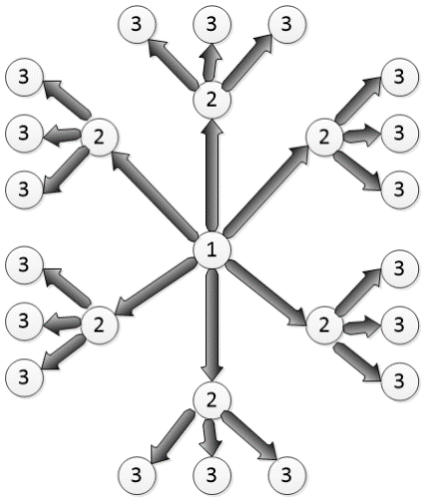
4) ส่งต่อข้อมูลด้านความปลอดภัยกับ RSU อื่น ๆ

2.1.1 แนวคิดการการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ

แนวคิดการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะมีหลายงานวิจัย

1) แนวคิดการกระจายข้อมูลแบบการกระจายออกไป (Flooding) เป็นการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะแบบหลายทาง ซึ่งยานพาหนะแต่ละคันจะถูกเรียกว่า โหนด (Node) วิธีการการกระจายออกไปจะกระจายข้อมูล (Data Packet) ไปยังทุก ๆ โหนดในเครือข่าย

(Zeng, *et al.,* 2008) โหนดที่เป็นต้นทางจะเริ่มกระจายข้อมูลโดยวิธีการกระจายออกไป (Flooding) ไปให้ยานพาหนะที่อยู่ใกล้เคียงในรัศมีทั้งหมด และเมื่อโหนดใกล้เคียงได้รับข้อมูล (Data Packet) แล้วก็จะทำการกระจายข้อมูลนั้นไปยังยานพาหนะใกล้เคียงต่อไป ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่าการ Rebroadcast และเมื่อถึงโหนดปลายทางที่ไม่สามารถส่งข้อมูลต่อไปได้อีก การกระจายออกไป (Flooding) จึงจะสิ้นสุดลง แสดงดังรูปที่ 2.2



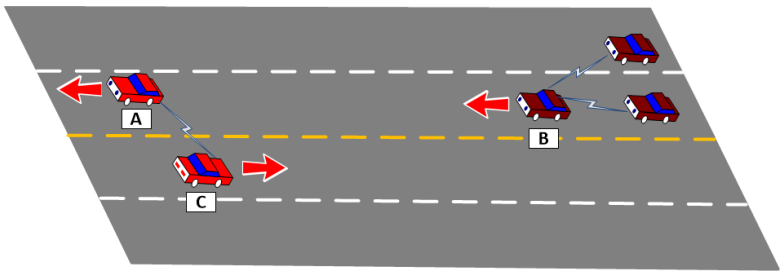
รูปที่ 2.2 การกระจายข้อมูลแบบ Flooding

ข้อเสียของวิธี Flooding คือ การกระจายข้อมูลไปเป็นทอด ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหา Broadcast Storm คือ มีการกระจายของข้อมูลเกิดขึ้นไม่รู้จบในเครือข่าย วิธี Intelligent Flooding เป็นวิธีการที่ช่วยแก้ปัญหาของ Broadcast Storm ที่เกิดจากวิธีการกระจายออกไป โดยมีการกำหนดจำนวน Hop สูงสุดที่สามารถจะกระจายข้อมูลได้เพื่อจำกัดระยะการกระจายข้อมูล

2) Geocasting เป็นการนำข้อมูลทางภูมิศาสตร์มาช่วยในการจำกัดการกระจายข้อมูล โดยการเลือกยานพาหนะหนึ่งคันในกลุ่มเพื่อส่งต่อข้อมูลและ Rebroadcast เพราะฉะนั้นไม่จำเป็นที่ยานพาหนะทุกคันจะต้องเป็นตัวกระจายข้อมูล ทำให้ลดปัญหา Broadcast Storm ได้ และช่วยส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทางที่ถูกต้องตามพิกัด GPS วิธีการนี้จะเลือกใช้เส้นทางการส่งข้อมูลไปให้ปลายทางแบบที่สั้นที่สุดเท่านั้น เหมาะสมกับสถานการณ์การสื่อสารของเครือข่ายยานพาหนะในเมือง วิธีการ U-HyDi และ UV-CAST (Maia, *et.al.,* 2013) ซึ่ง U-HyDi จะใช้แนวคิด Geocasting โดยใช้ยานพาหนะหนึ่งคันที่ถูกกำหนดให้รอเพื่อส่งต่อข้อมูลเมื่อมียานพาหนะคันอื่นผ่านมา ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สิ้นเปลืองเวลา เนื่องจากจะต้องรอยานพาหนะคันอื่นเข้ามาอยู่ในระยะส่งข้อมูล ขณะที่ UV-CAST ใช้แนวคิดแบบเดียวกับการ Flooding ซึ่งทำให้กระจายข้อมูลได้เร็ว แต่มีความ

สิ้นเปลืองจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกส่งจากระบบมากกว่า U-HyDi จากงานวิจัยของ Felice, *et al.,* (2015) ได้มีการเสนออัลกอริทึมที่ชื่อว่า SEIYA (Self hEaling Infotainment and safetY Application) เป็นการทำงานที่ระดับ Application Layer ซึ่งจะกำหนด Forwarding Zone (FN) สำหรับการส่งข้อมูลของ Backbone Node (BN) เพื่อลดปัญหา Broadcast Storm ทำการทดลองโดยใช้ SUMO และ NS2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงาน จากการทดลองพบว่า Delivery Delay และ Packet Delivery Ratio (PDR) ของวิธีนี้ดีกว่าโปรโตคอลที่เปรียบเทียบ คือ DBD, PBF, RNO และ DBFHC ผลของ SAIYA มีค่า PDR ที่สูงที่สุดและใช้เวลาน้อย

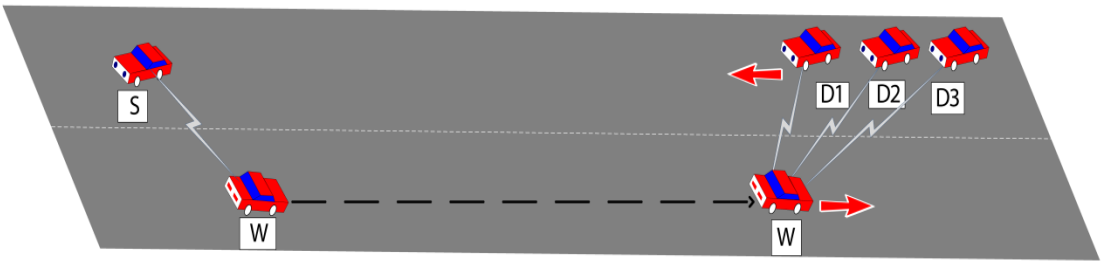
3) กลไกการกระจายข้อมูลแบบ SCF หรือ Store-Carry- Forward คือ การใช้หลักการฝากยานพาหนะบางคันที่อยู่ในเลนตรงข้ามที่ขับสวนมาพอดีให้ช่วยส่งต่อข้อมูลไปให้ยานพาหนะคันอื่น ๆ ที่ตามหลังมา เนื่องจากระยะทางที่อยู่ไกลจึงไม่สามารถส่งให้เองโดยตรงได้ ยานพาหนะต้นทางจึงต้องส่งต่อข้อมูลไปยังยานพาหนะที่ขับสวนมาเพื่อฝากข้อมูลไปให้ยานพาหนะปลายทางที่ขับตามหลังมาในระยะไกล



รูปที่ 2.3 การกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Forward

จากรูปที่ 2.3 การกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Forward (SCF) โดยยานพาหนะ A ต้องการส่งข้อมูลไปให้ยานพาหนะ B ซึ่งขับตามมาข้างหลัง แต่ด้วยระยะทางที่ห่างเกินไปจึงไม่สามารถส่งข้อมูลได้โดยตรงยานพาหนะ A จึงตรวจสอบหายานพาหนะที่ขับสวนมาในเลนตรงข้าม เพื่อฝากข้อมูลไปให้ยานพาหนะ B จากรูป คือ ยานพาหนะ C ที่วิ่งสวนมาในระยะที่ส่งข้อมูลได้ ยานพาหนะ A จึงฝากข้อมูลไปที่ยานพาหนะ C เพื่อให้ยานพาหนะ C นำข้อมูลไปส่งต่อให้กับยานพาหนะ B เมื่ออยู่ระยะที่ส่งต่อได้ 250 เมตร (Sou and Lee, 2012) แต่วิธี SCF สามารถส่งต่อข้อมูลให้ได้เพียง 1 ต่อ 1 เท่านั้น เช่น ในกรณีนี้ข้อมูลจะถูกส่งต่อจากยานพาหนะ C ไปยังยานพาหนะ B คันเดียว แต่คันอื่นที่ตามมาจะไม่สามารถรับข้อมูลได้พร้อมกัน จึงทำให้กระจายข้อมูลได้ช้า นอกจากนี้ยังมีการเสนอวิธีการ TURBO (Akabane, *et al.,* 2015) หรือ Suitable Urban Broadcast Protocol ก็เป็นเทคนิคการกระจายข้อมูลแบบการกระจายออกไป โดยใช้การส่งต่อไปยังยานพาหนะที่อยู่ใกล้เคียง วิธีการนี้ถูกออกแบบให้ใช้งานในสถานการณ์ที่มีการจราจรหนาแน่นและยานพาหนะมีการ

เปลี่ยนแปลงเส้นทางตลอดเวลาเมื่อมีทางแยก เป็นการส่งข้อมูลที่เหมาะกับยานพาหนะในเมือง ที่ส่งข้อมูลแบบ 360 องศา โดยใช้กลไกการกระจายข้อมูลแบบการส่งต่อ หรือ Store-Carry-Forward (SCF) ในพื้นที่ที่จำกัดไว้และเมื่อยานพาหนะคันที่ถูกเลือกไว้ออกจากเขตพื้นที่ที่กำหนด การส่งต่อข้อมูลก็จะถูกยกเลิก แต่ก็จะเลือกตัวแทนในกลุ่มที่ยังอยู่ในพื้นที่ให้เป็นตัวแทนส่งข้อมูลต่อไป ซึ่ง TURBO มีความล่าช้าต่ำกว่าการกระจายข้อมูลด้วยวิธีการ Flooding และได้มีการเสนอ SCB หรือ Store-Carry-Broadcast (Sou and Lee, 2012) ที่เป็นการใช้หลักการฝากข้อมูลเช่นเดียวกับ SCF แต่เมื่อยานพาหนะที่รับฝากข้อมูลมานำข้อมูลไปส่งต่อให้ปลายทาง จะสามารถส่งต่อให้ยานพาหนะได้มากกว่า 1 คันในครั้งเดียว ซึ่งจะทำให้ลดความสิ้นเปลืองและลดความล่าช้าในการส่งข้อมูล จากรูปที่ 2.4 เป็นการกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Broadcast (SCB) ซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนามาจากวิธีการ Store-Carry-Forward (SCF) โดยในที่นี้ยานพาหนะ S ต้องการที่จะกระจายข้อมูลไปให้ยานพาหนะ D1 D2 และ D3 พร้อมกัน ซึ่งเป็นกลุ่มยานพาหนะขับตามมาข้างหลัง แต่ด้วยระยะทางที่ห่างกันเกินกว่าจะส่งข้อมูลให้ได้ ยานพาหนะ S จึงตรวจสอบหายานพาหนะที่ขับสวนมาในเลนตรงข้ามเพื่อที่จะฝากข้อมูลไปให้กลุ่มยานพาหนะปลายทาง W วิ่งสวนมาและอยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลได้ ยานพาหนะ S จึงฝากข้อมูลไปที่ยานพาหนะ W เพื่อส่งต่อข้อมูลให้กลุ่มยานพาหนะปลายทาง ซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลต่อแบบเผยแพร่ออกไป (Broadcasting) ให้กับยานพาหนะ D1 D2 และ D3 จึงจบกระบวนการทำงานของ SCB แต่วิธีการ SCB มีข้อจำกัด คือ ไม่เหมาะกับการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ เนื่องจากเวลาที่ยานพาหนะสวนทางกันจะมีเวลาน้อยมาก ทำให้ไม่สามารถโหลดข้อมูลได้ทัน และวิธีนี้เหมาะสำหรับถนนที่มีหลายช่องถนนและจำเป็นต้องมียานพาหนะที่สวนกันเท่านั้น



รูปที่ 2.4 การกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Broadcast

4) แนวคิดการกระจายข้อมูลแบบ Broadcast ของเครือข่ายยานพาหนะ ได้มีการเสนอวิธีการ Beaconing วิธีการนี้ คือ การส่งข้อมูลออกไปเป็นช่วง เช่น จะส่งข้อความ Beacon ออกไปทุก 100 มิลลิวินาที จุดประสงค์ของการส่งข้อความ Beacon คือ การให้ข้อมูลที่เกี่ยวกับ Access Point (AP) เมื่อผู้ใช้ได้รับข้อความ Beacon จะสามารถรู้ได้ทันทีว่าในบริเวณนั้นมี

AP อยู่และสามารถรู้ข้อมูลของ AP ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์เมื่อต้องการเชื่อมต่อเพื่อรับข้อมูล และต่อมาได้มีการปรับปรุงวิธีการกระจาย Beacon ชื่อ Adaptive Beaconing วิธีการนี้มีการวัดคำนวณการส่งข้อมูล 2 แบบ คือ Channel Quality และ Message Utility เพื่อช่วยคำนวณการกระจายข้อมูลที่ดีกว่า ป้องกันปัญหา Overload โดยวิธี Channel Quality คือ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของสถานการณ์ของเครือข่ายโดยรวม วิธีนี้จะสังเกตจำนวนการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย และวัดจากจำนวนช่องสัญญาณด้วย จากนั้นวัดจำนวนยานพาหนะที่อยู่บริเวณใกล้เคียง เพื่อจัดการการเชื่อมต่อให้ดีขึ้น ส่วน Message Utility คือ การวัดระยะทางจากยานพาหนะที่ส่งข้อมูลกับสถานที่เกิดข้อมูล เช่น กรณีที่มีอุบัติเหตุแล้วมียานพาหนะขับผ่านมา ถ้าเป็นข้อมูลที่ส่งมาจากยานพาหนะที่ใกล้สถานที่เกิดเหตุมากกว่า เป็นข้อมูลอัปเดตล่าสุด ข้อมูลนั้นจะถูกกระจายได้เร็ว เพราะเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือและอัปเดตมากกว่า

2.1.2 ประเภทของการคำนวณแบบคลาวด์

การคำนวณแบบคลาวด์ มี 3 ประเภทหลัก (Zhang, *et al.,* 2010)

1) Private Cloud คือ รูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลาวด์และทรัพยากรที่ถูกสร้างขึ้นและให้บริการสำหรับใช้งานภายในองค์กรเท่านั้น

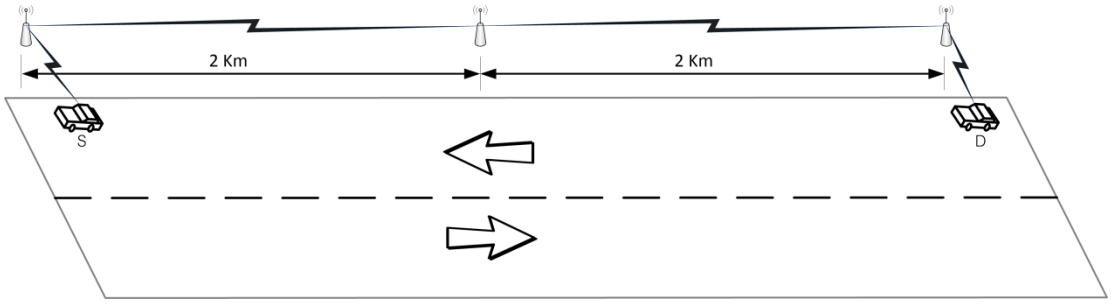
2) Public Cloud คือ รูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลาวด์ที่เปิดให้บริการแก่ผู้ใช้บริการทั่วไปและองค์กร โดยระบบจะถูกติดตั้งและให้บริการโดยผู้ให้บริการคลาวด์ (Public Provider)

3) Hybrid Cloud คือ รูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของระบบคลาวด์ที่เป็นการรวมข้อดีของ Public Cloud และ Private Cloud เข้าด้วยกัน

2.1.3 การกระจายข้อมูลด้วย RSU ในเครือข่ายยานพาหนะ

การส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะกับ RSU คือ รูปแบบการกระจายข้อมูลที่ใช้เสาสัญญาณเข้ามาช่วยกระจายข้อมูล โดยวิธีการ คือ เมื่อมียานพาหนะต้นทาง ต้องการส่งข้อมูลให้ยานพาหนะปลายทางที่อยู่ห่างกัน แต่ในขณะนั้นไม่มียานพาหนะใกล้เคียง ยานพาหนะต้นทางก็จะตรวจสอบว่ามี RSU อยู่บริเวณนั้นหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการส่งข้อมูลไปให้ RSU ที่ใกล้ที่สุด เพื่อส่งต่อข้อมูลให้ยานพาหนะปลายทาง แสดงดังรูปที่ 2.5 และเมื่อยานพาหนะปลายทางเข้าใกล้ RSU ก็จะสามารถรับข้อมูลได้ โดยกำหนดให้ RSU แต่ละตัวอยู่ห่างกันทุก 2 กิโลเมตร (Palma, *et al.,* 2013) ซึ่งเป็นระยะสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโครงข่ายสื่อสาร ข้อดีของการใช้ RSU คือ ช่วยเพิ่มระยะทางการส่งข้อมูล รวมถึงลดอัตราการสูญหายของข้อมูล และเพิ่มอัตราความสำเร็จของการส่งข้อมูลด้วย (Palma and Vegni, 2013) วิธีการที่ยานพาหนะต้องการรับส่งข้อมูลจาก RSU มีหลายวิธี

ยานพาหนะจำเป็นต้องมีการแจ้งขอรับบริการจาก RSU เพื่อสมัครเป็นสมาชิกกับผู้ให้บริการ (Thopte, *et al.,* 2009) มีการเสนอโปรโตคอล W-HCF (WAVE-based Hybrid Coordination Function) (Amadeo, *et al.,* 2012) ที่จะมีการกำหนดการเข้าถึงข้อมูล โดยจะมีการแจ้งเตือนจากผู้ขอรับบริการไปยังผู้ให้บริการอย่างชัดเจน และผู้ให้บริการจะจัดการทรัพยากรให้ผู้ใช้ตามที่ร้องขอ โดยผู้ใช้บริการจะต้องให้ข้อมูลพื้นฐานของตัวเอง เช่น สถานที่ เวลา ความเร็ว และสถานที่ที่ต้องการข้อมูล



รูปที่ 2.5 RSU Scenario

เพื่อให้ผู้ให้บริการเลือกช่องสัญญาณและจัดสรรทรัพยากรให้ผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสม และไม่ทับซ้อนการใช้บริการกับผู้ใช้งานบริเวณใกล้เคียงที่มีการร้องขอบริการก่อน จากงานวิจัยของ Zhou, *et al.* (2013) ได้เสนอเทคนิคการกระจายข้อมูลที่ใช้ RSU และยานพาหนะมาช่วยเผยแพร่ข้อมูล (Broadcast) เนื่องจากข้อจำกัดในการกระจายข้อมูลกรณีที่ยานพาหนะไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการของ RSU หรือกรณีที่มีปัญหาในการกระจายข้อมูล เช่น มีสิ่งกีดขวางการกระจายข้อมูลทำให้รบกวนสัญญาณที่จะส่งไปถึงยานพาหนะ ก็จะทำให้ยานพาหนะไม่สามารถรับข้อมูลได้ จึงได้มีการเสนอวิธีที่ให้กลุ่มยานพาหนะเลือกหัวหน้ากลุ่มจากยานพาหนะที่สามารถสื่อสารได้ทั้ง IEEE 802.11p และสัญญาณมือถือ (Cellular) เพื่อรับส่งข้อมูลกับ RSU และกระจายข้อมูลต่อให้กับยานพาหนะคันอื่น ซึ่งการทำงานจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วง ช่วงที่หนึ่งเป็นการกระจายข้อมูลต้นฉบับที่ถูกส่งมาจากสัญญาณมือถือ (Cellular) และช่วงที่สองเป็นการกระจายสำเนาข้อมูลที่ส่งต่อในเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ (VANETs) ทำให้ RSU ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะทุกคัน แต่เลือกส่งให้เฉพาะหัวหน้ากลุ่มเท่านั้น จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของการกระจายข้อมูลพบว่าวิธีดังกล่าวช่วยลดความล่าช้าในการกระจายข้อมูล และลดการใช้พลังงานที่เกิดจากการใช้งาน RSU เทคนิคการกระจายข้อมูล HetVNET (Heterogeneous Vehicular NETwork) (zheng, *et al.,*2015) เป็นงานวิจัยที่เสนอการนำเทคนิคการใช้เครือข่ายไร้สาย โดยมีการรวมกันของการทำงานเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (Cellular) เข้ากับ Dedicated Short Range Communication (DSRC)

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อธิบายว่าการใช้ DSRC นั้น สนับสนุนการทำงานแบบ Real time โดยไม่ต้องใช้การทำงานผ่าน RSU แต่การกระจายข้อมูลสามารถทำได้ในระยะใกล้เท่านั้น ซึ่งการใช้โครงข่ายมือถือ (Cellular) จำเป็นต้องใช้ที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) ช่วยในการทำงาน ทำให้สามารถทำงานได้ระยะไกลกว่า และรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมาก แต่จะไม่เหมาะกับการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นแบบ Real-time ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้นำการทำงานของ DSRC และระบบ Cellular เข้าด้วยกัน จึงทำให้เหมาะสมกับระบบ ITS ซึ่งเรียกการทำงานนี้ว่า HetVNET

ในงานวิจัย Ali, *et al.* (2016) ได้เสนอการทำ Multi-RSU VANETs เนื่องจาก RSU แบบเดิมจะใช้วิธีการกระจายข้อมูลแบบ Broadcast ซึ่งในเวลาเดียวกันการกระจายข้อมูลสามารถส่งได้เพียงหนึ่งข้อมูลในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงมีการใช้วิธีการ Network Coding เข้ามาช่วย ซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลหลายข้อมูล โดยการเข้ารหัสหรือ Encoding เข้าไปในช่องสัญญาณ ทำให้สามารถส่งได้หลายข้อมูลในการกระจายข้อมูลหนึ่งครั้ง ช่วยให้ประหยัดเวลาในการกระจายข้อมูล แต่วิธีการ Network Coding จะต้องมีการอัพโหลดรายการข้อมูลในแคช (Cache) หรือหน่วยความจำข้อมูลรายการที่เคยร้องขอไปแล้วของยานพาหนะไปที่ RSU ใหม่ทุกครั้งที่เชื่อมต่อระบบ ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีการเสนอ Multi-RSU VANETs ด้วยการคิดกลไกการถ่ายโอนรายการข้อมูลในหน่วยความจำของยานพาหนะไปไว้ที่ RSUs ที่เชื่อมต่อกันให้มีการอัปเดตอยู่เสมอผลคือ ทำให้ช่วยลดเวลาในการกระจายข้อมูลได้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างข้อมูล

ฟิลด์	ตัวอย่างข้อมูล	รายละเอียด
uid	u0001	เลขที่ข้อความ คือ u0001
cid	kk-8800	ทะเบียนยานพาหนะ คือ kk-8800
rtype	1	ประเภทการรับส่งข้อมูล คือ อัพโหลดข้อมูล
mtype	1	ประเภทข้อมูล คือ ข้อมูลด้านความปลอดภัย
mdata	Car crash	ข้อความที่ส่ง คือ Car crash
pos	Latitude=46523.14 Longitude=13137.100	ตำแหน่งของยานพาหนะ คือ ละติจูด = 46523.14 และลองจิจูด =13137.100
sp	80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	ความเร็วยานพาหนะ คือ กิโลเมตรต่อชั่วโมง 80
t	1487891883	วันเวลาที่ส่งข้อมูล คือ 03:18:23 เวลา 23-02-2017
dc	10 มิลลิวินาที	ค่าความล่าช้า คือ มิลลิวินาที 10

Bok, *et al.* (2016) ได้เสนอแนวคิดแบบการจัดตารางงานขึ้นมาใหม่ ซึ่งแนวคิดที่เสนอเหมาะกับ Multiple RSU ที่เกิดจากการนำ RSU หลาย ๆ ตัวมาเชื่อมต่อกันผ่านเครือข่ายแบบใช้สายเนื่องจากแนวคิดแบบดั้งเดิมที่ใช้กับ RSU แต่ละตัวมันมีข้อจำกัดในการให้บริการแก่ยานพาหนะเนื่องจากระยะเวลาในการสื่อสารระหว่าง RSU กับยานพาหนะมีจำกัด เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้จึงได้ศึกษาการทำงานร่วมกันของ RSU หลาย ๆ ตัว แนวคิดที่นักวิจัยเสนอสามารถรองรับการส่งข้อมูลทั้งข้อมูลด้านความปลอดภัย และข้อมูลด้านสาระบันเทิง ได้พร้อมกันผ่าน RSU ที่ทำงานร่วมกันเป็น Multiple RSU นอกจากนี้นักวิจัยยังได้ออกแบบรูปแบบของ Request Message โดยมีการระบุข้อมูลที่สำคัญ ดังตารางที่ 2.1 ตัวอย่างเช่น ข้อความหมายเลข u0001 ถูกส่งมาจากยานพาหนะทะเบียน kk-8800 มีความต้องการที่จะอัพโหลดข้อมูลด้านความปลอดภัย ซึ่งมีเนื้อหาข้อความว่า “อุบัติเหตุรถชน” ถูกส่งจากตำแหน่ง ละติจูด = 14.46523 และลองจิจูด = 100.13137 ยานพาหนะที่ส่งข้อมูลเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วันเวลาที่ส่งข้อมูล คือ 2017-02-23 เวลา 23:18:03 มีค่าความล่าช้า 10 มิลลิวินาที

2.2 การคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing)

Cloud Computing หรือการคำนวณผลแบบกลุ่มเมฆ เป็นเทคโนโลยีที่รองรับให้ผู้ใช้งานสามารถใช้บริการได้ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเข้ากับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต โทรศัพท์มือถือ เพื่อใช้บริการใดบริการหนึ่งจากผู้ให้บริการ โดยจะมีการแบ่งปันทรัพยากรจากผู้ให้บริการ ผู้ใช้บริการสามารถใช้งานได้ง่ายแม้ไม่มีความรู้เชิงเทคนิค ระบบนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และการบริการจัดการทรัพยากรให้เหมาะสมแก่ผู้ใช้งาน รองรับการให้บริการระยะไกลผู้ให้บริการจะจัดการพื้นที่จัดเก็บข้อมูลและจัดสรรทรัพยากรที่ให้บริการ รวมถึงการดูแลด้านความปลอดภัยของข้อมูลและการใช้งานของผู้ใช้ระบบมีความน่าเชื่อถือ ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าใช้จ่ายได้ตามที่ใช้งานเท่านั้น ทำให้ไม่สิ้นเปลืองรายจ่ายโดยไม่จำเป็น ตัวอย่างของบริการที่เป็นแบบ Cloud Computing เช่น Facebook, Instagram, YouTube และสังคมออนไลน์รูปแบบต่าง ๆ

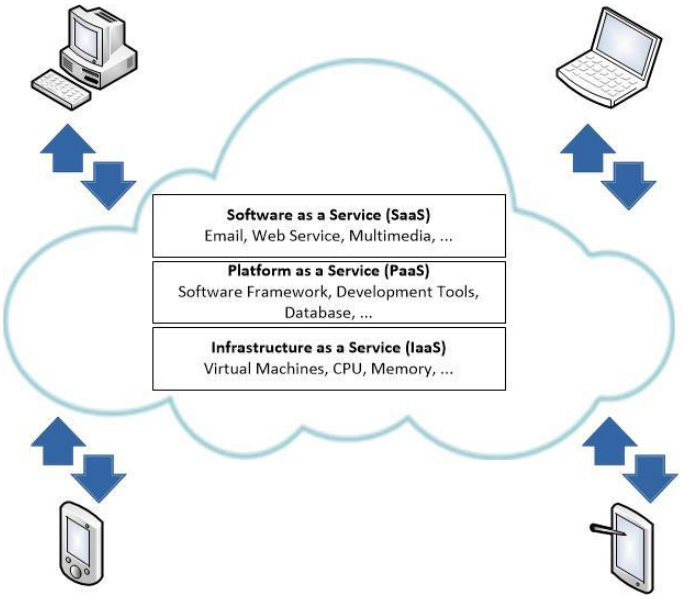
2.2.1 สถาปัตยกรรมของการคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing Architecture)

สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Institute of Standards and Technology: NIST) (Mell, *et al.,* 2011) ได้นำเสนอสถาปัตยกรรมการคำนวณแบบคลาวด์ที่ประกอบด้วยบริการ 3 ชั้น แสดงดังรูปที่ 2.6

1) Software as a Service (SaaS) จะประกอบด้วยโปรแกรมประยุกต์ที่ให้บริการทั่วไป เช่น อีเมลและมัลติมีเดียต่าง ๆ เพื่อให้บริการกับผู้ใช้

2) Platform as a Service (PaaS) ในชั้นนี้จะประกอบด้วยเฟรมเวิร์คซอฟต์แวร์ และเครื่องมือสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อให้บริการแก่นักพัฒนาซอฟต์แวร์

3) Infrastructure as a Service (IaaS) จะประกอบด้วยทรัพยากรด้านฮาร์ดแวร์ เช่น Virtual Machine (VM) CPU และ Memory เพื่อให้การสนับสนุนผู้ให้บริการโฮสติ้ง องค์กรหรือผู้ใช้ที่ต้องการทรัพยากรในการประมวลผลตามต้องการ

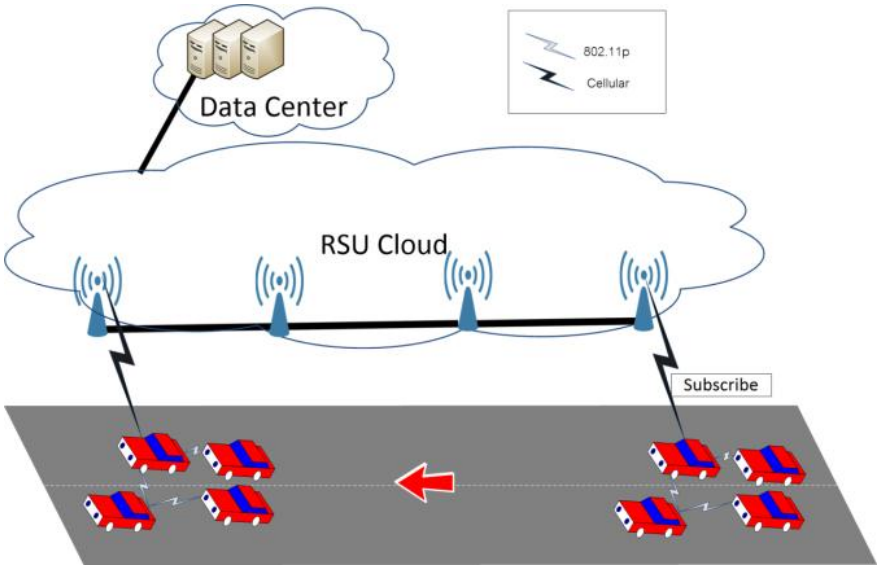


รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมการคำนวณแบบคลาวด์

2.2.2 RSU Cloud

เนื่องจากเครือข่ายสื่อสารยานพาหนะต้องอาศัยการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง แม้จะมีหลายโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาเพื่อสนับสนุนการทำงานอย่างต่อเนื่อง แต่โดยปกติของยานพาหนะจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความล่าช้าของการรับส่งข้อมูล จึงต้องมีเทคนิคที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล Salahuddin (Salahuddin, *et al.,* 2015) ที่ได้เสนอการใช้งาน RSU Cloud โดยการนำคุณสมบัติของการคำนวณแบบคลาวด์ที่มีความน่าเชื่อถือและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ RSU แบบปกติ เพื่อช่วยสนับสนุนการกระจายข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเพิ่มช่องทางการกระจายข้อมูล โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งจากยานพาหนะไปยัง RSU แล้วกระจายไปยังยานพาหนะคันอื่นที่เชื่อมต่อกับ RSU Cloud โดยผู้ใช้จะสามารถลงทะเบียนเพื่อสมัครรับบริการและจะสามารถรับข้อมูลต่าง ๆ ได้ผ่านทางอุปกรณ์ที่ติดตั้ง

ไว้กับยานพาหนะ การใช้งาน RSU Cloud สามารถทำได้โดยที่ยานพาหนะแต่ละคันที่ต้องการรับและส่งข้อมูลจะต้องทำการสมัครเพื่อรับและส่งข้อมูลผ่านทาง RSU Cloud รวมถึงยานพาหนะที่ต้องการกระจายข้อมูลด้วยเช่นกัน และเมื่อมียานพาหนะต้องการกระจายข้อมูลไปยังยานพาหนะอื่น ก็จะต้องส่งข้อมูลไปที่ RSU Cloud ก่อนข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บที่ Data Center เพื่อให้ RSU Cloud ที่อยู่ในกลุ่ม สามารถนำข้อมูลไปกระจายให้ยานพาหนะที่สมัครรับข้อมูลคันอื่นต่อไป แสดงดังรูปที่ 2.7 ระบบรองรับการสื่อสารข้อมูลทั้งด้านความปลอดภัยและสาระความบันเทิงได้ ลดความล่าช้าของการรับส่งข้อมูล และยานพาหนะปลายทางที่อยู่ไกลก็สามารถรับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Salahuddin, *et al.,* 2014, 2015) โดยการเชื่อมต่อกับ RSU Cloud

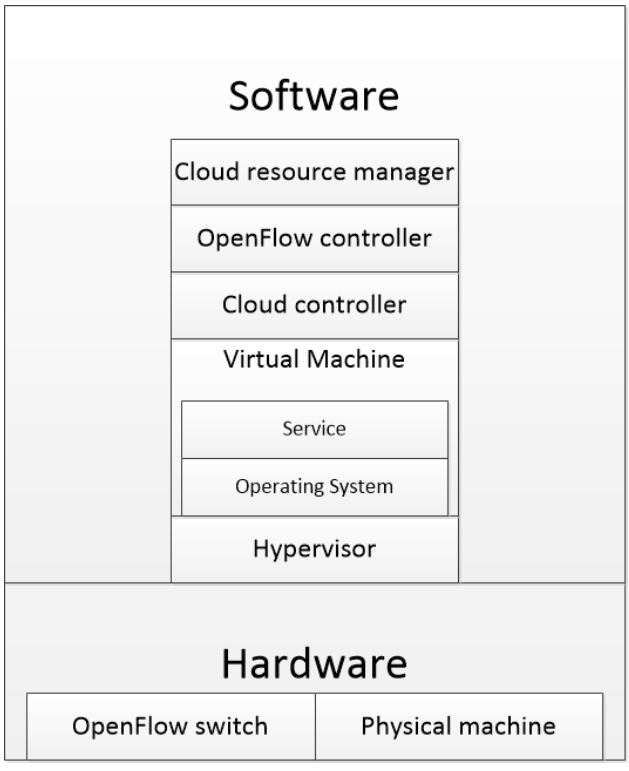


รูปที่ 2.7 การทำงานของ RSU Cloud

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบ RSU Cloud กับ RSU แบบเดิม

Subject	RSU Cloud	Traditional RSU
Micro-datacenter	มีการใช้ Micro-Datacenter เพื่อ สนับสนุนการทำงานแบบเสมือน	ไม่สนับสนุน
SDN	มีการใช้ Software-Defined Networking (SDN)	ไม่สนับสนุน
Resources Management	สนับสนุนการแบ่งปันทรัพยากร	ไม่สนับสนุน
Data Center	มีการใช้ Data Center เพื่อการจัดเก็บข้อมูล	RSU แต่ละตัวมีข้อจำกัดในการจัดเก็บข้อมูล

จากตารางที่ 2.2 RSU Cloud มีการใช้ Micro-Datacenter โดยการเพิ่มความสามารถให้กับ RSU แบบดั้งเดิมโดยเพิ่มองค์ประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อสนับสนุนการทำงานแบบเสมือนจริงได้ และมีการใช้ Software-Defined Networking (SDN) เพื่อจัดการการทำงานของ RSU Cloud โดยใช้ตัวควบคุม OpenFlow สำหรับการอัปเดต Flow Rules ผ่าน Control Plane รวมถึง RSU Cloud มีการจัดการการแบ่งปันทรัพยากร โดยการใช้ตัวควบคุม Cloud และมีการใช้ Data Center เพื่อการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับมาจากยานพาหนะต้นทาง โดยถูกส่งผ่าน RSU Cloud ซึ่งหากมีการร้องขอข้อมูลจากยานพาหนะไปยัง RSU Cloud ก็จะสามารถทำการดึงข้อมูลจาก Data Center มาให้ยานพาหนะได้ทันทีไม่จำเป็นต้องรอยานพาหนะต้นทางในการกระจายข้อมูล ในขณะที่ RSU แบบดั้งเดิมไม่มีการใช้ Micro-Datacenter, Software-Defined Networking (SDN), ตัวควบคุม Cloud หรือ Data Center เข้ามาสนับสนุนการทำงาน แต่ทำงานโดยการส่งต่อข้อมูลไปยัง RSU ที่อยู่ถัดไปเรื่อย ๆ ซึ่งต้องใช้เวลามากเมื่อต้องทำการกระจายข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะปลายทางที่อยู่ในระยะห่างกันโดยเฉพาะถ้า RSU ที่อยู่ระหว่างทางมีจำนวนยานพาหนะเชื่อมต่อใช้บริการจำนวนมาก จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าเพิ่มขึ้น และเนื่องจาก RSU จะมีพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลอย่างจำกัด จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลไว้เพื่อการร้องขอในครั้งต่อไปได้ จะต้องร้องขอไปยังยานพาหนะต้นทางใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการร้องขอทำให้เสียเวลาในการรอข้อมูล



รูปที่ 2.8 สถาปัตยกรรมของ RSU Micro-datacenter

จากรูปที่ 2.8 ได้แสดงสถาปัตยกรรมของ Micro-Datacenter บน RSU Cloud โดยเพิ่มองค์ประกอบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อสร้างเป็น Micro-Data Center ที่สามารถให้การจำลองแบบเสมือน และช่วยเพิ่มความสามารถในการสื่อสาร โดยใช้ SDN หรือ Software-Defined Networking เข้ามาช่วยในการทำงานของ RSU Cloud ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังนี้

1) Cloud Resource Manager คือ ตัวจัดการแบ่งปันทรัพยากร Cloud ในระบบเพื่อลดความล่าช้าและความสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยไม่จำเป็นในการทำงาน และลดการเกิดซ้ำของบริการในระบบ รวมถึงลดความขัดแย้งในการทำงานของเครือข่าย

2) OpenFlow Controller คือ ตัวควบคุมที่คอยจัดการการทำงานในระบบให้ลื่นไหล โดยการอัปเดตเครือข่ายและควบคุมไปยัง OpenFlow Switch ผ่านทาง Control Plane

3) Cloud Controller มีหน้าที่เป็นตัวควบคุมระบบคลาวด์ เพื่อโยกย้ายบริการและ Hypervisor เมื่อต้องทำงานด้วย VMs ตัวใหม่

4) Virtual Machine คือ ระบบที่ใช้สร้างการจำลองแบบเสมือนบนอุปกรณ์ทางกายภาพต่าง ๆ ซึ่งมีการทำงาน 2 ตัวหลัก คือ

4.1) Service คือ บริการในการทำงานบนการจำลองแบบเสมือน

4.2) Operating System คือ ระบบปฏิบัติการที่ใช้ทำงานบนการจำลองแบบเสมือน

5) Hypervisor คือ โปรแกรมที่ติดตั้งบนฮาร์ดแวร์ เพื่อช่วยให้เกิดการจำลองแบบเสมือนของทรัพยากรทางกายภาพที่สามารถใช้ Virtual Machine ต่าง ๆ บนอุปกรณ์เครื่องเดียวได้ เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใน Data Center แบบดั้งเดิมที่นำมาปรับปรุงการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าด้วยเทคนิคนี้ VMs สามารถใช้บริการโฮสโดยการแบ่งปันทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ VMs ยังสามารถให้บริการและทำซ้ำไปยัง VMs อื่น ๆ บนอุปกรณ์ทางกายภาพที่แตกต่างกัน

6) OpenFlow Switch เป็นฮาร์ดแวร์ที่มีหน้าที่สลับเครือข่ายการทำงาน จะถูกควบคุมโดย OpenFlow Controller ผ่าน Control Plane

7) Physical Machine คือ ฮาร์ดแวร์หลักของระบบ RSU

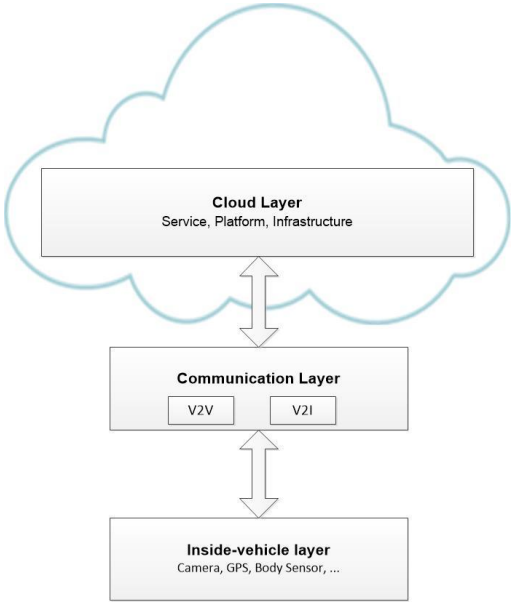
2.3 การประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ในเครือข่ายยานพาหนะ

Whaiduzzaman, *et al*. (2014) เสนอ Vehicular Cloud Computing (VCC) เป็นรูปแบบการคำนวณแบบคลาวด์ในเครือข่ายยานพาหนะ ซึ่งให้บริการที่หลากหลาย ลดค่าใช้จ่าย ช่วยลดความหนาแน่นของการจราจร ลดอุบัติเหตุ ลดมลภาวะ ช่วยประหยัดพลังงาน และให้บริการตามเวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ VCC พัฒนามาจาก MCC หรือ Mobile Could Computing เพื่อแก้ปัญหาของ MCC คือ ทรัพยากรที่มีจำกัด และใช้เวลามากในการอัปโหลดหรือดาวน์โหลดข้อมูลทั้งค่าใช้จ่ายที่สูงด้วย VCC นำข้อดีของการคำนวณแบบคลาวด์มาใช้ ซึ่งสามารถแบ่งปันทรัพยากรและกระจายทรัพยากรการคำนวณ ค่าใช้จ่ายก็สามารถปรับตามการใช้งานจริงได้ นอกจากนี้ VCC เหมาะกับ Wireless Sensor Network (WSN) และ Intelligent Transport Systems (ITS) และจากงานวิจัยดังกล่าวได้เสนอสถาปัตยกรรม แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งได้แบ่งเป็น 3 ชั้น คือ

1) Inside-vehicle layer คือ ชั้นที่ใกล้ชิดกับผู้ใช้มากที่สุดและจะเก็บข้อมูลไว้ภายในยานพาหนะโดยการตรวจจับด้วยเซ็นเซอร์เพื่อส่งข้อมูลไปที่ชั้นคลาวด์

2) Communication layer คือ ชั้นที่เกี่ยวกับการสื่อสารของยานพาหนะ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ V2V และ V2I

3) Cloud Layer คือ ชั้นที่ทำให้ VCC จะสามารถประมวนผลการคำนวณที่ซับซ้อนได้ในเวลาอันสั้น แบ่งเป็น 3 ส่วนย่อย คือ Application, Cloud Infrastructure และ Could Platform



รูปที่ 2.9 สถาปัตยกรรมของ VCC

Kwak, *et al*. (2016) ได้เสนอการนำการคำนวณแบบคลาวด์มาใช้ในเครือข่ายยานพาหนะ คือ ใช้กับกลุ่มยานพาหนะ และ RSU ซึ่งจะเชื่อมต่อกับการคำนวณแบบคลาวด์ในอินเทอร์เน็ต มาช่วยในการให้ข้อมูลเส้นทาง จราจรโดยการระดมข้อมูล (Crowdsourcing) จากกลุ่มยานพาหนะซึ่งจะมีการกระจายข้อมูลที่เกิดขึ้น ในเวลานั้นไปรวมกันไว้ที่คลาวด์ เพื่อให้ยานพาหนะคันอื่น ๆ ทราบทันที เช่น แจ้งจุดเกิดอุบัติเหตุ หรือ แจ้งพื้นที่ที่มีน้ำขังให้ระวังถนนลื่น

Mallissery, *et al.* (2015) ได้เสนอการประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์ในเครือข่ายยานพาหนะ โดยมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการทำผิดกฎจราจร โดยกำหนดให้ยานพาหนะจำเป็นต้องลงทะเบียนกับ RSU ก่อน จากนั้น RSU จะส่งตั๋วชั่วคราว (Transient Ticket) สำหรับให้ยานพาหนะใช้สำหรับการยืนยันตัวตนเพื่อรับบริการ ซึ่งก่อนที่ยานพาหนะจะกระจายข้อมูลการจราจรไปที่ศูนย์ควบคุมการจราจร (Traffic Police Controlled Vehicular Cloud) จะต้องผ่านขั้นตอนการตรวจสอบตั๋วชั่วคราว เพื่อความปลอดภัยและจะช่วยลดเวลาในการสื่อสารให้น้อยลง

CMDS (Cloud-assisted Message Downlink dissemination Scheme) เป็น Framework ที่ถูกเสนอโดย Bingyi, *et al.,* (2017) โดยการนำการคำนวณแบบคลาวด์มาช่วยในการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย เพื่อให้เกิดการกระจายข้อมูลการจารจรที่มีประสิทธิภาพจากการประยุกต์ใช้เครือข่ายไร้สายและการคำนวณแบบคลาวด์ ซึ่งจากการออกแบบ Framework หน้าที่ของคลาวด์จะมีสองส่วนหลัก คือ มีหน้าที่เก็บข้อมูลการจารจรที่หนาแน่น และมีหน้าที่คำนวณในการเลือกทางผ่าน (Gateway) ที่ดีที่สุด ซึ่งจะต้องเป็นยานพานะที่มีความสามารถในการสื่อสารทั้งแบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (Cellular) และการสื่อสารแบบ V2V ในเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ (VANETs) โดยการทำงานในการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยจะเริ่มจากข้อมูลจากคลาวด์จะถูกส่งมาที่ยานพาหนะผ่านทาง Mobile Gateway จากนั้นข้อมูลจะถูกกระจายผ่านเครือข่ายแบบ V2V จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ พบว่าช่วยลดความล่าช้าในการกระจายข้อมูล และช่วยลดการใช้พลังงานจากการสื่อสารด้วยเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (Cellular)

Dhar, *et al.* (2016) ได้ประยุกต์ใช้การคำนวณแบบคลาวด์เพื่อการจัดการที่จอดรถอัจฉริยะ โดยการใช้ IoT (Internet of Thing) และการคำนวณแบบคลาวด์ร่วมกัน จากการเติบโตของ IoT และ Cloud Computing ทำให้แนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านการขนส่งที่เพิ่มขึ้น ได้มีการเสนอการสร้างเครือข่ายบริการสำหรับระบบเครือข่ายยานพาหนะโดยใช้โปรโตคอล MQTT (Message Queue Telemetry Transport) วัตถุประสงค์หลัก คือ การออกแบบบริการยานพาหนะแบบใช้การคำนวณแบบคลาวด์ สำหรับจอดรถโดยอาศัยหลักการสื่อสารพื้นฐานของโปรโตคอล ขั้นตอนการทำงาน คือ ยานพาหนะที่ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์แล้วจะส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์เมื่อไปถึงจุดจอด เพื่อให้ระบบคลาวด์กระจายข้อมูลที่จอดรถไปแจ้งยานพานะแต่ละคันในระบบ เพื่อเป็นการแจ้งยานพาหนะคันอื่นว่ายังมีที่จอดรถว่างที่ใดบ้าง

Chakraborty, *et al.* (2016) ได้เสนอการนำการคำนวณแบบคลาวด์มาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของยานพาหนะในกรณีที่เกิดการขาดสัญญาณ GPS นักวิจัยได้อธิบายถึงยานพาหนะในอนาคตที่จะมีการติดตั้ง GPS ให้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานเพื่อช่วยในการระบุตำแหน่งของยานพาหนะแต่ GPS ยังมีข้อจำกัดเรื่องของความแม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาว่ามีเทคโนโลยี Sensor ที่เกี่ยวข้องกับการระบุพิกัดจากนั้นจึงได้เสนอระบบที่ชื่อว่า Localizing System ซึ่งมีการติดตั้ง Sensor ไว้ที่ยานพาหนะ ดังนี้

1) GPS and INS เป็นการนำเทคโนโลยี INS (Inertial Navigation System) ที่สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งของยานพาหนะ โดยใช้การคำนวณจากทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่มาช่วยบอกตำแหน่งของยานพาหนะในกรณีที่เกิดการขาดสัญญาณ GPS

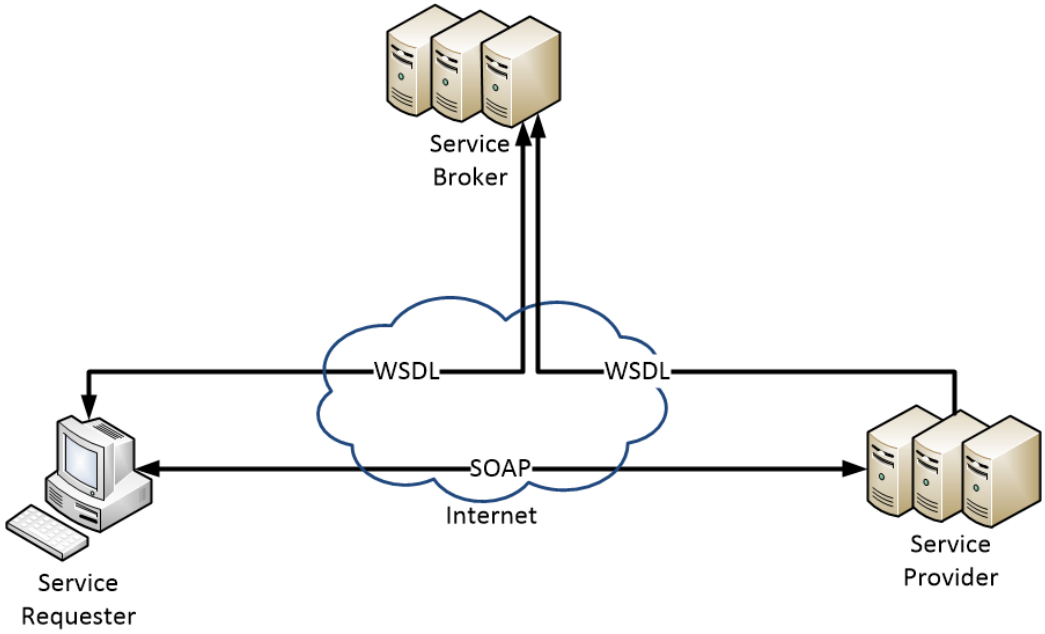
2) LiDAR และ Ultrasound เป็น sensor ที่ช่วยตรวจจับวัตถุรอบยานพาหนะ เช่น ป้ายจราจรยานพาหนะคันอื่น ๆ โดยใช้การส่งเลเซอร์แล้ววิเคราะห์การสะท้อนกลับทำให้ทราบระยะของวัตถุที่อยู่รอบยานพาหนะ

3) WLPS (Wireless Local Positioning System) เป็นระบบที่ทำงานร่วมกับเสาอากาศและกล้องที่ได้ติดตั้งเอาไว้ในยานพาหนะ เพื่อช่วยในการประเมินวัตถุรอบยานพาหนะ จากนั้นจะส่งข้อมูลไปที่ GUI เพื่อประมวลผลร่วมกับ GPS แล้วแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบแผนที่

4) RFID (Radio Frequency Identification) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้เพื่อการระบุป้ายทะเบียนของยานพาหนะรอบ ๆ ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอว่ายานพาหนะที่อยู่ใกล้เคียงกันมีการแลกเปลี่ยนข้อมูล Sensor ของตนเองกับยานพาหนะที่อยู่ใกล้กันผ่าน DSRC Channel จากนั้นจะมีการส่งข้อมูลไปที่ RSU ด้วย GSM เพื่อไปประมวลผลที่ Cloud Server ซึ่งจะใช้อัลกอริทึมที่ชื่อว่าตัวกรองคาลแมน (Kalman Filter) มาใช้ประมวลผลร่วมกันของข้อมูล Sensors

2.4 เว็บเซอร์วิซ

เว็บเซอร์วิซ (Web Services) คือ ระบบซอฟต์แวร์ที่ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเพื่อสนับสนุนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือแอปพลิเคชันผ่านระบบเครือข่ายโดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันสามารถใช้แพลตฟอร์มที่แตกต่างกันได้ (Kumari, *et al.,* 2015) ปัจจุบันการพัฒนาเว็บเซอร์วิซมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลสองรูปแบบ คือ SOAP และ REST



รูปที่ 2.10 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ SOAP

2.4.1 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ SOAP

SOAP (Simple Object Access Protocol) คือ โปรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ให้บริการ (Service Provider) และผู้เรียกใช้บริการ (Service Requester) โดยใช้ภาษาเอกซ์เอ็มแอล (eXtensible Markup Languge) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านโปรโตคอลต่าง ๆ ในการส่งข้อมูลบนเว็บไซต์ เช่น HTTP, HTTPS และ FTP รูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่าง SOAP Message ที่ใช้ในการเรียกเว็บเซอร์วิซ และรูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่าง SOAP Message ที่ตอบกลับมาจากเว็บเซอร์วิซ

สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ SOAP แสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้

1) ผู้ให้บริการ (Service Provider) มีหน้าที่พัฒนาและให้บริการเว็บเซอร์วิซแก่ผู้เรียกใช้บริการซึ่งจะต้องประกาศแจ้งบริการต่าง ๆ ที่มี และลงทะเบียนกับตัวแทนผู้ให้บริการโดยประกาศแจ้งในรูปแบบ WSDL

2) ตัวแทนผู้ให้บริการ (Service Broker) มีหน้าที่รับลงทะเบียนการประกาศแจ้งบริการเว็บเซอร์วิซจากผู้ให้บริการและมีหน้าที่ให้บริการการค้นหาเว็บเซอร์วิซ โดยใช้มาตรฐานยูดีดีไอ (Universal Description, Discovery and Integration) ในการกำหนดการลงทะเบียนและการค้นหาเว็บเซอร์วิซ

3) ผู้เรียกใช้บริการ (Service Requester) คือ ผู้ใช้งานเว็บเซอร์วิซโดยผู้เรียกใช้จะทำการค้นหาบริการเว็บเซอร์วิซจากตัวแทนผู้ให้บริการ หลังจากนั้นจะทำการเรียกใช้บริการไปยังผู้ให้บริการ

SOAP_request.XML

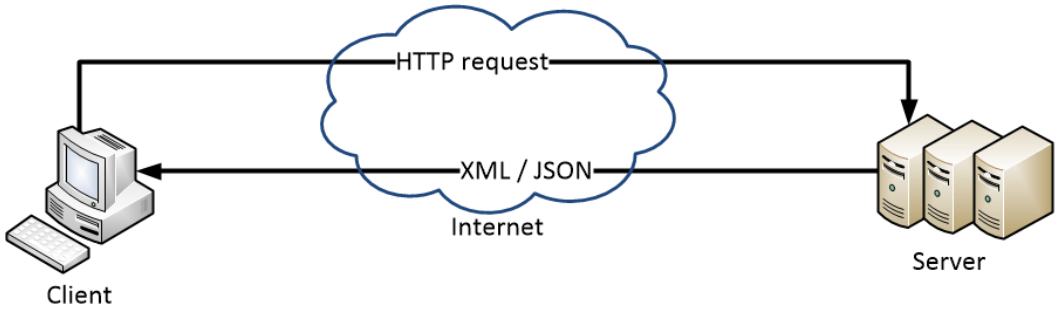
```
<soapenv:Envelope xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/" xmlns:web="http://zoulita.com/webService_rsucloud">
   <soapenv:Header/>
   <soapenv:Body>
      <web:subscribe soapenv:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/">
         <car_license xsi:type="xsd:String">AA-8933</car_license>
         <subscribed_type xsi:type="xsd:int">0</subscribed_type>
         <latitude xsi:type="xsd:String">7.951933</latitude>
         <longitude xsi:type="xsd:String">98.338088</longitude>
         <speed xsi:type="xsd:int">100</speed>
         <direction xsi:type="xsd:int">12</direction>
         <timestamp xsi:type="xsd:int">1487848271</timestamp>
      </web:subscribe>
   </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง SOAP Message ที่ใช้ในการเรียกเว็บเซอร์วิซ

SOAP_response.XML

```
<SOAP-ENV:Envelope SOAP-ENV:encodingStyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" xmlns:SOAP-ENV="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:SOAP-ENC="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/">
   <SOAP-ENV:Body>
      <ns1:subscribeResponse xmlns:ns1="http://zoulita.com/webService_rsucloud">
         <return xsi:type="xsd:String">Thank you for your subscribed : AA-8933</return>
      </ns1:subscribeResponse>
   </SOAP-ENV:Body>
</SOAP-ENV:Envelope>
```

รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง SOAP Message ที่ตอบกลับมาจากเว็บเซอร์วิซ



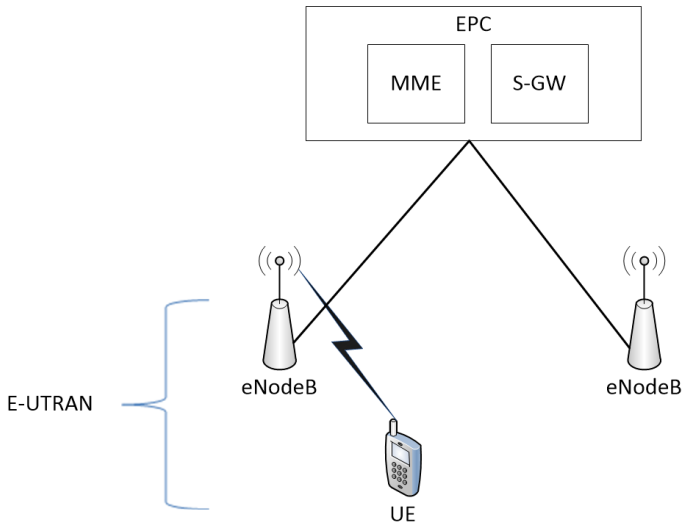
รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ REST

2.4.2 สถาปัตยกรรมของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ REST

REST (Representational State Transfer) เป็นรูปแบบการร้องขอข้อมูลจาก Client ไปยัง Server คือ มีความยืดหยุ่นในการพัฒนาเนื่องจากสนับสนุนการส่งข้อมูลทั้งรูปแบบเอกซ์เอ็มแอลและเจซัน (JavaScript Object Notation) มี Overhead ที่ต่ำกว่า SOAP ข้อจำกัดของการใช้ REST คือ ไม่มีการสนับสนุนด้านความปลอดภัย และไม่มีเอกสาร WSDL สำหรับสำหรับการอธิบายคุณลักษณะของเว็บเซอร์วิซ จากรูปที่ 2.12 เป็นรูปแบบการทำงานของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ REST โดยเรียกใช้ผ่านทางโปรโตคอล HTTP ซึ่งใช้ GET Method สำหรับเรียกข้อมูลมาแสดง ใช้ POST สำหรับเพิ่มข้อมูล ใช้ PUT สำหรับแก้ไขข้อมูล และใช้ DELETE สำหรับลบข้อมูล โดยการส่งข้อมูลออกมาจากฝั่ง Server จะเป็นรูปแบบเอกซ์เอ็มแอลหรือเจซันก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพัฒนาฝั่ง Server

2.5 Long Term Evolution (LTE)

LTE เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นในยุคที่ 4 ของเทคโนโลยีโทรศัพท์มือถือ (4G) ซึ่งเป็นโครงการที่ถูกพัฒนาโดยกลุ่ม 3GPP (3rd Generation Partnership Project) มีประสิทธิภาพในการสื่อสารสูงกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 3 (3G) เช่น HSPA และ HSPA+ จากมาตรฐาน 3GPP Rel-8 ได้อธิบายคุณสมบัติของ LTE ที่สำคัญว่าจะต้องมีความเร็วในการดาวน์โหลดอย่างน้อย 100 เมกะบิตต่อวินาที มีความเร็วในการอัพโหลดอย่างน้อย 50 เมกะบิตต่อวินาที รองรับผู้ใช้ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงถึง 350 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Alma, 2010)



รูปที่ 2.14 สถาปัตยกรรมของ LTE

จากรูปที่ 2.14 เป็นสถาปัตยกรรมของ LTE ซึ่งมีสองส่วนหลัก โดยส่วนแรก คือ E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) ซึ่งประกอบด้วย UE (User Equipment) เครื่องลูกข่ายของระบบการสื่อสารเป็นอุปกรณ์ของผู้ใช้ในการสื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ และ eNodeB (Evolved NodeB) คือ RSU ที่มีหน้าที่ให้บริการแก่ UE และส่วนที่สอง คือ EPC (Evolved Packet Core) (Sonia Forconi, 2015) ซึ่งประกอบด้วย MME (Mobility Management Entity) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการจัดการด้านการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ของผู้ใช้ รวมถึงการจัดการการทำ Handover ด้วย และ S-GW (Serving Gateway) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์สำหรับการรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายภายนอก

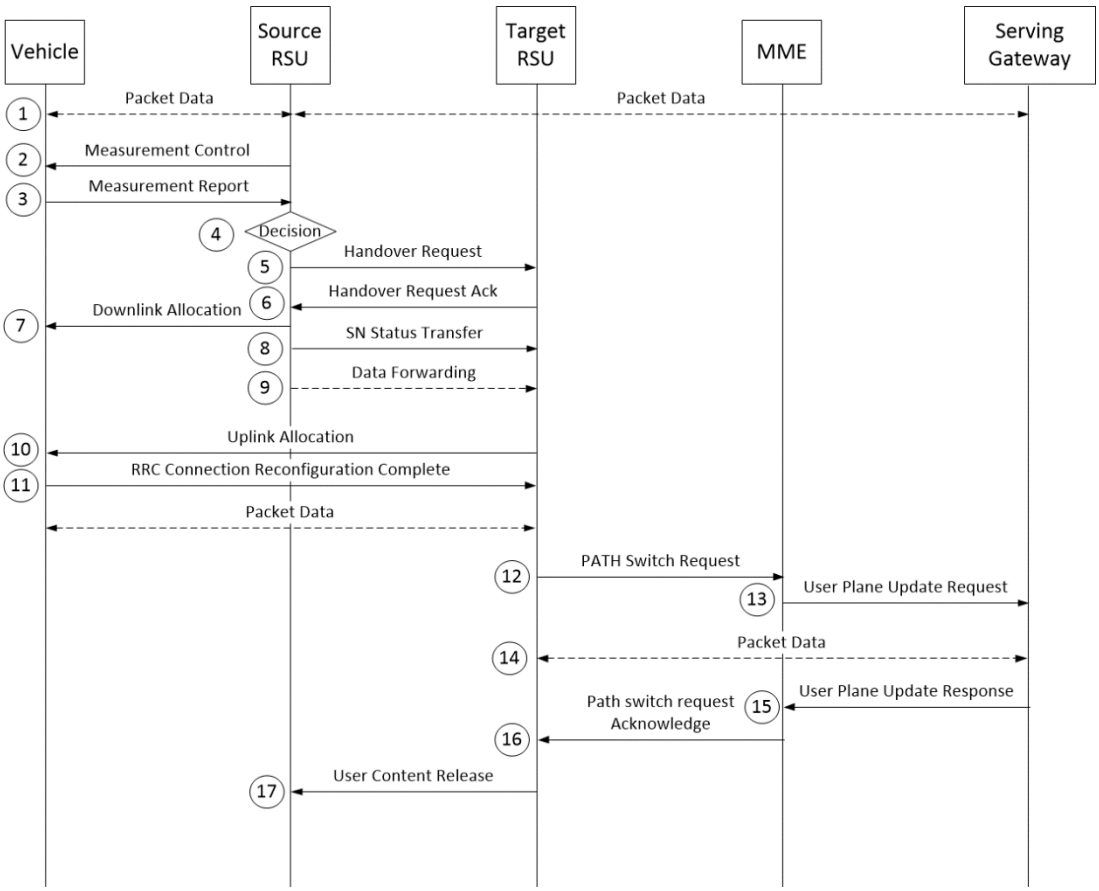
2.6 Handover

Handover เป็นการเคลื่อนย้ายการสื่อสารของอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ จากสถานีรับส่งสัญญาณหนึ่งไปยังอีกสถานีรับส่งสัญญาณหนึ่ง กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเชื่อมจุดเชื่อมต่อสื่อสารกับ RSU การทำ Handover ในโครงข่ายสื่อสารที่ใช้ LTE มี 2 รูปแบบหลัก (Alexandris, *et al.,* 2016) คือ

1) Intra Handover คือ การ Handover ที่อยู่ภายใน Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ซึ่งใช้พื้นฐาน X2 Handover

2) Inter Handover คือ การ Handover ระหว่าง E-UTRAN ซึ่งใช้พื้นฐาน S1 Handover

ในงานวิจัยนี้สนใจการทำ X2 Handover ใน LTE เนื่องจากเป็นโครงข่ายการสื่อสารที่ออกแบบมาใช้งานกับยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงบนถนนทางหลวง แสดงดังรูปที่ 2.15 เป็นการแสดงลำดับการทำงานของ Sequence Diagram สำหรับการทำ X2 Handover (Agrawal, *et al.,* 2015)



รูปที่ 2.15 X2 Handover

1) ยานพาหนะเชื่อมต่อกับ RSU ต้นทาง ซึ่งมีการส่ง Downlink และ Uplink ผ่าน RSU ต้นทาง

2) RSU ต้นทางทำการส่งข้อความ Measurement Control ไปให้กับยานพาหนะ เพื่อให้ยานพาหนะส่งรายงานที่ชื่อ Measurement Report กลับมา

3) ยานพาหนะทำการส่ง Measurement Report ซึ่งเป็นรายงานการวัดระยะทางกับ RSU ใกล้เคียงทั้งหมด

4) RSU ต้นทางจะทำการตัดสินใจว่าจะทำ Handover หรือไม่ และจะเลือก RSU ปลายทางที่ดีที่สุด

5) RSU ต้นทางจะทำการส่งคำร้องขอไปยัง RSU ปลายทางว่าต้องการทำ Handover

6) ถ้า RSU ปลายทางมีทรัพยากรที่เพียงพอ เช่น หน่วยความจำของ RSU ปลายทางถูกใช้ไปต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ก็จะส่งข้อความ Handover Request Acknowledge กลับไปยัง RSU ต้นทาง

7) RSU ต้นทางจะทำการกำหนดการเชื่อมโยงลง (Allocates a Downlink) ให้กับยานพาหนะ

8) RSU ต้นทางจะส่งข้อความ SN Status Transfer ไปยัง RSU ปลายทาง

9) จากนั้น RSU ต้นทางจะส่งต่อข้อมูลไปยัง RSU ปลายทาง ผ่านทางท่อที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนของข้อความ Handover Request

10) หลังจากการเชื่อมต่อยานพาหนะเข้ากับ RSU ปลายทางเสร็จสิ้นแล้ว RSU ปลายทางจะทำการกำหนดการเชื่อมโยงขึ้น (Allocates a Uplink) ให้กับยานพาหนะ

11) ยานพาหนะจะอัปเดตข้อมูลเกี่ยวกับการ Handover ที่เสร็จสมบูรณ์ผ่านข้อความ RRC Connection Reconfiguration Complete ไปยัง RSU ปลายทางเพื่อยืนยันว่าให้ RSU ปลายทางเริ่มส่งข้อมูลทั้งหมดให้ยานพาหนะ

12) จากนั้น RSU ปลายทางจะส่งข้อความ PATH Switch Request ไปยัง MME เพื่อแจ้งว่ายานพาหนะได้เปลี่ยนการเชื่อมต่อมาอยู่กับ RSU ปลายทางแล้ว

13) MME จะส่ง User Plane Update Request ไปที่ S-GW เพื่อที่จะสลับเส้นทางการรับส่งข้อมูลจาก RSU ต้นทางไปยัง RSU ปลายทาง

14) S-GW จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับ RSU ปลายทาง และเริ่มการส่งต่อข้อมูลไปยัง RSU ปลายทางตามที่อยู่ของ Node ใหม่ และปล่อย RSU ต้นทางเดิม

15) S-GW จะส่ง User Plane Update Response ไปยัง MME เพื่อแจ้งว่าการสลับเส้นทางที่สำเร็จแล้ว

16) MME จะส่งข้อความ Path Switch Request Acknowledge ไปยัง RSU ปลายทาง

17) RSU ปลายทางจะส่งข้อความ User Content Release ไปยัง RSU ต้นทางเพื่อแจ้งว่าการ Handover นี้เสร็จสมบูรณ์แล้ว

บทที่ 3

วิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยด้วยการประยุกต์ใช้ RSU Cloud

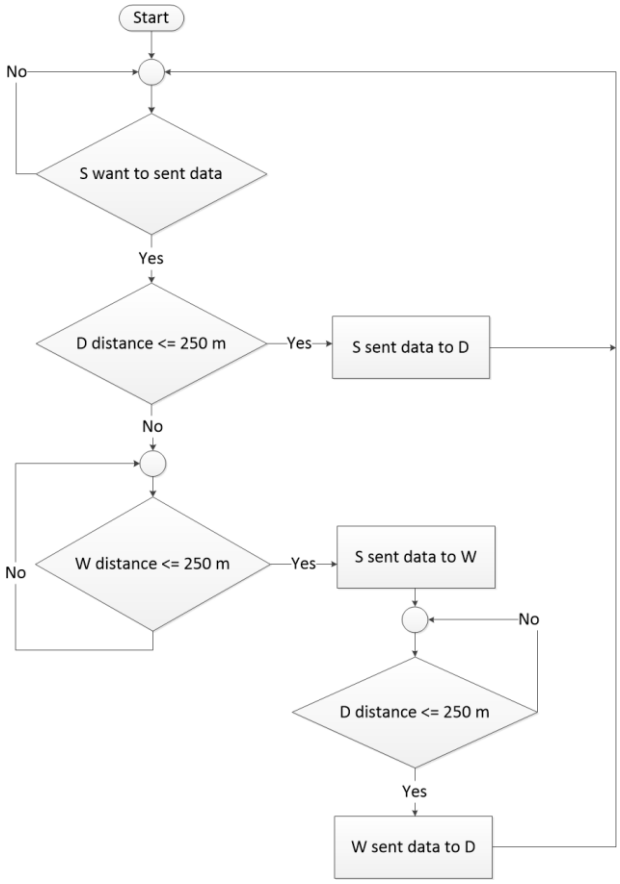
ในบทนี้ได้เสนองานวิจัยที่นำเทคนิคการกระจายข้อมูลแบบ Store-Carry-Broadcast (SCB) มาปรับปรุงโดยการนำ RSU Cloud มาช่วยสนับสนุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ โดยมีตัวชี้วัด คือ ความล่าช้าในการส่งข้อมูล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอช่วยเพิ่มทางเลือกในการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ โดยสามารถเลือกที่จะส่งต่อข้อมูลผ่าน RSU Cloud ไปยังยานพาหนะปลายทางได้

3.1 ความเป็นมา

เนื่องจากเครือข่ายสื่อสารยานพาหนะต้องอาศัยการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง แม้จะมีหลายโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาเพื่อสนับสนุนการทำงานอย่างต่อเนื่อง แต่โดยปกติยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจะมีปัญหาความล่าช้าของการรับส่ง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำ RSU ที่ทำงานแบบคลาวด์ (RSU Cloud) มาเป็นตัวช่วยกระจายข้อมูล และเพิ่มช่องทางการกระจายข้อมูล โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งจากยานพาหนะไปยัง RSU แล้วกระจายไปยังยานพาหนะคันอื่นที่เชื่อมต่อกับ RSU Cloud โดยยานพาหนะนั้นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อและตั้งค่าการอนุญาตให้เข้าถึงการรับส่งข้อมูลได้ผ่าน RSU Cloud ยานพาหนะที่สมัครรับข้อมูลจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกมากขึ้น รองรับข้อมูลทั้งด้านความปลอดภัย และสาระความบันเทิงได้ ลดความล่าช้าของการรับส่งข้อมูล และปลายทางที่อยู่ไกลสามารถรับข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Salahuddin, *et al.,* 2014, 2015) วิธีการกระจายข้อมูลแบบ Broadcast เป็นวิธีการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะที่นิยมสำหรับการส่งข้อมูลด้านความปลอดภัย แจ้งเหตุฉุกเฉิน อย่างไรก็ตามจำนวนช่องทางสื่อสารที่จำกัดและระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะปลายทางทำให้มีความล่าช้าในการกระจายข้อมูล งานวิจัยนี้จึงได้เสนอการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานการใช้เทคโนโลยีการคำนวณแบบคลาวด์ โดยการปรับปรุงวิธี SCB ให้สนับสนุนการหาเส้นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการส่งข้อมูล

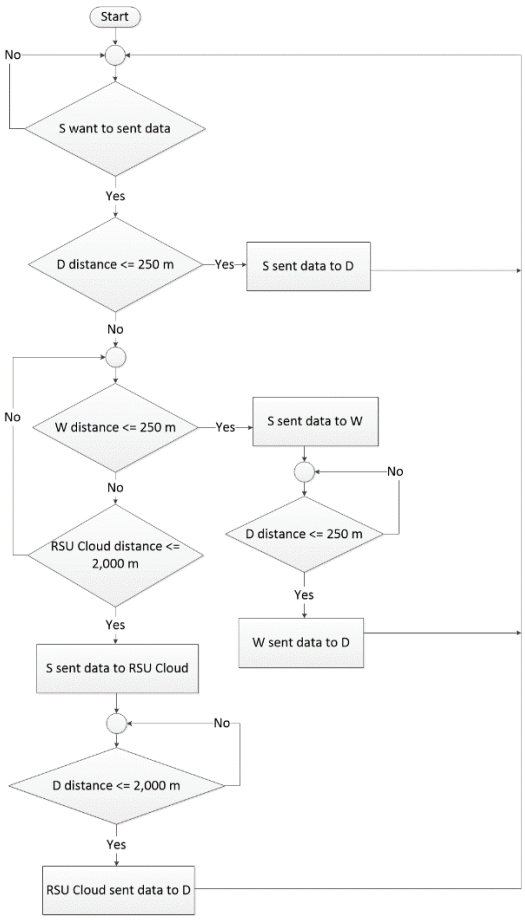
3.2 งานวิจัยที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิค Store-Carry-Broadcast-Cloud-Based (SCBC) ที่นำการใช้ RSU Cloud มาช่วยในการกระจายข้อมูล โดยมีการปรับปรุงเพิ่มเติมจากอัลกอริทึม SCB (Sou, *et al.,* 2012) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจาก SCB ออกแบบมารองรับการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลด้านความปลอดภัยมาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและความล่าช้าในการกระจายข้อมูล



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCB

จากรูปที่ 3.1 เป็นขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCB โดยกำหนดให้ระยะที่สามารถส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ (V2V) คือ 250 เมตร (Sou, *et al.,* 2012) โดยที่ S คือ ยานพาหนะต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูล D คือ ยานพาหนะปลายทางที่ต้องการรับข้อมูล และ W คือ ยานพาหนะที่ทำหน้าเป็นผู้รับฝากข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง

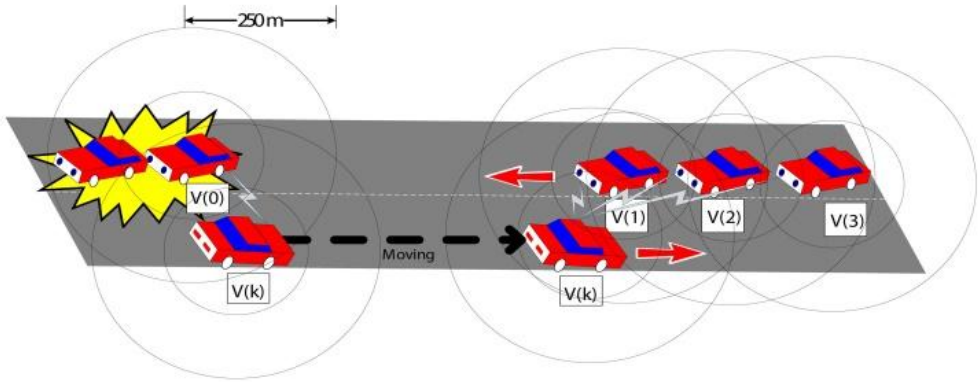


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCBC

จากรูปที่ 3.2 เป็นขั้นตอนวิธีแสดงการทำงานของ SCBC ซึ่งได้ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของวิธี SCB โดยการกำหนดระยะทางที่จะสามารถส่งข้อมูลได้ (Maia, *et al.,* 2013) ในเครือข่าย V2V ไว้ที่ 250 เมตร (Palma, *et al.,* 2013) เสนอระยะทางการใช้ RSU มาช่วยในการส่งต่อข้อมูล กำหนดระยะการส่งข้อมูลของ V2I ไว้ที่ 2,000 เมตร โดยที่ RSU ทุกตัวถูกกำหนดให้มีการเชื่อมต่อกันเป็น RSU Cloud โดยกำหนดให้ S คือ ยานพาหนะต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลออกไปให้ยานพาหนะปลายทาง D ที่ต้องการรับข้อมูล และ W คือ ยานพาหนะที่ทำหน้าเป็นผู้รับฝากข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะที่อยู่ปลายทาง และมี RSU Cloud เป็นตัวช่วยรับส่งข้อมูลบนพื้นฐานแนวคิด (Palma, *et al.,* 2013 and Amadeo, *et al.,* 2012) เมื่อยานพาหนะต้องการเชื่อมต่อกับ RSU Cloud จะต้องสมัครรับบริการ จากนั้น RSU Cloud จึงสามารถประเมินได้ว่าควรกระจายข้อมูลไปยังเส้นทางใด เมื่อเวลาที่ยานพาหนะเข้าใกล้ RSU Cloud ในระยะที่รับ-ส่งข้อมูลได้ จะมีการส่งข้อมูลตำแหน่งและความเร็วของตนเอง ไปยัง RSU Cloud เพื่อบันทึกไว้ ทำให้ RSU ทุกตัวในระบบ RSU Cloud ทราบตำแหน่งของรถทุกคันที่ใช้บริการรับ-ส่งข้อมูลได้

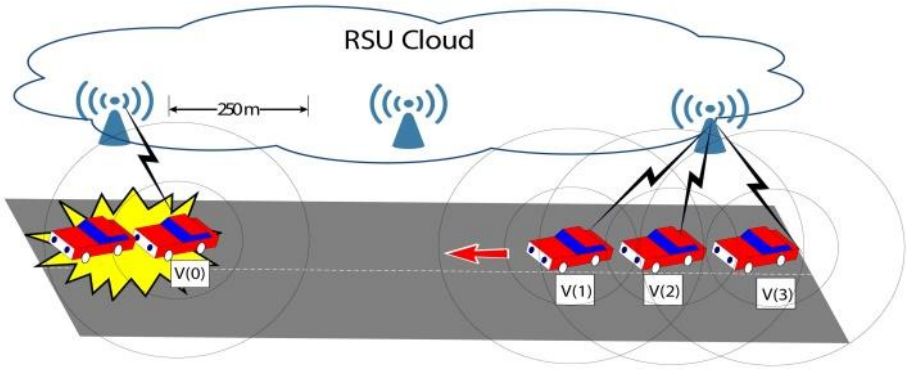
3.3 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สถานการณ์จำลองของการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของ SCB แบบเดิม และ SCBC ที่นำเสนอ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของการทำงานของ SCB

จากรูปที่ 3.3 เป็นสถานการณ์ที่ไม่มีการใช้ RSU Cloud และมีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCB กำหนดให้ยานพาหนะทั้งหมดเป็นเซตของ V = {V(0), V(n), V(k)} จากตัวอย่างในรูปที่ 3.3 V(0) คือ ยานพาหนะต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูล V(k) คือ ยานพาหนะที่มีหน้าที่รับฝากข้อมูล ซึ่งจะมีเพียงคันเดียว และ V(n) คือ กลุ่มของยานพาหนะที่ต้องการรับข้อมูล โดย n = {1, 2, 3, ... } กรณีที่เมื่อยานพาหนะ V(0) เกิดอุบัติเหตุ ทำให้ไม่สามารถไปต่อได้ จึงต้องการส่งข้อมูลให้ยานพาหนะที่ตามมา ได้แก่ V(1), V(2), V(3),...V(n) เพื่อแจ้งว่าด้านหน้ามีอุบัติเหตุ เนื่องจากไม่อยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลให้โดยตรงได้ ยานพาหนะ V(0) จึงส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะ V(k) ที่วิ่งสวนมา จากนั้นเมื่อยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) อยู่ในระยะที่สามารถรับข้อมูลได้ยานพาหนะ V(k) จะทำการส่งข้อมูลที่ได้รับมาจาก V(0) ส่งให้กับยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) โดยมีเส้นทางการส่งข้อมูล คือ V(0) => V(k) => V(1), V(2), V(3),...V(n) สำหรับกรณีที่มีการส่งต่อข้อมูลให้ยานพาหนะที่สวนมา



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของการทำงานของ SCBC

จากรูปที่ 3.4 เป็นกรณีที่มีการใช้เทคนิค SCBC ในการกระจายข้อมูลและมีการใช้งาน RSU Cloud โดยเมื่อยานพาหนะ V(0) เกิดอุบัติเหตุ ทำให้ไม่สามารถไปต่อได้ ยานพาหนะ V(0) จึงต้องการส่งข้อมูลให้ยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) ที่ตามมาด้านหลังเพื่อที่จะแจ้งว่าข้างหน้ามีอุบัติเหตุ เนื่องจากไม่อยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลให้โดยตรงได้ V(0) จึงตรวจสอบว่าสามารถส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะ V(k) ได้หรือไม่ กรณีที่สามารถส่งได้จะฝากข้อมูลให้ยานพาหนะ V(k) นำข้อมูลส่งไปยังยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) และในกรณีที่ไม่สามารถฝากข้อมูลให้กับยานพาหนะได้จะทำการส่งข้อมูลให้กับ RSU Cloud เพื่อทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลแทนการรอยานพาหนะวิ่งสวนทางมา เมื่อยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) อยู่ในระยะที่สามารถรับข้อมูลได้ RSU Cloud จะทำการส่งต่อข้อมูลที่รับฝากจากยานพาหนะ V(0) ให้กับยานพาหนะ V(1), V(2), V(3),...V(n) ทันที ทำให้ช่วยลดความล่าช้าในการส่งข้อมูลไปให้กับปลายทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีเส้นทางการส่งข้อมูล คือ V(0) => RSU_Cloud => V(1), V(2), V(3),...V(n) สำหรับการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud

จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Network Simulation 3 (NS-3) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง SCB และ SCBC โดย SCB เป็นสถานการณ์ที่ V(0) อยู่ในระยะที่สามารถส่งข้อมูลให้ V(k) ได้ สามารถคำนวณ Delivery Delay ได้ดังสมการ (1)

$$T_{SCB} = T_{V(0)_V(k)} + \frac{Dist_{V(0)_V(n)} - 2R}{2Speed} + T_{V(k)_V(n)} \quad (1)$$

T_{SCB} คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล ที่คำนวณจากสมการ (1) และ SCBC เป็นสถานการณ์ที่ยานพาหนะทุกคันอยู่ในระยะที่สามารถสื่อสารกับ RSU Cloud ได้ สามารถคำนวณความล่าช้าในการส่งข้อมูลได้ดังสมการ (2) โดย $T_{V(0)_V(k)}$ คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ V(0) ส่งข้อมูลไปที่ยานพาหนะ W และ $T_{V(k)_V(n)}$ คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ V(k) ส่งข้อมูลไปที่

ยานพาหนะ V(n) $Dist_{V(0)_V(n)}$ คือ ระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทาง R คือ ระยะทางไกลสุดที่สามารถส่งข้อมูลใน V2V ได้ มีค่าเท่ากับ 250 เมตร Speed คือ ความเร็วของยานพาหนะ

$$T_{SCBC} = T_{Subscribe} + T_{V_RSU} + \sum_{i=1}^{n} T_{RSU_i} + T_{RSU_V} \quad (2)$$

T_{SCBC} คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล ที่คำนวณจากสมการ (2) โดย $T_{Subscribe}$ คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะV(n)สมัครรับบริการจาก RSU Cloud T_{V_RSU} คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ V(0) ส่งข้อมูลไปที่ RSU Cloud และ $\sum_{i=1}^{n} T_{RSU_i}$ คือ ช่วงเวลาที่ RSU Cloud ส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยที่ n คือ จำนวนของ RSU Cloud ที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ V(0) และยานพาหนะ V(n) และ T_{RSU_V} คือ ช่วงเวลาที่ RSU Cloud ส่งข้อมูลไปที่ยานพาหนะ V(n) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อ้างอิงมาจากการจำลองสำหรับการวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูลเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทาง และการวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูลเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็ว ผู้วิจัยกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์นี้ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์

คุณลักษณะ (Parameter)	**ค่าที่กำหนด (Value)**
ความเร็ว (Speed)	80 – 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km/hr)
จำนวนโหนด (Number Node)	4 – 20 โหนด (Nodes)
เวลาทดลอง (Simulation time)	30 วินาที (s)
ระยะห่างระหว่างโหนด (Distance)	1,000 – 6,000 เมตร (m)
ยานพาหนะที่ขับสวนมา (Vehicle in the Opposite Direction)	ยานพาหนะ 1 คันต่อวินาที (1 Vehicle/second)
คลื่นความถี่ (Frequency)	5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)
อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum rate)	27 เมกะไบต์ต่อวินาที (Mbps)

3.4 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง SCB และ SCBC

จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองตามสถานการณ์ตัวอย่างทั้ง 2 กรณีเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง SCB และ SCBC ซึ่งมีตัวชี้วัดประเมินประสิทธิภาพ คือ ความล่าช้าในการส่งข้อมูล ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

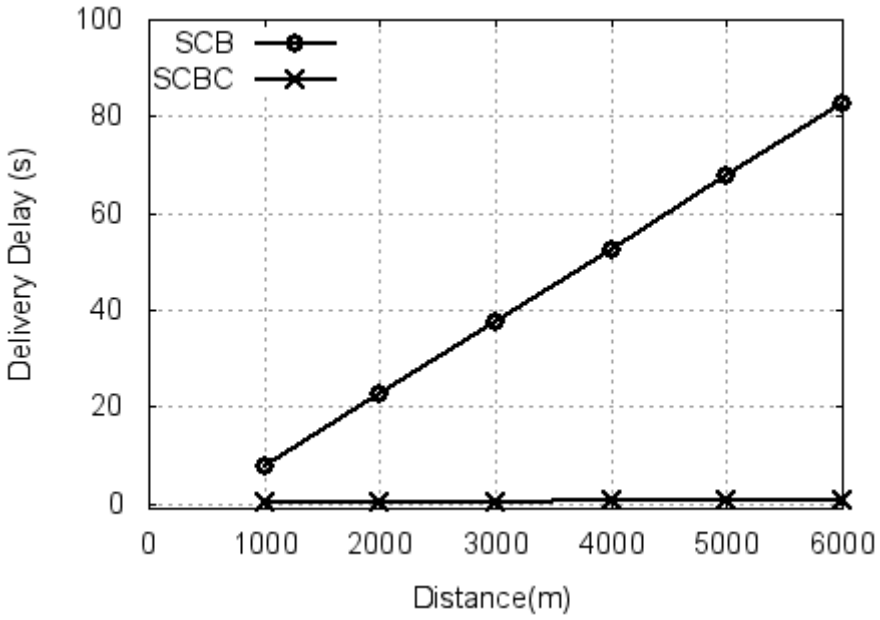
ตารางที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทาง

ระยะทาง(เมตร)	SCB (วินาที)	SCBC (วินาที)
1000	7.51761722	0.126837
2000	22.51761722	0.12666487
3000	37.51761722	0.12678931
4000	52.51761722	0.58266907
5000	67.51761722	0.58133892
6000	82.51761722	0.58123997

โดยตั้งสมมติฐานว่า Processing delay ใน RSU เท่ากับ 0 วินาที

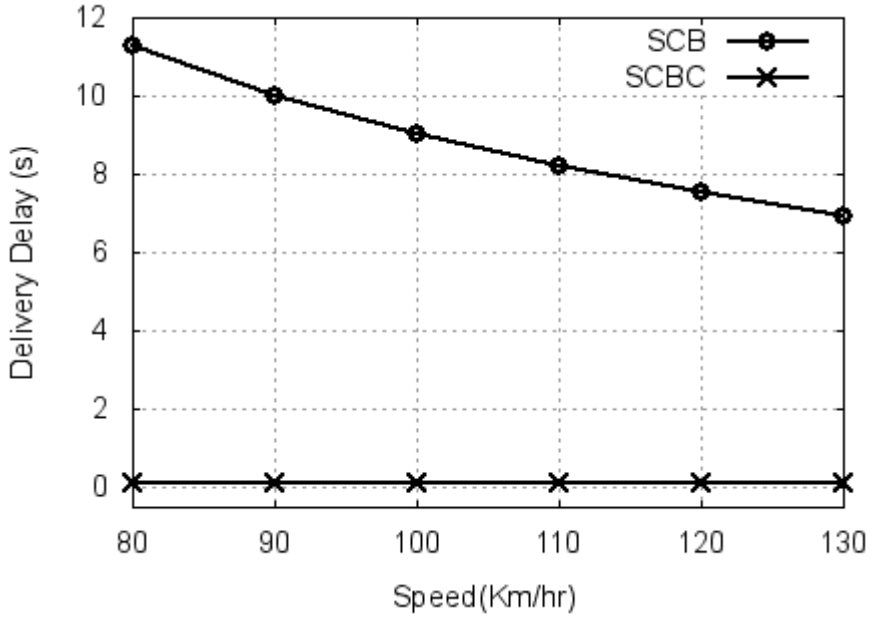
ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว

ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	SCB (วินาที)	SCBC (วินาที)
80	11.26761722	0.126837
90	10.01761722	0.126837
100	9.01761722	0.126837
110	8.199435402	0.126837
120	7.51761722	0.126837
130	6.940694143	0.126837



รูปที่ 3.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะทาง

จากรูปที่ 3.5 เมื่อมีการทดลองเพิ่มระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะปลายทาง โดยมีการกำหนดความเร็วของยานพาหนะไว้ที่ 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าวิธีการ SCB มีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นมากโดยที่ระยะ 1,000 เมตร SCB มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 7.51761722 วินาที ในขณะที่ SCBC มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 0.126837 วินาที และที่ระยะ 6,000 เมตร SCB มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 82.51761722 วินาที ในขณะที่ SCBC มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 0.58123997 วินาที เนื่องจากช่วงเวลาที่ยานพาหนะ W ซึ่งรับฝากข้อมูลจากยานพาหนะ S ไปยังยานพาหนะ D ต้องใช้เวลาในการเดินทางมากขึ้น แต่วิธี SCBC ใช้เวลาในการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud ด้วยเวลาที่น้อยมากโดยระยะทางแทบไม่มีผลต่อ SCBC เลย ซึ่งการทดลองนี้ยังไม่มี Background Traffic เกิดขึ้นภายใน RSU Cloud



รูปที่ 3.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว

จากรูปที่ 3.6 เมื่อมีการทดลองเพิ่มความเร็วให้ยานพาหนะโดยกำหนดระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทางกับยานพาหนะปลายทางไว้ที่ 1 กิโลเมตร พบว่าวิธีการ SCB มีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลลดลง เมื่อความเร็วของยานพาหนะเพิ่มขึ้นโดยที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง SCB มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 11.26761722 วินาที ในขณะที่ SCBC มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 0.126837 วินาที และที่ความเร็ว 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง SCB มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 6.940694 วินาที ในขณะที่ SCBC มีความล่าช้าในการส่งข้อมูล 0.126837 วินาที เนื่องจากในช่วงที่ยานพาหนะ W รับฝากข้อมูลจากยานพาหนะ S ไปยังยานพาหนะ D ใช้เวลาในการเดินทางน้อยลง ในขณะที่วิธี SCBC ความล่าช้าคงที่ เพราะ SCBC ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะ

3.5 วิเคราะห์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงเทคนิค SCB โดยนำ RSU Cloud มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ SCB จากข้อจำกัดของ SCB ที่เกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะต้นทางต้องการส่งข้อมูลในช่วงที่ไม่มียานพาหนะวิ่งสวนมา ทำให้มีความล่าช้าในการส่งข้อมูลทำให้ส่งข้อมูลด้านความปลอดภัยไม่ทันท่วงทีในขณะที่ SCBC เพิ่มทางเลือกในการกระจายข้อมูลโดยยานพาหนะสามารถเลือกที่จะส่งต่อข้อมูลผ่าน RSU Cloud ไปยังยานพาหนะปลายทางได้ วิธีนี้ช่วยเพิ่มโอกาสในการส่งข้อมูล และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว จากการทดลองด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม NS-3 พบว่าวิธี SCBC ให้ผลลัพธ์ในแง่ของความล่าช้าในการส่งข้อมูลต่ำกว่าวิธี SCB เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความเร็วของยานพาหนะ หรือเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทาง

งานวิจัยต่อไปจะพัฒนาวิธีการกระจายข้อมูลเพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลสาระความบันเทิง

บทที่ 4

วิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงด้วยการประยุกต์ใช้ RSU Cloud

ในบทนี้ได้เสนออัลกอริทึมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลสาระความบันเทิง โดยการใช้ RSU Cloud สำหรับเครือข่ายยานพาหนะและมีการออกแบบข้อความที่ใช้ส่งระหว่างระบบโครงสร้างพื้นฐาน และยานพาหนะ เพื่อช่วยสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้ คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล และอัตราส่งข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะปลายทาง

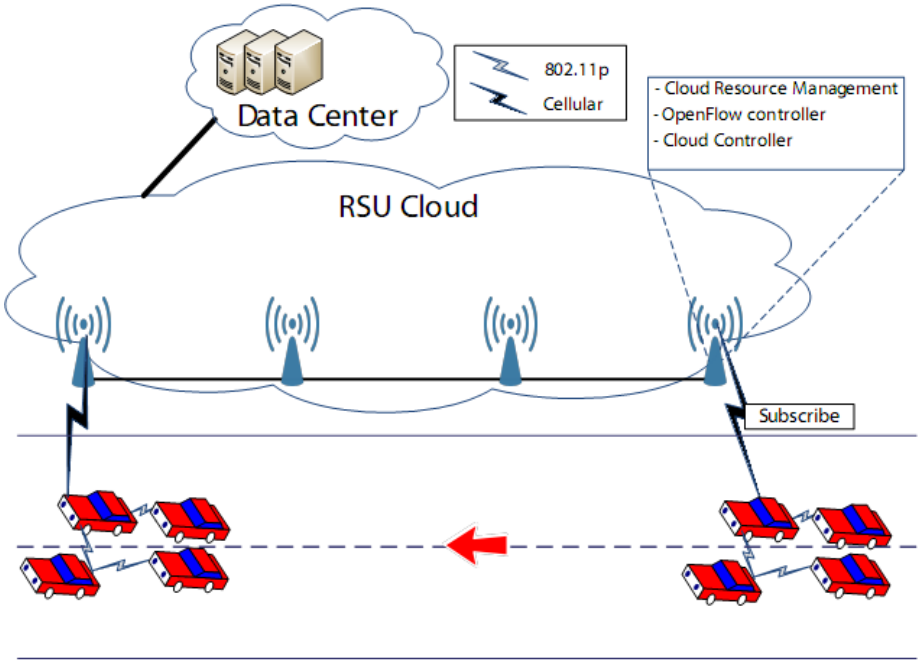
4.1 ความเป็นมา

ในอนาคตเครือข่ายยานพาหนะต้องการเทคนิคการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการกระจายข้อมูลกันระหว่างยานพาหนะ แม้ว่ามีโปรโตคอลค้นหาเส้นทางที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายไร้สาย เช่น DSDV (Perkins, *et al.,* 1994) DSR (Anwer, *et al.,* 2014) AODV (Perkins, *et al.,* 2003) แต่ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ เนื่องจากยานพาหนะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อของยานพาหนะ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าของการรับส่งข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูล ภาพอุบัติเหตุจากกล้องหน้ารถของยานพาหนะ หากยานพาหนะต้นทางที่เป็นผู้กระจายข้อมูลไม่ได้อยู่ในระยะการส่งข้อมูลมีผลให้ยานพาหนะคันอื่น ที่ต้องการข้อมูลดังกล่าวในขณะนั้น จำเป็นต้องรอจนกว่ายานพาหนะต้นทางจะอยู่ในระยะที่สามารถกระจายข้อมูลไปยังยานพาหนะที่ต้องการข้อมูลได้ หรือกรณีที่ยานพาหนะต้นทางใช้วิธีการกระจายข้อมูลผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทาง หากยานพาหนะปลายทางไม่ได้อยู่ในระยะให้บริการของเสารับส่งสัญญาณข้างทางก็จำเป็นต้องรอจนกว่ายานพาหนะปลายทางเข้าสู่ระยะให้บริการของเสารับส่งสัญญาณข้างทาง เนื่องจากยังไม่มีบริการสำหรับสอบถามข้อมูลที่ต้องการ อีกทั้งการส่งต่อข้อมูลผ่าน RSU หลายตัว ในกรณีที่ระยะทางระหว่างยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะปลายทางอยู่ไกลกันทำให้เกิดความล่าช้าในการกระจายข้อมูล เนื่องจากการส่งข้อมูลจะต้องส่งผ่าน RSU หลายตัว และ RSU ที่อยู่ระหว่างทางจะต้องมีหน้าที่ให้บริการแก่ยานพาหนะจำนวนมากส่งผลให้เกิดความล่าช้า เมื่อส่งผ่าน RSU เหล่านี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคนิคเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล

4.2 งานวิจัยที่นำเสนอ

4.2.1 สถาปัตยกรรมระบบ (System Architecture)

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายสถาปัตยกรรมของระบบซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลผ่านทาง RSU Cloud ที่ได้อธิบายแนวคิดที่ใช้ในหัวข้อที่ 2.2.3 โดยยานพาหนะจะใช้โปรโตคอล HTTP ในการสื่อสารกับ RSU Cloud เพื่อเรียกใช้บริการ



รูปที่ 4.1 รูปแบบของ RSU Cloud

จากรูปที่ 4.1 เป็นวิธีการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud โดยยานพาหนะจะมีการสื่อสารระหว่างกันและการรับส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud ยานพาหนะจะเลือกใช้วิธีการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud ก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ต้องการกระจายไม่สามารถส่งให้ยานพาหนะปลายทางได้โดยตรง เช่น เมื่อยานพาหนะต้นทางต้องการส่งภาพหน้ารถไปให้ยานพาหนะปลายทาง แต่ยานปลายทางยังไม่พร้อมสำหรับการรับข้อมูลเนื่องจากยังไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบ หรือยานพาหนะปลายทางไม่ได้เชื่อมต่อกับ RSU เดียวกัน ยานพาหนะต้นทางจึงฝากข้อมูลไปยัง Data Center ผ่านทาง RSU Cloud ต่อมายานพาหนะปลายทางจะสามารถรับข้อมูลได้หลังจากเชื่อมต่อกับระบบโดย RSU Cloud จะส่งรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) ที่อยู่ใน Data Center ไปให้และหากยานพาหนะปลายทางต้องการรับข้อมูลจะสามารถร้องขอเพื่อรับข้อมูลจาก จาก RSU Cloud ได้ การนำ Data Center มาเก็บ

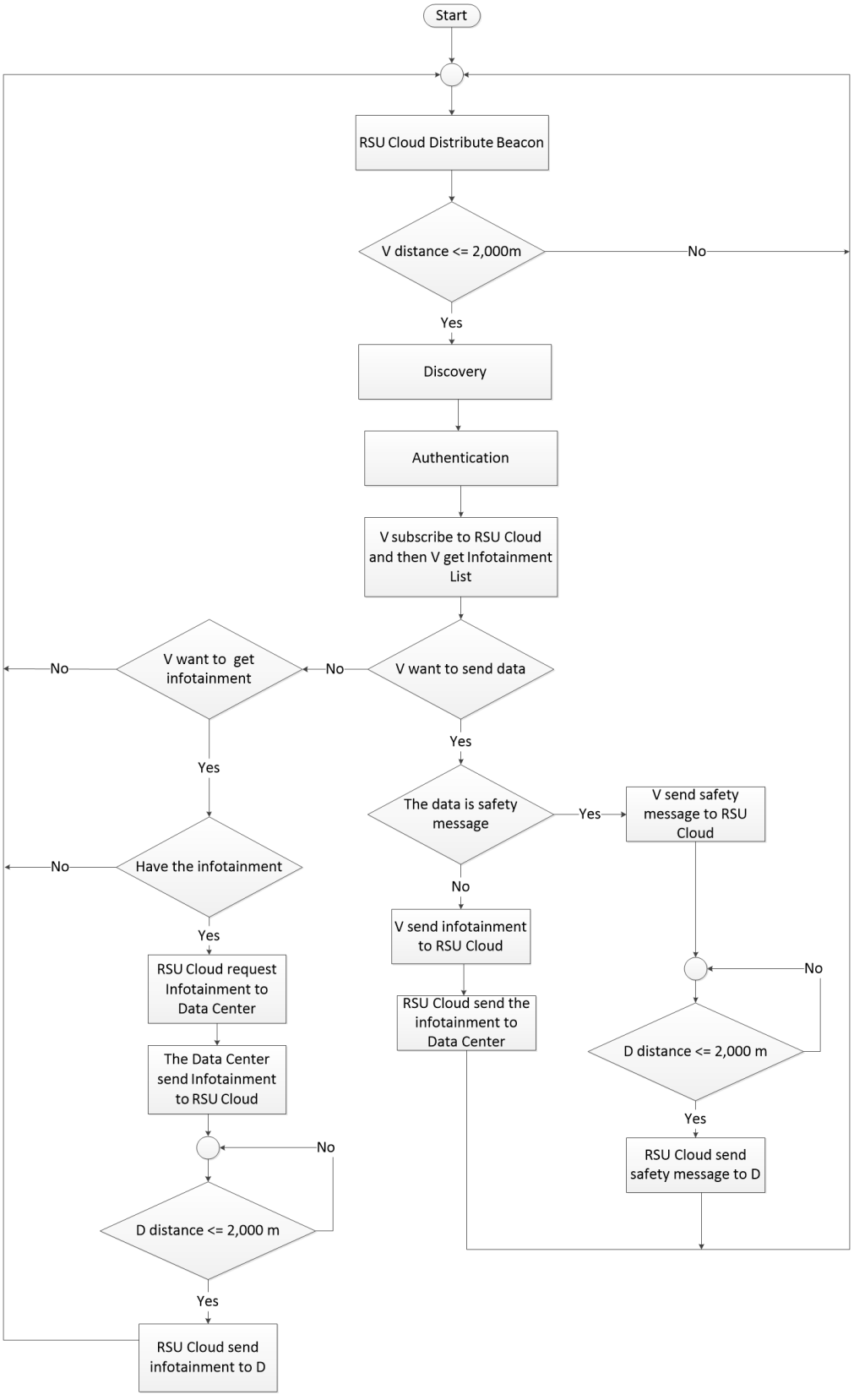
ข้อมูลสำหรับ RSU Cloud จะช่วยเก็บข้อมูลจำพวก Infotainment ซึ่งต้องการพื้นที่จัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ส่งผลให้เมื่อมีการเรียกข้อมูลเดิมซ้ำจากยานพาหนะปลายทางจะสามารถดึงข้อมูลจาก Data Center ส่งผ่าน RSU Cloud ไปยังยานพาหนะโดยสะดวก ไม่ว่ายานพาหนะจะเชื่อมต่อกับ RSU ตัวใดในระบบ RSU Cloud

การใช้งาน RSU Cloud ทำได้โดยเริ่มต้นยานพาหนะจะต้องสมัครรับบริการ และเมื่อมียานพาหนะใดต้องการกระจายข้อมูลไปยังยานพาหนะคันอื่น ๆ จะต้องส่ง Request และข้อมูลไปที่ RSU Cloud จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บที่ Storage ของ Data Center เพื่อให้ RSU ที่อยู่ในกลุ่มของ RSU Cloud สามารถนำข้อมูลไปกระจายให้ยานพาหนะที่สมัครรับข้อมูลดังกล่าว

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการกระจายข้อมูลโดยใช้ RSU Cloud โดยเริ่มต้นเมื่อมีการส่งข้อมูลทั้งข้อมูลสาระบันเทิงหรือข้อมูลด้านความปลอดภัยมาที่ RSU Cloud จะมีกระบวนการตัดสินใจดังอัลกอริทึม แสดงดังรูปที่ 4.2

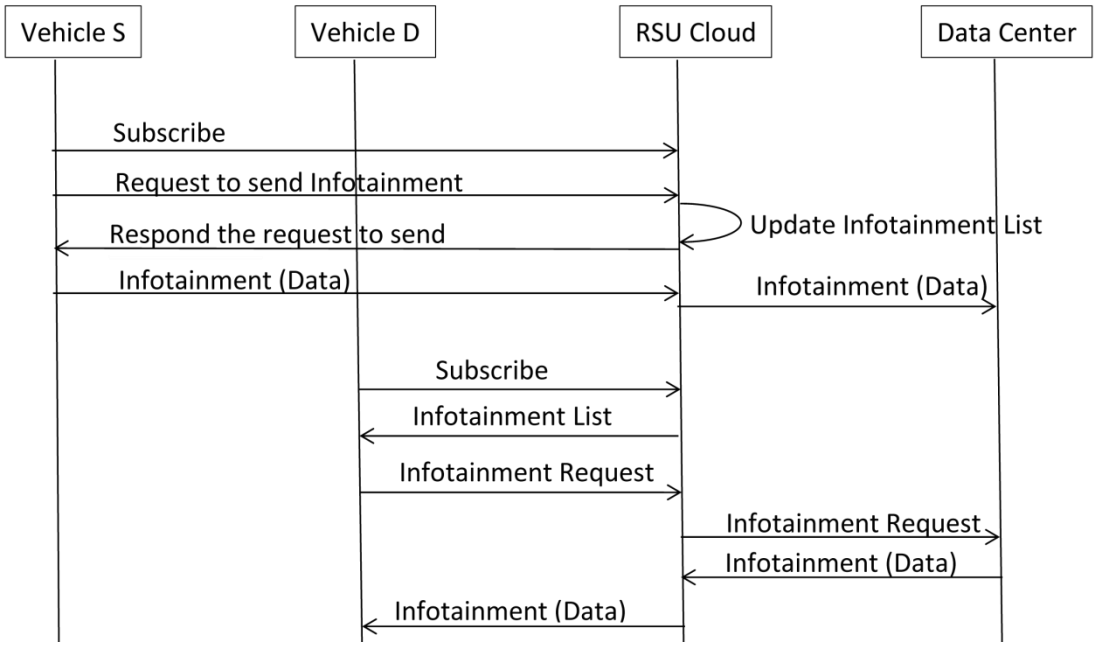
4.2.2 Algorithm แสดงภาพรวมของระบบ

อธิบายขั้นตอนการกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud โดยเริ่มจาก RSU Cloud แสดงดังรูปที่ 4.2 จะมีการเผยแพร่ (Broadcast) ข้อความ Beacon เพื่อให้ยานพาหนะที่อยู่ในรัศมีสามารถรับรู้ข้อมูลที่จำเป็นได้ ระยะไกลสุดที่ส่งข้อมูล คือ 2,000 เมตร (Palma and Vegni, 2013) หากยานพาหนะอยู่ในระยะที่กำหนดจะสามารถเข้าสู่ขั้นตอนการค้นหายานพาหนะ แล้วจึงทำการยืนยันตัวตน (Authentication) เพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ จากนั้นยานพาหนะจะต้องสมัครรับบริการจึงจะสามารถเข้าถึงข้อมูลสาระบันเทิงและข้อมูลด้านความปลอดภัยผ่าน RSU Cloud ได้ ในกรณีที่ยานพาหนะต้องการส่งข้อมูล ยานพาหนะจะทำการกระจายข้อมูลของตัวเองไปยัง RSU Cloud ซึ่งหากข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลด้านความปลอดภัย ข้อมูลจะถูกกระจายผ่าน RSU Cloud ไปยังยานพาหนะปลายทางที่ได้สมัครรับบริการไว้แล้วทันที แต่หากเป็นข้อมูลสาระบันเทิงข้อมูลจะถูกส่งไปที่ Data Center เพื่อรอการกระจายให้ยานพาหนะที่ร้องขอข้อมูลเหล่านั้น และในกรณีที่ยานพาหนะต้องการรับข้อมูลสาระบันเทิง ยานพาหนะจะต้องตรวจสอบว่ามีข้อมูลที่ต้องการในรายการข้อมูลสาระบันเทิงหรือไม่ หากมียานพาหนะจะส่งคำร้องไปที่ RSU Cloud จากนั้นจะขอข้อมูลจาก Data Center แล้วจึงส่งข้อมูลกลับมาให้ยานพาหนะที่ร้องขอข้อมูลผ่าน RSU Cloud แต่ถ้าเป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยยานพาหนะจะสามารถรับได้ในทันทีเมื่ออยู่ในระยะให้บริการของ RSU Cloud



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนวิธีการทำงานของ Algorithm ในภาพรวม

4.2.3 Sequence Diagram



รูปที่ 4.3 Sequence Diagram ระหว่าง Vehicle, RSU Cloud และ Data Center

จากรูปที่ 4.3 เป็น Sequence Diagram แสดงขั้นตอนการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงผ่าน RSU Cloud โดย Vehicle S เป็นเซตของยานพาหนะที่ต้องการส่งข้อมูลสาระบันเทิง และ Vehicle D เป็นเซตของยานพาหนะที่ต้องการรับข้อมูลสาระบันเทิง โดยเริ่มจาก Vehicle S ทำการสมัครขอรับบริการไปที่ RSU Cloud จากนั้น Vehicle S จะส่งการร้องขอไปที่ RSU Cloud ว่าต้องการที่จะส่งข้อมูลสาระบันเทิง เช่น VDO แล้ว RSU Cloud จะทำการปรับปรุงรายการข้อมูลสาระบันเทิงและตอบกลับคำร้องขอไปให้ Vehicle S เมื่อ Vehicle S ได้รับการตอบกลับจึงส่งข้อมูลสาระบันเทิงไปที่ RSU Cloud โดย RSU Cloud จะทำการส่งต่อข้อมูลสาระบันเทิงไปเก็บไว้ที่ Data Center ในกรณีของ Vehicle D จะทำการสมัครรับข้อมูล จากนั้นเมื่อได้รับรายการข้อมูลสาระบันเทิงจาก RSU Cloud แล้วจึงทำการส่งคำร้องขอรับข้อมูลสาระบันเทิงที่ต้องการไปที่ RSU Cloud จากนั้น RSU Cloud จะทำการร้องขอข้อมูลไปที่ Data Center เพื่อที่จะส่งข้อมูลสาระบันเทิงให้กับ Vehicle D

ข้อดีของ RSU Cloud คือ กระบวนการสมัครรับบริการจะทำเพียงครั้งเดียว โดยสมัครกับ RSU ตัวใดก็ได้ในระบบ โดยกระบวนการรับสมัครจะใช้เวลาสั้นมาก

4.2.4 Message Types

ในกระบวนการทำงานของยานพาหนะเมื่อต้องการขอสมัครใช้บริการใด ๆ หรือยกเลิกการใช้บริการ จะใช้การส่งข้อความไปที่ RSU Cloud โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบรูปแบบของข้อความต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับการทำงานกับโปรโตคอล HTTP สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Rest API และ SOAP ไว้ดังนี้

1) Subscribe Message เป็นข้อความที่จะถูกใช้เมื่อยานพาหนะต้องการที่จะสมัครเข้าเป็นสมาชิกเพื่อรับบริการ

```
<Subscribe>
   <car_license></car_license>
   <subscribed_type></subscribed_type>
   <latitude></latitude>
   <longitude></longitude>
   <speed></speed>
   <direction></direction>
   <time_stamp></time_stamp>
</Subscribe>
```

รูปที่ 4.4 Subscribe Message

โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่สำคัญดังนี้

car_license	คือ	ID ของยานพาหนะที่ร้องขอการสมัครรับบริการ
subscribed_type	คือ	ประเภทของการสมัครรับบริการซึ่งกำหนดให้ 0 คือ การขอสมัครรับบริการ และ 1 คือ การขอยกเลิกการรับบริการ
latitude	คือ	ละติจูดของยานพาหนะที่ส่งคำร้องขอการสมัครรับบริการ
longitude	คือ	ลองจิจูดของยานพาหนะที่ส่งคำร้องขอการสมัครรับบริการ
speed	คือ	ความเร็วของยานพาหนะที่ส่งคำร้องขอการสมัครรับบริการ
direction	คือ	ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ส่งคำร้องขอการสมัครรับบริการ
time_stamp	คือ	เวลาปัจจุบัน

2) Request Message เป็นข้อความที่จะถูกใช้เมื่อยานพาหนะต้องการที่จะรับหรือส่งข้อมูล

```
<Subscribe>
   <car_license></car_license>
   <subscribed_type></subscribed_type>
   <latitude></latitude>
   <longitude></longitude>
   <speed></speed>
   <direction></direction>
   <time_stamp></time_stamp>
</Subscribe>
```

รูปที่ 4.5 Request Message

โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่สำคัญดังนี้

request_type	คือ	ประเภทของการรับส่งข้อมูล ซึ่งกำหนดให้ 0 คือ การขอรับข้อมูล และ 1 คือ การขอส่งข้อมูล
data_type	คือ	ประเภทของข้อมูลซึ่งกำหนดให้ 0 คือ ข้อมูลสาระบันเทิง และ 1 คือ Safety Message
data_topic	คือ	ชื่อของข้อมูล
to_car_license	คือ	ID ของยานพาหนะที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล
safety_message	คือ	ข้อความด้านความปรอดภัยในกรณีที่ยานพาหนะส่งข้อมูลประเภท Safety Message

3) Update Status Message เมื่อยานพาหนะที่เป็นสมาชิกเคลื่อนที่ผ่าน RSU ในระบบก็จะทำการอัพเดตสถานะปัจจุบันของตัวเองกับ RSU Cloud โดยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีการรายงานสถานะทุก ๆ วินาที (กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

```
<Update_status>
   <car_license></car_license>
   <data_topic></data_topic>
   <data_progress></data_ progress>
   <latitude></latitude>
   <longitude></longitude>
   <speed></speed>
   <direction></direction>
   <time_stamp></time_stamp>
</Update_status>
```

รูปที่ 4.6 Update Status Message

โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่สำคัญดังนี้

data_progress คือ จำนวนของการรับส่งข้อมูลที่ทำสำเร็จไปแล้ว

4) Get Infotainment List Message เป็นข้อความที่จะถูกใช้เมื่อยานพาหนะต้องการรายการข้อมูลสาระบันเทิงที่มียานพาหนะคันอื่นฝากไว้

```
<Get_infotainment_list>
   <car_license></car_license>
</Get_infotainment_list>
```

รูปที่ 4.7 Get Infotainment List Message

5) Infotainment List Message เป็นข้อความที่จะใช้อธิบายรายการของข้อมูลสาระบันเทิง

```
<infotainment_list>
   <data_topic></data_topic>
   <car_license></car_license>
   <data_size></data_size>
   <time_stamp></time_stamp>
   <popularity></popularity>
   <latitude></latitude>
   <longitude></longitude>
   <to_car_license></to_car_license>
</infotainment_list>
```

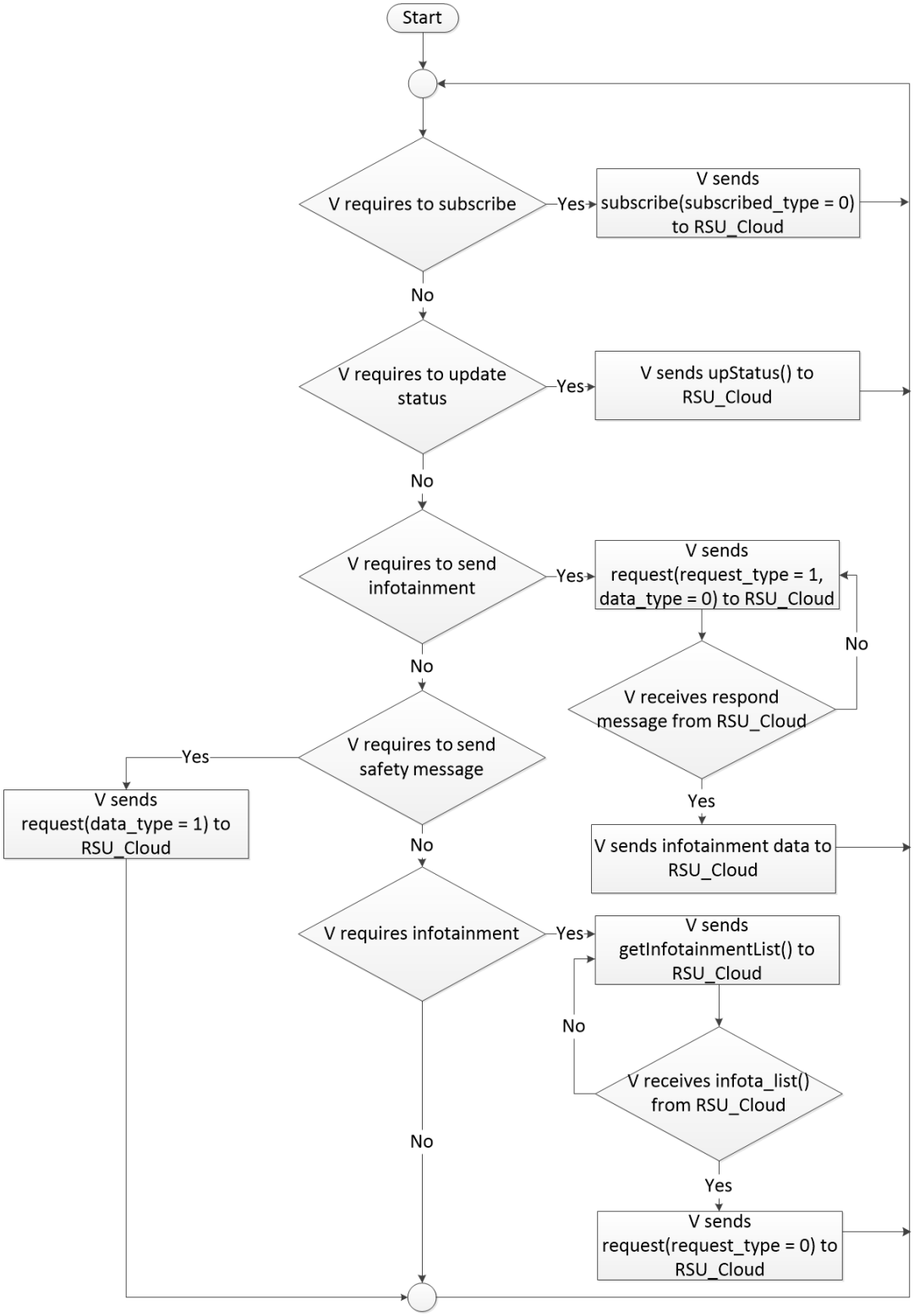
รูปที่ 4.8 Infotainment List Message

โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่สำคัญดังนี้

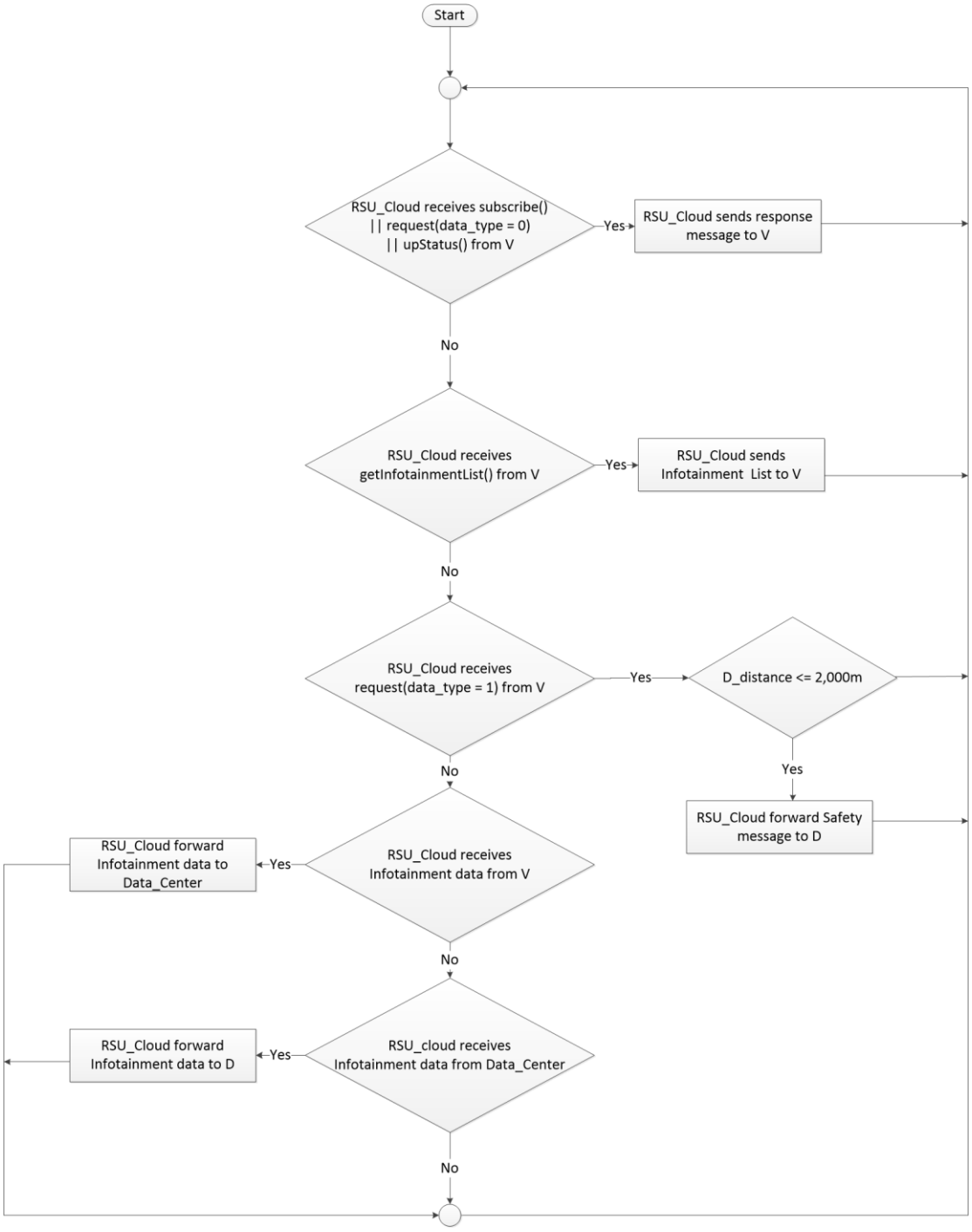
data_size	คือ	ขนาดของข้อมูลสาระบันเทิง
popularity	คือ	จำนวนครั้งที่มีการเข้าถึงข้อมูลสาระบันเทิง

4.2.5 Algorithm

กระบวนการทำงานของการรับส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะและ RSU Cloud แสดงดังรูปที่ 4.9 โดยผู้วิจัยกำหนดให้ยานพาหนะเป็นเซตของ V = {S, D} ยานพาหนะต้นทางเป็นเซตของ S = {S(1), S(2), S(3), ... S(n)} และยานพาหนะปลายทางเป็นเซตของ D = {D(1), D(2), D(3), ... D(n)} โดยเริ่มจากยานพาหนะมีการติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณและได้รับข้อความ Beacon จาก RSU Cloud เพื่อเริ่มการใช้งานยานพาหนะจะต้องตรวจสอบว่าได้มีการสมัครรับบริการเข้าเป็นสมาชิกกับ RSU Cloud แล้วหรือไม่ หากยังไม่ได้เข้าเป็นสมาชิกจะต้องเข้าสู่ขั้นตอนการสมัครรับบริการก่อน โดยยานพาหนะจะส่งข้อความ Request เพื่อทำการสมัครรับบริการ จากนั้น RSU Cloud จะตอบรับด้วยข้อความยืนยันการสมัครรับบริการเพื่อยืนยันการเสร็จสิ้นกระบวนการสมัครรับบริการ และส่งรายการข้อมูลสาระบันเทิงสำหรับยานพหานะที่มีข้อมูลฝากถึง แต่ถ้าหากยานพาหนะได้มีการสมัครรับบริการเรียบร้อยแล้วระบบจะเข้าสู่กระบวนการส่งข้อมูลสถานะของสถานที่ ความเร็ว และเส้นทางของยานพาหนะไปให้ RSU Cloud เพื่อประมวลผลในการรับส่งข้อมูลได้ จากนั้นยานพาหนะจะเลือกการทำงานว่าต้องการที่จะรับและส่งข้อมูลสาระบันเทิงหรือต้องการส่งข้อมูลด้านความปลอดภัย จากนั้นส่งคำร้องไปที่ RSU Cloud เพื่อดำเนินการในกระบวนการของ RSU Cloud ต่อไป



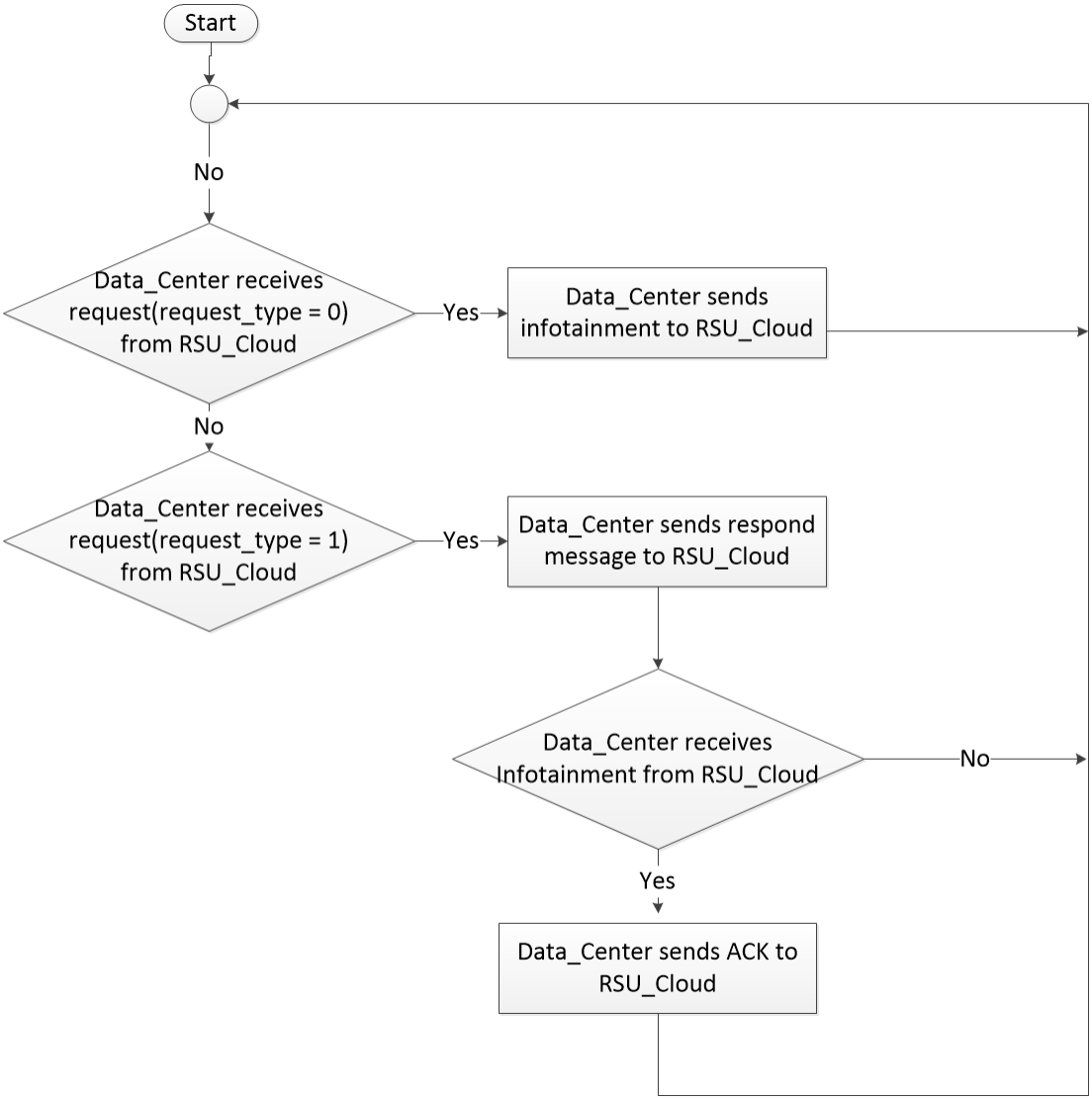
รูปที่ 4.9 Algorithm 1 : Vehicles



รูปที่ 4.10 Algorithm 2 : RSU Cloud

จากรูปที่ 4.10 อธิบายกระบวนการทำงานการรับส่งข้อมูลของ RSU Cloud โดยเริ่มจาก RSU Cloud ทำการกระจายสัญญาณข้อความ Beacon ออกไปเพื่อให้ยานพาหนะที่ติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณที่อยู่ในรัศมี 2,000 เมตร เมื่อยานพาหนะรับรู้และต้องการรับส่งข้อมูล RSU Cloud จะได้รับการตอบกลับจากยานพาหนะดังนี้ คือ กรณีที่ยานพาหนะยังไม่ได้ทำการสมัครรับบริการและต้องการเข้าร่วมเป็นสมาชิกจะทำการส่ง Request เข้ามาเมื่อ RSU Cloud ได้รับ Request จะส่ง Response กลับไปเพื่อตอบรับการร้องขอยานพาหนะจะยืนยันการสมัครรับบริการและ RSU Cloud จะส่งรายการข้อมูลสาระบันเทิงให้กับยานพาหนะจึงเสร็จสิ้นขั้นตอนการสมัครรับบริการโดยสมบูรณ์

แต่ในกรณีที่ยานพาหนะมีการสมัครรับบริการไว้แล้วต้องการรับส่งข้อมูลสาระบันเทิงหรือส่งข้อมูลด้านความปลอดภัยมาให้ RSU Cloud จะต้องทำการส่งข้อมูลสถานะของสถานที่ ความเร็วและเส้นทางของยานพาหนะเพื่อ RSU Cloud จะรับรู้และประมวลผลการรับส่งข้อมูลกับยานพาหนะได้ จากนั้นยานพาหนะจะส่งคำร้องขอที่จะรับส่งข้อมูลสาระบันเทิงหรือส่งข้อมูลด้านความปลอดภัยมาที่ RSU Cloud จากนั้น RSU Cloud จะทำการตอบรับคำร้องขอกลับไปที่ยานพาหนะและดำเนินการตามกระบวนการในแต่ละการร้องขอ หากยานพาหนะต้องการส่งข้อมูลสาระบันเทิงมาให้ RSU Cloud กรณีที่ RSU Cloud ได้รับการร้องขอส่งข้อมูลสาระบันเทิงจากยานพาหนะ RSU Cloud จะตอบรับการร้องขอกลับไปที่ยานพาหนะและรอรับข้อมูลจากยานพาหนะ จากนั้นจึงส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ Data Center หากยานพาหนะต้องการรับข้อมูลข้อมูลสาระบันเทิงจาก RSU Cloud ระบบ RSU Cloud เมื่อได้รับคำร้อง ก็จะทำการร้องขอข้อมูลจาก Data Center พร้อมทั้งส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะ และหากยานพาหนะต้องการส่งข้อมูลด้านความปลอดภัยให้ยานพาหนะปลายทางเมื่อ RSU Cloud รับข้อมูลแล้ว RSU Cloud จะตรวจสอบยานพาหนะปลายทางที่อยู่ในระยะรับส่งเพื่อกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัย



รูปที่ 4.11 Algorithm 3 : Data Center

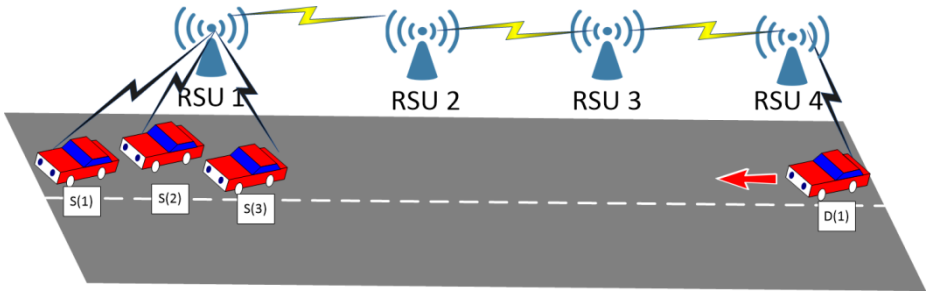
จากรูปที่ 4.11 อธิบายกระบวนการทำงานของ Data Center โดย Data Center จะมีหน้าที่เก็บข้อมูลสาระบันเทิงที่ได้รับมาจากยานพาหนะผ่านทาง RSU Cloud โดยที่ RSU Cloud จะตรวจสอบ และตอบรับการร้องขอจากยานพาหนะก่อนจะทำการส่งข้อมูลมาให้ Data Center และเมื่อ Data Center ได้รับการร้องขอข้อมูลสาระบันเทิงจาก RSU Cloud แล้วจึงตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการส่งข้อมูลให้ RSU Cloud เพื่อส่งต่อไปยังยานพาหนะที่ทำการร้องขอ

4.3 วิธีการทดลอง

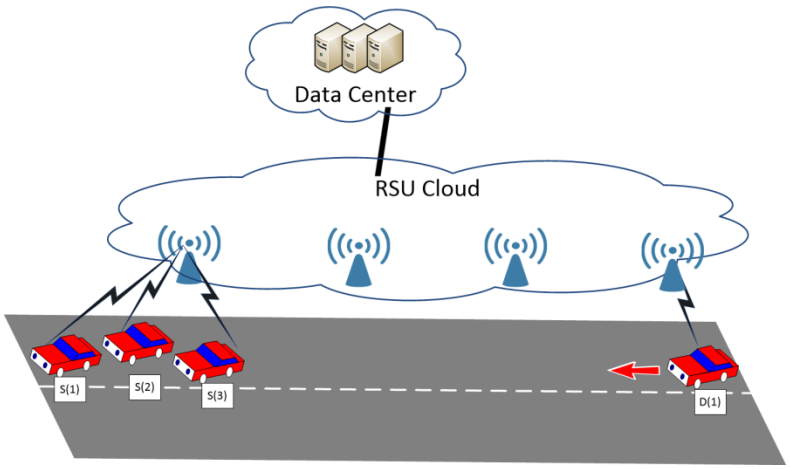
ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวการทดลอง 3 ส่วน ประกอบด้วยสถานการณ์ (Scenario) ที่ใช้ในการทดลอง คุณลักษณะ (Parameter) ที่สำคัญในการทดลอง สมการที่ใช้ในการคำนวณความล่าช้าและอัตราส่งข้อมูล

4.3.1 Scenario

จากรูปที่ 4.12 เป็นตัวอย่างสถานการณ์การส่งข้อมูลผ่าน RSU แบบเดิม มีการกระจายข้อมูลแบบส่งต่อข้อมูลกันโดยเมื่อ D(1) ต้องการข้อมูล เช่น ภาพจากกล้องหน้ารถจากยานพาหนะ S(1) S(2) หรือ S(3) จะต้องร้องขอไปที่ RSU ที่ใกล้ที่สุดแล้ว RSU จึงส่งต่อคำร้องขอไปยัง RSU ที่ใกล้เคียงจนกว่าจะพบยานพาหนะต้นทางที่เป็นเจ้าของข้อมูลเมื่อยานพาหนะดังกล่าวตอบรับการร้องขอข้อมูลจะถูกส่งข้อมูลไปยัง RSU เพื่อส่งให้กับปลายทางตามเส้นทางเดิม



รูปที่ 4.12 ตัวอย่าง Scenario การกระจายข้อมูลใน RSU ปกติ



รูปที่ 4.13 ตัวอย่าง Scenario การกระจายข้อมูลด้วย RSU Cloud

จากรูปที่ 4.13 อธิบายได้ว่า RSU Cloud กำหนดให้ยานพาหนะต้นทางเป็นเซตของ S = {S(1), S(2), S(3)} และกำหนดให้ยานพาหนะปลายทางเป็นเซตของ D = {D(1)} ยานพาหนะ S(1), S(2), S(3) ได้ทำการสมัครสมาชิกเพื่อที่จะเข้าร่วมเป็นสมาชิกกับ RSU Cloud และสามารถกระจายข้อมูลกล้องหน้ารถจากกลุ่มยานพาหนะ S ที่อยู่ในจุดเดียวกันและแต่ละคันจะส่งต่อข้อมูลจากกล้องหน้ารถของตัวเองไปยัง RSU Cloud ในกรณีที่ยานพาหนะ D (1) ซึ่งเป็นยานพาหนะปลายทางที่ต้องการรับข้อมูลภาพจากกล้องหน้ารถของยานพหานะ S (1), S (2), S (3) ยานพาหนะ D (1) จะสมัครสมาชิกเข้ามาเป็นสมาชิกกับ RSU Cloud จากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบรายการข้อมูลสาระบันเทิงว่ามีข้อมูลที่ต้องการหรือไม่ แล้วจึงทำการส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะ D(1) ซึ่งจะสามารถรับข้อมูลจาก RSU ตัวไหนก็ได้ที่อยู่ใน RSU Cloud

4.3.2 Parameters เป็นการจะอธิบายถึงคุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์

คุณลักษณะ (Parameter)	**ค่าที่กำหนด (Value)**
จำนวน Seed	1 - 20 Seeds
จำนวนโหนด (Number Node)	4 – 20 โหนด (Nodes)
เวลาทดลอง (Simulation time)	30 วินาที (s)
คลื่นความถี่ (Frequency)	5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)
ปริมาณการรับ-ส่งข้อมูล (Bandwidth)	10 เมกะบิตต่อวินาที
ความเร็ว (Speed)	100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km/h)
Traffic Load	1,000 – 15,000 กิโลบิตต่อวินาที (kb/s)
ขนาดข้อมูล (Data Size)	1024 ไบต์ (Bytes)

4.3.3 การวัดประสิทธิภาพ

จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรม Network Simulation 3 (NS-3) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการใช้ RSU และ RSU Cloud

$$Throughput_D = \frac{\sum_{i=1}^{n} Receive_packet_i}{(StopTime - StartTime)} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) เป็นการคำนวณหาค่าอัตราส่งข้อมูล (Throughput) ที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะปลายทาง D โดยที่ $\sum_{i=1}^{n} Receive_packet_i$ เป็นขนาดรวมของ Package ที่ได้รับทั้งหมดโดยที่ ***n*** คือ จำนวนของ Package ทั้งหมดที่ส่งเข้ามา ***StartTime*** คือ ช่วงเวลาที่เริ่มการส่งข้อมูล และ ***StopTime*** คือ เวลาสิ้นสุดของการส่งข้อมูล

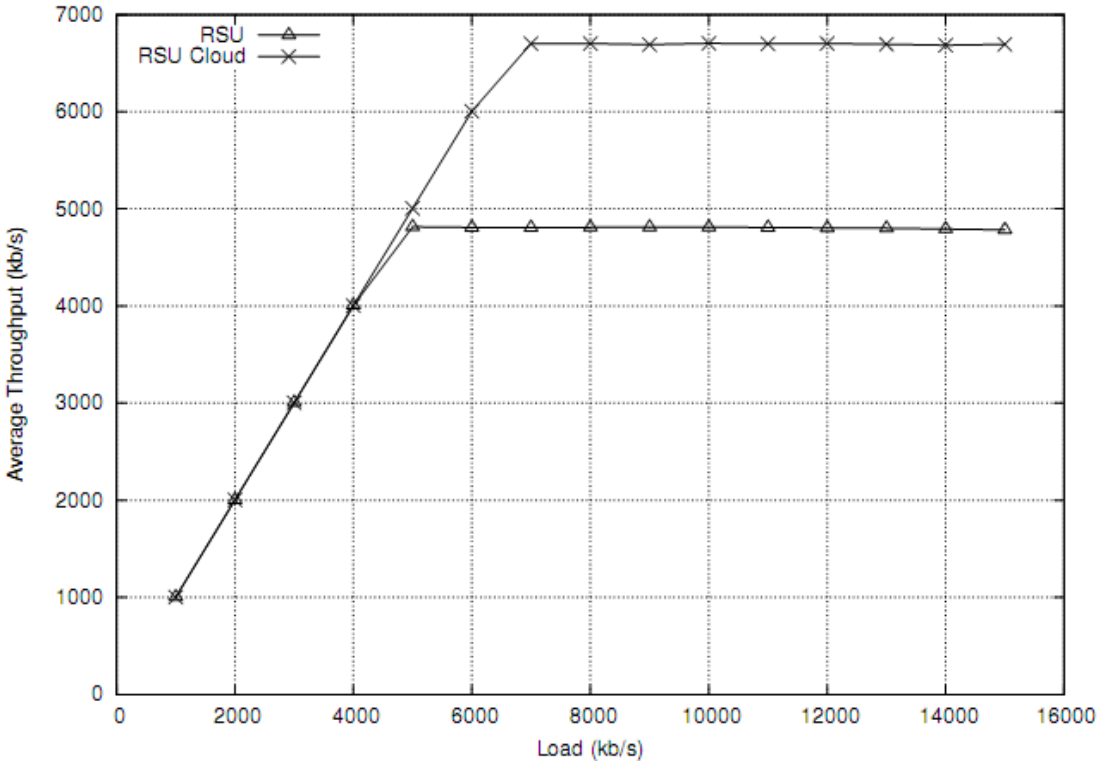
$$T_{RSU} = T_{S_RSU} + \sum_{i=1}^{n} T_{RSU_i} + T_{RSU_D} \qquad (2)$$

T_{RSU} คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่าน RSU สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) T_{S_RSU} คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ S ส่งข้อมูลไปยังเสารับส่งสัญญาณ RSU (1) $\sum_{i=1}^{n} T_{RSU_i}$ คือ ช่วงเวลาที่เสารับส่งสัญญาณส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยที่ ***n*** คือ จำนวนของเสารับส่งสัญญาณที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ S และยานพาหนะ T_{RSU_D} คือ ช่วงเวลาที่เสารับส่งสัญญาณ RSU(n) ส่งข้อมูลไปที่ยานพาหนะ D

$$T_{RSU_Cloud} = T_{Subscribe} + T_{S_RSU} + T_{RSU_DataCenter} + T_{RSU_D} \qquad (3)$$

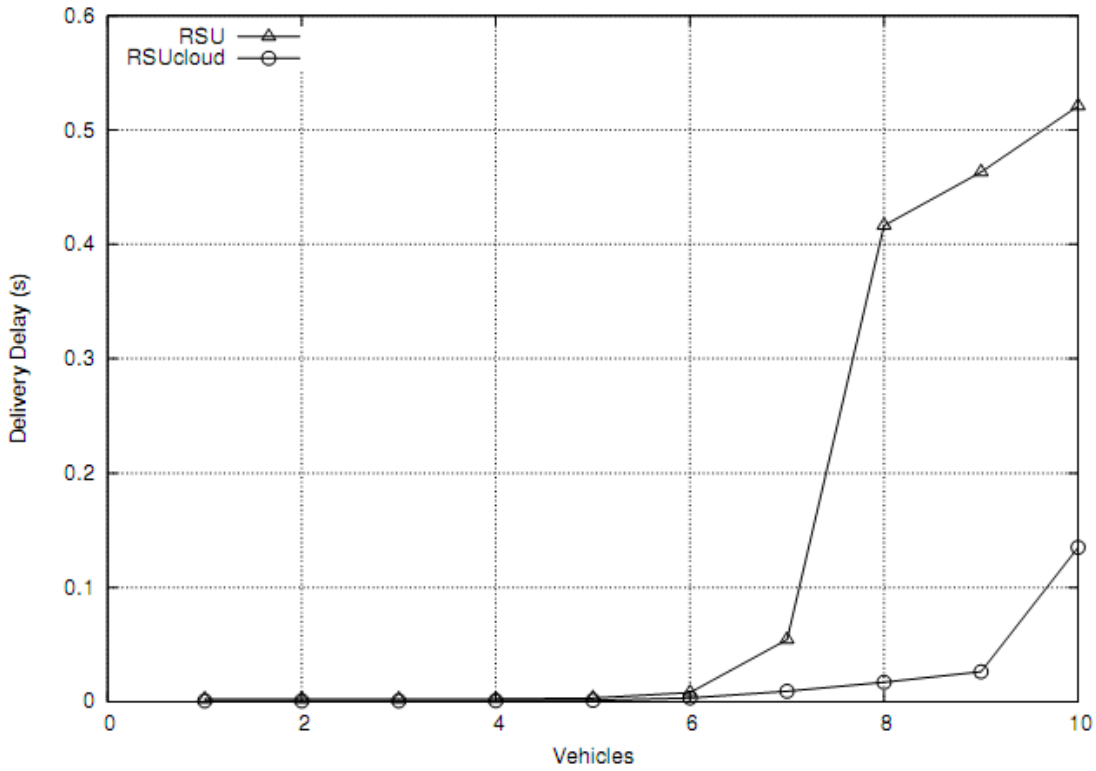
T_{RSU_Cloud} คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่าน RSU Cloud ที่นำเสนอซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) โดย $T_{Subscribe}$ คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ D สมัครรับบริการจาก RSU Cloud และ $T_{RSU_DataCenter}$ คือ ช่วงเวลาที่ RSU Cloud ส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ Data Center

4.4 วิเคราะห์และสรุปผล



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่งข้อมูล (Throughput) เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load ในระบบ

จากรูปที่ 4.14 เป็นผลการทดลองเมื่อนำ RSU แบบเดิม ซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลแบบส่งต่อจากยานพาหนะต้นทางไปยัง RSU ที่ใกล้ที่สุดและส่งไปยังยานพาหนะที่อยู่ปลายทางนำมาเปรียบเทียบกับ RSU Cloud ซึ่งเป็นการกระจายข้อมูลที่ใช้ Cloud มาช่วย จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวน Traffic Load ของระบบ RSU แบบเดิมจะมีการลดลงของอัตราส่งข้อมูลเมื่อมีการเพิ่มจำนวนTraffic Load อยู่ที่ประมาณ 5,000 กิโลบิตต่อวินาที และจะมีจำนวนอัตราส่งข้อมูล (Throughput) ที่ไม่คงที่เช่นเดียวกันกับ RSU Cloud ที่แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนอัตราส่งข้อมูล (Throughput) ที่ลดลงเช่นกันเมื่อมีจำนวน Traffic Load ที่เพิ่มขึ้นแต่ยังมีประสิทธิภาพมากกว่า RSU แบบเดิม เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load การส่งข้อมูลโดยใช้ RSU Cloud จะเริ่มคงที่ เมื่อจำนวน Traffic Load อยู่ที่ประมาณ 6,700 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากมียานพาหนะจำนวนหลายคันพยายามส่งข้อมูลไปที่ RSU ตัวเดียวกัน



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ Traffic Load ในระบบ

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่รับข้อมูลเพื่อทดสอบค่าความล่าช้าของระบบจากการทดลองเมื่อนำ RSU แบบเดิม มาเปรียบเทียบกับ RSU Cloud พบว่าเมื่อจำนวนยานพาหนะที่รับข้อมูลมีมากกว่า 6 โหนด การส่งข้อมูลด้วย RSU แบบเดิมเกิดค่าความล่าช้าสูงกว่าการส่งผ่าน RSU Cloud และเมื่อเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่รับข้อมูลถึง 10 คัน ค่าความล่าช้าของการส่งผ่าน RSU แบบปกติค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 521 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU Cloud มีค่าความล่าช้าอยู่ที่ประมาณ 135 มิลลิวินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการส่งผ่าน RSU Cloud ให้ผลที่ดีกว่าเมื่อจำนวนยานพาหนะที่ต้องการรับข้อมูลพร้อมกันมีจำนวนมาก

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอรูปแบบของการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลโดยการใช้ RSU Cloud ที่นำความสามารถของ Cloud Computing มาช่วยเพิ่มการทำงานของ RSU แบบเดิมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและยังมี Data Center สำหรับจัดเก็บข้อมูลเอาไว้ส่วนกลางเพื่อง่ายต่อการดึงข้อมูลไปใช้ในอนาคต Data Center รองรับการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก จากการทดลองด้วยโปรแกรม NS-3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการใช้งาน RSU แบบเดิมเข้ากับวิธีการที่นำเสนอพบว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลดีกว่าทั้งในส่วนของอัตราส่งข้อมูลและความล่าช้า เมื่อจำนวนยานพาหนะและ Traffic Load ในระบบเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการจำลองโครงสร้างของ RSU Cloud โดยผู้วิจัยได้กำหนดให้ การสื่อสารระหว่าง RSU ในระบบ RSU Cloud มีความล่าช้าน้อยมากในระบบจำลอง นอกจากนี้การนำสถาปัตยกรรมของ RSU Cloud ไปใช้งานจริง อาจจะมีค่าใช้จ่ายสูง หรือต้องปรับปรุงไปใช้ RSU ที่มีคุณสมบัติรองรับการทำ Micro Data Center การออกแบบบริการในงานวิจัยครั้งนี้ยังพบข้อจำกัดในเรื่องของการทำ Handover และ Security อีกด้วย

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ได้ออกแบบและพัฒนาเว็บเซอร์วิชที่ให้บริการในชั้น SaaS ของผู้ให้บริการคลาวด์แทนการใช้ RSU Cloud สำหรับรองรับการจัดการการกระจายข้อมูลทั้งแบบสาระความบันเทิง และข้อมูลความปลอดภัยสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

บทที่ 5

เว็บเซอร์วิซสำหรับการกระจายข้อมูลสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาเว็บเซอร์วิซที่จะทำงานในชั้น SaaS ของผู้ให้บริการคลาวด์ เพื่อช่วยสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ เว็บเซอร์วิซมีหน้าที่ในการให้บริการแก่ยานพาหนะสำหรับการสมัครเข้ารับบริการ การบริการรายการข้อมูลสาระบันเทิงแก่ยานพาหนะ การให้บริการสำหรับการรับส่งข้อมูล รวมถึงเก็บสถานะของยานพาหนะ ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพในงานวิจัยนี้ คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลและอัตราส่งข้อมูลจากยานพาหนะต้นทางไปยังยานพาหนะปลายทาง

5.1 ความเป็นมา

ภายในเครือข่ายยานพาหนะจะมีข้อมูลที่ต้องกระจาย 2 ประเภท คือ ข้อมูลด้านความปลอดภัย (Safety) เช่น การแจ้งเตือนระวังสิ่งกีดขวางการจราจรเพื่อที่จะลดการเกิดอุบัติเหตุ ลดความแออัดของการจราจร และข้อมูลด้านสาระบันเทิง (Infotainment) เช่น ข้อมูลภาพถ่ายหรือวิดีโอจากกล้องหน้ารถ ในอนาคตจำนวนยานพาหนะที่มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันในท้องถนนจะมีการเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการมาช่วยสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ การคำนวณแบบคลาวด์เป็นเทคนิคที่น่าสนใจสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายยานพาหนะด้วยคุณสมบัติที่สามารถรองรับการขยายตัวของการประมวลผลและพื้นที่จัดเก็บที่เพิ่มมากขึ้น

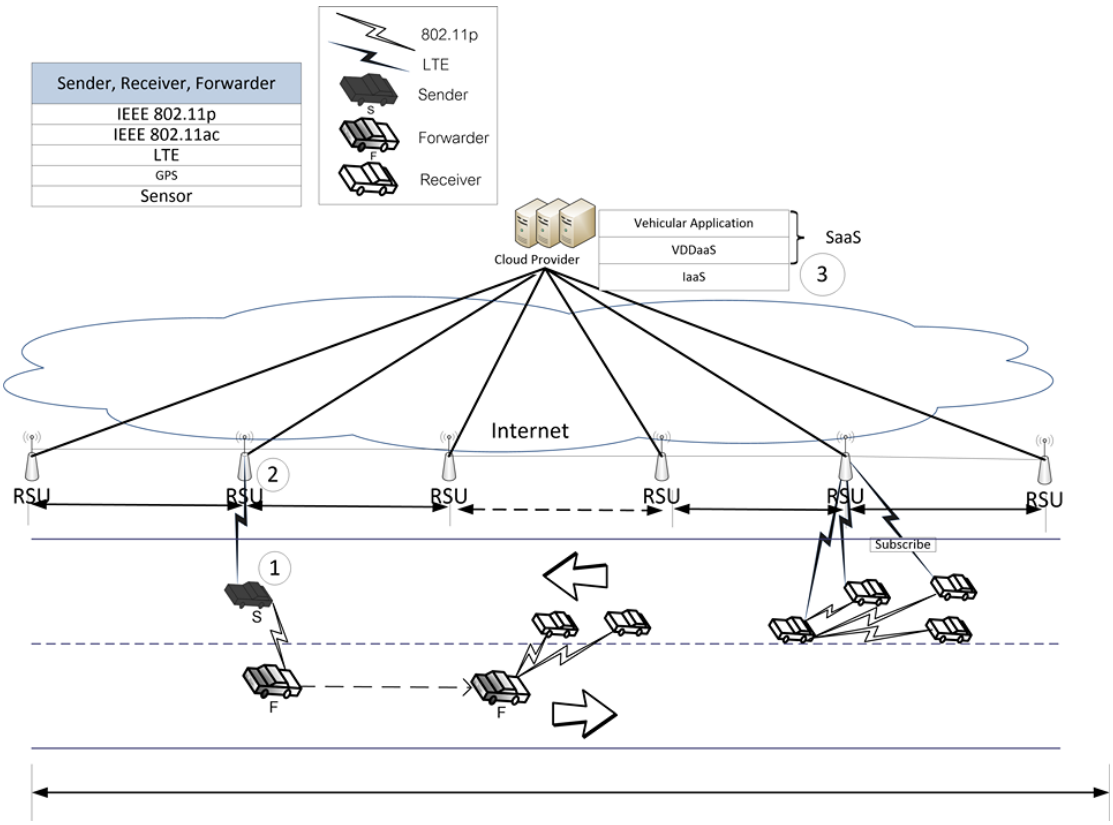
โดยปกติยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อของยานพาหนะตลอดเวลาส่งผลให้เกิดปัญหาในการกระจายข้อมูล ตัวอย่างเช่น การกระจายข้อมูลภาพจากกล้องหน้ารถของยานพาหนะหากยานพาหนะต้นทางหรือยานพาหนะปลายทางไม่ได้อยู่ในระยะการส่งข้อมูล ทำให้การกระจายข้อมูลไม่สำเร็จ ในงานวิจัยนี้ได้สร้างบริการบนคลาวด์ ชื่อ VDDaaS (Vehicular Data Dissemination as a Service) มาเป็นตัวช่วยกระจายข้อมูล โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งจากยานพาหนะไปยัง VDDaaS จากนั้นจะกระจายไปยังยานพาหนะคันอื่นที่เชื่อมต่อกับ RSU โดยยานพาหนะจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อและสมัครรับบริการ ดังนั้นยานพาหนะที่สมัครเข้ารับบริการจะสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกมากขึ้นรองรับข้อมูลทั้งข้อมูลด้านความปลอดภัยและข้อมูลสาระบันเทิง

5.2 งานวิจัยที่นำเสนอ

เครือข่ายยานพาหนะที่ออกแบบให้รองรับการให้บริการสำหรับการกระจายข้อมูลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 สถาปัตยกรรมระบบ (System Architecture)

ในงานวิจัยนี้ใช้แนวคิด VANET using Clouds (VuC) (Hussain, *et al.,* 2012) ที่มีการนำ RSU มาช่วยเชื่อมต่อยานพาหนะไปยังผู้ให้บริการคลาวด์ และใช้รูปแบบการสื่อสารในเครือข่ายยานพาหนะตามแบบวิธี Heterogeneous Vehicular Networking (HetVNET) (Zheng, *et al.,* 2015) ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารที่นำจุดเด่นของการสื่อสารแบบ DSRC และเทคโนโลยี LTE มาช่วยในการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ แสดงดังรูปที่ 5.1 เป็นการแสดงสถาปัตยกรรมของการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะที่เป็นวิธีการส่งข้อมูลผ่าน RSU โดยยานพาหนะจะมีการสื่อสารระหว่างกันด้วยโปรโตคอล 802.11p และการรับส่งข้อมูลกับ RSU ด้วยเทคโนโลยี LTE ซึ่งวิธีนี้จะถูกใช้งานต่อเมื่อยานพาหนะต้องการกระจายข้อมูลไปยังปลายทาง แต่ไม่สามารถกระจายข้อมูลกันโดยตรงได้ เนื่องจากไม่อยู่ในระยะส่งข้อมูลแบบ V2V ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 250 เมตร (Sou and Lee, 2012) งานวิจัยที่นำเสนอจะกำหนดให้มีผู้ให้บริการคลาวด์ (Cloud Provider) ช่วยเก็บข้อมูลและกระจายข้อมูล โดยมีเว็บเซอร์วิซชื่อ VDDaaS (Vehicular Data Dissemination as a Service) มาให้บริการสำหรับการแจ้งรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) ดูแลการสมัครเข้ารับบริการ (Subscribe) บริการการแจ้งสถานะของยานพาหนะ (Update Status) บริการการร้องขอการรับส่งข้อมูล (Request) ให้บริการรับฝากข้อมูลสำหรับเครือข่ายยานพาหนะบริการที่ใช้สำหรับสอบถามว่าที่อยู่ของข้อมูลว่าอยู่ในพาหนะใดและยังทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลชั่วคราว ทำให้เมื่อมีการร้องขอข้อมูลเดิมซ้ำจากยานพาหนะจะสามารถดึงข้อมูลจากผู้ให้บริการคลาวด์ แล้วจึงส่งผ่าน RSU ไปให้ยานพาหนะที่ร้องขอได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงยานพาหนะต้นทางที่มีข้อมูลนั้นว่าอยู่ในระบบหรือไม่ การใช้บริการสามารถทำได้โดยยานพาหนะแต่ละคันที่ต้องการรับข้อมูลจะต้องทำการสมัคร (Subscribe) เพื่อรับรายการข้อมูล (Infotainment List) จากเว็บเซอร์วิซผ่าน RSU ที่ให้บริการ เมื่อมียานพาหนะต้องการกระจายข้อมูลไปยังยานพาหนะอื่นก็จะทำการส่งข้อมูลไปที่ RSU จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บที่ผู้ให้บริการคลาวด์ เพื่อส่งต่อให้ RSU ที่เชื่อมต่อกับยานพาหนะปลายทางที่ร้องขอข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะสามารถนำข้อมูลไปกระจายให้ยานพาหนะที่กำหนดได้



รูปที่ 5.1 สถาปัตยกรรมของการกระจายข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้ RSU

แม้ว่าโดยปกติแล้ว RSU จะสามารถส่งต่อข้อมูลเป็นทอด ๆ ไปยังยานพาหนะปลายทางได้ หรือการใช้เทคนิค RSU Cloud ที่เกิดจากการนำ RSU มาทำงานร่วมกันเพื่อแบ่งปันทรัพยากรแต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องการรองรับการขยายตัวและปัญหาการให้บริการผ่าน RSU ในกรณีที่มีการรับส่งข้อมูลปริมาณมาก ซึ่งผู้ให้บริการคลาวด์จะมีการสนับสนุนในส่วนนี้

5.2.2 Messages Types

เนื่องจากการสื่อสารในงานวิจัยจะใช้การส่งข้อความเพื่อใช้สื่อสารระหว่างยานพาหนะกับ RSU และ VDDaaS ในระบบได้ออกแบบให้มีชนิดของข้อความที่ใช้ไว้ 5 ประเภท ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ชนิดของข้อความ

ประเภทของข้อความ	รายละเอียด	ตัวอย่างการใช้งาน
Subscribe Message	เป็นข้อความที่ยานพาหนะใช้ส่ง เพื่อสมัครเข้ารับบริการหรือยกเลิกการสมัครรับบริการ	เมื่อยานพาหนะต้องการสมัครเข้ารับบริการ ยานพาหนะจะส่งข้อความ Subscribe ไปยัง VDDaaS โดยระบุฟิลด์สำคัญดังนี้ - subscribed_type = 0
Request Message	เป็นข้อความที่ยานพาหนะใช้ส่งเพื่อขอรับข้อมูลหรือขอส่งข้อมูล	ยานพาหนะต้องการส่งข้อมูลสาระบันเทิงชื่อให้กับยานพาหนะที่มีป้ายทะเบียนเลขที่ ‘AB-8841’ ยานพาหนะจะส่งข้อความ Request ไปยัง VDDaaS โดยระบุฟิลด์สำคัญดังนี้ - Request Type = 1 - Data Type = 0 - *data_topic* = file01 - *to*_Car License = AB-8841
Update Status Message	เป็นข้อความที่ยานพาหนะใช้ส่งเพื่อแจ้งสถานะปัจจุบันของยานพาหนะ	เมื่อยานพาหนะต้องการแจ้งสถานะปัจจุบันของตนเองแก่ VDDaaS ยานพาหนะจะส่งข้อความ Update Status ไปยัง VDDaaS
Get Infotainment List Message	เป็นข้อความที่ยานพาหนะใช้ส่งเพื่อที่จะขอรับรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List)	เมื่อยานพาหนะต้องการขอรับรายการข้อมูลสาระบันเทิงจาก VDDaaS ยานพาหนะจะส่งข้อความ Get Infotainment List ไปยัง VDDaaS จากนั้น VDDaaS จะส่งรายการข้อมูลสาระบันเทิงมาให้
Infotainment List Message	เป็นข้อความที่ VDDaaS ใช้ส่งไปยังยานพาหนะเพื่อที่จะแจ้งรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) ที่มีฝากไว้ถึงยานพาหนะ	เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Get Infotainment List จากยานพาหนะ VDDaaS จะตอบกลับด้วยข้อความ Infotainment List เพื่อแจ้งว่ามีข้อมูลอะไรฝากไว้ถึงยานพาหนะบ้าง

ซึ่งแต่ละข้อความได้มีการออกแบบรูปแบบของข้อความไว้ดังหัวข้อที่ 4.2.4 โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่ใช้เหมือนกัน (Normal Field) ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ฟิลด์ข้อมูลที่ใช้เหมือนกัน (Normal Field)

ฟิลด์	ประเภทข้อมูล	รายละเอียด
Car license	String	เลขป้ายทะเบียนของยานพาหนะคันที่ส่งข้อความ
Latitude	String	ละติจูดของยานพาหนะคันที่ส่งข้อความ
Longitude	String	ลองจิจูดของยานพาหนะคันที่ส่งข้อความ
Speed	String	ความเร็ว (หน่วยเป็น km/h) ของยานพาหนะคันที่ส่งข้อความ
Direction	String	ทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะคันที่ส่งข้อความ
Time	String	เวลาที่ส่งข้อความ

โดยมีฟิลด์ข้อมูลที่แตกต่างกัน (Optional Field) ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ฟิลด์ข้อมูลที่แตกต่างกัน (Optional Field)

ฟิลด์	ประเภทข้อมูล	รายละเอียด
Subscribed type	integer	ประเภทการร้องขอสำหรับยานพาหนะที่ต้องการสมัครรับบริการหรือยกเลิกการรับบริการ โดยกำหนดให้ - 0 คือ สมัครรับบริการ - 1 คือ ยกเลิกรับบริการ
Request type	integer	ประเภทของการร้องขอสำหรับยานพาหนะที่ต้องการรับข้อมูลหรือส่งข้อมูล โดยกำหนดให้ - 0 คือ การขอรับข้อมูล - 1 คือ การขอส่งข้อมูล
Data type	integer	ประเภทของข้อมูลที่ส่งจากยานพาหนะ โดยกำหนดให้ - 0 คือ ข้อมูลสาระบันเทิง - 1 คือ ข้อมูลด้านความปลอดภัย
Safety message	String	ข้อความแจ้งเตือนที่จะส่งให้กับยานพาหนะทุกคัน
Data topic	String	ชื่อของข้อมูล

ตารางที่ 5.4 ฟิลด์ข้อมูลที่แตกต่างกัน (Optional Field) (ต่อ)

ฟิลด์	ประเภทข้อมูล	รายละเอียด
To car license	String	เลขป้ายทะเบียนของยานพาหนะคันที่มีสิทธิ์เข้าถึงข้อมูล
Data progress	String	ความคืบหน้าของการรับส่งข้อมูล

5.2.3 Sequence Diagram

ขั้นตอนการส่งข้อความระหว่างยานพาหนะ RSU และ VDDaaS ซึ่งอธิบายเป็นรูปแบบ Sequence Diagram ประกอบด้วย

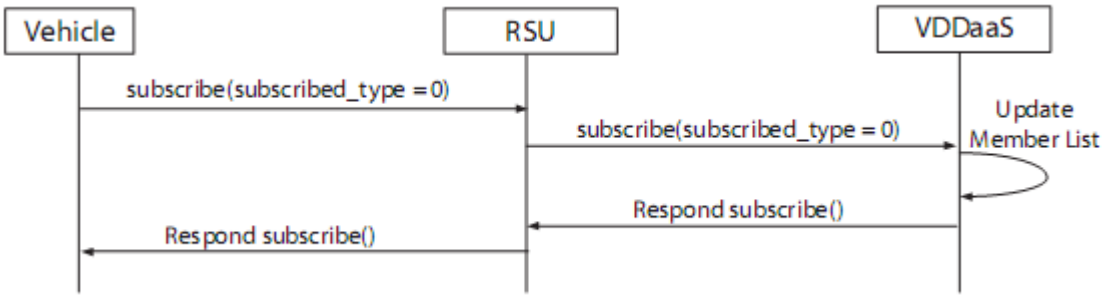
1) Subscribe Sequence Diagram

2) Upload Infotainment Sequence Diagram

3) Download Infotainment Sequence Diagram

4) Update Status Sequence Diagram

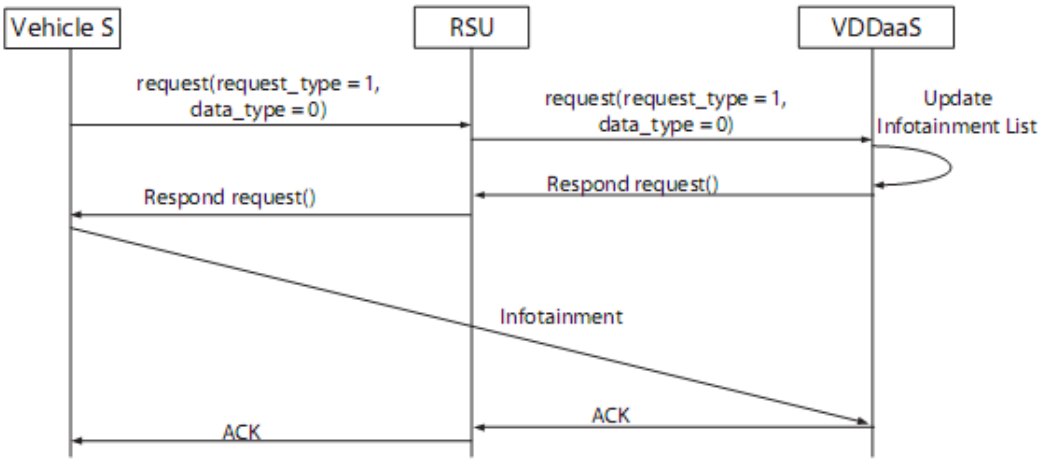
5) Upload Safety Message Sequence Diagram



รูปที่ 5.2 Subscribe Sequence Diagram

1) Subscribe Sequence Diagram

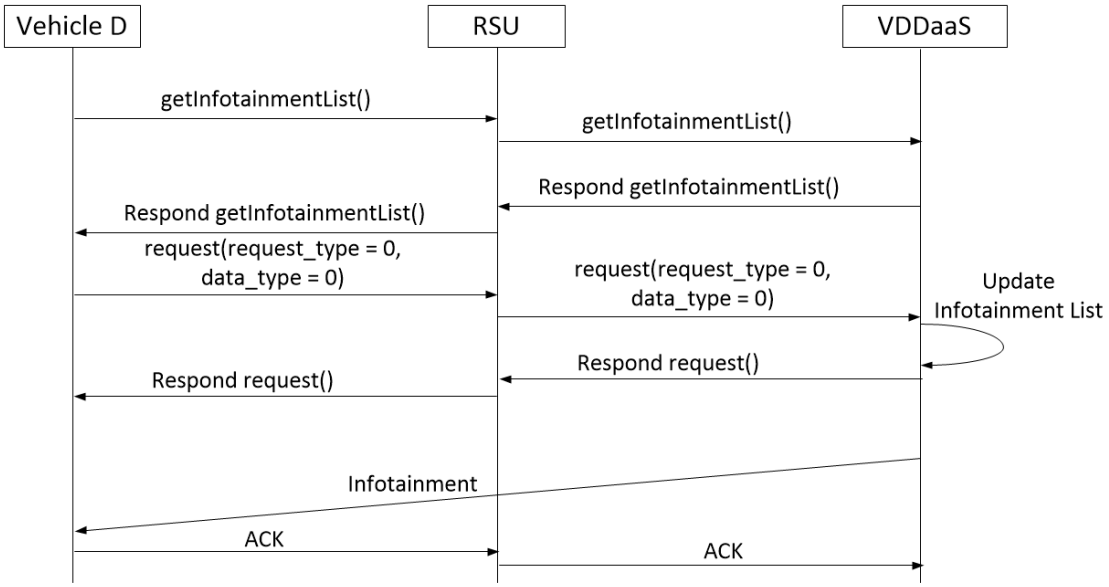
จากรูปที่ 5.2 เป็นลำดับการทำงานของการสมัครรับบริการ (Subscribe) ของยานพาหนะ โดยยานพาหนะจะทำการส่งคำร้อง Subscribe ไปที่ VDDaaS ผ่าน RSU จากนั้น VDDaaS จะทำการบันทึกยานพาหนะเข้าเป็นสมาชิก แล้วจึงทำการตอบรับการสมัครสมาชิกให้กับยานพาหนะ



รูปที่ 5.3 Upload Infotainment Sequence Diagram

2) Upload Infotainment Sequence Diagram

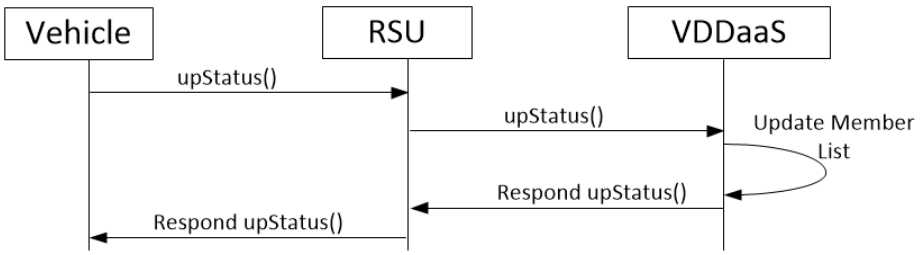
เมื่อยานพาหนะ S ต้องการ Upload ข้อมูลสาระบันเทิง จะทำการส่ง request โดยมีข้อมูลสำคัญ คือ Request Type = 1 และ Data Type = 0 มีความหมายว่าต้องการ Upload ข้อมูลสาระบันเทิง แสดงดังรูปที่ 5.3 ไปที่ VDDaaS ผ่านทาง RSU จากนั้น VDDaaS จะทำการปรับปรุงรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) และตอบรับคำร้องขอไปยังยานพาหนะ S จากนั้นยานพาหนะ S ก็จะ Upload ข้อมูลสาระบันเทิงไปยัง VDDaaS และเมื่อ VDDaaS ได้รับข้อมูลสาระบันเทิงเรียบร้อยแล้ว VDDaaS จะทำการตอบกลับมาด้วย ACK เป็นอันสิ้นสุดขั้นตอนการ Upload ข้อมูล Infotainment



รูปที่ 5.4 Download Infotainment Sequence Diagram

3) Download Infotainment Sequence Diagram

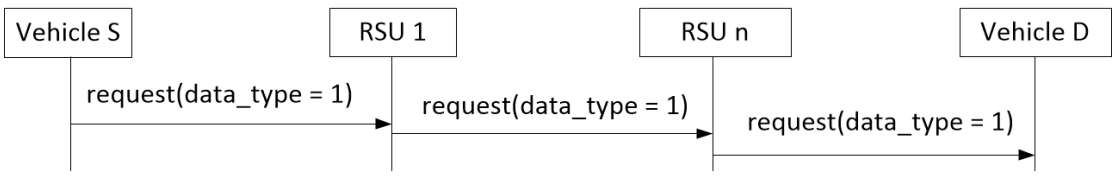
เมื่อยานพาหนะ D ต้องการที่จะ Download ข้อมูลสาระบันเทิง ยานพาหนะ D จะทำการส่งคำร้อง getInfotainmentList(Car License) ไปยัง VDDaaS เพื่อที่จะรับรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) จากนั้น VDDaaS จะตอบกลับมาด้วยรายการข้อมูลสาระบันเทิงซึ่งมีข้อมูลสำคัญ คือ Data Topic หมายถึง ชื่อของข้อมูลสาระบันเทิงและ Car License คือ เลขทะเบียนของยานพาหนะที่เป็นเจ้าของข้อมูล มาให้ยานพาหนะ D ผ่าน RSU จากนั้นยานพาหนะ D จะทำการแจ้งไปยัง VDDaaS ด้วยคำร้อง request() เพื่อขอ Download ข้อมูล จากนั้น VDDaaS จะทำการส่งข้อมูลสาระบันเทิงให้กับยานพาหนะ D ผ่าน RSU เมื่อการ Download เสร็จสิ้นยานพาหนะ D จะตอบ ACK ไปที่ VDDaaS เพื่อยุติการ Download ข้อมูล



รูปที่ 5.5 Update Status Sequence

4) Update Status Sequence Diagram

จากรูปที่ 5.5 เป็นลำดับการทำงานของการแจ้งสถานะ (Update Status) ของยานพาหนะเมื่อยานพาหนะได้สมัครสมาชิกแล้วยานพาหนะจะต้องทำการแจ้งสถานะของตนเองให้กับ VDDaaS โดยจะทำการส่ง upStatus() ไปยัง VDDaaS เพื่อให้ VDDaaS ทำการปรับปรุงข้อมูลสมาชิก จากนั้น VDDaaS จะตอบรับการแจ้งสถานะมายังยานพาหนะเพื่อยืนยันว่าการปรับปรุงสถานะสำเร็จแล้ว



รูปที่ 5.6 Upload Safety Message Sequence Diagram

5) Upload Safety Message Sequence Diagram

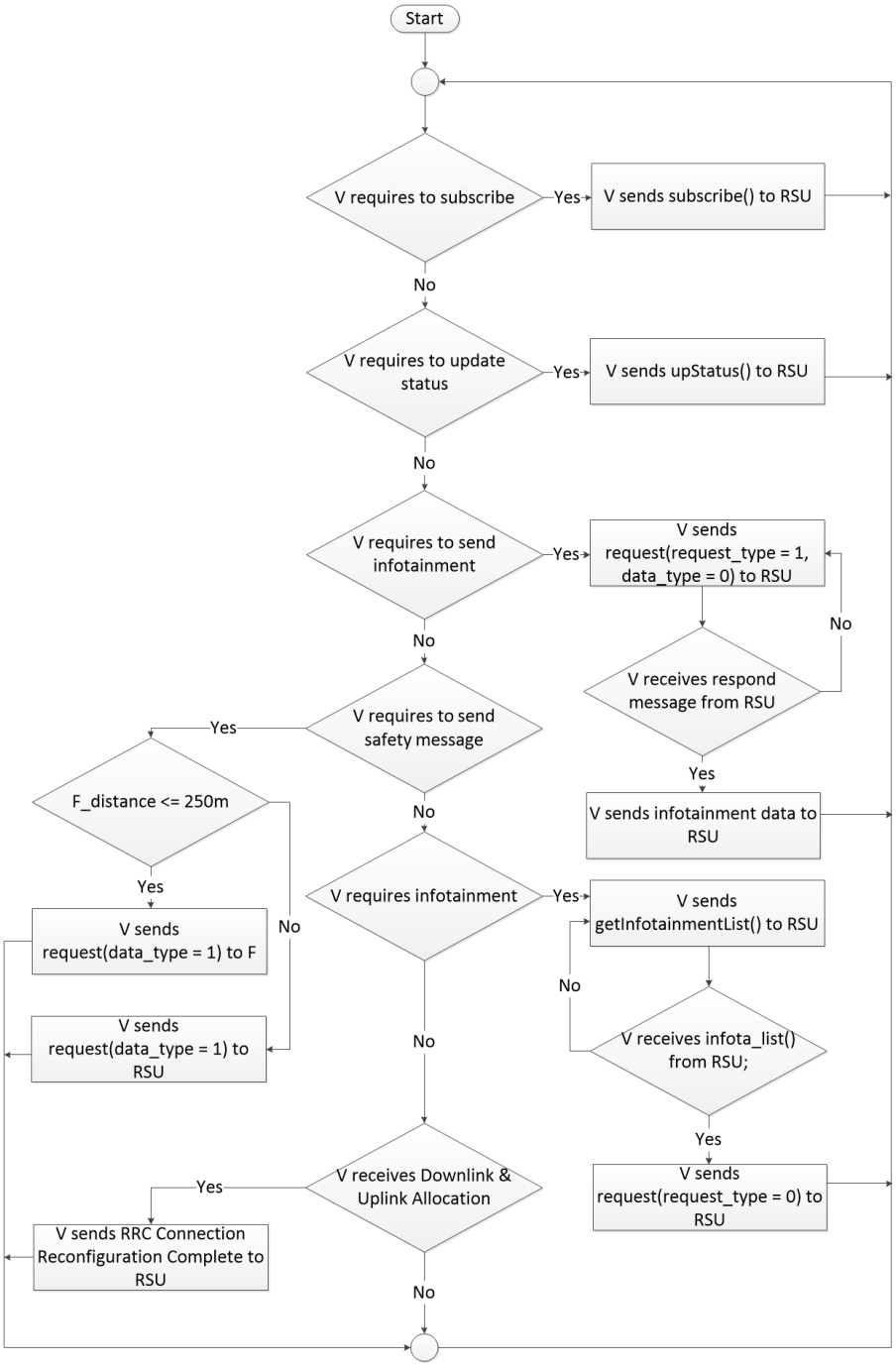
จากรูปที่ 5.6 เป็นลำดับการทำงานของการ Upload ข้อมูลด้านความปลอดภัย เมื่อยานพาหนะ S ต้องการที่จะ Upload ข้อมูลด้านความปลอดภัยก็จะทำการส่ง request โดยมีข้อมูลสำคัญ คือ Request Type = 1 และ Data Type = 1 มีความหมายว่าต้องการ Upload ข้อมูลด้านความปลอดภัย ไปยัง RSU 1 ที่ยานพาหนะ S กำลังเชื่อมต่ออยู่ จากนั้น RSU 1 จะทำการส่งต่อข้อมูลด้านความปลอดภัยไปที่ RSU ตัวที่อยู่ถัดไป เพื่อให้ RSU ทุก ๆ ตัวทำการเผยแพร่ (Broadcast) ข้อมูลด้านความปลอดภัยให้กับยานพาหนะคันอื่น ๆ ต่อไป

5.2.4 Algorithms

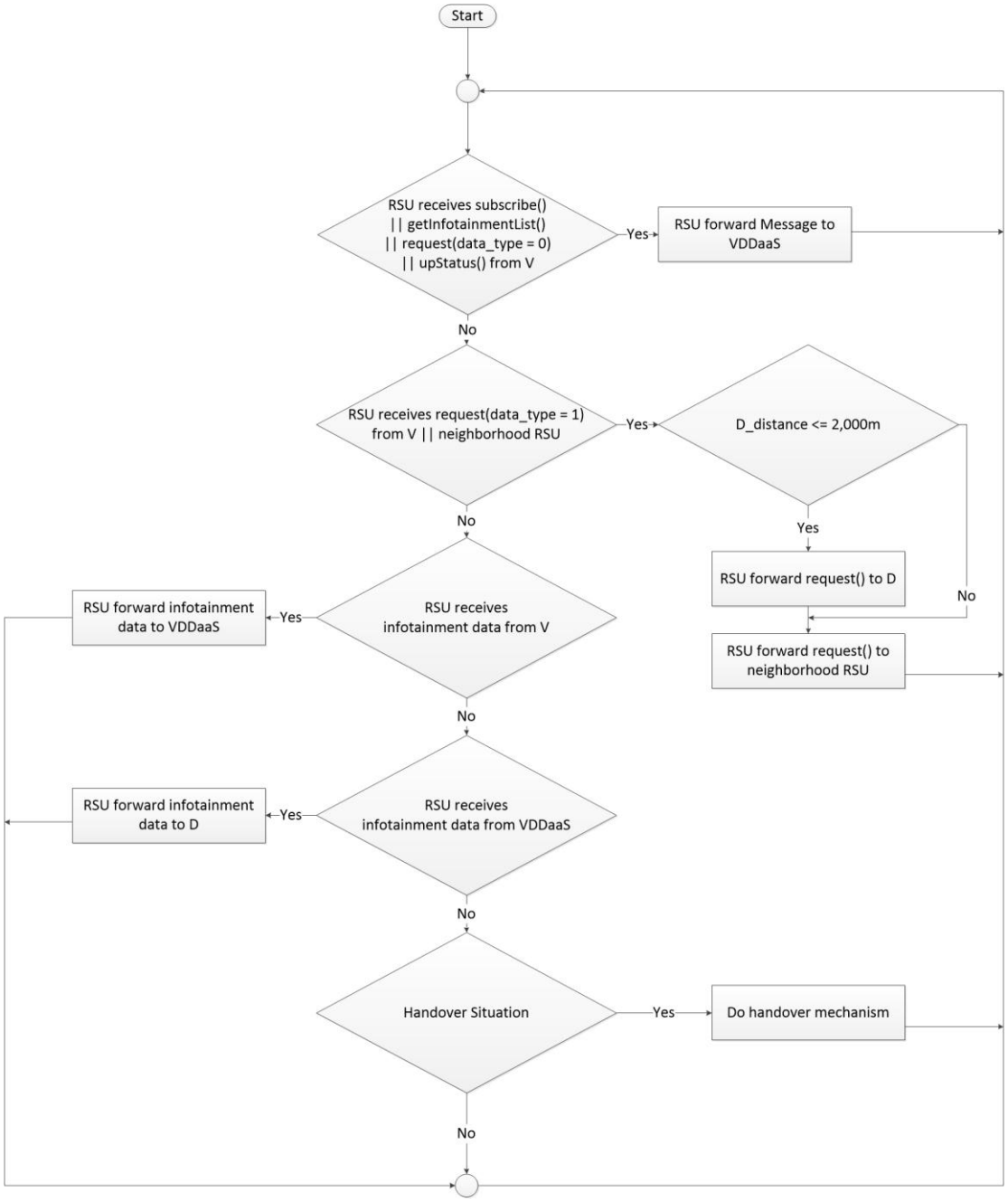
ยานพาหนะทุกคันจะมีการติดตั้งอัลกอริทึมโดยกำหนดเซตของยานพาหนะ V = {S, D} โดยกำหนดให้เซตของยานพานะต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลเขียนแทนด้วย S = {S(1), S(2), S(3),...S(n)} และกำหนดให้เซตของยานพาหนะปลายทางที่ต้องการรับข้อมูลเขียนแทนด้วย D = {D(1), D(2), D(3), ... D(n)} ซึ่งยานพาหนะทั้งหมดได้มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ GPS และมีระบบการสื่อสารสองระบบที่สามารถสื่อสารได้ทั้ง IEEE 802.11p ที่ใช้สื่อสารกันระหว่างยานพาหนะ และ LTE ที่ใช้สื่อสารไปยังอินเทอร์เน็ตผ่าน RSU

การสื่อสารในมุมมองของยานพาหนะ กรณีที่ยานพาหนะต้องการสมัครเข้าร่วมเป็นสมาชิกจะทำการส่งข้อความ Subscribe ไปที่ RSU ซึ่งต้องระบุในฟิลด์ Subscribed Type = 0 เพื่อแจ้งว่าต้องการสมัครสมาชิก กรณีที่ยานพาหนะต้องการส่งข้อมูล Infotainment จะทำการส่งข้อความ Request ไปที่ RSU ซึ่งจะต้องระบุฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 0 เพื่อแจ้งความต้องการว่าเป็นการขอ Upload ข้อมูลประเภท Infotainment เมื่อยานพาหนะ V ได้รับข้อความตอบรับจาก RSU แล้วจึงทำการ Upload ข้อมูลไปยัง RSU ส่วนกรณีที่เป็นการ Upload ข้อมูลข้อความ Safety ยานพาหนะจะทำการตรวจสอบว่ามียานพาหนะที่สวนมาในระยะ 250 เมตร (Maia, *et al.,* 2013) หรือไม่ ถ้ามีจะส่งข้อความ Request ไปที่ยานพาหนะที่ขับสวนมาในเลนตรงข้าม แต่ถ้าไม่มีจะส่งข้อความ Request ไปที่ RSU ซึ่งจะต้องระบุฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 1 เพื่อแจ้งความต้องการว่าเป็นการขอ Upload ข้อมูลประเภทข้อความ Safety ซึ่งจะต้องแนบข้อความ Safety ไปกับฟิลด์ Safety Message ในกรณีที่ยานพาหนะต้องการ Update Status จะทำการส่งข้อความ Update Status ไปที่ RSU ในกรณีที่ยานพาหนะต้องการที่จะ Download ข้อมูล Infotainment จะทำการส่งข้อความ Get Infotainment List ไปที่ RSU เพื่อขอรายการสาระบันเทิง จาก RSU ที่ถูกฝากเอาไว้ให้ยานพาหนะ V จากนั้นยานพาหนะ V จะทำการส่งข้อความ Request ไปที่ RSU ซึ่งจะต้องระบุฟิลด์ Request Type = 0 เพื่อแจ้งความต้องการว่าเป็นการขอ Download จากนั้นยานพาหนะ V จะได้รับข้อมูลจาก RSU แต่ถ้าในขณะที่การ Downlaod ยังไม่เสร็จสิ้น แต่เกิดกรณีต้องทำการ Handover ยานพาหนะจะ

ได้รับการจัดสรรช่องทางสื่อสารขาลงจาก RSU ต้นทาง และจะได้รับการจัดสรรช่องทางสื่อสารขาขึ้น จาก RSU ปลายทาง จากนั้นยานพาหนะจะทำการส่ง RRC Connection Reconfiguration Complete ไปยัง RSU ปลายทาง เพื่อยืนยันว่าให้ RSU ปลายทางเริ่มส่งข้อมูลทั้งหมดให้ยานพาหนะ สามารถแสดงอัลกอริทึมดังกล่าวได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 Algorithm for Vehicle



รูปที่ 5.8 RSU algorithm

จากรูปที่ 5.8 เป็นการสื่อสารในมุมมองของ RSU

1) กรณีที่ RSU ได้รับข้อมูลคำร้อง ขอสมัครสมาชิกจากยานพาหนะ RSU จะส่งต่อให้กับ VDDaaS และเมื่อ RSU ได้รับข้อความ Get Infotainment List จากยานพาหนะ V จะทำการส่งข้อความ Get Infotainment List ไปที่ VDDaaS เพื่อขอรายการของ Infotainment ที่ถูกฝากเอาไว้

2) กรณีที่ RSU ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 0 จากยานพาหนะ V จะทำการส่งต่อข้อความ Request ไปที่ VDDaaS ว่ามีการร้องขอการ Download จากยานพาหนะ V

3) กรณีที่ RSU ได้รับ Infotainment List จาก VDDaaS แล้วจะทำการส่งต่อ Infotainment List ไปให้ยานพาหนะ V ที่ทำการร้องขอ

4) กรณีต้องทำการ Handover ขณะที่กำลังส่งต่อข้อมูลให้กับยานพาหนะ D RSU จะทำการส่ง Handover Request ไปยัง RSU เพื่อนบ้าน จากนั้นเมื่อได้รับ Handover Request Acknowledge จาก RSU เพื่อนบ้าน RSU ก็จะทำการจัดสรรช่องทางสื่อสารขาลงให้กับยานพาหนะ V และจะทำการส่ง SN Status Transfer ให้กับ RSU เพื่อนบ้าน

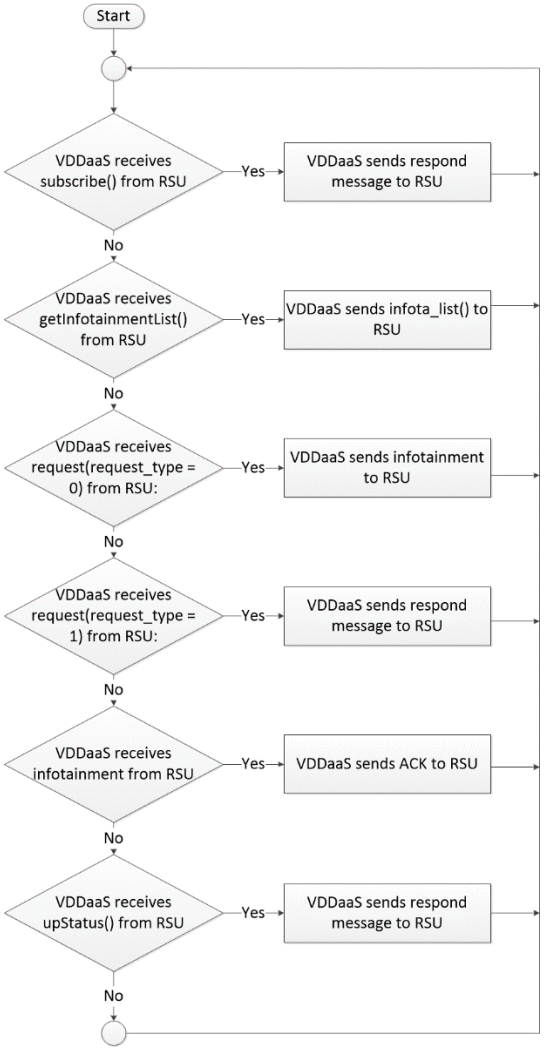
5) กรณีที่ RSU ได้รับ Handover Request จาก RSU เพื่อนบ้าน จะทำการตอบกลับด้วย Handover Request Acknowledge เพื่อตอบรับการทำ Handover จากนั้นจะทำการจัดสรรช่องทางสื่อสารขาขึ้นให้กับยานพาหนะ V (Agrawal, Jyotsna, *et al.,* 2015)

6) กรณีที่ RSU ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 0 จากยานพาหนะ V จึงจะทำการส่งต่อข้อความ Request ไปที่ VDDaaS ว่ามีการร้องขอการ Upload ข้อมูลประเภท Infotainment จากยานพาหนะ V เมื่อ RSU ได้รับข้อมูลสาระบันเทิง จาก ยานพาหนะ V แล้วจะทำการส่งต่อข้อมูลให้กับ VDDaas

7) กรณีที่ RSU ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 1 จากยานพาหนะ V จะทำการส่งต่อข้อความ Request ไปที่ RSU ที่ใกล้เคียงว่ามีการร้องขอ Upload ข้อมูลประเภทข้อความ Safety จากยานพาหนะ V

8) กรณีที่ RSU ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 1 จาก RSU ใกล้เคียง จะทำการส่งต่อให้ยานพาหนะ D ซึ่งในกรณีนี้จะหมายถึงยานพาหนะทุกคันที่สมัครรับบริการและอยู่ในระยะให้บริการของ RSU (2,000 เมตร) จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยัง RSU ใกล้เคียงต่อไปและส่งต่อเป็นทอด ๆ ไปเก็บไว้ใน RSU ทุกตัวเพื่อที่จะกระจายให้กับยานพาหนะที่อยู่ในระยะต่อไป

9) กรณีที่ RSU ได้รับข้อความ Update Status จากยานพาหนะ V จะทำการส่งต่อข้อความ Update Status ไปที่ VDDaaS กรณีที่ RSU ได้รับข้อมูล Infotainment จากยานพาหนะ V จะทำการส่งต่อข้อมูลไปที่ VDDaaS



รูปที่ 5.9 VDDaaS algorithm

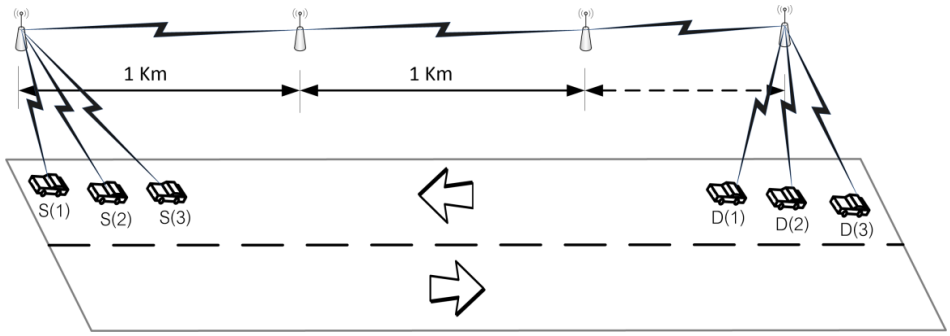
จากรูปที่ 5.9 เป็นการสื่อสารในมุมมองของ VDDaaS เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Subscribe ที่มีฟิลด์ Subscribed Type = 0 จาก RSU จะทำการเพิ่มข้อมูลการสมัครสมาชิก เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Get Infotainment List จาก RSU ก็จะทำการส่ง Infotainment List ไปยัง RSU เพื่อส่งรายการของ Infotainment ทั้งหมดที่ระบุผู้รับเป็นยานพาหนะที่ทำการร้องขอเข้ามา เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 0 จาก RSU จะทำการบันทึกรายการ Infotainment List แล้วจะทำการส่งข้อมูล Infotainment ที่ระบุมาให้กับ RSU เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Request ที่มีฟิลด์ Request Type = 1 และ Data Type = 0 จาก RSU จะทำการบันทึกรายการ Infotainment List แล้วจะทำการส่งข้อความตอบรับคำร้องขอ Upload ข้อมูลประเภท Infotainment ไปที่ RSU จากนั้นเมื่อ VDDaaS ได้รับ Infotainment จาก RSU เมื่อ VDDaaS ได้รับข้อความ Update Status จาก RSU จะทำการบันทึกรายการสมาชิก

5.3 วิธีการทดลอง

การดำเนินการวิจัยซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะเกี่ยวข้องกับการกระจายข้อมูล Infotainment ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงอธิบายสมการที่ใช้ในการคำนวณความล่าช้าและอัตราส่งข้อมูล ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเว็บเซอร์วิซที่ถูกพัฒนาขึ้น

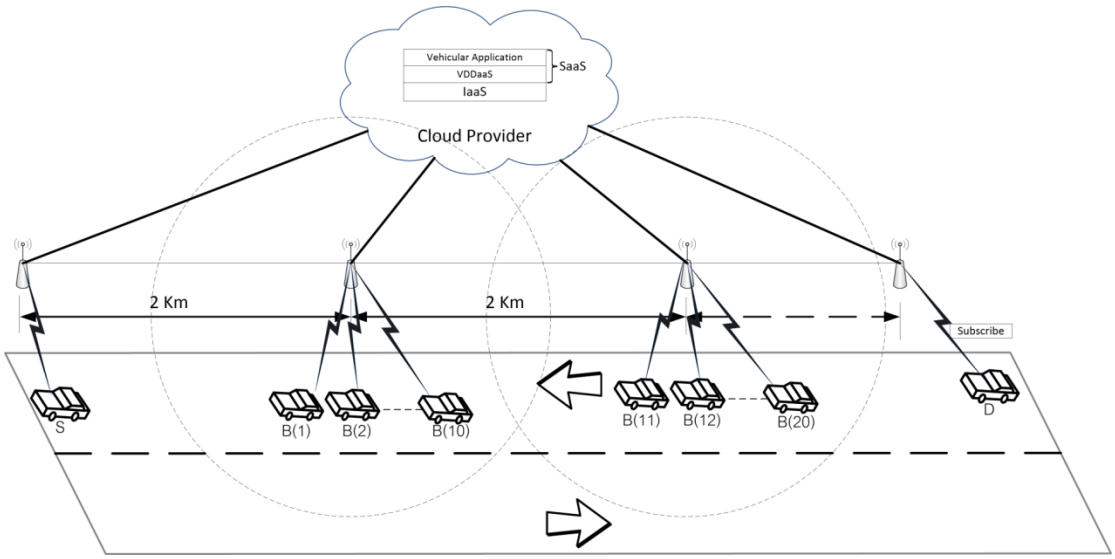
5.3.1 วิธีการกระจายข้อมูล Infotainment

ตัวอย่างสถานการณ์การส่งข้อมูลผ่าน RSU แบบเดิมที่มีการกระจายข้อมูลแบบส่งต่อข้อมูลกัน โดยเมื่อยานพาหนะ S(1) ต้องการส่งข้อมูลไปให้กับยานพาหนะ D(1) D(2) หรือ D(3) ก็จะต้องร้องขอไปที่ RSU ที่ใกล้ที่สุดแล้ว RSU จึงส่งต่อคำร้องขอไปยัง RSU ที่ใกล้เคียงจนกว่าจะพบยานพาหนะปลายทาง เมื่อยานพาหนะปลายทางดังกล่าวตอบรับก็จะส่งการตอบรับคำร้องขอไปให้กับยานพาหนะ S(1) จากนั้นยานพาหนะ S(1) ส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะปลายทาง D ผ่าน RSU แต่ละตัวไปเป็นทอด ๆ แสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 Traditional RSU with Infotainment Dissemination

ตัวอย่างสถานการณ์การส่งข้อมูลผ่าน VDDaaS ดังรูปที่ 5.11 อธิบายได้ว่ายานพาหนะ S(1) S(2) และ S(3) ได้ทำการสมัครรับข้อมูลเพื่อที่จะเข้าร่วมเป็นสมาชิกกับ RSU ที่มีการเชื่อมต่อกับ VDDaaS และจะสามารถกระจายข้อมูลจากยานพาหนะได้ โดยยานพาหนะ S แต่ละคันจะส่งข้อมูลไปยัง RSU จากนั้น RSU จะส่งต่อข้อมูลไปยัง VDDaaS ซึ่งในการส่งคำร้องเพื่อส่งข้อมูลไปที่ RSU จะมีการระบุเลขทะเบียนของยานพาหนะที่เป็นผู้รับไว้ด้วย กรณีที่ยานพาหนะ D(1) ซึ่งเป็นยานพาหนะปลายทางที่ต้องการรับข้อมูล ยานพาหนะ D(1) จะสมัครรับบริการเข้ามาเป็นสมาชิกกับ RSU จากนั้นจะทำการตรวจสอบรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) และจะทำการร้องขอข้อมูลไปที่ VDDaaS ผ่าน RSU จากนั้น RSU จะตรวจสอบและทำการส่งข้อมูลจาก VDDaaS ให้กับยานพาหนะ D(1) ซึ่ง D(1) สามารถรับข้อมูลจาก RSU ที่อยู่ใกล้เคียงได้



รูปที่ 5.11 Infotainment Dissemination with VDDaaS

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

คุณลักษณะ (Parameter)	**ค่าที่กำหนด (Value)**
ความหนาแน่น (Density)	1-100 โหนดต่อกิโลเมตร (Nodes/Km)
ความเร็ว (Speed)	90 – 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km/hr)
จำนวน Seed	1-20 Seeds
อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Rate)	1 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)
ขนาดข้อมูล (Data Size)	ไบต์ (Bytes)
คลื่นความถี่ (Frequency)	5.8 กิกะเฮิร์ตซ์ (GHz)
อัตราส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum rate)	27 เมกะไบต์ต่อวินาที (Mbps)
จำนวนโหนด (Number Node)	2 – 100 โหนด (Nodes)
ระยะเวลาการทดลอง Simulation time	30 วินาที (Second)
ขนาดแพ็กเกจ (Package size)	1024 ไบต์ (Bytes)
โหลด (Load)	1,000 – 15,000 กิโลบิตต่อวินาที (Kb/s)
ปริมาณการรับ-ส่งข้อมูล (Bandwidth)	10 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps)

จากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพผู้วิจัยกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 5.5

$$Throughput_D = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{size_i}}{(T_{stop} - T_{start})} \qquad (1)$$

จากสมการ (1) เป็นการคำนวณหาค่า Throughput ที่เกิดขึ้นที่ยานพาหนะปลายทาง D โดยที่ $\sum_{i=1}^{n} P_{size_i}$ เป็นขนาดรวมของ package ที่ได้รับทั้งหมด โดยที่ n คือ จำนวนของ package ทั้งหมดที่ส่งเข้ามา T_{start} คือ ช่วงเวลาที่เริ่มการส่งข้อมูล และ T_{stop} คือ เวลาสิ้นสุดของการส่งข้อมูล

$$T_{RSU} = T_{S_RSU} + \sum_{i=1}^{n} T_{RSU_i} + T_{RSU_D} \qquad (2)$$

T_{RSU} คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่าน RSU ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) โดย T_{RSU} คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ S ส่งข้อมูล $\sum_{i=1}^{n} P_{RSU_i}$ คือ ช่วงเวลาที่เสารับส่งสัญญาณส่งข้อมูลระหว่างกันโดยที่ n คือ จำนวนของเสารับส่งสัญญาณที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ S และ ยานพาหนะ D และ T_{RSU_D} คือ ช่วงเวลาที่ RSU ส่งข้อมูลไปที่ยานพาหนะ D

$$T_{RSU_{VDDaas}} = T_{Subscribe} + T_{S_RSU} + T_{RSU_Cloud} + T_{Cloud_RSU} + T_{RSU_D} \qquad (3)$$

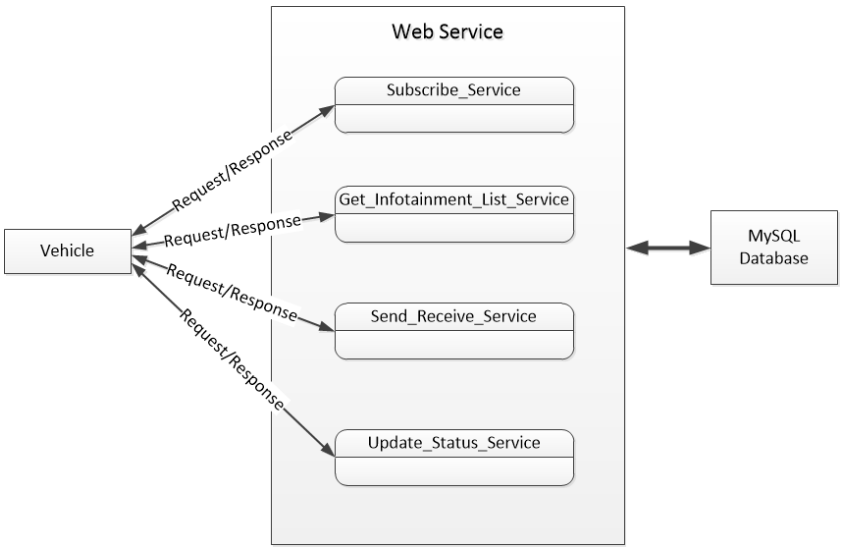
$T_{RSU_{VDDaas}}$ คือ ค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่าน RSU ที่ใช้ VDDaaS ที่นำเสนอ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) โดย $T_{Subscribe}$ คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ D สมัครเข้ามาเป็นสมาชิกกับ RSU T_{S_RSU} คือ ช่วงเวลาที่ยานพาหนะ S ส่งข้อมูลไปที่ RSU และ T_{RSU_Cloud} คือ ช่วงเวลาที่ RSU ส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ VDDaaS และ T_{Cloud_RSU} คือ ช่วงเวลาที่ VDDaaS ส่งข้อมูลไปที่ RSU และ T_{RSU_D} คือ ช่วงเวลาที่ RSU ส่งข้อมูลไปที่ยานพาหนะ D

5.3.2 การออกแบบบริการ VDDaaS

เว็บเซอร์วิซที่ออกแบบจะทำงานในชั้น SaaS ของผู้ให้บริการคลาวด์โดยใช้ชื่อว่า VDDaaS (Vehicular Data Dissemination as a Service) และจะใช้การส่งข้อความตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 5.2.2 ซึ่งการทำงานจะเป็นไปตาม Sequence Diagram ที่ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 5.2.3

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาเว็บเซอร์วิซสำหรับการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ เว็บเซอร์วิซที่ออกแบบจะทำงานในชั้น SaaS ของผู้ให้บริการคลาวด์โดยใช้ชื่อว่า VDDaaS (Vehicular Data Dissemination as a Service) และจะใช้การส่งข้อความตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.2.4 ซึ่งการทำงานจะเป็นไปตาม Sequence Diagram ที่ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 5.2.3 จากรูปที่ 5.12 เป็นภาพรวมของเว็บเซอร์วิซ ซึ่งจะมีเซอร์วิซไว้คอยให้บริการแอปพลิเคชันในยานพาหนะที่จะสื่อสารเข้ามา เพื่อที่จะกระจายข้อมูลโดยที่ยานพาหนะทุกคันที่จะเข้ามาเป็นสมาชิกเพื่อใช้บริการจะต้องทำการสมัครรับบริการ (Subscribe Service) ก่อน จากนั้นเมื่อเว็บเซอร์วิซได้รับการร้องขอการสมัครสมาชิกแล้วก็จะทำการบันทึกเลขทะเบียนของยานพาหนะที่สมัครรับบริการเข้าสู่ฐานข้อมูล และทุก ๆ 100 มิลลิวินาที ยานพาหนะจะต้องเรียกใช้บริการแจ้งสถานะ (Update Status Service) เพื่อแจ้งสถานะปัจจุบันของตนเองให้กับเว็บเซอร์วิซ จากนั้นเว็บเซอร์วิซจะบันทึกข้อมูลลงเข้าสู่ฐานข้อมูลเพื่อเก็บสถานะปัจจุบันของยานพาหนะแต่ละคัน กรณีที่ยานพาหนะต้องการที่จะส่งข้อมูลสาระบันเทิงไปให้ยานพาหนะคันอื่น จะต้องทำการเรียกใช้บริการร้องขอรับส่งข้อมูล (Send and Receive Service) โดยจะต้องระบุใน Request Type ไปว่าต้องการที่จะส่งข้อมูล และระบุเลขทะเบียนของยานพาหนะที่จะเป็นผู้รับ จากนั้นเว็บเซอร์วิซจะทำการปรับปรุงรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) แล้วจะทำการตอบรับกลับไปหายานพาหนะเพื่อให้ยานพาหนะทำการส่งข้อมูล

กรณีที่ยานพาหนะต้องการที่จะรับข้อมูลที่มียานพาหนะคันอื่นมาฝากไว้ให้ยานพาหนะจะต้องเรียกใช้บริการรับรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Get Infotainment List Service) จากนั้นเว็บเซอร์วิซจะส่งรายการข้อมูลสาระบันเทิง (Infotainment List) มาให้ยานพาหนะจึงจะสามารถเรียกใช้บริการการร้องขอรับส่งข้อมูล (Send and Receive Service) ได้ โดยจะต้องระบุไปในประเภทของการร้องขอ (Request Type) และชื่อของข้อมูลที่ร้องขอ (Data Topic) ว่าต้องการที่จะรับข้อมูลใด



รูปที่ 5.12 ภาพรวมการทำงานของเว็บเซอร์วิซ VDDaaS

ตารางที่ 5.6 VDDaaS Services

บริการ	รายละเอียด
Subscribe	ใช้สำหรับการสมัครรับบริการ
Get Infotainment List	ใช้สำหรับขอรับรายการข้อมูลสาระบันเทิง
Request	ใช้สำหรับขอ Download หรือ Upload ข้อมูล
Update Status	ใช้สำหรับแจ้งสถานะปัจจุบันของยานพาหนะ

ข้อมูลจากตารางที่ 5.6 แสดงรายชื่อของ Function และฟิลด์ที่ใช้ในการเรียกใช้บริการตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 5.2.2 ซึ่งโดยปกติจะได้รับการตอบกลับจาก VDDaaS ในรูปแบบ String เพื่อยืนยันว่าการเรียกใช้บริการสำเร็จ ยกเว้นกรณีที่มีการเรียกใช้บริการ Get Infotainment List จะได้รับการตอบกลับมาในรูปแบบ Array สองมิติ ซึ่งเป็นรายการข้อมูลสาระบันเทิงทั้งหมดที่ยานพาหนะคันที่ร้องขอเข้ามามีสิทธิ์รับข้อมูลโดยปกติการอธิบายบริการในเว็บเซอร์วิซจะสามารถแสดงในรูปแบบของเอกสาร WSDL ซึ่งเป็นการอธิบายคุณลักษณะของเว็บเซอร์วิซที่ใช้ SOAP แต่ถ้าเป็นเว็บเซอร์วิซที่ใช้ REST จะใช้การอธิบายด้วยเอกสารทั่วไป เช่น PDF

$$T_{Response} = t_2 + t_1 \qquad (4)$$

$T_{Response}$ คือ ค่า Response Time ที่เกิดขึ้นในการเรียกใช้งาน VDDaaS ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (4) โดย t_1 คือ เวลาที่ RSU ส่ง Request ไปหา VDDaaS และ t_2 คือ เวลาที่ RSU รับข้อมูลจาก VDDaaS

$$Total_{HO} = N_{HO} * T_{HO} \quad (5)$$

$$N_{HO} \begin{cases} \left\lceil \left(\frac{FileSize*8*Speed*1{,}000}{DataRate*3{,}600*ServiceRange} \right) \right\rceil & \text{for } Max\{N_{HO}\} \\ \left\lfloor \left(\frac{FileSize*8*Speed*1{,}000}{DataRate*3{,}600*ServiceRange} \right) \right\rfloor & \text{for } Min\{N_{HO}\} \end{cases} \quad (6)$$

การรับส่งข้อมูลกับ RSU ในขณะที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่สามารถทำให้เกิดการทำ Handover ซึ่งสามารถคำนวณเวลาที่เกิดจากการทำ Handover ได้ดังสมการที่ (5) ซึ่งเป็นการคำนวณจากจำนวนครั้งที่มีการเกิด Handover ดังสมการที่ (6) โดยแยกเป็นกรณีจำนวนครั้งสูงสุด และกรณีจำนวนครั้งต่ำสุดที่จะเกิดการ Handover โดย ***FileSize*** คือ ขนาดของไฟล์ มีหน่วยเป็นกิโลไบต์ ***Speed*** คือ ความเร็วของยานพาหนะมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง ***DataRate*** คือ อัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลมีหน่วยเป็นกิโลไบต์ต่อวินาที ***ServiceRange*** คือ ระยะให้บริการของ RSU มีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งคำนวณออกมาได้เป็นจำนวนครั้งที่มีการเกิด Handover จากนั้นไปคูณกับ ***T_HO*** คือ เวลาที่ใช้ในการทำ Handover แต่ละครั้งโดยคำนวณจากสมการ (7)

$$T_{HO} = T_{Before_HO} + T_{HO_Preparation} + T_{HO_Execution} + T_{Update} \quad (7)$$

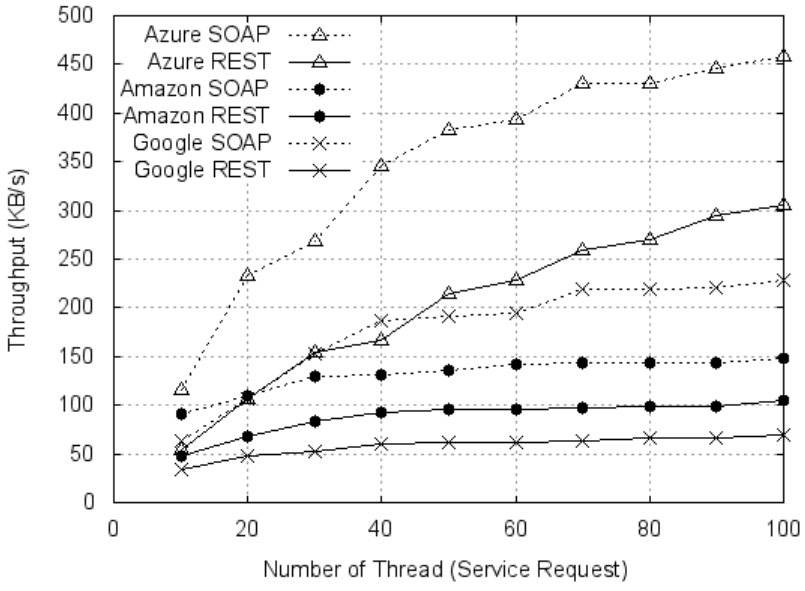
โดย T_{Before_HO} คือ เวลาของการค้นหาและระบุเอกลักษณ์ของเซลล์ที่ไม่รู้จัก ซึ่งการดำเนินการนี้ใช้ได้เฉพาะกับการทำ Network-Triggered Handover เท่านั้น ดังนั้นจึงเท่ากับ 0 มิลลิวินาที $T_{HO_Preparation}$ คือ เวลาการเปลี่ยนของ UE จาก สถานะที่เชื่อมต่อ RRC แล้ว ไปยังสถานะ RRC ที่ว่างอยู่ ซึ่งข้อความการตั้งค่าการเชื่อมต่อ RRC ถูกรับจาก eNB ต้นทาง ส่งผลให้เกิดความล่าช้า 10 มิลลิวินาที $T_{HO_Execution}$ คือ เวลาที่ได้รับการเข้าถึงแบบสุ่ม โดยไม่ต้องแย่งชิง และการได้รับทรัพยากรการอัปโหลดส่งผลให้เกิดความล่าช้า 35 มิลลิวินาที $T_{HO_Completion}$ คือ ความล่าช้าที่อยู่ในสภาพเชื่อมต่อกับ RRC ด้วยการพิจารณาไปยัง eNB ปลายทาง T_{Margin} คือ ขอบเวลาที่เป็นผลสำเร็จส่งผลให้เกิดความล่าช้า 20 มิลลิวินาที (Alexandris *et al.,* 2016) T_{Update} คือ เวลาที่ใช้

ในการปรับปรุงข้อมูลสถานะของยานพาหนะไปยัง VDDaaS ซึ่งมาจากการทดสอบการทำงานของเว็บเซอร์วิซได้ค่าเฉลี่ย 4.5 มิลลิวินาที

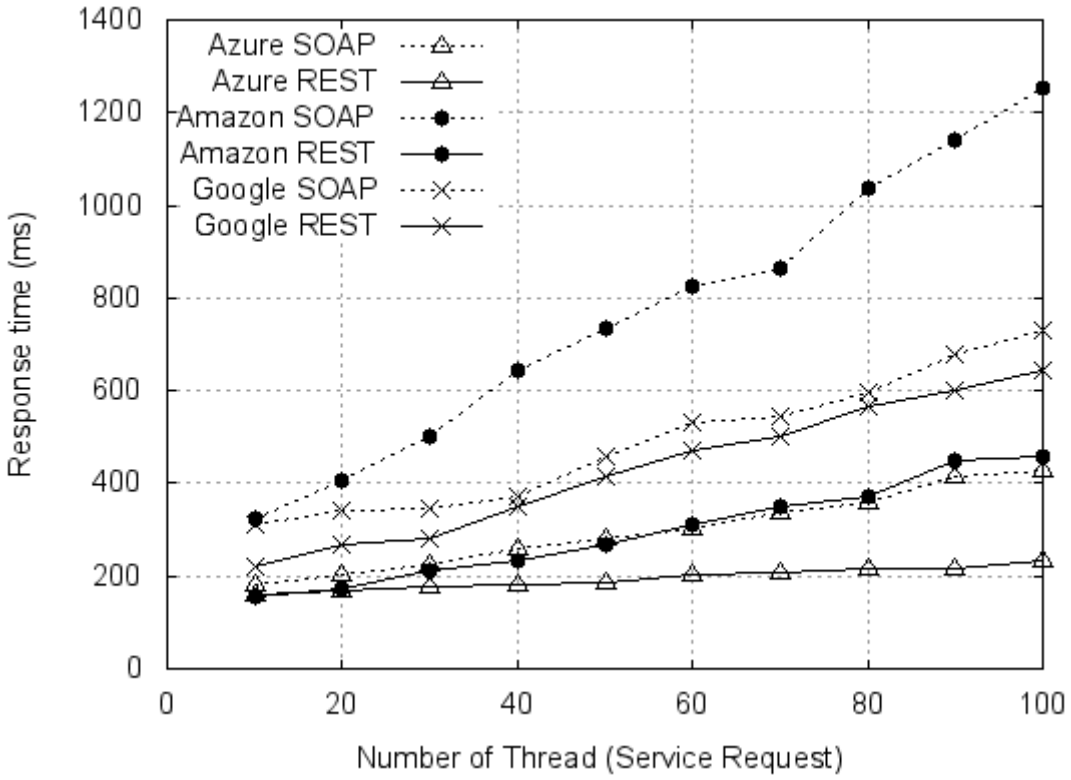
5.4 วิเคราะห์และสรุปผล

5.4.1 เว็บเซอร์วิซสำหรับการกระจายข้อมูลด้วยการประยุกต์ใช้ RSU

จากรูปที่ 5.13 ได้แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของ Throughput เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ โดยมีการเปรียบเทียบผลการทดลองจากผู้ให้บริการที่ต่างกันและเปรียบเทียบการใช้ SOAP กับ REST โดยได้ทำการติดตั้ง Server จำนวน 1 ตัวในแต่ละค่าย ซึ่งจะวัดผลจากการเพิ่มยานพาหนะจาก 10 - 100 คัน โดยสุ่มการเรียกใช้บริการจากยานพาหนะ (ผลการทดลองในเดือนพฤษภาคม 2017) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาแสดงในกราฟ จากกราฟได้แสดงให้เห็นว่าการเรียกใช้บริการจาก Azure แบบ SOAP มีการเพิ่มขึ้นของ Throughput อย่างชัดเจนที่สุดเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่เรียกใช้บริการตามมาด้วยการใช้บริการจาก Azure REST, Google SOAP, Amazon SOAP และ Amazon REST ตามลำดับ และการใช้บริการ Google REST ให้ผลการทดลองที่มีค่าอัตราการส่งข้อมูลต่ำที่สุด เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ



รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Thoughput เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ



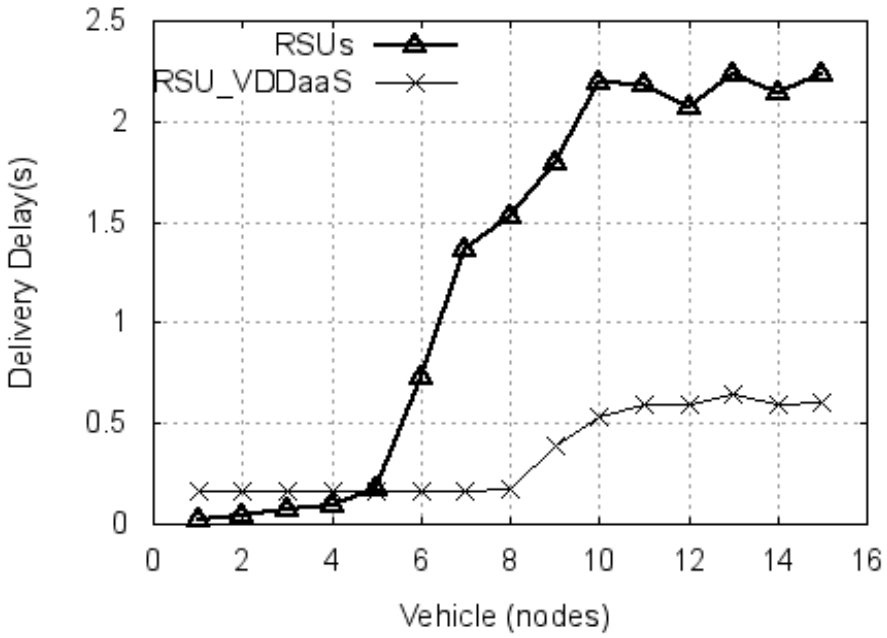
รูปที่ 5.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Response Time เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่เรียกใช้บริการ

จากรูปที่ 5.14 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบ Response Time เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของยานพาหนะที่เรียกใช้บริการโดยมีการเปรียบเทียบผลการทดลองจากผู้ให้บริการที่ต่างกันและเปรียบเทียบการใช้ SOAP กับ REST ซึ่งจะวัดผลจากการเพิ่มยานพาหนะจาก 10 - 100 คัน จากกราฟได้แสดงให้เห็นว่า การเรียกใช้บริการจาก Amazon แบบ SOAP มีค่า Response Time ที่สูงที่สุด ตามมาด้วยการใช้บริการ Google SOAP, Google REST, Amazon REST และ Azure แบบ SOAP ตามลำดับ การใช้บริการ Azure แบบ REST ได้ให้ผลของค่า Response Time ที่ต่ำที่สุด ดังนั้นสรุปได้ว่าบริการ Azure แบบ REST มีการตอบสนองต่อการให้บริการดีที่สุด เหมาะสำหรับนำมาใช้ให้บริการกระจายข้อมูล

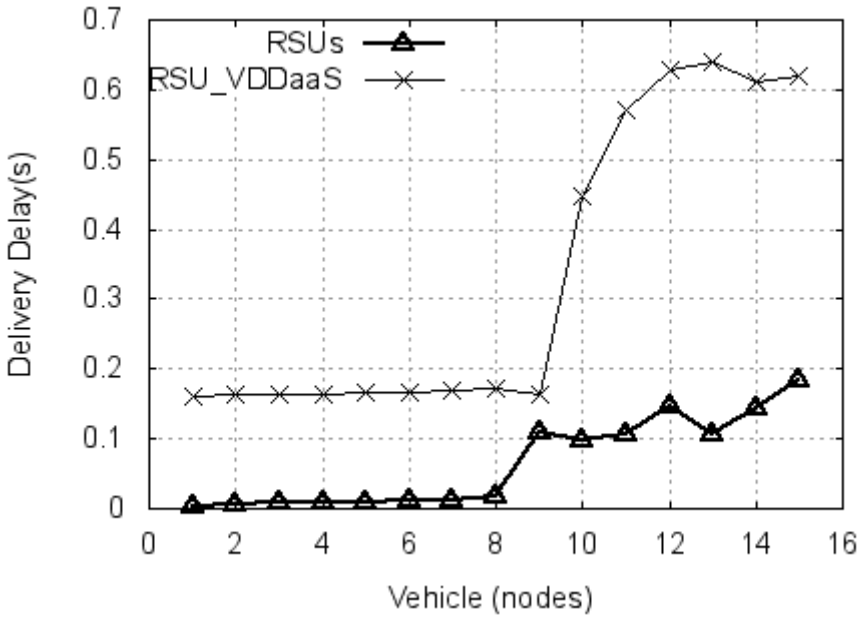
5.4.2 วิธีการกระจายข้อมูล Infotainment ด้วยการประยุกต์ใช้ RSU

จากรูปที่ 5.15 เป็นการแสดงผลการทดลองการวัดค่า Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูล ซึ่งมียานพาหนะมาใช้บริการ RSU ที่อยู่ระหว่างทางเพื่อเป็นการสร้าง Traffic ที่รบกวนการสื่อสาร (Background Traffic Load) เพื่อจำลองในกรณีที่มียานพาหนะใช้บริการ RSU อยู่เต็มถนนเป็นจำนวนมาก จากการทดลองเมื่อนำ RSU แบบเดิมมาเปรียบเทียบกับ

RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลด้วย RSU แบบเดิมเกิดค่าความล่าช้าสูงกว่าการส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing โดยที่เมื่อจำนวนของยานพาหนะที่ส่งข้อมูลเท่ากับ 1 คัน การส่งผ่าน RSU แบบปกติมีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 179.466 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing มีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 159.775 มิลลิวินาที และเมื่อเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูลถึง 15 คัน ค่าความล่าช้าของการส่งผ่าน RSU แบบปกติค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 223.575 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing มีค่าความล่าช้าอยู่ที่ 600.583 มิลลิวินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมียานพาหนะส่งข้อมูลพร้อมกันถึง 15 คันจะไม่เหมาะกับการกระจายข้อมูลที่เป็นแบบ Real-time Application แต่จะเหมาะกับการกระจายข้อมูลแบบการถ่ายโอนไฟล์ (File Transfer) ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการกระจายข้อมูลด้วย VDDaaS ดีกว่าการกระจายแบบดั้งเดิมมาก

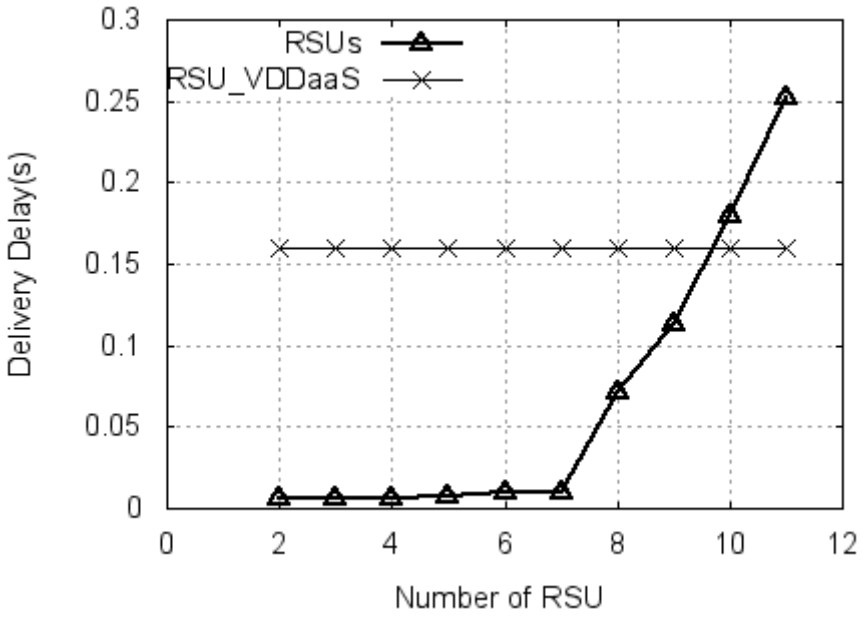


รูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูลสำหรับกรณีที่มี Background Traffic Load (กำหนดความหนาแน่นของยานพาหนะในถนนทางด่วนที่ 100 คันต่อกิโลเมตร)



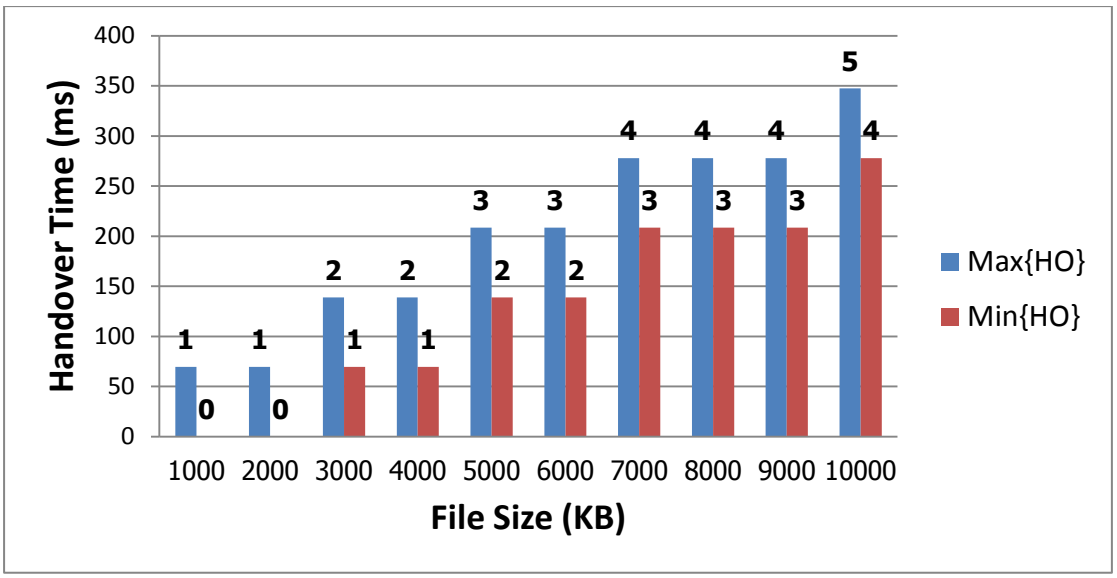
รูปที่ 5.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูล สำหรับกรณีที่ไม่มี Background Traffic Load

จากรูปที่ 5.16 ในการทดลองนี้ไม่มี Background Traffic Load ที่เกิดจากยานพาหนะมาใช้บริการ RSU ที่อยู่ระหว่างทางเพื่อจำลองในกรณีที่ถนนโล่งไม่มียานพาหนะระหว่างทาง มีเพียงยานพาหนะต้นทางและยานพาหนะปลายทางเท่านั้น จากการทดลองเมื่อนำ RSU แบบเดิมมาเปรียบเทียบกับ RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูล การส่งข้อมูลด้วย RSU แบบเดิมเกิดค่าความล่าช้าต่ำกว่าการส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing โดยที่เมื่อจำนวนของยานพาหนะที่ส่งข้อมูลเท่ากับ 1 คัน การส่งผ่าน RSU แบบปกติมีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 3.8686 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing มีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 159.765 มิลลิวินาที และเมื่อเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่ส่งข้อมูลถึง 15 คัน ค่าความล่าช้าของการส่งผ่าน RSU แบบปกติค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 183.503 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing มีค่าความล่าช้าอยู่ที่ 618.529 มิลลิวินาที เนื่องจากมีความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูลผ่าน VDDaaS ซึ่งคาดว่าเป็นความล่าช้าระหว่าง RSU และการติดต่อเพื่อเข้าใช้บริการ VDDaaS ที่อยู่บนระบบคลาวด์ และอีกเหตุผลอาจจะเนื่องมาจากการเลือกใช้ Resource ที่รองรับการให้บริการที่น้อยเกินไป

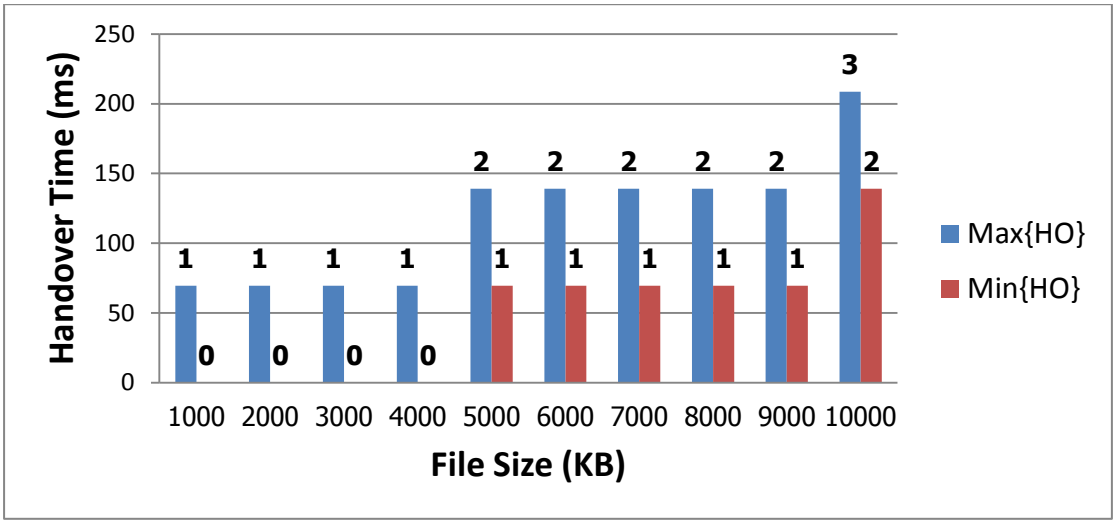


รูปที่ 5.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ส่งข้อมูล (จำนวน RSU ตั้งแต่ 2 ตัวถึง 11 ตัว)

จากรูปที่ 5.17 เป็นการแสดงผลการทดลองการวัดค่า Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งมียานพาหนะมาใช้บริการ RSU ที่อยู่ระหว่างทาง เพื่อเป็นการสร้าง Background Traffic Load เพื่อจำลองในกรณีที่มียานพาหนะใช้บริการ RSU อยู่เต็มถนนเป็นจำนวนมาก โดยกำหนดให้ RSU ห่างกัน Hop ละ 1 กิโลเมตร จากการทดลองเมื่อนำ RSU แบบเดิมมาเปรียบเทียบกับ RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการ VDDaaS บนระบบคลาวด์ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ใช้ในการส่งข้อมูล การส่งข้อมูลด้วย RSU แบบเดิมเกิดค่าความล่าช้าสูงกว่าการส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing โดยที่เมื่อระยะการส่งข้อมูลเท่ากับ 1 Hop การส่งผ่าน RSU แบบปกติมีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 6.6424 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่ใช้บริการ VDDaaS มีค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล 159.77 มิลลิวินาที และเมื่อเพิ่มระยะการส่งข้อมูลถึง 10 Hop ค่าความล่าช้าของการส่งผ่าน RSU แบบปกติค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 251.542 มิลลิวินาที ในขณะที่การส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการ VDDaaS มีค่าความล่าช้าอยู่ที่ 159.769 มิลลิวินาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการส่งผ่าน RSU ที่เชื่อมต่อกับบริการบน Cloud Computing ให้ผลที่ดีกว่าเมื่อจำนวนยานพาหนะที่ใช้บริการส่งข้อมูลพร้อมกันมีจำนวนมากและมีระยะการส่งข้อมูลที่ไกล



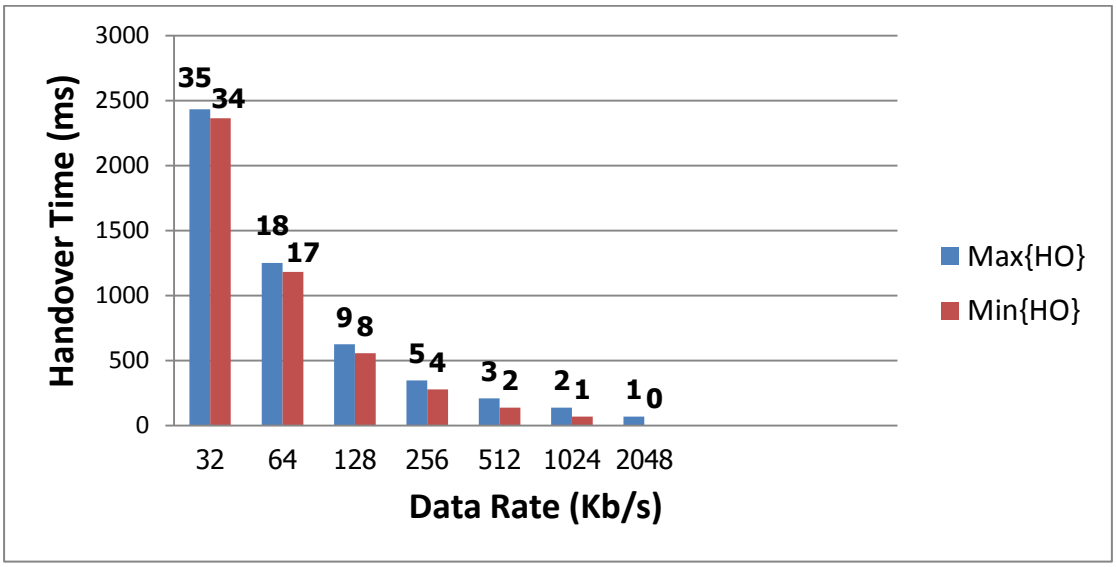
รูปที่ 5.18 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 256 กิโลบิตต่อวินาที



รูปที่ 5.19 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 512 กิโลบิตต่อวินาที

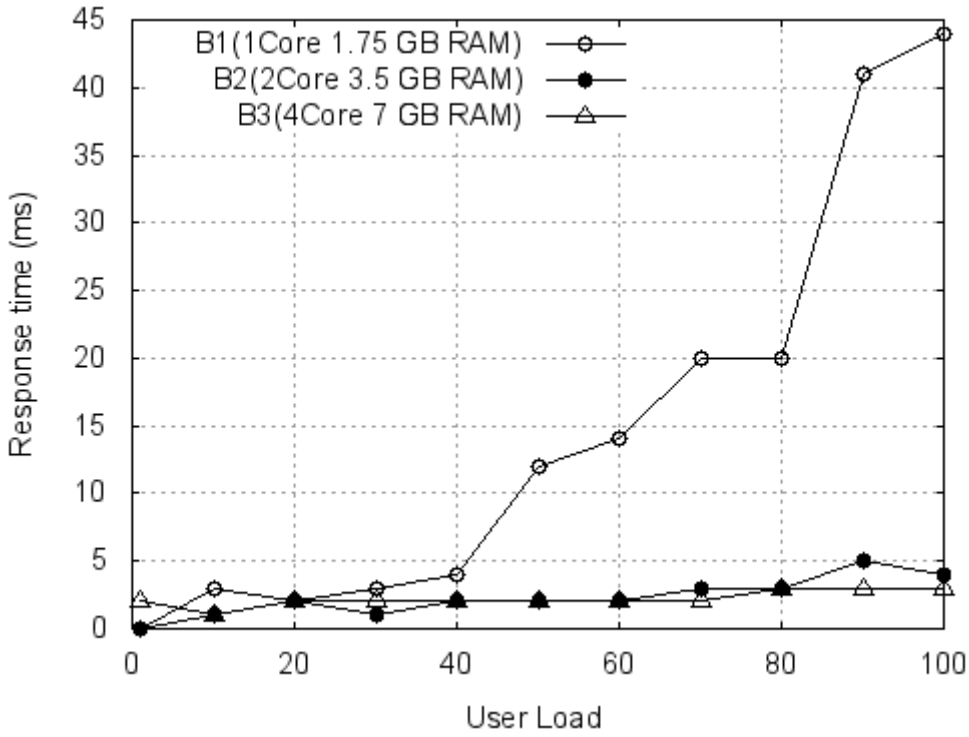
จากรูปที่ 5.18 เป็นการแสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดไฟล์ ตั้งแต่ 1,000 กิโลไบต์ จนถึง 10,000 กิโลไบต์ โดยกำหนดอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล (Data Rate) 256 กิโลบิตต่อวินาที และกำหนดความเร็วของยานพาหนะไว้ที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับกรณีที่แย่ที่สุดได้ผลการคำนวณจากสมการที่ (5) และกรณีที่ดีที่สุดได้ผล

การคำนวณจากสมการที่ (6) พบว่าเมื่อไฟล์ที่ใช้ในการมีขนาดใหญ่ถึง 10,000 กิโลไบต์ จะเกิดการ Handover ทั้งหมด 5 ครั้ง เป็นเวลาทั้งสิ้น 347.5 มิลลิวินาที สำหรับกรณีที่แย่ที่สุด และเกิดการ Handover ทั้งหมด 4 ครั้ง เป็นเวลาทั้งสิ้น 278 มิลลิวินาที สำหรับกรณีที่ดีที่สุด เมื่อทดสอบเพิ่มอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล (Data Rate) เป็น 512 กิโลบิตต่อวินาที และกำหนดความเร็วของยานพาหนะไว้ที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าการส่งไฟล์ขนาด 10,000 กิโลไบต์ จะเกิดการ Handover ทั้งหมด 3 ครั้ง เป็นเวลาทั้งสิ้น 208.5 มิลลิวินาที สำหรับกรณีที่แย่ที่สุด และเกิดการ Handover ทั้งหมด 2 ครั้ง เป็นเวลาทั้งสิ้น 139 มิลลิวินาที สำหรับกรณีที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.19 เป็นการแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิด Handover คือ ขนาดของไฟล์และอัตราความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล (Data Rate)



รูปที่ 5.20 แสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover สำหรับไฟล์ขนาด 10,000 กิโลไบต์

จากรูปที่ 5.20 เป็นการแสดงเวลารวมที่ใช้ในการทำ Handover เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง Data Rate ตั้งแต่ 32 กิโลบิตต่อวินาที จนถึง 2,048 กิโลบิตต่อวินาที โดยกำหนดความเร็วของยานพาหนะไว้ที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อมีจำนวนของ Data Rate เพิ่มขึ้นส่งผลให้จำนวนของการเกิด Handover ต่ำลงอย่างมาก โดยที่ Data Rate 32 กิโลบิตต่อวินาที จะมีการเกิด Hanover สูงสุดถึง 35 ครั้ง ในขณะที่ Data Rate 2,048 กิโลบิตต่อวินาที มีการเกิด Hanover สูงสุดเพียง 1 ครั้ง



รูปที่ 5.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Response Time เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ User Load

จากรูปที่ 5.21 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ VDDaaS ที่ทำงานอยู่ในระบบคลาวด์ของ Microsoft Azure ซึ่งทดสอบด้วยบริการชื่อ Performance Test จากภายในระบบคลาวด์ของ Microsoft Azure โดยทดสอบการทำงานของ VDDaaS ที่ใช้ทรัพยากรการทำงานที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของจำนวน User Load ที่เข้ามาเรียกใช้งานพร้อมกันตั้งแต่ 50 ขึ้นไป VDDaaS ที่ใช้ทรัพยากรระดับ B1 ซึ่งประกอบด้วย CPU ขนาด 1 Core และ RAM ขนาด 1.75 กิกะไบต์ มีค่า Response Time ที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนที่ 12 มิลลิวินาที และเมื่อเพิ่มจำนวน User Load ที่เข้ามาเรียกใช้งานถึง 100 พบว่าค่า Response Time สูงขึ้นถึง 45 มิลลิวินาที ในขณะที่เมื่อทดลองเพิ่มระดับของทรัพยากรเป็น B2 ที่ประกอบด้วย CPU ขนาด 2 Core และ RAM ขนาด 3.5 กิกะไบต์ และ B3 ที่ประกอบด้วย CPU ขนาด 4 Core และ RAM ขนาด 7 กิกะไบต์ พบว่ามีค่า Response Time ที่ต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานทรัพยากรสูงถึงขีดจำกัดทำให้เกิด Queuing Delay ในระบบจากการใช้งาน VDDaaS ที่ใช้ทรัพยากรระดับ B1 ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติการยืดขยายการใช้งานทรัพยากรในระบบคลาวด์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการให้บริการแก่เครือข่ายยานพาหนะที่มีจำนวนของผู้ใช้บริการมาก

5.4.3 สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมที่ใช้จัดการการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะสำหรับข้อมูล Infotainment และได้เสนอเว็บเซอร์วิซที่จะเข้ามาช่วยสนับสนุนการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองวัดประสิทธิภาพของการกระจายข้อมูล Infotainment โดยทดลองด้วยโปรแกรม NS-3 ซึ่งได้ทดสอบเปรียบเทียบการใช้ RSU แบบดั้งเดิม กับ RSU ที่มีการใช้บริการระดับ VDDaaS ที่นำเสนอในระบบคลาวด์ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า การใช้บริการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในด้านการกระจายข้อมูล ความยืดหยุ่นในการให้บริการ มีพื้นที่รองรับการรับส่งข้อมูลชั่วคราว ทำให้ข้อมูลสามารถส่งได้ระยะไกลอย่างรวดเร็ว การส่งผ่านข้อมูลทำได้ดีกว่า RSU แบบดั้งเดิม ในงานวิจัยนี้ยังได้ทดสอบการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซอร์วิซ VDDaaS โดยทดสอบการใช้งานทั้งแบบ SOAP และ REST ซึ่งได้ทดสอบกับผู้ให้บริการ Cloud ที่ต่างกัน คือ Azure, Amazon และ Google ในการทดสอบได้เปรียบเทียบโดยวัดจากค่า Throughput และค่า Response Time ของแต่ละแบบ ผลการทดสอบในเดือนพฤษภาคม 2017 พบว่าการใช้บริการของ Azure แบบ SOAP มีอัตราส่งข้อมูล (Throughput) ที่สูงที่สุด และการใช้บริการของ Azure แบบ REST ให้ค่า Response Time ที่ต่ำที่สุด และเมื่อทดสอบวัดประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซอร์วิซเมื่อมีการเพิ่มทรัพยากรการคำนวณ แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมจะส่งผลให้การใช้งานบริการใน Cloud เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทำวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ อธิบายประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอัลกอริทึมหรือกลไกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลสำหรับยานพาหนะที่ใช้การสื่อสารแบบ V2I และข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะด้วยการประยุกต์ใช้เสารับส่งสัญญาณข้างทาง เพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะต้นทางและปลายทางที่มีระยะทางห่างกัน โดยนำเทคนิคการคำนวณแบบคลาวด์มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการทำงานในส่วนของยานพาหนะ และเสารับส่งสัญญาณข้างทาง รวมถึงบริการที่ทำงานอยู่บนการคำนวณแบบคลาวด์ ซึ่งในงานวิจัยได้เสนอ

6.1.1 วิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยด้วยการประยุกต์ใช้เสารับส่งสัญญาณข้างทาง ซึ่งพัฒนาจากวิธีการกระจายข้อมูลด้วยวิธี SCB โดยเสนอการเพิ่มทางเลือกสำหรับการกระจายข้อมูลในกรณีที่ไม่มียานพาหนะสวนมา ให้สามารถกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud แทนจากการทดสอบประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยโดยเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCBC ที่นำเสนอ กับวิธีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCB จากงานวิจัยต้นแบบ พบว่าวิธีการ SCBC ให้ประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลที่ดีกว่าในกรณีที่เป็นการกระจายข้อมูลระยะไกลบนถนนทางด่วน

6.1.2 วิธีการกระจายข้อมูลด้านสาระบันเทิงด้วยการประยุกต์ใช้เสารับส่งสัญญาณข้างทาง ซึ่งได้ออกแบบรูปแบบข้อความที่ใช้ส่งระหว่างระบบโครงสร้างพื้นฐานและยานพาหนะ และได้เสนออัลกอริทึมที่เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงโดยการใช้ RSU Cloud จากการทดสอบประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลด้านสาระบันเทิงโดยเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud กับวิธีการกระจายข้อมูลผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทางปกติแบบเดิม พบว่าวิธีการกระจาย

ข้อมูลผ่าน RSU Cloud ให้ประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลที่ดีกว่าในกรณีที่เป็นการกระจายข้อมูลระยะไกลบนถนนทางด่วน

6.1.3 การออกแบบและพัฒนาเว็บเซอร์วิซชื่อ Vehicular Data Dissemination as a Service หรือ VDDaaS ซึ่งมีการรับส่งข้อมูล 2 รูปแบบ คือ SOAP (Simple Object Access Protocol) ที่ใช้ภาษา XML (eXtensible Markup Language) ในการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูล และ REST ที่ใช้รูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลเจสัน (JavaScript Object Notation) ในการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อให้บริการการสมัครเข้าร่วมเป็นสมาชิกของยานพาหนะ การอัพเดทสถานะของยานพาหนะการอัพเดทข้อมูลรายการข้อมูลด้านสาระบันเทิงและสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะที่ใช้การสื่อสารแบบ V2I ซึ่งเป็นการสื่อสารระหว่างกลุ่มยานพาหนะกับเสารับส่งสัญญาณข้างทาง จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซอร์วิซ VDDaaS ทั้งรูปแบบ SOAP และ รูปแบบ REST ซึ่งได้ทดสอบกับหลายผู้ให้บริการคลาวด์ พบว่าการใช้บริการของ Azure มีค่าอัตราส่งข้อมูลที่สูงที่สุดและให้ค่า Response Time ที่ต่ำที่สุดและการทดสอบประสิทธิภาพการกระจายข้อมูล โดยเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทางที่ทำงานร่วมกับบริการในคลาวด์กับวิธีการกระจายข้อมูลผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทางปกติแบบเดิม พบว่าวิธีการกระจายข้อมูลผ่านเสารับส่งสัญญาณข้างทางที่ทำงานร่วมกับบริการในคลาวด์ให้ประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลที่ดีกว่าในกรณีที่เป็นการกระจายข้อมูลระยะไกลบนถนนทางด่วน และมีผู้ใช้บริการเสารับส่งสัญญาณข้างทางจำนวนมาก

6.2 ประโยชน์ต่อวงวิชาการ

6.2.1 นำเสนอวิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยด้วยการสื่อสารแบบ V2I ที่ใช้ RSU Cloud เพื่อการกระจายข้อมูลระยะไกลบนถนนทางด่วน และแสดงการเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลด้านความปลอดภัยด้วยเทคนิคการกระจายข้อมูลแบบ SCB และวิธีการกระจายข้อมูลด้วยเทคนิค SCBC ที่นำเสนอ

6.2.2 นำเสนอวิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงด้วยการสื่อสารแบบ V2I ที่ใช้ RSU Cloud เพื่อการรับฝากและกระจายข้อมูลระยะไกลบนถนนทางด่วน และแสดงการเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง แบบใช้เสารับสัญญาณข้างทางแบบดั้งเดิม และวิธีการกระจายข้อมูลผ่าน RSU Cloud ที่เสนอ

6.2.3 นำเสนอวิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิงด้วยการสื่อสารแบบ V2I ที่ใช้เสารับส่งสัญญาณข้างทางมาทำงานร่วมกับบริการในคลาวด์ เพื่อการรับฝากและกระจายข้อมูลระยะไกลบน

ถนนทางด่วน และแสดงการเปรียบเทียบวิธีการกระจายข้อมูลสาระบันเทิง แบบใช้เสารับสัญญาณข้างทางแบบดั้งเดิม และวิธีการกระจายข้อมูลแบบใช้เสารับสัญญาณข้างทางที่ทำงานร่วมกับบริการบนคลาวด์ ที่นำเสนอ

6.2.4 นำเสนอเว็บเซอร์วิซชื่อ VDDaaS เพื่อสนับสนุนการกระจายข้อมูลในเครือข่ายยานพาหนะ และแสดงการเปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซอร์วิซในผู้ให้บริการคลาวด์แต่ละค่าย รวมถึงแสดงการเปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซอร์วิซบนของเครื่องเสมือนสำหรับผู้ให้บริการค่ายเดียวกัน

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

ในงานวิจัยนี้มีการออกแบบพัฒนาวิธีการกระจายข้อมูล และการบริการในเครือข่ายยานพาหนะ ซึ่งผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อดังต่อไปนี้

6.3.1 ทดลองพัฒนาเว็บเซอร์วิซด้วยแพลตฟอร์มอื่น เช่น Node.js และ Spring Boot

6.3.2 ปรับปรุงวิธีการกระจายข้อมูลบนเครือข่ายยานพาหนะสำหรับสถานการณ์อื่น เช่น บนถนนในเมืองที่มีทางแยกจำนวนมาก

6.3.3 ทดลองการทำงานด้วยอุปกรณ์ ยานพาหนะ และสถานการณ์จริง

6.3.4 การจัดการเพื่อการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จากการกระจายข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

Akabane, A. T., Villas, L. A., and Madeira, E. R. M. (2015). "An adaptive solution for data dissemination under diverse road traffic conditions in urban scenarios.", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC),* Hilton New Orleans Riverside New Orleans, LA, USA: 9 – 12 Mar, 2015.

Alexandris, K., Nikaein, N., Knopp, R., and Bonnet, C. (2016). "Analyzing X2 handover in LTE/LTE-A.", *Proceeding of The 14th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt,* Tempe, Arizona, USA: 9-13 May 2016.

Ali, G. M. N., Rahman, M. A., Chong, P. H. J., and Samantha, S. K. (2016). "On Efficient Data Dissemination Using Network Coding in Multi-RSU Vehicular Ad Hoc Networks.", *Proceeding of The 83rd Vehicular Technology Conference: VTC2016-Spring*, Nanjing, China: 15–18 May, 2016.

Amadeo, M., Campolo, C., and Molinaro, A. (2012). "Enhancing IEEE 802.11 p/WAVE to provide infotainment applications in VANETs." *Ad Hoc Networks*, 10(2), 253-269.

Anwer, M. S., and Guy, C. (2014). "A survey of VANET technologies." *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 5(9), 661-671.

Baldessari, R., Bödekker, B., Deegener, M., Festag, A., Franz, W., Kellum, C. C., Kosch, T., Kovacs, A., Lenardi, M., and Menig, C. (2007). *Car-2-car communication consortium-manifesto*, CAR 2 CAR Communication Consortium, USA.

Bok, K., Hong, S., Lim, J., and Yoo, J. (2016). "A multiple RSU scheduling for V2I-based data services.", *International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, Regal Riverside Hotel Hong Kong, China: 18 – 20 Jan, 2016.

Chakraborty, S., Laware, H., Castanon, D., and Zekavat, S. R. (2016). "High precision localization for autonomous vehicles via multiple sensors, data fusion and novel wireless technologies.", *Proceeding of The 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Columbia University 116th Street and Broadway New York: 20 – 22 Oct 2016.

Chuang, C.-C., and Kao, S.-J. (2012). "An approximation analysis for safety messages transmission in vehicle-to-vehicle WAVE networks." *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 784-793.

Dhar, P., and Gupta, P. (2016). "Intelligent parking Cloud services based on IoT using MQTT protocol."*, International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, International Institute of Information Technology Rajiv Gandhi InfoTech Park Opposite to Symbiosis University Hinjawadi, Phase 1 Pune, Maharashtra Pune, India: 9 – 10 Sep, 2016.

Hussain, R., Son, J., Eun, H., Kim, S., and Oh, H. (2012). "Rethinking vehicular communications: Merging VANET with cloud computing."*, Proceeding of The 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, The Grand Hotel Taipei, Taiwan: 3 – 6 Dec, 2012.

Kumari, S., and Rath, S. K. (2015). "Performance comparison of soap and rest based web services for enterprise application integration."*, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, SCMS Group of Educational Institutions SCMS Campus, Prathap Nagar Muttom, Aluva Cochin – 683 106, Kerala Kochi, India: 10 – 13 Aug, 2015.

Kwak, D., Liu, R., Kim, D., Nath, B., and Iftode, L. (2016). "Seeing is believing: Sharing real-time visual traffic information via vehicular clouds." *IEEE Access*, 4, 3617-3631.

Liu, B., Jia, D., Wang, J., Lu, K., and Wu, L. (2017). "Cloud-Assisted Safety Message Dissemination in VANET–Cellular Heterogeneous Wireless Network." *IEEE Systems Journal*, 11(1), 128-139.

Maia, G., Boukerche, A., Aquino, A. L., Viana, A. C., and Loureiro, A. A. (2013). "A data dissemination protocol for urban vehicular ad hoc networks with extreme traffic conditions."*, IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Budapest Marriott Hotel Budapest, Hungary: 9 – 13 Jun, 2013.

Mallissery, S., Pai, M. M., Ajam, N., Pai, R. M., and Mouzna, J. (2015). "Transport and traffic rule violation monitoring service in ITS: a secured VANET cloud application."*, Proceeding of The 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Planet Hollywood Resort and Casino 3667 Las Vegas Blvd S Las Vegas, NV, USA: 9 – 12 Jun, 2015.

Mell, P., and Grance, T. (2011). *The NIST definition of cloud computing*, National Institute of Standards and Technology, USA.

Palma, V., and Vegni, A. M. (2013). "On the Optimal Design of a Broadcast Data Dissemination System over VANET Providing V2V and V2I Communications" The Vision of Rome as a Smart City". *Journal of telecommunications and information technology*, 41-48.

Perkins, C., Belding-Royer, E., and Das, S. (2003). "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing."

Perkins, C. E., and Bhagwat, P. (1994). "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers.", *Proceedings of the 94th Communications architectures, protocols and applications* (*SIGCOMM*), New York, NY, USA: 1 Oct, 1994.

Pescosolido, L., Berta, R., Scalise, L., Revel, G. M., De Gloria, A., and Orlandi, G. (2016). "An IoT-inspired cloud-based web service architecture for e-Health applications.", *IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, University of Trento - Department of Sociology and Social Research Via Verdi, 26 Trento, Italy, 12 – 15 Sep, 2016.

Salahuddin, M. A., Al-Fuqaha, A., and Guizani, M. (2015). "Software-defined networking for RSU clouds in support of the Internet of vehicles." *IEEE Internet of Things journal*, 2(2), 133-144.

Salahuddin, M. A., Al-Fuqaha, A., Guizani, M., and Cherkaoui, S. (2014). "RSU cloud and its resource management in support of enhanced vehicular applications.", *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Austin, Texas, USA: 8 – 12 Dec, 2014.

Samad, A., Wu, K., and Chen, M. (2016). "Cloud-Based Web Services for Endangered Language Analysis.", *Proceedings of the 17th International Conference on Information Reuse and Integration*, Pennsylvania, USA: 28 – 30 Jul, 2016.

Shetty, S. D., Sethi, S., and Vadivel, S. (2012). "Development of a REST Web Service to help organizations promote customer involvement in online Corporate Social Responsibility.", *International Conference on Cloud Computing Technologies, Applications and Management (ICCCTAM)*, BITS Pilani, Dubai Campus Dubai International Academic City Dubai, United Arab Emirates: 8 – 10 Dec, 2012.

Sou, S.-I., and Lee, Y. (2012). "SCB: store-carry-broadcast scheme for message dissemination in sparse VANET.", *Proceedings of the 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Yokohama, Japan: 6 – 9 May, 2012.

Thopte, D., Devkota, T., and Gokhale, A. (2009). "A real-time publish/subscribe driver alert system for accident avoidance due to red light running.", *Proceedings of the 3rd ACM International Conference on Distributed Event-based Systems*, Nashville, TN, USA: 6 – 9 Jul, 2009.

Whaiduzzaman, M., Sookhak, M., Gani, A., and Buyya, R. (2014). "A survey on vehicular cloud computing." *Journal of Network and Computer Applications*, 40, 325-344.

Zhang, Q., Cheng, L., and Boutaba, R. (2010). "Cloud computing: state-of-the-art and research challenges." *Journal of internet services and applications*, 1(1), 7-18.

Zheng, K., Zheng, Q., Chatzimisios, P., Xiang, W., and Zhou, Y. (2015). "Heterogeneous vehicular networking: a survey on architecture, challenges, and solutions." *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2377-2396.

Zhou, W., Ren, C., Ma, C., Hui, Y., Luo, H., Gan, X., and Xi, W. (2013). "Multicast/broadcast service in integrated VANET-cellular heterogeneous wireless networks.", *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, The Dragon 120 Shuguang Road Hangzhou, China: 24 – 26 Oct, 2013.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวาทิน ใจบุญ
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5830223006

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง (สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต	2555

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วาทิน ใจบุญ และจิรวัฒน์ แท่นทอง. (2559). “วิธีการกระจายข้อมูลบนพื้นฐานคลาวด์ (Store-Carry-Broadcast-Cloud-Based) สำหรับเครือข่ายยานพาหนะ.”, *การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (NCIT)* ครั้งที่ 8, โรงแรมดีวาน่า พลาซ่า กระบี่: 26-27 ตุลาคม 2559.

V. Jaiboon and J. Thaenthong. (2017). “Infotainment Data Dissemination Mechanism Using RSU Cloud Based for Vehicular Networks.”, *Proceeding of The 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Phuket: 12-13 October, 2017.