



กลไกการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหา  
เป็นศูนย์กลาง  
Efficiency of Packet Delivery Mechanism for Content-Centric  
Networking in VANET

แสงเดือน ชูทอง  
Sangduan Chootong

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



ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ดร.จิรวัดน์ แทนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวแสงเดือน ชูทอง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวแสงเดือน ชูทอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	กลไกการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง
ผู้เขียน	นางสาวแสงเดือน ชูทอง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกลไกซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วิธีการจัดแบ่งกลุ่มย่อย ส่วนที่ 2 การจัดการแคชข้อมูลลงในโหนดที่หน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม และส่วนที่ 3 คือการรักษาเสถียรภาพของกลุ่ม ส่วนที่ 1 นำเสนอระบบเครือข่ายที่เรียกว่า VCCN-C เป็นเทคนิคการจัดกลุ่มย่อยตามความเร็วของยานพาหนะ โหนดในกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่มจะคอยให้บริการข้อมูลแก่สมาชิก นอกจากนี้หัวหน้ากลุ่มยังทำหน้าที่ในการจัดส่งแพ็คเก็ตข้อมูลระหว่างกลุ่ม ข้อดีของกลไกนี้ คือ ช่วยลด Overhead และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลภายในกลุ่ม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า VCCN-C มีประสิทธิภาพดีกว่า VCCN ในแง่ของการช่วยลดความล่าช้าและจำนวน hop ในการส่งข้อมูล ส่วนที่ 2 มุ่งเน้นเรื่องการจัดการแคชข้อมูลลงในโหนดที่หน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม สิ่งที่ได้จากงานวิจัย คือ เทคนิคการแคชข้อมูลตามความนิยมของเนื้อหา (Content Popularity: CP) ที่เรียกว่า Cache Replacement Content Popularity (CRCP) โดยอาศัยฟังก์ชัน Exponential Moving Average ซึ่งจะนำค่าความนิยมมาพิจารณาในการเก็บรายการข้อมูลให้ยังคงอยู่ใน CS ต่อไป ผลการทดลองพบว่า CRCP มีอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ย (Average Cache Hit Ratio) ดีกว่าแบบ Least Recently Used (LRU) และ Least Frequently Used (LFU) และส่วนที่ 3 คือ ส่วนของการรักษาเสถียรภาพของกลุ่ม โดยการปรับปรุงแนวคิดในส่วนที่ 1 โดยการเลือกหัวหน้ากลุ่มเพิ่มอีก 1 โหนดที่เรียกว่า Secondary Cluster Head (SCH) ซึ่งจะทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลสำรองในกรณีที่ Primary Cluster Head (PCH) ออกจากกลุ่ม ประโยชน์ของกลไก คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลให้ได้จากโหนดหัวหน้ากลุ่มเสมอ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากลไกที่นำเสนอช่วยลดความล่าช้าในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลและค่าเฉลี่ยจำนวน Hop น้อยกว่า VCCN

**คำสำคัญ:** ระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง, ระบบเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ, การจัดกลุ่ม, การแคชข้อมูล, การรักษาเสถียรภาพของกลุ่ม

<b>Thesis Title</b>	Efficiency of Packet Delivery Mechanism for Content-Centric Networking in VANET
<b>Author</b>	Miss Sangduan Chootong
<b>Major Program</b>	Information Technology
<b>Academic</b>	2017

### ABSTRACT

This thesis presents the three mechanisms. In the first part, the clustering technique is performed, the second part is caching replacement management for the cluster head, and the third part is cluster maintenance mechanism. In the first part, the Vehicular Content-Centric Networking in Cluster (VCCN-C) is the sub-clustering technique performed by the speed of the vehicle. A node of cluster acts as a cluster head to provide data services for cluster members. The cluster head handles to deliver packets among clusters. The advantage of this mechanism is to reduce the packet overhead and the data redundancy. The results are demonstrated the VCCN-C increases the performance of packet delivery delay and the hop counts are greater than the VCCN. In the second part, we design the Cache Replacement Content Popularity (CRCP) mechanism on the cluster head. The research is based on the Content Popularity (CP) of the data cached on the cluster head. The Exponential Moving Average (EMA) function is applied to evaluate the popularity of the content data in the cluster head. The results are proved the CRCP is better than the standard of cache replacement technique in term of average cached hit ratio. In the third part, the cluster maintenance mechanism is designed to solve the problem of the cluster head leaves from the cluster in the first part. We modify the mechanism in the first part in order to allow selecting one additional node for data backup, called Secondary Cluster Head (SCH). The local data access is guaranteed for cluster members. The results are explained the proposed mechanism improves the performance of the packet delivery delay and the average hop counts are better than the VCCN.

**Keywords:** Content-Centric Networking, Vehicular Ad-hoc Network, Clustering, Caching Technique, Cluster Maintenance

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.จิรวัดน์ แทนทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยแนะนำแนวทางการจัดทำวิทยานิพนธ์และช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูชงค์ อุทัยภาค และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วโรดม วีระพันธ์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น รวมถึงอาจารย์คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทุกท่าน ที่ช่วยแนะนำและถ่ายทอดวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และเจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกและประสานงานระหว่างศึกษาค้นคว้าข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวของข้าพเจ้าที่ช่วยเป็นกำลังใจและสนับสนุนตลอดมา ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ ตำรา บทความ วารสารต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

แสงเดือน ชูทอง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	(5)
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์ ตัวย่อ และคำย่อ	(13)
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของปัญหา (Statement of the Problem)	1
1.2 วัตถุประสงค์ (Statement of Purpose)	2
1.3 คำถามวิจัย (Research Question)	3
1.4 ความสำคัญและประโยชน์ของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
<b>บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (Content-Centric Networking)	4
2.2 ระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (Vehicular Content-Centric Network)	4
2.3 แนวคิดการจัดกลุ่มเครือข่ายยานพาหนะ (VANET Clustering Scheme)	7
2.4 การกระจายข้อมูลในระบบเครือข่ายแบบ VANETs (Data Dissemination in VANETs)	10
2.5 การกระจายข้อมูลโดยหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head in Data Dissemination)	10
2.6 นโยบายการจัดเก็บข้อมูลใน CCN (CCN Caching Policy)	11
2.7 การพยากรณ์โดยวิธี Exponential Moving Average	12
<b>บทที่ 3 วิธีการแบ่งกลุ่มย่อยในระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง</b>	<b>15</b>
3.1 ความเป็นมา	15
3.2 งานวิจัยที่นำเสนอ	15
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	18
3.5 วิเคราะห์และสรุปผล	20



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4</b> กลยุทธ์ในการจัดการแทนที่ข้อมูลในแคช	24
4.1 ความเป็นมา	24
4.2 กลไกที่นำเสนอ	25
4.3 กลยุทธ์การแทนที่ข้อมูลในแคช	26
4.4 สภาพแวดล้อมของการทดลอง	28
4.5 วิเคราะห์และสรุปผล	30
<b>บทที่ 5</b> การรักษาเสถียรภาพของกลุ่มให้มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้น เนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (VCCN)	46
5.1 ความเป็นมา	33
5.2 วิธีการทดลอง	34
5.3 Message Types	39
5.4 การรักษาเสถียรภาพของคลัสเตอร์	40
5.5 การวิเคราะห์ Signaling Overhead	45
5.6 สภาพแวดล้อมของสถานการณ์จำลอง	47
5.7 วิเคราะห์และสรุปผล	48
<b>บทที่ 6</b> บทสรุปและข้อเสนอแนะ	56
6.1 สรุปผลการวิจัย	56
6.2 ประโยชน์ต่อวงวิชาการ	57
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ	58
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	59
<b>ภาคผนวก ก ผลการทดลองเพิ่มเติมบทที่ 5</b>	64
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	74

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์	19
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของการทดลอง	29
ตารางที่ 5.1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ	35
ตารางที่ 5.2 Message Types	39
ตารางที่ 5.3 Hello Message Format	40
ตารางที่ 5.4 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์	48

## สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (VCCN)	5
รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานของ VCCN	6
รูปที่ 2.3 กรอบแนวคิดการแบ่งกลุ่มย่อยของระบบเครือข่ายยานพาหนะ	8
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานที่นำเสนอ	17
รูปที่ 3.2 สถานการณ์ตัวอย่างการทดลองแบบ VCCN	18
รูปที่ 3.3 สถานการณ์ตัวอย่างการทดลองแบบ VCCN-C ที่นำเสนอ	19
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลง Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนยานพาหนะ	22
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Hop เมื่อมีการเพิ่มจำนวนยานพาหนะ	22
รูปที่ 4.1 System Architectures of VCCN Communication	25
รูปที่ 4.2 Network Topology	28
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผล Average Cache Hit Ratio vs Cache Size	30
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผล Average Cache Hit Ratio vs Number of Nodes/CR	31
รูปที่ 5.1 System Architecture	35
รูปที่ 5.2 กระบวนการจัดกลุ่มและเลือกหัวหน้ากลุ่ม	38
รูปที่ 5.3 Algorithm 1 : PCH-Active and SCH-Passive	41
รูปที่ 5.4 Algorithm 2 : PCH-Active and SCH-Leave	41
รูปที่ 5.5 Algorithm 3 : PCH-Leave and SCH-Passive	41
รูปที่ 5.6 Algorithm 4 : PCH-Leave and SCH-Leave	41
รูปที่ 5.7 Algorithm 5 : Joining a Cluster	42
รูปที่ 5.8 Cluster Merge	43
รูปที่ 5.9 Algorithm 6 : Cluster Merge	43
รูปที่ 5.10 Cluster Leaving	44
รูปที่ 5.11 Algorithm 7 : Cluster Leaving	44
รูปที่ 5.12 Algorithm 8 : Duplication Data	45
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่า Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด	50
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงค่า Average Delivey Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด	50
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด	51
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่า Average Signaling Overhead เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด	52
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่า Hop Count เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลไม่ซ้ำ	53
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่า Average Hop Count เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลไม่ซ้ำ	53
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่า Average Hop Count เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลซ้ำ ๆ	54

**สัญลักษณ์ ตัวอย่าง และคำย่อ**

CCN	Content-Centric Networking
CH	Cluster Head
CM	Cluster Member
CR	Content Router
CRCP	Cache Replacement with Content Popularity
CS	Content Store
CTV	Cluster Threshold Value
FIB	Forwarding Information Base
GPS	Global Position System
LCA	Linked Cluster Algorithm
LFU	Least Frequently Used
LRU	Least Recently Used
PCH	Primary Cluster Head
PIT	Pending Interest Table
RSU	Road Side Unit
RTVC	Real Time Vehicular Communication
SCH	Secondary Cluster Head
VANET	Vehicular Ad-hoc Network
VCCN	Vehicular Content-Centric Network
VCCN-C	Vehicular Content-Centric Network in Cluster
VCHE	Vehicle Cluster Heeader Election
VCM	Vehicle Cluster Maintenance
VCF	VANET Cluster Formation
VCS	VANET Cluster Scheme
VMR	VANET Multicast Routing

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา (Statement of the Problem)

เครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ (Vehicular Ad-hoc Network หรือ VANET) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยมียานพาหนะเป็นโหนด ซึ่งภายในเครือข่ายยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่และสื่อสารกันได้อย่างอิสระ เช่นเดียวกับโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เพราะมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายตามโทโพลยี IEEE 802.11 ไว้ภายใน และเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นแบบอิสระมีการเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ตลอดเวลา การอ้างอิงในการสื่อสารข้อมูลด้วยตำแหน่งที่อยู่หรือ IP จึงเป็นข้อจำกัดของเครือข่ายยานพาหนะ เนื่องจากการอ้างอิงในการสื่อสารข้อมูลด้วยตำแหน่งที่อยู่หรือไอพีแอดเดรสทำให้เกิดปัญหาเส้นทางการส่งข้อมูลที่ไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อโหนดต้นทางหรือปลายทางที่ทำการสื่อสารกันมีการเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ของเครือข่ายที่เชื่อมต่อ (Meghanathan, 2011) ทำให้เกิดเส้นทางการสื่อสารที่ไม่มีประสิทธิภาพเรียกปัญหานี้ว่า Sub-Optimal routing ผลจะทำให้เส้นทางการสื่อสารเกิดความล่าช้า (delay) เพิ่มขึ้นมาก และอาจจะส่งผลให้แพ็คเกจข้อมูลมีการสูญหายด้วยหากไม่มีการจัดการการส่งต่อการสื่อสาร (Handover)

ปัจจุบันจึงได้มีการนำแนวคิดระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (CCN) เข้ามาเพื่อช่วยแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยผู้ร้องขอสนใจเพียงข้อมูลที่ต้องการ โดยไม่คำนึงถึงว่าข้อมูลเหล่านั้นถูกเก็บไว้แหล่งใดภายในระบบเครือข่าย แต่สำหรับผู้ให้บริการจะสนใจด้านการเชื่อมต่อจากต้นทางไปยังแหล่งข้อมูลที่ผู้ร้องขอ โดยเปลี่ยนจากการอ้างอิงตำแหน่งที่อยู่จากหมายเลขไอพี เป็นการอ้างอิงด้วยชื่อตามแนวคิด (Jacobson, *et al.*, 2009) ทำให้สามารถพัฒนาเพื่อให้การรับส่งข้อมูลนั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น การส่งคำร้องขอ (Interest) ในรูปแบบของการแพร่กระจาย (Interest Flooding) การจัดการในเรื่องของ Interest และ content กลยุทธ์ในการค้นหาเส้นทาง (Routing Strategies) และการบริหารจัดการในส่วนของ Content Store (CS), Forwarding Information Base (FIB) และ Pending Interest Table (PIT) โดยในการวิจัยในครั้งนี้นำเสนอกลไก 3 ส่วนย่อย คือ

1) สถาปัตยกรรมในการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลในรูปแบบของการแบ่งกลุ่มย่อยหรือ คลัสเตอร์ย่อยตามความเร็วของยานพาหนะ ประโยชน์ของการแบ่งเป็นคลัสเตอร์ย่อย คือ ภายในคลัสเตอร์ย่อยนั้น ๆ จะมีโหนด 1 โหนด ที่ทำหน้าที่เก็บสำรองข้อมูลและคอยให้บริการข้อมูลแก่สมาชิก ภายในคลัสเตอร์ทำให้ไม่เกิดปัญหาการเพิ่มขึ้นของจำนวนแพ็คเก็ตที่ไม่จำเป็นในระบบ (Overhead) และความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่จัดเก็บ (Redundancy) รวมถึงการรับส่งข้อมูลก็ทำได้เร็วขึ้น

2) มุ่งเน้นพัฒนาในเรื่องการบริหารจัดการแคชในส่วนของ CS ซึ่งใน CS จะบรรจุ เนื้อหาที่ถูกสร้างหรือได้รับจากโหนดใด ๆ ภายในระบบเครือข่าย เพื่อเก็บไว้สำหรับให้บริการแก่ผู้ ร้องขอ และการจัดเก็บของเนื้อหาภายใน CS ควรจะอยู่บนพื้นฐานของลำดับความสำคัญของข้อมูล การใช้งาน เวลาที่มาถึง ขนาดและปัจจัยอื่น ๆ ดังนั้นจะต้องมีนโยบายในการบริหารจัดการแคชที่มี ประสิทธิภาพ เพื่อให้การสื่อสารในเครือข่าย VANET นั้นมีการเข้าถึงข้อมูลที่เร็วขึ้น มีอัตราการเจอ ข้อมูลที่เพิ่มขึ้น จำนวนแพ็คเก็ตที่สูญหายระหว่างการรับส่งข้อมูลน้อยลง

3) การปรับปรุงแนวคิดการจัดแบ่งกลุ่มย่อยจากการเลือกโหนดที่ทำหน้าที่เป็น Cluster Head เพียงโหนดเดียวเป็นการเลือกโหนด Cluster Head มาทำหน้าที่ 2 ประเภท คือ Primary Cluster Head (PCH) ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลหลักแก่สมาชิกภายในกลุ่ม และ Secondary Cluster Head (SCH) ซึ่งจะทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลสำรองในกรณีที่ PCH ออก จากกลุ่ม นอกจากนี้ยังได้จัดการในส่วนของการรักษาเสถียรภาพของกลุ่ม เพื่อให้ผู้ร้องขอสามารถร้อง ขอข้อมูลได้จากโหนดที่เป็น Cluster Head เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล และลด Delivery Delay ทำให้โหนดสามารถเข้าถึงข้อมูลได้เร็วขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ (Statement of Purpose)

1) พัฒนาเทคนิคที่ช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการกระจายข้อมูล เพื่อลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูล และเพิ่มอัตราการเจอข้อมูล (Cache Hit Ratio) ในระบบเครือข่าย ยานพาหนะเฉพาะกิจ

2) วิเคราะห์ ประเมินผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเทคนิคเดิม (VCCN) และเทคนิคใหม่ที่น่าเสนอ (VCCN-C) โดยมีตัวชี้วัด คือ ความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล และอัตราการเจอ ข้อมูล

### 1.3 คำถามวิจัย (Research Question)

- 1) เทคโนโลยี CCN นำไปใช้ในเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ (VANET) ได้อย่างไร
- 2) มีวิธีการอะไรบ้างที่ทำให้เครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจที่นำเทคโนโลยี CCN มาใช้ในการรับส่งข้อมูลในเครือข่ายได้เร็วขึ้นและได้รับข้อมูลถูกต้อง ครบถ้วน
- 3) ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจที่ใช้เทคโนโลยี CCN สามารถวัดได้ด้วยวิธีการใดบ้าง

### 1.4 ความสำคัญและประโยชน์ของการวิจัย

- 1) สามารถนำองค์ความรู้ใหม่ที่ได้ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาระบบเครือข่ายยานพาหนะได้
- 2) เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาและรูปแบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (CCN) ไปใช้ประโยชน์ เป็นต้นแบบในการติดตั้งและออกแบบระบบเครือข่าย CCN ในกลุ่มงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมที่ช่วยลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูลตั้งแต่กระบวนการร้องขอข้อมูลจนได้ข้อมูลตอบกลับมาระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพ คือ Packet delivery delay , Signaling Overhead และ Hop Count

## บทที่ 2

### เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (Content-Centric Networking)

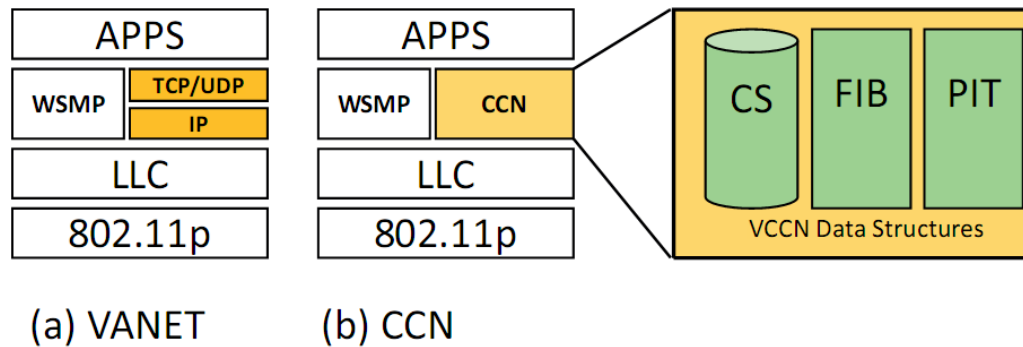
Content-Centric Networking (CCN) (Jacobson, *et al.*, 2009) เป็นโครงสร้างของสถาปัตยกรรมที่มีรูปแบบการอ้างอิงข้อมูลโดยใช้ชื่อ (Name) แทนการอ้างอิงด้วยหมายเลขไอพี (IP Address) ลักษณะการอ้างอิงจะคล้ายกับรูปแบบ URLs เช่น /aueb.gr/ai/main.html ใน CCN มีแพ็คเกจอยู่ 2 ลักษณะ คือ Interest และ Data ผู้ร้องขอจะร้องขอเนื้อหาด้วยการส่งคำร้องแบบกระจาย (Broadcast) บนการเชื่อมต่อทั้งหมด โหนดที่ได้รับแพ็คเกจ Interest (Interest Packet) และมีข้อมูลจะตอบกลับโดยใช้แพ็คเกจ Data (Data Packet) ข้อมูลที่ส่งกลับจะเป็นข้อมูลตามที่ร้องขอ ในระบบ CCN ประกอบด้วย 3 โครงสร้างหลัก คือ 1) CS (Content Store) 2) PIT (Pending Interest Table) และ 3) FIB (Forwarding Information Base) หน้าที่ของทั้ง 3 โครงสร้างหลัก และกระบวนการทำงานจะอธิบายในหัวข้อ 2.2 ต่อไป

#### 2.2 ระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (Vehicular Content-Centric Network)

เดิมในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบ VANET การรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางต้องอาศัยตำแหน่งที่อยู่จากหมายเลขไอพีในการอ้างอิงดังรูป 2.1(a) ทำให้เกิดปัญหาเส้นทางการส่งข้อมูลที่ไม่เหมาะสม (Meghanathan, 2011) และรูป 2.1(b) ได้นำแนวคิดการสื่อสารแบบ CCN ซึ่งอ้างอิงด้วยชื่อมาใช้แทนเพื่อแก้ไขปัญหานี้ โดยผู้ร้องขอสนใจเพียงข้อมูลที่ต้องการ โดยไม่คำนึงถึงว่าข้อมูลเหล่านั้นถูกเก็บไว้แหล่งใดภายในระบบเครือข่าย แต่สำหรับผู้ให้บริการจะสนใจด้านการเชื่อมต่อจากต้นทางไปยังแหล่งข้อมูลของผู้ร้องขอ จึงเกิดสถาปัตยกรรมในการสื่อสารแบบใหม่ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานข้อมูลภายในเครือข่ายยานพาหนะ สถาปัตยกรรมนี้เรียกว่า ระบบ



เครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (Vehicular Content-Centric Network : VCCN) (Safdar, *et al.*, 2015) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (VCCN)

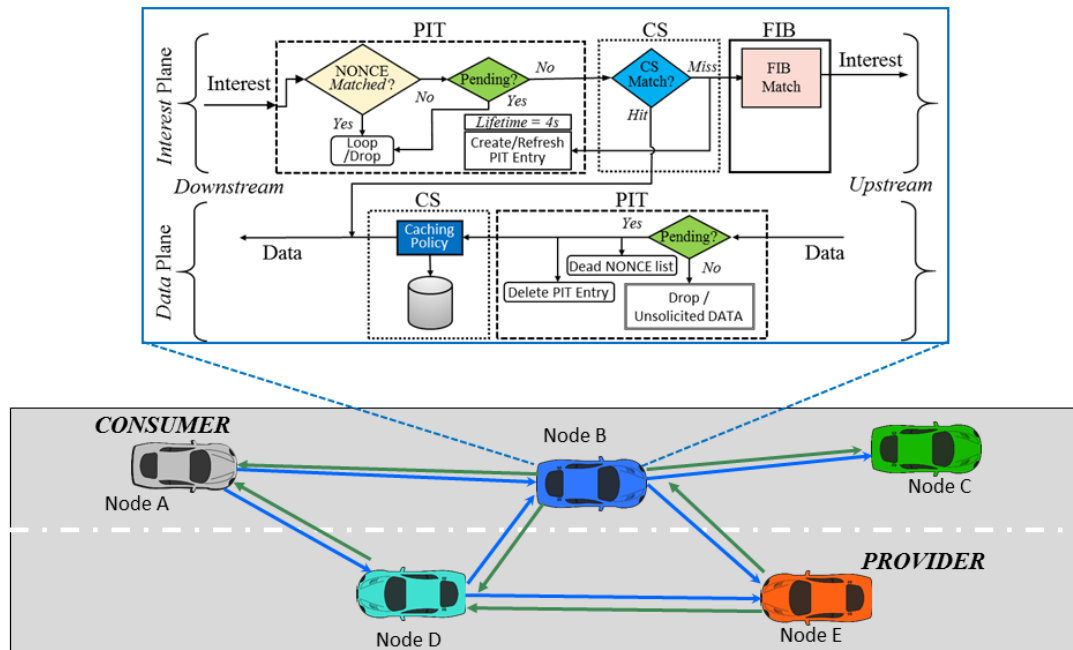
VCCN (Amadeo, *et al.*, 2014 and Zhang, *et al.*, 2015) ประกอบด้วย 3 โครงสร้างหลัก คือ

1) CS (Content Store) ทำหน้าที่เหมือนแคช (Cache) เพื่อเก็บข้อมูลที่มีการเรียกใช้โดยมีขนาดจำกัด ข้อมูลเดิมจะถูกแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่เมื่อพื้นที่เก็บข้อมูลเต็มโดยใช้นโยบายการแทนที่ LRU และ LFU เป็นต้น

2) PIT (Pending Interest Table) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ใช้ร้องขอและเส้นทางที่เรียกเข้ามาผ่านอุปกรณ์นั้น ๆ ชั่วครวณระหว่างการตอบกลับ

3) FIB (Forwarding Information Base) ทำหน้าที่เก็บเส้นทางการส่งต่อการร้องขอข้อมูลโดยใช้ชื่อข้อมูลเป็นกุญแจหลักในการค้นหาเส้นทาง เมื่อยานพาหนะที่มีสถาปัตยกรรมแบบ NDN (Jacobson, *et al.*, 2009) ฝังอยู่ต้องการข้อมูล ก็จะส่งแพ็คเก็ต Interest ด้วยชื่อข้อมูล, selector, NONCE และอายุของแพ็คเก็ต Interest (Interest Life time) ซึ่งกำหนดไว้เป็น 4 วินาที (Bouk, *et al.*, 2015) โหนดเพื่อนบ้านเมื่อได้รับแพ็คเก็ต Interest จะมีกระบวนการทำงาน แสดงดังรูปที่ 2.2

## Vehicular Named Data Networks



รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานของ VCCN

1) กระบวนการทำงานจะเริ่มมีแพ็คเก็ต Interest เข้ามาใน PIT ถ้าใน PIT เคยมีแพ็คเก็ต Interest ดังกล่าวแล้วจะยกเลิกแพ็คเก็ต Interest นั้นไป เรียกแพ็คเก็ต Interest นี้ว่า NONCE list โดยจะมีตัวจับเวลาในการหมดอายุของ NONCE list คือ Interest Lifetime กลไกนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดลูปของการร้องขอของแพ็คเก็ต Interest ซ้ำ ๆ นอกจากนี้ยังป้องกันการเกิดความแออัดของการกระจายของแพ็คเก็ต Interest ในกรณีที่ไม่มีรายการใน NONCE list แพ็คเก็ต Interest จะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนต่อไป

2) หลังจากที่แพ็คเก็ต Interest ถูกตรวจสอบในรายการที่รอดำเนินการใน PIT ถ้าแพ็คเก็ต Interest อยู่ในรายการที่รอดำเนินการแพ็คเก็ต Interest นั้นก็จะถูกลบทิ้ง หลังจากนั้นก็จะค้นหาข้อมูลใน CS การค้นหาจะใช้ชื่อและ selector (เป็นฟิลด์เพิ่มเติมที่ช่วยให้ค้นหาข้อมูลตรงกับสิ่งที่ต้องการมากขึ้น selectors จะถูกวางไว้หลังชื่อเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานซึ่งทำให้ใช้หน่วยความจำเพิ่มขึ้น) ถ้าข้อมูลที่ร้องขอตรงกับที่มีอยู่ใน CS โหนดก็จะส่งแพ็คเก็ต Data กลับผ่านทางอินเทอร์เน็ตเฟซที่รับเข้ามา ในกรณีที่ไม่เจอข้อมูลใน CS ก็จะมีการสร้างรายการ PIT ของแพ็คเก็ต Interest ที่รับเข้า นั่นก็หมายถึงว่าโหนดที่รับแพ็คเก็ต Interest เข้ามาไม่ใช่โหนดผู้ให้บริการสำหรับ

ข้อมูลที่ร้องขอ ดังนั้นแพ็คเกจ Interest ถูกส่งต่อไปยังโหนดเพื่อนบ้าน เมื่อโหนดเพื่อนบ้านได้รับแพ็คเกจ Interest ก็จะทำซ้ำกระบวนการที่ 1-2

3) ในกรณีที่โหนดได้รับแพ็คเกจ Data เข้ามาก็จะเข้าไปดูใน PIT ว่ามีรายการการร้องขอหรือไม่ ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 การร้องขอแพ็คเกจ Data ก็จะถูกส่งต่อผ่านทางอินเทอร์เน็ตที่แพ็คเกจ Interest ส่งมา อย่างไรก็ตามก่อนที่จะส่งต่อแพ็คเกจ Data ข้อมูลนั้นก็จะถูกสำรองไว้ใน CS ของโหนดตนเองด้วยขึ้นอยู่กับนโยบายการจัดการแคชของ CS พร้อมกันนั้น ชื่อและ NONCE ที่ถูกเก็บไว้ใน Interest Lifetime จะถูกลบออกจาก PIT เมื่อหมดอายุ

## 2.3 แนวคิดการจัดกลุ่มเครือข่ายยานพาหนะ (VANET Clustering Scheme)

Farooq, *et al.* (2016) ได้นำเสนอกรอบแนวคิดการจัดกลุ่มย่อยการสื่อสารของยานพาหนะแบบตามจริง (Real Time Vehicular Communication Framework : RTVC Framework) RTVC ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ โครงสร้างกลุ่มย่อยของระบบเครือข่ายยานพาหนะ (VANET cluster scheme : VCS) และโปรโตคอลการค้นหาเส้นทางแบบหลายผู้รับ (VANET Multicast Routing : VMR) จุดประสงค์ของกรอบแนวคิด RTVC เพื่อใช้ในการสร้างเส้นทางสื่อสารและการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ลดการเกิด Overhead ถึงแม้จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาภายในเมืองหรือบนทางหลวง โดยกรอบแนวคิดนี้ทำงานอยู่บนพื้นฐานการแบ่งกลุ่มย่อย ซึ่งจุดเด่นของแนวคิดนี้อยู่ที่การจัดโครงสร้างกลุ่มย่อยของระบบเครือข่ายยานพาหนะ ดังรูปที่ 2.3 การทำงานของ VSC ประกอบด้วย 2 กระบวนการคือ

### 2.3.1 การสร้างกลุ่มย่อย (VANET Cluster Formation : VCF)

1) Cluster Speed Limit (CSL) เป็นขั้นตอนการแบ่งกลุ่มยานพาหนะตามความเร็วตามลักษณะเลนการวิ่งของรถเป็น 3 เลน คือ (1) กลุ่มเลนช้า (Clusters of slow lane:  $C_S$ ) ความเร็วน้อยกว่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (2) กลุ่มเลนปานกลาง (Clusters of medium lane:  $C_M$ ) ความเร็วตั้งแต่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแต่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (3) กลุ่มเลนเร็ว (Clusters of fast lane:  $C_F$ ) ความเร็วตั้งแต่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแต่ไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2) Cluster Threshold Value (CTV) เป็นเกณฑ์ที่ใช้ตรวจสอบว่ายานพาหนะยังคงอยู่ในกลุ่มความเร็วเดิมหรือไม่

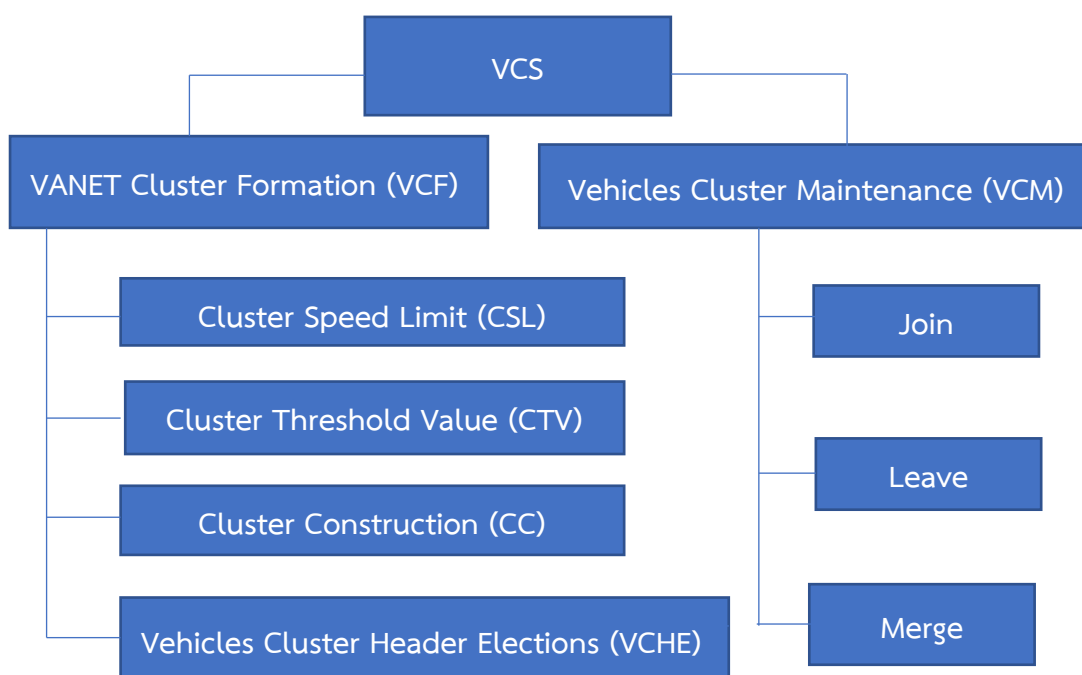
3) Clusters Construction เป็นขั้นตอนการสร้างกลุ่มย่อยซึ่งอาศัยค่า CSL และ CTV ในการพิจารณา

4) Vehicles Cluster Header Election (VCHE) เป็นขั้นตอนการเลือกหัวหน้ากลุ่มยานพาหนะโดยนำค่าความเร็วของยานพาหนะแต่ละคันมาเปรียบเทียบกับค่า CTV ยานพาหนะคันใดที่มีค่าใกล้เคียงที่สุดจะโดนเลือกเป็นหัวหน้ากลุ่ม

### 2.3.2 การดูแลรักษากลุ่ม (Vehicles Cluster Maintenance: VCM)

การดูแลรักษากลุ่มประกอบด้วยขั้นตอนการเข้าร่วมกลุ่ม (Join) การออกจากกลุ่ม (Leave) และการยุบรวมกลุ่ม (Merge) เมื่อมียานพาหนะวิ่งเข้ามาในกลุ่มทุกโหนดจะตรวจสอบความเร็วกับค่า CSL อยู่ในช่วงความเร็วช้า ปานกลาง หรือเร็ว โดยมีการตรวจสอบเป็นระยะ ๆ ถ้ายังอยู่ในช่วงความเร็วเดิมก็ยังคงอยู่ในกลุ่มนั้นต่อไป แต่ถ้าความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงก็ตรวจสอบกับ CSL ว่าอยู่ในช่วงของกลุ่มใด

จะเห็นว่าวิธีนี้จะช่วยคงสภาพของกลุ่มคลัสเตอร์ย่อยได้ดี ลดการเข้าออกภายในคลัสเตอร์เนื่องจากหลักการนี้จัดกลุ่มด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน วิธีนี้พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความเร็วภายในคลัสเตอร์ ยานพาหนะคันใดที่ความเร็วใกล้เคียงค่าเฉลี่ยมากที่สุดก็จะรับหน้าที่เป็น Cluster Header จึงทำให้บางคลัสเตอร์มี delay มาก และบางคลัสเตอร์มี delay น้อย เนื่องจากตำแหน่งของ Cluster Header ที่ได้จากเทคนิคนี้ไม่ได้อยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะที่อยู่ใกล้เคียงได้



รูปที่ 2.3 กรอบแนวคิดการแบ่งกลุ่มย่อยของระบบเครือข่ายยานพาหนะ (Farooq, et al., 2016)

### 2.3.3 เทคนิค K-Means Clustering

เทคนิค K-Means Clustering (Yuan, *et al.*, 2004 and Anil K Jain, 2010) เป็นเทคนิคที่น่าสนใจนอกจากจะใช้จัดกลุ่มย่อยได้แล้วยังสามารถหาตำแหน่งของจุดกึ่งกลางที่เหมาะสม K-Means มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1) กำหนดหรือสุ่มค่าเริ่มต้น จำนวน  $k$  ค่า (กลุ่ม) และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้น  $k$  จุด เรียกว่า จุดกึ่งกลางของกลุ่มย่อยหรือ Centroid

2) นำโหนดทั้งหมดจัดเข้ากลุ่ม โดยทำการหาค่าระยะห่างระหว่างโหนดกับจุดศูนย์กลาง หากข้อมูลไหนใกล้ค่าจุดศูนย์กลางตัวโหนดที่อยู่กลุ่มนั้น ดังสมการที่ 2.1

$$dis_k^i = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2} \quad (2.1)$$

$$\text{หรือ } dis_k^i = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2.2)$$

$dis_k^i$  คือ ระยะห่างระหว่างโหนด 2 โหนด

$p_k$  คือ พิกัดของจุดที่ต้องการคำนวณ

$q_k$  คือ พิกัดของ centroid

$(x_1, y_1)$  คือ พิกัดของจุดที่ต้องการคำนวณ

$(x_2, y_2)$  คือ พิกัดของ centroid

3) หาค่าเฉลี่ย (Mean) ตามสมการที่ 2 ของแต่ละกลุ่ม ให้เป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่

$$dis_k^i = \frac{1}{|k|} \sum_{i=1}^{|k|} \sum_{j=i+1}^{|k|} \quad (2.3)$$

$dis_k^i$  คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทางแต่ละกลุ่ม  $k$  คือ กลุ่มย่อย

4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อทำตามจนจบขั้นตอนที่ 4 ได้จำนวน  $k$  Cluster และพิกัดที่จะมาเป็นจุดศูนย์กลางของรถยนต์ในแต่ละกลุ่มได้ เทคนิค K-Means จะให้ตำแหน่งที่เป็น Cluster Head ที่มีระยะห่างระหว่างสมาชิกในกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด คือ อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางที่สุดภายในกลุ่มนั้น ๆ

## 2.5 การกระจายข้อมูลในระบบเครือข่ายแบบ VANETs (Data Dissemination in VANETs)

แนวคิดของการกระจายข้อมูลนั้นมีหลายหลายรูปแบบและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในระบบเครือข่าย VANETs ซึ่งอาจจะเป็นการกระจายระหว่างยานพาหนะด้วยกัน คือแบบ V2V หรือระหว่างยานพาหนะกับโครงสร้างพื้นฐาน Infrastructure หรือแบบ V2I งานวิจัยนี้เน้นทำให้การกระจายข้อมูลในโครงข่ายแบบ V2V โดยการจัดกลุ่มยานพาหนะมีโหนดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็น CH โดยมีรูปแบบการกระจายข้อมูลดังนี้

1) Opportunistic Dissemination เป็นรูปแบบการกระจายข้อมูลอีกรูปแบบหนึ่งในสถาปัตยกรรมที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลางโดยไม่ได้คำนึงถึงเส้นทางที่ถูกต้อง ลักษณะการส่งต่อข้อมูลจะเป็นแบบนโยบายการส่งแบบเก็บข้อมูลไว้และส่งต่อไปยังโหนดใกล้เคียงทุก ๆ โหนด และในกรณีของระบบเครือข่าย VANET ที่มีการจัดกลุ่มแบบคลัสเตอร์ โหนดกลางจะทำการส่งต่อข้อมูลไปยังทุกโหนดที่อยู่ภายในคลัสเตอร์เพื่อให้ข้อมูลนั้นถึงโหนดผู้รับโดยเร็วที่สุด (Tomar, *et al.*, 2010)

2) Cluster based Dissemination เพื่อให้อัตราการรับส่งข้อมูลดีขึ้นและลดปัญหา Broadcast storms จะต้องมีการถ่ายทอดข้อมูลไปยังโหนดที่เป็นศูนย์กลางภายในกลุ่มนั้น ๆ ซึ่งโหนดนั้นอาจจะสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าโหนดอื่น ๆ ภายในกลุ่มเดียวกัน และโหนดดังกล่าวก็จะทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดที่เป็นศูนย์กลางในกลุ่มอื่น ๆ โดยการจัดเป็นกลุ่มหรือคลัสเตอร์จะช่วยลดความล่าช้าในการแพร่กระจายข้อมูลและช่วยเพิ่มอัตราการการรับส่งข้อมูล (Tomar, *et al.*, 2010)

## 2.6 การกระจายข้อมูลโดยหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head in Data Dissemination)

Ephremides, *et al.* (1987) เสนออัลกอริทึมการจัดกลุ่มที่เรียกว่า Linked Cluster Algorithm (LCA) ซึ่งแบ่งโหนดออกเป็น 3 ประเภท คือ Cluster Head (CH) Ordinary node และ Gateway node ชั้นแรกโหนดทุกโหนดมีสถานะเป็นโหนดปกติ (Ordinary node) เมื่อเวลาผ่านไปโหนดแต่ละโหนดในเครือข่ายจะแพร่กระจาย ID ของตัวเองและ ID ของเพื่อนบ้านต่อจากนั้นโหนดที่มี ID ที่น้อยที่สุดจะถูกเลือกเป็น CH โหนดที่มีการเชื่อมผ่าน CH จะรับหน้าที่เป็นเกตเวย์ กระบวนการนี้จะทำซ้ำจนกว่าทุกโหนดเป็นสมาชิกอย่างน้อยหนึ่งคลัสเตอร์

Chiang, *et al.* (1997) เสนออัลกอริทึม Least Cluster Change (LCC) ซึ่งปรับปรุงมาจากอัลกอริทึม LCA โดยเพิ่มขั้นตอนการบำรุงรักษาเพื่อลด Overhead ภายในระบบเครือข่ายที่เกิดจากการจัดกลุ่มรอบใหม่ การจัดกลุ่มรอบใหม่จะเกิดขึ้นเพียงสองกรณี คือ

- 1) ถ้า Cluster Head ทั้งสองเป็นเพื่อนบ้าน แล้ว CH ที่มี ID สูงสุดจะหมดจากหน้าที่ CH ตามกฎที่ตั้งไว้
- 2) ถ้าโหนดที่ไม่ใช่ CH เคลื่อนที่ออกจากคลัสเตอร์จะไม่สามารถเข้าร่วมคลัสเตอร์ที่มีอยู่ แต่จะไปสร้างคลัสเตอร์ใหม่กลายเป็น CH

## 2.7 นโยบายการจัดเก็บข้อมูลใน CCN (CCN Caching Policy)

การแทนที่ข้อมูลใน CS ของ CCN จะใช้นโยบายพื้นฐาน คือ LRU (Last Recently Used) และ LFU (Least frequently used) (Kang, *et al.*, 2012 and Shailendra, *et al.*, 2016) โดย LRU การแทนที่ข้อมูลจะพิจารณาความทันสมัย (Recency-based policy) ข้อมูลที่ถูกอ้างอิงล่าสุดจะยังคงถูกเก็บใน CS ส่วน LFU การแทนที่ข้อมูลจะพิจารณาความถี่ (Frequency-based policy) ข้อมูลที่มีจำนวนครั้งในการถูกอ้างอิงมากจะยังคงถูกเก็บใน CS

Ullah and Hong (2013) นำเสนอแนวคิดการลดความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บข้อมูลลงในแคช คือ เมื่อการร้องขอข้อมูลและการตอบกลับข้อมูล ข้อมูลที่ตอบกลับที่ยังไม่เคยเก็บมาก่อนนั้น มีการเก็บสำรองไว้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น คือ สำรองไว้ที่โหนดที่ใกล้ผู้ร้องขอมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่าง Time Since Birth (TSB) และ Time Since Inception (TSI) ส่วนข้อมูลที่มีการร้องขออีกตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป หรือถูกร้องขอซ้ำ ๆ บ่อย ๆ จากผลการทดลองของ Ullah และ Hong สรุปผลไว้ว่าข้อมูลเก็บได้มากที่สุด คือ 2 ครั้งเท่านั้น จะเห็นได้ว่าแนวคิดนี้จะช่วยลดความซ้ำซ้อนการเก็บข้อมูลในแบบเดิมของ CCN ที่ต้องเก็บตามเส้นทางการวิ่งของข้อมูลทุก ๆ โหนด ดังนั้นจึงเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล ลดจำนวนการเก็บข้อมูลซ้ำซ้อน และเป็นผลให้เพิ่มอัตรา Cache Hit

โดยแนวคิดนี้ใช้โทโพโลยีแบบต้นไม้ที่ประกอบด้วยโหนด root คือ โหนดผู้ให้บริการข้อมูล และโหนด leaf คือ โหนดผู้ร้องขอข้อมูล โดยปรับปรุงแพ็คเกจ Interest ดังนี้

1) Time Since Inception (TSI) คือ จำนวน Hop จากผู้ร้องขอไปจนถึงผู้ให้บริการ (Psaras, *et al.*, 2012)

2) Time Since Birth (TSB) คือ จำนวน Hop จากผู้ให้บริการไปจนถึงผู้ร้องขอ (Psaras, *et al.*, 2012)

3) สถานะแคช (Cache Status : CS) และนโยบายการแทนที่ข้อมูลในกรณีที่มีข้อมูลในแคชเต็มแบบ Least Recently Used (LRU)

Feng , *et al.* (2015) เสนอนโยบายใหม่ในการแคชข้อมูล เนื่องจากนโยบายที่เป็นมาตรฐานนั้น คือ LRU ไม่สามารถเก็บข้อมูลที่เป็นที่นิยมหรือถูกร้องขอบ่อย ๆ ได้ดี ดังนั้นจึงต้องมีฟังก์ชันพิเศษที่ทำหน้าที่เลือกเฉพาะข้อมูลที่เป็นที่นิยมเก็บไว้ในแคช และนโยบายที่สนับสนุนการเลือกข้อมูลนี้ก็คือ การใช้ฟังก์ชัน  $O(1)$  (Danziger, 2015) กลไกการทำงานที่เสนอนี้เรียกว่า Cache-Filter ซึ่งเพิ่มฟิลด์ CacheFlag เข้าไปใน Content Header และสร้างเป็นรายการ CF (CF list) ใน Cache-Filter ข้อมูลใหม่ที่เข้ามาจะถูกแคชก็ต่อเมื่อชื่อข้อมูลนั้นอยู่ในรายการ CF list และ CacheFlag มีค่าความจริงเป็นจริง ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกตรวจสอบทุกโหนดไปตามเส้นทางที่ข้อมูลวิ่งผ่าน เฉพาะข้อมูลที่ได้รับคามนิยมจะถูกเก็บไว้ที่โหนดปลายสุดของเครือข่าย ส่งผลให้ความล่าช้าและความแออัดในเครือข่ายลดลง โทโพโลยีที่ใช้ คือ โครงสร้างแบบต้นไม้ทั้งหมด 6 ชั้น ประกอบด้วยโหนดทั้งหมด 625 โหนด โดยเปรียบเทียบ Cache-Filter กับ LCD, MCD, Betw, Prob, ProbCache, ProbCache+ และ PCSL ด้วยตัวชี้วัด คือ ระยะทางในการเข้าถึงข้อมูล และเปรียบเทียบนโยบายการจัดเก็บข้อมูลระหว่าง Cache-Filter กับ LCE ปรากฏว่าลดจำนวน Hop ได้ถึง 17%

## 2.8 การพยากรณ์โดยวิธี Exponential Moving Average

เทคนิคการพยากรณ์โดยวิธี Exponential Moving Average (Montgomery, *et al.*, 1990) เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักที่จัดค่าพยากรณ์ออกมาในรูปการใช้สมการคำนวณ เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนักที่ซับซ้อนมากขึ้นกว่า Weighted Moving Average แบบธรรมดา โดยมีการนำเอาค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์มาปรับค่าเฉลี่ยตัวต่อไปให้ถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากวิธีของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มีข้อจำกัดอยู่ 2 ประการในการพยากรณ์ คือ ประการแรกจำเป็นต้องมีค่าสังเกตล่าสุดล่วงหน้าอยู่  $N$  ค่า ประการที่ 2 การถ่วงน้ำหนัก (Weight) ให้กับค่าสังเกตล่าสุดจำนวน  $N$  ค่านั้น น้ำหนักที่ถ่วงให้กับค่าสังเกตที่เพิ่งจะผ่านมามีค่ามากกว่าค่า



สังเกตที่อยู่ก่อนหน้า การถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันนี้ได้ถูกนำมาใช้กับวิธี Exponential Moving Average เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ง่ายต่อการนำไปใช้ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาแล้ว และสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดในเรื่องของการเก็บข้อมูลด้วย โดยใช้ข้อมูลในอดีตเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำการพยากรณ์ได้ โดยสูตรทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ 2.4

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} F_t &= \text{ค่าพยากรณ์ความต้องการใหม่} \\ F_{t-1} &= \text{ค่าพยากรณ์ช่วงที่ผ่านมา} \\ \alpha &= \text{ค่าคงที่ปรับเรียบ (Smoothing constant) } (0 \leq \alpha \leq 1) \\ A_{t-1} &= \text{ความต้องการที่แท้จริงที่ผ่านมา} \end{aligned}$$

แนวคิดของวิธีนี้จะไม่ซับซ้อน การประมาณความต้องการล่าสุดจะเท่ากับการประมาณความต้องการเดิมปรับปรุงด้วยสัดส่วนของความแตกต่างระหว่างความต้องการที่แท้จริงในช่วงที่ผ่านมากับการประมาณเดิม ค่าคงที่ปรับเรียบ (Smoothing constant) หรือ  $\alpha$  ในทางธุรกิจโดยทั่ว ๆ ไปค่าที่ใช้จะอยู่ในช่วงจาก 0.05-0.50 และสามารถเปลี่ยนให้มีน้ำหนักมากขึ้นได้ ค่า  $\alpha$  ที่สูงขึ้น มีความหมายว่า ให้ความสำคัญกับข้อมูลปัจจุบันมากขึ้น ตรงกันข้ามถ้าค่า  $\alpha$  น้อยลงก็แสดงว่า ให้ความสำคัญกับข้อมูลปัจจุบันน้อยลง แต่ไปให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีตมากขึ้น เช่น ค่า  $\alpha = 0.90$  หมายความว่า ให้ความสำคัญกับข้อมูลปัจจุบัน 90% ให้ความสำคัญกับข้อมูลในอดีต 10% สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 2.5

$$\begin{aligned} F_t = & \alpha A_{t-1} + \alpha (1-\alpha) A_{t-2} + \alpha (1-\alpha)^2 A_{t-3} + \alpha (1-\alpha)^3 A_{t-4} \\ & + \dots + \alpha (1-\alpha)^{n-1} A_{t-n} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$\alpha$  คือ ค่า Smoothing Constant เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดว่า EMA จะตอบสนองต่อค่าล่าสุดมากน้อยเพียงใด จากผลการศึกษาของ Jack K. Hutson พบว่าค่า  $\alpha$  ที่เหมาะสมสำหรับจำนวนที่จะทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่สามารถประมาณการได้จาก

$$\alpha = \frac{2}{N+1} \quad (2.6)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ จะสังเกตได้ว่าเมื่อน้ำหนักได้เพิ่มเป็น 1 และ  $n$  จะใช้ช่วงเวลานาน และระยะเวลาในอดีตจะลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่  $\alpha$  มีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อ  $\alpha$  เพิ่มสูงถึง 1 จากสมการที่ 2.5 สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 2.7

$$F_t = 1.0 A_{t-1} \quad (2.7)$$

ค่าข้อมูลเก่าทั้งหมดจะหายไป และการพยากรณ์จะกลายเป็นจริง

### บทที่ 3

## วิธีการแบ่งกลุ่มย่อยในระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง

ในบทนี้เสนอแนวคิดการจัดแบ่งกลุ่มย่อยและเลือกโหนดที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มทำหน้าที่เป็น Cluster Head จัดเก็บข้อมูลชั่วคราวที่มีการร้องขอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูล โดยเปรียบเทียบ Delivery Delay และ Overhead ระหว่างวิธีการที่เสนอ VCCN-C และ VCCN เดิม

### 3.1 ความเป็นมา

เนื่องจากพื้นฐานกระจายข้อมูลของระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลางนั้น จะเก็บข้อมูลชั่วคราวในโหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในเส้นทางการร้องขอข้อมูล ซึ่งเป็นข้อดี คือ เมื่อโหนดใดก็ตามที่ต้องการข้อมูลก็สามารถเรียกใช้ได้ทันที แต่ก็มีข้อเสียอีกเช่นกัน โดยวิธีดังกล่าวนี้จะเป็นการเพิ่ม Overhead ให้กับระบบเครือข่ายและมีการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน (Redundancy) (Mishra, *et al.*, 2015) เพื่อแก้ปัญหาที่จึงได้นำเทคนิคการแบ่งกลุ่มย่อยออกเป็นคลัสเตอร์และเลือกโหนดที่เหมาะสมในแต่ละคลัสเตอร์ทำหน้าที่เป็น Cluster Head เพื่อจัดเก็บข้อมูลชั่วคราวและคอยให้บริการข้อมูลแก่สมาชิกภายในคลัสเตอร์

### 3.2 งานวิจัยที่น่าเสนอ

รูปแบบการส่งต่อข้อมูลใน VCCN มีหลายวิธี ในงานวิจัยนี้จะเลือกการส่งต่อแบบวิธี Best-Route โดยเลือกเส้นทางการส่งที่ดีที่สุดและมีการสำรองข้อมูลที่ Content Router (CR) ที่อยู่ระหว่างเส้นทางการส่งข้อมูลไปยังผู้ที่ร้องขอข้อมูล เนื่องจากเดิมข้อมูลต้องมีการทำสำเนาไว้ในทุกโหนดที่มีการวิ่งผ่านของข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการก็ทำได้ล่าช้า งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีเพิ่ม

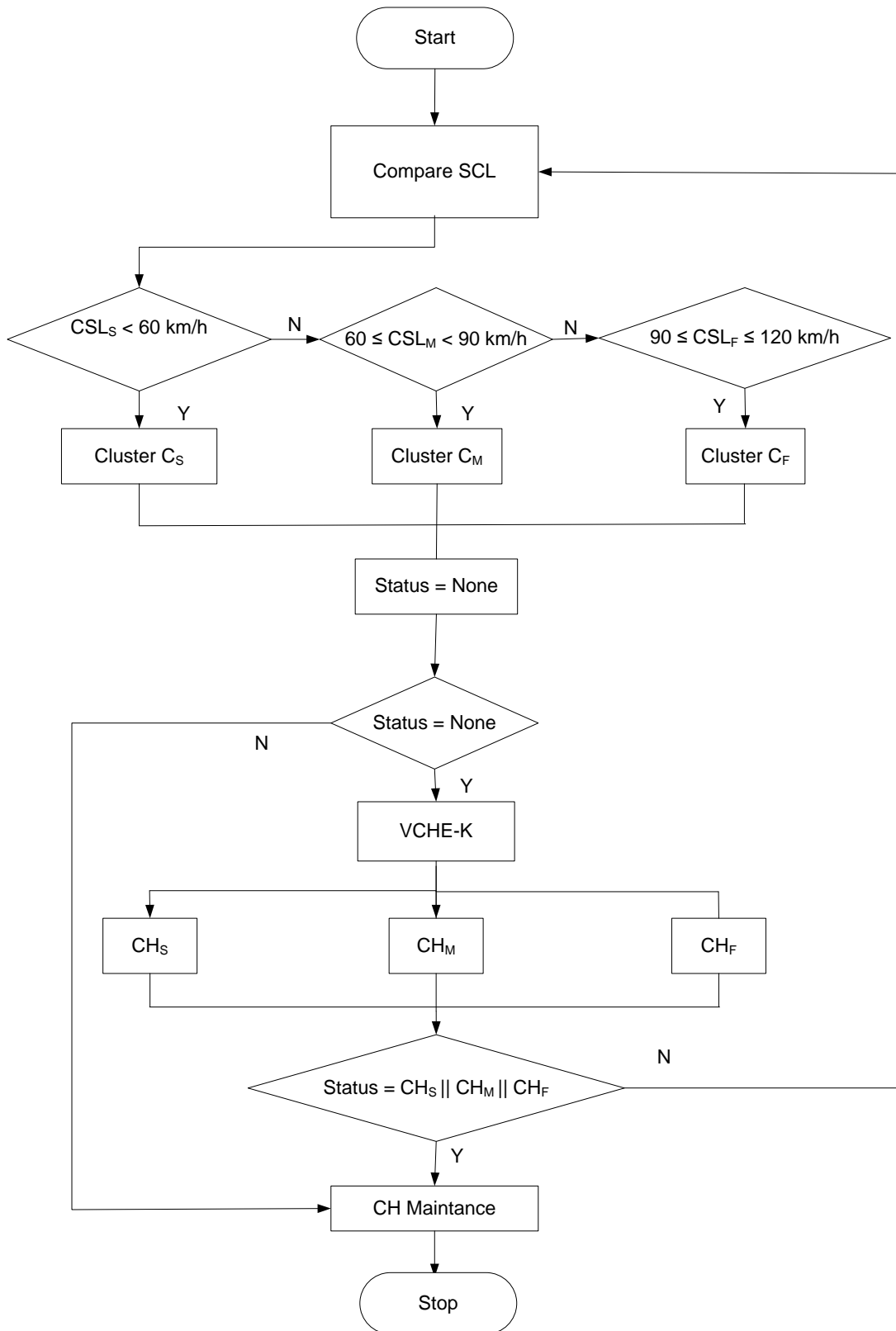
ประสิทธิภาพการกระจายข้อมูล Vehicular Content-Centric Networks in Cluster (VCCN-C) โดยแบ่งกลุ่มเครือข่ายยานพาหนะเป็นกลุ่มย่อย (Cluster) แต่ละกลุ่มจะมีโหนดทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head) มีหน้าที่ให้บริการข้อมูลแก่โหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน กระบวนการ VCCN-C มีขั้นตอนการดำเนินการตามผังงาน ดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ใช้แนวคิดการแบ่งกลุ่มตามความเร็ว ยานพาหนะแต่ละคันจะมีอุปกรณ์ GPS ติดตั้ง ดังนั้นเมื่อมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน จะทำให้ทราบตำแหน่งยานพาหนะและใช้เกณฑ์ CSL (Farooq, *et al.*, 2016) ในการจัดกลุ่มยานพาหนะเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความเร็วช้า ( $C_S$ ) กลุ่มที่มีความเร็วปานกลาง ( $C_M$ ) และกลุ่มที่มีความเร็วสูง ( $C_F$ ) โดยแต่ละกลุ่มยังไม่มีหัวหน้ากลุ่ม

2) จะเลือกหัวหน้าในแต่ละกลุ่มย่อยโดยใช้เทคนิค K-Mean (VCHE-K) ซึ่งจะได้ตำแหน่งรถที่อยู่กึ่งกลางกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่มของคลัสเตอร์นั้น ๆ โดยจะใช้ Hello Message (Lakkakorpi, *et al.*, 2013) ในการสื่อสารกันเพื่อบอกสถานะว่าเป็นหัวหน้ากลุ่มหรือสมาชิกภายในกลุ่ม

3) กำหนดหัวหน้ากลุ่ม (Cluster Head: CH) ของแต่ละกลุ่มย่อย โหนดที่ถูกเลือกจะทำหน้าที่เป็น CH จนกว่าจะออกจากกลุ่มย่อยจึงจะเริ่มกระบวนการกำหนดหัวหน้ากลุ่มใหม่

4) หัวหน้ากลุ่มของคลัสเตอร์จะใช้ Hello Message แจ้งสถานะของตนทุก ๆ 100 มิลลิวินาที (Lakkakorpi, *et al.*, 2013) เพื่อบอกสถานะปัจจุบันของตน

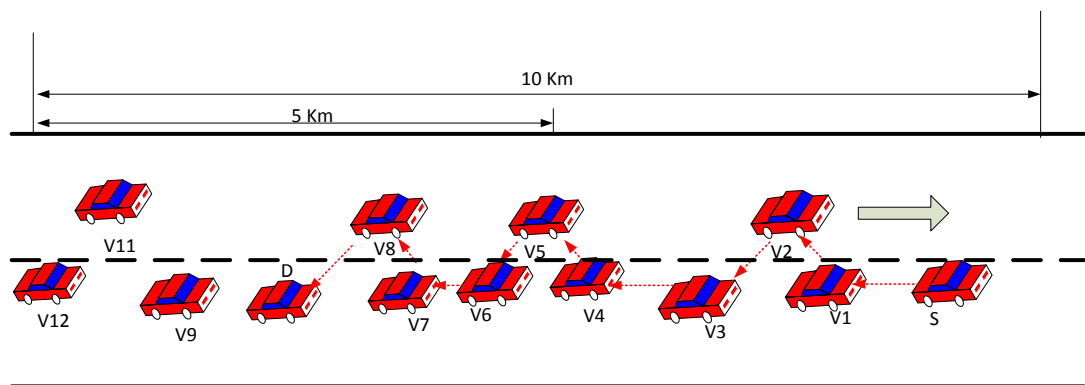


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานที่นำเสนอ

### 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การรับส่งข้อมูลแบบ VCCN

ออกแบบเครือข่ายระบบเครือข่ายยานพาหนะไร้สายแบบ VANET โดยใช้โปรแกรม NS-3 (Network Simulation version 3.25) จากรูปที่ 3.2 เป็นสถานการณ์บนถนนทางหลวง ซึ่งลักษณะเป็นถนนตรงยาว 10 กิโลเมตร รถวิ่งไปในทิศทางเดียวกัน มีสถานีรับส่งสัญญาณข้างทาง หรือ RSU (Road Side Unit) อยู่ทุก ๆ 1 กิโลเมตร ตามข้างถนน ที่เลือกถนนแบบทางหลวงเพราะเป็นถนนสายหลักที่ใช้วิ่งไปทั่วประเทศ ประโยชน์ก็เพื่ออำนวยความสะดวกให้การเลือกเส้นทางที่จราจรมีสภาพคล่อง จากเหตุการณ์นี้ยานพาหนะ D ต้องการข้อมูลที่อยู่บนรถที่อยู่ห่างออกไปไกลสุด จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ S ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูล การส่งต่อข้อมูลใน CCN มีหลายแบบด้วยกัน เช่น Best Route Strategy, Multicast Strategy, Client Control Strategy (Alexander, *et al.*, 2011,2012,2013,2014,2015) ในงานวิจัยนี้จะเลือกการส่งต่อแบบวิธี Best-Route โดยเลือกเส้นทางการส่งที่ดีที่สุดและมีการสำรองข้อมูลที่ Content Router (CR) คุณลักษณะที่สำคัญในการทดลองแสดงตามตารางที่ 3.1



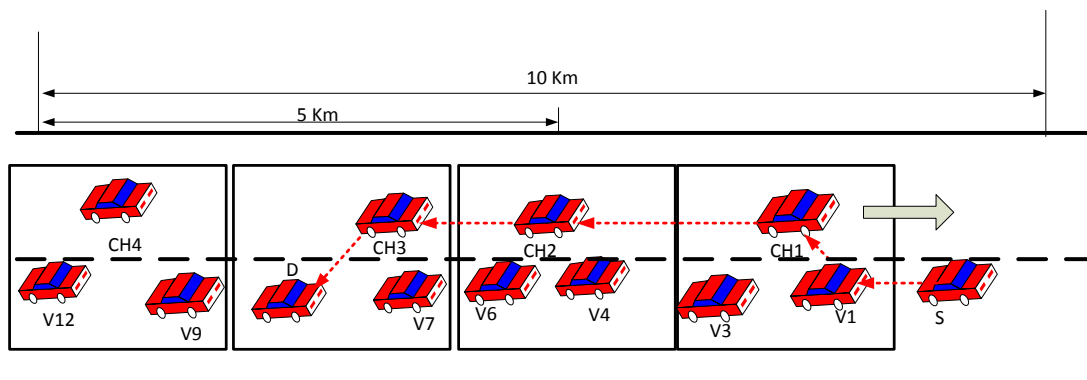
รูปที่ 3.2 สถานการณ์ตัวอย่างการทดลองแบบ VCCN

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์

คุณลักษณะ (Parameter)	ค่าที่กำหนด (Value)
ความเร็ว (Speed)	30 -120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/h)
จำนวนโหนด (Number Node)	6,9,12,15,18 โหนด (Node)
ขนาดข้อมูล (Data Size)	1,024 ไบต์ (bytes)
ระยะห่างระหว่างโหนด (Distance)	50 -230 เมตร (m)
ขนาด Hello Message (Hello Message Size)	128 ไบต์ (bytes)
อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Rate)	1 เมกะไบต์ต่อวินาที (MBps)
ความล่าช้าในการส่งข้อมูลผ่านสื่อกลาง (Delay)	10 มิลลิวินาที (ms)
คลื่นความถี่ (Frequency)	5.8 กิกะเฮิรตซ์ (GHz)
อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum rate)	27 เมกะไบต์ต่อวินาที (MBps)
จำนวน Seed	20 Seeds

### 3.3.2 การรับส่งข้อมูลแบบ VCCN-C ที่นำเสนอ

เป็นสถานการณ์ตัวอย่างในการนำแนวคิดการแบ่งกลุ่มย่อยมาประยุกต์ใช้ โดยมีจัดกลุ่มเป็นคลัสเตอร์มียานพาหนะ CH เป็น Cluster Head ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการกระจายข้อมูลให้ภายในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การเข้าถึงข้อมูลรวดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นสถานการณ์เช่นเดียวกันกับข้อ 3.2.1 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สถานการณ์ตัวอย่างการทดลองแบบ VCCN-C ที่นำเสนอ

### 3.5 วิเคราะห์และสรุปผล

จากการทดสอบด้วยวิธีจำลองตามสถานการณ์ตัวอย่าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง VCCN เป็นการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบเดิม และ VCCN-C เป็นการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบที่เสนอ ซึ่งมีตัวชี้วัดประเมินประสิทธิภาพ คือ Delivery Delay และจำนวน Hop สถานการณ์แรกเป็นสถานการณ์ VCCN ยานพาหนะ D ต้องการข้อมูลที่อยู่บนรถที่อยู่ห่างออกไปไกลสุด จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ S สามารถคำนวณ Delivery Delay โดยคำนวณจากการส่งข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับเท่านั้นได้ดังสมการ 3.3

$$d_{VCCN} = N(d_{tran} + d_{prop} + d_{proc} + d_{queue}) \quad (3.1)$$

$$d_{total} = d_{tran} + d_{prop} + d_{proc} + d_{queue} \quad (3.2)$$

$$d_{VCCN} = N * d_{total} \quad (3.3)$$

$d_{tran}$  คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

$d_{proc}$  คือ เวลาที่อุปกรณ์ทำงาน

$d_{prop}$  คือ เวลาที่ข้อมูลวิ่งผ่านสื่อกลาง

$d_{queue}$  คือ เวลาที่ข้อมูลรอคิวเพื่อส่งอยู่

$N$  คือ Intermediate node

สถานการณ์ที่ 2 เป็นสถานการณ์ VCCN-C เป็นยานพาหนะ D ต้องการข้อมูลที่อยู่บนรถที่อยู่ห่างออกไปไกลสุด จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ S แต่มีการรวมกลุ่มยานพาหนะเป็นกลุ่มย่อยสามารถคำนวณ Delivery Delay ได้ดังสมการ 3.8

ให้เวลาความล่าช้า (Delivery Delay) สำหรับการกระจายข้อความภายในคลัสเตอร์  $C$  เป็น  $d$  ซึ่งถูกคำนวณจากผลต่างระหว่างเวลาของการรับข้อความ ( $T_{Rx}$ ) และการส่งผ่านข้อความ ( $T_{Tx}$ )

$$d = T_{Rx} - T_{Tx} \quad (3.4)$$

จากสมการ 3.2 แสดงช่วงเวลา  $d(i, j)$  ที่สามารถส่งข้อความสำเร็จด้วยขนาดข้อความที่มีความยาว  $L$  บิต ระหว่างคู่ของยานพาหนะ  $(i, j)$  โดยเป็นการส่งจากยานพาหนะลำดับที่  $i$  ไปยังยานพาหนะที่  $j$  ในอัตราการส่งข้อมูล  $f(i, j)$  เมกะบิตต่อวินาที



$$d(i,j) = \frac{L}{f(i,j)} \quad (3.5)$$

โดยตั้งอยู่บนสมมติว่าคลัสเตอร์  $C$  ประกอบด้วยกลุ่มของยานพาหนะที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวน  $h$  hop ( $h = \{1,2, \dots, H\}$ ) ค่าความล่าช้าของการกระจายข้อมูลภายในคลัสเตอร์คำนวณได้ดังนี้

$$d = \sum_{i,j} d(i,j) = L \sum_{i,j} \frac{1}{f_{i,j}} \quad (3.6)$$

โดย  $d(i,j)$  เป็นความล่าช้าของการกระจายข้อมูลในขณะที่ยานพาหนะที่  $i$  เชื่อมต่อกับยานพาหนะที่  $j$  สมมติว่าอัตราการส่งข้อมูลนั้นคงที่ ( $f = f(i,j)$ ) สำหรับแต่ละการเชื่อมต่อที่  $(i,j)$  ในคลัสเตอร์  $C$  จะกลายเป็น

$$d = \frac{L \cdot h}{f} \quad (3.7)$$

จากที่มอดังกล่าว กำหนดให้ความล่าช้าการกระจายข้อมูลสำหรับการติดต่อสื่อสารแบบ V2V

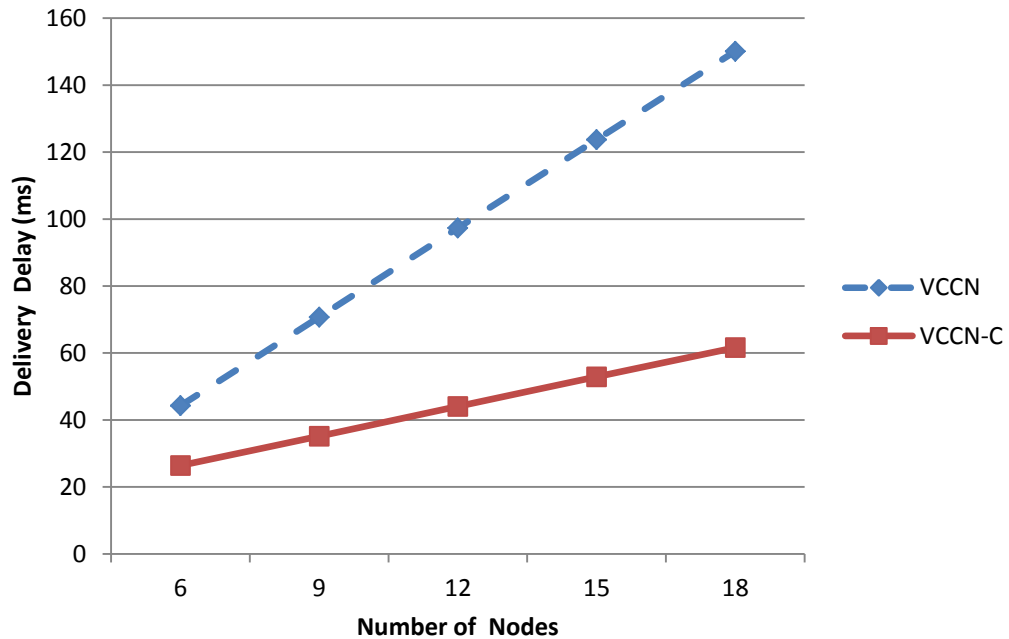
$$d_{VCCN-C} = d + \Delta T \quad (3.8)$$

เมื่อ  $d$  คือ เวลาความล่าช้าการกระจายข้อมูลภายในคลัสเตอร์ในสมการที่ 3.7 และ  $\Delta T$  คือ ช่วงระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ยานพาหนะแต่ละคู่ติดต่อสื่อสารกันด้วยความเร็วคงที่  $c$  เมตรต่อวินาที และแยกออกจากกันที่ระยะทาง  $\Delta x$  เมตร

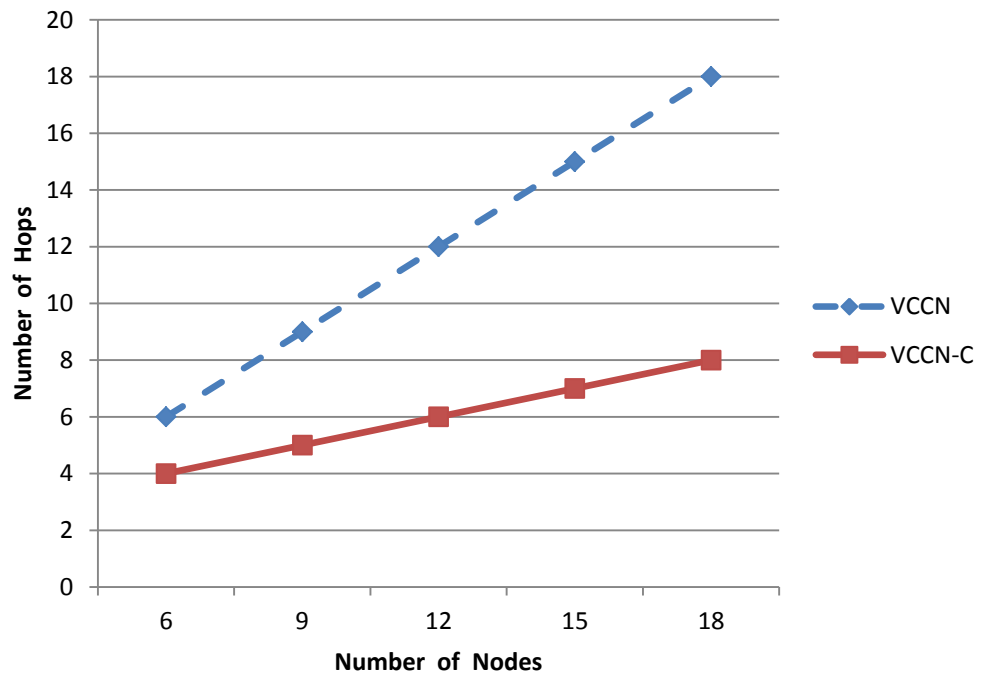
$$\Delta T = \frac{\Delta x}{c} \quad (3.9)$$

ผลการทดลองแสดงการเปลี่ยนแปลง Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนยานพาหนะพบว่า Delivery Delay มีการเพิ่มขึ้นตามจำนวนยานพาหนะ ดังรูปที่ 3.4 งานวิจัยนี้จะเลือกการส่งต่อแบบวิธี Best-Route โดยเลือกเส้นทางการส่งที่ดีที่สุดและมีการสำรองข้อมูลที่ Content Router (CR) ทำให้เวลาในการส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการจนถึงผู้ร้องขอเพิ่มตามจำนวน Content Router ที่ข้อมูลนั้นวิ่งผ่าน อัลกอริทึมที่นำเสนอมีส่วนช่วยลดจำนวน Content Router ที่

ทำหน้าที่เก็บข้อมูลตามเส้นทางที่ข้อมูลวิ่งผ่านทำให้เวลาในการส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการจนถึงผู้ร้องขอ นั้นลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่า VCCN-C ที่นำเสนอค่า Delivery Delay จะเพิ่มน้อยกว่าแบบ VCCN เดิม



รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลง Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนยานพาหนะ



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน Hop เมื่อมีการเพิ่มจำนวนยานพาหนะ

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนยานพาหนะมากขึ้น พบว่าการกระจายข้อมูลด้วยวิธี VCCN-C จะมีจำนวน Hop เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวิธี VCCN เนื่องจากมีการใช้ Cluster Head ช่วยการกระจายข้อมูล ดังนั้นวิธีที่เสนอมจึงมีประสิทธิภาพที่ดีแม้จะมีจำนวนยานพาหนะในระบบเพิ่มขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มเครือข่ายออกเป็นกลุ่มย่อย 3 กลุ่ม คือ ช้า ปานกลาง และเร็ว จากนั้นใช้เทคนิค K-Means ในการเลือกโหนดที่ทำหน้าที่โหนดหลักในการให้บริการข้อมูลภายในกลุ่มย่อย ทำให้ลดจำนวนโหนดที่ทำหน้าที่เป็น Content Router (CR) ลดการเกิด Overhead ในระบบเครือข่าย และการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน จากกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับ Delivery Delay และจำนวน Hop กับกระบวนการเดิมของ VCCN พบว่าการรับส่งข้อมูลวิธี VCCN-C มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิมประมาณ 50%

อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยขนาดของแคชใน Cluster Head นั้นมีขนาดจำกัดจึงไม่สามารถที่จะสำรองข้อมูลทั้งหมดได้ จึงควรมีนโยบายที่เหมาะสมในการจัดสรรเนื้อที่ในแคชให้เก็บข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด จึงมีแนวคิดในการกำหนดนโยบาย (policy) การเลือกเก็บแพ็คเก็ต Data เพื่อจัดสรรเนื้อที่ในแคชให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยนำเสนอในบทที่ 4 นอกจากนี้การเลือกโหนดมาทำหน้าที่ Cluster Head เพียงโหนดเดียวเพื่อให้บริการข้อมูลภายในคลัสเตอร์ถึงแม้จะช่วยลดการเกิด Overhead และการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่โหนดที่ทำหน้าที่ Cluster Head ออกจากคลัสเตอร์ไป ข้อมูลก็จะหายไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้เสนอแนวคิดการเลือกหัวหน้ากลุ่มสำรอง (Secondary Cluster Head) ในบทที่ 5 ต่อไป

## บทที่ 4

### กลยุทธ์ในการจัดการแทนที่ข้อมูลในแคช

ในบทนี้มุ่งเน้นเรื่องการแทนที่ข้อมูลในแคชบนโหนดที่ทำหน้าที่เป็น Cluster Head ภายในระบบเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง งานวิจัยนี้นำเสนอ นโยบายการแคชข้อมูลตามความนิยมของเนื้อหา (Content Popularity: CP) ที่เรียกว่า Cache Replacement Content Popularity (CRCP) โดยอาศัยเทคนิค Exponential Moving Average ซึ่งจะนำค่าความนิยมข้อมูลมาพิจารณาในการเก็บรายการข้อมูลให้ยังคงอยู่ใน CS โดยมีตัวชี้วัด คือ อัตราการเจอข้อมูลในแคช (Cache Hit Ratio) ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะทดลองเปรียบเทียบนโยบาย CRCP ที่นำเสนอกับการแคชข้อมูลพื้นฐาน LFU และ LRU

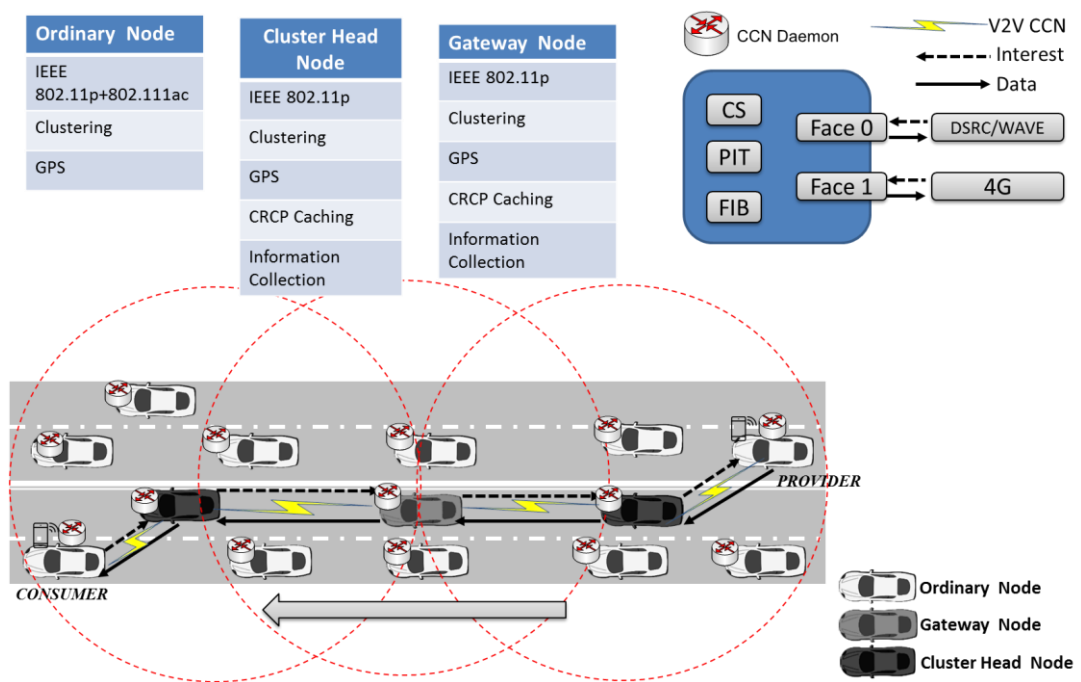
#### 4.1 ความเป็นมา

กระบวนการสำรองข้อมูลของระบบเครือข่ายที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (CCN) มีขั้นตอน คือ เมื่อข้อมูลส่งกลับจากโหนดผู้ให้บริการไปยังโหนดผู้ร้องขอ โหนดทุกโหนดที่อยู่ตามเส้นทางการตอบกลับของการร้องขอของแพ็คเก็ต Interest ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเดียวกันซึ่งเทคนิคการแคชมาตรฐานที่ใช้ เช่น LRU (Least Recently Used) LFU (Least frequently used) ในงานวิจัยนี้เรามุ่งเน้นการใช้ CCN สำหรับระบบเครือข่ายยานพาหนะเฉพาะกิจ โหนดทุกโหนดในที่นี้ หมายถึง ยานพาหนะทุกคัน และในระบบเครือข่ายนี้จะมีโหนดบางโหนดเป็น Cluster Head และทำหน้าที่เป็น Content Router (CR) คอยสำรองข้อมูลเพื่อให้บริการแก่สมาชิกในกลุ่ม เนื่องจากการทำงานของนโยบาย LRU ที่อยู่บน CH เป็นการแทนที่ข้อมูลโดยการพิจารณาเฉพาะความทันสมัย (Recency based policy) และ LFU พิจารณาเฉพาะความถี่ (Frequency-based policy) ซึ่งถ้าสามารถรวมแนวคิดของ 2 นโยบายข้างต้นเข้าด้วยกันบวกกับการพิจารณาถึงความนิยมของข้อมูลร่วมด้วยก็จะสามารถคาดเดาข้อมูลที่จะเรียกใช้ในอนาคตได้ จึงได้เสนอกฎการแคชด้วยความนิยมของข้อมูลเพื่อตัดสินใจว่าควรเก็บข้อมูลใดไว้หรือแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่

## 4.2 กลไกที่นำเสนอ

### 4.2.1 สถาปัตยกรรมระบบ

สถาปัตยกรรมที่นำเสนอประกอบด้วยโหนด 2 ประเภท คือ Ordinary node และ Cluster Head (CH) โดยโหนด Cluster Head เป็นโหนดที่ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลแก่สมาชิกภายในกลุ่มย่อย ทุกโหนดจะมีเทคโนโลยีไร้สาย โมดูลการจัดการกลุ่ม และโมดูล GPS ติดตั้ง ยกเว้นโหนด Cluster Head และโหนดที่เป็น Gateway จะมีโมดูล CRCP caching และ Information collection (เป็นโมดูลที่คอยรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ) รวมอยู่ด้วย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 System Architectures of VCCN Communication

เมื่อโหนดผู้ร้องขอ (Consumer) ร้องขอข้อมูลก็จะส่งแพ็คเกจคำร้องขอ (Interest packet) ไปยัง CH ของกลุ่มของตน จากนั้น CH จะส่งแพ็คเกจ Interest ไปยัง CH ที่อยู่ในคลัสเตอร์ติดกัน จนกว่าจะถึงโหนดที่ทำหน้าที่ผู้ให้บริการข้อมูล (Provider)

เมื่อผู้ให้บริการได้รับแพ็คเกจ Interest ถ้าผู้ให้บริการมีข้อมูลที่ผู้ร้องขอส่งมา ก็จะส่งแพ็คเกจข้อมูล (Data Packet) กลับไปตามเส้นทางเดิมจนถึงผู้ร้องขอ ระหว่างทางที่มีการส่งแพ็คเกจข้อมูลกลับ CH ก็จะทำการสำเนาข้อมูล ไว้ในโหนดของตัวเองด้วย และเนื่องจากแคชใน CH นั้น

มีขนาดจำกัดจึงไม่สามารถที่จะสำรองข้อมูลทั้งหมดที่ตอบกลับไปยังผู้ร้องขอข้อมูลได้ จึงต้องมีนโยบายที่เหมาะสมในการจัดสรรเนื้อที่ในแคชให้เก็บข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดในการกำหนดนโยบาย (Policy) การเลือกเก็บข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อจัดสรรเนื้อที่ในแคชให้เกิดประโยชน์สูงสุดและให้บริการข้อมูลตามที่ผู้ร้องขอต้องการข้อมูลได้

### 4.3 กลยุทธ์การแทนที่ข้อมูลในแคช

กลยุทธ์การแทนที่ข้อมูลในแคชที่นำเสนอเป็นการนำแนวคิดการหาสถิติของข้อมูลที่ถูกเรียกใช้ซ้ำ ๆ เพื่อใช้สถิตินี้ในการคาดเดาว่าข้อมูลควรเก็บหรือไม่ควรเก็บต่อไป มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการคำนวณค่าน้ำหนักที่พิจารณาทั้งความทันสมัยและความถี่ของข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้การใช้เนื้อที่จัดเก็บข้อมูลในแคชให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### 4.3.1 ฟังก์ชันการคำนวณค่าน้ำหนัก (Weighting Function)

สมมติให้ขนาดของแคชแต่ละโหนดมีค่าเท่ากัน การแทนที่บล็อกรายการข้อมูลของแคชซึ่งมีขนาดจำกัดถูกจัดการด้วยอัลกอริธึม (Samiee, *et al.*, 2008; Samiee, 2009 and Swain, *et al.*, 2011) เมื่อมีการอ้างอิงบล็อกของรายการข้อมูลในแคชจะถูกเรียกว่า Cache Hit ถ้าไม่มีการอ้างอิงเรียกว่า Cache Missed

สำหรับการคำนวณค่าน้ำหนักของข้อมูลจะพิจารณา 3 ปัจจัย คือ  $R_i$ ,  $F_i$  และ  $\Delta T_i$  ค่า  $R_i$  เป็นตัวนับซึ่งแสดงถึงบล็อก  $i$  ล่าสุดที่ถูกใช้ในแคช และ  $F_i$  เป็นตัวนับจำนวนครั้งที่บล็อก  $i$  ในแคชที่ถูกอ้างอิง และพิจารณาความแตกต่างของเวลา  $\Delta T_i = T_{C_i} - T_{p_i}$  โดย  $T_{C_i}$  คือ เวลาที่เข้าใช้ครั้งล่าสุด และ  $T_{p_i}$  คือ เวลาในการเข้าใช้ก่อนครั้งสุดท้าย เพราะฉะนั้นค่าถ่วงน้ำหนักของบล็อก  $i$  สามารถคำนวณได้ดังนี้ (Samiee, 2009)

$$W_i = \frac{R_i}{F_i * \Delta T_i} \quad (4.1)$$

พารามิเตอร์ทั้งหมดในฟังก์ชันการหาค่าน้ำหนักข้างต้นจะทำงานเมื่อมีบล็อกข้อมูล  $k$  ใหม่เข้ามาในแคช เราให้  $R_k$  มีค่าเป็น 0,  $F_k$  มีค่าเป็น 1 และ  $\Delta T_k$  มีค่าเป็น 1 (1 คือ ค่าที่น้อยที่สุดที่ถูกเรียกใช้ (Bhalgama, *et al.*, 2014) ทุก ๆ การเข้าถึงของข้อมูลจะมีการคำนวณค่าน้ำหนัก

ของแต่ละบล็อก ถ้าเกิดมีการอ้างอิงถึงบล็อก  $j$  ในแคช ตามนโยบายที่คำนวณจะเกิด Cache Hit โดยมีเงื่อนไข คือ

- 1)  $R_i$  จะเปลี่ยนเป็น  $R_i + 1$  สำหรับทุก  $i \neq j$
- 2) สำหรับ  $i = j$  ชั้นแรกเรากำหนดให้  $\Delta T_i = R_i, F_j = F_j + 1$   
และ  $R_i = 0$

#### 4.3.2 ฟังก์ชันการคำนวณความนิยมของข้อมูล (Content Popularity Function)

ข้อมูลที่เก็บในแคชทั้งหมดจะถูกคำนวณค่าความนิยมและค่านี้จะถูกเก็บไว้ในตารางเฉพาะที่ชื่อ Forecasting Content Popularity (FCP) ตารางนี้ทำหน้าที่บันทึกค่า 3 ค่า คือ ค่าความนิยมก่อนหน้า ค่าความนิยมปัจจุบัน และอัตราการเจอข้อมูลปัจจุบัน ของแต่ละข้อมูลโดยการนำฟังก์ชัน Exponential Moving Average (EMA) ตามสมการที่ 4.2 มาประยุกต์ใช้ผลที่ได้ คือ สมการที่ 4.3

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (4.2)$$

$$P_{t+1} = P_t + \alpha H_t \quad (4.3)$$

กำหนดให้

$P_{t+1}$  คือ ค่าความนิยมของข้อมูลในแคชปัจจุบัน

$P_t$  คือ ค่าความนิยมของข้อมูลในแคชก่อนหน้า

$H_t$  คือ อัตราการเจอข้อมูลปัจจุบัน

$\alpha$  คือ  $\frac{\text{ค่าความนิยมของข้อมูลในแคชก่อนหน้า}}{\text{อัตราการเจอข้อมูลปัจจุบัน}}$  หรือ  $\frac{P_t}{H_t}$

สมการที่ 4.3 คือ การคำนวณค่าความนิยมของข้อมูลในแคชปัจจุบัน ไม่เพียงแต่พิจารณาค่าความนิยมก่อนหน้า ค่าความนิยมปัจจุบัน แต่ยังพิจารณาถึงอัตราการเจอข้อมูลปัจจุบัน ด้วย เห็นได้ชัดว่าอัตราการเจอข้อมูลปัจจุบันก็จะมีผลต่อความนิยมของข้อมูล ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความนิยมข้อมูล และสมการที่ 4.4 แสดงให้เห็นการรวมค่าความนิยมของข้อมูลกับการคำนวณค่าน้ำหนัก

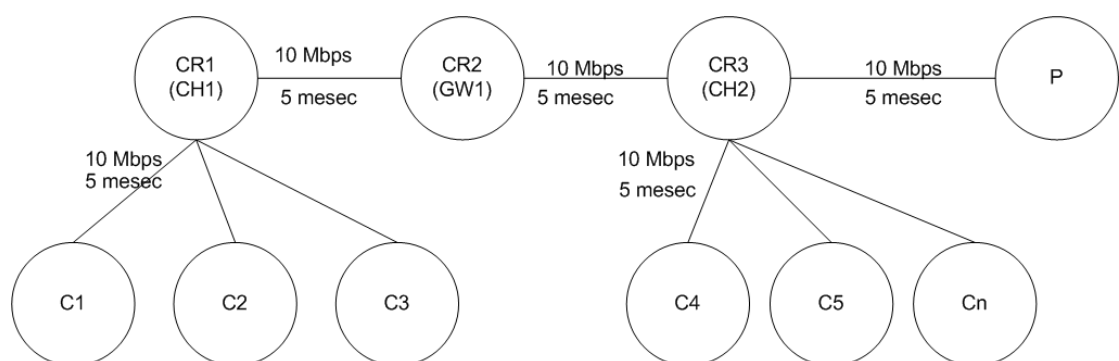
$$P_{t+1} = P_t + \alpha H_t + W_i \quad (4.4)$$

#### 4.3.3 กลยุทธ์การแทนที่ข้อมูล

โดยทั่วไปถ้า CS มีที่ว่างเหลืออยู่ ข้อมูลก็จะถูกเก็บลงไปในแคชตามลำดับของข้อมูลที่เข้ามากลไกการแทนที่ CRCP ในแคชก็จะไม่ทำงาน แต่ถ้าในกรณีที่ใน CS ข้อมูลเต็ม นโยบายการแทนที่ CRCP บนโหนด CR จะคำนวณค่าความนิยมของข้อมูลที่ได้รับมาโดยใช้สมการที่ 4.4 ถ้าพบว่าเป็นข้อมูลที่มีอยู่ในตาราง FCP ก็จะทำการอัปเดตค่านิยมปัจจุบันและค่านิยมก่อนหน้า ถ้าเป็นข้อมูลใหม่ก็จะบันทึกค่านิยมใหม่ลงไปในตาราง FCP จากนั้นจะทำการเรียงลำดับค่าความนิยมปัจจุบันจากสูงสุดไปหาต่ำสุด ข้อมูลที่มีค่าความนิยมต่ำสุดก็จะถูกลบจากทั้งตาราง FCP และตาราง CS ทำให้พื้นที่ว่างใหม่ถูกแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่ที่ได้รับมา

#### 4.4 สภาพแวดล้อมของการทดลอง

การทดลองใช้ nsnSim (Afanasyev, *et al.*, 2012) เป็นแบบจำลองที่ทำงานบนพื้นฐานของ ns-3 โทโพโลยีสำหรับการจำลองระบบเครือข่ายประกอบด้วยโหนดที่เป็นผู้ร้องขอ (Consumer) จำนวน  $n$  โหนด โหนดที่เป็นผู้ให้บริการ (Provider) จำนวน 1 โหนด มีโหนดที่ทำหน้าที่ Content Router (CR) จำนวน 3 โหนด คือ CR1, CR2 และ CR3 โหนดทุกโหนดติดต่อสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วที่ 10 เมกะบิตต่อวินาที และความล่าช้าอยู่ที่ 5 มิลลิวินาที (Kang, *et al.*, 2014) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Network Topology



ให้โหนดผู้ร้องขอแทนด้วย  $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$  ผู้ร้องขอแต่ละโหนดร้องขอข้อมูลไปยังโหนดเดียวกัน คือ โหนดผู้ให้บริการ P โดยโหนดผู้ร้องจะส่งแพ็คเกจ Interest ด้วยอัตรา 1000 แพ็คเกจ ต่อ 1 วินาที ไปยังโหนด CR และทุกแพ็คเกจ Interest ที่ร้องขอ จะถูกส่งไปยังโหนด P และโหนด P ก็จะตอบกลับด้วย Data packet ขนาด 1024 ไบต์ ทั้งโหนดผู้ร้องขอและโหนดผู้ให้บริการลักษณะการเคลื่อนที่เคลื่อนที่กันเป็นกลุ่ม ๆ ด้วยความเร็วที่ใกล้เคียงกัน จึงไม่มีเหตุการณ์ที่โหนดเคลื่อนที่ออกจากกลุ่ม โดยมีขนาด Content Store เริ่มตั้งแต่ 200 รายการ จนถึง 1200 รายการ แสดงดังตารางที่ 4.1 การทดลองจะแบ่งการทดลองเป็น 4 สถานการณ์ย่อยดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 มีผู้ร้องขอหลายโหนด ร้องขอข้อมูลซ้ำ ๆ จากโหนดผู้ให้บริการ 1 โหนด สถานการณ์ที่ 2 มีผู้ร้องขอหลายโหนดร้องขอข้อมูลไม่ซ้ำจากโหนดผู้ให้บริการ 1 โหนด สถานการณ์ที่ 3 มีผู้ร้องขอ 1 โหนด ร้องขอข้อมูลซ้ำ ๆ จากโหนดผู้ให้บริการ 1 โหนด และสถานการณ์ที่ 4 มีผู้ร้องขอ 1 โหนด ร้องขอข้อมูลไม่ซ้ำจากโหนดผู้ให้บริการ 1 โหนด โดยนำผลลัพธ์จากทั้ง 4 สถานการณ์หาอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยเปรียบเทียบเทคนิค CRCP ที่เสนอกับ LRU และ LFU

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของการทดลอง

คุณลักษณะ (Parameter)	ค่าที่กำหนด (Value)
ผู้ให้บริการ (Provider)	1 โหนด (Nodes)
ผู้ร้องขอ (Consumer)	3 – 18 โหนด/CR (ค่าเริ่มต้น 3 โหนด/CR)
เวลาทดลอง (Simulation time)	30 วินาที (s)
ความถี่การร้องขอ (Request frequency)	1000 Interest/วินาที
ขนาดข้อมูล (Content size)	1024 ไบต์ (bytes)
Content Store	200 – 1200 รายการ (ค่าเริ่มต้น 1000)
ค่าความล่าช้า (Delay)	5 มิลลิวินาที (ms)
ปริมาณการรับ-ส่งข้อมูล (Bandwidth)	10 เมกะไบต์ต่อวินาที (Mbps)

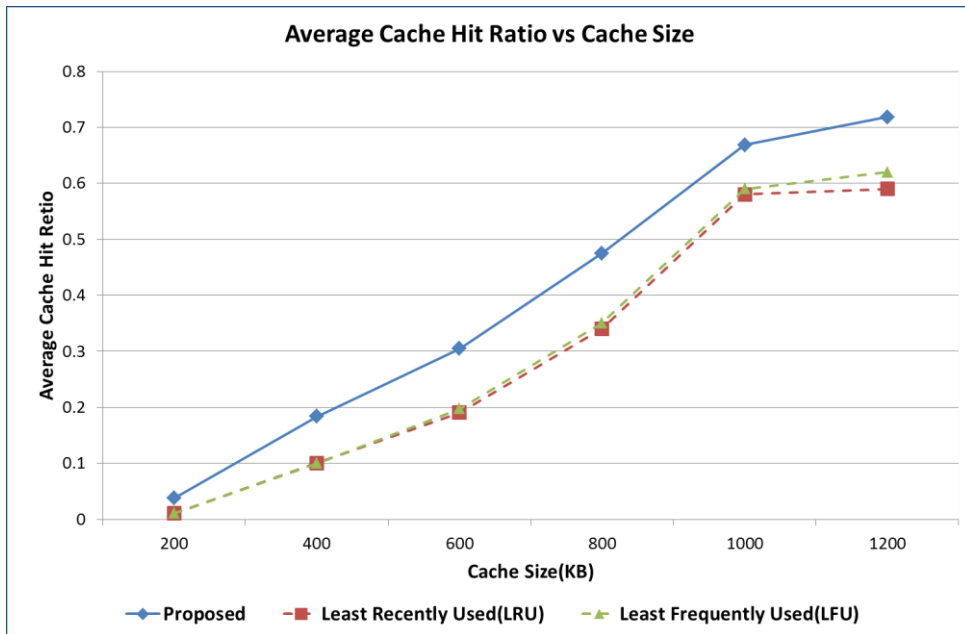
#### 4.5 วิเคราะห์และสรุปผล

ประสิทธิภาพของงานวิจัยชิ้นนี้แสดงด้วยอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยที่คำนวณจากผลรวมของการเจอข้อมูลของทุก CR หารด้วยผลรวมของการเจอข้อมูลและการไม่เจอข้อมูล ฟังก์ชันการหาอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.5

$$ACH_{ratio} = \sum_{j=1}^{CR_n} \left( \frac{CacheHit_j}{CacheHit_j + CacheMiss_j} \right) \quad (4.5)$$

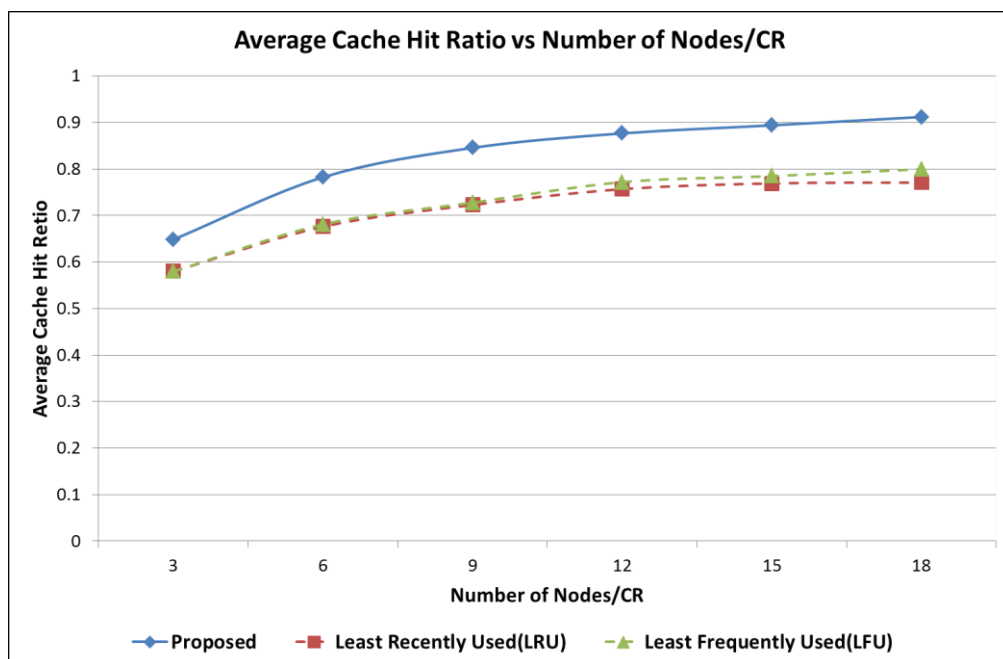
เมื่อ $CacheHit_j$	คือ จำนวน Interest ที่ได้รับการตอบกลับของข้อมูลจากแคช
$CacheMiss_j$	คือ จำนวน Interest ที่ไม่ได้รับการตอบกลับของข้อมูลจากแคช
$CR_n$	คือ จำนวน CR ทั้งหมดในระบบเครือข่าย

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของนโยบายการจัดการแคช CRCP ที่นำเสนอ กับรูปแบบ LFU และ LRU ซึ่งทำการเปรียบเทียบในแง่ของอัตราส่วนการเจอข้อมูล (Cache Hit Ratio) ด้วยขนาดของแคชที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อจำนวนผู้ร้องขอ 6 โหนด (3 โหนด/CR) ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่านโยบายการจัดการแคช CRCP ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ LRU และ LFU ในทุกขนาดของแคชมีอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยที่ดีกว่า ยกตัวอย่างเช่น ที่ขนาดของแคช 1000 จะเห็นว่านโยบาย CRCP มีอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยดีกว่า LFU และ LRU ประมาณ 11% และ 13% ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผล Average Cache Hit Ratio vs Cache Size

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยเมื่อจำนวนโหนดต่อ CR เพิ่มขึ้น ที่ขนาดของแคช 1000 จากกราฟแสดงให้เห็นว่าอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยของ CRCP ดีกว่า LRU และ LFU ยกตัวอย่าง จำนวนโหนดต่อ CR 8 โหนด CRCP มีอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยดีกว่า LFU และ LRU ที่ 11% และ 14% ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผล Average Cache Hit Ratio vs Number of Nodes/CR

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการแทนที่ข้อมูลในแคชที่เรียกว่า Cache Replacement Content Popularity (CRCP) โดยอาศัยเทคนิค Exponential Moving Average ซึ่งจะนำค่าความนิยมข้อมูลมาพิจารณาในการเก็บข้อมูลให้ยังคงอยู่ใน CS โดยมีตัวชี้วัด คือ อัตราการเจอข้อมูลในแคช (Cache Hit Ratio) ซึ่งทดลองเปรียบเทียบนโยบาย CRCP ที่นำเสนอกับการแคชข้อมูลพื้นฐาน LFU และ LRU พบว่ามีอัตราการเจอข้อมูลเฉลี่ยดีกว่าประมาณ 11% - 14% ตามลำดับ และเนื่องจากนโยบาย CRCP ถูกติดตั้งเฉพาะยานพาหนะที่รับหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่มเพียงโหนดเดียว เมื่อยานพาหนะที่เป็นหัวหน้ากลุ่มเกิดสถานการณ์ที่ต้องออกจากกลุ่มก็จะทำให้อัตราการเจอข้อมูลลดลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้มีการติดตั้งนโยบาย CRCP กับยานพาหนะที่รับหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่มสำรอง ด้วยซึ่งได้เสนอไว้ในบทที่ 5 ถัดไป

## บทที่ 5

### การรักษาเสถียรภาพของกลุ่มให้มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้น เนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (VCCN)

ในบทนี้ทำการปรับปรุงแนวคิดการจัดแบ่งกลุ่มเป็นคลัสเตอร์ย่อย จากการเลือก โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Cluster Head เพียงโหนดเดียวเป็นการเลือกโหนด Cluster Head ทำหน้าที่ 2 ประเภท คือ Primary Cluster Head (PCH) ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลหลักแก่สมาชิกภายใน คลัสเตอร์ และ Secondary Cluster Head (SCH) ซึ่งจะทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลสำรองในกรณี ที่ PCH ออกจากคลัสเตอร์ เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของคลัสเตอร์ โดยให้ผู้ร้องขอสามารถร้องขอ ข้อมูลได้จากโหนดที่ทำหน้าที่แทน PCH เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลช่วยลด Delivery Delay และสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลเดิมได้เร็วขึ้น

#### 5.1 ความเป็นมา

เนื่องจากในงานวิจัยที่ได้เสนอในบทที่ 3 มีการเลือกโหนด 1 โหนด เป็นหัวหน้ากลุ่ม เพื่อให้บริการข้อมูลแก่สมาชิกภายในกลุ่มย่อย ซึ่งถ้าโหนดหัวหน้ากลุ่มหรือ Cluster Head ออกจากคลัสเตอร์ไปจะทำให้ข้อมูลที่เก็บที่ CH นั้นหายไปด้วย จึงได้เสนอแนวคิดให้มีการเลือกหัวหน้า กลุ่มสำรอง Secondary Cluster Head (SCH) ซึ่งจะทำหน้าที่แทนในกรณีที่โหนดหัวหน้ากลุ่มออกจากกลุ่ม

งานวิจัยนี้เน้นการทำงานระบบเครือข่ายแบบ VCCN ซึ่งโหนดทุกโหนดหมายถึง ยานพาหนะแต่ละคัน จะมีบางโหนดทำหน้าที่เป็น CH โดยหัวหน้ากลุ่มจะใช้กลไกการจัดการแคช CRCP (Chootong , *et al.*, 2017) เพื่อใช้ในการพิจารณาการเก็บข้อมูลว่าข้อมูลไหนควรเก็บหรือ ควรถูกแทนที่ด้วยข้อมูลใหม่ ซึ่งการเลือกเก็บข้อมูลที่คาดว่าจะใช้ในอนาคตเพื่อจัดสรรเนื้อที่ในแคชให้ เกิดประโยชน์สูงสุด

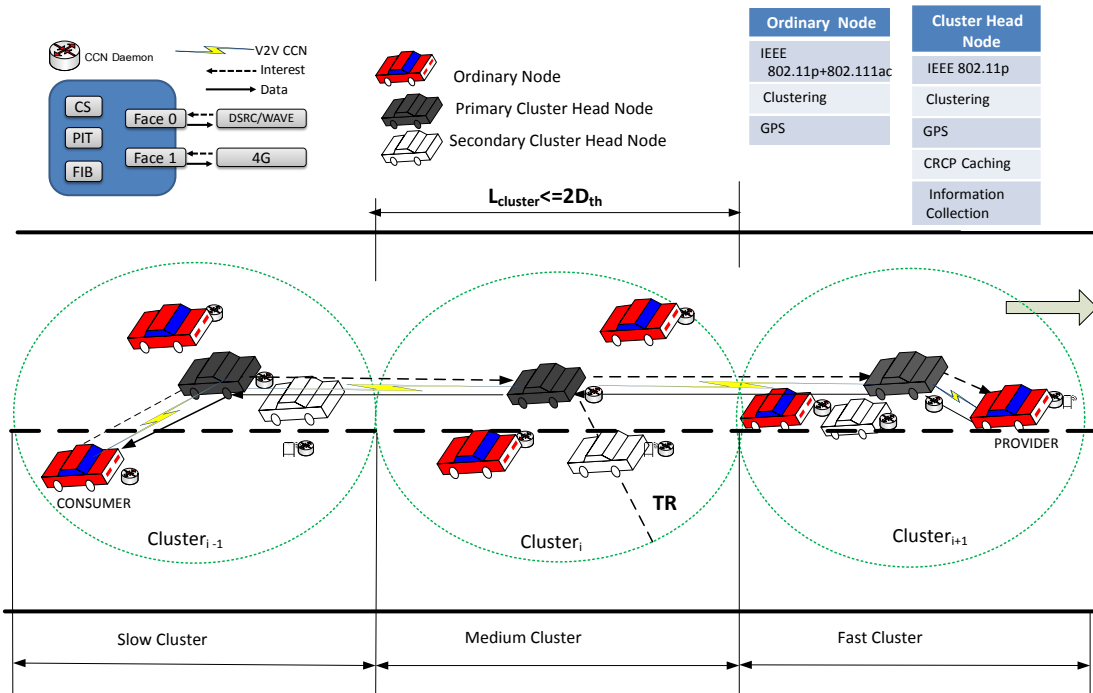
## 5.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการรักษาเสถียรภาพของกลุ่มให้มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง (VCCN) ซึ่งประกอบด้วยอัลกอริธึมการจัดกลุ่มใหม่โดยอาศัยการสื่อสารแบบ V2V บนถนนทางหลวง (Highway)

แนวคิดที่นำเสนอขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ยานพาหนะทุกคันมีอุปกรณ์ GPS ซึ่งสามารถรับข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ยานพาหนะแต่ละคันสามารถคำนวณความเร็วเทียบเคียงกับเพื่อนบ้านได้รวมทั้งสามารถตรวจจับระยะทางกับเพื่อนบ้านได้ (Hassanabadi, *et al.*, 2014)

### 5.2.1 นิยามของกลุ่มยานพาหนะ

วัตถุประสงค์ของกลไกการจัดกลุ่มที่เสนอเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของกลุ่มและลดเวลาในการสร้างคลัสเตอร์ รวมทั้งยังสามารถลดการแลกเปลี่ยนข้อความในคลัสเตอร์และเพื่อหลีกเลี่ยงขั้นตอนการคัดเลือกหัวหน้าคลัสเตอร์ โดยเลือกยานพาหนะที่อยู่ตำแหน่งกลางของคลัสเตอร์เป็นหัวหน้าคลัสเตอร์ (Cluster Head : CH) จากแนวคิดที่ใช้ในบทที่ 3 และสมาชิกภายในคลัสเตอร์ (Cluster Member : CM) เป็นโหนดเพื่อนบ้านที่มีระยะห่าง 1 hop ดังรูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างคลัสเตอร์ใหม่ เพื่อแก้ปัญหานี้จะนำ “ $D_{th}$ (เกณฑ์ระยะปลอดภัย)” ซึ่งจะต้องน้อยกว่า  $TR$  (ช่วงระยะการรับส่งข้อมูล) ของ  $CH$  ( $D_{th} \leq TR$ ) ยานพาหนะที่อยู่ในช่วง  $D_{th}$  จะมีเสถียรภาพในการติดต่อสื่อสารกับ  $CH$  มากขึ้น ดังนั้นความยาวของคลัสเตอร์ในอัลกอริธึมที่เสนอ คือ  $L \leq 2D_{th}$  ตามรูปที่ 5.1 แต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วย  $CH$  ที่ไม่ซ้ำกันและ  $CM$  อย่างน้อยหนึ่ง 1 โหนด



รูปที่ 5.1 System Architecture

ตารางที่ 5.1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$TR$	ช่วงระยะเวลาการรับส่งข้อมูล (Transmission Range)
$D_{th}$	เกณฑ์ระยะห่างปลอดภัย (Distance threshold)
$\Delta D$	ระยะห่างเชิงสัมพัทธ์ (Relative distance)
$L_{cluster}$	ความยาวของคลัสเตอร์ (Length of cluster)
$ClusterID$	หมายเลขคลัสเตอร์ (Cluster ID)
$CM_{table}$	ตารางที่ใช้เก็บข้อมูลสมาชิกภายในแต่ละคลัสเตอร์ (Cluster Member Table)
$T_{Hello}$	เวลาที่ $CM$ ใช้รอข้อความ <i>Hello</i> จาก $CH$ ของคลัสเตอร์
$CM_i, (i = 1, \dots, n)$	สมาชิกภายในคลัสเตอร์ (Cluster Member)
$CH$	หัวหน้าคลัสเตอร์ (Cluster Head)
$CH_{mer}$	หัวหน้าคลัสเตอร์ที่เกิดจากการรวมคลัสเตอร์ชั่วคราว (Cluster Head Merge)

### 5.2.2 สถาปัตยกรรม

สถาปัตยกรรมของงานวิจัยนี้อ้างอิงบนพื้นฐานงานวิจัยในบทที่ 3 คือ การแบ่งยานพาหนะออกเป็น 3 กลุ่มย่อยตามความเร็ว คือ กลุ่มความเร็วช้า กลุ่มความเร็วปานกลาง และกลุ่มความเร็วสูง และมีโหนด 1 โหนดที่ทำหน้าที่เป็น Primary Cluster Head ดังรูปที่ 5.1 แต่มีเพิ่มเติมคือ มีโหนดบางโหนดในคลัสเตอร์ถูกเลือกเป็น Secondary Cluster Head เป็นโหนดที่ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลแทน Primary Cluster Head ในกรณีโหนดที่เป็น Primary Cluster Head ออกจากกลุ่มย่อยนั้น ๆ และในบทที่ 4 ที่ว่าด้วยเรื่องการแทนที่ข้อมูลในแคชบนโหนดที่ทำหน้าที่เป็น Cluster Head รวมกัน

### 5.2.3 การจัดกลุ่มคลัสเตอร์และเลือกหัวหน้ากลุ่มคลัสเตอร์

กระบวนการการจัดกลุ่มคลัสเตอร์และเลือกหัวหน้ากลุ่มคลัสเตอร์ มีขั้นตอนการดำเนินการตามผังงาน ดังรูปที่ 5.2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ใช้แนวคิดในการแบ่งกลุ่มยานพาหนะตามความเร็ว ยานพาหนะแต่ละคันจะมีอุปกรณ์ GPS ติดตั้ง ดังนั้นเมื่อมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน จะทำให้ทราบตำแหน่งยานพาหนะและใช้เกณฑ์ CSL (Farooq, *et al.*, 2016) ในการจัดกลุ่มยานพาหนะเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มความเร็วช้า (Slow Cluster) กลุ่มความเร็วปานกลาง (Medium Cluster) และกลุ่มความเร็วสูง (Fast Cluster) โดยแต่ละกลุ่มยังไม่มีหัวหน้ากลุ่ม

2) เลือกหัวหน้าในแต่ละคลัสเตอร์โดยใช้เทคนิค K-Mean (VCHE-K) ตามสมการที่ 2.1 หรือ 2.2 ซึ่งจะได้ตำแหน่งยานพาหนะที่อยู่กึ่งกลางกลุ่มที่ทำหน้าที่เป็น CH

3) ตรวจสอบสมาชิกภายในกลุ่มว่าอยู่ในช่วง  $L_{cluster}$  ( $L_{cluster} < 2D_{th}$ ) หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ถ้าใช่ ให้ทำขั้นตอนถัดไป

4) ตรวจสอบระยะห่างระหว่าง CH แต่ละคลัสเตอร์ว่าอยู่ในระยะการส่งข้อมูลแบบ V2V ( $TR$ ) หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ถ้าใช่ ให้ทำขั้นตอนถัดไป

5) กำหนดสถานะหัวหน้ากลุ่มหลัก (Primary Cluster Head : PCH)

6) จัดลำดับระยะห่างระหว่าง PCH กับสมาชิกที่อยู่ในกลุ่ม

7) หาค่าเฉลี่ยต่ำสุดระยะห่าง CM กับ PCH ของกลุ่มอื่น เพื่อเลือกหัวหน้ากลุ่มสำรอง (Secondary Cluster Head : SCH)

8) กำหนดสถานะรองหัวหน้ากลุ่ม (Secondary Cluster Head : SCH)

9) กำหนดสมาชิก (Cluster Member : CM) ทั้งหมดในกลุ่ม

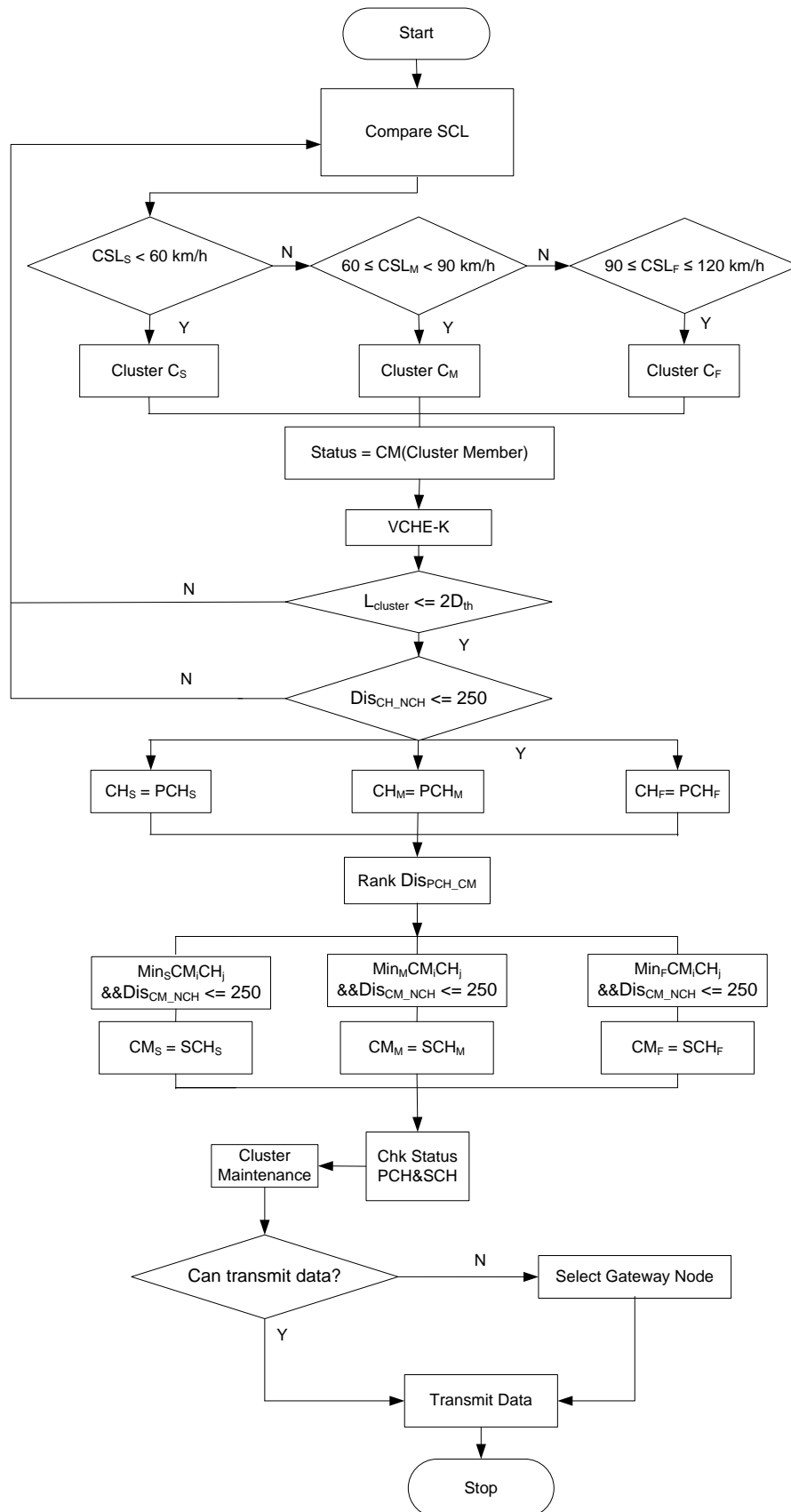
10) สถานะของ PCH , SCH ถูกประกาศผ่าน Hello Message

11) ตรวจสอบสถานะของ PCH และ SCH ว่าอยู่ในกรณี 1, 2, 3, 4, 5 หรือ 6



12) ทำขั้นตอน Cluster Maintenance

13) ตรวจสอบว่ายังอยู่ในช่วงที่สามารถส่งข้อมูลได้หรือไม่ ถ้าช่วงการส่งข้อมูลมากกว่า  $D_{th}$  ให้เลือกโหนด Gateway node เพื่อช่วยในการส่งต่อข้อมูล



รูปที่ 5.2 กระบวนการจัดกลุ่มและเลือกหัวหน้ากลุ่ม

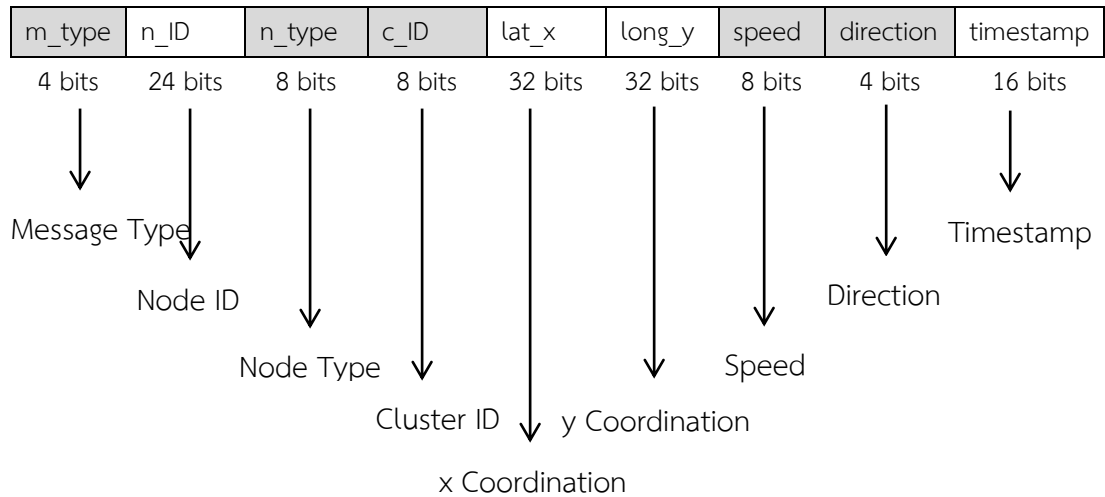
### 5.3 Message Types

จากตารางที่ 5.2 ประกอบด้วยชุดประเภทของข้อความต่อไปนี้ คือ ข้อความ  $M_{Hello}$  ข้อความ  $M_{Ack}$  ข้อความ  $M_{ReqJoin}$  ข้อความ  $M_{ReqMerge}$  ข้อความ  $M_{ReqSend}$  และข้อความ  $M_{AckUN}$  ซึ่งข้อความเหล่านี้จะถูกใช้ในอัลกอริทึมการจัดกลุ่มและการรักษาเสถียรภาพของคลัสเตอร์ โดยแต่ละข้อความจะเป็นการส่งในระยะ 1 hop ซึ่งข้อความเหล่านี้เป็นส่วนที่ปรับปรุงจากข้อความ Hello มีพารามิเตอร์ดังนี้ ประเภทของข้อความ (Message Type) รหัสของโหนด (Node ID) ประเภทของโหนด (Node Type) รหัสคลัสเตอร์ (Cluster ID) ตำแหน่งในแนวแกน x (x Coordination) ตำแหน่งในแนวแกน y (y Coordination) ความเร็ว (Speed) ทิศทาง (Direction) และเวลาที่กระจายข้อความ Hello (Timestamp) ฟیلด์ที่แรเงาด้วยสีเทา คือ ฟیلด์ที่ได้เพิ่มเติมลงไป ในข้อความ Hello เดิมมีขนาดทั้งหมด 32 บิต (4 ไบต์) ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 Message Types

Name	Description	Source	Data Dissemination
$M_{ReqJoin}$	Cluster joining request	Any node	Direct/Unicast
$M_{Hello}$	Current speed and position data of vehicles	$UN$ or $CM$	Broadcast
$M_{Ack}$	Notification as CH or temporary CH or merge CH	$CH$ or $CH_{temp}$ or $CH_{mer}$	Broadcast
$M_{ReqMerge}$	Clusters merging request	$CH$	Direct/Unicast
$M_{AckUN}$	Notification discard $CM_i$	$CH$	Broadcast
$M_{ReqSend}$	PCH request to duplicate data	$PCH$	Direct/Unicast

ตารางที่ 5.3 Hello Message Format



#### 5.4 การรักษาเสถียรภาพของคลัสเตอร์

งานวิจัยแบ่งกระบวนการการรักษาเสถียรภาพของคลัสเตอร์เป็น 6 กรณี คือ

- 1) PCH-Active and SCH-Passive คือ สถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มีทั้ง PCH และ SCH
- 2) PCH-Active and SCH-Leave คือ สถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มี PCH อยู่ในกลุ่มแต่ SCH ออกจากกลุ่ม
- 3) PCH-Leave and SCH-Passive คือ สถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์ PCH ออกจากกลุ่มแต่ SCH ยังอยู่ในกลุ่ม
- 4) PCH-Leave and SCH-Leave คือ สถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์ทั้ง PCH และ SCH ออกจากกลุ่ม
- 5) Cluster Merge คือ สถานการณ์ที่มีการรวม 2 คลัสเตอร์เป็นคลัสเตอร์เดียวกัน
- 6) Cluster Leaving คือ สถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มี ยานพาหนะออกจากคลัสเตอร์

ขั้นตอนการทำงานเป็นไปตามอัลกอริทึมดังรูปที่ 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.9 และ 5.11

---

**Algorithm 1** PCH-Active and SCH-Passive
 

---

1 : Check Status of PCH and SCH  
 2 : If PCH = active SCH = passive  
 3 : Begin data trasmission.  
 Duplicate Data Process

---

รูปที่ 5.3 Algorithm 1 : PCH-Active and SCH-Passive

---

**Algorithm 2** PCH-Active and SCH-Leave
 

---

1 : Check Status of PCH and SCH  
 2 : If PCH = active SCH = leave  
 3 : Process New SCH  
 4 : Announce SCH to PCH  
 5 : Begin data trasmission.  
 Duplicate Data Process

---

รูปที่ 5.4 Algorithm 2 : PCH-Active and SCH-Leave

---

**Algorithm 3** PCH-Leave and SCH-Passive
 

---

1 : Check Status of PCH and SCH  
 2 : If PCH = leave SCH = passive  
 3 : Set SCH = PSH  
 4 : Announce PCH to CM and NCH  
 5 : Begin data trasmission.  
 6 : Process New SCH  
 7 : Announce SCH to PCH  
 Duplicate Data Process

---

รูปที่ 5.5 Algorithm 3 : PCH-Leave and SCH-Passive

---

**Algorithm 4** PCH-Leave and SCH-Leave
 

---

1 : Check Status of PCH and SCH  
 2 : If PCH = leave SCH = leave  
 3 : Procees New PCH and SCH  
 4 : Announce PCH to SCH,CM and NCH  
 5 : Begin data trasmission.  
 Duplicate Data Process

---

รูปที่ 5.6 Algorithm 4 : PCH-Leave and SCH-Leave

เนื่องจากเมื่อมีเหตุการณ์การเข้าร่วมกลุ่ม การยุบรวมกลุ่มของ 2 กลุ่มและเหตุการณ์หัวหน้ากลุ่มออกจากกลุ่มเกิดขึ้นทำให้หัวหน้ากลุ่มนั้นเปลี่ยนไป จึงทำให้เกิดปัญหา คือ สมาชิกในกลุ่มไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ จึงต้องมีกลไกในการคงสภาพของกลุ่ม ดังนั้นเพื่อช่วยลดปัญหานี้ ผู้วิจัยเสนอแนวคิดในการจัดการดังนี้

#### 1) การเข้าร่วมคลัสเตอร์

เมื่อหัวหน้ากลุ่ม  $CH_i$  ได้รับข้อความขอเข้าร่วมกลุ่ม  $M_{ReqJoin}$  จากยานพาหนะ  $V_j$  หัวหน้ากลุ่ม  $CH_i$  จะทำการตรวจสอบค่า  $\Delta D$  กับ  $V_j$  ว่าอยู่ใน  $L$  หรือไม่ ถ้า  $\Delta D \leq D_{th}$  และ  $V_j$  ยังไม่เป็นสมาชิกของกลุ่ม  $CH_i$  จะเพิ่ม  $V_j$  ให้เป็นสมาชิกและบันทึกตำแหน่งของ  $V_j$  ลงในตาราง  $CM_{table}$  และ  $CH_i$  จะกระจายข้อความ  $M_{Ack}$  เพื่อแจ้ง  $CM$  ทั้งหมดของตนเพื่ออัปเดตข้อมูลสมาชิก โดยมีอัลกอริทึมการทำงาน ดังรูปที่ 5.7

---

#### Algorithm 5 Joining a Cluster

---

```

1 : Loop
2 : When  $PCH_i$  receives a  $M_{ReqJoin}$  from vehicle  $V_j$ 
3 : IF  $\Delta D$  between  $PCH_i$  and  $V_j \leq D_{th}$ 
4 :  $PCH_i$  adds  $V_j$  as its  $CM$ 
   Records  $V_j$  's position to its  $CM_{table}$ 
    $PCH$  broadcast  $M_{Ack}$  to inform  $CMs$ 
5 : Duplicate Data
6 : End loop

```

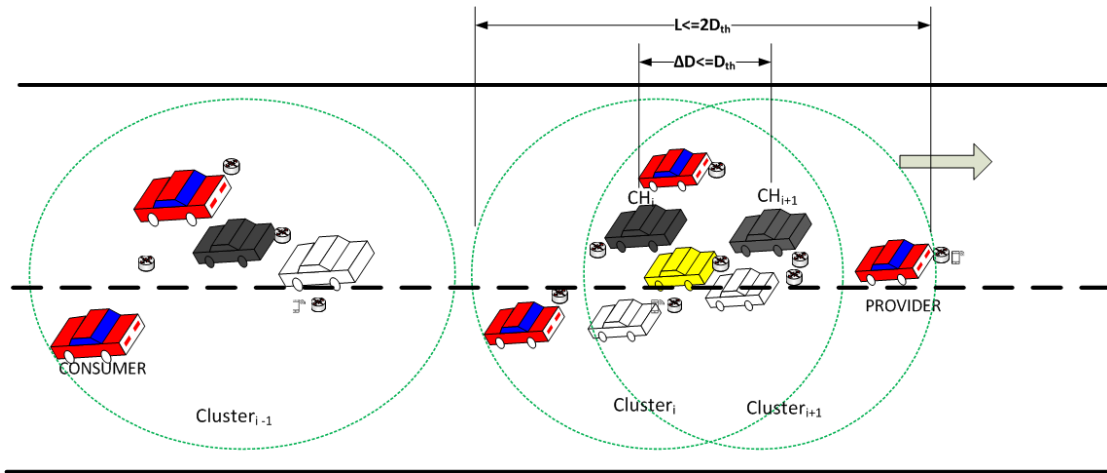
---

#### รูปที่ 5.7 Algorithm 5: Joining a Cluster

#### 2) การรวมคลัสเตอร์

เทคนิคที่นำเสนอขึ้นนี้อาจทำให้เกิดการซ้อนทับกันของกลุ่ม อย่างไรก็ตามเมื่อหัวหน้ากลุ่มของ 2 คลัสเตอร์ที่อยู่ใกล้ชิดมากและ 2 คลัสเตอร์มีพื้นที่ทับซ้อนกัน ดังรูปที่ 5.8 จะมีการเรียกใช้ขั้นตอนการรวมคลัสเตอร์ คือ จะมีการรวมของ 2  $CH$  เป็น  $CH$  เดียวเพื่อควบคุม  $CM$  ทั้งหมดของทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อระยะห่างระหว่าง  $CH$  ทั้ง 2 มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์  $D_{th}$  โหนด  $CH_i$  ที่อยู่ข้างหลังจะส่งข้อความ  $M_{ReqMerge}$  ไปยัง  $CH_{i+1}$  ที่อยู่ข้างหน้าเมื่อ  $CH_{i+1}$  ได้รับข้อความ  $M_{ReqMerge}$  ก็จะทำให้ทำการตรวจสอบว่าเมื่อรวมกลุ่มของ 2 คลัสเตอร์มีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $2D_{th}$  ถ้ามีขนาดตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ก็ทำการเลือก  $CH_{mer}$  หลังจากเลือก  $CH_{mer}$  เสร็จแล้ว  $CH$  เดิมของทั้ง 2 กลุ่มก็จะส่งรายชื่อ  $CM$  ของตนไปยัง  $CH_{mer}$  ทำให้รายการ  $CM$  เดิมของทั้ง 2 กลุ่มจะไปเป็น  $CM$  ของ

$CH_{mer}$  หลังจากนั้น  $CH_{mer}$  ใหม่จะทำการเพิ่ม  $CM$  ลงในตาราง  $CM_{table}$  และกระจายข้อความ  $M_{Ack}$  เพื่อแจ้ง  $CM$  ทั้งหมดของตนเพื่อเปลี่ยน  $ClusterID$  โดยมีอัลกอริทึมการทำงาน ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.8 Cluster Merge

---

**Algorithm 6** Cluster Merge

---

```

1 : Loop
2 : IF  $\Delta D$  between  $CH_i$  and  $CH_{i+1} \leq D_{th}$ 
3 :  $CH_i$  send  $M_{ReqMerge}$  to  $CH_{i+1}$ 
4 : When  $CH_{i+1}$  get  $M_{ReqMerge}$ 
IF  $L$  between  $Cluster_i$  and  $Cluster_{i+1} \leq 2D_{th}$ 
Select  $CH_{mer}$  and Set  $CH_{mer} = PCH$ 
5 :  $CH_i$  and  $CH_{i+1}$  send  $CM_{sList}$  to  $PCH$ 
6 :  $PCH$  add  $CM_s$  to  $CM_{table}$ , then
 $PCH$  broadcast  $M_{Ack}$  to inform  $CM_s$ 
7 :  $CM_s$  change its  $ClusterID$ 
8 : Process New SCH
9 : Announce  $PCH$  to  $SCH, CM$  and  $NCH$ 
10 : Begin data transmission.
11 : End loop

```

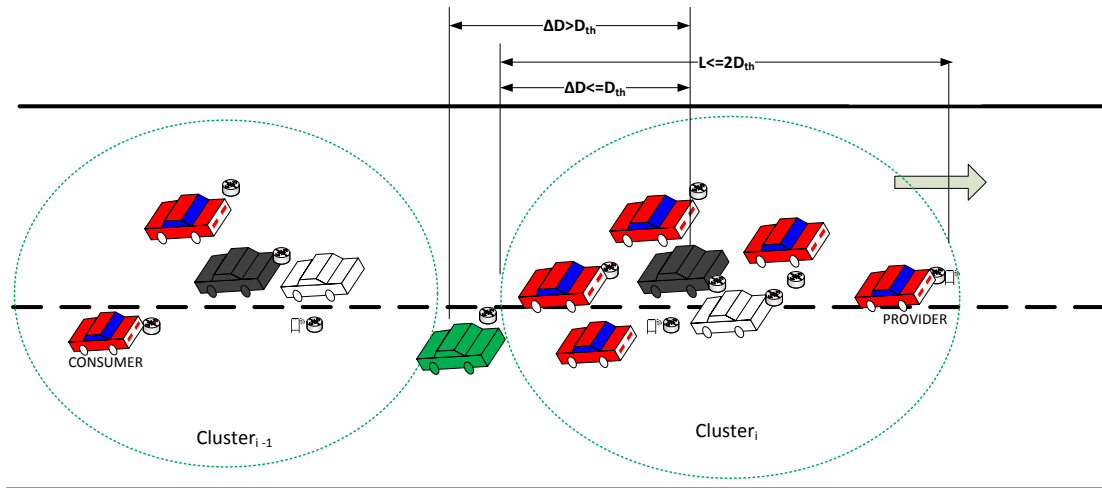
---

รูปที่ 5.9 Algorithm 6 : Cluster Merge

3) การออกจากคลัสเตอร์

สถานการณ์ทั่วไปบนทางหลวงยานพาหนะก็จะมีการเข้าและออกจากคลัสเตอร์ตลอดเวลา ดังรูปที่ 5.10 โดยแต่ละ  $CH$  จะมีการตรวจสอบสถานะของ  $CM$  เมื่อ  $CH$  ได้รับข้อความ  $M_{Hello}$  จากสมาชิกภายในกลุ่ม ก็จะทำการตรวจสอบค่า  $\Delta D$  ระหว่าง  $CM$  และ  $CH$  ถ้า  $\Delta D \leq D_{th}$  แล้ว  $CH$  ก็จะกำหนดค่า  $Hello(CM_i)$  เป็น 1 ถ้าไม่  $CM_i$  ก็จะถูกออกจากรายชื่อ

สมาชิกของคลัสเตอร์  $CH$  ส่งข้อความ  $M_{AckUN}$  แจ้ง  $CM_i$  ใน  $CM_{table}$  หลังจากนั้นลบ  $CM_i$  ออกจาก  $CM_{table}$  โดยมีอัลกอริทึมการทำงาน ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 Cluster Leaving

---

**Algorithm 7** Cluster Leaving

---

```

1 : Loop
2 : Check  $\Delta D$  of  $CM_i$  in  $D_{th}$  range
   If  $\Delta D \leq D_{th}$ 
      $CM_{i\_status}$  to 1
   else  $CM_{i\_status}$  to 0
3 : Delete  $CM_i$  form  $CM_{list}$ 
4 :  $CH$  send  $M_{AckUN}$  to inform  $CM_i$  in  $CM_{table}$ 
   Delete  $CM_i$  from  $CM_{table}$ 
5 : End loop

```

---

รูปที่ 5.11 Algorithm 7 : Cluster Leaving

4) การทำสำเนาข้อมูล

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นทุก ๆ 1 วินาที SCH จะมีการสำรองข้อมูลที่เหมือนกันทุกประการกับ PCH เพื่อสำรองไว้ในกรณีที่ PCH ออกจากกลุ่ม เพื่อแก้ปัญหาการที่ต้องไปขอข้อมูลจากหัวหน้ากลุ่มเพื่อนบ้านหรือแหล่งผู้ให้บริการข้อมูลโดยตรง โดยแต่ละวินาทีจะมีการตรวจสอบระยะห่างระหว่าง PCH และ SCH ถ้า  $\Delta D \leq D_{th}$  PCH ก็จะส่งข้อความ  $M_{ReqSend}$  ไปยัง SCH หลังจากนั้น PCH ก็จะส่งข้อมูลและสถานะไปยัง SCH โดยมีอัลกอริทึมการทำงาน ดังรูปที่ 5.12



---

**Algorithm 8** Duplication Data
 

---

1 : Loop  
 2 : Check  $\Delta D$  between *PCH* and *SCH*  
 If  $\Delta D \leq D_{th}$   
*PCH* send  $M_{ReqSend}$  to *SCH*  
 3 : *PCH* forward data and state to *SCH*  
 4 : End loop

---

รูปที่ 5.12 Algorithm 8 : Duplication Data

### 5.5 การวิเคราะห์ Signaling Overhead

เนื่องจากการส่งข้อมูลจากผู้ให้บริการไปยังผู้ร้องขอ กระบวนการทำงานจะเริ่มจากผู้ร้องขอส่งแพ็คเกจคำร้องขอไปตามโหนดต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเครือข่าย ถ้าโหนดใกล้เคียงมีข้อมูลโหนดที่ร้องขอจะได้รับข้อมูลทันที ถ้าโหนดใกล้เคียงไม่มีข้อมูลแพ็คเกจคำร้องจะถูกส่งไปจนถึงแหล่งผู้ให้บริการ ทำให้ในเครือข่ายจึงมี Signaling Overhead ที่เกิดจากกระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นมาก ในที่นี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ในกรณีการร้องขอข้อมูลต่อ 1 แพ็คเกจตามสถานการณ์ต่าง ๆ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 7 สถานการณ์การย่อย คือ

1) VCCN เป็นสถานการณ์ที่ใช้ Signaling Overhead ร้องขอข้อมูล 1 แพ็คเกจตามกลไกการสื่อสารแบบ VCCN เดิม ซึ่ง Signaling Overhead นั้นเกิดจากการส่งคำร้องไปตามโหนดที่อยู่ตามเส้นทางที่คำร้องขอผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{VCCN} = M_{interest} * h \quad (5.1)$$

2) VCCN-C: PCH-Active and SCH-Passive เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มีทั้ง PCH และ SCH ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 1 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดจากการร้องขอข้อมูลไปยังผู้ให้บริการข้อมูลรวมกับ PCH ส่งข้อความไปแจ้งเพื่อทำการสำเนาข้อมูลไปที่ SCH สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case1} = M_{interest} * h + M_{ReqSend} \quad (5.2)$$

3) VCCN-C: PCH-Leave and SCH-Passive เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มี SCH อยู่ในกลุ่มแต่ PCH ออกจากกลุ่ม ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 2 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดจากการร้องขอข้อมูลไปยังผู้ให้บริการข้อมูลรวมกับข้อความที่ SCH ประกาศตัวเพื่อทำหน้าที่แทน PCH หลังจากนั้น PCH ส่งข้อความไปแจ้งเพื่อทำการสำเนาข้อมูลไปที่ SCH ที่ถูกเลือกขึ้นมาใหม่ สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case2} = M_{interest} * h + M_{Ack} + M_{ReqSend} \quad (5.3)$$

4) VCCN-C: PCH-Active and SCH-Leave เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์มี PCH แต่ SCH ออกจากคลัสเตอร์ ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 3 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดจากการร้องขอข้อมูลไปยังผู้ให้บริการข้อมูลรวมกับ ข้อความที่โหนดใหม่ประกาศว่าเป็น SCH และ PCH ส่งข้อความไปแจ้งเพื่อทำการสำเนาข้อมูลไปที่ SCH สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case3} = M_{interest} * h + M_{Ack} + M_{ReqSend} \quad (5.4)$$

5) VCCN-C: PCH-Leave and SCH-Leave เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่ในคลัสเตอร์โหนด PCH และ SCH เคลื่อนที่ออกจากคลัสเตอร์ ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 4 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดจากการเลือกหัวหน้ากลุ่มใหม่และการประกาศว่าเป็นหัวหน้ากลุ่มใหม่ของ PCH และ SCH รวมถึงเกิดจากการร้องขอข้อมูลไปยังผู้ให้บริการข้อมูลและข้อความที่เกิดจาก PCH แจ้งไปที่ SCH เพื่อทำการสำเนาข้อมูล สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case4} = M_{Hello} + 2 * M_{Ack} + M_{interest} * h + M_{ReqSend} \quad (5.5)$$

6) VCCN-C: Cluster Merge เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่มีการรวม 2 คลัสเตอร์เป็นคลัสเตอร์เดียว ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 5 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดการส่งข้อความไปขอรวมกลุ่มดังรูปที่ 5.8 รวมกับข้อความแจ้งให้สมาชิกทราบว่าโหนดได้รับหน้าที่เป็น PCH และ SCH ใหม่ รวมถึงข้อความที่เกิดจาก PCH แจ้งไปที่ SCH เพื่อทำการสำเนาข้อมูล สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case5} = M_{ReqMerge} + 2 * M_{Ack} + M_{ReqSend} + M_{interest} * h \quad (5.6)$$

7) VCCN-C: Cluster Leaving เป็นแนวคิดที่ผู้วิจัยเสนอในสถานการณ์ที่มียานพาหนะออกจากคลัสเตอร์ ซึ่งในที่นี้แทนด้วย Case 6 โดยสถานการณ์นี้ Signaling Overhead เกิดจากข้อความที่หัวหน้ากลุ่มทั้ง PCH และ SCH แจ้งให้สมาชิกในกลุ่มทราบว่าโหนดนั้นไม่ได้เป็นสมาชิกอีกต่อไป สามารถเขียนเป็นสมการต่อไปนี้

$$SH_{case6} = M_{AckUN} + M_{interest} * h \quad (5.7)$$

## 5.6 สภาพแวดล้อมของสถานการณ์จำลอง

อัลกอริธึมที่นำมาเสนอทดลองโดยใช้โปรแกรม NS-3 (Network Simulation version 3.25) ซึ่งใช้เทคโนโลยี 802.11p การจำลองใช้เวลา 60 วินาที ในการทดลองได้สุ่มตำแหน่งและความเร็วของยานพาหนะเริ่มต้นให้แต่ละคันโดยมีรูปแบบต่างกัน 20 แบบ ระยะทางที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ 1.5 กิโลเมตร คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์หลักสำหรับการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5.3 ซึ่งการทดลองเป็นการเปรียบเทียบการทดลองการรับส่งข้อมูลแบบ VCCN แบบเดิมและแบบ VCCN-C ที่นำเสนอ โดยได้จำลองความเร็วของยานพาหนะเป็นสามประเภทจากการวัดทางสถิติ (Yousefi, *et al.*, 2008 and Rudack, *et al.*, 2002) จำนวนยานพาหนะ เริ่มจาก 10 20 30 40 และ 50 คัน ตามลำดับ การทดลองเลือกถนนแบบทางหลวงซึ่งสอดคล้องกับโมเดลที่ออกแบบ จากเหตุการณ์นี้ ยานพาหนะ Consumer ต้องการข้อมูลที่อยู่บนรถที่อยู่ห่างไกลออกไป จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้ สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ Provider ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูล การแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบ VCCN ลักษณะการส่งต่อข้อมูลใน CCN มีหลายแบบด้วยกัน เช่น Best Route Strategy, Multicast Strategy, Client Control Strategy (Afanasyev, *et al.*, 2012) ในงานวิจัยจะเลือกการส่งต่อแบบวิธี Best-Route โดยเลือกเส้นทางการส่งที่ดีที่สุดและมีการสำรองข้อมูลบนโหนดที่ข้อมูลวิ่งผ่าน ส่วนแบบ VCCN-C เป็นสถานการณ์ตัวอย่างในการนำแนวคิดการแบ่งกลุ่มย่อยมาประยุกต์ใช้ โดยมีจัดกลุ่มเป็น Cluster ภายในกลุ่มมียานพาหนะที่ทำหน้าที่หัวหน้ากลุ่มอยู่ 2 ประเภท คือ Primary Cluster Head เป็นผู้ให้บริการข้อมูลหลักภายในกลุ่ม และ Secondary Cluster Head เป็นผู้ให้บริการสำรองในกรณีที่ Primary Cluster Head ได้ออกจากกลุ่ม ซึ่งจะทำให้การเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นเพราะมีโหนดที่ทำหน้าที่เป็น CH ในคลัสเตอร์ตลอดเวลา

ตารางที่ 5.4 คุณลักษณะที่สำคัญของสถานการณ์

คุณลักษณะ (Parameter)	ค่าที่กำหนด (Value)
การแจ้งเตือนของ Hello ( $T_{Hello}$ )	1 วินาที (s)
ความเร็วเฉลี่ย (Average speed)	30 -120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (Km/h)
ช่วงระยะเวลาการรับส่งข้อมูล ( <i>Transmission Range : TR</i> )	250 เมตร (m)
ระยะปลอดภัยของการรับส่งข้อมูล ( <i>Distance Threshold : D<sub>th</sub></i> )	200 เมตร (m)
ขนาดข้อมูล (Data size)	1024 ไบต์ (bytes)
อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Rate)	6 เมกะไบต์ต่อวินาที (MBps)
คลื่นความถี่ (Frequency)	5.8 กิกะเฮิรตซ์ (GHz)
โหนด (Number of Node)	10,20,30,40,50 โหนด (Nodes)
ระยะเวลาการทดลอง (Simulation time)	60 วินาที (Second)
ความถี่การร้องขอข้อมูล (Request Frequency)	100 interests/วินาที
โทโพโลยีของสถานการณ์ (Topology Scenario)	1500 เมตร X 6 เมตร
เลน, ทิศทางเดียว (Lanes, One direction)	2
ช่องสัญญาณ MAC (MAC Channel)	802.11p

## 5.7 วิเคราะห์และสรุปผล

จากการทดสอบด้วยวิธีจำลองตามสถานการณ์ตัวอย่าง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง VCCN เป็นการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบเดิม และ VCCN-C เป็นการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายยานพาหนะแบบที่เสนอ ซึ่งมีตัวชี้วัดประเมินประสิทธิภาพ คือ Delivery Delay , Signaling Overhead และ Average Hop Count สถานการณ์แรกเป็นสถานการณ์ที่ยานพาหนะใช้โมเดล VCCN แบบเดิม ยานพาหนะ Consumer ต้องการข้อมูลที่อยู่บนรถที่อยู่ห่างไกลออกไป จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ Provider สามารถคำนวณ Delivery Delay โดยคำนวณจากการส่งข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับเท่านั้น ดังสมการที่ 3.3 สถานการณ์ที่ 2 เป็นสถานการณ์ที่ใช้โมเดลที่นำเสนอ VCCN-C ยานพาหนะ Consumer

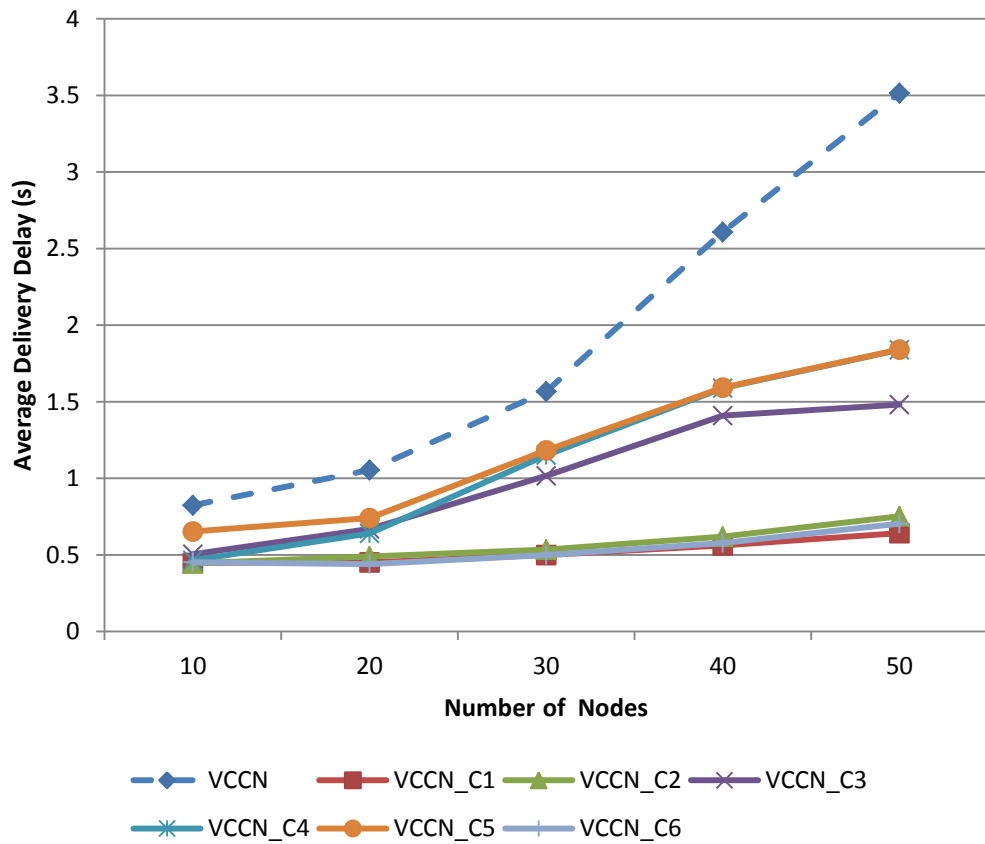
ต้องการข้อมูลที่อยู่บนยานพาหนะที่อยู่ห่างไกลออกไป จากสถานการณ์ตัวอย่างนี้สมมติให้ข้อมูลมีเฉพาะที่ยานพาหนะ Provider แต่มีการรวมกลุ่มยานพาหนะเป็นกลุ่มย่อยสามารถคำนวณ Delivery Delay ได้ ดังสมการที่ 3.8

กราฟที่ได้แสดงการทดสอบเปรียบเทียบของเหตุการณ์ต่าง ๆ ทั้งหมด 7 เหตุการณ์ คือ

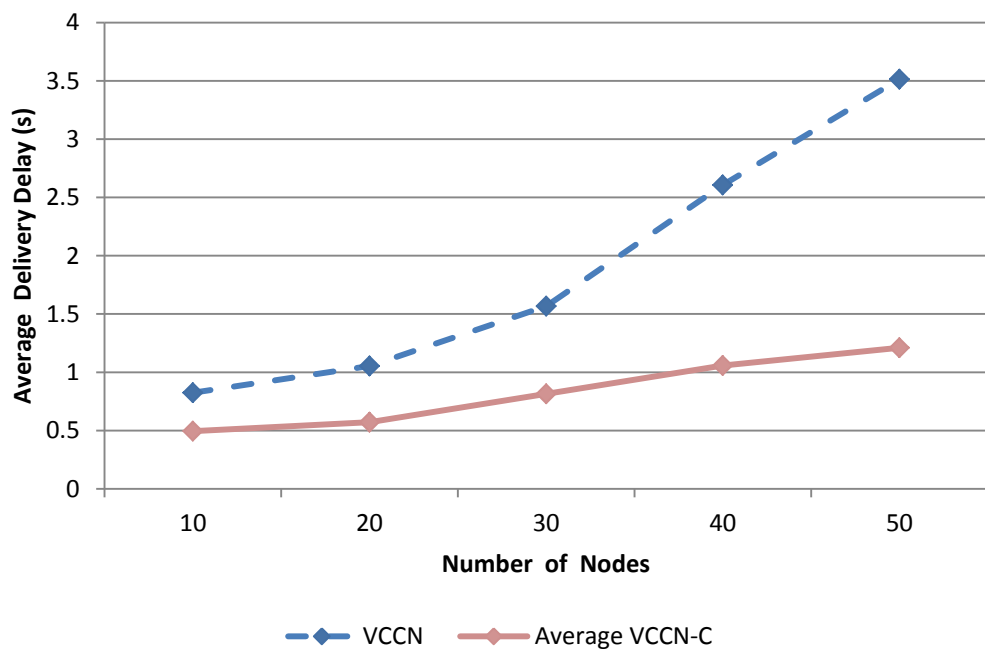
1) VCCN	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบเดิม	
2) VCCN_C1	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Active and SCH-Passive	VCCN-C
3) VCCN_C2	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Leave and SCH-Passive	VCCN-C
4) VCCN_C3	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Active and SCH-Leave	VCCN-C
5) VCCN_C4	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Leave and SCH-Leave	VCCN-C
6) VCCN_C5	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี Cluster Merge	VCCN-C
7) VCCN_C6	เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี Cluster Leaving	VCCN-C

#### 5.7.1. กราฟแสดงผล Average Delivery Delay

สภาพแวดล้อมของสถานการณ์ คือ เป็นการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะไบต์ต่อวินาที เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดในระบบเครือข่ายจาก 10 20 30 40 และ 50 โหนด ตามลำดับ จะเห็นว่า Delivery Delay จะมีค่าน้อยกว่าแบบ VCCN เดิมในทุกสถานการณ์จำลอง ดังรูปที่ 5.13 เช่น ในเหตุการณ์ VCCN\_C1 เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ VCCN-C กรณี PCH-Active and SCH-Passive และมีจำนวนโหนดในระบบเครือข่ายทั้งหมด 50 โหนดค่า Delivery Delay ของ VCCN-C ลดลงประมาณ 80% เมื่อเปรียบเทียบกับ VCCN เดิม



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

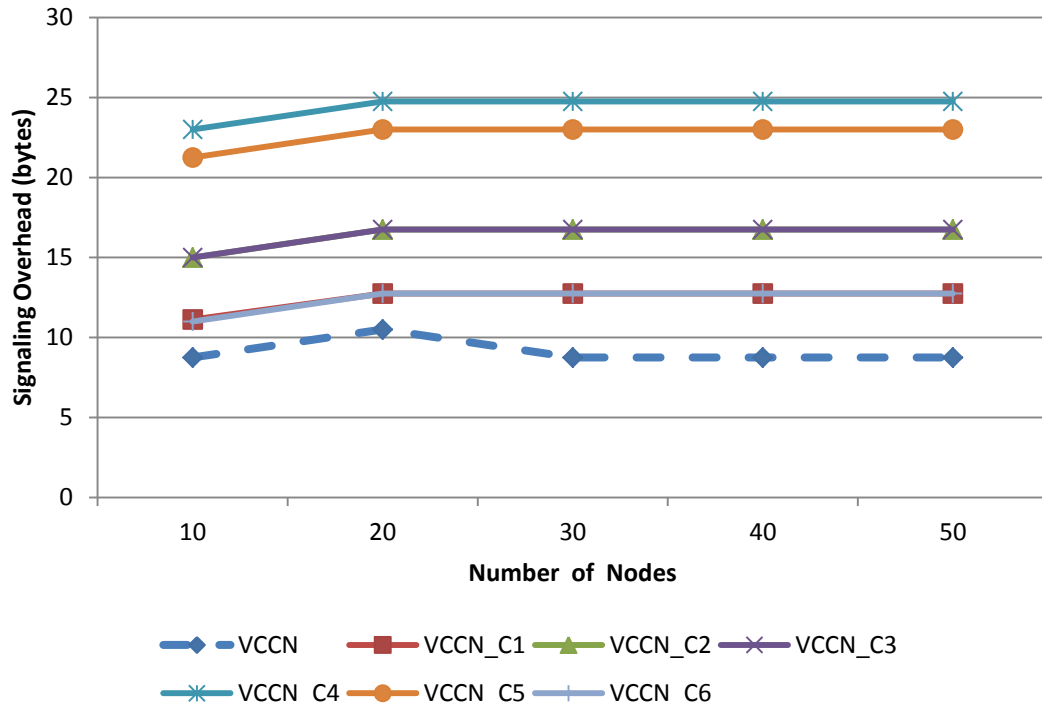


รูปที่ 5.14 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

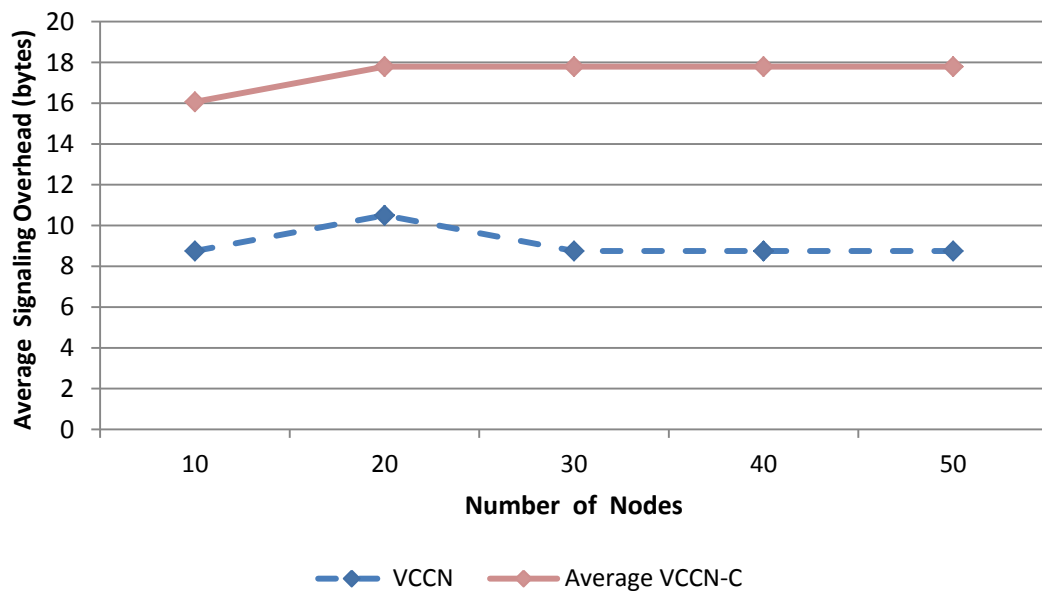
จากรูปที่ 5.14 เป็นกราฟแสดงผลค่า Average Delivery Delay ในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 10 20 30 40 และ 50 โหนด ตามลำดับ ในสภาพแวดล้อมของการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะไบต์ต่อวินาที เช่นในระบบเครือข่ายมีโหนดทั้งหมด 50 โหนด พบว่าค่า Average Delivery Delay ของแนวคิดแบบ VCCN-C ที่นำเสนอลดลงประมาณ 66% จาก VCCN เดิม

### 5.7.2 กราฟแสดงผล Signaling Overhead

สภาพแวดล้อมของสถานการณ์ คือ เป็นการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะไบต์ต่อวินาที เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดในระบบเครือข่ายจาก 10 20 30 40 และ 50 โหนด ตามลำดับ จะเห็นว่า Signaling Overhead จะมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าแบบ VCCN เดิมในทุกสถานการณ์จำลอง ดังรูปที่ 5.15 เช่น ในเหตุการณ์ VCCN\_C1 เป็นสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ VCCN-C กรณี PCH-Active and SCH-Passive และมีจำนวนโหนดในระบบเครือข่ายทั้งหมด 20 โหนด ค่า Signaling Overhead ของ VCCN-C เพิ่มขึ้นประมาณ 2 ไบต์ เมื่อเปรียบเทียบกับ VCCN เดิม



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่า Average Signaling Overhead เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

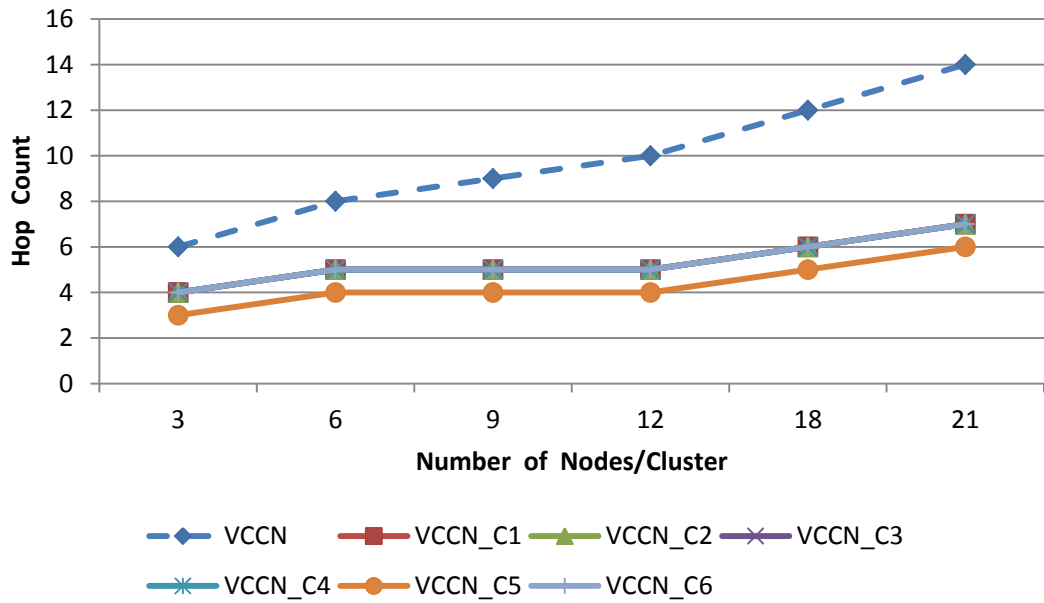
จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงผลค่า Average Signaling Overhead ในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 10 20 30 40 และ 50 โหนด ตามลำดับ ในสภาพแวดล้อมของการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะบิตต่อวินาที เช่น ในระบบเครือข่ายมีโหนดทั้งหมด 20 โหนด พบว่าค่า Average Signaling Overhead ของแนวคิดแบบ VCCN-C ที่นำเสนอเพิ่มขึ้นประมาณ 7 ไบต์ จาก VCCN เดิม จะเห็นว่าถึงแม้วิธีที่ผู้วิจัยนำเสนอจะทำให้ signaling overhead เพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้วิจัยวิเคราะห์ในกรณีการร้องขอข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต แต่ถ้ามองในภาพรวมของระบบเครือข่ายวิธีนี้จะช่วยให้คงสภาพของกลุ่มคือ ภายใต้อัลกอริทึมจะมีหัวหน้าจะกลุ่มตลอดเวลา เพราะฉะนั้นข้อความที่ใช้ในการสื่อสารกับหัวหน้ากลุ่มเพื่อให้ได้มาของข้อมูลนั้นจะมีค่าน้อยกว่า แบบ VCCN ซึ่งแบบ VCCN เดิม ไม่การันตีว่าข้อมูลที่อยู่ใกล้ที่สุดจะเป็นระยะ 1 hop จึงทำให้ต้องใช้แพ็คเก็ตร้องขอข้อมูลไปยังโหนดที่ใกล้เคียงอื่น ๆ ต่อไปเป็นผลให้ Signaling Overhead เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

### 5.7.3 กราฟแสดงผล Hop Count

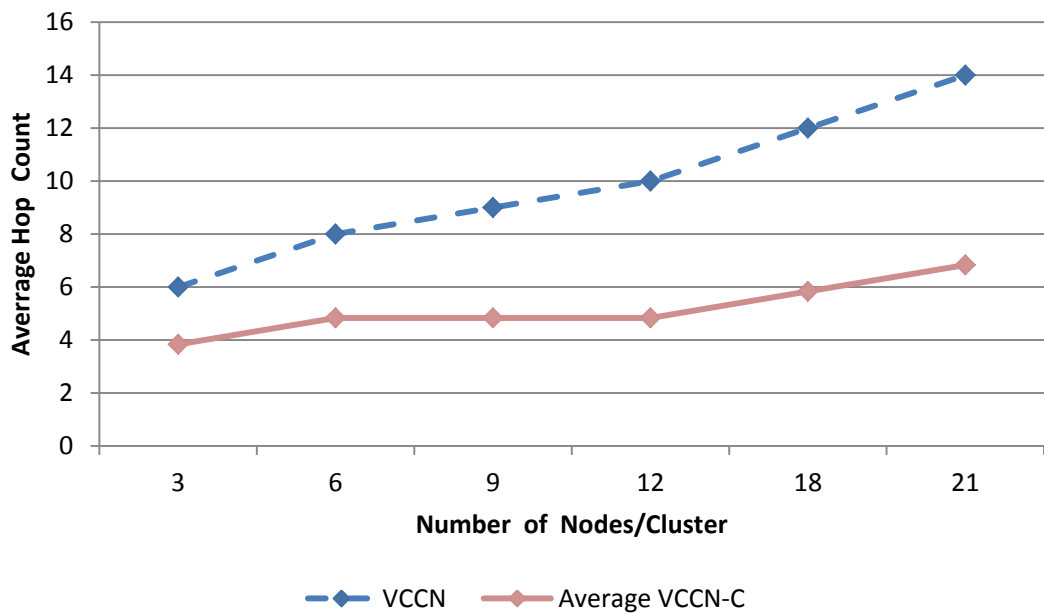
สภาพแวดล้อมของสถานการณ์ คือ เป็นการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่ออัลกอริทึมจาก 3 6 9 12 18 และ 21 โหนด ตามลำดับ จะเห็นว่า Hop Count จะมีค่าน้อยกว่าแบบ VCCN เดิมในทุกสถานการณ์จำลอง ดังรูปที่ 5.17 เช่น ในเหตุการณ์ VCCN\_C5 เป็นสถานการณ์การ



ส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ VCCN-C กรณี Cluster Merge และมีจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์ 21 โหนด ค่า Hop Count ของ VCCN-C ลดลงประมาณ 57% เมื่อเปรียบเทียบกับ VCCN เดิม

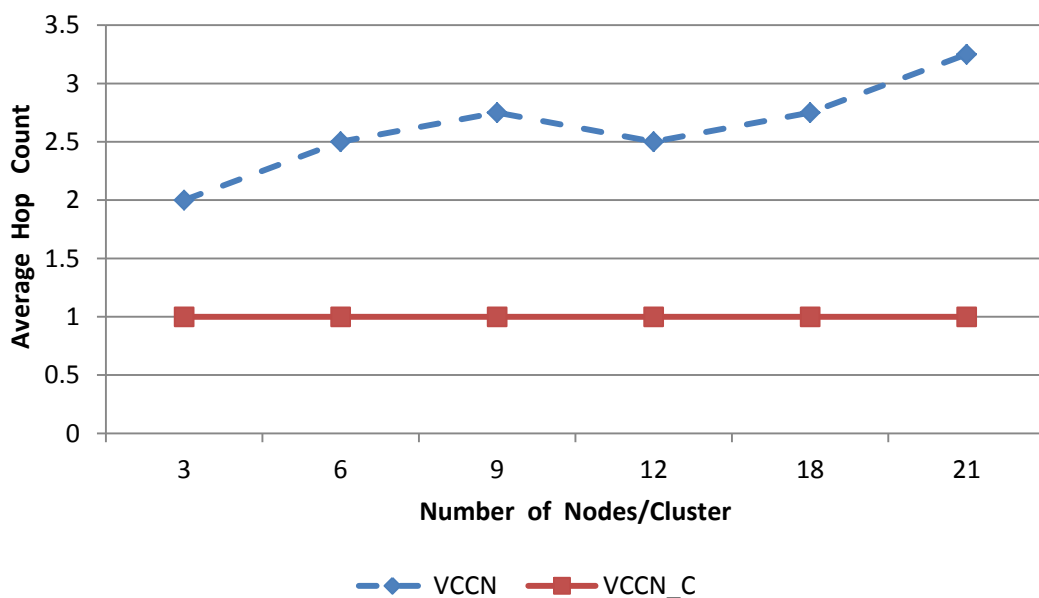


รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ต่าง ๆ เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลไม่ซ้ำ



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่า Average Hop Count เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลไม่ซ้ำ

จากรูปที่ 5.18 เป็นกราฟแสดงผลค่า Average Hop Count ในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์จาก 3 6 9 12 18 และ 21 โหนด ตามลำดับ ในสภาพแวดล้อมของการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะไบต์ต่อวินาที เช่น ในระบบเครือข่ายมีจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์ 21 โหนด พบว่าค่า Average Hop Count ของแนวคิดแบบ VCCN-C ที่นำเสนอลดลงประมาณ 51% จาก VCCN เดิม



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่า Average Hop Count เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด กรณีข้อมูลซ้ำ ๆ

จากรูปที่ 5.19 เป็นกราฟแสดงผลค่า Average Hop Count ในสถานการณ์ที่มีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์จาก 3 6 9 12 18 และ 21 โหนด ตามลำดับ ในสภาพแวดล้อมของการส่งข้อมูลจาก Provider ไปยัง Consumer แบบ 1 ต่อ 1 โดยมี Background Traffic ขนาด 8 เมกะไบต์ต่อวินาที ลักษณะข้อมูลเป็นแบบซ้ำ ๆ กัน เช่น ในระบบเครือข่ายมีจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์ 21 โหนด พบว่าค่า Average Hop Count ของแนวคิดแบบ VCCN-C ที่นำเสนอลดลงประมาณ 3.25 เท่า จาก VCCN เดิม

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอกฎการรักษาเสถียรภาพของกลุ่มโดยเลือกโหนด 2 โหนด เพื่อทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม คือ หัวหน้ากลุ่มหลัก (Primary Cluster Head) ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลหลักแก่สมาชิกภายในกลุ่ม และหัวหน้ากลุ่มรอง (Secondary Cluster Head) ทำหน้าที่คอยให้บริการข้อมูลสำรองในกรณีที่หัวหน้ากลุ่มออกจากกลุ่ม นอกจากนี้ยังเสนอแนวคิดการรักษาเสถียรภาพของกลุ่มส่งผลให้สมาชิกภายในกลุ่มสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลได้เร็วขึ้น จากผลการ

ทดลองทั้งจากการทดลองโดยใช้แบบจำลองและการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ตามตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด คือ Delivery Delay , Signaling Overhead และ Hop Count เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของทุกตัวชี้วัดเปรียบเทียบกับารรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลแบบ VCCN เดิม จะเห็นได้ว่าแนวคิดการรับส่งข้อมูลแบบ VCCN-C ที่เสนอนั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้าน Delivery Delay และ Hop Count, ส่วนทางด้าน Signaling Overhead จำนวน Signaling Overhead จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสื่อสารในส่วนของการรักษาเสถียรภาพของกลุ่ม แต่ Signaling Overhead เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ได้จากการสื่อสารจะเห็นว่ามีส่วนน้อยมาก

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลางและข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลาง ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะด้วยกัน คือ แบบ V2V เท่านั้น ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ

1) สถาปัตยกรรมการจัดกลุ่มของยานพาหนะออกเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่มีความเร็วช้า ปานกลาง และเร็ว โดยใช้เทคนิค K-Means ในการเลือกโหนดที่หน้าที่โหนดหลัก (Cluster Head : CH) ในการให้บริการข้อมูลภายในกลุ่มย่อย ทำให้ลดจำนวนโหนดที่ทำหน้าที่เป็น Content Router (CR) ลดการเกิด Overhead ในระบบเครือข่าย และการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันจากกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับ Delivery Delay และจำนวน Hop กับกระบวนเดิมของ VCCN พบว่าการรับส่งข้อมูลวิธี VCCN-C มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม

2) นโยบายการสำรองข้อมูลบนโหนดที่ทำหน้าที่เป็น CH ซึ่งเป็นกลไกการแทนที่ข้อมูลในแคชโดยพิจารณาค่าความนิยมข้อมูลที่เกิดจากการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน EMA ซึ่งนโยบายนี้มีชื่อว่า CRCP และจะถูกติดตั้งเฉพาะโหนดที่ทำหน้าที่เป็นหัวหน้ากลุ่มเท่านั้น การทดลองจะเปรียบเทียบกับนโยบาย LFU และ LRU โดยมีตัวชี้วัด คือ อัตราการเจอข้อมูล

3) แนวคิดการมีหัวหน้ากลุ่มสำรอง (Secondary Cluster Head: SCH ) เนื่องจากแนวคิดการมีหัวหน้ากลุ่มที่ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการหลักเพียงโหนดเดียวจะเกิดปัญหาที่ตามมา คือ เมื่อโหนด CH เกิดเหตุการณ์ออกจากกลุ่มก็จะทำให้ข้อมูลที่อยู่ภายในกลุ่มนั้นหายไปด้วย จึงได้เสนอการเลือกหัวหน้ากลุ่มสำรอง (Secondary Cluster Head) เพื่อคอยทำหน้าที่แทน ทำให้ผู้ร้องขอมี

โอกาสได้ข้อมูลจากภายในกลุ่มมากขึ้น พร้อมทั้งเสนออัลกอริทึมในส่วนของการรักษาเสถียรภาพของกลุ่มหรือคลัสเตอร์ เพื่อช่วยหัวหน้ากลุ่มอยู่ภายในคลัสเตอร์ตลอดเวลาและช่วยลดการการสร้างกลุ่มใหม่ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด คือ Delivery Delay , Signaling Overhead และ Hop Count จะเห็นว่าแนวคิดนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้าน Delivery Delay และ Hop Count ส่วนตัวชี้วัด Signaling Overhead นั้นกระบวนการนี้ส่งผลทำให้จำนวน Signaling Overhead ในระบบเครือข่ายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยได้ทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแบบ VCCN เดิม และแบบ VCCN-C

## 6.2 ประโยชน์ต่อวงวิชาการ

- 1) นำเสนอสถาปัตยกรรมในการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลในรูปแบบของการแบ่งกลุ่มย่อยตามความเร็วของยานพาหนะ และแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของระบบเครือข่ายแบบ VCCN เดิม และแบบ VCCN-C ที่เสนอ
- 2) นำเสนอนโยบายการจัดเก็บข้อมูลลงไปในระบบเครือข่ายแบบ VCCN-C ที่เสนอ และแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการให้บริการข้อมูลระหว่างนโยบายแบบดั้งเดิมของ VCCN และนโยบาย CRCP ที่เสนอ
- 3) นำเสนอเทคนิคในการจัดการแคชในระบบเครือข่ายแบบ VCCN-C ที่เสนอและแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้บริการข้อมูลระหว่างเทคนิคเดิมของ VCCN และเทคนิค VCCN-C ที่เสนอ
- 4) นำเสนอการรักษาเสถียรภาพของกลุ่มหรือคลัสเตอร์ในระบบเครือข่ายแบบ VCCN-C ที่เสนอและแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการของการเข้าถึงข้อมูลระหว่างแบบ VCCN เดิมและแบบ VCCN-C ที่เสนอ

### 6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

ในงานวิจัยนี้มีการออกแบบพัฒนาวิธีการรับส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่เน้นเนื้อหาเป็นศูนย์กลางซึ่งมีข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อดังต่อไปนี้

- 1) ปรับปรุงวิธีการรับส่งแพ็คเกจข้อมูลสำหรับสถานการณ์อื่น เช่น บนถนนในเมืองที่มีทางแยก
- 2) เพิ่มนโยบายการจัดการความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้บริการ (privacy)
- 3) ทดลองการทำงานด้วยอุปกรณ์ ยานพาหนะ และสถานการณ์จริง

## เอกสารอ้างอิง

- Afanasyev, A., Moiseenko, I., and Zhang, L. (2012). “ndnSIM: NDN simulator for NS-3.” University of California, Los Angeles, Tech. Rep, .4
- Amadeo, M., Campolo, C., Molinaro, A., and Ruggeri, G. (2014). “Content-centric wireless networking: A survey.” *Computer Networks*, 72, 1-13.
- Bhalgama, S., Kavar, C., and Parmar, S. (2014). “LWRP: Low Power Consumption Weighting Replacement Policy using Buffer Memory.” arXiv preprint arXiv:1402.0631.
- Bouk, S. H., Ahmed, S. H., and Kim, D. (2015). “Vehicular content centric network (VCCN): a survey and research challenges.” *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, ACM, 695-700.
- Bouk, S. H., Yaqub, M. A., Ahmed, S. H., and Kim, D. (2015). “Evaluating interest/data propagation in vehicular named data networks.” *Proceedings of the 2015 Conference on research in adaptive and convergent systems*, ACM, 256-259.
- Chiang, C.-C., Wu, H.-K., Liu, W., and Gerla, M. (1997). “Routing in clustered multihop, mobile wireless networks with fading channel.” *Proceedings of IEEE SICON*, 197-211.
- Chootong, S., and Thaenthong, J. (2017). “Cache replacement mechanism with Content Popularity for Vehicular Content-Centric Networks (VCCN).” *Proceedings of Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 2017 14th International Joint Conference on, IEEE, 1-6.
- Danziger, P. (2015). “Big O Notation.”
- Ephremides, A., Wieselthier, J. E., and Baker, D. J. (1987). “A design concept for reliable mobile radio networks with frequency hopping signaling.” *Proceedings of the IEEE*, 75(1), 56-73.
- Farooq, W., Ali Khan, M., and Rehman, S. (2016). “A Novel Real Time Framework for Cluster Based Multicast Communication in Vehicular Ad Hoc Networks.” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(4), 8064908.

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Feng, B., Zhou, H., Zhang, M., and Zhang, H. (2015). "Cache-Filter: A Cache Permission Policy for Information-Centric Networking." *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, 9(12), 4912-4933.
- Hassanabadi, B., Shea, C., Zhang, L., and Valaee, S. (2014). "Clustering in vehicular ad hoc networks using affinity propagation." *Ad Hoc Networks*, 13, 535-548.
- Jacobson, V., Smetters, D. K., Thornton, J. D., Plass, M. F., Briggs, N. H., and Braynard, R. L. (2009). "Networking named content." *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, ACM, 1-12.
- Jain, A. K. (2010). "Data clustering: 50 years beyond K-means." *Pattern recognition letters*, 31(8), 651-666.
- Kang, S.-J., Lee, S.-W., and Ko, Y.-B. (2012) "A recent popularity based dynamic cache management for content centric networking." *Proceedings of Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2012 Fourth International Conference on, IEEE, 219-224.
- Kang, S.-S., Han, L., and Mutka, M. W. (2014). "Working Set Model for a Shared Multimedia Content in Content Centric Networks." *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(10), 109-120.
- Lakkakorpi, J., and Ginzboorg, P. (2013). "ns-3 module for routing and congestion control studies in mobile opportunistic dtns". *Proceedings of Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS)*, 2013 International Symposium on, IEEE, 46-50.
- Meghanathan, N. (2011). "Impact of the Optimum Routing and Least Overhead Routing Approaches on Minimum Hop Routes and Connected Dominating Sets in Mobile Ad Hoc Networks I." arXiv preprint arXiv:1105.0058.
- Mishra, G. P., and Dave, M. (2015). "A review on content centric networking and caching strategies." *Proceedings of Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, 2015 Fifth International Conference on, IEEE, 925-929.



## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Montgomery, D. C., Johnson, L. A., and Gardiner, J. S. (1990). Forecasting and time series analysis, McGraw-Hill Companies.
- Psaras, I., Chai, W. K., and Pavlou, G. (2012). "Probabilistic in-network caching for information-centric networks." *Proceedings of the second edition of the ICN workshop on Information-centric networking*, ACM, 55-60.
- Rudack, M., Meincke, M., and Lott, M. (2001). "On the dynamics of ad hoc networks for inter vehicle communications (IVC)". Proc., proc. ICWN.
- Samiee, K. (2009). "A replacement algorithm based on weighting and ranking cache objects." *International Journal of Hybrid Information Technology*, 2(2), 93-104.
- Samiee, K., and Rad, G. R. (2008). "Wrp: Weighting replacement policy to improve cache performance." *Proceedings of Computer Science and its Applications*, 2008. CSA'08. International Symposium on, IEEE, 38-41.
- Shailendra, S., Sengottuvelan, S., Rath, H. K., Panigrahi, B., and Simha, A. (2016). "Performance evaluation of caching policies in NDN-an ICN architecture." *Proceedings of Region 10 Conference (TENCON)*, 2016 IEEE, IEEE, 1117-1121.
- Tomar, P., Chaurasia, B. K., and Tomar, G. (2010). "State of the art of data dissemination in VANETs." *International journal of computer theory and engineering*, 2(6), 957.
- Ullah, S., and Hong, C. S. (2013). "Probabilistic In-Networking Chunk Marking and Caching for Information-Centric Networks." KIISE.
- Yousefi, S., Altman, E., El-Azouzi, R., and Fathy, M. (2008). "Analytical model for connectivity in vehicular ad hoc networks." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 57(6), 3341-3356.
- Yuan, F., Meng, Z.-H., Zhang, H.-X., and Dong, C.-R. (2004). "A new algorithm to get the initial centroids." *Machine Learning and Cybernetics*, 2004. *Proceedings of 2004 International Conference on*, IEEE, 1191-1193.

### เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

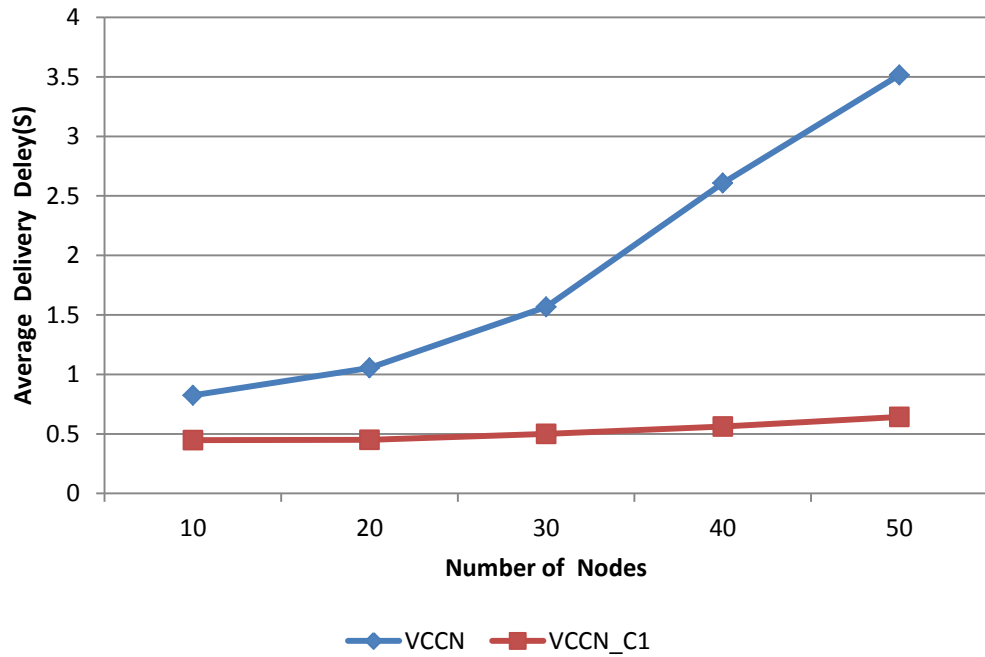
Zhang, M., Luo, H., and Zhang, H. (2015). "A survey of caching mechanisms in information-centric networking." IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(3), 1473-1499.

ภาคผนวก

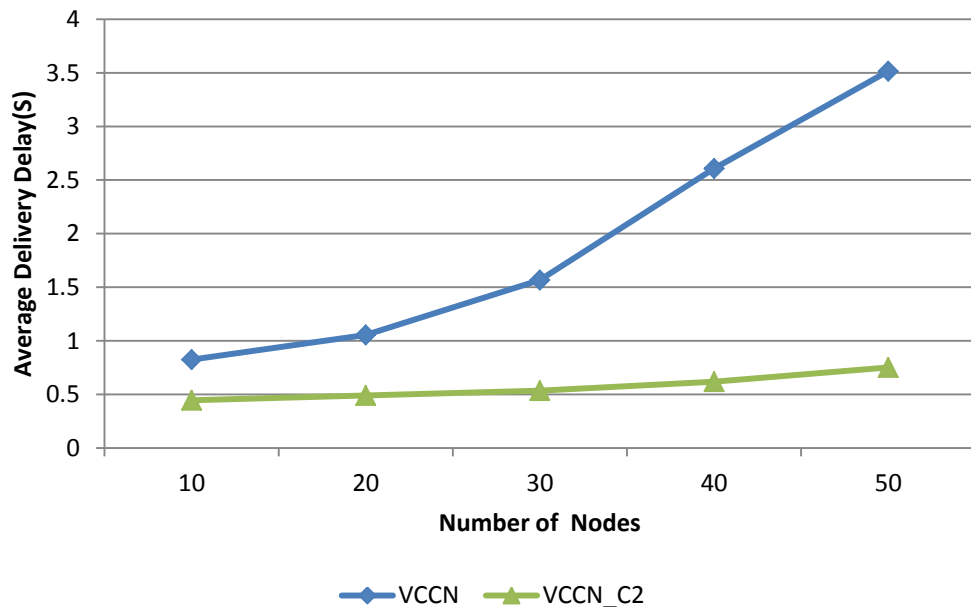
ภาคผนวก ก

ผลการทดลองเพิ่มเติมบทที่ 5

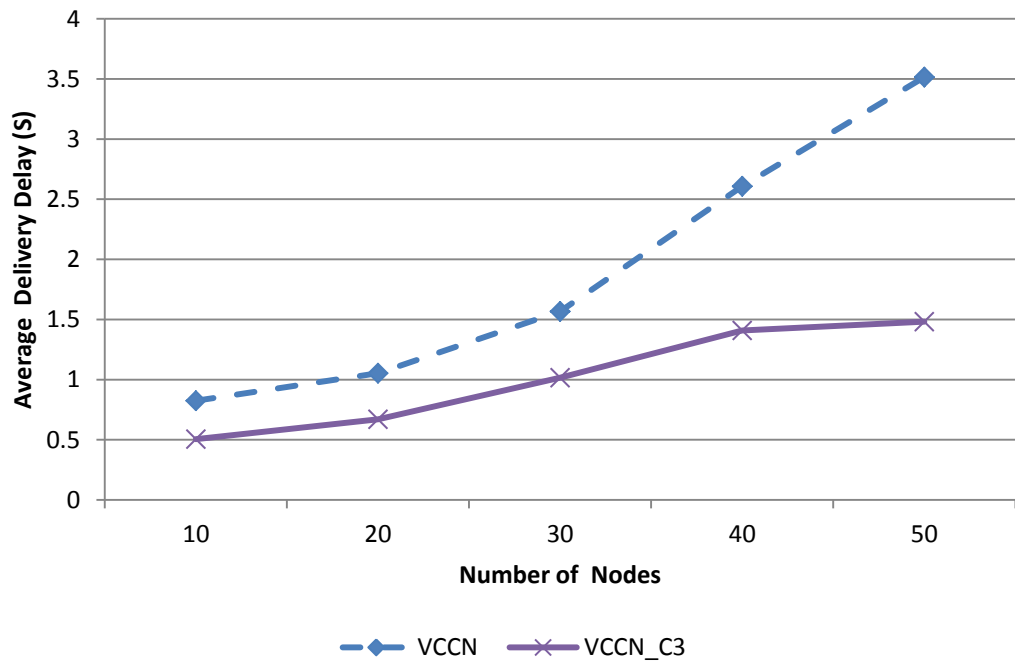
### กราฟแสดงผล Delivery Delay ในแต่ละสถานการณ์



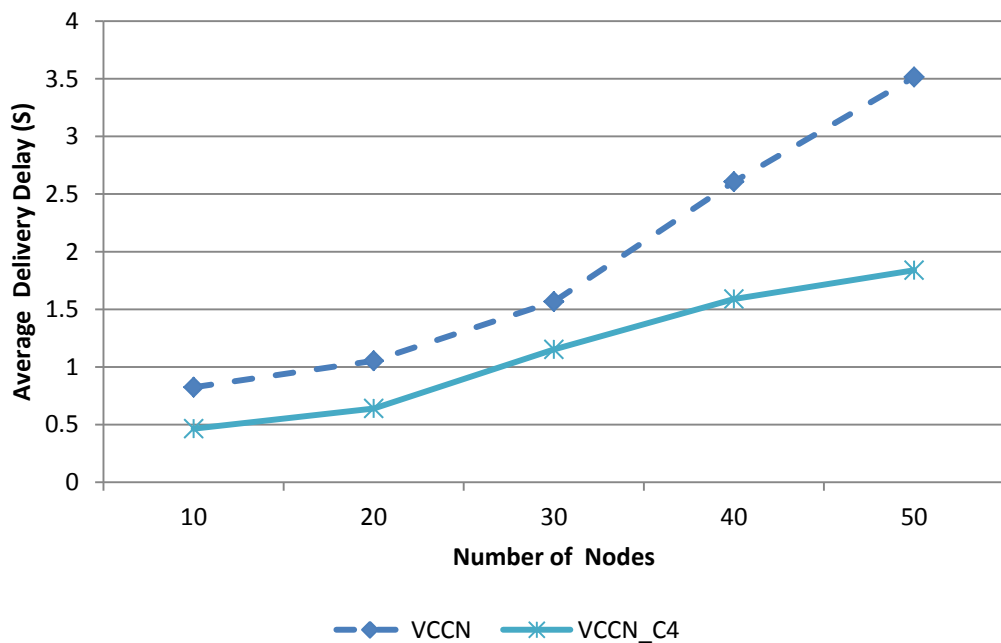
รูปที่ 1 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Active and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด



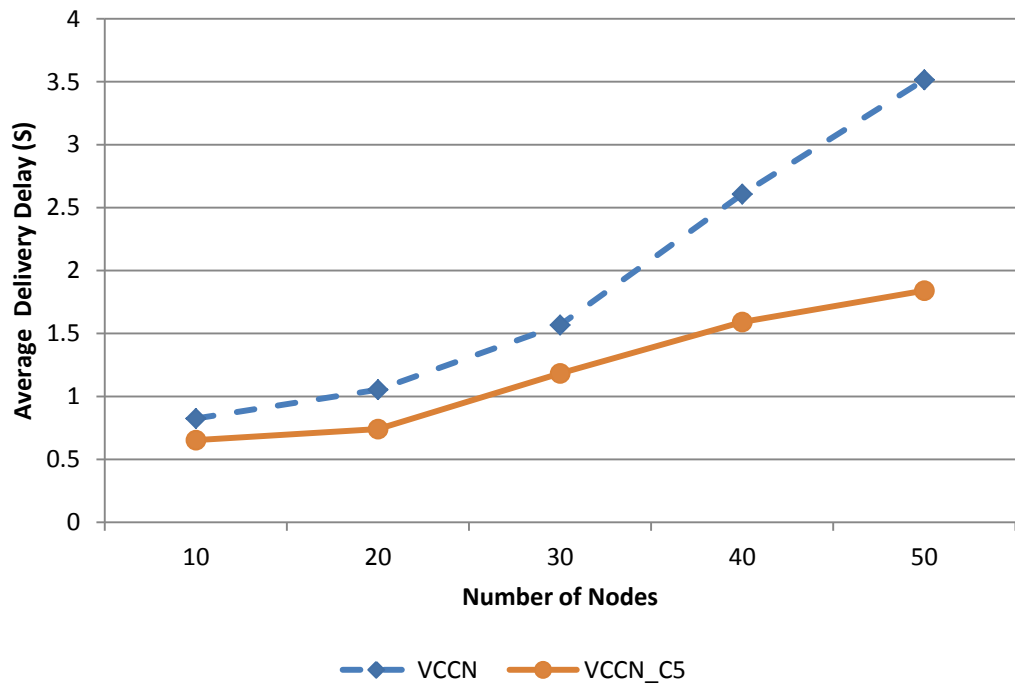
รูปที่ 2 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Leave and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด



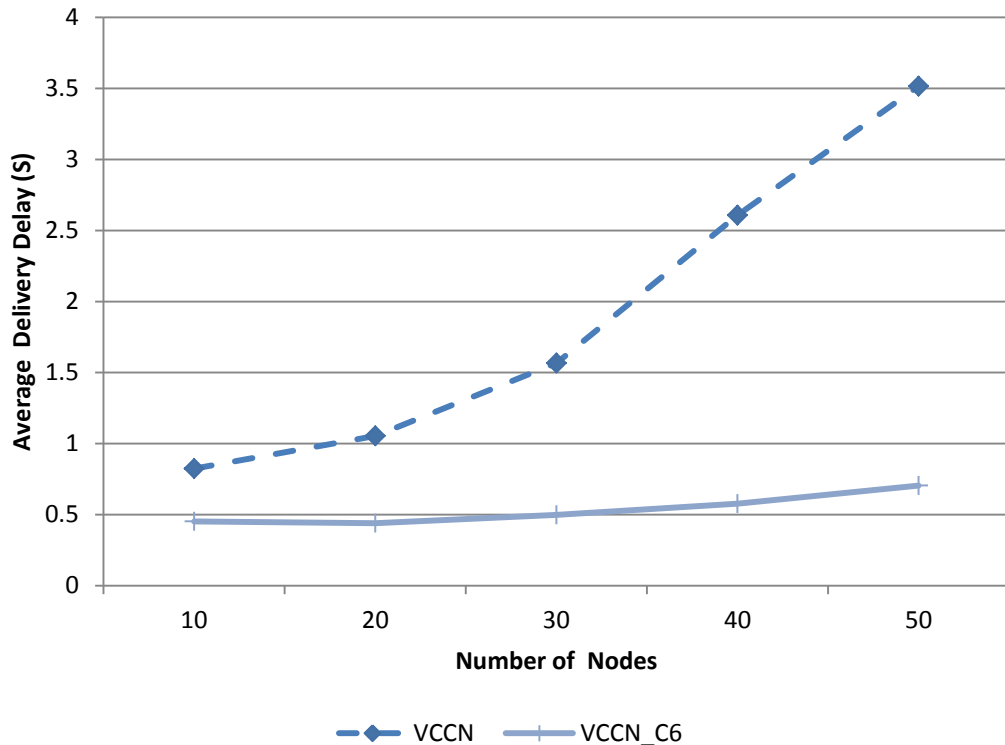
รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Active and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Leave and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

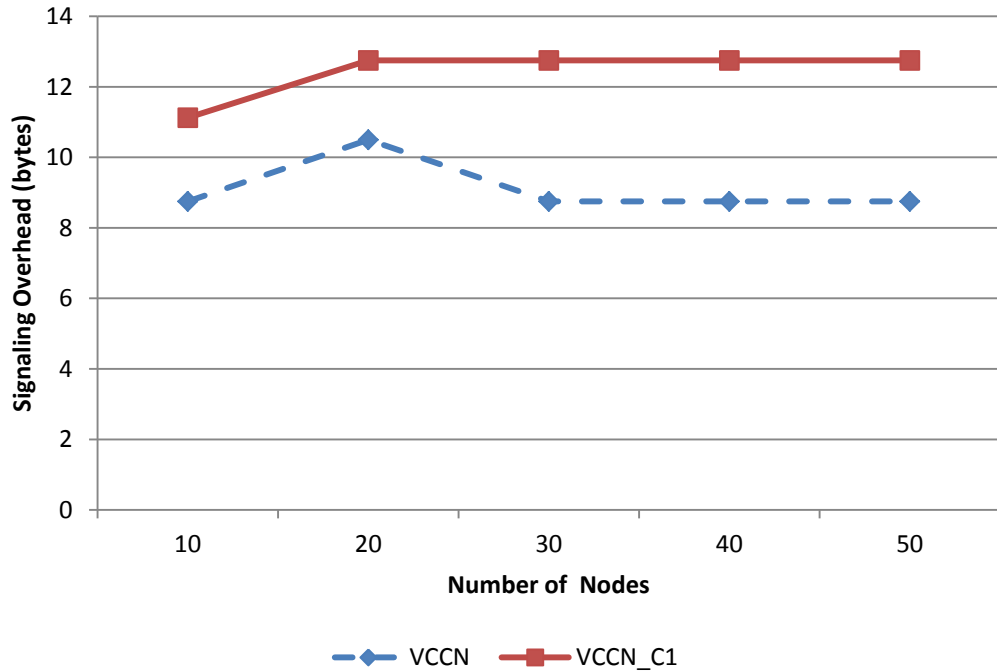


รูปที่ 5 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี Cluster Merge เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

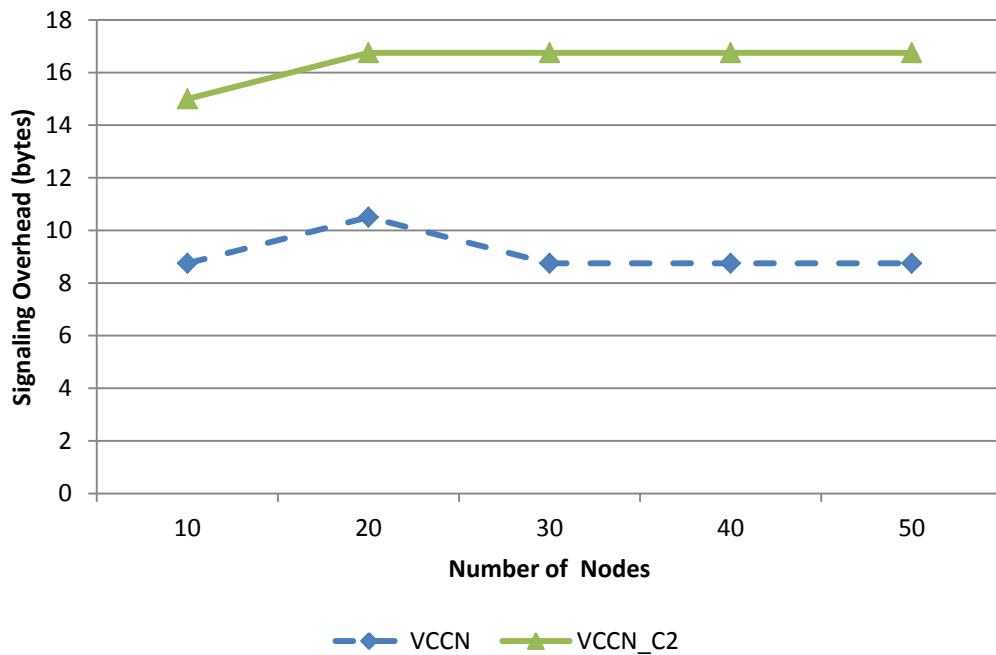


รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Average Delivery Delay ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี Cluster Leaving เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

กราฟแสดงผล Signaling Overhead ในแต่ละสถานการณ์

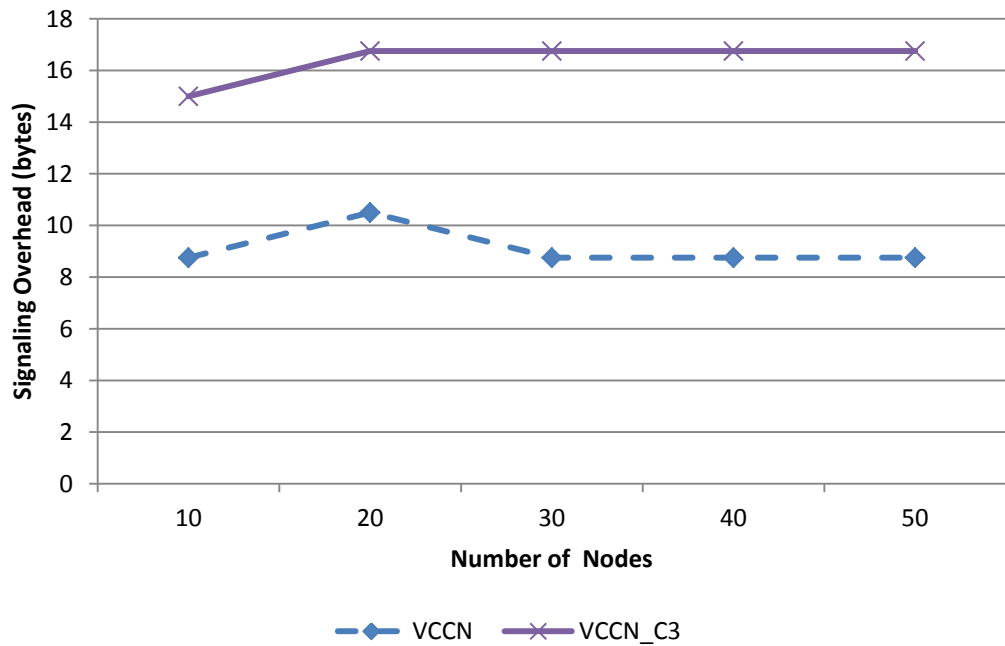


รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Active and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

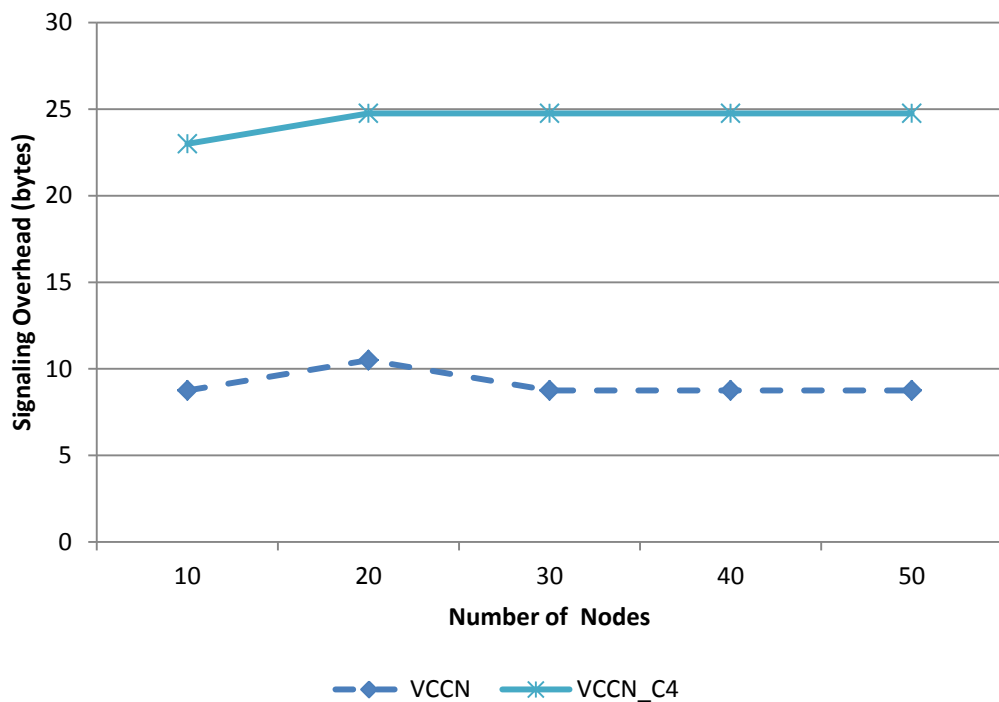


รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Leave and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

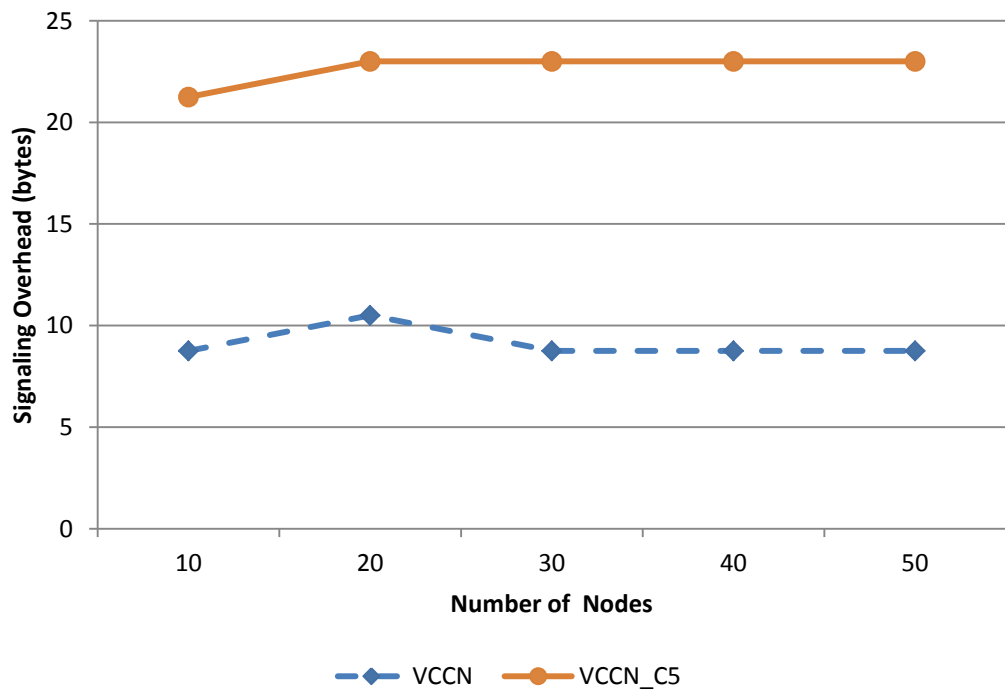




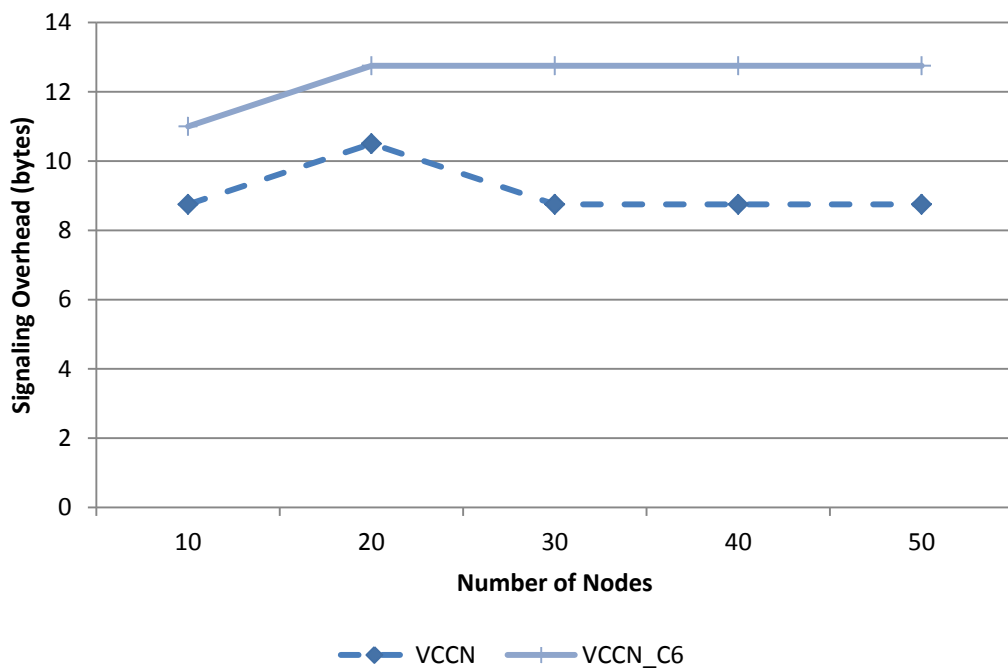
รูปที่ 9 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Active and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี PCH-Leave and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

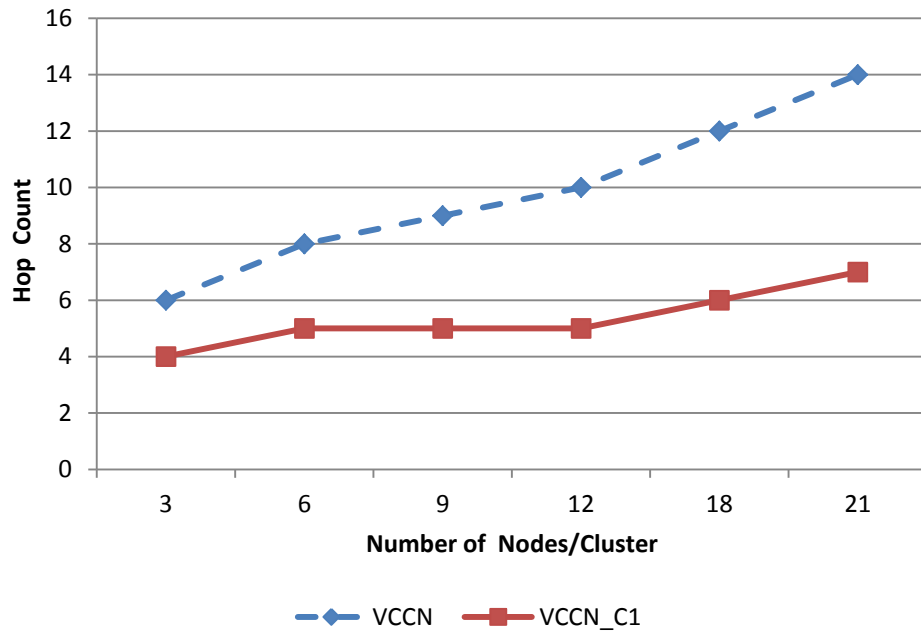


รูปที่ 11 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี Cluster Merge เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

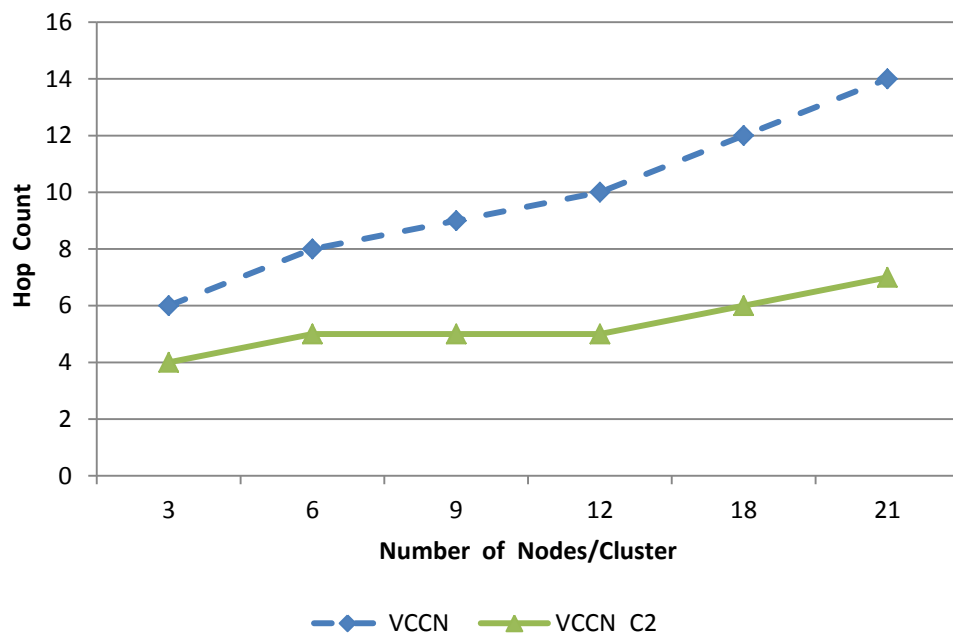


รูปที่ 12 กราฟแสดงค่า Signaling Overhead ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์กรณี Cluster Leaving เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนด

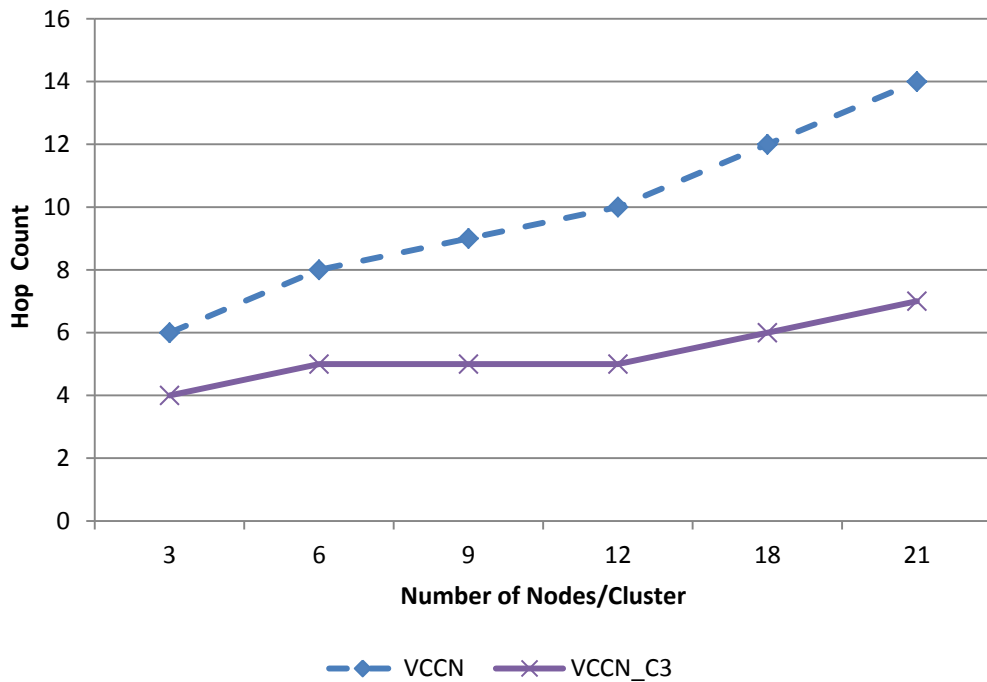
กราฟแสดงผล Hop Count ในแต่ละสถานการณ์



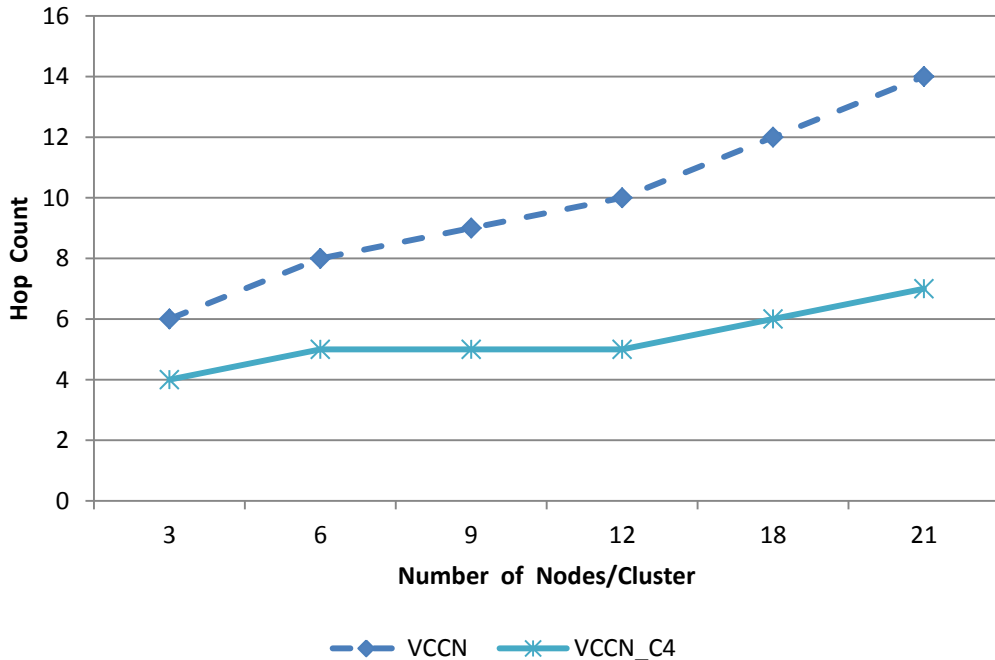
รูปที่ 13 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Active and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



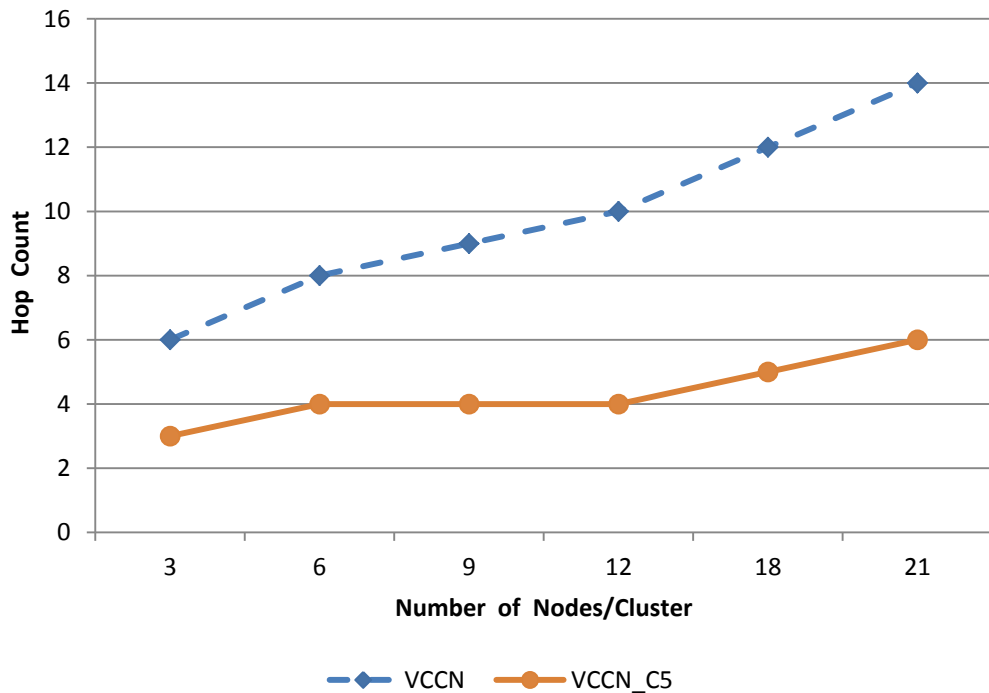
รูปที่ 14 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Leave and SCH-Passive เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



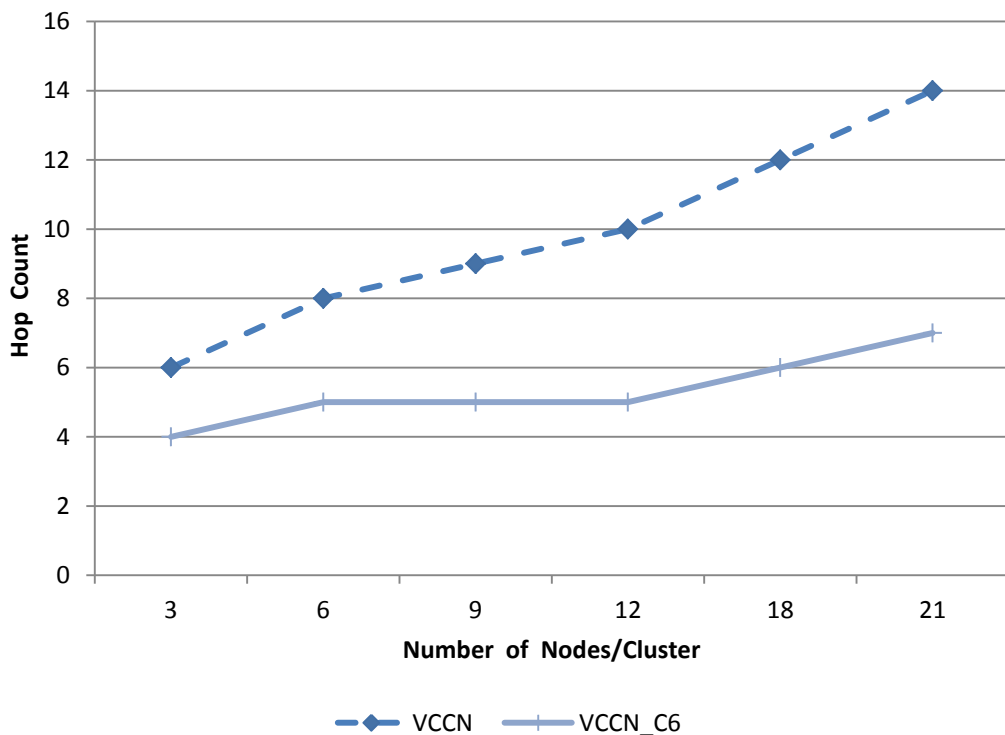
รูปที่ 15 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Active and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



รูปที่ 16 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี PCH-Leave and SCH-Leave เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



รูปที่ 17 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี Cluster Merge เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่า Hop Count ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์การส่งข้อมูลแบบคลัสเตอร์ กรณี Cluster Leaving เมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดต่อคลัสเตอร์



*International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, Nakhon Si Thammarat, 2017, pp. 1-6.