การศึกษาวิธีการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ

STUDY OF INTER VEHICLE COMMUNICATION METHOD

อรุณวัชร์ กรำตา
ARUNWACH KRUMTADA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-104

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาวิธีการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ

STUDY OF INTER VEHICLE COMMUNICATION METHOD

อรุณวัชร์ กร่ำธาดา

ARUNWACH KRUMTADA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 87112
วัน,เดือน,ปี 30 ส.ค. 2552

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-010-194

STUDY OF INTER VEHICLE COMMUNICATION METHOD

ARUNWACH KRUMTADA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-010-194

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวิธีการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ

Thesis Title Study of Inter Vehicle Communication Method

นักศึกษา นายอรุณวัชร์ กร่ำธาดา

รหัสประจำตัว 49060955

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวิพล สิทธิชีวภาค

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2008-EN-M-010-194

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พรชัย	ทรัพย์นิธิ	
ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง	
รศ.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	
รศ.เกรียงไกร	วงศ์โรจนภรณ์	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ
นักศึกษา	นาย อรุณวัชร์ กร่ำธาดา
รหัสนักศึกษา	49060955
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิทธิชีวภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยใช้โปรโตคอล CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) ในการพิจารณาการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยโปรโตคอลนี้มีข้อดี คือ หลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล และมีการพิจารณาสมรรถนะของระบบ โดยพิจาณาผลการศึกษาเชิงตัวเลข สำหรับความสัมพันธ์ ระหว่างค่าวิสัยสามารถ และ ค่าออฟเฟอร์โหลดภายใต้จำนวนยานพาหนะและจำนวนฮ๊อพในระบบ และ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหน่วงเวลา และค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะและจำนวนฮ๊อพในระบบ ตลอดจนพิจารณาผลกระทบจากช่องสัญญาณไรซ์ ที่มีการมอดูเลตแบบ PSK รวมถึงผลกระทบจากค่าตัวแปรเสริมไรซ์ (Rice Factor: K) และจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเก็ตที่ใช้ในการส่งข้อมูลอีกด้วย

Thesis Title	Study of inter vehicle communication method
Student	Mr. Arunwach Krumtada
Student ID.	49060955
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Suvepol Sittichivapak

ABSTRACT

This thesis presents a study of CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) protocol is considered in multi – hop vehicle communication. The protocol shows benefits of collision avoidance and existing system performance in the relation between throughput value and offered load under the number of vehicles and the number of hops , the relation between end – to – end delay and offered load under the number of vehicles and the number of hops are considered. The effect of Rice fading channel that used phased shift keying modulation including the effect of rice factor (K) and the number of bits in a packet are also studied with numerical results.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณสำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำที่มีคุณค่า ต่อการทำงานวิจัยอย่างยิ่งทำให้วิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าบรรลุผล โดยเฉพาะความเอาใจใส่ ความช่วยเหลือ และแนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งเป็นแรงกระตุ้นในการวิจัยครั้งนี้ จาก รศ.ดร. สุวิพล สิทธิชีวภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัย ข้าพเจ้าขอขอบคุณ มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจให้การสนับสนุน และการช่วยเหลือระหว่างการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบคุณ บ. ทีโอที จำกัด (มหาชน) ที่ให้ทุนการศึกษาตลอดช่วงเวลาการศึกษาต่อของข้าพเจ้า และขอขอบคุณทุกประสบการณ์ชีวิตของข้าพเจ้า ตลอดจนทุกสิ่งทุกอย่าง ของข้าพเจ้าที่หล่อหลอมข้าพเจ้าจนมีวันนี้ ขอขอบคุณ พระอาจารย์ ณ วัดเม็งรายมหาราช ที่ให้ชีวิตใหม่แก่ตัวข้าพเจ้า พร้อมกับแนวทางการดำเนินชีวิตที่ถูกต้องแก่ตัวข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับ มิตรภาพ และรอยยิ้ม กำลังใจ ขอขอบคุณและขอขอบใจด้วยใจจริง โดยเฉพาะอาจารย์เศรษฐกร กาเมือง (พี่อ้อ) สำหรับความเป็นรุ่นพี่ที่แสนดี และที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้คุมแล็ป ภาคโทรคม ทำให้ข้าพเจ้าได้รู้จักรุ่นน้องที่น่ารักหลายคน ขอขอบคุณ น้อง ชนิดาภา สงวนพวก (น้องแก้วกาญจน์) สำหรับ กำลังใจที่ว่า “ สู้ๆๆ ค่ะ” พี่อยากบอกน้องเหลือเกินว่า สร้างกำลังใจให้พี่ได้มากทีเดียว และ ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุน TA (Teacher Assistance) แก่ตัวข้าพเจ้าตลอดช่วงเวลาการศึกษาต่อของข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นความรู้และคุณประโยชน์ต่อผู้ทำงานวิจัยด้านนี้ต่อไปได้

อรุณวัชร์ กร่ำธาดา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 กล่าวนำ.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักกการของระบบขนส่งอัจฉริยะ.....4

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของระบบขนส่งอัจฉริยะ.....4

2.2 ระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS) และการให้บริการ.....5

2.2.1 การบริการในการนำร่อง.....5

2.2.2 การบริการข้อมูลการเดินทาง.....5

2.2.3 การบริการข้อมูลการจอด.....5

2.2.4 การบริการการจัดการขนส่งมวลชน.....5

2.2.5 การบริการรองรับแก่ผู้เดินบนทางเท้า.....6

2.2.6 บริการการตรวจจับ.....6

2.2.7 การบริการฉุกเฉินและสวัสดิการ.....6

2.3 การแบ่งการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....7

2.3.1 การสื่อสารระหว่างสถานีท้องถิ่นข้างถนนกับยานพาหนะ.....7

2.3.2 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ.....7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 โครงสร้างของระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....8
2.4.1 โครงสร้างแบบแคบ....8
2.4.2 โครงสร้างแบบค่อนข้างกว้าง....8
2.4.3 โครงสร้างแบบกว้าง....9
2.5 การประยุกต์ใช้งานการใช้งานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ....9
2.6 การสื่อสารภายในยานพาหนะ....10
2.7 ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับข้างวิถี....11

บทที่ 3 การสื่อสารมัลติชันแนล....12
3.1 ความเป็นมาและความสำคัญ....12
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานการส่งข้อมูลโดยใช้โทเกน....12
3.2.1 การส่งโดยใช้โทเกน....12
3.2.2 หลักการทำงานการส่งข้อมูลโดยใช้โทเกน....13
3.3 โปรโตคอลที่ใช้ในการเข้าถึงตัวกลางในการส่งข้อมูล IEEE 802.11 DCF....15
3.3.1 การทำงานของโปรโตคอล IEEE 802.11 DCF....15
3.4 กระบวนการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM....18
3.5 ทฤษฎีการสื่อสารมัลติชันแนล....19
3.5.1 การกำหนดความสำคัญของช่องสัญญาณ....20
3.6 กระบวนการตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร....21
3.7 กฎการเลือกช่องสัญญาณ....22
3.8 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะโดยใช้เทคนิคสเปรดสเปร็กตรัม....24
3.8.1 วิธีการสื่อสารโดยใช้วิธีบูมเมอแรง....24
3.9 กระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูล....25
3.10 การจองสล๊อต....26

บทที่ 4 โปรโตคอลที่ใช้ในการทำงานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....27
4.1 ความเป็นมาและความสำคัญ....27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 กระบวนการปรับขนาดเฟรมและเวลาโดยใช้หลักการ SOTIS.....28
4.2.1 พิจารณาหลักการพิจารณาการส่ง-รับ ข้อมูลในระบบ SOTIS.....29
4.2.2 กระบวนการ Provoked Broadcast.....29
4.3 โปรโตคอลที่ใช้ในการระบุช่องสัญญาณไดนามิก DCA.....31
4.4 โปรโตคอล RAP-IVC.....32
4.4.1 หลักการทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC.....33
4.4.2 การแบ่งเมสเส็จของโปรโตคอล RAP-IVC.....33
4.4.3 การปรับขนาดสโค๊ปตามหลักการ โปรโตคอล RAP-IVC.....33
4.4.4 แบบจำลองการทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC.....34

บทที่ 5 ผลกระทบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะและการวิเคราะห์
ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....40
5.1 ผลกระทบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....40
5.1.1 ปรากฏการณ์ดอปเปอร์.....40
5.1.2 การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น.....42
5.1.3 ปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง.....43
5.1.4 การลดลงของค่าวิสัยสามารถ.....43
5.2 การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....45
5.3 โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....45
5.4 ทฤษฎีและหลักการโปรโตคอล CSMA/CA.....46
5.4.1 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถที่ใช้วิธีการเข้าถึงแบบ CSMA/CA.....46
5.4.2 การวิเคราะห์ค่าการหน่วงเวลาเฉลี่ยที่ใช้การเข้าถึงแบบ CSMA/CA.....55
5.5 โครงสร้างยานพาหนะโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์และการวิเคราะห์.....56
5.5.1 โครงสร้างยานพาหนะ.....56
5.5.2 โครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์.....57
5.5.3 การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญลักษณ์.....58

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....60
6.1 กล่าวนำ.....60
6.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเมื่อใช้โปรโตคอลแบบ CSMA/CA.....60
6.3 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข.....61
6.3.1 ค่าวิสัยสามารถ กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) ในระบบ.....61
6.3.2 ค่าการหน่วงเวลา กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนฮ๊อพ (N) ในระบบ.....65
6.3.3 ค่าวิสัยสามารถ กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) ในระบบ และพิจารณาผลกระทบจากไรซ์แฟคเตอร์ (K).....66
6.3.4 ค่าวิสัยสามารถ กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และจำนวนฮ๊อพ(N)เมื่อ พิจารณาผลกระทบช่องสัญญาณไรซ์และจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต(L)..70
6.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะ ในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปรจำนวนฮ๊อพในระบบ.....74
6.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปร จำนวนฮ๊อพในระบบ.....75
6.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฮ๊อพ (N) กับ เปอร์เซ็นต์การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) 76
6.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนยานพาหนะ (M) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 1 และ N = 9 77
6.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 20 และ M = 160 78

บทที่ 7 บทสรุป.....80

เอกสารอ้างอิง.....81
ภาคผนวก ก บทความที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....84
ภาคผนวก ข เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรโตคอลกลุ่ม Random Access 89
ประวัติผู้เขียน.....91

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Bluetooth, ZigBee, UWB.....10

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบขนส่งอัจฉริยะ....4
2.2 การสื่อสารระหว่างสถานีท้องถิ่นข้างถนนกับยานพาหนะ....7
2.3 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....7
2.4 โครงสร้างแบบแคบ ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....8
2.5 โครงสร้างแบบค่อนข้างกว้าง ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....8
2.6 โครงสร้างแบบกว้าง ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ....9
2.7 การประยุกต์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับการแจ้งเหตุการณ์ฉุกเฉิน....11
3.1 กระบวนการส่งข้อมูลโดยใช้โทเกน....13
3.2 การทำงานของโทเกน....14
3.3 การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้โปรโตคอล IEEE 802.11 DCF....15
3.4 กระบวนการทำงานของโปรโตคอล IEEE 802.11 DCF....16
3.5 กระบวนการเข้าถึงตัวกลางประเภทไทม์สล็อต....18
3.6 กระบวนการตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 PSM ที่จุดเริ่มต้นแต่ละ beacon interval....18
3.7 การชนกันของข้อมูลเนื่องจาก hidden node....20
3.8 การตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร....23
3.9 การติดต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยวิธีบูมเมอแรง....24
3.10 รายละเอียดข้อมูลหนึ่งเฟรม....24
3.11 กระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ....25
4.1 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะประเภทใช้ศูนย์กลาง....27
4.2 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะประเภทไม่ใช้ศูนย์กลาง....28
4.3 ค่า TTI ที่จัดเก็บใน Knowledge base....29
4.4 โครงสร้างการปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งข้อมูลตามสถานการณ์ (Provoked Broadcast)....29
4.5 การทำงานการปรับขนาดเฟรมและเวลาตามหลักการ SOTIS....30
4.6 การร้องขอและการตอบรับในระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ....32
4.7 การแจ้งข้อมูลหลังเกิดเหตุฉุกเฉิน....33
4.8 สภาวะต้นของโปรโตคอล RAP-IVC....34
4.9 สภาวะที่สองของโปรโตคอล RAP-IVC....34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC....35
4.11 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC ในการส่งเม็สเสจ....36
4.12 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC ในการส่งเม็สเสจเร่งด่วน....37
4.13 กระบวนการส่งเม็สเส็จและกระบวนการปรับสโค๊ปตามหลักโปรโตคอล RAP-IVC.....38
5.1 การเลื่อนเฟสอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ดอปเปอร์....40
5.2 ผลกระทบปรากฏการณ์ดอปเปอร์ เมื่อใช้ความถี่ต่างๆ ภายใต้ความเร็วของยานพาหนะ....41
5.3 การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น เมื่อแปรผันระยะทาง ภายใต้ค่าความถี่ต่างๆ....42
5.4 การเกิดปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง....43
5.5 ปัญหาการลดลงของค่าวิสัยสามารถ....43
5.6 การลดลงของค่าวิสัยสามารถตามจำนวนยานพาหะนที่ตัดผ่าน....44
5.7 โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ....45
5.8 แบบจำลองช่องสัญญาณของโปรโตคอลแบบ CSMA/CA....46
5.9 อุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ยานพาหนะ....56
5.10 รูปแบบโครงสร้าง Rice model....57
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 1 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....61
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 2 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....61
6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 3 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....62
6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 4 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....62
6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 5 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....63
6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 7 (M = 20 , 50 , 90 , 160)....63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 9
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....64
6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหน่วงเวลา และค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้
จำนวนฮ๊อพ ในระบบ (N) (N = 4 , 5 , 7 , 9).....65
6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10 N = 1
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....66
6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15 N = 1
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....66
6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20 N = 1
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....67
6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30 N = 1
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....67
6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10 N = 9
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....68
6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15 N = 9
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....68
6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20 N = 9
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....69
6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30 N = 9
(M = 20 , 50 , 90 , 160).....69
6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10 N = 1
(L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....70
6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15 N = 1
(L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....70
6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20 N = 1
(L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30 N = 1 (L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....71

6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10 N = 9 (L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....72

6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15 N = 9 (L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....72

6.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20 N = 9 (L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....73

6.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30 N = 9 (L = 1 , 2 , 3 , 4 , 5).....73

6.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้จำนวนฮ๊อพในระบบ.....74

6.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวน ยานพาหนะในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปร จำนวนฮ๊อพในระบบ.....75

6.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฮ๊อพ (N) กับ เปอร์เซ็นต์การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K).....76

6.28(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนยานพาหนะ (M) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 1 77

6.28(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนยานพาหนะ (M) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 9 77

6.29(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 20 , N = 1 78

6.29(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 160 , N = 1.....78

6.30(ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 20 , N = 9 79

6.30(ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 160 , N = 9 79

บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะ ทำให้ความต้องการระบบป้องกันภัยระหว่างยานพาหนะมีความเจริญเติบโตขึ้น ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีไร้สายสมัยใหม่ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะรวมยานพาหนะกับการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่เข้าด้วยกัน เพื่อจุดประสงค์หลัก คือ การลดปัญหาอุบัติเหตุ และในขณะเดียวกันก็สามารถประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ได้ อาทิเช่น การให้บริการอินเตอร์เน็ต หรือการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นการปรับเปลี่ยนการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมปัจจุบัน แต่ถึงกระนั้น ก็มีปัญหาจากการสื่อสารไร้สายอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ดอปเปอร์ (Doppler Effect) การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น (Path Loss) ปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multi Path Fading) และการลดลงของค่าวิสัยสามารถ (Degradation of Throughput) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการศึกษาวิธีการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ โดยใช้โปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) เมื่อประยุกต์ใช้งานกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยจะมีการพิจารณาช่องสัญญาณไรซ์ (Rice Fading Channel) ที่มีการมอดูเลตแบบ PSK (Phase Shift Keying) ตลอดจนมีการพิจารณาผลการทดลองเชิงตัวเลข เพื่อหาข้อสรุปในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำหรับความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อศึกษาการส่งข้อมูลแบบมัลติฮ๊อพ (Multi-hop Communication) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ยานพาหนะเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงในโลกปัจจุบัน โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 เรื่อง คือ 1. การสื่อสารมัลติชันแนล (Multi Channel) 2. โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ตลอดจนศึกษาผลกระทบจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมุ่งเน้นงานวิจัยไปที่ โปรโตคอล CSMA/CA เนื่องจากโปรโตคอลประเภทนี้มีประสิทธิภาพในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลได้ดีกว่าโปรโตคอลในกลุ่ม Random Access ประเภทเดียวกัน และยังคงให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงแม้จะมีทราฟฟิกในระบบที่มาก (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) หรือ จะต้องผ่านจำนวนฮ๊อพหลายฮ๊อพก็ตาม ตลอดจนมีการพิจารณาผลกระทบจากช่องสัญญาณการจางหายชนิดไรซ์ ซึ่งเป็นช่องสัญญาณพื้นฐานที่มีความน่าสนใจในการสื่อสารมัลติฮ๊อพ เพื่อหาข้อสรุปในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อไป

1.1 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานในการศึกษา จะทำการศึกษาผลกระทบของการสื่อสารไร้สายเป็นเชิงตัวเลข เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และการนำไปใช้งาน อาทิ ในปรากฏการณ์ดอปเปอร์ เมื่อยานพาหนะมีความเร็วที่สูงขึ้น จะยิ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่มีค่ามากขึ้น หรือการสูญเสียจากการเดินทางของคลื่นเมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้มีการสูญเสียมากขึ้นในแต่ละความถี่ที่มากขึ้น และสุดท้ายในงานวิจัย จะพบว่าเมื่อนำโปรโตคอล CSMA/CA มาประยุกต์ใช้งานกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจะพบว่ามีความเหมาะสม เพราะจะยังคงให้ค่าวิสัยสามารถที่สูง เมื่อมีทราฟฟิกที่มาก หรือแม้แต่ต้องผ่านฮ๊อพจำนวนหลายฮ๊อพก็ตาม แต่เมื่อมีการพิจารณาร่วมกับช่องสัญญาณไรซ์ ซึ่งเป็นช่องสัญญาณพื้นฐานในการสื่อสารมัลติฮ๊อพ เราจะพบว่า ยิ่งเราเพิ่มค่าไรซ์แฟคเตอร์ (Rice factor: K) จ ะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถรวมของทั้งระบบลดน้อยลง ตามลำดับ และเมื่อเรายิ่งพิจาณาโดยการเพิ่มจำนวนบิตในแพ็กเกต (L) เพิ่มมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถลดน้อยลงตามลำดับ

1.2 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ จะคล้ายกับการสื่อสารไร้สายประเภท แอ็ด-ฮ๊อค (Ad-hoc) ที่ต้องใช้การสื่อสารมัลติชันแนล แต่มีข้อแตกต่างที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนย้ายตัวเองได้อย่างอิสระ จึงทำให้ต้องมีการเพิ่มโปรโตคอลที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวเองได้ทันตามสถานการณ์ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษากระบวนการส่งข้อมูล โดยใช้โปรโตคอล CSMA/CA เมื่อประยุกต์เข้ากับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ และมีการพิจารณาร่วมกับช่องสัญญาณไรซ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และหาข้อสรุปต่อไป

1.3 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นแรกผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ทั้งการสื่อสารมัลติชันแนล และโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ดังที่ได้เห็นจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดเป้าหมายในการวิจัยโดยจะเลือกไปที่กลุ่มโปรโตคอล และได้ทำการตัดสินใจเลือกโปรโตคอล CSMA/CA จากโปรโตคอลที่มีอยู่มากมาย เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสมการคณิตศาสตร์ของโปรโตคอล CSMA/CA ตลอดจนมีการดัดแปลงอันเนื่องมาจากของเดิมใช้ได้กับการสื่อสาร Single Hop เท่านั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจนสามารถใช้กับการสื่อสารมัลติฮ๊อพได้ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกพิจารณาช่องสัญญาณที่จะทำการพิจารณาร่วม ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า ช่องสัญญาณไรซ์ มีความน่าสนใจ เนื่องจากเป็นช่องสัญญาณพื้นฐาน ของการ

สื่อสารมัลติฮ๊อพ จากนั้น ผู้วิจัย จึงได้เอาทั้งโปรโตคอล MULTI-HOP CSMA/CA และช่องสัญญาณไรซ์ มาพิจารณาร่วมกันโดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็น โดยผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ได้มาทำการคำนวณมาจากโปรแกรม MATHCAD และพล็อตกราฟ โดยใช้โปรแกรม EXCEL

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท มีรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงรายละเอียด ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และขอบเขตในการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของระบบขนส่งอัจฉรยะ กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของระบบขนส่งอัจฉริยะ, การประยุกต์ใช้งานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ITS และการบริการ, การแบ่งประเภทการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ, โครงสร้างของระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ, การสื่อสารภายในยานพาหนะ, การประยุกต์ใช้งานร่วมกันระหว่างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ และระหว่างสถานท้องถิ่นข้างถนนกับยานพาหนะ

บทที่ 3 การสื่อสารมัลติชันแนล กล่าวถึง กระบวนการส่ง-รับข้อมูลมัลติชันแนลที่ใช้ในการส่ง-รับข้อมูลของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการตลอดจนกฎเกณฑ์ในการสื่อสารมัลติชันแนลอย่างละเอียด

บทที่ 4 โปรโตคอลที่ใช้ในการทำงานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการโปรโตคอลที่ใช้ในการทำงานระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ พร้อมทั้งแสดงโฟร์ชาร์ตแสดงกระบวนการทำงานของแต่ละโปรโตคอล

บทที่ 5 ผลกระทบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ และการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ กล่าวถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ โดยแสดงผลเป็นเชิงตัวเลขและกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา และเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาทั้งในชั้นฟิสิคัลเลเยอร์และดาต้าลิงค์เลเยอร์ ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ กล่าวถึง โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ, ทฤษฎีและหลักการของโปรโตคอล CSMA/CA และโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์

บทที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

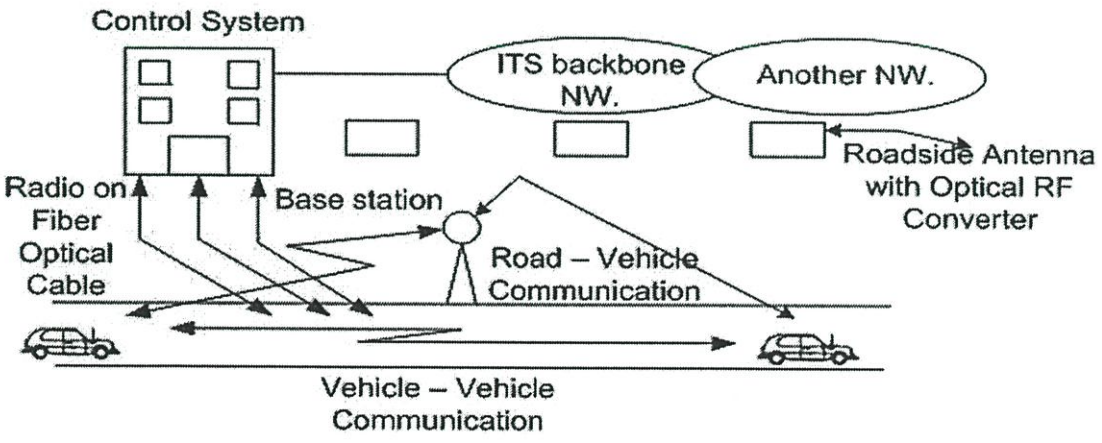
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการของระบบขนส่งอัจฉริยะ

2.1 ความเป็นมาและความสำคัญของระบบขนส่งอัจฉริยะ

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะ ทำให้ความต้องการระบบป้องกันภัยระหว่างยานพาหนะมีความเจริญเติบโตขึ้น ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีไร้สายสมัยใหม่ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะรวมยานพาหนะกับการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่เข้าด้วยกัน เพื่อจุดประสงค์หลัก คือ การลดปัญหาอุบัติเหตุ และในขณะเดียวกันก็สามารถประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ได้ อาทิเช่น การให้บริการอินเตอร์เน็ต หรือการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

จากรูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการขนส่งอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการสื่อสารแนวใหม่ เป็นการรวมการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ชนิดต่างๆ เข้าร่วมกับยานพาหนะ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1. การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับข้างวิถี (Road – to – Vehicle Communication) และ 2. การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ (Inter – Vehicle Communication) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ ในส่วนของการสื่อสารระหว่างสถานีท้องถิ่นที่ถนนกับยานพาหนะนั้นได้มีการนำมาปฏิบัติจริงในประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า การเก็บเงินค่าผ่านทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Toll Collection) ซึ่งเป็นระบบการเก็บเงินค่าทางด่วนโดยที่ไม่ต้องมีการหยุดเพื่อจ่ายเงิน ส่วนการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะนั้นจะรองรับบริการต่างๆ เช่น การบริการโทรศัพท์เซลลูลาร์ การบริการการแพร่ภาพ และการบริการอินเตอร์เน็ต



รูปที่ 2.1 ระบบขนส่งอัจฉริยะ [1]

2.2 ระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS) และการให้บริการ

ระบบขนส่งอัจฉริยะ(ITS) และการให้บริการนั้นเป็นหลักการที่จะอธิบายถึงเทคโนโลยีข้อมูลข่าวสารในหมวดของการขนส่ง หลักการคือระบบขนส่งอัจริยะ เป็นบริการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้เดินทาง เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการขนส่งและกิจกรรมของการขนส่ง ผู้ขับขี่ยานพาหนะส่วนตัวใช้ ITS เพื่อช่วยค้นหาเส้นทางหรือ หลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่นและลดการเกิดอุบัติเหตุ ส่วนภายในรถไฟและรถประจำทาง ITS จะถูกใช้สำหรับการจัดการจ่ายตั๋วโดยสารอัตโนมัติแก่ผู้โดยสาร รวมทั้งให้ข้อมูลการเดินทางแก่ผู้โดยสารอย่างถูกต้อง สถานีฐานที่ตั้งอยู่สองข้างทางถนนใช้ ITS สำหรับการตรวจวัดและจัดการสัญญาณที่มีการส่งข้อมูลเกี่ยวกับการบริการต่างๆ ไปถึงผู้ขับขี่ ผู้โดยสารและคนเดิน ปัจจุบันมีจำนวนของการบริการ ITS อย่างหลากหลาย อาทิเช่น

2.2.1 การบริการในการนำร่อง

ระบบการนำร่องเป็นส่วนหนึ่งของการบริการ ITS ซึ่งถูกนำไปใช้ในยานพาหนะระบบทำงานโดยการให้ข้อมูลการเดินทางแก่ผู้ขับขี่ไปถึงจุดหมายปลายทางอย่างถูกต้อง

2.2.2 การบริการข้อมูลการเดินทาง

เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการบริการในหมวด ITS หน้าที่หลักของบริการชนิดนี้คือการให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคับคั่งของการจราจร การเกิดอุบัติเหตุและสภาพถนนให้กับผู้ขับขี่ตลอดการเดินทาง เพื่อช่วยในการตัดสินเลือกเส้นทางการเดินทาง

2.2.3 การบริการข้อมูลการจอด

การเพิ่มขึ้นของยานพาหนะส่วนตัวกำลังเป็นปัญหาใหญ่ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ๆ ของหลายๆ ประเทศ การบริการ ITS ถูกพัฒนาเพื่อบอกให้กับผู้ขับขี่ทราบถึงข้อมูลของลานจอดรถบริเวณโดยรอบจุดหมายปลายทางที่ต้องการจะไปถึง

2.2.4 การบริการการจัดการขนส่งมวลชน

ทุกวันนี้การจัดสรรงบประมาณจำนวนมากในการพัฒนาบริการ ITS เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้โดยสารด้วยข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จุดประสงค์ของบริการนี้คือผู้โดยสารจะได้รับข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

- ตารางเวลาและเส้นทางการขนส่งมวลชน
- ตำแหน่งของรถประจำทาง รถไฟ และการกำหนดเวลาที่จะมาถึง
- แนะนำและให้ความช่วยเหลือผู้โดยสารที่จะเลือกการเดินทางที่สะดวกที่สุด

2.2.5 การบริการรองรับแก่ผู้เดินบนทางเท้า

ระบบข้อมูลสำหรับผู้เดินทางบนทางเท้านั้นรองรับการเคลื่อนที่ ความปลอดภัย และความสะดวกของผู้เดินทางเท้า ระบบนี้ให้บริการความสะดวกสบายและข้อมูลของเมือง เช่น การพยากรณ์อากาศ ข้อมูลการจับจ่าย ข้อมูลการท่องเที่ยว และบริการนำร่อง

2.2.6 บริการการตรวจจับ

ระบบ ITS จะรองรับบริการตรวจจับซึ่งเป็นบริการหนึ่งที่ทำให้ทราบข้อมูลตำแหน่งของผู้คน ข้อมูลเส้นทางการเดินรถของรถยนต์และข้อมูลการขนถ่ายสินค้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเชื่อมโยงของระบบการขนส่งและการจัดการให้ระบบการขนส่งนั้นมีประสิทธิภาพ

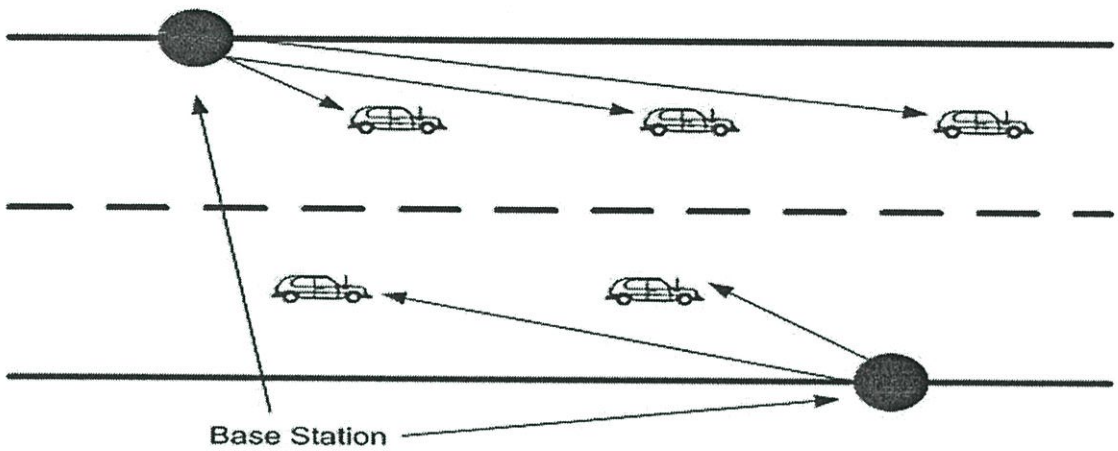
2.2.7 การบริการฉุกเฉินและสวัสดิการ

การบริการฉุกเฉินและสวัสดิการนั้นมีความสำคัญของหมวด ITS เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา กระทรวงกลาโหมใช้สัญญาณไร้สารเพื่อระบุตำแหน่งของผู้ที่หมุนเบอร์ 911 ในยุโรป การหาตำแหน่งโดยสัญญาณไร้สายฉุกเฉินเพื่อหาผู้ที่หมุนเบอร์ 112 ในประเทศญี่ปุ่นบริการสาธารณะภัยถูกพัฒนาเพื่อให้ความช่วยเหลือในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุทางการจราจรและการเจ็บป่วยฉุกเฉิน

2.3 การแบ่งการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1 การสื่อสารระหว่างสถานีท้องถิ่นข้างถนนกับยานพาหนะ (Road Vehicle Communications: RVC)

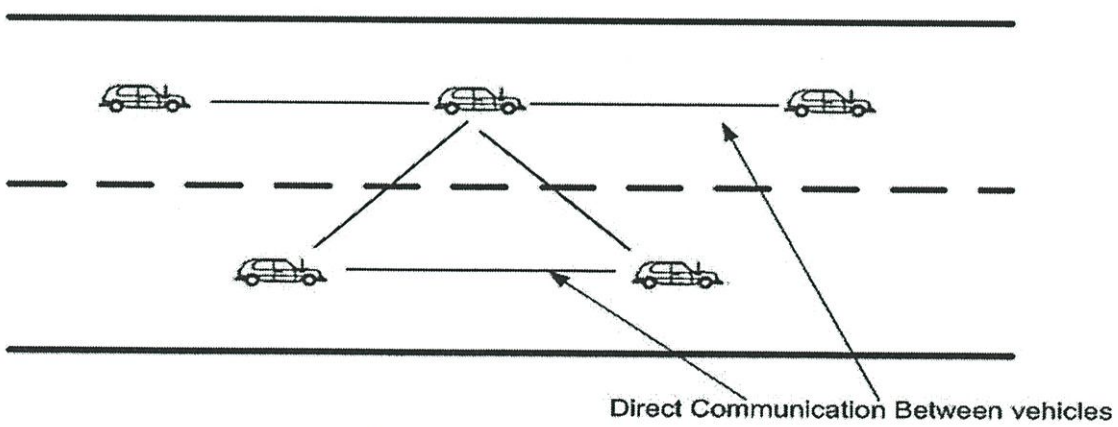
วิธีการนี้ [1] ต้องการทำการติดตั้งอุปกรณ์ตลอดแนวการเดินทาง ดังรูปที่ 2.2 สำหรับ ข้อดี คือ มีความสะดวก และความเชื่อถือได้ในการจัดการในการสื่อสาร และ ข้อเสีย คือ ไม่สามารถปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ได้อย่างง่าย



รูปที่ 2.2 การสื่อสารระหว่างสถานีท้องถิ่นข้างถนนกับยานพาหนะ [1]

2.3.2 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ (Inter Vehicle Communications : IVC)

วิธีการนี้ เป็นการสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยตรง ข้อดี คือ สามารถปรับปรุงและง่ายในการปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ และ ข้อเสีย คือ ความไม่แน่นอนในการ ส่ง-รับ ข้อมูล เนื่องจากความเร็วของยานพาหนะ

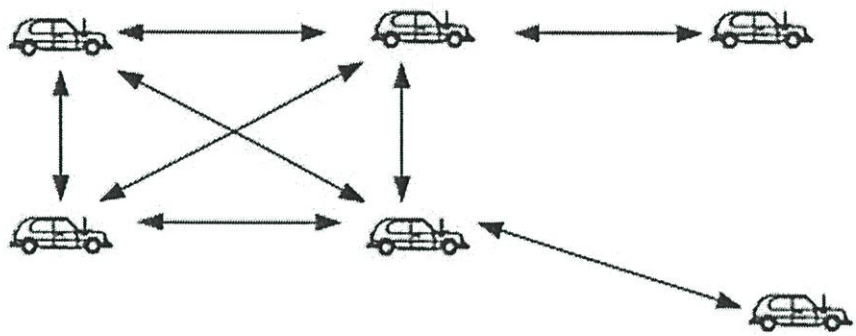


รูปที่ 2.3 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ [1]

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราจะทำการศึกษาเฉพาะการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะเท่านั้น โดยการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ ยังสามารถแบ่งโครงสร้างได้อีกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

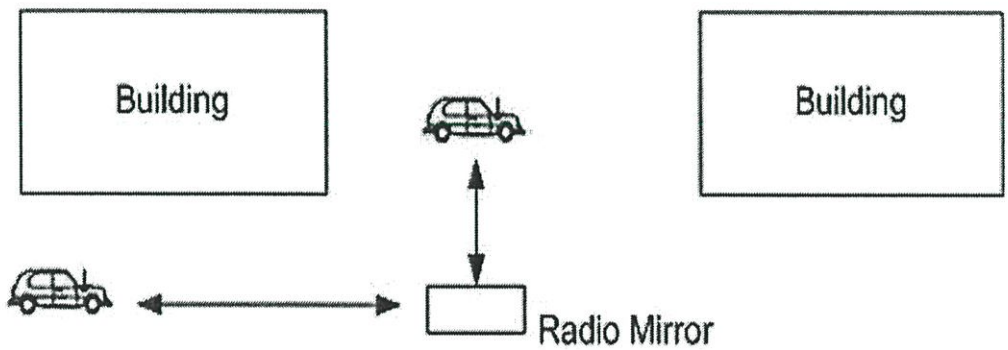
2.4 โครงสร้างของระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ

2.4.1 โครงสร้างแบบแคบ : รูปที่ 2.4 แสดงการสื่อสารระหว่าง [1] ยานพาหนะโดยตรงและระหว่างอุปกรณ์โดยตรง นิยามโดยการสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด



รูปที่ 2.4 โครงสร้างแบบแคบ ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ [1]

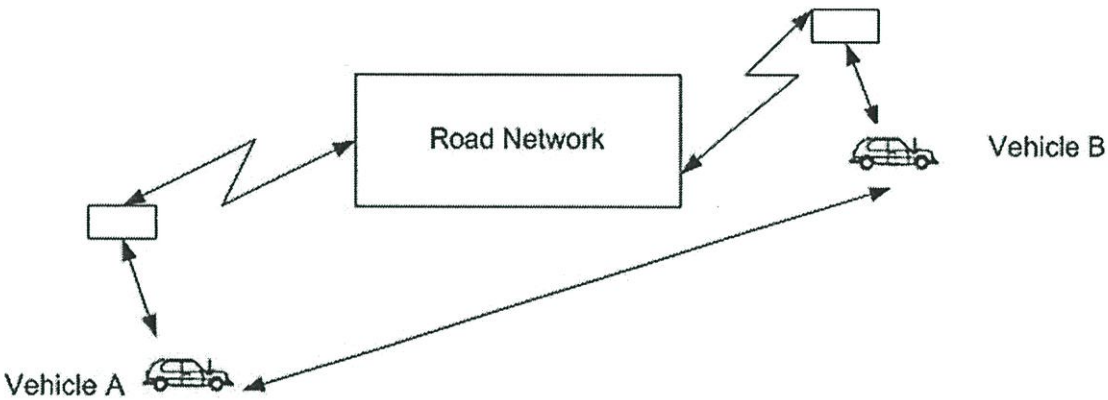
2.4.2 โครงสร้างแบบค่อนข้างกว้าง : รูปที่ 2.5 แสดงการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือยานพาหนะ โดยใช้ radio mirror หรืออุปกรณ์อื่นที่ติดตามทาง โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนข้อมูล



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบค่อนข้างกว้าง ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ [1]

2.4.3 โครงสร้างแบบกว้าง : รูปที่ 2.6 แสดงการสื่อสารระหว่างยานพาหนะวงกว้างโดยใช้โครงข่าย มีรายละเอียด ดังนี้

"from Vehicle-A's on-board information equipment → road facility → road network → road facility → Vehicle-B's on-board information equipment"



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแบบกว้าง ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ [1]

2.5 การประยุกต์ใช้งานการใช้งานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีข้อมูลข่าวสารเพื่อรองรับการขนถ่ายผู้คน ยานพาหนะ และสินค้า ซึ่งเทคโนโลยีข้อมูลข่าวสารนี้จะสร้างระบบที่ช่วยเพื่อความปลอดภัย ความสะดวก และช่วยขยายการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ซึ่งระบบที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเทคโนโลยีใหม่นี้จะประกอบด้วย

- หน่วยเคลื่อนที่สำหรับการสื่อสาร เช่น หน่วยที่ติดอยู่กับรถ โทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์
- การสื่อสารแบบไร้สาย เช่น การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 (3-G mobile communication) และการสื่อสารวิทยุ
- การระบุตำแหน่ง เช่น ระบบดาวเทียมบอกพิกัด (Global Positioning System : GPS)
- เทคโนโลยี GIS (Global Information System)

ระบบนี้จะช่วยจัดการระบบการขนส่ง เช่น การขนส่งผู้คน สินค้า และการจัดการการเดินทางท่องเที่ยว ซึ่งทุกวันนี้การเดินทางท่องเที่ยวและขนส่งได้เข้ามามีบทบาทต่ออุตสาหกรรม เศรษฐกิจ และสังคมเป็นอย่างมาก ดังนั้นระบบการขนส่งและบริการจึงมีความจำเป็นที่จะต้องถูกพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6 การสื่อสารภายในยานพาหนะ

เทคนิคการสื่อสารไร้สายภายในยานพาหนะมีหลายมาตรฐาน [7] อาทิ "IEEE 802.15.1-Bluetooth" และ"IEEE 802.15.4 – ZigBee, low data rate"เปรียบเทียบคุณสมบัติทั้ง 3มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

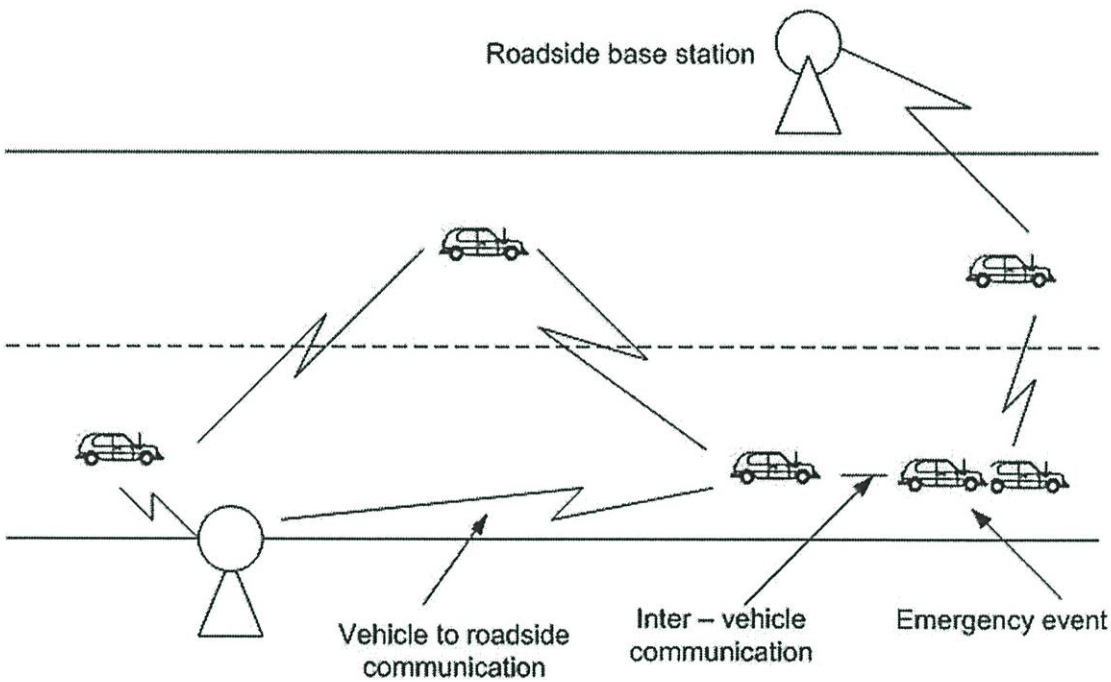
	Bluetooth	ZigBee	UWB
Range (Nom)	10 meters	10 meters	< 10 meters
Chip Price	$5	$2	<$1
Data Rate	Medium	Low	High
Throughput	Medium	Low	High
Interference	Good	Good	Excellent
Media	Voice/Data	Data	Video/Radar
SIG	Consortium	Alliance	Forum
Main Layers	5	5	Evolving
Data Payload	2,744	104	Evolving
Power Req.	Low	Very-Low	Ultra-Low
Tx Power	1 mW	< 1 mW	200 uW
Security	Good	Good	Excellence
Installed Base	Very Large	Small	Small
Tx Penetration	Good	Good	Excellence
Spec Stability	Excellent	Good	Evolving
Mode	FHSS	DSSS	DS, MBOA
Frequency	2.4 GHz	0.8,0.9,2.4 GHz	3.1 - 10.6 GHz
Channels	23 or 79	1, 10 or 16	Evolving
Error Correct	8-bit, 16-bit	16 CRC	Evolving
Topology	Star	Star, Mesh	Peer-to-Peer
No. of Nodes	7, or more	65534	Evolving
Link BW	1 MHz	20-250 KHz	120 MHz - 1 GHz

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Bluetooth, ZigBee, UWB [7]

จะพบว่า Bluetooth มีข้อดีที่หลากหลาย เนื่องจากสามารถส่งได้ทั้งเสียงและข้อมูล และมีเฟรมเพย์โหลดที่ใหญ่และต้องการกำลังส่งที่ต่ำ ตลอดจนสามารถทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้

2.7 ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับข้างวิถี

สำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับข้างวิถี [7] จะใช้แถบความถี่ที่สูงกว่าระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ ทำให้มีแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า สามารถส่งข้อมูลที่มีจำนวนทราฟฟิกจำนวนมาก จึงสามารถนำมาใช้ตามต้องการหรือทันตามเวลาจริง หรือสามารถรับชมวิดีโอ และสามารถเข้าสู่อินเตอร์เน็ตความเร็วสูงได้ ตลอดจนสามารถสืบค้นข้อมูลขณะเคลื่อนที่ สั่งซื้อสินค้าออนไลน์ หรือประชุมวิดีโอขณะเคลื่อนที่ โดยสามารถประยุกต์เข้ากับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะได้ในกรณีที่ต้องการความจำเป็นเร่งด่วน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การประยุกต์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับการแจ้งเหตุการณ์ฉุกเฉิน [7]

บทที่ 3
การสื่อสารมัลติชันแนล

3.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ การส่งสัญญาณจะต้องผ่านยานพาหนะคันอื่นก่อนที่จะถึงผู้รับปลายทาง ในทางกลับกันเมื่อต้องการรับข้อมูลก็จะต้องผ่านยานพาหนะคันอื่นเช่นกัน ดังนั้นในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจึงจำเป็นต้องใช้การสื่อสารมัลติชันแนล เพื่อสามารถรอบรับการสื่อสารในแต่ละยานพาหนะได้ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในการสื่อสารมัลติชันแนล โดยกล่าวตั้งแต่ทฤษฎีพื้นฐานการส่งข้อมูลโดยใช้โทเกน, การเข้าถึงตัวกลางในการส่งข้อมูล IEEE 802.11 DCF, กลไกการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM, ทฤษฎีการสื่อสารมัลติชันแนล, การกำหนดความสำคัญของช่องสัญญาณ, การตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร และกฎของการเลือกช่องสัญญาณ

3.2 การส่งโดยใช้โทเกน

การทำงานพื้นฐาน [26] ของวิธีนี้ คือ การส่งแพ็คเกตของแต่ละยานพาหนะจะถูกควบคุมโดยแพ็คเกตควบคุมเล็กๆ ที่ถูกเรียกว่า โทเกน โทเกนอันนี้จะหมุนไปรอบๆ ริงค์

3.2.1 หลักการทำงานของวิธีนี้ ดังรูปที่ 3.1 เป็นดังนี้

ขั้นที่ 1 : ตรวจสอบโทเกน

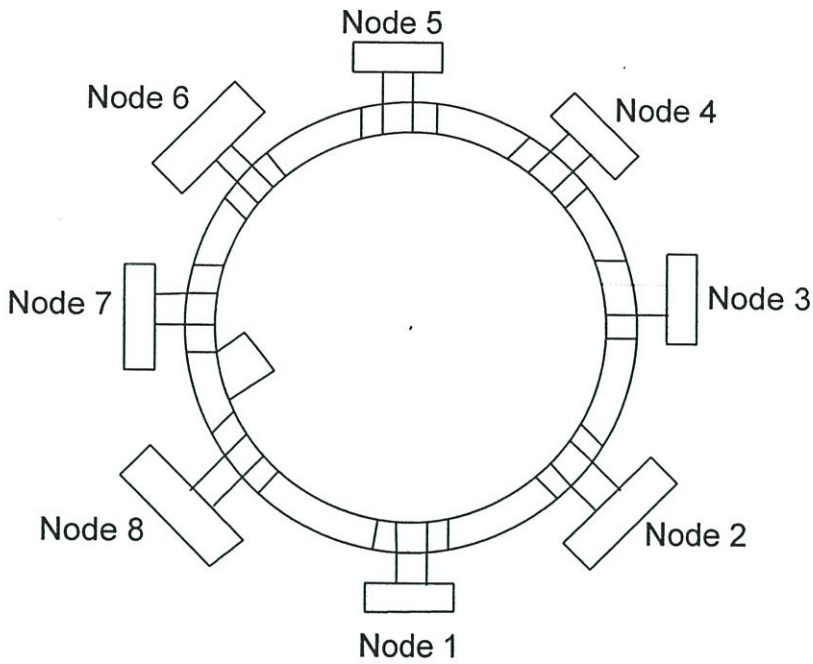
ยานพาหนะที่เตรียมส่งแพ็คเกตจะชะลอการส่งจนกว่าโทเกนจะส่งผ่านมาถึงยานพาหนะ เมื่อยานพาหนะนั้นๆ ตรวจสอบพบโทเกนจะปฏิบัติขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 : การส่งแพ็คเกต

เมื่อยานพาหนะได้นำเอาโทเกนออกจากริงค์แล้ว มันก็จะส่งแพ็คเกตเข้าไปในริงค์ แพ็คเกตนั้นจะถูกส่งโดยแต่ละยานพาหะจนกระทั่งถึงยานพาหนะรับ แพ็คเกตนั้นจะถูกกอปปี้ จากนั้นจะถูกส่งต่อไปจนถึงยานพาหนะส่ง

ขั้นที่ 3 : การนำเอาแพ็คเกตออก

เมื่อแพ็คเกตผ่านมาถึงยานพาหนะส่งแล้ว เพคเกตนั้นจะถูกนำออกจากริงค์ ยานพาหะส่งสามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นแพ็คเกตที่ตัวเองส่ง โดยการตรวจสอบแอดเดรสของยานพาหนะส่งแล้วนำเอาแพ็คเกตที่มาถึงออก



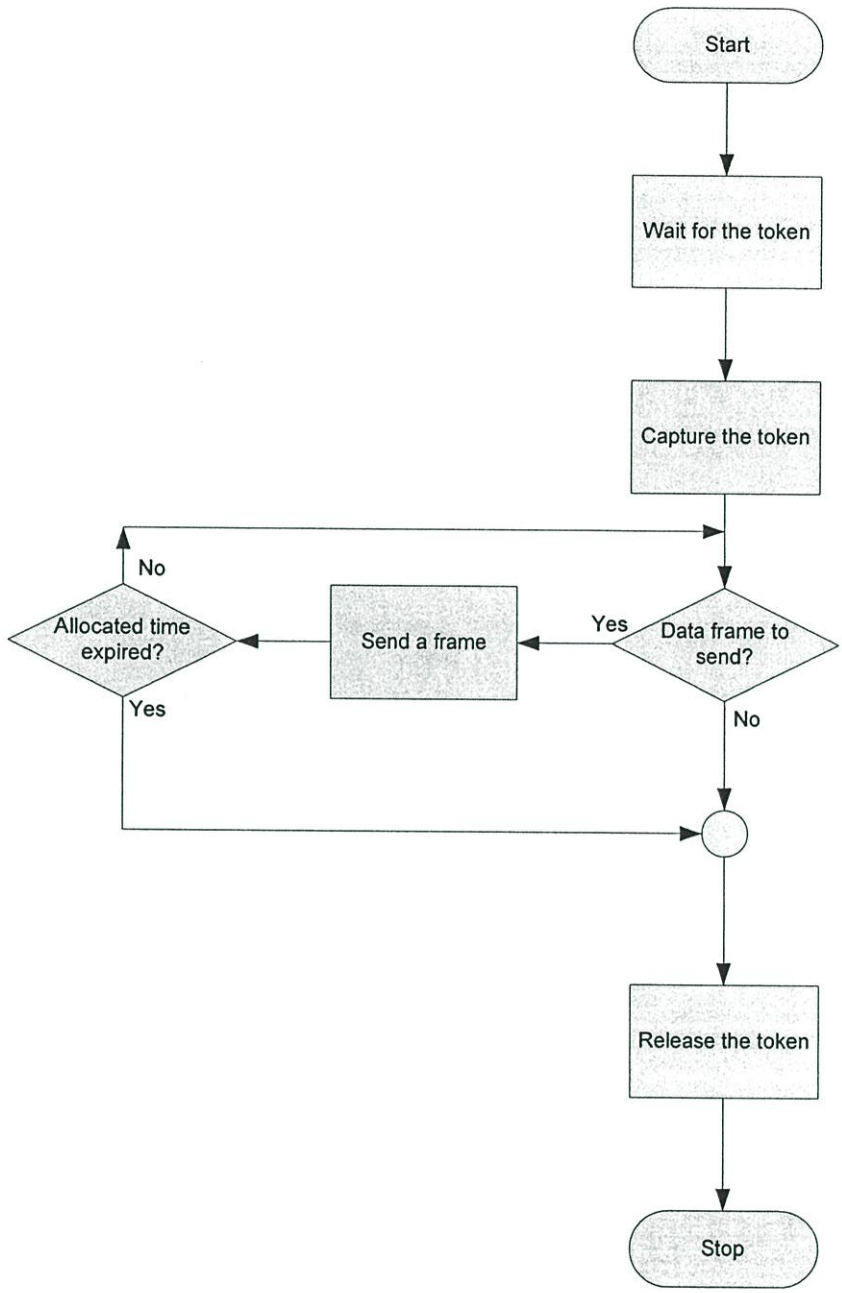
รูปที่ 3.1 กระบวนการส่งข้อมูลโดยใช้โทเคน [25]

วิธีการส่งข้อมูลโดยใช้โทเคน แบ่งเป็น 3 กระบวนการ ดังนี้

ก) การส่งข้อมูลของแต่ละยานพาหนะจะถูกควบคุมโดย "โทเคน" ซึ่งวนไปรอบๆ ริงค์

ข) ยานพาหนะซึ่งต้องการส่งข้อมูลจำเป็นต้องรอจนกว่าโทเคนมาถึงยานพาหนะ และเมื่อถอดเอาโทเคนออกจากริงค์แล้วก็เริ่มส่งแพ็คเกตข้อมูล

ค) เมื่อแพ็คเกตข้อมูลวนกลับ ยานพาหนะส่งก็จะถูกถอดออกจากริงค์ และหลังจากส่งข้อมูลแล้วก็ส่งโทเคนกลับคืนริงค์



รูปที่ 3.2 การทำงานของโทเกน [26]

3.3 โปรโตคอลที่ใช้ในการเข้าถึงตัวกลางในการส่งข้อมูล

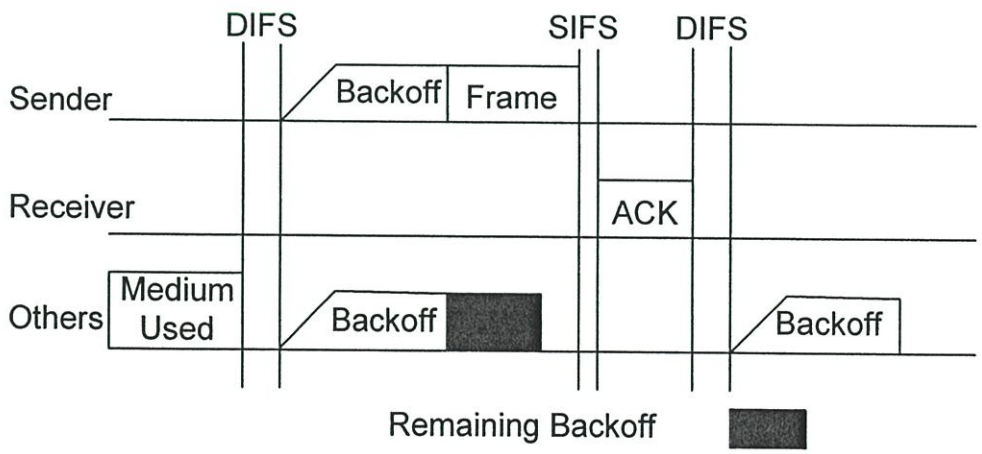
(IEEE 802.11 Distributed Coordination Function: IEEE 802.11 DCF)

3.3.1 การทำงานของโปรโตคอล IEEE 802.11 DCF

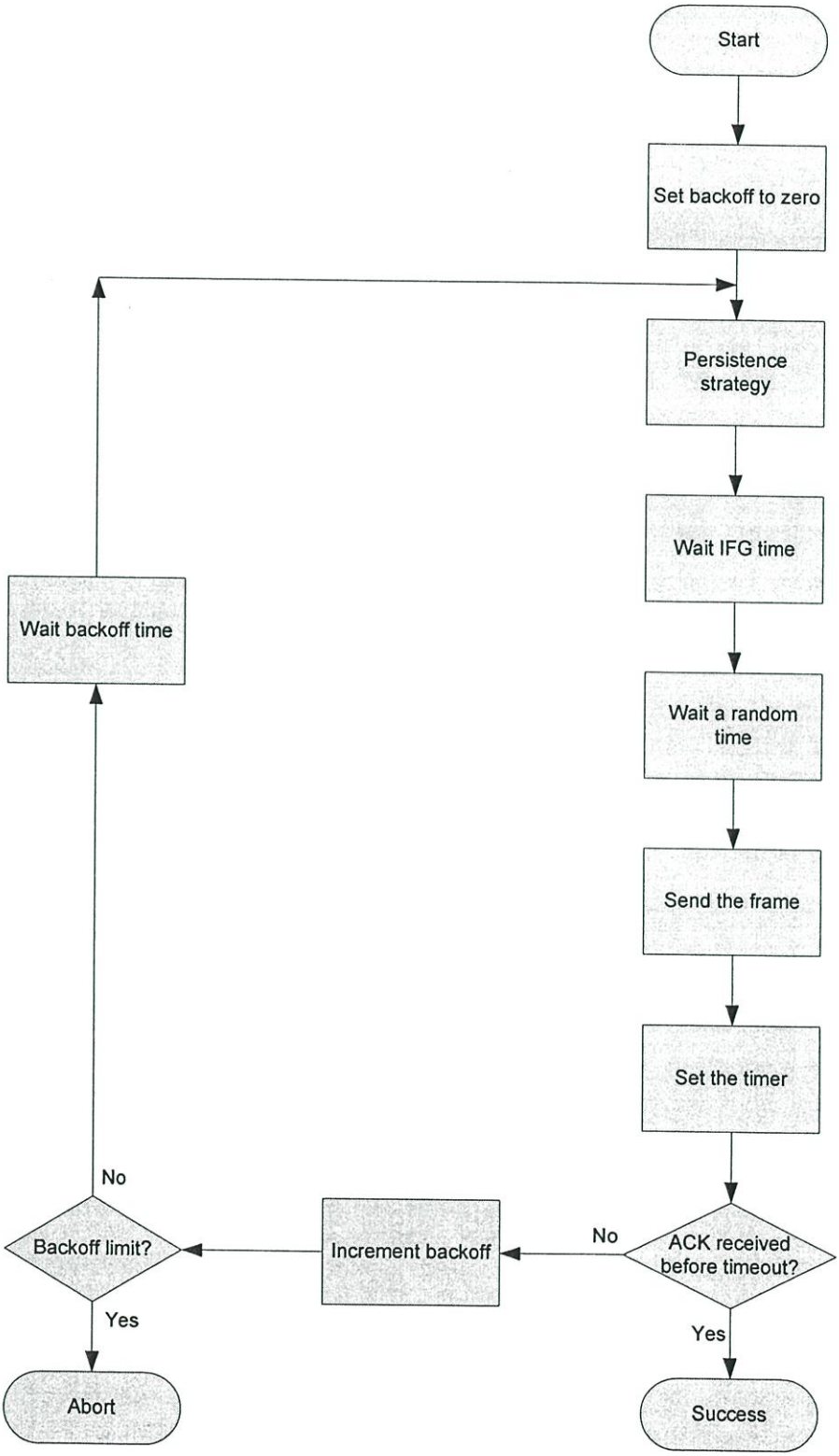
โปรโตคอลที่ใช้ในการเข้าถึงตัวกลางในการส่งข้อมูล IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function) เนื่องจากในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมีการกระจายโดยทั่วไป จึงต้องมีการใช้โปรโตคอล IEEE 802.11 DCF ที่มีกลไกการตรวจเช็ค hidden node แทน RTB/CTB แทน RTS และ CTS ตลอดจนการสุ่มค่าโดยเปลี่ยนเป็นไทม์สล๊อต โดยขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ โดยมีหลักการดังนี้

การทำงานของโปรโตคอล IEEE 802.11 DCF กล่าวคือ ทุกยานพาหนะ [5] จะฟังช่องสัญญาณ ถ้ายานพาหนะ A ต้องการส่ง ยานพาหนะอื่นจะต้องรอ ในกรณีที่ตัวกลางไม่ว่างยานพาหนะจะต้องรอจนกว่าตัวกลางจะว่าง หลังจากนั้นตัวกลางจะปล่อยเวลาเป็นระยะ DIFS (Distributed Coordination Function-InterFrame Space) ดังนั้น ทุกยานพาหนะต้องรอที่จะส่งข้อมูลและเริ่มการส่งในเวลานี้ และจะทำให้เกิดการชนของข้อมูลมากมาย ดังนั้น จึงมีการเพิ่มกลไกที่เรียกว่า "backoff mechanism" ดังนั้น ทุกยานพาหนะจะต้องรอเป็นช่วงเวลา DIFS รวมกับเวลาที่สุ่มก่อนส่งข้อมูลของแต่ละยานพาหนะโดยช่วยลดการชนกันของข้อมูล

ในกรณีที่สามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ผู้รับจะทำการส่งเฟรม ACK (acknowledgement) โดยเฟรมนี้มีความสำคัญที่สูงกว่าเฟรมข้อมูล ซึ่ง ACK จะทำหน้าที่เป็นเฟรมควบคุม และจะทำการส่งหลังจากช่วงเวลา SIFS (Short Inter Frame Space) และไม่ต้องรอเวลาสุ่ม กระบวนการเหล่านี้แสดงในรูปที่ 3.3 ในกรณีที่ไม่สามารถรับ ACK จะต้องส่งข้อมูลซ้ำไปอีกที



รูปที่ 3.3 การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้โปรโตคอล IEEE 802.11 DCF [5]



รูปที่ 3.4 กระบวนการทำงานของโปรโตคอล IEEE 802.11 DCF [5]

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แต่สำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ ซึ่งจะเปลี่ยนจากการรับส่งสัญญาณ RTS/CTS จากจุดต่อจุด จะเปลี่ยนเป็นการส่งที่เป็นวงกลม โดยใช้สายอากาศที่มีการกระจายรอบตัวเป็นตัวส่งสัญญาณ (Omnidirectional Antenna) เพราะฉะนั้น จะเป็นกระบวนการ RTB (Request to Broadcast)/ CTB(Clear to Broadcast) [4] แทน แต่ได้กำหนดช่วงระยะเวลาในการส่งข้อมูลคล้ายกับช่วงเวลาสุ่มของ CSMA/CA แต่กำหนดเป็นไทม์สล็อต โดยขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ เรียกว่า black-burst มีสูตร คือ

$$L_1 = \left[d \cdot \frac{N_{\max}}{R} \right] \cdot T_S \tag{3.1}$$

โดยที่ L_1 คือ ระยะ black-burst ครั้งแรก

d คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดและยานพาหนะ

R คือ ขอบเขตการส่งข้อมูล

$N_{\max}$ คือ จำนวนของเซ็กเม้นท์ที่ถูกสร้างขึ้น

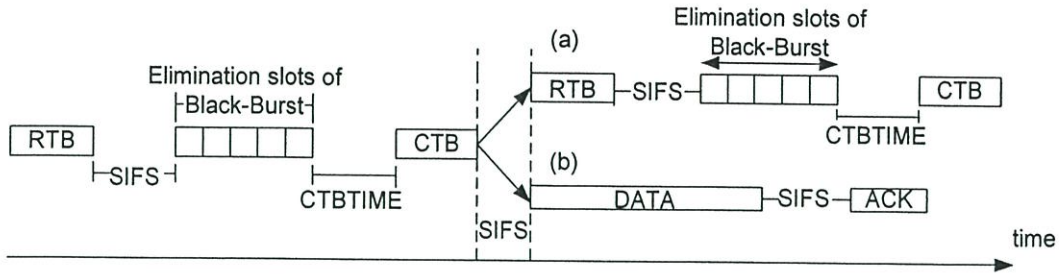
T_S คือ ความยาวของหนึ่งสล็อต

สำหรับความยาวของ black-burst ในลำดับต่อไปคำนวณจาก

$$L_i = \left[\left(d - L_{i-1}^{longest} * W_{i-1} \right) \cdot \frac{N_{\max}}{W_{i-1}} \right] \cdot Slottime$$
$$i = 2, 3, \ldots, D_{\max} \tag{3.2}$$
$$W_i = \frac{R}{N_{\max}^i}$$

โดยที่ $L_i^{longest}$ และ W_i คือ ความยาวสูงสุดของ black-burst และ ความกว้างของเซ็กเม้นท์ ที่ลำดับที่ i ตามลำดับ แสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3.5

87112



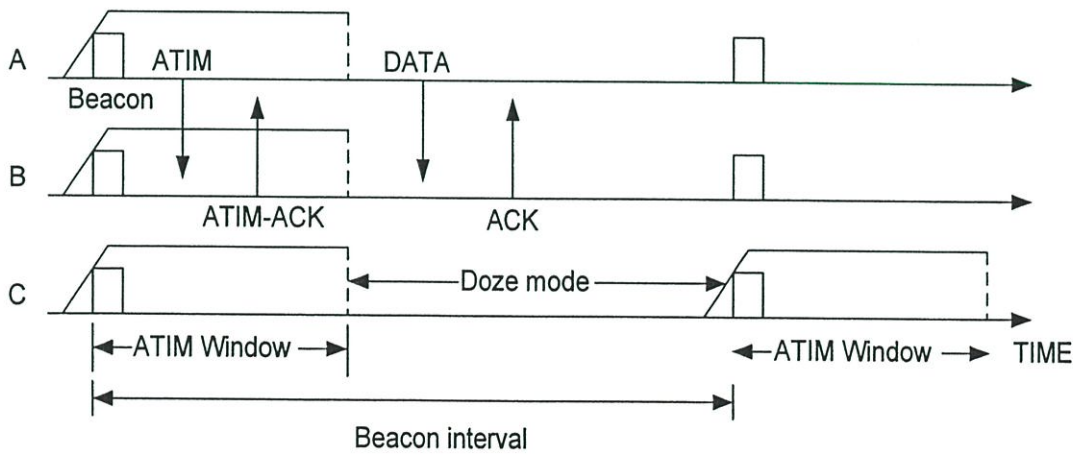
(a). IF COLLISION OCCURS AMONG CTB, a NEW RTB is SENT

(b). IF CTB is RECEIVED CORRECTLY, DATA is SENT

รูปที่ 3.5 กระบวนการเข้าถึงตัวกลางประเภทไทม์สล็อต [4]

3.4 กระบวนการประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM (IEEE 802.11 Power Saving Mechanism: IEEE 802.11 PSM)

ในแต่ละยานพาหนะ สามารถประหยัดพลังงาน [3] โดยไปที่ doze mode ใน doze mode, ในแต่ละยานพาหนะสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่ออยู่ใน normal mode แต่ไม่สามารถทำการส่งหรือรับข้อมูลแพ็กเกตได้ ซึ่งจะทำการย้ายไปสู่ doze mode เมื่อไม่ต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูล ในมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM การจัดการกับพลังงานจะอยู่กับพื้นฐานของ Ad hoc Traffic Indication Messages (ATIM) เวลาจะถูกแบ่งใน beacon intervals, และทุกๆ ยานพาหนะในระบบจะซิงโครไนซ์กันตามคาบเวลา beacon ดังนั้น ทุกๆ ยานพาหนะจะเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละ beacon interval ที่เวลาเดียวกัน



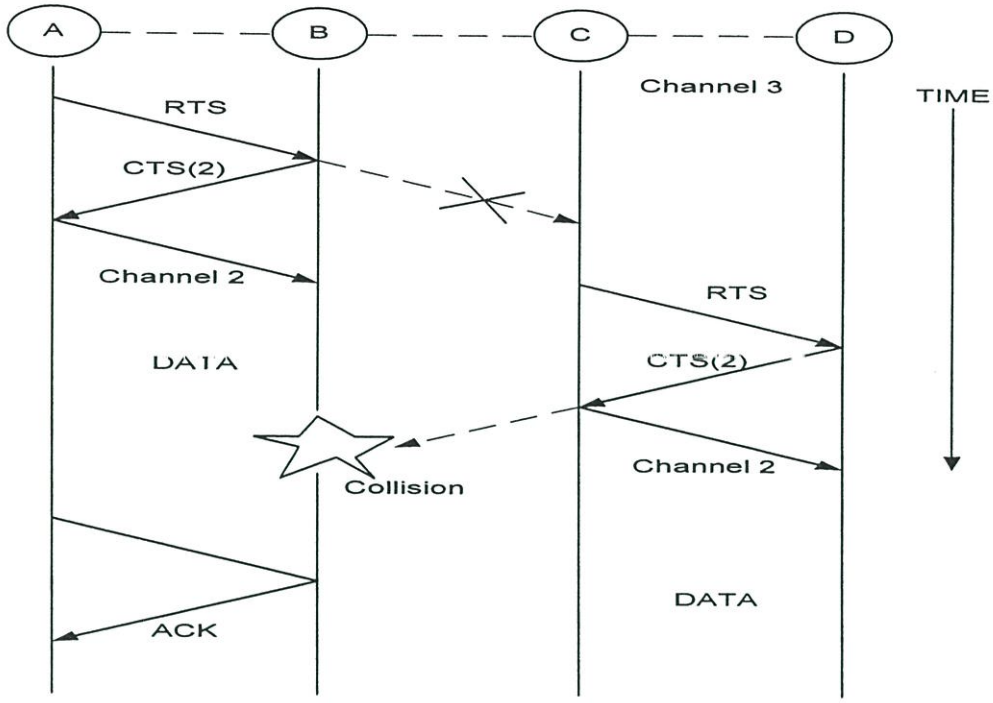
รูปที่ 3.6 กระบวนการตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 PSM ที่จุดเริ่มต้นแต่ละ beacon interval [3]

รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการตามมาตรฐานของ IEEE 802.11 PSM ที่จุดเริ่มต้นและแต่ละ beacon interval, โดยเรียกแพ็กเกตที่อยู่ภายในว่า ATIM window เมื่อทุกๆ ยานพาหนะอยู่ในสภาวะ awake state ถ้ายานพาหนะ A มีข้อมูลของแพ็กเกตยานพาหนะ B ยานพาหนะ A จะทำการส่ง ATIM packet ไปยานพาหนะ B ในช่วงเวลา interval ถ้ายานพาหนะ B ได้รับเม็สเส็จ ยานพาหนะ B จะตอบข้อมูลกลับโดยส่ง ATIM-ACK ถึงยานพาหนะ A ทั้งยานพาหนะ A และยานพาหนะ B จะยังคงอยู่ในสภาวะ awake ตลอดช่วงเวลา beacon interval ถ้ายานพาหนะไม่สามารถส่งหรือรับ ATIM packet ใดๆ ในช่วงเวลา ATIM window (ดัง ยานพาหนะ C ในรูปที่ 3.4) จะเข้าสู่ doze mode จนกว่าจะเข้าสู่เวลา beacon ใหม่

3.5 ทฤษฎีการสื่อสารมัลติชันแนล

สมมติว่ามีช่องสัญญาณ N ช่องที่มีการใช้งาน [3] และมีหนึ่งช่องสัญญาณสำหรับแลกเปลี่ยน control message (control channel) สำหรับช่องสัญญาณที่เหลือสำหรับข้อมูล เมื่อยานพาหนะไม่ว่าจะทำการส่งหรือรับจะต้องทำการฟัง control channel เมื่อยานพาหนะ A ต้องการส่งแพ็กเกตไปยังยานพาหนะ B ยานพาหนะ A และ ยานพาหนะ B จะทำการแลกเปลี่ยน RTS และ CTS ตามมาตรฐาน IEEE 802.1 DCF RTS และ CTS จะส่งบนช่อง control channel เมื่อส่ง RTS ยานพาหนะ A จะให้รายละเอียดของช่องสัญญาณที่ใช้ เมื่อได้รับสัญญาณ RTS ยานพาหนะ B จะทำการเลือกช่องสัญญาณและจะทำการใส่ใน CTS จากนั้นยานพาหนะ A และ ยานพาหนะ B จะทำการแลกเปลี่ยนช่องสัญญาณ จึงจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูล DATA และ ACK

จากรูปที่ 3.7 ยานพาหนะ A มีข้อมูลจะส่งไปยานพาหนะ B ดังนั้น ยานพาหนะ A จะส่ง RTS บนช่องสัญญาณ 2 เป็นช่องสัญญาณควบคุม ยานพาหนะ B เลือกช่องสัญญาณ 2 เป็นการสื่อสารข้อมูลและจึงส่ง CTS กลับไปยังยานพาหนะA RTS และ CTS ควรจะใช้ช่องสัญญาณ 2 ตลอดช่วงเวลาการส่งข้อมูลเพื่อไม่ให้มีการชนกันของข้อมูลขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อยานพาหนะ B ส่ง CTS ไปยังยานพาหนะ A ยานพาหนะ C กำลังมีการรับข้อมูลจากช่องสัญญาณอื่น ดังนั้น จึงไม่ได้รับสัญญาณ CTS ทำให้ไม่ทราบว่า ยานพาหนะ B รับสัญญาณจากช่องสัญญาณ 2 ยานพาหนะ C อาจจะเริ่มต้นกระบวนการส่งข้อมูลไป ยานพาหนะ D ใหม่ และยกเลิกการเลือกช่องสัญญาณ 2 ในการส่งสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการชนกับยานพาหนะ B



รูปที่ 3.7 การชนกันของข้อมูลเนื่องจาก hidden node [3]

จากปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากความจริงที่ว่ายานพาหนะอาจจะฟังช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน แต่ถ้าใช้ช่องสัญญาณเดียวในทุกๆ ยานพาหนะในการฟัง ยานพาหนะ C จะสามารถได้ยิน CTS และสามารถดำเนินการส่งข้อมูลได้ เราเรียกปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นว่า "multi-channel hidden terminal problem" โดยเราจะเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการซิงโครไนซ์คล้ายกับมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM

3.5.1 การกำหนดความสำคัญของช่องสัญญาณ

แต่ละยานพาหนะ [3] จะเก็บรักษาโครงสร้างข้อมูล เรียกว่า Preferable Channel List (PCL) ซึ่งจะบ่งชี้ว่าช่องสัญญาณมีความสำคัญกว่าหรือดีกว่าในการใช้สำหรับยานพาหนะ PCL จะเก็บรักษาการใช้ช่องสัญญาณภายในขอบเขตการส่งข้อมูลของยานพาหนะ ช่องสัญญาณสามารถแบ่งเป็น 3 สถานะ ดังนี้

- High preference (HIGH) : ช่องสัญญาณนี้ถูกเลือกโดยยานพาหนะเรียบร้อยพร้อมใช้งานใน beacon interval ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสถานะนี้ ช่องสัญญาณจะต้องถูกเลือก สำหรับแต่ละ beacon interval และในแต่ละยานพาหนะจะมีช่องสัญญาณในสถานนี้หนึ่งช่องสัญญาณ
- Medium preference (MID) : ช่องสัญญาณในสถานะจะยังไม่ถูกใช้ในการส่งสัญญาณในแต่ละยานพาหนะ แต่ถ้าไม่มี HIGH state ช่องสัญญาณในสถานะนี้จะถูกใช้งาน

- Low preference (LOW) : ช่องสัญญาณนี้ถูกเลือกให้ใช้เป็นลำดับท้ายที่สุดและจะมีตัวนับในแต่ละช่องสัญญาณใน PCL เพื่อทำการบันทึกต้นกำเนิด-ปลายทาง เพื่อทำการวางแผนการใช้ช่องสัญญาณใน current interval ถ้าช่องสัญญาณทั้งหมดอยู่ในสภาวะ LOW ยานพาหนะจะทำการเลือกช่องสัญญาณที่มีการนับน้อยที่สุด

การเปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณจะเป็นดังนี้

- ช่องสัญญาณทุกช่องใน PCL ถูกรีเซ็ตไปยังสถานะ MID เมื่อยานพาหนะเริ่มต้นพลังงานและมีการเริ่มต้นในแต่ละ beacon interval
- ถ้าช่องสัญญาณต้นและช่องสัญญาณปลายอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน ช่องสัญญาณนั้นจะอยู่ในสภาวะ HIGH
- ถ้ายานพาหนะได้รับสัญญาณ ATIM-ACK หรือ ATIM-RES จะทำการเปลี่ยนสถานะเป็น LOW ถ้าก่อนหน้าเป็นสถานะ MID เมื่อสถานะเปลี่ยนจาก MID เป็น LOW และจะทำการเซ็ตตัวนับเป็นหนึ่ง แต่ถ้าสถานะก่อนหน้าเป็น HIGH ยานพาหนะจะยังคงสถานะ HIGH ไว้ แต่ถ้าช่องสัญญาณอยู่ในสภาวะ LOW ตัวนับจะทำการนับเพิ่มทีละหนึ่ง

3.6 กระบวนการตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร

ใน MMAC เราเรียกวินโดวร์ขนาดเล็กว่า ATIM window ซึ่งอยู่ที่จุดเริ่มต้น [3] ของแต่ละ beacon interval โดยยานพาหนะจะมีการส่งแพ็กเกตเพื่อทำการตกลงช่องสัญญาณที่ยานพาหนะปลายทาง ใน ATIM window ทุกยานพาหนะต้องทำการฟังสัญญาณที่ default channel โดย default channel จะถูกคัดเลือกจากช่องสัญญาณที่หลากหลาย และจะทำการประกาศให้ทราบว่าช่องสัญญาณใดเป็น default channel ตลอดช่วงสัญญาณ ATIM window ทุกยานพาหนะจะต้องทำการฟัง default channel และ beacon และ ATIM แพ็กเกตจะถูกส่งบนช่องสัญญาณนี้ แต่นอกเหนือช่วงสัญญาณ ATIM window default channel จะถูกใช้ในการส่งข้อมูลคล้ายกับช่องสัญญาณอื่น

ถ้ายานพาหนะ S มีแพ็กเกตต้องการแจ้งให้ยานพาหนะ D จะต้องทำการส่งแพ็กเกต ATIM. ยานพาหนะ S ประกอบไปด้วยแพ็กเกต PCL ใน ATIM แพ็กเกต ยานพาหนะรับ PCL มีสิทธิ์ในการเลือกช่องสัญญาณสูงกว่า หลังจากยานพาหนะ D เลือกช่องสัญญาณจะเป็นช่องสัญญาณข้อมูลใน ATIM-ACK และทำการส่งให้ยานพาหนะ S เมื่อยานพาหนะ S รับ ATIM-ACK ถ้ามีการระบุช่องสัญญาณใน ATIM-ACK ยานพาหนะ S สามารถเลือกช่องสัญญาณ ยกเว้นยานพาหนะ S เลือกช่องสัญญาณอื่นไว้แล้ว (ตามกฎการเลือกช่องสัญญาณ) ถ้ายานพาหนะ S เลือกช่องสัญญาณที่ระบุใน ATIM-ACK ยานพาหนะ S ส่ง ATIM-RES ไปยังยานพาหนะ D ATIM-RES (ATIM-Reservation) เป็นแพ็กเกตชนิดใหม่ในโครงสร้างนี้ ATIM-RES จะถูกแจ้งในบริเวณ

ของ ยานพาหนะ S ซึ่งยานพาหนะ S กำลังจะใช้ช่องสัญญาณ ดังนั้นยานพาหนะข้างเคียงสามารถใช้ข้อมูลในการอัปเดท PCL เหล่านี้ คล้ายกับ ATIM-ACK จะทำการแจ้งในบริเวณของยานพาหนะ D หลังจาก ATIM window ยานพาหนะ S และยานพาหนะ D จะทำการเลือกช่องสัญญาณและเริ่มต้นการสื่อสารโดยแลกเปลี่ยน RTS/CTS

ถ้ายานพาหนะ S ไม่สามารถเลือกช่องสัญญาณเหมือนยานพาหนะ D เพราะเลือกช่องสัญญาณอื่นไว้เรียบร้อยแล้ว จะทำให้ไม่สามารถส่งแพ็กเกตไปยังยานพาหนะ D ตลอดช่วงเวลา beacon interval ดังนั้นจะต้องทำการรอคอยสำหรับ beacon interval ถัดไป เพื่อทำการเลือกช่องสัญญาณกันอีกที แม้กระนั้น ยานพาหนะ S สิ้นสุดการส่งในช่วงเวลา beacon interval โดยจะมีการเก็บข้อมูลสำหรับยานพาหนะ D จนกระทั่ง beacon interval ถัดไป จะทำให้มีการสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์ อาจจะให้ยานพาหนะ S ส่งไปยังยานพาหนะ D โดยใช้ช่องสัญญาณของยานพาหนะ D ใน beacon interval จากนั้นจึงทำการแลกเปลี่ยน RTS/CTS ก่อนการส่งแพ็กเกตข้อมูล

3.7 กฎการเลือกช่องสัญญาณ

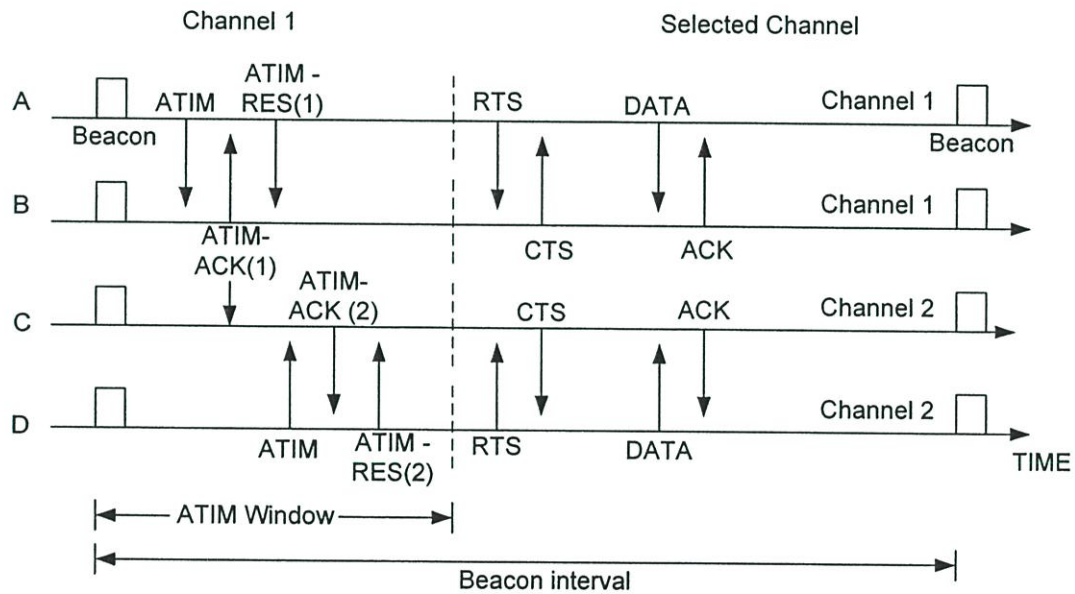
เมื่อยานพาหนะได้รับ ATIM แพ็กเกตจะทำการเลือกช่องสัญญาณ [3] และแจ้งไปยังยานพาหนะส่งโดยประกอบไปด้วย ข้อมูลช่องสัญญาณใน ATIM-ACK แพ็กเกต ยานพาหนะรับพยายามเลือกช่องสัญญาณที่ดีที่สุดบนพื้นฐานของข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูลยานพาหนะส่งของ PCL (preferable channel list) และรายละเอียดเจ้าของของ PCL โดยปกติช่องสัญญาณที่ดีที่สุด คือ ช่องสัญญาณที่มีการใช้งานน้อยที่สุด (lowest count)

สามารถบรรยายรูปแบบการเลือกช่องสัญญาณได้ว่า สมมติยานพาหนะ A มีแพ็กเกตส่งให้ยานพาหนะ B และทำการส่งแพ็กเกต ATIM จากยาพาหนะ A ไปยานพาหนะ B ตลอดช่วง ATIM window กับ A'PCL บรรจุอยู่ในแพ็กเกต จากนั้นยานพาหนะ B ตัดสินใจช่องสัญญาณที่ใช้ตลอดช่วง bacon interval บนพื้นฐานของ PCL ตัวเอง และ A's PCL กระบวนการเลือกใช้ช่องสัญญาณโดยยานพาหนะ B อธิบายได้ดังนี้

1. ถ้ามี HIGH state ใน B's PCL ช่องสัญญาณนี้จะถูกเลือก
2. แต่ถ้ามี HIGH state ใน A's PCL ช่องสัญญาณนี้จะถูกเลือก
3. ถ้าสถานะช่องสัญญาณทั้ง A และ B อยู่ใน MID state สามารถเลือกอันใดอันหนึ่ง
4. ถ้าช่องสัญญาณทั้งหมดอยู่ใน LOW state ให้ทำการใส่ตัวนับที่ตัวส่ง PCL และที่ตัวรับ PCL ช่องสัญญาณที่มีการนับน้อยที่สุดจะถูกเลือก

หลังจากทำการเลือกช่องสัญญาณ ยานพาหนะ B จะส่ง ATIM-ACK ไปยังยานพาหนะ A โดยระบุช่องสัญญาณที่จะถูกเลือก เมื่อยานพาหนะ A ได้รับ ATIM-ACK ถ้ายานพาหนะ A เลือกเหมือนยานพาหนะ B จะทำการส่ง ATIM-RES ไปยังยานพาหนะ B พร้อมกับระบุช่องสัญญาณที่จะใช้ในแพ็กเกต แต่ถ้ายานพาหนะ A ไม่เลือกช่องสัญญาณที่ยานพาหนะ B เลือก จะไม่ทำการส่ง ATIM-RES ไปยังยานพาหนะ B

ในกระบวนการเลือกใช้ช่องสัญญาณและการแลกเปลี่ยนข้อมูลใน MMAC ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ตลอดช่วงเวลา ATIM window ยานพาหนะ A ส่ง ATIM ไป ยานพาหนะ B และยานพาหนะ B ตอบ ATIM-ACK พร้อมระบุว่าใช้ช่องสัญญาณ 1 ซึ่ง ATIM-ACK อาจได้ยินไปถึงยานพาหนะ C ดังนั้นช่องสัญญาณ 1 จะเป็น LOW state ใน C's PCL เมื่อยานพาหนะ D ส่ง ATIM ไปยานพาหนะ C ยานพาหนะ C เลือกช่องสัญญาณ 2 หลังจาก ATIM window ทั้งสองการสื่อสาร (ระหว่าง ยานพาหนะ A และ ยานพาหนะ B, ระหว่าง ยานพาหนะC และ ยานพาหนะ D) จะสามารถสื่อสารกันได้



รูปที่ 3.8 การตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร [3]

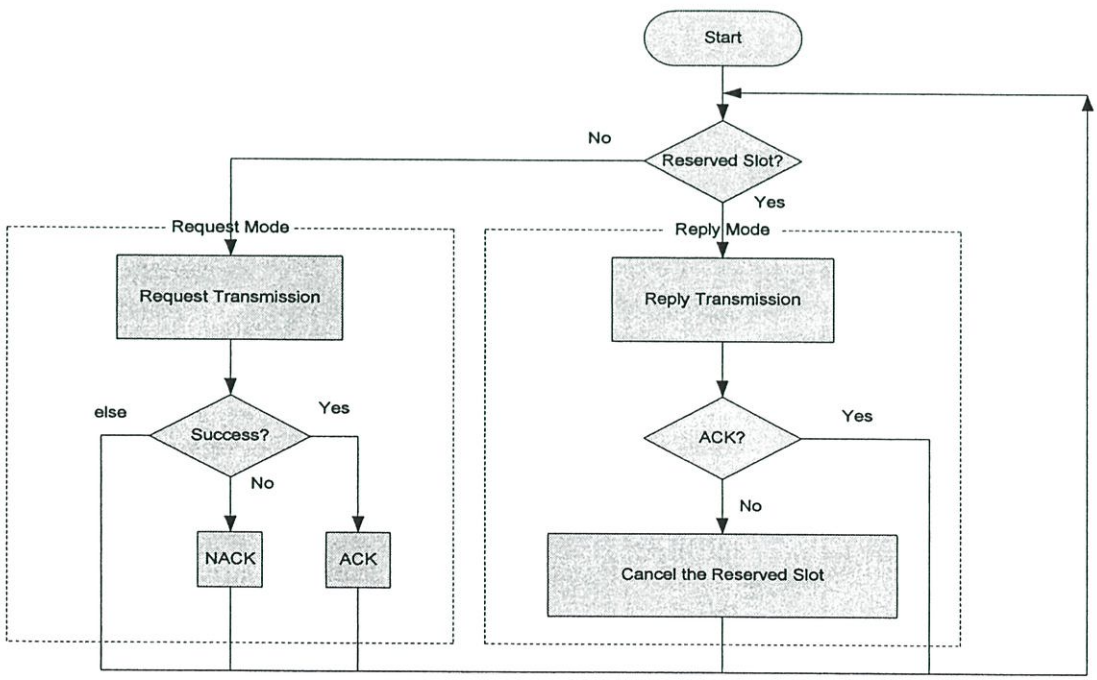
3.9 กระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูล

ก่อนการแลกเปลี่ยนข้อมูล [14] แต่ละยานพาหนะต้องทำการจองหนึ่งสล๊อตในเฟรม สำหรับการส่งข้อมูลเหล่านี้ เมื่อสล๊อตทำการจองเสร็จ ยานพาหนะจะทำการแลกเปลี่ยนโดยรอบยานพาหนะ ขั้นตอนการจองสล๊อตอธิบายในหัวข้อ 3.10

ยานพาหนะจะไปสู่กระบวนการ "Reply Mode" ในสล๊อตที่จองของมันเอง และจะไปสู่กระบวนการ "Request Mode" ในสล๊อตอื่น

ในกระบวนการ "Request Mode" ยานพาหนะส่งความยาว L และในแต่ละสล๊อตทำการขยายลำดับ (spreading sequence) โดยไม่มีการมอดูเลตที่ส่วนแรกของสล๊อต ("Request Transmission") L คือ ความยาวของแพ็กเกต หลังจากนั้นตัวเองจะทำการรับ "Reply Packet" และทำการดีมอดูเลตข้อมูล "ถ้ายานพาหนะสามารถดีมอดูเลตข้อมูลถูกต้อง จะทำการส่งสัญญาณ ACK แต่ถ้าไม่ถูกต้องจะส่ง NACK

ในกระบวนการ "Reply Mode" ยานพาหนะจะทำการคอย "Request Packet" ในสล๊อต หลังจากยานพาหนะได้รับแพ็กเกต จะทำการมอดูเลตแพ็กเกตที่ได้รับโดยข้อมูล และทำการส่งแพ็กเกตกลับไป ("Reply Transmission") และยานพาหนะจะทำการตรวจสอบส่วน acknowledge ของสล๊อต ถ้าได้รับสัญญาณ ACK สล๊อตจะทำการจองจนถึงเฟรมถัดไป ยานพาหนะจะไปสู่กระบวนการ "Reply Mode" ในสล๊อตเดิมในเฟรมถัดไป อย่างไรก็ตาม ถ้าได้รับสัญญาณ NACK สล๊อตที่ทำการจองจะถูกยกเลิก แสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ [14]

3.10 การจองสล๊อต

ก่อนจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูล ยานพาหนะต้องทำการจองหนึ่งสล๊อตจากสล๊อตที่ไม่ได้ใช้ในเฟรม ดังนั้นยานพาหนะต้องทราบว่าสล๊อตไหนใช้หรือไม่ใช้

ถ้ายานพาหนะไม่ทราบสถานะของสล๊อตทั้งหมด ให้ทำการกำหนด "Request Mode" ในสล๊อตทั้งหมดในเฟรมแรก และทำการสังเกตสถานะของสล๊อตทั้งหมด และทำการจองสล๊อตหนึ่งสล๊อตจากสล๊อตที่ไม่มีการใช้งาน

จะเห็นได้ว่าในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะต้องอาศัยกระบวนการสื่อสารมัลติชันแนล เนื่องจากความจำเป็นในการส่งผ่านข้อมูลไปยังผู้รับ โดยจะพบว่ามีกระบวนการเข้าถึงตัวกลางในการส่งข้อมูล IEEE 802.11 DCF, การประหยัดพลังงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 PSM, ทฤษฎีการสื่อสารมัลติชันแนล, การกำหนดความสำคัญของช่องสัญญาณ, การตกลงการใช้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร กฎการเลือกช่องสัญญาณ แต่กระนั้น การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะยังมีจุดเด่นอีกอย่างคือ การที่ยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่ได้ ทำให้โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะต้องสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ได้ โดยจะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4 โปรโตคอลที่ใช้ในการทำงานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ

บทที่ 4
โปรโตคอลที่ใช้ในการทำงานของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

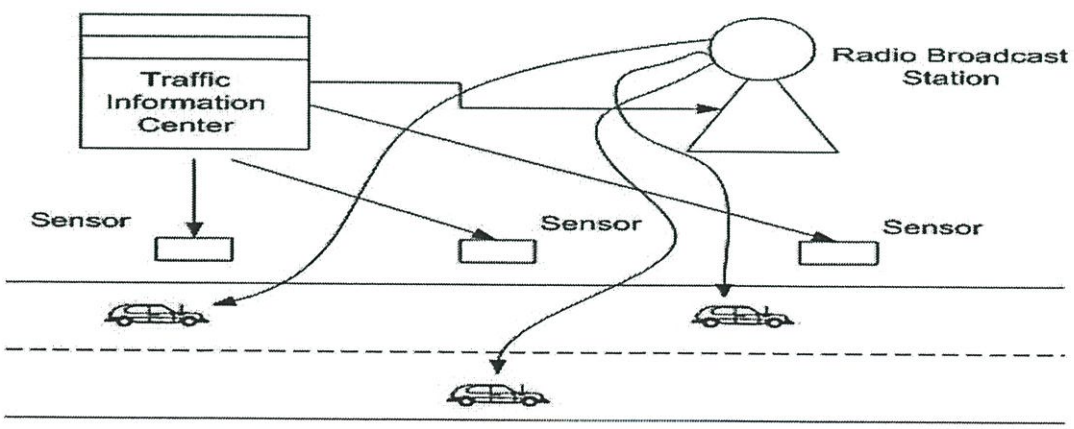
4.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะมีการปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ที่สูงมาก ดังนั้น โปรโตคอลที่ใช้งานจึงต้องสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ และต้องสามารถประยุกต์ใช้งานได้ตามความเป็นจริง ได้แก่

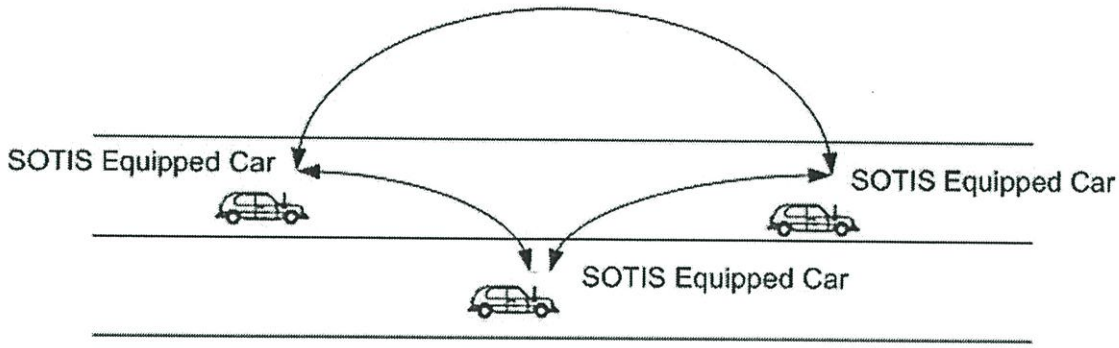
1. กระบวนการปรับขนาดเฟรมและเวลา Provoke broadcast โดยใช้หลัก SOTIS (Self-Organizing Traffic Information System)
2. โปรโตคอลที่ใช้ในการระบุช่องสัญญาณไดนามิก DCA (Dynamic Channel Assignment)
3. โปรโตคอล RAP-IVC (Reactive and Adaptive Protocol for Inter-Vehicle Communication) โดยโปรโตคอลนี้จะแสดงถึงรายละเอียดการส่ง Hello message ตามคาบเวลา และ Information message ตามการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์

โดยรายละเอียดในแต่ละโปรโตคอล จะแสดงในหัวข้อถัดไป

ในการสื่อสารระห่างยานพาหนะกับยานพาหนะเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารที่ใช้งานในปัจจุบันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นกระบวนการสื่อสารประเภทไม่มีศูนย์กลาง (Decentralization) โดยจะพิจารณายานพาหนะแต่ละคันเป็นโหนดที่สามารถส่ง-รับข้อมูลได้ด้วยตัวเอง เราอาจเรียกกระบวนการ [2] นี้ว่า SOTIS (Self-Organization Traffic Information System) ทำให้กระบวนการสื่อสารประเภทนี้มีความยืดหยุ่นและลดความคับคั่งในการส่งข้อมูลแบบเดิมที่ใช้แบบศูนย์กลาง (Centralization) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะประเภทใช้ศูนย์กลาง [2]



รูปที่ 4.2 การสื่อสารระหว่างยานพาหนะประเภทไม่ใช้ศูนย์กลาง [2]

4.2 กระบวนการปรับขนาดแฟรมและเวลาโดยใช้หลักการ

Self-Organizing Traffic Information System: SOTIS

กระบวนการปรับขนาดเฟรมในการรวมสัญญาณ ASDM (Adaptive Space Division Multiplexing) และกระบวนการปรับเปลี่ยนเวลาตามสถานการณ์ (Provoked Broadcast) โดยใช้หลักการในระบบ SOTIS (Self-Organizing Traffic Information System) โดยในส่วนนี้จะใช้หลักการปรับขนาดการรวมสัญญาณและเวลาในการรับ-ส่งข้อมูลตามสถานการณ์ เพื่อให้ได้ค่า QoS ตามต้องการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 พิจารณาหลักการพิจารณาการส่ง-รับ ข้อมูลในระบบ SOTIS

1. เส้นทางการส่งที่สั้น

ช่วยลดเวลาที่ต้องการในการกระจาย Travel and Traffic Information (TTI) ในระบบ แต่ผลก็คือ มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่ใหญ่

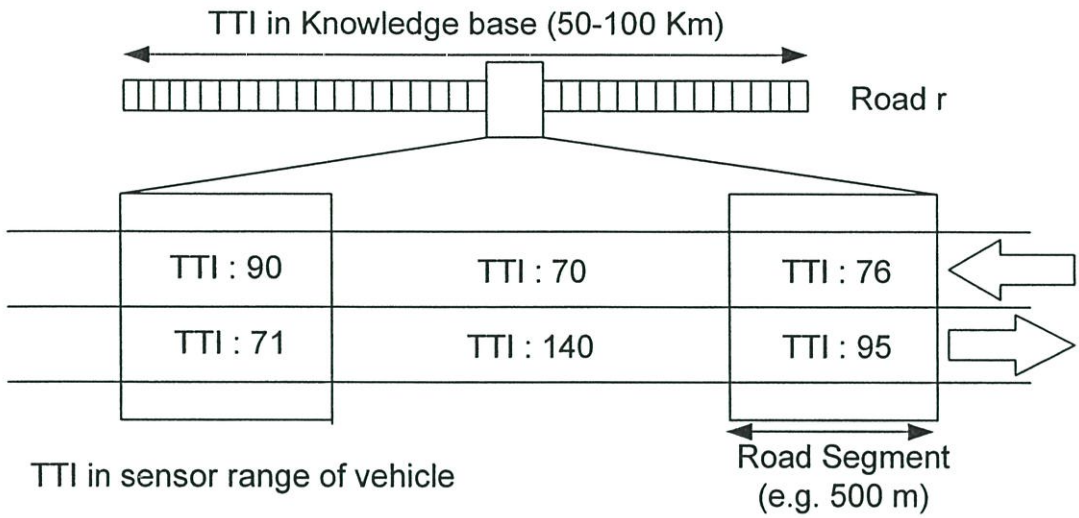
2. เส้นทางการส่งที่ยาว

ช่วยลดแบนด์วิดท์ในระบบ แต่เป็นการเพิ่มค่าการหน่วงเวลาและเพิ่มค่าความเสี่ยงที่จะผิดพลาดในการสื่อสาร

ดังนั้น จึงได้มีกระบวนการปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งและรับเพื่อความเหมาะสมตามสถานการณ์ คือ Provoked Broadcast

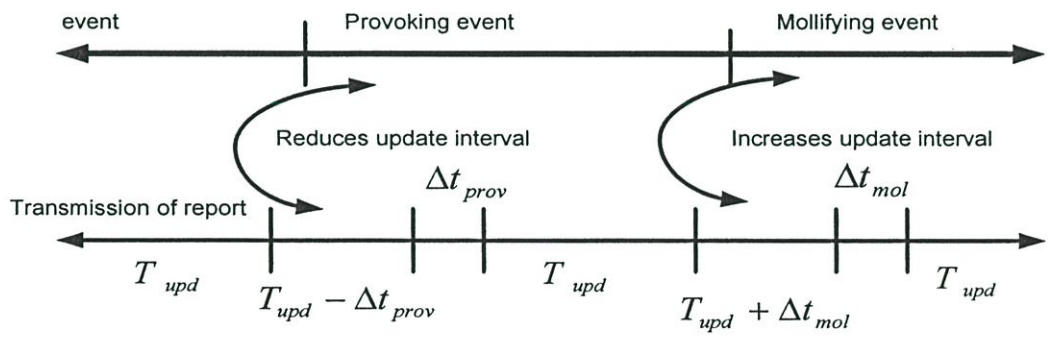
4.2.2 กระบวนการ Provoked Broadcast

ค่า Travel and Traffic Information (TTI) จะถูกจัดเก็บใน knowledge base ซึ่งบรรจุข้อมูล [2] องค์ประกอบของถนน ยานพาหนะต้องมี time-stamp เพื่อใช้ในการระบุเวลา ซึ่งใช้ในการวัดค่าของ time-stamp ถูกใช้ในการตัดสินความถูกต้องของค่า TTI



รูปที่ 4.3 ค่า TTI ที่จัดเก็บใน Knowledge base [2]

สำหรับแบบจำลองโครงสร้างการปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งข้อมูลตามสถานการณ์ (Provoked Broadcast)



รูปที่ 4.4 โครงสร้างการปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งข้อมูลตามสถานการณ์ (Provoked Broadcast) [2]

เมื่อ T_{upd} คือ เวลาที่น้อยที่สุดที่จะจดจำ เมื่อพาหนะผ่านโดยใช้ความเร็วสูงสุด

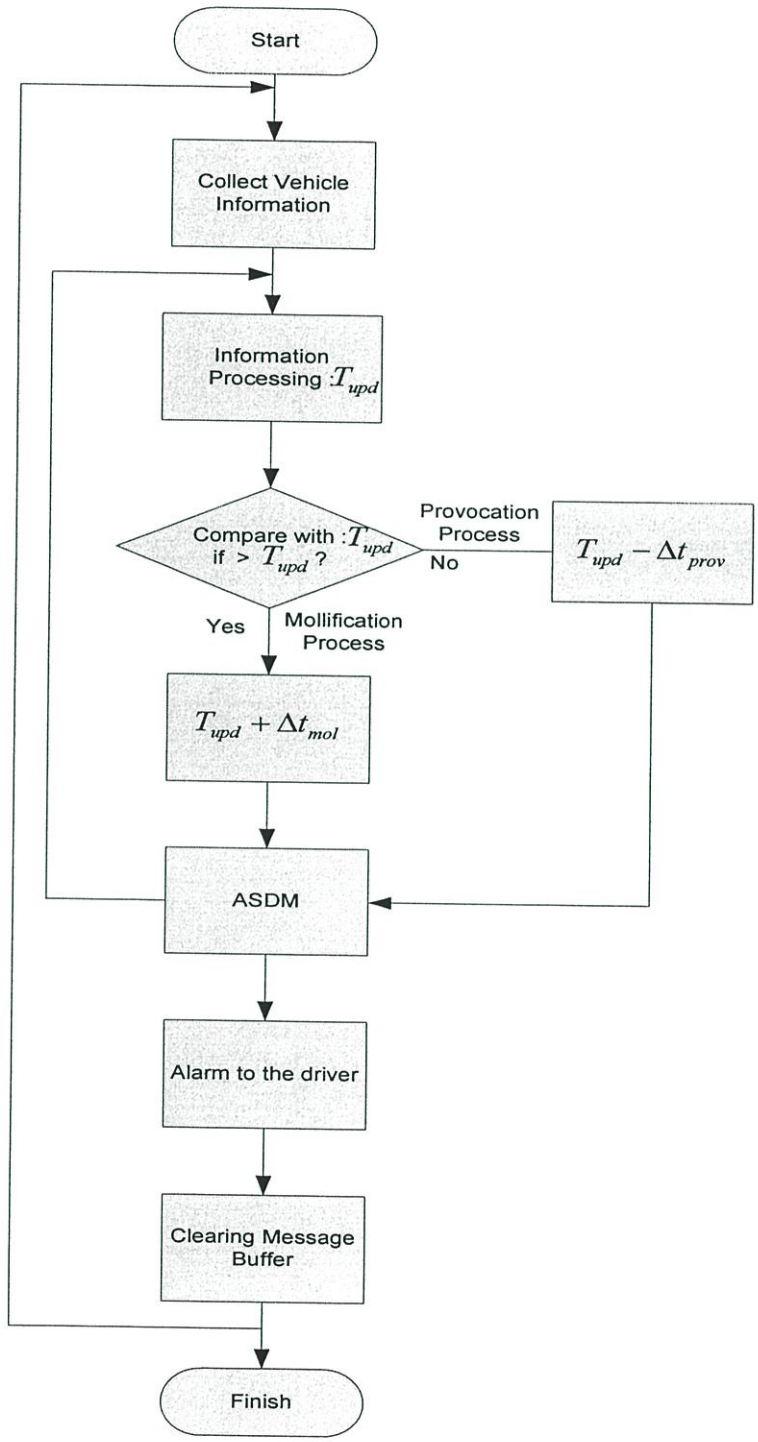
1. Provocation : กระบวนการที่ทำการลดเวลา จนกระทั่งจะมีทราฟฟิกใหม่เข้ามา
2. Mollification : กระบวนการที่ทำการเพิ่มเวลา จนกระทั่งมีทราฟฟิกใหม่เข้ามา

จากรูปที่ 4.4 จะได้

T_{upd} คือ default inter-transmission interval

$T_{upd} - \Delta t_{prov}$ เมื่อ เกิดกระบวนการ provoking

$T_{upd} + \Delta t_{mol}$ เมื่อ เกิดกระบวนการ mollifying



รูปที่ 4.5 การทำงานการปรับขนาดเฟรมและเวลาตามหลักการ SOTIS

โฟร์ชาร์ต 4.1 : แสดงกระบวนการปรับเวลาโดยใช้กระบวนการ Provoked broadcast รวมกับวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบปรับขนาดได้ โดยใช้กระบวนการ ASDM (Adaptive Space Division Multiplexing)

เริ่มจากเก็บสะสมข้อมูลของยานพาหนะ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการทางข้อมูลโดยจะได้ค่ามาตรฐานเวลา T_{upd} คือ ค่าเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถจดจำเมื่อยานพาหนะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด จากนั้นเมื่อยานพาหนะวิ่งต่อจะทำการเปรียบเทียบ T_{upd} ว่าต้องใช้เวลามากกว่าหรือน้อยกว่า T_{upd} ถ้ามากกว่าจะใช้กระบวนการ Mollification Process แต่ถ้าน้อยกว่าจะใช้กระบวนการ Provocation Process โดยระหว่างนี้จะทำกระบวนการ ASDM ร่วมด้วย โดยจะกระทำจนครบสโค๊ปในการรับ-ส่งข้อมูล จึงส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะปลายทาง จากนั้นจึงเคลียร์ข้อมูล จึงเริ่มการกระทำนี้วนซ้ำไปเรื่อยๆ

ดังนั้น จะพบว่าในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสถานการณ์ที่สูงมากย่อมต้องใช้กระบวนการที่สามารถปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์นั้นได้ เพื่อให้ได้คุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมและยอมรับได้ โดยใช้กระบวนการขั้นต้น

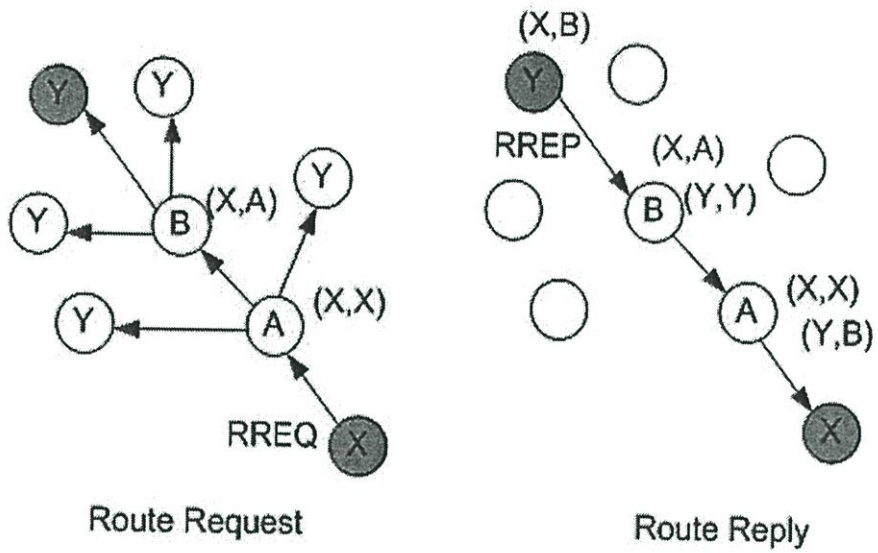
4.3 โปรโตคอลที่ใช้ในการระบุช่องสัญญาณไดนามิก DCA

(Dynamic Channel Assignment)

โปรโตคอลที่ใช้ในการระบุช่องสัญญาณ DCA (Dynamic Channel Assignment) เป็นโปรโตคอลที่ระบุเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบไร้สายประเภทแอ็ด-ฮ็อค (Ad-hoc) โดยจะมีการบรรจุข้อมูลผู้ส่งและข้อมูลที่ส่งผ่านในเฟรมข้อมูลควบคุม ส่วนเฟรมที่เหลือคือเฟรมข้อมูล ทำให้การหาเส้นทางในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นไปด้วยความถูกต้องและรวดเร็ว มีรายละเอียดดังนี้

สำหรับโปรโตคอลในการใช้งานในการระบุช่องสัญญาณไดนามิก ตามความต้องการ คือ Dynamic Channel Assignment (DCA) ซึ่งจะมีหนึ่งช่องสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมและช่องสัญญาณที่เหลือสำหรับข้อมูล ดังนั้นยานพาหนะแต่ละคันจะมี transceiver 2 ตัว คือ สามารถใช้ในการควบคุม และใช้ในการรับส่งข้อมูลได้ในขณะเดียวกัน โดยสัญญาณ RTS/CTS จะถูกแลกเปลี่ยนบนช่องสัญญาณควบคุม และข้อมูลแพ็คเกตจะถูกส่งในช่องสัญญาณข้อมูล ในแพคเก็ต RTS ผู้ส่งประกอบด้วย รายละเอียดช่องสัญญาณที่เหมาะสมในการส่ง อุปกรณ์รับ RTS ผู้รับตัดสินใจบนช่องสัญญาณและประกอบด้วยข้อมูลของช่องสัญญาณ ใน CTS แพ็กเกต จากนั้น ทั้งเฟรม DATA และ ACK จะถูกแลกเปลี่ยนบนช่องสัญญาณที่ถูกต้อง โดยอุปกรณ์ หนึ่งในสองของ transceiver จะต้องฟังสัญญาณควบคุมเสมอเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาโหนดหลบหาย โดยระบบนี้ไม่

ต้องการเกี่ยวกับการซิงโครไนซ์เซชั่น แต่ต้องการระบบมัลติชันแนลที่มีประสิทธิภาพและมีระบบควบคุมที่ส่วนหัวเล็กน้อย



รูปที่ 4.6 การร้องขอและการตอบรับในระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ [8]

จะพบว่าโปรโตคอล DCA (Dynamic Channel Assignment) สามารถประยุกต์ใช้งานในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการระบุข้อมูลผู้ส่งและข้อมูลที่ผ่านไปยังผู้รับปลายทาง ทำให้การสื่อสารรับ-ส่ง สามารถเป็นไปด้วยความรวดเร็วและถูกต้อง

4.4 โปรโตคอล RAP-IVC (Reactive and Adaptive Protocol for Inter – Vehicle Communication)

โปรโตคอล RAR-IVC (Reactive and Adaptive Protocol for Inter-Vehicle Communication) เป็นโปรโตคอล [25] ที่ใช้ลดทราฟฟิกในการส่งข้อมูลโดยแบ่งเม็สเส็จเป็น 2 ประเภท คือ Hello message และ Information message โดย Hello message จะส่งตามคาบเวลา และ Information message จะส่งเฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเท่านั้น และโปรโตคอลนี้ยังสามารถปรับขนาดสโค๊ปตามความเร็วที่เปลี่ยนแปลงเพื่อแจ้งยานพาหนะคันหลังในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินได้ทัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 หลักการทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC

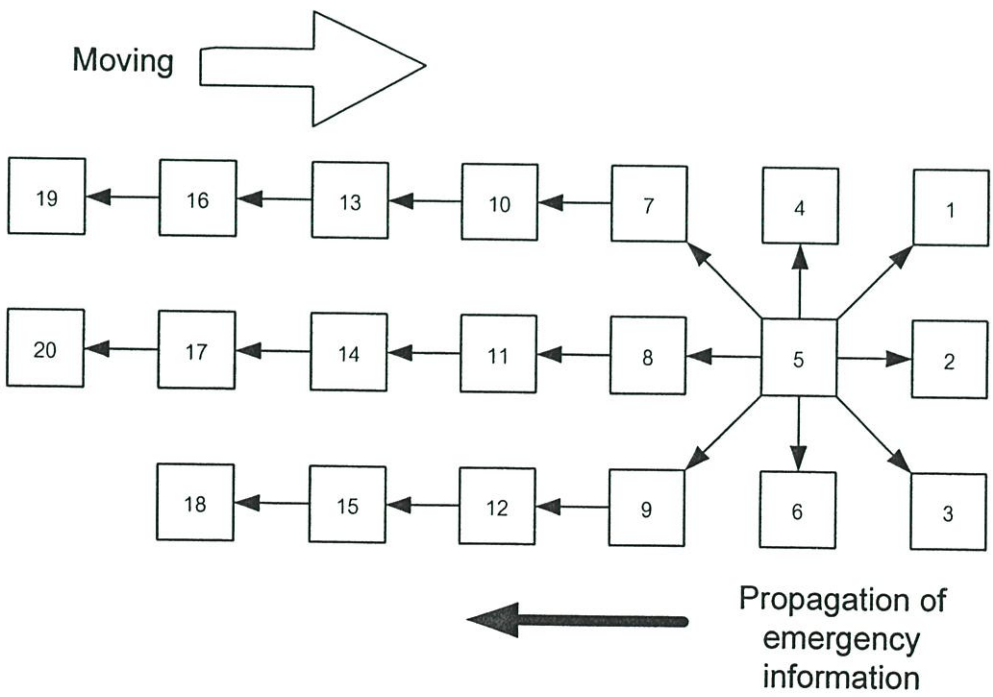
จะส่งข้อมูลยานพาหนะ (vehicular information) เมื่อเกิดการเปลี่ยนสถานะเท่านั้น อาทิ ความเร็ว, ทิศทาง หรือมีข้อมูลใหม่เข้ามา นอกจากนี้ RAP-IVC ยังปรับปรุงสโคปในการส่งเมสเส็จขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะ

4.4.2 การแบ่งเมสเส็จของโปรโตคอล RAP-IVC แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. Hello message : ส่งตามคาบเวลาเพื่อแจ้งให้ยานพาหนะใกล้เคียงได้ทราบถึงสถานะปัจจุบันโดยเมสเส็จมีขนาดเล็กมาก
2. Data message : ส่งเมื่อยานพาหนะเปลี่ยนปลงสถานะ อาทิ ความเร็ว, ทิศทาง หรือได้รับข้อมูลใหม่ หรือตรวจจับได้ว่ามียานพาหนะใกล้เคียงใหม่ (หลังจากได้รับ Hello message)

4.4.3 การปรับขนาดสโคปตามหลักการ โปรโตคอล RAP-IVC

ในระบบ IVC ยานพาหนะสามารถเคลื่อนย้ายในความเร็วที่แตกต่าง ดังนั้น RAP-IVC สามารถปรับสโค๊ปตามความเร็วที่เปลี่ยนแปลง ดังตัวอย่าง ยานพาหนะวิ่งในมอเตอร์เวย์ด้วยความเร็ว 120 km/h แล้วเกิดอุบัติเหตุ ยานพาหนะคันดังกล่าวควรแจ้งข้อมูลข่าวสารอย่างน้อย 100 ยานพาหนะที่ตามหลังเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ แต่ถ้ายานพาหนะวิ่งที่ 40 km/h แล้วเกิดอุบัติเหตุ ยานพาหนะคันดังกล่าวควรแจ้งเพียง 10 หรือ 15 คัน หลังยานพาหนะนั้น

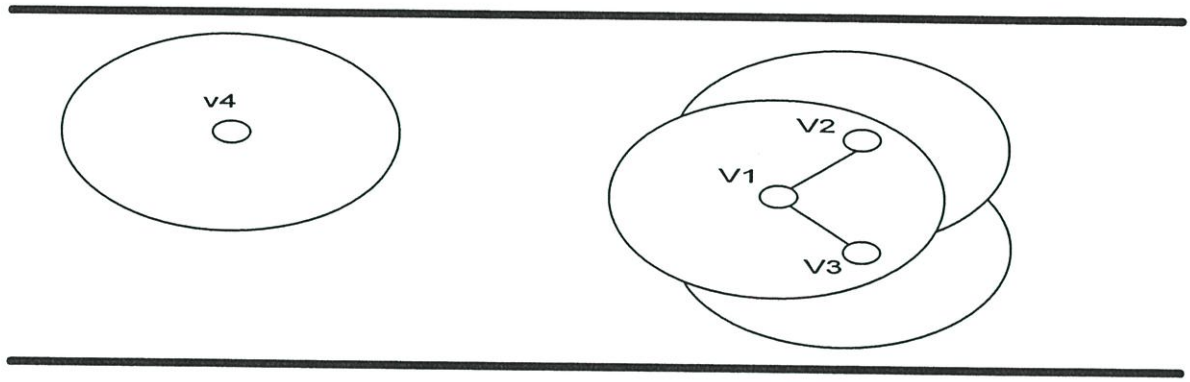


รูปที่ 4.7 การแจ้งข้อมูลหลังเกิดเหตุฉุกเฉิน [25]

4.4.4 แบบจำลองการทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC

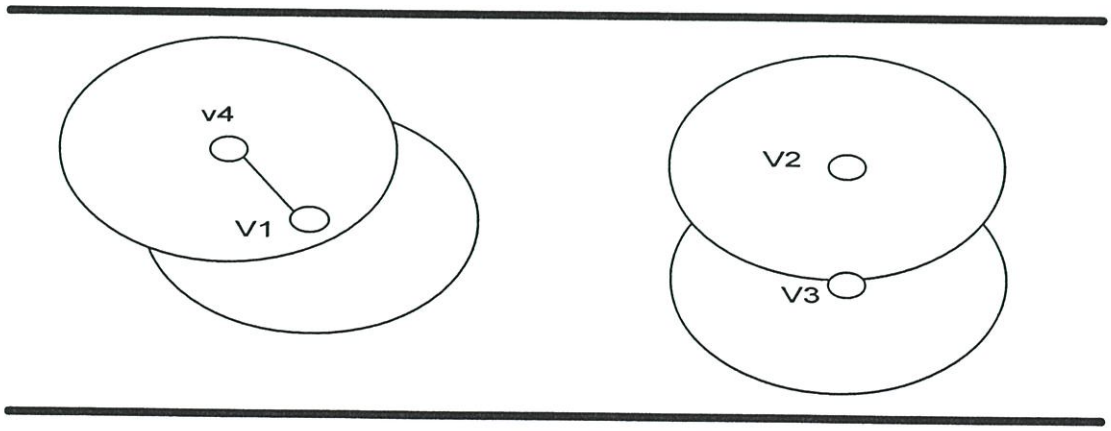
สมมติยานพาหนะ 4 คัน (V_1, V_2, V_3 และ V_4) และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน

สมมติว่ายานพาหนะ V_2 และยานพาหนะ V_3 อยู่ในช่วงการสื่อสาร (communication range) ของยานพาหนะ V_1 ดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นยานพาหนะ V_2 และยานพานหะ V_3 สามารถติดต่อสื่อสารกับ ยานพาหนะ V_1 ได้ ในสถานะต้น ยานพาหนะทั้งสามเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากันและจะแลกเปลี่ยนกันเฉพาะ Hello message

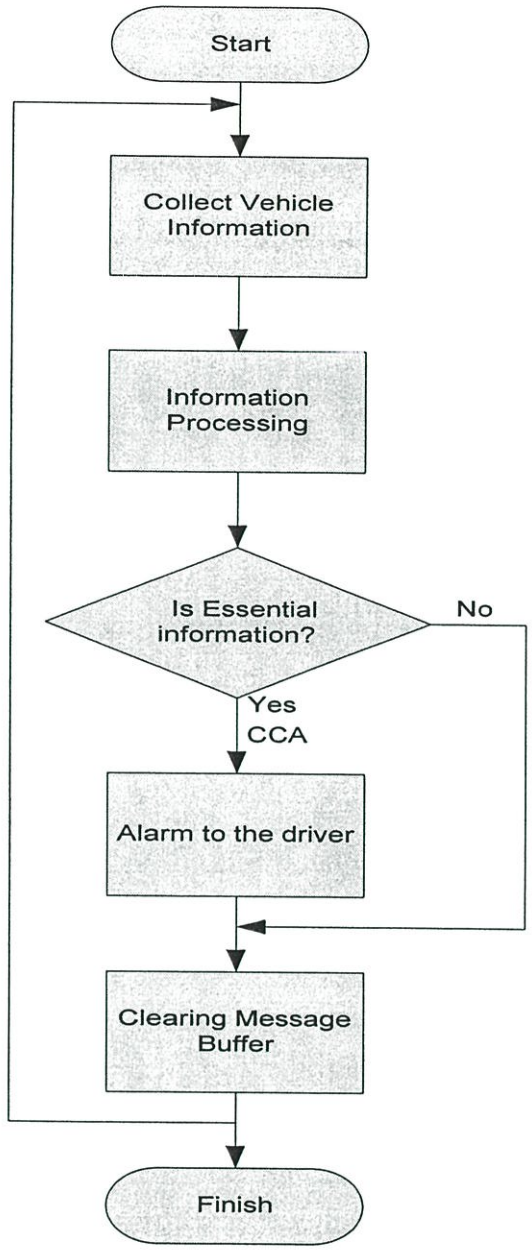


รูปที่ 4.8 สภาวะต้นของโปรโตคอล RAP-IVC [25]

เมื่อยานพาหนะ V_1 เร่งให้เร็วขึ้นยานพาหนะ V_1 จะส่งเมสเส็จเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้ยานพาหนะ V_2 และ ยานพาหนะ V_3 จนกระทั่งไม่ใช้ยานพาหนะใกล้เคียง จากนั้น ยานพาหนะ V_1 จะยกเลิกการส่งข้อมูล ยกเว้น Hello message รูปที่ 4.9 แสดงขั้นที่ 2 เมื่อยานพาหนะ V_1 เข้ารวมกับยายพาหนะ V_4 จากนั้นจะส่ง Hello message จากนั้นยานพาหนะ V_1 และยานพาหนะ V_4 จะเข้าร่วมกันและเริ่มต้นการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูล



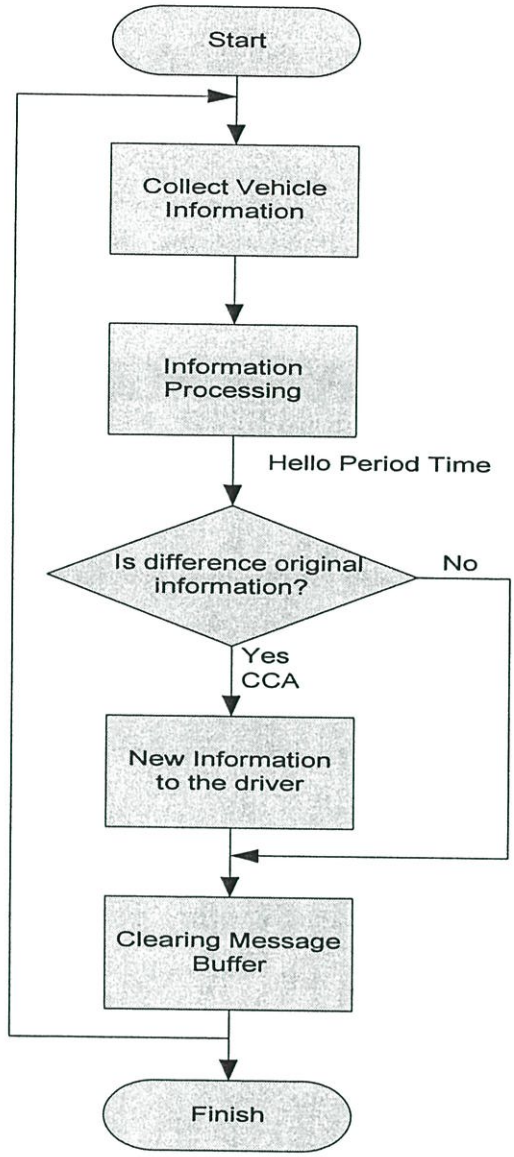
รูปที่ 4.9 สภาวะที่สองของโปรโตคอล RAP-IVC [25]



รูปที่ 4.10 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC

รูปที่ 4.10 : แสดงกระบวนการตัดสินใจในการส่งข้อมูลระหว่างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ของโปรโตคอล RAP-IVC

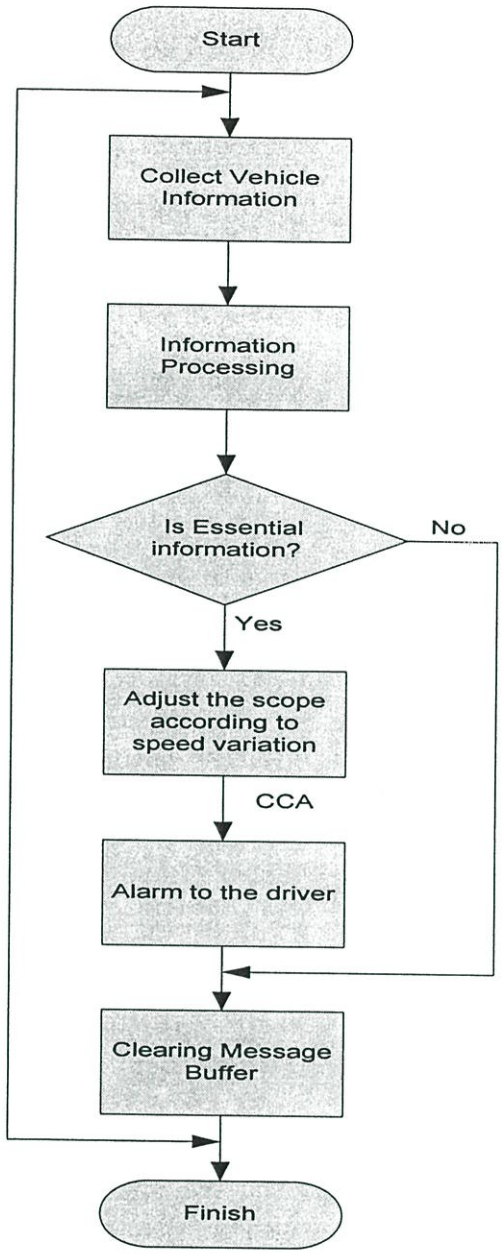
เริ่มจากเก็บสะสมข้อมูลของยานพาหนะ [15] จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการทางข้อมูล แล้วจึงเริ่มกระบวนการตัดสินใจว่าข้อมูลมีความจำเป็นหรือไม่ ถ้าไม่มีความจำเป็นจะไปที่กระบวนการเคลียร์ข้อมูล แต่ถ้าข้อมูลมีความจำเป็นจะแจ้งให้ยานพาหนะข้างเคียงทราบจึงจะไปที่กระบวนการเคลียร์ข้อมูล จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการนี้ซ้ำไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.11 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC ในการส่งเม็สเส็จ

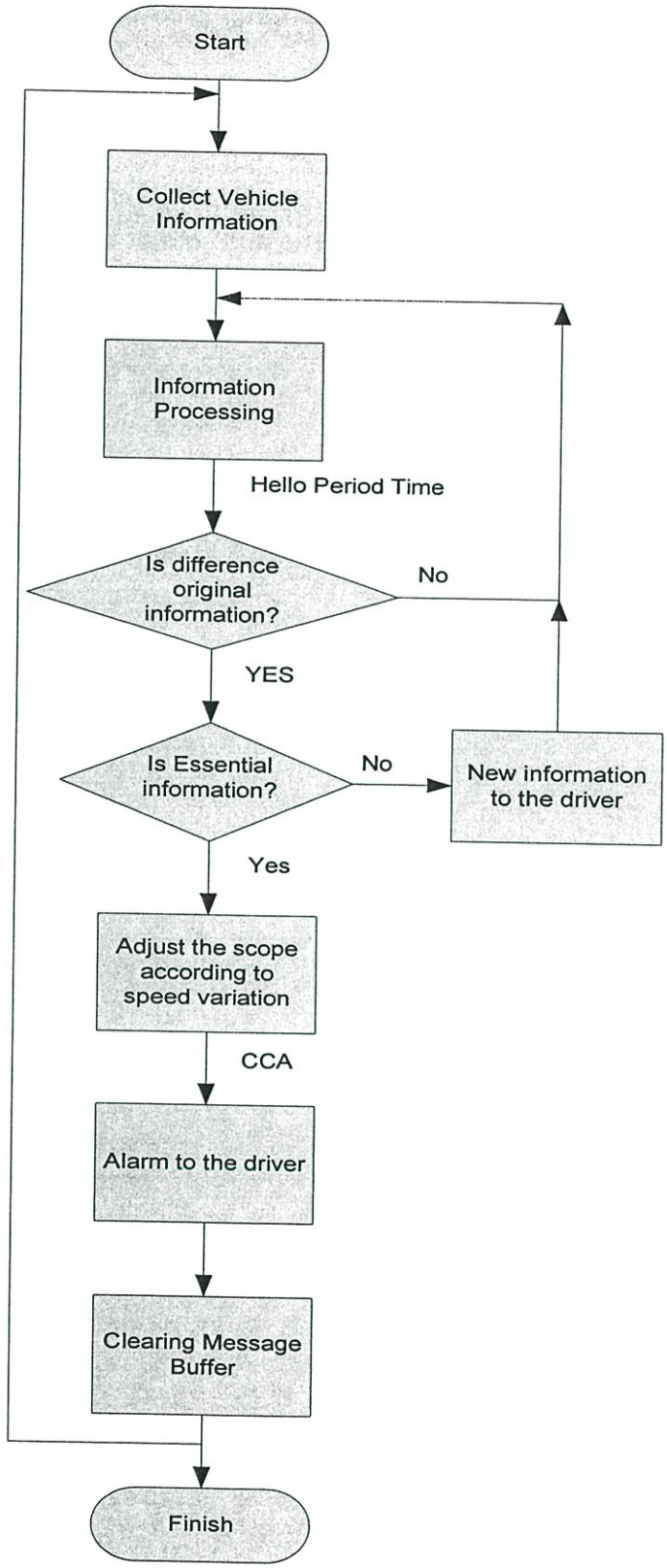
รูปที่ 4.11 : แสดงกระบวนการตัดสินใจส่งเม็สเส็จระหว่าง Hello message กับ Information message

เริ่มจากเก็บสะสมข้อมูลของยานพาหนะ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการทางข้อมูล แล้วจึงส่ง Hello message เพื่อทำการตรวจสอบยานพาหนะที่อยู่ข้างเคียง จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิม ถ้าสถานะภาพ (ทิศทาง, ความเร็ว หรือยานพาหนะใหม่) มีการเปลี่ยนแปลงจะทำการส่งข้อมูลใหม่ (New information message) ให้กับยานพาหนะข้างเคียงจึงทำการเคลียร์ข้อมูล แต่ถ้าสถานะภาพคงเดิมจะไม่ทำการส่งข้อมูลและจะทำการส่งแต่ Hello message เพียงเพื่อทำการเช็คสถานะภาพเท่านั้น กระบวนการนี้จะวนซ้ำไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.12 การทำงานของโปรโตคอล RAP-IVC ในการส่งเม็สเส็จเร่งด่วน

รูปที่ 4.12: แสดงกระบวนการปรับสโคปข้อมูลตามการเปลี่ยนแปลงความเร็ว เริ่มจากเก็บสะสมข้อมูลของยานพาหนะ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการทางข้อมูล แล้วจึงเริ่มกระบวนการตัดสินใจว่าข้อมูลมีความจำเป็นหรือไม่ (ความเร็วเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันหรือไม่) ถ้าความเร็วปกติจะทำการเคลียร์ข้อมูลและยังคงใช้สโค๊ปเดิม แต่ถ้าความเร็วเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (อุบัติเหตุ) จะทำการปรับขนาดสโค๊ปตามความเร็วที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจะทำการส่ง CCA (Cooperative Collision Avoidance) เพื่อทำการแจ้งยานพาหนะคันหลังที่ตามมา จากนั้นจึงทำการเคลียร์ข้อมูลจึงเริ่มกระบวนการใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 4.13 กระบวนการส่งเม็ดเสเ็จและกระบวนการปรับสโค๊ปตามหลักโปรโตคอล RAP-IVC

รูปที่ 4.13 : แสดงกระบวนการส่งเม็สเส็จและกระบวนการปรับสโค๊ปตามหลักโปรโตคอล RAP-IVC

เริ่มจากเก็บสะสมข้อมูลของยานพาหนะ จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการทางข้อมูล แล้วจึงเริ่มกระบวนการตัดสินใจ หลังจากส่ง Hello message (Hello period time) โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิม ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะยังคงส่ง Hello message ต่อ แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทางข้อมูลจะทำการส่ง Information message ใหม่ จากนั้นจะทำการตัดสินใจครั้งที่สองว่ามีความจำเป็นมากหรือธรรมดา ถ้าธรรมดาจะทำการส่งข้อมูลให้กับยานพาหนะแล้วจึงเริ่มกระบวนการเดิม แต้ถ้าข้อมูลมีความสำคัญเร่งด่วนจะทำการปรับสโค๊ป แล้วจึงทำการส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะ (CCA) จากนั้นจึงทำการเคลียร์ข้อมูลแล้วจึงเริ่มกระบวนการใหม่ต่อไป

จะพบว่าโปรโตคอล RAP-IVC (Reactive and Adaptive Protocol for Inter-Vehicle Communication) สามารถลดทราฟฟิกในการส่งข้อมูลได้เป็นอย่างมากเมื่อทำการเปรียบเทียบกับโปรโตคอลแบบเดิมที่ทำการส่งข้อมูลทั้งหมด และยังสามารถปรับเปลี่ยนสโค๊ปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นบนท้องถนน ทำให้โปรโตคอลนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นอย่างดี

สำหรับในบทต่อไป จะแสดงผลกระทบจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ และการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ อันได้แก่ 1. ปรากฏการ์ณดอปเปอร์ 2 . การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น 3. ปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง และ 4 . การลดลงของค่าวิสัยสามารถ ซึ่งล้วนเป็นผลกระทบจากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะทั้งสิ้น โดยจะแสดงผลออกเป็นกราฟ เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ และ จะมีการอธิบายระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โครงสร้างระหว่างยานพาหนะ การวิเคราห์ค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอลและการหน่วงเวลาของโปรโตคอล CSMA/CA โครงสร้างยานพาหนะและโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์ และการวิเคราะห์ตลอดจนการวิเคราห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญญลักษณ์ อย่างละเอียด ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์

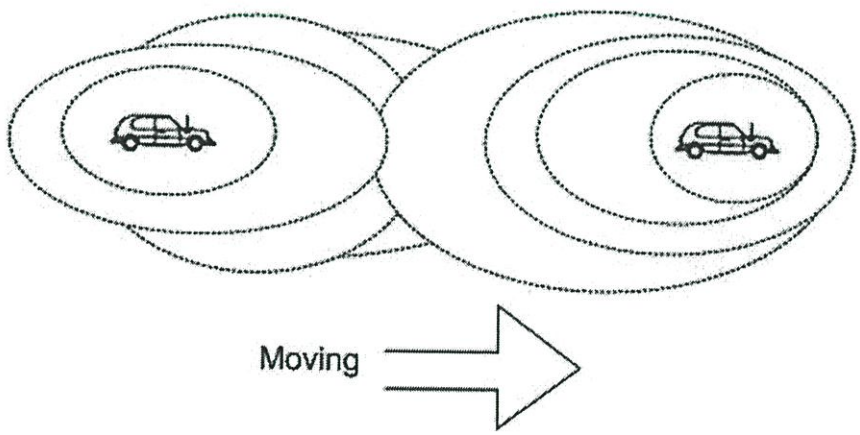
บทที่ 5
ผลกระทบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะและการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

5.1 ผลกระทบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับยานพาหนะ แม้จะเป็นการสื่อสารแนวใหม่และเป็นการประยุกต์ใช้การสื่อสารไร้สายเข้ากับการสื่อสารทางคมนาคมเข้าด้วยกัน และสามารถประยุกต์ใช้กับบริการสมัยใหม่มากมายดังที่กล่าวมาแล้ว แต่จะพบว่ามีผลกระทบหลายอย่างจากการใช้การสื่อสารประเภทนี้ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางความถี่อันเนื่องมาจากความเร็วจากยานพาหนะ (Doppler Shift) การสูญเสียเนื่องจากการเดินทางของคลื่น (Path Loss) ตลอดจนการสะท้อนของคลื่นจากสภาพแวดล้อม (Multi-path Fading) ทั้งหมดที่กล่าวมาล้วนเป็นปัญหาทางกายภาพ (Physical) และมีผลกระทบถึงชั้นที่มีการส่ง-รับข้อมูล (Data Link Layer) อันเนื่องมาจากการผ่านยานพาหนะจำนวนมากทำให้ค่าวิสัยสามารถลดลง (Degradation of Throughput) ในบทนี้เราจะทำการศึกษาผลกระทบต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น

5.1.1ปรากฏการณ์ดอปเปอร์ (Doppler Shift)

เนื่องจากการที่ยานพาหนะสามารถปรับเปลี่ยน [5] ความเร็วได้อย่างอิสระ จึงทำให้มีผลกระทบจากปรากฏการณ์ดอปเปอร์ อันจะทำให้ค่าความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงสมการและกราฟ ดังรูป



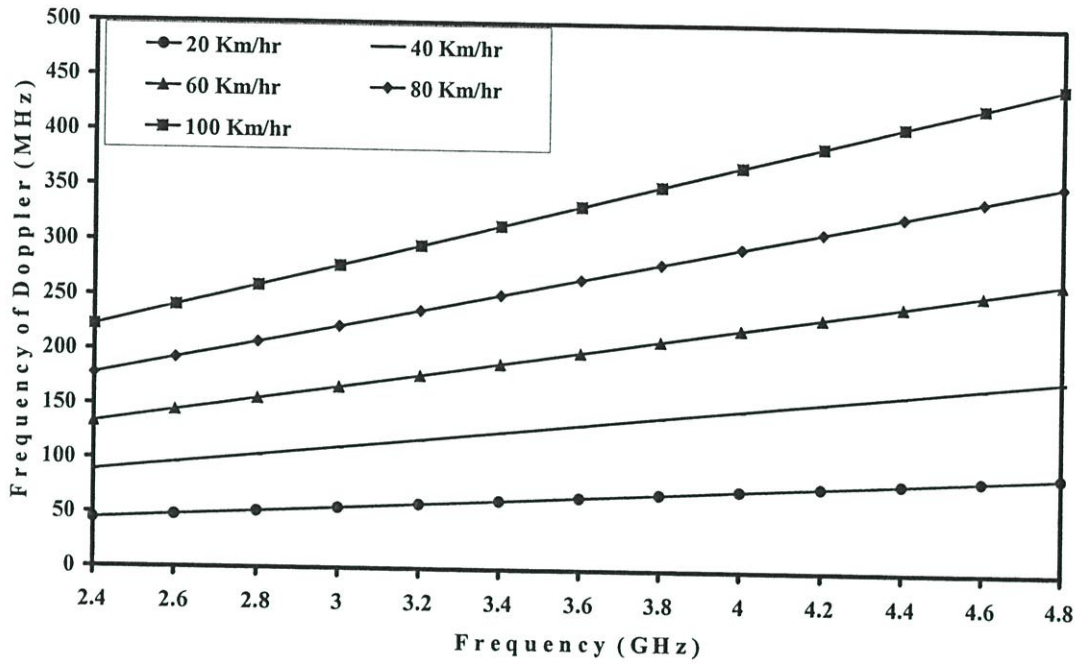
รูปที่ 5.1 การเลื่อนเฟสอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ดอปเปอร์ [5]

$$f_{Doppler} = f_0 \times \frac{V}{C - V} \tag{5.1}$$

เมื่อ f_0 คือ ความถี่ของสัญญาณ

V คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของยานพาหนะส่งและยานพาหนะรับ

C คือ ความเร็วแสงในสูญญากาศ



รูปที่ 5.2 ผลกระทบปรากฏการณ์ดอปเปอร์ เมื่อใช้ความถี่ต่างๆ ภายใต้ความเร็วของยานพาหนะ

จะพบว่า เมื่อใช้ค่าความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณที่สูงขึ้น (2.4 – 4.8 GHz) จะทำให้การเลื่อนค่าความถี่เพิ่มมากขึ้น ตามความเร็วของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงมากขึ้น (20 – 100 Km/h)

5.1.2 การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น (Path Loss)

เนื่องจากคลื่นที่ใช้เป็นคลื่นวิทยุซึ่งคลื่นวิทยุ [6] ก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเหมือนกัน ดังนั้น ความแรงของสัญญาณวิทยุก็จะลดลงตามระยะห่างจากยานพาหนะส่งไปยังยานพาหนะรับ ดังแสดงตามสมการและกราฟ ดังรูป

$$L = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \tag{5.2}$$

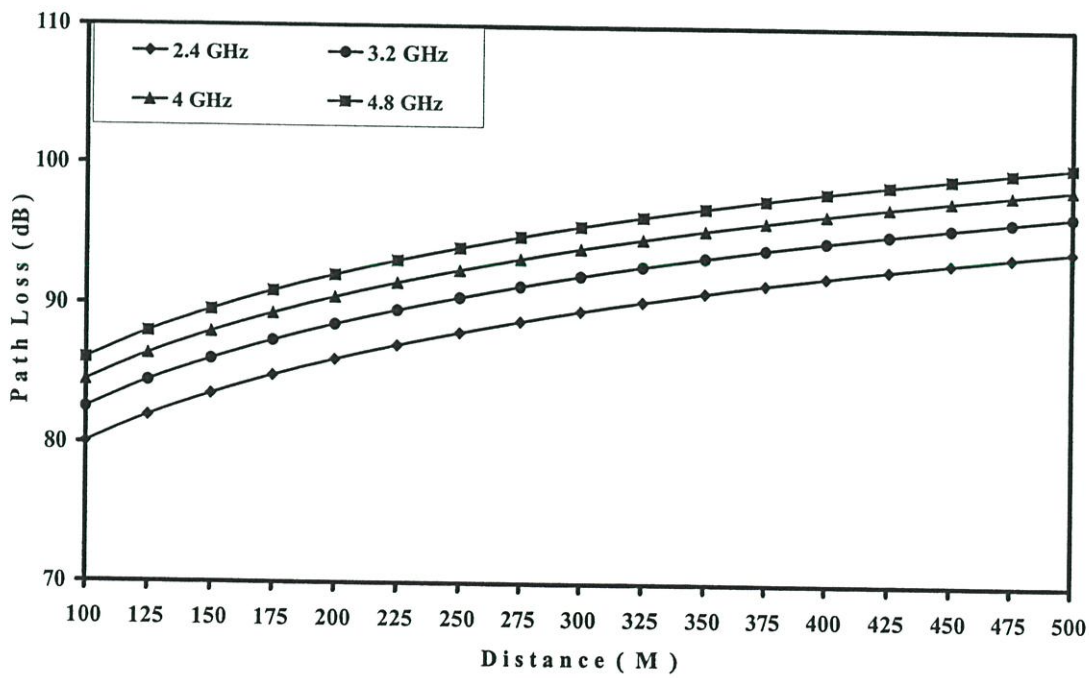
เขียนในรูป dB จะได้

$$L = 20\log\frac{4\pi d}{\lambda} \quad \text{(dB)} \tag{5.3}$$

เมื่อ L คือ ค่าการสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น (dB)

D คือ ระยะห่างจากยานพาหนะส่งไปยังยานพาหนะรับ (เมตร)

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ใช้ในการส่ง (เมตร)

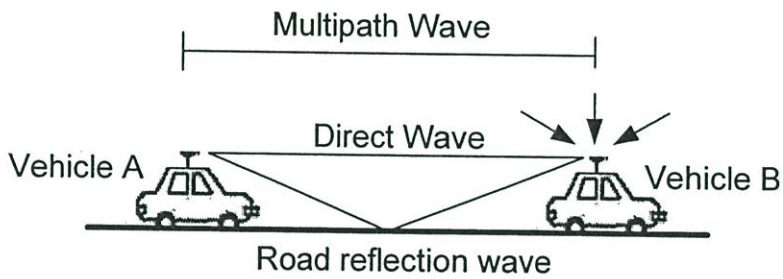


รูปที่ 5.3 การสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น เมื่อแปรผันระยะทาง ภายใต้ค่าความถี่ต่างๆ

จะพบว่า ค่าการสูญเสียจากการเดินทางของคลื่น จะแปรผันตามระยะทางและค่าความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณ กล่าวคือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าการสูญเสียจากการเดินทางของคลื่นมากขึ้น ยิ่งถ้าใช้ค่าความถี่ในการส่งสัญญาณมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าการสูญเสียจากการเดินทางของคลื่นสูงขึ้น ตามลำดับ

5.1.3 ปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multi - Path Fading)

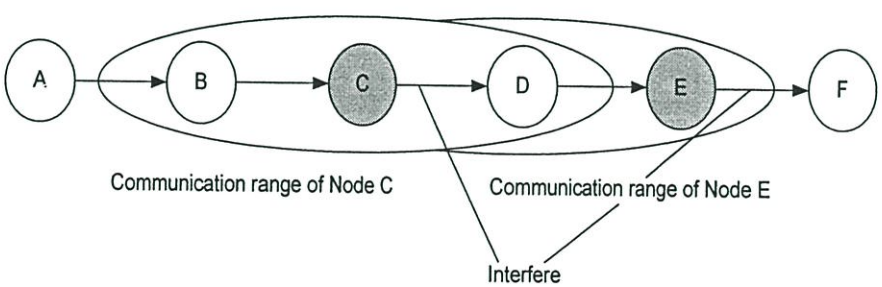
เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ยานพาหนะใช้วิ่งผ่าน [6] ประกอบด้วย ตึก อาคาร สิ่งก่อสร้างมากมาย ต้นไม้ แม้แต่ละอองน้ำในอากาศก็จะทำให้คลื่นเกิดการหักเหและสะท้อนไปในทิศทางต่างๆ จนทำให้เกิดการตัดสินบิตผิดพลาดที่ภาครับ นับว่าเป็นปัญหาหลักในการผลกระทบในชั้นกายภาพ ดังแสดงในรูป 5.4



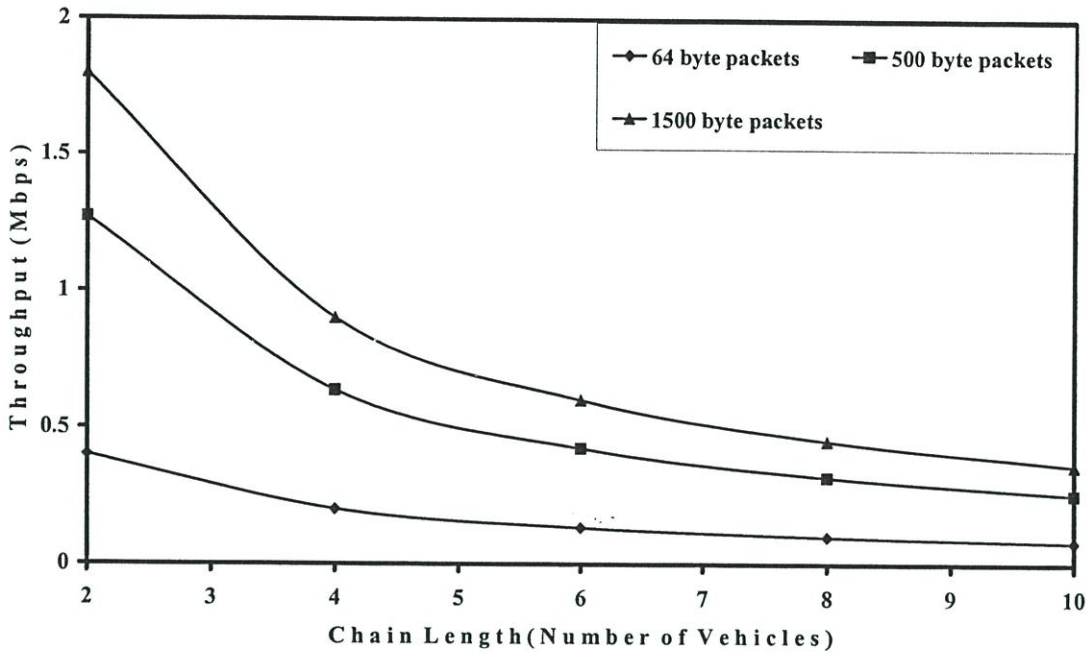
รูปที่ 5.4 การเกิดปรากฏการณ์มัลติพาทเฟดดิ้ง [6]

5.1.4 การลดลงของค่าวิสัยสามารถ (Degradation of Throughput)

เนื่องจากการส่งผ่านข้อมูลที่ผ่านหลายยานพาหนะ [11] ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง ตามจำนวนยานพาหนะที่ผ่านดังแสดงในกราฟ ดังรูป



รูปที่ 5.5 ปัญหาการลดลงของค่าวิสัยสามารถ [11]



รูปที่ 5.6 การลดลงของค่าวิสัยสามารถตามจำนวนยานพาหนะที่ตัดผ่าน

จะพบว่า ค่าวิสัยสามารถ จะลดลงตามจำนวนยานพาหนะ ที่ตัดผ่าน และเมื่อเราใช้ขนาดแพ็กเกตที่มีขนาดเล็ก จะมีอัตราการลดลงของค่าวิสัยสามารถต่ำกว่า แพ็กเกตที่มีขนาดใหญ่

จากส่วนนี้จะเห็นได้ว่า การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ แม้จะให้ประโยชน์ทั้งทางการสื่อสารและการจราจร แต่ก็ยังมีผลกระทบจากกระบวนการสื่อสารไร้สาย ซึ่งอาจจะทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ไม่ดีอย่างที่ควร ในส่วนต่อไป จะทำการวิเคราะห์การรับ-ส่งข้อมูล ด้วยโปรโตคอล CSMA/CA ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีจุดเด่น คือ มีประสิทธิภาพในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โดยทำการเพิ่มค่าการหน่วงเวลา Random Back off ในการส่งข้อมูล และมีความเหมาะสมกับการส่งข้อมูลที่มีทราฟฟิกสูงๆ โดยจะทำการพิจารณาจากค่าวิสัยสามารถ กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้จำนวนฮ๊อพ และ ค่าการหน่วงเวลา กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนฮ๊อพและจะมีการพิจารณาผลกระทบจากช่องสัญญาณการจางหายชนิดไรซ์ด้วย

5.2 การวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยใช้โปรโตคอล CSMA/CA ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทข้างต้น โดยในส่วนนี้จะทำการพิจารณาระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เป็น 3 ส่วน ดังนี้

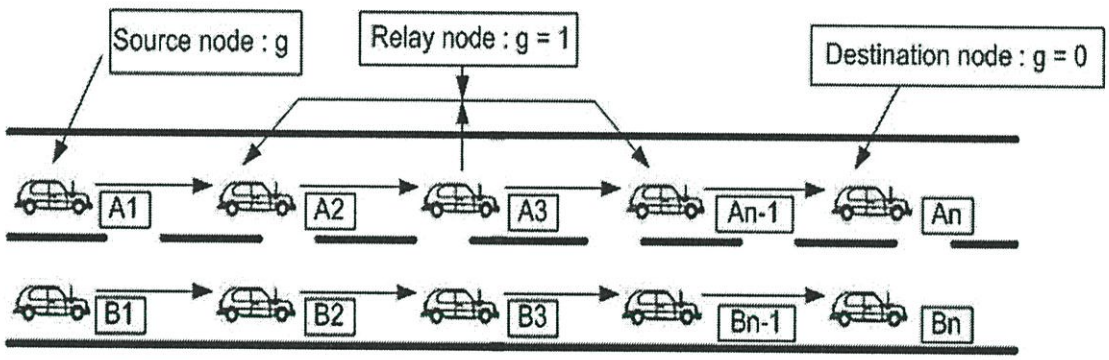
1. โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ
2. โปรโตคอล CSMA/CA

- การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล CSMA/CA
- การวิเคราะห์ค่าการหน่วงเวลาของโปรโตคอล CSMA/CA

3. โครงสร้างยานพาหนะและโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์และการวิเคราะห์

- โครงสร้างยานพาหนะ
- โครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์
- การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญลักษณ์

5.3 โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

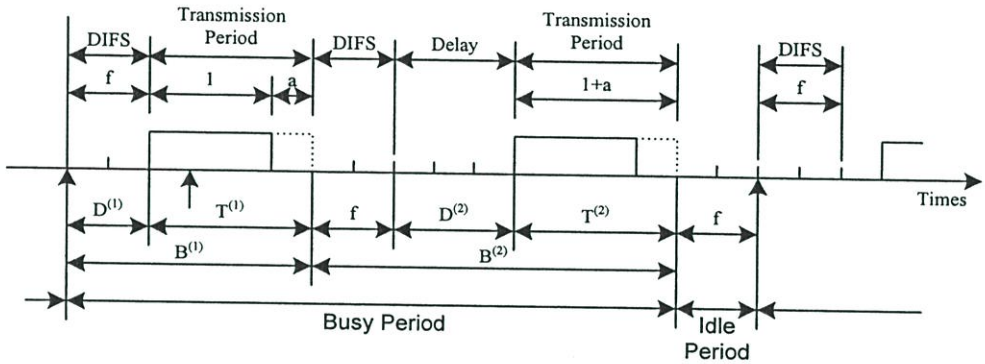


รูปที่ 5.7 โครงสร้างการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ยานพาหนะ คันเริ่มต้นที่ต้องการส่งข้อมูลเริ่มต้น [21] จะทำการส่งข้อมูลด้วยความน่าจะเป็นที่จะสร้างแพ็กเกตใหม่ (g) และยานพาหนะคันอื่น จะเป็นตัวส่งตัวข้อมูลโดยอาจจะมีการส่งข้อมูลเพิ่มหรือไม่ส่งก็ได้ ด้วยความน่าจะเป็น ($g=1$) จนไปถึงยานพาหนะปลายทาง ซึ่งเป็นยานพาหนะปลายทาง ยานพาหนะไม่ต้องส่งข้อมูล ทำเพียงการรับข้อมูล ด้วยความน่าจะเป็น ($g=0$)

5.4 ทฤษฎีและหลักการโปรโตคอล CSMA/CA

โดยสรุปการทำงาน คือ ยานพาหนะ [22] ที่ต้องการใช้ช่องสัญญาณในการส่งสัญญาณข้อมูลนั้น ก่อนทำการส่งจะต้องตรวจช่องสัญญาณว่าว่างเป็นระยะเวลาเท่ากับ *DIFS* ก่อน ถ้ายังคงว่างอยู่จึงสามารถส่งสัญญาณได้ หากการส่งครั้งแรกไม่ว่างก็จะทำการรอโดยใช้หลักการดังที่กล่าวมาแล้ว)จนสิ้นสุดการส่งสัญญาณที่ตรวจพบ $+a+DIFS$ (เพียงแต่ว่าจะมีการสุ่มเวลามารอเพิ่มเข้าไปอีกก่อนที่จะทำการส่งได้ ซึ่งค่าเวลาที่สุ่มนี้จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนครั้งที่พยายามใช้ช่องสัญญาณแต่พบว่าช่องสัญญาณยังคงไม่ว่าง โดยจะมีค่าจำกัดไว้ที่ค่าๆหนึ่งตามมาตรฐาน IEEE 802.11



รูปที่ 5.8 แบบจำลองช่องสัญญาณของโปรโตคอลแบบ CSMA/CA [22]

5.4.1 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถที่ใช้วิธีการเข้าถึงแบบ CSMA/CA

เราจะสมมติว่าช่วงเวลาแบบออกไปเป็นสล็อต (Slot) ซึ่งแต่ละสล็อตมีค่าเท่ากับ a หรือ มีค่าเท่ากับ propagation delay นั่นเอง ในระบบมีผู้ใช้อยู่ M ยานพาหนะ แต่ละยานพาหนะจะสร้างแพ็กเกตเข้ามาในระบบด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ g และแต่ละยานพาหนะจะส่งสัญญาณออกไปด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ p ซึ่งค่านี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการหน่วงเวลาแบ็คออฟ (Back off Delay) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 สภาวะของช่องสัญญาณที่สามารถเป็นไปได้มี 2 สภาวะ คือ ว่าง (Idle) และไม่ว่าง (Busy) ค่าวิสัยสามารถทีทำการวิเคราะห์จะเป็นไปตามสมการที่ (5.4)

$$S = \frac{\overline{U}}{\overline{B} + \overline{I}} \tag{5.4}$$

โดยที่ S = ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

U = ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลและส่งได้สำเร็จ (Useful Transmission)

B = ช่วงเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดในการส่งสัญญาณข้อมูล (Busy Period)

I = ช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการส่งสัญญาณข้อมูล (Idle Period)

ก่อนอื่นเราต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของ U , B และ I ให้ได้ก่อนจึงสามารถหาค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถได้ จากรูปที่ 5.8 ช่วงเวลา B จะถูกแบ่งออกเป็น sub busy period ซึ่งแต่ละ sub busy period ประกอบด้วยช่วงเวลาที่รอคอยเนื่องจากการสุ่มค่าออกมาและช่วงเวลาในการส่งสัญญาณข้อมูล เราจะทำการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการแทนช่วงเวลาเหล่านี้ ดังนี้

$B^{(k)}$ = sub busy period ที่ k ใดๆ

$D^{(k)}$ = ช่วงเวลาที่ต้องรอคอยต่อไปเนื่องจากค่าที่สุ่มออกมาได้ของ sub busy period ที่ k ใดๆ

$T^{(k)}$ = ช่วงเวลาในการส่งสัญญาณข้อมูลของ sub busy period ที่ k ใดๆ

ในช่วงเวลา $B^{(1)}$, $D^{(1)}$ ก็คือ ค่าของ $DIFS$ นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ $k \geq 2$, ค่าของ $B^{(k)}$ จะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) จะประกอบด้วยสามส่วนด้วยกันคือ $DIFS$, $D^{(k)}$ และ $T^{(k)}$ ค่าของ $DIFS$ จะสมมติให้มีค่า 1 สล็อตซึ่งมีขนาดเท่ากับ $f(1\times a)$ จากรูปที่ 5.8พบว่า $T^{(k)}$ จะมีค่าคงที่เท่ากับ $1+a$ เสมอไม่ว่าการส่งนั้นจะเป็นการส่งที่สำเร็จหรือไม่สำเร็จก็ตาม สมมติว่าให้ J เป็นตัวแปรสุ่มที่บอกจำนวน sub busy period ทั้งหมดใน busy period, B และเช่นเดียวกัน ช่วงเวลาที่มีการส่งสัญญาณข้อมูลสำเร็จก็มีจำนวนเท่ากับ J เช่นกัน ดังสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.5) และ (5.6)

$$B = \sum_{k=1}^{J} B^{(k)} \tag{5.5}$$

$$U = \sum_{k=1}^{J} U^{(k)} \tag{5.6}$$

ต่อมาเราจะต้องทำการหาว่าจำนวนของ sub busy period ในช่วงเวลา busy period มีค่าเท่าใดในระเบียบการเข้าถึงแบบ CSMA/CA นั้นทุกยานพาหนะ สามารถจะส่งสัญญาณข้อมูลได้หลังจากตรวจแล้วว่าช่องสัญญาณว่างเป็นระยะมากกว่าหรือเท่ากับ $DIFS$ ดังนั้นช่วงเวลา busy period จะมีอยู่ต่อไปเรื่อยๆ ตราบใดที่ยังมีข้อมูลจากสถานีใดๆ ถูกสร้างขึ้นระหว่างช่วงเวลา $T^{(k)}+DIFS$ สุดท้ายของ busy period ดูรูปที่ 5.8 ประกอบ กำหนดให้ TP แทนผลรวมของ $T^{(k)}+DIFS$ สุดท้ายของ busy period ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$TP = 1 + a + f \tag{5.7}$$

จาก g = ความน่าจะเป็นที่แต่ละยานพาหนะจะสร้างแพ็กเกตข้อมูลขึ้นมาใน 1สล็อต

$1-g$ = ความน่าจะเป็นที่แต่ละยานพาหนะจะไม่สร้างแพ็กเกตข้อมูลขึ้นมาใน 1สล็อต

$(1-g)^M$ = ความน่าจะเป็นที่ยานพาหนะทั้งหมด M ยานพาหนะจะไม่สร้างแพ็กเกตขึ้นมาใน 1 สล็อต

$(1-g)^{(TP/a)M}$ = ความน่าจะเป็นที่ยานพาหนะทั้งหมด M ยานพาหนะจะไม่สร้างแพ็กเกตขึ้นมาใน TP/a สล็อต

$\left[1-(1-g)^{(TP/a)M}\right]$ = ความน่าจะเป็นที่จะมีอย่างน้อยหนึ่งยานพาหนะที่จะสร้างแพ็กเกตขึ้นมาใน TP/a สล็อต

เพราะฉะนั้นจะได้ความน่าจะเป็นที่ $J = j$ สามารถแสดงได้ดังนี้ สมมติว่าในช่วง TP ที่ผ่านไป $j-1$ ช่วงมีการสร้างแพ็กเกตมาเรื่อยๆ จนกระทั่งในช่วง TP ที่ j ไม่มีการสร้างแพ็กเกตมาเลย แสดงว่าเมื่อช่วง TP ที่ j นี้แล้วจะเป็นการสิ้นสุดของ busy period ด้วย จะได้ว่า

$$\Pr[J = j] = \left[1-(1-g)^{(TP/a)M}\right]^{j-1}(1-g)^{(TP/a)M} \tag{5.8}$$

จากสมการที่ (5.8) จะเห็นว่า J มีการแจกแจงแบบเรขาคณิต (Geometric Distributions) จะได้ค่าเฉลี่ย (Mean Value) ของ J สามารถหาได้จา กสมการที่ (5.9)

$$\bar{J} = \frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}} \tag{5.9}$$

พิจารณาว่า $B^{(1)}$ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาในระหว่างสล็อตสุดท้าย ก่อนที่จะมีการเริ่ม busy period ขณะที่ในกรณีที่ $B^{(k)}$ อื่นๆ เมื่อ $k \geq 2$ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาในช่วง TP สุดท้าย เพราะฉะนั้นจะได้ว่าค่าเฉลี่ยของ busy period สามารถหาได้ดังสมการที่ (5.10)

$$\begin{aligned} \bar{B} = E[B] &= E\left[\sum_{k=1}^{J} B^{(k)}\right] \\ &= E\left[B^{(1)}\right] + E\left[\sum_{k=2}^{J} B^{(k)}\right] \end{aligned} \tag{5.10}$$

เราจะต้องทำการกระจายส่วนที่ 2 ของสมการที่ (5.10) เพราะฉะนั้นเมื่อกำหนดให้ $J = j$ ใดๆ เราจะได้

$$E\left[\sum_{k=2}^{J} B^{(k)} | J = j\right] = \sum_{k=2}^{J} E\left[B^{(k)} | J = j\right] \tag{5.11}$$

เพราะว่าช่วง $B^{(k)}$ เมื่อ $k \geq 2$ จะอิสระจากกันแบบ i.i.d (Independent Identical Distributions) และอิสระจาก J จะได้ว่า

$$E\left[\sum_{k=2}^{J} B^{(k)} | J = j\right] = (j-1)E\left[B^{(2)}\right] \tag{5.12}$$

เพราะฉะนั้นจากสมการที่ (5.12) จะได้ว่า

$$E\left[\sum_{k=2}^{J} B^{(k)}\right] = E\left[(j-1)E\left[B^{(2)}\right]\right] \tag{5.13}$$

แต่เพราะว่า $E\left[B^{(k)}\right]$ เป็นค่าคงที่ เพราะฉะนั้นเราจะได้

$$\begin{aligned} E\left[\sum_{k=2}^{J} B^{(k)}\right] &= (E[J]-1)E\left[B^{(2)}\right] \\ &= (\bar{J}-1)E\left[B^{(2)}\right] \end{aligned} \tag{5.14}$$

เพราะฉะนั้น จะสามารถหาค่าเฉลี่ยของ busy period ได้คือ

$$\bar{B} = E\left[B^{(1)}\right] + (\bar{J}-1)E\left[B^{(2)}\right] \tag{5.15}$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าเฉลี่ยของการส่งที่สำเร็จ (Useful Transmission) ก็จะมีลักษณะเดียวกันคือ

$$\bar{U} = E\left[U^{(1)}\right] + (\bar{J}-1)E\left[U^{(2)}\right] \tag{5.16}$$

ต่อไปเมื่อเราพิจารณาในช่วงที่ไม่ได้มีการส่งสัญญาณข้อมูล (Idle Period) จะเห็นว่าช่วงเวลานี้ก็มีลักษณะเกิดเช่นเดียวกับsub busy period ก็คือช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการส่งสัญญาณข้อมูลจะคงมีต่อไปเรื่อยๆจนกว่าจะมีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาที่สล็อตสุดท้ายของช่วงเวลานี้ เพราะฉะนั้นถ้าเราสมมติว่าเวลาในช่วงนี้ผ่านไป $k-1$ สล็อต ก่อนที่จะมีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาที่สล็อตที่ k จะได้ความน่าจะเป็นที่ช่วงเวลานี้จะมีค่าเท่ากับ k สล็อตจะเป็นไปตามสมการที่ (5.17)

$$\Pr(I = ka) = (1-g)^{(k-1)M}\left[1-(1-g)^{M}\right] \quad ; \; k = 1,2,... \tag{5.17}$$

จากสมการข้างบนจะพบว่า ตัวแปรสุ่ม I มีการแจกแจงแบบเรขาคณิต (Geometric Distributions) เพราะฉะนั้นจะได้ว่า ค่าเฉลี่ยของ I จะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (5.18)

$$\bar{I} = \frac{a}{(1-g)^{M}} \tag{5.18}$$

โดยที่ ค่า a ในส่วนของเศษในสมการข้างบนมาจากความน่าจะเป็นที่จะเกิด I เท่ากับ k สล็อตคูณกับช่วงเวลาของแต่ละสล็อต

ในส่วนต่อไปเราจะทำการหาค่าเฉลี่ยของ $D^{(k)}$ และ $U^{(k)}$, $E\left[D^{(k)}\right]$ และ $E\left[U^{(k)}\right]$ สมมติให้ค่าความน่าจะเป็นที่จะมี n แพ็กเกตจากยานพาหนะทั้งหมด M ยานพาหนะถูกสร้างเข้ามาระหว่าง X สล็อต แทนด้วย $P_n(X)$ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (5.19)

$$P_n(X) = \frac{\binom{M}{n}\left[1-(1-g)^{(X/a)}\right]^{n}(1-g)^{(X/a)(M-n)}}{1-(1-g)^{(X/a)M}} \quad ; \; n = 1,2,...M \tag{5.19}$$

ดังนั้น ถ้าเรากำหนดให้ $N_0^{(j)}$ แทนจำนวนแพ็กเกตที่ถูกสร้างขึ้นและสะสมอยู่ ณ ที่จุดสิ้นสุดของช่วงเวลา TP ที่ j ใดๆ เพราะฉะนั้นความน่าจะเป็นที่ $N_0^{(j)}$ จะมีค่าเท่ากับ n สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.20)

$$\Pr\left(N_0^{(j)} = n\right) = P_n(TP) \quad ; \; j = 2,3,... \tag{5.20}$$

ต่อมาเราจะทำการหาสมการการแจกแจงของ $D^{(j)}$ เมื่อกำหนด $N_0^{(j)}$ มาให้ที่ $j = 2,3....$ เราจะสมมติว่าค่า $k, k = 0,1,2,...$ แทนจำนวนของแขตของสล็อตของ $D^{(j)}$ ว่าจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ k สล็อต ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อมีจำนวน n ยานพาหนะที่มีการสร้าง

แพ็กเกตขึ้นมาเรียบร้อยแล้วแต่ยังไม่มีการส่ง และยานพาหนะอีก $M-n$ พาหนะยังไม่มีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาในระหว่าง k สล็อต เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$\Pr\left(D^{(j)} \geq ka \middle| N_0^{(j)} = n\right) = (1-p)^{kn}(1-g)^{k(M-n)} \tag{5.21}$$

เอาเงื่อนไข $N_0^{(j)}$ ออกโดยใช้สมการที่ (5.19) และสมการที่ (5.20) จะได้ดังนี้

$$\Pr\left(D_0^{(j)} \geq ka\right) = \frac{1}{1-(1-g)^{(TP/a)M}} \sum_{n=1}^{M} \left\{ \begin{matrix} \binom{M}{n} \left[1-(1-g)^{(TP/a)}\right]^n (1-g)^{(TP/a)(M-n)} \cdot \\ (1-g)^{(TP/a)(M-n)} (1-p)^{kn} (1-g)^{k(M-n)} \end{matrix} \right\} \tag{5.22}$$

เมื่อกระจายพจน์ออกมาแล้วทำการบวกเข้าและลบออกด้วย $(1-g)^{(TP/a)M} \times (1-g)^{kM}$ หลังจากนั้นทำการจัดรูปใหม่จะได้เป็นสมการที่ (5.23)

$$\begin{aligned} \Pr\left(D_0^{(j)} \geq ka\right) = \frac{1}{1-(1-g)^{(TP/a)M}} \Big(& \left\{ (1-p)^k - (1-g)^{(TP/a)} \left[(1-p)^k - (1-g)^k \right] \right\}^M \\ & - (1-g)^{(TP/a)M} \cdot (1-g)^{kM} \Big) \end{aligned} \tag{5.23}$$

จะสามารถหา $E\left[D^{(j)}\right]$ ได้ดังสมการที่ (5.24)

$$\overline{D} = E\left[D^{(j)}\right] = \begin{cases} f\left[1-(1-g)^M\right] & ; \quad j=1 \\ \dfrac{a}{1-(1-g)^{(TP/a)M}} \Bigg(\displaystyle\sum_{k=1}^{\infty} \left\{ (1-p)^k - (1-g)^{(TP/a)} \right. & \\ \left. \left[(1-p)^k - (1-g)^k \right] \right\}^M - (1-g)^{(TP/a)M} \cdot \displaystyle\sum_{k=1}^{\infty} (1-g)^{kM} \Bigg) & ; \quad j=2,3,.. \end{cases} \tag{5.24}$$

เราสามารถหาผลรวมระหว่างค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดในการส่งสัญญาณข้อมูลกับช่วงเวลาที่ไม่ได้ส่งสัญญาณข้อมูลได้ ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (5.25)

$$\overline{B} + \overline{I} = E\left[D^{(1)}\right] + 1 + a + \left[\left(\frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}} - 1 \right) \left(E\left[D^{(2)}\right] + 1 + a + f \right) + \overline{I} \right] \tag{5.25}$$

หรือ

$$\begin{aligned}\bar{B}+\bar{I} &= f\left[1-(1-g)^{M}\right]+1+a+\left[\left(\frac{1-(1-g)^{(TP/a)M}}{(1-g)^{(TP/a)M}}\right)\left(E\left[D^{(2)}+1+a+f\right]\right)\right]+\bar{I} \\ &= f\left[1-(1-g)^{M}\right]+1+a+\left\{\left[\frac{1-(1-g)^{(TP/a)M}}{(1-g)^{(TP/a)M}}\right]+(1+a+f)+\left[\frac{1-(1-g)^{(TP/a)M}}{(1-g)^{(TP/a)M}}\right]\right. \\ &\quad \cdot\left[\frac{a}{1-(1-g)^{(TP/a)M}}\left(\sum_{k=1}^{\infty}\left\{(1-p)^{k}-(1-g)^{(TP/a)}\left[(1-p)^{k}-(1-g)^{k}\right]\right\}^{M}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.\left.-(1-g)^{(TP/a)M}\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{kM}\right)\right]\right\}+\left[\frac{a}{1-(1-g)^{M}}\right]\end{aligned} \tag{5.26}$$

เมื่อจัดรูปจะได้

$$\begin{aligned}\bar{B}+\bar{I} &= f\left[1-(1-g)^{M}\right]+1+a+\frac{a}{1-(1-g)^{(TP/a)M}}\left\{\left[1-(1-g)^{(TP/a)M}\right](1+a+f)\cdot\right. \\ &\quad +\left[a\cdot\left(\sum_{k=1}^{\infty}\left\{(1-p)^{k}-(1-g)^{(TP/a)}\left[(1-p)^{k}-(1-g)^{k}\right]\right\}^{M}-(1-g)^{(TP/a)M}\right.\right. \\ &\quad \left.\left.\left.\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{kM}\right)\right]\right\}+\left[\frac{a}{1-(1-g)^{M}}\right]\end{aligned} \tag{5.27}$$

ต่อไปเราจะทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลและส่งได้สำเร็จ สมมติว่าเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา $B^{(j-1)}$ มีผู้ใช้สะสมอยู่ $N_0^{(j-1)}$ เท่ากับ n แสดงว่ายังมีผู้ใช้อีก $M-n$ ที่ยังไม่มีการสร้างแพ็กเกตข้อมูลขึ้นมา ในช่วงเวลา $B^{(j)}$ มีการหน่วงเวลาไปมากกว่าหรือเท่ากับ $ka\left(\mathrm{D}^{(\mathrm{j})}\geq ka\right)$ พิจารณาว่าเมื่อมีการส่งแพ็กเกตข้อมูลขึ้นในช่วงเวลา $B^{(j)}$ นี้ การส่งที่สามารถจะเป็นการส่งที่สำเร็จได้มี 3กรณีดังต่อไปนี้ (ไม่คิดผลของ Capture Effect)

1. เมื่อ $k=0$: แสดงว่าจะมีเฉพาะผู้ใช้งานจำนวน n ยานพาหนะเท่านั้นที่จะสามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลได้ เพราะฉะนั้นจะเป็นการส่งที่สำเร็จได้ก็ต่อเมื่อในจำนวน n ยานพาหนะนี้จะต้องมีเพียงยานพาหนะเดียวเท่านั้นที่มีการส่งแพ็กเกตเกิดขึ้น

2. เมื่อ $k>0$: สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 เมื่อหนึ่งในผู้ใช้จำนวน n ยานพาหนะได้เกิดส่งแพ็กเกตข้อมูลขึ้น เพราะฉะนั้นจะเป็นการส่งที่สำเร็จก็ต่อเมื่อผู้ใช้คนอื่นๆจำนวน $n-1$ ยานพาหนะ ที่สะสมอยู่ ยังไม่ได้ส่งข้อมูลและผู้ใช้ที่เหลืออีกจำนวน $M-n$ ยานพาหนะก็ต้องไม่มีการสร้างแพ็กเกตข้อมูลใหม่ขึ้นมาด้วย

กรณีที่ 2 เมื่อหนึ่งในผู้ใช้ $M-n$ ยานพาหนะได้มีการส่งข้อมูลแพ็กเกตขึ้น เพราะฉะนั้นเพื่อให้การส่งนั้นเป็นการส่งที่สำเร็จแน่นอนก็ต่อเมื่อผู้ใช้คนอื่นๆ จำนวน M-n-1 ยานพาหนะ ซึ่งทั้งที่เป็นผู้ใช้ที่ยังไม่ได้มีการสร้างแพ็กเกตขึ้นมาใหม่และเป็นผู้ใช้ที่มีแพ็กเกตสะสมอยู่ จะต้องยังไม่มีการส่งแพ็กเกตข้อมูลออกมา จากกรณีทั้ง 3 ที่ได้อธิบายไปนั้นสามารถเขียนเป็นสมการความน่าจะเป็นได้ดังนี้

$$E\left[U^{(j)}\middle|D^{(j)}\geq ka, N_0^{(j)}=n\right]=\begin{cases}\binom{n}{1}p(1-p)^{(n-1)} & ;\ k=0\\ \binom{n}{1}p(1-p)^{(n-1)}(1-g)^{(n-1)} & ;\ k>0\\ +(1-p)^n\binom{M-n}{1}g(1-g)^{(M-n-1)} & \end{cases} \quad (5.28)$$

กระจายพจน์ออกมาจะได้ดังสมการที่ (5.29)

$$E\left[U^{(j)}\middle|D^{(j)}\geq ka, N_0^{(j)}=n\right]=\begin{cases}np(1-p)^{(n-1)} & ;\ k=0\\ np(1-p)^{(n-1)}(1-g)^{(M-n)}+ & \\ (1-p)^n(M-n)(1-g)^{(M-n-1)}(g) & ;\ k>0\end{cases} \quad (5.29)$$

ในกรณีที่ $k=0$ ไม่จำเป็นจะต้องเอาเงื่อนไข $D^{(j)}$ ออก จำเป็นที่จะต้องเอาเงื่อนไข $D^{(j)}$ ออกในกรณีที่ $k>0$ เท่านั้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าดังสมการที่ (5.30)

$$E\left[U^{(j)}\middle|N_0^{(j)}=n\right]=\sum_{k=1}^{\infty}\left[\left(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{M-n}+(1-p)^n(M-n)g(1-g)^{M-n-1}\right)\cdot (1-p)^{kn}(1-g)^{k(M-n)}\right] \quad (5.30)$$

จัดรูปสมการที่ (5.30) ใหม่โดยใช้ผลรวมแบบอนันต์ของอนุกรมเรขาคณิต (Infinite Geometric Sum Formula) จะได้ว่า

$$E\left[U^{(j)}\middle|N_0^{(j)}=n\right]=\left(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{M-n}+(1-p)^n(M-n)g(1-g)^{(M-n-1)}\right)\cdot\left(\frac{(1-p)^n(1-g)^{(M-n)}}{1-(1-p)^n(1-g)^{(M-n)}}\right) \quad (5.31)$$

จากสมการที่ (5.31) มาทำการเอาเงื่อนไข $N_0^{(j)}$ ออก เพราะฉะนั้นจะได้เป็นสมการที่ (5.32)

$$E\left[U^{(j)}\right]=\left(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{M-n}+(1-p)^{n}(M-n)g(1-g)^{(M-n-1)}\right)\cdot \left(\frac{(1-p)^{n}(1-g)^{(M-n)}}{1-(1-p)^{n}(1-g)^{(M-n)}}\right)\cdot\frac{\binom{M}{n}\left[1-(1-g)^{(TP/a)}\right]^{n}(1-g)^{(TP/a)(M-n)}}{1-(1-g)^{(TP/a)M}} \quad (5.32)$$

ในกรณีที่เป็น $U^{(1)}$ การส่งนั้นจะเป็นการส่งที่สำเร็จได้ก็ต่อเมื่อ ในสล็อตสุดท้ายของช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการส่งแพ็กเกตข้อมูล (Idle Period) จะต้องมีเพียงผู้ใช้คนเดียวเท่านั้นที่จะสร้างแพ็กเกตข้อมูลออกมา และไม่คิดกรณี Capture Effect สมการที่ (5.19) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.33)

$$\begin{aligned}P_1(1) &= \Pr[\text{one user arrive during last slot of previous idle period}]\\ &=\frac{\binom{M}{1}\left[1-(1-g)^{1}\right]^{1}(1-g)^{(M-1)}}{1-(1-g)^{M}}\\ &=\frac{\binom{M}{1}\left[1-(1-g)\right](1-g)^{(M-1)}}{1-(1-g)^{M}}\end{aligned} \quad (5.33)$$

เพราะฉะนั้น เราจะได้ค่าเฉลี่ย $U^{(j)}$ เมื่อ $j=1,2,...$ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.31)

$$\begin{aligned}\overline{U} = {} & \frac{M\left[1-(1-g)\right](1-g)^{M-1}}{1-(1-g)^{M}}+\left(\frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}}-1\right)\cdot\\ & \sum_{n=1}^{M}\left\{\left[np(1-p)^{n-1}+\left(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{(M-n)}+(1-p)^{n}(M-n)g(1-g)^{M-n-1}\right)\cdot\right.\right. \quad (5.34)\\ & \left.\left.\frac{(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}}{1-(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}}\right]\cdot\frac{\binom{M}{n}\left[1-(1-g)^{(TP/a)}\right]^{n}(1-g)^{(TP/a)(M-n)}}{(1-g)^{(TP/a)M}}\right\}\end{aligned}$$

หรือเมื่อจัดรูปจะได้

$$\overline{U} = \frac{M\left[1-(1-g)\right](1-g)^{M-1}}{1-(1-g)^{M}} + \left(\frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}} - 1\right) \cdot$$
$$\sum_{n=1}^{M} \left\{ \left[np(1-p)^{n-1} + \left(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{(M-n)} + (1-p)^{n}(M-n)g(1-g)^{M-n-1} \right) \cdot \right. \right. \quad (5.35)$$
$$\left. \left. \frac{(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}}{1-(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}} \right] \cdot \binom{M}{n} \left[1-(1-g)^{(TP/a)}\right]^{n} (1-g)^{(TP/a)(M-n)} \right\}$$

เมื่อนำสมการที่ (5.35) และสมการที่ (5.27) แทนลงในสมการที่ (5.4) เราก็จะสามารถหาค่าวิสัยสามารถของระบบ ที่ใช้การเข้าถึงแบบ CSMA/CA ได้

5.4.2 การวิเคราะห์การหาค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ใช้การเข้าถึงแบบ CSMA/CA

ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าการหน่วงเวลาเฉลี่ย [22] ที่ใช้โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงแบบ CSMA / CA ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปของค่าหน่วงเวลาเฉลี่ยที่ถูกนอร์มอไลซ์แล้ว

ในการหาค่าเวลาหน่วงเวลาเฉลี่ยเราจะใช้ค่าออฟเฟอร์โหลด และ ค่าวิสัยสามารถของระบบ มาคำนวณ โดยในการวิเคราะห์นี้จะมีสมมติฐานว่าแต่ละช่องสัญญาณมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งเราจะคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนแพ็กเกตที่ต้องส่งใหม่ คือ $\left(\frac{G}{S}-1\right)$ และเราสามารถหาค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย R ซึ่งเป็นการคิดค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่เริ่มตั้งแต่ เริ่มตรวจจับช่องสัญญาณซึ่งจะแบ่งได้เป็น 3กรณี ดังนี้ คือ

1. มีแพ็กเกตที่จะส่งและตรวจจับช่องสัญญาณที่กำลังว่างอยู่
2. มีแพ็กเกตที่จะส่งและตรวจจับช่องสัญญาณที่กำลังอยู่ในช่วงรอเวลา
3. มีแพ็กเกตที่จะส่งและตรวจจับช่องสัญญาณที่กำลังส่งสัญญาณอยู่

ให้ T เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเกต โดย $T=(1+a)$ ดังนั้น เราจะสามารถคำนวณค่า R ได้ ดังนี้

$$\overline{R} = \frac{\bar{I}}{\overline{B}+\bar{I}} + \frac{\overline{D}}{\overline{B}+\bar{I}} + \frac{\overline{B}-\overline{D}}{\overline{B}+\bar{I}} \left[\frac{\left(T+f+E\left[D^{(2)}\right]\right)^{2}}{2\left(T+f+E\left[D^{(2)}\right]\right)} \right] \quad (5.36)$$

โดยที่ ค่าเฉลี่ย $\overline{D}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\overline{D} = E\left[D^{(1)}\right] + \left(\bar{J}-1\right)E\left[D^{(2)}\right] \quad (5.37)$$

และสมการที่ (5.36) หาค่าได้จาก สมการที่ (5.37) ดังนั้น เราสามารถหาค่าเวลาหน่วงเวลาเฉลี่ยที่ถูกนอร์มอไลซ์แล้ว ได้ดังนี้

$$L=\left(\frac{G}{S}-1\right)\left[M+T+\bar{Y}+\bar{R}\right]+T+\bar{R} \tag{5.38}$$

โดยที่ Y คือ ค่าหน่วงเวลาแบบสุ่มเมื่อเกิดการชนกันของแพ็กเกตแล้วต้องรอเป็นเวลาเท่ากับ Y ก่อนที่จะตรวจจับช่องสัญญาณใหม่อีกครั้ง เมื่อนำค่าวิสัยสามารถ ในหัวข้อ 5.4.1 มาแทนค่าในสมการ (5.38) ก็จะสามารถหาค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยที่ถูกนอร์มอไลซ์แล้วได้

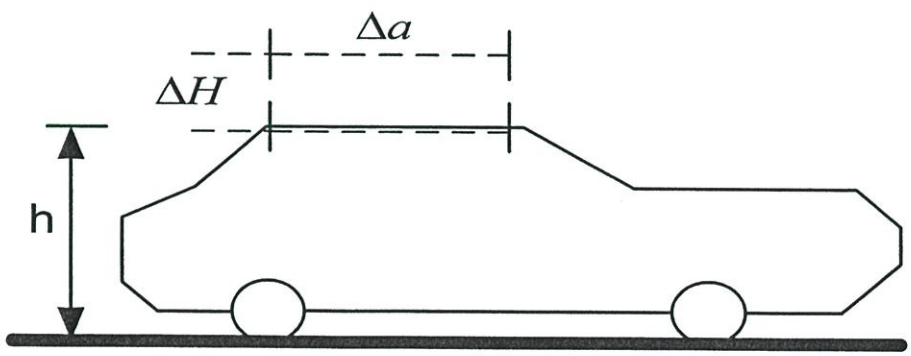
5.5 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ยานพาหนะโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์และการวิเคราะห์

5.5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ยานพาหนะ

ในแต่ละยานพาหนะจะทำการติดตั้งอุปกรณ์การสื่อสาร และสายอากาศ [24] มีทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 5.9 โดยสองตัวแรกจะแพร่กระจายไปด้านหลัง และสองตัวที่เหลือแพร่กระจายไปด้านหน้า

สายอากาศในแต่ละคู่ ใช้หลักการระบบ two - branch diversity โดยองค์ประกอบด้านขวางจะห่างกันเป็นความยาว Δ_H สำหรับความยาวจะห่างกัน Δ_a

กำลังส่ง กำหนดโดย P_t , อัตราการขยายสายอากาศส่ง และสายอากาศรับ กำหนดโดย G_t และ G_r ตามลำดับ

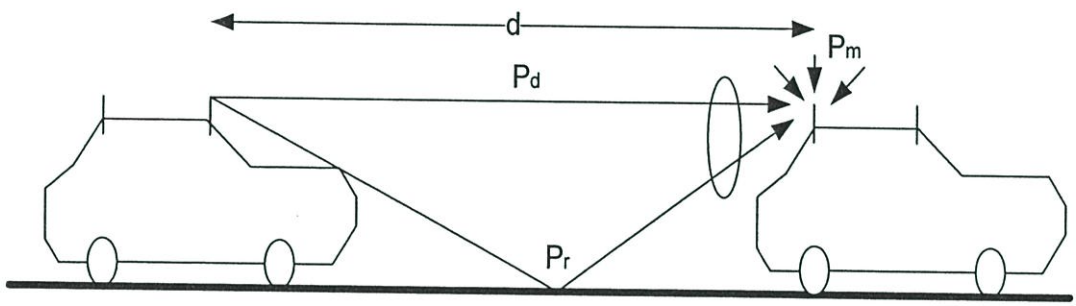


รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ที่ติดตั้งที่ยานพาหนะ [24]

5.5.2 โครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์

ที่ความถี่ 63.5 GHz ค่าการสูญเสียการดูดซับอ๊อกซิเจน (Oxygen absorption attenuation) คือ α_{ox} = 9 dB/km และต้องรวมกับค่าการลดทอนอันเนื่องจากฝน คือ α_{rain} ดังนั้น อัตราการสูญเสียทั้งหมด คือ อัตราการสูญเสียการดูดซับอ๊อกซิเจน + อัตราการลดทอนอันเนื่องจากฝน หรือ $\alpha_{att} = \alpha_{ox} + \alpha_{rain}$

สำหรับโครงสร้างช่องสัญญาณการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในช่วงความถี่ 60-64 GHz เราสามารถอธิบายในโครงสร้าง Rice Model . ซึ่งประกอบไปด้วย สัญญาณที่ได้รับโดยตรง , สัญญาณที่สะท้อนกับถนน โดยมีสัมประสิทธ์การสะท้อน (reflection Coefficient : r_0) และส่วนประกอบมัลติพาท (Multi path power component) ดังแสดงในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 รูปแบบโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์ [24]

จากรูปที่ 5.10 กำหนดให้ d คือ ระยะทางระหว่างตัวส่งและตัวรับ เช่น อ้างอิงจากสายอากาศด้านหน้า ดังนั้น ระยะทางระหว่างสายอากาศ คือ

$$s = \sqrt{(d - \Delta_a)^2 + (h_t - h_r)^2} \tag{5.39}$$

พลังงานรวมทั้งหมดที่ได้รับ คือ

$$P_{tot} = P_r + P_m \tag{5.40}$$

เมื่อ P_r คือ ค่ากำลังงานอันเนื่องมาจากำลังงานตรงและกำลังงานที่สะท้อนกับพื้นถนน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 สถานการณ์ คือ

1. กรณี LOS : สามารถหาค่า Rice factor จาก

$$K = \frac{P_r}{P_m} = \frac{P_d}{P_m}\left[1 + r_0^{\,2} + 2r_0 \cos\varphi\right] \tag{5.41}$$

เมื่อ r_0 คือ road reflection coefficient , P_d คือ พลังงานตรง)direct path power) และสามารถหาค่า φ จาก

$$\varphi = 4\pi h_t h_r / \lambda d \tag{5.42}$$

โดยที่ φ คือ การเลื่อนเฟสระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ภายใต้เงื่อนไข

$$K_0 = \frac{P_d}{P_m} \tag{5.43}$$

2. กรณี NonLOS (NLOS) : เมื่อคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนมีบางสิ่งมากั้น ดังนั้น สัญญาณที่ภาครับสามารถอธิบายด้วยการแจกแจงแบบเรลีย์ (Rayleigh distributed) ดังนั้น K = 0

5.5.3 การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญลักษณ์ (P_e)

สัญญาณที่ได้รับที่เครื่องรับ [23] จะประกอบไปด้วยสัญญาณตรง (direct signal) ด้วยกำลังงาน P และ สัญญาณการรบกวนแทรกสอด (reflected interference signal) ในหน่วยของจำนวนเชิงซ้อน $X(t) + jY(t)$ รวมกับค่า กำลังงานเฉลี่ย ของสัญญาณการรบกวนขาวแบบเกาส์ $E[n_c(t)]$ และ $E[n_s(t)]$ ดังนั้น พลังงานที่ได้รับที่เครื่องรับจะได้เป็น

$$r(t) = \sqrt{2}Ps(t) + \left[X(t) + jY(t)\right] \cdot s(t) + \left[n_c(t) + jn_s(t)\right] \tag{5.44}$$

โดยที่ $s(t)$ คือ สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลต PSK

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} g(t - iT)e^{j\phi} \tag{5.45}$$

สำหรับ การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญลักษณ์(symbol error probability) ที่มีการมอดูเลตประเภท PSK เราคำนวณได้จาก

$$P_e = \frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{8}} \exp\left(-U\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right)\Big/\cos^2 y\right)dy \tag{5.46}$$

โดยที่

$$U = \frac{P}{N+D} \tag{5.47}$$

และ

P คือ ค่ากำลังงานที่ใช้ในการส่งทั้งหมด (W)

D คือ ค่ากำลังงานสะท้อนแทรกสอดเฉลี่ย (W)

N คือ กำลังงานเฉลี่ย ของสัญญาณการรบกวนขาวแบบเกาส์ (W)

K คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณทั้งหมด ต่อ สัญญาณที่แพร่กระจาย หรือ ไรซ์เฟคเตอร์

สำหรับในบทต่อไป จะเสนอผลการศึกษาเชิงตัวเลข เมื่อประยุกต์ใช้งานการสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยใช้โปรโตคอล CSMA/CA กับ ช่องสัญญาณไรซ์ ภายใต้จำนวนยานพาหนะและจำนวนฮ๊อพภายในระบบ ตลอดจนมีการพิจารณาจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกตด้วย โดยมีสูตรการคำนวณ คือ

$$S_{end} = S_{CSMA/CA}(1-P_e)^L \tag{5.48}$$

บทที่ 6
ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการคำนวณเชิงตัวเลขของค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ตัวแปรจำนวนยานพาหนะ และจำนวนฮ๊อพในระบบ โดยจะมีการพิจาณาผลกระทบจากช่องสัญญาณไรซ์ด้วย โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1. ค่าวิสัยสามารถ กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) ในระบบ
2. ค่าวิสัยสามารถ และ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) เมื่อ พิจารณาผลกระทบ ไรซ์แฟคเตอร์ (K)
3. ค่าวิสัยสามารถ และ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) เมื่อ พิจารณาผลกระทบไรซ์แฟคเตอร์(K) และจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L)

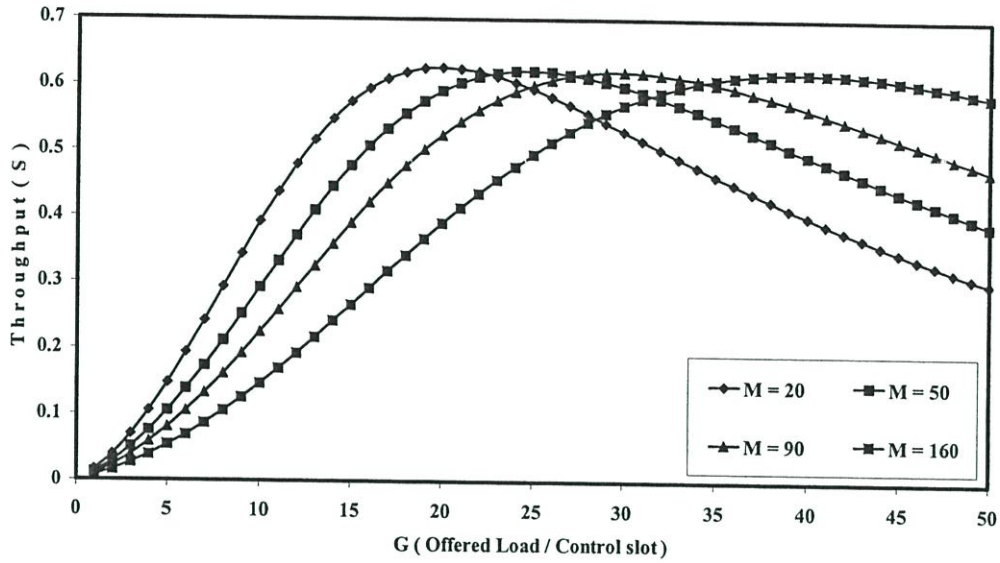
6.2 วิเคราะห์สมรรถนะของระบบเมื่อใช้โปรโตคอลแบบ CSMA/CA

ในส่วนนี้จะแสดงผลการคำนวณค่าสมรรถนะของโปรโตคอล CSMA/CA เมื่อประยุกต์กับการสื่อสารมัลติฮ๊อพ โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ มีดังนี้

- ค่าการกระจายหน่วงเวลา (Propagation delay: a) = 0.01
- ค่าความน่าจะเป็นที่ยานพาหนะจะส่งแพ็กเกตออกไป (p) = 3a
- ค่าออฟเฟอร์โหลด (G) = gM / a
- จำนวนยานพาหนะในระบบ (M) = 20, 50, 90 และ 160
- ค่าขนาดเฟรม DIFS (f) = 2a
- ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเกต (T) = 1+a
- ผลรวมของช่วงเวลาสุดท้ายในการส่งข้อมูลกับช่วงเวลาหน่วง DIFS TP = 1+a+f
- ค่าคงตัว ไรซ์เฟคเตอร์ คำนวณจาก K = 2P/D

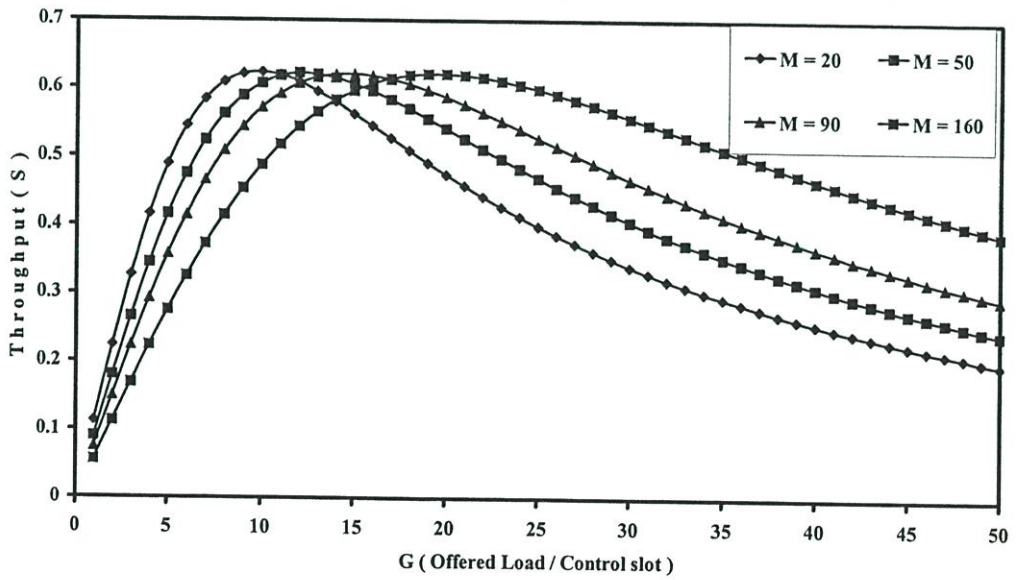
6.3 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

6 3.1. ค่าวิสัยสามารถ กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N)



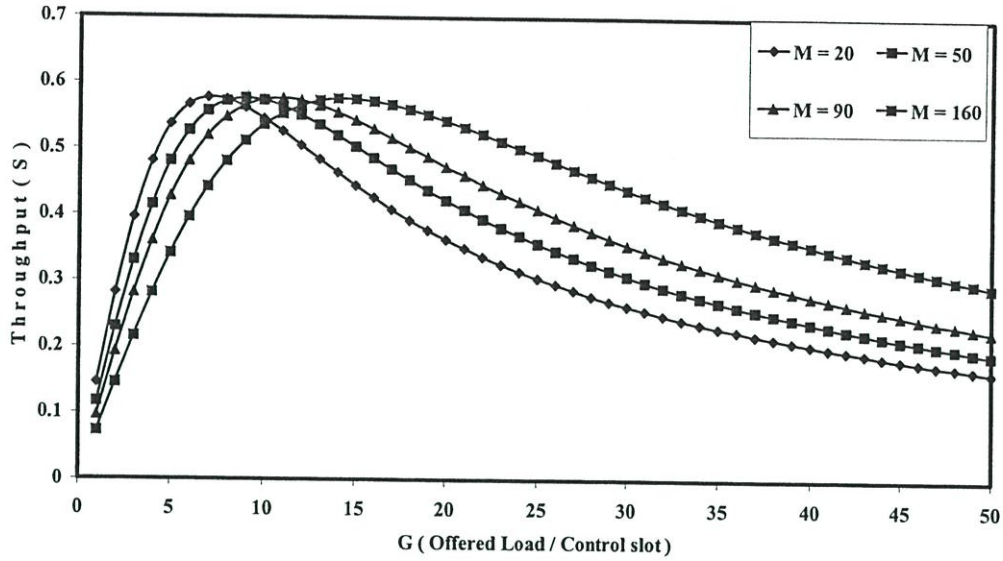
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 1

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 1 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.626, 0.621, 0.62, 0.619 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 20, 24, 29, 39 ตามลำดับ



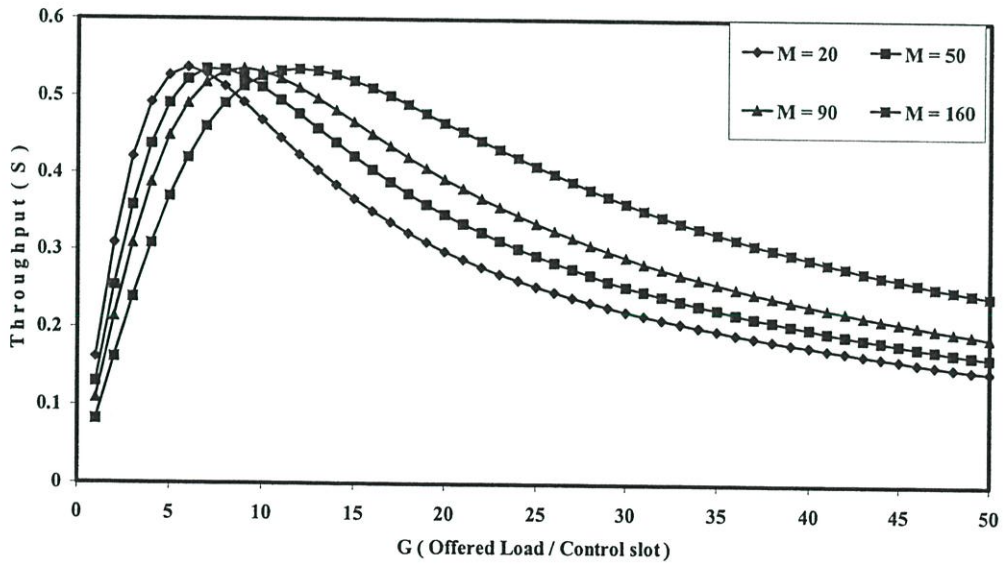
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 2

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 2 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.623, 0.622, 0.621, 0.621 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 10, 12, 15, 19 ตามลำดับ



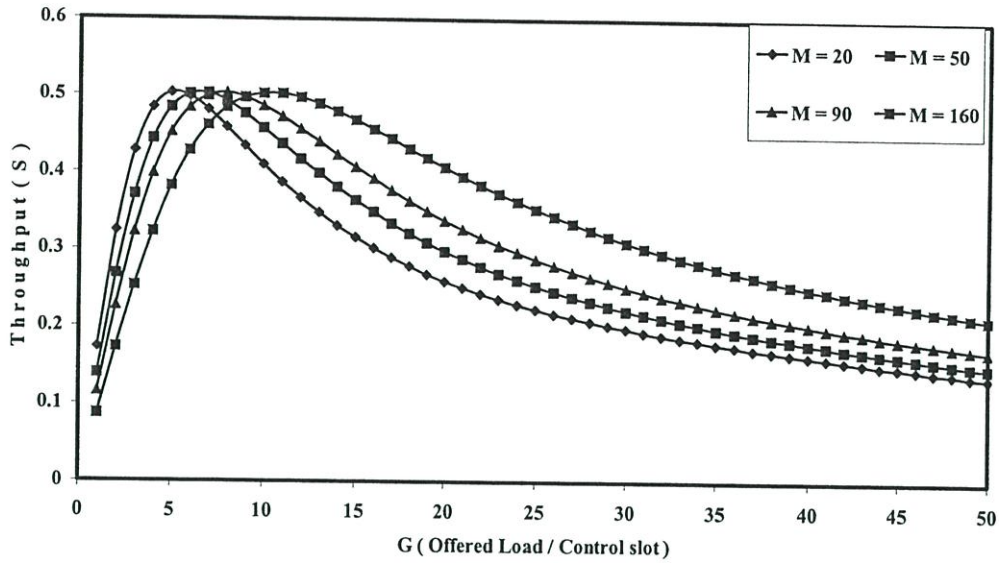
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 3

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 3 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.577, 0.576, 0.576, 0.576 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 7, 9, 11, 14 ตามลำดับ



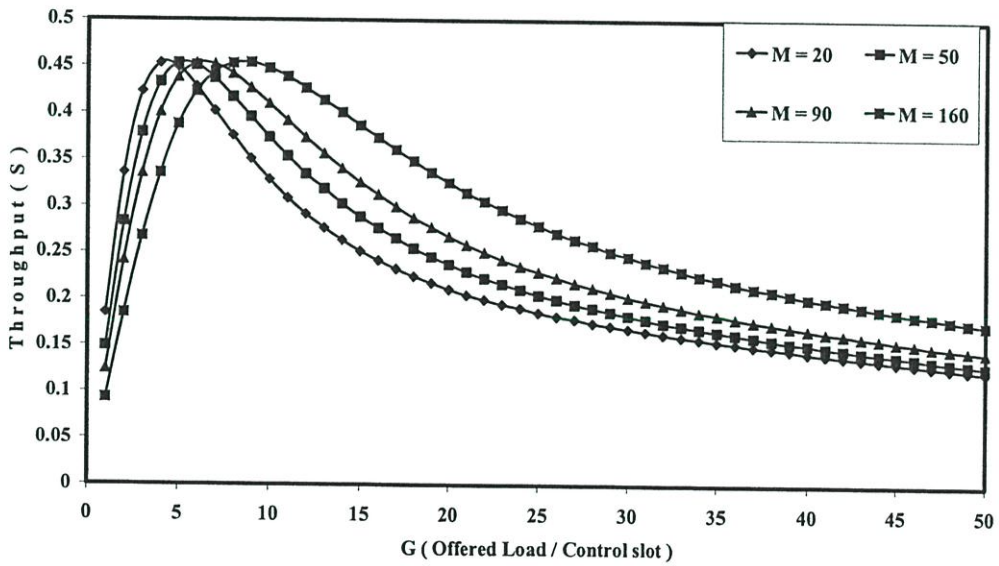
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 4

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 4 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.573, 0.535, 0.535, 0.535 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 6, 7, 9, 12 ตามลำดับ



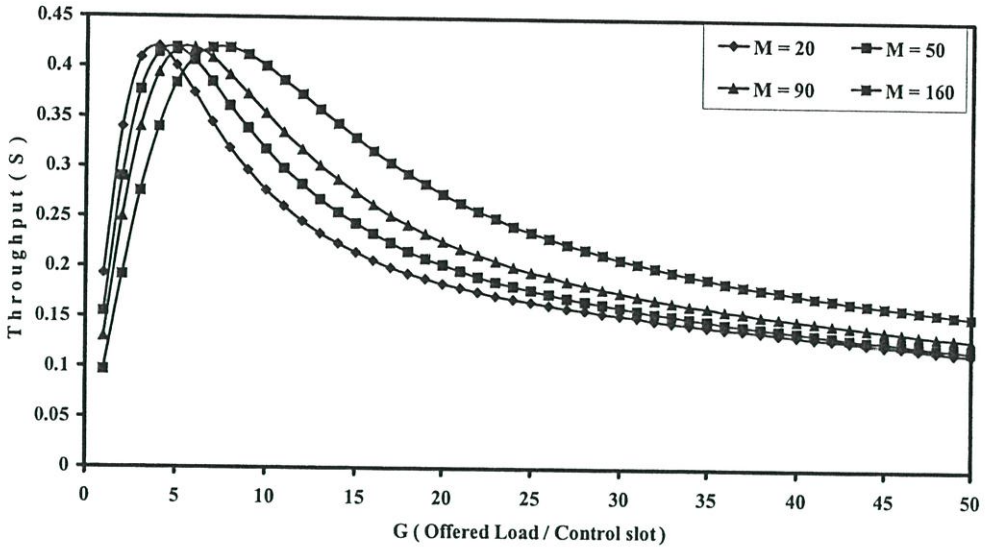
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 5

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 5 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.503, 0.502, 0.502, 0.502 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 5, 7, 8, 11 ตามลำดับ



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 7

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 7 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.453, 0.453, 0.453, 0.453 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 9 ตามลำดับ



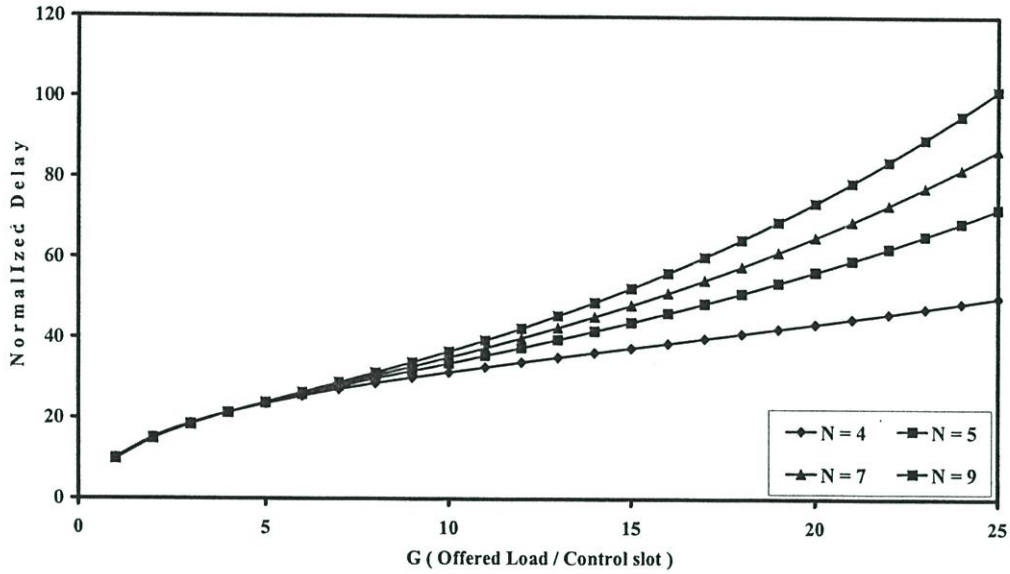
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ N = 9

ในกรณีเมื่อจำนวนฮ๊อพเท่ากับ 9 เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.42, 0.419, 0.419, 0.419 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 7 ตามลำดับ

ข้อสรุป จากรูป 6.1 - 6.7 จะพบว่า

- ยิ่งมียานพาหนะอยู่ในระบบมากเท่าไหร่ จะยิ่งทำให้ค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด มากขึ้นเท่านั้น
- ยิ่งมีการส่งผ่านจำนวนฮ๊อพ (N) มากขึ้นเท่าไหร่ จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถรวมของทั้งระบบลดต่ำลงมากขึ้น ตามลำดับ
- ยิ่งมีการส่งผ่านจำนวนฮ๊อพ (N) มากขึ้นเท่าไหร่ จะยิ่งทำให้ค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดลดต่ำลง ตามลำดับ

6.3.2 ค่าการหน่วงเวลา กับ ออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนฮ๊อพ (N) ในระบบ



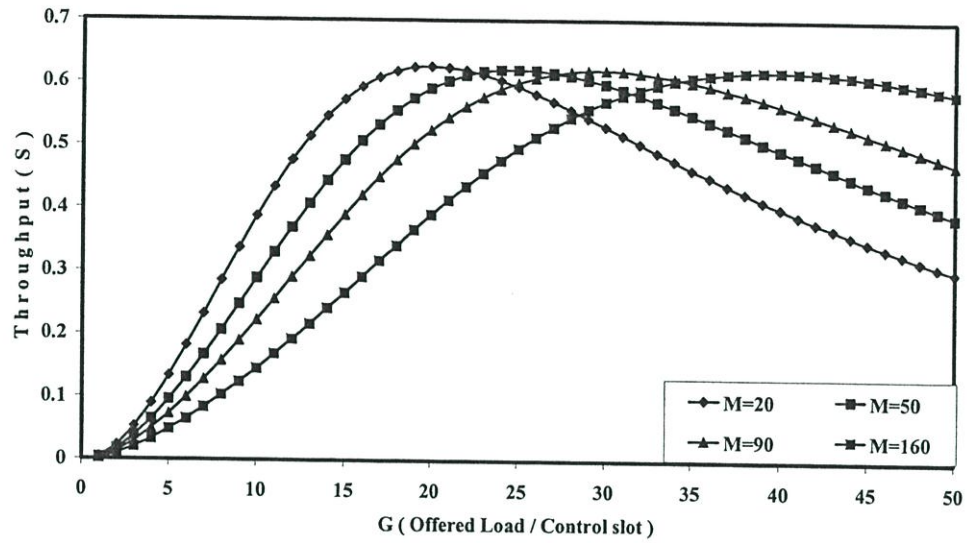
รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหน่วงเวลา และค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนฮ๊อพ ในระบบ (N)

ข้อสรุป จากรูป 6.8 จะพบว่า

- ยิ่งส่งผ่านจำนวนฮ๊อพ (N) เพิ่มมากขึ้นจะยิ่งเสียค่าเวลาหน่วงมากขึ้น ตามลำดับ โดยเมื่อยิ่งเพิ่มค่าออฟเฟอร์โหลดยิ่งมาก จะยิ่งทำให้การเพิ่มค่าการหน่วงเวลาเพิ่มเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

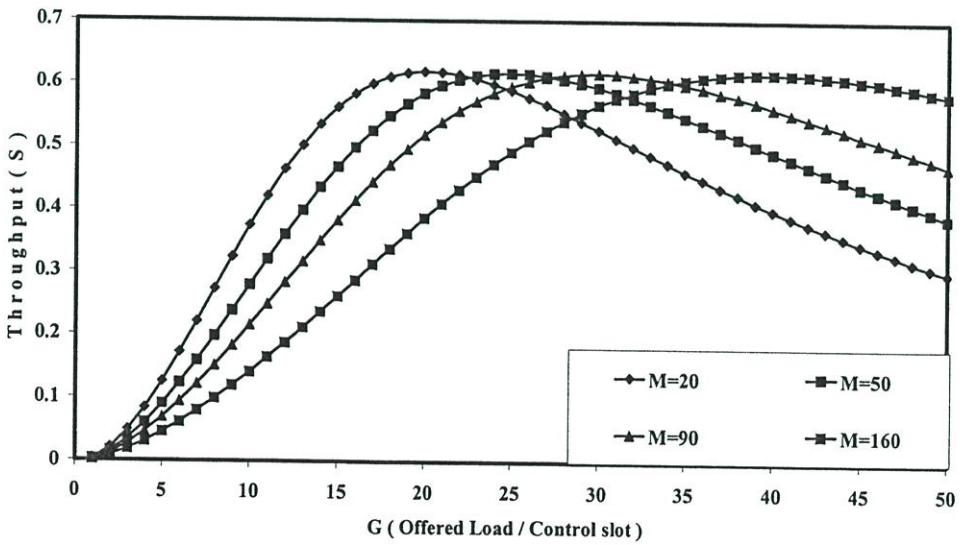
6.3.3 ค่าวิสัยสามารถ และ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) เมื่อ พิจารณาผลกระทบไรซ์แฟคเตอร์ (K)

กรณีที่จำนวนฮ๊อพ เท่ากับ 1



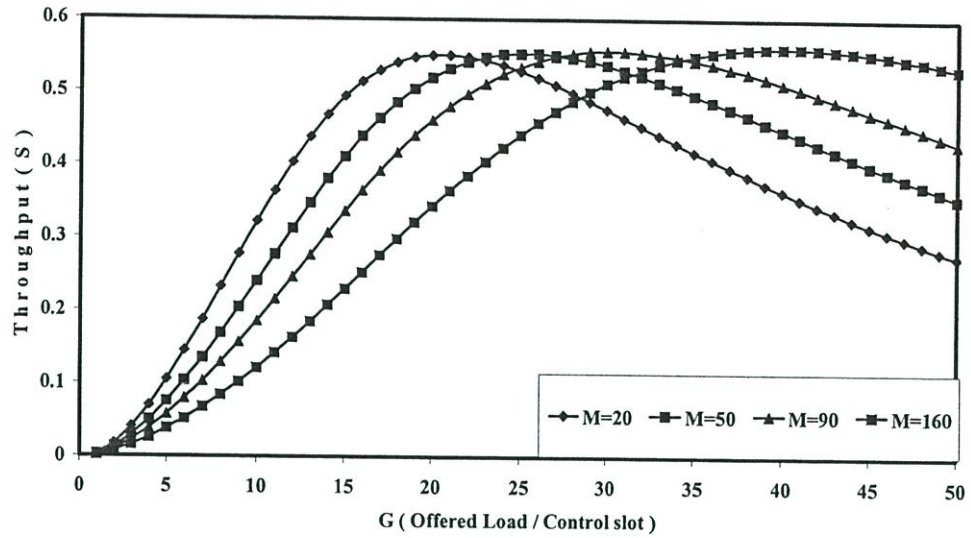
รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10

เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.626, 0.621, 0.62, 0.619 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 20, 24, 29, 39 ตามลำดับ



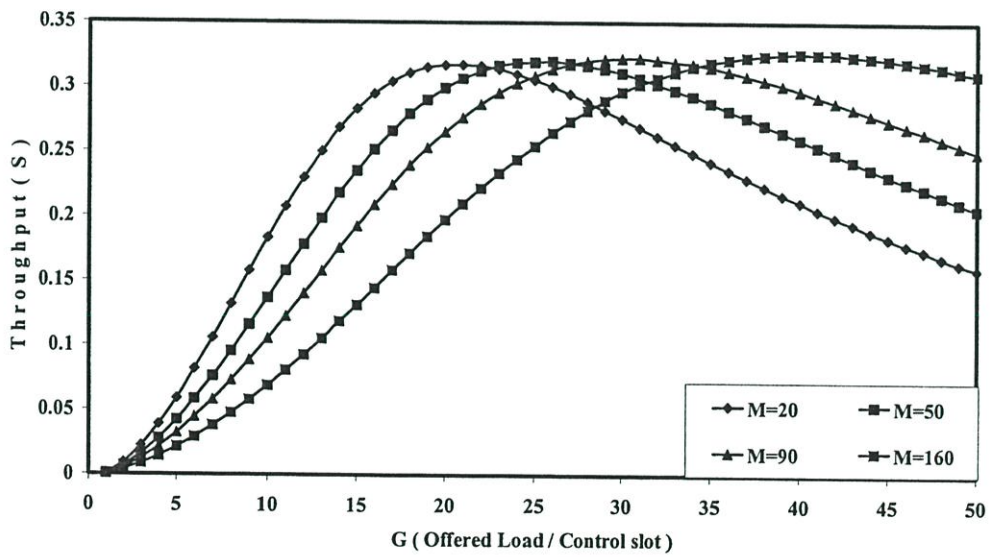
รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15

เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.619, 0.616, 0.616, 0.616 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 20, 24, 29, 39 ตามลำดับ



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20

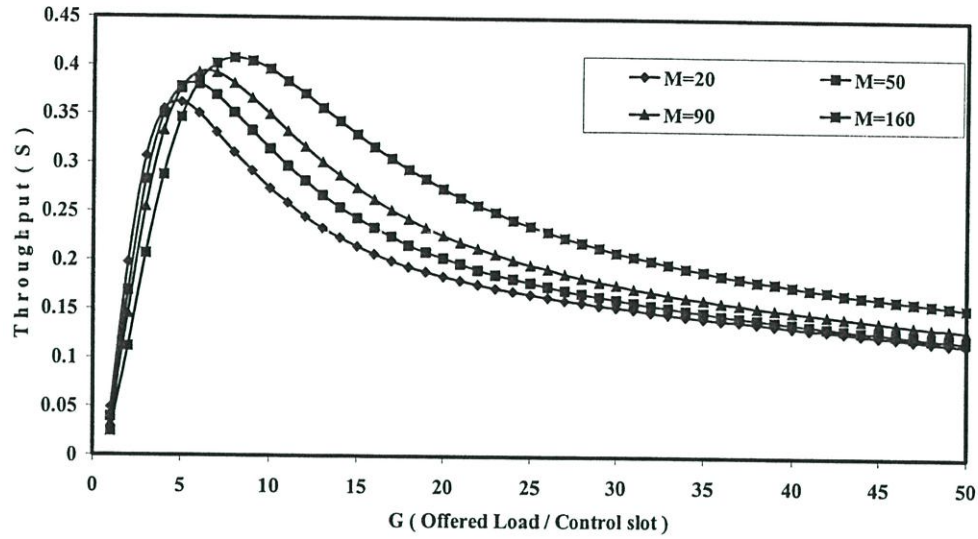
เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.55, 0.55, 0.55, 0.55 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 20, 24, 29, 39 ตามลำดับ



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30

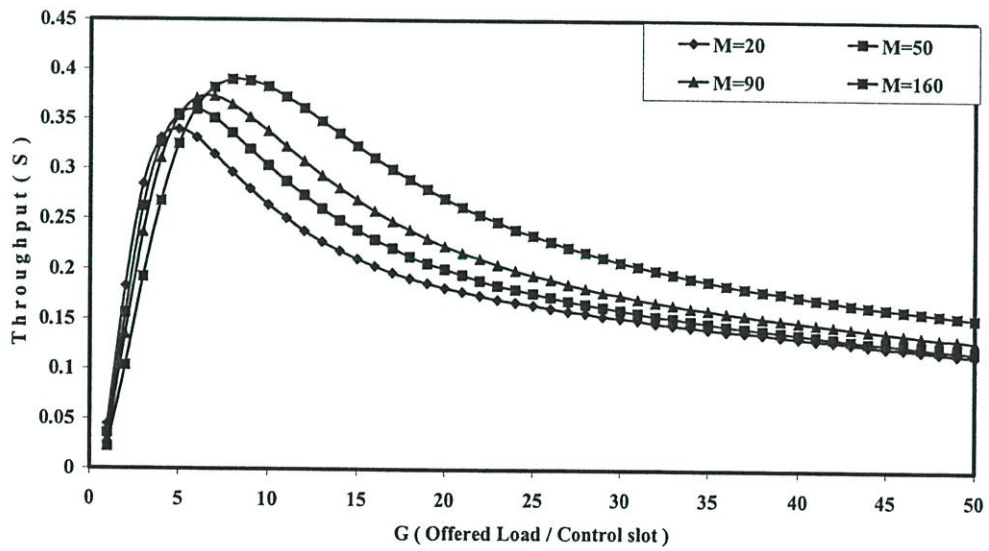
เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.317, 0.312, 0.322, 0.326 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 20, 24, 29, 39 ตามลำดับ

กรณีที่จำนวนฮ๊อพ เท่ากับ 9



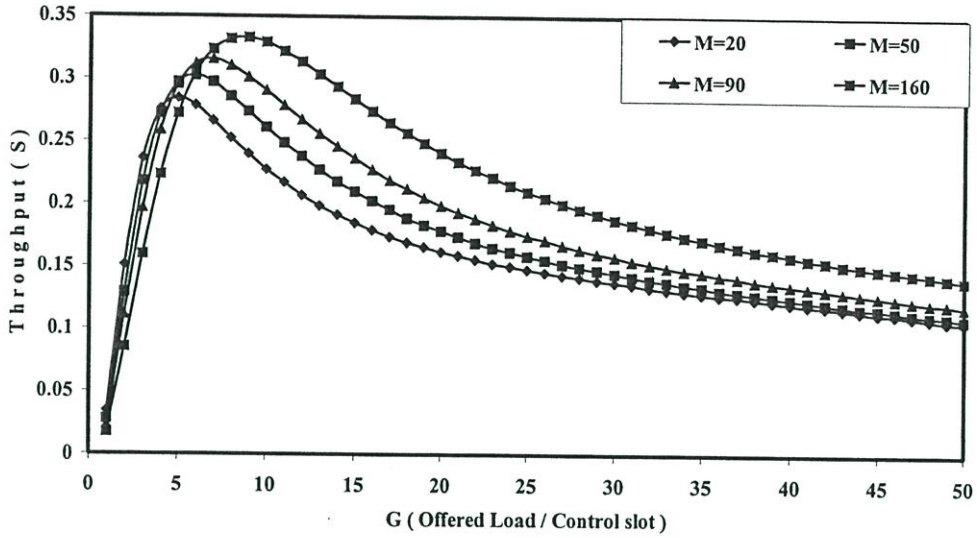
รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10

เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.361, 0.38, 0.392, 0.407 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 9 ตามลำดับ



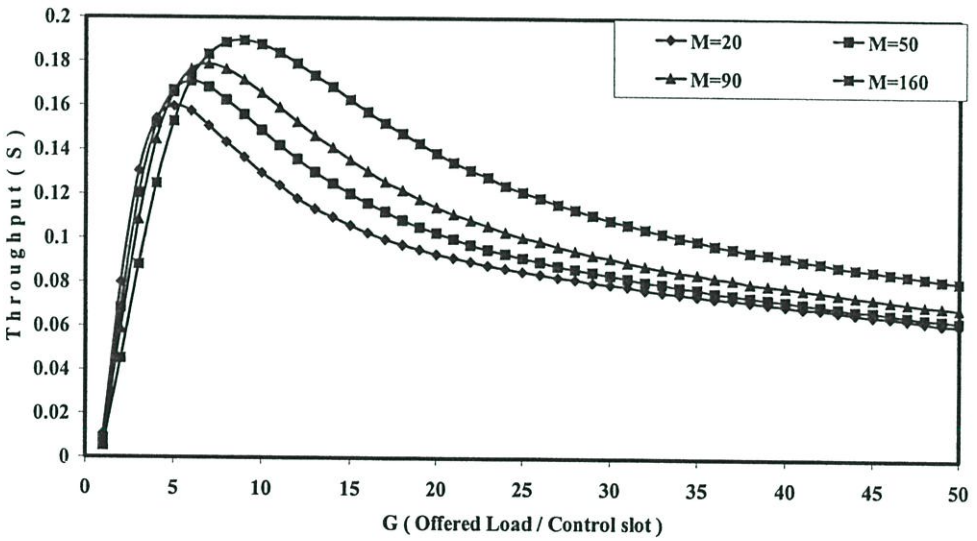
รูปที่ 6.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15

เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.34, 0.36, 0.372, 0.389 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 9 ตามลำดับ



รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20

เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.284, 0.302, 0.315, 0.332 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 9 ตามลำดับ



รูปที่ 6.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30

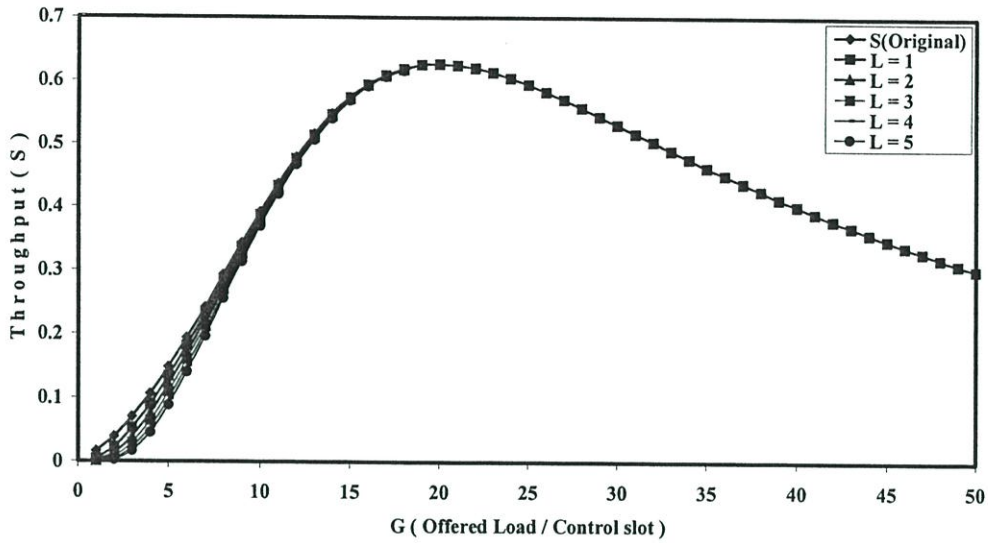
เมื่อยานพาหนะในระบบมีจำนวน 20,50,90,160 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.159, 0.17, 0.178, 0.189 ที่จุดออฟเฟอร์โหลด 4, 5, 6, 9 ตามลำดับ

ข้อสรุป จากรูป 6.9 - 6.16 จะพบว่า

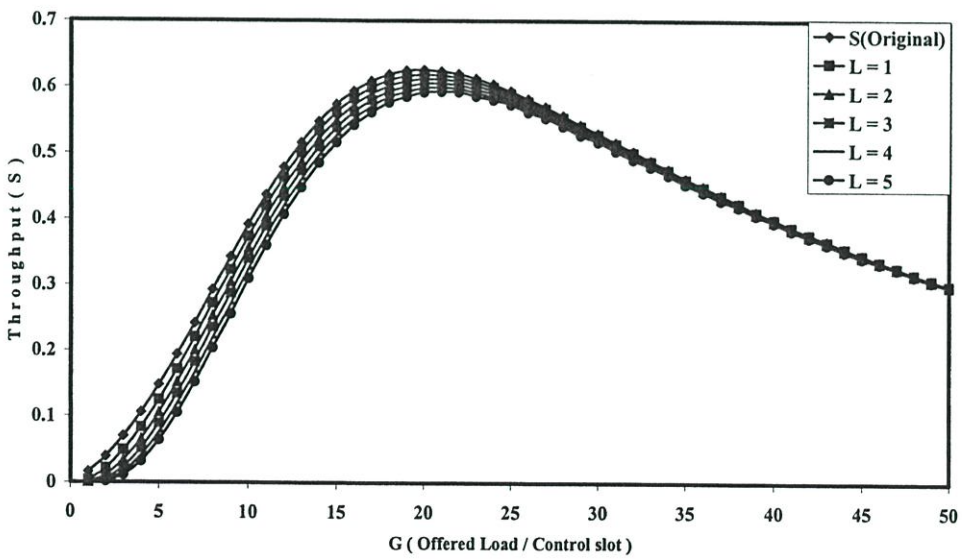
ยิ่งเพิ่มค่าไรซ์แฟคเตอร์(K) ในระบบ จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลงตามลำดับ และเมื่อยิ่งส่งผ่านฮ๊อพยิ่งมาก จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบลดต่ำลงไปอีก

6.3.4 ค่าวิสัยสามารถ และ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ จำนวนยานพาหนะ (M) และ จำนวนฮ๊อพ (N) เมื่อ พิจารณาผลกระทบช่องสัญญาณไรซ์ (K) และจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L)

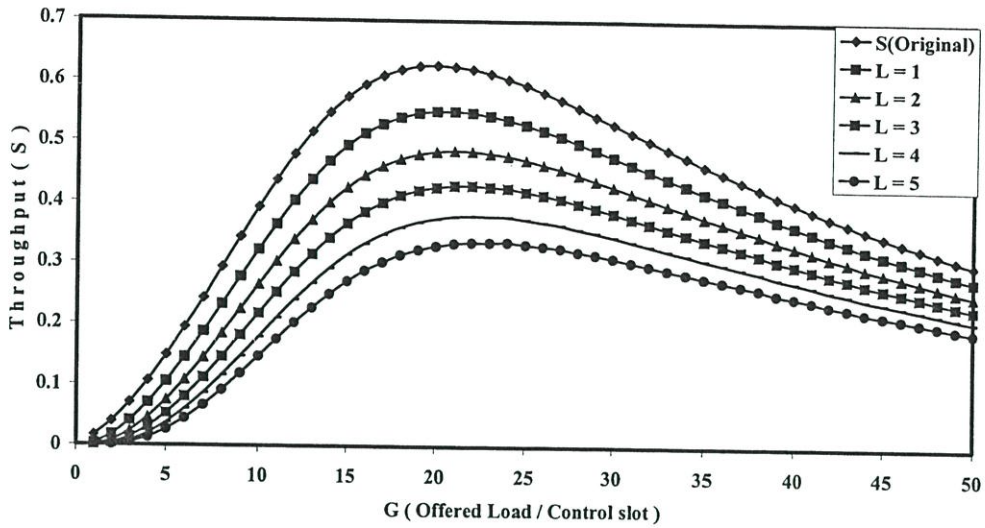
กรณีที่ 1 เมื่อจำนวนฮ๊อพ (N) คือ 1 และ จำนวนยานพาหนะ (M) คือ 160



รูปที่ 6.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10 เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.619, 0.619, 0.619, 0.619, 0.619 ตามลำดับ

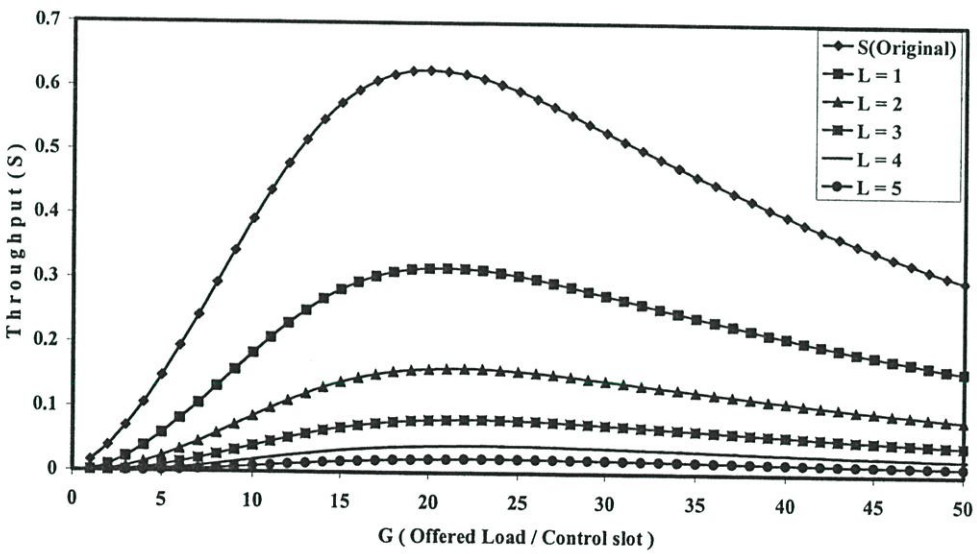


รูปที่ 6.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15 เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.617, 0.615, 0.613, 0.611, 0.609 ตามลำดับ



รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20

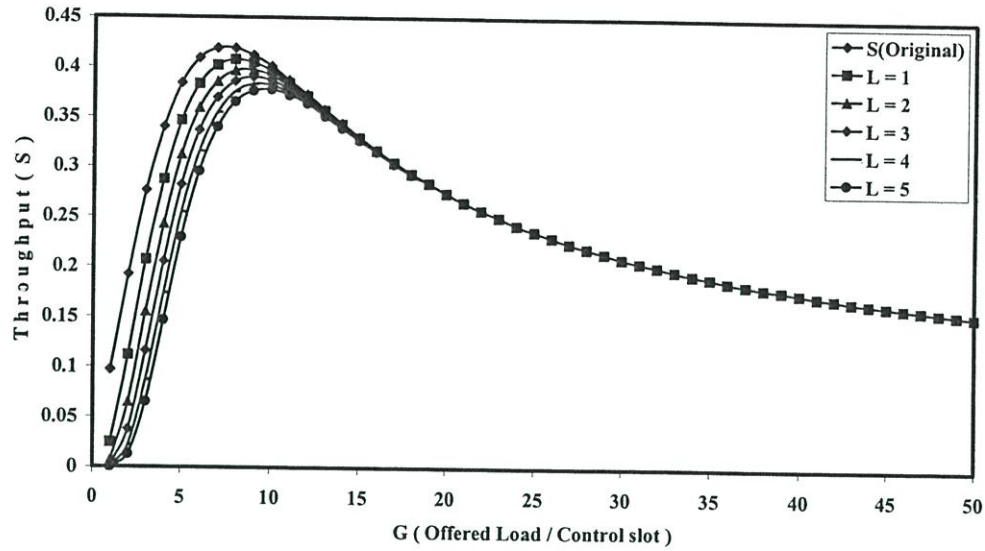
เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.56, 0.508, 0.46, 0.417, 0.377 ตามลำดับ



รูปที่ 6.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30

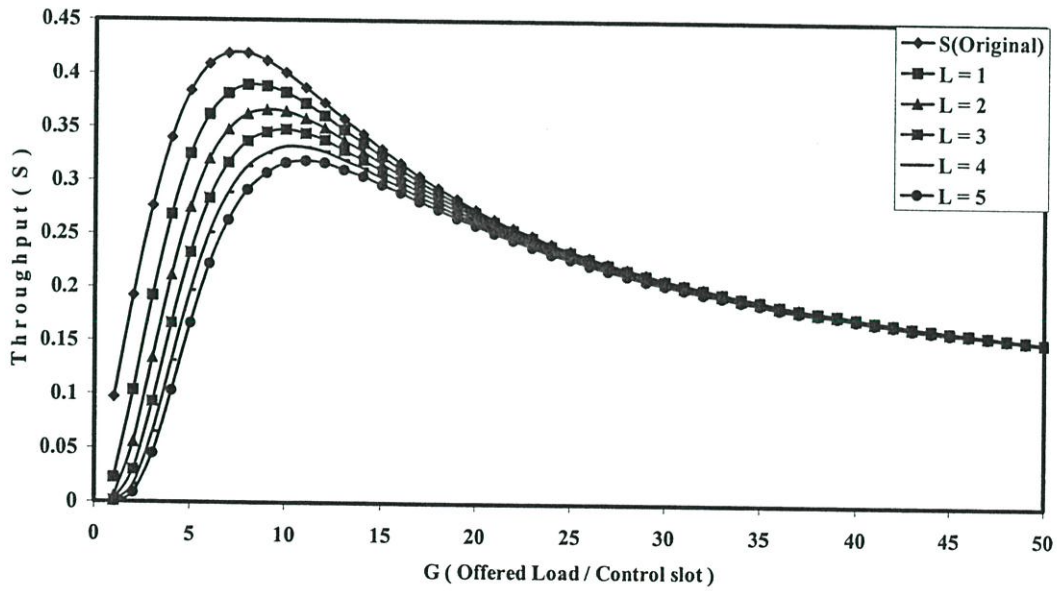
เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.325, 0.171, 0.09, 0.047, 0.024 ตามลำดับ

กรณีที่ 2 เมื่อจำนวนฮ๊อพ (N) คือ 9 และ จำนวนยานพาหนะ (M) คือ 160



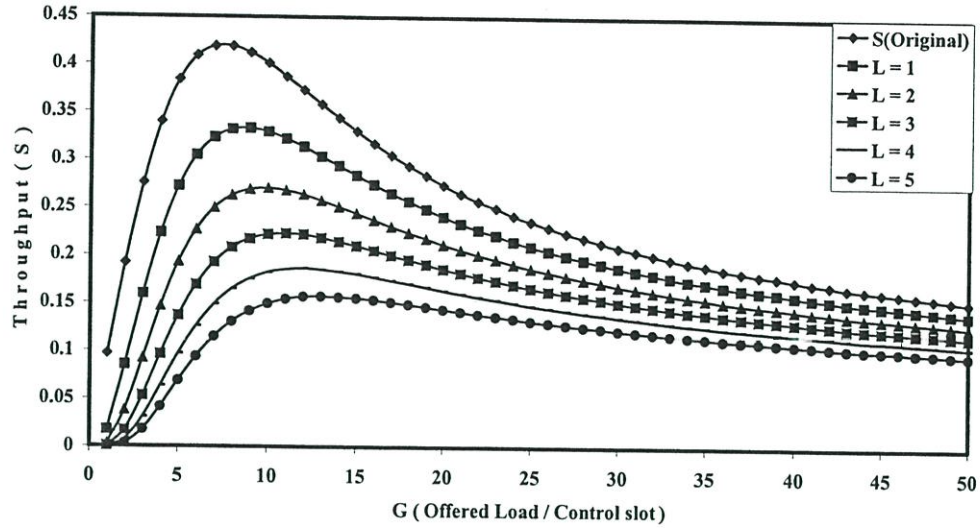
รูปที่ 6.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 10

เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.401, 0.385, 0.369, 0.354, 0.339 ตามลำดับ



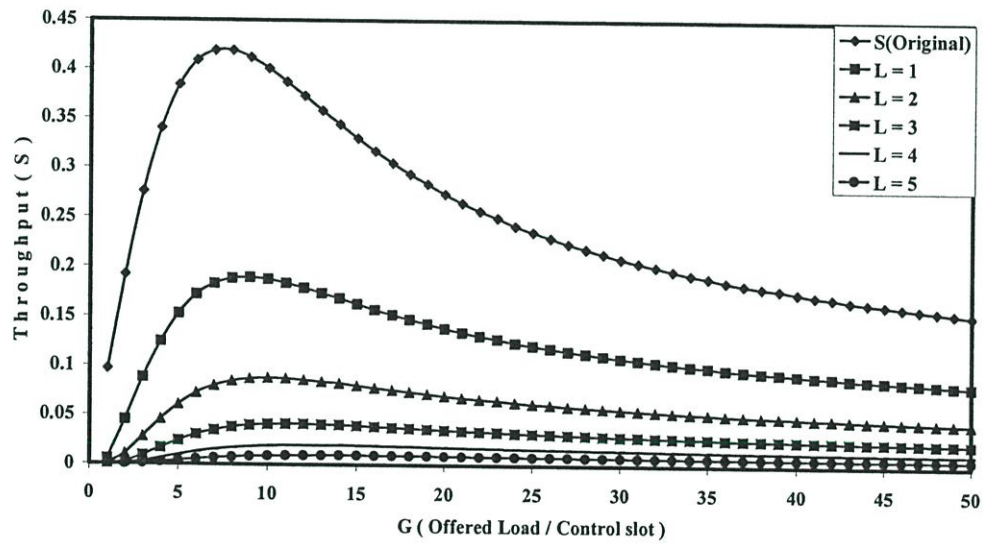
รูปที่ 6.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 15

เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.381, 0.347, 0.316, 0.288, 0.262 ตามลำดับ



รูปที่ 6.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 20

เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.323, 0.249, 0.192, 0.148, 0.114 ตามลำดับ



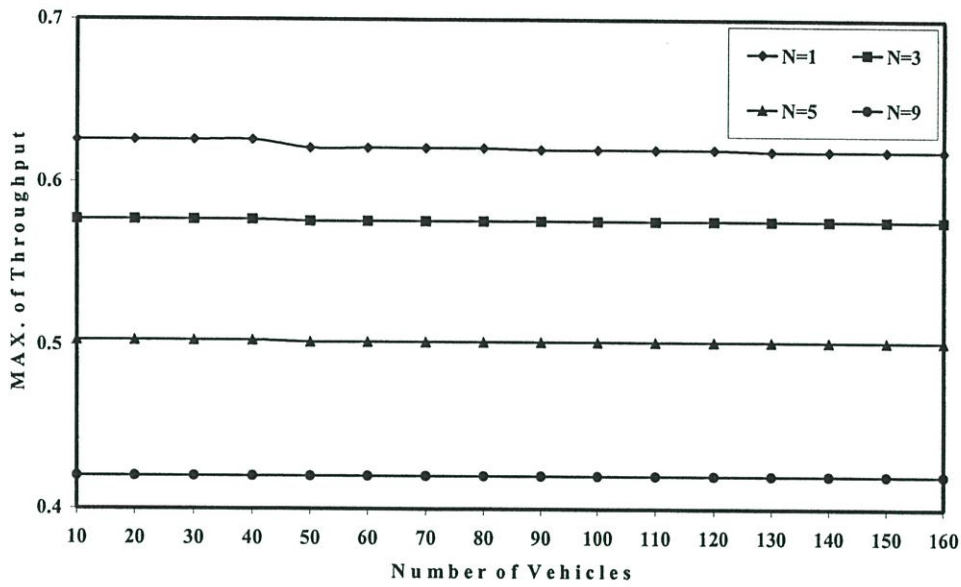
รูปที่ 6.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ (S) และออฟเฟอร์โหลด (G) เมื่อ K = 30

เมื่อเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) เป็น 1, 2, 3, 4 ,5 จะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดเท่ากับ 0.183, 0.08, 0.034, 0.015, 0.006 ตามลำดับ

ข้อสรุปจากรูป 6.17 - 6.24

เราจะพบว่า ยิ่งเราเพิ่มจำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกตมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถรวมทั้งระบบต่ำลง ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มค่าไรซ์แฟคเตอร์ และจำนวนฮ๊อพแล้ว จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถลดต่ำลงอีก

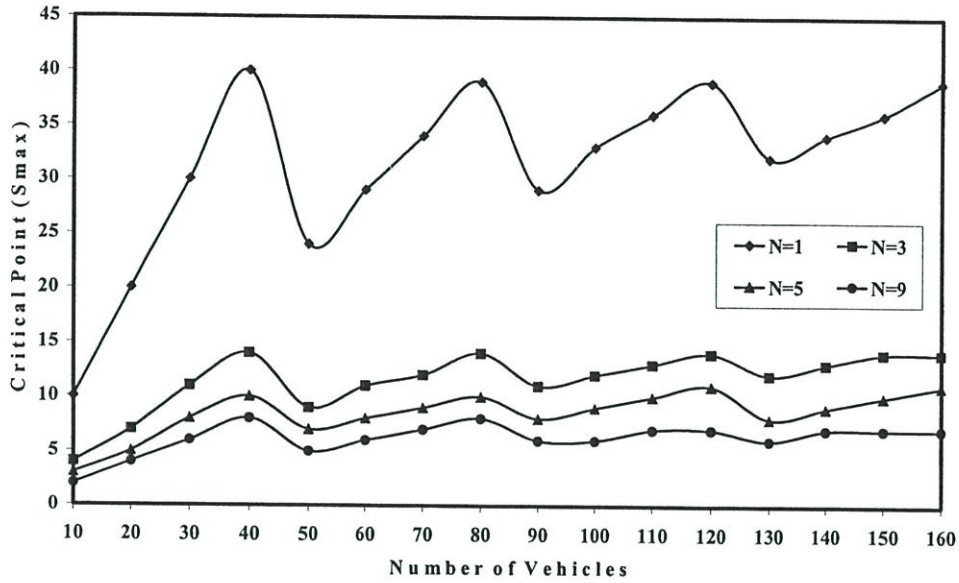
6.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปรจำนวนฮ๊อพในระบบ



รูปที่ 6.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้จำนวนฮ๊อพในระบบ

จากรูปที่ 6.25 เราจะพบว่า จำนวนยานพาหนะในระบบมีอิทธิพลน้อยมากต่อค่าวิสัยสามารถสูงสุด และยิ่งส่งผ่านจำนวนฮ๊อพยิ่งมากจะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบลดต่ำลง

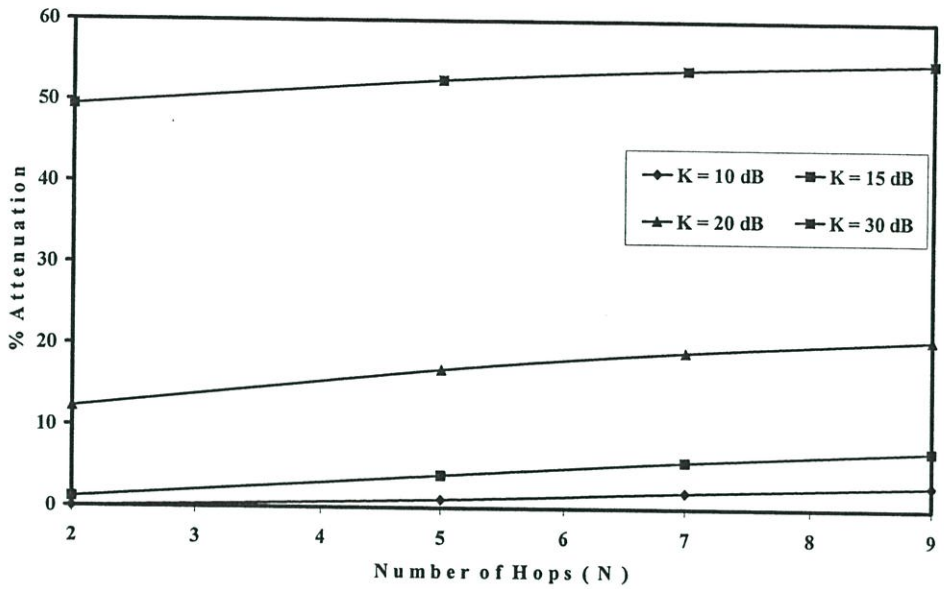
6.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปร จำนวนฮ๊อพในระบบ



รูปที่ 6.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด กับ จำนวนยานพาหนะในระบบ ภายใต้ค่าตัวแปร จำนวนฮ๊อพในระบบ

จากรูปที่ 6.26 เราจะพบว่า ค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดจะเพิ่มลดไปวงรอบ ทีละ 40 จากรูป ค่าออฟเฟอร์โหลดจะค่อยๆสูงขึ้น จาก (10-40) จากนั้น จะลดลง และค่อยๆเพิ่มขึ้น จาก (50-80) เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยที่จำนวนฮ๊อพยิ่งมาก จะยิ่งทำให้ค่าออฟเฟอร์โหลดที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดลดน้อยลง ตามลำดับ

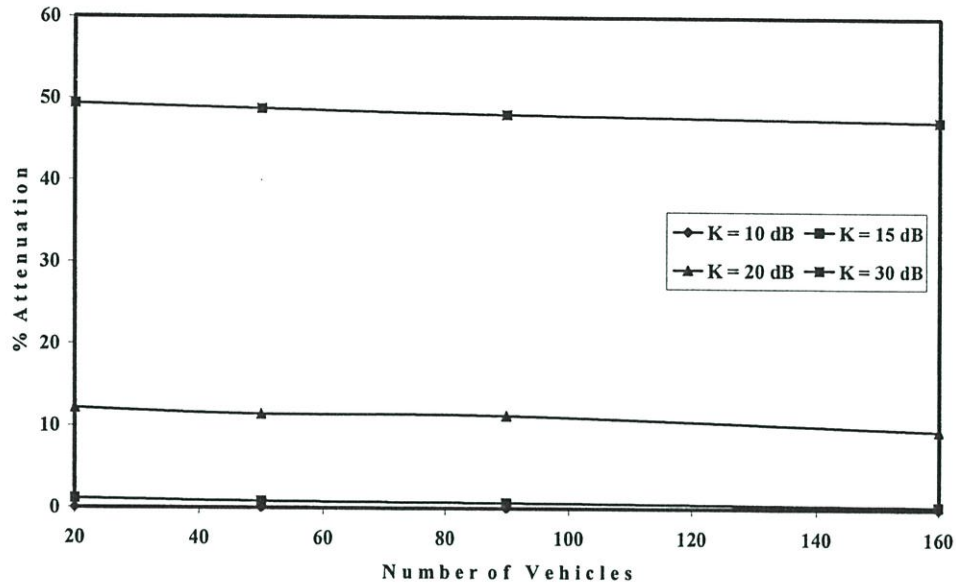
6.3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฮ๊อพ (N) กับ เปอร์เซ็นต์การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K)



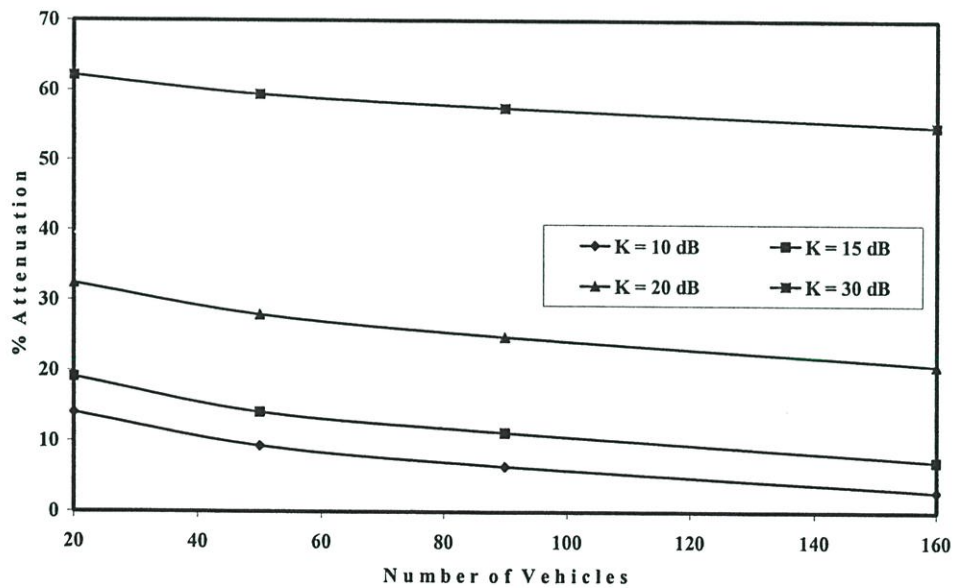
รูปที่ 6.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนฮ๊อพ (N) กับ เปอร์เซ็นต์การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K)

จากรูปที่ 6.27 จะพบว่า ยิ่งมีค่าไรซ์แฟคเตอร์ในระบบ ยิ่งมาก และ ยิ่งผ่านจำนวนฮ๊อพ ยิ่งมาก จะทำให้เกิดค่าการสูญเสียพลังงานมากขึ้น ตามลำดับ

6.3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนยานพาหนะ (M) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 1 และ N = 9



6.28 (ก)



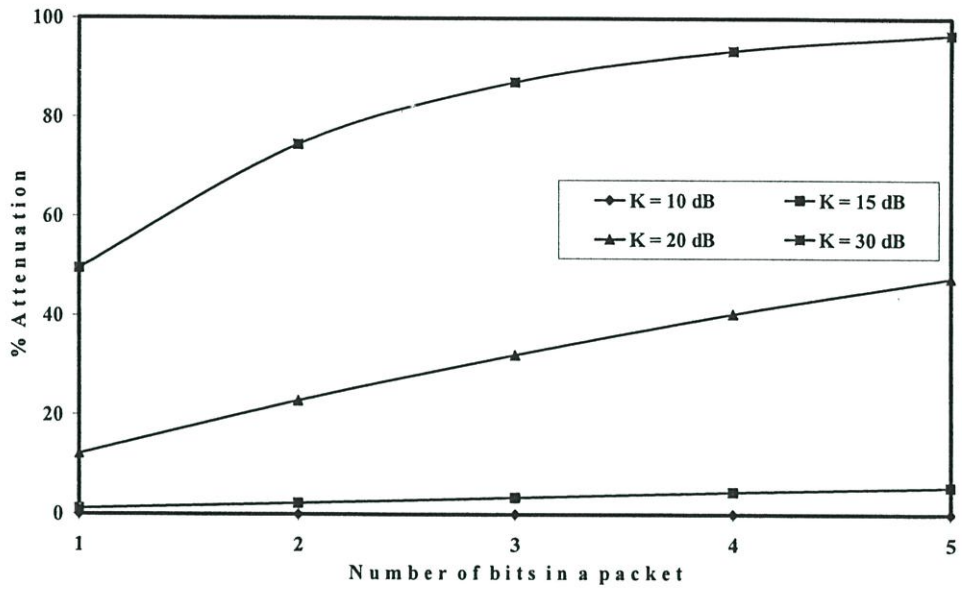
6.28 (ข)

รูปที่ 6.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนยานพาหนะ (M) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 1 (ก) และ N = 9 (ข)

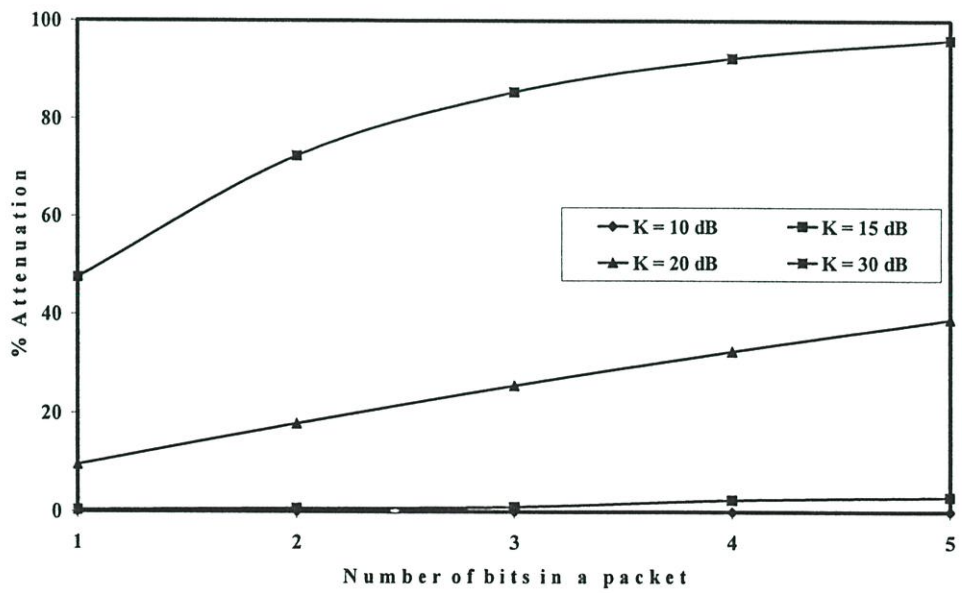
จากรูปที่ 6.28 (ก)และ(ข)จะพบว่า ยิ่งมียานพาหนะในระบบ ยิ่งมากจะยิ่งทำให้ ช่วยลดค่าเปอร์เซ็นต์ การลดทอนอันเนื่องมาจาก ไรซ์แฟคเตอร์ได้ และยิ่งส่งผ่านฮ๊อพมากยิ่งเกิดการสูญเสียพลังงานมาก

6.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อ จำนวนยานพาหนะ M = 20 และ M = 160

กรณีที่ 1 เมื่อจำนวนฮ๊อพ N = 1



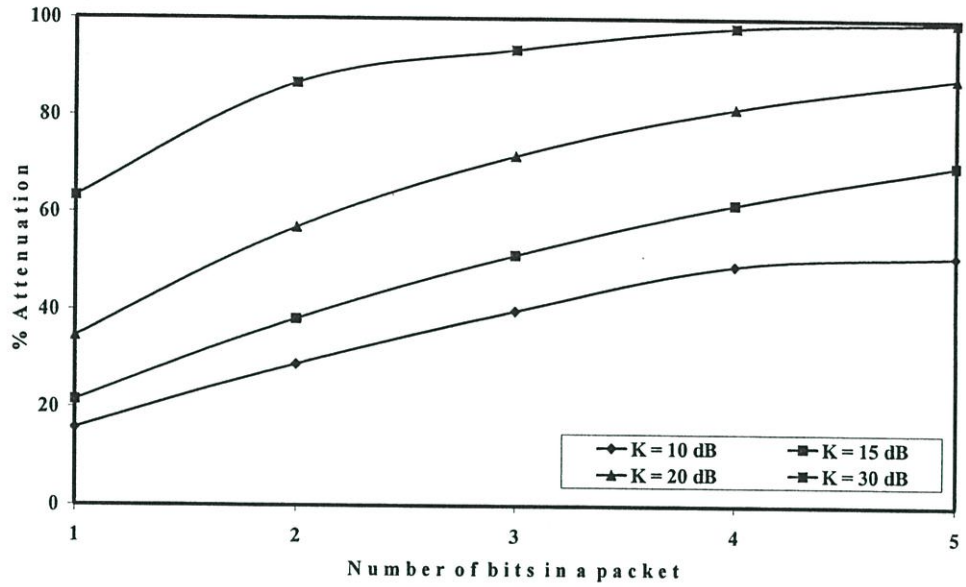
6.29 (ก)



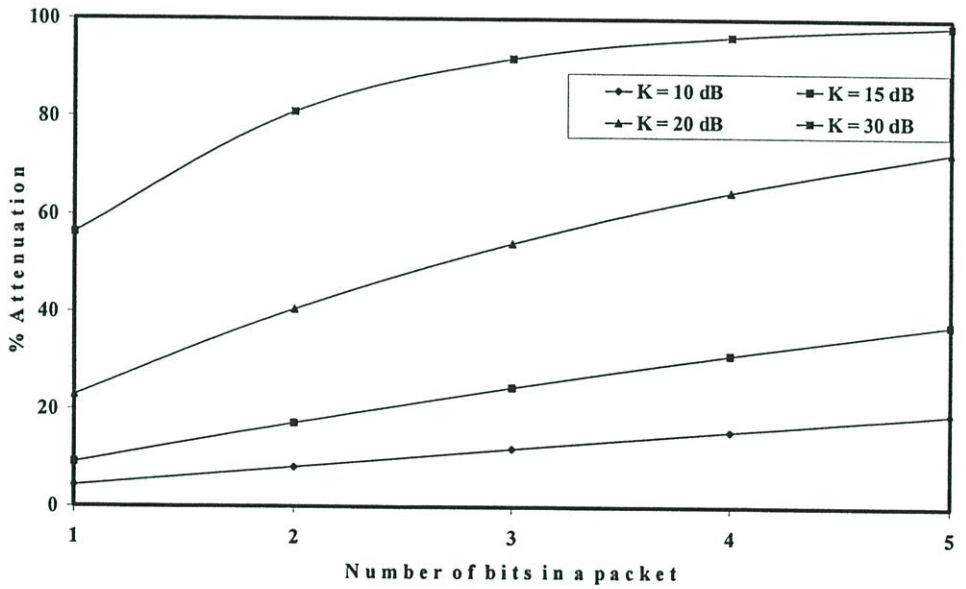
6.29 (ข)

รูปที่ 6.29 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอน ภายใต้ค่าตัวแปรไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อจำนวนยานพาหนะ M = 20 (ก) และ M = 160 (ข)

กรณีที่ 2 เมื่อ จำนวนฮ๊อพ N = 9



รูปที่ 6.30 (ก)



รูปที่ 6.30 (ข)

รูปที่ 6.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนบิตในหนึ่งแพ็กเกต (L) กับ เปอร์เซ็นต์ การลดทอนภายใต้ค่าตัวแปร ไรซ์แฟคเตอร์ (K) เมื่อจำนวนยานพาหนะM = 20 (ก) และ M = 160 (ข)

จากรูปที่ 6.29 (ก), (ข) และ 6.30 (ก), (ข) จะพบว่า ยิ่งมีการใช้บิตในหนึ่งแพ็กเกต ยิ่งมากจะยิ่งทำให้ ค่าเปอร์เซ็นต์การลดทอนอันเนื่องมาจาก ไรซ์แฟคเตอร์สูงขึ้น และ จำนวนยานพาหนะในระบบยิ่งมากจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การลดทอนลดน้อยลง และเมื่อยิ่งส่งผ่านฮ๊อพยิ่งมาก จะทำให้การลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างมาก

บทที่ 7
บทสรุป

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ซึ่งเป็นการสื่อสารแนวใหม่ที่ประยุกต์เอาการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ประยุกต์กับการสื่อสารทางคมนาคม เพื่อจุดประสงค์หลัก ก็เพื่อ การป้องกันอุบัติเหตุทางท้องถนน และยังสามารถประยุกต์กับการใช้งานไร้สายได้อีกหลายประเภท อาทิ การให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง และการให้บริการโทรศัพท์ไร้สายเคลื่อนที่ได้ จึงนับได้ว่าการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นการสื่อสารที่มีความน่าสนใจ และมีความสำคัญอย่างยิ่งยวด กับชีวิตปัจจุบัน

สำหรับขั้นตอนการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเป็น 2 เรื่องใหญ่ๆ คือ 1. การสื่อสารมัลติชันแนล และ 2. โปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยผู้วิจัยได้พยายามศึกษาและทำงานวิจัยอย่างละเอียด เพื่อในขั้นต้นจะได้เป็นการกำหนดแนวทางในการวิจัย และทำให้ผู้วิจัยได้ตัดสินใจจะมุ่งเน้นงานวิจัย ไปที่ โปรโตคอล CSMA/CA ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพในการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล และสามารถรองรับทราฟฟิกขนาดสูงๆได้ดีกว่าโปรโตคอลในกลุ่มประเภทเดียวกัน ผู้วิจัยจึงได้หยิบยกเอาโปรโตคอล CSMA/CA มาประยุกต์เข้ากับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยมีการพิจารณาช่องสัญญาณไรซ์ ซึ่งเป็นช่องสัญญาณพื้นฐานที่มีความน่าสนใจในการสื่อสารมัลติฮ๊อพ

สำหรับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข จะพบว่า โปรโตคอล CSMA/CA สามารถรองรับทราฟฟิกจำนวนมากได้ดี แม้กระทั่งการผ่านจำนวนฮ๊อพที่มาก ก็ยังคงสามารถให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงอยู่ได้ และเมื่อยิ่งพิจารณาผลกระทบจากช่องสัญญาณไรซ์ จะยิ่งเห็นได้ชัดเจนว่าโปรโตคอล CSMA/ CA มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนเป็นอย่างดี และสามารถส่งบิตต่อหนึ่งแพ็กเกตได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ สามารถรับส่งข้อมูลกันได้มากยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะยังคงไม่มุ่งเน้นไปที่ความเร็วของยานพาหนะมากนัก แต่จะมุ่งเน้นไปที่โปรโตคอล CSMA/CA เมื่อประยุกต์เข้ากับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Hasegawa, K. Mizui, H. Fujii, and K. Seki, **"A Concept Reference Model for Inter-Vehicle Communications (Report 2),"** IEEE ITS. Conference, Washington, D.C., USA, October 3-6, 2004, pp. 810-815.

[2] L. Wischhof, A. Ebner, H. Rohling, M. Lott, and R. Halfmann, **"Adaptive Broadcast for Travel and Traffic Information Distribution Based on Inter-Vehicle Communication,"** in Proceedings of the 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, Jeju, Korea, Apr. 2003, pp. 6-11.

[3] J. So and N. Vaidya, **"Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks : Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver,"** in MobiHoc'04, May 24-26, 2004, Roppongi, Japan. 2004, pp. 222-233.

[4] G. Korkmaz, E. Ekici, and F. Ozguner, **"An Efficient Fully Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicular Communication Systems,"** in the IEEE ICC 2006 proceedings. pp. 423-128.

[5] Y. Gunter and H. GroBmann, **"Usage of Wireless LAN for Inter-Vehicle Communication,"** Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna, Australia, September 13-16, 2005, pp. 296-301.

[6] N. Fujimoto and M. Nakagawa, **"System Performance of DS/SS Inter-Vehicle Communication and Ranging System under Rician Fading Channel,"** Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan.

[7] M. Raya, and J. Hubaux, **"The Security of Vehicular Ad Hoc Network,"** Laboratory for Computer Communications and Applications EPFL, Switzerland.

[8] M. Sadashivaiah, R. Makanaboyina, B. Geovge, and R. Raghavendra, **"Performance Evaluation of Directional MAC Protocol for Inter-Vehicle Communication,"** Daimlar Chrysler Research & Technology, India.

[9] J. Blum and A. Eskandanian, **"Adaptive Space Division Multiplexing : An Improved Link Layer Protocol for Inter-Vehicle Communication,"** Proceedings in Intelligent Transportation Systems 2005, Sept., 2005.

[10] K. Tokuda, M. Akiyama, and H. Fujii, **"Dolphin for Inter-Vehicle Communications System,"** IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000 USA, October 3-5, 2000, pp. 504-509.

[11] J. Li and C. Blake, **"Capacity of Ad Hoc Wireless Networks,"** M.I.T. Laboratory for Computer Science.

[12] M. Sadashivaiah, **"Performance evaluation of Directional MAC protocol for Inter-Vehicle Communication,"** Vehicular Technology Conference 2005, Spring, IEEE 61st, Volume 4, 30 May – 1 June 2005.

[13] J. Singh, **"Wireless LAN Performance Under Varied Stress Conditions in Vehicular Traffic Scenario,"** IEEE Vehicular Technology Conference 2002.

[14] Y. Inoue and M. Nakagawa, **"Mac Protocol for Inter-vehicle Communication Network Using Spread Spectrum Technique,"** Dept of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University, Japan.

[15] A. Widodo and T. Hasegawa, **"Evaluations of Traffic Safety Improvement Using An Autonomous Traffic Flow Simulator Including Inter – Vehicle Communications,"** Dept. of Electrical and Electronic System Eng., Saitama Univ., Japan.

[16] S. Kato and S. Tsugawa, **"Evaluation of Information Transmission over Inter – Vehicle Communications with Simulation Studies,"** The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation System , 3-6 Sept. 2002, Singapore, pp. 324-329.

[17] L. Kleinrock and F. Tobagi, **''Packet Switching in Radian Channels: Part I—Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics,''** IEEE Transactions on Communication, vol. 23, no. 12 , pp. 1400-1416, 1975 .

[18] A. Gkelias, M. Dohler, V. Friderikos and A. Aghvami, **"Wireless multi-hop CSMA/CA with cross optimized PHY/MAC,"** IEEE Global Telecommunication Conference Workshops, pp. 39-43.

[19] H. Takagi and L. Kleinrock, **"Throughput Analysis for Persistent CSMA Systems ,"**IEEE Transactions on Communications, vol. com-33, no.7, pp. 627-638, 1988.

[20] H. Takagi, L. Kleinrock, **"Optimal Transmission Ranges for Randomly Distributed Packet Radio Terminals,"** IEEE Transactions on Communication, vol. com-32, no.3 , pp.246-257, March 1984.

[21] A. Gkelias , M. Dohler and H. Aghvami , **"Throughput Analysis for Multi-hop CSMA,"** Centre for Telecommunication Research , London , UK.

[22] J. Hyun Kim and J. Lee, **"Capture Effect of wireless CSMA/CA protocols in Rayleigh and shadow fading channels,"** IEEE Transactions on Vehicular Technology IEEE, vol. 48, no.4 , July 1999.

[23] B. Ezio, S. Di and Z. Valerio, **"Modulation and Coding for Mobile radio Communications : Channels with Correlated Rice fading and Doppler Frequency Shift,"** IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 47, no.1, pp. 133-141, Feb. 1998.

[24] R. Verdone, **"Multihop R- ALOHA for Inter-vehicle Communications at Millimeter Waves,"** IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 46, no.4, Nov. 1997.

[25] สุวิพล สิทธิชีวภาค, **"โลคัลแอเรียเน็ตเวอร์ค,"** พิมพ์ครั้งที่ 1, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535

ภาคผนวก ก
บทความที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31

31st Electrical Engineering Conference (EECON-31)

29 – 31 ตุลาคม 2551

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering Conference หรือ EECON) เป็นการประชุมทางวิชาการระดับชาติในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ทางพัฒนาความเข้มแข็ง ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาความสามารถด้านการออกแบบทางวิศวกรรมไฟฟ้า เพิ่มขีดความสามารถของสถาบันวิจัยต่าง ๆ ในการให้บริการและสนับสนุนทางด้านเทคโนโลยี อีกทั้งส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาของรัฐและเอกชนกับภาคอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพ จัดประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31) ประจำปี 2551

คณะกรรมการจัดการประชุม

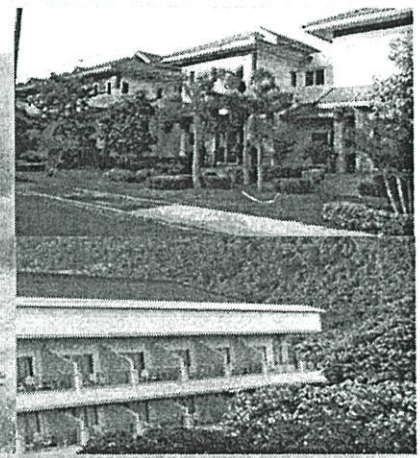
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยธนบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสยาม
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะกรรมการสมทบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยราชธานี
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

สาขาวิชาการ

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุม และการวัดคุม (CT)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DS)
- คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- โฟโตนิกส์ (PH)



การส่งบทความ

บทความจัดทำเป็นภาษาไทย หรือ ภาษาอังกฤษความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษ A4 ผู้ส่งบทความเข้าร่วมประชุม สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มพร้อมทั้งเอกสารต่าง ๆ ได้ที่เว็บไซต์ของสภาวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (EECON Council) "http//www.eecon-thailand.org" หรือ ดูรายละเอียดเกี่ยวกับการจัดประชุมได้ที่เว็บไซต์ของการประชุม "http://eecon31.spu.ac.th"

การพิจารณาและการนำเสนอ

การคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญพิจารณาบทความ ใช้ระบบฐานข้อมูลของผู้พิจารณาบทความเพื่อให้ได้ผู้เชี่ยวชาญที่ตรงสาขามากที่สุด จะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบทาง E-mail บทความที่ผ่านการพิจารณา จะได้รับการตีพิมพ์ใน Proceeding ซึ่งจะต้องมีการนำเสนอทุกบทความ การนำเสนอบทความจะเป็นการนำเสนอบนเวทีด้วยวาจา (Oral Presentation) ทั้งนี้คณะกรรมการได้จัดให้มีรางวัล สำหรับบทความดีเด่นของทุกสาขาอีกด้วย

กำหนดการสำคัญ

หมดเขตรับบทความ	11 กรกฎาคม 2551
แจ้งผลการพิจารณาบทความ	13 สิงหาคม 2551
หมดเขตรับบทความสมบูรณ์	12 กันยายน 2551
กำหนดประชุมการนำเสนอบทความ	29 – 31 ตุลาคม 2551

ติดต่อขอรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ เลขานุการ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (e-mail: eecon-31@spu.ac.th)

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 ถ.รังสิต-นครนายก กลอง 16 อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
โทรศัพท์ : 0-2664-1000 ต่อ 2041 โทรสาร : 037-322-605

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
61 ถ.พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ : 0-2579-1111 ต่อ 2272 โทรสาร : 0-2579-1111 ต่อ 2270

การประเมินประสิทธิภาพของโปรโตคอล CSMA/CA เมื่อประยุกต์การสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพบนช่องสัญญาณไรซ์

Evaluation Performance CSMA/CA Protocol apply with Multi-hop Communication over Rice Fading

อรุณวัชร์ กร่ำธาดา และ สุวิพล สิทธิชีวภาค
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3 หมู่ 2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร. 0-2737-2500-47 ต่อ 5028 E-mail: kramtada@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพขอโปรโตคอล CSMA/CA (Carrier Sense Mulitiple Access / Collision Avoidance) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับการสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพ (Multihop Communication) โดยจะมีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข พิจารณา ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด (Offered Load) และ ค่าการหน่วงเวลา (Delay Time) กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด (Offered Load) ภายใต้ค่าตัวแปรจำนวนฮ๊อฟในระบบ ตลอดจนมีการพิจารณาผลกระทบจากปรากฏการ์ณไรซ์ เฟดดิ้ง (Rice Fading) ที่ใช้การมอดูเลตแบบ PSK (Phase Shift Keying)

คำสำคัญ : ค่าวิสัยสามารถ, ค่าการหน่วงเวลา , ค่าออฟเฟอร์โหลด และการสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพ , ช่องสัญญาณไรซ์เฟดดิ้ง

Abstract

This article presents multihop communication network by using CSMA/CA(Carrier Sense Mulitiple Access / Collision Avoidance) Protocol for analysis Network. We study the relation between throughput value and offered load under number of hops and the relation between end-to-end delay and offered load under number of hops with effect of rice fading channel that used phase shift keying modulation. Then we calculate numerical results for analysis above relations.

Keywords : Throughput , Delay Time , Offered Load, Multihop Communication , Rice fading channel

1. บทนำ

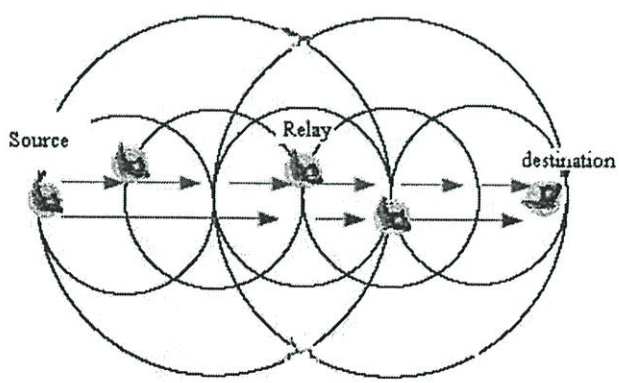
ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว จากที่มีการติดต่อใช้งานเพียงผู้ใช้เดียว (Single User) ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็น หลายผู้ใช้ (Multi-User) จนสามารถไปสู่การสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพ (Multi hop Communication) ดังที่เห็นในปัจจุบัน

ถึงแม้ว่า การสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพ จะสามารถทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างกว้างขวาง และมีความสะดวกสบายในการสื่อสารมากยิ่งขึ้น แต่กระนั้น ก็ยังมีผลกระทบที่เกิดจาก การชนกันของข้อมูลมากขึ้นตามไปด้วย อันเนื่องมาจาก จำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้นตามลำดับ

ดังนั้น ในบทความนี้ จึงขอเสนอ โปรโตคอล CSMA/CA เพื่อลดการชนกันของข้อมูล ในกรณีที่มีผู้ใช้จำนวนมากในโครงข่าย โดยในบทความนี้ จะมีการเสนอผลการศึกษาเชิงตัวเลข ของค่าวิสัยสามารถ และค่าการหน่วงเวลา เปรียบเทียบกับ ค่าออฟเฟอร์โหลด ภายใต้ตัวแปรจำนวนโหนด และ จำนวนฮ๊อพ ในระบบ ตลอดจนมีการพิจารณาผลกระทบจากปรากฏการ์ณ ไรซ์ เฟดดิ้ง ที่ใช้การมอดูเลตแบบ PSK

โดยในบทความฉบับนี้ จะแบ่งรายละเอียด ดังนี้ ส่วนที่ 2 จะอธิบายรายละเอียดโครงสร้างของระบบการสื่อสารมัลติฮ๊อพ ส่วนที่ 3 จะอธิบาย การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล CSMA/CA ส่วนที่ 4 แสดงโครงสร้างช่องสัญญาณไรซ์เฟดดิ้ง ส่วนที่ 5 เป็นส่วนแสดงผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข และ ส่วนที่ 6 เป็นส่วนสรุปผลการทดลอง

2. โครงสร้างการสื่อสารระบบมัลติฮ๊อพ



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างการสื่อสารมัลติฮ๊อพ

จากรูปที่ 1 แสดงการสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพ โดยจะแสดงการสื่อสารจากสถานีต้นทาง(Source Node)ส่งไปยังสถานีเชื่อมต่อ(Relay Node) และเชื่อมต่อไปยังสถานีปลายทาง (Sink Node) และทำการสื่อสารจากฮ๊อพต้นทางไปยังฮ๊อพปลายทางด้วย โดยแต่ละสถานี จะทำการส่งสัญญาณด้วยความน่าจะเป็น g(0<g<1) และจะทำการส่งสัญญาณออกด้วยความน่าจะเป็น p(0<p<1) และแต่ละโหนดสามารถเป็นได้ทั้งสถานีต้นทาง สถานีเชื่อมต่อ หรือ สถานีปลายทางได้

3. การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถของโปรโตคอล CSMA/CA

จากรูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมพื้นฐานของโปรโตคอล CSMA/CA โดยเราจะแบ่งเวลาออกเป็น 3 ช่วงเวลา กล่าวคือ

1. ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณและส่งได้สำเร็จ (Useful Transmission : $\overline{U}$)

2. ช่วงเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดในการส่งสัญญาณข้อมูล (Busy Period : $\overline{B}$)

3. ช่วงเวลาที่ไม่ได้มีการส่งสัญญาณข้อมูล (Idle Period : $\overline{I}$)

ดังนั้น เราสามารถคำนวณค่าวิสัยสามารถ (S)ได้โดย

$$S=\frac{\overline{U}}{\overline{B}+\overline{I}} \qquad (1)$$

กำหนดให้ j = จำนวนของช่วงเวลาที่ไม่ว่างย่อยๆ จะได้ $B^{(j)}$ คือ ช่วงเวลา Busy Period ย่อยๆ , $U^{(j)}$ คือ ช่วงเวลา Useful Transmission ย่อยๆ , $T^{(j)}$ คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล มีค่าเท่ากับ 1 + a เสมอ ไม่ว่าการส่งนั้นจะสำเร็จหรือไม่ก็ตาม และ $D^{(j)}$ คือ ช่วงเวลาการหน่วงเวลาย่อยๆ

โดยที่ในกรณีที่ $j=1$ ของช่วงเวลา $B^{(j)}$ และ $U^{(j)}$ ให้เท่ากับ DIFS และ $j\geq 2$ ของ $B^{(j)}$ และ $U^{(j)}$ จะเป็นค่าตัวแปรสุ่ม และ จะได้ค่าเฉลี่ยของ Busy Period คือ

$$\overline{B}=E\left[B^{(1)}\right]+\left(\overline{J}-1\right)E\left[B^{(2)}\right] \qquad (2)$$

ดังนั้น จะได้ ค่าเฉลี่ย ของ Useful Transmission คือ

$$\overline{U}=E\left[U^{(1)}\right]+\left(\overline{J}-1\right)E\left[U^{(2)}\right] \qquad (3)$$

และจะสามารถหา $E\left[D^{(j)}\right]$ ได้ดังสมการ

$$E\left[D^{(j)}\right]=\begin{cases} f\left[1-(1-g)^{M}\right] & ;\ j=1 \\ \dfrac{a}{N-(1-g)^{(TP/a)M}}\left(\sum_{k=1}^{\infty}\left\{\begin{matrix}(1-p)^{k}-(1-g)^{(TP/a)}\cdot \\ \left((1-p)^{k}-(1-g)^{k}\right)\end{matrix}\right\}^{M}\right. & \\ \left.-(1-g)^{(TP/a)M}\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{km}\right) & ;\ j=2,3.... \end{cases} \qquad (4)$$

สามารถหาค่า Idle Period : $\overline{I}$ จากสมการ

$$\overline{I}=\frac{a}{1-(1-g)^{M}} \qquad (5)$$

ดังนั้น เราสามารถหาค่า $\overline{B}+\overline{I}$ ได้จาก

$$\overline{B}+\overline{I}=E\left[D^{(1)}\right]+1+a+\left[\begin{matrix}\left(\dfrac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}}-1\right)\cdot \\ \left(E\left[D^{(2)}\right]+1+a+f\right)\end{matrix}\right]+\overline{I} \qquad (6)$$

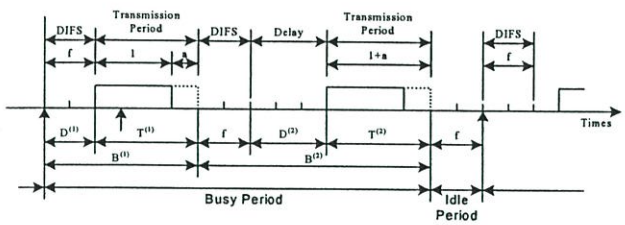
เมื่อกระจายพจน์จะได้

$$\begin{aligned}\overline{B}+\overline{I}&=f\left[1-(1-g)^{M}\right]+1+a \\ &+\frac{a}{N-(1-g)^{(TP/a)M}}\left(\left[1-(1-g)^{(TP/a)M}\right](1+a+f)\right. \\ &+\left(a\cdot\left(\sum_{k=1}^{\infty}\left\{(1-p)^{k}-(1-g)^{(TP/a)}\left[(1-p)^{k}-(1-g)^{k}\right]\right\}^{M}\right.\right. \\ &\left.\left.-(1-g)^{(TP/a)M}\cdot\sum_{k=1}^{\infty}(1-g)^{kM}\right)\right)+\frac{a}{\left[1-(1-g)^{M}\right]}\end{aligned} \qquad (7)$$

สมการ Useful Transmission สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned}\overline{U}&=\frac{M\left[1-(1-g)\right](1-g)^{M-1}}{N\cdot(1-(1-g)^{M})}+\left(\frac{1}{(1-g)^{(TP/a)M}}-1\right)\cdot \\ &\sum_{n=1}^{M}\left(\left(np(1-p)^{n-1}+(np(1-p)^{n-1}(1-g)^{M-n}\right.\right. \\ &\left.\left.+(1-p)^{n}(M-n)g(1-g)^{M-n-1}\right)\cdot\frac{(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}}{1-(1-p)^{n}(1-g)^{M-n}}\right) \\ &\binom{M}{n}\left[1-(1-g)^{(TP/a)}\right]^{n}(1-g)^{(TP/a)(M-n)}\end{aligned} \qquad (8)$$

โดยเมื่อเรา นำสมการที่ 8 หารด้วยสมการ 7 จะได้สมการวิสัยสามารถของระบบมัลติฮ๊อพ



รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมโปรโตคอล CSMA/CA

4. โครงสร้างช่องสัญญาณ ไรซ์ เฟดดิ้ง

สัญญาณที่ได้รับที่เครื่องรับ จะประกอบไปด้วยสัญญาณตรง (direct signal) ด้วยกำลังงาน P และ สัญญาณการรบกวนแทรกสอด (reflected interference signal) ในหน่วยของจำนวนเชิงซ้อน $[X(t)+jY(t)]$ รวมกับค่า กำลังงานเฉลี่ย ของสัญญาณการรบกวนขาวแบบเกาส์ $E[n_c(t)]$ และ $E[n_s(t)]$ ดังนั้น พลังงานที่ได้รับที่เครื่องรับจะได้เป็น

$$r(t)=\sqrt{2P}s(t)+\left[X(t)+jY(t)\right]\cdot s(t)+\left[n_c(t)+jn_s\left(t\right)\right] \quad (9)$$

โดยที่ $s(t)$ คือ สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลต PSK

$$s(t)=\sum_{i=-\infty}^{\infty} g\left(t-iT\right)e^{j\phi_i} \quad (10)$$

สำหรับ การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะผิดพลาดทางสัญลักษณ์ (symbol error probability) ที่มีการมอดูเลตประเภท PSK เราคำนวณได้จาก

$$P_e=\frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{3\frac{\pi}{8}}\exp\left(-U\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right)\Big/\cos^2 y\right)dy \quad (11)$$

โดยที่

$$U=\frac{P}{N+D} \quad (12)$$

สำหรับ

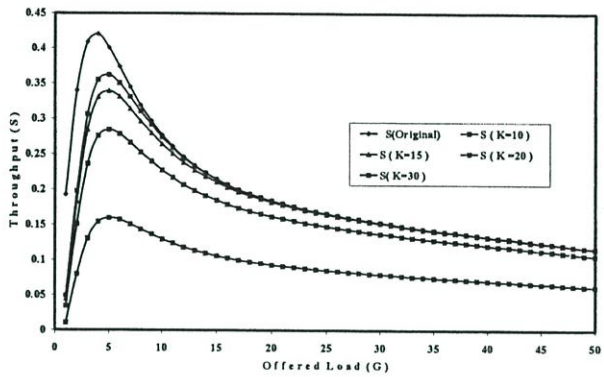
P คือ ค่ากำลังงานที่ใช้ในการส่งทั้งหมด (W)

D คือ ค่ากำลังงานสะท้อนแทรกสอดเฉลี่ย (W)

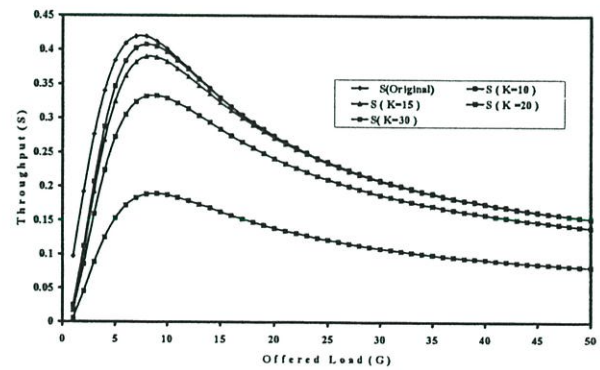
N คือ กำลังงานเฉลี่ย ของสัญญาณการรบกวนขาวแบบเกาส์ (W)

K คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณทั้งหมด ต่อ สัญญาณที่แพร่กระจาย หรือ เท่ากับ 2P/D

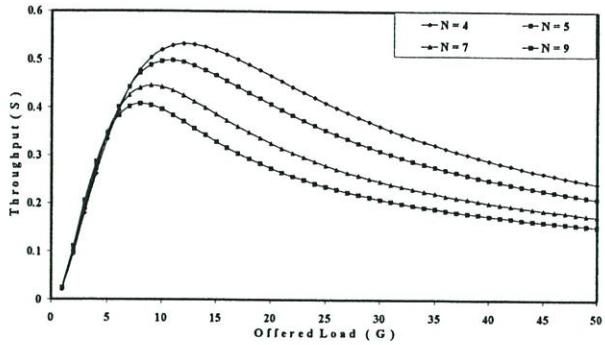
5. ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข



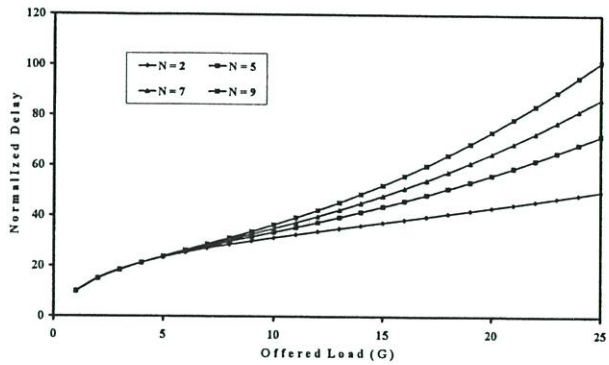
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ค่าวิสัยสามารถ (S) กับค่าออฟเฟอร์โหลด (G) ภายใต้ค่าตัวแปรอัตราส่วนพลังงานทั้งหมดกับพลังงานที่แพร่กระจาย (K)ในระบบ และจำนวนโหนดในระบบ เท่ากับ 20



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ค่าวิสัยสามารถ (S)กับค่าออฟเฟอร์โหลด (G) ภายใต้ค่าตัวแปรอัตราส่วนพลังงานทั้งหมดกับพลังงานที่แพร่กระจาย (K)ในระบบ และจำนวนโหนดในระบบ เท่ากับ 160



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ค่าวิสัยสามารถ (S)กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด (G) ภายใต้ค่าตัวแปร จำนวนฮ๊อพ (N) เมื่อ K = 10 dB



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ ค่าการหน่วงเวลา (Delay)กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด (G) ภายใต้ค่าตัวแปรฮ๊อพ (N) เมื่อ K = 10 dB

จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่า เมื่อเรากำหนดจำนวนฮ๊อพไว้ที่ N = 9 จะพบว่า ยิ่งเราเพิ่มค่าตัวแปรอัตราส่วนพลังงานทั้งหมดกับพลังงานที่แพร่กระจาย (K)ในระบบ มากขึ้น จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพของค่าวิสัยสามารถลดลง ตามลำดับ และการที่มีโหนดในระบบมากขึ้นจะทำให้ค่าออฟเฟอร์โหลดที่จะทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดนั้นมากขึ้นไปด้วย และค่าวิสัยสามารถจะลดลงด้วยอัตราที่ต่ำกว่า ระบบที่มีโหนดน้อยกว่าอีกด้วย

จากกราฟ รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ยิ่งเรากำหนด จำนวนฮ๊อพเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถลดน้อยลง ตามลำดับโดยจากรูปจะคิดกรณี ที่ K = 10 dB

จากกราฟ รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ยิ่งเรากำหนด จำนวนฮ๊อพเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่าการหน่วงเวลามากขึ้น ตามลำดับ

6. สรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอ การวิเคราะห์โปรโตคอล CSMA/CA เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับการสื่อสารมัลติฮ๊อพ โดยจะมีการประเมินจากค่าวิสัยสามารถ และ ค่าการหน่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับค่าออฟเฟอร์โหลด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนฮ๊อพและจำนวนโหนด ในระบบ ตลอดจนมีการพิจารณาผลกระทบจากปรากฏการ์ณ ไรซ์ เฟดดิ้ง ที่ใช้การมอดูเลตแบบ PSK จะเห็นได้ว่า ค่าวิสัยสามารถ จะลดลงตามค่าตัวแปรอัตราส่วนพลังงานทั้งหมดกับพลังงานที่แพร่กระจาย (K) กล่าวคือ ยิ่งมีอัตราส่วนของค่า K ในระบบยิ่งมาก จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถลดต่ำลง แต่การที่มีโหนดในระบบยิ่งมากจะส่งผลทำให้ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบดีขึ้น แต่ก็ส่งผลทำให้ค่าการหน่วงเวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] Jae Hyun Kim and Jong Kyu Lee, " Performance Analysis of MAC Protocols for Wireless LAN in Rayleigh and Shadow Fading Channels," Global Telecommunication Conference, IEEE, vol.1, pp. 404-408, 1997

[2] Jae Hyun Kim and John Kyu Lee, "Capture effects of wireless CSMA/CA protocols in Rayleigh and shadow fading channels", IEEE Transactions on Vehicular Technology IEEE, Vol.48, No.4 ,July 1999.

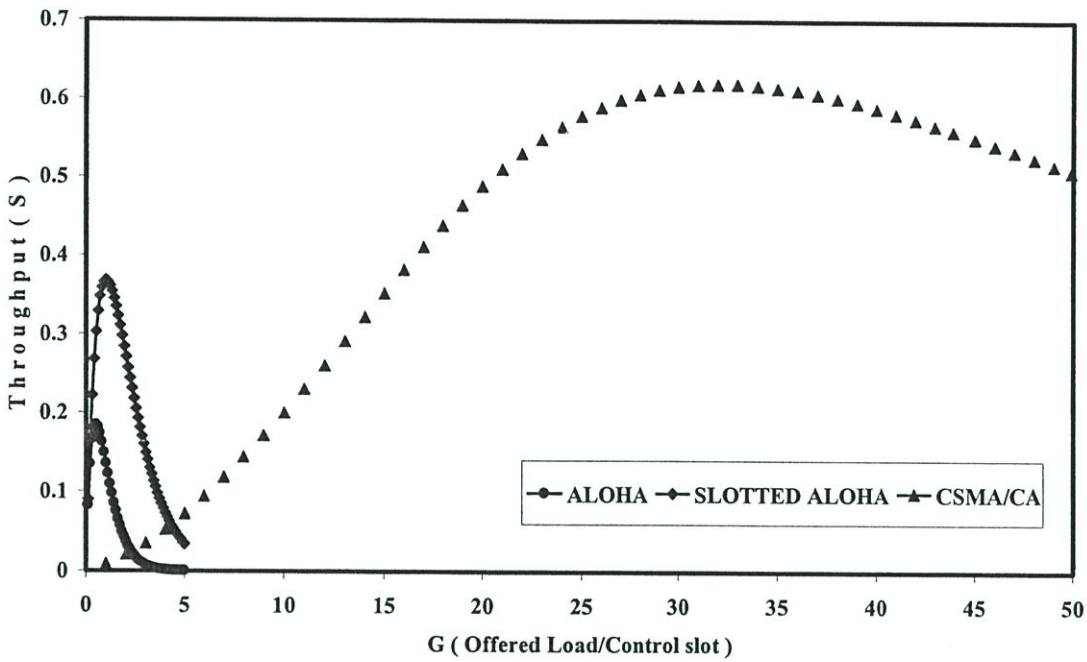
[3] B. Ezio , S. Di and Z. Valerio, '' Modulation and Coding for Mobile Radio Communications: Channels with Correlated Rice Fading and Doppler Frequency Shift '', IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY , Vol .47 , No.1, February 1998 , pp.133-141

อรุณวัชร์ กร่ำธาดา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วศ.บ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี พ.ศ 2546 ปัจจุบันกำลังศึกษาปริญญาโท ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ งานวิจัยที่สนใจ คือ การสื่อสารไร้สายยุคใหม่

สุวิพล สิทธิชีวภาค สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Ph.D. จากมหาวิทยาลัยโกเบ ปี 2534 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยที่สนใจ คือ การสื่อสารไร้สายยุคใหม่และโครงข่ายคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ข
เปรียบเทียบประสิทธิภาพโปรโตคอลในกลุ่ม Random Access

แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของโปรโตคอล กลุ่ม Random Access



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าวิสัยสามารถ (S) กับ ค่าออฟเฟอร์โหลด (G) ภายใต้ค่าตัวแปร ประเภทของโปรโตคอล ในกลุ่ม Random Access

จากรูปที่ 1 ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรโตคอลในกลุ่ม Random Access คือ ALOHA , SLOTTED ALOHA และ โปรโตคอล CSMA/CA จากรูป จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า โปรโตคอล CSMA / CA มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โปรโตคอล ALOHA และ SLOTTED ALOHA เนื่องจาก สามารถรองรับทราฟฟิกข้อมูลได้มากกว่า และ ให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงได้แม้จะบรรจุข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ จึงขอเสนอ โปรโตคอล CSMA/CA เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ประวัติผู้เขียน

ว่าที่ร้อยตรี อรุณวัชร์ กร่ำธาดา เกิดเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549 โดยได้รับทุนการศึกษาระดับ ปริญญาโทจากบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ปัจจุบันทำงานตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 4

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] อรุณวัชร์ กร่ำธาดา , สุวิพล สิทธิชีวภาค " การประเมินประสิทธิภาพของโปรโตคอล CSMA/CA เมื่อประยุกต์การสื่อสารแบบมัลติฮ๊อพบนช่องสัญญาณไรซ์ " การประชุมเชิงวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ และ มหาวิทยาลัยศรีประทุม 29-31 ตุลาคม 2551 ณ รอแยลฮิลล์ กอล์ฟรีสอร์ท แอนด์ สปา จ. นครนายก