

แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่
สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

NOVEL COOPERATIVE MIMO TRANSMISSION SCHEME
FOR INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM

สาริษฐ์ ก้อนแก้ว
SARIT KONKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

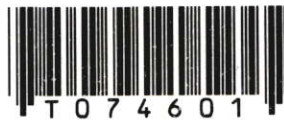
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่
สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

NOVEL COOPERATIVE MIMO TRANSMISSION SCHEME
FOR INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM



สาริษฐ์ ก้อนแก้ว

SARIT KONKAEW

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 74601
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ต.ค. 2550

b. 11828132
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**NOVEL COOPERATIVE MIMO TRANSMISSION SCHEME
FOR INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM**

SARIT KONKAEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วิทยานิพนธ์	แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท ร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ
นักศึกษา	นายสาริษฐ์ ก้อนแก้ว
รหัสประจำตัว	46061304
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. มนต์ชัย แซ่มซ้อย

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมคมนาคมอัจฉริยะเป็นระบบที่ต้องการระบบการจัดการที่ดีในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างสถานีฐาน ยานพาหนะ และเครือข่ายอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีการส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็วสูง วิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์เป็นทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงการสื่อสารของระบบคมนาคมอัจฉริยะ แต่อย่างไรก็ตามในการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์พบว่ามีปัญหาจากการลดทอนประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการลดทอนประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ร่วมกับการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ซึ่งเรียกว่าแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ วิธีการนี้สามารถแก้ไขปัญหาการลดทอนประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณได้ และในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการลดทอนประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจากการสื่อสารระหว่างสถานีส่งกับยานพาหนะ และการสื่อสารระหว่างยานพาหนะที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบด้วย

Thesis Title	Novel Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System
Student	Mr. Sarit Konkaew
Student ID.	46061304
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Monchai Chamchoy

ABSTRACT

Intelligence transport system (ITS) is the system which needs an effective cooperate between local base stations, vehicles and other communication networks in order to create an efficient communication and high-speed data transfer. Space-time block coding technique is another way to improve ITS communication. Anyhow, space-time block coding seems to be a correlated channel problem which reduces the system efficiency. The objective of this thesis is to propose the transmission scheme by applying road to vehicle communication and inter-vehicle communication with space-time block coding technique. It becomes this new technique, which is called novel cooperative MIMO transmission scheme for ITS. This technique is proposed to solve the correlated fading channel. The impact of path losses in inter-vehicle communication and road to vehicle communication are investigated and discussed in the text. As the result, the path loss and correlated fading channel have become the cause of distorting the efficient communication.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ผศ. มนต์ชัย แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีเสมอมาอีกทั้งตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย ท่านอาจารย์ยังให้คำสอน และแนวคิดต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้เข้าใจและเห็นแนวทางการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมารดา บุคคลทางบ้านและเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ทำงานและน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือให้ คำแนะนำต่างๆ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สาริษฐ์ ก้อนแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การทำงานของระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	6
2.2.1 ระบบควบคุมและจัดการจราจรและจัดการความปลอดภัย.....	7
2.2.2 ระบบการให้ข้อมูลข่าวสาร.....	9
2.2.3 ระบบรถอัจฉริยะ.....	9
2.2.3.1 ส่วนรับข้อมูลสารสนเทศและแสดงผล.....	10
2.2.3.2 ระบบตรวจวัดสิ่งกีดขวางและยานพาหนะอื่นๆ.....	10
2.2.3.3 ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ.....	11
2.2.4 ระบบนำทางอัจฉริยะและระบบติดตามตำแหน่งยานพาหนะบนแผนที่.....	12
2.3 ระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	12
2.3.1 ระบบชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ระบบสื่อสารระยะใกล้.....	13
2.3.2 ระบบสื่อสารดาวเทียม.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ระบบสื่อสารระหว่างถนนและยานพาหนะ.....	15
2.3.4 ระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....	16
บทที่ 3 การส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทและการประยุกต์สำหรับ	
ระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	17
3.1 หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท.....	17
3.1.1 ลักษณะการลดทอนในระบบสื่อสารไร้สาย.....	18
3.1.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี.....	18
3.1.1.2 การบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง.....	18
3.1.1.1 การจางหายหลายวิถี.....	18
3.1.2 การจางหายแบบเรย์ลี.....	19
3.2 เทคนิคไดเวอร์ซิตี.....	22
3.2.1 ไดเวอร์ซิตีทางเวลา (Time Diversity).....	22
3.2.2 ไดเวอร์ซิตีทางความถี่(Frequency Diversity).....	22
3.2.3 ไดเวอร์ซิตีทางตำแหน่ง(Space Diversity).....	23
3.3 วิธีการรวมสัญญาณ (Diversity Combining Method).....	23
3.3.1 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณ.....	23
3.3.2 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการสลับสัญญาณ.....	24
3.3.3 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด.....	25
3.3.4 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนเท่ากัน.....	26
3.4 ทฤษฎีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์.....	26
3.4.1 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 1 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด....	26
3.4.1 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด....	29
3.4.1 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด....	31
3.5 แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับ	
ระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	33
บทที่ 4 แบบจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่	
สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 แบบจำลองการสื่อสารในระบบมอดูเลชันแอมพลิจูดโดยการนำสัญญาณส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท.....	35
4.2 แบบจำลองการสื่อสารในระบบมอดูเลชันแอมพลิจูดโดยการนำสัญญาณ MIMO ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง.....	40
4.3 แบบจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบมอดูเลชันแอมพลิจูด.....	44
4.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบมอดูเลชันแอมพลิจูด.....	48
บทที่ 5 ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณสำหรับระบบมอดูเลชันแอมพลิจูด.....	50
5.1 ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะ.....	50
5.2 ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ.....	52
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	56
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างค่า n ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียเชิงสถิติในบริเวณต่างๆ.....	18
3.2 ลำดับการส่งสัญญาณของการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์แบบสายอากาศส่ง 2 ชุด.....	29
3.3 ช่องสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับ.....	31
3.4 สัญญาณที่ภาครับจากสายอากาศรับ 2 ชุด	32
4.1 การเข้ารหัสและลำดับการส่งสัญญาณจากสถานีฐาน.....	45
4.2 สัญญาณที่ยานพาหนะรับจากการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....	46
4.3 การเข้ารหัสและการส่งสัญญาณจากยานพาหนะ.....	46
4.7 สัญญาณที่สถานีฐานรับจากยานพาหนะ.....	46
5.1 การสูญเสียเชิงสถิติและอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การเชื่อมโยงขององค์ประกอบต่างๆในระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....6
2.2	ตัวอย่างของการทำงานต่างๆในระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....7
2.3	การทำงานของระบบควบคุม และจัดการจราจรในระบบคมนาคมอัจฉริยะ..... 8
2.4	การทำงานของระบบจัดการความปลอดภัยเมื่อเกิดอุบัติเหตุ.....8
2.5	รายงานสภาพการจราจรบนระบบนำทางสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....9
2.6	อุปกรณ์ส่วนรับส่งข้อมูลสารสนเทศและแสดงผลของยานพาหนะในประเทศญี่ปุ่น.....10
2.7	อุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งกีดขวางและตำแหน่งยานพาหนะอื่นๆ.....11
2.8	การทำงานของระบบติดตามยานพาหนะบนแผนที่.....12
2.9	การทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ.....13
2.10	การทำงานของระบบจัดการที่จอดรถอัจฉริยะ.....14
2.11	อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในยานพาหนะเพื่อใช้ในระบบสื่อสารระยะใกล้ (DSRC)..... 14
2.12	การทำงานของระบบสื่อสารดาวเทียม.....15
2.13	การทำงานของระบบสื่อสารระหว่างถนนและยานพาหนะ..... 15
2.14	การทำงานของระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....16
3.1	แบบจำลองการสื่อสารโดยอาศัยหลักการส่งข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท.....17
3.2	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ได้รับผลกระทบของการจางหายหลายวิถีและ การบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง.....19
3.3	การรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณ.....23
3.4	การรวมสัญญาณด้วยวิธีการสลบสัญญาณ.....24
3.5	เปรียบเทียบเอาต์พุทของการรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณและการรวม สัญญาณด้วยวิธีการสลบสัญญาณ24
3.6	การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด.....25
3.7	การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดจากสายอากาศรับ 2 ชุด.....27
3.8	การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการรวมสัญญาณจากสายอากาศส่ง 2 ชุด.....30
3.9	การใช้การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์โดยมีสายอากาศส่ง 2 ชุดและสายอากาศรับ 2 ชุด.....31
3.10	แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่.....33
4.1	การสื่อสารพื้นฐานระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.... 35
4.2	การจำลองการสื่อสารพื้นฐานสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....36

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 การสื่อสาร โดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	36
4.4 การจำลองการสื่อสาร โดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุดสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	37
4.5 การสื่อสาร โดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	38
4.6 การจำลองการสื่อสาร โดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุดสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	38
4.7 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการส่งแบบพื้นฐาน.....	39
4.8 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.2.....	41
4.9 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.3.....	41
4.10 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.4.....	42
4.11 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.5.....	42
4.12 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.6.....	43
4.13 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.7.....	43
4.14 แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	45
4.15 การจำลองการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ผลการจำลองการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่เปรียบเทียบกับ การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการส่งแบบพื้นฐานในสถานะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง ช่องสัญญาณสูง.....	48
5.1 ความแตกต่างของตำแหน่งและสิ่งกีดขวางต่อการลดทอนสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐานไป แต่ละยานพาหนะสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	50
5.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบระบบสื่อสารที่ยานพาหนะ 1 มีอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับ สัญญาณรบกวน (SNR) เปลี่ยนแปลง 0 - 50 dB และ คงที่ที่ 15, 20, 25 และ 30 dB.....	51
5.3 ผลกระทบการลดทอนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อแบบแผนการส่งผ่านข้อมูล แบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	52
5.4 แบบจำลองผลกระทบการลดทอนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อแบบแผนการส่ง ผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ.....	53
5.5 ผลการจำลองเปรียบเทียบระบบสื่อสาร ที่มีอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) ของช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะคงที่ที่ 10, 20, 30 และ 40 เทียบกับช่องสัญญาณ ในอุดมคติ.....	54

รายการสัญลักษณ์

f_0	=	ความถี่ของคลื่นพาหะ
f_d	=	ความถี่ของค่าคอปเปอเรอร์ซีฟต์สูงสุด
a_i	=	ขนาดสัญญาณของแต่ละสัญญาณ i
ϕ_i	=	เฟสของแต่ละสัญญาณ i
σ	=	แรงดันเฉลี่ย (rms) ของสัญญาณ
σ^2	=	กำลังเฉลี่ยทางเวลาของสัญญาณ
r_i	=	สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ i
α_i	=	ตัวแปรกำหนดอัตราส่วนการขยายขนาดสัญญาณจากสายอากาศ i
h	=	ช่องสัญญาณระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
n	=	สัญญาณรบกวนและการแทรกสอดเชิงซ้อน
s	=	สัญญาณจากสายอากาศส่ง
s_i	=	สัญญาณสูงสุดที่ภาครับสามารถรับได้
s_k	=	สัญญาณอื่นๆ ที่ภาครับไม่เลือก
$d^2(x, y)$	=	ระยะห่างระหว่างสัญญาณ x และ y
\tilde{s}	=	สัญญาณจากการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด
E_s	=	พลังงานของสัญญาณ
$p(\theta)$	=	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ช่องสัญญาณ
$I_n(k)$	=	ลำดับที่ n ของฟังก์ชันเบสเซิลส์ประยุกต์
k	=	ความกว้างช่องสัญญาณ
α	=	ค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างทิศของการกระจายและทิศของสายอากาศ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคมนาคมเป็นสิ่งจำเป็นของมนุษย์ในยุคสมัยนี้เป็นอย่างมาก ทั้งการเดินทางและการขนส่งล้วนเป็นกิจวัตรของมนุษย์ในการใช้ชีวิต โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีประชากรมากจะมีจำนวนยานพาหนะมากเช่นกัน ความวุ่นวายและการจราจรที่ติดขัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตของประชากรที่ต้องเร่งรีบ หงุดหงิดกับเวลาที่เสียไปบนท้องถนน การนัดหมายล่าช้ามลพิษทางเสียงและอากาศสูงขึ้น ปัญหาทั้งหมดจำเป็นต้องมีระบบที่สามารถจัดการกับปัญหาได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบคมนาคมอัจฉริยะ (Intelligent Transport System: ITS) [1], [2] ขึ้นมาแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ระบบคมนาคมอัจฉริยะมีส่วนประกอบหลายอย่างและมีระดับการใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละประเทศ ซึ่งเลือกใช้ตามสภาพสังคมและเศรษฐกิจ แต่การใช้งานที่มีประสิทธิภาพต้องมีข้อมูลการจราจรมากที่สุดที่ศูนย์ควบคุมจะจัดการกับปัญหาได้ ระบบสื่อสารจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการรวบรวมข้อมูล จากอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลและยานพาหนะ โดยเฉพาะระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้ส่งข้อมูลระหว่างสถานีฐานบนถนนกับยานพาหนะที่มีจำนวนมากมายที่เรียกว่า (Road to Vehicle Communication: RVC)

ระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานบนถนนกับยานพาหนะนี้ต้องมีการพัฒนาเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลที่มากขึ้น การนำวิธีส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท (Multiple Input Multiple Output: MIMO) ที่ใช้หลักการเพิ่มความหลากหลายของช่องสัญญาณเช่น วิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ (Space-Time Block coding: STBC) [3] เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณ แต่ปัญหาของวิธีการนี้คือประสิทธิภาพที่ลดลงเมื่อช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณสูงขึ้น ซึ่งอาจมีโอกาสดังเกิดขึ้นได้ในบางช่วงเวลา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบจากการลดทอนประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร เนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณสูงที่ส่งผลต่อวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และนำเสนอวิธีการใหม่เพื่อแก้ไขปัญหานี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาการใช้หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท โดยวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มาประยุกต์ใช้กับระบบคมนาคมอัจฉริยะ ซึ่งในทางปฏิบัติการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะจะมีการลดทอนประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากผลกระทบของสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงขอเสนอวิธีการใหม่คือแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ (Novel Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System) โดยวิธีการนี้จะนำระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ (Inter Vehicle Communication: IVC) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะ ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดผลกระทบของสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณได้ และศึกษาถึงผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณ ทั้งในระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานบนถนนกับยานพาหนะ และระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะที่มีผลกระทบต่อวิธีการใหม่นี้ด้วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้หลักการเพิ่มไดเวอร์ซิตี (diversity) ของช่องสัญญาณมาใช้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบสื่อสารและลดทอนผลกระทบของการจางหายหลายวิถีได้ [4], [5] แต่ในขณะเดียวกันวิธีนี้มีข้อบกพร่องคือ เมื่อช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณ (Channel Correlative Coefficient) มากกว่า 0.7 ประสิทธิภาพจะลดต่ำลงมาก [6], [7] โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้กับระบบคมนาคมอัจฉริยะ ที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปมาไม่เป็นเส้นตรงตลอดเวลา รวมถึงมีสิ่งกีดขวางหลายชนิด อาจมีโอกาสดังกล่าวที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมากกว่า 0.7 ได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอแนวคิดใหม่ที่ใช้ระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะมาช่วยด้วย เพราะสำหรับยานพาหนะ 2 คัน ช่องสัญญาณจะไม่มีสหสัมพันธ์กัน (Independent Channel) จะสามารถบรรเทาปัญหาการลดทอนประสิทธิภาพจากสหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณลงได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากการเริ่มศึกษาการนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มาประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารของระบบคมนาคมอัจฉริยะ จะพบปัญหาการลดทอนประสิทธิภาพของระบบเนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาคือการลดสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ จึงศึกษาหาวิธีใหม่ที่เหมาะสม เนื่องจากการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารจะพบว่าส่วนมากจะใช้การเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและเทคโนโลยีดีขึ้น หรือเพิ่มจำนวนสถานีฐานหรือเพิ่มกำลังส่ง แต่จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายที่สูง จึงเกิดแนวคิดนำการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมาช่วยส่งผ่านข้อมูลซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพแต่เพิ่มค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อย อีกทั้งวิธีการนี้เป็น การประยุกต์ใช้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ที่เดิมใช้เพียงระบบสื่อสารเพื่อป้องกันอุบัติเหตุมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและแก้ปัญหาสัญญาณที่ลดทอนเนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการนำเสนอวิธีการใหม่สำหรับการสื่อสารในระบบคมนาคม อัจฉริยะ โดยวิธีนี้เป็นการประยุกต์จากการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง (Tx) 2 ชุด และสายอากาศรับ (Rx) 2 ชุด แต่แยกสายอากาศรับให้อยู่ห่างกันโดยแยกสายอากาศให้อยู่คนละ ยานพาหนะเพื่อให้ช่องสัญญาณมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent Channel) ขั้นตอนการส่งจะ คล้ายเดิมแต่เพิ่มส่วนของการส่งข้อมูลระหว่างยานพาหนะ ซึ่งทำให้มีขั้นตอนมากขึ้น แต่เนื่องจาก ใช้คนละช่องสัญญาณจึงไม่สิ้นเปลืองเวลาในขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ของระบบในสถานะที่มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณสูงได้ นอกจากนี้ยังนำเสนอ ผลกระทบที่เกิดจากการลดทอนทั้งในการสื่อสารระหว่างสถานีกับยานพาหนะ และในการสื่อสาร ระหว่างยานพาหนะ

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ปรับเปลี่ยนแนวคิดเดิมของระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานและ ยานพาหนะที่ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะที่เป็นเพียงวิธีพื้นฐาน โดยปรับปรุงตามแนวโน้มการ พัฒนาในทิศทางเดียวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G จึงนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มา ประยุกต์ใช้เพื่อลดผลกระทบจากการลดทอนเนื่องจากการจางหายหลายวิถี แต่ในทางปฏิบัติเมื่อนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มาใช้ จะพบปัญหาการลดทอนประสิทธิภาพของระบบเนื่องจาก สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ จึงได้ค้นหาวิธีปรับปรุงและแก้ปัญหานี้ เนื่องจากพบว่าจำนวน ของยานพาหนะที่มีปริมาณมากมายและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะยังใช้งานไม่เต็มประสิทธิ ภาพ จึงเกิดแนวคิดนำมาใช้ประโยชน์ในการลดสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ วิธีการใหม่นี้จึง กลายเป็นแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบ คมนาคมอัจฉริยะ ที่ใช้การสื่อสารผสานกันระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะ 2 คันเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพของสัญญาณ

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด มาประยุกต์ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะในรูปแบบใหม่ ที่ใช้การสื่อสาร ระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะ และในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยใช้คอมพิวเตอร์ใน การจำลองระบบ ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูล (Bit Error Rate: BER) และอัตราส่วนขนาดสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (Signal-Noise Ratio: SNR) เปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน และวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์แบบทั่วไป ในสถานะที่มี ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมากกว่า 0.7 และจำลองระบบในกรณีที่มีผลกระทบ

จากการลดทอนในช่องสัญญาฉบับนี้ในส่วนการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบคมนาคมอัจฉริยะ การใช้งานในรูปแบบต่างๆ ส่วนประกอบ และระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย ส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

บทที่ 4 กล่าวถึงแบบจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ ผลการจำลอง และประโยชน์ของวิธีการใหม่

บทที่ 5 กล่าวถึงผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาฉบับนี้ในส่วนการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

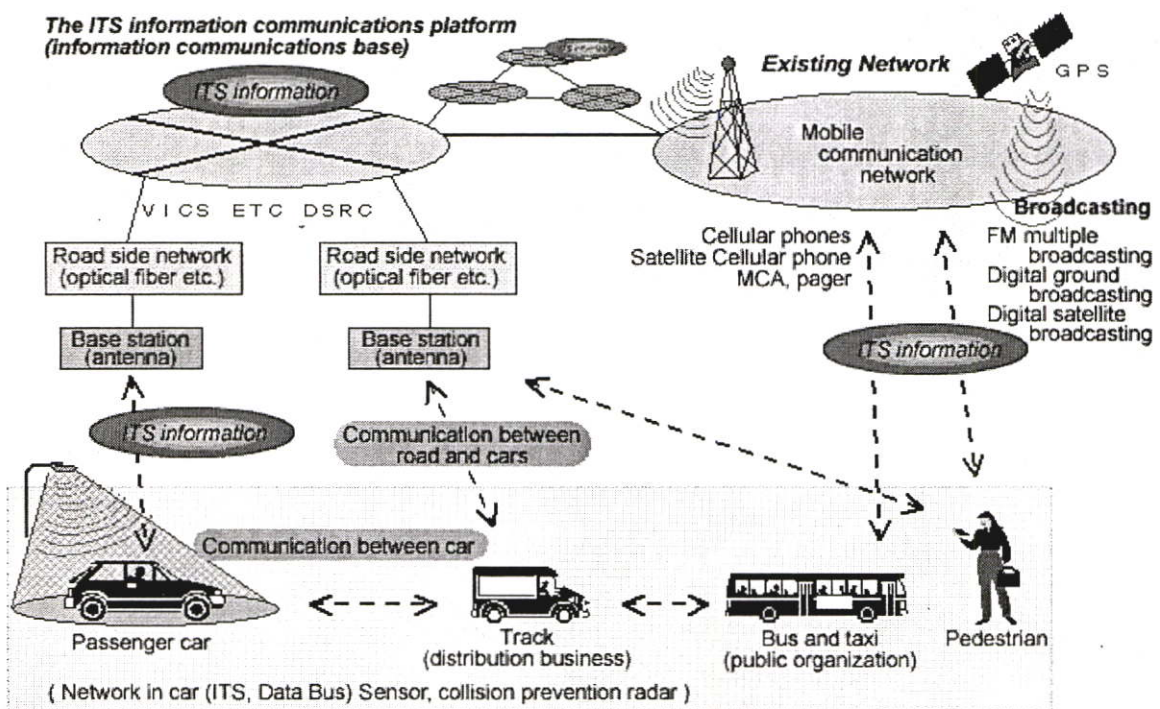
ระบบคมนาคมอัจฉริยะ

2.1 บทนำ

ระบบคมนาคมอัจฉริยะเป็นการรวมนวัตกรรมใหม่ๆ เข้าด้วยกันเพื่อใช้จัดการกับระบบคมนาคมของเมืองขนาดใหญ่ ทั้งระบบควบคุมจราจร ระบบขนส่ง ระบบจัดเก็บค่าผ่านทาง การให้บริการข้อมูลต่างๆ ระบบป้องกันภัย และระบบจัดการเหตุการณ์ฉุกเฉินจากอุบัติเหตุ ดังนั้นระบบคมนาคมอัจฉริยะจึงเปรียบกับภาพขนาดใหญ่ ที่เกิดจากการรวมกันของระบบต่างๆ ซึ่งในแต่ละระบบย่อยๆ ที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบรวบรวมข้อมูล ระบบประมวลผล และนวัตกรรมใหม่ๆ มากมาย โดยองค์ประกอบหลักอาจแบ่งได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ที่ใช้รวบรวมข้อมูลที่ติดตั้งบนยานพาหนะ และบนถนน เช่น กล้อง CCTV อุปกรณ์วัดระยะด้วยระบบอินฟราเรดหรือใช้คลื่นอัลตราโซนิก อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น
2. ระบบสื่อสารทั้งมีสายและไร้สาย (ITS Communication) ที่ใช้ติดต่อระหว่างยานพาหนะ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนถนน ผู้ใช้ และศูนย์ควบคุมที่ต้องการความเร็วสูงเพื่อรองรับข้อมูลปริมาณมหาศาล
3. ระบบยานยนต์อัจฉริยะ (Intelligent Vehicle) [16] ซึ่งปัจจุบันในยานพาหนะอาจมีไมโครโพรเซสเซอร์มากกว่า 200 ตัวเพื่อทำงานรวบรวมข้อมูล และสามารถตัดสินใจในการกำหนดเส้นทางและการควบคุมการเดินรถ
4. ศูนย์รวบรวมข้อมูลและประมวลผล (ITS Center) เพื่อควบคุมระบบคมนาคมอัจฉริยะ และกระจายข้อมูล ไปสู่ผู้ใช้บริการและส่งให้หน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. หน่วยงานรองรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ (ITS Service and Support) เช่น ศูนย์บังคับการจราจร ตำรวจและโรงพยาบาลในกรณีเกิดอุบัติเหตุ การให้ข้อมูลท่องเที่ยวและบริการซ่อมรถยนต์
6. ผู้ใช้บริการ (User) หมายถึงผู้ที่ต้องการรับหรือส่งข้อมูล เช่น ข้อมูลที่ตั้งร้านอาหาร สถานที่ท่องเที่ยว เส้นทางและสภาพการจราจร หรือแจ้งอุบัติเหตุ โดยรับข้อมูลผ่านเครือข่ายคมนาคมอัจฉริยะขณะขับขี่ยานพาหนะ เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรืออาจใช้บริการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

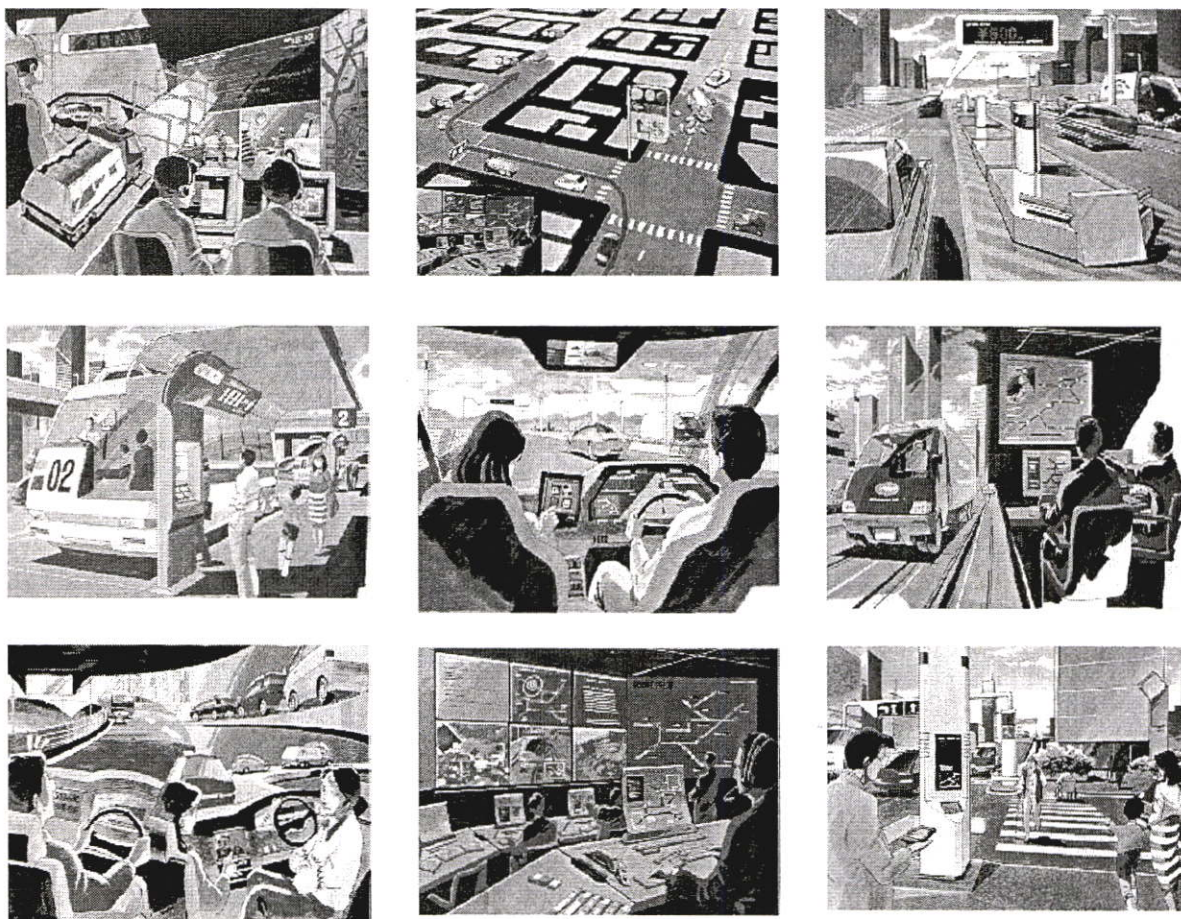
จากองค์ประกอบหลักต่างๆ จะพบว่าทั้งหมดจะต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยระบบสื่อสาร เพื่อเชื่อมโยงถึงกันดังรูปที่ 2.1 ศูนย์ควบคุมจะได้รับข้อมูลจากยานพาหนะ อุปกรณ์ตรวจวัด และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ หลังจากนั้นมาประมวลผลจะส่งสัญญาณไปควบคุมการจราจรทั้งระบบ นอกจากนี้ระหว่างยานพาหนะสามารถสื่อสารกันเองด้วยเพื่อตรวจสอบระยะห่างและส่งสัญญาณลดความเร็วเมื่อพบว่ามีอุบัติเหตุในทิศทางที่ยานพาหนะมุ่งไป ส่วนผู้ใช้สามารถรับข้อมูลผ่านทางเครือข่ายของระบบคมนาคมอัจฉริยะหรือผ่านเครือข่ายอื่นๆ ที่ติดต่อเชื่อมโยงกันอยู่ เช่น เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 2.1 การเชื่อมโยงขององค์ประกอบต่างๆ ในระบบคมนาคมอัจฉริยะ [13]

2.2 การทำงานของระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากองค์ประกอบหลักในข้างต้นสามารถเลือกนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น เมื่อศูนย์บังคับการจราจรมีข้อมูลปริมาณรถในแต่ละเส้นทาง เมื่อผู้ใช้งานพาหนะกำหนดจุดหมาย ระบบอาจเลือกเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุดให้กับผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะในปัจจุบันการนำเทคโนโลยีการวิเคราะห์ประมวลผล (Image Processing) มาใช้ ทำให้สามารถวิเคราะห์สภาพจราจร ตรวจสอบสิ่งกีดขวาง และระบุลักษณะยานพาหนะได้ดีขึ้นมาก เมื่อนำข้อมูลและความต้องการของผู้ใช้มารวมกันสามารถเกิดการใช้งานที่หลากหลายดังนี้



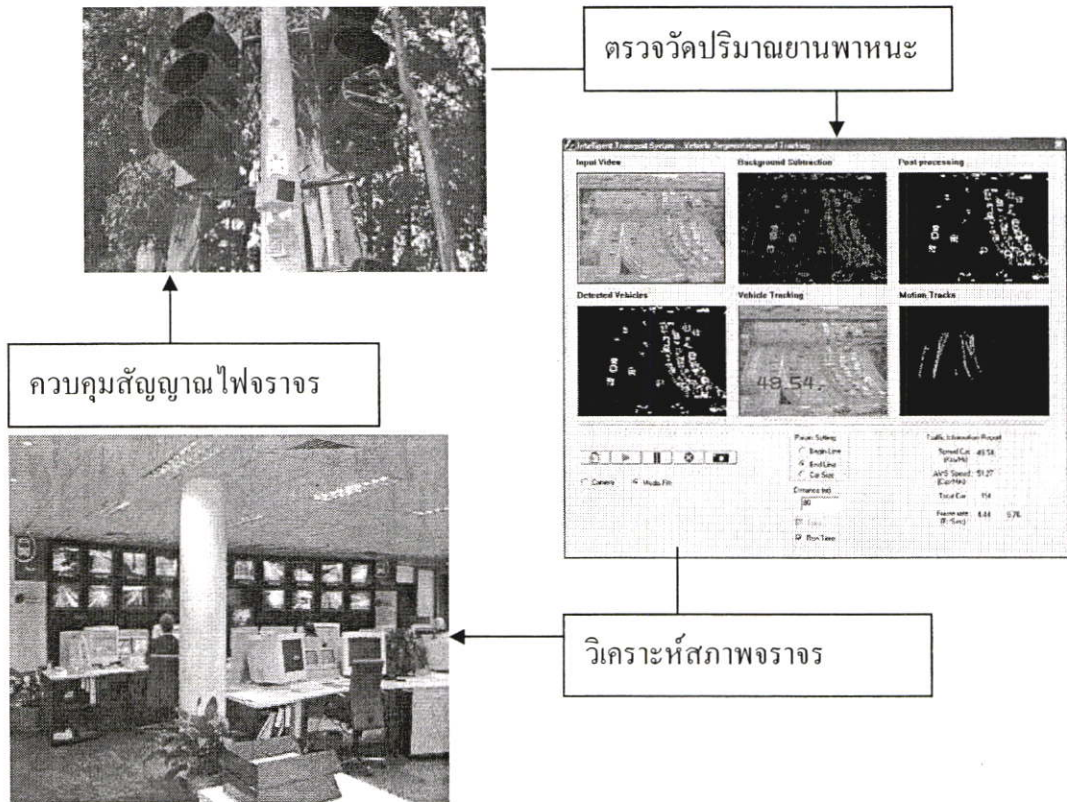
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของการทำงานต่างๆ ในระบบคมนาคมอัจฉริยะ [14]

2.2.1 ระบบควบคุมจัดการจราจรและจัดการความปลอดภัย

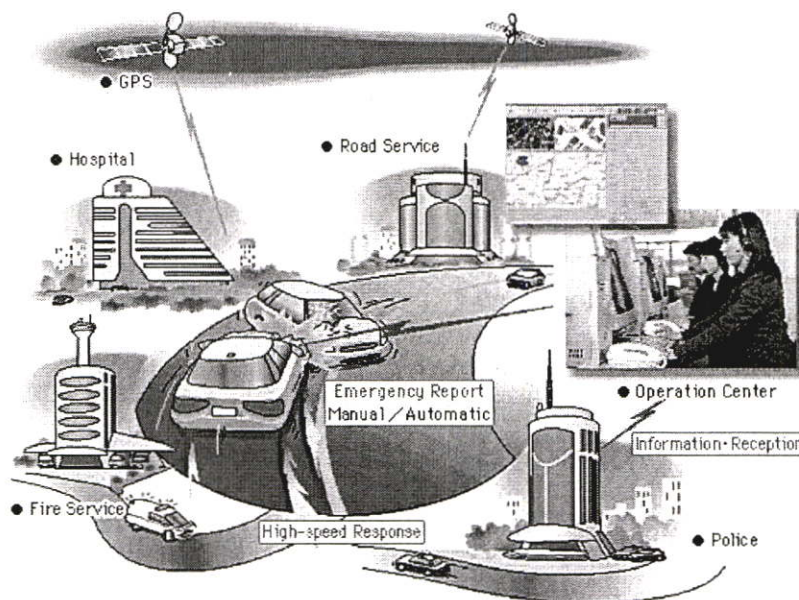
ระบบควบคุมจัดการจราจร (Advanced Traffic Management Systems: ATMS) เพื่อจัดการและควบคุมการจราจรที่ติดขัด ที่รวบรวมข้อมูลของการจราจรที่เกิดขึ้นจริง (Real-time) และหาวิธีการจัดการที่เหมาะสม ปัจจุบันเราใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟจราจร สัญญาณคนข้ามถนน โดยในการทำงานจะนำข้อมูลจากการรวบรวมตำแหน่งและที่หมายของแต่ละยานพาหนะที่ส่งผ่านเครือข่ายสื่อสารของระบบคมนาคมอัจฉริยะ หรือข้อมูลความหนาแน่นจากการติดโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television: CCTV) แล้วทำการประมวลผลภาพเพื่อนับจำนวนและความหนาแน่น จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลเพื่อหาวิธีระบายนรถให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากนี้ระบบสามารถจัดการในเรื่องความปลอดภัยและเหตุการณ์ฉุกเฉิน โดยการจัดการในเรื่องความปลอดภัยจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ ระบบที่ทำงานอัตโนมัติและระบบเชื่อมต่อไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการช่วยเหลือต่อไป สำหรับระบบที่ทำงานอัตโนมัติ เมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือกีดสัญญาณฉุกเฉินจะส่งสัญญาณผ่านระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เพื่อให้ยานพาหนะที่อยู่ใกล้เคียงชะลอความเร็วและส่งสัญญาณแจ้งอุบัติเหตุหรือขอความช่วยเหลือไปยังศูนย์จัดการความปลอดภัย จากนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้รับข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

แล้วส่งความช่วยเหลือไปยังจุดเกิดเหตุ ซึ่งวัตถุประสงค์เพื่อช่วยคนบาดเจ็บได้รวดเร็วลดอัตราเสียชีวิต นอกจากนี้สถานีพยากรณ์อากาศใช้ระบบ ITS เพื่อแจ้งข้อมูลสภาพอากาศให้ผู้ใช้ยานพาหนะระมัดระวังได้อีกทางหนึ่ง



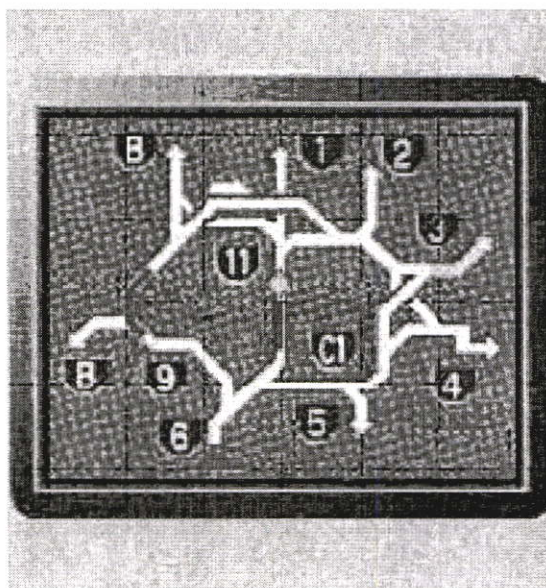
รูปที่ 2.3 การทำงานของระบบควบคุมและจัดการจราจรในระบบคมนาคมอัจฉริยะ [15]



รูปที่ 2.4 การทำงานของระบบจัดการความปลอดภัยเมื่อเกิดอุบัติเหตุ [13]

2.2.2 ระบบการให้ข้อมูลข่าวสาร

ระบบการให้ข้อมูลข่าวสาร (Advanced Traveler Information Systems: ATIS) เพื่อให้ข้อมูลการเดินทางแก่รถยนต์ รถสาธารณะ และผู้ต้องการรับบริการ ซึ่งสามารถรับข้อมูลที่ใดก็ได้ เช่น ที่บ้าน ที่ทำงาน ขณะเดินทาง (ในรถยนต์) ข้อมูลการเดินทางดังกล่าว ประกอบด้วย สภาพการจราจร เหตุผิดปกติ ข้อมูลสภาพอากาศ เส้นทางที่เหมาะสม ข้อมูลสถานที่สำคัญ บริการข้อมูลท่องเที่ยว (Traveler information) เป็นต้น ซึ่งระบบนี้จะมีฐานข้อมูลเส้นทางและสถานที่ต่างๆ เก็บไว้ และนำมารวมกับข้อมูลสภาพจราจร สภาพอากาศ เหตุผิดปกติ อุบัติเหตุ และข้อมูลการปรับปรุงหรือปิดการจราจร ก่อนส่งให้ผู้รับบริการที่ใช้ผ่านเครือข่ายสื่อสารของระบบคมนาคม อัจฉริยะ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 2.5 การรายงานสภาพการจราจรบนระบบนำทางสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ [13]

2.2.3 ระบบรถยนต์อัจฉริยะ

โครงการยานยนต์อัจฉริยะ (Vehicle Intelligence Project: VIP) จะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทต่างๆ ที่ติดตั้งมาบนรถเช่น อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งปัจจุบันของรถ อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งของรถคันอื่นที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันหรือสวนทางมา อุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งกีดขวางบนเส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ อุปกรณ์ตรวจวัดเส้นแบ่งบนเส้นทาง สัญลัษณ์ หรือสัญญาณจราจรอื่นๆ อุปกรณ์การสื่อสารระหว่างรถอัจฉริยะด้วยกัน เป็นต้น แล้วนำข้อมูลจากอุปกรณ์เหล่านี้มาประมวลผลเพื่อกำหนด เส้นทางการเคลื่อนที่และควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยอัตโนมัติและปลอดภัย นอกจากนี้ปัจจุบันได้มีการพัฒนารถยนต์

อัจฉริยะให้สามารถนำไปใช้เป็นยานพาหนะสำหรับผู้พิการทางสายตา ผู้พิการแขนขา ผู้ทุพพลภาพและผู้สูงอายุที่ไม่สามารถขับยานพาหนะเองได้อีกด้วย โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งในยานยนต์อัจฉริยะจะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.2.3.1 ส่วนรับส่งข้อมูลสารสนเทศและแสดงผล

ซึ่งใช้อุปกรณ์สื่อสารตรวจหาตำแหน่งและรับข้อมูลต่างๆ รวมถึงข้อมูลอุบัติเหตุและเหตุการณ์เงิน จากเครือข่ายระบบคมนาคมอัจฉริยะ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS
- อุปกรณ์สื่อสารเครือข่ายคมนาคมอัจฉริยะ ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้จากสถานีฐานและจากยานพาหนะอื่นๆ
- อุปกรณ์แสดงผลและปุ่มควบคุมสั่งการ
- ส่วนประมวลผลหลัก



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์ส่วนรับส่งข้อมูลสารสนเทศและแสดงผลของยานพาหนะในประเทศญี่ปุ่น [16]

2.2.3.2 ระบบตรวจวัดสิ่งกีดขวางและตำแหน่งยานพาหนะอื่นๆ

สามารถตรวจวัดสิ่งกีดขวางและสัญญาณเตือนหรือป้ายควบคุมความเร็วซึ่งประกอบด้วย

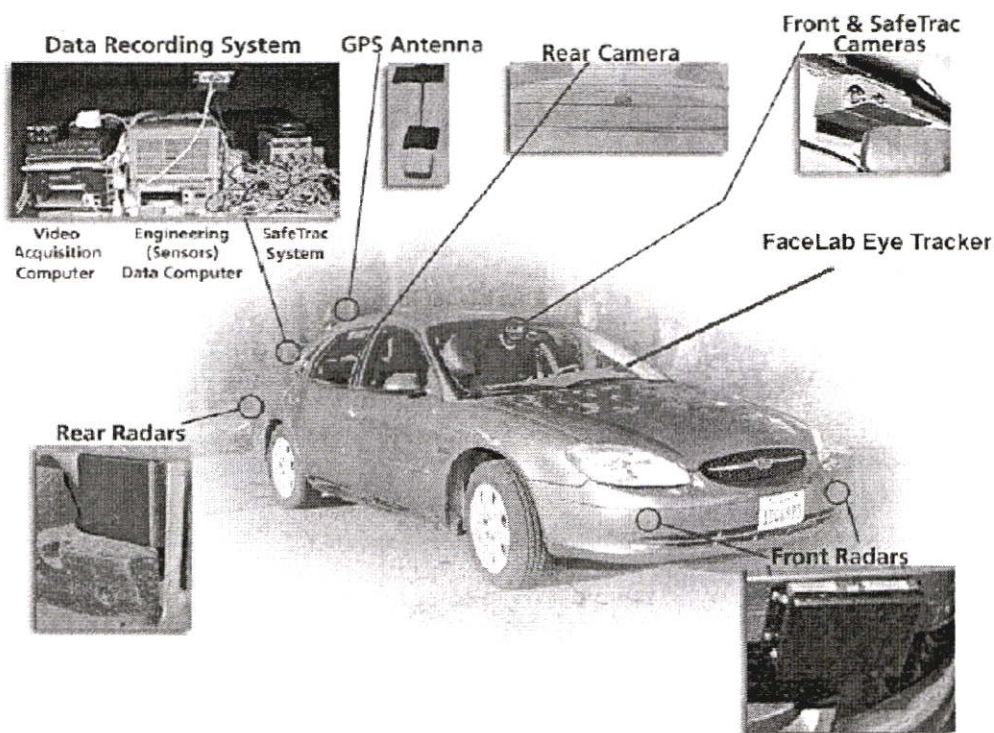
- อุปกรณ์ตรวจวัดหรือเซนเซอร์ เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและยานพาหนะอื่นๆ ด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เรดาร์ แสงเลเซอร์ ซึ่งสามารถวัดระยะห่าง ความเร็วของยานพาหนะอื่นๆ ได้
- กล้องบันทึกภาพ เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวาง ยานพาหนะอื่นๆ และสภาพถนนด้วยการประมวลผลสัญญาณภาพ

- ส่วนประมวลผลเพื่อตัดสินใจกำหนดระยะห่างสิ่งกีดขวาง และยานพาหนะอื่นๆ จากการนำข้อมูลของเซนเซอร์และการประมวลผลภาพมารวมกัน ในเทคโนโลยีใหม่สามารถนำข้อมูลมาสร้างเป็นภาพ 3 มิติเพื่อให้มีการตัดสินใจที่ดีขึ้นได้

2.2.3.3 ระบบควบคุมรถอัตโนมัติ

เป็นส่วนสำคัญที่ควบคุมยานยนต์ให้เคลื่อนที่ไปสู่ที่หมายได้เอง

- อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว
- อุปกรณ์ควบคุมทิศทาง
- อุปกรณ์ควบคุมระบบหยุดรถ
- ส่วนประมวลผลเพื่อตัดสินใจกำหนดทิศทาง ความเร็วและระบบหยุดรถ โดยให้ความสำคัญกับสิ่งกีดขวางและสัญญาณอุบัติเหตุ
- ส่วนประมวลผลเพื่อเลือกเส้นทางจากการรวบรวมข้อมูลการจราจรจากศูนย์คมนาคมอัจฉริยะ

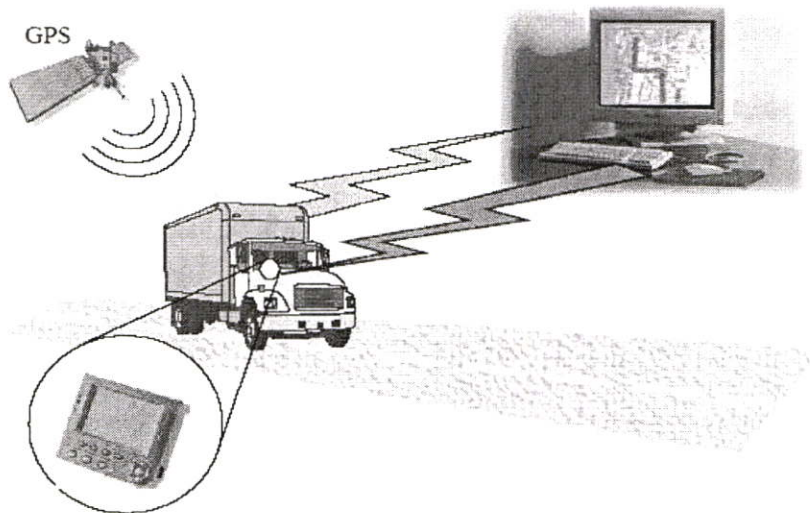


รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งกีดขวางและตำแหน่งยานพาหนะอื่นๆ [17]

2.2.4 ระบบนำทางอัจฉริยะและระบบติดตามตำแหน่งยานพาหนะบนแผนที่

เป็นระบบซึ่งนำทางด้วยคอมพิวเตอร์ และโครงการติดตั้งระบบนำทางและสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Graphic Information System: GIS) ซึ่งได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานระบบขนส่งและการจราจรเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาที่มีการพัฒนา GIS ให้แพร่หลายและรองรับกับระบบสารสนเทศที่มีผู้ใช้ทั่วไป เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer: PC) และระบบอินเทอร์เน็ต GIS จึงได้ถูกใช้เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมและทรงประสิทธิภาพเครื่องมือหนึ่ง ในการพัฒนาและใช้งานระบบคมนาคมอัจฉริยะ

นอกจากนี้ยานพาหนะสามารถตรวจสอบตำแหน่งสถานที่ต่างๆ โดยใช้สัญญาณ GPS ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะส่งกลับไปยังผู้รับซึ่งตำแหน่งของยานพาหนะจะถูกระบุลงในแผนที่ โปรแกรมที่ใช้ในการวางแผนเส้นทางเดินรถ จะบอกตำแหน่งเป้าหมายผ่านสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์กลับมายังผู้ขับ ซึ่งระบบดังกล่าวอาจสามารถใช้ในการแจ้งเหตุฉุกเฉินโดยแจ้งกลับมายังศูนย์ควบคุมได้ อีกด้วย เรียกว่าระบบตรวจหาและติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ ซึ่งผู้ควบคุมกิจการยานพาหนะ รถบรรทุก รถแท็กซี่ รถให้เช่า ฯลฯ ต่างสนใจเป็นอย่างยิ่งในการติดตามและตรวจหาตำแหน่งของยานพาหนะของตน



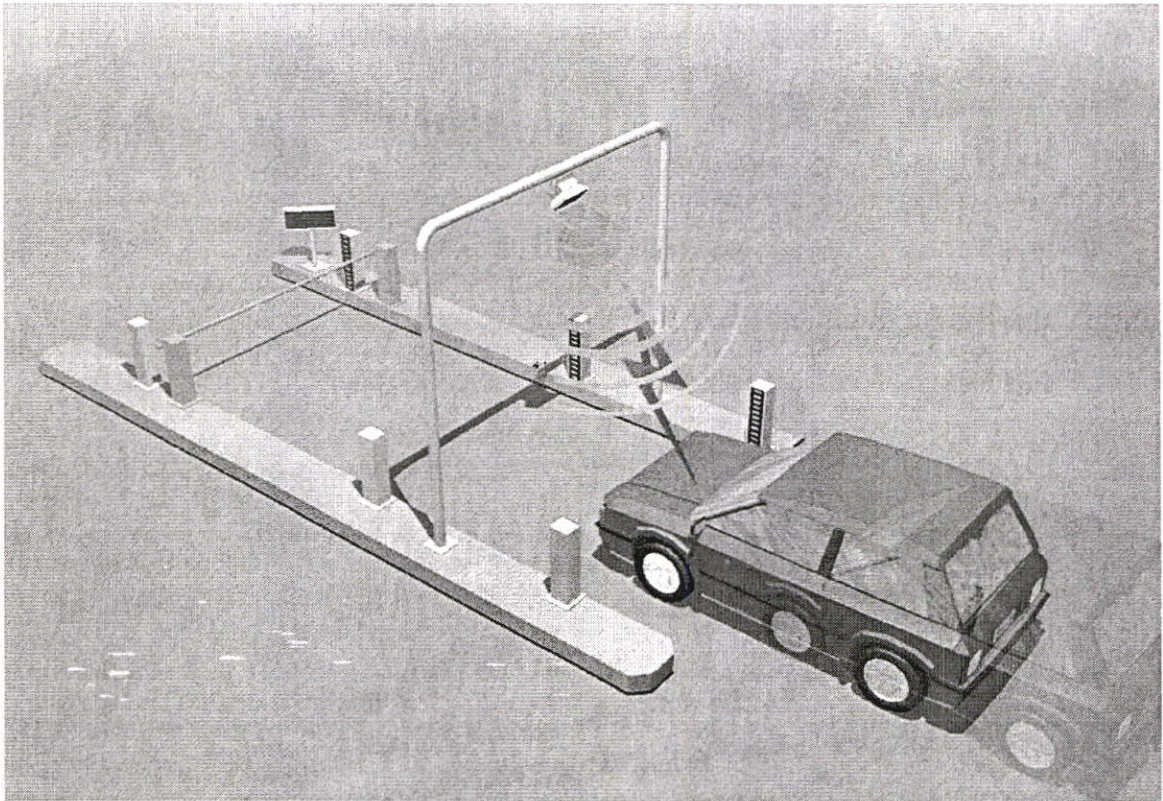
รูปที่ 2.8 การทำงานของระบบติดตามยานพาหนะบนแผนที่ [2]

2.3 ระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

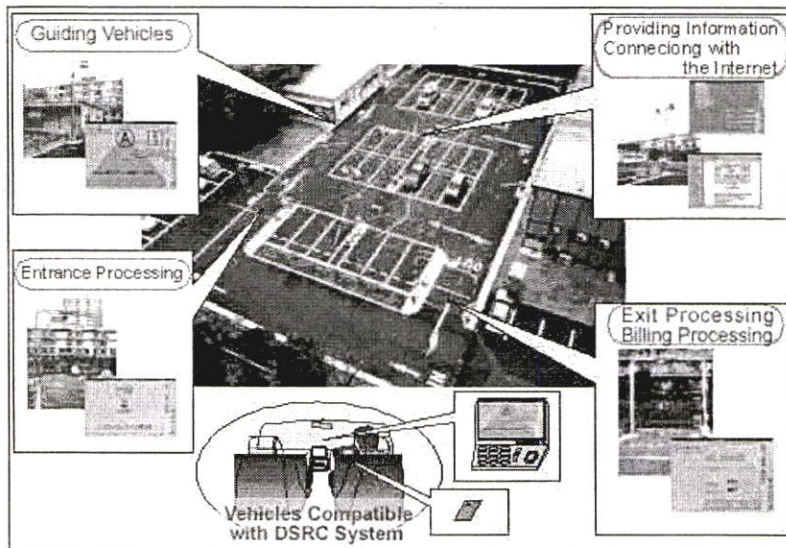
สำหรับระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะ เพื่อที่จะใช้การทำงานของระบบย่อยต่างๆ จำเป็นต้องใช้ระบบสื่อสาร 4 ชนิด

2.3.1 ระบบชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสารระยะใกล้

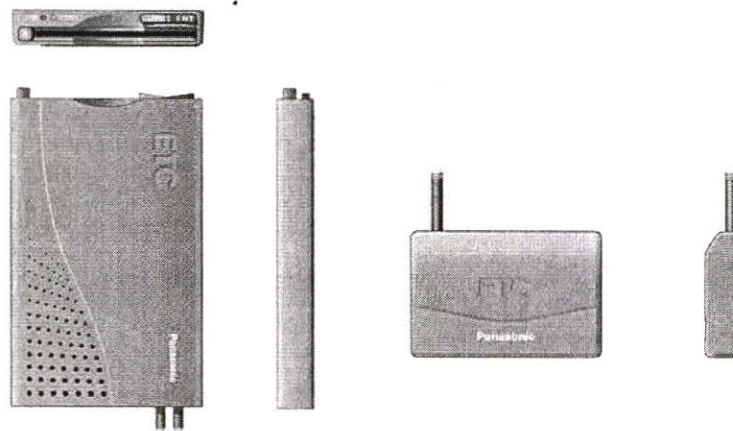
ระบบชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบสื่อสารระยะใกล้ (Electronic toll collection and Dedicated Short Range Communications: ETC and DSRC) ระบบสื่อสารนี้จะใช้ติดต่อกันในระยะใกล้ๆ ระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ความถี่พาหะในช่วง 5.85 – 5.925 GHz เพื่อใช้ในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมต่างๆ กับยานพาหนะ โดยที่ยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณจุดที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นติดตั้งอยู่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะส่งสัญญาณติดต่อกับยานพาหนะเพื่อรับข้อมูลในการระบุลักษณะเฉพาะของยานพาหนะและผู้ขับขี่ จากนั้นจึงนำข้อมูลไปเชื่อมต่อกับระบบย่อยต่างๆ เช่น อาจประยุกต์ใช้ได้ในระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษดังในรูปที่ 2.9 และระบบจัดการที่จอดรถอัจฉริยะดังในรูปที่ 2.10 และยังสามารถรู้ตำแหน่งของยานพาหนะต่างๆ เพื่อจำกัดพื้นที่ในการเข้าออกเมืองของยานพาหนะ รวมถึงการป้องกันการจากรักรรรมรถยนต์ด้วย



รูปที่ 2.9 การทำงานของระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ [20]



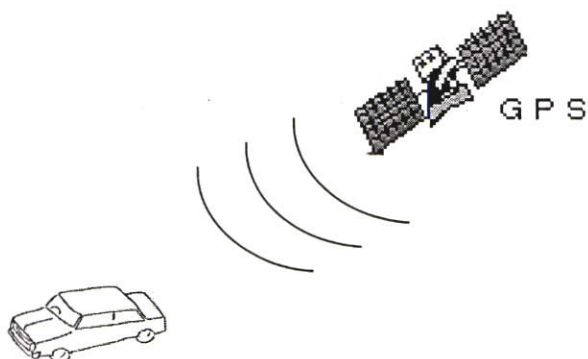
รูปที่ 2.10 การทำงานของระบบจัดการที่จอดรถอัจฉริยะ [13]



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในยานพาหนะเพื่อใช้ในระบบสื่อสารระยะใกล้ (DSRC) [20]

2.3.2 ระบบสื่อสารดาวเทียม

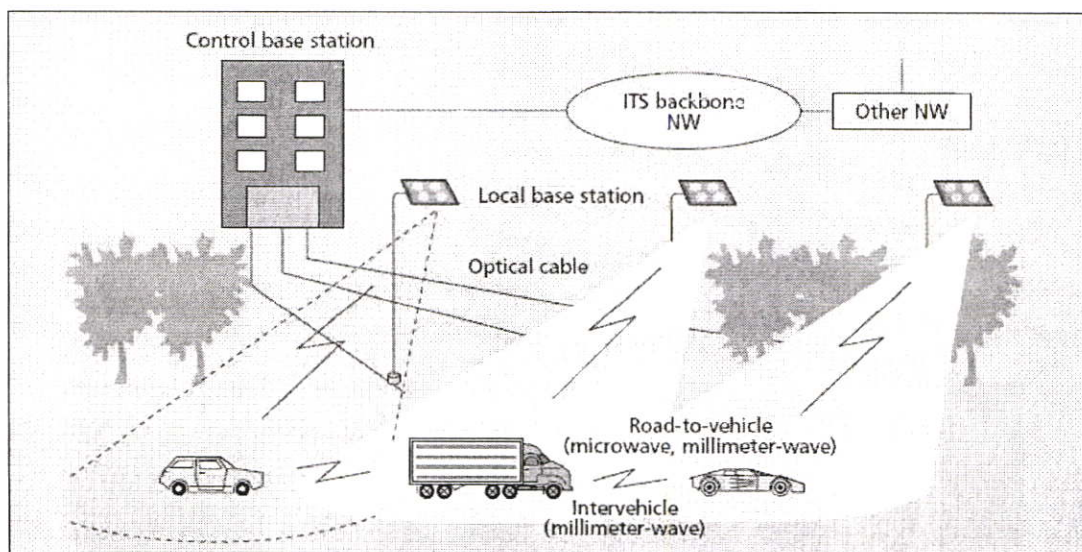
ระบบสื่อสารดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) สามารถติดต่อกับดาวเทียมหลายๆ ดวงที่อยู่บนท้องฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาระบุตำแหน่งและเวลาให้กับยานพาหนะ ในการใช้งานถ้ามีจำนวนช่องสัญญาณดาวเทียมมากเพียงพอกับจำนวนยานพาหนะ บางประเทศอาจจะใช้ส่งข้อมูลอื่นๆ นอกจากตำแหน่งและเวลา แต่กับระบบคมนาคมขนาดใหญ่ที่มียานพาหนะจำนวนมากช่องสัญญาณดาวเทียมอาจไม่เพียงพอ จึงใช้เพียงรับตำแหน่งและเวลาเท่านั้น ในการใช้งานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในระบบนำเส้นทางอัจฉริยะ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากระบบสื่อสารดาวเทียมสามารถระบุตำแหน่งและทิศทางเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เมื่อนำไปประยุกต์กับระบบ GIS ก็สามารถระบุเส้นทางในการนำทางของยานพาหนะได้ นอกจากนี้ถ้านำไปใช้ในระบบยานพาหนะในเชิงพาณิชย์ก็สามารถนำไประบุเส้นทางในการขนส่งสินค้าได้



รูปที่ 2.12 การทำงานของระบบสื่อสารดาวเทียม

2.3.3 ระบบสื่อสารระหว่างถนนและยานพาหนะ

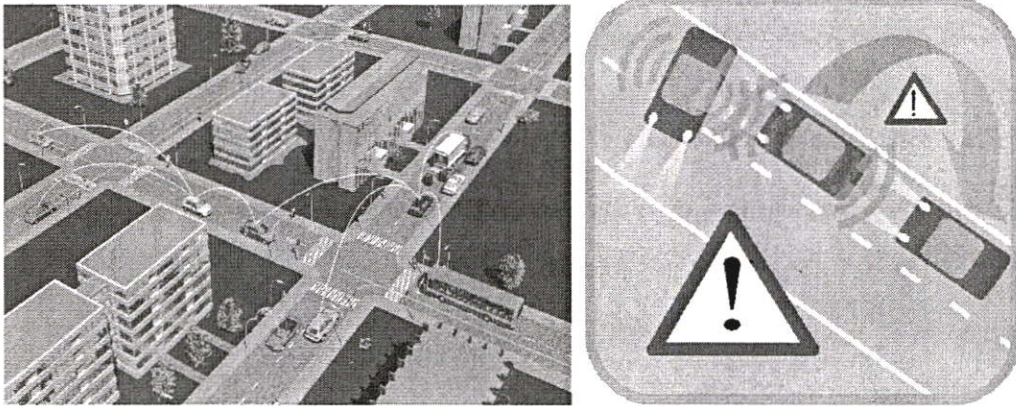
ระบบสื่อสารระหว่างถนนและยานพาหนะ (Road to vehicles communication: RVC) นี้จะเป็นส่วนที่ใช้งานมากที่สุด ทั้งในการประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลข่าวสารสู่ผู้ใช้ การใช้ระบบนำทางอัตโนมัติและอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้การส่งข้อมูลที่ถูกต้องและความเร็วสูง โดยจะใช้การสื่อสารระหว่างสถานีส่งบนถนนและยานพาหนะ เนื่องจากในระบบคมนาคมขนาดใหญ่ที่มีจำนวนพาหนะที่มากมายมหาศาล ซึ่งมีความใกล้เคียงกับระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีแนวโน้มการพัฒนาระบบสื่อสารไปในทิศทางเดียวกับเทคโนโลยี 3G โดยใช้ความถี่พาหะในช่วง 915 MHz และต่อมาถูกพัฒนามาใช้ความถี่พาหะที่ 2.4 GHz และ 5.85 GHz เพื่อรองรับผู้ใช้ปริมาณมากและลดผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งวิทยพนธ์นี้จะกล่าวถึงการประยุกต์นำวิธีการสื่อสารต่างๆ สำหรับระบบสื่อสารนี้ต่อไปในบทที่ 3 และบทที่ 4



รูปที่ 2.13 การทำงานของระบบสื่อสารระหว่างถนนและยานพาหนะ [18]

2.3.4 ระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ (Inter-vehicle communication: IVC) จะใช้สื่อสารกันระหว่างยานพาหนะที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อประยุกต์ใช้กับระบบความปลอดภัย เช่น สามารถรับตำแหน่งและทิศทางรถเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ใกล้เคียงเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุหรือชะลอความเร็วเมื่อได้รับสัญญาณอุบัติเหตุในทิศทางที่กำลังเคลื่อนที่ไป โดยแนวโน้มการพัฒนาอาจไปในทางอินเทอร์เน็ตไร้สาย ปัจจุบันการสื่อสารระหว่างยานพาหนะนี้กำลังถูกพัฒนาโดยใช้ความถี่พาหะในช่วง 5.85 GHz และ 63.5 GHz



รูปที่ 2.14 การทำงานของระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ [19]

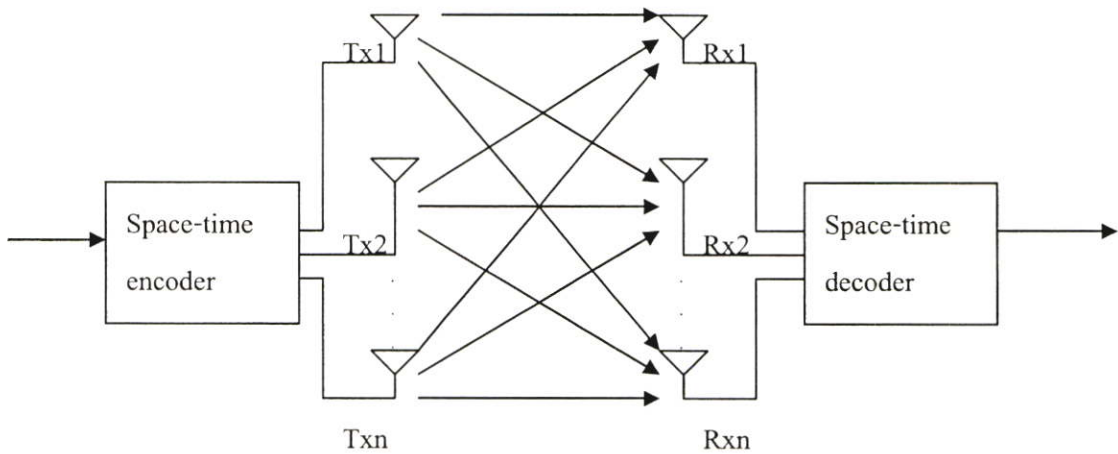
บทที่ 3

การส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทและการ ประยุกต์สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทที่ใช้วิธีการเพิ่มโดเวอร์ซิตีของช่องสัญญาณ ด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการนำมาประยุกต์กับระบบคมนาคมอัจฉริยะ เป็นแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท

3.1 หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท [12]

หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท (Multiple Input Multiple Output: MIMO) เป็นการอาศัยเทคนิคโดเวอร์ซิตีเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่ภาครับมากกว่า 1 สัญญาณแล้วเลือกสัญญาณที่ดีที่สุดหรือนำสัญญาณมารวมกันเพื่อให้ได้สัญญาณสูงสุด ในรูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ โดยการเพิ่มสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับเพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณและโดเวอร์ซิตี



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการสื่อสาร โดยอาศัยหลักการส่งข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท

สำหรับการสื่อสารที่อาศัยหลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทหรือระบบสายไร้สายทั่วไป สิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณคือการลดทอนในช่องสัญญาณในหัวข้อที่ 3.1.1 และในระบบสื่อสารไร้สายที่ภาครับเคลื่อนที่ได้จะมีช่องสัญญาณที่มีการจางหายหลายวิธีที่มีการกระจายแบบเรย์ลีหรือเรียกว่าการจางหายแบบเรย์ลีในหัวข้อ 3.1.2

3.1.1 ลักษณะการลดทอนในระบบสื่อสารไร้สาย

ลักษณะการลดทอนของสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.1.1.1 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (path loss) เป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ โดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า d^{-n} โดย d คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง และ n เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันไปตามสภาพของบริเวณที่สัญญาณส่งผ่าน ตัวอย่างของค่า n สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่างๆ ในตารางที่ 3.1 สังเกตว่าค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณมีขนาดสูงในบริเวณเมืองใหญ่ เมื่อเทียบกับบริเวณที่ว่างเปล่าเพราะมีปัญหาการบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากตึกอาคาร และสถานที่มากกว่าในที่ว่าง

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างค่า n ที่ใช้ในการคำนวณการสูญเสียเชิงวิถีในบริเวณต่างๆ

สภาพแวดล้อม	n
บริเวณที่ว่าง	2
บริเวณพื้นที่ในเมือง	2.7-3.5
บริเวณพื้นที่ในเมืองที่มีการบดบัง	3-5
ภายในอาคารที่มีเส้นทาง LOS	1.6-1.8
ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	4-6
ภายในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	2-3

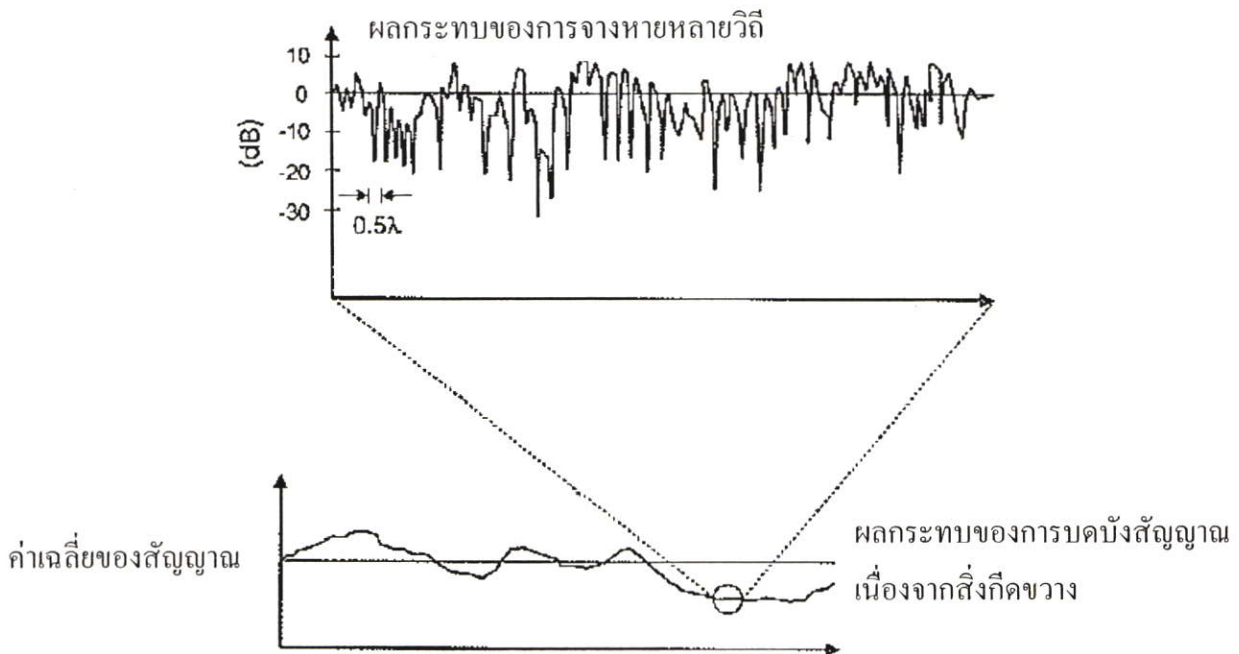
3.1.1.2 การบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง

การบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (shadowing) เกิดจากการที่สัญญาณบางส่วนถูกบดบังไปชั่วขณะจากสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น อาคาร และเนินเขา เมื่อเคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้น สัญญาณที่รับได้ก็จะมีสัญญาณที่ค้ำเดิม ดังนั้นระดับของสัญญาณที่รับได้มักจะเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเท่าๆ กับขนาดของสิ่งกีดขวาง ซึ่งตัวอย่างลักษณะของสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากการบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวางแสดงในรูปแบบที่ 3.2

3.1.1.3 การจางหายหลายวิถี

การจางหายหลายวิถีเกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับสัญญาณอยู่ใกล้กับพื้นผิวมาก ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ รอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลทำให้สัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยจำนวนสัญญาณหลายๆ สัญญาณ เดินทางมาจาก

ทิศทางที่แตกต่างกัน โดยมีทั้งขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน ผลกระทบของการจางหายหลายวิถีทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงระยะเดียวกันกับขนาดของความยาวคลื่น การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอาจจะเกิดขึ้นได้มากถึง 30-40 dB เพียงผู้ใช้โทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยระยะเพียงเศษส่วนของความยาวคลื่น



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ได้รับผลกระทบของการจางหายหลายวิถีและการบดบังสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง [12]

3.1.2 การจางหายแบบเรย์ลี

จากการจางหายหลายวิถีของสัญญาณสามารถวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการที่คลื่นสัญญาณมีเส้นทางการแพร่กระจายหลายเส้นทาง จนทำให้ขนาดของสัญญาณที่รับได้ ณ ภาครับที่แต่ละตำแหน่งมีขนาดที่ไม่แน่นอนและมีการกระจายเป็นแบบเรย์ลี การวิเคราะห์ดังกล่าวมิได้คำนึงถึงการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ภาครับสัญญาณแต่อย่างใด ฉะนั้นในส่วนต่อไปนี้จะพิจารณาเพิ่มเติมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อนำปัญหาของคอปเปอเรอร์ซีฟต์มาคิดประกอบด้วย กล่าวคือ จะรวมเอาผลกระทบของคอปเปอเรอร์ซีฟต์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ภาครับสัญญาณมาพิจารณาร่วมด้วย

พิจารณาการส่งผ่านสัญญาณไซนุชออร์นความถี่เดียว f_0 ที่มีแอมพลิจูดเท่ากับ a เมื่อนำมาแสดงในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลเชิงซ้อนจะได้เป็น

$$s(t) = a \exp(j2\pi f_0 t) \quad (3.1)$$

สัญญาณนี้เมื่อได้รับการส่งออกบนช่องสัญญาณที่มีการจางหลายวิถี ภาครับจะได้รับสัญญาณนี้จากหลายทิศทางโดยมีขนาดและเฟสที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป เมื่อนำสัญญาณส่วนต่างๆ เหล่านี้มารวมกันจะได้เป็น

$$r(t) = \sum_{i=1}^n a_i \exp\{j[2\pi(f_0 + f_d \cos \theta_i)t + \phi_i]\} \quad (3.2)$$

ในสมการ 3.2 ได้สมมติว่ามีสัญญาณที่รับได้ทั้งหมด n เส้นทาง แต่ละเส้นทางมีขนาดเท่ากับ a_i มีค่าเฟสเท่ากับ ϕ_i และค่าดอปเปลอร์ชิฟต์เท่ากับ $f_d \cos \theta_i$ ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นกับทิศทางการมาถึงของสัญญาณเทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับสัญญาณ (θ_i) และค่าดอปเปลอร์ชิฟต์สูงสุดคือ $f_d = \frac{v}{\lambda}$ เมื่อจัดรูปสัญญาณใหม่จะได้

$$r(t) = \exp(j2\pi f_0 t) \sum_{i=1}^n a_i \exp\{j[2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i]\} \quad (3.3)$$

จัดสัญญาณที่ได้จากสมการ 3.3 ให้อยู่ในรูปสมการที่ 3.4

$$r(t) = r \exp[j(2\pi f_0 t + \phi)] \quad (3.4)$$

จะได้ดังสมการที่ 3.5

$$\begin{aligned} r \exp(j\phi) &= \sum_{i=1}^n a_i \exp(j[2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i]) \\ &= \sum_{i=1}^n a_i \cos(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i) + j \sum_{i=1}^n a_i \sin(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i) \end{aligned} \quad (3.5)$$

สามารถแปลงสมการเอกซ์โพเนนเชียลเชิงซ้อนให้อยู่ในรูปของตัวแปร x และ y ดังนี้

$$r \exp(j\phi) = x + jy \quad (3.6)$$

โดยกำหนดให้

$$x = \sum_{i=1}^n a_i \cos(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i) \quad \text{และ} \quad y = \sum_{i=1}^n a_i \sin(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i) \quad (3.7)$$

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง r , x และ y สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 \\ x &= r \cos \phi \\ y &= r \sin \phi \end{aligned} \quad (3.8)$$

เมื่อพิจารณาค่าของ $x = \sum_{i=1}^n a_i \cos(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i)$ จะพบว่าเนื่องจากขนาด a_i เป็นตัวแปรสุ่มมีมุมเท่ากับ θ_i ระหว่างทิศทางการมาถึงของสัญญาณเทียบกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รับสัญญาณสามารถประมาณได้ว่าเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบมาตรฐาน และเฟส ϕ_i สามารถประมาณว่าเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบมาตรฐานที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 2π ฉะนั้น x จึงเป็นค่าที่ได้จากการบวกตัวแปรสุ่มจำนวน n ตัวเข้าด้วยกัน ซึ่งถ้าหาก n มีค่ามากจะสามารถนำทฤษฎีบท central limit theorem มาใช้เพื่อสรุปว่าตัวแปรสุ่ม x มีการกระจายแบบเกาส์โดยมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_x^2 ฉะนั้น ตัวแปรสุ่ม x มีการกระจายดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right] \quad (3.9)$$

ในลักษณะเดียวกัน การพิจารณาถึงคุณลักษณะของตัวแปร $y = \sum_{i=1}^n a_i \sin(2\pi f_d \cos \theta_i t + \phi_i)$ จะมีการกระจายแบบเกาส์ด้วย โดยตัวแปรสุ่ม y มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีแวกเรียนซ์เท่ากับ σ_y^2 ทั้งนี้ $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$ และจะขอกำหนดให้เท่ากับ σ^2 ฉะนั้น ตัวแปรสุ่ม y มีการกระจายดังนี้

$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (3.10)$$

เมื่อทราบถึงคุณลักษณะของ x และ y แล้ว จะสามารถพิจารณาคคุณลักษณะเชิงขนาดของสัญญาณ r ที่ภาครับ จากสมการที่ (3.8) พบว่าสัญญาณ r มีความสัมพันธ์โดยตรงกับ x และ y ฉะนั้นเมื่ออาศัยคุณสมบัติการแปลงตัวแปรสุ่มตามทฤษฎีความน่าจะเป็นจาก x และ y

ไปเป็น r และ ϕ จะสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของสัญญาณ r เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution) ดังนี้

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right] & r \geq 0 \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.11)$$

โดยที่ σ คือ แรงดันเฉลี่ย (rms) ของสัญญาณ

σ^2 คือ กำลังเฉลี่ยทางเวลาของสัญญาณ

ส่วนเฟสของสัญญาณเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบมาตรฐาน ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $-\pi$ ถึง π ดังนี้

$$p(\phi) = \frac{1}{2\pi}, \quad -\pi \leq \phi \leq \pi \quad (3.12)$$

3.2 เทคนิคไดเวอร์ซิตี [11]

สำหรับระบบสื่อสารไร้สายเทคนิคไดเวอร์ซิตี เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการลดผลกระทบจากการจางหายหลายวิธีและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสื่อสารโดยปราศจากการเพิ่มกำลังส่งหรือเพิ่มแบนด์วิธช่องสัญญาณ เทคนิคไดเวอร์ซิตี ต้องการการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน โดยการนำข้อมูลเดียวกันผ่านช่องสัญญาณที่ต่างกันไปที่สายอากาศรับ ซึ่งสำหรับวิธีการนี้ถ้าส่งผ่านช่องสัญญาณที่ไม่มีสหสัมพันธ์กัน จะทำให้แต่ละสัญญาณที่ภากรับมีบริเวณที่เกิดการจางหายไม่ตรงกัน ทำให้สามารถใช้วิธีการรวมสัญญาณเพื่อเลือกสัญญาณที่ดีที่สุดได้ ซึ่งในหลักการเพิ่มไดเวอร์ซิตีอาจจะแบ่งได้เป็นการเพิ่มช่วงเวลา ความถี่ (frequency) และการเพิ่มจำนวนสายอากาศและระยะห่าง (space)

3.2.1 ไดเวอร์ซิตีทางเวลา (Time Diversity)

วิธีการนี้เป็นการส่งข้อมูลเดียวกันในช่วงเวลา (time slot) ที่ต่างกัน ซึ่งน่าจะมีผลการลดทอนที่ไม่มีสหสัมพันธ์กัน ซึ่งในการนำวิธีนี้ไปใช้งาน ถ้าการลดทอนในช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (fast fading) วิธีการเพิ่มไดเวอร์ซิตีทางเวลาที่ต่างกันจะให้ได้ผลดีเพราะช่องสัญญาณมีสหสัมพันธ์กันน้อย แต่ถ้าการลดทอนในช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงช้า (slow fading) วิธีการนี้จะใช้ไม่ได้ผล

3.2.2 ไดเวอร์ซิตีทางความถี่ (Frequency Diversity)

วิธีการนี้จะส่งข้อมูลไปคนละความถี่กันแต่ข้อสำคัญคือ การลดทอนในแต่ละความถี่จะต้องไม่มีสหสัมพันธ์กัน เพราะเนื่องจากการนำไปใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือระบบ

คมนาอมัจฉริยะ จะมีการสลับใช้หลายช่วงความถี่ (frequency hopping) ซึ่งทำให้แต่ละช่องสัญญาณจะต้องมีความกว้างของช่องสัญญาณ (bandwidth) ขนาดเล็ก ฉะนั้นเมื่อใช้วิธีการนี้ในแต่ละความถี่จะมีผลการลดทอนในแต่ละช่องสัญญาณใกล้เคียงกัน ทำให้วิธีการนี้ได้ผลลัพธ์ไม่เป็นที่น่าพอใจ

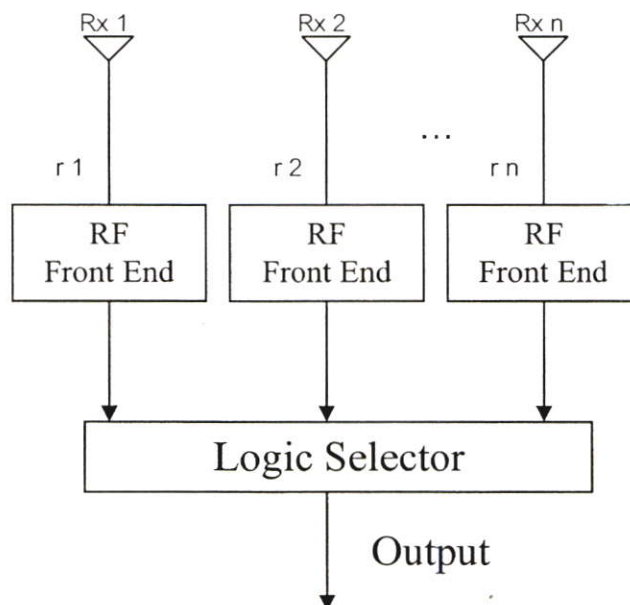
3.2.3 ไคเวอร์ซิตีทางตำแหน่ง (Space Diversity)

เป็นวิธีการที่นิยมที่สุดสำหรับการสื่อสารไร้สายด้วยคลื่นไมโครเวฟ เราสามารถเรียกวิธีการนี้อีกอย่างหนึ่งว่า ไคเวอร์ซิตีทางสายอากาศ (antenna diversity) รูปแบบก็คือการเพิ่มจำนวนสายอากาศทั้งในภาคส่งและภาครับ โดยตำแหน่งจะอยู่ห่างกันเพื่อให้แต่ละสัญญาณไม่มีสหสัมพันธ์กัน ซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นกับระยะห่าง ยังมีระยะห่างมากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณจะต่ำลง แต่ในทางกลับกันถ้ามีระยะห่างมากจะทำให้อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ ซึ่งไม่เหมาะกับอุปกรณ์ที่ต้องการให้มีขนาดเล็ก

3.3 วิธีการรวมสัญญาณ (Diversity Combining Method) [11]

3.3.1 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณ (Select Combining)

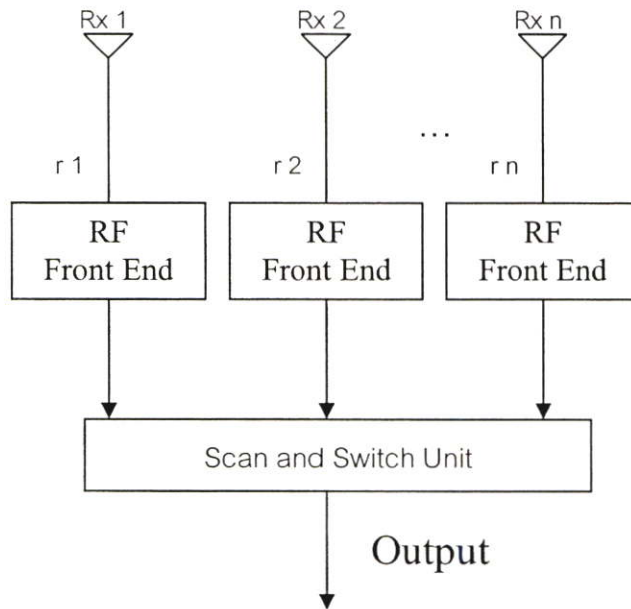
เป็นวิธีการพื้นฐาน โดยจะมีอุปกรณ์ในการวัดขนาดสัญญาณที่แต่ละสายอากาศเพื่อเลือกสัญญาณที่มีขนาดสูงที่สุด โดยเอาที่พู่ที่ออกมาจะได้สัญญาณที่มีขนาดของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ถ้ามีขนาดสัญญาณจากสายอากาศอื่นสูงกว่าจะเปลี่ยนไปเลือกสายอากาศนั้นแทน



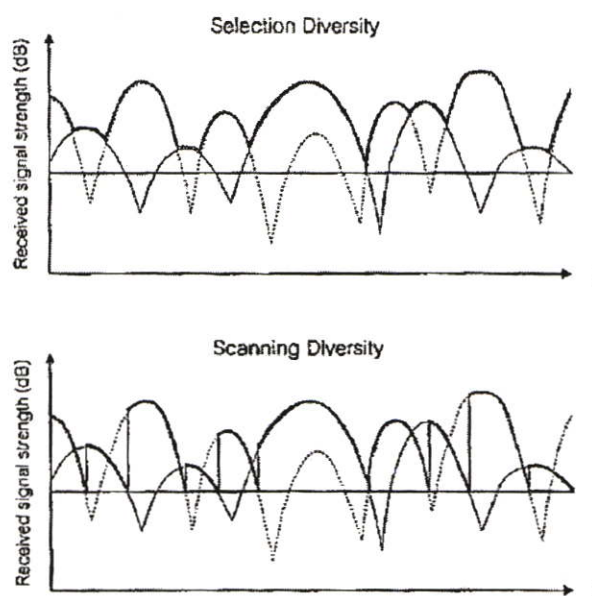
รูปที่ 3.3 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณ

3.3.2 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการสลับสัญญาณ (Switch Combining)

วิธีการนี้ที่ภาครับจะมีการวัดค่าสัญญาณในแต่ละสายอากาศและเลือกสัญญาณที่มีค่าขนาดของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนมากกว่าค่าที่กำหนดหรือค่าที่ประมาณไว้ ในขณะที่ใช้งานถ้ามีค่าต่ำกว่าที่กำหนดภาครับจะทำการวัดค่าอีกครั้งและเปลี่ยนไปรับค่าจากสายอากาศอื่นต่อไป ถ้าเปรียบเทียบกับวิธีการเลือกขนาดสัญญาณ วิธีการสลับสัญญาณจะไม่ได้สัญญาณที่มีขนาดสูงสุดตลอดเวลา แต่วิธีการนี้ไม่จำเป็นจะต้องคอยวัดค่าขนาดของสัญญาณในสายอากาศต่างๆ ตลอดเวลา



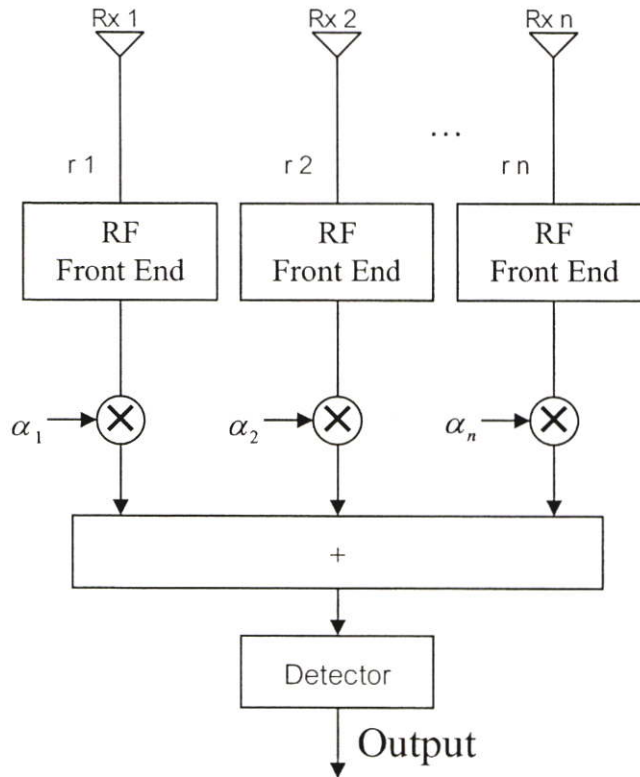
รูปที่ 3.4 การรวมสัญญาณด้วยวิธีการสลับสัญญาณ



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบเอาท์พุทของการรวมสัญญาณด้วยวิธีการเลือกขนาดสัญญาณและการรวมสัญญาณด้วยวิธีการสลับสัญญาณ [12]

3.3.3 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด (Maximal Ratio Combining: MRC)

วิธีนี้เป็นวิธีการรวมสัญญาณที่มีความซับซ้อนมากที่สุด โดยจะนำค่าตัวแปรเพื่อให้ น้ำหนักที่ไม่เท่ากันมาเพิ่มอัตราส่วนการขยายสัญญาณในแต่ละสายอากาศก่อน แล้วจึงนำมา รวมกัน โดยถ้าวัดแปรที่ใช้ในการเพิ่มอัตราส่วนการขยายจะสามารถกำหนดได้จากสมการ 3.15



รูปที่ 3.6 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด

จากรูปที่ 3.6 จะเป็นการจำลองวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดโดยสัญญาณที่ ภาครับที่เกิดจากการรวมกันสามารถหาได้จากสมการ

$$r = \sum_{i=1}^{n_R} \alpha_i \cdot r_i \quad (3.13)$$

โดยที่ r_i คือ สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศ i

α_i คือ ตัวแปรกำหนดอัตราส่วนการขยายขนาดสัญญาณจากสายอากาศ i

โดยการหาค่าตัวแปรกำหนดอัตราส่วนการขยายสัญญาณได้จากสมการ 3.14

$$\alpha_i = A_i e^{-j\phi_i} \quad (3.14)$$

เมื่อ A_i คือขนาดของสัญญาณที่สายอากาศ i
 ϕ_i คือเฟสของสัญญาณที่สายอากาศ i

วิธีการนี้สามารถได้รับสัญญาณเอาท์พุทที่มีขนาดของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนสูงสุดซึ่งเกิดจากการรวมกันของในแต่ละสัญญาณ แต่จำเป็นต้องทราบลักษณะของช่องสัญญาณ นั่นก็คือคุณสมบัติการจางหายทางขนาดและเฟสของช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการคำนวณ

3.3.4 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนเท่ากัน (Equal Gain Combining)

วิธีการนี้จะคล้ายกับวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุด แต่ไม่จำเป็นต้องทราบการจางหายของขนาดช่องสัญญาณ เพียงแต่เลื่อนเฟสของสัญญาณในแต่ละสายอากาศให้ตรงกันและนำมารวมกัน ส่วนขนาดจะกำหนดให้เท่ากันในแต่ละตัวแปรกำหนดอัตราส่วนการขยายขนาดสัญญาณจากสายอากาศ i ซึ่งจะหาได้จากสูตร

$$\alpha_i = e^{-j\phi_i} \quad (3.15)$$

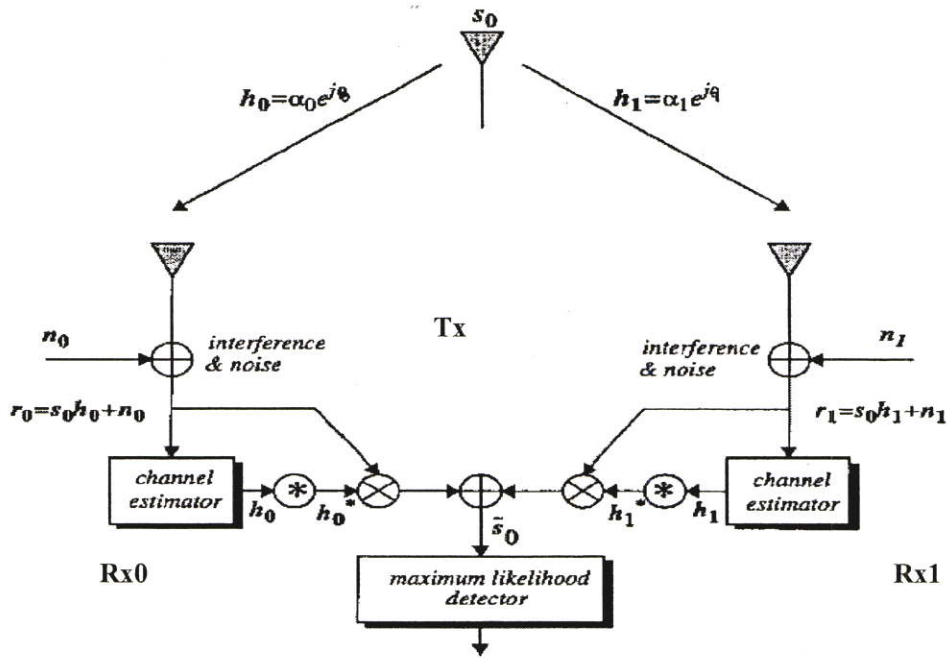
แล้วนำมารวมกันเช่นเดียวกับวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดในสมการที่ (3.13)

3.4 ทฤษฎีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ [3]

การสื่อสารโดยใช้การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ เป็นวิธีหนึ่งที่ลดความผิดพลาดเนื่องจากการจางหายหลายวิถีที่เป็นผลจากช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นได้เสมอ ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงขอเสนอเฉพาะวิธีการพื้นฐานเพื่อประยุกต์สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะเท่านั้น

3.4.1 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 1 ชุด สายอากาศรับ 2 ชุด

ซึ่งในกรณีที่เรานำมาเพิ่มสายอากาศรับที่ภาครับอีก 1 ชุด จะทำให้เกิดช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น 1 ช่องสัญญาณดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดจากสายอากาศรับ 2 ชุด [3]

รูปที่ 3.7 แสดงการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดของระบบที่มีสายอากาศรับ 2 ชุด โดยภาคส่งจะส่งสัญญาณ s_0 เมื่อส่งผ่านช่องสัญญาณระหว่างของภาคส่งและภาครับ ซึ่งสามารถจำลองให้มีความซับซ้อนน้อยลงให้เหลือเพียงขนาดและเฟส แล้วจึงรวมกับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน จากนั้นจึงนำสัญญาณมารวม โดยช่องสัญญาณระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ Rx0 แทนด้วย h_0 และสายอากาศรับ Rx1 แทนด้วย h_1

$$\begin{aligned} h_0 &= \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1 &= \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad (3.16)$$

สัญญาณรบกวนและการแทรกสอดจะถูกรวมเข้าสู่ภาครับทั้งสองชุด ผลลัพธ์จะได้สัญญาณข้อมูลดังนี้

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + n_0 \\ r_1 &= h_1 s_1 + n_1 \end{aligned} \quad (3.17)$$

โดยที่ n_0 และ n_1 คือสัญญาณรบกวนและการแทรกสอดเชิงซ้อน

สมมติให้การกระจายของ สัญญาณรบกวน n_0 และ n_1 เป็นแบบเกาส์เซียน สัญญาณ
สูงสุดที่ภาครับสามารถรับได้โดยจะ เลือกสัญญาณ s_i ต่อเมื่อ

$$d^2(r_0, h_0 s_i) + d^2(r_1, h_1 s_i) \leq d^2(r_0, h_0 s_k) + d^2(r_1, h_1 s_k), \quad \forall i \neq k \quad (3.18)$$

$d^2(x, y)$ คือค่าระยะห่างระหว่างสัญญาณ x และ y สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*) \quad (3.19)$$

ที่ภาครับสามารถคำนวณตามวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดที่มีสายอากาศ 2 ชุดดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 \\ &= h_0^* (h_0 s_0 + n_0) + h_1^* (h_1 s_0 + n_1) \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 \end{aligned} \quad (3.20)$$

พิจารณาสมการ (3.18), (3.19) และ (3.20) เราจะได้ว่าเมื่อเราเลือก s_i แล้ว

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2) |s_i|^2 - \tilde{s}_0 s_i^* - \tilde{s}_0^* s_i \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) |s_k|^2 - \tilde{s}_0 s_k^* - \tilde{s}_0^* s_k, \quad \forall i \neq k \quad (3.21)$$

หรือมีค่าเท่ากับเลือก s_i เมื่อ

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_k), \quad \forall i \neq k \quad (3.22)$$

สำหรับสัญญาณ PSK (มีค่าพลังงานเท่ากัน)

$$|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s, \quad \forall i \neq k \quad (3.23)$$

เมื่อ E_s เป็นพลังงานของสัญญาณ เพราะฉะนั้นสำหรับสัญญาณ PSK สามารถอธิบายสมการ
(3.22) โดยการเลือก s_i เมื่อ

$$d^2(\tilde{s}_0, s_i) \leq d^2(\tilde{s}_0, s_k), \quad \forall i \neq k \quad (3.24)$$

การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดนี้จะทำให้ได้ \tilde{s}_0 ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นการประมาณความน่าจะเป็นสูงสุดของสัญญาณ s_0

3.4.2 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด สายอากาศรับ 1 ชุด

จากวิธีการในหัวข้อ 3.4.1 จะสามารถนำไปใช้งานเพื่อลดการจางหายหลายวิธีของช่องสัญญาณได้ แต่เมื่อนำไปใช้กับระบบที่มีลูกข่ายจำนวนมากจะเป็นการสิ้นเปลืองที่ต้องเพิ่มสายอากาศให้ทุกๆ เครื่องรับ จึงเกิดการพัฒนาให้เปลี่ยนเป็นเพิ่มสายอากาศด้านภาคส่งแทนภาครับ และเมื่อต้องส่งสัญญาณ 2 สัญญาณจึงได้มีการพัฒนาการเข้ารหัสสำหรับส่งในสายอากาศที่เพิ่มขึ้น และเพื่อความถูกต้องในการถอดรหัสจำเป็นต้องแบ่งการส่งเป็น 2 ช่วงเวลาต่อการส่งข้อมูล 1 ชุด นั่นคือการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์

การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการจัดลำดับข้อมูลที่ภาคส่ง มีสัญญาณ 2 สัญญาณสำหรับสายอากาศ 2 ชุด สัญญาณที่ส่งจากสายอากาศส่ง Tx0 แทนด้วย s_0 และสายอากาศส่ง Tx1 แทนด้วย s_1 และในคาบเวลาถัดไปสายอากาศส่ง Tx0 จะส่งสัญลักษณ์ $(-s_1^*)$ และสายอากาศส่ง Tx1 จะส่งสัญญาณ s_0^* เมื่อ * คือการหาค่าสังยุคเชิงซ้อน ดังที่แสดงในตารางที่ 3.2

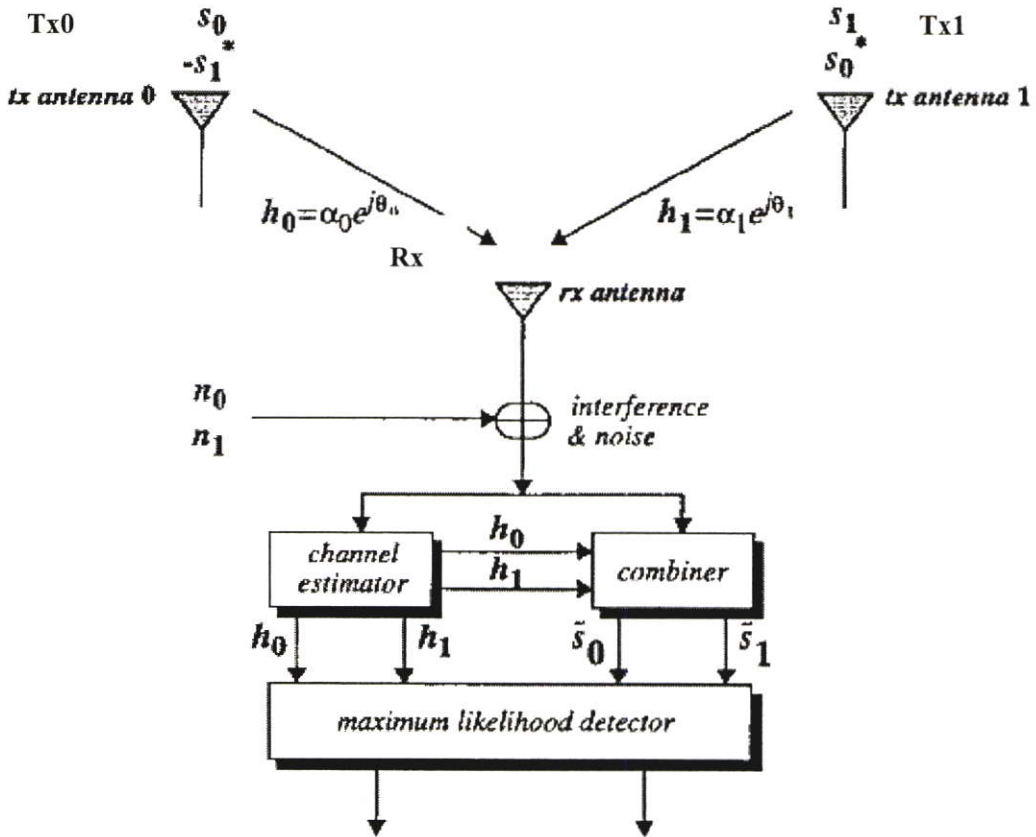
ตารางที่ 3.2 ลำดับการส่งสัญญาณของการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์แบบสายอากาศส่ง 2 ชุด

	tx Antenna 0 (Tx0)	tx Antenna 1 (Tx1)
Time t	s_0	s_1
Time $t + T$	$-s_1^*$	s_0^*

ในตารางที่ 3.2 เป็นการเข้ารหัสด้วยวิธีที่ใช้ความแตกต่างของระยะห่างและเวลา วิธีนี้อาจประยุกต์ใช้เป็นการแตกต่างของระยะห่างและความถี่แทนได้ โดยแทนสัญลักษณ์คาบเวลาที่ใกล้เคียง 2 สัญลักษณ์ ลงในความถี่พาหะ 2 ความถี่ ในวิธีโคเวออร์ซิติ์ทางความถี่

ในลักษณะที่คล้ายกับวิธีการแรกจะได้สัญญาณที่ภาครับเป็น

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= r(t + T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (3.25)$$



รูปที่ 3.8 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการรวมสัญญาณจากสายอากาศส่ง 2 ชุด [3]

วิธีการรวมสัญญาณที่ถูกรับ ซึ่งอุปกรณ์รวมสัญญาณแสดงในรูปที่ 3.8 การรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดคือ

$$\begin{aligned}\tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^*\end{aligned}\quad (3.26)$$

จากสมการที่ (3.26) จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของวิธีนี้กับการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดในสมการที่ (3.20) และเมื่อแทนสมการที่ (3.25) ลงใน สมการที่ (3.26) จะได้ว่า

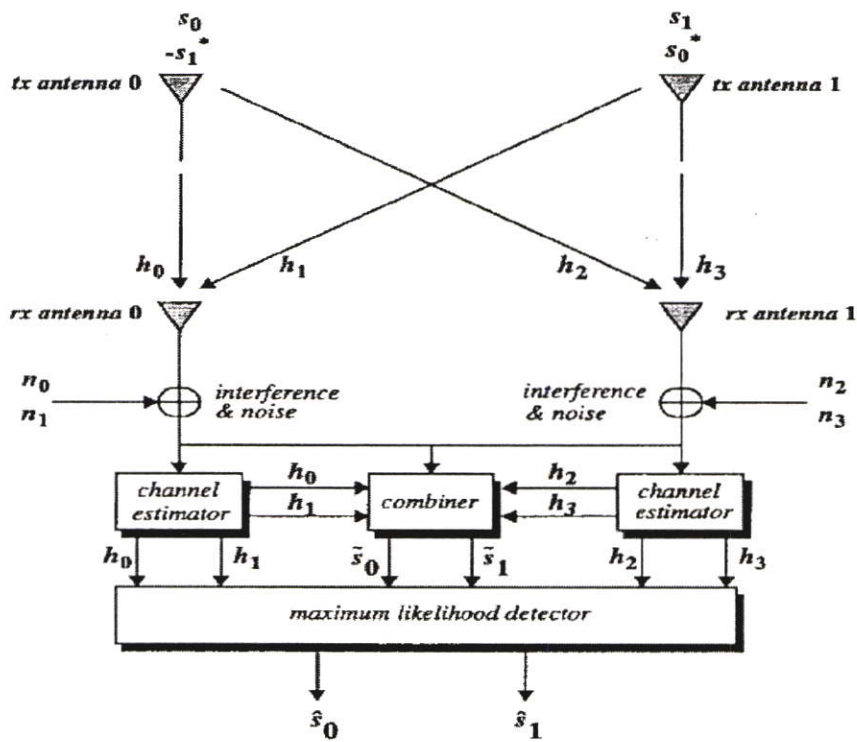
$$\begin{aligned}\tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\ \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_1 - h_0 n_1^* + h_1^* n_0\end{aligned}\quad (3.27)$$

จากวิธีการนี้จะได้สัญญาณ \tilde{s}_0 และ \tilde{s}_1 จากผลจากการรวมสัญญาณของสมการ (3.27) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดในสมการที่ (3.20) แตกต่างเพียงเฟส

เท่านั้น ซึ่งไม่มีผลต่อค่า SNR เพราะฉะนั้นวิธีนี้จะมีโคเวอริจันซ์เท่ากับวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดที่มีสายอากาศรับ 2 ชุด

3.4.3 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด สายอากาศรับ 2 ชุด

นอกจากนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มโคเวอริจันซ์และวิธีเพิ่มจำนวนสายอากาศรับ สัญญาณที่เครื่องลูกข่าย เป็นวิธีที่สามารถทำได้ ในกรณีนี้มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ M ชุด จะได้โคเวอริจันซ์เป็น $2M$ ในวิทยานิพนธ์นี้จะอธิบายเฉพาะกรณีที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และ สายอากาศรับ 2 ชุด แทนสายอากาศรับ M ชุด



รูปที่ 3.9 การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์โดยมีสายอากาศส่ง 2 ชุดและสายอากาศรับ 2 ชุด [3]

ตารางที่ 3.3 ช่องสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับ

	rx Antenna 0	rx Antenna 1
tx Antenna 0	h_0	h_2
tx Antenna 1	h_1	h_3

ตารางที่ 3.4 สัญญาณที่ภาครับจากสายอากาศรับ 2 ชุด

	rx Antenna 0	rx Antenna 1
Time t	r_0	r_2
Time $t + T$	r_1	r_3

การเข้ารหัสสัญญาณและลำดับการส่งข้อมูลสำหรับสัญญาณที่รับจากภาครับแสดงในตารางที่ 3.2 ขณะที่ตารางที่ 3.3 แสดงช่องสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับ และตารางที่ 3.4 แสดงสัญญาณที่ ภาครับจากสายอากาศรับ 2 ชุด สัญญาณที่ภาครับจะคล้ายกับสมการที่ (3.25) ซึ่งจะได้

$$\begin{aligned}
 r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\
 r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\
 r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\
 r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

โดยที่ n_0, n_1, n_2 และ n_3 เป็นสัญญาณรบกวนที่มีค่าเปลี่ยนแปลงอิสระที่แทรกเข้ามาจากรูปที่ 3.9 แสดงสัญญาณ ที่ได้จากการรวมกันที่มีค่ามากที่สุดที่จะเป็นไปได้คือ

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\
 \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^*
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

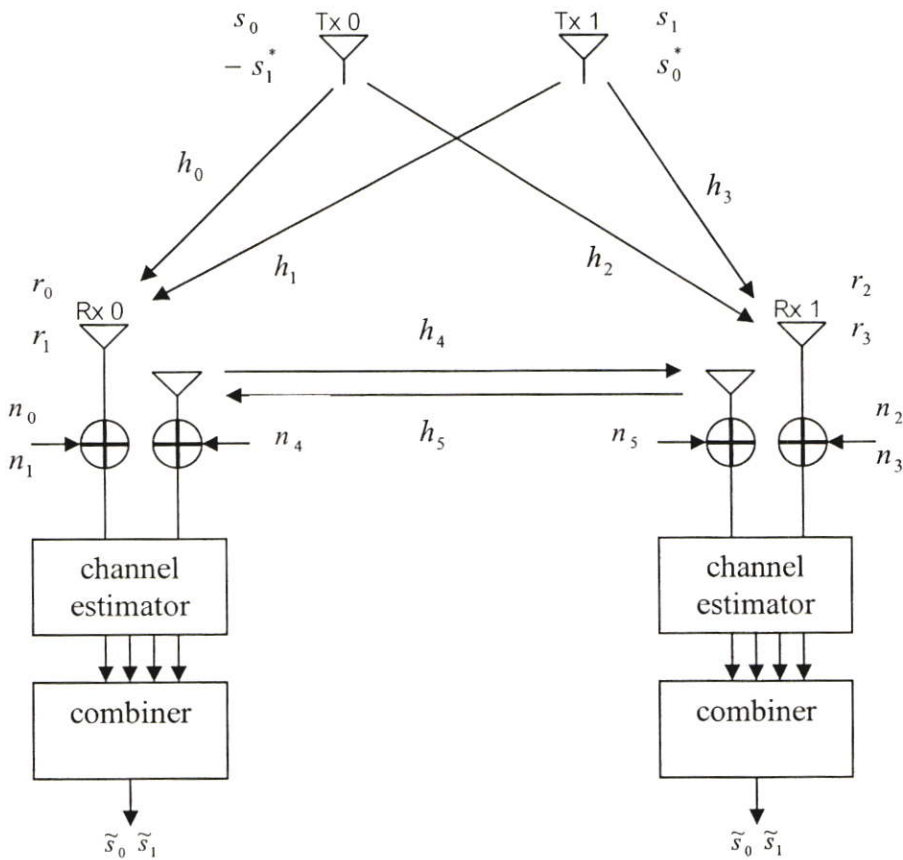
เลือกสัญญาณ s_i เมื่อ

$$d^2(\tilde{s}_1, s_i) \leq d^2(\tilde{s}_1, s_k) \quad \forall i \neq k \tag{3.30}$$

เมื่อรวมสัญญาณในสมการที่ (3.29) จะได้สัญญาณที่มีลำดับโคเวอรัจซีตีที่มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการรวมสัญญาณด้วยอัตราส่วนสูงสุดที่มีสายอากาศรับ 4 ชุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด จะได้สัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

3.5 แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทพร้อมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงวิธีการแก้ปัญหาผลกระทบการลดทอนเนื่องจากสหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณที่เป็นปัญหากับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ ซึ่งในหลักการสำหรับวิธีการใหม่นี้ จะคล้ายกับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด แต่จะแยกสายอากาศรับให้อยู่คนละยานพาหนะกันดังรูปที่ 3.10 และนำการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมาใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างยานพาหนะทั้งสองแทน



รูปที่ 3.10 แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทพร้อมแบบใหม่

สัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรับทั้งสองจะเหมือนกับสมการที่ (3.28) คือสายอากาศ Rx 0 จะได้รับสัญญาณ r_0 และ r_1 ส่วนสายอากาศ Rx 1 จะได้รับสัญญาณ r_2 และ r_3 แล้วจะต้องทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน โดย Rx 0 จะต้องส่งสัญญาณ r_0 และ r_1 ไปให้ Rx 1 และในทำนองเดียวกัน Rx 1 จะส่งสัญญาณ r_2 และ r_3 ให้ Rx 0 ด้วย ซึ่งในกรณีที่กำหนดให้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นอุดมคติ (perfect synchronous) สามารถรวมสัญญาณได้เท่ากับสมการที่

(3.29) แต่ถ้าต้องการคำนวณผลกระทบจากช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะจะเป็นดังสมการที่

(3.31)

$$\begin{aligned}\tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3\end{aligned}\quad (3.31)$$

โดยที่สามารถหาค่าที่สายอากาศ Rx 1 รัับได้คือ r_0' และ r_1' และค่าที่สายอากาศ Rx 0 รัับได้คือ r_2' และ r_3' จาก

$$\begin{aligned}r_0' &= h_4(h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0) + n_4 \\ r_1' &= h_4(-h_0 s_1 + h_1 s_0 + n_1) + n_4 \\ r_2' &= h_5(h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2) + n_5 \\ r_3' &= h_5(-h_2 s_1 + h_3 s_0 + n_3) + n_5\end{aligned}\quad (3.32)$$

วิธีการนี้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างยานพาหนะ จะส่งในช่วงเวลาถัดไปคล้ายการทำตัวเป็นอุปกรณ์ทวนสัญญาณแต่จะไม่ต้องเสียเวลากับขั้นตอนการถอดรหัสเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

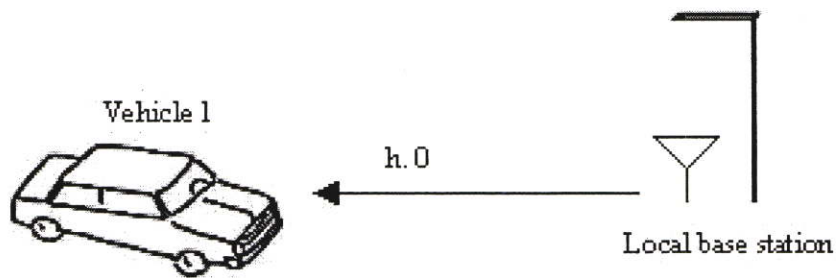
บทที่ 4

แบบจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

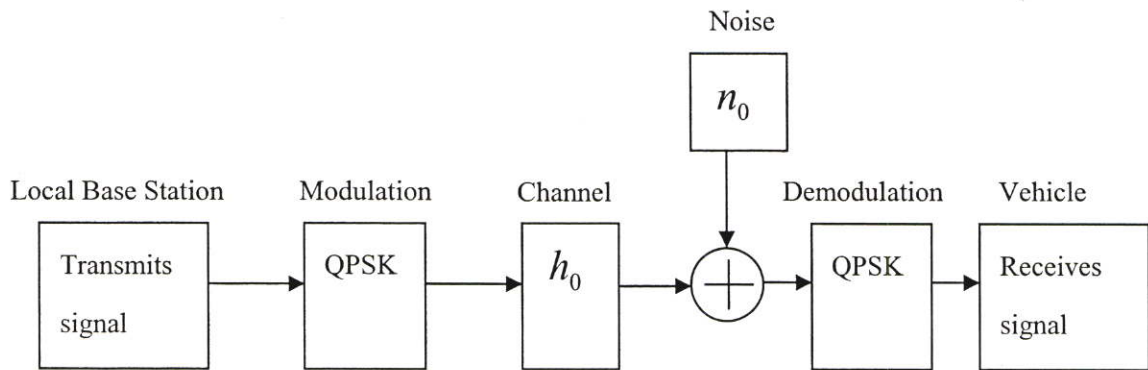
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการจำลองระบบสื่อสาร โดยใช้หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์หลายรูปแบบ โดยจำลองทั้งในสถานะที่ช่องสัญญาณไม่มีสหสัมพันธ์กัน และในสถานะที่ช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.7 รวมถึงขั้นตอนในการจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

4.1 แบบจำลองการสื่อสารในระบบคมนาคมอัจฉริยะโดยใช้หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุท

ระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานบนถนนและยานพาหนะเป็นระบบที่มีการใช้ส่งข้อมูลจำนวนมาก การใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดระบบสื่อสารจะต้องมีความเร็วและความถูกต้อง การพัฒนาของระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานบนถนนและยานพาหนะจะถูกพัฒนาไปในทิศทางเดียวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G วิธีการหนึ่งคือ วิธีสื่อสารที่มีการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทซึ่งเป็นวิธีที่เพิ่มจำนวนสายอากาศที่ภาคส่งและภาครับเพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณและไดเวอร์ซิตี เช่น เทคนิคการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของระบบสื่อสารที่มีการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทซึ่งจะปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบสื่อสาร

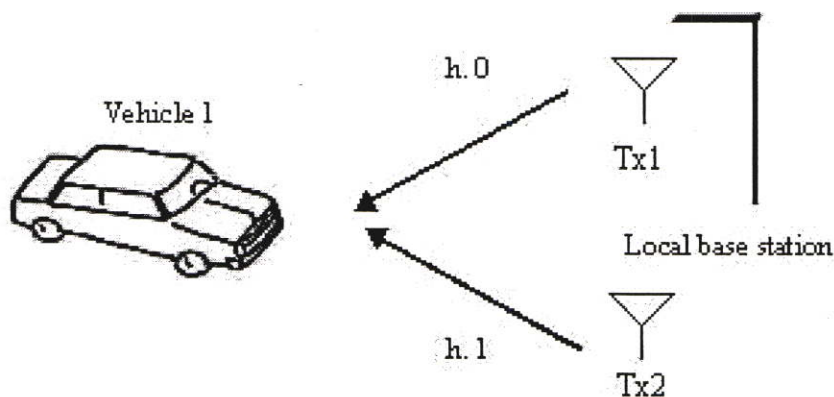


รูปที่ 4.1 การสื่อสารพื้นฐานระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

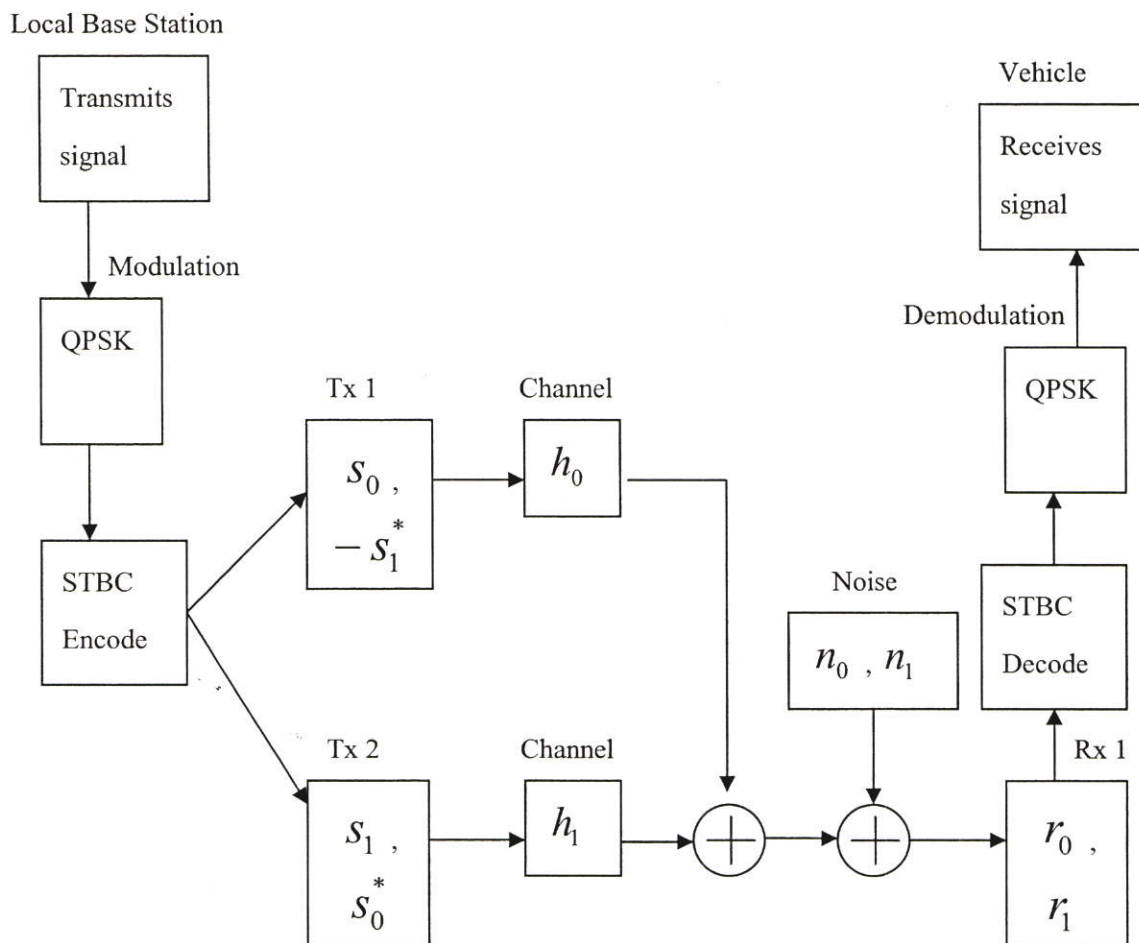


รูปที่ 4.2 การจำลองการสื่อสารพื้นฐานสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากรูปที่ 4.1 แสดงการสื่อสารพื้นฐานระหว่างสถานีฐาน (Local Base Station) บนถนนกับยานพาหนะ (Vehicle) ในระบบคมนาคมอัจฉริยะ ที่ใช้สายอากาศส่ง 1 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด ในรูปที่ 4.2 แสดงการจำลองขั้นตอนสื่อสารเพื่อใช้ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเริ่มจากการนำสัญญาณที่ออกจากสถานีส่งมาส่งผ่านช่องสัญญาณ h_0 และรวมกับสัญญาณรบกวน n_0 แต่เมื่อถ้าต้องการจำลองโดยใช้หลักการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทด้วยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ ต้องเพิ่มสายอากาศส่งรวมเป็น 2 ชุด ซึ่งจะได้โคเวอรัจจี้ของช่องสัญญาณเพิ่มดังรูปที่ 4.3 โดยสายอากาศส่งทั้ง 2 จะตั้งอยู่ที่สถานีส่งบนถนนแล้วส่งผ่านช่องสัญญาณ h_0 และ h_1 ไปยังยานพาหนะ

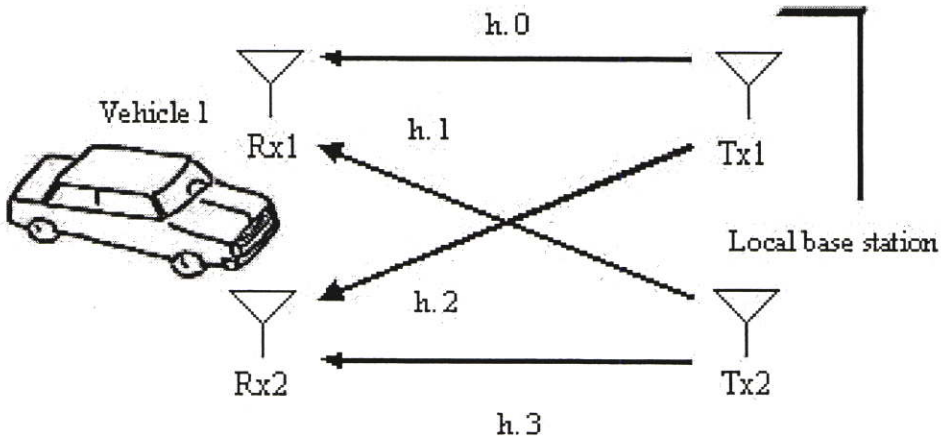


รูปที่ 4.3 การสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

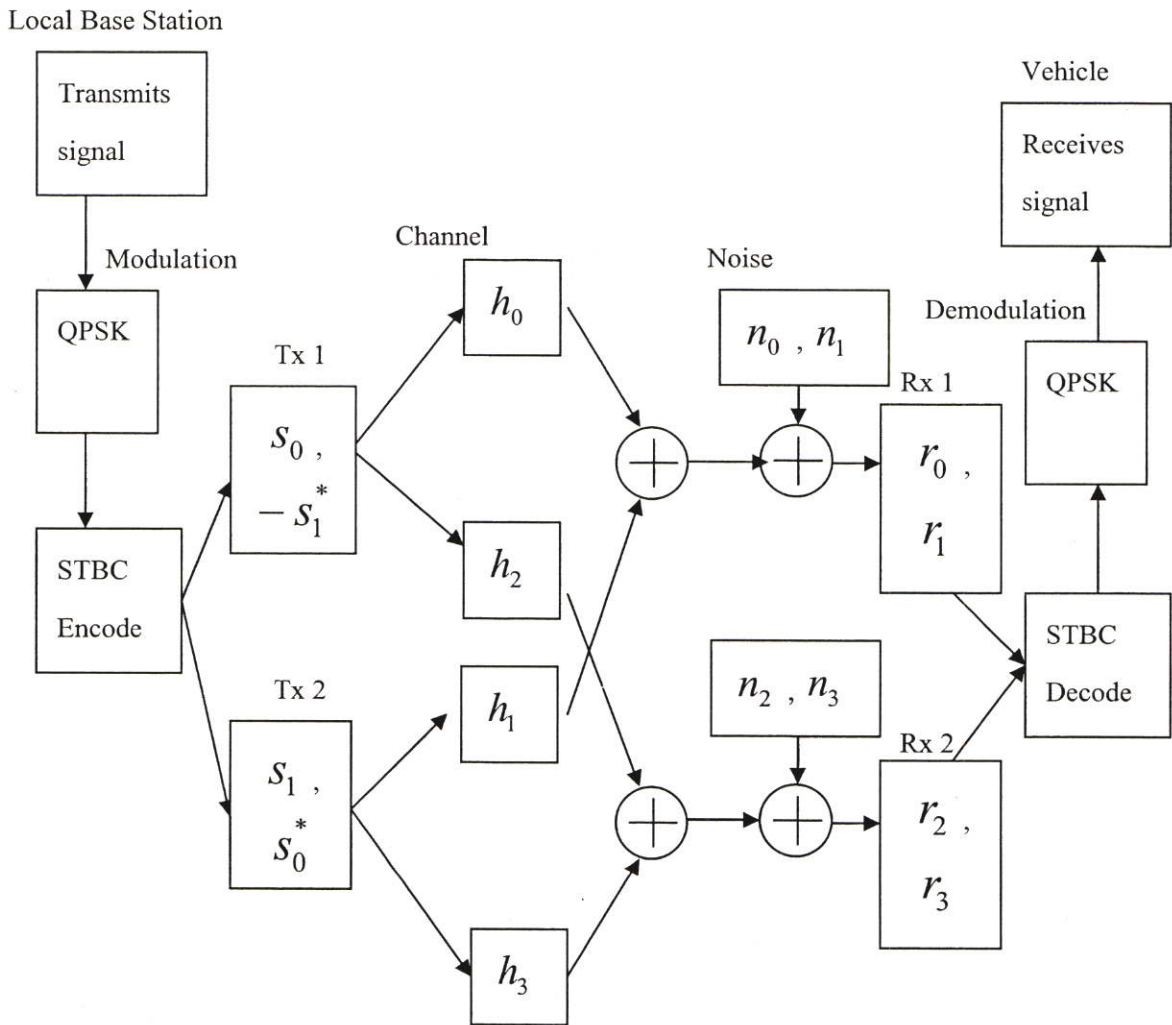


รูปที่ 4.4 การจำลองการสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากรูปที่ 4.4 แสดงการจำลองขั้นตอนสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด รูปแบบการจำลองจะคล้ายในรูปที่ 4.2 แต่การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์แล้วส่งออกทางสายอากาศ Tx1 และ Tx2 ณ เวลา t ส่งสัญญาณ s_0 และ s_1 ผ่านช่องสัญญาณ h_0 และ h_1 โดยช่องสัญญาณทั้งสองสร้างจากการสุ่มให้มีความอิสระต่อกันแล้วนำมารวมกันและรวมกับสัญญาณรบกวน n_0 เข้าสู่สายอากาศรับ Rx1 เป็นสัญญาณ r_0 ณ เวลา $t+T$ สถานีจะส่งสัญญาณ $-s_1^*$ และ s_0^* ผ่านช่องสัญญาณ h_0 และ h_1 ไปรวมกันและรวมกับสัญญาณรบกวน n_1 เข้าสู่สายอากาศรับ Rx1 เป็นสัญญาณ r_1 จากนั้นทำการถอดรหัสแบบสเปซไทม์ โดยในการจำลองทั้งหมดจะกำหนดให้สามารถประมาณช่องสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ (perfect channel estimator)



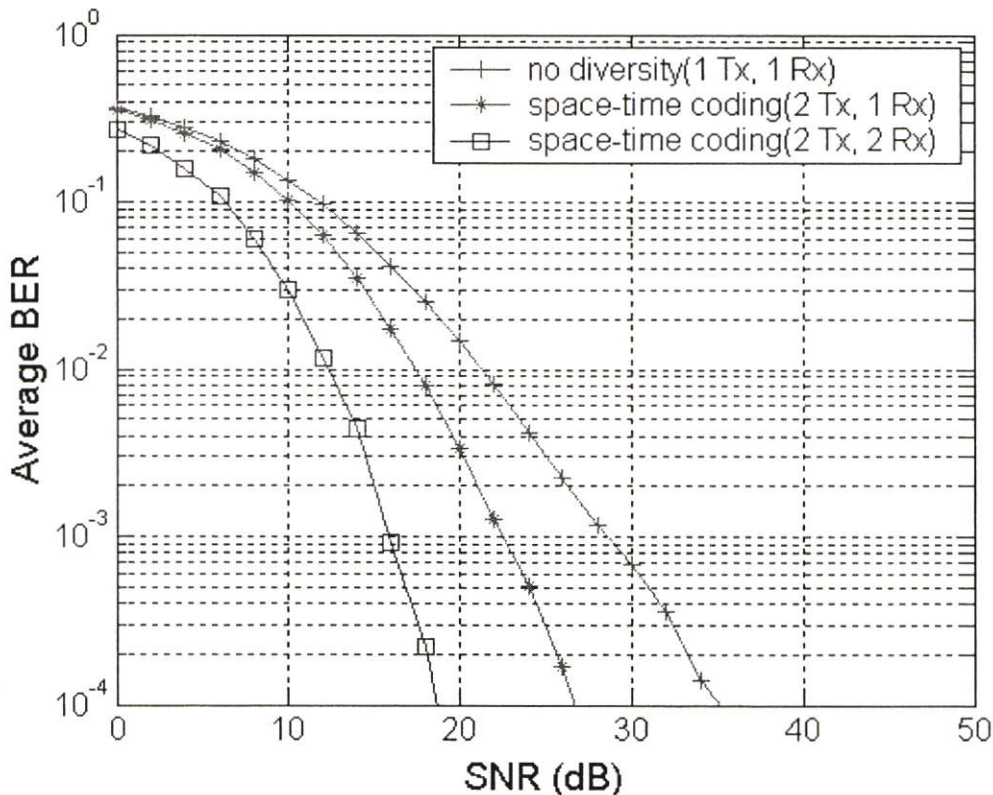
รูปที่ 4.5 การสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ



รูปที่ 4.6 การจำลองการสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุดสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากรูปที่ 4.5 แสดงการสื่อสารโดยวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุดในระบบคมนาคมอัจฉริยะ เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.3 จะมีข้อแตกต่างที่เพิ่มยานพาหนะอีก 1 คัน ทำให้เกิดช่องสัญญาณ h_2 และ h_3 ขั้นตอนการจำลองวิธีนี้จะแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งในส่วนภาคส่งจะคงเดิมแต่ที่ภาครับจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้สายอากาศเพิ่มเป็น 1 ชุดต่อ 1 ยานพาหนะ โดยส่งผ่านช่องสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณ ณ เวลา t สายอากาศ Rx1 จะได้รับสัญญาณ r_0 และสายอากาศ Rx2 จะได้รับสัญญาณ r_2 ณ เวลา $t+T$ สายอากาศ Rx1 จะได้รับสัญญาณ r_1 และสายอากาศ Rx2 จะได้รับสัญญาณ r_3 แล้วจึงถอดรหัสแบบสเปซไทม์

จากการจำลองวิธีพื้นฐานที่มีเพียงสายอากาศส่ง 1 ชุด สายอากาศรับ 1 ชุดที่ไม่มีโคเวอริจันซ์ของช่องสัญญาณมาเทียบกับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่เพิ่มสายอากาศส่งเป็น 2 ชุด และวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด จะได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการส่งแบบพื้นฐาน

จากรูปที่ 4.7 เป็นการจำลองระบบสื่อสารที่ความถี่ 5.85 GHz ซึ่งถ้าหากพิจารณาจำนวนบิตที่ผิดพลาดที่ระดับ 10^{-4} จะพบว่าวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด จะใช้กำลังส่งสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) น้อยกว่าวิธีพื้นฐานอยู่ประมาณ 8 dB และ การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มี สายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด

จะใช้กำลังส่งสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนน้อยกว่าวิธีพื้นฐานอยู่ประมาณ 16 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่ใช้หลักการเพิ่มไดเวอร์ซิตีของช่องสัญญาณจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้

4.2 แบบจำลองการสื่อสารในระบบมอดูเลชันด้วยวิธี MIMO ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง

วิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่ใช้หลักการเพิ่มไดเวอร์ซิตีของช่องสัญญาณ แต่ในทางปฏิบัติ มีความเป็นไปได้ที่ช่องสัญญาณจะมีสหสัมพันธ์กันสูง ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ช่องสัญญาณได้จาก

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} e^{k \cos(\theta - \alpha)}, \theta \in (-\pi, \pi], \quad (4.1)$$

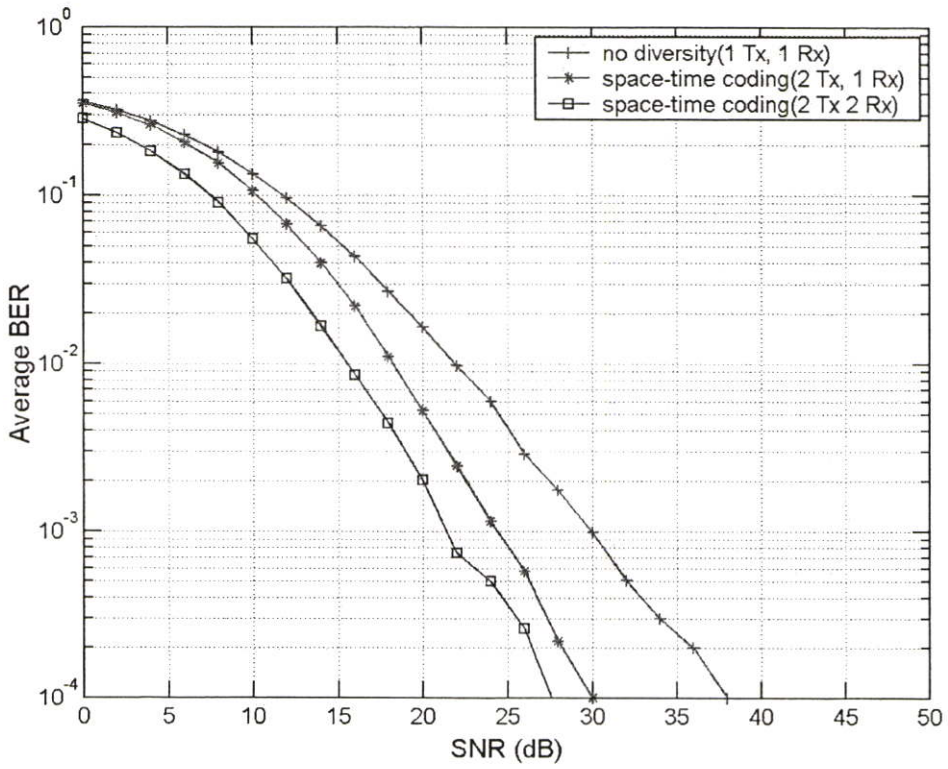
เมื่อ $I_n(k)$ คือลำดับที่ n ของฟังก์ชันเบสเซลส์ประยุกต์

k คือความกว้างช่องสัญญาณ

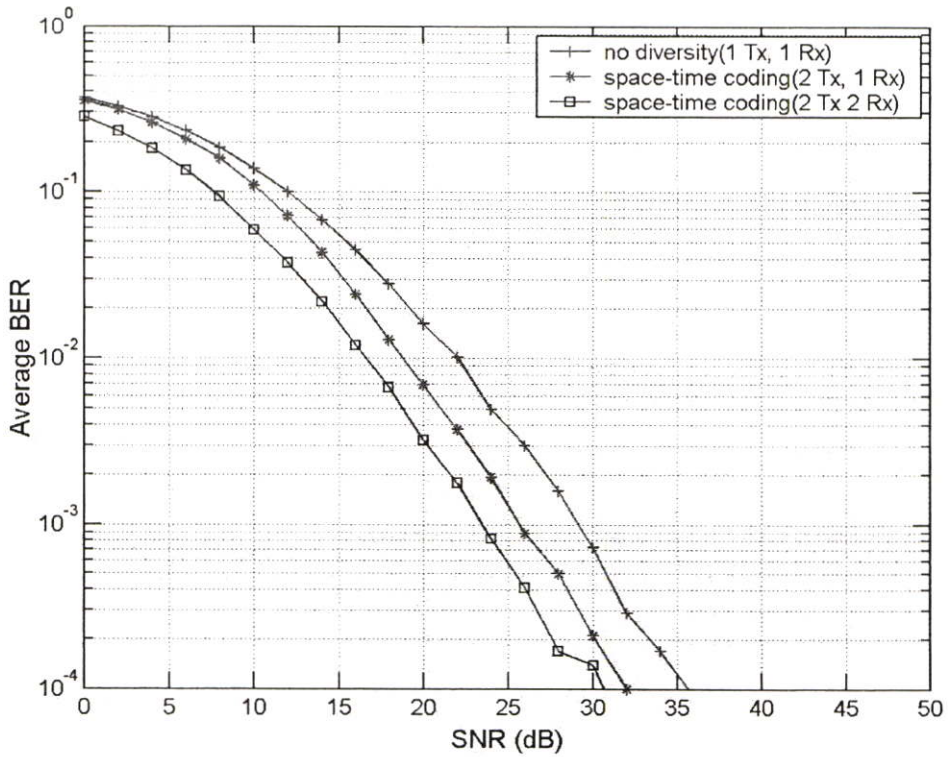
α คือค่าเฉลี่ยผลต่างระหว่างทิศของการกระจายและทิศของสายอากาศ

จากผลการจำลองในหัวข้อ 4.1 ที่อยู่ในสถานะที่ช่องสัญญาณเป็นอิสระต่อกัน แต่การนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติระหว่างช่องสัญญาณจะมีสหสัมพันธ์ สามารถจำลองได้โดยค่อยๆ เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณ

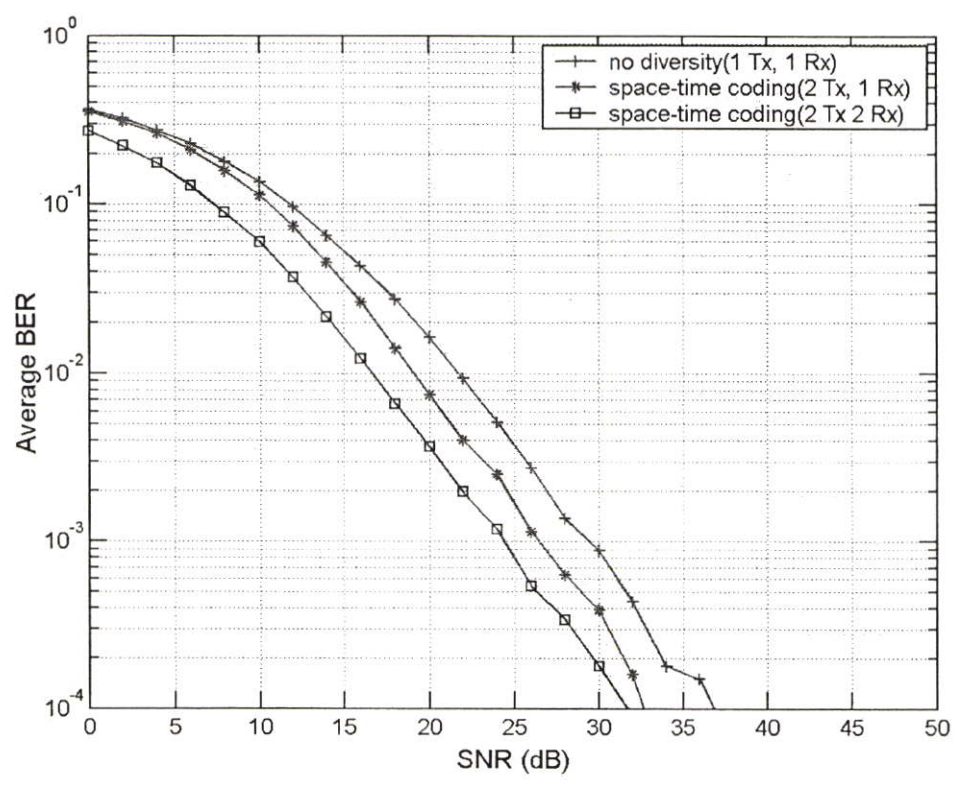
แต่ในการจำลองนี้จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมีค่าประมาณ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 แสดงในรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.13 ตามลำดับ โดยทำการจำลองทั้ง 3 วิธีเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1 แต่การจำลองจะกำหนดให้ช่องสัญญาณ h_1 , h_2 และ h_3 ขึ้นกับ h_0 และมีความแตกต่างกันตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณ จากนั้นเมื่อจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ โดยยังคงกำหนดให้สัญญาณรบกวนเป็นแบบสุ่มและยังคงสามารถประมาณช่องสัญญาณแบบสมบรูณ์ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.8 รูปที่ 4.13



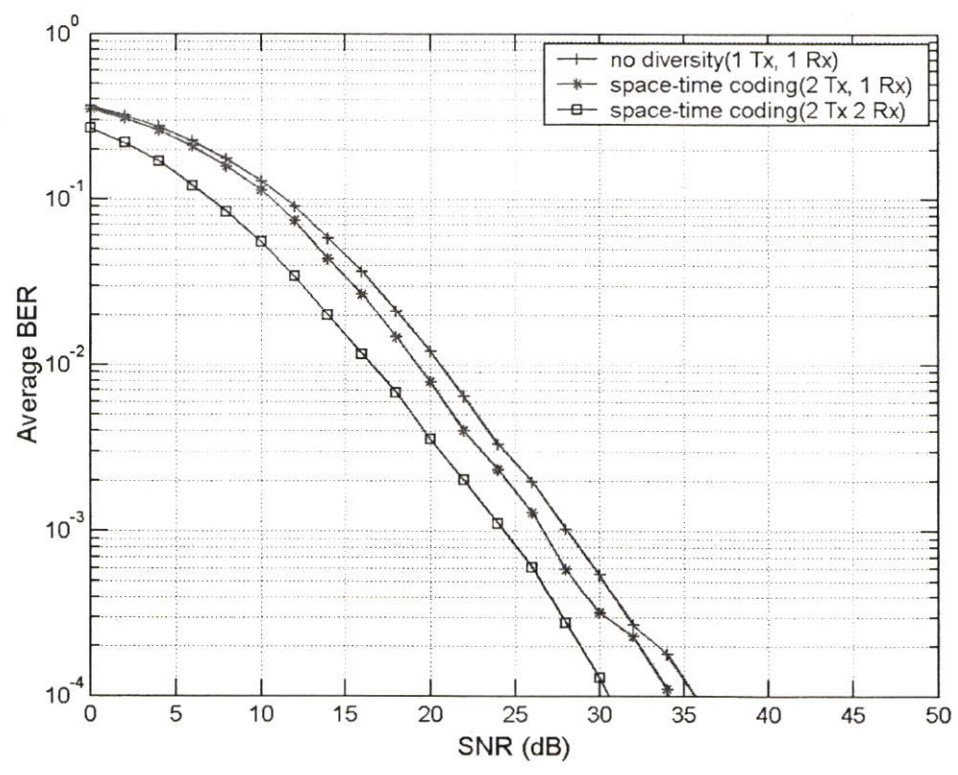
รูปที่ 4.8 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.2



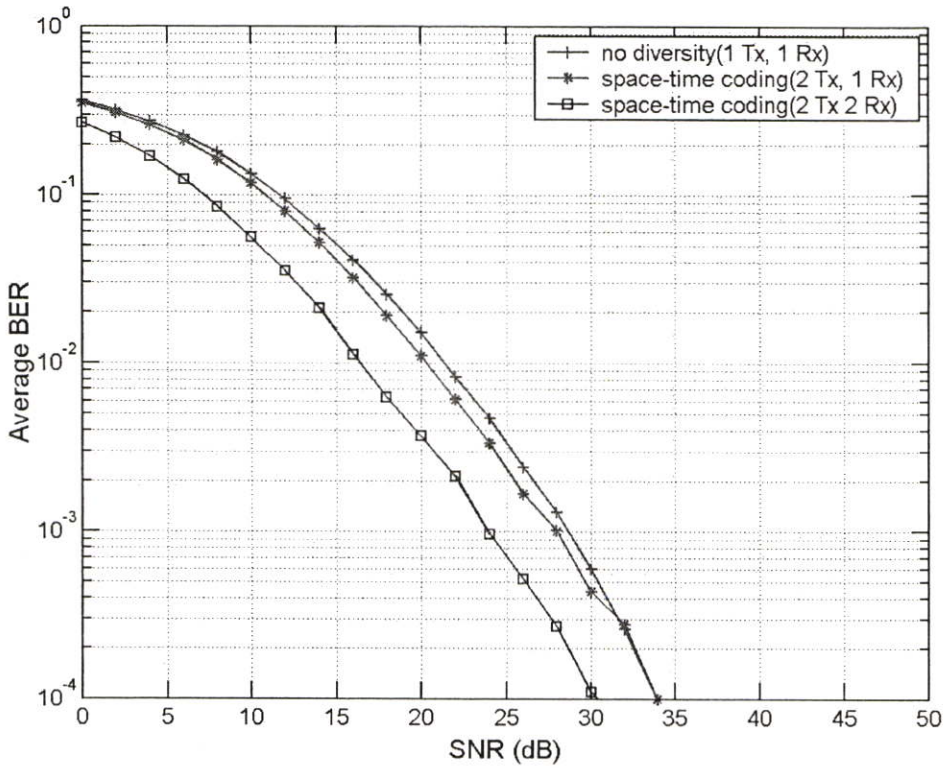
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐานในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.3



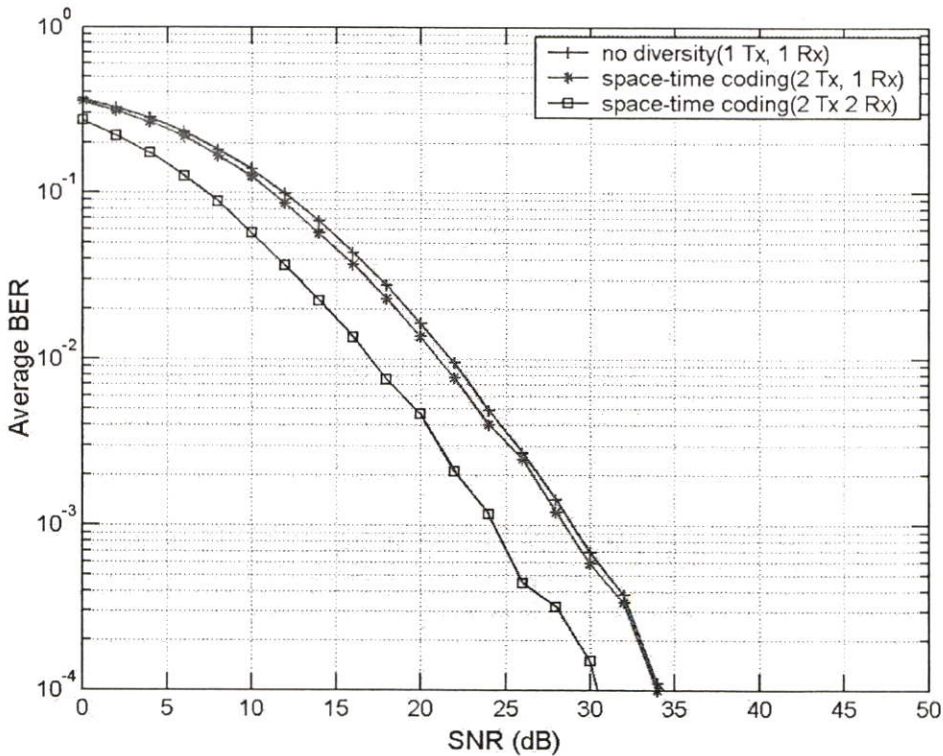
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐาน ในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.4



รูปที่ 4.11 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐาน ในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.5



รูปที่ 4.12 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐาน ในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.6



รูปที่ 4.13 ผลการจำลองเปรียบเทียบการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการสื่อสารแบบพื้นฐาน ในสถานะที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณประมาณ 0.7

จากรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.13 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณค่อยๆ เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้วิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มีประสิทธิภาพค่อยๆ ลดลง ทั้งการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด และการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด

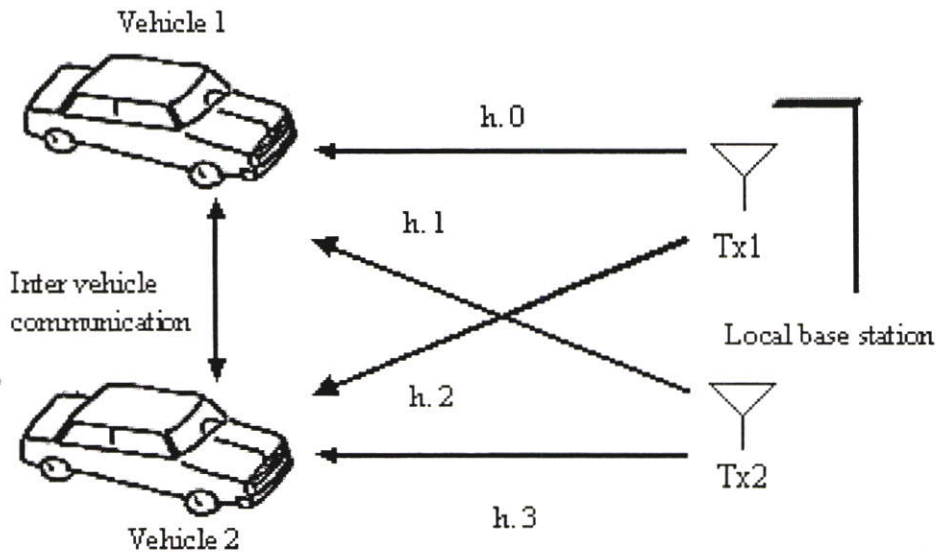
นอกจากนี้เมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 ที่จำนวนบิตผิดพลาดระดับ 10^{-4} ผลลัพธ์การเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด จะใช้กำลังส่งสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) เท่ากับวิธีพื้นฐานซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพลดลงประมาณ 8 dB และการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด จะใช้กำลังส่งสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนน้อยกว่าวิธีพื้นฐานอยู่ประมาณ 4 dB ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพลดลงมากประมาณ 12 dB

ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อช่องสัญญาณมีสหสัมพันธ์กันสูง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีแก้ไขปัญหานี้ที่อาจเกิดในบางเวลาซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 4.3 ต่อไป

4.3 แบบจำลองการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากหัวข้อ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถเกิดจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะระยะห่างระหว่างสายอากาศรับทั้ง 2 ชุด ต้องมีระยะห่างมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นพาหะ [21] เพราะถ้าระยะห่างน้อยกว่าจะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติที่พัฒนาให้อุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลงจนไม่สามารถทำให้มาสายอากาศ 2 ชุด อยู่ด้วยกันได้ และถ้าแยกให้ห่างกันก็จะเพิ่มความยากในการติดตั้งและยังมีโอกาสที่ช่องสัญญาณจะมีสหสัมพันธ์กันในบางช่วงเวลาอยู่ดี

ดังนั้นการนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มาประยุกต์ใช้สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะนั้น ไม่สามารถมองข้ามปัญหาการลดทอนเนื่องจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงขอเสนอแนวทางการแก้ไข โดยการทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณลดลงด้วยการแยกสายอากาศรับให้อยู่ห่างกัน ดังนั้นสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะจึงต้องแยกสายอากาศให้อยู่คนละยานพาหนะ ทำให้ช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ 2 คันเป็นอิสระต่อกัน (independent channel) จากนั้นเพิ่มช่องทางสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เพื่อส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันดังรูปที่ 4.14 ฉะนั้นจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างสถานีฐานและยานพาหนะ 2 คัน เรียกว่า แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ



รูปที่ 4.14 แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

วิธีการส่งผ่านข้อมูลคล้ายกับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด ซึ่งสำหรับการส่งข้อมูลจากสถานีส่งมาที่ยานพาหนะ ณ เวลา t ส่งสัญญาณ s_0 และ s_1 ช่องสัญญาณ h_0 , h_1 , h_2 และ h_3 ดังตารางที่ 4.1 ที่ยานพาหนะสามารถรับ r_0 และ r_2 ดังตารางที่ 4.2 ถัดไป ณ เวลา $t+T$ สถานีจะส่งสัญญาณ $-s_1^*$ และ s_0^* ดังตารางที่ 4.1 ที่ยานพาหนะสามารถรับ r_1 และ r_3 ในเวลาเดียวกัน ยานพาหนะทั้งสองจะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันโดยใช้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ดังตารางที่ 4.2 และ ณ เวลา $t+2T$ ยานพาหนะทั้งสองจะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันอีกครั้งโดยใช้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเข้ารหัสและลำดับการส่งสัญญาณจากสถานีฐาน

Local base station transmitter	Antenna 1	Antenna 2
Time t	s_0	s_1
Time $t+T$	$-s_1^*$	s_0^*

ตารางที่ 4.2 สัญญาณที่ยานพาหนะรับจากการสื่อสารระหว่างสถานีส่งกับ
ยานพาหนะและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

Vehicle receiver	Road to vehicle communication (RVC)		Inter vehicle communication (IVC)	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	r_0	r_2		
Time $t + T$	r_1	r_3	r_2	r_0
Time $t + 2T$			r_3	r_1

ในทางกลับกันการส่งข้อมูลจากยานพาหนะไปสถานีฐานสามารถใช้แบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่จะเป็นดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

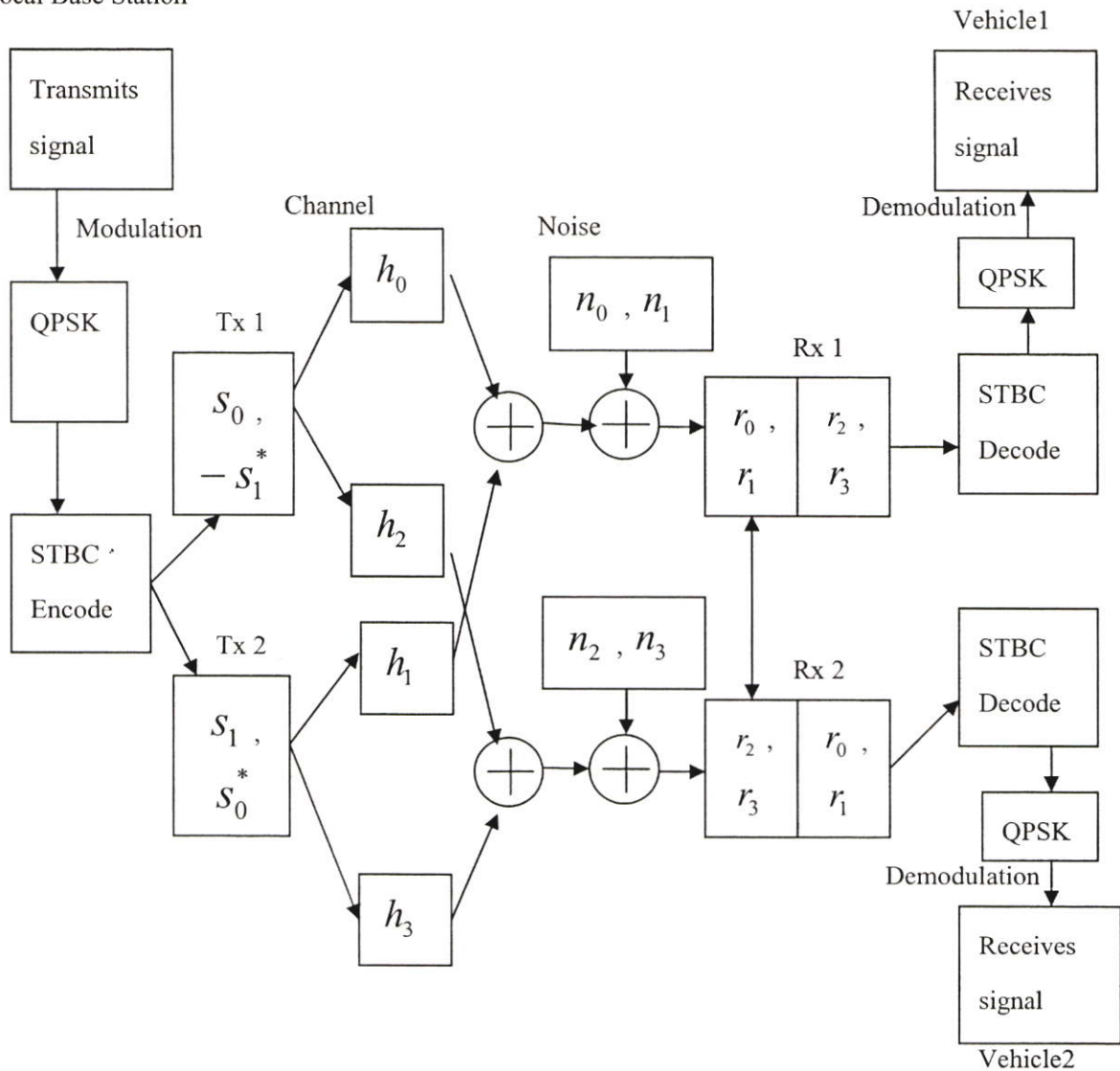
ตารางที่ 4.3 การเข้ารหัสและการส่งสัญญาณจากยานพาหนะ

Vehicle transmitter	Road to vehicle communication (RVC)		Inter vehicle communication (IVC)	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	s_0	s_1	s_0	s_1
Time $t + T$	$-s_1^*$	s_0^*		

ตารางที่ 4.4 สัญญาณที่สถานีฐานรับจากยานพาหนะ

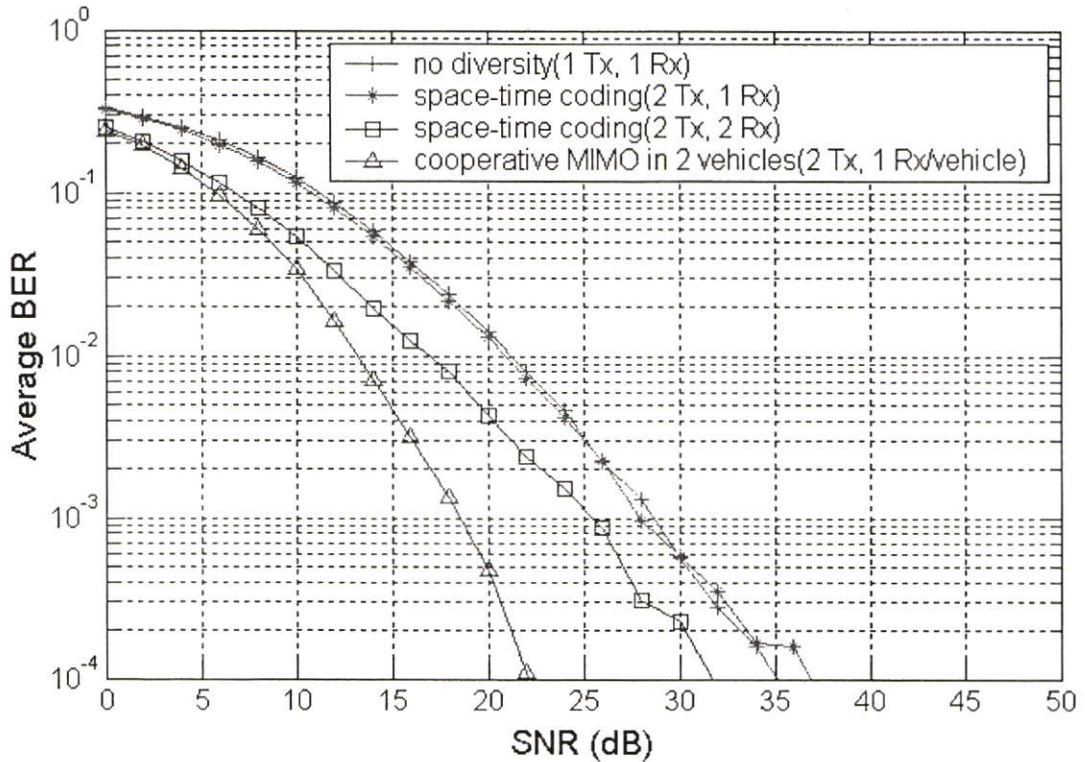
Local base station receiver	Antenna 1	Antenna 2
Time t	r_0	r_2
Time $t + T$	r_1	r_3

Local Base Station



รูปที่ 4.15 แบบจำลองการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่ สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ดังนั้นสามารถจำลองขั้นตอนของแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะดังรูปที่ 4.15 โดยจะมีข้อแตกต่างกับแบบจำลองในรูปที่ 4.6 คือการย้าย Rx2 ให้อยู่ที่ยานพาหนะ 2 (vehicle 2) และมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างยานพาหนะทั้งสอง โดยใช้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่
เปรียบเทียบกับกรเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ และการส่งแบบพื้นฐาน ในสภาวะที่
สหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณสูง

ผลลัพธ์ที่ได้โดยกำหนดให้ทั้งระบบสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะใช้ความถี่พาหะในช่วง 5.85 GHz และระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นอูมคคิ จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากวิธีเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด ประมาณ 9 dB สรุปได้ว่าแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สามารถแก้ไขปัญหาสัญญาณที่ลดทอนจากสหสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะได้

4.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

จากผลการจำลองแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สามารถวิเคราะห์ คาดการณ์ประโยชน์ที่จะได้รับดังนี้

ด้านประสิทธิภาพ

ในกรณีที่ช่องสัญญาณเป็นอิสระต่อกันวิธีการใหม่นี้จะประสิทธิภาพสัญญาณเทียบเท่ากับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด ทั้งที่ใช้เพียงสายอากาศรับ 1 ชุด แต่ถ้าตกอยู่ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีสหสัมพันธ์กันสูง วิธีการใหม่นี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า

ด้านค่าใช้จ่าย

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณจำเป็นต้องเพิ่มกำลังส่งหรือปรับปรุง โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ในการสื่อสารซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่สำหรับวิธีการนี้ใช้จำนวนสายอากาศเท่ากับวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด แต่ได้ประสิทธิภาพสูงกว่าในสถานะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณมากกว่า 0.7 และการที่ใช้เพียงสายอากาศ 1 ชุด ต่อ 1 ยานพาหนะ เมื่อนำไปใช้งานในระบบคมนาคมที่มีจำนวนยานพาหนะมากมายการที่ไม่เพิ่มอุปกรณ์ที่ยานพาหนะถือเป็นการช่วยประหยัดอย่างมาก

ด้านกำลังงาน

ในการจำลองด้วยวิธีใหม่นี้ในด้านสถานีส่งที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด นั้นจะใช้กำลังงานเท่าเดิม โดยแต่ละสายอากาศใช้กำลังส่งเพียงครั้งหนึ่ง ส่วนที่ยานพาหนะวิธีใหม่นี้ที่มีสายอากาศ 1 ชุด จะใช้กำลังงานเพียงครั้งเดียวในแต่ละยานพาหนะ แต่เมื่อคิดทั้งระบบที่ต้องส่งจาก 2 ยานพาหนะจะใช้กำลังงานเท่าเดิม

ด้านอายุการใช้งาน

จากในหัวข้อประโยชน์ในด้านกำลังงาน เมื่อใช้กำลังงานเพียงครั้งเดียวในสายอากาศแต่ละสายอากาศ ทำให้ความร้อนสะสมในแต่ละอุปกรณ์และสายอากาศสะสมน้อยลงด้วย ฉะนั้นจึงสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานสายอากาศได้

ด้านอื่นๆ

ใช้ประโยชน์ระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะให้เต็มประสิทธิภาพขึ้นเนื่องจากการพัฒนาของระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ มีแนวโน้มจะใช้เทคโนโลยีเดียวกับอินเทอร์เน็ตไร้สายที่ต้องมีการตรวจสอบเครือข่ายตลอดเวลา แต่ใช้ส่งข้อมูลเฉพาะตำแหน่งยานพาหนะอื่นที่อยู่ใกล้ และสัญญาณให้ชะลอความเร็วในกรณีมีอุบัติเหตุในทิศทางที่มุ่งไปเท่านั้น

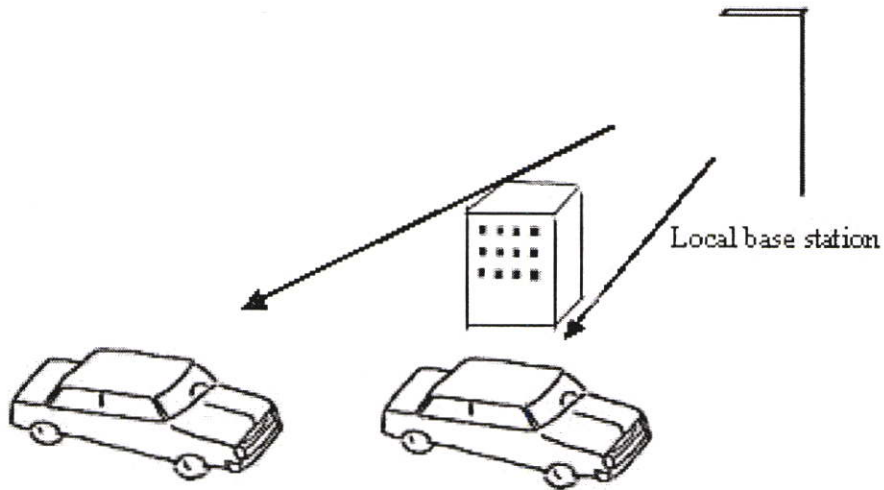
บทที่ 5

ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณสำหรับ ระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่ ซึ่งในทางปฏิบัติจะได้รับผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างสถานีส่งกับยานพาหนะและผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ

5.1 ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะ

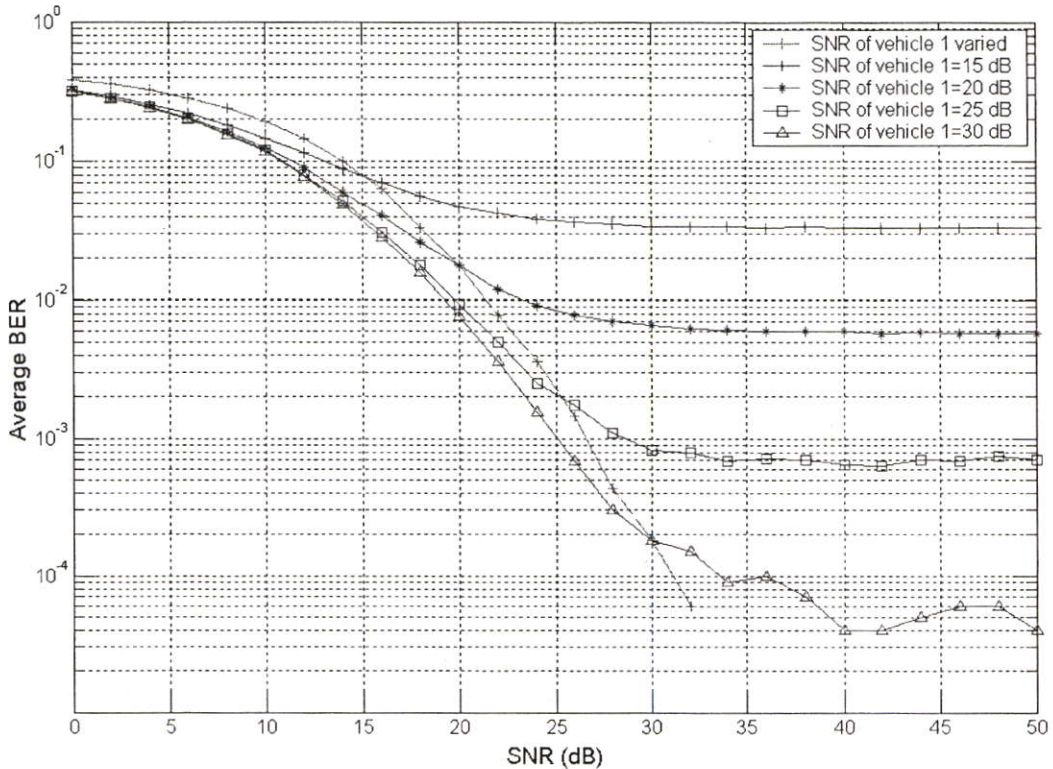
เนื่องจากในทางปฏิบัติยานพาหนะเคลื่อนที่ตลอดเวลา วิธีการประสานการรับส่งข้อมูลของการสื่อสารที่มีสัญญาณรับส่งหลายสัญญาณนี้ จะต้องอาศัยกับยานพาหนะ 2 คัน ซึ่งมีการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะไม่เท่ากัน สาเหตุอาจมาจากคุณสมบัติของช่องสัญญาณ สิ่งกีดขวาง และระยะห่าง ที่ไม่เหมือนกัน ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ความแตกต่างของตำแหน่งและสิ่งกีดขวางต่อการลดทอนสัญญาณที่ส่งจากสถานีฐานไปแต่ละยานพาหนะสำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ขั้นตอนในการจำลองระบบสื่อสารจะเหมือนกับรูปที่ 4.10 แต่จะปรับค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของยานพาหนะทั้งสอง โดยกำหนดให้ยานพาหนะ 1 มีค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 50 dB เทียบกับการกำหนดให้ยานพาหนะ 1 มีค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนคงที่ที่ 15, 20, 25 และ 30 dB ส่วน

ยานพาหนะ 2 มีค่า อัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 50 dB จะ
ได้ผลดังรูปที่ 5.2



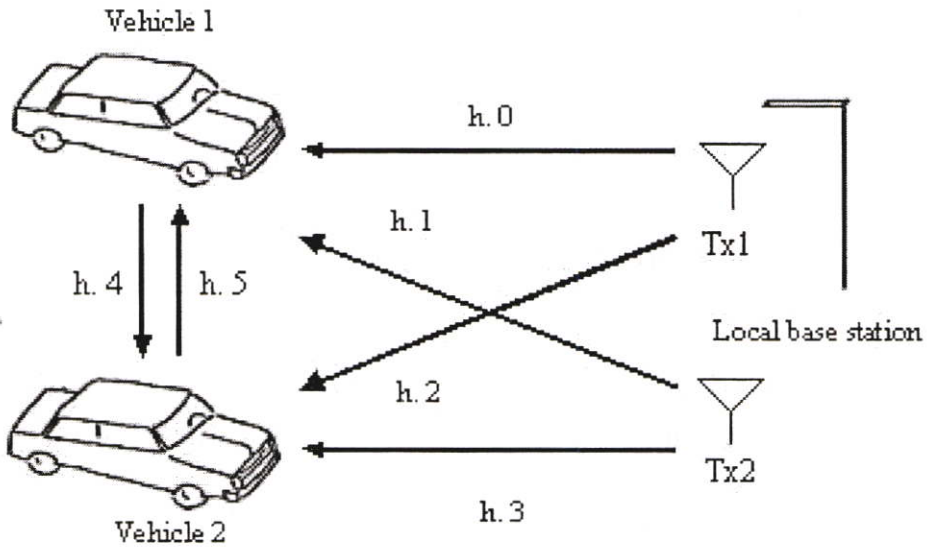
รูปที่ 5.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบระบบสื่อสารที่ยานพาหนะ 1 มีอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับ
สัญญาณรบกวน (SNR) เปลี่ยนแปลง 0 - 50 dB และ คงที่ที่ 15, 20, 25 และ 30 dB

จากผลลัพธ์ในรูปที่ 5.2 การเพิ่มค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของ
ยานพาหนะ 1 จาก 0 - 50 dB จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มค่า
อัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของยานพาหนะ 2 แต่สำหรับในกรณีที่กำหนดให้
ยานพาหนะ 1 มีค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนคงที่ที่ 15, 20, 25 และ 30 dB ถึงจะ
เพิ่มอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน ที่ยานพาหนะ 2 แต่ผลจะเพิ่มขึ้นและคงที่

สรุปได้ว่าแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทรวมแบบใหม่นี้
ประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นกับยานพาหนะที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน
น้อยกว่า

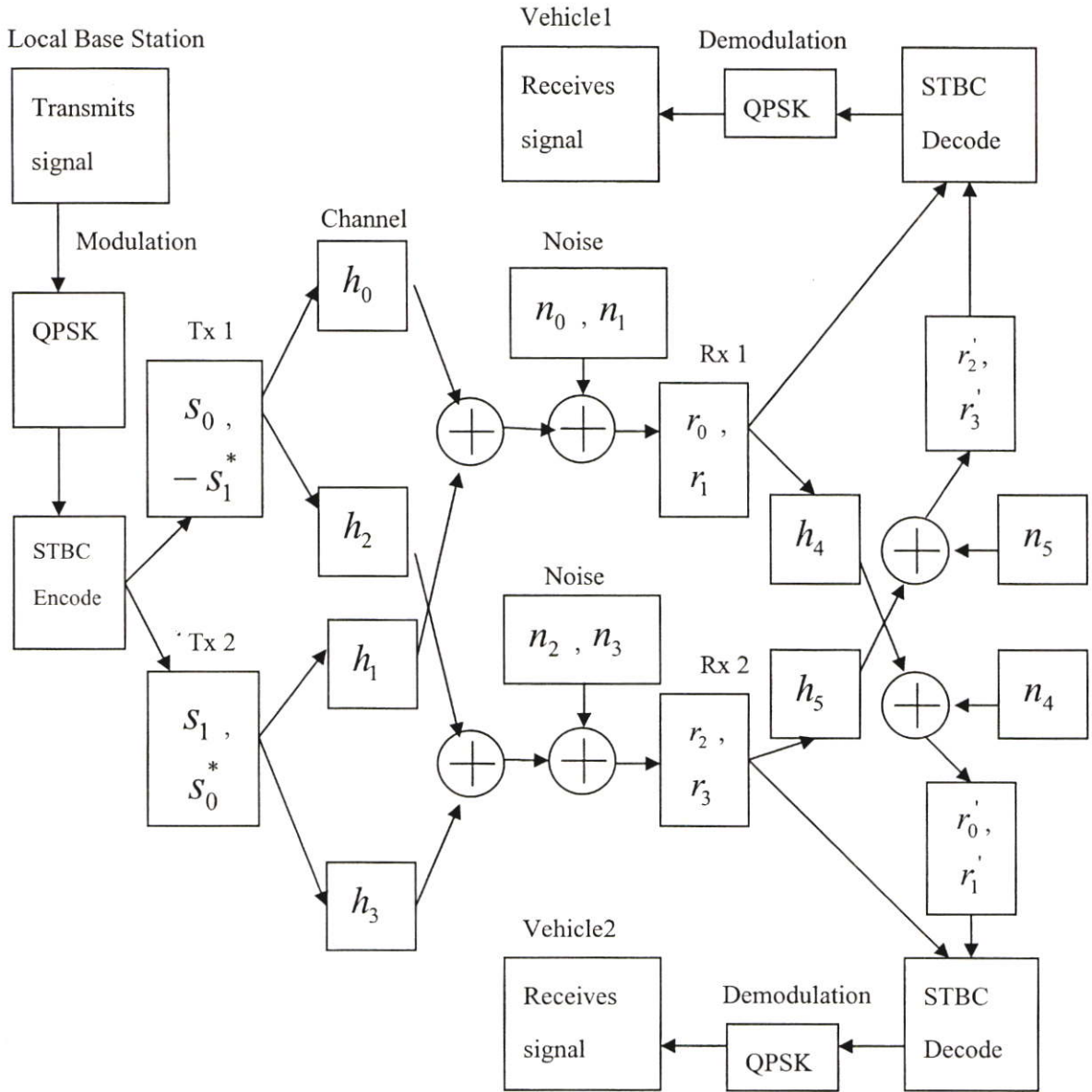
5.2 ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ

ผลกระทบจากการลดทอนในช่องสัญญาณไม่พบเพียงแต่ในช่องสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะเท่านั้นแต่ยังพบในช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะด้วย



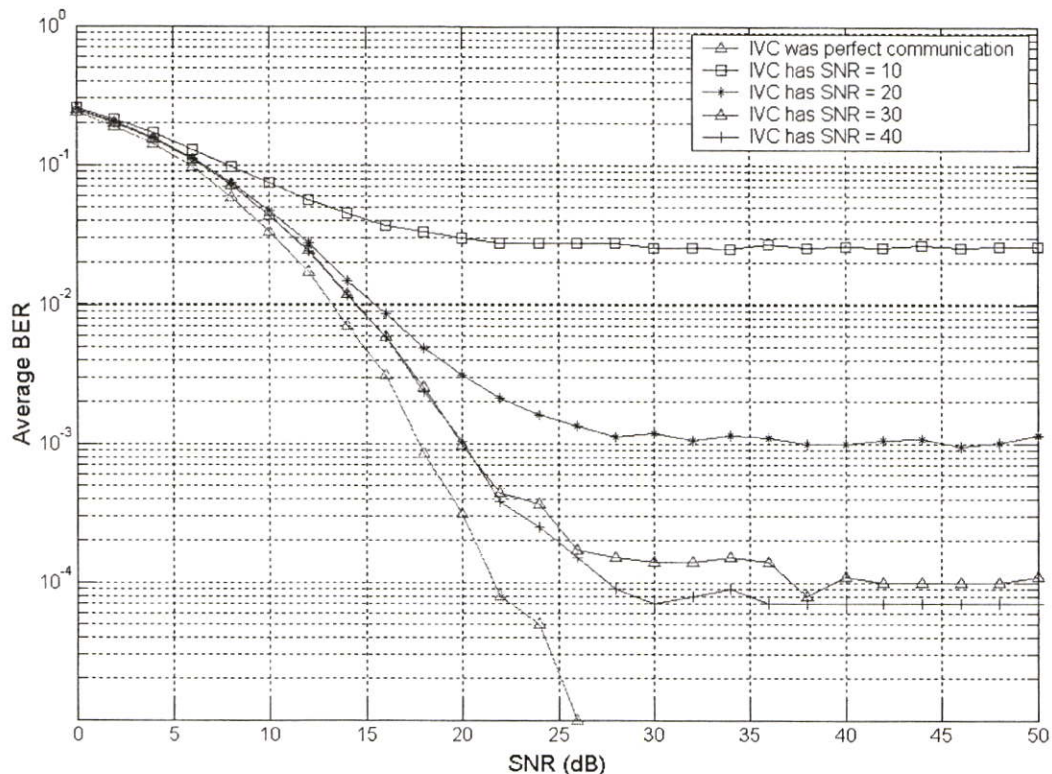
รูปที่ 5.3 ผลกระทบการลดทอนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

ขั้นตอนในการจำลองระบบสื่อสารจะเหมือนกับรูปที่ 4.10 แต่ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างยานพาหนะที่เดิมกำหนดให้เป็นการสื่อสารแบบสมบูรณ์นั้น แต่ในการจำลองนี้จะคำนึงถึงการลดทอนในช่องสัญญาณของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ นั่นคือช่องสัญญาณ h_4 และ h_5 แล้วนำมารวมกับสัญญาณรบกวน n_4 และ n_5 ดังที่แสดงในรูปที่ 5.4 โดยขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นมาคือ หลังจากที่สายอากาศรับของยานพาหนะที่ 1 (Rx1) ได้รับสัญญาณ r_0 และ r_1 จะส่งผ่านช่องสัญญาณ h_4 สู่สายอากาศรับของยานพาหนะที่ 2 (Rx2) ซึ่งจะได้เป็นสัญญาณ r'_0 และ r'_1 ในทำนองเดียวกันสัญญาณ r_2 และ r_3 ก็จะส่งผ่านช่องสัญญาณ h_5 ไปยังสายอากาศรับสัญญาณของยานพาหนะที่ 1 เป็นสัญญาณ r'_2 และ r'_3 และทำการรวมสัญญาณด้วยสมการที่ 3.19 และ สมการที่ 3.20



รูปที่ 5.4 แบบจำลองผลกระทบการลดทอนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะต่อแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่สำหรับระบบคมนาคมอัจฉริยะ

การนำไปใช้ในทางปฏิบัติเมื่อใช้กับแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่จะทำให้เกิดผลลัพธ์ดังรูปที่ 5.5 โดยถ้ากำหนดให้ช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ มีค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) คงที่ที่ 10, 20, 30 และ 40 dB เทียบกับช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ ที่เป็นอุดมคติ



รูปที่ 5.5 ผลการจำลองเปรียบเทียบระบบสื่อสาร ที่มีอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) ของช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะคงที่ที่ 10, 20, 30 และ 40 เทียบกับช่องสัญญาณในอุดมคติ

จากรูปที่ 5.5 กราฟที่มีอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนเพิ่มจาก 10, 20, 30 และ 40 dB จะได้สัญญาณที่ดีขึ้นตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะมีผลกระทบต่อวิธีการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่นี้

ในทางปฏิบัติการลดทอนในระบบคมนาคมอัจฉริยะจำเป็นต้องวัดจากสภาพช่องสัญญาณจริงจึงจะได้ค่าการลดทอนที่ถูกต้อง แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะประมาณการลดทอนโดยใช้การสูญเสียเชิงวิถีที่สามารถคำนวณได้จากวิธี Two-Ray Model [10] โดยกำหนดให้ความสูงสายอากาศของยานพาหนะทั้ง 2 คัน สูง 1.5 เมตรและใช้กำลังส่ง 20 W โดยไม่มีอุปกรณ์ขยายสัญญาณจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.1 และสามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การสูญเสียเชิงวิถีและอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

ระยะห่างระหว่างยานพาหนะ(เมตร)	5	10	15	20	25	50	100	200	500
PL(dB)	38.7	43.29	45.22	46.41	47.23	49.43	51.24	52.77	54.48
SNR(dB)	44.2	33.77	29.31	26.60	24.69	19.62	15.47	11.92	7.99

สรุปได้ว่าวิธีการผสมการรับส่งข้อมูลของการสื่อสารที่มีสัญญาณรับส่งหลายสัญญาณนี้ ประสิทธิภาพจะขึ้นกับค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะ และควรใช้วิธีนี้เมื่อค่าอัตราส่วนสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวนของช่องสัญญาณระหว่างยานพาหนะมากกว่า 30 dB หรือ ยานพาหนะไม่ควรห่างกันเกิน 15 เมตร โดยระยะห่างระหว่างยานพาหนะที่สื่อสารด้วยวิธีนี้สามารถเพิ่มได้โดยเพิ่มกำลังส่งหรือเพิ่มอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ระบบสื่อสารที่ใช้ในระบบคมนาคมอัจฉริยะได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศทั่วโลก และการนำวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่ใช้หลักการของการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทจะเป็นส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณ แต่เมื่อช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ประสิทธิภาพของวิธีการนี้จะลดลง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่ ซึ่งจากผลการจำลองการสื่อสารด้วยวิธีการใหม่ในสถานะที่มีสหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณสูงนำมาเทียบกับการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์และการสื่อสารแบบพื้นฐาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ค่าความผิดพลาดของข้อมูล (BER) เท่ากับ 10^{-4} วิธีการใหม่จะมีค่าสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (SNR) น้อยกว่าการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 2 ชุด ประมาณ 9 dB และ น้อยกว่าการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่มีสายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 4 ชุด ประมาณ 15 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการใหม่สามารถแก้ปัญหาการลดทอนเนื่องจากผลกระทบจากสหสัมพันธ์ของช่องสัญญาณได้ และเมื่อศึกษารายละเอียดของวิธีการใหม่จะพบว่าการลดทอนในช่องสัญญาณจะส่งผลกระทบต่อวิธีการใหม่ ทั้งในส่วนช่องสัญญาณของการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและช่องสัญญาณของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ซึ่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของวิธีการใหม่จะขึ้นอยู่กับยานพาหนะที่มีค่า SNR ของการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะน้อยกว่า และควรใช้วิธีการนี้เมื่อค่า SNR ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมีค่ามากกว่า 30 dB หรือระยะห่างระหว่างยานพาหนะไม่ควรเกิน 15 เมตร

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการนำเทคนิคการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์มาใช้กับระบบคมนาคมอัจฉริยะเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ เป็นวิธีการที่เหมาะสมเพราะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบได้ โดยเฉพาะวิธีการเข้ารหัสแบบสเปซไทม์ที่ใช้สายอากาศส่ง 2 ชุด และสายอากาศรับ 1 ชุด จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะไม่ต้องเพิ่มอุปกรณ์ที่ยานพาหนะ ส่วนแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุทหลายเอาต์พุทร่วมแบบใหม่อาจไม่จำเป็นต้องทำงานตลอดเวลา แต่สามารถใช้เป็นวิธีการสำรองของระบบสื่อสาร ในกรณีที่สัญญาณที่ภาครับลดลงและช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ระบบควบคุมในยานพาหนะจะใช้วิธีการใหม่ในการสื่อสาร แล้วจึงส่งสัญญาณไปหายานพาหนะอื่นที่มีค่า SNR ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมากกว่า 30 dB เพื่อขอเริ่มใช้

วิธีการใหม่นี้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นอีก 8 dB ในสถานะที่ช่องสัญญาณไม่มีสหสัมพันธ์กันและจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นสูงสุด 15 dB ในสถานะที่ช่องสัญญาณมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.7

สำหรับแนวทางการพัฒนาระบบสื่อสารไร้สายของระบบคมนาคมอัจฉริยะ ยังมีทิศทางที่ไม่แน่นอน เนื่องจากแต่ละกลุ่มผู้วิจัยและประเทศที่สนับสนุนยังไม่สามารถสรุปหารูปแบบที่ดีที่สุดได้ บางกลุ่มต้องการใช้เพียงการสื่อสารระยะใกล้ DSRC ทั้งในการสื่อสารกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะและการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยใช้ความถี่ในช่วงเดียวกันทั้งหมดและใช้รูปแบบการสื่อสารคล้ายอินเทอร์เน็ตไร้สายแบบ Ad hoc Network แล้วส่งข้อมูลทุกอย่างในระบบเดียวกัน ส่วนอีกกลุ่มวิจัยหนึ่งพัฒนาโดยใช้ระบบสื่อสารทั้งระยะใกล้และไกลควบคู่กัน โดยการสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับยานพาหนะอาจจะส่งสัญญาณในลักษณะระยะใกล้สำหรับพื้นที่เมืองที่มีจำนวนยานพาหนะมากและส่งสัญญาณระยะไกลในพื้นที่ชานเมืองที่มียานพาหนะน้อย เพื่อให้ประหยัดจำนวนจุดในการติดตั้งสถานีฐานและการส่งข้อมูลในแต่ละระบบสื่อสารจะเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งผู้ทำการวิจัยมีความเห็นว่าวิธีการที่ 2 สามารถทำการจัดการส่งข้อมูลได้ดีกว่าและไม่เป็นการสร้างภาระหรือจุดคอขวดของการส่งข้อมูล เมื่อต้องส่งผ่านยานพาหนะต่อเนื่องหลายคัน รวมถึงแบบแผนการส่งผ่านข้อมูลแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตร่วมแบบใหม่นี้จะเหมาะสมกับการใช้ในวิธีการพัฒนาที่ 2 มากกว่า

บรรณานุกรม

- [1] J. Njord and et. al., **Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan**, American Trade Initiatives, January 2006.
- [2] P. Sayeg, P. Charles, **Intelligent Transport System**, A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities Module 4e, Germany, March 2005.
- [3] S. M. Alamouti, “**A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications**,” IEEE Journ. Select. Areas. Commun., Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [4] Y. Segawa, and M. Okada, “**Performance of COFDM-Based Transmitter Diversity in a Road- to-Vehicle Communication System**,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 192-196, December 2001.
- [5] A. V. Batista da Silva, and M. Nakagawa, “**Radio Wave Propagation Measurements in Tunnel Entrance Environment for Intelligent Transportation Systems Applications**,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, pp. 883-888, August 2001.
- [6] C. Tepedelenlioglu and G. B. Giannakis, “**On Velocity Estimation and Correlation Properties of Narrow-Band Mobile Communication Channels**,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 50, No. 4, pp. 1039-1052, July 2001.
- [7] A. Abdi, and M. Kaveh, “**A Space-Time Correlation Model for Multielement Antenna Systems in Mobile Fading Channels**,” IEEE Journal on Selected areas in Communications, Vol. 20, No. 3, pp. 550-560, April 2002.
- [8] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, “**Cooperative Communication in Wireless Networks**,” IEEE Communications Magazine, pp. 74-80, October 2004.
- [9] J. N. Laneman, **Cooperative Diversity in Wireless Networks: Algorithms and Architectures**, Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, September 2002.
- [10] T. S. Rappaport, **Wireless Communications Principles and Practice**, Second Edition, Prentice Hall PTR, 2002.
- [11] B. Vucetic, and J. Yuan, **Space-Time Coding**, John Wiley& Sons Ltd, The Atrium, Southem Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, England, 2003.
- [12] ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. **หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546

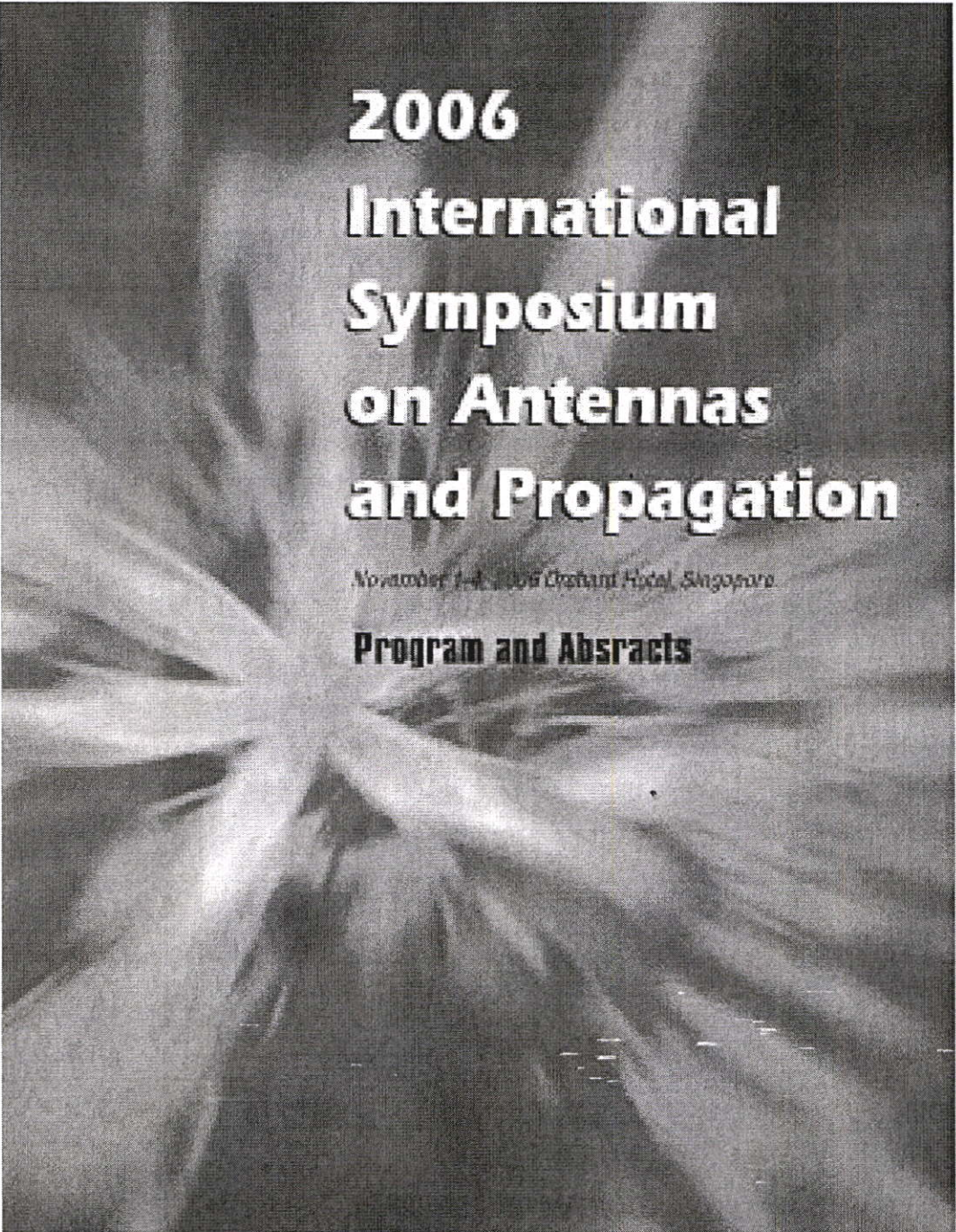
- [13] MIC The Radio Use Website, **“Intelligent Transport System.”** Telecommunications Bureau of the Ministry of Internal Affairs and Communications [online]. Available: www.tele.soumu.go.jp/e/system/ml/its
- [14] สรวีศ นฤปิต. **“ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานระบบขนส่งอัจฉริยะ (ITS)”** ,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [15] P. Prathombutr. **“Intelligent Transport System.”** NAC2006 April 1st, 2006
- [16] สมาคมวิชาการหุ่นยนต์ไทย **“รายงานสรุปโครงการวิจัย โครงการการศึกษาการพัฒนาารถอัจฉริยะ”**
- [17] C. Y. Chan, F. Bu and S. Shladover **“Experimental Vehicle Platform for Pedestrian Detection,”** California PATH, University of California, Berkeley, March 31, 2006
- [18] S. Ohmori. **“The Future Generations of Mobile Communications Based on Broadband Access Technologies.”** Communications Research Laboratory, MPT
- [19] AWE Communications. **“Wave Propagation and Radio Network Planning”** [online]. Available: www.awe-communications.com
- [20] K. Ikeuchi **“ITS and Telematics in Japan.”** The University of Tokyo
- [21] N. Ebrahimi Tofighi and et. al., **“Receive and Transmit Array Antenna Spacing and Their Effect on Performance of SIMO and MIMO Systems by using an RCS Channel Model,”** International Journal of Applied Science, Engineering and Technology, Vol. 4, No. 1, pp. 346-350, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **S. Konkaew, M. Chamchoy and S. Promwong, “Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System”, ISAP 2006, Singapore, Nov. 1-4, 2006.**
2. **S. Konkaew, M. Chamchoy and S. Promwong, “The Impact of Path Loss in Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System”, International Symposium on Communication and Information Technology (ISCIT’ 2006), Bangkok, Thailand, Oct. 18-21, 2006.**

The background of the cover is a dark, textured image with a central point from which numerous light-colored lines radiate outwards, creating a starburst or sunburst effect. The lines vary in length and thickness, giving it a dynamic, almost crystalline appearance.

**2006
International
Symposium
on Antennas
and Propagation**

November 1-4, 2006 Orchard Hotel, Singapore

Program and Abstracts

Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System

Sarit Konkaew¹, Monchai Chamchoy^{1,2}, and Sathaporn Promwong^{1,2}

¹ Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, nochsarit@yahoo.com

² Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT) King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Abstract

Space-time block coding technique is another way to increase high-speed data transfer rate in order to improve ITS communication. Anyhow, space-time block coding seems to be a correlated channel problem which reduces the system efficiency. The objective of this paper is to propose the transmission scheme by applying road to vehicle communication and inter-vehicle communication with space-time block coding technique. It becomes this new technique, which is called cooperative MIMO transmission scheme. The result can reduce the impact from correlated channel and develop a better ITS communication.

1. INTRODUCTION

In this century, communication has become one of the important parts of our lives. Efficiency and rapidity become people's most desirous because of worldwide communication which plays important role in transportation field. Intelligence transport system (ITS) has become a center of transportation control [1], [2]. ITS increases safety, security and efficiency of transport systems and decreases an environmental impact. Many countries have been planning and implementing some ITS applications for developing cities such as traffic management, traveler information, vehicle system, public transport, emergency management, electronic payment and security-safety. ITS technologies are real-time management system between vehicles, ITS devices (traffic sign, ETC, sensor-network) and users. A lot of variants in applications require high-speed communication system, therefore high-speed data transfer rate is an important requirement for ITS.

Although ITS's telecommunication has been developed in the same way as mobile phone system (3G). The problem of communication system efficiency still occurs, especially between local base station and vehicle, named Road to Vehicle Communication (RVC) [3], [4]. When vehicle moves close to the local base station or obstruction or tunnel, bits error rate (BER)'s value will increase. Therefore, space-time block coding could be an alternative, which follow the MIMO principal by adding more antennas to the transmitter and the receiver in order to increase channel diversity. Theoretically, MIMO principal requires independent fading between the channels. However, in practical, not only independent fading

was found, but also the correlated fading. Therefore, it is necessary to analyze the efficiency of channel in correlated fading environment.

Thus, this paper will present the solution to improve the system performance under correlated fading by using new MIMO transmission scheme, which can transmit signal between vehicles. Because ITS not only creates the communicated between vehicles and local base stations, but also the communication between vehicles and vehicles, named Inter-Vehicle Communication (IVC). The IVC is used to send and receive signal, which has lower correlated channel when compare between RVC on different vehicles. The combination of less correlated channel of IVC and space-time block coding technique is called the cooperative MIMO transmission scheme. The result can reduce an impact of correlated channel and develop ITS communication.

2. COOPERATIVE MIMO COMMUNICATION

Space-time block coding technique is the method for reducing the effect of multipath fading by the diversity technique. The general approach is to use multiple antennas at the transmitter and receiver to increase channels and diversity [5]. Also, the receiver should perform combining or selection and switching in order to improve the quality of the received signal.

In space-time block coding technique, the number of antennas is increased at transmitter and receiver, which more number of antenna should have better performance of signal and diversity. However the cost, size and power of base station and remote units should be concerned. In this paper the method used are 1) 2 transmitter (Tx) antennas and 1 receiver (Rx) antenna and 2) 2 Tx antennas and 2 Rx antennas.

Anyway, when using space-time block coding in channel that has high correlation, the efficiency of signal would reduce [6], [7]. In order to get better result, we need to use other techniques combining along space-time block coding method. Another technique that may improve communication efficiency is a cooperative communication in wireless networks [8], [9]. It is the technique of sending information from the mobile A to the base station and from the mobile A to the mobile B, which will act as a repeater and pass the information to the base station. In this technique, the base station will receive two signals, which are difference-fading paths (see Fig. 1). On the other hand, the mobile B sends the signal to base station and

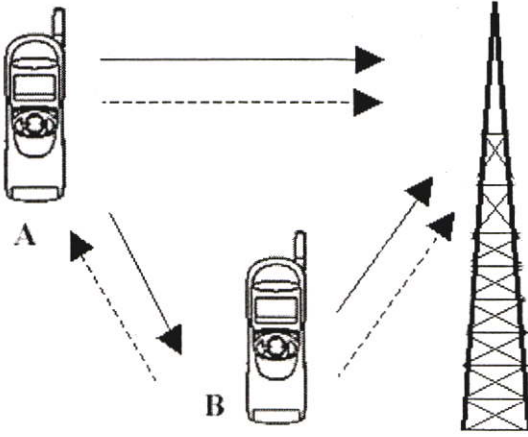


Fig. 1: Cooperative communication between mobile A and mobile B.

also pass through the mobile A to the base station. Therefore, the base station can detect those four signals to get the better signal. From Fig. 1, there are full components for using the space-time block coding which has $2T_x$ and $2R_x$ parameters.

The cooperative communication can depict transferring data between mobile A and mobile B to vehicle 1 and vehicle 2 instead. Thus, it is become an IVC. Anyway, the difference of mixing cooperative communication and space-time block coding is receiver antennas, which separate in each vehicle (see Fig. 2.).

From Table 1 and Table 2, at time t , local base station transmitted the s_0 signal from antenna 1 through channel h_0 to vehicle 1 and through h_2 to vehicle 2, and transmitted s_1 signal from antenna 2 through channel h_1 to vehicle 1 and through h_3 to vehicle 2. Vehicle 1 receives r_0 signal while vehicle 2 receives r_2 signal. At time $t+T$, local base station transmitted $-s_1^*$ signal and s_0^* signal to both vehicles in the same channels at time t . At the same time, vehicle 1 transmitted r_0 signal to vehicle 2 and vehicle 2 transmitted r_2 signal to vehicle 1 by IVC, which in this paper assumed perfect synchronization for all communication components. At time $t+2T$, vehicle 1 transmitted r_1 signal to vehicle 2 and vehicle 2 transmits r_3 signal to vehicle 1 by IVC. The received signals at vehicle 1 and vehicle 2 may be expressed as

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad (1)$$

After time $t+2T$ vehicles estimated channels, which in this paper the perfect channel estimation is assumed. Therefore, each decoded by Equation (2)

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 + h_2^* r_2 + h_3^* r_3 \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0^* r_1 + h_3^* r_2 - h_2^* r_3 \end{aligned} \quad (2)$$

From Table 3 and Table 4, the transmission from vehicle to local base station is similar to the transmission from local base station to vehicles. At time t , vehicle 1 transmitted s_0

TABLE 1: THE ENCODING AND TRANSMISSION SEQUENCE FOR 2 BRANCH TRANSMIT FROM LOCAL BASE STATION

Local base station transmitter	Antenna 1	Antenna 2
Time t	s_0	s_1
Time $t+T$	$-s_1^*$	s_0^*

TABLE 2: THE RECEIVED SIGNALS AT 2 VEHICLES FROM ROAD VEHICLE COMMUNICATION AND INTERVEHICLE COMMUNICATION

Vehicle Receiver	RVC		IVC	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	r_0	r_2		
Time $t+T$	r_1	r_3	r_2	r_0
Time $t+2T$			r_3	r_1

TABLE 3: THE ENCODING AND TRANSMISSION SEQUENCE FOR 2 VEHICLES

Vehicle Transmitter	RVC		IVC	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	s_0	s_1	s_0	s_1
Time $t+T$	$-s_1^*$	s_0^*		

TABLE 4: THE RECEIVED SIGNALS AT LOCAL BASE STATION

Local base station receiver	Antenna 1	Antenna 2
Time t	r_0	r_2
Time $t+T$	r_1	r_3

to local base station and vehicle 2 while vehicle 2 transmitted s_1 to local base station and vehicle 1. For time $t+T$, vehicle 1 transferred s_1 to $-s_1^*$ then sent to local base station, while vehicle 2 transferred s_0 to s_0^* then sent to local base station as well. Local base station is able to combine and decode data to get s_0 and s_1 , result as same as the first method.

Form both ways transmissions, it shows that the transmission from local base station to vehicle has more 1 step (duration T) than the transmission from vehicle to local base station. But, at $t+2T$, local base station has ability to send new signal to vehicle 1 and vehicle 2. Therefore, both ways transmissions can transmitted with the same transferred rate.

3. SIMULATION RESULTS

We have tested by simulation the communication system, we will generate signal and sent it pass through the channel to the receiver. In this simulation, the Rayleigh fading channel with additive white Gaussian noise (AWGN) are investigated. We can calculate the result of coefficient correlation by [6]

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} e^{k \cos(\theta - \alpha)}, \theta \in (-\pi, \pi] \quad (3)$$

where

- $I_n(k)$ the n th order modified Bessel function of first kind,
- k the beamwidth,
- α the angle that the average scattering direction makes with the antenna direction.

Begin, we assume mobiles as vehicles, communication between vehicles and local base stations will start to use space-time block coding as show in Fig. 3.

From Fig. 3, shows the error of signals (BER) comparing to SNR increment. We also notice that space-time block coding

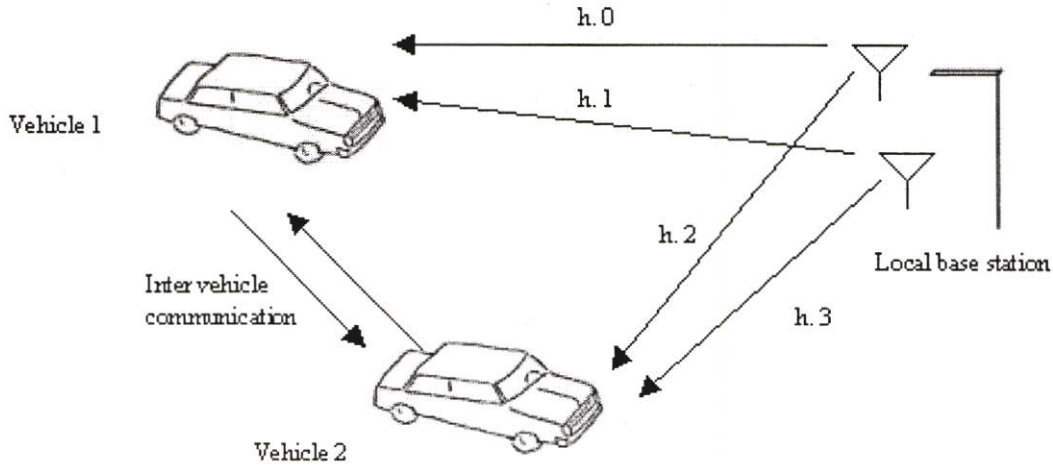


Fig. 2: System model, use both RVC and IVC.

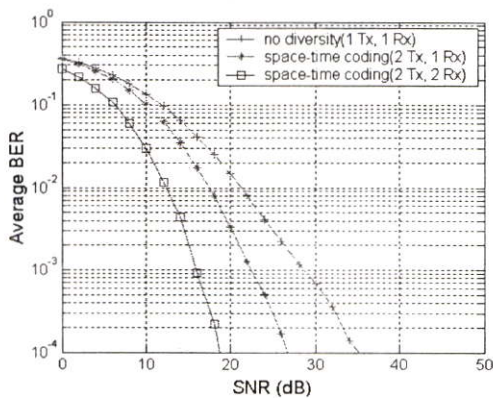


Fig. 3: The BER performance comparison of no diversity communication and space-time coding which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle with independent correlated fading channel.

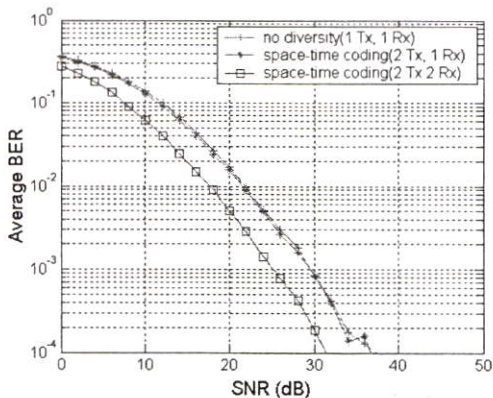


Fig. 4: The BER performance comparison of no diversity communication and space-time coding which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle with high correlated fading channel.

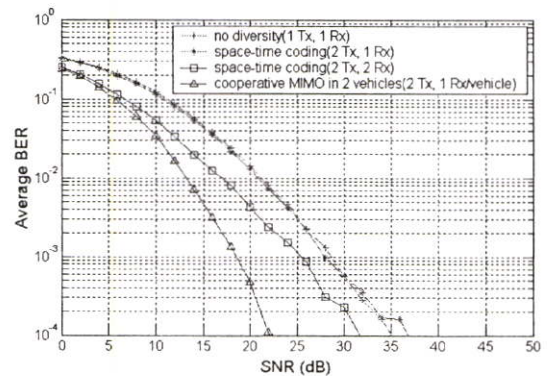


Fig. 5: The BER performance comparison of no diversity communication, space-time coding in 1 vehicle which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle and cooperative MIMO transmission scheme in 2 vehicles which have 1 Rx per vehicle with high correlated fading channel.

with 2Tx and 1Rx method is better than no diversity. In additional, 2Tx and 2Rx method is even better.

In addition, if we assume that a channel does not relative with another one, correlated channel would be nearly zero. However, practicality of correlated channel depends on many variants such as the distance between antennas inside local base station or vehicle and the distance between local base station and vehicle [6], [7]. Anyhow, using space-time block coding seem to be worse, especially when the value of correlation channel is over 0.7 as show in Fig. 4.

From Fig. 4, shows the error of signals BER comparing to SNR increment in channel, which this paper assume adjust coefficient correlation up to 0.75-0.8. At BER 10^{-4} , SNR of both space-time block coding technique increase about 10 dB because of correlated channel.

With this envelopment, we can modify this problem by decreasing correlated channel. When we compare space-time block coding technique (2Tx and 2Rx) with Fig. 2 (cooperative

MIMO transmission scheme), which separate antennas in each vehicles. The channels h_0 and h_1 are RVC for vehicle 1 and channels h_2 and h_3 are RVC for vehicle 2. Also correlation coefficient between h_0 and h_1 and correlation coefficient between h_2 and h_3 about 0.75-0.8. But IVC has correlated channel between channels h_0 and h_1 are independent to channels h_2 and h_3 . The solution is same with method (1), (2). Transmitted power also, half of power at each transmitter antennas is sent out as same space-time block coding technique. Therefore, the signal at receiver antennas should decrease to $1/\sqrt{2}$. The results show in Fig. 5

4. DISCUSSION

The difference between cooperative MIMO transmission scheme and basic space-time block coding is signal decoding, which cooperative MIMO transmission does not decode or combine any signal. But, only pass signal by IVC and decode after time $t + 2T$. Next, we will discuss on other issues.

A. Benefit of Inter-Vehicle Communication

In present, IVC has not been used efficiency. However, if we apply it with the cooperative MIMO transmission scheme, it can make many benefits. At BER 10^{-4} , the new transmission scheme result can use SNR less than space-time coding method, which has one receive antenna with 15 dB and two receive antennas 10 dB. By applied this method, we can assure higher efficiency and possibility of applying only one received antenna. Compared with practical use for ITS, we will use space-time block coding with one receive antenna on vehicle while, local base station has 2 transmitter antennas.

However, when vehicle moves to non-coverage area, caused by some obstructions or area that close or faraway from local base station, the local base station will try to be in touch with other vehicles, which passed by IVC. This method looks like pilot signal when it initially contacts and it uses cooperative MIMO transmission scheme.

B. Increasing Number of Vehicles

As the population grows, need for vehicles increases. Consequently, IVC in cooperative MIMO transmission scheme would certainly become more advantageous. Besides, this method is more efficient and faster than IVC that acts like repeater or network connector which causing vehicle nearby local base station to undertake too much load and bit rate also substantially decreases compared to cooperative MIMO transmission scheme.

C. Decreasing Power in Transmitter and Receiver Antennas

Using cooperative MIMO transmission scheme at local base station, that has 2 antennas but power still equals original, which used one antenna. Because each antenna must consume only 1/2. On the other hand, vehicle needs to send to only one antenna and consume a half of original. Therefore, we can save much energy that can be consumed by vehicles. In addition, it can help for lowering the power consumption at every local base stations and vehicles.

D. Required Estimate Channel for Decoding

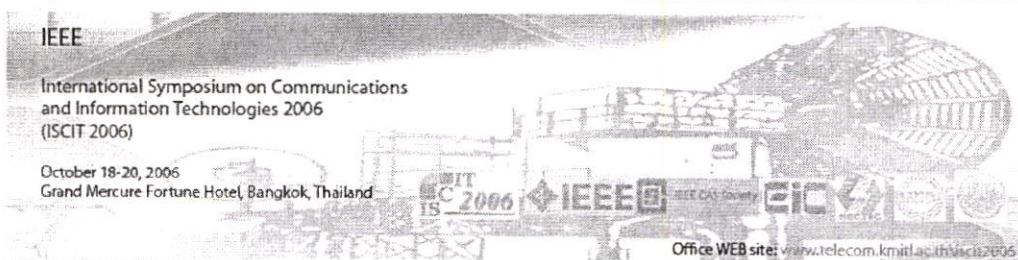
From the cooperative MIMO transmission method which require channel estimation, we can see that actually vehicle 1 cannot estimate channel h_1 , h_3 and vehicle 2 cannot estimate channel h_0 and h_2 . That mean this case if the local base station sends signal to vehicles, both vehicles should send channel estimation exchange to each other.

5. CONCLUSION

The combination between diversity and MIMO communication will increase the signal performance. At BER 10^{-4} , SNR value of space-time block coding is 18dB lower than no diversity. However, the result is decreased by 13dB from an impact of correlated channel. On the other hand, when we apply the space-time block coding technique with the cooperative communication, called cooperative MIMO transmission scheme, the result is decreased 3dB which dramatically better than pervious techniques. Therefore, we might conclude that the cooperative MIMO transmission scheme can lessen an impact of correlated fading channel. However, there are other variant, such as path loss result between RVC and IVC, that we requires further studies and experimentations.

REFERENCES

- [1] J. Njord and *et. al.*, *Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan*, American Trade Initiatives, January 2006.
- [2] P. Sayeg, P. Charles, *Intelligent Transport System*, A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities Module 4e, Germany, March 2005.
- [3] Y. Segawa, and M. Okada, "Performance of COFDM-Based Transmitter Diversity in a Road-to-Vehicle Communication System," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 2, No. 4, pp. 192-196, December 2001.
- [4] A. V. Batista da Silva, and M. Nakagawa, "Radio Wave Propagation Measurements in Tunnel Entrance Environment for Intelligent Transportation Systems Applications," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, pp. 883-888, August 2001.
- [5] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," *IEEE Journ. Select. Areas. Commun.*, Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [6] C. Tepedelenlioglu and G. B. Giannakis, "On Velocity Estimation and Correlation Properties of Narrow-Band Mobile Communication Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 4, pp. 1039-1052, July 2001.
- [7] A. Abdi, and M. Kaveh, "A Space-Time Correlation Model for Multielement Antenna Systems in Mobile Fading Channels," *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, Vol. 20, No. 3, pp. 550-560, April 2002.
- [8] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 74-80, October 2004.
- [9] J. N. Laneman, *Cooperative Diversity in Wireless Networks: Algorithms and Architectures*, Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, September 2002.



ACCESS

Sponsored by:
 NECTEC, Thailand
 ECTI, Thailand
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
 IEEE Circuits and Systems Society

Technical Sponsored by: IEICE, Japan

©2006 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

IEEE Catalog Number: 06EX1447 ISBN: 0-7803-9741-X Library of Congress: 2006927941

ISCIT 2006



T2F MIMO
 (Thu., Oct. 19, 11:00-12:20, Room F)
Chair: *Masayuki Kurosaki* (Kyusyu Institute of Technology, Japan)

ABSTRACT

- [T2F-1](#) Analysis of the Rain fading channel and the system applying MIMO
- [T2F-2](#) A MIMO-PCC-OFDM System for Multipath Fading Channels with Carrier Frequency Offset
- [T2F-3](#) The Impact of Path Loss on Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System

[To the head of this page](#)

T3A Video/Image Processing I
 (Thu., Oct. 19, 13:30-15:30, Room A)
Chair: *Akira Taguchi* (Musashi Inst of Tech., Japan)

ABSTRACT

- [T3A-1](#) Advanced AV Encryption Technique for Digital Rights Management
- [T3A-2](#) Sound Scene Analysis with Psycho-acoustics Parameter
- [T3A-3](#) Face Identification Using Facial Expression
- [T3A-4](#) Watermarking Scheme in Wavelet Domain Based on Wavelet Threshold Estimators
- [T3A-5](#) The 3D Image Reconstruction from Photon Number

The Impact of Path Loss on Cooperative MIMO Transmission Scheme for Intelligent Transport System

Sarit Konkaew*, Monchai Chamchoy*[†] and Sathaporn Promwong*[†]

*Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand

Tel: +66-2-739-2433, Fax: +66-2-326-4176

E-mail: nochsarit@yahoo.co.th

[†]Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand

Abstract—Intelligence transport system (ITS) is the system which needs an effective cooperate between local base stations, vehicles and other communication networks in order to create an efficient communication and high-speed data transfer. The cooperative MIMO transmission scheme for ITS is proposed to solve the correlated fading channel. The impact of path losses in inter-vehicle communication and road to vehicle communication are investigated and discussed in the text. As the result, the path loss and correlated fading channel have become the cause of distorting the efficient communication.

I. INTRODUCTION

Nowadays the transportation is the important system for our life. Intelligence transport system (ITS) has become a control center of transportation. ITS increases safety, security and efficient transport systems and decreases an environmental impact. Many countries have been planning and implementing some ITS applications for developing cities such as traffic management, traveler information, vehicle system, public transport, emergency management, electronic payment and security-safety. ITS technologies are real-time management system between vehicles, ITS devices (traffic sign, ETC, sensor-network) and users. A lot of variants in applications require high-speed communication system, therefore high-speed data transfer rate is an important requirement for ITS. Most communication problems are found between local base stations and vehicles.

Although ITS's telecommunication has been developed in the same way as mobile phone system (3G). The problem of communication system efficiency still occurs, especially between local base station and vehicle, named Road to Vehicle Communication (RVC) [3], [4]. When vehicle moves close to the local base station or obstruction or tunnel, bits error rate (BER)'s value will increase. Therefore, space-time block coding could be an alternative, which follow the MIMO principal by adding more antennas to the transmitter and the receiver in order to increase channel diversity. Theoretically, MIMO principal requires independent fading between the channels. However, in practical, not only independent fading

was found, but also the correlated fading. Therefore, it is necessary to analyze the efficiency of channel in correlated fading environment.

Thus, this paper will present the solution to improve the system performance under correlated fading by using new MIMO transmission scheme, which can transmit signal between vehicles. Because ITS not only creates the communicated between vehicles and local base stations, but also the communication between vehicles and vehicles, named Inter-Vehicle Communication (IVC). The IVC is used to send and receive signal, which has lower correlated fading channel when compare between RVC on different vehicles. The combination of less correlated fading channel of IVC and space-time block coding technique is called the cooperative MIMO transmission scheme. The result can reduce an impact of correlated fading channel but the impact of path loss in RVC and IVC become the problem to reduce efficiency of cooperative MIMO transmission scheme. This paper will shows the results of the impact of path loss on the proposal system and discuss the result. Anyway, the cooperative MIMO transmission scheme need to improvement for developing ITS communication in the future.

II. COOPERATIVE MIMO COMMUNICATION

Space-time block coding technique is the method for reducing the effect of multipath fading by the diversity technique. The general approach is to use multiple antennas at the transmitter and receiver to increase channels and diversity [5]. Also, the receiver should perform combining or selection and switching in order to improve the quality of the received signal.

For space-time block coding technique, the number of antennas is increased at transmitter and receiver, which more number of antenna should have better performance of signal and diversity. However, the cost, size and power of base station and remote units should be concerned. In this paper, the method used are 1) 2 transmitter (Tx) antennas and 1 receiver (Rx) antenna and 2) 2 Tx antennas and 2 Rx antennas.

Anyway, when using space-time block coding in channel that has high correlation, the efficiency of signal would reduce [6], [7]. In order to get the better result, we need to use other techniques combining along space-time block coding method. Another technique that may improve communication efficiency is a cooperative communication in wireless networks [8], [9]. It is the technique of sending information from the mobile A to the base station and from the mobile A to the mobile B, which will act as a repeater and pass the information to the base station. In this technique, the base station will receive two signals, which are difference-fading paths (see Fig. 1). On the other hand, the mobile B sends the signal to base station and also pass through the mobile A to the base station. Therefore, the base station can detect those four signals to get the better signal. From Fig. 1, there are full components for using the space-time block coding which has 2Tx and 2Rx parameters.

The cooperative communication can depict transferring data between mobile A and mobile B to vehicle 1 and vehicle 2 instead. Thus, it is become an IVC. Anyway, the difference of mixing cooperative communication and space-time block coding is receiver antennas, which separate in each vehicle (see Fig. 2.).

From Table 1 and Table 2, at time t , local base station transmitted the s_0 signal from antenna 1 through channel h_0 to vehicle 1 and through h_2 to vehicle 2, and transmitted s_1 signal from antenna 2 through channel h_1 to vehicle 1 and through h_3 to vehicle 2. Vehicle 1 receives r_0 signal while vehicle 2 receives r_2 signal. At time $t+T$, local base station transmitted $-s_1^*$ signal and s_0^* signal to both vehicles in the same channels at time t . At the same time, vehicle 1 transmitted r_0 signal to vehicle 2 and vehicle 2 transmitted r_2 signal to vehicle 1 by IVC, which in this paper assumed perfect synchronization for all communication components. At time $t+2T$, vehicle 1 transmitted r_1 signal to vehicle 2 and vehicle 2 transmits r_3 signal to vehicle 1 by IVC. The received signals at vehicle 1 and vehicle 2 may be expressed as

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\ r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad (1)$$

After time $t+2T$ vehicles estimated channels, which in this paper the perfect channel estimation is assumed. Therefore, each decoded by Equation (2)

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \end{aligned} \quad (2)$$

From Table 3 and Table 4, the transmission from vehicle to local base station is similar to the transmission from local base station to vehicles. At time t , vehicle 1 transmitted s_0 to local base station and vehicle 2 transmitted s_1 to local base station and vehicle 1. For time $t+T$, vehicle 1 transferred s_1 to $-s_1^*$ then sent to local base station, while vehicle 2 transferred s_0 to s_0^* then sent to local base station as

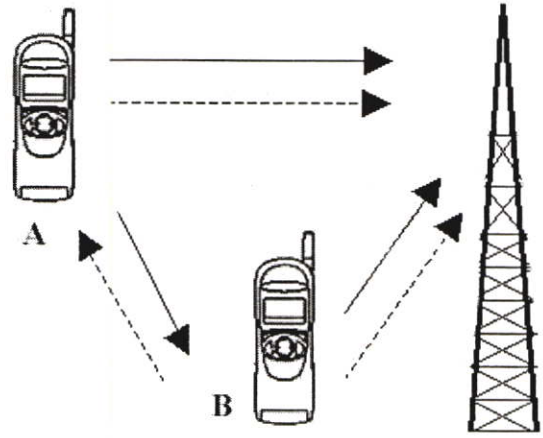


Fig. 1. Cooperative communication between mobile A and mobile B.

TABLE I
THE ENCODING AND TRANSMISSION SEQUENCE FOR 2 BRANCH
TRANSMIT FROM LOCAL BASE STATION

Local base station transmitter	Antenna 1	Antenna 2
Time t	s_0	s_1
Time $t+T$	$-s_1^*$	s_0^*

TABLE II
THE RECEIVED SIGNALS AT 2 VEHICLES FROM ROAD TO VEHICLE
COMMUNICATION AND INTER-VEHICLE COMMUNICATION

Vehicle Receiver	RVC		IVC	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	r_0	r_2		
Time $t+T$	r_1	r_3	r_2	r_0
Time $t+2T$			r_3	r_1

TABLE III
THE ENCODING AND TRANSMISSION SEQUENCE FOR 2 VEHICLES

Vehicle Transmitter	RVC		IVC	
	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 1	Vehicle 2
Time t	s_0	s_1	s_0	s_1
Time $t+T$	$-s_1^*$	s_0^*		

TABLE IV
THE RECEIVED SIGNALS AT LOCAL BASE STATION

Local base station receiver	Antenna 1	Antenna 2
Time t	r_0	r_2
Time $t+T$	r_1	r_3

well. Local base station is able to combine and decode data to get s_0 and s_1 , result as same as the first method.

From both ways transmissions, it shows that the transmission from local base station to vehicle has more 1 step (duration T) than the transmission from vehicle to local base station. But, at $t+2T$, local base station has ability to send new signal to vehicle 1 and vehicle 2. Therefore, both ways transmissions can transmitted with the same transferred rate.

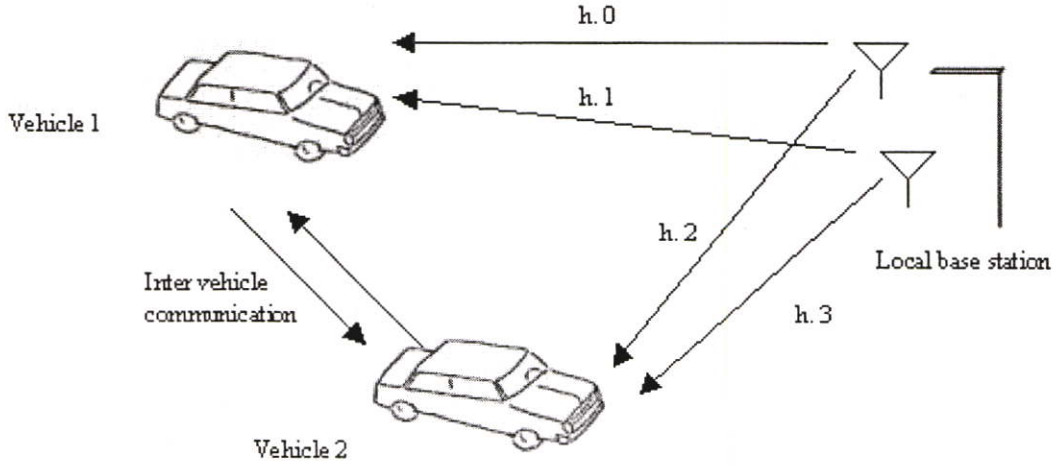


Fig. 2. System model, use both RVC and IVC.

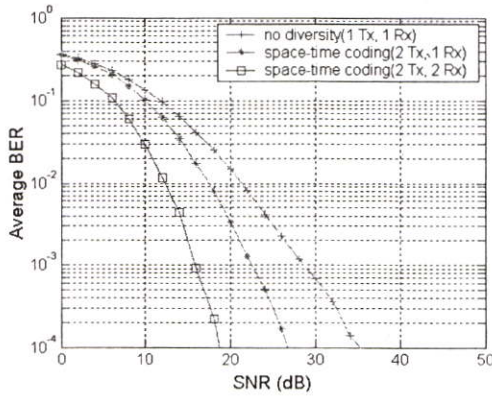


Fig. 3. The BER performance comparison of no diversity communication and space-time coding which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle with independent correlated fading channel.

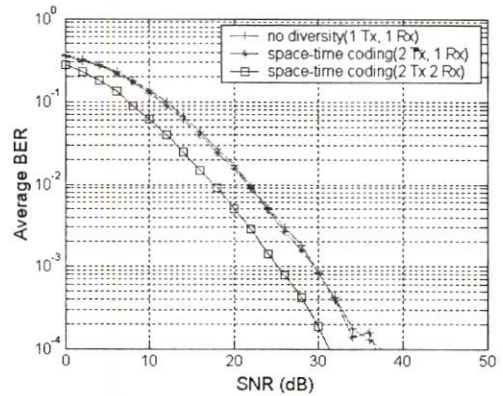


Fig. 4. The BER performance comparison of no diversity communication and space-time coding which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle with high correlated fading channel.

III. SIMULATION RESULTS

We have tested by simulation the communication system, we will generate signal and sent it pass through the channel to the receiver. In this simulation, the correlated Rayleigh fading channel with additive white Gaussian noise (AWGN) are investigated. We can calculate the result of coefficient correlation by [6]

$$p(\theta) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} e^{k \cos(\theta - \alpha)}, \theta \in (-\pi, \pi], \quad (3)$$

where

- $I_n(k)$ the n th order modified Bessel function of first kind,
- k the beamwidth,
- α the angle that the average scattering direction makes with the antenna direction.

Begin, we assume mobiles as vehicles, communication between vehicles and local base stations will start to use space-

time block coding as show in Fig. 3.

From Fig. 3, shows the bits error rate (BER) of signals comparing to SNR increment. We also notice that space-time block coding with 2Tx and 1Rx method is better than no diversity. In additional, 2Tx and 2Rx method is even better.

In addition, if we assume that a channel does not relative with another one, correlated fading channel would be nearly zero. However, practicality of correlated fading channel depends on many variants such as the distance between antennas inside local base station or vehicle and the distance between local base station and vehicle [6], [7]. Anyhow, using space-time block coding seem to be worse, especially when the value of correlation coefficient is over 0.7 as show in Fig. 4.

From Fig. 4, shows the error of signals BER comparing to SNR increment in channel, which this paper assume adjust correlation coefficient up to 0.75-0.8. At BER 10^{-4} , SNR of both space-time block coding technique increase about 10 dB

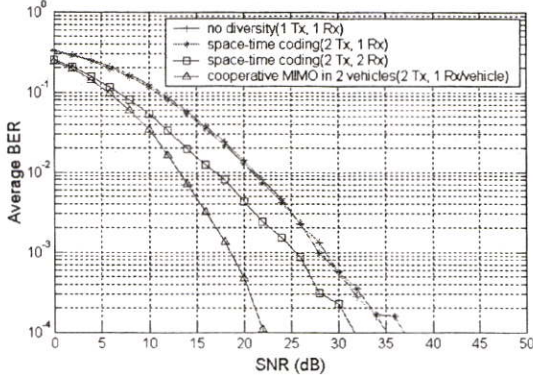


Fig. 5. The BER performance comparison of no diversity communication, space-time coding in 1 vehicle which has 1 Rx and 2 Rx per vehicle and cooperative MIMO transmission scheme in 2 vehicles which have 1 Rx per vehicle with high correlated fading channel.

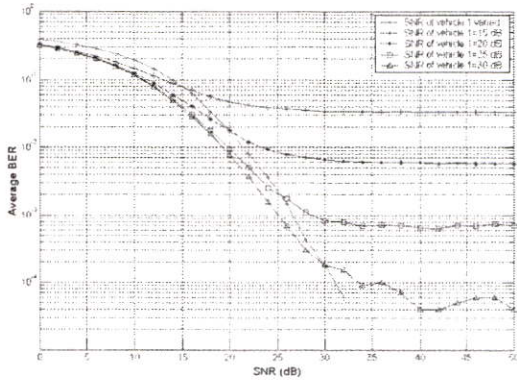


Fig. 6. The BER performance comparison of varied SNR for vehicle 1 and stable SNR for vehicle 1 at 15, 20, 25, 30 dB.

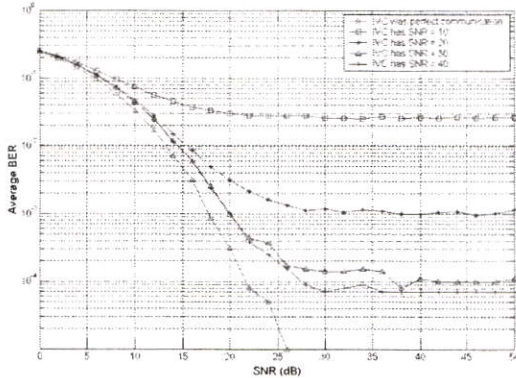


Fig. 7. The BER performance comparison of IVC has perfect communication and IVC has SNR 10, 20, 30, 40 dB.

because of correlated channel.

With this envelopment, we can modify this problem by decreasing correlated fading channel. When we compare space-time block coding technique (2Tx and 2Rx) with Fig. 2 (cooperative MIMO transmission scheme), which separate

antennas in each vehicles. The channels h_0 and h_1 are RVC for vehicle 1 and channels h_2 and h_3 are RVC for vehicle 2. Also correlation coefficient between h_0 and h_1 and correlation coefficient between h_2 and h_3 about 0.75-0.8. But IVC has correlated fading channel between channels h_0 and h_1 are independent to channels h_2 and h_3 . The solution is same with method (1), (2). Transmitted power also, half of power at each transmitter antennas is sent out as same space-time block coding technique. Therefore, the signal at receiver antennas should decrease to $1/\sqrt{2}$. The results show in Fig. 5

From Fig. 5, the result of cooperative MIMO transmission scheme better than another but in practical vehicles are different location, that should have different impact of path loss altogether in RVC and IVC. The impact of path loss for the free space model in large-scale fading can calculate by [10]

$$PL(dB) = -10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (4)$$

where

G_t is the transmitter antenna gain,

G_r is the receiver antenna gain,

d is the distance between transmitter antenna and receiver antenna in meters.

Path loss is one of the factors which reduces the signal in that SNR value would get reverse variation with the path loss value. If 2 vehicles are in different positions, the impact from path loss will not similar. The result of vehicle 1 after having SNR value adjusted from 0-50 dB comparing with the vehicle having the SNR constant value at 15, 20, 25 and 30 dB; and the vehicle 2 having SNR value adjusted from 0-50 dB, are shown in the Fig. 6.

From Fig. 6, the vehicle having lower constant SNR value will increase the BER value. The reduction and constant of BER value will not be improved even when the SNR value in vehicle 2 has been increased. Therefore, we can conclude that the results of cooperative MIMO transmission scheme will depend on the vehicle, which lowered value of SNR.

The impact of path loss can be found not only in RVC but also in IVC, the practical which applied with the cooperative MIMO transmission scheme would lead to the result in the Fig. 7, which shows the effect of path loss on the system BER for IVC. It can be observed that the system performance for low SNR is decreased due to the higher BER. For the better performance, therefore, SNR should be more than 30 dB.

IV. DISCUSSION

The difference between cooperative MIMO transmission scheme and basic space-time block coding is signal decoding, which cooperative MIMO transmission does not decode or combine any signal. But, only pass signal by IVC and decode after time $t + 2T$. On the other hand, the impact of path loss in IVC, which do not decode, will more decrease the BER when the SNR of IVC decrease. Next, we will discuss on other issues.

A. Benefit of Inter-Vehicle Communication

In the present, IVC has not been used efficiently. However, if we apply it with the cooperative MIMO transmission scheme, it can make many benefits. At BER 10^{-4} , the new transmission scheme result can use SNR less than space-time coding method, which has one receive antenna with 15 dB and two receive antennas 10 dB. By applying this method, we can assure higher efficiency and possibility of applying only one received antenna. Compared with practical use for ITS, we will use space-time block coding with one receive antenna on vehicle while, local base station has 2 transmitter antennas.

However, when vehicle moves to non-coverage area, caused by some obstructions or area that close or faraway from local base station, the local base station will try to be in touch with other vehicles, which passed by IVC. This method looks like pilot signal when it initially contacts and it uses cooperative MIMO transmission scheme.

B. Increasing Number of Vehicles

As the population grows, need for vehicles increases. Consequently, IVC in cooperative MIMO transmission scheme would certainly become more advantageous. Besides, this method is more efficient and faster than IVC that acts like repeater or network connector which causing vehicle nearby local base station to undertake too much load and bit rate also substantially decreases compared to cooperative MIMO transmission scheme.

C. Decreasing Power in Transmitter and Receiver Antennas

Using cooperative MIMO transmission scheme at local base station, that has 2 antennas but power still equals original, which used one antenna. Because each antenna must consume only 1/2. On the other hand, vehicle needs to send to only one antenna and consume a half of original. Therefore, we can save much energy that can be consumed by vehicles. In addition, it can help for lowering the power consumption at every local base stations and vehicles.

D. Required Estimate Channel for Decoding

From the cooperative MIMO transmission method which require channel estimation, we can see that actually vehicle 1 cannot estimate channel h_1 , h_3 and vehicle 2 cannot estimate channel h_0 and h_2 . That mean this case if the local base station sends signal to vehicles, both vehicles should send channel estimation exchange to each other.

V. CONCLUSION

The combination between diversity and MIMO communication will increase the signal performance. At BER 10^{-4} , SNR value of space-time block coding is 18 dB lower than no diversity. However, the result is decreased by 13 dB from the impact of correlated fading channel. On the other hand, when we apply the space-time block coding technique with the cooperative communication, called cooperative MIMO transmission scheme, the result is decreased 3 dB which dramatically better than previous techniques. Anyhow, the

result with has impact of path loss in IVC will be decreased. Therefore, we might conclude that the cooperative MIMO transmission scheme can lessen the impact of correlated fading channel but the connection precedence of this technique should find the other vehicle, which has SNR between both vehicles more than 30 dB.

REFERENCES

- [1] J. Njord and *et. al.*, *Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan*, American Trade Initiatives, January 2006.
- [2] P. Sayeg, P. Charles, *Intelligent Transport System*, A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities Module 4e, Germany, March 2005.
- [3] Y. Segawa, and M. Okada, "Performance of COFDM-Based Transmitter Diversity in a Road-to-Vehicle Communication System," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 2, No. 4, pp. 192-196, December 2001.
- [4] A. V. Batista da Silva, and M. Nakagawa, "Radio Wave Propagation Measurements in Tunnel Entrance Environment for Intelligent Transportation Systems Applications," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, pp. 883-888, August 2001.
- [5] S. M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications," *IEEE Journ. Select. Areas. Commun.*, Vol. 16, No. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [6] C. Tepedelenlioglu and G. B. Giannakis, "On Velocity Estimation and Correlation Properties of Narrow-Band Mobile Communication Channels," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 4, pp. 1039-1052, July 2001.
- [7] A. Abdi, and M. Kaveh, "A Space-Time Correlation Model for Multielement Antenna Systems in Mobile Fading Channels," *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, Vol. 20, No. 3, pp. 550-560, April 2002.
- [8] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 74-80, October 2004.
- [9] J. N. Laneman, *Cooperative Diversity in Wireless Networks: Algorithms and Architectures*, Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, September 2002.
- [10] T. S. Rappaport *Wireless Communications Principles and Practice*, Second Edition, Prentice Hall PTR, 2002.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายสาริษฐ์ ก้อนแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด ที่อยู่	วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ.2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร 136/6 ซ. 8 หมู่บ้านสัมมากร ถ. รามคำแหง เขตสะพานสูง จังหวัด กรุงเทพฯ 10240
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง พ.ศ. 2546 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง