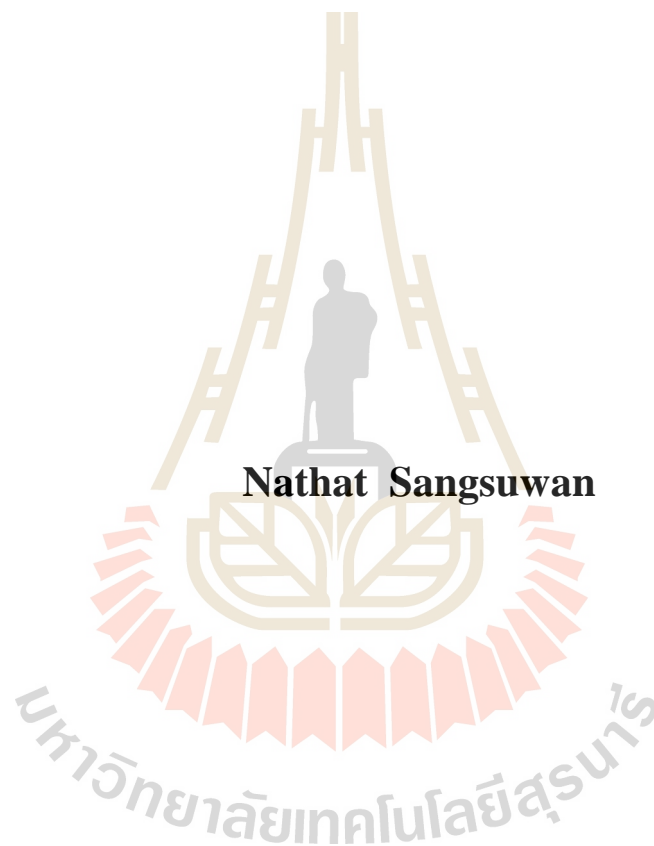


การศึกษาผลกระทบของการสูญเสียกำลังและการถูกบดบัง
ที่มีต่อการสื่อสารบนถนนโดยใช้เทคโนโลยี 5G



วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

**THE STUDY OF PATH LOSS AND SHADOWING
EFFECT IN VEHICULAR COMMUNICATION
USING 5G TECHNOLOGY**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering in
Telecommunication and Computer Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2020**

การศึกษาผลกระทบของการสูญเสียกำลังและการถูกกดขี่
ที่มีต่อการสื่อสารบนถนนโดยใช้เทคโนโลยี 5G

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ร.อ. ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร. เสธฐวิทย์ ภูฉายา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร. ชิตพงศ์ เวชไชสงค์)

กรรมการ



(ผศ. ดร. พิชญา ชัยปัญญา)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร. พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณรรศ สังสุวรรณ : การศึกษาผลกระทบของการสูญเสียกำลังและการถูกบดบังที่มีต่อการสื่อสารบนถนนโดยใช้เทคโนโลยี 5G (THE STUDY OF PATH LOSS AND SHADOWING EFFECT IN VEHICULAR COMMUNICATION USING 5G TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐวิทย์ ภูญาษา, 66 หน้า

ทุกวันนี้ประเทศไทยเกิดอุบัติเหตุทางถนนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากยานพาหนะเป็นสิ่งจำเป็น และผู้คนใช้ยานพาหนะกันอย่างแพร่หลาย จากรายงานของกรมขนส่งทางบกพบว่า ในระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา มียานพาหนะจดทะเบียนใหม่ตามกฎหมายรวมกว่า 14 ล้านคัน และจาก ASEANstats Database พบว่ายานพาหนะในประเทศไทยมีอัตราส่วน 548 คันต่อประชากร 1,000 คน ซึ่งสูงเป็นอันดับ 3 ของอาเซียน ปี 2560 - 2562 สถิติจำนวนการเกิดอุบัติเหตุในหัวเมืองหลัก เกิดขึ้นกว่า 220,000 ครั้งและเกิดเพิ่มขึ้นทุกปี เทคโนโลยีการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำเสนอในการช่วยให้สถิติของอุบัติเหตุและผู้เสียชีวิตที่กล่าวมาลดลงได้ ปี 2562 เทคโนโลยี 5G NR V2X ถูกพัฒนาสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ พร้อมกับความสามารถ Extreme throughput, Edgeless connectivity, High reliability และที่โดดเด่นที่สุดในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะคือ 1ms End-to-End Latency ทำให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดน้อย และมีความน่าเชื่อถือสูง พิจารณาถึงการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างการรับ-ส่งข้อมูล ประสิทธิภาพของการสื่อสารจะลดลงอย่างรวดเร็วตามขนาดของสิ่งกีดขวาง ในกรณีนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ Shadowing Effect หรือการถูกบดบัง โดยส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับ ส่งผลให้ระดับพลังงานที่รับได้ที่ภาครับลดลง ส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงความผิดพลาดในการรับข้อมูลและรวมไปถึง Packet Error Rate (PER)

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการสูญเสียกำลังและการถูกบดบังที่มีต่อการสื่อสารบนถนนโดยใช้เทคโนโลยี 5G ในสถานการณ์ที่มีและไม่มีการบดบังที่มีต่อการสื่อสารบนถนนของยานพาหนะ ซึ่งแตกต่างกันในสามสภาพแวดล้อม ประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะลดลงอย่างรวดเร็วตามขนาดของยานพาหนะที่มากีดขวาง ปัญหาการถูกบดบังจากยานพาหนะส่งผลให้เกิดการผิดพลาดของการรับ-ส่งข้อมูลของการสื่อสารแบบ Vehicle-to-Vehicle (V2V) หรือการรับ-ส่งข้อมูลล้มเหลว

ทั้งนี้ได้นำมาถ่วงน้ำหนักถึงวิธีการลดผลกระทบดังกล่าวโดยการปรับ Antenna Half-Power Beamwidth ที่สายอากาศภาครับ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา ณรรศ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 105

NATHAT SANGSUWAN : THE STUDY OF PATH LOSS AND
SHADOWING EFFECT IN VEHICULAR COMMUNICATION USING 5G
TECHNOLOGY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SETTAWIT
POOCHAYA, Ph.D., 66 PP

VEHICULAR COMMUNICATION TECHNOLOGY

Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication is a famous technology due to the increasing of vehicles on the road. V2V communication technology is used for communication between vehicles, as well as reducing accidents and providing road safety. In the first technology, V2V communication is presented as IEEE 802.11p standard, which can support more connection of V2V communication. After that, V2V communication has been developed as Long-Term-Evolution-Vehicle (LTE-V). Recently, 5G New Radio (NR) technology represents the next level of V2V communication. With the advantage of new technology, it provides the extreme throughput, edgeless connectivity, high reliability and the most famous is 1ms of end-to-end latency. Researchers proposed the attractiveness of 5G communication. Consider the communication between vehicles, there is an obstruction between transmitter and receiver vehicles. Communication efficiency decreases rapidly with the size of obstruction vehicle. This case presents the Shadowing Effect which affects the communication in the receiver. As a result, the power received at the receiver decreases.

This work presents the study of path loss and shadowing effect in vehicular communication using 5G technology in situations with and without shadowing effect to vehicle road communications, which difference in three environments. The

efficiency of communication between vehicles decreases rapidly as the size of the vehicle interferes. The solution of shadowing effect is proposed in this work with antenna half-power beamwidth adjustment. As a result, the efficiency of the communication system between vehicles in various parameters has been improved.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature อ.อรรถพร

Advisor's Signature 162

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐวิทย์ ภูญาษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัยรวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ เวชไชยสงค์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณวีรินทร์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมไปถึงขอขอบคุณ คุณศุภณัฐ ศิริอมรพรรณ และคุณทรงศักดิ์ กิตติวรพาล สำนักงานกสทช. เขต 23 ที่คอยให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิค รวมไปถึงวิธีการแก้ไขปัญหาสำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ณชรศ สังกุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์	3
2 ทัศนั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทัศนั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสาร 5G V2X (Vehicle to Everything).....	5
2.2.2 Shadowing Effect.....	8
2.2.3 การศึกษา Path Loss ที่เพิ่มขึ้นตามระยะทาง	8
2.2.4 เปรอร์เซ็นต์ของการรับสัญญาณ Received power	10
2.3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	11
2.3.1 การสูญเสียกำลัง Path Loss	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2	Received Power	13
2.3.3	Packet Error Rate (PER) และ Bit Error Rate (BER)	13
2.3.4	อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna gain).....	14
2.3.5	รูปแบบการแผ่กระจายของสายอากาศ.....	15
2.3.6	Half-Power Beamwidth (HPBW)	16
2.4	ระยะการหยุดปลอดภัย (Stopping Sight Distance, SSD).....	17
3	การออกแบบและจำลองผล	18
3.1	บทนำ	18
3.2	Systems infrastructure	18
3.3	Vehicle Platooning.....	20
3.4	The Vienna Cellular Communications Simulators (VCCS).....	21
3.4.1	Parameters.....	21
4	ผลการจำลองแบบ.....	23
4.1	บทนำ	23
4.2	Path Loss.....	24
4.2.1	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมในเมือง.....	24
4.2.2	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชานเมือง	25
4.2.3	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชนบท	27
4.3	Received Power	29
4.3.1	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง	29
4.3.2	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชนบท	32
4.4	Packet Error Rate (PER)	34
4.4.1	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมในเมือง.....	34
4.4.2	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชานเมือง	35
4.4.3	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชนบท	35
4.5	การปรับ Antenna Half-Power Beamwidth (HPBW).....	36
4.6	Received Power	37
4.6.1	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมในเมือง.....	37
4.6.2	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชานเมือง	39
4.6.3	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชนบท	40
4.7	Packet Error Rate (PER)	42
4.7.1	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมในเมือง.....	42
4.7.2	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชานเมือง	43
4.7.3	การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมชนบท	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8	เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ	45
4.8.1	Received Power	45
4.8.2	Packet Error Rate	48
4.9	กล่าวสรุป	51
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์	52
5.2	ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	52
	รายการอ้างอิง	53
	ภาคผนวก	55
	ภาคผนวก ก รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระหว่างการศึกษา	56
	ประวัติผู้เขียน	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	แสดงค่าพารามิเตอร์การสูญเสียของยานพาหนะ.....23
4.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ในการจำลองแบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ23
4.3	เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมในเมือง45
4.4	เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชานเมือง46
4.5	เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชนบท47
4.6	เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมในเมือง48
4.7	เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชานเมือง49
4.8	เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชนบท50

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ.....5
2.2	คุณสมบัติที่น่าสนใจของเทคโนโลยี 5G6
2.3	รูปแบบการเชื่อมต่อของการสื่อสาร 5G.....6
2.4	การใช้งาน 5G Sub – 6 และ 5G mmWave.....7
2.5	Shadowing Effect ในยานพาหนะประเภทต่างๆ8
2.6	สภาพแวดล้อมในการจำลองแบบ9
2.7	Path loss ที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะทาง9
2.8	Received Power ในกรณีไม่ได้รับผลกระทบจาก Shadowing Effect.....10
2.9	Received power ในกรณีได้รับผลกระทบจาก Shadowing effect11
2.10	แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern).....15
2.11	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth).....16
3.1	Environments.....18
3.2	Vehicular Environments.....19
3.3	ลักษณะการสื่อสารแบบ Vehicle Platooning20
3.4	มาตรฐาน Connected vehicle ในแบบ Vehicle platooning20
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz24
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz25
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz.....26
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 2,600 MHz.....26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz	27
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz	28
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz.....	30
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz.....	30
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz	31
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 2,600 MHz	31
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz	32
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz	32
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมือง	34
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมือง.....	35
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบท.....	36
4.16 ลักษณะ Antenna Radiation pattern ก่อนและหลังปรับมุม HPBW ที่ 30 องศา.....	37
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz.....	38
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz.....	38
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz	39
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz	40
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz	40
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมือง	42
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมือง	43
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบท	44

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายถึงความเป็นมา และเหตุจูงใจ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ แนวทางการดำเนินวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ทุกวันนี้ประเทศไทยเกิดอุบัติเหตุทางถนนเป็นจำนวนมาก เนื่องจากยานพาหนะเป็นสิ่งที่จำเป็น และผู้คนได้ใช้กันอย่างแพร่หลาย จากการรายงานของกรมขนส่งทางบกพบว่าในระยะเวลา 5 ปีที่ผ่านมา มีรถยนต์จดทะเบียนใหม่ตามกฎหมายรวมกว่า 14 ล้านคัน และจาก ASEANstats Database พบว่ายานพาหนะในประเทศไทยมีอัตราส่วน 548 คันต่อประชากร 1,000 คน ซึ่งสูงเป็นอันดับ 3 ของอาเซียน ในปี 2560 - 2562 สถิติจำนวนการเกิดอุบัติเหตุในหัวเมืองหลักเกิดขึ้นกว่า 220,000 ครั้งและเกิดเพิ่มขึ้นทุกปี เทคโนโลยีการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำเสนอในการช่วยให้สถิติของอุบัติเหตุและผู้เสียชีวิตที่กล่าวมานั้นลดลงได้

ในปี 2019 เทคโนโลยี 5G NR V2X ถูกพัฒนาสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยมาพร้อมกับความสามารถ Extreme Throughput, Edgeless Connectivity, High Reliability และที่โดดเด่นที่สุดในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะคือ 1ms End-to-End Latency ทำให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดน้อย และมีความน่าเชื่อถือสูง

โดยทั่วไปแล้วการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นการสื่อสารแบบทางตรง (LOS) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างการสื่อสาร (NLOS) ประสิทธิภาพของการสื่อสารจะลดลงอย่างรวดเร็วตามขนาดของสิ่งกีดขวางหรือยานพาหนะในกรณีนี้เรียกว่า Shadowing Effect ปรากฏการณ์ Shadowing Effect นี้ มีผลกระทบต่อภาคการรับสัญญาณส่งผลให้ระดับพลังงานที่รับได้ Received Power (P_r) ลดลง ส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงความผิดพลาดในการรับข้อมูลและรวมไปถึง Packet Delivery Ratio (PDR)

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของ Path Loss และ Shadowing Effect ที่มีต่อการสื่อสารบนถนน โดยใช้มาตรฐาน 5G ในสถานการณ์ที่มีและไม่มี Shadowing Effect ของยานพาหนะที่แตกต่างกันในสามสภาพแวดล้อมโดย Shadowing Effect แสดงในรูปแบบของการสูญเสียของ Path loss โดยประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจะลดลงอย่างรวดเร็วตามขนาดของยานพาหนะที่มากีดขวาง Shadowing Effect ทำให้เกิดการผิดพลาดของการสื่อสารแบบ Vehicle-to-Vehicle (V2V) หรือการรับ-ส่งข้อมูลที่ล้มเหลว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของ Path loss และ Shadowing Effect ที่ส่งผลต่อการสื่อสารแบบ Vehicle-to-Vehicle โดยใช้มาตรฐาน 5G

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการที่สามารถลดผลกระทบของ Shadowing Effect

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ขนาดของยานพาหนะที่กีดขวางมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบในพารามิเตอร์ Path Loss และ Received Power

1.3.2 ระยะห่างระหว่างภาคส่งและภาครับมีผลกระทบต่อ Path Loss และ Received Power

1.3.3 Shadowing Effect ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูล

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 จำลองผลกระทบของ Path loss และ Shadowing Effect ของเทคโนโลยี 5G โดยแบ่งสถานการณ์ Urban, Suburban, Rural ด้วยโปรแกรม MATLAB 2020a

1.4.2 ประสิทธิภาพที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ Received Power, PER

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1.5.1.1 สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.5.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของ Shadowing Effect

1.5.1.3 จำลองผลของ Path loss และ Shadowing Effect

1.5.1.4 วิเคราะห์ผลการจำลองผล

1.5.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารโทรคมนาคม อาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.5.3.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.5.3.2 โปรแกรม MATLAB 2020a

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อศึกษาการนำเทคโนโลยี 5G มาใช้กับการสื่อสารของยานพาหนะและลดผลกระทบของ Path loss และ Shadowing Effect ที่ส่งผลต่อการสื่อสารแบบ Vehicle-to-Vehicle

1.7 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล ออกแบบระบบ ทดสอบระบบ วิเคราะห์และสรุปผล โดยประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท

บทที่ 1 กล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในรูปแบบที่เกิด Shadowing Effect และ ไม่เกิด Shadowing Effect และรวมไปถึง Shadowing effect ที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสารระหว่างยานพาหนะในส่วนของภาครับ

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบสถานการณ์ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในรูปแบบของ LOS (Line-of-Sight) และในรูปแบบ NLOS (Non-Line-of-Sight) โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ Path loss, Receiver power และ PER (Packet Error Rate)

บทที่ 4 กล่าวถึงการจำลองผลของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสถานการณ์ Urban, Suburban, และ Rural ในโปรแกรม MATLAB

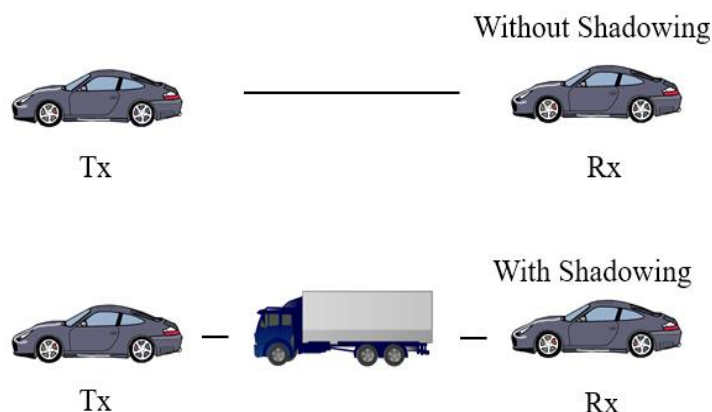
บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

บทนี้กล่าวถึงระเบียบทำงานวิจัยที่หลักการและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ การสื่อสารระหว่างยานพาหนะประกอบไปด้วย Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-Pedestrian (V2P) และ Vehicle-to-Network (V2N) โดยเรียกทั้งหมดนี้ว่า Vehicle-to-Everything (V2X) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เจาะจงในการสื่อสารแบบ Vehicle-to-Vehicle (V2V) โดยการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เริ่มแรกในปี ค.ศ.2010 ได้มีการนำเสนอเทคโนโลยี IEEE 802.11p [1] ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อในปริมาณมาก แต่ยังคงเป็นเทคโนโลยีในช่วงแรก ต่อมาในปี ค.ศ. 2016 ได้พัฒนาเทคโนโลยี 4G หรือ LTE-V ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาเพื่อการสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยเฉพาะโดยมีความเร็วและมี Coverage Area ที่มากขึ้น [2-3] และในปี ค.ศ.2019 นำเสนอเทคโนโลยี 5G NR (New Radio) ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นอย่างมากด้วยข้อดีอย่าง Extreme Throughput, Edgeless Connectivity, High Reliability และที่มีโดดเด่นที่สุดคือ 1 ms End-to-End Latency ซึ่งทำให้การสื่อสารในแบบของ Vehicle-to-Vehicle (V2V) ส่งข้อมูลมีข้อผิดพลาดน้อยลงและเพิ่มความน่าเชื่อถือในการสื่อสาร [4-5] โดยลักษณะของการสื่อสารจะเป็นในรูปแบบของยานพาหนะสองยานพาหนะสื่อสารกันโดยไม่มีสิ่งขวางกั้น ส่วน Shadowing Effect นั้นจะเกิดจากการที่มียานพาหนะมากีดขวางการสื่อสารระหว่างยานพาหนะสองคัน [6] ดังรูปที่ 2.1 ซึ่ง Shadowing Effect ส่งผลกระทบต่อการรับข้อมูลของภาครับก็คือ Received Power และ PER ที่รับได้นั้นลดลงส่งผลต่อให้อาจเกิดการรับ-ส่งข้อมูลที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นเมื่อนำเทคโนโลยี 5G มาใช้กับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจึงเป็นสิ่งที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อภาครับในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ เมื่อเกิดเหตุการณ์ Shadowing Effect [7-8]



รูปที่ 2.1 ลักษณะการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

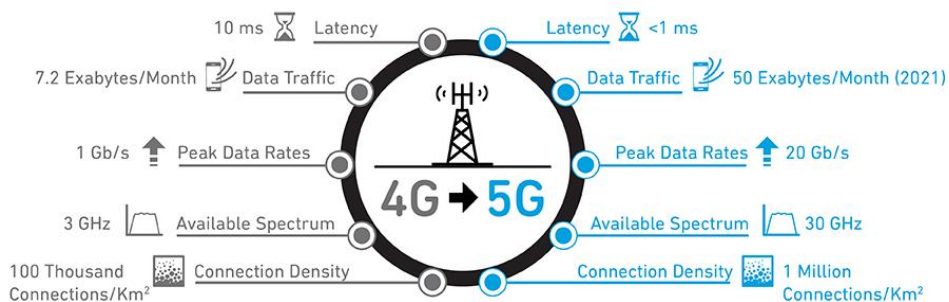
2.2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 5 และมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการเมื่อนำเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 5 มาใช้กับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสถานการณ์ต่าง ๆ จะส่งผลถึงพารามิเตอร์ใดบ้าง รวมไปถึงการแก้ไขปัญหาทางเทคนิคที่จะทำให้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นสามารถนำความรู้นี้ไปพัฒนาต่อได้ จึงได้มีการสำรวจปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.2.1 เทคโนโลยีการสื่อสาร 5G V2X (Vehicle to Everything)

ปัจจุบันกำลังเข้าสู่ของเทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 5 (5G: fifth generation) [9] ซึ่งมีบทบาทในการดำรงชีวิตมากขึ้นและเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจจึงจำเป็นที่จะศึกษาและนำความสามารถของเทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 5 เพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีที่สุด เทคโนโลยี 5G ประกอบด้วย 2 ช่วงความถี่ที่คือ Sub 6 GHz (FR1: 450 MHz - 6 GHz) และ Millimeter Wave (FR2: 24.25 GHz - 52.6 GHz) และมีคุณสมบัติที่พัฒนาเพิ่มขึ้นจากเทคโนโลยี 4G หรือ LTE-V อย่างมากในด้านของความเร็วที่มากขึ้น (Data Rates) การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มากขึ้น (Connection Density) รวมไปถึงความน่าเชื่อถือที่เพิ่มขึ้นที่ค่าแฝงเวลา 1 มิลลิวินาที (Latency) ดังรูปที่ 2.2 จากคุณสมบัติข้างต้นนี้เทคโนโลยีการสื่อสาร 5G จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ อีกทั้งยังรองรับรูปแบบการเชื่อมต่อที่หลากหลายรูปแบบเช่น Vehicle-to-Vehicle (V2V) Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Vehicle-to-Pedestrian (V2P) และ Vehicle-to-Network (V2N) ดังรูปที่ 2.3

Comparing 4G and 5G



รูปที่ 2.2 คุณสมบัติที่น่าสนใจของเทคโนโลยี 5G

(ที่มา: droidsans.com/introducing-5th-generation-5g/)

V2V
Vehicle-to-vehicle
e.g., collision avoidance safety systems

V2I
Vehicle-to-infrastructure
e.g., traffic signal timing/priority

V2P
Vehicle-to-pedestrian
e.g., safety alerts to pedestrians, bicyclists

V2N
Vehicle-to-network
e.g., real-time traffic/routing, cloud services

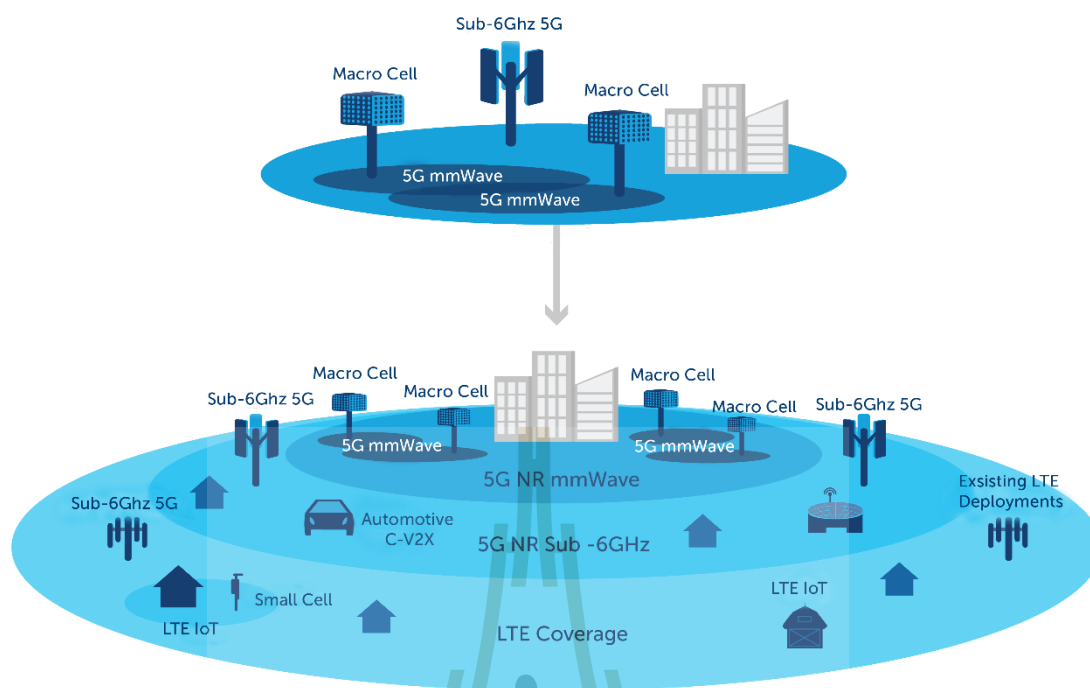
C-V2X
Establishes the foundation for safety use cases and a continued 5G NR C-V2X evolution for future autonomous vehicles

- Release 14 C-V2X completed in 2017
- Broad industry support – 5GAA
- Global trials started in 2017
- Our 1st announced C-V2X product in September, 2017

Enhanced range and reliability for direct communication without network assistance

รูปที่ 2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของการสื่อสาร 5G

(ที่มา: www.adslthailand.com/uploads/moxie/SS4)



รูปที่ 2.4 การใช้งาน 5G Sub – 6 และ 5G mmWave
(ที่มา: www.ctscorp.com/markets/5g/)

2.2.1.1 5G Sub – 6

เทคโนโลยีการสื่อสาร 5G Sub – 6 จะอ้างถึงการเลือกใช้คลื่นความถี่ต่ำที่น้อยกว่า 1 GHz และคลื่นความถี่กลางในช่วง 3.4 GHz – 7.125 GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่สามารถใช้งานร่วมกันได้กับเทคโนโลยี 4G ซึ่งความเร็วของ 5G Sub – 6 นั้นถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ในรูปแบบ Outdoor โดยความเร็วที่ได้นั้นแม้จะไม่เร็วเท่ากับแบบ Millimeter Wave แต่มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณไปได้ไกลและการทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางได้ดีกว่าแบบ Millimeter Wave จึงสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ไกลจึงเหมาะกับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะมากกว่าแบบ Millimeter Wave

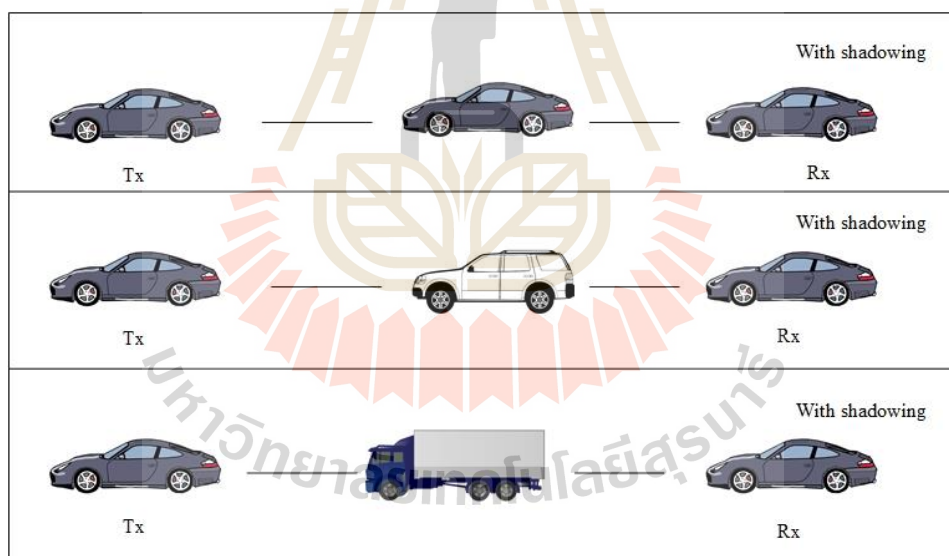
2.2.1.2 5G Millimeter Wave หรือ 5G mmWave

เทคโนโลยีการสื่อสาร mmWave เป็นการเลือกใช้คลื่นความถี่สูงที่มากกว่า 24 GHz จึงส่งผลให้เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีความเร็วสูง มี Bandwidth ที่กว้างซึ่งออกแบบมาใช้สำหรับในเมืองหรือแบบ Indoor รองรับที่มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น หรือในสถานที่ที่มีผู้คนแออัด เช่น ห้างสรรพสินค้า หรือสนามกีฬา แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะ

การส่งสัญญาณที่จะสามารถส่งได้แค่ในระยะใกล้ๆ รวมไปถึงความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านสิ่งกีดขวางที่ต่ำ ดังรูปที่ 2.4

2.2.2 Shadowing Effect

ในการสื่อสารแบบไร้สายหรือการสื่อสารระหว่างยานพาหนะการลดทอนสัญญาณที่มาจากภาคส่งจนมาถึงภาครับมีหลากหลายสาเหตุจากคุณสมบัติการแพร่กระจายของคลื่นความถี่ เช่น การสะท้อนกลับ (Reflection) การหักเห (Refraction) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการแทรกสอดของคลื่น (Interference) ซึ่งปรากฏการณ์ Shadowing Effect เป็นเหตุการณ์ของการที่สัญญาณภาคส่ง (Tx) และสัญญาณภาครับ (Rx) นั้นถูกบดบังหรือกีดขวางจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการลดทอนความแรงของสัญญาณที่ได้รับ โดยการลดทอนของสัญญาณจะมากหรือน้อยนั้นจะแปรผันตามขนาดของการถูกบดบังหรือสิ่งกีดขวาง ดังรูปที่ 2.5 ซึ่ง Shadowing Effect นั้นส่งผลกระทบต่อการรับข้อมูลของภาครับซึ่งก็คือ Received Power ที่รับได้นั้นลดลงส่งผลทำให้อาจเกิดการรับ - ส่ง ข้อมูลที่ผิดพลาดได้

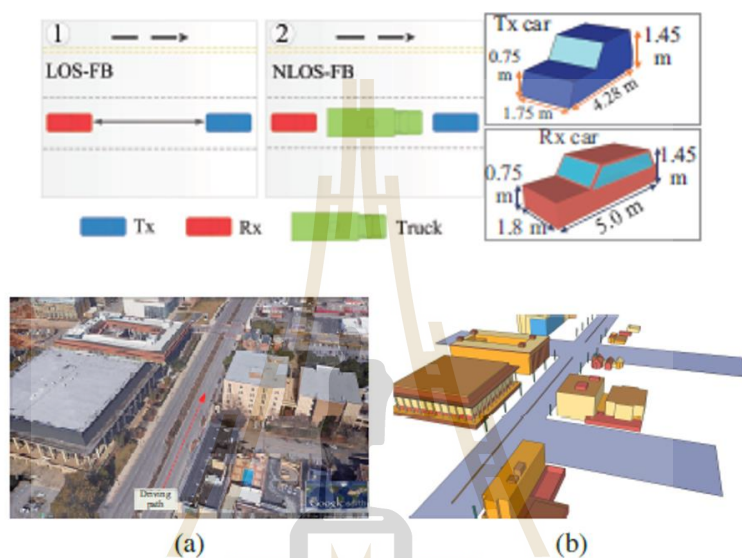


รูปที่ 2.5 Shadowing Effect ในยานพาหนะประเภทต่างๆ

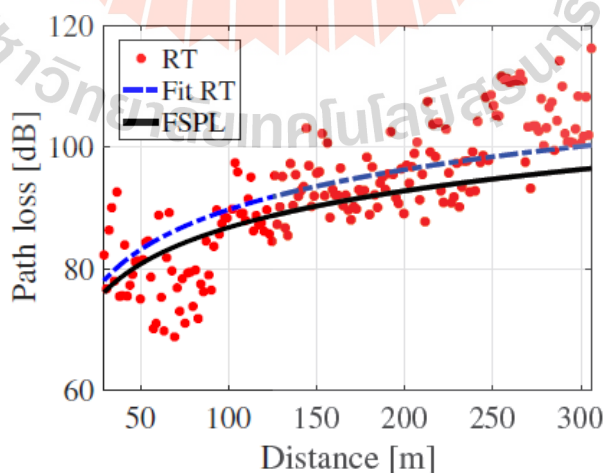
2.2.3 การศึกษา Path Loss ที่เพิ่มขึ้นตามระยะทาง

งานวิจัยของ Guan, Ke, et al. "Obstructed Vehicle-to-Vehicle Channel Modeling for Intelligent Vehicular Communications." 2018 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP). IEEE, 2018. ได้ศึกษา Path loss ในการสื่อสารระหว่าง

ยานพาหนะในเทคโนโลยี 3GPP โดยทำการจำลองแบบสภาพแวดล้อมการสื่อสารโดยมีสิ่งๆที่จำลองแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ 1. โครงสร้างขนาดเล็ก เช่น เสาไฟ ป้ายจราจร 2. โครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น พื้นผิว ตึก และ 3. การกีดขวางและบดบังของยานพาหนะ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกตัวเมืองของโคลัมเบียและ South Carolina มาเป็นแบบในการจำลองแบบสถานการณ์ในเมือง ดังรูปที่ 2.6 โดยผลการจำลองแบบพบว่าเมื่อระยะทางที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ Path loss มีค่าที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.7



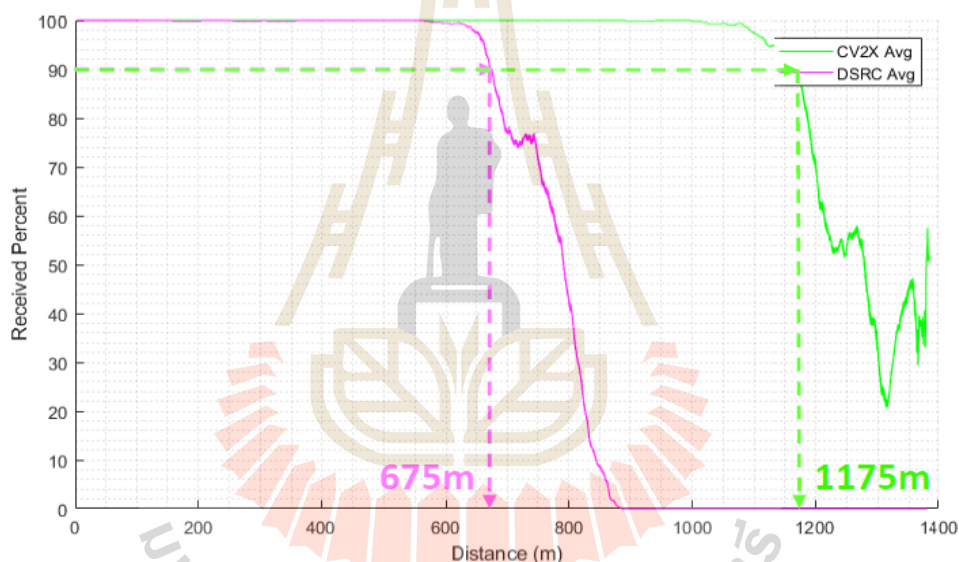
รูปที่ 2.6 สภาพแวดล้อมในการจำลองแบบ



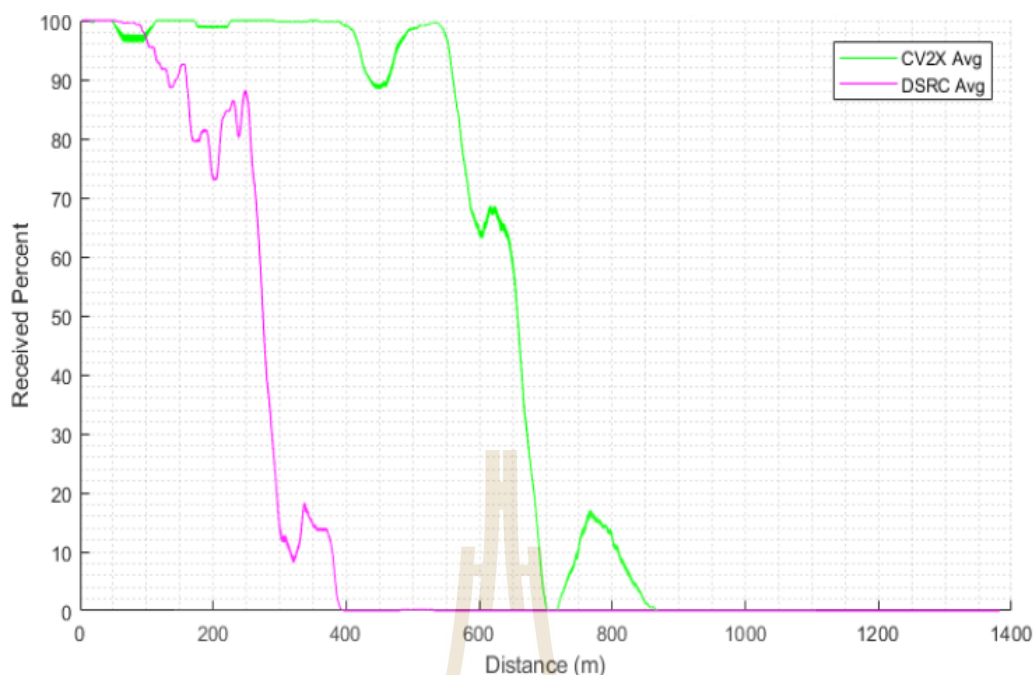
รูปที่ 2.7 Path loss ที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะทาง

2.2.4 เปอร์เซนต์ของการรับสัญญาณ Received power

งานวิจัยจาก Qualcomm 5GAA V2X Technology Benchmark Testing: DSRC and C-V2X ได้ทำการทดลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในรูปแบบ 5G V2X เทียบกับการสื่อสารแบบเดิม Dedicated short-range communications (DSRC) ในการแสดงถึงเปอร์เซนต์ของการรับสัญญาณได้ในกรณีที่ไม่มีและไม่มีผลกระทบของ Shadowing Effect แสดงในพารามิเตอร์ Received Power หรือ P_r โดยใช้ความเร็วที่ 20 Mph จะเห็นได้ว่าเมื่อไม่ได้รับผลกระทบจาก Shadowing Effect เทียบกับได้รับผลกระทบ พบว่าในสถานการณ์ที่ไม่ได้รับผลกระทบสามารถรับสัญญาณได้ไกลกว่า ดังรูปที่ 2.8 และ ดังรูปที่ 2.9 ซึ่ง Shadowing Effect ส่งผลกระทบต่อ Received Power หรือ P_r นั้นลดลง ทำให้ระยะทางของการรับสัญญาณลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 2.8 Received Power ในกรณีที่ไม่มีผลกระทบจาก Shadowing Effect



รูปที่ 2.9 Received power ในกรณีที่ได้รับผลกระทบจาก Shadowing effect

2.3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การสูญเสียกำลัง Path Loss

การสูญเสียกำลัง (Path Loss) คือการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากเหตุการณ์ทางธรรมชาติ จะเกิดขึ้นเมื่อการรับสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับนั้นมีระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น โดยแบ่งสภาพแวดล้อมออกเป็น 3 แบบคือ ในเมือง ชานเมือง และชนบท ซึ่งทั้งสามสภาพแวดล้อม จำลองการแบ่งโดยใช้ระยะห่างระหว่างยานพาหนะภาคส่งและยานพาหนะภาครับเป็นตัวกำหนดสภาพแวดล้อม [12]

2.3.1.1 สภาพแวดล้อมในเมือง (Urban)

สภาพแวดล้อมในเมือง (Urban) จะแสดงถึงพื้นที่ในเมืองที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะสูงซึ่งจะมีระยะความห่างของยานพาหนะภาคส่งและยานพาหนะภาครับที่ใกล้กัน โดยจะมีระยะห่างอยู่ที่ 10 เมตร – 60 เมตร

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

$$PL = 32.4 + 21\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (2.1)$$

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 35.3 \log_{10}(d) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(f) - 0.3(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (2.2)$$

2.3.1.2 สภาพแวดล้อมชานเมือง (Suburban)

สภาพแวดล้อมชานเมือง (Suburban) จะแสดงถึงพื้นที่ชานเมืองที่มีห่างออกไปจากภายในตัวเมืองความหนาแน่นของยานพาหนะไม่สูงมากซึ่งจะมีระยะความห่างของยานพาหนะภาคส่งและยานพาหนะภาครับที่เริ่มห่างออกไป โดยจะมีระยะห่างอยู่ที่ 60 เมตร – 460 เมตร

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.3)$$

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (2.4)$$

2.3.1.3 สภาพแวดล้อมชนบท (Rural)

สภาพแวดล้อมชนบท (Suburban) จะแสดงถึงพื้นที่ชนบทที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งจะมีระยะความห่างของยานพาหนะภาคส่งและยานพาหนะภาครับที่เริ่มห่างมาก โดยจะมีระยะห่างอยู่ที่ 200 เมตร – 1,000 เมตร

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (2.5)$$

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 161.94 - 7.1 \log_{10}(\omega) + 7.5 \log_{10}(h) - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{Tx}} \right)^2 \right) \log_{10}(h_{Tx}) \quad (2.6)$$

$$+ (43.42 - 3.1(h_{Tx})) (\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE}) + (VL)$$

โดยที่

PL	คือ การสูญเสียกำลัง (Path Loss) (หน่วยเดซิเบล)
d	คือ ระยะห่างระหว่างยานพาหนะ (หน่วยเมตร)
f	คือ ย่านความถี่ (หน่วยเมกะเฮิรตซ์)
h_{UE}	คือ User Equipment Height (หน่วยเมตร)
h_{Tx}	คือ Tx height (หน่วยเมตร)
VL	คือ การสูญเสียเนื่องจากยานพาหนะ (หน่วยเดซิเบล)

2.3.2 Received Power

Received Power คือ เป็นค่าที่แสดงความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ของภาครับ ในการสื่อสารแบบไร้สายเพื่อเป็นตัววัด ประเมินผลหรือเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณ ซึ่ง Received Power จะมีสมการเป็นไปตาม Friis Transmission Formula ดังนี้

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right) \quad (2.7)$$

โดยที่	P_{tx}	คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาคส่ง
	G_{tx}	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง
	G_{rx}	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับ
	λ	คือ ความยาวคลื่น
	D	คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับ

2.3.3 Packet Error Rate (PER) และ Bit Error Rate (BER)

ในการส่งข้อมูลดิจิทัลในการสื่อสารเพื่อที่จะสามารถวัดประสิทธิภาพของการรับ-ส่งข้อมูลของสารสื่อสารแบบไร้สาย BER และ PER เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากในการวัดประสิทธิภาพการสื่อสารแบบไร้สายจึงถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพ โดย BER จะหมายถึง จำนวนข้อผิดพลาดของบิตต่อหน่วยเวลา ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของบิตข้อมูลภาครับที่ผิดพลาดต่อบิตข้อมูลที่ถูกส่งมาทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่ง โดย ITU ได้กำหนดมาตรฐานการสื่อสารไว้ในช่วง 10^{-6} เพื่อให้การสื่อสารมีความผิดพลาดน้อยที่สุด

$$BER = \frac{N_{Error}}{N_{Total}} \quad (2.8)$$

$$BER = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right) \quad (2.9)$$

PER Packet Error Rate เป็นจำนวนจำนวนแพ็คเกจข้อมูลที่ได้รับไม่ถูกต้อง

$$PER = 1 - (1 - BER)^{8L} \quad (2.10)$$

(ที่มา: www.mathworks.com/help/comm/ug/bit-error-rate-ber.html)

โดยที่

N_{Error}	คือ จำนวนบิตที่ผิดพลาด
N_{Total}	คือ จำนวนบิตทั้งหมด
E_b/N_0	คือ Energy Per Bit to Noise Power
$\text{erfc}(x)$	คือ Error Function of x
L	คือ Payloads

2.3.4 อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna gain)

อัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain) คือ อัตราส่วนของค่าความเข้มการแผ่พลังงานในทิศทางที่กำหนดให้กับค่าความเข้มการแผ่พลังงานที่สายอากาศได้รับ ถ้ากำลังงานที่ป้อนให้กับสายอากาศถูกแผ่ออกไปในลักษณะของไอโซโทรปิก จะสามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.11)$$

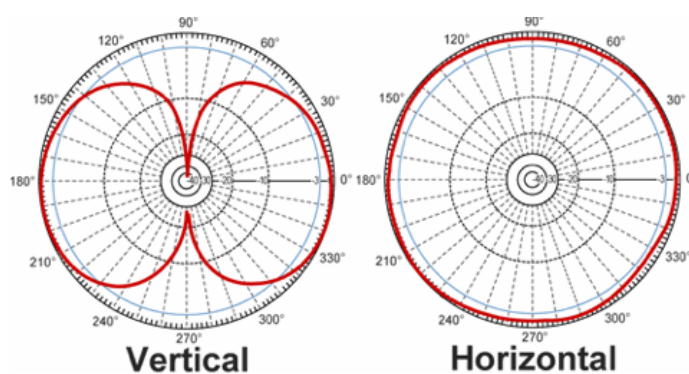
โดยอัตราขยายที่ได้นี้จะไม่มีหน่วยและจะมีค่าเดียวกันกับสภาพเงาของทิศทาง หากไม่คิดค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น ภายในตัวของสายอากาศ ถ้ากำหนดให้ $P_{in} = \Pi$ ก็จะแสดง $G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi)$ ดังนั้น การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศจึงต้องคิดรวมค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบสายอากาศด้วย โดยจะคำนวณจากกำลังที่ป้อนให้แก่ขั้วด้านเข้า (P_{in}) ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถวัดได้แตกต่างจากการคำนวณสภาพเงาของทิศทางที่คำนวณจากกำลังคลื่นที่แผ่ออกไป

ในทางปฏิบัตินั้นการที่สายอากาศจะมีอัตราขยายมากเพียงพอตามที่ต้องการหรือไม่ จะมีปัจจัยหลายประการเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งเป็นผลให้การส่งผ่านพลังงานจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศหรือจากสายอากาศมายังเครื่องรับลดต่ำลงได้ เช่น การสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไม่แมตซ์กันระหว่างสายส่งและสายอากาศ การสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่งและการสูญเสียภายในตัวสายอากาศซึ่งเกิดจากส่วนประกอบของสายอากาศเอง เช่น การสูญเสียจากไดอิเล็กตริกและตัวนำที่ประกอบเป็นโครงสร้างสายอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วกำลังที่ถูกแผ่ออกมา จากสายอากาศมักจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่ป้อนให้กับระบบสายอากาศเสมอ ($P_{out} < P_{in}$) ยกเว้นในสายอากาศ นั้นมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการขยายสัญญาณติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปด้วย นั่นคือสาเหตุที่ว่าทำไมอัตราขยายของสายอากาศจึงมีค่าน้อยกว่าสภาพเงาเชิงทิศทาง $G \leq D$

จากมาตรฐาน IEEE (International Electrical and Electronic Engineering) ได้กำหนดไว้ว่า การพิจารณาอัตราขยายของสายอากาศจะไม่คิดรวมค่าการสูญเสียที่เกิดจากการไม่แมตซ์ของอิมพีแดนซ์ (Impedance Mismatch) และค่าการสูญเสียที่เกิดจากการไม่แมตซ์ของโพลาไรซ์ (Polarization Mismatch) ที่เกิดขึ้นในระบบ แต่จะคิดเฉพาะค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากไดอิเล็กตริกและตัวนำซึ่งเป็นองค์ประกอบของสายอากาศ

2.3.5 รูปแบบการแผ่กระจายของสายอากาศ

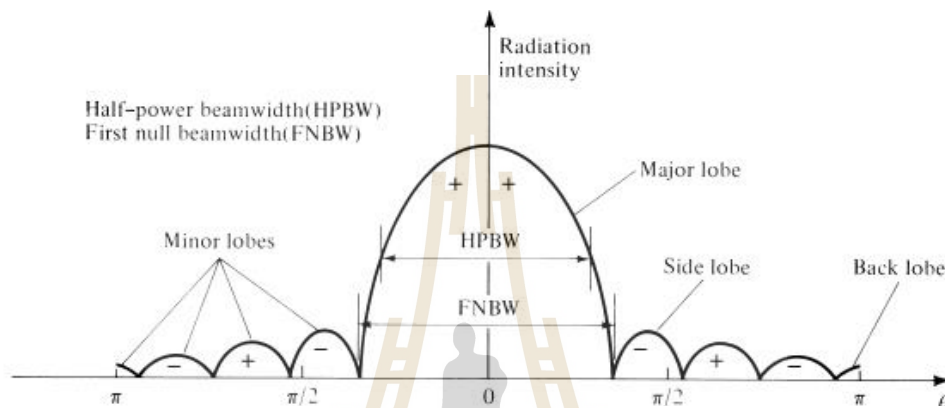
แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern) หรือแบบรูปของสายอากาศ (Antenna Pattern) คือการบอกคุณสมบัติในการแผ่พลังงานของสายอากาศในรูปของกราฟหรือในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดตำแหน่ง (Space Coordinates) ในการพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานจะต้องกระทำในบริเวณสนามไกลและแสดงในรูปฟังก์ชันของพิกัดทาง (Directional Coordinates) แบบรูปการแผ่พลังงานนี้สามารถวัดและพล็อตได้จากความเข้มสนาม (Field Intensity)



รูปที่ 2.10 แบบรูปการแผ่พลังงาน (Radiation Pattern)

2.3.6 Half-Power Beamwidth (HPBW)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth) คือ ในระนาบหนึ่งๆ ของแบบรูปที่ประกอบด้วยทิศทางที่มีลำคลื่นสูงสุดและมีมุมที่อยู่ระหว่างสองทิศทางซึ่งความเข้มการแผ่พลังงานมีค่ากำลังลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับค่าสูงสุด ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งคำนี้มักจะใช้อธิบายถึงความกว้างของลำคลื่นที่มีความเข้มพลังงานลดลง 3 dB



รูปที่ 2.11 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth)

แบบจำลองการปรับค่าอัตราขยายของสายอากาศเพื่อจำลองและวิเคราะห์ผล โดยสามารถปรับได้จากการคำนวณความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth) การปรับค่าอัตราขยายของสายอากาศในแนวตั้งคือ

$$A_{E,V}(\theta'') = -\min \left[12 \left(\frac{\theta'' - 90^\circ}{\theta_{adB}} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

การปรับค่าอัตราขยายของสายอากาศในแนวนอนคือ

$$A_{E,H}(\varphi'') = -\min \left[12 \left(\frac{\varphi''}{\varphi_{adB}} \right)^2 \right] \quad (2.13)$$

ในส่วนของ θ'' คือ อัตราขยายของสายอากาศในแนวตั้ง และ θ_{adB} คือองศาของพูในแนวตั้งและในส่วนของ φ'' คือ อัตราขยายของสายอากาศในแนวนอน และ φ_{adB} คือองศาของพูในแนวนอน

2.4 ระยะการหยุดปลอดภัย (Stopping Sight Distance, SSD)

ระยะการหยุดปลอดภัย คือระยะทางที่ผู้ขับขี่ใช้ในการหยุดยานพาหนะเมื่อเห็นอุปสรรคข้างหน้า ซึ่งได้จากผลรวมของระยะทางที่เกิดช่วงของ PIEV Time และระยะทางใช้ในการเปลี่ยนความเร็วที่วิ่งเป็นการหยุด

$$SSD = 0.278Vt + 0.039 \frac{V^2}{a} \quad (2.14)$$

โดยที่ SSD = ระยะการหยุดปลอดภัย (เมตร)

V = ความเร็วของยานพาหนะ (km/hr)

t = ระยะเวลารับรู้และตอบสนองในการเบรก 2.5 วินาที

a = อัตราหน่วงความเร็ว 3.4 เมตร/วินาที²

บทที่ 3

การออกแบบและจำลองผล

3.1 บทนำ

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ผ่านมา พบว่าการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเกิดปรากฏการณ์ Shadowing Effect ส่งผลถึงพารามิเตอร์ประสิทธิภาพต่าง ๆ โดยบทนี้นำเสนอการออกแบบระบบและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการจำลองผลการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในรูปแบบที่มีผลกระทบของ Shadowing Effect และไม่มีผลกระทบ โดยได้นำพารามิเตอร์จาก Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks-with a focus on Propagation Models จาก Theodore S. Rappaport และ Vienna Simulators LTE-A Downlink System Level Simulator Documentation, v2.0 Q3-2018 จาก Institute of Telecommunications, Vienna University of Technology, Austria มาใช้ในการจำลองแบบ ผ่านโปรแกรม MATLAB

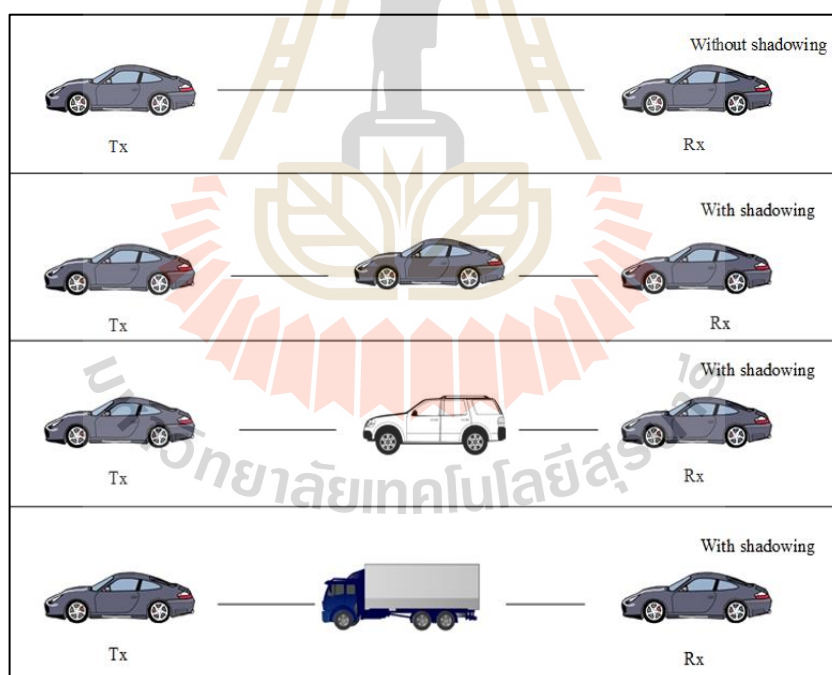
3.2 Systems infrastructure

ส่วนนี้อธิบายถึงโครงสร้างการจำลองแบบจะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนของสภาพแวดล้อมและส่วนของ Vehicle loss โดยในส่วนของสภาพแวดล้อมแบ่งออกเป็นสามสภาพแวดล้อม ได้แก่ ในเมืองที่มีลักษณะความหนาแน่นของยานพาหนะสูง ระยะห่างระหว่างยานพาหนะมีระยะน้อย ชานเมืองมีลักษณะที่มีความหนาแน่น และระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมในเมืองและชนบทที่มีความหนาแน่นของยานพาหนะอยู่ในระดับต่ำทำให้มีระยะห่างระหว่างยานพาหนะมีระยะที่สูง [10-11] ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Environments

การแบ่งสภาพแวดล้อมทั้งสามสภาพแวดล้อมนี้เพื่อให้ครอบคลุมสถานการณ์ตามสภาพแวดล้อมหลัก ๆ ในชีวิตประจำวันของผู้คนในการใช้งานยานพาหนะนอกจากการแบ่งสภาพแวดล้อมแล้วในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการแบ่งประเภทของยานพาหนะที่เข้ามาบดบังหรือกีดขวางการสื่อสารระหว่างยานพาหนะออกเป็นสามประเภท ได้แก่ ยานพาหนะขนาดเล็ก เช่น รถเก๋ง รถ Eco Car ยานพาหนะขนาดกลางเช่น รถ SUV รถตู้และยานพาหนะขนาดใหญ่ เช่น รถบรรทุก การบดบังนี้เกิดเป็นปรากฏการณ์ Shadowing Effect ที่ลดทอนสัญญาณที่รับได้ของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยยานพาหนะขนาดเล็กจะลดทอนสัญญาณอยู่ที่ 2–8 dB ยานพาหนะขนาดกลางจะลดทอนสัญญาณอยู่ที่ 8–10 dB และ ยานพาหนะขนาดใหญ่จะลดทอนสัญญาณอยู่ที่ 15–20 dB [13] โดยในการจำลองจะเลือกใช้ค่าที่ 2 dB, 8 dB และ 15 dB ตามลำดับเนื่องจากเป็นค่าการสูญเสียจากขนาดของยานพาหนะเริ่มต้นของยานพาหนะในแต่ละประเภท โดยมีการจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะทั้งในรูปแบบที่มีผลกระทบของ Shadowing Effect และไม่ได้รับผลกระทบของ Shadowing Effect ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Vehicular Environments


3.3 Vehicle Platooning

ลักษณะของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจะเป็นในรูปแบบ Vehicle Platooning ดังรูปที่ 3.3 กลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์โดยที่ความหนาแน่นของการจราจรในพื้นที่ส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของผู้ใช้ยานพาหนะ Vehicle Platooning เป็นการสร้างกลุ่มการสื่อสารร่วมกันในแนวยาวแบบไดนามิกส์ซึ่งจะมียานพาหนะนำหลักแล้วจึงคอยส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังยานพาหนะในกลุ่ม ซึ่งการเข้าออกกลุ่มจะเป็นแบบไดนามิกส์ เช่น การออกจากกลุ่มเมื่อมาถึงปลายทางที่ต้องการ โดย Vehicle Platooning ซึ่งจะมีมาตรฐานตามที่ ITU กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.4 เมื่ออ้างอิงตาม Basic safety message (BSM) หรือการส่งข้อมูลความปลอดภัย ของเทคโนโลยี 5G NR ข้อความที่จำเป็นสำหรับการจับคู่ เพื่อให้ทำให้ผู้จับคู่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ประกอบไปด้วย Message ID, Time, Latitude, Longitude, Heading, Elevation, Speed, Steering Wheel Angle, Brake System Status and Vehicle Size ข้อมูลเหล่านี้มีขนาดประมาณ 200 ไบต์ ไม่ต้องการความเร็วในการส่งที่สูง



รูปที่ 3.3 ลักษณะการสื่อสารแบบ Vehicle Platooning

(ที่มา : www.volpe.dot.gov/news/how-automated-car-platoon-works)

Use case	Illustration	Description	Payloads (Bytes)	Latency (ms)	Data rate (Mbps)	Range (meters)	Reliability (%)
Vehicles platooning		Vehicles dynamically form a platoon travelling together. Vehicles in the platoon obtain information from the leading vehicle to manage this platoon.	50 - 6500	10 - 25	0.012 - [65]	80 - 350	90 - 99.99

รูปที่ 3.4 มาตรฐาน Connected vehicle ในแบบ Vehicle platooning

3.4 The Vienna Cellular Communications Simulators (VCCS)

Vienna Cellular Communications Simulators (VCCS) ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยการสื่อสารไร้สายจากสถาบันโทรคมนาคม TU Wien ในปลายปี 2008 ได้พัฒนาชุดคำสั่งการจำลองเครือข่ายเซลลูลาร์แบบ Long-Term Evolution (LTE) เรียกว่า Vienna LTE Simulators ซึ่งประสบความสำเร็จในการใช้งานเป็นอย่างมาก โดย Vienna ต่อมาถูกพัฒนามาเรื่อย ๆ จนถึง 5G Vienna นั้นมีความสามารถในการจำลองแบบเครือข่ายเซลลูลาร์ สามารถทำการประเมินประสิทธิภาพเชิงตัวเลขของเครือข่ายหลายชั้นขนาดใหญ่พร้อมโหนดเครือข่ายหลายประเภท Vienna Simulators เป็นเครื่องมือจำลองแบบที่ใช้คู่กับโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายรูปแบบ

Vienna Simulators มุ่งเน้นไปที่การจำลองแบบในชั้นของ Physical layer ของการสื่อสาร ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ร่วมกันกับการจำลองการแพร่กระจายได้หลายรูปแบบ เช่น Propagation Effects ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นี้จะนำ Vienna Simulators มาปรับ Antenna Half Power Beamwidth เพื่อลดผลกระทบของ Shadowing Effect ที่ต่อการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

3.4.1 Parameters

LTE_config.frequency: ความถี่ในการทำงานของระบบ

LTE_config.bandwidth: แบนด์วิธของระบบ ค่าที่อนุญาตคือ 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz และ 20 MHz แบนด์วิธนี้เทียบเท่ากับ 6, 15, 25, 50, 75 และ 100 Resource Blocks (RBs) ตามลำดับ

LTE_config.nTX: จำนวนเสาอากาศภาคส่ง

LTE_config.nRx: จำนวนเสาอากาศภาครับ

LTE_config.tx_mode: โหมดในการสื่อสาร

- 1: single antenna.
- 2: Transmission Diversity (TxD).
- 3: Open Loop Spatial Multiplexing (OLSM). Spatial multiplexing with Large Cyclic Delay Diversity (CDD).
- 4: Closed Loop Spatial Multiplexing (CLSM).
- 5: Multiuser MIMO.
- 6: Rank-1 CLSM
- 7: Beamforming
- 9: Eight Layer Spatial Multiplexing

LTE_config.eNodeB_tx_power: กำลังส่งสูงสุด (หน่วยวัตต์)

LTE_config.antenna_gain_pattern: รูปแบบอัตรายายของสายอากาศ

TR 36.873 3D antenna

TS 36.873 3D antenna

LTE_config.antenna.antenna_polarization: โพลาไรซ์สามารถใช้ได้ 2 แบบ

COPOL: Linear polarization

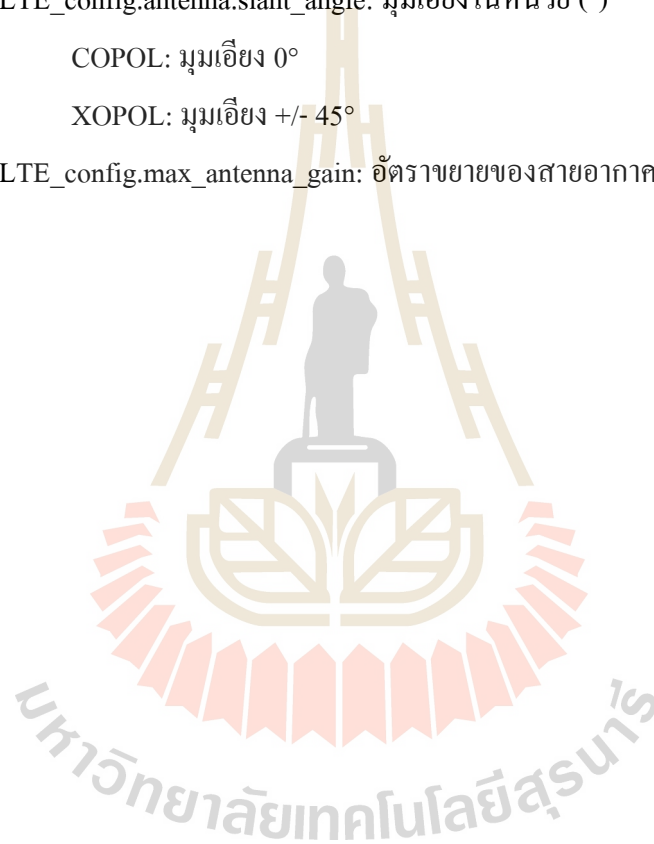
XPOL: Cross polarization

LTE_config.antenna.slant_angle: มุมเอียงในหน่วย (°)

COPOL: มุมเอียง 0°

XOPOL: มุมเอียง +/- 45°

LTE_config.max_antenna_gain: อัตรายายของสายอากาศในหน่วย dB



บทที่ 4

ผลการจำลองแบบ

4.1 บทนำ

บทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ ในแบบ LOS และ NLOS ในแต่ละสภาพแวดล้อม โดยจะทำการจำลองทั้ง สภาพแวดล้อม 3 ในเมือง ชานเมือง และ ชนบท และวิเคราะห์ผลการจำลองที่ได้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์การสูญเสียของยานพาหนะ

Vehicle Types	Vehicle loss (dB)
Small	2-8
SUV	8-10
Large or Truck	15-20

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการจำลองแบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะใน สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

Parameters	Value
Frequency	700 MHz , 2,600 MHz
Tx height (h_{TX})	2 meters
User Equipment height (h_{UE})	2 meters
Transmitting antenna (Pt)	23 dBm
Transmit Antenna Gain (Gt)	2.4 dBi
Receive Antenna Gain (Gr)	2.4 dBi
Urban distance	10 – 60 meters
Suburban distance	60 – 460 meters
Rural distance	200 – 1000 meters
Payload size	200 Byte

4.2 Path Loss

Path Loss คือการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากเหตุการณ์ทางธรรมชาติ จะเกิดขึ้นเมื่อการรับสัญญาณระหว่างภาคส่งและภาครับนั้นมีระยะทางที่เพิ่มมากขึ้น จากผลการจำลองแบบใช้คลื่นความถี่ 700 MHz และ 2,600 MHz โดยการจำลองแบบมีรูปแบบการสื่อสารระหว่างยานพาหนะแบบมีผลกระทบจาก Shadowing Effect จากยานพาหนะบดบังหรือกีดขวาง และไม่มีผลกระทบจาก Shadowing Effect ในสภาพแวดล้อมทั้งสามสภาพแวดล้อม

4.2.1 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง

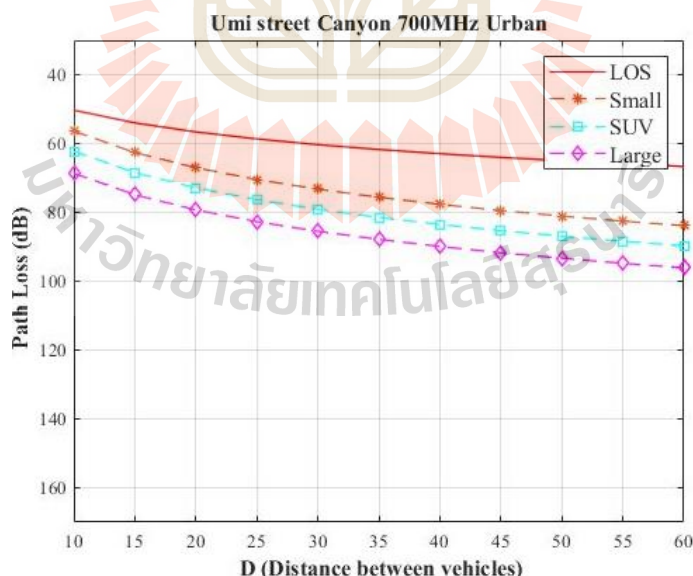
การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Path loss ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในเมือง

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

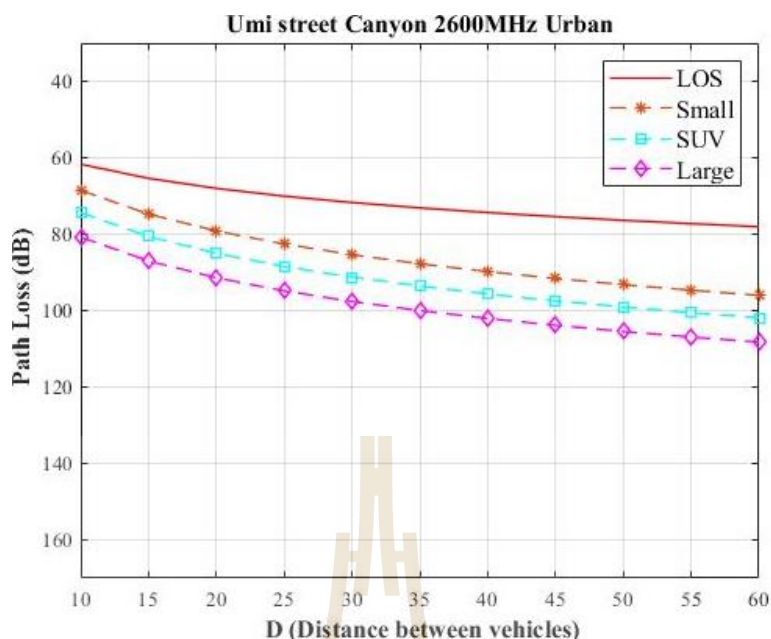
$$PL = 32.4 + 21\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (4.1)$$

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 35.3\log_{10}(d) + 22.4 + 21.3\log_{10}(f) - 0.3(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz

4.2.2 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง

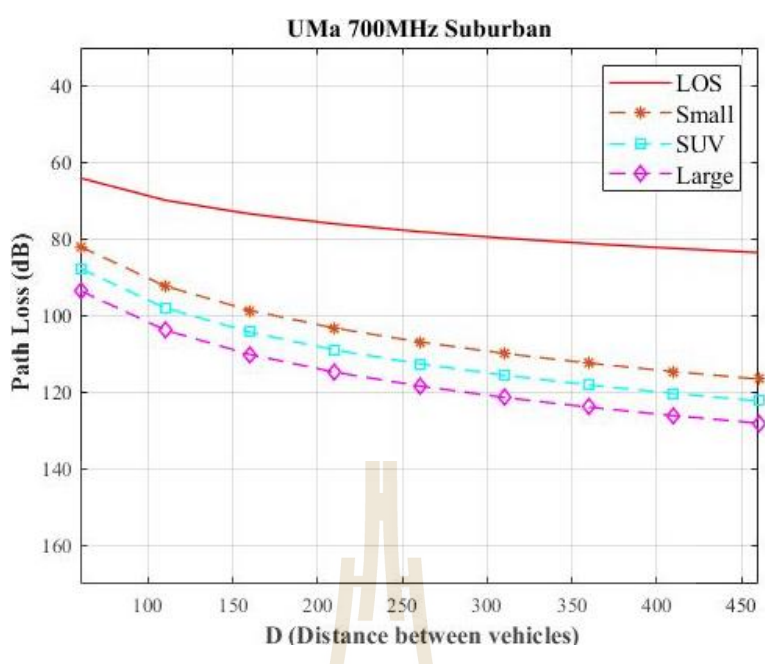
การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Path loss ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชานเมือง

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

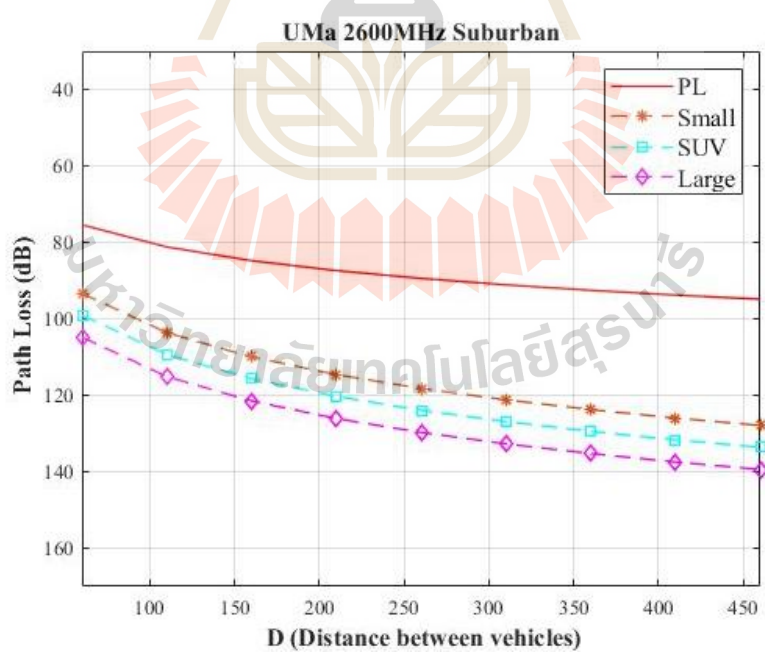
$$PL = 28 + 22\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (4.3)$$

การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 13.54 + 39.08\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 0.6(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (4.4)$$



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 2,600 MHz

4.2.3 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชนบท

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Path loss ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชนบท

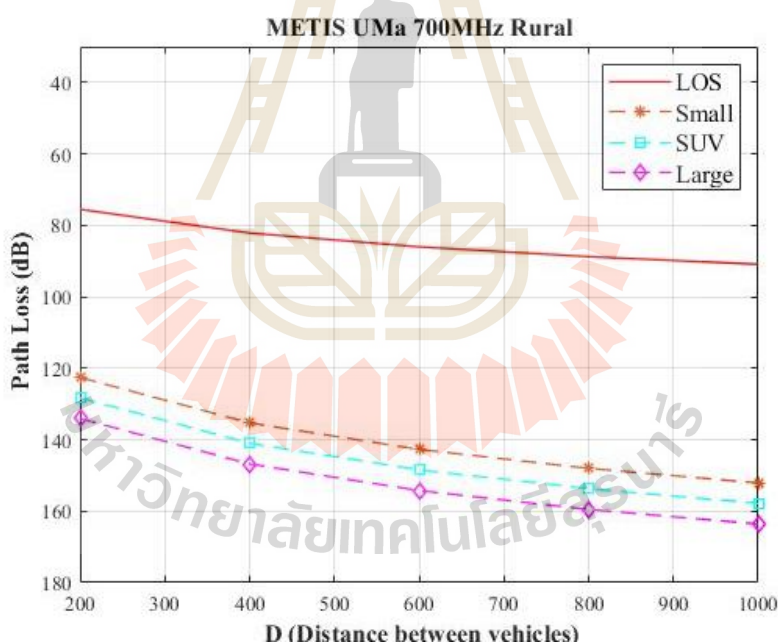
การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ LOS

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (4.5)$$

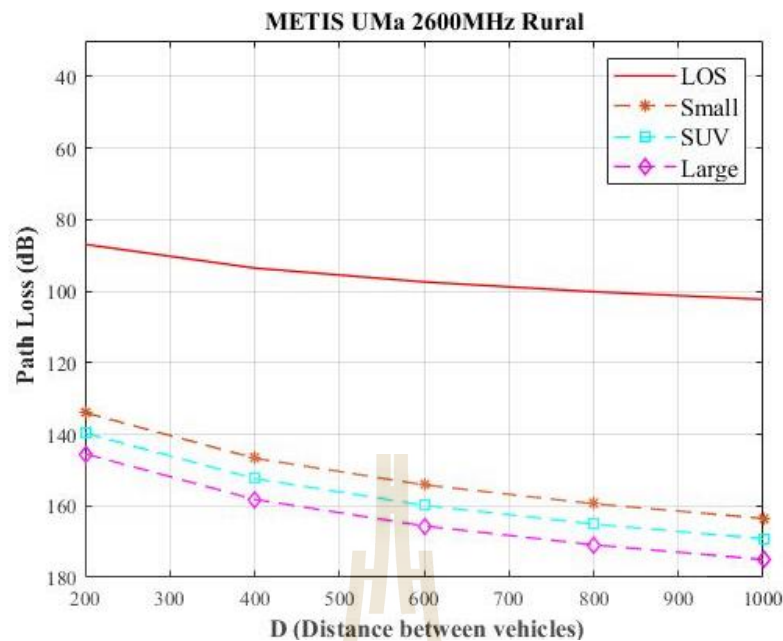
การสื่อสารระหว่างยานพาหนะในแบบ NLOS

$$PL = 161.94 - 7.1 \log_{10}(w) + 7.5 \log_{10}(h) - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{Tx}} \right)^2 \right) \log_{10}(h_{Tx}) \quad (4.6)$$

$$+ (43.42 - 3.1(h_{Tx})) (\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE}) + (VL)$$



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path Loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 10–60 เมตรที่ ซึ่งเป็นไปตามแบบจำลองในรูปแบบของ LOS และ NLOS ตามสมการที่ 1 แสดงถึงสถานการณ์ที่ไม่มี Shadowing Effect สมการที่ 2 แสดงถึงสถานการณ์ที่มี Shadowing Effect ในแต่ละประเภทของยานพาหนะ โดยเทียบระหว่างความถี่ 700 MHz และ 2,600 MHz เช่นที่ระยะห่าง 10 เมตร กราฟทั้งสองมีค่า Path loss อยู่ที่ 50.3 dB และ 61.7 dB ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 60–460 เมตรที่ ซึ่งเป็นไปตามแบบจำลองในรูปแบบของ LOS และ NLOS ตามสมการที่ 3 แสดงถึงสถานการณ์ที่ไม่มี Shadowing Effect สมการที่ 4 แสดงถึงสถานการณ์ที่มี Shadowing Effect ในแต่ละประเภทของยานพาหนะ โดยเทียบระหว่างความถี่ 700 MHz และ 2,600 MHz

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Path loss กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 200–1000 เมตรที่ ซึ่งเป็นไปตามแบบจำลองในรูปแบบของ LOS และ NLOS ตามสมการที่ 5 แสดงถึงสถานการณ์ที่ไม่มี

Shadowing Effect สมการที่ 6 แสดงถึงสถานการณ์ที่มี Shadowing Effect ในแต่ละประเภทของ ยานพาหนะ โดยเทียบระหว่างความถี่ 700 MHz และ 2,600 MHz

หลังจากทำการจำลองแบบ ได้นำผลการจำลองแบบมาเปรียบเทียบกับกราฟอ้างอิง ในพารามิเตอร์เดียวกัน จากผลการจำลองแบบเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างยานพาหนะเพิ่มมากขึ้น หรือเกิด Shadowing Effect ทำให้ Path Loss นั้นสูงมากขึ้น

4.3 Received Power

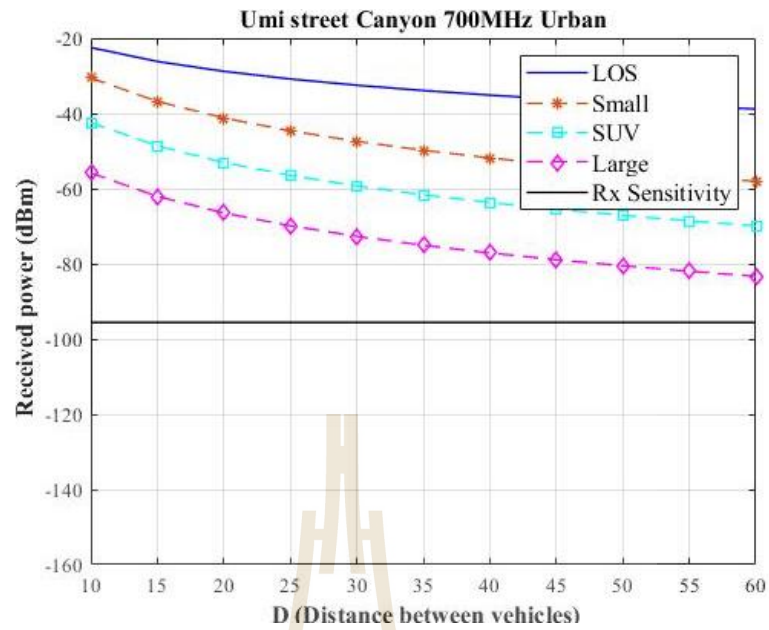
Received Power คือ ความแรงของคุณภาพสัญญาณที่ได้รับได้ของสายอากาศส่วนของ สายอากาศภาครับซึ่ง Received Power เป็นพารามิเตอร์ประสิทธิภาพที่แสดงถึงความแรงของ คุณภาพสัญญาณมากที่สุดที่ทำให้ไม่เกิดการเชื่อมต่อของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะล้มเหลว โดยมี Rx Sensitivity คือความแรงของสัญญาณที่ต่ำที่สุดที่สามารถรับได้โดยเป็นตัวกำหนดว่าการ สื่อสารระหว่างภาคส่งและภาครับจะไม่เกิด Connection Loss โดยในแต่ละความถี่จะมี Rx Sensitivity ที่แตกต่างกันออกไป ที่ 700 MHz และ 2600 MHz มีค่า Rx Sensitivity อยู่ที่ -95.6 dBm และ -113 dBm ตามลำดับ [14]

จากผลการจำลองแบบใช้คลื่นความถี่ 700 MHz และ 2,600 MHz โดยการจำลองแบบการ สื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นแบบมีผลกระทบจาก Shadowing Effect จากยานพาหนะบดบังหรือ กีดขวาง และไม่มีผลกระทบจาก Shadowing Effect ในสภาพแวดล้อมทั้งสามสภาพแวดล้อม

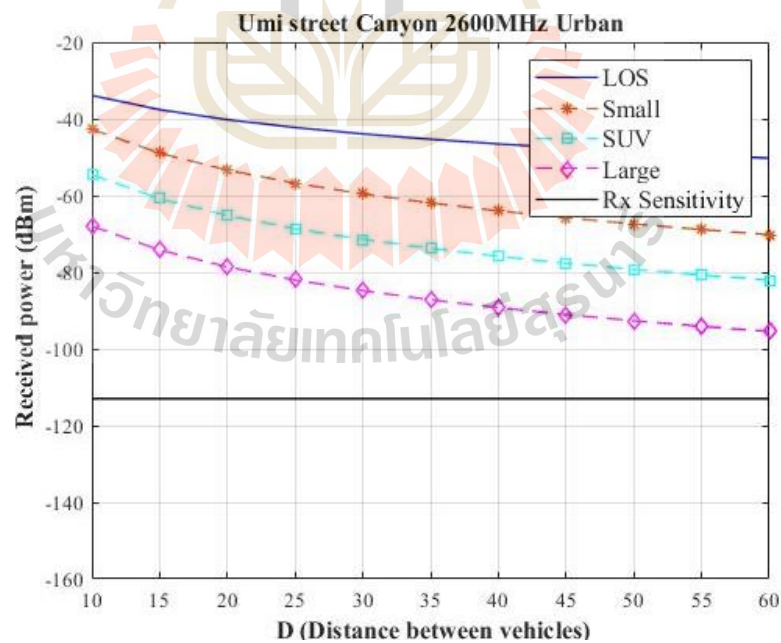
$$Pr = Pt + Gt + Gr - (PL + VL) \quad (4.7)$$

4.3.1 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received Power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในเมือง



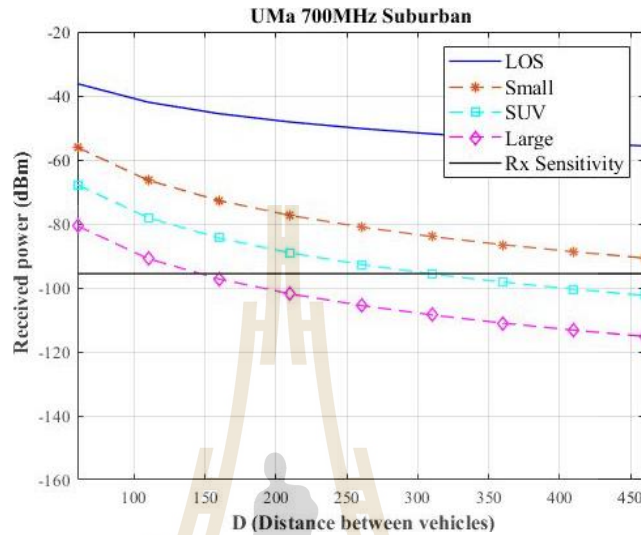
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz



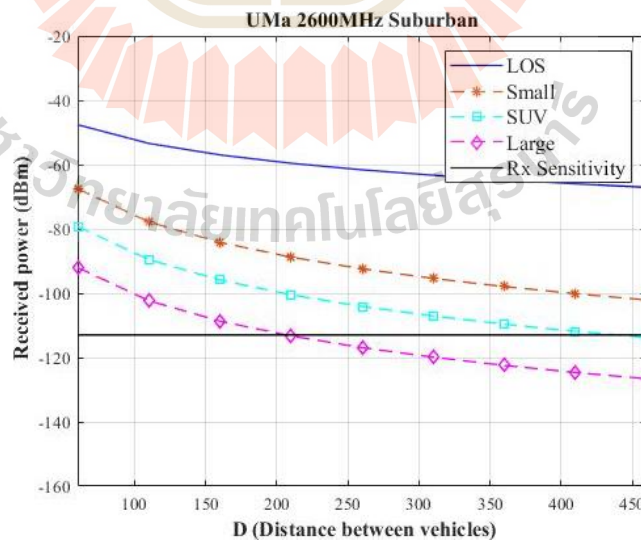
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz

4.3.2 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received Power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชานเมือง



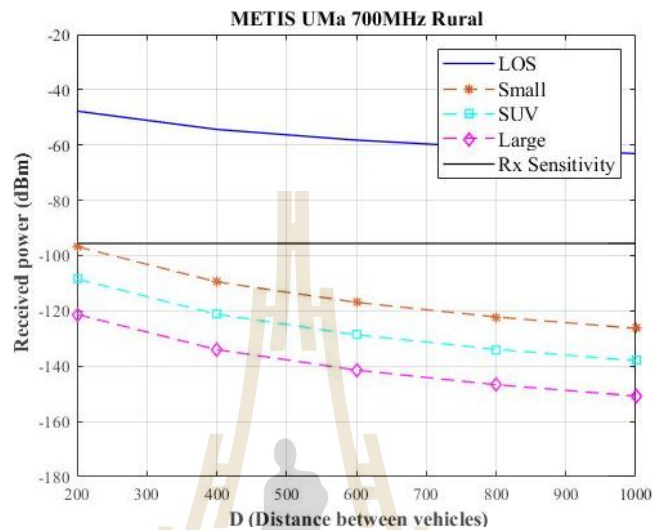
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz



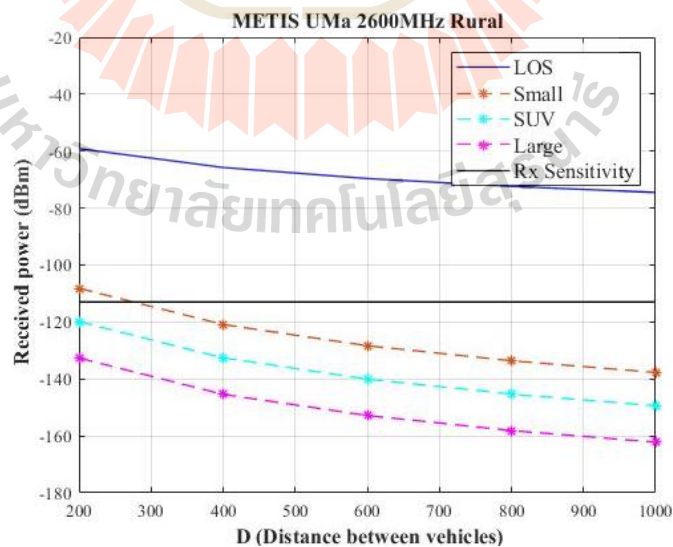
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 2,600 MHz

4.3.3 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชนบท

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received Power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชนบท



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 10 – 60 เมตรจากกราฟที่ 700 MHz และ 2,600 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อถูกยานพาหนะทั้งสามประเภทกีดขวางนั้นยังสามารถใช้งาน ได้ทั้งหมด

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 60 – 460 เมตรจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่และ SUV กำลังบังหรือกีดขวางการสื่อสาร ที่ระยะห่างมากกว่า 150 เมตร และ 300 เมตร ตามลำดับที่ 700 MHz จะมีโอกาสเกิด Connection Loss และ 2,600 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่ กีดขวางการสื่อสาร ที่ระยะห่างมากกว่า 200 เมตร จะมีโอกาสเกิด Connection Loss

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 200 – 1000 เมตรจากกราฟ 700 MHz แสดงให้เห็นว่าเมื่อถูกบดบังหรือกีดขวางการสื่อสารด้วยยานพาหนะทั้งสามประเภทมีโอกาสเกิด Connection Loss ทั้งหมด ที่ 2,600 MHz แสดงให้เห็นว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่

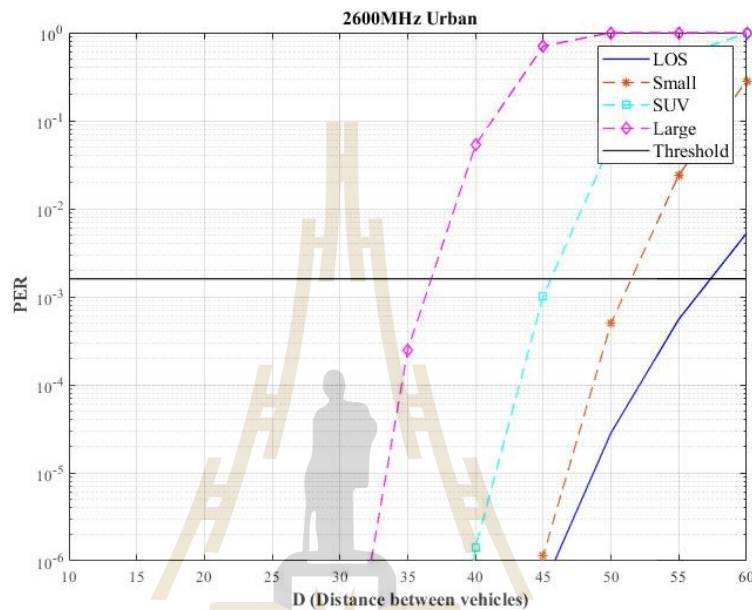
และ SUV บดบังมีโอกาสเกิด Connection Loss ส่วนของยานพาหนะขนาดเล็ก กำลังบังหรือกีดขวางการสื่อสารที่ระยะห่างมากกว่า 300 เมตร จะมีโอกาสเกิด Connection loss

จากการทำการจำลองแบบจะแสดงให้เห็นว่าผลกระทบของ Shadowing Effect เกิดผลกระทบต่อ Received Power ซึ่งเห็นผลได้ชัดเจนและส่งผลถึงการส่งข้อมูลที่ผิดพลาดและเมื่อพิจารณาจากระยะหยุดที่ปลอดภัยพบว่าจากความเร็วที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อมสามารถหยุดได้ในระยะที่ปลอดภัย

4.4 Packet Error Rate (PER)

4.4.1 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในเมือง

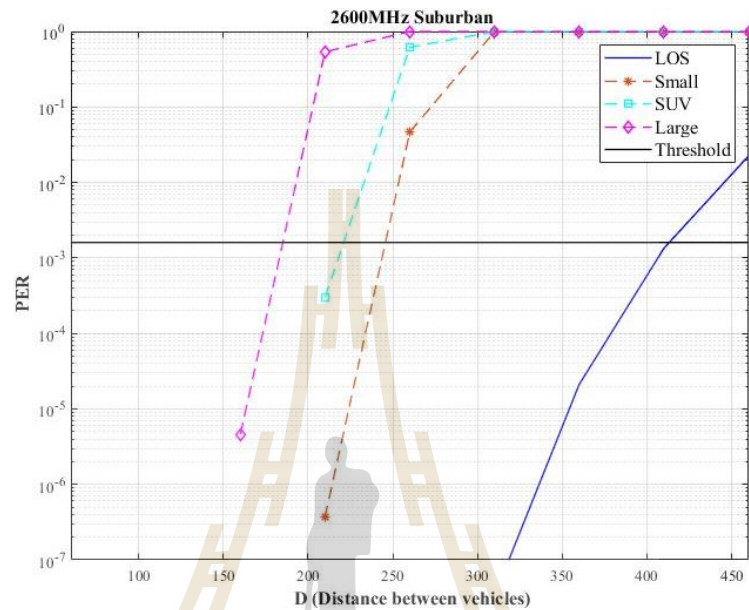


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมือง

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet Error Rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกขานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กถูกบังคับหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ที่ระยะห่าง 35 45 และ 50 เมตร ตามลำดับ เมื่อกำหนดใน $PER \text{ target} = 1.6 \times 10^{-3}$ [15]

4.4.2 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชานเมือง

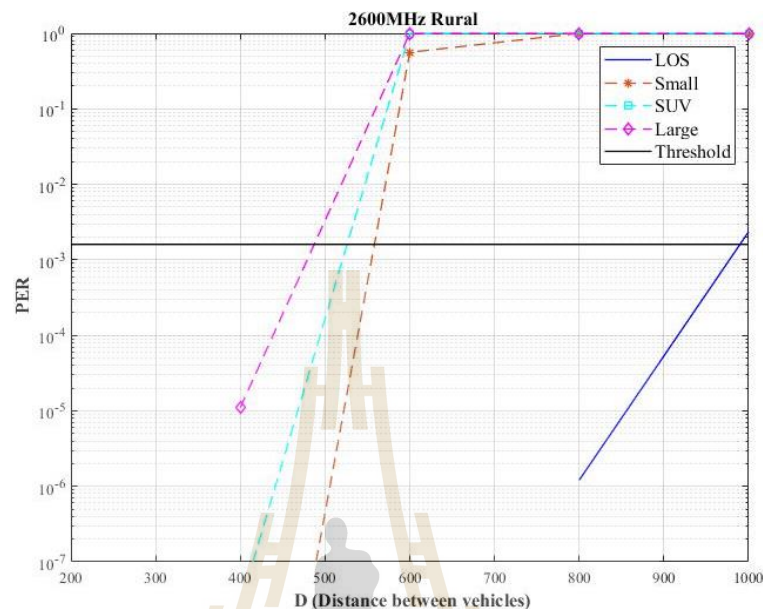


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมือง

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet Error Rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกยานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กกบดบังหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ที่ระยะห่าง 170 220 และ 250 เมตร ตามลำดับ เมื่อกำหนดใน PER target = 1.6×10^{-3}

4.4.3 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชนบท

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชนบท



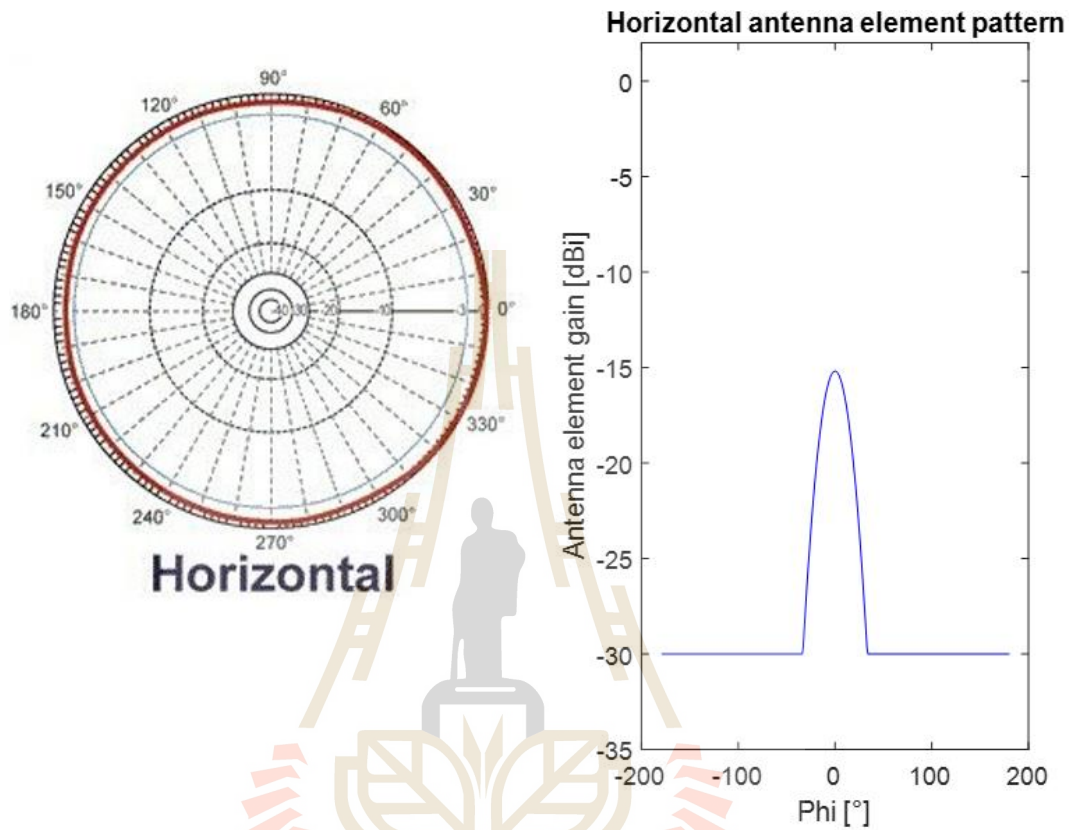
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบท

จากรูปที่ 4.15 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet Error Rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกยานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กถูกบดบังหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ที่ระยะห่าง 480 520 และ 560 เมตร ตามลำดับ เมื่อกำหนดใน PER target = 1.6×10^{-3}

4.5 การปรับ Antenna Half-Power Beamwidth (HPBW)

จากการศึกษาเพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบของ Shadowing Effect เพื่อแก้ปัญหา Shadowing Effect โดยในแบบเดิมเป็นสายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antennas) เป็นการแผ่พลังงานออกรอบตัวในระนาบเดียวทิศทางที่ส่งออกไปจึงไม่ใช่ทิศทางที่ต้องการในรูปแบบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แนะนำถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ โดยการปรับค่าของอัตราขยายของสายอากาศภาครับ ซึ่งปรับองศาในส่วนของ Antenna Half-Power Beamwidth โดยปรับในตัวอง φ_{adB} ในส่วนของมุมกวาด (Azimuth Angle) เพื่อให้ Radiation pattern แคบลง ส่งผลให้อัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรวมพลังงานไป

ในทิศทางที่ต้องการไม่มีการสูญเสียพลังงานไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ ดังรูปที่ 4.16 ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของ Received power ดีเพิ่มขึ้น [16-17]

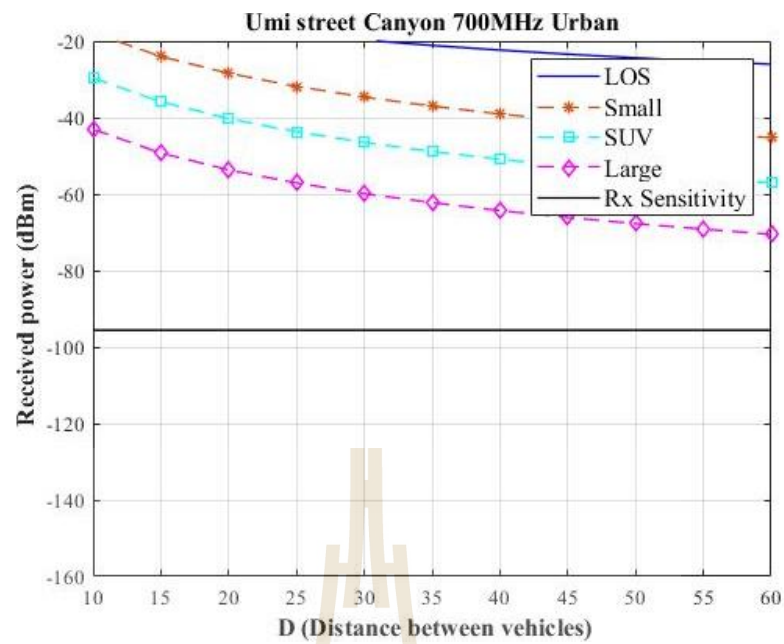


รูปที่ 4.16 ลักษณะ Antenna Radiation pattern ก่อนและหลังปรับมุม HPBW ที่ 30 องศา

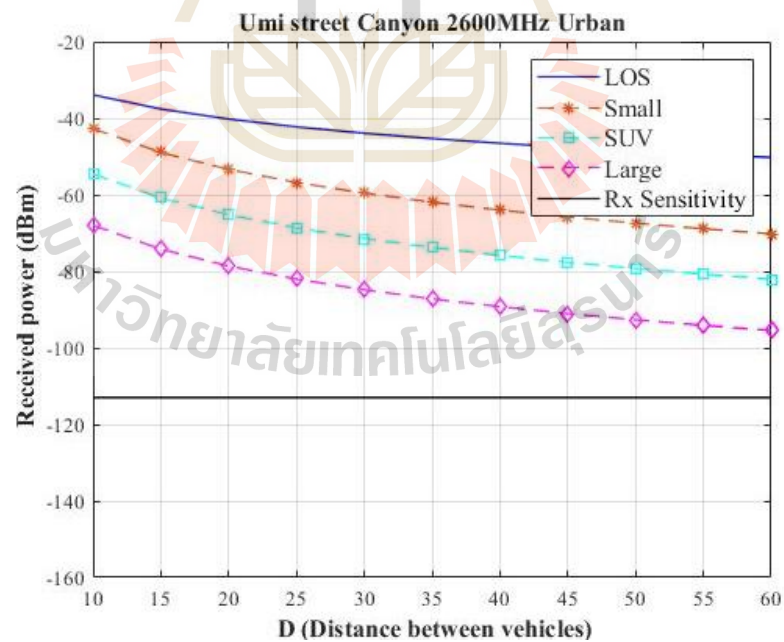
4.6 Received Power

4.6.1 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในเมือง



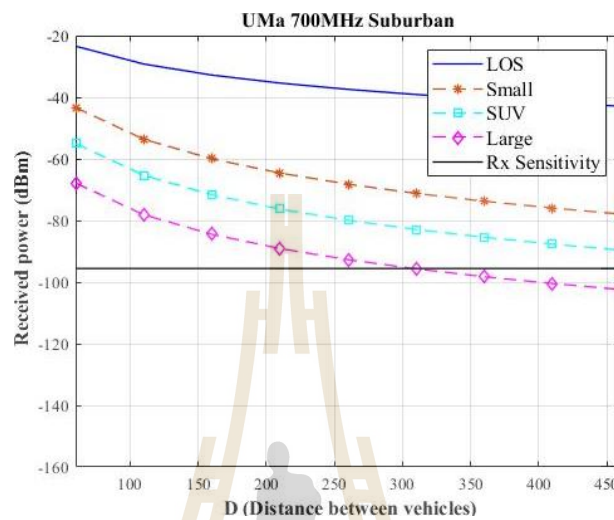
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 700 MHz



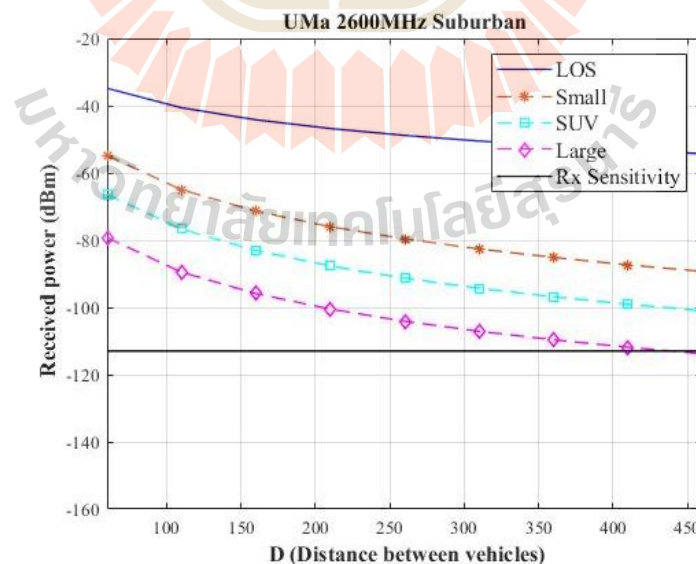
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ 2,600 MHz

4.6.2 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received Power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชานเมือง



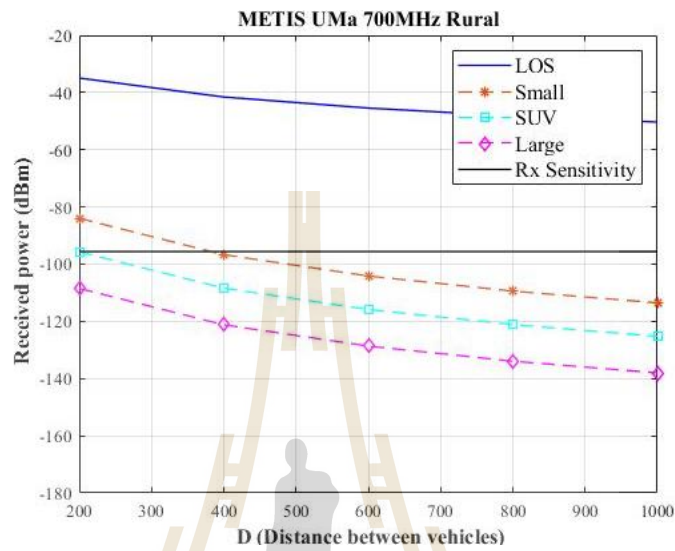
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 700 MHz



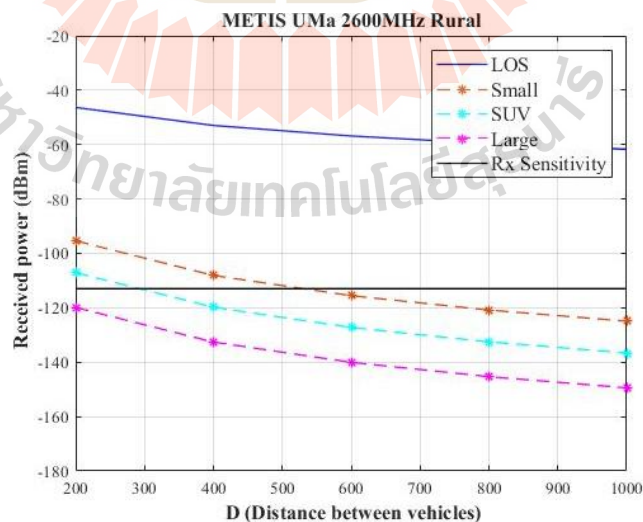
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ 2,600 MHz

4.6.3 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชนบท (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ Received power ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชนบท



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 700 MHz



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ 2,600 MHz

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 10 – 60 เมตรจากกราฟที่ 700 MHz และ 2,600 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อถูกยานพาหนะทั้งสามประเภทกีดขวางนั้นยังสามารถใช้งานได้ทั้งหมด

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 60 – 460 เมตร จากกราฟ แสดงให้เห็นว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่กำลังบังหรือกีดขวางการสื่อสาร ที่ระยะห่างมากกว่า 310 เมตรที่ 700 MHz จะมีโอกาสเกิด Connection Loss และ 2,600 MHz จะเห็นได้ว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่ กีดขวางการสื่อสาร ที่ระยะห่างมากกว่า 450 เมตร จะมีโอกาสเกิด Connection loss

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Received Power กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่ระยะห่างระหว่างยานพาหนะอยู่ที่ 200 – 1,000 เมตรจากกราฟ 700 MHz แสดงให้เห็นว่าเมื่อถูกบังหรือกีดขวางการสื่อสารด้วยยานพาหนะขนาดเล็กที่ระยะห่างมากกว่า 400 เมตร มีโอกาสเกิด Connection Loss

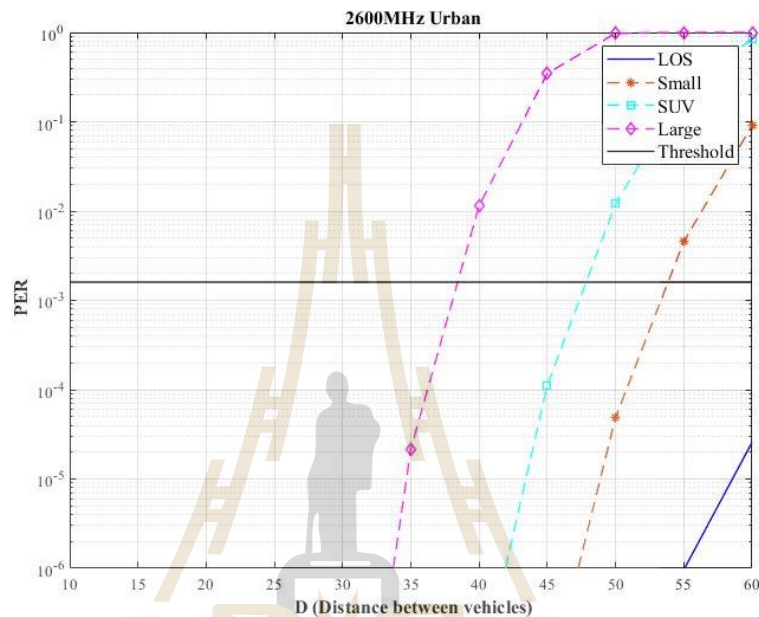
ที่ 2,600 MHz แสดงให้เห็นว่าเมื่อยานพาหนะขนาดใหญ่และบังมีโอกาสดังกล่าว Connection loss ส่วนของยานพาหนะ SUV และยานพาหนะขนาดเล็ก กำลังบังหรือกีดขวางการสื่อสารที่ระยะห่างมากกว่า 300 เมตร และ 530 เมตร ตามลำดับจะมีโอกาสเกิด Connection Loss

เมื่อเปรียบเทียบกับแบบเดิม พบว่าการปรับ HPBW ของสายอากาศภาครับช่วยให้เมื่อเกิดปรากฏการณ์ Shadowing Effect สามารถลดผลกระทบของปรากฏการณ์ดังกล่าว ทำให้การเชื่อมต่อระหว่างยานพาหนะสามารถใช้งานได้ในระยะห่างที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาจากระยะหยุดที่ปลอดภัยพบว่าจากความเร็วที่เหมาะสมในแต่ละสภาพแวดล้อมสามารถหยุดได้ในระยะที่ปลอดภัย

4.7 Packet Error Rate (PER)

4.7.1 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมในเมือง (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมในเมือง

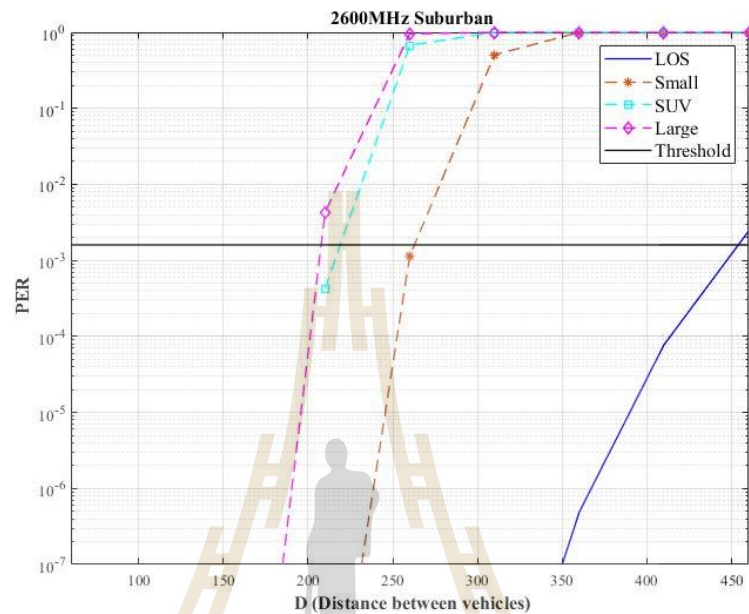


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมือง

จากรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet error rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมในเมืองที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกยานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กกบดบังหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ ที่ระยะห่าง 38, 48 และ 59 เมตร ตามลำดับ $PER_{target} = 1.6 \times 10^{-3}$ ซึ่งเมื่อเทียบกับภาพเดิมแล้ว คีชีน 8.57, 6.66 และ 18 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

4.7.2 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชานเมือง (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชานเมือง

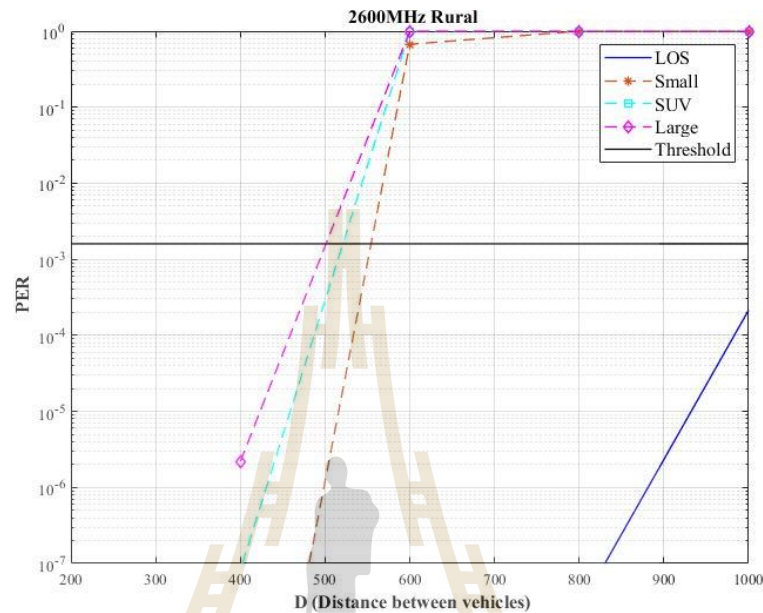


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมือง

จากรูปที่ 4.24 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet error rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชานเมืองที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกยานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กกบดบังหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ ที่ระยะห่าง 210, 230 และ 260 เมตร ตามลำดับ PER target = 1.6×10^{-3} ซึ่งเมื่อเทียบกับภาพเดิมแล้ว ดีขึ้น 29.41, 4.54 และ 4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4.7.3 การจำลองการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อมชนบท (ปรับแก้)

การจำลองระบบเพื่อแสดงถึงพารามิเตอร์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ PER ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมชนบท



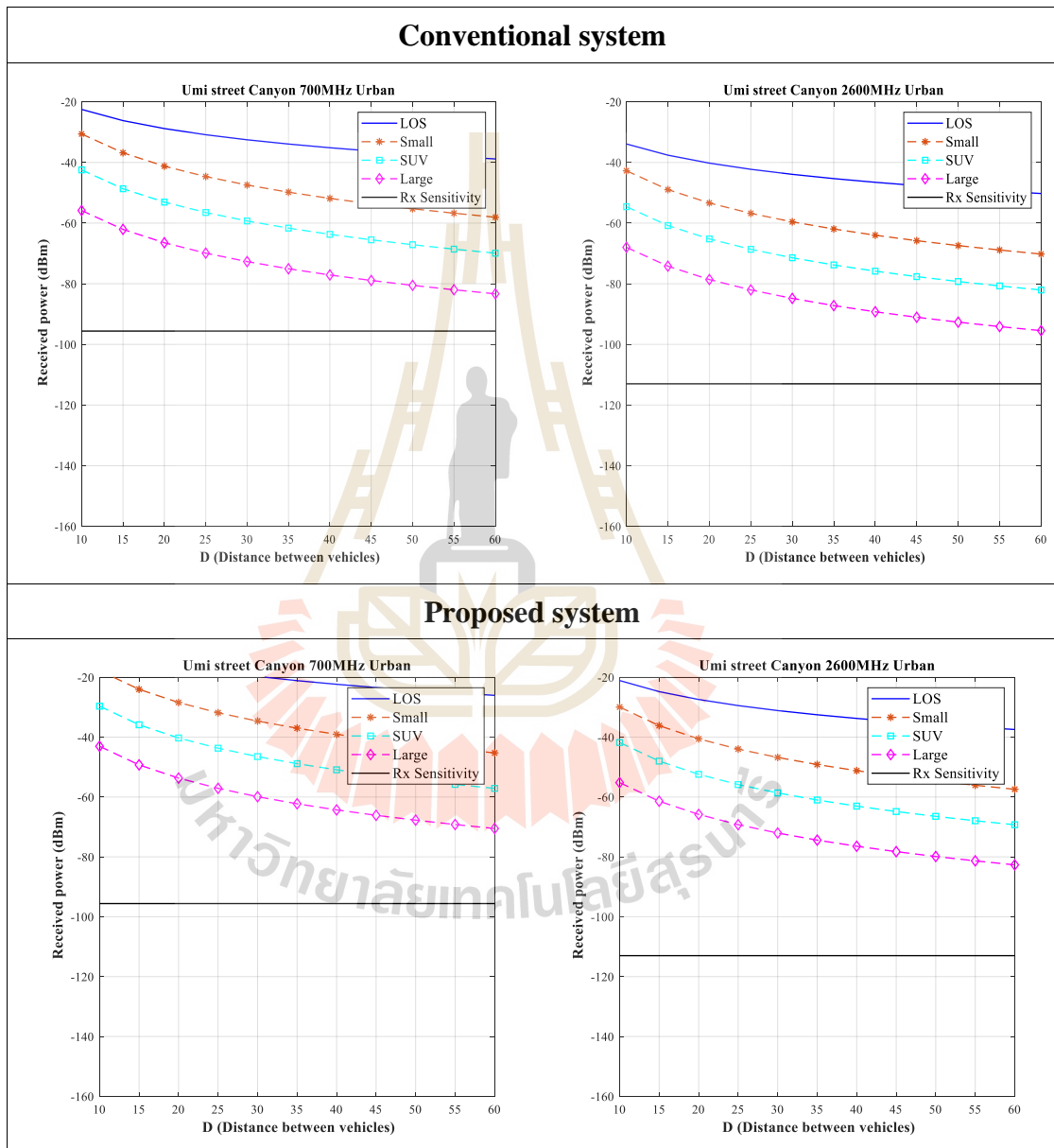
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PER กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบท

จากรูปที่ 4.25 เป็นกราฟแสดงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Packet error rate (PER) กับ Distance ในสภาพแวดล้อมชนบทที่คลื่นความถี่ 2,600 MHz จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อการสื่อสารถูกยานพาหนะขนาดใหญ่ กลาง และ ขนาดเล็กถูกบดบังหรือกีดขวาง สามารถใช้งานได้ที่ระยะห่าง 500, 530 และ 560 เมตร ตามลำดับ PER target = 1.6×10^{-3} ซึ่งเมื่อเทียบกับภาพเดิมแล้วดีขึ้น 4.1, 1.92 และ ไม่เปลี่ยนแปลงตามลำดับ

4.8 เปรียบเทียบผลการจำลองแบบ

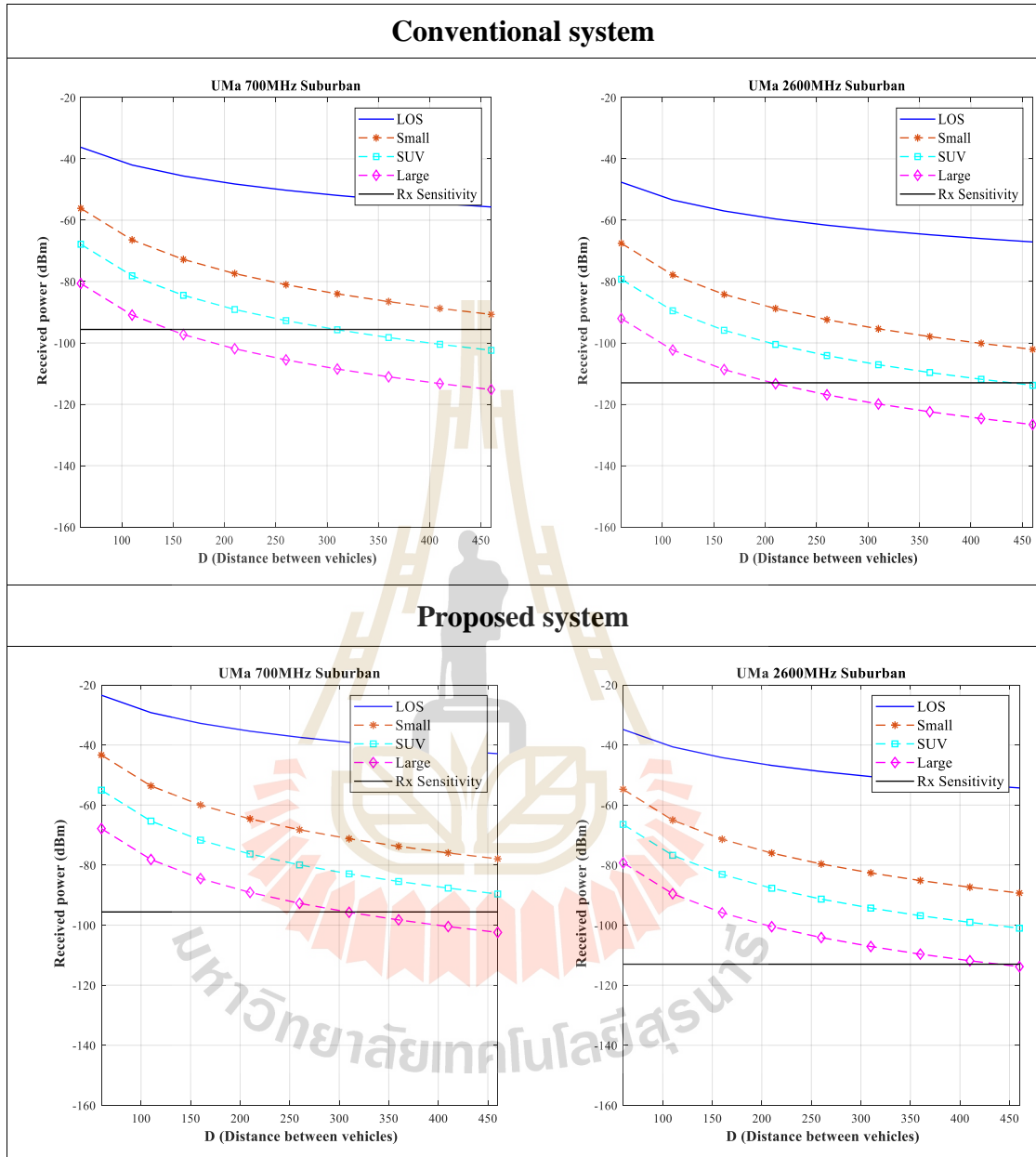
4.8.1 Received Power

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz
ในสภาพแวดล้อมในเมือง



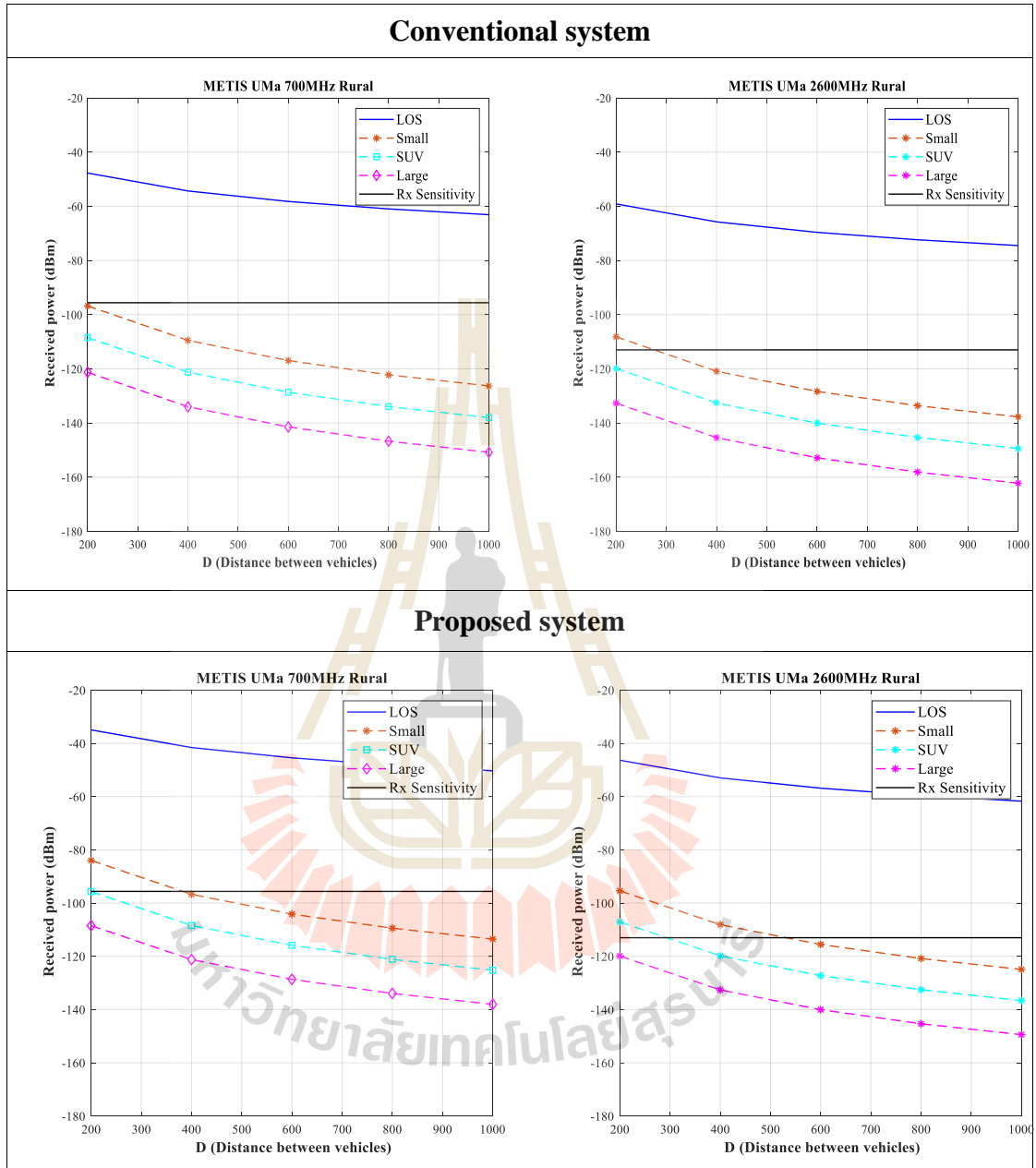
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz

ในสภาพแวดล้อมชานเมือง



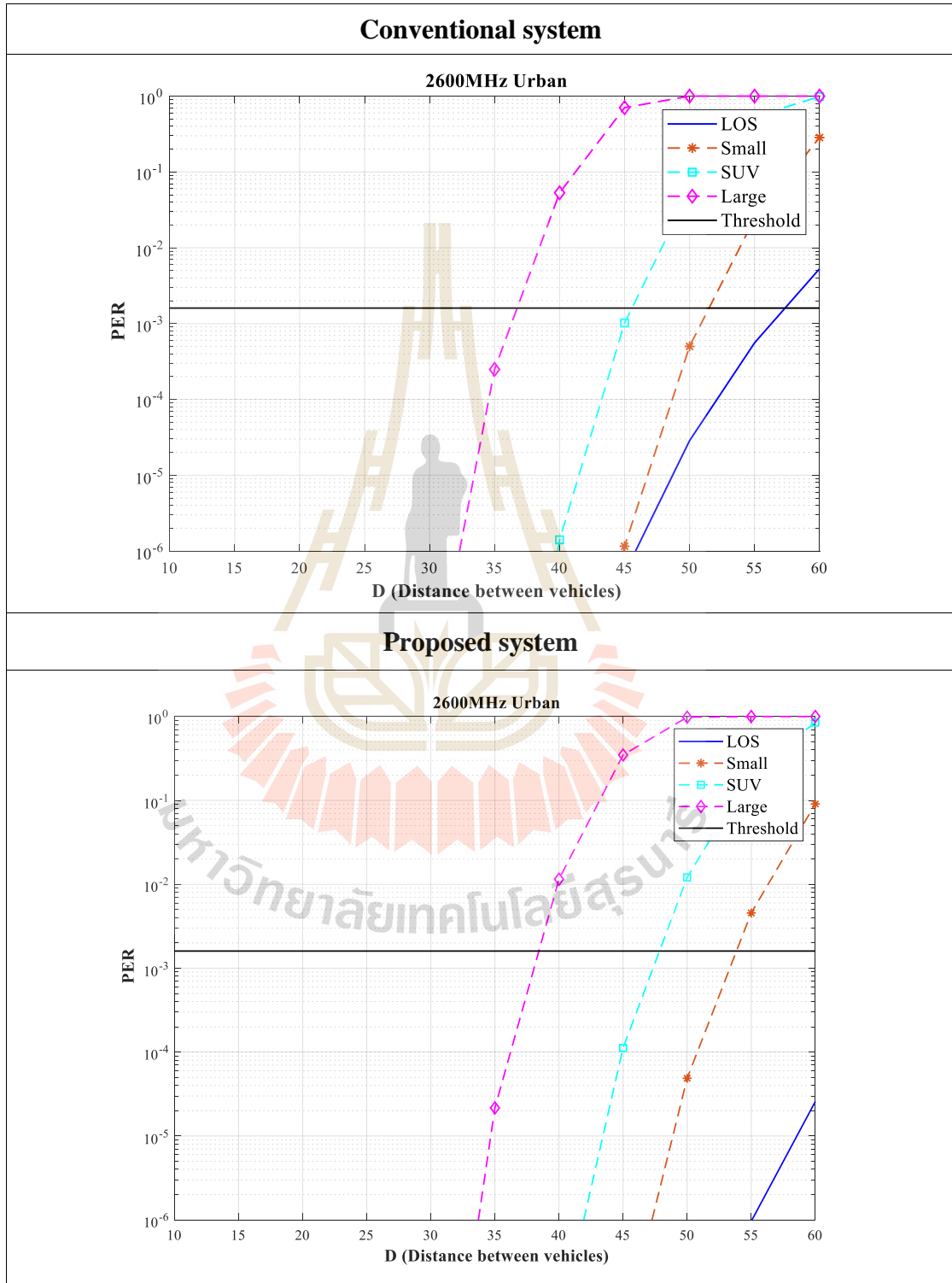
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบ Received Power ของคลื่น 700 MHz และ 2600 MHz

ในสภาพแวดล้อมชนบท

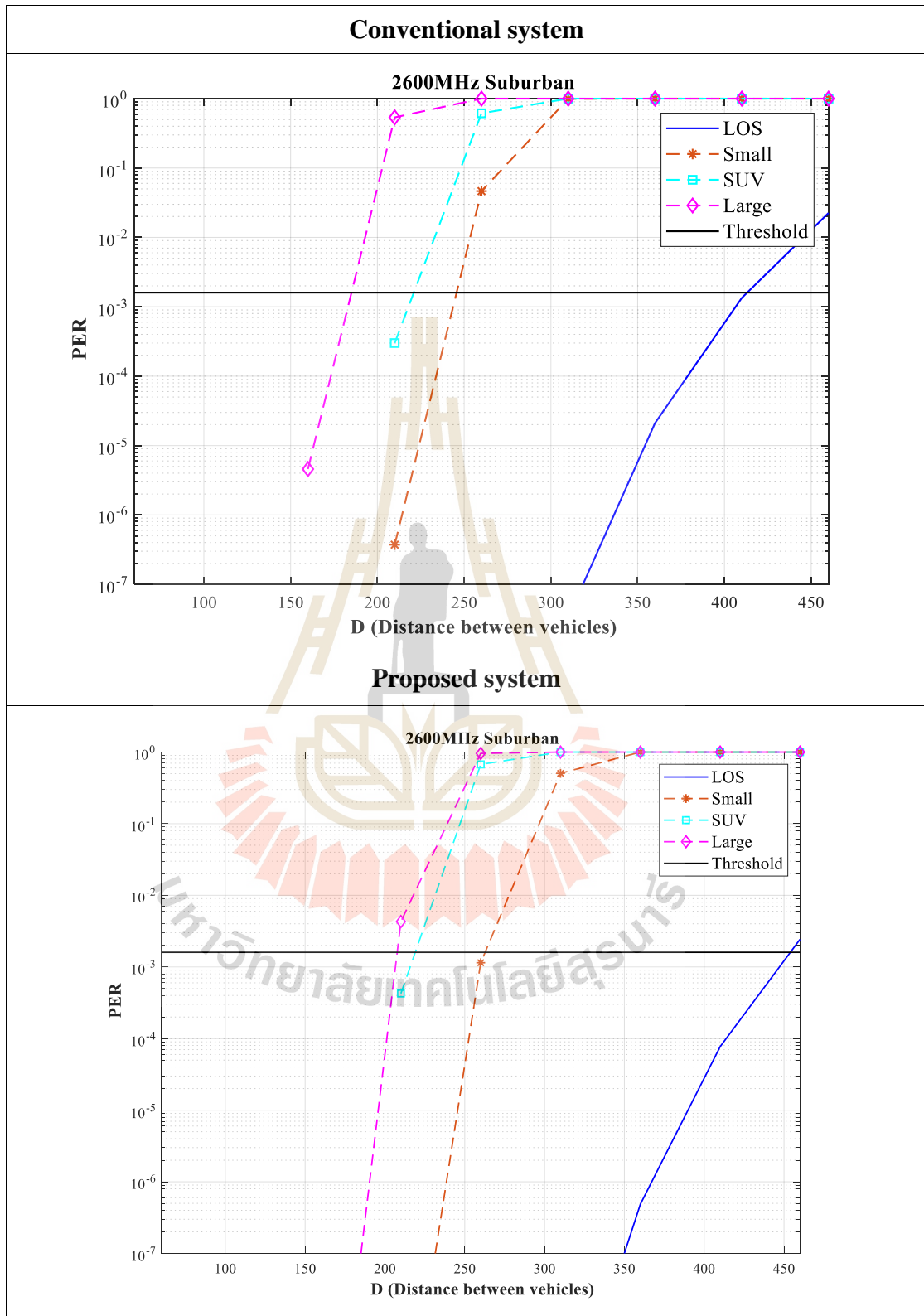


4.8.2 Packet Error Rate

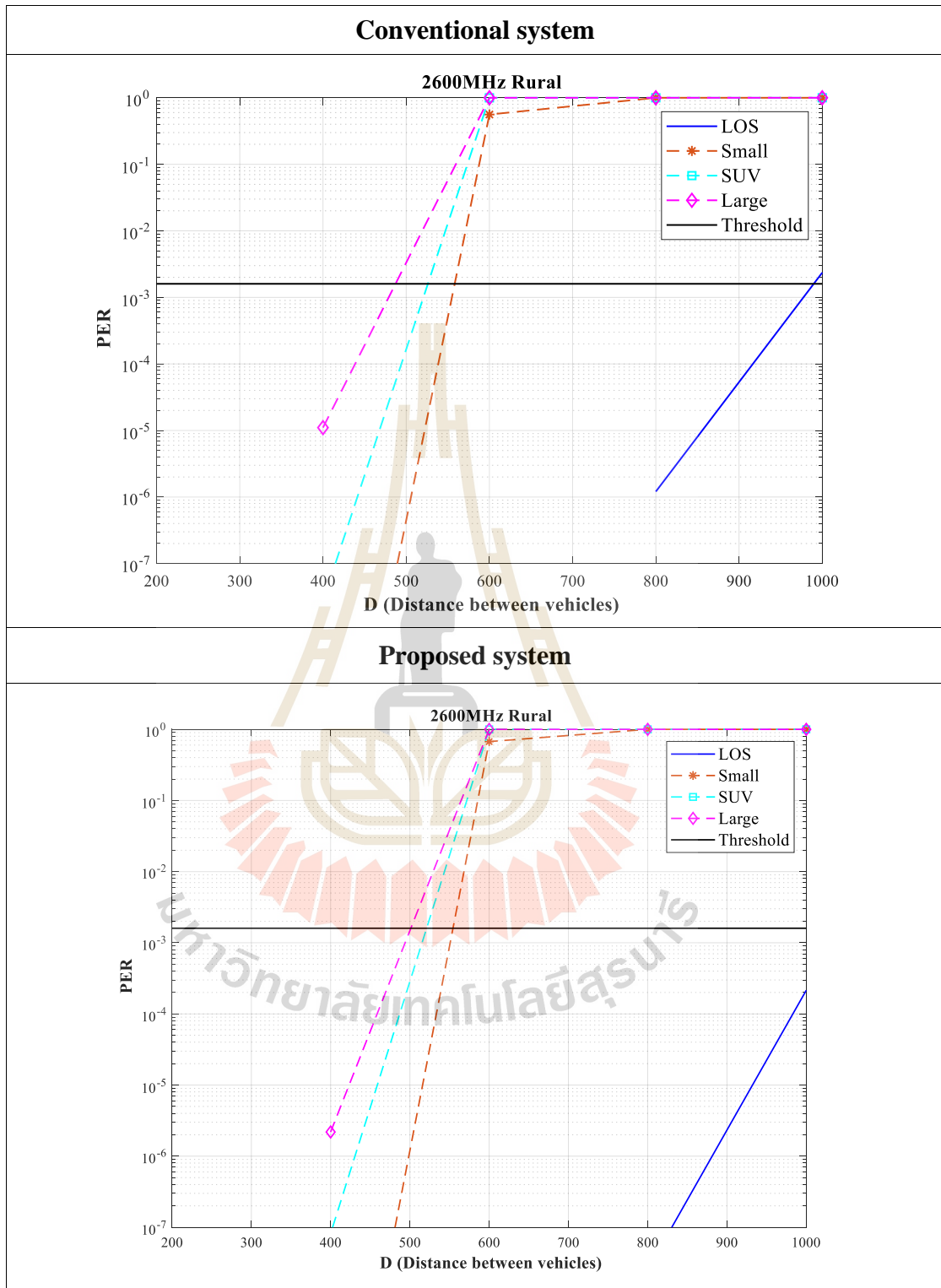
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมในเมือง



ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชานเมือง



ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบ Packet Error Rate ของคลื่น 2600 MHz ในสภาพแวดล้อมชนบท



4.9 กล่าวสรุป

ในการศึกษาผลกระทบของของ Path loss และ Shadowing Effect ที่มีต่อการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในสภาพแวดล้อม ในเมือง ชานเมือง และชนบท ที่ทำการจำลองแบบพบว่า Path loss และ Shadowing Effect ในสภาพแวดล้อมต่างๆส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในพารามิเตอร์ประสิทธิภาพ Shadowing Effect ที่เข้ามาบดบังหรือกีดขวางการสื่อสารระหว่างยานพาหนะทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารลดลงในส่วนของ Received Power และ Packet Error Rate ตามผลการจำลองแบบโดยได้รับผลกระทบตามขนาดของยานพาหนะที่บดบังหรือกีดขวางและในสภาพแวดล้อมต่างๆ

Shadowing Effect และ Path Loss ส่งผลให้การสื่อสารระหว่างยานพาหนะเกิดการ รับ-ส่ง ข้อมูลที่ผิดพลาดหรือการรับข้อมูลที่ล้มเหลวรวมไปถึงการเกิดการเชื่อมต่อที่ล้มเหลว



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาผลกระทบของ Path Loss และ Shadowing Effect ที่มีต่อการสื่อสารระหว่างยานพาหนะในเทคโนโลยีการสื่อสารยุคที่ 5 โดยการจำลองแบบแบ่งการจำลองสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 สภาพแวดล้อมคือ ในเมือง ชานเมือง และชนบทโดยมีค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์และจำลองผลประสิทธิภาพคือ Path Loss เทียบกับระยะห่างระหว่างยานพาหนะ Received Power เทียบกับระยะห่างระหว่างยานพาหนะ และ Packet Error Rate เทียบกับระยะห่างระหว่างยานพาหนะ ซึ่งการจำลองผลแสดงให้เห็นว่าเมื่อ 5G ถูกนำมาใช้ในการสื่อสารแล้วมียานพาหนะกีดขวางระหว่างการสื่อสารหรือ Vehicle Obstruction ส่งผลให้ลดทอนสัญญาณในรูปแบบของ Path loss มีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเกิดปรากฏการณ์ Shadowing Effect ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสื่อสารระหว่างยานพาหนะเป็นอย่างมากในพารามิเตอร์ Received Power ทำให้ระยะทางของการรับสัญญาณลดลงอย่างชัดเจนทำให้เกิดการรับ-ส่งข้อมูลที่ผิดพลาดมีความปลอดภัยน้อยลง ซึ่ง Shadowing Effect แปรผันตามขนาดของสิ่งกีดขวาง และเมื่อ Received Power นั้นลดลงส่งผลต่อ Packet Error Rate ลดลงเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังเสนอถึงการศึกษาวิธีการที่สามารถลดผลกระทบของ Shadowing Effect โดยใช้วิธีการปรับค่าของอัตราขยายของสายอากาศภาครับ ซึ่งปรับในส่วนของ Antenna HPBW เมื่ออัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้นนั้นส่งผลทำให้ Received Power และ Packet Error Rate เพิ่มขึ้น

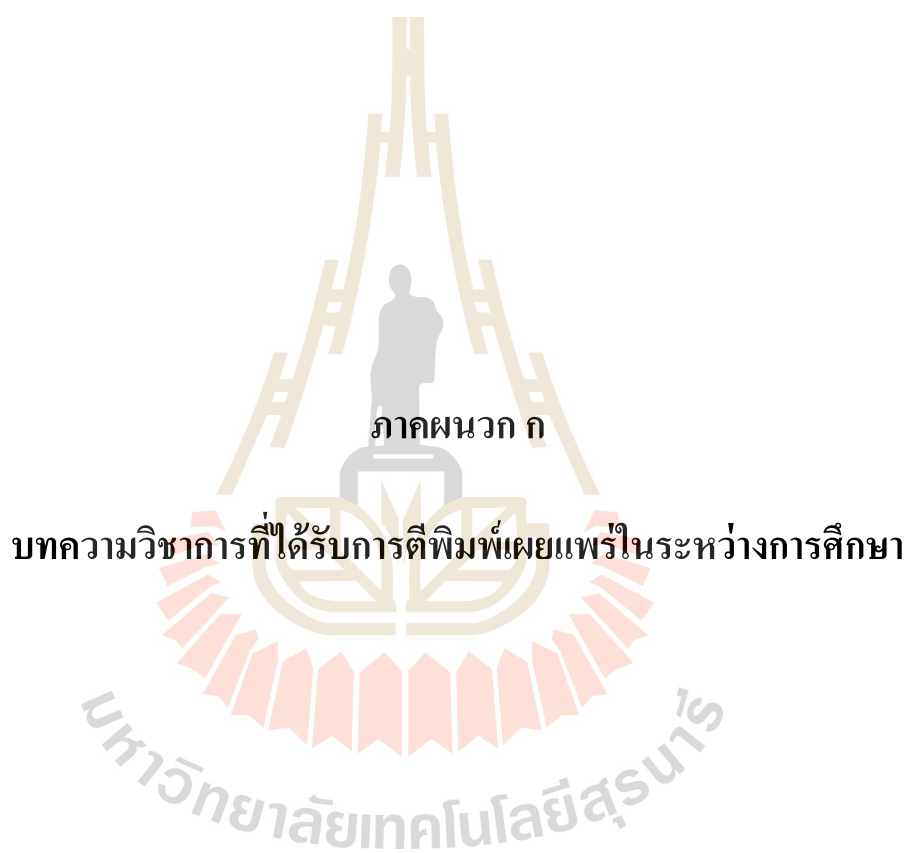
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ในบทความเป็นการจำลองแบบและวิเคราะห์การสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยใช้พื้นฐานจากโปรแกรม Vienna Simulators ผ่านโปรแกรม MATLAB ในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ ยังไม่ได้มีการทดลองจากอุปกรณ์ 5G จริง เนื่องจากยังไม่มีอุปกรณ์ที่สอดคล้องและรองรับการทำงานในประเภทดังกล่าว

รายการอ้างอิง

- [1] Cecchini, G., Bazzi, A., Masini, B. M., & Zanella, A. (2017, November). **Performance comparison between IEEE 802.11 p and LTE-V2V in-coverage and out-of-coverage for cooperative awareness.** In 2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC) (pp. 109-114). IEEE.
- [2] Park, S., Kim, B., Yoon, H., & Choi, S. (2018). **RA-eV2V: Relaying systems for LTE-V2V communications.** Journal of Communications and Networks, 20(4), 396-405..
- [3] 3GPP. **Initial Cellular V2X standard** completed Release 14, RP-161919
- [4] Li, C. P., Jiang, J., Chen, W., Ji, T., & Smee, J. (2017, June). **5G ultra-reliable and low-latency systems design.** In 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC) (pp. 1-5). IEEE.
- [5] THIRUVASAGAM, Prabhu Kaliyammal; KOTAGI, Vijeth J.; MURTHY, C. Siva Ram. **The More the Merrier: Enhancing Reliability of 5G Communication Services With Guaranteed Delay.** IEEE Networking Letters, 2019, 1.2: 52- 55.
- [6] Al-Absi, M. A., Al-Absi, A. A., Kang, Y. J., & Lee, H. J. (2018, February). **Obstacles effects on signal attenuation in line of sight for different environments in v2v communication.** In 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (pp. 17-20). IEEE.
- [7] Nilsson, M. G., Vlastaras, D., Abbas, T., Bergqvist, B., & Tufvesson, F. (2015, April). **On multilink shadowing effects in measured V2V channels on highway.** In 2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP) (pp. 1-5). IEEE.
- [8] MIR, Zeeshan Hameed; FILALI, Fethi. **Simulation and performance evaluation of vehicle-to-vehicle (V2V) propagation model in urban environment.** In: 2016 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS). IEEE, 2016. p. 394-399.

- [9] 3GPP, **New SID on NR V2X** (Release 16) , RP-181480, 2018
- [10] NGUYEN, Hieu; XU, Xiaoli; GUAN, Yong Liang. **V2V Communications under the Shadowing of Multiple Big Vehicles**. In: 2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall). IEEE, 2019. p. 1-5.
- [11] Yang, M., Ai, B., He, R., Chen, L., Li, X., Huang, Z & Huang, C. (2018, October). **Path loss analysis and modeling for vehicle-to-vehicle communications with vehicle obstructions**. In 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP) (pp. 1-6). IEEE.
- [12] Rappaport, T. S., Xing, Y., MacCartney, G. R., Molisch, A. F., Mellios, E., & Zhang, J. (2017). **Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks—With a focus on propagation models**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 65(12), 6213- 6230.
- [13] He, R., Molisch, A. F., Tufvesson, F., Zhong, Z., Ai, B., & Zhang, T. (2014). **Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 15(5), 2237-2248.
- [14] Americas, G. **New services & applications with 5g ultra-reliable low latency communications**. 5G Americas, Tech. Rep, 2018.
- [15] SMITH, David R. **Digital transmission systems**. Springer science & business media, 2012.
- [16] Sheikh, Muhammad Usman, and Jukka Lempiäinen. "Analysis of vertical and horizontal sectorization in suburban environment using 3D ray tracing." 2016 23rd International Conference on Telecommunications (ICT). IEEE, 2016.
- [17] Park, Jae-Joon, et al. "Vehicle antenna position dependent path loss for millimeter-wave V2V communication." 2018 11th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM). IEEE, 2018.



ภาคผนวก ก

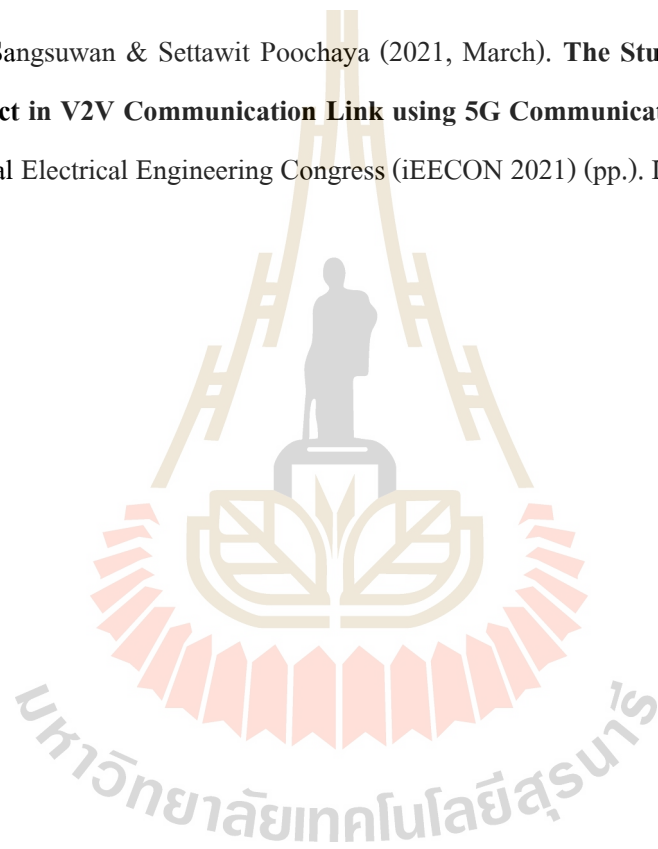
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ระหว่างการศึกษา

Nathat Sangsuwan & Settawit Poochaya (2020, August). **The Study of Path Loss and Shadowing effect in Vehicular Communication using 5G technology**. The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020)

Nathat Sangsuwan & Settawit Poochaya (2021, March). **The Study of Path Loss and Shadowing Effect in V2V Communication Link using 5G Communication Technology**. The 2021 International Electrical Engineering Congress (iEECON 2021) (pp.). IEEE.



EAT0017

The Study of Path Loss and Shadowing Effect in Vehicular Communication Using 5G Technology

Nathat Sangsuwan and Settawit Poochaya

School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology,
 Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

* Corresponding Author: M6113148@g.sut.ac.th; settawit@sut.ac.th

Abstract. The inflation of private vehicle usage in the past decade has led to increasing in road accident rate. V2X Communication was introduced in hope to lower the risk for daily commuters by using 5G Ultra-low latency frequency to communicate between vehicles. However, an obstacle still occurs in the current state resulting in Shadowing Effect which interferes with the signal received, and thus reduce the system performance. In addition, shadowing effect of small vehicle type is the lowest impact on communication between transmitting vehicle and receiving vehicle. This paper indicates how Path loss and Shadowing effect in term of received power on 5G communication in different environments.

Keywords: V2V, Path loss, Shadowing, Vehicle obstructions, Receiver power.

1. Introduction

Vehicle-to-vehicle (V2V) Communication is the famous technology. Due to the increasing in vehicles, vehicle-to-vehicle (V2V) Communication technology is used to communicate between vehicles, as well as to reduce accidents and provide road safety. The technology that was used with V2V Communication in the early stages was the IEEE 802.11p standard, with features that were able to support a variety of connections, that still the first technology according to [1]. And has developed LTE-V built for vehicles according to [2,3]. Later being presented as 5G Ultra-low latency communication (URLLC) technology that brings communication to the next level with communication at 1 ms latency and transmission of data has less faults, resulting in high reliability of data transmission according to [4,5]. Normally, V2V communication was usually nothing obstructed which in most cases will not cause problems in communication. Performances dropped sharply between vehicles obstacle communication according to [6] this case is shadowing.

Shadowing effect caused by having objects blocking or covering between communication. Result affects at receiver sector according to [7,8]. Receiver performances indicated as RSSI and Path loss. BER and PER are dropped depends on both parameters.

Each year, in traffic accidents, thousands of people were killed or injured. This issue can be solved using vehicular communication and V2V has been continuously developed which will be able to reduce the risk of accidents very well. V2V communications enhance by Ultra-low latency and Ultra-reliable technology. 3GPP working group proposed the development of

some functionalities for providing the enhancements of the traditional communication standards for both Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Network (V2N) communications, starting with the 3GPP Release-16 Study Item (SI) on NR-V2X according to [9].

This paper presents the study of path loss and shadowing effect on 5G Ultra-low latency at 700MHz and 2600MHz band. Our results represent the communication path loss with and without shadowing situation and receiver power in different three environments.

2. Simulation Models

This paper, used 700MHz and 2600MHz carrier frequency. Transmit power is indicated at 16 dBm. Both transmission and reception antenna gain are equal dBm for LOS and NLOS pathloss measuring. An environment set urban suburban and rural digest by distance 10 to 60 meters 60 to 460 meters and 200 to 1000 meters respectively. In LOS scenario is simulated assuming without obstacle vehicle Tx to vehicle Rx in three environments according to [10,11].

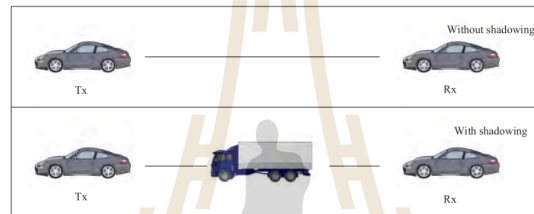


Figure 1. System infrastructure

Table 1. Vehicles path loss (VL).

Vehicle Types	Path loss (dB)
Small	2-8
SUV	8-10
Large or Truck	15-20

Table 2. Simulation parameters.

Parameters	Value
Frequency	700 MHz
Hbs	10 m
Hue	2 m
Pt	16 dBm
Gt	2.4 dBm
Gr	2.4 dBm
Urban distance	10 – 60 m
Suburban distance	60 – 460 m
Rural distance	200 – 1000 m

2.1. Urban

This scenario represents the city with distance between vehicles closing to each other. (distance between Vehicles 10-60 m)

LOS scenario presents as follow;

$$PL = 32.4 + 21\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (1)$$

NLOS scenario introduces as follow;

$$PL = 35.3 \log_{10}(d) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(f) - 0.3(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (2)$$

2.2. Suburban

This scenario, represents the situation is far away from city and less traffic (distance between Vehicles 60-460 m)

LOS scenario presents as follow;

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (3)$$

NLOS scenario introduces as follow;

$$PL = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (4)$$

2.3. Rural

This scenario, represents the rural or high way are clearly road situation. Vehicles are far to each other (distance between Vehicles 200-1000 m)

LOS scenario presents as follow;

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (5)$$

NLOS scenario introduces as follow;

$$PL = 161.94 - 7.1 \log_{10}(\omega) + 7.5 \log_{10}(h) - \left(24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2 \right) \log_{10}(h_{BS}) \\ + (43.42 - 3.1(h_{BS})) (\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE}) + (VL) \quad (6)$$

Where ω is 20 m and h is 20 m

2.4. Verify simulation

The results obtained are compared with the equations and reference graphs at 28 GHz frequency according to [12]. Thus, switched to 700 MHz and 2600 MHz frequencies.

3. Results

3.1. Path loss at 700MHz and 2600MHz

In Figure 2, Figure 3, and Figure 4 the red line presents LOS path loss of 700MHz and 2600MHz. Both frequency in Urban LOS environment at distance 10 meters is the greatest point of path loss and 60 meters is the weakness point of path loss at 50.3, 61.7 dB and 66.64, 78.04 dB respectively. Other lines show shadowing effect are obstacle between vehicle-to-vehicle (NLOS) in different vehicle types and different environment. Such as urban, suburban and rural Figure 2, Figure 3, and Figure 4 Small vehicles show the least path loss and large vehicle shows the most path loss according to [13]. When the distance between vehicle-to-vehicle increases, path loss also increases. Significant effects of path loss increase in terms system reliability such as SNR. As results, high path loss introduces low system performance. Thus, the chance of error message dissemination increases.

3.2. Receiver power at 700MHz and 2600MHz

Receiver power is maximum power to guarantee that the connection between vehicles will not fail by measuring the receiver power. Limit of sensitivity of 700MHz and 2600MHz are -95.6 dBm and -113 dBm respectively according to [14].

$$Pr = Pt + Gt + Gr - (PL + VL) \quad (7)$$

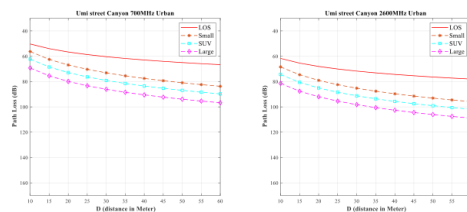


Figure 2. Path loss in urban

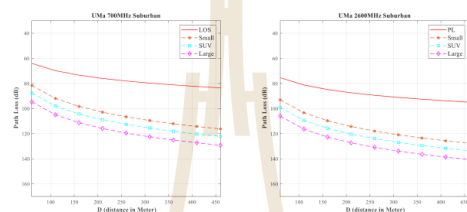


Figure 3. Path loss in suburban.

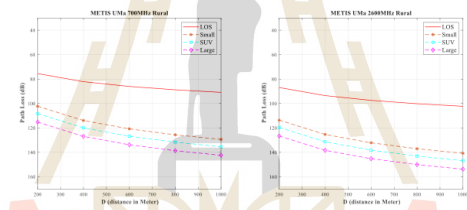


Figure 4. Path loss in rural.

For Figure 5, Figure 6, and Figure 7 shows receiver power in various vehicles types and different three environments. The black line presents the receiver sensitivity. Power received should below receiver sensitivity line to prevent connection loss. Results in three different environments without shadowing situation present receiver sensitivity, the receiving vehicle can receive transmission message for all vehicles types and environments. With shadowing effect, in suburban and rural environments receiving message cannot occur in SUV and Large vehicles obstacle

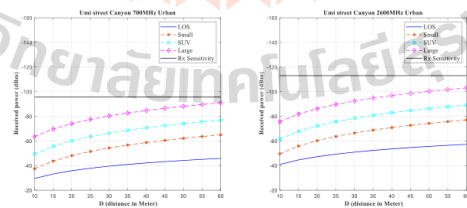


Figure 5. Receiver power in urban.

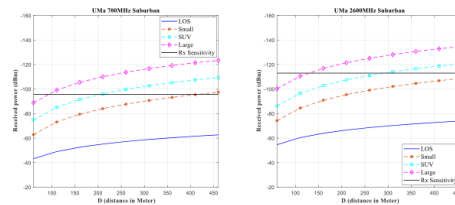


Figure 6. Receiver power in suburban.

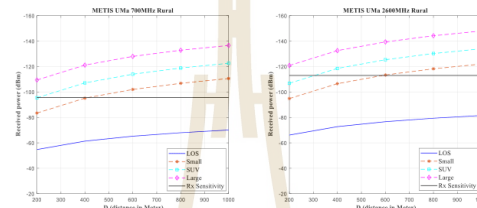


Figure 7. Receiver power in rural.

Conclusion

This paper presents the Study of Path Loss and Shadowing effect in Vehicular Communication using 5G technology with and without shadowing. Shadowing effect presents in terms of path loss. As results, propagation loss and receiver power performances dropped sharply according to vehicle size in different three environments. Shadowing effect causes V2V communication error or message reception failure. This work introduces the significance of shadowing effect on 5G V2X communication. Then, the solution of shadowing effect in 5G ultra low latency frequency band will determined in the future work.

References

- [1] CECCHINI, Giammarco, et al. 2017. Performance comparison between IEEE 802.11 p and LTE-V2V in-coverage and out-of-coverage for cooperative awareness. In: *2017 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*. IEEE, p. 109-114.
- [2] PARK, Seungil, et al. 2018. RA-eV2V: Relaying systems for LTE-V2V communications. *J. Comm. Net.*, 20,(4):396-405.
- [3] 3GPP. *Initial Cellular V2X standard completed Release 14*, RP-161919
- [4] LI, Chih-Ping, et al. 2017. 5G ultra-reliable and low-latency systems design. In: *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE, p. 1-5.
- [5] THIRUVASAGAM, Prabhu Kaliyammal; KOTAGI, Vijeth J.; MURTHY, C. Siva Ram. 2019. The More the Merrier: Enhancing Reliability of 5G Communication Services With Guaranteed Delay. *IEEE Networking Letters*, 1.2: 52-55.
- [6] AL-ABSI, Mohammed Abdulhakim, et al. 2018. Obstacles effects on signal attenuation in line of sight for different environments in v2v communication. In: *2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. IEEE, p. 17-20.
- [7] NILSSON, Mikael G., et al. 2015. On multilink shadowing effects in measured V2V channels on highway. In: *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, p. 1-5.

- [8] MIR, Zeeshan Hameed; FILALI, 2016. Fethi. Simulation and performance evaluation of vehicle-to-vehicle (V2V) propagation model in urban environment. In: *2016 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)*. IEEE, p. 394-399.
- [9] 3GPP, 2018. *New SID on NR V2X (Release 16)*, RP-181480,
- [10] NGUYEN, Hieu; XU, Xiaoli; GUAN, Yong Liang. 2019. V2V Communications under the Shadowing of Multiple Big Vehicles. In: *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*. IEEE, p. 1-5.
- [11] YANG, Mi, et al. 2018. Path loss analysis and modeling for vehicle-to-vehicle communications with vehicle obstructions. In: *2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*. IEEE, p. 1-6.
- [12] RAPPAPORT, Theodore S., et al. 2017. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks—With a focus on propagation models. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65.12: 6213-6230.
- [13] HE, Ruisi, et al. 2014. Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15.5: 2237-2248.
- [14] 5G Americas URLLC White Paper Final.



The Study of Path Loss and Shadowing Effect in V2V Communication Link using 5G Communication Technology

Nathat Sangsuwan
Telecommunication Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
m6113148@g.sut.ac.th

Settawit Poochaya
Telecommunication Engineering
Institute of Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand
settawit@sut.ac.th

Abstract— The increasing of private vehicles in a past decade indicates an increment of road accident rate. V2V communication is occurred with reducing of commuters risk on the road. However, vehicle obstructions along the road environments introduce shadowing effect. Consequently, system performance in receiver side are reduced in terms of received signal strength. As a result, the reduction of received power caused the effect to PER and other performance parameters. Then, this paper introduces the study of path loss and shadowing effect with 5G NR communication technology. Performance parameters are investigated in different environments.

Keywords—V2V, Path loss, Shadowing, Vehicle Obstruction, Receiver power.

I. INTRODUCTION

Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication is a famous technology due to the increase of vehicles. V2V communication technology is used to communicate between vehicles, as well as to reduce accidents and provide road safety. In the first technology, the V2V communication is release as per IEEE 802.11p standard, which can support more connection of V2V communication [1]. After that, the V2V communication has been developed as Long-Term-Evolution-Vehicle (LTE-V) according to [2-3]. Recently, 5G New Radio (NR) technology represents the next level of V2V communication. With the advantage of new technology, it provides the extreme throughput, edgeless connectivity, high reliability and the most famous is 1 ms of end-to-end latency. In the V2V communication is interested from many researchers to propose the attractiveness of 5G communication according to [4-5].

Normally, V2V communication was usually Line-of-Sight (LOS) situation. That will not problems in communication. However, while vehicles are obstacles between communication in Non-Line-of-Sight (NLOS) situation, causing performances dropped sharply between vehicles obstacle communication according to [6]. This case is called shadowing effect.

Shadowing effect caused by having objects blocking or covering communication. The result affects to receiver sector according to [7-8]. Receiver performance is indicated from RSSI and path loss,

which BER and PER are dropped depends on both parameters.

In each year, thousands of people were killed or injured from the traffic accidents. This issue can be solved using V2V communication, which can reduce the risk of accidents very well. V2V communications enhance by Ultra-low latency and Ultra-reliable technology. 3GPP working group proposed the development of some functionalities for providing the enhancements of the traditional communication standards for V2V communications and Vehicle-to-Network (V2N) communications, starting with the 3GPP Release-16 Study Item (SI) on NR-V2X according to [9].

This paper presents the study of path loss and shadowing effect on 5G at 700 MHz and 2600 MHz frequency band. Simulation results represent the communication performance such as path loss, receiver power and PER with and without shadowing effect situation in different three vehicle types and different three environments.

II. SIMULATION MODELS

This paper used 700 MHz and 2600 Mhz carrier frequency. Transmit power is indicated at 23 dBm. The transmit gain antenna is equal to the receiver gain antenna for LOS (Line-of-sight) and NLOS (Non-line-of-sight) path loss measuring as per Table II. Vehicular environments are configured as urban suburban and rural according to distance between vehicle 10 to 60 meters, 60 to 460 meters and 200 to 1000 meters, respectively. The LOS scenario is simulated with assuming without obstacle vehicle between transmitting and reception, and NLOS is assumed as obstacle vehicle between transmitting and reception with three environments and different three vehicle types according to [10-11].

A. Urban

This scenario presents city environment with distance between vehicles closing to each other. (distance between vehicles 10-60 meters)

LOS scenario presents as follow

$$PL = 32.4 + 21\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (1)$$

NLOS scenario introduces as follow

$$PL = 35.3 \log_{10}(d) + 22.4 + 21.3 \log_{10}(f) - 0.3(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (2)$$

B. Suburban

Low traffic density and distance between vehicle 60 - 460 meters are main environment of suburban scenario.

LOS scenario presents as follow

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (3)$$

NLOS scenario introduces as follow

$$PL = 13.54 + 39.08 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE} - 1.5) + (VL) \quad (4)$$

C. Rural

This scenario presents rural or high way with clearly road situation. Vehicles are far to each other. (distance between Vehicles 200 - 1000 meters)

LOS scenario presents as follow

$$PL = 28 + 22 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (5)$$

NLOS scenario introduces as follow

$$PL = 161.94 - 7.1 \log_{10}(\omega) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h/h_{TX})^2) \log_{10}(h_{TX}) + (43.42 - 3.1(h_{TX}))(\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f) - 0.6(h_{UE}) + (VL) \quad (6)$$

Where ω is 3.5 meters and h is 2 meters

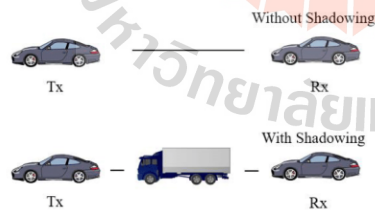


Fig. 1. System infrastructure.

TABLE I. VEHICLES LOSS

Vehicle Types	Vehicle loss (dB)
Small	2 - 8
SUV	8 - 10
Large or Truck	15 - 20

TABLE II. SIMULATION PARAMETERS

Parameters	Value
Frequency	700 MHz, 2600 MHz
Tx height (h_{TX})	2 meters
User Equipment height (h_{UE})	2 meters
Transmitting antenna (Pt)	23 dBm
Transmit Antenna Gain (Gt)	2.4 dBi
Receive Antenna Gain (Gr)	2.4 dBi
Urban distance	10 - 60 meters
Suburban distance	60 - 460 meters
Rural distance	200 - 1000 meters

III. RESULTS

A. Path loss

Path loss presents the attenuation of the signal in dB. In this paper, frequencies 700 MHz and 2600 MHz are used for simulation process, and vehicles are classified into small, SUV and large in three environments.

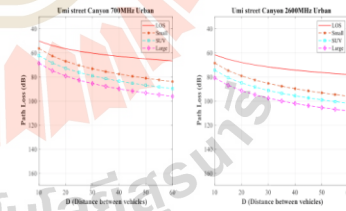


Fig. 2. Path loss in Urban at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

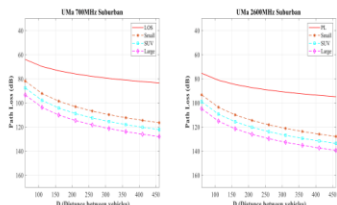


Fig. 3. Path loss in Suburban at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

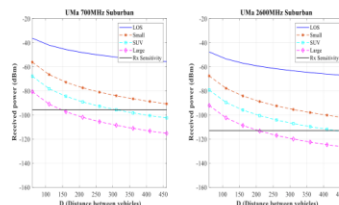


Fig. 6. Receiver power in Suburban at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

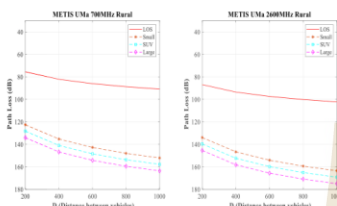


Fig. 4. Path loss in Rural at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

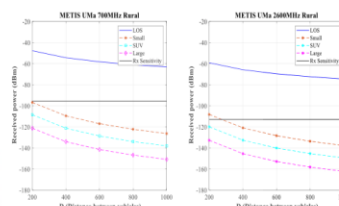


Fig. 7. Receiver power in urban at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

In Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4, the red line presents LOS Path loss of 700 MHz and 2600 MHz. Both carrier frequency in Urban LOS environment at distance as 10 meters is the optimal point of Path loss and 60 meters is the weakest point of Path loss at 50.3 dB, 61.7 dB, 66.64 dB and 78.04 dB, respectively. Dotted lines show shadowing effects that are obstructed by different vehicle types and different environments. For example, urban, suburban and rural are shown in Fig. 2, Fig. 3, and Fig 4. Small vehicles show the least Path loss, and large vehicles show the most path loss according to [13]. When the distance between increases, path loss increases, SNR is the significant parameter. Whereas, high path loss introduces low system performance. Thus, the chance of error message dissemination increases.

B. Receiver power

Received power sensitivity guarantee connection loss between communication link. Referring to [14], received sensitivity -95.6 dBm is configured for 700 MHz and -113 dBm for 2600 MHz

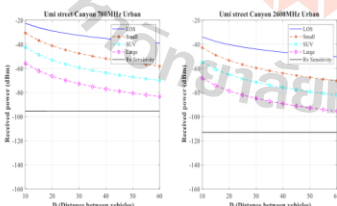


Fig. 5. Receiver power in Urban at frequency left: 700 MHz and right: 2600 MHz

Fig. 5, Fig. 6, and Fig. 7 show receiver power in various vehicles types and different three environments. The black line shows the receiver sensitivity. Power received should be higher than receiver sensitivity line to prevent connection loss. The dotted line shows receiver power with shadowing effect in different three vehicle types. Fig. 5 shows the results of 700 MHz and 2600 MHz in urban environment that all useable while vehicles are obstructed by three vehicle types. Fig. 6 shows the result of Suburban environment. These showing at 700 MHz communications are obstructed by three vehicle types. That can be used with a distance up to 460 meters, 300 meters, and 150 meters, respectively. At 2600 MHz can be used with a distance up to 460 meters, 450 meters, and 210 meters, respectively. Fig. 7 shows the result of rural environment. These showing at 700 MHz communications are obstructed by three vehicle types. All of these are changed to connection loss. At 2600 MHz communication are obstructed by a small vehicle. That can be used with a distance up to 300 meters. Received power are obstructed by other vehicle types. That cannot used cause a chance of connection loss. Simulation results indicating shadowing effect occurred at received power and error on data reception.

C. Packet Error Rate

For Fig. 8, Fig. 9, and Fig. 10 shows PER in 2600 Mhz with and without Shadowing effect situation in various vehicles types and different three environments. From the graph it shows the large vehicle obstruction between V2V communications that highest chance of sending error in PER. In urban environment, large vehicle SUV and small vehicle

ประวัติผู้เขียน

นายณรรต สังกุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม พุทธศักราช 2538 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง จังหวัดกรุงเทพมหานคร และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากนั้นศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระหว่างศึกษาได้นำเสนอบทความเข้าร่วมประชุมในงานประชุมนานาชาติ The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2563

และการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติในงาน The 2021 International Electrical Engineering Congress หรือ iEECON 2021 ณ โรงแรมพูลแมน พัทยา จี, พัทยา จังหวัด ชลบุรี ประเทศไทย ในวันที่ 10-12 มีนาคม 2564



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี