

การพัฒนาและทดสอบ ระบบขีปนาวุธรับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ และเชื่อมต่อกับเทคโนโลยี 5G

DEVELOPMENT AND TESTING OF
5G CONNECTED AND AUTONOMOUS SHUTTLE

สรวิศ นฤปิต¹

นิกสิทธ์ นุ่มวงษ์²

วิทยากร อัสดรวิเศษ³

ภาณุวัฒน์ จันทรภักดี⁴

กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย⁵

พีรพล เวทีกุล⁶

Sorawit Narupiti¹

Nuksit Noomwongs²

Widhyakorn Asdornwised³

Panuwat Janpugdee⁴

Kultida Rojviboonchai⁵

Peerapon Vateekul⁶

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330^{1 ถึง 6}

Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand^{1 to 6}

Corresponding E-mail : Sorawit.n@chula.ac.th

Received Date July 17, 2023
Revised Date April 21, 2024
Accepted Date April 23, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบขับเคลื่อนยานยนต์ไร้คนขับโดยใช้อัตราเร็วที่ต่ำลงซึ่งสามารถขับเคลื่อนได้ในบางสถานการณ์ (อัตราเร็วระดับ 3) และทดสอบการสื่อสารระหว่างยานยนต์อัตโนมัติกับภายนอกด้วยเทคโนโลยี 5G-V2X รวมทั้งทดสอบการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยบนท้องถนน โดยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง ผลการพัฒนาและทดสอบระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติพบว่า การระบุตำแหน่งของรถด้วยวิธี NDT มีความแม่นยำ ระบบควบคุมการเคลื่อนอัตโนมัติสามารถเก็บข้อมูลตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง ทั้งโหมดการขับเคลื่อนอัตโนมัติและโหมดมีคนขับได้ สามารถระบุตำแหน่งบนแผนที่ความละเอียดสูงได้แม่นยำและปลอดภัยทั้งระบบควบคุมการวิ่งของรถระดับสูงและระบบควบคุมระดับล่าง ด้านผลการทดสอบการสื่อสารระหว่างยานยนต์อัตโนมัติกับภายนอกในรูปแบบ C-V2X ด้วยเทคโนโลยี 5G พิจารณาจากพารามิเตอร์หลัก 3 ตัว คือ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล ความหน่วงเวลา และอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูล พบว่า การสื่อสารผ่านเครือข่าย 5G มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการทดสอบการใช้งานในโครงการ สำหรับการทดสอบการใช้งาน 5G มอดูลด้านความปลอดภัย ได้แก่ มอดูลตรวจสอบอาการง่วงนอน มอดูลนับจำนวนผู้โดยสาร มอดูลสตรีมมิงวิดีโอหลายแหล่งแบบเรียลไทม์ มอดูลแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุ รวมทั้งเว็บแอปพลิเคชันการจัดการและแดชบอร์ดสำหรับสังเกตการณ์ ซึ่งประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ยานยนต์ไร้คนขับ ยานยนต์ไร้คนขับโดยใช้อัตราเร็วที่ต่ำลงและเชื่อมต่อ 5G การใช้งาน

Abstract

This research was aimed at developing an automatic passenger transport vehicle driving system that could drive itself in certain situations (Level 3 automation) and testing the communication between the autonomous vehicle and external environment using 5G-V2X technology. The use cases on operation related to road safety were also tested. Employing the experimental research method, it was found that the NDT method for vehicle localization was accurate. The automatic driving system could collect data on position, speed, and acceleration, both in autonomous mode and manual mode. Localization on high-resolution maps was accurate, and both high- and low-level vehicle operation control systems were safe. The test results on the communication between autonomous vehicle and external environment in the C-V2X format through 5G network based on three main parameters: data transmission rate, latency, and data loss rate; found that the communication through 5G network was efficient enough for the project's use case. The five safety modules including drowsiness detection module, passenger counting module, multi-source real-time video streaming module, accident alert module, and web application and dashboard for monitoring, were tested, by applying AI in data analysis, and found efficient.

Keywords: autonomous vehicle, 5G connected autonomous shuttle, use case

1. บทนำ

จากสถิติขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) (2018) พบว่า การเสียชีวิตจากการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนทั่วโลกมีอยู่ประมาณ 1.35 ล้านคนต่อปี การเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเป็นอันดับที่ 8 ของประชากรโลก และเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 1 ของเด็กในกลุ่มอายุ 5-14 ปี และเยาวชนอายุ 15-29 ปี อีกทั้งสภาพการณ์ดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศของแต่ละประเทศประมาณร้อยละ 3 จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนเกิดจากความผิดพลาดของผู้ขับขี่ (human error) ดังนั้น จึงมีผู้สนใจสร้างระบบการขับขี่อัตโนมัติ (ยานยนต์ไร้คนขับ) เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความผิดพลาดจากการขับขี่ของมนุษย์ ซึ่งความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีปัจจุบัน ทำให้ทั่วโลกมีความพยายามนำเอาระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เข้ามาใช้ เพื่อช่วยให้การขับขี่มีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ลดปัญหาความผิดพลาด และลดการขับขี่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุของมนุษย์

การนำแนวคิดปัญญาประดิษฐ์เข้ามาใช้ในระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติมีหลายระดับ เช่น การตรวจสอบ การควบคุมการทำงานของกลไกยานยนต์ ซึ่งมีตั้งแต่ระดับพื้นฐานไปจนถึงควบคุมและตัดสินใจในการขับขี่โดยอัตโนมัติทั้งหมด (fully automated) ซึ่งปัจจุบันหลายประเทศมีการศึกษาวิจัย ผลิต สร้างต้นแบบ และเริ่มใช้งานยานยนต์ไร้คนขับสู่ท้องถนน รวมถึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบนโยบายและข้อบังคับอย่างเร่งด่วนเพื่อรองรับการใช้งานระบบยานยนต์อัตโนมัติในระบบขนส่ง

ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติในระยะใกล้จะสามารถขับเคลื่อนและตัดสินใจโดยอาศัยระบบเซนเซอร์ของรถเองได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องการตัดสินใจระยะไกล รถจำเป็นต้องมีข้อมูลจากรถข้างเคียง (Cellular Vehicle-to-Vehicle: C-V2V) สภาพเส้นทางและการจราจร และข้อมูลจากแหล่งอื่น ๆ ประกอบ อาทิ Cellular Vehicle-to-Infrastructure: C-V2I หรือ Cellular Vehicle-to-Network: C-V2N นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่มการตระหนักถึงความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ได้ในยามฉุกเฉิน เช่น มีข้อความหรือเสียงแจ้งเตือนผู้ขับขี่ ซึ่งการสื่อสารเหล่านี้ทำงานผ่านเทคโนโลยี 5G ได้ ดังนั้น การสื่อสารข้อมูลโดยใช้เครือข่าย 5G สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการตัดสินใจในการขับเคลื่อนอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

จากเหตุผลข้างต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อพัฒนาการสร้างระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ โดยนำเทคโนโลยี 5G ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาล่าสุด มีเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย และพร้อมใช้งานเชิงพาณิชย์มาใช้ทดสอบการสื่อสารในลักษณะ Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) โดยศึกษาและทดสอบการทำงาน พร้อมทั้งพิจารณาข้อกำหนดทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การขับเคลื่อนอัตโนมัติเป็นไปอย่างปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติรับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติที่สามารถขับชี้แทนคนได้ในบางสถานการณ์ (อัตโนมัติระดับ 3) โดยศึกษาการใช้เซนเซอร์ควบคุมรถและทดสอบการใช้งาน (use cases) ในพื้นที่ที่กำหนด

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารของยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในรูปแบบ C-V2X ผ่านเทคโนโลยี 5G และทดสอบการใช้งานจริงในพื้นที่ที่กำหนด

2.3 เพื่อทดสอบการใช้งานของเทคโนโลยี 5G-V2X ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยบนท้องถนนที่ติดตั้งอยู่บนยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ

3. วิธีการศึกษา

3.1 กรอบการศึกษา

การพัฒนาและทดสอบระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติโดยผู้โดยสารอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี 5G ใช้ยานยนต์อัตโนมัติในระดับขั้นที่ 3 ซึ่งมีลักษณะเป็นรถสำหรับการขนส่งผู้โดยสาร (autonomous shuttle) ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าล้วน (Battery Electric Vehicle: BEV) จำนวน 3 คัน เป็นเครื่องมือทดสอบ พัฒนาโดยบริษัท Turing ของสาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน) ดังภาพที่ 1 โดยงานวิจัยนี้พัฒนารถทั้ง 3 คันให้มีคุณสมบัติและความสามารถเหมือนกันทั้งหมดเพื่อใช้ในการทดสอบ และกำหนดชื่อรถ T1, T2-W และ T2-B ซึ่งการพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติดังกล่าวประกอบด้วย 1) ระบบเซนเซอร์ เช่น ระบบระบุตำแหน่งพิกัดด้วยระบบดาวเทียมนำร่อง (Global Navigation Satellite System: GNSS) กล้อง และระบบตรวจจับแสงและวัดระยะ (Light Detection and Ranging: LiDAR) 2) ระบบควบคุมการขับเคลื่อนที่ติดตั้งอยู่ในรถ 3) อุปกรณ์เชื่อมโยงการสื่อสารเครือข่าย 5G ผ่านโครงข่ายสาธารณะ (public network) ย่านความถี่ 2,600 MHz แบนด์วิดท์ 100 MHz และ 4) อุปกรณ์รวบรวมข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลเพื่อการพัฒนาและทดสอบการใช้งาน



ภาพที่ 1 ยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในโครงการ

การวิจัยนี้ มีกรอบการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2 เป็นการพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยี (technology innovation) ด้านยานยนต์อัตโนมัติและการใช้งาน โดยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) 5G Physical Cell ID (PCI) จาก Log file ของอุปกรณ์ CPE (โดยความร่วมมือของผู้ผลิตไต้หวัน) ในพื้นที่ทดสอบ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวนทั้งสิ้น 7 สถานีฐาน (base station) ได้แก่ สถานีฐานที่มี PCI no. 306, 307, 324, 326, 436, 464 และ 689 ตามลำดับ

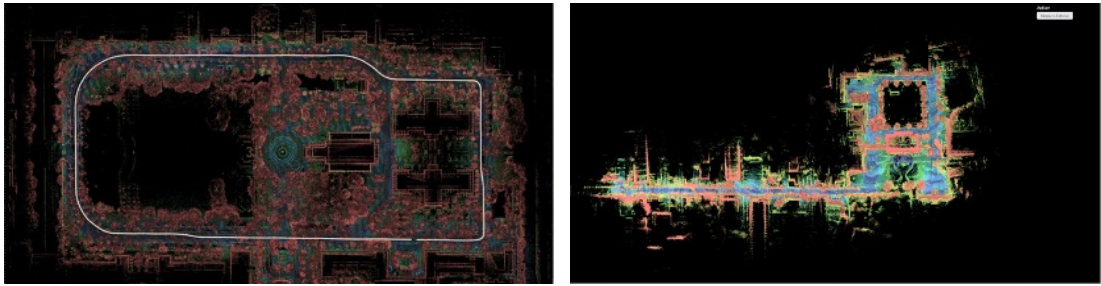


ภาพที่ 2 กรอบการศึกษาวิจัย

ทั้งนี้ สถานีฐาน PCI no. 689 ซึ่งอยู่บริเวณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ พบว่า มีการดาวน์โหลดอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (throughput) ต่ำกว่าปกติมาก ในขณะที่อัปโหลดอัตราเร็วในการส่งข้อมูลจะมีใกล้เคียงค่าเฉลี่ย โดยค่าความหน่วงเวลา (latency) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (หลายเท่าตัว) บริเวณสถานีฐาน PCI no. 689 เช่นกัน เมื่อประสานกับทางโอเพอร์เรเตอร์ได้รับการชี้แจงว่า สาเหตุอาจเนื่องจาก cell coverage overlap ซึ่งเมื่อปรับทิศทางและทำ network optimization ใหม่ สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

3.2 การพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติไร้คนขับ

การพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติไร้คนขับเป็นการนำยานพาหนะมาพัฒนาต่อจากระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยการพัฒนาระบบขับเคลื่อนให้อยู่ในระดับการควบคุมขั้นสูง (high level control) ของระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย การพัฒนาส่วนระบุตำแหน่ง (localization) ใช้งานร่วมกับการพัฒนาแผนที่ความละเอียดสูง (High Definition map: HD map) และการวางแผนการวิ่ง (path planning) ใช้ในการขับเคลื่อน โดยการพัฒนาระบบบนโปรแกรมโอเพนซอร์ส ชื่อ AUTOWARE วิธีที่เลือกใช้ในการวางแผนการวิ่ง ใช้วิธีการสร้างจุดเส้นทางการวิ่ง (way point) บนแผนที่ความละเอียดสูงที่สร้างขึ้น แล้วใช้อัลกอริทึม pure pursuit ในการควบคุมให้รถแล่นตามจุดเส้นทางการวิ่ง ที่ได้จัดทำไว้ดังตัวอย่างในภาพที่ 3

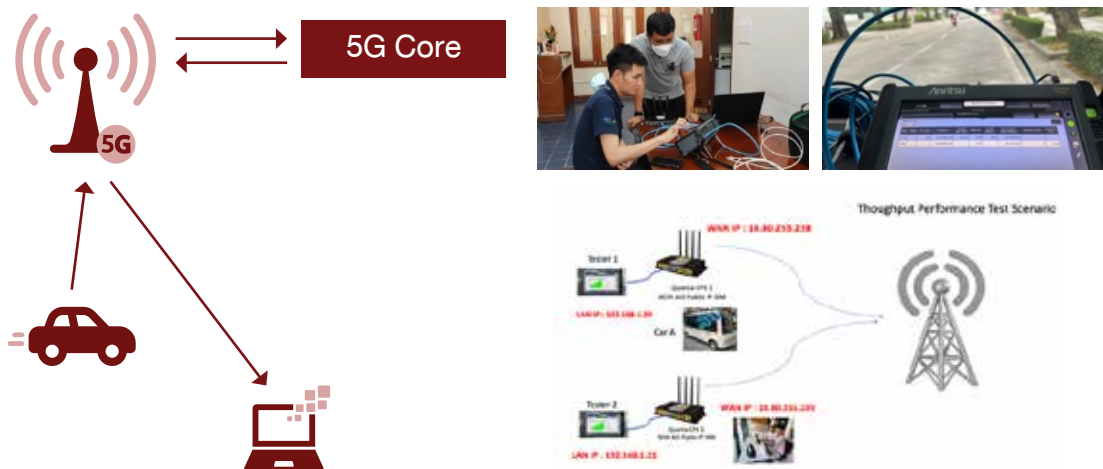


ภาพที่ 3 จุดเส้นทางวิ่งของยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ
บนแผนที่ความละเอียดสูงในบริเวณพื้นที่ทดสอบในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และพื้นที่สำนักงาน กสทช.

3.3 การทดสอบการสื่อสารผ่านเทคโนโลยี 5G

เครือข่ายสื่อสาร 5G ที่ใช้ในการทดสอบการสื่อสารสำหรับระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติรับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติเป็นเครือข่ายสาธารณะที่ให้บริการเชิงพาณิชย์ ในย่านความถี่ 2,600 MHz และเป็นเครือข่ายแบบ 5G Stand Alone (SA) โดยติดตั้งคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (server) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ประจำที่) และรถวิ่งรอบสนามหญ้าหน้าหอประชุมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นระยะทาง 200-1,500 เมตร โดยใช้งานร่วมกับผู้ใช้บริการเครือข่าย 5G ทั่วไป เก็บข้อมูล เป็นเวลา 2 เดือน เดือนละ 3 วัน วันละ 6 ชั่วโมง ช่วงเวลาบ่าย ในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและพื้นที่สำนักงาน กสทช.

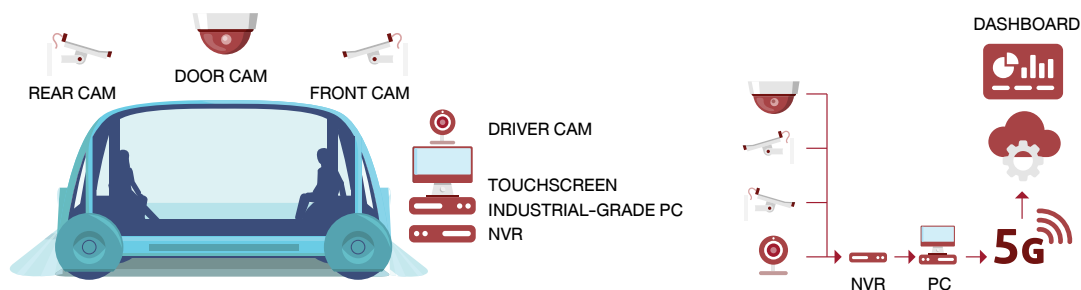
การทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเครือข่าย 5G มีรูปแบบการทดสอบ ดังภาพที่ 4 โดยติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารชนิด 5G (Customer Premise Equipment: CPE) หรือ 5G router ใส่บัตรระบุผู้เช่า (SIM card) บนยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ และอีกด้านหนึ่งติดตั้งกับอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่กับที่ เช่น operation dashboard การทดสอบใช้วิธีสร้างข้อมูลจำลองเสมือนจริง ส่งจากยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ ขณะขับเคลื่อนตามเส้นทางทดสอบผ่านเครือข่าย 5G มายังอุปกรณ์ปลายทางที่ operation dashboard และวัดค่าพารามิเตอร์หลัก 3 ตัว ได้แก่ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล ความหน่วงเวลา และอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูล (packet loss rate) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการสื่อสารในชั้นเครือข่าย (network) การสร้างข้อมูลจำลอง ทำโดย 2 วิธี คือ 1) การใช้อุปกรณ์ทดสอบเครือข่าย network master pro และ 2) การใช้โปรแกรมทดสอบเครือข่าย iPerf และ HrPing ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



ภาพที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเครือข่ายระบบ 5G

3.4 การออกแบบและพัฒนการใช้งาน

การออกแบบและพัฒนการใช้งานที่ใช้การสื่อสารเครือข่าย 5G ร่วมกับระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ เป็นการแบ่งปันข้อมูลผ่านการติดต่อสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ (V2V) การติดต่อสื่อสารระหว่างรถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน (V2I) และการติดต่อสื่อสารระหว่างรถยนต์กับเครือข่าย (V2N) โดยการออกแบบการใช้งาน ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ เช่น เซนเซอร์ กล้อง NVR และ PC ทำงานร่วมกับบริการต่าง ๆ บนเครื่องแม่ข่าย มีการพัฒนาสถาปัตยกรรม Vehicular-edge-cloud computing ขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 ประกอบไปด้วยส่วนที่ติดตั้งอยู่บนระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติและส่วนที่ติดตั้งบนเครื่องแม่ข่าย สาธารณะ การพัฒนากการใช้งาน แบ่งการทำงานเป็นมอดูลย่อย ๆ ได้แก่ 1) มอดูลตรวจจับอาการง่วงนอน 2) มอดูลนับจำนวนผู้โดยสาร 3) มอดูลสตรีมมิงวิดีโอหลายแหล่งแบบเรียลไทม์ 4) มอดูลแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุ และ 5) เว็บแอปพลิเคชันการจัดการและแดชบอร์ดสำหรับสังเกตการณ์



ภาพที่ 5 สถาปัตยกรรมของระบบ Vehicular-edge-cloud computing

4. การทบทวนวรรณกรรม

4.1 เทคโนโลยี Connected and Autonomous Vehicle

เทคโนโลยี Connected and Autonomous Vehicle (CAV) ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) Sensing เป็นการตรวจจับและวัดวัตถุรอบรถโดยใช้ระบบตรวจจับต่าง ๆ เช่น GNSS, LiDAR, RADAR และเซนเซอร์อื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและครอบคลุม
- 2) Communication เป็นการสื่อสารระหว่างรถกับระบบอื่น ๆ เช่น V2V, V2I และ V2C หรือ V2N เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพ
- 3) Cloud services เป็นการประมวลผลและเก็บข้อมูลผู้ใช้งานเซิร์ฟเวอร์ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพ
- 4) Computing เป็นการประมวลผลข้อมูลและการตัดสินใจเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมรอบตัวรถ
- 5) Actuation เป็นการควบคุมการทำงานของรถ เช่น การเบรกและเลี้ยว เทคโนโลยี CAV มุ่งเน้นการเพิ่มความปลอดภัยของการขับขี่ ประสิทธิภาพการจราจร ลดการใช้พลังงาน และลดการเกิดมลพิษ

4.2 ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ

ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีและเซนเซอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ยานยนต์สามารถทำงานได้เองโดยไม่ต้องมีผู้ขับขี่ หรือถูกควบคุมโดยผู้ขับขี่น้อยลง มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ การรับรู้สิ่งแวดล้อม (perception) ซึ่งใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจจับ ระบุวัตถุและสภาพแวดล้อมรอบตัวรถ ระบบวิเคราะห์และการตัดสินใจ (analysis and decision-making) จะใช้ข้อมูลวิเคราะห์และตัดสินใจในการขับขี่ ระบบควบคุม (control system) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของยานยนต์ ระบบเชื่อมต่อ (connectivity system) ใช้เพื่อเชื่อมต่อระหว่างรถยนต์กับระบบอื่น ๆ เมื่อทำการพัฒนาระบบเหล่านี้เข้าด้วยกันทำให้ยานยนต์สามารถขับขี่ได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ หน่วยงาน SAE International จำแนกระดับการพัฒนาระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับที่ 0 คือ ไม่มีระบบช่วยเหลือในรถ ผู้ขับขี่ต้องรับผิดชอบการขับขี่ทั้งหมด

ระดับที่ 1 คือ มีระบบช่วยเตือนหรือช่วยเหลือในการขับขี่อย่างง่าย ผู้ขับขี่ต้องรับผิดชอบการขับขี่ทั้งหมด

ระดับที่ 2 คือ มีระบบช่วยเหลือในการขับขี่ร่วมกันหลายฟังก์ชัน โดยผู้ขับขี่ต้องควบคุมรถ เมื่อระบบไม่สามารถจัดการได้

ระดับที่ 3 คือ มีระบบขับขี่อัตโนมัติสามารถขับทดแทนคนได้ในบางสถานการณ์ แต่ผู้ขับขี่ต้องอยู่ในตำแหน่งพร้อมควบคุมรถเมื่อระบบไม่สามารถจัดการได้

ระดับที่ 4 คือ มีระบบขับขี่อัตโนมัติสามารถขับทดแทนคนได้ทั้งหมด ในสถานะที่เหมาะสม ผู้ขับขี่ไม่ต้องรับภาระการควบคุมรถ เว้นแต่ในสถานการณ์ฉุกเฉิน

ระดับที่ 5 คือ มีระบบขับขี่อัตโนมัติสามารถขับทดแทนคนได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่จำเป็นต้องมีคนนั่งควบคุมในรถ รถยนต์สามารถใช้ในรูปแบบบริการใหม่ได้มากขึ้น

4.3 เทคโนโลยี 5G

เทคโนโลยี 5G เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายยุคที่ 5 ที่มีการพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายให้เสถียรและเร็วขึ้น ทำให้สามารถเข้ามาเพิ่มศักยภาพในภาคอุตสาหกรรม ภาคการศึกษา ด้านการแพทย์ และด้านอื่น ๆ สำหรับการพัฒนาระบบขับขี่ยานยนต์อัตโนมัติที่ต้องอาศัยการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์บนรถมาใช้ในการประมวลผลให้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้นบนท้องถนนได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัย ทันต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องมีการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายที่มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูง มีความหน่วงต่ำ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยี 5G ถือได้ว่าเป็นส่วนเติมเต็มการพัฒนาความสามารถของยานยนต์ไร้คนขับให้มีศักยภาพเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำเทคโนโลยี 5G มาทำงานร่วมกับ edge computing จะสามารถพัฒนาระบบขับขี่ยานยนต์อัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพและความชาญฉลาดมากขึ้น สามารถเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนนและเพิ่มประสิทธิภาพของการจราจรและการขนส่งในอนาคต

4.4 เทคโนโลยี 5G-V2X ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยบนท้องถนน

การใช้งานของเทคโนโลยี 5G-V2X ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยบนท้องถนน ได้แก่

4.4.1 การตรวจจับผู้ขับขี่ที่มีอาการง่วงผ่านกล้องที่ติดอยู่ในรถยนต์ งานวิจัยและบริษัทต่าง ๆ ได้พัฒนาระบบการตรวจจับผู้ขับขี่ที่มีอาการง่วงผ่านกล้องที่ติดอยู่ในรถยนต์ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน โดยใช้หลักการส่งผ่านข้อมูลภายในรถยนต์กลับไปยังศูนย์ควบคุมกลาง (C-V2N) เป็นหลัก

4.4.2 การเชื่อมต่อรถยนต์กับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัย บริษัทและงานวิจัยต่าง ๆ ได้ศึกษาและพัฒนาระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับโครงข่ายพื้นฐาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยบนท้องถนน

4.4.3 การตรวจจับและนับจำนวนผู้โดยสารในรถยนต์ ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อตรวจจับและนับจำนวนผู้โดยสารในรถยนต์ และนำผลที่ได้มาแสดงผลแบบทันทีบน BI dashboard เพื่อประเมินพฤติกรรมของคนขับและผู้โดยสาร ซึ่งผลการรายงานในส่วนนี้จะถูกควบคุม ณ ส่วนประมวลผลส่วนกลาง เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับรถโดยสาร

ทั้งนี้ เทคโนโลยี 5G-V2X สามารถนำมาใช้งานเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน แต่การนำไปประยุกต์ใช้ต้องพิจารณาและคำนึงถึงสภาพท้องถนนและปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอาจใช้ร่วมกับเทคนิคการทำนายความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุด้วยการทำเหมืองข้อมูล (data mining) และการวิเคราะห์ข้อมูลจริงของการเกิดอุบัติเหตุ หรือในการตรวจจับพฤติกรรมของคนขับ

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการทดลองระบบจับป้ายยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ

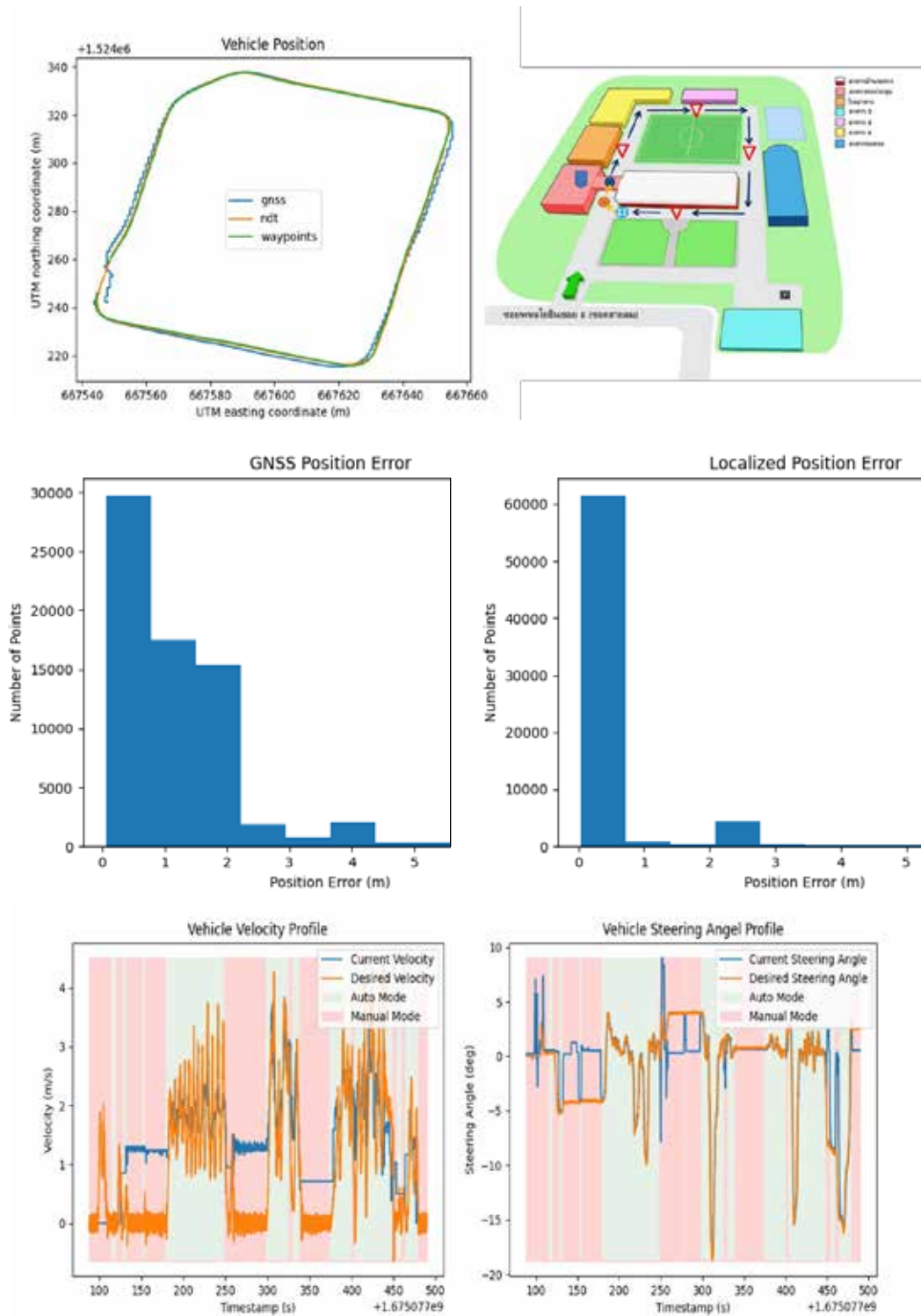
การทดลองการใช้งานจริงของรถต้นแบบ ได้ดำเนินการทั้งในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงาน กสทช. ทดสอบทั้งช่วงเวลากลางคืนและกลางวัน ซึ่งผู้วิจัยคำนึงถึงความปลอดภัยระหว่างการทดสอบโดยมีผู้ควบคุมการทดลอง (safe driver) และผู้ช่วย (safe driver assistant) ตลอดเวลา และมีการเก็บข้อมูลของรถ เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว และโหมดการขับขี่ (แบบอัตโนมัติหรือแบบขับขี่ด้วยคน manual) ไว้ด้วย ภาพการทดลองทั้งสองบริเวณดังแสดงในภาพที่ 6 และในช่วงที่มีการทดสอบร่วมกับระบบ operation dashboard (VDO Wall) ได้เก็บข้อมูลความเร็วและความหน่วงเวลาของการดาวน์โหลดข้อมูลที่ operation dashboard ไว้ด้วย ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 1 และข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากระบบดาวเทียมนำร่อง และจากการระบุตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งในแผนที่ แบบ Normal Distributions Transform (NDT) และข้อมูลความเร็วและมุมเลี้ยวของรถขณะทดลองจำแนกตามคันรถ (T1, T2-W และ T2-B) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การทดสอบยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในพื้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบการส่งข้อมูลจากรถทั้ง 3 คัน ไปยัง operation dashboard (VDO Wall) ในพื้นที่ทดสอบ สำนักงาน กสทช.

Station	Download speed (MB/s)			Upload speed (MB/s)					
	Min	Average	Max	Min	Average	Max			
T1	1.00	13.00	13.12	0.10	0.35	2.43			
T2B	0.00006	2.81	19.19	0.001	336.72	428.15			
T2W	0.00009	5.77	19.26	0.0001	180.83	246.79			
Videowall	0.03	174.70	276.19	0.003	6.82	6.84			
Operation	Latency (ms)								
	Min			Average			Max		
dashboard	T1	T2B	T2W	T1	T2B	T2W	T1	T2B	T2W
	18.70	18.95	1.04	30.28	33.27	33.91	152.59	854.62	753.07



ภาพที่ 7 ตัวอย่างผลการทดลองวิ่งรถอัตโนมัติ (รถ T1) ในพื้นที่ทดสอบ สำนักงาน กสทช.

จากผลการทดลองพบว่า

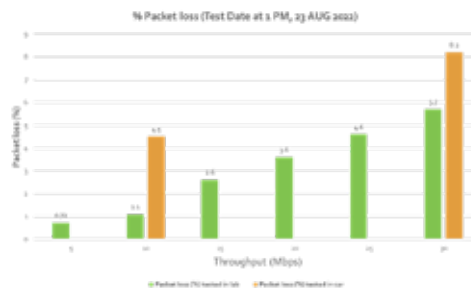
5.1.1 ระบบการขับขี่ยานยนต์อัตโนมัติสามารถระบุได้ว่า ในช่วงเวลาใดรถกำลังขับอยู่ในโหมด ขับขี่ด้วยคน (manual mode) หรือขับอัตโนมัติ (autonomous mode) ในด้านความแม่นยำของข้อมูล ตำแหน่งที่ได้จาก GNSS และจากการระบุตำแหน่ง เทียบกับตำแหน่งในแผนที่ (NDT) พบว่า ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GNSS มากกว่าจากการระบุตำแหน่ง ทั้งการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำนักงาน กสทช. โดยภาพที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GNSS และจากการระบุตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งในแผนที่ โดยแกน X แสดงความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งในหน่วยเมตร และแกน Y แสดงถึงจำนวนข้อมูล โดยข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GNSS มีความคลาดเคลื่อนในระดับต่ำกว่า 1 เมตร น้อยกว่าข้อมูลตำแหน่งจากการระบุตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งในแผนที่อย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากการทดลอง ยังไม่ได้ใช้อัลกอริทึม RTK (Realtime Kinematics) มาใช้ ทำให้ความคลาดเคลื่อนที่ขึ้นมาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ ระหว่างการทดลองที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและสำนักงาน กสทช. พบว่า ความคลาดเคลื่อนจากการระบุ ตำแหน่ง ไม่แตกต่างกัน แต่ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจาก GNSS ที่สำนักงาน กสทช. มีแนวโน้มสูงกว่า เล็กน้อย เนื่องจากมีอาคารอยู่ใกล้เส้นทางวิ่งมากกว่าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้เกิดการบดบังสัญญาณ หรือเกิด Multi-path ขึ้น

5.1.2 การเก็บข้อมูลของรถ สามารถเก็บข้อมูลของรถได้ เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว ความเร่ง และ โหมดการขับขี่ (แบบอัตโนมัติหรือแบบขับด้วยคน manual) ดังแสดงในภาพที่ 7 และพบว่า มีการตอบสนอง ต่อการควบคุมความเร็วยังไม่เสถียรมากนัก ในระยะยาวหากต้องการวิ่งที่ความเร็วสูงขึ้น การตอบสนองของ ระบบควบคุมระดับล่างต้องเร็วและแม่นยำมากขึ้น จึงควรมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในระบบควบคุมใหม่ แต่ในย่านความเร็วและรูปแบบการวิ่งทดลองในปัจจุบัน ยังสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย การตอบสนอง ต่อการเลี้ยวพบว่า สามารถตอบสนองได้ค่อนข้างแม่นยำในช่วงที่วิ่งด้วยระบบอัตโนมัติ ความเร็วในการตอบสนอง อยู่ในย่านที่ยอมรับได้

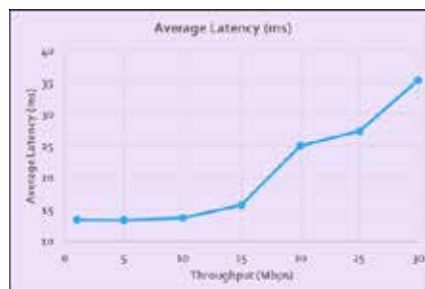
5.1.3 การทดสอบร่วมกับระบบ operation dashboard (VDO Wall) ได้ดำเนินการเก็บข้อมูล ความเร็วและความหน่วงเวลาของการดาวน์โหลดข้อมูล ที่ operation dashboard จากการทดสอบการส่งข้อมูล ของเซนเซอร์ผ่านเครือข่าย 5G โดยทำการทดลองพร้อมกันของยานยนต์อัตโนมัติทั้ง 3 คัน คือ รุ่น T1, T2-W และ T2-B ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในการทดลองเป็นการส่งข้อมูลเพื่อใช้ตรวจสอบการทำงานของรถ ขณะทดลอง ซึ่งเพียงพอแม้จะพบค่าความหน่วงเวลามากในบางช่วงของการทดลอง แต่ความหน่วงเฉลี่ย ยังอยู่ในย่านที่สามารถใช้งานเพื่อการตรวจสอบได้อย่างไม่มีปัญหา (วิดีโอเกิดการกระตุกเล็กน้อย) แต่หาก การส่งข้อมูลจากเซนเซอร์มาเพื่อใช้ประมวลผลและส่งกลับไปควบคุมหรือสั่งการที่รถ จะมีหลายช่วงที่มีความหน่วง สูงเกินไป ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อรองรับการใช้งานดังกล่าวต่อไป

5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเทคโนโลยี 5G

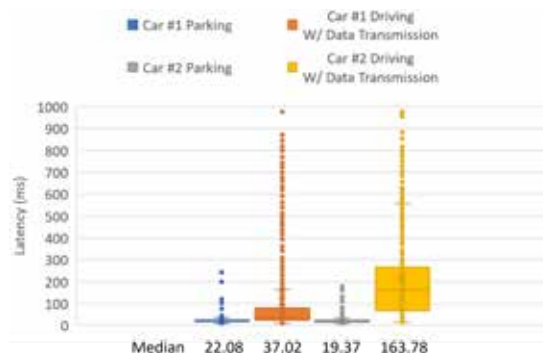
ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี 5G สำหรับระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติโดยสารอัตโนมัติโดยใช้งานร่วมกับผู้ใช้บริการเครือข่าย 5G ทั่วไป ในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและในพื้นที่สำนักงาน กสทช. พารามิเตอร์หลักที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการสื่อสาร 3 ตัว ได้แก่ อัตราเร็วในการส่งข้อมูล ความหน่วงเวลา และอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูล แสดงดังภาพที่ 8



(n) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูล (packet loss rate) กับอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (throughput)



(v) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความหน่วงเวลา (latency) (end-to-end) กับอัตราเร็วในการส่งข้อมูล (throughput)



(ก) ค่าความหน่วงเวลา (latency) (end-to-end) ของการสื่อสารผ่านเครือข่าย 5G ระหว่างยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ และ operation dashboard

ภาพที่ 8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเครือข่าย 5G

จากผลการทดสอบในภาพที่ 8 (ก) พบว่า เมื่ออัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูงขึ้น อัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่ค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ จะมีค่าอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1) ส่วนกรณีค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลสูง พบว่า อัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลมีค่าประมาณร้อยละ 6-8 จากภาพที่ 8 (ข) พบว่า ความหน่วงเวลามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าสูงขึ้น สำหรับค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลไม่เกิน 15 Mbps พบว่า ค่าเฉลี่ยของความหน่วงเวลาอยู่ระหว่าง 10-15 ms และสำหรับค่าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลพบว่า ค่าเฉลี่ยของความหน่วงเวลาเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 35 ms ซึ่งยังคงเพียงพอสำหรับการใช้งานที่ทดสอบในโครงการนี้ จากภาพที่ 8 (ค) พบว่า ขณะยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติจอดอยู่กับที่และไม่มีการส่งข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอและข้อมูลแผนที่ไปยัง operation dashboard อัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างรถ และ operation dashboard น้อยมาก ค่าความหน่วงเวลาจึงมีค่าต่ำโดยมีค่ามัธยฐานประมาณ 20 ms ในขณะที่รถแล่นไปตามเส้นทางทดสอบ และมีการส่งข้อมูลภาพจากกล้องวิดีโอและข้อมูลแผนที่จากรถไปยัง operation dashboard อัตราการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระบบ 5G เพิ่มสูงขึ้นมาก ค่าความหน่วงเวลาจึงมีค่าสูงขึ้น ยานยนต์อัตโนมัติคันที่ 1 มีค่ามัธยฐานของความหน่วงเวลาดำกว่ายานยนต์อัตโนมัติคันที่ 2 เนื่องจากใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงติดตั้งภายนอกตัวรถจึงทำให้การรับส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพดีกว่า

ระบบขับเคลื่อนยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ โดยเฉพาะยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ กำหนดมาตรฐานให้ต้องมีความเชื่อถือได้ของการสื่อสารที่ร้อยละ 99.9 และสามารถควบคุมสั่งการและแจ้งเตือนได้โดยมีความหน่วงต่ำ ด้วยเหตุนี้ อัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลและความหน่วงเวลาจึงเป็นตัวแปรสำคัญด้านความปลอดภัยในการขับเคลื่อนอัตโนมัติ การควบคุม และการแจ้งเตือน นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้งานหลายรูปแบบ เช่น Beyond visual-line-of sight หรือการประมวลผลการนอนหลับ จำเป็นต้องใช้อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล ในการส่งสัญญาณวิดีโอที่ขนาดใหญ่ เมื่อจำนวนผู้ใช้นานยนต์อัตโนมัติมีความหนาแน่นทำให้จำเป็นต้องใช้การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้สูงอย่างเทคโนโลยี 5G

5.3 ผลการทดสอบการพัฒนาการใช้งาน

การทดสอบการใช้งานมีการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในมอดูลตรวจจากร่วงนอนและมอดูลนับจำนวนผู้โดยสารโดยประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ส่วน ได้แก่

5.3.1 มอดูลตรวจจากร่วงนอน ถูกพัฒนาขึ้นด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อรับสัญญาณภาพจากกล้องที่จับภาพของผู้ขับขี่ภายในยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ ซึ่งได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพจากการทดลองเดินรถภายในพื้นที่รอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในสภาพแวดล้อมที่มีแสงปกติและสภาพแสงน้อยโดยจัดให้มีผู้โดยสารคนอื่นภายในยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติรวมไปถึงให้ผู้ขับขี่สวมใส่แว่นตาและหน้ากากอนามัยในระหว่างที่ทำการขับขี่ ซึ่งมีการตรวจจับใช้ค่า F1-Score เป็นมาตรวัดความสามารถของมอดูล

ซึ่งเป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพโดยการนำค่าความเที่ยง (precision) และความไว (sensitivity) มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (harmonic mean) โดยอิงค่าใกล้เคียง 1 หมายความว่า โมดูลมีประสิทธิภาพมาก ผลการทดสอบได้ค่า F1-Score อยู่ที่ 0.85 ซึ่งแสดงว่าโมดูลนี้มีประสิทธิภาพมาก



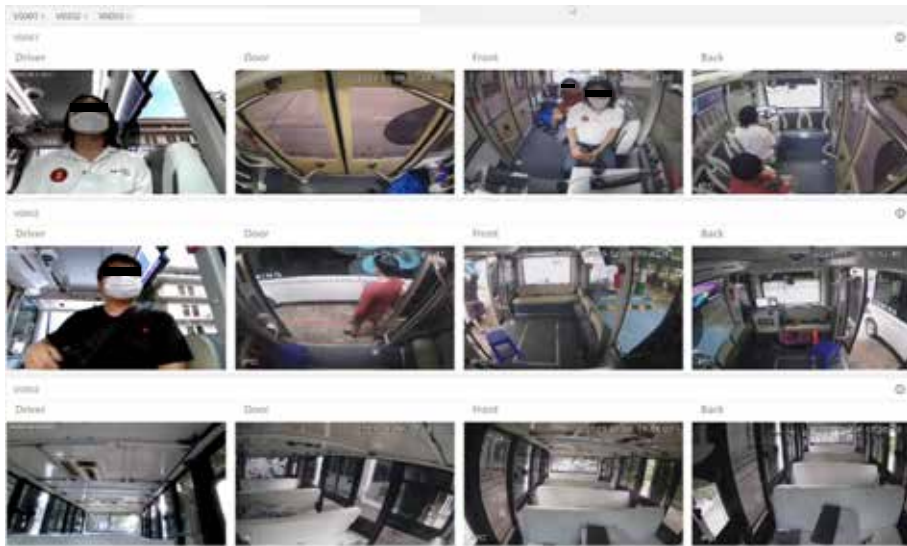
ภาพที่ 9 โมดูลตรวจสอบอาการง่วงนอน

5.3.2 โมดูลนับจำนวนผู้โดยสาร ใช้กล้องที่ติดตั้งบริเวณประตูในการนับจำนวนผู้โดยสาร โดยทดลองวัดประสิทธิภาพความแม่นยำในสถานการณ์จำลองต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้น พบว่าค่าเบี่ยงเบนต่ำสุดที่ค่า 0 ในสถานการณ์ที่คนยืนหน้าประตูและคนเดินผ่านหน้าประตู และสูงสุดอยู่ที่ 2.38 ในสถานการณ์ที่ผู้โดยสารลงจากยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติพร้อมกันด้วยความเร็ว โดยเฉลี่ยแล้วค่าเบี่ยงเบนอยู่ที่ 1.36



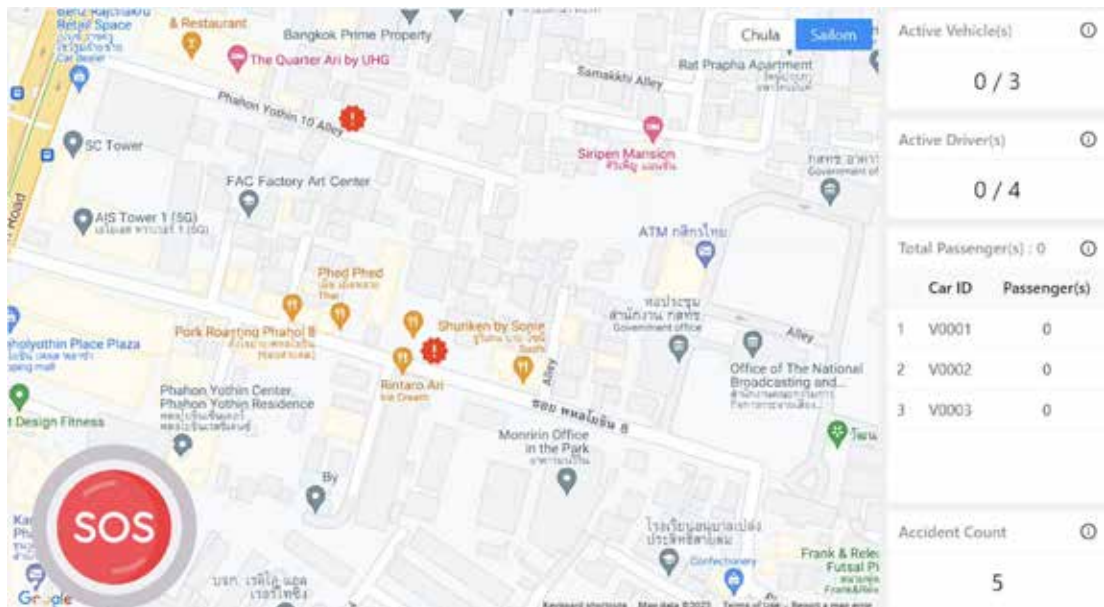
ภาพที่ 10 โมดูลนับจำนวนผู้โดยสาร

5.3.3 โมดูลสตรีมมิงวิดีโอหลายแหล่งแบบเรียลไทม์ส่งสัญญาณภาพจากกล้องทั้ง 4 ตัวภายในยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติไปยังเครื่องแม่ข่ายสาธารณะผ่านเครือข่ายส่วนตัวเสมือน ซึ่งได้ทดสอบกับวิดีโอด้วยความละเอียดต่าง ๆ พบว่า วิดีโอความละเอียดสูงใช้แบนด์วิดท์สูงทำให้สัญญาณภาพที่ได้ไม่เสถียรและใช้ทรัพยากรของระบบมาก ในการทดลองนี้จึงลดความละเอียดและเฟรมเรตของวิดีโอลง ซึ่งภาพที่ได้ออกมาสีนวลและไม่หายาจนเกินไป โดยแบนด์วิดท์ที่ใช้อยู่ที่ 8-12 Mbps ต่อรถ 1 คัน



ภาพที่ 11 มอดูลสตรีมมิงวิดีโอหลายแหล่งแบบเรียลไทม์

5.3.4 มอดูลการแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและการให้ความช่วยเหลือผู้ขับขี่ในยามคับขัน โดยผู้ขับขี่สามารถแจ้งการเกิดอุบัติเหตุหรือขอความช่วยเหลือไปยังศูนย์ควบคุมกลางผ่านแอปพลิเคชันภายในยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ



ภาพที่ 12 มอดูลการแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุ

5.3.5 เว็บแอปพลิเคชันการจัดการและแดชบอร์ดสำหรับสังเกตการณ์ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับรับข้อมูลต่าง ๆ จากยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติและแสดงผลข้อมูลให้กับผู้ดูแล เช่น สัญญาณภาพสัญญาณการแจ้งเตือนอุบัติเหตุ ตำแหน่งของการขับอัตโนมัติ

6. การอภิปรายผล

6.1 การทดลองระบบจับสัญญาณรถรับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ

จากผลการทดลองพบว่า สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติได้ โดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ที่จัดทำขึ้น ถึงแม้จะพบว่า ความแม่นยำของข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GNSS มีค่าความคลื่อนมากกว่าการระบุตำแหน่ง เนื่องจากยังไม่มีเมื่อนำอัลกอริทึม RTK มาใช้ยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถควบคุมความเร็วและมุมเลี้ยวของรถแต่ละคันได้ โดยพบว่า การควบคุมนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ในระบบควบคุม แต่หากจะปรับรูปแบบการเล่น เช่น ความเร็วจะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในระบบควบคุมใหม่ด้วย

6.2 การทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเทคโนโลยี 5G

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านเทคโนโลยี 5G พบว่า กรณีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าต่ำ (<150 kbps) เช่น การใช้งานเกี่ยวกับการแจ้งเตือน หรือ teleoperated driving ที่ต้องการเพิ่มความปลอดภัยในการขับหรือเพื่อป้องกันอุบัติเหตุจะมีค่าอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1) และมีค่าเฉลี่ยของความหน่วงเวลาอยู่ระหว่าง 10-15 ms ส่วนในกรณีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าสูง ซึ่งใช้งานเกี่ยวกับการรับสัญญาณวิดีโอ แผนที่มีความละเอียดสูง หรือระบบสาระบันเทิง (infotainment) แม้จะมีอัตราการสูญเสียกลุ่มข้อมูลบ้าง (ประมาณร้อยละ 6-8) และความหน่วงเวลามีค่าเฉลี่ยประมาณ 35 ms ก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานดังกล่าว

แม้ผลการทดสอบพบว่า ในบางช่วงประสิทธิภาพการสื่อสารอาจต่ำกว่าค่ามาตรฐานอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากการรบกวนของสัญญาณจากสถานีฐานที่ซ้อนเหลื่อมกันหรือการบดบังสัญญาณจากสถานีฐานโดยสิ่งแวดล้อม ซึ่งแนวทางในการแก้ไขหรือป้องกันปัญหาเหล่านี้สามารถทำได้โดยการปรับสัญญาณเครือข่ายให้มีคุณภาพเหมาะสม นอกจากนั้น อาจมีสาเหตุเนื่องจากความคับคั่งของเครือข่าย ซึ่งเกิดจากปริมาณข้อมูลที่ถูกรับส่งผ่านเครือข่ายมากเกินไปกว่าที่กำหนดไว้โดยผู้ให้บริการเครือข่าย โดยเฉพาะในทางฝั่ง uplink แนวทางการแก้ไขปัญหานี้ อาจทำได้โดยการจัดสรรอัตราส่วนของทรัพยากรสื่อสารของเครือข่ายทางฝั่ง uplink

และ downlink ให้เหมาะสม การทำ network slicing เพื่อจัดแบ่งทรัพยากรระบบสื่อสารทางกายภาพ และระบบประมวลผลที่เหมาะสมให้กับเครือข่ายย่อย สำหรับให้บริการสื่อสารแก่ยานยนต์อัตโนมัติโดยเฉพาะ จะสามารถลดความหน่วงเวลา และเพิ่มความเชื่อถือได้ของการสื่อสารผ่านเครือข่ายย่อยดังกล่าว

6.3 การทดสอบการพัฒนาระบบการใช้งาน

จากผลการทดลองพบว่า การใช้งานที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ดีตามผลการทดลอง ที่ได้กล่าวไปในข้างต้น แต่การส่งข้อมูลภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่าย 5G มีความต้องการปริมาณ แบนด์วิดท์ที่สูงตามความละเอียดของวิดีโอ หากมีปริมาณแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอก็จะส่งผลให้เกิดความล่าช้า ในการแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้ การตรวจจับอาการง่วงนอนและนับจำนวนผู้โดยสารอาศัยการเรียนรู้ของเครื่อง และปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับวัตถุภายในภาพแบบเรียลไทม์ ตำแหน่ง มุมมอง ความละเอียดและ สภาพแวดล้อมมีผลโดยตรงต่อความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ ส่วนการแจ้งเตือนการเกิดอุบัติเหตุที่ศูนย์ควบคุม สามารถให้ความช่วยเหลือรถที่ประสบอุบัติเหตุได้เมื่อมีการร้องขอ แต่ในอนาคตหากสามารถตรวจจับ การเกิดอุบัติเหตุจากเซนเซอร์ภายในรถได้ ก็จะช่วยให้การให้ความช่วยเหลือเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอ

การทดลองการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี 5G สำหรับยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ และเชื่อมต่อ การทดสอบการสื่อสารเครือข่าย 5G และการพัฒนาระบบการใช้งานในประเทศไทย โดยผู้วิจัยชาวไทย ซึ่งมีการพัฒนา รถต้นแบบ จำนวน 3 คัน มีการติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ ผ่านเครือข่าย 5G และระบบการใช้งานในตัวรถ โดยระบบยานยนต์รับส่งผู้โดยสารอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ทดลองวิ่งได้ผลดี รวมถึงมีการทดสอบการสื่อสารเครือข่าย 5G ในลักษณะของการใช้งาน C-V2X และทดลองการใช้งานมอดูล การใช้งานต่าง ๆ ได้ผลดี นับเป็นก้าวสำคัญของการพัฒนาระบบการใช้งานการสื่อสารเครือข่าย 5G สำหรับระบบ ขี่ยานยนต์สมัยใหม่ ที่จะมีการขับเคลื่อนแบบอัตโนมัติและการใช้งานที่ใช้เครือข่ายสื่อสารกับอินเทอร์เน็ตประสา นสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) หรือกับระบบภายนอกได้

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

การศึกษานี้ มีข้อเสนอแนะแนวทางการศึกษาต่อยอดจากการวิจัยในโครงการหลายด้าน ดังนี้

8.1.1 ด้านเทคโนโลยียานยนต์อัตโนมัติ สามารถพัฒนาการใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์ในการควบคุมรถ ให้มีความปลอดภัยมากขึ้น ภายใต้สภาพการขับเคลื่อนในสภาพแวดล้อมของถนนและสภาพการจราจร ที่แตกต่างกัน โดยขยายขอบเขตการใช้งานให้ครอบคลุมพื้นที่และลักษณะของสภาพแวดล้อมการเล่นมากขึ้น เช่น การเล่นผ่านบริเวณทางร่วมทางแยก การรู้จำผู้เดินเท้าและการตอบสนอง ซึ่งงานวิจัยในอนาคต ต้องมีการบันทึกข้อมูลเหตุการณ์ (incident) และพัฒนาวิธีการควบคุมบังคับรถให้เกิดความปลอดภัยยิ่งขึ้น อาจมีการทดสอบในสนามทดสอบเฉพาะและพื้นที่จริงแบบปิดเพิ่มขึ้น

8.1.2 การศึกษาเทคโนโลยี 5G ควรขยายผลการศึกษาให้มีการทดสอบ V2X ที่ครอบคลุม แอปพลิเคชันที่หลากหลาย อาจมีการพัฒนาระบบใช้งานต่าง ๆ เช่น V2I ที่มีการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ข้างถนน (roadside unit) เพื่อเตือนสถานการณ์การขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย และการสร้างคำแนะนำการเล่นที่ราบเรียบ ผ่านทางแยกสัญญาณไฟ นอกจากนี้ ยังต้องมีการศึกษาระบบการรักษาความปลอดภัยอันเกิดจากการโจมตีทางไซเบอร์ (cyber attack)

8.1.3 การศึกษาการใช้งานแสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานจริงได้ดี อย่างไรก็ตาม ยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและสร้างการใช้งานที่ครอบคลุมการใช้งานที่จำเป็นอื่น ๆ ของการใช้งานยานยนต์อัตโนมัติได้ เช่น การสร้างการใช้งานเพื่อเตือนหรือบังคับควบคุมรถโดยอาศัย การแลกเปลี่ยนข้อมูลและการสื่อสารระหว่างรถ โครงสร้างพื้นฐาน หรือศูนย์ควบคุม

8.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับกิจการสื่อสาร

การวิจัยนี้ศึกษาการใช้ระบบสื่อสารสำหรับระบบคมนาคม โดยสาธิตการใช้งานเครือข่าย 5G ว่าสามารถใช้งานสื่อสารร่วมกับยานยนต์อัตโนมัติได้ อย่างไรก็ตาม การขยายผลการใช้งานยานยนต์อัตโนมัติ ในสภาพแวดล้อมจริง จำเป็นต้องมีการทดสอบความสามารถของระบบทั่วทุกพื้นที่เพื่อให้ทราบความพร้อม ของเครือข่าย 5G ที่จะรองรับการใช้งานคมนาคมในพื้นที่จริงเป็นวงกว้าง การศึกษาทบทวนการใช้เทคโนโลยี 5G

ในภาคคมนาคมในต่างประเทศพบว่า เทคโนโลยี 5G จะมีความสำคัญต่อการคมนาคม และมีความต้องการในการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่ต่าง ๆ เป็นปริมาณมาก จึงต้องมีการประสานความร่วมมือกับผู้ให้บริการ (operator) ในการปรับเทคโนโลยี 5G เพื่อนำมาใช้ตามข้อกำหนดความต้องการในการใช้งานของภาคคมนาคม ด้านหน่วยงานจัดสรรคลื่นความถี่ ควรให้ความสำคัญของการจัดสรรคลื่นความถี่มารองรับการใช้งานเครือข่าย 5G สำหรับภาคคมนาคม โดยอาจหาย่านความถี่ใหม่ ๆ และการศึกษาการใช้งาน เพื่อให้มีการทดสอบการใช้คลื่นความถี่ต่างๆ อาจเริ่มดำเนินการในพื้นที่แซนด์บ็อกซ์ (sandbox) เพื่อให้เกิดการเรียนรู้และการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การทดสอบยังสร้างความตระหนักถึงการใช้งานเครือข่าย 5G ในภาคคมนาคม เช่น การใช้ยานยนต์โดยสารรับส่งอัตโนมัติในภาคผู้ใช้งานและกระตุ้นให้เกิดการยอมรับและขยายวงการใช้งานอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กทปส.)

รายการเอกสารอ้างอิง

- 3GPP. (2022, April 1). *3GPP Specification series: 38series (TS 38.215 V16.5.0)*. <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3217>
- 5G Automotive Association (5GAA). (2019). *5G Automotive Association, Pioneering Digital Transformation in the Automotive Industry*. https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/01/2.-5GAA-FLAMENT-5G-vertical-WS_120219.pdf
- Hsu, Y.-W., Chen, Y.-W., & Perng, J.-W. (2020). Estimation of the Number of Passengers in a Bus Using Deep Learning. *Sensors*, 20(8), 2178. <https://doi.org/10.3390/s20082178>
- Jung, C., Lee, D., Lee, S., & Shim, D. H. (2020). V2X-Communication-Aided Autonomous Driving: System Design and Experimental Validation. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(10), 2903. <https://doi.org/10.3390/s20102903>
- Stork, C. R., & Duarte-Figueiredo, F. (2020). A Survey of 5G Technology Evolution, Standards, and Infrastructure Associated with Vehicle-to-Everything Communications by Internet of Vehicles. *IEEE Access*, 8, 117593-117614. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004779>
- Trevor, M. (2017, January 23). *Driverless buses arrive in Paris*. Digital Trends. <https://www.digitaltrends.com/cars/paris-driverless-buses/>
- University of Michigan. (2020). *Connected and Automated Research*. <https://www.umtri.umich.edu/research/expertise/connected-and-automated-research-excellence-at-umtri/>
- World Health Organization (WHO). (2018). *Global Status Report on Road Safety 2018*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>