THAILAND AUTOMOTIVE INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

พื้นฐานเทคโนโลยียานยนต์อัตโนมัติและการเชื่อมต่อ

วิชาพื้นฐานเทคโนโลยียานยนต์เชื่อมต่อ (CV)

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)

02-712-2414 www.thaiauto.or.th @thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า 5

2.1 ระบบยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Vehicles Systems) 5

2.2 การเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัติ (Connected Autonomous Vehicles System) 6

บทที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วย CAN Bus สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 11

3.1 Controller Area Network 33Bus (CAN Bus) 11

3.2 การสื่อสารในระบบ CAN Bus 13

3.3 มาตรฐานและโปรโตคอลที่เกี่ยวกับ CAN 15

3.3.1 มาตรฐาน ISO 11898 15

3.3.2 มาตรฐาน SAE J1939 16

3.3.3 CANopen 17

3.4 การสื่อสารในรูปแบบอื่น ๆ 18

3.4.1 MOST (Media-Oriented Systems Transport) 18

3.4.2 Automotive Ethernet 19

3.4.3 Single Edge Nibble Transmission (SENT) 20

3.4.4 FlexRAY 21

3.4.5 Local Interconnect Network Bus (LIN Bus) 21

บทที่ 4 อินเตอร์เน็ตสรรพสิ่งเบื้องต้น (Internet of Things) 23

4.1 สถาปัตยกรรมของ IoT 23

4.2 การสื่อสาร 24

4.3 ชุดของโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ IoT (IoT Protocol Stack) 25

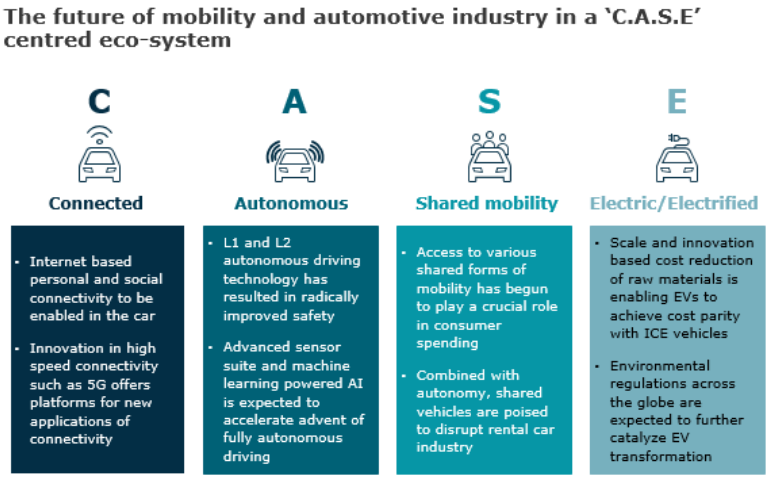
บทที่ 5 เทคโนโลยี C-V2X สำหรับยานยนต์สมัยใหม่ 26

บทที่ 1 บทนำ

ยานยนต์เป็นส่วนสำคัญของการเดินทาง และการขนส่งในชีวิตประจำวันของเรา การพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ได้เปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์อย่างมากตั้งแต่เริ่มมีการผลิตยานยนต์ครั้งแรก ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา ยานยนต์ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านความปลอดภัย ความสะดวกสบาย และประสิทธิภาพการใช้งานในปัจจุบัน เราอยู่ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัล และปัญญาประดิษฐ์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนายานยนต์ ทำให้เกิดการปฏิวัติครั้งใหญ่ในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์ ยานยนต์สมัยใหม่ไม่ได้เพียงแค่ทำหน้าที่เป็นพาหนะในการเดินทางเท่านั้น แต่ยังสามารถเชื่อมต่อกับโลกดิจิทัล และโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ทำให้การเดินทางมีความปลอดภัยและสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

ยานยนต์สมัยใหม่กำลังเข้าสู่ยุคใหม่ที่เรียกว่า C.A.S.E ซึ่งย่อมาจาก Connected Autonomous Shared และ Electric โดยที่แต่ละคำมีความหมายที่สะท้อนถึงเทคโนโลยี และแนวโน้มที่กำลังพัฒนาของยานยนต์ในอนาคต ดังนี้

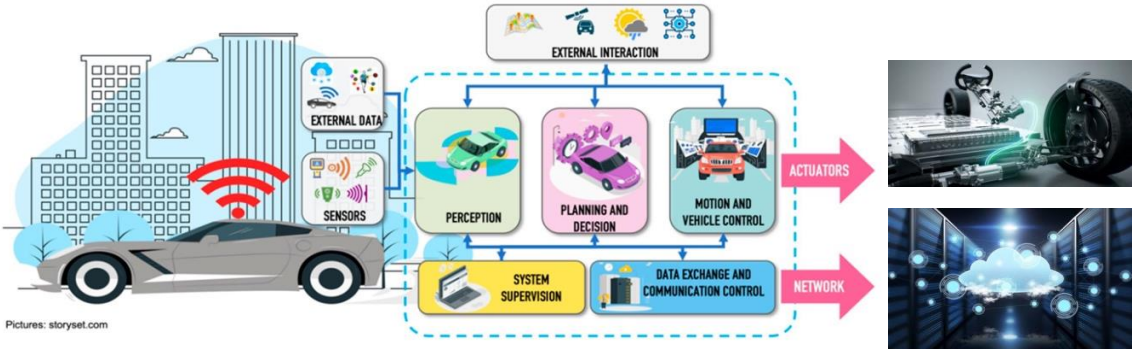
1. Connected (การเชื่อมต่อ) ยานยนต์ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายต่างๆ ทำให้สามารถสื่อสารกับยานยนต์อื่นๆ โครงสร้างพื้นฐาน และผู้ขับขี่ผ่านสมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์อื่น ๆ การเชื่อมต่อนี้ช่วยเพิ่มความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความสะดวกสบายในการใช้งาน
2. Autonomous (อัตโนมัติ) ยานยนต์ที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตนเองโดยไม่ต้องการการควบคุมจากมนุษย์ เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยการใช้เซ็นเซอร์ กล้อง และปัญญาประดิษฐ์เพื่อประเมินสภาพแวดล้อมและตัดสินใจในเวลาอันรวดเร็ว
3. Shared (การใช้ร่วมกัน) แนวคิดที่เน้นการใช้ยานยนต์ร่วมกัน เช่น บริการรถร่วมเดินทาง (ride-sharing) และบริการรถเช่าระยะสั้น ซึ่งช่วยลดจำนวนยานยนต์บนถนนและเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. Electric (ไฟฟ้า) ยานยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งช่วยลดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยให้การบำรุงรักษาง่ายขึ้นและมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงในระยะยาว



รูปที่ 1-1 แนวคิดเรื่องยานยนต์สมัยใหม่ (C.A.S.E)

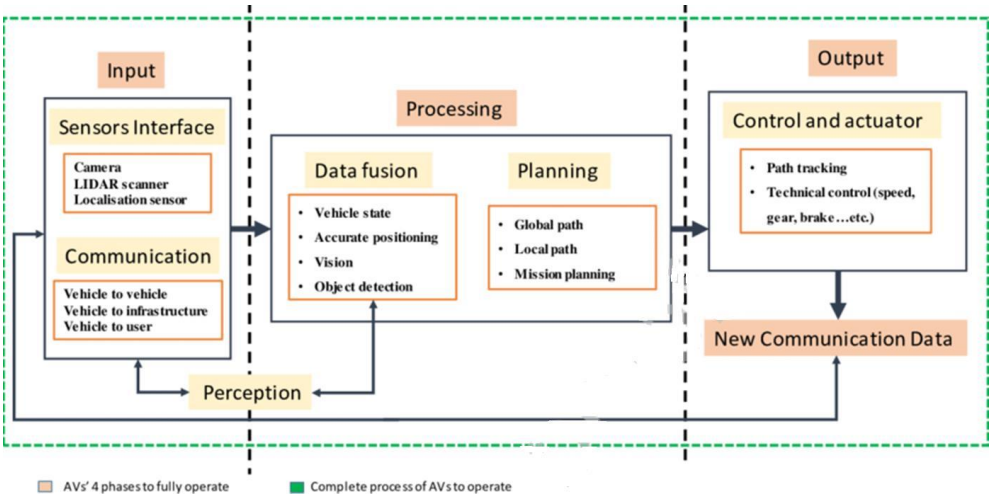
[ที่มา: https://www.linkedin.com/pulse/case-connected-autonomous-shared-electrified-mobility-stefano-aversa]

การทำงานของยานยนต์อัตโนมัตินั้น เริ่มจากการรับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมภายนอกโดยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดรอบตัวรถ จากนั้นนำมาเข้าสู่กระบวนการ Perception หรือ การรับรู้สิ่งต่างๆของรถยนต์ เพื่อทำการวางแผนการเดินทาง (Planning) และนำไปสู่การสั่งให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆที่ได้รับการวางแผนไว้ผ่านระบบต่าง ๆ ในรถ โดยการเชื่อมต่อ (connected) นั้น สามารถมาได้จาก 2 ทาง ดังแสดงรูปที่ 1-2 คือ จาก External data (ข้อมูลภายนอก) และ External Interaction (ปฏิกิริยาภายนอก) และข้อมูลจากตัวรถยนต์เองเช่น ความเร็ว ตำแหน่ง หรือทิศทางในการเคลื่อนที่จะถูกเชื่อมต่อและส่งยังเน็ตเวิร์คเพื่อนำไปใช้งานเด้านอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า

[ที่มา: Sensors | Free Full-Text | Vulnerable Road Users and Connected Autonomous Vehicles Interaction: A Survey (mdpi.com)]

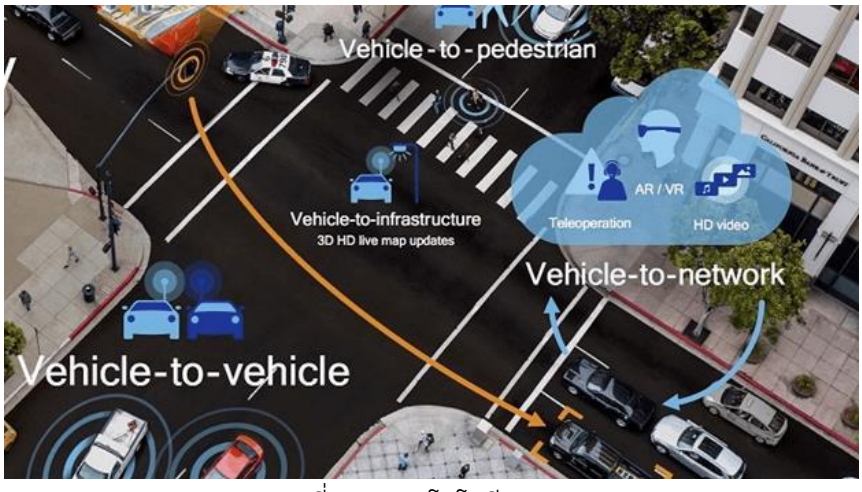


รูปที่ 1-3 ภาพรวมของข้อมูลในสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า

[ที่มา: Connected autonomous vehicle system architecture overview, reproduced... | Download Scientific Diagram (researchgate.net)]

การเชื่อมต่อข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายนอก และข้อมูลของตัวยานยนต์เองออกไปยังภายนอก อาทิ การส่งข้อมูลจากรถไปยังคน (V2P – Vehicle to Pedestrian) การส่งข้อมูลจากรถไปยังรถอีกคันหนึ่ง (V2V- Vehicle to Vehicle) การส่งข้อมูลจากรถไปยังโครงสร้างพื้นฐาน (V2I- Vehicle to Infrastructure) และ ส่งข้อมูลจากรถไปยังเน็ตเวิร์ค (V2N – Vehicle to Network) การส่งข้อมูลเหล่านี้ถูกเรียกรวมกันว่า V2X โดยในปัจจุบันมีการนำเสนอแนวคิดเรื่องเทคโนโลยี C-V2X (Cellular vehicle-to-everything) ซึ่ง

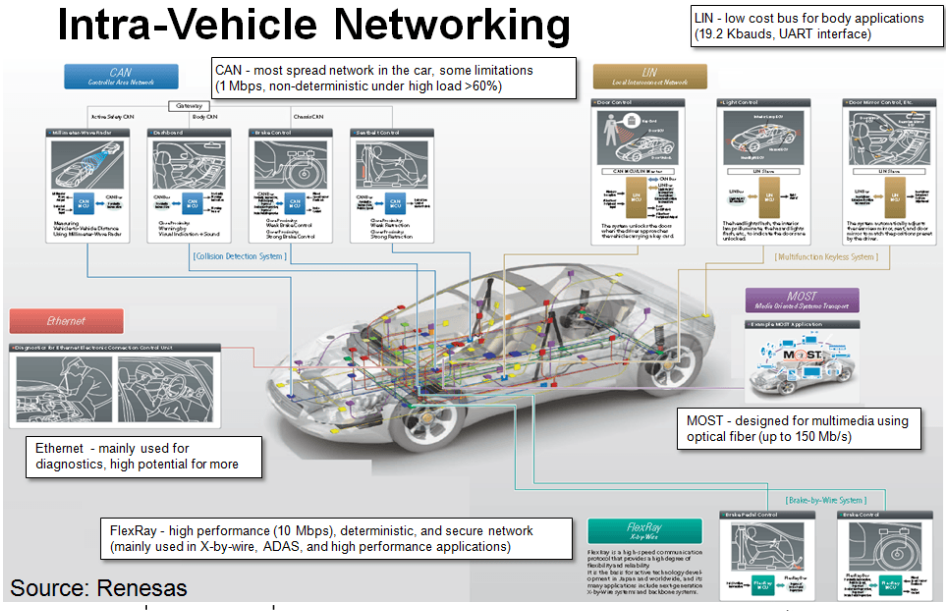
เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ LTE ช่วยให้ยานยนต์สามารถสื่อสารไร้สายกับยานยนต์คันอื่น ดังแสดงในรูปที่ 1-4 โครงสร้างพื้นฐานอัจฉริยะ และคนเดินถนนได้ เทคโนโลยี C-V2X เป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนยานยนต์อัตโนมัติ เพราะยานยนต์ต้องส่งข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง ความเร็ว และพารามิเตอร์อื่นๆ ไปยังเครือข่ายและยานยนต์รอบข้าง ในทำนองเดียวกัน ยานยนต์จะต้องรับฟังข้อมูลที่เครือข่ายและยานยนต์อื่นๆ ส่งมาเช่นกัน



รูปที่ 1-4 เทคโนโลยี C-V2X

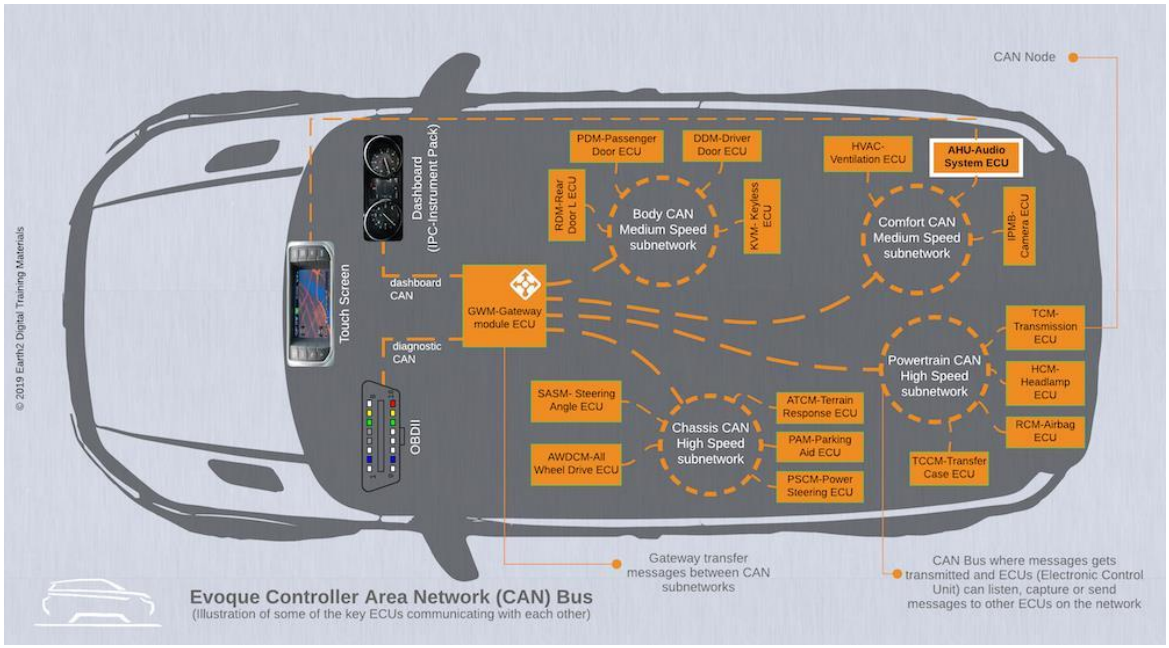
[ที่มา: What is C-V2X (Cellular Vehicle to Everything)? - everything RF]

นอกจากการสื่อสารภายนอกยานยนต์ไฟฟ้าแล้ว จำเป็นต้องมีวางแผนการสื่อสารระหว่างองค์ประกอบภายในยานยนต์ไฟฟ้าด้วย เนื่องจากยายยนต์ไฟฟ้าประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ และระบบไฟฟ้าที่สำคัญหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทต้องการรับข้อมูลที่แตกต่างกัน ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน การวางแผนการเชื่อมต่อภายในระบบยานยนต์ไฟฟ้าตามความเหมาะสมของแต่ละอุปกรณ์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยปัจจุบันใช้ระบบที่เรียกว่า CAN BUS ซึ่งทำการจำแนกด้วยความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1-5 และรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วย CAN BUS สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

[ที่มา: CAN bus and alternatives (navixy.com)]

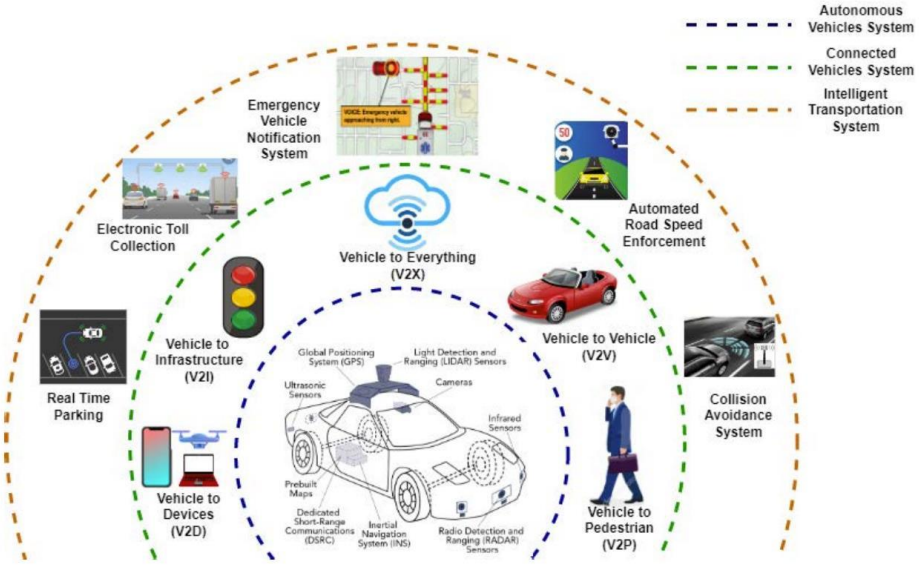


รูปที่ 1-6 ภาพรวมการเชื่อมต่อระบบภายในของยานยนต์ไฟฟ้า

[ที่มา: https://www.earth2.digital/blog/what-is-vehicle-can-bus-ecu-evoque-adam-ali.html]

บทที่ 2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า

การเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัตินั้นเริ่มมาจาก ระบบตัวยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Vehicles System) กล่าวคือ การรับมูลมาประมวลผล และทำการวางแผนจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ รอบตัวรถ ไปสู่การเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมอย่างอื่น (V2X) เช่น การเชื่อมต่อข้อมูลจากรถไปยังอุปกรณ์ (V2D – Vehicle to Device) การส่งข้อมูลจากรถไปยังคน (V2P – Vehicle to Pedestrian) การส่งข้อมูลจากรถไปยังรถอีกคันหนึ่ง (V2V- Vehicle to Vehicle) การส่งข้อมูลจากรถไปยังโครงสร้างพื้นฐาน (V2I- Vehicle to Infrastructure) และ ส่งข้อมูลจากรถไปยังเน็ตเวิร์ค (V2N – Vehicle to Network) และไปยังระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System)



รูปที่ 2-1 ภาพรวมของโครงสร้างพื้นฐานของการเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัติ

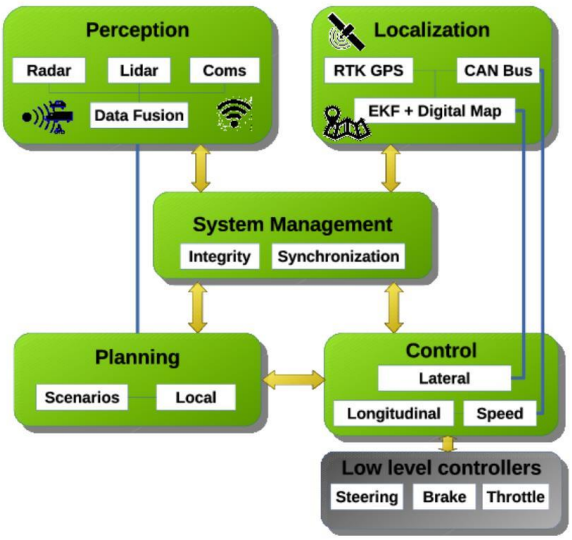
[ที่มา: (PDF) Cybersecurity and Forensics in Connected Autonomous Vehicles: A Review of the State-of-the-Art (researchgate.net)]

2.1 ระบบยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Vehicles Systems)

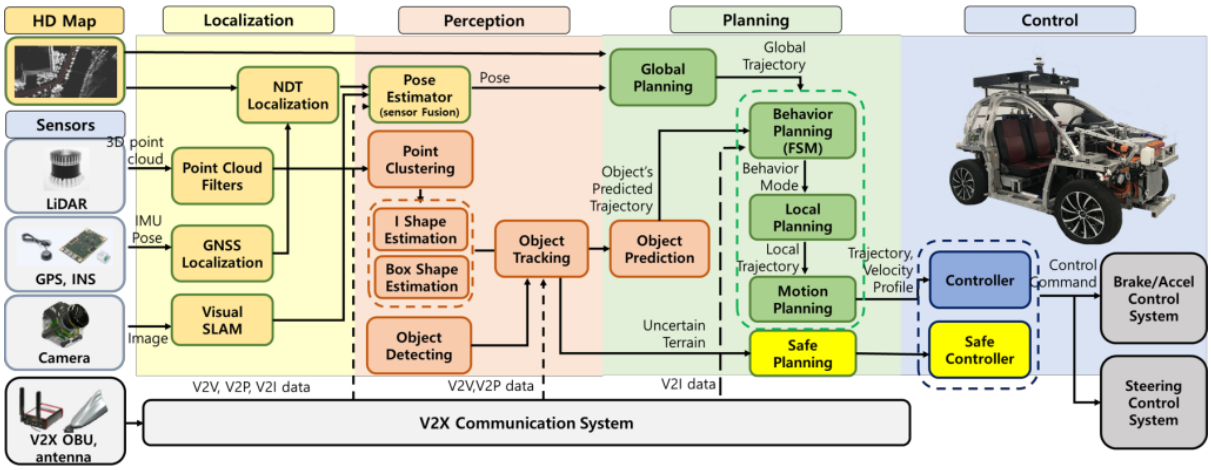
ระบบของยานยนต์อัตโนมัตินั้นประกอบไปด้วยระบบสำคัญ ได้แก่

1. Perception (การรับรู้) ทำหน้าที่รับรู้สภาพแวดล้อมรอบตัวรถยนต์ โดยใช้เซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น LiDAR Camera RADAR Infrared Sensors และ Ultrasonic Sensors ข้อมูลจากเซนเซอร์เหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์และรวมกันเพื่อสร้างภาพเสมือนจริงของสภาพแวดล้อมรอบตัวรถยนต์
2. Localization (การระบุตำแหน่ง) ทำหน้าที่ระบุตำแหน่งปัจจุบันของรถยนต์ โดยใช้ GPS และ IMU (Inertial Measurement Unit) ข้อมูลตำแหน่งนี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางและควบคุมรถยนต์
3. Planning (การวางแผน) ทำหน้าที่วางแผนเส้นทางที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลจากระบบ Perception และ Localization ข้อมูลแผนที่ และกฎจราจร
4. Control (การควบคุม) ทำหน้าที่ควบคุมรถยนต์ให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่วางแผนไว้ โดยใช้มอเตอร์ Actuators ต่างๆ

นอกจากระบบหลัก 4 ระบบแล้ว ยังมีระบบย่อยอื่น ๆ อีกหลายระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบยานยนต์อัตโนมัติ เช่นระบบจัดการระบบ (System Management) ทำหน้าที่จัดการระบบทั้งหมดให้ทำงานอย่างราบรื่น ระบบตัดสินใจ (Decision Making) ทำหน้าที่ตัดสินใจในสถานการณ์ที่ไม่คาดฝัน ระบบเรียนรู้ (Learning) ทำหน้าที่เรียนรู้จากประสบการณ์และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



รูปที่ 2-2 ระบบในยานยนต์อัตโนมัติ
[ที่มา: UAHC project webpage]



รูปที่ 2-3 ระบบในยานยนต์อัตโนมัติ
[ที่มา: UAHC project webpage]

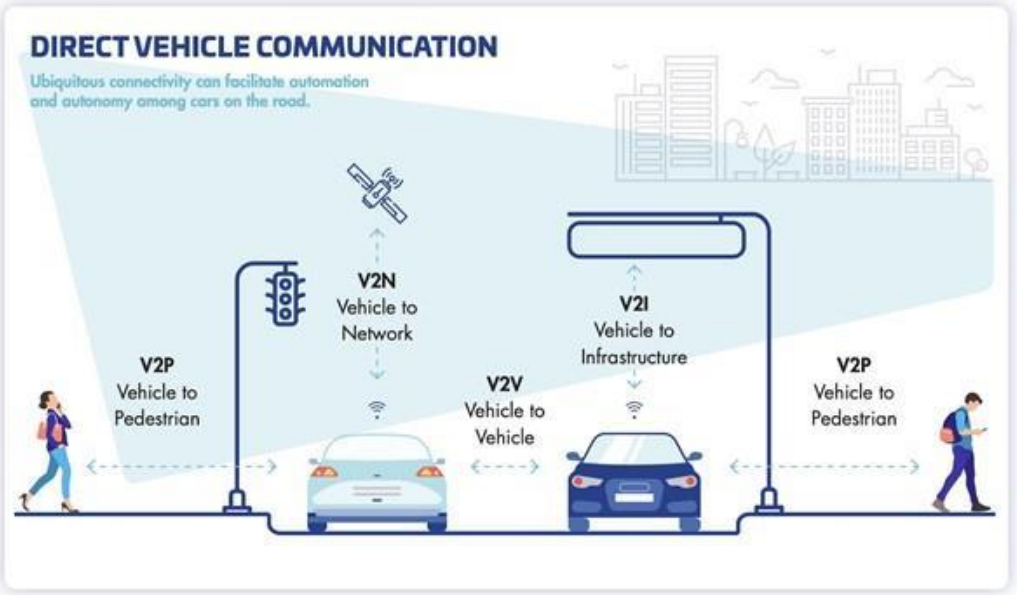
2.2 การเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัติ (Connected Autonomous Vehicles System)

ในยุคของการพัฒนานวัตกรรมทางเทคโนโลยี ยานยนต์ไม่ได้เป็นเพียงแค่เครื่องมือในการขนส่งอีกต่อไป แต่ยังกลายเป็นส่วนสำคัญของระบบนิเวศทางเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากขึ้น การสื่อสารระหว่างยานยนต์กับสิ่งรอบตัว หรือที่เรียกว่า V2X (Vehicle-to-Everything) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนยานยนต์อัตโนมัติและเพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน

V2X หรือ Vehicle-to-Everything คือระบบการสื่อสารที่ช่วยให้ยานยนต์สามารถเชื่อมต่อ และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสิ่งต่างๆ รอบตัวที่ได้รับผลกระทบจากข้อมูลของยานยนต์บนท้องถนน วัตถุประสงค์หลักของเทคโนโลยี V2X คือการเพิ่มความปลอดภัย ประหยัดพลังงาน และทำให้การจราจรบนท้องถนนมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเทคโนโลยี V2X สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทหลัก ได้แก่

1. ระบบการสื่อสารระหว่างยานยนต์ กับ ยานยนต์อื่น ๆ Vehicle-to-Vehicle (V2V) ช่วยให้ยานยนต์สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งรวมถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบไร้สาย เช่น ความเร็ว ทิศทาง และตำแหน่งของยานยนต์รอบ ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการชน ลดความแออัดของการจราจร และปรับปรุงสภาพแวดล้อมการขับขี่ เทคโนโลยี V2V ในยานยนต์สื่อสารกันผ่านข้อความความปลอดภัยพื้นฐาน หรือที่เรียกว่า BSMs (Basic Safety Messages) ซึ่งมีระยะการสื่อสารประมาณ 300 เมตรในสถานการณ์ที่ดีที่สุด และสามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตรา 10Hz ข้อมูลที่ส่งผ่าน BSMs ช่วยให้ยานยนต์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยี V2V เช่น การแจ้งเตือนการเปลี่ยนเลน การแจ้งเตือนการจราจรข้างหน้าและงานซ่อมถนน การแจ้งเตือนการชน การบันทึกข้อมูลผู้ขับขี่และเหตุการณ์ต่าง ๆ
2. ระบบการสื่อสารระหว่างยานยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน Vehicle-to-Infrastructure (V2I) ถูกสร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับยานยนต์ โดยยานยนต์สามารถสื่อสารกับโครงสร้างพื้นฐานของถนนผ่านอุปกรณ์ข้างถนน (Road Side Units - RSUs) และแลกเปลี่ยนข้อมูล เช่น สภาพการจราจร ถนน อากาศ ข้อจำกัดความเร็ว และอุบัติเหตุ การเชื่อมต่อใช้สำหรับการสื่อสารสองทิศทางผ่านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และเฟิร์มแวร์ เพื่อสนับสนุนระบบต่างๆ เช่น ป้ายเลน ป้ายจราจร และระบบไฟส่องสว่าง ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยี V2I เช่น การแสดงภาพจุดบอด การเตือนโซนทางโค้ง การเตือนเขตก่อสร้าง หรือโรงเรียน
3. ระบบการสื่อสารระหว่างยานยนต์กับคนเดินถนน Vehicle-to-pedestrian (V2P) ช่วยให้ยานยนต์สามารถสื่อสารโดยตรงกับคนเดินถนนได้ ขอบเขตของ V2P ยังครอบคลุมถึงนักปั่นจักรยานด้วย สัญญาณจะถูกส่งจากสมาร์ทวอทช์ไปยังหน่วยประมวลผลในยานยนต์เมื่อคนเดินถนนอยู่ในระยะที่ยานยนต์สามารถเชื่อมต่อได้ เช่นเดียวกับ V2V (Vehicle to Vehicle) ข้อความความปลอดภัยซึ่งรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความเร็ว, ตำแหน่ง, และทิศทางของคนเดินถนน จะถูกส่งไปยังยานยนต์ที่กำลังเข้ามาใกล้ และในทางกลับกัน ขึ้นอยู่กับความถี่ของ V2P ระบบสามารถส่งการแจ้งเตือนได้สูงสุด 10 ครั้งต่อวินาที ตัวอย่างการใช้งานเทคโนโลยี V2P เช่น การแจ้งเตือนผู้เดินเท้า ผู้ใช้ถนนที่เป็นกลุ่มเสี่ยง การวิเคราะห์ข้อมูลสื่อสารข้อมูลบันเทิงในรถแ และความปลอดภัยในรถ
4. ระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับระบบเครือข่าย Vehicle-to-Network (V2N) ช่วยให้รถยนต์ได้รับข้อมูลการจราจร และบริการต่าง ๆ เช่น การเตือนเตือนเหตุการณ์บนท้องถนนและการเปลี่ยนเส้นทางผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย เช่น เซลลูลาร์หรือ DSRC ซึ่งมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งและเพิ่มความปลอดภัยในการเดินทาง

เมื่อระบบ V2X ถูกนำมาใช้ในยานยนต์แบบดั้งเดิม ผู้ขับขี่จะได้รับข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสภาพอากาศ อุบัติเหตุใกล้เคียง สภาพถนน การเตือนเกี่ยวกับงานซ่อมถนน ยานพาหนะฉุกเฉินที่กำลังเข้ามา และกิจกรรมของผู้ขับขี่คนอื่นๆ บนถนนเดียวกัน



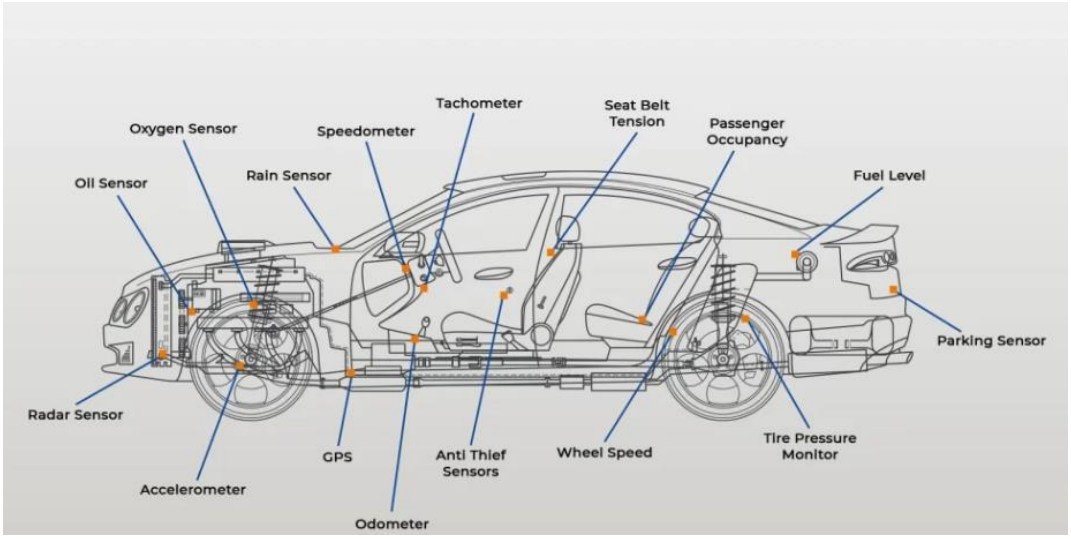
รูปที่ 2-4 การสื่อสารระหว่างยานยนต์อัตโนมัติกับภายนอก (V2X)
[ที่มา: How V2X technology can transform your driving experience - iWave Systems]

เทคโนโลยีการเชื่อมต่อในยานยนต์อัตโนมัตินั้น สามารถส่งต่อข้อมูลได้หลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลความเร็ว ข้อมูลตำแหน่ง หรือแม้กระทั่งปริมาณน้ำมัน ของรถคันนั้น ๆ ตัวอย่างการนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ และนำมาประยุกต์ใช้งาน เช่น

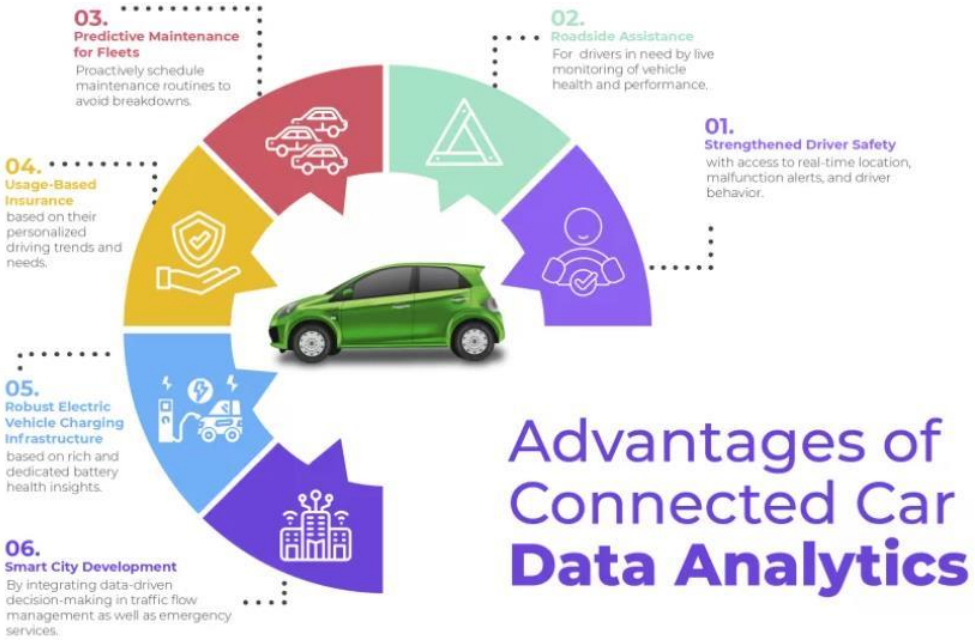
1. การเพิ่มความปลอดภัยของผู้ขับขี่ เนื่องจากเทคโนโลยีการเชื่อมต่อในยานยนต์อัตโนมัตินั้นสามารถส่งข้อมูล เรื่องตำแหน่ง ความเสียหายในตัวรถและพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ ณ ปัจจุบันได้ ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหาด้วยอุบัติเหตุต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกส่งไปให้หน่วยงานที่สามารถเข้ามาดูแลได้อย่างรวดเร็ว
2. บริการช่วยเหลือทางถนนสำหรับผู้ขับขี่ต้องการ โดยการเฝ้าดูรถยนต์ที่อยู่บนท้องถนน ณ เวลานั้น ๆ โดยตรง โดยใช้การตรวจสอบของสถานะ และประสิทธิภาพของรถที่เชื่อมต่อกับระบบ โดยผ่านบริการนี้คนขับรถที่มีปัญหาสามารถได้รับความช่วยเหลือตามที่ต้องการ ซึ่งจะช่วยให้การจัดการปัญหาทางถนนเป็นไปอย่างราบรื่น และรวดเร็วขึ้น
3. การวางแผนเพื่อการบำรุงรักษา การวางแผนการบำรุงรักษาล่วงหน้าสำหรับกลุ่มของรถ เช่น รถบรรทุกหรือรถโดยสารที่เป็นของบริษัท หรือองค์กร โดยการกำหนดกำหนดการบำรุงรักษาล่วงหน้าอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันการชำรุดขัดข้อง การบำรุงรักษาล่วงหน้าเป็นวิธีที่ใช้ข้อมูล และเทคโนโลยีในการทำนายเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบำรุงรักษา (Preventive Maintenance) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการทำงานของ รถยนต์ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์ หรือข้อมูลการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำนายว่าเมื่อเครื่องจะต้องมีการบำรุงรักษาอะไรบ้าง และเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำแต่ละงาน ทั้งนี้ การบำรุงรักษาล่วงหน้าช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดการชำรุดและช่วยสร้างความเชื่อมั่นในการใช้งานรถหรือเครื่องจักรในระยะยาว นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อเกิดความเสียหายจากการชำรุดแบบไม่คาดคิด
4. ประกันภัยที่คิดค่าเบี้ยตามการใช้งาน สามารถนำข้อมูล เช่น พฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ ไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในการทำประกันภัยที่คิดค่าเบี้ยตามการใช้งาน ซึ่งอิงตามแนวโน้มการขับขี่และความต้องการ

เฉพาะบุคคลของผู้ขับขี่ ด้วยข้อมูลที่ได้จากการขับขี่นี้ บริษัทประกันภัยสามารถปรับค่าเปลี่ยนประกันให้เหมาะสมกับความเสี่ยงที่แท้จริงของผู้ขับขี่ทำให้ผู้ที่มีพฤติกรรมการขับขี่ที่ปลอดภัยและระมัดระวังสามารถได้รับค่าเบี้ยประกันที่ต่ำกว่าทั้งนี้ยังช่วยให้ผู้ขับขี่มีการตระหนักรู้ และปรับปรุงพฤติกรรมการขับขี่เพื่อความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

5. โครงสร้างพื้นฐานสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ มีโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จที่มีประสิทธิภาพ และอ้างอิงจากข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพแบตเตอรี่จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสะดวกสบายในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ทำให้การเปลี่ยนไปใช้พลังงานไฟฟ้าได้ยานพาหนะเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
6. การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) การพัฒนาเมืองอัจฉริยะด้วยการใช้ข้อมูลในการตัดสินใจทั้งในการจัดการจราจร และบริการฉุกเฉินจะช่วยให้เมื่อมีการจราจรที่ไหลลื่นและตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉินที่รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้คุณภาพชีวิตของประชาชนดีขึ้นอย่างยั่งยืน



รูปที่ 2-5 ข้อมูลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในยานยนต์อัตโนมัติ
[ที่มา: https://cerebrumx.ai/what-is-connected-car-data/]



รูปที่ 2-6 การวิเคราะห์ข้อมูลจากรถยนต์ที่เชื่อมต่อ

[ที่มา: https://cerebrumx.ai/what-is-connected-car-data/]

บทที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วย CAN Bus สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ปัจจุบันติดตั้งเซ็นเซอร์มากถึง 80 ตัว ทำงานร่วมกับระบบควบคุมต่าง ๆ ทั้งคัน แต่ระบบไฟฟ้าแบบเก่าที่ใช้สายไฟยาวถึง 2.2 กิโลเมตร อาจสร้างปัญหาหลายประการ เช่น สัญญาณเซ็นเซอร์ที่อ่อนลงจากระยะทางที่ไกล โอกาสเกิดปัญหาขัดข้องที่เพิ่มขึ้น และน้ำหนักรถที่มากขึ้น เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น CAN Bus เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหานี้ด้วยการลดจำนวนสายไฟลง ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการทำงาน น้ำหนักรถที่เบาลง และลดโอกาสเกิดปัญหาขัดข้อง

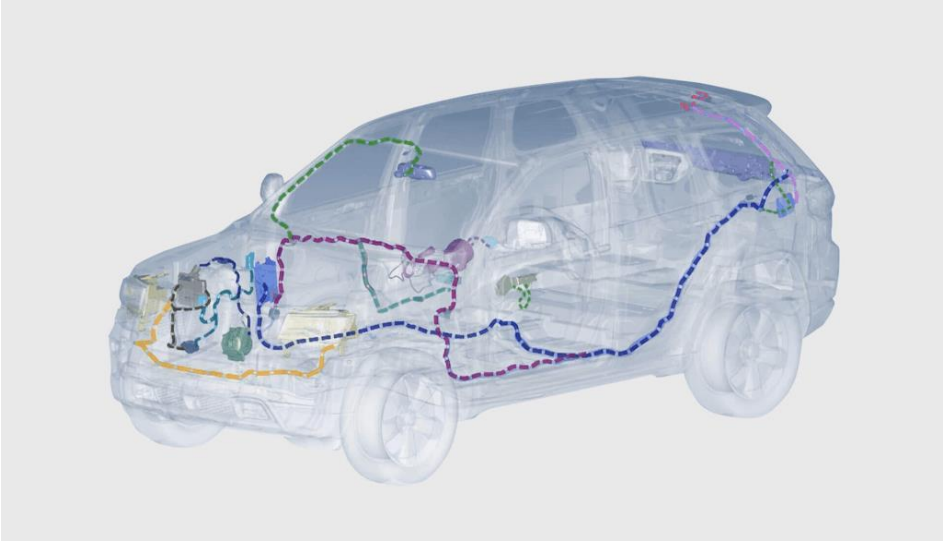
รูปที่ 3-1 รูปแบบการติดตั้งสายไฟแบบเก่า
[ที่มา: https://newhavendisplay.com/blog/ serial-vs-parallel-communication/#:~:text=In%20a%2 0nutshell%2C%20serial%20and,same%20time%20over%20multiple%20c hannels.]

3.1 Controller Area Network Bus (CAN Bus)

ระบบการสื่อสารขั้นพื้นฐานภายในรถยนต์ (Basic Communication) เข้ามาแก้ปัญหา และจัดการเรื่องการเชื่อมต่อ อุปกรณ์ภายในรถยนต์ โดยแบ่งเป็น 2 ระบบหลัก คือ

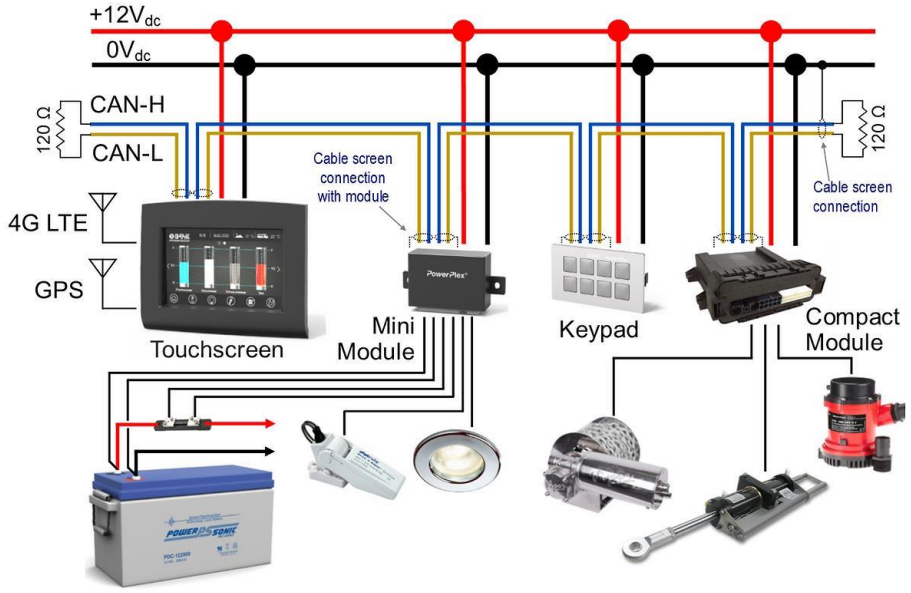
1. การเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial Communication) ทำงานโดยการส่งข้อมูลทีละบิต ผ่านสายไฟเพียง 1 เส้น (บวก) และ 1 เส้น (ลบ) มีข้อดีคือ ใช้สายไฟน้อย และประหยัดต้นทุน แต่มีข้อเสียความเร็วในการส่งข้อมูลช้า เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเร็วสูง เช่น เซ็นเซอร์
2. การเชื่อมต่อแบบขนาน (Parallel Communication) ทำงานโดยการส่งข้อมูลหลายบิตพร้อมกัน ผ่านสายไฟหลายเส้น มีข้อดีคือ มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูง เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็วสูง เช่น ระบบควบคุมเครื่องยนต์ และมีข้อเสีย คือ การใช้สายไฟหลายเส้นทำให้ต้นทุนสูง

CAN Bus (Controller Area Network bus) มีจุดเริ่มต้นในเมื่อรถยนต์เริ่มมีกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) มากขึ้น โดยบริษัท Bosch เล็งเห็นความจำเป็นในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เหล่านี้เข้าด้วยกัน ด้วยความร่วมมือของบริษัท Bosch Mercedes-Benz Intel และมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในเยอรมนีได้ร่วมกันพัฒนาระบบ "Controller Area Network" (CAN) ขึ้นมา ต่อมา CAN Bus กลายเป็นมาตรฐานการสื่อสารหลักในรถยนต์สมัยใหม่ ที่ช่วยให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ น้ำหนักเบา ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูล และเพื่อรองรับระบบอัจฉริยะต่าง ๆ ที่เพิ่มมากขึ้นในรถยนต์



รูปที่ 3-2 ระบบ CAN Bus ในรถยนต์
[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

โดยระบบ CAN Bus (Controller Area Network) เปรียบเสมือนเส้นเลือดที่ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในรถยนต์ เทคโนโลยีนี้ใช้สายไฟเพียง 3 เส้น (CAN-L CAN-H และ GND) ช่วยให้ทุกชิ้นส่วนสามารถส่งและรับข้อมูลซึ่งกันและกัน โดยสัญญาณ CAN-L และ CAN-H ทำงานอยู่ในช่วงระหว่าง 0V ถึง 5V



รูปที่ 3-3 สถาปัตยกรรมระบบ CAN Bus
[ที่มา: CAN Bus Networking | hazeltontechnologies]

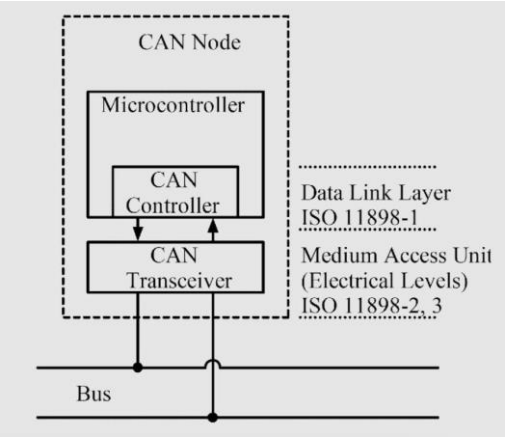
เนื่องจากมีการนำ CAN Bus มาใช้งานอย่างแพร่หลาย มาตรฐาน CAN Bus จึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการออกแบบรถยนต์ และเครื่องจักร เนื่องจากมีข้อดี ดังนี้

1. ง่าย และประหยัดต้นทุน เนื่องจากกล่องควบคุม (ECU) สื่อสารกันผ่านระบบ CAN แทนการใช้สายสัญญาณที่ซับซ้อน ช่วยลดข้อผิดพลาด น้ำหนักสายไฟ และต้นทุน นอกจากนี้ชิปควบคุม CAN ยังหาซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพง

2. ระบบ CAN Bus ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการสื่อสารกับกล่องควบคุมทั้งหมดในเครือข่าย ช่วยให้สามารถวินิจฉัย ปรับแต่ง และบันทึกข้อมูลได้สะดวก
3. แข็งแรงทนทาน เนื่องจากระบบมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า และคลื่นแม่เหล็ก เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง เช่น รถยนต์
4. มีประสิทธิภาพ เนื่องจากข้อมูลในระบบ CAN Bus จะถูกจัดลำดับความสำคัญตามหมายเลข ID ข้อมูลที่สำคัญที่สุดจะได้รับการส่งก่อน โดยไม่รบกวนการส่งข้อมูลอื่นๆ
5. น้ำหนักรถยนต์เบาลง เนื่องจากระบบ CAN Bus ช่วยลดสายไฟจำนวนมาก ทำให้รถยนต์มีน้ำหนักเบาลง
6. ใช้งานง่าย เนื่องจากมีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ มีผู้ผลิตและผู้ใช้งานมากมาย
7. ระบบ CAN Bus มีความสามารถในการตรวจสอบ และควบคุมข้อผิดพลาดได้อย่างดีเยี่ยม ช่วยให้ข้อมูลถูกส่งไปยังจุดหมายปลายทางอย่างถูกต้อง
8. เหมาะสำหรับระบบควบคุมแบบกระจาย ระบบ CAN Bus เหมาะสำหรับการควบคุมระบบที่ซับซ้อนแบบกระจาย ช่วยลดสายไฟ ต้นทุน และน้ำหนัก นอกจากนี้ ชิปควบคุมยังมีราคาไม่แพง

3.2 การสื่อสารในระบบ CAN Bus

ระบบ CAN Bus (Controller Area Network) คือ มาตรฐานการสื่อสารในรูปแบบของการส่งข้อความให้แก่อุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบเดียวกัน โดย ออกแบบมาเพื่อให้กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ภายในรถยนต์ยุคใหม่ รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ สามารถสื่อสารซึ่งกันและกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการส่งข้อมูลตามลำดับความสำคัญ โดยข้อความ หรือที่เรียกว่า "เฟรม" จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ทุกตัวภายในเครือข่าย โดยไม่จำเป็นต้องมีคอมพิวเตอร์หลักคอยควบคุม โดยระบบ CAN Bus ในปัจจุบันมีมาตรฐานรับรองตามมาตรฐานสากล คือ มาตรฐาน ISO 11898



รูปที่ 3-4 มาตรฐานของระบบ CAN Bus

[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

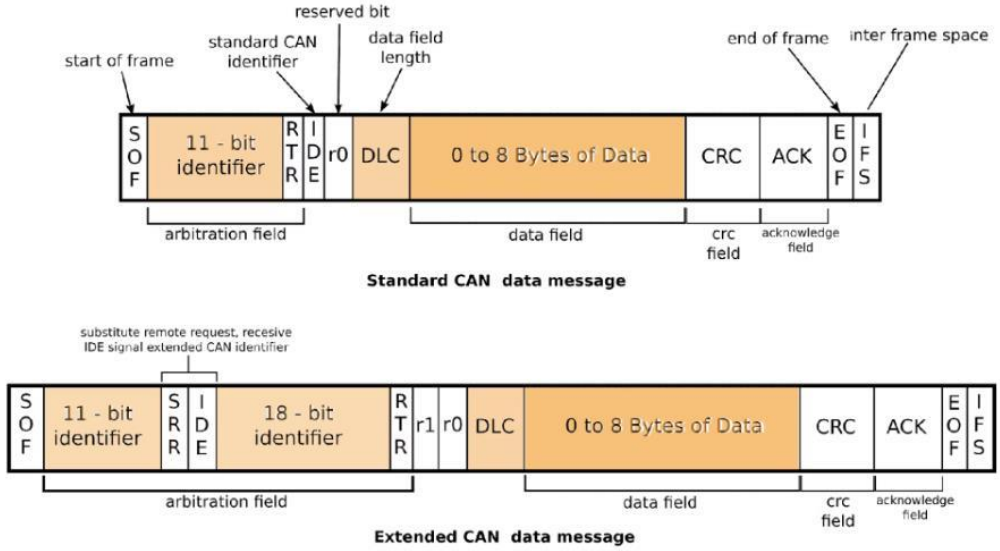
ในระบบ CAN Bus อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับสายไฟสื่อสารมีชื่อเรียกว่าโหนด (Node) โดย โหนดต่าง ๆ นั้นไม่สามารถส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงได้ แต่จะส่งข้อมูลลงบนเครือข่าย ซึ่งข้อมูลนั้นจะถูกเปิดให้อีกโหนดหนึ่งที่อนุญาตให้สามารถเข้าถึงข้อความได้ โดยระบบ CAN Bus ใช้การจัดการระดับบิต เพื่อระงับการขัดแย้งกันบน Bus ทำให้ไม่มีการสูญเสียข้อมูล

โหนดทั้งหมดในเครือข่ายจะถูกซิงโครไนซ์ (Synchronize) เพื่อให้สามารถรับข้อมูลพร้อมกัน แต่เนื่องจากข้อมูลที่ส่งไม่มีข้อมูลเวลา (Clock data) ดังนั้นระบบ CAN Bus จึงไม่ใช่บัสแบบซิงโครไนซ์ (Synchronize) ทั้งหมด ดังเช่นระบบ EtherCAT

CAN Frame ซึ่งถือเป็นข้อความที่ถูกส่งในระบบ CAN Bus สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. เฟรมข้อมูล (Data frames) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังโหนดรับหนึ่งหรือหลายโหนด
2. เฟรมขอข้อมูล (Remote frames) ทำหน้าที่ขอข้อมูลจากโหนดอื่น
3. เฟรมแสดงข้อผิดพลาด (Error frames) ทำหน้าที่รายงานข้อผิดพลาด
4. เฟรมแสดงการ์ดโอเวอร์โหลด (Overload frames) ทำหน้าที่รายงานสถานะโอเวอร์โหลด

โดยความยาวของข้อความในระบบ CAN มีสองรูปแบบ คือ แบบมาตรฐาน (Standard CAN data message) และแบบขยาย (Extended CAN data message) ซึ่งความแตกต่างที่สำคัญ คือ ข้อความแบบมาตรฐาน (Standard CAN data message) จะมีขนาดข้อความสำรับระบุตัวตน (Arbitration field) 11 บิต ซึ่งจะสามารถส่งข้อความได้ 2048 ข้อความ ต่างจากข้อความแบบขยาย (Extended CAN data message) จะมีขนาดข้อความสำรับระบุตัวตน (Arbitration field) 29 บิต เพิ่มเติมจากข้อความแบบมาตรฐาน (Standard CAN data message) 18 บิต ทำให้สามารถส่งข้อความได้มากถึง 537 ล้านข้อความ โดยแต่ละข้อความนั้นจะมีรูปแบบ และความหมายที่แตกต่างกันไปดังแสดงในรูปที่ 3-5



Standard and Extended frame of the CAN data message architecture

รูปที่ 3-5 ข้อความในระบบ CAN แบบมาตรฐาน และแบบขยาย
[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

FIELD	BITS	DESCRIPTION
SOF	1	The single dominant Start Of Frame. This bit marks the start of a message. It synchronizes the nodes after an idle period.
Identifier	11	The CAN 11-bit identifier data field sets the message priority. Lower values mean higher priorities.
RTR	1	Remote Transmission Request. This bit is dominant when information is requested by another node. All nodes will receive the request, but the identifier determines the desired node.
IDE	1	The Identifier Extension bit indicates that a standard CAN identifier (not an extended one) is being transmitted.
R0	1	Reserved for future use.
DLC	4	The Data Length Code contains the number of bytes in the transmission.
Data	0 - 64	The actual data being transmitted.
CRC	16	The 16-bit (15 bits plus delimiter) cyclic redundancy check (CRC) contains the checksum (number of bits transmitted) of the preceding application data for transmitting error detection.
ACK	2	When a node successfully receives a message, is ACKnowledges it by overwriting this overwrites this bit with a dominant bit. On the other hand, if a node finds an error in a message, it allows this bit to remain recessive and ignores the message. ACK slot and ACK delimiter are each one bit long.
EOF	7	End Of Frame is a 7-bit field that denotes the end of every CAN frame (message).
IFS	3+	Inter Frame Space (IFS) is the time that the controller needs to move a frame (message) into position in the buffer area. Note that IFS contains a minimum of three consecutive recessive (1) bits. After three recessive bits have passed, when a dominant bit is detected, it becomes the SOF bit of the next frame.

รูปที่ 3-6 รูปแบบ และความหมายของข้อความในระบบ CAN
[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

ข้อความสำรับระบุตัวตน (Arbitration field) เป็นข้อความที่ระบุตัวเลขสำหรับยืนยันตัวโหนดผู้ส่งข้อความ ในกรณีที่มีการส่งข้อความพร้อมกันจากหลายโหนด โหนดที่มีข้อความสำรับระบุตัวตน (Arbitration field) น้อยที่สุดจะเป็นโหนดทีมีลำดับความสำคัญ (Priority) สูงที่สุด ในทางกลับกัน โหนดที่มีข้อความสำรับระบุตัวตน (Arbitration field) มากที่สุดจะเป็นโหนดทีมีลำดับความสำคัญ (Priority) ต่ำที่สุด

3.3 มาตรฐานและโปรโตคอลที่เกี่ยวกับ CAN

มาตรฐาน และโปรโตคอลบน CAN นั้นมีความจำเป็นเพราะ แม้ว่า CAN จะเป็นโปรโตคอลที่ออกแบบมาอย่างดี และเชื่อถือได้ แต่ CAN เป็นเพียงระบบการส่งข้อความเพียงอย่างเดียว ไม่มีวิธีการวิเคราะห์ หรือเข้าใจข้อมูลภายในข้อความที่ส่งออกไปเลย ดังนั้นบริษัทหลายแห่งจึงสร้างมาตรฐาน และโปรโตคอลเพิ่มเติมที่ทำงานภายในหรือบน CAN เพื่อเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่มากขึ้น โปรโตคอลที่เป็นที่รู้จักดีที่สุดได้แก่

3.3.1 มาตรฐาน ISO 11898

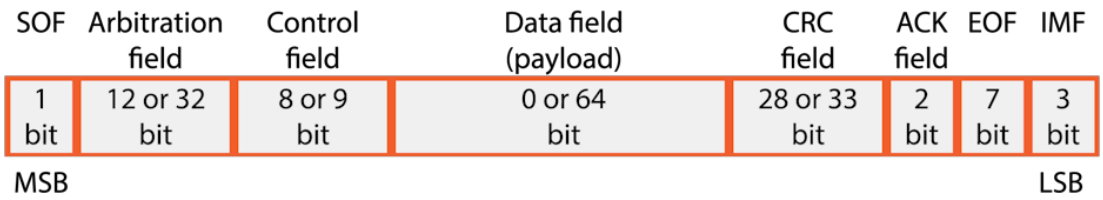
ในมาตรฐาน ISO 11898 มีการกำหนดประเภทของ CAN ไว้หลายประเภท โดยประเภทหลักของ CAN ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ได้แก่

1. LOW Speed CAN ใช้สำหรับระบบ Fault-Tolerant System กล่าวคือ ระบบที่สามารถทำงานต่อไปได้แม้จะเกิดข้อผิพกลาด หรือล้มเหลวในบางส่วนของระบบ และใช้ในระบบที่ไม่ต้องการอัตราการอัปเดตสูง โดยอัตราการถ่ายโอนข้อมูลสูงสุดใน LOW Speed CAN คือ 125 kbps ซึ่งทำให้การเดินสายมีต้นทุนต่ำกว่า CAN ความเร็วสูง พบได้ในระบบการควบคุม และแสดงผลบนแผงหน้าปัด กระจกไฟฟ้า เป็นต้น
2. HIGH Speed CAN ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างระบบย่อยที่สำคัญ ซึ่งต้องการอัตราการอัปเดตสูง และความแม่นยำของข้อมูลสูง เช่น ระบบเบรกป้องกันการลื่นไถล ระบบควบคุมเสถียรภาพอิเล็กทรอนิกส์ ถุงลมนิรภัย และหน่วยควบคุมเครื่องยนต์ ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของ High Speed CAN อยู่ในช่วง 1 kbit ถึง 1 Mbit ต่อวินาที

3. CAN FD (Flexible data rate CAN) เป็นเวอร์ชั่นล่าสุดของ CAN ซึ่งมีการอัตราการส่งข้อมูลที่ยืดหยุ่น ข้อมูลต่อข้อความมากขึ้น และการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงขึ้นมาก ความยาวข้อมูลในแต่ละข้อความของ CAN มาตรฐาน (Low Speed และ High Speed) คือ 8 ไบต์ แต่ใน CAN FD ได้เพิ่มขึ้นถึง 64 ไบต์ ซึ่งเพิ่มขึ้น 800% นอกจากนี้ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดยังเพิ่มขึ้นอย่างมากจาก 1 Mbps เป็น 8 Mbps ซึ่ง

CAN FD (Flexible Data Rate CAN) เป็นระบบที่สามารถใช้งานร่วมกับโปรโตคอลการสื่อสาร CAN 2.0 ได้ และยังรองรับโปรโตคอลพิเศษเช่น SAE J1939 ที่ CAN ใช้เป็นการอ่านข้อมูลเท่านั้น โดยพื้นฐานแล้ว CAN FD เป็นการขยายมาตรฐาน CAN เดิมตามที่ระบุใน ISO 11898-1 และสามารถทำงานร่วมกับระบบ CAN เดิมได้อย่างสมบูรณ์

CAN FD เป็นก้าวสำคัญที่ช่วยให้หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECUs) สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูล และเลือกขนาดข้อความให้ใหญ่ขึ้นหรือน้อยลงได้ตามความต้องการในเวลาจริง ปัจจุบัน CAN FD ถูกนำมาใช้ในรถยนต์สมรรถนะสูง แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของ ECU เพิ่มขึ้นและต้นทุนของฮาร์ดแวร์ CAN FD ลดลง จึงเป็นเพียงเรื่องของเวลาที่ CAN FD จะถูกใช้งานในรถยนต์แทบทุกคัน

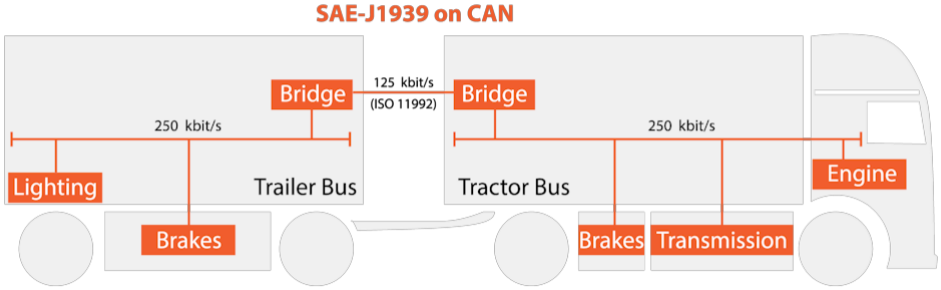


รูปที่ 3-7 ข้อมูลใน CAN Bus

[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

3.3.2 มาตรฐาน SAE J1939

มาตรฐาน SAE J1939 เป็นมาตรฐานที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดรูปแบบการสื่อสารสำหรับการใช้งานในรถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถลากพ่วงในสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันนี้ถูกใช้โดยผู้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซลทั่วโลก โดยเป็นมาตรฐานที่กำหนดระบบการสื่อสารที่ใช้ รูปแบบทางกายภาพของ CAN ซึ่งมีฟังก์ชันที่มีประโยชน์เฉพาะสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่



รูปที่ 3-8 SAE-J1939 on CAN

[ที่มา: What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

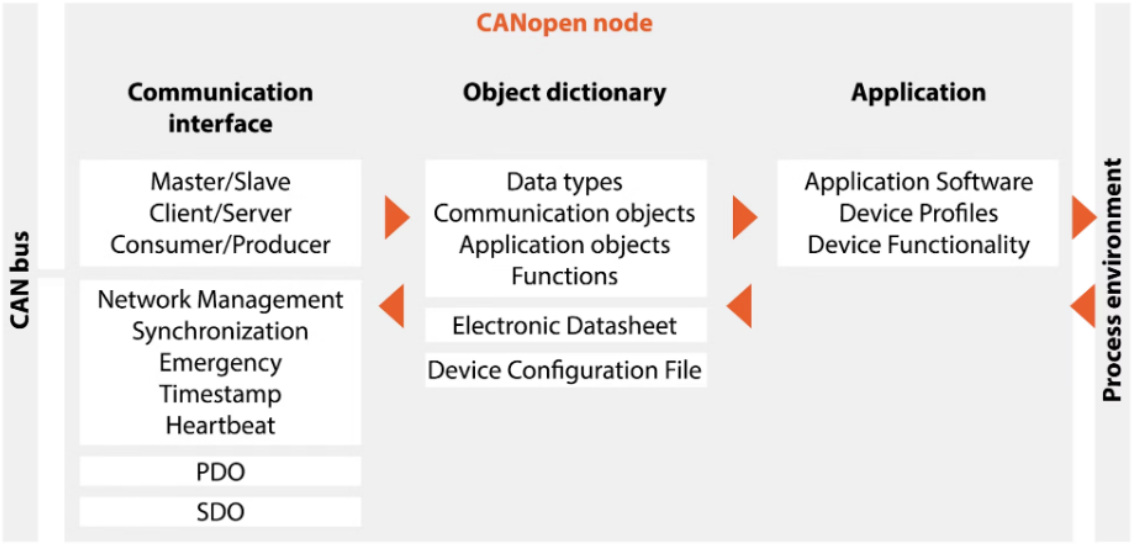
3.3.3 CANopen

CANopen เป็นโปรโตคอลระดับสูงที่ใช้สำหรับการทำงานของการควบคุมแบบฝังตัว (Embedded control applications) เนื่องจาก CANopen ถูกพัฒนาขึ้นบน CAN ระบบ DAQ (Data Acquisition) และเครื่องบันทึกข้อมูล (data loggers) ที่สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลจาก CAN ก็สามารถเข้าถึงข้อมูลจาก CANopen ได้เช่นกัน โดย CANopen ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้การปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ในระบบควบคุมการเคลื่อนไหวเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น โดยการสื่อสารผ่าน CANopen สามารถใช้สื่อสารผ่านระบบควบคุมระดับสูง หรือตั้งค่าของอุปกรณ์ที่สนับสนุนได้ โดย CAN Bus รูปแบบเก่าไม่สนับสนุนการทำงานแบบนี้ ยกเว้นว่าผู้พัฒนาจะออกแบบระบบควบคุมแบบฝังตัว (Embedded control applications) ที่รองรับการทำงานด้วยตนเอง

CANopen ถูกจัดการโดยองค์กรนานาชาติชื่อ CAN in Automation - CiA ซึ่งได้รับการก่อตั้งขึ้นในประเทศเยอรมนีในปี ค.ศ. 1992 CiA เป็นกลุ่มผู้ใช้/ผู้ผลิตระหว่างประเทศที่ไม่แสวงหาผลกำไรสำหรับ CAN

CANopen รองรับการทำงานหลายส่วนเพิ่มเติมจาก CAN Bus อาทิ

1. รูปแบบการสื่อสารพื้นฐานที่ประกอบด้วย
    - Master/Slave - โดยมีโหนดหนึ่งเป็น "master" และโหนดอื่นๆ เป็น "slaves"
    - Client/Server - คล้ายกับ Master/Slave แต่มีโหนดหนึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์คอยบริหารจัดการการรองขอ และส่งข้อมูลของโหลดต่าง ๆ ภายในระบบ
    - Producer/Consumer – เป็นการสื่อสารที่กำหนดให้มีโหลดทำหน้าที่ส่งข้อมูลโดยเฉพาะและมีโหลดที่กำหนดให้มีหน้าที่รับข้อมูลนั้นโดยเฉพาะ
2. โปรโตคอลการสื่อสารพื้นฐาน
    - SDOs สำหรับการกำหนดค่าโหนด
    - PDOs สำหรับการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์
3. การจัดการโปรไฟล์อุปกรณ์
4. พจนานุกรมวัตถุ (Object dictionary) ซึ่งเป็นการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ
5. สถานะของอุปกรณ์ โหนดมาสเตอร์สามารถเปลี่ยนหรือรีเซ็ตสถานะของอุปกรณ์ในเครือข่าย
6. แผ่นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic data sheets - EDS) ซึ่งเป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานสำหรับพจนานุกรมวัตถุ อำนวยความสะดวกในการอัพเดตอุปกรณ์ในระบบได้



Connections among CANopen concepts and capabilities

รูปที่ 3-9 แนวคิด และความสามารถของ CANopen

[ที่มา : What Is Can Bus (Controller Area Network) | Dewesoft]

3.4 การสื่อสารในรูปแบบอื่น ๆ

ยานยนต์ในปัจจุบัน ไม่ได้มีระบบ CAN เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีโมดูลอื่น ๆ ที่ช่วยในการสื่อสารภายในรถ ซึ่งแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน และความสามารถของโมดูลนั้น ๆ โดยโมดูลที่พบได้บ่อยในอุตสาหกรรมยานยนต์ ได้แก่

3.4.1 MOST (Media-Oriented Systems Transport)

ในยุคปัจจุบัน ระบบสารสนเทศน์ในรถยนต์ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้น จากการใช้งานวิทยุ AM/FM แบบเก่าแก่ที่ถูกใช้งานมากว่า 50 ปี ได้รับการพัฒนาให้สามารถรองรับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลภายนอก อาทิ เทป แผ่น CD และแฟลชไดร์ฟ ในปัจจุบัน ผู้บริโภคต้องการ การสตรีมเนื้อหาจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ และวิทยุดาวเทียม (SIRIUS/XM® ในภูมิภาคเหนืออเมริกา) เนื่องจากสอดคล้องกับสื่อสารสนเทศน์ที่ผู้บริโภคคุ้นชินในการดำรงชีวิตประจำวันภายนอกรถยนต์

Media-Oriented Systems Transport (MOST) เป็นมาตรฐานของบัสที่ใช้เชื่อมต่อระบบบันเทิงและสารสนเทศในรถยนต์ ถูกพัฒนาโดยหน่วยงานที่ชื่อ MOST Cooperation ซึ่งเป็นความร่วมมือของผู้ผลิตรถยนต์ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลที่ 25 50 และ 150 Mb/s ปัจจุบัน MOST ถูกใช้ในทุกยี่ห้อรถยนต์ทั่วโลก แ และสามารถเชื่อมต่อได้สูงสุดถึง 64 อุปกรณ์ ซึ่งช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อ หรือตัดการเชื่อมต่อได้อย่างง่ายดาย ปัจจุบัน MOST มีการกำหนดมาตฐานไว้หลายระดับ ได้แก่

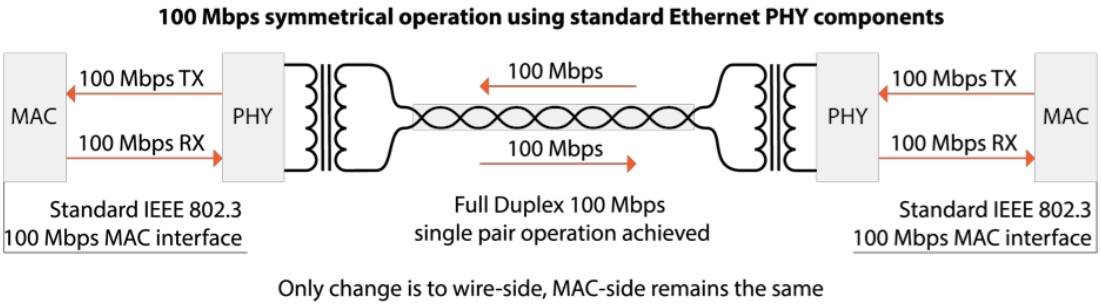
1. MOST25 มีอัตราส่งข้อมูลสูงสุดที่ 23 MB ซึ่งจริงๆ จำกัดไว้ที่ประมาณ 10 kB/s จากการส่งของมูลส่วนอื่น ๆ ที่สำคัญของโปรโตคอล
2. MOST50 มีอัตราการส่งข้อมูลมากกว่า MOST25 หนึ่งเท่าตัวหรือประมาณ 46 MB
3. MOST150 มีอัตราการส่งข้อมูลมากกว่า MOST50 2 เท่าตัวหรือประมาณ 138 MB และรองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ด้วยสายแลน (Ethernet Cable)

รูปที่ 3-10 Media-Oriented Systems Transport

3.4.2 Automotive Ethernet

Automotive Ethernet ประกอบไปด้วยระบบเครือข่ายภายในรถยนต์ที่เชื่อมต่อด้วย Ethernet หรือ สายแลน โดย Automotive Ethernet ยังไม่มีมาตรฐานรับรองโดยตรง แต่อย่างไรก็ดี ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอ้างอิงถึงมาตรฐาน Ethernet ทั่วไป อาทิ OPEN Alliance Broad R-Reach หรือ IEEE 802.3bw-2015 (100Base-T1)

แม้ว่า Ethernet จะมีข้อดีในด้านความเร็ว และความนิยมทั่วโลก แต่การใช้ Ethernet ในรถยนต์มีความแตกต่างจากการใช้งาน Ethernet ภายนอกรถยนต์ อาทิ ใช้งานในที่อยู่อาศัย หรือสำนักงาน เนื่องจาก การใช้งานในรถยนต์ต้องทนทางต่ออุณหภูมิที่แตกต่างจากในอาคาร นอกจากนั้น การใช้งานในรถยนต์ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาต่างจากการใช้งานในอาคาร อาทิ การสั่นสะเทือน การรบกวนจากคลื่อนแม่เหล็ก และการรบกวนจากคลื่อนวิทยุ ซึ่งอาจส่งผลให้มีปัญหาด้านการสื่อสารได้ อ่างไรก็ตาม ปัญหาเหล่านี้กำลังถูกพัฒนาโดยคณะทำงาน IEEE 802.3 และ 802.1 รวมไปถึงผู้ผลิตเซมิคอนดักเตอร์ Broadcom ที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า BroadR-Reach ที่สามารถส่งข้อมูลได้ไกลถึง 40 เมตร โดยอาศัยการพัฒนาสายส่งข้อมูลต่อยอดจาก Unshielded Twisted-Pair ด้วยการเพิ่มสายป้องกันการรบกวนภายนอกไว้ในสาย ส่งผลให้แนวโน้มการเกิดปัญหาการส่งข้อมูลผ่าน Ethernet ในรถยนต์ลดลงได้ในอนาคต



รูปที่ 3-11 แผนภูมิของการใช้งาน 100 Mbps แบบสมมาตร

มาตรฐาน BroadR-Reach ถูกกำกับดูแลโดย OPEN (One-Pair Ether-Net) ซึ่งสนับสนุนการนำ Automotive Ethernet มาใช้งานในรถยนต์ โดยแยกเป็น

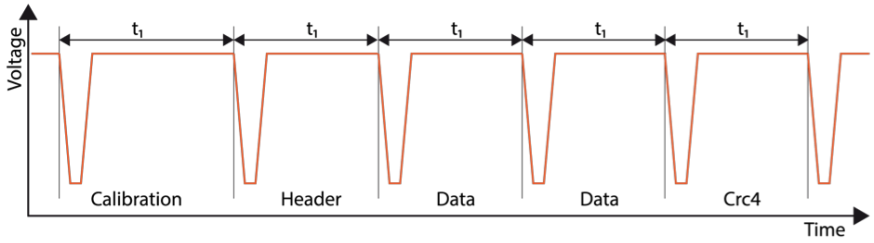
1. Ethernet AVB (Audio Video Bridging) มาตรฐาน IEEE AVB1.0 ครอบคลุมเรื่องการใช้กับระบบกล้องและสื่อมัลติมีเดีย และในมาตรฐานมาตรฐาน IEEE AVB2.0 มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ในการควบคุมยานพาหนะ
2. Ethernet TSN (Time-Sensitive Networking) เป็นมาตรฐาน IEEE 802.1 ออกแบบเพื่อให้สามารถส่งข้อความที่มีความอ่อนไหวต่อเวลาได้ กล่าวคือ ข้อมูลที่ต้องการสื่อสารภานในช่วงเวลาที่กำหนด โดย มาตรฐาน Ethernet TSN เป็นมาตรฐานกระบวนการจัดการข้อมูลหลังจากผ่านการสื่อสารผ่าน Automotive Ethernet แล้ว มิใช่มาตรฐานของโปรโตคอลในการส่งข้อมูล

3.4.3 Single Edge Nibble Transmission (SENT)

ระบบ Single Edge Nibble Transmission (SENT) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทดแทนการสื่อสารแบบ CAN Bus โดยมีมาตรฐานรับรองหมายเลข SAE J2716 (Single Edge Nibble Transmission) โดยระบบนี้เป็นโปรโตคอลที่ส่งข้อมูลในทิศทางเดียว เพื่อให้เซ็นเซอร์ส่งข้อมูลไปยังหน่วยควบคุมได้ มีข้อดีคือ ระบบ SENT ต้องการความเร็วในการสื่อสารต่ำ

ข้อมูลที่ถูกส่งโดย SENT จะถูกเข้ารหัสด้วย Pulse Code Modulation (PCM) ในรูปแบบ 4-bit หรือเรียกว่า "nibbles" และถูกส่งผ่านสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว (ในขณะที่ข้อมูลของ CAN Bus ถูกส่งผ่านสายสัญญาณ 2 เส้น) รวมทั้งระบบต้องการสายเพียง 3 เส้น ได้แก่ สายสัญญาณ สายกราวด์ และสายไฟเลี้ยง โดยข้อความที่ส่งทาง SENT มักมีขนาด 32 บิต (8 nibbles) ประกอบด้วย:

1. ข้อมูลสัญญาณขนาด 24 บิต (6 nibbles)
2. การตรวจสอบข้อผิดพลาด CRC ขนทด4 บิต (1 nibble)
3. ข้อมูลสถานะขนาด 4 บิต (1 nibble)

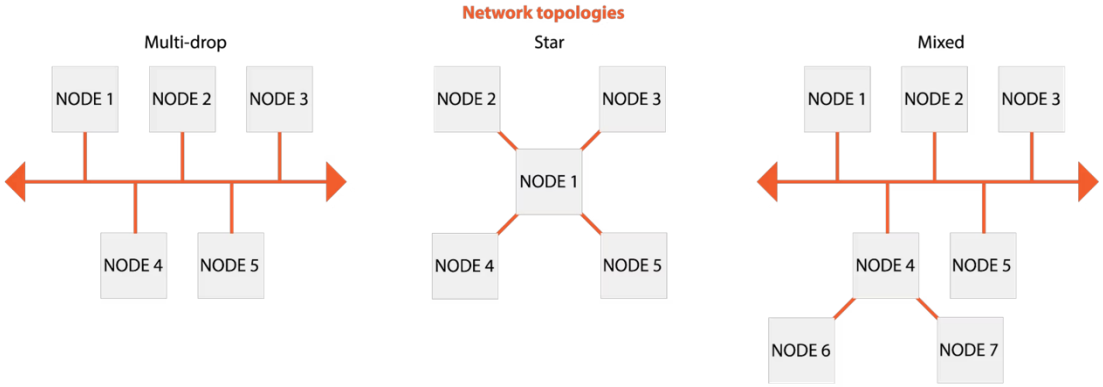


รูปที่ 3-12 การส่งสัญญาณแบบ Pulse Code Modulation (PCM)

3.4.4 FlexRAY

FlexRAY เป็นโปรโตคอลที่ใช้สำหรับระบบควบคุมด้านพลศาสตร์ยานยนต์ อาทิ ระบบควบคุมแชสซิส (Chassis Control) ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 2005 โดย FlexRAY Consortium ซึ่งสร้างมาตรฐานกำหนดคุณสมบัติของ FlexRAY ในปีเดียวกัน ได้แก่มาตรฐาน ISO 17458-1 ถึง 17458-5

FlexRAY เป็นรูปแบบการสื่อสารที่ส่งข้อมูลได้สูงถึง 10 Mb/s มากกว่าความเร็วสูงสุดของการส่งข้อมูลด้วย HIGH Speed CAN ถึง 10 เท่า นอกจากนี้ FlexRAY ยังรองรับสภาปัตยกรรมหลายรูปแบบ อาทิ Bus Sar และ Hybrid ดังแสดงในรูปที่ 3-13 โดย การส่งข้อมูลผ่าน FlexRAY สามารถกระทำได้ผ่านสายสัญญาณ 1 หรือ 2 เส้น นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบให้มีสัญญาณรบกวนต่ำ ส่งผลให้สายสัญญาณไม่จำเป็นต้องมีสายป้องกันการรบกวนภายนอกไว้ในสาย ส่งผลให้การใช้ระบบการสื่อสารแบบนี้มีต้นทุน และน้ำหนักต่ำ



รูปที่ 3-13 รูปแบบการใช้งานของ FlexRAY

3.4.5 Local Interconnect Network Bus (LIN Bus)

LIN Bus เป็นอีกหนึ่งระบบสื่อสารที่ถูกพัฒนามาทดแทน CAN Bus โดยมีข้อดีด้านต้นทุนที่ต่ำกว่า แต่อย่างไรก็ดีก LIN Bus มีข้อจำกัดด้านจำนวนอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อเข้าระบบได้ โดย LIN Bus รองรับอุปกรณ์ Master 1 ตัว และ อุปกรณ์ Slave 15 ตัว โดย ระบบการสื่อสารแบบ LIN Bus เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว โดย อุปกรณ์ Slave ใน LIN Bus จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ Master เท่านั้น โดย LIN Bus มีมาตรฐานที่ครอบคลุม คือ มาตรฐาน ISO 9141

เนื่องจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ และความเร็วในการส่งสัญญาณ LIN Bus มักได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ประเภท มอเตอร์ขนาดเล็ก และกล่องควบคุมเท่านั้น อาทิ กระจกไฟฟ้า อุปกรณ์ส่องสว่าง ล็อคประตู และเบาะนั่งไฟฟ้า เป็นต้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น การสื่อสารภายในยานยนต์นอกจาก CAN Bus ที่ได้รับความนิยม ยังมีการสื่อสารอีกหลายประเภท ที่ออกแบบมาเพื่อทดแทน CAN Bus ทั้งด้านต้นทุนของการผลิต รวมไปถึงความเหมาะสมกับการใช้งานในอุปกรณ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้นในยานยนต์สมัยใหม่ โดย การสื่อสารในรูปแบบต่าง ๆ สามารถเปรียบเทียบกันได้ดังแสดงในรูปที่ 3-14

	LIN	CAN	CAN FD	FLEXRAY	MOST	ETHERNET
Speed	10-20 kbps	1 Mbps	8 Mbps	10 Mbps	150 Mbps (shared)	100 Mbps (per node)
Data size	8 B	8B	64 B	254 B	370 B	1500 B
Cabling	Single wire	UTP*	UTP	UTP	UTP or fiber optic	UT
Topology	Bus	Bus	Bus / passive star	Bus / Star / Mixed	Ring	Star / Tree / Ring
Where Used	Sensors, Actuators (lights, mirrors, etc.)	Backbone, Body, Chassis, Powertrain	Body, Powertrain, Distributed Control, Chassis	High-performance powertrain, Backbone, Drive-by-wire, Chassis	Information & Entertainment Systems	Diagnostics, ECU Programming, Information & Entertainment
Error Detection	8-bit CRC	15-bit CRC	17 or 21-bit CRC	24-bit CRC	CRC	32-bit CRC
Redundancy	N/A	N/A	N/A	Yes	Yes	N/A
Determinism	N/A	N/A	N/A	Yes	Yes	Not inherent
Cost	$	$$	$$$	$$$	$$	$$

A high-level comparison of vehicle buses

รูปที่ 3-14 เปรียบเทียบความสามรถ และการนำไปใช้งานของระบบต่างๆ

บทที่ 4 อินเตอร์เน็ตสรรพสิ่งเบื้องต้น (Internet of Things)

Internet of Things (IoT) คือระบบของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อรวบรวม และส่งข้อมูลแบบไร้สายจากเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ฝังตัวด้วยซอฟต์แวร์ และเทคโนโลยีอื่นๆ เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ และระบบอื่น ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูล และการตัดสินใจเป็นเรื่องง่ายขึ้น ส่งผลให้ ผู้บริโภคสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าว มาใช้ในการพัฒนาธุรกิจ ลดต้นทุน ผ่านปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการขยายธุรกิจไปสู่สายงานใหม่ ๆ ด้วยการใช้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่เชื่อถือได้

IoT (Internet of Things) และ CAN bus (Controller Area Network bus) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างไรก็ตามมีความแตกต่างที่สำคัญในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. <u>ลักษณะของระบบ</u>

   IoT เป็นระบบของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อรวบรวม และส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งอุปกรณ์ใน IoT มักจะมีการใช้เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเป็นหลัก ในขณะที่

   CAN bus เป็นระบบเครือข่ายที่ใช้ในรถยนต์ และระบบโรงงาน เพื่อการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งในรถหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

2. <u>การสื่อสาร</u>

   IoT ใช้โปรโตคอลการสื่อสารที่หลากหลาย เช่น Wi-Fi Bluetooth Zigbee LoRa หรือ Cellular เพื่อการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับอินเทอร์เน็ต

   CAN bus ใช้โปรโตคอลการสื่อสาร CAN (Controller Area Network) เป็นพิเศษ เพื่อการสื่อสารในระบบรถยนต์ หรืออุปกรณ์โรงงาน

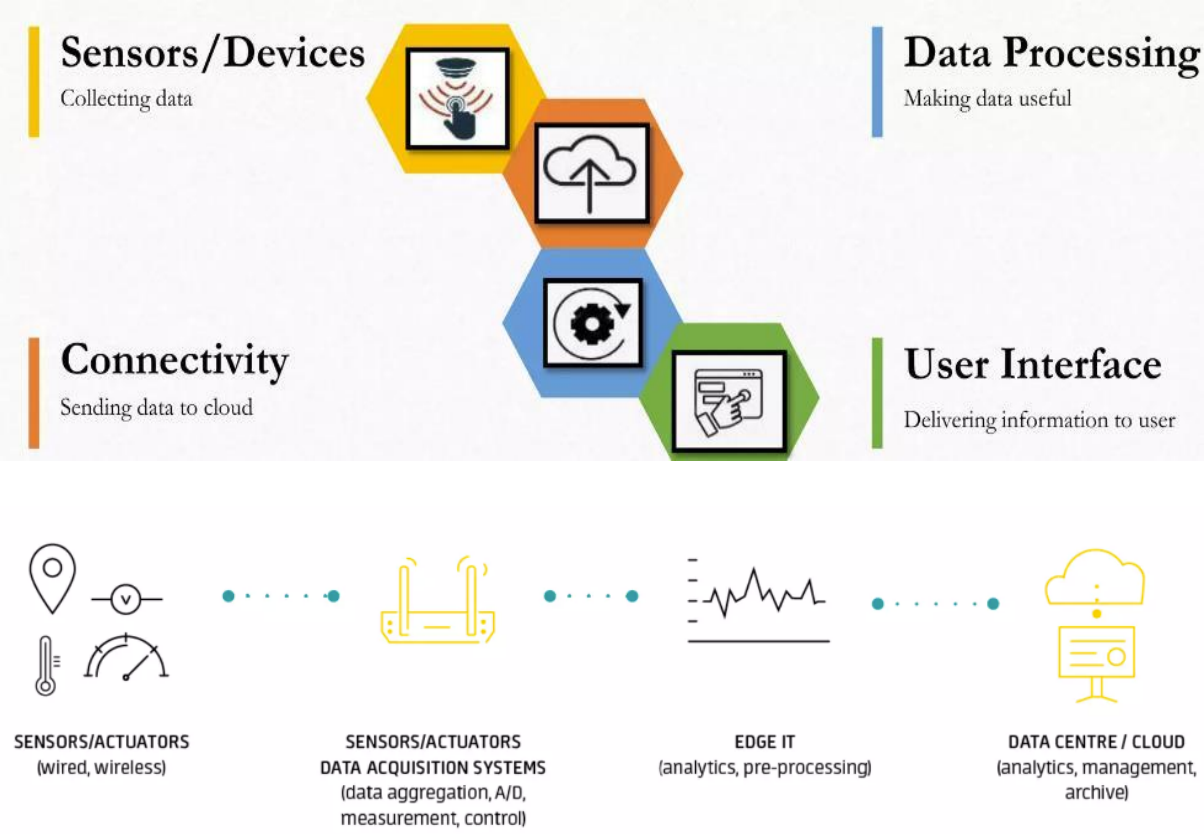
3. <u>Gateway</u>

   Gateway คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลระหว่าง IoT และ CAN bus ซึ่งมีหน้าที่สื่อสารระหว่างสองระบบนี้ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง โดย Gateway สามารถแปลงข้อมูลระหว่างโปรโตคอลของ IoT เช่น MQTT HTTP CoAP และโปรโตคอลของ CAN bus เพื่อให้ข้อมูลสามารถส่งผ่านได้ ดังนั้น Gateway เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้การสื่อสารระหว่าง IoT และ CAN bus เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ โดยมีการแปลงข้อมูลให้เข้ากับรูปแบบของแต่ละระบบอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

4.1 สถาปัตยกรรมของ IoT

การทำงานของ IoT มีขั้นตอนหลัก 4 ดังนี้

1. Sensors and Devices (เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์) ถูกติดตั้งในวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ เพื่อรวบรวมข้อมูล เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิความชื้น แสง การเคลื่อนไหว เป็นต้น
2. Data Processing (การประมวลผลข้อมูล) ข้อมูลที่รวบรวมมาจากเซ็นเซอร์ และอุปกรณ์จะถูกส่งไปยังระบบประมวลผล เพื่อวิเคราะห์ และแปลงข้อมูลให้เป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย
3. Connectivity (การเชื่อมต่อ) ข้อมูลที่ถูกประมวลผลแล้วจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์หรือระบบที่ต้องการผ่านช่องทางการเชื่อมต่อต่าง ๆ เช่น Wi-Fi Bluetooth หรือเครือข่ายเซลลูลาร์
4. User Interface (อินเตอร์เฟซสำหรับผู้ใช้) ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางอินเตอร์เฟซที่ใช้งานง่าย เช่น แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน พอร์ทัลเว็บ หรืออุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ ที่เชื่อมต่อกับ IoT นั้น



รูปที่ 4-1 การส่งค่าของเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ไปยัง Cloud

4.2 การสื่อสาร

การสื่อสารนั้นจะเกิดขึ้นได้เมื่อมี Node ตั้งแต่ 2 Node ขึ้นไป กล่าวคือ เซ็นเซอร์ หรือ Node ตัวแรกทำการรับข้อมูลมา และส่งไปยัง Gateway และจะต้องมี Node อีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการอ่านค่าที่ได้รับมา โดยการสื่อสารนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การสื่อสารแบบใช้สาย เช่น สายทองแดง และการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) เช่น RF (Radio Frequency) และ IR (Infrared)

การสื่อสารแบบไร้สายแบบ IR (Infrared) คือ การสื่อสารไร้สายด้วยแสงอินฟาเรด นิยมใช้ในการสื่อสารที่ต้องการส่งข้อมูลเล็ก ๆ เช่น รีโมต ส่วนการสื่อสารแบบไร้สายแบบ RF (Radio Frequency) คือ การสื่อสารไร้สายด้วยความถี่วิทยุ ซึ่งหมายถึงการส่งข้อมูลไร้สายโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วงคลื่นวิทยุ การสื่อสารประเภทนี้มักนิยมใช้ในการสร้างเครือข่ายไร้สายเช่น Wi-Fi Bluetooth เครือข่ายเซลลูลาร์ และเทคโนโลยีไร้สายอื่นๆ การสื่อสารด้วยความถี่วิทยุช่วยให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารกันได้ในระยะทางที่ยาวกว่าการสื่อสารด้วยแสงอินฟราเรด และไม่จำเป็นต้องมีการมองเห็นระหว่างตัวส่งและตัวรับ

อินเทอร์เน็ต เปรียบเสมือนเครือข่ายขนาดใหญ่ (WAN) ที่รองรับเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) โดยใช้อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (TCP/IP) ทำหน้าที่เป็นภาษาสากลที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ บนเครือข่าย อุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตจำเป็นต้องรองรับ TCP/IP โดยมี Gateway เปรียบเสมือนประตูที่เชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) เข้ากับอินเทอร์เน็ต ทำหน้าที่แปลข้อมูลระหว่างโปรโตคอลที่แตกต่างกัน ช่วยให้อุปกรณ์บนเครือข่ายท้องถิ่นสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์บนอินเทอร์เน็ตได้

4.3 ชุดของโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ IoT (IoT Protocol Stack)

IoT protocol stack คือ ชุดของโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ IoT และเครือข่าย ประกอบด้วยหลายชั้น แต่ละชั้นมีหน้าที่รับผิดชอบในการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบเฉพาะ โดยชั้นหลักของ IoT protocol stack ประกอบด้วย

1. Application Layer ชั้นนี้เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชัน IoT โดยตรง โปรโตคอลที่นิยมใช้ ได้แก่ COAP MQTT XMPP และ AMQP
2. Transport Layer ชั้นนี้รับผิดชอบการขนส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ IoT โปรโตคอลที่นิยมใช้ ได้แก่ UDP และ TCP
3. Internet Layer ชั้นนี้รับผิดชอบการกำหนดเส้นทางข้อมูลระหว่างเครือข่าย โปรโตคอลที่นิยมใช้ ได้แก่ IPv6 IPv4 และ IPSec
4. Network Layer ชั้นนี้รับผิดชอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ IoT เข้ากับเครือข่าย โปรโตคอลที่นิยมใช้ ได้แก่ IEEE 802.15.4 MAC IEEE 802.15.4 PHY/Physical Radio Ethernet และ Wi-Fi

นอกจากชั้นหลักเหล่านี้แล้ว IoT protocol stack ยังอาจรวมถึงชั้นอื่นๆ เช่น Presentation Layer เป็นชั้นที่รับผิดชอบการจัดรูปแบบข้อมูล Session Layer เป็นชั้นที่รับผิดชอบการจัดการการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ IoT และ Data Link Layer เป็นชั้นนี้รับผิดชอบการควบคุมการเข้าถึงสื่อ

การเลือกโปรโตคอลที่เหมาะสมสำหรับ IoT protocol stack ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของอุปกรณ์ IoT การใช้งานของ IoT เนื่องจาก IoT บางชนิดต้องการ bandwidth สูง ในขณะเครือข่าย IoT บางเครือข่ายมีการเชื่อมต่อที่เชื่อถือ

	IoT Stack	Web Stack
TCP/IP Model	IoT Applications and Device Management	Web Applications
Data Format	Binary, JSON, CBOR	HTML, XML, JSON
Application Layer	CoAP, MQTT, XMPP,AMQP	HTTP, DHCP, DNS, TLS/SSL
Transport Layer	UDP, DTLS	TCP, UCP
Internet Layer	IPv6/IP Routing and 6LoWPAN	IPv6, IPv4, IPSec
Network Layer	IEEE 802.15.4 MAC, IEEE 802.15.4 PHY/ Physical Radio	Ethernet (IEEE 802.3), DSL, ISDN, Wireless LAN (IEEE 802.11), Wi-Fi

Source: LOGANATHAN V, Welcome to the Workshop on IoT & Cloud Computing the Coexistence . Available at https://slideplayer.com/slide/13103760/ and http://www.ismuniv.com/wp-content/uploads/2015/12/coexistance.ppt

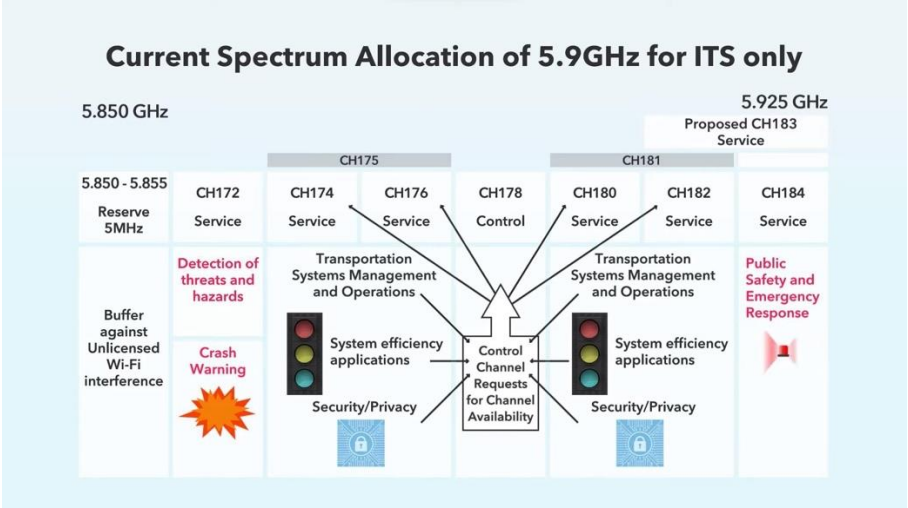
รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบ IoT Stack และ Web Stack

บทที่ 5 เทคโนโลยี C-V2X สำหรับยานยนต์สมัยใหม่

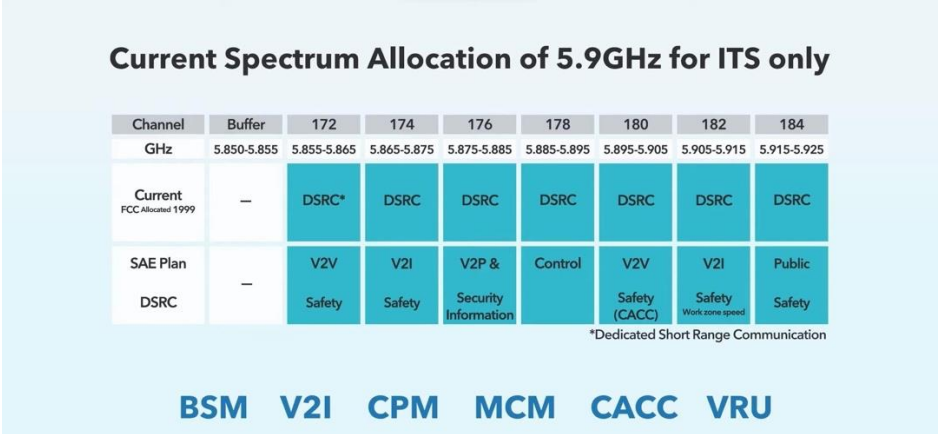
V2X มีสองเทคโนโลยีสำคัญหลัก คือ C-V2X และ DSRC (Dedicated Short Range Communication) โดยทั้งสองมีโครงสร้างพื้นฐานที่แตกต่างกัน โดยเทคโนโลยี DSRC ใช้ระบบสื่อสารไร้สายที่เรียกว่า "WAVE" และใช้มาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ใน Wi-Fi 802.11p ในขณะที่ C-V2X ใช้โมเด็ม LTE ซึ่งเป็นโมเด็มที่สามารถเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์ไร้สายได้ และใช้มาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ใน 3GPP Rel. 14/15 C-V2X มี 2 โหมดการสื่อสารที่แตกต่างกัน ได้แก่

1. โหมดเครือข่าย (Network Mode) รถยนต์และโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ สื่อสารกันผ่านชช่วงความถี่ที่ได้รับอนุญาต ใช้สำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการการสื่อสารระยะไกล
2. โหมดตรง (Direct Mode) รถยนต์และโครงสร้างพื้นฐานสื่อสารกันผ่านแถบความถี่ ITS (5.9GHz) ซึ่งเป็นอิสระจากเครือข่ายเซลลูลาร์ ใช้สำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการการสื่อสารระยะใกล้ทันที โดยการใช้งาน จะต้องกำหนดช่วงความถี่สัญญาณสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน

ทั้งนี้ แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันระหว่าง DSRC และ C-V2X มีบางความคล้ายคลึงกัน โดย ทั้งสองเทคโนโลยีใช้รูปแบบข้อความสำหรับการสื่อสาร เช่นเดียวกัน (SAE J2735 และ J2945) และทั้งสองเทคโนโลยีใช้ Digital Signature เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัย และความเชื่อถือในผู้ให้บริการข้อความ



รูปที่ 5-1 การกำหนดช่องสัญญาณเพื่อการใช้งานใน Direct Mode ของ C-V2X



รูปที่ 5-2 การกำหนดช่องสัญญาณเพื่อการใช้งานใน Direct Mode ของ C-V2X

C-V2X มีการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ (V2V) รถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน (V2I) และรถยนต์กับคนเดินเท้า (V2P) โดยใช้โครงสร้างเครือข่ายเซลลูลาร์ที่มีอยู่แล้ว และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. Device-to-device (V2V, V2I, V2P) คือ การสื่อสารโดยตรงระหว่างอุปกรณ์ โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาเครือข่ายสำหรับการกำหนดเวลาใช้งาน ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น การสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ รถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน และรถยนต์กับคนเดินเท้า
2. Device-to-cell-tower คือ การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับเสาส่งสัญญาณเซลลูลาร์ เพื่อใช้ทรัพยากรและกำหนดเวลาการใช้งานในเครือข่าย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน และเป็นส่วนสำคัญของโซลูชัน end-to-end
3. Device-to-network หรือ เป็นการสื่อสารแบบยานพาหนะสู่เครือข่ายที่ใช้การเชื่อมต่อเซลลูลาร์แบบดั้งเดิม ช่วยให้ยานพาหนะสามารถเชื่อมต่อกับบริการคลาวด์ได้ โซลูชั่นนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการสื่อสารแบบครบวงจรสำหรับยานพาหนะ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูล บริการ และการอัพเดตต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตได้

เนื่องจาก V2X (Vehicle-to-Everything) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ยานพาหนะสามารถสื่อสารกับยานพาหนะอื่น ๆ โครงสร้างพื้นฐาน ผู้คนเดินเท้า และเครือข่ายได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการเดินทาง การพิจารณาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานเพื่อความปลอดภัยในการใช้ V2X มีความสำคัญอย่างมาก โดย คุณสมบัติหลักที่จำเป็นต้องพิจารณา ได้แก่

1. Packet Error Rate (PER) คือ อัตราการเกิดข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูลระหว่างการสื่อสาร ค่านี้บ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสาร หากมีค่า PER สูงหมายถึงมีการส่งข้อมูลผิดพลาดมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการใช้งาน V2X ได้ การลด PER เป็นสิ่งจำเป็น เพื่อรับประกันว่า ข้อมูลที่ส่งระหว่างยานพาหนะและโครงสร้างพื้นฐานจะมีความถูกต้อง และทันเวลา
2. Communication Range คือ ระยะทางที่สัญญาณวิทยุสามารถส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ V2X ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระยะนี้มีความสำคัญในการรับประกันว่าข้อมูลที่เกี่ยวข้องจะสามารถส่งถึงผู้รับได้ในระยะเวลาที่เหมาะสม การเพิ่ม Communication Range ช่วยให้ยานพาหนะสามารถรับรู้ถึงสภาพแวดล้อม และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระยะไกลมากขึ้น ทำให้มีเวลาในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ดีขึ้น

ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลให้การสื่อสารมีคุณสมบัติที่น่าเชื่อถือ ประกอบด้วย 4 ปัจจัย ได้แก่

1. Everyone คือ การสื่อสารนั้น ๆ ต้องสามารถสื่อสารได้กับทุกคน
2. Everywhere คือ การสื่อสารนั้น ๆ ต้องสามารถสื่อสารได้กับทุกสถานที่
3. Different Generation คือ การสื่อสารนั้น ๆ ต้องสามารถสื่อสารได้กับระบบในทุกเวอร์ชั่น
4. Scalability คือ การสื่อสารนั้น ๆ ต้องสามารถขยายวงการใช้งานได้

การสื่อสารไร้สายไม่จำเป็นต้องมีเพียงอย่างใดอย่างนึง แต่สามารถใช้งานในรูปแบบผสม (Hybrid Communication) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 5-3 โดยเทคโนโลยี V2X สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่

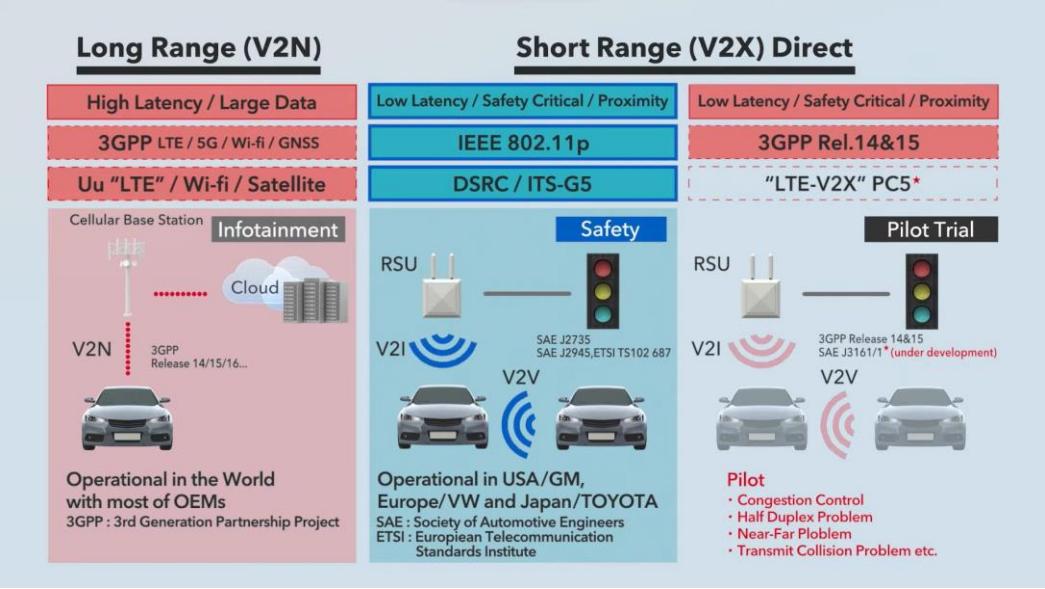
1. เทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกล (V2N) เทคโนโลยีเหล่านี้ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น สถานีฐาน สัญญาณไฟจราจร ป้ายบอกทาง ตัวอย่างเทคโนโลยี V2N ได้แก่ 3GPP LTE/SG/Wi-Fi หรือ เทคโนโลยีเซลลูลาร์มาตรฐานที่ใช้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคมทั่วไป Satellite คือ เทคโนโลยีดาวเทียมที่ใช้สำหรับการสื่อสารในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณเซลลูลาร์ และ 5G

เทคโนโลยีเซลลูลาร์รุ่นล่าสุดที่รองรับความเร็วสูง ความจุสูง และความหน่วงต่ำ ตัวอย่างการนำมาใช้งาน เช่น การรับข้อมูลสภาพการจราจร หรือการรับคำเตือนจากโครงสร้างพื้นฐาน

2. เทคโนโลยีการสื่อสารระยะสั้น (V2X) เทคโนโลยีเหล่านี้ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์โดยตรง หรือระหว่างรถยนต์กับอุปกรณ์อื่น ๆ ในระยะใกล้ เช่น คนเดินถนน จักรยาน ตัวอย่างเทคโนโลยี V2X ได้แก่ DSRC (Dedicated Short Range Communication) คือ เทคโนโลยีมาตรฐานสำหรับการสื่อสาร V2X ที่ใช้ความถี่ 5.9 GHz เทคโนโลยี ITS-G5 คือ เทคโนโลยี V2X รุ่นล่าสุดที่พัฒนาต่อยอดจาก DSRC และ IEEE 802.11p เทคโนโลยี Wi-Fi รุ่นพิเศษที่ออกแบบมาสำหรับการสื่อสาร V2X ตัวอย่างการนำมาใช้งาน เช่น การแจ้งเตือนการชน หรือการแบ่งปันข้อมูลตำแหน่ง

การสื่อสารแบบ Hybrid V2X ผสมผสานเทคโนโลยี V2N และ V2X เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการสื่อสารที่ดีที่สุด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติ ซึ่งเป็นระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบปรับตัว สามารถรับข้อมูลสภาพการจราจรจากโครงสร้างพื้นฐาน และปรับความเร็วของรถยนต์ให้เหมาะสม โดยข้อดีของการสื่อสารแบบ Hybrid V2X คือ

1. เพิ่มความปลอดภัยบนท้องถนน โดยช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถรับรู้ถึงสถานการณ์รอบตัวได้ดีขึ้น
2. ลดความแออัดบนท้องถนน โดยช่วยให้รถยนต์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง โดยช่วยให้รถยนต์สามารถเดินทางไปถึงจุดหมายปลายทางได้เร็วขึ้น

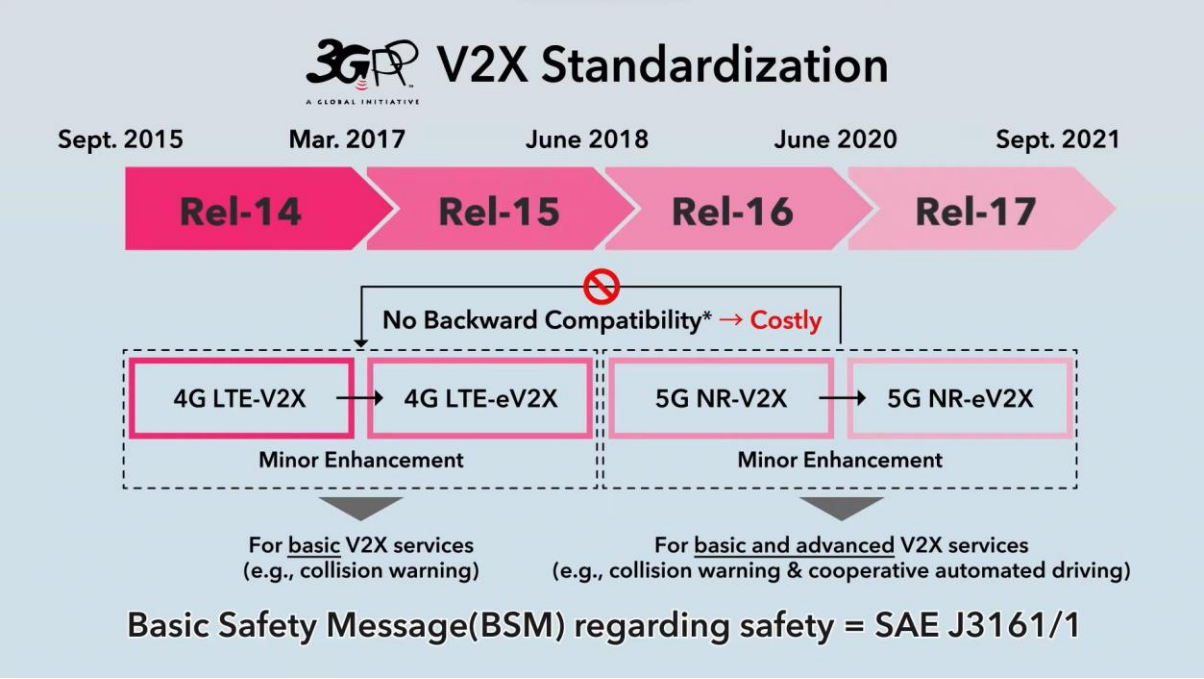


รูปที่ 5-3 Hybrid Communication

มาตรฐาน V2X ของ 3GPP ยังอยู่ในช่วงปรับปรุงและทดลองใช้ โดยมีการเปิดตัวมาตรฐาน V2X หลายฉบับตั้งแต่ Release 14 (กันยายน 2015) ถึง Release 17 (กันยายน 2021) โดยแต่ละฉบับนำเสนอการปรับปรุงเล็กน้อยสำหรับการใช้งานเทคโนโลยี V2Xขั้นพื้นฐาน (เช่น การแจ้งเตือนการชน) หรือการใช้งานเทคโนโลยี V2X ขั้นสูง (เช่น การแจ้งเตือนการชน และการขับขี่อัตโนมัติแบบร่วมมือ) โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับแต่ละฉบับ ดังนี้

- Release 14 (กันยายน 2015): นำเสนอเทนโนโลยี 4G LTE-V2X สำหรับการใช้งานเทคโนโลยี V2X ขั้นพื้นฐาน

- Release 15 (มีนาคม 2017): นำเสนอเทนโนโลยี 4G LTE-eV2X การปรับปรุงสำหรับ 4G LTE-V2X
- Release 16 (มิถุนายน 2018): นำเสนอเทนโนโลยี 5G NR-V2X สำหรับการใช้งานเทคโนโลยี V2X พื้นฐาน และขั้นสูง
- Release 17 (กันยายน 2021): นำเสนอเทนโนโลยี 5G NR-eV2X การปรับปรุงสำหรับ 5G NR-V2X



รูปที่ 5-4 รูปภาพแสดงไทม์ไลน์ของการพัฒนา V2X ของ 3GPP V2X