

พื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์อัตโนมัติ และการเชื่อมต่อ

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(PARTS TRANSFORMATION)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto



THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

พื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์อัตโนมัติ และการเชื่อมต่อ

วิชาพื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์อัตโนมัติ (AV)

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 สถาปัตยกรรม และระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์อัตโนมัติ.....	1
บทที่ 2 ความสามารถในการมองเห็นของยานยนต์อัตโนมัติ (Perception)	4
2.1 กล้อง (Camera)	5
2.2 ไลดาร์ (Light Detection And Ranging: LiDAR).....	8
2.3 เรดาร์ (Radio Detection and Ranging: RADAR)	10
2.4 อัลตราโซนิก (Ultrasonic).....	11
2.5 การรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensor Fusion).....	11
บทที่ 3 ความสามารถในการระบุตำแหน่ง (Localization).....	19
3.1 การระบุตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำร่อง (GNSS Localization).....	19
3.2 การระบุตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ (Visual Localization).....	21
บทที่ 4 ความสามารถในการวางแผนเส้นทาง (Path Planning)	23
4.1 กระบวนการวางแผนเส้นทางการเดินทางโดยรวมของยานยนต์อัตโนมัติ (Global Planning)....	23
4.1.1 การวางแผนเส้นทางบนพื้นที่ว่าง (Free Space Planning).....	23
4.1.2 การวางแผนเส้นทางโดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบกราฟ (Graph Planning)	25
4.2 กระบวนการวางแผนการเคลื่อนที่ของยานยนต์อัตโนมัติเพื่อรับมือกับสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบยานยนต์อัตโนมัติ (Local Planning)	28
4.2.1 การวางแผนเส้นทางบนพื้นที่ว่าง (Free Space Planning).....	28
4.2.2 การวางแผนเส้นทางโดยอาศัยการจำลองเลน (Lane Sampling).....	29
บทที่ 5 ความสามารถในการควบคุมรถ (Control)	32
5.1 การควบคุมให้ยานยนต์อัตโนมัติเคลื่อนที่ตาม Waypoints (Waypoints Following)	32
5.2 การควบคุมตัวกระตุ้นในรถยนต์ (Actuator Control)	33
5.2.1 การควบคุมความเร็ว (Speed Controller).....	34
5.2.2 ระบบควบคุมคันเร่งด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Drive-by-wire).....	34
5.2.3 ระบบควบคุมเบรกด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Brake-by-wire).....	35
5.2.4 ระบบควบคุมพวงมาลัยด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Steer-by-wire).....	35

บทที่ 1 สถาปัตยกรรม และระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์อัตโนมัติ

ยานยนต์อัตโนมัติเป็นหนึ่งในนวัตกรรมทางเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่กำลังเปลี่ยนแปลงโลกของการขนส่ง เป็นผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศที่เติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดย การใช้งานเทคโนโลยียานยนต์อัตโนมัติมีเป้าหมายหลักในการสร้างระบบที่สามารถทำงานได้อย่างอิสระโดยปราศจากการควบคุมจากมนุษย์ ซึ่งรวมถึงการใช้เซนเซอร์ การประมวลผลข้อมูลขั้นสูง และการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อการตัดสินใจ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอัตโนมัติ ส่งผลให้เกิดต่อสังคมหลายได้ อาทิ

1. เพื่อความยืดหยุ่นในการใช้ชีวิตประจำวัน: ยานยนต์อัตโนมัติสามารถเพิ่มความสะดวกสบาย และยืดหยุ่นในการเดินทางในชีวิตประจำวัน ผู้โดยสารสามารถใช้เวลาในการเดินทางไปทำกิจกรรมอื่น ๆ ได้ เช่น การทำงาน การพักผ่อน หรือการติดต่อสื่อสาร โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการขับขี่
2. เพื่อความปลอดภัยบนท้องถนน: ยานยนต์อัตโนมัติมีศักยภาพในการลดอุบัติเหตุบนท้องถนน เนื่องจากระบบอัตโนมัติสามารถตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม และสถานการณ์ฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่ามนุษย์ นอกจากนี้ ยังสามารถลดข้อผิดพลาดจากมนุษย์ที่เป็นสาเหตุหลักของอุบัติเหตุบนท้องถนน
3. เพื่อก่อให้เกิดโอกาสทางธุรกิจ: การพัฒนายานยนต์อัตโนมัติเปิดโอกาสใหม่ ๆ ทางธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิต การบริการ การพัฒนาเทคโนโลยี และการให้บริการขนส่งแบบใหม่ เช่น รถแท็กซี่อัตโนมัติ บริการขนส่งสินค้า และการเดินทางร่วมกัน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ และลดต้นทุน

ณ ปัจจุบัน สมาคมวิศวกรรมยานยนต์ ได้ประกาศมาตรฐาน SAE J3016 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ให้คำจำกัดความของระดับความเป็นอัตโนมัติของรถยนต์ โดมาตรฐาน SAE J3016 แบ่งระดับความเป็นอัตโนมัติไว้ทั้งหมด 6 ระดับ ตั้งแต่ระดับ 0 - 5 โดย ในระดับที่ 0 - 3 ถือเป็นรถยนต์อัตโนมัติระดับต่ำ ซึ่งผู้ขับขี่ยังเป็นผู้รับผิดชอบหลักในการควบคุมรถยนต์อยู่ และในระดับที่ 4 - 5 ถือเป็นรถยนต์อัตโนมัติระดับสูง โดยระบบขับขี่อัตโนมัติจะเป็นผู้ควบคุมรถยนต์เป็นหลัก โดยมีรายละเอียดดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 1-1

SAE LEVEL 0 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 0)

ยานยนต์ที่อยู่ในระดับนี้ จะมีเพียงระบบความปลอดภัยที่สามารถเตือนผู้ขับขี่ได้เพียงเท่านั้น ไม่มีระบบช่วยเหลือใดๆ และยานยนต์ไม่สามารถบังคับได้ด้วยตนเอง ตัวอย่างความสามารถในยานยนต์ระดับนี้ ได้แก่ ระบบเตือนการชนด้านหน้า ระบบเตือนการออกนอกเลน และระบบเตือนในพื้นที่อับสายตา เป็นต้น

SAE LEVEL 1 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 1)

ยานยนต์ในระดับนี้ ผู้ขับขี่เองเป็นผู้รับผิดชอบในการขับขี่ทั้งหมด แต่มีระบบความปลอดภัยที่ออกแบบให้สามารถควบคุมความเร็ว กล่าวคือ ควบคุมคันเร่ง และเบรก และระบบที่สามารถควบคุมพวงมาลัย เพียงอย่างเดียวหนึ่งเท่านั้น ตัวอย่างความสามารถในยานยนต์ระดับนี้ได้แก่ ระบบควบคุมความเร็วแบบปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Cruise control: ACC) ระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Automatic Emergency Brake: AEB) ระบบแจ้งเตือนการออกนอกช่องจราจรโดยไม่ตั้งใจ (Lane Departure Warning) และระบบช่วยให้รถอยู่ในช่องจราจรโดยอัตโนมัติ (Lane Keeping Assistance: LKA) เป็นต้น

SAE LEVEL 2 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 2)

ยานยนต์ที่อยู่ในระดับนี้ ผู้ขับขี่รับผิดชอบการขับขี่เป็นส่วนใหญ่ มีบางช่วงที่อาจจะสายตาหรือควบคุมได้ในช่วงสั้น ๆ โดยยานยนต์ในระดับนี้จะติดตั้งระบบช่วยเหลือในการขับขี่ที่ออกแบบให้สามารถควบคุมความเร็ว

กล่าวคือ ควบคุมคันเร่ง และเบรก และระบบควบคุมพวงมาลัยได้พร้อมกันตัวอย่างระบบ ได้แก่ ระบบ Pilot assistance ทำให้รถยังอยู่ในช่องจราจรและรักษาความเร็วและระยะห่าง ไม่ให้ชนรถคันหน้าได้ เป็นต้น

SAE LEVEL 3 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 3)

ระบบสามารถขับรถยนต์แทนคนได้ในบางสภาวะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในถนนที่มีความซับซ้อนของการจราจร ไม่สูงมากนัก แต่ผู้ขับขี่จะต้องเตรียมพร้อมที่จะเข้ามาควบคุมแทนในกรณีที่ระบบต้องการ ในสภาวะที่ระบบขับอัตโนมัติไม่สามารถทำงานได้หรือเมื่อสิ้นสุดเขตถนนที่สามารถใช้งานระบบขับอัตโนมัติดังกล่าว

SAE LEVEL 4 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 4)

ยานยนต์ที่อยู่ในระดับนี้ จะมีระบบขับอัตโนมัติเป็นผู้ควบคุมรถยนต์เป็นหลัก และสามารถรับมือได้ในทุกสถานการณ์ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ขับขี่ แต่คนยังต้องนั่งอยู่ในรถโดยไม่ต้องรับภาระการควบคุมรถแต่อย่างใด นอกจากเหตุฉุกเฉินเท่านั้น ทั้งนี้ ในระดับนี้รถยนต์จะสามารถขับอัตโนมัติได้ในพื้นที่ที่กำหนดเท่านั้น

SAE LEVEL 5 (ยานยนต์อัตโนมัติระดับ 5)

ยานยนต์ที่อยู่ในระดับนี้ จะมีระบบขับอัตโนมัติเป็นผู้ควบคุมรถยนต์เป็นหลัก และสามารถรับมือได้ในทุกสถานการณ์ ไม่จำเป็นต้องมีผู้ขับขี่ และสามารถขับได้ในทุกพื้นที่ ทุกสถานการณ์ ถือเป็นระบบยานยนต์อัตโนมัติในอุดมคติ

SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

What does the human in the driver's seat have to do?

SAE LEVEL 0

You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering

SAE LEVEL 1

SAE LEVEL 2

SAE LEVEL 3

SAE LEVEL 4

SAE LEVEL 5

You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety

When the feature requests, you must drive

These automated driving features will not require you to take over driving

These are driver support features

These are automated driving features

What do these features do?

These features are limited to providing warnings and momentary assistance

These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver

These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver

These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met

This feature can drive the vehicle under all conditions

Example Features

- automatic emergency braking
- blind spot warning
- lane departure warning

- lane centering OR adaptive cruise control

- lane centering AND adaptive cruise control at the same time

- traffic jam chauffeur

- local driverless taxi
- pedals/steering wheel may or may not be installed

- same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

For a more complete description, please download a free copy of SAE J3016: https://www.sae.org/standards/content/J3016_201806/

For a more complete description, please download a free copy of SAE J3016: https://www.sae.org/standards/content/J3016_201806/

รูปที่ 1-1 ระดับขั้นของระบบขับอัตโนมัติ ตาม SAE J3016

4. [ที่มา: <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>]

สิ่งสำคัญที่จะทำให้รถยนต์สามารถขับอัตโนมัติได้ รถยนต์จำเป็นต้องมีความสามารถ (Ability) เช่นเดียวกับความสามารถของผู้ขับขี่ โดย ความสามารถที่ยานยนต์อัตโนมัติจำเป็นต้องมีสำหรับการขับโดยอัตโนมัติ ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ดังนี้

1. Perception คือ ความสามารถในการรับรู้สิ่งต่างๆ บริเวณรอบตัวรถยนต์ผ่านเซนเซอร์ต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่รอบยานยนต์อัตโนมัติ
2. Localization คือ ความสามารถในการระบุตำแหน่งปัจจุบันของตนเอง เพื่อนำตำแหน่งปัจจุบัน ไปใช้ในการวางแผนเส้นทางการเดินทาง

3. Path Planning คือ ความสามารถในการวางแผนเส้นทาง โดยอาศัยข้อมูลสภาพแวดล้อมภายนอก และ ตำแหน่งปัจจุบัน เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปยังจุดหมายได้อย่างปลอดภัย
4. Control คือ ความสามารถในการควบคุมรถยนต์ ทำหน้าที่แปลงคำสั่งจาก Path Planning เป็น สัญญาณทางไฟฟ้าส่งไปยังระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ โดยระบบขับเคลื่อนจะต้องสามารถถูกควบคุม ด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าได้
5. Communication คือ ความสามารถในการสื่อสาร ทั้งนี้ความสามารถนี้อาจไม่ใช่ความสามารถหลักที่ ทำให้รถยนต์ทำงานได้ แต่จะช่วยเสริมให้การทำงานของรถยนต์มีความสะดวก และปลอดภัยเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1-2 ส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ

[ที่มา: <https://www.quora.com/What-is-the-most-important-component-of-a-self-driving-car>]

บทที่ 2 ความสามารถด้านการรับรู้ของยานยนต์อัตโนมัติ (Perception)

ความสามารถด้านการรับรู้ของยานยนต์อัตโนมัติ (Perception) คือ ความสามารถในการรับรู้ของยานยนต์อัตโนมัติ โดยอาศัยเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่รอบ ๆ ตัวรถในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม ก่อนที่จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลให้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป โดยเซนเซอร์ในยานยนต์อัตโนมัติสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ได้แก่

1. Passive Sensor คือ เซนเซอร์ที่ไม่สามารถปล่อยสัญญาณ หรือพลังงานออกจากตัวเองได้ ตัวอย่าง Passive Sensor ที่นิยมใช้ในยานยนต์อัตโนมัติ ได้แก่
 - GNSS เป็นเซนเซอร์ที่รับข้อมูลตำแหน่งจากดาวเทียมระบุตำแหน่งเพื่อระบุตำแหน่งของยานยนต์อัตโนมัติ
 - IMU เป็นเซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าทางพลศาสตร์ของยานยนต์อัตโนมัติ
 - Camera เป็นเซนเซอร์ที่รับข้อมูลคล้ายกับตามนุษย์ กล่าวคือรับข้อมูลเป็นภาพสีเช่นเดียวกับที่มนุษย์มองเห็น
2. Active Sensor คือ เซนเซอร์ที่สามารถปล่อยสัญญาณ หรือพลังงานออกจากตัวเองได้ Active Sensor แต่ละชนิดมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สามารถสร้างพลังงานบางอย่างเพื่อปล่อยออกไปสะท้อนกับวัตถุ และย้อนกลับเข้ามาที่ตัวรับสัญญาณของเซนเซอร์ ทั้งนี้ Active Sensor แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามประเภทของพลังงาน และสัญญาณที่ปลดปล่อยออกมา ตัวอย่าง Active Sensor ที่นิยมใช้ในยานยนต์อัตโนมัติ ได้แก่
 - LiDAR ทำงานโดยการปล่อยเลเซอร์ออกไปเพื่อตรวจจับวัตถุ
 - RADAR ทำงานโดยการปล่อยคลื่นวิทยุออกไปเพื่อตรวจจับวัตถุ
 - IR Camera ทำงานโดยการปล่อยแสงอินฟราเรดออกไปเพื่อสะท้อนกับวัตถุในเวลากลางคืน
 - Ultrasonic ทำงานโดยการปล่อยคลื่นเสียงออกไปเพื่อตรวจจับวัตถุ



รูปที่ 2-1 เซนเซอร์ในยานยนต์อัตโนมัติ

2.1 กล้อง (Camera)

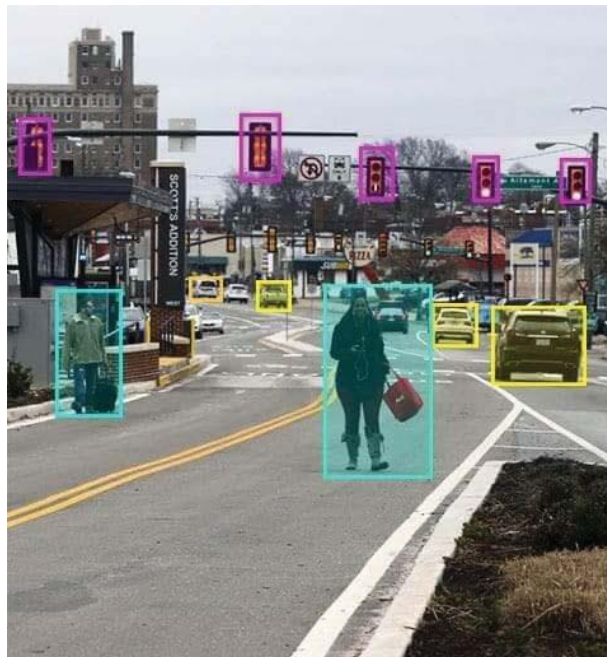
กล้อง (Camera) ถือเป็นเซนเซอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายนอกรถยนต์ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากกล้องมีความคล้ายคลึงกับสิ่งที่มนุษย์มองเห็นได้มากที่สุด กล้องยังเป็นเซนเซอร์ประเภทเดียวที่สามารถตรวจจับสี และลวดลายของวัตถุได้ รวมไปถึงยังสามารถเลือกคุณลักษณะของเลนส์เพื่อปรับเปลี่ยนระยะการรับภาพของกล้องได้



รูปที่ 2-2 ตัวอย่างการใช้งานกล้องบนยานยนต์อัตโนมัติ

[ที่มา (รูปซ้าย): <https://www.wired.com/2017/03/autox-slaps-50-webcams-car-make-drive/>]

[ที่มา (รูปขวา): <https://www.independent.co.uk/tech/self-driving-car-crash-racial-bias-black-people-study-a8810031.html>]



รูปที่ 2-3 การใช้งานกล้องบนยานยนต์อัตโนมัติ

[ที่มา: <https://www.kdnuggets.com/2022/07/bounding-box-deep-learning-future-video-annotation.html>]

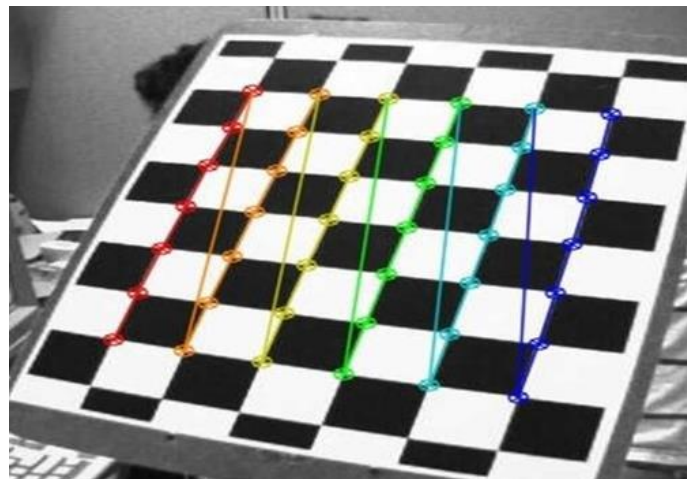
แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากกล้องมีชิ้นส่วนของเลนส์ ซึ่งการติดตั้งเลนส์บางประเภท ทำให้ภาพที่ได้รับจากกล้องเกิดการบิดเบี้ยว (Distortion) ซึ่งการบิดเบี้ยวของภาพ เกิดจากการใช้เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้น โดย

การนำพารามิเตอร์ของกล้อง มาผ่านกระบวนการ Camera Calibration จะสามารถแก้การบิดเบี้ยวของภาพได้ โดยการทำให้ Camera Calibration จะได้รับพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 กลุ่ม ได้แก่

1. Intrinsic Properties เป็น Parameter ที่ประกอบด้วยคุณสมบัติของเลนส์ที่ติดตั้งอยู่บนตัวกล้อง หมิหน้าที่แปลง 3D Point ในโลกจริง เป็น 2D Point ในภาพ
2. Extrinsic Properties เป็น Parameter ที่บ่งบอกตำแหน่งของกล้องเปรียบเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง
3. Distortion Coefficients เป็น Parameter ที่บ่งบอกถึงลักษณะการบิดเบี้ยวของภาพ



รูปที่ 2-4 การบิดเบี้ยวของภาพจากเลนส์ (รูปซ้าย) และการแก้การบิดเบี้ยวจากเลนส์ (รูปขวา)
[ที่มา: LearnOpenCV]



รูปที่ 2-5 การทำ Camera Calibration

[ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Calibrated-output-image-of-the-Raspberry-Pi-Camera-using-OpenCV_fig3_340252770]

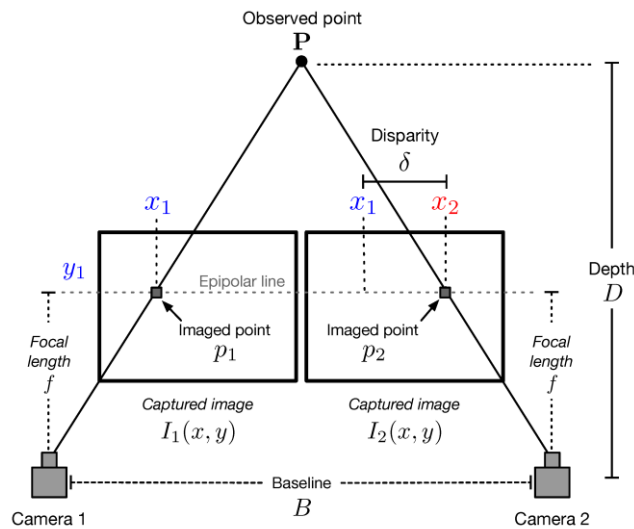
$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

2D Image Coordinates
Intrinsic properties (Optical Centre, scaling)
Extrinsic properties (Camera Rotation and translation)
3D World Coordinates

$$\text{Distortion coefficients} = (k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2 \quad k_3)$$

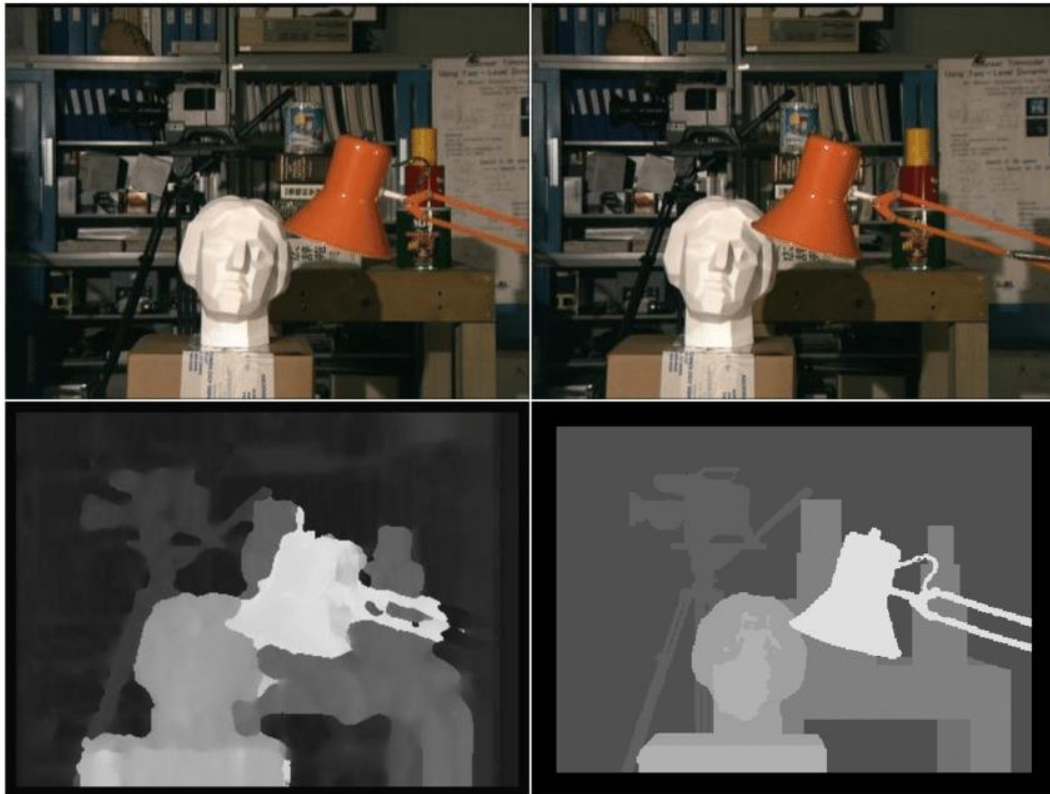
รูปที่ 2-6 สมการและตัวแปรในการทำ Camera Calibration

ทั้งนี้ การดำรงอยู่ของ Intrinsic Properties ส่งผลให้ข้อมูลที่เก็บอยู่ในภาพเป็นข้อมูล 2 มิติ ขาดข้อมูลด้านความลึกของวัตถุที่อยู่ในโลกจริง แต่อย่างไรก็ดี หากมีการติดตั้งกล้องจำนวนมากกว่า 1 ตัว เราสามารถหาค่าความแตกต่างของตำแหน่งวัตถุในภาพทั้ง 2 กล้อง และนำมาคำนวณเป็นค่าความลึกที่หายไปได้ โดยใช้เทคนิค Stereo Camera ซึ่งทำได้โดยการติดตั้งกล้องสองตัวให้มีระยะห่างระหว่างกัน และทำการบันทึกภาพของวัตถุชนิดเดียวกัน ภาพจากกล้องแต่ละตัว จะให้ตำแหน่งภาพของวัตถุที่ต่างกันไป และภาพเหล่านั้นจะถูกนำไปสร้างเป็นภาพชนิดใหม่ที่เรียกว่า Depth Map โดยภาพจาก Depth Map จะมีลักษณะเป็นภาพสีขาวดำ และข้อมูลใน Pixel จะแสดงค่าความห่างของวัตถุในภาพจากกล้องแต่ละตัว ซึ่งข้อมูลใน Depth Map สามารถนำไปคำนวณหาค่าความลึกของวัตถุในโลกจริงได้



รูปที่ 2-7 เทคนิค Stereo Camera

[ที่มา: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/23/9050>]



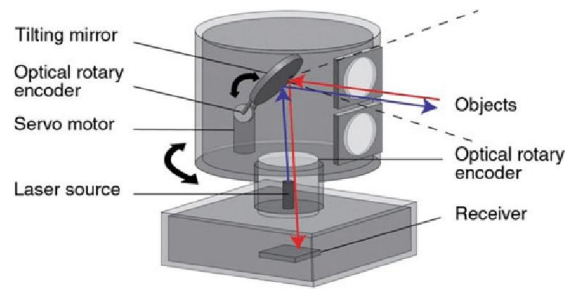
รูปที่ 2-8 Stereo Image จากเทคนิค Stereo Camera

2.2 ไลดาร์ (Light Detection And Ranging: LiDAR)

เซนเซอร์ LiDAR เป็นเซนเซอร์ที่ใช้แสงในการตรวจจับวัตถุ โดย LiDAR ที่นิยมใช้ในยานยนต์อัตโนมัติในปัจจุบัน คือ 3D LiDAR ซึ่งภายในตัวเซนเซอร์ประเภทนี้จะมีแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจะถูกยิงไปให้สะท้อนกับกระจกที่สามารถหมุน 360 องศาโดยรอบ ซึ่งสามารถปรับมุมเงยเพื่อให้แสงที่ยิงไปตกกระทบกับวัตถุที่มีความสูงแตกต่างกันได้ เมื่อเลเซอร์สะท้อนกลับมาจากวัตถุเข้าสู่เซนเซอร์ เลเซอร์จะถูกสะท้อนกลับไปที่ตัวรับแสง เพื่อประมวลผล และแสดงค่าวัตถุที่ตรวจจับได้ต่อไป ทั้งนี้ การจำแนกประเภท LiDAR ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ การจำแนกตามจำนวนชั้น (Layer) ที่สามารถตรวจจับความสูงของวัตถุได้ เช่น LiDAR 16 เส้น คือ LiDAR ที่สามารถปล่อยแสงมาได้ 16 เส้นในแนวแกนตั้ง โดย LiDAR ที่มีจำนวน Layer มาก จะมีราคาแพงกว่า Lidar ที่มีจำนวน Layer น้อย

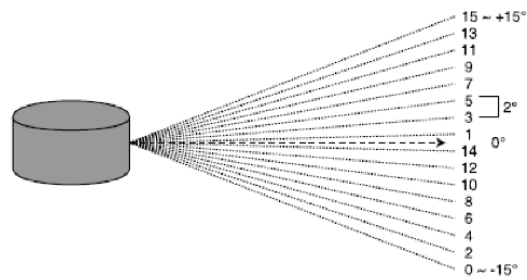


รูปที่ 2-9 เซนเซอร์ LiDAR
[ที่มา: Velodyne]



รูปที่ 2-10 กลไกการทำงานของ LiDAR

[ที่มา: <https://www.glsun.com/article-p180-types-of-lidar-technical-architecture.html>]

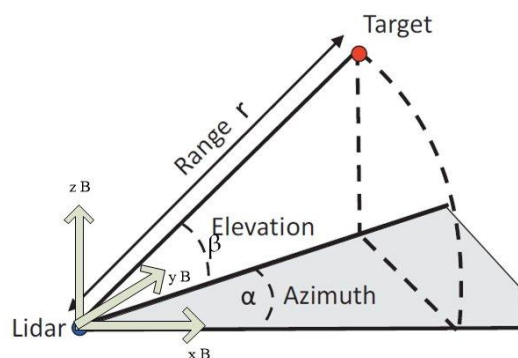


Laser sensor positions in VLP-16 scanner head

รูปที่ 2-11 การปล่อยแสงของเซนเซอร์ LiDAR

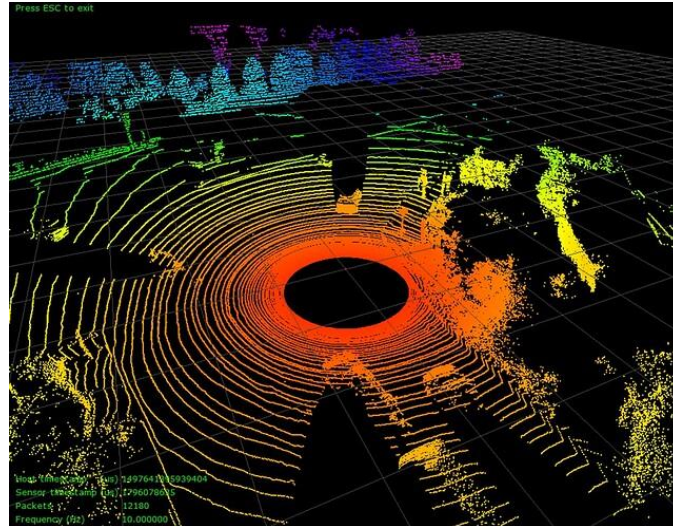
[ที่มา: International Conference on Methods & Models in Automation & Robotics 2017]

ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้รับจาก LiDAR โดยส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย 3 ค่า ดังนี้ ระยะทาง (Range, r) มุมกวาด (Azimuth, α) และมุมเงย (Elevation, β) โดยเป็นการกำหนดตำแหน่งของเป้าหมายในพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates) ซึ่งจำเป็นต้องใช้การคำนวณตามทฤษฎีตรีโกณมิติ (Trigonometry) เพื่อแปลงตำแหน่งวัตถุจากพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinates) ให้เป็นตำแหน่งของวัตถุในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate) ซึ่งเป็นพิกัดที่สามารถที่มนุษย์คุ้นเคย และสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายกว่าพิกัดเชิงขั้ว (Polar Coordinate)



รูปที่ 2-12 ข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ LiDAR

[ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/LiDAR-range-and-bearing-measurements-with-body-frame_fig2_354125102]

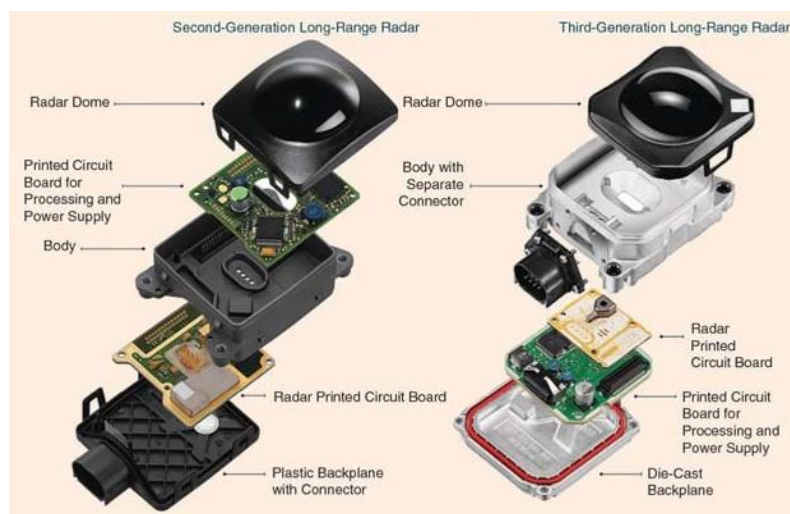


รูปที่ 2-13 Point cloud ที่ได้รับจากเซนเซอร์ LiDAR
[ที่มา: NVIDIA]

2.3 เรดาร์ (Radio Detection and Ranging: RADAR)

เซนเซอร์ Radar มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับเซนเซอร์ LiDAR แต่มีความแตกต่างกันในรายละเอียดดังนี้

1. Radar ใช้คลื่นวิทยุในการตรวจจับวัตถุ
2. Radar ใช้แผ่เสาอากาศในการปล่อยสัญญาณทำให้ได้ข้อมูลสามมิติ
3. Radar มักแยกประเภทตามระยะทางที่ตรวจจับวัตถุได้ โดย Long Range Radar สามารถตรวจจับวัตถุได้ในระยะไกล แต่จะมีมุมมอง (Field Of View) แคบ ในขณะที่ Short Range Radar สามารถตรวจจับวัตถุได้ในระยะใกล้ แต่จะมีมุมมอง (Field Of View) กว้างกว่า
4. ข้อมูลที่ได้รับจาก Radar จะเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุและตัวเซนเซอร์ เพิ่มเติมจากที่ LiDAR สามารถวัดค่าได้ โดยความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุและตัวเซนเซอร์เป็นผลจากปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler Effect) ซึ่งส่งผลให้คลื่นวิทยุที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากคลื่นวิทยุที่ปล่อยออกไปจากตัวเซนเซอร์



รูปที่ 2-14 องค์ประกอบของเซนเซอร์ Radar

2.4 อัลตราโซนิก (Ultrasonic)

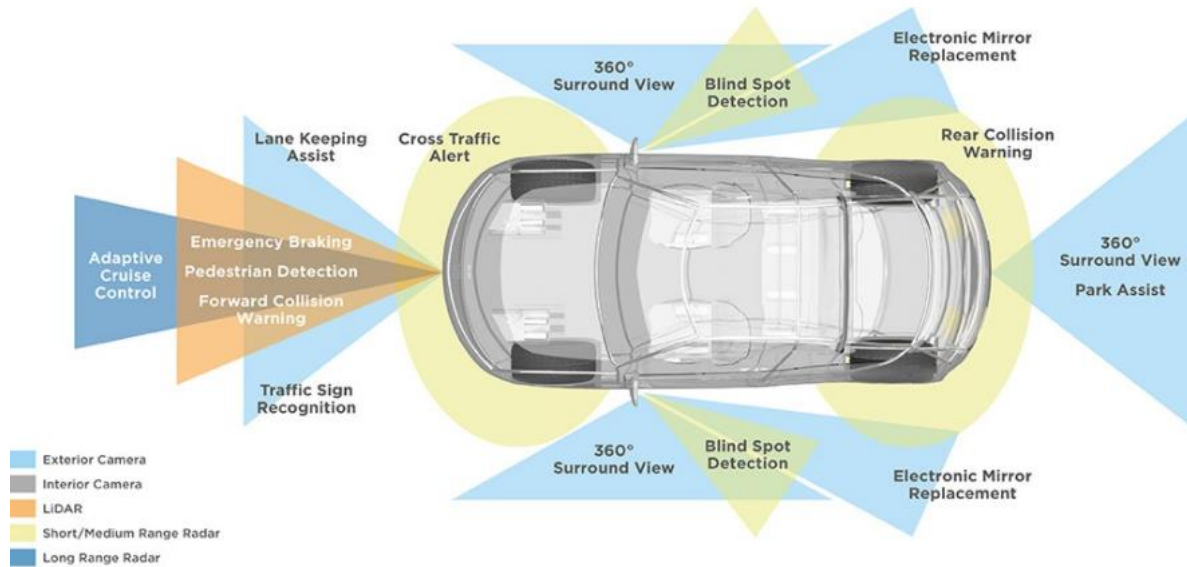
เซนเซอร์ Ultrasonic มีความคล้ายคลึงกับ Radar แต่ Ultrasonic จะปล่อยคลื่นเสียงเพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุ เนื่องจากการความเร็วของคลื่นเสียงนั้นช้ากว่าความเร็วของคลื่นแสง และคลื่นวิทยุ จึงส่งผลให้ระยะทางในการตรวจจับวัตถุของ Ultrasonic นั้นมีค่าต่ำมาก นอกจากนั้นการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงไม่สามารถระบุตำแหน่งได้แน่นอน จะระบุได้เพียงว่าวัตถุมีระยะห่างจากเซนเซอร์เท่าใด ไม่สามารถระบุได้ว่าวัตถุนั้นอยู่ด้านซ้าย หรือด้านขวาจากเซนเซอร์ไปเท่าไร นอกจากนี้จากความเร็วที่ต่ำของเซนเซอร์อัลตราโซนิกส่งผลให้ความเร็วของรถยนต์มีผลต่อความแม่นยำของระยะทางที่ตรวจจับได้ของเซนเซอร์อัลตราโซนิก ส่งผลให้การติดตั้ง Ultrasonic มักจะติดตั้งในจำนวนมากบนรถยนต์ เพื่อให้ครอบคลุมขอบเขตการตรวจจับของรถยนต์ทั้งหมด และการใช้งานเซนเซอร์อัลตราโซนิกในปัจจุบัน ใช้งานในขณะที่รถยนต์มีความเร็วต่ำเท่านั้น



รูปที่ 2-15 การใช้งานของเซนเซอร์ Radar

2.5 การรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensor Fusion)

เนื่องจาก เซนเซอร์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป การเลือกใช้เซนเซอร์ที่เหมาะสม จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการพัฒนายานยนต์อัตโนมัติ โดยปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกเซนเซอร์สำหรับใช้งานในยานยนต์อัตโนมัติ คือ ระบบที่จะนำข้อมูลจากเซนเซอร์ไปใช้งาน ลักษณะการใช้งานของยานยนต์อัตโนมัติ และข้อจำกัดด้านงบประมาณ



รูปที่ 2-16 การทำงานร่วมกันของเซนเซอร์หลายชนิดในยานยนต์อัตโนมัติ

[ที่มา: <https://www.telematicswire.net/autonomous-vehicle-mahindra-and-mahindra/>]

เซนเซอร์แต่ละชนิด ย่อมมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกันไป เมื่อผู้พัฒนาเลือกเซนเซอร์ที่ต้องการใช้งานตามปัจจัยต่าง ๆ แล้ว อาจพบว่าเซนเซอร์ที่ใช้งานมีหลากหลายชนิด ซึ่งการนำเซนเซอร์ที่ต่างชนิดกันมาประมวลผลร่วมกัน จะสามารถชดเชยข้อเสียของกันและกันได้ ตัวอย่างเช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง เรดาร์ (Radar) เป็นเซนเซอร์ที่มีข้อจำกัดเรื่องการจำแนกประเภทวัตถุ การตรวจจับขอบของวัตถุ และการตรวจจับเส้นเลนถนน และกล้อง ที่สามารถชดเชยข้อจำกัดของเรดาร์ (Radar) นั้น จะสามารถนำระบบนี้ไปใช้งานบนจุดที่เป็นข้อจำกัดได้ แต่อย่างไรก็ตาม จะต้องมีการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อการใช้งานร่วมกันระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองตัว จึงจะรวบรวมข้อมูลได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

Sensor fusion will provide redundancy for autonomous functions.

Sensor function ratings

● Good ● Fair ● Poor

	Camera	Radar	Lidar	Ultra-sonic	Radar + lidar	Lidar + camera	Radar + camera
Object detection	●	●	●	●	●	●	●
Object classification	●	●	●	●	●	●	●
Distance estimation	●	●	●	●	●	●	●
Object-edge precision	●	●	●	●	●	●	●
Lane tracking	●	●	●	●	●	●	●
Range of visibility	●	●	●	●	●	●	●
Functionality in bad weather	●	●	●	●	●	●	●
Functionality in poor lighting	●	●	●	●	●	●	●
Cost	●	●	●	●	●	●	●
Production readiness	●	●	●	●	●	●	●

Radar and camera most likely combination in next 5–8 years, although solid-state lidar and camera* will be dominant in the long term when proven and integrated into mass-production designs

*Comparison with other technologies not yet possible due to low maturity of technology.

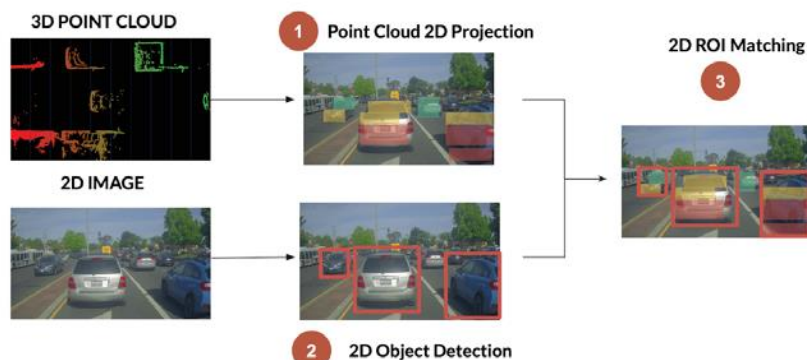
McKinsey&Company

รูปที่ 2-17 ความสามารถของเซนเซอร์แต่ละชนิด

โดยข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์แต่ละประเภทจะถูกนำมาผ่านกระบวนการรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensor Fusion) ซึ่งเป็นกระบวนการรวบรวมข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละประเภท เพื่อให้กระบวนการตรวจจับวัตถุมีความแม่นยำมากขึ้น โดยอาศัยจุดแข็งของเซนเซอร์แต่ละชนิดเพื่อลดจุดอ่อนของเซนเซอร์อีกชนิดหนึ่ง โดยกระบวนการ Sensor Fusion เพื่อตรวจจับวัตถุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Early Fusion และ Late Fusion

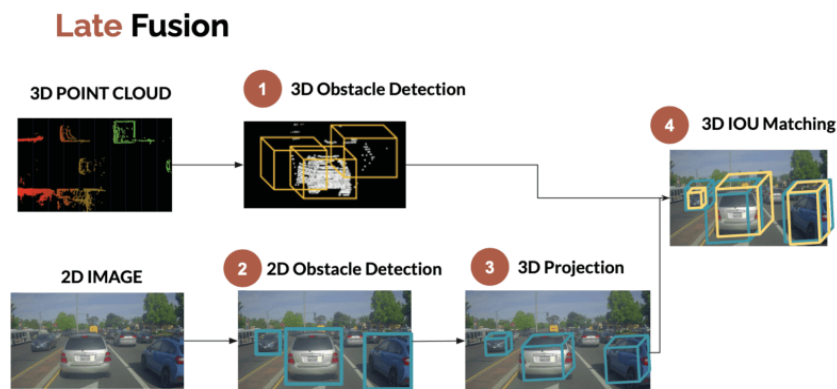
1. Early Fusion เป็นกระบวนการรวมข้อมูลดิบ (Raw Data) ของเซนเซอร์เข้าด้วยกัน ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตรวจจับวัตถุ เช่น การนำข้อดีจากเซนเซอร์ LiDAR ที่สามารถตรวจจับระยะห่างของวัตถุได้อย่างแม่นยำ ผ่านการแปลงข้อมูลด้านระยะห่าง และฉาย (Project) ลงบนภาพที่ได้จากกล้อง ในขณะที่กล้องจะตรวจจับวัตถุ และเลือกบริเวณที่สนใจ (Region Of Interest) จากนั้นจึงนำข้อมูลระยะห่างในบริเวณนั้นบรรจุเป็นข้อมูลของวัตถุที่ตรวจจับได้ดังแสดงในรูปที่ 2-18

Early Fusion



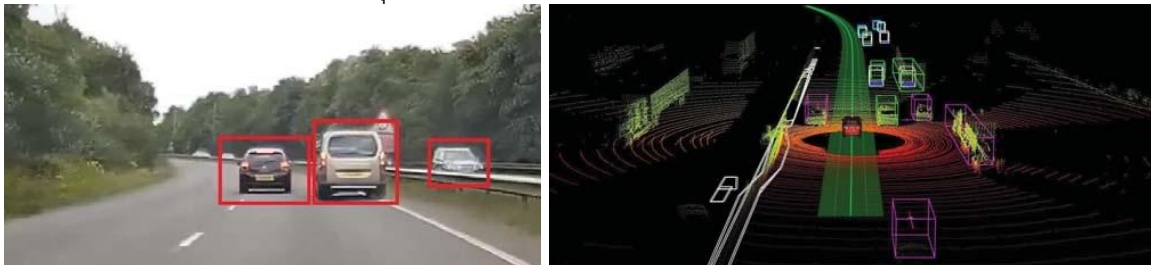
รูปที่ 2-18 การทำ Early Fusion

2. Late Fusion เป็นกระบวนการรวมข้อมูลวัตถุที่ตรวจจับได้ของแต่ละเซนเซอร์เข้าด้วยกัน ยกตัวอย่าง เช่น ข้อมูลจาก LiDAR และ กล้อง ถูกป้อนเข้าสู่ Classification Machine Learning Model ซึ่งจะได้ ข้อมูลวัตถุที่ตรวจจับได้ของเซนเซอร์แต่ละชนิดออกมา จากนั้นจึงนำมารวมกันเป็นข้อมูลวัตถุที่ตรวจจับ ได้โดยวิธี Late Fusion ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากการพัฒนา Machine Learning Model ในปัจจุบันส่งผลให้เซนเซอร์แต่ละประเภท มี Machine Learning Model ที่สามารถนำมาใช้ งานตรวจจับวัตถุได้อย่างสะดวก และมีความแม่นยำสูง ดังแสดงในรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 การทำ Late Fusion

ยกตัวอย่างการทำ Late Fusion ระหว่างกล้อง และ LiDAR นั้นจะได้รับข้อมูลมา 2 ชุด แสดงในรูปที่ 2-20 เมื่อ ได้ข้อมูล Boundary Box ของวัตถุที่ตรวจจับได้ผ่านเซนเซอร์แต่ละชนิดแล้ว กระบวนการ Late Fusion จะนำข้อมูล Boundary Box มาพิจารณาร่วมกันว่าการตรวจสอบวัตถุโดยทั้งสองเซนเซอร์นั้นถูกต้องเหมือนกันหรือไม่ โดยมีกระบวนการที่นิยมประยุกต์ใช้ 2 วิธี คือ Intersection Over Union (IoU) และ Kalman Filter



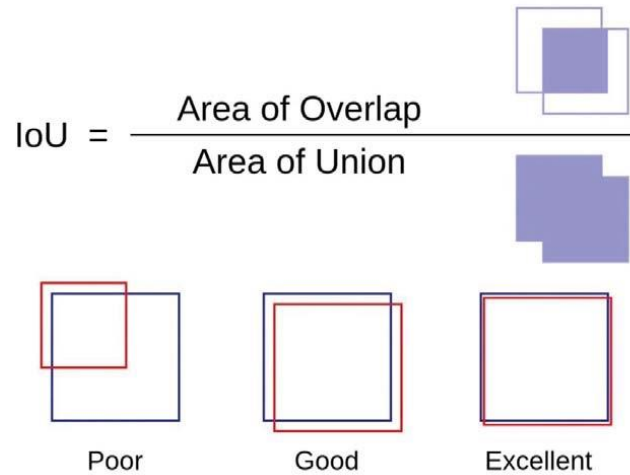
รูปที่ 2-20 ข้อมูลที่ได้จากกล้อง (ซ้าย) และ ข้อมูลที่ได้จาก LiDAR (ขวา)

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงค่าข้อมูลที่ได้รับจากกล้อง และ LiDAR

	Camera Detection Result Data Format	LiDAR Detection Result Data Format
Boundary Box	x, y, w, h	x, y, z, r, w, r, h
Confident Score	conf	conf
Class Confident Score	cls1_conf, cls2_conf, ...	cls1_conf, cls2_conf, ...

Intersection over Union (IoU) เป็นการคำนวณหาคะแนนความมั่นใจของข้อมูลทั้งสองประเภท ผ่านการ คำนวณพื้นที่ Boundary Box ที่ซ้อนทับกัน (Intersection)หารด้วยพื้นที่รวมของ Boundary Box ทั้งสอง กล้อง (Union) เรียกว่าค่า IoU โดยค่า IoU จะมีค่าเข้าใกล้ 1 เมื่อผลของการตรวจจับวัตถุมีความคล้ายคลึงกัน

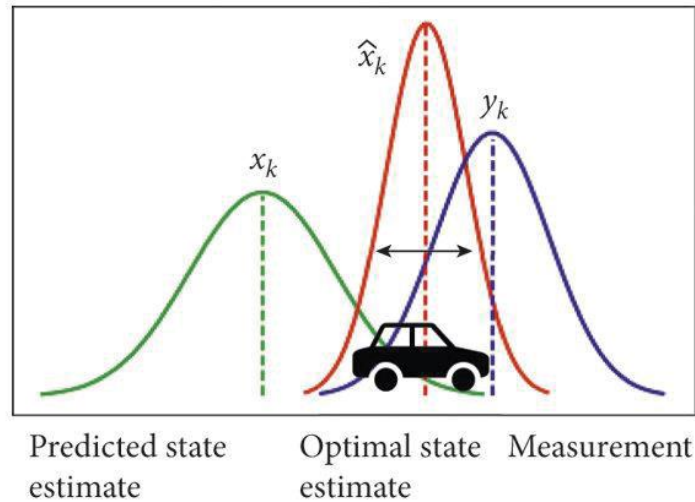
ทั้งนี้กระบวนการ Fusion ด้วยวิธีนี้จะมีข้อเสีย โดยหาค่า IoU ที่ได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ข้อมูลวัตถุจะไม่ถูกนำไปพิจารณาต่อ ในทางกลับกัน หากค่า IoU ที่ได้มีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ต้องพิจารณาถึงกระบวนการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุดังกล่าวให้เหมาะสมด้วย



รูปที่ 2-21 การคำนวณแบบ Intersection over Union

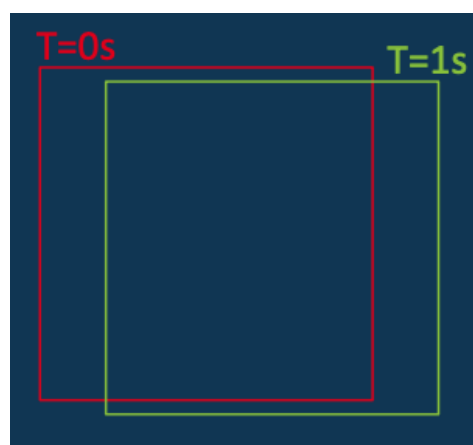
Kalman Filter ในทางทฤษฎี คือ เครื่องมือในการประมาณค่า State จากข้อมูลที่วัดได้ (Observation) และ State ที่ผ่านมาของระบบ ทั้งนี้ Kalman Filter สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการรวมข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์ 2 ประเภทได้ โดยผลที่ได้จะเป็นค่าที่ถูกปรับให้เหมาะสม (Optimized) กล่าวคือ หากใช้งาน Kalman Filter ไปเป็นระยะเวลานาน ข้อมูลที่ต่ำจาก Kalman Filter จะเป็นข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด โดย Kalman Filter จะมีกระบวนการในทางปฏิบัติดังนี้

1. แปลงข้อมูลของเซนเซอร์ทั้งสองประเภทให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
2. คำนวณหาความเชื่อมั่นระหว่างข้อมูลทั้งสองชนิด (Kalman Gain) จากความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากชุดข้อมูลก่อนหน้า
3. คำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากการ Fusion (Estimation)
4. คำนวณความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ (Estimate Uncertainty)
5. ทำซ้ำข้อ 1 – 4 อีกครั้งโดยใช้ข้อมูลถัดไปที่ได้รับจากเซนเซอร์



รูปที่ 2-22 ทฤษฎีการทำ Kalman Filter

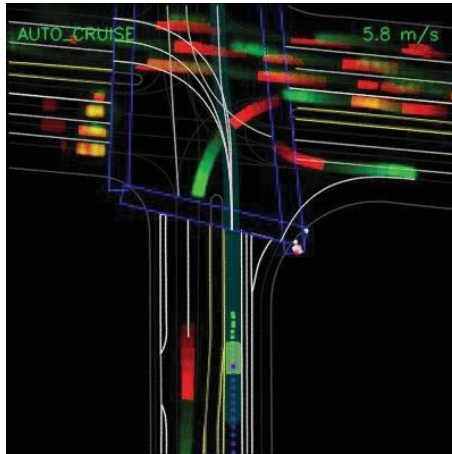
จากกระบวนการตรวจจับวัตถุ ทำให้ยานยนต์อัตโนมัติทราบถึงตำแหน่งของวัตถุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลด้านความเร็ว และความเร่งเป็นอีกชุดข้อมูลสำคัญสำหรับยานยนต์อัตโนมัติ เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของวัตถุแต่ละชนิด ดังนั้นกระบวนการติดตามวัตถุ (Object Tracking) จึงมีความจำเป็นในการพิจารณาว่าวัตถุที่ตรวจจับได้ในแต่ละช่วงเวลาเป็นวัตถุเดียวกันหรือไม่ ถ้าวัตถุที่ตรวจจับได้เป็นวัตถุเดียวกัน ข้อมูลตำแหน่งของวัตถุในเวลาต่าง ๆ จะสามารถนำมาคำนวณเป็นข้อมูลความเร็วและความเร่งได้ โดยกระบวนการ Object Tracking ในปัจจุบันมีการพัฒนากันอย่างมากอาทิการใช้ Machine Learning เพื่อติดตามวัตถุเป็นต้นแต่อย่างไรก็ดีกระบวนการ Intersection over Union และ Kalman Filter ที่ใช้ในกระบวนการ Sensor Fusion ยังคงได้รับความนิยม และนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการ Object Tracking อยู่ โดยการเปลี่ยนข้อมูลจากข้อมูลเซนเซอร์ต่างชนิดกัน เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensor Fusion) ในเวลาต่างกันแทน



รูปที่ 2-23 การทำ Object Tracking

กระบวนการสุดท้ายของ Perception Process ของยานยนต์อัตโนมัติ คือ กระบวนการพยากรณ์ตำแหน่งของวัตถุ (Object Prediction) โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการทำนายเส้นทางการเคลื่อนที่ในอนาคตของวัตถุที่ตรวจจับได้ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาวางแผนการเคลื่อนที่ของยานยนต์อัตโนมัติ กระบวนการนี้

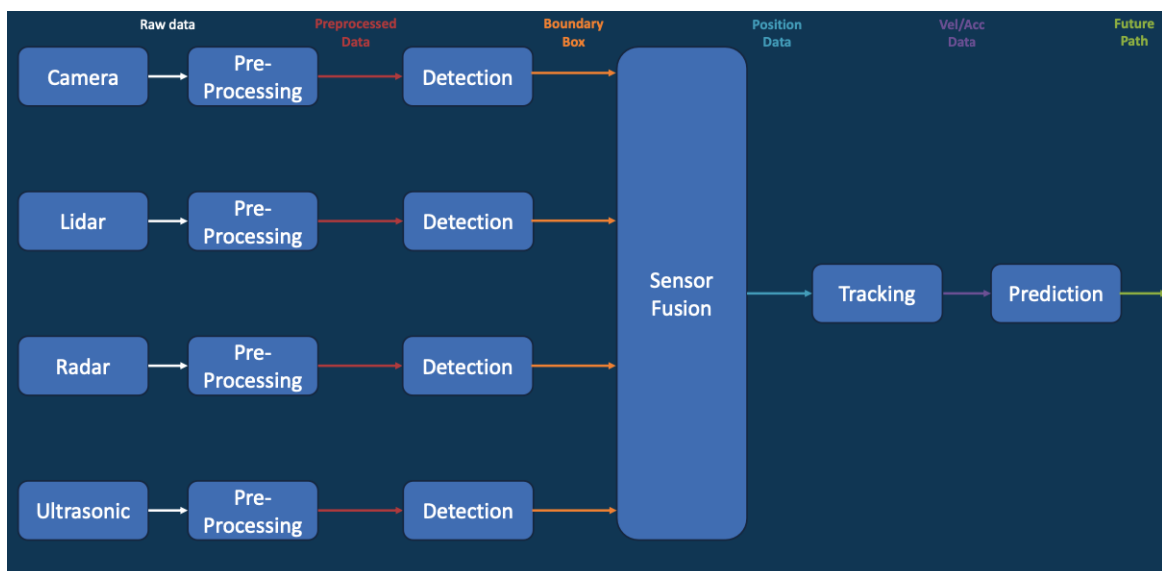
สามารถดำเนินการได้โดย การนำข้อมูลตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง ที่ได้จาก Object Tracking มาคำนวณผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในอนาคต แต่อย่างไรก็ดีเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์มักมีสัญญาณรบกวน (Noise) ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จาก Object Tracking นั้นมีผลกระทบของสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ด้วย กระบวนการ Object Prediction จึงมักคำนวณโดยกำหนดข้อจำกัด 3 ด้าน คือ วัตถุมีความเร็วเชิงเส้นคงที่ (Fixed Linear Velocity) วัตถุมีความเร็วเชิงมุมคงที่ (Fixed Angular Velocity) และวัตถุมีความเร่งคงที่ (Fixed Acceleration) จากนั้นผู้พัฒนาอาจนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 3 ข้อจำกัดมารวมกันผ่าน Kalman Filter เพื่อหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในอนาคตเป็นขั้นสุดท้ายได้



รูปที่ 2-24 การทำ Object Prediction

จากการะบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น สามารถสรุปกระบวนการเพื่อสร้างความสามารถในการรับรู้ของยานยนต์อัตโนมัติ ได้ ดังนี้

1. เซนเซอร์แต่ละชนิดทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุโดยรอบของยานยนต์อัตโนมัติ
2. ข้อมูลดิบที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละชนิดจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล (Pre-Processing) เพื่อให้ข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละชนิดมีความเหมาะสมที่จะนำไปดำเนินการต่อไปในขั้นตอนการตรวจจับวัตถุ
3. ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละชนิด จะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการตรวจจับวัตถุ (Detection) ที่ดำเนินการแยกกันตามความเหมาะสมของเซนเซอร์แต่ละชนิด
4. ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการตรวจจับวัตถุ (Detection) จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ (Sensor Fusion) เพื่อได้ตำแหน่งที่ถูกต้องของวัตถุที่ถูกตรวจจับได้
5. ตำแหน่งของวัตถุจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการการติดตามวัตถุ (Object Tracking) เพื่อคำนวณหาความเร็ว และความเร่ง ของวัตถุแต่ละชนิด
6. ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของวัตถุ จะถูกส่งไปยังกระบวนการสุดท้าย กระบวนการพยากรณ์ตำแหน่งของวัตถุ (Object Prediction) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งในอนาคตของวัตถุแต่ละชนิด



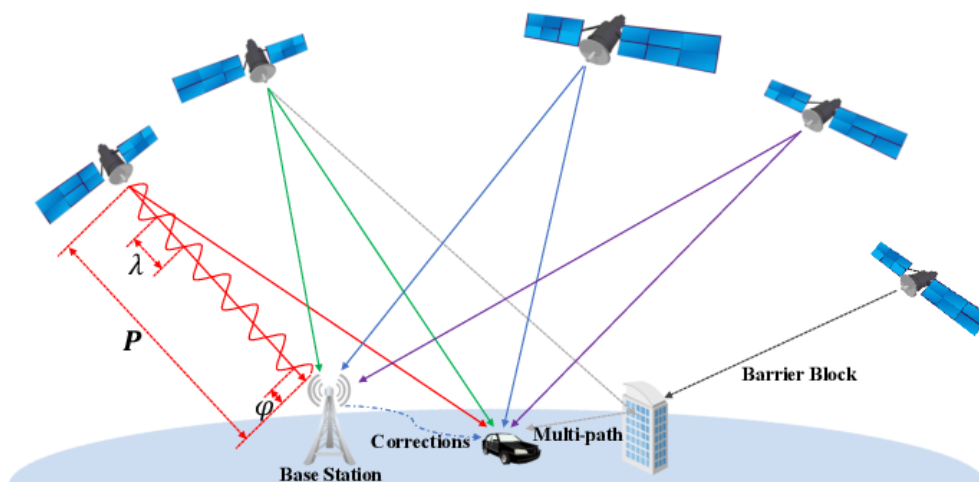
รูปที่ 2-25 ภาพรวมการทำงานของ Perception

บทที่ 3 ความสามารถในการระบุตำแหน่ง (Localization)

ความสามารถในการระบุตำแหน่ง (Localization) คือ กระบวนการที่ทำให้ยานยนต์อัตโนมัติทราบถึงตำแหน่งปัจจุบันของตัวเองซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนเส้นทางของระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ โดยกระบวนการ Localization สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ GNSS Localization คือ กระบวนการระบุตำแหน่งด้วยระบบนำทางด้วยดาวเทียม และ Visual Localization คือ กระบวนการระบุตำแหน่งโดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอบรถยนต์

3.1 การระบุตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำร่อง (GNSS Localization)

GNSS Localization หรือกระบวนการระบุตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำร่อง เป็นกระบวนการระบุตำแหน่งที่นิยมใช้งานทั่วไป อาทิเช่นการระบุตำแหน่งโทรศัพท์มือถือก็ใช้กระบวนการระบุตำแหน่งประเภทนี้ได้ อย่างไรก็ตามการระบุตำแหน่งด้วยวิธีนี้มีความแม่นยำที่ต่ำ และหากมีอาคาร หรืออุปสรรคมาบดบังสัญญาณที่ส่งมาจากระบบดาวเทียมนำร่อง ก็จะส่งผลต่อความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งได้ ทั้งนี้หากต้องการให้ระบบ GNSS Localization มีความแม่นยำมากขึ้นถึงในระดับเซนติเมตร ระบบระบุตำแหน่งจำเป็นต้องได้รับสัญญาณแก้ไขจากสถานีภาคพื้น (Base Station) เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งได้ แต่อย่างไรก็ดี การสร้างสถานีภาคพื้นมีข้อจำกัด เนื่องจากแต่ละสถานีสามารถกระจายสัญญาณแก้ไขที่มีความแม่นยำได้ภายในรัศมี 50 กิโลเมตรเท่านั้น

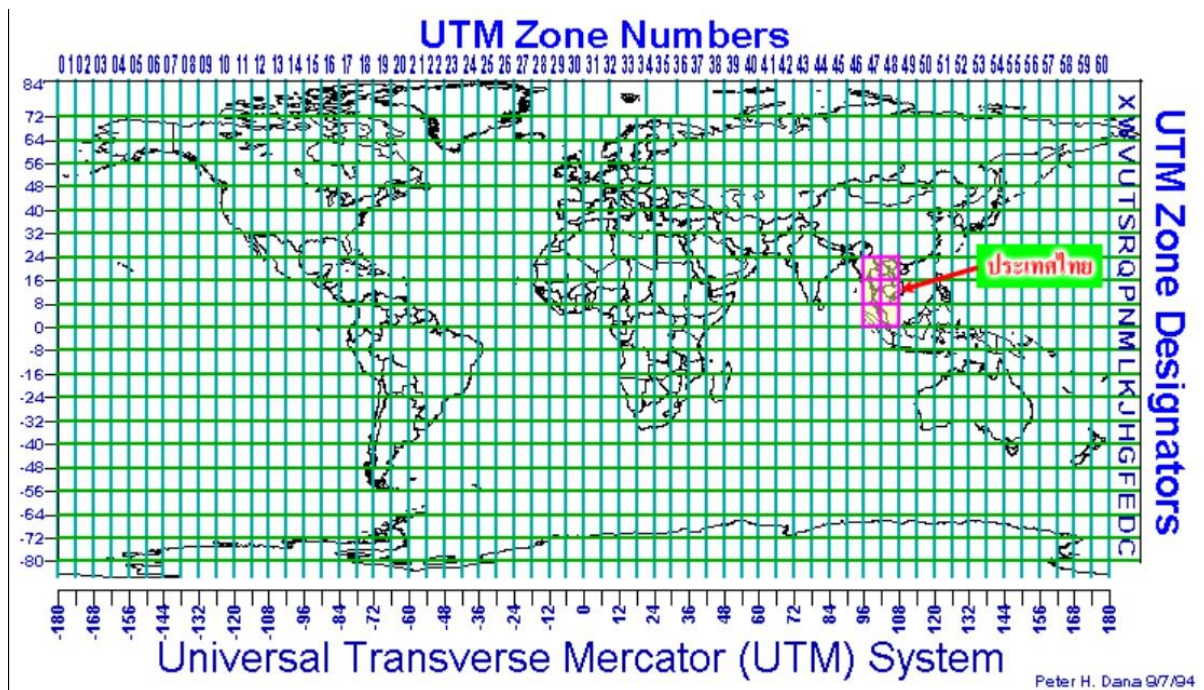


รูปที่ 3-1 การระบุตำแหน่งด้วย GNSS

อุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS ติดตั้งอยู่ยานยนต์อัตโนมัติ จะได้รับข้อความในการระบุตำแหน่ง ณ เวลาปัจจุบันในรูปแบบของ ละติจูด ลองจิจูด และอัลติจูด แต่อย่างไรก็ตาม การประมวลผลตำแหน่งในยานยนต์อัตโนมัติ มักใช้หน่วยของการระบุตำแหน่งเป็นเมตร ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้จากข้อมูลที่ได้รับมาจาก GNSS Localization ได้ทันที จำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยจากละติจูด ลองจิจูด และอัลติจูด ให้เป็นตำแหน่งที่มีหน่วยเป็น เมตร โดยหนึ่งในระบบพิกัดที่นิยมใช้ คือ Universal Transverse Mercator (UTM)

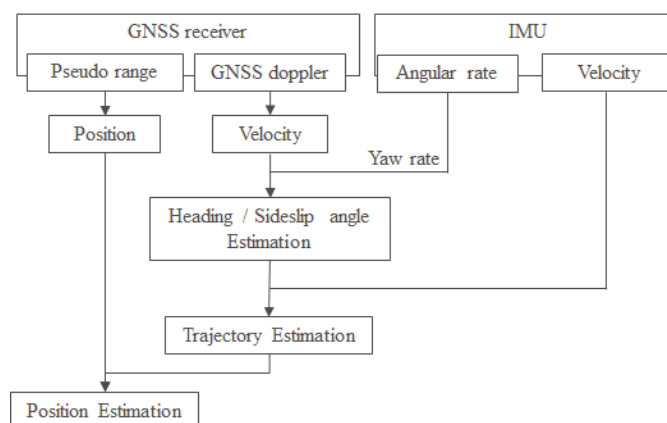
UTM Coordinate System เป็นกระบวนการแปลงค่า ละติจูด ลองจิจูด และอัลติจูด ให้เป็นหน่วยเมตร โดยมีจุดกำเนิด (Origin) อยู่ที่ละติจูด และลองจิจูดที่ (0,0) ระบบ UTM Coordinate System จะแบ่งพื้นผิวของโลกเป็นตาราง และกำหนดตำแหน่งของจุดตัดของตารางแต่ละช่องเป็นระยะห่างระหว่างจุดกำเนิด ซึ่งการ

แปลงค่าละติจูด และลองจิจูดเป็น UTM Coordinate System ทำได้โดยการเปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้รับจาก GNSS และ ตารางของ UTM Coordinate System



รูปที่ 3-2 UTM System

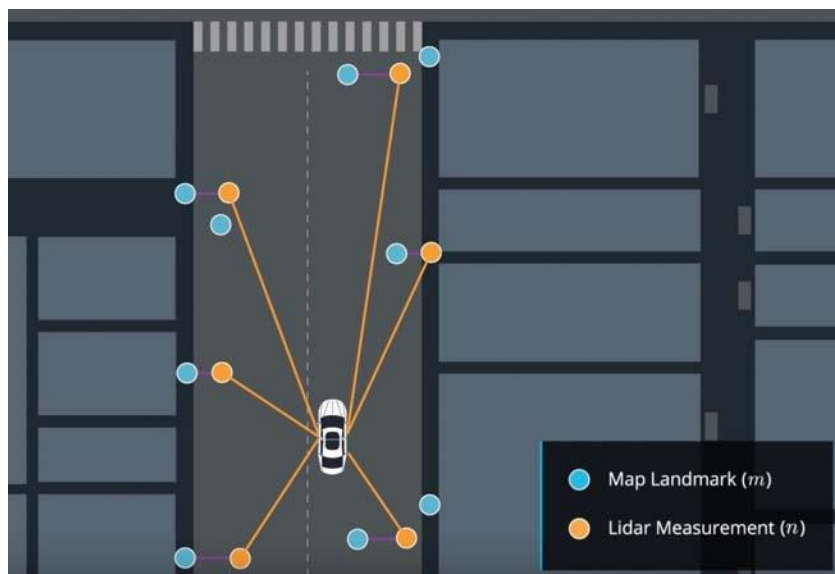
กระบวนการ Dead Reckoning เป็นอีกกระบวนการที่ช่วยชดเชยข้อผิดพลาดของการระบุตำแหน่งด้วย GNSS Localization โดยอาศัยข้อมูลด้านความเร็วเชิงเส้น ความเร็วเชิงมุม และความเร่งของรถยนต์ โดยข้อมูลด้านความเร็วเชิงเส้น ความเร็วเชิงมุม และความเร่งของรถยนต์ จะถูกนำมาคำนวณเป็นตำแหน่งปัจจุบันของรถยนต์ คล้ายคลึงกับการบวนการ Object Prediction จากนั้นระบบจะนำข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GNSS Localization และที่ได้จากการคำนวณมารวมกัน (Fusion) ผ่าน Kalman Filter เพื่อหาตำแหน่งที่แม่นยำของรถยนต์อัตโนมัติ ณ ปัจจุบัน



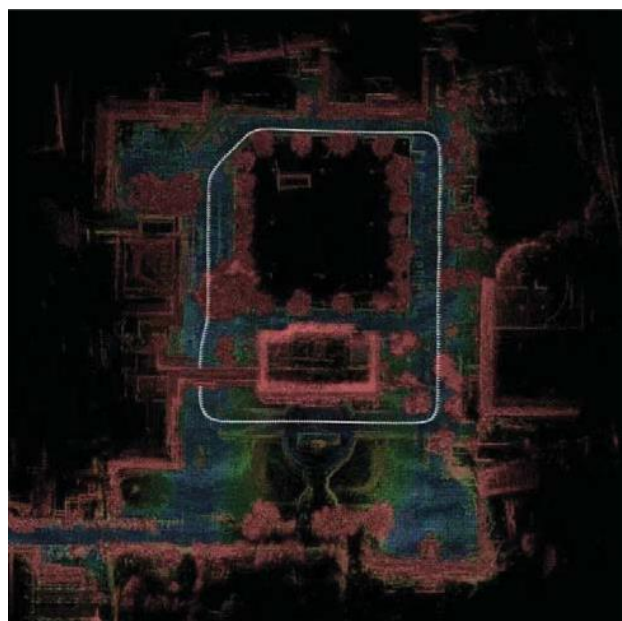
รูปที่ 3-3 กระบวนการ Dead Reckoning

3.2 การระบบตำแหน่งด้วยเซนเซอร์ (Visual Localization)

Visual Localization เป็นกระบวนการระบุตำแหน่งโดยอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บริเวณรอบรถยนต์ โดยเซนเซอร์ที่ได้รับความนิยมใช้ในกระบวนการนี้ คือ LiDAR เนื่องจาก LiDAR เป็นเซนเซอร์ที่ให้ข้อมูลตำแหน่งของวัตถุสัมพัทธ์กับรถยนต์ในหน่วยเมตรได้ และข้อมูลที่ได้รับมามีความแม่นยำสูง ส่งผลให้ตำแหน่งที่ได้รับจากกระบวนการนี้มีความแม่นยำสูงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอ้างอิง กล่าวคือ ข้อมูลแผนที่ความละเอียดสูง (HD Map) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการนำข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง และประเมินหาตำแหน่งของรถยนต์อัตโนมัติบนแผนที่ความละเอียดสูง (HD Map) เปรียบเสมือนผู้ขับขี่ที่เป็นรถยนต์ที่อาศัยข้อมูลจากการมองเห็นสถานที่ต่าง ๆ รอบตัวรถ และนำมาเปรียบเทียบกับแผนที่ที่อยู่ในความทรงจำว่า สถานที่ต่าง ๆ ที่มองเห็น อยู่ ณ บริเวณใด ของแผนที่ ซึ่งจำทำให้สามารถพิจารณาข้อมูลตำแหน่งรถยนต์จากตำแหน่งของสถานที่ที่มองเห็นได้



รูปที่ 3-4 การ Visual Localization



รูปที่ 3-5 แผนที่ความละเอียดสูง (HD Map)

Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) เป็นกระบวนการสำคัญ ในการสร้างแผนที่ความละเอียดสูงสำหรับการใช้งานในระบบ Visual Localization ของยานยนต์อัตโนมัติ เริ่มต้นจากการกรองลักษณะสำคัญ หรือฟีเจอร์ของสภาพแวดล้อมที่ได้จากเซนเซอร์ อาทิเช่น เหลี่ยมมุมของตึก จากนั้นนำข้อมูลฟีเจอร์มาพิจารณา ณ เวลาต่าง ๆ เพื่อหาตำแหน่งของยานยนต์อัตโนมัติ ณ เวลานั้น ๆ เมื่อทราบตำแหน่งของรถยนต์ที่เปลี่ยนไป ณ เวลาต่าง ๆ แล้ว SLAM อัลกอริทึม จะนำข้อมูลดิบ หรือ RAW data ของเซนเซอร์ที่ตรวจจับได้มาสร้างเป็นแผนที่ความละเอียดสูง โดยอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลดิบจากข้อมูลตำแหน่ง ณ เวลานั้นของยานยนต์อัตโนมัติที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

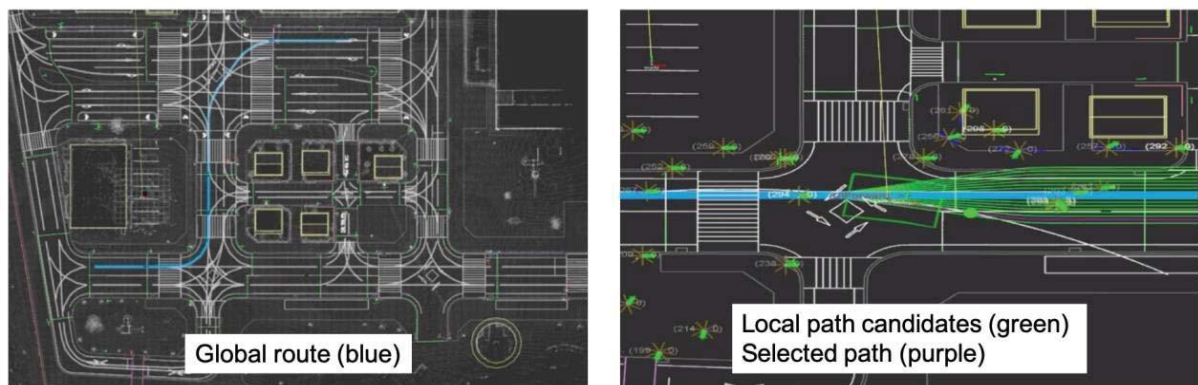
ทั้งนี้ กระบวนการสร้างแผนที่ความละเอียดสูงด้วย SLAM อัลกอริทึม เป็นกระบวนการที่อาศัยความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งในเชิงปฏิบัติแล้ว ผู้พัฒนยานยนต์อัตโนมัติ อาจใช้บริการผู้ประกอบการที่มีความเชี่ยวชาญด้านการสำรวจ และสร้างแผนที่ ในการสร้างแผนที่ความละเอียดสูง ที่นำมาใช้งานในยานยนต์อัตโนมัติ

บทที่ 4 ความสามารถในการวางแผนเส้นทาง (Path Planning)

ความสามารถในการวางแผนเส้นทาง (Path Planning) ของยานยนต์อัตโนมัติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการย่อย คือ Global Planning คือกระบวนการวางแผนเส้นทางเดินทางโดยรวมของยานยนต์อัตโนมัติ และ Local Planning ซึ่งเป็นกระบวนการวางแผนการเคลื่อนที่ของยานยนต์อัตโนมัติเพื่อรับมือกับสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบยานยนต์อัตโนมัติ



รูปที่ 4-1 Path Planning



รูปที่ 4-2 Global Planning (ซ้าย) และ Local Planning (ขวา)

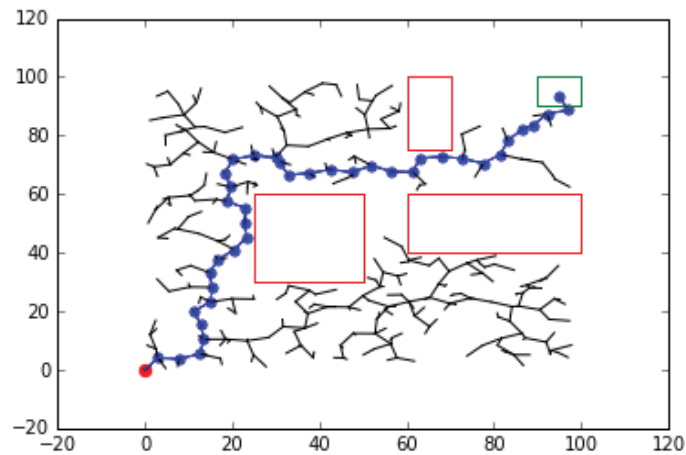
4.1 กระบวนการวางแผนเส้นทางเดินทางโดยรวมของยานยนต์อัตโนมัติ (Global Planning)

Global Planning คือ กระบวนการวางแผนเส้นทาง เช่นเดียวกันกับการวางแผนเส้นทางใน Navigation Application ที่ติดตั้งอยู่ในโทรศัพท์มือถือ หรือรถยนต์ในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น Google Map ซึ่งเป็นกระบวนการวางแผนเส้นทางโดยรวมว่าหากรถยนต์ ต้องการที่จะเดินทางจากจุด A ไปยังจุด B จะต้องผ่านเส้นทางใดบ้าง โดย อัลกอริทึมใช้ในการ Global Planning สามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท ได้แก่ Free Space Planning และ Graph Planning

4.1.1 การวางแผนเส้นทางบนพื้นที่ว่าง (Free Space Planning)

Free Space Planning เป็นกระบวนการวางแผนเส้นทางประเภทแรกที่ถูกนำมาใช้ในยานยนต์อัตโนมัติ พัฒนาโดยศาสตราจารย์ในมหาวิทยาลัย MIT ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในขณะนั้น คือ Rapid Random Tree (RRT) โดยอัลกอริทึมนี้เป็นกระบวนการที่ยานยนต์อัตโนมัติ จะสุ่ม

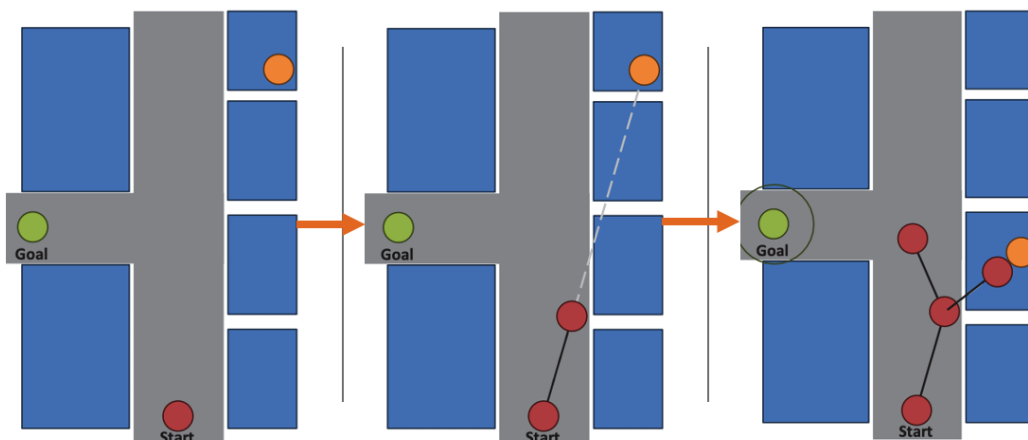
เส้นทางในระยะทางสั้น ๆ ขึ้นมาต่อกันจนเส้นทางที่จะสามารถนำทางยานยนต์อัตโนมัติไปยังจุดหมายได้ โดยเส้นทางสั้น ๆ จะถูกสร้างขึ้นมาจากการคำนวณข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของยานยนต์อัตโนมัติในระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้กระบวนการนี้ยังมีข้อเสีย เนื่องจากการสร้างเส้นทางเป็นกระบวนการแบบสุ่ม ทำให้เส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละครั้งจะไม่เหมือนกัน และมีลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง รวมทั้งหากจุดหมายมีระยะทางไกล และพื้นที่ที่อนุญาตให้ยานยนต์อัตโนมัติเคลื่อนที่ได้กว้าง กระบวนการนี้จะใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางนานขึ้นด้วย

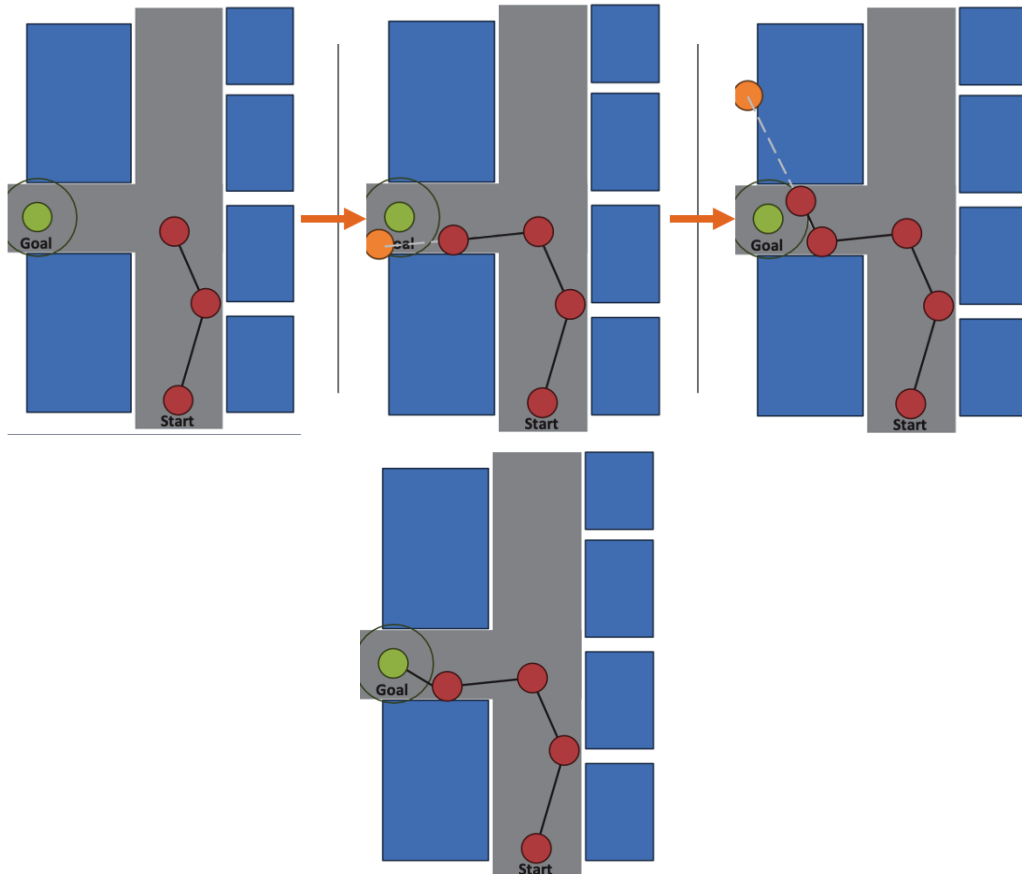


รูปที่ 4-3 การทำ Free Space Planning

ขั้นตอนการทำงานของ Rapid Random Tree (RRT)

1. สุ่มเลือกจุดบนแผนที่มา 1 จุด
2. ค้นหา Node ที่ใกล้กับจุดที่สุ่มมากที่สุด ทำการสร้างเส้นประระหว่างจุดที่สุ่ม และ Node เพื่อเป็นทิศทางอ้างอิงของเส้นทางจริง จากนั้นทำการสร้าง Node ใหม่บนเส้นปะ ในระยะที่รถยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา และ Node ที่สร้างใหม่จะต้องไม่ออกนอกเส้นทาง หรือสัมผัสกับวัตถุอื่นในแผนที่
3. ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 ไปจนกระทั่ง Node ที่สร้างใหม่อยู่ห่างจากจุดสิ้นสุดต่ำกว่าระยะที่กำหนดไว้
4. เชื่อม Node ที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นปะ เข้ากับจุดสิ้นสุด

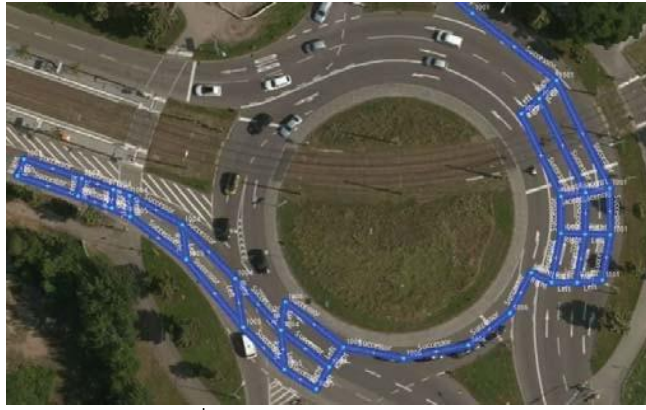




รูปที่ 4-4 ขั้นตอนการทำงานของ Rapid Random Tree (RRT)

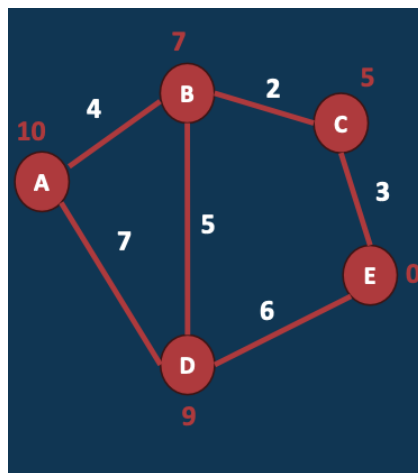
4.1.2 การวางแผนเส้นทางโดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบกราฟ (Graph Planning)

Graph Planning เป็นการวางแผนเส้นทางโดยอาศัยข้อมูลถนนที่เก็บไว้ในรูปแบบของ Graph Structure โดย Graph Structure จะประกอบด้วยข้อมูล 2 ประเภท ได้แก่ Node ซึ่งแสดงถึงตำแหน่งของจุดตัดของถนน หรือแยกต่างๆ และ Edge ซึ่งแสดงถึงถนนที่เชื่อมแต่ละแยกเข้าด้วยกัน โดยใน Node และ Edge อาจบรรจุข้อมูลอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ อาทิเช่น ความเร็วสูงสุด ทิศทางการขับขี่ และระยะทางเป็นต้น เมื่อข้อมูลของถนนถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบของ Graph ผู้พัฒนาจะสามารถนำ Graph Search Algorithm มาประยุกต์ใช้เพื่อหาเส้นทางได้ โดยอัลกอริทึมที่นิยมได้แก่ A* ทั้งนี้การใช้ Graph Search Algorithm บนยานยนต์อัตโนมัติ จะได้รับเส้นทางที่สะท้อนความเป็นจริงมากกว่า Free Space Planning เนื่องจากเส้นทางจะถูกวางแผนจากข้อมูลถนนที่ถูกจัดทำไว้ล่วงหน้าแล้ว



รูปที่ 4-5 การทำ Graph Planning

A* (A-star) เป็นอัลกอริทึมการวางแผนเส้นทางที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดในกราฟ โดยทำการพิจารณาระยะทางที่เดินทางไปแล้ว และการประมาณระยะทางที่เหลือไปยังเป้าหมาย ผ่านการคำนวณค่า Cost ยกตัวอย่างเช่น การวางแผนการเดินทางจากจุด A ไปยังจุด E มีค่า Cost ที่จุดนั้น ๆ (H) และ ค่า Cost ระหว่างจุด (G) ดังแสดงในรูปที่ 4-6

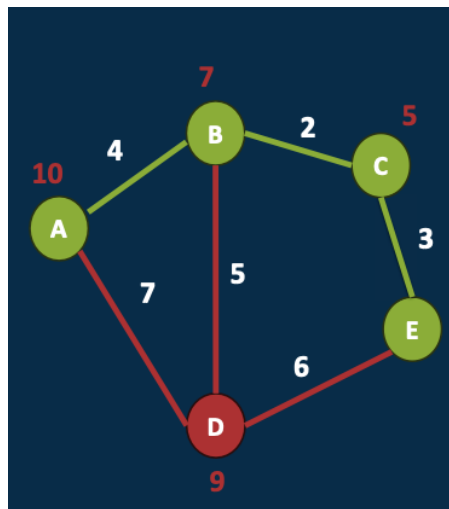


รูปที่ 4-6 สถานการณ์จำลองการวางแผนการเดินทางด้วย A*

ขั้นตอนในการทำงานของ A* อัลกอริทึมในกรณีตัวอย่าง

1. เนื่องจากจุด A เป็นจุดเริ่มต้น จึงมีค่า Cost เท่ากับ H หรือ 10 หน่วย
2. ที่จุด B เส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุดคือ จาก A ไป B คือ 11 (7+4) หน่วย
3. ที่จุด C เส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุดคือ จาก B ไป C คือ 7 (5+2) หน่วย
4. ที่จุด D เส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุดคือ จาก B ไป D คือ 14 (9+5) หน่วย
5. ที่จุด E เส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุดคือ จาก C ไป E คือ 3 (0+3) หน่วย

ดังนั้น เส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุด คือ เส้นทางจาก A ไป B ไป C และ ไป E โดยมีค่า Cost รวมกันเป็น $3+7+11+10 = 31$ หน่วย



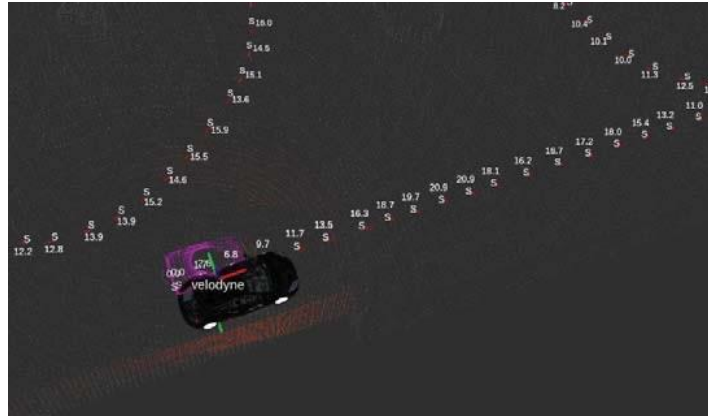
รูปที่ 4-7 การวางแผนการเดินทางด้วย A*

ตารางที่ 4-1 ตารางแสดงการคำนวณการวางแผนการเดินทางด้วย A*

Node	G	H	F = G+H	Previous Node
A (Start)	0	10	10	None
B	4	7	11	A
C	2	5	7	B
D	5	9	14	B
E (End)	3	0	3	C

เมื่อกระบวนการวางแผนเส้นทางดำเนินการแล้วเสร็จ ข้อมูลเส้นทางจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูล Waypoints เพื่อความง่ายต่อการนำไปใช้งาน โดย Waypoint คือ จุดอ้างอิงที่รถยนต์ต้องเคลื่อนที่ตาม เพื่อให้ไปถึงจุดหมาย ได้อย่างถูกต้อง Waypoint สามารถบรรจุข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการควบคุมรถยนต์ อาทิเช่น ตำแหน่งของจุด ความเร็วของรถยนต์ ณ จุดนั้น ทิศทางการขับขี และความเร็วสูงสุด เป็นต้น

3.



รูปที่ 4-8 แสดง Waypoints จากการวางแผนเส้นทางการเดินทางของยานยนต์อัตโนมัติ

4.2 กระบวนการวางแผนการเคลื่อนที่ของยานยนต์อัตโนมัติเพื่อรับมือกับสภาพแวดล้อมในบริเวณรอบยานยนต์อัตโนมัติ (Local Planning)

กระบวนการ Local Planning จะใช้ตำแหน่ง ณ ปัจจุบันของรถยนต์จากการทำ Localization และ Waypoints จากการทำ Global Planning และทำการวางแผนเส้นทางขึ้นมาใหม่ โดยเป็นการวางแผนเส้นทางในระยะทางหนึ่ง นับจากตำแหน่งปัจจุบันของรถยนต์ โดยเส้นทางใหม่ที่วางแผนขึ้นจะพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยอาศัยข้อมูลจากระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่รอบยานยนต์อัตโนมัติ อาทิเช่น การวางแผนเส้นทางสำหรับเปลี่ยนช่องจราจรเพื่อแซงรถยนต์ที่จอดอยู่เป็นต้น โดยกระบวนการ Local Planning ที่นิยมใช้งาน คือ Free Space Planning และ Lane Sampling

4.2.1 การวางแผนเส้นทางบนพื้นที่ว่าง (Free Space Planning)

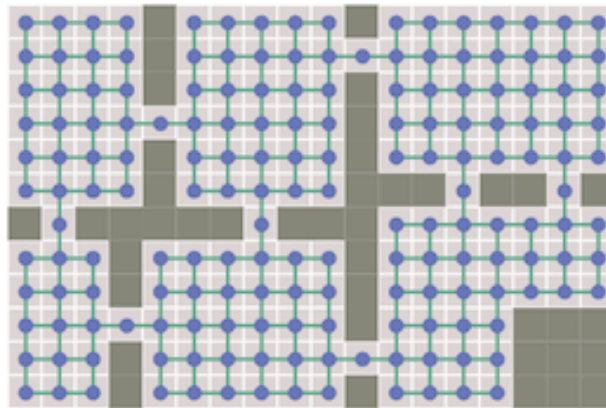
Free Space Planning สำหรับ Local Planning มีความคล้ายคลึงกับ การทำ Free Space Planning สำหรับ Global Planning แต่จะกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของรถยนต์ (Boundary) อยู่ในบริเวณใกล้เคียงรถยนต์เท่านั้น เพื่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่อาจปรากฏขึ้น และวางแผนเส้นทางการเดินทาง



รูปที่ 4-9 การวางแผนการเดินทางแบบ Free Space Planning

กระบวนการ Free Space Planning ของกระบวนการ Local Planning จะแตกต่างจาก Free Space Planning ของ Global Planning โดย Free Space Planning ของกระบวนการ Local Planning จะอาศัย A* Planning ในการวางแผนเส้นทาง ทั้งนี้ A* Planning ใน Global Planning จัดอยู่ในกระบวนการ Graph Planning แต่อย่างไรก็ดี ในส่วนของ Local Planning จะถูกจัดเป็น Free Space Planning เนื่องจาก

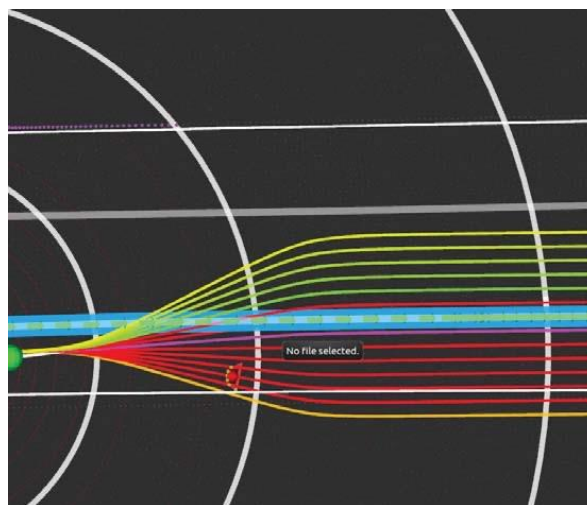
กระบวนการสร้างข้อมูล Graph Structure เป็นการสร้างจากพื้นที่ว่างบริเวณใกล้เคียงกับตัวยานยนต์อัตโนมัติ โดยแบ่ง Graph Structure ตารางในพื้นที่ใกล้เคียงกับตัวรถ และมีระยะห่างเท่า ๆ กัน ส่งผลให้ยานยนต์อัตโนมัติมีข้อจำกัดในการเคลื่อนที่น้อยกว่าการวางแผนแบบ Global Planning แต่อย่างไรก็ดี การวางแผน Local Planning ด้วยกระบวนการ A* มักต้องการทรัพยากร และเวลาในการคำนวณมาก อาจไม่เหมาะกับการใช้งานในรถยนต์ที่มีความเร็วสูง



รูปที่ 4-10 การสร้าง Graph Structure บนพื้นที่ว่าง

4.2.2 การวางแผนเส้นทางโดยอาศัยการจำลองเลน (Lane Sampling)

กระบวนการ Lane Sampling เป็นการสร้างช่องทางจราจรย่อยเพิ่มขึ้นมา ขนานกับ Waypoints ที่ได้จากกระบวนการ Global Planning โดยช่องทางจราจรที่สร้างขึ้นใหม่นั้น จะมีการคำนวณค่าใช้จ่าย (Cost) ว่าเหมาะสมที่จะให้ยานยนต์อัตโนมัติเคลื่อนที่ตามช่องทางจราจรนั้นหรือไม่ โดยการคิดค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะพิจารณาจาก 3 หัวข้อ ได้แก่ การขวางช่องทางจราจรโดยวัตถุอื่น ระยะห่างของช่องทางจราจรกับวัตถุอื่น และระยะห่างจาก Waypoints หลัก ทั้งนี้ ปัจจัยที่นำไปคิดค่าใช้จ่าย สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมในสภาพการจราจรในแต่ละพื้นที่ เมื่อช่องทางจราจรย่อยถูกสร้างและคำนวณค่าใช้จ่ายแล้วเสร็จยานยนต์อัตโนมัติจะเลือกเคลื่อนที่ตามช่องทางจราจรย่อยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางและยังคงตาม Global Waypoints อยู่



รูปที่ 4-11 การทำ Lane Sampling

ตัวอย่างการทำ Lane Sampling ในรูปที่ 4-12 แสดงการเดินทางของยานยนต์อัตโนมัติ (สีเขียว) ที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในเลนส์ แต่ตรวจจับได้ว่ามีวัตถุ (สีแดง) อยู่ด้านหน้า จึงทำการคำนวณเส้นทางออกมา 3 เส้นทาง ได้แก่ เส้นทาง A เส้นทาง B และ เส้นทาง C ใน 3 หัวข้อ ได้แก่

1. ระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่น
2. ระยะห่างจาก Waypoints หลัก
3. การออกนอกช่องทางหลัก

ทั้งนี้ หัวข้อค่าใช้จ่ายที่นำมาเป็นตัวอย่างในการคำนวณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท 1 ค่าใช้จ่ายจากระยะทาง และค่าใช้จ่ายเชิงตรรกะ กล่าวคือ ค่าใช้จ่ายจากระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่น และระยะห่างจาก Waypoints หลัก เป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายจากจากระยะหน่วยในหน่วยเมตร แต่อย่างไรก็ดีนิยมนำในการคำนวณค่าใช้จ่ายของทั้ง 2 ประเภท มีความแตกต่างกันอยู่

ในกรณีของระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่น ถ้าระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่นมีค่าน้อยแสดงว่าช่องทางจราจรนั้นมีความเสี่ยงที่จะเกิดการชน มากกว่าช่องทางที่ระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่นมีค่ามาก อย่างไรก็ตาม หากระยะทางไปคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายรวม เมื่อยานยนต์อัตโนมัติเลือกช่องทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด อาจเลือกช่องทางจราจรที่มีระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่นน้อย กล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายจะมีลักษณะในการแปรผกผันกับระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่น

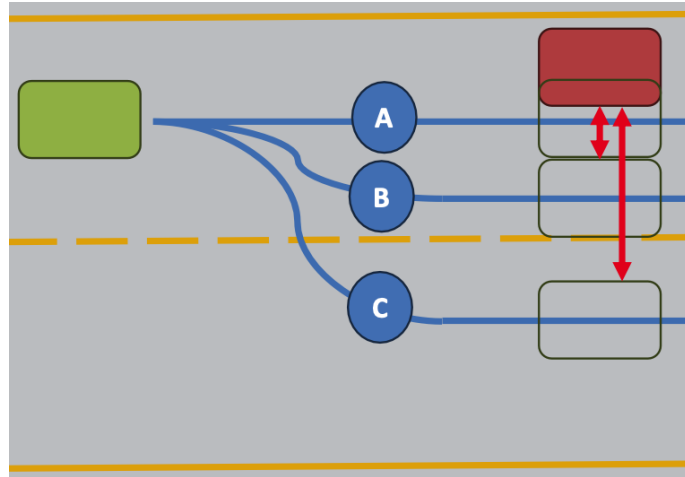
ในทางกลับกันระยะห่างจาก Waypoints หลัก ถ้ามีค่ามากแสดงว่ายานยนต์อัตโนมัติแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่หากออกจากเส้นทางอ้างอิงมากกว่า ช่องจราจรที่มีระยะห่างจาก Waypoints หลักน้อย กล่าวได้ว่า ค่าใช้จ่ายจะมีลักษณะในการแปรผันตรงกับระยะห่างจาก Waypoints หลัก

ในกรณีของการออกนอกช่องทางหลักเปรียบเสมือนค่าใช้จ่ายในเชิงตรรกศาสตร์ กล่าวคือ ค่าใช้จ่ายอยู่ในลักษณะของค่าเชิงตรรกศาสตร์ อาทิ ใช่ หรือไม่ใช่ โดยหากช่องทางจราจรออกจากช่องทางหลัก ค่าใช้จ่ายในหมวดนี้จะมีความเป็น 1 และในทางกลับกัน หากช่องทางจราจรอยู่ในช่องทางหลัก ค่าใช้จ่ายในหมวดนี้จะมีความเป็น 0

ทั้งนี้ การคำนวณค่าใช้จ่ายของช่องทางจราจรย่อยแสดงอยู่ในตารางที่ 4-2 และมีกระบวนการคำนวณดังนี้

1. เส้นทาง A
 - มีระยะห่างจากช่องจราจรกับวัตถุอื่นเป็น 0 ทำให้ Cost ของเส้นทาง A หาค่าไม่ได้ ($1/0$)
 - ระยะห่างจาก Waypoints หลักมีค่าเท่ากับ 0
 - ไม่มีการออกนอกช่องทางหลัก (0)
2. เส้นทาง B
 - มีระยะห่างจากช่องจราจรกับวัตถุอื่นเป็น 1.78 ทำให้ Cost ของเส้นทาง B เป็น $1/1.78$
 - ระยะห่างจาก Waypoints หลักมีค่าเท่ากับ 2.5
 - ไม่มีการออกนอกช่องทางหลัก (0)
3. เส้นทาง C
 - มีระยะห่างจากช่องจราจรกับวัตถุอื่นเป็น 5.74 ทำให้ Cost ของเส้นทาง C เป็น $1/5.74$
 - ระยะห่างจาก Waypoints หลักมีค่าเท่ากับ 6.53
 - มีการออกนอกช่องทางหลัก (1)

จากการคำนวณของทั้ง 3 เส้นทาง พบว่า เส้นทาง B มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นยานยนต์อัตโนมัติจะเลือกเดินทางตามเส้นทาง B



รูปที่ 4-12 ตัวอย่างการทำ Lane Sampling

ตารางที่ 4-2 ตารางการคำนวณค่าใช้จ่าย (Cost) ของ Lane Sampling

Cost	A	B	C
ระยะห่างของช่องจราจรกับวัตถุอื่น	หาค่าไม่ได้	1/1.78	1/5.74
ระยะห่างจาก Waypoints หลัก	0	2.5	6.53
การออกนอกช่องทางหลัก	0	0	1
รวม	หาค่าไม่ได้	3.11	7.7

ทั้งนี้ เมื่อผ่านกระบวนการวางแผนเส้นทางทั้งหมดแล้ว เส้นทางที่ได้รับโดยส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปแบบของ Waypoints ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังระบบควบคุมรถยนต์ เพื่อหาคำสั่งที่จำเป็นต่อการสั่งยานยนต์อัตโนมัติให้สามารถเคลื่อนที่ตาม Waypoints ที่วางแผนได้อย่างถูกต้อง และปลอดภัย

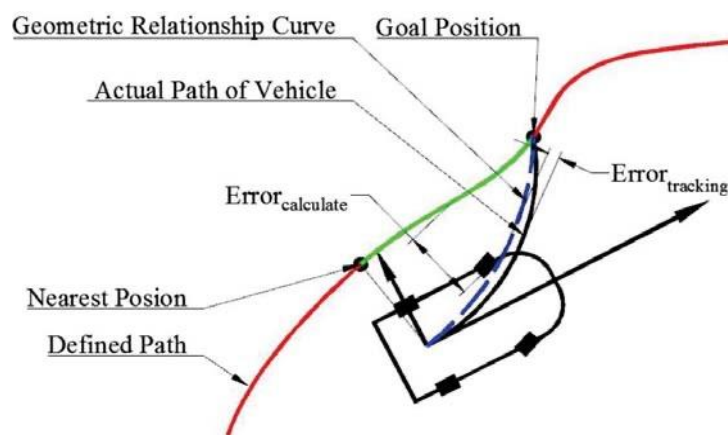
บทที่ 5 ความสามารถในการควบคุมรถ (Control)

ความสามารถในการควบคุมรถ (Control) คือ กระบวนการสั่งงานรถยนต์ให้เคลื่อนที่ตาม Waypoints ที่ได้จากระบวนการ Path Planning ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสองกระบวนการย่อยคือ Waypoints Following และ Actuator Control

5.1 การควบคุมให้ยานยนต์อัตโนมัติเคลื่อนที่ตาม Waypoints (Waypoints Following)

Waypoints Following เป็นกระบวนการสำคัญที่จะทำให้ยานยนต์อัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่วางแผนไว้ได้ จากนั้น ระบบจะคำนวณความเร็ว และมุมเลี้ยว เพื่อนำไปสั่งงานยานยนต์อัตโนมัติในขั้นต่อไป โดย Waypoints Following Algorithm ที่ใช้งานได้สะดวก และได้ความนิยมสำหรับยานยนต์อัตโนมัติที่มีความเร็วต่ำ คือ Pure Pursuit โดยมีหลักการทำงานดังแสดงใน คือ ทำการสมมุติจุดหมายระยะสั้น (Goal Position) ให้แก่ยานยนต์อัตโนมัติ โดยปกติแล้วจะกำหนดให้จุดหมายระยะสั้นอยู่ห่างจากยานยนต์อัตโนมัติเป็นค่าคงที่ จากนั้นคำนวณค่าองศาพวงมาลัยจาก รัศมีความโค้ง (R) ที่ทำให้รถยนต์ไปถึงจุดหมายระยะสั้น และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วที่จัดเก็บอยู่ใน Waypoint ที่ใกล้รถยนต์มากที่สุด (Nearest Point) ดังแสดงในรูปที่ 5-1 ด้วยกระบวนการดังกล่าวจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น

1. vel_cmd คือ ความเร็วที่จัดเก็บอยู่ใน Waypoint ที่ใกล้รถยนต์มากที่สุด
2. str_cmd คือ องศาพวงมาลัยที่คำนวณจากรัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่รถยนต์จากตำแหน่งปัจจุบันไปยังจุดหมายระยะสั้น



รูปที่ 5-1 Waypoint Following

กระบวนการคำนวณของ Pure Pursuit เพื่อหารัศมีความโค้ง (R) ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ เป็นกระบวนการคำนวณทางเลขาคณิตเพื่อให้ได้รัศมีความโค้ง (R) ที่ระยะ Look ahead distance (L) โดยรัศมีความโค้งสามารถหาได้จากสมการ

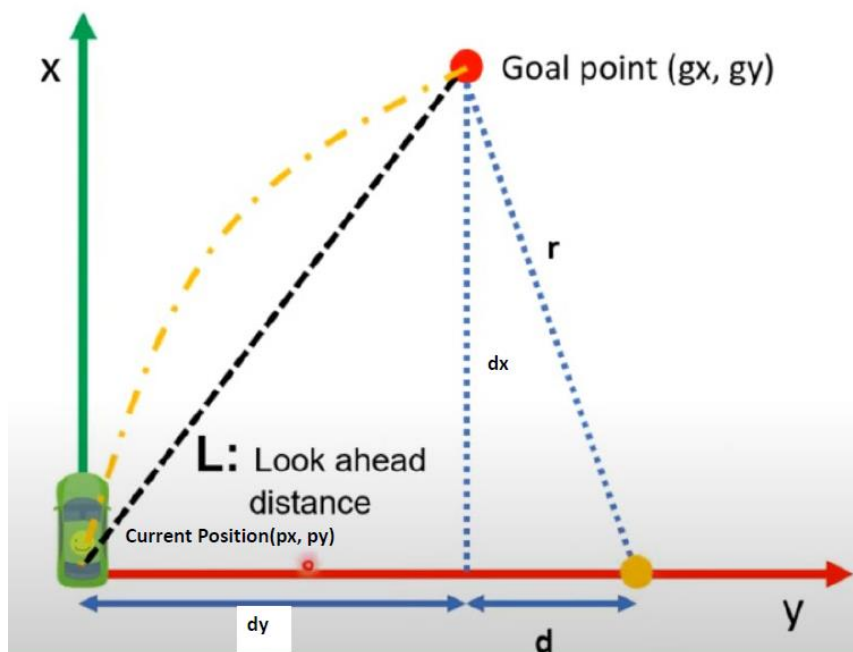
$$dx = |gx - px|$$

$$dy = |gy - py|$$

$$r = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \frac{L^2}{2 * dy}$$

ดังนั้นจะได้ว่า $r = \frac{L^2}{2 * dy}$

โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถหาได้ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 การคำนวณแบบ Pure Pursuit

เมื่อได้รัศมีความโค้งที่ต้องการแล้ว ในกรณีที่รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ องศาการเลี้ยวของล้อจะมีค่าเท่ากับองศาระหว่างเส้นตั้งฉากของจุดกึ่งกลางล้อ กับเส้นรัศมีความโค้ง ส่งผลให้สามารถหาค่าองศาการเลี้ยวได้จากสมการ

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{L}{r} \right) \quad \text{เมื่อ } L \text{ คือ ระยะฐานล้อ (Wheelbase)}$$

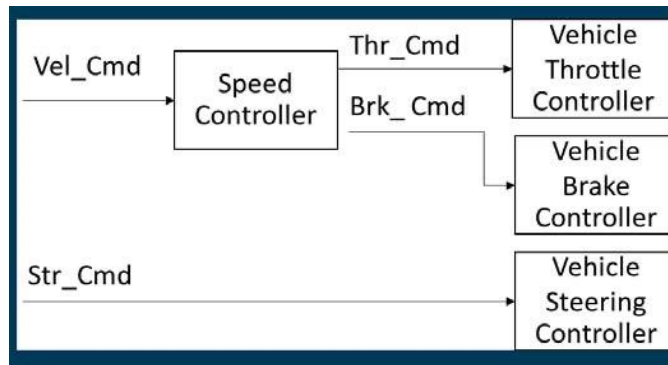
โดยค่าคำสั่งความเร็ว (vel_cmd) และคำสั่งองศาพวงมาลัย (str_cmd) จะถูกส่งไปยังขั้นตอน การควบคุมตัวกระตุ้นในรถยนต์ (Actuator Control) ต่อไป

5.2 การควบคุมตัวกระตุ้นในรถยนต์ (Actuator Control)

การควบคุมตัวกระตุ้นในรถยนต์ (Actuator Control) สามารถแบ่งออกได้เป็นการควบคุม 2 ระดับ คือ การควบคุมความเร็ว โดย Speed Controller และการควบคุมอุปกรณ์ภายในรถยนต์ (By-Wire system) 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Drive-by-wire ระบบ Brake-by-wire และ ระบบ Steer-by-wire

5.2.1 การควบคุมความเร็ว (Speed Controller)

การควบคุมความเร็ว (Speed Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมคันเร่ง และเบรกของรถยนต์ โดยคำนวณค่าการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ จากความต่างของ vel_cmd และความเร็วในปัจจุบันของรถยนต์ก่อนที่จะได้ค่า คำสั่งความเร็ว (thr_cmd) และคำสั่งเบรก (brk_cmd) เพื่อควบคุมระบบควบคุมคันเร่งด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Drive-wire) และ ระบบควบคุมเบรกด้วยสัญญาณไฟฟ้า (Brake-by-wire) ดังแสดงในรูปที่ 5-3

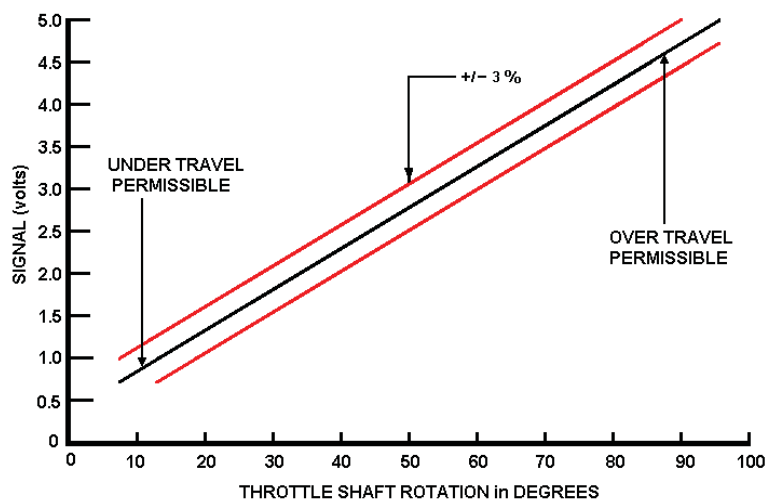


รูปที่ 5-3 การควบคุมตัวกระตุ้นในรถยนต์ (Actuator Control)

By-Wire System คือ ระบบที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของรถยนต์ด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ด้วยกระบวนการสื่อสารแบบ CAN Protocol ซึ่งกระบวนการสื่อสารที่ได้รับความนิยมสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในรถยนต์ โดยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของรถยนต์ประกอบไปด้วย 3 ระบบ ดังนี้

5.2.2 ระบบควบคุมคันเร่งด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Drive-by-wire)

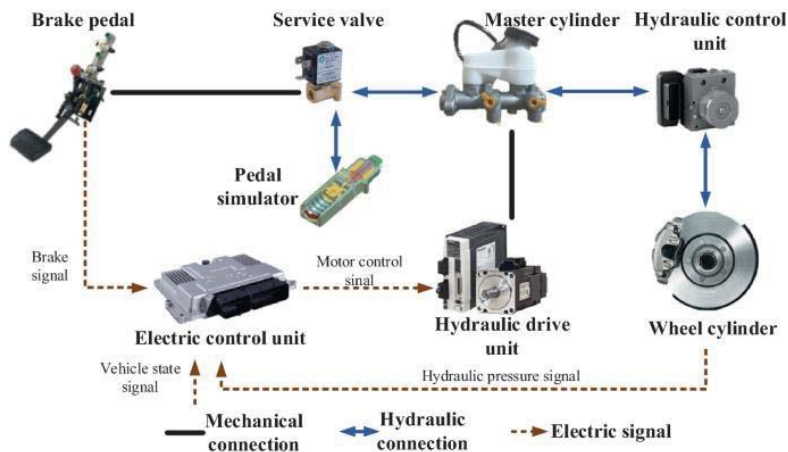
ณ ปัจจุบัน รถยนต์ส่วนใหญ่ได้หันมาใช้คันเร่งไฟฟ้าแทนคันเร่งสลิค โดย คันเร่งไฟฟ้าจะตรวจจับตำแหน่งของคันเร่งโดยอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ คือ Potentiometer ซึ่งเป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งออกมาจาก Potentiometer จะเป็นสัญญาณอนาล็อกที่มีแรงดันไฟฟ้าแปรผันตรงกับตำแหน่งของคันเร่ง กล่าวคือ แรงดันไฟฟ้าจะสูงเมื่อมีการเหยียบคันเร่งเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5-4 โดย การสั่งงานคันเร่งรถยนต์อัตโนมัติ สามารถทำได้โดยการส่งสัญญาณอนาล็อกที่มีค่าเท่ากับตำแหน่งของการเหยียบคันเร่ง



รูปที่ 5-4 ระบบควบคุมความเร็วด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Drive-by-wire)

5.2.3 ระบบควบคุมเบรกด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Brake-by-wire)

ในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะใช้ Hydraulic drive unit เพื่อสร้างแรงดันน้ำมันเบรกภายในระบบเบรก แทนที่การใช้มอเตอร์กดผ้าเบรกโดยตรง ซึ่งเป็นระบบเก่าที่ออกแบบสำหรับการใช้งานกับระบบเบรกมือไฟฟ้า โดยระบบ Hydraulic drive unit จะถูกสั่งงานด้วย ECU ที่ได้รับข้อมูลการเหยียบเบรกมาจาก Potentiometer ที่ติดตั้งอยู่ที่แป้นเบรก เพื่อวัดตำแหน่งของการเหยียบเบรก โดยการทำงานของ Potentiometer ของแป้นเบรกนั้น มีลักษณะเหมือนกับ Potentiometer ของระบบ Drive-by-wire

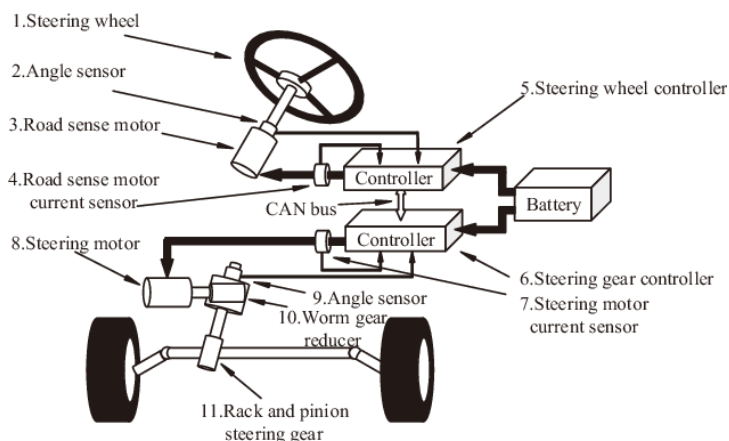


รูปที่ 5-5 ระบบควบคุมเบรกด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Brake-by-wire)

5.2.4 ระบบควบคุมพวงมาลัยด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Steer-by-wire)

ระบบ Steer-by-wire พัฒนามาจากระบบ Electric Power Steering ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยสร้างแรงเลี้ยวให้แก่ผู้ขับขี่ โดยในระบบ Steer-by-wire จะประกอบด้วย Controller 2 ตัว เพื่อทำหน้าที่ควบคุมพวงมาลัยเพื่อจำลองแรงต้านของการหักเลี้ยวพวงมาลัย และควบคุมมุมเลี้ยวที่ล้อรถยนต์ โดย Controller แต่ละตัวจะสื่อสารกันผ่าน CAN เพื่อส่งสัญญาณการเลี้ยวไปที่ Controller ที่ควบคุมการเลี้ยวของล้อได้

ทั้งนี้ กระบวนการสั่ง Electric Power Steering ให้บังคับพวงมาลัยไปยังองศาที่ต้องการผู้พัฒนาจำเป็นต้องจะต้องได้รับข้อมูลรูปแบบการส่งสัญญาณผ่าน CAN จากนั้นจึงคำนวณองศาพวงมาลัยจากคำสั่งองศาพวงมาลัย (str_cmd) เป็นค่าตัวเลขฐาน 16 ที่ระบบ Electric Power Steering ต้องการได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 5-6 ระบบควบคุมพวงมาลัยด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า (Steer-by-wire)



THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

พื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์อัตโนมัติ และการเชื่อมต่อ

วิชาพื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์เชื่อมต่อ (CV)

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto

สารบัญ

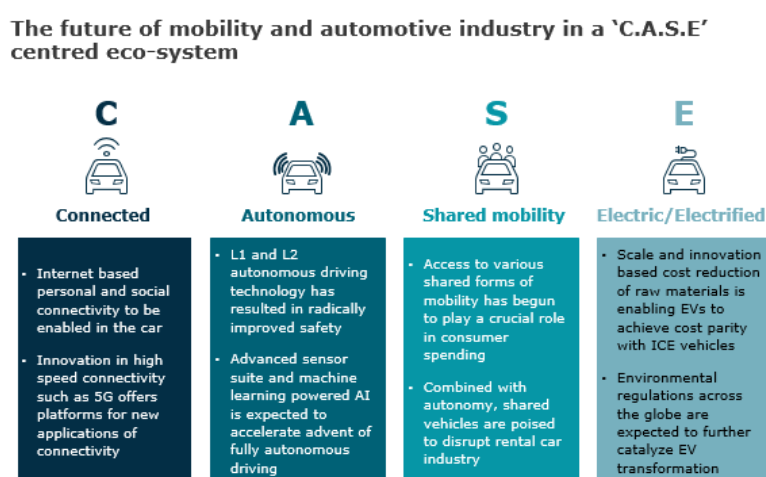
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.1 ระบบยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Vehicles Systems).....	5
2.2 การเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัติ (Connected Autonomous Vehicles System).....	6
บทที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วย CAN Bus สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	11
3.1 Controller Area Network 33Bus (CAN Bus)	11
3.2 การสื่อสารในระบบ CAN Bus.....	13
3.3 มาตรฐานและโปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับ 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 อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งเบื้องต้น (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

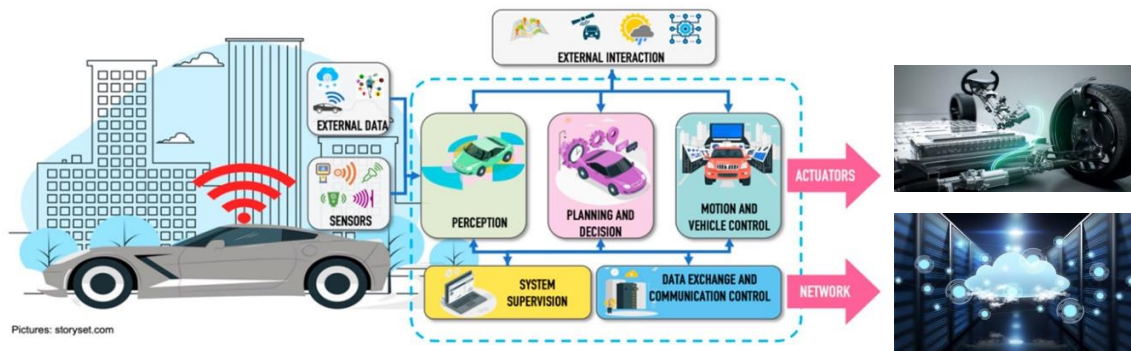
1. Connected (การเชื่อมต่อ) ยานยนต์ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายต่างๆ ทำให้สามารถสื่อสารกับยานยนต์อื่นๆ โครงสร้างพื้นฐาน และผู้ขับขี่ผ่านสมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์อื่น ๆ การเชื่อมต่อนี้ช่วยเพิ่มความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความสะดวกสบายในการใช้งาน
2. Autonomous (อัตโนมัติ) ยานยนต์ที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตนเองโดยไม่ต้องมีการควบคุมจากมนุษย์ 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)

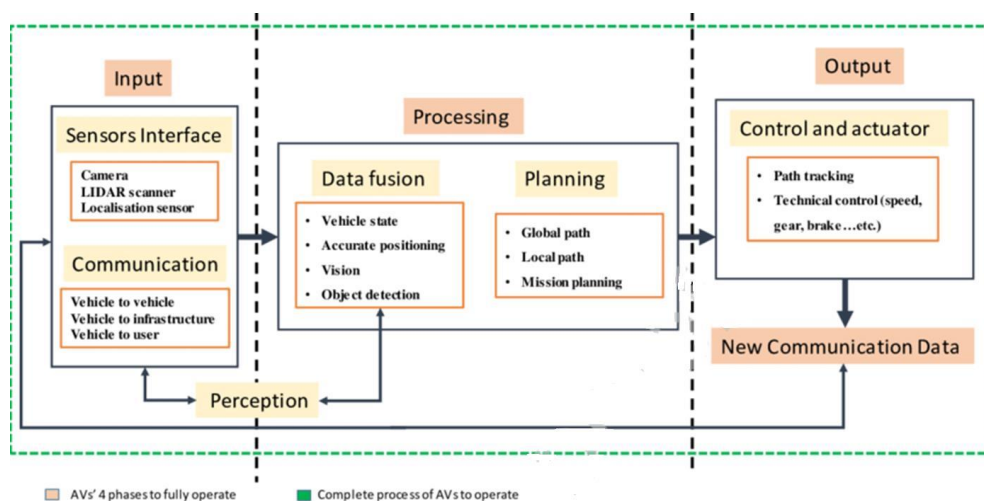
[ที่มา: <https://www.linkedin.com/pulse/case-connected-autonomous-shared-electrified-mobility-stefano-aversa>]

การทำงานของยานยนต์อัตโนมัติ นั้น 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 (ปฏิริยาภายนอก) และข้อมูลจากตัวรถยนต์เองเช่น ความเร็ว ตำแหน่ง หรือทิศทางในการเคลื่อนที่จะถูกเชื่อมต่อและส่งยังเน็ตเวิร์คเพื่อนำไปใช้งานด้านอื่น 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

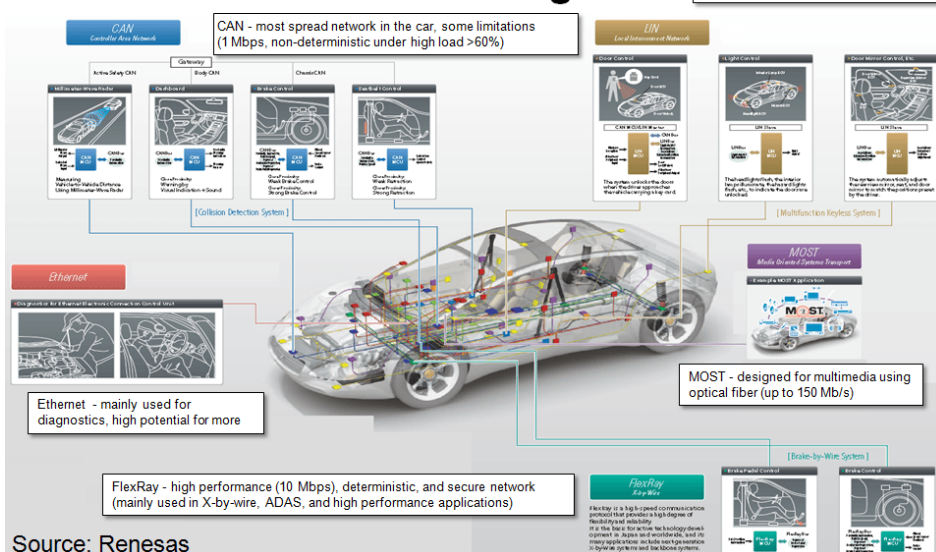


รูปที่ 1-4 เทคโนโลยี C-V2X

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

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

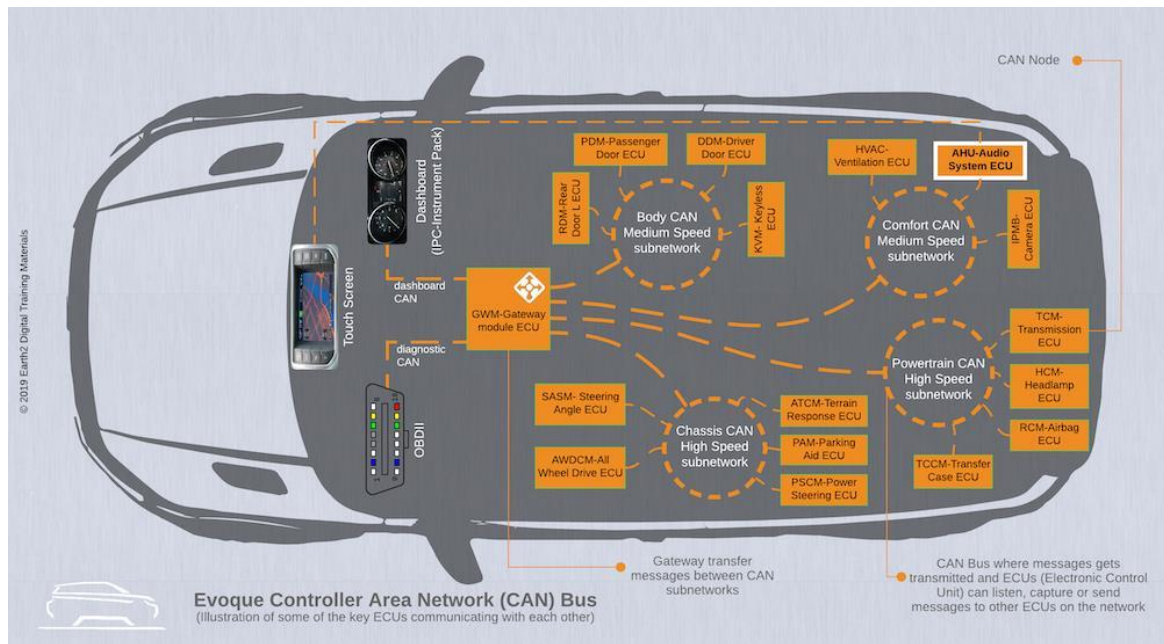
Intra-Vehicle Networking



Source: Renesas

รูปที่ 1-5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ด้วย CAN BUS สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

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

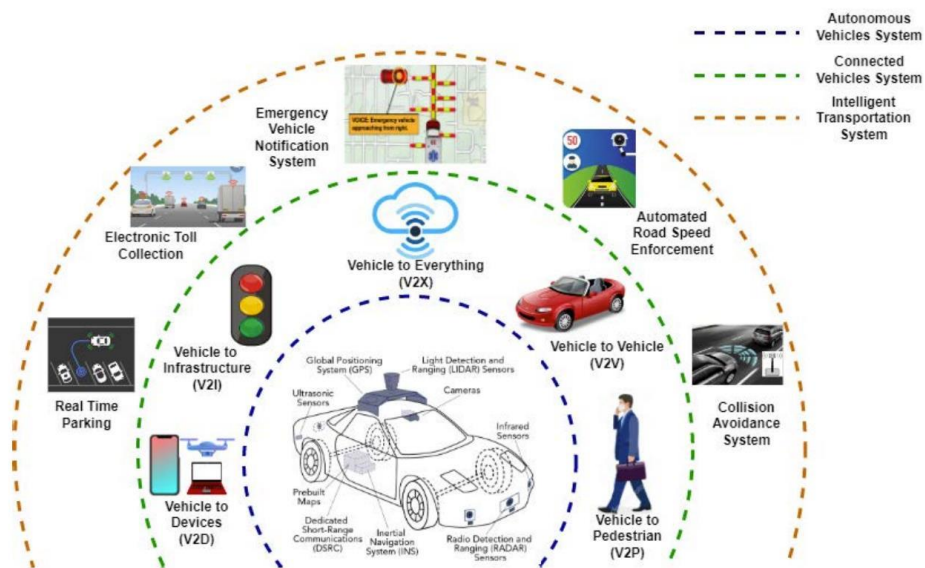


รูปที่ 1-6 ภาพรวมการเชื่อมต่อระบบภายในของยานยนต์ไฟฟ้า

[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 การรับมุลมาประมวลผล 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

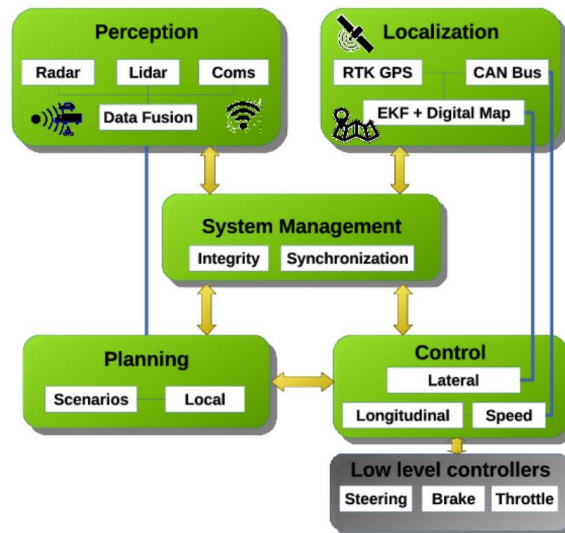
[ที่มา: (PDF) Cybersecurity and Forensics in Connected Autonomous Vehicles: A Review of the State-of-the-Art (researchgate.net)]

2.1 ระบบยานยนต์อัตโนมัติ (Autonomous Vehicles Systems)

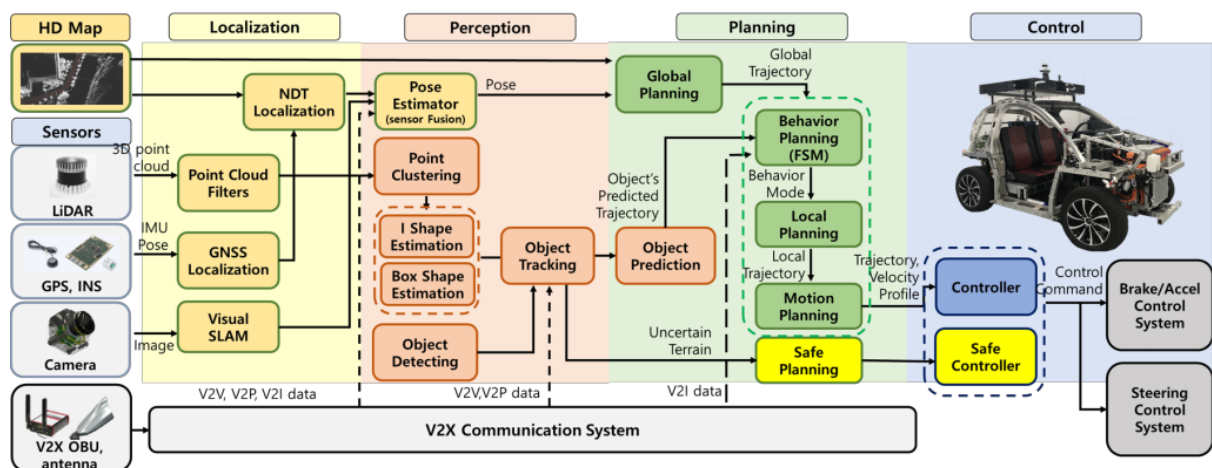
ระบบของยานยนต์อัตโนมัตินั้นประกอบไปด้วยระบบสำคัญ ได้แก่

1. Perception (การรับรู้) ทำหน้าที่รับรู้สภาพแวดล้อมรอบตัวรถยนต์ โดยใช้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น LiDAR Camera RADAR Infrared Sensors และ Ultrasonic Sensors ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์และรวมกันเพื่อสร้างภาพเสมือนจริงของสภาพแวดล้อมรอบตัวรถยนต์
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]

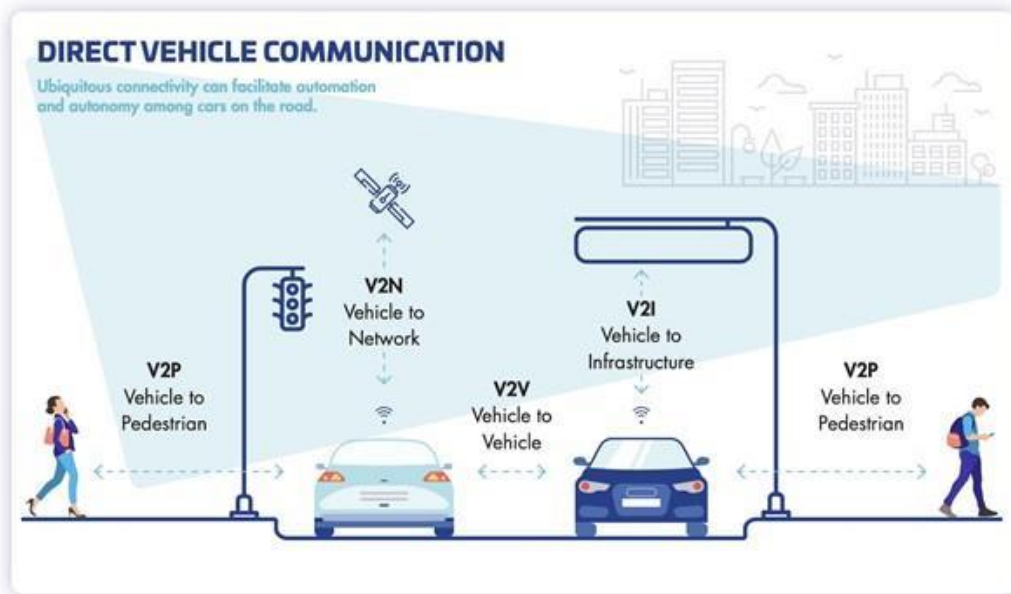
2.2 การเชื่อมต่อของยานยนต์อัตโนมัติ (Connected Autonomous Vehicles System)

ในยุคของการพัฒนานวัตกรรมทางเทคโนโลยี ยานยนต์ไม่ได้เป็นเพียงแค่เครื่องมือในการขนส่งอีกต่อไป แต่ยังคงเป็นส่วนสำคัญของระบบนิเวศทางเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากขึ้น 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) ช่วยให้อานยนต์สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งรวมถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบไร้สาย เช่น ความเร็ว ทิศทาง และตำแหน่งของยานยนต์รอบ ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการชน ลดความแออัดของการจราจร และปรับปรุงสภาพแวดล้อมการขับขี่ เทคโนโลยี V2V ในยานยนต์สื่อสารกันผ่านข้อความความปลอดภัยพื้นฐาน หรือที่เรียกว่า BSMs (Basic Safety Messages) ซึ่งมีระยะการสื่อสารประมาณ 300 เมตรในสถานการณ์ที่ดีที่สุด และสามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตรา 10Hz ข้อมูลที่ส่งผ่าน BSMs ช่วยให้อานยนต์สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยี V2V เช่น การแจ้งเตือนการเปลี่ยนเลน การแจ้งเตือนการจราจรข้างหน้าและงานซ่อมถนน การแจ้งเตือนการชน การบันทึกข้อมูลผู้ขับขี่และเหตุการณ์ต่าง ๆ
2. ระบบการสื่อสารระหว่างยานยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน Vehicle-to-Infrastructure (V2I) ถูกสร้างขึ้นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับยานยนต์ โดยยานยนต์สามารถสื่อสารกับโครงสร้างพื้นฐานของถนนผ่านอุปกรณ์ข้างถนน (Road Side Units - RSUs) และแลกเปลี่ยนข้อมูล เช่น สภาพการจราจร ถนนอากาศ ข้อจำกัดความเร็ว และอุบัติเหตุ การเชื่อมต่อใช้สำหรับการสื่อสารสองทิศทางผ่านฮาร์ดแวร์ซอฟต์แวร์ และเฟิร์มแวร์ เพื่อสนับสนุนระบบต่างๆ เช่น ป้ายเลน ป้ายจราจร และระบบไฟส่องสว่าง ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยี V2I เช่น การแสดงภาพจุดบอด การเตือนโซนทางโค้ง การเตือนเขตก่อสร้าง หรือโรงเรียน
3. ระบบการสื่อสารระหว่างยานยนต์กับคนเดินถนน Vehicle-to-pedestrian (V2P) ช่วยให้อานยนต์สามารถสื่อสารโดยตรงกับคนเดินถนนได้ ขอบเขตของ V2P ยังครอบคลุมถึงนักปั่นจักรยานด้วย สัญญาณจะถูกส่งจากสมาร์ตวอตช์ไปยังหน่วยประมวลผลในยานยนต์เมื่อคนเดินถนนอยู่ในระยะที่ยานยนต์สามารถเชื่อมต่อได้ เช่นเดียวกับ V2V (Vehicle to Vehicle) ข้อความความปลอดภัยซึ่งรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความเร็ว ตำแหน่ง และทิศทางของคนเดินถนน จะถูกส่งไปยังยานยนต์ที่กำลังเข้ามาใกล้ และในทางกลับกัน ขึ้นอยู่กับความถี่ของ V2P ระบบสามารถส่งการแจ้งเตือนได้สูงสุด 10 ครั้งต่อวินาที ตัวอย่างการใช้งานเทคโนโลยี V2P เช่น การแจ้งเตือนผู้เดินเท้า ผู้ใช้ถนนที่เป็นกลุ่มเสี่ยง การวิเคราะห์ข้อมูลสื่อสารข้อมูลบนท้องถนนและความปลอดภัยในรถ
4. ระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับระบบเครือข่าย Vehicle-to-Network (V2N) ช่วยให้อานยนต์ได้รับข้อมูลการจราจร และบริการต่าง ๆ เช่น การเตือนเตือนเหตุการณ์บนท้องถนนและการเปลี่ยนเส้นทางผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย เช่น เซลลูลาร์หรือ DSRC ซึ่งมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งและเพิ่มความปลอดภัยในการเดินทาง

เมื่อระบบ V2X ถูกนำมาใช้ในยานยนต์แบบดั้งเดิม ผู้ขับขี่จะได้รับข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสภาพอากาศ อุบัติเหตุใกล้เคียง สภาพถนน การเตือนเกี่ยวกับงานซ่อมถนน ยานพาหนะฉุกเฉินที่กำลังเข้ามา และกิจกรรมของผู้ขับขี่คนอื่นๆ บนถนนเดียวกัน



รูปที่ 2-4 การสื่อสารระหว่างยานยนต์อัตโนมัติกับภายนอก (V2X)

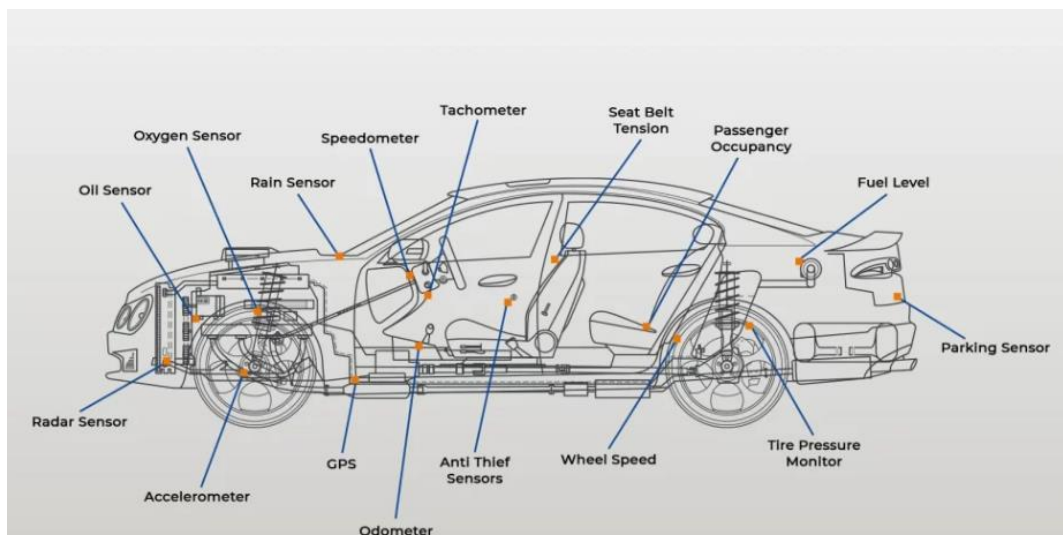
[ที่มา: How V2X technology can transform your driving experience - iWave Systems]

เทคโนโลยีการเชื่อมต่อในยานยนต์อัตโนมัติ นั้น สามารถส่งต่อข้อมูลได้หลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลความเร็ว ข้อมูลตำแหน่ง หรือแม้กระทั่งปริมาณน้ำมัน ของรถคันนั้น ๆ ตัวอย่างการนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ และนำมาประยุกต์ใช้งาน เช่น

1. การเพิ่มความปลอดภัยของผู้ขับขี่ เนื่องจากเทคโนโลยีการเชื่อมต่อในยานยนต์อัตโนมัติ นั้นสามารถส่งข้อมูล เรื่องตำแหน่ง ความเสียหายในตัวรถและพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับขี่ ณ ปัจจุบันได้ ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหาด้วยอุบัติเหตุต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกส่งไปให้หน่วยงานที่สามารถเข้ามาดูแลได้อย่างรวดเร็ว
2. บริการช่วยเหลือทางถนนสำหรับผู้ขับขี่ที่ต้องการ โดยการเฝ้าดูรถยนต์ที่อยู่บนถนนท้องถนน ณ เวลานั้น ๆ โดยตรง โดยใช้การตรวจสอบของสถานะ และประสิทธิภาพของรถที่เชื่อมต่อกับระบบ โดยผ่านบริการนี้คนขับรถที่มีปัญหาสามารถได้รับความช่วยเหลือตามที่ต้องการ ซึ่งจะช่วยให้การจัดการปัญหาทางถนนเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น
3. การวางแผนเพื่อการบำรุงรักษา การวางแผนการบำรุงรักษาล่วงหน้าสำหรับกลุ่มของรถ เช่น รถบรรทุกหรือรถโดยสารที่เป็นของบริษัท หรือองค์กร โดยการกำหนดกำหนดการบำรุงรักษาล่วงหน้า อย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันการชำรุดขัดข้อง การบำรุงรักษาล่วงหน้าเป็นวิธีที่ใช้ข้อมูล และเทคโนโลยีในการทำนายเวลาที่เหมาะสมสำหรับการบำรุงรักษา (Preventive Maintenance) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการทำงานของ รถยนต์ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์ หรือ ข้อมูลการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำนายว่าเมื่อเครื่องจะต้องมีการบำรุงรักษาอะไรบ้าง และเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำแต่ละงาน ทั้งนี้ การบำรุงรักษาล่วงหน้าช่วยลดความเสี่ยงในการเกิด การชำรุดและช่วยสร้างความเชื่อมั่นในการใช้งานรถหรือเครื่องจักรในระยะยาว นอกจากนี้ยังช่วยลด ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อเกิดความเสียหายจากการชำรุดแบบไม่คาดคิด
4. ประกันภัยที่คิดค่าเบี้ยตามการใช้งาน สามารถนำข้อมูล เช่น พฤติกรรมการขับขี่รถยนต์ ไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการทำประกันภัยที่คิดค่าเบี้ยตามการใช้งาน ซึ่งอิงตามแนวโน้มการขับขี่และความต้องการ

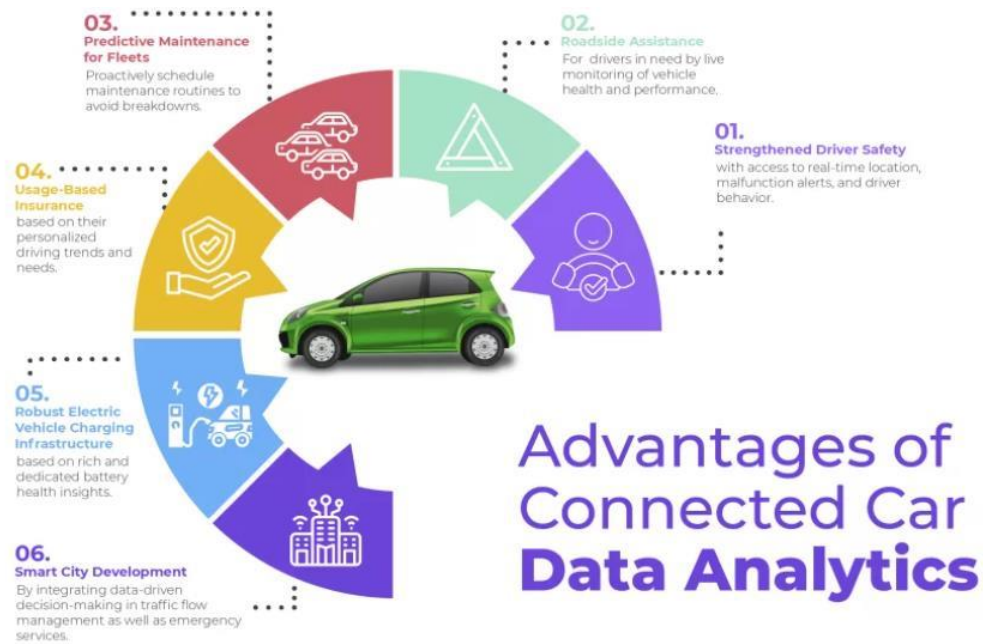
เฉพาะบุคคลของผู้ขับขี่ ด้วยข้อมูลที่ได้จากการขับขี่นี้ บริษัทประกันภัยสามารถปรับค่าเบี้ยประกันให้เหมาะสมกับความเสี่ยงที่แท้จริงของผู้ขับขี่ทำให้ผู้ที่มีพฤติกรรมการขับขี่ที่ปลอดภัยและระมัดระวังสามารถได้รับค่าเบี้ยประกันที่ต่ำกว่าทั้งนี้ยังช่วยให้ผู้ขับขี่มีการตระหนักรู้ และปรับปรุงพฤติกรรมการขับขี่เพื่อความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

5. โครงสร้างพื้นฐานสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ มีโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จที่มีประสิทธิภาพ และอ้างอิงจากข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับสุขภาพแบตเตอรี่จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสะดวกสบายในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ทำให้การเปลี่ยนไปใช้พลังงานไฟฟ้าได้ยาวนานพาหนะเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
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 และน้ำหนักที่มากขึ้น เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น CAN Bus เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหานี้ด้วยการลดจำนวนสายไฟลง ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการทำงาน น้ำหนักที่เบาลง และลดโอกาสเกิดปัญหาขัดข้อง



รูปที่ 3-1 รูปแบบการติดตั้งสายไฟแบบเก่า

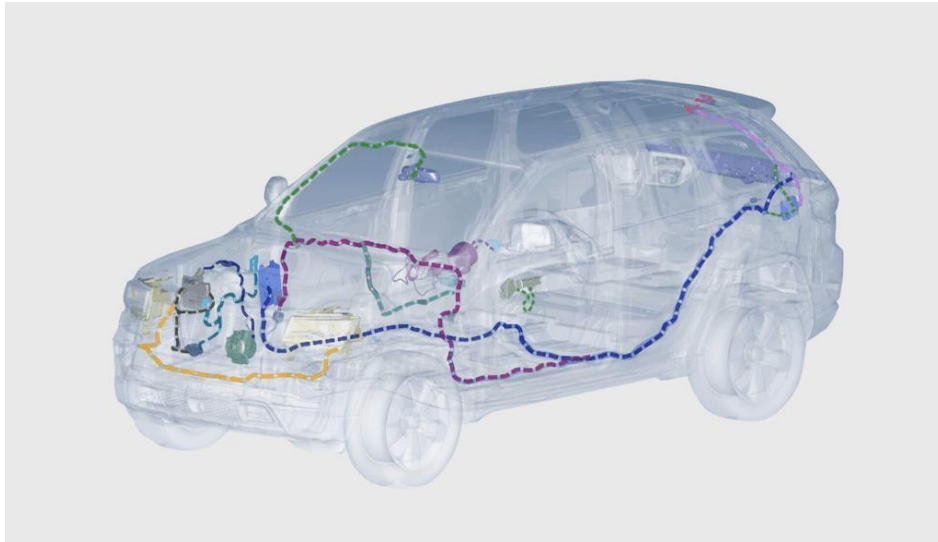
[ที่มา: <https://newhavendisplay.com/blog/serial-vs-parallel-communication/#:~:text=In%20a%20nutshell%2C%20serial%20and,same%20time%20over%20multiple%20channels.>]

3.1 Controller Area Network Bus (CAN Bus)

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

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

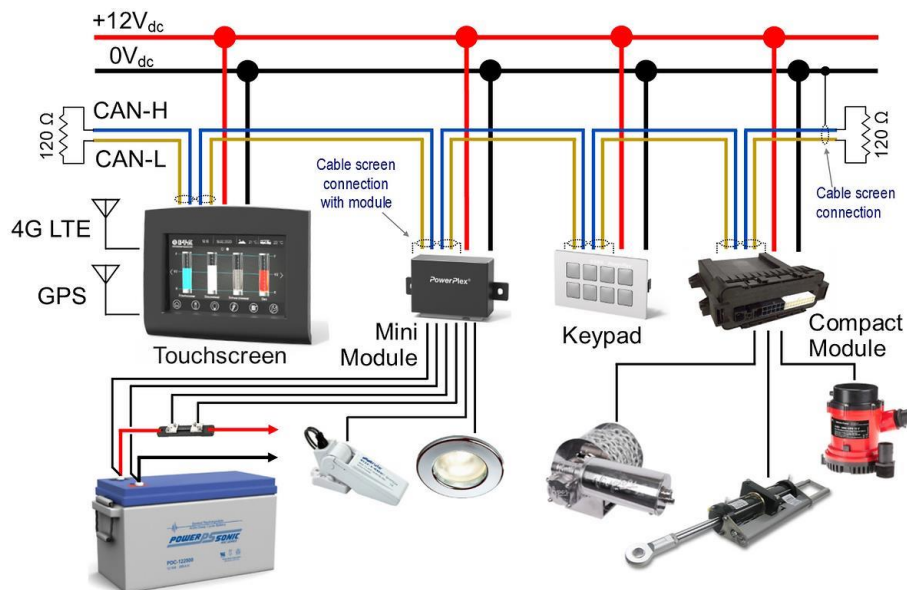
CAN Bus (Controller Area Network bus) มีจุดเริ่มต้นในเมื่อรถยนต์เริ่มมีกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) มากขึ้น โดยบริษัท Bosch เล็งเห็นความจำเป็นในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เหล่านี้เข้าด้วยกัน ด้วยความร่วมมือของบริษัท Bosch Mercedes-Benz Intel และมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในเยอรมนีได้ร่วมกันพัฒนาระบบ "Controller Area 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]

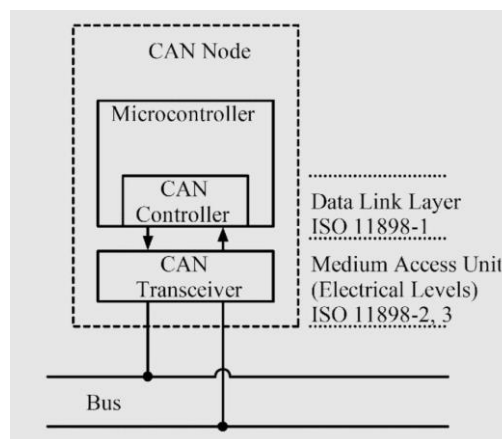
เนื่องจากการนำ CAN Bus มาใช้งานอย่างแพร่หลาย มาตรฐาน CAN Bus จึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการออกแบบรถยนต์ และเครื่องจักร เนื่องจากมีข้อดี ดังนี้

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 และคลื่นแม่เหล็กเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบที่ต้องการความปลอดภัยสูง 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]

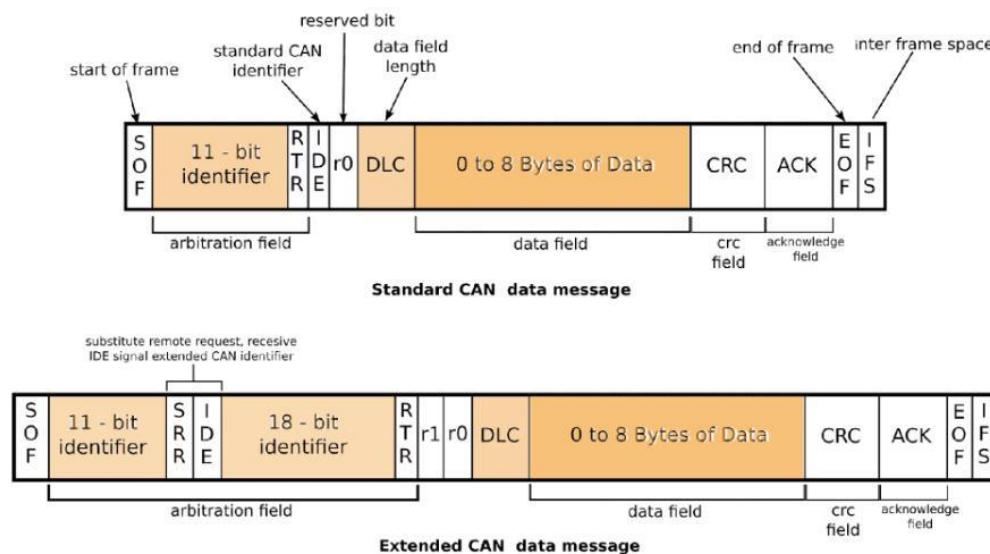
ในระบบ CAN Bus อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับสายไฟสื่อสารมีชื่อเรียกว่าโหนด (Node) โดย โหนดต่าง ๆ นั้นไม่สามารถส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงได้ แต่จะส่งข้อมูลลงบนเครือข่าย ซึ่งข้อมูลนั้นจะถูกเปิดให้อีกโหนดหนึ่งที่สามารถเข้าถึงข้อความได้ โดยระบบ CAN Bus ใช้การจัดการระดับบิต เพื่อระงับการขัดแย้งกันบน Bus ทำให้ไม่มีการสูญเสียข้อมูล

โหนดทั้งหมดในเครือข่ายจะถูกซิงโครไนซ์ (Synchronize) เพื่อให้สามารถรับข้อมูลพร้อมกัน แต่เนื่องจากข้อมูลที่ส่งไม่มีข้อมูลเวลา (Clock data) ดังนั้นระบบ CAN Bus จึงไม่ใช้บัสแบบซิงโครไนซ์ (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. เฟรมแสดงการโอเวอร์โหลด (Overload frames) ทำหน้าที่รายงานสถานะโอเวอร์โหลด

โดยความยาวของข้อความในระบบ CAN มีสองรูปแบบ คือ แบบมาตรฐาน (Standard CAN data message) และแบบขยาย (Extended CAN data message) ซึ่งความแตกต่างที่สำคัญ คือ ข้อความแบบมาตรฐาน (Standard CAN data message) จะมีขนาดข้อความสำหรับระบุตัวตน (Arbitration field) 11 บิต ซึ่งจะสามารถส่งข้อความได้ 2048 ข้อความ ต่างจากข้อความแบบขยาย (Extended CAN data message) จะมีขนาดข้อความสำหรับระบุตัวตน (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, it 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]

ข้อความสำหรับระบุตัวตน (Arbitration field) เป็นข้อความที่ระบุตัวเลขสำหรับยืนยันตัวโหนดผู้ส่งข้อความ ในกรณีที่มีการส่งข้อความพร้อมกันจากหลายโหนด โหนดที่มีข้อความสำหรับระบุตัวตน (Arbitration field) น้อยที่สุดจะเป็นโหนดที่มีลำดับความสำคัญ (Priority) สูงที่สุด ในทางกลับกัน โหนดที่มีข้อความสำหรับระบุตัวตน (Arbitration field) มากที่สุดจะเป็นโหนดที่มีลำดับความสำคัญ (Priority) ต่ำที่สุด

3.3 มาตรฐานและโปรโตคอลที่เกี่ยวข้องกับ CAN

มาตรฐาน และโปรโตคอลบน CAN นั้นมีความจำเป็นเพราะ แม้ว่า CAN จะเป็นโปรโตคอลที่ออกแบบมาอย่างดี และเชื่อถือได้ แต่ CAN เป็นเพียงระบบการส่งข้อความเพียงอย่างเดียว ไม่มีวิธีการวิเคราะห์ หรือเข้าใจ ข้อมูลภายในข้อความที่ส่งออกไปเลย 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 ระบบที่สามารถทำงานต่อไปได้แม้จะเกิดข้อผิดพลาด 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 ระบบควบคุมเสถียรภาพ อิเล็กทรอนิกส์ ถุงลมนิรภัย และหน่วยควบคุมเครื่องยนต์ ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของ High Speed CAN อยู่ในช่วง 1 kbit ถึง 1 Mbit ต่อวินาที

3. CAN FD (Flexible data rate CAN) เป็นเวอร์ชันล่าสุดของ 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

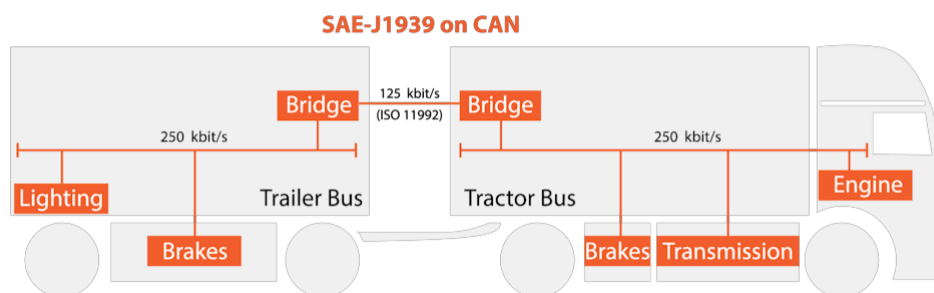
SOF	Arbitration field	Control field	Data field (payload)	CRC field	ACK field	EOF	IMF
1 bit	12 or 32 bit	8 or 9 bit	0 or 64 bit	28 or 33 bit	2 bit	7 bit	3 bit
MSB							LSB

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]

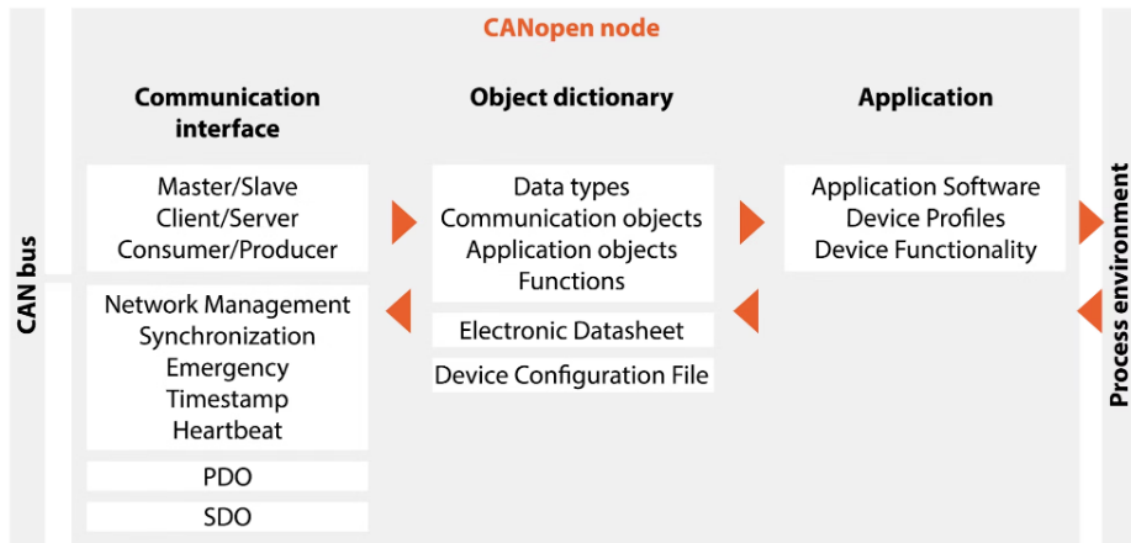
3.3.3 CANopen

CANopen เป็นโปรโตคอลระดับสูงที่ใช้สำหรับการทำงานของระบบควบคุมแบบฝังตัว (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 ถูกจัดการโดยองค์การนานาชาติชื่อ 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 แต่มีโหนดหนึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์คอยบริหารจัดการการร้องขอ และส่งข้อมูลของโหนดต่าง ๆ ภายในระบบ
 - Producer/Consumer - เป็นการสื่อสารที่กำหนดให้มีโหนดทำหน้าที่ส่งข้อมูลโดยเฉพาะ และมีโหนดที่กำหนดให้มีหน้าที่รับข้อมูลนั้นโดยเฉพาะ
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 อำนวยความสะดวกในการอัปเดตอุปกรณ์ในระบบได้



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 ระบบสารสนเทศในรถยนต์ได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มมากขึ้น จากการใช้งานวิทยุ AM/FM แบบเก่าแก่ที่ถูกใช้งานมากกว่า 50 ปี ได้รับการพัฒนาให้สามารถรองรับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลภายนอก อาทิ เทป แผ่น CD และแฟลชไดรฟ์ ในปัจจุบัน ผู้บริโภคต้องการ การสตรีมเนื้อหาจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ และวิทยุดาวเทียม (SIRIUS/XM® ในภูมิภาคเหนืออเมริกา) เนื่องจากสอดคล้องกับสื่อสารสนเทศที่ผู้บริโภคคุ้นชินในการดำรงชีวิตประจำวันภายในรถยนต์

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

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



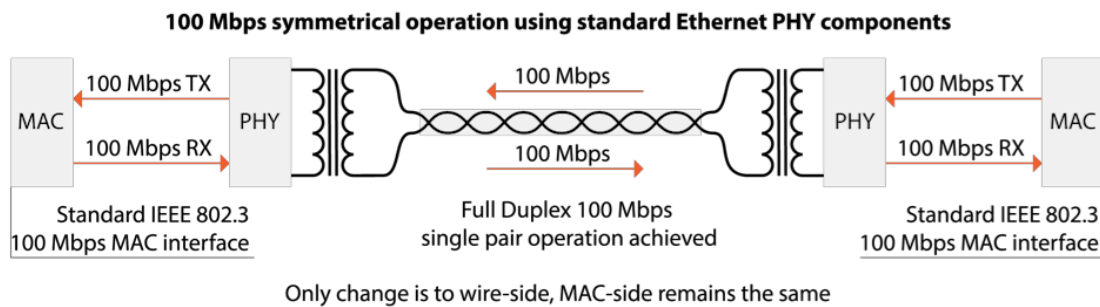
MOST bus - Media-orientated Systems Transport

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 การใช้งานในรถยนต์ต้องทนทานต่ออุณหภูมิที่แตกต่างจากในอาคาร นอกจากนั้น การใช้งานในรถยนต์ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณาต่างจากการใช้งานในอาคาร อาทิ การสั่นสะเทือน การรบกวนจากคลื่นแม่เหล็ก และการรบกวนจากคลื่นวิทยุ ซึ่งอาจส่งผลให้มีปัญหาด้านการสื่อสารได้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาเหล่านี้กำลังถูกพัฒนาโดยคณะกรรมการ 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

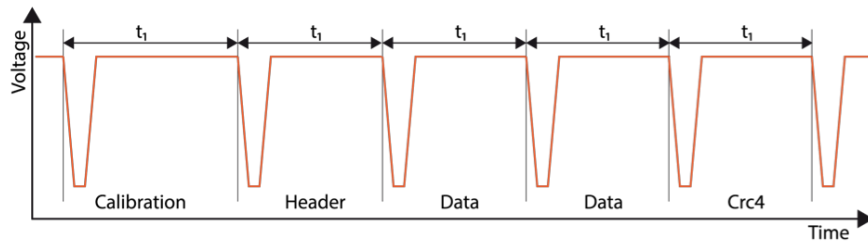
1. Ethernet AVB (Audio Video Bridging) มาตรฐาน IEEE AVB1.0 ครอบคลุมเรื่องการใช้กับระบบ กล้องและสื่อมัลติมีเดีย และในมาตรฐานมาตรฐาน IEEE AVB2.0 มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ในการ ควบคุมยานพาหนะ
2. Ethernet TSN (Time-Sensitive Networking) เป็นมาตรฐาน IEEE 802.1 ออกแบบเพื่อให้สามารถ ส่งข้อความที่มีความอ่อนไหวต่อเวลาได้ กล่าวคือ ข้อมูลที่ต้องการสื่อสารภายในช่วงเวลาที่กำหนด 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) โดยระบบนี้ เป็นโปรโตคอลที่ส่งข้อมูลในทิศทางเดียว เพื่อให้เซ็นเซอร์ส่งข้อมูลไปยังหน่วยควบคุมได้ มีข้อดีคือ ระบบ SENT ต้องการความเร็วในการสื่อสารต่ำ

ข้อมูลที่ถูกส่งโดย SENT จะถูกเข้ารหัสด้วย Pulse Code Modulation (PCM) ในรูปแบบ 4-bit หรือ เรียกว่า "nibbles" และถูกส่งผ่านสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว (ในขณะที่ข้อมูลของ CAN Bus ถูกส่งผ่าน สายสัญญาณ 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 ขนาด 4 บิต (1 nibble)
3. ข้อมูลสถานะขนาด 4 บิต (1 nibble)

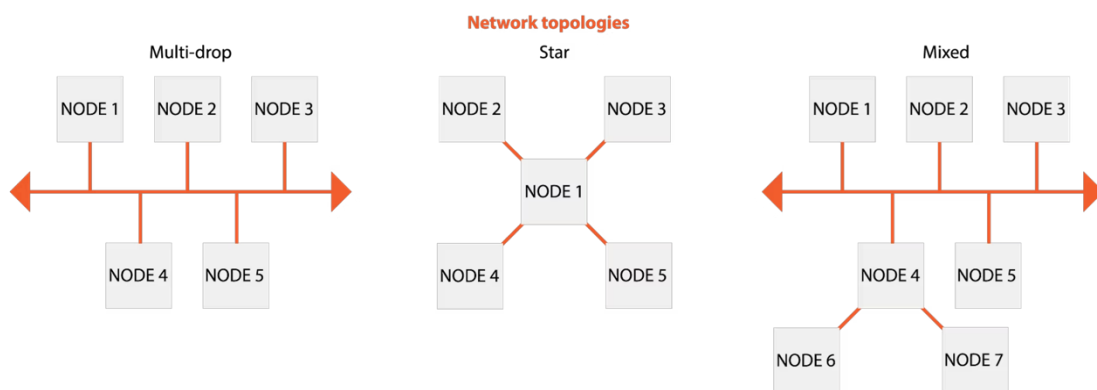


รูปที่ 3-12 การส่งสัญญาณแบบ Pulse Code Modulation (PCM)

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 ยังรองรับสถาปัตยกรรมหลายรูปแบบ 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 แต่อย่างไรก็ดี 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 เปรียบเทียบความสามารถ และการนำไปใช้งานของระบบต่างๆ

บทที่ 4 อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งเบื้องต้น (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 อย่างไรก็ดีตามมีความแตกต่างที่สำคัญในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ลักษณะของระบบ

IoT เป็นระบบของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกันผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อรวบรวม และส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งอุปกรณ์ใน IoT มักจะมีการใช้เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายเป็นหลัก ในขณะที่

CAN bus เป็นระบบเครือข่ายที่ใช้ในรถยนต์ และระบบโรงงาน เพื่อการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมที่ติดตั้งในรถหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

2. การสื่อสาร

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

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

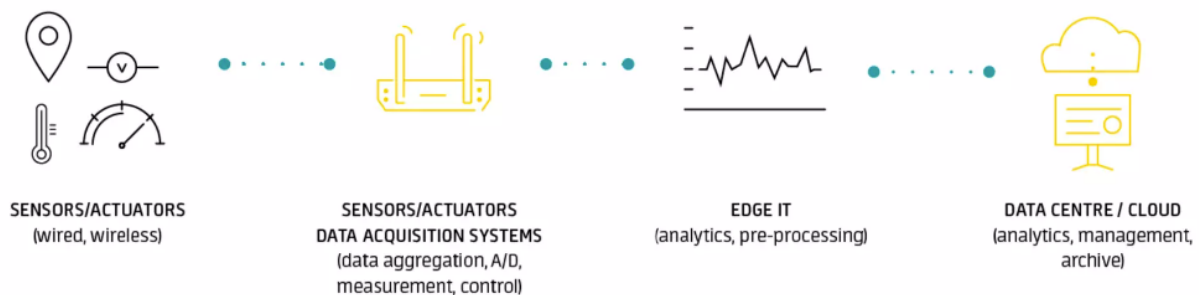
3. Gateway

Gateway คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงข้อมูลระหว่าง IoT และ CAN bus ซึ่งมีหน้าที่สื่อสารระหว่างสองระบบนี้ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง โดย Gateway สามารถแปลงข้อมูลระหว่างโพรโทคอลของ IoT เช่น MQTT HTTP CoAP และโพรโทคอลของ 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 (อินเตอร์เฟซสำหรับผู้ใช้งาน) 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 การสื่อสารไร้สายด้วยแสงอินฟราเรด 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 เป็นชั้นที่รับผิดชอบการควบคุมการเข้าถึงสื่อ

การเลือกโปรโตคอลที่เหมาะสมสำหรับ IoT protocol stack ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของอุปกรณ์ IoT การใช้งานของ IoT เนื่องจาก IoT บางชนิดต้องการ bandwidth สูง ในขณะที่เครือข่าย 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/IPv4 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/coexistence.ppt>

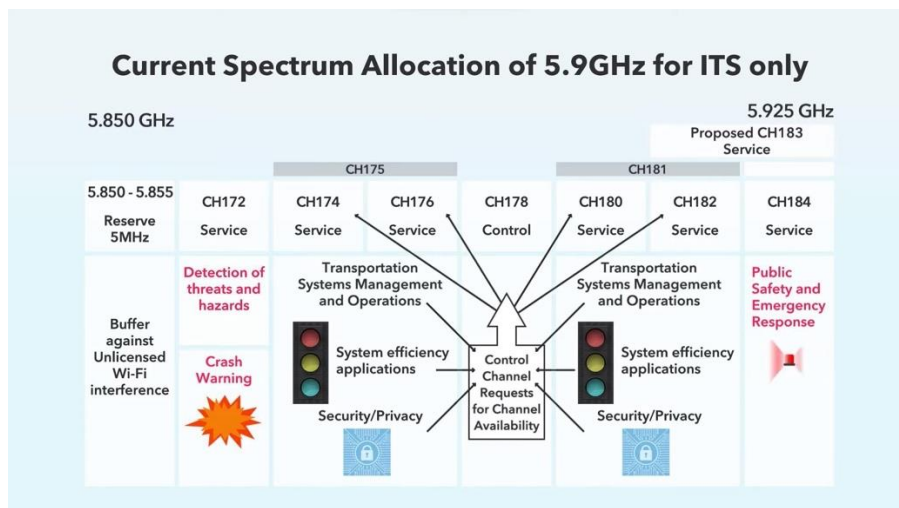
รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบ IoT Stack และ Web Stack

บทที่ 5 เทคโนโลยี C-V2X สำหรับยานยนต์สมัยใหม่

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

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

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

Current Spectrum Allocation of 5.9GHz for ITS only

Channel	Buffer	172	174	176	178	180	182	184
GHz	5.850-5.855	5.855-5.865	5.865-5.875	5.875-5.885	5.885-5.895	5.895-5.905	5.905-5.915	5.915-5.925
Current FCC Allocated 1999	—	DSRC*	DSRC	DSRC	DSRC	DSRC	DSRC	DSRC
SAE Plan	—	V2V	V2I	V2P &	Control	V2V	V2I	Public
DSRC	—	Safety	Safety	Security Information		Safety (CACC)	Safety Work zone speed	Safety

*Dedicated Short Range Communication

BSM V2I CPM MCM CACC VRU

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 โซลูชันนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการสื่อสารแบบครบวงจรสำหรับยานพาหนะ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูล บริการ และการอัปเดตต่าง 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 คำนับบ่งบอกถึงความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสาร 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 ต้องสามารถสื่อสารได้กับระบบในทุกเวอร์ชัน
4. Scalability คือ การสื่อสารนั้น ๆ ต้องสามารถขยายวงการใช้งานได้

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

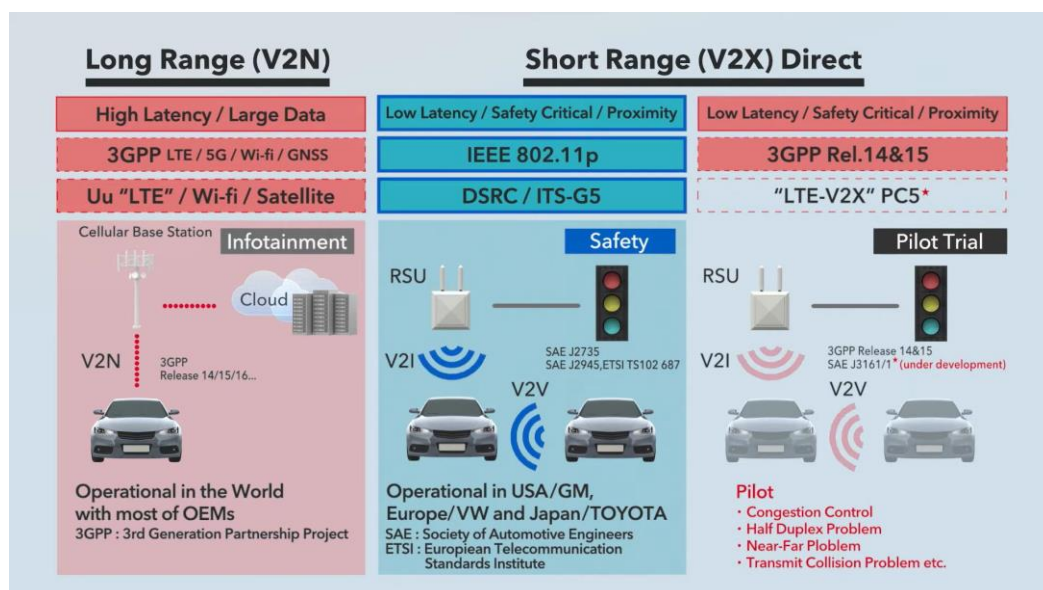
1. เทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกล (V2N) เทคโนโลยีเหล่านี้ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น สถานีฐาน สัญญาณไฟจราจร ป้ายบอกทาง ตัวอย่างเทคโนโลยี V2N ได้แก่ 3GPP LTE/SG/Wi-Fi หรือ เทคโนโลยีเซลลูลาร์มาตรฐานที่ใช้สำหรับการสื่อสารโทรคมนาคมทั่วไป Satellite คือ เทคโนโลยีดาวเทียมที่ใช้สำหรับการสื่อสารในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณเซลลูลาร์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

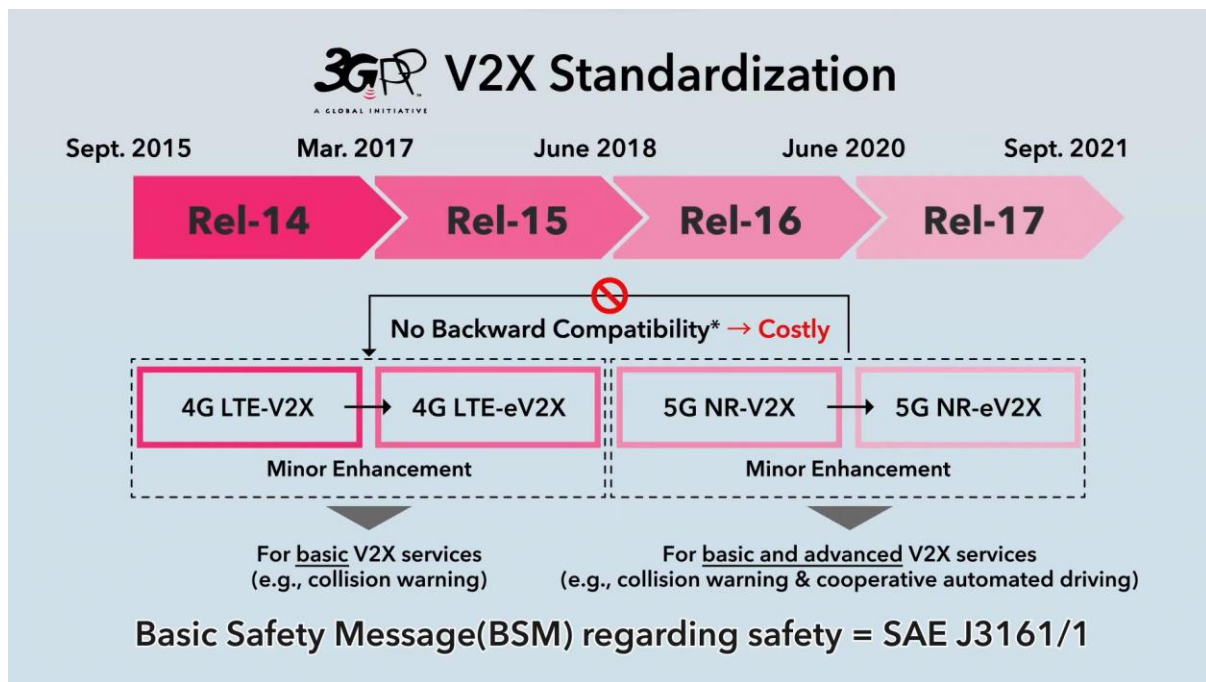


รูปที่ 5-3 Hybrid Communication

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

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

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



รูปที่ 5-4 รูปภาพแสดงไทม์ไลน์ของการพัฒนา V2X ของ 3GPP V2X



THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

พื้นฐานเทคโนโลยี ยานยนต์อัตโนมัติ และการเชื่อมต่อ

วิชาระบบช่วยเหลือ ผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS)

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance Systems: ADAS).....	4
2.1 กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal Support) 4	
2.1.1 ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC).....	4
2.1.2 ระบบเตือนการชนด้านหน้า (Forward Collision Warning: FCW).....	5
2.1.3 ระบบควบคุมความเร็วอัจฉริยะ (Intelligent Speed Assistance: ISA)	5
2.2 กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support)	6
2.2.1 ระบบเตือนเมื่อรถกำลังออกนอกเลน (Lane Departure Warning: LDW)	6
2.2.2 ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS).....	6
2.2.3 ระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistance: LCA).....	7
2.3 กลุ่มสนับสนุนการขับขี่ด้านอื่น (Miscellaneous).....	7
2.3.1 ระบบช่วยมองเห็นตอนกลางคืน (Night Vision Systems).....	7
2.3.2 ระบบช่วยจอดรถ (Parking Assistance).....	8
2.3.3 ระบบช่วยประหยัดน้ำมัน (Fuel Economy Devices).....	8
บทที่ 3 หลักการทำงานของระบบต่างๆใน ADAS.....	9
3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC)	9
3.2 หลักการทำงานของระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking: AEB)	12
3.3 หลักการทำงานของระบบควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keep System: LKA/LDW).....	13
3.4 หลักการทำงานของระบบช่วยการขับขี่ในสถานการณ์จราจรติดขัดในเมือง (Traffic Jam Assist in Cities: TJA)	13
บทที่ 4 อุปกรณ์ในระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advances Driver Assistance Systems: ADAS)	15
4.1 เรดาร์ความถี่ 77 กิกะเฮิรตซ์ (77GHz Radar).....	16
4.2 กล้องหน้ารถ (Front Facing Camera).....	17
บทที่ 5 การทดสอบการทำงานของระบบ ADAS	18
5.1 การทดสอบบนโต๊ะ (Bench Test).....	18
5.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง (Site Functional Test).....	18

บทที่ 1 บทนำ

อุบัติเหตุทางรถยนต์ส่วนใหญ่มักเกิดจากข้อผิดพลาดของผู้ขับขี่ ผู้ผลิตรถยนต์จึงมีแนวคิดพัฒนาระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance System: ADAS) ขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุทางรถยนต์ ที่นำไปสู่การบาดเจ็บ และเสียชีวิต ระบบ ADAS ถูกออกแบบมาเพื่อลดข้อผิดพลาดของผู้ขับขี่ โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยเหลือผู้ขับขี่ และเพิ่มประสิทธิภาพในการขับขี่ ประกอบด้วยเซนเซอร์ประเภทต่าง ๆ อาทิ กล้อง และเรดาร์ เพื่อรับรู้สภาพแวดล้อมรอบตัวรถ และแจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อพบเห็นอันตราย ส่งผลให้ความปลอดภัยบนท้องถนน และประสิทธิภาพของการจราจรเพิ่มขึ้น และยังทำให้สามารถใช้งานรถยนต์ได้อย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้น

ระบบ ADAS มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีหน้าที่ และวิธีการทำงานที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างระบบ ADAS ที่พบบ่อย ได้แก่ ระบบเตือนการเบรกฉุกเฉิน (AEB) ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (ACC) ระบบเตือนการเปลี่ยนเลน (LDWS) ระบบเตือนจุดอับสายตา (BSM) และ ระบบช่วยจอดรถ (PAS)

รถยนต์ที่ติดตั้งระบบ ADAS ถือเป็นรถยนต์อัตโนมัติระดับ 0 ถึง 2 จาก โดย แต่ละระดับมีรายละเอียด ดังนี้

ระดับ 0 – การช่วยเหลือผู้ขับขี่

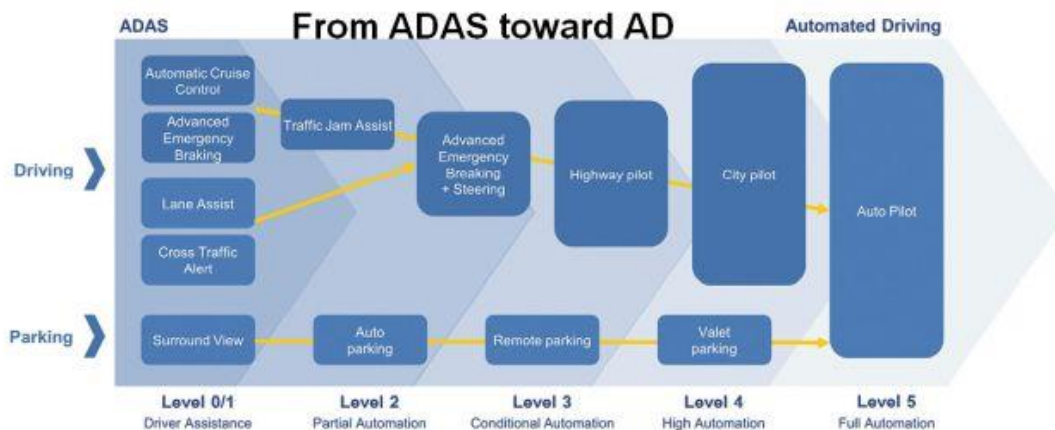
เป็นระดับที่มีความสามารถน้อยที่สุด กล่าวคือ ผู้ขับขี่ยังคงต้องควบคุมรถด้วยตนเองทั้งหมด ระบบ ADAS จะทำหน้าที่เพียงเตือนผู้ขับขี่ถึงความเสี่ยงเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ระบบเตือนการชนด้านหน้า (Forward Collision Warning: FCW) และระบบเตือนการเบี่ยงเบนออกจากเลน (Lane Departure Warning System: LDWS)

ระดับ 1 – การทำงานอัตโนมัติบางส่วน

เป็นระดับที่ยานพาหนะมีการทำงานอัตโนมัติบางอย่าง โดยระบบ ADAS ที่อยู่ในระดับนี้สามารถควบคุมการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal) หรือควบคุมการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral) เท่านั้น อย่างไรก็ตามผู้ขับขี่ยังคงต้องควบคุม และพร้อมที่จะเข้าควบคุมทันทีหากเกิดปัญหาใด ๆ ตัวอย่างเช่น ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping Assist System: LKAS)

ระดับ 2 – การทำงานอัตโนมัติแบบมีเงื่อนไข

เป็นระดับที่ยานพาหนะมีการทำงานอัตโนมัติบางอย่าง คล้ายคลึงกับระดับที่ 1 โดยระบบ ADAS ที่อยู่ในระดับนี้มีการออกแบบให้สามารถควบคุมการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal) และควบคุมการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral) พร้อมกัน อย่างไรก็ตามผู้ขับขี่ยังคงต้องควบคุม และพร้อมที่จะเข้าควบคุมทันทีหากเกิดปัญหาใด ๆ ตัวอย่างเช่น ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ในกรณีการจราจรติดขัด (Traffic Jam Assist: TJA)



รูปที่ 1-1 การแบ่งระดับของระบบช่วยการขับขี่

[ที่มา: <https://www.microcontrollertips.com/oem-guide-to-adas-development-faq/>]

ADAS	MG4 Electric	BYD ATTO 3	BYD Dolphin	BYD SEAL	TESLA MODEL 3	Volvo C40	ORA GOOD CAT 500 Ultra
Functions							
ACC (Adaptive Cruise Control)	1	1	1	1	1	1	1
ELK (Emergency Lane Keeping System)	1	1	1	1	1	X	1
LKA (Lane Keeping Assist System)	1	1	1	1	1	1	1
LDW (Lane Departure Warning System)	1	1	1	1	1	1	1
LDP (Lane Departure Prevention System)	1	1	1	1	1	1	1
LCA (Lane Change Assist)	1	1	1	1	1	1	1
TJA (Traffic Jam Assist) / ICC (Intelligent Cruise Control)	1	1	1	1	1	1	1
SAS (Speed Assist System)	1	X	X	X	1	X	X
LHC (Intelligent High-Beam Control)	1	1	1	1	1	1	X
FCW (Forward Collision Warning System)	1	1	1	1	1	1	1
AEB (Autonomous Emergency Braking)	1	1	1	1	1	1	1

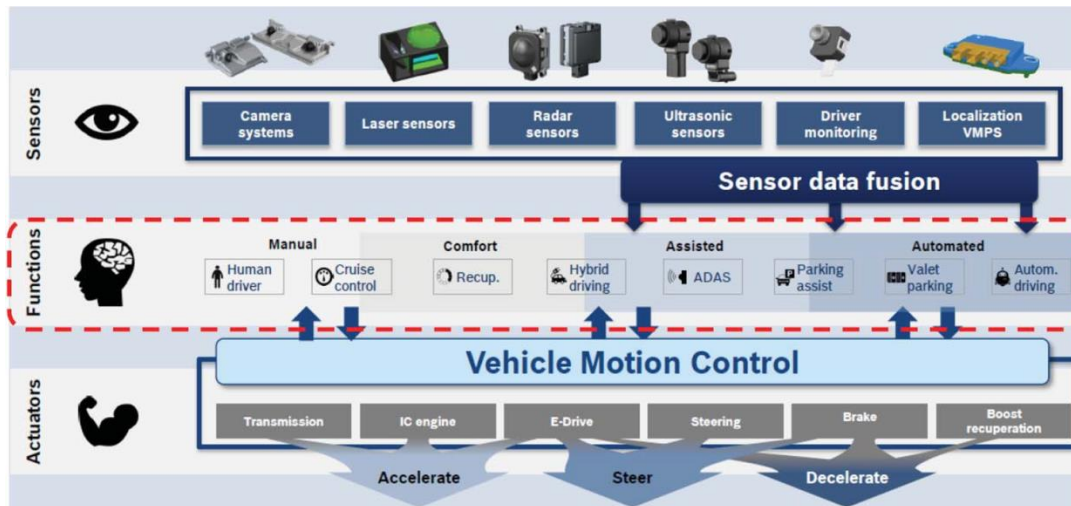
รูปที่ 1-2 ระบบ ADAS ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละค่ายในปัจจุบัน

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

เนื่องจาก ระบบระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance Systems: ADAS) ประกอบด้วยการทำงานใน 3 ระดับดังแสดงในรูปที่ 1-3 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. เซนเซอร์ประเภทต่างๆ การทำงานในระดับนี้เป็นการทำงานร่วมกันของฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ฝังตัว (Embedded Software) ของเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ เพื่อรวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อม จากนั้นจึงส่งข้อมูลไปยังการทำงานในระดับต่อไป
2. การทำงานของระบบ ADAS ระดับนี้อาศัยซอฟต์แวร์ฝังตัว (Embedded Software) ของระบบ ADAS แต่ละระบบประมวลผลข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ เพื่อให้ได้คำสั่งที่สามารถนำไปใช้ในการควบคุมรถยนต์ในระดับถัดไป

3. ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ในระดับนี้รถยนต์จะรับคำสั่งจากระบบการทำงานของระบบ ADAS เพื่อควบคุมรถยนต์ให้เหมาะสมตามคำสั่งที่ได้รับ อาทิ การเร่ง การเบรก การเลี้ยว รวมไปถึงการแสดงผล หรือการเตือนผู้ขับขี่ด้วยวิธีการต่าง ๆ



รูปที่ 1-3 แนวโน้มในการพัฒนาของระบบ ADAS

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

ทั้งนี้ เนื่องจากแนวทางการพัฒนาระบบ ADAS และการรับรู้ของผู้บริโภค มักจะรับรู้ระบบ ADAS แยกเป็นระบบย่อย ๆ ขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบ ADAS แต่ละชนิด แม้ว่าจะมีการใช้งานเซนเซอร์ขึ้นเดียวกันก็ตาม ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับปัจจัยดังกล่าว การอธิบายถึงระบบ ADAS จากนี้ต่อไปจะเน้นการอธิบายแยกเป็นระบบย่อย

บทที่ 2 ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance Systems: ADAS)

ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance Systems: ADAS) โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ต่าง ๆ ตามประเภทของฟังก์ชันการทำงาน และการช่วยเหลือที่ผู้ขับขี่ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย และความสะดวกสบายในการขับขี่ โดยมีการแบ่งหมวดหมู่หลัก ๆ ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal Support) กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support) และกลุ่มสนับสนุนการขับขี่ด้านอื่น (Miscellaneous)

2.1 กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal Support)

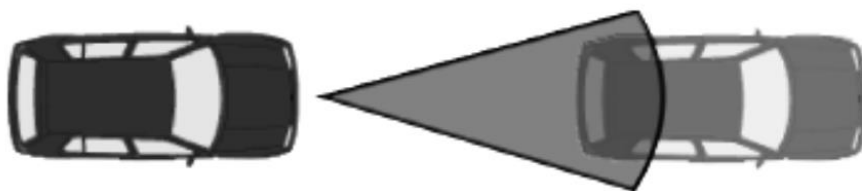
ระบบ ADAS ที่อยู่ในกลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal Support) คือ ระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยรักษาระยะห่าง และความเร็วที่ปลอดภัยเมื่อเทียบกับรถคันอื่น ๆ บนถนน ระบบเหล่านี้จะควบคุมการเร่ง และการชะลอรถเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น 2.1.1 ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) ระบบเตือนการชนด้านหน้า (Forward Collision Warning) และระบบควบคุมความเร็วอัจฉริยะ (Intelligent Speed Assistance: ISA)

2.1.1 ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC)

ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) เป็นระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS) ที่ช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถรักษาระยะห่างจากรถคันหน้าให้อยู่คงที่โดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องกดคันเร่ง หรือเบรกเอง โดยระบบ ACC ทำงานโดยใช้เรดาร์ หรือกล้องเพื่อตรวจจับรถคันหน้า เมื่อตรวจจับได้แล้ว ระบบจะคำนวณความเร็ว และระยะห่างจากรถคันหน้า และปรับความเร็วของรถเราโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระยะห่างที่ตั้งค่าไว้

ข้อดีของระบบ ACC คือ ช่วยลดภาระงานของผู้ขับขี่ ช่วยให้ผู้ขับขี่มีสมาธิบนท้องถนนมากขึ้น ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ และช่วยประหยัดน้ำมัน

อย่างไรก็ตาม ระบบ ACC ก็มีข้อจำกัดบางประการ อาทิ ระบบ ACC อาจทำงานผิดพลาดในสภาพอากาศเลวร้าย กล่าวคือ ฝนตกหนัก หมอกหนา หรือแสงสว่างไม่เพียงพอ ทั้งนี้ผู้ขับขี่ยังคงต้องมีสมาธิและควบคุมรถอยู่เสมอ เพราะ ระบบ ACC ไม่สามารถทำงานในทุกสถานการณ์ อาทิ บนถนนคดเคี้ยว หรือในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น



รูปที่ 2-1 ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC)

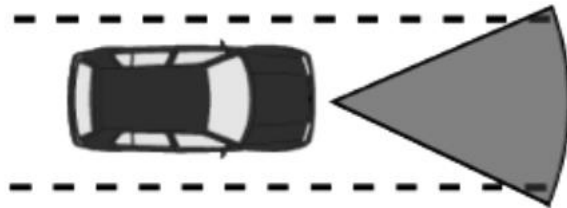
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

2.1.2 ระบบเตือนการชนด้านหน้า (Forward Collision Warning: FCW)

ระบบ FCW (Forward Collision Warning: FCW) เป็นระบบความปลอดภัยที่ใช้เซนเซอร์เพื่อตรวจจับวัตถุที่อยู่ด้านหน้ารถ หากระบบตรวจพบว่ามีรถกำลังเข้าใกล้วัตถุที่อยู่ด้านหน้าอย่างรวดเร็ว และมีความเสี่ยงที่จะเกิดการชน ระบบจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่เพื่อให้ผู้ขับขี่เบรก หรือเปลี่ยนเลนเพื่อหลีกเลี่ยงการชน

ระบบ FCW โดยทั่วไปใช้เซนเซอร์เรดาร์ หรือกล้องเพื่อตรวจจับวัตถุที่อยู่ด้านหน้ารถ เซนเซอร์เรดาร์สามารถส่งคลื่นวิทยุออกไป และวัดระยะห่าง และความเร็วของวัตถุที่อยู่ด้านหน้ารถ กล้องสามารถถ่ายภาพและวิดีโอของถนนที่อยู่ด้านหน้ารถ จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์เพื่อระบุชนิดของวัตถุ เมื่อระบบตรวจพบว่ามีรถกำลังเข้าใกล้วัตถุที่อยู่ด้านหน้าอย่างรวดเร็ว และมีความเสี่ยงที่จะเกิดการชน ระบบจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่ โดยสัญญาณเตือนอาจเป็นไฟเตือนบนหน้าปัดรถยนต์ เสียงเตือน หรือการสั่นสะเทือนที่บริเวณเบาะนั่ง ผู้ขับขี่สามารถตั้งค่าความไวของระบบ FCW ได้ ระดับความไวที่สูงขึ้นจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่บ่อยขึ้น แต่บางครั้งอาจส่งสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด ระดับความไวที่ต่ำลงจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่น้อยลง แต่บางครั้งอาจไม่ส่งสัญญาณเตือนเมื่อมีการชนเกิดขึ้น

ข้อจำกัดของระบบ FCW คือ ระบบ FCW ไม่ใช่ระบบป้องกันการชนอัตโนมัติ ระบบเหล่านี้สามารถช่วยป้องกันการชนได้ แต่ไม่สามารถรับประกันได้ว่า จะป้องกันการชนได้ทุกครั้ง



รูปที่ 2-2 2.1.2 ระบบเตือนการชนด้านหน้า (Forward Collision Warning: FCW)

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

2.1.3 ระบบควบคุมความเร็วอัจฉริยะ (Intelligent Speed Assistance: ISA)

ระบบควบคุมความเร็วอัจฉริยะ (Intelligent Speed Assistance: ISA) ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วของรถยนต์ให้สอดคล้องกับสถานการณ์การจราจรและกฎจราจร โดยอาศัยข้อมูลจากการตั้งค่าความเร็วสูงสุดซึ่งผู้ขับขี่สามารถตั้งค่าเองได้ หรือดึงข้อมูลจากระบบ GPS และเซนเซอร์ตรวจจับสภาพถนน เช่น กล้อง และเรดาร์ เพื่อตรวจจับป้ายจำกัดความเร็ว เส้นแบ่งเลน และยานพาหนะคันหน้า

ระบบ ISA จะแจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อ รถยนต์กำลังขับเกินความเร็ว โดยจะใช้สัญญาณเตือนแบบมองเห็น หรือได้ยิน อาทิ เมื่อรถยนต์กำลังเข้าใกล้เขตจำกัดความเร็ว โดยจะแสดงความเร็วที่เหมาะสมบนหน้าจอ และระบบ ISA ยังสามารถควบคุมความเร็วของรถยนต์โดยอัตโนมัติ โดยลดความเร็วลงเมื่อ รถยนต์กำลังเข้าใกล้เขตจำกัดความเร็ว หรือรถยนต์กำลังเข้าใกล้ยานพาหนะคันหน้า เป็นต้น

ประโยชน์ของระบบ ISA ช่วยลดความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุจากการขับเกินความเร็ว ช่วยให้ผู้ขับขี่ปฏิบัติตามกฎจราจร และช่วยลดความเครียดและความเหนื่อยล้าจากการขับขี่ อย่างไรก็ตาม ระบบ ISA มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ระบบ ISA อาจทำงานได้ไม่ถูกต้องในบางสถานการณ์ เช่น สภาพถนนที่ไม่ดีหรือสภาพอากาศเลวร้าย ผู้ขับขี่บางรายอาจรู้สึกไม่สบายใจเมื่อระบบ ISA ควบคุมความเร็วของรถยนต์โดยอัตโนมัติ

2.2 กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support)

ระบบ ADAS ที่อยู่ในกลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support) คือ ระบบที่ช่วยสนับสนุนการเคลื่อนที่ของรถยนต์โดยการเลี้ยง ซึ่งจะช่วยในการรักษาตำแหน่งในเลนที่เหมาะสม และให้ความช่วยเหลือในการควบคุมทิศทาง ระบบเหล่านี้จะควบคุมการเคลื่อนที่ด้านข้างของรถเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น 2.2.1 ระบบเตือนเมื่อรถกำลังออกนอกเลน (Lane Departure Warning: LDW), ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS) และระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistance: LCA)

2.2.1 ระบบเตือนเมื่อรถกำลังออกนอกเลน (Lane Departure Warning: LDW)

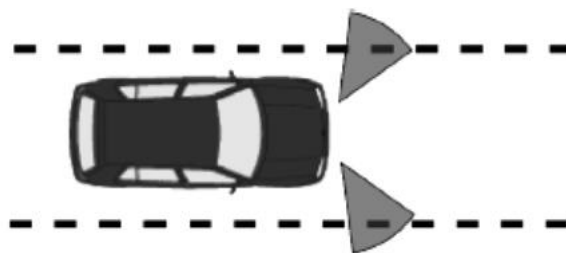
ระบบเตือนเมื่อรถกำลังออกนอกเลน (Lane Departure Warning: LDW) ทำหน้าที่หลักในการตรวจจับ และแจ้งเตือนผู้ขับขี่เมื่อรถเริ่มออกนอกเลนโดยไม่ได้เปิดไฟเลี้ยว โดย ระบบนี้ใช้กล้อง และระบบคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจจับ ประมวลผลวัตถุ และการเปลี่ยนเลน จากนั้นจึงแจ้งเตือนผู้ขับขี่หากจำเป็น ระบบ LDW ทำงานโดยใช้กล้องที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้ารถเพื่อติดตามเส้นแบ่งเลนบนถนน เมื่อรถเริ่มออกนอกเลนโดยไม่ได้เปิดไฟเลี้ยว ระบบจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียงหรือการสั่นสะเทือน สัญญาณเตือนนี้จะช่วยให้ผู้ขับขี่ตระหนักถึงสถานการณ์ และกลับเข้าสู่เลนได้อย่างปลอดภัย

ระบบ LDW มีประโยชน์หลายประการ ตัวอย่างเช่น สามารถช่วยลดอุบัติเหตุที่เกิดจากการออกนอกเลนโดยไม่ได้ตั้งใจ ช่วยให้ผู้ขับขี่ตระหนักถึงสภาพแวดล้อมรอบตัว ช่วยให้ผู้ขับขี่ขับอย่างปลอดภัยโดยเฉพาะบนทางหลวงที่ความเร็วสูง อย่างไรก็ตามระบบ LDW ก็มีข้อจำกัดบางประการ กล่าวคือระบบนี้อาจทำงานผิดพลาดได้ในบางสถานการณ์ อาทิ เมื่อเส้นแบ่งเลนไม่ชัดเจน ฝนตกหนัก หรือเมื่อมีแสงแดดจ้า นอกจากนี้ระบบ LDW ยังอาจส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่โดยไม่จำเป็น เช่น เมื่อรถกำลังเปลี่ยนเลนโดยเปิดไฟเลี้ยว

2.2.2 ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS)

ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS) เป็นระบบที่ช่วยเตือน และบังคับรถให้กลับเข้าสู่เลนเมื่อรถเริ่มเบี่ยงออกนอกเลนโดยไม่ได้ตั้งใจ ระบบ LKS นี้เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ LDW มีหลักการทำงานโดยใช้กล้องด้านหน้ารถเพื่อตรวจจับเส้นถนนบนทางวิ่ง เมื่อรถเริ่มเบี่ยงออกนอกเลนโดยไม่ได้เปิดไฟเลี้ยว ระบบจะส่งสัญญาณเตือนผู้ขับขี่ด้วยเสียง หรือการสั่นพวงมาลัย หากผู้ขับขี่ไม่ตอบสนอง ระบบ LKS จะเข้าควบคุมการบังคับเลี้ยวโดยอัตโนมัติเพื่อดึงรถกลับเข้าสู่เลน

ข้อดีของระบบ LKS คือ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่ โดยช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการที่รถเบี่ยงออกนอกเลนโดยไม่ได้ตั้งใจ ในทางกลับกันระบบ LKS มีข้อจำกัดดังนี้ ระบบ LKS จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบนถนนที่มีเส้นถนนที่ชัดเจน อาจทำงานผิดพลาดในบางสถานการณ์ เช่น เมื่อมีแสงแดดจ้าหรือฝนตกหนัก ดังนั้นผู้ขับขี่ควรใช้ระบบ LKS ด้วยความระมัดระวัง และไม่ควรพึ่งพาระบบนี้มากเกินไป



รูปที่ 2-3 2.2.2 ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS)

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

2.2.3 ระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistance: LCA)

ระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistance: LCA) เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ขับขี่เปลี่ยนเลนได้อย่างปลอดภัยโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ และยานพาหนะที่ปกติแล้วผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นได้เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางทัศนวิสัย นอกจากนี้ ยังสามารถตรวจจับยานพาหนะที่เข้าใกล้จากด้านหลังได้ทันเวลา และแจ้งให้ผู้ขับขี่ทราบ โดยระบบ LCA ประกอบด้วยเซนเซอร์หลายชนิดที่ติดตั้งไว้ด้านข้าง และด้านหลังของรถ เซนเซอร์เหล่านี้จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเสียงเพื่อตรวจจับวัตถุและยานพาหนะ เมื่อตรวจพบวัตถุหรือยานพาหนะ ระบบจะแจ้งเตือนผู้ขับขี่ผ่านไฟเตือนหรือสัญญาณเสียง

ข้อดีของระบบ LCA คือ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการเปลี่ยนเลน เพิ่มความมั่นใจผู้ขับขี่ และช่วยให้ผู้ขับขี่ตระหนักถึงสภาพแวดล้อมรอบตัวได้ดีขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ มีราคาแพง ระบบอาจไม่สามารถตรวจจับวัตถุ และยานพาหนะได้ทั้งหมด และอาจส่งสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดได้



รูปที่ 2-4 2.2.3 ระบบช่วยเปลี่ยนเลน (Lane Change Assistance: LCA)

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

2.3 กลุ่มสนับสนุนการขับขี่ด้านอื่น (Miscellaneous)

ระบบ ADAS ที่อยู่ในกลุ่มสนับสนุนการขับขี่ด้านอื่น (Miscellaneous) สามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัย และความสะดวกสบายในการขับขี่ แต่ไม่ได้อยู่ในหมวดหมู่กลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support) และกลุ่มสนับสนุนการเคลื่อนของรถยนต์ในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Support) ตัวอย่างเช่น

2.3.1 ระบบช่วยมองเห็นตอนกลางคืน (Night Vision Systems)

ระบบช่วยมองเห็นตอนกลางคืน (Night Vision Systems) เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ขับขี่มองเห็นสิ่งต่าง ๆ บนท้องถนนได้ชัดเจนขึ้นในสภาพอากาศที่เลวร้าย หรือตอนกลางคืน ระบบนี้ใช้กล้องอินฟราเรด หรือกล้องความร้อนเพื่อจับภาพสภาพแวดล้อมรอบตัวรถ จากนั้นจึงใช้ซอฟต์แวร์เพื่อประมวลผลภาพ และแสดงภาพที่ชัดเจนขึ้นบนหน้าจอภายในรถ

ระบบช่วยมองเห็นตอนกลางคืนมีข้อดี คือ ช่วยให้ผู้ขับขี่มองเห็นสิ่งต่าง ๆ บนท้องถนนได้ชัดเจนขึ้นในสภาพอากาศที่เลวร้ายหรือตอนกลางคืน ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ และช่วยให้ผู้ขับขี่รู้สึกมั่นใจมากขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ ราคาแพง อาจรบกวนสายตาผู้ขับขี่ และอาจไม่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพอากาศบางประเภท

2.3.2 ระบบช่วยจอดรถ (Parking Assistance)

ระบบช่วยจอดรถ (Parking Assistance) เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ขับขี่จอดรถได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก หรือกล้อง เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางรอบตัวรถ จากนั้นจึงแสดงข้อมูลบนหน้าจอภายในรถเพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่จอดรถได้อย่างถูกต้อง

ระบบช่วยจอดรถมีข้อดี คือ ช่วยให้ผู้ขับขี่จอดรถได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดรอยขีดข่วนหรือการชน และช่วยประหยัดเวลา แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพง อาจไม่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพอากาศบางประเภท และอาจรบกวนสายตาผู้ขับขี่

2.3.3 ระบบช่วยประหยัดน้ำมัน (Fuel Economy Devices)

ระบบช่วยประหยัดน้ำมัน (Fuel Economy Devices) เป็นระบบที่ช่วยการขับขี่รถยนต์ให้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำมัน เพื่อตรวจสอบการใช้ น้ำมันของรถ จากนั้นจึงแสดงข้อมูลบนหน้าจอภายในรถเพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่ประหยัดน้ำมันมากขึ้น

ระบบนี้มีข้อดี คือ ช่วยให้ผู้ขับขี่ประหยัดน้ำมันได้ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และช่วยลดมลพิษ แต่มีข้อเสีย คือ ราคาแพง อาจไม่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพการขับขี่บางประเภท และอาจรบกวนสายตาผู้ขับขี่

บทที่ 3 หลักการทำงานของระบบต่างๆใน ADAS

3.1 หลักการทำงานของระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC)

ระบบ ACC ของค่ายรถยนต์แต่ละค่ายนั้นพัฒนามาจากพื้นฐานการทำงานที่เหมือนกัน โดยระบบ ACC นั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ระบบ ACC พื้นฐาน (ACC Base) และระบบ ACC แบบ Stop & Go (ACC Stop & Go) โดยทั้งสองระบบ ต่างก็เป็น 2.1.1 ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) แต่มีความแตกต่างกันดังนี้

1. ระบบ ACC Base สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วตั้งแต่ 30-150 กม./ชม. ทำงานโดยการรักษาความเร็วตามที่ตั้งไว้ โดยไม่คำนึงถึงยานพาหนะคันหน้า ไม่มีระบบบังคับเบรกอัตโนมัติ และไม่รองรับการชะลอความเร็วจนหยุดนิ่ง เหมาะสำหรับการใช้งานบนทางหลวงที่ไม่มีการจราจรหนาแน่น มีข้อดีในการช่วยให้ผู้ขับขี่ผ่อนคลายจากการต้องเหยียบคันเร่ง ช่วยรักษาความเร็วคงที่ และช่วยประหยัดน้ำมัน แต่มีข้อเสียบางประการ เช่น ไม่สามารถชะลอความเร็วจนหยุดนิ่ง ไม่สามารถติดตามยานพาหนะคันหน้าได้ และไม่เหมาะสำหรับการใช้งานบนถนนที่มีทางโค้งเยาะ
2. ระบบ ACC Stop & Go สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วตั้งแต่ 0-150 กม./ชม. ทำงานโดยการรักษาความเร็ว และระยะห่างจากยานพาหนะคันหน้า นอกจากนี้ ยังสามารถชะลอความเร็วจนหยุดนิ่ง และติดตามยานพาหนะคันหน้าได้ แต่ยังคงไม่มีระบบบังคับเบรกอัตโนมัติ โดยระบบ ACC Stop & Go นั้นเหมาะสำหรับการใช้งานบนทางหลวงที่มีการจราจรหนาแน่น หรือการขับขึ้นในเมือง มีข้อดีในการช่วยให้ผู้ขับขี่ผ่อนคลายจากการต้องเหยียบคันเร่งและเบรก ช่วยรักษาความเร็วคงที่ และระยะห่างจากยานพาหนะคันหน้า และช่วยลดความเครียดจากการขับขึ้นในสภาพจราจรหนาแน่น แต่มีข้อเสียบางประการ ได้แก่ ระบบ ACC Stop & Go อาจทำงานผิดพลาดในบางสถานการณ์ เช่น เมื่อมียานพาหนะคันหน้าเปลี่ยนเลนกะทันหัน และอาจทำให้ผู้ขับขี่รู้สึกประมาท

ทั้งนี้ คุณสมบัติของระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) รูปแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-1

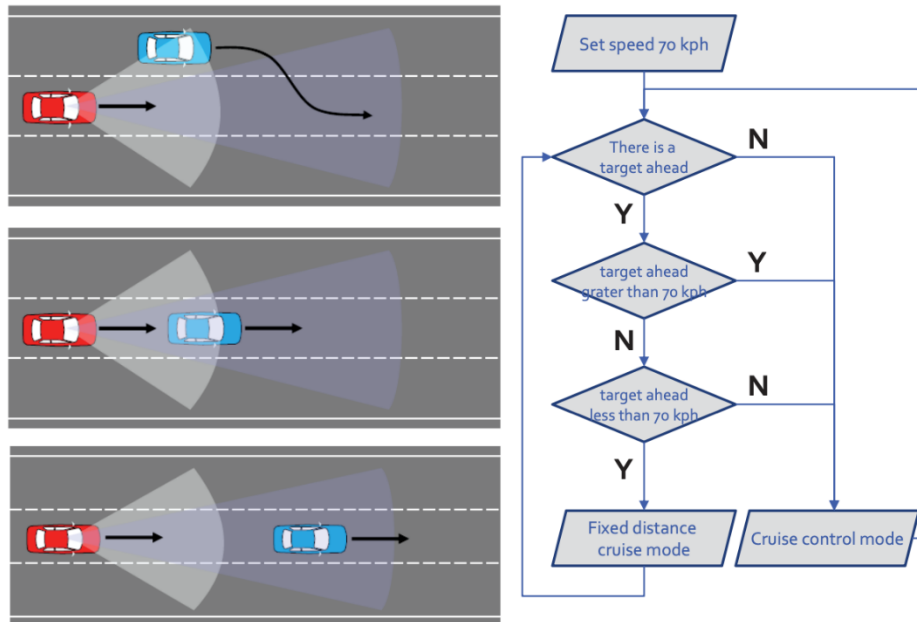
ตารางที่ 3-1 ตารางเปรียบเทียบความสามารถระหว่าง ACC Base และ ACC Stop and Go

ลักษณะ	ACC base	ACC Stop and go
ความเร็วที่สามารถใช้งานได้	30-150 กม./ชม.	0-150 กม./ชม.
การทำงาน	รักษาความเร็วตามที่ตั้งไว้	รักษาความเร็วและระยะห่างจากยานพาหนะคันหน้า
ระบบควบคุมเลี้ยว	ไม่มี	ไม่มี
การหยุดนิ่งและติดตามยานพาหนะคันหน้า	ไม่รองรับ	รองรับ

ระบบ ACC มีขั้นตอนในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3-1 ดังนี้

1. ผู้ขับขี่ตั้งค่าความเร็วที่ต้องการ
2. ระบบตรวจจับรถที่อยู่ด้านหน้า ด้วยเซนเซอร์ที่อยู่ด้านหน้ารถยนต์ เมื่อไม่พบวัตถุที่อยู่ด้านหน้า ระบบจะรักษาระดับความเร็วเท่ากับค่าที่ผู้ขับขี่กำหนด (Cruise Control Mode) หากพบวัตถุที่อยู่ด้านหน้า ระบบจะทำงานในขั้นตอนถัดไป

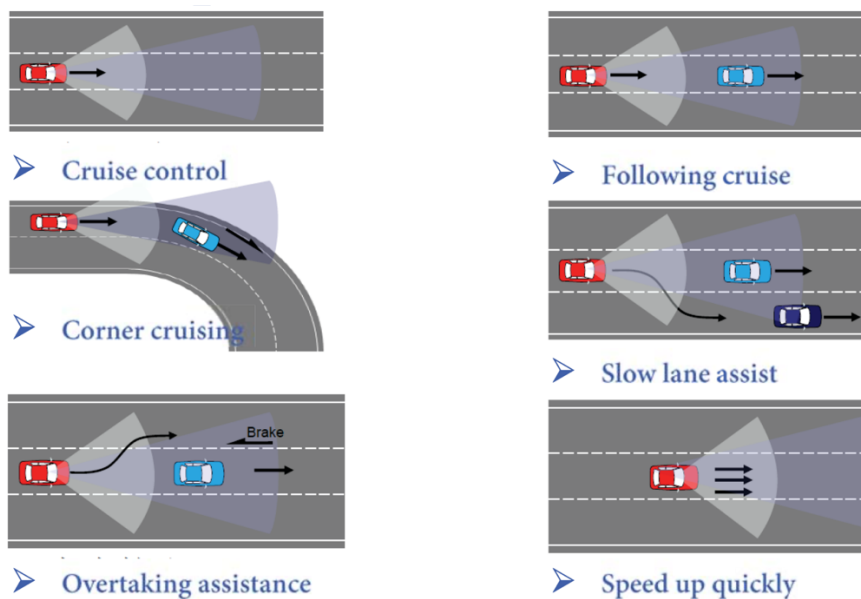
3. ระบบตรวจจับความเร็วของวัตถุที่อยู่ด้านหน้า หากวัตถุที่อยู่ด้านหน้ามีความเร็วมากกว่า หรือเท่ากับความเร็วที่ผู้ขับขี่ตั้งค่าไว้ ระบบจะรักษาระดับความเร็วเท่ากับค่าที่ผู้ขับขี่กำหนด (Cruise Control Mode) หากวัตถุที่อยู่ด้านหน้ามีความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่ผู้ขับขี่ตั้งค่าไว้ ระบบจะปรับเปลี่ยนความเร็วของรถยนต์ให้ รถยนต์มีระยะห่างกับวัตถุด้านหน้าตามที่ผู้ขับขี่ตั้งค่าไว้ (Fixed Distance Cruise Mode)



รูปที่ 3-1 การทำงานของระบบ Adaptive Cruise Control
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

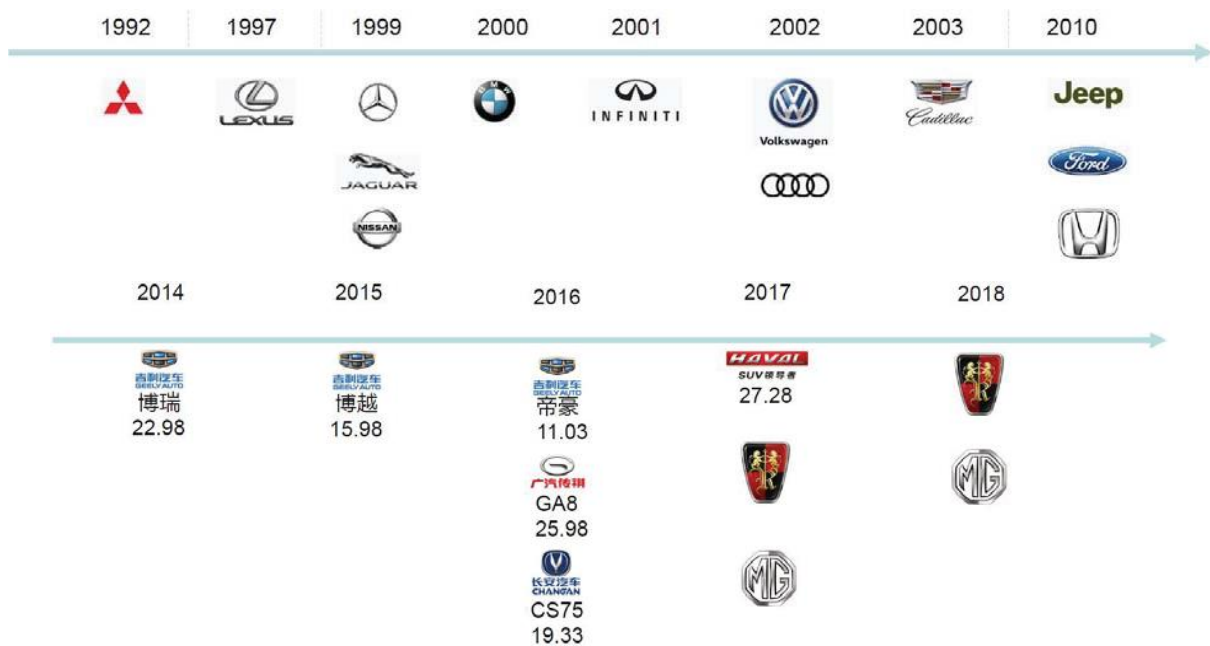
นอกจากนี้ ระบบ ACC ยังสามารถออกแบบให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3-2 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. การควบคุมความเร็วคงที่ (Cruise Control) ระบบจะรักษาความเร็วคงที่โดยไม่ต้องใช้คันเร่งหรือเบรก ซึ่งเหมาะสำหรับการขับขึ้นทางหลวงที่มีการจราจรไม่หนาแน่น
2. การขับตามรถคันหน้า (Following Cruise หรือ Fixed Distance Cruise Mode) ระบบจะรักษาระยะห่างจากรถคันหน้าโดยอัตโนมัติ หากรถคันหน้าช้าลง ระบบจะลดความเร็วลงตาม และหากรถคันหน้าหายไป ระบบจะเร่งความเร็วกลับไปตามค่าที่ตั้งไว้
3. การควบคุมความเร็วในโค้ง (Corner Cruising) ระบบจะปรับความเร็วให้เหมาะสมเมื่อเข้าทางโค้ง เพื่อให้การขับปลอดภัยและราบรื่น
4. การช่วยขับในช่องทางที่ช้า (Slow Lane Assist) ระบบจะตรวจสอบการจราจรในช่องทางข้างเคียง และช่วยในการเปลี่ยนเลนหรือปรับความเร็วตามสถานการณ์
5. การช่วยเหลือในการแซง (Overtaking Assistance) ระบบจะตรวจสอบรถในเลนข้างๆ และช่วยในการเร่งความเร็วหรือเบรกตามความจำเป็นเพื่อความปลอดภัยในการแซง
6. การเร่งความเร็วอย่างรวดเร็ว (Speed Up Quickly) ระบบสามารถเร่งความเร็วได้อย่างรวดเร็วเมื่อสถานการณ์เอื้ออำนวย เช่น เมื่อเปลี่ยนเลนหรือแซงรถคันหน้า



รูปที่ 3-2 การใช้ระบบ Adaptive Cruise Control

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]



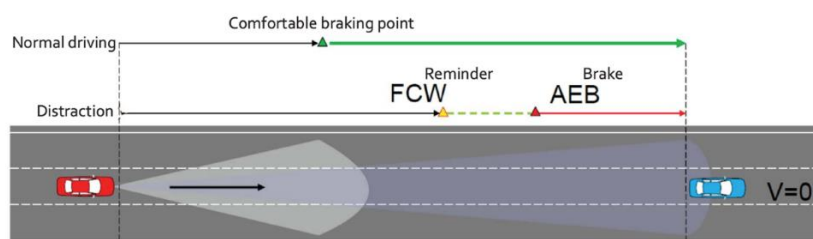
รูปที่ 3-3 ไทม์ไลน์การใช้งานระบบ Adaptive Cruise Control ในค่ายรถต่าง ๆ
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

3.2 หลักการทำงานของระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking: AEB)

ระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking: AEB) ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยลดความรุนแรงของการชนหรือหลีกเลี่ยงการชนโดยสิ้นเชิง เมื่อรถตรวจพบสถานการณ์ที่มีความเสี่ยง ระบบจะทำการเตือนผู้ขับขี่ และหากไม่มีการตอบสนอง ระบบจะเบรกอัตโนมัติเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ โดยระบบ AEB จะถูกตั้งค่าเป็นการทำงานเบื้องต้น กล่าวคือ เมื่อรถยนต์ทำงาน ระบบ AEB จะมีการทำงานอยู่ตลอด ซึ่งระบบ AEB สามารถทำงานได้ที่ความเร็วต่ำสุด 4 กม./ชม.

การทำงานของระบบ AEB นั้นมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3-4 ดังนี้

1. ในสภาวะการขับขี่ปกติ (Normal Driving) ระบบ AEB จะถูกเปิดไว้เสมอ แต่ไม่มีการใช้งาน
2. หากผู้ขับขี่เสียสมาธิ และไม่สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ข้างหน้าได้ทัน ระบบจะเริ่มเตือนด้วยสัญญาณเตือนภัยล่วงหน้า หรือ Forward Collision Warning (FCW)
3. เมื่อระบบพบว่ารถยนต์อยู่ในระยะที่มีความเสี่ยงจะเกิดอุบัติเหตุ ระบบจะทำการเตือน (Reminder) ให้ผู้ขับขี่ทำการเบรก
4. หากผู้ขับขี่ไม่ตอบสนองต่อการเตือน ระบบ AEB จะทำการเบรกอัตโนมัติเพื่อลดความรุนแรงของการชน



รูปที่ 3-4 การทำงานของระบบเบรกฉุกเฉิน

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

3.3 หลักการทำงานของระบบควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keep System: LKA/LDW)

ระบบควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keep System: LKA/LDW) ช่วยให้ผู้ใช้ขับขี่ไม่จำเป็นต้องบังคับพวงมาลัยด้วยตัวเอง แต่ผู้ขับขี่ยังคงต้องวางมือไว้บนพวงมาลัยอยู่เสมอ ระบบนี้ทำงานโดยใช้กล้อง และเซนเซอร์เพื่อตรวจจับเส้นแบ่งเลนบนถนน และจะบังคับพวงมาลัยเล็กน้อยเพื่อให้รถอยู่ในเลนโดยอัตโนมัติ ระบบนี้ทำงานได้เฉพาะเมื่อความเร็วของรถอยู่ที่ 60 กม./ชม. ขึ้นไป และระบบนี้ไม่รองรับการเปลี่ยนเลนอัตโนมัติ

หลักการทำงานของระบบควบคุมรถให้อยู่ในเลนมีหลักการทำงาน ดังนี้

- (1) การตรวจจับเส้นแบ่งช่องทาง ระบบจะใช้กล้องที่ติดตั้งบริเวณกระจกหน้ารถหรือเซนเซอร์ที่ติดตั้งตามจุดต่างๆ ของรถเพื่อตรวจจับเส้นแบ่งช่องทางบนถนน กล้องจะสแกนถนนข้างหน้าและส่งข้อมูลไปยังระบบประมวลผล
- (2) การประมวลผลข้อมูล โดยรับข้อมูลจากกล้อง หรือเซนเซอร์จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลกลางของรถ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของรถเมื่อเทียบกับเส้นแบ่งช่องทาง หากตรวจพบว่ารถกำลังจะออกนอกช่องทางโดยไม่ตั้งใจ ระบบจะเตือนผู้ขับขี่
- (3) การเตือนผู้ขับขี่ ระบบจะทำการเตือนผู้ขับขี่ในกรณีที่ตรวจพบว่ารถกำลังจะออกนอกช่องทาง การเตือนนี้อาจมาในรูปแบบของเสียงเตือน การสั่นสะเทือนที่พวงมาลัย หรือไฟเตือนบนแผงหน้าปัด ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ขับขี่รับรู้และปรับทิศทางรถให้กลับมาอยู่ในช่องทาง
- (4) การช่วยควบคุมรถให้อยู่ในช่องทาง โดย หากผู้ขับขี่ไม่ตอบสนองต่อการเตือน ระบบจะทำการช่วยควบคุมรถให้อยู่ในช่องทางโดยอัตโนมัติ ระบบจะใช้การควบคุมพวงมาลัยหรือการเบรกเบาๆ เพื่อปรับทิศทางรถให้กลับมาอยู่ในช่องทางอย่างปลอดภัย

3.4 หลักการทำงานของระบบช่วยการขับขี่ในสภาวะการจราจรติดขัดในเมือง (Traffic Jam Assist in Cities: TJA)

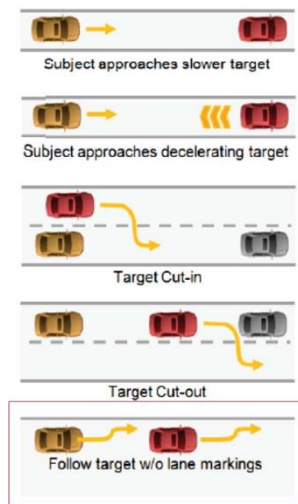
ระบบช่วยการขับขี่ในสภาวะการจราจรติดขัดในเมือง (Traffic Jam Assist in Cities: TJA) เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อช่วยผู้ขับขี่ในการจัดการกับการจราจรติดขัด โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ระบบนี้จะช่วยลดความเครียด และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ขับขี่

โดยระบบ TJA จะเริ่มทำงานเมื่อความเร็วของรถต่ำกว่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการขับขี่ในสภาวะการจราจรติดขัด โดยจะทำการควบคุมรถในทิศทางตามความยาวตัวรถ (Longitudinal Control) และในทิศทางตามขวางของตัวรถ (Lateral Control) กล่าวคือ คล้ายคลึงกับระบบ ACC และระบบ LKA ร่วมกัน แต่มีการทำงานเพิ่มเติมโดย เมื่อระบบ TJA ไม่สามารถตรวจจับเส้นแบ่งเลนได้ ระบบ TJA จะอ้างอิงตำแหน่งกับรถคันหน้า อย่างไรก็ตามระบบ TJA มีข้อจำกัดเรื่องการใช้งานในบริเวณที่มีทางแยก หรือการเปลี่ยนช่องทางที่ซับซ้อน

ระบบ TJA สามารถทำงานได้ 5 รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 3-5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. รถเข้าใกล้วัตถุที่มีความเร็วต่ำกว่า (Subject approaches slower target) เมื่อรถของผู้ขับขี่เข้าใกล้รถคันหน้าที่เคลื่อนที่ช้ากว่ารถของผู้ขับขี่ ระบบ TJA จะลดความเร็วของรถตามเพื่อรักษาระยะห่างที่ปลอดภัย
2. รถเข้าใกล้วัตถุที่กำลังชะลอความเร็ว (Subject approaches decelerating target) เมื่อรถของผู้ขับขี่เข้าใกล้รถคันหน้าที่ชะลอความเร็ว ระบบ TJA จะชะลอความเร็วของรถตามและสามารถหยุดได้หากจำเป็น

3. วัตถุเปลี่ยนช่องทางเข้ามาในเลนเดียวกับผู้ขับขี่ (Target Cut-in) เมื่อมีรถคันอื่นเปลี่ยนช่องทางเข้ามาข้างหน้ารถของผู้ขับขี่ ระบบ TJA จะปรับความเร็วเพื่อรักษาระยะห่างที่ปลอดภัยจากรถคันใหม่
4. วัตถุเปลี่ยนช่องทางออกไปจากเลนเดียวกับผู้ขับขี่ (Target Cut-out) เมื่อรถคันหน้าเปลี่ยนช่องทางออกไปจากเลนเดียวกับผู้ขับขี่ ระบบ TJA จะเร่งความเร็วขึ้นกลับไปยังความเร็วที่ตั้งไว้เดิมอย่างปลอดภัย
5. ติดตามวัตถุด้านหน้าในกรณีที่ไม่มีเส้นแบ่งช่องทาง (Follow target without lane markings) ในกรณีที่ไม่มีเส้นแบ่งช่องทาง ระบบ TJA สามารถติดตามรถคันหน้าและเปลี่ยนช่องทางตามรถคันหน้าได้



รูปที่ 3-5 การทำงานของระบบ TJA

[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

บทที่ 4 อุปกรณ์ในระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advances Driver Assistance Systems: ADAS)

ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advances Driver Assistance Systems: ADAS) มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความปลอดภัย และความสะดวกสบายในการขับขี่ ในปัจจุบันมักใช้อุปกรณ์หลักสองชนิดที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด กล่าวคือ กล้อง และเรดาร์ โดย ทั้งสองอุปกรณ์นี้มีข้อได้เปรียบ และข้อเสียเปรียบที่แตกต่างกันในแต่ละสถานการณ์ของการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อุปกรณ์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้งานร่วมกัน ซึ่งเรียกว่าการรวมข้อมูลเซนเซอร์ (Sensor Fusion)

กล้อง (Camera) มีข้อได้เปรียบในการรับรู้รายละเอียด เนื่องจากกล้องสามารถบันทึกรายละเอียดของภาพ เช่น เส้นแบ่งช่องทาง ป้ายจราจร และสิ่งกีดขวางบนถนนได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถระบุวัตถุต่าง ๆ เช่น คนเดินเท้ายานพาหนะ และสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามกล้องมีข้อเสียเปรียบบางประการ เช่น กล้องอาจมีประสิทธิภาพลดลงในสภาพแสงน้อย หรือในเวลากลางคืน และสภาพอากาศที่ผิดปกติ เช่น ฝน หมอก หรือหิมะ

เรดาร์ (Radar) มีข้อได้เปรียบเรื่องการทำงานในทุกสภาพอากาศ โดย เรดาร์สามารถทำงานได้ดีในทุกสภาพอากาศ รวมถึงฝน หมอก และหิมะ ทั้งยังมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในระยะไกลได้อย่างแม่นยำ แต่มีข้อเสียเปรียบด้านความละเอียดต่ำ และเรดาร์ไม่สามารถแยกแยะประเภทของวัตถุได้อย่างชัดเจน

เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากข้อดีของทั้งสองอุปกรณ์ ระบบ ADAS จะใช้การรวมข้อมูลเซนเซอร์ (Sensor Fusion) ซึ่งหมายถึงการนำข้อมูลจากกล้อง และเรดาร์มาวิเคราะห์ และประมวลผลร่วมกัน ทำให้ระบบสามารถรับรู้สถานการณ์รอบตัวรถได้อย่างแม่นยำและครอบคลุมยิ่งขึ้น โดยมีประโยชน์ ดังนี้

1. ความแม่นยำที่สูงขึ้น เนื่องจากการรวมข้อมูลจากทั้งสองแหล่งช่วยให้ระบบสามารถตัดสินใจได้แม่นยำยิ่งขึ้น
2. ทำงานในทุกสภาพแวดล้อม ระบบสามารถทำงานได้ดีทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน และในทุกสภาพอากาศ
3. การระบุ และติดตามวัตถุ ระบบสามารถระบุและติดตามวัตถุต่างๆ บนถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

	Camera	Radar	
Night work Performance	5	10	10 Good performance
Snow/ Rain Sensitivity	5	10	
Temperature Sensitivity	5	10	5 Average performance
Longitude Detection Accuracy	5	10	
Lateral Detection Accuracy	10	5	
Objects Classes	10	0	
Lanes	10	0	0 Pour performance

Fusion

รูปที่ 4-1 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของกล้อง และเรดาร์
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, SemanticScholar]



รูปที่ 4-2 การรวมข้อมูลเซนเซอร์ (Sensor Fusion)
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

ปัจจุบันชิ้นส่วนกล่อง และเรดาร์ถูกผลิตโดยผู้ผลิตชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์หลายราย ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนที่มีลำดับการส่งมอบชิ้นส่วนให้แก่ผู้ผลิตรถยนต์โดยตรง (Tier 1 Supplier) ได้แก่

1. Bosch เป็นผู้ผลิต กล่อง เรดาร์ และพัฒนาการทำงานร่วมกันของกล่อง และเรดาร์
2. Conti เป็นผู้ผลิต กล่อง เรดาร์ และพัฒนาการทำงานร่วมกันของกล่อง และเรดาร์
3. Delphi เป็นผู้พัฒนาการทำงานร่วมกันของเรดาร์ และกล่องจาก Mobileye
4. TRW เป็นผู้พัฒนาการทำงานร่วมกันของเรดาร์ และกล่องจาก Mobileye
5. Mobileye เป็นผู้ผลิตกล่อง



รูปที่ 4-3 ผู้ผลิตชิ้นส่วนสำคัญในระบบ ADAS
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

4.1 เรดาร์ความถี่ 77 กิกะเฮิรตซ์ (77GHz Radar)

เรดาร์ความถี่ 77 กิกะเฮิรตซ์ (77GHz Radar) คือ เซนเซอร์เรดาร์ที่ทำงานในแถบสเปกตรัมคลื่นไมโครเวฟ (MMW) ซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 30 ถึง 300 GHz เรดาร์ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เนื่องจากมีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ และมีความแม่นยำสูง โดย นิยมใช้งานในระบบที่ต้องการตรวจจับวัตถุในระยะสั้น เช่น ในระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS) หลากหลายรูปแบบ อาทิ ระบบควบคุมความเร็วอัตโนมัติแบบแปรผัน (Adaptive Cruise Control: ACC) ระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking: AEB) และระบบตรวจจับวัตถุในจุดอับสายตา (Blind Spot Detection: BSD) ระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรม เช่น การตรวจจับวัตถุ การวัดระดับ และการตรวจจับความใกล้เคียง และยังถูกใช้เพื่อ เช่น การตรวจจับการบุกรุกพื้นที่โดยรอบ และการนับจำนวนคน

เรดาร์ความถี่ 77 กิกะเฮิรตซ์ ในภาพมีคุณสมบัติพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ระยะการตรวจจับที่ยาวในทิศทางแนวยาว
2. ความแม่นยำสูงในทิศทางตั้งฉาก
3. ความแม่นยำด้านข้างต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับความแม่นยำของเรดาร์ในทิศทางตั้งฉาก
4. ไม่สามารถจำแนกลักษณะของวัตถุได้ อาทิ เส้นเลน คนเดินเท้า จักรยาน และป้ายจราจร

ในปัจจุบันผู้ผลิตหลักที่ผลิตเรดาร์ความถี่ 77 GHz เพื่อใช้ในรถยนต์ ได้แก่ Bosch, Conti, Delphi, Autoliv, Xingyidao, Sengstek และ Weisheng



รูปที่ 4-4 4.1 เรดาร์ความถี่ 77 GHz (77GHz Radar)
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

4.2 กล้องหน้ารถ (Front Facing Camera)

กล้องหน้ารถ (Front Facing Camera) มีความแม่นยำตามแนวข้าง (Lateral) สูง แต่มีความแม่นยำตามแนวยาว (Longitudinal) ต่ำ เนื่องจากกล้องหน้ารถไม่สามารถเก็บรายละเอียดด้านความลึกได้ ทั้งนี้เนื่องจากกล้องหน้ารถมีคุณสมบัติในการจำแนกลักษณะของวัตถุได้ จึงได้รับความนิยมมาใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับวัตถุชนิดต่าง ๆ อาทิ เส้นแบ่งเลน คนเดินถนน จักรยานยนต์ และสัญญาณจราจร โดยกล้องหน้ารถถูกนำมาใช้งานในระบบ ADAS หลายระบบ อาทิ ระบบช่วยควบคุมรถให้อยู่ในเลน (Lane Keeping System: LKS) ระบบเบรกฉุกเฉินอัตโนมัติ (Autonomous Emergency Braking: AEB) และระบบช่วยการขับขี่ในสภาวะการจราจรติดขัดในเมือง (Traffic Jam Assist in Cities: TJA)

ในปัจจุบันผู้ผลิตหลักที่ผลิตกล้องหน้ารถเพื่อใช้ในรถยนต์ ได้แก่ Mobileye, Bosch, Conti, และ Minieye Aongmu Technology



รูปที่ 4-5 กล้องหน้ารถ (Front Facing Camera)
[ที่มา: Advanced Driver Assistance Systems, Semantic Scholar]

บทที่ 5 การทดสอบการทำงานของระบบ ADAS

การทดสอบระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advances Driver Assistance Systems: ADAS) เป็นขั้นตอนสำคัญในการรับประกันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกการทดสอบออกเป็นสองประเภทหลักคือ การทดสอบบนโต๊ะ (Bench Test) และการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง (Site Functional Test)

5.1 การทดสอบบนโต๊ะ (Bench Test)

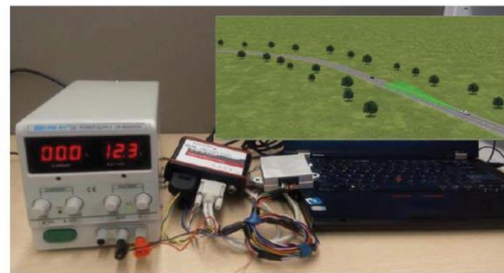
การทดสอบบนโต๊ะ (Bench Test) คือ การทดสอบระบบ ADAS ในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ภายในห้องปฏิบัติการ หรือสถานที่ทดสอบโดยเฉพาะ โดยใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบที่จำลองสัญญาณ และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ระบบจะต้องเผชิญในการใช้งานจริง

โดย การทดสอบบนโต๊ะ (Bench Test) มีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. ตรวจสอบรูปแบบการทำงานของระบบ ADAS ว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่
2. ทดสอบการตอบสนองของเซนเซอร์ที่ใช้งานในระบบ ADAS ในสภาพแวดล้อมจำลอง
3. ระบุ และแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบ
4. ปรับแต่ง และปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบก่อนที่จะนำไปทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง



Model and actuator in the loop test



Controller ECU in the loop test

รูปที่ 5-1 ตัวอย่างการทำ Bench Test

5.2 การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง (Site Functional Test)

การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง (Site Functional Test) คือ การทดสอบระบบ ADAS ในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบในสถานการณ์การขับขี่ที่หลากหลาย โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. ประเมินการทำงานของระบบในสภาพแวดล้อมจริง
2. ตรวจสอบว่าระบบสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างปลอดภัย
3. ทดสอบการตอบสนองของระบบในสภาพแวดล้อมจริง
4. รวบรวมข้อมูลที่พบในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อนำไปพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต

ACC Stop & Go Test

AEB Static Test



รูปที่ 5-2 ตัวอย่างการทดสอบแบบ Site Functional Test