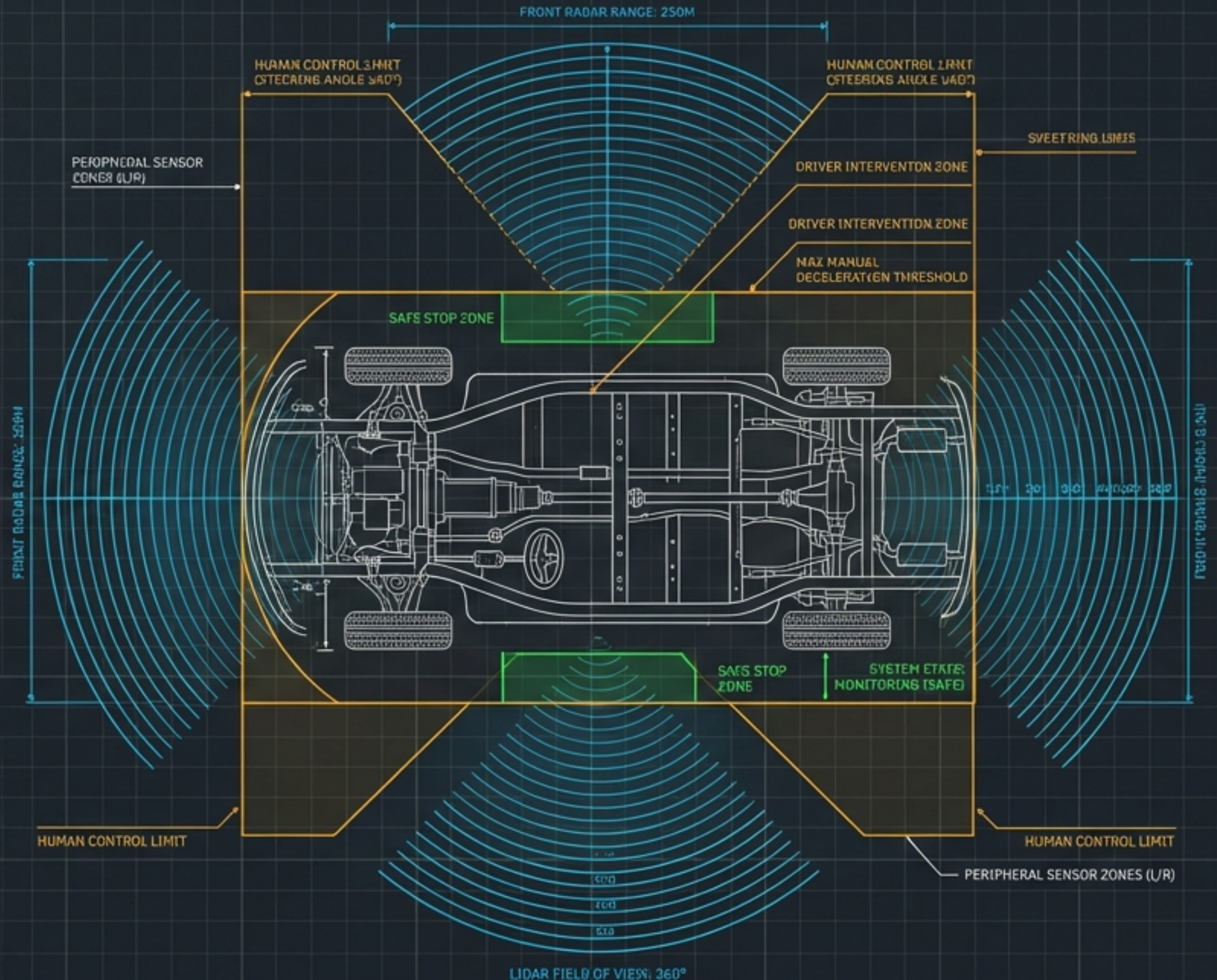


# บทที่ 1.3

## สถาปัตยกรรมมาตรฐาน SAE J3016

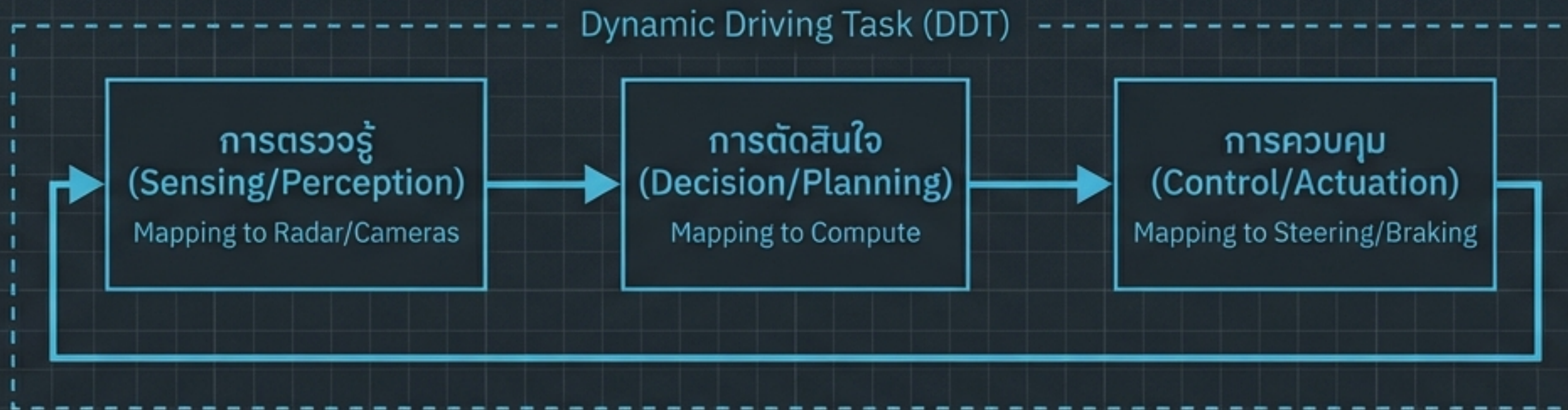
### การแบ่งระดับความเป็นอัตโนมัติในเชิงวิศวกรรม (Engineering Automation Levels)

หัวข้อสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมหุ่นยนต์ หลักสูตรสถาปัตยกรรมยานยนต์ไร้คนขับ



โจทย์หลักทางวิศวกรรมยานยนต์ไร้คนขับ

# เราจะถ่ายโอน ความรับผิดชอบต่อชีวิต จากสรีรวิทยาของมนุษย์ไปสู่ระบบหุ่นยนต์ได้อย่างไร?



DDT ประกอบด้วย:

1. **Operational**: การควบคุมพวงมาลัยและเบรก
2. **Tactical**: การตอบสนองต่อเหตุการณ์

\*Note: ไม่รวม Strategic (การทำหนดจุดหมายปลายทาง)

# Level 0 & 1: มนุษย์เป็นศูนย์กลางการควบคุม (Human in the Loop)

## Level 0

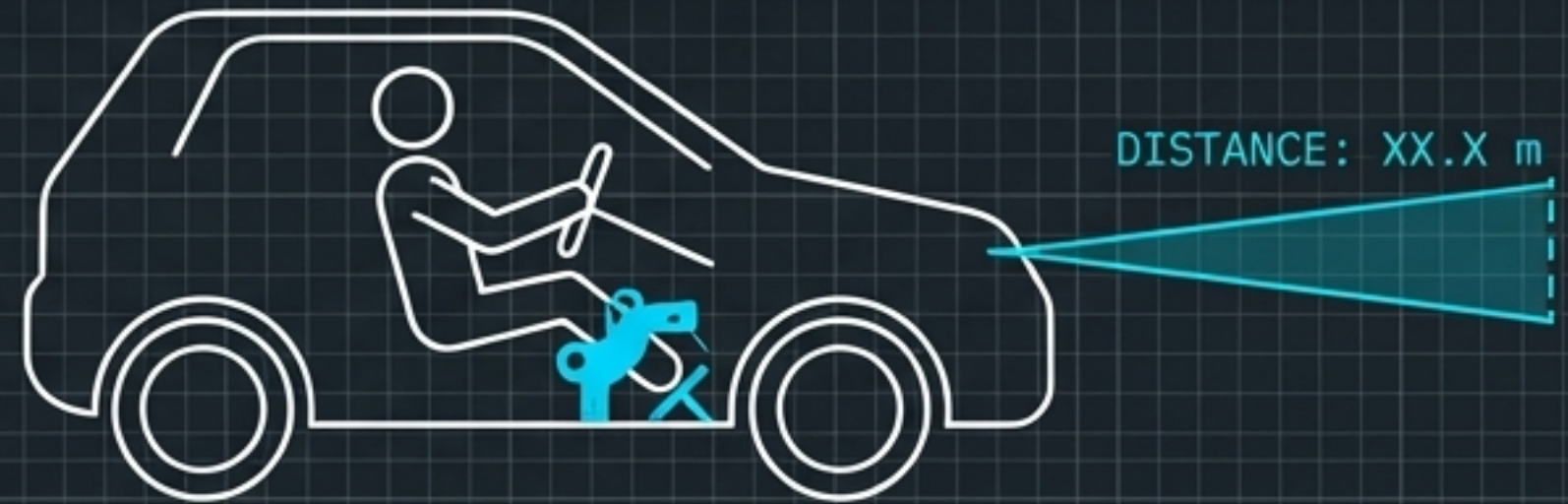


### Level 0 (No Automation)

มนุษย์ควบคุมฟังก์ชันหลัก 100%

บทบาทเรดาร์: ตรวจจับเพื่อส่งสัญญาณเตือน (Warning Only) ไม่มีอำนาจแทรกแซง

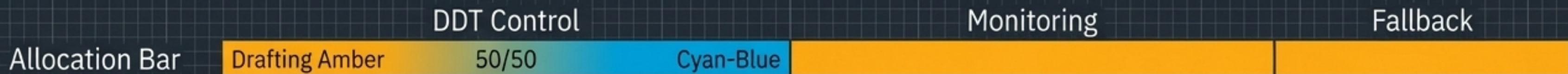
## Level 1



### Level 1 (Driver Assistance)

ระบบช่วยควบคุม เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง (เช่น Collision Mitigation Braking)

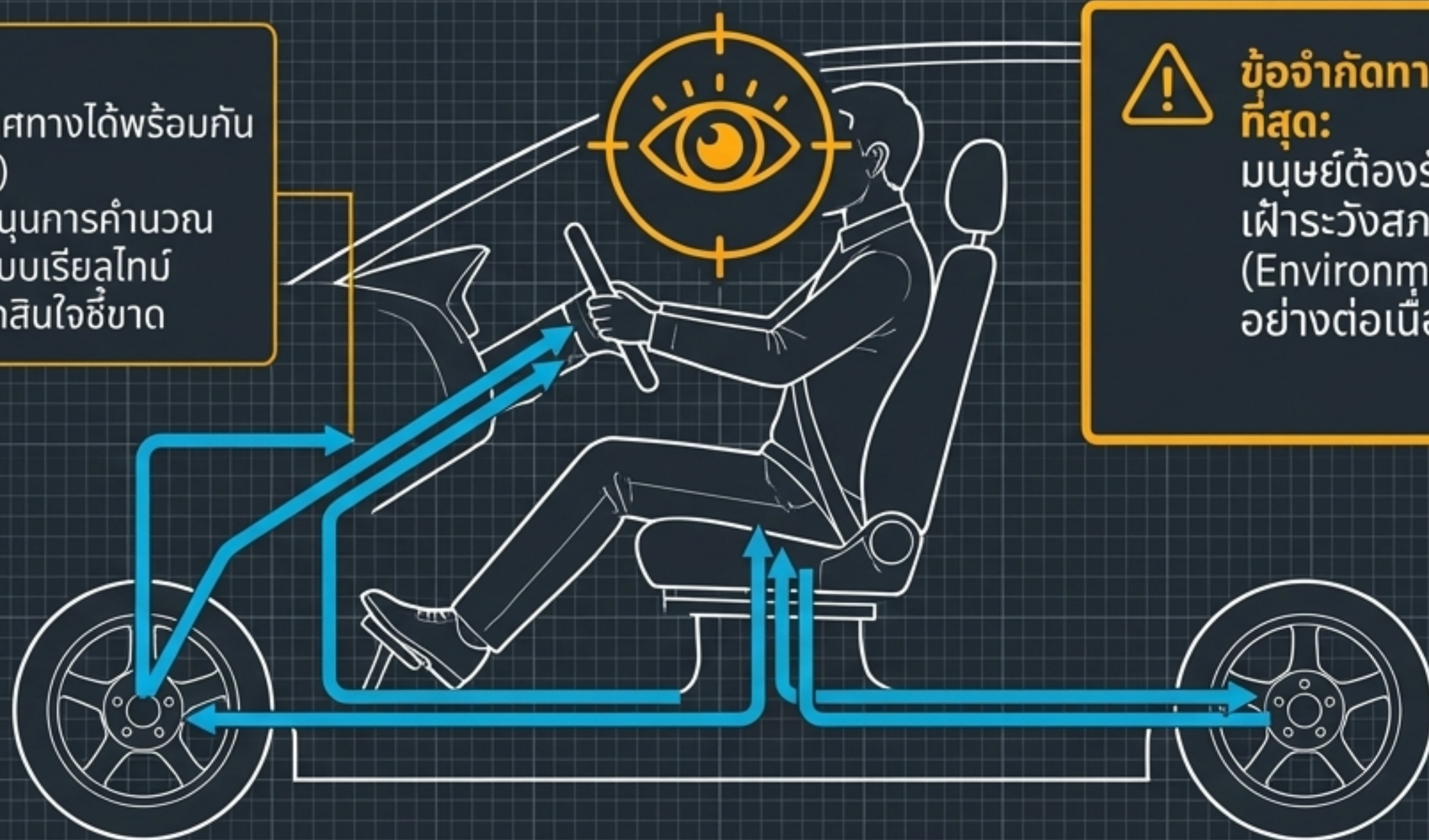
บทบาทเรดาร์: การคำนวณระยะทางเชิงเส้น (Distance Calculation)



## Level 2: Partial Automation (การทำงานร่วมกันแบบมีเงื่อนไข)

### ความสามารถของระบบ:

- ควบคุมอัตราเร่งและทิศทางได้พร้อมกัน (Combined Control)
- **บทบาทเรดาร์:** สนับสนุนการคำนวณความเร็วและทิศทางแบบเรียลไทม์ แต่ยังไม่ใช้เซนเซอร์ตัดสินใจชี้ขาด

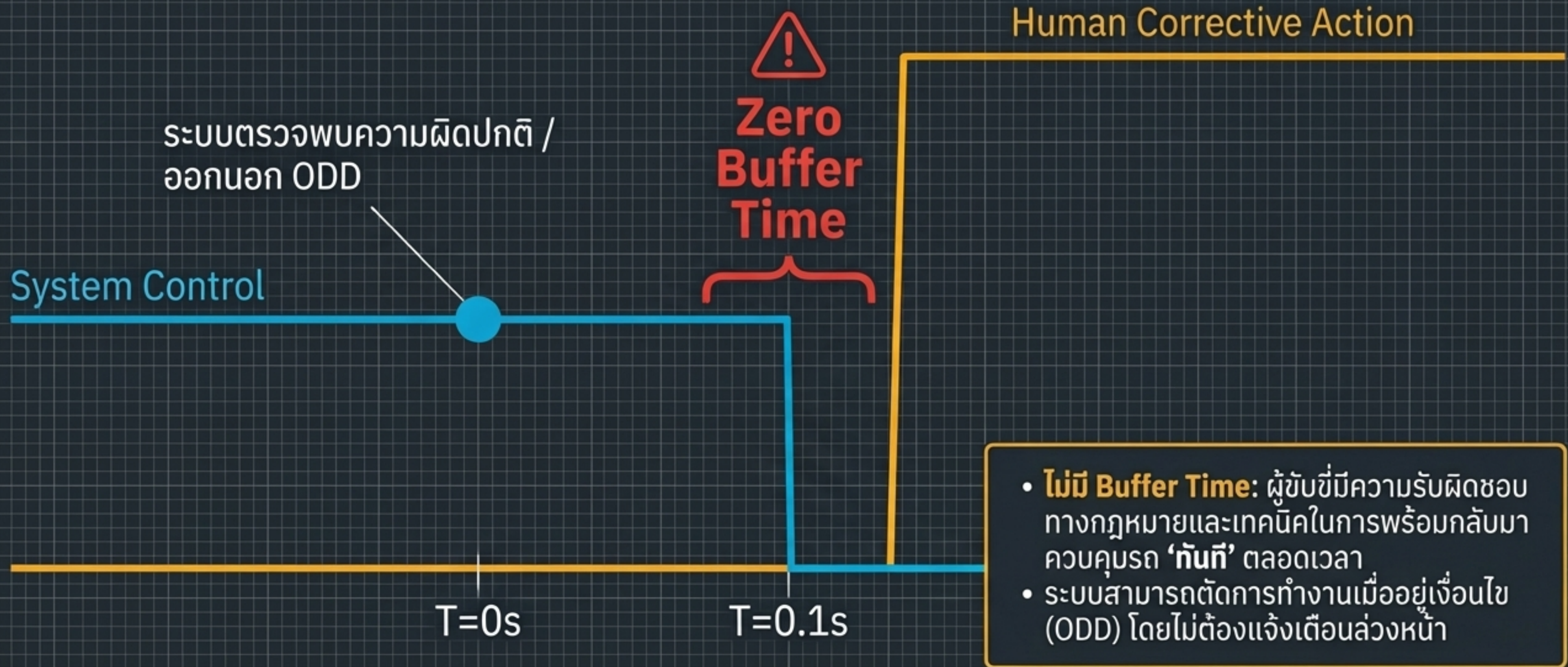


### ข้อจำกัดทางวิศวกรรมที่สำคัญที่สุด:

มนุษย์ต้องรับผิดชอบการเฝ้าระวังสภาพแวดล้อม (Environmental Monitoring) อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

# กลไกการส่งคืนการควบคุมใน Level 2 (Immediate Takeover)

ทำไม Level 2 ถึงอันตรายหากผู้ขับขี่สูญเสียสมาธิ?



Allocation Bar

DDT Control

Monitoring

Fallback

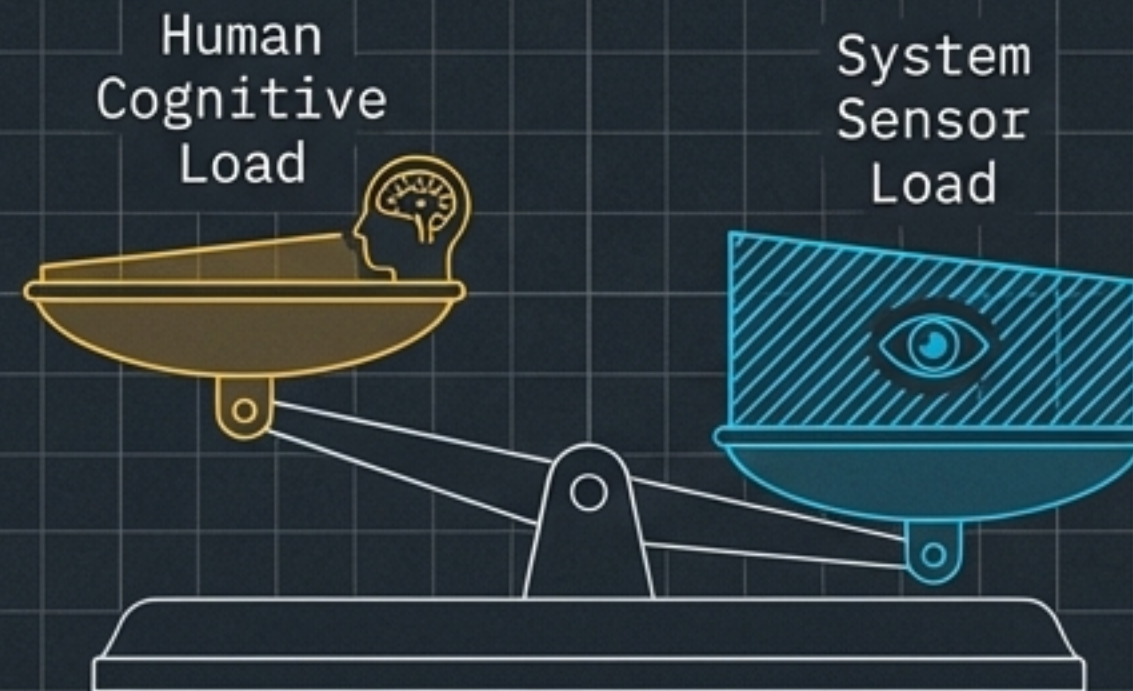
## Level 3: The Sensing Shift (จุดเปลี่ยนสำคัญทางวิศวกรรม)

Human Driver  
Monitors Environment  
IBM Plex Mono



Automated Driving System  
Monitors Environment  
IBM Plex Mono

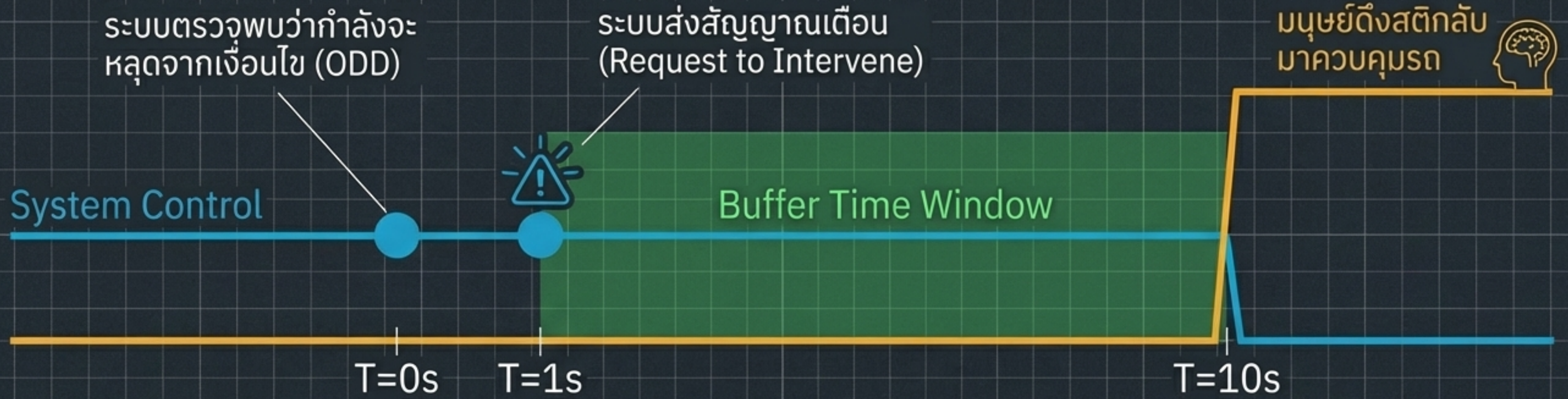
**ความหมายทางสถาปัตยกรรม:**  
ผู้ขับขี่ไม่ต้องจับตาดูถนนตลอด  
เวลาอีกต่อไป



**การย้ายภาระหน้าที่:**

นี่คือระดับแรกที่  
การเฝ้าระวังสภาวะแวดล้อม  
(Monitoring) เปลี่ยนจากมนุษย์ไป  
สู่ระบบตรวจรู้ (Sensing System)  
อย่างสมบูรณ์ ระบบรับผิดชอบการ  
ขับขี่ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

# กลไกการส่งคืนการควบคุมใน Level 3 (Request to Intervene)



## การสร้าง Buffer Time:

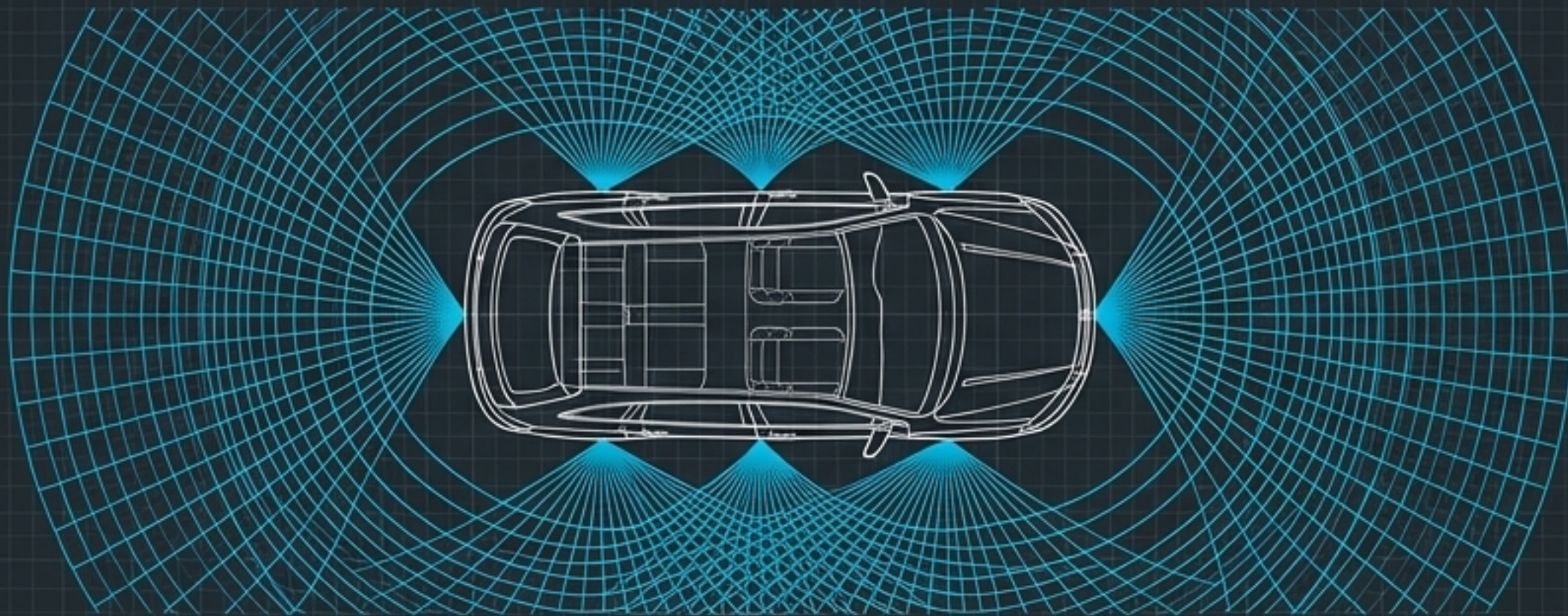
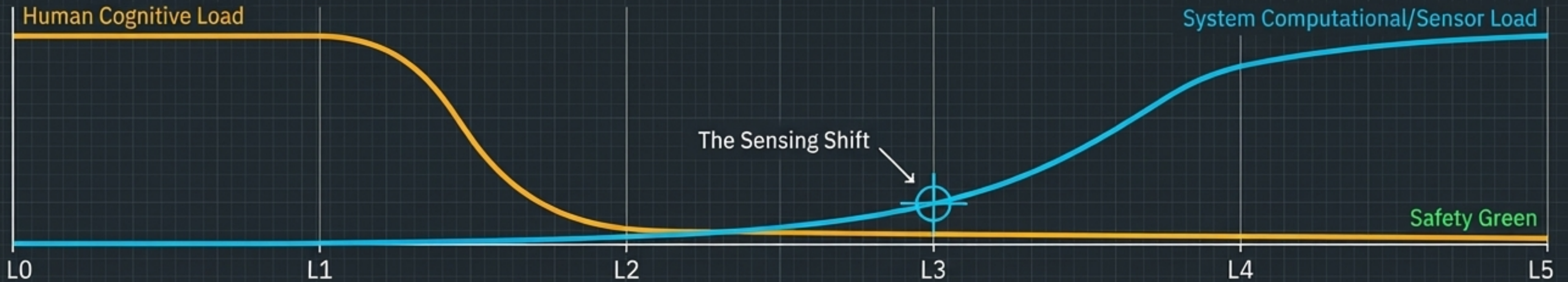
ระบบต้องสามารถรักษาเสถียรภาพของรถไว้ได้นานพอหลังจากส่งสัญญาณเตือน เพื่อให้มนุษย์เตรียมพร้อม

### • ความท้าทาย:

ต้องใช้อัลกอริทึมคาดการณ์ล่วงหน้าที่มีแม่นยำสูง (Predictive Algorithms)

# ความต้องการด้านฮาร์ดแวร์เรดาร์ที่เพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด

X/Y Intersection Graph (IBM Plex Mono)



เมื่อการเฝ้าระวังตกเป็นของระบบ (System Monitors) ความเชื่อถือได้ของเซนเซอร์ (Reliability) ต้องเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ

จากเซนเซอร์สนับสนุน สู่ เซนเซอร์หลัก: เรดาร์ต้องทำงานร่วมกับ Sensor Fusion เพื่อสร้างสถานการณ์จำลองรอบทิศทาง (Situational Awareness) ทดแทนการมองเห็นของมนุษย์

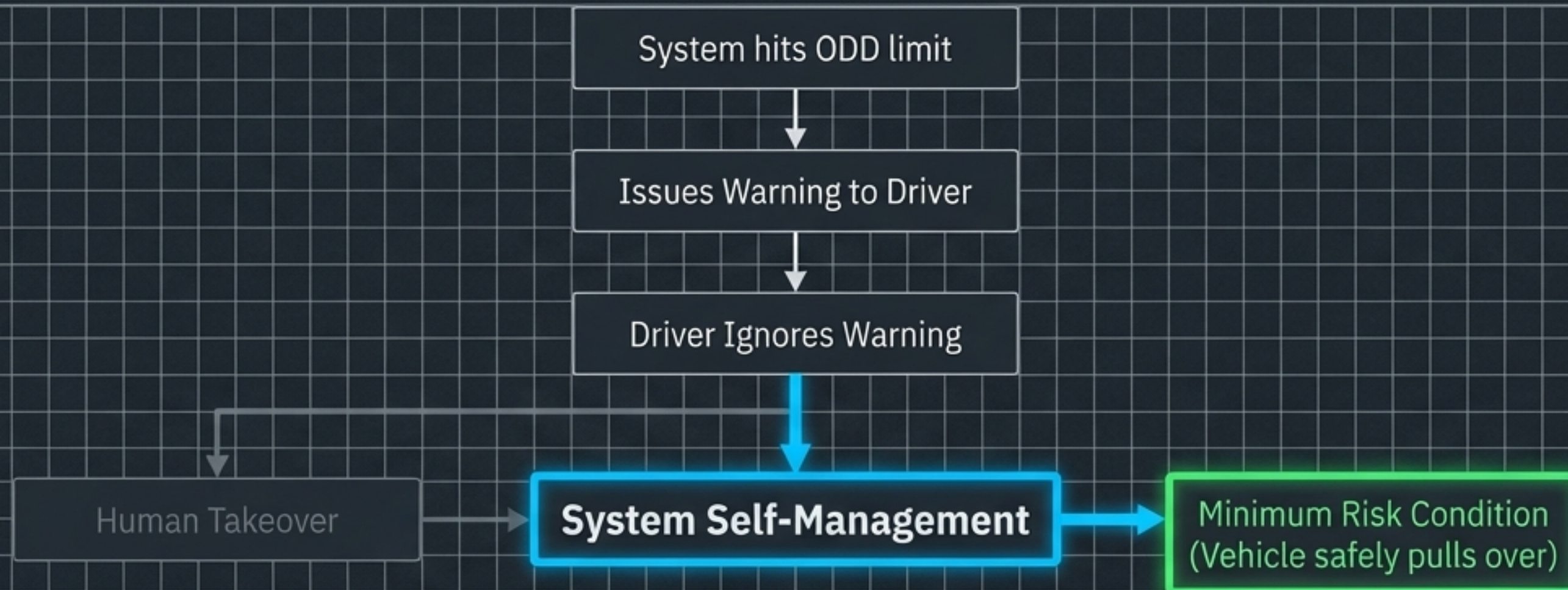
ข้อมูลที่มีความหนาแน่นสูงและ FOV กว้างขึ้นเป็นสิ่งจำเป็นขาดไม่ได้

DDT Control

Monitoring

Fallback

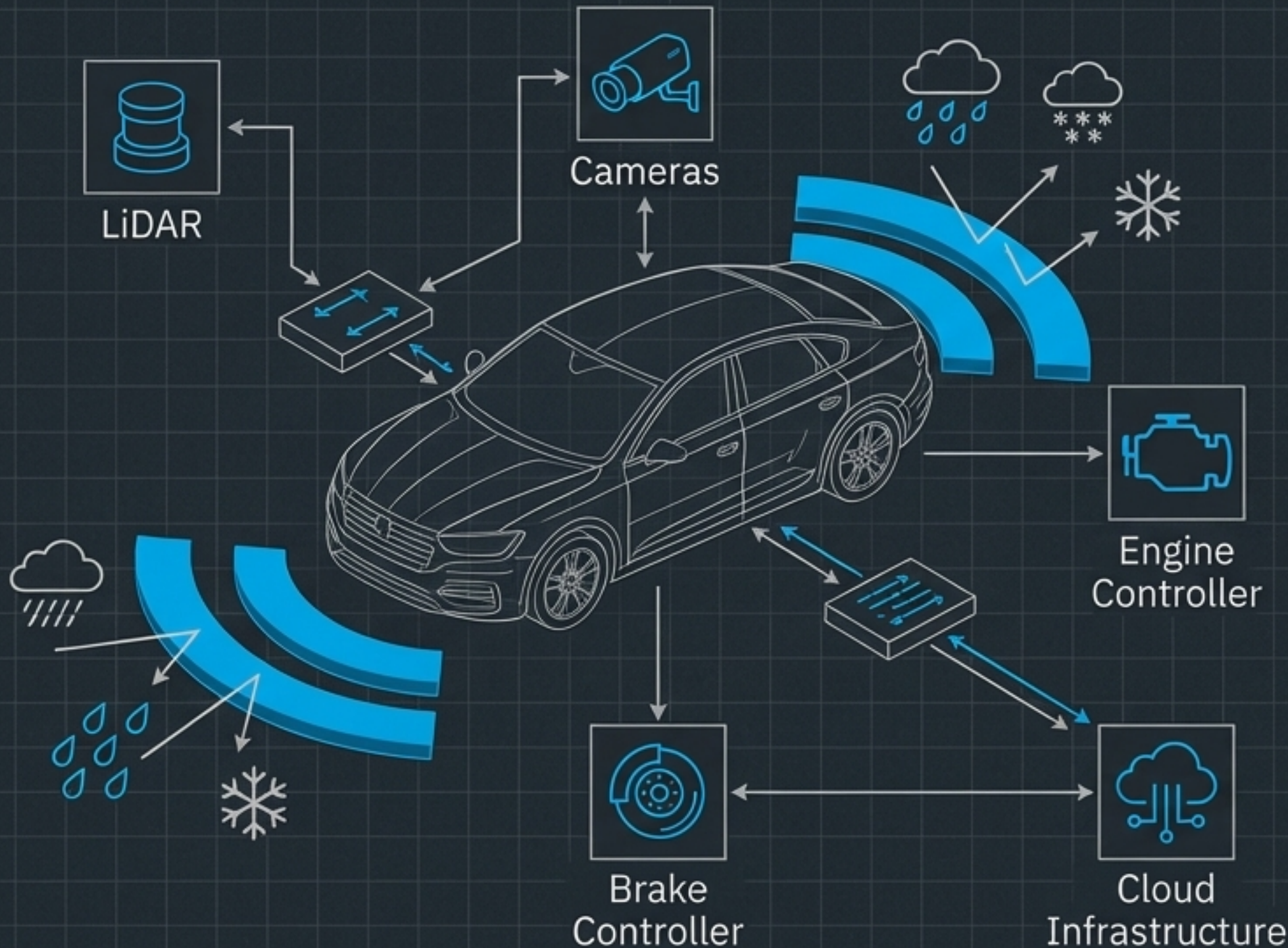
## Level 4: High Automation (ระบบจัดการตัวเองเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน)



จุดสิ้นสุดของการพึ่งพามนุษย์ในสถานการณ์จำกัด: ระบบสามารถจัดการการขับขี่ได้ทั้งหมดใน ODD ที่กำหนด

วิวัฒนาการของการส่งคืนการควบคุม (System Self-Management): หากระบบร้องขอแล้วมนุษย์ไม่ตอบสนอง ระบบต้องมีอัลกอริทึมในการนำรถเข้าสู่สภาวะปลอดภัยขั้นต่ำได้เอง เช่น การลดความเร็วและจอดเทียบไหล่ทางอย่างปลอดภัย

# Level 5: Full Automation (สถาปัตยกรรมอัตโนมัติสมบูรณ์แบบ)

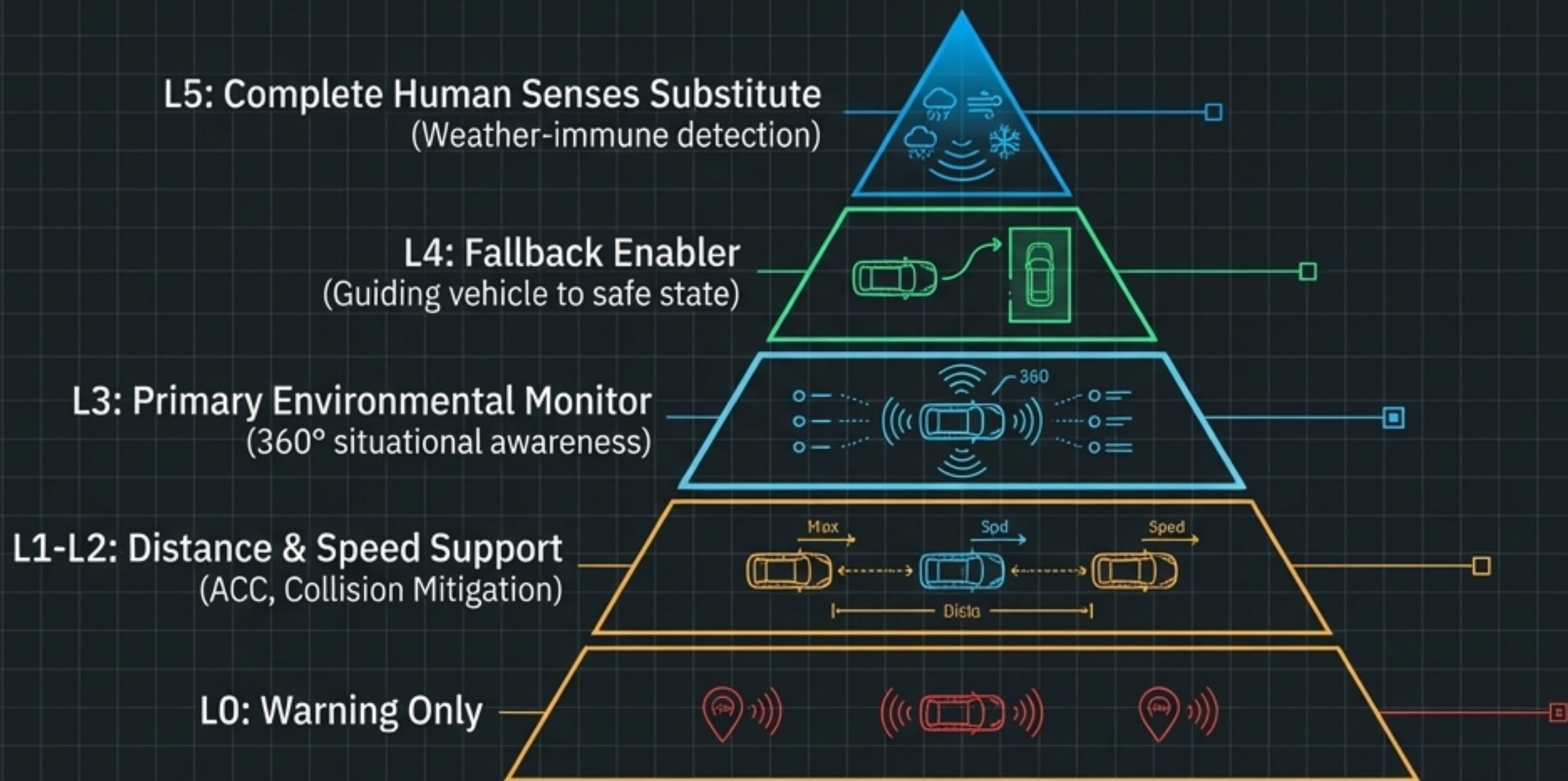


อิสระสูงสุด:  
ไม่ต้องการการแทรกแซงจากมนุษย์ใน  
ทุกสภาพถนน ทุกความเร็ว  
และทุกสภาวะแวดล้อม  
Human driver is not required.

**Radar as the Ultimate Enabler:**  
เรดาร์ไม่ใช่แค่อุปกรณ์เสริม (Assist)  
แต่คือเทคโนโลยีรากฐาน (Enabling  
Technology) ที่ช่วยให้ยานยนต์  
มองเห็นทะลุข้อจำกัดของทัศนวิสัย  
ที่กลบหรือสายตามนุษย์ทำไม่ได้

# วิวัฒนาการเชิงสถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีเรดาร์

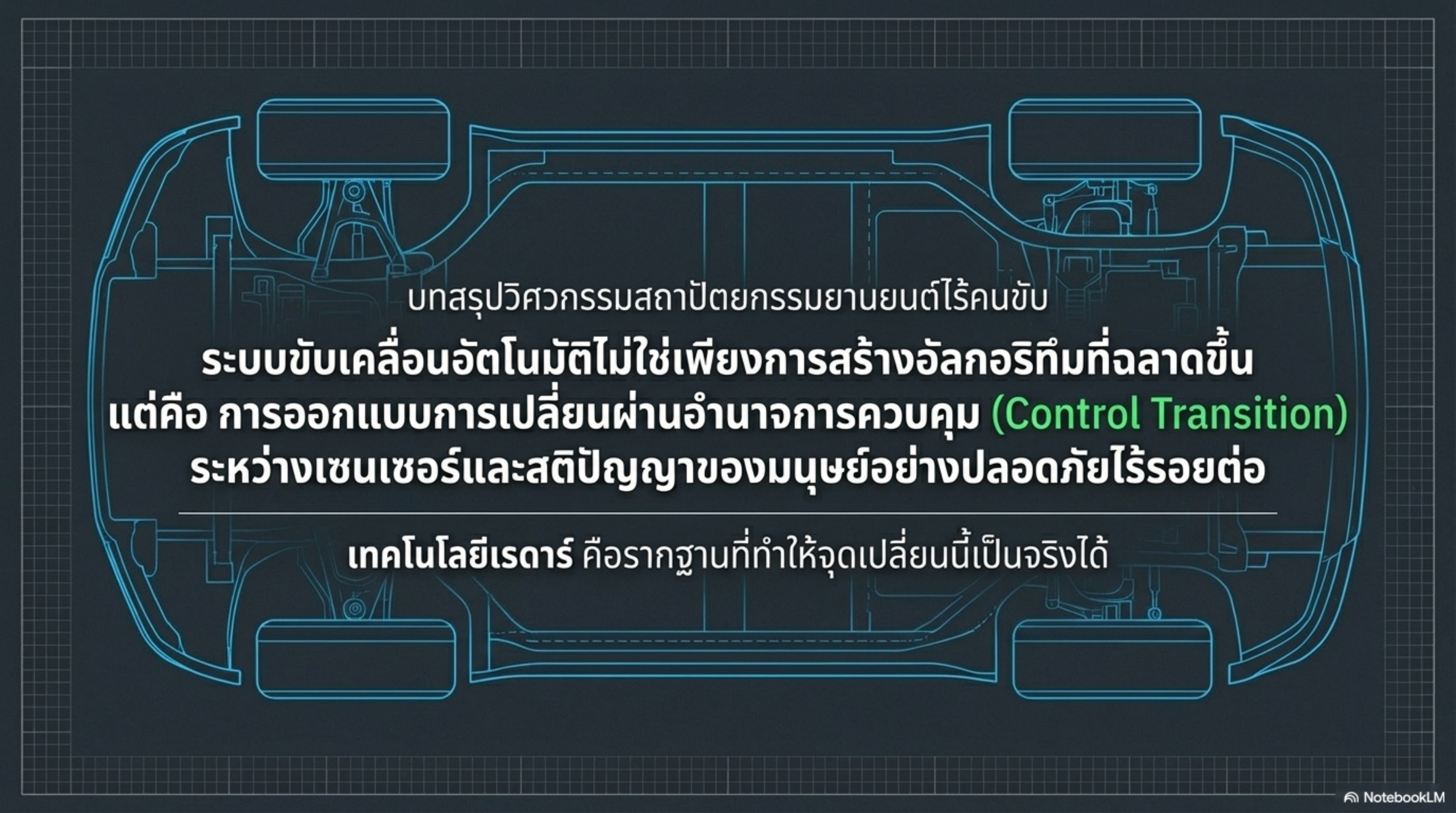
การยกระดับจาก สัญญาณเตือน สู่ แกนกลางการตัดสินใจ



การออกแบบรูปคลื่น (Waveform) และสายอากาศ (Antenna)  
ต้องซับซ้อนขึ้นตามความรับผิดชอบของระบบเพื่อรักษาความแม่นยำในสภาวะที่มีสัญญาณรบกวนสูง

# สรุปสถาปัตยกรรมการแบ่งหน้าที่ (SAE J3016 Engineering Cheat Sheet)

Level	ผู้ควบคุมหลัก (Main Controller)	การเฝ้าระวัง (Monitoring)	กลไกฉุกเฉิน (Fallback)	บทบาททางเทคนิคของเรดาร์
Level 0	มนุษย์	มนุษย์	มนุษย์	ตรวจจับเพื่อส่งสัญญาณเตือน
Level 1	มนุษย์ (ช่วยบางส่วน)	มนุษย์	มนุษย์	เน้นการคำนวณระยะทาง
Level 2	ระบบและมนุษย์ร่วมกัน	มนุษย์	มนุษย์ทันที (Immediate)	สนับสนุนการควบคุมความเร็ว/ทิศทาง
Level 3	ระบบ	ระบบตรวจรู้	มนุษย์ (หลังแจ้งเตือน Buffer)	รับผิดชอบการเฝ้าระวังสภาพแวดล้อม แทนมนุษย์
Level 4	ระบบ	ระบบตรวจรู้	ระบบจัดการเอง (Self-Managed)	ควบคุมและจัดการสถานะ Fallback
Level 5	ระบบ	ระบบตรวจรู้	ระบบจัดการเอง	Enabler ทดแทนผู้ขับขี่ในทุกสถานะ



บทสรุปวิศวกรรมสถาปัตยกรรมยานยนต์ไร้คนขับ

**ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติไม่ใช่เพียงการสร้างอัลกอริทึมที่ฉลาดขึ้น  
แต่คือ การออกแบบการเปลี่ยนผ่านอำนาจการควบคุม (Control Transition)  
ระหว่างเซนเซอร์และสติปัญญาของมนุษย์อย่างปลอดภัยไร้รอยต่อ**

**เทคโนโลยีเรดาร์** คือรากฐานที่ทำให้จุดเปลี่ยนนี้เป็นจริงได้