

核心感測器技術變革： 從 3D 到超高維的演進

編輯部整理

在 2025 年至今這一技術爆發期，車用感測器的物理極限被不斷刷新。研發工程師的關注點已從單純的“距離探測(3D)”轉向“全保真環境重構(超高維)”。本文將深度拆解雷射雷達、毫米波雷達及視覺感測器在這一階段的技術突破。

雷射雷達 (LiDAR)：從“堆疊線數”到“圖元革命”

2025 年起，雷射雷達 (LiDAR) 產業正式告別了以 128 線、192 線為代表的模擬時代，全面進入以“千線級”點雲和“像素化”感測為核心的數位時代。

千線級點雲與雙光路成像

2026 年初，華為與速騰聚創 (RoboSense) 的技術競爭將 LiDAR 的解析度推向了新高。

●華為 896 線雙光路 LiDAR：這款量產產品通過產業首創的雙光路專利技術，整合了廣角 (120° FOV) 與遠瞄兩套接收單元。其點雲密度是主

流 192 線產品的 4 倍，感測精度從 720P 標清躍升至 4K 超高清水平。

○工程表現：在 120m 距離處能識別僅 14 釐米高的障礙物，遠距離輪胎檢測達 122m，為高速行駛提供了 3 秒以上的預警時間。

●速騰聚創 MX/Phoenix 平臺：2026 年量產的 Phoenix 晶片原生支援 2160 線點雲，輸出解析度等效於 400 萬像素，探測距離延伸至 600m。在 10% 反射率下的測距能力也達到了 300m，遠超 2024 年的產業平均水準。

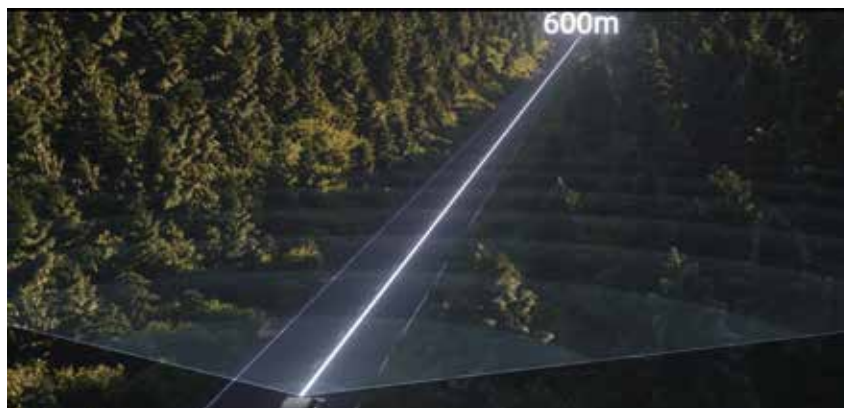
SPAD-SoC：LiDAR 的數字心臟

2025 年後，雷射雷達架構完成了從離散類比元件向 SPAD-SoC (單光子雪崩二極體系統級晶片) 的模式轉移。

●實體層優勢：通過在 28nm 車規級製程上整合數千個單光子探測器，晶片面積減小了 40%，功耗降低了 30%。

●光子探測效率 (PDE)：全球領先水準已達到 45%，這使得 LiDAR 能夠在極低功耗下捕捉到微弱的回波信號，極大地提升了暗光和惡劣天氣下的強固性 (Robustness)。

圖說：速騰 EM4 1080 線，超長距離數字激光雷達



圖片來源：robosense.cn

5D/6D 全彩雷達：攻克“色盲”難題

2026 年 4 月至今，Hesai 與 Ouster 先後發佈了具備顏色感知的 LiDAR 產品。

- Hesai Picasso 晶片：這是全球首款將 RGB 可見光感測直接整合進 SPAD-SoC 的晶片。它讓 LiDAR 在測量空間距離的同時，能夠獲取物體的顏色資訊。
- 技術公式邏輯：感測器不再僅僅接收 905nm 或 1550nm 的鐳射回波，還同步捕捉環境可見光。這意味著車輛能直接通過雷達點雲“看清”交通標誌、制動燈狀態，解決了 LiDAR 在分類物體時的語義缺失痛點。

毫米波雷達：4D 成像的普及與 5D 維度的萌芽

毫米波雷達 (mmWave Radar) 在 2025-2026 年間經歷

了最徹底的地位反轉：從視覺的“配角”進化為全天候感知的“底座”。

4D 成像雷達的維度昇華

傳統毫米波雷達僅能提供距離 (Range)、速度 (Velocity)、方位 (Azimuth) 三個維度的資訊。2025 年普及的 4D 成像雷達增加了高度 (Elevation) 探測。

- 角解析度突破：利用 MIMO (多輸入多輸出) 天線陣列，4D 雷達的方位角解析度已壓縮至 1° 以內，高度解析度達到 2° 左右。
- 解決“限高杆”悖論：增加高度資訊後，雷達能清晰區分路面上靜止的行人與上方橫跨的立交橋，解決了傳統雷達誤觸發 AEB (自動緊急制動) 的核心技術缺陷。

5D 雷達：深度學習驅動的穩定性變革

2026 年，森思泰克

(sinPro) 等廠商提出的 5D 雷達概念開始進入測試。5D 雷達在 4D 維度的基礎上，引入了基於深度學習的“目標分類穩定性”維度。

- 工程痛點解決：解決了 4D 成像雷達容易將大型卡車誤判為多個離散動點，以及在極低速下將慢行車輛識別為靜止目標的產業難題。5D 雷達利用端到端神經網路對雷達原始信號進行處理，分類準確率提升了約 25%。

衛星雷達架構 (Satellite Architecture)

2026 年 CES 展會上，Aptiv 展示了革命性的“衛星雷達”方案。

- 硬體去中心化：雷達端僅保留射頻 (RF) 和前端處理，將複雜的信號處理 (如 FFT 運算) 上移至中央計算平臺。
- 性能提升：通過專用硬體加速器 (如 TI 的 Vision 4DR)，FFT 計算速度比傳統方案快 3.7 倍。這種架構不僅減輕了車身重量 (約 8.5 公斤)，還實現了感測器間的微秒級同步。

視覺技術：仿生視覺 (Biologically Inspired Vision) 與 LOFIC 極廣動態

2025-2026 年，視覺傳感

圖說：Hesai Picasso 全彩激光雷達



圖片來源：www.hesaitech.com

技術已不滿足於像素的增加，而是向人類視網膜甚至生物複眼的機理演進。

仿生攝像頭 (Bionic Camera)

由韓國 KAIST 等機構推動的仿生視覺在 2026 年首次上車樣機演示。

- 超高幀率：支持高達 9120 fps 的幀率，能夠捕捉比傳統高速相機暗 40 倍的物體。
- 複眼結構：厚度小於 1mm，採用多通道光學設計，通過時間累積大幅提升信噪比 (SNR)，能即時重構無運動模糊的高清圖像。

LOFIC (Lateral Overflow Integration Capacitor, 橫向溢出積分電容) 技術：終結“隧道盲區”

2025 年下半年，三層疊層 CMOS LOFIC 技術在大模組 8MP 攝像頭中得到大規模應用。典型產品有 OMNIVISION 發佈的搭載 TheiaCel 技術的 OX08D20 800 萬像素 (MP)

圖說：OMNIVISION 發佈的搭載 TheiaCel 技術的 OX08D20 800 萬像素 (MP) CMOS 圖像傳感器



圖片來源：ovt.com

CMOS 圖像傳感器，這類型攝像頭具備：

- 動態範圍 (HDR)：其動態範圍突破了 140dB。
- 應用場景：在進出隧道時，傳統感測器會產生約 2-3 秒的曝光調整期，而 LOFIC 技術能在單幀內同時看清強光下的路面與陰影裡的物體，消除了自動駕駛中最危險的“致盲”視窗期。

邊緣模態：太赫茲 (THz) 與長波紅外 (LWIR)

太赫茲視覺傳感：橋接雷達與 LiDAR

2026 年 CES 亮相的 Teradar Summit 感測器填補了釐米波雷達與雷射雷達之間的頻譜空白。

- 特性：其頻率處於 0.1-10 THz 之間，既具備雷達穿透濃霧的能力，又具備 LiDAR 對物體材質 (如冰、雪、水) 的識別能力。

長波紅外 (LWIR)：生命體征識別冗餘

睿創微納 (Raytron) 在 2026 年北京車展展示了 8 μ m 像素間距的熱成像相機。在 L3 級自動駕駛的感知冗餘 (redundancy) 中，紅外感測器因不依賴光照、僅對熱量敏感，成為識別行人及野生動物的“最後一道防線”。

技術變革展示了一個清晰

的工程趨勢：感測器正在從“單一物理參數採集器”進化為“多維資訊處理器”。LiDAR 在追求圖元化，雷達在追求成像化，而視覺在追求仿生化。這種“超高維”趨勢的核心驅動力是端到端 AI 模型對高品質、多模態原始資料的巨大胃口。

新型感測器的引入：喚醒車輛的“五感”

在 2025 年至今期間，汽車感知系統的研發重心發生了一次深刻的位移：從單純的“車外安全感知”向“全場景、多維度體驗感知”跨越。甚至有研發工程師表示，觀察到車輛正在通過一系列新型感測器的引入，建立起類似生物的“五感”——不僅能看、能聽，甚至能感應生命體征與空氣成分。

聽覺系統：讓 AI 具備“辨聲避險”能力

在 2026 年的城市高階智駕測試中，傳統的視覺感知系統在面對轉角處的緊急車輛 (救護車、消防車) 時，往往因為遮擋而產生感知延遲。

2025-2026 年，以 Sensory 和華為為代表的廠商推動了車載拾音陣列 (Microphone Array) 的量產。

- 硬體佈局：在車身四周 (通常整合於後視鏡或 B 柱內) 佈置 3 至 4 顆高動態範圍 (HDR) 麥克風，形成外部聽覺空間。

- **AI 演算法突破**：引入了基於音訊 Transformer (Audio Transformers) 的識別模型。該系統不僅能過濾風噪和胎噪，還能在 0.25 秒內識別出 200m 外的警笛聲，準確率高達 98% 以上。
- **工程應用案例**：華為 ADS 4.1 系統利用聽覺感測器實現了“救護車自動讓行”功能。當車輛“聽”到後方警笛並結合聲源定位判斷出軌跡後，會主動在 NOA 狀態下執行變道避讓，解決了單純依靠視覺識別警燈的滯後性問題。

醫療級艙內感知：從監控到“數字醫生”

2026 年歐洲 NCAP 新規對座艙監測 (DMS/OMS) 的要求從“疲勞檢測”升級為“狀態診斷”，這催生了一批醫療級感測器的上車。

2025 年起，利用 UWB(超寬頻) 或 60GHz 毫米波雷達進行非接觸式監測成為產業標準方案。

- **微動探測技術**：系統能通過胸腔微小的起伏 (甚至透過毛毯) 檢測到乘客的呼吸頻率與心率。
- **Gentex 六座演示方案**：在 2026 年 CES 展出的方案中，單一雷達模組可同時追蹤車內 6 名乘客的體征。更先進的是，系統能識別“猝發疾病”(如癲癇、中風)，並在檢

測到駕駛員失去意識後，立即觸發 L3 級系統的最小風險操縱 (MRM)，將車輛安全停靠路邊。

酒精與行為障礙檢測

Smart Eye 在 2026 年推出的即時酒精障礙檢測系統徹底改變了監管邏輯。

- **眼動微震顫分析**：不再需要吹氣，系統通過攝像頭追蹤眼球和眼瞼的細微協同變動。AI 模型經過成千上萬組醉酒酒資料訓練，能精準識別出受損的認知狀態，並在合規層面滿足了美國 HALT 法案的要求。

太赫茲 (THz) 視覺：填補光譜空白

2026 年，太赫茲感測器首次從實驗室走向乘用車市場。

由 Teradar 在 2026 年 CES 首發的太赫茲視覺感測器，被譽為感知界的“全能選手”。

圖說：全球首款面向高級駕駛輔助系統和自動駕駛的太赫茲視覺感測器



圖片來源：teradar.com

- **介於雷達與鐳射之間**：太赫茲波段 (0.1-10 THz) 既能像雷達一樣穿透濃霧、暴雨，又具備類似雷射雷達的高空間解析度。
- **材質識別能力**：這是該感測器的殺手鐮。它能識別道路表面的材質變化，例如區分遠處路面上的是“積水”還是“黑冰”，從而讓底盤控制系統提前調整阻尼和驅動力矩。

仿生視覺與 LOFIC 技術：極限光影下的統治力

2026 年，韓國 KAIST 和東京科學大學合作研發的仿生視覺系統實現了小規模量產。

- **超高幀率**：支持高達 9120 fps 的幀率。在高速行駛 (如 120km/h) 中，這種感測器能捕捉到飛濺石塊的清晰軌跡，完全消除了傳統攝像頭存在的運動模糊 (Motion Blur)。
- **極致形態**：厚度不足 1mm，採用複眼陣列設計，使其能夠無縫嵌入到擋風玻璃或車身

飾板內。

LOFIC 帶來的 140dB 動態範圍

2025 年上車的 8MP 大模組普遍採用了 LOFIC(橫向溢出積分電容) 技術。

- 解決隧道黑洞效應：在進出隧道時，光照強度變化可能超過 10,000 倍。LOFIC 感測器通過在像素內增加電容，確保在高亮區域不致盲、在暗部區域有細節，動態範圍首次突破 140dB，這對於端到端 AI 模型的特徵提取至關重要。

UWB 替代超聲波：感知的“極致融合”

2026 年款的理想 (Li Auto) L9 Livis 展示了一個激進的工程趨勢：取消全車超聲波雷達開口。

- UWB 近場感知：利用分散式的 UWB 錨點，車輛不僅實現了釐米級的數位鑰匙定位，還利用 UWB 的測距能力替代了保險杠上的超聲波孔位。
- 設計美學與維護：這種“無孔化”設計不僅提升了整車風阻效能 (CD 值)，還避免了北方冬季冰雪覆蓋超聲波導致泊車功能失效的痛點。

嗅覺系統：環境與健康的全天候哨兵

2026 年，車內空氣品質感

圖說：車內空氣質量檢測示意圖片



圖片來源：AI 生成

測器從簡單的 PM2.5 檢測演變為全譜氣體分析儀。

- 三合一模組：整合 CO2、VOC (揮發性有機化合物) 和 PM2.5 感測。
- AI 聯動 HVAC：當 AI 通過 DMS 發現駕駛員出現頻繁打哈欠，且 CO2 感測器讀數超過 1000ppm 時，空調系統會自動切換至外迴圈並開啓香氛提神模式，實現了感知與決策的閉環。

感測器“跨界”的魅力：2025-2026 年的汽車不再是冰冷的機器，而是一個充滿感官活力的“生命體”。通過聽覺感測、非接觸生命體征監測和太赫茲視覺的引入，車輛補齊了傳統感知的短板。對於研發工程師而言，挑戰在於：如何將這些非視覺、非結構化的異構資料，通過端到端 AI 模型進行對齊？

AI 重塑感測器的數字靈魂：演算法與算力的雙重躍遷

在 2025 年至今期間，汽車工業經歷了一場從“硬體堆疊”向“物理 AI (Physical AI)”驅動的範式轉移。感測器不再是單純的資料獲取工具，而是深度神經網路的感官延伸。本章將探討端到端大模型、佔用網路 (Occupancy Network) 以及超過 1000 TOPS 的算力平臺如何共同重塑感知系統的“數位靈魂”。

端到端 (End-to-End) 驅動：感知與決策的界限消融

2025 年被稱為自動駕駛的“端到端元年”。傳統的智駕架構——即感知、預測、規控 (PNC) 三個獨立模組的線性級聯——正在被一個統一的深度

神經網路所取代。

以特斯拉 (Tesla) 在 2026 年初發佈的 FSD (Supervised) v13.2 和華為乾昆 ADS 3.0 為代表，智駕系統實現了從“邏輯推理”向“人類直覺”的跨越。

- 性能飛躍：根據匿名車隊遙測資料，端到端架構在城市環境中的關鍵脫離 (Critical Disengagement) 頻率相比傳統 v12 基準降低了 40%。
- 延遲優化：通過 AI 演算法與感測器陣列的深度整合，感知資料的處理延遲從早期的 100 毫秒級壓縮至 42ms，系統整體響應效率提升了 31%。
- 工程邏輯：模型直接攝取攝像頭原始像素 (RAW) 和雷達原始信號，通過全域空間注意力機制 (Global Spatial Attention) 輸出行駛軌跡，避免了模組間傳遞時產生的“資訊損耗”。

佔用網路 (Occupancy Network) 與 3D 體素革命

在處理城市複雜路況時，最大的難題在於識別“異形障礙物”(Unknown Unknowns)。2025-2026 年，佔用網路技術正式成為產業標配，解決了系統對未訓練物體的感知盲區。

通用障礙物識別：

- 體素化重構：系統不再糾結前方物體是“側翻的貨車”還是“散落的紙箱”，而是將

3D 空間劃分為數以億計的微體素 (Voxel)。只要體素被佔據，AI 即判定為不可通過區域。

- 感知精度：最新的佔用網路模型包含超過 4.5 億個參數。它不僅能勾勒出物體的幾何輪廓，還能預測物體的運動趨勢 (4D Occupancy)，誤報率 (False Positive) 相比前代系統下降了 42%。

視覺語言模型 (VLM) 與 VLA：賦予車輛“常識”

2026 年 5 月，智駕系統的核心戰場已轉移到語義理解。大語言模型 (LLM) 與視覺模型融合產生的視覺語言行動模型 (VLA) 開始上車。

語義推理與場景決策：

- 邏輯案例：當車輛感測到路邊有一個滾動的皮球時，傳統的感知系統僅能識別皮球；

而整合 VLA 的系統能夠推理出“皮球後可能有小孩跑出”這一常識，並主動執行減速備考。

- 模型結構：典型的 VLA 模型 (如 Pi-0.5) 由三個階段組成：負責圖像編碼的 Vision Transformer (SigLIP)、負責理解場景的 2B 級語言模型 (如 Gemma 2B)，以及負責動作生成的專家網路。
- 多模態融合：大模型不僅處理視頻，還統一表徵文本、語音、地圖和動作，使單一模型能同時處理感知、規控與自然語言交互。

1000+ TOPS 時代的算力底座

要驅動上述超大規模神經網路，車載計算平臺的算力在 2025-2026 年迎來了爆發式增長。

圖說：大語言模型 (LLM) 與視覺模型融合產生的視覺語言行動模型 (VLA) 開始上車



圖片來源：AI 生成

表：跨越了 500 TOPS 門檻的單晶片算力

晶片型號	發佈 / 量產時間	核心算力 (TOPS)	關鍵特性
NVIDIA DRIVE Thor	2025/2026	2,000	採用 Blackwell 架構，支援 FP4 精度的物理 AI 推理
地平線 (Horizon) 征程 6 (Starry)	2026	650	5nm 製程，原生支援艙駕一體化模型
Qualcomm Ride Elite	2026	1,000+	異構計算，支援複雜的智慧體 (Agentic AI) 負載
華為 昇騰 (Ascend) 610	2025	160-400+	針對端到端模型優化的專用 NPU 架構

編輯部整理

2026 年量產車型中，單晶片算力普遍跨越了 500 TOPS 的門檻，甚至觸及 2000 TOPS。

功耗與熱管理挑戰：高性能伴隨著極高的功耗。NVIDIA Jetson/DRIVE Thor 的典型運行功耗可達 120W-130W，遠超早期嵌入式設備的 20W 標準。這迫使 2026 款車型在研發階段必須引入專門的液冷系統來保障感知演算法的穩定運行。

智能體 (Agentic AI)：座艙內的感知進化：AI 對感測器的重塑不僅局限於駕駛，還延伸至艙內，實現了從“被動回應”向“主動代理”的轉變。

擬人化交互 (Anthropomorphic AI)：2026 年的智慧座艙系統 (如 Harmony Space 6、大眾 AI Agent) 已不再是被動執行語音指令的機器。

● 意圖預測：通過追蹤乘客的視線 (Gaze Tracking) 和手勢，AI Agent 能主動詢問：“你是在看路邊的那個地標嗎？”並即時展示相關背景資訊。

● 健康閉環：當內座艙感測器檢測到駕駛員壓力過大或情緒激動時，AI 會自動調整環境

光、播放舒緩音樂並主動降低駕駛輔助系統的介入閾值。演算法決定了感測器的上限，而算力決定了演算法的邊界。2025 年至 2026 年端到端大模型和佔用網路的普及，讓感測器資料不再是碎片化的像素，而是連貫的物理常識。對於研發工程師而言，未來的挑戰在於如何在有限的車載電力與散熱條件下，部署參數量更大的模型。

2026-2030 感知技術預測

將目光從 2026 年 5 月的當下移向更為深遠的 2030 年。在經歷了 2025-2026 年的“效能閉環”期後，全球汽車感測器行業正站在一個從“輔助駕駛 (ADAS)”向“完全無人駕駛 (L4/L5)”以及“擬人化移動空間 (Anthropomorphic Mobility)”跨越的門檻上。

在過去的 18 個月中，感測器領域發生了三次關鍵的範式轉移：

1. 從類比到數位的“像素革命”：雷射雷達 (LiDAR) 徹底擺脫了單純的“堆線”競爭，通過 SPAD-SoC 架構實現了千線級、甚至像素級的成像能

力。

2. 從碎片到集中的“架構重塑”：區域架構 (Zonal Architecture) 的量產，使得“衛星式感知”成為現實，感測器端去腦化、資料流程在中央算力平臺進行信號級融合。
3. 從邏輯到直覺的“物理 AI”：端到端模型 (End-to-End) 與佔用網路 (Occupancy Network) 的普及，讓感測器資料不再是孤立的標籤，而是構建三維體素世界的基石。

感知技術演進路線預測

基於當前研發前沿與供應鏈動態，我們預測未來四年的技術演進將遵循以下三個階段：第一階段 (2026-2027)：相干感知與全彩重建的普及

● FMCW LiDAR 的主流化：相干光探測 (FMCW) 將憑藉瞬時速度測量 (4D 感知) 和對環境光的高免疫力，逐步進入乘用車市場。預計到 2028 年，其市場規模將達到 34 億美元。

● 全彩點雲 (Color LiDAR)：如 Hesai Picasso 晶片和

Ouster Rev8 所展示的，LiDAR 將具備原生的 RGB 感知能力。這意味著 AI 模型可以直接在點雲上讀取剎車燈信號、交通標誌語義，而無需與攝像頭進行複雜的空間對齊。

- 5D 雷達的大規模裝車：通過在 4D 成像雷達中引入目標分類的深度學習維度，5D 雷達將有效解決複雜路口中大型物體的“重影”與“虛假運動”問題。

第二階段 (2027-2028)：座艙感知向“數字生命”進化

- Agentic AI 的全面接管：座艙感知不再是被動的，而是基於 VLA (視覺 - 語言 - 行動) 模型的主動代理。大眾與高通展示的 Agentic 方案將能夠預判乘客需求，通過 DMS/OMS 資料感知情緒變化並主動調整車輛狀態。
- 非接觸式醫療級監測成為標

配：隨著 UWB 與毫米波雷達的融合，車輛將能夠即時監測全車乘客的細微體征，如呼吸微變、心率變異率 (HRV)。系統將具備識別突發心梗或中風的能力，並在第一時間觸發 MRM (最小風險操縱) 停車救援

- 嗅覺與聽覺的深度融合：車外拾音陣列將從簡單的警笛識別進化為環境聲學建模，甚至能通過聲音檢測到隱蔽角落裡非機動車的運動軌跡。

第三階段 (2029-2030)：V2X 成為“上帝視角的超感器”

- 88% 的碰撞消除潛力：隨著全球 V2X (車聯網) 基礎設施的成熟，通信將成為一種特殊的“感測器”。研究表明，V2X 能解決攝像頭和雷達無法處理的非視距 (NLOS) 盲區問題，潛在消除高達 88% 的車輛碰撞。
- 分散式協作感知：2030 年的

自動駕駛將不再依靠單車的“孤勇”，而是通過雲端和基礎設施共用感知。車輛將直接接收前方 500m 處紅綠燈的狀態和橫穿行人的座標，感知距離從百公尺級擴展至公里級。

感測器從“看清世界”向“理解世界”

汽車研發工程師最終追求的不是感測器參數的極限，而是感知的“透明化”。在 2030 年的願景中，乘客無需關心車輛搭載了多少線雷射雷達或多少圖元的攝像頭。感知系統將像人類的神經系統一樣，安靜且精準地運作，將每一份海量原始資料轉化為對生命的敬畏與保護。

我們正處於這場物理 AI 革命的半途。未來的四年，將是感測器從“看清世界”向“理解世界”完成驚險一躍的關鍵期。

CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>