

# 汽車感測器融合技術： 從碎片化到中央計算

編輯部整理

2025 年至今，全球汽車產業正經歷電子電氣 (E/E) 架構的根本性重構，這一變革的核心驅動力來自 L2+ 至 L3 級自動駕駛功能的大規模普及。當前，主流智慧駕駛車型的單車感測器數量已普遍突破 30 個，包括 8-12 顆高清攝像頭、4-6 顆毫米波雷達、1-3 顆雷射雷達以及數十顆超聲波感測器，每日產生的資料量超過 10TB。傳統的分散式 ECU 架構和網域控制站架構已無法應對 "資料海嘯" 的挑戰，物理極限日益凸顯。

產業正加速從 "功能定義" 向 "區域 (Zonal) 定義" 架構轉型，這一變革不僅解決了長期存在的感測器碎片化、線束複雜、集成困難等問題，更從根本上重塑了車輛的物理與數位元元骨架。

## 區域架構：重塑汽車電子物理骨架

2025 年被全球汽車產業公認為區域架構的 "量產元年"。在傳統分散式架構下，每個感測器和執行器都配備獨立的處

圖說：全面數位化的汽車



圖片來源：bmwgroup.com

理晶片和專用通信協定，導致整車 ECU 數量超過 100 個，線束總長度超過 5 公里，重量超過 50 公斤。而區域架構通過在車輛物理位置上設置區網域控制站 (Zonal Controller)，實現了信號的集中收割與初步預處理，從根本上改變了汽車電子系統的拓撲結構。

根據 Aptiv 在 2026 年 3 月發佈的《區域架構量產白皮書》，這一技術已從概念驗證階段進入大規模量產應用，並

且正在從簡單的 ECU 減量向全面的電源與資料整合方向演進。在某主流合資品牌的最新純電平臺量產車型中，通過採用 4 區網域控制站架構 (前左、前右、後左、後右)，成功移除了 9 個專用 ECU，整車線束長度縮短了 40%-60%，減重達 8.5 公斤。更為顯著的是，車門樞處的線束橫截面從傳統架構的 8.6 平方公分壓縮至 2.41 平方公分，為電池包佈置和座艙空間優化釋放了寶貴的物理空間。

2026 年的區網域控制站 (VIU) 已不再是簡單的闢道設備，而是演變為具備強大計算能力和功能安全保障的智慧節點。它們普遍採用支援硬體隔離的多核 SoC 晶片，典型代表包括恩智浦 (NXP) S32G399 和德州儀器 (TI) TDA5VM。這些晶片能夠同時處理 ASIL-D 級別的剎車指令、轉向控制等安全關鍵任務，以及車燈控制、車窗升降、座椅調節等非安全級任務。作為 "感測器聚合器"，區網域控制站將來自攝像頭、雷達、超聲波等不同感測器的類比信號統一轉換為數位流，通過車載乙太網骨幹網上傳至中央計算平臺，實現了資料格式的標準化和傳輸的高效化。

### 應用案例：寶馬 BMW Neue Klasse 平臺

BMW 在 2025 年 9 月量產的 Neue Klasse 純電平臺是全球首個全面採用區域架構的豪華車平臺。該平臺採用 "中央計算單元 + 4 個區網域控制站" 的拓撲結構，將整車 ECU 數量從傳統的 120 個減少至 35 個，線束總長度縮短了 50%，減重 12 公斤。每個區網域控制站負責對應物理區域內所有感測器和執行器的信號處理與控制，中央計算單元則負責智慧駕駛、座艙娛樂和整車控制等核心功能。通過區域架構，寶馬實現了整車軟體的統一 OTA 升級，升級時間從原來的數小時縮短至 20 分鐘以內。

### 衛星式感知：感測器的 "去腦化" 趨勢

為了進一步降低系統成本、減少功耗並提升融合精度，汽車產業正在加速推進感測器的 "去腦化" 進程，即衛星式感知架構。這一趨勢雖然在初期引發了關於即時性和可靠性的爭議，但目前已成為產業公認的主流技術方向。其核心思想是將感測器端的處理邏輯上移至中央計算平臺，感測器端僅保留最基本的信號採集功能 (射頻或光電轉換)。

衛星雷達是這一趨勢的典型代表。在 2026 年國際消費電子展 (CES) 上，Aptiv 與德州儀器聯合展示了最新的衛星雷達解決方案。該方案將傳統雷達中的數位信號處理 (DSP) 模組完全移除，雷達端僅保留射頻晶片 (RFIC) 和天線，將快速傅裡葉變換 (FFT)、目標檢測、跟蹤等重度計算任務全部交由中央控制器完成。這一設計帶來了顯著的工程優勢：單個雷達節點的體積縮小了 40%，功耗降低了 35%，並且徹底解決了傳統雷達在保險杠內的散熱難題。

更為重要的是，衛星式感知架構實現了真正意義上的原始資料級融合。傳統雷達輸出的是經過本地處理後的點雲資料，每幀約 0.064MB，大量原始資訊在本地處理過程中已經丟失。而衛星架構輸出的是

圖說：搭載 BMW 作業系統 X 的新款 BMW Panoramic iDrive



圖片來源：bmwgroup.com

未經處理的原始 ADC (模數轉換) 資料，每幀高達 6MB，信息量提升了近 100 倍。NVIDIA DRIVE Thor 中央計算平臺已率先支持直接攝取多路雷達的原始 ADC 資料，並在中央平臺進行統一的信號處理和融合。通過這種方式，系統能夠有效消除多徑幹擾，將目標檢測的信噪比提升 3-6dB，顯著改善了對弱小目標和複雜環境的感知能力。

### 應用案例：特斯拉 Cybertruck 4D 成像雷達系統

特斯拉在 2025 年 11 月推出的新款 Cybertruck 搭載了全球首個量產的衛星式 4D 成像雷達系統。該系統由 1 個中央雷達處理單元和 4 個衛星雷達節點組成，每個衛星雷達節點

僅包含射頻前端和天線，所有信號處理均由中央計算單元完成。通過原始資料級融合，該系統能夠同時跟蹤超過 200 個目標，探測距離達到 500m，角度解析度達到 1°，能夠清晰識別道路上的行人、自行車、錐桶等小目標。相比傳統雷達，該系統的成本降低了 40%，體積縮小了 50%，並且能夠通過 OTA 升級不斷提升性能。

### 高速通信網路：支撐海量資料傳輸的“高速公路”

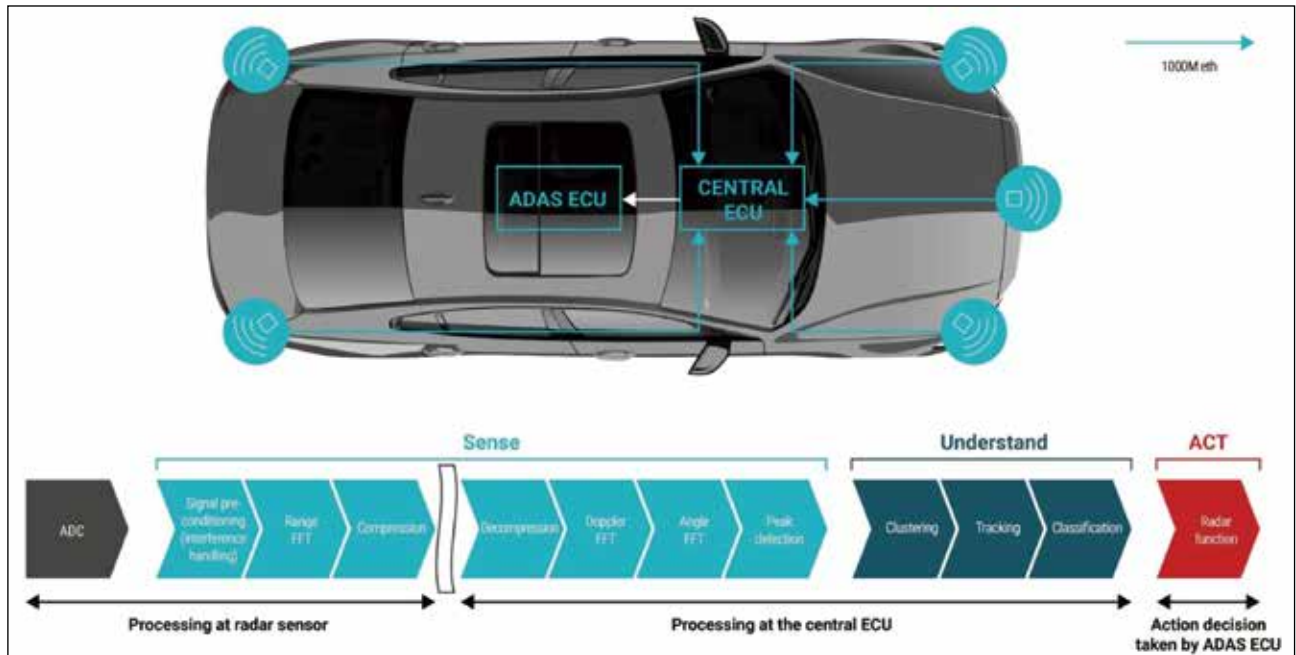
衛星式感知和原始資料級融合對車載通信網路提出了前所未有的要求。傳統的 CAN 匯流排 (1Mbps) 和 FlexRay 匯流排 (最高 10Mbps) 已完全無法

滿足需求，2025-2026 年，汽車通信層迎來了物理極限的重大突破。

基於 IEEE 802.3ch 標準的 10Gbps 單對遮罩雙絞線以太網在 2026 年正式成為 L3/L4 級自動駕駛車型的骨幹網路標準。頻寬需求的增長主要來自於高解析度攝像頭的普及：單顆 800 萬像素攝像頭產生的原始資料流程高達 3.5Gbps，而一輛 L3 級自動駕駛汽車通常搭載 8-12 顆高清攝像頭，再加上雷射雷達、4D 成像雷達等感測器的資料，骨幹網路必須具備 10Gbps 以上的傳輸能力。

除了頻寬提升，時間敏感網路 (TSN) 技術的應用同樣至關重要。通過 TSN 協定，系統能夠確保雷射雷達點雲與攝像頭圖元在微秒級實現精確的時

圖說：汽車內部衛星式感知系統和原始資料級融合示意圖



圖片來源：ti.com

空對齊，這是端到端 AI 感知模型能夠正常工作的先決條件。如果不同感測器的資料在時間上存在哪怕幾毫秒的偏差，都可能導致融合結果出現嚴重錯誤，進而引發安全事故。

在感測器到區網域控制站的 "最後一公里" 傳輸中，SerDes (串列器 / 解串器) 技術佔據著絕對統治地位。其中，亞德諾半導體 (ADI) 公司在 2025 年大規模量產的 GMSL3 技術提供了高達 12Gbps 的單向頻寬，支援 4K/90fps 視頻的無損傳輸，並且具備 ASIL-B 級的功能安全認證。GMSL3 技術還支援同軸線纜和雙絞線兩種傳輸介質，能夠靈活適應不同的車輛佈線需求。

為了應對區域架構帶來的軟體複雜性挑戰，2025 年 6 月，大眾、寶馬、賓士、奧迪、保時捷等 11 家全球主流汽車製造商聯合博世 Bosch、大陸集團 (Continental) 等核心供應商成立了 S-CORE 軟體聯盟。該聯盟的目標是建立一個開源的底層軟體平臺，統一不同品牌感測器的驅動介面和資料格式，確保硬體的互通性和 OTA 升級能力。截至 2026 年 4 月，S-CORE 聯盟已發佈了第一版感測器抽象層標準，覆蓋了攝像頭、雷達、雷射雷達等主流感測器類型。

## 融合演算法：從後融合向佔用網路遷移

在演算法層面，2025 年至今，汽車感知系統經歷了從 "基於規則的物件融合" 到 "基於神經網路的體積感知" 的根本性跨越。傳統的後融合演算法分別對每個感測器的資料進行獨立處理，生成目標檢測結果後再進行融合，這種方法存在資訊丟失、延遲高、魯棒 (robust) 性差等固有缺陷。而新一代的融合演算法則在特徵層面甚至原始資料層面進行統一處理，能夠充分利用不同感測器的互補優勢。

受特斯拉引領，華為、蔚來、小鵬、理想等國內外主流廠商在 2025 年全面轉向佔用網路 (Occupancy Network) 技術。佔用網路的核心思想是將三維空間切割成無數個微小的體素 (Voxel)，系統不再試圖識別每一個物體的具體類別 (如 "卡車"、"行人" 或 "自行車")，而是判斷每個體素是否被佔用。只

要空間被佔用，車輛就會執行繞行或制動操作。這種方法徹底解決了 "異形障礙物" 識別這一長期困擾自動駕駛產業的難題，無論是側翻的車輛、掉落的貨物還是道路上的坑窪，都能被準確檢測出來。

佔用網路在 Transformer 空間內進行感測器特徵級融合，將雷射雷達提供的精確結構深度資訊與攝像頭提供的豐富顏色語義資訊在 4D 時空中進行完美耦合。這種融合方式不僅提升了感知精度，還增強了系統的魯棒性，當某一個感測器出現故障或性能下降時，其他感測器能夠提供有效的冗餘備份。

## 應用案例：小鵬 XNGP 4.0 系統

小鵬汽車在 2025 年 3 月發佈的 XNGP 4.0 系統全面採用了佔用網路技術。該系統融合了 12 顆 800 萬像素攝像頭、2 顆雷射雷達和 5 顆毫米波雷達的資料，在 Transformer 空

圖說：小鵬 XNGP 4.0 系統自動避障示意



圖片來源：xiaopeng.com

表：關鍵技術時間線 (2023-2026)

時間	事件	技術要點
2023 年 9 月	特斯拉發佈 HW4.0 硬體平臺	首次引入 4D 成像雷達，支援原始資料級融合
2024 年 3 月	IEEE 802.3ch 標準正式發佈	定義 10Gbps 單對遮罩雙絞線乙太網規範
2025 年 1 月	華為發佈 ADS 3.0 系統	全面採用佔用網路技術，實現無圖城市導航
2025 年 6 月	S-CORE 軟體聯盟成立	11 家車企聯合博世成立，統一感測器介面標準
2025 年 9 月	寶馬 Neue Klasse 平臺量產	全球首個全面採用區域架構的豪華車平臺
2025 年 11 月	特斯拉新款 Cybertruck 上市	搭載全球首個量產衛星式 4D 成像雷達系統
2026 年 1 月	零跑 D19 發佈	展示全球首個跨域中央集成解決方案
2026 年 3 月	Aptiv 發佈區域架構白皮書	區域架構進入大規模量產階段
2026 年 4 月	S-CORE 發佈第一版感測器抽象層標準	覆蓋攝像頭、雷達、雷射雷達等主流感測器

編輯部整理

間內實現了特徵級融合。通過佔用網路，XNGP 4.0 系統能夠識別高度僅為 10 公分的地面凸起和深度為 15 公分的坑窪，對異形障礙物的識別準確率達到 99.9%。在 2025 年的協力廠商自動駕駛測試中，XNGP 4.0 系統在城市道路的接管率僅為 0.01 次 / 百公里，達到了產業領先水準。

## 跨域中央集成與全棧融合

2026 年，感測器融合技術進一步向跨域中央集成方向發展。傳統的網域控制站架構將汽車分為智慧駕駛、座艙娛樂、車身控制、動力總成等多個獨立的域，每個域擁有自己的計算平臺和感測器系統，資料無法共用。而跨域中央集成架構則將所有域的計算能力集中到一個或兩個中央計算單元，實現了全棧資料的融合與共用。

2026 年 1 月，零跑汽車

發佈了其旗艦車型 D19，展示了全球首個跨域中央集成解決方案。該方案採用雙高通驍龍 SA8797P 平臺 (Cockpit Elite+Ride Elite)，單一中央計算單元同時驅動 13 顆高清攝像頭、1 顆雷射雷達、4 顆 4D 成像雷達及 12 顆 UWB 感測器，將智慧駕駛、座艙資訊娛樂、車身控制甚至動力閘道等功能全部打通。這標誌著感測器融合已不再是智慧駕駛系統的專屬技術，而是成為了全車資料共用的基礎。

通過跨域中央集成，零跑 D19 實現了多項創新功能。例如，座艙攝像頭可以即時監測駕駛員的注意力狀態，並將資料共用給智慧駕駛系統，當駕駛員注意力不集中時，系統會自動降低車速並增加跟車距離；車身雷達可以檢測車輛周圍的行人，並將資料共用給座艙系統，在中控屏上顯示行人的位置和運動軌跡，提醒駕駛員注意。

## 核心轉型與未來挑戰

汽車電子研發的核心轉型方向可以概括為 "硬體集中化，軟體虛擬化"。感測器正在失去它們獨立的 "思考能力"，回歸為純粹的高保真探測單元，而真正的智慧被集中到了擁有數千 TOPS 算力的中央計算平臺中。對於汽車工程師而言，這一階段的挑戰已從單一感測器的調優，轉向了跨域資料流程的調度、即時性保障以及在中央平臺上實現像素級的異構融合。

未來，隨著中央計算平臺算力的進一步提升和軟體生態的不斷完善，汽車將真正成為一個 "輪上的超級電腦"。但同時，產業也面臨著功能安全、網路安全、軟體複雜度、供應鏈等多方面的挑戰。如何在保證安全的前提下實現高效的跨域資料融合，將是未來幾年汽車產業需要解決的核心問題。

CTA