

開發自駕系統， 一定要知道的事！

■文：任苾萍

特斯拉 (Tesla) 創辦人 Elon Musk 最近這麼吹捧他們的自動駕駛技術：相較於人類駕駛減速時只使用兩個攝影鏡頭 (眼睛) 且經常分心，集成八個環景攝影機、雷達、感測器且始終保持警戒的自駕顯然是「超人」(Superhuman)，依舊堅持攝影機是自駕汽車所需的唯一感測器技術，只要能完全理解電腦視覺所接收圖像的演算法、並將其轉換為 3D 可操作的數據足矣！不過，稍早就在今年 2 月底，美國國家運輸安全委員會對一項涉及特斯拉 Model X 自駕的致命車禍進行為期兩年調查的結果出爐，無意間又再次提醒人們自駕技術的危險性。

「光達」又大又貴？「混合固態」成折衷

今後數年，道路上人、車駕駛員仍將混合車陣當中，可能對 AI 檢測能力做出錯誤假設；因此，一直有人對於特斯拉系統的常識性推理邏輯以及機器學習 (ML) / 深度學習 (DL) 的強固性提出質疑，認為人工智慧 (AI) 臉部識別能力其實不如人類，且隻字未提光達

圖 1：特斯拉官方聲明——「Autopilot」(自動輔助駕駛) 需要駕駛人主動監督，並無法使車輛自動駕駛



資料來源：https://www.tesla.com/zh_TW/autopilot

(LiDAR)，被指控距離真正的自動駕駛還差得遠！現階段——至少在車聯網 (V2X) 建置完善且可信任之前，要達到 L4 或 L5 的自駕層級，感測器融合 (Sensors Fusion) 仍是普遍共識——光達強在可「鳥瞰」全景、創建即時 3D 地圖，雷達 (Radar) 擅於應對雨雪霧霾惡劣天氣，尤須相輔相成。

體積大、難以無損美觀地融入車體且成本高達 1 萬美元，是傳統機械旋轉光達最被詬病之處。為此，借助半導體與光電技術取代馬

達驅動的 3D 固態光達 (Solid-state LiDAR) 便應聲而起，有光學相控陣 (OPA) 與閃光 (Flash) 兩種方式；雖有部件成本低的優勢，但亦有三大軟肋：1. 捨去旋轉機構、雷射光束限縮照射角度；2. 需倍增光達數量才能達到 360° 全景覆蓋；3. 遠距探測無法突破，對 L4、L5 自駕車形成障礙。於是，取巧以在鏡面內部置入微機電 (MEMS) 改變光線射出角度以實現掃描的「混合固態光達」(Mixed Solid-state LiDAR)，遂成折衷方案。

圖 2：配備 Velodyne 光達感測器的 EasyMile EZ10 自駕車，可在積雪反光的道路正常行駛



資料來源：<https://velodynelidar.com/press-release/velodyne-lidar-announces-agreement-with-easymile-ez10-autonomous-vehic/>

這是因為 OPA 產生的光束發散性更大，更難兼顧長距離、高解析度和寬視場；Flash 每次發射的光線會散佈整個視場，只有一小部分雷射能投射到某些特定點。隨著技術演進，機械與固態逐漸走向整合：以機械光達起家的 Velodyne Lidar 公司亦投入混合固態研發，並獲得全球首批自駕班車之一 EasyMile EZ10 採用；而 Quanergy 共同創辦人在另立山頭成立 Ouster 後，也回頭感念機械光達的好。但即使是 MEMS 微型掃描鏡，由於投射的雷射量有限，也有難以探測遠處物體的缺憾；且光電探測器陣列的每個像素都非常小，又限制了可捕捉的反射光量。

讓光達看得更遠、更清晰：拉大視場 + 增加光通道數

所幸，只要加大 MEMS 反射

鏡直徑、使用大面積反射鏡將大部分入射光引導到光電感測器上，就能拉大視場 (FoV)、檢測遠處物體。三菱電機 (Mitsubishi Electric) 日前開發一種緊湊的 MEMS 光達方案，即標榜使用水平 + 垂直「雙軸電磁鏡」來掃描反射光以生成車輛和行人的 3D 圖像：± 15° 水平移動、± 3.4° 垂直移動，MEMS

波束結構提升到 ± 6.0° 以上；經由優化電磁 MEMS 鏡和光學組件 (包括多個雷射光源、光電探測器和透鏡)，抑制光學漸暈並避免雷射光束被光達的內部組件扭曲，可擁有超寬水平掃描角度，精確檢測物體形狀和距離。

與此同時，為滿足高速行駛下、光接收器的高解析度圖像所需，如何引入更多通道將是關鍵；美信 (Maxim) MAX40026 高速比較器和 MAX40660/MAX40661 寬頻互阻放大器 (TIA) 可提供兩倍以上頻寬，在相同尺寸的光達模組增加 33% 的通道數，表現不俗。去年，Luminar 推出一款成本不到 1,000 美元的光達系統；汽車主要供應商——博世 (Bosch)，亦開發出可量產的光達感測器，可望進一步壓低成本。順帶一提，Waymo (Alphabet 公司旗下的子公司) 稍早推出第五代自駕系統「Waymo Driver」，硬體亦包括五個自產光達，目視能力達 300 公尺。

圖 3：第五代「Waymo Driver」光達、攝影機和雷達皆具有不同視野要求，故需仔細確定硬體和外觀設計的位置，以確保這些模組不會相互掣肘



資料來源：<https://blog.waymo.com/2020/03/designing-5th-generation-waymo-driver.html>

「Waymo Driver」將遠程和中程光達組合成一個單元，置於車頂，可提供 360° 視野；另開發位於車輛四個位置的新型周邊光達，旨在提高空間解析度和精度，特別有利於近距離物體檢測和避障等低速應用。Waymo 已將新一代「Waymo Driver」集成到 Jaguar I-Pace 車輛，並將其用於數據收集以訓練機器學習模型，最後一步是將 I-Pace 車輛投放到在鳳凰城地區營運的 Waymo One 服務。特別的是，Waymo 去年 3 月宣佈計劃將這些短程光達感測器（稱為 Laser Bear Honeycomb）出售給自駕車以外的行業。預估明年將是 3D 光達大放異彩之年。

自駕平台比拼：特斯拉攜自製 AI 晶片闊步獨行，高通兼顧擴展&開放

特斯拉堅持自駕車無需光達

的原因之一，或與他們去年釋出自詡「全球最強晶片」的超強自信有關。這款號稱效能是輝達 (Nvidia) 晶片 21 倍、且開發成本更低的 AI 晶片，內嵌 12 核心 CPU、16 核心 GPU，以及兩個可即時處理圖像、專用於神經網路自駕運算的神經網路加速器 (NNA)，剛被證實已搭載於 Model 3 車款作為「全自動駕駛電腦」，且每輛車有兩個晶片。雖然特斯拉強調，每個晶片都會自行評估下一步動作並各自發出訊號源，只有訊號一致才會執行命令，強調安全無虞；但仍有專家質疑：雙晶片一旦發生訊號衝突，恐會產生「決策延遲」。

其次，雙晶片獨立運算，當面臨危急狀況，若因晶片故障導致兩個晶片訊號不一，邏輯上不會採取任何行動，又如何規避傷亡？再者，若兩個晶片皆不幸決策錯誤，電腦是否有自我審查機制？是否可用於後續優化？喝牛奶不一定要養

牛，大眾化平台是另一種選擇；高通 (Qualcomm) 在今年美國消費性電子展 (CES) 首度面向自動駕駛推出 Snapdragon Ride 平台，內含 Snapdragon Ride Safety 系統單晶片 (SoC) 與安全加速器自動堆疊，專為 ASIL D 系統設計，擬於今年上半年供車廠和一階供應商預開發，搭載 Snapdragon Ride 的車輛可望於 2023 年量產。

該平台基於可擴展和模組化的異構高性能多核 CPU、高能效 AI 和電腦視覺引擎與先進 GPU，熱效率表現佳，可採用被動冷卻或風冷設計、省卻昂貴的液冷系統並簡化車輛設計，進而降低成本、提高可靠性並擴大行駛範圍。結合高通 Snapdragon Ride 自動堆疊及汽車製造商／一階供應商的自訂演算法，可加速高性能自動駕駛的部署。高通表示，雖然下一波創新浪潮應來自於 L2+ 便利型先進駕駛輔助系統 (ADAS)，但 Snapdragon Ride 使用的硬體解決方案已先一步從 SoC 轉變為主動安全 ADAS；以法規要求為前提，可實現全自駕系統。

汽車 AI：軟體和機器學習為大宗，應用程式是主角

由於智能物聯網 (AIoT) 設備數量增長、互聯網普及、聯網車輛需求增加、交通效率的優化，加上消費者偏好高檔車輛以改善駕駛體驗並提人車安全等因素催化，ResearchAndMarkets 預估 2019

圖 4：高通 Snapdragon Ride 具有高度可擴展性、開放性、完全可定製性且功耗經過高度優化，可滿足從新車評價計劃 (NCAP) 到 L2+ 自駕需求



資料來源：高通提供

～2027 年全球汽車 AI 市場的年複合成長率 (CAGR) 將達 39.8%，終值為 159 億美元。其中，半自動駕駛在預測期間內增長率最高。進一步就去年數據拆解，受惠於雲端部署成本下降、學習分析使用增加及雲端運算和自動化需求不斷增長，軟體和機器學習 (ML) 在其中佔據最大份額，用於訊號／圖像識別、駕駛員監控、避免車輛碰撞的電腦視覺增速最快。

他們還提到，應用程式將是汽車 AI 的主角。為因應下一代「軟體定義汽車自駕車」挑戰，溫瑞爾 (WindRiver) 與百度已攜手開發出基於 WindRiver AUTOSAR 自適應軟體架構的 Apollo 自駕開放平台，支援具有安全性混合關鍵性的異構系統，現正處於概念驗證 (PoC) 階段。此舉目的是在於：資訊娛樂系統等非關安全應用的開源軟體可在 Wind River Linux 執行，而諸如 VxWorks 的成熟商用即時作業系統 (RTOS) 可支援確定性、安全性至關重要的應用程式，兩者使用同一架構、可無縫運行，使汽車製造商大幅節省材料清單 (BOM) 成本和車輛功耗。

汽車 AI 用途不僅於此，優步 (Uber) 先進技術集團 (ATG) 還採用生成對抗網路 (GAN) 進行自駕車交通軌跡預測。不過前提是：數據要是真實的。如前文所述，許多感測系統只需在交通標誌作假，就能受到矇騙；密歇根大學研究，即使是基於光達的感知系統也可被策略性欺騙，使其看到「不存在的障礙物」，車輛可能因阻塞交通或突

然制動而導致撞車。光達感測系統有兩大部分：感測器和機器學習模型，在光達單元每秒發出數萬個光訊號後，機器學習模型會使用返回的脈衝來描繪車輛周圍世界，攻擊者可能對光訊號發動干擾。

AI 模型缺陷太可怕！模擬系統&數據集來相助

機器學習模型易受特定訊號或輸入影響，例如，在交通標誌上專門生成的貼紙可矇蔽相機感知——此即所謂的「對抗性示例」，這也是許多人力主須以「感測器融合」交互比對之故。另語料庫的正當性也很重要，電腦視覺公司 Roboflow 用於訓練自駕汽車模型的語料庫遺漏了關鍵數據一事，便引起軒然大波；如果數百萬輛汽車運行有缺陷的 AI 模型，其影響可能是毀滅性的。近期，麻省理學院 (MIT) 發明的「VISTA」(虛擬圖像自動合成與轉化) 模擬系統，或能在實際上路前稍作補強，並大幅加快自駕車的測試和部署速度。

以往，建構用於訓練和測試自駕車的模擬引擎很大部分需要依賴人工標記和繪製，但由於現實世界要複雜許多，導致虛實不匹配。MIT 的模擬引擎是由「數據驅動」，只需使用道路行駛所捕獲的一個小數據集，即可就真實數據合成與道路外觀及場景中所有對象之距離和運動一致的新軌跡，然後使用新軌跡來渲染逼真場景。此外，有鑑於惡劣天氣條件可能損壞攝影機、光達等感測能力，MIT 開始思考：與

其環顧四方，何不改為專心探路？於是，開發稱為「探地雷達」(GPR) 的系統；以現有技術向地下發送電磁脈衝，可藉此探測該地區土壤、岩石等特定組合。

長期以來，惡劣的天氣和有限的感測器能見度一直是無人駕駛汽車的軟肋，全球自駕方案仍難以在大雪、大霧或颱風等特殊環境條件下工作。人同此心，但聰明的 Waymo 另有一套解法：公開尋求外援、發起開放數據集的挑戰賽，讓開發者透過參加競賽來尋找下列問題的解決方案：

- 2D 檢測：給定一組攝影機圖像，為場景中的對象生成一組 2D 框；
- 2D 追蹤：給定攝影機圖像的時間順序，生成一組 2D 框、以及框與框之間的對應關係；
- 3D 檢測：給定一個或多個光達測距圖像和相關的攝影機圖像，為場景中的對象生成一組 3D 垂直框；
- 3D 追蹤：給定光達和相機數據的時間序列，生成一組 3D 垂直框、以及框與框之間的對應關係；
- 域適應：類似 3D 檢測挑戰，但提供了細分數據，其中 100 個帶有 3D 框標籤。

根據遊戲規則，希望取得獲獎資格的參與者將向 Waymo 授予使用其知識產權的許可，意謂：Waymo 可藉由集思廣益而獲得當前最佳方案！亦不失為明智之舉。

CTA