我國電動大客車自動輔助駕駛推動策略初析

A Preliminary Analysis on Promotion Strategies of Electric Bus autonomous assist driving for Transportation Sector

運輸資訊組 陳其華、吳東凌、陳國岳

研究期間：民國 106 年 10 月至 106 年 12 月

摘要

本組將於 107 年開始辦理「我國自動輔助駕駛電動巴士推動策略」合作研究案，在計畫執行前，透過本研究分析包括電動巴士相關背景、議題與現況意見交換，以及針對自動駕駛進行國內外相關資訊蒐集，初步分析自動駕駛發展方向，提供未來合作研究擬定議題與研究方向參考。

關鍵詞：
電動大客車、自動輔助駕駛

我國電動大客車自動輔助駕駛推動策略初析

一、前言

車輛科技與車輛法規一直都是相輔相成，如何運用先進科技來達到降低交通事故的目的，是各國持續關注的焦點，然而各國政府針對車輛電子安全系統的相關規定越趨繁複嚴格，我國最新發布修正「車輛安全檢測基準」，自 108 年起陸續要求新型式及所有型式大型車(包含大客車)，須具備車道偏離輔助警示系統(LDWS)及緊急煞車輔助系統(AEBS)等自動駕駛功能。另行政院於 2015 年宣布「智慧電動車輛發展策略與行動方案」，以國內市場培養基礎，進軍國外市場，結合交通部及環保署推動市區公車及一般公車汰舊換新，經濟部先導運行計畫也明訂應用車輛數、產值與就業人口等目標配合。希望我國成為全球電動綠色大眾運輸國家典範及主要生產國，推動關鍵零組件國產化，研擬創新營運模式，成為全球電動大中巴營運及生產基地，目標為 2023 年市區公車與一般公路客運有 10,000 輛之電動大客車。

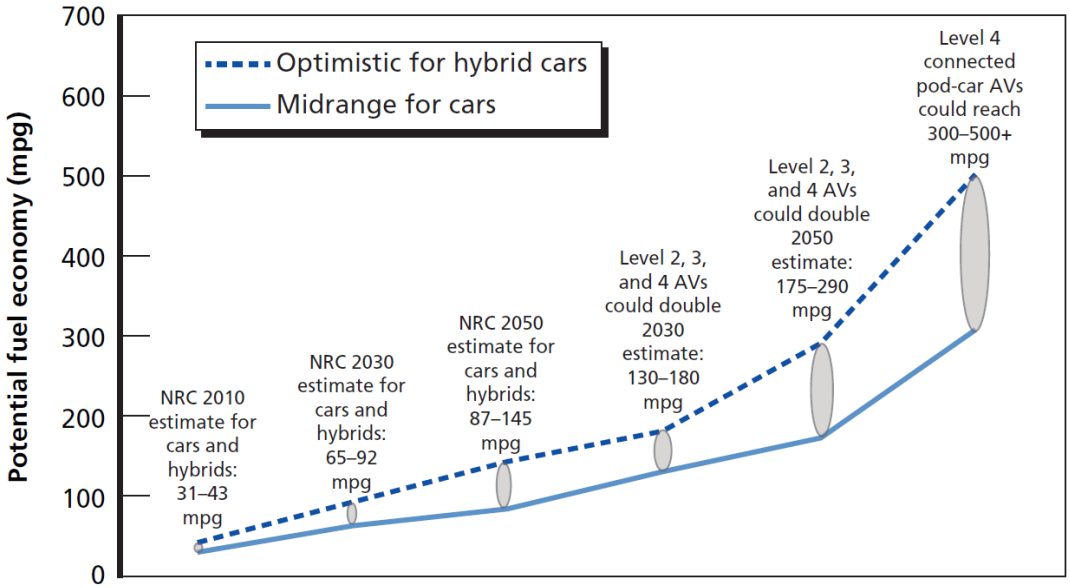
目前率先投入自動駕駛的正為國際 ICT 龍頭 Google，而我國擁有 ICT 電子產業優勢，汽車電子發展迅速。我國零組件廠近年與透過與國際車廠討論工程規格並通過其供應鏈稽核與電磁相容(EMC)等測試，逐漸進入德國、美國高級車廠一階供應鏈，車電產值由 2006 年 560 億元大幅增加至 2015 年 1750 億元，是汽車零組件產業成長最快的部分，如何利用優勢產業與當前電動大客車政策結合為本研究之方向。

二、自動駕駛技術說明

在智慧運輸系統中，隨著先進車輛、個人移動載具及大眾運輸與雲端運算之整合，ICT 技術角色將更為吃重。有效整合自用車輛及公共運輸工具，為構築未來交通運輸系統之重要基礎，而先進車輛亦將做為其中多項技術及服務之運作載具。

依據高德納諮詢公司(Gartner)預估 2020 年將有 2.5 億輛連網車上路，創造 1 兆美元的經濟利益，到 2025 年降低事故發生率 9%，拯救 90 萬條生命，同時降低應付交通事故的公共支出。蘭德公司更指出，透過全面自動駕駛和未來替代能源車輛的結合，將可帶來道路容量提升，減

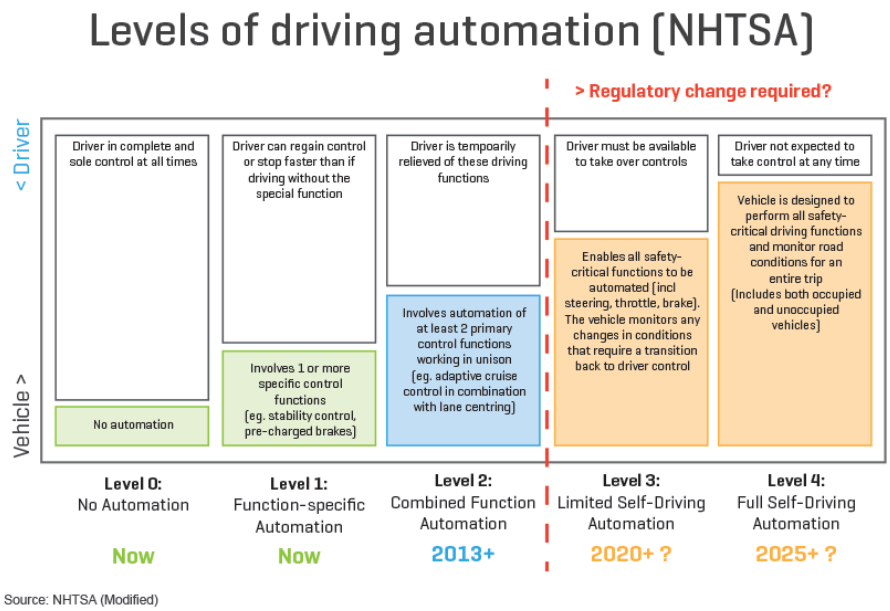
少公共支出，並且大幅改善油耗，達到節能減碳之目的(如圖 1 所示)



資料來源[7]

圖 1 自動駕駛技術節能效益

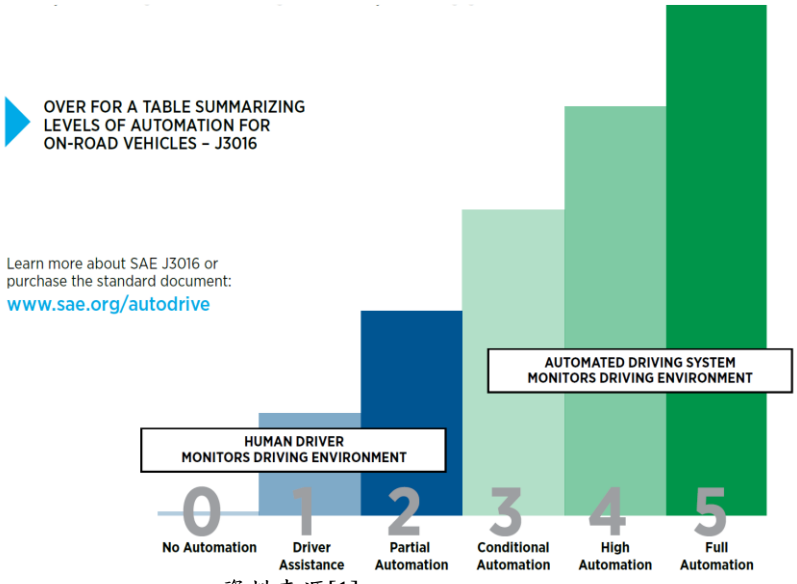
而自動駕駛應用首先面對係交通法令問題，目前廣為採用為美國國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 在 2013 年所發佈的自動駕駛分級準則如圖 2 所示，當時美國國家公路交通安全管理局將車輛自動化分成 Level 0 到 Level 4 總共 5 個層級。Level 0 完全無電子輔助設備，駕駛人擁有方向盤、油門以及動力的最大主控權，Level 1 係指搭載一個或多個特定電子控制功能的車型，Level 2 則指擁有兩個以上的自動控制，如主動式定速巡航與車道維持系統的結合。美國國家公路交通安全管理局定義 Level 3 在車輛多數時間自己行駛，但有關安全情況下駕駛者須能完全掌控車輛。最高級別 Level 4 係自動駕駛車輛未來的雛形，僅需要輸入目的地，車上乘客完全不需要駕駛，並不能夠隨時改為人工駕駛。



資料來源[3]

圖 2 NHTSA 自動駕駛技術分級

美國汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)於 2014 年針對自動駕駛系統提出 SAE-J3016 分級標準，此標準也被 NHTSA 採用，SAE-J3016 分級標準將車輛分為 Level 0 到 Level 5 共 6 個級別如圖 3 所示，並針對道路機動車輛的自動化系統相關條款做分類和定義，隨後又在 2016 年發布了 SAE-J3016 的修訂版本，此標準為目前全球汽車產業發展自動駕駛技術最廣泛的接受使用。



資料來源[1]

圖 3　SAE J3016 自動駕駛技術分級

SAE J3016 其中修正了 Level 0-Level 2 的差異因素，更加明確定義美國國家公路交通安全管理局自動駕駛分級準則原有的用詞與術語，增加操作適用範圍、更多的動態行駛任務 DDT(Dynamic Driving Task)的說明如圖 4 所示，包括車輛動態的橫向及縱向操作以及物體與事件的偵測反應，並更細分了 Level 3-Level 4 的差異性，並說明操作適用範圍定義。同時美國汽車工程師學會於 2016 年同步發布 SAE J3018 則針對 SAE J3016 的 3-5 級提供行駛道路的安全準則。

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/ Deceleration	*Monitoring* of Driving Environment	Fallback Performance of *Dynamic Driving Task*	System Capability *(Driving Modes)*
***Human driver* monitors the driving environment**						
0	No Automation	the full-time performance by the *human driver* of all aspects of the *dynamic driving task*, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the *driving mode*-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the *driving mode*-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/ deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	**System**	Human driver	Human driver	Some driving modes
***Automated driving system* ("system") monitors the driving environment**						
3	Conditional Automation	the *driving mode*-specific performance by an *automated driving system* of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the *human driver* will respond appropriately to a *request to intervene*	System	**System**	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the *driving mode*-specific performance by an automated driving system of all aspects of the *dynamic driving task*, even if a *human driver* does not respond appropriately to a *request to intervene*	System	System	**System**	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task* under all roadway and environmental conditions that can be managed by a *human driver*	System	System	System	**All driving modes**

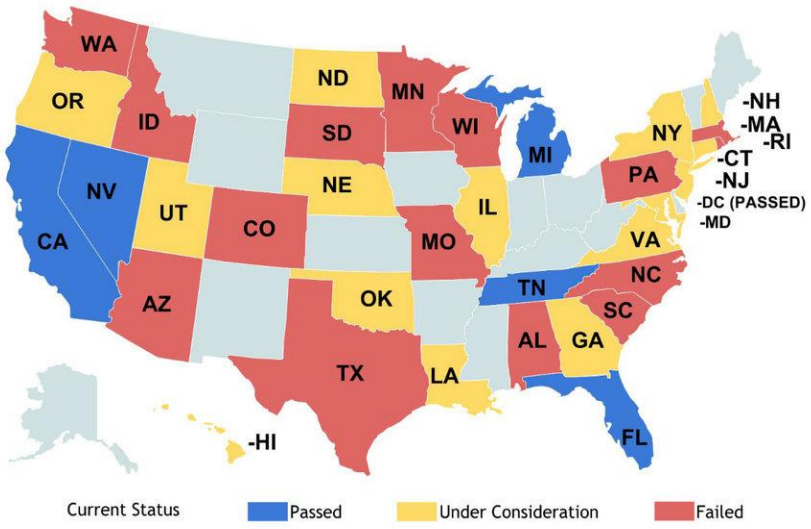
資料來源[1]

圖 4　SAE J3016 自動駕駛技術動態行駛任務說明

SAE J3016 並將 NHTSA Level 4 的細分為 Level 4 高度自動化，依照 SAE 的定義，Level 4 駕駛人可在條件允許下讓車輛完整自駕，啟動自動駕駛後，一般不必介入控制，此車可以按照設定之道路通則（如高速公路中，平順的車流與標準化的路標、明顯的提示線），自己執行包含轉彎、換車道與加速等工作，除了嚴苛氣候或道路模糊不清、意外，或是自動駕駛的路段已經結束等等，系統並提供駕駛人「足夠寬裕之轉換時間」。Level 5 則為完全自動化，駕駛人不必在車內，任何時刻都不會控制到車輛。此類車輛能自行啟動駕駛裝置，自動執行所有與安全有關之重要功能，包括沒有人在車上時的情形，完全不需受駕駛意志所控，可以自行決策。簡單來說，SAE J3016 的 Level 4 還有方向盤、加速踏板與剎車踏板，SAE J3016 的 Level 5 是都不需要。SAE J3016 和 J3018 是目前世界各國制定自動駕駛政策之最重要參考依據，各國依據此規範推動自動駕駛相關政策。

三、自動駕駛各國管理制度說明

目前對自動駕駛管理最明確係美國與德國，首先探討美國，早在 2012 年美國加州州長布朗（Jerry Brown）就簽署法案，容許無人駕駛的車輛在加州馬路上行駛，為 Google 正在測試的 Google Driverless Car 自動駕駛車提供後續發展機會，能進一步擴大和提升自動駕駛的技術測試。同時美國自動駕駛領先各國，於 2013 年即訂定車道偏離警示系統防碰撞規範。在自動駕駛方面，在美國自動駕駛車輛實際上路測試屬各州交通主管單位之權責，據了解目前美國已有加州、內華達州、密西根州、佛羅里達州、華盛頓特區等五州允許自動駕駛車依法令規範上路測試。其中加州規定除拖車、機車及總重超過 10001 英磅之車輛為不得進行測試之車輛，其他車種可申請測試。內華達州規定自動駕駛車輛應具備自動駕駛模式切換為人工操作自動駕駛並於自動駕駛車輛內部裝設警示燈號。加州和內華達州都規定自動駕駛測試車輛如發生財物損害或人員傷亡之任何事故，測試廠商應於 10 日內向交通主管機關提出報告，內華達州甚至規定自動駕駛車輛若脫離自動駕駛模式切換為人工操作，必須彙整原因每個月提出報告。即使在自動駕駛先驅的美國，如圖 5 所示大多數的州已明確規定拒絕完全自動駕駛。



資料來源[8]

圖 5 美國各州完全自動駕駛審核狀況

在 2017 年 9 月，美國聯邦政府推出了自動駕駛法案 SELF DRIVE Act，該法案旨在鼓勵自動駕駛車輛的測試和研發以確保車輛安全。該法案明確定義包括自動駕駛包括需具備記錄自駕系統狀態資訊的能力，並與產業界及政府單位共享，系統安全與網路安全的相關義務，同時規定廠商及研究機構需設定自駕系統針對決策衝突的演算邏輯，並將此規則公開。該法案並規定自動駕駛汽車於道路行駛中所遇到物體或事件，廠商及研究機構應有能力對其決策的反應能力進行評估、測試及驗證，包含正常行駛及防撞兩大類。同時明確規範當自駕系統發生問題時，SAE Level 3 自動駕駛車輛必需通知駕駛員接管車輛，而 SAE J3016 Level 4 至 Level 5 的自動駕駛車輛需能夠確保車輛安全下解決該問題或停下。在研究發展方面，該法案廠商及研究機構應建立不同級別自駕功能的測試與驗證方法，並鼓勵開發者與交通主管機關或 SAE 等級協會機關合作。此法案係目前最完善之自動駕駛法令。

另一個值得注目的自動駕駛發展國家係德國，由於德國和許多歐洲國家都是維也納道路交通會議締約國如圖 6 所示，該條約規定汽車駕駛均需要時刻掌控着交通工具。這一條款直接導致歐洲汽車公司無法在歐洲本土開展自動駕駛汽車測試，許多歐洲車廠與美國政府合作。該條約直到 2016 年才放寬修正納入自動駕駛。德國對自動駕駛管理較美國限制多，如在自動駕駛系統接管車輛狀態下，駕駛雖然可以不對車輛進行監控，但是德國要求駕駛仍需準備隨時接管。在自動駕駛系統發生問題時以及當駕駛發現自動駕駛系統不能正常工作時，系統應允許駕駛立刻接管車輛。由此可見，德國法律自動駕駛系統級別仍在 SAE Level 3。



資料來源[8]

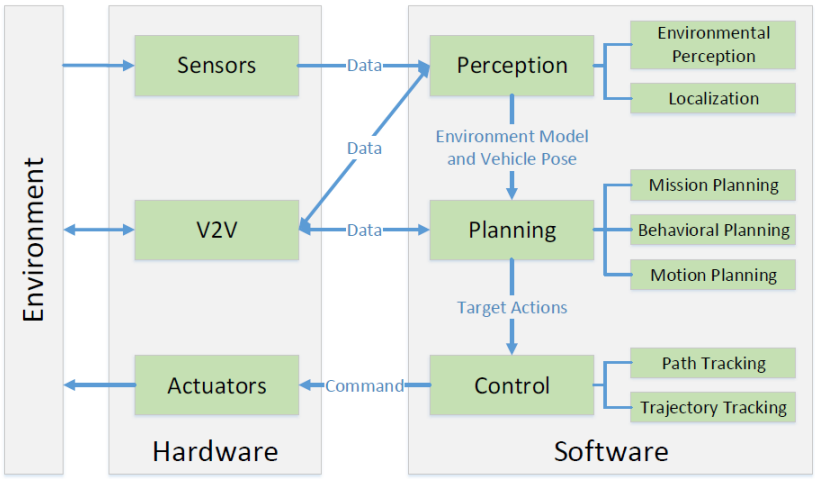
圖 6 維也納道路交通會議締約國

除了美國和德國起步較早，對自動駕駛發展較為元整之外，近年來許多歐洲和亞洲國家也開始投入，歐洲包括英國、法國和芬蘭，英國政府一向對發展自動駕駛車的潛力十分積極,早在 2015 年英國政府建立了 CCAV（Centre for Connected and Autonomous Vehicles），提供 CCAV 一億英鎊的預算發展無人駕駛車技術。CCAV 檢視法律架構和交通規範後認為並不構成自動駕駛車在公路上測試的阻礙。於 2016 年還宣布將研究制訂現代運輸法案(Modern Transport Bill)可行性，主要研究自動駕駛與電動車之後相關法案。芬蘭和法國都已允許在公路上進行自動駕駛汽車測試，並成立跨部門聯合小組，對現行法律進行檢討，着手對法律、安全標準等進行修訂。亞洲方面韓國啟動修訂現行道路交通法規並為自動駕駛汽車劃定試運行區域，開通專用試驗道路。新加坡則允許自動駕駛汽車在特定範圍內進行道路測試，開始對無人駕駛出租車的示範運行。

四、自動駕駛系統說明

完整自動駕駛的關鍵技術依次可以分為環境感知、通訊、路徑規劃和控制幾個部分如圖 7 所示，環境模組負責車輛周圍環境和行車狀態的感測,如雷達或超音波等用以感知障礙物的資訊,車輛動態的資訊,如車速、方向和角度等資訊，這些車輛動態資訊經由感知傳感單元，提供給動態預測模組做車輛的規畫並利用通訊系統接收外界資訊，在經過了感知傳感與環境狀況，進行旅程路線規劃，旅程目的地設定，並將相關資訊與動態送出給鄰近車輛，同時此規畫結果透過車上之控制設備直接控制車輛進行相關的駕駛行為。

由於目前尚無法達到 SAE J3016 Level 5 的完全自動駕駛，因此自動駕駛人機互動系統的開發，是當今個研究之重點，如何才能讓自動駕駛系統與人的控制之間不互相矛盾衝突，並能夠很平順與安全的控制權轉移，讓駕駛知道他該做什麼，系統目前在做什麼，是相當重要的議題。

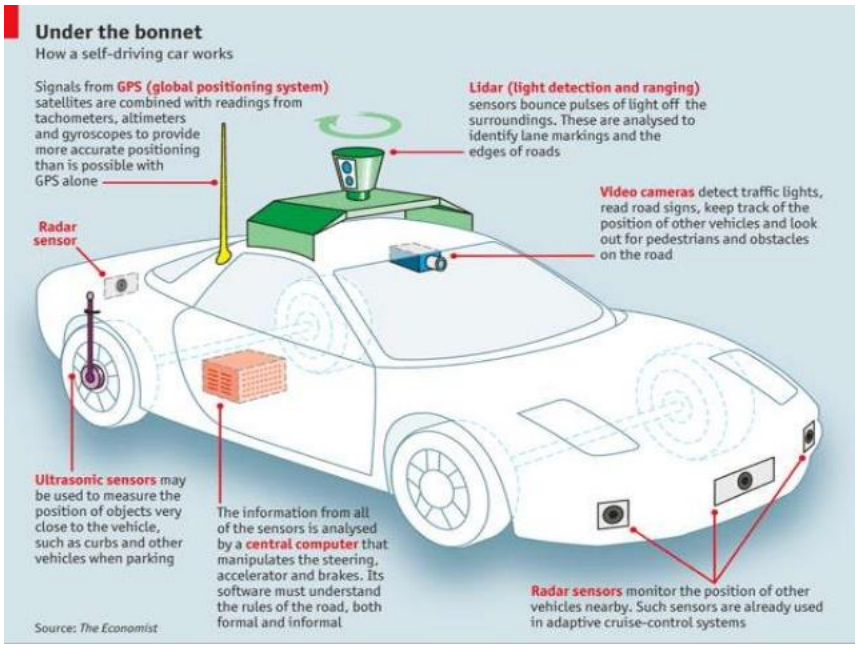


資料來源[11]

圖 7 自動駕駛系統

自動駕駛車主要分成三大系統，一為感應系統，負責感應周圍路面的環境；二為控制系統，負責控制煞車、油門及方向等；三為電腦系統，將得到的資料經過複雜的計算機設備及配套軟體，選擇駕駛的路線。

自動駕駛車需要依靠各類型的感測器，取代人類的各種感知訊息，作為行車過程的判斷，因此感測器是自動駕駛車與物理世界溝通訊息的主要媒介。以 2012 年開始於美國加州測試的 Google 自動駕駛車為例，其使用之感測器的類型，如圖 8 所示。



資料來源[10]

圖 8 自動駕駛系統感測器

目前自動駕駛車使用之感測器說明如後

1. LiDAR (light detection and ranging 又稱光學雷達、雷射雷達、光達)：架設在車頂上方一個能夠 360 度旋轉掃描的環景攝影機，用來量測車

體與周圍物件的距離。

2.Radar(雷達)：如圖所示總共架設在車體的 4 個位置，包含正前方、正後方，與前方保險桿的兩側，主要用來監控靠近車體附近的物體，讓車子可以自動減速。

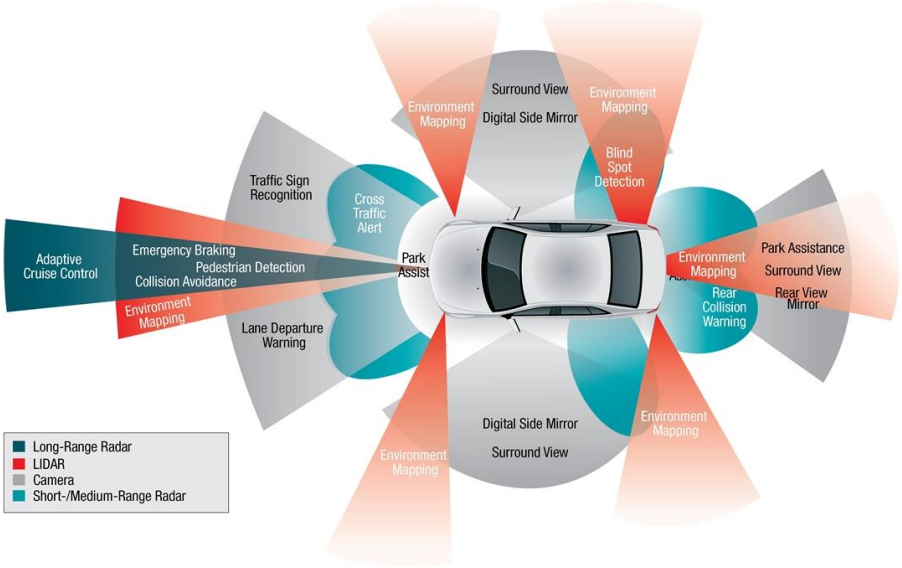
3.Video cameras (視訊攝影機)：架設在自動駕駛車內的正中央，用來偵測交通號誌、路牌、行人、自行車、車輛等影像。

4. Position Estimator(位置估計器)：裝置在左後輪上，用來計算汽車的移動以及加速，幫助鎖定汽車現在位於地圖上的位置。

5.超音波感測器：主要用於停車時，預防車體側邊方向有過於靠近的物體，如行人、腳踏車、邊柱、或其他車輛等。

6.GPS 導航系統：透過地球同步衛星的一套定位系統，廣泛使用在車輛與各種移動載具上。不過由於 GPS 在定位精度上有數公尺的誤差，因此還需配合其他類型感測器的輔助。

不同感測器依照其特性不同，有不同之應用，如雷達進行長距離偵測，其資訊係提供主動式定速巡航控制(Adaptive Cruise Control, ACC) 可幫助駕駛人保持平緩的車速，與前方汽車維持預設的距離。Lidar 用於建立四周環境圖像地圖，可應用於車道偏移，障礙物偵測，Video cameras 主要用於車道偏移等如圖 9 所示。



資料來源[9]

圖 9 自動駕駛系統感測器功用

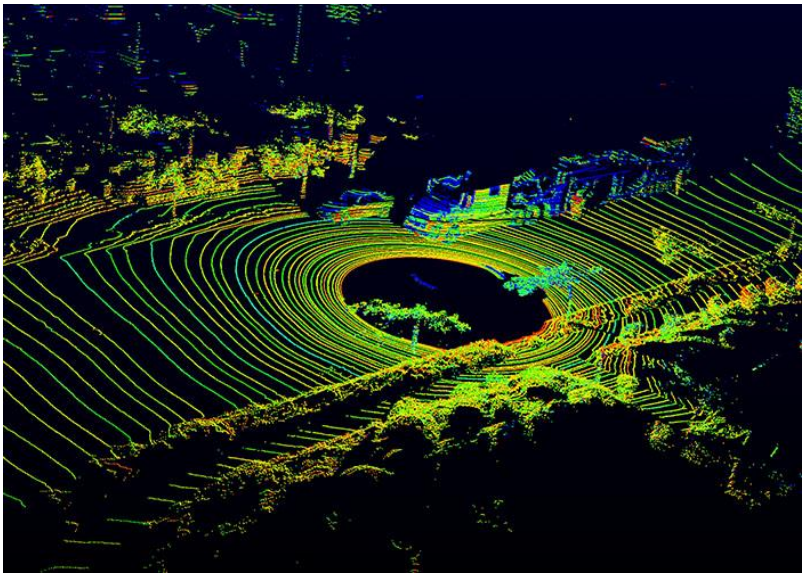
現在自動駕駛車輛最常配置的感測裝置係 LiDAR，一般來說，LiDAR 主要為利用光束進行測距或量測物體物理特性的光學遙測技術，光束可依照使用目的，選擇不同波段的紫外光、可見光或紅外光等，目前車用領域使用多為波長 905nm 的光束波，屬於紅外線波，絕大部分物體均可反射此脈衝波，換言之，LiDAR 可掃描出物體的輪廓；其次，脈衝光束是以光速傳播，接收器在下一個光束發射出去之前收到前一筆被反射回的光束，因為光速已知，計算脈衝光束從發射到接收的時差測距（Time of Flight, ToF）便可換算出物體的相對距離、相對速度。目前市售 LiDAR 可以成功偵測障礙物的相對速度普遍可高達到時速 200 公里以上，高量測精確度就是 LiDAR 最大的特點。

自動輔助駕駛系統依照其需求等級可搭配其他不同類型的 LiDAR 獲得更多環境資訊，LiDAR 依照其掃描範圍可分為單點式、2D 以及 3D 等 3 種，單點式 LiDAR 已廣泛應用於 Level 1 等級之自動輔助駕駛系統上，最廣為人知的是目前許多車輛配置的自動緊急煞車系統(Autonomous Emergency Braking System, AEB System)，自動緊急煞車系統係由系統自主觸發的主動式煞車系統，當遭遇緊急情況，駕駛並無煞車動作時，主動執行緊急煞車，或駕駛有執行煞車，但是系統判斷煞車力道不足，輔助增加煞車力控制。系統利用單點式 LiDAR 偵測車輛前方危險碰撞條件範圍，只要範圍內有一反光，自動煞車系統立即啟動。單點式 LiDAR 精確量測

出物體相對距離就是協助車輛智慧系統進行正確控制判斷的重要依據。

單點式 LiDAR 於空間中偵測或搜索目標物的範圍相對狹窄，無法符合 Level 3 以上需要的較大範圍的空間偵測，因結構設計上的限制，單點式 LiDAR 所能帶給自動駕駛車輛的訊息有限，僅適用輔助車輛於單一功能，並執行簡單的動態控制。

將單一脈衝波束加上旋轉機構便可掃描出一範圍內的環境，也就是 2D LiDAR 的原理。因 LiDAR 所發射光束是以光速傳播，LiDAR 在下一個光束發射出去之前就可以完成前一個被物體反射回的光束接收,所以 2D LiDAR 掃描接收 TOF 並不會因機構的旋轉而有所延遲，再者，因掃描方式進行偵測，周圍物體可因機構旋轉的角速度產生不同精密程度的掃描解析度，以現有市售 2D LiDAR 的頻率來說，通常可達 100Hz，廠商宣稱解析度可精確到 0.2 度。2D LiDAR 雖有探測物體輪廓的功能，但實屬平面式的輪廓描繪，在實際障礙物辨識的應用上仍有其障礙如圖 10 所示，2D LiDAR 掃瞄前方物體之輪廓，並根據其長寬形狀可估算物體形式，但仍無法精確得知物體的類型，對於 Level 4 以上自動輔助駕駛仍為不足。

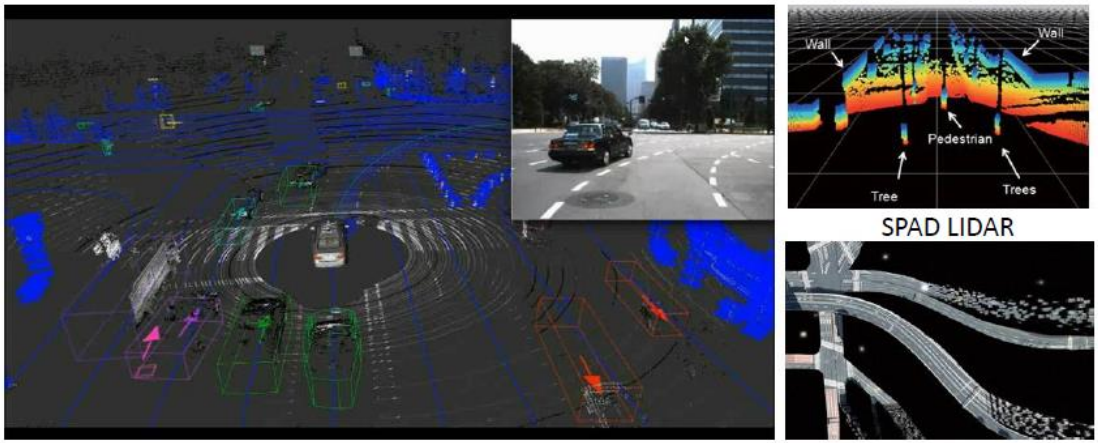


資料來源[12]

圖 10　2D LiDAR 輪廓描繪

為提升車輛對周圍環境掌握能力，最新發展係利用 3D LiDAR Scanner，3D LiDAR 將多組單點式 LiDAR 整合在一可旋轉 360 度的基座上，產生多組即時二維掃描資訊。3D LiDAR 藉由單一軸面多組光束反射，所接收各組光束的衰減程度不同，利用電腦重組衰減後的影像相數值後，得到軸狀面的影像方式建立即時全周三維環境如圖 11 所示，現今發展自

動駕駛車輛的車廠，大多採用此模組作為環境偵測的主要感測器。



資料來源[19]

圖 11　3D LiDAR 全周三維環境

由於 3D LiDAR 解析度高，對自動駕駛系統說來，系統獲得愈精確的環境資訊將更有助於系統決策的判斷，減少錯誤決策發生的機率。由於 LiDAR 光束實質上屬紅外線波，不會受電磁波影響，在無線通訊普及的環境中並不受干擾，且紅外線波沒有電磁波會受回波干擾等問題， 對於環境的幾何形狀、障礙物體材質等，均不影響 LiDAR 的偵測結果，訊號可性度十分高具高穩定性，無須額外設計雜訊濾波器。同時紅外線屬不可見光，故可全天候進行偵測任務，且其不因白天或黑夜而有所影響，這點是目前視覺式感測器所達不到的偵測環境的能力，因此 LiDAR 非常適於用於自動輔助駕駛系統的應用。

雖然 LiDAR 可不分日夜進行環境偵測，但其所發射的紅外線光束易受天候和大氣的影響，特別是在大雨、濃煙、濃霧等非晴朗氣候條件下，紅外線波的偵測能力會大幅衰減，感測性能亦受影響。光達具有快速獲得大量點位資料之能力，所產生的資料是密佈於物體表面的三維點位，包括點位三維坐標及反射強度值，這些大量點位的分佈隱含著豐富的物理資訊，然而這些物面特徵資訊並非直接的描述資料，通常必須轉換為數學函式或向量描述資料，才能成為可直接利用，但硬體處理與運算性能須相對提升。以 32 層掃描的 3D LiDAR 為例，每秒可收集 70 萬筆點雲資料，因此對處理器要求較高。

目前推出 Level 4 以上自動駕駛示範測試包括 Google、GM、Audi 均使用 LiDAR 技術，以前 2D LiDAR 外型線條複雜的物體均無法有效分辨，因自動駕駛需要更多層次的障礙物掃瞄，或是立體空間掃描的技術的感測器功能需求，隨著 3D LiDAR 的發展帶來空間偵測的一大突破。

另一種常用感測器為 Video cameras，其資料擷取方式為先由攝影機擷

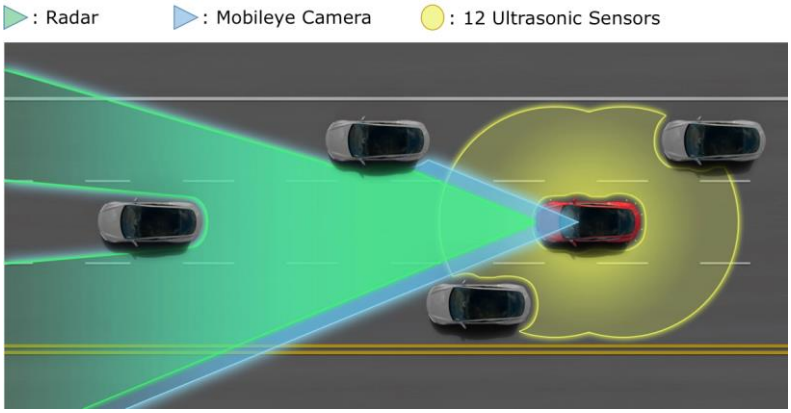
取車輛前方影像，並擷取道路邊線，透過 ROI(Road Extraction)處理後，將所擷取的道路影像透過灰階處理、二值化處理、Canny 邊線檢測，最後使用 Hough 轉換方法，給定一個物件、由資料庫比對要辨別物件與道路邊線的形狀的種類，演算法會在資料庫參數空間(parameter space)中執行運算來決定物體的形式和大小和道路邊線如圖 12 所示，而這是將多個鏡頭影像數位化之後由累加空間(accumulator space)裡的局部最大值(local maximum)來決定。系統將道路線繪製在影像上，確認完道路線再經由影像處理技術，取得可前方之目標車輛後，利用 MeanShift 演算法，計算點移動到每個點所需要的偏移量之和之平均，就得到平均偏移量，該偏移量是包含大小和方向達成追蹤車輛，再利用回授的影像透過系統確認是否位於安全行駛距離，透過控制車輛導航系統控制車輛。



資料來源[17]

圖 12　Video cameras 辨識技術

現在特斯拉即採用 Video cameras 技術，來自以色列 Mobileye，目前 BMW、BENZ、豐田和 Volvo 等國際車廠都採用 Mobileye 方案作為自動駕駛。值得注意是該方案係整合 3 種偵測器如圖 13 所示，車前方裝著 Radar 可以針測前車的位置和速度，提供主動式定速巡航時以及自動跟車，擋風玻璃上裝著 Video cameras，可以做許多電腦視覺處理，像是辨識行人、交通號誌、物體距離、道路白線，12 個 Ultrasonic Sensors 均勻的裝在汽車底部，針測範圍大概 5 公尺，主要是為了防撞，還有偵測盲點和自動停車。

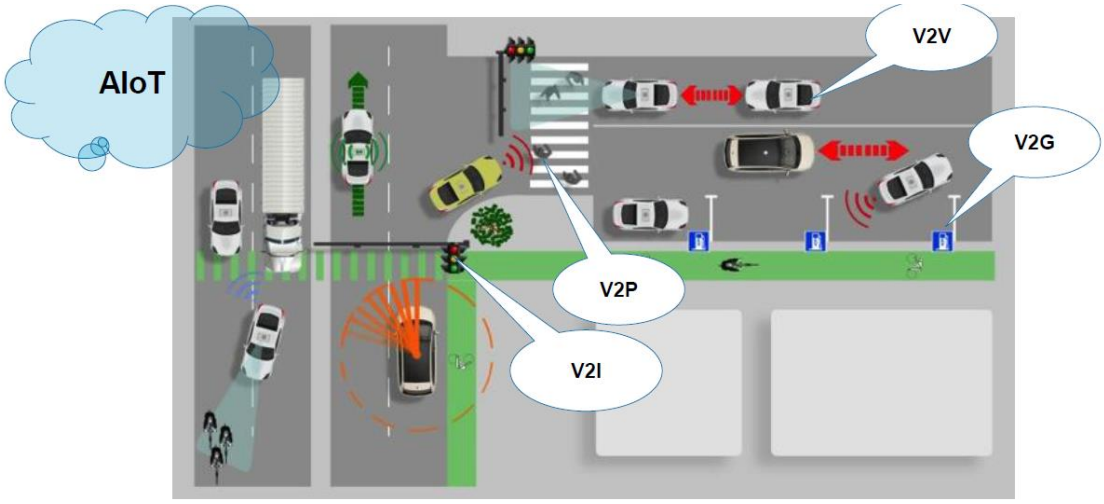


資料來源[17]

圖 13 Mobileye 自動駕駛方案

2017 年開始顯示晶片大廠包括 Nvidia、AMD 以及 Intel 為提升高速時影像辨識能力，逐漸利用圖形處理器(Graphics Processing Unit, GPU)取代傳統 DSP。圖形處理器可以提高影像畫素、影像處理速度與辨識能力，並改善過去影像辨識僅能辨別單色或黑白畫面，無法判斷距離的缺點，可更流暢的處理高畫質影像。高度辨識的影像輸入後，藉由強大 GPU，可以進行類神經網路學習訓練，讓自動駕駛車輛擁有自動辨識物體的能力，可在更複雜的環境下清楚辨識物體與其位置、方向與速度等，此利用類神經網路建立的仿人類智慧之駕駛模式，讓影像辨識技術朝 Level 3 以上自動駕駛發展往前跨出大步。Tesla 在 Autopilot2.0 發佈會上，公布未來 2 年後 Autopilot 所搭載的「完全自動駕駛能力」，最終將達到 Level 5 級自動駕駛水平。

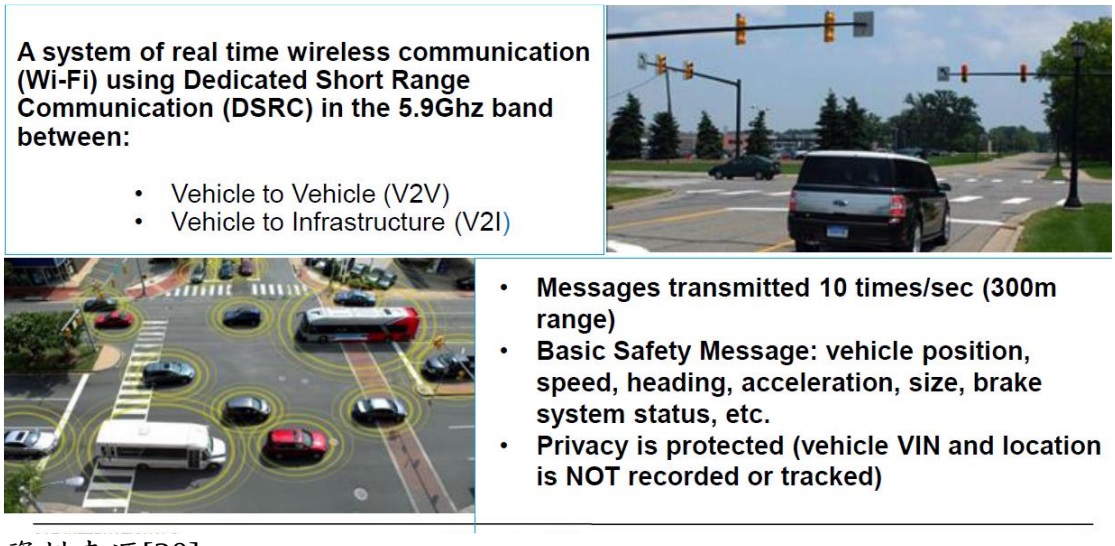
自動駕駛另外一個要素係車聯網(V2X)技術的開發，主要目的讓車輛與周遭環境互相連結溝通，交換彼此位置、速度、方向等資料，了解彼此動態以避免碰撞發生；透過這些資訊交換自動駕駛的可靠度將可大幅提高。車聯網 V2X（Vehicle to Everything）的意義是指汽車對各種物體通訊，指車輛與外部環境的連結，對象包括車輛、交通基礎設施及任何道路使用者，都可以經由周遭的車聯網所提供之訊息而受益，車聯網延伸出包括車與車（Vehicle-to-vehicle, V2V）：讓車輛之間能即時互傳訊息，了解彼此動態以避免碰撞發生、車與交通基礎設施（Vehicle-to-infrastructure, V2I）：車輛與路側裝置互相傳送應用層資訊，使車輛及路側裝置作為點對點網路中之通訊節點、車與行人（Vehicle-to-pedestrian, V2P）：則支援 V2X 服務的車輛廣播以對行人提供警示以及車與核心網路(Vehicle-to-Network V2N)等多種形式如圖 14 所示。



資料來源[20]

圖 14 V2X（Vehicle to Everything）

自動駕駛車輛必須以聯網方式保持軟體更新狀態。最後，車輛感測器將提供即時路況給運算電腦，並搭配 V2I、V2V 及 V2X 之功能，幫助車輛計算並判讀正確決策。目前車聯網分成兩個部分，一是車輛對雲端或可攜式裝置採用行動通訊、wifi 或藍芽連線，此部分著重非即時性服務；二是車輛對環境採用 DSRC 連線如圖 15 所示，此部分強調即時性服務，前者的應用已趨於普及，未來重點為智慧地圖連線，車輛可預知周圍車輛動態、前方交通情形與地形狀況，避免緊急情況並輔助節能駕駛。



資料來源[20]

圖 15　DSRC 和 V2X（Vehicle to Everything）

五、高精度地圖

目前自動駕駛車輛只有在取得高精度地圖的情況下才能安全執行 Level 4 以上的自動駕駛。以現今導航系統內儲存的電子數位圖資精度並不

足夠，為了可以安全地自動駕駛，自動駕駛車輛必須知道自己在道路上的位置，誤差在幾公分內。以過彎為例，車輛不能大致估計應該轉動方向盤的位置，而在這方面，由於人類則非常擅長進行相關調整。數位駕駛導引功能必須要有超高的精確性。有了完整而精確電子數位圖資外，自動駕駛車輛的各種感知器當然也會提供重要的環境資訊。

高精細地圖是指高精度、精細化定義的地圖，其精度需要達到公分級才能夠區分各個車道，如今隨着定位技術的發展，高精度的定位已經成為可能。而精細化定義，則是需要格式化存儲交通場景中的各種交通要素，包括傳統地圖的道路網數據、車道網絡數據、車道線以和各種交通標誌等數據。因此與傳統導航地圖不同的是，高精度地圖除了能提供的道路(Road)級別的導航信息外，還能夠提供車道(Lane)級別的導航信息。無論是在信息的豐富度還是資訊的精度方面，都是遠遠高於傳統導航地圖的。

高精度地圖主要係利用同步定位與地圖構建技術（SLAM 或 Simultaneous localization and mapping），和傳統定位技術區別在於方式不同，絕對定位和相對定位在自動駕駛中都非常的重要，任何一種獨立運行都無法實現自動駕駛。

傳統定位要達到高精度定位，是基於 GPS、慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)甚至即時動量（Real-time kinematic, RTK）等硬體設備組合運算獲得的，屬於絕對定位，而人工智能領域的高精度定位，是基於 SLAM 的空間位置定位，屬於相對定位。

絕對定位和相對定位在自動駕駛中都非常的重要，任何一種獨立運行都無法實現無人駕駛。絕對定位無法實現無人駕駛的主要原因有以下兩點：首先設備成本、定位的精度和穩定性問題。GPS 配合慣性測量元件及即時動量，可以實現公分級的定位，但這些硬體成本相當的高，同時，GPS 信號容易受干擾，穩定性較差，在高樓林立、玻璃幕牆集中的地方定位會漂移，而慣性測量元件又會受到信號覆蓋範圍的影響。

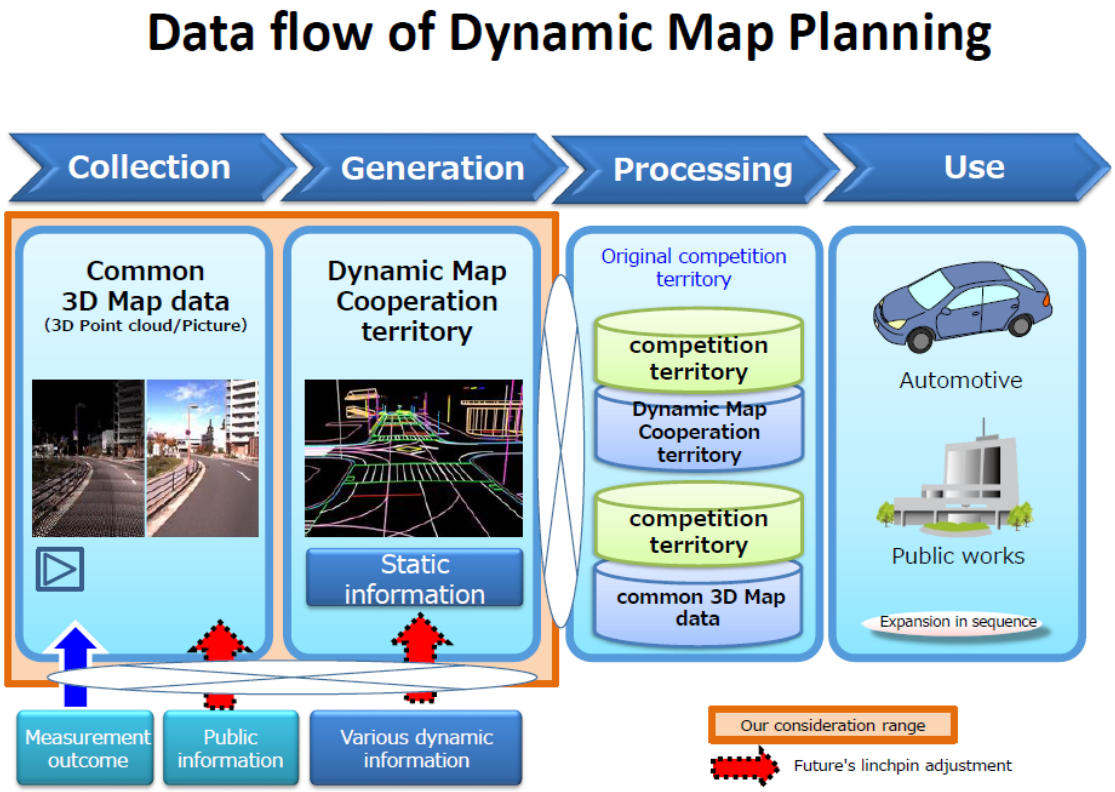
高精度地圖可協助自動駕駛車輛預先感測坡度、轉彎等複雜的路面資訊，再結合人工智慧技術，做出最佳的路徑規畫，不只提供道路中軸與寬度基本資訊，還需記錄路標與多層道路高低差等細節，其圖資的生成需搭載多個感測裝置，且資料龐大。由於繪製高精度地圖所使用的資料採集車所費不貲，因此，搭載光達(LiDAR)的自駕車成為業者降低繪製成本的主要方案之一。

隨著自動駕駛車輛時代來臨，勢必須有更快的傳送技術，以及統一的標準化語言，才能將高精度地圖的數據在雲端與不同車輛間進行傳輸，日本以國家之力發展高精度地圖，目的即在此。未來的高精度地圖將作為無

人駕駛的記憶系統，具備三大功能：（1）地圖匹配；（2）輔助環境感知，對感測器無法探測的部分進行補充，進行即時狀況的監測及外部資訊的回饋；（3）路徑規劃，即時更新矯正位路定位，依此進行最優路線規劃。

此外，由於地圖此類數據，各家取得內容相去不遠，因此，不同高精度地圖將面臨同質化的問題，如何利用軟體讓圖資系統使用上更便利，或提供更多樣的服務，以創造差異化特色，也是未來發展重點。

2015 年 Toyota 推出「高精準度地圖產生系統」，在車輛搭載 3D 雷達，連續採集空間圖資，上傳雲端中心建構 3D 地圖。另外 9 家日本整車廠也於 2016 年成立 Dynamic Map Planning 公司，主要目的在 2020 年前繪製日本的 3D 道路地圖如圖 16 所示。日本自動駕駛高精度地圖的領先關鍵，乃是日本政府訂定 2020 年東京奧運自動駕駛展示之政策目標，日本國內各大車廠、圖資廠商、測繪設備商等共同合作，以共通的標準發展出高精度的 3D 共通基本地圖數據，而個別的地圖公司及測量公司，再於各自的競爭領域加值開發進而提供給車廠使用，未來將可廣泛運用於個人導航、防災/減災、社會基礎設施等領域。



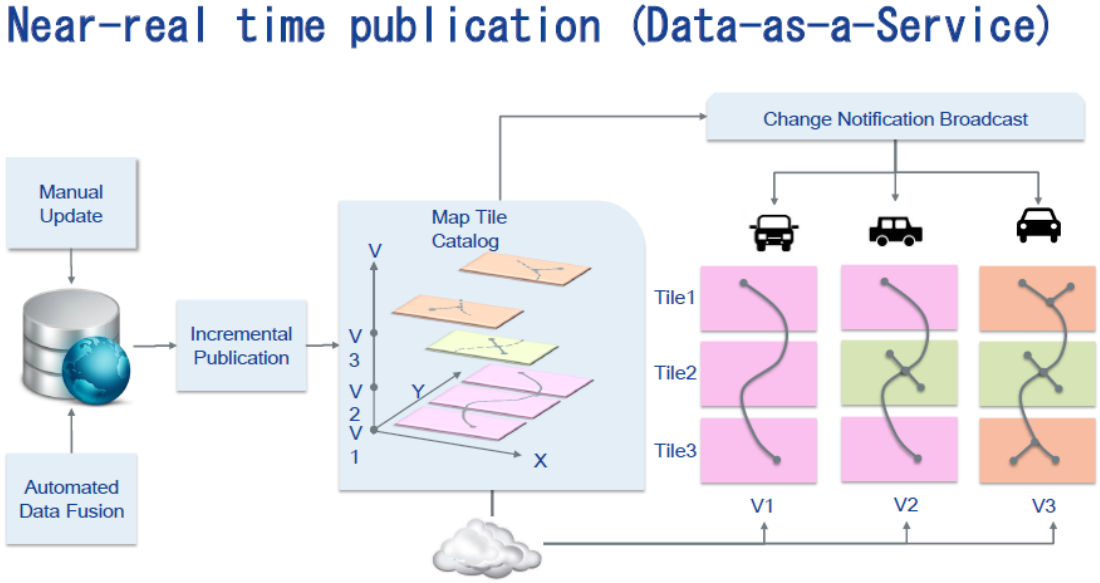
資料來源[18]

圖 16　日本 DMP 高精度地圖

另外一個高精度地圖發展成功案例係原 Nokia 子公司 HERE，目前該公司由 BMW、Benz 和 Audi 三大德國車廠共同持有，該公司推出「HERE

HD Live Map」的高精度地圖發展計畫，HERE HD Live Map 同樣是借助地圖採集車上的 LIDAR 地圖技術繪製而成的，而一般高精度地圖採集車 LIDAR 的攝影機圖元高達 6800 萬。當地圖採集車開動時，LIDAR 內置的光束陣列可以在周邊區域反射光線，藉以構建高精度地圖向量資料模型。 HD Map 本質上就是建立在這一套向量模型之上的三維立體地圖。在地圖上，每個節點不只是一個 X/Y 座標，而是 X/Y/Z 座標。這樣，由一系列密集的點組成空間被拓展了，地圖更能準確反映當前車輛位置、路線和速度等資訊。而且還可以優化最佳道路的選擇

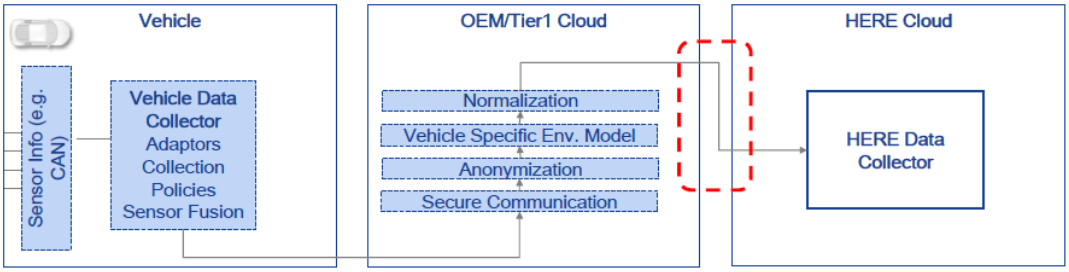
「HERE HD Live Map」強調即時性更新資料服務如圖 17 所示，該系統透過雙向方式蒐集即時交通資訊，除更新資料庫外更即時提供給其他使用者。



資料來源[15]

圖 17 HERE 即時性資料服務

「HERE HD Live Map」另一項特別的技術係透過行駛中的車輛提供路面訊息與感測數據，「HERE HD Live Map」通過剎車、雨刷、車燈、定位系統、照相機和其他感應裝置蒐集資訊，然後利用 Here 服務將訊息編碼後，這些訊息可以被收集到 Here 地圖中擴展即時智慧導航與自駕車等商機如圖 18。目前此項技術獲得全世界各大車廠廣泛支持，除原有德國三大車廠之外，美國 GM、福特、韓國現代、日本三菱以及中國的騰訊、四維圖新等公司紛紛以入股方式參與計畫。

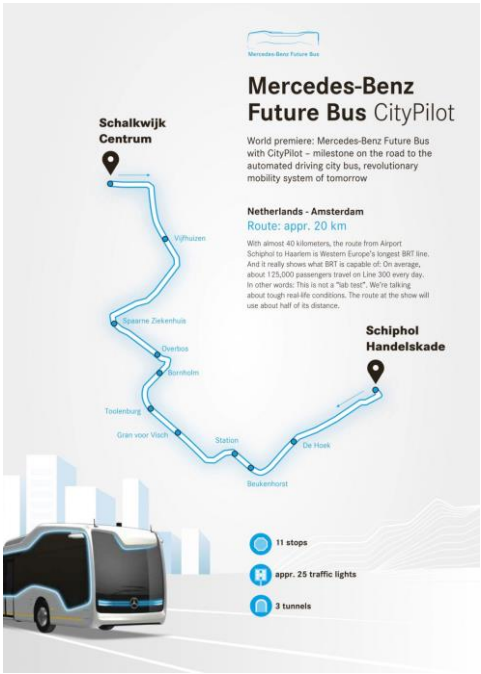


資料來源[16]

圖 18　HERE 雲端資料蒐集

六、目前有自動駕駛功能之電動公車

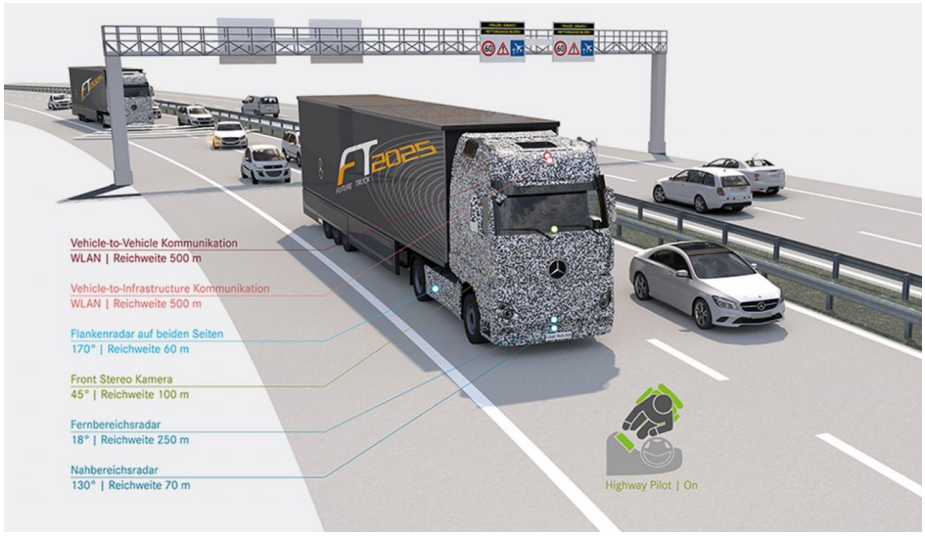
在電動公車的自動駕駛方面，Mercedes-Benz CityPilot 平台利用其 2015 年發展之 Highway Pilot 自動駕駛卡車技術，其利用十多個不同的 Video cameras，同時配備 GPS 和 Radar 系統，在荷蘭完成了長達 20km 的通勤路線全自動駕駛如圖 19 所示。經查該路線並非封閉區域，途中包括有狹窄的彎道、十字路口、人行區域等狀況。另外為符合荷蘭法令，該車仍配置駕駛，且雙手置於方向盤上。



資料來源[21]

圖 19　CityPilot 自動駕駛測試路線

Highway pilot 該系統係針對卡車於高速公路駕駛，由於卡車每天的行駛里程遠遠超過一般小客車，對於駕駛來說是相當大的負擔，因此 Mercedes-Benz 針對此開發自動駕駛技術，Highway pilot 係 Mercedes-Benz 在兩年前發表的「Future Truck 2025」概念系統如圖 20 所示。以此為基礎開發出 CityPilot 系統利用感測器監控汽車周圍環境，然後汽車對路況資訊與精準的即時地圖資料進行計算，使得車輛能辨識行人、紅綠燈以及其他障礙物，同時可沿途報站，減速停靠供乘客上下車。Mercedes-Benz 宣稱車輛停靠時，CityPilot 系統能夠將車輪至路邊的控制在 2 英吋以內。



資料來源[21]

圖 20　Future Truck 2025

另一個受注目的係美國電動巴士 Proterra，該公司於 2017 年開始於加州進行自動駕駛測試，其自動駕駛功能與 CityPilot 類似，可直接在市區行駛。

該公司受注目的不僅是其自動駕駛功能，首先在 2017 年 Proterra 公司長續航版 Catalyst E2 車型，在印第安那州的新卡萊爾市 Navistar Proving 試驗場進行測試，創下約 1772 公里的電動公車續航新紀錄。Proterra 並非傳統汽車公司，而是矽谷創投，現任執行長 Ryan Popple 為前 Tesla 財務長，相當看好電動巴士的前景，近年 Proterra 業務成長快速、包括美國 GM、德國 BMW 及日本三菱等均投資該公司。

Proterra 發展 On-Route 快充技術如圖 21 所示，可利用公車靠站時，乘客上下車的短暫時間極快速充電，最高充電功率可達 500KW，該公司並發展電動公車專用電池。該公司不僅提供電動大客車，係提供電動公車自動駕駛之 Total Solution。該公司策略係第一階段收集資料、測試車輛自駕技術，第二階段建立感知邏輯，第三階段成果授權商業使用，該公司執行

長 Ryan Popple 宣稱 Proterra 目標係推出可連續自動駕駛 24 小時的無人駕駛公車整體解決方案。



資料來源[22]

圖 21　Proterra On-Route 快充系統

七、結論與建議

經本研究蒐集各國自動駕駛發展顯示，各國推展方向均為先檢討相關法令，檢視法令中是否有不利於自動駕駛發展的相關條文，在考量技術發展現況後，着手對現行交通法規進行檢討；考慮允許在特定公路上開展測試，對責任分配、駕駛功能要求、資料保護以及對基礎設施影響等展開研究。未來車輛自動化層級的提升將面臨諸多技術的統整，關鍵主要分成感測技術、通訊技術以及駕駛決策分析系統等三大主軸技術，未來如何標準化以達到最大整合效益係政府部門下一階段課題。

同時為發展自動駕駛技術，政府除提供相關測試場域的硬體建設之外，高精度的電子地圖亦為必須，經本研究發現，高度的自動駕駛必須在具備高精度的電子地圖才能夠完全運作，惟因其製作尚未完全自動化適用於自動駕駛的高精度的電子地圖要價昂貴且製作費時，經本研究訪查顯示，每公頃造價 200 萬元以上，建議後續針對此進行相關研究，提出解決方案。

參考文獻

1. Autonomous Vehicle Technology A Guide for Pol icymakers James M. Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn D. Stanley, Paul Sorensen, www.rand.org/t/rr443-2,
2. Federal Automated Vehicles Policy -Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety NHTSA 2016

3. http://cyberlaw.stanford.edu/wiki/index.php/Automated_Driving:_Legislative_and_Regulatory_Action
4. European Roadmap Smart Systems for Automated Driving EPoSS: European Technology Platform on Smart Systems Integration
5. STANDARDS IN A RAPIDLY CHANGING MOBILITY LANDSCAPE ITU WORKSHOP ON VEHICLE COMMUNICATIONS AND AUTOMATED DRIVING, SAE International
6. https://futuretransports.wordpress.com/author/shadab14/
7. AUTONOMOUS VEHICLES AND AUTOMATED DRIVING STATUS, PERSPECTIVES AND SOCIETAL IMPACT, Erwin Schoitsch AIT Austrian Institute of Technology GmbH (Vienna)
8. Issues in Autonomous Vehicle Deployment, Bill Canis Specialist in Industrial Organization and Business, September 19, 2017
9. https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%AA%E5%8B%95%E9%A7%95%E9%A7%9B%E6%B1%BD%E8%BB%8A
10. Autonomous vehicles: potential impacts on travel behaviour and our industry Public Transport Research Group (PTRG) Institute of Transport Studies Department of Civil Engineering Monash University, Australia
11. A Frost & Sullivan Exclusive Whitepaper For Analysis of LiDAR technology for advanced safety, http://velodynelidar.com/downloads.html
12. Analysis of LiDAR technology for advanced safety
13. AUTOMATED DRIVING SYSTEMS, A Vision for Safety NHTSA
14. Self-Healing Maps for Autonomous Driving,Sanjay Sood, GPU Conference| May 10, 2017
15. HERE Intelligent Car: the advent of Highly Automated Driving Mako MatsumotoSenior Strategic Program Manager
16. AUTONOMOUS VEHICLES: THE TESLA MODEL S Erica Conner
17. Research, Technology & Testing on Autonomous and Connected Vehicles For CSG Policy AcademynToyota Motor North America, R&D Hideki Hada June 12, 2017
18. Dynamic Map Planning (DMP) For an introduction and future prospects of the company, Dynamic Map Planning Co., Ltd.

November 2016
19. SAE Cellular V2X Technical Committee SAE 12302017-1 30 December, 2017
20. https://drivemag.com/news/mercedes-benz-unveils-future-bus-with-citypilot-autonomous-driving-system
21. Fast Charge Battery Electric Transit Bus In-Use Fleet Evaluation