

自動駕駛技術

文・圖／李綱

自動駕駛車近十多年來在全球成為受矚目的議題，事實上自動駕駛車概念的提出最早可追溯到1925年的一篇通訊雜誌文章^[1]，該文章所描述的自動駕駛車是透過無線通訊進行遠端控制，這與目前國際上自動駕駛車的發展趨勢不謀而合——自動駕駛車與車聯網技術發展是無法脫離關係的。

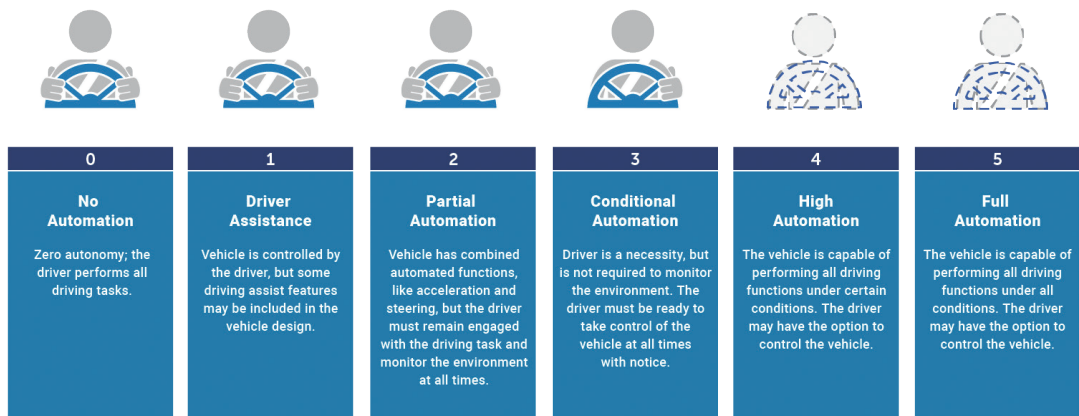
自動駕駛技術發展史

雖然早在1925年自動駕駛技術的概念就已經被提出，但直到1950年代，美國通用汽車公司才正式進行概念車（火鳥1號與火鳥2號）的開發，而於1958年與通訊公司RCA合作開發了可在高速公路上自動駕駛的火鳥2號原型車，原本該款車預定於1975年量產，但最後並未實現^[2]。不過自動駕駛車的研究並未停歇，美國在1980年代掀起了另一波研究風潮，1986年美國卡內基大學展示了一輛使用電腦視覺技術為主的自動駕駛車，雖然該車的自動駕駛能力有限，但也引起通用汽車公司的合作興趣。

在西岸的加州大學柏克萊分校（University of California at Berkeley, UC-Berkeley）則是致力於自動駕駛高速公路系統（Automatic Highway System, AHS）的研發，當時UC-Berkeley還特別成立California Partner for Advanced Transit & Highway Program（簡

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE) AUTOMATION LEVELS

Full Automation



國際自動機工程師學會定訂的車輛自動化程度分級標準（J3016）



由1960年代雪鐵龍DS改裝的汽車於倫敦科學博物館自動地行駛。（由 Joc281 - http://objectwiki.sciencemuseum.org.uk/wiki/Image_1973_377_Citroen_DS19_automatically_guided_motor_car.html, CC BY-SA 3.0）

稱California PATH），PATH至今仍是加州大學柏克萊分校研究自動駕駛與智慧運輸最重要的機構。

而加州政府則在美國聯邦政府支持下，投入大筆研究預算於自動駕駛車與AHS的研發，主要動機是希望能解決加州日趨嚴重的高速公路阻塞問題。其中一項關鍵技術就是自動跟車，或所謂自動駕駛車隊（platooning）技術，在不影響行車安全性的前提下縮短兩車之間的跟車距離。該技術在1980年後期於美國聖地牙哥的高速公路上進行了實車展示，包括多部美國通用汽車所組成的自動駕駛轎車車隊以及多輛巴士所組成的車隊於高速公路上進行高速（時速100公里以上）的動態展示。

此後，UC-Berkeley PATH在加州交通部的支持下進行持續十多年的各類自動駕駛車相關技術研發，包含特種車輛如鏟雪車、噴雪車與公車等。當時UC-Berkeley的高速公路自動駕駛系統主要是憑藉磁導引，使車輛能夠達成精準側向定位的能力，在縱向的跟車車間距控制則透過無線通訊取得最前車的即時加/減速資訊，以確保車隊內每輛車的跟車安全性（string stability），不會因累積誤差導致煞車不及而肇事。磁導引的車輛定位技術穩



2015年5月16日，臺大機械系自動駕駛車輛研發團隊由機械系楊主任、劉副主任、鄭榮和老師及李綱老師帶領學生們於彰化車輛測試研究中心（ARTC）進行自動駕駛動態展示，前導車為結合即時車輛精準定位、雷射掃描器與視覺感測器之自主駕駛車，跟隨車則是可自動跟車之三輪輕型電動車。展示情境包含S型彎道過彎、前方故障車輛偵測與閃避及行人自動偵測與煞停。



與National Instrument公司合作之自走車。



台大智慧型載具與機電整合實驗室
臺大校園自動駕駛接駁車



2016年示範自駕高爾夫球車。雷射自動偵測行人緊急煞停。

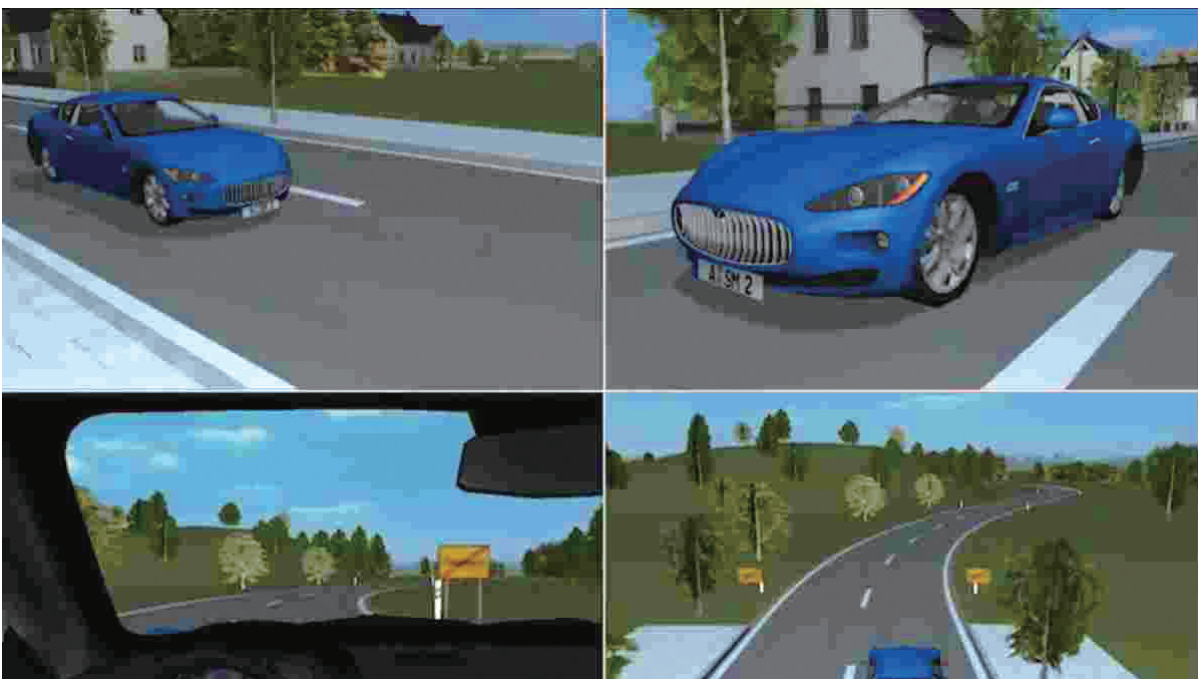
定可靠而且價格便宜，但是必須在路面上施工安裝磁鐵。UC-Berkeley PATH開發的這套自動駕駛技術的商用化直到2013-2014年才實現，用於奧勒岡州尤金市的兩截式加長型公車上。值得一提的是，目前許多研發單位/公司使用車間無線通訊技術專為大型聯結車所開發的「偕同式適應性巡航控制系統」（Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC）基本上都會遵循類似設計理念，以確保車隊的string stability不會被意外突發狀況所破壞，避免發生連環車禍。

2004、2005年美國軍方DARPA Program連續兩年舉辦自駕車比賽（Grand Challenge）帶動另一股風潮，眾所皆知的Google car即是源自2005年冠軍隊伍史丹佛大學的Stanley car，該團隊的靈魂人物Prof. Thrun後來成為美國有史以來最年輕的國家工程學院院士。不過，Google的自駕車技術商用化歷程一波三折，從一開始寄望的後裝市場（after market）的自駕車產品，改成Google專屬的無方向盤、無煞車及油門踏板

的輕巧型自主駕駛車（self-driving pods），繼而在這一兩年又改與車廠合作，專攻無人駕駛接駁車服務。這應該也是體認到造車與做電子產品之間有極大差異。術業有專攻，特別是車輛製造商所必須擔負的產品可靠度、安全性責任（liability），若不是與專業車廠合作，恐怕無法造出一部可以上路且耐用、安全、可靠的自駕車。此外，Google自駕車系統依賴其車頂的高解析度三維光學雷達（LiDAR）以提供自主定位系統演算法必要的環境感知資訊，由於這類雷達的量產技術仍未成熟，價格十分高昂，並且耗費極大的運算資源，因此未來幾年Google自駕車技術的商業化成功與否仍有待觀察，但不可否認的是Google自駕車（目前改稱為Waymo公司自駕車）仍是目前累積自駕車總里程數最高且持續增加最迅速的公司，其他公司差距在5-10年。

自駕車發展現況與趨勢

目前國際上對於自動駕駛車的分級主要是依照國際自動機工程師學會（SAE）的標準（SAE-J3016），這套標準將車輛的自動化程度分成0~5級，目前市售乘用車大多已具備第一級（Level-1）的駕駛輔助系統，少數高檔的豪華轎車則已具備第二級（Level-2）部分自動駕駛（partial automation）能力。這類系統可在交通狀況較單純的情況下如高速



高擬真度的自駕車實虛混合模擬驗證平台XIL，可就自駕車各別次系統進行更完整的測試分析。

公路上達成自動駕駛，駕駛者不需控制方向盤、煞車與油門，但仍須集中精神注意行車狀況，以便隨時能接手。國內自主品牌汽車納智傑的研發公司——華創車電於三年多前即與本實驗室及國外的顧問合作開發Level-2自動駕駛系統，並於2016年年初進行了中、高速（時速60~120公里）的實車道路測試與展示^[3,4]，可惜當時沒有正式對外曝光，否則將比Tesla號稱世界最先發表的Level-2自動駕駛系統（AutoPilot）更早半年。

自動化程度第三級（Level-3）與第二級最大的差別在於駕駛者不需時時注意行車狀況，僅在系統要求其接手時回復到人工駕駛模式。雖然有公司宣稱已達成Level-3，然而此一等級系統其實存在著極大的安全顧慮，因為人在緊急狀況下，直覺反應會立刻介入煞車與方向盤的操控，極可能發生與自動駕駛系統爭奪主導權的狀況，如何讓人放心交給電腦判斷，被動地接受其要求才接手，這恐怕是Level-3自動駕駛系統最難克服的技術挑戰之一。第四級（Level-4）與第五級（Level-5）的界線較模糊，第四級的自動駕駛系統在一般正常情況下完全由電腦操控，所以這類等級車可以沒有駕駛座。第五級則必須在所有狀況下達成自動駕駛，包含惡劣的天候與複雜的交通狀況。目前自動駕駛系統成熟度最高的Waymo自駕車已經在美國某些地區進行完全沒有工程師/駕駛者在車上的自動駕駛載客測試，顯然地，Waymo自駕車的商業化策略是跳過Level-2&3，直接發展Level-4，緊追在後的還有Uber。此外，有些公司則積極發展以公共運輸為目的之Level-4無人駕駛巴士，惟目前只限於特定場域、情境下無人駕駛，面對臺北市汽機車混流的複雜交通狀況，這類Level-4的無人駕駛巴士恐怕會寸步難行，這也是目前臺大機械系自動駕駛巴士研發團隊想要突破的課題之一。

臺大機械系自動駕駛車研究

自動駕駛車各次系統有幾個部分：感知、決策與控制系統，其中，控制系統包含底盤電子控制轉向、煞車與動力次系統，感知次系統則運用感測器融合技術將多種感測器如相機、毫米波雷達、超音波雷達、光學雷達、慣性感測器、全球衛星定位系統等所提供的資訊進行整合，以達成自主定位、周遭環境障礙物及道路標線、標誌及號誌的偵測與辨識，甚至對於周遭動態障礙物的追蹤與意圖分析等。

自主定位除了運用前述感測器資訊，亦需使用高精度電子地圖（HD Map），包含導航演算法所需的地理資訊（GIS）圖資，影像或光學雷達（簡稱光達/LiDAR）定位所需的

道路及環境特徵圖資，以及如使用光達繪製出周遭環境的點雲地圖（cloud map）。

常見的自駕車定位技術為LiDAR-based Simultaneous Localization and Mapping（SLAM）技術，以及結合GPS、慣性感測器、電子地圖與影像



臺大機械系自駕車研究團隊

融合之定位技術，這兩大類各有其優缺點，感測器的硬體成本落差也很大。Waymo自動駕駛車所選用的三維光達（64線束）造價昂貴，單具高達七萬美金，使用這類光達的另一個負擔是需要極大的運算能力。本實驗室過去在自主定位技術的研發則以後者為主且已取得發明專利^[5~7]，主要是考量與車廠合作開發的自駕系統必須符合高可靠度、高速運算且相對低價等要求；此外，從系統的可靠度、安全性觀點而言，我們所開發的自主定位系統包含了冗余（redundancy）設計的概念，並將電子地圖視為虛擬感測器，與視覺感測器及二維光達整合，透過資料融合技術開發高可靠度、高性價比的圖資融合車輛即時定位系統。

自駕車的決策次系統主要的工作內容為根據感知次系統所提供的定位與環境資訊，進行車輛運動路線的動態規劃以及車輛操控的決策，並對於車內/外的狀況做出適當的反應，包含緊急狀況處置。自駕車的感知與決策次系統和目前所泛稱的人工智慧（A.I.）技術習習相關，一般以為自動駕駛技術的核心只有人工智慧，卻忽略其精準操控與安全性確保仍有賴於一套完善的控制系統設計，此控制系統必須能精確掌控底盤轉向、煞車及動力系統輸出，以使車身動態符合車身穩定性、煞車安全性及舒適性等多重要求；此外，高速自動駕駛車的車輛控制系統亦需要較高的系統更新頻率（例：100~200Hz），此頻率往往高於A.I.感知與決策模組，例如影像辨識模組、SLAM定位模組的更新頻率。若以人體的運作機制做比喻，人的大腦就好比自駕車的感知與決策次系統，透過人體的視覺、聽覺、嗅覺與記憶（地圖）等進行運動控制的決策，人的小腦、延腦及中樞神經就好比自駕車的核心控制系統，所負責的是器官與四肢的運作及協調，這部分未必是完全在大腦有意識控制之下



自動駕駛MPV

而進行的，例如人體四肢的協調性、平衡能力。

我們的研究團隊在過去幾年已陸續開發了下列三種自動駕駛車輛的技術：（1）低速自動駕駛遊園車：由電動高爾夫球車改裝，可在校園內的封閉場域進行固定路線的自動駕駛，其自動駕駛等級約在Level-2~3之間。（展示

影片連結^[8]）

（2）中高速自動輔助駕駛系統：與國內華創車電公司合作開發針對高速公路及快速道路上使用的Level-2自動輔助駕駛系統，其主要是使用相機進行道路標線的偵測與追蹤，進而控制方向盤以達成自動車道追隨控制之目的，並進一步整合適應性巡航控制技術，以便在前方車輛減速時能夠自動保持安全車距。（展示影片^[9]）

（3）中低速自主駕駛電動中型巴士：與國內研究法人（工研院）、新創公司艾歐圖科技（iAuto）及明志科大合作。（展示影片^[10]）

未來展望：臺大（先進動力研發中心）高擬真度自駕車XiL實虛混合模擬驗證技術研發

自動駕駛車要能真正上路進入你我的日常生活中，首先要解決的是安全疑慮，目前還沒有一套完整嚴謹的方法可以百分之百確認其安全性，只能藉由實車測試所累積的行程總里程數與系統脫離（disengage）次數比例獲得統計學上的系統成熟度量化指標。特別是自駕車的A.I.感知與決策軟體對於不同國情文化的用路人是否一體適用，恐怕還有很大的技術問題待克服。為了解決上述問題，我們的團隊希望在臺大先進動力研發中心既有的混合/電動動力系統X-in-the-Loop（XiL）模擬驗證測試平台基礎上，進一步整合底盤電子控制（X-BY-WIRE）系統的測試平台，建立高擬真度的自駕車實虛混合模擬驗

證平台，期利用此一平台的驗證測試技術，針對自駕車各次系統的功能性安全（functional safety）設計、可靠度與性能進行完整的測試分析。相信這套XiL平台驗證技術對於臺灣發展成為全球自駕車次系統供應商將有極大助益。（本期專題策畫／土木系周中哲教授）

參考資料：

- [1] Herndon Green, Radio-controlled automobile, p.p. 592, Radio News, November, 1925.
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=KEk4sXUsj8&list=PLFydzOll01GBsGtgDRo5RV54XQoNdxSXC&index=15>
- [3] <https://youtu.be/9ylFE8Dlo1Q>
- [4] B.-C. Luan, I.-H. Lee, H.-S. Tan, K. Li, D. Yuan, and F.-C. Chou, Design and Field Testing of a Lane Following Control System with a Camera Based on T&C Driver Model, SAE Technical Paper 2016-01-0117, 2016. (DOI: 10.4271/2016-01-0117)
- [5] 基於電子地圖、全球導航衛星系統及車輛動態偵測技術之車道辨識方法，中華民國發明專利 (I522258)。
- [6] 載具即時精準定位系統，中華民國發明專利 (I635302)。
- [7] 吳柏富，以高精度電子地圖與運動模型為基礎之動態定位估測策略研究，國立臺灣大學碩士論文，2016。
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=NwSCmsL9EMQ&t=206s>
- [9] <https://youtu.be/3FqU5zSCoyg>
- [10] <https://youtu.be/xUXv4aKFpnE>
- [11] <http://aprdc.ntu.edu.tw/>



李綱小檔案

李老師於 2000 年畢業於臺大機械系，服役期間於澎湖的戰車連擔任預官排長，當時使用的是美國 M60-A3 戰車。退伍之後於臺大機械系擔任一年的專任助教，之後赴美國加州大學柏克萊分校攻讀碩、博士，在該校最著名的自動駕駛技術研發單位 PATH 進行博士與博士後研究，2010 年返國於臺大機械系任教至今。