我國聯網自動駕駛實驗場域需求探討

The Study on Test Bed of Connected Autonomous Vehicles

運輸資訊組 周家慶

研究期間：民國107年2月至108年8月

摘　要

「安全」與「效率」一向為各國推動智慧型運輸系統(ITS)之重要目標，兩者間互為影響。近年來國際在智慧運輸發展上，由於車聯網與自動駕駛在交通安全、運輸效率、節能減碳的預期效益，以至於成為主流趨勢。本研究先就自動駕駛車的自動程度等級、運作架構、發展與測試等，以及針對於開放實驗場域自動駕駛車運行相關的定位與感知次系統進行探討，課題包括高精地圖、車聯網通訊環境、道路標誌標線環境等。在高精地圖部分，回顧各國際上主要高精地圖格式，以及我國內政部所擬高精地圖向量圖資標準格式草案，並提出在向量格式定義應從交通運輸應用面向著手的建議。在車聯網通訊環境部分，建議對於都市交控通訊協定 3.0 版的無線通訊限制應予調整，也提出透過內政部國土測繪中心 e-GNSS 服務，搭配路側 DSRC RSU 廣播差分定位修正訊號給自動駕駛車，提高其定位精度的作法。在道路標誌標線環境部分，建議因應未來自動駕駛車於開放道路運行，各道路主管機關宜預為參考自動駕駛車影像辨識方式，研擬標誌標線與號誌在光學面向的自動檢測方式，以評估道路系統是否符合自動駕駛車行駛的最低標準。

關鍵詞：

車聯網、自動駕駛車、高精地圖。

我國聯網自動駕駛實驗場域需求探討

一、計畫背景與目的

「安全」與「效率」一向為各國推動智慧型運輸系統(ITS)之重要目標，兩者間互為影響。交通部在智慧型運輸系統發展上，強調以「普及以人為本的永續運輸建設」、「厚實安全優質的國民生活環境」及「增進發展本土化的 ITS 新興產業」為發展目標，並建立流暢、便捷的運輸服務系統，提供安全、無縫的優質運輸服務，創造節能、潔淨的交通運輸環境，促進健全與永續的 ITS 產業。近年來國際在智慧運輸發展上，由於車聯網與自動駕駛在交通安全、運輸效率、節能減碳的預期效益，以至於成為主流趨勢，此趨勢可由 2015 年至 2018 年 ITS 世界年會中，車聯網與自動駕駛的論文發表與展場內容比例逐年升高可見。

為因應未來聯網自動駕駛車(Connected Autonomous Vehicle, CAV)的發展，世界各國(英國、美國、日本、韓國、澳洲、中國大陸、…)均投入實驗場域的構建，並歡迎各國聯網自動駕駛車研發團隊到其實驗場域進行研究與測試。2012 年起美國運輸部在密西根大學所在之 Ann Arbor 地區進行 2,800 輛車的車聯網實測，車種包括小客車、卡車及大眾運輸車輛，車上均裝載專用短距通訊(DSRC)與先進駕駛輔助系統等，道路上則設置專用短距通訊(DSRC)路側設備。2015 年進一步在密西根大學北校區處建置可供給自動駕駛車與車聯網測試場域 Mcity，內容具備多重情境的測試，主要用於自動駕駛車的在都市中的模擬測試，如隧道、十字路口、彎道和快速道路等情境，可以快速測試自動駕駛車在都市內的各種反應。

我國在聯網自動駕駛實驗場域之發展，最早應是本所於 2015 年與 2016 年在基隆地區所構建由高速公路、快速道路、市區道路所組成之車聯網實驗場域，以車與路所組成之車路整合在交通安全類警示、路口節能駕駛與高速公路均勻車流速度建議等應用情境為主。2017 年配合行政院政策在中興新村發展新實驗場域，整合車聯網(CV)與先進駕駛輔助系統(ADAS)功能，並以路口交通安全為主題，擴大偵測範圍，增加行車安全預警時間。行政院後續將於沙崙地區分別發展封閉式場域與開放式場域，以供自動駕駛車進行實驗與試行之用。

以美國 Mcity 為例，聯網自動駕駛實驗場域的構建不僅止於車輛於場域中測試，尚須透過後臺構建模擬平臺，透過模擬平臺所形成的虛擬駕駛環境提供自動駕駛車行駛其中，測試其各類演算法效能，以進一步加以改

良與提供自動駕駛程度或可靠度。而後臺也可蒐集大量數據，進行聯網自動駕駛環境在交通安全、運輸效率、節能減碳等面向之模式評估；美國 Mcity 即與密西根大學運輸研究中心(UMTRI)密切合作，UMTRI 的密西根交通實驗室(MTL)透過其模擬平台可即時與 Mcity 場域之測試自動駕駛車通訊，傳送各種情境數據來測試自動駕駛車之反應，而 MTL 也可蒐集大量資料進行各種交通模式分析，例如：車聯網環境下之適應性號誌控制。因此本研究目的為檢視本所於基隆地區與中興新村所構建之車聯網實驗場域，以及沙崙自動駕駛車實驗場域，參考美國 Mcity，進行著重於交通安全與運輸效率面向之需求探討，並進一步對我國自動駕駛開放實驗場域發展提出構想。

二、自動駕駛車運作概述

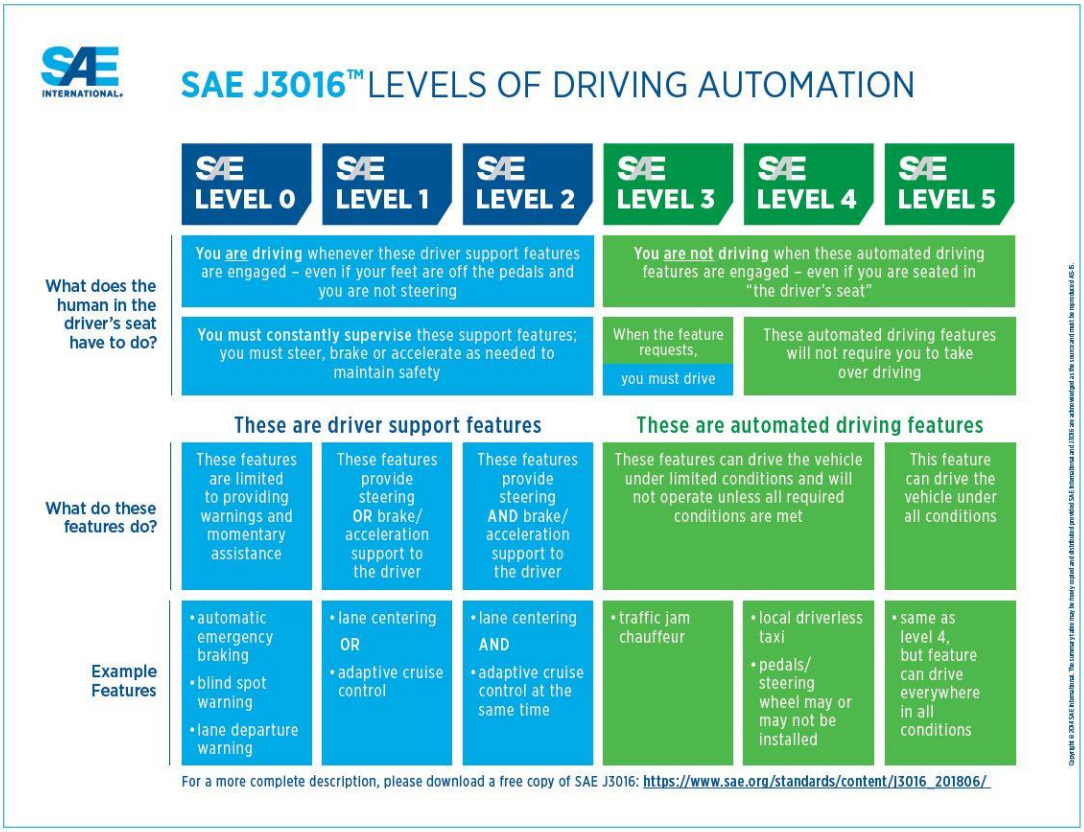
本節先就自動駕駛車的自動程度等級、運作架構、發展與測試等課題進行探討，後續各節將針對自動駕駛車運行相關的定位與感知次系統進行探討。

2.1 自動駕駛車自動程度等級

在自動駕駛技術發展過程中，車輛會面臨車輛本身相關測試驗證，以及車輛在道路上行駛相關安全測試，以及道路設施對於自動駕駛運行的影響。車輛測試需求包括來自強制性法規、車輛業界共通標準、車廠本身要求，強制性法規屬於最基本的車輛安全要求，共通性測試標準則是進一步涵蓋更大範圍的車輛性能及耐久性能，車廠本身要求測試內容與結果則多不對外公開。美國汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)在 SAE J3016 標準中，將自動駕駛程度分級標準分為 6 個等級(如圖 1 所示)，從完全沒有自動化的等級 0、(LV 0)駕駛者需隨時操控整個動態行駛任務，到完全自動化的第 5 等級(LV 5)。

等級 0 是屬於無駕駛自動化的車輛，依 2019 年 1 月 7 日 SAE 所更新的自動駕駛程度分級，自動緊急煞車輔助(AEB)、車道偏移警示(LDW)、盲點警示(BSW)等行車輔助已被歸屬於等級 0。等級 1(駕駛輔助)與等級 2(部分駕駛自動化)仍歸類為駕駛者駕駛，惟提供不同程度的進階行車駕駛輔助，等級 1 提供車道控制或主動式車距調節巡航系統(ACC)其中一項，等級 2 須同時具備車道控制與主動式車距調節巡航系統(ACC)。等級 3(有條件的駕駛自動化)以上則屬於自動駕駛程度，等級 3 在自動駕駛系統運作遭遇困難時，駕駛者仍須介入取回車輛控制權進行車輛操控。等級 4(高

度駕駛自動化)與等級 5(全駕駛自動化)最大差別在於等級 5 不受限於行駛環境，而等級 4 則在局部範圍進行自動駕駛，例如：無人駕駛計程車(Local driverless taxi)。



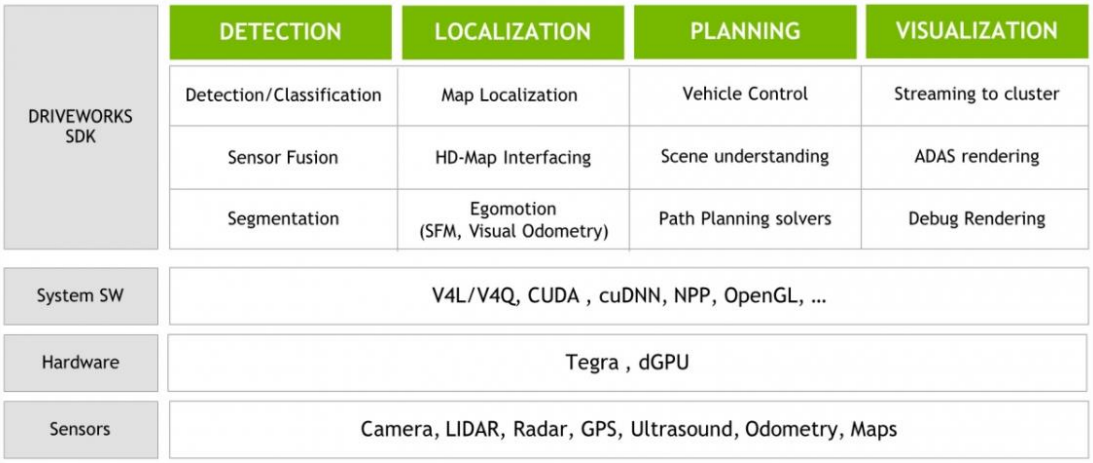
資料來源：https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic

圖 1. 美國汽車工程師學會 SAE J3016 自動駕駛程度分級標準

2.2 自動駕駛車運作架構

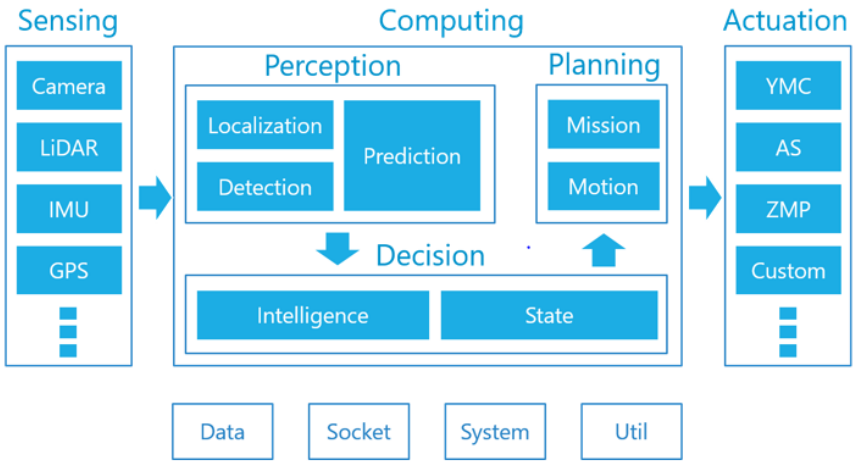
在說明自動駕駛車模擬實驗測試，我們須先了解自動駕駛車運作原理，根據 2018 年 8 月 18 日 Twitterte 所發表的 5 個自動駕駛車開源軟體開放平台為 Autoware、Apollo、EB Robinos & EB Robinos Predictor、NVIDIA® DriveWorks、 OpenPilot。國內各自動駕駛車研發團隊(包含工研院)最多使用者為 NVIDIA® DriveWorks，成功大學 106 年起以林肯(Lincoln) MKZ 車款加裝線控驅動模組，以利進行電腦控制車輛加速、剎車、轉向與檔位，在車輛導航定位，主要利用全球導航衛星訊號接收機、慣性感測裝置與車身資訊，同時發展視覺導航、光達點雲導航，以及高精地圖技術，以減少受到衛星訊號遮蔽與多路徑效應影響。成功大學車輛之環境感知主要採用融合影像、光達與雷達之技術，並搭配深度學習與多物件追蹤濾波器，以對於行車環境之物件與屬性有充分之掌握。該車輛軟體平台即以 Autoware

自動駕駛車開源軟體(Open Source)開發平台，圖 2 與圖 3 分別為 Nvidia DriveWorks SDK 與 Autoware 的自動駕駛車軟體功能方塊圖，圖 4 為 EB Robinos 自動駕駛車軟體功能方塊圖。



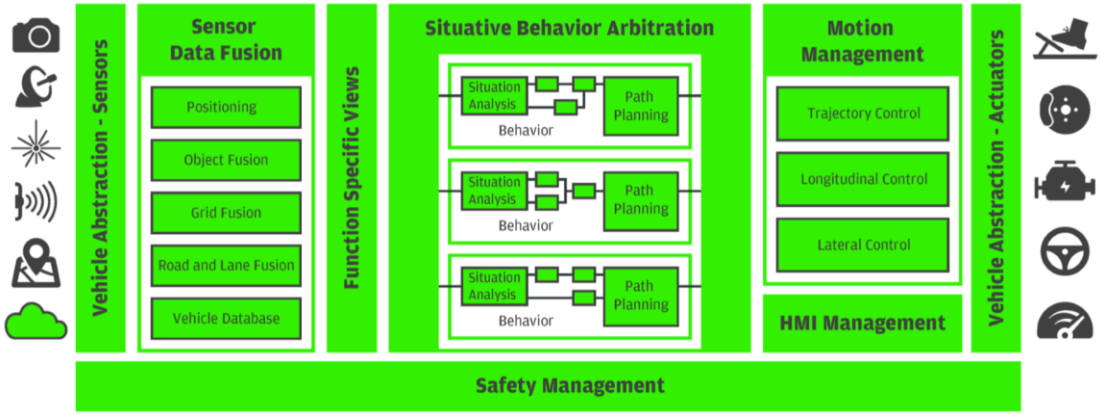
資料來源：http://twittertechnews.com/, 2018/08/18

圖 2. Nvidia DriveWorks SDK 自動駕駛車軟體功能方塊圖



https://github.com/autowarefoundation/autoware/wiki/Overview

圖 3. Autoware 自動駕駛車軟體功能方塊圖



資料來源：http://twittertechnews.com/wp-content/uploads/2018/07/open_robinos_specification_1.1.0.pdf

圖 4. EB Robinos 自動駕駛車軟體功能方塊圖

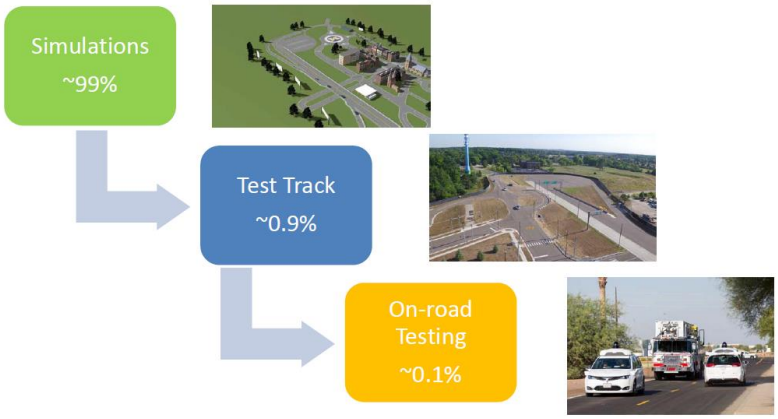
由圖 2 至圖 4 的不同自動駕駛車軟體功能，可歸納出自動駕駛車需要透過定位與感知次系統、決策次系統與控制次系統等組成，若以 Autoware 為例，則包括由攝影機、雷射雷達、IMU(慣性測量單元)、GNSS 組成與融合之感知次系統(Sensing 或 Sensors)，決策運算次系統(Computing)包括由感知(Perception)、規劃(Planning)、決策(Decision)等組成，以及車輛控制系統。而自動駕駛車運行主要關心目前車輛位於何處(Where is the car)？車輛周邊有甚麼(What is around the car)？根據前述訊息？自動駕駛車下一個動作為何(What does the car need to do next)？而在與駕駛環境息息相關的各次系統運作中，自動駕駛車主要透過定位與感知次系統(包含高精地圖)所得訊息，來進行後續的決策判斷與控制。

一般而言，自動駕駛車會透過全球衛星定位系統(Global navigation satellite system, GNSS)直接取得車輛即時位置坐標值，大多會搭配差分定位或即時動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)來提高車輛定位精度；而 Localization 則進一步取得自動駕駛車位於週遭環境的相對位置，例如：Nvidia DriveWorks SDK 使用地圖與高精地圖透過演算法來推估自動駕駛車處於何處。

我國成功大學 106 年起即以林肯(Lincoln) MKZ 車款加裝線控驅動模組，以利進行電腦控制車輛加速、剎車、轉向與檔位，在車輛導航定位，主要利用全球導航衛星訊號接收機、慣性感測裝置與車身資訊，同時發展視覺導航、光達點雲導航技術，以減少受到衛星訊號遮蔽與多路徑效應影響。成功大學車輛之環境感知主要採用融合影像、光達與雷達之技術，並搭配深度學習與多物件追蹤濾波器，以對於行車環境之物件與屬性有充分之掌握，該車輛軟體平台即以 Autoware 自動駕駛車開源軟體(Open Source)開發平台。

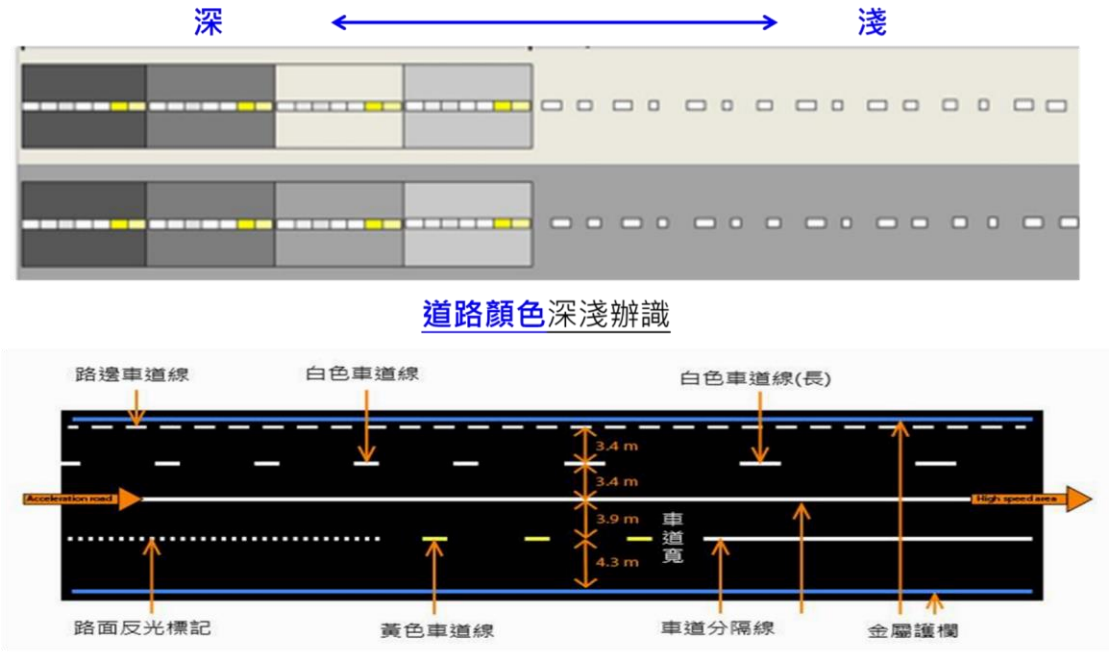
2.3 自動駕駛車系統發展與測試

根據 2018 年台灣車輛國際論壇美國密西根大學(也是目前 M-City 主任)彭暉教授在「全球自駕車發展與運行」簡報中說明，自動駕駛車發展大致可分為 3 個步驟，首先為 1.模擬實驗測試，其次為 2.封閉場域測試與 3.開放場域測試，其研發測試比重約分別為 99%、0.9%、0.1%，圖 5 為此發展示意圖。歐洲有關自動駕駛車系統測試驗證規範正研擬中，自動駕駛車在封閉場域測試與開放場域測試時，在須能對於道路的鋪面顏色深淺與車道標線辨識，如圖 6 所示。



資料來源：彭暉，全球自駕車發展與運行，2018 台灣車輛國際論壇

圖 5. 自動駕駛車研發步驟



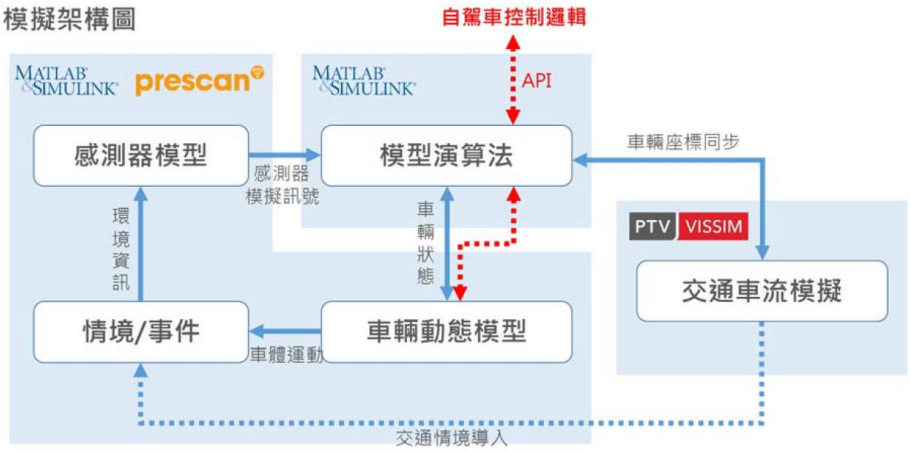
資料來源：黃品誠，2018，臺灣自駕車測試與驗證環境建構

圖 6. 自動駕駛車鋪面顏色深淺與車道標線辨識需求

2.3.1 自動駕駛車模擬實驗測試

而目前在模擬實驗測試平台多利用 Tass PreScan、Matlab、SIMULINK 等軟體組成模擬測試平台。PreScan 軟體提供 ADAS、環境、Model in the loop (MIL)、Software in the loop (SIL)與 Hardware in the loop (HIL)模擬。首先 PreScan 可建立包括車道、車輛、行人軌跡及位置環境模型。接下來構建所模擬自動駕駛車輛的感測元件，包括 GNSS 接收器、DSRC 天線與車載設備(OBU)、各式攝影機、各式雷達(包含雷射雷達 Lidar)等。最後，透過 Matlab 與 SIMULINK 建立控制模型，以及 PreScan 和 Mtlab/SIMULINK 的整合模擬來完成感測數據、模擬數據、駕駛環境的可視化。

高雄市政府交通局因應 107 年 12 月所公布的「道路交通安全規則」第 20 條及附件 21 有關自動駕駛測試申請作業規定，以及 107 年 12 月「無人載具科技創新實驗條例」後，自動駕駛車研發團隊或業者將尋求縣市政府同意來申請於開放道路進行測試或營運，為評估請於高雄市開放道路進行自動駕駛車運行之可行性，因此於 108 年進行「高雄市自動駕駛電動巴士系統運行評鑑計畫」。未來規劃於高雄市進行自動駕駛電動巴士運行的申請案，除須提供「道路交通安全規則」第 20 條及附件 21，以及「無人載具科技創新實驗條例」所規定提送送審文件外，需先通過「高雄市自動駕駛電動巴士系統運行評鑑計畫」所擬評鑑機制。該評鑑機制規劃建置自駕巴士虛擬場域測試平台，此平台除由上述 Tass PreScan、Matlab、SIMULINK 等軟體組成模擬測試平台，同時結合 VISSIM 來透過多元情境來確認所申請自動駕駛電動巴士之控制邏輯可達到相當的邏輯驗證可靠度，此架構類似 2.3.2 節所描述之增強實境(Augmented Reality, AR)模擬實驗平台。圖 7 為此虛擬測試平台運作流程示意。



資料來源：高雄市政府交通局

圖 7. 自動駕駛電動巴士系統運行虛擬測試平台運作流程

2.3.2 自動駕駛車封閉場域測試

不過前述模擬實驗測試方式並無法模擬自動駕駛車在真實車流環境下的運行效能，因此美國近年來透過在各地車聯網與自動駕駛車測試場域建置進行各項實驗與測試，相關研究與測試成果將提供該國在車聯網與自動駕駛車發展之重要參考。2012 年起美國運輸部在密西根大學所在之 Ann Arbor 地區進行 2,800 輛車的車聯網實測，車種包括小客車、卡車及大眾運輸車輛，車上均裝載專用短距通訊(DSRC)與先進駕駛輔助系統等，道路上則設置專用短距通訊(DSRC)路側設備。同時在密西根大學北校區處建置一個可提供給自動駕駛車與車聯網測試場域 Mcity，內容具備多重情境的測

試，主要用於自動駕駛車的在都市中的模擬測試，如隧道、十字路口、彎道和快速道路等情境，可以快速測試自動駕駛車在都市內的各種反應。

Mcity 於 2015 年在密西根大學、車廠、車輛零件供應鏈廠商與保險公司的公私夥伴模式下開始運作，Mcity 位於密西根大學校園東北角，占地 37 英畝，約為 15 公頃或 15 萬平方公尺。內部包括各種不同道路型態的真實世界駕駛環境來供車聯網與自動駕駛車進行實驗與測試。在市區與郊區道路部分，包括：各式車道組合與人行道、自行車道、路燈、路邊平行停車與斜角停車、公車站等。在資通訊環境上，包括：由無線通訊、光纖通訊、區域網路所構成的控制網路來蒐集所有交通動態資訊，該場域同時建置有高精度與即時的動態定位系統(kinematic positioning system)。其他設施包括：鐵路平交道、圓環、各種不同鋪面型態的道路與道路標誌、透過隧道來模擬無線通訊與 GPS 訊號遭到隔離的地下道行車環境、不同組合的號誌化路口與非號誌化路口、高速公路與匝道、金屬橋梁礎、用來模擬樹隧道對無線訊號的影響，不過相關資料並未說明道路設施在鋪面材質、道路標誌標線反光性、號誌燈發光特性等自動駕駛車運行對於環境偵測之影響參數、圖 8 為 Mcity 可申請使用區域示意及空拍圖。



圖 8. Mcity 可申請使用區域示意(Mcity 申請表)及空拍圖(Mcity 網站)

密西根大學運輸研究中心之密西根交通實驗室(Michigan traffic laboratory, MTL)考量車聯網將成為未來道路運輸的基礎工作，而此趨勢同時不單從運輸校路與安全角度切入，同時須兼顧車輛油耗與廢氣排放，並結合交通資訊的車輛能源使用最佳化方法，不過在此研究的道路上的實測工作將面臨影響交通與交通安全課題。為解決此實測時面臨的困難，發展結合 Mcity 自動駕駛車實測場域與微觀車流模擬軟體 VISSIM 的「硬體迴圈系統(Hardware-in-the-Loop-System, HiLS)」擴增實境(Augmented reality)實驗平台，用來進行車聯網應用的效益評估分析。透過網路 VISSIM 可由

使用可開發 DSRC 車聯網虛擬車輛動態，而這些車輛動態透過 BSM 訊息與網路傳送至 Mcity 自動駕駛車實測場域中的自動駕駛測試車，結合現場 DSRC 路側設備所廣播 SPaT 訊息，場域中進行測試的自動駕駛車即可進行具備車聯網環境下的車間通訊、車路通訊、車人通訊、車與自行車通訊之自動駕駛運行測試。為配合車輛油耗與廢氣排放之車聯網應用實驗，該實驗平台及時接收自動駕駛測試車引擎負載動態資訊，據以評估與計算在不同虛擬車流環境下該自動駕駛測試車的油耗與廢氣排放。實驗顯示此架構可在每 200 ms 資料傳輸率下取得最佳化後的引擎運作與車輛速度資訊，同時透過此擴增實境虛擬實驗平台，也可比透過模擬方式更容易取得精確的實驗數據。

此擴增實境虛擬實驗平台亦提供聯網與自動駕駛車，在安全的環境下進行包括危險情境在內之各種實驗與測試，該實驗室可控制測試場域所有號誌與路側設備，而實驗與測試過程所有數據均可由實驗室進行蒐集後進行研究與分析。目前 Mcity 使用改裝自 Cadillac CTS 車款的自動駕駛實驗車進行實驗，透過該實驗室所研發之虛擬車輛產生模組來產生多輛車的位置、速度、行進方向與軌跡，並透過實驗場域的 DSRC 路側設備進行廣播 (V2I)，讓測試車「看」到虛擬車，而虛擬車與測試車均可被同時監控，相關數據也可即時回傳實驗室。圖 9 為實驗進行時在 MTL 的監控畫面。

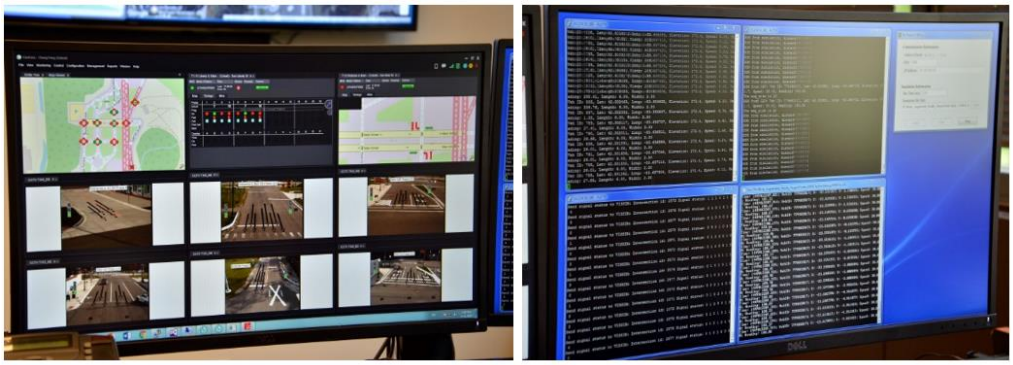
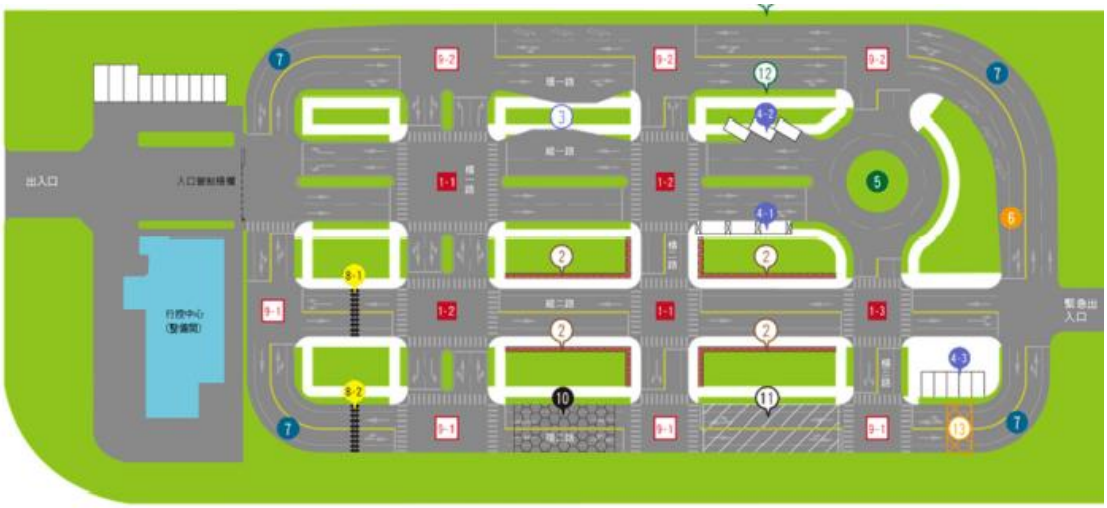


圖 9. MTL 進行實驗時的監控畫面

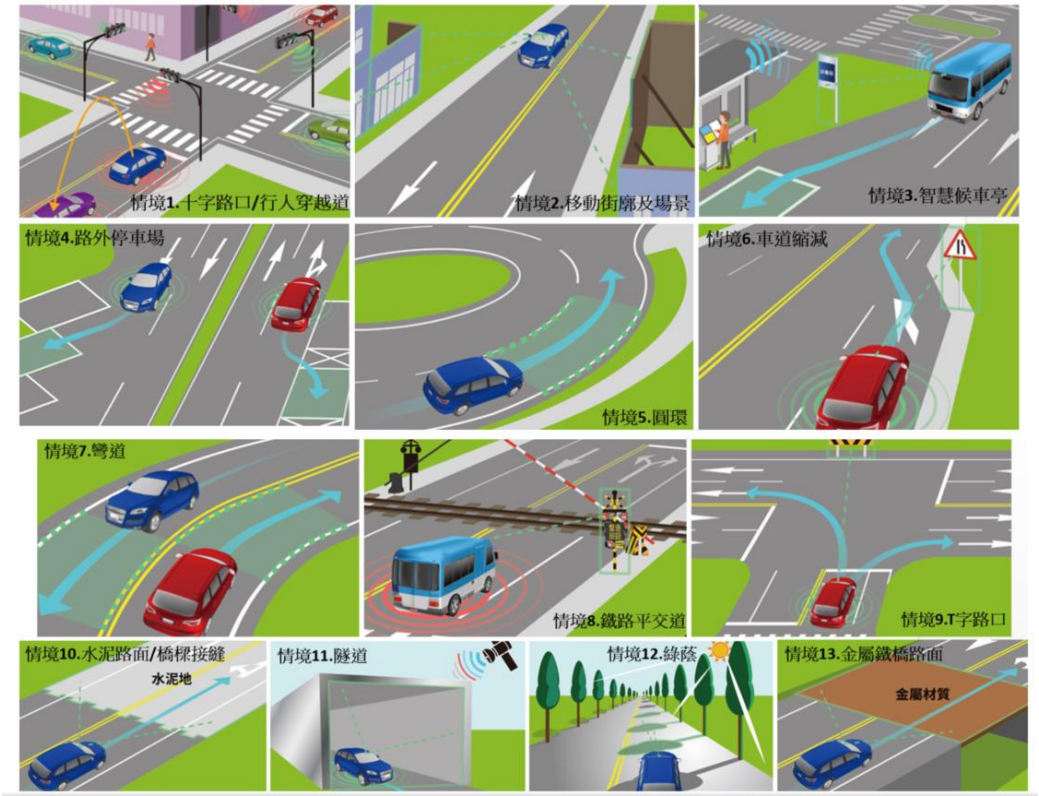
我國臺南沙崙「台灣智駕測試實驗室(Taiwan CAR Lab)」已於 108 年 2 月 25 日開幕啟用，佔地兩公頃，具備 13 項情境測試，包括十字路口/行人穿越道、移動街廓及場景、智慧候車亭、路外停車場、圓環、車道縮減、彎道、鐵路平交道、T 字路口、水泥路面/橋梁接縫、隧道。臺南沙崙智駕測試實驗室建立高精度衛星定位基地台及車輛定位通訊系統，使用於回饋自駕車位置及速度等動態資訊，可作為上述之行人人偶及自行車騎士人偶控制系統之計算資訊與驅動人偶目標之觸發訊號，亦可記錄自駕車於封閉

場域運行時，遭遇目標車、行人人偶與自行車騎士人偶等偵測目標時之動態資料(位置、車速資訊、煞車減速度...等)。圖 9 與圖 10 分別為「台灣智駕測試實驗室」運行程序與 13 項場域情境。



資料來源：http://taiwancarlab.narlabs.org.tw/content/tw/operation.html

圖 9. 「台灣智駕測試實驗室」運行程序



資料來源：http://taiwancarlab.narlabs.org.tw/content/tw/facility.html

圖 10. 「台灣智駕測試實驗室」13 項場域情境

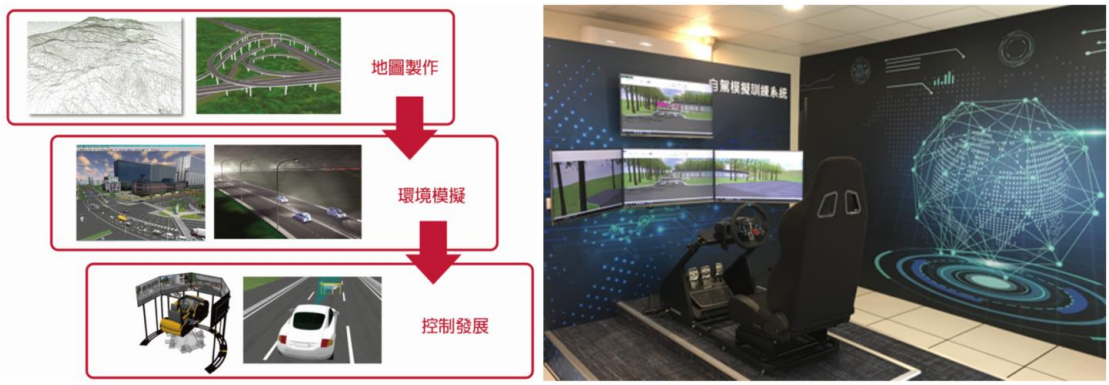
桃園虎頭山物聯網創新園區於 108 年 6 月 18 日啟用第一期基地，發展物聯網和資安等科技產業，其中自駕車率先亮相，提供智慧車輛自駕車

實證測試平台，成立封閉式車聯網基地。在戶外場域測試項目部分研擬 10 種測試情境，包含市區道路號誌十字路口、行人穿越道、3 出入口以上之圓環、公車停靠區。圖 11 與圖 12 分別為桃園虎頭山物聯網創新園區自駕電動巴士與場域示意，以及自動駕駛模擬平台。



資料來源：勤崴國際科技股份有限公司會議資料

圖 11. 桃園虎頭山物聯網創新園區自駕電動巴士與場域示意



資料來源：勤崴國際科技股份有限公司(思渤科技)會議資料

圖 12. 桃園虎頭山物聯網創新園區自動駕駛模擬平台

三、自動駕駛車運作道路環境

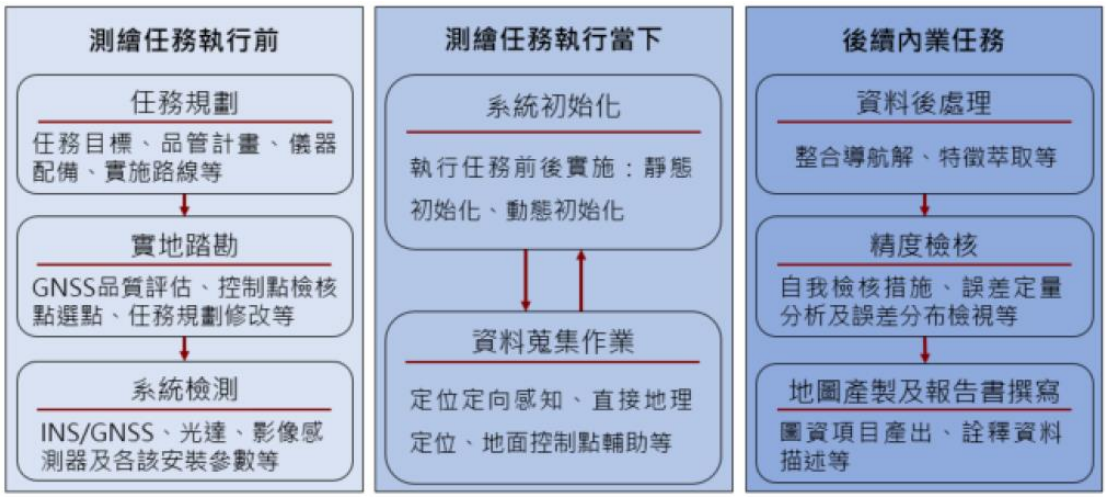
本節將針對自動駕駛車運行道路環境相關的車輛定位與感知次系統進行探討，課題包括高精地圖、車聯網通訊環境、道路標誌標線環境、、。

3.1 自動駕駛車運行的高精地圖

自動駕駛車運行受到衛星定位技術於都市地區受限遮蔽或者反射訊號影響，無法準確將自駕車定位於車道內，基於安全及硬體成本考量，除整合包含相機、光達、全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)等感知元件在內，使用具備車輛導航資訊之高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)，提供可靠穩健之環境先驗資訊已是自動駕駛技術運行的重要關鍵。目前即時定位與地圖建構(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)技術即為自動駕

駛車在定位(Positioning and localization)的核心技術，SLAM 結合多種感測方式，包括：光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)、慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)與里程計(Odometry)等，來進行地圖建構與定位；以及單純利用視覺影像辨識系統，如相機與深度相機等視覺影像感測器，以進行即時定位與地圖建構。

高精地圖製作程序，首先須依據高精地圖製圖作業指引(2018 年 12 月)至測繪現場進行現地作業，圖 13 為高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統流程。現地作業成果主要為點雲(Point cloud)，一般而言，自動駕駛車運行所需點雲約為每平方公尺 400 點至 2,500 點，此階段所產生之高精點雲地圖以可滿足封閉場域固定路線運行的自動駕駛車所需。表 1 為內政部「自駕車用地圖驗證精度流程指引」初稿之點雲密度等級分類。高精向量地圖則須進一步進行道路中心線、車道中心線、車道線、車道邊線、車道坡度與曲率、停止線、道路節點、道路範圍、行人穿越道、路燈、交通標誌與號誌、...等，各種道路設施進行數化與產生各種設施的向量圖層，圖 14 為點雲與向量高精地圖成果(包括交通號誌、道路線)。



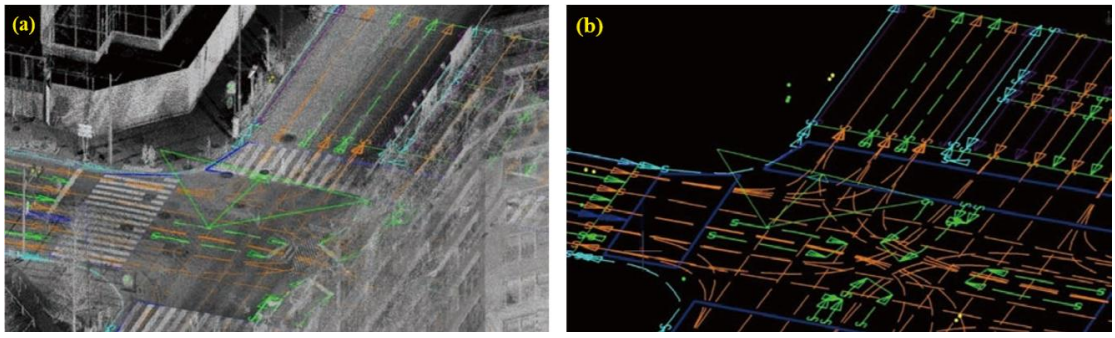
資料來源：台灣資通產業標準協會，107 年 12 月，高精地圖製圖作業指引

圖 13. 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統流程

表 1. 點雲密度等級分類

點雲密度等級	應用場景(三維定位精度)	點雲密度值(pt/m^2)
第一級	主動控制(Active Control) (0.1m)	2,500-10,000
第二級	車道內(Where in Line) (0.5m)	400-2,500
第三級	車道級(Which Lane) (1.5m)	100-400

資料來源：內政部，108 年 8 月，「自駕車用地圖驗證精度流程指引」初稿

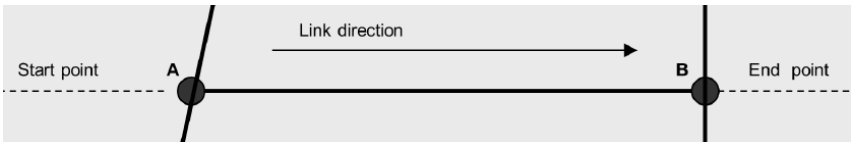


資料來源：高精地圖製作與交通運輸商業應用趨勢，2019 年 4 月

圖 14. (a)點雲資料結合向量高精地圖，(b)高精向量地圖(包括交通號誌、道路線)

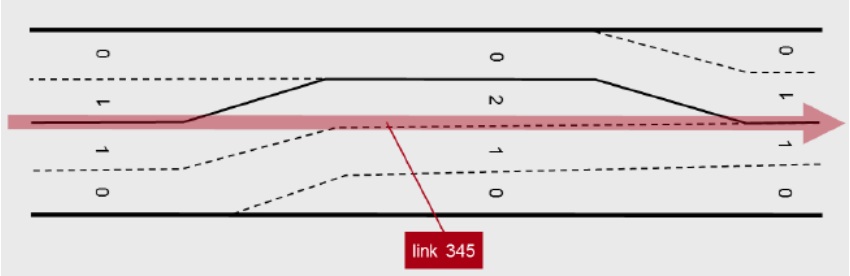
國際上在自動駕駛車所用高精地圖向量格式分別有不同組織訂定有相關格式，例如：(1)歐美主流的車廠共同成立的 Navigation Data Standard(NDS)協會、(2)原由國 VIRES 目前由自動與量測系統協會(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems, ASAM))持續開發管理的 OpenDRIVE、(3)國內主要自動駕駛車使用開源軟體開放平台 Autoware 所訂之「Autoware Maps Format v0.2」。

NDS 所訂 Open Lane Model 1.0 格式自動駕駛車高精地圖主要內容，分為路徑建構模組(Routing Building Block)與車道建構模組(Lane Building Block)兩大部分，提供自動駕駛車運行對於車道及路徑規劃所需資料。NDS 對於車道編號均自行進方向外側路緣開始算起，道路鏈結(link 345)為由左至右，因此行進方向左右側之編號分別為自最外側車道編號為 0，內側車道為 1；但在路段中間由左至右方向多 1 個車道，因此車道編號增加至 2，而由右至左方向少 1 個車道，因此車道編號僅有 1 個為 0。圖 15 為 NDS 對於 2 個路口間鏈結(Link)的示意，圖 16 為 NDS 對於車道編號的示意。NDS 訂有交通警示類標誌，但公開文件中並未見自動駕駛車運行需要的交通號誌相關定義。



資料來源：NDS, Open Lane Model 1.0

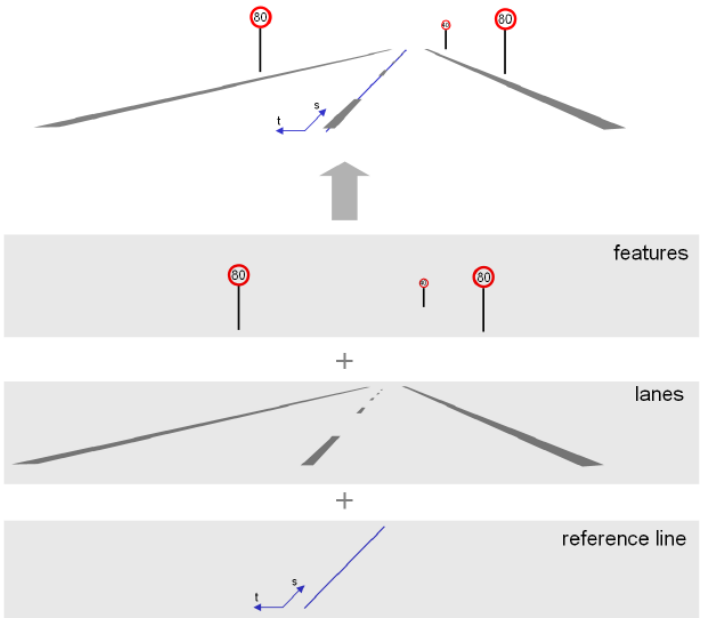
圖 15. NDS 對於 2 個路口間鏈結(Link)的示意



資料來源：NDS, Open Lane Model 1.0

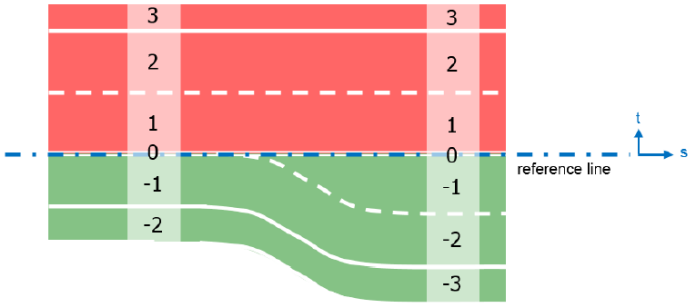
圖 16. NDS 對於車道編號的示意

目前 OpenDRIVE 最新版本為 1.5，透過 XML Schema 定義道路之車道、車道標線、道路設施及交通號誌之相關內容。圖 17 為 OpenDRIVE 對於實體道路以物件(feature)、車道(Lane)、道路中心參考線(reference line)的呈現模式，參考線前進方向為 s 軸，t 為參考線之橫移位置，h 為縱軸，軌跡坐標系統(s、t、h)為一個右手坐標統。圖 18 為 OpenDRIVE 對於車道編號的示意由道路中心參考線往左右側展開，往右方向為-1 開始，往左方向為 1 開始。OpenDRIVE 會記錄交通標誌與號誌資訊，包括該標誌與號誌的 s 與 t 位置、面對方向(Orientation)、自地面至該標誌或號誌底部的距離(zoffset)、該標誌或號誌的高(height)與寬(width)、該標誌或號誌的內容(value)。標誌或號誌的內容指的是速限或號誌型態，圖 19 為 OpenDRIVE 對於交通標誌種類之定義。



資料來源：OpenDRIVE, Format Specification, Rev. 1.5, 2019/2/17

圖 17. OpenDRIVE 對於實體道路之物件、車道、道路中心參考線的呈現模式



資料來源：OpenDRIVE, Format Specification, Rev. 1.5, 2019/2/17

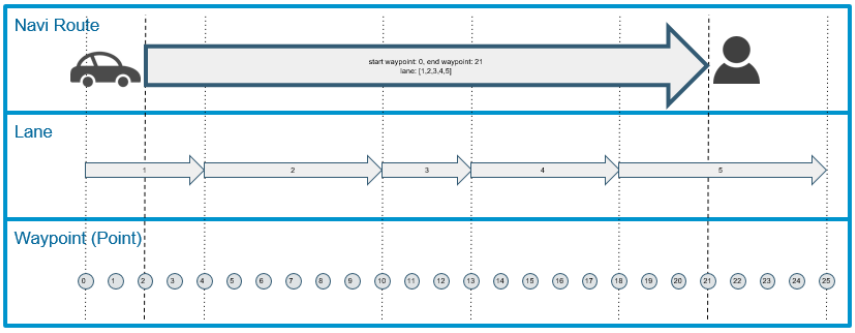
圖 18. OpenDRIVE 對於車道編號的示意

signal	type	subtype	signal	type	subtype	signal	type	subtype
	1.000.001	-		1.000.009	10		1.000.011	10
	1.000.002	-		1.000.009	20		1.000.011	20

資料來源：OpenDRIVE, Format Specification, Rev. 1.5, 2019/2/17

圖 19. OpenDRIVE 交通標誌種類之定義

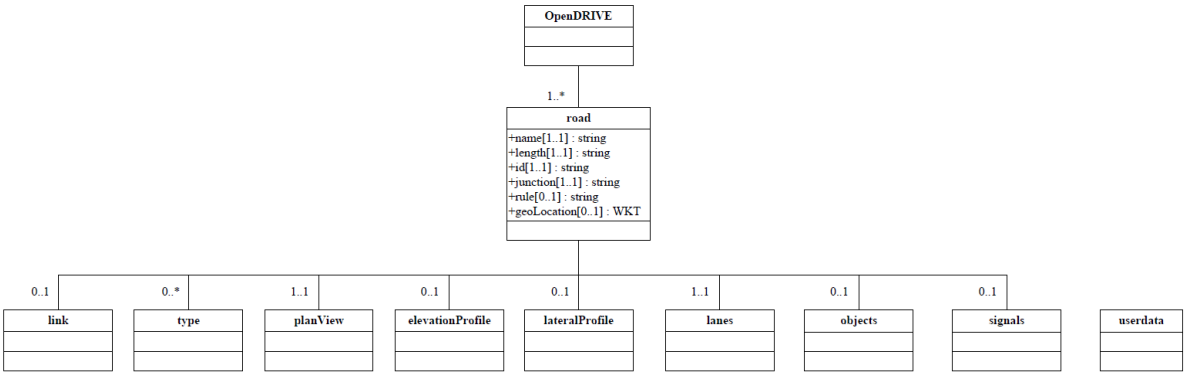
根據 Autoware Map 0.2 版文件，高精地圖的車道(Lane)由多個航點(Waypoint)組成，多個車道組成自動駕駛車運行路徑(Navi Route)。航點會記錄所位於車道之左右側寬度、高程、所在位置是否為停止線、速度等資料；車道會記錄起訖航點代碼、車道編號與車道數量、速限、車道長度、車道寬度/高度與載重限制等。Autoware Map 還有面資料型態，用來記錄人行道的實體空間物件。Autoware Map 透過車道屬性關聯資料表(Lane attribute relations)來記錄該車道屬性，例如：停車空間或禁止停車、路口、人行道、禁止變換車道、鐵軌等；航點屬性關聯資料表(Waypoint relations)來記錄該航點的下一個航點編號與距離、轉向限制(Blinker)、人行道、禁止變換車道、鐵軌等；其它關聯資料表尚包括車道關聯資料表(Lane relations)、車道變換關聯資料表(Lane change relations)、對向車道關聯資料表(Lane relations)、航點與車道關聯資料表(Waypoint lane relations)等。Autoware Map 同時納入交通號誌物件，內含交通號誌各號誌燈面物件，內容包括：交通號誌物件編號、交通號誌燈面物件編號、所屬點編號、水平與垂直視角、號誌燈型態(綠/黃/紅燈或為閃綠/閃黃/閃紅燈)、箭頭方位；對應交通號誌物件，尚透過車道與號誌燈關聯資料表(Lane signal light relations)、航點與號誌燈關聯資料表(Waypoint signal relations)等。圖 20 為 Autoware 高精地圖資料結構。



資料來源：Autoware Maps Format v0.2

圖 20. Autoware 高精地圖資料結構

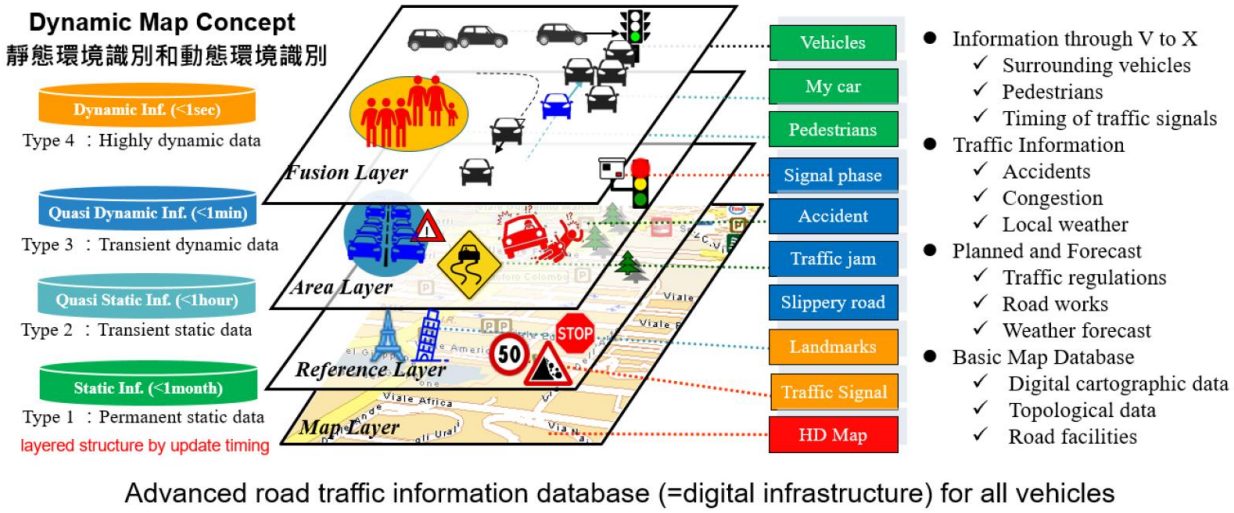
內政部在研擬我國自動駕駛車高精地圖草案向量格式時，考量我國自動駕駛車研發團隊多數採用開放架構之 Autoware 平台，在評估之後，將以 OpenDRIVE 為基本架構，以其 XML 架構為資料流通交換的中介格式，引用其內容並依我國需求擴充需納入之現象。UML 之主架構符合 OpenDRIVE 1.5 標準，道路以「road」類別設計，其下可記錄 9 個類別，包括「link」、「type」、「planView」、「elevationProfile」、「lateralProfile」、「lanes」、「objects」、「signal」及「userdata」，皆引用 OpenDRIVE 之「Road records」，UML 如圖 21。



資料來源：內政部，108 年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展案期中報告初稿

圖 21. 我國內政部自駕車用高精地圖應用綱要主要架構

內政部同時考量近年來自動駕駛技術發展已加速進行，SAE 自動化駕駛等級 4 以上的自動駕駛面臨的最大挑戰是保證自動駕駛車輛的安全，除需要準確的車輛定位與靜態高精地圖外，尚須結合即時動態交通資訊，發展成區域動態地圖(Local dynamic map, LDM)，以提供自駕車對環境的理解、行動規劃預測及行為控制，如圖 22 所示。



資料來源：內政部，108 年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展案期中報告初稿

圖 22. 利用 4 個不同狀況階層構成 LDM

目前內政部高精地圖向量圖資標準格式草案係依 OpenDrive 1.5 版與 2011 年 OpenGIS Simple feature access 2.1.2 版制訂，由於採用 OpenGIS 架構，所以資料結構嚴謹，但可能也造成標準格式草案複雜與龐大，另所引用 OpenDrive 格式三次多項式方式來表示道路曲線路段與道路連續高程變化，在實務製圖上與自駕車使用上是否可行，建議宜再進一步釐清。目前國內自駕車研發團隊多以 Autoware 開放平台進行研發，Autoware 自駕車開放平台亦訂有其高精地圖格式(Autoware Maps Format 0.2 版)，因此應可嘗試將高精地圖向量圖資標準格式草案，研擬轉換為 Autoware 圖資格式之相關程序與範例，以利此標準草案之後續推動。又目前標準草案對於標字或指向線採外包範圍(矩形)與實際形狀方式處理，當該標字或指向線因車輛行駛輾壓造成磨損，將產生與原圖資一致性課題，建議可評估納入該標字或指向線之中心代表坐標與屬性方式，來免除因磨損所造成的不一致現象。

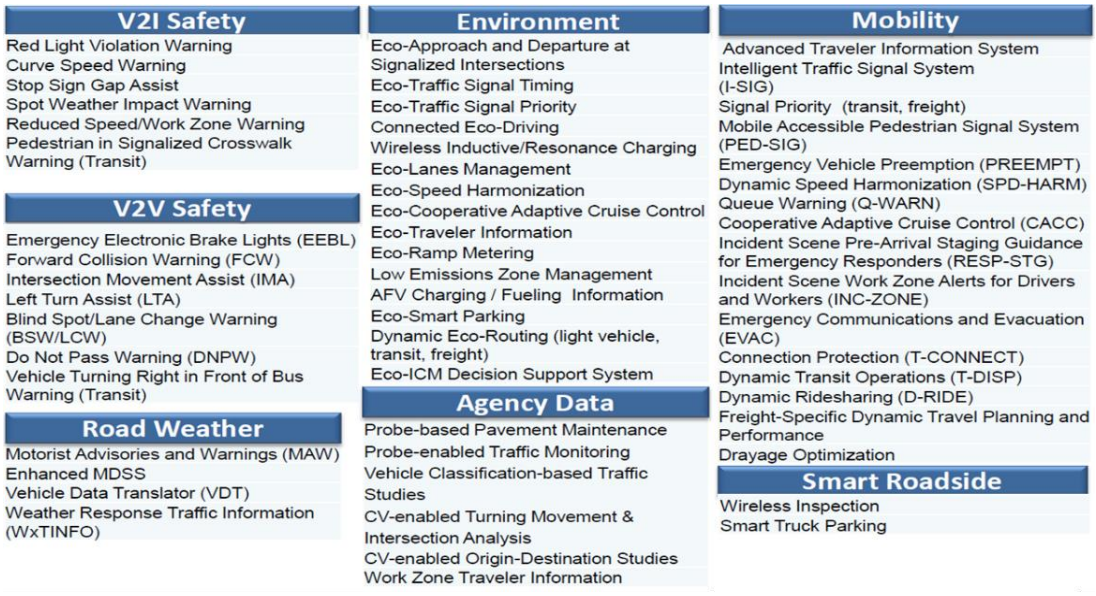
對於區域動態地圖(LDM)部分，交通部已訂有臺灣地區「即時路況資料標準」與即時路況資訊流通平台，高速公路局亦有 TDCS 即時交通資訊資料庫，本所近年在基隆地區與中興新村地區建置車聯網實驗場域，進行 V2X 應用研究，因此內政部計畫執行團隊可參考上述資訊，納入即時動態地圖標準與作業指引先期評估作業中。

3.2 自動駕駛車車聯網通訊環境

自動駕駛車需要車聯網(V2X)技術支援以進一步提高其運行安全，目前 V2X 通訊標準主要分成兩大類，分別由歐美日所支持的專用短距通訊(Dedicated Short Range Communications，DSRC)與以電信技術為基礎的

LTE C-V2X 與 5G (後續以 C-V2X 表示 LTE C-V2X 與 5G)。DSRC 專用短距通訊技術實體層採用 IEEE 802.11p 通訊標準開發，國際上主導 DSRC 標準制定的主要有美國、歐盟和日本，雖然歐美日的 DSRC 標準有所不同，但均以 IEEE 802.11p 標準為基礎，經由架設 DSRC 路側設備(或基地台)進行通訊，DSRC 不需透過電信商網絡，由車間或車輛與路側設備進行短距通信。以電信技術為基礎 V2X 標準主導國際組織為 3GPP 標準組織，2018 年起進行 R.16 第五代蜂巢式車聯網(Rel.16 5G C-V2X)的標準化研究，以符合 5G 蜂巢式車聯網通訊需求。

根據美國運輸部對於 DSRC 車聯網應用情境(如圖 23 所示)，包括車間通訊(V2V)與車路通訊(V2I)所組成在交通安全(Safety)、移動力(mobility)、環境保護(environment)、天候(road weather)、智慧路側設備(smart roadside)、資料分析應用(agency data)，其後已擴充包括對行人的 V2P，統稱為 Vehicle to Anything 的 V2X。而以 C-V2X 架構而言，由於多了由電信商所架構電信網路所以上可進行車對網路(V2N)。



資料來源：先進交通管理與車路整合技術創新應用(2/4)，106 年，交通部運輸研究所

圖 23. 美國運輸部車聯網應用情境

美國運輸部自 2015 年起執行車聯網先導佈署計畫 (Connected Vehicle Pilots Deployment, CVPD)，分別補助紐約州紐約市、弗羅里州 Tampa 市、Wyoming 州。紐約市計畫著重於交通安全應用，藉由車間通訊(V2V)、車路通訊(V2I)、以及車與行人通訊(V2P)技術，提供警示訊息給駕駛人，以提高行車與行人交通安全；Tampa 市藉由一樣藉由車間通訊與車路通訊技術，來改善市中心交通安全與交通壅塞問題；Wyoming 州則運用車間通訊與車

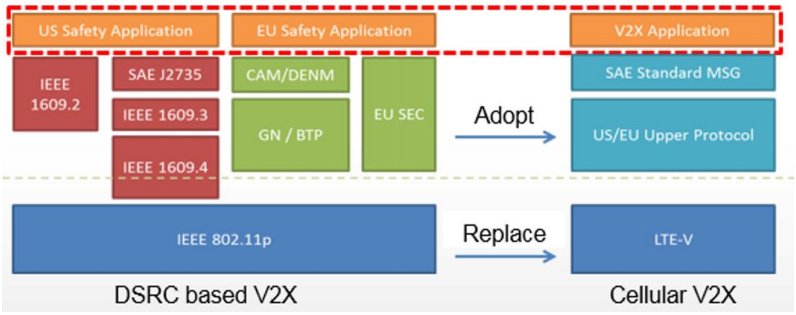
路通訊，來因應 I-80 因氣候影響受道路行車安全與提供即時行車警示。該計畫分為三個階段，目前已完成第一階段發展規劃、第二階段設計與建置測試，進入第三階段的營運維護與評估階段，詳細各子計畫執行情形可至美國運輸部網站(https://www.its.dot.gov/pilots/)查詢。

根據 2019/6/17 美國運輸部資訊，紐約市計畫發現車聯網設計為確保資訊傳輸安全所設計商業版安全認證管理系統(Security Credential Management System, SCMS)為確保個人隱私，SCMS 要求車輛須定期變更(或更新)安全憑證，不過紐約市計畫執行過程發現 SAE J2945/1 標準在憑證交換(Certificate Change, CERTCHG)部分存有漏洞，除下列 2 種特例，原 CERTCHG 要求每 5 分鐘提出憑證更新呼叫，第一項為與車輛上次憑證變更位置的絕對距離有關，第二項與關鍵事件旗標(Critical Event Flags)設定有關，但在紐約市常因受到交通壅塞或其它事件長時間的影響，車輛現行位置距離上次憑證變更位置的絕對距離小於 2 公里，因而車輛不會向 DSRC 路側設備發布憑證現象，目前正針對此課題進行處理中。

紐約市計畫同時發現下列幾點執行上的挑戰，包括個人隱私、資訊安全、後裝 DRSC 設備採購、車輛定位、車聯網應用微調、號誌控制器介面等。在個人隱私挑戰上，透過 MOU 簽署、車機資料加密、資料蒐集時間限制、資料去識別化等方式處理。在資訊安全挑戰上，透過前述之安全認證管理系統(SCMS)所構建受信任資料傳輸環境與即時監控運作等方式處理。在後裝 DRSC 設備採購挑戰上，透過各種系統工程手段與無線電工具，來協助與確認 DSRC 設備供應商符合計畫要求等方式處理。在車輛定位挑戰上，透過整合慣性測量單元(Inertial Management Unit, IMU)與車輛 CAN 匯流排車速資訊，以及 DSRC 路側設備(RSU)三角定位技術等方式來提高車輛定位精度，執行團隊成員還將此 DSRC 路側設備(RSU)三角定位技術，進行產品化與商品化。在車聯網應用微調挑戰上，則透過在開放場域與紐約市大樓林立環境下進行各種應用情境測試方式處理。在車號誌控制器介面挑戰上，主要是需要介接號誌控制器來取得及時號誌燈態的 SAE J2735 SPaT 訊息，該計畫介接符合 NTCIP 1202-v3 標準的號誌控制器來處理。

紐約市計畫也點出後續在都會區執行 DSRC 車聯網計畫可能的挑戰，包括安全認證管理系統(SCMS)、訊息/無線電頻道分配/應用的相互操作、車輛 CAN 匯流排整合、是否需要 RTCM 差分定位訊號、DRSC 設備的韌體更新機制、標準的可靠與穩定度、效能評估與模式模擬、搭配 SPaT 訊息的路口車道配置 MAP 訊息產生等。

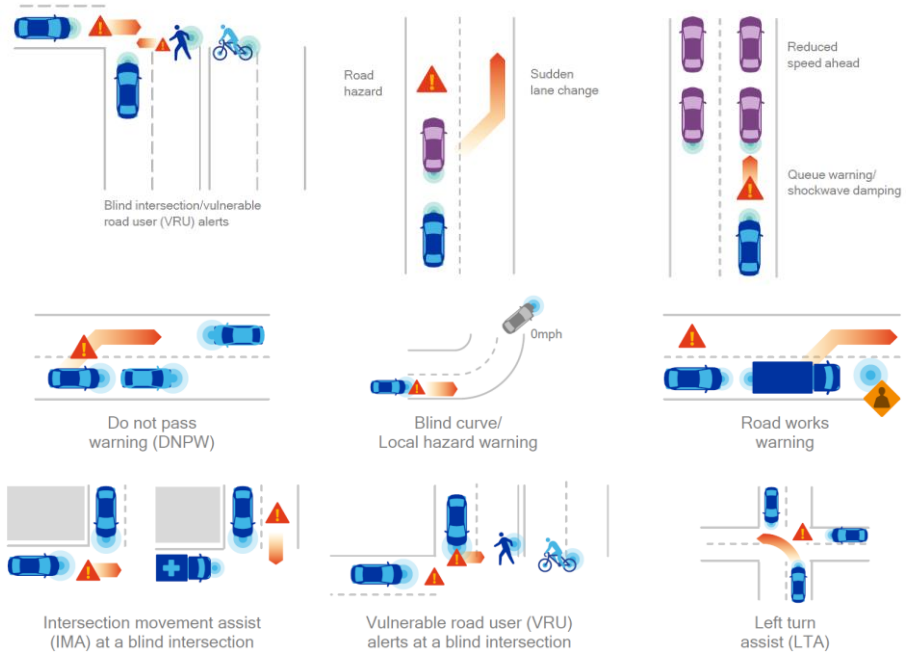
預期後續 DSRC 與 C-V2X 這兩種通訊技術，未來將採取相互融合發展趨勢前進，DSRC 跟 C-V2X 車聯網於標準制定上雖然通訊底層不同，但兩大標準的上層的應用應可共用，亦可透過 Gateway 連接與串聯兩大系統(如圖 24 所示)。因此雖然目前本所於基隆地區與中興新村區域車聯網實驗場域雖以 DSRC 通訊技術為主，但所發展車聯網與支援自動駕駛車輛在交通安全、交通管理與交通資訊服務等應用。將不至於因為通訊技術改變或演進受到影響。



資料來源：馮明惠、蒙以亨，107 年，自駕車車聯網(V2X)系統之需求與研究發展

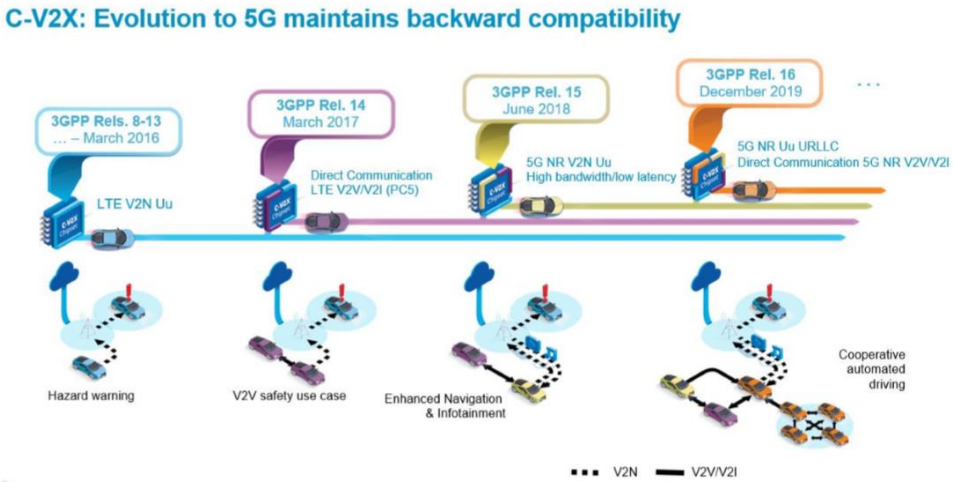
圖 24. DSRC 與 C-V2X 通訊協定架構

Qualcomm 於 2017 年發布「加速 C-V2X 商業化」文件中，顯示透過 C-V2X 提供更大範圍下的低延遲，以及高可靠度與非直視性(non-line-of-sight, NLOS)等特性的通訊技術，來提供包含自動駕駛車運行在內之各種行車安全應用，安全應用課題包括：道路施工、路口防碰撞、左轉保護、彎道盲區、...等警示(如圖 25 所示)。審視該文件所展示各項行車安全應用，與歐美日各國 DRSC 車聯網技術行車安全應用類似度很高。歐洲 5GAA 車輛協會曾於 2017 年發布車聯網技術中立文件中，建議分階段利用 5.9GHz 通訊頻段進行 DSRC 與 LTE-V2X 共容的車聯網行車安全實驗，目前 C-V2X 則由 LTE 進展為 5G；歐洲 5GAA 車輛協會在其 2019 年的 C-V2X 佈署時程表更新文件中呈現，3GPP Rels.8-13 與 Rel.14 等標準於 2017 年前即可提供 V2V 行車安全應用，2018 年 6 月的 3GPP Rel.15 可強化車輛導航運行，2019 年 12 月的 3GPP Rel.16 可提供偕同自動駕駛(如圖 26 所示)。以色列 Autotalk 晶片設計商近年則設計出同時支援 DSCR 與 C-V2X 晶片，該通訊晶片使用 5.9GHz 頻段。



資料來源：https://www.qualcomm.com/documents/path-5g-cellular-vehicle-everything-c-v2x

圖 25. C-V2X 的行車安全應用情境(Qualcomm)



資料來源：https://5gaa.org/news/position-paper-coexistence-of-c-v2x-and-802-11p-at-5-9-ghz

圖 26. C-V2X 佈署時程表(5GAA)

或有鑑於目前通訊技術的多元發展，美國運輸部也正就車聯網通訊技術與應用的政策面課題進行公開意見徵詢工作(https://www.federalregister.gov/documents/2018/12/26/2018-27785/notice-of-request-for-comments-v2x-communications)，徵詢內容包括：(1)蒐集與了界各界對於 DSRC、LTE C-V2X、5G 通訊方式優缺點看法，以及後續發展規劃；(2)對於目前 DSRC 5.9GHz 專用頻譜與 5G 會未來新通訊技術共用之可行性，對於使用相同頻段可能之干擾與技術看法；(3)多重 V2X 通訊技術以及不同世代的同一 V2X 通訊技術的相互操作(interoperability)可行性，此舉是否符合 V2V 交通安全應用之需求？是否需要新增設備？可能之費

用與時程為何？(4)縱然 V2X 通訊技術相互操作(interoperability)可行，是否採用單一 V2X 通訊技術更能符合 V2I 與 V2P 交通安全應用之需求？(5)針對移動力與環境發展不同通訊技術是否將對 V2I 與 V2P 應用產生影響？V2V 交通安全應用對於通訊技術相互操作是否與其他應用不同？不同 V2X 應用(例如：列隊行駛(platooning))是否有不同通訊需求(特別是在通訊延遲上)？(6)是否不同通訊技術將面臨不同實體通訊安全、訊息安全(SCMS)課題，或其它資訊安全與個人隱私課題？(7)如何利用不同通訊技術(DSRC、C-V2X、5G 或其他技術)來支持當前和自動駕駛車輛應用？不同的通訊技術是否會以不同的方式使用？(8)對於現有與規劃中部署評估通訊需求與決定何種技術是最合適選擇？以及是否或如何達到不同通訊技術相互操作？

根據 2019 年拓墣產業研究院分析，短期全球 V2X 市場仍存在 DSRC 和 C-V2X 等 2 種技術，由於自駕車與車聯網發展有關車輛與乘客的安全，並包含政策與法規層面考量，因此技術發展興衰決定關鍵將不單純是技術優劣，而是由各國政府對技術採用與立法規劃而定。我國在車聯網技術應用上，目前交通部雖然依無人載具實驗條例公告 5.9 GHz 頻段與場域進行車聯網實驗，且相關計畫也以美國 DSRC 相關標準進行各種車聯網應用實驗，但由於 DSRC 與 C-V2X 在應用層與相關服務具相容性，後續亦將視技術演進，於車聯網應用實驗導入 C-V2X，同時或可參考美國運輸部車聯網通訊技術與應用意見徵詢的 DSRC 與 C-V2X 相互操作進行實驗。

3.2.1 都市交通控制通訊協定 3.0 版因應車聯網環境探討

目前不論是 DRSC 或未來 5G 車聯網通訊技術，自動駕駛車運行除透過自身感應辨識號誌紅綠燈狀態技術外，亦可透過車聯網通訊技術藉由介接號誌控制器來取得即時號誌燈態。目前我國實作此介接與廣播即時號誌燈態，多透過交通部都市交通控制通訊協定 3.0 版(以下簡稱都市交控通訊協定 3.0 版)的「5FH+03H-時相資料管理」通訊協定進行，但都市交控通訊協定 3.0 版在 93 年由交通部頒布時，當時無線通訊技術以 GPRS 為主，頻寬與傳輸速率均不及目前我國主流的 4G 行動數據通訊，因此對於傳輸資料量較大的通訊協定均有限制，例如：降低傳輸頻率或改以精簡協定通訊協定傳輸。

以「5FH+03H-時相資料管理」通訊協定為例，都市交控通訊協定 3.0 版定義為「此訊息不適用於無線通訊環境，在無線通訊環境另可請參考 5FH+0FH(燈態步階傳輸週期管理)來替代此訊息」，因此各縣市政府在進

行號誌控制器建置時，考量絕大多數均採用無線行動數據通訊，因此設備廠商均僅提供「5FH+0FH-燈態步階傳輸週期管理」通訊協定，雖然符合都市交通控制需求，但其內容並無法滿足車聯網廣播即時號誌燈態的 SPaT 訊息需求。在考量目前(108 年)我國無線行動數據通訊環境，優於 93 年的 GPRS 通訊環境，因此都市交控通訊協定 3.0 版對於無線通訊環境相關限制應予解除，以符合通訊環境潮流，以及提供車聯網環境下自動駕駛車運行所需。

經盤點都市交控通訊協定 3.0 版，對於無線通訊環境限制相關通訊協定包括：「0FH+14H-設備硬體狀態管理」、「5FH+03H-時相資料管理」、「5FH+3FH-燈態步階傳輸週期管理」、「5FH+0FH-燈態步階傳輸週期管理」「6FH+3FH-交通資料之傳輸週期管理」，各通訊協定調整內容彙整如附錄。

3.2.2 車聯網環境車輛定位精度提升探討

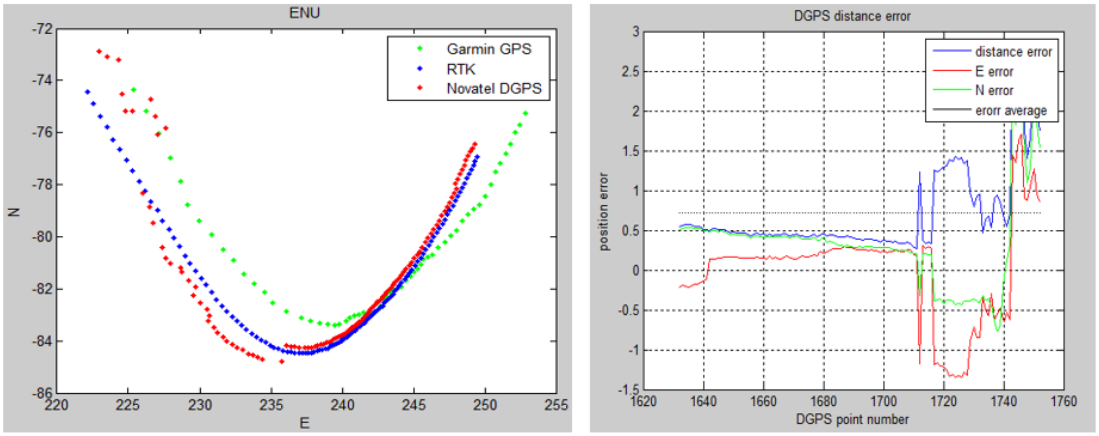
根據美規 SAE J2945 標準定義(GNSS Requirements)，至少 68%定位誤差需在 1.5 公尺以內。參考美國紐約州紐約市 CVPD 計畫經驗，透過整合慣性測量單元(Inertial Management Unit, IMU)與車輛 CAN 匯流排(bus)車速資訊，或利用 DSRC 路側設備(RSU)三角定位技術等方式來提高車輛定位精度。本所於 104 年至 106 年於基隆地區與中興新村車聯網實驗場域，分別導入內政部國土測繪中心 e-GNSS 服務、日本 QZSS(準天頂衛星系統)、自架差分基站等等差分修正技術來提高 GNSS 車輛定位精度。圖 27 為基隆地區在基金公路市區道路與高速公路路段之車輛定位精度分析。

市區道路	GPS定位	QZSS衛星輔助定位(IWCU)	QZSS衛星輔助定位(Cohda)	國土測繪中心e-GNSS服務	自架基站之DGPS服務
平均值	8.81	3.31	3.30	2.65	2.10
變異數	5.55	0.83	0.65	0.91	0.73
最小值	0.94	1.01	0.78	0.56	0
最大值	15.12	5.63	5.23	6.79	4.11
高速公路	GPS定位	QZSS衛星輔助定位(IWCU)	QZSS衛星輔助定位(Cohda)	國土測繪中心e-GNSS服務	自架基站之DGPS服務
平均值	8.51	2.89	3.05	2.17	2.12
變異數	3.93	1.09	1.51	0.37	0.53
最小值	0.96	1.07	0.23	0.46	0.70
最大值	14.15	5.61	8.42	4.65	4.66

資料來源：中興新村「智慧運輸-車聯網」示範場域規劃建置，107 年，交通部運輸研究所

圖 27. 基隆地區在市區道路與高速公路之車輛定位精度分析

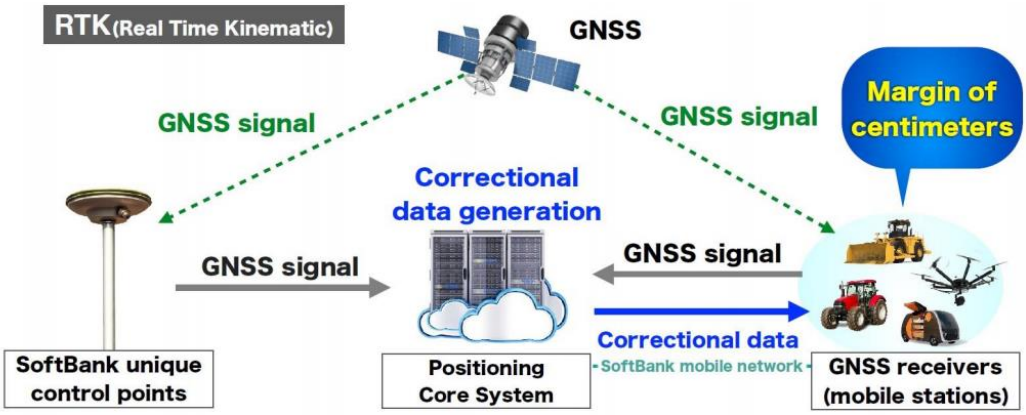
實測數據顯示單靠 GPS(或 GNSS)在車輛定位精度(或誤差)平均值為 8.51 公尺至 8.81 公尺；導入內政部國土測繪中心即時 e-GNSS 服務下，車輛定位精度(或誤差)平均值可提升為 2.17 公尺至 2.65 公尺；接收日本 QZSS(準天頂衛星系統)時，車輛定位精度(或誤差)平均值為 2.89 公尺至 3.31 公尺；自架差分基站方式車輛定位精度(或誤差)平均值落在為 2.10 公尺至 2.12 公尺。至於在中興新村地區，由於該場域樹蔭茂盛，縱然導入即時動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)，仍因無線通訊封包遺漏與 GNSS 訊號受到樹蔭影響而無法達到公分級定位精度。Novatel 測量級 GNSS 接收器在 RTK 輔助下之平均定位誤差約為 1 公尺至 2 公尺，在沒有樹蔭遮蔽的情況下，Novatel GNSS 接收器平均誤差約為 0.5 公尺至 1.2 公尺，可符合美規 SAE J2945 標準的 1.5 公尺要求。



資料來源：中興新村「智慧運輸-車聯網」示範場域規劃建置，107 年，交通部運輸研究所

圖 29. 中興新村地區車輛定位精度分析

日本軟體銀行(SoftBank)公司將在今年(2019 年)利用 QZSS 與電信公司行動基地台，推出自動駕駛車輛公分級高精度定位服務；此服務須搭配日本軟體銀行開發的多重衛星(Multi GNSS)專用終端設備(定位精度約可達 1.0 m 至 1.8 m)來接收 Quasi-Zenith 衛星特有的 L1S 信號，提供類似雲端 RTK 服務。圖 30 為日本軟體銀行提供自動駕駛車高精度 GNSS 服務架構圖。



資料來源：https://www.gpsworld.com/softbank-goes-hard-on-autonomous-positioning-in-japan/

圖 30. SoftBank 提供自動駕駛車高精度 GNSS 服務架構圖

自動駕駛車在車輛定位上分為 2 個階段，首先透過車輛上的 GNSS 定位取得絕對坐標，接下來利用車輛所安裝之光學雷達與高精地圖建置了解車輛位於該環境下的精確相對位置。自動駕駛車在行車運行安全上，在近端透過本身各式雷達與攝影機進行偵測與避險外，尚須利用 DSRC 或未來 5G 通訊技術車聯網應用來防範來自偵測死角的可能行車事故，此時 GNSS 定位精度就扮演重要角色，這也是美規 SAE J2945 所定 1.5 公尺定位精度要求的考量。本所為利車聯網場域運行車輛(包含配備 DSRC 車機的自動駕駛車)可穩定的提高車輛定位精度，因此將同步在基隆地區與中興新村車聯網實驗場域，利用後台行控中心介接內政部國土測繪中心，並將所接收到之 e-GNSS 定位修正 RTCM 訊號，傳送至路側 DSRC RSU，並藉由 SAE J2735 RTCM 相關訊息廣播給車聯網場域運行車輛，以提高車聯網車輛定位精度。

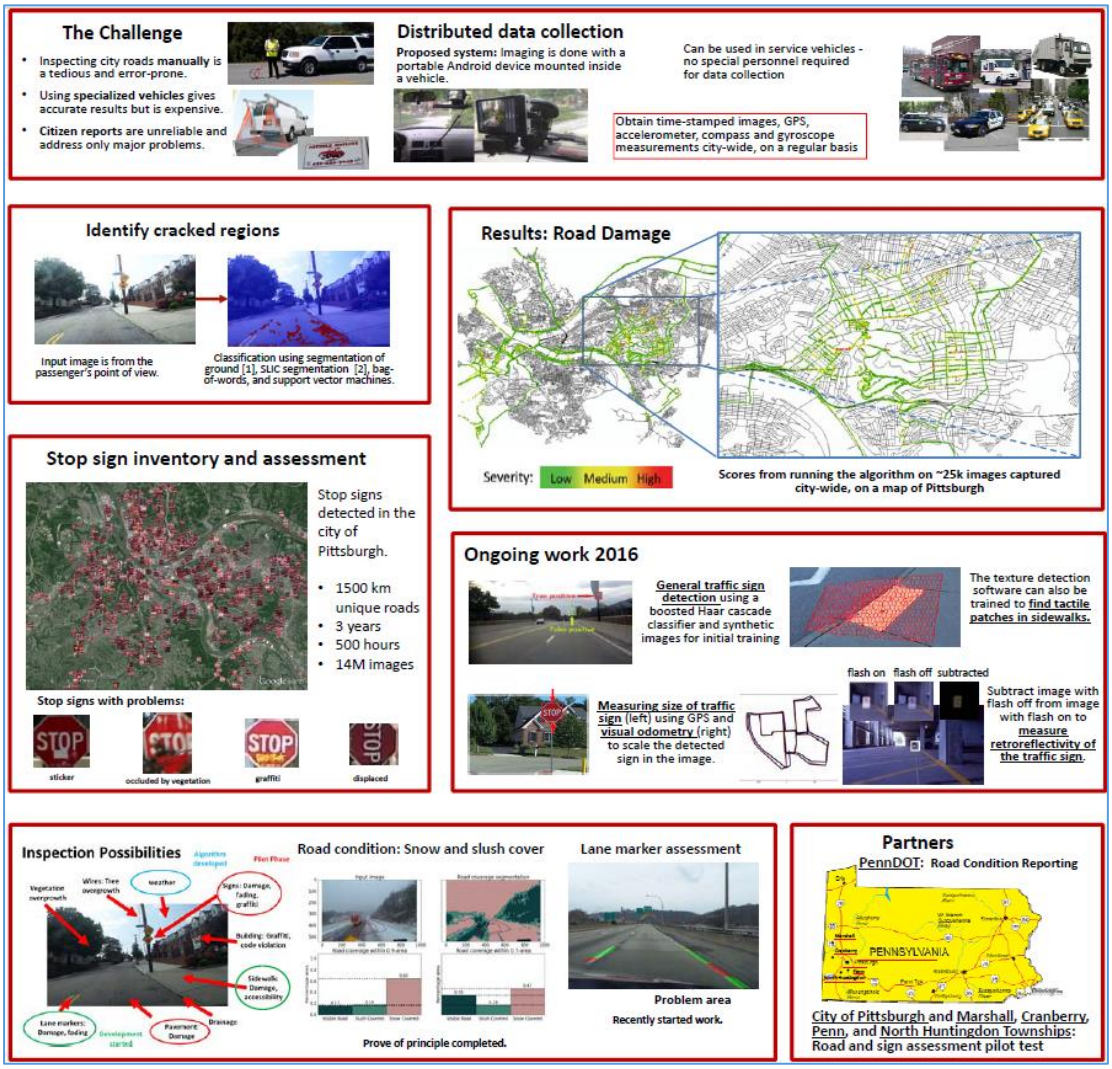
3.3 自動駕駛車運行道路標誌標線環境

美國卡內基美濃大學(Carnegie Mellon University, CMU) Traffic 21 研究中心進行多項車聯網、自動駕駛車輛之研究，其中 CMU NavLab 利用智慧型手機的 GPS 定位與攝影機功能進行資料蒐集，接下來使用電腦視覺演算法來分析影像並將結果存在資料庫給道路維護部門進行進一步決策分析之用，除智慧型手機外，尚可結合其它感測設備或與車輛 OBD II 界接取得更多資訊。相同技術也可用於路側交通標誌之偵測與評估工作，例如：偵測交通標誌「STOP」，並評估該標誌是否可正常顯示、夜間反光是否良好、...等。

圖 31 為 CMU NavLab 利用智慧型手機進行道路基礎設施檢視之展示圖，最上方說明道路檢視工作非常耗人力，或需要使用昂貴的專用車，而

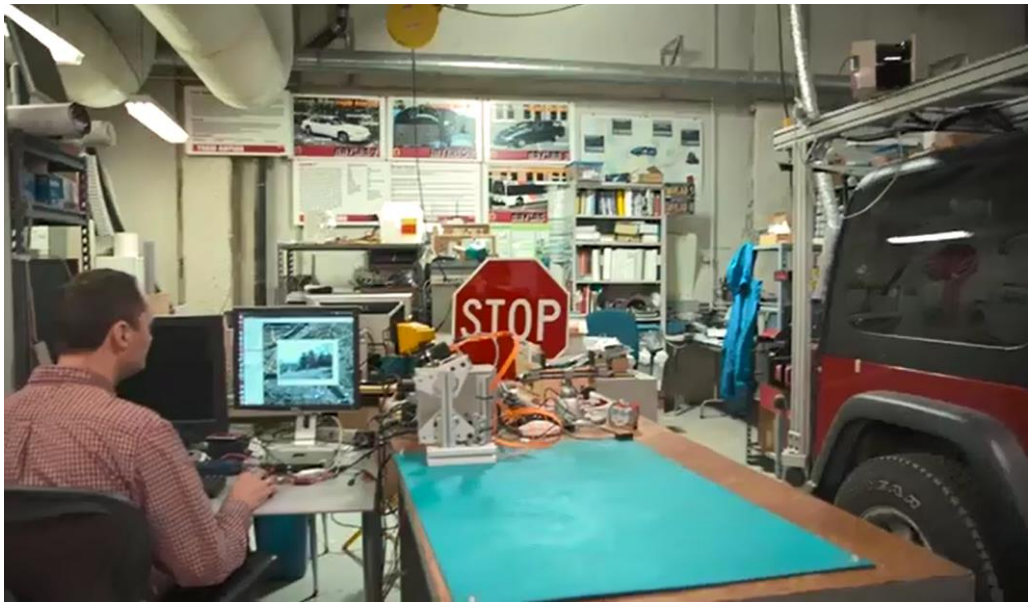
利用安裝於車上的智慧型手機即可方便與常態性的蒐集道路影像。所蒐集的道路影像資料庫，透過電腦視覺與影像分析可以自動產生鋪面與路側交通標誌的品質判斷，檢測結果也可與地理資訊系統結合提供進一步決策分析之用。最下方為相同技術應用於車道線品質檢測，同樣的檢測結果也可匯入地理資訊系統提供進一步決策分析之用。後續尚可進一步擴充到其它交通標誌、人行道。

圖 32 為 CMU NavLab 進行交通標誌「STOP」之影像檢測實驗。電腦視覺與影像分析則尚須視影像複雜度，有時仍須使用 Nvidia 多核處理器進行深度學習與處理。考量自動駕駛車除靠雷達與車聯網技術外，尚須透過影像技術進行車道偏移、交通號誌與標誌辨識、...等方能於道路自動行駛，因此該技術在未來可應用於評估道路系統是否符合自動駕駛車行駛的最低標準。



資料來源：CMU NavLab

圖 31. 利用智慧型手機進行道路基礎設施檢視



資料來源：CMU 影片

圖 32. CMU NavLab 進行交通標誌「STOP」影像檢測實驗

我國臺南沙崙「台灣智駕測試實驗室(Taiwan CAR Lab)」在場域鋪面設計規範部分，依循交通部「柔性鋪面設計規範」與內政部「市區道路及附屬工程設計規範」；標誌標線與號誌設計規範部分，依循交通部頒布之「公路路線設計規範」與「交通工程規範」、內政部「市區道路及附屬工程設計規範」、交通部及內政部合頒之「道路交通標誌標線號誌設置規則」；號誌係依據 CNS14546 規定辦理，CNS14546 標準針對行車管制號誌圓形號誌燈、行車管制號誌箭頭綠燈與車道管制燈號、行人專用號誌等光強度與輝度訂定標準如表 2 至表 4。目前自動駕駛車於場域進行測試運行時，須自行透過其感知系統在測試路面在顏色變化或是光影變化。

表 2. CNS14546 行車管制號誌圓形號誌燈之光強度 (單位：cd)

	機械軸上	水平角 2 側 5 度	水平角 2 側 10 度	水平角 2 側 20 度	水平角 2 側 30 度
機械軸上	400	300	160	40	4
俯角 3 度	300	240	140	60	40
俯角 5 度	200	160	80	40	32
俯角 10 度	50	40	32	24	24
俯角 20 度	6	6	6	4	4

表 3. CNS14546 行車管制號誌箭頭綠燈與車道管制燈號輝度值 (單位：cd/m^2)

	機械軸上	水平角 2 側 5 度	水平角 2 側 10 度	水平角 2 側 20 度	水平角 2 側 30 度
機械軸上	4,000	3,010	1,620	40	-
俯角 5 度	2,000	1,600	810	340	270
俯角 10 度	500	400	330	250	180
俯角 20 度	60	60	60	40	40

表 4. CNS14546 行人專用號誌之輝度值 (單位：cd/m^2)

	機械軸上	水平角 2 側 10 度	水平角 2 側 20 度	水平角 2 側 30 度
機械軸上	1,200	400	200	80
俯角 10 度	400	300	80	60
俯角 20 度	200	100	60	40

高速公路施工技術規範(107 年 3 月版)路面標線包含路面油漆標線與熱處理聚酯標線，油漆標線品質應符合 CNS 1333 道路標線塗料第 1 種規定，熱處理聚酯標線品質應符合 CNS 1333 道路標線塗料 第 3 種規定，在 CNS 1333 道路標線塗料第 1 種與第 3 種規定中跟自動駕駛車運行影像辨識有關之反光特性部分相關規定如表 5 與表 6。

表 5. CNS1333 第 1 種及第 2 種之輝度率等級

顏色	等級	輝度率(β)
白色	LF5	≥0.75
	LF6	≥0.80
	LF7	≥0.85
黃色	LF1	≥0.40
	LF2	≥0.50

表 6. CNS1333 第 3 種之輝度率等級

顏色	等級	輝度率(β)
白色	LF3	≥0.65
	LF6	≥0.75
	LF7	≥0.80
黃色	LF1	≥0.40
	LF2	≥0.50

在標誌牌面部分，各道路主管機關多要求須符合 CNS4345 標準，高速公路在門架式牌面與路側牌面分別採用第 5 型與第 6 型反光片，表 7 為

CNS4345 各型反光片行能測試標準中與光相關之要求，表 8 與表 9 分別為 CNS4345 第 5 型與第 6 型反光片之最低回歸反射係數要求。晝光色輝度率與色度座標部分，則可參閱 CNS4345 第 9 頁與第 10 頁內容。

表 7. CNS4345 各型反光片行能測試標準中與光相關之要求

形式	回歸反射係數	晝光色輝度率	晝光色色度座標	色牢度	夜間光色
要求	5.2	5.3		5.5	5.11
測試	6.2	6.3		6.5	6.11
1	CNS4345 表 2	CNS4345 表 11	CNS4345 表 12	V	V
2	CNS4345 表 3			V	V
3	CNS4345 表 4			V	V
4	CNS4345 表 5			V	V
5	CNS4345 表 6			V	V
6	CNS4345 表 7			V	V
8	CNS4345 表 8			V	V
9	CNS4345 表 9			V	V
10	CNS4345 表 10			V	V

表 8. CNS4345 第 5 型反光片之最低回歸反射係數要求

觀測角	入射角	白色	黃色	橙色	銀色	紅色	藍色
0.1 度	-4	2,000	1,300	800	360	360	160
	30	1,100	740	440	200	200	88
0.2 度	-4	700	470	280	120	120	56
	30	400	270	160	72	72	32
0.5 度	-4	160	110	64	28	28	13
	30	75	51	30	13	13	6

表 9. CNS4345 第 6 型反光片之最低回歸反射係數要求

觀測角	入射角	白色	黃色	橙色	銀色	紅色	藍色	螢光黃綠色	螢光黃色	螢光橙色
0.1 度	-4	2,000	1,300	800	360	360	160	600	450	300
	30	1,100	740	440	200	200	88	240	180	120
0.2 度	-4	700	470	280	120	120	56	400	300	200
	30	400	270	160	72	72	32	160	120	80
0.5 度	-4	160	110	64	28	28	13	180	135	90
	30	75	51	30	13	13	6	68	51	34

根據 2.2 節所整理自動駕駛車運行時，在感知次系統包括由攝影機、雷射雷達、IMU(慣性測量單元)、GNSS 等所組成，除可透過 DSRC 車聯網

技術提供自動駕駛車有關道路標誌、號誌等資訊外，自動駕駛車仍須利用各式攝影機所或取影像，進行道路標誌與號誌，以及標線等影像分析與辨識。此時各研發單位的影像分析與辨識技術，將面臨開放場域實際道路遠不如臺南沙崙智駕實驗場域封閉場域道路條件的嚴苛考驗。

開放場域道路系統本身標誌標線與號誌，除不及表 2 至表 9 之號誌燈之光強度或輝度、回歸反射係數、晝光色輝度率標準外，尚須面臨不同天候與夜間下所造成自動駕駛車在影像辨識上的困難。因此未來自動駕駛車於開放道路運行時，各道路主管機關可參考美國 CMU NavLab 利用影像檢測方式，來評估道路系統是否符合自動駕駛車行駛的最低標準。為此部份評估工作或自動駕駛車行駛最低標準的訂定，仍須與自動駕駛車研發單位密切進行討論與探討。

四、結論與建議

自動駕駛車發展大致可分為 3 個步驟，首先為 1.模擬實驗測試，其次為 2.封閉場域測試與 3.開放場域測試；各自動駕駛車研發團隊會透過模擬環境進行定位與感知、決策與控制等次系統的自動駕駛車效能測試，在通過模擬實驗測試後，會進入封閉場域測試階段，我國已於 108 年 2 月 25 日啟用臺南沙崙「台灣智駕測試實驗室」封閉場域，沙崙封閉場域提供完善道路環，境供已完成模擬實驗測試的自動駕駛車進行 13 項情境測試。然實際開放場域的道路與車流行駛環境遠較封閉場域複雜，也因此發生多起自動駕駛車交通事故，美國 Mcity 特別提出交通安全效能測試白皮書(White paper)，來檢討自動駕駛車在封閉場域的測試內容。

有鑑於此，本研究先就自動駕駛車運行道路環境相關的車輛定位與感知次系統進行探討，課題包括高精地圖、車聯網通訊環境、道路標誌標線環境等。在高精地圖部分，目前內政部所擬高精地圖向量圖資標準格式草案，格式可能過於複雜與龐大，對於各種道路線型以「面」型態，而非交通運輸角度府以屬性的「線」型態，因此提出進一步檢討的建議。

在車聯網通訊環境部分，自動駕駛車運行除透過自身感應辨識號誌紅綠燈狀態技術外，亦可透過車聯網通訊技術藉由介接號誌控制器來取得即時號誌燈態，目前都市交控通訊協定 3.0 版對於無線通訊之限制應予調整，以配合自動駕駛車在車聯環境下的路口號誌資訊掌握；同時在車輛定位上，應可透過內政部國土測繪中心 e-GNSS 服務，藉由路側 DSRC RSU 廣播差分定位修正訊號給自動駕駛車，以提高其定位精度。

在道路標誌標線環境部分，自動駕駛車運行須利用各式攝影機所獲取影像，進行道路標誌與號誌，以及標線等影像分析與辨識。然開放場域道路系統本身標誌標線與號誌，受限於天候、日夜間、設備本身光學效果劣化，造成自動駕駛車在影像辨識上的困難。因此未來自動駕駛車於開放道路運行時，各道路主管機關宜參考自動駕駛車影像辨識方式，研擬標誌標線與號誌在光學面向的自動檢測方式，以評估道路系統是否符合自動駕駛車行駛的最低標準，至於「最低標準」的定義則仍須進一步進行探討。

參考文獻

1. 莊智清，臺灣學術界之自駕車發展與國際合作，臺灣發展自駕車之挑戰與影響—產業發展之挑戰，財團法人中技社，107 年 12 月
2. 黃品誠，臺灣自駕車測試與驗證環境建構，臺灣發展自駕車之挑戰與影響—產業發展之挑戰，財團法人中技社，107 年 12 月
3. 彭暉，全球自駕車發展與運行，2018 台灣車輛國際論壇
4. 馮明惠、蒙以亨，自駕車車聯網(V2X)系統之需求與研究發展，臺灣發展自駕車之挑戰與影響—產業發展之挑戰，財團法人中技社，107 年 12 月
5. 高雄市政府交通局，自動駕駛電動巴士系統運行評鑑計畫期中報告，108 年
6. 先進交通管理與車路整合技術創新應用(2/4)，交通部運輸研究所，106 年 10 月
7. 中興新村「智慧運輸-車聯網」示範場域規劃建置，交通部運輸研究所，107 年 5 月
8. 我國公共運輸車聯網實驗場域探討期中報告，交通部運輸研究所，108 年 6 月
9. 詹魁元、陳彥霖、蕭得聖、莊智清，自駕車科技發展，臺灣發展自駕車之挑戰與影響—產業發展之挑戰，財團法人中技社，107 年 12 月
10. 內政部，108 年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展案期中報告初稿，108 年 7 月 25 日
11. 內政部，自駕車用地圖驗證精度流程指引草案，108 年 3 月 14 日
12. 鄭錦桐、車文韜、岡田泰征、廖玲琬，高精地圖製作與交通

運輸商業應用趨勢，2019 年 4 月，第二期，第四十六卷，土木水利學刊
13. 台灣資通產業標準協會，高精地圖製圖作業指引，2018 年 12 月 12 日
14. 拓墣產業研究院，車聯網發展及產業鏈策略布局觀察，https://smartauto.ctimes.com.tw/DispArt-tw.asp?O=HK34B6P055YARASTDO，2019 年 04 月 11 日
15. https://www.its.dot.gov/pilots/cv_pilot_apps.htm
16. https://www.federalregister.gov/documents/2018/12/26/2018-27785/notice-of-request-for-comments-v2x-communications
17. https://www.qualcomm.com/documents/path-5g-cellular-vehicle-everything-c-v2x
18. https://5gaa.org/news/position-paper-coexistence-of-c-v2x-and-802-11p-at-5-9-ghz/
19. https://5gaa.org/wp-content/uploads/2019/01/5GAA_White-Paper-CV2X-Roadmap.pdf
20. https://www.auto-talks.com/wp-content/uploads/2018/09/Global-V2X-DSRC-and-C-V2X-whitepaper.pdf
21. https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic
22. K. Jo, J. Kim, etc, “Development of Autonomous Car - Part I: Distributed System Architecture and Development Process,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 10, 2014.
23. http://twittertechnews.com/software-reviews/the-5-most-used-open-sorce-software-to-develop-self-driving-platforms-for-adas-autoware-apollo-eb-robinos-eb-robinos-predictor-nvidia-driveworks-and-openpilot/
24. https://developer.nvidia.com/drivehttps://synergytek.com.tw/blog/2018/11/14/discover_the_technology_of_self-driving-cars_from_startups/
25. Heiko G. Seif, Xiaolong Hu, 2016, Autonomous Driving in the iCity—HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry, Engineering 2, pp. 159-162.
26. Alan Cameron, June 6, 2019, SoftBank goes hard on autonomous

positioning in Japan, GPS World, https://www.gpsworld.com/softbank-goes-hard-on-autonomous-positioning-in-japan/.
27. Huei Peng, 2019, Mcity ABC Test: A Concept to Assess the Safety Performance of Highly Automated Vehicles

附錄

訊息編號	訊息類別	原訊息內容	調整後訊息內容
0FH+14H	設備硬體狀態管理	原「訊息參數定義」	調整後「訊息參數定義」
		HardwareCycle：1 Byte，硬體狀態回報週期（0~5）。 0：停止傳送，且硬體狀態有更動時(與上次狀態不同，如現場發生故障)時立即回報。 1：1sec　2：2sec　3：5sec 4：1min　5：5min *無線通訊時只有 0，5 可選擇。 *冷啟動後現場設備均以預設值為 1 分鐘（HardwareCycle =4），無線通訊時預設值為 5 分鐘，自動以 0F H+04 H 回報 HardwareStatus 至控制中心。 *當此設定下傳時即刻回傳硬體狀態，隨後則依設定週期回傳硬體狀態。	HardwareCycle：1 Byte，硬體狀態回報週期（0~5）。 0：停止傳送，且硬體狀態有更動時(與上次狀態不同，如現場發生故障)時立即回報。 1：1sec　2：2sec　3：5sec 4：1min　5：5min *~~無線通訊時只有 0，5 可選擇。~~ *冷啟動後現場設備均以預設值為 1 分鐘（HardwareCycle =4），~~無線通訊時預設值為 5 分鐘，~~自動以 0F H+04 H 回報 HardwareStatus 至控制中心。 *當此設定下傳時即刻回傳硬體狀態，隨後則依設定週期回傳硬體狀態。
5FH+03H	時相資料管理	原「用途」	調整後「用途」
		1. 參考 5F H+13 H 之用途說明。 2. 號誌控制器依據 5F H+3F H 之要求，主動回報步階轉換之資料。 3. 控制中心以此訊息收集號誌控制器每一週期所引用之時相種類與時制計畫。 4. 此訊息不適用於無線通訊環境，在無線通訊環境另可請參考 5F H + 0F H 來替代此訊息。	1. 參考 5F H+13 H 之用途說明。 2. 號誌控制器依據 5F H+3F H 之要求，主動回報步階轉換之資料。 3. 控制中心以此訊息收集號誌控制器每一週期所引用之時相種類與時制計畫。 ~~4. 此訊息不適用於無線通訊環境，在無線通訊環境另可請參考 5F H + 0F H 來替代此訊息。~~
5FH+3FH	燈態步階傳輸週期管理	原「訊息參數定義」	調整後「訊息參數定義」
		TransmitType：1 Byte，資料傳輸種類，整數。 1：燈態傳輸資料(5F H+0F H) 2：步階轉換資料(5F H+03 H)	TransmitType：1 Byte，資料傳輸種類，整數。 1：燈態傳輸資料(5F H+0F H) 2：步階轉換資料(5F H+03 H)

		TransmitCycle：1 Byte，傳輸週期，整數 0 ：設備依資料有變化時即主動回傳，若為黃閃時，每分鐘回傳一週期(如兩個紅黃之燈態或步階)， 1 ：每 1 秒 回傳資料 2 ：每 2 秒 回傳資料 3 ：每 5 秒 回傳資料 4 ：每 1 分鐘 回傳資料 5 ：每 5 分鐘 回傳資料 0xFF ：停止主動 回傳資料 (1) 當 TransmitType=1 時，無線通訊時只有 0，5 可選擇 (2) 當 TransmitType=2 時，不適用時無線通訊 * 當 5F H+3F H 設定現場設備時，設備收到即先回送目前狀況資料。	TransmitCycle：1 Byte，傳輸週期，整數 0 ：設備依資料有變化時即主動回傳，若為黃閃時，每分鐘回傳一週期(如兩個紅黃之燈態或步階)， 1 ：每 1 秒 回傳資料 2 ：每 2 秒 回傳資料 3 ：每 5 秒 回傳資料 4 ：每 1 分鐘 回傳資料 5 ：每 5 分鐘 回傳資料 0xFF ：停止主動 回傳資料 ~~(1) 當 TransmitType=1 時，無線通訊時只有 0，5 可選擇~~ ~~(2) 當 TransmitType=2 時，不適用時無線通訊~~ * 當 5F H+3F H 設定現場設備時，設備收到即先回送目前狀況資料。
5FH+0FH	燈態步階傳輸週期管理	原「用途」	調整後「用途」
		1.用於控制中心監視號誌控制器之簡單燈態運作狀況用。 2.主要給無線通訊環境使用，以顯示紅黃綠燈。	~~1.~~用於控制中心監視號誌控制器之簡單燈態運作狀況用。 ~~2.主要給無線通訊環境使用，以顯示紅黃綠燈。~~
6FH+3FH	交通資料之傳輸週期管理	原「訊息參數定義」	調整後「訊息參數定義」
		TransmitType：1 Byte，傳輸週期種類，整數(1~3)。 1 ：指交通偵測週期資料(即 6F H+0F H) 2 ：指模擬週期資料 (即 6F H+00 H) 3 ：指事件週期資料 (即 6F H+01 H，無線通訊無此設定) TransmitCycle：1 Byte，（Cyclic）傳輸週期，整數。 * TransmitCycle 可設定如下： 0 ：停止傳送 1 ：表 1 秒之週期	TransmitType：1 Byte，傳輸週期種類，整數(1~3)。 1 ：指交通偵測週期資料(即 6F H+0F H) 2 ：指模擬週期資料 (即 6F H+00 H) 3 ：指事件週期資料 (即 6F H+01 H，無線通訊無此設定) TransmitCycle：1 Byte，（Cyclic）傳輸週期，整數。 * TransmitCycle 可設定如下： 0 ：停止傳送 1 ：表 1 秒之週期

		2 ：表 2 秒之週期 3 ：表 5 秒之週期 4 ：表 1 分鐘之週期(6F H+0F H 之 TransmitCycle 預設值) 5 ：表 5 分鐘之週期 6 ：表 20 秒之週期 sec(6F H+01 H 之 TransmitCycle 預設值) 但當無線通訊時，TransmitCycle 只有 0，5 可選擇。 *車輛偵測器依設定之傳輸週期（TransmitCycle）以 6F H+0F H 或 6F H+01 H 訊息回報週期性偵測資料。	2 ：表 2 秒之週期 3 ：表 5 秒之週期 4 ：表 1 分鐘之週期(6F H+0F H 之 TransmitCycle 預設值) 5 ：表 5 分鐘之週期 6 ：表 20 秒之週期 sec(6F H+01 H 之 TransmitCycle 預設值) ~~但當無線通訊時，TransmitCycle 只有 0，5 可選擇。~~ *車輛偵測器依設定之傳輸週期（TransmitCycle）以 6F H+0F H 或 6F H+01 H 訊息回報週期性偵測資料。