

5G行動通訊於智慧運輸車聯網應用探討

The Study of 5G Mobile Communication in Connected Vehicle Applications

運輸資訊組 周家慶

研究期間：民國 109 年 2 月至 110 年 7 月

摘 要

自動駕駛車須要車聯網(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(DSRC) V2X，以及以電信技術為基礎的 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X。DSRC V2X 經由架設路側設備(或基地台)進行通訊，不須透過電信商網絡，由車間或車輛與路側設備進行短距通訊。雖然 4G/5G 車聯網發展較晚，但在 3GPP、5GAA、Qualcomm 大力推動，再加上相較於 IEEE 802.11p DSRC 較佳的通訊技術規格，形成全球車聯網 DSRC 與 C-V2X 兩大陣營對峙態勢。不過 DSRC V2X 標準正朝向由 IEEE 802.11p 升級至 802.11bd 過程，相較於 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X IEEE 802.11bd 的優勢在於與 IEEE 802.11p 相容且具備交互操作性，因此 DSRC 歷年發展成熟成果反而成為資產，不若 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X 的新進場所面臨的缺乏實績課題。世界各國除中國大陸確定採用 4G/5G 車聯網技術，歐盟與日韓尚在評估，美國雖然於 2020 年 11 月宣布採用 4G/5G 車聯網技術，但尚面臨國內極大挑戰。且 3GPP 與 5GAA 發展 C-V2X 時，在訊息層即採用美規與歐規訊息層標準，因此除通訊技術與系統不同外，基本上兩者應用系統的轉換應具可行性。

根據美國車聯網 CVPD 計畫實測經驗，車聯網在實務應用上仍存在許多挑戰，且國際標準組織在 4G/5G 車聯網技術於自動駕駛環境下設計許多創新使用案例，因此我國各單位在車聯網或自動駕駛車輛相關計畫雖發展與實證多項車聯網使用案例，但應參考國際發展經驗進一步評估適合我國車聯網通訊技術以及發展我國交通環境下之使用案例與深化各使用案例實務可用性。

關鍵詞：

車聯網、5G 行動通訊、智慧運輸。

5G 行動通訊於智慧運輸車聯網應用探討

一、計畫背景與目的

自動駕駛車須要車聯網(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)，以及以電信技術為基礎的 4G/LTE 與 5G/NR C-V2X。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/NR C-V2X)的標準化研究，以符合 5G 蜂巢式車聯網通訊需求。預期後續 DSRC 與 C-V2X 這兩種車聯網通訊技術，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。

爰本研究期透過國內外 4G/5G 車聯網 C-V2X 與 DSRC 之標準與先導試驗應用最新發展蒐集與研析，來掌握相關國際標準組織(例如：3GPP 與 5GAA)、各國產官學研界在標準與先導試驗應用最新發展，以為我國後續車聯網通訊技術與應用導入之參考。

二、車聯網(V2X)與自動駕駛等級

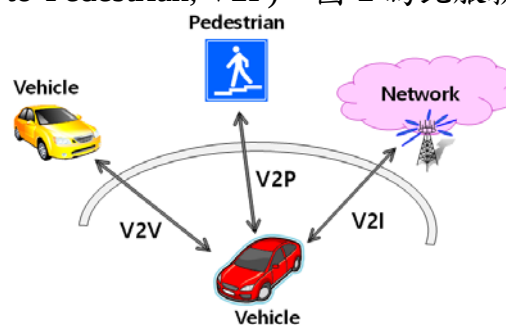
根據美國運輸部對於 DSRC 車聯網之設計應用情境(如圖 1 所示)，包括車間通訊(V2V)與車路通訊(V2I)所組成在交通安全(Safety)、移動力(mobility)、環境保護(environment)、天候(road weather)、智慧路側設備(smart roadside)、資料分析應用(agency data)，其後已擴充包括對行人的 V2P，統稱為 Vehicle to Anything 的 V2X。

V2I Safety	Environment	Mobility
Red Light Violation Warning Curve Speed Warning Stop Sign Gap Assist Spot Weather Impact Warning Reduced Speed/Work Zone Warning Pedestrian in Signalized Crosswalk Warning (Transit)	Eco-Approach and Departure at Signalized Intersections Eco-Traffic Signal Timing Eco-Traffic Signal Priority Connected Eco-Driving Wireless Inductive/Resonance Charging Eco-Lanes Management Eco-Speed Harmonization Eco-Cooperative Adaptive Cruise Control Eco-Traveler Information Eco-Ramp Metering Low Emissions Zone Management AFV Charging / Fueling Information Eco-Smart Parking Dynamic Eco-Routing (light vehicle, transit, freight) Eco-ICM Decision Support System	Advanced Traveler Information System Intelligent Traffic Signal System (I-SIG) Signal Priority (transit, freight) Mobile Accessible Pedestrian Signal System (PED-SIG) Emergency Vehicle Preemption (PREEMPT) Dynamic Speed Harmonization (SPD-HARM) Queue Warning (Q-WARN) Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) Incident Scene Pre-Arrival Staging Guidance for Emergency Responders (RESP-STG) Incident Scene Work Zone Alerts for Drivers and Workers (INC-ZONE) Emergency Communications and Evacuation (EVAC) Connection Protection (T-CONNECT) Dynamic Transit Operations (T-DISP) Dynamic Ridesharing (D-RIDE) Freight-Specific Dynamic Travel Planning and Performance Drayage Optimization
V2V Safety	Road Weather	Smart Roadside
Emergency Electronic Brake Lights (EEBL) Forward Collision Warning (FCW) Intersection Movement Assist (IMA) Left Turn Assist (LTA) Blind Spot/Lane Change Warning (BSW/LCW) Do Not Pass Warning (DNPW) Vehicle Turning Right in Front of Bus Warning (Transit)	Motorist Advisories and Warnings (MAW) Enhanced MDSS Vehicle Data Translator (VDT) Weather Response Traffic Information (WxTINFO)	Wireless Inspection Smart Truck Parking
Agency Data		
Probe-based Pavement Maintenance Probe-enabled Traffic Monitoring Vehicle Classification-based Traffic Studies CV-enabled Turning Movement & Intersection Analysis CV-enabled Origin-Destination Studies Work Zone Traveler Information		

資料來源：https://www.its.dot.gov/pilots/cv_pilot_apps.htm

圖 1. 美國運輸部設計之車聯網應用情境

3GPP(3rd Generation Partnership Project)第三代夥伴計畫國際組織於 2015 年發布 4G 蜂巢式(電信)車聯網(C-V2X)(以下簡稱 C-V2X)技術報告(3GPP TR 22.885, R.14)中，參考歐美車聯網所發展應用服務提出三大類型與 27 個使用案例(use cases)的 C-V2X 車聯網服務。此三大服務類型為車間通訊(Vehicle-to-Vehicle, V2V)、車路通訊(Vehicle-to- Infrastructure, V2I)、車與行人通訊(Vehicle-to-Pedestrian, V2P)，圖 2 為此服務類型示意。

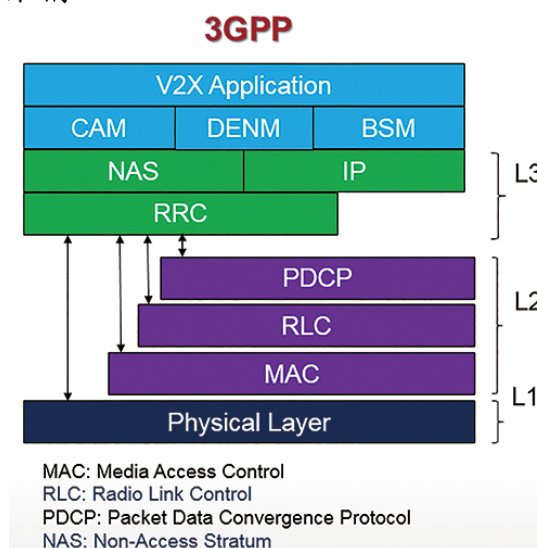


資料來源：3GPP

圖 2. C-V2X 車聯網服務類型示意圖

3GPP 於 2018 年 12 月發布 LTE 所支援車聯網(V2X)技術報告(3GPP TR 22.886, R.16)中，針對自動駕駛車的持續發展，就 SAE 與 NHTSA 所定義 6 種自動駕駛等級(等級 0 至等級 2 為駕駛人控制，等級 3 至等級 5 為車輛控制)，研提六大類 30 項支援不同自動駕駛等級的強化版蜂巢式(電信)車聯網(eV2X)使用案例。2019 年 6 月 3GPP 進一步於技術報告(3GPP TR 22.186, R.16)中，就車輛列隊行駛(Vehicle platooning)、先進駕駛(Advanced driving)、延伸感測器(Extend sensors)、遠端駕駛(Remote driving)等 4 類強化版蜂巢式(電信)車聯網(eV2X)使用案例說明其通訊性能要求(Requirements)。

相較於專用短距通訊(Dedicated Short Range Communications, DSRC)車聯網(V2X)應用情境，3GPP R.14 版本的使用案例約略等同於 DSRC V2X 應用情境，後續 3GPP R.16 與 R.17 版本使用案例則著重於不同等級自動駕駛所需要之 C-V2X 服務的新增，以及電信商所架構電信網路所以上可進行車對網路(V2N)服務。根據 3GPP 規劃，在訊息層將沿用美規的基本安全訊息(Basic Safety Message, BSM)及歐規 CAM (Cooperative Awareness Message)與 DENM (Decentralized Environmental Notification Message)訊息，其他各層通訊則使用 3GPP 相關設計，圖 3 說明 3GPP enhanced V2X(eV2X)之車聯網系統標準架構。



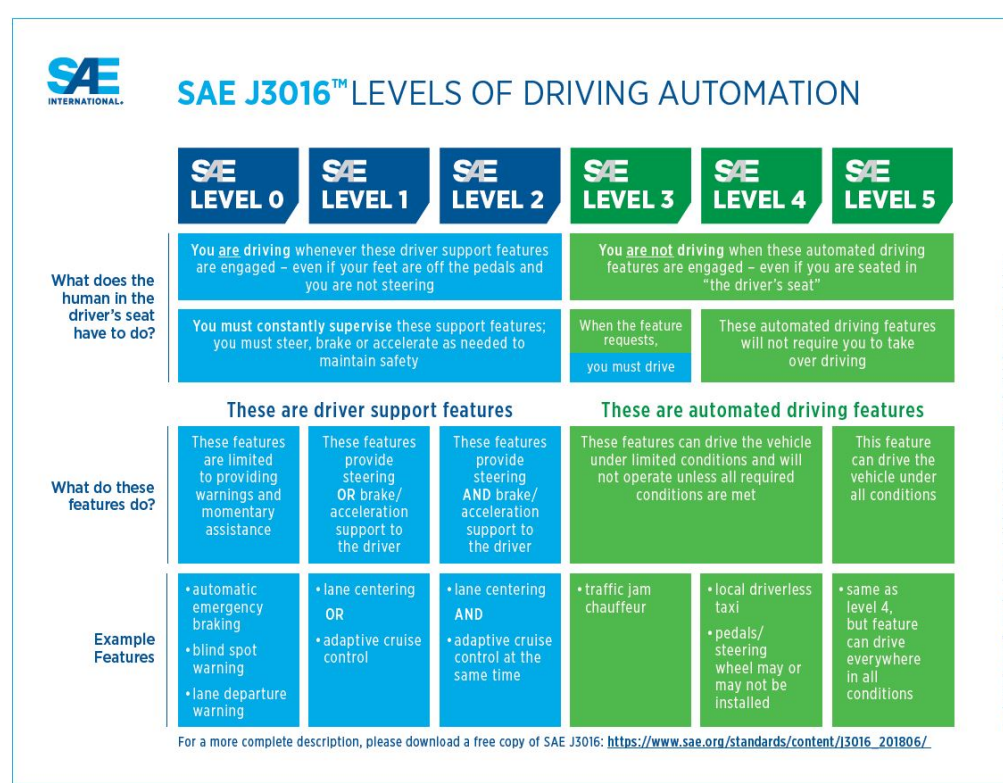
資料來源：3GPP, 志偉, 4G C-V2X 陣營對決 DSRC 車聯網技術標準兩強爭鋒, 2017-12-25, 新通訊

圖 3. 3GPP enhanced V2X(eV2X)之車聯網系統標準架構

由於 5GAA(5G 汽車協會, 5G Automotive Association)與 3GPP 在推動 C-V2X 相關標準與使用案例，除涵蓋原 DSRC 所規劃服務案例與訊息標準外，主要新增在自動駕駛環境下之車聯網服務，因此以下摘要說明不同等

級自動駕駛之定義。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 4 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 4. 美國汽車工程師學會 SAE J3016 自動駕駛程度分級標準

三、國際 DSRC 車聯網發展

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。IEEE 802.11p 標準公告之後，更新的 802.11n 與 802.11ac 標準陸續發表，因此 IEEE 於 2018 年 3 月成立下一代 IEEE 802.11 V2X 研究小組(the IEEE 802.11 Next Generation V2X Study Group)，於 2019 年 1 月成立 802.11bd 任務小組來發展新一代的 IEEE V2X 通訊協定。相較於 IEEE 802.11p 標準支援的相對車速為 200 kph、100 ms 反應時間與約 1,000 公尺的通訊距離，IEEE 802.11bd 標準支援的相對車速為 500 kph 與 2,000 公尺以上的通訊距離，最重要的是 IEEE 802.11bd 標準向前相容於 IEEE 802.11p 標準，且可與 IEEE 802.11p 標準設備兼具被交互操作性(interoperability)。IEEE 802.11bd 標準預計於 2022 年完成。

3.1 美國車聯網先導佈署計畫(CVPD)最新發展

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、佛羅里州 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。以下為此 3 個案例的車聯網應用案例摘要說明

New York 市側重於安全應用，藉由車間通訊(V2V)、車路通訊(V2I)、以及車與行人通訊 (Vehicle-to-Pedestrian, V2P)技術，提供警示訊息給駕駛人，以便於駕駛人採取措施避免民眾傷亡、以及降低車輛或基礎設施損壞

程度。Wyoming 州運用車間通訊(V2V)、以及車路通訊(V2I 及 I2V)技術，改進 I-80 道路狀況監測、以及提供資訊給車輛。

根據 2021 年 1 月 25 日美國運輸部的 Tampa 市執行成果說明，藉由車間通訊(V2V)與車路通訊(V2I)技術，可以減少旅行時間與路口停等延滯，提高旅行時間可靠度，以及減少交通事故與潛在衝突，以提升行車安全。下列為各類型應用之情境與車聯網服務說明。

- 1.原始交通安全情境包括前方防碰種(FCW)、緊急電子煞車燈(EEBL)警示、彎度速度警示(CSW)、智慧路口號誌系統(I-SIG)、違規闖紅燈警示(RLVW)、路口通行輔助(IMA)等使用案例。最後經檢討調整為 FCW、EEBL、匝道結束減速警示(End of Ramp Deceleration Warning, ERDW)、車行方向錯誤警示(Wrong Way Entry, WWE)、IMA。
- 2.行人安全部分，則提供行動裝置行人號誌系統(PED-SIG)、行人路口車輛警示(PED-X)、FCW、IMA 等。最後經檢討調整為行人碰撞警示(Pedestrian Collision Warning, PCW)
- 3.大眾運輸車輛有優先號誌(TSP)、智慧路口號誌系統(I-SIG)、路口通行輔助(IMA)等使用案例。最後經檢討調整為 TSP 與 IMA。
- 4.街車(StreetCar)衝突部分，提供車輛右轉前方有公車警示(VTRFTV)、I-SIG、PED-SIG、PED-X 等使用案例。最後經檢討調整為 VTRFTV。
- 5.號誌續進部分，提供探針車交通監測(PEDETM)、I-SIG、IMA 等使用案例。最後經檢討調整為 I-SIG 與 IMA。

圖 5 為 Tampa 市 CVPD 計畫的運作績效評估儀表板，透過實測數據的統計分析可產生下列量化運作績效。資料分析期間為 2019 年 2 月至 2020 年 3 月。



資料來源：Tampa (THEA) CV Pilot Deployment Results and Transition Plan, USDOT

圖 5. Tampa 市 CVPD 計畫的運作績效評估儀表板

1. 匝道結束減速警示(ERDW)所產生的效益為：平均旅行時間減少 2.1%，旅行時間指標由原 2.7 降為 1.9；車輛怠速與時速低於 1 mph 的比例降低 1.8%；等候線長度減少 1.8%。ERDW 動作正確率(TP 與 TN)時，駕駛接收警示後採取反應者佔 19%，ERDW 誤報率時，駕駛接收警示後採取反應者佔 21%
2. 在 FCW 與 EEBL 部分，FCW 樣本數為 12,450，動作正確率(TP 與 TN)達 100%，此時駕駛接收警示後採取反應者佔 22%，誤報率(FP)為 1.1%，此時駕駛接收警示後採取反應者佔 13%；EEBL 樣本數為 4,955，動作正確率(TP 與 TN)達 100%，誤報率(FP)為 0.1%。
3. 在誤闖調撥車道的 WWE 警示部分，上午時段(06:00~10:00)總共發出 906 次警示，下午時段(13:00~23:59)總共發出 5,070 次警示。WWE 警示所得經驗如下：
 - (1) 利用車輛 OBU 資料進行軌跡推估具相當挑戰性
 - (2) FP 警示現象肇因於 GNSS 訊號飄移或因為車輛停等導致 GNSS 行車方向(heading)無資料
 - (3) 利用預警機制來避免 WWE 的衝擊則尚不清楚
4. 在行人碰撞警示(PCW)方面，2019/3~2019/10 採用光達進行行人偵測，2020/6~2020/8 改採用熱感影像來偵測行人，87 筆樣本中高達 63 筆的 FP (72.4%)，顯示該應用仍須進一步進行參數調校，以避免將行人在行穿線通行時提出警示，而非將行走於人行道之行人也納入，同時測試時應有設備異常時，即時更換設備的因應機制。
5. 公車優先號誌(TSP)部分，原訂於 3 條固定路線進行測試，不過在本評估階段未能順利導入，因此無法進行分析。
6. 街車(StreetCar)衝突的車輛右轉前方有公車警示(VTRFTV)部分，總共 7,167 筆樣本中，動作正確率(TP)為 93.8%與(TN)為 99.60%，誤報率(FP)為 0.4%。實測顯示利用街車 OBU 資料進行軌跡推估具相當挑戰性，同時對於高程因素仍須進一步進行參數調校。
7. 在號誌續進部分，納入 FCW、EEBL、IMA 等使用案例，I-SIG 並未成功導入。在此路廊進行測試時總共發生 26 筆警示，而這些警示也確實避免交通事故的發生。
 - (1) 此部分測試過程在 FCW 部分，總共 4,839 筆樣本中，動作正確率(TP)約為 85%與(TN)為 99%，誤報率(FP)為 0.8%，總共發生 22 件真實 FCW 事件，系統也提出警示。
 - (2) 此部分測試過程在 EEBL 部分，總共 2,816 筆樣本中，動作正確率(TP)

約為 80%與(TN)為 99%，誤報率(FP)為 0.4%，總共發生 4 件真實 EEBL 事件，系統也提出警示。

(3)此部分測試過程在 IMA 部分，總共 12,513 筆樣本中，動作正確率(TP)約為 100%與(TN)為 99.8%，誤報率(FP)為 0.3%。

實測結果發現 OBU 須能配合針對應用需求進行韌體更新的課題，參與測試人員有 66%認為有交通安全上的效益，56%認為可以減少交通壅塞，54%認為可以較輕鬆的開車通勤。參與測試人員在測試前有 46%人員關心車聯網技術的隱私權課題，參與測試後該百分比降為 29%。實測結果同時發現(1)V2V 與 V2I 應用或使用案例測試過程，參數調校須能快速與有效的執行來解決問題；(2)都會區的高樓與高架橋對於 GNSS 精度產生極大的挑戰；(3)號誌類(TSP 與 I-SIG)的車聯網應用尚不夠成熟。

目前 Tampa 市 CVPD 計畫進入第四階段，將進一步發展 FCW、EEBL、ERDW、PCW、WWE、IMA、RLVW 等使用案例，同時納入美國運輸部的 DSRC 與 C-V2X 的頻譜干擾測試(Spectrum Interference Test System, SPITS)工作。

3.2 美國車聯網最新發展

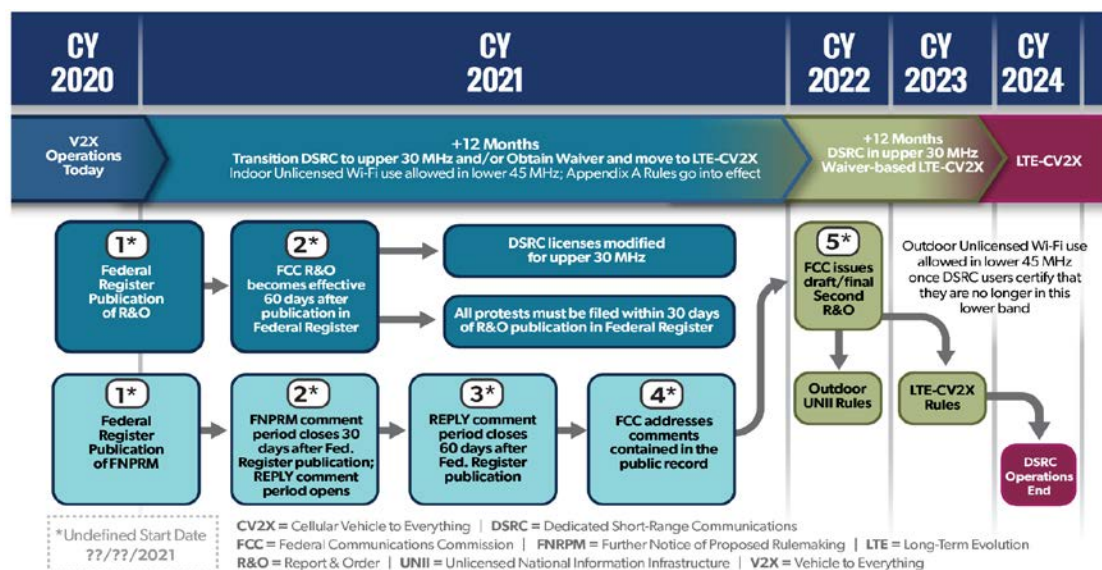
美國聯邦通訊委員會(Federal Communication Commission, FCC)於 2020 年 11 月 18 日發布「第一次報告及命令」(First Report and Order)，將原本於 1999 年分配 5.850 GHz 至 5.925 GHz 共 75MHz 頻寬給美國運輸部，提供專用短距通訊(Dedicated Short-Range Communication, DSRC)車聯網(V2X)的交通安全應用使用，重新配置此 5.9GHz 頻段(5.850 GHz 至 5.925 GHz)。FCC 認為這 20 年來，該 75MHz 頻寬未能充分使用，加上無線區域網路使用需求急速成長，因此將該 75MHz 頻寬下半部的 5.850GHz 至 5.895 GHz 頻段(45MHz)，改供 Wi-Fi 及其它非授權頻譜使用，至於 5.895 GHz 至 5.925 GHz，共 30MHz 頻寬仍保留給運輸部門的智慧運輸供交通安全使用。不過在通訊技術上，FCC 則指定蜂巢式電信車聯網(C-V2X)為安全運輸相關及車輛通訊的技術標準，DSRC 則於 2 年內逐步退場。

該法令頒布後，對於美國運輸部推動多年的 DSRC 車聯網計畫造成非常大的衝擊，因為 DSRC 車聯網經過多年與產學研界共同的標準研訂、各類型測試與大型先導測試計畫推動，以及與車廠的合作，已掌握實務應用上的可能限制與相關因應對策，並已投入大量經費，同時美國運輸部已將 5.9GHz 頻段視為交通安全頻段(5.9 GHz Safety Band)。美國運輸部在其「頻譜政策、規劃與分析」文件中，即特別強調將 5.9GHz 頻段視為交通安全

頻段(The Safety Band)的政策，同時在美國 2019 年至 2033 年的運輸部門頻譜需求探討中，亦特別強調 5.9GHz 頻段，對於智慧運輸交通安全推動的政策與重要性。

美國運輸部於 2020 年 12 月 16 日舉辦的線上會議中，再度強調 5.9GHz 交通安全頻段是朝向「零交通事故社會(zero-crash society)」的重要工具，國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)說明未來考慮將 V2X 納入新車評估計畫(the New Car Assessment Program)，聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)強調各州已投入許多經費進行研發與實測，AASHTO 也探討 V2X 在號誌時相挑戰的各項課題。會中討論有以下幾點看法：

- 1.FCC 所安排的 30MHz 頻寬，將無法滿足完整 V2X 應用，以及未來聯網自動駕駛運作環境與貨車列隊管理等的運作需求。
- 2.FCC 雖然已於 2020 年 11 月 18 日發布有關 5.9GHz 頻段調整的「第一次報告及命令」，但運輸部門仍有不同看法，因此後續發展方向仍不明確。
- 3.運輸部門對於車聯網通訊技術保持開放態度，包括 5G 新無線電(5G NR)車聯網的導入，但將關心不同通訊技術是否符合交通安全應用的性能要求，規劃於 2021 年進行評估。
- 4.對於因 FCC 所進行頻譜調整，所產生的 C-V2X 與鄰近非授權頻譜干擾課題，根據美國運輸部 2019 年 12 月 6 日的測試報告(Preliminary Testing: Out-of-Channel Interference (Out-of-Band Emissions))，是存在此干擾現象。
- 5.美國運輸部將持續爭取足夠頻段，來支援交通安全(safety)與機動力(mobility)應用。
- 6.美國運輸部認為因應 FCC 的 5.9GHz 新頻譜政策，相信 DSRC 計畫所得經驗與知識應該可以移轉到 C-V2X，同時會再進行相關測試與評估。
- 7.美國運輸部無法保證未來 FCC 不會將所規劃的 30MHz 頻寬再行調整，但會持續與 FCC 溝通，並等待 FCC 的「第二次報告及命令」Second Report and Order 發布。
- 8.對於何時開始進行 DSRC 第 172 頻道的移頻工作部分，在美國聯邦政府公報(Federal Register)公布後的 60 天，FCC「第一次報告及命令」正式實施，正式實施後有 12 個月時間，可以自較低的 45GHz 頻段移至較高的 30GHz 頻段，接下來還可以使用 12 個月。圖 6 為由 DSRC 移轉至 C-V2X 之時程規劃。



資料來源：Leveraging Existing V2X Investments in a Changing Spectrum Environment, USDOT

圖 6. 美國由 DSRC 移轉至 C-V2X 之時程規劃

美國總統拜登(Biden)於 2021 年 1 月 20 日上任後，出現檢討 FCC 於 2020 年 11 月 18 日發布「第一次報告及命令」的聲音，根據 The Fuse「Does Losing Most of the 5.9GHz Spectrum Band Make U.S. Vehicles Less Competitive?」報導，拜登政府考量 2020 年 11 月 18 日發布「第一次報告及命令」的 V2X 通訊頻寬僅有 30MHz，相較於南韓、澳洲、新加坡、歐盟、中國大陸可以使用完整 5.9GHz 頻寬(約 75 MHz)，美國製造的車輛在車聯網方面，所能提供的安全功能將不及上述國家，特別是對於中國大陸華為與中興在 5G 技術方面的領先，以及 2025 製造的國家政策，認為 FCC 於 2020 年 11 月 18 日發布的「第一次報告及命令」將削弱美國的全球競爭力。

布魯金斯學會(Brookings)於 2021 年 3 月 12 日「21 世紀的通道-頻譜」專題中指出，川普政府在缺乏整體策略下，擬訂 5G 與聯邦頻譜政策，且根據美國法律，美國 FCC 與 NTIA 並未定期就其國家無線電頻譜相關規劃與議題進行研討，在該專題第四部分之智慧運輸專用頻譜中，指出川普政府的 FCC 在卸任前 3 個月通過「第一次報告及命令」，但關於 ITS 頻譜的爭議業已經持續了數十年，而且似乎並未結束。2021 年 3 月 18 日美國眾議院交通和基礎設施委員會主席 Peter DeFazio (D-OR)向 FCC 表示將持續，且強烈反對將 5.9GHz 頻段分享給無需授權的 Wifi 使用，要求應該維持原於 1999 年保留完整 5.9GHz 頻段，給智慧運輸的交通安全需求使用。

根據 2021 年 4 月 7 日 Traffic Technology Today 電子報報導，美國運輸部將進行 5G NR 在 C-V2X 應用之測試與探討，計畫名稱為「Services,

Resources, and/or Facilities for Testing of Emerging and Future 5G New Radio Communications Technologies for Vehicle-to-Everything (V2X)」。根據美國運輸部公告計畫文件，摘要說明如下。

該計畫認為不同車聯網應用有不同的通訊延遲要求，例如：交通安全相關訊息(crash-imminent safety messaging)應低於 100 ms、路側設備與其它車聯網設備(車輛、行人、自行車)間訊息(infrastructure-to- (one or more)-partners-in-motion messaging)應低於 1~2 sec、長距離訊息(longer-range messaging)應低於 5~10 sec。同時車聯網服務應能在 300 公尺的視距內與非視距內，360 度範圍內，可能發生交通事故時，提供即時警示。基於上述需求，該計畫所將進行的測試內容與方法概略如下。

測試內容為透過新興通訊科技(例如：5G NR)，進行實驗室與可控環境下的現場模擬模式構建與測試。測試項目包括：

- 1.無線電效能(Radio Performance)：基本環境下之無線電效能、不同挑戰性(車速/可直視與不可直視/有無 GNSS PNT 服務)運輸環境下之無線電效能、無線電頻道(channel)之壅塞控制機制效能、在併用其它技術/相鄰通道技術(adjacent channel technologies)/潛在干擾下之效能、在不同無線電技術混用下所產生干擾之敏感度測試、不同位置與指向性的天線效能測試。
- 2.通訊效能(Communications Performance)：在人工智慧或機器學習下的邊緣運算(edge computing)/感測融合(sensor fusion)/協同感知的 V2X 效能、從安全(safety)與有效性(effectiveness)出發之列隊運行/自動駕駛車輛行經多個車聯網路口/弱勢用路人或其它運輸部門有興趣應用之心 V2X 通訊技術展示。

在技術服務需求方面工作包括，

- 1.無線電傳播與干擾分析的模式構建與模擬：探討課題包括 5G NR 或其它新興通訊技術分析，並調查對 V2X 通訊的潛在干擾(例如未經許可的 Wi-Fi 或其它類型直接相鄰或更相鄰頻道的無線電傳輸)，以下為細部說明。
 - (1)進行在車輛自組織(ad hoc)網路環境的平均信號以及有用及無用干擾程度下的預測。此模式需考量發射器和接收器天線的陰影、相對高度和位置引起的波傳播的反射、衍射和散射模式引起的時間信號衰減等因素。
 - (2)考慮由於動態物理世界特徵(例如：阻礙車輛、建築物和運輸結構體)所引起的空間信號衰減，該探討須將幾何和地理空間數據納入訊號衰

減計算中。

(3)探討無線電波的多路徑傳播，以及 V2X 與其它技術間的干擾。

- 2.構建 600 多個以上通訊設備，以隨機方式進行廣播之無線電性能情境的模式構建與模擬，相關設備間之協同運作不得以事先安排或程式化方式處理。

本模擬須能在多 V2X 設備密度和頻道擁塞條件下，進行通用 V2X 設備行為和性能之模擬模式發展與模擬工作。情境設計與結果分析考量包括：逐步增加設備數量以評估在一定容量下之性能衰減曲線、不同製造商/標準定義的容量等級下的性能評估、考慮不同車輛方向/車輛間距等環境參數下的性能。績效指標包括遺失封包數(Packet loss)、封包重傳延遲(Packet retransmission latency)、傳輸量(Throughput)。

- 3.考量車流密度與壅塞情境下之無線電傳播模擬模式構建與模擬

本項工作需在被驗證過的模擬環境下進行，在無干擾環境與高設備密度/頻道壅塞下於通訊區不同位置之一組 V2X 設備的操作效能模擬。模式構建與模擬需考量下列因素：

- (1)在都會區、郊區與偏遠地區環境下增加 V2X 設備數量之影響，特別是高速公路與立體交差路段。
- (2)模擬情境需同時納入停用和啟用傳輸壅塞控制兩種情形。
- (3)探討 V2X 設備在通訊頻道壅塞挑戰下，相較於其它通訊設備的優先權模擬。
- (4)確定最大容量和最佳性能下的最佳設備參數集。
- (5)評估壅塞控制機制的性能。
- (6)確定有效使用頻譜的方法。
- (7)同時使用 5.9GHz 與 3-6 GHz 區間頻段進行 V2X 之模擬。

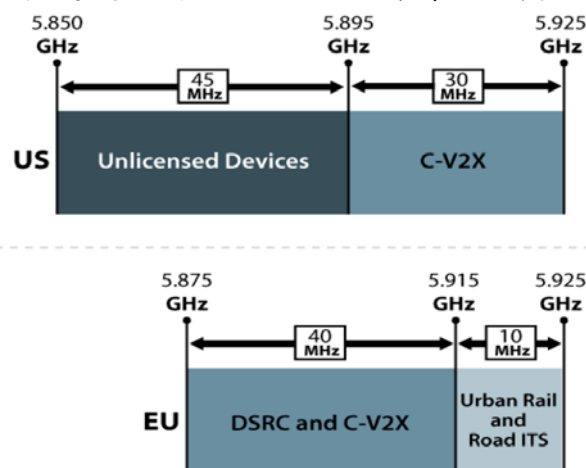
該計畫在實驗室進行測試工作分為下列三大項：

- 1.設備特性測試與分析部分，包括通訊標準(3GPP R.16 或 IEEE 8.2.11bd)符合性、根據設備手冊進行設備設定與評估、確定設備及其性能異常時的特性和課題/當設備異常時在現場實測的可能影響、驗證設備在安全和隱私方面的穩健性、進行與先前 V2X 技術的效能比較、評估共享頻譜和與其它技術共存下的能力。
- 2.干擾測試與分析部分，測試情境將模擬在潛在未經授權的 Wi-Fi，及未經許可設備在相鄰頻道或更遠的相鄰頻道上，進行傳輸產生干擾時，對於一組 V2X 設備，正在進行基本安全訊息(BSM)、號誌時相訊息(SPAT)與地圖(MAP)訊息發送和接收的影響。

3.交互操作性(Interoperability)之測試與分析部分，進行不同設備在發送 BSM 訊息，及提供各項 V2X 服務時之交互操作性測試。

在完成實驗室測試後則於現場進行小規模與大規模的測試。該計畫經由上述各項模擬模式構建與測試，嘗試了解滿足基本 V2X 各項交通安全應用服務下之下列各項議題：無線電效能與可靠度、最佳 5G NG 的 V2X 組態、干擾、通訊壅塞控制與有效的頻譜使用、交互操作性、GNSS 失效下之定位能力、資訊安全與隱私、5G 與 LTE/DSRC 之差異、網路介面、共用頻譜與分享、技術成熟度與費用等。

2021 年 4 月 21 日美國國會研究服務(Congressional Research Service)「In Focus」，在探討智慧汽貨車車輛安全的無線電頻譜使用的報導中，分析 DSRC 與 C-V2X 通訊技術，以及從美國國家競爭力角度來探討無線電頻譜的使用。目前世界各國並無統一標準，已導入或測試 DSRC 技術的國家，正逐漸朝向探討 C-V2X 技術評估，以及探討 DSRC 與 C-V2X 交互操作與共存之選項。歐盟鼓勵車廠與電信公司決定選用單一技術，或提供 DSRC 與 C-V2X 允許交互操作的解決方案，歐盟標準組織(ETSI)預計於 2022 年提出在相同頻率下 DSRC 與 C-V2X 供存貨交互操作的標準。在 2022 年前，歐盟將同時規劃頻譜供 DSRC 與 C-V2X 使用。圖 7 為美國與歐盟在 DSRC 與 C-V2X 通訊技術支無線電頻譜規劃情形，相較於美國規劃 30MHz 給 C-V2X 使用，歐盟規劃 40MHz 給 DSRC 與 C-V2X 使用，同時旁頻道的都會區軌道使用的 10MHz，必要時也可提供道路使用。



資料來源：Smart Cars and Trucks: Spectrum Use for Vehicle Safety, US Congressional Research Service

圖 7. 歐美 DSRC 與 C-V2X 通訊技術支無線電頻譜規劃

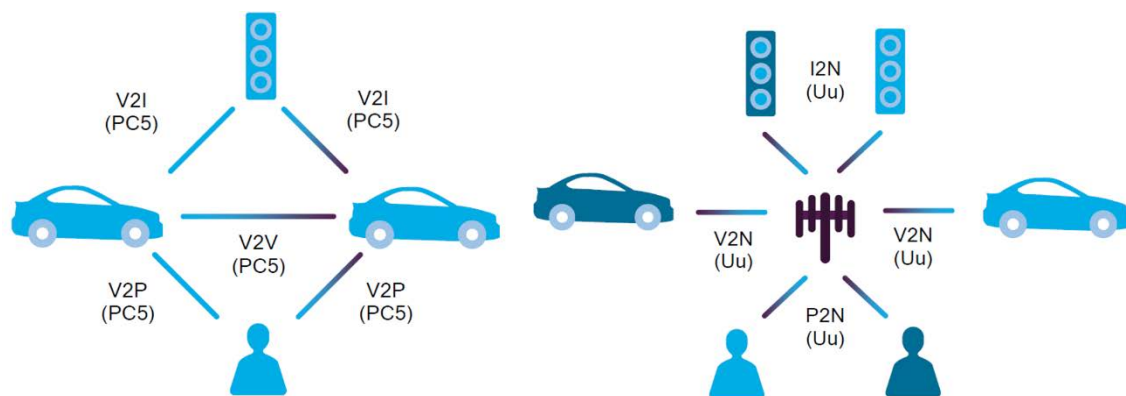
日本與韓國先前規劃採用 DSRC 通訊技術，目前亦正進行 C-V2X 相關測試，但尚未決定頻譜規劃方式與車輛安全技術選用。另一美國政府關鍵考量因素是中國大陸，中國大陸已決定採用 C-V2X 通訊技術，產業界分

析，以中國大陸龐大市場，將有助於 C-V2 的規模化發展，可以降低成本，導致從市場面而言的 C-V2X 優於 DSRC 現象。部分分析師認為 FCC 著眼於美國公司在全球 C-V2X 市場的競爭力，而美國運輸部則聲稱 FCC 此舉將放棄現在可以挽救生命的通訊技術。美國聯邦政府公報(Federal Register)於 2021 年 5 月 3 日公告 FCC 對於 5.895 GHz 至 5.925 GHz 頻道的使用規定，5.850~5.925 GHz 頻道基本上要求將 DSRC 逐步轉換為 C-V2X。

ITS America 與美國國家公路與運輸官員協會(AASHTO)於 2021 年 3 月 11 日致函 FCC，請 FCC 重新審視 2020 年 11 月 18 日發布「第一次報告及命令」的 5.9GHz 頻譜規劃。2021 年 6 月 2 日美國汽車創新聯盟(the Alliance for Automotive Innovation)仍向 FCC 強烈表達，應將完整 5.9GHz 頻段保留智慧運輸的交通安全與自動駕駛車使用。根據 2021 年 6 月 3 日 Traffic Technology International (TTI)電子報報導，ITS America 與 AASHTO 宣布，將採取法律行動來保留完整 5.9GHz 頻段給車聯網使用。

四、4G/5G 車聯網(C-V2X)使用案例

4G 或 5G 蜂巢式(電信)車聯網(C-V2X)指的是透過蜂巢式通訊方式，進行車聯網相關應用與服務。其通訊方式可分為 2 大類，第一類為類似專用短距通訊(DSRC)之設備間之直接通訊，在 C-V2X 中稱之為 PC5(或 Sidelink)方式，PC5(或 Sidelink)為終端設備間之蜂巢式直接通訊介面，此時無須透過電信公司基地台，第二類為透過電信公司網路之 Uu 方式，Uu 為終端設備與基地台間之蜂巢式通訊介面。根據 5GAA 組織於 2018 年 10 月 17 日簡報說明，PC5(或 Sidelink)介面使用獨立於蜂巢式網路 5.9GHz，且直接通訊距離小於 1 公里的 V2X(V2V, V2I, V2P)服務，而 Uu 介面則提供透過蜂巢式網路基地台進行通訊距離大於 1 公里各式交通資訊類 V2N 服務。圖 8 之左圖為 PC5(或 Sidelink)直接通訊方式，圖 8 之右圖為 Uu 介面之 V2N 通訊方式等示意圖。



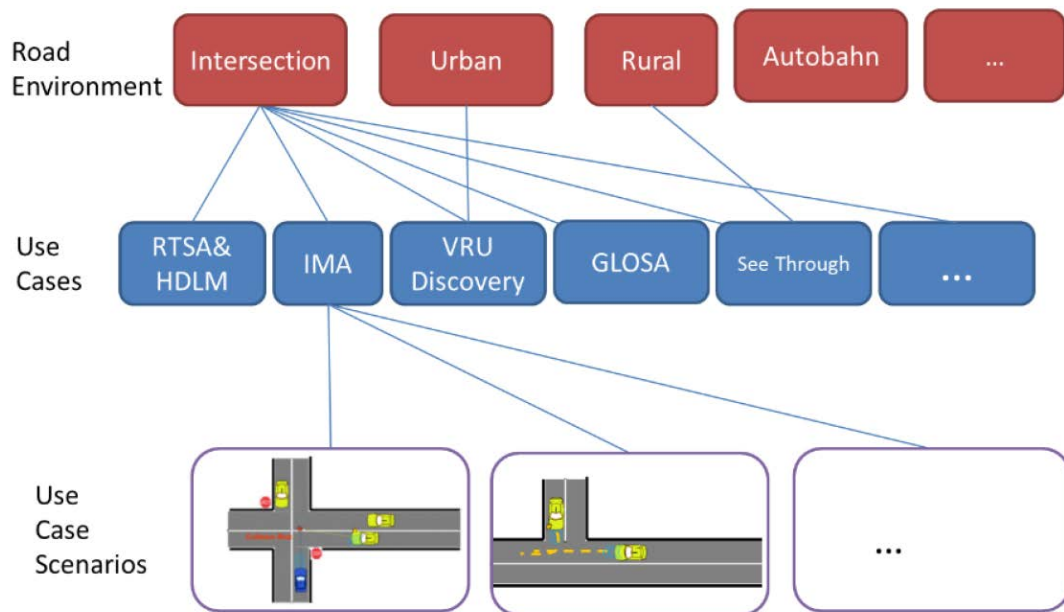
資料來源：3GPP

圖 8. 4G 或 5G 蜂巢式(電信)車聯網(C-V2X)通訊方式示意圖

以下分別從 5GAA 與 3GPP 兩大國際電信標準組織，在 4G/5G 蜂巢式(電信)車聯網(C-V2X)(以下簡稱 C-V2X)之使用案例(use cases)與應用課題進行整理與分析。

4.1 5G 汽車協會之 C-V2X 使用案例(use cases)與應用

5GAA (5G 汽車協會, 5G Automotive Association)於 2019 年 6 月 19 日發表 C-V2X 使用案例(use cases)之方法(methodology)、範例(examples)與服務等級要求(service level requirements)白皮書(White paper)。經由階層式分類方式，5GAA 第 1 工作小組(WG1)構建道路環境(road environment)、使用案例(use cases, UC)與使用案例情境(use cases scenarios)三者間之關係。道路環境指的是車流與 C-V2X 使用案例發生的空間，例如路口、市區域郊區道路、高速公路、停車場等，每一個 C-V2X 使用案例對應到至少一個道路環境單元。使用案例為特定目的特定狀況下執行某項應用的高階程序(the high level procedures)描述，通常一個使用案例為多個使用案例情境的組合。使用案例情境為推導自不同要求下的不同狀態例如某個使用情境可能是先進駕駛輔助(ADAS)，也可能為全自動駕駛(fully automated driving)。圖 9 為此三者間之階層關聯定義圖，道路環境位於最上層，使用案例情境位於中間層，道路環境位於最下層。



資料來源：5GAA

圖 9. 道路環境、使用案例與使用案例情境之階層關聯定義圖

5GAA 第 1 工作小組同時對於每個使用案例(UC)定義其服務等級要求(service level requirements)，以供 C-V2X 各使用案例在技術面或建置面考量時之用，服務等級要求之各個項目及其定義如表 1。

表 1. C-V2X 不同服務等級項目及其定義

服務等級要求項目	單位	定義
警示距離(Range)	公尺(m)	預期距本車(HV)情境應用區域之距離
訊息要求與產生 (Information requested/ generated)	訊息長度(byte)	終端使用者所需訊息品質
服務等級延遲(Service Level Latency)	毫秒(10^{-3})(ms)	從事件在場景應用程序區域中發生，到結果執行開始之間的時間度量。
服務等級可靠度(Service Level Reliability)	%	基於有共識的服務品質(Quality of Service, QoS)框架，在使用案例(UC)應用之啟動/初始化、執行與完成(點對點)應用程序的保證和預期性能。
速度(Velocity)	公尺/秒(m/s)	描述可以達到所定義 QoS 的車輛最大絕對速度
車流密度(Vehicle Density)	車輛數/平方公里 (vehicle/km ²)	使用案例(UC)執行期間，每個給定區域(每平方公里)的預期車輛數量。

定位(Positioning)	公尺(m)	定位(Positioning)精度/位置(Position))精度/區位(Location)精度，在將位置資訊傳遞給終端用戶(本車 HV)時，在實際位置和位置信息之間：(a)區位類型：絕對/地理或相對或不適用，(b)KPI：準確性等級。
所需之交互操作性/法規/標準(Interoperability/Regulatory/ Standardization Required)	是或否(yes/no)	是或否

5GAA 將 C-V2X 使用案例(UC)分為 7 大類，分別為

- 交通安全(Safety)：著重於車輛與駕駛行車安全，例如：緊急煞車(Emergency Braking)、路口管理輔助(Intersection Mgmt. Assist)、碰撞警示或車道變換(Collision warning or Lane change)等。這些使用案例在許多情況下將同樣適用於自動駕駛汽車或為駕駛提供幫助，除了一些引人注目的例外，例如 See-Trough，相機輔助是為人類駕駛員而設計的。5GAA 期望定義使用案例的標準和規範，以確保不同 OEM 間有一致的操作特性和功能。
- 車輛操作管理(Vehicle Operations Management)：本類型屬於汽車製造商在運營和管理價值的使用案例，例如：車輛感測器監控(sensors monitoring)、軟體更新(software updates)、遠端支援(remote support)等。從商業與貨幣化模式而言，這些由車廠提供的使用案例，來提高車輛維護和監控的效率，例如遠端支援功能將對車主/駕駛或運輸業者產生吸引力。同時這些使用案例未必有標準化需求，可以由車廠視其需求而專屬開發。
- 便利性(Convenience)：本類型為駕駛提供便利性，例如：信息娛樂(Infotainment)、協同導航與輔助(assisted and cooperative navigation)，以及自主智慧停車(autonomous smart parking)等。這類型使用案例與行車安全無關，但可提高商業上附加價值，列為選擇性項目。
- 自動駕駛(Autonomous driving)：本類型主要針對 SAE 等級 4 與等級 5 的自動駕駛車輛，例如：是否允許自動駕駛的控制(control if autonomous driving is allowed or not)、針對遠端駕駛的擴增實境支援(Augmented Reality support for a remote driver)、高精地圖的下載與更新(handling of dynamic maps)、提高行車安全與效率的自動駕駛車輛間的協同運作(cooperative interaction between vehicles to be efficient and safe)等。這些使

用案例預期對於車主/駕駛或運輸業者具備吸引力。

- 列隊行駛(Platooning)：該使用案例包括：車隊之蒐集與建立、決定車隊位置、管理車隊間之距離、離開車隊、控制車隊處於穩定狀態、提出通過車隊需求等，這些使用案例係減少碳排與效率提升的商業模式出發，預期對車主/駕駛或運輸業者具備吸引力。
- 交通效率與環境友善(Traffic Efficiency and Environmental friendliness)：該使用案例預期可提供較高的道路運作效率，例如：綠燈最佳速度建議(GLOSA)、道路壅塞、資訊路徑導引等。這些使用案例商業模式提高道路運作效率，預期對車主/駕駛或運輸業者具備吸引力。
- 社會與社區(Society and Community)：使用案例包括對社會和公眾具有價值和利益的用例，例如：弱勢道路使用者(VRU)保護、提供救護車/警車/消防車隊等公共優先通行服務。這些使用案例商業模式，預期對公私部門均具備吸引力。

5GAA 於該白皮書中針對路口左轉通行輔助(Cross-Traffic Left-Turn Assist, CTLTA)、路口通行輔助(Intersection Movement Assist, IMA)、緊急煞車警示(Emergency Brake Warning, EBW)、交通壅塞警示(Traffic Jam Warning, TJW)、軟體更新(Software Update, SU)、遠端車輛健康監視(Remote Vehicle Health Monitoring, RVHM)、危險區域警示(Hazardous Location Warning, HLW)、車速調和(Speed Harmonization, SH)、高精度感測資料分享(High Definition Sensor Sharing, HDSS)、超車對向車輛警示(See-Through for Pass Maneuver, STPM)、車道變換警示(Lane Change Warning, LCW)、弱勢用路人(Vulnerable Road User, VRU)等 12 項使用者案例，在警示距離(Range)、訊息要求與產生(Information requested/ generated)、服務等級延遲(Service Level Latency)、服務等級可靠度(Service Level Reliability)、速度(Velocity)、車流密度(Vehicle Density)、定位(Positioning)、所需之交互操作性/法規/標準(Interoperability/ Regulatory/Standardization Required)等 8 個項目提出在警示資訊交換與較高自動化等級運行(例如自駕車)之各項服務量化門檻要求。表 2 至表 13 分別說明上述使用案例內容與相關門檻值要求。

表 2. C-V2X 路口通行輔助(IMA)服務等級要求

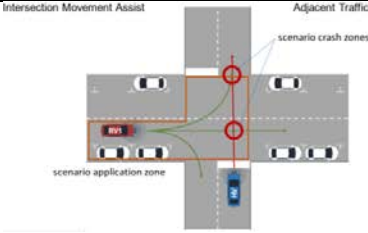
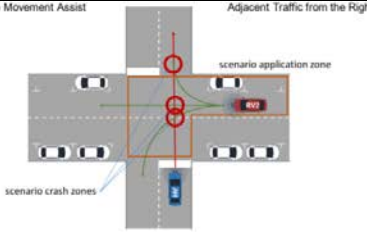
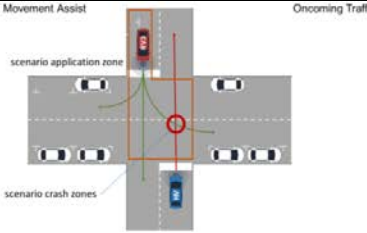
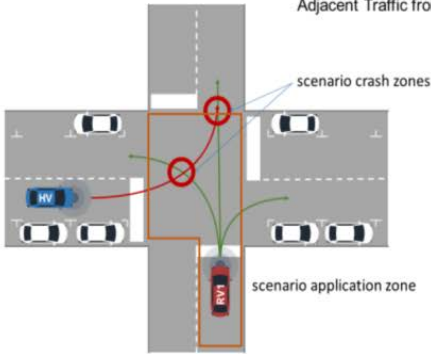
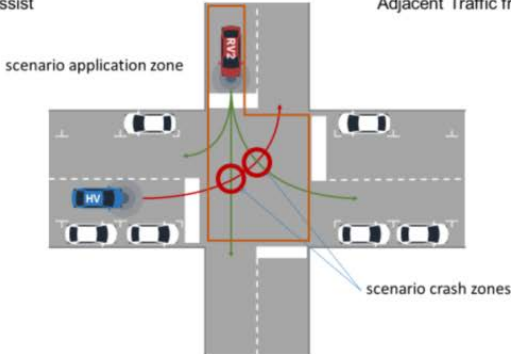
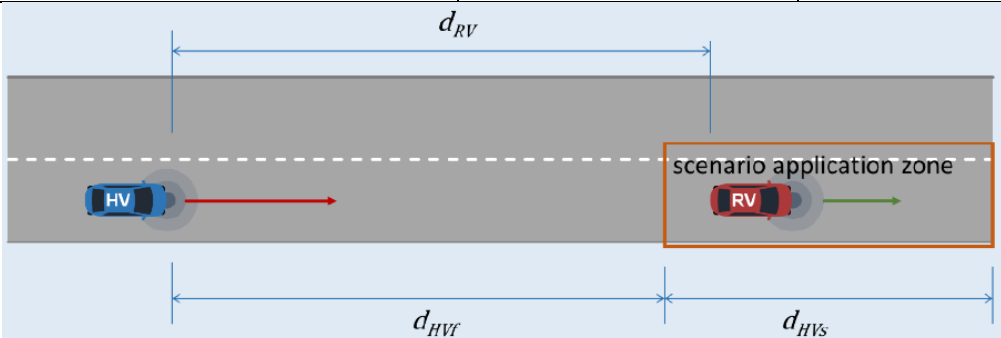
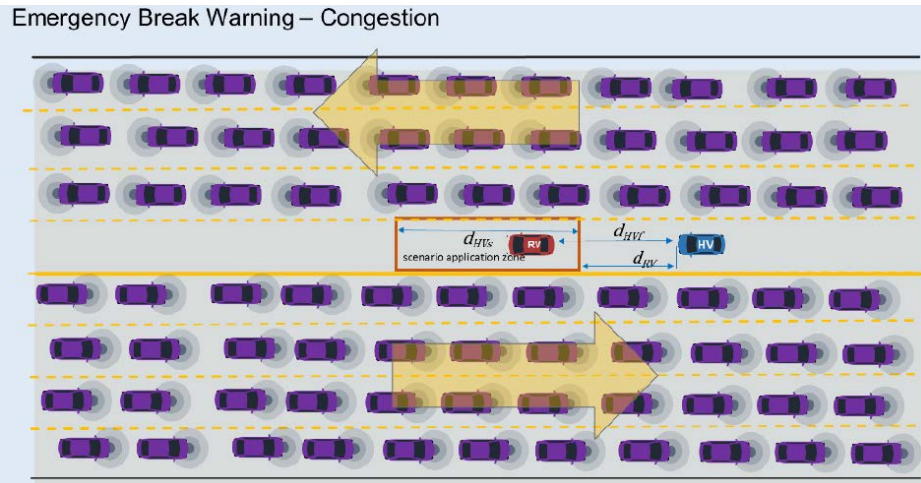
服務等級	警示資訊交換等級 (Story #1)	較高自動化等級 (Story #2)
		
警示距離 (公尺(m))	350	350
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	300 byte/訊息	約 1,000 byte/訊息
服務等級延遲 (毫秒(10^{-3} 秒))(ms)	100	10
服務等級可靠度(%)	90	99.9
速度(公尺/秒(m/s))	33.3 (最大時速 120 kph)	33.3 (最大時速 120 kph)
車流密度(車輛數/平方公里)	1,500	1,500
定位精度(公尺(m))	1.5 (3σ)	1.5 (3σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是	是/是/是

表 3. C-V2X 路口左轉通行輔助(CTLTA)服務等級要求

服務等級	警示資訊交換等級 (Story #1)	較高自動化等級 (Story #2)
Left Turn Assist 	Left Turn Assist 	
警示距離(公尺(m))	100	N/A
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	300 byte/訊息	N/A
服務等級延遲(毫秒(10^{-3} 秒))(ms))	100	N/A

服務等級可靠度(%)	99.99	N/A
速度(公尺/秒(m/s))	33.3 (最大時速 120 kph)	N/A
車流密度(車輛數/平方公里)	12,000	N/A
定位精度(公尺(m))	1.5 (3 σ)	N/A
所需交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是	N/A

表 4. C-V2X 緊急煞車警示(EBW)服務等級要求

服務等級	警示資訊交換等級 (Story #1)	較高自動化等級 (Story #2)
 Emergency Break Warning – Congestion 		
警示距離(公尺(m))	360	290
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	200~400byte/訊息	200~400byte/訊息
服務等級延遲(毫秒(10 ⁻³ 秒)(ms))	120	120
服務等級可靠度(%)	99.99	99.99
速度(公尺/秒(m/s))	69.4 (最大時速 250 kph)	69.4 (最大時速 250 kph)

車流密度(車輛數/平方公里)	12,000	12,000
定位精度(公尺(m))	1.5 (3 σ)	1.5 (3 σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是	是/是/是

表 5. C-V2X 交通壅塞警示與路徑資訊(TJW)服務等級要求

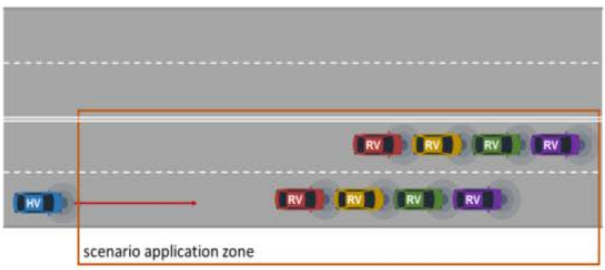
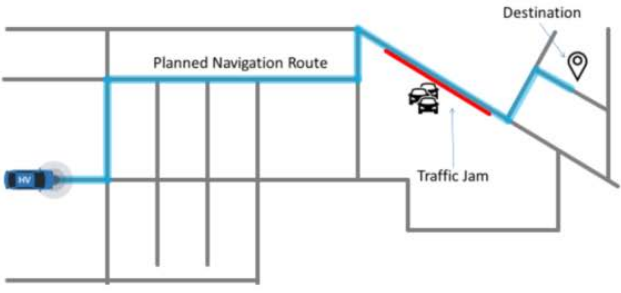
服務等級	都會區 壅塞警示 (Story#1)	郊區 壅塞警示 (Story#2)	高速公路 壅塞警示 (Story#3)	都會區 路徑資訊 (Story#4)	郊區 路徑資訊 (Story#5)	高速公路 路徑資訊 (Story#6)
Traffic Jam Warning On Road 	Traffic Jam Warning On Route 					
警示距離(公尺(m))	1,000	1,000	1,000	100,000	200,000	300,000
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	~300byte/ 訊息	~300byte/ 訊息	~300byte/ 訊息	~300byte/ 訊息	~300byte/ 訊息	~300byte/ 訊息
服務等級延遲(毫秒 (10 ⁻³ 秒)(ms))	2,000	2,000	2,000	分鐘等級	分鐘等級	分鐘等級
服務等級可靠度(%)	50	50	50	50	50	50
速度(公尺/秒(m/s))	19.4(最大 時速 70 kph)	33.3(最大 時速 120 kph)	69.4(最大 時速 250 kph)	19.4(最大 時速 70 kph)	33.3(最大 時速 120 kph)	69.4(最大 時速 250 kph)
車流密度(車輛數/平 方公里)	12,000	9,000	4,500	12,000	9,000	4,500
定位精度(公尺(m))	20 (1 σ)	20 (1 σ)	2 (1 σ)	20 (1 σ)	20 (1 σ)	2 (1 σ)
所需的交互操作性/法 規/標準 (是或否)	是/是/是	是/是/是	是/-/-	是/是/是	是/是/是	是/是/是

表 6. C-V2X 軟體更新(SU)服務等級要求

服務等級	非自駕車 傳統程序	自駕車 正常程序	自駕車 緊急程序	無基地台覆 蓋但鄰近有 C-V2X 服務	維修保養廠
警示距離(公尺(m))	基地台服務 範圍	基地台服務 範圍	基地台服務 範圍	<100	<100 (車與 RSU 間)
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	1.5GB/168 hr	3GB/24 hr	3GB/2 hr	1.5GB	32GB
服務等級延遲(毫秒 (10^{-3} 秒)(ms))	N/A	N/A	N/A	30 sec	15 min
服務等級可靠度(%)	99	99	99	99	99.9
速度(公尺/秒(m/s))	19.4(最大時 速 70 kph)	19.4(最大時 速 70 kph)	69.4(最大時 速 250 kph)	0	0
車流密度 (車輛數/平方公里)	在 1,500 密 度下約 1%需 要更新	在 1,500 密 度下約 1%需 要更新	在 1,500 密 度下約 1%需 要更新	在 1,500 密 度下至少有 2 輛車	在 1,500 密度下 至少可以處理 1000 輛車
定位精度(公尺(m))	30 (1σ)	30 (1σ)	30 (1σ)	50 (1σ)	50 (1σ)
所需的交互操作性/ 法規/標準(是或否)	否/是/否	否/是/否	否/是/否	否/是/否	否/是/否

表 7. C-V2X 遠端車輛健康監視(RVHM)服務等級要求

服務等級	警示訊息 (Story #1)
警示距離 (公尺(m))	N/A
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	< 1 KB
服務等級延遲 (毫秒(10^{-3} 秒)(ms))	< 30 sec
服務等級可靠度(%)	99.99
速度(公尺/秒(m/s))	69.4 (最大時速 250 kph)
車流密度(車輛數/平方公里)	12,000
定位精度(公尺(m))	1.5 (3σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是

表 8. C-V2X 危險區域警示(HLW)服務等級要求

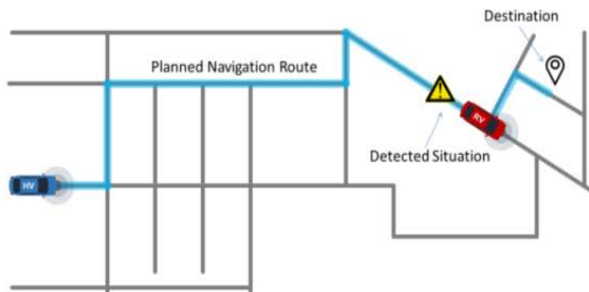
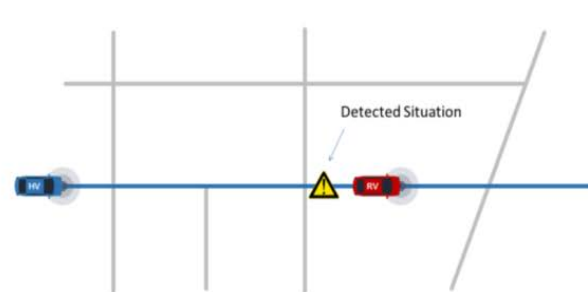
服務等級	由周邊車輛提供 (Story #1)	由雲端或後台提供 (Story #2)
Situational Awareness 	Situational Awareness 	
警示距離 (公尺(m))	300	~ 30,000
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	300 bytes	300~1,000 bytes
服務等級延遲 (毫秒(10^{-3} 秒))(ms))	100	1~2 for safety related 10-200 for general info.
服務等級可靠度(%)	99	99 for safety related Low for general info.
速度(公尺/秒(m/s))	69.4 (最大時速 250 kph)	69.4 (最大時速 250 kph)
車流密度(車輛數/平方公里)	12,000 (都會區) 9,000 (郊區) 4,500 (高速公路)	12,000 (都會區) 9,000 (郊區) 4,500 (高速公路)
定位精度(公尺(m))	1.5 (3σ) - lane 5 (3σ) – non-lane	1.5 (3σ) - lane 5 (3σ) – non-lane
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是	是/是/是

表 9. C-V2X 車速調和(SH)服務等級要求

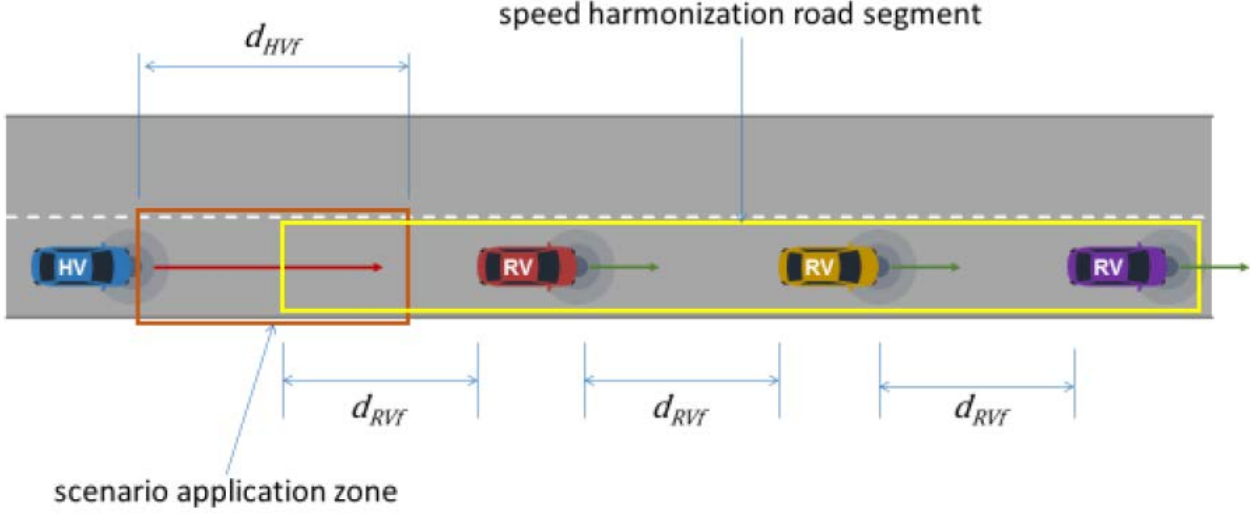
服務等級	考量駕駛人反應時間 (Story #1)	自動駕駛程度高(駕駛人反應時間影響低 Story #2)
		
警示距離 (公尺(m))	123/59/26 煞車距離=反應時間 (1.0 sec)*速度+速度 2/(2μg)，其中 μ 是路 面摩擦係數(=0.8)，g 是重力減速度 (=9.8m/s ²)	59/23/8 煞車距離=反應時間 (0.0 sec)*速度+速度 2/(2μg)，其中 μ 是路 面摩擦係數(=0.8)，g 是重力減速度 (=9.8m/s ²)
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	300 bytes	300 bytes
服務等級延遲 (毫秒(10 ⁻³ 秒)(ms))	2,500/1,800/1,400	1,500/800/400
服務等級可靠度(%)	80	80
速度(公尺/秒(m/s))	69.4 (高速公路) 33.3 (郊區) 19.4 (都會區)	69.4 (高速公路) 33.3 (郊區) 19.4 (都會區)
車流密度(車輛數/平方公里)	12,000	12,000
定位精度(公尺(m))	1.5 (3σ)	1.5 (3σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是	是/是/是

表 10. C-V2X 高精度感測資料分享(HDSS)服務等級要求

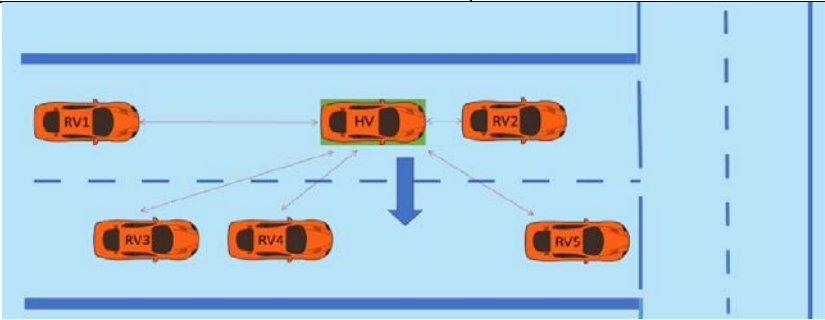
服務等級	資料分享 (Story #1)
	
警示距離 (公尺(m))	40
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	1,000 bytes
服務等級延遲 (毫秒(10^{-3} 秒))(ms)	10
服務等級可靠度(%)	99.99
速度(公尺/秒(m/s))	69.4 (最大時速 250 kph)
車流密度(車輛數/平方公里)	12,000
定位精度(公尺(m))	0.1 (3σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是

表 11. C-V2X 超車對向車輛警示(STPM)服務等級要求

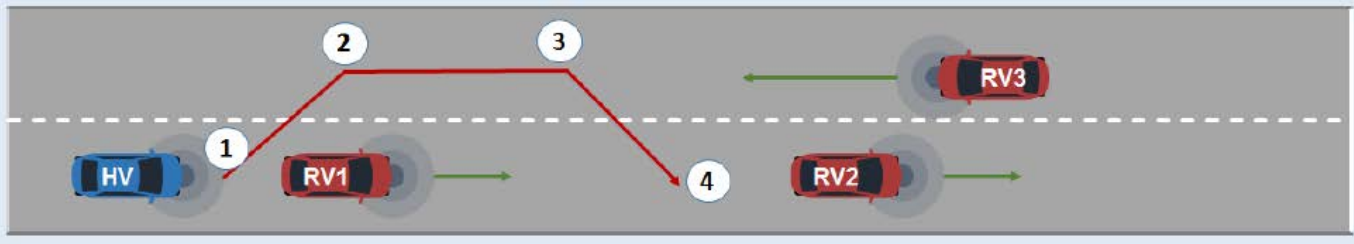
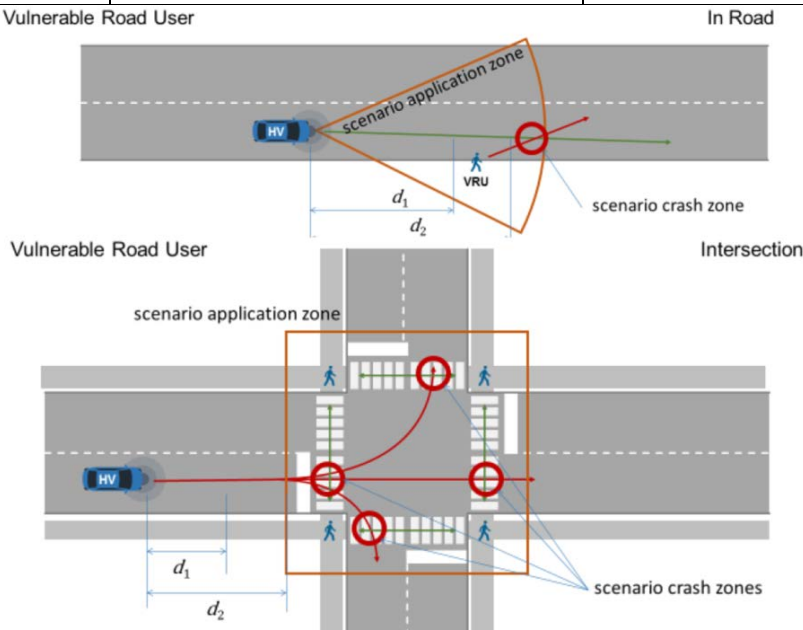
服務等級	警示訊息 (Story #1)
	
警示距離 (公尺(m))	100
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	15 Mbps
服務等級延遲 (毫秒(10^{-3} 秒))(ms)	50
服務等級可靠度(%)	99
速度(公尺/秒(m/s))	33.3 (最大時速 120 kph)
車流密度(車輛數/平方公里)	9,000
定位精度(公尺(m))	1.5 (3σ)
所需的交互操作性/法規/標準 (是或否)	是/是/是

表 12. C-V2X 車道變換警示(LCW)服務等級要求

服務等級	RV 車速大於 HV 車速 (高速公路 Story#1)	HV 車速大於 RV 車速 (都會區 Story#2)	不允許變換車道 (郊區 Story#3)
警示距離(公尺(m))	83	28	51
訊息要求與產生(訊息 byte 數)	~300byte/訊息	~300byte/訊息	~300byte/訊息
服務等級延遲(毫秒(10^{-3} 秒)(ms))	400	400	400
服務等級可靠度(%)	99.9	99.9	99.9
速度(公尺/秒(m/s))	HV (28)/RV1 (33)	RV2 (11)/HV (14)	HV (23)
車流密度(車輛數/km ²)	4,500	12,000	9,000
定位精度(公尺(m))	1.5 (3 σ)	1.5 (3 σ)	1.5 (3 σ)
所需的交互操作性/法規/ 標準(是或否)	是/是/是	是/是/是	是/是/是

表 13. C-V2X 弱勢用路人(VRU)服務等級要求

服務等級	弱勢用路人接近危險的警示事件(Story #1)	碰撞警示 (Story #2)
		

警示距離 (公尺(m))	至少 80 都會區 150 郊區 300	至少 80 都會區 150 郊區 300
訊息要求與產生 (訊息 byte 數)	監視-中度品質 安全-非常高等級	監視-中度品質 安全-非常高等級
服務等級延遲 (毫秒 (10^{-3} 秒)(ms))	100 (建議為 20)	100 (建議為 20)
服務等級可靠度(%)	99.9	99.9
速度(公尺/秒(m/s))	33.3 (郊區) 19.4 (都會區)	33.3 (郊區) 19.4 (都會區)
車流密度(車輛數/km ²)	關心的弱勢用路人 ~300 周遭的弱勢用路人 10,000 車輛 1,500	關心的弱勢用路人 ~300 周遭的弱勢用路人 10,000 車輛 1500
定位精度(公尺(m))	1 (3 σ)	0.5 (3 σ)
所需的交互操作性/法規 /標準(是或否)	是/是/是	是/是/是

4.2 3GPP R14 之 C-V2X 使用案例(use cases)與應用

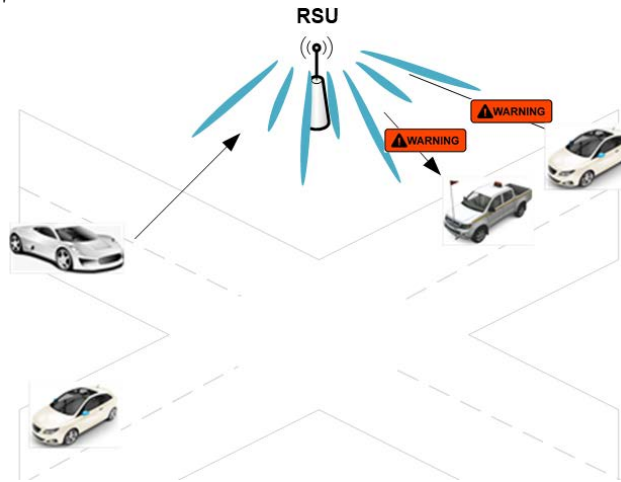
3GPP(3rd Generation Partnership Project)國際組織於 2015 年發布 LTE 所支援車聯網(V2X)技術報告(3GPP TR 22.885, R.14)中，說明所包含車聯網服務 27 個使用案例(use cases)，以下摘要說明該使用案例。

- 1.前方防碰撞(Forward Collision Warning, FCW)：提供在最高車速 160 kph 下之同方向同車道之追撞前車(RV)警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes，最長不超過 1,200 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 1 筆。
- 2.失去控制警示(Control Loss Warning, CLW)：當本車(HV)失控時發車此警示給周邊車輛(RV)，周邊車輛(RV)收到 HV CLW 時自行評估是否要警示駕駛；提供在最高車速 280 kph 下之失控警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes，最長不超過 1,200 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 1 筆。
- 3.車間通訊-緊急車輛警示(V2V Use case for emergency vehicle warning)：緊急車輛則透過美規 BSM 或歐規 CAM 來廣播其位置、速度與行駛方向

- 資訊，而本車(HV)則查詢周遭緊急車輛的位置、速度與行駛方向資訊，而以降低緊急車輛通行之阻礙。當本車(HV)失控時發車此警示給周邊車輛(RV)，周邊車輛(RV)收到 HV CLW 時自行評估是否要警示駕駛；提供在最高車速 280 kph 下之失控警示；此警示須提供本車(HV)約 300~500 公尺的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes，最長不超過 1,200 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 10 筆。
- 4.車間通訊-緊急停止警示(V2V Emergency Stop Use Case)：當本車(HV)緊急煞車時，啟動與周遭車輛間的較安全的行車模式。以歐規而言，會透過分散式環境提示訊息(Decentralized Environmental Notification Message, DENM)的發布來達到此需求；美規 SAE J2735 則無類似訊息，需透過車輛間的 V2V 資訊交換，以及車載端(OBU)來運算與判斷緊急停車車輛的存在。因此在歐規環境下，提供在最高車速 160 kph 下之失控警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之 DENM 訊息長度最長不超過 1,200 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 10 筆。
- 5.協同式自適應巡航控制系統(Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC)：此使用案例提供列隊行駛車輛在進入與離開車隊的安全運行，以及減少交通壅塞與提高能源使用效率。列隊行駛車輛均依 CACC 廣播其車輛大小、速度、車間距規則、在車隊位置等資訊，其他車隊車輛接收到資訊後，及時運算與更新相關資訊，以及維持安全運行狀態。可以在 4 車道高速公路交通壅塞下運行，高可靠度，最大通訊延遲為 1 秒；訊息頻率最快為每秒 1 筆。
- 6.車路通訊-緊急停止警示(V2I Emergency Stop Use Case)：相較於車間通訊-緊急停止警示(V2V Emergency Stop Use Case)使用案例，本使用案例係透過路側設備(RSU)來轉傳(relay)分散式環境提示訊息(Decentralized Environmental Notification Message, DENM)，內容為有靜止車輛警示。提供在最高車速 160 kph 下之警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 400 Bytes，最長不超過 1,200 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 10 筆。
- 7.停等車隊警示(Queue Warning)：當車流因交通壅塞產生停等車隊，造成前在交通安全疑慮，此時可透過車路通訊或車間通訊方式，將此停等車隊警示傳送至上游車車輛駕駛，來降低事故發生。提供在最高車速 160 kph 下之警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-400 Bytes，最長不超過 1,200 Bytes；

最大通訊延遲為 100 ms。

- 8.道路安全服務(Road safety services)：此使用案例係利用路側設備(RSU)來提供交通安全資訊給車載設備(OBU)與呈現給駕駛人，下圖 10 為此使用案例之服務示意。某一車輛偵測到交通安全警示事件，藉由路側設備(RSU)轉傳給該路口其它車輛。提供在最高車速 160 kph 下之警示；一般情況下之訊息長度為 1200 Bytes，最大長度為 1,200 Bytes；訊息頻率最快為每秒 10 筆。

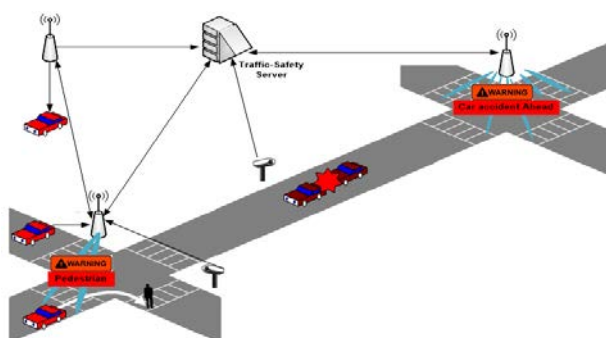


資料來源：3GPP

圖 10. 道路安全服務(Road safety services)之使用案例示意

- 9.自動停車系統(Automated Parking System, APS)：APS 使用案例提供都會區即時停車位資訊，同時可藉由智慧型手機來預訂車位與付費。提供在最高車速 160 kph 下之警示；此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-400 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms。
- 10.行車方向錯誤警示(Wrong way driving warning)：透過 2 輛車的車間通訊來判斷行車方向是否錯誤，若為誤闖車道或逆向，則透過車間通訊來發出警示。提供在最高車速 140 kph 下之警示。
- 11.行動網路營運商(Mobile network operator, MNO)控制下的 V2X 訊息轉換(V2X message transfer under MNO control)：在行動網路營運商的演進式通用陸面無線接續網路服務(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN)範圍下，支援不同使用者設備間(UE)的 V2X 服務。
- 12.碰撞前感測警示(Pre-crash Sensing Warning)：根據所偵測(車載端或路側端)潛在立即危險與不可避免的碰撞，節由 V2V 車間通訊方式來進行廣播。提供在最高車速 160 kph 下之警示；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes；最大通訊延遲為 20 ms。

- 13.V2X 不在通訊服務範圍(V2X in areas outside network coverage)：當車輛不在行動網路營運商無線通訊服務範圍內時，本使用案例說明 2 輛車，單純透過 V2V 車間通訊，來進行交通安全相關資訊交換與運作模式。
- 14.經由基礎設施之 V2X 道路安全服務(V2X Road safety service via infrastructure)：相較於「道路安全服務(Road safety services)」透過 RSU 來發布交通安全警示訊息方式，本使用案例進一步利用電信網路相關節點，來進行較大範圍的車路通訊服務，屬於 V2N 搭配車路通訊 V2I 的服務型態，圖 11 為此使用案例之運作示意圖。提最大通訊延遲要求為 500 ms。

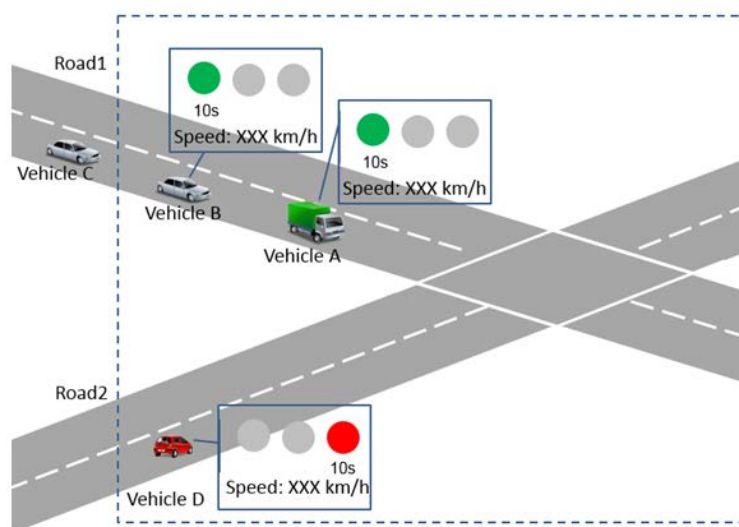


資料來源：3GPP

圖 11. 經由基礎設施之 V2X 道路安全服務之使用案例示意

- 15.V2N 車流最佳化(V2N Traffic Flow Optimization)：車與通訊網路的分散式運算，並結合路口即時號誌資訊，可提供車輛接近路口時之最佳行駛速率、停等或通行等建議。以下圖為例，車輛 A, B, C 行駛方向還有 10 秒綠燈結束，車輛 A 行駛方向還有 10 秒紅燈結束。根據分散式運算邏輯，路口伺服器收到路口決策範圍所有車輛廣播 BSM 或 CAM 資料後，從減少停等的能源節省角度，來計算此 4 輛車之行車建議，例如：建議車輛 A, B, C 在不超速情形下，加速通過路口，同時提醒車輛 D，紅燈還有 10 秒結束，可以慢慢行駛到路口就會變為綠燈，以減少停等。
- 此 V2N 使用案例相較於 V2I 的根據路口號誌資訊由各輛車自行判斷路口通行決策方式，V2N 使用案例將所有資料集中到電信公司網路伺服器進行運算，並將運算後之結果派送到路側 RSU，進而傳送到車載 OBU。而 V2I 方式則是透過路側 RSU 介接號誌控器取得及時號誌資訊，在車載端，結合本車(HV)之位置與速度，透過 OBU 來推算距離路口距離，運算出最佳行駛速率、停等或通行等建議，圖 12 為其運作示意。
- 此使用案例在不同電信公司間漫遊時應不增加通訊延遲，以及一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes；同時對於通訊延遲與訊息頻率也較不高，

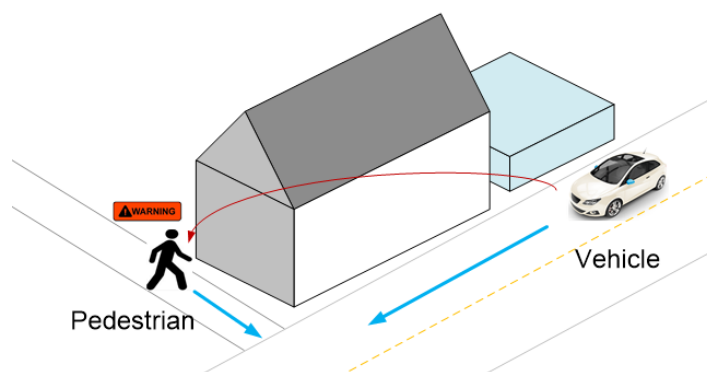
最大通訊延遲為 1000 ms；訊息頻率最快為每 10 秒 1 筆。



資料來源：3GPP

圖 12. V2N 車流最佳化之使用案例示意

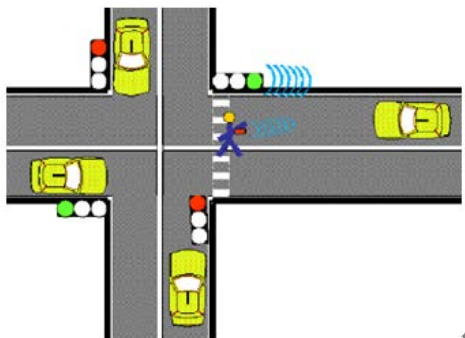
16. 彎道速度警示(Curve Speed Warning)：於彎道前設置路側 RSU 進行一個或多個彎道位置、速限、曲率、路面狀況等資訊，屬於車路通訊型態使用案例。此警示須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-400 Bytes；最大通訊延遲為 1 秒；訊息頻率最快為每秒 1 筆。
17. 提供行人碰撞警示(Warning to Pedestrian against Pedestrian Collision)：提供弱勢用路人(例如：行人或自行車)危險警示訊息，屬於車路通訊型態使用案例，下圖為示意圖。須支援不同電信商間漫遊，提供在最高車速 160 kph 下之警示；須提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes；對於通訊延遲與訊息頻率則尚未要求，圖 13 為其運作示意。



資料來源：3GPP

圖 13. 提供行人碰撞警示之使用案例示意

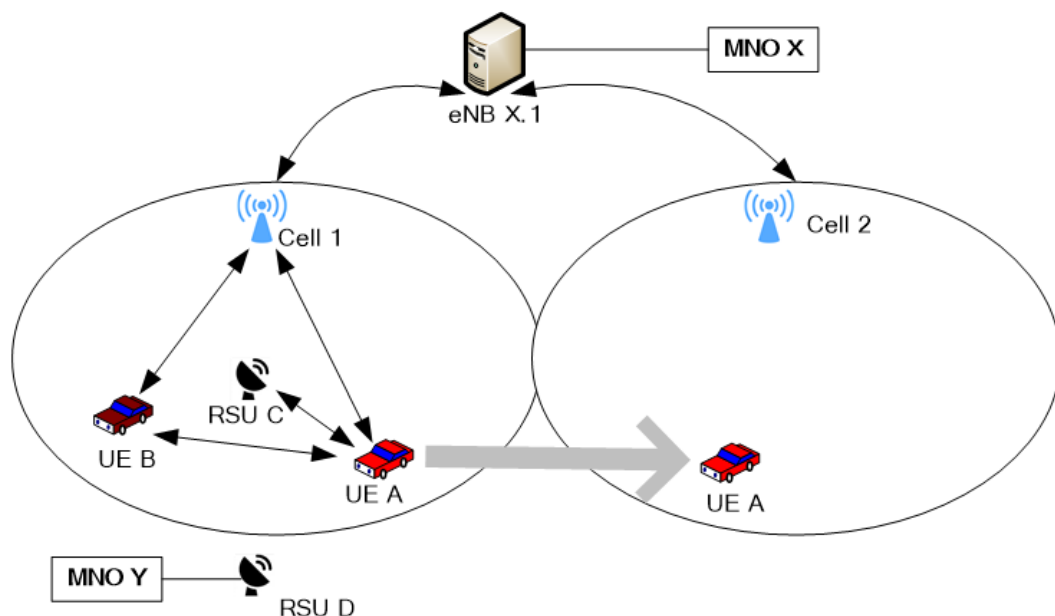
18.弱勢用路人安全(Vulnerable Road User (VRU) Safety)：當行人與車輛均配備 V2P 設備時，車輛 OBU 收到行人 OBU 資訊，根據軌跡來推估潛在有危險並即時警示駕駛人，屬於 V2P 使用案例，圖 14 為運作示意。提供在最高車速 160 kph 下之警示；提供本車(HV)駕駛 4 秒以上反應時間的通訊距離；一般情況下之訊息長度為 50-300 Bytes；最大通訊延遲為 100 ms；訊息頻率最快為每秒 1 筆。



資料來源：3GPP

圖 14. 弱勢用路人安全之使用案例示意

19.V2X (V2X by UE-type RSU)：車輛 A(UE A)與車輛 B(UE B)獲得授權使用 V2X 服務，並開始傳輸 V2X 應用資料(例如：速度、航向和位置)。路側設備 RSU C 與車輛 B(UE C)相同，請求進化節點 B(evolved NodeB, eNB)X.1 分配無線資源，eNB X.1 為 RSU C 分配無線資源，RSU C 使用分配的無線資源廣播交通號誌資訊。當車輛 A(UE A)移動到 RSU C 附近，並接收 RSU C 發送的交通號誌資訊，同時車輛 A (UE A)擁有者啟動串流服務應用。車輛 A (UE A)通過 eNB X.1 在基地台 1 建立無線電資源控制(Radio Resource Control, RRC)連接，以服務相關串流服務應用程序。相關流程如圖 15 所示。

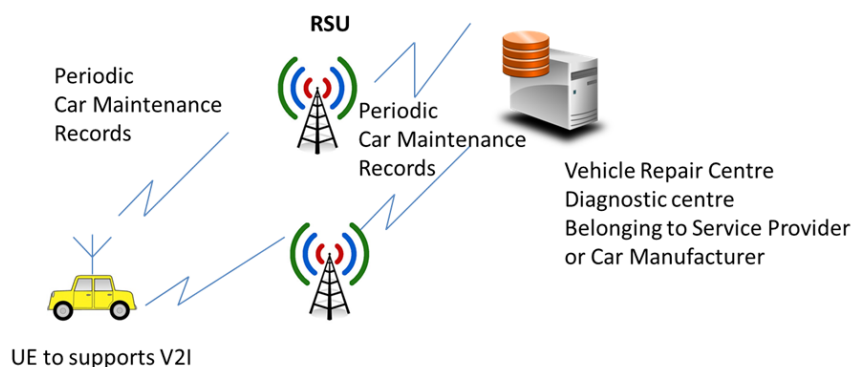


資料來源：3GPP

圖 15. V2X (V2X by UE-type RSU)之使用案例示意

- 20.V2X 最低服務品質(V2X Minimum QoS)：本使用案例者探討 V2X 車端使用者，在行經基地台時偵測到基地台因流量大無法處理每秒 10 筆的 BSM/CAM 時，會將 BSM/CAM 廣播頻率將低為每秒 1 筆的情境。此情境同時將提供緊急車輛通行時之優先維持每秒 10 筆 BSM/CAM 的通訊服務品質。
- 21.漫遊下之 V2X 存取(Use case for V2X access when roaming)：本使用案例者在探討 V2X 車端使用者，行經不同電信業者(Public Land Mobile Network, PLMN)須能處理 V2X 服務交通資訊服務的漫遊課題。
- 22.經由車與行人通訊警示訊息之行人道路安全(Pedestrian Road Safety via V2P awareness messages)：本使用案例探討行人道路安全課題，可分為 2 種運作模式。模式 1 為行人透過手持行動 V2P 裝置接收周遭車輛資訊進行判斷，若有潛在危險狀況，則將該行人之位置與速度透過 V2P 發布至車輛端；模式 2 為行人手持行動 V2P 裝置廣播其位置與速度，潛在危險情境之判斷則由接收到行人 V2P 訊息的車載端 OBU 進行判斷。自行車與機車使用者亦可利用此使用案例進行 V2P 運作。此警示須提供 4 秒以上反應時間的通訊距離；支援對行人警示時之車輛最高車速為 160 kph，對機車警示時之車輛最高車速為 280 kph。
- 23.車流管理混合案例(Mixed Use Traffic Management)：本使用案例主要是探討在鐵路平交道的車聯網(V2X)應用，提供當軌道車輛通過平交道前透過 V2X 提供車輛、自行車與行人事先警示。

24. 車輛定位精確度強化 (Enhancing Positional Precision for traffic participants)：車聯網(V2X)各式應用情境高度依賴高精確得定位精度，本使用案例主要是探討車輛定位精確度提升課題，不過 R14 文件並未有在定位精度強化相關著墨。
25. 車間通訊環境隱私(Privacy in the V2V communication environment)：本使用案例主要是探討在車間通訊過程，避免發生車輛所廣播資訊與行使軌跡被追蹤與紀錄，屬於 V2N 使用案例。一般情況下之訊息長度為 50-1200 Bytes；最大通訊延遲為 500 ms；訊息頻率最快為每秒 10 筆，最慢為每 100 秒 1 筆。
26. V2N 所提供用路人使用案例(V2N Use Case to provide overview to road traffic participants and interested parties)：本使用案例主要是利用 3GPP 較大通訊涵蓋範圍，以及提供超越車間通訊(V2V)與車路通訊(V2I)範圍外之 V2N 路況資訊服務。
27. 遠距診斷與即時維修通知(Remote diagnosis and just in time repair notification)：車載設備(OBU)蒐集車輛各式感測單元資料，當車行經路側設施(RSU)時，將所蒐集車輛感測資料回傳車輛維修中心進行分析與診斷，根據分析與診斷結果，透過 V2N 通訊網路將維修或保養資訊通知車主，圖 16 為運作示意。



資料來源：3GPP

圖 16. 遠距診斷與即時維修通知之使用案例示意

表 14 為不同區域道路環境與情境下之相關通訊參數需求。

表 14. V2X 服務參數值範例

區域或情境	通訊有效距離	使用者設備(UE)支援 V2X 服務絕對速度	2 個使用者設備(UE)支援 V2X 服務之相對速度	最大容忍延遲	在有效距離下之最低無線電通訊可靠度	累計通訊可靠度案例
-------	--------	------------------------	----------------------------	--------	-------------------	-----------

都會區周邊與主要道路	200m	50km/h	100km/h	100ms	90%	99%
一般高速公路	320m	160km/h	280km/h	100ms	80%	96%
德國高速公路	320m	280km/h	280km/h	100ms	80%	96%
都會區非直通視距環境	150m	50km/h	100km/h	100ms	90%	99%
都會區路口	50m	50km/h	100km/h	100ms	95%	-
校園/購物區	50m	30km/h	30km/h	100ms	90%	99%
危急碰撞情境	20m	80km/h	160km/h	20ms	95%	-

4.3 3GPP R16 與 R17 之 C-V2X 使用案例(use cases)與應用

3GPP 於 2018 年 12 月發布 LTE 所支援車聯網(V2X)技術報告(3GPP TR 22.886, R.16)中，針對自動駕駛車的持續發展，就 SAE 與 NHTSA 所定義 6 種自動駕駛等級(等級 0 至等級 2 為駕駛人控制，等級 3 至等級 5 為車輛控制)，研提六大類 30 項支援不同自動駕駛等級的強化版蜂巢式(電信)車聯網(eV2X)使用案例。3GPP 另於 2020 年 12 月發表 R.17 版技術報告(3GPP TR 23.764, R.17)，該報告提出 16 項關鍵課題，多屬於通訊方面議題，其中關鍵課題 11 的支援多個 V2X 服務提供者與關鍵課題 15 的支援高精地圖動態資訊部分，涉及聯網車輛行經不同電信業者提供 V2X 服務，以及自訂駕駛車輛透過 V2X 取得動態資訊等，但該技術報告並未具體提出要求或規範。

3GPP R.16 版所指 6 大類為 V2X 通訊網路相關類(Internetworking and communication-related requirements)、車輛列隊行駛類(Vehicle platooning)、先進駕駛類(Advanced driving)、延伸感測器類(Extend sensors)、遠端駕駛類(Remote driving)、車輛服務品質支援類(Vehicle quality of service support)，以下摘要說明相關內容。

1.eV2X support for vehicle platooning (車輛列隊行駛之強化版蜂巢式(電信)車聯網(eV2X)支援)：本使用案例用來支援車輛於列隊行駛過程之進入(join)/離開(leave)、公告(announcement)/警示(warning)、群組通訊(group communication)時之運作需求。須能支援下列兩種情境下之運作，情境一為在正常車流密度下維持列隊行駛車輛之車間距為 2 公尺，訊息傳輸頻率為每秒 40 筆，通訊延遲不大於 25 ms，訊息長度約在 300~400 bytes，情境二為在高車流密度下維持列隊行駛車輛之車間距為 1 公尺，訊息傳輸頻率為每秒 100 筆，通訊延遲不大於 10 ms，訊息長度約在 50~1200

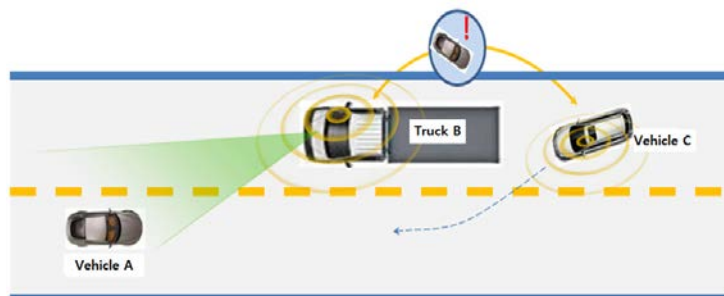
bytes，提供 90%的可靠度。

- 2.Information exchange within platoon (車輛列隊行駛時之資訊交換)：本使用案例中列隊行駛車隊形成過程會有一創造者(creator)來扮演管理者角色(manager)，管理者即時接收列隊行駛車輛回報周遭交通資訊並回傳給 RSU，同時間；管理者也接收 RSU 所傳送資訊，並以 V2V 方式送給所屬列隊行駛車輛，列隊行駛車輛有可接收來自 RSU 所發布資訊，列隊行駛車輛會將所接收資訊用來製作高精度動態地圖。此資訊交換採用問答方式進行。訊息傳輸頻率為每秒 100 筆，通訊延遲不大於 10 ms，訊息長度約在 50 ~ 1200 bytes，提供 90%的可靠度。訊息傳輸頻率為每秒 1 筆，車間通訊延遲不大於 10 ms，車路通訊延遲不大於 500 ms，訊息長度約在 50 ~ 1200 bytes。
- 3.Automotive: sensor and state map sharing (SSMS) (車輛感測資料與地圖分享)：本使用案例探討車輛間交換感測資料與分享地圖，為達到此運作模式，需搭配具備大頻寬、資料量大、高可靠度、低延遲、高密度通訊設備的運作環境。訊息尖峰傳輸頻寬可達 25 Mbps，訊息傳輸頻率為每秒 1 筆，車間通訊延遲不大於 10 ms，提供 90%的可靠度。
- 4.eV2X support for remote driving (遠端駕駛之 eV2X 支援)：遠端駕駛是由人或雲端運算方式來遠端操控車輛，例如：固定路線與停靠站的自動駕駛公共運輸車輛。此時需可在車輛運行時速達 250 kph 下提供訊息尖峰上傳頻寬可達 25 Mbps，下載頻寬可達 1 Mbps，車間通訊延遲不大於 5 ms，提供 99.999%的可靠度。
- 5.Automated cooperative driving (ACD) for short distance grouping (短距離車群的自動協同駕駛)：協同駕駛提供車輛群透過車間通訊，來自動的進行車道變換、超車與匯入等車流行為，以及車輛進入與離開車輛群，以提高行車安全、降低交通壅塞與降低油耗。相較於 3GPP R.14 所定義的協同自適應巡航控制系統(CACC)，自動協同駕駛(ACD)要求更高程度的自動化駕駛，CACC 約略屬於 SAE 或 NHTSA 等級 1 的自動駕駛，而自動協同式駕駛則提供 SAE 等級 2 至等級 5 的自動駕駛。相較於 CACC 可以透過車間通訊的 BSM 廣播來對駕駛人提供協同式警示訊息，車間通訊延遲要求為不大於 100 ms，可靠度最低要求為 20%，自動協同式駕駛(ACD)則要求車間通訊延遲不大於 5 ms，在訊息長度約為 300~400 bytes 與最大達 1,200 bytes 時之通訊延遲不大於 25 ms，訊息封包傳輸可靠度至少為 90%，在 80 公尺通訊範圍內則要求達 99.99%的訊息封包傳輸可靠度，相對縱向與橫向定位精度要求分別為 0.5 m 與 0.1 m。此使用案例

須能在交通壅塞與高通訊密度下正常運作。

6. Collective perception of environment (CPE) (道路環境感知資訊蒐集)：車輛間彼此交換所偵測之道路環境感知資訊，以避免交通事故發生。車輛所交換訊息須能提供所偵測 10 個物件資訊，以及每秒 5~10 筆的變化，通訊範圍在市區、郊區、高速公路分別為 50 m、500 m、1,000 m。道路環境資訊蒐集(CPE)可分為 2 個階段，階段一為車輛透過自身感測器偵測與辨識周遭物件的速度與方向，封包大小為 1600 bytes，通訊延遲不大於 100 ms，99%的可靠度；階段二為透過車輛間的感測資料分享，本車(HV)可以「看到」超出本身感測器所能偵測範圍的道路環境感知資訊，這些資訊可用於本車的感測資訊融合與駕駛決策運算，此階段之相關要求為前處理資料之傳輸頻寬可達 25 Mb/s，原始資料之傳輸頻寬則可達 1 Gb/s，封包大小為 1,600 bytes，點對點通訊延遲不大於 3 ms，緊急狀況下之可靠度為 99.999%，一般狀況下之可靠度為 99%。

以圖 17 為例，車輛 A 不具備 V2X 能力，貨車 B 與車輛 C 則具備 V2X 能力，車輛 C 欲超車，但因受到貨車 B 阻擋視線，因而無法看到對向的車輛 A，此時貨車 B 的感測單元偵測到車輛 A，並將車輛 A 動態資訊經由 V2X 提供給車輛 C，車輛 C 收到資訊後進行判斷與進行式超車的決策。

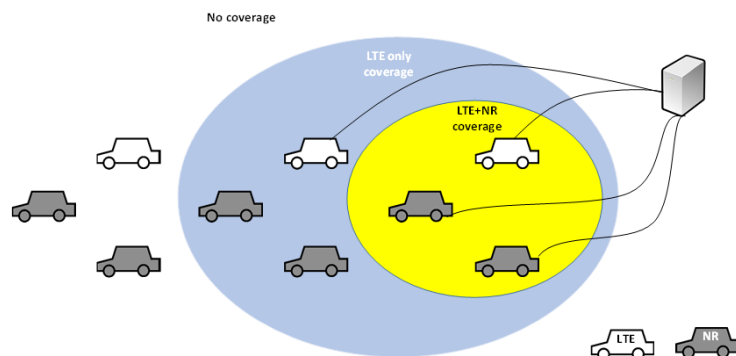


資料來源：3GPP

圖 17. 道路環境感知資訊蒐集之使用案例示意

7. Communication between vehicles of different 3GPP RATs (Radio Access Technology)(車輛間不同 3GPP 無線電存取技術通訊)：本使用案例主要是探討在特定範圍內，具備不同 3GPP 無線電存取技術的車輛間通訊課題，所謂不同 3GPP 無線電存取技術指的是部分車輛採用 4G LTE，而部分車輛採用 5G NR (New radio)。以圖 18 為例，在無 4G LTE 與 5G NR 通訊基地台覆蓋範圍，此時 4G LTE 車輛與 5G NR 車輛間之通訊方式進能透過「direct Prose communication」，在僅有 4G LTE 通訊基地台覆蓋範圍時，此時配備 4G LTE 的車輛將與基地台進行通訊，配備 5G NR 車輛

僅仍透過「direct Prose communication」方式進行通訊，但 4G LTE 車輛與 5G NR 車輛間反而無法溝通，在 4G LTE 與 5G NR 通訊基地台覆蓋範圍，此時 4G LTE 車輛與 5G NR 車輛間可透過基地台網路進非直接通訊。



資料來源：3GPP

圖 18. 車輛間不同 3GPP 無線電存取技術通訊之使用案例示意

8.Multi-PLMN (Public Land Mobile Network) environment (多公共地面行動網路環境): 本使用案例主要是說明不同車輛行經不同公共地面行動網路(PLMN)時，仍應能獲得該有的 V2X 服務等級與來自 RSU 預期他車輛所廣播資訊。

9.Cooperative collision avoidance (CoCA) of connected automated vehicles (聯網自駕車之協同式防碰撞): 為提供車輛在接收 V2X 的 BSM/CAM 訊息時，可以較好的來評估交通事故發生機率與做作協調，來自其它車輛的加減速、橫向與側向控制訊息等亦應透過 3GPP V2X 進行交換。關鍵效能指標(KPI)包括提供車輛行經路口進行協調運作時 10 Mbps 的通訊頻寬、交換車輛軌跡最大訊息長度為 2 kbps、通訊延遲低於 10 ms，以及確保車輛協同式運作安全的 99.99%可靠度。

10.Information sharing for partial/conditional automated driving (部分與有條件自動駕駛的資訊方享): 本使用案例係針對自動駕駛等級 2 或 3 車輛在非短距離(車速乘以 2 秒)下，透過彼此的感知(物件偵測)與車輛動態(車道變換/停止)資訊分享來擴大偵測範圍與進行協同運作。為達到此使用案例，車輛間通訊須在高車流密度下提供高可靠度的 0.55 Mbps 通訊速率、0.5 Mbps 通訊速率進行車路通訊、通訊延遲低於 100 ms、每秒 10 筆、訊息通訊範圍為車速乘以 10 秒等。

11.Information sharing for high/full automated driving (高度與全自動駕駛的資訊方享): 本使用案例係針對自動駕駛等級 4 或 5 車輛在非短距離(車速乘以 2 秒)下，透過彼此的感知(物件偵測)與車輛動態(車道變換/停止)

資訊分享來擴大偵測範圍與進行協同運作。為達到此使用案例，車輛間通訊須在高車流密度下提供高可靠度的 53 Mbps 通訊速率進行車間協同感知(影像與光達)分享與 3 Mbps 通訊速率進行協同運作、50 Mbps 通訊速率進行車路通訊、通訊延遲低於 100 ms、訊息通訊範圍為車速乘以 5 秒等。

12.Information sharing for partial/conditional automated platooning(部分與有條件自動列隊駕駛的資訊分享)：本使用案例係針對自動駕駛等級 2 或 3 車輛在非短距離(車速乘以 2 秒)列隊運行下，透過彼此的感知(物件偵測)與車輛動態(車道變換/停止)資訊分享來擴大偵測範圍與進行協同運作。為達到此使用案例，車輛間通訊須在高車流密度下提供高可靠度的 2.75 Mbps 通訊速率進行車間協同感知分享與 0.25 Mbps 通訊速率進行協同運作、2.5 Mbps 通訊速率進行車路通訊、通訊延遲低於 20 ms、每秒 50 筆、訊息通訊範圍為車速乘以 10 秒等。

13.Information sharing for high/full automated platooning (高度與全自動列隊駕駛的資訊分享)：本使用案例係針對自動駕駛等級 4 或 5 車輛在非短距離(車速乘以 2 秒)列隊運行下，透過彼此的感知(物件偵測)與車輛動態(車道變換/停止)資訊分享來擴大偵測範圍與進行協同運作。為達到此使用案例，車輛間通訊須在高車流密度下提供高可靠度的 65 Mbps 通訊速率進行車間協同感知分享與 15 Mbps 通訊速率進行協同運作、50 Mbps 通訊速率進行車路通訊、通訊延遲低於 20 ms、每秒 50 筆、訊息通訊範圍為車速乘以 5 秒等。

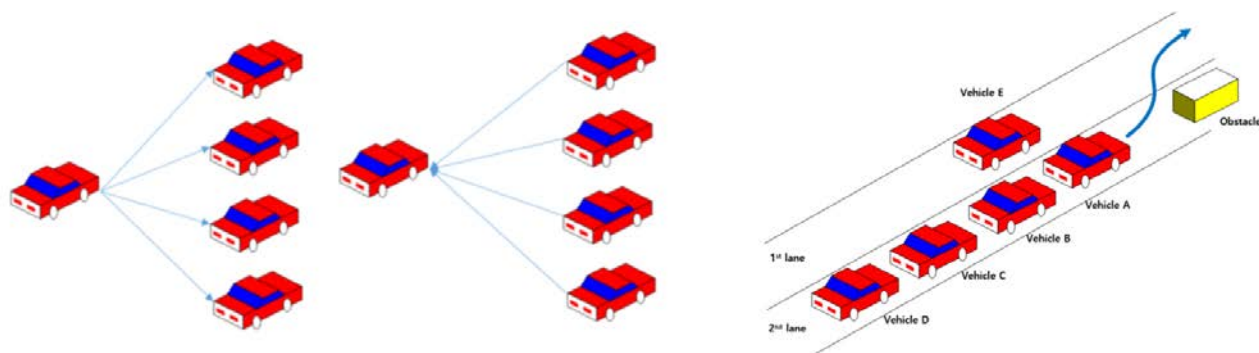
14.Dynamic ride sharing (動態共乘)：本使用案例係透過 V2P 通訊方式來提供車輛行駛目的地、預估到達時間、剩餘車位數、沿途停靠點等，給沿途有意願共乘的行人。

15.Use case on multi-RAT (多個無線電存取技術之使用案例)：本使用案例主要說明當車輛行經多個無線電存取技術(4G LTE 與 5G NR)基地台時，車輛車載設備應自動選取最佳的通訊方式來進行 V2X 服務。

16.Video data sharing for assisted and improved automated driving (VaD) (影像資料分享以輔助與增進自動駕駛)：本使用案例主要說明當本車(HV)因大車遮蔽視線受阻時，可藉由 V2X 來獲得它車(RV)高解析度影像資料來提升行車安全。本使用案例分兩種情境，情境一為由駕駛人來接收與處理影像，此時在 100 公尺範圍內，車輛間通訊須能提供 10 Mbps 通訊速率的每秒 30 張的 720p 影像、通訊延遲低於 50 ms，以及 90%可靠度，情境二為由車載電腦來接收與處理影像，此時在 500 公尺範圍內，車輛

間通訊須能提供 100~700 Mbps 通訊速率的每秒 30 張的 720p 影像、通訊延遲低於 10 ms，以及 99.99%可靠度。

17.Changing driving-mode (改變駕駛模式)：本使用案例透過 V2V 車間通訊的駕駛模式分為 3 類，分別為自動駕駛(autonomous driving)、護送駕駛(convoy)與列隊駕駛(platooning)，當某輛車欲改變駕駛模式時須透過 V2V 車間通訊通知其它車輛以避免發生交通事故。以下為案例說明，車輛 A、B、C 支援任一駕駛模式與 eV2X，車輛 D 與 E 不支援 eV2X。車輛 A、B、C 形成 1 個車隊，同時車輛 A 為第 1 輛車，車輛 D 行駛於車隊後面，車輛 E 在旁邊車道，接下來車輛 A 發先前方有障礙物，因此發出由車隊駕駛模式，改變為自動駕駛模式。由於車輛 A、B、C 均已進入自動駕駛模式因此可以避免與車輛 D 不預期碰撞(如圖 19 所示)。

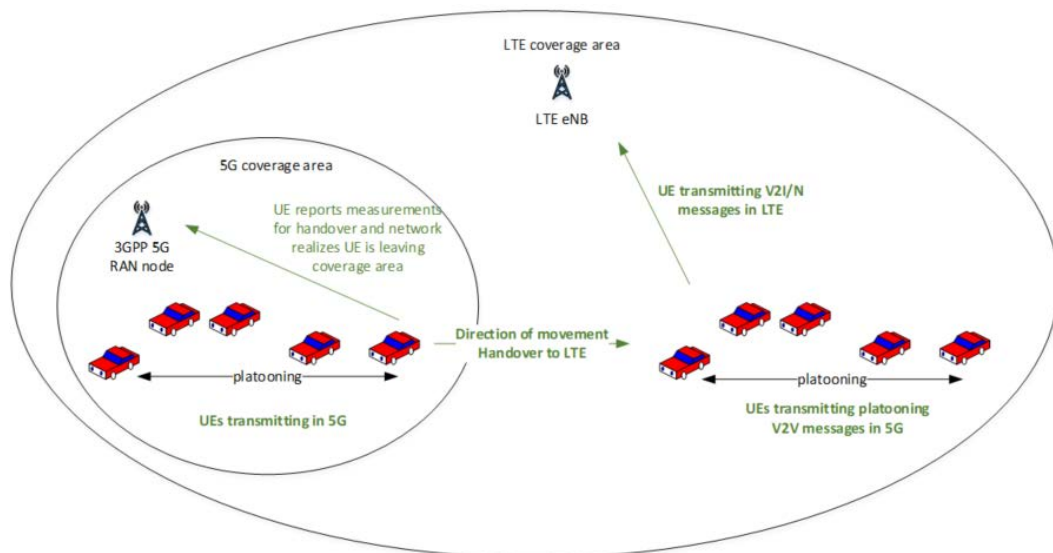


資料來源：3GPP

圖 19. 車輛間不同 3GPP 無線電存取技術通訊之使用案例示意

18.Tethering via Vehicle (車輛提供網路分享)：本使用案例基本上由車輛的網路存取功能提供乘客或周遭行人 V2X 或電信服務。

19.Use case out of 5G coverage (5G 通訊覆蓋範圍以外使用案例)：本使用案例說明當車輛 A(使用 5G 服務)行駛於某車隊(platoon)進行列隊駕駛(platooning)，當該車隊離開 5G 服務範圍，進入 4G 服務範圍時，此時列隊行駛的車輛 V2V 通訊改為 5G 新 (New)無線電存取技術(RAT)(NR)，其它 V2I 或 V2N 則改為 LTE 4G 通訊網路。圖 20 為此運作示意。



資料來源：3GPP

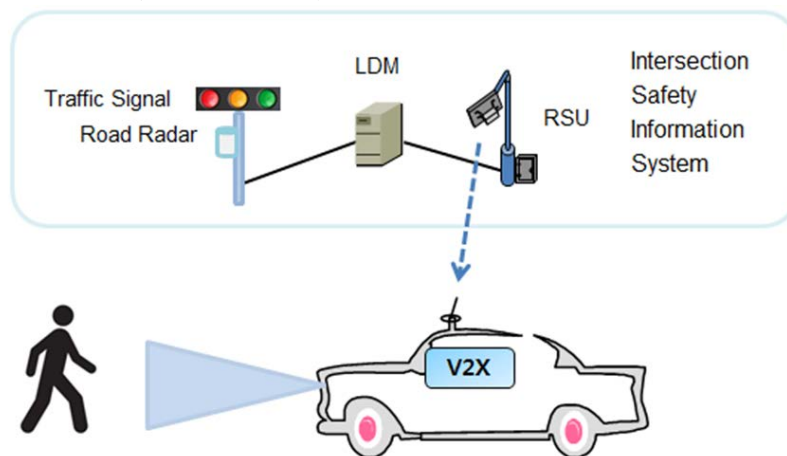
圖 20. 5G 通訊覆蓋範圍以外使用案例之使用案例示意

20. Emergency trajectory alignment (EtrA)(緊急軌跡對齊)：本使用案例搭配自動協同駕駛(cooperative automated driving)運作。EtrA 訊息包括車輛感測與狀態資訊，在面臨不預期道路狀況下的交通安全提升，例如：接收來自路側端的警示訊息，以及來自車間通訊所得資訊，當車輛接收到上述訊息後，即啟動相關緊急應變作為。為達到此情境順利運作之關鍵指標包括：在應用時間限制下的保證通訊延遲須低於 3 ms，每條軌跡點為 100 點以上，每個訊息包括 50 條軌跡及感測器資料，頻寬大於 30 Mbps，車輛間幹測資料交換量為 90 kb，軌跡資料解析度為 30 公分，在 500 公尺通訊範圍內提供 99.999%可靠度。

21. Teleoperated support (TeSo)：本使用案例為操作員提供短期於遠端操控自動駕駛車輛(例如：除雪車)以確保行車安全。為達到此情境順利運作之關鍵指標包括：點對點通訊延遲須低於 20 ms，每條軌跡點為 100 點以上，每個訊息包括 50 條軌跡及感測器資料，影像資料上傳頻寬須大於 22 Mbps，車輛控制與應用訓之通訊頻寬至少為 1 Mbps，提供 99.999%應用可靠度。

22. Intersection safety information provisioning for urban driving (提供都會區路口交通安全資訊)：本使用案例提供都會區車輛與輔助具備協同自動駕駛功能車輛安全地通過路口。路口交通安全資訊係由路側雷達、RSU 與區域動態地圖(Local Dynamic Map, LDM)伺服器組成，以 LDM 方式提供高精地圖、交通號誌、行人與車輛動態等訊，上述資訊提供自動駕駛等級 1~3 級車輛即時路口狀態。

23.3GPP 系統根據所分析的 LDM 訊息大小、路口交通模式(Intersection traffic model)之運作中車輛與自動駕駛車輛速度，來推估所提供之路口交通安全資訊。所指路口交通模式為十字路口，每個方向均為 2 車道，以及所涵蓋 250 公尺直徑 50 輛車。LDM 訊息大小約在 400~500 bytes，內容包括 500 平方公尺範圍的靜態地圖訊息長度約為 300 bytes，移動物件(車輛與行人)的代碼與速度訊息長度約為 100 bytes。在自動駕駛車輛時速 60 公里(秒速 16 公尺)下，此時 LDM 每 1.6 公尺行車距離須收到一筆 LDM 訊息，而當有 50 輛車同時運作時以及車輛每移動 32 公分，就要收到 LDM 更新資訊。在資料封包量(data packet rate)與可靠度方面，在特定 200 輛車、LDM 訊息大小為 450 bytes、傳輸頻率為 100 的情境下，資料量約為每秒 35MB ($450 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits} \times 200 \text{ vehicles} \times 50 \text{ messages} = 36,000,000 \text{ bytes}$)。該文件同時定義下傳最低頻寬為 0.5 Mbps 與上傳為 50Mbps。圖 21 為此使用案例示意。



資料來源：3GPP

圖 21. 5G 通訊覆蓋範圍以外使用案例之使用案例示意

24.Cooperative lane change (CLC) of automated vehicles (自動駕駛車輛協同車道變換)：本使用案例說明在多車道路段，當自動駕駛車輛欲進行安全與有效如何進行所規劃車輛軌跡(trajectories)的資訊交換，來取得縱向與橫向動作與加減速度的協調運作，以平穩地進行車道變換。

25.此時須支援 2 組關鍵績效指標(KPI)，第 1 組為半自動駕駛情境，此時訊息長度約為 300~400 bytes，點對點通訊延遲須低於 25 ms，可靠度要求為 90%；第 2 組為全自動駕駛情境，此時訊息長度約為 12 Kbytes，點對點通訊延遲須低於 10 ms，可靠度要求為 99.99%。

26.Proposal for secure software update for electronic control unit (車輛控制單元(ECU)軟體更新安全的提案)：本使用案例僅說明當自動駕駛車輛停靠

維修站時，透過適當授權程序後，由使用者者決定 ECU 軟體更新方式，並未提及相關資訊安全議題。

27.3D video composition for V2X scenario (V2X 情境下的 3D 影像組合)：本使用案例說明透過雲端運算或邊緣運算方式，將車輛所上傳影像進行行駛周遭 3D 影像重組。此時要求在車輛行駛速率為 250 kph 時，每 1.4 公尺進行車輛定位演算(location fix)。

28.QoS aspect of vehicles platooning, advanced driving, remote driving, extended sensor (列隊行駛、先進駕駛、遠端駕駛與延伸感測器下的服務品質)：本使用案例說明在不同應用情境下之服務品質要求，不過本文件僅就運作流程進行概略說明，並未指出具體的量化服務品質要求，惟對於先進駕駛之服務品質，從自動駕駛輔助、支援自動駕駛的授權/更新資訊提醒/支援大量資料傳輸、跨電信服務商運作、可靠度與保證連結等課題進行許多敘述性說明。

29.Different QoS estimation for different V2X applications (不同 V2X 應用之不同服務品質推估)：本使用案例考量不同 V2X 應用情境有其不同服務品質推估需求，透過事先推估與掌握通訊品質來確保 V2X 應用服務的安全與可用性(availability)，不過本文件僅就運作流程進行概略說明，並未指出具體的量化服務品質要求。

2019 年 6 月 3GPP(3rd Generation Partnership Project)國際組織進一步於技術報告(3GPP TR 22.186, R.16)中，就車輛列隊行駛(Vehicle platooning)、先進駕駛(Advanced driving)、延伸感測器(Extend sensors)、遠端駕駛(Remote driving)等 4 類強化版蜂巢式(電信)車聯網(eV2X)使用案例說明其通訊性能要求(Requirements)如表 15 至表 18。

表 15. 列隊行駛(Vehicles Platooning)之通訊性能要求

通訊情境說明		負載 (Bytes)	傳輸頻率 (訊息/秒)	最大點對 點通訊延 遲(ms)	可靠度 (%)	數據 速率 (Mbps)	最短傳 輸距離 ² (公尺)
情境	自動 駕駛 程度						
列隊行駛時同時協同 駕駛時之使用者設備 (UE)間資訊交換	最低	300-400	30	25	90		
	低度	6,500	50	20			350
	最高	50-1,200 ¹	30	10	99.99		80
	高度			20		65	180
使用者設備(UE)間及 使用者設備(UE)與路	無	50-1,200	2	500			

側設備(RSU)間的回報(Reporting)需求							
使用者設備(UE)與路側設備(RSU)間資訊分享	較低	6,000	50	20			350
	較高			20		50	180
1. 尚未納入資訊安全訊息需求。 2. 在同方向列隊行駛車輛之車速為 130 kph 時。							

表 16 先進駕駛(advanced driving)之通訊性能要求

通訊情境說明		負載 (Bytes)	傳輸頻率 (訊息/秒)	最大點對 點通訊延 遲 (ms)	可靠度 (%)	數據 速率 (Mbps)	最短傳輸 距離 ² (公尺)
情境	自動駕駛程度						
在進行協同式避撞運作時之車輛使用者設備間通訊		2,000	100	10	99.99	10	
自動駕駛時之車輛使用者設備間的資訊分享.	較低	6,500	10	100			700
	較高			100		53	360
自動駕駛時之車輛使用者設備與路側設備間資訊分享	較低	6,000	10	100			700
	較高			100		50	360
車輛使用者設備間於緊急車輛軌跡變換		2000		3	99.999	30	500
路側 RSU 與車輛使用者設備於路口安全資訊傳輸		UL: 450	UL: 50			UL: 0.25 DL: 50 ¹	
車輛使用者設備間於協同式車道變換	較低	300-400		25	90		
	較高	12,000		10	99.99		
車輛使用者設備與應用伺服器在影像交換時間於協同式車道變換						UL: 10	
1. 最多 200 部車輛使用者設備廣播時之下載傳輸率為 50 Mbps. 2. 當車輛行駛速率為 130 kph 時						UL: 上傳 DL: 下載	

表 17. 遠距駕駛(remote driving)之通訊性能要求 (UL:上傳/ DL:下載)

通訊情境說明	最大點對點通訊延遲 (ms)	可靠度(%)	數據速率(Mbps)
車輛使用者設備與應用 伺服器在資訊交換	5	99.999	UL: 25 / DL: 1

表 18. 延伸感測器(extended sensors)之通訊性能要求

通訊情境說明		負載 (Bytes)	傳輸頻率 (訊息/秒)	最大點對點通 訊延遲 (ms)	可靠度 (%)	數據 速率 (Mbps)	最短傳 輸距離 (公尺)
情境	自動 駕駛 程度						
車輛使用者設 備間之感測器 資訊分享	較低	1,600	10	100	99		1000
	較高			10	95	25	
				3	99.999	50	200
				10	99.99	25	500
				50	99	10	1000
				10	99.99	1000	50
車輛使用者設 備間之影像資 訊分享	較低			50	90	10	100
	較高			10	99.99	700	200
				10	99.99	90	400

五、我國後續智慧運輸車聯網發展探討

我國政府單位在車聯網發展主要由經濟部與交通部負責，經濟部主導技術研發與產業發展，交通部則負責與國內交通控制系統的界面銜接與實驗場域的車聯網使用案例或服務應用實測。近年來科技部著重於自動駕駛技術研發，在車聯網技術部分則沿用交通部與經濟部既有成果。經濟部 101 年起，投入資源於 DSRC 車聯網技術軟硬體研發，相關研發成果，搭配交通部運輸研究所自 104 年起於基隆地區與中興新村地區的車聯網實驗場域，進行 DSRC V2X 的 V2V 與 V2I 各種應用情境實驗。108 年更進一步結合車聯網與先進駕駛輔助系統(ADAS)及智慧安全路口技術，提供公共運輸車輛行車安全水準的提升。交通部自 108 年起透過智慧運輸建設計畫，於淡

海新市鎮導入 C-V2X 技術發展車聯網實驗場域，並補助多個縣市政府構建自駕(或智駕)巴士實驗場域計畫。以下摘要說明各計畫主要內容，最後就本所回顧國際上發展情形，進行我國後續智慧運輸車聯網發展的探討。

5.1 經濟部智慧車載資通訊技術與自駕車感知系統相關計畫

經濟部曾陸續投入資源於發展 DSRC 車聯網(V2X)軟硬體技術研發；目標在於發展我國多元完善之「智慧交通」應用服務，並厚植我國車載產業價值鏈，結合既有資通訊、交通、汽車電子業者，打造自主系統整合與周邊汽車電子產業，搶進全球車載市場重要供應鏈；計畫推動重點包括「促進智慧車輛發展」、「開拓系統整合市場」、「建立雲端便民服務」三大面向。並發展國內可滿足 V2V Mandate 應用趨勢與行車安心服務之驗證場域，主要內容包括產品技術與驗證平台開發，此技術於後續應用於多各縣市政府的智慧安全路口建置計畫。近年來則著重於自駕車感知系統與 5G C-V2X 軟硬體研發工作，對於 V2X 與 C-V2X 使用案例與服務發展，並未多加著墨，多依據國外發展成果，以及藉由交通部門相關計畫進行實測與驗證。

5.2 本所車聯網系列研究

交通部運輸研究所於 104 年至 108 年間分別於基隆地區與中興新村地區，構建我國第 1 個開放道路與里程數最長的车聯網實驗場域，進行迄今(110 年)為我國最完整的 DSRC V2X 應用情境實驗。

104 年完成我國智慧型運輸系統車路整合應用模式探討與先期評估，以及導入 5.9 GHz 專用短距通訊(DSRC)技術，於基隆市台 62 線銜接基金二路的連續 4 個平面道路路口構建實驗場域，經由架設於道路上的路側設備，以及安裝在測試車上的車載設備來進行測試。測試內容包括：提供危險路段、減速/施工區、彎道、天候、路口行人通行等警示，以及道路標誌等警示，更利用所蒐集到更即時與細膩的車流資訊，來發展更可靠的交通資訊服務。

105 年延續 104 年研究成果，納入高快速道路車路整合運作測試、車路整合節能駕駛等探討，以及建立車路整合應用實驗室等主題。其中，車路整合運作驗測場域擴充、情境規劃及驗測工作，係以基隆市台 62 線銜接基金二路的實驗場域為基礎，擴大在高快速公路實測範圍，驗測情境包括：交通資訊服務類、交通安全服務類、交通管理服務類等三類，藉以進行設備相容性驗測，以及探討交互操作性與異質交通資訊整合課題。

車聯網設備沿用經濟部計畫研發成果，相關標準則是參考美國運輸部

相關計畫所發展與建立之標準，例如：SAE J2735 訊息格式，進行「前方交通壅塞資訊」、「號誌時相秒數資訊發布」、「易肇事路段警示」、「道路施工與障礙物」等應用情境之訊息產生、接收、運算等運作模擬，並進行驗測場域整合運作測試。實驗場域的資訊安全認證服務則參考美國安全認證管理系統(Security Credential Management System, SCMS)建構資訊安全服務，構建我國唯一實務應用的車聯網資訊安全認證服務。

105 年配合行政院「中興新村·下一代新村」發展，運用中興新村空間環境優勢，作為測試創新技術產品與服務的指定實驗場域，結合我國在車聯網(CV)、先進駕駛輔助系統(ADAS)、車路整合應用研發經驗與成果，在中興新村進行我國構建智慧運輸的車輛先進駕駛輔助系統與車聯網整合研發實驗場域，以利後續進行車輛先進駕駛輔助系統與車聯網在安全駕駛以及提高自動化駕駛程度之整合研發實驗。該計畫完成我國第 1 個先進駕駛輔助系統(ADAS)與車聯網(CV)整合研發實驗場域，首次透過 CAN 匯流排結合 ADAS 與 CV 車載設備，擴大行車風險偵測能力；同時完成實驗場域之 GNSS 與路口毫米波雷達之車輛定位量化效能分析、9 項路口交通安全測試情境與實測、測試資料蒐集與分析平台等，為我國後續在自動駕駛車輛研發與交通安全應用奠基。

108 年則持續擴充基隆場域基金段、麥金段、國一與國三路側端設備、車機端設備(基隆市公車與國光客運)，並提供 CV 結合 ADAS 應用與服務。此外，本期計畫為了能夠完整評估我國公共運輸車輛整合 CV 與 ADAS 應用模式運作，以及瞭解整合 CV 與 ADAS 應用情境之可行性與其涉及之技術特性，因此，於計畫中提出多項應用情境，分別為交通安全資訊提供(交通壅塞、移動式 RSU 道路施工、OBU 故障車輛)、大客車 ADAS 結合 CV 測試、智慧安全路口、號誌路口行駛速率建議、車流均勻速度建議與公車優先號誌訊息推播。

該研究計畫共進行兩次類 CAMP 功能測試與四次大規模測試。類 CAMP (Crash Avoidance Metrics Partnership)功能測試的主要目的為採取美國 CAMP 所建議之測試步驟來進行功能及性能測試，以與國際規格接軌，兩次的類 CAMP 測試皆安排在基隆海科館漁港一街，共測試跟車距離過近警示(FCW)、前方車流緊急剎車警示(EEBL)、車道偏離警示 (LDW)、變換車道盲點警示(BSD)、路口轉彎盲點警示(BSD)、左轉側撞警示(LTA)、路口交叉撞警示(IMA)、及路口行人警示(PED)等功能。大規模測試共進行為期四天的測試。除了基隆市公車 505/501 線、國光客運 1815 線等大客車參與驗測外，亦租用 10 輛一般轎車做為驗測的探偵車(Probe Car)，且驗測過程

配合進行錄影、資料自動記錄、隨車觀察記錄，提供作為績效評估之用。

車聯網服務情境包括旅行者資訊(TIM)之高速公路與市區道路加減速建議、道路標誌標線電子化(In-Vehicle Sign)之前方道路標誌資訊(禁行路肩/右匝會車/右道縮減/前方左彎/注意號誌/路肩開放/速限降低/禁止迴轉/...等)、闖紅燈警示等，以及路側警示(RSA)之道路施工與道路壅塞警示。圖 22 為基隆地區車聯網實驗場域範圍與車聯網應用服務，圖 23 為中興新村車聯網實驗場域與車聯網/ADAS 安全警示效能分析。



資料來源：交通部運輸研究所

圖 22. 基隆地區車聯網實驗場域範圍與車聯網應用服務



資料來源：交通部運輸研究所

圖 23. 中興新村車聯網實驗場域與車聯網/ADAS 安全警示效能分析

110 年則導入 C-V2X 通訊技術於警消與災害防救車輛之智慧號誌控制探討，將參考 SAE J2735 優先號誌運作之 SSM 與 SRM 訊息，進行 C-V2X 緊急車輛優先通行運作流程之規劃與設計、測試情境規劃，以及試運行測試。

5.3 交通部「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」與新北市政府「新北市自動駕駛電動巴士系統測試運行計畫」

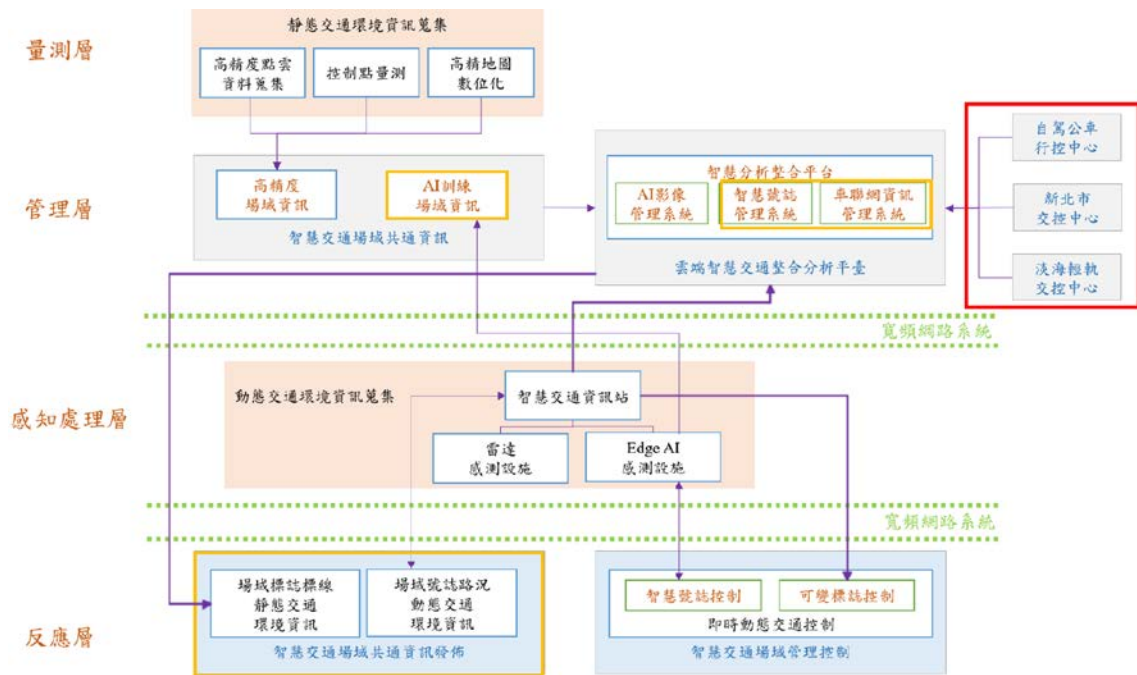
交通部「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」將在淡海新市鎮實驗場域佈建 5G 環境、新世代路側及感測設備、智慧號誌、邊緣交通資訊蒐集運算系統等基礎設施，並整合自駕車與車聯網，建構出一個人車路及雲的開放型智慧運輸實證環境，持續探索智慧運輸創新應用及 5G 親民服務與體驗。

雲端智慧交通場域整合平臺，並透過智慧路側施設及寬頻通訊建置，以進行前瞻開放型智慧交通管理的實證環境。需求層級圖層(如圖 24 所示)包括：量測層、管理層、感知處理層及反應層，其中量測層為靜態交通環境資訊蒐集，細部需求為靜態資訊的高精度點雲資料蒐集、控制點量測及高精地圖數位化；而感知處理層為動態交通環境資訊蒐集的 Edge AI 與雷達感測設施的建置；而管理層分為智慧交通場域共通資訊及雲端智慧交通整合分析平臺，細部需求為在規範智慧路測資訊標準上，建立智慧交通場域的高精度場域資訊、AI 訓練場域資訊，以及整合分析平臺的 AI 影像管理系統、智慧號誌管理系統及車聯網資訊管理系統；最後反應層為智慧交

通場域共通資訊發佈及智慧交通場域管理控制，細部需求為場域內動靜態資訊發佈及即動態交通控制。而感知處理層、管理層及反應層的即時資訊傳遞，則是透過寬頻網路系統建置串連。

第一期能完成提供 V2I 應用情境測試的服務，包括 SPaT、MAP Data 及道路標誌標線電子化(In-Vehicle Sign)等項目；第二期服務項目，期能延伸感測告警資訊(Detect Warning Sign)等應用情境的測試；第三期則規劃提供更全面性的服務項目，如車輛周遭環境全資訊共享(Surround Info Shared)與全動態地圖(All Dynamic MAP)等應用情境的測試。淡海新市鎮實驗場域內車聯網的應用示範與測試之發展構思，短期為進行車內速限(In-Vehicle Speed Limits)、車內標誌提醒(In-Vehicle Signage)，車內號誌資訊(SP aT and Map Message)的車聯網應用情境示範。

中期為進行危險路段提醒(Hazardous Locations Notification)、緊急車輛提示(Emergency Vehicle Approaching)、前方壅塞/排隊提示(Queue Warning / Traffic Jam Ahead)、彎道速度提示(Curve Speed Warning)、道路施工提醒(Road Works Warning)、道路封閉提示(Lane Closure)、道路操作員車輛接近提醒(Road Operator Vehicle Approaching)等應用情境測試。長期則進行號誌化路口 (Signalized Intersections) 的號誌違規 / 路口安全 (Signal Violation/Intersection Safety)與特定車輛優先號誌(Traffic Signal Priority Request by Designated Vehicles)、綠燈最佳速度建議(Green Light Optimal Speed Advisory, GLOSA)等。整體而言，淡海試驗場域將從 V2I，逐步發展到 V2I2V、V2V 和 V2P 的相關應用，上述對於淡海試驗場域的初步規劃分為短、中、長期三個階段，彙整如圖 25 所示。圖 26 為淡海新市鎮智慧交通場域之路側設施佈設位置。



資料來源：交通部

圖 24. 交通部淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫之需求層級圖



資料來源：交通部

圖 25. 交通部淡海新市鎮智慧交通場域之車聯網服務短中長期規劃



資料來源：交通部

圖 26. 交通部淡海新市鎮智慧交通場域之路側設施佈設位置

「淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫」同時探討與號誌控制器相關的號誌時相與秒數(Signal Phase and Timing, SPaT)訊息，而 SPaT 需與地圖資訊(Map Data, MAP)配合。SPaT 與 MAP 在 SAE J2735 國際標準皆有定義(目前最新版本為 2020)，其內容主要針對車聯網路側設備(RSU)與車聯網車聯設備(OBU)間的通訊協定標準。為使 RSU 與 OBU 之間傳輸的資訊內容，能在智慧交通的管理及應用層面更為緊密結合運作且相輔相乘，國內智慧交通產業應因應 SAE J2735 內容，制定協同合作標準通訊協定，以加速相關產業發展及國際化接軌。

因此 TCROS 小組組織目的即針對號誌控制器與車聯網路側設施間，因應我國既有「都市交通控制通訊協定 3.0 版」的應用架構及與交控中心網路架構，擬定可滿足 SAE J2735 國際標準的通訊協定標準草案。同時為因應國際車聯網市場發展，由台灣車聯網產業協會成立「TCROS 工作小組組織」研擬智慧路側資通訊標準草案。該標準草案主要分為三個層面，首先為 TCROS 的 SPaT 與 MAP 欄位運作說明；其次為國內號誌設備及交控中心因應 SPaT 與 MAP 的應用架構說明；最後為 TCROS 通訊協定項目內容。該計畫同時規劃成立驗測小組進行車聯網標準驗測工作，初期將著重於通訊協定 SPaT 與 MAP 的訊息封包解析驗證工作。

另交通部規劃於 111 年執行「車聯網場域創新應用及產業標準研析」計畫，該計畫內容將佈建完善的車聯網測試驗證場域、導入車聯網國際驗證流程、擬定及完善的車聯網通訊協定並與國際接軌、輔導提升我國號誌控制設備產業技術能量。

新北市政府於淡海新市鎮導入自動駕駛電動巴士。第一期(108 年~109 年)計畫導入自動駕駛電動巴士系統、智駕巴士監控中心及相關路側設施並進行運行測試，採用 V2X 之先期架構，使自動駕駛電動巴士系統結合智慧化路口及智駕巴士監控中心、環境監控系統。第一期計畫測試路線自淡海輕軌炭頂站至美麗新廣場站，來回距離共 1.2 公里、行經 3 個號誌化路口，測試場域由封閉、半封閉至全開放，測試時間共 8 個月，單日運行時間約 11 小時。測試包含不同場域環境、天候(晴、雨)、時段(白日、黑夜)，並蒐集運行期間之人、車、路資訊。除此之外，第一期計畫亦為國內第一個整合 C-V2X 蜂巢式車間通訊、智駕電動巴士、路側感測器及雲端監控平台。該計畫所發展或開發車聯網使用案例包括配合 C-V2X 車聯網技術以及 5G 通訊，路側設備應有車輛到車輛(V2V)、車對基礎設施(V2I)、車對行人(V2P)、車對行動網路(雲端服務)(V2N)四大類增值應用服務，並且依據場域環境所需進行技術應用示範與整合服務。

在 V2V 使用案例部分有緊急車輛提醒(Emergency Vehicle Warning, EVW)與逆向超車預警(Do Not Pass Warning, DNPW)。緊急車輛提醒(EVW)係指智駕車行駛中可透過 V2V 收到緊急車輛提醒，進一步對消防車、救護車、警車或其他緊急車輛等有效快速進行讓行；逆向超車預警(DNPW)係指智駕車行駛在道路上，因為借用逆向車道超車，與逆向車道上的行駛遠車(Remote Vehicle, RV)存在碰撞危險時，對智駕車進行預警，以減輕超車過程中可能產生的碰撞，提高逆向超車通行安全。

在 V2I 使用案例部分有路況與交控資訊推播，以及道路危險狀況預警(Hazardous Location Warning, HLW)。路況與交控資訊推播透過 OBU 整合 RSU 與雲端交控中心所發送之路側設備推播資訊，進行車聯網創新應用，實際應用範例包含：公車站牌違規停車偵測告警與道路挖掘/道路施工預告；道路危險狀況預警(HLW)係指智駕車行駛到潛在危險狀況(如地下道積水、路面有深坑、道路濕滑、前方急轉彎等)路段存在發生事故風險時，透過 RSU 或臨時路側設備對智駕車廣播道路危險狀況提示資訊。

在 V2N 使用案例部分有 5G 廣播通訊，5G V2N 網路可部署於特定路口，當車輛行經路側 5G 基站涵蓋範圍時，會透過 5G 低延遲網路回報即時狀態給遠端車輛診斷中心，例如：引擎、胎壓等資訊，車輛維修中心週期性的獲得資訊並分析車輛資訊，依據分析結果提供車主相關維修保養建議，以降低車輛功能失效的風險。在 V2P 使用案例部分，利用 V2I 模式之 OBU 與 RSU 建構公車轉彎對行人之告警服務，透過附掛式的 CMS 看板，將大型車輛轉彎可能造成之內輪差風險，立即推播告警訊息提醒行人與車輛駕

駛員注意。

績效指標則設計有脫離率、準點率、載客數，但並未如美國運輸部 2021 年車聯網計畫設計有多面向的關鍵績效指標。第 3、4 年期(110 年~111 年)則自前期(108 年~109 年)計畫測試運行路線延伸，如圖 24 所示，起自輕軌炭頂站，順時針方向經新市六路二段、義山路二段、新市三路二段、沙崙路二段返回，以環狀線作為計畫測試運行路線，全程約 2.25 公里，共計 6 個站點，包括前期輕軌炭頂站、美麗新廣場站，及新設於新市五路三段、新市三路二段、輕軌淡海新市鎮站等 4 個站點，以提供智駕電巴暨捷運系統靠站上、下客機制建立與測試作業，期能藉此導入智駕電巴多車環線運行計畫。第 3、4 年期計畫規劃導入「智駕電巴大眾運輸接駁服務」及「車隊協作(V2V platoon)創新應用技術」，以及開發 C-V2X 車聯網的車輛到基礎設施(V2I)與車輛間(V2V)碰撞預警之各項使用案例，例如：十字路口碰撞警示(Intersection Collision Warning)、緊急煞車預警(EEBL)、穿行轉向碰撞風險警示(Across Traffic Turn Collision Risk Warning)、行人警示功能(Vulnerable Road User Warning, VRUW)、號誌燈狀態提醒(Signal Violation Warning, SVW)、慢速與靜止車輛警示(Slow Vehicle Warning and Stationary Vehicle Warning)等，藉此規劃智駕電巴之創新技術應用與實作規劃，如：號誌燈態驗證機制、弱勢行人警示功能等。圖 27 為新北市淡海新市鎮自動駕駛電動巴士第 1 期至第 4 期運行範圍。



資料來源：新北市政府

圖 27. 新北市淡海新市鎮自動駕駛電動巴士運行範圍

雖然交通部淡海新市鎮計畫與新北市自動駕駛電動巴士計畫範圍與運行路線重疊，且均使用支援 C-V2X R.14 的車載與路測設備，不過由於

兩個計畫的 C-V2X 解決方案不同業者提供，因此後續兩者間的互通測試工作將是重要課題。

5.4 我國智慧運輸車聯網後續發展探討

本研究根據前述各節國內外在 DSRC V2X 與 4G/5G C-V2X 發展、美國 CVPD 計畫在 Tampa 市的實測經驗，以及我國各部會實測發展情形，提出以下幾點我國在智慧運輸車聯網後續發展的探討課題。

一、在 DSRC 與 C-V2X 通訊技術評估部分

根據第四節美國國會研究服務(Congressional Research Service)「In Focus」的分析，目前除中國大陸確定採用 C-V2X 為車聯網通訊技術外，歐盟與日本及韓國仍在持續進行評估中，雖然美國 FCC 於 2020 年 11 月 20 日正式宣布將採用 C-V2X 為車聯網通訊技術，並逐步淘汰 DSRC 通訊技術，但美國國內仍有許多不同聲音，特別是來自運輸部門。美國運輸部於 2021 年進行「Services, Resources, and/or Facilities for Testing of Emerging and Future 5G New Radio Communications Technologies for Vehicle-to-Everything (V2X)」計畫將進行 5G NR 在 C-V2X 應用之測試與探討，進行不同通訊技術在不同交通環境與惡劣通訊環境下，交通安全與機動力需求探討與分析，此計畫預期將可協助美國在車聯網通訊技術適用性之評估與選擇。不過目前世界各國也多將 C-V2X 納入技術評估，以及探討 DSRC 與 C-V2X 交互操作與共存之可行性。

Takayuki Shimizu 等於 2019 年發表 DSRC 與 LTE-V2X PC5 在不同車流量狀態下之模擬實驗中，從封包接收率(packet reception ratio)、封包間接收(packet inter-reception)、訊息壽命(information age)、終端間延遲(end-to-end latency)等通訊效能指標來進行評估。模擬實驗顯示(1)在低車流量情境下，DSRC 與 LTE-V2X PC5 表現相當，LTE-V2X PC5 有較長的 V2X 通訊距離；(2)在高車流量情境下，DSRC 表現優於 LTE-V2X PC5；(3)DSRC 在高車流量與低車流量情境下有較通訊延遲。該研究同時指出，後續仍應就 LTE-V2X PC5 參數進行更多評估與完整調校，以使 LTE-V2X PC5 在高車流量情境下的應用更為成熟。此研究顯示雖然 3GPP 與 5GAA 所制定的 C-V2X 規格是優於 DSRC 的規格，但各式 C-V2X 使用案例與實測並未如 DSRC 的完整與嚴謹，這或許也是美國運輸部對 C-V2X 持保留態度的主要考量，美國運輸部將藉由 2021 年車聯網性能測試計畫，來進一步加以釐清。

根據 Gaurang Naik 等於 2019 年提出的 IEEE 802.11bd 與 5G NR V2X

比較分析，IEEE 802.11bd 的優勢在於與 IEEE 802.11p 相容且具備交互操作性，因此世界各國原先在 DSRC V2X 研發與先導測試或佈署成果可以延續與發展；但 5G NR V2X 則不具備向前相容於 C-V2X 的特性，意即各國在 C-V2X 研發成果可能無法相容於 5G NR。Toyota InfoTech 實驗室於 2020 年 11 月在評估美國 V2X 的頻譜與技術時表示，美國 FCC 將 5.9 GHz 頻段調整僅留 30 MHz 給 V2X 使用是無法支援交通安全應用；同時認為在 DSRC 與 DSRC+ (IEEE 802.11bd)、4G LTE-V2X、5G NR V2X 中，DSRC 與 DSRC+ 為成熟技術且已開始進行部署，最大實測車輛數有 3,000 輛，且 DSRC+ 相容於 DSRC，4G LTE-V2X 的實測案例車輛數不多，無商業部署，且 4G LTE-V2X 與 5G NR V2X 無法良好地共存(co-exist)於同頻道。在相同 V2X 應用下 4G LTE-V2X 相較於 DSRC 需要較大頻寬。

但 DSRC 與 C-V2X (或 5G NR V2X)技術規格競爭激烈，因此我國在各單位發展 DSRC 各項車聯網使用案例實測與功能已有階段成果下，可逐步將原 DSRC 使用案例與應用服務成果逐步移植到 C-V2X 通訊環境，並參考美國 2021 年車聯網性能測試內容與方式，進一步評估在我國通訊環境下可以符合我國交通特性的車聯網相關技術與使用案例。表 19 為 IEEE 802.11bd 與 5G NR V2X 之差異比較。

表 19. IEEE 802.11bd 與 5G NR V2X 之差異比較

資料來源：IEEE 802.11bd and 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications

Feature	IEEE 802.11bd	NR V2X
Base Technology	IEEE 802.11n/ac	5G NR
PHY layer	OFDM	SC-FDMA, OFDM
MAC layer	CSMA	Mode 1: gNodeB scheduling Mode 2: Flexible sub-modes
Interoperability	Yes	Non co-channel
Backward compatibility	Co-channel	Not backward compatible
mmWave support	Yes	Yes

二、在車聯網通訊系統與運作效能評估與驗證部分

雖然我國各單位車聯網相關計畫均能發展與實證多項車聯網使用案例與服務，但根據美國 CVPD 計畫的 Tampa 市案例經驗，實務上還是有許多課題待進一步處理，例如：都會區高樓與高架橋對於 GNSS 精度的挑戰、號誌類(TSP 與 I-SIG)的車聯網應用尚不夠成熟、警示訊號的正確性與誤報率等。相較於美國 Tampa 市 CVPD 計畫的運作績效分析報告深度，我國在

DSRC 或 4G/5G C-V2X 相關計畫雖然展示車聯網各式服務能力，但在整個車聯網使用案例或應用情境之通訊面與可靠度面向的量化測試數據分析，仍有許多再加強空間，對於號誌資訊相關的 SPaT 與 MAP 訊息，以及優先號誌所需的 SSM 與 SRM 訊息，如何融入我國交通控制的號誌控制環境，尚待後續計畫進一步進行探討。

三、在 DSRC 與 C-V2X (或 5G NR V2X)車聯網環境構建與維運成本部分

根據 5GAA 與 3GPP 所發布的 C-V2X 各式使用案例或服務應用，3GPP R.16 版本以後與 5GAA 多著重先進駕駛或自動駕駛之車輛列隊行駛、感測器資訊分享、遠端駕駛、車輛服務品質等，至於原 DSRC 所設計之交通安全與機動力使用案例，則在 3GPP R.14 版本已多有類似定義。在實體通訊上，C-V2X 的 PC5(或 Sidelink)類似 DSRC 的設備間直接通訊，因此前述淡海新市鎮之交通部與新北市政府計畫均採用 C-V2X 的 PC5 通訊方式進行。而 C-V2X 的 Uu 介面則需藉由電信業者的核心網路，來進行通訊距離大於 1 公里各式交通資訊類 V2N 服務。因此 C-V2X 的 PC5 通訊方式，並無法免除類似 DSRC 所需之基礎建設投資，如果是採用 C-V2X 的 Uu 介面，則需使用電信業者核心網路，此方式將面臨通訊延遲增加對於交通安全 V2X 服務等級的降低，以及政府、電信業者、使用者三者間尚未探討的商業模式議題。

四、在車聯網使用案例與服務應用部分

本所於基隆地區構建我國第 1 個開放道路與里程數最長的車聯網實驗場域，發展我國最完整的 DSRC V2X 應用情境，相較之下，目前國內其它實驗場域在車聯網使用案例上仍較著重於支援自動駕駛車輛路口通行的 SPaT 與 MAP 服務，以及少部分的交通安全服務。根據 3GPP 與 5GAA 所規劃之 C-V2X 使用案例大幅度的納入支援自動駕駛車輛安全運行的車輛列隊行駛、先進駕駛類、延伸感測器、遠端駕駛等，因此我國後續車聯網相關實驗或推動計畫，應進一步強化與提升在車聯網使用案例與服務應用的廣度與深度。

六、結論與建議

自動駕駛車須要車聯網(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) V2X，以及以電信技術為基礎的 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X。雖然 4G/5G 車聯網發展較晚，但在

3GPP、5GAA、Qualcomm(高通)大力推動，再加上相較於 IEEE 802.11p DSRC 較佳的通訊規格技術，形成全球車聯網 DSRC 與 C-V2X 兩大陣營對峙態勢。不過 IEEE 於 2019 年 1 月成立 802.11bd 任務小組來發展新一代的 IEEE V2X 通訊協定。相較於 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X，IEEE 802.11bd 的優勢在於與 IEEE 802.11p 相容且具備交互操作性，因此 DSRC 歷年發展成熟成果反而成為資產，不若 4G/LTE C-V2X 與 5G NR V2X 的新進場所面臨的缺乏實績課題。且 3GPP 與 5GAA 發展 C-V2X 時，在訊息層即採用美規 SAE J2735 與歐規 CAM/DENM 標準，因此除了通訊技術與系統不同外，基本上兩者應用系統的轉換應具可行性。因此我國在各單位發展 DSRC 各項車聯網使用案例實測與功能已有階段成果下，可逐步將原 DSRC 使用案例與應用服務成果逐步移植到 C-V2X 通訊環境，並參考美國 2021 年車聯網性能測試內容與方式，進一步評估在我國通訊環境下可以符合我國交通特性的車聯網相關技術與使用案例。

在車聯網使用案例或應用服務上，3GPP 與 5GAA 國際組織將之區分為兩大類，分別為交通安全應用類的前方防碰撞(FCW)/車輛失控警示(CLW)/緊急車輛警示/車輛緊急停車/行駛方向錯誤警示/碰撞前預警/碰撞行人警示等，以及非交通安全應用的交通順暢/車流最佳化/交通管理/協同式自適應巡航控制系統(CACC)/支援自駕車運行等。而美國運輸部所設計車聯網使用案例或應用，多在 V2V 與 V2I 的交通安全面向，以及因為車聯網運作環境所帶來交通管理與環境永續應用。我國近年來在車聯網先導示範應用，以美國運輸部所設計車聯網使用案例的交通安全使用案例為主，同時考量初期車聯網環境尚不普及下，發展出搭配光達與雷達或 AI 攝影機，偵測潛在偵測路口車輛或行人安全警示的智慧安全路口使用案例，並已應用於易肇事路口與輕軌平面道路號誌化路口通行。

如上所述，我國各單位車聯網相關計畫均能發展與實證多項車聯網使用案例與應用服務，但根據美國 CVPD 計畫的 Tampa 市案例經驗，實務上還是有許多課題待進一步處理，因此我國在 DSRC 或 4G/5G C-V2X 相關計畫雖然展示車聯網各式服務能力，但在整個車聯網使用案例或應用情境要「落地」時，在通訊面與可靠度面向的量化測試數據分析，仍有許多再加強與深化的空間。

最後，在車聯網發展與建置上，DSRC V2X 通訊技術常面對外界質疑政府須投資於車聯網環境的基礎建設，若以換成 4G/LTE C-V2X 設備對設備(D2D)的 PC5 通訊方式而言，基本上只是將 DSRC 的 OBU 與 RSU 換成 C-V2X 的 OBU 與 RSU，政府還是須要投資於 C-V2X 車聯網環境的基礎

建設。如果是採用 C-V2X Uu 介面的 V2N 方式，則須使用電信業者核心網路，將面臨通訊延遲增加對於交通安全 V2X 服務等級的降低，以及政府、電信業者、使用者三者間商業模式議題，此等議題後續建議進一步加以探討與分析。

參考文獻

- 1.我國智慧型運輸系統車路整合應用模式探討與先期模擬測試，交通部運輸研究所，106 年 9 月
- 2.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
- 3.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
- 4.我國公共運輸車聯網實驗場域探討，交通部運輸研究所，109 年 7 月
- 5.新北市自動駕駛電動巴士系統測試運行計畫第 3、4 年期(110 年、111 年)規劃建議報告書，新北市政府交通局，110 年 2 月 22 日
- 6.淡海新市鎮智慧交通場域試驗研究計畫期中報告(一)，交通部運輸研究所，109 年 9 月
- 7.3GPP TR 22.885, Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on LTE support for Vehicle to Everything (V2X) services (Release 14), 2015/12
- 8.3GPP TR 22.886, Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16), 2018/12
- 9.3GPP TS 22.186, Technical Specification Group Services and System Aspects; Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios; Stage 1 (Release 16), 2019/06
- 10.3GPP TS 23.764, Technical Specification Group Services and System Aspects; Study on enhancements to application layer support for V2X services; (Release 17), 2020/12
- 11.Gaurang Naik, Bippav Choudhury, and Jung-Min Park, IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications, 2019/06/10, IEEE Access
- 12.Maxime Flament, Path Towards 5G For The Automotive Sector, 2018/10/17

13. Takayuki Shimizu, Hongsheng Lu, John Kenney, Shunsuke Nakamura, Comparison of DSRC and LTE-V2X PC5 Mode 4 Performance in High Vehicle Density Scenarios, 26th ITS World Congress, Singapore, 2019/10/21-25
14. C-V2X use cases methodology, examples and services level requirements, 2019, https://5gaa.org/wp-content/uploads/2019/07/5GAA_191906_WP_CV2X_UCs_v1-3-1.pdf
15. 5.9 GHz Safety Band Stakeholder Forum: Leveraging Existing V2X Investments in a Changing Spectrum Environment, 2020/12/16, U.S. Department of Transportation
16. An Analysis of Transportation Spectrum Needs 2019 through 2033, 2019/04, U.S. Department of Transportation
17. John Kenney, United States V2X Status: Spectrum and Technology, 2020/11, SIP-Adus Workshop
18. Preliminary Testing: Out-of-Channel Interference (Out-of-Band Emissions), 2019/12/06, U.S. Department of Transportation
19. Phillip Wilcox, Does Losing Most of the 5.9GHz Spectrum Band Make U.S. Vehicles Less Competitive ?, 2021/02/09, The Fuse, <https://energyfuse.org/does-losing-most-of-the-5-9ghz-spectrum-band-make-u-s-vehicles-less-competitive/>
20. The pathway of the 21st century, 2021/03/12, <https://www.brookings.edu/blog/techtank/2021/03/12/spectrum-the-pathway-of-the-21st-century/>
21. Peter DeFazio, 2021/03/18, <https://transportation.house.gov/imo/media/doc/2021-03-18%20FCC%205.9%20Letter.pdf>
22. <https://public-inspection.federalregister.gov/2021-08802.pdf>
23. ITS America and AASHTO take legal action to preserve 5.9GHz spectrum for V2X, <https://www.traffictechnologytoday.com/news/connected-vehicles-infrastructure/its-america-and-aashto-take-legal-action-to-preserve-5-9ghz-spectrum-for-v2x.html>
24. Smart Cars and Trucks: Spectrum Use for Vehicle Safety. 2021/04/21, Congressional Research Service “In Focus”.
25. Tampa (THEA) CV Pilot Deployment Results and Transition Plan,

2021/01/25, U.S. Department of Transportation

26. [https://sam.gov/opp/66bef5cad39f4bcab62f7d747d2d0d4d/view?keywords=%22Vehicle-to-Everything%20\(V2X\)%22&sort=-relevance&index=&is_active=true&page=1](https://sam.gov/opp/66bef5cad39f4bcab62f7d747d2d0d4d/view?keywords=%22Vehicle-to-Everything%20(V2X)%22&sort=-relevance&index=&is_active=true&page=1)
27. <https://www.transportation.gov/pnt/spectrum-policy-planning-and-analysis>
28. <https://transportationops.org/spatchallenge/resources>