

新版IEEE 1609標準介紹與美國車載通訊發展現況

Introduction of IEEE 1609-2016 Standard and Current Development of Connected Vehicle in United States

王柏凡
Po Fan Wang

1 · 前言

2014年2月，美國運輸部(United States Department of Transportation, USDOT)與美國國道交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)根據長達十餘年的車對車(Vehicle-to-Vehicle, V2V)通訊研究，以及2012年Pilot Project[1]的研究結果，確定V2V技術能夠應用在行車安全方面並減低人民的生命財產損失，因此做出開始推動輕型車輛配置V2V通訊系統法案的決定，並於同年八月正式發布法規制定預告(Advanced Notice of Proposed Rulemaking, ANPRM)以及相關研究成果[2]，其中所使用的V2V通訊標準為IEEE 802.11p[3]與IEEE 1609[4]。IEEE 1609由美國運輸部主導，並有車廠以及設備開發商與各州政府交通部代表參與制定，並計畫在2016年初發表最新版本以供法規制定使用，本文將介紹IEEE 1609最新版本的趨勢與內容。

2 · IEEE 1609標準簡介

IEEE 1609系列標準由電機電子工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)之車輛技術學會(Vehicular Technology Society)的智慧運輸系統委員會(Intelligent Transportation Systems Committee)所發行，為美國運輸部主導智慧運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)計畫之重要技術標準文件。此系列標準針對車間環境之無線存取需求(Wireless Access in Vehicular Environments, WAVE)定義了相應的通訊系統標準，涵括其架構及標準化的服務介面。

在此標準家族中，IEEE 802.11p標準為實體層無線存取技術基礎，制定車對車(V2V)、

車對基礎設施(Vehicle-to-Infrastructure, V2I)之通訊模式與相關通訊協定標準，此將成為未來V2X車輛應用之技術核心，其可應用之範圍包括在行車環境下，車輛協同式防撞安全、高精確度導航、交通管理、電子收費、貨車過磅等情境。圖1為IEEE 802.11p與IEEE 1609標準架構，IEEE 802.11p是由IEEE 802.11標準擴充的通訊協定，主要用在車用電子的無線通訊上符合智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)的相關應用，使用5.9GHz(5.85-5.925GHz)波段，在IEEE 802.11p實體層之上為IEEE 1609系列標準提供Media Access Control(MAC)層及網路層所需之通訊協定，並配搭IETF在網路通訊協定(IPv4/IPv6)等相關標準，構築出一完整車間通訊網路架構。

2.1 IEEE 1609各子標準簡介

IEEE 1609系列目前主要有IEEE 1609.0、IEEE 1609.2、IEEE 1609.3、IEEE 1609.4、IEEE 1609.6、IEEE 1609.11與IEEE 1609.12等子標準，各個子標準架構如圖1所示，並於下面簡介各個子標準內容。

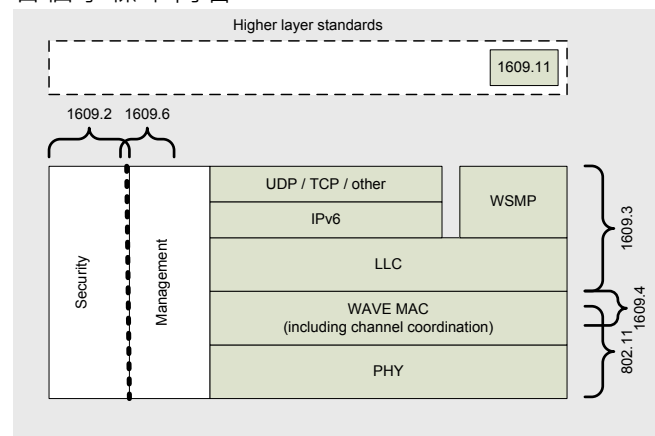


圖 1 IEEE 802.11p與IEEE 1609標準架構

2.1.1 IEEE 1609.0 (Architecture)

IEEE 1609.0 標準描述整個 WAVE/DSRC (Wireless Access in Vehicular Environments / Dedicated Short Range Communication)的架構與提供多通道(multi-channel) WAVE/DSRC 裝置於移動車載環境下必要的服務。

2.1.2 IEEE 1609.2 (Security Services)

IEEE 1609.2 標準定義 WAVE 裝置使用之安全訊息封包格式及其處理程序，包含 WAVE 管理訊息與應用訊息之安全保護方式，其亦描述必要之管理功能以提供核心安全性功能。

2.1.3 IEEE 1609.3 (Networking Services)

IEEE 1609.3 標準提供 OSI (Open Systems Interconnection) 模型中網路層(Network Layer)與傳輸層(Transport Layer)之服務予 WAVE 裝置與系統。其定義 WAVE 裝置管理與資料服務，並建立一套 WAVE Short Message Protocol (WSMP)，即 WAVE 短訊協定。同時，IEEE 1609.3 可向後相容傳統網際網路常用之通訊協定如 IP (Internet Protocol)、UDP (User Datagram Protocol)及 TCP (Transmission Control Protocol)等現行網路服務常用之通訊協定。

2.1.4 IEEE 1609.4 (Multi-channel Operation)

IEEE 1609.4 標準描述多通道無線電運作、WAVE 模式、媒體存取控制(media access control, MAC)及實體層(PHY Layer)，包含控制通道(control channel, CCH)與服務通道(service channel, SCH)區間時間的運作、優先存取的參數、通道切換的規範及管理服務。

2.1.5 IEEE 1609.6 (Remote Management Services)

IEEE 1609.6 標準歸類於應用層，提供可相互操作服務以管理 WAVE 裝置。其主要描述一遠端管理服務，包含 WAVE 裝置的識別服務，並採用 IEEE 1609.3 標準定義之 WAVE 管理服務及 WSMP (WAVE short message protocol) 識別服務。

2.1.6 IEEE 1609.11 (Over-the-Air Electronic

Payment Exchange Protocol for Intelligent Transport Systems)

IEEE 1609.11 標準具體描述付款(payment)與身分確認(identity authentication)所需之電子付款服務層及配置(profile)，並描述 WAVE/DSRC 應用之付款傳送機制。其定義使用 WAVE 之電子付款設備，例如 OBU (onboard unit)與 RSU (roadside unit)，基本技術互通，但未提供完整的互通方案。需注意的是，IEEE 1609.11 並未完整定義電子付款服務之應用層協定，其主要功能為定義介接 ISO 組織所訂立之電子付款應用層標準與 IEEE 1609.3 之功能介面與必要資訊轉換處理

2.1.7 IEEE 1609.12 (Identifier Allocations)

IEEE 1609.12 標準描述 IEEE 1609 系列標準中所使用的提供服務識別值定義(Provider Service Identifier, PSID)。其列出現行 WAVE 系統中 ID 分配之規則，及目前已分配使用的 ID 值。

3 · 2016年新版IEEE 1609.3更新內容

隨著 ITS 產業逐漸成熟，各國各自發展車載通訊相關標準，如歐盟由歐洲電信標準化協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)主導發展相關標準，美國則是使用 IEEE 802.11p 與 IEEE 1609 為主來實現車對車通訊的安全應用，另外國際標準組織 ISO 也有一套同時包含歐美功能與特性的標準。為了準備進入實際系統建置與設備量產階段，美國與歐洲於 2009 年取得共識並開始討論各個標準之間的整合[5]，以利未來設備廠商製造與市場的推動，自 2012 起開始成立了整合工作小組(Harmonization Task Groups)討論歐美標準的整合，針對目前各標準之間的差異進行討論，並於 2013 年產出報告[6]供各標準組織參考。IEEE 1609 工作小組也採納了部分報告結果，並納入本次最新版本標準內，相關介紹如下。

3.1 IEEE 1609.3 WSMP 更新部分

新版 WSMP 的修改方向是基於 ETSI STF 455 工作小組所提出的方案修改，將 FNTF/FSAP

與WSMP做整合，FNTP與FSAP為ISO標準，與1609的WSMP功能相當，但ISO使用ITS-AID與ITS port numbers概念。從圖2可以看到新版WSMP Header改由WSMP-N-Header與WSMP-T-Header組成，分別包含網路層與通訊層的資訊，並透過欄位內的值支援ETSI與ISO標準所提供的功能，相較以往不同的是舊版WSMP單純依靠PSID來將封包引導至對應的上層應用，不過此種作法無法進一步支援網路傳輸層的unicast session連線的概念，對未來應用程式的設計會有所限制。

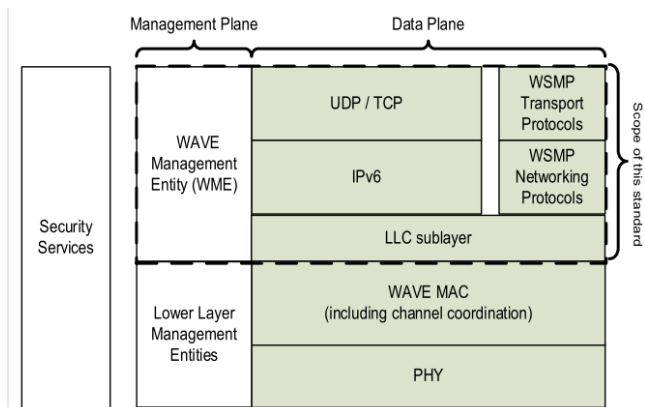


圖 2 IEEE 1609.3 標準架構

以下將簡略介紹WSMP-N-Header與WSMP-T-Header包含的內容。

3.1.1 WSMP-N-Header

WSMP-N-Header包含的欄位如下圖所示：

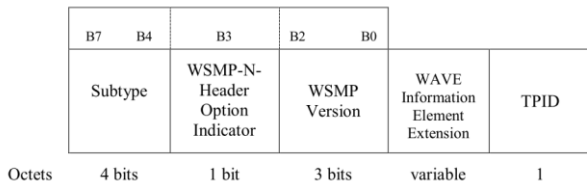


圖 3 WSMP-N-Header欄位

各欄位說明如下：

- (1) Subtype：此欄位提供了新的彈性以支援如ISO 29281-1 CALM架構下的ITS station-internal forwarding、N-hop forwarding功能與ETSI標準提供的GeoNetworking等功能，並保留為來擴充性，表1列出了目前支援的subtype。
- (2) WSMP-N-Header Option Indicator：此

欄位標示此標頭是否含有WAVE Information Element Extension欄位。

- (3) WSMP Version：此版標準的版本號為3並保留大於3的數值，透過此欄位可以判斷新舊版本的WSMP封包。
- (4) WAVE Information Element Extension：可能為WSM或是WSA的擴充元素，如：WSA header WAVE Information Element Extension、Service Info optional WAVE Information Element Extension、Channel Info optional WAVE Information Element Extension與WRA optional WAVE Information Element Extension。
- (5) TPID：表示Transport Protocol Identifier包含了一個8-bit無號整數代表所使用的transport protocol，相關介紹將於WSMP-T-Header中介紹。

表 1 支援的subtype

Subtype	Protocol features supported	Remarks
0	Null-networking protocol	Support of this subtype is mandatory
1	ITS station-internal forwarding. A feature of [B3].	Related protocol procedures are not specified in this version of the standard.
2	N-hop forwarding. An extension of N-hop broadcast specified in [B3].	
3	Enables the features of GeoNetworking [B4].	
4 - 15	Reserved	Assignment of numbers is done by means of a registry.

3.1.2 WSMP-T-Header

WSMP-T-Header的主要內容如下圖所示：

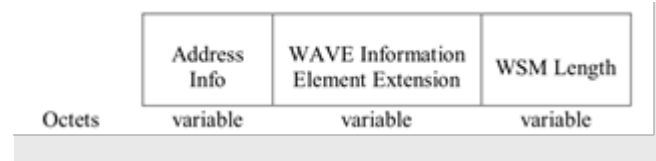


圖 4 WSMP-T-Header欄位

Address Info與WAVE Information Element Extension的欄位內容將根據WSMP-N-Header內的TPID而有所不同，WSM Length則是基礎欄位並表示WSM包含的資料長度。

3.1.2.1 Transport protocol features

最新版本TPID目前共有0, 1, 2, 3四個值，不同TPID的WSMP-T-Header與相關欄位的對應如下圖所示，其中TPID為0時只包含PSID與WSM Length欄位，對應到的即是舊版WSMP的功能，當TPID為1時則是比TPID為0時的表頭多了WAVE Information Element Extension，此欄位即是舊版WSMP表頭中的Header Extension Fields，包含了Channel Number、Data Rate、與Transmit Power Used，除此之外新增了一個Channel Load欄位做為未來分享車輛附近頻道負載程度的欄位並做為頻道壅塞控制演算法的參數，由於目前頻道壅塞控制演算法仍在發展中尚未定案，由於出版時程壓力，工作小組決定先預留此欄位，至於詳細的欄位內容與相關演算法未來必須參考其他標準規範。

3.2 IEEE 1609.3 WSA更新部分

與WSA相關的變動主要也受歐美標準整合影響，最主要的就是將WSA改為透過WSM來封裝與傳送，並且加入一些新的欄位以支援不同標準整合的功能。另外，WSA也由原先限制在控制頻道上傳送，改為可以在任何頻道上傳送，以下將一一介紹。

3.2.1 WSA改為由WSMP發送

以往WSA是由WME曾發出MLMEX-VSA.req來向MLME層要求透過VSA封裝發送WSA封包，這個架構有別於ISO標準現有的作法，新版的標準為VSA封包傳送與接收改為透過WSMP封包傳送(圖5)，如此將與ISO標準做法更為一致。除了改變傳送的方式外，WSA封包傳輸內容也將改為使用ASN.1格式定義，並使用U-PER(Unaligned-Packed encoding rules)編碼方式來編解碼，為了透過WSMP來封裝WSA，標準工作小組也新申請了一個PSID專門供WSA使用，此PSID的p-encoding值為0p8007，並定義在IEEE 1609.12內，原來標準內透過MLME處理WSA的流程皆已刪除。並於1609.3內新增於WME內如何發送WSA的敘述。

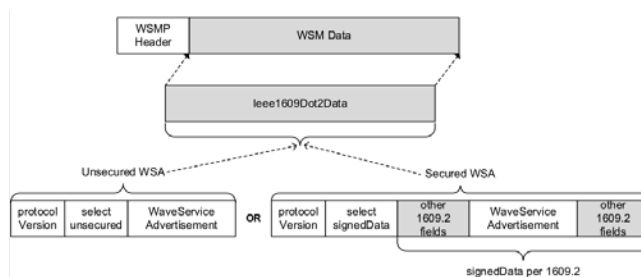


圖 5 新版IEEE 1609 WSA封裝格式

3.2.2 解除WSA傳送頻道限制

以往的WSA規定只能於控制頻道(CCH)上發送，但新版的標準中，WSA將可以在任何DSRC頻道上發送，包含原本的控制頻道與服務頻道(SCH)。此需求是由八大車廠所組成的CAMP提出，由於短期內目標主要仍是發展V2V的安全應用，車輛上很有可能只安裝一個WAVE/DSRC的傳輸裝置，並於由USDOT定義的安全頻道(SCH 172)上運作，發送基礎安全訊息(BSM)供各種安全應用使用，若WSA可在SCH 172上面發送，車輛可以在不需要發送基礎安全訊息的情況下(例如地下停車場內)，收到WSA並切換頻道至其他有興趣的應用服務，如此設計相對於過去透過將設備設定為頻道切換模式，並於控制頻道與服務頻道來回切換以監聽WSA的作法，車輛能夠全時運作於服務頻道上，在必要的時候才切換至其他應用上，可以增加車輛在服務頻道上的使用時間與頻寬，也減少因頻道切換造成的時間成本。

3.2.3 新版WSA欄位內容說明

新版WSA欄的內容修改除了因應不同國際標準間的整合外，也因為改用ASN.1格式而在欄位上有所調整令使用U-PER編碼方式的效能達到最佳化，另外也有藉此機會對整個訊息的結構調整讓資訊更明確，以減少實作上的誤解。圖6即為新版的WSA封包格式，其中WSA標頭基礎欄位作了以下修改：

- (1) WSA Version：此欄位大小由原本的6-bit改為4-bit，新版本的Version內容與WSM一樣為3，透過版本號可以區別新舊版本的WSA，對於使用不同版本標準的設備可以區別訊息的相容性。

- (2) Option Indicator：這是一個全新的欄位，透過4-bit分別表示此WSA中是否包含 WAVE Information Element Extension、Service Info Segment、Channel Info Segment與WAVE Routing Advertisement欄位
- (3) WSA Identifier與Content Count: 這兩個欄位是舊版WSA標頭內change count欄位的延伸，change count欄位是用來判別WSA封包內容是否有更新，但舊版WSA在設計時並沒有考慮到同一個WAVE設備可能會基於不同的傳送頻率或是包含不同的安全相關資訊而產生多個WSA封包，故新增WSA Identifier來區別同一個WAVE設備所發送的WSA，每個WSA的內容更新則由Content Count來識別。

WAVE Information Element Extension欄位內容與舊版的差異較小，唯有識別發送WSA設備的Advertiser Identifier欄位內容由原本的ASCII編碼方式改為UTF-8國際編碼方式。

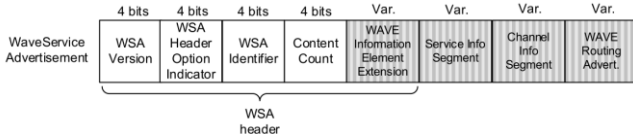


圖 6 新版IEEE 1609 WSA封包格式

圖7為新版WSA Service Info Segment欄位，此結構數量可由0至31個，與舊版的差別說明如下：

- (1) 移除WAVE Element ID：標準工作小組認為每一個重複的WSA Service Info都要放一個WAVE Element ID有點浪費空間且意義不大，且WSA基礎欄位中的Option Indicator已經能夠識別此欄位為WSA Service Info，故決定移除此欄位。
- (2) 移除Service Priority：標準工作小組經過多年的討論，一致認為此處的Service Priority並沒有實際的好處並決定於新版的標準中移除此欄位。
- (3) Channel Index：由於WSA只會包含0~31個Channel Info，故只需要5-bit來表示

與Service Info相對應的Channel Info位置即可。

- (4) 由於標準整合的緣故，於Service Info預留了兩個bit的欄位供支援其他標準使用。

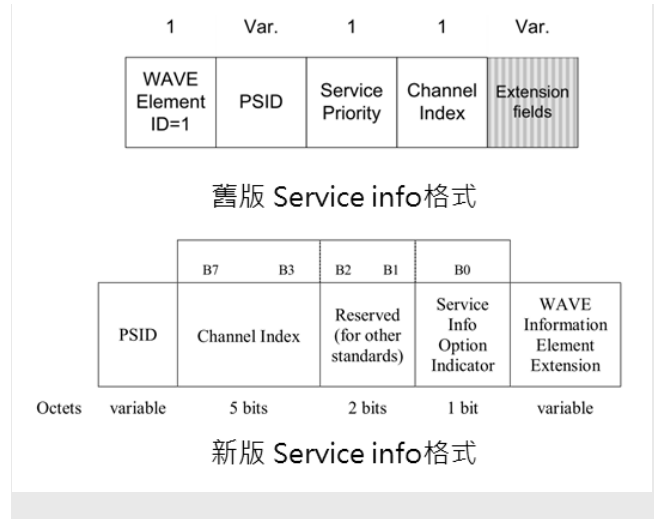


圖 7 舊版與新版IEEE 1609 Service Info格式

圖8為新版WSA Channel Info Segment欄位，此結構數量可由0至31個，與舊版的差別說明如下：

- (1) 移除WAVE Element ID：同上面Service Info內的WAVE Element ID欄位相同，標準工作小組決定移除此欄位以減少WSA的大小。
- (2) 合併Adaptable與Data Rate欄位：同樣是為了減少WSA大小作的優化，將兩個欄位合併為一個。

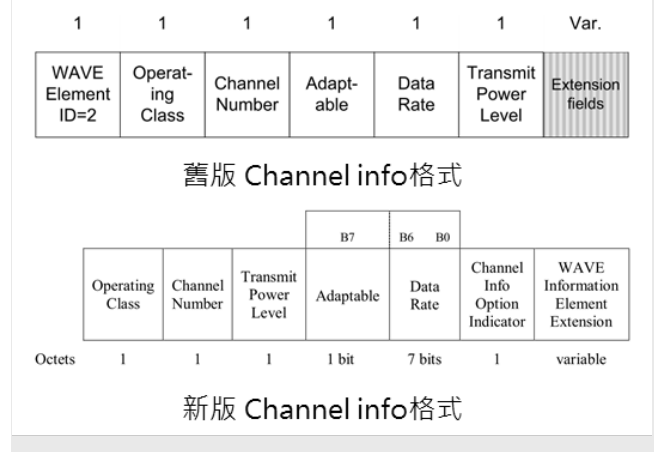


圖 8 舊版與新版IEEE 1609 Channel Info格式

最後新版WRA欄位，除了移除WAVE Element ID欄位外並沒有其他的更新，另外關於WSA使用ASN.1格式的相關內容，新版IEEE 1609.3文件新增了Annex L來說明相關內容。

4 · 2016年新版IEEE 1609.2、IEEE 1609.4、IEEE 1609.12更新內容

4.1 IEEE 1609.4

圖9為最新的MAC傳送端概念圖，本次最主要的修正是將LLC層移除，並改用Length/Type encoding (EPD) header format替代，現在常見的Layer-2協定有802.2 (LLC) 與802.3 (Ethernet)，當初IEEE 802.11在制定時選定使用LLC做為所有STA的Layer-2協定，但現況是Ethernet已經廣泛使用於有線區域網路上，IEEE 802.2圖為最新的MAC傳送端概念圖，本次最主要的修正是將LLC層移除，並改用Length/Type encoding (EPD) header format替代，現在常見的Layer-2協定有802.2 (LLC) 與802.3 (Ethernet)，當初IEEE 802.11在制定時選定使用LLC做為所有STA的Layer-2協定，但現況是Ethernet已經廣泛使用於有線區域網路上，IEEE 802.2也於2011年停止更新，且IEEE 802於2014年Overview and Architecture的會議上鼓勵新的IEEE 802標準不要使用LLC，並以使用EPD取代之。改用LPD最立即的好處就是馬上在每個封包減少6 byte的空間(見圖10)，並且為來要與LAN做bridge的時候也十分方便，目前IEEE 802.11 TGak工作小組就為了要讓無線裝置與有線裝置橋接而成立，表示IEEE 802.11也正朝著此方向努力，雖然修改此部分將會導致使用新版標準與舊版標準的設備完全不相容，不過由於目前市場尚未有商品化的WAVE/DSRC產品，最後工作小組考量未來性與效率，決定趁這個時間點做此修正。故新版1609.4內當MAC層收到傳送WSMP封包的需求時，MAC必須於MAC extension欄位加上值為0x88DC的EtherType欄位。當要收到傳送IP封包的需求時，MAC必須於MAC extension欄位加上值為0x86DD的EtherType欄位，當MAC接收data frame的時候，必須依照EtherType的值來將封包傳送至對應的上層協定。

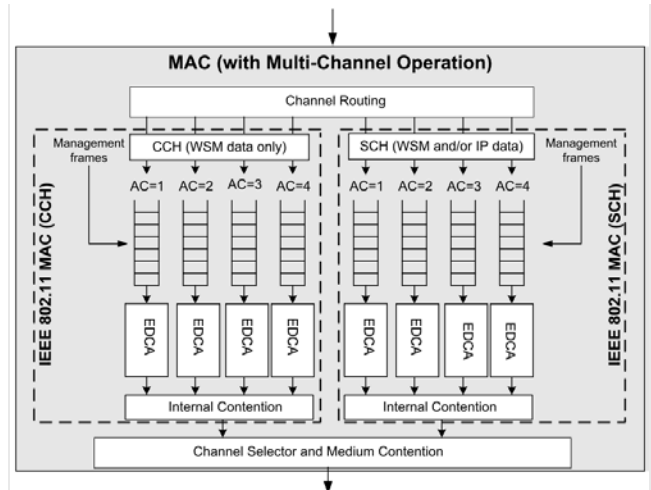


圖 9 新版IEEE 1609.4概念圖

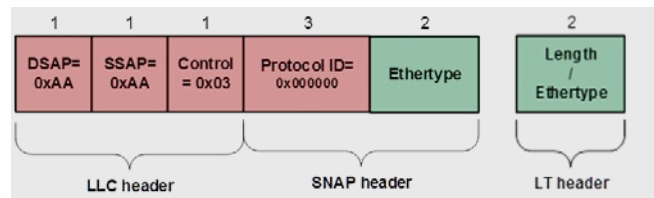


圖 10 IEEE 802.2 LLC標頭與IEEE 802.3 EPD標頭

4.2 IEEE 1609.2

由於IEEE 1609.2的草稿修訂進展較其餘標準緩慢，故目前只能條列幾項已經確定會修改或是新增的項目：

- (1) 改用ASN.1格式與OER編碼方式：與WSA、WSM相同，IEEE 1609.2的訊息格式也將採用ASN.1格式定義，如此將減少開發者的成本與可能的誤解，由於1609.2封包含有大量的欄位與內容，但對驗證速度有一定的要求，經過實驗模擬，採用編解碼效率最高的OER編碼方式，此處與IEEE 1609.3 WSA、WSMP所使用的U-PER不同，開發者須要特別注意。

4.3 IEEE 1609.12

為了世界各地ITS應用的整合，於IEEE 1609.12中新增訂定說明PSID與ITS-AID共用相同的數值空間，ITS-AID的定義與相關功能可於ISO 17419文件內找到，IEEE 1609.12只說明

PSID的定義與應用內容。

最新版的PSID新增了幾個應用如下：

- (1) 由 SAE DSRC TC 要求申請的 Vulnerable Road Users Safety Application，PSID 值為 0x27。
- (2) 由 CAMP 要求申請的 Certificate Revocation List Application，用於公佈已失效憑證的服務，PSID 值為 0x0100。
- (3) 由 IEEE Std 1609.3 工作小組申請工 WAVE Service Advertisement 發送的 PSID，其數值為 0x87。
- (4) 由 IEEE Std 1609.3 工作小組申請的 IPv6 routing 服務，PSID 數值為 0x1020407E。

5 · 結論

2014年2月3日美國運輸部宣布，即日起啟動立法程序，將強制小型車輛安裝 5.9GHz DSRC V2V通訊設備，屆時將優先強制所有新上路的小型車輛裝機，預計將於2017年1月歐巴馬任期結束前完成提案程序送交國會審議，此一宣布預期將帶給V2V市場滲透率及技術發展顯著的成長。

法規制定的基礎建立於美國運輸部於V2V通訊技術與安全應用的多年研究成果以及相關標準的制定，2015年底IEEE 1609與SAE等相關標準組織將會提供穩定版標準草稿供立法參考，透過標準組織方面也得知，目前相關的法案草稿也已經擬出，很快就會進入下一階段的提案。

車廠方面也已經準備就緒，通用汽車宣布2017款凱迪拉克CTS將會是第一款配備V2V通訊技術的量產車型，相信在不久的將來很快就可以於道路上實現基於V2V通訊的行車安全應用以及其他相關的V2I車路資訊應用，預期將會減少可觀的生命財產損失並提供更智慧便利的行車環境。

參考文獻

[1] Safety Pilot website. [Online]. Available: <http://safetypilot.umtri.umich.edu/>

- [2] NHTSA ANPRM. [Online]. Available: http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/V2V/V2V-ANPRM_081514.pdf
- [3] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802.11™- 22012
- [4] IEEE 1609 Working Group Website. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/develop/wg/1609_WG.html
- [5] EN-U.S. Joint Declaration of Intent on Research Cooperation in Cooperative System. [Online]. Available: http://its-standards.info/eu_us_joint_decl_on_coop_systems.pdf
- [6] Progress and Findings in the Harmonisation of EU-US Security and Communications Standards in the field of Cooperative Systems: EU-US Task Force - Reports from HTG1 and HTG3. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/progress-and-findings-harmonisation-eu-us-security-and-communications-standards-field>
- [7] Connected Vehicle Pilot Deployment Project website. [Online]. Available: <http://www.its.dot.gov/pilots/wave1.htm>

作者簡介

王柏凡



現任工研院資通所車載資通訊與控制系統組車載資通訊系統設計與驗證部門副工程師，於車載資通訊系統開發與驗證有三年經驗，曾參與IEEE1609國際標準會議與國際車載資通訊協定測試活動。