

車間無線通訊標準研究

柯亮宇¹、陳柏全²

¹財團法人車輛研究測試中心 研發處 副工程師

²財團法人車輛研究測試中心 研發處 副工程師

摘要

車禍往往導致生命財產的損失與社會問題，近年來，因日益高增的車輛密度，所以車禍發生的比率也高居不下，有鑒於此，各國皆投入大量的資源於改善交通與行車安全的議題，然而，隨著無線通訊發展的成熟，各先進國也將短距無線通訊納入車輛網路標準的一環，並嘗試著利用通訊連結原本獨立的車輛，從而創造出多車合作式安全系統，以改善行車安全。本篇論文將一一介紹車間通訊的標準及其運作原理。

關鍵詞：短距無線通訊、車間通訊、行車安全。

Abstract

Accidents often result in loss of lives and property and cause social problems. In recent years, as a result of growing by a high density of vehicles, the accident rate is also high. Taking this into consideration, many advanced countries are putting in a lot of resources to the improvement of traffic and road safety issues. However, with the development of sophisticated wireless communications, many advanced countries bring the Dedicated Short Range Communication (DSRC) system into vehicles. And try to use the communications to create a multi-vehicle cooperative safety system in order to improve traffic safety. This paper will be introduced the vehicular communication standards and the operation principles.

Keywords—DSRC, IEEE 802.11p, WAVE, Safety, V2V

1 前言

根據美國運輸部 (U.S. Department of Transportation, DoT) 的統計數字顯示，美國每年死於交通事故上的人數高達四萬三千人，傷殘人數約為三百二十萬人，而所消耗的社會成本據估計已超過 1,500 億美元；而在日本車輛資訊及通訊系統 (Vehicle Information and Communication System, VICS) 的資料則指出，日本每年每人平均浪費在塞車的時間約為 42 小時，約等於每年浪費 12 兆日圓。

因此，隨著各項科技的進步，資通訊產業與車輛電子產業的加速整合成為智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 與智慧型車輛 (Smart Car) 已成為世界各國極力投注資源推動的重點之一，在美國、日本及歐洲等眾多先進國家中尤其受到重視，被預期能夠有效地降低因車禍傷亡及運輸壅塞所付出的國家成本，同時有助於促進經濟發展、提升國家生產力並延緩全球能源耗竭及暖化效應。

所謂的先進車輛安全應用技術是歸屬於 ITS 的一

支，其重點在於發展智慧型車輛 (Smart Car)；在車用駕駛安全輔助技術中，作法除了目前常用的「影像處理技術」外，「無線通訊技術」則是未來十年內與車電領域關係密切的熱門選項，前者「影像處理技術」是屬於獨立主動式安全系統，主要是應用在單一車輛中，然而後者「無線通訊技術」是歸類於合作主動式安全系統，其系統可透過與視線外之車輛即時交換速度、位置、車輛狀態等訊息，來達到早期防撞警示，將會大幅地增進駕駛人之可反應時間、並同時提升危險預警的功效。雖然兩者所採取手法各異，但是其共同的目標卻是一致的，皆朝向「零碰撞自動駕駛」的終極目標來邁進。

2 車載通訊介紹

一般車載無線通訊的模式可以概分為下列四大類型，其分別為：車內通訊、車外通訊、車路通訊及車間通訊，如此的分類是依據通訊距離長短而定，而各式通訊技術的應用情境則如圖 1 所示：

- 1). 車內通訊：Bluetooth (BT)，Ultra-wideband (UWB) ...
- 2). 車外通訊：2G, 2.5G, 3G, 3.5G (cellular systems)，GPS, WiMAX ...
- 3). 車路通訊：Microwave, Infrared, Dedicated Short Range Communications (DSRC), Wi-Fi ...
- 4). 車間通訊：Microwave, Infrared, DSRC ...

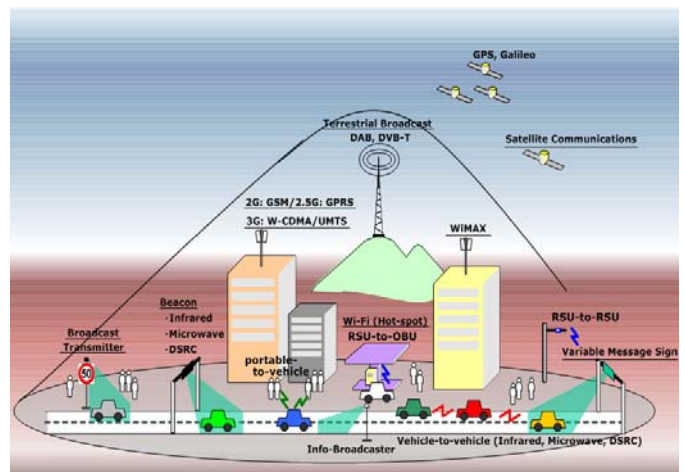


圖 1. 車載通訊系統於各種應用模式之情境概觀
(資料來源：CALM)

如表 1 所示，在四種車載通訊應用模式當中，車內通訊的需求距離是最短的，通訊距離約為一至數十米左右，其涵蓋的範圍僅止於車輛內部空間，主要的用途是做為車載裝置的無線傳輸介面，連結車載機 (On-board Unit, OBU)、電子設備及乘客持有的行動

裝置等，高傳輸速率及抗雜訊性能是其效能指標，多被應用在語音通話及設備介面連線，目前藍芽技術已相當成熟、UWB 則是未來熱門技術之一。

車外通訊指的是車輛與遠方通訊設備進行資料交換的應用，其所覆蓋的通訊範圍是四類當中最廣的，有效距離約達數公里至數百公里的等級，最常見的蜂巢式數位行動電話系統(如 2G/2.5G：GSM/GPRS，3G：W-CDMA，3.5G：HSDPA 等)、衛星通訊系統及微波存取全球互通(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX)系統等，皆歸屬於此類技術，共同的特點除了傳輸距離超長外，能夠於高速移動狀態下進行訊息交換的功能則是另一項保證，主要被廣為應用於行動通訊、地理定位及廣域的車載資通(Telematics)服務後台，或行動上網等。

WiMAX 是近年來的新興技術之一，又可被區分為 mobile WiMAX (IEEE 802.16e-2005) 及 fixed WiMAX(IEEE 802.16-2004)兩種，已高度地被期待能夠成為次世代無線網路的新標準，是全球資訊網際網路(WWW, World Wide Web)應用接軌到無線應用趨勢下的重要產物，由於 WiMAX 俱有可高度移動的特性，極適用於車載通訊的對外介面，這也會是台灣通訊大廠切入汽車市場、及汽車電子技術的最佳機會，勢將創造出更多具備創新、多元的加值服務。

車路通訊與車間通訊其實是同一技術的兩種不同應用模式，通訊距離大約介於數百公尺至一公里左右的範圍，再依據不同的實體介質可細分為：微波(microwave)、紅外線(infrared)及無線電(radio frequency, e.g. DSRC)三種，主要差異在於介質穿透能力及資料傳輸速率高低，而相對移動速度對於通訊效能的影響也會因介質而異。

車路通訊(OBU-to-RSU(road side unit) / RSU-to-OBU)應用模式下至少有一方是維持不動的，例如自動電子收費、自動取得前方交通路況、停車場資訊、定點影音資訊上傳及下載等；在車間通訊(Vehicle-to-vehicle, i.e. OBU-to-OBU)應用模式時就是屬於多動點之間的雙向傳輸，主要被應用於車輛安全防撞訊息的交換，其安全與即時性的需求均高。

車外	WiMAX	WMAN: 3~50 km	mobile: 2~15 Mbps static(fixed): 70 Mbps	移動下 廣域資料傳 輸／定點式 高速資料傳 輸
	行動通訊 (cellular systems)	WWAN: 35 km~120 km	2.5G: 114 kbps 3G: 384 kbps 3.5G: 7.2 Mbps	行動電話／ 多媒體資料 傳輸
	GPS 衛星	WWAN: 約 20000 km 左右	9.6 kbps	地理定位
車路	微波	10~50 m (depend on power)	數十至數百 kbps	自動電子收 費
	紅外線	10~50 m (line-of-sight)	數十至數百 kbps	自動電子收 費
	Wi-Fi	WLAN: 10~100 m	11a: 54 Mbps 11b: 11 Mbps 11g: 54 Mbps	定點式 短距資料傳 輸
	DSRC	WLAN: 300~1000 m	mobile: 3~27 Mbps	動態／定點 式 短距資料傳 輸
車間	微波	10~50 m (depend on power)	數十至數百 kbps	移動下 短距資料傳 輸
	紅外線	10~50 m (line-of-sight)	數十至數百 kbps	移動下 短距資料傳 輸
	DSRC	WLAN: 300~1000 m	mobile: 3~27 Mbps	移動下 中短距資料 傳輸

表 1. 各式無線通訊接取技術綜合評估分析

評估項目 通訊模式		覆蓋範圍	傳輸速率	主要應用
車內	藍芽(BT)	WPAN: 1~10 m	720 kbps~ 3 Mbps	免持聽筒／ 無線接取介 面
	超寬頻 (UWB)	WPAN: a. 1~3 m, b. 3~10 m	a. 480 Mbps b. 110 Mbps	鄰域超高速 資料傳輸／ 無線接取介 面

3 IEEE802.11p - WAVE 5.9GHz 車間通訊

在車輛通訊中，除了車對長程無線基地台(V2I)中的 WiMAX 為一主力軍之外，在短距車間/車路(V2V/V2R)通訊中，歐、美兩大陣營各自提出自己的車載通訊標準，頗有互別苗頭的味道，並各自使出渾身解數來搶奪汽車通訊市場這塊大餅，其中在美國的 DSRC 的標準為 IEEE 802.11p[1]與 IEEE 1609/WAVE 系列[2]，[3]，其中 IEEE 802.11p 是由 WiFi 的 IEEE 802.11a 所修改而來，現在階段僅為草案尚未成為正式的標準，圖 2 為美國 DSRC/WAVE 的標準架構，分為兩大部份，一個是專門用在非 IP 協定的應用 IEEE 1609.3/WAVE Short Message Protocol，其適用範圍在於主動式安全的傳輸與一些交通資訊的傳遞，另一個則是 IPv6 的協定，主要是應用在一些車上娛樂，車群網路、商家資訊等，聚焦在與行車安全或道路交通資訊較無關的應用。

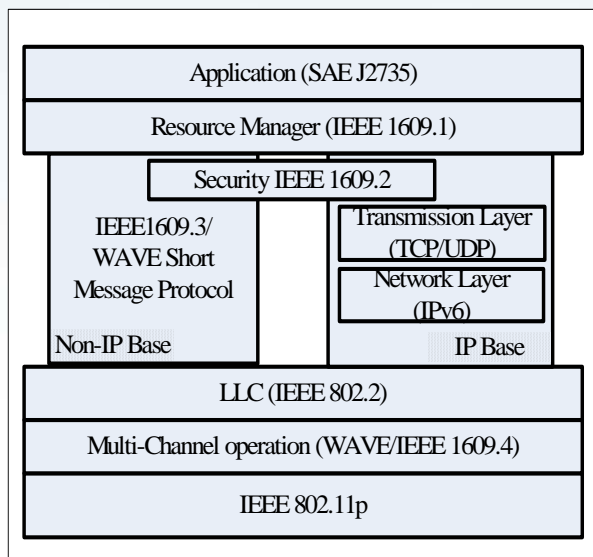


圖 2. 美國 DSRC/WAVE 的標準架構

在歐洲則是由 C2C-CC 組織來制定歐洲的 DSRC 標準，而歐洲的標準大部份皆是參考 IEEE 802.11p 再修改成適用於歐洲的版本，如圖 3 中所示，歐洲的規格在 PHY 跟 MAC 層都修改成歐洲版本之外，在網路層(C2C network)與傳輸層(C2C transport)中也使用了歐洲自訂的版本。

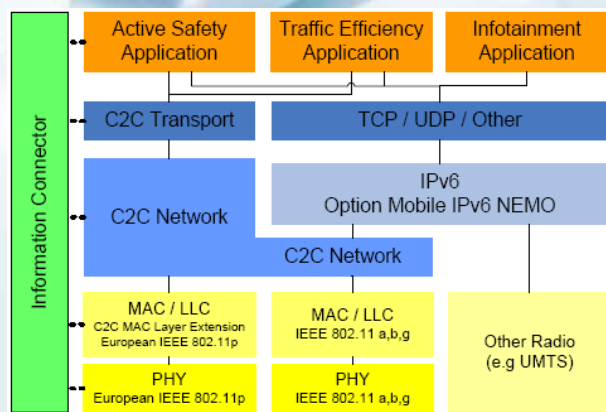


圖 3. 歐洲 DSRC/C2C 的標準架構
(資料來源：C2C-CC)

在通訊頻譜中，歐洲 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) 所建議制訂的是 5.855~5.925GHz 的頻段[4]，[5]，共分成 7 個頻道，每個頻道佔 10MHz，其中 5.875 到 5.885GHz 是屬於道路安全與交通車流的專用頻道、5.885 到 5.895GHz 是屬於控制與緊急性安全專用的頻道、而 5.895 到 5.905GHz 則是被分派為緊急性的安全專用頻道，而其他頻道分配的狀況可在圖 4 中查得。但在歐盟委員會中(European Commission)，目前暫先制訂的是 5.875~5.905GHz 共分為三個頻道，全數皆為應用於道路安全的專用頻道。

然而在美國聯邦通訊委員會(FCC)所分配的頻道中[6]，[7]，每個通道分配 10MHz，使用頻段分別從 5.850~5.925GHz，其中在 5.890GHz 為控制與緊急性安全專用的頻道與歐洲相同，然而在車對車安全性相關的應用頻道被分配在 5.860GHz 頻段，如圖 5 所示，底下是每個頻道所對應之應用與最高電波功率限制：

1. Ch 172: 車對車安全，功率最高 33dBm
2. Ch 174: 其他應用，功率最高 33dBm
3. Ch 176: 其他應用，功率最高 33dBm
4. Ch 178: 控制頻道(Control Channel)，功率最高 44.8dBm
5. Ch 180: 其他應用，功率最高 23dBm
6. Ch 182: 其他應用，功率最高 23dBm
7. Ch 184: 路口安全應用，功率最高 40dBm

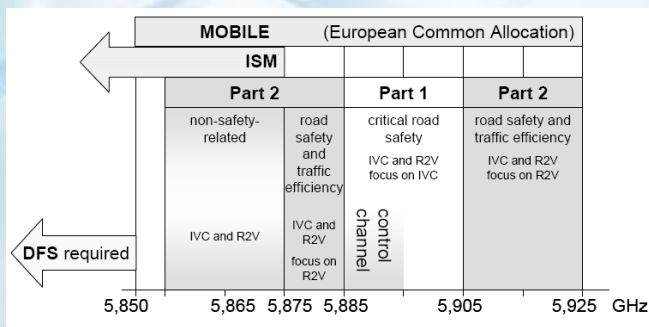


圖 4. 歐洲 ETSI 頻譜分佈圖
(資料來源：C2C-CC)

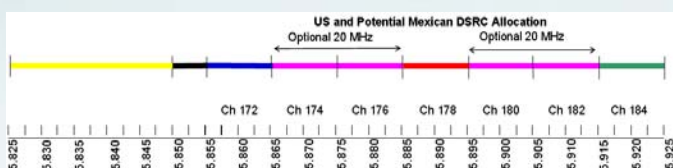


圖 5. 美國頻譜分佈圖

3.1 IEEE802.11p-WAVE 架構與運作原理簡介

在 WiFi 架構中，有一 AP 與數個 client 端連線稱為架構式 BSS(Basic Service Set)，另一架構為獨立式 BSS，如圖 6 所示。然而，在 IEEE 802.11p、WAVE 中可分為兩種使用模式，一種是路側機(Road Side Unit, RSU)與數個車載機(On Board Unit, OBU)連線，稱為 WAVE basic service set(WBSS)，提供了車對路之通訊；另一種則為純車載機間的傳輸模式，通常是使用在無 RSU 的環境中，提供基本車對車行車安全應用之功能，如圖 7 所示。

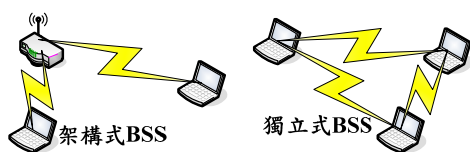


圖 6. 兩種 IEEE 802.11a/b/g Wi-Fi 的連線型態

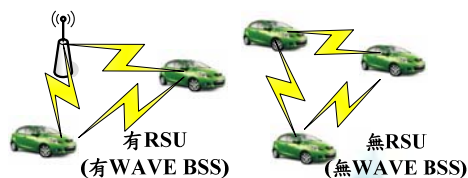


圖 7. 兩種 IEEE 802.11p WAVE 的連線型態

IEEE 802.11p 是由 IEEE 802.11a 為基礎所修改而來的，然而因 IEEE 802.11p 需使用在快速行進的車輛環境中，所以除了在物理層針對高速移動的環境作了必要的

修改外，在 MAC 層也為了減少連線及傳送資料的 overhead 而進行大幅修改，在 11p 的定義裡總共有兩種模式，一種是路側機(Road Side Unit, RSU)另一種則是車載機(On Board Unit, OBU)。傳統 WiFi 在 link 建立時，client 端會進行 channel scanning 的動作，並一一對每個 channel 發出 Probe Request 的封包，而 AP 在收到 Probe Request 時就會回應一 Probe Response 封包，掃描完可用通道後，client 在選定一 AP 並發送要求建立連線之 Association Request 封包，AP 收到該封包後回覆一 Association Response 封包，client 收到後連線才正式建立，如圖 8 所示。

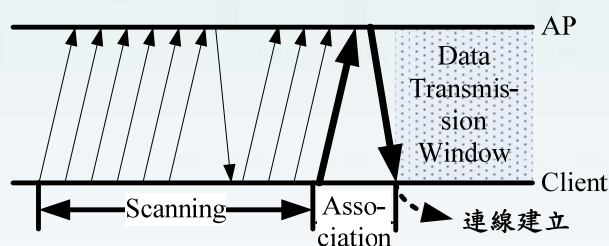


圖 8. WiFi 連線建立之程序

在 IEEE 802.11p 中，RSU 會週期性的在 control channel 中發送含有 channel 與 WAVE basic services set 訊息的 beacon 封包(此過程稱為 WAVE Announcement process)，而在 OBU 收到該 beacon 時就可自行決定是否加入該 RSU 所服務之 WAVE basic services set，如圖 9 所示。由於 802.11p 大幅降低連線建立時的 overhead，所以可以預期的是在車輛高速移動時，可大大增加 OBU 與 RSU 間資料的可傳送時間長度，圖 9 中顯示，OBU 在收到 RSU 所發出的 WAVE Announcement Frame 後，就可以決定是否加入該 WAVE basic services set。



圖 9. IEEE 802.11p 連線建立之程序

根據 IEEE 1609.4 標準中所訂，控制頻道(Control Channel)與服務頻道(Service Channel)同時間只能有一個運作，為了是讓單一無線模組的裝置能夠利用分時多工

的方式切換不同的頻道進而產生多頻道的功能，如圖 10 所示。

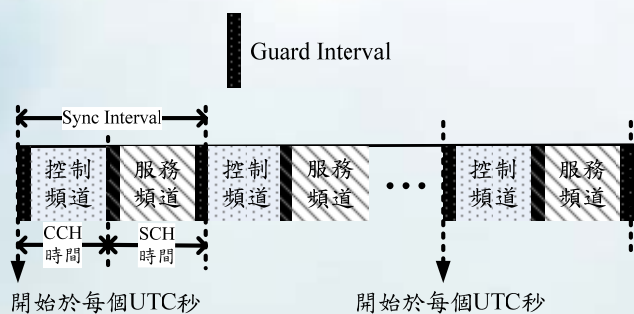


圖 10. 多頻道切換運作示意圖

在 IEEE802.11p/WAVE 的裝置中，一開始裝置會鎖定在控制頻道(CCH)中監聽，一直到裝置接收到 WAVE Announcement 封包後，並加入其服務之 WBSS 後，模組才會切換到多頻道運作模式，並在固定時間切換到服務頻道(SCH)，而切換之服務頻道是依據 WAVE Announcement 封包內所指定之頻道。而在 IEEE 1609.4 中指出，在每次頻道切換時必須有保護時間(Guard Interval)，用以相容因計時切換裝置的時間誤差及裝置切換頻道時的動作時間。在 IEEE 1609.4 中也指出，一個 CCH 區間與一個 SCH 區間合稱為一個 Sync 區間，在標準中暫定一個 CCH 與 SCH 區間皆為 50ms，所以一個 Sync 區間為 100ms，因此可以得知一秒中會有 10 次 Sync 區間。然而，不同裝置間要能在同一時間切換頻道尚需要不同裝置間的時間同步機制，而在 IEEE 1609.4 中訂定 WAVE 裝置是使用 UTC 時間[8]，並且 UTC 時間可由 GPS 取得，GPS 裝置通常具備 1 pulse per second (PPS) 的 UTC 訊號，而其誤差小於 100ns，並且在標準中指出，在每個 UTC 秒開始時需為一 Sync 區間的起始，如圖 10 所示。

4 結論

由各先進國階訂定了車間通訊的標準可看出，各國在規劃車間與車路 ITS 合作運作系統時，皆視 5.9GHz 之 DSRC 車載通訊為核心技術，並且都非常注重安全相關之應用，希望能藉由車間通訊來補足現今安全技術的不足，並發展出多車合作式行車安全系統，如此一來除可有效提高駕駛安全及整體通訊系統穩定性之外，亦可實現諸如行動電子收費、交通與道路資訊提供以及其他車載通訊的應用等，達到安全、便利與效率之目地，然而標準尚未定案，組織內的意見尚待整合。

在車間通訊中如何發展出能在高速移動時仍然確保一定效能的無線通訊模組是攸關車間通訊是否能成功的關鍵，並且在標準中的時間同步是使用 GPS 衛星訊號，然而在沒有 GPS 訊號時該如何解決同步問題亦是值得討論的議題。

誌謝

本研究承蒙經濟部予於補助(計畫編號：96-EC-17-A-31-F1-0816)，得以順利完成此研究，在此獻上最誠摯的謝意。

參考文獻

- [1] "IEEE P802.11p, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)"
- [2] IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-channel Operation. IEEE 1609.4, 2006.
- [3] IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services. IEEE 1609.3, 2006.
- [4] ETSI TR 102 492-1
- [5] ETSI TR 102 492-2
- [6] "FCC Report and Order 03-324: Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band," December 17, 2003.
- [7] "FCC Report and Order 06-110: Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band," July 20, 2006.
- [8] ITU-R TF.460-4 (1986), Standard-Frequency and Time-Signal Emission