



汽機車 混合車流 之車聯網防撞 邏輯與參數 之研究

A Study on Collision Warning Logic and Parameter by Using V2X for Mixed Traffic

許添本 Tien-Pen Hsu / 國立臺灣大學土木工程學系 副教授

蕭唯倫 Wei-Lun Hsiao / 國立臺灣大學土木工程學系 研究助理

機車是台灣交通環境的特色，然而因許多因素使得機車傷亡人數與持續成長，機車安全是極需面對的議題。國際上已有許多針對交叉口碰撞開發之車聯網防撞警示系統。然而歐美日各國交通環境與台灣差異甚大。因此需針對台灣的交通環境進行肇事與車流相關研究，以建構適合台灣交通環境之聯網車輛安全服務。本研究首先定義台灣易肇事事故類型，並探討事故原因、分析車輛於交叉口行為，最後建立防撞策略及提出符合台灣環境之相關參數。

Abstract

Unlike the traffic flow in western countries, mixed-traffic streams with high motorcycle traffic volume are very common in most Asian countries, especially in Taiwan, which has the greatest number of motorcycles ownership per person in the world. However, due to the mechanism and the mixed flow traffic environment, motorcycle safety has always been a hard issue. Many researches on connected vehicles using V2V, V2X for enhancing safety have been studied recent years. Therefore, this study first reviewed and studied traffic accident data to find the most critical accident type involving motorcycle in views to develop the collision warning logic using V2X, then investigated the cause of the accidents, conflict and traffic characteristics in the intersection, Finally, a collision prevention strategy for vehicles is proposed and the parameter is identified under mixed traffic environment.

前言

機車因機動性高、使用成本低且在台灣都市與交通規劃、產業發展等社會脈絡下，長期以來是台灣重要的交通工具。根據交通部「104年民眾日常使用運具調查」^[1]顯示，台灣的機車市佔率47.5%，為所有運具中最高，市佔率第二的自用小客車僅佔24.2%。若與全世界各國比較，根據世界衛生組織「2015年全球道路安全現狀報告」^[2]與台灣交通部統計，2017年台灣機車登機數為14,195千輛，相當於每千人持有582輛機車排名世界第一。然而因機車車體特性、易鑽行、易進入車輛視覺死角等特性讓機車在混和車流中面臨極大的安全問題。

圖1為2003至2016台灣汽機車數量與傷亡統計。機動車登記數呈現緩慢成長之趨勢，汽機車年平均成長率分別為1.97%與0.77%。而傷亡肇事數量則調查起始年逐年攀升，汽車於2011開始下降，機車則

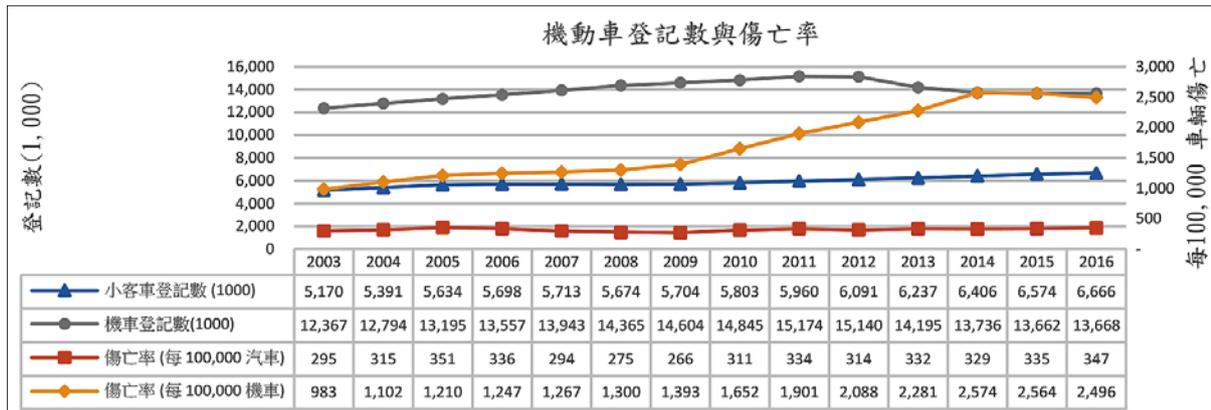


圖 1 汽機車車輛數與傷亡 (2003 ~ 2016 年)
(資料來源:交通部統計查詢網, 本研究繪製)

直至 2014 開始下降。汽車肇事傷亡率平均年成長率為 1.26%，機車肇事傷亡率平均年成長率則達 7.43%，高於機車登記年平均成長率。

交通安全改善工作著重在教育、工程、執法、管理四個面向。現階段在交通工程面向的改善包含道路幾何設計、標誌、標線、號誌等。正確的道路設計是交通安全的基礎，然而光靠道路設計仍無法完全避免人為失誤造成的事故，因此若透過車輛主動式安全輔助技術，將能進一步從「車輛」的角度改善交通安全。

國際上已有多項計畫針對路口防撞輔助系統的測試，如歐洲 Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems, CVIS 的路口碰撞警示，其中左右轉碰撞警示用於提醒駕駛者與直行車輛也可能有潛在碰撞機率^[3]。日本 Driving Safety Support Systems, DSSS 提供車輛左、右轉側撞、左轉穿越側撞等碰撞警示^[4]。美國 Connected Vehicle Pilot Deployment, CVPD 中 V2V 路口動向輔助、路口左轉輔助^[5]。由於台灣混合車流環境相較於歐美日本較均質的車流複雜，駕駛行為也各異，因此需

針對台灣的交通環境進行調查研究，以開發出符合台灣車流環境之道路安全輔助應用情境與其他功能。

本研究首先藉統計數據了解台灣肇事情形，以機車涉入各事故類型的頻率選定試驗車聯網防撞系統的優先順序，接著針對選定之事故類型分析肇事原因、道路設計對事故的影響以及車流行為，建立台灣常見之衝突情境，並進一步分析各情境之動態車流變化，作為系統參數、門檻設計之參考。

表 1 為 2013-2015 高雄市肇事類型統計，若排除無法辨識事故類型之「車與車其他」，機車涉入之事件特性異於平均，除了最高者同為側撞，次之為同向擦撞，追撞與交叉撞比例相當並列第三。由於肇事資料庫並未區分側撞類型，本研究另參考過去針對高雄市易肇事路口之肇事類型進行細部之統計^[6-8]如表 2，此統計結果將側撞依當事人行動狀態區分為右轉側撞、左轉側撞與左轉穿越側撞。結果顯示，機車涉入碰撞數量前三類型為右轉側撞、交叉撞與左轉穿越側撞。機車涉入事件占整題約六成。

表 1 2013 ~ 2015 高雄市機車與所有車種肇事類型統計

碰撞類型	車與車								失控	車與人	所有事故
	側撞	同向擦撞	路口交岔撞	追撞	倒車撞	對向擦撞	對撞	其他	自摔失控	撞行人	
機車	55,592	15,609	14,964	15,006	1,645	3,211	1,406	30,433	13,316	3,559	154,741
	35.93%	10.09%	9.67%	9.70%	1.06%	2.08%	0.91%	19.67%	8.61%	2.30%	100.00%
所有車種	69,026	24,634	17,207	38,500	8,941	4,520	1,616	43,576	17,093	5,964	231,083
	29.87%	10.66%	7.45%	16.66%	3.87%	1.96%	0.70%	18.86%	7.40%	2.58%	100.00%

(資料來源：全國肇事資料庫，本研究整理)

表 2 高雄市易肇事路口肇事類型統計

	交叉撞	右轉側撞	左轉穿越側撞	左轉側撞	追撞	擦撞	對撞	匯入撞	其他	小計
汽車-汽車	29	31	52	28	436	261	4	45	52	938
	0.85%	0.91%	1.53%	0.82%	12.82%	7.68%	0.12%	1.32%	1.53%	27.58%
汽車-機車	178	415	317	60	116	177	10	60	126	1459
	5.24%	12.21%	9.32%	1.76%	3.41%	5.21%	0.29%	1.76%	3.71%	42.91%
機車-機車	202	37	37	38	176	151	11	18	23	693
	5.94%	1.09%	1.09%	1.12%	5.18%	4.44%	0.32%	0.53%	0.68%	20.39%
其他	40	28	24	4	68	98	4	16	28	310
	1.18%	0.82%	0.71%	0.12%	2.00%	2.88%	0.12%	0.47%	0.82%	9.12%
全部車種	449	511	430	130	796	687	29	139	229	3400
	13.21%	15.03%	12.65%	3.82%	23.41%	20.21%	0.85%	4.08%	6.74%	100.00%
機車涉入	380	452	354	98	292	328	21	78	149	2152
	11.18%	13.30%	10.41%	2.88%	8.59%	9.65%	0.61%	2.29%	4.39%	63.30%

(資料來源：[6-8]，本研究整理)

綜合上述之分析，「車與車側撞」不論針對機車或所有車種，均占最大比例。故本研究接下來之防撞策略將以「車與車側撞」為研擬對象。「車與車側撞」根據車輛行動狀態，主要分為右轉側撞、左轉側撞、左轉穿越側撞，根據過去高雄易肇事路口統計，此三類比例約為 0.48、0.4 以及 0.12，左轉側撞占比較低，故本研究暫時將此碰撞排除。

另外考量右轉側撞與左轉穿越側撞發生位置，主要發生於號誌化故口，故本研究接下來將以號誌化路口之右轉側撞與左轉穿越側撞為研究對象，探討此二類肇事型態之碰撞過程、碰撞原因、常見情境之後進一步探討設計防撞策略所需之相關參數。

碰撞肇因分析與情境描述

本章結合過去針對高雄市易肇事路口之研究 [6-8]，利用包含現場圖描述、現場圖整理之碰撞構圖、實地會勘、肇事影像等資料分析歸納出肇事原因，並整理出可能碰撞情境，做為防撞策略建立之基礎。

右轉側撞

碰撞過程

右轉側撞為路口車輛右轉時與右側直行車之碰撞。將車輛移動拆解成 XY 座標，並加入時間軸，描述右轉側撞的過程如圖 2。A 車為右轉車，B 為其右側之直行車。碰撞過程中，假設 B 為等速直線前進，因此 X 座標隨著時間不變，而 Y 方向斜率不變。A 車位於 B 車左方因此 X 由一開始小於 B 接著漸漸靠近 B，Y 則表現出 A 車右轉時減速情形。

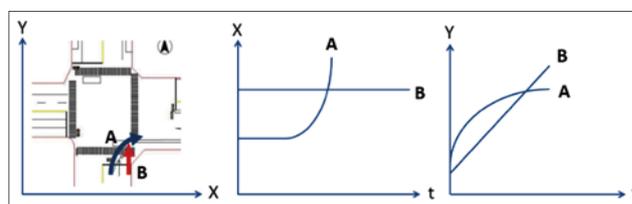


圖 2 右轉側撞 X-t 與 Y-t 圖

本研究亦分析實際肇事影像，將肇事過程中車輛速度與位置之變化加以數值化。右轉側撞分析案例為快慢分隔島路型，車輛於快車道右轉，並與慢車道機車產生碰撞。分析圖如圖 3。圖左為車輛變化軌跡，其中 $Y = 0$ 約為停止線處， $X = 7$ 為實體快慢分隔島位置。車輛由快車道右轉，慢車道直行車減速並未與右轉車碰撞，右轉汽車碰撞對象為直行汽車右側直行機車。圖右為三車輛速率變化，右上為原始速率判讀結果，由於影像解析度較低，在判斷車輛位置時產生誤差以致速率跳動幅度大，本研究以移動平均將本身前後各一點計算平均值得平滑曲線。速率圖中， $t = 6$ 為碰撞瞬間。

在事件中，右轉汽車以時速約 29 km/hr 接近路口（3 秒處），準備右轉後開始減速，至分隔島處時速約 19 km/hr（4.3 秒處）。此時（4.3 秒）直行汽車剛通過停止線，時速約 27 km/hr，直行機車在路口前 10 公尺，時速約 65 km/hr。隨後右轉車開始加速，行駛至直行車前時時速約 35 km/hr（5 秒處），此時右轉汽車與機車意識到彼此而開始剎車，但剎車距離不足最後仍相撞。在此事件中，右轉汽車與機車從開始剎車至相撞過程僅 1 秒。

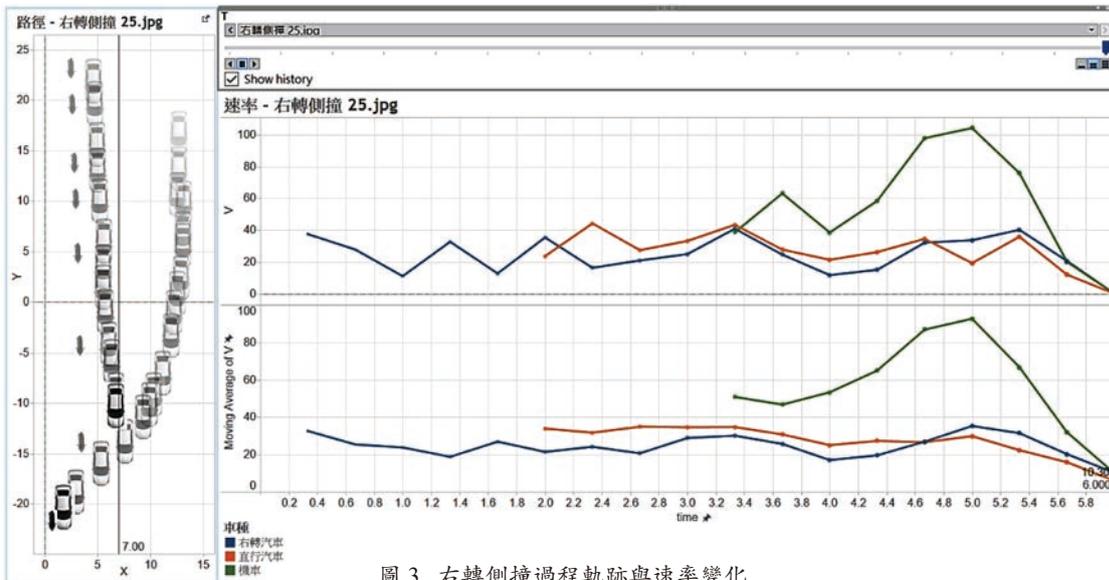


圖 3 右轉側撞過程軌跡與速率變化

碰撞原因

碰撞原因分為因環境因素而致使駕駛人易出現危險駕駛行為或提高駕駛難度的狀況以及駕駛本身的因素。環境因素可大致分為號誌管制、道路幾何設計、標誌標線設計等項目。本節分析右轉側撞中致使右轉側撞容易發生的道路設計因素以高雄市易肇事路口舉例以及其他駕駛本身行為因素。

- 快車道右轉

高雄市有部分路口設計為快車道允許右轉，而並未以號誌將快車道右轉車與慢車道分流（部分為不允許快車道右轉但仍有許多違規車輛），因此快車道右轉車需自行判斷右轉時機，除了衝突範圍較慢車道右轉大外，常見慢車道機車受其左側直行車阻擋而使快車道右轉車誤判的情形。

- 慢車道配置

高雄市部分道路設有「機慢車專用道」，機慢車專用道通常位於道路最右側，因此當路口並未以號誌將右轉車與直進車分流，則易發生右轉側撞。

另由於機車因內側車道禁行機車與習慣靠右等因素，通常行駛於道路右側，當車機車車流量大時，右轉車難以切換至右線右轉道，以至於路口直行車道違規右轉，形成與右側直進機車之衝突。

- 慢車道路口 30 公尺內設停車格與公車停靠區

在接近路口處劃設路邊停車格的道路使得右轉車難以切換至右線右轉道，而該空間仍足夠機車行駛，以至汽車違規於直行道右轉時，易與右側直行機車衝突。

- 號誌設計問題

號誌對右轉側撞的影響。此路口於右轉保護時相，而轉換回時相一允許時相時會產生右轉車與直行車之衝突。

右轉側撞原因分析整理於表 3。

碰撞情境

不同的道路環境、車流狀態對右轉側撞涉入車種與撞擊部位亦有影響。以右轉側撞常見涉入車種分類，根據本研究對高雄市易肇事路口涉入車種統計，右轉側撞涉入車種依照發生頻率，右轉車、直行車分別為汽車、機車；機車、機車；機車、汽車最後為汽車、汽車。

若以撞擊點分類，根據撞擊部位或抵達碰撞點的先後順序，可再將右轉側撞分為右轉車先抵達碰撞點與直行車先抵達碰撞點。右轉車先抵達的情境，通常機車為剛起步狀態或因機車意識到右轉車而減速，右轉車則無意識到直行機車，原因可能為右轉車本身無認知到其右側車輛進而判斷可直接右轉。此類情形亦可能為右轉車意識到直行機車仍未依路權讓直行車先行而強行超越後右轉。直行車先抵達的情境通常直進車車速快且或直進機車受其他車輛阻擋，而使右轉車並未認知到其右後方有直進車而產生碰撞。

導致上述不同型態右轉側撞的原因，與車輛及環境特性有關。若從駕駛面對道路事件反應從感知、判斷到行動三步驟區分右轉側撞情境，大致可分為如圖 4 所示。

表 3 右轉側撞原因分析

右轉／直行	原因	環境因素導致的人為間接因素
汽車／機車 機車／機車 汽車／汽車 機車／汽車	快車道可右轉	<ul style="list-style-type: none"> 右轉車路徑和直行車路徑相交，駕駛難度易造成衝突 直行車流量大、駕駛失去耐心易誤判
	道路右側設機慢車專用道	<ul style="list-style-type: none"> 衝突範圍大增加衝突機會（如慢車道直行汽車擋住其右側直行機車，右轉汽車注意直行汽車而未注意直行機車導致衝突）
	路口公車停靠區、停車格、違停車輛	<ul style="list-style-type: none"> 右轉車無法靠右，易與縫隙間鑽出之機車衝突
	右轉專用時相介間時間不足、號誌未分開右轉與直行車	<ul style="list-style-type: none"> 介間時間不足造成號誌轉換間搶快車輛與搶黃燈車輛衝突 號誌未分流在車流量大且可快車道右轉路口增加右轉車駕駛難度
	非正交道路	<ul style="list-style-type: none"> 流向混亂、駕駛易誤判或未注意右後方直行車
	車道寬度大且未導引右轉車走向	<ul style="list-style-type: none"> 駕駛於路口任意處右轉，若未考慮右側直行車輛則易有衝突
人為直接因素	右轉車未靠右 駕駛未注意 機車習慣靠右行駛 駕駛突然決定右轉忽略其他衝突因素 駕駛缺乏優先路權意識 其他違規因素	

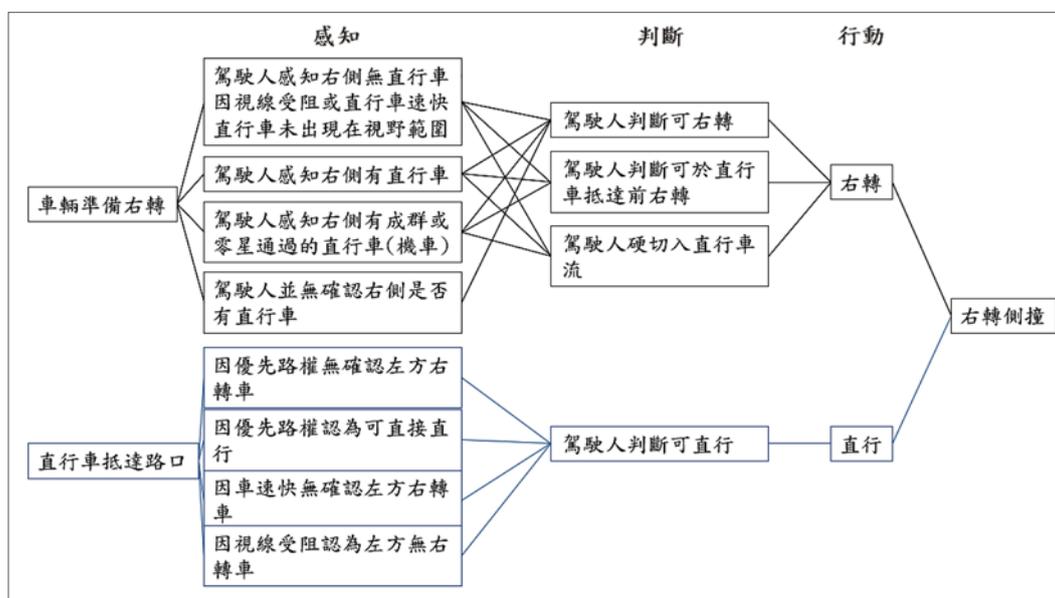


圖 4 右轉側撞感知、判斷、行動可能情境

以感知層及來說，可從無感知、未感知與錯誤感知到正確感知，對事件結果有不同程度的影響。而雙方駕駛所感知的道路狀態與駕駛能反應的時間，會影響接下來的判斷與行動，最後可能導致碰撞、衝突或安全狀態。

不同的道路環境下有不同車流樣態，不良的道路設計會增加駕駛錯誤感知或判斷，而車聯網防撞系統的目的即在路口給予駕駛正確的道路環境資訊，協助駕駛判斷路況。以下就高雄（台灣）常見的道路設計，包含幾何、道路配置、及號誌控制方式，以幾何及道路配置列舉常見右轉側撞之環境情境，並比較各路型設計對右轉車影響之差異，如表 4。

左轉穿越側撞

碰撞過程

左轉穿越側撞為車輛在路口左轉過程中與對向直行車之衝突。將車輛移動拆解成 XY 座標，並加入時間軸，描述右轉側撞的過程如圖 5。A 車為左轉車，B 為對向直行車。碰撞過程中，假設 B 為等速往路口前進，因此 X 座標隨著時間不變，而 Y 方向斜率不變。A 車位於 B 車右方，一開始等速前進接近路口，接著在路口中央停等左轉時機，接著左轉。

表 4 右轉側撞情境彙整

車輛右轉位置與路型	快慢分隔道路，快車道右轉	寬型混和車道右轉	右轉車道右側設有機慢車專用道或機慢車道
圖示			
車流與碰撞特性	汽機車混和車流分散於慢車道，當汽車於快車道右轉，同時慢車道寬度也足夠汽機車併行時，常見情況為汽車注意到慢車道汽車而未注意受汽車阻擋之機車而產生衝突。	汽機車混和車流分散於慢車道，由於車道寬度大又缺乏標線引導右轉車靠右，以及機車習慣行駛於右側，汽機車時常併行，使得汽車右轉時與其右側直行機車產生衝突。	設有機車專用道之機車集中於專用道；設有機慢車道之機車主要集中於機慢車道，部分分布於慢車道。由於機車行駛空間受限，直進機車大量集中於某處離開路口，增加汽車右轉困難。
常見碰撞車種	右轉車輛汽車；直行車輛機車 右轉車輛汽車；直行車輛汽車	右轉車輛汽車；直行車輛機車 右轉車輛機車；直行車輛機車	右轉車輛汽車；直行車輛機車 右轉車輛機車；直行車輛機車

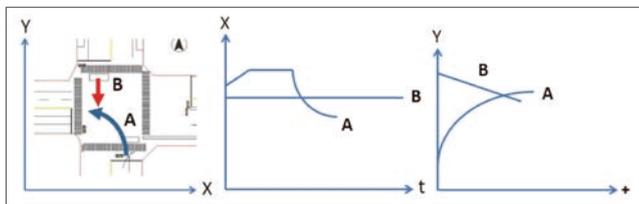


圖 5 左轉穿越側撞 X-t 與 Y-t 圖

碰撞原因

如同右轉側撞，左轉穿越側撞形成的原因分為由環境致使駕駛人的危險情況與危險行為，以及駕駛人本身的危險行為。本節以高雄市易肇事路口為樣本，從環境各個面向分析左轉穿越側撞之碰撞原因。

● 無左轉保護時相

以號誌分流，意即設左轉保護時相能直接避開左轉車與直行車衝突。在允許左轉時相中，左轉車駕駛須自行判定轉彎時機，當對向來車持續不斷通過路

口，又伴隨號誌即將轉換時，左轉駕駛異因心理因素導致判斷力下降。

● 無左轉輔助標線（左轉停等帶與引導線）

在道路交角特殊或較大的路口若缺乏停等帶與引導線會使左轉車輛沒有依循行駛方向進而與對向車產生衝突。左轉引導線與停等帶能讓左轉車輛於固定位置停等至安全接受間距再轉向，而不會受後方直行車之壓力而降低判斷能力。

● 路口寬度大

路口寬度直接影響左轉車面對衝突車輛的範圍，當路口寬度大駕駛較難全面掌握路況。同時因台灣混和車流狀況，對向機車直行若行駛於汽車或大型車輛後方，易成為左轉車駕駛視覺死角以致左轉車避開了第一輛車而與其右方之機車發生碰撞。

左轉穿越側撞之原因整理如表 5：

表 5 左轉穿越側撞原因分析

左轉／直行	原因	受環境因素影響之行動
汽車／機車 汽車／汽車 機車／機車 機車／汽車	缺乏標線（左轉引導線、停等帶）引導	● 缺乏引導增加駕駛難度
	缺乏保護時相	● 左轉駕駛須自行判斷左轉時機，當直行車流大左轉車易失去耐性而影響判斷。 ● 駕駛之接受間距不同
	道路寬度大	● 衝突範圍較大
	機車體型小易受阻擋	● 左轉駕駛見直行汽車減速而左轉未注意直行車輛右側之機車
	非正交道路	● 流向混亂、駕駛易誤判或較難注意對向來車
人為直接因素	駕駛未注意 直行車超速 駕駛未遵守優先路權 其他違規因素	

碰撞情境

在台灣三車道以上路口機車通常需兩段式左轉，因此左轉穿越側撞主要左轉車輛為汽車，直行車輛為汽車為機車，在較小的路口左轉車輛可為汽車或機車，直行車可為汽車或機車。

依照兩車相對速率也為兩撞擊部位，左轉車頭撞擊直進車身或直進車頭撞擊左轉車身。直進車先抵達撞擊位置的案例中，通常為左轉車一開始未注意直行機車，而在最後發現時來不及煞停而撞上直行車。如圖中案例，當時機車行駛於貨車右方，貨車減速讓左轉車先行，然而機車未減速，汽車因視線受貨車阻擋未注意機車因此與機車相撞。直行車撞上左轉車的案例中，通常為直行車速快或轉彎車判定之接受間距

短。由於直行車有優先路權，一般而言直行車判定轉彎車應讓直行車，若轉彎車未讓行，或在極小的間距下通過易導致此類碰撞。

在車輛準備左轉或直行車抵達路口前，依據感知、判斷與行動三步驟，可能情境如圖 6。如同右轉側撞，每事件最後結果取決於兩駕駛對周遭環境感知的層級與當時距離兩車接近的時間。可能致使左轉穿越側撞發生的感知從未感知、錯誤感知知道正確感知分為若干層級，判斷對左轉車而言分為感知認為無對象直行車因此可左轉、判斷可無直行車抵達前左轉以及駕駛判斷直行車會讓行等三情境。

在不同情境組合下所引起的左轉穿越側撞，依照道路環境以及騎車留樣態可再細分為兩類，如表 6。

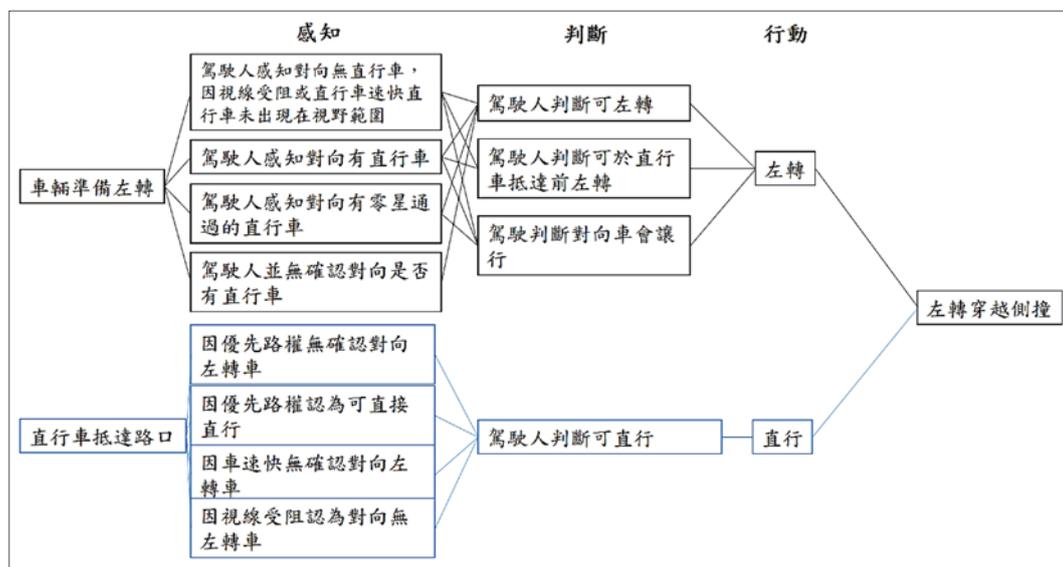


圖 6 左轉穿越側撞感知、判斷、行動可能情境

表 6 左轉側撞情境彙整

車輛右轉位置與路型	機車兩段式左轉	機車直接左轉
圖示		
車流與碰撞特性	路型較寬，通常包含汽車道與混和車道，左轉車經過之衝突範圍較大。在直行側騎在汽車或大型車右後方之機車易受阻擋未被左轉車察覺而碰撞。在較大型路口若車速快時，左轉車若錯誤判斷接受間距易導致碰撞。若考慮特殊情形，部分路口因交角或道路配置問題易誘使機車直接左轉，對向直行車可能在未意識到有左轉機車的情形下與左轉機車相撞。	此路型路幅較窄，機車可直接左轉，兩車道均為混合車道。左轉汽機車可能直接面對之直行車為汽車或機車。
常見碰撞車種	左轉車輛汽車；直行車輛機車 左轉車輛汽車；直行車輛汽車	左轉車輛汽車；直行車輛汽、機車 左轉車輛機車；直行車輛汽、機車

防撞策略擬定

經由前章分析台灣兩大汽機車肇事類型－右轉側撞與左轉穿越側撞之碰撞過程、從道路設計探討肇事發生原因以及可能碰撞情境後，本章據此建立適用於台灣道路交通環境之防撞邏輯。

對駕駛人的提示方式分為三個等級，第一為情報提供，為道路上訊息提供，目的為維持安全駕駛；第二為喚起注意，當駕駛人行駛到特定位置、執行特定操作時會觸發第二級提示；第三為警報，在系統判定會有碰撞可能時警報響起。第二三類提示目的為迴避危險狀態。

防撞邏輯

右轉側撞以系統輔助判斷右轉車右側及右後側是否有直行車輛或即將接近之直行車輛；而左轉穿越側撞邏輯則判斷左轉車對向是否有直行車接近，並依嚴重度提供駕駛警訊。右轉側撞及左轉穿越側撞之邏輯如圖 7 及圖 8。防撞系統針對通信範圍機車過濾，對於不會產生衝突之機車則不提供訊息給轉彎車，而對存在碰撞風險的機車根據風險程度提示轉彎車與機車。

本研究擬定之防撞系統根據車輛預期之交會狀態，以後侵佔時間秒數分為三類，系統提示則分為二等級。第一類交會狀態為後侵佔時間大於 3 秒，此類歸類為非衝突事件，系統不會產生提示；第二類事件後侵佔時間小於等於 3 秒大於 0 秒，屬於衝突狀態，系統對汽車駕駛人產生警告 (HMI 1)；第三類事件為後侵佔時間等於 0 秒，代表即將碰撞，系統對汽車駕駛人產生第二級警告 (HMI 2)，機車亦提供碰撞警示。

其中「衝突狀態」表示兩車在該狀態下交會之碰撞風險較高，本研究以後侵佔時間 (Post encroachment time, PET) 來表達衝突事件。後侵佔時間定義如圖 9，為兩車經過軌跡交會點的時間差 $t_2 - t_1$ ，由事件發生後調查而得。然而應用在防撞系統中，則須對兩車之交會事件進行預測，為簡化系統設計，本研究界定轉彎車與直進車之衝突區域為固定交會位置，根據轉彎車與直進車當下速率計算抵達該區時間差進行後侵佔時間預測。區分一般事件與衝突事件之後侵佔時間門檻，本研究根據過去高雄市易肇事路口之後侵佔時間與肇事事件調查關聯性，以 3 秒為衝突門檻之關聯性最高，故定為 3 秒。

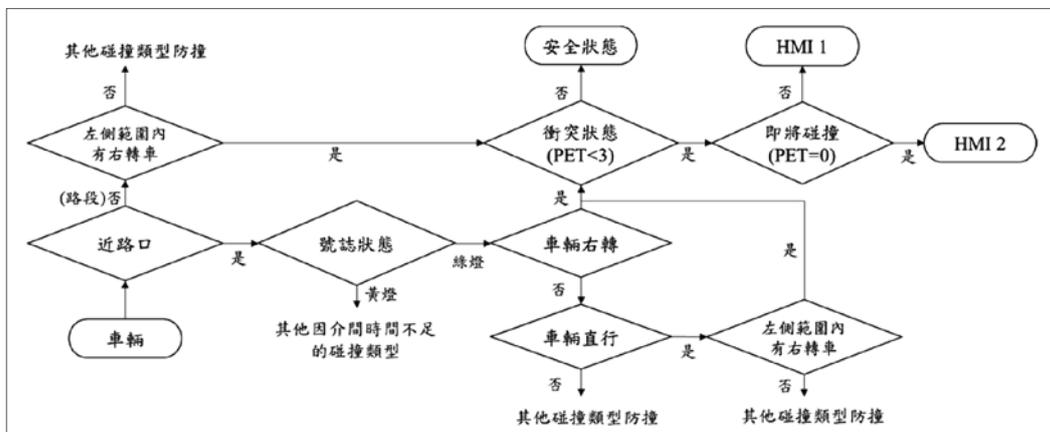


圖 7 右轉側撞防撞邏輯

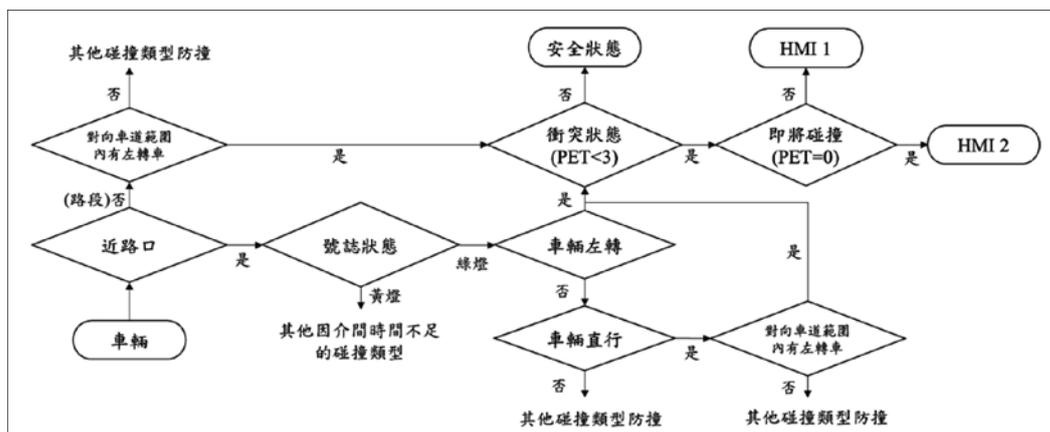


圖 8 左轉穿越側撞防撞邏輯

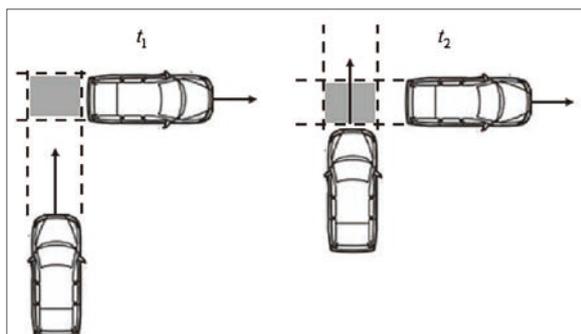


圖 9 後侵佔時間示意

防撞邏輯參數

在防撞邏輯中，尚須對於狀態的描述給予量化定義。第一個參數為近路口之定義，在日本防撞系統中，當車輛接近路口至停止線前 30 公尺，且車輛以方向燈表示轉彎方向，則啟動防撞系統。本研究需針對台灣交通狀況訂定啟動防撞系統之位置。第二個參數為直行車左或右側範圍內是否有轉彎車範圍定義，日本以速限 +10 與系統及反應時間 4.1 秒訂定通信區域

($L = V \times T$)，當車輛位於通信區域即會傳送訊息給轉彎車輛。本研究以相同方法決定車輛通信範圍，但須研究台灣之車流狀態以決定採用之速限之緩衝值。^[10]

參數設定

本研究以錄影調查及影像處理軟體分析台灣車流與駕駛行為以訂定防撞系統之參數。

車流調查與分析

車流分析項目如前章所述，第一為啟動防撞邏輯之位置，第二為車輛行駛速率以決定訊息交換範圍。本研究根據高雄市易肇事路口統計，以空拍方式調查易發生右轉側撞與左轉穿越側撞之路口之車流行為，再用半自動影像分析軟體分析車輛每個時點之位置，以求得速率及在道路上之行駛位置變化。本次調查之路口及時間及各路口對應之肇事型態如表 7。錄影調查範圍為從路口起算至停止線上游 100 公尺，部分路口因巷弄出入口未達 100 公尺，空拍圖例如圖 10。

表 7 調查路口碰撞構圖

調查交叉口與時間	碰撞構圖	道路分支 研究目標
高雄市中山一路七賢二路：		右轉側撞： 東、西側分支 • 右轉車道右側設機慢車道 • 速限 50 公里/小時
高雄市中山西路澄清路：		左轉穿越側撞： 西側分支 • 無左轉保護時相 • 直左共用車道 • 速限 50 公里/小時
高雄市龍德路博愛一路：		左轉穿越側撞： 南側分支 • 無左轉保護時相 • 直左共用車道 • 速限 50 公里/小時

(資料來源：[6-8] 本研究整理)



圖 10 中山一路七賢二路空拍圖

車輛軌跡

(1) 右轉車分析

右轉側撞軌跡如圖 11。橘色為小汽車軌跡，藍色為公車軌跡。從軌跡可看出小汽車行駛離路緣較遠，形成衝突區域較大，對機車威脅較高。個別分析汽車與公車如圖 12 與圖 13，圖中 x 軸與 y 軸分別代表道路雙向分隔線與停止線，x 軸上虛線表示各車道線。x、y

軸之單位為 1,000 公分即 10 公尺。

由分析可知，右轉公車行駛位置主要位於最外側及外側第二車道；右轉小汽車主要位於外側第二車道及第三車道。右轉車於車道行駛時速約 30 ~ 40 公里，即將轉彎時，時速降至 10 ~ 20 公里。車輛準備右轉時，約與停止線前 20 公尺開始變換車道，至停止線前 10 公尺駛入最外側車道，此處也是汽機車衝突位置。

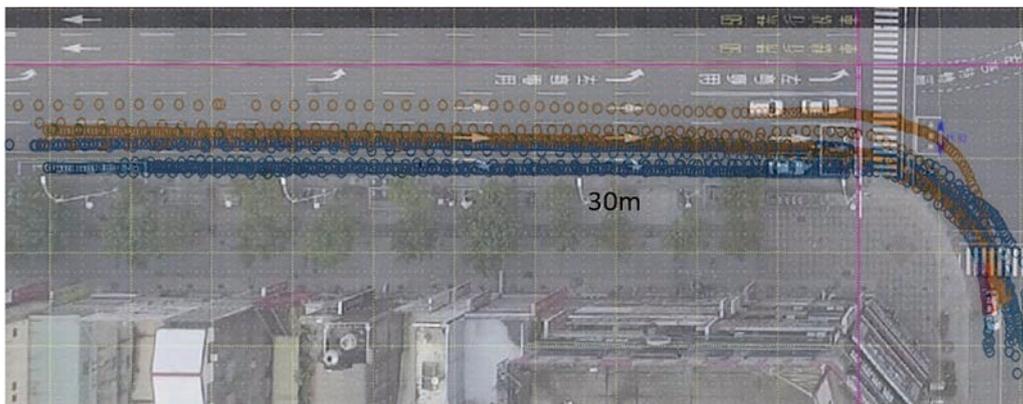


圖 11 中山七賢南側分支右轉車輛軌跡

右轉車軌跡 - B

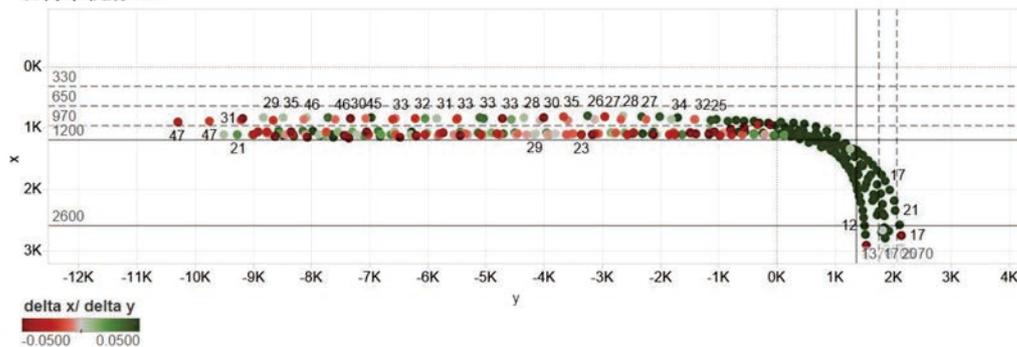


圖 12 中山七賢南側分支右轉公車軌跡、速率與位置偏移

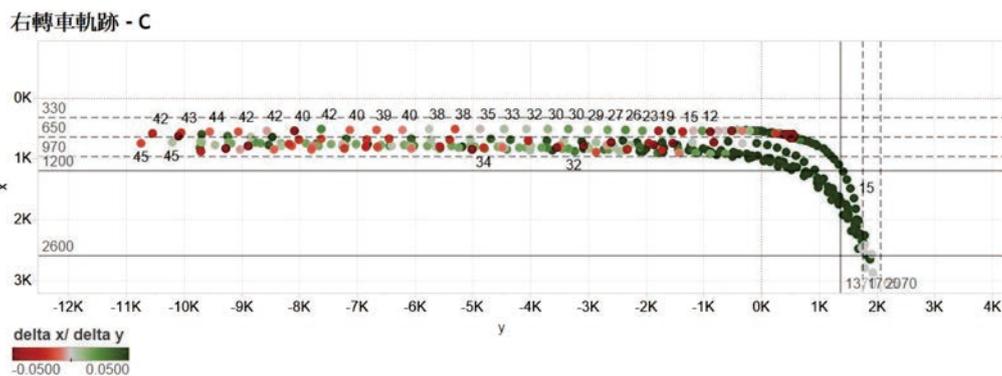


圖 13 中山七賢南側分支右轉小汽車軌跡、速率與位置偏移

(2) 左轉穿越側撞

左轉車軌跡與速率如圖 14。圖中 x 軸為右側分支雙向車道分隔線，y 軸為駛入車道中央分隔島。車輛與路段行駛時，時速約 30 公里，準備轉彎時及轉彎時時速約 10 ~ 20 公里。由轉彎位置可知，大部分轉彎車輛會駛入進入分支之內側車道。

區段速率變化

區段速率變化調查直行車與路段行駛時之速率變化。以停止線前每公尺（黃實線）為區間分別調查汽

機車各區間內之平均速率，如圖 15。調查之道路速限為 50 公里/小時，調查之車輛為去除號誌之影響，當受號誌轉變減速以及因綠燈才啟動之車輛不列入調查。

機車調查結果如表 8。機車之平均時速介於 38 至 45 公里，85 百分位介於 48 至 55 公里。機車在路段之速率大致隨著接近停止線而下降，然而在停止線前 50 ~ 60 公尺處略為上升。在路段中平均速率最高區間與最低區間時速相差約 6 公里，以 85 百分位分析，時速最高從 55 降至停止線前 48 公里。

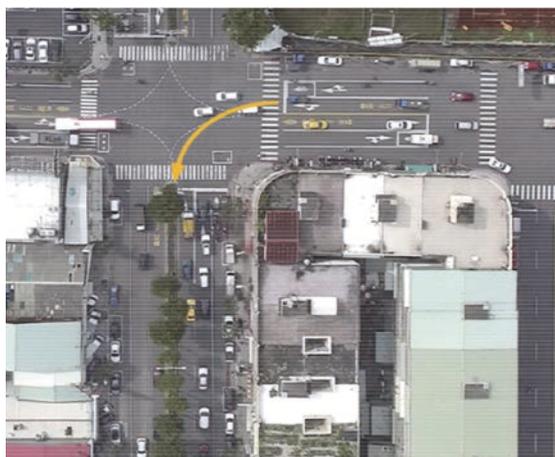
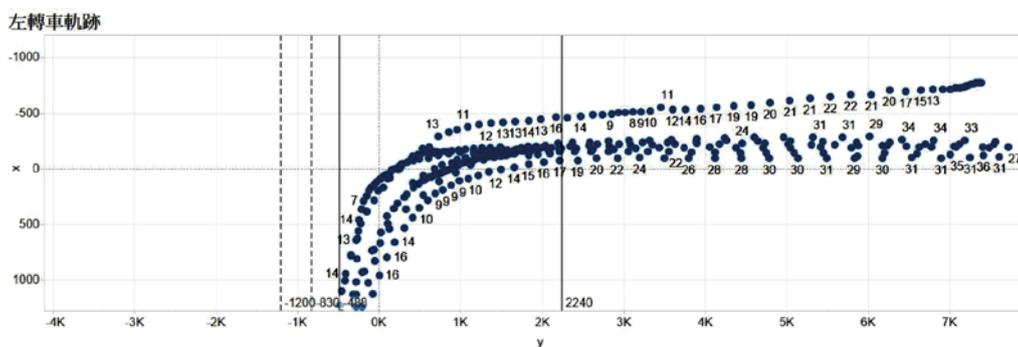


圖 14 中山西路澄清路西側分支左轉車軌跡與速率

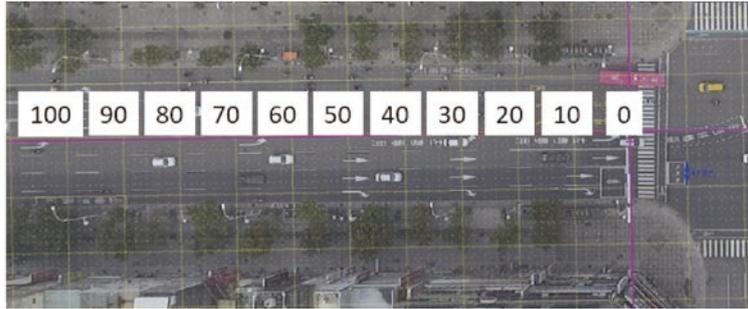


圖 15 區段速率調查示意

表 8 機車區段速率調查結果

停止線前位置 (m)	100~90	90~80	80~70	70~60	60~50	50~40	40~30	30~20	20~10	10~0
平均速率 (km/hr)	43.1	44.2	43.9	43.3	43.5	43.1	42	41.6	40.1	38.3
最大值 (km/hr)	77.6	88	79.3	77.3	80.1	73.8	74.5	79.2	71.1	67.1
最小值 (km/hr)	17.8	17.4	17.5	22	22.7	25.8	21.6	18.6	15.9	16.5
85 百分位 (km/hr)	53.8	54.9	55	54.4	53.4	54	51.5	51.1	50	47.7

汽車區段速率調查結果如表 9。汽車路段平均速率介於 35 至 40 公里，85 百分位速率介於 42 至 45 公里，低於速限之 50 公里。汽車之速率變化隨著接近路口至停止線前 30~20 公尺處最低，隨後稍微加速離開路口。從最高速至對低速以平均速率來看相差約 5 公里。

比較汽車與機車之調查結果，機車平均速率、速率之變異較汽車大。兩者均在路段中央稍微加速，行

駛至停止線處，機車速率下降而汽車則略升，顯示機車在路口處可能受到其他車輛干擾減速，而汽車則稍微加速離開路口，顯示受其他車輛干擾較小。

區段內速率分布

本節分析每 10 公尺內車輛之速率分布，圖 16 為統計結果示意，由於篇幅較大故省略以文字說明。

表 9 汽車區段速率調查結果

停止線前位置 (m)	100~90	90~80	80~70	70~60	60~50	50~40	40~30	30~20	20~10	10~0
平均速率 (km/hr)	39.9	39.1	38.5	37.4	37.4	36.5	35.8	34.6	34.7	36.1
最大值 (km/hr)	59	58.2	57.3	58.7	58.2	57	58.6	55.5	53.9	52.8
最小值 (km/hr)	29.1	28.9	24.8	19.7	23.9	24.9	22.8	17.4	19.1	20.6
85 百分位 (km/hr)	44.5	45	44.5	44.2	45	43.6	43.5	43.1	42.9	43.7

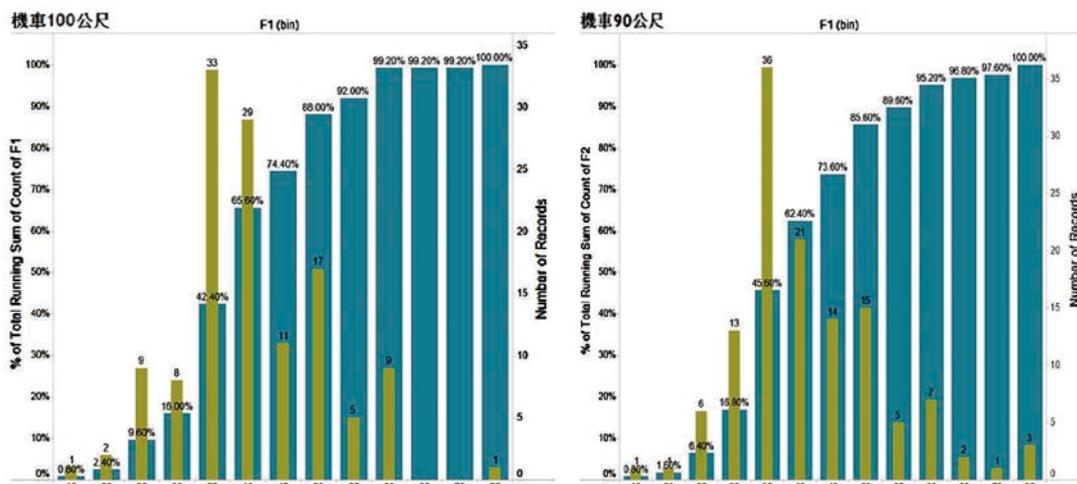


圖 16 機車區段內速率分布與累積百分率示意

統計結果顯示，機車各區段內行駛之眾數介於 35 ~ 40 公里間，然而機車速率之變異大最高速可達近 90 公里，最低速約 15 公里。將區段內速率結果整理如表 10。分析速限加 5 與加 10 涵蓋之車輛百分比，各區段 84.8% ~ 96.0% 之機車行駛速率 ≤ 55 km/hr；各區段 89.6% ~ 98.4% 之機車行駛速率 ≤ 60 km/hr。

汽車各區段內行駛之眾數與機車相同，介於 35 ~ 40 公里間，然而汽車速率變異較機車小，最高時速可約 20 公里，最低時速約 17 公里。將以上結果整理如表 11。各區段 97.4% ~ 100% 之汽車行駛速率 ≤ 55 km/hr；各區段 100% 之汽車行駛速率 ≤ 60 km/hr。

參數訂定

經由上節之研究分析，右轉車與停止線前 20 公尺開始變換車道，並與停止線前 10 公尺進入衝突區域，建議將系統開始作用位置定於停止線前 30 公尺，除提供駕駛人 10 公尺之緩衝區間應變道路狀況外，30 公尺亦為台灣交通規範中轉彎車打方向燈示意之位置。

第二評估參數為系統中速限的緩衝值。根據調查本研究建議偵測範圍為停止線前 90 公尺。

在訂定參數後，對於以衝突程度決定是否提供機車訊息給汽車之邏輯可進一步具體化為計算方式。速率下界為提供訊號之機車最小速率，因低於該速率之機車不會與汽車發生衝突，故可忽略。並且依據實際車流環境設定不同的衝突時參數，例如，本研究初步建議以 3.4 為衝突門檻 3 秒 + 訊息提供時間與延滯 (0.3 + 0.1 秒)，為可避免衝突之後侵佔時間。上界則

代表即將碰撞之速率，因兩車抵達衝突位置之時間點相同，故此時會以第二級警告提示汽車與機車。高於上界表示機車將先抵達交會預想位置，此時提供汽車警示讓機車先行。等式左邊為已知，系統判斷時，會根據直行車之位置得到該提供警示之速率，並以此速率決定是否提供機車資訊給汽車，或亦須警告機車即將發生碰撞。

$$\text{速率下界} = \frac{\text{至衝突位置距(停止線前10 m)}}{V_{\text{右}}} + 3.4 = \frac{\text{至停止線前10m距}}{V_{\text{直}}}$$

$$\text{速率上界} = \frac{\text{至停止線前10m距}}{V_{\text{右}}} = \frac{\text{至停止線前10m距}}{V_{\text{直}}}$$

左轉穿越側撞之計算方式如下：

$$\text{速率下界} = \frac{\text{至衝突位置距}}{V_{\text{左}}} + 3.4 = \frac{\text{停止線距} + 3}{V_{\text{直}}}$$

$$\text{速率上界} = \frac{\text{至衝突位置距}}{V_{\text{左}}} = \frac{\text{停止線距} + 3}{V_{\text{直}}}$$

在汽車左轉過程中，整個路寬 2 的範圍都可能為碰撞地點，因此在系統設計上，汽車離衝突地點距離採汽車離交錯預想區域最近之左側之虛線開始，而對機車而言則從交錯預想區域之右側開始。式中 3 公尺為道路設計規範中停止線離路緣最短距離，因此機車離交錯預想地點為距離停止線 + 3 公尺位置，亦可使用距離路緣位置代替。

表 10 區段機車速率分布統計

位置 (m)	100~90	90~80	80~70	70~60	60~50	50~40	40~30	30~20	20~10	10~0
85 百分位速率 (km/hr)	53.8	54.9	55.0	54.4	53.4	54.0	51.5	51.1	50.0	47.7
50 km/hr (道路速限) 涵蓋百分比	74%	74%	77%	78%	72%	78%	78%	84%	85%	90%
55 km/hr 涵蓋百分比	88%	86%	85%	86%	88%	89%	94%	93%	96%	95%
60 km/hr 涵蓋百分比	92%	90%	92%	93%	94%	94%	95%	96%	98%	98%

表 11 區段汽車速率分布統計

位置	100~90	90~80	80~70	70~60	60~50	50~40	40~30	30~20	20~10	10~0
85 百分位速率 (km/hr)	44.5	45.2	44.8	44.2	45.0	43.7	43.5	43.1	43.1	43.8
50 km/hr (道路速限) 涵蓋百分比	95%	95%	97%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	95%
55 km/hr 涵蓋百分比	97%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	98%	100%	100%
60 km/hr 涵蓋百分比	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

結論

本研究首先藉統計數據了解台灣肇事情形，在機車涉入的肇事類型中，「車與車側撞」為主要肇事類型。進一步以車輛轉向及兩車相對方向細分側撞，選定「右轉側撞」與「左轉穿越側撞」作為本研究肇事分析與防撞策略擬定標的。考量兩類肇事發生位置主要於號誌化路口，故本研究分析之環境為號誌化路口。

右轉側撞肇因主要為汽車右轉時未靠右並讓自行車先行，在工程上易使右轉駕駛違規的原因包含，允許快車道右轉、過寬的混和車道以、設置於道路右側之機慢車專用道及近路口的公車停靠區、路邊停車格等，此外道路交角亦會影響駕駛對後方來車之判斷。左轉穿越側撞衝突範圍與對向道路寬度相關，在較寬的道路須有左轉導引線、停等帶等輔助左轉汽車，機慢車道的設置易使機車分布於道路右側，導致機車被其左側汽車擋住，使對向左轉車錯誤判斷來車情形。在左轉車流大的道路則需以號誌直接將左轉車與其他車輛分流。

防撞系統的功能在於輔助轉彎駕駛判斷衝突方向來車狀態，並給予適當警示提示駕駛人。本研究擬定之防撞系統根據車輛預期之交會狀態，以後侵佔時間秒數分為三類，系統提示則分為二等級。第一類交會狀態為後侵佔時間大於 3 秒，系統不會產生提示；第二類事件後侵佔時間小於等於 3 秒大於 0 秒，系統對汽車駕駛人產生警告 (HMI 1)；第三類事件為後侵佔時間等於 0 秒，代表即將碰撞，系統對汽車駕駛人產生第二級警告 (HMI 2)，機車亦提供碰撞警示。

邏輯架構訂定後，尚需定義參數本研究以空拍方式調查台灣車流環境已訂定此二參數，調查內容包含車輛移動軌跡，路段內車輛之速率。

車輛移動軌跡之調查用於訂定防撞系統啟動時機，根據調查顯示，右轉車多於停止線前 20 公尺開始變換車道，停止線前 10 公尺為衝突區域，此外根據台灣法規，轉彎車需於停止線前 30 公尺打方向燈示意，因此本研究建議防撞系統啟用位置於停止線前 30 公尺開始以提供駕駛足夠緩衝位置反應。

誌謝

本文為經濟部補助資策會的聯網智慧車載服務系統與應用發展計畫中的學界合作計畫的交通事故資料分析研究案的研究成果之一，特此致謝。

參考文獻

- 交通部 (民國 104 年)。民眾日常使用運具調查。
- Toroyan, T. (2013). Global status report on road safety 2015. Supporting a decade of action. Geneva: World Health Organization, Department of Violence and Injury Prevention and Disability.
- European Commission. Retrieved from: <https://trimis.ec.europa.eu/project/cooperative-vehicle-infrastructure-systems>, 20 March, 2018.
- UTMS Society of Japan. Retrieved from: <http://www.utms.or.jp/english/system/dsss.html>, 20 March, 2018.
- US Department of Transportation. Retrieved from: https://www.its.dot.gov/pilots/cv_pilot_progress.htm, 20 March, 2018.
- 許添本等，2013 年高雄市易肇事路口改善研究案，期末報告，高雄市政府交通局，2013 年 12 月。
- 許添本等，2014 年高雄市易肇事路口改善研究案，期末報告，高雄市政府交通局，2014 年 12 月。
- 許添本等，2015 年高雄市易肇事路口改善研究案，期末報告，高雄市政府交通局，2015 年 12 月。
- 許添本等，混合車流情境之機車交通安全工程設計方法研究驗證與推廣，期末報告，交通部運輸研究所，2016 年 12 月。
- 國土交通省自動車交通局先進安全自動車推進檢討會。(2011) 先進安全自動車 (ASV) 推進計畫報告書。

土水學會有 Line 官方帳號囉！敬邀您的加入 ~

學會訊息多元，且迅速便捷，加好友您就不怕漏掉訊息囉！

為推廣土木水利產學發展，學會舉辦各種研討會、工程參訪、競賽及國內外交流等相關活動。近年更積極培養年輕新血，嘗試多種創新，包含設立 Line 官方帳號，以促進交流。請記得時常關注我們的最新訊息及動態。

有任何意見也很歡迎批評指教，請多利用 Line 官方帳號留言給我們。

感謝支持！您我同心協力，一起開創未來！

好友募集中

LINE@

社團法人
中國土木水利工程學會

1 立即掃描行動條碼

2 ID搜尋加入好友
@vef0316n

加入好友就能獲知好康消息！