

混合車流中汽車防撞策略之研究---以視覺模擬為例

Visual Simulation of Collision Avoidance Effect Under Mixed Traffic With Motorcycle

許添本(Hsu, Tien-Pen)¹ 周玉如(Chou, Yu-Ju)²¹

摘要

應用通訊與控制技術之防碰撞系統 (Collision Avoidance System, CAS)，能輔助駕駛人控制車體，提高駕駛人的洞察力，達到提昇道路安全的目的，然系統控制策略之相關研究多著眼於發生在汽車與汽車間之事故特性，國內混合車流環境對行車安全深具威脅，發展防碰撞系統的控制策略時，若無考量汽機車間之衝突特性，將影響防碰撞系統的實行效益甚鉅，同時有鑑於目前汽車之防碰撞系統技術發展較純熟，本研究將構思一配備於汽車車體，但考慮機車混合車流特性之防碰撞系統的控制策略。

關鍵詞：視覺模擬、防碰撞系統、防撞策略

In Taiwan, the motorcycle is a main mode of daily traffic with 40% of traffic composition. There are more than ten million motorcycles owned by twenty-three million populations in Taiwan. It illustrates a highest ownership density of motorcycle over the world. Basing on the accident experience in Taiwan, the collision avoidance system of the automobile will be damaged when the car drives within a dense motorcycle flow, unless that the collision avoidance strategy or criterion in a collision avoidance system has taken the conflict features between automobile and motorcycle into consideration. In this paper, the accident data is analyzed to understand the accident feature between car and motorcycle. The conflict type on the street will be field observed to generate the collision avoidance strategy basing on a two-dimensional prediction algorithm. For assessing the performance with the new concept a visual simulation model was developed. On it, one can drive motorcycle and/or car within the mixed traffic flow. Through a number of experiments conducted by various drivers drive the car with collision avoidance system in the visual simulation circumstance, the performance and possible improvement suggestion for enhancing the car collision avoidance system is proposed.

一、緒言

根據民國 89 年全國肇事資料分析顯示，以肇事車種區分，肇事率最高者為汽車，佔 52%，機車居次，佔 22%，但若以肇事之涉入車種組合細分之，可發現「汽車與機車」佔汽車總肇事件數之 32%，機車總肇事件數 81%之多，突顯出國內混合車流環境對汽機車行車安全之威脅性。因此，本研究將深入分析汽

¹ 台灣大學土木工程學系副教授

² 台灣大學土木工程學系交通工程組碩士

機車之肇事特性、據以擬定適用混合車流之防碰撞控制策略 (control strategy)，並因應控制策略之需要，發展混合車流之碰撞可能性判斷方法。

二、肇事特性分析

交通衝突與肇事分析，為衡量行車安全性之重要指標。本研究首先以理論分析汽車與機車於路段(非號誌化路口處)行駛時，以肇事車輛行動狀態之組合，系統化地定義交通衝突的種類，並以實際之汽機車肇事資料，統計何種交通衝突發生肇事之比率最高，以做為肇事分析之基礎，便於防碰撞系統功能需求之訂定。

2.1 交通衝突分類

首先，本研究定義路段為非號誌化路口處，主要分析對象為幹道，與幹道相交之道路，且無設置號誌者，稱為支道。依據關連車種原處車道之關係與車流運行方式，路段交通衝突可分為四類，包括同向衝突、支道併入衝突、支道穿越衝突、對向衝突。本研究依車輛之行動狀態重新定義了路段衝突狀況，進一步將定義出每種交通衝突可能引發之潛在事故型態。以下為本研究中所採用之交通衝突分類方式之說明。並配合圖 1 說明之：

1. 同向衝突：

關連車種在同一幹道上，處在相同車流運行方向者，為同向衝突。如圖中 B 車與 C 車之關係。

依關連車種之行動狀態不同，同向衝突又可分為八種衝突狀況：同向直行衝突、同向左轉衝突、同向右轉衝突、同向直行停等衝突、同向直行超越衝突、起步直行衝突、迴轉衝突、倒車衝突等共 8 種衝突狀況。

2. 對向衝突：

關連車種在同一幹道上，處在相對車流運行方向者，為對向衝突。如圖中 A 車以 1 方向行進，C 車以 5 方向行進。

對向衝突，依幹道上之對向車輛之行動狀態區分為兩類：對向偏移衝突、對向左轉衝突。

3. 支道併入衝突

關連車種分別位於幹道、與支道上，位於支道車輛運行方向欲由支道匯入幹道者，而後與幹道上之車輛同一車流運行方向者，稱之支道併入衝突。如 C 車以 5 方向行進，而 D 車以 4 方向行進；又如 A 車以 1 方向行進，而 D 車與 2 方向行進。

支道併入衝突主要存在右側匯入衝突，即支道之車輛處於右轉狀態中，準備匯入幹道，與關連車種同行進方向，而幹道上之車輛為向前直行中，稱為右側匯入衝突，潛在事故型態為支道匯入側撞、右側交岔撞。

4. 支道穿越衝突

關連車種分別位於幹道、與支道上，支道上之車輛欲由幹道之右方(或左方)穿越幹道至左方(或右方)者，或支道上之車輛欲由支道穿越幹道車流至幹道，而與幹道上之車流運行方向逆向者，稱之支道穿越衝突。如 C 車以 5 方向前進，而 D 車以 2 或 3 方向前進。

支道穿越衝突，依支道上之車輛之行動狀態區分為兩類：右側穿越衝突、左轉穿越衝突。

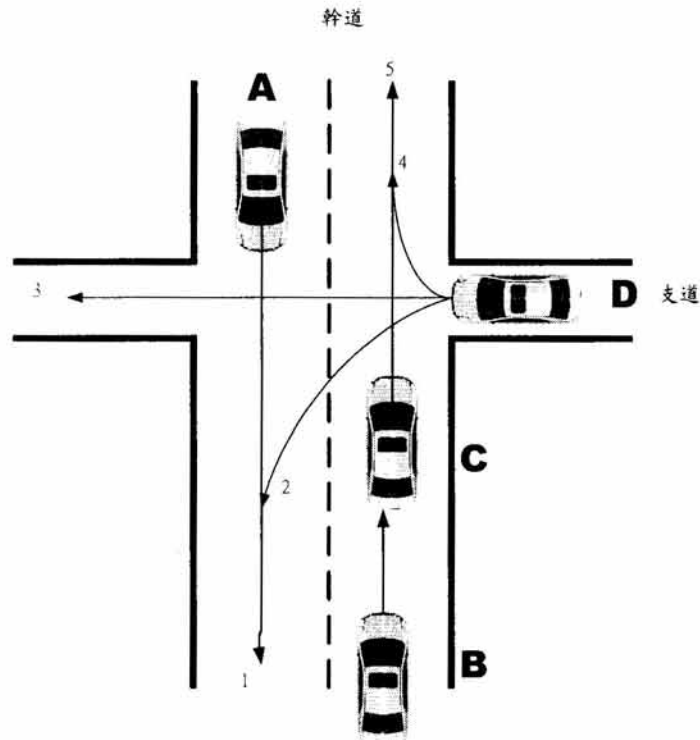


圖 1 交通衝突分類示意圖

2.2 肇事資料分析

本研究之肇事資料係採用台北市政府警察局交通大隊登記有案之交通肇事案件之原始調查表資料，以半年之肇事樣本（民國八十五年一月份至六月份）。

由於本研究主要在探討發生於汽機車間肇事，因此由道路交通事故調查報告表中逐一篩選肇事關連車種為汽車與機車者，且發生在非號誌化路口者。共 822 件。依 3.3 中定義之交通衝突分類方法，統計整理出各類衝突之肇事件數，與肇事比例。

統計結果顯示，同向衝突佔 78.22%，此主要事故型態，皆為同向直行擦撞、與同向直行追撞，這顯示當車輛在向前直行中時，或停等時，可能與其他車輛發生縱向碰撞(追撞)，或側向碰撞(擦撞)，此特性與混合車流之駕駛特性有關，在前進速度上帶有偏向角，因此，路段上之防碰撞系統，必需能同時具有縱向防碰撞與側向防碰撞之功能，才不會導致防碰撞系統效益之損失。

基於上述分析，本研究針對路段之同向衝突特性，考量混合車流之二維行駛特性，擬定具有縱向防碰撞與側向防碰撞功能之系統控制策略，於第三部分「防撞控制策略」中詳述之。

三、防撞控制策略之控制流程

本研究之目標碰撞型態鎖定在，同向衝突所引發之碰撞型態，其潛在事故型態包括追撞、擦撞、與側撞，因此防碰撞系統必需同時具有縱向與側向防碰撞的功能，能偵測到縱向衝突與側向衝突的存在，在縱向碰撞、或側向碰撞無法避免前，給予駕駛者警告資訊，讓駕駛者以適當之反應，避免肇事之發生。

本研究構思一兼具有縱向防碰撞與側向防碰撞功能之防碰撞系統，首先說明此防碰撞系統之控制策略控制流程，再進一步說明碰撞可能性與碰撞型態判斷方法。

此防碰撞系統之控制策略流程，此防碰撞系統之基本系統預設參數、控制參數、臨界安全時間間距進行說明，

3.1 系統參數

在防碰撞系統開始運作之前，系統預先設定之參數主要有三個：

1.防禦範圍：

指凡位於此範圍之車輛，防碰撞系統皆會一一進行偵測、判斷與本車之碰撞可能性，以確保本車之安全。

2.掃描時階：系統更新偵測資訊的時間間隔。

3.容忍誤差時間：

為系統之資訊傳送延遲、資訊處理延遲時間、資訊判斷誤差時間之總和。

3.2 控制參數

本研究選擇以距離碰撞時間（Time-To-Collision, TTC）做為控制參數，且進一步將距離碰撞時間分為兩類：

1.縱向距離碰撞時間（Longitudinal TTC）：

指距離本車車頭與它車車尾發生碰撞之時間。

2.側向距離碰撞時間（Lateral TTC）：

指距離本車車體之左側，與它車車體右側發生碰撞之時間，或距離本車車體之右側，與它車車體左側發生碰撞之時間。

3.3 臨界安全時間間距

本研究所構思之控制策略，係將防禦範圍之每輛車與本車之距離碰撞時間，來與系統之臨界安全時間間距進行比較，藉以判斷配備防碰撞系統之車輛與另一輛車之縱向碰撞、或側向碰撞的緊急性。當距離碰撞時間小於系統之臨界安全時間間距時，即判斷為高度危險，系統將以聲音與視覺的方式，警告駕駛者。因距離碰撞時間分為兩類，因此臨界安全時間間距亦分為兩類：

1.縱向臨界安全時間間距：

此準則將與縱向距離碰撞時間進行比較，若縱向距離碰撞時間小於縱向臨界安全時間間距，則判斷為有發生縱向碰撞之高度危險性。在本研究中，縱向臨界安全時間間距，假設駕駛者面臨縱向碰撞危險時，所採取之避險行為，是以利車行為為主，以接近率（the closing rate）的概念計算縱向臨界安全時間間距。縱向臨界安全間距 Criteria-LTTC 如下式(1)所示：

$$\text{Criteria-LTTC} = \frac{(V_f - V_l)}{a_f} + t_r + t_s + t_d \text{-----式(1)}$$

式中代號意義如下：

Criteria – LTTC：縱向臨界安全時間間距，sec

V_l ：前車縱向車速，m/sec

V_f ：本車縱向車速，m/sec

a_f ：本車之固定減速度，m/sec²

t_r ：本車剎車反應時間，sec

t_s ：系統掃瞄時階，sec

t_d ：容忍誤差時間，sec

在臨界安全時間間距中所用之參數值，本研究參考過去防碰撞系統控制策略之相關研究，將本車之駕駛人剎車反應時間訂為 0.9 秒，容忍誤差時間為 0.5 秒，本車之固定減速度定為 8m/S²；系統掃瞄時階則採用實驗的方式，比較不同掃瞄時階對系統績效之影響，再擬定一較佳之掃瞄時階。

2. 側向距離碰撞時間間距：

指準則將與側向距離碰撞時間進行比較，若側向距離碰撞時間小於側向臨界時間間距，則判斷為有發生側向碰撞之高度危險性。側向臨界安全間距 Criteria-STTC 如下式 4.2 所示：

$$\text{Criteria – STTC} = t_{\text{sttc}} + t_r + t_s + t_d$$

式中代號意義如下：

Criteria – STTC：側向臨界安全時間間距，sec

t_{sttc} ：最短側向距離碰撞時間準則，sec

t_r ：本車剎車反應時間，sec

t_s ：系統掃瞄時階，sec

t_d ：容忍誤差時間，sec

在臨界安全時間間距中所用之參數值，同縱向臨界安全時間間距中所設定之參數值，唯最短側向距離碰撞時間準則，由於在過去關於駕駛者面臨有側向碰撞危險時，所採取的避險行為之相關研究較為缺乏，若直接假設駕駛者之避險行為是剎車 (Braking)、或偏移 (Steering)，可能失之偏頗，因此本研究擬透過視覺模擬技術，將側向最短距離碰撞時間準則納為控制變因，進行實驗與績效分析，再據以擬定較佳之側向準則。

3.4 系統控制流程

本研究構思一適用混合車流之防碰撞警告系統控制流程，主要包含四大步驟：偵測、判斷碰撞可能性、計算防碰撞警告準則、警告，如圖 2 所示，為防碰撞系統於一個時階中，所需完成的控制流程。每隔一個掃瞄時階，即再重複一次這個控制流程。：

1. 偵測：

透過路側、與車載偵測器，獲取車流參數，將作為計算防碰撞警告準則，包括縱向臨界安全時間間距、側向臨界安全時間間距之用。

2.判斷碰撞可能性與碰撞型態：

分別判斷位於防禦範圍內之 N 輛車，與本車之碰撞可能性，分成三種情況，縱向碰撞 (Case A)、側向碰撞 (Case B)、不會碰撞 (Case C)。當防禦範圍內之 N 輛車之碰撞可能性、與碰撞型態皆判斷完畢之後，將會得到兩項結果：

- 最短之縱向距離碰撞時間：該車輛為 L_{close} ，該車與本車之距離碰撞時間為 $MinLTTC$ 。
- 最短之側向距離碰撞時間：該車輛為 S_{close} ，該車與本車之距離碰撞時間為 $MinSTTC$ 。

3.計算防碰撞警告準則：

分別依巨觀交通流變數，與車輛 L_{close} 、 S_{close} 之微觀交通流變數，代入臨界安全間距中之計算公式，分別計算縱向臨界安全時間間距 (Criteria-LTTC) 與側向臨界安全時間間距 (Criteria-STTC)。

4.系統危險警告：

若最短之距離碰撞時間小於臨界安全時間間距，則警告模組中，將會以圖示距離碰撞時間最短之車輛，與本車之相對位置，並同時以聲音進行警示。

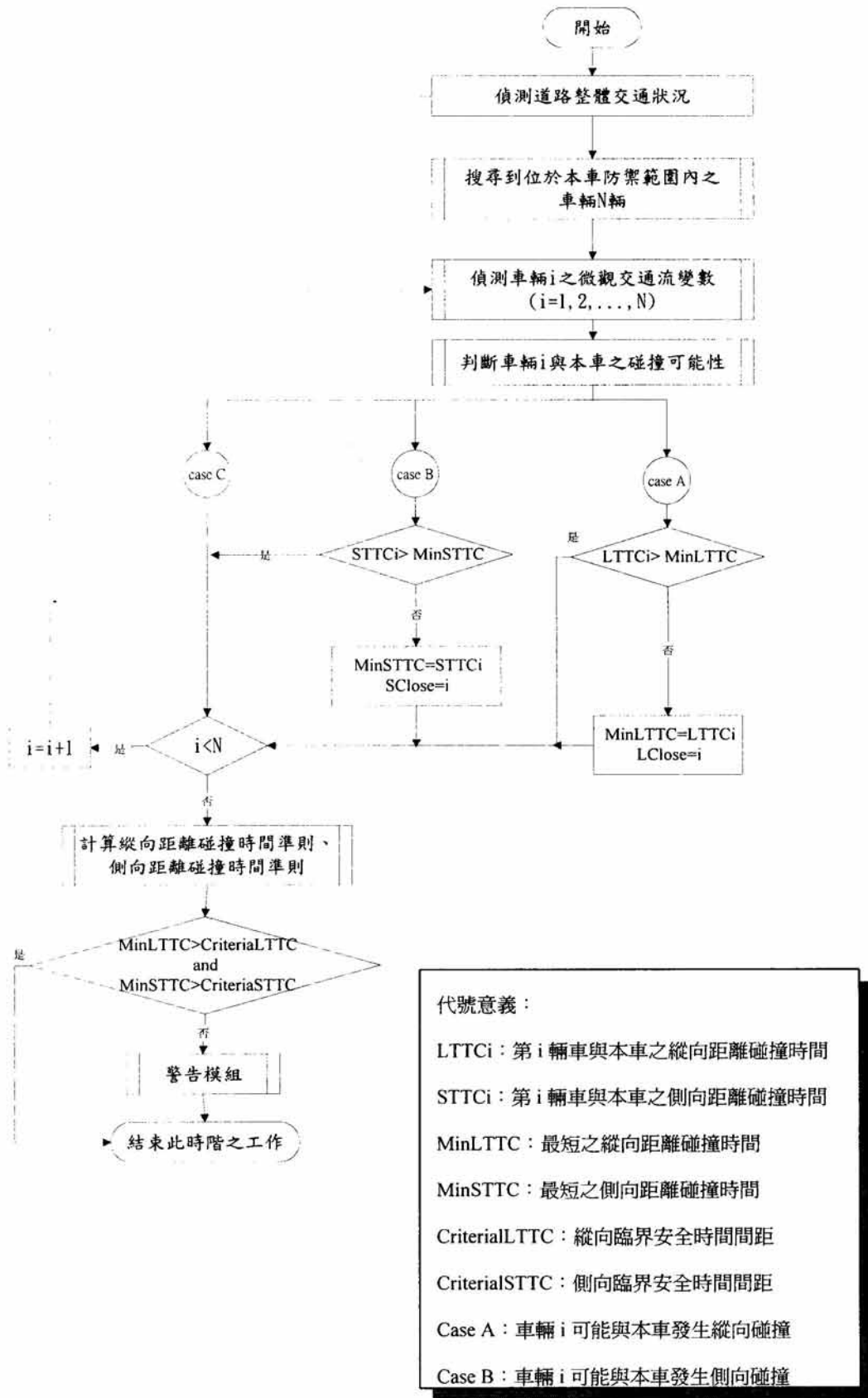


圖 2 防碰撞系統控制流程圖

3.5 防撞控制策略之碰撞可能性判斷邏輯

在防撞系統之控制流程有一個相當重要的步驟，即判斷碰撞可能性，與碰撞型態之判斷方法，本研究在計算簡便，又不過度粗略的原則下，做了一點基本假設：假設車輛前進時，無論為直線推進、或為斜向推進，車體本身仍保持直進方向，不隨著速度方向角而有角度之變化。

碰撞可能性有三種情況：

1. Case A：車輛 i 可能與本車發生縱向碰撞
2. Case B：車輛 i 可能與本車發生側向碰撞
3. Case C：車輛 i 不會與本車發生碰撞

以圖 3 之圖示，來說明碰撞可能性之判斷方法中所用到之變數。座標系統如圖 3 左下角所示，速度與 X 正向同向者為正，速度偏向角順時針為正；假設配備防撞系統之車輛為位於左邊之車輛，車體中心座標 (X_1, Y_1) ，車長 L_s ，車寬 W_s ，速度為 V_1 ，速度偏向角為 θ_1 ，而在偵測範圍中的某一輛車，即 principle other vehicle (POV) 為圖中右邊之車輛，車體中心座標 (X_2, Y_2) ，車長 L_p ，車寬 W_p ，速度為 V_2 ，速度偏向角為 θ_2 。(偏向角之計算，以順時針為正值，逆時針為負值)。

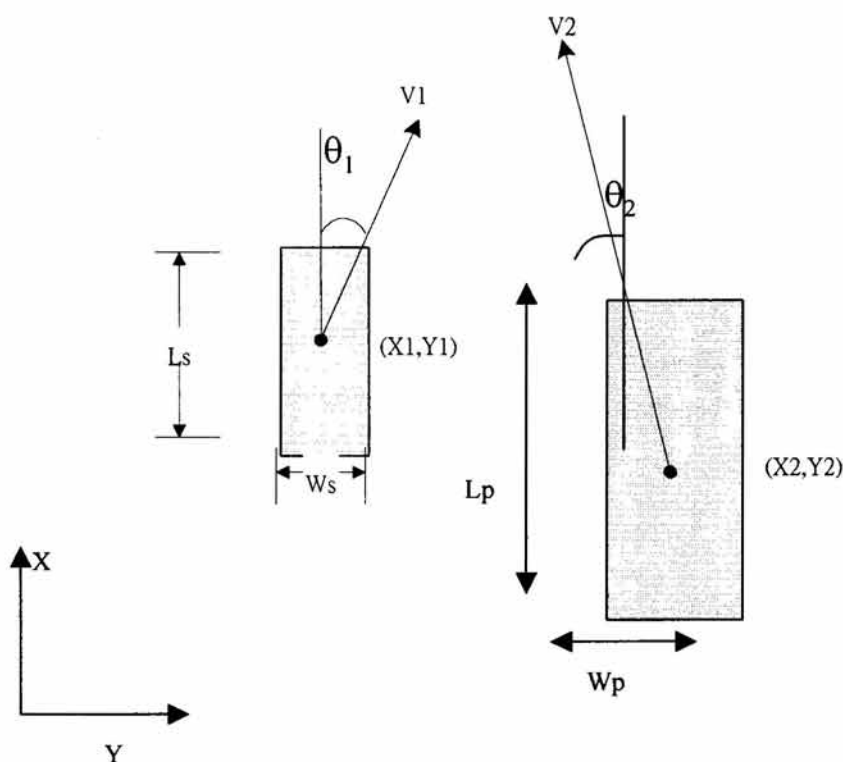


圖 3 影響距離碰撞時間之微觀交通流參數示意圖

判斷碰撞可能性流程圖，主要是利用下列四個時間參數 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 來判斷，各時間參數之意義如下：

1. T1：為距離配備系統車之車體前邊線之延長線，與 POV 車體後邊線之延長線重合的時間。

$$T1 = \frac{(X2 - 0.5 \times Lp) - (X1 + 0.5 \times Ls)}{(V1 \times \cos \theta_1) - (V2 \times \cos \theta_2)}$$

2. T2：為距離配備系統車之車體後邊線之延長線，與 POV 車體前邊線之延長線重合的時間。

$$T2 = \frac{(X2 + 0.5 \times Lp) - (X1 - 0.5 \times Ls)}{(V1 \times \cos \theta_1) - (V2 \times \cos \theta_2)}$$

3. T3：為距離配備系統車之車體右側邊線之延長線，與 POV 車體左側邊線之延長線重合的時間。

$$T3 = \frac{(Y2 - 0.5 \times Wp) - (Y1 + 0.5 \times Ws)}{(V1 \times \sin \theta_1) - (V2 \times \sin \theta_2)}$$

4. T4：為距離配備系統車之車體左側邊線之延長線，與 POV 車體右側邊線之延長線重合的時間。

$$T4 = \frac{(Y2 + 0.5 \times Wp) - (Y1 - 0.5 \times Ws)}{(V1 \times \sin \theta_1) - (V2 \times \sin \theta_2)}$$

流程圖距離碰撞時間判斷原理為：當【T1, T2】與【T3, T4】在時間區段上有重疊時，則表示本車有發生碰撞可能性；在進一步將 T1、T2、T3、T4 依值之大小進行排序，距離碰撞時間為第二小者。舉例而言，T1=3sec、T2=6sec、T3=4sec、T4=1sec，兩車輛之時空圖如圖 4 所示，橫向為時間軸，縱向為平面位置，由圖中可以看出距離碰撞時間為 T1，碰撞型態為縱向碰撞。

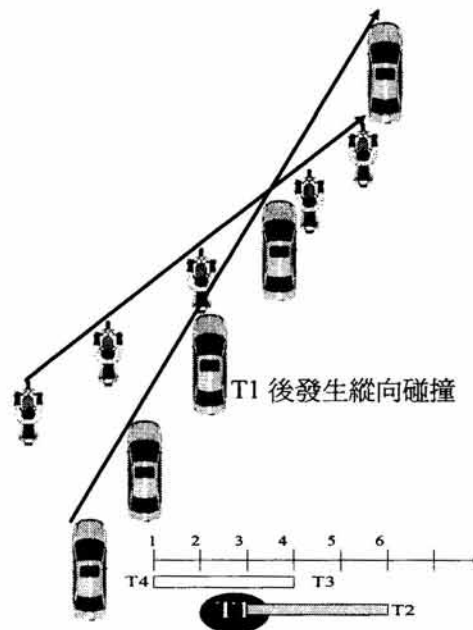


圖 4 【T1>0 且 T2>0】，【T3>0 且 T4>0】之幾何關係示意圖

五、視覺模擬實驗環境

5.1 實驗目的與模擬情境

本實驗的目的，主要在探討系統掃瞄時階、側向最短距離碰撞時間、防碰撞系統類型三項因素，是否會影響防碰撞系統之運作績效，及影響程度為何？

1.系統掃瞄時階

在防碰撞系統之距離碰撞時間警告準則中，本研究引入了系統掃瞄時階此參數，本研究使用兩種掃瞄時階進行實驗，分別為一秒、與兩秒，觀察掃瞄時階如何地影響系統之運作績效，決策出系統之最佳掃瞄時階。

2. 側向最短距離碰撞時間(以下簡稱側向準則)

由於機車於混合車流中之行駛特性，即使處於直進狀態中，仍會有左右微幅搖擺的現象，若採用過長之側向準則，較容易將這種微幅擺動，判斷為危險狀態，對駕駛者而言，卻可能因為認為這種狀態不具危險，而將系統的危險警視為駕駛者之行駛干擾，進而不信任系統的判斷。相反地，過低的側向準則，可能讓駕駛者面臨危險狀態時，沒有足夠的時間避開危險，因此本研究使用三種側向準則進行實驗，分別為一秒、兩秒、與三秒，觀察三種側向準則之系統運作績效，進一步擬定系統之最佳側向準則。

3.防碰撞系統類型

為了在同一基準之下，比較不同防碰撞系統功能類型之運作績效，本研究讓駕駛者分別在下列四種不同的系統下，進行測試：

(1)無使用防碰撞系統：

讓駕駛者在無防碰撞系統輔助駕駛的情況下，自由駕駛，並定時（0.2 秒）紀錄駕駛的加減速行為；於後續分析中，使用之代號為 N。

(2)縱向防碰撞系統：

偵測範圍為本車車尾前方 100 公尺，具有縱向防碰撞之功能，當本身即將與它車發生縱向碰撞時，系統將給予駕駛者警告；於後續分析中，使用之代號為 L。

(3)縱向及橫向防碰撞系統：

偵測範圍為本車車尾前方 100 公尺，車體中央左右各延伸 2.5 公尺，具有縱向與側向防碰撞之功能，當本車即將與偵測範圍中之車輛發生縱向碰撞或側向碰撞時，系統將予以警告；於後續分析中，使用之代號為 LS。

(4)縱向及橫向防碰撞系統+變換車道支援決策系統：

偵測範圍為本車車尾前方 100 公尺，車尾後方 30 公尺，車體中央左右各延伸 2.5 公尺，具有縱向與側向防碰撞、及變換車道決策支援之功能，當本車即將與偵測範圍中之車輛發生縱向碰撞或側向碰撞時，系統將予以警告；於後續分析中，使用之代號為 LSC。

因此，為探討上述三類控制變因對績效之影響，本研究做如下之模擬情境設計：

1. 道路幾何：路段總長 350 公尺，單向雙車道，內車道寬 3.5 公尺，外側車道 5 公尺。
2. 掃瞄時階：1 秒、與 2 秒兩種。
3. 側向準則：1 秒、2 秒、3 秒等三種。
4. 車載防碰撞系統類型：無防碰撞系統，縱向防碰撞系統，縱向及側向防碰撞系統，縱向及側向防碰撞系統加變換車道決策支援系統。
5. 跟車模式：二維座標跟車模式

5.2 視覺模擬環境之構建

在視覺模擬軟體部分，使用由 Superscape 公司發行之 VRT，版本為 5.06 版。硬體部分，鑑於 3D 繪圖軟體執行時之運算量相當龐大，為使視覺效果最佳化，本研究使用之硬體設備為：內含 Pentium III 800

處理器之 PC、128MB RAM、艾爾沙 G-Force II 顯示卡、羅技天駒力回饋動力方向盤與腳踏板、單槍投影機等。

本研究由基本概念擬定路段雛形，配合現有之軟體設定進行設計實驗工作。設計完成後，經由一實際道路之比較，檢討後應修正之缺失並加以改進。在模擬環境構建時，除了受試者控制車輛之外，所有車輛皆加入跟車模式，以提高模擬真實性。設計成果，如圖 5 所示。

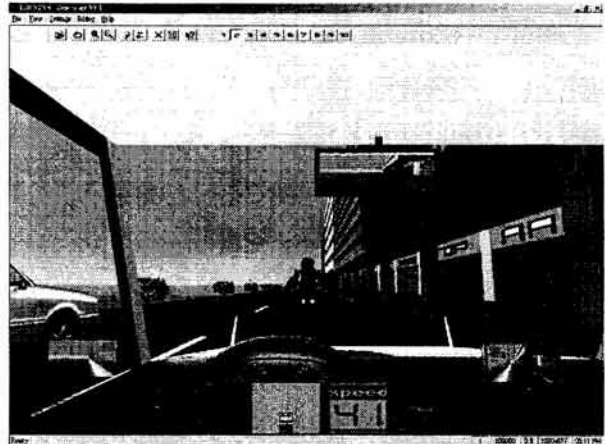


圖 5 視覺模擬環境設計成果

5.3 實驗程序

本次實驗的程序，乃應用前所述之模擬場景，對 15 位駕駛者進行測試。實驗進行時，現場佈置方式如圖 6 所示，駕駛人由珠光螢幕上接收視覺資訊之後，操控駕駛方向盤、剎車或油門，訊號傳至電腦之後，進行計算與邏輯判斷，再將更新後之訊號透過單槍投影機，呈現在螢幕上，將更新過之畫面資訊傳遞給駕駛者。

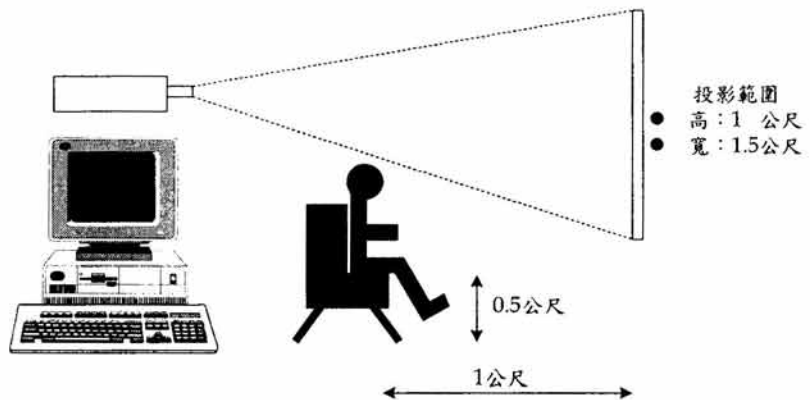


圖 6 實驗現場佈場方式

5.4 模擬實驗結果分析

為了客觀地、量化地了解，於混合車流環境中，單一車輛使用防碰撞系統，對安全、交通效率、駕駛行為等各方面之影響，本研究採用了四個績效評估指標，各類指標之定義、與計算方法，說明如下：

1. 碰撞次數
2. 旅行時間：為駕駛者由實驗路段開始，行駛至實驗路段結束為止，所需花費之時間，以秒為單位計算之。本研究採用旅行時間來衡量交通效率的改變幅度。
3. 加速擾度：本研究採用加速擾度來衡量駕駛過程之舒適程度，同時藉以觀察駕駛者之加減速行為之改變。當加速擾度越低時，表示駕駛過程越舒適。
4. 橫向亂度：計錄駕駛者每隔 0.2 秒，於路段上之橫向位置變化量，取其絕對值予以累計，再除以旅行時間，即得駕駛者該旅次之橫向亂度。

茲整理實驗結果，將系統類型對各項指標之影響表示為圖 7。由圖中，可以看出使用防碰撞系統皆會延長平均旅行時間，但使用有側向防碰撞功能之系統，平均旅行時間之延長幅度較小；此外，使用縱向防碰撞系統時，會提高平均加速擾度，降低平均橫向亂度；使用縱向與側向防碰撞系統（LS）時，及使用縱向與側向防碰撞系統加變換車道決策支援系統時，則會降低平均加速擾度，提高平均橫向亂度。

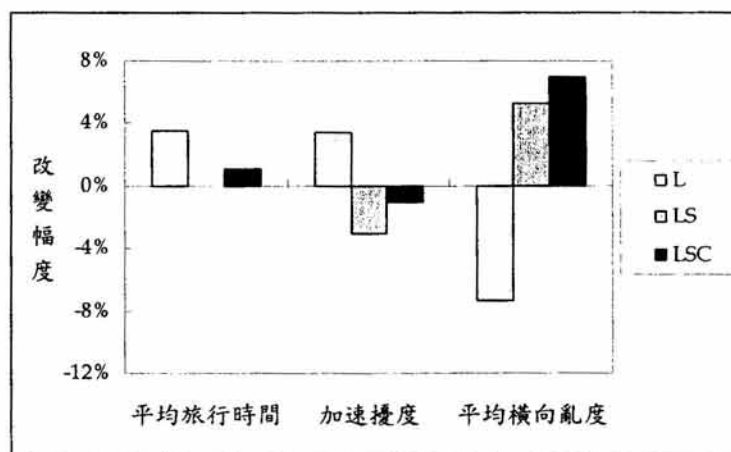


圖 7 系統功能類型對各項績效之影響

由此可知，使用本研究之混合車流防碰撞系統控制策略，可將平均旅行時間之延長幅度降至 1.5%以下，且舒適性（加速擾度）提高，但橫向亂度會提高。而系統類型以選擇 LS 為最佳，可以不增加旅行時間，提高舒適性，橫向亂度之增加程度又較 LSC 低。

六、結論與建議

本研究之結論為：

1. 由路段汽機車肇事資料統計分析，得知路段引發汽機車肇事之交通衝突以同向衝突最多，佔 78.22%，其中又以同向直行衝突最多，佔同向衝突之 26.28%。
2. 本研究之防碰撞系統控制策略，乃以同向衝突引發之碰撞型態為目標碰撞型態，以縱向與側向距離碰撞時間作為控制參數，以縱向臨界安全時間間距、與側向臨界安全時間間距做為危險判斷準則，且發展考量車輛速度前進方向角之距離碰撞時間與碰撞型態之方法。
3. 使用本研究之混合車流防碰撞系統控制策略，可將平均旅行時間之延長幅度降至 1.5%以下，且舒適性（平均加速擾度）提高，但平均橫向亂度會提高。

本研究之建議為：

1. 本研究是在單一車輛使用防碰撞系統之情況進行所有的實驗，未來可研究使用混合車流防碰撞系統之車隊，對使用防碰撞系統之車隊、與無使用防碰撞系統車隊而言，系統績效有何差別？
2. 本研究僅針對路段上同向衝突發展之混合車流防撞策略，未來可再將其他種類之交通衝突型態納入考量，或配合交通工程改善措施，評估最佳改善方案。
3. 本研究中，未針對駕駛行為進行動態驗證，未來可進行道路實驗與視覺模擬實驗結果進行比對，觀察駕駛行為是否一致性。
4. 未來建立運動型基底之駕駛模擬平台，配合大型影像投影機（Video Projector），擴大駕駛人之視角、強化駕駛人之速度感，以獲得更精準之駕駛行為參數。