

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫六：汽車週遭環境安全績效即時模擬預測元件之開發

(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-002-118-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：許添本

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 12 月 22 日

摘要

本研究主要係利用實際車流之觀測與分析，建構一動態防撞門檻，以行為門檻模式建構一車流模擬系統，設計不同車流情境模式，對防撞門檻進行績效評估。

本研究期望利用實地攝影調查，蒐集包括速度、加速度、相對距離、相對速度及煞車與否等資料，校估符合大部分駕駛之動態安全門檻。未來結合模擬系統，以偵測所得之周圍路況即時資料為輸入，透過事先建立模擬模式及動態安全門檻，預測行進中車輛之未來行車安全等級，並針對未來可能發生危險之情況，即時給予駕駛人安全警示，提醒其採取應對策略，以降低車流衝突並提高車流穩定度。由模擬結果可知，當加裝防撞系統後，車輛之行車安全及跟車平穩度績效均較無防撞系統之車輛有顯著之進步。而行車平穩程度及行車效率無明顯差異。而當反應時間較長、越靠近緊急剎車之車輛和期望速度越高之情況，其有無防撞系統之績效差異越大。

關鍵字：防撞系統、動態門檻、車流模擬

Abstract

Driving behavior in every country is different from the other countries. The car following with dangerous headways will be recognized as different dangerous levels by different drivers. The threshold for warning driver to take action in a Collision Avoidance System (CAS) developed in developed countries will not be totally suitable for the other developing countries. The microscopic survey of dangerous car following headway and to identify the threshold of safety headway is necessary. In general, due to the high dense traffic condition in Taiwan, the driving behavior is seen as more aggressive. Therefore, this study conducted a field survey microscopically to analyze the car following headway and using the braking action to identify the possible reaction to the dangerous headway. Through the statistical analysis, the scenario for safety headway are generated and input to a simulation system developed for simulating the dangerous traffic risk in this study, and then the effect of the threshold on CAS system is investigated. According the study result, the threshold will depend on the speed and has stochastic feature. This result indicates the need to revise the decision threshold value in CAS system when it will be adopted in different countries.

Keywords: Collision Avoidance System, Warning Threshold, Traffic Simulation.

一、緒論

目前國內外所發展之車輛安全防撞系統多採靜態方式，以門檻值比較作為安全與否的判斷，本研究提出以動態即時模擬方式來減少駕駛環境之不確定性，以增加駕駛人對路況之掌握度。而靜態之車輛安全防撞的基本控制邏輯仍具有相當大的參考價值，因此本研究針對國內外已發展成熟之車輛防撞及自動車輛巡航系統進行相關回顧，並作為控制邏輯研擬之參考。

本研究主要係利用實際車流之觀測與分析，建構一動態防撞門檻，並以行為門檻模式建構一車流模擬系統，設計不同車流情境模式，對防撞門檻進行績效評估。實驗探討之範圍為路段上之跟車行為，但不包括變換車道之變數，探討之車流情境包括五種，分別為：車流量差異、駕駛反應時間差異、駕駛對警告信賴程度差異、駕駛期望速度差異及車輛位於車隊位置不同差異，並分別探討各情境中，防撞系統之影響及績效評估。

二、系統架構

2.1 安全防撞系統架構

回顧國內外現有防撞系統，本研究提出有別於傳統靜態門檻式之防撞模式，乃希望藉由動態車流模擬模式即時模擬研究範圍內之所有車輛之推進，甚至於對車輛行進軌跡進行預測，於潛在危險與立即危險時給予不同的警告方式，提醒駕駛人對路況變化提高警覺，以增加駕駛人對路況之掌握，方能進行及時且安全之反應。

2.2 車流安全模擬架構

本研究所發展之車輛即時安全模擬系統主要由偵測設備(車上、路側)、車流模擬模式、防撞控制系統(CAS)及控制策略(駕駛反應)等四部分，模擬模式由偵測設備獲取資料，並藉由CAS所設定之影響區域及風險計算，來決定控制策略，而駕駛者之反應或自動控制啟動後之車流行為則回饋至模擬系統中，如圖1。

三、防撞門檻調查分析

目前的防撞邏輯判定，多半是利用經驗公式所推得，並無實際調查車輛之剎車行為所推導之方法。因此，本研究嘗試以另一種角度分析問題，透過實際市區道路路段之跟車行為調查，建立推估一動態防撞門檻，並依據行為門檻車流理論，建構車輛之推進邏輯。

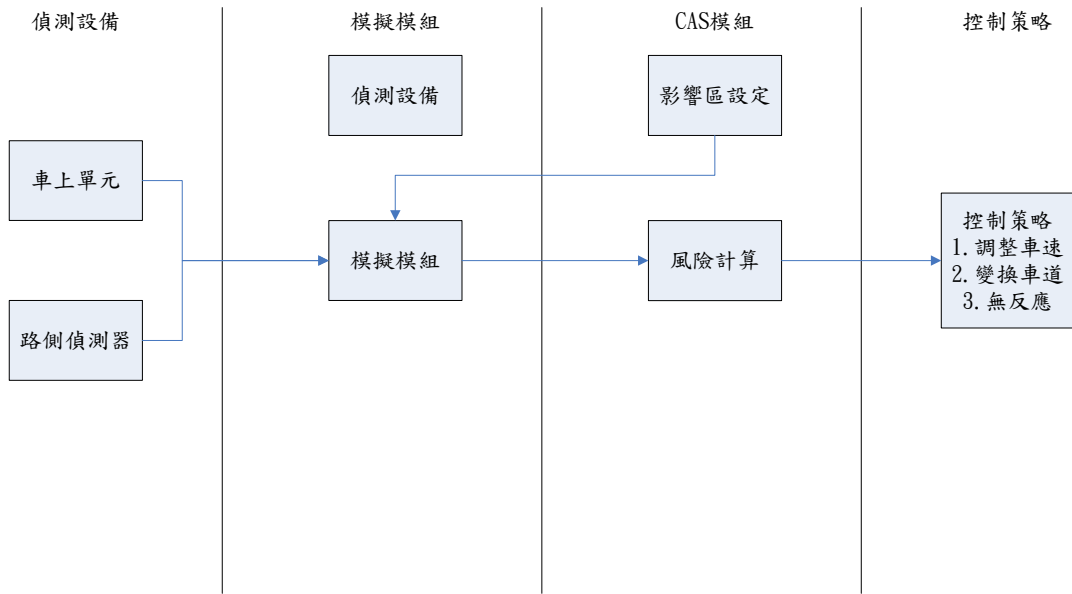


圖 1 系統架構

3.1 調查結果分析

淨車間距與兩車速度差之關係圖如圖 2 所示，我們可將圖分為二個部分，一為淨車間距大於 30 公尺以上部分；另一部份為淨車間距小於 30 公尺之部分。

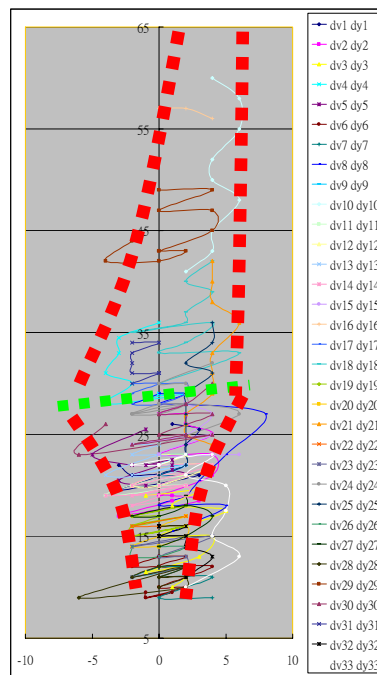


圖 2 0.5 秒間距速差圖

在淨車間距大於 30 公尺這一區間，本車距離前車仍有一段距離，對前車的敏感程度較小，使得駕駛者對淨車間距變化反應較低甚至沒反應；同時，駕駛者對危險的認知也較低，這項認知反映在此區間剎車的程​​度較輕微。而隨著淨車間

距的縮小，駕駛對前車距敏感程度上升，跟車專注度上升，反映在行為上便有容易踩刹車的舉動，使得速差與間距關係圖上之記錄曲線波動；同時，危險認知也會隨著淨車間距的縮短而提升，使得採刹車的程度將會增大，曲線震幅增大。而當淨車間距小於 30 公尺時，兩車已相當靠近，故駕駛人危險認知提高，造成刹車反應較之前劇烈，頻率也較之前高，使得曲線波動明顯，甚至會有過踩刹車的現象，使得兩車速差呈現負值。當淨車間距再縮小時，由於距離更靠近，使得對前車速度變化掌握提高，因此雖然刹車頻率仍高，但加減速幅度縮小，過踩刹車行為程度減低。此時淨車間距已相當靠近最低跟車淨車間距的最小值。

以本車速度為 X 軸，兩車淨車間距為 Y 軸，並把所有煞車燈亮時該時階的本車速度及淨車間距標於座標軸上，即可得下圖 3。

由圖 3 中可清楚觀察到當本車速度越高時，其對應踩刹車的淨車間距分佈越廣。如果假設當駕駛踩刹車時，表示駕駛認為該狀況有必要注意，為危險情況，需要警告。則可推論出，當車速越快時，駕駛對危險認知差異越大。換句話說，當車速越快時，駕駛需要警告的門檻差異便越大。

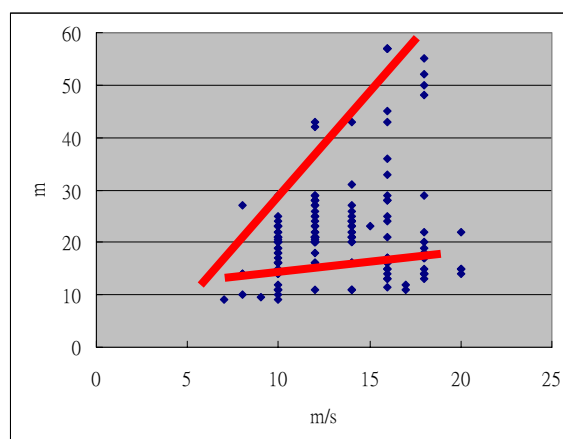


圖 3 煞車燈亮時，本車速度與淨車間距關係分佈圖

3.2 動態警告門檻構建

本研究所定義之「動態防撞門檻」乃指參考本車之速度，以及其與前車之淨車間距和速度差之關係後，產生一距離門檻，當本車與前車淨車間距低於此門檻時，即向駕駛發出警告，提醒駕駛需要減速，其產生規則如後說明。

由上一節之調查結果可知，當行駛速度越快時，駕駛對危險的認知差異越大，因此，若以車速決定警告的距離門檻，則誤差可能較大，給予警告時，可能只有一半的駕駛覺得警告是正確的，當時的行車狀況需要減速；但卻也有一半的駕駛認為警告是錯誤的，目前的行車狀況仍屬安全，不需要警告。為此，在本研究中，為了有效縮小此項變異，增加以「前車車速速差」作為另一項判斷指標。

首先，利用圖 3 的資料，將所有速度之上對應的淨車間距上界附近的標點經由統計方法找出其迴歸線；以同樣方法，把對應之下界附近的標點也找出其迴歸

線，其結果如下：

上界：淨車間距 = $-8.09 + 3.09 * \text{本車車速}$ （本車車速需大於 2.62）

下界：淨車間距 = $6.43 + 0.38 * \text{本車車速}$

在本研究中，稱上界為防撞距離門檻(dy_threshold)，下界則稱為避禍剎車門檻(brake_threshold)。

利用圖 4 之資料，界定需警告的速差範圍，如圖 56 所示。

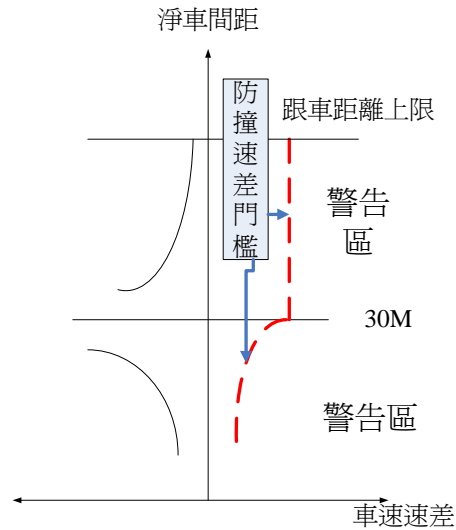


圖 4 警告區示意圖

其中，其門檻方程式為：

$$\text{Speedthreshold} = \left(\frac{dy}{15}\right)^2 + 1.5 \text{-----} dy \leq 30$$

$$\text{Speedthreshold} = 5.5 \text{-----} dy > 30$$

其中：

Speedthreshold：防撞速差門檻

dy：淨車間距

如圖 5 所示，將此兩種判斷門檻結合，其步驟為：

1. 先確認本車速度。
2. 在本車車速與淨車間距的關係圖上，以本車車速為出發點在防撞距離門檻上找出其對應之點，找出其對應點之後，可決定一警告距離。
3. 找出其警告距離後，在兩車車速速差與兩車淨車間距的關係圖上，利用其警告距離找出其在防撞速差門檻上對應之點。
4. 收集現況之本車與前車車速速差，若速差大於門檻值，則給予駕駛者警告，若否，則不給予駕駛者警告。

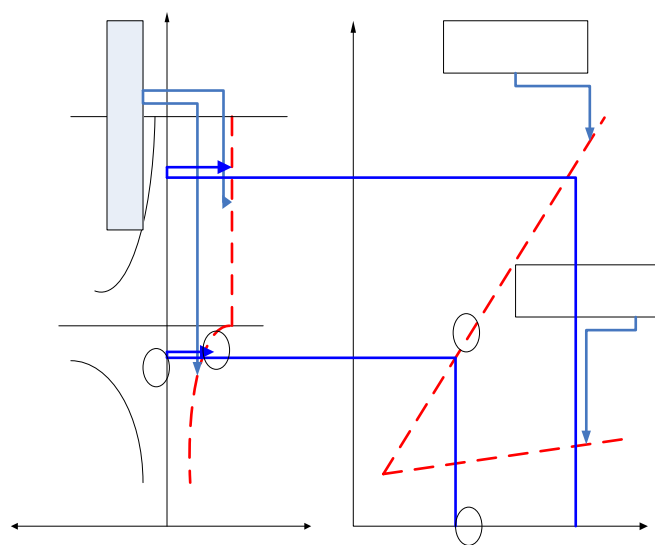


圖 5 動態防撞門檻邏輯示意圖

當本車與前車速差超過速差門檻時，則防撞系統將給予駕駛者黃色警示燈；而當本車與前車距離低於避禍剎車門檻且車速又大於每秒 1.5 公尺時，則系統會給予駕駛紅色警示燈。

四、電腦模擬與結果分析

本研究利用電腦模擬之方式，研究市區道路車輛之跟車行為及其加入車輛防撞系統後之變化。完成初步的跟車模式建立與驗證後，探討不同影響因子對跟車行為的影響，以測試加入防撞門檻後其行車安全及績效的改變。

4.1 績效指標

為了客觀地、量化地瞭解當車輛裝載防碰撞系統後，其對安全、交通效率、駕駛行為等各方面的影響，本研究採用了 5 個績效評估指標，各指標之定義與計算方法如下：

1. 防撞系統出現黃燈次數：在實驗過程中，若車輛行駛狀況經防撞系統邏輯判斷為黃燈狀況，則記錄出現黃燈次數一次。在未裝載防撞系統之車輛雖有黃燈警告，但駕駛對此警告無任何反應。因此，出現黃燈次數又可分為總體以及觀察車輛個體兩個記錄值。此項目可以反映其行車危險之狀況。
2. 防撞系統出現紅燈次數：在實驗過程中，若車輛行駛狀況經防撞系統邏輯判斷為紅燈狀況，則記錄出現紅燈次數一次。在未裝載防撞系統之車輛雖有紅燈警告，但駕駛對此警告無任何反映，車輛也不會自動剎車。因此，出現紅燈次數又可分為總體以及觀察車輛個體兩個記錄值。此項目可以反映其行車極度危險之狀況。

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。其公式如下：

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{T} \sum_t \left[(V_t - V_{t-1}) - \left(\frac{V_T - V_0}{T} \right) \right]^2 \Delta t \right\}^{1/2}$$

其中：

σ ：加速擾度 (m/s^2)

T：旅行時間 (sec)

Δt ：為一短時階 (sec)

V_t ：前一秒之初速率 (m/s)

V_{t-1} ：本秒之末速率 (m/s)

V_T ：進入系統瞬時速率 (m/s)

V_0 ：出系統瞬時速率 (m/s)

4. 平均速度：本研究採用實驗中，一定時間長度下，車輛的旅行距離除以旅行時間所得之平均速度，當作行車效率的參考。
5. 速差平方和：本研究採用速差平方和來檢驗裝載防撞系統車輛其跟車穩定程度是否提升，其定義如下：

$$\nu = \frac{\sum (V_{c-1} - V_c)^2}{T}$$

其中：

ν ：速差平方和

V_c ：後車速率

V_{c-1} ：前車速率

T：經過時間

4.2 績效比較

本節將對所有的狀況其模擬結果分析，並對此結果作統計檢定及解釋其可能原因和影響。

當裝載防撞系統之後，車輛進入黃色燈號區其減少程度之檢定均為顯著，表示其裝載防撞系統之後，有助於幫助駕駛者減少進入危險跟車之行車狀況。且對整體車隊之影響也為正面。

裝載防撞系統後，車輛進入紅燈警戒區之數量大幅減少，可推測當裝載防撞

車輛時，可使得駕駛減少處於不安全之狀態。

當車輛裝載防撞系統時，其加速擾度與無裝載時無異，表示裝載防撞系統並不會影響其行車穩定度，讓駕駛覺得一直在加減速。而裝載防撞系統時，與無裝載系統其平均率並無顯著差異，因此可知裝載防撞系統並不影響其行車效率。值得注意的是，當裝載防撞系統時，觀察車與前車之速差有顯著減小之趨勢，推測可能是因為裝載防撞系統之後，在黃色警戒區可有效縮短駕駛者判斷與前車狀況之時間，故可提早減速，並以較小的減速度剎車，如此可避免與前車的速率變化差異過大，故裝載車輛防撞系統可使得跟車行為較無裝載穩定。

當反應時間越長時，車輛防撞系統發揮之效過也越大，與先驗知識吻合。但當反應時間為 0.6 秒時，防撞系統在安全部分仍發揮一定功效。

無論期望速度為何，其防撞系統均有發揮一定之績效，特別是在期望速度較大時，能有效減低車輛進入危險狀況之機率，同時，對車速的降低以及行車平穩程度並沒有顯著的負面影響，甚至在跟車平穩程度上，也都有一定績效。

當駕駛對防撞系統信賴度較高時，亦即當防撞系統給予駕駛者警告時，駕駛剎車機率高時，黃色警示燈次數無顯著之不同，但紅色燈次數明顯的減少，說明若駕駛對警告信賴度高，採取適當的減速動作的話，有助於避免車輛往更危險之行車狀況移動。

五、結論與建議

本研究嘗試從實際車流之觀測建立一防撞動態門檻，以初步的模擬結果來看，有良好的績效。經模擬結果分析後，加裝車輛防撞系統後，該車輛進入黃色燈號次數與速差平方和均有顯著之減少，代表裝載該系統後，其行車安全及車輛穩定度均有所提升。加速擾度及車輛平均速率均無顯著之變化，故可得知，當車輛裝載防撞系統後，其行駛平穩度並無變化，且行車效率並不會降低。

車輛裝載防撞系統後，可有效減少駕駛之反應時間，提早減速，而提早減速，則可以較小的減速度減速，使得車輛既可保持穩定的行車間距又有較小的速度變動。

本研究僅模擬車輛路段之跟車行為，對其他車流行為，例如：超車、變換車道、穿越路口等，均無納入系統考量。其後之研究可把更多道路情況及駕駛行為納入系統範圍。且本研究中僅考慮單一車種之跟車行為，其後研究可將混和車流之模式納入考量。

以電腦模擬程式評估績效分析，雖可節省實驗成本，但缺少駕駛者之使用感受分析，之後可應用視覺模擬或實車測試等方式，檢驗防撞門檻給予駕駛之感知衝擊。

參考文獻

1. ACAS Program Final Report <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/research/pub/ACAS/>
2. ITS Japan <http://www.its-jp.org/>

3. 周玉如，「混合車流中汽車防撞策略之研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 90 年
4. U.S DOT,ITS Benefit <http://www.benefitcost.its.dot.gov/>
5. Hagan, M. and Fancher, P. and Bogard, S. and Ervin, R. and Bareket,Z. “An instrumentation system for gathering information pertinent to the performance of an adaptive cruise control system.” Intelligent Transportation System, IEEE Conference on, Pages: 858 – 863, 9-12 Nov. 1997.
6. Holve, R. Protzel, P. “Generating Fuzzy Rules for the Acceleration Control of an Adaptive Cruise Control System.” Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS, 1996 Biennial Conference of the North American, Pages: 451 – 455, 19-22 June 1996.
7. Junmin Wang and Rajesh Rajamani, “Should Adaptive Cruise-Control Systems be Designed to Maintain a Constant Time Gap Between Vehicles?” Vehicular Technology, IEEE Transactions on, Volume: 53, Issue: 5, Pages: 1480 - 1490, Sept. 2004.
8. Zevi Bareket, Paul S. Fancher, Huei Peng, Kangwon Lee, and Charbel A. Assaf, “Methodology for Assessing Adaptive Cruise Control Behavior.” Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Volume: 4, Issue: 3 , Pages:123 – 131, Sept. 2003.
9. Petros A.Ioannou, Member, IEEE, and C.C.Chien, “Autonomous Intelligent Cruise Control”, IEEE Transactions on vehicular technology,vol.42, no.4, nov.1993
10. Shin Kato, Naoko Minobe, Sadayuki Tsugawa,” Applications of inter-vehicle communications to driver assistance system”, Society of Automotive Engineers of Japan,pp.10-15, August 2002
11. Shin Kato, Sadayuki Tsugawa,” operative driving of autonomous vehicles based on localization, inter-vehicle communications and vision systems”, Society of Automotive Engineers of Japan,pp.503-509, April 2001
12. Daniel L.Gerlough and Matthhew J.Huber,”Traffic Flow Theory”,Transportation Research Board National Research Concile,1975
13. Strategic Plan for Intelligent Vehicle Highway Systems in the United State, Drafe B,IVHS American,Jan.,1992.
14. D.H. Hoefs, Untersuchung des Fahrverhaltens in FahrzeugKolonnen, Forschungsberichte des Institut fur Verkehrswesen, Heft 140 , Universitat Karlsruhe,1972.
15. R. Widemann, Simulation de Stranssenverkehrsflusses, Schriftenreihe des Instituts furVerkehrswesen, Heft 8, Universitat Karlsruhe, 1974.
16. S111adover S.E,“ Advanced Vehicle Control System (AVCS)”,Proceedings Society of Automotive Engineers,no.233,1990,pp103-112.
17. 鄧竣夫，「車輛防撞警示系統之動態門檻研究」，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 94 年