

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 總計畫：先進車輛控制及安全系統之設計與模擬(1)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-009-053-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系(所)

計畫主持人：李祖添

計畫參與人員：陳冠銘、林炳榮、張捷、周家賢

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 5 月 31 日

先進車輛控制及安全系統之設計與模擬-總計畫(I)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2218-E-009-053-

執行期間：2004年8月1日至2005年7月31日

計畫主持人：李祖添

共同主持人：

計畫參與人員：陳冠銘、林炳榮、張捷、周家賢

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：交通大學電機與控制學系

中華民國 94 年 5 月 31 日

# 先進車輛控制及安全系統之設計與模擬 - 總計畫(I)

計畫編號: NSC93-2218-E-009-053-

執行期限: 93/08/01 - 94/07/31

主持人: 李祖添 講座教授

參與人員: 陳冠銘、林炳榮、張捷、周家賢

執行單位: 國立交通大學電機與控制系

## 一、中文摘要

本整合型計畫將以分散式網路系統來連絡與監控各相關子系統的信號傳輸，達到汽車行車安全控制。其中本計畫所考慮汽車行車安全控制相關的子系統有：懸吊系統(子計畫一)、煞車系統(子計畫二)、前景影像即時辨識系統(子計畫三)和跟車系統(子計畫四)等，以下對各主題之研究摘要簡單說明：

子計畫一主要研究主動懸吊系統之 $H^\infty$ 輸出回授控制器設計，能大大改善懸吊系統特性，降低路面不平所產生對乘客的衝擊力，並降低懸吊衝程以增進懸吊系統壽命。

子計畫二提出的煞車控制系統可以基於路面估測器，在緊急狀況下達到最短煞車距離。

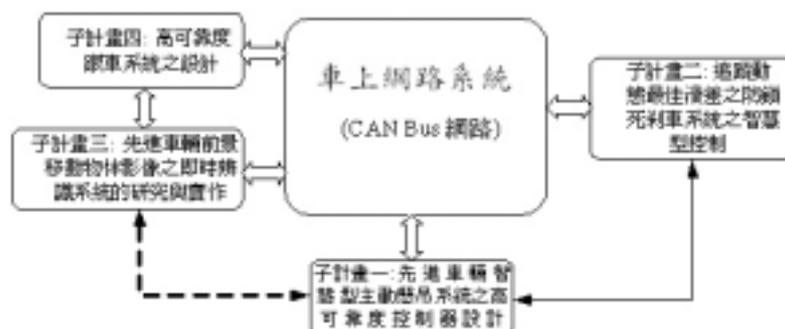
子計畫三利用數位攝影機擷取連續時間的影像後，再利用移動邊緣偵測法來找出移動物體區塊的位置，並且透過 RS-232 串列通訊來控制數位攝影機進行轉動，使得移動物體區塊可以持續地保持在畫面的中心位置，進而達到移動物體追蹤的任務。

子計畫四開發一智慧型自動跟車控制系統，讓所有受控車輛都可以保持固定車速與車距，如此將能夠提高道路運輸效率並降低交通事故發生。

**關鍵詞：**先進車輛控制及安全系統、主動懸吊系統、煞車系統、影像即時辨識系統、自動跟車

## 二、研究目的與文獻探討

近幾年來，隨著經濟的快速發展，機動車輛已成為國民生活上移動之主要交通工具，也成為實現富裕之社會環境、發展經濟活動、文化活動中不可或缺之現代社會產物。根據內政部警政署統計，歷年來台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆維持在三千人左右，而受傷人數亦在三千人左右，這些交通事故不僅造成個人及家庭的負擔，更是社會有限醫療資源及國家生產力的損失，同時也說明了對於先進安全車輛的重要性與需求的急迫性。所以，本整合型計畫將以車上網路系統來連絡與監控各相關子系統的信號傳輸，達到汽車行車安全控制。其中本計畫所考慮汽車行車安全控制相關的子系統有：懸吊系統(子計畫一)、煞車系統(子計畫二)、前景影像即時辨識系統(子計畫三)和跟車系統(子計畫四)等。本整合型計畫所描述先進車輛控制及安全系統之示意圖，如圖一所示。



圖一 各子計畫間之實體示意圖

以下對各研究之研究目的與文獻探討說明如下：

#### **子計畫一：先進車輛智慧型主動懸吊系統之高可靠度控制器設計**

目前對於主動式懸吊系統的研究，多以簡化過後的線性模型來設計控制器，這樣設計的控制器應用在實際懸吊系統上，並沒有一個準則或是令人足夠信服的效能指標來說明所設計控制器的優劣。一些研究利用遞迴步階控制法與最佳控制法則來解決 1/4 車相懸吊系統設計問題。但實際上主動式懸吊系統的特性是非線性的，因此目前文獻中所提出之設計出來的主動式懸吊控制器有其限制。另外一些研究利用適應控制法則雖可克服參數不確定之影響，但大大增加了微控制器的計算量，且其懸吊特性之優劣沒有可接受的理論性的指標可遵循。我們考慮液壓致動器的非線性特性，找到獨創方法將其非線性特性抵消，如此便可用一般針對線性系統的設計方法(如 LMI)設計相關  $H^\infty$  及混合  $H^2/H^\infty$  控制器。

#### **子計畫二：追蹤動態最佳滑差之防鎖死剎車系統之智慧型控制**

ABS 防鎖死煞車系統，主要針對煞車系統為影響汽車動態之重要因素而設計，ABS 的效用除了在低摩擦路面減少煞車距離外，最大的功能是確保車輛的操控性與穩定性。由於車輛動態變化為高度非線性、時變及不確定的系統，因此在控制器之設計上會因所欲控制的目的不同而有所不同的設計方法。在傳統的控制方法中，可利用車輪的減角速度和其預定限制值比較，來決定致動器動作形式與作用時間長短。另一方面，另外亦可利用剎車當時的剎車扭矩大小及滑差值與所預估值作比較來辨別路面狀態，並以模糊控制法與模糊類神經網路滑動式控制法則與來控制滑差。本研究子計劃將藉由 LuGue 的摩擦力方程式對於不同路面會產生不同摩擦力而形成不同的相對速度(車輪轉速及車速的差距)之特性來達到路面估測的目的，並採用一新穎之二階動態滑差方程式取代原車輛之動態模型且利用滑動模式控制器控制該二階滑差方程式以達到煞車效果。

#### **子計畫三：先進車輛前景移動物體影像之即時辨識系統的研究與實作**

前景影像即時辨識系統為智慧型車輛自動控制系統中之必要的前置處理子系統，車輛於行駛中的跟車距離、障礙物偵測和車道闖入物體偵測均為車輛安全駕駛的重要因素，而如何有效的即時辨識車輛前景影像與建立警示機制將是車輛安全的主要課題。解決車輛行進時偵測前方障礙物的方法，以如何即時地判斷車輛行進與前方障礙物之間的相對位置，如障礙物是否在車輛的行進路徑上，以及障礙物與車輛行進之間的距離是否過於接近等問題為主要的偵測事項，因此移動物體的偵測為實現車輛前景動態影像即時辨識系統中重要的環結。

#### **子計畫四：高可靠度跟車系統之設計**

自動跟車控制系統是由路面設施和車輛上的特殊裝備組成，將汽車組成一組一組的車陣運行，每輛車可隨時加入或退出整個車隊，當汽車在車隊中行駛時為自動駕駛，保證汽車的行駛絕對安全，車上的電腦利用感測器量測各車間之車距與相對車速等資訊，能駕御車子之油門與煞車來改變車速，達到自動跟車目的，目前之研究大多利用狀態迴授控制法則進行設計。本研究子計畫利用模糊類神經網路控制技術設計所需之控制法則，讓所有受控車輛都可以保持固定車速與車距，最後由模擬結果顯示所提出來的控制系統可以得到良好且安全的自動跟車防撞效能。

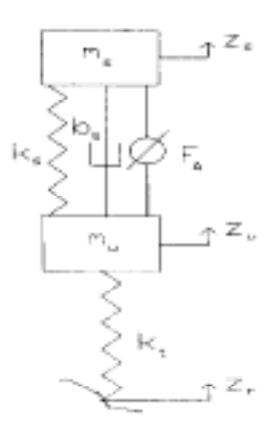
### **三、研究成果**

本年度此計畫共以四個子計畫完成各自負責的項目，下面就分別陳述各子計畫的進度

狀況：

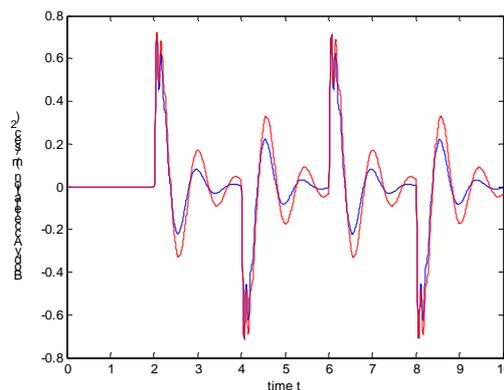
### 子計畫一：先進車輛智慧型主動懸吊系統之高可靠度控制器設計

懸吊系統主要由一彈簧、一阻尼器和一液壓致動器組成，三者結構上呈平行排列。我們目前所採用之 1/4 車主動式懸吊系統構造如圖二所示：



圖二 1/4 車主動式懸吊系統構造

懸吊系統我們所希望的特性是：(1). 因路面不平、凸出、或坑洞所造成車體上下方向的加速度要越小越好，以增進乘客舒適感；(2). suspension travel 不要太大，才能保持良好的抓地力，操控性較佳。我們將  $H^\infty$  及 mixed  $H^2/H^\infty$  控制理論應用的 1/4 車的主動式懸吊系統控制器之設計，並找到獨創的方法可以克服液壓致動器之非線性特性，以簡單的線性系統理論設計控制器。模擬結果如圖三所示。

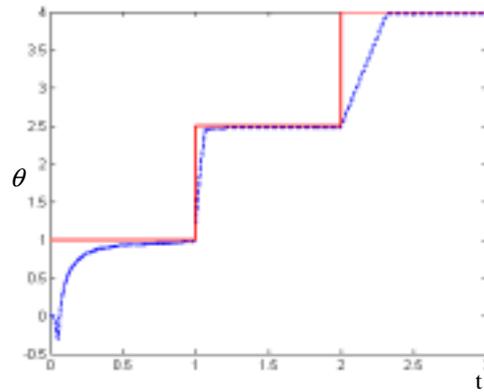


圖三 紅：被動懸吊;藍：mixed  $H^2/H^\infty$  控制主動懸吊。

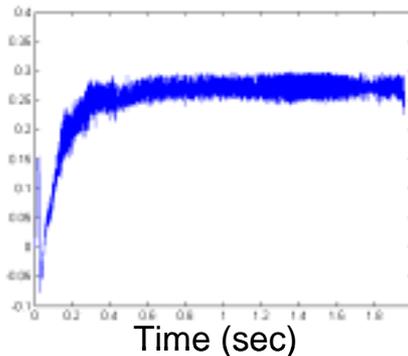
### 子計畫二：追蹤動態最佳滑差之防鎖死剎車系統之智慧型控制

本計劃利用 LuGue 摩擦力方程式與車輛方程式作為路面估測的基礎，藉由 LuGue 摩擦力方程式在不同路面所反應出不同摩擦力所形成之縱向力造成不同之相對速度，在藉由此相異之相對速度來得到該車輛目前所行駛之路面。在本子研究計畫之模擬成果中中，假設三種不同路面分別為乾地( $\theta=1$ )、溼地( $\theta=2.5$ )及冰地( $\theta=4$ )，其估測結果如圖四所示，由模擬結果可發現此路面估測器的效果。

為了有效達到最短煞車距離，如何在各種不同路面中獲得最佳滑差是非常重要的。因此，我們將車輛的動態方程式轉換為一二階動態滑差方程式，再藉由滑動模式控制器迫使滑差去追蹤由路面估測器所提供之參考滑差以達到煞車的目的。以電腦模擬來驗證所提之方法圖五為系統輸出值，由模擬結果發現滑差可以保持至一穩定值。



圖四 路面估測狀態



圖五 ABS 的二階動態滑差輸出值

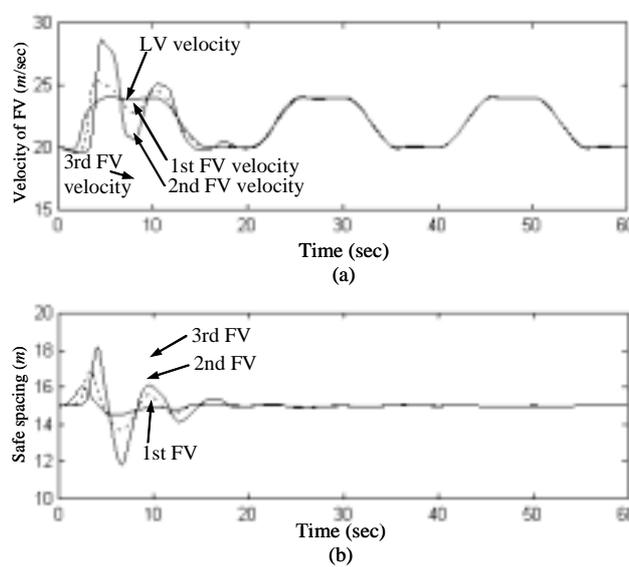
### 子計畫三：先進車輛前景移動物體影像之即時辨識系統的研究與實作

本子計畫中我們建立起一個基於電腦視覺的即時移動物體偵測及自動追蹤系統，在此即時移動物體偵測及自動追蹤系統中，在移動物體偵測處理程序方面，我們使用移動邊緣偵測法來偵測出移動物體的所在位置，之後再利用此移動邊緣偵測法所偵測出來的移動物體之位置來擷取出移動物體樣版影像，之後便進入移動物體追蹤處理程序，在移動物體追蹤方面，我們則是使用平均位移演算法來追蹤移動物體。平均位移演算法其實是一種快速且又效率的樣版追蹤演算法，在移動物體偵測處理程序中，我們已經將移動物體樣版影像給擷取出來了。而本系統之系統架構中，此系統是由三個處理程序所組成：(1) 移動物體偵測程序；(2) 樣版影像擷取處理程序；(3) 移動物體追蹤處理程序。

我們發展出之基於電腦視覺技術的即時移動物體偵測及自動追蹤系統。在平均位移演算法中，它認為越難分類的兩類影像，其在分類後的誤差便會越大，而其影像相似度便越高，故在平均位移演算法中，我們便是要去尋找那和樣版影像會產生最大誤差值的候選影像，因為平均位移演算法採用了平均位移向量的觀念，使得其運算的速度得以大幅度的提昇，平均每進行一次移動物體追蹤的動作只需要 25 msec 的時間，充分的滿足了我們對於運算速度方面的需求，而在移動物體樣版影像追蹤的準確性方面，平均位移演算法同樣的也有著極為優秀的表現。

### 子計畫四：高可靠度跟車系統之設計

本子計畫利用模糊類神經網路技術開發設計所需之智慧型控制法則，讓所有受控車輛都可以保持固定車速與車距，如此將能夠提高道路運輸效率並降低交通事故發生，且全部所需之控制器參數均由李亞普諾夫穩定理論所推導之自我學習法則調整。最後，將本子研究計畫所提出來的控制方法代入幾種不同的測試條件測試效能。以下選取一最常見之跟車行為如下：假設有三台跟隨車去追隨前導車並保持在  $H=15m$  的安全距離。其模擬結果如圖六所示，由模擬結果可以知道經過一段時間的學習過後，後車可以精確的與前車保持適當的安全距離達到安全的行車目的。



圖六 控制結果系統響應圖

#### 四、成果自評

本整合型計畫之成果符合預期結果，理論發展皆完成目標，並提供模擬測試之結果驗證，且所得成果極適合發表於專業控制期刊及轉移業界。對於未來研究方向，可以朝向以下幾點努力：

- (1) 懸吊系統參數的不確定性、spool 之特性、特殊情況之懸吊特性控制、高可靠度懸吊系統控制器設計，及 1/2 車、全車懸吊系統之相關控制器設計，尚待未來進一步探討。
- (2) 在路面估測器方面，我們雖可以快速的得到所需之滑差值( $\theta = 0.28$ )，但其滑差值有明顯的振盪現象。因此，未來我們必須經由其它有效之方法來改善其振盪現象以得較好結果。
- (3) 將來希望能夠將移動物體偵測及自動追蹤的技術推廣應用於無人自動監控系統、智慧型自動跟車系統、機器人視覺以及光學滑鼠的影像感測追蹤系統等領域，讓移動物體偵測及自動追蹤技術能夠有更好的應用與發揮。
- (4) 以後將可以朝向開發更佳智慧型之自動跟車控制系統，可以達到更快的系統參數收斂效能，或朝向建立更加複雜逼近實際系統之模擬。甚至安裝所需之感測器至實際車子上實驗驗證。

#### 五、參考文獻

- [1] 交通部運輸研究所綜合技術組，「台灣地區智慧型運輸系統(ITS)發展現況調查報告」，交通部運輸研究所，民國八十七年五月。
- [2] 毛治國，「智慧化運輸系統的特性與我國的推動策略」，台灣地區運輸系統智慧化推動策略研討會論文集，民國八十七年十月。
- [3] Mashrur A. Chowdhury and Adel Sadek, *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*, Artech House.
- [4] U. S. Department of Transportation, "Building Professional Capacity," *ITS: Guidelines for Designing an Individualized Training and Education Plane*, April 1999,