

行政院國家科學委員會研究計畫成果報告

一、中文計畫名稱：

車輛動態特性及駕駛模擬系統之研製

二、英文計畫名稱：

The Research and Development of a Vehicle Dynamics and Driving Simulation System

三、計畫編號：

NSC88-2212-E-018-003

四、執行單位：

國立彰化師範大學

五、計畫主持人(包括共同主持人)：

黃榮文副教授

六、執行開始時間：

87年8月1日起

七、執行結束時間

88年7月31日

八、報告完成日期：

88 年 7 月 31 日

九、報告總頁數

11 頁

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

Finalrpt.doc

十二、報告電子檔格式：

WORD97

十三、中文摘要關鍵詞：

車輛動態特性，虛擬實境技術，資料擷取，動態資料交換

十四、英文摘要關鍵詞：

Vehicle Dynamics, Virtual Reality Technology, Data Acquisition, Dynamic Data Exchange.

十五、中文摘要：

本研究之主要目的在於研製一車輛動態特性模擬分析系統，研究中分析、歸

納並推導車輛動態系統之數學模式，並以虛擬實境(VR)技術建立 3D/VR 模擬系統，配合數值分析方法，再利用視窗環境之動態資料交換功能，以資料擷取軟體及硬體設施，將引擎油門開度、及轉向機構之輸入值訊號，與前述之數值分析及 VR 軟體作即時交換，以栩栩如生的 3D /VR 影像，將車輛之運動在螢幕上顯現出來，使模擬分析更具動感。

本研究之 VR 系統以參加八十八年中華民國自動車工程學會舉辦之超級省油車競賽用車(三輪式)及競賽場地為藍圖，進行車輛動態特性之模擬分析、VR 動畫之繪製、資料之擷取與處理(油門開度及轉向角度)，完成簡易的駕駛模擬系統。未來遠程計畫則將以四輪轎車之動態特性(包括更複雜之車輛子系統)分析與駕駛模擬系統之製作為主要目標。

十六、英文摘要：

The purpose of this study is to develop a vehicle dynamic system. The author analyzes and derives the mathematical models of vehicle dynamic systems, develops a virtual reality (VR) simulation system, and constructs a simple driving simulator. The data of vehicle dynamic systems are acquired and transferred to VR simulation system through the dynamic data exchange function provided by the windows environment.

In the VR system, the prototype for attending the Super-mileage Tournament in 1999, which is sponsored by the Society of Automotive Engineering of R.O.C., is set up with two inputs : throttle position and steering wheel input angle. Associated with vehicle dynamics mathematical model running in numerical analysis software MATLAB as well as VR driving environment, the simple driving simulator is accomplished. A more sophisticated driving simulator can be constructed if some hydraulic cylinders, real vehicle steering system, brake system, gear shifting system, multi-cylinder engine, and some motion analysis and matrix operations are added.

前言：

虛擬實境 (Virtual Reality, VR) 技術，是近年來在電腦圖學領域中蓬勃發展的一項研究，尤其隨著個人電腦的進步，使得許多過去非得在高階電腦繪圖工作站上才能執行的虛擬實境應用程式軟體，現在也可以在個人電腦上執行，也使得 VR 技術的研究更為普及。

有關車輛動態特性之研究，歐美日各國已行之有年，對車輛、轉向與操控、動力系統、煞車作用、各種外部作用力等有詳盡的描述，並做數學模式之推導，研究車輛之穩定性。而拜電腦之賜，對數學模式之驗證已漸次不必依賴耗時、費力、花錢、有時更是不可能完成的實驗量測，而改應用電腦作數值分析、計算及模擬等，使得研究及新的設計開發工作能以最快的速度完成。

駕駛模擬器方面，國外大多有官方或財力雄厚之業界參予，如：(1)、美國 MIT 在國防部贊助下，於 1962 年首度使用 CRT 設備來進行車輛行駛路徑之研究；(2)、1984 年西德 Daimler-Benz 在柏林建造了六自由度之第一座真正的駕駛模擬系統；(3)、日本 MAZDA 公司發展之 12 個自由度的駕駛模擬系統；(4)、瑞典道安協會所執行之具有三個自由度的駕駛模擬系統 VTI；(5)、美國 IOWA 大學在政府贊助下發展的駕駛模擬系統 IDS 等。

國內研究車輛動態特性者甚多，但大多偏重於動力系統（汽機車引擎）或機車駕駛模擬系統，對汽車全車動態特性之分析模擬較少。至於駕駛模擬器 (Driving Simulator) 方面，國內除了電玩業引進之賽車模擬機外，華航及長榮航空均有飛航駕駛模擬系統，數家汽車駕駛訓練中心及公路局北區訓練中心等則設有功能較低之汽車駕駛模擬系統，公路局南訓中心前劉英標主任籌設數年之駕駛模擬系統，亦已經初步具有將駕駛者、車輛、環境三者間互動關係融入的功能，但因著重於 駕駛 模擬，訊號只能單方向傳輸，且對車輛動態特性之研究未作著墨。學術界中有中央大學機械系開發之駕駛模擬器，於 1997 年 9 月「跨越世紀汽車新里程研討會」中發表，應用 VR 技術於駕駛訓練，利用汽車動態分析模擬軟體 LVDS 模擬出汽車在各種條件下之運動狀態，再結合訊號擷取系統所擷取之駕駛者操控資訊，作為駕訓場之駕駛模擬器。此外，成功大學及交通大學亦分別接受交通部

之委託完成駕駛模擬器之製作，但其著眼均在於駕駛模擬器，對車輛動態特性之分析與數值計算模擬則著力較少。

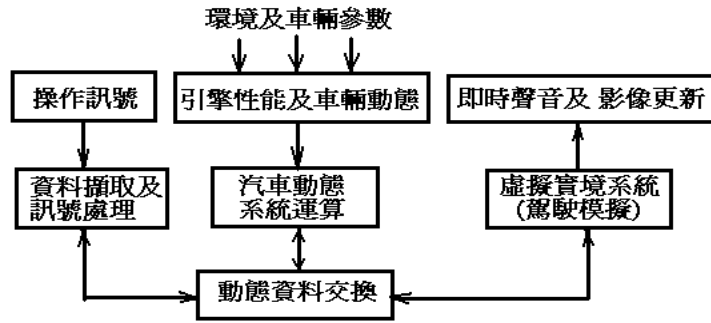
本研究嘗試以動態資料交換 (Dynamic Data Exchange, DDE) 方式，作為虛擬實境系統、訊號處理系統，及數值運算系統之間的橋樑，完成動態模擬之目的。利用 PC 級 VR 軟體 Superscape VRT，結合數值分析計算軟體 MATLAB 及資料擷取軟體 Snap-Master 之間的動態資料交換功能，研製一套虛擬實境車輛動態特性分析及模擬系統。

研究方法：

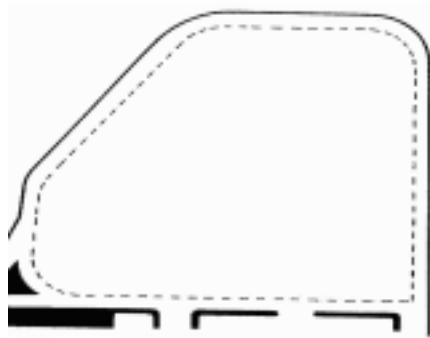
本研究採取理論探討、系統架構的分析及軟、硬體製作與發展等方式來進行研究，研究步驟如下：

1. 整理歸納出車輛動態特性之統御方程式(Governing Equations)，並以數值分析軟體進行計算模擬。
2. 探討資料擷取及訊號分析軟、硬體之特性，並完成其架設。
3. 根據上述的探討結果，發展一套雛形系統，將虛擬實境技術應用於工程上之即時模擬系統。
4. 藉由雛形系統的模擬，討論與驗證前述車輛動態特性理論分析之正確性，並提出結論與未來發展方向。

本研究利用動態資料交換方式來傳輸資料，使用訊號處理軟體 Snap-Master 來處理由各感測器擷取之電壓訊號，利用 MATLAB 進行車輛動態特性之計算模擬，並利用虛擬實境軟體 Superscape VRT 進行 3-D 動態畫面呈現。三者相互之間利用視窗環境提供之 DDE 功能進行資料的即時傳輸，以達到即時動態模擬的效果。系統方塊流程如圖一所示，並以圖一為系統架構，進行以中華民國自動車工程學會舉辦之超級省油車競賽為例之駕駛模擬，其競賽之路線圖如圖二所示。



圖一 車輛動態特性及駕駛模擬系統方塊流程圖



圖二 VR 模擬系統之省油車競賽路線圖

研究結果：

本研究推導之車輛動態特性方程式如下。若以圖三之簡化的腳踏車模式來取代一部汽車，則由動力學可知

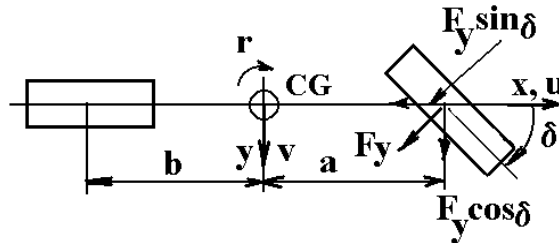
$$\sum F_x = m_e(u' - vr) \quad (1)$$

$$\sum F_y = m_e(v' - ur) = dC_{\alpha_f}\alpha_f + eC_{\alpha_r}\alpha_r \quad (2)$$

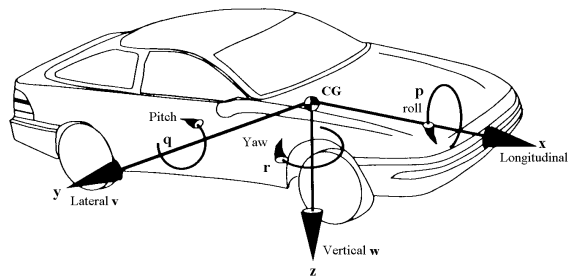
$$\sum M_z = I_z r' = daC_{\alpha_f}\alpha_f - ebC_{\alpha_r}\alpha_r \quad (3)$$

式中 u 為車輛之前進速度 (x -方向); v 為側速度 (y -方向); r 為車頭旋轉速度 (繞 z 軸); u' , v' 及 r' 為 u , v 及 r 之時間微分, 即加速度; m_e 為車輛之等價質量, 大概為車輛質量 m 之 1.05~1.08 倍左右, 以慮及旋轉質量之平移等價作用; a , b 為前後輪軸到質心之距離; d 及 e 分別為前後輪軸之輪胎數目, 四輪車時 $d=e=2$,

三輪車時 d, e 分別為 2、1 或 1、2; C_{α_f} 及 C_{α_r} 分別為前後輪胎之旋向勁度 (Cornering Stiffness); α_f 與 α_r 分別為前後輪胎之滑移角 (Slip Angle); I_z 為車輛對 z 軸之 5 質量慣性矩。車輛之座標系統可參考圖四之 SAE 規範 (SAE J670e)。



圖三 轉向時 x 和 y 方向之力分量



圖四 車輛座標系統(SAE Terminology)

圖三中的 δ 為駕駛者經由轉向機構對輪胎 (或車輪 Wheel) 的輸入角度，以達到轉向或變換車道的目的，其值為

$$\delta = 573 \frac{l}{R} + \frac{u^2}{gR} \left(\frac{W_f}{dC_{\alpha_f}} - \frac{W_r}{eC_{\alpha_r}} \right) = 573 \frac{l}{R} + \frac{u^2}{gR} (bdC_{\alpha_f} - aeC_{\alpha_r}) \quad (4)$$

式中 l 為車輛之輪距 (Wheel Base); R 為轉彎時之旋轉半徑; g 為重力加速度; W_f , W_r 為前後輪軸分配之車重。

式(1)中之 ΣF_x 為下列各量的和: F_y 的 x 分量、煞車力 F_b 、引擎傳到輪胎之曳引力 F_e (由引擎輸出軸扭力除以輪胎外徑而得)、空氣阻力 F_a ，以及輪胎與地面

之滾阻力 F_t 。即

$$\Sigma F_x = F_e - dF_y \sin \delta - F_a - F_{tf} - F_{tr} - F_{bf} - F_{br} \quad (5)$$

ΣF_y 則為輪胎提供之側向力，使得駕駛者能達到轉向操控之目的，如圖五所示。此研究中以線性動態輪胎為限，非線性輪胎暫不考慮。在線性輪胎模式 (Linear Dynamic Tire Model) 中前後輪胎側向力分別與滑移角 (α_f 、 α_r) 成正比，亦同時與輪胎之側向變量 (y_{1f} 、 y_{1r}) 成正比，其比值分別為旋向勁度 (C_{α_f} 及 C_{α_r}) 及側向勁度 (Lateral Stiffness, K_f 及 K_r)，亦即

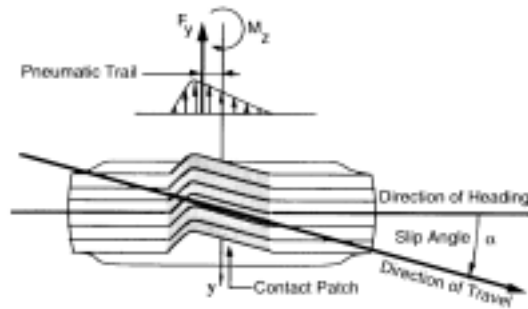
$$F_{yf} = C_{\alpha_f} \alpha_f = dK_f y_{1f} \quad (6)$$

$$F_{yr} = C_{\alpha_r} \alpha_r = eK_r y_{1r} \quad (7)$$

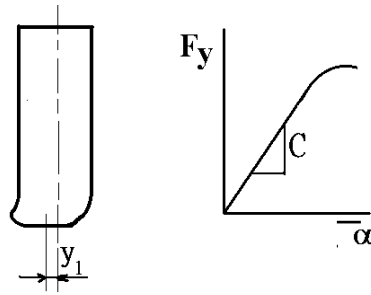
圖六中之輪胎變形量 y_1 為一動態變化值 (故名為線性動態輪胎模式)，其運動方程式為

$$y'_{1f} + \frac{k_f u}{C_{\alpha_f}} y_{1f} = -v - ar + \delta u \quad (8)$$

$$y'_{1r} + \frac{k_r u}{C_{\alpha_r}} y_{1r} = -v + br \quad (9)$$



圖五 側向力下輪胎變形量

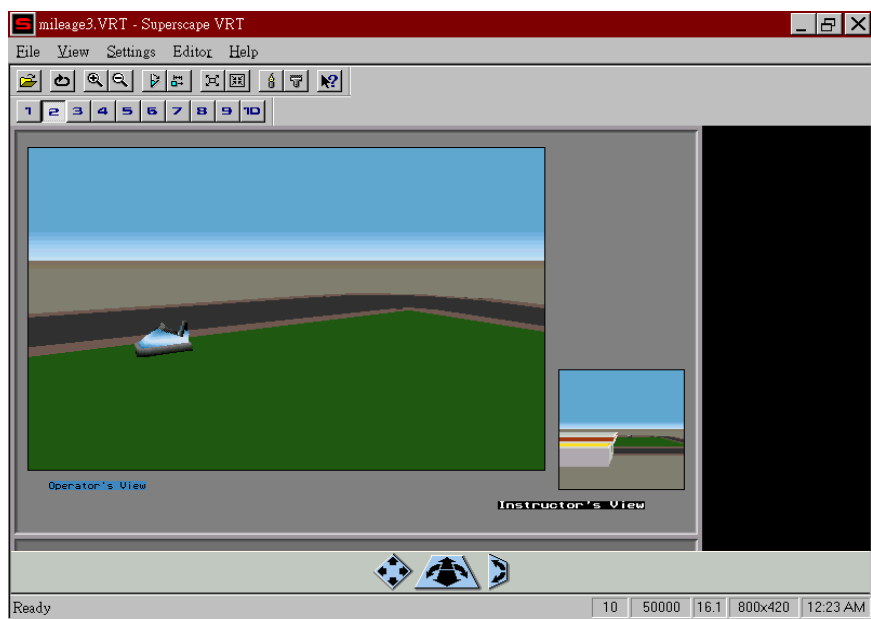


圖六 輪胎之轉向位移

利用 MATLAB 對式(1)~(9)進行計算模擬，即可得到車輛之五個自由度 u, v, r, y_{lf} 及 y_{lr} 之瞬間值，若再進一步積分及運算，即可得到車輛質心之位置軌跡 (X, Y)，以及車頭旋轉之角度 (φ)。將此等數值 (X, Y, φ ，以及 u, v, r) 利用 DDE 功能傳送到 VRT 中，以改變虛擬實境中的虛擬車輛影像，配合事先錄製之聲音檔案，即可進行簡易車輛駕駛模擬。

為達到駕駛模擬 (省油車競賽模擬) 之目的，需操作並擷取方向盤輸入角度及油門開度值，送到 MATLAB 中進行車輛動態分析。輸出軸扭矩及轉速事先經由引擎動力計量測，形成引擎性能曲線，在某一油門開度及引擎轉速下，即可決定當時之輸出軸扭矩，而引擎轉速則由當時之車速乘以引擎之速比決定之。由 MATLAB 計算得到車輛之質心位置 (X 及 Y)、車頭轉角 (φ)、線速度 (u 及 v) 及車頭擺動速度 (r)，再送到 VR 環境中進行影像與聲音更新，如圖七及圖八所示。如圖二中之說明，超級省油車競賽以省油為目的，只要求在 30 分鐘內跑完 10 公里。因此 VR 場景中除了一輛可由外部實際方向盤及油門操控之省油車外，同時安置三部以等速度 (20km/hr) 運動之車輛，以與操控之省油車作比對，得知目前領先或落後的情形。

本駕駛模擬的主要目的為測試車輛動態特性之正確性及經由 MATLAB 軟體數值計算結果與 VR 軟體間即時資料傳輸的可行性。測試結果尚稱滿意，以一台 Pentium II 350 配備 64MB SDRAM，同時執行訊號擷取、影像處理，以及數值運算，在 VR 場景沒有太多貼圖的情況下，可以有 10 fps (Frames Per Second) 的影像更新率，達到即時動態模擬的目的。



圖七 超級省油車競賽模擬圖（一）



圖八 超級省油車競賽模擬圖（二）

結論與建議：

本研究推導車輛動態特性之運動方程式，同時研製一簡易駕駛模擬系統，藉由操控方向盤及油門，即可改變 VR 場景中之省油車的運動速度及位置，達到動態駕駛模擬之目的。若將駕駛模擬系統加以擴充，加入油壓缸及駕駛模擬台，配合真實汽車上拆下之轉向系統、煞車、換檔機構等，經由運動學及反運動學分析，驅動油壓缸，即可完成更逼真的駕駛模擬器，此為第二年期（八十九年度）之計畫進度。

本計畫第三年期（九十年年度）計畫研製之模擬系統預期將具有雙向、即時控制之功能，實驗者可因操作實物而改變 VR 影像，亦能藉由配戴資料手套去操控 VR 場景中的車輛方向盤、換檔機構等，而使模擬測試台產生相對應的運動。因此，此一模擬測試系統將不再受限於單一實物，而可藉由改變 VR 系統、數值分析中車輛系統之輸入數據、駕駛測試台上之荷重與分佈等，以模擬測試各種不同的車種與車型。

中華民國研究報告摘要表

(行政院國家科學委員會科學技術資料中心)

地址：台北市大安區 10636 和平東路二段 106 號 15 樓 電話：(02)7377642

※本表共計二頁，敬請逐項(中、英文)詳細填寫以利電腦及排版作業，謝謝

填寫日期：民國 88 年 8 月 10 日

編號(免填)：

研究者	計畫主持人	中文姓名	英文姓名(請填全名：姓，名一名)		聯絡電話	
		黃榮文	Huang, Rongwen		04-7232105-7123	
	共同主持人					
執行機關(中文)	國立彰化師範大學		系所 處組	工業教育系 車輛技術組		代碼 (免填)
專題名稱	中文	車輛動態特性及駕駛模擬系統之研製				
	英文	The Research and Development of a Vehicle Dynamics and Driving Simulation System				
經費來源(中文)	①	行政院國科會	代碼(免填)		補助金額	①新台幣 437,700
	②		代碼(免填)		補助金額	② 新 台 幣 元
補助編號	NSC88-2212-E-018-003					
研究期限	民國 87 年 8 月至民國 88 年 7 月		學門分類(請參閱第二頁分類表，填入代碼)		結構與振動	
報告頁數完成日期	中文	研究報告 12 頁，民國 88 年 7 月完成	英文	Report, __P,19__	研究報告使用語文	中文 英文
發表期刊名稱、卷期、頁次、年、月	中文			卷 期	起迄頁數	出版年月
	英文			Vol.____,No.____,P____-____,19.____,____		
關鍵詞	中文	①車輛動態特性		②虛擬實境技術		③資料擷取
		④動態資料交換		⑤		⑥
		⑦		⑧		⑨
	英文	① Vehicle Dynamics		② Virtual Reality Technology		③ Data Acquisition
④ Dynamic Data Exchange		⑤		⑥		
⑦		⑧		⑨		
	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	提供機構			代碼(免填)	
		原件類別	<input type="checkbox"/> 微縮片 <input type="checkbox"/> 影本 <input type="checkbox"/> 單行本	微片編號	微片數目	片 幅

研究結果中文摘要：(以三~五百字為限將研究結果扼要寫出，文中若有特殊符號，請以中(英)文名稱代替，以利電腦輸入)

本研究之主要目的在於研製一車輛動態特性模擬分析系統，研究中分析、歸納並推導車輛動態系統之數學模式，並以虛擬實境(VR)技術建立 3D/VR 模擬系統，配合數值分析方法，再利用視窗環境之動態資料交換功能，以資料擷取軟體及硬體設施，將引擎油門開度、及轉向機構之輸入值訊號，與前述之數值分析及 VR 軟體作即時交換，以栩栩如生的 3D /VR 影像，將車輛之運動在螢幕上顯現出來，使模擬分析更具動感。

本研究建構之 VR 系統以參加八十八年中華民國自動車工程學會舉辦之超級省油車競賽用車(三輪式)及競賽場地為藍圖，進行車輛動態特性之模擬分析、VR 動畫之繪製、資料之擷取與處理(油門開度及轉向角度)，完成簡易的駕駛模擬系統。未來遠程計畫則將以四輪轎車之動態特性(包括更複雜之車輛子系統)分析與駕駛模擬系統之製作為主要目標。

研究結果英文摘要：(請用打字或寫體填寫，以利電腦及排版作業，謝謝！)

The purpose of this study is to develop a vehicle dynamic system. The author analyzes and derives the mathematical models of vehicle dynamic systems, develops a virtual reality (VR) simulation system, and constructs a simple driving simulator. The data of vehicle dynamic systems are acquired and transferred to VR simulation system through the dynamic data exchange (DDE) function provided by the Windows environment.

In the VR system, the prototype for attending the Super-mileage Tournament in 1999, which is sponsored by the Society of Automotive Engineering of R.O.C., is set up with two inputs : throttle position and steering wheel input angle. Associated with vehicle dynamics mathematical model running in numerical analysis software MATLAB as well as VR driving environment, the simple driving simulator is accomplished. A more sophisticated driving simulator can be constructed if some hydraulic cylinders, real vehicle steering system, brake system, gear shifting system, multi-cylinder engine, and some motion analysis and matrix operations are added.

