

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：進修)

汽車轉向動力學之特徵結構分析及 強健性四輪轉向控制

服務機關：國防大學中正理工學院
出國人職稱：少校教師
姓名：朱子文
出國地區：英國
出國間間：86.06.03.至 90.05.31.
報告日期：90.09.

摘 要

本報告係奉派赴英國進修博士之心得紀要，報告內容包含進修目的、研修過程、研究成果、心得與建議等。進修期間自民國八十七年六月起至民國九十年五月共四年，進修院校為英國華威大學工程學院，博士論文題目為「汽車轉向動力學之特徵結構分析及強健性四輪轉向控制」，文中詳述車輛轉向運動之原理，並據此發展出一強健性四輪轉向控制法則，以增進車輛行進間之抗干擾能力，並具備強健性使得此一控制系統不受參數變動之影響。經由電腦數值模擬證明了此一控制系統之優點，並可作為未來先進車輛控制系統發展之參考。

目 錄

<u>1. 進修目的</u>	4
<u>2. 研修過程</u>	5
<u>2.1 進修院校</u>	5
<u>2.2 研究主題之訂定</u>	6
<u>2.3 研究方法</u>	7
<u>3. 研究成果</u>	8
<u>4. 心得</u>	9
<u>5. 建議</u>	10

1. 進修目的

本次國外進修，係奉國防部民國八十六年五月五日(86)易旭字第九二一六號令：以八十六年度國軍官兵進修員額赴英國進修博士四年(自民國八十六年六月一日至民國九十年五月卅一日止)，就讀於英國華威大學工程學院，在該學院之系統模式化與模擬(Systems Modeling and Simulation)研究群組下從事研究。論文題目為「汽車轉向動力學之特徵結構分析及強健性四輪轉向控制」。

近代車輛控制技術如防鎖死煞車系統(ABS)，防打滑系統(ASR)，主動式避震系統及四輪轉向系統等，皆為增進車輛之操控安全及穩定性而發展。未來之車輛操控系統已朝向整合型控制系統發展，亦即此一控制系統可能須同時調整煞車、避震器及轉向系統以達到安全之目的。為發展此一先進之整合型控制系統，有必要從系統理論的角度深入探討車輛運動力學之原理以作為發展先進控制系統之根基。因此，本研究利用特徵結構分析法則(eigenstructure analysis)詳細探討車輛之轉向運動原理，並以特徵結構安置法(eigenstructure assignment)設計一強健性四輪轉向控制以增進車輛行進間之穩定性及抗干擾(如側風)能力。

2. 研修過程

2.1 進修院校

本次國外進修地點選擇英國華威大學 (Warwick University) 工程學院 (School of Engineering)。華威大學位於英格蘭中部心臟地帶，為英格蘭中部之學術重鎮，各學院在全英大學評鑑均名列前茅。其研究生人數約佔全校學生之 40%，為全英頂級之研究學府。其所在地科芬特里 (Coventry) 為英國汽車工業城，並緊鄰工業大城伯明罕 (Birmingham)，加上校園隔鄰之科學園區，使得華威大學與工業界合作密切，學校財源約 60% 來自工業界，被英國首相布萊爾譽為全英產學合作之典範。

華威工程學院包含機械、電子、電機及土木工程等組別，其模組化及多元化之課程安排使得學生選課時具有極大之彈性，並可依照學生個人意願修習所需課程。學院積極鼓勵學生參與校外實習，並於假期代為安排至工業界接受專業訓練，以使理論與實務相結合。

2.2 研究主題之訂定

本次論文研究之方向，係參酌本院之教學研究需求、指導教授之專長及個人之學術背景而訂定。指導教授 R. Peter Jones 博士專精於車輛工程及控制理論，曾任著名汽車公司如捷豹(Jaguar)及路寶集團(Rover Group)之諮詢顧問，因此於初期階段，研究主題係朝向車輛控制系統之發展，此一階段之主要工作係蒐集參考文獻並研讀基礎理論，以作為訂定論文主題之參考。同時，車輛行進狀態之電腦模擬及分析程式亦於此段期間完成，用以印證其他作者之分析及控制理論並奠定系統分析及控制設計的基礎。初步之車輛運動分析及控制結果，曾二度至路寶集團位於英國蓋登(Gaydon)之研發總部簡報，以聽取汽車業界對於本研究之建議。

最後，經由對於參考文獻之分類整理及探討，研究論文題目定為「車輛轉向動力學之特徵結構分析及強健性四輪轉向控制」，其目的係經由系統分析的觀點探討車輛轉向原理，並據此設計一多輸入多輸出之車輛轉向控制系統，以作為未來發展整合性車輛控制系統之基礎。

2.3 研究方法

經由文獻之研讀發現，以往之車輛控制系統僅考慮車輛迴轉速率(yaw rate) 對於前輪轉動角度(steer angle) 的響應，在此一控制系統中，車輛係被視為單輸入單輸出(Single-Input/Single-Output, SISO)系統。未來之先進控制系統須能同時控制轉動角度、避震及煞車系統，因此車輛必須視為一多輸入多輸出(Multi-Input/Multi-Output, MIMO) 系統。基於此一觀點，本研究利用三自由度的車輛數學模式，經由特徵結構分析法則來分解車輛之轉向運動響應，期能經由此一分析來增進對於轉向運動響應之瞭解。

其次，車輛之轉向能力係基於車胎之側向力，此一側向力又與車胎之剛性係數(cornering stiffness) 相關聯，此一剛性係數係車胎正向負荷(normal load) 的非線性函數。當車輛右轉時，右側輪胎之正向負荷會平移至左側輪胎，此一過程稱為橫向負荷轉移(lateral load transfer)。橫向負荷轉移使得右側輪胎之正向負荷減少，而左側輪胎之正向負荷增加，若轉向動作過於激烈，可能導致右側輪胎之橫向力急遽降低甚至趨近於零，此時車輛將會失去控制並成為不穩定狀態。此一橫向負荷轉移對車輛轉向運動影響極大，但以往文獻中並未詳細探討其原理，因此本研究就學理上之分析，來探討橫向負荷轉移對車輛轉向運動影響。基於以上之學理分析，本研究提出一多輸入多輸出之強健性四輪轉向控制法則，其目的係增強車輛行進間之抗干擾能力，並具備強健性使得此一控制系統不受參數變動之影響。

3. 研究成果

經由對於車輛轉向時之橫向負荷轉移之探討得知，此一橫向負荷轉移係造成車輛失控之主要來源之一，本研究據此提出一新的法則用以判斷車輛轉向時其操控特性之變化趨勢，此一變化趨勢與車輛本身的滾轉剛性(roll stiffness)、輪胎的剛性及特性係數等有關，因此，此一法則可作為車輛設計時之重要參考因素。

其次，經由特徵結構分析發現，車輛之前、後輪轉向控制系統主要係控制車輛之橫向及旋轉運動，而對於伴隨著橫向及旋轉運動而產生之滾轉運動(roll motion) 並無法有效控制，此一滾轉運動須經由主動式避震器方能有效控制，故此一分析對於未來整合型控制系統之設計，提供了極有價值之參考。此外，經由對於車輛開迴路轉移函數矩陣之奇異值分解發現，此奇異值分解法極適用於多輸入多輸出之控制系統設計，因此，本研究提出一模型追隨(model following) 控制結構，其控制器之增益矩陣係由特徵結構安置法(eigenstructure assignment) 及 H 強健性控制法則來決定。其中特徵結構安置法係考量閉迴路控制系統在時域中的響應，而 H 強健性控制法則係用以符合頻域之需求；其目的係於低頻時，車輛能具有較佳之抗干擾能力，而於高頻時，該控制系統能具強健性以抵抗高頻雜訊及參數變動的影響。經由數值模擬的結果，證實了以上之控制目的，說明了本研究所提出之控制法則足以作為未來整合型控制系統發展之依據。

4. 心得

綜觀歷年來國際性之車輛力學及控制研討會及國際期刊，提出論文之學者以歐、美、日、韓及中國大陸等國居多，鮮少本國學者。而本論文之部分內容曾投稿 2001 年於丹麥首都哥本哈根舉辦之國際車輛力學研討會 (IAVSD Symposium) 並被接受為口頭報告，投稿該研討會之作者多為各國車輛研究之泰斗，競爭極為激烈，因此投稿論文能被接受為口頭報告實屬不易，也證實了本論文之深度及前瞻性。其次，本次進修對於車輛運動力學及控制有極其深入之探討，因此所學除可支援本院與車輛相關之課程教學之外，亦可從事有關軍用車輛之設計與控制研究。期能在現有良好之基礎上繼續發揮所學，對國軍車輛系統之研發能有所助益。

5. 建議

1. 個人於進修期間曾連續三年選修華威大學專為海外學生所開設之論文寫作課程，此一課程對於個人論文寫作之幫助極大。該課程每週僅一小時，每學年僅 20 小時，然授課教師提綱挈領，善用教材，尤其是授課教師每週於固定時間為學生修改文章指正錯誤，對於論文寫作之幫助最為顯著。本院博士班研究生皆須以英文投稿論文，以其文法根基，再加以好的師資及教材，相信英文寫作可有長足之進步。
2. 華威大學鼓勵學生參與校外實習，使理論與實際結合，本院之專題實作即本此精神，值得繼續努力，發揚光大。