

出國報告(出國類別：其他(國際會議))

Nonlinear  $H^\infty$  Robust Control for Six  
DOF equations of motion of Rigid Body  
with Mass Uncertainty

服務機關：國防大學理工學院

姓名職稱：孔健君助理教授

派赴國家：韓國

報告日期：97年11月18日

出國時間：97年7月5日 ~ 11日

### 出國報告審核表

出國報告名稱: Nonlinear $H^\infty$ Robust Control for Six DOF equations of motion of Rigid Body with Mass Uncertainty		
出國人姓名：	職稱	服務單位
孔健君	助理教授	國防大學理工學院
出國日期： 97年7月5日 ~ 11日		報告繳交日期： 97年11月18日
計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整(本文必須具備「目的」「過程」「心得」「建議事項」) <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研判 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因 <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未依資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部份_____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應盡速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至，「公務出國報告資訊網」為原則。

## 摘要

IFAC 早已被世界公認為最重要之國際控制研討會,因此投稿 IFAC 能被接受刊登,即十分肯定該論文的學術價值,並能與國際接軌,接收最新之研究成果。本報告首先敘述參加會議經過,並列出曾聆聽之專業場次,比較各國之研究表現,並舉出中國大陸近來突起之事實。與其他國家學者交換意見,對於他國在研究計畫、團隊合作及學校教育上,值得借鏡之處。專業領域部分,將最新之三篇代表著作提出探討,並與個人研究做比較;並由發表論文之多寡,提出智慧型控制為未來控制界的趨勢。最後基於國際學術交流為重要之研究動力,提出鼓勵學者出國參加國際會議之建議。

### 一、 參加目的

由國際自控聯會 (IFAC, The INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL)所舉辦之 IFAC 世界自控會議,簡稱 IFAC,每三年在世界各著名大都市舉辦,今年(2008)則選定韓國首爾舉辦,研討主題主要著重在控制理論與各個相關領域應用。由於範圍相當廣泛,而且投稿人數眾多,以本屆來說,從世界各國投稿論文多達四千三百多篇,卻僅通過二千七百一十六篇論文,審查過程十分嚴謹,通過率僅 63%,IFAC 早已被世界公認為最重要之國際控制研討會。因此投稿 IFAC 能被接受刊登,即十分肯定該論文的學術價值,並能與國際接軌,接收最新之研究成果。

### 二、 參加會議經過

本次會議自七月五日起自七月十一日止共七天,約三千多位學者參加,有為數不少之世界知名教授,及控制領域已有輝煌研究成績的研究員,更有眾多之碩、博士班研究生。由於本次台灣學者前往參加 IFAC 會議人數眾多,中興大學電機系蔡清池教授遂經由中華民國自動控制學會,委託旅行社代辦一個二十五人之旅行團一同前往,同團之教授包括中興大學電機系蔡清池及其學生、海洋大學通訊導航系莊季高教授、海洋大學通訊導航系卓大靖教授、中華大學林君明教授、中國科技大學資工系王伯群教授、台灣大學電機系張帆人教授、中興大學電機系莊家峰教授、大華技術學院電機系謝劍書副教授、虎尾科大自動化系黃勤鎰助理教授、高雄醫學大學何文獻副教授、宜蘭大學電機系余國瑞副教授等學者及學生。

下圖為研討會開幕歡迎茶會之冰雕。



下圖為會場之廠商展示。



下圖為廠商展示機械手臂。



會場外的休息區。



下圖為晚宴之一角。



五天會議場次高達 420 場，以個人感興趣之非線性控制、強健控制與飛行控制而言，就有如下場次：

- (1) Nonlinear  $H_\infty$  Control and Disturbance Rejection
- (2) Nonlinear Systems I, II, III
- (3) Flying Robot I,II,
- (4) Applications of Nonlinear Optimization Based and Predictive Control
- (5) Low Altitude Flight and Landing Control
- (6) Applications of Nonlinear Control I
- (7) LMIs and Algebraic Methods in Control
- (8) Formation Flight
- (9) Stability of Nonlinear Systems
- (10) Applications of Nonlinear Control I, II
- (11) Nonlinear System Identification I, II
- (12) Guidance and Robust Control of Information Spacecraft
- (13) Robust Nonlinear Control

- (14) Applications of Nonlinear Control Methods
- (15) Gain Scheduling
- (16) Adaptive and Robust Control in Aerospace Vehicles
- (17) Nonlinear Control and Estimation in Bioprocesses

而各個主題所發表之論文均為當前該領域最為先進的研究成果。

本次被接受發表的論文來自世界各地，如美、日、韓、英、西班牙、瑞典、大陸、香港、中華民國、新加坡、荷蘭、澳大利亞等。其中比較受重視的、創新性的、先導型的成果亦多出於歐美、日本等國家，而大陸也有非常驚人的表現，發表論文多達 412 篇；台灣此次參與人數約八十多人，可謂歷年來參與國際研討會之最，且發表之篇數也不遑多讓，篇數也有 113 篇之多。但整體而言，中國大陸在控制工程界的表現，似乎有逐漸超越我國之趨勢。

本次會議中，曾與來自歐美之學者交換意見，發現他國控制學術圈之研究趨向，通常是理論與實作並重，並對於整合的工作極端重視，經常是一個大型計劃分成多個子計劃，每個子計劃皆有一個研究群，而整個計劃則有一個總計劃主持人。每個子計劃皆非常嚴格要求進度之配合，若進度落後或最後的成果不理想，則會一再檢討其原因。又由於整個團隊之共同目標非常明確，以能達成目標為最高精神指標，因此山頭主義的色彩並不明顯，也不會有計劃主持人彼此不信任或自行其是的現象。

另外，每個系所皆極盡能力來發展其特色，每位老師都分配要發展的目標，因此整個系所就如同一個大型的計劃團隊，近程、中程、遠程計劃皆定的非常詳盡，也都會控制其進度。而其經費充沛則為台灣所難望其項背，其中系友及企業工業界的捐獻極為豐富，每位系友對於母系皆有很深的感情與向心力，對於學弟妹的提攜不遺餘力，此風氣在台灣也逐漸形成中。

在研討會中，控制界之前輩與大師往往會針對一個問題就地討論起來，對問題一針見血，但態度卻非常的謙和，不會有針鋒相對的情形，此大師們的眼光胸襟與治學精神，實值得學習。而傾聽前輩們的看法，對研究上的一些瓶頸與困難亦多所饒益。

### 三、 與會心得

在飛行控制的領域中，應用現有之控制理論，雖已可得到良好的飛行品質，但仍有下列幾個問題：

- 1.絕大多數的控制技巧僅適用於線性飛機模式。
- 2.爲了求得線性飛機模式，首先要計算配平條件，才能求得每一個配平條件下的飛機模式。
- 3.穩定性及飛行性能往往因爲線性化的結果而降低。
- 4.由於是針對某一配平條件下設計的線性控制器，常不足以對較大範圍的飛行進行控制。
- 5.飛機模式線性化的技巧，一般是設定在小擾動的範圍內進行，亦即外擾不能過大，偏離平衡點的狀態也不能太大。
- 6.由於描述剛體飛行運動的六自由度方程式，在縱向與橫向上有耦合的現象，在假設小擾動的情形下，縱向與橫向運動可視爲解耦合。但當比較複雜的飛行運動，如加速度轉彎等，縱向與橫向已不可能再視爲互相獨立，需要同時考量縱向及橫向的控制，因而較複雜而難以設計。

嘗試解決上述問題的方法中，具有強健特性的控制理論，由於對外擾的消除及系統不確定性影響的降低皆有極佳的表現，無疑是其中新興且極具潛力的一個研究方向，此可由會議多數的主題皆強調強健性控制可看出，特別是  $H_\infty$  等類型控制理論的發展。其中非線性  $H_\infty$  方面，從前所公認的一些困難研究主題，由會議議程上之論文來看，似乎都有突破性的發展，其中最大的問題，在於 Hamilton-Jacobi 不等式的解難以求出。因此理論的運用，便屬鳳毛麟角。本次會議中 Henrique C. Ferreira et al.[1]採用了線性  $H_\infty$  的觀念，以一組動態權重函數來改進系統之強健性與性能，用 Galerkin 近似法來求解 Hamilton-Jacobi-Isaacs 方程式，並採取系統輸出作爲回授，比起系統狀態會受更爲困難與複雜。此類似泰勒級數展開的方式，在磁場懸浮的控制上也有良好的成果。E. Cristiani 先生亦在會議中，提出狀態有限制條件時，以微分對局的數值方法求解 Hamilton-Jacobi-Isaacs 方程式[2]。有關於非線性  $H_\infty$  飛行控制方面的文章，Shihua Li 等研究團隊[3]，提出全集合穩定方法，求解  $H_\infty$  控制器，應用在人造衛星姿態控制上，並獲得了良好的效果。而個人提出在質量與慣性矩有不確定性的情形下，系統之非線性  $H_\infty$  強健控制器解析解。剛體六自由度運動被完整的考慮，並依平衡點的不同區分爲非線性體軸速度角速度控制與非線性體軸速度姿態角控制兩種模式，進一步轉化爲狀態空間表示式，以非線性  $H_\infty$  控制理論進行求解。個人求得一具有不確定性質量與慣性矩之 Lyapunov 函數爲其解，再利用質量與慣性矩不確定性之上界，可求出一狀態回授之非線性  $H_\infty$  強健控制器。



模擬結果顯示，系統質量與慣性矩增加，將促使剛體六自由度運動逐漸不穩定；傳統的非線性  $H^\infty$  控制器無法保證系統強健穩定，而非線性  $H^\infty$  強健控制器不但可保證強健穩定，並有良好的性能。

根據整個會議發表之論文來看，特別值得注意的是，智慧型控制已是目前控制界之主流。由於建立傳統數學模式的困難在於面對複雜、非線性的問題時，必須經由一些假設、簡化環境後才能建構出物理模式或數學方程式；類神經網路在處理複雜的工作時，不需要針對問題定義複雜的數學模式，更不用去解任何微分方程、積分方程或其他的數學方程式，而是藉由學習來面對複雜的問題與不確定性的環境。此外，過去傳統的電腦資訊理論有一些難以突破的瓶頸，例如：圖形的辨識、語音的辨識、下象棋圍棋、或者是處理邏輯上的 XOR 問題等等，對生物來說，可能非常輕易就能解決，即使稍微複雜的問題，也在經過數次的學習後就可迎刃而解，但這些對傳統的電腦資訊理論來說，卻是一件非常困難的事。這也就是為何會議中，眾多研究試著採用類神經網路，來解決一些過去無法解決的問題。另外在科學與學術的研究上，使用模糊理論可以處理人類的知識與邏輯推論過程中，語意或分析的描述性語旨，來解決傳統集合或理論無法描述的現象與問題。以本次會議為例，以計算出基因演算法(Genetic Algorithm)、模糊控制(Fuzzy Control)、類神經網路(Neural Network)為主題的討論，就有數十個，發表之論文達數百篇，應用領域包括專家系統、機器人、自然語言處理、機器視覺、機器翻譯、語音辨識、機器學習等。模糊邏輯系統的應用，在本次會議中，一有圖形辨識、語音辨識、診斷程序、時間序列預測、智慧型機器人、軟體工程、決策系統、資料補償等。還不包括結合了強健控制、適應性控制、最佳控制在飛行器、機器人、航行器(船及潛水艇)等的應用。不論在工業界或學術界，正方興未艾，此部份國人亦有不錯的表現，若繼續加油，應可與世界最尖端研究同步。

#### 四、 建議

國際性的學術研討會內容往往最能及時反應國際上該項學術領域發展的最新趨勢。對於瞬息萬變、日新月異的控制工程理論而言，參加國際學術研討會，與世界各地的同行者聚集一堂、學習交換研究成果和心得，的確是獲取新知，激發新構想的最佳途徑。而且經由參加國際性研討會，也能夠使自己知道未來進行研究的主題與方向是否符合潮流，節省摸索的時間。因此參加國際研討會對個人研究的提昇有相當程度的助益，建議國科會對專家學者投稿與出席國際會議，能採取更多鼓勵與贊助的做法。

## 五、 致謝

最後要對國科會表達萬分的致謝，由於國科會的補助，才使得這次發表論文得以如此順利成行，其中的收穫及心得，絕非短短幾千字報告所能表達，在此個人表達對國科會深深的感謝。

## 參考文獻

- [1] Henrique C. Ferreira, Paulo H. Rocha and Roberto M. Sales, “Nonlinear  $H^\infty$  control and the Hamilton-Jacobi-Isaacs equation,” in *Proc.17<sup>th</sup> IFAC World Congress, 2008*, pp. 188-193.
- [2] E. Cristiani and M. Falcone, “Numerical Solution of the Isaacs Equation for Differential Games with State Constraints,” in *Proc.17<sup>th</sup> IFAC World Congress, 2008*, pp. 11352-11356.
- [3] Shihua Li, Shihong Ding and Qi Li, “Global Set Stabilization of the Spacecraft Attitude Control Problem Based on Quaternion,” in *Proc.17<sup>th</sup> IFAC World Congress, 2008*, pp. 4743-4748.