

出國報告（出國類別：進修）

美國傑克斯爾大學博士進修報告

服務機關：國防大學

出國人員：詹博竣 中校特種編譯官

派赴國家：美國

出國期間：103年9月12日至107年9月11日止

報告日期：107 年 10 月 9 日

摘 要

個人於103年9月12日奉派前往美國傑克斯爾大學(Drexel University)機械工程博士班受訓，進修目的係培訓國防大學理工學院機械及航太工程學系師資，並於107年9月11日修業結束後，依規畢業返國於國防大學任職。本出國報告係依據行政院107年6月20日院授發管字第1071401027號函修正「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」據以撰寫，並逐一介紹進修目的、進修學校、進修系所師資、博士學程畢業要求、個人畢業論文簡介以及本次全職進修心得與建議後續可研議或推行事項，供我國相關研究教學單位參考運用。

目 錄

壹、目的	1
貳、進修過程	1
一、學校介紹	1
二、系所師資	1
三、博士學程	4
四、論文簡介	6
參、心得與建議	10
肆、參考資料	10

壹、目的

本次進修係因國防大學理工學院機械及航太工程學系師資培訓之目的，個人奉國防部 103 年 9 月 4 日國人管理字第 1030014565 號令，前往美國傑克斯爾大學(Drexel University)機械工程博士班受訓，進修期程自民國 103 年 9 月 12 日至 107 年 9 月 11 日止。個人於 107 年 9 月 11 日修業期滿並取得博士學位後，旋於 107 年 9 月 12 日返校任職。

貳、進修過程

一、學校介紹

傑克斯爾大學(Drexel University)係一所私立學校，於 1891 年由安東尼·傑克斯爾(Anthony J. Drexel)於美國費城創立，初期並無頒授學位，然 1914 年時應時勢所須，遂設立 4 所學院 18 個系所，並頒授學士學位。迄今，已有 15 個學院，2 萬 4,190 位學生，提供 200 個以上的博士、碩士及學士學位；計有大學城(University City)、市中心(Center City)、皇后道(Queens Lane)、科學博物館(Academy of Natural Science)及馬爾文(Malvern)等五個校區分布於大費城都會區內。目前是美國歷史最悠久、最具規模且聲名遠播的建教合作學校，學生擁有最多三次的業界實習機會並領取工作薪資。除此之外，為能提供學生高品質的學習環境，該校於 2000 年率先建立校園內、外無線網路環境，並於 2011 年於五大手機軟體平台(例如:Android 系統)上首先推行該校行動學習平台(DrexelOne Mobile)。

二、系所師資

傑克斯爾大學(Drexel University)機械工程學系目前計有 1,491 位師生，其中包含 26 位核心研究教授及 3 位專任教學教授。系所研究方向主要是以生化流體系統、機器人、生物機械、熱流(傳)、活性與複合材料、系統動力、系統製造與控制等為目標，遂成立 16 間州立實驗室，其中包含了生物機械實驗室(Biomechanics Lab)、生物微機電系統實驗室(BioMEMS Lab & Lab-On-A-Chip)、電腦輔助設計實驗室(CAD)、設計及製造實驗室(Design and manufacturing Lab)、傑克斯爾電漿實驗室(Drexel Plasma Institute)、實驗工廠(Machine Shop)、多尺度數值與生物技術實驗室(Multiscale Computational Mechanics and Biomechanics Lab)、理論及應用力學實驗室(Theoretical and Applied Mechanics Group)等。另外，為確保學生學有專精、學有所用，該系師資區分為力學(Mechanics)、熱力與流體(Thermal and Fluid Sciences)、系統與控制(System and Control)、設計與製造(Design and Manufacturing)等四大族群，並要求研究生必須於應用工程分析法(Applied Engineering Analysis Methods)、連續力學(Continuum



圖 1：大學城校區(此為主校區)



圖 2：市中心校區(以醫學院及附設醫院為主)



圖 3：皇后道校區(以微生物及免疫學等為主要的研究中心)



圖 4：科學博物館(內含昆蟲系等相關系所)



圖 5：馬爾文校區(以商學院為主)

Mechanics)、彈性力學(Theory of Elasticity)、高等動力學 I&II(Advanced Dynamics I&II)、高等熱力學 I&II (Advanced Thermodynamics I&II)、熱傳學(Heat Transfer)、對流熱傳學(Convection Heat Transfer)、流體力學 I&II (Introduction of Fluid Mechanics I&II)、強健控制系統 I&II (Robust Control Systems I&II)、非線性控制理論 I&II (Nonlinear Control Theory I&II)、即時電腦控制 I&II (Realtime Microcomputer Control I&II)、製造流程 I&II (Manufacturing Process I&II)、精密製造(Introduction to Microfabrication)等核心課程內，依各族群要求修習必要學分，方可畢業。

三、博士學程

為取得傑克斯爾大學機械工程博士學位，所有研究生必須完成必修課程、博士資格考試、畢業論文提案及口試等相關條件，現分述如下：

(一)必修課程

倘若學生已獲得碩士學位，則必須完成 45 個研究所學分，其中 18 學分必須為研究所課程。若是學士直攻博士，則必須完成 90 個研究所學分，其中 45 個學分必須符合碩士班畢業要求，餘 45 個學分則依已獲得碩士學位學生辦理。

(二)博士資格考試

博士資格考試委員會必須於學生進行博士資格考試前四週成立，其成員必須包含三位同族群研究教授、一位其他族群研究教授及他系

或校外委員。另博士資格考試包含課程要件及研究要件等兩項，課程要件係指研究生必須於不同族群之核心課程獲得 A 或是通過筆試，研究要件係指研究生必須於博士生第一年結束前，就委員會依研究生預計研究方向選定之論文三篇，遞交書面報告予委員會審查，俟委員會接受後，公告全校並進行個人博士研究方向簡報說明與答辯。

(三)畢業論文提案

研究生之指導教授必須於該生通過博士資格考試後，依據相關規定成立畢業指導委員會，並定期要求博士候選人向委員會提報研究進度。另博士候選人必須提交畢業論文提案供委員會審查及進行提案簡報，其簡報必須公告全校週知，以利對其研究有興趣之人員可前往參加。畢業論文提案至少必須包含摘要、簡介、文獻探討、研究計畫以及時間表。俟委員會同意其研究方法以及研究內容後，博士候選人始可據以進行後續相關研究及口試作業等。

(四)口試

博士候選人經畢業指導委員會初步審查通過後，始可撰寫畢業論文，並至少於口試前一個月將畢業論文草稿遞交委員會審查，且公告全校週知。指導教授須於口試當天提供口試審查表供委員紀錄，若委員一致同意口試通過，則指導教授必須於 48 小時內將口試結果呈報研究學院。博士候選人則須依委員意見進行畢業論文修正，俟委員會均於論文簽證表格內簽署後，即可辦理畢業申請事宜。

學生必須完成網路畢業申請、遞交畢業論文至 ProQuest、博士學程問卷等作業後，另獲得指導教授、系主任及研究學院簽署認證，始可畢業。



圖 6：上課情形



圖 7：定期研究進度提報及研討

四、論文簡介

自從詹姆斯瓦特(James Watt)於 19 世紀發明用於控制蒸汽機速度的離心式調速器以來，大約 100 年後(約是萊特兄弟發明飛機不久之後)，威伯萊特(Wilber Wright)預見，倘若飛機的平衡與操控問題若能予以處理，則在不久的將來會是飛行的時代。事實上，飛行的時代已經到來。例如：民航機已經是長期旅行的最佳夥伴、軍用機在國家防衛部分扮演重要的角色、以及航空工作在國家的經濟上也提供了不少助力。因此，毫無疑問地飛行安全以及效率對人們而言是如此之重要。這些可歸功於航空工業、國家運輸安全委員會等相關單位長期以來的努力，將飛行意外事故降至最低。

在過去 50 年來，有關於飛機設計維修、導航系統、航管系統以及機師訓練等的精進，讓飛行的失事率以及致死率都大幅降低。尤其是，2016 年時的紀錄為每 10 萬小時僅有 0.151 件飛安事件發生。然而，在過去 10 年，一般飛行器的意外事件致死率仍然持平，保持在每 10 萬小時 5.9 件飛安事件發生。除此之外，在過去 15 年之間，在一般飛行器的飛安事件中，造成意外死亡的因素約有 70%是飛機失控造成的。

一般而言，飛機失控是由各種不可逆的先決條件所造成的。例如：次系統或元件故障、外在危險因子以及人為因素等等。其中，致動器系統故障是最容易發生飛機意外死亡事件的先決條件之一。由美國國家運

輸安全委員會的相關調查報告中，我們獲知致動器飽和以及制動器卡死是兩個最常見且最危險的制動器系統故障原因。因此，個人論文主要是探討這些故障事件是如何影響飛機的飛行，以及如何事先設計控制器以解決這些迫在眉睫的問題，並防止飛機進入失控模式或墜機。

在正常的飛行條件下，通常健全的飛機會在器動器的允許範圍內運作並且不會發生飽和現象。然而，當飛機因為機組人員的錯誤或是外在環境的危險因子的影響，超過安全飛行包線時，控制系統或許必須傳遞更大的控制訊號，將飛機導正回可控制模式。倘若控制訊號的大小超過致動器的工作限制，則致動器將呈現飽和狀態，其值維持在其最大或最小工作限制。此種情況下，致動器將無法完全遵循控制器的命令。暫時的致動器飽和或許會造成飛機朝非期望的吸引因子前進，其飛行路線則呈現向下修正的狀態。倘若此一現象不予以導正，則飛機最終將發生墜機事件。

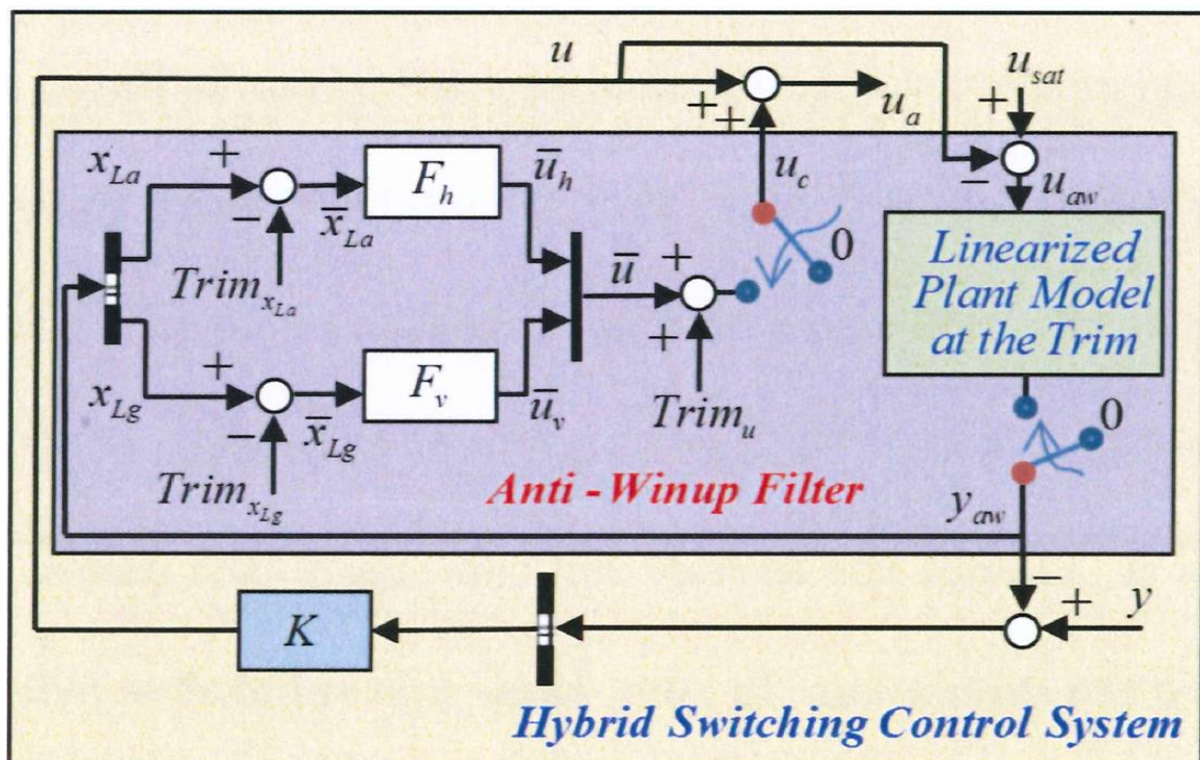
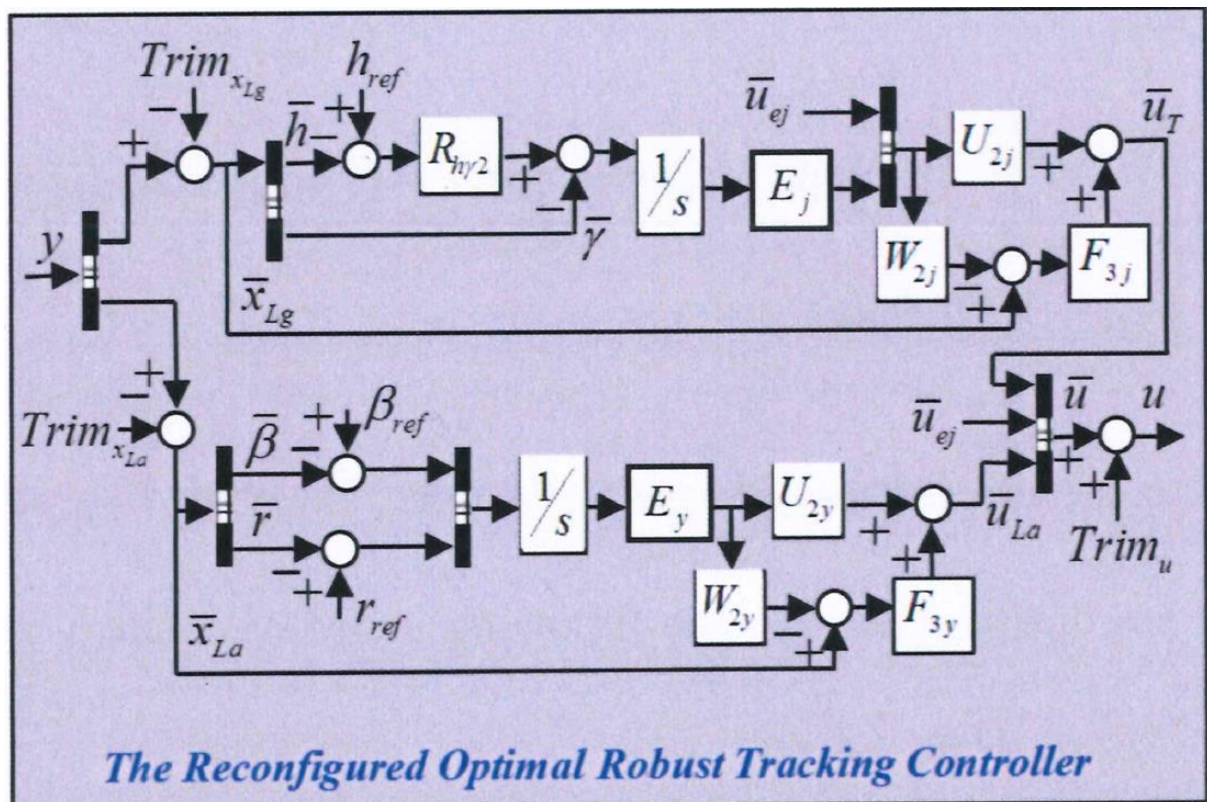


圖 8：混和切換控制系統

本研究所提出的解決方案，是利用類似 bang-bang 型態的控制法則，避免致動器發生暫時飽和的現象。因此，如圖 8 所示，混和切換控制系統包含了反飽和過濾器與事件觸發切換裝置。反飽和過濾器具有兩個輸入、兩個輸出、一個線性模型以及一組控制器(可與恢復控制器 K 相同)。本研究中，考量實際飛機為非線性模型，所以設計相關控制器時必須先選取期望的穩定平衡點後，於此參考點進行線性化並獲得線性模

型。最後，始可據此線性模型設計線性控制器。因此圖 1 中的線性模型必須與設計恢復控制器時的模型相同，如此才能獲得正確的飛行資訊。另圖中的事件觸發裝置係以輸入訊號的強度是否超過致動器的工作限制進行控制器切換。如果輸入訊號超過致動器工作限制，則反飽和過濾器啟動，避免暫時致動器飽和情況發生。反之，則由恢復控制器 K 控制飛行器，避免失控模式發生。另反飽和致動器中線性模型之輸入(u_{aw})，代表恢復控制器產生的控制訊號(u)與通過致動器的輸入訊號(u_{sat})之間的誤差。其目的在補償實際輸出(y)因致動器飽和，而尚失的輸出資訊(y_{aw})。如此一來，此修正方法可藉由最小化通過致動器的輸入訊號，避免控制輸入訊號發生飽和現象。因此，混和切換控制系統可解決致動器暫時飽



和的問題、排除不佳吸引因子的影響、增加控制系統的工作區域以及提升失控模式控制的成功率。

圖 9：重新置換的追蹤控制器

在所有的致動器之中，因為升降舵故障將尚失 50%縱向控制權，所以升降舵介面卡死是其中最嚴重的。而在卡死的升降舵界面上產生的空氣動力，將轉變成持續性的干擾。期間，飛機飛行動力學系統也因為升降舵卡死，造成原始的穩定平衡點消失，因此飛機無法朝向原始設定的正常狀態飛行。如果適當的動作無法即時完成，則造成飛機不穩定、無法控制或是迫使飛機朝海平面飛行。既然可實現的飛行平衡點與升降舵

卡死的位置相關，則事先設計一個固定的線性控制器並希望能適用於任何卡死位致，似乎非常困難。因此，考量飛機之升降舵卡死的狀況下，設計一個重新置換的追蹤控制器具有相當大的挑戰。其理由摘陳如次：

- 1.升降舵控制權尚失將造成系統無法驅動。
 - 2.卡死升降舵控制介面產生的空氣動力，將造成不確定的持續性干擾將造成飛機難以控制。
 - 3.因為升降舵卡死位致無法事先預知，因此無法預測損傷的飛機將飛向哪個可實現的飛行平衡點。
 - 4.飛機失控的狀況將快速惡化，因此亟需立即解決方案，以降低危機。
- 如圖 9 所示，重新置換的追蹤控制器可協調其他仍可運作之控制輸入介面，尋找一個可實現的直線飛行平衡點、減少不確定持續干擾的影響以及平衡整個飛行動力學系統。除此之外，此控制器亦可調節飛行高度以及執行所要求的任務，例如：改變飛行方向、爬升、下降等相關安全降落前必須之任務。



圖 10：個人在美生活照

參、心得與建議

首先，非常感謝國防大學理工學院能夠提供我這個機會，前往美國攻讀博士。在美四年期間，除第一年習慣異國文化及生活外，第二年起因學校要求授課教授必須將最新研究納入教學內容，以避免上課教材長期未更新，造成學生所學知識並未與時精進，因此開始擔任助教以分擔授課教授之壓力。而助教並非僅是協助學生解答問題，同時必須上台授課。因此學校可藉此方法提升研究生及大學部學生素質之外。另外，研究生在準備相關教材之前，將可對己身所學領域，進行更深度的學習與了解。

在研究資源方面，個人進修之學校除本身圖書館有相關網路文獻查詢系統外，另外於谷歌學者系統(Google Scholar)內所查詢之相關資料，亦可同時下載，藉以增加學校授課教授於後續研究與教學等參考之資料庫。建議此一作法，可予以參考，以利國防大學師生等研究、教學之用。

肆、參考資料

- 一、傑克斯爾大學網站 www.drexel.edu
- 二、Po-Chun Chan,” Optimal Robust Tracking Control of Aircraft under Loss-of-Control,” Ph.D. Dissertation, Mechanical Engineering Dept., Drexel University, 2018