

# 第一章

## 導論

### 1.1 前言

自從飛機問世以來，它就成為人類生活中不可或缺的交通工具，然而在飛機結構持續改進以及操控性能大幅提昇之下，飛行駕駛員因操控不當而導致危險的機率仍然很高，如果飛行操控界面沒有一套完整有系統的改善，而飛行駕駛員沒有良好的訓練，則無法完全掌握飛行系統，伴隨的飛安事故與人員傷亡也將造成國家社會的極大負擔，而虛擬實境飛行模擬乃是訓練飛行駕駛員以降低飛安事故的良好解決方案。虛擬實境飛行模擬其實就是利用電腦所建立的虛擬飛行場景，以栩栩如生的風景與擬真的飛機動態、聲光震撼，讓人有身歷其境的飛行感受。藉由地面上的飛行模擬，不但可以節省實機飛行的花費，也可以保障人機的安全，並且達成訓練飛行駕駛員的目的。而模擬環境可事先設計、規劃與製造，以評估整體系統的可行性，進而減少錯誤的發生[11]。

雖然虛擬實境飛行模擬具有安全與實用性等諸多優點，但在以往電子技術不發達的時期，飛行模擬機的技術只掌握在少數國外幾家大廠商中，且因價格過於昂貴而無法普及，然而國內少數單位雖然可見飛行模擬機之蹤影，但負責模擬機軟、硬體之廠商僅侷限於代理之職務，而少有相關技術的轉移。近年來隨著時代進步與市場需求，飛行模擬機不但應用於專業的飛行訓練，而且也慢慢的引進於廣大的娛樂市場(如遊樂場內常看見的飛行大型電玩就類似於模擬機)，使得各式各樣有關模擬機週邊的技術與資訊也越來越豐富，此一現象也帶動國內專家學者陸續注重模擬機系統之開發研究。

一般而言，整體模擬機主要可分為八大次系統[32,36]，其架構如圖 1.1 所示，其中包括主計算機系統、動感平台系統、座艙系統、影像產生系統、音效圖像系統、顯像系統、輸入/輸出裝置以及力感系統。這些次系統整合產生虛擬實境的模擬來驗證機裝備的功能與特性。現今無論是航空公司的機師訓練或是空軍戰鬥機機師的飛行戰術訓練，有一半以上的時數課程是以模擬機來代替實機飛行，以降低飛行訓練本身的危險及昂貴成本。

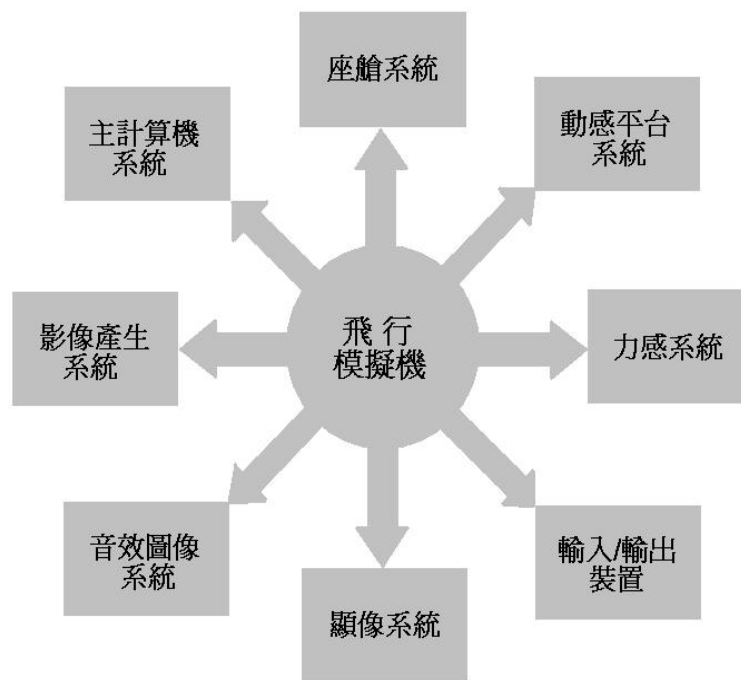


圖 1.1 飛行模擬機系統示意圖

對於模擬機所包含的八大次系統，我們從一個飛行模擬機的駕駛員座艙來作更進一步的說明，如圖 1.2 所示[7]，我們可以發現，模擬座艙內幾乎包括了大部份的次系統，例如主、次螢幕包含了影像產生系統、音效圖像系統以及顯像系統，而搖桿、油門、踏板以及操控面板包含了力感系統與輸入/輸出裝置，然而動感平台系統一般而言通常是在座艙之下且配合主控電腦所送出的資訊給予座艙動態模擬，至於主計算機系統除了運算場景畫面外也負責音效、平台連繫、力感控制以及執行模擬軟體，為模擬機之核心。

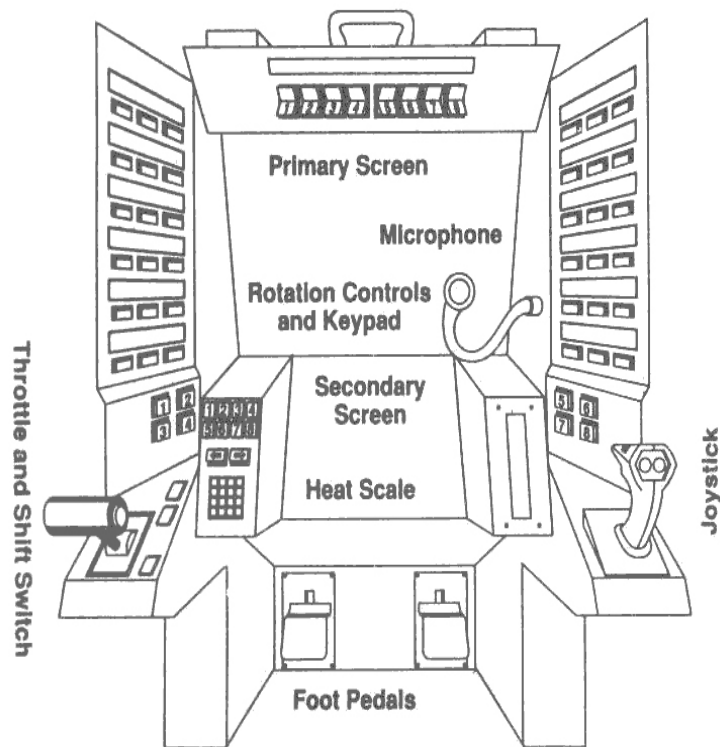


圖 1.2 飛行模擬機駕駛員座艙[7]

由於飛行模擬機本身因無相關飛行結構或氣動力的存在，故在模擬機中必須要有一個能提供力回饋的力感裝置，該裝置可模擬不同狀態下操縱桿所要呈現的反作用力，使飛行員能感受近乎真實的飛機操作力感，如此一來並能提升模擬機的實質效率[11,15,16,29,39]，因此力感裝置在整體飛行模擬系統佔有舉足輕重的地位，而模擬機上的顯像系統與使用者之間的即時互動，也可以透過雙向互動的力感裝置，達到緊密結合的效果。如圖 1.3 所示為交大智慧型控制實驗室(Intelligent Control Laboratory)發展的即時動態模擬系統，採用力回饋搖桿(Force-Feedback Joystick)介於使用者和動態模擬系統之間作為雙向溝通的力感裝置，並結合立體視覺感受及聲光效果，讓使用者沉浸於一個由機電系統所建構的虛擬飛行世界裡。故對一動態模擬系統的開發而言，虛擬場景與力感裝置的設計與整合為其重點之研究項目。



圖 1.3 VR 即時動態模擬系統

## 1.2 國內外相關研究

近幾年來，許多研究單位陸續投入心力於飛行動態模擬系統的開發與改進，在此我們便針對具有力回饋裝置的設計與應用之相關文獻進行探討。國內部份如 1996 年林琮瑜[31]在成大電機所中研製一套具有二軸運動的操縱桿系統，其搖桿硬體構造是由兩個直流伺服馬達組成，林以此力回饋裝置配合 SIMULINK 模擬產生 Fly-By-Wire 操縱桿的動態特性，並另外搭配一台電腦模擬 F-14 飛行動態模型以證明其實用性，其主要貢獻為提出一力量回饋機制用來產生不同的操縱力量感覺，並提供一個設計方法用來加強飛行操縱桿的操控品質；另外，1999 年周淑娟[32]於中興

應用數學所中提出一套以液壓致動的力感模擬系統，此系統具有兩個運動軸分別模擬俯仰控制和滾轉控制。而周之主要貢獻除了研究一般飛行搖桿所使用的”放手即歸零”模式外，周還加入”放手即停靠”模式，讓使用者可依模擬目標之不同來切換，大大提升模擬之仿真度，除了可推廣力感到模擬器外，更可應用在一般坊間遊樂機上；同年，林敬涵[30]在台大造船及海洋研究所中設計一套單一自由度液壓缸致動的力回饋操縱桿，且實現使用者與虛擬實境間的互動，並討論在不同狀況下之適用性以及設計相關實驗，例如其中一個實作為”模擬飛機降落”，其分析當飛機機身在著地時與地面發生碰撞之際，使用者操控時的操控力量與桿位置之相對關係；還有在 2003 年陳耀貴[36]於中興電機所中採用兩個有刷直流馬達設計一雙軸的力感控制器系統，陳利用 DSP FPGA 卡，位置感測器以及力量感測器結合 MATLAB、SIMULATION 軟體，實現了真實系統”力量-位移”數據資料之取得，並簡化建立力感模型，其主要貢獻為：. 提出內(力感控制器)迴路與外(力感控制模型)迴路分開設計方式，如此一來只要採取不同的力感模型就能完成不同的力感模擬，並採用阻抗控制理論與模型追隨的觀念，讓力感控制器能夠在位置控制下，同時獲得力量控制的特性。由於陳為中科院第一研究所模擬組助理研究員，因工作性質關係能接觸到國外之力感系統，故在其論文中對於力感控制器之設計與理論描述方面甚為豐富詳盡。

在國外相關研究部份[16]，1999 年 R. L. Hermans 設計了一種名為 Actuated Side Stick 的飛行側向式搖桿，在其研究論文中清楚的交待了此側向式搖桿的設計過程與搖桿規格(例如使用頻寬與力感運用模式等)，此外，Hermans 在論文之中也對產業界中各式各樣專業模擬搖桿作深入的比較，對於從事力感裝置相關研究者而言其資料甚為豐富；另外，2001 年 B. Bae 等人[2]提出一個兩自由度使用平衡環結構的觸覺搖桿，其力回饋動力是使用兩顆 DC 馬達並以鋼索來放大馬達扭力，以改善用齒輪箱放大扭力所造成的巨大摩擦力，另外為了降低搖桿成本而使用低價位的電位計來量測馬達電流值，並將其轉換為馬達實際輸出力矩以代替商業力感測器之昂貴成本，最後作者在此論文中提出一個適用於 PC video game 的控制方塊流程圖，並以 PI 控制為控制策略並補償來自遊戲端之參考力量值而使力感裝置達到該有的力回饋，實驗



之中作者也進一步證明其彈簧與阻尼力矩在 PC video game 之中的表現性;還有,2002 年 G. J. Jeram[11]發展 RASCAL active sidestick 的控制系統提出一飛行動態模擬系統之架構,指出駕駛員需具備一個主動式搖桿,其搖桿與駕駛員形成一個獨立的內部迴路,而此內迴路使駕駛員與主動式搖桿之間產生反饋力,如此一來駕駛員便能擁有良好操控品質,彷彿如同在駕駛傳統飛機般的力感。而之後搖桿的位移也一併送入飛控系統中計算並轉動控制面,此時系統便會更改飛機動態並將更新值回授到所有次系統中。

從以上這些國內外的相關研究之中,一方面能使我們對飛行力感裝置與模擬系統架構有更深一層的了解,另一方面也能正確的提供本論文研究之方向。

### 1.3 研究目的



以往飛行模擬機之開發技術以國外提供商為主,其中之相關技術皆不易轉移,且國內環境對航太資料之取得皆不易,所以一直以來國內對飛行模擬機之研究十分稀少。近年來,一方面由於學術單位與軍方合作之關係日漸頻繁,使得學術單位方面接觸飛行模擬機之機會與資訊日益增加;另一方面也因半導體產業發達所賜,其負責模擬系統核心工作的主計算機系統(八大次系統之一)以一部 Pentium III 以上等級的電腦來處理便以足夠,所以吾人可使用較為簡易之設備架構出一飛行模擬系統之雛型。故本論文之研究目的主要為發展一套應用層面廣泛且適用於個人電腦的飛行模擬系統架構,並提供整體系統之設計流程與方法。本論文所提出之整體系統可分為兩大重點:其一是飛行虛擬實境場景與飛機之基本動態實現,另一是設計模擬真實力感的控制系統,最後為了增加模擬系統之模擬程度與實用性,提出利用網路結合雙獨立迴圈(影像迴圈與力控制迴圈)的概念,使其模擬機之次系統模組化,一旦能將模擬系統模組化,使用者便能依照需求隨時更換擁有不同飛行動態的飛機模型與不同非線性曲線的力感模型,並且能在短時間之內作不同飛行器之模擬。

## 1.4 論文架構

本論文的架構如下，在第二章中我們介紹飛機的基本構造及其運動方式，並且說明飛機操控系統與穩定性的定義；第三章主要說明飛行虛擬實境系統與力回饋控制系統的整合模式，並提出本研究的網路整合架構與模組化觀念；第四章為場景製作，首先是對 WTK 這套設計虛擬場景的軟體進行說明，接下來實際應用 WTK 來建構飛行場景，最後則探討場景畫面複雜度對系統的影響與改善方法；第五章為硬體實現部份，除了自製力搖桿的機構分析外，並對機構作系統鑑別且提出力回饋控制策略與控制器參數設計；第六章為力感系統實驗規劃與實際量測，最後並實際結合虛擬場景端與力回饋控制端後進行整合測試實驗；第七章則提出總結，並陳述未來工作。

