

第七章

結論

在本論文中，我們提出一個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。整體系統可分為兩大重點：其一是飛行虛擬實境場景與虛擬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。在虛擬場景部份，我們使用場景製作軟體設計飛行虛擬環境，並利用物件配置策略使場景端動態畫面維持流暢感；而在力感控制系統設計部份，採用 PID 型的力回饋控制器設計概念，並搭配不同的力感模型經由實驗證明其控制器之補償效能。另外，為了增加模擬系統之擬真程度與實用性，進一步提出利用網路結合雙獨立迴圈（影像迴圈與力控制迴圈）的系統整合概念以提昇模擬系統之整體效能，並且在實驗中以實際輸出數據證明其系統之可行性。

由於本研究對於飛行虛擬場景與力感控制皆採用個人電腦與一般作業系統作為開發環境，所以具有價格適中與普及化的優點；而自製的方向盤式力回饋搖桿不僅可以讓使用者靈活操控外，還可以配合不同的力感模型模擬出各種不同模擬機之因應力感；而在網路連結雙迴圈之架構上，一方面除了使整體系統具備有模組化的方便性外，另一方面也可以使其力感系統相容於不同的 VR 模擬環境與系統平臺，而擁有高相容性的優勢。基於上述的系統特性，本論文所提出之模擬系統架構除了可以應用於一般模擬訓練外也可應用於商業化的遊戲機。例如在模擬訓練方面，除了一般飛行訓練外也可應用於飛機起降之模擬，使駕駛員能透過飛行場景與力感系統感受到飛機離地與著地之正確力感而完成操控任務；而在遊戲機方面可搭配不同飛行環境設定與聲光效果使一般玩家達到娛樂之目的，其系統架構適用範圍廣，可說是成功的設計。

7.1 未來工作

優良的模擬系統應具備以下條件：一、逼真的虛擬環境與真實的系統動態呈現；二、讓使用者能產生臨場感受的優質力感系統；三、適應性高的力回饋控制演算法以利於模擬不同的力感模型[11]。以這些標準而言，本論文所提出之飛行模擬架構已證實能達到一定的標準，但仍有許多待改善的空間與方向。

首先在虛擬場景方面，由於本研究目的在於整體架構之實踐，於場景端之精緻化作業稍嫌不足(例如完整飛行狀況之氣動力呈現等)，爲了進一步改善飛行虛擬實境之即時模擬程度應給予模擬系統正確的飛行動態模型模組，使其飛行行爲較符合實際飛行的狀態，此時駕駛員便能經由飛行場景與力感系統的互相搭配而達到即時動態模擬之目的。另外，爲了印證網路整合之延展性，應可將其力感裝置經由網路結合 Flight Gear 等的專業飛行模擬軟體，使其力感裝置印證在其他 VR 引擎架構下之可行性。

至於在力回饋搖桿硬體部份，由於本研究之機構以齒輪箱來放大馬達扭力，一方面造成機構本身背隙與磨擦力過大，另一方面也造成機構本身難以外裝力量感測器，使得實際力感之量測皆由 Multu I/O 卡量測馬達控制器輸出之電壓值再轉換爲輸出力值，其誤差在所難免，故應研究以鋼繩帶動高比例之旋轉機制，以降低其機構之磨擦力與機構簡化。

至於在力回饋控制策略部份，由於本研究是以固定增益參數的 PID 型控制策略來規劃設計力回饋控制器，而爲了因應不同的力感模型，必須作不同的參數調整才能使其力感表現性良好，所以未來應可以改進其控制策略(如適應性控制等)，使其控制參數具有自我調整追隨複雜曲線變化之能力，而無需耗時地調整參數。