

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
表 目 錄	vi
圖 目 錄	vii

1. 導論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 國內外相關研究.....	4
1.3 研究目的.....	6
1.4 論文架構.....	7
2. 飛行操控系統.....	8
2.1 飛機基本構造.....	9
2.2 飛機運動方式.....	11
2.2.1 俯仰動作.....	11
2.2.2 側滾動作.....	12
2.2.3 偏航動作.....	13
2.3 飛機操縱系統.....	14
2.3.1 機械鏈結系統	16
2.3.2 線傳飛控系統	20

2.4 飛行力感系統.....	21
2.5 飛機的穩定性與力感裝置之關係.....	26
3. 系統整合.....	27
3.1 雙迴圈整合模式.....	29
3.2 網路整合之實踐流程.....	32
4. 場景製作.....	37
4.1 場景架設概念.....	40
4.2 場景設計.....	44
4.2.1 場景主程式流程.....	44
4.2.2 鍵盤功能與力搖桿操作設定.....	49
4.2.3 飛行儀錶設計.....	52
4.3 場景複雜度與動態畫面品質.....	54
5. 硬體架構.....	57
5.1 機構硬體部份.....	58
5.2 機構控制部份.....	62
5.3 系統鑑別.....	65
5.4 飛行力回饋控制律設計.....	68
6. 實驗.....	76
6.1 力回饋控制實驗.....	77
6.2 虛擬實境與力感控制整合實驗.....	88
7 結論.....	96
7.1 未來工作.....	97
參考文獻.....	98



表 目 錄

表 4.1	Superscape VRT, WTK 與 Division DVS 之比較.....	38
表 5.1	力回饋操控器控制規格.....	59
表 5.2	力回饋操控器機構規格.....	60
表 5.3	力回饋搖桿裝置物理阻抗參數值.....	67



圖 目 錄

圖 1.1	飛行模擬機系統示意圖.....	2
圖 1.2	飛行模擬機駕駛員座艙.....	3
圖 1.3	VR 即時動態模擬系統.....	4
圖 2.1	飛機基本結構圖.....	9
圖 2.2	飛機 3D 空間座標.....	9
圖 2.3	俯仰動作(Pitch).....	11
圖 2.4	側滾動作(Roll).....	12
圖 2.5	偏航動作(Yaw).....	13
圖 2.6	一桿兩舵及其控制方式.....	15
圖 2.7	直接人工操縱系統.....	17
圖 2.8	助力操縱系統.....	17
圖 2.9	全助力操縱系統.....	18
圖 2.10	自動增穩操縱系統.....	19
圖 2.10	線傳飛控系統.....	20
圖 2.12	搖桿內部機構示意圖.....	22
圖 2.13	搖桿推力與位移關係圖.....	22
圖 2.14	線傳飛控搖桿內部結構示意圖.....	23
圖 2.15	客機 A320 之駕駛艙與其側向式搖桿.....	23
圖 2.16	典型搖桿之力與位移特性曲線.....	25
圖 3.1	整合力感裝置之飛行模擬系統示意圖.....	27
圖 3.2	整合系統之雙迴圈內部訊號流程圖.....	28

圖 3.3	雙迴圈資訊處理流程圖.....	30
圖 3.4	網路連結雙迴圈資訊處理流程圖.....	31
圖 3.5	雙迴圈之程式流程圖.....	35
圖 3.6	雙迴圈連接導向(TCP)的 client-server model.....	36
圖 4.1	場景圖解(Scene Graph)樹狀結構圖.....	40
圖 4.2	WTK 描繪場景架構順序圖.....	41
圖 4.3	飛行場景 Scene Graph 樹狀圖.....	42
圖 4.4	飛行場景描繪架構順序圖.....	42
圖 4.5	WTK 模擬迴路流程圖.....	43
圖 4.6	飛行場景主程式流程圖.....	46
圖 4.7	主程式初始化流程圖.....	47
圖 4.8	場景霧化處理比較.....	48
圖 4.9	3D 飛機物件模組.....	48
圖 4.10	鍵盤控制與力搖桿控制程式流程圖.....	49
圖 4.11	力回饋搖桿在 WTK 的 3D 座標定義.....	50
圖 4.12	飛機物件於場景之姿態與動作.....	51
圖 4.13	切換視角功能.....	51
圖 4.14	結構線場景切換功能.....	52
圖 4.15	儀錶程式設計流程圖.....	53
圖 4.16	飛行場景儀錶功能圖.....	54
圖 4.17	飛機之 3D 物件比較圖.....	55
圖 4.18	場景複雜度與 frame rate 關係曲線圖.....	56
圖 5.1	硬體架構.....	57

圖 5.2	Y 軸分析.....	61
圖 5.3	機械與控制部份關係圖.....	63
圖 5.4	力量命令與輸出測試結果圖.....	64
圖 5.5	最小起動力量命令測試圖.....	64
圖 5.6	頻率響應法的原理.....	66
圖 5.7	輸入不同頻率弦波的頻率響應圖.....	67
圖 5.8	力感控制系統架構圖.....	68
圖 5.9	力回饋控制架構圖.....	70
圖 5.10	內迴路力回饋控制系統方塊圖.....	70
圖 5.11	滾轉力回饋控制器之步階信號響應.....	74
圖 5.12	俯仰力回饋控制器之步階信號響應.....	75
圖 6.1	實驗座標方向定義.....	76
圖 6.2	線性化力感模型.....	77
圖 6.3	滾轉操控動作.....	78
圖 6.4	roll 力回饋數據.....	79
圖 6.5	X 軸力回饋力量-位移曲線與力感模型比較圖.....	80
圖 6.6	俯仰操控動作.....	80
圖 6.7	pitch 力回饋數據.....	82
圖 6.8	Y 軸力回饋力量-位移曲線與力感模型比較圖.....	82
圖 6.9	兩階段線性化力感模型.....	83
圖 6.10	roll 力回饋數據.....	84
圖 6.11	X 軸力回饋力量-位移曲線與力感模型比較圖.....	85
圖 6.12	pitch 力回饋數據.....	86

圖 6.13 Y 軸力回饋力量-位移曲線與力感模型比較圖.....	87
圖 6.14 X 軸操控示意圖(1).....	88
圖 6.15 X 軸操控示意圖(2).....	89
圖 6.16 X 軸操控示意圖(3).....	89
圖 6.17 X 軸操控示意圖(4).....	89
圖 6.18 整合系統之 X 軸力量-時間曲線比較圖.....	90
圖 6.19 Y 軸操控示意圖(1).....	91
圖 6.20 Y 軸操控示意圖(2).....	91
圖 6.21 Y 軸操控示意圖(2).....	91
圖 6.22 Y 軸操控示意圖(2).....	92
圖 6.23 整合系統之 Y 軸力量-時間曲線比較圖.....	92
圖 6.24 雙軸操控示意圖(1).....	93
圖 6.25 雙軸操控示意圖(2).....	94
圖 6.26 雙軸操控示意圖(3).....	94
圖 6.27 雙軸操控示意圖(4).....	94
圖 6.28 整合系統之雙軸力量-時間曲線比較圖.....	95