



國立雲林科技大學

National Yunlin University of Science & Technology

資訊管理系畢業實務專題

仿真全自動無人機協同系統

Simulation Autonomous Unmanned Aerial Vehicle
Cooperative System

專題組員：	林冠濤	A11223032
	柯竣升	A11223023
	楊惟州	A11223040
	李峻瑋	A11223052

中華民國 113 年 11 月

主目錄

1. 專案執行規劃書
2. 系統需求規格書
3. 系統設計規格書
4. 系統測試報告書



國立雲林科技大學

National Yunlin University of Science & Technology

資訊管理系畢業實務專題

專案執行規劃書

專題組員：	林冠濤	A11223032
	柯竣升	A11223023
	楊惟州	A11223040
	李峻瑋	A11223052

中華民國 113 年 11 月

目錄

第一章、專案規劃及查核點說明.....	2
1.1 技術與方法.....	2
1.2 項目目標.....	2
1.3 可交付成果.....	2
1.4 里程碑.....	2
1.5 技術要求.....	2
1.6 工作分包.....	2
1.7 工作項目.....	3
1.7.1 WP1 專案管理.....	3
1.7.2 WP2 需求確認.....	4
1.7.3 WP3 系統開發.....	5
1.7.4 WP4 系統測試.....	8
1.7.5 WP5 專案支援.....	8
1.8 預計時程與查核.....	10
1.9 專案相關人員參與計畫.....	10
第二章、專案成員工作指派.....	11
2.1 工作分包預估方法.....	11
2.2 參數.....	11
2.3 計畫成員指派.....	11
第三章、資料管理規劃.....	12
3.1 列管資料總表.....	12
3.2 列管資料監控機制.....	12
第四章、風險評估.....	13
4.1 風響評估項目.....	13

第一章、專案規劃及查核點說明

1.1 技術與方法

1.2 項目目標

- 1. 開發能夠在模擬環境中執行協作導航的無人機系統。
- 2. 確保每台無人機能準確檢測障礙物並與其他無人機共享數據。
- 3. 實現三台無人機的協作，成功到達指定目標點且無碰撞。
- 4. 測試並驗證系統在不同複雜場景下的穩定性與效率。

1.3 可交付成果

- 1. 詳細的需求分析、設計方案與技術實現報告檔案。
- 2. 完整的無人機導航系統代碼，包括避障和通信模組。
- 3. 展示三台無人機在模擬環境中的協作導航過程。
- 4. 包含性能數據（如導航精度、避障成功率）和優化建議。

1.4 里程碑

- 1. 完成項目需求分析與初步技術研究。
- 2. 設計避障算法與通信協議；搭建模擬環境。
- 3. 實現紅外掃描模組與無人機通信功能。
- 4. 集成並測試系統性能，調整導航與協作策略。
- 5. 撰寫報告並進行成果演示。

1.5 技術要求

- 1. 須了解如何配置可調整障礙物的模擬環境。
- 2. 須了解實時避障算法的核心原理，特別是在多動態障礙物場景中的應用。
- 3. 須了解高效通信協議的設計方法，以確保數據共享的低延遲和穩定性。

1.6 工作分包

任務編號	任務名稱	工作產品	開始時間	完成時間
WP1	專案管理		2024/02/01	2024/11/25
T1.1	專案規劃	專案執行規劃書	2024/02/01	2024/03/10
T1.2	專案控管	專案執行規劃書	2024/02/05	2024/11/25
T1.3	查核點	專案執行規劃書	2024/11/25	2024/11/25
WP2	系統工程		2024/04/10	2024/04/15
T2.1	系統需求分析	系統需求規劃書	2024/04/15	2024/04/20
T2.2	需求分析審核	系統需求規劃書	2024/04/20	2024/04/30

T2.3	查核點	系統設計規劃書	2024/04/10	2024/04/30
WP3	系統開發		2024/05/01	2024/11/15
T3.1	導航與避障算法	導航算法設計文件	2024/05/01	2024/11/15
T3.2	通信模組	通信協議設計文件	2024/05/01	2024/11/15
T3.3	模擬環境搭建	模擬環境配置文件	2024/07/10	2024/08/18
T3.4	系統整合	完整的系統程式碼	2024/10/15	2024/11/15
T3.5	查核點	完整程式碼	2024/11/01	2024/11/15
WP4	系統測試		2024/11/15	2024/11/25
T4.1	功能測試	系統測試報告書	2024/11/15	2024/11/25
T4.2	查核點	系統測試報告書	2024/11/25	2024/11/25
WP5	專案支援		2024/11/15	2024/11/25
T5.1	文件選寫	專案執行規劃書 專案執行規劃書 系統設計規劃書 系統測試報告書	2024/11/15	2024/11/25
T5.2	執行影片	功能執行影片	2024/11/15	2024/11/26
T5.3	查核點	最終版	2024/11/27	2024/11/27

1.7 工作項目

1.7.1 WP1 專案管理

工作項目編號/名稱	T1.1/專案規劃	
工作內容說明	規劃整體專案工作時程、選寫專案執行規劃書	
工作產品/格式	專案執行規劃書/文件	
工作複雜度/規模估算	高/15 頁	
需求技能與知識	專案管理	
工作時程	40 天	
需求資源	人力	50 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T1.2/專案控管	
工作內容說明	監控專案與調整工作	
工作產品/格式	專案執行規劃書/文件	
工作複雜度/規模估算	高/15 頁	
需求技能與知識	專案管理	
工作時程	294 天	
需求資源	人力	320 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	監控專題時間與排程相同	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T1.3/查核點	
工作內容說明	對專案執行規劃書內容進行查核	
工作產品/格式	專案執行規劃書/文件	
工作複雜度/規模估算	低/15 頁	
需求技能與知識	專案管理	
工作時程	1 天	
需求資源	人力	2 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

1.7.2 WP2 需求確認

工作項目編號/名稱	T2.1/系統需求分析	
工作內容說明	探討開發本專案需求之準備	
工作產品/格式	系統需求規格書/文件	
工作複雜度/規模估算	中/8 頁	
需求技能與知識	系統需求分析	
工作時程	5 天	
需求資源	人力	23 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word

	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T2.2/需求分析整合	
工作內容說明	審查開發本專案需要隻準備事項	
工作產品/格式	系統需求規格書/文件	
工作複雜度/規模估算	低/8 頁	
需求技能與知識	系統需求分析	
工作時程	10 天	
需求資源	人力	15 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T2.3/查核點	
工作內容說明	審查系統需求及設計規格書之內容	
工作產品/格式	系統需求規格書、系統計規格書	
工作複雜度/規模估算	中/8 頁	
需求技能與知識	系統設計	
工作時程	20 天	
需求資源	人力	35 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

1.7.3 WP3 系統開發

工作項目編號/名稱	T3.1/導航與避障算法	
工作內容說明	設計並實現導航與避障算法，處理靜態和動態障礙	
工作產品/格式	導航算法設計文件/程式碼	
工作複雜度/規模估算	高	
需求技能與知識	系統開發	

工作時程	198 天	
需求資源	人力	175 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T3.2/通信模組	
工作內容說明	確保多機之間能夠低延遲、高可靠性地傳遞障礙物和導航數據，支持分布式協作。	
工作產品/格式	通信協議設計文件/程式碼	
工作複雜度/規模估算	高	
需求技能與知識	系統開發	
工作時程	198 天	
需求資源	人力	190 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T3.3/模擬環境搭建	
工作內容說明	配置無人機的運動模型、障礙物設置以及傳感器模擬。確保模擬環境能準確反映實際應用場景並支持導航與避障算法的測試和驗證。	
工作產品/格式	模擬環境配置文件/程式碼	
工作複雜度/規模估算	高	
需求技能與知識	系統開發	
工作時程	39 天	
需求資源	人力	55 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++

		Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T3.4/系統整合	
工作內容說明	將各個開發的模組（如導航、避障、通信等）進行整合	
工作產品/格式	完整的系統程式碼/程式碼	
工作複雜度/規模估算	高	
需求技能與知識	系統開發	
工作時程	30 天	
需求資源	人力	30 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T3.5/查核點	
工作內容說明	確保各模塊按照設計要求正常運行。	
工作產品/格式	完整程式碼/程式碼	
工作複雜度/規模估算	高	
需求技能與知識	系統開發	
工作時程	15 天	
需求資源	人力	15 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

1.7.4 WP4 系統測試

工作項目編號/名稱	T4.1/系統測試	
工作內容說明	測試系統之功能	
工作產品/格式	系統測驗報告書/文件	
工作複雜度/規模估算	中/12 頁	
需求技能與知識	熟悉系統測試方法和流程	
工作時程	10 天	
需求資源	人力	8 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T4.2/查核點	
工作內容說明	查核系統整個測試過程	
工作產品/格式	系統測驗報告書/文件	
工作複雜度/規模估算	中/12 頁	
需求技能與知識	熟悉系統測試方法和流程	
工作時程	1 天	
需求資源	人力	5 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Python/C++ Unreal Engine 4.27 Airsim
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

1.7.5 WP5 專案支援

工作項目編號/名稱	T5.1/文件選寫
工作內容說明	編輯結案報告書

工作產品/格式	結案報告書/文件	
工作複雜度/規模估算	中/35 頁	
需求技能與知識	專案管理	
工作時程	10 天	
需求資源	人力	10 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	完成 4.2 才可開始	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T5.2/執行影片	
工作內容說明	呈現功能之影片	
工作產品/格式	系統功能呈現影片/影片	
工作複雜度/規模估算	中/5 分鐘	
需求技能與知識	影片剪輯	
工作時程	11 天	
需求資源	人力	5 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Power Director
	其他	無
工作排成限制	完成 4.2 才可開始	
備註	依專案規劃排程執行	

工作項目編號/名稱	T5.3/查核點	
工作內容說明	審查結案報告書與呈現功能影片	
工作產品/格式	結案報告書/文件	
工作複雜度/規模估算	中	
需求技能與知識	專案管理	
工作時程	1 天	
需求資源	人力	3 小時
	硬體設備	個人電腦
	軟體設備	Microsoft Word
	其他	無
工作排成限制	無	
備註	依專案規劃排程執行	

1.8 預計時程與查核

查核點	預定時間	查核內容概要	技術文件
M1	2024/04/01	完成規劃	系統需求規格書
M2	2024/06/01	完成系統設計	系統設計規格書
M3	2024/08/10	完成系統原始程式碼	專案執行規格書
M4	2024/09/15	完成測試作業	系統測試報告書
M5	2024/11/27	完成整體報告書	結案報告書

1.9 專案相關人員參與計畫

本專題為國立雲林科技大學資訊管理系 113 年度四年級實務專題組員共 4 人製作，分別為林冠濤、柯竣升、楊惟州、李峻瑋。

第二章、專案成員工作指派

2.1 工作分包預估方法

專家法。

2.2 參數

專業管理	預估人數
專案管理	4
系統分析與設計	4
系統開發	4
整合與測試	4

2.3 計畫成員指派

R=負責 S=協助	專案組員			
任務	林冠濤	柯竣升	楊惟州	李峻瑋
程式開發	R	S	S	S
文書處理	R	S	S	S
口頭報告	R	S	S	S

第三章、資料管理規劃

本專題資料管理及儲存方式如下表：

原始程式碼	個人電腦及雲端
圖像	個人電腦及雲端
電子文件	個人電腦及雲端
紙本文件	存放在組長手上

3.1 列管資料總表

資料名稱	管理方式	版本控管	產生週期	資料使用者
系統需求規格書	3、4	是	Event	整體專題組員
系統設計規格書	3、4	是	Event	整體專題組員
系統執行規格書	3、4	是	Event	整體專題組員
系統測試規格書	3、4	是	Event	整體專題組員
系統報告書	3、4	是	Event	整體專題組員
原始程式碼	1	是	Event	整體專題組員
圖檔資料來源	2	是	Event	整體專題組員
工作指派與討論	3	是	Event	整體專題組員

3.2 列管資料監控機制

本組專題列管資料之監控機制如下

1. 監控頻率：兩周一次。
2. 實施矯正基準及措施：所有資料皆須按照資料管理計畫保存。
3. 資料遺失：整體主員共同覓補救工作。

第四章、風險評估

4.1 風響評估項目

風險項目	威脅	緊急措施
成員技術不足	高	規劃時間學習
資料損毀	中	每次完成進度需存入雲端
時間風險	高	在專題初期規劃時留出緩衝時間
資源風險	高	在專題初期進行硬體和軟體資源的充分測試



國立雲林科技大學

National Yunlin University of Science & Technology

資訊管理系畢業實務專題

系統需求規格書

專題組員：	林冠濤	A11223032
	柯竣升	A11223023
	楊惟州	A11223040
	李峻瑋	A11223052

中華民國 113 年 11 月

目錄

第一章、簡介	1
1.1 系統	1
1.1.1 系統名稱	1
1.1.2 系統目的	1
1.1.3 系統概要	2
1.2 文件	2
1.2.1 目的	2
1.2.2 接受準則	2
1.2.3 符號描述	3
1.2.4 優先次序定義表	3
第二章、模擬全自動無人機協同系統概述	4
2.1 系統描述	4
2.2 使用者介面需求	4
2.3 功能性需求	4
2.4 環境需求	4
2.5 測試需求	5
2.6 安裝需求	5

第一章、簡介

1.1 系統

1.1.1 系統名稱

本系統全名稱爲仿真全自動無人機協同系統(Simulation Autonomous Unmanned Aerial Vehicle Cooperative System)，名稱的選定主要考量以下幾點：

1. 模擬：系統基於模擬環境，採用 AirSim 模擬器與 Unreal Engine 進行測試與驗證，以減少真實測試的風險和成本，並支持多場景設置。
2. 全自動無人機：聚焦於實現無人機自主性，包括導航、避障與路徑規劃，減少人工干預，提升運作效率。
3. 協同系統：強調多無人機之間的協同作業能力，透過數據共享與聯合決策，實現隊形保持、分工合作和動態調整。

1.1.2 系統目的

隨著無人機市場規模的快速增長，其應用場景正從單一無人機向多無人機協同發展。本系統將探討如何用自主導航與協同作業技術，開發一套仿真環境以應對多變的動態場景，利用智能化技術探索多無人機系統的自主性與協同能力。具體目標如下：

1. 自主性運作：
 - 在未知動態環境中，實現無人機的自主導航與精確避障。
 - 使用激光雷達(LiDAR)進行環境感知，結合深度學習與智能演算法，完成路徑規劃與障礙物規避。
 - 提升單一無人機在複雜場景中的運作穩定性與適應性。
2. 協同作業：
 - 實現多無人機之間的數據共享，通過協同控制技術進行分工合作。
 - 支持隊形保持、領導者-跟隨者模式和動態調整，完成分布式任務。
 - 提高群體任務的容錯性，增強多無人機系統的任務完成能力。

1.1.3 系統概要

本系統分為感知層、決策層與控制層，結合多種技術實現動態環境中的無人機自主運作與協同控制。以下為系統的功能與技術特色：

1. 感知層：整合激光雷達(LiDAR)與簡化攝像頭感測器，既確保數據準確性，也降低硬體需求，適用於資源受限的場景。提供精確的位置信息與飛行狀態數據，作為決策層的基礎。
2. 決策層：採用人工勢場法(Artificial Potential Field)進行避障規劃，透過吸引力與排斥力的合力計算，確保無人機安全通過障礙物。使用追逐胡蘿蔔演算法(Carrot Chasing Algorithm)實現平滑導航，避免振盪並提升路徑跟隨穩定性。基於領導者-跟隨者模型，使用分布式數據同步技術，保證多無人機之間的實時協同作業。
3. 控制層：將決策層的導航與避障指令轉化為具體操作，支持速度控制與模式切換。提供即時飛行數據回饋，並具備容錯能力，在單架無人機失效時，自動調整編隊完成任務。

1.2 文件

1.2.1 目的

本章節將詳細說明關於本系統的目的、功能及介面等，同時還會解釋各項專有名詞並詳述系統需求與定義，以提供開發者溝通的依據，並期望達到本專案開發之目的。

1.2.2 接受準則

本文件的接受準則是用來定義系統是否符合設計和需求規範的標準，應包含以下內容：

1. 功能需求。
2. 性能要求。
3. 穩定性與容錯性。
4. 用戶體驗。
5. 驗證標準。

1.2.3 符號描述

符號	說明	備註
Unreal Engine	版本 4.27	
AirSim	用於無人機模擬，提供控制與感測器數據接口	

符號	說明
UIR-<i>nnn</i>	使用者介面需求(User Interface Requirement)
FNR-<i>nnn</i>	功能性需求(Functional Requirement)
ENR-<i>nnn</i>	環境需求(Environment Requirement)
TTR-<i>nnn</i>	測試需求(Test Requirement)
INR-<i>nnn</i>	安裝需求(Installation Requirement)

1.2.4 優先次序定義表

No	Name	Description
1	Critical	系統完成時必須具備。
2	Important	系統完成時雖然可以不用馬上具備，但為了系統正常運行，需要盡快改善。
3	Desirable	本功能若具備會對於各項功能提供更好的操作，因此建議於修改時一並列入考慮項目。
4	Unnecessary	本功能為選擇性的需求，不會對系統的操作造成影響，可以列入下一個版本的參考依據。

第二章、模擬全自動無人機協同系統概述

2.1 系統描述

利用具有智能決策的演算法設計與協同技術應用於無人機群間，實現無人機群在動態環境中的高效自主運作，同時擴展至大規模的工商業應用。

2.2 使用者介面需求

需求編號	優先順序	需求描述
UIR-001	1	使用者能透過操作介面進行任務設定、查看無人機飛行狀態
UIR-002	1	確認系統正常進行模擬架構
UIR-003	2	使用者介面需提供即時圖形化回饋，顯示無人機的感測器數據

2.3 功能性需求

需求編號	優先順序	需求描述
FNR-001	1	本系統能正常運行
FNR-002	1	本系統能辨識障礙物並進行避障
FNR-003	2	本系統能自動記錄並匯出模擬數據的功能

2.4 環境需求

需求編號	優先順序	需求描述
ENR-001	1	需擁有 Unreal Engine 程式
ENR-002	1	需擁有 AirSim 相關套件
ENR-003	2	系統需至少具備 16GB 記憶體以保證模擬穩定性
ENR-004	2	需支援跨平台模擬(Windows 與 macOS)

2.5 測試需求

需求編號	優先順序	需求描述
TTR-001	1	本系統需能正常運行
TTR-002	1	本系統需能檢測障礙物
TTR-003	2	本系統需能生成點雲數據
TTR-004	2	本系統需驗證多架無人機協同作業時的資料傳輸正確性

2.6 安裝需求

需求編號	優先順序	需求描述
INR-001	1	需安裝 Unreal Engine 程式
INR-002	1	需下載 AirSim 相關套件



國立雲林科技大學

National Yunlin University of Science & Technology

資訊管理系畢業實務專題

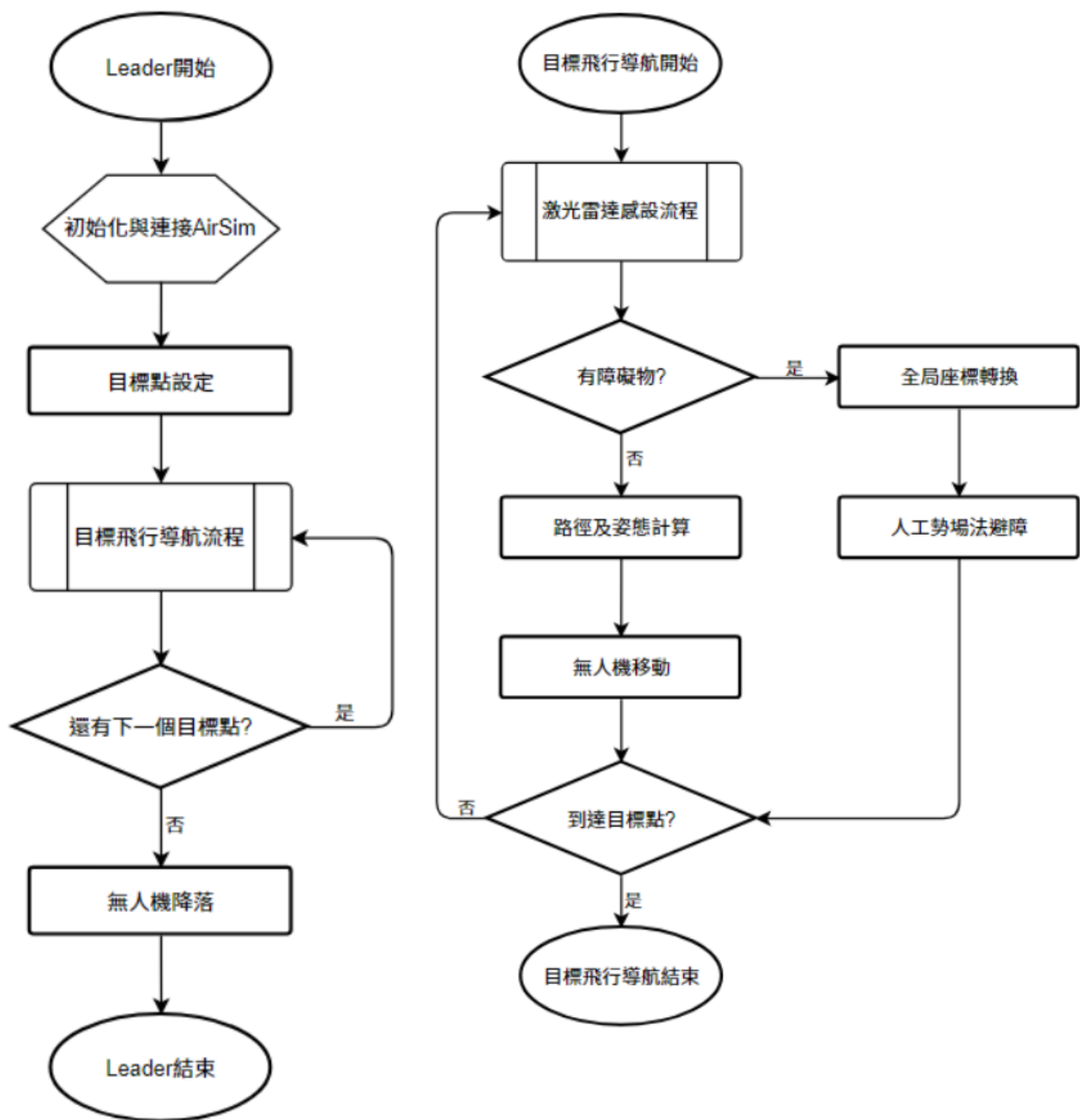
系統設計規格書

專題組員：	林冠濤	A11223032
	柯竣升	A11223023
	楊惟州	A11223040
	李峻瑋	A11223052

中華民國 113 年 11 月

目錄

第一章、系統設計簡介.....	1
1.1 簡介	1
1.2 開發動機	1
1.3 開發目的	1
第二章、開發系統工具.....	3
2.1 語法編譯	3
2.2 開發平台	3
第三章、系統模型與架構.....	4
3.1 系統模型	4
3.2 系統架構圖	4
3.3 系統設計流程圖.....	5



第一章、系統設計簡介

1.1 簡介

此設計文件描述構建一個基於模擬的無人機協同系統，實現多無人機在靜態及動態場景下的自主導航與協作。系統基於 AirSim 和 Unreal Engine 模擬環境進行開發，整合激光雷達 (LiDAR)、追逐胡蘿蔔演算法 (Carrot Chasing Algorithm) 和人工勢場法等技術，完成靜態避障、路徑規劃與多機間協同作業，為解決多機控制中的數據傳輸與同步問題提供一種高效可靠的解決方案。

1.2 開發動機

隨著無人機技術在商業、工業和軍事領域的應用日益增多，多無人機協作作業逐漸成為研究與開發的重點。然而，現有無人機多數在單機控制和靜態場景中的導航已有較高水準，而在動態場景、多機協作以及複雜環境中的適應能力仍存在不足。特別是在物流配送、農業巡檢、災害搜救等應用場景中，無人機需要具備快速判斷環境變化、靈活避障和高效完成任務的能力，而這對協作控制和動態導航提出了極高要求。

在單機控制中，靜態環境的導航問題相對成熟，但在多機協作場景中，無人機之間的數據同步、傳輸延遲以及路徑衝突等問題仍需解決。例如，在動態場景中，無人機需要快速感知周圍環境，並根據其他無人機的位置進行動態調整，這些操作需要更高效的演算法和穩定的感測器支持。多無人機的協作任務，如編隊飛行和目標搜索，也要求每台無人機能根據整體目標進行協同動作，並具備快速響應能力。

此外，當前的研究多集中於理論模型和單機性能的提升，缺乏對多機協作系統的實際驗證平台。利用模擬環境（如 AirSim 和 Unreal Engine），能夠快速模擬多種場景，驗證不同演算法和協作模型的有效性。同時，通過結合激光雷達數據處理、路徑規劃與動態避障技術，可以進一步提升無人機在動態場景中的表現。

1.3 開發目的

本系統的開發目的是為了解決動態場景中無人機群協同作業的核心問題，並驗證關鍵技術在不同場景下的適應性與穩定性。首先，系統旨在建立一個可模擬多無人機協作的環境，通過激光雷達與攝像頭感測數據進行環境建模，實現無人機在靜態和動態障礙物中的導航與避障。這一功能的實現將為解決多機間的路徑規劃與避障問題提供技術基礎。

此外，該系統還目標於驗證多無人機協同控制的可行性，尤其是在領導者-跟隨者模型下的路徑同步與隊形維持能力。通過領導者提供全局路徑規劃，跟隨者根據領導者位置進行即時調整，確保無人機群能夠高效完成任務並應對突發情況。例如，在動態障礙物出現時，所有無人機能同步調整路徑，避免碰撞並維持隊形。

同時，系統的另一核心目的是優化無人機導航演算法的實現與應用，例如追逐胡蘿蔔演算法（Carrot Chasing Algorithm）和人工勢場法（APF）。追逐胡蘿蔔演算法通過生成虛擬目標點實現平滑的路徑跟隨，減少無人機的運動振盪；人工勢場法則利用吸引力與排斥力，進行動態避障與環境適應。結合這些演算法，系統能更有效應對複雜場景中的導航需求。

最後，本系統還希望成為一個標準化的測試與驗證平台，幫助研究人員快速部署和測試多機協作方案。無論是在物流、農業還是城市管理的應用中，該平台都能提供有價值的數據與技術支持，推動無人機協作技術的進一步發展。

第二章、開發系統工具

2.1 語法編譯

1. Python 3.9.13：實現演算法邏輯與控制。
2. C++98：作為底層接口，與 AirSim 和 Unreal Engine 交互。

2.2 開發平台

1. AirSim：用於模擬無人機的物理行為和感測器數據回傳。
2. Unreal Engine 4.27：構建三維模擬場景，提供真實感視覺效果。

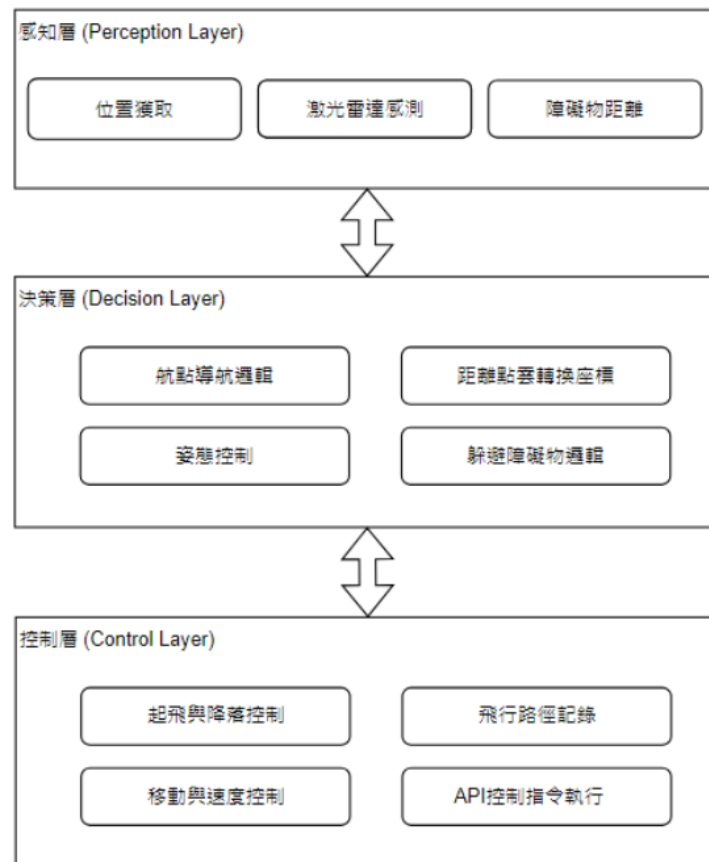
第三章、系統模型與架構

3.1 系統模型

本系統基於三層架構設計，分為感知層、決策層和控制層，具體如下：

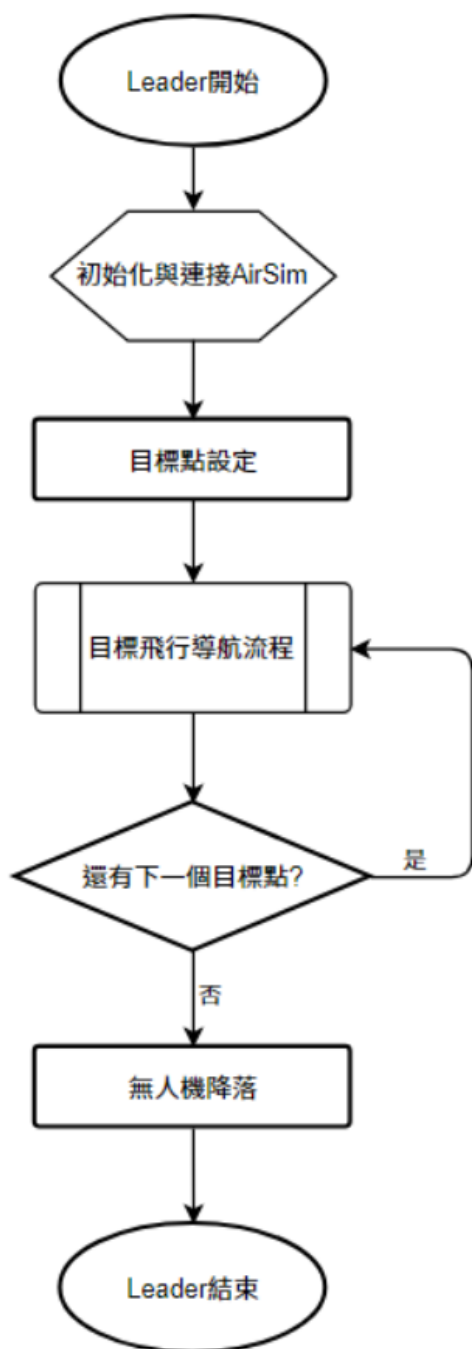
1. 感知層:負責獲取無人機周圍環境的資訊，主要是透過激光雷達感測器偵測與障礙物相對距離和無人機飛行狀態，提供決策層分析所需的基礎數據。
2. 決策層:根據感知層提供的數據進行航點和障礙物躲避規劃，而無人機的飛行路徑及狀態規劃主要透過姿態角控制和追逐胡蘿蔔演算法(Carrot Chasing)進行決策的判斷，同時障礙物的躲避是藉由人工勢場法(Artificial Potential Field)，以吸引力與排斥力的向量合力進行運動，最後並向控制層輸出適當的控制指令。
3. 控制層:負責執行來決策層的控制指令，並將指令轉化為具體的無人機行為，主要為飛行的控制及飛行模式的切換，包括速度控制及位置控制等模式，並將實時的操作紀錄下並且繪製成路徑。

3.2 系統架構圖

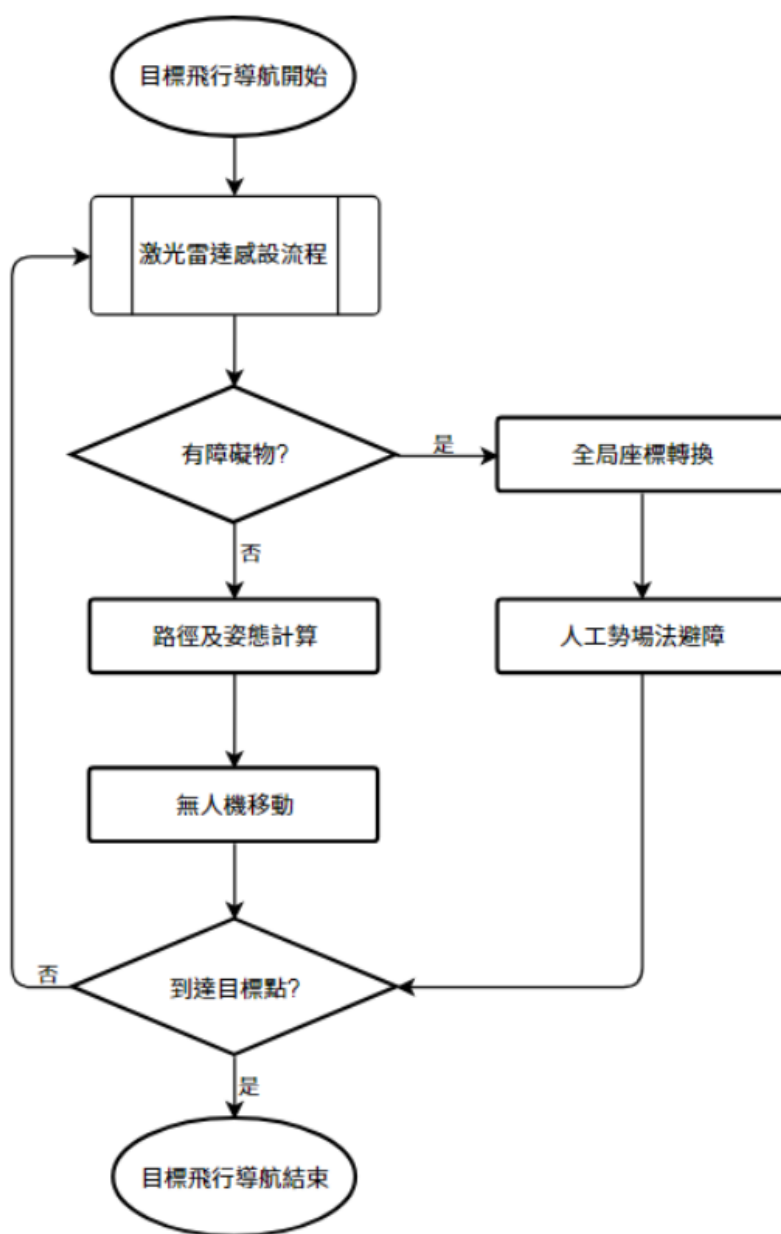


【圖 1】系統架構圖

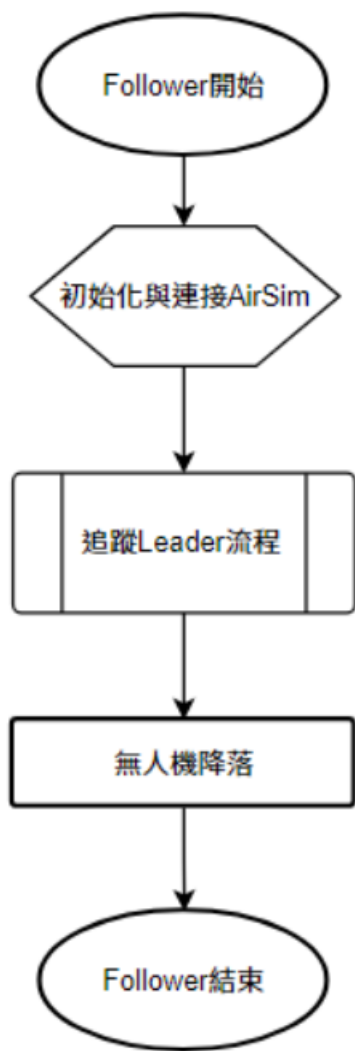
3.3 系統設計流程圖



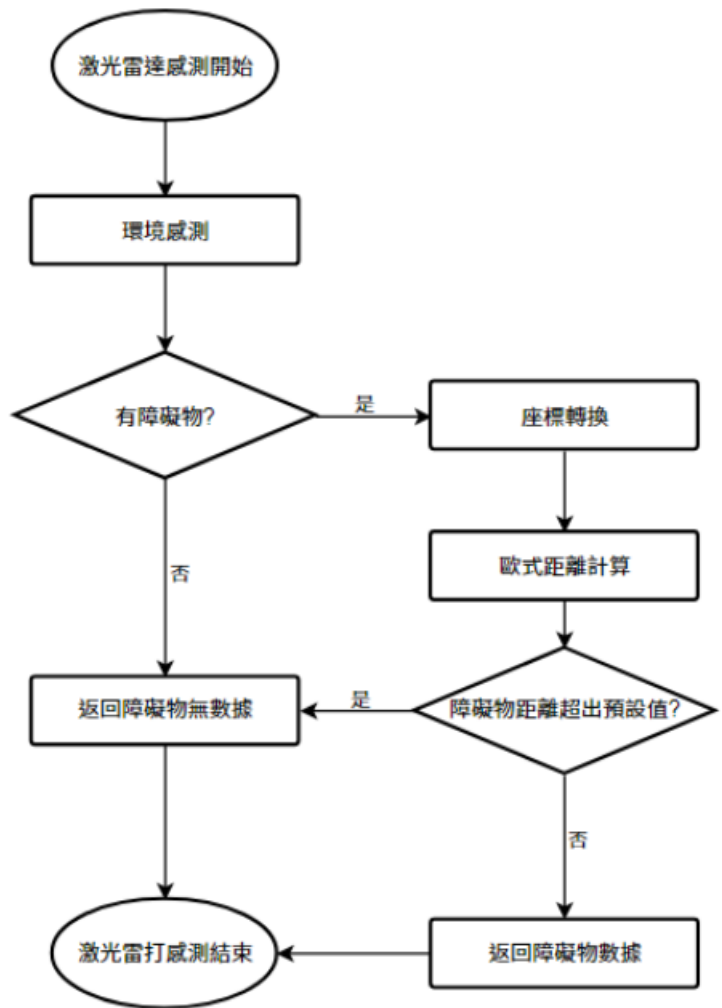
【圖 2】Leader 流程圖



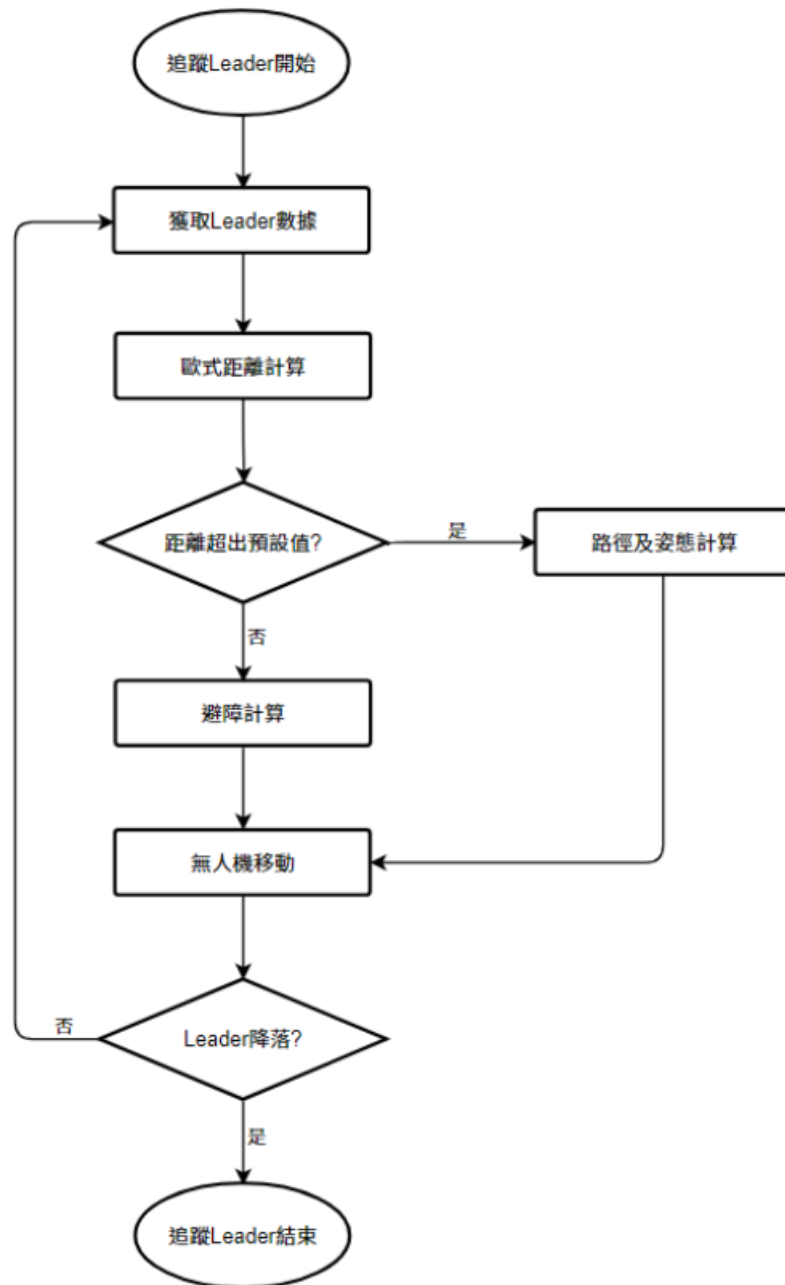
【圖 3】目標飛行導航流程圖



【圖 4】Follower 流程圖



【圖 5】激光雷達感測流程圖



【圖 6】追蹤 Leader 流程圖



國立雲林科技大學

National Yunlin University of Science & Technology

資訊管理系畢業實務專題

系統測試報告書

專題組員：	林冠濤	A11223032
	柯竣升	A11223023
	楊惟州	A11223040
	李峻瑋	A11223052

中華民國 113 年 11 月

目錄

第一章、測試目的與範圍	1
1.1測試目的	1
1.2測試範圍	1
1.3測試接受準則	1
第二章、測試計畫	2
2.1激光雷達(LiDAR)	2
2.2追逐胡蘿蔔演算法(CARROT CHASING ALGORITHM)	2
2.3人工勢場法	2
2.4測試方法	2
第三章、測試環境	3
3.1操作環境	3
3.2硬體規格	3
3.3軟體規格	3
3.4測試資料及來源	3
3.5測試工具及設備	3
第四章、測試案例	4
4.1激光雷達	4
4.2追逐胡蘿蔔演算法	5
4.3人工勢場法	6
第五章、測試結果與分析	7
5.1測試結果	7

第一章、測試目的與範圍

1.1 測試目的

仿真全自動無人機協同系統的測試主要驗證無人機群在協作避障與導航任務中的有效性與穩定性。驗證單機在靜態環境中避障功能的性能表現，以及確認多機協作場景下的動態場景下的適應調整能力。

1.2 測試範圍

本測試文件主要針對本系統以下功能進行測試:

1. 檢測障礙物距離與生成點雲數據，驗證數據準確性與環境感知能力。
2. 測試無人機基於虛擬目標點進行路徑追蹤的準確性與穩定性。
3. 測試靜態及動態障礙物的避障能力與動態環境中的適應表現。
4. 驗證無人機在飛行過程中對路徑的記錄準確性與回放功能的正確性。
5. 評估領導者規劃路徑的準確性以及跟隨者的即時調整能力。

1.3 測試接受準則

本測試計畫的接受準則如下:

1. 單機能準確檢測靜態障礙物，並有效避開障礙物。
2. 多機協作無人機能準確同步領導者的路徑並有效避開障礙物。
3. 在動態場景下，無人機能保持穩定運行，無明顯偏移或失控情況。
4. 感測器數據（如 LiDAR 點雲、攝像頭圖像等）能即時回傳且無明顯延遲或丟失。
5. 點雲數據應反映障礙物的位置與形狀。
6. 路徑記錄功能應完整記錄飛行過程測

第二章、 測試計畫

2.1 激光雷達(LiDAR)

需求如下幾點:

1. 檢測激光雷達能否正確計算目標物的距離，並將測距誤差控制在允許範圍內。
2. 確認激光雷達生成的點雲數據是否完整，反映環境中的物體位置與形狀。
3. 激光雷達正確記錄點雲數據並映射至局部座標系。

2.2 追逐胡蘿蔔演算法(Carrot Chasing Algorithm)

需求如下幾點:

1. 根據無人機當前位置與路徑，動態生成合理的虛擬目標點。
2. 無人機能追蹤虛擬目標點，逐步接近最終目標。

2.3 人工勢場法

需求如下幾點:

1. 無人機在有障礙物的環境中根據排斥力與吸引力進行避障。
2. 跟隨者無人機能根據領導者的位置進行即時調整。
3. 確保跟隨者無人機在複雜路徑下能準確地避開障礙物。

2.4 測試方法

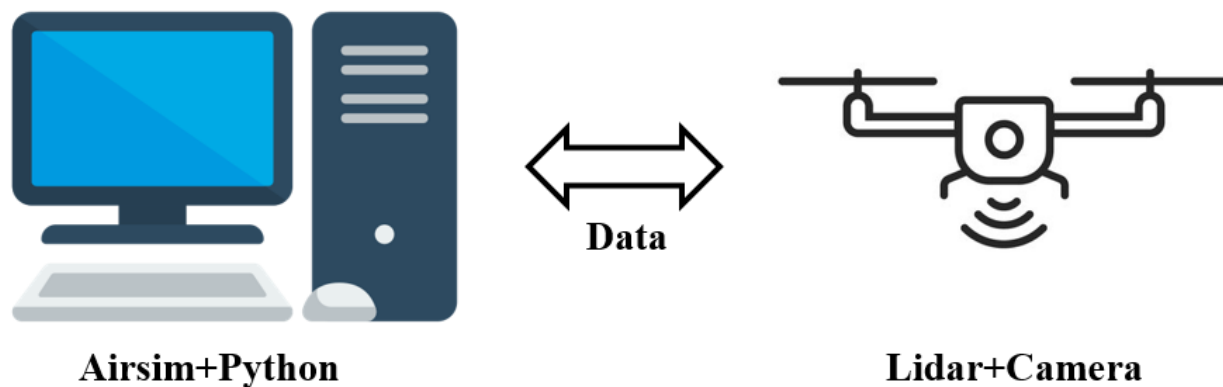
在測試階段，將測試方法分為三個部分，為測試激光雷達、追逐胡蘿蔔演算法、人工勢場法。

1. 激光雷達: 此階段主要測試透過激光雷達感測器偵測與障礙物相對距離和無人機飛行狀態，提供航點和障礙物躲避規劃所需的基礎數據。
2. 追逐胡蘿蔔演算法: 此階段主要測試透過姿態角控制和追逐胡蘿蔔演算法進行決策的判斷。
3. 人工勢場法: 此階段主要以吸引力與排斥力的向量合力進行運動，最後向控制層輸出適當的控制指令。

第三章、測試環境

3.1 操作環境

無人機運行測試環境如【圖 1】所示：



【圖 1】

3.2 硬體規格

硬體類別	規格
處理器	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v3 @ 2.40GHz (6 核心, 12 執行緒)
記憶體	32.0 GB
系統類型	64 位元作業系統, x64 型處理器
作業系統	Windows 11
顯示卡	NVIDIA GeForce GTX 970 (4GB GDDR5)
驅動版本	560.94 (CUDA 12.6)

【表 1】

3.3 軟體規格

應用軟體	描述
C++98	用於開發和編譯 AirSim 代碼。
Unreal Engine 4.27	提供 3D 模擬環境，運行 AirSim 模擬。
AirSim	用於無人機仿真，提供控制與感測器數據接口。
Python 3.9.13	用於編寫控制腳本，與 AirSim API 進行交互。

【表 2】

3.4 測試資料及來源

1. 由測試人員架設環境並手動配置。
2. 測試資料由無人機運行路徑回傳。

3.5 測試工具及設備

電腦。

第四章、測試案例

本章節將介紹針對無人機控制系統進行的各種測試案例。這些測試案例主要針對系統中各功能模塊的穩定性、準確性和效能進行測試，包括無人機的起飛、降落、路徑跟蹤、障礙物避障、感測器數據處理等功能。每個測試案例都會根據實際需求與程式功能進行設計，系統分別敘述如下：

4.1 激光雷達

代號	1-1
名稱	激光雷達-測距準確性測試
測試目標	測試激光雷達能否正確計算目標物的距離
嚴重性	1
流程	1. 啟動雷達 2. 設置障礙物 3. 測試距離
預期結果	測距誤差小於允許範圍
例外狀況	測距誤差超標或數據缺失
備註	

代號	1-2
名稱	激光雷達-點雲生成測試
測試目標	確認生成的點雲數據是否完整，準確反映障礙物
嚴重性	1
流程	1. 啟動雷達 2. 生成點雲 3. 驗證準確性
預期結果	點雲數據完整，準確反映環境
例外狀況	點雲數據丟失或不準確
備註	

代號	1-3
名稱	激光雷達-局部座標系映射測試
測試目標	驗證點雲數據能正確映射到局部座標系
嚴重性	2
流程	1. 啟動雷達 2. 記錄數據 3. 映射檢查
預期結果	數據準確映射至無人機座標系
例外狀況	映射偏差超出允許範圍
備註	

4.2 追逐胡蘿蔔演算法

代號	2-1
名稱	追逐胡蘿蔔演算法 - 目標點生成測試
測試目標	測試虛擬目標點生成是否合理
嚴重性	1
流程	1. 設置路徑 2. 啟動演算法 3. 檢查目標
預期結果	目標點生成合理，無重大偏差
例外狀況	無法生成目標點或位置偏移
備註	

代號	2-2
名稱	追逐胡蘿蔔演算法 - 路徑追蹤測試
測試目標	確認無人機能平滑追蹤虛擬目標點並接近目標
嚴重性	1
流程	1. 設置虛擬路徑 2. 無人機運行 3. 驗證結果
預期結果	無人機平滑追蹤目標點
例外狀況	偏離路徑或運動不穩定
備註	

代號	2-3
名稱	追逐胡蘿蔔演算法 - 避障測試
測試目標	驗證無人機在障礙物存在下的追蹤能力
嚴重性	1
流程	1. 設置障礙物 2. 啟動避障 3. 測試追蹤
預期結果	無人機避開障礙物並繼續追蹤目標
例外狀況	無法避障或失去追蹤目標
備註	

4.3 人工勢場法

代號	3-1
名稱	人工勢場法 - 靜態避障測試
測試目標	測試無人機能否避開靜態障礙物
嚴重性	1
流程	1. 設置障礙物 2. 啟動演算法 3. 驗證避障
預期結果	無人機成功避開靜態障礙物
例外狀況	無法避障或偏離目標路徑
備註	

代號	3-2
名稱	人工勢場法 - 複雜路徑測試
測試目標	測試無人機在複雜路徑中的避障與導航能力
嚴重性	2
流程	1. 設置複雜場景 2. 啟動演算法 3. 驗證路徑
預期結果	無人機避障成功，並完成路徑導航
例外狀況	在複雜場景中失效或運行不穩定
備註	

第五章、測試結果與分析

5.1 測試結果

測試案例識別	結果
1-1	Pass
1-2	Pass
1-3	Pass
2-1	Pass
2-2	Pass
3-1	Pass
3-2	Pass
3-3	Pass