

財團法人中華航空事業發展基金會

「遙控無人機射頻識別規範與長程偵測及  
軟體安全晶片技術」研究案

期末報告

計畫主持人：吳瑞北

共同主持人：蔡作敏

顧問：賴怡吉、孟廣運、張苓瑤

研究生：王思翰

國立臺灣大學無人載具研發設計中心

中華民國一一四年三月十日

## 目 次

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 執行摘要.....                                          | 3  |
| 第一章 緒論.....                                        | 4  |
| 1.1 計畫緣起 .....                                     | 4  |
| 1.2 計畫範圍 .....                                     | 4  |
| 第二章 美國射頻識別 Remote ID 技術標準(ASTM F 3411-22a)整理 ..... | 6  |
| 2.1 發展背景 .....                                     | 6  |
| 2.2 發展時間序列說明 .....                                 | 7  |
| 2.3 版本更新異動摘要 .....                                 | 9  |
| 2.4 ASTM F3411-22a 內容整理.....                       | 11 |
| 2.5 我國遙控無人機射頻識別法規建議.....                           | 11 |
| 第三章 長程偵測驗證射頻識別效能相位陣列天線研究 .....                     | 14 |
| 3.1 計劃目標 .....                                     | 14 |
| 3.2 計畫系統規畫.....                                    | 17 |
| 3.3 控制電路強化.....                                    | 17 |
| 3.4 相移器測試元件.....                                   | 19 |
| 3.5 相移器完整設計 .....                                  | 22 |
| 3.6 DAC 電路 :.....                                  | 28 |
| 3.7 三角定位法 :.....                                   | 34 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 3.8 戶外實測 :               | 36 |
| 3.9 結論 :                 | 42 |
| 第四章 無人機核心運算系統之安全晶片替代技術研究 | 43 |
| 4.1 計畫目標                 | 43 |
| 4.2 計畫執行內容說明             | 43 |
| 4.3 計畫展望                 | 67 |
| 4.4 結論                   | 68 |
| 第五章 結語與展望                | 71 |
| 5.1 總結                   | 71 |
| 5.2 補充說明與展望              | 71 |

## 執行摘要

本計畫旨在實現三大目標：(一) 美國射頻識別 Remote ID 技術標準 (ASTM F3411-22a) 整理研析，以對我國相關法案之長期調適擬議；(二) 長程偵測驗證射頻識別效能相位陣列天線精進研究，以作為我國執法單位打造地面端射頻識別偵測裝置。(三) 無人機核心運算系統之安全晶片替代技術研究，從資訊安全角度提供功能性測試以供確認及驗證。

研究團隊目前針對上述目標，具體已達成：1. 完成美國射頻識別 Remote ID 技術標準 (ASTM F3411-22a) 整理擬定，2. 持續對我國遙控無人機射頻識別法規擬定相關配套計畫與時程規劃建議及技術標準參考。3. 長程偵測驗證射頻識別的 4×4 陣列天線性能調校設計及實作，已經將相移器以及 DAC 控制電路強化的改版完成下線。4. 使用可信任執行環境 (TEE) 技術取代無人機核心運算系統之安全晶片，已完成軟硬體系統原型 (Prototype) 之設計及實作。

預計接下來將會完成：1. 持續整理關於網路射頻識別的相關資料，2. 4×4 陣列天線完成驗證後將再行系統整合，3. 無人機資安系統之安全晶片 TEE 替代技術，提供系統整合及功能性測試及其他應用研究。

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起

因應小型無人機系統(sUAS)應用服務多元性的蓬勃發展，國際社會主管飛航營運與監管機關或組織，為維護飛航安全且有效管理空中交通，業已積極地對遙控無人機管理模式、相關技術標準與法令規範制定、產業與監理機關等角色與職掌定義、關鍵技術研發、資訊系統架構規劃與實踐、使用案例場域驗證等多面向持續發展。因此，本計畫延續前期計畫成果，就遙控無人機射頻識別 Remote ID 技術規範、長程偵測技術，以及機載端資安實踐技術等議題精進研究，提出建設性的解決方案建議。

## 1.2 計畫範圍

首先，就遙控無人機射頻識別 Remote ID 技術標準，以美國 ASTM F3411“Standard Specification for Remote ID and Tracking”為標的，進行更新資料搜集與研析，進而提出我國未來遙控無人機射頻識別 Remote ID 技術規範之調適擬議；其次，持續探討與實踐長程相位陣列天線偵測技術發展，以研製對遙控無人機的長距離偵測能力裝置；最後，在機載端資安實踐技術議題，使用現代主流微處理器族系均有建置之可信任執行環境(Trusted Execution Environment, TEE)技術，透過將諸如金鑰、憑證、及/或加解密演算法之全部或一部等機敏資訊置於 TEE 中，阻絕從一般執行環境中

非法存取或破壞該等機敏資訊之途徑，以達成超越純軟體加密技術、且等效或近似於硬體安全晶片保護等級之目標。藉由本計畫研究議題，期許為遙控無人機營運與管理相關技術提供科學的理論支持和實用的技術解決方案。接下來將就以下研究議題，分別於各章節闡述說明。

- 美國射頻識別 Remote ID 技術標準(ASTM F3411-22a)整理
- 長程偵測驗證射頻識別效能相位陣列天線研究
- 無人機核心運算系統之安全晶片替代技術研究

## 第二章 美國射頻識別 Remote ID 技術標準(ASTM F 3411-22a)整理

### 2.1 發展背景

美國無人機系統交通管理(UTM, Unmanned Aircraft System(UAS) Traffic Management)是於 2013 年由美國國家航空暨太空總署(NASA, National Aeronautics and Space Administration) 提出概念性框架，2014 年 NASA-Industry 工作坊首次發表闡述，2015 年在 NASA 主辦的 UTM 會議與無人機營運商共同提出低高度空域實施無人機系統交通管理的重要性及必要性。於此，美國聯邦航空總署 (FAA, Federal Aviation Administration) 亦定調 UTM 概念性框架，採由第三方提供支援服務予無人機營運商的空域管理原則。

緊接著，FAA 與 NSAS 籌組 UTM Research Transition Team (UTT)，擬定 UTM 運作概念與使用案例、資料交換與資訊系統架構、偵測與避讓，以及通訊與導航等主題研究與發展計畫。並分別於 2018 與 2020 年發表 UTM 運作概念報告(UTM ConOps, UTM Concept of Operations) v1.0 與 v2.0，匯總說明上述 UTM 相關研究與發展主題實施與精進成果。其中，於 2020 年公佈之 UTM ConOps v2.0 內文中，於 2.6 Remote Identification 章節中定調無人機系統於低高度空域無人機飛航營運時，需裝置射頻識別(RID, Remote ID)，以發送操作中無人機之身份

識別、航跡位置、航向，速度、地面站（或起飛點）位置等資訊給其他接收方之行動裝置介面。當無人機以不安全的方式飛行或執行未經許可的飛航活動時，射頻識別亦可協助監理機關、執法單位等機構定位並找到地面控制站與操作人。

美國材料與試驗協會 (American Society for Testing and Materials，ASTM) 依循美國聯邦航空總署 (FAA) 就小型無人機 (sUAS) 登記、操作、安全標準等相關法令規範，於 2019 年以世界貿易組織技術性貿易壁壘 (TBT) 委員會所發布的有關國際標準、指南和建議原則，制定標準編號為 F3411-19 Standard Specification for Remote ID and Tracking，旨在提供與 FAA 法規相一致的標準測試方法，以確保無人機設備的性能和安全符合相關法規的要求。並於 2022 年發布更新版本，標準編號為 ASTM F3411-22a (以下簡稱為「此標準」)。