

無人機於交通運輸領域應用與 政策推動之探討

SURVEY ON UAV APPLICATION PRACTICE AND NATIONAL POLICY IN TRANSPORTATION FIELD

邵珮琪* Pei-Chi Shao^{1,2}

林清一 Chin E. Lin^{3,4}

吳東凌 Tung-Ling Wu⁵

(108 年 11 月 01 日收稿，109 年 04 月 07 日第一次修改，109 年 9 月 25 日定稿)

摘 要

隨著電子及通訊技術的進步發展，遙控無人機已經發展成為實用技術，國際上廣為各方面採納使用。在交通運輸領域的應用，遙控無人機高度機動力與大範圍佈署的特性，能夠有效提升系統實施的可行性、可及性及安全性。由於技術與性能的突破，遙控無人機的研究發展，已經不再是 3C 娛樂產業的格局，未來無人機在臺灣的低空域作業與應用將會更頻繁。交通部為有效導入遙控無人機於我國交通運輸領域的應用以及促進相關產業的發展，成立「無人機科技產業小組」，並研擬我國遙控無人機在交通領域發展之推動策略，聚焦遙控無人機應用於防救災、智慧運輸、物流運送三大議題，透過交通運輸公部門對無人機的作業需求，帶動相關產業之合作與發展。本研究將從法規管理、科技發展、產業經濟三個層面來探討無人機推動政策建議，並透過整合示範計畫 (Integrated Pilot Program) 的實施以及

-
1. 長榮大學航運管理學系助理教授。*投稿聯絡人 E-mail: pcshao@mail.cjcu.edu.tw
 2. 長榮大學無人機中心副主任。地址：711 台南市歸仁區長大路 1 號；電話：06-2785123 ext. 6011。
 3. 長榮大學無人機應用學士學位學程教授。
 4. 長榮大學無人機中心主任。
 5. 交通部運輸研究所運輸資訊組組長。

無人機飛航管理系統 (UTM) 的建置與測試, 奠定臺灣遙控無人機產業發展的短、中、長期目標, 期待形成遙控無人機產業聚落, 讓臺灣技術生根、放眼國際競爭。

關鍵詞： 遙控無人機、交通運輸領域應用、整合示範計畫、無人機飛航管理

ABSTRACT

Benefiting from the evolutions on electronics and communication technologies, the unmanned aerial vehicle (UAV) has become a mature technology in global different applications. In transportation domains, UAVs have their natures of high mobility and broad deployment to effectively improve system implementation with feasibility, availability and safety. Due to breakthrough accomplishment in skill and performance, UAV developments are no longer in 3C or recreation scale. UAVs will become most commonly and frequently used in low altitude operations. The Ministry of Transportation and Communication (MOTC) tries to introduce UAVs into transportation domain of applications and elevate relative industries into wider implementations. The “UAV Technology and Industry Special Task Force” is organized to draw a national picture to promote UAV developing strategy. UAVs in transportation domain operations can be focused on Disaster Prevention and Rescue, Intelligent Transportation, Logistic Delivery, through government demands to drive industrial cooperation into future perspectives. This study tries to overview UAV national policy and government strategy to establish UAV industrial infrastructure from the Integrated Pilot Program (IPP) and UAS Traffic Management (UTM). The UAV industry developments in short, medium and long terms can be expected to construct an industrial assemblies to foothold Taiwanese technique capability and stretch into International competition.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Transportation Field Applications, Integrated Pilot Program (IPP), UAS Traffic Management (UTM)

一、前言

1.1 無人機簡介

無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), 也稱為無人機, 更廣為人知的稱呼為 Drone, 早期都屬於軍事任務的範疇。2010 年來無人機的技術發展快速, 碳纖維複合材料、無刷馬達 (Brushless Motor)、鋰聚電池 (LiPo)、電力電子、微型電子元件、通訊導航、飛行控制等技術的成功整合, 使無人機快速進入娛樂及民生用途, 更加親民, 也因此繁榮了中小型無人機市場^[1]。一架功能完整的無人機, 包括了機型載具、動力、航電、操控、酬

載以及地面遙控等次系統的完全整合，稱為「無人機系統」(Unmanned Aircraft System, UAS)。從國際航空法規的角度來看，國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 在 2011 年 3 月發布第 328 號通告文件，其名稱為 Unmanned Aircraft System (UAS)，中文為無人機系統，而該通告文件中也提及：確保歐洲通用的遙控無人機系統 (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS)^[2] 規範也能符合芝加哥公約之條件，規劃了無人機的飛航管理程序^[3]。此後，ICAO 為了提供無人機國際標準的監管架構，在 2015 年發布第 10019 號文件：「遙控無人機系統 (RPAS)」，該文件旨在以協調及無縫結合 (Seamless) 的方式，為全世界的無人機建立操作標準規範，以支持其飛航服務程序 (Procedures for Air Navigation Services, PANS)，最重要的是將無人機引入非隔離空域 (Non-Segregated Airspace)，並降低有人機 (Manned Aircraft) 在機場的安全風險^[2]。因此，根據 ICAO 第 328 號通告文件，將無人機系統 (UAS) 定義為「飛機及其相關部分在沒有飛行員在飛機上操作情況下運行」^[3]。

Unmanned aircraft system. *An aircraft and its associated elements which are operated with no pilot on board*

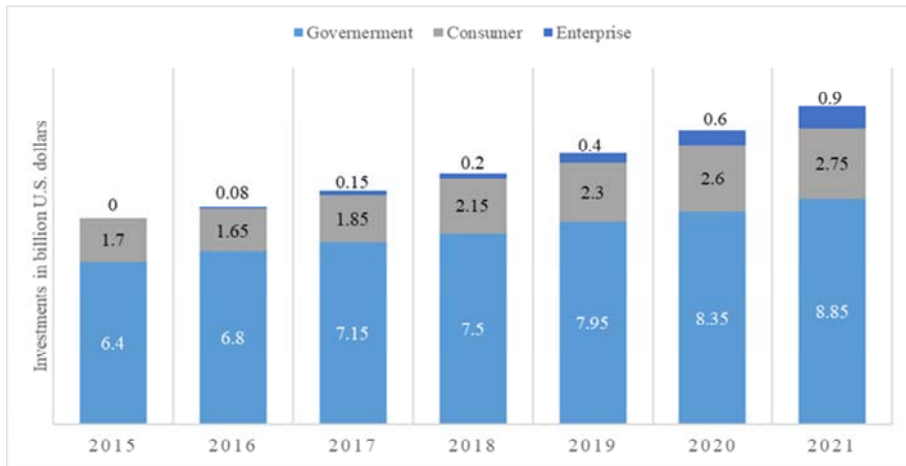
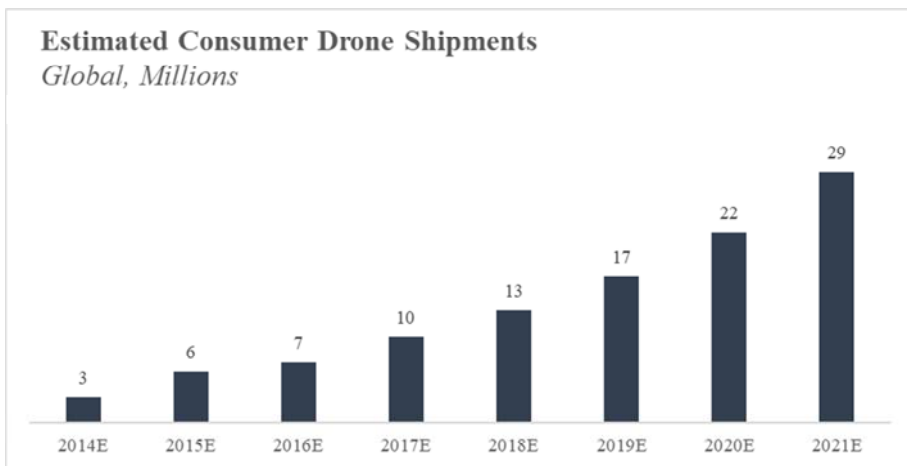
根據 ICAO 第 10019 文件，則將遙控無人機系統 (RPAS) 定義為「遙控飛機及其相關的遙控站，包含規定的指揮控制鏈路和設計類型中其它組件。」

Remotely piloted aircraft system (RPAS). *A remotely piloted aircraft, its associated remote pilot station(s), the required command and control links and any other components as specified in the type design.*

受到合法的框架支持，遙控無人機系統 (RPAS) 正逐漸創造出具有巨大經濟潛力的新產業。RPAS 提供了廣泛的應用功能先進特性，在市場需求的激勵下，其相關技術、設計和操作概念正迅速發展。在這種情況下，各國面臨的挑戰是安全而有效地整合遙控無人機系統飛到有人機儀器飛航 (Instrument Flight Rules, IFR) 的高度，更能完善的與有人飛機共存營運的環境^[4]。

無人機的商業應用在全球已經十分廣泛^[5-6]，美國 Statista 公司^[7] 在 2017 年所發布的統計數據預測，全球無人機行業的發展情況由 2015 年至 2020 年，在全球無人機硬體的投資區分如圖 1 所示，官方投資總額將達到 83.5 億美元，個人投資總額將達到 26 億美元，企業全球投資總額將達到 6 億美元。

Business Insider^[8] 在 2017 年的統計數據以 2014 年開始的無人機出貨量進行預測評估，觀察到近年來無人機出貨量的大幅增長，如圖 2 所示，在 2016 年有 700 萬架的無人機出貨量，比 2015 年增加了 100 萬台，2017 年新出貨的 1000 萬架無人機，比前一年度增加約 40%，預估到 2021 年，無人機出貨量將增加四倍，全球出貨量為 2900 萬架。根據 Gartner 公司的研究數據，2016 年全球無人機熱門機種的單位銷量攀升至 220 萬台，收入增長 36% 至 45 億美元，而美國消費者技術協會亦指出，2016 年在美國就銷售了 240 萬台個人無人機，比 2015 年銷售的 110 萬台增加了一倍多。

圖 1 2015 年至 2021 年全球無人機硬體投資(單位：十億美元)^[7]圖 2 2014 年至 2021 年無人機出貨運量預測^[8]

臺灣民用遙控無人機的發展緣起於 1980 年代起以學術研究為主、遙控模型飛機產業剛剛起步，由於當時遙控通訊與電子技術的性能差強人意，技術研發處處是瓶頸。直到 2000 年由於微電子、電池、通訊、控制、攝影、數據處理等技術快速發展，遙控無人機研究落實於產業，逐漸展現成果。自 2000 年以來，多方面的技術進步，使得無人機產業的發展，依本研究觀察與接觸，遙控無人機整體技術從無人機載具開始，動力、電力及混合動力是核心技術、飛行控制、感測、酬載及通訊等整合一體，讓無人機得以展現執行任務的能力(如圖 3 所示)。2012 年起，因為無刷直流馬達 (BLDC)、鋰聚電池 (LiPo)、電子變速器 (ESC)、微型控制單元 (MCU)、通訊模組等快速突破，讓設計簡單、操控容易的多旋翼無人機在短時間內搖身一變成為通訊電子消費性產品 (3C)，更延伸出來許多的無人機應用，

例如：系統設施的巡檢、影像空拍作業等。多旋翼機的性能差異甚大，執行任務的能力迥異，空拍任務所獲得的影像、數據將須深化的處理才能成為有價值的資料，因此遙控無人機任務規劃以及從空中擷取的圖像、數據資料後製，以大幅提升無人機的應用價值。

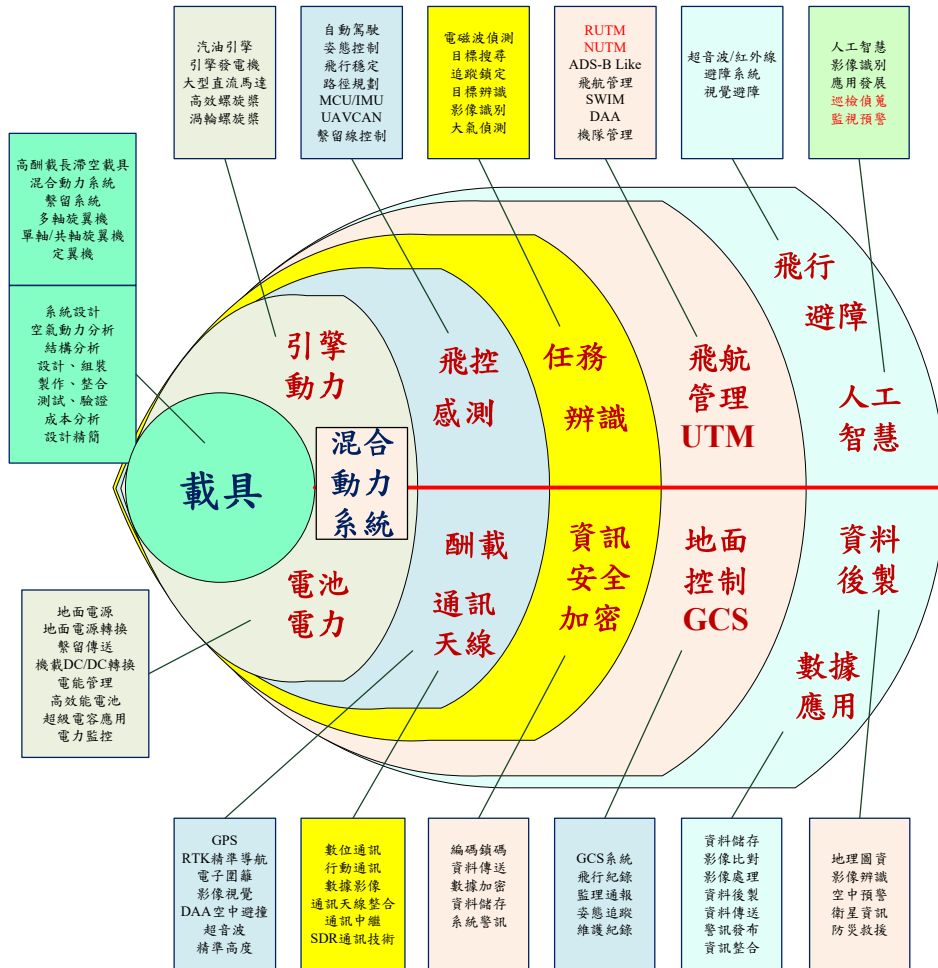


圖 3 遙控無人機產業區分（資料來源：本研究整理）

臺灣的無人機產業鏈結領域自 2012 年起，多旋翼無人機逐漸成為無人機應用的主流。多旋翼無人機的零組件內容，變成為無人機產業的重點，包含無人機設計製造、飛行操控、任務性能的電子配備及相關的產業鏈，產出類別共分為 14 項，如圖 3 所示，包括：機身結構所需的複合材料、動力系統的無刷直流馬達 (BLDC)、提供動力的高能電池、高效率的螺旋槳、電子變速電源轉換之電力電子、飛行控制系統與模組、建立遙控能力的通訊電子、控制與通訊的微電子晶片、導航慣性系統模組、相機雲台等高性能酬載、寬頻數據傳輸模組、系統整合服務、雲端數據處理、人工智慧應用等，建立完整的產業結構。

臺灣無人機的產業經濟規模大致還在小型經濟的產業規模下，多屬於小規模的應用、小範圍的服務為主。由於公部門內需求小，國內業者尚無大量生產供應國內需求，因為技術門檻不高，大部分多旋翼無人機可以由玩家自行組裝，完成飛行器。完整的無人機系統的標案採購金額變異極大，任務型 15~25 kg 級多旋翼機約為 20~60 萬元、25 kg 級農噴用多旋翼或單旋翼直升機約為 60~90 萬元，20~40 kg 級固定翼機約為 100~250 萬元。因價格考量，公部門零散採購的無人機半數以上是紅色供應鏈的產品，以及部分為進口產品。由於多數無人機的可靠度欠佳，無人機的平均失效週期 (Mean Time between Failure, MTBF) 都只是在 100 小時之譜^[6]，零組件替換率極高，無人機零組件供應也是主要市場需求。

1.2 小結

本節主要介紹國際與國內的無人機產業現況，並結合後續五小節構成「無人機於交通運輸領域應用及政策推動」之探討。將無人機應用於交通運輸領域上，其具體作為首推無人機飛航安全管理，本文第二節以國際民航組織、歐盟、美國與臺灣的無人機飛航管理系統建制與民航法規管理，了解在無人機的飛航安全管理上，指標性的組織或國家所載明的系統規格與管理機制；第三節則為國際或國內實務文獻中，無人機於交通運輸領域的應用，以智慧運輸領域、防救災領域及物流運送領域，介紹應用情境及具體作業。各國公部門對無人機作業的需求，中外皆然，本文第四節以美國無人機整合示範計畫為標竿，說明美國公部門、國家研發部門與產業界的合作機制，再對照臺灣現有的環境，以法規及實質作業方式來探討公部門和產業界的合作之道。了解無人機產業的國內外應用與法規管理之後，本文第五節將聚焦臺灣無人機產業發展策略的建議，從公部門需求面向、技術研發端、飛航作業管理面向來發展近程與遠程的政策建議，並構成本文第六節結論的結語。

二、無人機的飛航安全管理

由於世界各國對無人機的安全管理之規定依各國法規為主，以各國法規所容許的無人機最大飛行高度的限制為例，可見一斑：澳門無人機飛行限高為 30 公尺、新加坡與馬來西亞無人機飛行限高為 60 公尺、香港與泰國無人機飛行限高為 90 公尺；德國無人機飛行限高為 100 公尺；英國、西班牙、澳大利亞與紐西蘭之無人機飛行限高則為 120 公尺；而臺灣、菲律賓與美國皆以 400 呎 (122 公尺) 為無人機最大飛行高度；韓國、印尼與日本無人機飛行限高皆為 150 公尺…等。雖然各國對無人機的管理作業不盡相同，但是對無人機在低空域飛航安全的發展，先進國家莫不以無人機的飛航管理成為必須達成的階段性目標。本小節將以制定全球飛航作業規定的國際民航組織 (ICAO)、美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA)、歐盟航空安全局 (European Union Aviation Safety Agency, EASA) 的無人機安全規定與無人機飛航管理 (Unmanned Aircraft Systems Traffic Management, UTM) 發展及臺灣目前的產學研究進行說明。

2.1 國際民航組織 (ICAO) 的遙控無人機安全管理與 UTM 發展

國際民航組織成立了遙控無人機系統專門小組 (Remotely Piloted Aircraft Systems Panel (RPASP))^[4]，協調並制定了 ICAO 關於遙控飛機系統 (RPAS) 的標準和建議措施 (Standards and Recommended Practices, SARPs)，程序和指導方針，以促進安全、可靠和有效地讓遙控飛機 (RPA) 進入非隔離的空域和機場周邊。

為了滿足各國對無人機飛航管理 (UTM) 的需求，ICAO 於 2019 年發布了「無人機飛航管理 (UTM)－全球協調的核心原則之通用架構」(UTM－A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization)^[9]，其中對 UTM 的定義如下：

Unmanned aircraft system traffic management (UTM). *A specific aspect of air traffic management which manages UAS operations safely, economically and efficiently through the provision of facilities and a seamless set of services in collaboration with all parties and involving airborne and ground-based functions.*

ICAO 對 UTM 的定義是在地面或空中由各方合作提供設施及地面功能，以達到安全、經濟而有效的管理無人機的飛行。ICAO 所發佈的「無人機飛航管理 (UTM)－全球協調的核心原則之通用架構」主要為正在考慮實施 UTM 系統的國家提供典型 UTM 系統的架構和核心功能，這些國家需要一個通用架構來促進全球 UTM 系統之間的協調，並使包括製造商、服務提供商和最終用戶在內的相關行業能夠安全有效地發展，而不會破壞現有的有人機航空系統。但此文件的架構中有多個組件尚未安全解決，如：UTM 和 ATM 之間的過渡、UAV 的設計和認證標準以及潛在的高空空域 UTM 與 ATM 系統的整合銜接。

2.1.1 UTM 的實施架構

在 UTM 的實施原則方面，UTM 被設想為 ATM 的子集 (subset)，UTM 的運營旨在對無人機系統 (UAS) 進行安全、經濟和有效的監視與管理，並通過與各單位的合作，提供空中和地面功能的設施和無縫服務集合。UTM 系統將通過技術、設施和服務整合的協同合作將訊息，由空中、地面或基於空間的通訊、導航和監視功能進行傳送。因此，UTM 系統被設想為可互操作並與現有 ATM 系統保持一致，以促進安全高效能的運營。

遙控無人機系統 (RPAS) 是 UAS 的子集，它的構成由遙控無人機 (RPA)，遙控飛行員站 (remote pilot station, RPS)，及 C2 鏈路 (C2 link) 所構成，這些組件須相互依存才能被核准為系統。此外，RPAS 還必須與 ATC 和空域用戶系統協同操作 (Interoperation)。茲將此三個組件說明如下：

1. 遙控無人機 (RPA)：和傳統有人飛機不同，飛行員不再位於飛機內，燃料與材料的應用與傳統飛機不同，最明顯的差異是續航力，其他與傳統有人駕駛的飛機不同之處在於：起飛與回收系統 (Launch and Recovery System) 取代了典型的起落架、輪子和剎車器 (Landing Gear, Wheels and Brakes)。
2. 遙控飛行站 (RPS)：RPS 由用於指揮，控制和監視 RPA 飛行的設備組成。設計範圍從

簡單的手持設備複雜的網絡化多控制台配置。RPS 可以位於建築物內部或戶外，並且可以是固定的或安裝在車輛/船舶/飛機上可移動的裝置。但是必須確保其物理特性的發揮以及網絡的安全。無線通訊與無線網路是必要的次系統。

3. C2 鏈路 (C2 Link)：命令和控制 (C2) 是遠程駕駛飛機與遠程地面站之間的數據鏈路，用於飛航管理。C2 鏈路的設計架構、安全和管理，存在多種可能的體系結構和注意事項。C2 鏈路的維護可包含無線電傳送視距內 (Radio Line-of-Sight, RLOS) 及無線電傳送視距外 (Beyond Radio Line-of-Sight, BRLOS) 二種，如圖 4 所示，為了促進國際運營，RLOS 和 BRLOS C2 鏈路的技術和性能要求都需要在國際上進行定義和協議，茲說明如下：

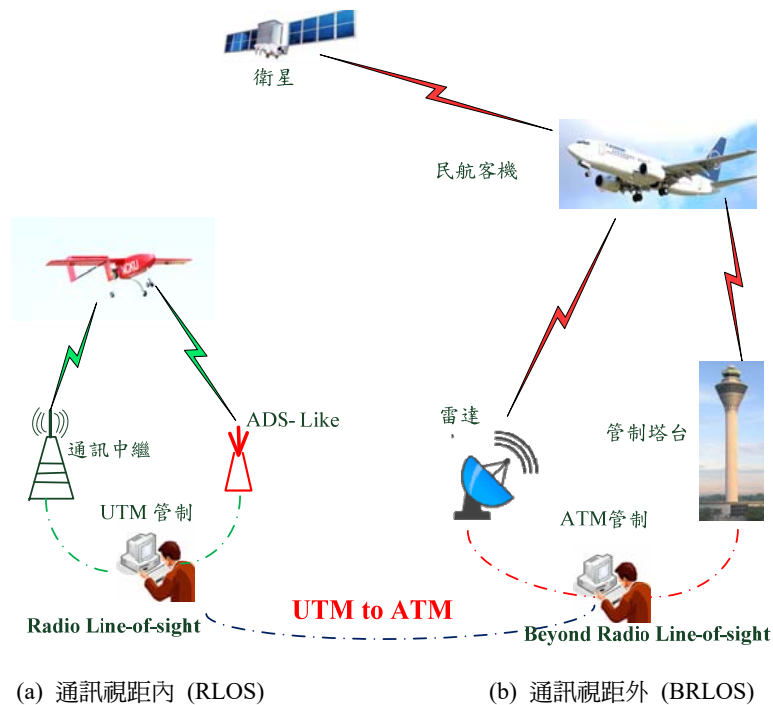


圖 4 無線電涵蓋的操控^[9]

- (1) RLOS：指無線電發射機和接收機在相互的無線電鏈路覆蓋範圍內，因此能夠直接或通過地面網絡進行通信的情況，前提是，在可相比較的時間範圍內遠程發射機對 RPA 能透過 RLOS 完成傳輸及下達命令。UTM 會是主要的鏈路。
- (2) BRLOS：指發射機和接收機不在 RLOS 中的任何配置中。因此，BRLOS 包括所有衛星系統，可能還包括 RPS 通過地面網絡與一個或多個地面站進行通信的任何系統，而該地面網絡無法在與 RLOS 系統相當的時間範圍內完成傳輸的通訊涵蓋能力。ATM 會是主要的鏈路。

2.1.2 RPAS 操作安全系統

除了實現物理飛行所需的 RPAS 的那些組件之外，還有一些安全系統可用來滿足操控運行的需求，要求並減輕故障的機率。操作安全系統的範圍和複雜程度將取決於操作環境及其用途。在儀器飛航規則 (IFR) 操作中特別重要的項目，如：感測與避讓的警示系統、ATC 提供語音和數據通信、並向 ATC 提供監視訊息，即壓力高度報告詢答器 (Pressure-Altitude Reporting Transponder, PART)、廣播式自動回報監視 (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast, ADS-B) 或多點定位系統 (Multilateration System, MLAT)。

2.1.3 感測與避讓能力 (Detect and Avoid, DAA)

RPAS 的感測與避讓(DAA)功能類似於有人機航空器的航情警示與空中避讓系統 (Traffic Alert and Collision Avoid System, TCAS) 和保持警覺的要求，以發現和避免潛在的碰撞危機。它被認為是實現 RPAS 系統整合的必要基礎功能。RPAS DAA 的功能包括對有人機及無人機和其他危害，例如：障礙物、地形和惡劣天氣的偵測並進行避免發生衝突的操控，同時保持警覺，確定有效的避讓動作，執行該動作並安全返回原始路徑的規劃能力。這些功能必須可提供遠端飛行操作員使用，以便能夠做出適當的決策和行動以確保安全飛行。但是，如果發生故障，例如：如果失去 C2 鏈路，DAA 系統可能需要自動回應以確保採取適當的措施。

2.2 美國無人機法規管理與 UTM 發展

美國的無人機法規制定與安全管理機關為聯邦航空署 (Federal Aviation Administration, FAA)，而低於 25 公斤 (55 磅) 以下的小型無人機所適用的法規主要為 14 CFR PART 107 – Small Unmanned Aircraft System (sUAS) ^[10] 及諮詢通告 AC-107-2 ^[11]。以第 107.51 條法規 (§ 107.51) 小型無人機的操作限制而言，操作小型無人機系統須符合以下所有操作限制 ^[10]：

1. 小型無人飛機的地面速度不得超過 87 浬 (Nautical Miles/hour) (或 100 Miles/hour, 或 157 km/hour)。
2. 小型無人機的高度不能高於地面 400 呎，除非小型無人飛機：(i) 在建築結構目視範圍 400 呎半徑內飛行；(ii) 且飛行高度不得超過建築結構的最高上限。
3. 從控制站位置觀察到的最低飛行能見度不得低於或超過 3 浬。就第 107.51 條法規而言，飛行能見度是指距離控制站，在白天可以看到並識別出沒有照明的飛行物體，晚上可以看到並識別出明顯的發光物體。
4. 小型無人飛機離雲的最小距離：(i) 雲層以下 500 呎、(ii) 與雲水平 2,000 呎。

由於遙控無人機的多元應用，在美國操作無人機的空域亦有所規範，美國國家航空暨太空總署 (National Air and Space Administration, NASA) 在 2015 年提出了無人機飛航管理

(UTM) 的作業概念^[5]，使無人機能在民用航空低空域 400 呎高度以下的非融合空域 (Non-Integrated Airspace) 中活動。檢視美國的空域分級，為了安全容納和有人機與遙控無人機在不同空域中飛航運作，ICAO 現行空域分為 A、B、C、D、E、G 六個類別，其中機場周邊 G 類的不管制空域高度由地面到 700 呎或其他地區 1200 呎的超低空，由於高度接近地形的原因使得雷達覆蓋能力受到限制，因此航空器在 G 類空域飛行則不受限制，在 G 類空域活動的航空器尚有商用飛機、輕航機、直升機、熱氣球，遙控無人機亦得在此空域中活動，也為了遙控無人機能在 G 類空域下視距內 (Visual Line-of-Sight, VLOS) 和視距外 (Beyond Visual Line-of-Sight, BVLOS) 安全的飛航。NASA 根據其飛航管理與研究開發經驗，致力於低空域的飛航交通安全，在 2015 為 FAA 提出遙控無人機飛航管理系統 (UTM) 的作業概念 (Concept of Operations, ConOps)^[6]，在這項研究中，其目標為達成 UTM 能允許大量無人機同時在 G 類空域飛行，避免與降低飛安事故的發生。NASA 與 FAA 從 2015 年 8 月開始合作，進行 UTM 技術能力階段測試，截至 2019 年年底，研究人員已經完成了四個階段的測試，如圖 5 所示，將計畫研究分的四個技術能力階段分別是：TCL1 為概念和情景 (Concepts and Scenarios)、TCL2 為數據交換 (Data Exchange) 的訊息體系結構 (Information Architecture)、TCL3 為位置感測和避讓 (DAA) 以及 TCL4 的位置追蹤與通訊和導航 (Communication and Navigation)^[6, 12]，茲將各階段介紹如下：

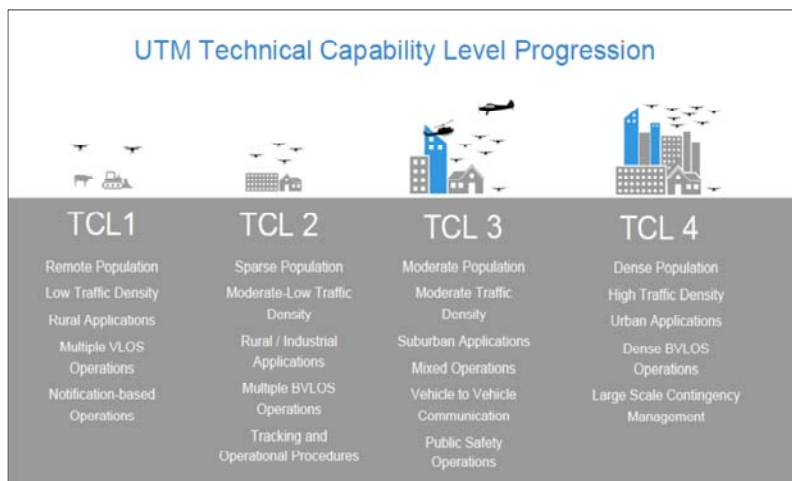


圖 5 美國 UTM 之無人機技術能力水準 (TCL) 四階段規劃及其階段性的目標^[6,12]

1. 第一階段技術能力 TCL1：2015 年 8 月完成 UTM 平台建置並作為 UTM 平台的起點，研究人員進行了現場測試，探討無人機在視距內 (VLOS) 區域如何應用於農業，消防和基礎設施監測。NASA 研究人員採用不同的技術協助安全地駕駛無人機，例如：調度和地理圍欄 (Geo Fence) 的使用，並分配給本研究中無人機劃定安全的飛行區域。
2. 第二階段技術能力 TCL2：於 2016 年 10 月完成，本階段主要聚焦於監控在人口稀少的

地區飛行的無人駕駛飛機，操作員在視距外 (BVLOS) 操作無人機。初步驗證，包括：UAS 服務供應商 (如 Amazon 公司與 AirMap 公司) 技術和程序、地理圍欄技術 (Geofencing Technology)／一致性監測 (Conformance Monitoring)、地面監視 (Ground-Based Surveillance)／感測和避讓 (DAA)、空中感測與避讓 (Airborne Sense and Avoid)、通訊、導航與監視 (CNS) 與 UTM 數據建立及顯示相關的人為因素。此外，根據飛行數據定義和計算性能指標，以建立飛行測試實驗比較的定量基礎，並提供未來 UTM 系統運行中常態監測的潛在指標^[5]。

3. 第三階段技術能力 TCL3：2018 年春季主要在於建立和測試無人機避讓技術，這些技術將幫助無人機以安全間隔在指定區域內飛行，允許 UAS 在人口稠密地區檢測並避讓其他無人機。此階段為視距外飛行，飛越人口密度稍多的地區、與有人機進行局部的互動、透過網路連結可以進行載具對載具之間的位置追蹤，在公共安全許可下容許有限度的包裹物流運送。
4. 第四階段技術能力 TCL4：計畫預計於 2019 年春季開始，最終將建立在 TCL3 的結果上，同時還將測試 UTM 系統整合管理無人機於人口更稠密的城市地區飛航。這方面的例子包括測試包裹運送、基礎設施檢查、航空攝影、新聞採集、公共安全巡檢和該研究首批回應者的操作。此階段仍為視距外飛行，可在都會區環境人口密度較高地區飛行、位置追蹤、可透過網路連結並建立「載具對載具的自動化處理」(Vehicle to Vehicle)、需具備能減輕大規模偶發事件的處理能力、可提供個人使用於訊息收集與傳遞。

2.3 歐洲無人機法規管理

歐盟航空安全局 (EASA) 為了確保無人機在歐盟內的自由流通和公平的競爭環境，EASA 制定了歐洲通用規則，採取的方法是將有人機在空中駕駛所達到的最高安全標準也應用於無人機。這些規則基於對操作風險的評估，並在安全、隱私、環境、噪音等方面平衡了無人機製造商和操作員的義務。新規定確保無人機操作員，包含休閒或是專業人士，都將清楚地了解允許的內容，它們將涵蓋從不需要事先許可的那些操作類型到涉及經過認證的飛機和操作員的所有操作類型，以及最低限度的遠程飛行員培訓要求。歐盟的通用規則則是為了促進無人機的投資與創新發展，營運商在整個歐盟旅行或在歐洲開展涉及無人機的業務時，將能夠無縫操作其無人機。EASA 在 2019 年 10 月 9 日出版的無人機通用規則有可接受的承諾手段 (Acceptable Means of Compliance, AMC) 以及引導文件 (Guidance Material, GM) 修定版^[13, 14]，首度定義風險評估 (risk assessments)，其說明包括：與 opinion 01/2018 出版的 AMC 和 GM 草案的修訂版「特定類別」中要求，稱為特定操作風險評估 (Specific Operation Risk Assessment, SORA) 之評估方法的說明。EASA 以首次預先定義風險評估 (Pre-Defined Risk Assessments)，來協助操作員申請特定類別的操作授權^[13]。未來 EASA 還會發布其他定義的風險評估，以涵蓋歐盟發生的最常見的操作風險，本次特定類別包括：

- 飛越人口稀少的地區；
- 在非控制的領空；
- 在非常低的空域；
- 具飛航風險緩解功能的視距外飛行；
- 使用無人機之特徵尺寸最大為 3 公尺。

為了便利風險較低的無人機行動，2019 年 10 月 EASA 也發表了一項宣告^[15]，提議對歐洲實施法案 (Implementing Act) 進行修正，以增加兩個標準方案。此兩項標準方案將由歐盟委員會通過立法修改，並在歐盟成員國投票後通過。對於無人機的運營商，將被允許僅向相關機構發送宣告 (Declaration)，而不是申請並等待授權。操作條件如下：

1. 都會區視距內(Urban VLOS)，活動中的參與者在人口稠密區中執行視距內飛行、120 公尺(約 400 呎)以下，使用無人機之特徵尺寸最大為 3 公尺。
2. 農村視距外(Rural BVLOS)，在人口稀少地區使用目視觀測、120 公尺 (約 400 呎) 以下，使用無人機之特徵尺寸最大為 3 公尺。

在空域的管理方面，歐洲單一天空空管研究計劃 (The Single European Sky ATM Research, SESAR) 與歐洲執行體 (Joint Undertaking) 於 2017 年 6 月發表 U-Space 空域藍圖 (U-space blueprint)，內容即規劃在城市地區所有類型的環境實現高度複雜的無人機操作^[16]。U-space 強調靈活，鼓勵創新，以促進歐洲無人機服務市場的業務增長，在歐盟適當解決安全和安保問題，尊重公民的隱私並最大程度地減少對環境造成的影響。透過數據與訊息的交換，U-Space 隨著無人機高度自動化及無人機和環境互動形式 (包括有人機與無人機空域環境與介面)，U-Space 空域藍圖分為 4 種等級服務 (參照圖 6)：

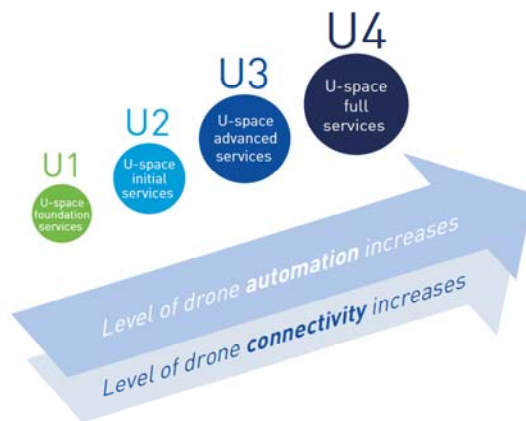


圖 6 歐洲 SESAR 的 U-space 空域藍圖之四項服務等級^[16]

1. U1：為基礎服務 (Foundation Services)。提供電子註冊、電子識別和電子圍欄。
2. U2：為初始服務 (Initial Services)。為無人機營運管理提供支援，如飛行計畫、飛行許

可、飛行追蹤、空域動態訊息與程序服務。

3. U3：為高級服務 (Advanced Services)。在人口稠密區的無人機作業，包含空域容量管理、無人機衝突監測 (Conflict Detection) 服務，並提供感測與避讓 (DAA) 的服務。
4. U4：為全面服務 (Full Services)。無人機空域管理服務介面與有人機空域全面對接，U4 的服務仰賴高水準的自動化、通訊連接與數位化。

2.4 臺灣無人機民航法規與階層式 UTM 的發展

臺灣交通部民用航空局 (以下稱民航局) 修訂民航法規，於 107 年 4 月 25 日公告「民用航空法」之「遙控無人機」專章，於 108 年公告「遙控無人機管理規則」並於 109 年 3 月 31 日起實施，因此無人機將可進行更多應用，例如物流送貨、農業噴灑、環境監視、地形監視與空中巡邏、電力線巡檢、橋梁巡檢、森林探勘、搜索及救援、颶風追蹤、野生動物研究與保育等^[1, 2]。依據民航法規，可能使用的小型無人機，包含多旋翼機、直升機或固定翼飛機，酬載數公斤、續航能力數十分鐘、航程數公里內，飛行高度 400 呎以下歸地方政府管轄、400 呎以上歸民航局管轄之空域。而操作無人機的單位如為法人或公務機關，執行視距外 (BVLOS) 操作最大起飛重量達一定標準之遙控無人機，須持有飛行操作證及無人機檢驗合格證始得飛航。因此開放交通領域的應用，必將面對飛航安全的挑戰，須建立普羅大眾的共識，維護遙控無人機飛行的紀律與安全。有關遙控無人機操作證的考照機構，交通部民航局在 108 年 5 月 28 日公告「遙控無人機檢驗與操作證測驗委託辦法」草案，民航局並於 108 年 8 月起，在委託機關進行公務人員遙控無人機操作證之學科與術科測驗，在 109 年 3 月 31 日正式執行民眾的遙控無人機操作證測驗與無人機檢驗作業。

2.4.1 階層式 UTM

從前述美國及歐盟在 UTM 的概念，可以明顯發現國際上的無人機遙控與管理，都著眼於大型、高空、長程飛行的任務型無人機，可能不只在自己的國家空域內的飛行，甚至於跨越到國際航路的銜接。這些研究首重指令與控制 (C2)，建立長距離高空層的指揮管制，如圖 5 所示的架構，所需的投入成本極為龐大，動輒數萬美金，不是一般中小型低空飛行的無人機服務應用所能負擔。這些以指令與控制 (C2) 建構的 UTM 系統，這些無人機的飛航管理技術，目前不及於低空域無人機，低空域內無人機將等同於是盲飛的狀態。較低空域的無人機飛行，將涵蓋到最眾多的無人機飛行操作，例如交通運輸領域的三大需求，防救災、智慧運輸、物流運送，都將在人口較密集的地方做中短距離的服務，因此低空飛行的無人機會是我國發展無人機產業與應用的核心主流。

無人機可以重量及推力來分類多旋翼或固定翼的大小。指令與控制 (C2) 的通訊功能為視距內 (VLOS) 與視距外 (BVLOS) 飛行操作的主要方式。小型無人機 (sUAVs) 預期將開放於都會外或郊區 400 呎以下的空域，提供不同應用的任務飛行^[17]。無人機系統進入 UTM 終將同時威脅到有人機的 ATM，對於大型、高性能、長程飛行的固定翼無人機，

UTM 將必然要整合進入融合空域，並與 ATM 結合為一體^[6]。

由長榮大學執行科技部產學計畫，提出低空域之無人機系統飛航管理 (UTM) 架構，採用與有人機 ATM 類似的系統框架，引用通訊、導航、監視 (CNS) 為基礎，進行無人機與系統 (UAV/UAS) 的管理。其中針對無人機的監視所需的通訊裝置，本 UTM 系統提出類自動回報監視 (ADS-B Like) 技術下的通訊基礎架構，導入行動通訊 4G/LTE (Long Term Evolution)、XBee、LoRa (Long Range Wide Area Network) 以及業餘通訊玩家與義消所使用的自動封包通報系統 (Automatic Packet Reporting System, APRS) 給小型無人機使用^[18]。在 UTM 發展中^[2]，400 呎以下空域歸地方政府管轄，400 呎以上則歸民航局管轄^[19]。階層式 UTM 將以相同的建構基礎發展為地方與全國不同的程序上來使用的區域型 UTM (RUTM) 及國家型 UTM (NUTM) 以利分層管理運作^[20]。

在無人機眾多的實施計畫中，UTM 的監視功能顯然是最重要的一環。有效的回報通訊技術基礎設施及合法可用的頻率是解 UTM 數據回報最重要的關鍵技術。UTM 系統中無人機的感測與避撞 (UAS DAA) 將採用類似有人機 ATM 所發展的「廣播式自動回報監視」(ADS-B) 中的航情警示與空中避撞 (TCAS)^[21, 22]。DAA 的研發採取與 TCAS 隔離泡 (Separation Bubble) 相似的觀念^[23]，讓無人機也有一個保護圈，作為保護的機制。階層式 UTM 系統將展示以「類自動回報監視」技術基礎架構來建構的無人機系統監視與管理的雛型功能，更將展示空中避撞^[18]。

科技部產學合作計畫－「階層式遙控無人機飛航管理 (UTM) 系統雛型發展計畫」，將進行階層式 UTM 作業系統軟體與「類自動回報監視」(ADS-B Like) 通訊硬體技術的設計、發展、建置、測試驗證，以提供無人機系統完整的監視與管理，由中華電信研究院支援軟體技術的研發與整合。階層式無人機系統飛航管理 (UTM) 係參考有人機飛航管制 (Air Traffic Control, ATC) 與飛航管理 (Air Traffic Management, ATM) 的系統架構中所採用的通訊、導航與監視的基本概念來設計建構，將包含有(1)以雲端網路規劃的飛航管理軟體、管制中心與管制席位，(2)「類自動回報監視」(ADS-B Like) 技術建立完整的無人機即時飛航資訊，(3)以行動通訊建立的管制員對飛行操作員 (Controller to Pilot) 的通話功能，(4)以即時位置資訊在 UTM 系統軟體運作中進行多機感測與避撞 (DAA) 功能，(5)依據民航法遙控無人機專章區分地方政府與民航局管轄的區域 UTM (Regional UTM, RUTM)及全國 UTM (National UTM, NUTM) 階層管理架構，(6)高空飛行無人機透過空中導航服務系統 (Air Navigation System Provider, ANSP) 再廣播無人機即時位置訊息給 ATM 環境內的有人機，以整合進入 TACS 避撞防禦功能。表 1 為 UTM 與 ATM 功能上的比較，依據其計畫的概念，UTM 與 ATM 是孿生的系統。

2.4.2 階層系統架構

階層式無人機飛航管理 (UTM) 系統將依據民航局法規以 400 呎高度區隔，低空歸地方政府管轄的區域型無人機飛航管理 (Regional UTM, RUTM)、或高空歸民航局管轄之全國型無人機飛航管理 (National UTM, NUTM)，各司其職。UTM 系統建立一個專用的 UTM

雲端 (UTM Cloud) 接收各無人機以無線傳輸透過網際網路(Internet)傳遞上來的即時資訊，各地區的 RUTM 或民航局的 NUTM 得以從雲端下載即時數據，執行監控與管理。圖 7 為階層式 UTM 系統架構，其中 UTM 雲端架設在中華電信機房，再連結至一個伺服管理電腦後分送至各 RUTM 或 NUTM。UTM 系統將與民航局建立的「遙控無人機管理資訊系統」連結，從中擷取完成註冊之無人機、通過專業考照之無人機操作員資料，以核定申請之飛行計畫，更將檢視禁限航區電子圍籬資料庫，確定申請路徑規劃符合飛安限制。

表 1 UTM 與 ATM 功能比較

ATM/ATC	UTM
Aircraft Log-in	UAV Log-in
Pilot Log-in	Pilot Log-in
NAS flight plan	Waypoint path plan
Cruise altitude	<400 feet RUTM
5000feet~400FL	>400 feet NUTM
CPDLC VHF	Voice 4G/LTE
Communication HF/VHF/UHF/SATCOM	No pilot-in-the-loop C2 from GCS
Navigation GPS/INS/VOR/Fix	Navigation GPS/INS/Autopilot
Surveillance SSR/ADS-B	Surveillance ADS-B Like
TCAS/GPWS	UTM-based DAA
ATC handoffs	No Handoff in RUTM Handoff to NUTM
Flight plan change to ATC by RQ	Not allow to change flight route

資料來源：本研究整理

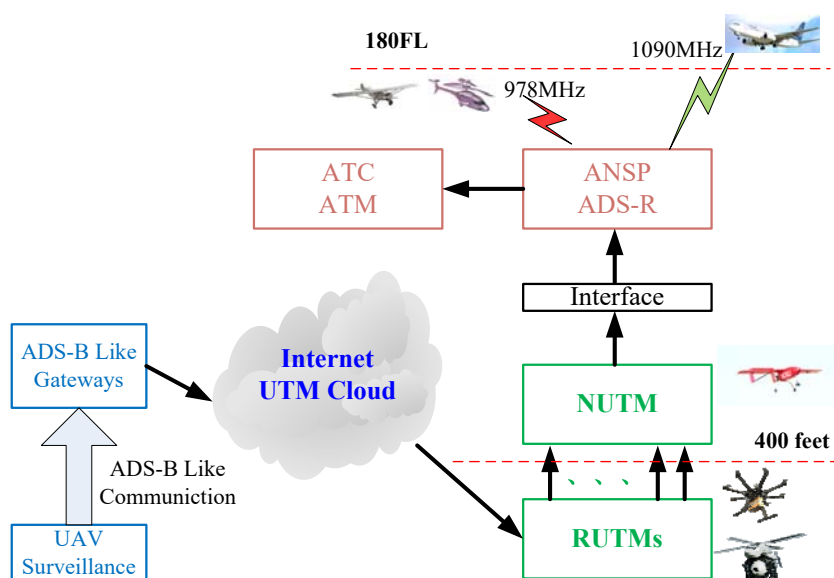


圖 7 UTM 階層管理進入 ATM 的架構

各架無人機搭載「類自動回報監視」(ADS-B Like) 通訊模組，將即時數據傳遞到接收中繼的天線，進入網際網路，儲存於 UTM 雲端中。透過雲端的處理，許多地區的 RUTM、民航局的 NUTM 及各相關獲得授權之人員都可以透過無線或有線的裝置下載 UTM 的即時訊息。圖 7 為 UTM 的階層管理，以 400 呎為界，低空屬於 RUTM 管轄權責，高空屬於 NUTM 權責。無論任何時間，所有大小、高低空無人機均將透過 ADS-B Like 通訊模組將前述飛行數據上傳到 UTM 雲端，再作進一步分流。較大型且其巡航速度、滯空時間、酬載都具備任務功能需求規模的無人機，將由 NUTM 管轄進入融合空域，可能危害到國家空域系統 (NAS) 中的有人機飛航安全，因此必須透過 ANSP 將飛航數據送入 ATM 系統中，經由再廣播發布訊息給鄰近的有人機。

2.5 小結

無人機的應用將快速且全面的投入社會中，接近民眾的生活圈，因此，各先進國家除了積極開發更安全成熟的無人機製造與飛行操控技術之外，更審慎地規劃如何讓無人機安全的飛行。因此，UTM 變成是開放無人機合法飛行前必要的準備工作，UTM 技術的研發與落實，皆為航空安全管理的重要課題。最讓民航單位不安的是，如何讓無人機與有人機的飛航有充分的協調的空間。無人機從 UTM 進入有人機空域 NAS 接受 ATM 整合管理，是一個必要的架構，本文提出圖 7 的規劃，很清楚畫出高度的區分，UTM 採用類似 ATM 的系統概念，設計階層式 UTM 系統，將 UTM 銜接到 ATM，讓有人機的飛航管理達到有效、透明的資訊流通與衝突排解。無人機的交通運輸應用，UTM 技術的研發具有凌駕各種無人機技術的必要性。

三、無人機於交通領域之應用

無人機在於從制高點視野的載具性能，在良好的通訊環境下，搭配攝影器材能達到快速移動、圖像回傳的即時監控功能，因此，在交通領域的應用越來越多元，以臺灣公路總局在 2018 年所引進的無人機空拍系統，應用在陽金、北橫、蘇花等公路山區公路進行科技巡檢，除了以無人機觀察山區道路受損情況，並在邊坡下方設置落石告警系統，只要落石掉下碰到防護網，就會回傳訊號、並提出警示。公路總局除了將無人機系統應用在風險預防面之外，在災後的公路巡檢，如地震、風災及強降雨之後，利用無人機空拍系統將崩塌的畫面回傳決策人員手上，相較於人員勘災的方法，提高了人身安全與作業效率。搭配無人機空拍系統，在公路落石風險預防的功能上，公路總局也結合了「接收震動波」或「紅外線監測」等方式，來辨別落石的滾動方向，以提供公路落石預報，而這項預報系統已於 9 月在蘇花公路試辦。利用無人機系統公路巡檢實施的範圍包括：陽金公路、北橫公路、中橫公路、蘇花公路、南迴公路、南橫公路以及新中橫公路，巡航的長度約 320 公里，而科技巡檢的內容包括：邊坡觀察、坍方狀況或移動比對、落石預警預報…數項任務。災前

與災後的地貌變遷，可以建立人工智慧的分析與圖像比對，分析走山、邊坡滑動的狀況，判定其嚴重性與對應策略。

無人機系統除了應用於公路科技巡檢、公路邊坡觀察及落石預警系統之外，對於無人機在交通領域的應用，本節分為智慧運輸領域、防救災領域與物流運送領域三方面介紹。

3.1 智慧運輸領域

近年來無人機在國內交通運輸領域的應用十分常見，例如利用無人機在高速或快速公路匝道匯流區進行容量及服務水準的車流數據資料蒐集及影響區域空拍影像的收集與分析^[23]；或利用無人機在衝突路口進行人車流動空拍影像，以影像分析技術找出高風險事故發生區域、人車衝突的潛在問題，將無人機應用在交通觀測技術面上，具體以車輛影像辨識與追蹤的方式提供交通衝突分析平台的判別資訊^[24]。在 2008 年之前，美國用於交通監控的無人機主要是固定翼型，其主要是為軍事用途而開發的，然後再轉換為民用應用，作為交通監控的利器^[23]。固定翼無人機具有高速、高有效載荷和更長的巡航能力的優勢。Srinivasan 等人提出了機載交通監視系統 (Airborne Traffic Surveillance System, ATSS)，該系統是使用無人機獲取交通資訊的框架^[25, 26]。佛羅里達交通運輸部 (FDOT) 隨後對 ATSS 進行了概念驗證研究 (Proof of Concept, POC)，在此框架下，部署了無人機以收集視頻數據並將數據沿飛行路徑傳輸到地面站，然後將即時數據分發到相應的交通管理中心，在該中心將對信息進行分析以進行交通管理。

隨著無人機數量的暴增，美國俄亥俄州 DriveOhio 無人機中心在 2018 年 6 月投資 590 萬美元進行為期三年的研究^[27]，和俄亥俄州立大學工程學院合作研究將無人機安全地配置管理在原本擁擠的低空域中。低空域無人機將與美國目前的固定位置交通攝影系統一起，監視都柏林和東自由城之間 35 哩長的美國 33 智慧交通走廊 (U.S. 33 Smart Mobility Corridor) 的交通和回應交通事件的發生，傳感器和通訊設備將把 UAS 檢測和跟踪數據提供給俄亥俄州運輸部的交通管理中心紀錄與分析。無人機飛航管理 (UTM) 解決方案將使俄亥俄州交通部 (Ohio Department of Transportation, ODOT) 能夠更快速，更有效地響應道路狀況^[27]。

同時使用低空域的小型飛機和直升機，有可能發生接近與碰撞的情形，但是由 DriveOhio 的無人機中心控制的 UTM 系統能確保無人機不會彼此碰撞，也不會與有人機接近。美國聯邦航空管理局 (FAA) 估計，到 2020 年，UAS 的商業和業餘愛好者對無人機的採購量將達到 700 萬台 UAV。在 FAA 的無人機管理規劃下，無人機上沒有飛行員，必須構建一個由雷達發射器組成的綜合監視系統，並在後端進行強大的信號處理，以跟踪和過濾感興趣區域中的所有目標，有了適當的動態 UTM 解決方案，就可以為 FAA 提供安全理由，以便在人員上方和視距外進行操作，UTM 系統需要考慮空域規劃、交通流量管理、確定的飛行走廊、彈出式禁限航區周圍的 UAS 飛行管理天氣情況或環境危害、壅塞管理、路徑規劃和避免碰撞等。DriveOhio 計畫的總部位於東自由區的運輸研究中心，正開發的

UTM 系統類似於國家空域系統 (NAS) 當前飛航管理系統 (ATM) 的模式。

對於多旋翼無人機在交通運輸上的應用，Lee, et al.將配備有視頻錄影和傳輸設備的四旋翼無人機 (Phantom 2) 和地面站，進行定點測試，以檢查四旋翼無人機在交通監視和事件監視中的有效性^[28]。當地面站和實驗室之間的通信延滯，根據 4G/LTE 網絡的信號強度，呈現 3 到 20 秒的通信延遲，接收端的視頻素材質量在很大程度上取決於 4G/LTE 的信號強度，尤其是在 120 呎或更高的情況下會有負面的效應，當無人機持續懸停時，可以傳送穩定的視頻圖像，該研究指出四旋翼無人機適用於即時道路事故監測^[28]。

其他以無人機進行高速公路交通巡檢的部分，例如：探討公路交通之無人機檢測，包括旋翼無人機及繫留無人機，所記錄的高速公路檢測到的車輛^[29]，以智慧感知的方式來傳送車輛標籤資訊，例如車輛的顏色、速度與分配到的跟踪 ID，並隨著時間的推移估算其速度，同時也比較現有監視系統與無人機智慧監測方式產出有何不同。數據集來自德國的大規模自然車輛軌跡數據集高速公路：highD，該數據集包括六個位置進行的 16.5 小時的測量工作，共計 11 萬筆車輛數據，總行駛距離為 4.5 萬公里，每一車道完成 5,600 筆記錄，視頻以 4K (4096x2160) 分辨率記錄在 25 fps，錄影設置由一架徘徊在德國高速公路旁的四旋翼無人機 (DJI Phantom 4 Pro Plus) 作業，在大約 420 m 的路段上鳥瞰交通高速公路，時間自上午 8 點至下午 5 點。圖示記錄顯示，包括每一車輛以顏色邊框標籤表示，邊框的顏色指示檢測到的對象的類別，汽車：黃色，卡車：綠色，每輛車都分配有唯一的 ID 以進行跟踪，並隨時間估算其速度。使用無人機拍攝與傳輸的視頻數據和計算機視覺算法，在 16.5 小時之內 45,000 km 的距離自動提取更多自然駕駛行為錄影^[29]。

無人機除了在交通運輸上的監控之外，在公共建設的巡檢應用也十分常見，例如無人機應用在橋梁檢測成為輔助工具，主要是因為其低人力成本需求、低檢測範圍，包含長度與高度的限制、攜帶時機動方便、作業時人員相對安全、圖傳功能可快速資料蒐集和容易重複執行檢測的特性^[30]。無人機在橋梁檢測的後製處理能夠從圖像中擷取定量資訊 (quantitative information)，也可使用單應性 (Homography) 和鏡頭扭曲校正 (Lens Distortion Correction) 等技術，該技術將彩色圖像用於實際的損害量化測量、變形測量、與結構特徵和劣化的大小有關的變化檢測和裂紋模式識別都透過無人機的拍攝影像進行了分析^[31]。

機場為公共建設之一，英國南安普敦機場和 Amey 企業的創新團隊合作，進行了概念性驗證 (Proof of Concept, POC)，將無人機用於機場的資產管理任務，該實驗在英國南安普敦機場進行，主要目的在於證明無人機可以在視距範圍內 (VLOS) 代替或補充人工檢查作業，該實驗所使用的無人機是 Skyjib 8 HL Quadcopter 機型，機場作業類別分為：機坪，滑行道和跑道的鋪面檢查 (Pavement Inspection)、機場圍欄檢查 (Perimeter Fence Inspection)、機場建築檢查 (Building Inspection)。在 5 小時的測試運行中，該無人機能夠拍攝高清視頻及圖像，並能在高於地面 5 米、10 米和 20 米的高度上拍攝 900 多個圖像，依據回傳圖像可檢測出跑道表面小裂紋等缺陷，其準確性要高於用肉眼能看到的水準^[32]。

3.2 防救災領域

自然災害 (Nature Disaster) 包括四種類型 (1) 地球物理 (Geophysical)：如地震、海嘯、火山、山崩和雪崩；(2) 水文(hydrological)：如暴洪 (Flash-Flood)、土石流 (Debris Flow) 以及洪水 (Flood)；(3) 氣候 (Climatological)：如極端溫度 (Extreme Temperature)、乾旱 (Drought) 以及野火 (Wildfire)；(4) 氣象 (Meteorological)：如熱帶風暴 (Tropical Storm)、颶風 (Hurricane) 以及強降雨 (Heavy Rainfall)。無人機對自然災害的應用方面，以無人機結合了無線感測網路 (Wireless Sensor Network, WSN) 技術，來輔助對災害偵測、評估和回應 (Prediction, Assessment and Response)。無人機對災難管理的應用，根據 Erdelj, et al.^[33] 歸納出六項應用：

1. 監測、預測及早期警告 (Monitoring, Forecasting, and Early Warnings)：利用環境與結構的監測與分析，無人機可權充早期預警系統 (Early Warning System, EWS)。
2. 災害資訊的融合和分享 (Disaster Information Fusion and Sharing)：無人機可結合不同資訊來源，或如同橋梁作用一般，提供不同資訊技術，在災害發生期間支持其他的應用管理，例如：地震後的大樓倒塌，利用無人機拍攝不同角度影像，以建立 3D 透視圖，加速大樓救援作業的路徑規劃。
3. 情境覺察、物流運籌與人員疏散支持 (Situational Awareness and Logistics and Evacuation Support)：在災害發生時，無人機可協助收集災區訊息，特別是關於受災害影響的人群移動狀態和救援團隊的部署。
4. 獨立的通訊系統 (Standalone Communication System)：在災害發生時，無人機可遞補、重建已經受損或被破壞的基礎通訊設施。
5. 搜索及救援任務 (Search and Rescue, SAR, Missions)：無人機可搜索和救援失蹤、受傷或陷入破瓦殘礫的災民或動物。
6. 損害評估 (Damage Assessment)：無人機可利用不同方法進行損害評估，例如：結構安全監控和無人機視訊動態影像檢查。

另外，無人機亦可提供以下三項災害管理應用，可以更有效的在災害發生時進行相關作業：

1. 媒體報導 (Media Coverage)：無人機可以及時為觀眾提供報導訊息，相反的也可為救援隊提供災區訊息。
2. 醫療應用 (Medical Application)：災害發生時，即使在交通運輸基礎設施遭受破壞或道路被切斷的情況下，專業無人機可視其有效重量承載的限制下，提供必要的物資以維持災民的生命。
3. 基礎設施重建 (Infrastructure Reconstruction)：使用無人機網路可在基礎設施改造的過程中，加速檢查與改善其效率及精確度。

大量的研發工作致力於自然災害發生的預測、預防和有效反應的系統，而無線通信技

術，能源的最新發展儲存，計算能力和無人機無線傳感器網絡(Wireless Sensor Network, WSN)和多無人機所組成的系統，在災難管理中扮演重要角色^[34]。自然災害中搜救人員挽救災區生命的關鍵時刻中，最有效的是通過空中觀測評估可以獲得最快的態勢感知，因為有無人機可能迅速到達災區並且可以拍攝當下的災區情況圖像和視頻。WSN 和多旋翼無人機系統在災害管理的應用當中，WSN 和多旋翼無人機系統在不同的應用領域中分為三類：監測，反應和預測，該分類大致完成在災難管理階段之後，應用程序是指預防和準備，反應則指災難反應和恢復，而監控範圍包括整個災難週期，因為這些應用程序提供了災難信息，在所有階段是災害管理的主要目標依據。WSN 和複合無人機(Multi-UAV)技術在災難管理中的應用如下：

1. 監測，預報和預警系統
2. 災害訊息融合與共享
3. 態勢感知，後勤和疏散
4. 獨立通訊系統
5. 搜救任務
6. 損害評估

Chen, et al.描述了自然災害的預警系統，該系統依賴於現有可用的 WSN 技術^[35]，並著重於提供可靠的數據傳輸，來自異質性傳感器 (Heterogeneous Sensors) 的重要數據量以及最小化能耗。除了動態路由 (Router)、網絡恢復和管理移動性以實現可靠傳輸的方法外，該系統還採用了數據融合方法，可將所有獲得的數據集成到統一的地質災害概述中。Frigerio, et al.設計 Web 的平台解決用以自動連續監測義大利東部阿爾卑斯山的 Rotolon 滑坡 (landslide) 的方法^[36]，其監視系統集成雙重目不同傳感器，監視滑坡的位移並在土石流的情況下觸發警報。

Farfaglia, et al.引入了先進系統來監視國土 (Advanced System to Monitor the Territory, SMAT)，主要是利用多架無人機進行民用監視操作中的系統。該項目假設使用不同類型無人機進行監視，從微型多旋翼無人機到輕型固定翼飛機皆包含在其中，這些在 SMAT 系統中的無人機都可以配備監測洪水，地震和火山所需的傳感器進行收集數據的作業^[37]。Feng, et al.利用無人機獲得的數據提出洪水監測系統^[38]，從無人機所獲得的高分辨率圖像，需要進行後續處理才能發現可能被洪水淹沒的區域。該系統執行幾個階段以實現該目標：(1) 無人機數據採集和預先處理；(2) 特徵選擇和紋理分析 (texture analysis)；(3) 圖像分類；(4) 準確性評估。作者使用隨機森林分類器 (Random Forest Classifier) 對區域進行分類，並達到較高的準確率 (87.3%)。

災害發生期間的訊息融合 (Information Fusion) 在各方面都是必要且有幫助的，在災難管理階段，其最相關的影響，並在災難回應階段能獲得實用的訊息。災害期間訊息融合和共享的目標是合併不同來源的可用訊息，並在不同的訊息技術之間架起一座橋樑，這些訊息技術亦可應用於災難管理的其他程序^[40]。Kumar, et al.提出在第一時間回應災害的系

統：部署在緊急區域的移動自主代理，由機器人與應急人員一起部署的系統，該系統的作用是獲取有關未知環境訊息並提高環境與情勢感知能力。機器人代理將使組織自主與優化部署、通訊，並且由人工操作員進行遠端操作^[39]。Wada, et al.介紹了使用無人機群的監視系統^[40]。每架無人機都配備了移動光學傳感器和圖像作者開發的傳輸模塊。發射後，各無人機通過識別其位置沿事先規劃的飛行航點 (Waypoint) 執行自動飛行。該系統能夠獲取目標區域的影像視頻，並將通過互聯網與用戶共享。無人機的附加設備可用於通信中繼，也可用於輻射探測或非災難監視，例如環境監視等用途。

在臺灣，無人機系統實際被應用於消防救災的案例，參考 2019 年 5 月由臺南市消防局無人機救災中心、義勇消防大隊及長榮大學無人機中心共同發展無人機科技救災應用技術^[41]，其應用可分為七大功能：(1) 災情即時傳輸及攝影 (2) 器材吊掛運送 (3) 即時訊息廣播 (4) 火點偵測搜尋 (5) 災區 3D 建模 (6) 指揮官養成訓練 (7) 長期災區監控，以上功能可有效提升消防局科技救災能力。臺南市消防局於 2018 年 2 月成立機能型資通訊義消中隊，網羅具有資訊及無人機應用操作技術的義消人員，成立救災網路社群，利用空拍無人機即時拍攝火災現場，搭配熱顯像儀設備及 APRS 通訊設備，即時提供火勢大小、延燒方向、受困者位置等情資給現場指揮官及消防人員以研擬人車派遣及戰術運用，充分發揮無人機系統前進災區救難與即時訊息傳輸與發布的功效。

3.3 物流運送領域

將包裹送到客戶的家戶門前，這「最後一哩路」是包裹物流投遞流程中成本最昂貴、效率最低的環節^[42]，許多公司正在探索利用無人機來加速最後一哩路的目標達成，順利將包裹交付到客戶手中，並降低運送成本，電子商務公司希望縮短交貨時間和成本，以提高客戶滿意度和忠誠度，而傳統零售商則尋求相同的優勢來增加線上銷售。無人機物流公司正在探索兩種主要類型，例如：家用無人機物流運輸和供應鏈運輸，隨著法規的實施和無人機技術的改進，無人機物流運送將在未來幾年內分階段、區域進行。目前，大多數測試的範圍非常有限，發生在農村及郊區，實際上並沒有將包裹送到客戶的家戶門前，隨著測試的逐步前進，無人機物流將往人口稠密地區載送物件包裹。

根據 BI Intelligence 在 2017 年會計年度 Q1 對沃瑪 (Walmart) 公司的潛在客戶進行無人機物流服務範圍調查^[43]，參照圖 8，該業務的最大運送距離落在 4~6 英哩(約 6.44~9.66 公里)範圍，而業務量占了該項目的 49% (約 139.16 萬美金，總業務量為 284 萬美金)，調查中顯示，運送範圍超過 20 哩 (約 32.19 公里) 的業務量為 22% (約為 62.48 萬美金)，在眾多運送距離業務量排比下為第一名，其次為 0.52~2 哩 (約 0.84 公里~3.22 公里)，其業務量為 18% (約為 51.12 萬美金)，而排名第三的運送距離則為 2~4 哩 (3.22 公里~6.44 公里)，其業務量為 17% (約為 48.28 萬美金)。

Vlahovic, et al.提出以無人機來實現物流運送業務流程的概念模型^[44]，由企業對企業的物流運送作業，業務場景基於藥品供應鏈，利用合理的成本運算結構，使無人機的經濟

意義及物流業務流程更加具體化。研究中兩個模型分別是：(1) 藥物模擬模型－使用送貨車的送貨流程，以及 (2) 相同的送貨流程，在運具上使用送貨無人機進行處理。這個業務流程是通過藥品供應訂單的到達而啟動從附屬藥房到主倉庫進行取貨及運貨，運送流程中對二模型各環節的成本估算與比較。

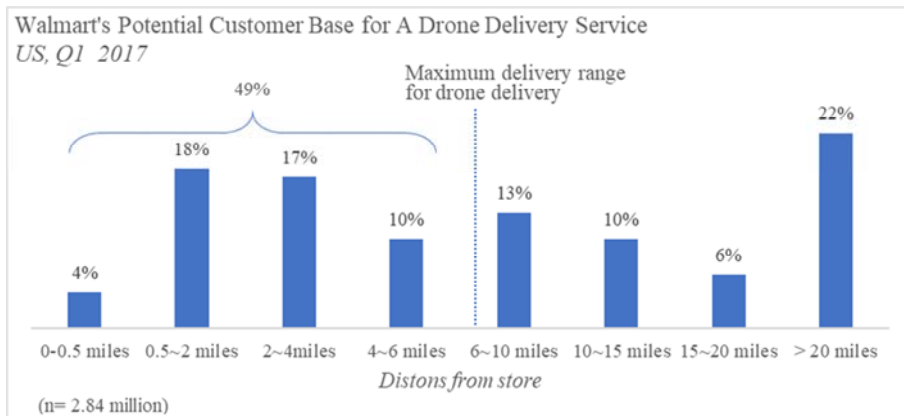


圖 8 沃瑪公司潛在客戶的無人機物流服務範圍^[43]

臺灣衛福部疾病管制局在 2019 年 4 月 23 日與交通部合作，於嘉義縣阿里山鄉衛生所成功完成「阿里山偏鄉無人機物流測試」^[45]，活動中利用無人機載運抗蛇毒血清從阿里山鄉衛生所送到里佳衛生室，起點和終點二處之間的直線距離雖僅有 7 公里，但沿途蜿蜒地勢崎嶇，地面運送物資的車程至少需耗費 1 小時以上，改用無人機運送則僅需 10 分鐘抵達里佳衛生所，對於提升山區緊急醫療品質而言，無人機物流運送為考量之一。由於抗蛇毒血清的保存溫度需在攝氏 2 至 8 度，對於蛇毒血清的保存特性，疾管署協助交通部設計無人機可控溫保冷箱以克服運送過程中的環境，並將保冷箱置於攝氏 35 度的溫箱內進行測試，以確保在此狀況下仍維持攝氏 2 至 8 度；另針對無人機冷藏載運流程進行檢視，觀測無人機飛行過程保冷箱的溫度數據變化，確認抗蛇毒血清品質與接種效益。

國外利用無人機進行醫療藥品的物流運送案例十分常見，例如 Zipline 醫療用品公司自 2016 年 10 月以來致力於無人機運送血液的物流運送服務，來挽救非洲盧旺達病友的生命^[46]。Zipline 公司的自動定翼無人機現在已成為盧旺達醫療供應基礎設施的組成部分，將血液產品從中央配送中心運送到全國各地的醫院，到了 2018 年，Zipline 公司的東非業務將擴大到更大的國家坦桑尼亞。Zipline 的無人機可以將交貨時間縮短至幾分鐘，此項快速服務 (Zips) 來自一個配送中心的血袋包裝-盧旺達的穆漢加 (Muhanga, Rwanda)，無人機的運程涵蓋 21 家醫院分布於 75 公里之內。在緊急情況下醫生可以使用 WhatsApp Messenger 來要求血液運送，將血液包裝成用彈射器向空中發射的拉鍊，使用 GPS 導航以及協調盧旺達空中交通管制，讓無人機駛向目標，當郵遞到達目的地，通常在最初請求一個小時後，醫生收到 WhatsApp 消息傳回配送中心並使用 Zip 的血袋救人。

3.4 小結

本節針對無人機於交通運輸領域的應用，以智慧運輸、防救災領域及物流運送領域進行國內外實例文獻回顧，將協助無人機功能延伸與任務達成的配套措施或技術支援，羅列如下：

1. 先進的無線通訊技術與無線傳感網路的訊息融合：以做為資訊、影像流通的平台，於平時或災時進行傳輸，並有多項基礎備援系統的支援。
2. 無人機飛航管理系統 (UTM) 降低飛安風險：因應無人機業務日益頻繁，低空域的飛航安全管理有其必要，以即時訊息傳送的方式連結地方政府的區域飛航管理中心至全國飛航管理中心，更與國家空域系統管理單位形成全方位的監視與避讓隔離，降低飛安風險的發生，此即 UTM 與 ATM 充分結合的功能。
3. 公部門與產業合作機制：公部門對無人機作業的需求與產業界所提供的無人機技術，證照適航性與作業適切性的判別，除了應符合民航法規的要求外，公部門應用無人機進行標的整體作業的審視，應有第三方超然單位進行作業媒合及資格認證，例如物流運送中的複合運送作業，複合運送的適切性、無人機之驗證、註冊與適航性、操作者的證照有效性。以公部門的需求推動無人機應用的全面實施，釋出行政資源，與產業界合作達成預期目標。

四、無人機整合示範的實施方案與規劃

4.1 美國的整合示範計畫 (Integration Pilot Program, IPP)

美國從 2017 年開始，無人飛機系統 (UAS) 整合示範計畫 (UAS Integration Pilot Program, IPP)^[47] 將美國部分的州、郡、地方政府與私人部門實體，如 UAS 運營商或製造商的集結，以加速無人機的安全整合。該計畫有助於美國運輸部 (U.S. Department of Transportation, USDOT) 和聯邦航空署 (FAA) 制定無人機新規則，以支持更複雜的低空域作業，並達成下列目標：

1. 在無人機整合過程中，界定平衡地方和國家利益的方法；
2. 改善與地方、州和郡的司法管轄區之間的通訊；
3. 解決無人機在安全和隱私的風險；
4. 加快批准當前需要特殊授權的無人機操作。

就無人機的整合而言，該計畫已在地方利益與國家利益之間取得平衡，進行了有意義的對話，並向美國國防部提供了有關將無人機擴展和整合到國家空域系統 (NAS) 的可行訊息。IPP 首席參與者正在評估一系列無人機的運營概念，包括夜間運營、飛行員視距外 (BVLOS) 的飛行、物流包裹遞送、無人機感測與避讓 (DAA) 技術以及飛行員與無人機之間數據鏈路的可靠性和安全性。該計畫為無人機產業帶來應用的機會，其應用領域包括商

業攝影、應急管理、農業支持和基礎設施檢查，以下就 IPP 的計畫執行方式，檢視無人機在基礎設施檢查的應用，申請 IPP 的公司必須具備以下基本整合技術的能力：

1. 制定並實施地理圍欄；
2. 向無人機製造商發出有關危險或飛行限制（包括必要時禁止飛行）的警報；
3. 察覺和避讓能力 (DAA)；
4. 視距外作業 (BVLOS)；
5. 夜間作業；
6. 人群上方飛行；
7. 同時多架小型無人機的作業；
8. 無人機飛航管理 (UTM)；
9. 使用先進的無人機系統技術來改善或保護隱私。

無人機應用在機場設施檢查的 IPP 範例，如：美國田納西州的曼菲斯機場整合示範計畫 (IPP) 團隊將使用 Falcon 8+無人機進行研究，以檢查跑道、滑行道和圍欄。田納西州的 IPP 團隊是唯一在執行機場巡檢測試的一個團隊。對於圍欄檢查和跑道異物檢查任務，包含檢查跑道和滑行道的損壞和碎片，無人機的跑道巡查、圍欄巡查融合到機場控制系統中心的功能至關重要^[48]。曼菲斯機場的合作夥伴包括曼菲斯市政府、曼菲斯消防局、曼菲斯警察局、聯邦快遞、國際農業中心、曼菲斯大學、田納西州航空運輸部，奇異子公司 AirXOS 和 Avitas、英特爾 (Intel)、Flirtey、901Drones 和 ForeverReady Productions 等。自 2018 年 8 月以來至 2019 年 2 月，該計畫的合作夥伴已經成功進行了 127 次無人機飛行。這些飛行是低風險地區開發第一階段的部分工作，旨在幫助制定運營程序、評估潛在影響、制定機場和團隊成員溝通協議，並確定可用於曼菲斯國際機場的小型無人機的運行可靠性。

4.2 臺灣無人載具創新實驗條例

經濟部為了帶動無人載具實驗的風氣，希望推動臺灣無人載具科技與國際科技同步發展，乃引進「監理沙盒」精神而制定「無人載具科技創新實驗條例」，讓實驗者能在風險可控管的環境下，進行創新性的無人載具實驗。本條例已經在 107 年完成公告，並在 108 年 10 月 25 日開始受理申請，提出無人載具的實驗申請者可包括個人、獨資、合夥事業或法人（包括公司法人），申請無人載具實驗種類則包含自駕車、無人機及自駕船，申請實驗計畫的審查性質採取隨到隨審，而審查的最長時間則自受理起，於確認文件齊備的隔日起，在 60 日內須完成計畫審查，並函覆審查結果。創新實驗計畫執行期間原則上以一年為限，後續可依無人載具科技創新實驗條例第 9 條規定來辦理展延，惟全部創新實驗期間不得逾四年。申請人應於計畫中說明實驗內容之創新性、法規排除項目、完成模擬分析或封閉場域實驗之說明、載具/裝置之安全性、實驗潛在風險之因應措施、相關保護措施、投保保險規劃等，申請人在完成申請書及計畫書等相關文件之後，再郵寄或親送至經濟部技

術處進行審理。

4.3 小結

由美國無人機之整合性示範計畫 (IPP) 的應用著眼，結合臺灣無人載具創新實驗條例之於產業界的應用，再加以對照我國公部門與產業界的合作－「以無人機作業結合 IPP 制度的應用」，可以由下列方向來著眼：

1. IPP 制度建立：由交通部運輸智庫單位來承接 IPP 制度的建立 (如：交通部運輸研究所)，以利受理交通部公部門提出無人機作業需求、場域測試、安全風險評估…等。
2. IPP 作業建立：由交通部運輸智庫單位會同專業認證機構，(例如技師公會、品管協會、無人機協會…等) 以分級制審核無人機承包公司，專業資格審查通過後得標，再依公部門需求訂定 KPI (Key Performance Indicators) 作業程序。
3. IPP 無人機資格認證：由交通部運輸智庫單位所建立 IPP 機制，對於達成 IPP 整合示範驗證的企業，給予適當的證明，以做為招標所採用最有利標的佐證資料，會同公部門的工作小組進行 IPP 作業的認證，將包含公部門需求單位代表。在承包公司的無人機資格認證的部分，分為三大類：
 - (1) 基本資格認證：人員考照、採用技術器材檢驗，以民航法規對無人機的驗證、註冊與操作證測驗之管理為基準。
 - (2) 技術能力認證：進行承包公司的無人機專業領域作業之本質學能程度能力分級，再進行資格認證及 IPP 後續的 KPI 衡量。
 - (3) 整合示範成效認證：針對所承包之整合示範計畫，計畫執行狀況評估達成績效與整體成果、執行計畫採用技術內涵的潛在能力、技術人員的能力綜合評估、使用無人機發揮的效益評估等，給予適當評等證明。

五、無人機產業發展策略之建議

我國無人機發展，應以政府公部門需求為前導方向，跨部門釋出應用無人機政務執行需求，帶動國內的無人機產業與應用。在推動策略上將從需求導向，以交通運輸領域的「整體示範計畫 (IPP)」來推動無人機產業的發展，實質推動跨部會與科技研發做高層次的技術整合，更可以行銷國際、放眼世界。在技術支援上需要成立國家級的團隊 (UAV Team)，結合產、官、學、研建立無人機研發基地，以落實技術的精進，吸引國外領導廠商的注意，建立國際合作與產品的行銷。為了讓無人機的發展更完善，健全無人機法規的實施與管理，進一步培育管理人才，以保障飛航安全。

5.1 公部門需求導向政策制定與投入

以交通、經濟、內政、農業為主幹的政府部門需要制定推動無人機應用的多贏策略，

躋身國際市場，如圖 9 所示，創新應用層面、引進卓越技術，體認無人機可以帶來節省成本、提升作業效率、擴大業務範圍，更保障參與較高危險性工作人員的安全。在交通運輸領域發展智慧運輸、物流遞送、無人交通運輸等；在內政安全領域發展防救災、警政、消防、國土、環保、空搜、海巡等無人機應用技術；智慧農業領域以無人機投入精準農業、智慧服務、植栽種類辨識，以提高農業的收益；在經濟產業領域，深入無人機製造技術、投入更大的服務承攬、引進人工智慧與大數據分析，建立無人機的經濟產值。如何達成技術卓越，學術研究、技術研發及產業投入，都是必要的基礎建設，以達成國際接軌、挑戰更高的技術成效。

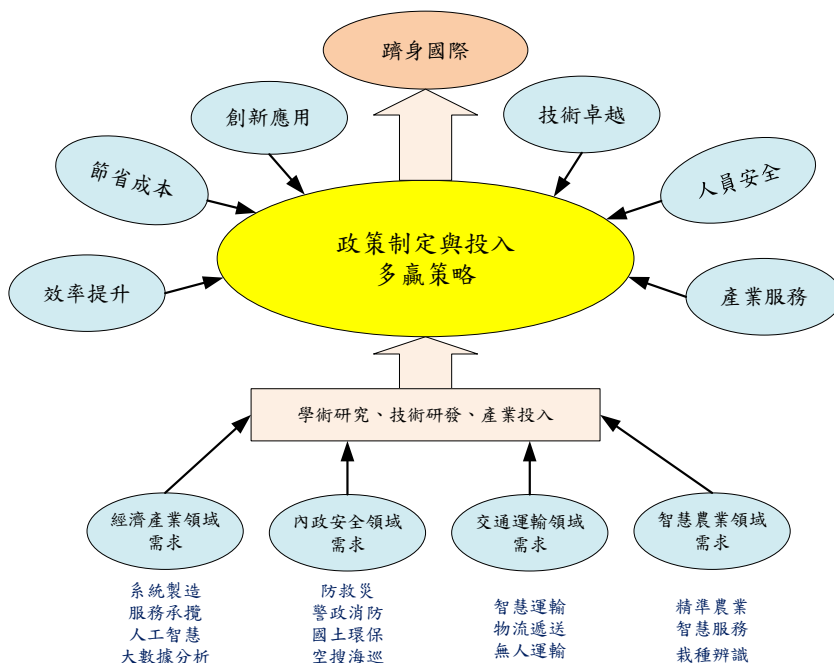


圖 9 無人機的政策制訂與投入

5.2 無人機微型元件技術研發

無人機產業的發展，首重微型元件技術的研發與製造能力，如圖 10 所示，培養產、官、學、研合作建立完整的無人機國家級技術團隊，配合圖 9 所建議的政策方向與核心，完成複合材料與機構製造、馬達動力與電子變速器元件設計製造、慣性與姿態感測元件技術、創新的高效能電池、寬頻通訊系統、地面導控站的設計建置，落實適合我國 25kg 級無人機產業短中程規劃目標的應用系統為主，政府釋出需求，推動國內無人機產業達成各應用領域的「整合示範計畫」，讓無人機應用能普及於民生社會環境，帶來安全便利。

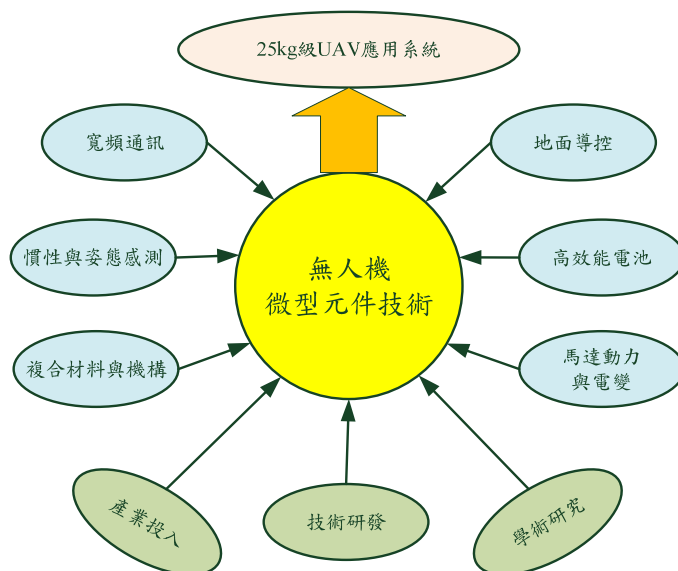


圖 10 無人機的微型元件技術發展

5.3 載客無人機研發

國際間無人機的研究與發展走勢，憧憬期望與自駕車一樣的思維，發展載人無人駕駛空中計程車 (Unmanned Air Taxi) 的構想，將是全世界革命性的發展計畫。雖然目前航空法規與技術都尚未能就緒到位，然而隨著無人機微型技術、各國民航法規的發展，載客無人機必然會成為先進國家交通運輸領域的一項重大挑戰，預估 2030 年可能是一個突破年限。我國無人機研發與產業不應落後世界的水準，必須朝向無人機多元領域研究發展的方向持續前進，如圖 11 所示，要達到載人無人機成為空中計程車的技術，包含：高性能微型元件、高效能電池、混合動力系統、高酬載無人機系統、迴路中遠端駕駛地面站 (Pilot-in-the-loop Ground Control System)、無人機飛航管理 (UTM)、寬頻通訊、自主導航自動駕駛等技術的成熟可用，建立專屬的空中走廊 (Air Corridor)，以及融合進入有人機的飛航管理系統 (ATM)，都將是引導載人的無人駕駛空中計程車成功上路，同時也讓民航法規可以順利放行的必要條件。

5.4 無人機飛航管理系統的推行

縱觀先進國家對無人機飛航安全管理，已經進展到將無人機飛航作業納入無人機飛航管理系統 (UTM) 統一監視與管理，讓無人機的飛航達到安全的標準。無人機進入有人機飛航的國家空域系統 (NAS)，未來將必須與有人機的飛航管理融合為一體，因此，UTM 進入 ATM 是一項極嚴苛的挑戰，條件在於 UTM 的建置必須成熟可靠，並具備功能完善的監視與管理機制，以圖 12 之 UTM 進入 ATM 系統示意圖所示，參酌圖 7 的系統架構，

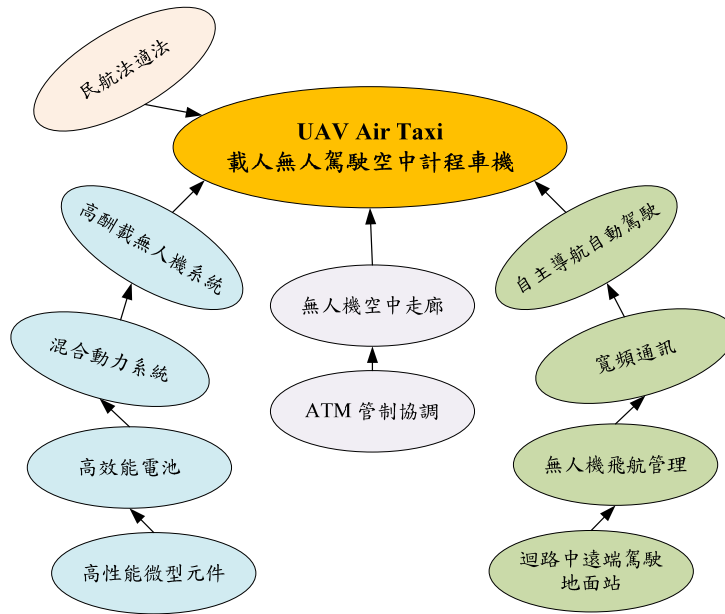


圖 11 無人機發展為載人的無人駕駛空中計程車

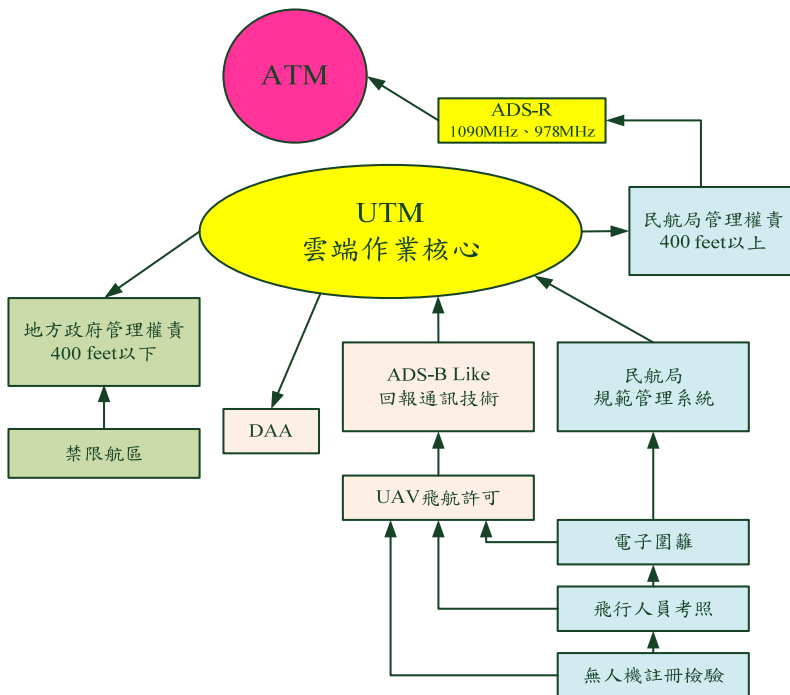


圖 12 UTM 進入 ATM 的監視與管理架構

從地方政府管理 400 呎以下的區域 UTM (RUTM)，至較高空層屬於民航局的國家 UTM (NUTM)，都將採用類自動回報監視技術 (ADS-B Like)，以利廣泛的接納各種目的飛行的無人機進入監視與管理。民航局所建立的遙控機管理資訊系統 (Management Information System, MIS) 涵蓋操作者、航空器與空域的管理，將是各種航空器都必須要遵循的守則，以維護飛航紀律與安全。我國民航業管單位應建立無人機資訊的再廣播自動回報系統 (ADS-R)，讓國家空域系統 (NAS) 內的有人機充分掌握高空無人機的動態，做適當的避讓，以保障飛航安全。

5.5 小結

無人機的應用發展需要建立國家級團隊的群體力量，公部門給予整合示範實施的機會，讓產業界投入更貼切的實務歷練，以達成無人機交通領域應用的實質成效。從民生應用的成效去擴大整個無人機產業結構的進階發展，以國家級團隊的態勢擠進國際實力的競技場，建立更高的技術成果與更強的無人機產能、不論是無人機所需的微型元件及至載人飛行器，都將在有效安全的無人機飛航管理作業下，飛航安全有保障地達成目標。

六、結論

無人機的發展已經進入成熟可用的階段，我國無人機產、官、學、研也都積極參與，迎頭趕上這一波工業技術的浪潮。然而整個無人機產業的發展，更需要政府各相關部門政策的支撐，以及務實的推動無人機進入實施的行動。在無人機的研發應用方面，雖然國際間有許多十分先進前瞻的構想，例如：載人無人駕駛空中計程車，將突破法規的思維束縛，更為許多國際龍頭企業所追求的目標。無論如何，安全為普世的價值，無人機的可靠度和安全性仍為民航法規管理的依據，為保障利害關係人的第一道防線。在無人機的產業發展面，建立無人機完整的經濟規模，必須先規劃一個屬於我國發展路程計畫 (Roadmap Plan)，以政府公部門的需求為後盾，循序漸進的發展，才能有具體的能量可以建設成功。

以交通部為核心，2020 年整合產、官、學、研籌組無人機國家級團隊，進行技術與產業的精進規劃，以跨部門的方式，結合科技部支持核心的技術研究、經濟部主導產業的發展與建置，讓使用端走向安全穩定的無人機應用環境。

無人機交通運輸應用必須與相關公部門的需求相互呼應，從智慧運輸領域、防救災領域及物流運送領域著手，進而從經濟部的協助運作，建立產業的供應，以 2020 年為起點，進行各領域的「整合示範計畫」，完成技術驗證與應用領域作業認證，以推動產銷與服務一體的完整無人機產業系統。

建立微型元件的研發與供應能力，配合國內無人機應用需求的市場規模，以 25kg 級為目標，在 2025 年以前建立完全自主的產業經濟體系，並以 2030 年為目標，參與國際載人無人駕駛空中計程車的研發，躋身國際競爭舞台，展現國家團隊的技術能力。臺灣應從

創新實驗條例出發，以解決公部門需求為目標的具體作為，從技術研發面、民航法規面著手，發展高端無人機產業與技術。

未來無人機飛航活動將與有人機的國家空域系統 (NAS) 介面融合共同作業，預料將投入更積極的 UTM 發展角色，讓無人機飛航管理 (UTM) 與有人機的飛航管理 (ATM) 能融合為一體，保障飛航安全，維持低空域與中、高空域的生態系統秩序，降低飛航風險。

無人機與無人機系統必然是明日之星，我國科技界應該在無人機領域中昂頭向前，參考世界各國的現況與著力，而政府部門須釋出需求及協助，扮演領頭羊的角色，並與無人機產業界、學術界、研究單位合作，讓無人機的應用得以落實並進化，成為一個讓國人足以自傲的高端技術產業。

謝誌：本計畫為行政院交通部運輸研究所 108 年度「我國遙控無人機在交通領域發展之推動策略」計畫 (IOT-108-IEF021) 襄助完成。

參考文獻

1. Amorim, R., Nguyen, H., Mogensen, P., Kovács, I. Z., Wigard, J., Sørensen, T. B., “Radio Channel Modeling for UAV Communication over Cellular Networks”, *IEEE Wireless communications letters*, Vol. 6, No. 4, 2017, pp. 514-517.
2. International Civil Aviation Organization (ICAO), *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*, Doc 10019, AN/507, 1st ED, Canada, 2015.
3. ICAO, *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, Circular 328, AN/190, Canada, 2011.
4. ICAO, “Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) Concept of Operations for International IFR Operations”, 2017.
5. Aweiss, A. S., Owens, B. D., Rios, J. L., Homola, J. R., Mohlenbrink, C. P., “Unmanned Aircraft Systems (UAS) Traffic Management (UTM) Mational Campaign II”, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Kissimmee, Florida, 2018.
6. Kopardekar, P., Rios, J., Prevot, T., Johnson, M., Jung, J., Robinson, J. E., “Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operation”, 16th *AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO)*, Washington, DC, 2016.
7. Statista, “Investment in drone hardware worldwide by segment from 2015 to 2021 (in billion U.S. dollars)”, <https://www.statista.com/statistics/689143/investment-in-drone-hardware-worldwide/>, 2017.
8. Media, A., Drone market shows positive outlook with strong industry growth and trends”, *Business Insider Intelligence*, July 13, 2017, <https://www.businessinsider.com/drone-industry-analysis-market-trends-growth-forecasts-2017-7>.
9. ICAO, “UTM—A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization”, A40-WP/2091, 2019.
10. Federal Aviation Administration (FAA), “14 CFR PART 107 - Small Unmanned Aircraft Systems(sUAS)”, September 27, 2018, https://www.faa.gov/about/office_office/headquarters

- _offices/avs/offices/afx/afs/afs800/afs820/part107_oper/, 2018.
11. FAA, 2016, “Advisory circular :small unmanned aircraft systems(sUAS) (AC-107-2), Federal Aviation Administration, 2016.
 12. Marcus, J., Jaewoo, J., Joseph, R., Joey, M., Jeffrey, H., Thomas, P., Daniel, M., Parimal, K., “Flight Test Evaluation of an Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept for Multiple Beyond-Visual-Line-of-Sight Operations”, 12th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2017), NASA Ames Research Center, USA, 2017.
 13. European Union Aviation Safety Agency (EASA), “Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing” Regulation (EU), 947/2019, Annex I to ED Decision 2019/021/R, Iss. 1, 2019.pp.1-130.
 14. EASA, “AMC and GM to Part- UAS : UAS operations in the ‘open’ and ‘specific’ categories”, Annex II to ED Decision 2019/021/R, Iss.1, 2019.pp.1-61.
 15. EASA, “Civil drones (Unmanned aircraft)”, [https:// www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas,2019](https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-rpas,2019).
 16. SESAR Joint Undertaking, “Blueprint U-Space”, SESAR Joint Undertaking, Publications office of the European Union, Luxembourg, 2017.
 17. Kerczewski, R. J., Apaza, R. D., Downey, A. N., Wang, J., Matheou, K. J, “Assessing C2 Communications for UAS Traffic Management”, IEEE/AIAA Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), Dulles Airport, Herndon, VA, USA, April 10-12, 2018.
 18. Lin, C. E., Hsieh, C. S., Li, C. C., Shao, P. C., Lin, Y. H., Yeh, Y. C., “An ADS-B Like Communication for UTM”, Integrated Communication, Navigation and Surveillance(ICNS), Dulles Airport, Washington DC, USA, April 9-11 ,IEEE, 2019.
 19. Civil Aeronautical Administration (CAA), “Civil Aviation Act”,UAS Chapter, April 25, 2018. <https://www.caa.gov.tw/en/content/index.asp?sno=325>.
 20. Lin, C. E., Chen, T. P., Shao, P. C., Lai, Y. C., Chen, T. C., Yeh, Y. C., “Prototype Hierarchical UAV Traffic Management System in Taiwan”, Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), Dulles Airport, Washington DC, USA, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., April 9-11, 2019.
 21. FAA, “TCAS II V7.1 Introduction”, *U.S. Department of Transportation*, 2011.
 22. Lin, C. E., Hung, T. W., Chen, H. Y., “TCAS Algorithm for Generation Aviation on ADS-B”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G, Journal of Aerospace Engineering, Vol.230,No.9, IMechE 2016, pp. 1569-1591, DOI: 10.1177/0954410016631974.
 23. 交通部運輸研究所, 「高快速公路匝道分匯流區容量及服務水準分析之研究(1/3)－獨立進出口分匯流區」研究計畫, 民國 108 年。
 24. 交通部運輸研究所, 路口無人機交通攝影及衝突分析技術開發, 民國 109 年。
 25. Lee, J., Zhong, Z., Kim, K., Dimitrijevic, B., Du, B., Gutesa, S., “Examining the Applicability of Small Quadcopter Drone for 2 Traffic Surveillance and Roadway Incident Monitoring”, Transportation Research Board 94th annual meeting, Washington DC, UAS, January 2015.

26. Srinivasan, S., Latchman, H., Shea, J., Wong, T., McNair, J., “Airborne Traffic Surveillance Systems: Video Surveillance of Highway Traffic”, *Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks*, 2004, pp.131-135.
27. Ohio State University College of Engineering, “Ohio State pilots project to integrate drones in transportation infrastructure”, <https://engineering.osu.edu/news/2018/06/ohio-state-pilots-project-integrate-drones-transportation-infrastructure>, 2018.
28. Lee, J., Zhong, Z., Kim, K., Dimitrijevic, B., Du, B., Gutesa, S., “Examining the applicability of small quadcopter drone for 2 traffic surveillance and roadway incident monitoring”, *Transportation Research Board 94th annual meeting*, Washington DC, UAS, January 2015.
29. Krajewski, R., Bock, J., Kloeker, L., Eckstein, L., “The highD Dataset : A Drone Dataset of Naturalistic Vehicle Trajectories on German Highways for Validation of Highly Automated Driving Systems”, *IEEE 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Maui, Hawaii, USA, November 2018.
30. 交通部運輸研究所，橋梁檢測工具效能提升計畫，民國 105 年。
31. Ellenberg, A., Kontsos, A., Moon, F., and Bartoli, I., “Bridge related damage quantification using unmanned aerial vehicle imagery”, *Structural Control Health Monitoring*, Vol. 23, No. 9, 2016, pp.1168-1179.
32. International Airport Review, “The use of drones for airport asset management”, <https://www.internationalairportreview.com/article/38728/38728/>, 2017.
33. Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. R., Akyildiz, I. F., “Help from the Sky : Leveraging UAVs for Disaster Management”, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 16, No. 1, 2017, pp.24-32.
34. Erdelj, M., Krol, M., Natalizio, E., “Wireless Sensor Networks and Multi-UAV Systems for Natural Disaster Management”, *Computer Networks*, Vol. 124, 2017, pp.72-86.
35. Chen, D., Liu, Z., Wang, L., Dou, M., Chen, J., Li. H., “Natural Disaster Monitoring With Wireless Sensor Networks : A Case Study of Data-intensive Applications upon Low-Cost Scalable Systems”, *Mobile Networks and Applications*, Vol. 18, No. 5, 2013, pp. 651-663.
36. Frigerio, S., Schenato, L., Bossi, G., Cavalli, M., Mantovani, M., Marcato, G., Pasuto, A., “A web-based platform for automatic and continuous landslide monitoring: The Rotolon (eastern Italian Alps) case study”, *Computers and Geosciences*, Vol. 63, 2014, pp.96-105.
37. Farfaglia, S., Lollino, G., Iaquinta, M., Sale, I., Catella, P., Martino, M., Chiesa, S., “The Use of UAV to Monitor and Manage the Territory : Perspectives from the SMAT project”, *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol. 5, 2015, pp. 691- 695.
38. Feng, Q., Liu, J., Gong, J., “Urban Flood Mapping Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Random Forest Classifier – A Case of Yuyao”, *Water*, Vol. 7, No. 4, 2015, pp.1437-1455.
39. Kumar, V., Rus, D., Singh, S., “Robot and sensor networks for first responders”, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 3, No. 4, 2004, pp 24-33.
40. Wada, A., Yamashita, T., Maruyama, M., Arai, T., Adachi, H., Tsuji, H., “A Surveillance System Using Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Related Technologies”, *NEC Technical Journal*, Vol. 8, No. 1, 2015, pp. 68-72.

41. 聯合報，「科技救災無人機上場 台南消防局今成立無人機救災中心」，新聞稿，民國 108 年 5 月 13 日。
42. Camhi, J., “The drone delivery report : opportunities and challenges in automating logistics with drones”, *Business Insider Intelligence*, <https://www.businessinsider.com/the-drone-delivery-report-opportunitiesand-challenges-in-automating-logistics-with-drones-2017-5>, May 18, 2017.
43. Camhi, J., Pandolph, S., Newman, P., “Walmart and Target could beat Amazon on drone delivery”, *Business Insider Intelligence*, <https://www.businessinsider.com/how-walmart-and-target-can-top-amazon-on-drone-delivery-2017-4>, April 18, 2017.
44. Vlahovic, N., Knezevic, B., Batalic, P., “Implementing Delivery Drones in Logistics Business Process : Case of Pharmaceutical Industry”, *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 10, No. 12, 2016, pp. 4026-4031.
45. 衛生福利部疾病管制署，「疾管署協助交通部成功測試無人機飛行運送抗蛇毒血清，把握黃金救命時機」新聞稿，民國 108 年 4 月 23 日。
46. Ackerman, E., Strickland, E., “Medical delivery drones take flight in east Africa”, *IEEE Spectrum*, Vol. 55, No. 1, 2018, pp. 34-35.
47. FAA, “UAS Integration Pilot Program”, https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/integration_pilot_program/, November 07, 2018.
48. Inside Unmanned System, “Close Up: Drone Inspection From Fences to Tailfins - IPP Tennessee”, <http://insideunmannedsystems.com/close-up-drone-inspection-from-fences-to-tailfins/>, August 31, 2018.

