



不對稱作戰下無人機於通信中繼之應用 —以商規多旋翼無人機為例

作者/許志豪、羅孝全

提要

- 一、隨著現代戰爭向高科技武器系統轉移，多旋翼無人機在軍事通信中繼領域發揮關鍵作用。這類無人機於不對稱作戰中大幅提升通信覆蓋範圍，增強戰場指揮控制效率，展現了出色的機動性與成本效益。
- 二、深入分析證實，多旋翼無人機能迅速部署於戰場各處，透過先進的通信中繼功能，有效擴展指揮通信網路，確保前線資訊流通無間斷。這對於指揮官執行精確戰術行動至關重要，提升戰術協同與反應速度。
- 三、綜合研究與實務應用表明，多旋翼無人機已成為現代戰場上不可或缺的通信中繼工具。其技術進步為軍事通信設定了新標準，有效強化了作戰單位操作靈活性與戰術執行能力，體現了現代軍事戰略中技術創新之重要性。

關鍵字：不對稱作戰、多旋翼無人機、通信中繼

前言

在當今這個充滿變數與挑戰的時代，軍事戰略、技術之進步為國家安全帶來了嶄新維度。尤其對於我國而言，面對複雜地緣政治環境和潛在安全威脅，不斷更新和適應先進之軍事技術，已成為維護國家利益關鍵。有鑑於此，發展無人機技術及其在不對稱作戰中之應用，尤其是在通信中繼方面，顯得尤為重要。

不對稱作戰是一種軍事策略，其中戰力較弱之一方通過非傳統的戰術和策略來對抗戰力較強的對手。這種作戰模式在當前國際安全環境中變得越來越普遍，其中尤其依賴技術和創新以彌補雙方軍力上之落差。我國，作為一個地理位置重要且戰略敏感的國家，深刻理解掌握不對稱作戰的能力對於維護國家安全已是必然之趨勢。

多旋翼無人機作為當代軍事技術一部分，因其獨特的機動性、靈活性和低成本特性，在不對稱作戰中展現了巨大潛力。它們不僅可以執行偵察和監視任務，還可以作為通信中繼站，有效支持戰場上的通信需求；在通信中繼方面，無人機能夠提供穩定而可靠之通信鏈路，這在複雜的戰爭環境中尤為重要。

對於我國而言，有效的通信系統是其守勢戰略的核心部分，鑑於潛在的軍事對抗和地緣政治壓力，建立一個強大且靈活的通信網路是保證國家安全先決條



件，在這方面，多旋翼無人機提供了一個可行且高效的解決方案，不僅可以增強傳統通信系統能力，還可以在敵方電子干擾和其他破壞性行為中保持通信的連續性；然而，儘管多旋翼無人機在通信中繼方面提供了諸多優勢，但也存在諸多挑戰；這些挑戰包括技術限制、敵方的反無人機策略，以及相關法規和道德問題；因此，本研究著眼於無人機技術在通信中繼方面的應用，也關注這些挑戰對於我國軍事策略和國家安全的影響。

本文旨在分析多旋翼無人機於不對稱作戰中，特別是作為通信中繼平臺的角色和潛力，參酌其他國家軍事及通信中繼運用實例，並以多旋翼無人機實機驗證其效能，藉以提供有價值的啟示和參考，期於未來能有效利用這些先進技術來強化軍事作為。

無線電中繼(站)臺概說

無線電中繼(站)臺是一種關鍵的通信基礎設施，主要用於增強和擴展無線通信信號。¹其核心功能是接收較弱的無線電信號，放大這些信號，然後重新發射到更遠的地點。這種能力對於克服地形障礙(如山脈、建築物)造成的信號阻擋至當關鍵，從而實現在廣闊地區內之順暢通信。

無線電中繼(站)臺在多個領域發揮著重要作用，尤其在軍事和緊急服務方面。在軍事應用中，中繼臺能夠連接前線部隊與各級指揮所，確保即使在遙遠或地形複雜的地區也能進行有效通信。對於警消和醫療來說，無線電中繼臺提供了覆蓋廣闊區域的關鍵通信支持，對於快速反應和協調救援行動至關重要。

總而言之，無線電中繼(站)臺在現代通信體系中扮演著不可或缺的角色，無論是軍事行動或民用服務，都依賴於它們提供穩定和可靠之通信連接。

一、固定式無線電中繼(站)臺

軍事固定式無線電中繼(站)臺工作內容依其部署的特定需求和背景而異，這些角色對於確保軍事行動中有效通信至關重要，提升軍隊對動態作戰情境之應對和適應能力，²(固定式中繼站臺優、劣勢分析如表1)固定式站臺職責：³

(一)安裝與維護：設置和維護無線電頻率通信系統，包括天線系統、調諧器和傳輸線。

(二)設備部署：根據需要啟動移動和可運輸的傳輸設備。

1 國家通訊傳播委員會-行動通信網路業務基地臺設置使用管理辦法，〈https://www.ncc.gov.tw/chinese/law_detail.aspx?site_content_sn=3595&is_history=0&law_sn=1753&sn_f=2115〉，(檢索日期：2023 年 6 月 4 日)。

2 陳岳揚，〈複雜電磁環境下對本軍通信影響之探討〉《陸軍學術工兵半年刊》，第 152 期，2018 年，頁 64-75。

3 Radio Frequency Transmission Systems - U.S. Air Force〈<https://www.airforce.com/careers/science-and-technology/radio-frequency-transmission-systems>〉，(檢索時間：2023 年 11 月 23 日)。



(三)運作狀態確定：評估並確保通信設備的功能狀態。

(四)系統安裝：實施地面無線電、衛星和遙測通信系統。

(五)戰略評估：與通信基礎設施相關綜合計畫和土木工程項目進行評估。

從中共登陸作戰的指導思想「關節癱瘓突擊、多維快速上陸、縱深超越打擊」當對我發起武力攻擊時，我國固定式中繼(站)臺甚至於防空飛彈發射基站，都暴露在首波攻擊摧毀的風險之中，簡言之，敵首要攻擊目標將針對我雷達、通信站臺等指管情監偵設施實施破壞，以癱瘓我部隊指揮能力，有鑒於此，如何在戰時能夠迅速恢復遭破壞的陸上通信站臺的能力與備援作為，以確保戰時各部隊指管不中斷為本研究之重點。

表 1 固定式中繼(站)臺分析表

屬性	劣勢	優勢
信號穩定性	位置固定，無法快速調整覆蓋範圍	經多次演訓經驗及驗證，對各部隊戰力保存位置具有良好通連效果。
成本效益	初始建設和維護成本高	由於其位置固定，技術人員可以較容易地訪問站點進行定期檢查和必要的維修工作。
安全性	易受攻擊和干擾	可容納較大、較重的設備和系統，包括先進的信號處理和加密設備，能夠執行更複雜的通信任務，並提供更高級的通信安全。
部署靈活性	固定位置，無法快速調整覆蓋範圍	可設計更大的發射天線和更強發射功率，提供更廣泛的覆蓋範圍。

資料來源：作者自行彙整

二、機動式無線電中繼(站)臺

軍事機動式無線電中繼臺是設計用於在移動狀態下提供有效通信連接之高度靈活設備，並提供固定式無線電中繼(站)臺所無法涵蓋的訊號範圍藉以達成構連，這些設備通常裝載於軍用車輛上，能夠在各種地形和環境條件下運作。⁴

(一)主要功能

1.無線電信號中繼與增強：接收來自一個來源的信號，放大後轉發到另一個地點。

⁴ Thales-Building a future we can all trust <halesgroup.com>，(檢索時間：2023 年 11 月 23 日)



- 2.具備語音整合器：能夠處理多個通信頻道，增強通信靈活性。
- 3.快速部署與撤離：適應快速變化戰場環境，快速移動至新位置。
- 4.加密與安全：提供加密通信以確保資訊安全。
- 5.網路連接：可與其他軍事通信網路接口，包括衛星通信。

(二)作戰中可能遭遇的挑戰與問題

1.能源供給與維護：機動式中繼站的運作依賴於持續的能源供給，在長時間軍事行動中，確保中繼站有穩定的電源（油料）供應，尤其在偏遠或已遭敵控領之區域，是一項挑戰。

2.維護和技術支援：在戰場中，修復材料的取得及設備維修與故障排除執行困難與面臨高度風險。

3.敵方干擾與反制措施：無線電中繼站在戰場上容易成為敵方攻擊的重要目標。敵方可以透過電子戰手段，如信號偵蒐等，來判斷中繼站位置並破壞中繼站的通信功能。

多旋翼無人機概述

多旋翼無人機，⁵一種近年來迅速發展的遙控飛行器，已成為民生、商業和軍事應用上之重要工具，這種無人機通常具有四個或更多的旋翼，⁶在空中具有高度機動性和穩定性。多旋翼無人機的特點(如表2)使其在許多領域運用，包括航拍、農業、監測和軍事作戰等變得極其有用。

一、多旋翼無人機的技術特性

(一)飛行動力學

多旋翼無人機主要特點為飛行動力學，不同於傳統飛機或單旋翼直升機，多旋翼無人機依靠多個電動旋翼產生升力和推進力，這種設計使得它們在垂直起降(VTOL)和懸停方面具有卓越性能，並且能夠在空中進行精確的位置控制。

(二)控制系統

多旋翼無人機飛行控制依賴先進之電子控制系統，系統包括飛行控制器、陀螺儀、加速度計和磁力計；飛行控制器是無人機的大腦，控制和調節旋翼速度，以實現平衡和方向控制，陀螺儀和加速度計則用於監測和調整無人機姿態。

(三)電池和續航力

多旋翼無人機通常使用鋰聚合物(LiPo)電池作為動力源，這種電池具有

5 國土測繪中心全球資訊網-中文網-無人機系統介紹，<<https://www.nlsc.gov.tw/cp.aspx?n=13658>>，(檢索日期：2024 年 6 月 4 日)

6 藍碧玲，〈無人機運用與不對稱作戰結合之重要性〉《國防安全研究院》，2021 年 1 月 19 日。



高能量密度，但續航時間是多旋翼無人機面臨的主要限制之一；無人機飛行時間約15到30分鐘之間，這取決於電池容量、無人機重量和飛行條件。

(四)負載能力和應用

多旋翼無人機不能攜帶與傳統航空器相比之重負荷，但能夠攜帶足夠的設備來執行各種任務，如攝像頭、傳感器、小型貨物等，目前廣泛應用於攝影、地理測繪、環境監測、快遞遞送和軍事偵察等方面。

(五)通信和導航

多旋翼無人機操作依賴於無線通信和導航系統，這些系統使得操作者可以遠程控制無人機，並且通過GPS等技術實現精確的位置定位；進一步發展還包括自主飛行技術，使無人機能夠在無需人工干預的情況下執行任務。

(六)安全和法規

隨著多旋翼無人機的普及，相關安全和法規問題也逐漸成為關注焦點，包括飛行高度、空域管理、隱私權保護和航空安全規範；各國政府和國際組織正在努力制定合適的法律和規範，以確保這些技術得以負責任和安全使用。

表 2 多旋翼無人機的主要技術特性

特性	說明
飛行動力學	多旋翼設計，優異的垂直起降和懸停能力。
控制系統	高度整合電子系統，包括飛行控制器、陀螺儀和加速度計。
電池和續航力	主要使用鋰聚合物電池，續航時間受限
負載能力	可攜帶攝像頭、傳感器等輕型裝備
通信和導航	依賴無線通信和 GPS 導航，發展方向包括自主飛行技術
安全和法規	日益增長的關注，包括空域管理和隱私權保護等

資料來源：作者整理，參考DRAGONFLY UAS翔龍航太，<https://www.dragonflyuas.com.tw/aboutus>

二、多旋翼無人機翼型分析

多旋翼無人機翼型通常區分為三翼、四翼、六翼及八翼等類型，依其機型性能及使用者需求，目前廣泛運用於娛樂拍攝、地圖繪製、救援與農業應用等方面(多旋翼無人機特性比較如表3)。



(一)三翼無人機

這是一種創新型多軸無人機，每個旋翼都配備額外的伺服馬達，使得無人機能夠實現全方位自由飛行。其特點在於能夠輕鬆在空中變換姿勢，這對於避開障礙物非常有用。⁷不過，這種無人機需要更精準的控制與複雜之飛控系统。相比其他類型多軸無人機，它在穩定性、續航力和有效荷重方面較差。這種無人機非常適合於需要高度機動性和靈活操作的任務，如救援、探索和娛樂活動(如圖1)，⁸其特性：

1.抗風級數：因此機型數量稀少，且未公布相關參數，本研究藉各翼型普遍抗風係數推斷，約在2級風以下實施懸停與飛行。

2.飛行高度：6,000公尺。

3.續航時間：40分鐘(鋰電池)。

4.有效荷重：因三翼機型設計上係為了輕便靈巧，故除本身機身(含電池)之重量，無法增負除此以外之荷重(約1.3公斤)。



圖 1 YI Erida 三軸飛行器

資料來源：<https://dronesplayer.com/uav-drone/%E5%B0%8F%E8%9F%BB%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%8F%BE%E8%BA%AB-yi-erida-%E4%B8%89%E8%BB%B8%E9%A3%9B%E8%A1%8C%E5%99%A8%E6%90%AD%E8%BC%89%E5%B0%8F%E8%9F%BB-4k-%E9%81%8B%E5%8B%95%E7%9B%B8%E6%A9%9F/?lang=zh-hant>

(二)四翼無人機

7 小蟻無人機現身！YI Erida 三軸飛行器搭載小蟻 4K 運動相機 - DronesPlayer，<<https://dronesplayer.com/uav-drone/%E5%B0%8F%E8%9F%BB%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%8F%BE%E8%BA%AB-yi-erida-%E4%B8%89%E8%BB%B8%E9%A3%9B%E8%A1%8C%E5%99%A8%E6%90%AD%E8%BC%89%E5%B0%8F%E8%9F%BB-4k-%E9%81%8B%E5%8B%95%E7%9B%B8%E6%A9%9F/?lang=zh-hant>>，(檢索日期：2024 年 1 月 5 日)。

8 胡俊彥，Alexander Lanzon，〈An innovative tri-rotor drone and associated distributed aerial drone swarm control〉(ScienceDirect，Volume 103，May 2018，Pages 162-174) <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889017308163>>，(檢索日期：2024 年 1 月 5 日)。



這是目前市場上最普遍的多軸無人機類型，具有四個旋翼，常見翼型包括X型與十字型，X和十就是表示正對機頭方向時飛行器的形狀，X模式要難飛一點，但動作更靈活。十模式要好飛一點，動作靈活差一點，這種無人機主要優勢在於其高穩定性、良好平衡性和易於操作。⁹但其續航力和有效荷重相對較弱，且對氣流變化比較敏感，因此不太適合高空飛行。這種無人機特別適用於低空和短距離的任務，如娛樂拍攝、地圖繪製和農業應用等，¹⁰其特性：

- 1.抗風級數：4級風力下進行懸停與飛行。
- 2.飛行高度：最高6,000公尺。
- 3.續航時間：約30-40分鐘。
- 4.有效荷重：一般型(非專業型如植保、農用)，其有效荷重可達3公斤。

(三)六翼無人機

- 1.抗風級數：5級風力下進行懸停與飛行。
- 2.飛行高度：最高6,000公尺。
- 3.續航時間：約15-20分鐘。
- 4.有效荷重：常為救援或植保、農業用，有效荷重可達40公斤。

(四)八翼無人機

- 1.抗風級數：6級風力下進行懸停與飛行。
- 2.飛行高度：最高6,000公尺。
- 3.續航時間：約15-20分鐘。
- 4.有效荷重：常為救援或植保、農業用，有效荷重可達70公斤。

表 3 多旋翼無人機特性比較表

翼型類型	抗風級數	飛行高度	續航時間	有效荷重
三翼無人機	蒲氏 2 級風	6,000 公尺	40 分鐘	<1.3 公斤
四翼無人機	蒲氏 4 級風	6,000 公尺	30-40 分鐘	<3 公斤
六翼無人機	蒲氏 5 級風	6,000 公尺	15-20 分鐘	<40 公斤
八翼無人機	蒲氏 6 級風	6,000 公尺	15-20 分鐘	<70 公斤

資料來源：作者整理

9 四軸飛行器的空氣動力原理-台部落 (twblogs.net), <<https://www.twblogs.net/a/5b85c8d82b71775d1cd40fa6>>, (檢索日期：2024 年 1 月 5 日)

10Pounds, P.; Mahony, R., Corke, P. "Modelling and Control of a Quad-Rotor Robot" (PDF). In the Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation. Auckland, New Zealand. December 2006 [2 013-05-16].



三、多旋翼無人機在軍事上的應用概況

在軍事領域，多旋翼無人機其靈活性和低噪音特性使它們成為理想的偵察和監視工具，它們可以悄無聲息地接近目標地區，蒐集情報而不易被發現；無人機可裝載輕型武器，執行精確打擊任務，小型化特性使得軍隊能夠快速部署，並在戰場上提供即時情報支持；我國雷虎科技生產之微型無人機已完成國防部軍用商規無人機標案測試，未來將逐步交裝部隊運用以強化監偵能力，¹¹以下說明各國多旋翼無人機的軍事應用實例：

(一)以色列

以色列一直是開發和使用多旋翼無人機進行軍事用途之先驅。例如，由 Elbit Systems 開發的「雷神」THOR VTOL 小型無人機(如圖2)，專為進行陸地、海上監視和偵察任務而設計，由於其自動起降和執行自主任務能力，特別適合在城市環境中操作；¹²同樣由 Elbit Systems 開發的 Magni 多旋翼微型無人機(如圖3)，旨在提高安全和監控操作的情境意識，是一種車載系統，由單一操作員快速部署，並用於小組、排和連單位在監視和偵察任務中。¹³此兩款無人機於2021年5月中旬配賦以軍一支專責「尋找並摧毀」(Find and Destroy)的高科技部隊，並應用於以哈衝突，在加薩走廊行動中嶄露頭角。¹⁴



圖 2「雷神」THOR VTOL 小型無人機

資料來源：<http://military.people.com.cn/BIG5/n1/2022/0413/c1011-32398014.html>

11雷虎科技公告 樣機完成國防部微型無人機全部 52 項測試 聯合新聞網，<<https://udn.com/news/story/7240/7949445>>，(檢索日期：2024 年 6 月 4 日)

12以色列「無人機部隊」人類史上首見，精準打擊哈瑪斯軍事設施立戰功 - The News Lens 關鍵評論網，<<https://www.thenewslens.com/article/153260>>，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)

13Magni Multi-Rotor Micro UAS, Israel, <https://www.army-technology.com/projects/magni-multi-rotor-micro-uas/?cf-view&cf-closed>，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)

14以色列「無人機部隊」人類史上首見，精準打擊哈瑪斯軍事設施立戰功 - TNL The News Lens 關鍵評論網，<<https://www.thenewslens.com/article/153260>>，(檢索日期：2024年6月4日)



圖 3 Magni Multi-Rotor 微型無人機

資料來源：<https://softei.com/micro-drone-enables-combat-vehicle-to-gather-intelligence/>

(二)美國

美國陸戰隊採購的即時眼Mk2四軸無人機(InstantEye Mk2 GEN3)，普及到每個步兵班中，用於日夜間之偵察任務。這種無人機具有2公里的遙控距離和30分鐘滯空時間，並搭載光電攝影機與熱像儀(如圖4)，¹⁵此型無人機於2018年2月6日部署於美國陸戰隊，每個步兵班配賦兩架，目前已廣泛於多場區域衝突中均有運用，諸如中東戰爭及頓巴斯戰爭。¹⁶



圖 4「即時眼」Mk2 無人機(InstantEye Mk2 GEN3)

資料來源：<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=981>

(三)烏克蘭

15美軍陸戰隊的即時眼班用四軸無人機 - 尖端科技 軍事資料庫，< <https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=981>>，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)

16美軍陸戰隊的即時眼班用四軸無人機 - 尖端科技 軍事資料庫，<<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=981>>，(檢索日期：2024年6月4日)



在俄烏衝突中，無人機的使用已成為戰爭關鍵部分，雙方大量使用了數以千計的無人機來搜索敵人位置或發動攻擊；烏克蘭將原本設計用於商規之無人機-大疆禦3無人機(DJI Mavic 3)改造成武器，並用於對付俄羅斯戰車等重型裝備(如圖5)，¹⁷此種商規無人機初次應用於戰場的時間可追朔至2023年6月。¹⁸



圖 5 大疆禦 3 無人機(DJI Mavic 3)

資料來源：<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-62289026>

(四)俄羅斯

大疆雲哨(AeroScope)是一種無人機監測與定位系統，能夠識別和監控大疆無人機的飛行活動，提供了無人機實際位置、飛行軌跡、飛行員位置等資訊。這個系統原本主要用於加強對無人機飛行安全監控，特別是在敏感地區或禁飛區，俄羅斯在與烏克蘭的軍事衝突中，藉由大疆無人機雲哨定位功能，用以指引導彈實施精準攻擊。¹⁹

在具體應用上可肆應軍事與災害應急等需求，如戰場情報蒐集，TX-45、戰神無人直升機在戰場上可用於蒐集敵方部隊動向，透過其高清和熱顯像技術提供即時的視覺情報，幫助指揮官做出戰術決策，並藉由其長距離、高清的監控能力，使其適合用於邊境巡邏和監控，偵測非法入侵與走私活動，另在元首等重要官員出席之大型活動或集會中，更可提供高空視角，監控群眾動態，協助維持

17烏克蘭戰爭：無人機是如何在這個戰場上使用的？ - BBC News 中文，<<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-62289026>>，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)

18烏克蘭部隊高度無人機化 改裝大疆無人機俄軍懼怕 - yahoo 新聞，<<https://tw.news.yahoo.com/%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E5%88%86%E6%9E%90-%E7%83%8F%E5%85%8B%E8%98%AD%E9%83%A8%E9%9A%8A%E9%AB%98%E5%BA%A6%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E5%8C%96-%E6%94%B9%E8%A3%9D%E5%A4%A7%E7%96%86%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E4%BF%84%E8%BB%8D%E6%87%BC%E6%80%95-144609956.html>>，(檢索日期：2024 年 6 月 4 日)

19俄讚大疆無人機為現代戰場象徵 專家籲勿讓高科技極權侵害人權 — RFA 自由亞洲電臺粵語部，<<https://www.rfa.org/cantonese/news/drone-08182022093345.html>>，(檢索日期：2023 年 12 月 28 日)。



秩序和安全。

多旋翼無人機通信中繼概述

在現代軍事作戰和戰略行動中，暢通的通信指管至關重要，尤其在複雜地形或是城市環境中，地面通信經常受到干擾或遮蔽，隨著無人機技術發展，透過多旋翼無人機在戰場上作為通信中繼臺，多旋翼無人機能夠飛越障礙物，提供無線電信號覆蓋，確保軍隊之間通信連續性和可靠性，增強戰場上戰術效能和指揮控制能力。

一、各國運用實例：

(一)挪威

挪威陸軍使用法國Elistair公司推出的Orion 2繫留無人機(如圖6)，並多次驗證該無人機在極地環境中仍可作為靈活可靠的通信延伸手段；它能夠攜帶2公斤的有效載荷飛行至100公尺高，飛行持續時間達24小時，可用於快速部署和在空中持續運行，可有效支援無線電訊號之覆蓋與延伸。²⁰



圖 6 Elistair「Orion 2」繫留無人機

資料來源：<https://insideunmannedsystems.com/elistair-unveils-long-endurance-orion-2-tethered-drone-for-military-security-and-industrial-use/>

(二)西班牙

西班牙Embention公司開發的NM&TS150繫留無人機(如圖7)，提供員警和全部隊於城市中，用以克服建築物造成之無線電信號中斷之手段，

²⁰Orion 系留無人機-Elistair |系留無人機公司，<<https://elistair.com/solutions/tethered-drone-orion/>>，(檢索日期：2024年1月4日)



NM&TS150繫留無人機飛行高度可達150公尺，²¹並透過地面或車輛提供之電源藉『繫繩』傳輸至無人機上，使無人機能在空中長時間滯留，確保遂行各種城鎮中任務時，無線電信號全程暢通。²²



圖 7 NM&TS150 繫留無人機

資料來源：<https://uasweekly.com/2017/02/10/embention-ts150-tethered-station-unlimited-endurance-flights/>

(三)中共

在2017年九寨溝地震發生後，中共迅速部署了繫留式無人機緊急通信高空基地臺(如圖8)，擔任救援行動中的通信中繼。地震導致了基礎設施損壞和地形複雜性，使得傳統的地面通信手段難以維持。在這種情況下，多旋翼無人機成為關鍵通信工具，這些無人機配備先進通信設備，能夠在空中建立臨時無線電通信網路，確保救援隊伍間的通信指揮與資訊傳輸，這些無人機之使用展示其在應急通信中的巨大潛力，利用繫留技術和地面電源，提供穩定長時間滯空能力，確保了救援全程通信需求。²³

²¹Embention TS150 Tethered Station for Unlimited Endurance Flights，<<https://uasweekly.com/2017/02/10/embention-ts150-tethered-station-unlimited-endurance-flights/>>，(檢索日期：2024年1月4日)

²²用於城市地區運營的通信中繼，<<https://www.embention.com/news/communications-relay-operations-urban-areas-tethered-drones/>>，(檢索日期：2024年1月4日)

²³九寨溝震災 無人機作通信平台，<<https://www.chinatimes.com/newspapers/20170816000828-260309?chdtv>>，(檢索日期：2024年5月23日)。



圖 8 繫留式無人機緊急通信高空基地臺

資料來源：<https://www.chinatimes.com/newspapers/20170816000828-260309?chdtv>

(四)我國

在2019臺北國際航太暨國防工業及臺灣無人飛行載具展上，中華電信與雷虎科技展示了「中華電信空中基地臺系統」，這一系統旨在於我國遭受地震、颱風等天然災害時，迅速提供緊急通信服務，透過無人機和4G/5G行動通信網路的結合，該系統可協助政府第一時間投入救援行動，當地面通信網路因災害中斷時，透過無人機搭載小型基地臺升空提供臨時通信，幫助災區民眾與外界聯繫，並支援救災指揮中心掌握災情，展開救援行動。雷虎科技的同軸雙旋翼無人機CX-180 ICEMAN(如圖9)，可在100米高度長時間滯空，最大起飛重量35公斤，搭載4G/5G小型基地臺，利用繫留纜線供電並傳輸訊號至衛星，再由衛星中繼到地面站，建構完整的行動通信網路，克服「通信孤島」問題，²⁴2022年配合我國「民安8號」大型災害防救災演習，提供救災指揮中心構建即時通訊鏈路，使人員、機具得以調度。²⁵

²⁴ 中華電信攜手雷虎科技 「空中基地台」開創救災新應用，<<https://tw.news.yahoo.com/%E4%B8%AD%E8%8F%AF%E9%9B%BB%E4%BF%A1%E6%94%9C%E6%89%8B%E9%9B%B7%E8%99%8E%E7%A7%91%E6%8A%80-%E7%A9%BA%E4%B8%AD%E5%9F%BA%E5%9C%B0%E5%8F%B0-%E9%96%8B%E5%89%B5%E6%95%91%E7%81%BD%E6%96%B0%E6%87%89%E7%94%A8-112220486.html>>，(檢索日期：2024 年 5 月 23 日)。

²⁵ 雷虎中華電推空中基地台 衝刺救災國防通訊應用 - 中央社 CNA，<<https://www.cna.com.tw/news/afe/202207140389.aspx>>，(檢索日期：2024 年 6 月 4 日)



圖 9 雷虎科技 CX-180 ICEMAN

資料來源：<https://www.cna.com.tw/news/afe/202304300163.aspx>

二、通信中繼的限制與弱點

多旋翼無人機作為現代軍事通信中繼平臺，雖具備極高機動性與部署靈活性，但實際應用中面臨幾項不容忽視的限制及弱點，這可能在特定情境下嚴重影響戰場通信效率與安全性。

(一)限制

1.續航力：與無需頻繁能源補充的固定式中繼站相比，無人機通常只能在有限時間內執行任務後便需返回基地充電或更換電池。常見商規多旋翼無人機續航力約為40分鐘內，對需長時間監控或廣範圍通信支援的軍事行動而言，運用上有所限制。

2.負重力：多旋翼無人機的負重能力取決於其設計和用途，從小型輕量級到大型無人機(如表4)。

表 4 各型多旋翼無人機負重能力表

多旋翼無人類型	負重能力
小型多旋翼無人機 (機身重約 200 克)	500 克 - 2 公斤
中型多旋翼無人機	2 - 6 公斤
大型多旋翼無人機 (機身重超過 1 公斤)	7 - 70 公斤

資料來源：作者整理，參考國土測繪中心-無人機系統介紹調製。



3.環境：多旋翼無人機於惡劣天氣下，如強風或低溫環境，對其飛行穩定性與通信效能受影響。

4.遙控距離：多旋翼無人機的操作距離和信號傳輸能力受限於其通訊技術，常見商規多旋翼無人機遙控距離最大值約為2公里。

(二)弱點

1.防護力低：多旋翼無人機因其體積小、靈活度高使其移動性強，可避免部分直接性攻擊，但在現代電子戰中，面臨信號干擾、GPS欺騙等電子攻擊風險較高。若遭敵方利用高功率電子干擾設備，可能導致無人機失控或通信中斷。

2.資訊保密不足：多旋翼無人機的資訊保密能力受限於其通訊和數據傳輸技術。無人機的操作和數據傳輸需要通過無線通訊，這可能會暴露於竊聽和干擾的風險。若無人機之通訊系統被黑客攻擊，將導致無人機的控制權或敏感數據被竊取。

綜上所述，多旋翼無人機在通信中繼應用中展現獨特優勢，但仍有其伴隨而來之限制與弱點，在戰術規劃與技術創新中應充分考慮，這些限制不僅凸顯選擇與部署通信中繼方案時需謹慎，也導引出未來無人機技術發展與創新的方向。

實驗設計、執行與結果分析

本研究透過商用多旋翼無人機及民用型手持式無線電對講機，驗證藉民用型無人機擔任無線電中繼臺，是否可以有效提升無線電信號的覆蓋範圍，提升無線電通信距離，並於實驗後完成參數蒐集及分析，據以提出建議。

一、實驗設計

(一)實驗裝備諸元介紹

1.無人機諸元：因時間與技術考量，直接向專業廠商購置成機(如圖10)，並配有GPS定位、數據回傳模組，以精確蒐集無人機之飛行高度(諸元如表5)。



圖 10 F550 六軸旋翼無人機

資料來源：作者自行拍攝



表 5 DJI F550(500 級)諸元表

多旋翼無人機型	DJI F550(500 級)
動力來源	鋰聚合物電池
機身材質	強化塑膠
滯空時間	12~15 分鐘(視酬載而定)
遙控距離	1,500-2,000 公尺
抗風能力	10m/s
酬載重量	3 公斤

資料來源：水利署電子報-近期電子報(https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=5881&n=30177)

2.無線電裝備諸元

實驗使用之民用型手持無線電對講機，計兩種款式其諸元分述如下：

(1)UV-5R手持無線電對講機

型號	UV-5R	
功率	5W	
頻率	144-146MHz，430-432MHz	
中繼	不具備中繼轉發功能	

(2)MTS RPT10WVU手持無線電對講機

型號	MTS RPT10WVU	
功率	10W	
頻率	144-146MHz，430-432MHz	
中繼	具簡易中繼功能	



(二)實驗設定

1.地點：為符合當前法規及考量飛行安全性，選定於雲林縣北港鎮草湖里周邊休耕田(236,120)，作為多旋翼無人機通信中繼臺測試位置。

2.通信測試參數：本研究實際於北港鎮草湖里周邊實施測試後，確認兩部實驗用UV-5R (5瓦功率)民用無線電對講機A、B機通信距離，在沒有透過中繼轉發的情況下，通信距離約3.7公里(使用google map量測距離工具測量)；透過MTS RPT10WVU(10瓦功率)民用無線電對講機作為中繼臺轉發訊號後，通信距離提升至6公里；頻率使用法定民用無線電通信頻率VHF144.000-146.000MHz之間及UHF430.000-432.000MHz之間，分別選定兩組固定頻率作為測試參數。

3.調整高度：將民用無線電發射機透過多旋翼無人機，分別在不同的高度實施通聯測試，測試之高度分別為21公尺(VHF無線電全向性桅桿高度)、100公尺(理想飛行高度)。

4.測量通信距離：開啟中繼無線電對講機，並就上述飛行高度參數作為實驗變數，逐次提升無人機飛行高度，並將測試用A、B民用無線電對講機向兩側逐漸遠離，直到無法接收到清晰的信號為止，以此記錄測試距離。

5.重複實驗：對每個不同高度重複上述步驟，以確保數據準確性(全般設計概念如表6)。

表 6 實驗設計概念表

實驗階段	描述	變數	數據記錄
選擇設備	確定適合的無人機和無線電設備	-	設備規格
環境設定	選擇一定點固定無線電中繼臺(無人機)	無線電 A、B 終端距離	信號資料
飛行測試	在不同高度進行飛行	飛行高度	通信距離
數據分析	分析蒐集到的數據	-	統計結果
結果評估	結合所有數據評估結果	-	最終報告

資料來源：作者自行調製

(三)實驗記錄

將測試之日期時間、無人機飛行高度、有效測通距離(從發射機到接收機間最大清晰通信距離)、天氣條件(進行測試時的天氣狀況，因為這可能會影響無



線電波的傳播)及信號強度等相關數據詳實記載於實驗記錄表中，以利後續結果分析作業；在國際無線電通信中，信號強度通常用1到5的等級來表示，這種表示方法稱為信號強度報告(Signal Strength Report)，其中1代表信號最弱，而5代表信號最強(通信信號強度如表7)。

表 7 無線電通信信號強度表

等級	描述	詳細說明
1	不可聽	完全無法理解，無線電通信不可聽。
2	勉強可聽	只能偶爾聽清單個詞或字。
3	可讀但很弱	通信可讀，但非常困難，通常伴隨有噪音。
4	可讀	通信可輕易讀懂，噪音很少。
5	清晰可讀	信號非常清晰，無任何困難或噪音。

資料來源：國際業餘無線電聯合會(IARU)

二、數據蒐集分析

數據表中參數及資料均依日期排序，用於識別每次獨立測試之結果，依實驗設計將UV-5R民用無線電對講機A、B位置、MTS RPT10WVU民用無線電結合F550六軸旋翼無人機飛行高度作為實驗變數，據以測試在上述變數組合下，通信之信號強度測試結果並記錄作為分析之參數(如表8)。

表 8 數據分析比較表

日期	時間	無人機 飛行高度	無線電 有效通信距離	天氣條件 (風速)	信號強度
113 年 11 月 25 日	1000	0 公尺	7 公里	3 級風	3
	1100		6 公里	3 級風	5
	1400		6 公里	3 級風	5
113 年 11 月 26 日	1330	21 公尺	10 公里	3 級風	4
	1420		11 公里	3 級風	3
	1530		9 公里	3 級風	5
	1630	100 公尺	16 公里	3 級風	2
113 年 12 月 23 日	0900	100 公尺	15 公里	4 級風	3
	1040		14 公里	4 級風	4
113 年 12 月 30 日	1400	100 公尺	15 公里	4 級風	3
113 年 12 月 31 日	0900	100 公尺	14 公里	4 級風	4
	1040		14 公里	4 級風	5

資料來源：作者依據實驗結果調製



三、結果分析

本研究透過實驗探討多旋翼無人機擔任無線電中繼臺於不對稱作戰中的應用潛力，結果顯示，無人機飛行高度對於擴展通信範圍具有決定性影響，尤其在不對稱作戰環境下，能有效提升通信覆蓋與信號穩定性，彌補傳統通信基礎設施的不足。此外，多旋翼無人機具備高度靈活性與快速部署之優勢，使其成為維持戰場通信連續性的關鍵資產，以下為實驗數據之分析。

從實驗數據可以看出，無人機飛行高度對有效通信距離和信號強度有顯著影響，在無人機飛行高度為0公尺時，即無人機在地面水平位置，有效通信距離介於6公里至7公里之間，且信號強度在3到5級之間變化，值得注意的是，在相同風速條件下，當通信距離較短時，信號強度較高，這顯示在較短距離內，通信強度相對較好。

當無人機飛行高度提升至21公尺時，有效通信距離增加至9公里至11公里，信號強度則在3到5級之間。這一結果指出，隨著無人機飛行高度的增加，有效通信距離也相應增長，但信號強度變化並不完全一致，是由於高度增加改善了信號的傳播條件，減少了地面障礙物干擾，當無人機飛行高度達到100公尺時，明顯觀察到有效通信距離進一步增加至14公里至16公里。

此外，天氣條件對於無線電通信同樣有著不可忽視之影響，儘管本研究中排除了陰雨和大霧等惡劣天氣條件，但風速的變化仍然在實驗數據中得到了體現，這意味著，在無人機的實際運用中，除了考量通信技術本身外，還需要關注天氣條件對通信效能之潛在影響。

本研究藉透過系統的實驗設計和數據分析，探討使用多旋翼無人機之飛行高度，增加了我國無線電通信既定中繼受限制或彌足距離、盲區等各種影響無線電通信之窒礙，同時為無人機通信系統的設計和優化提供參考與建議，未來的研究可以進一步探討不同類型無人機與無線電通信技術，以及更多外部環境因素對通信效能之影響，以促進無人機技術發展和應用。

結論與建議

一、結論

當前國際環境下，不對稱戰爭已成為一種常見之軍事策略，尤其是用於應對實力較強的對手。作為一個地理位置重要且戰略敏感的國家，深刻認識到掌握不對稱作戰的能力對於維護國家安全至關重要。傳統軍事武器在這種情況下已經不再足夠，因此需要尋找其他有效的方式來增強國防能力。

通信系統在國防戰略中扮演著核心角色，擁有高效且靈活的通信網路是確



保國家安全不可或缺之條件。然而，在現代戰爭中，通信系統經常受到各種威脅影響，包括敵方電子干擾和其他破壞性行為。因此，我國需要一種能夠應對這些威脅並保持通信連續性的解決方案。

多旋翼無人機成為了一種可行且高效的解決方案，不僅可以用來增強傳統通信系統的能力，還可以在不對稱作戰中發揮關鍵作用。這種無人機的靈活性和多功能性使得它們能夠適應各種戰術需求，並在戰場上提供關鍵之通信支援，在不對稱作戰下，戰場的動態性和不確定性需要更加靈活和創新的戰術。若能夠有效地運用民間通用裝具來輔助戰場生存和增強持續力，將會是一大助益。多旋翼無人機正是這種裝具中的一個關鍵元素，它們可以為士兵提供即時情報、通信連接和空中支援，從而提高戰場生存能力和作戰效能。

我國需要不斷探索創新的方式來應對日益複雜之安全挑戰。多旋翼無人機作為一種先進的技術工具，具有出色的通信能力和靈活性，將在未來的國防戰略中發揮關鍵作用，確保國家安全和穩定。這種技術的應用不僅可以強化國防，還可以在不對稱作戰中贏得戰鬥的優勢，確保中華民國的安全和繁榮。

二、建議

多旋翼無人機廣泛於民間運用，目前擔任通信中繼仍存有續航力不足、信號穩定、環境適應、安全性及法規限制等挑戰，建議朝技術改進與創新、多功能、安全穩定性及操作訓練模式化等方面實施發展(如表9)，並逐步運用現有微型無人機及徵集民間物資納入國(陸)軍救災及戰演訓實施驗證，冀以提升通信效益。

(一)技術改進與創新

1.續航力提升：多旋翼無人機的電池續航力問題，可藉由「繫留式」多旋翼無人機設計作為未來設計基礎，如法國Elistair公司設計的Orion 2繫留無人機，²⁶及我國雷虎科技與中華電信合作設計的CX-180 ICEMAN同軸雙旋翼無人機，期使多旋翼無人機中繼臺同時具有高度靈活、機動部署，以及與固定式中繼(站)臺具長時間執行無線電信號中繼等能力；並透過部署多架無人機以形成一個網路，進而提高整體系統的穩定性和覆蓋範圍。

2.增強信號處理能力：透過現有技術開發新型處理器，結合無人機操控信號與無線電發射信號，提高多旋翼無人機中繼臺的操控性、信號穩定性與通信範圍，避免無線電通信信號與無人機遙控信號相互干擾，衍生無人機失控或通信信號受阻。

(二)適應性與多功能性

²⁶Orion 系留無人機 - Elistair |系留無人機公司<<https://elistair.com/solutions/tethered-drone-orion/>>，(檢索日期：2024年1月4日)。



1.環境適應性提升：加強多旋翼無人機的結構設計，使其能夠在更多樣化之複雜環境條件下運作。

2.多任務運行能力：整合其他功能，如偵察或監測，使無人機在執行中繼任務的同時，也能夠進行其他輔助任務。

(三)安全性與穩定性

1.資料安全機制：

隨著無人機數量的增加和作戰任務複雜化，確保無人機系統之通信安全變得尤為重要，未來研究應著重於開發高效的通信驗證機制，這包括使用機器學習技術來識別和預防虛假身份認證以及信號欺騙等，此外，實施先進加密技術和安全協議，將顯著增強無人機通信之安全性和可靠性。

2.抗干擾技術：

依賴單一定位技術，如全球定位系統(GPS)，當其信號被干擾或屏蔽時，可能導致無人機任務失敗，透過運用多元定位系統，結合GPS、全球導航衛星系統(GLONASS)、歐洲伽利略衛星導航系統(Galileo)等多個衛星導航系統，將顯著提升無人機定位準確性和抗干擾能力，故開發專門之信號處理演算法，用於識別和抵抗偽造的GPS信號，將是未來研究的重要領域。

(四)操作訓練模式化

無人機訓練操作的模式化是為了確保操作人員在各種情況下都能高效、安全地操作無人機。這種模式化訓練通常包含以下幾個關鍵組成部分：

1.基礎理論教育

(1)航空理論：學習飛行原理、氣象學、導航和航空法規。

(2)無人機系統知識：了解無人機的結構、組成部件、工作原理及各類傳感器和設備。

2.操作技術訓練

(1)模擬器訓練：利用無人機飛行模擬器進行初步操作練習，熟悉無人機的控制系統和操作界面，模擬各種飛行場景和突發狀況。

(2)實際飛行訓練：在教練的指導下進行實際無人機飛行練習，包括起飛、降落、飛行路徑規劃和應急操作。

3.專業技能提升

(1)任務規劃與執行：訓練操作人員如何制定飛行計畫，執行不同類型的任務，如偵察、測繪、救援等。

(2)數據處理與分析：學習如何處理無人機拍攝的影像和數據，進行數據分析和報告生成。



4.應急處理訓練

(1)故障排除：模擬無人機在飛行過程中可能出現的故障，訓練操作人員如何快速排除故障，確保飛行安全。

(2)應急反應：設計各種突發情況下的應急演練，如通信中斷、惡劣天氣和意外碰撞等，提高操作人員的應急處理能力。

5.法律與倫理教育

(1)法規遵循：學習和理解無人機操作相關的法律法規，確保所有飛行活動都在法律允許的範圍內進行。

(2)安全與倫理：強調飛行安全和操作倫理，避免對他人和環境造成不必要的影響和傷害。

表 9 建議策略與執行作法

挑戰類型	建議策略	執行作法
續航力不足	技術改進	開發新型電池技術或參照繫留無人機作為設計樣板
信號穩定性	技術創新	強化信號處理器和抗干擾技術
環境適應性	結構強化	改進無人機結構以適應多樣環境
安全性問題	安全機制加強	加強通信加密和防範駭客攻擊
法規限制	法規遵守與專業訓練	按法規操作並提供專業訓練

資料來源：作者分析綜整

參考文獻

中文部分

一、官方文件

(一)美國臺灣形象展-產品資訊-緊急部署移動型空中基地臺系統-雷虎科技股份有限公司，< <https://www.taiwanexpousa.com/zh-tw/product/4C0C8612912866DE7679F9A8D7F7C57BE37ABCF0DEAB02AB/info.html> > (檢索日期：2023年12月28日)。

(二)產業技術評析-創新與展示-經濟部產業技術司(moea.gov.tw)，https://www.moea.gov.tw/Mns/doit/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=506。



(三)國家通訊傳播委員會-行動通信網路業務基地臺設置使用管理辦法，http://www.ncc.gov.tw/chinese/law_detail.aspx?site_content_sn=3595&is_history=0&law_sn=1753&sn_f=2115。

二、書籍專刊

胡俊彥，Alexander Lanzon，〈An innovative tri-rotor drone and associated distributed aerial drone swarm control〉(ScienceDirect，Volume 103, May 2018 ,Pages 162-174)。https：[//www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889017308163](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889017308163)。

三、期刊

(一)許然博，〈中共無人飛行載具發展對我海軍威脅〉《海軍學術雙月刊》，第51卷第5期，2017年10月1日，頁115-116。

(二)Christian Brose (2019)。新一代軍事事務革新。《國防譯粹》，第46卷第9期，2019年9月，頁5-14。

(三)林昱甫、李家崧、吳昌翰、洪雅芳、馬鈞文(2022)。無人機系統發展趨勢。《新新季刊》，第50卷第2期，2022年4月，頁17-18。

(四)陳岳揚，〈複雜電磁環境下對本軍通信影響之探討〉《陸軍學術工兵半年刊》，第152期，2018年，頁64-75。

四、網際網路

(一)Bayraktar TB2-俄烏戰爭與兩岸財團法人臺北論壇基金會，https://www.taipeiforum.org.tw/article_d.php?lang=tw&tb=3&cid=184&id=9814(檢索日期：2023年12月28日)。

(二)以色列「無人機部隊」人類史上首見，精準打擊哈瑪斯軍事設施立戰功-The News Lens關鍵評論網<https://www.thenewslens.com/article/153260>(檢索日期：2023年12月28日)。

(三)美軍陸戰隊的即時眼班用四軸無人機-尖端科技軍事資料庫，<https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=981#:~:text=%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E9%99%B8%E6%88%B0%E9%9A%8A%E5%9C%A82018%E5%B9%B42%E6%9C%886%E6%97%A5%E5%AE%A3%E5%B8%83%E6%8E%A1%E8%B3%BC800%E6%9E%B6%E5%8D%B3%E6%99%82%E7%9C%BCMk2%E5%9B%9B%E8%BB%B8%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F,%E3%80%9018%E2%80%A0%E6%9C%83%E5%93%A1%E6%9C%8D%E5%8B%99%E6%A2%9D%E6%AC%BE>(檢索日期：2023年12月28日)。

(四)烏克蘭戰爭：無人機是如何在這個戰場上使用的？-BBC News 中文，



<https://www.bbc.com/zhongwen/trad/world-62289026>(檢索日期：2023年12月28日)

(五)小蟻無人機現身！YI Erida三軸飛行器搭載小蟻4K運動相機-DronesPlayer, <https://dronesplayer.com/uav-drone/%E5%B0%8F%E8%9F%BB%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E7%8F%BE%E8%BA%AB-yi-erida-%E4%B8%89%E8%BB%B8%E9%A3%9B%E8%A1%8C%E5%99%A8%E6%90%AD%E8%BC%89%E5%B0%8F%E8%9F%BB-4k-%E9%81%8B%E5%8B%95%E7%9B%B8%E6%A9%9F/?lang=zh-hant>(檢索日期：2024年1月5日)。

(六)四軸飛行器的空氣動力原理-台部落(twblogs.net), <https://www.twblogs.net/a/5b85c8d82b71775d1cd40fa6>(檢索日期：2024年1月5日)。

(七)美軍陸戰隊的即時眼班用四軸無人機-尖端科技 軍事資料庫, <https://www.dtmddatabase.com/News.aspx?id=981#:~:text=%E7%BE%8E%E5%9C%8B%E9%99%B8%E6%88%B0%E9%9A%8A%E5%9C%A82018%E5%B9%B42%E6%9C%886%E6%97%A5%E5%AE%A3%E5%B8%83%E6%8E%A1%E8%B3%BC800%E6%9E%B6%E5%8D%B3%E6%99%82%E7%9C%BCMk2%E5%9B%9B%E8%BB%B8%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F,%E3%80%9018%E2%80%A0%E6%9C%83%E5%93%A1%E6%9C%8D%E5%8B%99%E6%A2%9D%E6%AC%BE>(檢索日期：2023年12月28日)。

(八)Orion 系留無人機 - Elistair |系留無人機公司, <https://elistair.com/solutions/tethered-drone-orion/>(檢索日期：2024年1月4日)。

(九)用於城市地區運營的通信中繼<https://www.embention.com/news/communications-relay-operations-urban-areas-tethered-drones/>(檢索日期：2024年1月4日)

(十)防救災行動通信再升級無人機變身空中基地臺-新聞-Rti中央廣播電臺<https://www.rti.org.tw/news/view/id/2048870>(檢索日期：2024年1月4日)。

外文部分

一、期刊

Pounds, P.; Mahony, R., Corke, P. Modelling and Control of a Quad-Rotor Robot (PDF). In the Proceedings of the Australasian Conference on Robotics and Automation. Auckland, New Zealand. December 2006 [2013-05-16]。

二、網際網路

(一)Thales - Building a future we can all trust< thalesgroup.com> , (檢索時間：2023年11月23日)。

(二)Magni Multi-Rotor Micro UAS, Israel<https://www.army-technology.com/projects/magni-multi-rotor-micro-uas/?cf-view&cf-closed> (檢索日期：2023年12月



28日)。

(三)Embention TS150 Tethered Station for Unlimited Endurance Flights[http
s : //uasweekly.com/2017/02/10/embention-ts150-tethered-station-unlimited-enduran
ce-flights/](http://uasweekly.com/2017/02/10/embention-ts150-tethered-station-unlimited-endurance-flights/)(檢索日期：2024年1月4日)。

作者簡介

許志豪少校：專業軍官班99-1期、陸軍通信電子資訊學校正規班195期，歷經：排長、通信官、教官、連長，現職：國防大學陸軍指參學院學官。

羅孝全中校：陸院106年班、戰院112年班、戰研所112年班，歷經：行政官、營長、教務處副處長，現職：陸軍指參學院軍事理論組中校教官。