

# 無人機與戰場通訊中繼

曾怡碩

網路安全與決策推演所

## 壹、前言

近年共機擾台不斷，其機型與樣態的變換，目的除了刺探我軍空防配置、加速我空軍戰機耗損，並企圖在我軍雷達與防空陣地監控共機之際，能趁機蒐集電磁參數。去（2021）年 10 月 22 日經我國防部證實，共軍 1 架無人機襲擾台灣西南防空識別區（ADIZ），我軍以雷達、飛彈持續監控。共軍此舉除試探我空軍因應作為之外，也實際展現其對於遠距操控無人機的通訊管制能力。

無人機在情監偵-打擊的效能日益彰顯，無論是對於無人機的飛行控制、還是無人機的感知資料傳輸，均須仰仗控制站對於無人機以及無人機之間的通訊。鑒於台海防衛作戰時，我軍地面之指管通情監偵在遭敵破壞後，面臨戰場通訊的重大挑戰。無人機為不對稱作戰利器，尤其在台海防衛作戰構想中，對於制海、反登陸、國土防衛作戰之指管通資情監偵之備援，可謂至關緊要。若能充分運用無人機通訊中繼的功能，將有助於增進、維繫或恢復戰場管理效能。故實有必要針對無人機在戰時通訊中繼的作用，做進一步檢視。以下以文獻分析法，分別檢析無人機通訊中繼之運用、作戰面臨之威脅與應用侷限，最後並提出我軍運用對策之初步建議。

## 貳、運用無人機作為通訊中繼

戰場傳輸訊號會受到地形阻擋、地球曲率和大氣吸收等因素的影響，引起電波的反射、散射和繞射，為克服地形、地物以及大氣等因素的影響，並延伸訊號的有效距離，通訊中繼是一種普遍採用

的方式。飛行高度約在距地表 20 公里的平流層高空氣球、<sup>1</sup>以及太空低軌或同步軌道通訊衛星，都是比無人機更早出現的選項。但無人機相對而言，具備成本與機動性兩大優勢，加上可低速滯空相對隱匿，較難遭目獲摧毀的特性，以無人機進行通訊中繼運用，已成為戰場通訊韌性不可或缺的備援選項。

對於無人機飛行控制與訊息傳輸，不外乎透過衛星或者空中/地面通訊進行。在無人機通訊網路中兩個裝置或節點之間的信號交換頻道稱為通訊鏈路。控制站與無人機之間進行的即時訊息交換便需要通過通訊鏈路來實現。<sup>2</sup>因此，無人機彼此之間可為通訊中繼，僅需配備通訊裝備，即可擔任無線電通訊中繼站，相當於充當空中基地台，俾利克服陸上地形複雜狀況及海上、空中遠距通訊不繼之狀況，延伸通訊距離，以彌補衛星通訊之不足，故可謂「窮國的衛星」。<sup>3</sup>

近年所見多為災防時以無人機做為通訊中繼，透過無人機飛到災區，提供 WIFI、LTE、4G 的通訊環境，形成空中網路熱點讓災民可以取得通訊。<sup>4</sup>視距外飛行作業則可運用通訊回傳即時的資料與影像，尤其對於救災現場評估與物資運送至為緊要。2018 年台灣首度使用無人機進行偏鄉山區醫療物資運補，將毒蛇血清從海拔最高的阿里山鄉衛生所遞送至里加部落，原本一個小時以上車程遞送時間，縮短到僅十分鐘，全程使用 4G-LTE 通訊。<sup>5</sup>近期對岸運用無人

---

<sup>1</sup> David Hambling,〈新型太空競賽——那些比空氣更輕的航空器〉，《BBC 中文網》，2018 年 6 月 24 日，<https://www.bbc.com/ukchina/trad/vert-fut-44591893>。

<sup>2</sup> 高丈淵，〈無人飛行載具市場及觀察與投入評估建議〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 31，[http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912\\_all.pdf](http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf)。

<sup>3</sup> 陳欣倫，〈UAV 納入陸戰隊情監偵運用之研究〉，《海軍學術雙月刊》，第 51 卷第 2 期，2017 年 4 月 1 日。

<sup>4</sup> 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 82，[http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912\\_all.pdf](http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf)。林昱甫、馬鈞文、陳力諺、彭智冠，〈無人機酬載與應用趨勢分析〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 78，[http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912\\_all.pdf](http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf)。

<sup>5</sup> 張東琳，〈商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展〉，《工程》，第 93 卷第 4 期，2020 年 12 月，頁 61，[http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912\\_all.pdf](http://www.cie.org.tw/cms/JournalFiles/10912_all.pdf)。

機作為災區通訊中繼最著名例子，就是 2021 年河南水災時，中共以軍用翼龍二型無人機改造之翼龍 2H 救災無人機，搭配地面控制站與吊掛應變通訊夾艙，在「斷路、斷電、斷網」環境下，投入災防應變任務。該機飛行近 1200 公里後，搭起空中移動信號基站，短暫恢復穩定連續的中國移動公網通訊，覆蓋範圍達約 50 平方公里，不到 2 小時內就累計接通了 2572 個用戶，產生 1089.89M 的流量。<sup>6</sup>

無人機在戰時作為受損通訊中繼系統的替代、甚至可讓地面倖存之雷達、基地台，透過中繼無人飛行載具進行廣播，對於台海防衛作戰指管通資情監偵系統承受戰損後的通訊中繼，具有關鍵備援的重要角色。利用無人機攜帶網路通訊裝置在戰區快速建立空中無線中繼骨幹（backbone）網路，依環境限制自動形成無線骨幹「拓撲」（Topology）。「拓撲」乃一視距外多機飛行控制系統，可同時監看多架無人機之飛行航線與狀態，在必要狀況下能遠端命令無人機降落或返航。<sup>7</sup>當無線連結中斷時，無線骨幹「拓撲」可運用「行動隨意網路」（Mobile Ad Hoc Network，MANET）立即啟動節點自組織修復機制，自動反應調整路由規劃，將封包導向備援路徑，維持穩定的空中無線中繼骨幹網路連線品質。<sup>8</sup>

參照無人機於災區建立通訊中繼的概念，在遭遇敵攻擊導致基地台、基礎網路建設損毀時，無人機隊建立機對機通訊連結，可延伸並擴大訊號覆蓋範圍，在空中形成一個「多跳」（multi-hop）無線中繼骨幹網路，可依布建範圍需求而採多台串接延伸至戰區內，在基礎網路建設被破壞的戰區裡，達成戰區資訊的即時傳輸。當連結

---

<sup>6</sup> 楊晨、劉彥君，〈“四川造”翼龍無人機為災區送去手機信號〉，《華西都市報》，2021 年 7 月 23 日，<https://e.thecover.cn/shtml/hxdsb/20210723/157165.shtml>。

<sup>7</sup> 張東琳，〈商用無人機視距外飛行（BVLOS）的應用發展〉，頁 60。

<sup>8</sup> 康又升、何承運，〈無人機救災通訊應用〉，《工業技術研究院電腦與通訊月刊》，2020 年 11 月 25 日，<https://collegeplus.itri.org.tw/2020/11/25/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9F%E6%95%91%E7%81%BD%E9%80%9A%E8%A8%8A%E6%87%89%E7%94%A8/>。

到堪用基地台所發送訊號，就可用多個具備對外連線的無人機，分散戰區所需要的對外連線，且封包傳遞是由每個節點依照智慧路由演算法，做出最佳路由決策進行動態路由，如此可避免網路因為中央控制器失效時，無法串接空中無線中繼骨幹網路的「單點失效」（single point of failure）問題。無人機隊將在戰區建立「網狀」（mesh）的空中無線中繼骨幹網路，若需要連線至對外網路時，無人機將使用捷徑路由技術，以距離最近的對外通訊之無人機進行數據傳輸。在無人機需緊急迫降或者本來提供對外連線之無人機無法提供網路時，運用容錯轉移技術，自動切換到其他可對外連線的無人機，等待迫降之無人機重新上線之後，將自行恢復無人機之間的通訊鏈路，以增強通訊韌性。<sup>9</sup>

## 參、無人機通訊中繼面臨之威脅及局限

無人機通訊中繼有其局限，例如，無人機太接近電塔、基地台、或頻段接近的電台廣播，無線遙控和即時影像傳輸的訊號便很有可能受到干擾。<sup>10</sup>另一方面，無人機擔任通訊中繼任務面臨的局限，往往來自所受之威脅。事實上，無人機遭受之威脅，與一般反制無人機無異，在本期特刊另有專文分析無人機遭受之反制威脅，本文後續僅針對「非動能」（non-kinetic）手段進行分析。對於無人機飛行控制與訊息傳輸，不外乎透過衛星或者空中／地面通訊中繼進行，故衛星與地面站與無人機彼此之間無線通訊，成為反制關鍵所在。若要反制敵方無人機群，主要是使用雷達、紅外線、超聲波等感應器探測獲取目標後，進而運用無人作戰系統採無線通訊、控制的特點，藉由分析辨識和解碼等手段，以「軟殺」方式干擾或接管敵方對其無人機群的控制。<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> 康又升、何承運，〈無人機救災通訊應用〉。

<sup>10</sup> 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁 89。

<sup>11</sup> 李佳琦，〈國防科大專家帶你解碼無人作戰蜂群戰術〉，《環球雜誌》，2020 年 12 月 21 日，

## 一、無人機通訊中繼面臨之威脅

### (一) 定位系統干擾

若發送與 GPS 同頻率干擾信號，或大功率偽造 GPS 信號，令無人機無法接收正確位置資訊。只要掌握公開的 GPS 訊號定義、通訊鏈、通訊協議，計算 GPS 訊號發送位置、時間，利用無人機選擇接受高強度訊號特性，以大功率發送具特定指向的偽造 GPS 訊號，即可達到欺騙攻擊目的。<sup>12</sup>

### (二) 通訊網路安全

鑑於無人機是透過無線通訊進行操作，訊號通道切換頻繁，網路「拓撲」變化迅速，通訊鏈路隨時切換，所以敵方可藉由發射大功率干擾訊號，覆蓋正常通訊，造成降低通訊品質、中斷通訊目標。此外，無人機中繼通訊必須嚴防惡意中繼問題，及資安議題中常見的「中間人威脅」(man-in-the-middle)<sup>13</sup>——敵方可以建立大量無人機虛假身份識別，變造虛假訊號傳送給我方無人機中繼傳訊；或者利用路由分配演算分配特性，藉由在兩惡意節點間建立傳輸大量傳輸訊號的隧道，取代原有正常通訊渠道，進而控制大部分路由並截取訊號。<sup>14</sup>在未經加密的通訊管道下操作無人機，可能讓敵方藉駭侵截取、修改、偽造影像、數據，甚至奪取控制權，使偏離原先任務目標，或癱瘓機體本身。<sup>15</sup>

因此，基於資訊安全考量，必須對無人機、伺服器、地面管控

---

[http://www.81.cn/big5/jx/2020-12/21/content\\_9955747.htm](http://www.81.cn/big5/jx/2020-12/21/content_9955747.htm)；〈反無人機蜂群的“技”與“術”〉，《中國軍網》，引自《人民網》，2021年09月10日，<http://military.people.com.cn/BIG5/n1/2021/0910/c1011-32223504.html>。

<sup>12</sup> 廖竣鎔、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，《通信技術》，第53卷第9期，2020年9月，頁2286。

<sup>13</sup> 蔡宜學，〈惡意中繼站伏擊通訊標準缺陷 假基地台恐成 5G 安全隱患〉，《新通訊元件雜誌》，2020年3月9日，<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/29A4205C3A3C4231A4C59D782CEF6359>。

<sup>14</sup> 廖竣鎔、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁2286。

<sup>15</sup> 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁90。

制站軟、韌體系統中，增加驗證機制。<sup>16</sup>目前無人機通訊運用「軟體定義無線電訊號」(Software Defined Radio, SDR)，以利達到跳頻保密作用；此外，無人機群「拓撲」系統能解析無人機傳輸之原始訊息，以加密的 HTTP 持久連線進行資料交換與共享。<sup>17</sup>在無人機安全保密方面，包括在物理層、鏈結層、網路層，藉由無線電頻率特徵識別、抗干擾、輕量級認證協議、無線接入控制、加密傳輸、攻擊測試以及 MANET 網路組織安全防護，達到無線網路安全。<sup>18</sup>

## 二、無人機通訊中繼局限

### (一) 頻譜限制

商用無人機僅能基於國際電信聯盟無線電通訊部門 (ITU, Radiocommunication Sector) 的 ISM (Industrial Scientific Medical, ISM) 頻段，包含了 13.56 Mhz、27.12 Mhz、40.68 MHz、433 Mhz、915 Mhz、2.4 Ghz、5.8 GHz 等頻段。<sup>19</sup>軍用通訊頻段一般在頻譜劃分時已另規劃專門頻段，但因商用通訊需求而面臨擠壓，且軍用無人機需要訊號傳輸距離較遠，在頻段使用必須有足夠頻寬，方足以支持高解析度影像的傳輸，若頻譜資源限縮導致共用頻譜的裝置增多，對無人機通訊干擾相對將較為嚴重。即使運用「跳頻」與「展頻」技術以提升無人機通訊之抗干擾能力，基於無人機 MANET 特性，個別節點即使具機動性，「跳頻」與「展頻」仍將受限於頻寬與網路容量。<sup>20</sup>

### (二) 酬載與續航力限制

無人機可同時身兼偵察與通訊中繼，以支援戰場指管通情監偵之韌性，另可遂行打擊任務。但無人機作為通訊中繼載台，除了其

---

<sup>16</sup> 林俊佑，〈論無人機商用服務與整合技術〉，頁 90。

<sup>17</sup> 張東琳，〈商用無人機視距外飛行 (BVLOS) 的應用發展〉，頁 60。

<sup>18</sup> 廖竣錯、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁 2287。

<sup>19</sup> 林昱甫、馬鈞文、陳力諺、彭智冠，〈無人機酬載與應用趨勢分析〉，頁 66。

<sup>20</sup> 廖竣錯、程永新、傅江，〈無人機系統安全保密體系研究〉，頁 2289。

酬載與續航力之外，還必須考量通訊基地台電源功率、散熱效能、尺寸限制、成本因素。若僅須滿足語音通訊，以數架無人機攜帶兩台國軍 CS/PRC-37C 跳頻無線電機，即可滿足聯兵營戰場通訊需求。但若既要滿足影音通訊，又要能長距離通訊傳輸，傳輸功率必須增強，勢必導致耗電力需求越大，電池重量也加大，而散熱需求也隨之增高。

若無人機需具備多重偵察或通訊手段，酬載可能有所限制之餘，也造成續航力受限。無人機若要實現「偵—打一體」，而戰場偵察結果須經通訊回傳指管中心評估後，再由指管中心下達攻擊命令。如此一來，偵察、通訊、定位、武器酬載負荷都會是無人機尺寸與續航力考量。此外，如前述無人機本身即具備一般通訊中繼功能，倘若該機主要肩負電戰干擾任務，因為必須針對敵之接收器予以定向大功率干擾，除了電力消耗考量之外，還要確保干擾方向與頻段不會影響到通訊鏈路。

## 肆、結語

無人機可作為台海防衛作戰制海、反登陸、國土防衛作戰之指管通資情監偵之備援，在地面固定通訊設施遭敵破壞或癱瘓時，運用無人機作為通訊中繼，對於戰場管理韌性至關緊要。在頻譜有限條件下，建立空中無線中繼骨幹網路，自動反應調整路由規劃，並運用「跳頻」與「展頻」實現抗干擾。值得注意的是，通訊中繼須防範偽造 GPS 信號以及資訊安全之「中間人威脅」，因此必須嵌入加密與認證機制。

運用無人機通訊中繼，有其酬載與電池功率限制，加上機件耗損與遭敵毀傷的考量，建議可以預置建立相當數量機隊及無人機用通訊設施，以滿足戰場通訊備援韌性需求。此外，在「偵測即嚇

阻」概念架構下，<sup>21</sup>我方宜優先與友盟建構通訊資料鏈結，藉我方與友盟通用無人機之內建通訊鏈結，作為未來建立共同作戰圖像之基石。最後，作為反向思考，考量通訊干擾的不利因素，我軍進行灘岸殲敵與國土防衛之不對稱作戰之際，「偵—打一體」無人機可考慮開發與配置影像解析邊緣運算裝置，由於相關裝置相當輕便，除有利實現快速打擊之外，也降低通訊載荷與通訊干擾之資安風險。

作者曾怡碩為美國喬治華盛頓大學政治學博士，研究領域為軍隊與網路安全、資訊作戰、數位監控。

---

<sup>21</sup> 「偵測即嚇阻」概念可參照以下報告：Thomas G. Mahnken, Travis Sharp, and Grace B. Kim, “Deterrence by Detection: A Key Role for Unmanned Aircraft Systems in Great Power Competition,” *Center for Strategic and Budgetary Assessments*, April 14, 2020, [https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA8209\\_\(Deterrence\\_by\\_Detection\\_Report\)\\_FINAL.pdf](https://csbaonline.org/uploads/documents/CSBA8209_(Deterrence_by_Detection_Report)_FINAL.pdf)。

# Drone Communication Relay on the Battlefield

*Yi-Suo Tzeng*

*Assistant Research Fellow*

## Abstract

Using drones as “aerial base stations” for battlefield communications has the advantages of overcoming terrain barrier, being lower cost than satellite communications and low speed hover makes them relatively concealed, making them the “satellites of poor countries”. Drones are effective asymmetric warfare weapons; in particular, in Taiwan Straits defensive operations thinking, drones can substitute for damaged communications relay systems and can even allow surviving surface radar and ground stations to broadcast via relay Unmanned Aerial Vehicles, having a key backup role for communications relay in Taiwan Straits defensive operations when Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance *Systems* suffer battle damage in wartime. Under the condition of limited frequency spectrum, build an aerial wireless relay backbone network and automatic response adjustment of routing planning and use “frequency hopping” and “spread spectrum” to achieve interference resistance. In particular, communications relay must guard against fake GPS signals and cyber security “intermediary threat” and must be encrypted and have a verification mechanism. Also, using drone communication relay involves restrictions of payload and battery power, as well as wear of drone parts and destruction or damage by the enemy. It is suggested that a drone fleet

of substantial quantity and drone communications facilities are established in advance to meet the need for battlefield communications backup resilience. Finally, Taiwan should establish communications data link with our allies and use the inbuilt communications links of our drones and those of our allies as the base for building joint operation pictures.

**Keywords:** Drone communication relay, battlefield communications support, command, control, communications resilience, drone communications security