

通訊韌性：政策與技術趨勢

Communication Resilience : Policies and Technology Trends

May 29, 2024



IEK Consulting

楊欣倫 Allen Yang



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

通訊韌性：政策與技術趨勢

Communication Resilience : Policies and Technology Trends

楊欣倫 Allen Yang



摘要

俄烏衝突、以哈衝突凸顯通訊韌性對於政府指揮的重要性，低軌衛星寬頻通訊首次被用於戰場、人道救援等工作。鑒於通訊自主性與對外聯繫暢通，自有衛星星系作為緊急時刻對外聯繫保障也被多國列入開發計畫。極端氣候衍生高頻率發生的野火、颶風、洪水/土石流等，以及地震、火山等地質災害，對於基礎建設造成毀滅性的後果，因此在災害預防、救災與災後復原等面向，將更強調地空整合、更多元化的通訊互補，涵蓋各高度的衛星通訊、高空基地台平台(定翼或多旋翼無人機、氣球、飛船等)，地面基礎設施基地台、微波、海底電纜等，從固定到可移動可攜的概念，以因應頻發的自然災害與地緣政治觸發的軍事衝突。

一、關鍵國家「通訊韌性」政策

俄烏、以哈衝突持續拉高地緣政治風險，各國政府開始思索面對地面通訊網路，遭到實體破壞或網路攻擊癱瘓無法提供通訊時，戰備通訊模式跟針對民生領域的通訊基礎建設該如何建置，以提升國家安全與通訊韌性。

通訊韌性成為熱門議題的另一個重要因素，則來自極端氣候帶來的乾旱野火、洪水/土石流、毀滅性颶風/颱風，以及地質活動造成的災害，諸如強烈地震、火山爆發及伴隨發生的海嘯等，都將對一地區的基礎建設造成大規模的破壞，且可能造成地貌的改變，進而提高救災團隊進入與災後復原的難度。

從災前預防、災害發生救援、災後復原的觀念日漸受到重視，也成為各國政府在制定相關政策上的首要任務，特別在因應地緣政治變化的澳英美三方安全夥伴(AUKUS)，或是在環太平洋地震帶國家，陸續提出相關對於通訊韌性的政策與整備，地方政府與民間也積極開發新興通訊技術與創新應用解決方案，包括高空通訊平台(High Altitude Platform Station, HAPS)與低軌(Low Earth Orbit, LEO)衛星通訊(Satellite Communication)等技術也因此受到相當程度的關注。除了緊急用途外，善用各類通訊技術來促進寬頻網路使用、鼓勵企業創新應用也成為重要的一環。

(一) 美國 FCC 提「未來單一網路：以太空補充地面涵蓋」草案

美國聯邦通訊委員會(Federal Communications Commission, FCC)於 2023 年 3 月 17 日發布「未來單一網路：以太空補充地面涵蓋」(Single Network Future: Supplemental Coverage from Space)擬議規則制定(Notice Of Proposed Rulemaking, NPRM)，提出以太空通訊補充地面網路涵蓋(Supplement Coverage from Space, SCS)之監理框架草案，允許衛星系統經營者提供之服務得補充地面行動通訊網路經營者的網路涵蓋範圍，特別適用於偏遠及無法提供地面通訊網路服務或服務不足的地區。美國 FCC 提出之管理框架預期價值包括：

- 提供全區涵蓋：傳統的地面網路存在一定的服務盲區(Dead Zone)，透過單一網路可以達成全區涵蓋，從而實現更加普及的通訊和數據傳輸。
- 提高接取網路之穩定性與高數據傳輸速度：由於單一網路可以利用多種技術建立通訊鏈路，如衛星、微波、光纖等，因此可以達成更高的連線穩定性和容錯能力(Fault Tolerance)。
- 優化通訊網路設施建設：單一網路可以利用既有的設施和技術，例如光纖、微波和衛星等，減少對新設施和技術的需求，因此可以降低通訊網路建設和維運成本。

(二) 英國成立基金推動「結合衛星、無線及固定網路」創新應用

英國創新科技部(Department for Science, Innovation and Technology, DSIT)、交通部(Department for Transport)、環境、食品暨農村事務部(Department for Environment, Food & Rural Affairs, DEFRA)及城鎮升級、住房與社區部(Department for Levelling Up, Housing and Communities)於 2023 年 6 月 6 日宣布將投入 700 萬英鎊成立新基金，用於測試結合衛星、無線及固定網路的新方法，以幫助農民和旅遊業在偏遠地區獲得快速且可靠的網路連接，進而推動農村經濟發展。試驗地區的農村企業透過改善網路連通性，以充分利用新的農業技術，如使用新的無人機技術即時監測農作物和家畜、支援景觀和野生動物保護工作，或為遊客開發互動體驗。

此基金為英國政府為促進農村社區的住房、交通、數位連接和就業所採取的廣泛措施之一，配合其在今年稍早承諾的一項 800 萬英鎊資助計畫，藉由衛星連接為英國最偏遠地區多達 35,000 戶家庭和企業提供優化的高速寬頻服務，速度將比目前可用的寬頻連接快十倍之多。

(三) 加拿大布電信政策更新指令

加拿大聯邦政府根據「電信法」第 7 條，於 2023 年 2 月 13 日向廣播電視及通訊委員會(Canadian Radio-television and Telecommunications Commission, CRTC)發布電信政策更新指令(包含政策方向、目標、有效監管原則、固網競爭注意事項、行動競爭考慮因素、處理消費者事務方法等)，要求 CRTC 制定新規則以促進電信產業競爭、提高資費可負擔性、提高消費者利益與鼓勵創新，主要目標如下：

- 確保加拿大包含農村、偏遠地區與原住民社區在內的所有地區，都能以可負擔的價格使用具高品質、高信賴度且富韌性的電信服務。
- 對於新興、區域性或規模小於現提供國家電信服務的電信業者，降低其市場進入與競爭障礙。
- 促進電信服務創新，含新技術與差異化產品服務。
- 刺激研發與電信服務相關的無形投資。
- 鼓勵各種形式的競爭與投資。
- 強化及保護消費者權利，包含網路接取相關權利。

(四) 澳洲「電信抗災創新」計畫

澳洲政府於 2023 年 8 月 14 日宣布開放電信抗災創新(Telecommunications Disaster Resilience Innovation, TDRI)計畫之申請，該計畫旨在提升自然災害期間電信網路恢復能力，尤其是農村、偏遠地區與原住民社區，行動網路業者(Mobile Network Operators, MNO)、行動虛擬網路業者(Mobile Virtual Network Operator, MVNO)、澳洲國家寬頻網路公司(National Broadband Network Company, NBN Co)及其他具澳洲商業行號(Australian Business Number, ABN)之公司皆為適用對象。

澳洲政府共挹注 5,000 萬澳幣於 TDRI 計畫，兩大重點項目分別為：

- **可提高災害期間電信韌性與可用性之早期創新技術**：包含導入新的或強化衛星連接，如低軌衛星(Low-Earth-Orbit, LEO)，或可同時監控網路並與緊急服務共享關鍵資訊之新方法，投入金額為 2,000 萬澳幣。
- **電力恢復解決方案**：包含獨立離網電源解決方案(stand-alone off grid power solution)、可調度電源供應及延長電信基礎設施備用電源時間之相關技術，投入 3,000 萬澳幣經費支持。

(五) 日本總務省公布 2023 年資通訊白皮書

日本總務省於 2023 年 7 月 4 日發布 2023 年資通訊白皮書，以「實現新時代所須之強韌且健全的數據流通社會」為特輯題目，整理日本數據流通發展進程，分析數據流通與運用現狀、課題和新趨勢，與通訊相關的目標與相對應措施如下所述：

1. 建立可支援數據流通的強韌通訊網路

- 建構防災性強的通訊網路，並確保替代通訊方式(如電信業者間漫遊、非地面網路)，以打造在緊急狀態也可繼續使用數位服務的環境。
- 推動資料中心和海底電纜等分散化，以提升災害時的韌性。
- 面對愈加複雜的國際情勢，為保障經濟安全，強化網路安全及對供應鏈風險的應對。

2. 盡早實現可支援超高速和超大容量數據流通的 Beyond 5G(B5G)網路

- 強化與加速推動可實現超高速、超大容量和超低延遲之數據流通的 B5G 和 6G 網路，以推動元宇宙等新型服務與數據主導型「Society 5.0」社會。
- 面對愈益嚴重的地球暖化等環境問題，盡早實現 B5G，並運用其進行超低耗電數據傳輸。

二、通訊韌性關鍵技術

地空整合通訊韌性技術，在通訊基礎上使用包含衛星通訊、高空基地台平台(HAPS)、地面通訊(4G/5G)、微波、海底電纜等，擴展備援與漫遊系統，在緊急狀況或大規模災害發生時發揮通訊韌性的效能。另一方面也有無人機上的攝影酬載結合 5G 通訊作為操控飛行與傳輸及時高解析度影音；資料庫結合 IoT 大數據透過 AI 工具來進行洪水、野火等災害的預測。最後，從前面各國政策中也看到離散型微電網、發電與儲能設施、AI 節能系統的搭配使用，都將成為配套的一環，缺電往往也是通訊系統失效的關鍵。

資訊安全與數據保存則是衍伸的議題，事關人為攻擊或天災後的復原能力，因此美國、歐盟優先針對特定對象如政府、金融機構等推行異地備分、離線避風港資料儲存庫等措施，以確保在遭受攻擊時，仍有一個隔離、安全且不受感染的資料副本能夠被存取，並且在災難後啟動復原程式，讓系統還原運行。

最後則是在災區或是缺乏基礎設施地區的資料中心設施整備，也使「模組化資料中心(Modular Data Center, MDC)」的技術受到關注，除了伺服器與儲存設備外，還包含發電設施、衛星通訊與地面通訊等連接，可快速運輸與安裝，除了災區救援與復原工作使用外，也深得國防與政府機構的青睞。

(一) 衛星通訊

1. 低軌衛星寬頻通訊

Starlink 在 2020 年在 Beta 版測試階段，在美國華盛頓州的鄉村地區用戶進行試驗，即提供地方政府用於協助救災，後續隨著星鏈衛星數量的擴張，可支持全球商業低軌衛星寬頻服務。2022 年爆發俄國與烏克蘭衝突，Starlink 提供設備與網路服務用於人道救援使用。2024 年以色列-哈馬斯衝突，以色列政府已經批准，在以色列和加薩走廊部分地區使用星鏈服務，支援阿拉伯聯合大公國在加薩最南端城市拉法(Rafah)運營的一座野戰醫院網路，可與其他醫院進行視訊會議和即時遠端診斷，進行可能挽救生命的醫療諮詢。

Starlink 反對烏軍用於軍事行動結合無人機使用，創辦人馬斯克曾公開聲稱曾關閉「星鏈」阻烏軍襲擊俄艦，此事引起美國參議院徹查。全球軍方及政界領袖日感憂心星鏈衛星網路，已成為衛星網路科技的霸主，穩定地累積權力，目前缺乏監督及法規來做管理，而 Starlink 的管理若能因馬斯克個人喜好決策或對公司營運的指導方向干涉，將高度風險影響各國採用的意願。台灣雖曾洽談引進，但仍多項落地監管問題須解決；中國大陸更是謹慎抗拒，並設法自行發展相同衛星通訊網路系統。

2. 手機直連衛星語音通話與簡訊傳輸

Apple iPhone14、15 版本智慧手機提供全球單向簡訊求救服務，Apple 與 Globalstar 合作的衛星服務是建構於緊急 SOS、Medical ID、緊急連絡人和 Find My location 分享等功能之上，允許公共安全應變中心，在緊急情況下，能聯繫到更多用戶；使用者無需額外安裝軟體或協議，可以直接與有接受簡訊功能的緊急服務中心聯絡。

2023 年 8 月夏威夷州茂宜島(Maui)野火釀下巨災，導致手機通訊中斷，當地居民靠蘋果手機上的緊急 SOS 求救功能，利用衛星系統與緊急服務部門取得聯繫，順利獲救逃生。iPhone 14 所有型號都配有此功能，當使用者無法聯繫緊急聯絡號碼後，就會跳出連接衛星的選項。

2024 年，中國大陸品牌公布多款支援同步軌道衛星(Geostationary Orbit·GEO)服務的智慧手機，但僅限於中國大陸使用。另一方面，隨著 Starlink 發射搭載手機直連酬載新型衛星上低軌道，宣布在 2024 年推出「Direct to Cell」手機直連衛星服務，與行動通訊業者合作，啟用簡訊傳送功能，並在 2025 年實現語音和數據連線。

3. 多軌道、多星系衛星通訊整合

為了達成通訊韌性的目標，衛星通訊成為必然的技術選項之一，傳統衛星通訊營運商包含採用同步軌道衛星，如中華電信 ST-2 衛星；中軌道(Medium Earth Orbit，MEO)，多用作衛星導航使用，提供寬頻通訊的代表廠商如 SES；及低軌道衛星(Low-Earth Orbit，LEO)，如 Globalstar、Iridium 等，受限於衛星數量、使用頻段與頻寬，主要使用窄頻作為衛星語音通話與簡訊傳輸使用。新興低軌道衛星則聚焦寬頻應用，較受矚目的包含 Starlink、OneWeb、Amazon Kuiper、Telesat Lightspeed。

近幾年傳統衛星廠商為了迎戰新興低軌道寬頻服務的市場競爭，紛紛開啟合併與合作的談判，目前完成合併有 Eutelsat 收購 OneWeb，獲得核准的包含 Viasat 收購 Inmarsat、SES 與 Intelsat 則宣布合併。在美國舉辦的 Satellite 2024，多家衛星廠商高層出席，紛紛表示將進行多軌道整合、單一終端可接收多種訊號的設計概念發展，下階段也可能朝向多系統整合邁進，形成衛星網路漫遊的便利性，將更能強化覆蓋與不斷線的通訊韌性。

(二) 高空平台基地台(High Altitude Platform Station, HAPS)

在全球推動進一步推進 5G 並最終導入 6G 的過程中，正在採取措施擴大全球覆蓋範圍，包括海洋和空中以及偏遠和難以到達的地區。此類舉措將包括在距地球約 20 公里的平流層飛行的 HAPS，以及使用地球靜止軌道(GEO)衛星和低地球軌道(LEO)衛星的非地面網路(NTN)技術。

HAPS 網路被認為是一種相對簡單的空中和海上連接解決方案，也是部署災害對策的有效平台。使用 NTN 技術提供空中無線電存取網路服務，統稱為 Space RAN，預期將支援超廣覆蓋、提高抗災能力以及增強的 5G 和 6G 的全球行動通訊。此外，HAPS 平台還可以互連到最近的網路地面站(Gateway)，並將現有行動服務的覆蓋範圍直接擴展到最終用戶設備，提供包括農村、緊急和海上連接在內的服務選項。

高空平台基地台所搭載的無人載具可以是無人機、氣球或飛船等，它可以做為通訊中繼和監控載具。Google Project Loon 曾發展過高空氣球解決方案；工研院 2023 TechDay 展示飛船載具解決方案，氣球與飛船具有滯空時間較長、空運能力較佳以及成本較低等特點，可為未來通訊提供另一種新的選擇。

目前較多投入發展以固定翼飛機(Fixed-Wing Aircraft)較為主流，夠在高空特定位置停留更長的時間，亦能在情報/監視和偵察的國防安全應用提供更廣泛的掃描範圍，近年來引起政府和軍方機構對飛艇的高度興趣。由於其巡航範圍及飛行的限制，往往在低空或小範圍區域還是需要採用多旋翼無人機掛載基地台設備來強化使用的彈性與應對較多使用者的情境。

1. 固定翼無人機提供空中無線寬頻服務

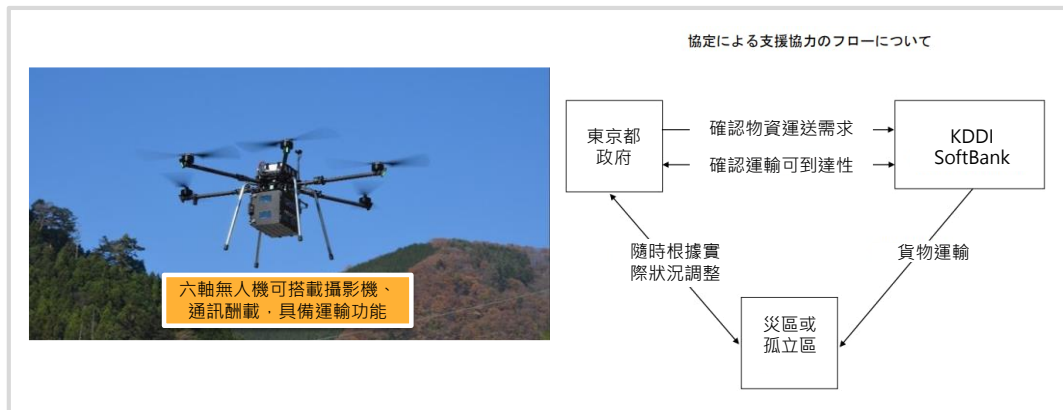
2022 年 1 月，Airbus、日本電話電信(NTT)、NTT DOCOMO 和 SKY Perfect JSAT Corporation 共同宣布展開高空平台基地台(HAPS)合作的可行性，使空中連接服務作為無線連接生態系的一部分。此次合作將採用 Airbus Zephyr，固定翼太陽能平流層無人機系統(UAS)，以及 NTT、DOCOMO 和 SKY Perfect JSAT 無線通訊網路的使用，以測試 HAPS 連接性，確定實用的解決方案應用程序，開發所需的技術並最終推出空中無線寬頻服務。

日本樂天行動(Rakuten Mobile)、KDDI、NTT Docomo 及 SoftBank Corp.等電信業者推動衛星直連電話技術發展，目標在 2025 年推出高空平台基地台(HAPS)行動通訊服務，以擴大涵蓋範圍且可在發生自然災害時使用。Softbank、NTT 集團兩大日本電信業者已陸續完成 HAPS 通訊的實證實驗；未來 HAPS 除和地面基地台進行傳輸，亦有望與高、低軌衛星進行連結。

2. 多旋翼無人機用於偵查與掛載通訊基地台

Softbank 發布該公司實證測試在 2021 年 12 月至 2022 年 1 月間，於秋留野市、八王子市、及青梅市(東京都西側臨近奧多摩地區各處)實施。已驗證可透過 LTE 遠端監控無人機飛行，包含飛越高壓電線等，乘載 20 公斤貨品時、最長可目視外自動飛行往返 7 公里(Level 3)。

Softbank 的無人機，亦可以將空拍影像即時傳送到控制中心以外的防災據點，因此可以由複數據點的人員同時觀看相同影像，加速溝通確認、更明確化救災指令。SoftBank 利用無人機架設通訊基地台。從 2024 年 1 月 6 日開始在輪島市上空飛行可以中轉電信訊號的無人機，飛行高度約 100 公尺，能在半徑 3 到 5 公里範圍內提供行動通訊。



資料來源：Softbank，工研院產科國際所整理

圖 1、東京都政府開放測試有人地帶目視外無人機飛行，結合 4G LTE 遠端控制

3. 陸海空通訊整合的海上通訊平台

2024 年 1 月 1 日，日本石川縣發生的能登半島地震造成通訊中斷。能登半島因地理環境不同，山崩、海嘯、道路土壤液化的情形尤為嚴重，地震時道路交通幾乎全面中斷，陸上機動基地台車無法接近災區，使得過去陸海空三棲的救災通訊受阻，投入能登半島地震災區的緊急通訊系統主要區分為：

(1) 空中是軟銀(SoftBank)的小型通訊無人機

軟銀於 2022 年 7 月啟用的小型通訊無人機，其離地距離約 100 公尺、能與通訊衛星直接連線，且可在電源線長度限制範圍內翱翔，地形死角比星鏈還小，能在無線通訊上輔助星鏈，提供更優質的通訊及控制技術。

(2) 太空是日本電信 KDDI 引進的美國 SpaceX 的 Starlink

KDDI 提供 350 組衛星通訊天線，供災區無償緊急應用，只要能支援 Wi-Fi 無線通訊技術的設備都能直接連線，建構初步的通訊網。

(3) 海上是 KDDI 與 NTT Docomo 合作的船舶基地台

KDDI 與 NTT Docomo 已於 2020 年簽約，在 NTT Docomo 的海底電纜鋪設船上，加裝 KDDI 與 NTT Docomo 的通訊系統，讓雙方 4G/5G 用戶可直接連線，提供沿海地區正常的通訊服務。



資料來源：NTT Docomo・工研院產科國際所整理

圖 2、NTT Docomo 與 KDDI 啟用船舶搭載行動基地台

(三) 數據整合與 AI 預警平台

1. 日立 DioVISTA/Flood 氣象防洪警報：IoT 數據結合 AI

日立製作所(Hitachi)的 DioVISTA/Flood 氣象防洪領域的即時防災警報，針對的是未來 0.1~48 小時、特別是未來 0.5~6 小時內的豪雨成災範圍警報，讓地方政府能獲得疏散洪災區居民緩衝時間的警報，是目前氣象與水利界的資訊科技應用重點。要建成該系統需要以下幾項要件：

- 氣象測站、氣象雷達資料、廣設各地感測器的資料，即時連線送達雲端以數值模式運算
- 以 AI 判斷淹水範圍，直接發布定量化圖像化預測災情
- 提供足夠的前置作業時間及精確的受災範圍判斷資料

日立 IoT 平台將防災應用列為重點之一，將既有氣象測站、氣象雷達資料、廣設各地感測器的資料，即時連線送達雲端以數值模式運算，並以 AI 判斷淹水範圍，直接發布定量化圖像化預測災情，提供足夠的前置作業時間及精確的受災範圍判斷資料，讓災害減到最低。2022 年 6 至 9 月 DioVISTA/Flood 在日本山形縣進入值班實驗，期間多次氣象事件的預測正確率未公布，據日立報告對 DioVISTA/Flood 的效果表示滿意。

2. Google AI 演算法提供洪水預測，結合電信發布疏散警報

Google 自 2018 年起就使用機器學習提供洪水氾濫預警服務，2021 年則透過 Google Maps 及搜尋服務發布了 1.1 億則預警通知給約 2,300 萬人。2022 年 Google 宣布整合最新洪水預測模型的河道氾濫預測，將擴大到非洲、南美及東南亞等新增的 18 個國家，包括巴西、哥倫比亞、斯里蘭卡、南非等。Google 也宣布 FloodHub 於全球上線，該平台將展示洪水氾濫的時間點及區域，也將持續增加這項服務的提供區域。Google 洪水預測 AI 服務性能持續提升中，目前套用的模型已經較先前系統增加 1 倍的預警時間，在 90% 的案例中，其水位預測誤差範圍可以縮小在 15 公分以內。

疏散警報在印度主要靠 Android 手機發送，Google 表示已經累積發出 3,000 萬封通知，但印度仍約有 8 億民眾並未使用智慧型手機，也未必每個人都對科技預警系統全然信賴。印度受訪者中僅 2 成擁有智慧型手機，主要依賴的預警工具是地區喇叭廣播或電話，但這些裝置也未必能妥善通知到所有村民。

3. 加州政府 AI 圖像識別與飛行載具雷射光達結合探測野火風險

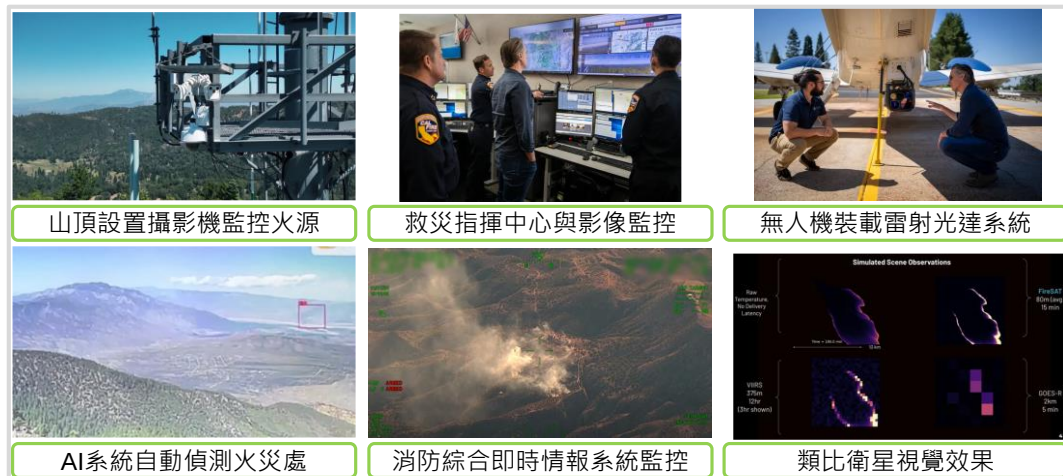
加州林業與消防局與加州大學聖地亞哥分校合作推出「Alert California AI」計畫，透過 AI 技術及環景攝影鏡頭提前檢測野火風險，希望能藉此改善長年因為野火延燒造成傷亡問題。

野火延燒原因，通常與氣候炎熱乾燥，加上因為落雷、閃電等因素形成火苗，導致枯木、落葉起火燃燒，再因為加州等地區季節強風助燃，使得火勢經常以超乎想像速度蔓延。例如近期夏威夷茂宜島發生嚴重野火侵襲，就是因為乾燥氣候加劇，加上強陣風勢助燃，導致島內野火快速蔓延。

「Alert California AI」計畫是由加州林業與消防局攜手加州大學聖地亞哥分校打造，透過 1032 組可 360 度環景拍攝影像的攝影鏡頭捕捉影像，並且透過人工智慧方式辨識影像中異常情況，藉此預先告知相關單位確認是否有潛在形成火災風險，進而提早採取因應措施。

除了透過圖像識別方式改善加州野火問題，目前「Alert California AI」計畫還包含透過飛機或無人機裝載雷射光達系統掃描地表，藉此判斷加州林木地帶狀況與碳含量，同時也透過機器學習模型，配合 PB 容量級別資料分析空氣中的煙霧與懸浮物含量，藉此判斷是否有起火可能。

由於 5G 比 4G 擁有更多頻寬，在預警或救災上能夠釋放更多潛力，特別是能夠將視訊資料上傳到雲端，對比 4G 主要傳輸 JPEG 靜態圖檔。無人機掛載不同攝影器材，將可透過不同視角觀測火災，相關影片經過處理與管制中心整合後，將更有助於救災指揮。



資料來源：Alert California AI，工研院產科國際所整理

圖 3、Alert California AI 解決方案與關鍵技術

(四) 數據異地備援與模組化資料中心(MDC)

模組化資料中心(Modular Data Center，MDC)可視為是一個小型、可行動的、完整的資料中心。雲端運算伺服器自然是核心組件，安裝在非常堅固的抗震容器內。內置整套的暖通冷卻系統，在任何艱難的條件下，都可以保證伺服器可以正常工作。

用戶端對雲端運算、數據處理能力的需求，越來越多地發生在基礎設施很差、缺電缺網路，或者遭遇突發災難(如地震、火災、海嘯、土石流、洪澇等)需要人道主義支援的地方。用 MDC 伺服器內置的 FPGA 晶片和 GPU 進行信號處理，將天地之間的射頻訊號數位化，實現更高頻寬的衛星通訊鏈路。目前微軟 Azure 推出模組化資料中心解決方案，並且與多家衛星通訊廠商合作，如 SES、Viasat、KSAT 等衛星系統提供 GEO、MEO 的傳輸服務。



資料來源：Microsoft，工研院產科國際所整理

圖 4、微軟模組化資料中心解決(MDC)方案

此外，2023 年 6 月，SES 的全資子公司 SES Space & Defense 宣佈為 AWS 模組化資料中心提供衛星網路連線，包含中地球軌道(MEO)和地球同步軌道(GEO)服務。AWS 模組化資料中心設備讓美國國防部(DoD)可以輕鬆地在基礎設施有限的位置進行部署，並確保其系統靈活性、安全、可靠的供電，更重要的是網路不斷線。



資料來源：SES

圖 5、AWS 模組化資料中心結合 SES 多軌道衛星通訊解決方案

IEKView

從地緣政治衝突、地震救災的實務經驗借鏡，衛星通訊將是確保「通訊韌性」的重要一環，優先借力夥伴國家的衛星星系，如美國、歐盟等。星鏈(Starlink)因其管理層的政治理念，對於特定區域的通訊加以限制，此事警醒各國重視擁有自主衛星星系的必要性。

另一方面從日本震災的經驗來看，陸、海、空、太空的立體通訊提供災區救援與復原，在緊急狀況能夠提供災區用戶手機能夠漫遊、通訊系統在衛星多軌道甚至多星系、高空基地台平台、地面通訊之間的訊號切換技術，藉由無人機、船舶、車輛彈性移動支援，支持通訊持續運作的獨立發電設施與儲能系統、基地台在特定情境下智慧能源管理，列均為通訊技術發展的關鍵項目。

進一步展望，數據的異地備援與資訊安全與通訊相輔相成為「數位韌性」關鍵議題，目前以地面資料中心的異地備援為主要方案，但對於特定災區或缺乏基礎設施的區域，模組化資料中心解決方案成為快速部屬的選項，其便於安裝、獨立設施特性備受倚賴。隨著衛星通訊的發展，下階段將討論到太空端的邊緣運算、太空資料中心等技術，在太空中再多一個備援的選項，讓韌性更上一層。

台灣產業在通訊韌性可布局的領域，硬體面來看，目前無人機用於救災是最具商機且廣泛使用，除救災外也用於建築物、設備或是場域巡檢，主要通訊酬載仰賴**5G 行動網卡(5G Dongle)**，廠商可強化其性能，並配合可能使用的環境，如高溫、煙霧/塵、防水、高鹽度等耐受性。下階段隨著低軌衛星的落地，如何結合**5G**與衛星窄頻的行動網卡，將可擴充無人機的操控彈性與飛行區域。

另一方面，救災掛載的攝影設備的性能強化與小型化，諸如：高解析影像、熱成像、夜視儀等。軟體面開發面向，可聚焦高解析影像傳輸需要搭配處理器與軟體，使地面端地接收可以達成同步，目前多屬各部件採購後自行組裝，開發模組化的系統整合服務，搭配雲端與現場存儲、**AI**影像解析與標註等功能將可創造商機。

救災指揮車與行動通訊車(基地台)為現行較廣泛使用的解決方案，但考量到地震、土石流等道路中斷情況，國內業者推可攜式裝備增加其靈活性，已在國際展會陸續有展出原型裝置。後續朝向**5G**與衛星整合的可攜式平板天線終端裝備的方向發展。由於衛星星系相對屬於專屬協定/封閉系統，因此整合技術上仍有相當多挑戰，已有廠商透過相位陣列天線搭配系統開發，嘗試整合在不更換設備狀況下可切換使用同步軌道(**GEO**)與低軌道(**LEO**)衛星訊號，美國廠商目前做法則是需要抽換數據機(**Modem**)才能使用特定衛星系統，如 **Kymeta**。

以上報告所提供之資訊，在尖端科技發展與產業變動中，無法保證資訊的時效性及完整性，使用者應自行承擔因使用本報告資料可能產生之任何損害。著作權歸工研院所有，非經書面允許，不得以任何形式進行局部或全部之重製、公開傳輸、改作、散布或其他利用本報告資料之行為。



會員服務專屬：<http://www.iek.org.tw>

☎ 服務專線：03-5912340

☎ 傳真電話：03-5820302

✉ 客服信箱：iekconsult@itri.org.tw



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute