

產業研究報告

B5G 世代非地面網路技術發展趨勢：以高空通訊平台為例

前言

非地面網路不同於傳統地面網路，其跳脫地形限制而可以在海洋、沙漠等地面網路無法觸及之地提供行動通訊網路；再者，B5G/6G 追求陸海空一體化網路之目標上，非地面網路著實扮演傳統地面網路的有效補充，缺一不可。有鑑於非地面網路的重要性，本研究聚焦非地面網路中的高空通訊平台為研究標的，透過研析 3GPP R16 與 R17 中高空通訊平台之相關技術標準研究，藉以掌握其關鍵技術發展趨勢。

黃仕宗

目錄

非地面網路的特性與重要性	1
高空通訊平台關鍵應用與產業現況	3
高空通訊平台技術發展趨勢	9
結論	16

圖目錄

圖一、非地面網路中太空載體與高空載體間相對位置高度差異	1
圖二、HAPS 三種型式	4
圖三、HAPS 三大關鍵應用	5
圖四、HAPS 生態系關鍵角色	7
圖五、3GPP 對 NTN 技術標準與操作規範研究路線圖	9
圖六、NTN 架構中四個基礎元素	10
圖七、HAPS 作為透明酬載	11
圖八、HAPS 作為再生酬載	11
圖九、HAPS 四種網路架構	12

表目錄

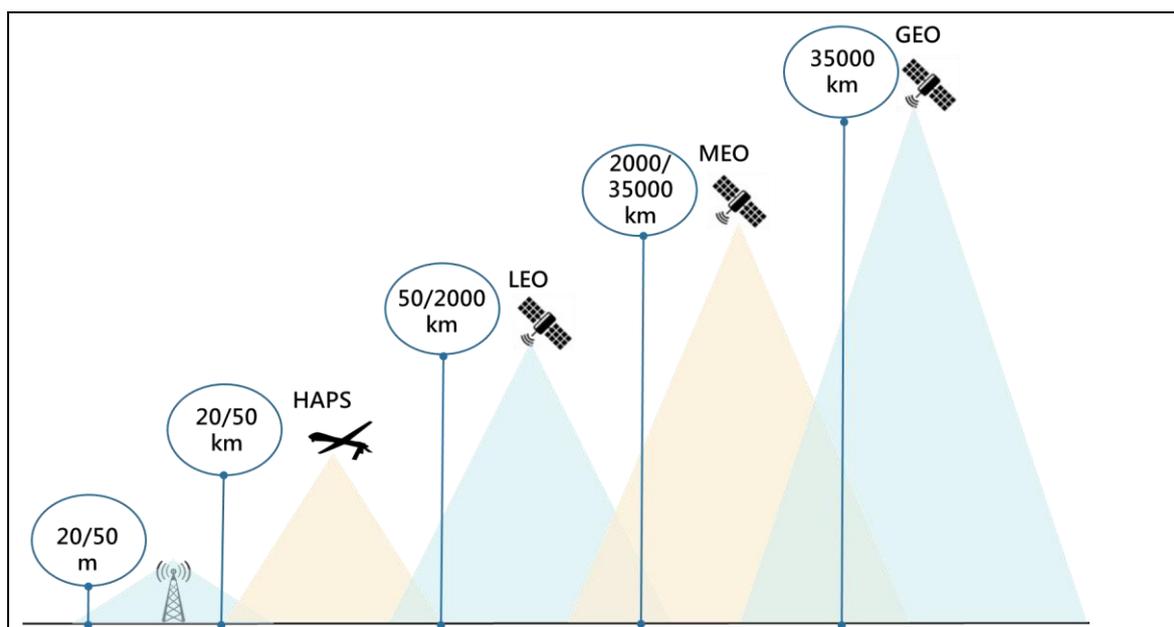
表一、太空載體與高空載體間通訊特性差異	2
表二、HAPS 三種形式間的特性差異	5

非地面網路的特性與重要性

非地面網路 (Non-Terrestrial Networks, NTN)，係指利用太空 (Space-Borne) 載體或高空 (Air-Borne) 載體，透過該載體配置通訊傳輸設備之方式，藉以實現通訊網路覆蓋。其中，太空載體係以衛星通訊為主，包含地球同步軌道衛星 (Geostationary Orbit, GEO)、中地球軌道衛星 (Medium-Earth Orbit, MEO) 與低地球軌道衛星 (Low-Earth Orbit, LEO)；另高空載體則為高空通訊平台 (High Altitude Platform Station, HAPS) 為主。

而太空與高空載體兩造顯著差異係距離地表高度的不同 (如下圖所示)。一般而言，地球同步軌道衛星所處位置最高，約位在距離地表高度 35,000 公里處，其後依序為中地球軌道衛星，約位在 2,000-35,000 公里；低地球軌道衛星約位在 50-2,000 公里。而所處位置最低的高空通訊平台，則約位在 20-50 公里處。

圖一、非地面網路中太空載體與高空載體間相對位置高度差異



資料來源：GSMA 協會，MIC 整理，2021 年 9 月

以行動通訊應用而言，因太空載體所處位置較高空載體為高，故其相對較易實現廣域，甚者全球的通訊網路覆蓋 (如下圖所示)；以所處位置最高的地球同步軌道衛星為例，僅需配置 3 個單位即可實現全球通訊網路覆蓋。而相對所處位置最低的高空通

訊平台，於每單位最大僅能覆蓋 12,731 平方公里範圍下，則需為數極其龐大的單位配置才可實現全球通訊網路之覆蓋。

表一、太空載體與高空載體間通訊特性差異

	非地面網路載體		覆蓋全球所需數量 (座)	來回通訊延遲速度 (毫秒)	乘載重量 (公斤)	使用年限
全球 覆蓋		地球同步軌道衛星	3	600-700	~3500	15
		中地球軌道衛星	10-30	<150	~700	12
		低地球軌道衛星	100+	<50	5-1000	<5-7
區域 覆蓋		高空通訊平台	每 1 單位/僅約覆蓋 12,731 平方公里	<10	<320 (熱氣球) <100(飛機)	>5 (熱氣球) >8 (飛機)

資料來源：GSMA 協會，MIC 整理，2021 年 9 月

雖然高空通訊平台所能提供之通訊網路覆蓋能力不及太空載體，但對於通訊應用極其重要之一的來回通訊延遲(Round-Trip Time, RTT)，則因高空通訊平台佔有距離地表高度最低的優勢，而具有相較於太空載體而言最低的來回通訊延遲，平均小於 50 毫秒。

另相較於傳統地面網路 (Terrestrial Networks, TN) 之行動通訊而言，非地面網路因具有通訊網路覆蓋範圍廣、不受地形限制等優勢，於現今 5G，甚者下世代性動通訊技術 6G 所追求之萬物聯網，陸海空一體化網路之目標上，著實扮演傳統地面網路的有效補充角色。而其重要性顯現於國際通訊技術標準組織-第三代合作夥伴計劃 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 早於 2015 年 Release 14 即已開始

進行與地面網路融合之相關研究中；其後 Release 15、Release 16，甚者現時進行中的 Release 17 與 Release 18 皆持續進行相關研究，期能實現非地面網路與地面網路的深度融合，進而達成一體化佈署之目標。

有鑑於非地面網路的重要性，本研究主要探究 5G 世代非地面網路之技術發展趨勢，然因非地面網路涵蓋多樣空中載體（如高空通訊平台、地球同步軌道衛星、低地球軌道衛星等），為能深入探究而不因研究標的過多而失焦，故擬聚焦高空通訊平台為研究標的。除探究其產業現況外，更進一步透過 3GPP 於 Release 16 與 Release 17 中高空通訊平台相關之技術標準研究，分析其關鍵技術發展趨勢。

為便於閱讀，本研究以下針對「非地面網路」，一律以其英文縮寫「NTN」表示，另「高空通訊平台」亦以其英文縮寫「HAPS」表示。

高空通訊平台關鍵應用與產業現況

HAPS，又可稱為高空偽衛星（High Altitude Pseudo Satellite），係架設於高空的新一代通訊平台，其系統位置與性質介於地面通訊和衛星通訊之間，滯空時間可以長達數個月至 1 年，具有大範圍覆蓋，以及固定於空中指定範圍的特性。

依據國際電信聯盟（International Telecommunication Union, ITU）-無線電規則（Radio Regulations）第 1.66A 定義，HAPS 為「固定停留在 20 至 50 公里高空位置的基地臺」。HAPS 在搭載通訊模組以及各式感測模組後，能夠提供持續、大範圍對地面的通訊、監測等服務，發展出多樣的應用情景，包含行動通訊、軍事通訊、災難通訊、空氣監測、環境監測等。以下透過 3GPP Release 16 與 Release 17 標準制訂相關內容，探討 HAPS 的技術標準與應用的演進。

HAPS三種型式

HAPS 載體可以為三種型式，分別為飛機（Airplane）、飛行船（Airship）、熱氣球（Hot Air Balloon），如下圖所示。

圖二、HAPS 三種型式



資料來源：HAPS 聯盟，MIC 整理，2021 年 9 月

三種型式 HAPS，各自在載體擴充性、承載能力、操作性等面向存在差異（如下表所示）。以熱氣球型式的 HAPS 為例，由於比空氣輕，因此不需要額外動力即可使其漂浮於空中，然而熱氣球型式 HAPS 通常是無動力平台，所以可操作性較為不足；相反的，飛行船型式 HAPS 配備了推進系統，所以具有較高的可操作性，惟飛行船尺寸巨大也因此起飛與著陸上有較高的摩擦力，並需要大型地面控制系統方可進行操控；至於飛機型式 HAPS 則較為常見，具有最佳的可操作性，但無法對應地面需覆蓋區域固定於天空，且承載能力有限。

整體而言，目前產業界 HAPS 應用發展，係以飛機與熱氣球型式之 HAPS 較具商業進展。

表二、HAPS 三種形式間的特性差異

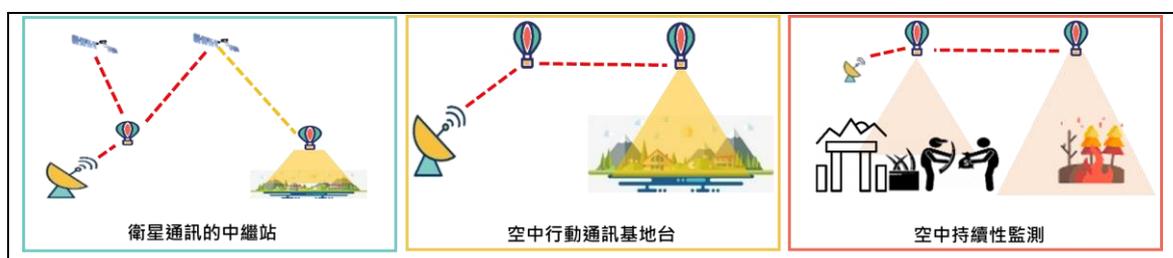
	飛機	熱氣球	飛行船
相對空氣重量	較重	較輕	較輕
可操作性	與飛機相同，飛行時易於轉向，也易於起降。	易於起降，但無法進行精密的操控，且較難應用於海上及沙漠以外的場所。	雖有動力源，但機體龐大，上升時難以操控，因此起降控制難度較高。
能源	太陽能	太陽能	太陽能
承載能力	目前乘載最高約 100 公斤，難以承載大容量通訊裝置。	可承載大容量通訊裝置。	可承載大容量通訊裝置。
設備投資/運作必要條件	由於動力來源僅有可回收的鋰電池，僅需維護耗材零件，即可維持運作。啟動成本低於飛行船。	由於不具備動力來源，機體的生產成本低廉。採用高價的氦氣。	機體龐大，需要寬敞的場地。採用高價的氦氣。
技術挑戰	需配置大型機翼。	不易固定指定地點。	需要大型地面管理設施。

資料來源：3GPP、HAPS 聯盟，MIC 整理，2021 年 9 月

HAPS三大關鍵應用

HAPS 三大關鍵應用，分別為：衛星通訊的中繼站、空中行動通訊基地台、與空中持續性監測，如下圖所示。

圖三、HAPS 三大關鍵應用



資料來源：HAPS Mobile，MIC 整理，2021 年 9 月

首先，以 HAPS 作為衛星通訊中繼站，係指利用 HAPS 介於地面網路系統與衛星系統間之特性，使 HAPS 作為地面基地台與衛星間的通訊中繼站。藉由 HAPS 與地面設備或固網設備連接，再由 HAPS 於平流層中與衛星介接，以此串接地面/固網設備與衛星間的通訊，提供更有效率的網路服務。

其次，以 HAPS 作為空中行動通訊基地台，係 ITU、3GPP 等國際組織的討論重點。以 ITU 為例，ITU 於 2000 年提出 ITU-R M.1456 及 2006 年提出 ITU-R M.1641 兩篇報告，便開始對使用 HAPS 作為行動通訊系統提供服務的技術要求與作業條件進行研究。在此基礎下，ITU 於 2019 年世界無線電通訊大會 (World Radio communication Conference, WRC-19) 第 247 號決議文 (Resolution 247)，研擬將 HAPS 視為行動通訊基地台 (High-altitude platform stations as IMT base stations, HIBS)，並研議與地面行動通訊基地台使用相同的通訊頻段，以將其作為地面行動通訊網路的一部份。

值得一提的是，因 HAPS 位於距離地表約 20 至 50 公里的平流層，其高度介於民航飛機與衛星軌道間，且於空氣流動相對穩定的平流層中運行，可自高空穩定向下發送訊號，並可提供直徑 50-200 公里的行動通訊網路覆蓋，故用於提供如飛機、船隻、汽車等終端設備移動網路服務，在其覆蓋範圍內可維持穩定之通訊品質。再者相較於地面網路設備，以 HAPS 作為空中行動通訊基地台而提供終端設備行動網路，可使終端設備在移動過程中不需頻繁切換基地台，可獲得更好的網路品質。

最後，以 HAPS 用於空中持續性監測，係透過 HAPS 搭載各式感測器(如紅外線感測器、高光譜影像器、自動識別感測系統、微波成像雷達等)之方式，借助 HAPS 可相對地面固定於空中之特點，可用於實現特定區域內之持續性監測，甚者相較於衛星，因 HAPS 所處位置相對較低，故可提供相較衛星更高之空間解析度。

產業發展現況

以產業生態系角度而言，HAPS 係一個高度跨領域之產業，除通訊應用中關鍵角色之一的行動網路營運商外，更涵蓋飛行載具製造商、飛行塔公司等。

具體而言，HAPS 生態體系有五個關鍵角色（如下圖所示），分別為：

R&D 研發人員：飛行載具開發人員，主要提供飛行載具的參考設計與規格，擁有飛行載具設計智慧財產權，透過授權獲取營利。

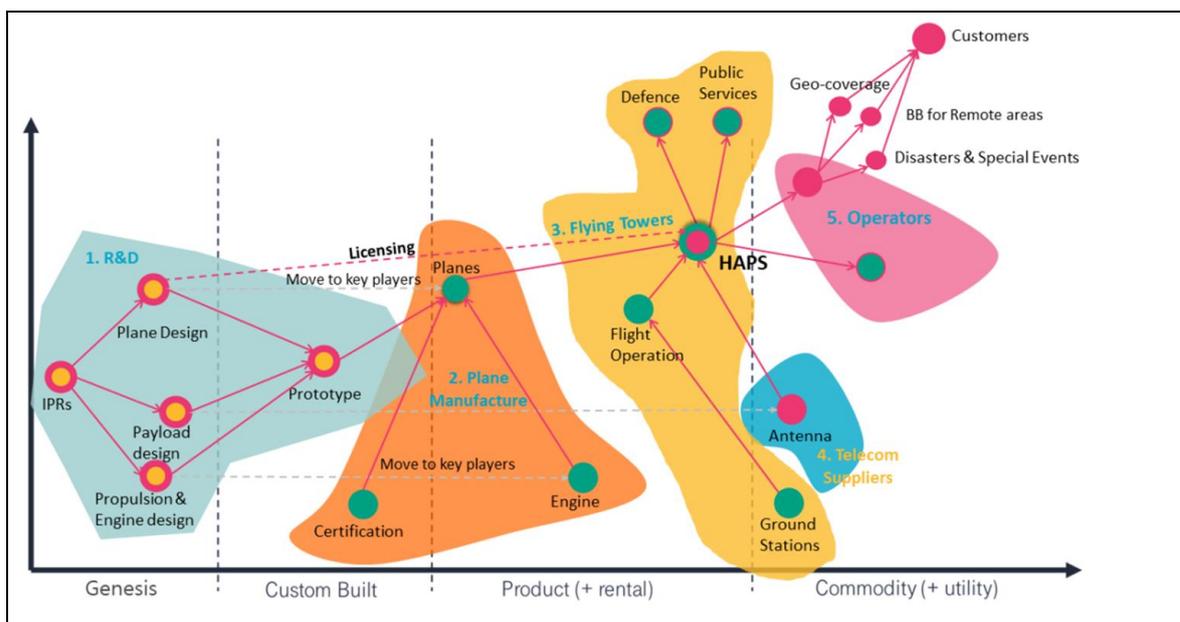
製造商：飛行載具製造商，其生產成本高低對 HAPS 總成本具關鍵影響，亦對 HAPS 產業推展具一定影響力。

飛行塔公司：除進行飛行載具的採購與維護外，還包含三個面向的服務，分別為：(1) 飛行載具運行服務，如機場基礎設施、遠端飛行操作等；(2) 地面網路接收服務，係通訊服務中用於接收飛行載具傳送之通訊網路訊號，此外也包含地面骨幹網路的建設與維護；(3) 飛行網路服務，係提供飛行載具無線通訊服務，其涵蓋飛行載具設備端的天線、通訊網路集成管理等。

天線供應商：係提供如遠端射頻模組（Remote Radio Unit, RRU）、主動天線模組（Active Antenna Unit, AAU）等設備之通訊服務設備商。

行動網路營運商：透過與飛行塔公司合作，提供終端用戶行動通訊服務。

圖四、HAPS 生態系關鍵角色



資料來源：GSMA 協會，2021 年 9 月。

另以產業端的應用測試發展而言，HAPS 三種型式中，產業面係以飛機形式居多，其次為熱氣球形式，且不論飛機或熱氣球形式，產業面之應用測試皆以 HAPS 作為空中行動通訊基地台為主。

於飛機形式 HAPS 部分，近期標竿應用測試案例，如 2020 年 8 月，德國電信 (Deutschen Telekom) 與英國新創公司 SPL (Stratosphere Platforms Limited) 合作，於德國巴伐利亞洲進行 5G Ready 的 LTE 技術驗證。其 HAPS 飛行於距離地表 14 公里處，且向地面發射直徑超過 10 公里的行動網路訊號覆蓋範圍，並於範圍內使行動電話成功透過 HAPS 取得行動網路訊號，完成 VoLTE 語音通話之測試。

又如 2020 年 10 月，日本軟銀子公司 HAPSMobile Inc 與美國飛機開發商 AeroVironment 合作，於美國新墨西哥州的太空港進行 LTE 網路連線測試，於測試期間行動電話成功透過 HAPS 達成連續 15 小時的 LTE 連線，且完成視訊通話測試。

至於熱氣球形式 HAPS 部分，標竿案例實屬以 Alphabet 子公司 Loon LCC 為代表。2019 年 5 月，該案例的熱氣球形式 HAPS 由波多黎各起飛，期間越過祕魯並向南飛越太平洋，並於 2020 年 3 月在墨西哥降落，累積飛行時間長達 312 天；且實現飛行期間不間斷提供地面高達 18.9Mbps 下載速度之行動網路訊號。

又如 2020 年 7 月，Loon 與肯亞電信公司 Telkom Kenya 合作於肯亞進行行動通訊網路覆蓋測試，在為期三個月的測試中，有 35,000 人成功透過 HAPS 取得行動網路訊號，且完成如語音/視訊通訊、多媒體影音串流等服務測試。

惟值得一提的是，受限於熱氣球連網商業化進展延宕，Alphabet 於 2021 年 1 月宣布解散 Loon。而雖然 Loon 解散，熱氣球形式 HAPS 之技術與應用發展，仍有如西班牙航太運輸公司 Zero 2 Infinity 仍持續進行該技術運用於空中行動通訊基地台之發展。

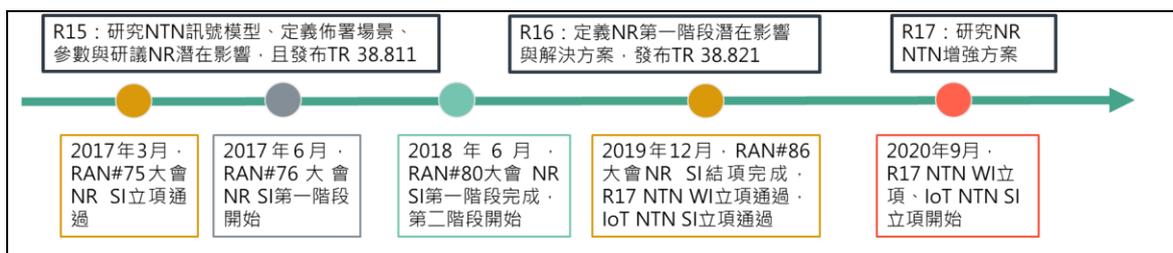
高空通訊平台技術發展趨勢

3GPP 對 HAPS 技術標準與操作規範之研究中，主要將 HAPS 定義為無人駕駛飛機系統 (Unmanned Aircraft Systems, UAS)，且包含為 NTN 範疇之一。

3GPP 對 NTN 相關技術標準與操作規範之研究進程路線圖 (如下圖所示) 起於 Release 14，探究 NTN 在 IMT 系統中可行之角色與優勢，以此研析 NTN 作為 IMT 系統接入技術之一的可行性。其後 Release 15，3GPP RAN 工作組對支持 NTN 的 5G NR 進行研究項目 (Study Item, SI) 立項，定義 NTN 的佈署場景與通訊模型，並發布技術研究報告 TR38.811。

接續近期之 Release 16，對於 NR 支持 NTN 解決方案進行不同佈署場景下之性能與適應性分析，並於 2019 年 12 月發布技術研究報告 TR38.821。現時進行之 Release 17，則立基網路智慧化下聚焦 NR NTN 增強之研究，並將 Release 16 之研究項目轉為工作項目 (Work Item, WI)，並定義 NTN 上 NR-IoT/eMTC 研究項目。

圖五、3GPP 對 NTN 技術標準與操作規範研究路線圖



資料來源：3GPP，MIC 整理，2021 年 9 月。

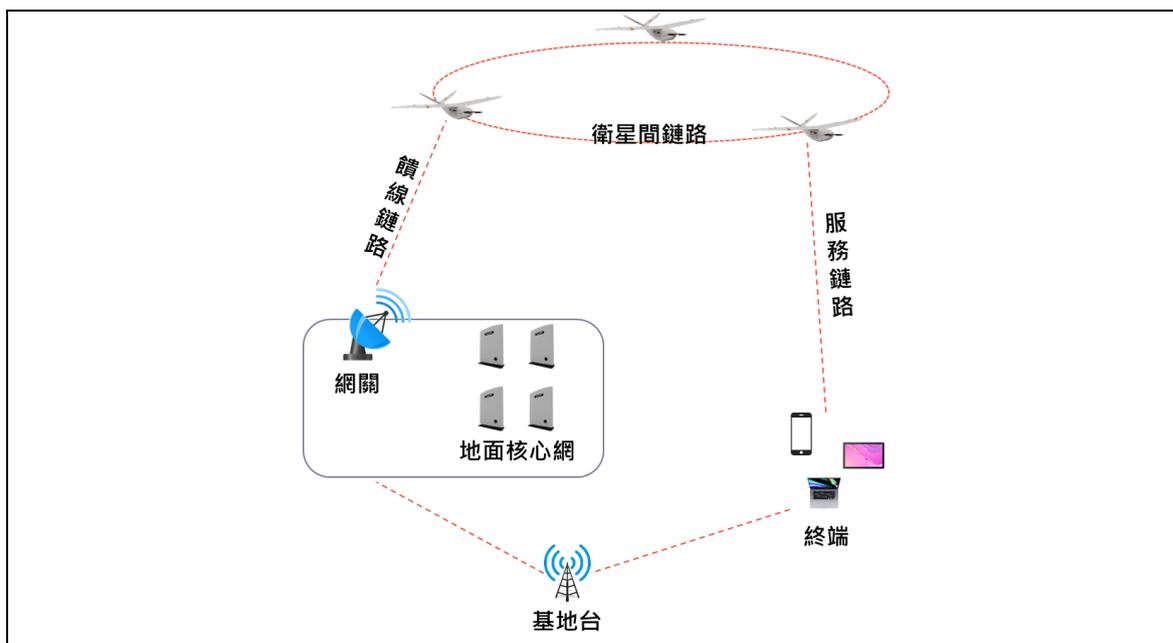
為掌握 3GPP 對 HAPS 技術標準與操作規範之研究發展趨勢，本研究聚焦近期 Release 16 研究報告 TR38.821，針對 HAPS 之關鍵技術標準與操作規範研究成果，以及進行之 Release 17 內容針對 HAPS 之重點研究項目進行說明。

鑑往知來：3GPP Release 16

依據研究報告 TR38.821，其定義 NTN 有四個基礎組成元素 (如下圖所示)，分別為網路閘道器 (Gateway)、饋線鏈路 (Feeder link)、服務鏈路 (Service link) 與衛星間鏈路 (Inter-Satellite Link)。

其中網路閘道器為一個用於傳送或接收來自 NTN 訊號的地面站台，饋線鏈路則為 NTN 和 Gateway 之間的無線鏈路，服務鏈路意指 NTN 和終端用戶設備 (User Equipment, UE) 間的無線鏈路，而衛星間鏈路係 NTN 之間的無線鏈路。

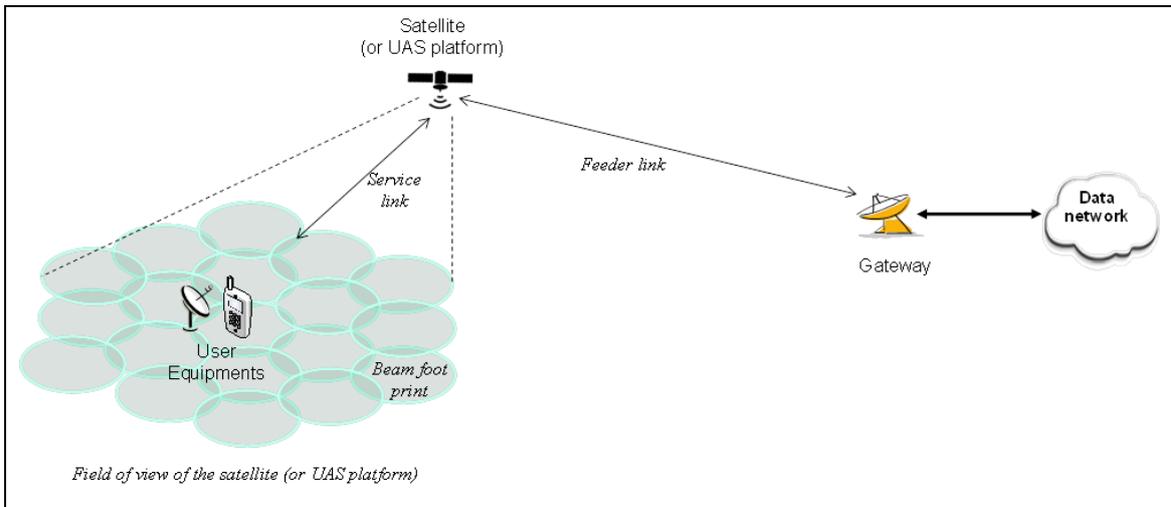
圖六、NTN 架構中四個基礎元素



資料來源：3GPP · MIC 整理 · 2021 年 9 月。

另依據研究報告 TR38.821，NTN/HAPS 有兩類使用型態，分別為“透明酬載 (Transparent payload)”與“再生酬載 (Regenerative payload)”。其中，透明酬載型態(如下圖所示)，其主要功能係將訊號傳遞給標的物，並無解碼、解調變、編碼或調變的功能。換言之，該形態下僅搭載射頻天線而具備訊號轉發功能，卻不具備基地台 (gNB) 的必須功能。

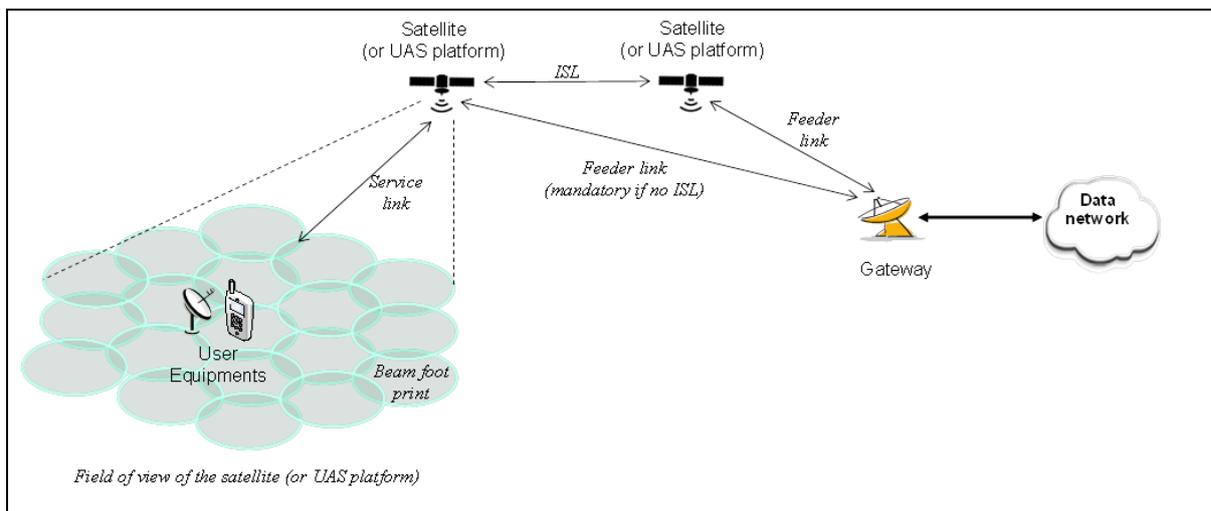
圖七、HAPS 作為透明酬載



資料來源：3GPP，2021 年 9 月。

再生酬載型態 (如下圖所示)，其主要功能係將訊號解碼並解調變後，重新編碼且調變後再傳送給標的物。換言之，除了可以射頻濾波、進行頻率轉換與放大，解調/解碼外，更可以針對波束切換路由與進行編碼/調製以改變波形訊號，而該形態下具備基地台必須之部分或全部功能。

圖八、HAPS 作為再生酬載

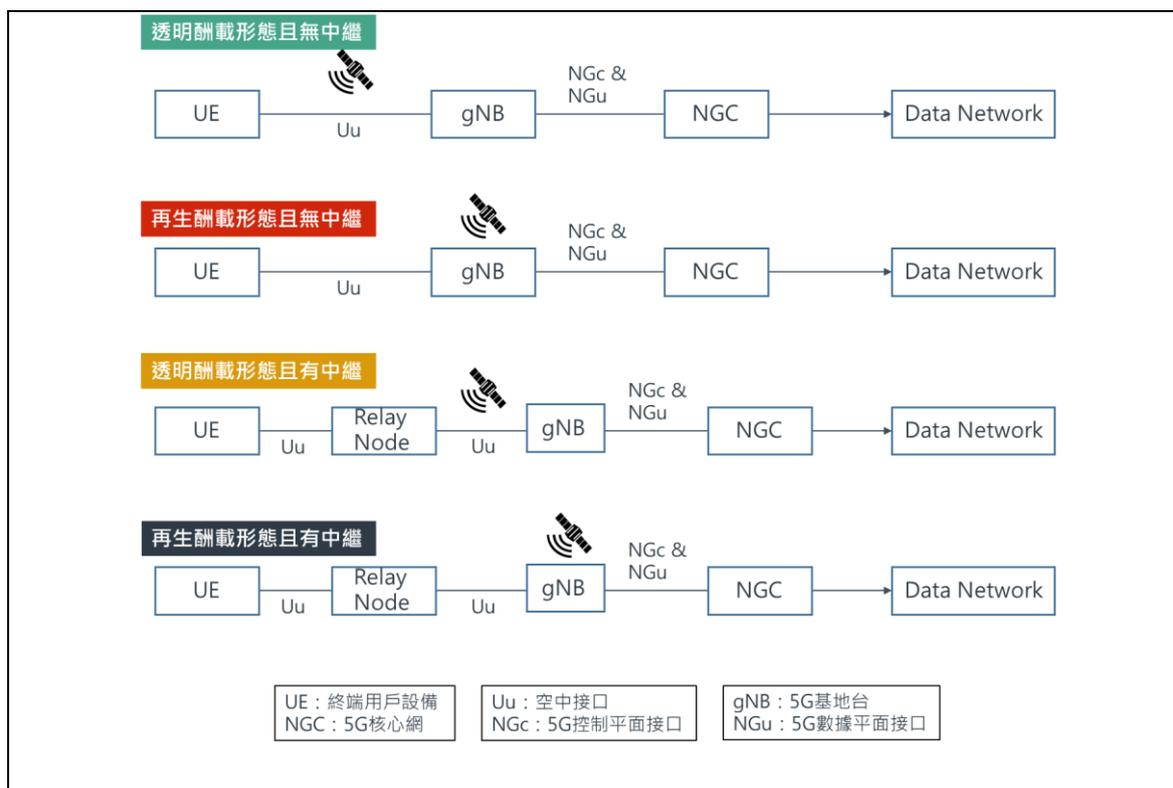


資料來源：3GPP，2021 年 9 月。

觀察圖八與圖九中之涵蓋面 (Footprint) ，係指 HAPS 的通訊覆蓋範圍，其大小與 HAPS 波束方向的傾斜角度，以及距離地面的高度有關。換言之，波束在相同傾斜角度下，若 HAPS 距離地面愈遠，則其訊號涵蓋面就會愈大，而以 HAPS 飛行高度為 20-50 公里而言，其訊號涵蓋面約為 50-200 公里。

進一步，依據前述 HAPS 做為透明酬載或再生酬載型態下，進一步區分有無中繼而提出四種網路架構，如下圖所示。

圖九、HAPS 四種網路架構



資料來源：3GPP · MIC 整理 · 2021 年 9 月。

如上圖所示，HAPS 作為透明酬載形態下，因 HAPS 不包含基地台的功能，而基地台的功能位於閘道器上，故 NR-Uu 係為連接 gNB 與 UE 的無線介面，而在此情境下，HAPS 只會中繼傳送來自閘道器的訊號給 UE，抑或中繼傳送來自 UE 的訊號給閘道器。相反的，HAPS 作為再生酬載形態下，因 HAPS 包含基地台功能，故 NR-Uu 係為 HAPS 到 UE 間的無線鏈結，意即可視作 Uu 等於其服務鏈路。

於 HAPS 關鍵技術標準與操作規範研究部分，依據研究報告 TR38.821，可查主要聚焦於物理層技術發展，涵蓋四個面相關鍵技術，分別為：時序關係、定時提前、頻率偏移補償與時延重送機制，以下論述。

時序關係

HAPS 相較於地面網路普遍存在較大的雙向傳輸時延，此導致終端用戶於上下行的幀時序存在較大偏移，在此之下需藉由增強 NR 中的物理層時序關係解決。

詳細來說，對於透過下鏈控制訊息 (Downlink Control Information, DCI) 調度實體上行共享通道 (Physical Uplink Shared Channel, PUSCH) 傳輸、透過隨機存取回應 (Random Access Response, RAR) 授權調度 PUSCH 傳輸、在 PUCCH 上傳輸混合式自動重送請求 (Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ)、MAC 控制單元 (Control Element, CE) 響應、非週期探測參考訊號 (Sounding Reference Signal, SRS) 傳輸等。

其與上下行交互有關的時序關係，需藉由引入用於減少一個排隊值的 KOFFSET 參數來增強時序，而 KOFFSET 參數取值可以波束為單位進行配置，而此項目具體取值後續將於 Release 17 工作項目中進一步討論其透過廣播，抑或高層參數配置方式通知 UE，以及相對應對於擴展 K1/K2 取值範圍的可能性等。

定時提前

定時提前 (Time Advance, TA)，係用來指示 UE 根據指令提前相應時間發送上行數據，藉以確保接收端的時間同步。惟 NR 的 TA 機制無法適用分布於離地數十公里之 HAPS，甚者數百公里之衛星的傳輸距離要求，故於 Release 16 研議將 TA 設計為公共 TA 與 UE 專用 TA 之組合形式，且研析兩類 TA 的補償方式。

其中，第一類 TA 補償方式，係依據用戶位置自動獲取 TA 數值。在此之下 UE 計算並補償 TA (涵蓋用戶鏈路影響)，而網路側則無需上下幀對齊。除上述方法外，亦可以 UE 計算並補償 UE 專用 TA 方式，由網路側上下幀進行公共 TA 偏移，而此狀況下網路側會增加額外的複雜度來管理上下行調度時序。

第二類 TA 補償方式，係基於網路側指示藉以進行 TA 調整。網路側獲取公共 TA 並廣播給 UE，公共 TA 的計算則需透過每個波束獲取一個參考點為基準，另 UE 專用 TA 之調整則可複用 Release 15 的閉環 TA 指示方式，且進一步考慮擴展 RAR TA 指示範圍以及 TA 可取負值等。上述兩類 TA 補償方式，將在 Release 17 進一步討論優化方式。

頻率偏移補償

HAPS 位於高空快速移動下將產生多卜勒頻率偏移(Doppler Shift)，而影響幀同步、隨機接入等流程。在此之下，對於下行頻率補償，係於網路側進行波束專用的公共頻率偏移預先補償方式，採用 Release 15 單邊帶調變 (Single Side Band, SSB) 之設計即可提供穩定性。

對於上行頻率補償，係於網路側進行波束專用的公共頻率偏移後補償方式，UE 透過下行 RS、UE 位置訊息做頻率偏移估計，後於 UE 端完成上行 UE 專用頻率偏移補償。另一方面，亦可由網路側透過上行 RS 做頻率偏移估計，後指示 UE 進行上行頻率偏移預先補償方式，而該方式具體之指令設計將於 Release 17 進行。

時延重送機制

混合式自動重送請求 (Hybrid Automatic Repeat reQuest, HARQ) 機制，其目的在於確保訊息的完整性、降低位元錯誤率(Symbol Error Rate, SER)、且提高傳輸的可靠性。惟對 HAPS 而言，因其雙向傳輸時延較大，所以需求最小之 HARQ 進程數遠高於 NR 支援的 16 個，而 Release 16 為降低重送時延影響，研議兩類方案。

第一類方案，HARQ 關閉機制，係於網路側靜態配置 HARQ 關閉狀態。在 HARQ 功能關閉下，下行數據傳輸無上行回饋，而為確保數據傳輸的可靠性，可針對不同用戶或業務場景研議配置不同的重送次數，而此方式將於 Release 17 中研究是否適用於動態 HARQ 關閉，以及 HARQ 關閉後 DCI 與 HARQ 相關參數配置與否等問題。

第二類方案，HARQ 傳輸增強機制，係透過提高 HARQ 之進程藉以適用於更長的雙向傳輸時延，抑或藉由禁用 UL HARQ 回饋，藉以避免 HARQ 過程中的等待或停止，且改而使用無線鏈路控制層協議 (Radio Link Control, RLC) 自動重傳請求 (Automatic Repeat Request, ARQ) 來提高傳輸的可靠性。

針對第二類方案下的兩種方式，將於 Release 17 進一步討論 HARQ 進程數量，且考慮 HARQ 回饋、快取大小、RCL 回饋、RLC ARQ 快取大小等因素的影響，而後決議採行何種方式。

方興日盛：3GPP Release 17

現時進行之 5G NR 標準第三階段 Release 17，其規劃於 2022 年 3 月完成第三階段協議凍結，另於同年 6 月完成協議編碼凍結。於 NTN 而言，Release 17 可謂將是 NTN 實現標準落地的第一個版本，而該標準版本雖然主要聚焦於衛星 (涵蓋 GEO、

MEO 與 LEO) 載體之研究，惟 HAPS 仍位列 Release 17 主要研究立項之一，以下透過觀察 Release 17 中 HAPS 之相關研究立項，藉以掌握 HAPS 技術發展趨勢。

觀察 Release 17 中涵蓋 HAPS 之相關研究立項，可發現除了在 Release 16 一節中所述，延續針對定時提前、頻率偏移補償、時延重送機制等物理層面技術的研究外，另主要著墨於 NB-IoT/eMTC 與 NTN 集成技術探究 (文件 TR 32.763)。而值得一提的是該立項研究內容所指 NTN，係同時涵蓋衛星與 HAPS，並非僅針對衛星 (如文件 RP-202689)。而本研究下述內容為免去不必要之論述干擾/誤會，一概以 HAPS 作為該研究立項內容之論述標的。

於 NB-IoT/eMTC 與 HAPS 集成部分，該研究立項之重要性，在於借助 5G 與 HAPS 的相融合，得以支援偏遠山區之農業、礦業、林業、海洋運輸等垂直領域的物聯網應用。觀察 Release 17 於該研究立項主要聚焦兩個面向的技術研究，分別為研析 HAPS 適用於 NB-IoT/eMTC 的應用場景，以及相對應必要之操作程序/網路架構的改變，藉以支持 NB-IoT/eMTC 與 HAPS 的集成，以下說明：

於研析 HAPS 適用於 NB-IoT/eMTC 應用場景部分，其係立基 Release 16 研究報告 TR38.821，進一步探究 HAPS 在 sub-6 GHz 頻段的適用性，以及 HAPS 場景中 PC3、PC5 類型終端設備的有效載荷與鏈路預算 (Link budget)。

於必要操作程序/網路架構的改變，藉以支持 NB-IoT/eMTC 與 HAPS 集成部分，技術研究主要涵蓋：隨機存取程序 (Random Access Procedure)、上鏈排成請求 (Scheduling Request, SR)，以及不連續接收 (Discontinuous Reception, DRX) 等相關之計時機制、無線連結失敗 (Radio Link Failure, RLF) 下 NB-IoT 的協調機制等。

值得注意的是，Release 17 中對於 HAPS 之相關研究立項，僅針對 HAPS 為透明酬載型態進行研究。而探究其由，係透明酬載型態於高傳播時延與移動性管理等方面待解決之問題較為複雜，甚者其解決方案可能同樣適用於再生酬載型態，故 3GPP 先行以透明酬載型態為研究標的。

結論

HAPS扮演衛星通訊中繼站與空中行動通訊基地台係主流研究發展項目

隨著 B5G/6G 逐步發展，非地面網路通訊議題逐漸受到產業與標準組織重視。而歸屬非地面網路之一的 HAPS 於通訊上的兩大應用，涵蓋作為空中行動基地台，從空中提供大範圍、穩定行動網路；以及作為衛星中繼站讓地面與空中的其他基地台與骨幹網路連接。此兩大應用正是現行國際標準組織與產業端聚焦項目，於標準組織面向立基此兩大應用進行技術與操作規範研究開展，而於產業面向則立基此兩大應用進行應用測試與商用落地發展。

於標準組織部分，早於 2015 年 3GPP 即於 Release 14 開展相關研究，其後 Release 15、Release 16，甚者進行中的 Release 17 不僅持續強化 HAPS 與地面通訊網路間的網路互操作性技術標準化外，更進一步深化 HAPS 於不同垂直應用場景的技術與操作標準研究。觀察 3GPP 於 Release 16 與 Release 17 中 HAPS 相關之研究立項可察，其正由物理層技術端研究（如：雙向傳輸時延、頻率偏移補償、定時提前等），逐步擴展至垂直應用領域（如：NB-IoT/eMTC 與 HAPS 集成）的實質落地。

於產業端部分，2018 年起相關聯盟、企業與專案相繼成立，而其中最具有代表性，係為 2020 年初由科技業者（如：Alphabet、軟銀等）、通訊設備商（如：Nokia、Ericsson 等）、航空業者（如：AeroVironment、Airbus Defence and Space、Bharti Airtel Limited 等），以及行動通訊運營商（如：中國電信、德意志電信、西班牙電信等）所共同成立之 HAPS 聯盟，可視為是 HAPS 產業發展的里程碑。而該聯盟致力於推進以 HAPS 作為地面行動網路的向外延伸，以此不僅解決數位落差問題，更實現無所不在的行動網路全域覆蓋。

簡易接入/同步、高效聯合傳輸，以及新波形與多址接入為未來 HAPS 三大技術趨勢

展望未來 HAPS 落地各式垂直應用領域，甚者隨著行動通訊技術之演進，期以實現下世代行動通訊 6G 追求萬物聯網與全覆蓋之應用潛力，可預期 HAPS 未來有三個關鍵技術發展趨勢/潛在技術挑戰。

高效、簡易接入與同步

HAPS 的可移動性雖然帶來高彈性通訊網路覆蓋之效益，惟不同垂直應用場景下 HAPS 所處高度與移動速度的不同，其潛在都卜勒頻率偏移、鏈路路徑變動時延之差異，對於與 5G，甚或下世代 6G 行動通訊網路的互操作將會是一個挑戰。有鑑於此，未來需要進一步研議高效且極簡的接入程序，以及相對應頻率偏移估計等解決方案。

高效率聯合傳輸機制

HAPS 具備地面基地台部分或全部功能之再生酬載型態，係可直接且高速提供如偏遠地區之行動網路覆蓋，再者透過複數台 HAPS 彼此串接更可帶來極高的行動網路廣域覆蓋。惟在此之下，複數台 HAPS 間的直接通訊方式將會是一個挑戰，故研議複數台 HAPS 下的高效率聯合傳輸方案將會是未來研究重點之一。

新波形與多址接入

對於 HAPS 更廣泛的佈署場景需求，以及頻譜效率問題而需求較高的頻譜使用效率，可預期波型設計將會是未來研究重點之一，期能依據目標場景的不同而配置適當的子載波間距 (Subcarrier spacing)、循環前綴 (Normal CP, NCP) 等系統參數。另一方面，有鑑於萬物聯網的發展趨勢，為確保 HAPS 足以支持大規模巨量的連網終端裝置/用戶的接入，可預期多址接入技術亦是未來研究重點之一。

歷代行動通訊技術有效覆蓋人口集中區域，使現代生活已依賴此類無處不在的連接。惟對於地面行動通訊而言，欲求能夠實現連接一切的 5G 以及 6G 邁向太空/天空甚或海地一體的覆蓋目標，對於諸如偏遠地區，抑或地形限制而無法建置行動通訊基礎設施之地區而言，甚難實現。有鑑於此，跳脫地面行動通訊單一配置形式儼然是必然趨勢，而在此之下與位於水平面以上 20 公里高度平流層的 HAPS，架構彼此相串聯之地與空立體行動通訊網路，係將實現行動網路無處不在，且廣域大連結的必然手段，故可預期 HAPS 於未來通訊技術將扮演重要角色。



發行所	財團法人資訊工業策進會 產業情報研究所(MIC)
地址	台北市 106 敦化南路二段 216 號 19 樓
電話	(02)2735-6070
傳真	(02)2732-1353
全球資訊網	https://mic.iii.org.tw
會員服務專線	(02)2378-2306
會員傳真專線	(02)2732-8943
E-mail	members@micmail.iii.org.tw
AISP 會員網站	https://mic.iii.org.tw/aisp

以上研究報告經 MIC 整理分析所得，由於產業變動快速，並不保證上述報告於未來仍維持正確與完整，引用時請注意發佈日期，及立論之假設或當時情境。
著作權所有，非經 MIC 書面同意，不得翻印或轉載