

產業焦點評論

從歐盟 6G 研究專案前瞻 6G 關鍵無線技術發展標的

前言

歐盟陸續自 2020 年 12 月起陸續開展集結產官學研的 6G 研究計畫，並於 2021 年 1 月 1 日啟動。除了討論大方向的 6G 關鍵技術研究項目與應用場景的 Hexa-X 計畫外，後續提出的 REINDEER 項目以及 RISE-6G 計畫，主要聚焦 6G 關鍵無線技術與架構之研究。尤其無蜂窩多輸入多輸出 (Cell-free MIMO) 與可重構智能表面 (Reconfigurable intelligent surfaces, RIS)，更是現階段產官學研矚目的諸多 6G 關鍵無線技術先期研究項目的其中兩項，兩技術發展的共同目標之一都是為了解決在 6G 世代中橫跨更大範圍、包含 sub-6 GHz、毫米波及 THz 等不同頻譜，且不同的頻段採用的技術差異很大下，讓多天線系統建構傳輸空間的多樣性，進而滿足 6G 傳輸體驗之需求。

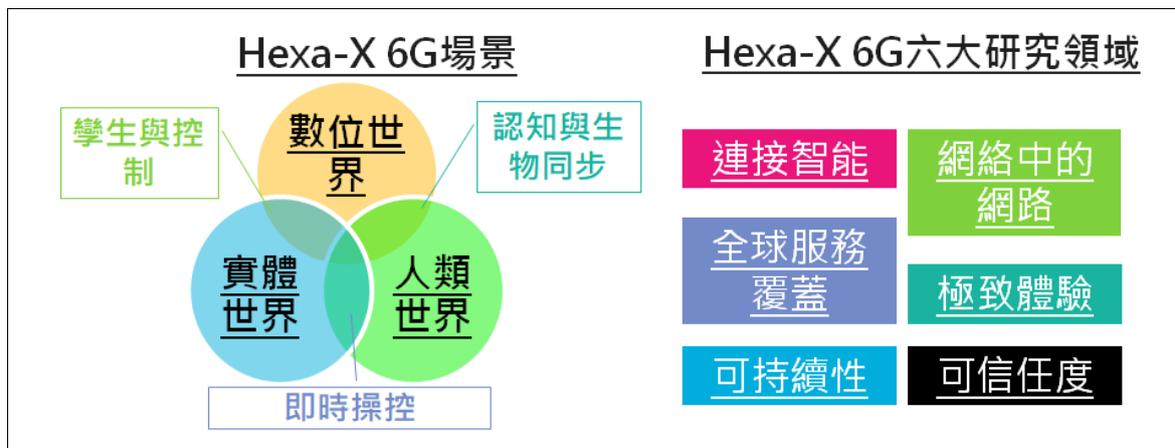
鍾曉君

歐盟啟動 6G 關鍵技術先期研究引擎

隨著日本、韓國、中國大陸與美國接續從國家層級開展鏈結產官學研的 6G 先期研究與推動計畫，歐盟也加緊腳步聯合成員諸國關鍵大廠，開始 6G 先期研究之佈局。2020 年 12 月宣布立項於歐盟 Horizon 2020 研究和創新計畫下，獲得歐盟委員會資助，由 Nokia 領軍、Ericsson 技術指導，聯合 Intel、Siemens、Telefonica 等業者，與奧盧大學、比薩大學等學界參與合作，並於 2021 年 1 月 1 日正式啟動為期 30 個月之 6G 旗艦研究項目-Hexa-X 計畫，以擘劃歐盟對 6G 場景之想像，以及技術研究領域之方向。

該計畫願景為：加速和促進 6G 研究並推動歐洲在 6G 時代的領先地位。目標是打造 6G 世代獨特的用例與解決方案，同時開發相關基礎技術，且將 6G 關鍵技術整合於智慧網路架構中，實實在在地構建新下世代通訊網路。

圖一、Hexa-X 計畫



資料來源：Hexa-X 計畫，MIC 整理，2021 年 3 月

無獨有偶的是，除了「Hexa-X」計畫外，歐盟亦瞄準未來 B5G 與 6G 前瞻技術與應用的可能發展方向，並資助啟動如 Ericsson 特別參與的 REINDEER 項目、法國電子和信息技術研究院 (CEA-Leti) 負責之 RISE-6G 計畫。

REINDEER項目

REINDEER 項目全稱為“ 利用高能校且距高度多樣性的 RadioWeaves 技術實現彈性的交互式應用 (REsiliEnt INteractive applications through hyper Diversity in Energy-Efficient RadioWeaves) ”，此項目由歐盟 100% 資助，從 2021 年 1 月開始為期 42 個月，成員來自四個國家 (奧地利、比利時、瑞典和西班牙) 的共 9 個產學研界合作夥伴組成。

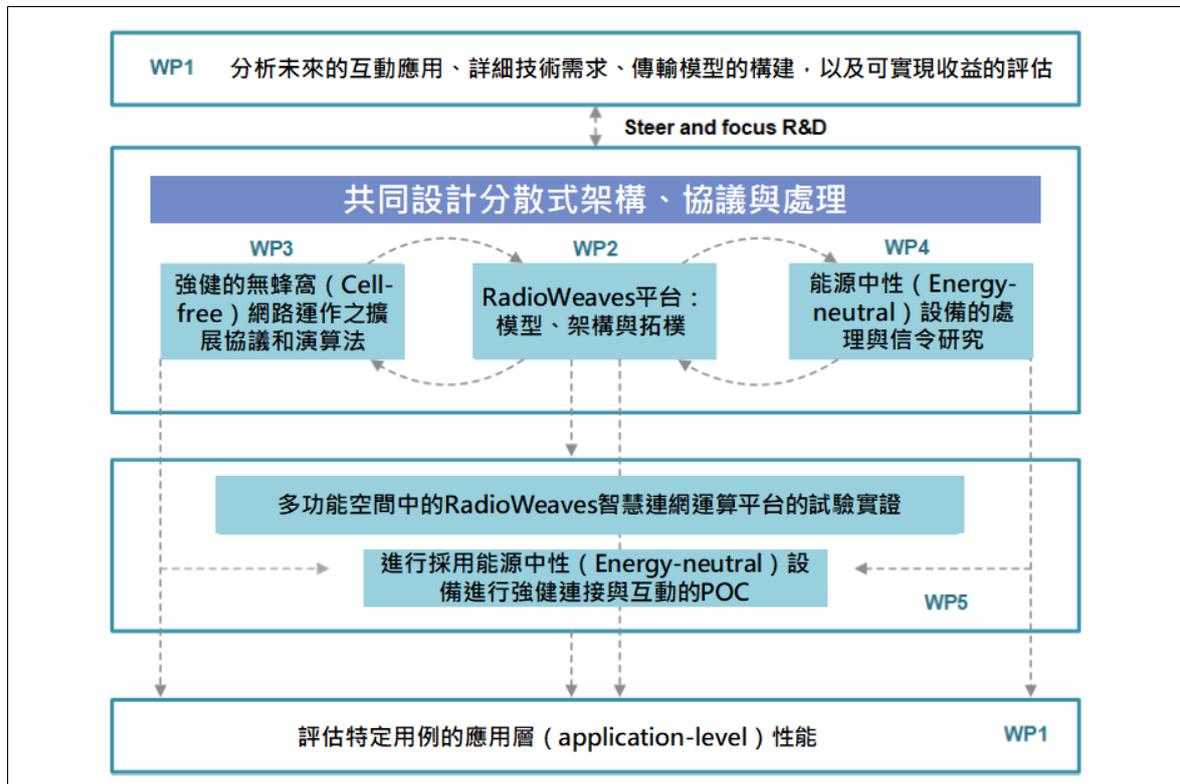
圖二、歐盟 REINDEER 項目



資料來源：REINDEER 項目，MIC 整理，2021 年 3 月

此項目的目標為開發和建構一個對於未來的 6G 至關重要的智慧連網運算平台，該平台的容量可擴展至準無限 (quasi-infinite)，並可讓極龐大的嵌入式設備得以進行零延遲感知與互動傳輸作業。該項目成果主要將開發一項新的多天線無線接取基礎架構- “ RadioWeaves ” 技術，主要由分散式無線電、運算和儲存結構組成一巨大的分佈式天線陣列。

圖三、歐盟 REINDEER 項目之工作小組分工



資料來源：REINDEER 項目，MIC 整理，2021 年 3 月

在 REINDEER 項目中，Ericsson 主要負責包含無線電接入技術和訊號處理、無線電網路和無線電接口架構，以及網路管理（包括算法，協議）等面向。針對無線電傳輸相關技術部分，Ericsson 特別指出，將重點針對關鍵無線技術進行研究，尤其是無蜂窩多輸入多輸出 (cell-free MIMO) 和大規模智能表面 (Large-scale intelligent surfaces) 兩技術，並聯合 Linköping 大學、Lund 大學一同展開進行。

RISE-6G計畫

RISE-6G 計畫是歐盟委員會資助的 5G 基礎設施公共私人合作夥伴 (5G-PPP) 框架下的一個計畫項目，從 2021 年 1 月 1 日啟動，為期三年。此計畫有七個國家共 13 個產學研合作夥伴。主要由法國能源技術委員會智能設備科學與創新總監 Emilio Calvanese Strinati 協調，該委員會也隸屬法國電子和信息技術研究院 (CEA-Leti)。產業端包含 NEC 歐洲實驗室、法國電信、義大利電信、Greenerwave；學研界有 Chalmers 大學, Aalborg 大學, Nottingham 大學等，以及法國國家科學研究中心

(Centre National de la Recherche Scientifique) 等；其他參與者還包括法國國家鐵路協會 (SNCF)、義大利菲亞特動力系統技術公司 (Centro Ricerche Fiat)。

圖四、歐盟 RISE-6G 計畫



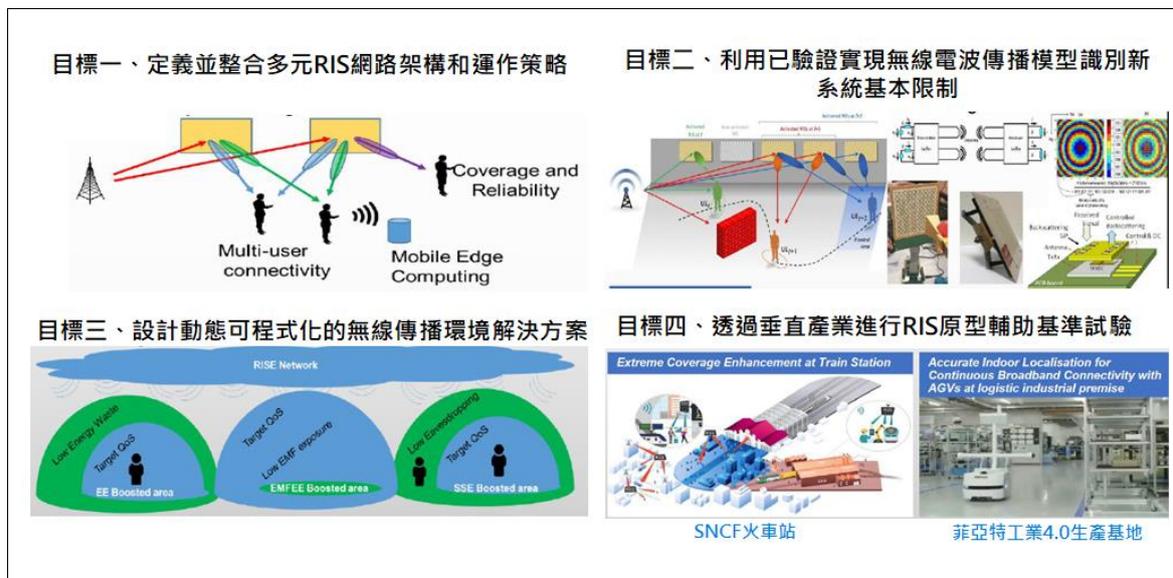
資料來源：RISE-6G · MIC 整理 · 2021 年 3 月

RISE-6G 計畫的發展標的明確，主要為了開發並測試智慧化且能源可持續技術，主要針對可重構智能表面 (Reconfigurable intelligent surfaces, RIS) 進行設計，該技術將使可程式化控制且行塑無線傳播環境成為可能。且通過部署 RIS 並藉此動態控制訊號，可將無線環境轉變為一種服務，確保無線環境中的能校、訊息傳遞穩定與準確性、精準定位、甚至可透過控制訊號強弱確保隱私安全，同時也符合、適應關於頻譜使用以及電磁波釋放 (EMF) 相關規定之特殊規範。

此計畫的發展目標有四：

- 目標一、定義並整合多元 RIS 的新興網路架構和運作策略。
- 目標二、利用已驗證實現的無線電波傳播模型來識別新系統的基本限制。
- 目標三、設計基於動態可程式化的無線傳播環境解決方案，使大容量連接性、能效、電磁波發射和精準定位可在線上實現，同時也符合法規對頻譜使用、數據資安保護以及電磁波釋放標準之特定法規要求。
- 目標四、透過垂直產業 (如菲亞特工業 4.0 生產基地和 SNCF 火車站) 原型輔助基準試驗，提出原型參考創新建議。

圖五、歐盟 RISE-6G 的發展目標



資料來源：RISE-6G · MIC 整理 · 2021 年 3 月

簡單來說，RISE-6G 計畫主要藉由 RIS 來支持可拓展、智慧化無線連網環境之建構。然而，欲進一步發展 RIS，還需解決關鍵硬體元件設計，以及在 B5G/6G 網路中的整合等問題。

前瞻 6G 關鍵無線通訊技術發展項目

相對於 Hexa-X 計畫主要建構面向 6G 世代獨特應用服務與場景、擘劃基本技術發展方向且定義 6G 世代網路的可能架構趨勢，REINDEER 項目以及 RISE-6G 計畫兩者則更聚焦邁向 6G 發展歷程中，更新穎、甫萌芽、高門檻的關鍵 6G 先進技術之研究。

尤其，預期直到 2030 年 6G 逐步邁向商用態勢下，下世代行動網路的建構，相較 5G 世代，更將以「以人為本」的概念發展，並為實質上地奠定智慧化社會和垂直產業之穩固基礎。因此，除了網路整體架構的創新持續被探討；在面對 6G 將往更高頻頻譜需求邁進，且因應未來無論一般生活或生產工作環境，將需要大量獨立或嵌入式連網終端，使得更彈性且智慧化的無線電傳輸軟硬體發展更為重要。

當然，關於 6G 先期關鍵無線技術之研究標的非常多樣，尤其是無線端的技術更是琳瑯滿目；尤其各項技術項下有多種支持技術尚須投入研發方得實現，例如 6G 世代需在 THz 頻段中傳輸訊號，新型天線技術就扮演重要角色，然因 THz 的物理限制，天

線的設計需要增加天線數量，以增加傳輸功率以及功率的聚集能力。但在 THz 頻段下，降低晶片至天線之間電路基板走線損耗較大，也增加了天線設計難度。

再者，因自 5G 後，頻譜資源使用往高頻發展，蜂窩基地台從大型基地台持續往小型基地台進行分層方式佈建以增加覆蓋率，但當基地台覆蓋面積逐漸密集，卻也造成干擾與頻繁跨區切換問題日趨嚴重，導致通訊系統性能無法提升；故可想像 6G 到來後，在超高頻的如 THz 頻段之環境中，若仍以傳統蜂窩網路部署，或將無法處理未來高頻段頻譜環境中的傳輸效率、維持整體系統性能。如何對傳統蜂窩網路架構進行改革，成為未來無線傳輸系統架構的發展重點。

而歐盟的 REINDEER 項目及 RISE-6G 計畫中，提到的兩項重點關注、研究的 6G 關鍵無線技術“可重構智能表面 (RIS)”與“無蜂窩多輸入多輸出 (Cell-free MIMO)”，正是在面對前述 6G 世代將遭遇的無線傳輸技術瓶頸下的解決方向之一：

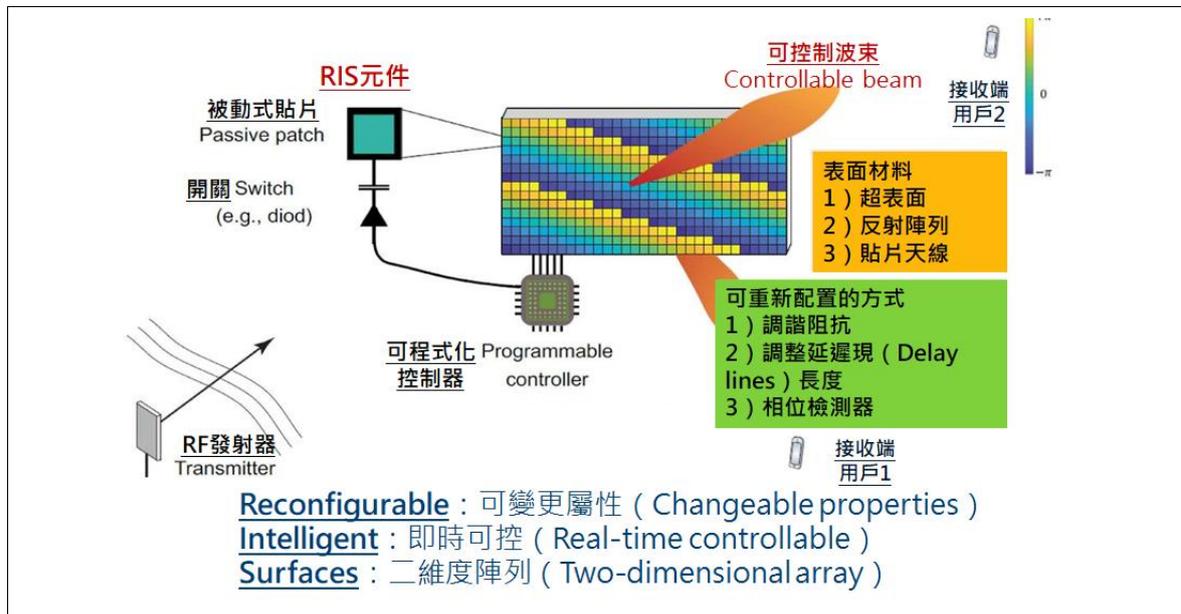
可重構智能表面 (RIS)

REINDEER 項目所提“大規模智能表面 (Large-scale intelligent surfaces)”或 RISE-6G 計畫所指“可重構智能表面(RIS)”，基本上皆是所謂智慧表面(intelligent surfaces)的別稱。

自 2018 年以來，RIS 技術已吸引了行動通訊領域的產學研極大關注；在學術領域，針對智能表面技術其實有許多類型與稱呼，包含可重構反射表面 (Reconfigurable reflecting surfaces, RRS)、大型智能超表面(large intelligent metasurface, LIM)、軟體控制超表面 (Software-controlled metasurface)、智慧反射陣列 (Smart reflect-arrays)、軟體定義表面 (Software-defined surface , SDS) 以及主動式智能表面 (Passive intelligent surface , PIS) 等。在功能上各技術「幾乎」相同，都是為了解決非視距傳輸、降低覆蓋缺口等傳統無線通訊痛點問題，進一步建構更智慧化的無線電傳輸環境。

RIS 是指無論入射角度為何，均可透過軟體重新配置反射角度；透過整合被動天線配合控制元件形成可個別/單獨程式化的「平鋪 (tiles)」陣列，透過調整其參數、位置，改變波數的反射傳播特性與相位分布，操縱超高頻 (如 THz) 波束傳輸方位，達到消除限於視距 (Line-of-sight) 傳播時的訊號死角，進而提升高階 MIMO 空間多工可用以及毫米波/超高頻覆蓋範圍，從而影響傳播環境，故引起學術界和產業界的興趣。

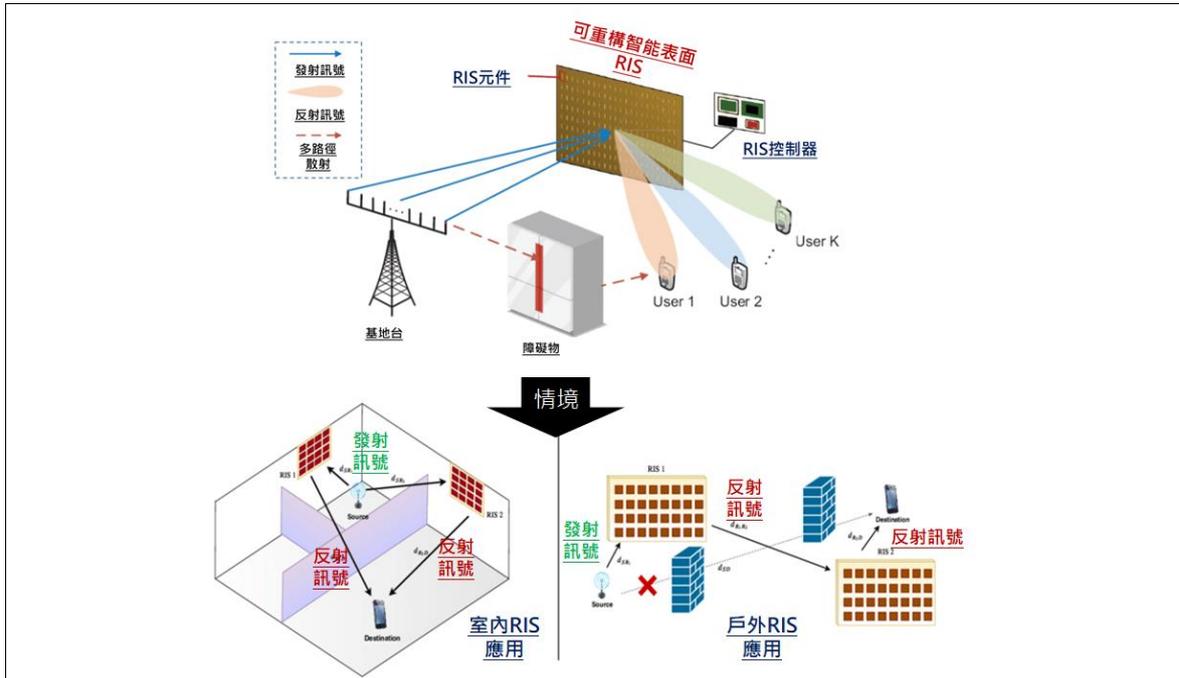
圖六、RIS 示意圖



資料來源：Linköping 大學、Ericsson · MIC 整理 · 2021 年 3 月

簡單描述其應用即是，當基地台天線發送訊號至 RIS，RIS 則將波束成形訊號反射至用戶端。若發射端與接收端遇到屏蔽，視距鏈路受到阻擋，RIS 則會建立備用傳輸路徑。而這樣的技術特性，對於受屏障而產生大量穿透耗損的高頻通訊而言扮演將重要角色。

圖七、RIS 應用示意圖



資料來源：Princeton 大學、Houston 大學、ICCC 2020，MIC 整理，2021 年 3 月

且作為 6G 世代的關鍵候選技術，RIS 相對於既有通訊技術有著包含低噪、低功耗、不需混頻器、功率放大器與 ADC/DAC 等高成本元件，在部署上亦安裝拆卸且可擴展等優勢；此外，由於 RIS 連續表面中任何一點都可重配置電磁波傳輸，可構成任意形狀表面，因此可支持更高的空間解析度 (spatial resolution)。

然而，RIS 相關技術仍屬於初步探索階段，發展仍面臨許多挑戰，包括通道模型、硬體架構、被動波束成形、通道估計、實際部署與組網架構設計 (如在 Cell-free 架構下實現) 等問題需要釐清。且由於 RIS 需要電晶體或是二極體與天線結構，並和控制器、電源、相位檢測器 (Phase Shifter) 整合，當元件數量增大時，就需用到封裝技術以達成大量元件集成。因此，高性能的 RIS 材料研發與製程也是未來研發關鍵。

而 RISE-6G 計畫主要研究標的正是 RIS，期望發展用於覆蓋環境 (如牆壁、天花板、鏡子或電器) 等物體的超材料 (Metamaterials)，並且當配備主動式射頻 (RF) 元件時，將用作可重新配置的反射器或收發器，以實現大規模的傳輸作業。

無蜂窩多輸入多輸出 (Cell-free MIMO)

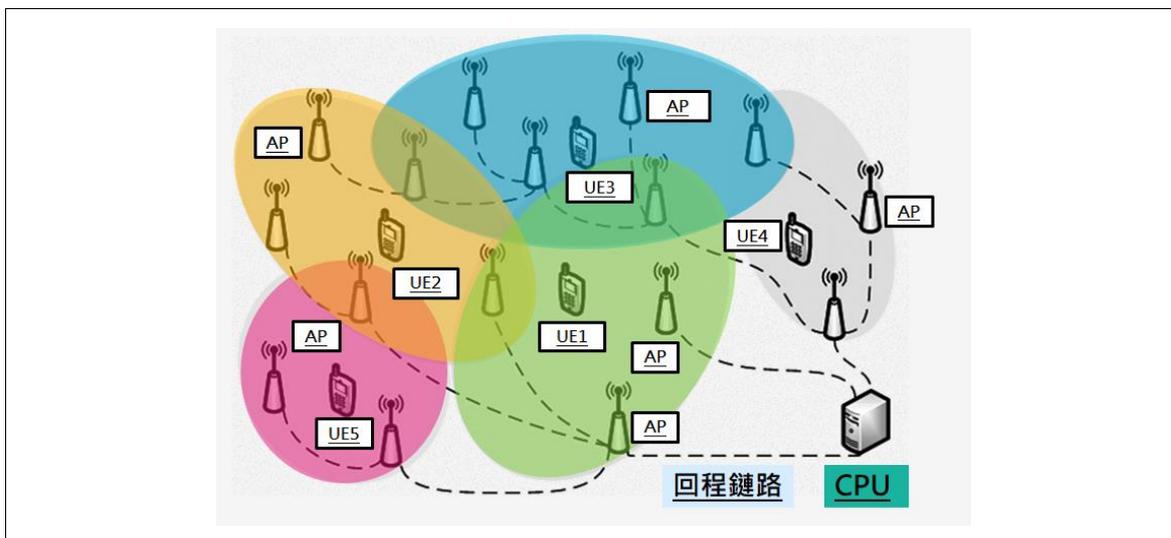
未來在 6G 甚至更下世代的通訊將橫跨更大範圍的頻譜，囊括 sub-6 GHz、毫米波及超高頻的 THz 等，由於不同的頻段採用的技術差異很大，因此多天線系統提供空間多樣性，將是 6G 世代發展更多樣化擴展集成的無線技術之關鍵。尤其自 5G 以來，大規模 MIMO (Massive MIMO) 技術，利用同一時頻 (Time-Frequency) 資源同時服務於多個用戶，使無線通訊系統的吞吐量再次出現質量的飛躍；且 Massive MIMO 技術亦可同時達成空間多樣、空間多工及空間定向。

近年產學研各界研究顯示 DAS 是未來 Massive MIMO 基地台趨勢之一，但大量基地台的相互協作非常複雜，且各基地台時間同步精度要達到微秒級，若通過光纖連接在一起，導致較高的網路部署和維護成本。再者，既有蜂窩系統架構中，往往存在用戶端跨區切換頻繁、基地台之間同步訊號汙染(Pilot Pollution)，以及基地台覆蓋邊緣用戶服務品質低弱等問題。因此，各界開始思考更先進的無線技術擴展集成解決方案。而無蜂窩多輸入多輸出，亦可稱無蜂窩大規模多輸入多輸出技術，英文稱可 Cell-free MIMO 或 Cell-free Massive MIMO，即為其中一種。

Cell-free MIMO，主要是將 DAS、協作式多點處理 (coordinated multipoint processing, CoMP) 和大規模 MIMO 的優點結合，許多分散式接取點 (Access Point, AP) 連接到一個中央處理器 (CPU)，將大量可單獨控制的天線建構在廣泛的區域中，引入以用戶為中心概念，為區域中的所有用戶端設備提供傳輸服務，同時為網路內的所有使用者設備 (UEs) 共同服務。在此情況下，將不似過去會產生傳統蜂窩網路邊界同步訊號汙染以及基地台之間干擾問題；也因用戶周遭有許多 AP 圍繞，AP 與使用者間距離縮短，進而得以大幅降低路徑損耗，並更好地利用優越的空間多樣性提供高頻譜效率。

換句話說，有別於過往用戶需在蜂窩基地台覆蓋範圍中有較佳的傳輸品質與效率；Cell-free MIMO 則翻轉概念，以用戶為中心，讓每個使用者都被 AP 所包圍，如同身處基地台覆蓋中心，再無蜂窩覆蓋邊界。與傳統的 Massive MIMO 技術相比，Cell-free MIMO 具備更佳的空间多工增益 (spatial multiplexing gain)，促使傳輸達到全區域均勻覆蓋且大幅提升用戶輸送量，更進一步提升了頻譜利用率，被認為是 B5G /6G 的下一代技術。

圖八、Cell-free MIMO 示意圖

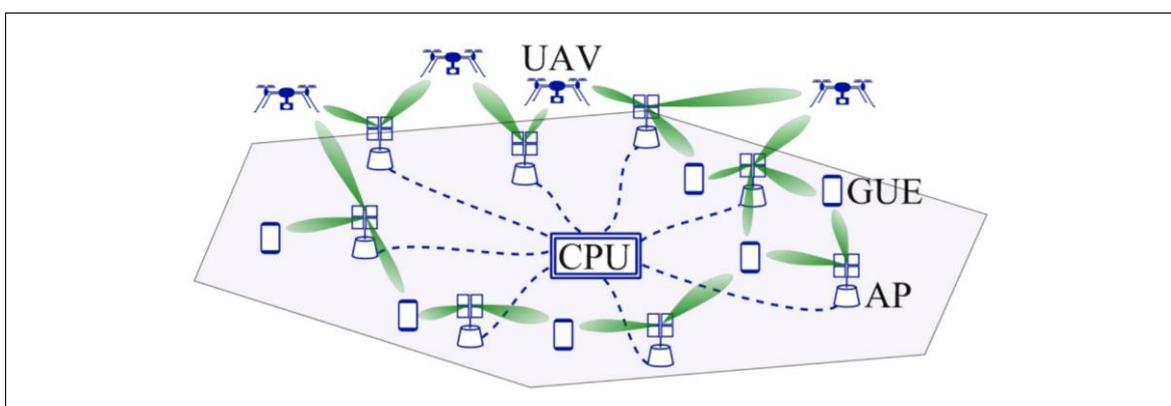


備註：虛線為前傳網路。

資料來源：IEEE、Cornell 大學、Linköping 大學，MIC 整理，2021 年 3 月

在應用上，對於 Cell-free MIMO 技術已有許多概念場景，如支持高數據傳輸的大規模物聯網/機器型通訊，或使用無人機擴大訊號覆蓋範圍與回傳，以及未使用 AP 的通斷開關 (on-off switching) 等。

圖九、支持地面與無人機通訊的 Cell-free MIMO 網路示意圖



備註：GUE=傳統地面用戶 (Legacy ground users) 。

資料來源：Nokia Bell Labs、University of Cassino and Southern Latium，2021 年 3 月

Cell-free MIMO 技術概念仍處萌芽階段，國際產學研單位的相關研究尚屬初步探索，因此，Cell-free MIMO 雖然有前述優勢，但實際實現上不太可能採用集中式處

理手段運作，仍需開發去中心化處理方法，包括分散式領航訊號的分配策略、上下行同步訊號設計、通道估計機制、前傳 (Fronthaul) 整合技術與實際系統性能分析等。而這也是歐盟 REINDEER 項目在後續將持續發展研究的環節。

結論

歐盟啟動跨國之產學研前瞻6G無線技術先期研究

國際間主要國家與產學研單位，一方面相互合作共同探討 6G 世代應用場景、需求特性與技術發展方向；一方面也各自為政，期望在本國或區域性聯盟下，率先掌握 6G 先期技術研究與發展的話語權。

而在日、韓、中國大陸等已超前部署、投入大筆經費開展 6G 研究後，歐美也急起直追，然而，相較於亞洲以國家政策規劃進行 6G 先期研究；歐美則以產業與學研聯盟方式擘劃 6G 發展藍圖。尤其歐洲地區，更是以歐盟 Horizon 2020 研究與創新計畫為主要資金來源，開始 Hexa-X 計畫；另外，亦鏈結歐盟委員會與歐洲 ICT 行業（ICT 製造商，電信運營商，服務提供商，中小企業和研究機構）共同發起的 5G 基礎設施公私合作夥伴關係（5G PPP）為基礎，啟動 REINDEER 項目和 RISE-6G 計畫。

而在層次上，Hexa-X 計畫可謂幫歐盟與國際擘劃出了 6G 的樣貌，2021 年 2 月 28 日更發表第一份報告：“6G 願景，用例和關鍵社會價值（6G Vision, use cases and key societal values）”，內容描述 6G Hexa-X 計畫願景、用例、應用服務和關鍵價值指標等。後續也將持續更新與發表包含對社會和技術當前趨勢的分析、對 6G 基礎構想的創建和調整、以及對影響業務模型的相關原則識別等研究成果。

而隸屬於 5G PPP 下的 REINDEER 項目和 RISE-6G 計畫則更為著重在特定、前瞻、發展中的 6G 新興網路架構、無線傳輸技術、運算平台等面向之探索，甚至深入更細項的元件發展、材料需求、模型設計等研究。換句話說，就是發展從學理到實踐的 6G 潛在關鍵、且具顛覆性的新興技術，使其得以作為標準化技術之一，並實現商用。藉此確保歐洲於下世代通訊技術發展的領先地位，且在 B5G / 6G 全球競賽中，創造新的由歐洲構想、發展之服務和商機。

RIS與Cell-free MIMO為眾多6G潛在無線技術中受歐盟關注的標的

隨著 6G 先期研究拉開序幕，現階段 6G 多被認為將以更全面的覆蓋、更廣泛的頻譜資源使用、更多元化的應用場景以及更加強化隱私資安的形式，來滿足人們、企業等社經環境日益增長的各類通訊需求。故相較於 5G，6G 更需要突破傳統無線通訊傳輸的各種不可預料、控制的變因，進一步重構無線傳輸環境。

此外，因應從低至超高多頻段所採用的技術差異大，如能將基地台天線的數目提高至成百甚至更多；雖然近年研究顯示 DAS 是未來 Massive MIMO 基地台主要趨勢之

一，但如前述大量基地台間的協作非常複雜；且通道傳播模型是不同頻段間最大的差異，造成各系統須針對通道傳播特性採用不同的訊號處理技術，且通道傳播同時也取決於天然環境，人為較難控制。

因此，思考能滿足前述 6G 特性，各界無不思考著 6G 世代無線傳輸技術與網路架構的可能樣貌。在歐盟啟動的 6G 先期研究的 REINDEER 項目和 RISE-6G 計畫，考慮到 2030 年的可能通訊場景，認為 B5G / 6G 網路應該是為「以人為本」的智能社會和垂直應用產業奠定基礎。因此，在研究標的之選擇上，在衡量 6G 世代的頻譜運用、無線傳輸瓶頸等議題，特別針對可打造新一代的動態可程式化無線傳播環境的 RIS，以及消弭傳統蜂窩基地台邊界、以用戶為中心概念設計，擁有具有高頻譜效率效和優越空間多樣性之 Cell-free MIMO 技術展開研究。

而畢竟現階段兩技術都處於理論發展階段，距離原型設計與實證，甚至是商用仍有一大段距離，待處理的技術問題也難以在短期間解決，尤其 REINDEER 項目和 RISE-6G 計畫實際執行期間約在 3-4 年左右，故可說是為新興無線傳輸技術打底階段。步入產業的時程，除了觀察兩技術納入標準化的機會，也要掌握未來數年發展脈絡中，是否有其他替代技術或兩技術在實現上已有所突破。因此，目前僅能觀察 REINDEER 項目和 RISE-6G 計畫針對兩技術後續的發展動態，尚無法斷言兩技術何時將顯著影響 6G 世代無線通訊產業態勢。

但不可否認的是，除了歐盟產學研界關注此兩技術，亞洲國家尤其中國大陸學研界已針對 RIS 與 Cell-free MIMO 發表了不少期刊論文；且於 2020 年中以針對 RIS 啟動了不少學術研討會，其中，中國移動以及中興兩業者都參與其中，發表其研究發現與後續的研析方向。故可見得，RIS 與 Cell-free MIMO 有其發展研析的重要性。



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