

5G開放網路的發展與推廣

中華電信數據分公司總經理兼電信研究院院長 林昭陽

本文針對現今最活躍的 5G 開放網路國際組織 O-RAN Alliance，探討其架構、標準及介面開放化、網路智慧化、硬體白盒化、和軟體開源化等四個目標。文中首先概述全球 5G 開放網路動態，再說明 5G O-RAN 標準現況、網路架構和簡介組成單元，其後說明中華電信主辦國發會亞矽案所進行之 5G 開放網路整合與驗測、實證場域驗證規劃之內容，最後為結語。

壹、5G開放性基地台發展和全球動態

行動通信基地台技術不斷發展，早期的基地台主體為大型機櫃，再加上多條電纜和大尺寸的戶外被動天線為常見的布建模式。在 3G 時代的後期發展出分布式基地台，將大型機櫃分為基頻單元（Baseband Unit, BBU）和無線單元（Remote Radio Unit, RRU）兩個模組，這架構使得 RRU 能更靠近天線，而 BBU 也大幅降低基地台空間與空調需求。在 4G 時代，分布式基地台 BBU 和無線頭端（Remote Radio Head, RRH）為主流模式，參考圖 壹，相較於 RRU，RRH 為每個細胞一個設備，可更靠近天線布建。至 5G 時代，以主動式天線系統（Active Antenna System, AAS）取代 RRH、電纜和被動天線成為巨細胞（Macrocell）基地台的主流模式。

對於無線接取網路（Radio Access Network, RAN）或基地台系統設備，一般電信業者只能向大型傳統電信設備商購買，BBU 與 RRU（或 RRH、AAS）兩個模組間使用通用公共無線介面 CPRI（Common Public Radio Interface）連接為主流，但不同廠家間的設備是無法互通的。基地台設計被包裹於一個黑盒子中，使得硬體抽換與功能升級都只能依賴於單一的傳統電信設備商。

隨著 5G 多樣化應用場景如 eMBB/URLLC/mMTC（enhanced Mobile Broadband /Ultra-Reliable and Low Latency Communications/massive Machine Type

Communication) 和垂直領域應用等需求的持續增加，網路功能虛擬化、電信設備的彈性布建、機器學習與人工智慧導入之需求等，使得網路功能分離 (Functional Split)、可互通的介面、與開放性架構逐漸成為趨勢。目前最活躍的開放性基地台國際組織為由電信業者主導的 O-RAN 聯盟 (O-RAN Alliance)，於 2018 年初正式成立，並陸續制定相關標準與介面規範，以達成基地台的開放、智慧化與可互通。O-RAN 聯盟提倡將傳統的黑盒基地台進行開放，並將基地台分為 O-CU (O-RAN Central Unit)、O-DU (O-RAN Distributed Unit)、O-RU (O-RAN Radio Unit) 三個單元和定義其間的介面，如圖 1 所示。

在 O-RAN 聯盟開放性架構下，只要各廠家遵循其逐步完整的介面與流程協定，不同廠家間的設備就可以互相組裝與運行，包含將硬體白盒化和網路功能軟體虛擬化，如 O-CU 和 O-DU 使用通用伺服器來完成，而 O-RU 也逐步建立起硬體架構和需求之標準。O-RAN 開放架構帶來可擴充性和彈性，使得各種客制化功能與特殊性需求都有機會得到滿足，實踐 5G 各種智慧應用。

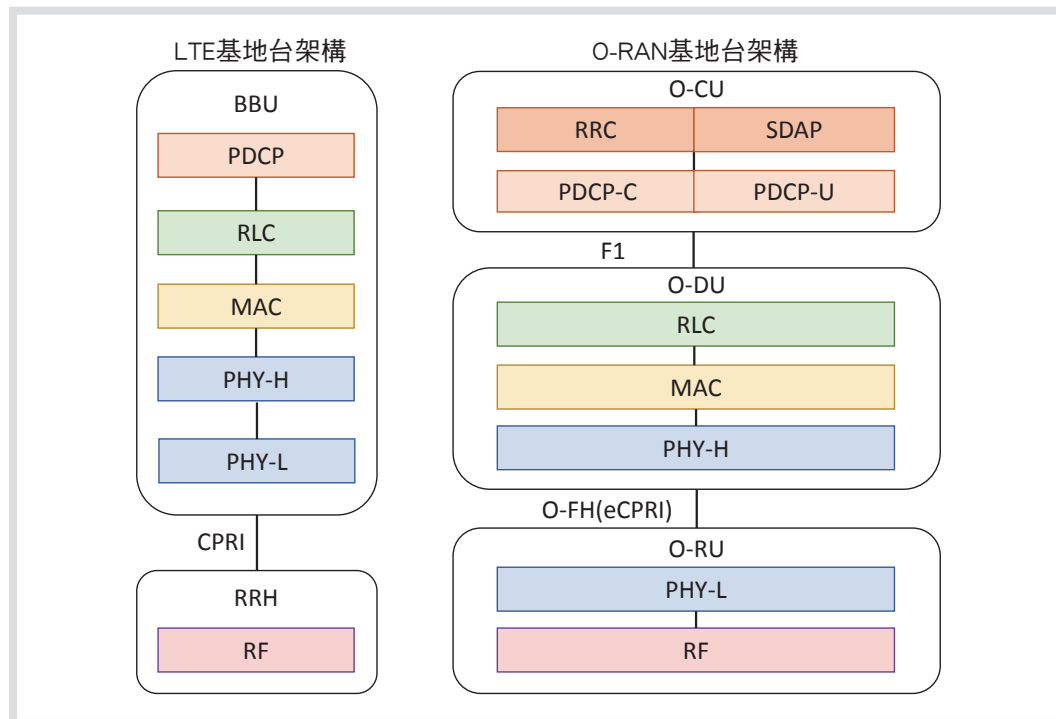


圖 1 4G LTE 基地台和 5G O-RAN 基地台架構

目前全球 5G 開放網路所成立的相關組織主要包含下列三大組織，分別為 O-RAN Alliance、Telecom Infra Project (TIP) 以及 Open RAN Policy Coalition (ORPC)，其中 O-RAN Alliance 由中國主導的 C-RAN Alliance 以及美國、歐洲及日本所組成的 xRAN Forum 所合併，目前主導成員包含各大行動網路業者，而 Telecom Infra Project 則由 Facebook 於世界行動通訊大會 (Mobile World Congress, MWC) 所發起，希望仿照開放計算計畫 (Open Compute Project) 方式號召相關業者及廠商加入，另外 Open RAN Policy Coalition 則是由美國政府主導，聯合各個科技及電信企業所成立，目前無中國成員。

目前各國的 5G 開放網路發展動態及目標各不相同，如圖 2 所示。美國由於軟體、晶片及硬體上均有相關領導優勢，因此積極的想要主導開放網路市場，這點從美國主導 Open RAN Policy Coalition 就可看出。目前美國積極參與開放網路架構的業者有 Dish、AT&T 以及 Verizon，其中 Dish 被政府要求 2023 年須達到 70% 以上 5G 覆蓋率，同時提倡於鄉村網路中引入 Open RAN，而 AT&T、Nokia 與 Samsung 合作於紐約及達拉斯進行 5G mmWave 測試，另外 Verizon 則與 Samsung 合作於紐約及新英格蘭地區布建低頻 5G 網路。

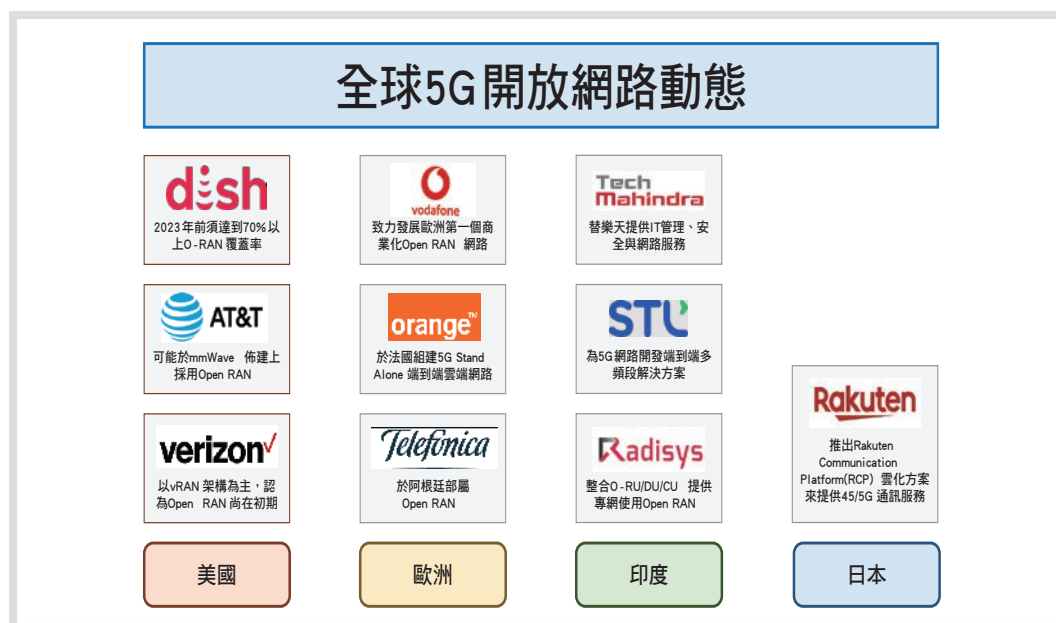


圖 2 全球 5G 開放網路動態

歐洲因為相關電信業者如 Vodafone、Orange 和 Telefonica 經營非洲及中南美洲等中、低度發展市場，所以目前積極於鄉村地區進行 Open RAN 開放網路建設試驗，並將 Open RAN 視為擴大網路覆蓋相對經濟實惠的方案，目前歐洲電信商主要參考 O-RAN Alliance 所訂定的相關文件，並以 Macrocell 基地台做為布建主力，將先以完善基地台功能為主，而智能化與自動化的相關功能則會較晚引進。

印度部份則因為其具備良好的軟體技術能力，目前主要致力於 Open RAN 相關系統的整合，如 Tech Mahindra 就為樂天提供 IT 管理的相關功能，STL 已經為 5G 網路開發端到端解決方案，而 Radisys 則提供 O-DU、O-CU 的相關軟體方案及積極的進行 O-RAN 設備整合，提供通訊、工業、專網使用的 Open RAN 設備。

日本則由樂天電信（Rakuten）使用開放網路架構推出 Rakuten Communication Platform（RCP）提供 4G 與 5G 通訊服務，RCP 主打可以通過全虛擬化與雲化方式快速引入 5G 網路與應用，並可以配合 AI 實現網路自動維運與優化，同時降低 5G 相關布建與維運成本。樂天電信劍指電信雲時代專注於開放網路的雲化發展，如投資 AltioStar 來強化基地台相關技術發展、收購 Innoeye 強化自動化 OSS 解決方案、與 NEC 合作 RU 和 5G 核網、與 Fujitsu 合作 4G/5G Open RAN 解決方案等。

貳、5G O-RAN標準現況

O-RAN 聯盟定義 O-RAN 網路架構和單元，並制定各個單元及單元間介面的技術規範和測試規範，透過致力於以下四個目標來達成開放性基地台，分別為：

- （一）介面開放化：將原本基地台內的封閉介面進行開放，定義統一的資料與傳輸格式，以利不同廠商間的軟硬體進行對接，藉以降低對單一廠家的依賴，使得更多廠家可以進入基地台設備市場，進一步的從基地台設備開放走到基地台市場開放，使得網路市場注入活水與創新能量。
- （二）軟體開源化：推動無線介面協定開源，同時共享基地台單元的程式碼，降低研發成本。並可使開發者將研發資源聚焦於核心演算法和差異化功能軟體的開發上，節省重複且冗餘的基礎程式撰寫。
- （三）硬體白盒化：將傳統的基地台進行開放，訂定統一且開放的規格，同時運用軟體虛擬化功能，將傳統的專用硬體以通用伺服器替代，進行軟硬體解耦，讓更多廠家可以加入基地台設備市場，提升多樣性。

（四）網路智慧化：受益於基地台軟體化與軟硬解耦的益處，軟體可以控制硬體行為，同時基地台可以進行一定程度的運算與接收網管系統的指令，因此可以引入各種演算法和機器智能，完成網路資源的彈性調度與快速管理，提升網路整體的運作效率。

為了達成上述目標，O-RAN 擴展了 3GPP 所定義的 5G NG-RAN 介面和單元，在 3GPP 的 E1/F1/X2/Xn/NG 介面外，新增了 A1/O1/O2/E2/O-FH（Open Front Haul）介面，並新增了 SMO（Service Management and Orchestration）、Non-Real Time RIC（RAN Intelligent Controller）、Near-Real Time RIC 三個單元，傳統基地台的 BBU 和 RRU 重新劃分為 O-CU、O-DU、O-RU 三個單元或模組。

O-RAN 新增的單元與各模組的功能分別說明如下：

- （一）SMO：提供網路設備管理功能，透過 O1 介面進行 FCAPS（Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security）管理，與 O-RU 間使用 O-FH 的 M-Plane 介面進行對接與管理，使用 O2 介面進行 O-Cloud 平台（提供虛擬化網路功能的雲平台）資源和負載管理。
- （二）Non-Real Time RIC：位於 SMO 內，主要功能為處理大於 1 秒以上的判斷和決策，包含基地台的資料分析、機器學習模型建立、EI（Enrichment Information）提供、Policy 制定，可以藉由取得 SMO 的相關資料進行運算與模型建立，對網路效能與參數進行運算和決策，透過 A1 介面對 Near-Real Time RIC 進行 Policy 和機器學習模型的更新，調整網路資源的配置，改善網路品質。
- （三）Near-Real Time RIC：主要功能為處理小於 1 秒和大於 10 ms 的相關決策，依照 Non-Real Time RIC 所提供的 Policy 與 EI 進行基地台資源配置，與 O-DU、O-CU 間以 E2 介面對接，進行相關配置與交換訊息，並對 RAN 的相關資料進行決策和分析。
- （四）O-CU：分為 O-CU-CP（控制面）和 O-CU-UP（用戶面）兩部份，O-CU-CP 進行 RRC（Radio Resource Control）和 PDCP（Packet Data Convergence Protocol）協定之功能，而 O-CU-UP 則進行 SDAP（Service Data Adaptation Protocol）和 PDCP 協定的功能，透過 NG 介面及 F1 介面分別與 5G 核網及 O-DU 連接，可以同時管理多個 O-DU 單元。

(五) O-DU：主要處理 NR 協定中的 RLC (Radio Link Control) Layer、MAC (Media Access Control) Layer 和 High PHY (PHYSical) Layer 功能，與 O-RU 間為 O-FH 介面，使用 eCPRI (evolved CPRI) 規格。

(六) O-RU：主要處理 NR 協定中的 Low-PHY layer 和上下行的射頻訊號，射頻訊號連接至天線（如 sub-6 GHz small cell），而在 Macrocell 基地台或 mmWave 基地台時，O-RU 通常具備 AAS 天線的功能。

對應於相關的單元、模組和介面，O-RAN 已成立了 10 個工作組 (Workgroup)、4 個焦點組、1 個開源軟體社區 OSC (O-RAN Software Community) 和 1 個 MVP (Minimum Viable Plan) 計畫進行相關規範的制定。10 個工作組對 O-RAN 架構和介面訂定功能與運作流程之規格，10 個工作組分別為：

WG1：Use Cases and Overall Architecture

WG2：Non-RT RIC and A1 Interface

WG3：Near-RT RIC and E2 Interface

WG4：Open Fronthaul Interface

WG5：Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface

WG6：Cloudification and Orchestration

WG7：White-Box Hardware

WG8：Stack Reference Design

WG9：Open X-Haul Transport

WG10：Operation Administration and Maintenance, OAM

4 個焦點組分別為 OSFG (Open Source Focus Group)、SDFG (Standard Development Focus Group)、TIFG (Test and Integration Focus Group)、和 SFG (Security Focus Group)。MVP 計畫為整合和協調各工作組之工作內容，加速 O-RAN 產業設備之商業化運用¹。

叁、5G開放網路整合與驗測

對於 5G 開放網路整合與驗測，O-RAN 成立了 TIFG 焦點組，其工作為定義「測試、整合和驗證 O-RAN 設備」之整體方法。包括：(1) OTIC (Open Testing and Integration Center) 測試中心之設立指引，至今在全球已核准成立 5 家 OTIC 實驗

室，目前除了 4 家為歐洲之跨國電信業者所成立外，另外 1 家為國內的耀睿科技所設立，可進行商用 O-RAN 設備的認證和給予標章。（2）定期舉辦全球性插拔大會（Plugfest），促進 O-RAN 產業多供應商設備間的互通性。（3）已制定第一版的 E2E 測試規範²，包括功能性測試、效能測試、應用服務測試和資安測試。

中華電信於 2020 年 2 月加入 O-RAN 聯盟，致力研發 O-RAN 技術，與各國內外廠商合作，推動新一代網路技術。2021 年承接國發會亞矽案 5G 開放網路整合驗證暨推廣計畫，與設立亞洲唯一 OTIC 實驗室的耀睿科技合作，提供國產 O-RAN 設備測試服務，並共同舉辦 2021 年 O-RAN Plugfest 大會。測試服務第一階段先在耀睿實驗室進行 O-RAN 基地台單元的功能、互通、效能、壓力及資安測試，測試服務第二階段在中華電信研究院進行與核網實網的整合測試，共同協助加速國產 O-RAN 設備的發展及取得國際認證，並建構 5G 開放網路系統整合之解決方案，解決方案之架構如圖 3 所示，包含國產無線接取網路（RAN）、國產邊緣運算（MEC）平台、國外廠商及國產 5G 獨立組網（SA）之核心網路等。

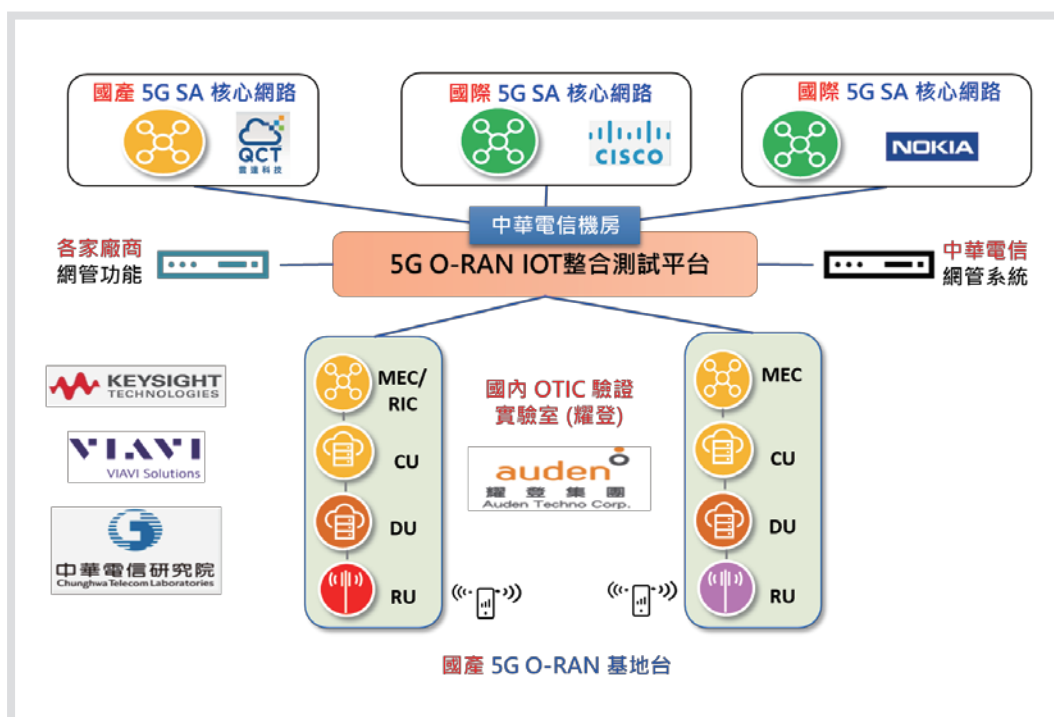


圖 3 中華電信建構 5G 開放網路系統整合之解決方案架構圖

中華電信提供的 5G 開放網路端對端整合驗測方案包括功 / 效能測試、高負載壓力測試、資安檢測及營管功能整合驗證，相關的整合驗測環境說明如下：

- (一) 核心網路：採用雲達科技、Cisco、Nokia 所開發之 5G SA 核心網路。
- (二) MEC：採用中華電信自主研發之 MEC 技術（稱為「5G 智慧管+」），為本公司獨有之技術與服務。
- (三) 終端模擬器：採用 Keysight 和 VIAVI 測試方案，提供高負載壓力測試。
- (四) CPE：視國內、外廠商開發進度擇優選用。
- (五) 整合網管：廠商提供專屬網管系統或配合開放 API 介面，由中華電信研究院開發整合式網管系統納管網元設備，以標準協定（如 REST API、SNMP 等）向 O-RAN 基地台、MEC 及 5G 核網、或管理設備的管理系統取得必要網管資訊。

驗測的 5G O-RAN 基地台先在耀睿實驗室進行 O-RU/O-DU/O-CU 的符合性測試、功能及互通性測試、效能及壓力測試，再於中華電信研究院進行與核網實網整合的端對端功 / 效能測試（含壓力測試）、資安檢測和網路設備營運維運網管功能整合驗證。

肆、實證場域驗證規劃

中華電信為推廣 5G 開放網路技術和實證 5G 智慧應用，將與數個縣市政府合作建置 5G 開放網路示範場域，展示 5G SA O-RAN 垂直應用，預計展項包含 3D 沉浸式互動體驗、即時全像投影、智慧古蹟應用導覽、軌道車防碰撞、連線電競遊戲等。將採用國產或國際 SA 核網及國產基地台、國產 MEC 等設備組網，以進行開放網路設備的場域驗證與功 / 效能精進。完成應用示範後將提供 5G 示範場域 eMBB 及 uRLLC 等應用特性測試報告，及 QoS（網路服務品質）、QoE（用戶體驗品質）分析報告，以逐步推廣國產 5G 開放網路的場域應用。部分規劃展示的 5G 垂直應用構想分別說明如下：

- (一) 3D 沉浸式互動體驗：以展演主題利用 3D 建模技術製作成為高畫質導覽動畫，並結合 5G 邊緣運算技術即時完成動畫與體感互動運算，以 5G 高頻寬特性將高畫質動畫串流影像投放。
- (二) 智慧古蹟應用導覽：透過 WebAR 技術，以手機相機掃描特定古蹟模型，結合 5G 方式讓手機 Web 瀏覽器導引至特定網頁，呈現 AR 終端渲染效果，快速體驗擴增實境服務。示意圖如圖 4 所示。

(三) 連線電競遊戲：藉由 5G MEC 技術於近端網路環境提供低時延服務進行體感賽車遊戲，以提高體感遊戲即時對戰之娛樂性。

伍、結語

5G 開放網路近年來快速發展，眾多的各領域成員和廠商參與 O-RAN 聯盟。受益於 O-RAN 開放性架構與介面、網路功能軟體化等因素，基地

台系統的各個單元或功能開發，可不再受限單一廠家而形成寡占市場，帶來市場多樣性和開放性，加速無線網路技術演進的發展進程。同時 O-RAN 的網路智慧化功能也深受期待，網路功能虛擬化和軟體化技術，配合機器學習和人工智能技術，使電信業者或網路擁有者能實質主導網路，達成其期望的最佳網路運作效能。

O-RAN 開放性基地台除了應用於企業專網的垂直應用在目前較受期待外，電信業者也關注提供基本涵蓋之公網應用。面對 O-RAN 設備的商用推廣議題，需緊密關注 O-RAN 開放性基地台之後續發展，持續進行 5G 開放網路整合與驗測，並於實證場域結合應用進行驗證，以利在成本、效能、可靠度、組網彈性、維運管理、資安等面向持續精進及成熟，打造國產開放網路 E2E 解決方案。

參考文獻

1. O-RAN Whitepaper, "O-RAN Minimum Viable Plan and Acceleration towards Commercialization", June 2021.
2. O-RAN ALLIANCE Test and Integration Focus Group, "End-to-end Test Specification", O-RAN.TIFG.E2E-Test.0-v01.00, 2021.



圖 4 智慧古蹟應用導覽示意圖