

國產Open Ran成熟之路

5G



台灣雲端物聯網產業協會
Cloud Computing & IoT Association in Taiwan



專輯目錄

前言

繼往開來 - Private 5G/Open RAN 向前行 01

趨勢

Open RAN 發展現況及未來展望 05

熟成推進

產業建議 成熟加力

- 商用指標、機會探索、政策環境 16

技術精進

5G O-RAN 企業專網與 OTIC 測試驗證 28

開放網路架構之智能無線專網控制管理技術 44

從 5G 資安檢測談 O-RAN 資安之落實 53

發行日 2022 年 12 月 16 日

繼往開來 Private 5G/Open RAN 向前行



1

5G 專網及 Open RAN 是最近幾年全球行動通信產業熱門議題，今年更受關注，在 CES、MWC Barcelona、Hannover Messe、MWC Las Vegas 等重量級展會皆是焦點。觀諸全球市場，5G 專網在日本、南韓、法國、德國、美國等皆浮現更多案例，Open RAN 在 NTT DOCOMO、Vodafone 等頂尖電信業者持續推動之下也展現更大動能。技術持續進步，應用漸趨深廣，發展備受期待。

在台灣，經產官學共同努力，5G 專網及 Open RAN 亦進展顯著。以 5G 搭配 AIoT，5G 專網於智慧製造、智慧醫療、智慧交通、智慧展演、智慧物流、智慧警消等領域已有應用案例。設備商投入 Open RAN 研發製造整合，國產 Open RAN 方案已部署於多個 5G 專網場域。雲協 5G IoT SIG 做為輔助產業發展之平台，持續以多元方式推廣 5G 專網及 Open RAN 之應用交流及專題探討，欣見 5G 專網逐漸在台灣落實、國產 Open RAN 品質日漸提升。

雲協 5G IoT SIG 出版《國產 Open RAN 成熟之路》專輯，算是先前工作的階段性總結，希望能繼往開來，做為下一階段工作之基礎。本專輯承蒙各界專家支持，自多個角度就產業現況及展望、市場觀察、商用需求、政策建言、技術推進等層面惠予精闢論述及見解，個人僅代表雲協 5G IoT SIG 致上誠摯謝意。

展望未來，期許 5G 專網在台灣健康蓬勃發展，國產 Open RAN 廣泛行銷全球，個人於此亦基於實務經驗及觀察提出若干淺見，希冀拋磚引玉，請各界先進不吝指教，促進產業加速提升。

全球頂尖既存電信業者之動向或將影響 Open RAN 發展趨勢

國產設備商應多加關注

Open RAN 於未來全球市場將多用於公網或多用於專網見仁見智，但較明確的是率先大規模採用 Open RAN 者將為電信業者。此外，就長期採購量而言，電信業者應會大於自建網路之企業。故電信業者應是 Open RAN 設備商之主要客戶，而全球領先電信業者之動向可做為市場趨勢重要觀察指標。Rakuten Mobile 及 Dish Wireless 等新進業者大家耳熟能詳，但 NTT DOCOMO、Vodafone、Orange、Telefonica 等既存頂尖業者之動向或更值得關注。

既存電信業者若大規模採用 Open RAN，並非單純新建，而是將以傳統 RAN 建置之網路演進為以 Open RAN 建置，過程中須維持既有網路服務品質。頂尖既存業者導入 Open RAN 的做法，包括對效能品質之要求以及選商取向等等，或將影響其他欲採用 Open RAN 之既存業者跟進，進而影響市場整體發展趨勢。

Open RAN 全球領先群已現

國產設備商宜及早確立主力產品方向 並提升對關鍵技術之掌握

目前國產設備商於國內推廣 Open RAN，產品皆為端到端整合完成者，主因為國內電信業者尚未具備自行整合軟硬體及整合 CU+DU+RU 能力，且市場規模尚不足以令系統整合商投入資源培養相關能量。然而，觀察全球領先電信業者之 Open RAN 選商動向，可見其皆非選擇端到端整合完成之產品，而是分別選擇軟硬體且分別選擇 CU/DU/RU，再自行或與系統整合商合作進行整合，以實現 Open RAN 「介面開放，軟硬體解耦，組合彈性」之理想。此外，國外先進系統整合業者為突顯其技術及商務優勢，其方案應是以多廠商軟硬體及多廠商 CU/DU/RU 為主。以此觀之，於全球市場，端到端整合完成之產品恐不易獲得積極採用 Open RAN 之電信業者及系統整合商青睞，銷量恐受限。若欲以軟體、硬體、CU/DU、RU 等元件產品為銷售主力，則須與已獲頂尖業者採用之領先群競爭。

此領先群包括國際二線電信設備大廠及資深新創，國產設備商欲與之競爭，或須強化對 3GPP 及 O-RAN Alliance 標準規格及關鍵技術之掌握，降低對 reference designs 之依賴，提升產品自主研發比重。

「加速各產業有效導入 5G 專網」及 「扶植國產 RAN 設備發展」或不易兩全

政府補助獎勵措施宜務實調整

5G 專網服務要健全，要促進各垂直產業廣為採用以加速數位轉型及產業升級，除了服務供應商與設備商投入，場域主投資亦不可缺。目前台灣 5G 專網計劃多享政府專案補助，有補貼服務供應商與設備商之功，亦有激勵場域主嘗試採用之效。然而，政府補助獎勵措施似乎側重「扶植國產 RAN 設備發展」而輕「加速各產業有效導入 5G 專網」。國產設備尚未成熟，效能品質未臻完善，以全國產 RAN 建置之 5G 專網恐難滿足多數場域之需求，導致場域主於專案補助結束後不願投資繼續採用 5G 專網。如此場域主失去轉型升級契機，國產設備商失去可練兵之實際場域。部份獲補助專案混合採用國產 RAN 及外商 RAN，但國產 RAN 多僅用於展示以配合政策要求，實際應用由外商 RAN 實現以達驗收標準。如此雖可望使場域主得益於 5G 專網而有意願投資繼續採用，卻無國產 RAN 有效練兵空間。若補助獎勵措施能較為務實，例如鼓勵以外商 RAN 為主國產 RAN 為輔，二者皆須實際承載場域應用訊務，但分別規範高低有別之驗收標準，則 5G 專網優勢可望如實展現且國產 RAN 也獲實際練兵機會。多方共贏，5G 專網普及與國產設備發展方可持續。

5G 專網及 Open RAN 未來發展，有可期待的榮景，也有須克服的挑戰。期許產官學界持續同心協力推進，既創新也務實，締造多方共贏。期盼 5G 專網在台灣健康蓬勃發展，帶動各產業加速轉型升級；國產 Open RAN 早日成熟，大量廣泛行銷全球。

(作者為台灣雲協 5G IoT SIG 總召集人曾詩淵)

Open RAN 發展現況及未來展望

一、產業國內外現況分析

開放網路架構的推動與支持，主要來自於政府政策和電信商 5G 布建方案的選擇，以下分別從 5G 發展相對領先的國家政策和具代表性的國際電信商和 Open RAN 服務供應商動態，說明全球 Open RAN 發展現況。

(一) 先進國家推動現況

因美國與其歐亞盟邦站在共同陣線，抵制使用中國大陸廠商如華為生產的通訊設備，除了產生拆除舊設備的高成本外，也面臨必須盡快找到其他替代方案的壓力，而 Open RAN 即是當前反中陣營寄予厚望的解決方式。

1. 美國

美國政府於 2020 年 11 月正式通過「美國電信法案」(USA Telecommunication Act)，提出將於 2021 年至 2031 年提供 7.5 億美金在發展美國 Open RAN 5G 技術與相關網路布建。其法案主要推動目標在於支持 Open RAN 5G 網路在美國本土的發展與使用，包含促進強化 Open RAN 5G 網路的軟體、硬體與相關晶片技術的競爭優勢、加速相關設備的發展與 Open RAN 網路架構的布建，並將設定評估指標來協助確認網路設備是否符合開放架構的標準，以其促進開放網路設備的安全性、整合度與可及性，同時也促進 NFV 軟體在開放網路內的使用程度，以發展具備多元供應商的產業生態。

2. 英國

英國政府於 2021 年 12 月宣布會持續大力推動加速 Open RAN 在國內的部署，增加相關布建計畫的資金支援，並確保電信商布建的 5G 網路中有一定比例是用 Open RAN 模式。在 2020 年，英國政府就出資 3000 萬英鎊，啟動 5G 測試平臺和試驗計畫中的公開競賽 5GCreate，希望開發創新的虛擬化和 Open RAN 架構，探索使英國電信供應鏈多樣化的方法。英國文化、媒體和體育部(DCMS)訂定 2030 年英國應有 35%的行動網路流量將通過 Open RAN 網路承載，並編列啟動 5G 測試平臺和試驗計畫的預算 5100 萬英鎊，其中的 3600 萬英鎊用於未來 RAN 競賽的獎金，1500 萬英鎊則會投入 SONIC 實驗室，提供真實驗測環境讓供應商測試早期產品。

3. 德國

德國政府為減少對華為等中國大陸設備供應商的依賴，決定投資與電信業者合作推動 Open RAN。2021 年 2 月，德國政府宣布一項耗資數十億歐元的「聯合行動提案」(joint proposal for action)，撥出其中 3 億歐元用於開發 Open RAN；各部會也為推動 Open RAN 編列了 20 億歐元預算，補貼 15 個研發計畫和中小企業。德國交通部長接受媒體訪問時表示，德國期望利用 Open RAN 技術建立新的產業鏈和商業模式，掌握通訊和數位科技的主導地位。不過，2021 年底德國聯邦政府資訊安全辦公室(BSI)發布了一份有關於 Open RAN 存在重大安全風險的報告，使國家基礎設施安全議題再度浮上檯面，也對 Open RAN 的後續發展帶來挑戰。

4. 日本

日本國會通過《特定先進資訊和通信技術利用系統的開發、供應和部署促進法》，其中提及舉凡投入開發、供應或部署符合開放架構且有國際標準認證設備的企業，可獲得 15%減稅或 30%特殊折舊，3 年內免除 50%固定財產稅等政策性優惠。總務省和日本國內領先的通訊公司如 NTT Docomo、Rakuten Mobile、NEC 等，計畫共同合作在 2022 年建構一張廣域試驗網路來進行 5G

Open RAN 測試。在此計畫中的部份工作，即是日本政府將東京附近神奈川縣的橫須賀研究園區，指定為 NTT Docomo 和 Rakuten 進行 Open RAN 測試的試驗區，而且總務省宣稱到 2024 年 4 月，日本四大電信營運商將能夠在全國範圍內推出 5G 基地台。日本政府對通訊和電信產業發展的監管機構認為，Open RAN 可降低布建 5G 的成本，使日本企業比中國企業更有競爭力。

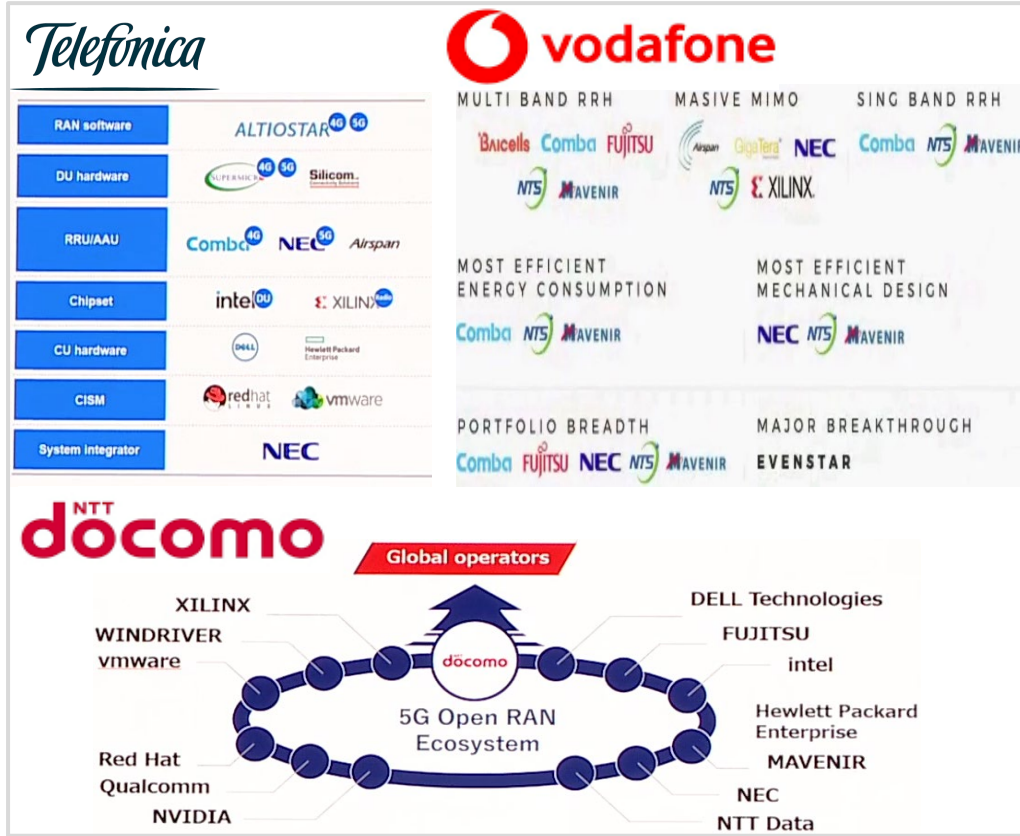
(二) 國際大廠發展現況

從市場面的角度來看，主要的需求方是電信營運商，由於 Open RAN 打破過去通訊設備大廠的壟斷，應運而生的是一個全新的多供應商環境。而電信營運商雖然取得議價和選擇供應商的主導權，但也希望避免面對多供應商而產生的高額溝通和整合成本，進而對在設備商和電信商之間負責協調與測試的系統整合商益發依賴。以下即綜合說明代表電信商和系統整合商在近年 Open RAN 發展過程中的概況。

1. 積極組建生態系

傳統電信商對網路開放架構的支持與投入，展現在生態系的快速組建上。在 2019 年還對樂天初試開放架構案例抱持觀望態度，到了 2021 年許多運營商如 Telefonica、德國電信、Vodafone 等，都已完成招兵買馬並建立起陣營。由此可見傳統電信商在累積長期的電信服務和電信設備使用經驗下，一旦有意願支持開放架構模式也能夠快速轉換，而且清楚掌握需要哪些能力和條件的夥伴共組團隊。



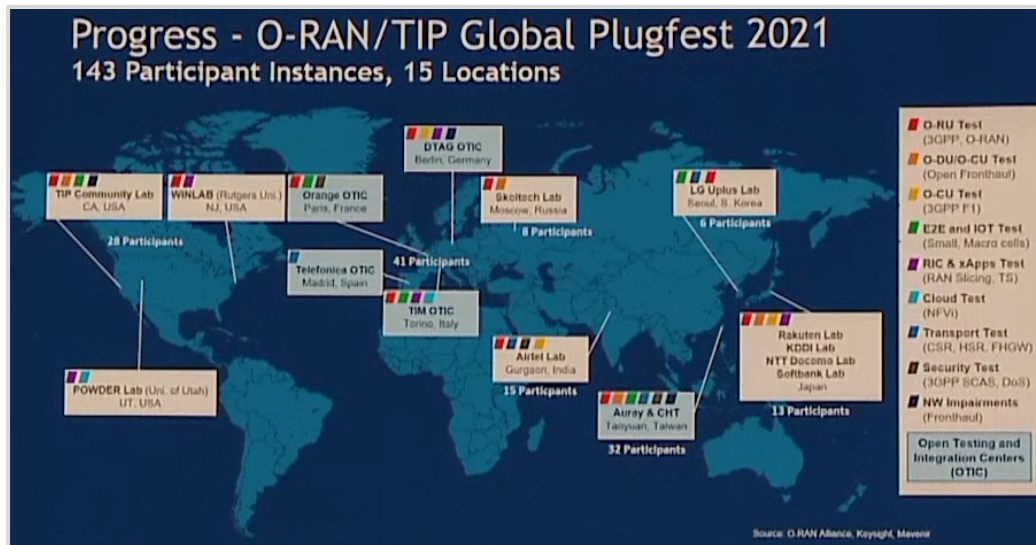


資料來源：工研院產科國際所

圖一 傳統電信商完成組建開放網路架構生態系

2. 設置大量試點場域

2021 年的 O-RAN 全球 Plugfest 是 O-RAN 聯盟第三次的全球測試和整合活動，主要目的在於展示 O-RAN 生態系統的實力，以及對開放和智慧化 RAN 的全球推動成果。2020 年第一次的 Plugfest 有 70 家企業參與，而 2021 年 O-RAN Plugfest 的全球場域共計 15 處，共計 143 家公司參與，整體規模擴大一倍以上，而且透過 OTIC 認證實驗室驗測的廠商有 73 家。其中，台灣由耀睿和中華電信合作營運的 OTIC 實驗室即完成了 32 家廠商的測試，佔 43.8%。廠商參與開放架構實驗室認證的案例數增加，除了顯示對開放架構的支持和投入外，也表示有越來越多廠商了解到開放架構下，符合電信商需求的設備應該如何設計。

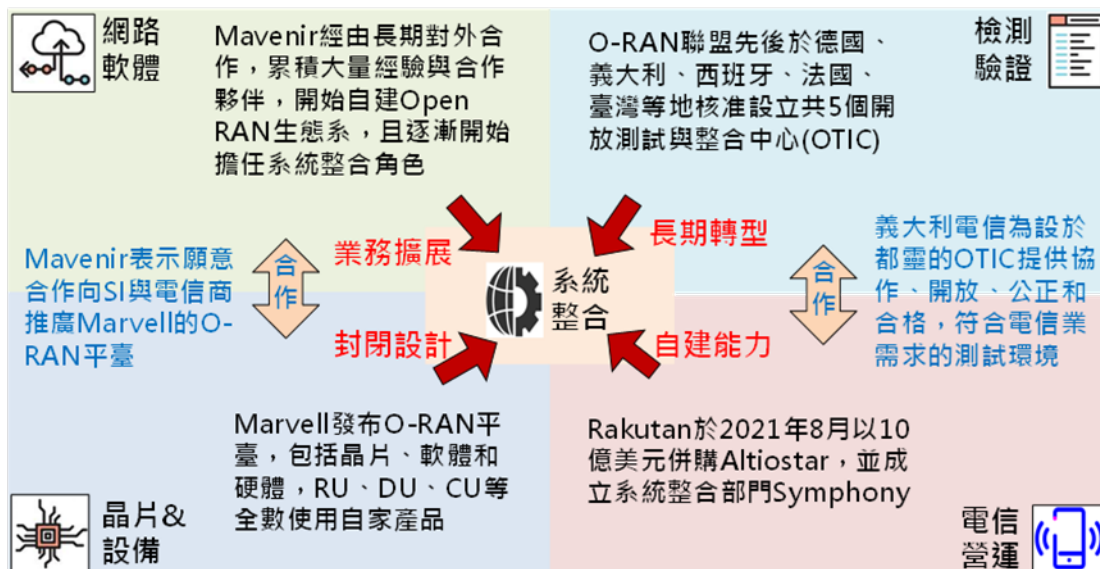


資料來源：MWC 2022

圖二 全球 Open RAN 試點持續增加

3. 占據市場優勢位置

Open RAN 將電信通訊設備軟硬體解構後，為電信營運商帶來產業地位的翻轉，重新取得議價和選商的主導優勢，但也造成面對大量供應商產品，必須在綜合考量穩定性、高效能、低成本等需求指標下，適當的加以選擇和整合，對電信營運商而言，非到必要時刻將時間和金錢花在這樣的工作中並不划算，不如委託專業的系統整合廠商。也因為這緣故，由於系統整合負責網路穩定維運以及組網軟硬體選用，對網路服務供需兩方有關鍵影響，佔據市場有利地位，也成為各方業者積極爭取的發展方向。以目前發展狀況來說，以兼有硬體和軟體開發專業能力的廠商，是最典型的 Open RAN 系統整合商，但幾經跨域合作和自行研發的努力下，軟體專精和硬體專精的廠商也藉由推出高度整合性解決方案，試圖在系統整合角色卡位；電信營運商為能更徹底的控制整合品質和成本，設法自行建立系統整合能力；檢測驗證服務廠商未來累積了長期對各廠商產品的測試經驗和資訊，也具備了轉型成為系統整合商的基礎。



資料來源：工研院產科國際所

圖三 系統整合商占據產業有利競爭位置

(三) 國內廠商 Open RAN 發展概況

由於硬體產業的國際化和技術能力優勢，國內開放架構生態系中部份廠商如廣達、中磊、台揚等，在近二年的國際開放架構市場中已有斬獲，或是成為國際電信業者的供應鏈夥伴，亦或是與國際系統整合商與軟體商取得合作開發產品的機會。近期則開始有新創企業或者硬體品牌廠商投入 RAN 軟體的開發，使產業生態體系更加完整。電信商藉由開放架構從傳統設備廠取回主導權和議價能力的同時，對台灣網通產業而言最大的改變和助益，即是讓原本僅能為少數幾家大型通訊設備廠代工的業者，有機會能參與國際議價和投標，讓台灣廠商能站上第一線的國際市場。

二、機會探討

網路架構走向分散式設計和開放化的長期趨勢雖明顯，但短期內難免因技術不成熟，需要更多時間測試、改善和研發。對國內開放網路架構供應商而言，應善加利用既有優勢與國際廠商互補合作，爭取進入國際電信商供應鏈；專網布建已逐漸成為開放架構的市場機會，應關注和探索具潛力的應用領域。

(一) 透過國際合作爭取白牌設備市場商機

國內網通硬體產業長期累積的製造能力優勢，仍然是開放網路架構短期發展最重要的資產。基於國內網通硬體產品已經受到國際市場的肯定和大量採用，如日本樂天電信採用雲達伺服器和中磊小基站，以及美國 Dish 採用台揚射頻模組等案例，商業模式已然初步成形。在國內通訊軟體和系統整合等能力發展成熟之前，白牌設備或者客製化代工仍是我國通訊硬體廠商應積極爭取的商機，而要打入國際電信商的供應鏈中，必須盡快設法與國際市場上主導開放架構布建的系統整合商建立硬軟優勢互補的合作關係。

	RU	RAN SW	CU/DU Server	5G Core	SI	代表廠商
傳統通訊大廠	✓	✓	✓	✓	✓	NOKIA、Ericsson
專業通訊系統整合	✓			✓	✓	NEC、Fujitsu、Cisco、Samsung
新興通訊軟體廠商		✓			✓	Altistar、Mavenir、Parallel Wireless
臺灣網通設備廠商	✓		✓			廣達、智邦、啟碁、中磊、正文、明泰、友訊...等

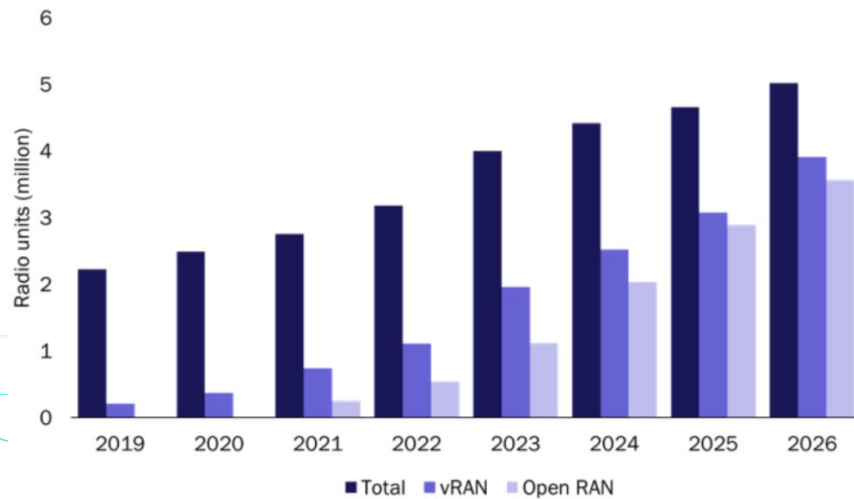
資料來源：工研院產科國際所

圖四 國際廠商合作建立優勢互補機會

(二) 開放架構市場目標已轉向專網布建

開放架構為電信商描繪出重新掌控選商議價優勢和安全且更低成本的 5G 網路部署的理想情境，但透過試點驗測後，發現繁複冗長的整合與測試流程徒增成本，以及商用效能和穩定性指標的不易達成，加上後續維運時必須面對多家供應商相當麻煩，皆使開放架構公網商用不確定性增加。

專網市場的主流需求是比公網和大企業複雜專網成本更低且更簡單的中小型企業解決方案，目前的 Open RAN 技術水準即可滿足。簡易型專網需求不斷增加，將形成一個不被傳統網通設備供應商把持的新市場，為 Open RAN 供應商創造短期收入機會。國際調研機構預估 2026 年 Open RAN 將占企業部署的所有小基站 71%，vRAN 占所有小基站 91%。



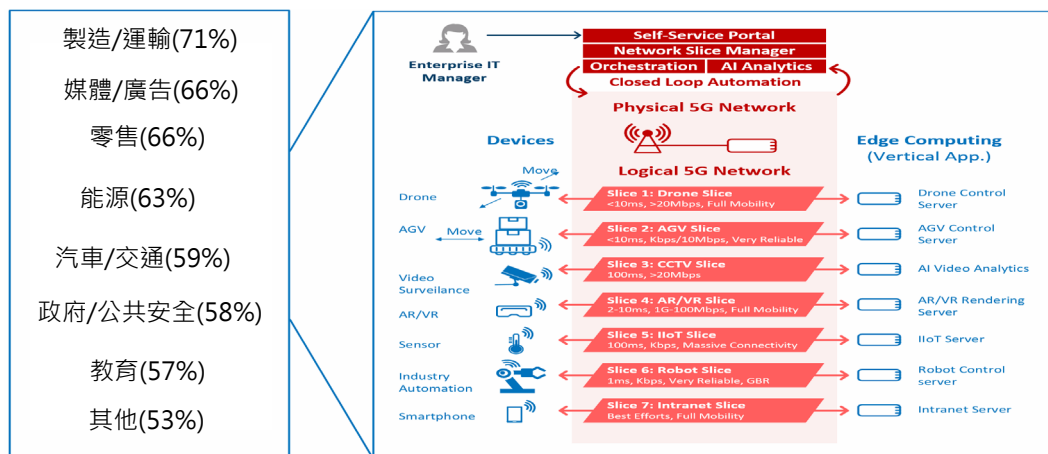
資料來源：工研院產科國際所

圖五 虛擬化和開放式 RU 架構專網部署量預測

(三) 製造業應用為主要專網市場機會

德國和日本目前是領先國際的 5G 專網應用國家，而且 90% 以上的部署場域為製造業，事實上，5G 專網在美國和中國大陸也頗受歡迎，以媒體和廣告業、製造業導入最多。在 4G 時代，由於一般認為在嚴苛的工業製造連網環境中，LTE 比 Wi-Fi 更穩定且安全，因此成為製造業優先選用的連網技術。5G 專網除了基本的高可靠性和低時延外，還可以根據需求配置網路，更加適合支援智慧製造和工業物聯網的應用情境。

Mercedes-Benz 的 Factory 56 即是製造業導入 5G 專網的代表案例，Factory 56 於 2018 年開始打造，2020 年上線運作，是 Mercedes-Benz 首座 5G 智慧工廠。雖然是在 5G 專網發展早期階段所部署，但在明確的應用情境和績效目標設定下，陸續的按照規劃逐步實現廠管流程數位化、智慧化彈性生產和降低整廠能耗的多項目標，運作至今仍然是後續其他同業部署 5G 專網的參考範例。



資料來源：工研院產科國際所

圖六 全球 5G 專網垂直領域應用

三、未來展望

展望後續 5G 開放架構與專網應用的發展，在市場方面，開放架構將開始與專網部署產生交集，而製造業應用則又是企業專網部署重點；在技術方面，為能兼顧低建置成本又能滿足多元應用情境需求，網路設備與服務供應商應增加網路切片與邊緣運算技術研發，加速進入成熟階段。

(四) 關注製造業專網應用市場

根據國際調研機構的調查分析，在企業數位轉型趨勢和壓力下，各產業中有過半企業對於布建 5G 專網樂觀其成甚至躍躍欲試。由於目前引領 5G 專網部署的德、日、美、中等國，皆因製造業發達而出現大量應用案例，另外也因為 5G 網路高可靠、低延遲、廣連結的技術優勢，可與工業 4.0 轉型訴求呼應整合，使得製造業仍是當前 5G 專網最主要的應用領域。

(五) 加速網路切片與邊緣運算技術成熟

隨著 5G 專網建置需求逐漸增加，網路切片和邊緣運算這兩大 5G 關鍵技術的成熟度提升也會更加重要，對於建置成本和硬體資源配置將有明顯影響。網路切片技術可根據用戶的動態需求進行資源調整，達到硬體資源共享進而提高彈性；邊緣運算可提供裝置運算、儲存和服務能力，強化 5G 低延遲和大量連結的技術性能，並且減輕網路對資料傳輸和核心網路配置運算資源的負載壓力。

(六) 專網布建為開放架構近期市場機會

與公網相比，複雜度較低的專網市場，在現階段來說應該相對容易成功導入開放架構，近期受到解決方案供應商的關注。然而，企業也同樣對這種分拆式組網感到疑慮，深怕會增加不必要的複雜性，所幸近期 NTT、Celona、微軟、Intel 在德國協助 BMW 創新中心部署 5G 開放架構專網得到成功，有效的控制複雜度且僅在數週內就完成架設。此外，NTT 也在此之前就已經與法蘭克福機場合作部署開放架構專網，一旦成功即會是歐洲最大的 5G 專網。

(作者楊玉奇 任職於工業技術研究院產科國際所)



產業建議 成熟加力

- 商用指標、機會探索、政策環境

5G 開放架構為台灣網通產業切入電信市場帶來一個機會之窗，過往三、四年致力於 5G Open RAN 產品開發，經過 PoC 已達進入場域淬鍊及邁向商用之階段。值此關鍵時期，台灣雲端物聯網產業協會致力於建立供需雙方專業交流平台，以「Private 5G / Open RAN 成熟度」為主軸持續探討，透過一年之始的專家座談會定義出國產成熟度待改善關鍵，後續藉由專家深入訪談、專家技術講座，彙整出邁向商用成熟度之參考指標，真實面對 O-RAN 台灣隊的挑戰，探討市場機會，共同為國產 5G 產業發展而效力。



圖片來源：台灣雲協 5G IoT SIG 活動

Part I 商用成熟度建議指標

為了讓國產 Open RAN 設備從開發到成熟以利於開拓商機，特邀請電信運營商針對電信產品商用成熟度提供他們向來關注的指標，四大關鍵項目包括設備穩定度、網管支援、資安防護及價格競爭力是評估重點，以下逐項說明。

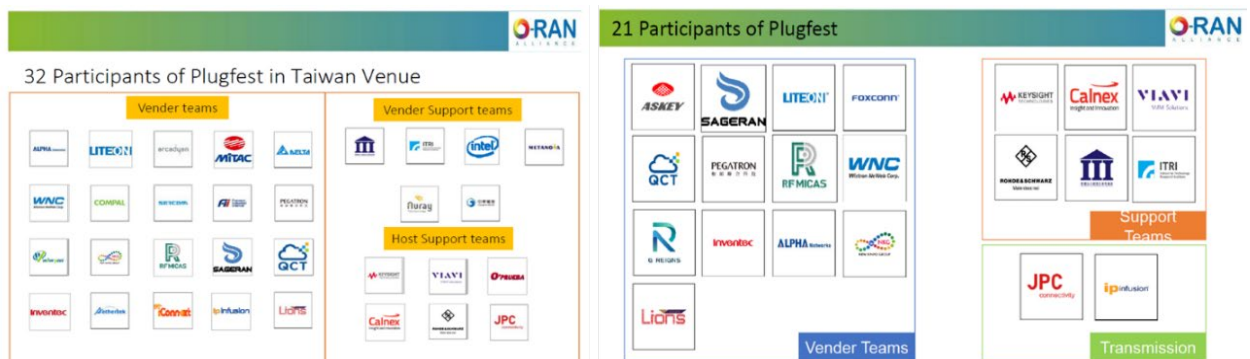
設備穩定度

以「實驗網六小時不中斷，商用網連續 7 天不斷線」為目標

5G Open RAN 產品跨向市場前的可靠度驗證至少有三個運作流程：(1) O-RAN 實驗室進行各網元驗證；(2) 電信商網路實驗室 End to End 功能測試，室內及室外；(3) 示範場域進行 End to End 服務驗證。

17

2021 年台灣第一家獲國際 O-RAN 聯盟認證的 OTIC (Open Testing and Integration Centre) 實驗室成立，國產設備得以在此進行互通性測試、效能驗證、壓力測試及資安評估檢測。2021 年舉辦 O-RAN 聯盟在台第一次插拔 (Plugfest)，參與者達 32 家廠商 / 機構，堪稱全球最多；2022 年春季舉辦第二場，發出全球首張 O-RAN 聯盟證書，本次共 21 家廠商 / 機構參與。



資料來源：耀睿科技於台灣雲協 2022.10.12 專家講座資料

OTIC 驗測以個別單元如 RU / CU / DU 為主，踏出第一步後，接下來廠商進到電信商網路實驗室進行實網 End to End 測試，以整合好之基站與運營商核網作連通測試。以中華電信研究院為例，使用 UE 模擬器模擬多台 UE 連線到受測之國產基站再連線至核網，在此架構下進行以下測試：

1. 先觀察基站之行為表現：以 FTP 測試上傳下載速率，以 Ping 測試時延，並使用不同上傳下載組合觀察行為表現。
2. 了解受測基站能承載的最大用戶數。
3. 穩定度測試：以上測試在實驗網須達六小時不中斷。

至於其他電信運營商則以既有實驗室進行驗證，2022 年 4~5 月測試結果，以下行 700Mbps、上行 90Mbps 為準則，受測廠商備感挑戰，對比於國外基於商網下行 900/1GBMbps、上行 100 多 Mbps 有不小距離。Latency 部份，國外設備在 10ms 以下，台廠僅少數達成 20ms。

從實驗室走向商用網，一般測試標準為一天 24 小時連續 7 天 UE 不斷線，先檢視 UE 連線成功率 accessibility、上線後之持續率以及傳送之 Drop rate，以上 KPI 若七天內有中斷即須重來。因為商網一旦進入運營則一刻不容休息。

網管支援

建議儘速以遵循現有標準為切入點

網管支援是 RAN 設備進入場域之必備功能，以即時掌握設備運作狀況。重點建議如下：

1. 具備 5M 功能：FM (Fault Management)、CM (Configuration)、PM (Performance)、AM (Accounting)及 SM (Security)。

2. 以遵循現有標準為切入點：現階段國產廠商心力仍放在基站參數調校，但目前 O-RAN 的 O1 介面已有標準，3GPP 也有標準可遵循，網管系統開發時程亟待追趕。
3. 若因資源問題無法自行開發網管，建議基站廠商務必要找到配合的網管軟體來實現，所以設備本身須提供充份資訊及 API，以利於必要時納管於他廠牌網管系統。

資安防護

盯緊 GSMA 及 O-RAN 資安規範，跟上進度

資安向來是國內外電信網路的關切課題，尤其面對開放架構。今年上半年國產設備在場域進行資安檢測時無法有效驗證，或可歸因於資源分配的優先順序，不管是 O-RAN Alliance 或廠商本身，皆以設備間的相容、互通為當務之急，資安規定尚未齊備。

然隨著時間進展勢必要迎頭趕上，否則不利於市場開拓，可參考的資安規範如下：

1. GSMA 制定的 NESAS (Network Equipment Security Assurance Scheme) 網路設備安全保證方案，是目前國際上針對 5G 的資安測試 Lab。
2. O-RAN Alliance 今年中將安全焦點小組改為 O-RAN 的第 11 個技術工作小組 (Working Group 11, WG11)，針對安全確保機制，將採用 GSMA 的 NESAS，搭配 3GPP，將制定產品資安確保標準 (Security Assurance Specification; SCAS) 來驗證，同時針對 O-RAN 新增加的介面與架構制定相關的資安測試案例。
3. 台灣資通產業標準協會 (TAICS) 制定「TAICS TS-0035 5G 基地臺資安測試規範」與「TAICS TS-0053 5G Open RAN 資安測試規範」，作為建立第三方資安檢測實驗室的基準。

價格競爭力

Pico cell 規格卻比照 Macro cell 價格，競爭力有待提升

價格與採購量、市場規模息息相關，僅先彙整目前所收集訊息提供參考。電信大網基站依過往經驗，不同市場有不同訂價策略，相同設備亞洲區售價在日本最高，台灣次之，中國大陸第三，印度最低。

電信設備走向開放式架構的期望之一是價格下降，但現階段仍比一體式基站貴很多，依某電信商年初取得之報價，一個 O-RAN 基站以 1CU+1DU+2RU 之架構組合，報價 2~300 萬台幣，然室外用大台的 5G 商用 Macro Cell 有 3 個 sector，一台在 200 萬以下，何況兩者屬不同等級，Macro Cell 是 100W 大功率、可承載千個以上用戶；而詢價的 O-RAN 基站 1-200mW 左右，只能承載 100 個 UE。亦即 Pico cell 規格、Macro cell 價格，未來需逐步調降。

報價過高也可能因小批量詢價，且產品仍屬初期開發階段造成；後續可參考市場價格資訊，舉例來說，2022 年日本市場力推平價 5G 專網解決方案，NEC Local 5G Sub6 Starter Pack，包含基地台與路由器等硬體，最低 498 萬日圓（約 110 萬台幣），5G 核網等系統控管及維運則以每年 100 萬日圓雲端服務費提供。

商用成熟度其他建議

設備容量：

容量表示基地台可以承載多少用戶數的處理能力，與部署成本及管理複雜度息息相關，若設備可承載的用戶數不佳，意味著要用更多的設備才能達到場域需求，所增加的不僅是 RAN 端，連帶的部署成本也會提升，網路複雜度及維運成本跟著水漲船高。



客製化迷思：

Private 5G 雖標榜依照垂直應用需求打造不同特性的專網，但不代表每個場域的大部分參數皆以特調處理或修改。具成熟度之產品須做到設備出廠參數 (default configurations) 適用於各類型場域八至九成需求，僅保留一成由運營商或 SI 調校，調校以優化為主，而且此保留的一成乃交由運營商或場域主網路工程人員依場域特性自行設定 configurations，而非仰賴設備廠商研發人員跳進來修改特製。

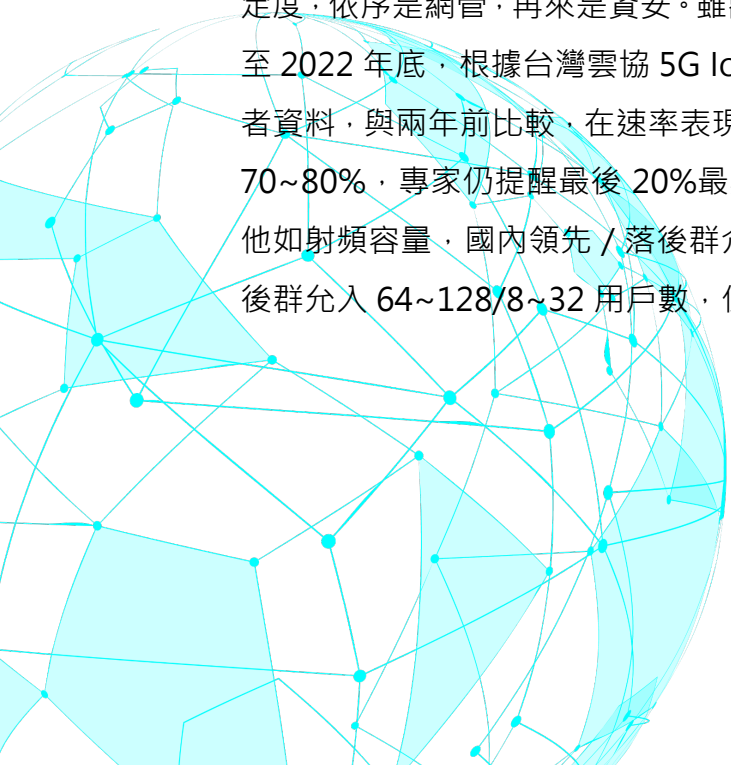
產品 Roadmap 及 Professional Service 能量有待建立：

若台廠對 5G 設備之企圖是直接供貨給需求方，如電信運營商、場域主，則必須對於產品 Roadmap 有所規劃，這代表一種長期承諾。此外，也必須自行或與 SI 合作建立專業服務能量，包括：網路設計、建置、優化、維運之支援；新產品、新功能、新版本引進時之測試、訓練、工法調整等等。

兩年來進展

速率大有進步，整體競爭力仍待追趕

在上述商用成熟度指標中，對國產 Open RAN 設備來說，當務之急仍是穩定度，依序是網管，再來是資安。雖離商用成熟仍有一段路要走，但國產 O-RAN 至 2022 年底，根據台灣雲協 5G IoT SIG 今年 10 月 12 日專家講座電信商主講者資料，與兩年前比較，在速率表現上大有進步，國內領先群已接近國際大廠之 70~80%，專家仍提醒最後 20% 最具挑戰，所花精力與前面 80% 不相上下。其他如射頻容量，國內領先 / 落後群介接 3~6 / 1 個 RU，系統容量國內領先 / 落後群允入 64~128 / 8~32 用戶數，仍與國際大廠相距甚遠，有待後續努力。



Part II 市場觀察 機會探索 政策加力

台灣資通訊產業基於在雲端開放架構的成功經驗，當嗅到 5G 走向開放架構時，即敏銳地抓住時機點，企圖取得一張原本封閉市場的門票，產官研積極投入 Open RAN 產品開發。



22

Open RAN 市場具體可見，電信領域 Tier 2 廠商出頭

三年多來就趨勢面看，從既有的國際級電信運營商如 Telefonica、德國電信、Vodafone、NTT DOCOMO 之作為，一來積極建立各自的 O-RAN 陣營，二來試辦網正在擴大，Open RAN 在電信產業已然形成具體可見的市場。

然就競爭面來看，台灣廠商在電信領域仍屬後進者，面對的不僅是一線設備大廠如 Ericsson、Nokia、華為，還有已經打拼十年的 Tier 2 廠商如 Samsung、NEC、Fujitsu，以及資深新創如 Mavenir 等。從大腕級電信業者已發佈之 Open RAN 選商結果，可看出第一輪勝出的即為先前蹲久馬步的廠商，整理如下：

- RU 硬體：Samsung、NEC、Fujitsu
- Radio 軟體(L3/L2/L1-H on CU/DU, L1-L on RU)：Samsung、NEC、Fujitsu、

- NTT Data、Altiostar、ASOCS、Mavenir、Parallel Wireless
- Servers and accelerators for CU/DU：Dell、HP、Supermicro、Xilinx、NVIDIA

百家爭鳴？新寡佔？等候漫長測試期

可以關注的是，Open RAN 市場發展第一階段的百家爭鳴，已經逐漸收斂走向第二階段，原屬 Tier 2 廠商如 Samsung、NEC、Fujitsu 似乎成為 Open RAN 設備商的 Tier 1，具備從晶片到硬體到軟體垂直整合之能力，形成一種與傳統電信設備商分庭抗禮之態勢；另一類陣營是軟體新秀如 Mavenir、Parallel Wireless 與 x86 硬體供應商水平整合形成聯盟，亦不可小覷。只是 Open RAN 是否走向架構開放、廠牌少數的新寡佔局面？或者這僅發生於電信商市場？抑或這是尚未進入大量部署的早期導入現象？值得台灣廠商關注與因應。

另外，電信市場在導入新技術時本就需要漫長測試期，Open RAN 更是。DIGITIMES 十月下旬報導，同時經營行動網路和系統整合的樂天(Rakuten)、同時銷售 vRAN 軟體和適配硬體的 Parallel Wireless 和 Mavenir，皆面臨凍結人事或裁員，降低營運成本，以挺過漫長測試，等待合作電信商展開規模部署。

代工模式

白牌轉進仍等候市場時機

隨著對於電信市場的逐步理解，台灣產業看待 Open RAN 的眼光也逐漸務實，綜整專家觀點，我國廠商在評估本身能力良窳之後，切入 Open RAN 市場的機會點有兩大模式：

(一) 代工模式：透過 ODM / JDM 模式為品牌設備商代工，或與 O-RAN 主流軟體合作，提供具競爭優勢的設備，直攻電信運營商，以追求量為目標。

代工模式是國產硬體廠商向來熟悉的，其中有兩種可能，一為原已長期與電信客戶配合的台廠，抓住開放架構軟硬解構時機，擴大合作的可能；另

一類是資料中心 Whitebox 供應商轉進 CU/DU Server 市場，可能非直接沿用，而是為設備商或電信商開發優化過的合乎 RAN 之特規硬體。

然在市場時機上，如前文所述，既有一線電信商目前尚屬測試期，必先驗證軟體成熟穩定後，要進到下一步大量部署前，才是定義硬體優化規格之階段；而大型電信商在 CU/DU 軟體上選用主流廠商如 Mavenir，所以第一輪勝出的硬體也是 DELL、HP 或 Supermicro，因已經與 Mavenir 完成整合測試。

E2E 企業專網模式

多元需求培養台廠的系統整合能力



(二) 依應用場景的 E2E Solutions 模式：企業專網是 5G 時代的一大特色，多元化需求有賴更具彈性之解決方案，對於靈活且以 Total Solutions 為發展定位之廠商來說或許是切入良機。

然台廠在 E2E Solution 的缺口是軟體，這也是我國產官研當初投入 O-RAN Private 5G 的動機，期待透過此一戰場培養系統整合進而軟體之能力，跳脫 box mover 宿命。雖一路多有挑戰，持樂觀看法者認為，既已開步走，只要堅持，假以時日台廠必能成為要角，歸納如下：

1. 專網應用多元又分散，屬碎片化市場，對於追求量大的廠商不具吸引力，反而是具備彈性之台廠的機會；
2. 各國專網各有頻譜，墊高進入門檻，我國 N79 專頻專網開放申請在即，預期可推動一波商機；
3. 數位轉型勢不可擋，企業專網有望成為基礎建設，建議台廠 O-RAN 先從資料傳輸要求不那麼即時、或資料量封包較小的物聯網應用切入，對於精確與即時性要求較高的製造業生產線建議從自家工廠開始練兵。

三個面向政策工具，為成熟度推進加力

當我國資通訊業者逐漸體認 Private 5G / Open RAN 是一場馬拉松競賽時，亦期待我國的政策獎勵工具能有持續性。過往三年，政府透過三個面向挹注資源，期能加速國產 O-RAN 設備向成熟度推進：

1. **O-RAN 驗測實驗室**：工業局計畫補助的 5G 開放網路驗測平台申請成為 TIP (Telecom Infra Project) APEC Community Lab、國發會經費補助的 O-RAN Alliance OTIC 實驗室先後於 2021 年設立。
2. **垂直應用 POC 補助案**：按領域別應用鼓勵場域主及設備商聯合提案，包括交通部、經濟部、國發會等部會以四成以上比例提供經費補助。
3. **補助電信商 5G 建設採用本土基站**：基於我國 5G 頻譜標售之超額標金，行政院編列「補助 5G 網路建設計畫」，前兩年鼓勵電信業者加速加量佈建基地台，2023 年起將針對電信商建設小型基地台採購本土設備進行補助。

期待驗測環境能支持 O-RAN 產業中長期發展

針對驗測環境之建立尤其寄予厚望，從專家觀點提供以下建議：

1. **更多 5G Core 聯網測試**：實驗室除了儀器外，建議提供更多核心網，讓 RAN 到核心網有更多 E2E 測試機會。
2. **邁向商用模擬測試**：實驗室檢測乃基本門檻，真正商用模擬測試應更擴充，例如驗測環境更擬真，依不同 traffic 性質、不同應用 QoS 設定，模擬真正商用情境進行測試。目前國產廠商開始在自家工廠佈建自己的 O-RAN，有助

於提升產品成熟度。

3. 由政府出面設立開放測試場域，有頻段可以實際驗證，透過 Field site 操練頻段干擾排除等議題。
4. 計費模式更加彈性：有無機會考量年費包裹不計次數模式？有無機會以後續 Royalty 回饋方式降低期初門檻？

電信驗測是一項重資本的投資，對於初投入 Open RAN 研發且市場還不明的廠商來說，O-RAN 驗測實驗室之設立極具意義。然而政策上究竟賦予它怎樣的定位才有助於我國 Open RAN 產業發展？實驗室 KPI 究竟是要養活自己，還是支持整體產業的中長期發展？有待進一步思辨與釐清。

雖然國產設備在台灣 OTIC 實驗室測過後，當要進到歐洲市場時，仍被要求參與當地 OTIC 實驗室 PlugFest，例如德國電信 Deutsche Telekom、西班牙 Telefonica 的 OTIC 實驗室；但廠商認為，若國內驗測環境能以支持產業長期發展為定位，對於身為電信後進者的台廠仍有極大助益。

馬拉松競賽還在起跑，政策工具期待持續性



基本上，產業界認為上述三大政策工具在方向上是準確的，對於推動國產 Open RAN / Private 5G 落地已初見效益，期待以長期眼光讓政策得以持續，不宜太早掉入雞生蛋、蛋生雞的迷思中。

以日本發展電信產業為例，雖因歐規勝出而失落了二十年，但面對 5G 到來即抓住開放架構機會，以連貫性政策全力搶進。從 5G 頻譜政策到推動 Local 5G 場域，前者不論電信商網或專頻專網皆採審查制，以低廉費率帶動 5G 應用；後者由政府大量出資補助案場，在國內落地實現；透過政策工具，利用電信世代交替、遊戲規則改變之際，讓日系商社在國際電信市場卡位。

同樣的，我國資通訊產業也是透過開放架構機會，得以在封閉的電信市場叩門，從叩門到入門，從產品開發到商用成熟，是一條需要不斷投入與精進的旅程。在這場馬拉松競賽中，我們不過才剛起跑。

後記：本文感謝國產資通訊設備大廠、系統整合商及三大電信商相關專家無私提供洞見，由台灣雲協 5G IoT SIG 秘書組彙整、梳理及撰稿，拋磚引玉，若有疏漏仍望業界先進海涵及指導。



5G O-RAN 企業專網與 OTIC 測試驗證

自5G O-RAN開放式架構發展以來，電信營運商不再受限於傳統電信設備業者，新的營運模式可帶來後續5G企業專網市場的龐大商機，讓國內電信營運商、網通廠以及其他可提供硬體電信設備廠商有發揮空間。工研院近年來也藉此機會與國內多家廠商合作開發O-RAN軟硬體設備，並完成相關測試與驗證。本文將介紹國內5G企業專網發展現況，以及工研院開發之O-RU軟體智財 (Intellectual Property, IP) 於OTIC測試項目之O-RU一致性測試結果。

28

一、5G O-RAN開放式架構介紹

5G O-RAN開放式架構中將5G基地台拆分成O-CU (Central Unit, CU)、O-DU (Distributed Unit, DU) 和O-RU (Radio Unit, RU) 等不同電信設備，因此基地台布建上將會變得相對彈性，並且可依照不同廠商不同情境的應用需求，調整組合出適合不同應用的5G基地台架構。5G小型基地台可基於O-RAN標準之開放與標準化的介面來設計開發，因此有利於國內硬體專長的廠商切入白牌基地台電信設備市場，帶來跟以往不同的商業模式 (Business Model)。

使用5G O-RAN開放式網路架構後，電信營運商可望擺脫傳統電信設備業者的限制，並且帶來以下優勢：(1) 有機會讓營運商的營運成本降低；(2) 網通業者可提供更低成本的硬體電信設備；(3) 消費者可享有更低費率之5G行動網路 (Mobile Network)。最著名的案例為日本的樂天電

信採用了O-RAN架構，可跳脫傳統大型基地台設備業者（如Nokia與Ericsson），並且採用不同公司的伺服器、天線、軟體來整合出整體的5G行動網路，其中相關硬體設備將可為台廠帶來龐大的商機。

5G O-RAN架構中O-RU的軟體智財，工研院資通所已成功研發，多家台灣網通廠已技轉工研院所開發之O-RU軟體智財，並結合網通廠之硬體研發技術，成功開發出符合5G O-RAN架構之O-RU軟硬體整合產品，進一步打入網通廠之國內外企業客戶。本文後續除了介紹5G企業專網（5G Private Network）與OTIC測試項目外，工研院開發之O-RU軟體智財之架構與驗證結果也將於本文呈現。

二、OTIC O-RU一致性測試項目

O-RAN組織主要由八個工作群組（Working Groups）組成，開放式前傳介面（Open Fronthaul Interface, O-FH）主要是由第四工作群組（Working Group 4, WG4）所制定[1]-[4]，主要目標是讓O-RAN設備中的O-DU和O-RU間可進行資料傳送，其中C / U / S Plane規格[1]定義了資料於O-RU與O-DU之間的傳輸方式與時間同步（Timing Synchronization）方法，M Plane規格[2]主要透過網管協定NETCONF與資料模型YANG[5]，管理天線陣列（Antenna Array）維度、波束形成等相關參數資訊，最後另有O-RAN相關文件亦可參考[6]-[12]。

目前耀睿實驗室已經獲得O-RAN聯盟認證，並引進是德科技（KeySight Technology）相關測試儀器來進行驗證，例如DU模擬器、訊號產生器（Signal Generator, SG）、訊號分析儀（Signal Analyzer, SA）等測試設備，並且建置開放無線網絡測試與集成中心（Open Testing and Integration Centre, OTIC）的第三方公正測試實驗室給台廠的O-RAN設備

來進行相關測試，完整的測試內容包含了一致性測試(Conformance Test)、互通性測試 (Interoperability Test, IoT)、以及端對端測試 (End-to-End Test, E2E) 等測試驗證服務，可有效幫助台灣廠商開發之O-RAN設備測試方面的需求。此測試實驗室不僅是中華電信指定的O-RAN測試實驗室，也是台灣首座符合O-RAN Alliance測試規範，及具資安檢測的5G O-RAN測試實驗室。

在OTIC O-RU一致性測試中，下行鏈路 (Downlink, DL) 測試需要DU模擬器 (DU Emulator) 發送C / U-Plane資料給O- RU，並且可透過訊號分析儀觀察O-RU發送的訊號狀態；上行鏈路 (Uplink, UL) 則需要DU模擬器發送C-Plane資料給O- RU，主要通知O-RU接收訊號產生器所發送的上行鏈路訊號，後續O-RU將回傳U-Plane資料給DU模擬器來進行後續解調。

30

OTIC一致性測試項目中，主要是測試O-RAN.WG4.CONF (O-RAN Fronthaul Conformance Test) 的標準中的3.2.3.1.1 (A3)、3.2.3.1.2 (A4)、3.2.3.1.3 (A5)、3.2.3.4.1 (A6)、3.2.3.4.2 (A7) 等測試項目，以下詳述各測試項目的。

- **A3測項**：確保在無線傳輸過程中，O-RU設備能夠滿足基本O-RAN前傳的基本下行鏈路需求。
- **A4測項**：確保O-RU能夠解讀收到的C-Plane的訊息，並且有能力把U-Plane資料放於正確的資源塊 (Resource Block, RB) 中，最後下行鏈路能夠正確的傳輸此資料。
- **A5測項**：確保O-RU能夠解讀收到上行鏈路的C-Plane的訊息，讓上行鏈路能夠正確的接收資料，並且有能力建構出U-Plane資料訊息。
- **A6測項**：確保O-RU的接收區間 (Reception Window) 中收到C-

Plane與U-Plane訊息時，其介面的時序 (Timing) 是否能夠符合規範。

- **A7測項：**確保在C-Plane接收區間的兩端發送C-Plane資料時，O-RU能夠正確建構與傳輸上行鏈路的U-Plane資料。

三、OTIC測項驗證結果

(一) 工研院 O-RU 軟體智財架構

工研院O-RU軟體智財架構 (如圖1) 符合O-RAN標準規範，並且採用了Option 7-2x前傳架構，可透過10 GbE網路介面完成 O-RU與O-DU之間的互通。工研院O-RU系統主要利用FPGA實現O-RU的相關功能，且包含可程式化軟體單元 (Programmable Software, PS) 與可程式化邏輯單元 (Programmable Logic, PL) 兩大部分。PS部分主要實現O-RAN M-plane、S-plane (PTP Sync.)、功率校準、AGC、RF前端控制、數位預失真等功能，而PL主要實現10G網路介面、O-RAN C / U-plane以及RF前端介面轉換等功能。工研院發開之O-RU已透過自主開發之ITRI DU模擬器來驗證O-RU中的下行鏈路與上行鏈路訊號狀況，並且完成OTIC O-RU相關測項，以下將呈現相關測試結果。

31

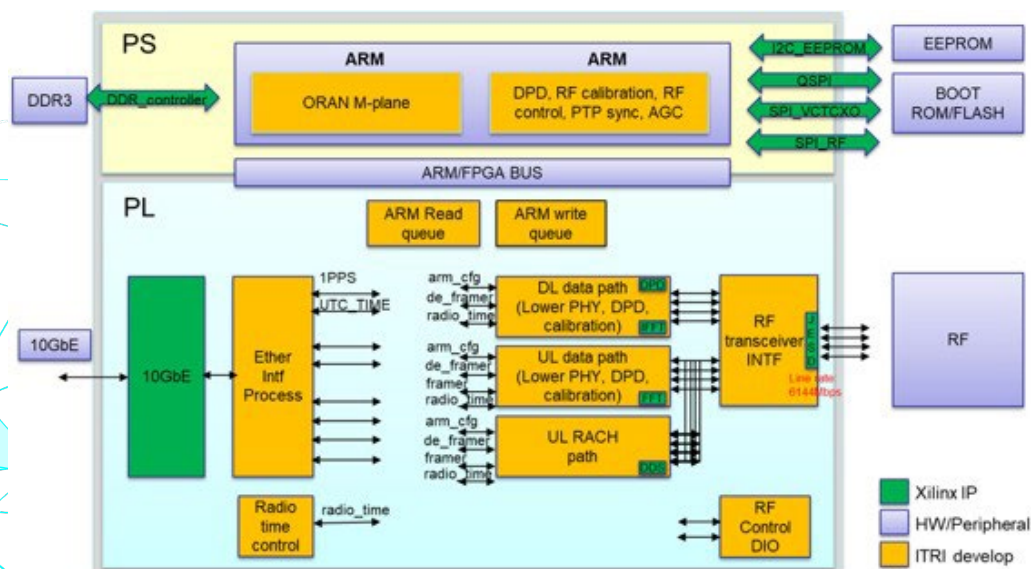


圖 1 O-RU 軟體智財架構

(二) OTIC 測試項目驗證

OTIC O-RU一致性測試項目中包含了A3 / A4 / A5 / A6 / A7測試項目，主要包含O-RAN.WG4.CONF標準中3.2.3.1.1 (A3)、3.2.3.1.2 (A4)、3.2.3.1.3 (A5)、3.2.3.4.1 (A6)、3.2.3.4.2 (A7) 測試項目，後續觀察測試O-RU能否與 KeySight DU模擬器 (如圖2)、訊號分析儀 (如圖3)、訊號產生器 (如圖4)，完成C / U-Plane的下行鏈路 / 上行鏈路測試，並且解調出正確的傳送訊號。以下分別呈現各測試項目之測試結果。



圖2 ITRI O-RU與DU模擬器





圖3 訊號分析儀



圖4 訊號產生器

A3-UC-Plane O-RU Scenario Class NR testing Generic (3.2.3.1.1) 圖5
與圖6呈現了A3測項於訊號分析儀上觀察到之下行鏈路訊號解調結果。由於DU
模擬器傳送的訊號為全0，且訊號格式為根據G-FR1-TM1.1來產生（QPSK調
變），因此圖上所觀察到的訊號全為0的解調結果與傳送訊號一致，因此完成
A3測項之驗證。

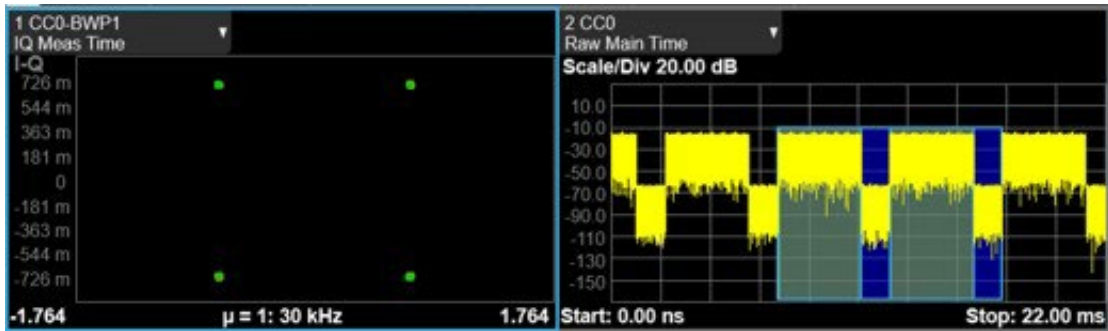


圖5 A3測試項目測試結果—解調後I/Q訊號與訊號頻譜

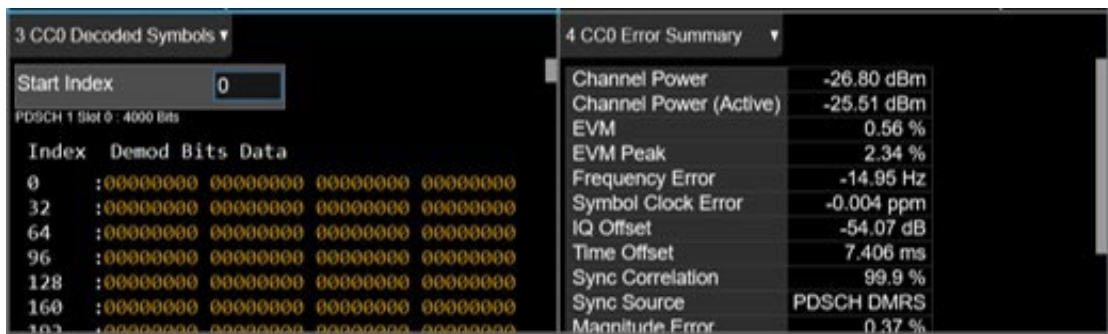


圖6 A3測試項目測試結果—解調結果與訊號品質

■ A4-UC-Plane O-RU Scenario Class Extended 3GPP DL – Resource allocation (3.2.3.1.2) 圖7與圖8呈現A4測項於訊號分析儀上觀察到之下行鏈路訊號解調結果。由於DU模擬器傳送的訊號為PN序列，且訊號格式為根據G-FR1-TM1.1來產生 (QPSK調變)，因此圖上所觀察到的PN序列解調結果與傳送訊號一致，因此完成A4測項之驗證。

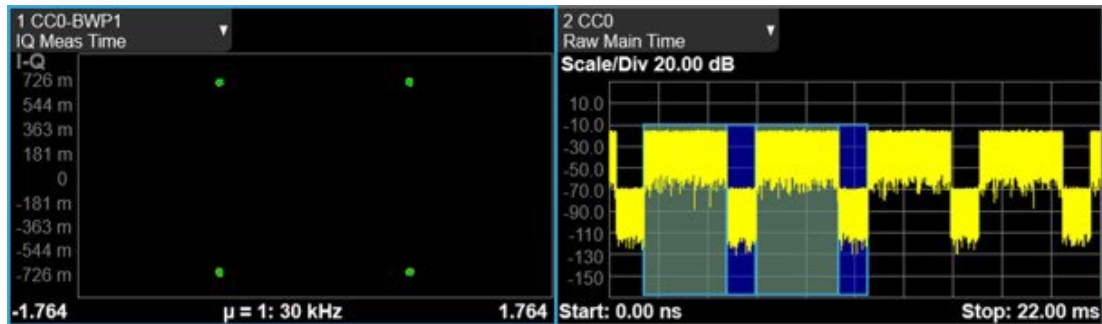


圖 7 A4 測試項目測試結果 - 解調後 I/Q 訊號與訊號頻譜

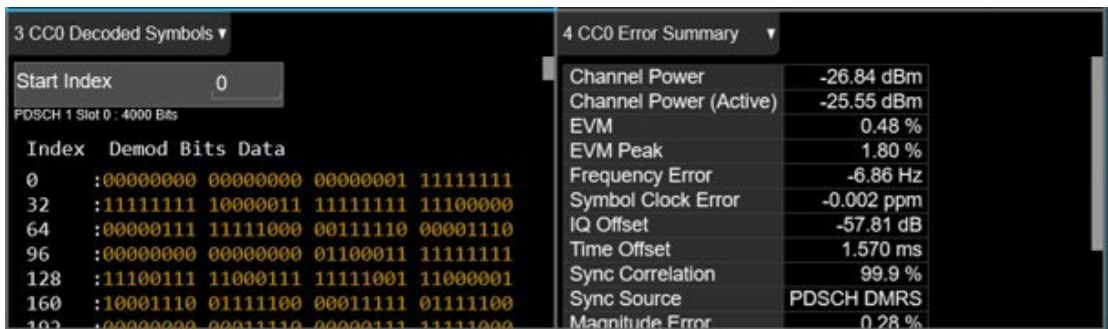


圖 8 A4 測試項目測試結果 - 解調結果與訊號品質

- A5-UC-Plane O-RU Base Class FDD Test UL (3.2.3.1.3) 圖 9 與圖 10 呈現 A5 測項觀察到之上行鏈路訊號之解調結果，其中上行鏈路訊號主要是由 DU 模擬器所接收且傳送端訊號產生器產生訊號。由於傳送的訊號為 PN 序列，且訊號格式為根據 G-FR1-A1-5 來產生 (QPSK 調變)，因此圖上所觀察到的 PN 序列解調結果與傳送訊號一致，因此完成 A5 測項之驗證。



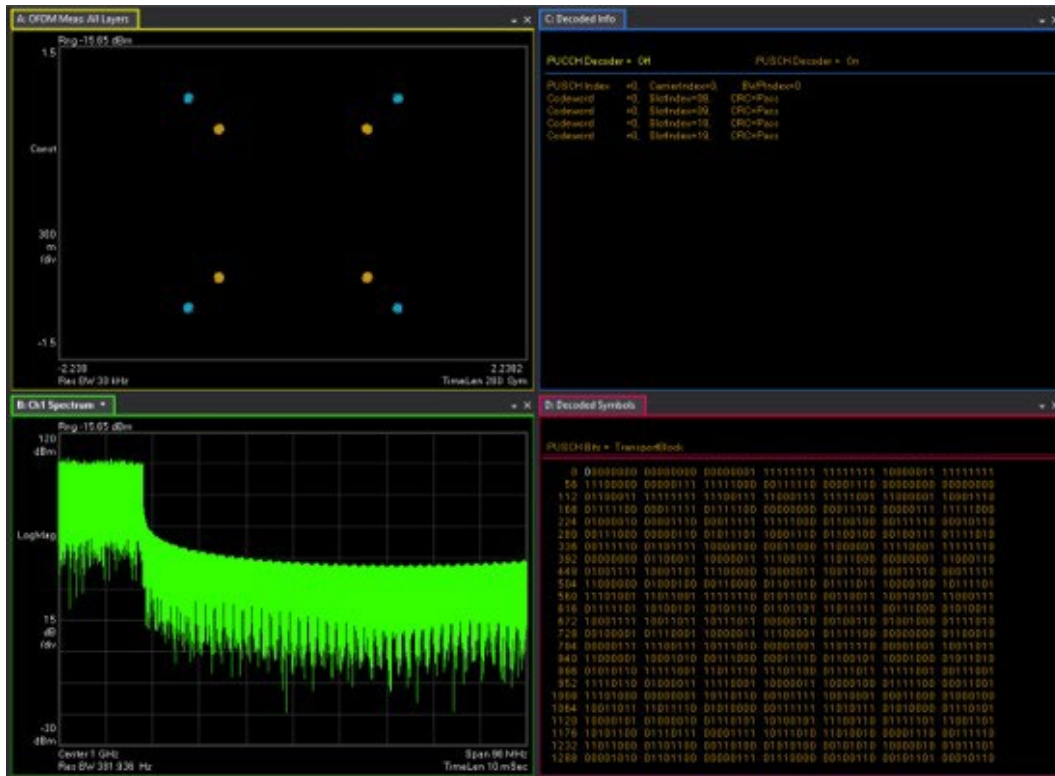


圖9 A5測試項目測試結果-上行鏈路解調結果

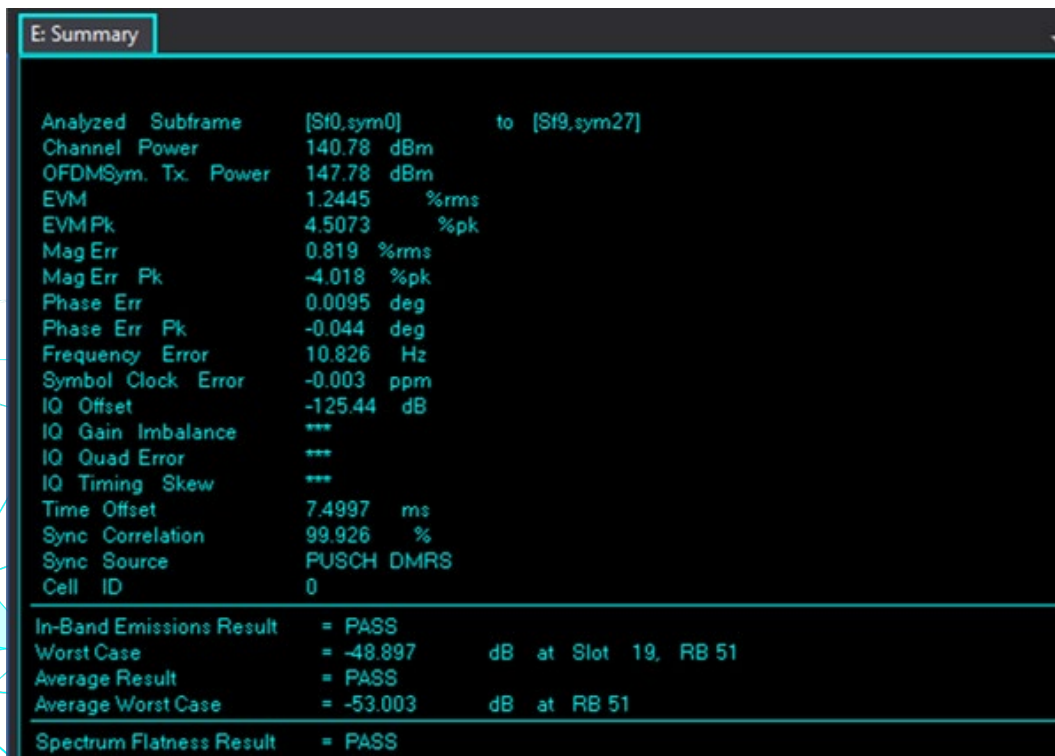


圖10 A5 測試項目測試結果-上行鏈路解調品質

A6-UC-Plane O-RU Scenario Class Delay Management (DLM) Test #1: Downlink –Positive testing (3.2.3.4.1) 由於 C-Plane 接收區間兩端 (Early or Late) 搭配 U-Plane 接收區間兩端 (Early or Late) 會有不同的延遲時序 (DelayTiming) 組合，以下將呈現不同 C / U-Plane 之延遲時序組合之下行鏈路解調狀況。圖 11 與圖 12 呈現 C-Plane 與 U-Plane 之延遲時序皆為 Early 的情況下之解調狀況；圖 13 與圖 14 則呈現了 C-Plane 延遲時序為 Early 且 U-Plane 延遲時序為 Late 的情況；圖 15 與圖 16 則為 C-Plane 延遲時序為 Late 且 U-Plane 延遲時序為 Early 的情況。觀察圖 11至圖 16 的訊號解調結果，所觀察到的 PN 序列解調結果在不同 C-Plane 與 U-Plane 延遲需求下皆與傳送訊號一致，因此可視為完成 A6 測項之驗證。

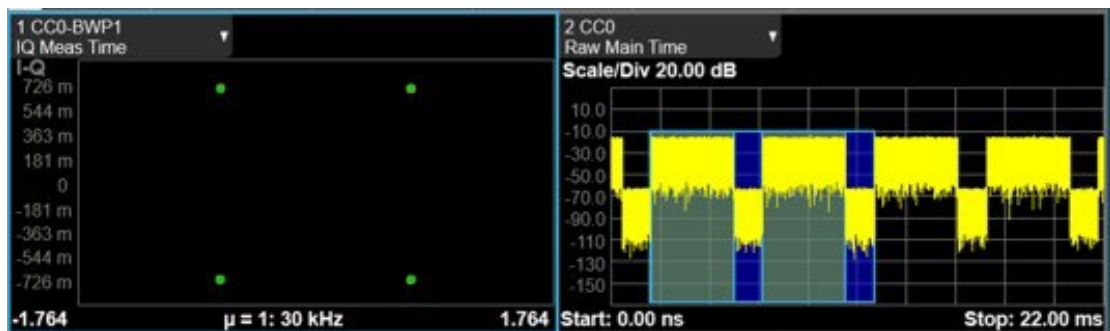


圖11 A6測試項目測試結果 (Early-Early) - 解調後I/Q 訊號與訊號頻譜

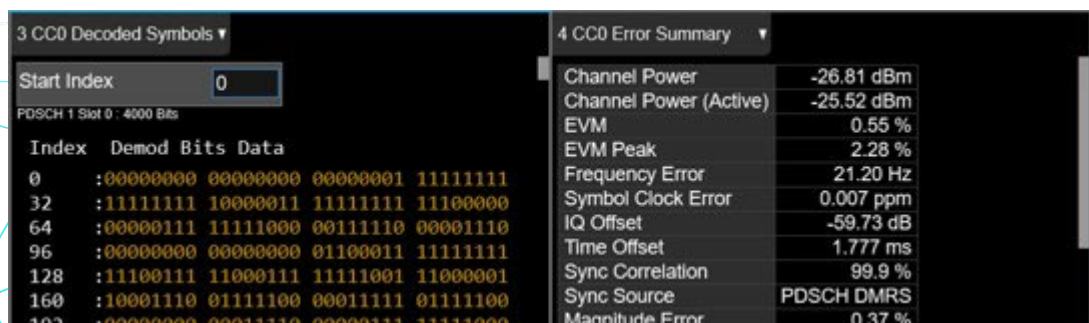


圖12 A6 測試項目測試結果 (Early-Early) - 解調結果與訊號品質

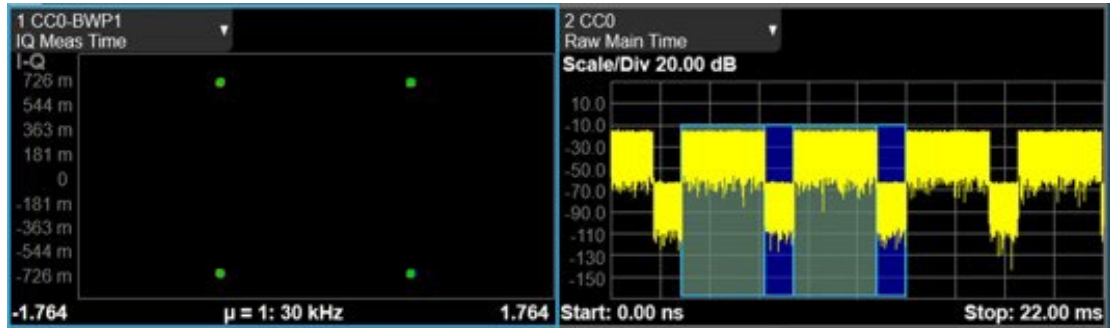


圖 13 A6 測試項目測試結果 (Early-Late) - 解調後 I/Q 訊號與訊號頻譜

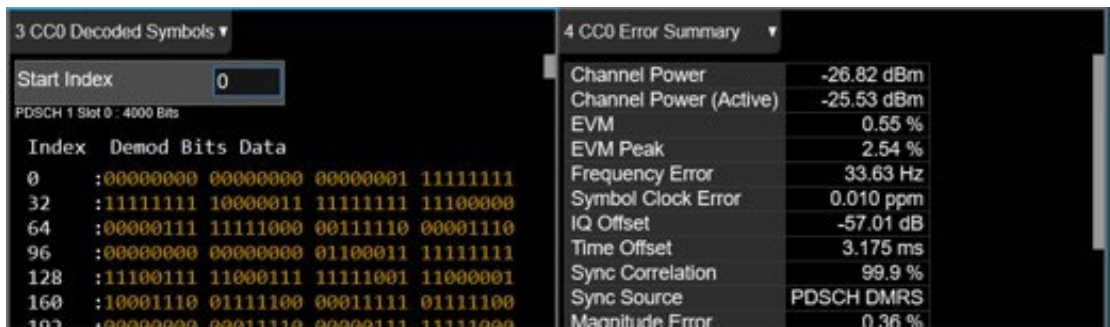


圖 14 A6 測試項目測試結果 (Early-Late) - 解調結果與訊號品質

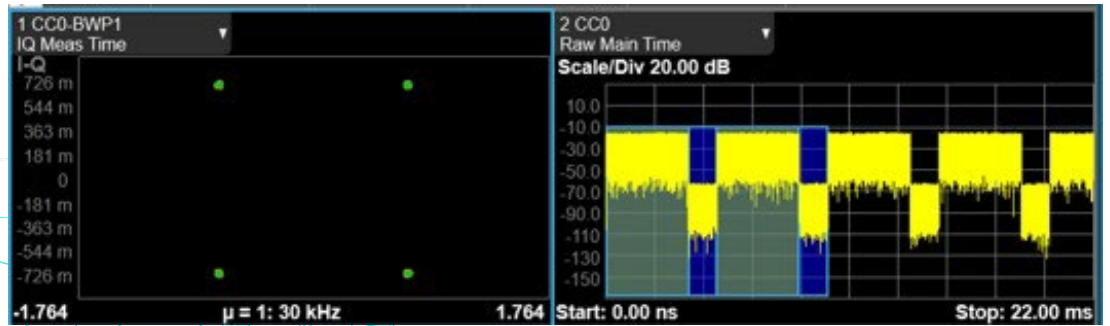


圖 15 A6 測試項目測試結果 (Late-Early) - 解調後 I/Q 訊號與訊號頻譜

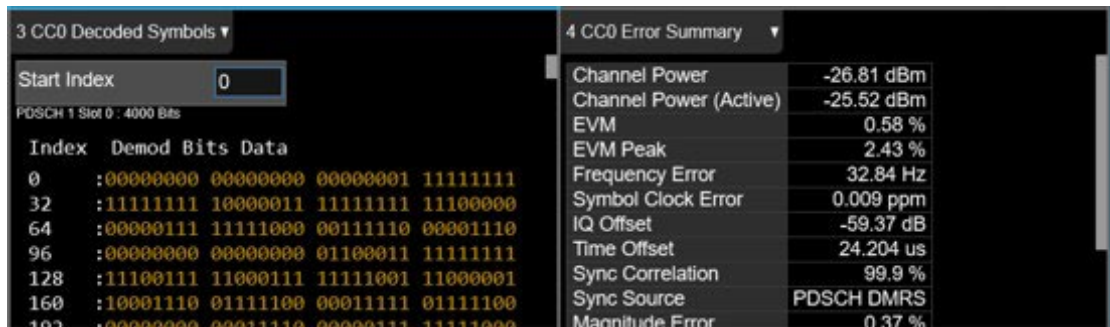


圖 16 A6 測試項目測試結果 (Late-Early) - 解調結果與訊號品質

- A7-UC-Plane O-RU Scenario Class Delay Management (DLM) Test #2: Uplink – Positive testing (3.2.3.4.2) 上行 鏈路中，C-Plane接收區間會有Early與Late兩種不同的延遲時序，以下將呈現兩種不同C-Plane之延遲時序之上行鏈路解調狀況。圖17與圖18呈現C-Plane之延遲時序皆為Early的情況下之解調狀況；圖19與圖20則呈現C-Plane延遲時序為Late的情況。觀察圖17-圖20的解調結果，所觀察到的PN序列解調結果在不同C-Plane延遲需求下皆與傳送訊號一致，因此完成 A7測項之驗證。



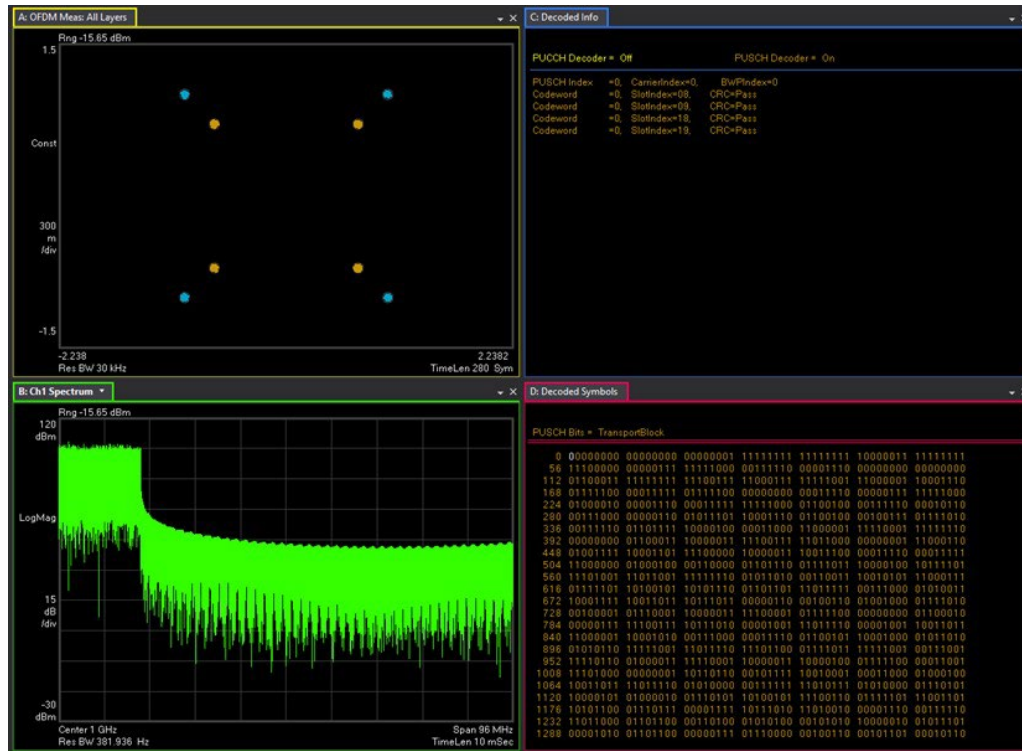


圖17 A7測試項目測試結果 (Early) - 上行鏈路解調結果

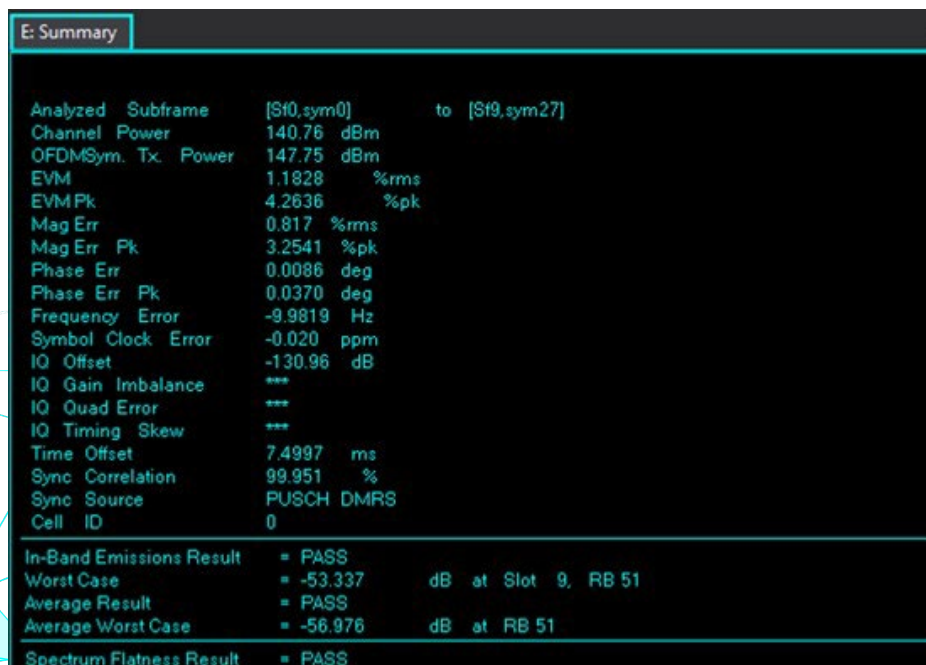


圖18 A7測試項目測試結果 (Early) - 上行鏈路解調品質

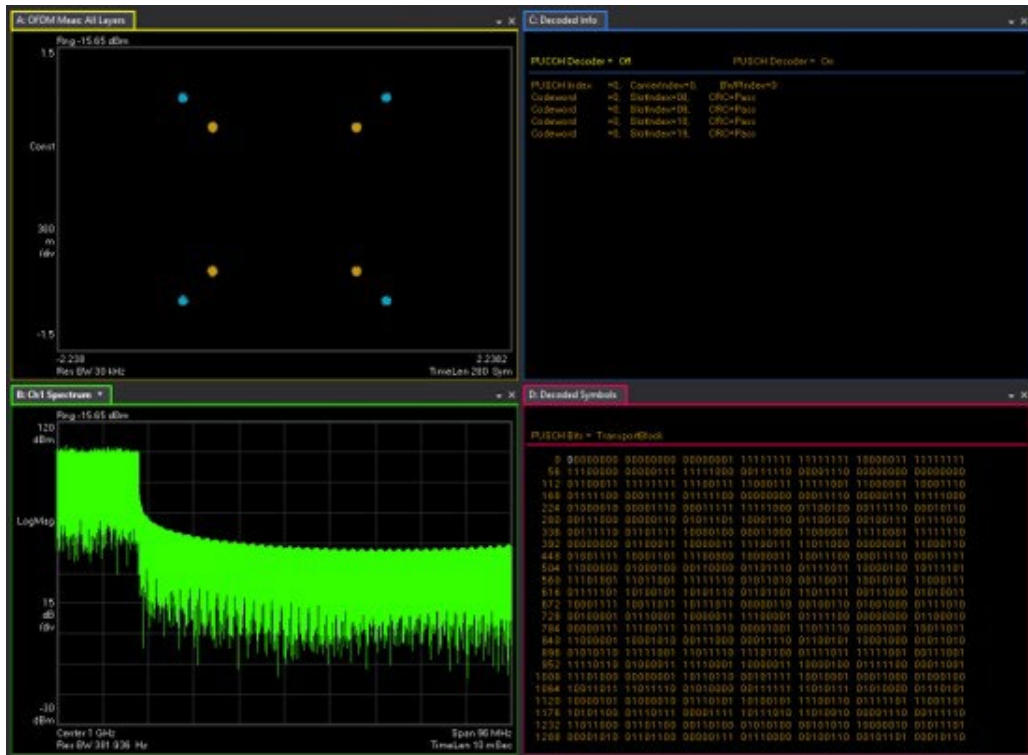


圖19 A7測試項目測試結果 (Late) - 上行鏈路解調結果

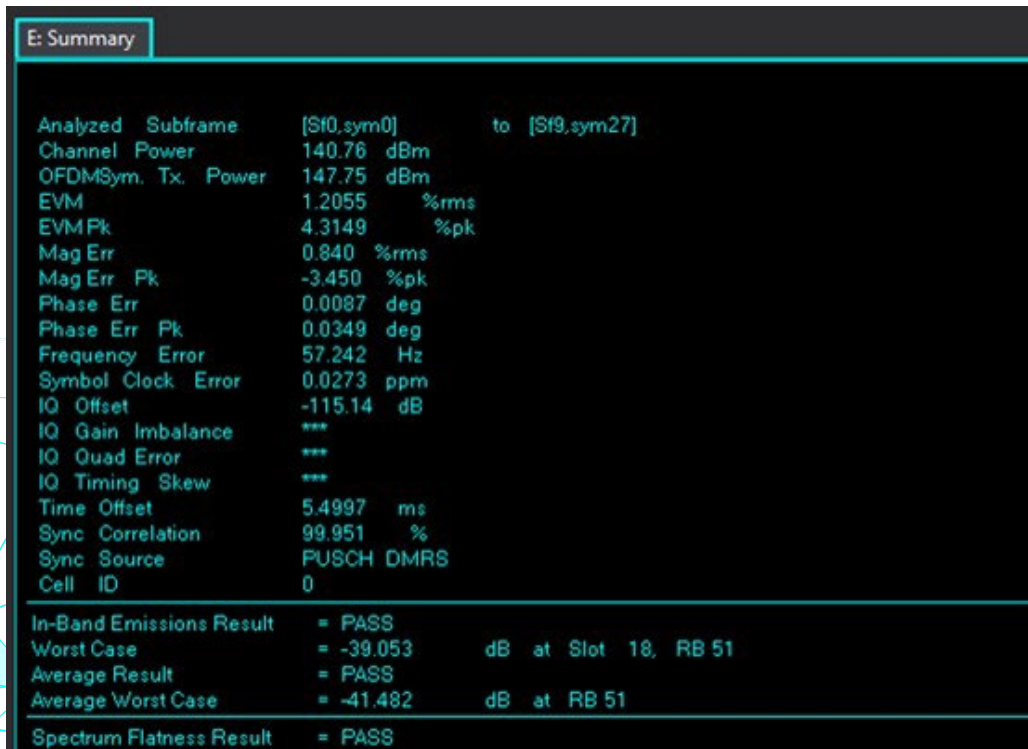


圖20 A7測試項目測試結果 (Late) - 上行鏈路解調品質

五、結論

5G O-RAN企業專網後續將是5G一大亮點，不但可幫助台廠帶來龐大的5G O-RAN設備商機，相關業主更可透過5G企業專網的服務，有機會提高企業內部營運效率與減少整體企業營運的資本支出。工研院資通所已深耕研發5G O-RAN小型基地台，並且協助多家廠商通過OTIC實驗室相關測試驗證，後續將持續協助台廠相關5G O-RAN基地台技術支援。

(作者吳秋萍、劉俊男、方士豪 任職於工業技術研究院資通所)

(本文節錄自工研院期刊「電腦與通訊」190期)



六、參考文獻

- [1] O-RAN Fronthaul Working Group, Control, User and Synchronization Plane Specification, v04.00
- [2] O-RAN Alliance Working Group 4, Management Plane Specification, v04.00
- [3] O-RAN Alliance Working Group 4, Fronthaul Interoperability Test Specification (IOT), v04.00
- [4] O-RAN Alliance Working Group 4, Conformance Test Specification, v03.00
- [5] ITU-T G.8273.2/Y.1368.2 (01/2017) Timing characteristics of telecom boundary clocks and telecom time slave clocks
- [6] ITU-T G.8273.2/Y.1368 (08/2013) Framework of phase and time clocks
- [7] ITU-T G8275.1/Y.1369.1 (06/2016) Precision time protocol telecom profile for phase/time
- [8] ITU-T G8275.1/Y.1369.1 (06/2016) Amd. 1 (08/2017) Precision time protocol telecom profile for phase/time
- [9] O-RAN Whitepaper, “O-RAN: Towards an Open and Smart RAN”, October 2018.
- [10] O-RAN Whitepaper, “O-RAN Use Cases and Deployment Scenarios”, February 2020.
- [11] O-RAN Specification, “Use Cases Detailed Specification”, v02.00, April 2020.
- [12] O-RAN Specification, “AI/ML Workflow Description and Requirements”, v01.01, April 2020.



開放網路架構之 智能無線專網控制管理技術

5G不僅適用於公眾行動網路，更可依據特定應用搭建專用的網路，也就是通稱的5G專網。5G專網應用情境豐富多元，每種情境都有不同等級的網路效能需求，因此需要一套開放、智能的網路架構才可因地制宜。近年來主打開放介面的5G開放式網路（Open Radio Access Network, O-RAN）應運而生，電信相關各類業者均積極投入尋找O-RAN專網應用的新藍海。

44

一、O-RAN無線專網管理

早期電信商如果想要布建行動網路，都必須向國際傳統電信設備大廠購買整套解決方案，包含基地台與管理軟體等，選擇相當侷限且規格封閉，採購成本自然居高不下，也很難因應5G不同的應用情境提供客製化、具差異性的服務。近年來愈來愈多廠商提出開放式架構的討論，讓5G導入開放式架構進而擴大供應鏈，各家軟硬體廠商均可雨露均霑，共組5G專用網路，因此O-RAN聯盟應運而生。

O-RAN聯盟自2018年成立以來，陸續制定開放式架構與互通介面的規格，並推動實現基於大數據的智能無線網路，如圖1所示。



主要元件包含Service Management and Orchestration (SMO) 、Near-Real Time RAN Intelligent Controller (Near-RT RIC) 、一體式或分散式基站與O-Cloud等，各元件中間透過O-RAN定義好的開放介面互通，因此各家軟硬體廠商只要滿足介面需求，即可根據各式各樣的專網需求開發自家產品，又因專網複雜的應用情境，因此負責管理功能的SMO與RIC承擔起網路是否智慧的關鍵，經由SMO與RIC將可實現自驅動智能網路的願景。

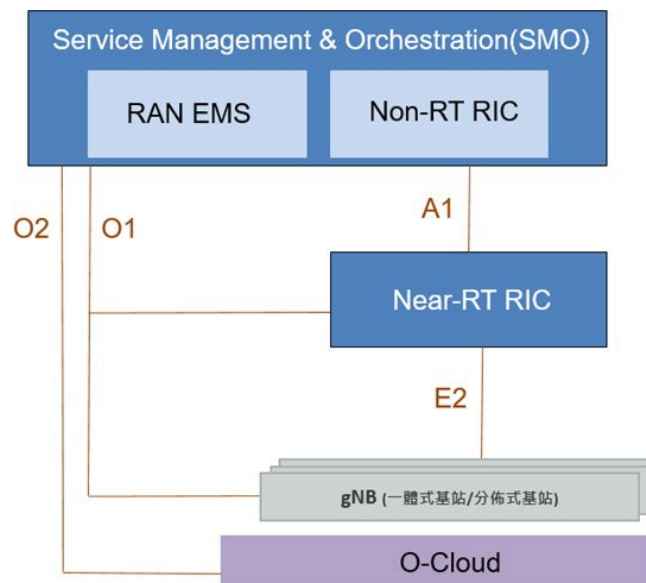


圖1 O-RAN架構

SMO主要提供網路設備的管理服務，介面上可透過與O1介面進行FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security) 管理，透過O2介面進行雲端計算平台 (O-Cloud) 資源及負載管理。SMO內部包含RAN EMS與Non-Real Time RAN Intelligent Controller (Non-RT RIC) ，RAN EMS負責基站的故障 (Fault) 、配置 (Configuration) 、審計 (Accounting) 、性能 (Performance) 、安全 (Security) 的管控，Non-RT RIC負責資料分析、訓練機器學習模型、Enrichment Information提供、Policy制定。Non-RT RIC分別從RAN EMS及應用服務端取得RAN與用戶相關資料，再透過機器學習方法針對特定

目的進行訓練識別、預測模型或做模型的監控與管理，且可透過A1介面將機器學習模型布署於Near-RT RIC，即時調整網路資源配置，Non-RT RIC指導策略設定可超過1秒以上的反應時間。

Near-RT RIC則可透過E2介面接收與分析來自RAN的即時資訊與Non-RT RIC的策略設定，對RAN參數進行即時調整，例如調整資源分配、傳輸率、傳輸優先性、切換連接點、換手等方式，也可動態回報最新的服務狀態回饋給Non-RT RIC進行策略的調整，反應時間小於1秒。參考表1為比較Non-RT RIC與Near-RT RIC的可應用情境，舉例來說，物理小區標示 (PCI) 可由 Non-RT RIC進行配置規劃，在實際場域運行時，Near-RT RIC可即時發覺PCI衝突發生給予解決辦法，其他如移動換手 (MHO)、流量引導 (Traffic Steering) 與網路切片管理 (RAN Slice Management)，均可由Non-RT RIC進行策略與門檻參數的設定規劃，再由Near-RT RIC完成執行的策略。

應用情境	Non-RT RIC	Near-RT RIC
物理小區標識 (PCI)	物理小區標識配置規劃	物理小區標識衝突偵測與解決
移動換手 (MHO)	換手參數設定	換手觸發策略
流量引導 (Traffic Steering)	資料流量設定規劃	流量導引策略
網路切片管理 (RAN Slice Management)	服務級別協定保證	切片類型配置策略

表1 Non-RT RIC 與 Near-RT RIC 的應用情境舉例



二、O-RAN與機器學習

有鑑於機器學習對於解決複雜的5G O-RAN專網應用問題之必要性，O-RAN Alliance特別制定O-RAN導入機器學習工作流程的指導方針。一般所謂的工作流程是為了實現目標在多個參與者之間按照既定規則執行任務，在機器學習裡面即是資料收集、資料前處理、訓練、預測、模型管理與效能監控等過程，以下分別介紹在O-RAN技術文件中說明的可布署方式與應用案例。

(一) 概觀與布署方式

在Non-RT RIC技術文件中，說明支援機器學習服務流程可由兩種方法實現，第一種為導入機器學習操作工具至Non-RT RIC，第二種方法為整合

連接第三方的機器學習服務伺服器，功能上則是需要支援機器學習訓練、預測與模型的監控管理。

如果將每一個工作流程視為功能模組，機器學習工作流程的布署情境可分為五種，這五種布署方式將可依照使用情境來選擇。

- **布署情境1**：為所有的工作流程（資料收集、資料前處理、訓練、預測、模型管理與效能監控）均放在Non-RT RIC，這種布署方式最為簡顯易懂，但需要應用情境的反應時間可以大於1秒。
- **布署情境2**：為除了預測放在Near-RT RIC其餘放在Non-RT RIC，這種情境適合需要小於1秒的預測，即時的使用預測數據。

- **布署情境3**：為預測與效能監控放在Non-RT RIC，其他放在Non-RT RIC外SMO裡面，此種方法可增加數據收集的效率。
- **布署情境4**：為如果離線訓練 (off-line) 的話放在Non-RT RIC，在線訓練 (online) 的話放在Near-RT RIC，目的也是提升重新訓練 (Re-train) 的效率。
- **布署情境5**：為將預測放在O-CU / O-DU其他放在Non-RT RIC，目的即為需要更快速的預測。

(二) 應用案例

應用範例	功能描述	可布署方式	輸入資料	輸出資料
體驗品質優化	服務型態分類	布署情境 2	資料流量	服務型態
	預測訊號品質	布署情境 2	網路資料，例如吞吐量、傳輸率、延遲等	品質指標
資料傳輸導向	基站負載預測	布署情境 1 或 2 均可	過去時間的網路資料，例如吞吐量、傳輸率、延遲、實體無線資源塊 (PRB) 數量等	未來時間的網路資料
	訊號分布預測	布署情境 2 或 3 均可	終端裝置訊號量測回報與網路效能指標例如訊號強度、訊號品質與連線成功率等	訊號分布數據與網路效能指標
換手管理	預測換手異常	布署情境 2 或 5 均可	基站參數、訊號強度/品質、終端位置等	換手異常機率
	換手排程			較佳換手順序
網路切片管理	服務級別協定保證	布署情境 4	網路資料例如吞吐量、傳輸率、延遲等	效能與品質是否滿足服務級別協定

表2 機器學習應用範例

三、智能無線專網控制管理技術

工研院自主研發一套基於O-RAN架構的智能無線專網控制管理平台（SMO / RIC），如圖2所示，大致可分為三大部分。

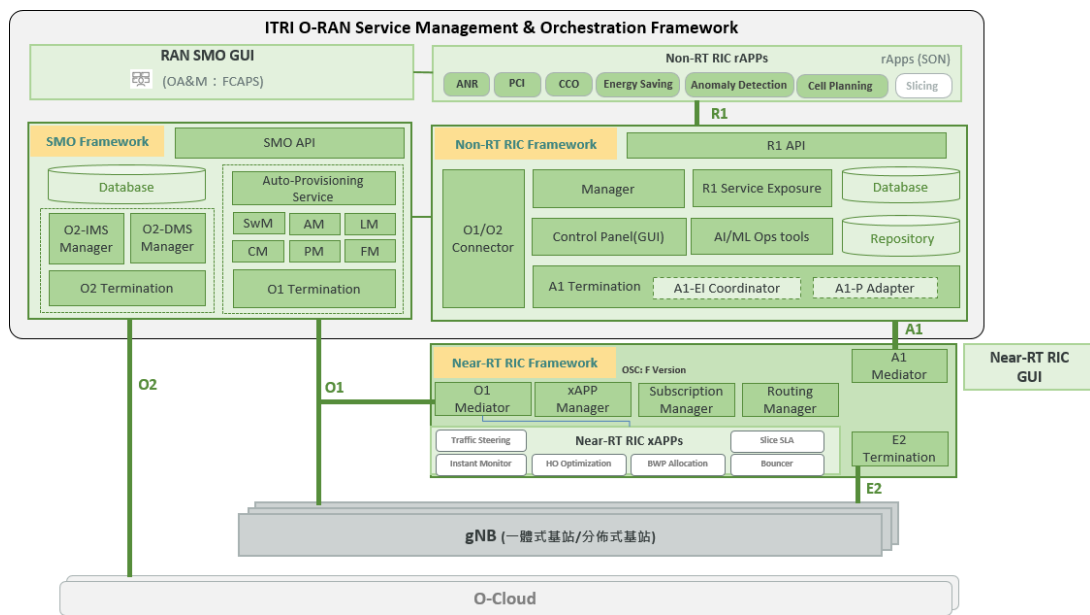


圖2 智能無線專網控制管理平台 (SMO / RIC)

第一部分為SMO的框架與使用者介面，相當於O-RAN架構的RAN EMS，負責管理組網內的基站。第二部分為Non-RT RIC的框架 (Framework) 與應用軟體 (rApp)，參考圖3為Non-RT RIC GUI，框架 (Framework) 負責應用軟體的上下架、健康、註冊、認證、授權等管理，且支援可操作機器學習的工作流程，並透過介接介面 (A1 / R1 / SMO) 與其他元件交換訊息；應用軟體 (rApp) 則可以是具備網管功能

的應用程式，比如說ANR (Automatically Neighbor Relations) 自動建立鄰近基地台的關係，以確保用戶裝置在移動中換手 (Handover) 的穩定性、CCO (Coverage and Capacity Optimization) 自動優化訊號覆蓋範圍與容量。在ITRI的智能無線專網控制管理平台的rApp不單僅有工研院自主開發，也可外接第三方軟體，如同手機應用程式上下架在商店一樣，只要透過R1介面即可與框架 (Framework) 交換訊息。第三部分為Near-RT RIC，其上的應用軟體 (xApp) 可利用框架 (Framework) 經由E2介面控制基站如換手時機等策略。

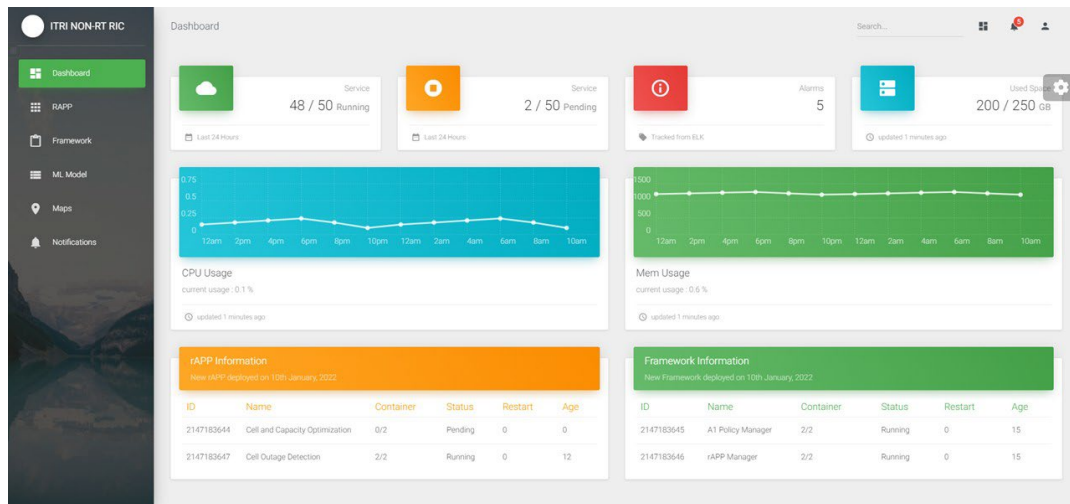


圖3 Non-RT RIC GUI

本平台提供使用者GUI或API方式來做訓練、預測或模型的管理監控，且應用軟體可透過介面操作取得各式模型進行調整預測數據。舉例來說，異常檢測 (Abnormal Detection) 應用軟體 (rApp) 透過R1介面向Non-RT RIC的框架 (Framework) 取得基站端的數據，包含終端量測數據、基站效能指標與網路效能指標，整理成可訓練的資料，並呼叫機器學習工作流程的工具進行模型調教與訓練，將此模型儲存，往後即可預測並監控準確度，當

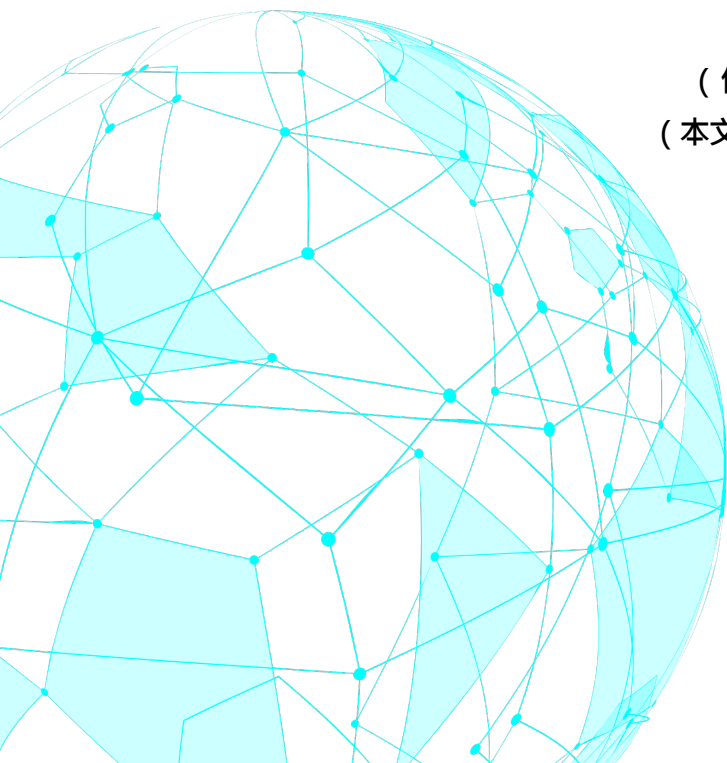
準確度每況愈下時啟用重新訓練機制，由新一組數據訓練得到更優化的模型。

四、結論

O-RAN開放式網路架構應用在5G網路需搭配因地制宜的智能網管才可滿足各式各樣的專網應用，比如說無人機電競專用網路，高速的終端移動特性需要非常快速的換手策略，複雜龐大的資訊量無法使用傳統方式來判斷，需要即時且智能的系統來進行決策；又如低碳節能的智慧工廠需要根據班表控制基站模式來降低碳排，根據使用者過往經驗模式導入機器學習來預判節能策略，只要是可想得到的應用就可透過專網的布建來滿足，組建更廣大的生態鏈來降低採購成本，且由智能無線專網控制管理平台與創新應用服務來降低維運成本，提供高品質使用者體驗，增進產業效益。

在未來，期許往資料自主驅動的人工智能網管系統發展，根據不同網路應用進行切片管理來達到確定性網路，這種新世代專網管理技術將大幅提高應用可期性與易用性，在這片藍海中掀起一波科技浪潮。

(作者溫太銘 任職於工業技術研究院資通所)
(本文同步刊載於工研院期刊「電腦與通訊」190期)



五、參考文獻

- [1]O-RAN Alliance, O-RAN Architecture-Description (WG1), 2022.
- [2]O-RAN Alliance, O-RAN AI/ML workflow description and requirements (WG2), 2022.
- [3] O-RAN Alliance, O-RAN Non-RT RIC Architecture (WG2), 2022
- [4]O-RAN Alliance, O-RAN Near-RT RAN Intelligent Controller Near-RT RIC Architecture, 2022
- [5]O-RAN Alliance, O-RAN Operations and Maintenance Architecture (WG10), 2022.
- [6]Ericsson, Ericsson Intelligent Automation Platform: Solution Brief, 2021.
- [7]Solmaz Niknam, Abhishek Roy, etc., Intelligent O-RAN for Beyond 5G and 6G Wireless Networks, Electrical Engineering and Systems Science, 2021.



從 5G 資安檢測談 O-RAN 資安之落實

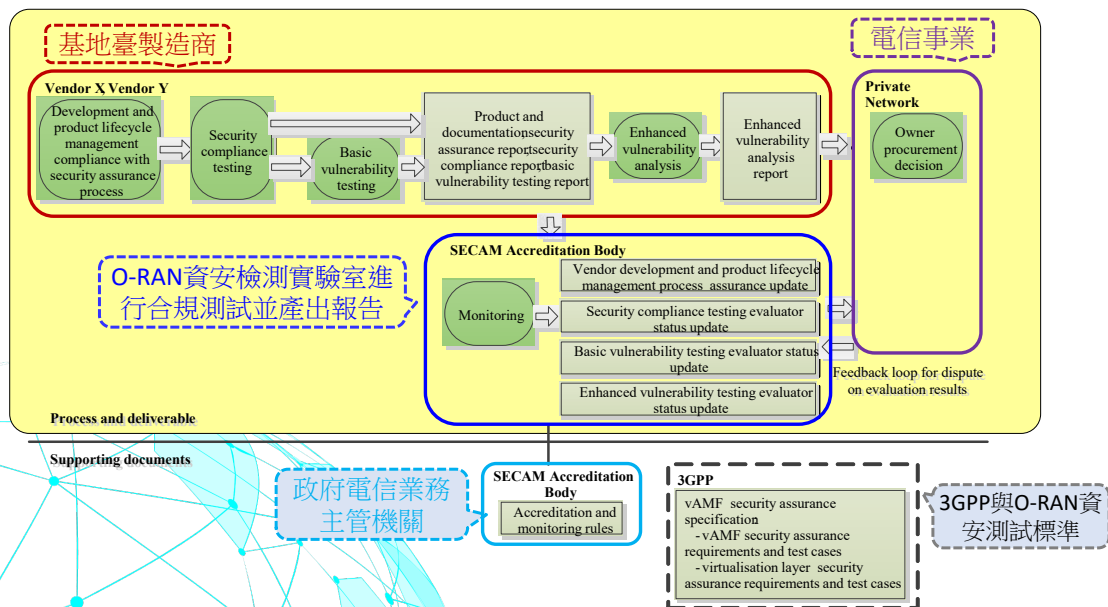
隨著行動資料量不斷地增加並支援各類新業務與應用場景，5G 系統預期將具有龐大的移動數據和設備連接，而無線存取網路(Radio Access Network, RAN)除了需考慮關鍵性能指標要求、網路商業營運能力以及具備持續演進能力這三方面的因素外，全球電信事業也希望與第三方設備供應商合作推動介面開放並標準化，以完全開放互通的介面並結合無線存取網路智能控制(Radio access network Intelligent Controller, RIC)，來降低行動通訊網路設備建置的成本，因此 5G 無線存取網路的基礎架構有走向開放、虛擬化、高靈活性與節能的趨勢。

以 AT&T 為首的電信事業深刻感受到需要透過新的開放式無線存取網路標準規範，達成更具競爭性與動態彈性的無線存取網路(RAN)供應鏈，積極推動開放式無線存取網路架構以打破過去軟硬體高度整合的常態，將整個硬體架構分成無線電單元(RU)、分散單元(DU)、集中單元(CU)等，與不同元件間的傳輸介面與控制管理軟體等，與不同層之間的傳輸介面與控制管理軟體，集中單元(CU)還可再拆分為集中單元-控制平面(CU-CP)以及集中單元-用戶平面(CU-UP)。開放式無線存取網路以開放式的介面軟硬體架構，實現 5G 快速彈性化布署與客製化的服務，讓電信事業可以更快的布署應用服務，並達成降低設備成本的目標。

在開放式無線存取網路標準化與開放過程中，需要透過眾多產業間的合作與溝通，以便在全球推動無線開放網路、軟體和虛擬化的目標。過去所有技術與介面大多由電信設備大廠統籌負責，一旦發生問題，負責之對象明確。隨著開放式架構的網通設備「白牌化」後，市場也擔心開放架構會不會造成更多的資安漏洞。依據歐盟與北約組織在 2019 年 5 月在 5G 安全會議所提出的「布拉格倡議(Prague Proposals)」，可信的 5G 網路軟硬體設備供應鏈管理將是 5G 資安管

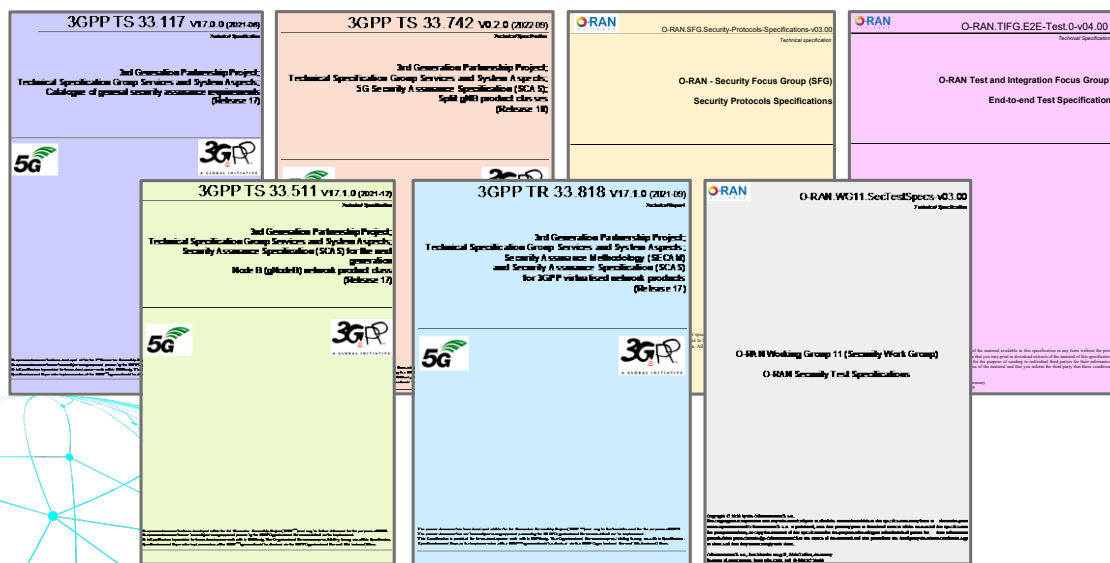
理最重要的關鍵議題。因此，5G 電信事業不僅需要可信任的網路軟硬體設備供應業者，更必須有能力驗證 5G 相關網路軟硬體設備的安全性才行。

隨著第三代合作夥伴計劃(3G Partnership Project, 3GPP)第一版本的第五代行動通訊資安評估準則(Security Assurance Specification, SCAS)標準於 2019 年底定，涵蓋第五代行動通訊(5G)基地臺的七大資安威脅面向與相關資安測試案例，將有助於電信應運商進行第五代行動通訊設備的資安檢測。針對 5G 基地臺(gNB)資安風險議題，未來在生產製造的過程中將會依據資安評估準則(SCAS)進行合規檢測，並由資安實驗室針對設備的弱點進行規範檢測及防駭漏洞檢測等兩階段測試(見下圖)，以提升第五代行動通訊的安全性，保障消費者權益。



圖一、O-RAN 系統的資安合規檢測 (資料來源: TR 33.916-f00 & TR33.818-h00)

因此開放式無線存取網路聯盟(Open Radio Access Network Alliance, O-RAN Alliance)成立第十一工作小組(Working Group 11, WG11)之安全工作小組(Security Working Group, SWG)以克服開放式無線存取網路的資安議題。為了確保 Open RAN 開放式架構的設備商在實作相關網路產品的安全標準規範落實度，針對安全確保機制，將採用全球行動通訊系統協會(Groupe Speciale Mobile Association, GSMA)制定的網路設備安全保證方案(Network Equipment Security Assurance Scheme, NESAS)搭配第三代合作夥伴計畫(3GPP)與開放式無線存取網路聯盟(O-RAN Alliance)成立制定的產品資安確保標準(Security Assurance Specification, SCAS)來驗證，同時針對 O-RAN 新增加的介面與架構制定相關的資安測試案例。



圖二、O-RAN 系統的資安合規檢測標準 (資料來源: 3GPP 與 O-RAN alliance)

台灣已有工業電腦與伺服器廠商以及小型基地臺製造商積極投入 5G O-RAN 開放式架構網通設備的市場。財團法人工業策進會(Institute for Information Industry, III)資安科技研究所(Cyber-Security Research Institute, CSTI) 團隊在數位發展部數位產業署「5G 資安防護系統開發計畫」的支持下，於開放式無線存取網路聯盟(O-RAN Alliance)舉辦之 PlugFest 2022 Spring 會議，發表 5GSec Assure - i5GS O-RAN 資安合規測試工具，以協助台灣廠商降低產品於商用時的資安修補成本。同時於台灣資通產業標準協會(TAICS)制定「TAICS TS-0035 5G 基地臺資安測試規範」與「TAICS TS-0053 5G Open RAN 資安測試規範」，作為建立第三方資安檢測實驗室的基準，整合於 5G 專網資安解決方案中，更易推動產品進入國內外市場，展望公部門與產業協力對資安政策落地、強化產業韌性推進的效果。

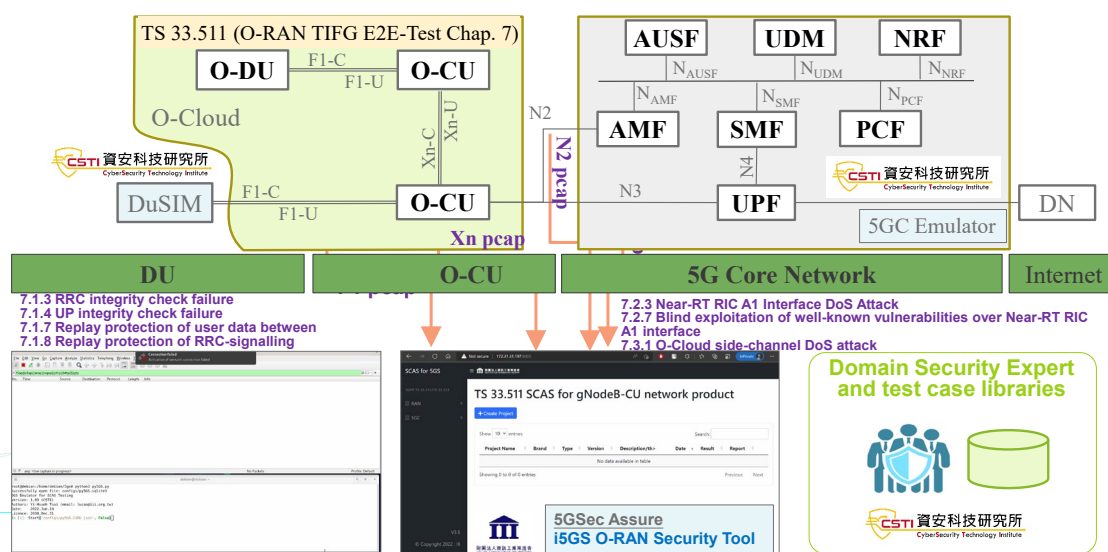


圖: O-RAN 資安合規測試工具 (資料來源: PlugFest 2022 Spring)

(作者蔡宜學 任職於資訊工業策進會資安科技研究所)

5G



發行日：2022年12月16日



台灣雲端物聯網產業協會
Cloud Computing & IoT Association in Taiwan

