



# 開放式無線存取網路聯盟 (O-RAN Alliance) 與開源軟體社群 (OSC) 簡介

國立臺灣科技大學電子工程系博士生 / 林至偉

國立臺灣科技大學電子工程系研究生 / 黃致翔

國立臺灣科技大學電子工程系研究生 / Wilfrid Azariah

國立臺灣科技大學電子工程系研究生 / Ferlinda Ferliana

國立臺灣科技大學電子工程系特聘教授 / 鄭瑞光

關鍵字：O-RAN Alliance, open RAN, Open Source, Open Interface, OSC

## 摘要

本篇論文分別介紹O-RAN開放式無線存取網路聯盟、O-RAN Software Community (OSC) 開源軟體社群以及兩者關聯性。「軟體化 (softwarization of everything)」是近年來在網路、計算、通信領域已普遍接受的概念，近幾年間從軟體無線電 (software-defined radio) 的理論逐步落實在行動通訊網路中，基於「軟體化 (softwarization)」、「虛擬化 (virtualization)」以及網路功能拆解 (disaggregation of networking functionalities) 等關鍵推動技術的軟體定義行動網路 (software-defined cellular networks)，已被視為可支援 5G/6G 未來進

行快速網路優化的關鍵技術[1]。以往的4G網路是以整機黑盒 (blackbox) 方式設計，將無法負荷未來高靈活度的配置條件，許多電信商逐漸地將目光轉往對開放無線存取網路 (Open Radio Access Network, Open RAN) 的研究與實現。藉由開放性使用者介面連接不同電信供應商的硬體、軟體的網路整合與佈署而備受關注。O-RAN聯盟的成立解決了單一廠商研發需要耗費大量人力資源以及成本的難題，無疑為Open RAN的研發提供了一大助力。O-RAN軟體社群 (O-RAN Software Community, O-RAN SC)，負責開發O-RAN功能定義所需要的開源軟體模組，且管理所有與無線存取網路的軟體開發 (包括各開源軟體的技術文件、測試和整合)、程式碼儲



存、工具與開發人員整合測試工作，使軟體碼與O-RAN聯盟的開放架構和規範保持一致。

## 一、開放式無線存取網路（O-RAN）

### （一）背景

隨著蜂巢式網路的發展，服務品質（Quality of Service, QoS）和體驗質量（Quality of Experience, QoE）是要實現的關鍵目標。電信營運商必須在持續增長的用戶數及用戶需求下保持良好的QoS以及QoE。無線存取網路（Radio Access Network, RAN）作為該問題的解決方案，元件多年來不停在發展。目前RAN存在幾個主要問題：

1. 綁定供應商，電信營運商連接和部屬多個RAN設備的選擇有限，在此情況下，優化資

源管理且充分利用有限頻譜具有挑戰性；2. 網路節點間的協調有限，影響RAN元件的整合優化與控制；3. RAN的重構彈性有限，無法微調以利支援不同部屬及不同流量配置。

### 1. Open RAN v.s. 3GPP

O-RAN是O-RAN聯盟標準化的Open RAN版本。如圖1、圖2所示，O-RAN是建立在3GPP的基礎之上，包含新功能和開放、互操作性的介面。如我們所知，這種新的RAN架構方法可能會帶來一些與增加供應鏈多樣性和降低部署成本相關的好處，同時增加網路整合成本和複雜性。圖1是O-RAN架構的主要變化，如果我們比較O-RAN聯盟與3GPP，可以在圖片中看到基於3GPP的架構[2]和O-RAN架構下層拆分之間的主要比較（LLS）7-2X。引入新節點：RAN智能控制器（RAN Intelligent Controller, RIC）

3GPP	O-RAN
<b>Functions</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Management and Orchestration</li> <li>• CU-CP/CU-UP</li> <li>• DU</li> </ul>	<b>Additional Functions</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SMO</li> <li>• Non-Real-Time RIC</li> <li>• Near-Real-Time RIC</li> </ul>
<b>Interfaces</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• E1</li> <li>• F1-C/F1-U</li> </ul>	<b>Additional Interfaces</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A1</li> <li>• E2</li> <li>• O1</li> <li>• O2</li> <li>• Open Fronthaul</li> </ul>

圖 1 3GPP, O-RAN 主要介面與比較 [ 3 ]

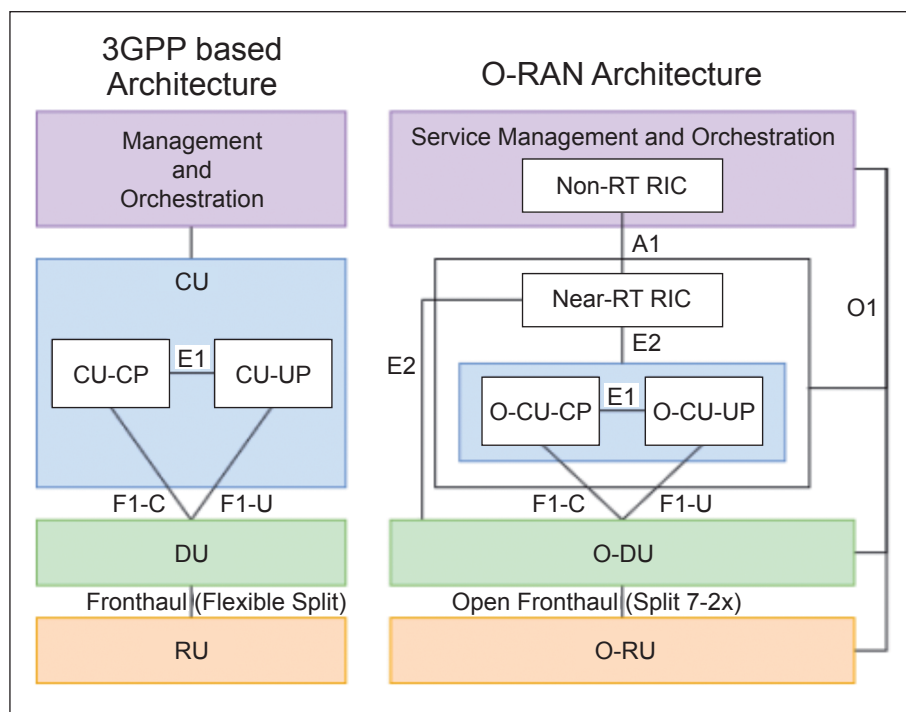


圖 2 3GPP, O-RAN 架構比較圖 [3]

和服務管理和編排 (Service Management & Orchestrator, SMO)、引入前傳 (FrontHaul) 拆分、引入新介面。

另外，3GPP和O-RAN都共享幾個關鍵的共同技術特徵，允許自由選擇供應商特定的實現方式。

## 2. 功能分離 (Functional Split)

功能分離 (Functional Split) 旨在做前傳 (Fronthaul) 網路的分離，圖3表示八種功能分離選項 (Functional Split Options)。最左邊的option 8代表只將天線分離出來做

前傳網路，其餘的功能做中心化處理，與原始C-RAN的配置相同，可以由一個DU、CU來管理多個Radio Unit (RU)。此option能夠發揮中心化基頻處理之優勢，實現負載平衡、跨RU共用處理…等功能，也大大簡化了RU的複雜度，對於電信商來說佈署更容易。然而此方法對於前傳介面的位元速率 (Bit Rate) 及延遲 (Latency) 的要求最高，原因為天線收到訊號後需要做基頻處理，包括循環冗位檢查碼 (Cyclical Redundancy Check)、混合式自動重送請求 (Hybrid Automatic-Repeat-reQuest, HARQ) …等等處理對於時間及位元速率皆有一定的要求。

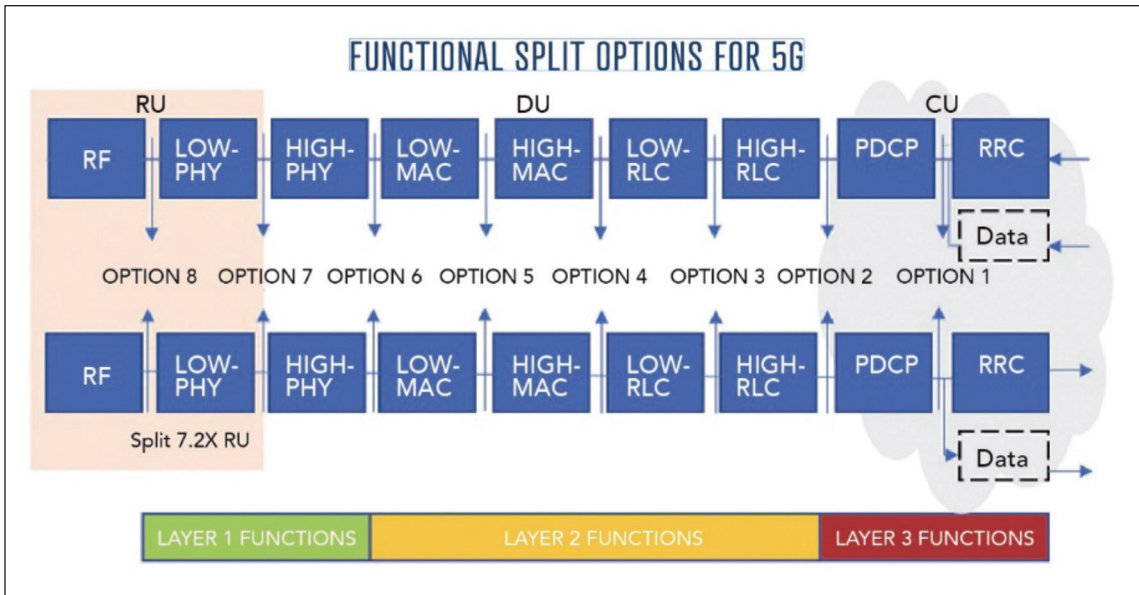


圖 3 八種功能分離選項 (Functional Split Options) [4]

而最右手邊的option 1與option 8則完全相反，將基地台所有功能都包在前傳網路內，使得前傳介面的位元速率及延遲要求相較於option 8低上許多，但也導致整個前傳網路變得複雜、對於功耗的需求較大，失去option 8能夠中心化處理多個RU、負載平衡…等優點。

經上述舉得極端例子可得知，於圖3中option越往右手邊走，對於前傳介面的位元速率及延遲的要求越低，但卻失去了中心化基頻處理的優點，電信商需要在此之中權衡利弊做出選擇。

O-RAN在這八種options中選擇option 7.2x功能分離，option 7將O-DU與O-RU之

間分離，而option 7.2x則是更細分的將物理層 (PHY Layer) 之快速傅立葉轉換/逆快速傅立葉轉換 (FFT/iFFT) 與資源單位對應 (Resource Element Mapping) 功能為界做分離，如圖4所示。O-RAN聯盟是經過RU複雜度與前端介面之位元速率與延遲需求兩者權衡後才選擇該種分離方式。

### 3. 演進過程

如圖5所示，我們將演進過程分為四個階段，分別為以下：

- (1) Distributed RAN (D-RAN)：D-RAN 是一種傳統的部屬方式，遠端射頻模組 (Remote Radio Unit, RRU)、基頻模組 (Baseband Unit, BBU) 被建置於同一個基站內，因此每個基站具有所有功能，

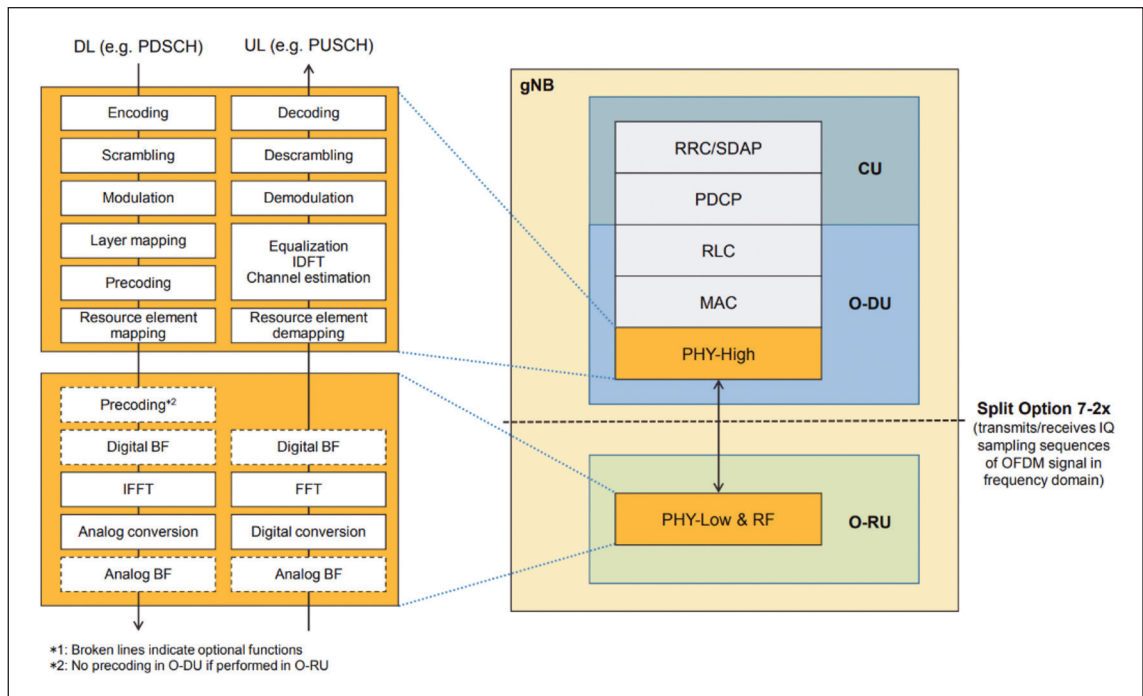


圖 4 Functional Split Option 7.2x [5]

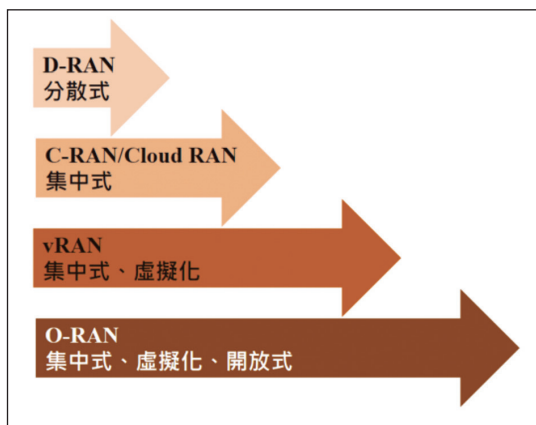


圖 5 RAN 演進圖

並透過 backhaul 連接回核心網路 (Core Network, CN)。適用場景在於低延遲的業務場景、網路初期快速部署。

(2) Cloud or Centralized RAN (C-RAN) : C 可以是「集中式」或者「雲」，這兩者看似非常相似，真正的區別在於雲系統，除此之外這兩種 RAN 技術並沒有太大區別。兩種 C-RAN 都是統一將 BBU 集中，稱之為池 (Pool)。每個 BBU 會具有自己的 RRUs，中間使用 FrontHaul 介面連接，該介面將一個 BBU 連接至多個 RRU。C-RAN 已被公認為能夠滿足 5G 無線接取技術要求的最具潛力技術之一。包含光纖通信和標準無線通信都是從 C-RAN 中衍生出來的。

(3) Virtualized RAN (vRAN) : vRAN 是 C-RAN 的網路功能虛擬化 (Network



Functions Virtualization, NFV)，是 C-RAN 概念虛擬化的真正應用。vRAN 使用虛擬機 (Virtual machines) 或者容器 (Containers) 將 BBU 部屬到伺服器中。vRAN 允許與許多 RRU 共享無線電和 BBU 資源。vRAN 還嵌入到開放媒體框架 (OMF) 和開放街道地圖 (OSM) 擴展文件的開發中。vRAN 與 C-RAN 非常相似，不同的是 C-RAN 使用專用硬體，而 vRAN 通常可以部屬到數據中心的商用現貨 (commercial off-the-shelf, COTS) 伺服器上。

(4) Open RAN (O-RAN)：O-RAN 聯盟明確定義了前傳 (FrontHaul)，中傳 (MidHaul)，後傳 (BackHaul)，代表可以混合和匹配不同的供應商，並使用不同的方法而無需綁定供應商。

## (二) O-RAN 聯盟

首先介紹 O-RAN 技術指導委員會 (O-RAN Technical Steering Committee, O-RAN TSC)，TSC 負責決定並提供有關 O-RAN 技術主題的指導。在 TSC 內，有 10 個工作群 (Work Groups, WGs)、4 個焦點群 (Focus Groups, FGs)、一個最小可行計劃委員會 (Minimum Viable Plan Committee, MVP-C)、和一個開源社群 (Open Source Community, OSC)。除了 OSC 會在第貳章獨立介紹外，其餘我們將從工作群開始一一介紹。

### 1. Work Groups (工作群)

如圖6所示，系統方塊由上到下分別為管理整體RAN的服務管理和編排 (Service Management and Orchestration, SMO)、無線接取網路智慧控制器 (RAN Intelligent Controller, RIC)、O-RAN中央單元 (Central Unit, O-CU)、網路虛擬化平台 (NFVI Platform)、O-RAN分散單元 (Distributed Unit, O-DU)、O-RAN射頻單元 (Radio Unit, O-RU) 等六大塊。工作群架構[6]、[7]則分成WG1使用情境與整體架構[8]：主要負責O-RAN確認任務在架構和使用範例 (Use Cases) 下完成，並分配任務群 (task group) 以推動任務完成；WG2非即時 RAN智慧控制與AI介面[9]：Non-RT RIC的目標是管理非即時智能無線電資源、優化更上層過程、優化RAN中的策略，並為Near-RT RIC提供AI/ML模型；WG3即時RIC與E2介面[10]：定義基於即時RAN智能控制器的架構，藉由E2介面上的細粒的 (fine-grained) 數據收集和操作，實現對RAN元素和資源的近即時控制和優化；WG4開放前傳 (FrontHaul) 介面[11]：提供開放的前傳介面，讓不同供應商的DU-RRU互操作性可以實現；WG5開放F1/W1/E1/X2/Xn介面[12]、[13]、[14]：為F1/W1/E1/X2/Xn介面提供多供應商配置文件規範 (應符合 3GPP規範)，並且在某些情況下將改善 3GPP規範；WG6雲化與協作[15]：推動RAN軟體與底層硬體平台的分離，並在生產技術和參考設計，讓商用硬體平台能夠用於RAN所有部分 (包括CU和DU)；WG7

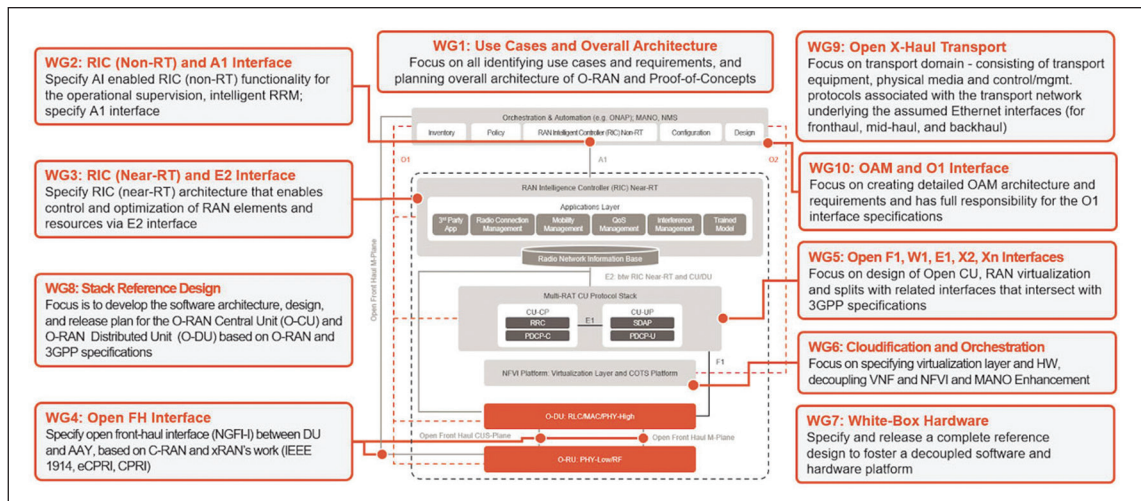


圖 6 O-RAN 聯盟工作群分工圖 [6]

白牌硬體參考設計架構[16]：目標是提出和發布一個完整的參考設計，以培育一個解耦（decoupled）的軟體和硬體平台；WG8 協定參考設計[17]：目標是基於NR協議棧的O-RAN和3GPP規範，為O-RAN中央單元（O-CU）和O-RAN分佈式單元（O-DU）開發軟體架構、設計和發布計劃；WG9開放X-Haul傳輸[18]：它側重於傳輸域，包括與傳輸網路相關的傳輸設備、物理介質、控制和管理協議；WG10運營和維護（Operations and Maintenance, OAM）與A1介面[19]：負責OAM需求、OAM架構和O1介面。所有這些活動都是早期工作組1的一部分，但現在已在其成立後移至 WG10。

## 2. Focus Groups（焦點群）

如前所述還有四個焦點群[7]，負責處理的是工作群的主要內容或與整個組織相關

的主題。分別為標準發展焦點群（Standard Development Focus Group, SDFG）：如圖 7，SDFG作用為主導O-RAN聯盟製定標準化戰略方面，並且是與其他O-RAN工作相關的標準開發組織（Standards Development Organizations, SDO）的主要介面；測試與整合焦點群（Test & Integration Focus Group, TIFG）[20]：TIFG定義了O-RAN的測試和整合的方法，橫跨各個WG協調測試規範。當中可能包括創建端到端（end-to-end）測試與整合規範；促進O-RAN產品化、運營化和商業化的配置文件；滿足一般要求的方法；及進行整合和解決方案驗證的流程規範。TIFG計劃和協同組織O-RAN聯盟Plugfests，為第3方開放測試與集成中心（OTIC）制定指導準則。2020年10月，O-RAN聯盟成功舉辦了第二次全球Plugfest和概念驗證，以展示基於O-RAN的網路設備的功能和多供應商的互



圖 7 Standard Development Focus Group (SDFG) [6]

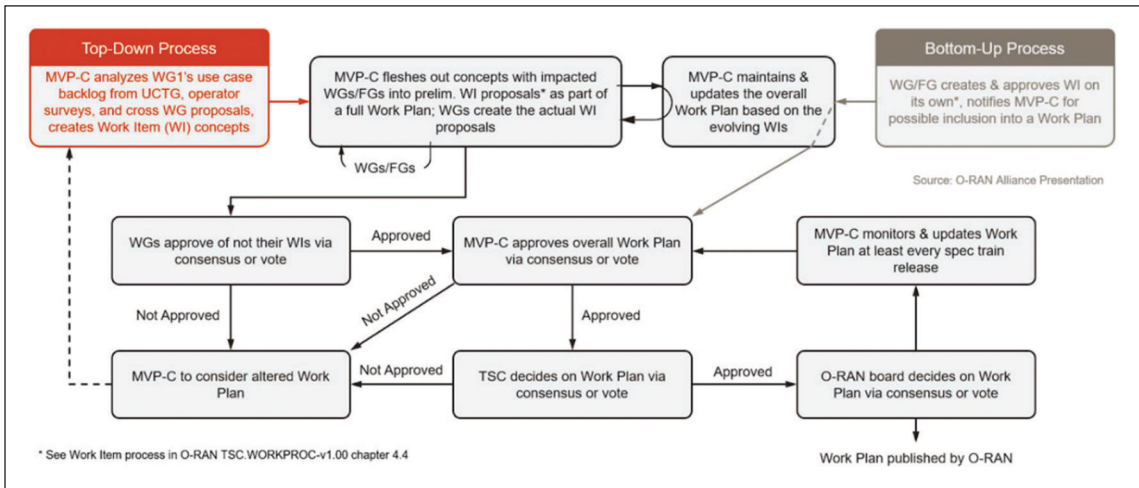


圖 8 MVP-C 組織運作圖 [6]

操作性。共有55家公司在亞洲、歐洲和北美的四個地點齊聚一堂，共同應對O-RAN生態系統的功能、互操作性和性能挑戰；開源焦點群（Open Source Focus Group, OSFG）：職責包括製定O-RAN開源社群的規劃、籌備和建立，開源相關策略，以及與其他開源社群的協作等。OSFG最大的任務就是成功發展出O-RAN軟體社群（O-RAN Software Community），幾乎的開源活動都是在OSC中進行，因此OSFG處於休眠狀態；最後則是資安焦點群（Security Focus Group, SFG）

[21]：SFG專注於開放RAN生態系統的安全方面，從所有其他WG收集安全要求和解決方案，根據需要進行協商以確保相關WG之間的統一要求和設計，從而確保標準化的安全架構，指定安全要求、架構和框架以支援其他ORAN定義的開放介面WGs。

### 3. 最小可行計劃委員會（MVP-C）

TSC的最後一部分為最小可行計劃委員會（MVP-C）如圖8。O-RAN規範以O-RAN基線架構為引導，從每個工作組由下而上的



推動。對比之下，最小可行計劃（MVP）提供根據操作員調查、優先使用案利、TIFG 藍圖和OSC的進度，跨工作組的優先級工作列表的由上至下協調整合。MVP-C在O-RAN TSC中實現了一個高效率、有效和可持續的完整流程。在內部，MVP使O-RAN聯盟能夠更有效地協調工作，及時啟用有價值的使用案例。在外部，MVP為生態系統提供了關於O-RAN技術藍圖和優先級的觀點，並且將允許 O-RAN生態系統參與者優先提供適用於商用網路最小可行端到端 O-RAN解決方案。

### （三）O-RAN 架構

如圖9所示O-RAN聯盟的Open RAN架構由7個主要部分組成：服務管理和編排

（SMO）、Near-RT RIC、O-RAN Central Unit（O-CU）、O-RAN Distributed Unit（O-DU）、O-RAN Radio Unit（O-RU）、O-RAN eNB（O-eNB）和O-RAN Cloud（O-Cloud）。為了描述這些構建塊在O-RAN架構中如何相互連接，我們應該首先查看WG1提供的O-RAN參考架構。參考可以在圖9中看到架構旨在支援下一代RAN基礎設施。這種架構是構建開放、虛擬化和AI嵌入式RAN的基礎。製作這樣的RAN的想法早就被許多運營商所考慮。O-RAN的架構將是一個標準化的參考系統，外加一個免費的參考系統，供其他方製作的其他架構使用，例如3GPP和其他與RAN相關的組織。從圖9中可以看出我們之前提到的架構的幾個主要部分。我們將簡要詳細地討論它們中的每一個。

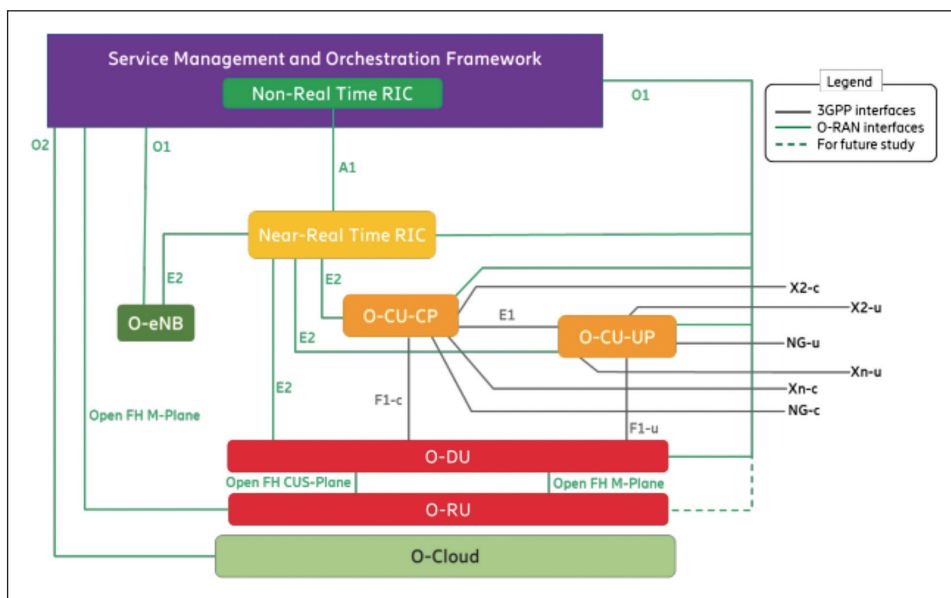


圖 9 O-RAN 系統架構圖 [8]



### 1. SMO

在O-RAN架構中SMO負責RAN的管理，可以有許多管理領域，例如RAN管理、核心管理、傳輸管理、端到端切片管理等。本架構文件中的SMO描述側重於支援RAN的SMO服務。SMO在FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security)、Non-RT RIC和O-Cloud管理、編排和 workflow 管理中提供RAN支援。SMO 框架有幾個元件和介面，例如Non-RT RIC、A1、O1和O2。之間的關係如圖10所示。在O-RAN中提供RAN支援的SMO的關鍵能力是：

- RAN網路功能的FCAPS介面
- 用於RAN優化的Non-RT RIC

### ■ Cloud管理、編排和 workflow 管理

SMO 通過與 O-RAN 元件的四個關鍵介面執行這些服務。

- SMO中的非RT RIC和用於RAN優化的Near-RT RIC之間的A1介面。
- SMO和O-RAN網路功能之間的O1介面，用於支援FCAPS。
- 在混合模型中，SMO和O-RU之間的開放式前傳M-plane介面用於FCAPS支援。
- SMO 和O-Cloud之間的O2介面，提供平台資源和工作負載管理。

(1) SMO 支援 FCAPS 到 O-RAN 網路功能

SMO 透過 O1 介面為 O-RAN 網路提供

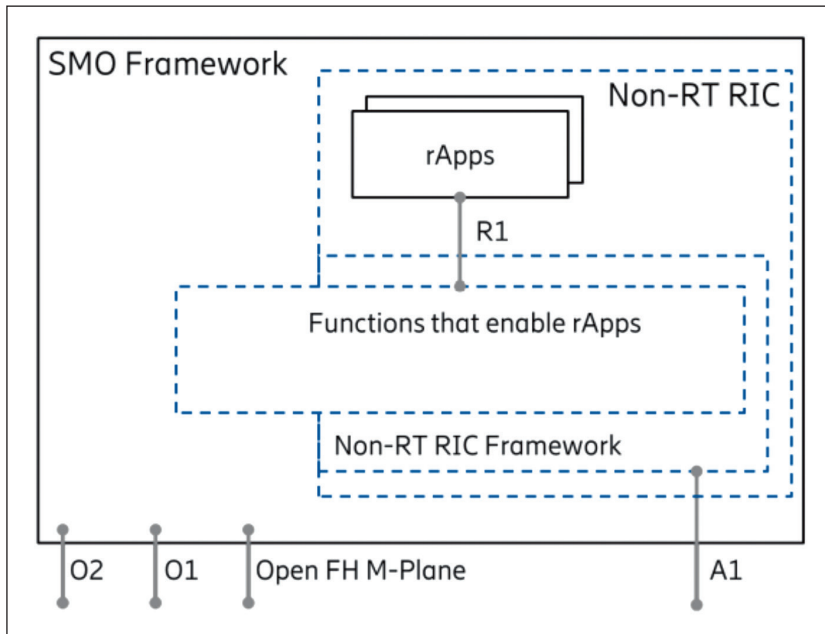


圖 10 SMO 與 Non-RT RIC 框架圖 [8]

FCAPS支援。O1介面定義在[22]中。O1介面與RAN元件管理的3GPP規範盡可能保持一致。如[23]中所述，SMO正在提供支援O-RAN網路功能的FCAP功能方面。O1規範中定義的以下FCAPS函數是跨O1介面的功能範例。完整定義列表請參見[22]。

- Performance Management (PM)：效能管理
- Configuration Management (CM)：設定配置管理
- Fault Management (FM)：故障管理
- File Management：檔案管理
- Communications Surveillance (Heartbeat)：通訊監控
- Trace Management：追蹤管理
- Physical Network Function (PNF) Discovery：實體網路功能探索
- PNF Software Management：實體網路功能軟體管理[24]中定義的以下FCAPS功能在此開放式前傳M-Plane介面支援的功能範例。
- “Start-up” installation：啟動機制安裝
- SW management：軟體管理
- Configuration management：設定配置管理
- Performance management：效能管理
- Fault Management：故障管理
- File Management：檔案管理

## (2) Non-RT RIC

非即時RAN智能控制器 (Non-RT RIC)

是O-RAN架構中SMO的內部功能，可為即時RIC (Near-RT RIC) 提供A1介面。Non-RT RIC的主要作用為藉由向Near-RT RIC功能提供指導策略、ML (機器學習) 模型管理和信息來優化智能RAN，以便RAN可以在某些條件下優化，例如RRM[20]。它還可以在非即時間隔 (即大於1秒) 內執行智能無線電資源管理功能。Non-RT RIC可以使用數據分析和AI/ML訓練/推理來確定它可以利用SMO服務的RAN優化操作，例如O-RAN節點的數據收集和供應服務以及O1和O2介面。Non-RT RIC由兩個子功能組成：

- Non-RT RIC框架- SMO框架的內部功能，它在邏輯上終端A1介面並通過其R1介面向rApps公開所需的服務。
- Non-RT RIC應用程序 (rApps) -利用Non-RT RIC框架公開的功能來執行RAN優化和其他功能的模組化應用程序。通過R1介面向rApp公開的服務使rApp能夠通過A1、O1、O2和Open FH M-Plane相關服務獲取信息並觸發操作 (例如：策略、重新配置)。
- Non-RT RIC框架負責向rApp公開所有必需的功能，無論是來自Non-RT RIC框架還是SMO框架。更多信息請參閱[25]。

## (3) O-Cloud 管理、編排和 workflow 管理

SMO提供管理O-Cloud的能力，並為平台和應用元件的編排和 workflow 管理提供支援。SMO利用O2與O-Cloud的介面來提供這



些功能。O2介面支援雲基礎設施的管理和分配給RAN的雲資源的使用。O2介面將由WG6在O2介面規範中完整指定[15]。

## 2. Near-RT RIC

Near-RT RIC是一種邏輯功能，它允許通過其介面[27]上的數據收集和操作，對RAN元件和資源進行近乎即時的控制和優化（10 ms~1s）。簡而言之，Near-RT RIC將接收並遵循來自Non-RT RIC的決策，根據給定的策略調整RAN參數。為此，Near-RT RIC具有A1、O1和E2介面。數據收集和操作由Near-RT RIC通過連接到E2節點的E2介面完成。正如我們之前解釋的那樣，對E2節點的控制動作由Near-RT RIC通過A1介面從Non-RT RIC接收的策略和數據導引。此外，O1介面支援從SMO到Near-RT RIC的FCAPS。Near-

RT RIC的架構和與其他節點的關係如圖11所示。E2節點（node）是終端E2介面的邏輯節點的總稱[27]。具體而言，E2節點可以是O-CU、O-DU或O-eNB。從Near-RT RIC的角度來看，E2介面是一對多的連接[28]。在E2介面中僅完成CP協議。E2功能包括2個類別組：Near-RT RIC服務和Near-RT RIC支援功能。Near-RT RIC服務包含報告、插入、控制和策略[27]。

另一方面，Near-RT RIC支援功能包括E2管理和Near-RT RIC服務更新。在圖11中，我們可以看到Near-RT RIC有幾個組件。這些組件可以分為兩大類：RIC平台和xApps。RIC平台包括所有支援的終端和管理元件。資料庫存儲和提供來自或向xApp應用程序和來自E2節點的數據。xApps訂閱管理

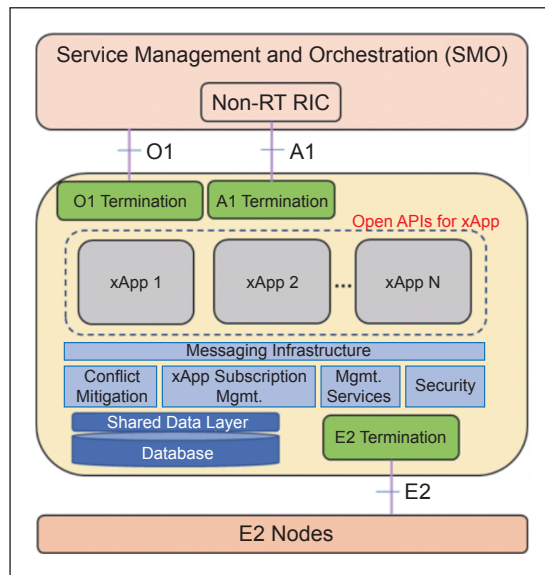


圖 11 Near-RT RIC 架構與介面關係圖 [26]

結合了所有訂閱和數據分發操作。來自不同 xApp 的衝突交互由衝突緩解功能解決。安全功能保護 Near-RT RIC 免受來自第三方 xApp 的危害。管理服務涵蓋 xApps 的 FCAPS 和生命週期管理。消息傳遞基礎設施為近即時 RIC 的不同組件提供通用消息分發系統。相反，xApps 組件是 Near-RT RIC 的主要組件。xApps 是一組應用程序，其中每個 xApp 為相應的 E2 節點提供特定的 RAN 功能。xApps 被認為是第三方應用程序，可以由多個微服務 (micro service) 實現[28]。xApps 元件用於增強 O-RAN 架構的 RRM 功能。xApps 還可以提供基本信息例如設定配置數據、度量和控制。

### 3. O-CU

O-CU 是承載基站[27]、[29]的 RRC、SDAP 和 PDCP 協議功能的邏輯節點。在 O-RAN 架構中，O-CU 又可以進一步分為 O-CU-CP (control plane) 和 O-CU-UP (user plane)。O-CU-CP 由 PDCP 的 CP 部分和 RRC 組成。相反，O-CU-UP 涵蓋了 PDCP 和 SDAP 的 UP 部分。O-CU 有很多介面，包括 E1、E2、F1、NG、O1、X2、Xn 介面。F1、NG、X2 和 Xn 介面可以分別分為控制介面和用戶介面。O-CU 的架構及其介面如圖 12 所示。

E1、F1、NG、X2、Xn 都是 3GPP 定義的介面。O-RAN 聯盟重用 3GPP 定義的 E1 規

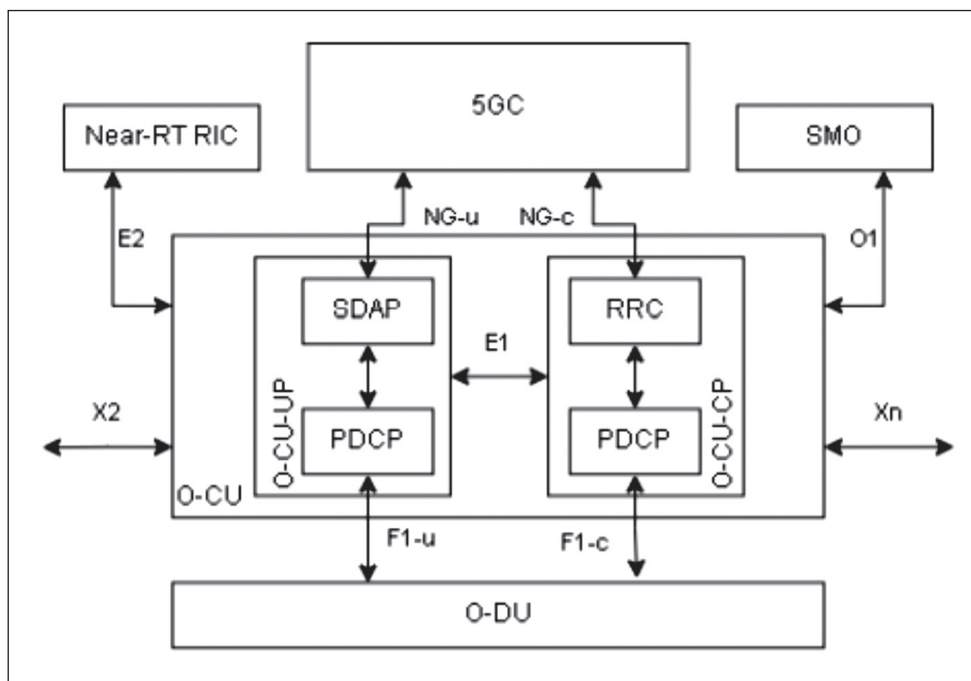


圖 12 O-CU 架構圖



範，採用E1介面橋接O-CU-CP和O-CU-UP。F1介面用於將O-CU連接到O-DU。相反，NG介面將O-CU鏈接到5G核網（core network）。X2介面將O-CU連接到EN-DC配置中的其他eNB或en-gNB。最後，Xn介面將O-CU鏈接到其他gNB或ng-eNB。X2和Xn介面均採用3GPP並添加了互操作性配置文件規範。

#### 4. O-DU

RLC、MAC和高PHY層託管在O DU邏輯

節點[27]、[29]中。數據分段/整合、排程、多工/解多工和其他基帶處理都在O-DU中。一般來說，O-DU在水平方向上分為兩部分：O-DU High和O-DU Low。O-DU High處理第2層（L2）功能塊，即RLC和MAC層，而O-DU Low覆蓋第1層功能塊或High PHY。使用SCF指定的FAPI標準介面，使這兩個部分可以相互通訊。與O-DU相關的其他介面有E2介面、F1介面、O1介面和開放式前傳介面（O-FHI）。O-DU的架構和與其他元件的介面如圖13所示

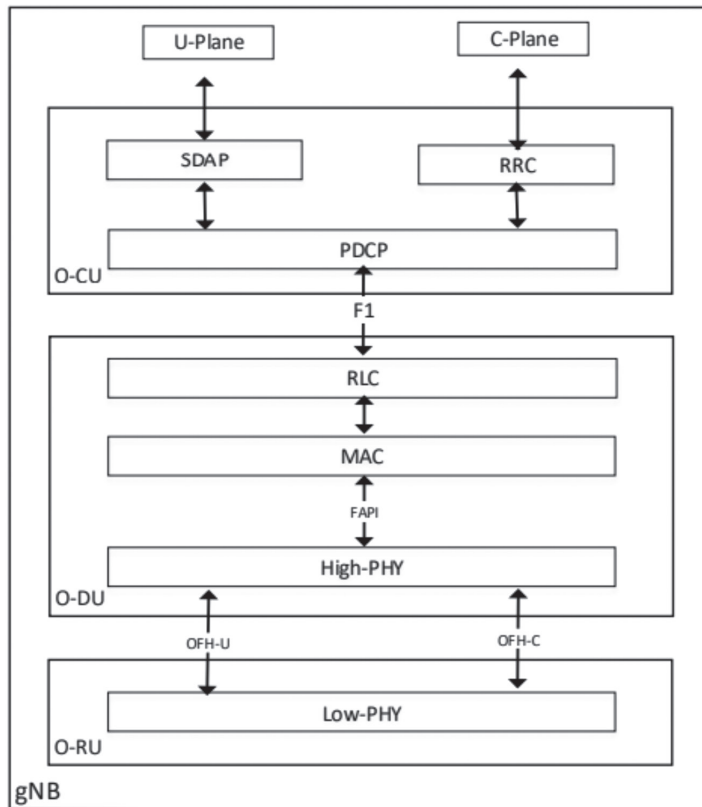


圖 13 O-CU, O-DU 和 O-RU (Control 和 User Plane) [29]

## 5. O-RU

O-RU主機Low-PHY層和RF處理功能[27]、[30]。O-RU的輻射結構層次如圖14所示。每個O-RU可以有1個或多個面板。每個面板將包含1個或多個TX天線陣列/RX天線陣列。TX天線陣列/RX天線陣列被定義為用於數據路由的邏輯結構，並且與O-RU結構中描述的物理天線相關。一個陣列元素將包括1個或多個輻射器，其規範寫入IEEE Std 145-1993。正如我們所提到的，O-FHI和O1介面分別將O-RU連接到O-DU和SMO。O-RU支援波束成形功能（beamforming）[30]。波束成形允許使用多個天線將無線信號專門定向到接收設備[31]。

由於RU主要是基於硬體的，O-RAN聯盟

目前專注於開發軟體標準來控制這個元件。供應商需要遵循O-RAN聯盟提供的規範來製作他們的RU，以便他們可以被視為O-RU。

## 6. O-eNB

O-eNB被定義為支援E2介面的eNB或ng-eNB[27]。簡而言之，O-eNB在一個集成節點中提供了O-DU和O-RU功能，同時仍然保持它們之間的O-FHI。O-eNB將具有E2、NG、O1、S1、X2和Xn介面

## 7. O-Cloud

O-Cloud是一個雲計算平台，將承載O-RAN功能[27]。O-Cloud可以由O-RAN架構的單個或集合的物理基礎設施節點組成，例如Near-RT RIC、O-CU或O-DU。為了正常

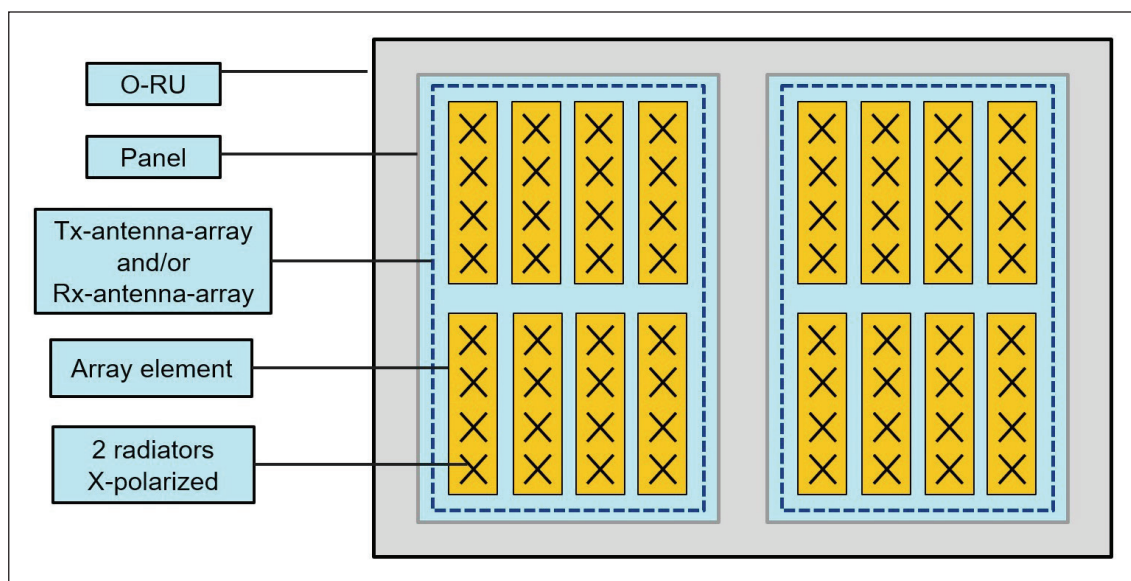


圖 14 O-RU 放射結構圖



工作，O-Cloud還應支援的軟體元件以及適當的管理和編排功能。在O-Cloud內部，計算資源，例如通用CPU和共享任務加速器，由抽象層[28]匯集和代理。如圖9所示，O2介面將O-Cloud鏈接到SMO。O-Cloud將與O2介面相關的服務分為2組：基礎設施管理服務和部署管理服務。基礎設施管理服務負責雲基礎設施的管理和部署。另一方面，部署管理服務負責虛擬化/容器化部署的生命週期。在OSC，O-Cloud的開發還處於起步階段，因此OSC還沒有O-Cloud的資料庫。

## 二、開源軟體社群（OSC）

### （一）概觀

開源軟體社群（O-RAN Software Community，簡稱OSC）[32]與O-RAN聯盟及Linux基金會合作，旨為使所有人都能夠針對開放式無線接入網路解決方案做軟體開發。該社群根據O-RAN聯盟工作群（Work Groups）所定義的架構與規範做開發，產出一個開源軟體解決方案，以實現開放且帶有智慧功能的5G RAN。目前開源軟體社群由技術監督委員會（Technical Oversight Committee）領導，技術監督委員會由12家公司組成，主要負責開源軟體社群的技術監督。其中技術監督委員會也組成了小組委員會，稱為需求及軟體架構委員會（Requirements and Software Architecture Committee）[32]，又簡稱為RSAC。RSAC旨在擴展開源軟體社群，鼓勵開發者貢獻原

始碼，並專注於各版本功能、工作群活動、方針。

開源軟體社群現已發佈5種版本的開源程式碼[33]，由舊至新分別為Amber、Bronze、Cherry、Dawn、Emerald，也就是依字母順序來命名。第一版Amber於2019年11月發佈，接著以半年為一次週期，依序發佈接下來的版本，現今已發佈至Emerald版本，於2021年12月發佈。OSC原定有13個計劃要開發，然而有兩項計畫目前尚無貢獻者，因此目前共有11個計劃處於開發階段，分別為Near-Real-time RIC X-Apps（RICAPP）、Near-Real-time RAN Intelligent Controller Platform（RICPLT）、Non-Real-time RIC（NONRTRIC）、Operation and Maintenance（OAM）、O-DU High、O-DU Low、Simulators（SIM）、Infrastructure（INF）、Integration and Test（INT）、Documentation（DOC）、Service Management and Orchestration（SMO）。以上這些計畫皆有對應至O-RAN聯盟所定義的O-RAN架構，如圖15所示，接下來的章節會更加詳細地介紹各個計畫。

### （二）開發項目

#### 1. DU Low

O-DU Low計畫由Intel主導，專注於基頻物理層的處理，且O-DU Low目前僅支援Intel Xeon®系列的處理器，時脈頻率至少



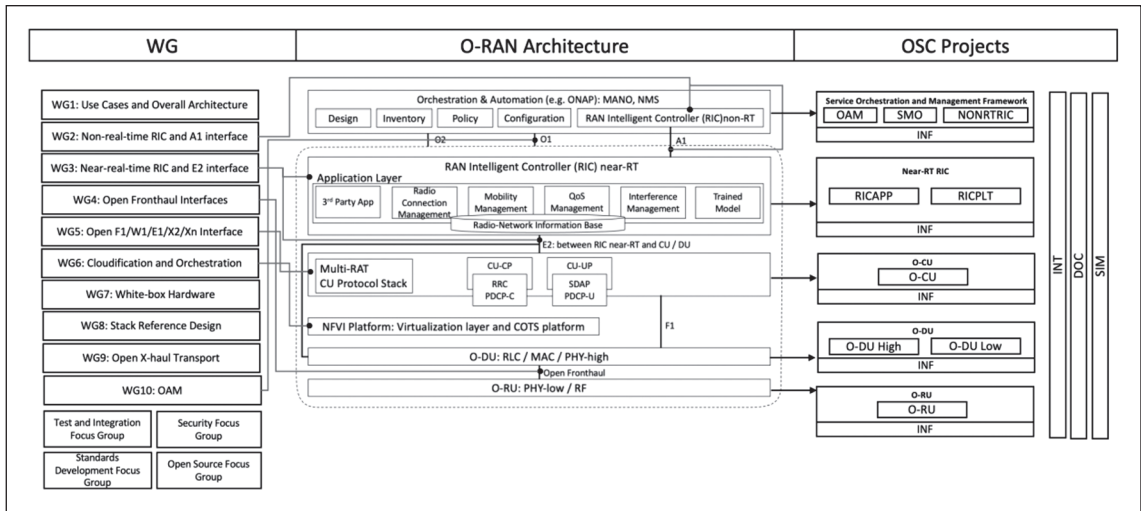


圖 15 O-RAN 架構與 OSC 計畫的對應關係

要大於2.0 GHz。該計畫的開發主要分成兩個部分，一部份為5G NR物理層功能實現的L1app，為二進制檔案（Binary File）；另一部分為L1對外部元件的介面，用來實現網路功能，共有三個：與O-RU連接的前傳介面（Front Haul Interface，簡稱FHI）、與O-DU High連接的功能應用平台介面（FAPI）、與加速器連接的介面。這些介面是根據O-RAN聯盟工作組所發佈的規範做開發，分別為WG4、WG8、WG6。

## 2. DU high

O-DU High計畫由Radisys主導，專注於L2功能的開發，主要實現WG8中所提到的協定疊（Protocol Stack），其中包括高階物理層（High-PHY Layer）媒體進接控制層（Medium Access Control Layer）、無線電鏈

路控制層（Radio Link Control Layer）。於O-DU High中存在四個對外部連接的介面，分別為與O-DU Low連接的功能應用平台介面（FAPI）、與O-CU連接的F1介面、與Near-RT RIC連接的E2介面、與SMO連接的O1介面。這些介面是根據WG3、WG5及WG8的規範進行開發。O-DU High於軟體開發上被分成八個執行緒做開發，如圖16所示。

## 3. Near-RT RIC

除了採用3GPP的規格外，O-RAN聯盟也針對O-RAN定義了新的智慧化元件，叫做RAN智能控制器（RAN Intelligent Controller，簡稱RIC）。RIC於O-RAN中主要扮演著軟體定義網路（Software-Defined Networking）控制器的角色，也因為有上述特性，RIC又被分為兩種類型，一種為即時

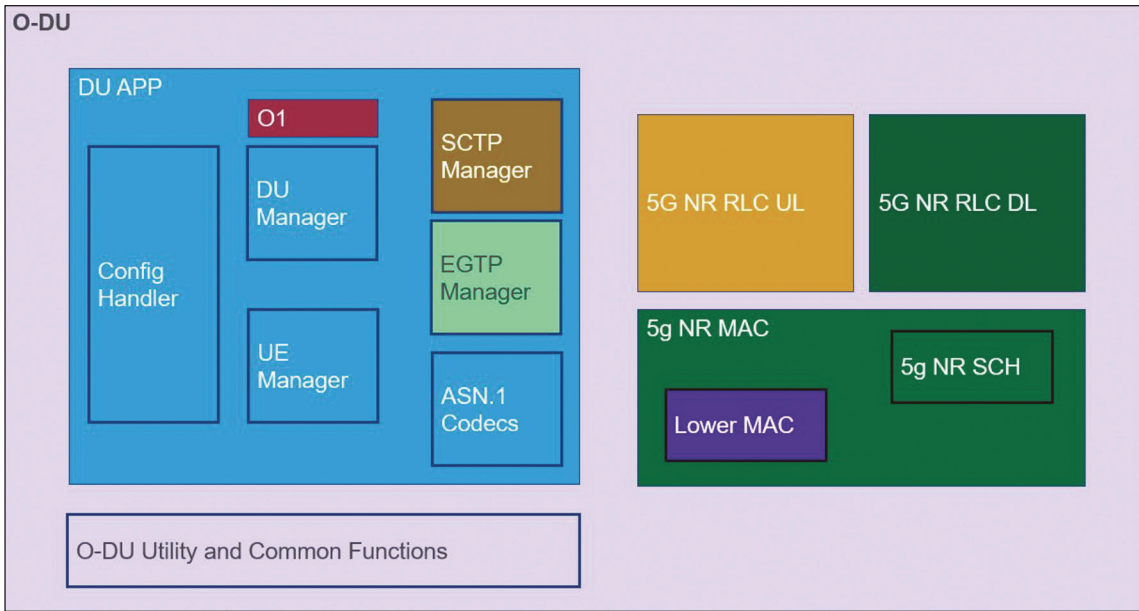


圖 16 O-DU High 軟體架構 [34]

RAN智能控制器（Near-RT RIC），另一種為非即時RAN智能控制器（Non-RT RIC）。Near-RT RIC為一種軟體平台，於該平台上執行叫做xApp的應用程式，xApp能夠控制RAN中的元件，像是O-DU與O-CU...等，也因此整個Near-RT RIC被分為兩大計畫，分別為開發Near-RT RIC平台的RICPLT及開發xApp的RICAPP。RICPLT計畫根據WG3的規範進行開發，主要針對Near-RT RIC平台的管理及介面開發，像是連接至SMO的O1介面、連接至Non-RT RIC的A1介面、連接至O-DU與O-CU的E2介面。RICAPP計畫主要負責整合、測試xApp與平台的應用程式。雖然RICPLT與RICAPP被拆分為兩個計畫，但整體的Near-RT RIC計畫還是會同步更新。

#### 4. Non-RT RIC

非即時RAN智能控制器（Non-RT RIC）位於SMO內部，為SMO中的一個元件。Non-RT RIC計畫主要實現WG2中所定義的Non-RT RIC功能規範，其中包括服務與方針管理、RAN分析、針對要部屬至Near-RT RIC的模組訓練。該計畫的範圍包括連接至Near-RT RIC的A1介面實現、及支援rApps，也專注於ONAP使用案例的支援。

#### 5. OAM

運營和維護（Operations and Maintenance, OAM）為SMO內部的其中一個元件，用於管理SMO與其他O-RAN元件之溝通。OAM計畫主要根據O-RAN聯盟WG10



所定義的規範進行開發。該計畫針對基於OpenDaylight的ONAP控制器「CCSDK/SDNC」進行擴展，其具有新的特性及功能，建立於通用控制器框架（Common Controller Framework），用於控制和管理O-RAN的元件及功能。

## 6. SMO

SMO計畫將各種不同的開源項目整合起來，創建出完整的功能性開源SMO，其支援O1介面、O1/VES介面、O2介面、A1介面及R1介面。該計畫的開發涉及到WG1、WG2、WG5和WG6所定義的規範。SMO、OAM、Non-RT RIC配合SIM計畫提供的模擬器，實現了RSAC於D版本中提出的閉迴路（Closed-Loop）使用案例。

## 7. INF（Infrastructure）

於WG6中定義了將O-RAN的網路功能（Network Function）部屬至雲端上的解決方案，將RAN部屬至雲端上也是O-RAN架構中的一項基本條件。而INF計畫旨在實現WG6中所定義的邊緣雲端基礎設施，能夠將O-RAN中的元件即時運行於雲端上。於E版本中該計畫已釋出O-Cloud與O2介面之軟體。

## 8. INT（Integration and Testing）

INT計畫負責將OSC中的所有開源軟體進行整合、對接、測試。除此之外，該計畫也正在針對測試流程定義與編排開發一套工

具，該工具稱為開放測試框架（Open Testing Framework, OTF），F Release將專注於開發此工具。測試與整合於OSC中被分為五個等級：

- (1) 單元測試（Unit Testing）：由開發人員透過執行測試案例來實現各單元測試。
- (2) 計畫階段整合測試（Project Level Integrated Testing）：以計畫為單位，將該計畫之開源軟體中的所有元件部屬至同一系統之中，進行內部測試。
- (3) 計畫成對測試（Project Pairwise Testing）：將O-RAN元件對接做測試，主要確保兩者之間是否能夠正常溝通。
- (4) 系統整合測試（System Integrated Testing）：將OSC所有開源軟體置於單一系統中一同進行整合測試，主要測試整體系統是否正常運作、計畫間的開源軟體是否兼容、整體系統的部屬流程是否正常、資源需求是否正常。
- (5) 使用案例測試（Use Case Testing）：進行完系統整合測試後，使用OTF進行使用案例測試。

## 9. SIM（Simulations）

OSC的某些軟體需要仰賴模擬器做測試，例如針對Non-RT RIC的A1介面功能進行功能測試時，需要仰賴A1模擬器來模擬A1介面的各種訊息，而SIM計畫就是負責開發O-RAN網路功能介面的測試軟體。該計畫為O-RAN中的各種介面開發模擬器，因此該計畫需要仰賴其他計畫提供需求來設計模擬器。



### (三) 開源軟體實驗室

開源軟體實驗室（OSC Lab）對於O-RAN整體的發展扮演著重要的角色，針對上一節所提到的系統整合測試及使用案例測試需要一定的資源才有辦法進行測試，而開源軟體實驗室正是負責測試OSC各計畫中的開源軟體之整合及測試，確認各個開源軟體是否符合O-RAN聯盟中的規範。目前世界上共有三個開源軟體實驗室，分別為於美國紐澤西（New Jersey）、美國矽谷（Silicon Valley）、臺灣臺北市，而各個實驗室所握有的測試及整合資源如圖17所示。以下章節將介紹各個開源軟體實驗室的測試進度及計畫。

#### 1. OSC紐澤西實驗室

OSC紐澤西實驗室針對OSC之開源軟體進行端對端（End-to-End, E2E）的整合及測試，也是OSC各計畫的展示平台，並於2021年初可供使用於測試及整合。紐澤西實驗室對近期OSC中的各項計畫進行成對測試（Pairwise Testing）、端對端整合、閉迴路（Closed-Loop）使用案例測試。圖18為紐澤西實驗室計畫於F版本使用的網路架構圖，主要進行端對端之整合及測試。由圖18中可觀察到紐澤西實驗室將O-DU High與O-DU Low安裝於同一台伺服器上，O-RU則是使用Viavi的模擬器來代替，O-CU則是使用Radisys所提供的商用O-CU。核網（Core

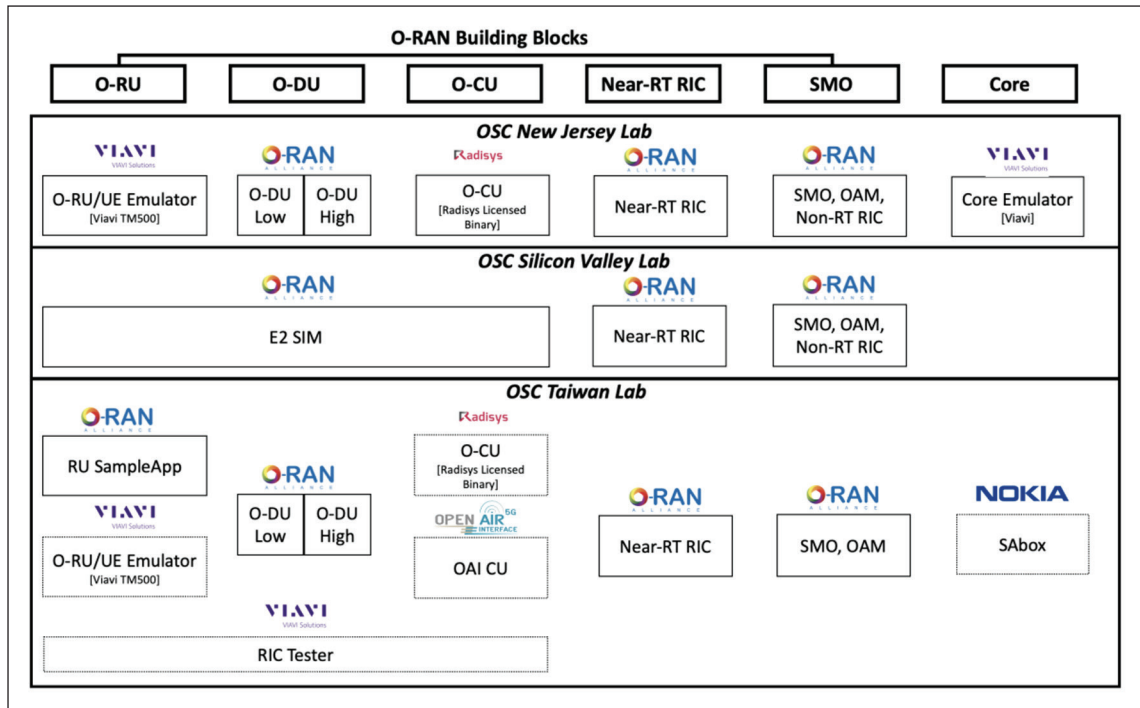


圖 17 各個開源軟體實驗室之資源

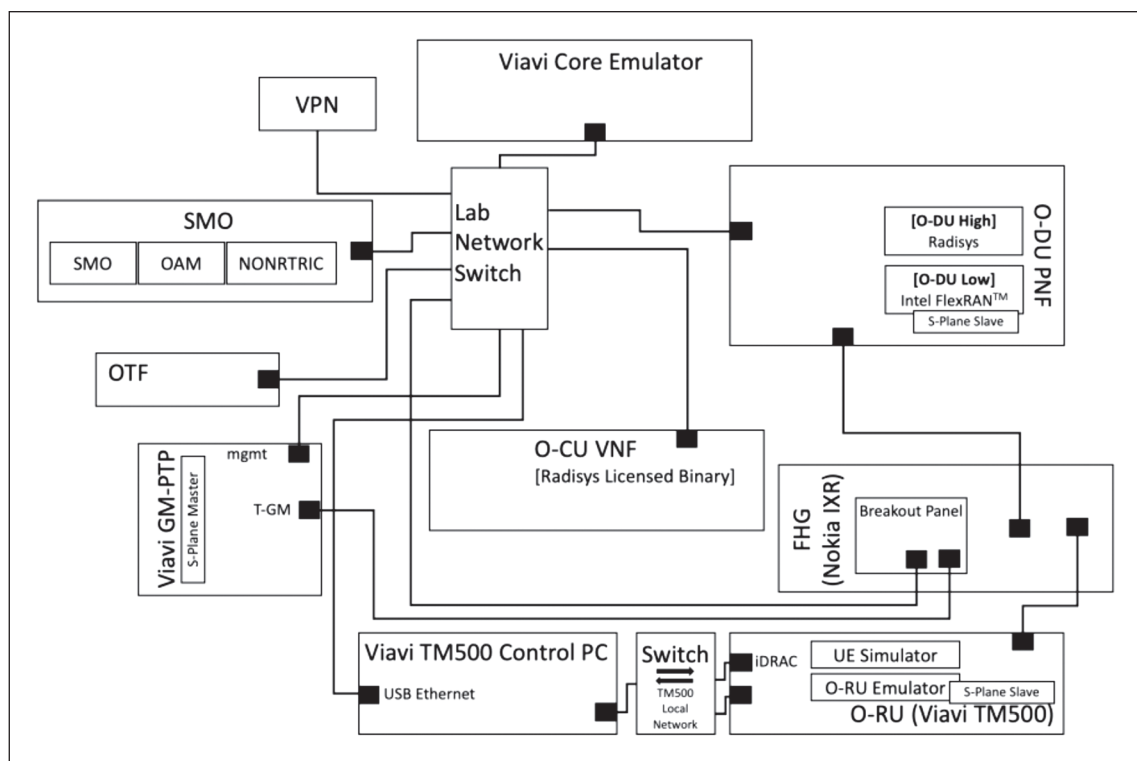


圖 18 OSC 紐澤西實驗室網路架構

Network) 也是使用Viavi所提供的核網模擬器，以進行端對端測試。SMO的部份則是由OSC提供一台伺服器，該伺服器包括SMO、OAM、Non-RT RIC的開源軟體。

## 2. OSC矽谷整合及測試 (INT) 實驗室

OSC矽谷INT實驗室由中國移動創立並進行維護，雖該尚在工作階段，但透過效仿紐澤西實驗室的軟體及網路環境已順利成立。目前正在對OSC RIC平台與xApps進行功能及效能測試，其中為達到針對特定使用案例的端對端測試的標準，也已經部屬多種的OSC

模擬器。圖19為現今矽谷實驗室的網路架構圖。短期內該實驗室會專注在SMO、Non-RT RIC、Near-RT RIC及INT計畫的安裝及驗證，並進行手動及自動的閉迴路使用案例及整合測試。之後隨著F版本將迎來O-Cloud的重大更新，該實驗室也會支援O-Cloud的測試，並與其他O-RAN元件進行測試，例如RIC。

## 3. OSC台灣實驗室

OSC台灣實驗室目前坐落於臺北，由臺灣科技大學 (NTUST)、陽明交通大學

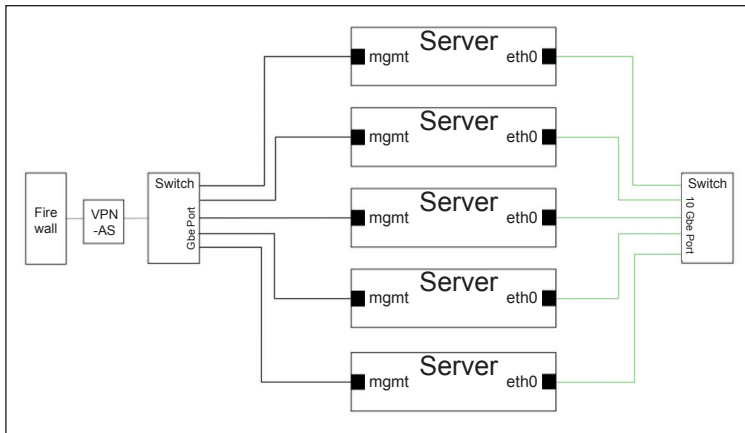


圖 19 OSC 矽谷 INT 實驗室網路架構

(NYCU) 協力建設，並獲得中華電信 (CHT) 與科技部 (MOST) 的協助。台灣實驗室致力於 OSC 軟體的開發及整合，開發重點分為五個部份，每個部份分別由不同的研究實驗室處理：物理層加速 (NYCU)、L2/L3 堆疊 (NTUST)、Non-RT RIC (NTUST)、SMO (NYCU) 及資安 (NTUST)。該實驗室仍在建設當中，目前以效仿紐澤西實驗室的環境為主，但已經對 O-DU 進行好幾種測試及整合，其中包括 TDD 測試、使用模擬器進行端對端測試 (RU SampleApp-O-DU-CU Stub)。圖 20 為台灣實驗室的網路架構，其中包括 O-DU 伺服器直接連接至另一台伺服器上的 RU SampleApp、O-DU High 透過 E2 介面連接至 Near-RT RIC。針對 Near-RT RIC 的部分，該實驗室使用 Viavi RIC 測試器成功對 RIC 平台及 xApp 進行測試。目前該實驗室也有正在進行的整合測試項目，其中包括 SMO 與 O-DU 之整合、

O-CU 安裝並整合至核網 SA box、PTP-GM 作為時間同步來源，對 O-DU 與 O-RU (RU SampleApp) 進行同步。

### 三、結論

我們對 Open RAN 進行了詳細介紹，首先總結了 RAN 從傳統到 Open RAN 的演進歷史，有助於了各時期 RAN 的技術差異。接著，我們介紹了 Open RAN 發展以及相關技術。O-RAN 聯盟期許改進單一供應商環境，提高靈活性、降低成本效率。已經為 Open RAN 完成了許多標準化工作。然而，在開發、佈署、整合 Open RAN 方面存在許多挑戰。另外也介紹了 O-RAN 開源軟體社群，OSC 社群目前在 O-RAN 架構中開發了幾個軟體：O-DU、RIC、OAM 和 SMO。雖然智能、編排和管理系統的處於快速開發階段，伴隨 O-CU 和 O-RU 項目停止，gNB 的開

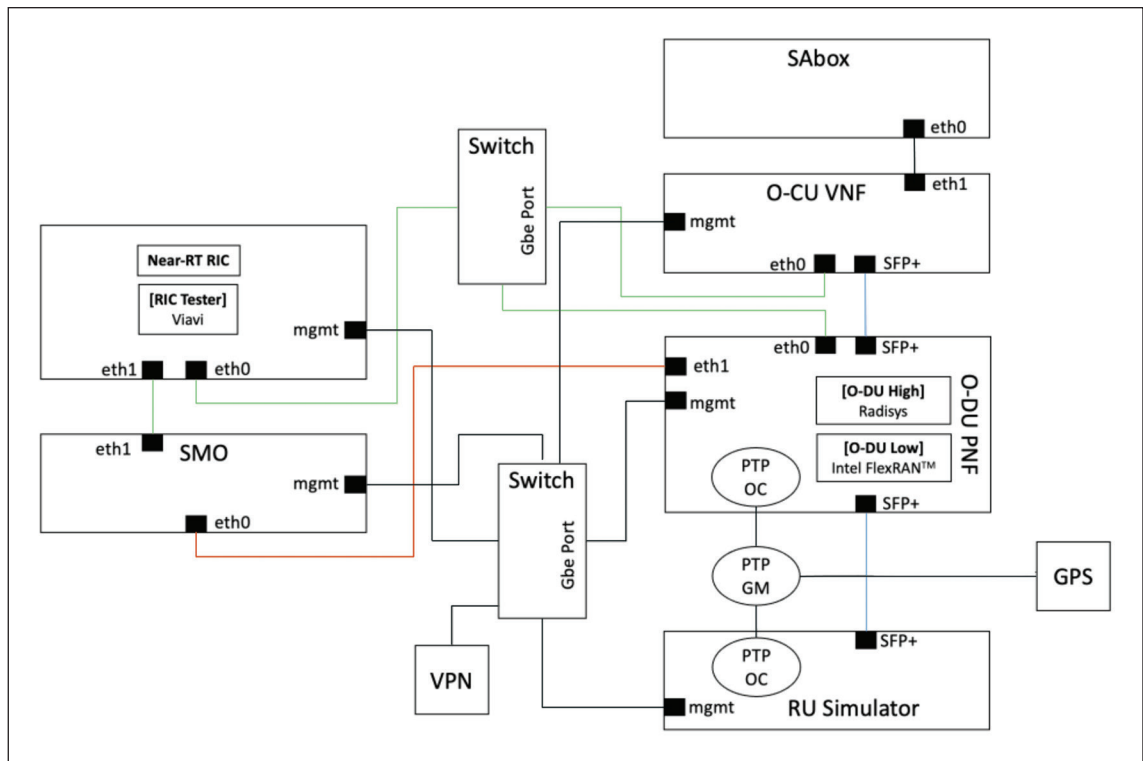


圖 20 OSC 台灣實驗室網路架構

發仍然匱乏，這是能透過開發O-RAN軟體時使用模擬器和仿真器來解決的。OSC提供了三個實驗室來共享資源（伺服器、仿真器硬體），用於支持OSC軟體的發展。三個實驗室有不同的資源和發展方向。OSC紐澤西實驗室是迄今為止引領OSC版本測試和整合最成熟的實驗室。但實驗室本身仍在改善中，以達到成熟測試、整合和展示平台，而其他兩個仍在效仿開發中。OSC矽谷實驗室專注於O-RAN（OAM、SMO、Non-RT RIC）的智能控制方面。OSC台灣實驗室專注於O-DU和資訊安全，同時也開發其他元件的資源（例

如 Viavi RIC Tester 和 OAI 軟體的可用性）。

#### 參考文獻

1. Leonardo Bonati, Michele Polese, Salvatore D'Oro, Stefano Basagni, Tommaso Melodia, "Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks: State-of-the-Art and the Road Ahead," <https://arxiv.org/abs/2005.10027>
2. 3GPP TR 21.915: "Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items".
3. 5gworldpro. O-RAN : 3GPP Vs O-RAN Alliance. 5gworldpro.com. <https://www.5gworldpro.com/blog/2021/08/08/o-ran-3gpp-vs-o-ran-alliance/> (accessed Dec. 23, 2021) .
4. O. Andersson. Functional Splits: The Foundation of an Open 5G RAN. 5gtechnologyworld.com. <https://www.5gtechnologyworld.com/functional-splits-the-foundationof-an-open-5g-ran/> (accessed Oct. 12, 2021) .



5. A. Umesh, T. Yajima, T. Uchino, and S. Okuyama. Overview of O-RAN Fronthaul Specifications". NTT DoCoMo Technical Journal, Vol. 21, No. 1, pp. 46 - 59. July 2019. [Online]. Available: [https://www.docomo.ne.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical\\_journal/bn/vol21\\_1/vol21\\_1\\_007en.pdf](https://www.docomo.ne.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol21_1/vol21_1_007en.pdf)
6. Zahid Ghadialy, Senior Director, Technology & Innovation Strategy. "O-RAN Technical Steering Committee (TSC) & Workgroups". July 28, 2021. [Online]. Available: <https://www.parallelwireless.com/blog/o-ran-technical-steering-committee-tsc-workgroups/>
7. O-RAN Alliance. About O-RAN Alliance. o-ran.org. <https://www.o-ran.org/about> (accessed Oct. 19, 2021).
8. O-RAN.WG1.O-RAN-Architecture-Description-v06.00: "O-RAN Architecture-Description 6.0".
9. O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-TS-v01.00: "O-RAN Non-RT RIC Architecture 1.0".
10. O-RAN.WG3.E2GAP-v02.01: "O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller Architecture & E2 General Aspects and Principles 2.01"
11. O-RAN.WG4.CUS.0-v08.00: "O-RAN Fronthaul Control, User and Synchronization Plane Specification 8.0".
12. O-RAN.WG5.C.1-v06.00: "O-RAN NR C-plane profile 6.0".
13. O-RAN.WG5.U.0-v05.00: "O-RAN NR U-plane profile 5.0".
14. O-RAN.WG5.O-CU-O1.0-v02.00: "O-RAN O1 Interface specification for O-CU-UP and O-CU-CP 2.0".
15. O-RAN.WG6.ORCH-USE-CASES-v03.00: "O-RAN Orchestration Use Cases and Requirements for O-RAN Virtualized RAN 3.0".
16. O-RAN.WG7.IPC-HRD-Opt7-2.0-v03.00: "O-RAN Hardware Reference Design Specification for Indoor Picocell (FR1) with Split Architecture Option 7-2 3.0".
17. O-RAN.WG8.AAD-v05.00: "O-RAN Base Station O-DU and O-CU Software Architecture and APIs 5.0".
18. O-RAN.WG9.XTRP-MGT.0-v03.0: "O-RAN Management Interface for Transport Network Elements 3.0".
19. O-RAN-WG10.O1-Interface-v06.00: "O-RAN Operations and Maintenance Interface Specification v06.00".
20. O-RAN.TIFG.E2ETSTFWK.0-v01.00: "O-RAN End-to-End System Testing Framework Specification 1.0".
21. O-RAN.SFG.Security-Protocols-Specifications-v03.00: "O-RAN Security Protocols Specifications 3.0".
22. O-RAN-WG10.O1-Interface-v06.00: "O-RAN Operations and Maintenance Interface Specification v06.00".
23. 3GPP TS 32.101: "Technical Specification Group Services and System Aspects; Telecommunication 34 management; Principles and high level requirements (Release 15)".
24. O-RAN-WG4.MP.0-v08.00: "O-RAN Alliance Working Group 4; Management Plane Specification v08.00".
25. O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-TS-v01.00: "O-RAN Working Group 2; Non-RT RIC Architecture Technical Specification v01.00".
26. O-RAN.WG3.E2GAP-v02.01: "O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller Architecture & E2 General Aspects and Principles v02.01".
27. O-RAN.WG1.O-RAN-Architecture-Description-v06.00: "O-RAN Architecture-Description 6.0".
28. A. Garcia-Saavedra and X. Costa-Perez. "O-RAN: Distrusting The Virtualized RAN Ecosystem". Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Communications Standards Magazine, pp. 1 - 8, October 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9579445>
29. O-RAN.WG8.AAD.0-v04.00: "O-RAN Working Group 8, Base Station O-DU and O-CU Software Architecture and APIs".
30. O-RAN.WG4.CUS.0-v07.00: "O-RAN Fronthaul Working Group, Control, User and Synchronization Plane Specification".
31. J. Fruhlinger. Beamforming explained: How it makes wireless communication faster. [www.networkworld.com](http://www.networkworld.com). <https://www.networkworld.com/article/3445039/beamforming-explained%20how-it-makes-wireless-communication-faster.html> (accessed Dec. 23, 2021)
32. O-RAN Software Community. [Online] Available: <https://wiki.o-ran-sc.org/display/ORAN>
33. O-RAN Software Community Source Code. [Online] Available:<https://gerrit.o-ran-sc.org/r/q/status:open+is:wip>
34. The O-RAN Software Community (SC) Documentation. [Online] Available: <https://docs.o-ran-sc.org/en/latest/>