

出國報告（出國類別：開會）

參加 IEEE GLOBECOM 研討會
(線上視訊報告)

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：徐珮真 綜研所資通室電機工程專員

派赴國家/地區：臺灣，中華民國

出國期間：110年12月7日至110年12月11日

報告日期：111年1月27日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加 IEEE GLOBECOM 研討會(線上視訊報告)

頁數 36 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人資處/陳德隆/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

徐珮真/台灣電力公司/綜合研究所/資通室電機工程專員/2360-1286

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：110 年 12 月 7 日至 110 年 12 月 11 日

派赴國家/地區：臺灣，中華民國

報告日期：111 年 1 月 27 日

關鍵詞：無線網路、資通訊技術、資訊安全

內容摘要：(二百至三百字)

IEEE 全球通信大會(GLOBECOM)是 IEEE 通信協會的兩大旗艦會議之一，致力於推動通信幾乎所有方面的創新。原定於西班牙馬德里(Madrid, Spain)舉行，因受 COVID-19 疫情影響改以線上方式參與研討會。

本研討會內容涵蓋天線陣列技術、虛擬化無線電接入網、Wi-Fi 7、時間敏感網路(Time Sensitive Network, TSN)、5G 私有/企業網路、O-RAN 架構、6G 無線通訊技術，透過主題演講、技術研討會、各種教程及行業介紹來呈現上述之主題。綜研所因肩負本公司推動無線通訊前瞻技術應用於電力通訊系統之使命，為強化專業學能以及增進與業界、學界交流，俾利於本所未來研究。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要.....	i
目錄.....	ii
壹、研討會目的與行程.....	1
貳、研討會內容.....	2
一、主題演講.....	2
(一) New Paradigms for 6G Wireless Communications	2
(二) 6G: From Connected People, Things to Connected Intelligence.....	3
(三) 5G Advanced for a Smart Society: Vertical Applications and Solutions.....	5
(四) 5G and Beyond: Enabling a Fully Connected, Mobile, and Intelligent Society over the Next Decade.....	7
(五) Sub-THz Channels and Communications Systems for 6G.....	9
(六) Making AR ubiquitous: Systems-level optimizations for always-on, always- connected experiences.....	10
二、研討會論文.....	15
(一) 5G and Beyond Radio Access Network.....	15
1. Fronthaul-Aware Scheduling Strategies for Next Generation RANs.....	15
2. Downtime-Aware O-RAN VNF Deployment Strategy for Optimized Self-Healing in the O-Cloud	15
3. Resource Allocation and User Pairing for Opportunistic CoMP in 5G CRAN.....	16
4. Reliability Analysis Of Grant-Free Uplink Data Transmission For URLLC	17
(二) Resource Management in 5G Networks	18
1. Virtual User Emulation and Resource Allocation Designs for 5G Mobile Wireless Networks.....	18
2. Dynamic Resource Allocation for SDN-based Virtual Fog-RAN 5G-and-Beyond Networks.....	18
(三) Network Management and Control.....	19
1. Low Priority Congestion Control for Multipath TCP	19
2. Monte Carlo Tree Search for Network Planning for Next Generation Mobile Communication Networks	19
3. MPTCP under Virtual Machine Scheduling Impact	20
4. Concept Drift Detection in Federated Networked Systems.....	20
5. Balancing Traffic Flow Efficiency with IXP Revenue in Internet Peering.....	21
6. Flow-Level Rerouting in RDMA-Enabled Dragonfly Networks.....	21
(四) THz communications.....	22
1. DFT-Spread Orthogonal Time Frequency Space Modulation Design for Terahertz Communications	22
2. Intelligent Surface Optimization in Terahertz under Two Manifestations of	

Molecular Re-radiation.....	22
(五) Optical Transmission Systems and Processing.....	23
1. A Real-Time OSNR Penalty Estimator Engine in the Presence of Cascaded WSS Filters.....	23
2. Deep Reinforcement Learning-based Disaster Recovery with Mitigation Awareness in EONs	24
三、教程(Tutorials)	25
(一) AI Enabled Optimization of Virtualized Open RAN.....	25
(二) QoS-Driven 6G Promising Techniques Over Multimedia Mobile Wireless Networks.....	29
參、心得與建議.....	36

壹、研討會目的與行程

IEEE全球通信大會(GLOBECOM)是IEEE通信協會的兩大旗艦會議之一，致力於推動通信幾乎所有方面的創新。原定於西班牙馬德里(Madrid, Spain)舉行，因受COVID-19疫情影響改以線上方式參與研討會。

本次研討會一共5日，於西班牙時間上午9點至下午6點，換算台灣時間為下午4點至晚上1點。整個研討會內容涵蓋天線陣列技術、虛擬化無線電接入網、Wi-Fi 7、時間敏感網路(Time Sensitive Network, TSN)、5G私有/企業網路、O-RAN架構、6G無線通訊技術等。因此次研討會採線上方式，大部分的內容為事先預錄供報名者觀看，我們選擇與本公司較相關之主題進行參與，有參與的部分為技術教程(Technical Tutorial)、主題演講(Keynote)、技術研討(Technical Symposium)及行業介紹(Industry presentation)。

台電綜研所資通室因肩負本公司推動無線通訊前瞻技術應用於電力通訊系統之使命，為強化專業學能以及增進與業界、學界交流，俾利於本所未來研究，藉由參加此次研討會議，了解目前資通訊技術發展趨勢及應用。

研討會安排行程如下：

時間	研討會內容
12月07日(二)	技術教程
12月08日(三)	主題演講、技術研討
12月09日(四)	主題演講、技術研討
12月10日(五)	主題演講、技術研討、行業介紹
12月11日(六)	技術教程

貳、研討會內容

一、主題演講

(一) New Paradigms for 6G Wireless Communications

本簡報是由美國普林斯頓大學的Andrea Goldsmith教授來進行簡報。題目為6G無線通訊新的應用。如圖1-1所示，在未來，會透過無線通訊技術將人類與人類、人類與裝置和裝置與裝置連結在一起，像是智慧城市、自動駕駛及虛擬實現等，無線通訊將會變得無所不在。因此，通訊的覆蓋率、傳輸速率和電力消耗將是未來無線通訊技術所要面臨的挑戰。

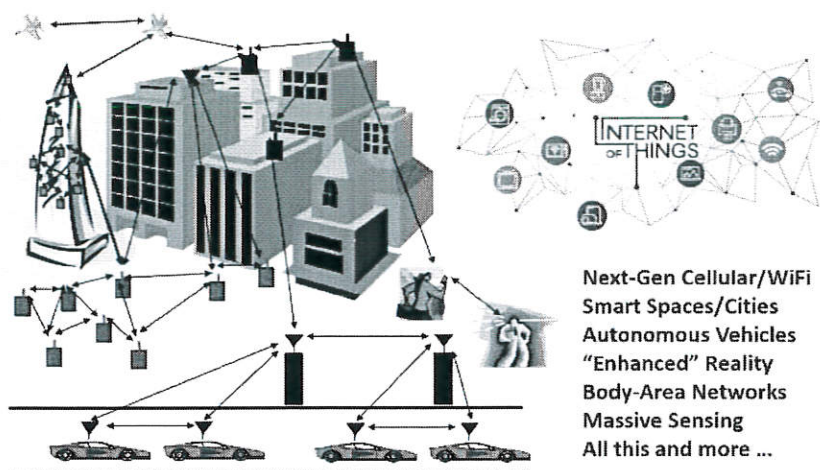


圖1-1 未來的無線通訊應用場景

如圖1-2所示，隨著無線通訊使用的增加，每個基站所要處理的訊務量(traffic)呈現指數性的成長，然而，可用的頻譜卻越來越少。到了2013年，可用的頻譜開始變為負的。如圖1-3所示，裝置對裝置的物聯網數量從2017年的60億到了2022年將超過160億，尤其在居家和汽車的物聯網成長最為快速。裝置與裝置之間的傳遞速度和電力消耗也變得更為重要，尤其是在汽車物聯網的部分，低延遲、高傳輸速度更是主要的考量重點。第5代行動通訊技術(5th generation mobile networks, 簡稱5G)具有高頻寬、高傳輸速率及大規模物聯網的特性。因此，5G無線通訊技術適合應用於自駕車、高畫質傳輸和多裝置連結的場域裡。但為了能夠再縮短延遲的時間，第6代行動通訊技術(6th generation mobile networks, 簡稱6G)也開始被提出來。相較於5G通訊技術，6G使用兆赫茲(THz)的傳輸頻段，比5G提升接近1000倍，延遲時間可以從5G的毫秒級降低到微秒級。

下一個世代的網路架構所要考量的因素包含：(1)蜂巢式系統設計；(2)骨幹網路設計；(3)使用更多的頻譜；(4)低電力供耗；(5)大規模多輸入多輸出(massive MIMO)；(6) 新的物理層(PHY)和數據鏈路層(MAC)技術；(7)多跳路由；(8)邊緣運算和快取；(9)雲端和霧最佳化；(10)安全、隱私和彈性；(11)機器學習。未來6G將結合人工智慧(Artificial Intelligent, AI)，達到自主學習的功能來建立一個最佳的傳輸路徑，也能夠用於自動駕駛，車輛可以透過6G結合AI來判斷車輛在道路上的狀態，也透過自主學習來加強物聯網的運作，進而讓乘客在道路上有更安全舒適的體驗。

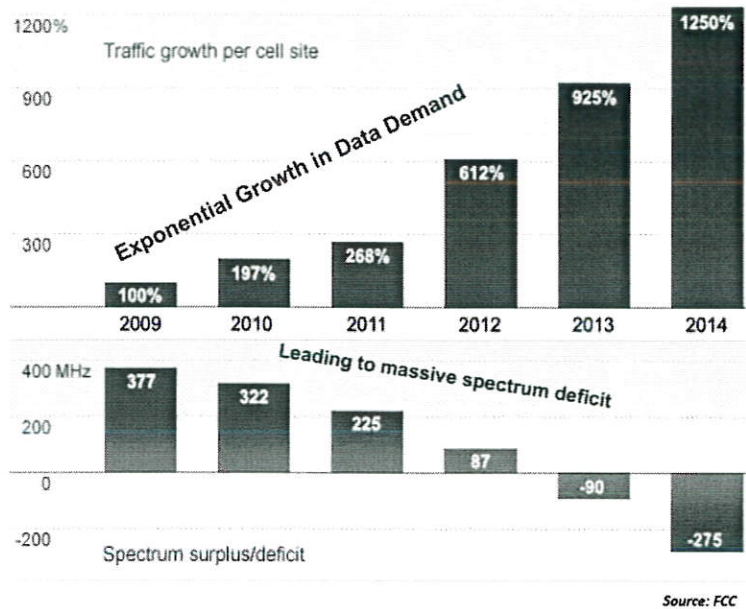
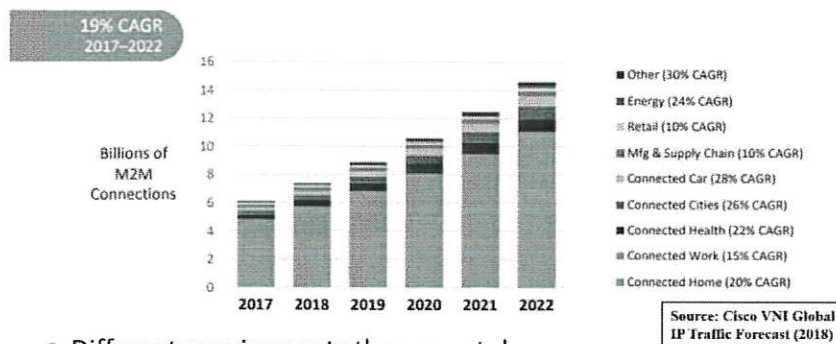


圖1-2 基站的訊務量、頻譜與時間的關係



- Different requirements than smartphones
 - Low rates, latency, energy consumption
 - Also security, privacy, and resilience

圖1-3 裝置對裝置的物聯網數量

(二) 6G: From Connected People, Things to Connected Intelligence

本簡報是由華為技術有限公司的Peiying Zhu博士來進行簡報。題目為6G從人、物的互聯到智能的互聯。如圖1-4所示，2010年提出的4G的Sub-3G無線通訊技術，透過智慧型手機不僅可以傳送語音也可連結到各種社群和服務與其他使用者互動；2020年提出的5G的毫米波(mmWave)無線通訊技術，5G的毫米波無線通訊技術具有低延遲和大規模物聯網的特性，因此，透過5G的無線通訊技術可將各種裝置，例如汽車、電網和虛擬實境等，結合在一起，來實現大規模物聯網。到了2030年之後，下一代無線通訊技術6G使用兆赫茲(THz)的傳輸頻段，並且結合AI技術。如圖1-5所示，6G的應用將歸納為四種方向。第一種為結合類神經網路的通訊系統，實現各種裝置的智能化；第二種為結合網路感測和機器學習，融合物理、生物和網路的世界，實現感測和數位物聯網；第三種為大規模的垂直商務數位化；第四種為廣泛的、高性能的無線連結技術。

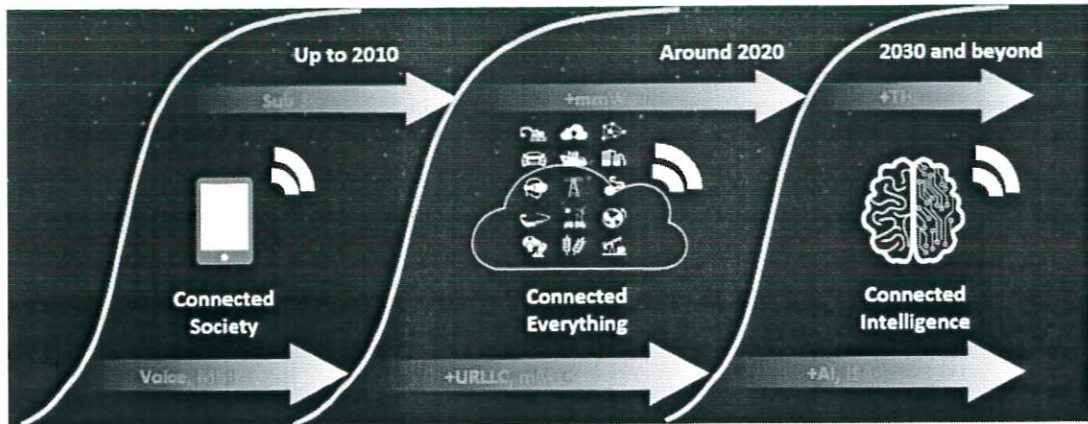


圖1-4 無線通訊技術發展概況

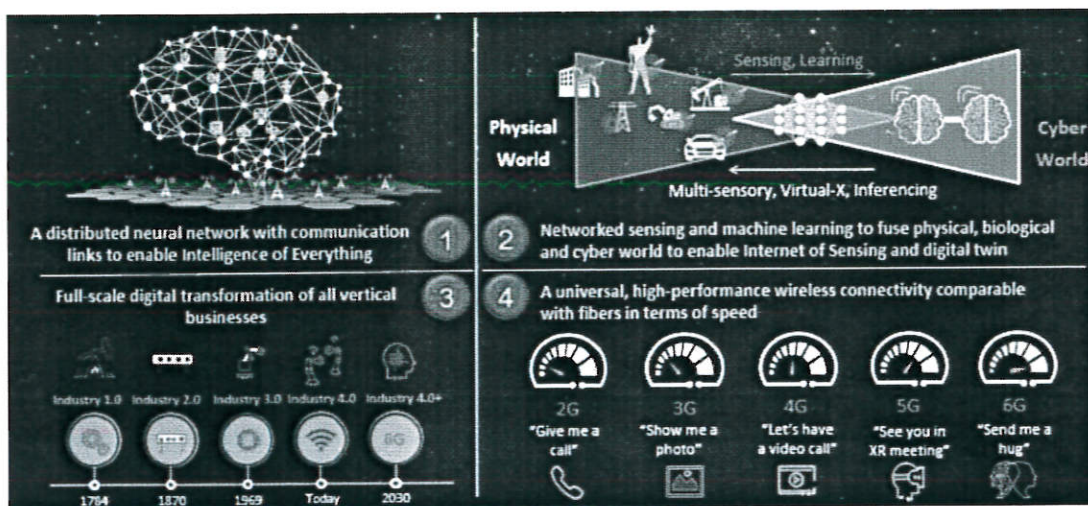


圖1-5 6G無線通訊技術發展

如圖1-6所示，5G其主要的應用場景包含：(1)增強型移動頻寬(enhanced Mobile Broadband, eMBB)；(2)超高可靠性和低延遲通訊(ultra-Reliable and Low Latency Communications, uRLLC)；(3)大規模物聯網(massive Machine Type Communications, mMTC)。6G結合了5G的應用場景和智能化(intelligence)和感測(sensing)。如圖1-7所示，相較於5G，6G將有更好的能源效率(energy efficiency)、網路容量(network capacity)和傳輸速度(air interface latency)等。

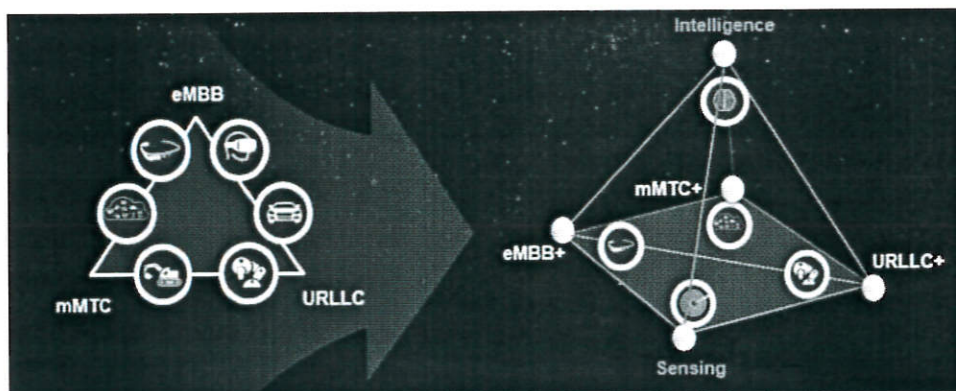


圖1-6 6G無線通訊技術之定義

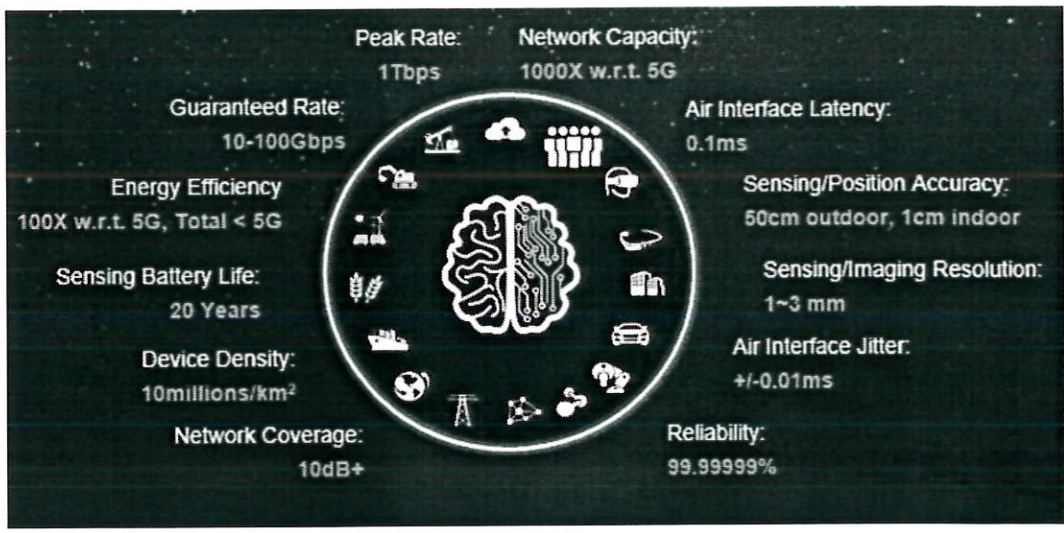


圖1-7 6G無線通訊接取網路技術性指標

(三) 5G Advanced for a Smart Society: Vertical Applications and Solutions

本簡報是由3GPP RAN2副主席Sergio Parolari進行簡報，簡報分成3大部分：目前5G通訊現況分析、5G Advanced所使用技術、5G及5G Advanced垂直應用案例。

以目前5G標準來看的話，目前Rel-15 & 16已經凍結，正進行Rel-17標準制訂作業。Rel-15為5G NR制定的第一個標準，主要側重於eMBB應用案例，Rel-16提升更多eMBB應用如IIoT、V2X等。在Rel-17訂定過程中，希望優化IoT垂直場域、研究穿戴式裝置及XR結合5G應用、研析更多的毫米波頻段(52.6~71 GHz)、研發出更多形式的網路拓樸，包括非地面網路(Non-Terrestrial Networks, NTN)、sidelink網路等。關於3GPP 5G標準制訂預計時程如圖1-8。

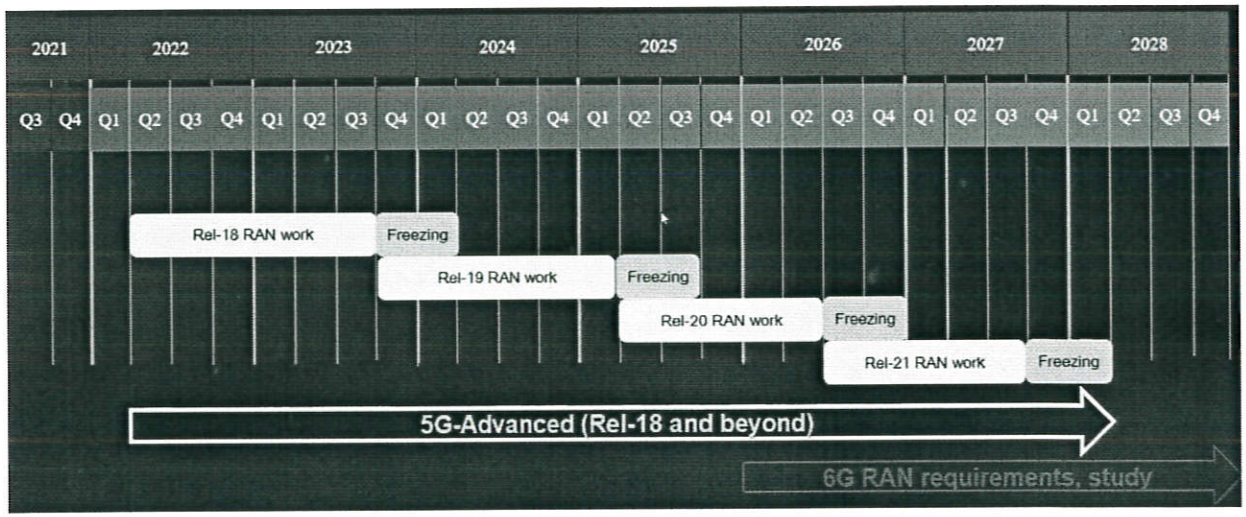


圖1-8 3GPP 5G標準(Rel 18-21)發布預定時程概要

其中，在本場演講有提出「AI-enabled Wireless Network」，在網路層中主要目的為節省5G網路功耗、移動最佳化、負載預測及平衡、QoE預測及流量導引(traffic steering)、覆蓋面積及隨機接入信道最佳化(Coverage/ RACH Optimization)等；在實體層中目的為提升天線波束管理(Beam management)、定位等技術。

進入5G後，與前代通訊系統最重要的轉變為：以往的多媒體、HD影像、串流等終端應用為下行流量大於上行的模式；在IIoT2.0後，因為影像/影音辨識、遠端控制、XR應用等，導致上行需求量大幅提升(提升至Gbps/10Gbps)，延遲需求要求至(2-10ms)。解決上行需求量的解決方案為：提升上行MIMO數(提升至8Tx，並利用multi-panel simultaneous transmission進行傳輸，如圖1-9(a))、提升上行載波聚合(提升上行功率控制，並彈性調整上下行載波數，如圖1-9(b))。

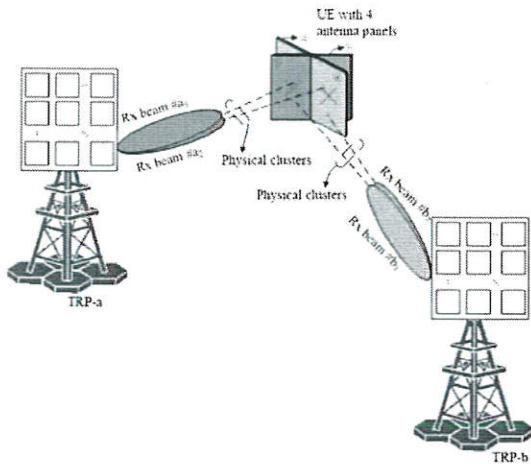


圖1-9 (a)提升上行MIMO數

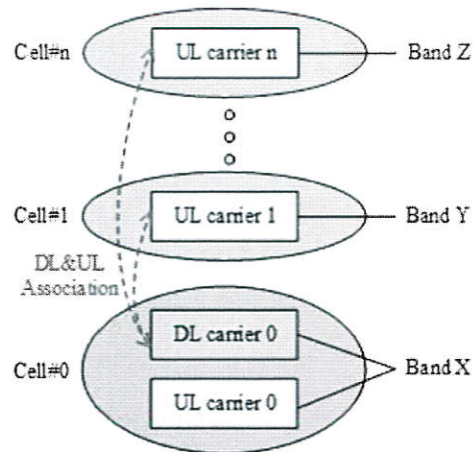


圖1-9 (b)提升上行載波聚合

在毫米波頻段部分，頻段從Rel-17第一階段的24.25~52.6 GHz，到之後的52.6~71 GHz、71~114 GHz，甚至之後6G通訊的THz/可見光通訊頻段，可以知道頻譜標準的制定，會漸漸往高頻的方向制定標準。使用毫米波頻段優勢為：有更寬的頻帶、更高的吞吐量及更低的延遲；其可能面對的技術挑戰尚須克服為：由於阻擋問題(Blockage)導致覆蓋率的限制、高密度微基站布建問題、大量天線陣列及窄波束問題。另外也提出了利用可重構智能表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)技術，使gNB和UE即使互相在非視線範圍內，利用RIS技術進行反射轉接，降低空間被遮蔽的死角，並提升約10~20dB RSRP，並提升能耗效率、降低電磁汙染，進而克服毫米波覆蓋率的限制，使用RIS技術如圖1-10。

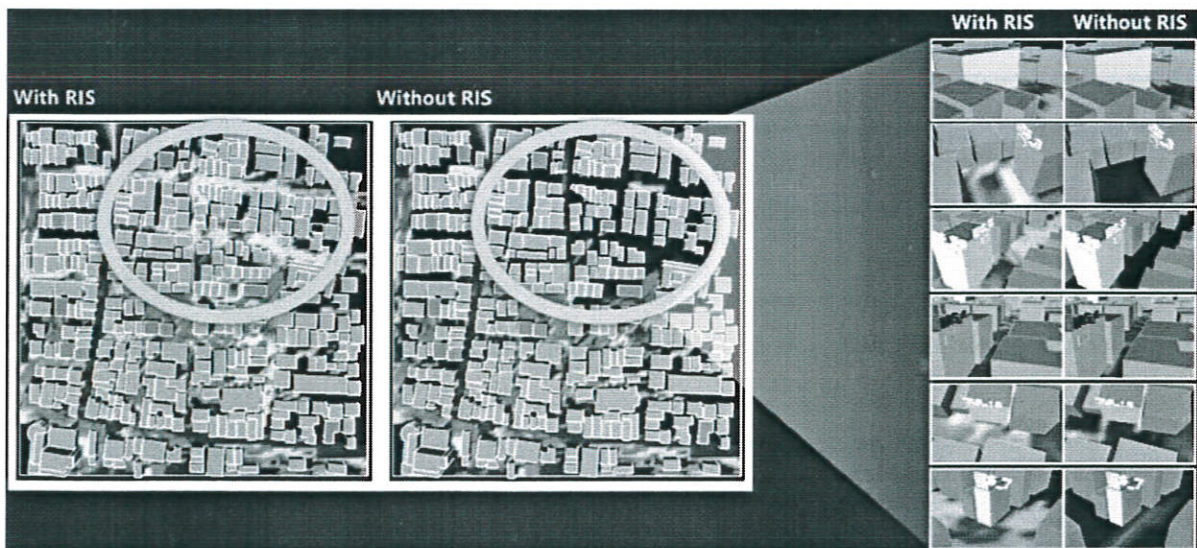


圖1-10 使用RIS技術電波模擬比較圖

(四) 5G and Beyond: Enabling a Fully Connected, Mobile, and Intelligent Society over the Next Decade

本簡報是由Intel的GM of Next Generation & Standards副主席Asha Keddy進行簡報。本演講首先說明Wi-Fi 5、Wi-Fi 6、Wi-Fi 7 的發展藍圖，如圖1-11。Wi-Fi 6於2019年8月發布，操作頻段同時支援2.4、5 GHz，最大傳輸速率提升至9.6Gbps，並且最高調變格式可以到1024-QAM；Wi-Fi 6E 於2021年1月發布，新增6 GHz頻段操作；之後的Wi-Fi 7預計於2024年發布，希望最大的傳輸量達30+Gbps、操作頻段結合2.4、5、6 GHz，頻道寬度達320 MHz，並使用4096-QAM調變。

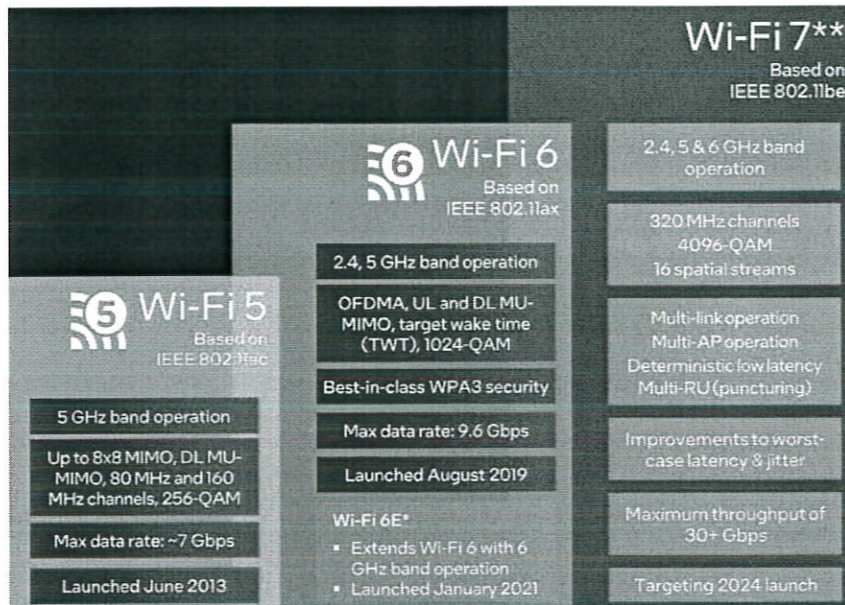


圖1-11 Wi-Fi 5、6、6E、7 發展藍圖

第2部分介紹5G/5G Advanced演進，如圖1-12及圖1-13，在Rel-15中，制定最大10 Gbps傳輸量，在高速移動時達到1 Gbps，並支持多輸入多輸出及毫米波，並定義在Sub6 GHz頻寬為100MHz、毫米波頻段為400 MHz；在Rel-16中，制定URLLC及引進TSN技術、NR非競標頻譜及室內定位技術等相關應用；在Rel-17中，制定>52.6 GHz 相關頻段資源分配、Sidelink、RedCap、非地面網路(NTN)、NR多播與廣播、提升邊緣運算；在Rel-18中，預計制定項目包含：利用AI/ML控制5G系統空氣介面及RAN、網路節省功耗等。

另外本簡報也提到減少通訊系統能耗的相關組織與其中的工作小組詳如圖1-14，包含由日本NTT聯合Sony、Intel、NEC成立的IOWN (Innovative Optical and Wireless Network)，由北美電訊通訊產業解決方案聯盟(Alliance for Telecommunications Industry Standard, ATIS)創立的NextG Alliance，由Nokia領導歐盟執委會(European Commission, EC)的Hexa-X，還有3GPP、5G INNOVATION LAB、Intel RISE等。

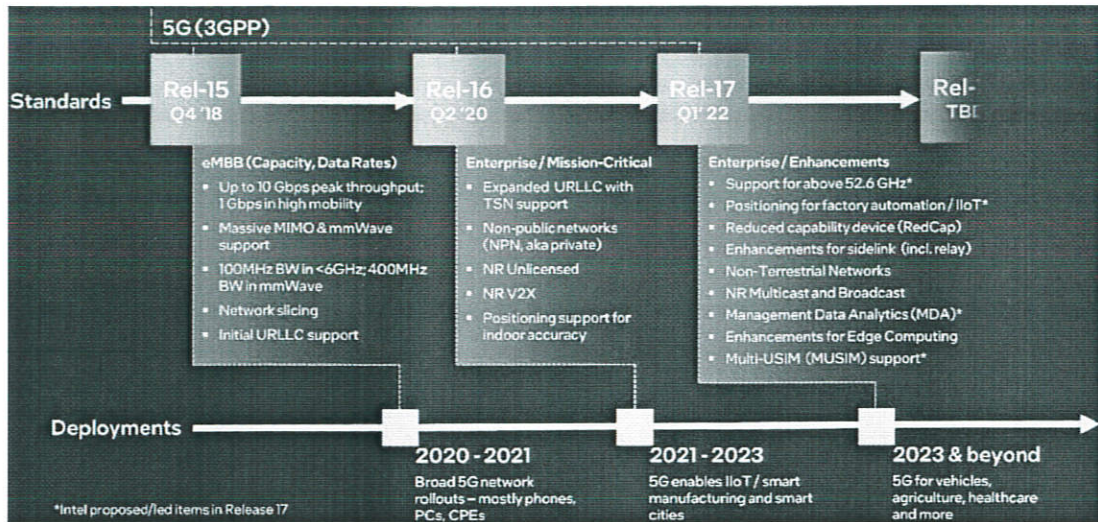


圖1-12 3GPP 5G Rel-15~17制定期程及制定內容摘要

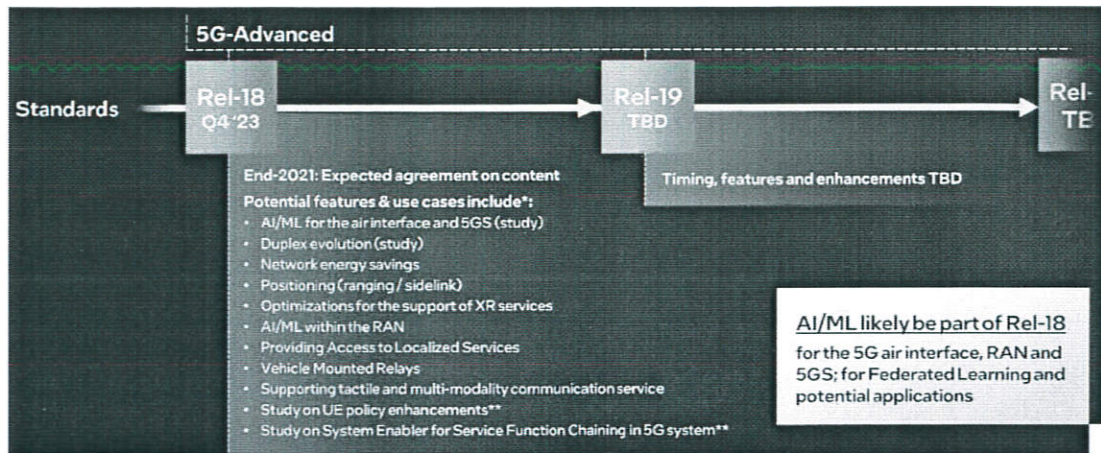


圖1-13 3GPP 5G Advanced Rel-18~19制定期程及制定內容摘要

Organizations	Goals, Techniques, Use Cases
IOWN GLOBAL FORUM	"All photonics network" for 100x increase in energy efficiency Smart Grid Management for changes in renewable energy supply / demand
NEXT G ALLIANCE	Green G working group to study the use of renewable and ambient energy and how to help industries reduce their environmental footprint
Hexa-X	Energy-optimized digital infrastructure that fosters UN SDGs and the EU Green Deal Earth Monitor with global distribution of sensors
3GPP	Working on standardizing KPIs, use cases and solutions for energy efficiency of mobile networks Release 18 Network Energy Savings
5G OPEN INNOVATION LAB	Food Resiliency Project provides farmers with real-time access to sensor data and analytics to improve the resiliency of Snohomish County's agriculture sector
RISE	100% renewable energy use across global manufacturing operations by 2030

圖1-14 與降低通訊系統能耗相關聯盟及工作小組

(五) Sub-THz Channels and Communications Systems for 6G

本簡報是由USC Viterbi 的Andreas F. Molish進行簡報，首先他提出THz / Sub-THz通訊可應用在晶片之間或電路板間進行資料傳輸，如圖1-15。因THz有可攜帶高頻寬的通訊特性，在戶外適合使用在熱點和熱點之間的通訊或手機之間的LOS通訊，以傳輸大量資料，在室內適合作為THz AP、XR、THz資料中心等應用。從中可看到其優勢為：可傳輸高資料速率、適合應用在高使用者密度環境；其挑戰為：其可用頻譜尚未確定、高訊號衰減及其通道模型尚未確定、尚需開發適合THz的較低成本的半導體製程晶片及傳輸設計。

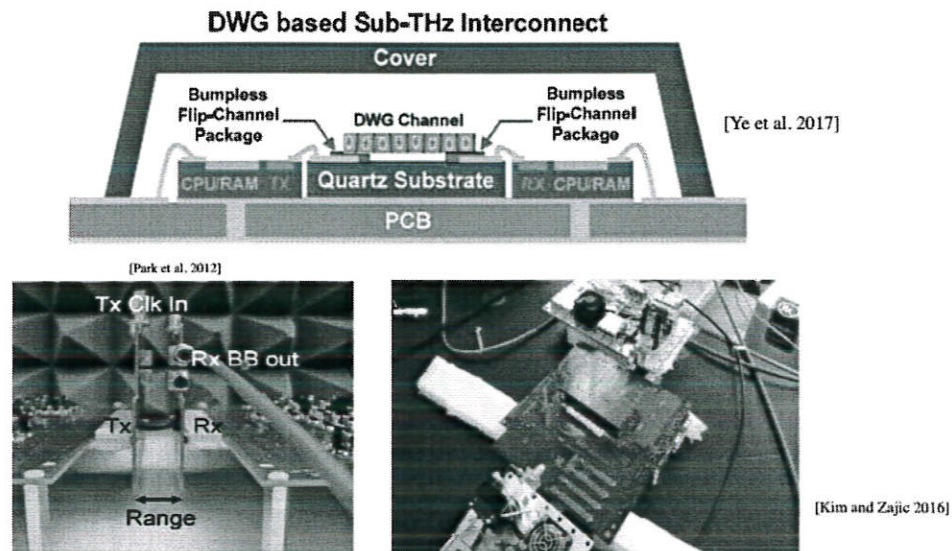
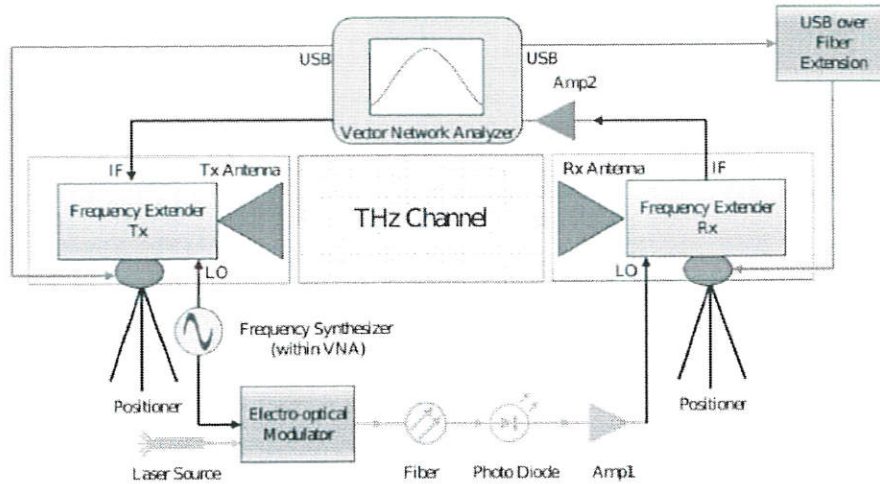


圖1-15 THz / Sub-THz應用在晶片之間或電路板間通訊

接下來，講者針對這幾個挑戰進行分析：

- THz 使用頻譜議題：100-275GHz有許多頻段被衛星通訊、無線電天文學使用，且世界性的無線電頻率標準制定曠日廢時。然而，各國陸續空出THz相關頻段，美國的聯邦通信委員會(Federal Communications Commission, FCC)空出116-123 GHz, 174.8-182 GHz, 185-190 GHz, 244-246 GHz等非競標頻譜，英國的英國通訊管理局(OFCOM) 空出116-122 GHz, 174.8-182 GHz, 185-190 GHz，歐洲郵電管理委員會(Confederation of European Posts and Telecommunications, CEPT)空出122.0-122.25 GHz及244-246 GHz，日本總務省(Ministry of Internal Affairs and Communications, MIC)也空出116-134 GHz頻段。
- THz頻道量測及模型：需要建立適合量測THz量測場域及通道模型，需考慮Shannon capacity、sparsity-based method等因素，利用自適應陣列系統(Adaptive Array)可以補償較高的同向路徑損耗(isotropic pathloss)。另外，大氣及樹葉造成的訊號損耗亦須考慮，並且會受到穿透損失、擴散散射、都卜勒頻移、延遲色散、角色散等因素影響其通道影響，並提出上述可量測THz架構如圖1-16，並利用Ray tracing/ray launching、Lidar scan等技術進行輔助量測。
- 半導體技術、波束成型及多工：目前做出操作在140GHz高等效全向輻射功率積體電路晶片(High-EIRP CMOS)，如圖1-17；及結合類比及數位波束成型以降低RF chain，如圖1-18。



USC long-distance frequency domain setup

圖1-16 THz量測架構

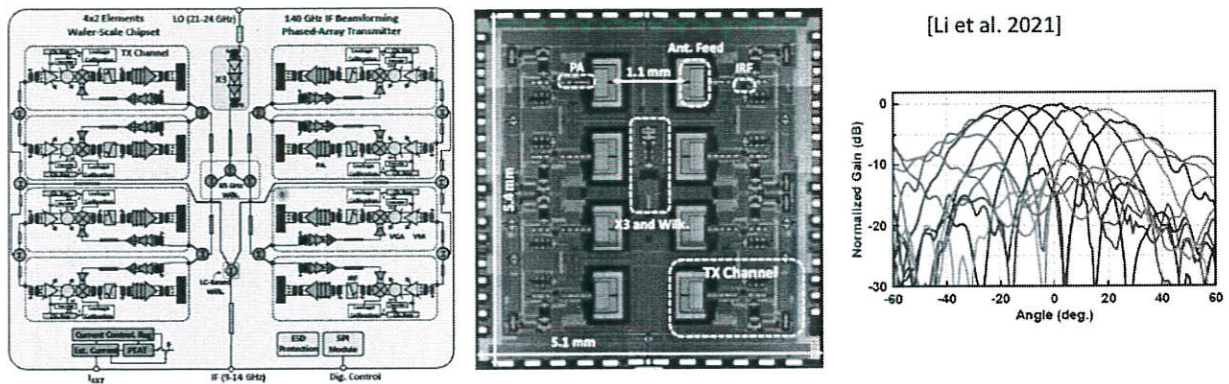


圖1-17 可操作在140GHz的射頻元件

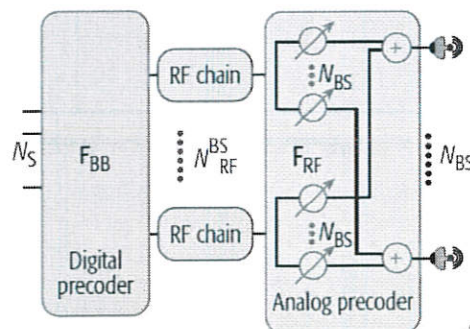


圖1-18 結合類比及數位波束成型以降低RF chain

(六) Making AR ubiquitous: Systems-level optimizations for always-on, always-connected experiences

這次報告由美國高通公司資深協理Ananth Kandhadai主講，主要大綱包含二點：1. 永遠連線的增強現實(Augmented Reality, AR)－如何解決功耗問題；2. 無所不在的AR－利用5G的廣泛覆蓋。其主要是為了說明未來應用Boundless AR眼鏡(如圖1-19)需要什麼的特點，應有特點須包含(1)低功耗低延遲5G連接；(2)改進的光學和顯示；(3)低功耗設備上處理感測器、麥克風、

相機等。

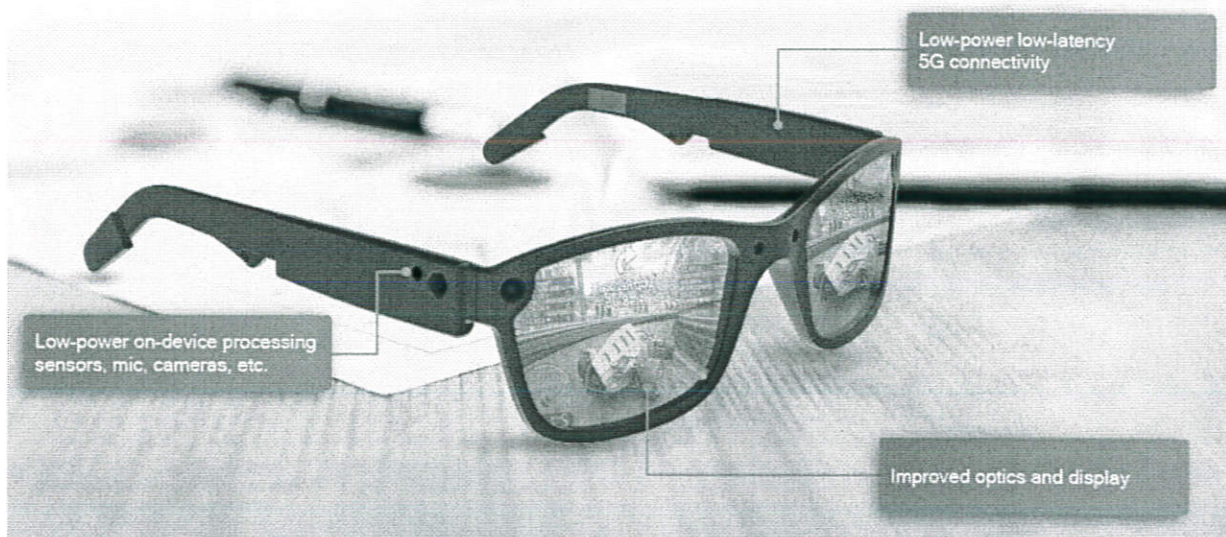


圖1-19 Boundless AR眼鏡特點

以下介紹如下：

1. 永遠連線的AR—如何解決功耗問題

針對外型機構上給了兩點建議：

- 眼鏡總重量：100 -110 g，理想情況下需要為75 g (太陽眼鏡型式則是50 g)。
- 電池重量和尺寸和電池容量有關，建議電池容量至少600 mAh。

另外，AR眼鏡的功耗分佈如圖1-20所示，其總功率可能為2~4 W，具體功耗則取決於實際設計；而應用處理器系統單晶片 (Application Processor System-on-Chip, AP SoC)的功耗分佈如圖1-21，其總功率約為800-1000mW。

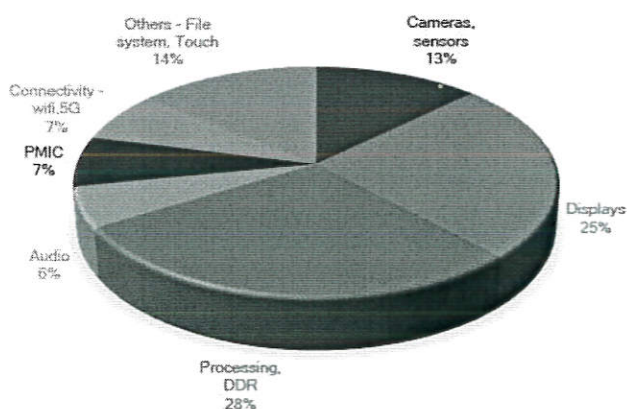


圖1-20 AR眼鏡功耗分佈圖

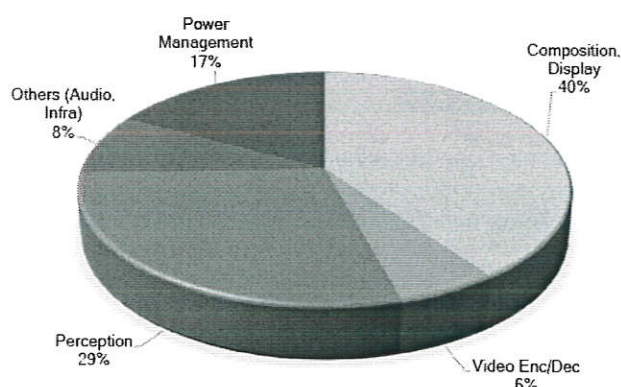


圖1-21 AP SoC功耗分佈圖

AR應用需要廣泛的相關處理技術，其中低功耗實施至關重要，所需的相關處理技術包含：

- 計算機視覺(6自由度VIO、SLAM和3DR、物體檢測和識別)
- 人工智慧與安全(用於高級認知處理的人工智慧、本地和雲機器學習、安全和隱私)
- 異構計算(更低的功耗和更高的性能於AR視覺處理、始終在線的感測器融合方面的進步、下一代AR音頻)
- 下一代連接(5G和Wi-Fi、先進的5G 技術、連接融合)

而為縮小電池尺寸可利用卸載處理(offload process)，其常見之兩種不同的拆分架構如圖1-

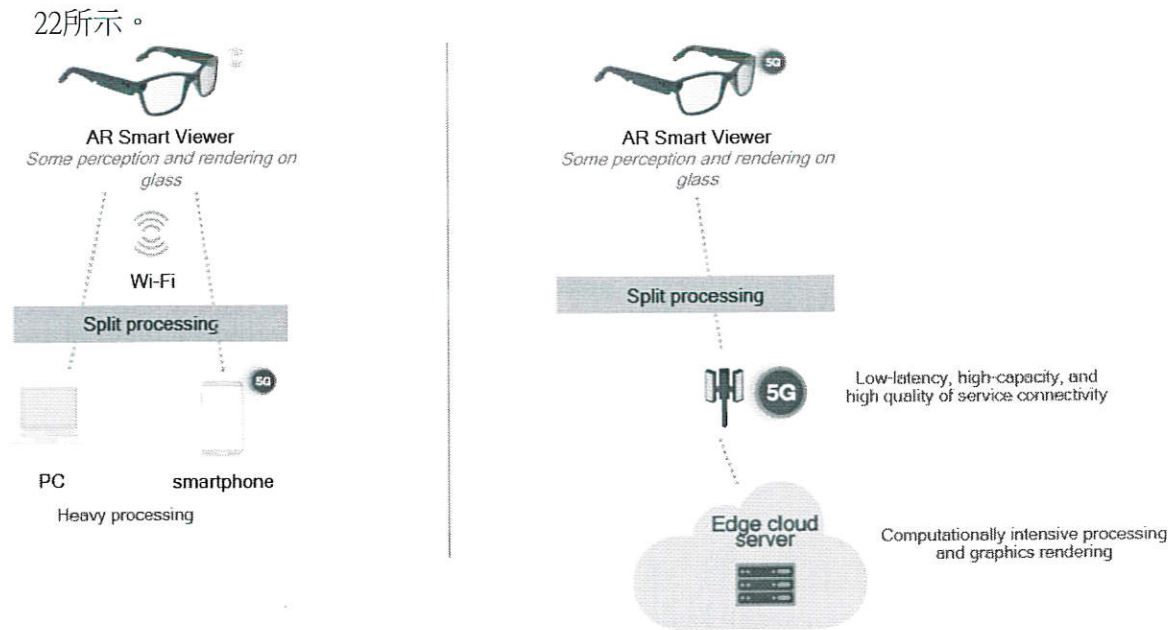


圖1-22 縮小電池尺寸的兩種拆分架構

2. 無所不在的AR—利用5G的廣泛覆蓋

5G統一的空中介面也實現多樣化使用例包括不同的服務、不同的頻帶及不同的配置以期能達到減少端到端延遲(10倍)、吞吐量(10倍)、頻譜效率(3倍)、傳輸容量(100倍)、網路效率(100倍)及連接密度(10倍)。5G專為低延遲和高可靠性而構建，高通的基礎研究已經為3GPP做出了貢獻，包括更短的時槽時間、快速處理時間表、可靠的波束成形及迷你時槽，如圖1-23。

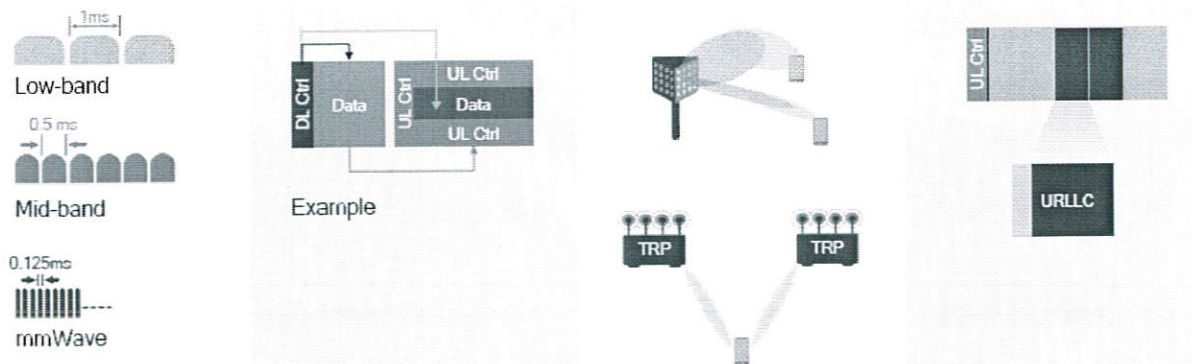


圖1-23 高通基礎研究

Boundless XR在5G上使用拆分渲染架構(split-rendering)，在邊緣雲服務器和設備之間分配計算，包含(1)計算密集型處理和圖形渲染；(2)低延遲、高容量和高質量的服務連接；(3)節能、延遲敏感設備端渲染和跟蹤，以通過5G提供真正身臨其境的XR。當XR使用者移動頭部時，終端處理系統會確定頭部姿勢並透過低延遲、高服務品質的5G鏈路將其發送到邊緣雲(圖1-24)。邊緣雲會根據頭部姿勢的資訊對下一訊號進行初步渲染、執行編碼然後發送回XR頭戴式顯示器。XR頭戴式顯示裝置對最新的可用資料進行解碼，並根據以高頻率產生的最新頭部姿勢進行進一步的渲染和調整，最大限度地降低測試平台MTP延遲(從運動到顯示的時間)。值得注意的是，MTP處理是完全在裝置上進行的，以滿足延遲要小於20毫秒的要求，避免延遲高於20毫秒而對於用戶造成不適。

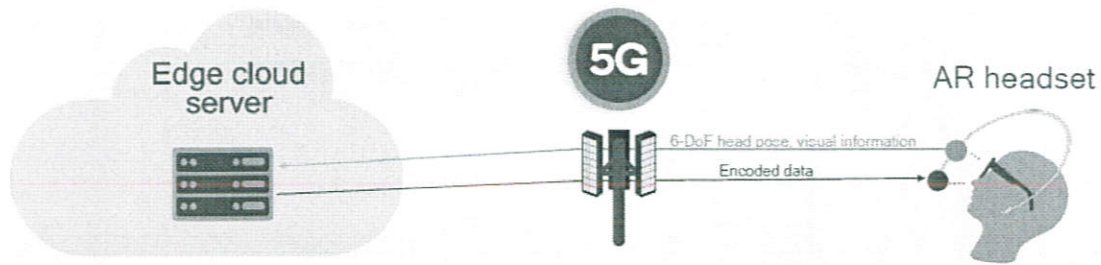


圖1-24 Boundless XR拆分渲染架構

現實生活中5G部署存在延遲挑戰(如圖1-25)，具有衰落、運動、阻塞和干擾的動態RF環境(未授權頻譜中的部署可能會受到同信道系統的干擾)會導致延遲峰值，而大延遲導致AR用戶體驗不佳，在90 fps時，每約1秒就有1%具有大延遲的幀而導致體驗不佳。

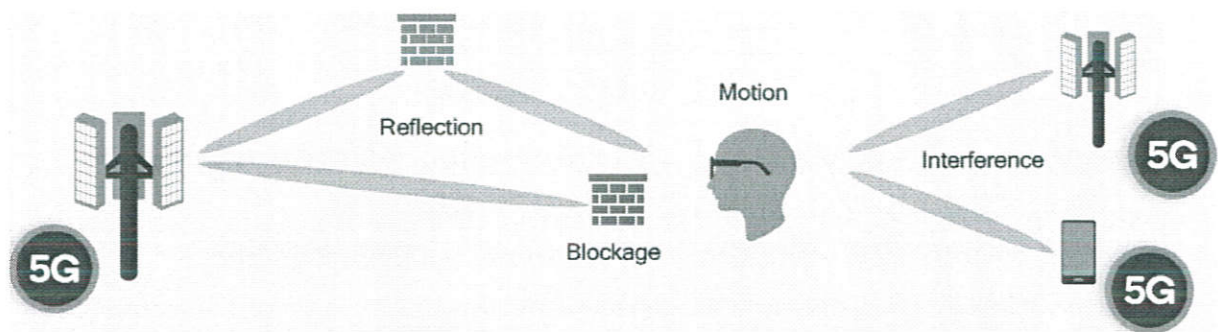


圖1-25 5G存在的延遲挑戰

在講者的報告中有提到5G設備優化和網路優化，對於良好的用戶體驗是很重要的，以下將分別介紹兩種5G優化的關鍵點。

- 5G設備優化主要包含以下四點：
 - ✓ 由於設備優化，尾部延遲減少了25%。
 - ✓ 低延遲封包處理。
 - ✓ 更好的波束管理以提高可靠性。
 - ✓ 動態封包處理以滿足應用服務之延遲要求。
- 5G網路優化主要包含以下三點：
 - ✓ gNodeB 部署：選擇合適的位置、高度和發射功率以獲得更好的覆蓋、容量和干擾抑制。
 - ✓ 網路參數：優化低延遲和低功耗。
 - ✓ 服務品質(Quality of Service, QoS)和延遲感知調度程序(delay-aware Scheduler)：優化以進一步提高網路性能。

端到端(End-to-End, E2E)優化轉化為容量改進，可通過放寬封包延遲限制來降低延遲，從而提高系統容量，如圖1-26所示。

5G NR 正進一步提高設備電源效率，同時於3GPP也提供先進的5G NR省電技術依序為：

- Rel-15—帶寬部分(Bandwidth Part, BWP)：用於低/無流量到達時即用窄BWP。
- Rel-16—跨時槽調度(cross-slot scheduling)：控制和數據之間的時槽以增加睡眠周期。
- Rel-16—Scell休眠指示(dormancy indication)：Scell在突發流量中快速轉換到低功耗模式。

- Rel-17：不連續的PDCCH監控：XR使用後更快地過渡到睡眠。
- Rel-17/18：增強型CDRX：將短CDRX週期與影像幀速率對齊。

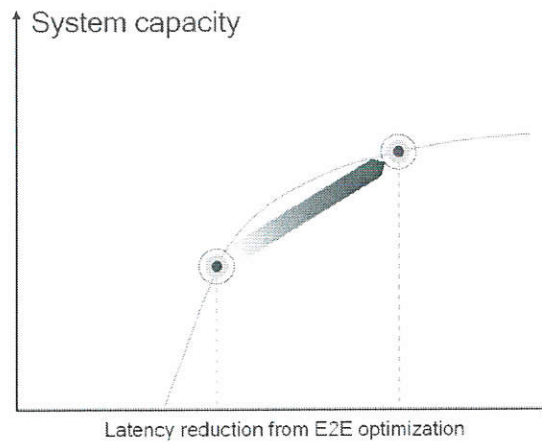


圖1-26 E2E優化之系統容量

簡報最後提及可將5G技術應用在AR上並使其廣泛應用，所需包含的相關技術如下：

- (1) 優化的邊緣處理：用於通過5G NR進行XR拆分處理的介面。
- (2) 提高資料傳輸意識：優化網路中的調度以提高用戶體驗和網路效率。
- (3) 低功耗設備特性：基於3GPP的功能和設備優化。
- (4) 跨層API：雙向調變解調器到應用服務，雙向調變解調器到感測器計算處理。

二、研討會論文

(一) 5G and Beyond Radio Access Network

1. Fronthaul-Aware Scheduling Strategies for Next Generation RANs

本簡報是由西班牙加泰羅尼亞通信技術中心(CTTC)的Sandra Lagen博士進行報告。在此論文中，對具有多個基站(cell)共享一個前傳(Fronthaul, FH)鏈路的多基站多用戶場景，提出並分析和優化不同的動態前傳感測調度策略，包括用於資源分配和調變壓縮的方法。此論文所提出之系統模型如下圖2-1所示，其部署場景由N個基站組成，每個基站為 K_n 個UE服務，在分散式單元(Distributed Unit, DU)和無線電單元(Radio Unit, RU)之間共享前傳介面，採用星型前傳拓撲，而集中式單元(Centralized Unit, CU)和DU一起放置在一個集中的實體中，每個RU位於一個基站站點中。星型前傳拓撲架構的特性為有限的前傳容量，簡報中所提出的方法可在容量有限的限制下，仍可控制前傳資源的利用率，並同時優化系統中每個用戶體驗的吞吐量。

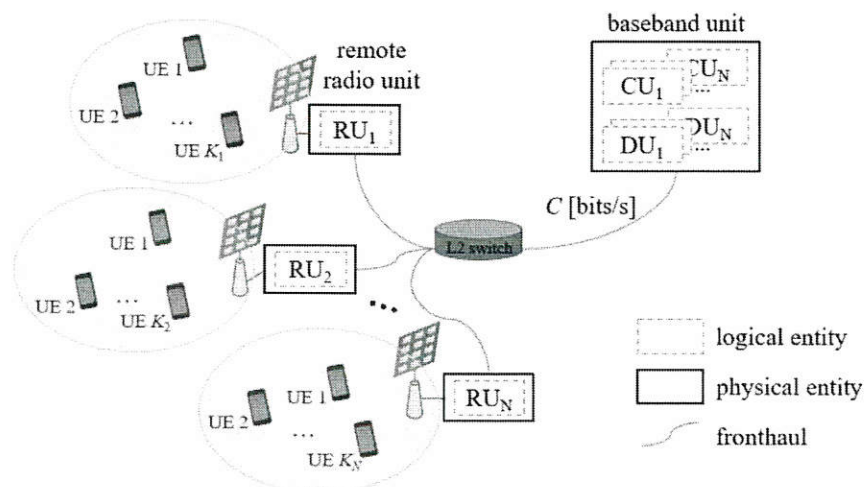


圖2-1 多基站多用戶場景之系統模型

2. Downtime-Aware O-RAN VNF Deployment Strategy for Optimized Self-Healing in the O-Cloud

本簡報為加拿大西安大略大學的Ibrahim Tamim所報告。由於物聯網設備和應用服務的流量激增，行動網路需要新的轉變來維持服務品質，而借助5G的特性可維持這樣的流量需求。市場利益相關者提出開放式無線接入網路(Open Radio Access Network, O-RAN)作為提高網路性能、敏捷性和彈性配置網路的解決方案之一。O-RAN利用人工智慧、雲計算、網路功能虛擬化(Network Function Virtualization, NFV)和軟體定義網路(Software Defined Networking, SDN)等新技術的方式，使運營商能夠以具有成本效益的方式管理其基礎設施。

圖2-2顯示了仍在開發中的O-RAN架構，顯示了智慧模塊(Intelligence and Machine Learning Modules)橫跨了所有的層、O-Cloud平台以及虛線內的O-RAN虛擬網路功能(Virtualized Network Function, VNF)，而可用於實現雲化和自組織功能的標準和方法仍在研究和研究中。另外在圖2-3中顯示O-RAN的部署場景，其中近即時網路智慧控制器(Near-Real Time RAN Intelligent Controller, Near-RT RIC)類型的VNF應放在區域雲(Regional Cloud)上，而O-CU和O-DU類型的VNF則應放在邊緣雲(Edge Cloud)上。在此論文中，為O-Cloud中虛擬化O-RAN單元提出一種優化部署策略，以最大限度地減少網路中斷，同時符合性能和運營要求。

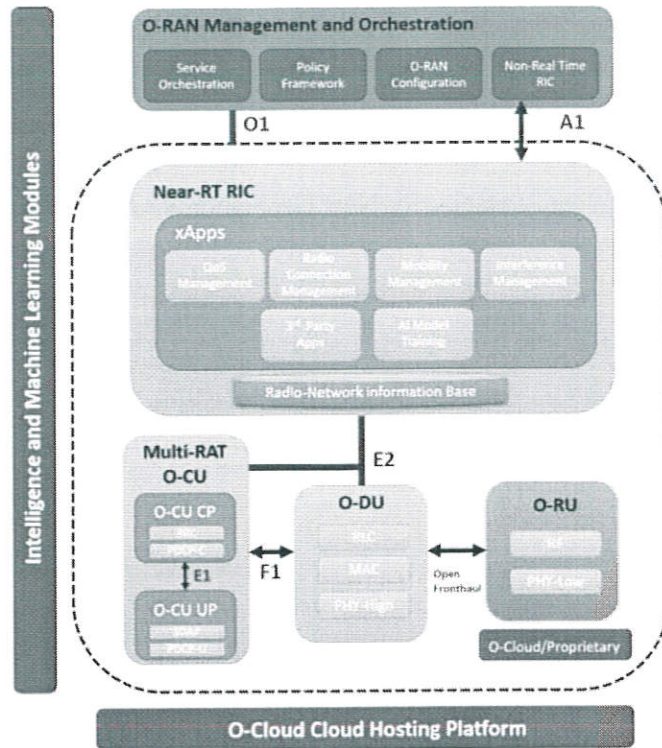


圖2-2 O-RAN架構

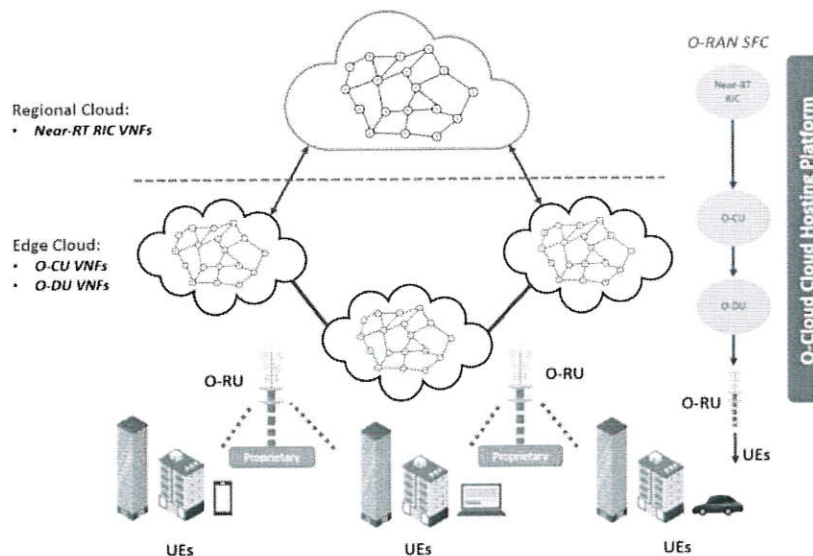


圖2-3 O-RAN部署場景

3. Resource Allocation and User Pairing for Opportunistic CoMP in 5G CRAN

本簡報是由國立陽明交通大學林靜茹教授來進行簡報。如圖2-4所示，將分散的基頻單元 (Base Band Unit, BBU)集中在雲端機房，稱之為雲端無線接取網路(Cloud Radio Access Network, CRAN)。在5G無線通訊系統裡，CRAN是一項重要的技術。協調資源管理(Collaborative Resource Management)是CRAN架構中的一個優點。如圖2-5所示，一個典型的CRAN通常由多個BBU所組成，然而，位於遠端無線單元(Remote Radio Unit, RRU)干擾範圍內的用戶設備(User Equipment, UE)會互相干擾。為了解決此問題，傳統的協定是使用靜音(muting)來避免基站間的干擾(Inter-Cell Interference, ICI)，但此方法會降低資源的利用率(resource utilization)。因此，為了提高頻譜

的利用率，協調多點(Coordinated Multipoint, CoMP)的技術被提出來抑制基站間的干擾。然而，CoMP有一些缺點，來自衝突的信道估算需要對CoMP的資源分配進行完美的校正。為了解決上述的問題，林靜茹教授提出了一種新的方法，此方法是基於動態流量需求來機會性地啟動CoMP，並在考慮由衝突的信道估算下引入的校正限制的情況下來明確性地分配資源。從模擬的結果顯示，跟傳統的技术(muting和CoMP)比較起來，所提的方法分別可以提高33.1%和12.6%的吞吐量。

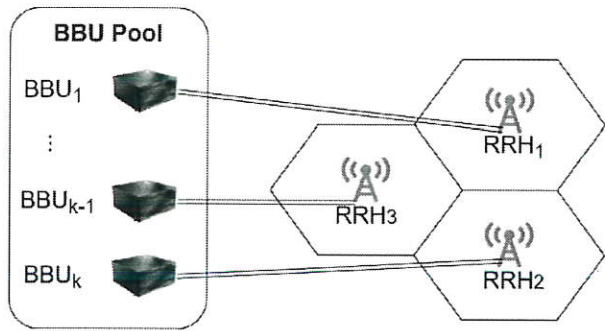


圖2-4 雲端無線接取網路架構

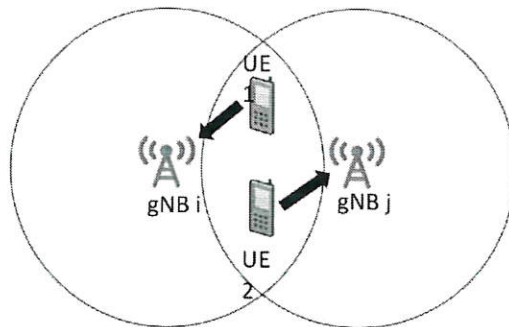


圖2-5 基站間干擾

4. Reliability Analysis Of Grant-Free Uplink Data Transmission For URLLC

本簡報是由西安交通大學博士候選人Yuncong Xie先生來進行簡報。5G的超可靠和低延遲通訊技術是部署物聯網(Internet-of-Things, IoT) 的關鍵技術。然而，5G裡嚴格的延遲和可靠性要求很難在有授權的接取式協議裡被滿足，結合短幀結構的非授權傳輸方式被視為一種具有潛力的支援上行URLLC傳輸方式。結合短幀結構的非授權傳輸無需等待調度授權訊息，它允許每個設備直接上傳它的封包，如圖2-6所示。此論文的作者進行URLLC具有主動非授權上行傳輸方式的可靠性研究。作者首先對每個非授權的傳輸行為建模為馬可爾夫流程(Markov process)，然後推導出整體的封包遺失機率來做為可靠性分析的描述。通過一些模擬分析，最後作者提出了一些非授權上行傳輸的建議。

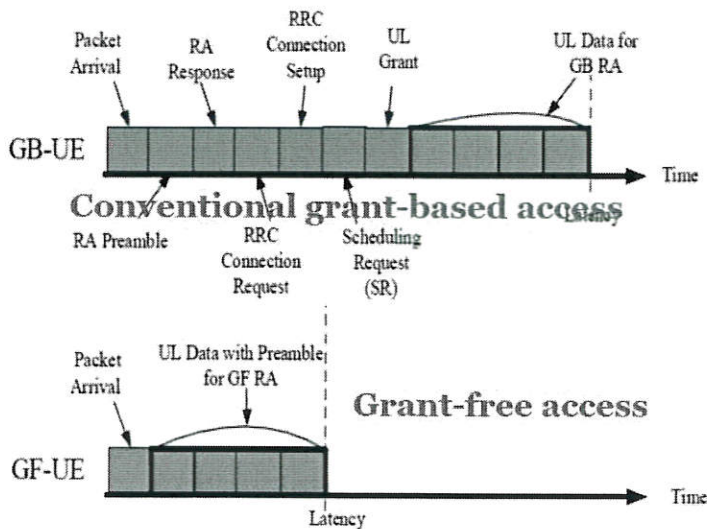


圖2-6 授權與非授權的用戶設備訊息

(二) Resource Management in 5G Networks

1. Virtual User Emulation and Resource Allocation Designs for 5G Mobile Wireless Networks

本論文由台灣陽明交通大學的Kai-Ten Feng博士進行簡報。簡報一開始提到，5G NR因具有高傳輸量的特性，使其在行動通訊網路中引起極大的關注。然而，由於移動性因素造成了載波間干擾(Inter-Carrier-Interference, ICI)，為5G的大連接特性帶來了困難。另外在硬體部分，天線數量有限的情況下，開發能夠模擬和評估過多用戶的有效測試平台變得至關重要。在這篇論文中，提出了一種虛擬用戶設備(Virtual User Equipment, VUE)模擬系統，其中VUE產生器可在有限數量的天線下模擬大量VUE傳輸。圖2-7為此篇論文提出的VUE模擬系統架構。此VUE模擬系統是基於單一基站使用正交分頻多工存取(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)技術的5G NR網路。此外論文中也提出天線選擇和功率/子載波分配(Antenna Selection and Power/sub-carrier Allocation, ASPA)技術，旨在最大化可實現的系統傳輸的總速率。

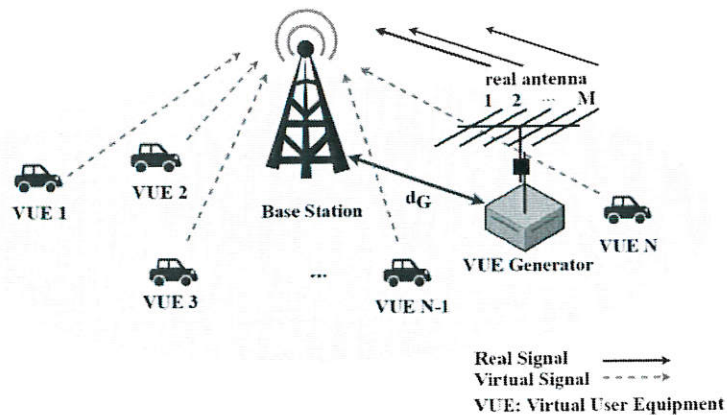


圖2-7 VUE模擬系統

2. Dynamic Resource Allocation for SDN-based Virtual Fog-RAN 5G-and-Beyond Networks

此報告由賽普勒斯弗雷德里克大學(Frederick University)的Chrysostomos Chrysostomou教授進行簡報。在報告中提到，基於SDN的虛擬物計算無線接入網路(Fog-RAN)架構被認為是解決5G及下世代通訊網路中大量流量負載的潛在方案。為了降低功耗並提高用戶滿意度，需要動態無線電和計算資源分配來處理浮動的流量負載，而這篇論文就提出了基於SDN的虛擬Fog-RAN的動態資源分配方法，所提出之架構如圖2-8所示。通過優化用戶設備和無線電單元(RU)關聯、物理資源塊(Physical Resource Block, PRB)分配和RU功率分配，以處理傳入UE所需的有效RU數量，從而最小化網路功耗。此外，作者還制定了一個多重背包問題(Multiple Knapsack Problem, MKP)，以最小化分配給有效RU的虛擬基頻單元(virtual Baseband Unit, vBBU)的數量。

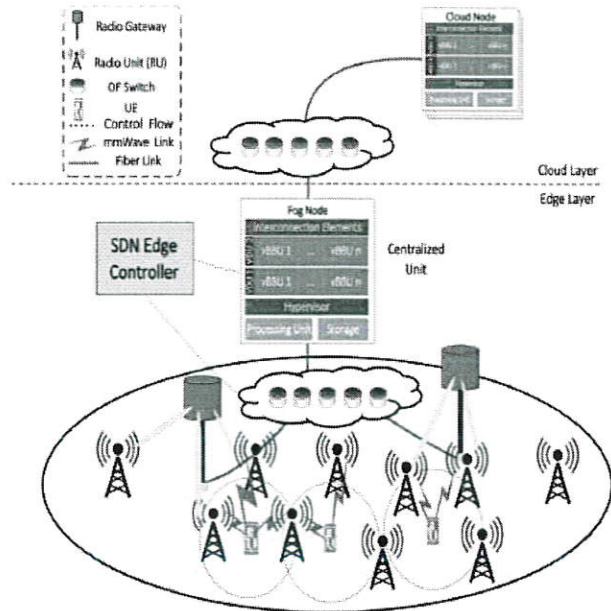


圖2-8 基於SDN的虛擬Fog-RAN架構

(三) Network Management and Control

1. Low Priority Congestion Control for Multipath TCP

此論文由中國科學技術大學的Yuan Zhang進行簡報。許多應用服務需要消耗頻寬，但可以容忍較長的時間來完成服務，而多路徑協定如多路徑TCP(MPTCP)可以為這種應用服務，提供頻寬聚合和鏈路故障恢復能力；而低優先級別擁塞控制(Low Priority Congestion Control, LPCC)的機制，可將頻寬優先給其他時間敏感的應用服務。透過將以上兩種適當的結合可以提升整體用戶體驗，然而現有的LPCC機制因沒有考慮多條網路路徑的特性，無法保證相同優先級別應用間的公平性，使此種機制對於MPTCP不夠用。在此篇論文提出一種多路徑LPCC的機制，稱為動態耦合極低延遲背景傳輸(Dynamic Coupled Low Extra Delay Background Transport, DC-LEDBAT)，透過此種方法以很小的吞吐量來精確測量最小的延遲時間，此外還可確保相同優先級別應用之間的公平性。

2. Monte Carlo Tree Search for Network Planning for Next Generation Mobile Communication Networks

此簡報由南京大學的沈林之博士生進行報告。首先，本文研究了毫米波移動通信系統中的網路規劃問題，其中窄波束天線可以調整天線的方位角和下傾角(如圖2-9)，以最大化網路的功率覆蓋範圍和系統吞吐量。但搜索天線會產生組合優化問題，即使中等規模的天線組情況也無法解決。作者將此優化任務制定為有限馬爾可夫(Markov)決策過程，並開發了一種多層蒙地卡羅搜索(Monte Carlo Tree Search, MCTS)方法，此方法在保證高功率覆蓋的同時，在系統吞吐量方面優於最先進的算法10%以上。實驗結果表明，MCTS可以有效地探索天線配置的高維解空間。對於未來的工作，收斂速度分析和性能界限是有趣的話題。

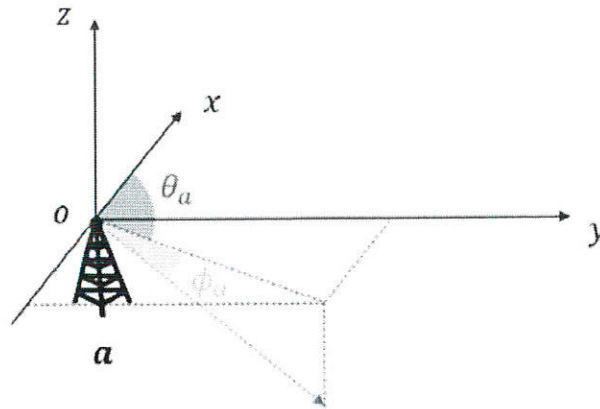


圖2-9 扇形天線的方位角和下傾角

3. MPTCP under Virtual Machine Scheduling Impact

本篇論文是由美國內布拉斯加大學林肯分校的Phuong Ha進行報告。一開始點出了MPTCP近年來引起了網路社區的關注，因為它同時通過多個網路傳輸數據，從而提高了性能和穩定性。現有關於MPTCP的工作僅研究其在傳統有線和無線網路中的性能。與此同時，雲計算發展迅速，大量應用部署在私有雲和公共雲中，通常採用虛擬機(Virtual Machine, VM)調度技術，並共享CPU。故本文研究MPTCP在VM調度影響下的性能，並證明VM調度會對所有MPTCP子流的吞吐量產生負面影響，如圖2-10可看到MPTCP的吞吐量隨著SND睡眠時間增加，其吞吐量有顯著的下降，這最終導致MPTCP在雲網路中的整體性能不佳。本文為MPTCP提出了一個優化版本，它在MPTCP計算其整體積極性參數和擁塞窗口時考慮了VM調度噪聲。實驗結果表明，修改後的MPTCP在雲端網路中的性能比原始MPTCP吞吐量提高了80%。

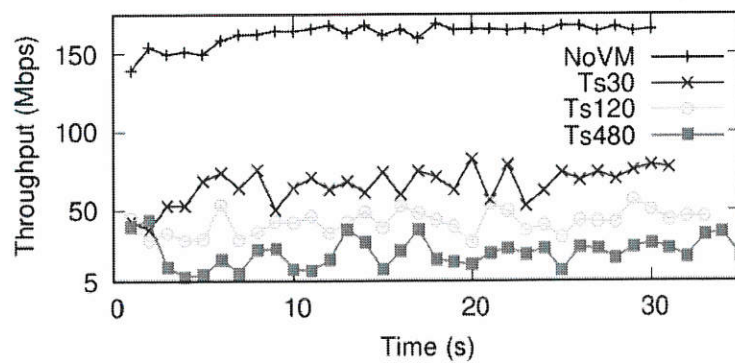


圖2-10 MPTCP吞吐量

4. Concept Drift Detection in Federated Networked Systems

本論文是由加拿大西安大略大學的博士候選人Dimitrios Manias來進行報告。隨著下一代網路的實現，需要提高智慧水平。聯盟式學習(Federated Learning)已被確定為智慧和分散式網路的關鍵技術；然而，與任何機器學習應用程序一樣，它容易出現概念漂移。考慮到現代網路提供的關鍵和緊急服務，概念漂移直接影響模型的性能，並可能導致嚴重後果。為了降低漂移所造成的不利影響，本文提出了一種概念漂移檢測系統。使用降維和聚類技術，並以智慧交通系統(Intelligent Transportation System, ITS)為實驗，提出了一個隔離系統漂移節點的框架。本文提出了一個框架，用於利用學習過程的期間發送的更新，來檢測網路系統中的概念漂移。通過使用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)降低權重更新的維數，並利用KMeans

聚類，計算聚類中心之間的距離，識別漂移節點。本文中介紹的工作重點介紹了ITS作為例子，其基本概念如下圖2-11所示，它適用於任何網路系統。

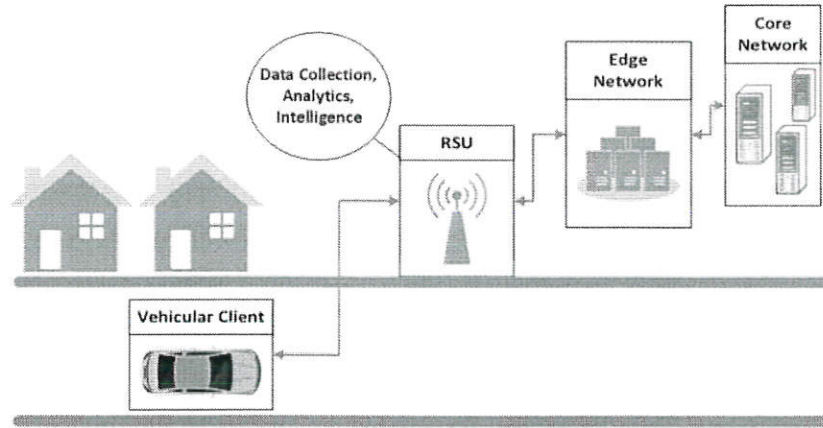


圖2-11 ITS基本概念

5. Balancing Traffic Flow Efficiency with IXP Revenue in Internet Peering

本報告由美國以色列理工學院的Md Ibrahim Ibne Alam博士生進行簡報。首先，考慮在網際網路交換點(Internet Service Providers, IXP)的網際網路服務提供商(Internet Service Provider, ISP)之間的流量對等博弈。作者分析了該博弈平衡時的訊務流效率和IXP收入，作為IXP收取每單位價格的函數。表明存在一個社會福利和收入都很高的價格點，並且相應的無政府狀態價格值可以用ISP的逆需求曲線的某些次線性度量來表示。使用基於從Peering DB 獲得的實際IXP數據的模型進行的模擬，並正確地捕捉了價格變化的性能趨勢以及定價點，社會福利和IXP收入都在兩倍的範圍內對應的最大值。圖2-12和圖2-13分別為多項式延遲(polynomial delay)和排隊延遲(queueing delay)模擬PoA值的結果。從IXP的實際數據所估計的逆需求曲線模擬中獲得的PoA值完全落在這些範圍內，並且選擇適當時，最壞情況下的 PoA值的平均值小於 2。對於兩大類延遲函數，從模擬中發現值在0.45到0.55的範圍內可確保社會福利和收入之間的良好平衡。這些推薦的單位價格可以很容易地轉化為基於IXP在實踐中通常實施的港口容量的定價。

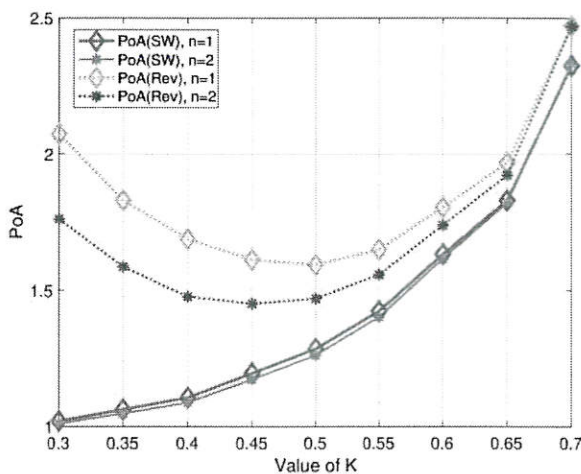


圖2-12 模擬PoA值(多項式延遲)

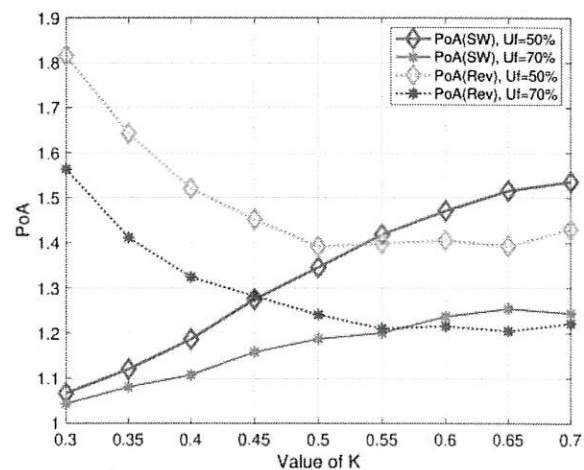


圖2-13 模擬PoA值(排隊延遲)

6. Flow-Level Rerouting in RDMA-Enabled Dragonfly Networks

本簡報由中國科學技術大學的Yuyan Wu進行報告。由於路由器的特性，蜻蜓網路

(Dragonfly Network)拓撲可以實現小直徑、高性價比。然而，在部署了遠端直接記憶體存取 (Remote Direct Memory Access, RDMA)的蜻蜓網路中，現有的路由算法主要基於隊列長度信息，既不能很好地實現負載均衡，也不能滿足要求。為了解決上述問題，首先分析了啟用RDMA的蜻蜓網路中路由的缺點。然後，提出了一種可以根據路由器的歷史信息，去估算流量分佈和網路負載的方案。最後，模擬結果顯示，在平均流量完成時間(average flow completion time, AFCT)和飽和吞吐量方面都比現有算法獲得了顯著的性能提升。特別是在對抗性流量模式下，可以在避免無損的情況下，將UGAL的AFCT大幅降低25%，將飽和吞吐量提高13%。傳統蜻蜓網路拓撲中的現有路由方法與支持RDMA的網路的要求不兼容。因此，本文討論了使用路由的局限性，並提出了一種具有底層UGAL的路由方案。

(四) THz communications

1. DFT-Spread Orthogonal Time Frequency Space Modulation Design for Terahertz Communications

本論文是由上海交通大學Yongzhi Wu、Chong Han和Tao Yang發表。太赫茲(THz)頻段通信的超寬頻寬為眾多應用和服務提供了巨大的潛力，然而，其挑戰包含嚴重的都卜勒效應(Doppler effects)和更嚴格的峰均功率比(Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)，本文提出一個離散傅立葉變換展開正交時頻空間(DFT-s-OTFS)調變方案，以解決上述問題。與正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiple, OFDM)相比，在存在高都卜勒擴散的情況下，所提出的DFT-s-OTFS可以降低誤碼率(Bit Error Ratio, BER) 2個數量級，並且與OTFS相比，將PAPR降低約3 dB。

2. Intelligent Surface Optimization in Terahertz under Two Manifestations of Molecular Re-radiation

本論文是由美國Virginia Tech發表。太赫茲(THz)通訊傳輸會受到透射波與大氣中分子之間相互作用的顯著影響，包括分子吸收及分子再輻射。如何去模擬並最佳化分子的吸收與再輻射特性成為很重要的議題。文獻中普遍存在兩種極端的建模假設，其中重新輻射的能量在第一個中被建模為額外的雜訊，在第二個假設中被建模為與實際信號密切相關的散射分量，如圖2-14。在本文中首次比較研究了在這兩種極端再輻射模型下可重構智慧表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)輔助太赫茲系統的性能，並利用RIS創建虛擬視線路徑(virtual Line of Sight, vLOS)來克服大型路徑損耗，如圖2-15。

為此設置開發了一個優化框架，並利用BCD(Block-Coordinate Descent)演算法來反覆運算優化RIS配置向量和接收波束成形(Beamforming)權重，如圖2-16，從而與隨機RIS配置相比，為感興趣的使用者帶來了顯著的傳輸增益。從研究結果表明，在分子再輻射的散射假設下，比雜訊假設實現了更好的通量。

<p>□ Assumption 1: Modeled as additive noise</p> $\mathbf{h}_{XY} = \sqrt{\tau(f, \bar{d})} \mathbf{F}_{\text{LOS}} \frac{c}{4\pi f \bar{d}} \quad \text{Re-radiation Noise Variance: } \sigma_m^2 = \sigma_{m_1}^2 + \sigma_{m_2}^2 \Theta_0^H \Theta_0$ <p>□ Assumption 2: Modeled as scattered NLoS signal</p> $\mathbf{h}_{XY} = \left(\sqrt{\tau(f, \bar{d})} \mathbf{F}_{\text{LOS}} + \sqrt{1 - \tau(f, \bar{d})} \bar{\mathbf{h}}_{XY} \right) \frac{c}{4\pi f \bar{d}} \quad \text{Re-radiation Noise Variance: Zero}$
--

圖2-14 兩種假說的通道模型公式

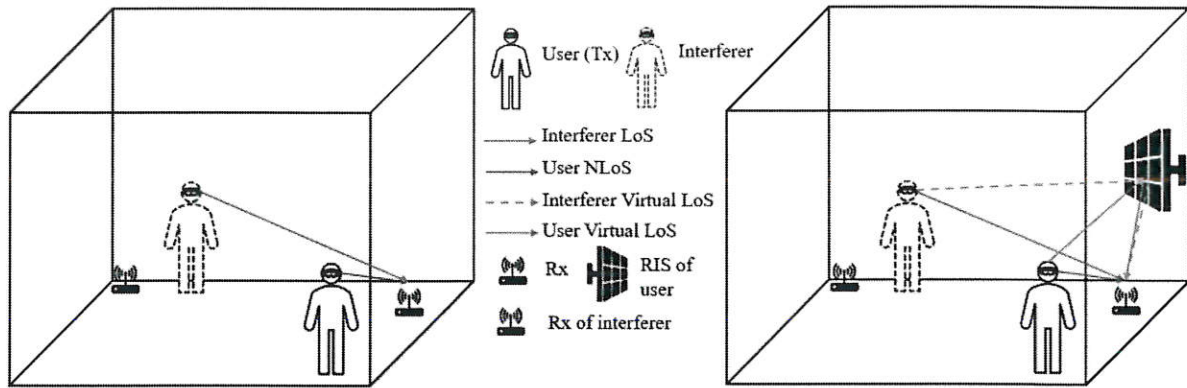


圖2-15 虛擬LoS示意

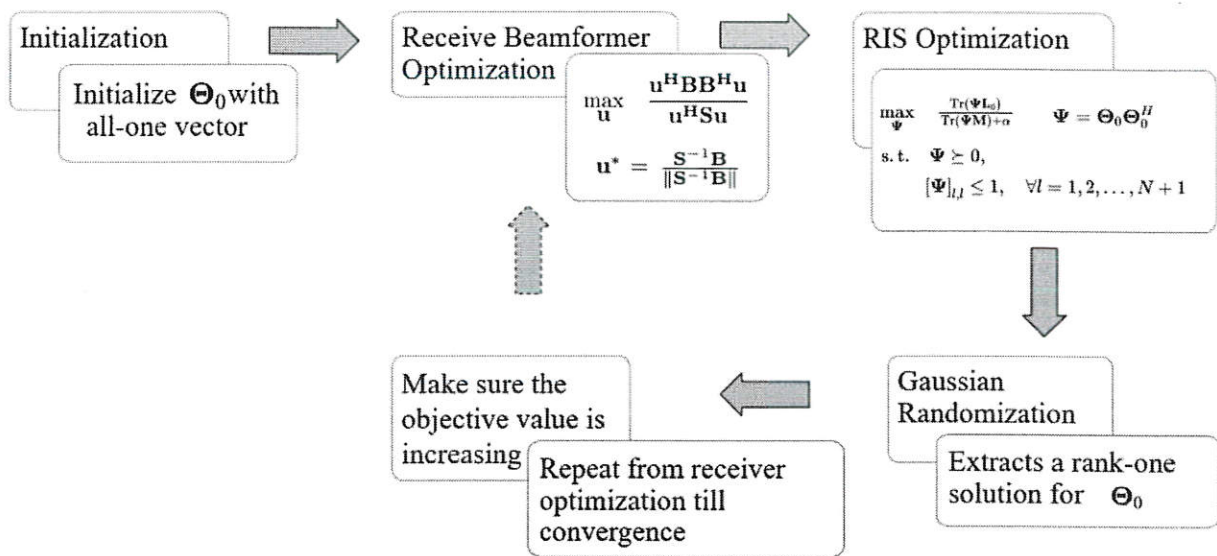


圖2-16 利用BCD演算法優化RIS配置向量和接收波束成形權重

(五) Optical Transmission Systems and Processing

1. A Real-Time OSNR Penalty Estimator Engine in the Presence of Cascaded WSS Filters

波長選擇開關(WSS)為光網路中之重要元件，用於分配光路徑路由至所預定傳輸之接收器。然而，WSS會使光網路中出現OSNR penalty，而WSS串列會累積光網路中特定光路之OSNR penalty。

Training Mode	[0,5] dB	[5,10] dB	[10,15] dB
128x2BR5	0.0078	-	-
128x2BR10	0.019	0.146	-
128x2BR15	0.036	0.208	0.966
128x2BR	0.141	1.010	2.903
128x2LM5	0.064	-	-
128x2LM10	0.117	0.471	-
128x2LM15	0.276	0.763	3.406
128x2LM	0.929	2.548	5.856

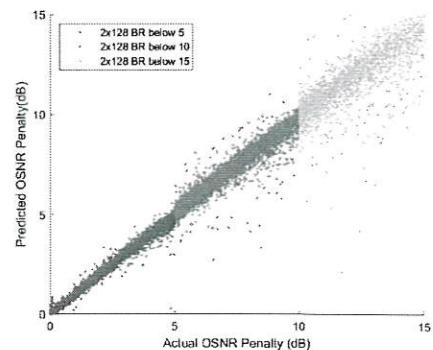


圖2-17 MSE與OSNR penalty結果

利用神經網路(NN)演算法能模擬WSS所造成之OSNR penalty，在兩種不同訓練演算法 Levenberg-Marquardt(LM)與Bayesian Regularization (BR)下，利用均方誤差(Mean squared error, MSE)作為指標參數，可成功預測得到誤差極低之OSNR penalty。圖2-17為MSE與OSNR penalty的結果。

大型虛擬光網路中存在數以千計之光路徑，而上述模型可以用於預測其中可能出現之OSNR penalty，計算最佳之傳輸品質(QoS)，對於測試部署大型SDN網路有極大的幫助。

2. Deep Reinforcement Learning-based Disaster Recovery with Mitigation Awareness in EONs

當遇到事故災害而使光纖網路斷訊，新修復之光路徑可能與既有光路徑產生競爭，從而降低通訊品質，甚至影響非事故區域之設備通訊。為解決這個問題，因此定義出位於災害區域外圍之緩解(mitigation)區(分別如下圖2-18中紅色及綠色區域)，用以幫助提出光路修復之最佳路由並計算修復後之容量。

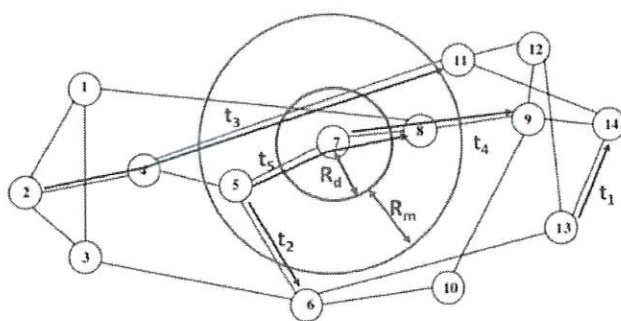


圖2-18 災害區與緩和區內外訊務示意

在緩解區外，受災害影響之光路可修復且容量不變，而未受災害影響之光路則無需討論；在緩解區內，受災害影響之光路將以較低之流量恢復通訊，而未受災害影響之光路必須經過重新分配路由及頻譜後，降低流量通訊。其中，定義緩解因子 (mitigation factor) h ，降速後之通訊流量將以 $(1-h)$ 倍之原資料傳輸率進行傳輸。

訂定 revenue 為光路之資料傳輸率，penalty 為當光路之服務降速時所損失之revenue 比例，再透過機器學習執行 DeepDRAMA 運算，可以得到如下圖2-19之結果，應證上述所提之計算模型能有效降低災害恢復之 penalty。

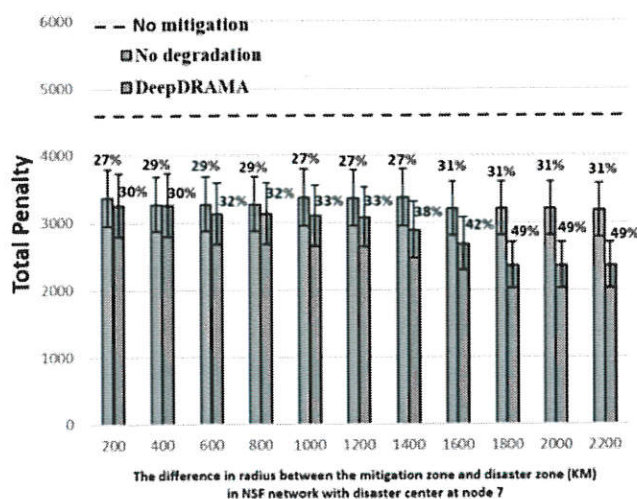


圖2-19 DeepDRAMA 計算及果與比較

三、教程(Tutorials)

(一) AI Enabled Optimization of Virtualized Open RAN

此教程是由加拿大渥太華大學的Melike Erol-Kantarci教授和Meryem Simsek博士進行報告。教程一開始說明了根據國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)，5G網路可以提供的服務大致可分為三種場景，分別是增強型移動頻寬(enhanced Mobile Broadband, eMBB)、超高可靠性和低延遲通訊(ultra-Reliable and Low Latency Communications, uRLLC)和大規模物聯網(massive Machine Type Communications, mMTC)，也就是我們熟知的5G三大特性。然而，不同服務品質所需的異質設備須能智慧、靈活地分配網路的資源，以響應動態的網路。舉例來說，若要達成連網的自駕車間可快速的傳輸訊息，需要一個高可靠且低延遲的網路來實現，而此種網路也可以成為提供用戶高品質的影像需求。隨著下一代無線通訊網路，也就是5G或是即將到來的6G網路，預計可以同時適應不同的使用情境，特別是對於要有效利用網路資源以維持服務品質的應用，像是高速移動、車載網路、智慧電網等。此外，對於5G及5G以後的網路，在資源使用效率、網路可靠性和穩定性的要求變得越來越嚴格。因此，為滿足此要求，5G之後的網路須在無線電資源優化的方面採用高效和智慧化的資源管理技術；另外還有開放式虛擬化的無線網路架構，透過網路軟體化的方式，分解無線電網路(Radio Access Network, RAN)的功能並使用人工智慧(Artificial Intelligence, AI)使網路最終具有自治的能力。圖3-1顯示了智慧的新無線電網路(RAN)架構，而圖3-2則為無線電網路的演進。

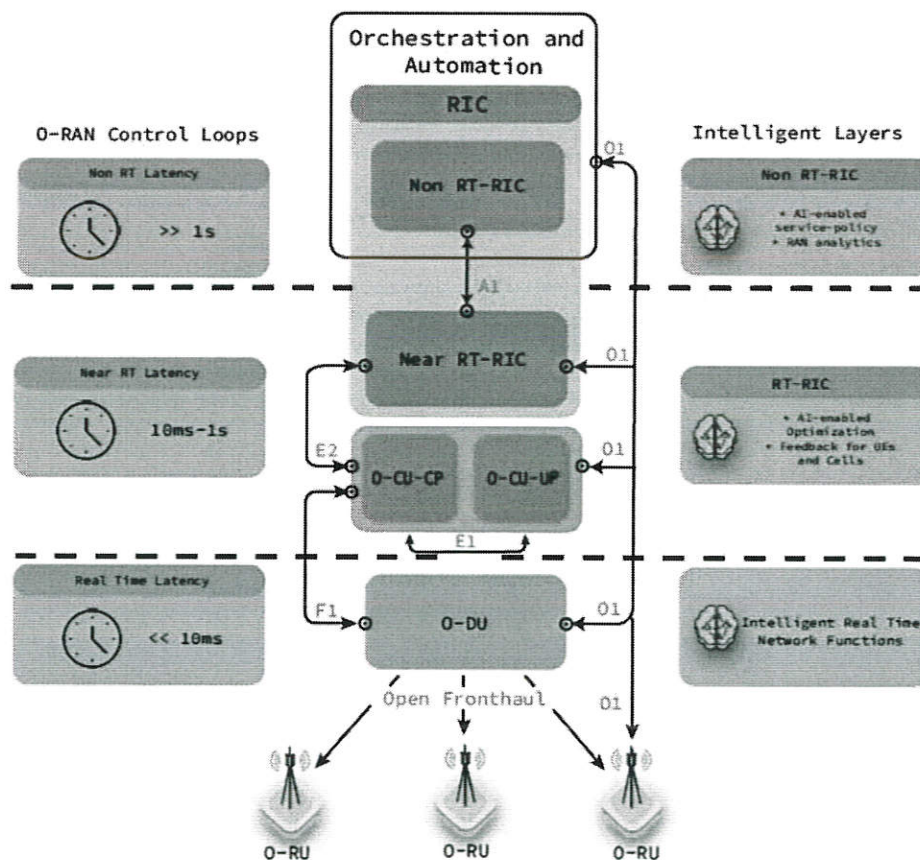


圖3-1 智慧的新無線電網路架構

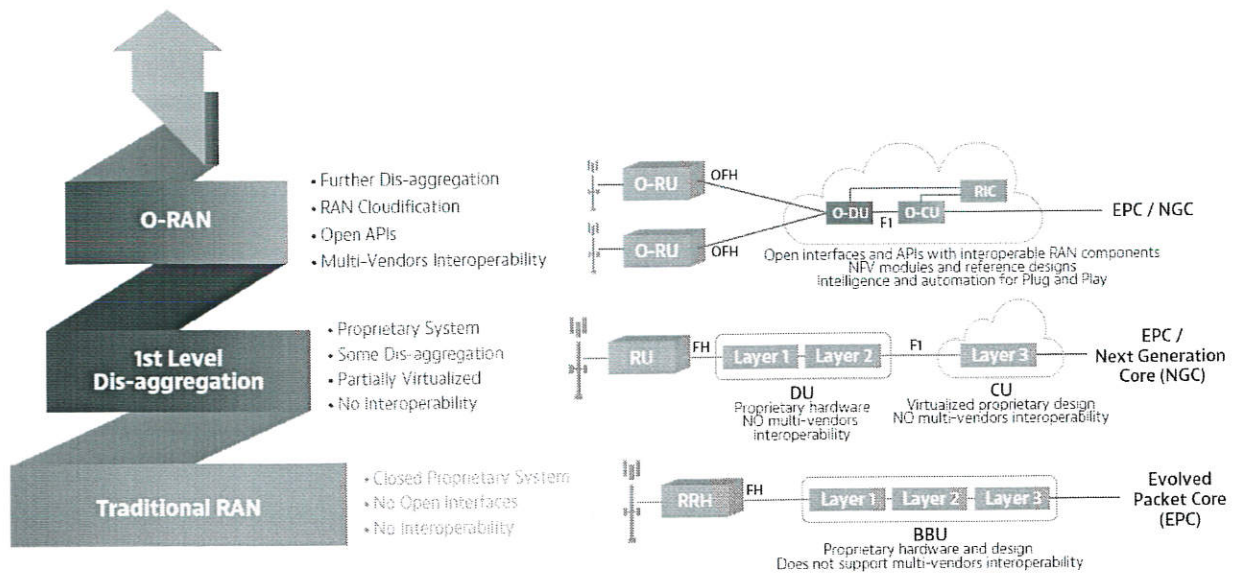
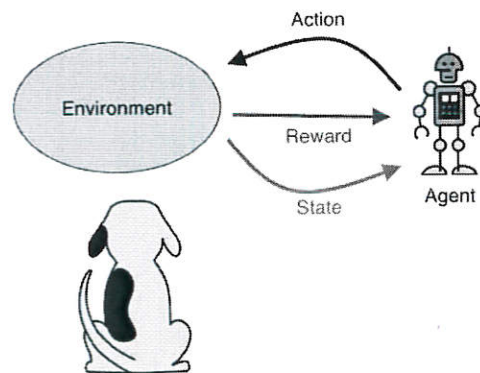


圖3-2 無線電網路的演進

人工智慧，或是機器學習(Machine Learning, ML)演算法，是目前智慧管理網路較有希望的工具，可以實現網路效率、可靠性和穩定性的目標，並可滿足服務品質的需求，有效地使用網路和計算資源，以自我優化的方式來實現以上提及之目標。

接著講者開始介紹一些機器學習(ML)的演算法。第一個是強化學習(Reinforcement learning, RL)，它是機器學習中的一個領域，強調如何基於環境而行動，以取得最大化的預期效益，圖3-3為強化學習(RL)的概念圖。強化學習的本質是互動學習，也就是說智慧體(如圖3-3中的Agent)根據感知到的外界環境(Environment)狀態(State)來做出相對應的動作(Action)，並且觀察此動作造成的結果如何，其結果是通過某種特殊的獎勵(Reward)機制來判斷結果的好壞，藉此調整自身的動作選擇機制。



Reward is crucial for learning

圖3-3 強化學習的概念圖

另一個是深度強化學習(Deep Reinforcement learning, DRL)，是一種深度學習(Deep Learning, DL)結合強化學習的一種演算法。深度學習對於事物的感知和表達較為擅長，而強化學習則是在學習解決問題的策略教為擅長，通過結合兩者的優勢，深度強化學習(DRL)就被提出了，其動作方式如圖3-4所示。

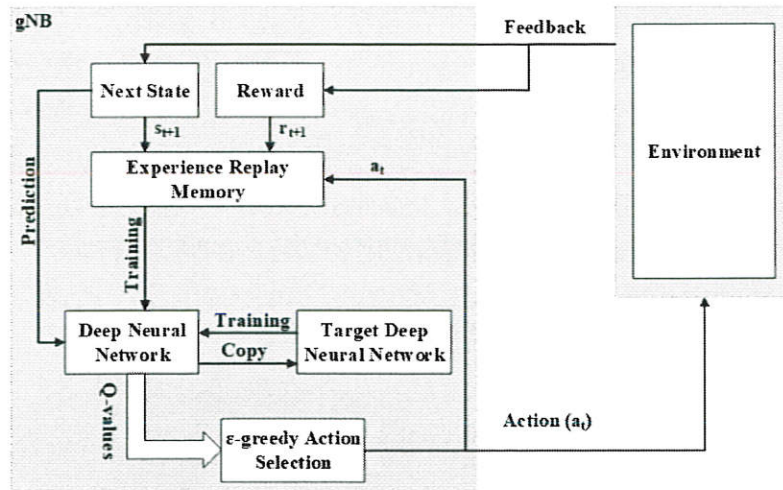


圖3-4 深度強化學習動作流程

接下來講者提及未來的無線電網路是AI-enabled的網路，如圖3-5，透過AI-enabled的無線電網路以希望解決資源分配、5G毫米波之波束(beam)管理等問題。而在此教程還介紹了遷移強化學習(Transfer Reinforcement Learning, TRL)，此種技術可將機器在某個任務中所學習的技術轉移到另一個任務，如圖3-6所示，可看到傳統的強化學習和遷移強化學習的比較，其中遷移強化學習多了Knowledge Transfer的方塊，將任務1和任務2所學習到的知識轉移到了目標任務上。

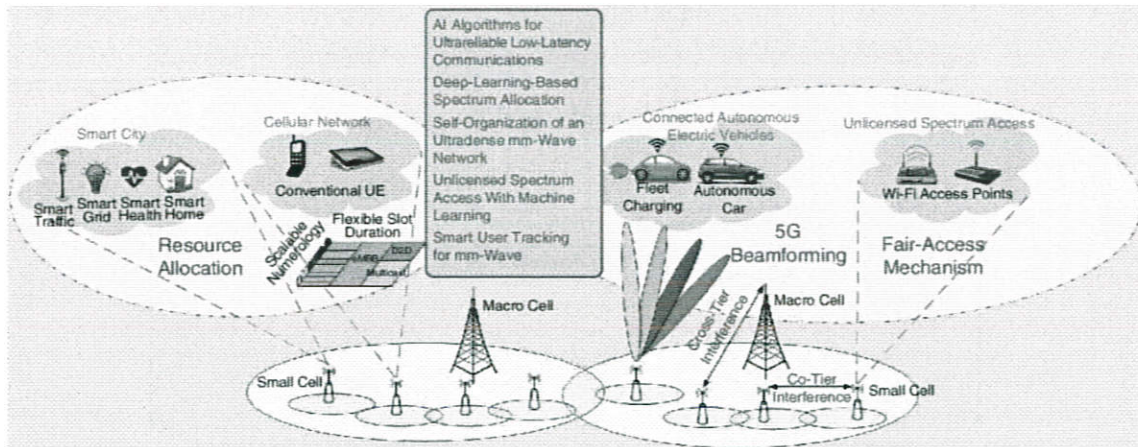


圖3-5 AI-enabled無線電網路

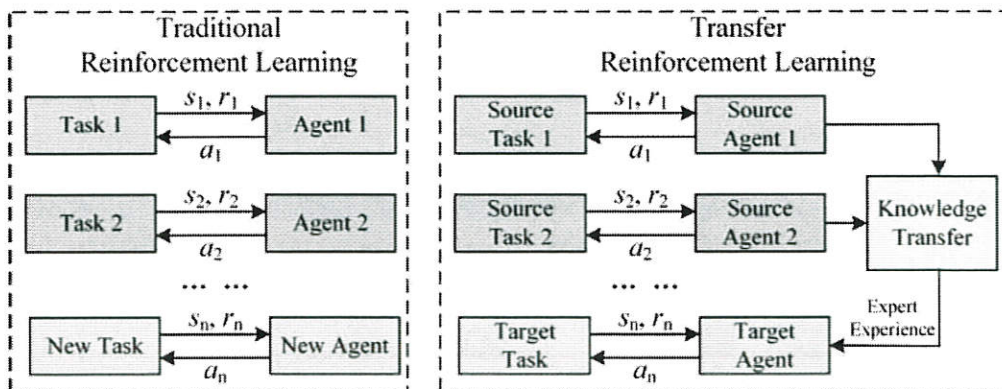


圖3-6 傳統強化學習和遷移強化學習比較

圖3-7則顯示了遷移強化學習(TRL)應用在基地台(gNodeB, gNB)上，其中圖3-7(a)是一個已完成學習如何分配基地台的專家基地台(expert gNB)，而圖3-7(b)為正在透過遷移強化學習的學習者基地台(Learner gNB)。另外，RAN切片(Slicing)的資源分配也可使用遷移強化學習，在教程中他們為RAN切片的資源分配定義了一個分層的架構，如圖3-8。在圖中可看到，遷移強化學習被部署在全域資源管理器(Global Resource Manager, GRM)中，並用於切片間的資源分配；而切片資源管理器(Slice Resource Manager, SRM)則用於切片內的資源管理。

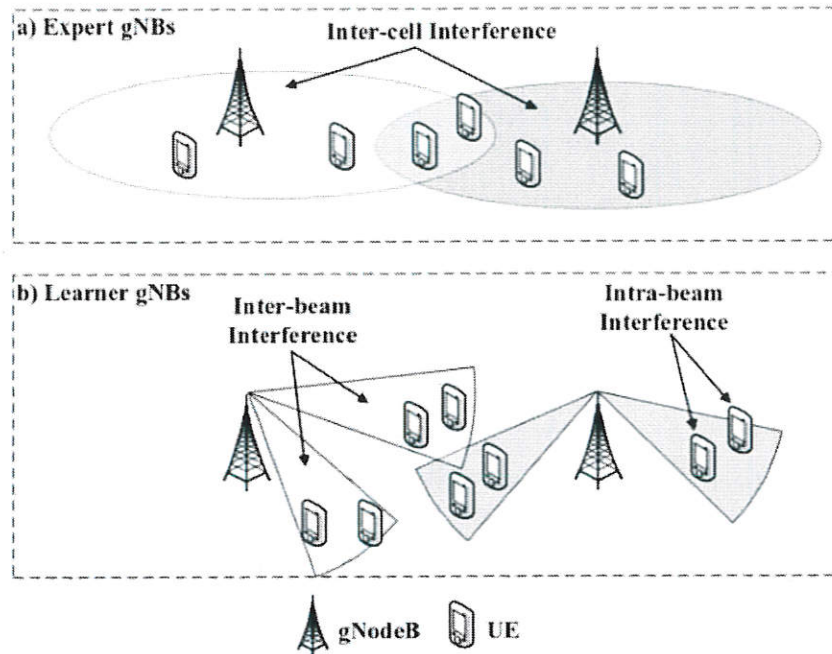


圖3-7 遷移強化學習應用在gNB

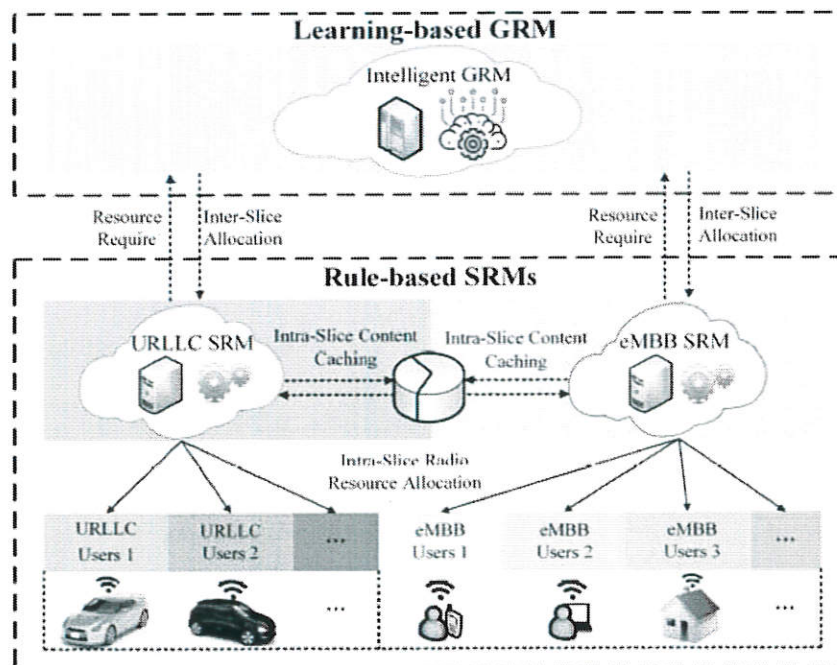


圖3-8 網路切片的智慧分層資源分配

(二) QoS-Driven 6G Promising Techniques Over Multimedia Mobile Wireless Networks

行動通訊技術發展至第五代(5G)，相較於前代提升了資料傳輸率至 1~10 Gbps，接取技術逐漸由OFDMA往NOMA邁進，且能提供更安全之傳輸、可行之空氣介面，並提出諸多創新應用如：遠端醫療、智慧農業等。當進一步討論6G通訊之技術前景，除了持續提升對傳輸容量、延遲時間、可靠度、連接設備數量之要求，希望有效增加網路覆蓋率、降低能源成本之外，與AI技術結合亦為一重要議題。圖3-9為5G演進至6G之示意圖，而表3-1列出了5G到6G的技術發展。

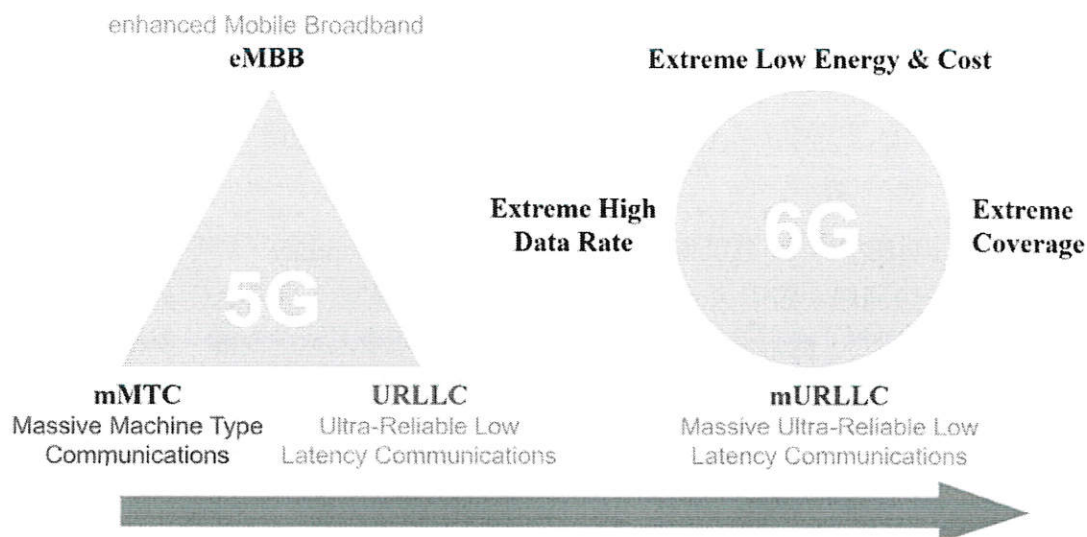


圖3-9 從5G到6G演進示意

表3-1 5G至6G技術發展

	5G	Beyond 5G	6G
應用情境	eMBB URLLC mMTC	Reliable eMBB URLLC mMTC 混合情境 (URLLC+eMBB)	新型應用： MBRLLC mURLLC human centric device
傳輸率	1 Gbps	100 Gbps	1 Tbps
端到端延遲	5 ms	1 ms	< 1 ms
無線電延遲	100 ns	100 ns	10 ns
處理延遲	100 ns	50 ns	10 ns
端到端可靠度	99.999%	99.9999%	99.99999%
使用頻段	Sub-6 GHz 毫米波 (供固定接入使用)	Sub-6 GHz 毫米波 (供固定接入使用)	Sub-6 GHz 毫米波 太赫茲(THz)

當行動通訊技術由 5G 往 6G 發展邁進時，將隨之衍生新技術，或是透過既有技術之提升、整合，達成 6G 各項規範要求。以下將重點羅列6項未來可能之關鍵技術。

(1) mURLLC與FBC理論

通道容量(Channel capacity)指一個頻道中能夠可靠地傳送資訊時可達速率的最小上界，Shannon提出計算通道容量的數學模型，說明在給定通道的情況下，最大可傳輸的消息量，稱之為Shannon Capacity。Shannon理論忽略任何延遲上的限制，其所定義的區塊碼長度(blocklength)為無限長，意即系統中將會有潛在無限長的延遲時間。然而，對於現行無線通訊網路，降低延遲時間為一重要議題，例如5G三大應用情境中之URLLC要求端到端延遲時間低於5 ms。為達成5G網路中對時間敏感之應用項目通訊需求，必須縮短編碼之區塊碼長度至100個通道符元(channel symbol)，也因此引進了有限長度通道編碼(finite blocklength coding, FBC)，提出有限長度區塊碼下的可達到的coding maximal achievable rate regime(更正碼所能達成的最佳傳送速率)：

$$R^*(n, \epsilon) \approx C - \sqrt{\frac{V}{n}} Q^{-1}(\epsilon)$$

其中， ϵ 為錯誤率， n 為區塊碼長度， C 為 Shannon Capacity， V 代表通道色散。

在 6G無線通訊中將引入mURLLC 之應用情境，即為 5G URLLC 與 mMTC之結合，支援高可靠度、低延遲、大量連結之通訊。而延續上述之討論，勢必得於可靠度、延遲時間、可延展性等之間權衡，包含：有限 vs. 大區塊碼長度、頻譜/能源效率 vs. 端到端延遲時間、可靠度 vs. 資料傳輸率等。

(2) Edge-AI

大量多媒體移動設備將在網路邊緣節點產生龐大的移動式大數據資料，因此推動促進邊緣運算之架構，將5G/6G等行動通訊網路中之運算處理服務由核心網路轉移至邊緣網路節點，更為貼近應用項目所在處。如此一來，能有效減少資料移動/儲存、反應延遲時間、無線電波干擾、能源支出成本等。

隨著數據量急劇增長，都市需要將AI部署於邊緣運算，義即結合6G行動通訊與AI。然而，AI需要密集的運算及資源，同時也對時間敏感度要求高，因此硬體設備計算能力與無線網路資源之極限將使AI受限而難以布建於邊緣設備。

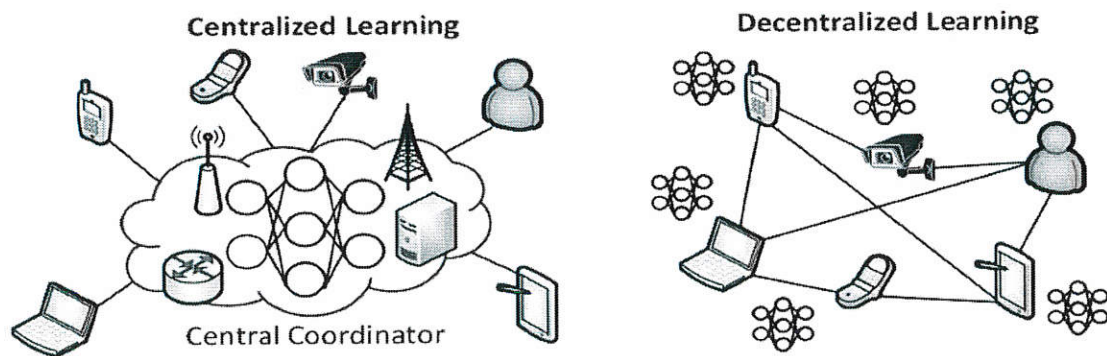


圖3-10 6G下AI-邊緣運算訓練架構類型

6G邊緣運算與AI結合之架構可分為兩類(如圖3-10所示)：集中式學習(centralized learning)與分散式學習(decentralized learning)架構。集中式架構將分散的設備所產生之資料集中蒐集，並由雲端資料中心透過深度神經網路(Deep Neural Network, DNN)模型

進行訓練。這樣的架構也被視為是雲端智慧。而分散式架構則由邊緣設備分別由各自的DNN針對區域性資料進行訓練，而網路邊緣節點彼此間會互相通訊以交換並更新這些區域性(local)之訓練模型，不需要雲端資料中心即可產生全域(global)之訓練模型。

(3) THz無線通訊網路

THz無線通訊網路操作頻率在 0.1 ~ 10 THz，能支援高頻寬連結，達到約 1 Tbps 之資料傳輸率(data rate)，其特點包含具有極高頻寬與資料傳輸率、使用免授權頻譜、天線尺寸小、波束集中、設備成本低、干擾程度低、覆蓋範圍大等，可應用於 nano ad hoc network (奈米級隨意網路)。THz無線通訊網路之架構與模組分別如圖3-11及3-12所示。

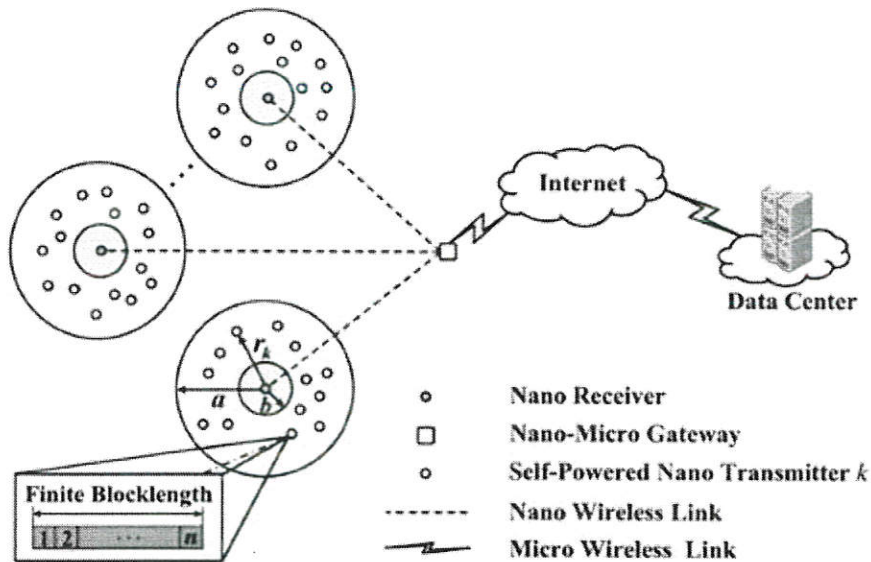


圖3-11 THz無線通訊網路架構

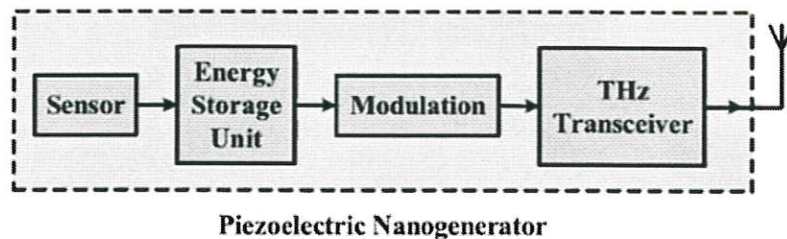


圖3-12 THz模組

(4) UAV結合IRS

在6G時代下的UAV發展將結合space-aerial-terrestrial技術，進行地空通訊網路整合(如圖3-13)，以支援多種設備連結形成3D網路覆蓋。其網路特點能支援不同接入技術，達到大量感測、大量追蹤、大量覆蓋等，並確保不同QoS需求能滿足mURLLC。將UAV與IRS技術整合，將可提供更為彈性之網路架構。所謂智慧反射表面(intelligent reflecting surface, IRS)，如圖3-14，是由大量無源反射元件組成，每一元件能夠獨立地對入射信號產生可控的振幅及相位變化。通過在無線網路中密集部署IRS並智慧化協調其反射，能靈活地重新配置發射器和接收器之間的信號傳播/無線通道，解決通道

衰減與干擾問題，提升通訊容量、可靠度及空間使用效率。

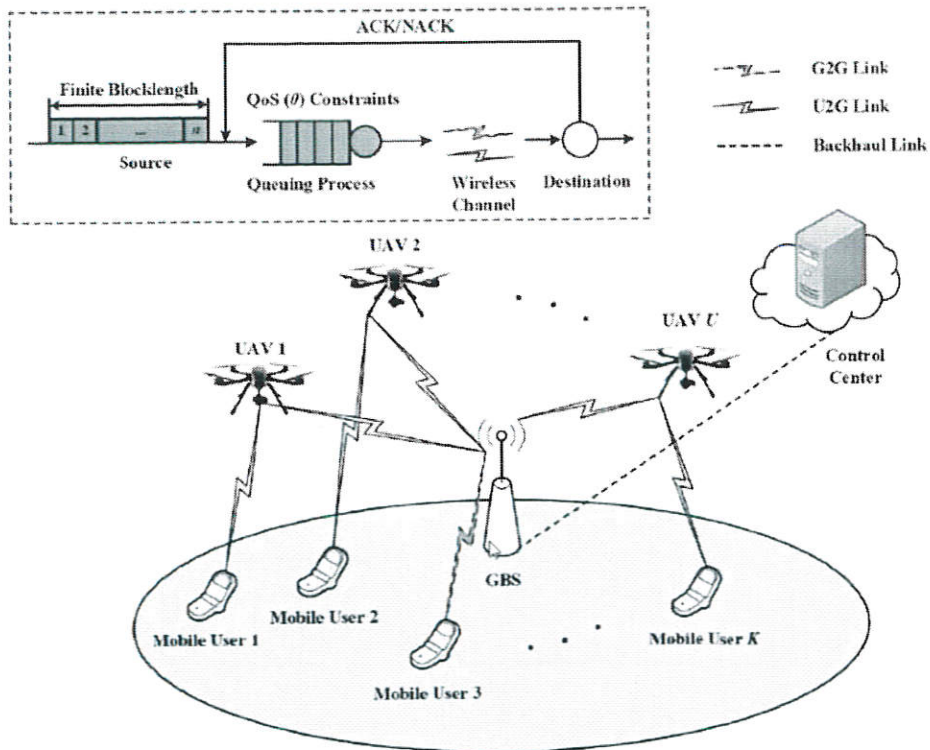


圖3-13 地空通訊網路整合架構示意

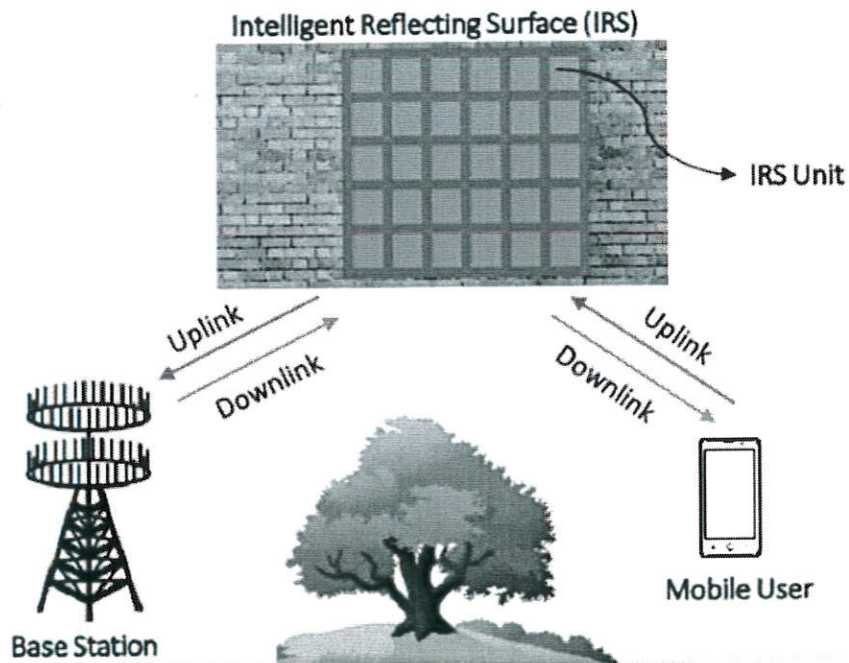


圖3-14 IRS架構示意

將IRS搭載於UAV上布署無線通訊網路，可以提供可靠的傳輸通道、進一步LOS覆蓋，提升擴大無線通訊服務範圍，並支援時間敏感網路。

此外，在這樣的網路布署下，能降低UAV能源損耗，從而提升UAV之操作時間。

然而，其相對應之挑戰包含如何設計UAV飛行軌跡並進行資源分配、確保UAV-IRS

之續航力、穩定度、可控能力等，且資安議題將成為一大重點。

(5) AI結合NFV、SDN、ICN

透過 AI 與多項技術整合，能使頻譜及能源效率最大化。

- 網絡功能虛擬化(Network Functions Virtualization, NFV)：將實體的無線網路基礎設施資源及無線電資源抽象化後，依據功能切分為許多虛擬網路模組，並由眾多無線網路共享這些資源。NFV面臨之挑戰包含架構管理與標準訂定、資源描述語言、安全問題、可靠度、穩定度等。
- 軟體定義網路(Software Defined Network, SDN)：SDN面臨之挑戰包含如何提供動態且即時之服務、服務項目整合、網路可靠度、急速增長之服務需求等。

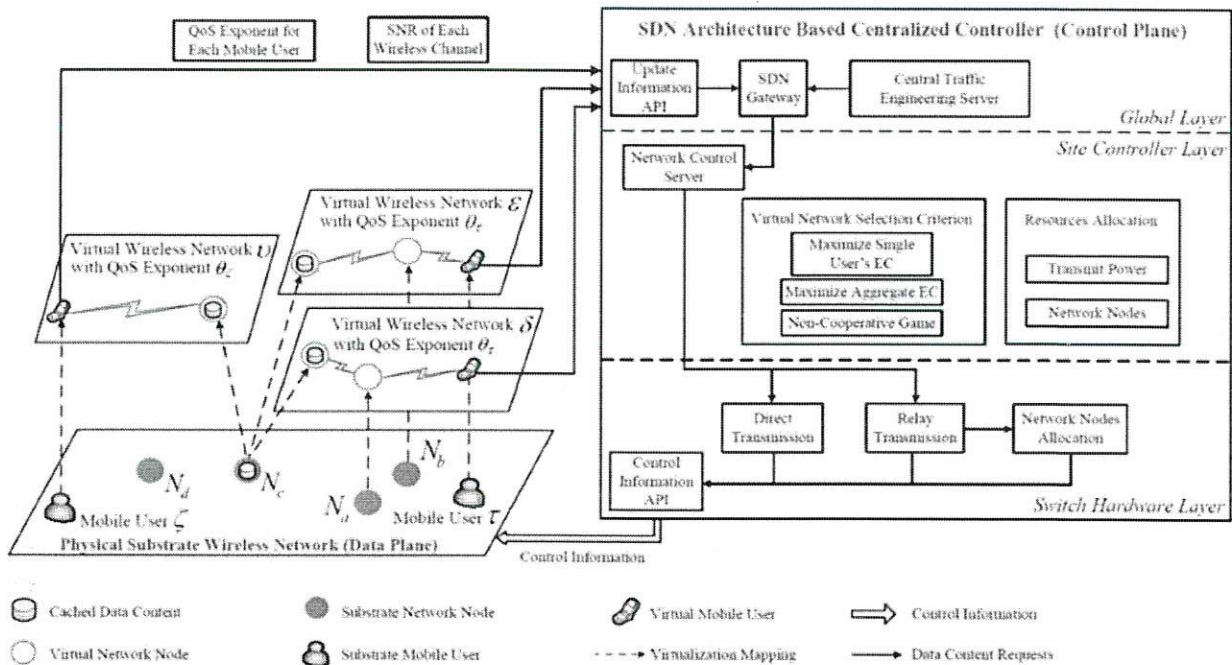


圖3-15 SDN與NFV架構圖

- 資訊中心網路(Information Centric Networks, ICN)：ICN網路如圖3-16，它是以內容為中心的網路傳輸架構，資訊及資料與資料來源(主機)脫鉤，使資料內容能被特定且與位置無關之名稱標籤或接入。這些資料內容不僅被置於主機，亦存於無線網路中具快取功能之路由器、基站，甚至是移動式設備。ICN 網路中之任何節點皆可做為內容產生者產生內容，如此可提供更高效率之網路架構，將內容分配給使用者。ICN所面臨之挑戰包含快取管理、內容位址、路由、存取、移動性、設備對設備(D2D)通訊。

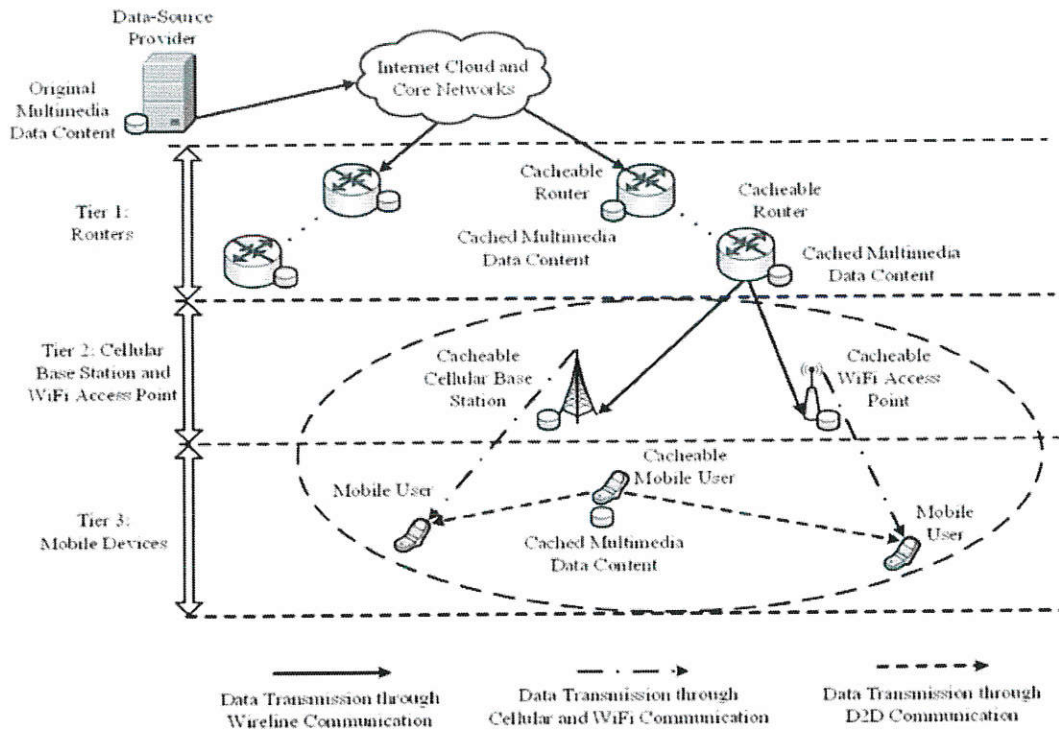


Fig: The framework of collaborative hierarchical caching in 5G edge computing and 6G Edge-AI wireless networks: caching in routers, cellular-BS/WiFi-AP, and mobile devices.

圖3-16 ICN 網路

(6) 感知無線電

根據過去的研究顯示，在絕大部分情形下，僅有6%之頻譜為active。為解決頻譜缺乏問題，FCC(Federal communication Committee)提出感知無線電(cognitive radio, CR)技術。在無線感知網路中，非合作使用者可分為兩類：主要使用者(primary users, PUs)，即授權使用者(licensed users)，以及次要使用者(secondary users, SUs)，即為非授權使用者(unlicensed users)。感知無線電網路允許 SUs 接入授權頻譜中未傳輸訊號之頻譜空洞(spectrum hole)，並利用頻譜感測、協調和合作的演算法和協議，將干擾問題降至最低，以提升頻譜利用效率。

頻譜分享模式有三種(圖3-17)：Overlay、Underlay以及Interweave。

- Overlay 網路：允許PU與SU同時傳輸訊號。SU將其部分功率用於增強PU訊號，其餘部分傳輸SU本身訊號，以提升PU訊號品質，避免干擾。因此，SU需要在PU開始傳需前即獲得其封包資訊(編碼方式)，利用消除技術或編碼方式消除干擾。
- Underlay網路：SU以極低功率傳送訊號，使其干擾可降至頻譜之底噪(noise floor)以下，且對於PU來說，SU訊號可視為雜訊。因此，SU和PU可在同一頻段上傳輸，無須檢測頻譜空洞。
- Interweaves網路：SU追蹤PU的活動和頻譜使用並對其進行調整，而透過PU與SU間一定程度之協調與合作，交換頻譜感知結果，可使SU有效接入頻譜空洞。一旦出現頻譜空洞，SU就可以開始數據傳輸，但必須在收到PU正在恢復傳輸之指令時結束其傳輸。此類演算法包括matched filter、cyclostationary、signal energy or eigenvaluesbased detection、waveform sensing以及beacon detection等。

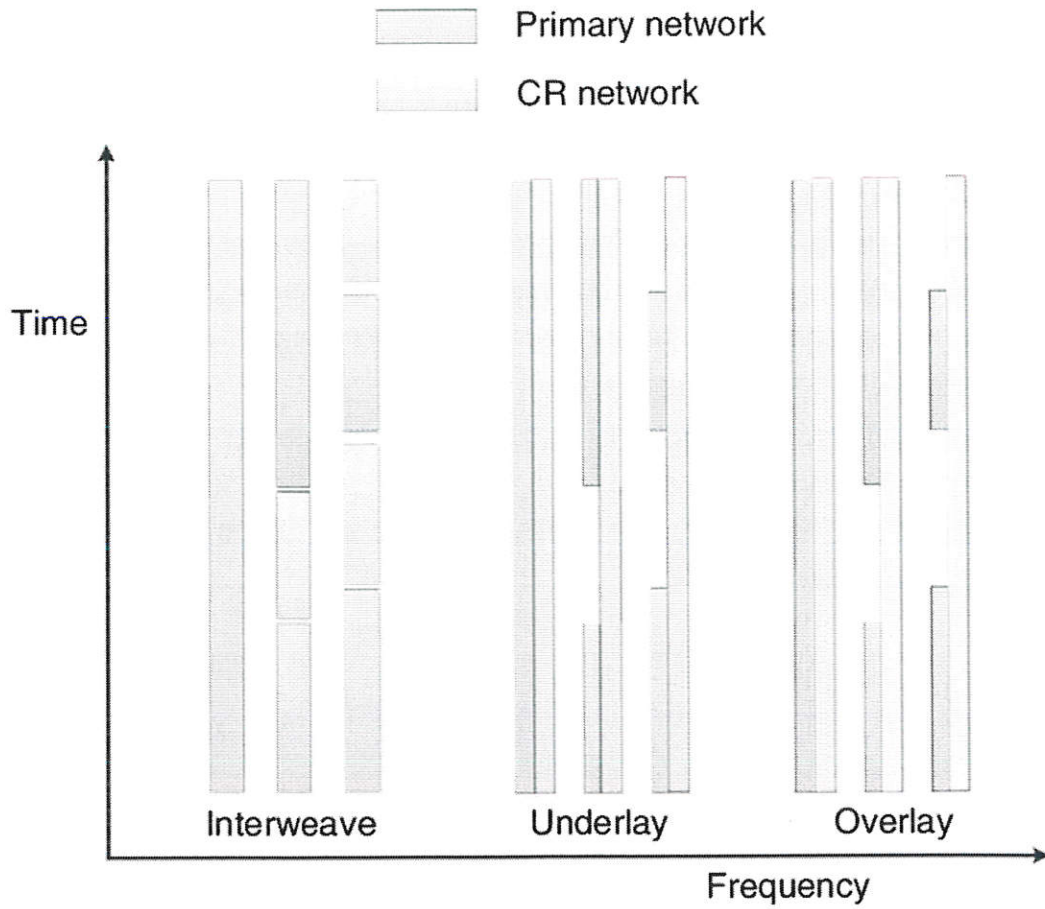


圖3-17 三種類型感知無線電網路

參考資料：Tellambura, Chintha & Kusaladharna, Sachitha. (2017). AN OVERVIEW OF COGNITIVE RADIO NETWORKS.

參、心得與建議

透過此次參加線上研討會，可以更了解目前學界在資通訊技術領域的相關學術研究，也可以知道業界在這個領域的發展趨勢。為有效預測及布局台灣未來電力環境所需之最新 5G 資通技術發展，建議應持續關注相關技術期刊、雜誌、社群或會議，以同步更新技術發展現況含技術規格、應用報告等，將可預測及了解國際電力市場最新之趨勢與發展，作為台電未來電力資通技術投入參考，保持研發技術布局及藍圖更新並能確保研發投資方向及效益。而現階段最新技術之取得及發展近況了解，可先暫以國內外標準、期刊、應用案例等，並輔以參與網路技術論壇輔作為主要研究的資訊來源。

此次研討會因疫情緣故只能以線上的方式參與，若日後能參加實體會議，並與現場資通訊專家進行交流，實為非常難得的機會，建議未來公司可派員參與 5G 資通訊相關的研討會議，除了了解目前的技術趨勢發展，亦可與國際上學界與業界專家進行交流、學習，以利未來取得國際相關技術資源。