

# 起飛的 5G and Beyond： 邁向數位時代的網路建設與資通安全

孫雅麗\*

5G 網路建設在全世界已如火如荼地展開，我國 5G 網路建設的覆蓋率更是名列前茅。5G 是世界各國在邁向數位經濟與產業轉型的關鍵，為使能兼顧科技與建設，同時追求更多元可信賴之供應鏈與成本降低，電信產業正經歷一場深刻的變革。

NATIONAL ACADEMY OF CIVIL SERVICE

## 頻譜釋照

為與全球 5G 發展同步，國家通訊傳播委員會（NCC）於 108 年公布第五代行動通信網路（5G）頻譜拍賣規則—《行動寬頻業務管理條例》修正案—於是年 9 月啟動招標，12 月進行頻譜競標作業，所釋出的頻段有兩個新頻段與一個 4G 所剩餘之頻段：

- 3.5 GHz 頻段（3300-3570 MHz）：分為 27 個頻帶，每個頻塊（frequency blocks）的帶寬（bandwidth）為 10 MHz。

\* 國立臺灣大學資訊管理學系暨研究所教授。

- 28 GHz 頻段(27-29.5 GHz)分為 25 個頻塊，每個頻塊的帶寬為 100MHz。
- 1800 MHz 頻段 (20 MHz)。

其中，3.5GHz 頻段共 270MHz 座落於全球 5G 網路建設最為重視也是最普及的 sub-6 頻帶，它相較於 4G 網路所使用的頻段具有較高的傳輸速率，也比 28GHz 頻段有較大的傳輸範圍。

這次的頻譜拍賣分為兩階段。第一階段聚焦在投標數量—頻塊數量，主要是確定分配給每個投標者的頻率塊數量。第二階段則是聚焦在頻塊位置競標，主要是確定將分配給在數量階段成功競標頻塊量的每個投標人的特定和連續頻率塊。最後在投標者激烈的競爭下於 109 年第一季完成招標作業，總標金為新臺幣 1421.91 億，其中最激烈競標的 3.5G 頻段為 1,364.33 億。3.5 GHz 和 28 GHz 頻段的執照的有效期為 20 年，自發布之日起至 2040 年 12 月 31 日。

## 為何需要 5G？

為何需要 5G？現行的 4G 網路有遇到什麼樣的困境與議題嗎？我們認為 5G 的誕生有兩個重要的驅動力量：第一、快速增長的數據傳輸需求，特別是多媒體影音內容的行動寬頻上網例如 YouTube、OTT (over the top) TV。第二、當整個產業、社會持續邁向數位經濟時代，透過模糊 (Blurring) 數位世

界（Digital world）和實體世界（Physical world）各企業無不努力地創建新的商業模式與服務。這個趨勢帶來的是更多萬物連網的需求。Internet of Things（IoT）和 Machine to Machine（M2M）通訊，例如智慧工廠、智慧城市、智慧家庭等各種 Smart-X 應用場景會如雨後春筍般的蓬勃興起。未來的通訊基礎網路需要具備支援數以千萬計的連網設備。但是，雖然已使用許多先進技術來實現接近理論極限的頻譜效率（bits per second per Hertz per cell），現行 4G 網路的頻帶與技術已不足以支持此兩大挑戰。5G 技術的使命便是需要能夠支援海量用戶、異質多元連網設備，及各種潛在可能的創新應用服務所需的通訊品質保證（Quality of Service, QoS），包含所需之頻寬、可容忍之最大傳輸延遲，與可靠、安全、穩定的傳輸服務。

NATIONAL ACADEMY OF CIVIL SERVICE

## 數位轉型的力量

從 108 年起全球各國 5G 網路開始陸續建置，各報章雜誌的報導多聚焦於 5G 網路比較 4G 網路在上網速度的提升。大家可能被誤導—如果以為 5G 只是速率的提升，那就太小看 5G 了！5G 並不是 4G 吃了大力丸而已，5G 最大的價值是它帶來數位轉型的力量。它的願景是要孕育出一個智能生態（Intelligent ecosystem），在萬物聯網的情境下，蒐集有用的資料，結合像是 AI 與大數據分析等新科技，擷取有價值的資訊與知識，此情境與生態預期將澈底改變人類的生活與工作模式，使其變得更聰明、智能與更有效率。這也

是為什麼全世界各個國家無論是政府在政策上全力推動 5G 網路建設，民間企業也引頸企盼 5G 的到來。因此，無論是從國家、社會、經濟、產業的角度或是企業、個人等，大家正努力地要將 5G 所應許帶來未來具競爭力與優勢的美麗願景與效益能夠盡快地「被實踐」。

不同於過往的 2G、3G 與 4G 網路都是以單一公眾電信網路的服務型態提供一般大眾通訊需求。5G 技術在設計之初時就以扮演服務使能（Service enabler）角色以支援所有任何創新服務與數位時代下新市場與產業智能網路不同的通訊需求（包含頻寬、延遲、可靠性、穩定性、安全性等）為目標。所以，5G 的技術與網路不再侷限於個體消費者，而是擴展到垂直場域（Vertical sectors）—企業（Enterprises）將是 5G 的重要主角之一，諸如智慧工廠（Smart factory）、智慧醫療／照護（Smart healthcare）、智慧交通（Smart transportation）等願景都是指日可待。目前，我們已經看到各行各業都在發揮創新力創建所屬產業的智慧-X，而支援滿足各智慧應用場景通訊與資料傳輸之性能、可靠性、靈活性和可擴展性需求就是 5G 的任務。

## 垂直場域

5G 於垂直場域的驗證目前在全球先進國家都積極地展開，包括我國。在數位轉型的拼圖裡，企業主是主角，但數位轉型的成功是需要結合多方關係人包括 5G 營運商、設備商、垂直場域業者、系統整合者及應用服務開發者等

的協同合作與努力，協助企業主規劃、建設、部署 5G 企業專網，也稱為 Private 5G 網路來實現智能化的數位企業。數位轉型在企業、產業才剛剛開始，這將會一直持續到至少十年之後，走到 6G，以滿足多元各領域各行業在營運目標與需求。

## 5G 技術與服務的持續演進

人類網路通訊技術的發展一直以來都是一個進化的 (Evolutionary) 過程，面對未來 B5G (Beyond 5G) / 6G，我們認為有兩個重點值得關注：5G 技術的持續演進與資安防護。通訊網路是全球化的建設，其服務能力與設備必須依循國際標準，而此標準隨著技術進步和用戶需求會不斷的演進。截至 2022 年 3GPP 已經推出四個 5G 技術相關的標準版本，分別是 Release 15、Release 16、Release 17 和 Release 18 版本。現行大家在使用的 5G 網路屬於 5G 第一階段 (Stage 1)，我稱它是第一代，依循的是 Release 15，其規範主要側重於 eMBB (enhanced Broadband) 應用情境，目標主要是消費者市場，所提供的功能相對於 5G 的願景與目標是非常有限的，著重在大容量、高頻寬。目前大家引頸期待的是第二代與第三代的 5G 網路，也就是 3GPP Release 16 所定義的 URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) — 提供超可靠，超低延遲的通訊能力，這是實踐世界經濟論壇 (World Economy Forum) 所稱的第四代工業革命下，企業及產業全面生產與作業數據化的智能作業提供即時

管控之通訊基礎設施；Release 17 則是將目標鎖定在萬物聯網 IoTs，這是實踐 mMTC (massive Machine Type Communications) 大量多元終端設備連網，進行遠端自動化資料蒐集至後端智能平台之大數據分析，進而執行即時營運管控，全方位實踐實體與數位世界合一 (Cyber-physical System) 的願景。

Release 18 的標準已於 2021 年 12 月取得 3GPP 批准，正式起步所謂的 5G-Advanced，預計在 2023 年底完成標準制定，2025 年於商業市場推出。此版本將聚焦在導入 AI 技術，以轉型 5G 網路做到智能化的網路管理與控制。另一個目標是支援更多虛擬延展實境 (Extended reality)，或稱 XR 的創新應用。這些應用都是結合實體與虛擬環境及利用人機互動設備給予人們一個全新沈浸式的體驗。目前的初級應用包含 Augmented Reality (AR)，其多鎖定在智慧工廠維修服務與智慧倉儲管理，以及 Virtual Reality (VR) 在各行業的智慧學習與訓練課程。面對這些應用場景所需的不同傳輸頻寬、延遲、可靠性與安全性需求，在共享同一 5G 基礎網路下，如何做到動態資源分配與管理，引進 AI 技術當可提升未來的網路之管控能力。隨著國際通訊標準的制定與相關技術與設備的成熟和完備，5G 網路的建設與部署也會跟著與時俱進，重中之重則將會聚焦於工業／企業／產業導入 5G，建置智能 5G 企業專網，有更多的商業與產業的數位應用場景與成功案例，這才是能夠真正實現 5G 作為數位轉型驅動者與遊戲改變者的利器。

另一個與一般大眾較為相關的網路服務與技術發展是躍升到沉浸式延展實境體驗的應用情境，隨著 5G 技術的一階段一階段的推進，走到 B5G/6G 網路的傳輸能力將大幅提升並改善以往資料傳輸（例如影像畫面、線上即時多人遊戲等）受到網路延遲影響，導致使用者體驗效果不彰。5G 的低延遲傳輸保證特性將會是帶動未來發展與人體感知的關鍵通訊技術。

## 5G 資安

有鑑於網路資安攻擊與威脅與日遽增，加上一些由國家主導或是資助的網路攻擊更是全球在面對智能網路時代必須正視的威脅與挑戰，如何確保 5G 網路的安全性、可靠性、韌性和可信賴性對任何一個國家而言都是非常地重要；我國經年面臨來自敵對勢力的網路攻擊威脅，5G 網路的資安防禦更是當務之急。

5G/B5G/6G 通訊基礎網路發展是我國發展智慧韌性國家的重要基盤，通訊領域也同時為我國八大關鍵基礎設施之一。在 5G 釋照前筆者剛接任 NCC 委員，當時就思考一個問題：5G 網路乃至我國所有的通信網路包含固網、衛星、海纜與 3G/4G 行網需要哪些具體的國家戰略、政策和法律框架，以確保高水平的網路安全和韌性？在資安防禦越來越關鍵與重要的行動數位時代，我們該作些什麼以完備 5G 系統建設與相關產業的發展？我們決定採用

Security by Design 的概念，在 5G 頻譜發布前，對《行動寬頻業務管理規則》和《行動寬頻系統技術指南》進行必要修改，要求 5G 業者在建設 5G 網路的同時，就應將網路資通安全維護納入整體考量與建設；NCC 爰依據《電信法》及《行動寬頻業務管理規則》第 40 條第 5 項載明得標者應行之資通安全事項，於得標後申請籌設許可時，應向 NCC 提報 5G 系統設置「事業計畫書」與「第五代行動通信系統資通安全維護計畫」。

當時，所有行動網路業者對資安防護並不熟悉，更罔論瞭解 5G 網路可能面臨的資安風險與威脅，NCC 為協助與輔導 5G 業者，提出《第五代行動通信系統資通安全維護計畫參考框架》，載明 17 項資通安全維護義務之要求，敘明業者所設置之 5G 系統之資通安全防護從政策、目標、範圍、組織、措施等之時程，到人力與資源配置、流程管理、風險評估及實際資安防務部署與資安通報與應變措施等事項，確保得標者所設置的 5G 系統是安全、可信賴的，以保障我國關鍵基礎設施之資通安全及消費者權益，鼓勵創新服務與健全電信產業發展。這份框架文件為 5G 行動網路業者提供指引，NCC 也協助與輔導業者如何起擬 5G 資通安全維護計畫完備 5G 網路和服務的保護。當時，我國是世界第一個立法要求業者在建設網路的同時就將行動通訊網路的資安防護納入的國家。回顧來路，在資安防護越來越重要與關鍵的行動數位時代，我們的超前部署，實屬關鍵。

5G 網路越來越強大的同時，其軟體化結構以及面對越來越複雜進階持續性滲透攻擊，目前 3GPP 雖然對 5G 網路有關心資安議題，納入 5G 系統的簡單資安檢測規範，但是事實上離實務上 5G 網路整體的資安防護仍有一段很大的距離，有三個議題須要更廣泛的被關注。

(一) 開放架構的 5G 資安—O-RAN Alliance 是由全球諸多電信業者所組成，為定義下一代行動通訊網路的無線接取網路（Radio Access Network, RAN）朝向開放、安全、智能、虛擬化和完全可互操作的無線接取網路為目標。其重點效益是改變 5G 產業生態，提供電信業者更多元的選擇與供應鏈，以協作和高效經濟的方式加速 5G 產品的開發。過往資通訊科技快速發展的經驗顯示，相關開源軟體的開發，可以用最有效的方式加速產品開發與產業發展，但是，目前開放架構下的基地臺資安可能被輕忽，尤其是在更高頻與高速的 B5G/6G 基站，一個不安全的設備，即便低成本，可能會危及公眾網路或是垂直場域的 5G 網路。

(二) 5G 核心網路（Core network）是整個網路運作、資源分配與保證其上應用服務效能與安全的大腦。5G 核心網路的架構是虛擬化軟體系統，其系統組織與資源調配功能模組更是細緻複雜，如何確保完備核心網路的資安防護，不被駭侵、滲透與攻擊是很重要的課題。特別是當垂直場域的 5G 部署無論是採用電信業者的網路切片或是企業建構專用電信網路的型式，都是直接進到企業例如工廠的自動化生產線以及作業流程、智

慧倉儲的 AGV/AMR (Automated Guided Vehicle/Autonomous Mobile Robot) 管控、醫院的醫療照護作業，如果這些設備被駭侵，將是人命關天與攸關企業營運，不容小覷。

(三) 運作於 5G/6G 公眾行動通訊網路的應用服務，其資安議題更是直接與大眾市場的消費者息息相關。目前，很多應用服務的軟體開發，普遍存在的一個問題是沒有一個嚴謹的安全開發作業流程與管控 (Secure software development lifecycle)，以及採用大比例的開源軟體 (Open source software)。在我們想像未來可能的創新應用，以及發展技術的同時，一定要將資安納入每一個規劃、設計、開發的階段，Security by Design 的觀念與實踐很重要。

NATIONAL ACADEMY OF CIVIL SERVICE

## 5G 安全供應鏈

我國相較於世界其它先進國家例如美國、日本、英國、澳洲等國家在監控和打擊不受信任的電信供應商方面擁有最豐富的經驗。我國一直以來面對中國控制臺灣的野心，臺灣將電信漏洞視為關鍵基礎設施安全和國家安全的重要一環。因此，臺灣對不受信任的供應商迅速採取行動，從 3G 開始，近十年來禁止中國供應商進入電信網路。它處理 5G 供應商安全的方法強調供應鏈安全不是一個靜態問題。相反，5G 安全超越了對不受信任的供應商的禁令，

還包括持續的風險評估和緩解。臺灣監管機構與網絡營運商合作，通過項目提案和實施階段訂定資通安全維護計畫，網路軟體更新要求以應對不斷變化的供應鏈安全漏洞。因為我們的政策與作為，我於 109 年 12 月收到來自美國國務院及商務部的邀請參與其規劃產製的一份全球 5G 安全供應鏈報告。在 AIT 的協助下與美國商務部團隊一起完成。該報告於 2021 年 8 月發布 ---“Survey of International Approaches to 5G Vendor Security,” by US Department of Commerce Commercial Law Development Program (CLDP), August 17, 2021. 此報告共收錄六個國家的經驗：美國、日本、英國、臺灣、澳洲及捷克。其中除就我國在 110 年國安會及立法院決議排除中國製設備於 3G、4G 網路，5G 網路亦延續此決議不使用不可信賴的供應商，因此我國的 5 家 5G 網路業者皆加入 5G 乾淨網路倡議成為 5G Clean Countries 與 5G Clean Telcos。筆者也受邀參與 2020 年 8 月 26 日於臺北所舉辦的 US-Taiwan 5G Security Joint Declaration (臺美 5G 共同宣言)，並發表演講，主題為「5G Policy and Democratic Internet Governance」並主持一場與我國 5 家行動網路業者的座談會，就 5G 資安的建置與落實進行交流討論。同年，筆者亦受邀參加捷克國家網路資訊安全局於 9 月 23 日至 24 日在線上舉行之第二屆布拉格 5G 安全會議 (Prague 5G Security Conference)，並擔任「5G 的創新與研發」場次之與談人，分享我國作為全球第一個將 5G 網路安全原則落實於法規的國家。

## 展望未來

第五代行動通信網路 5G，其代表行動網路在網路架構設計的突破，它的願景與目標不只是一要增強人際間的溝通與人們寬頻上網服務的高速體驗而已。5G 目的是要能夠成為提供並支援未來在數位網路時代各種也許連我們現今多尚未想到的創新應用服務之單一通訊平台。現在不管是行動通訊的世界標準制定組織例如 3GPP，或是學界、產業界所致力推動的 Beyond 5G (B5G)、6G 更是要延續這樣的一個使命。隨著 5G 的技術與網路建設逐漸成熟與普及，通訊標準組織以及通訊設備商與網路營運商已經開始關注下一代行動通訊網路 6G。目前對 6G 的共識慢慢在凝聚，有三個重點：第一、它仍是 5G/B5G 的演進！在傳輸速率將是 5G 的 1,000 倍、使用者的體驗速度可高達 1Gbps，這將使得個人在 Metaverse 虛擬世界的角色互動體驗更即時與真實，以及網路多人遊戲可以更複雜與逼真。第二、它是三維的，覆蓋範圍包含地面、海洋與天空。第三、最重要的是通訊技術演進的核心價值是為促進人類福祉解決問題，像是醫療照護。

「有夢最美，希望相隨」，目前整個資通訊領域各關係人像是營運商、設備商都提出不同的願景與可能的創新應用，但是其實即便是 5G 第二代的 Release 16 和 Release 17，一些智能化的資源調配與滿足各創新應用傳輸服務品質保證 (Quality of Service, QoS) 例如傳輸速率、延遲、可靠度需求保證的

前瞻技術都尚不成熟，B5G／6G 在導向更高頻的頻譜政策、Radio 高速寬頻技術 以及網路管控功能都尚未到位，這些部分還有待學研單位、標準組織、工業界一起努力。設備商將新一代的設備做出來，市場成熟，大眾需求被滿足，提出真正的能解決人類問題的應用服務，才是 5G 或是 B5G／6G 所要應許的。同時，政府的政策與法規，也必須跟著往前走，必要的法規調適也是一重大議題，而這一方面在世界各國包含我國目前都還是比較被動，主要仍是由技術、市場與需求引領先鋒。

未來安全、韌性、可信賴的行動數位智能化的社會與生活型態，我們引領期待，相信科技始終來自人性，創新是為帶來人類更好的福祉！

*NATIONAL ACADEMY OF CIVIL SERVICE*

國家文官學院