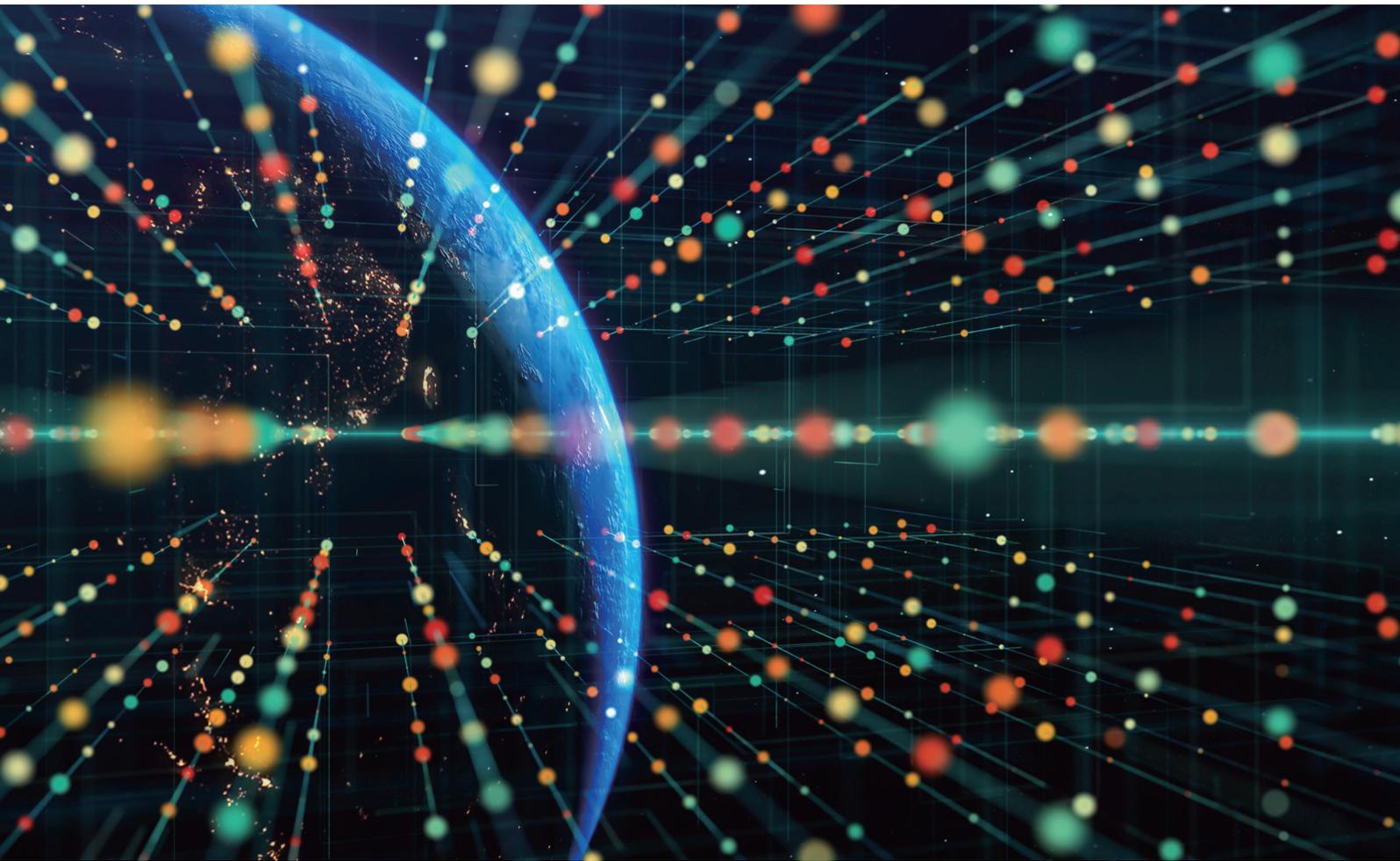


6G 通訊技術發展與佈局趨勢

Development and deployment trends in 6G wireless communication technologies



6G 通訊技術發展與佈局趨勢

Development and deployment trends in 6G wireless communication technologies

林涼



NAR Labs 國家實驗研究院

科技政策研究與資訊中心

Science & Technology Policy Research and Information Center

中文摘要

6G 時代在不到十年之內就將到來，為了不讓 6G 技術的智慧財產被特定國家獨佔，各國政府與民間都積極佈局相關研發。研究者也紛紛摩拳擦掌構建著 6G 可能帶來的廣泛應用場景，例如：超實感擴增實境、無線人機介面串接、高真實度移動式全像投影、大規模自動駕駛與物聯網系統等等。放眼 6G，身為世界 IT 產業研發樞紐的台灣，應盡早掌握國際技術脈動與政策方向，從文獻、專利中找出潛在合作對象與競爭者，並比對國際研究熱點與我國當前研發投入是否吻合，乃至超前部署。因此，本研究從各國政策、產業新聞、學研界現況、文獻計量、專利計量、計畫盤點等角度切入，分析 6G 發展的各個面向，以供政府作為往後資源分配之參考。

關鍵字：5G、6G、THz、通訊、衛星

Abstract

The era of the sixth-generation technology standard for broadband cellular networks (6G) will come within a decade. To prevent any specific country's gaining monopoly on 6G-related intellectual properties, global players from public or private sectors all earnestly participate in research and development (R&D) activities about 6G. Researchers also imagined 6G's unique applications, such as extended reality, wireless brain-machine interfaces, mobile holographic display, and connected robotics and autonomous systems. 6G, the essential technology for the future, will decisively affect Taiwan's upcoming growth. Therefore, our government should real-time follow up 6G-related international technological developments and other governments' corresponding policies, find potential partners and competitors from the literature or patents, and verify if the R&D spending aligns with the critical issues. In this context, this study, overviewing 6G's different aspects of international policies, industry news, R&D progresses, scientometrics, patent metrics, and government spending on science and technology, can be used as a decision-making tool by our government.

keywords: 5G, 6G, satellite, THz, wireless communication

目錄

中文摘要	I
Abstract	II
目錄	III
表目錄	IV
圖目錄	V
第一章 前言	1
第一節 基本介紹	1
第二節 技術領域範圍定義	3
第二章 國際現況	11
第一節 政策	11
第二節 產學研現況	13
第三節 文獻計量	16
第四節 專利計量	39
第三章 我國現況	61
第四章 未來與展望	70
參考文獻	72

表目錄

表 1-1 5G 多樣化應用服務	1
表 1-2 6G 應用服務	1
表 1-3 5G 與 6G 特性比較	2
表 1-4 6G 開發重點	2
表 1-5 sub-THz/THz 前端系統檢索關鍵字	4
表 1-6 低軌道衛星通訊前端系統檢索關鍵字	5
表 1-7 電磁創新關鍵技術檢索關鍵字	6
表 1-8 massive MIMO 檢索關鍵字	7
表 1-9 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計檢索關鍵字	7
表 1-10 人工智慧無線通訊檢索關鍵字	8
表 1-11 前瞻多重接取技術	8
表 1-12 寬頻通訊協定檢索關鍵字	9
表 1-13 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定檢索關鍵字	9
表 1-14 物聯網通訊協定檢索關鍵字	10
表 1-15 通訊軟體系統檢索關鍵字	10
表 2-1 美國近年 6G 政策	11
表 2-2 歐盟近年 6G 相關政策	12
表 2-3 日本近年 6G 相關政策	12
表 2-4 韓國近年 6G 相關政策	13
表 2-5 中國近年 6G 相關政策	13
表 3-1 歷年我國 B5G/6G 相關研究計畫	64

圖目錄

圖 2-1 sub-Thz/Thz 前端系統論文發表歷年趨勢	17
圖 2-2 sub-Thz/Thz 前端系統國家論文統計	18
圖 2-3 sub-Thz/Thz 前端系統論文發表單位統計	18
圖 2-4 低軌道衛星通訊前端系統論文發表歷年趨勢	19
圖 2-5 低軌道衛星通訊前端系統國家論文統計	20
圖 2-6 低軌道衛星通訊前端系統論文發表單位統計	20
圖 2-7 電磁創新關鍵技術論文發表歷年趨勢	21
圖 2-8 電磁創新關鍵技術國家論文統計	22
圖 2-9 電磁創新關鍵技術論文發表單位統計	22
圖 2-10 massive MIMO 相關論文發表歷年趨勢	23
圖 2-11 massive MIMO 相關國家論文統計	24
圖 2-12 massive MIMO 相關論文發表單位統計	24
圖 2-13 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計論文發表歷年趨勢	25
圖 2-14 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計國家論文統計	26
圖 2-15 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計論文發表單位統計	26
圖 2-16 人工智慧無線通訊論文發表歷年趨勢	27
圖 2-17 人工智慧無線通訊國家論文統計	28
圖 2-18 人工智慧無線通訊論文發表單位統計	28
圖 2-19 前瞻多重接取技術論文發表歷年趨勢	29
圖 2-20 前瞻多重接取技術國家論文統計	30
圖 2-21 前瞻多重接取技術論文發表單位統計	30
圖 2-22 寬頻通訊協定論文發表歷年趨勢	31
圖 2-23 寬頻通訊協定國家論文統計	32
圖 2-24 寬頻通訊協定論文發表單位統計	32
圖 2-25 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定論文發表歷年趨勢	33
圖 2-26 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定國家論文統計	34
圖 2-27 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定論文發表單位統計	34

圖 2-28 物聯網通訊協定論文發表歷年趨勢	35
圖 2-29 物聯網通訊協定國家論文統計	36
圖 2-30 物聯網通訊協定論文發表單位統計	36
圖 2-31 通訊軟體系統論文發表歷年趨勢	37
圖 2-32 通訊軟體系統國家論文統計	38
圖 2-33 通訊軟體系統論文發表單位統計	38
圖 2-34 sub-THz/THz 前端系統美國專利申請趨勢	39
圖 2-35 sub-THz/THz 前端系統各國專利數	40
圖 2-36 低軌道衛星通訊前端系統美國專利申請趨勢	41
圖 2-37 低軌道衛星通訊前端系統重點國家專利數	41
圖 2-38 低軌道衛星通訊前端系統專利申請人排名	42
圖 2-39 電磁創新關鍵技術美國專利申請趨勢	43
圖 2-40 電磁創新關鍵技術重點國家專利數	43
圖 2-41 電磁創新關鍵技術專利申請人排名	44
圖 2-42 massive MIMO 美國專利申請趨勢	45
圖 2-43 massive MIMO 重點國家專利數	45
圖 2-44 massive MIMO 專利申請人排名	46
圖 2-45 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計美國專利申請趨勢 ..	47
圖 2-46 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計重點國家專利數 ..	47
圖 2-47 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計專利申請人排名 ..	48
圖 2-48 人工智慧無線通訊美國專利申請趨勢	49
圖 2-49 人工智慧無線通訊重點國家專利數	49
圖 2-50 人工智慧無線通訊專利申請人排名	50
圖 2-51 多重接取技術美國專利申請趨勢	51
圖 2-52 多重接取技術重點國家專利數	51
圖 2-53 多重接取技術專利申請人排名	52
圖 2-54 寬頻通訊協定美國專利申請趨勢	53
圖 2-55 寬頻通訊協定重點國家專利數	53
圖 2-56 寬頻通訊協定專利申請人排名	54

圖 2-57 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定美國專利申請趨勢	55
圖 2-58 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定重點國家專利數	55
圖 2-59 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定專利申請人排名	56
圖 2-60 物聯網通訊協定美國專利申請趨勢	57
圖 2-61 物聯網通訊協定重點國家專利數	57
圖 2-62 物聯網通訊協定專利申請人排名	58
圖 2-63 通訊軟體系統美國專利申請趨勢	59
圖 2-64 通訊軟體系統重點國家專利數	59
圖 2-65 通訊軟體系統專利申請人排名	60
圖 3-1 我國 B5G/6G 相關研究計畫投入歷年統計	62

第一章 前言

第一節 基本介紹

經歷了近十年的發展，各國紛紛開通了 5G 網路服務；此時，為了十年後的 6G 商轉，6G 研發競賽已然展開。行政院科技會報辦公室將 5G 應用服務分類如表 1-1 所示 (行政院科技會報辦公室，2018)：

表 1-1 5G 多樣化應用服務

4G	5G	行動寬頻應用	新興垂直應用
上傳 2-5 Mbps 下載 5-12 Mbps	上傳下載 > 1 Gbps	運動賽事、演唱會、慶典遊行	-
承載量 6 萬用戶 /km ²	百萬用戶 /km ²	-	智慧家庭、安全監控、穿戴裝置應用
下載峰值 50 Mbps	峰值 ~10 Gbps	4K/8K 影音、擴增實境 / 虛擬實境、即時遊戲	-
延遲 50 ms	1 ms	-	遠距手術 / 醫療、智慧工廠、自駕車 / 智慧交通、公共安全
能耗 1	4G 的 1/100	-	智慧電網、智慧城市、大規模無線感知網路

而效能需求更高的 6G 應用服務預期如表 1-2 所示 (Mahmoud, Amer, & Ismail, 2021)：

表 1-2 6G 應用服務

特性	應用
行動寬頻可靠低延遲通訊 (mobile broadband reliable low-latency communication, MBRLLC)	超實感擴增實境 (extended reality, XR)、擴增實境 (augmented Reality, AR)、虛擬實境、高真實度移動全息顯示、自駕車系統、自駕無人機
大規模超高可靠度低延遲通訊 (massive ultra-reliable, low latency communications, mURLLC).	物聯網、用戶追蹤、區塊鏈與分散帳本技術、大規模感測、自主性機器人
人本服務 (Human-centric services)	無線腦機介面、觸覺、移情通訊 (empathic communication)、情感通訊 (affective communication)
多目的通訊、運算、符合在地應用、感測相融合 (convergence of communications, computing, control, localization, and sensing, 3CLS) 與能源服務 (multi-purpose 3CLS and energy services, MPS)	機器人與自駕設備聯網系統 (Connected robotics and autonomous systems, CRAS)、遠距醫療、環境地圖繪製與成像、擴增實境特定應用

對 5G 與 6G 效能所預期的差異如表 1-3 所示 (Mahmoud, Amer, & Is-

mail, 2021) :

表 1-3 5G 與 6G 特性比較

	5G	6G
實現年	2020	2030
頻譜	3-300 GHz	73-140 GHz/1-10 THz
頻寬	0.25-1 GHz	3 THz
傳輸速度	1-20 Gbps	> 1 Tbps
移動力	500 km/h	1000 km/h
延遲	5 ms	< 1 ms
可靠度	5 個 9 (99.999%)	7 個 9 (99.99999%)
能源效率	1x	2x
應用裝置	智慧型手機、感測器、無人機	智慧型手機、植入性感測器、無人機、 區塊鏈裝置、機器人與自駕設備聯網系 統、腦機裝置

綜合以上的差異比較，6G 將帶來更全面性的無線通訊體驗，預期的開發重點如表 1-4 所示 (黃敬哲，2020)：

表 1-4 6G 開發重點

開發重點
<ul style="list-style-type: none"> • 全領域覆蓋：從地面到外太空的全領域覆蓋，整合包括低軌道衛星、地面基地台、行動裝置、到室內 WiFi 聚合…等複合而成之網路。 • 自適應複合型通訊網路：上述全領域網路是複合型的，其必須達到自適應切換，而這是透過人工智慧實現。 • 授權頻道共享：例如，軍用頻道作為臨時過渡存取區。 • 觸覺網路 (tactile internet)：自動化的、或遠程的即時反饋與高度動態之網路。例如，自駕車編隊 (self-driving car platooning) 的協同自適應巡航控制 (cooperative adaptive cruise control, CACC)，其車輛間透過即時的互動，維持車隊的穩定行駛、整體交通控制。編隊式行駛能降低能耗同時提高安全。 • 新的網路拓樸結構：足以承載人工智慧，但結構又不會太過複雜的網路拓樸。 • 新通訊協定：比 IPv4、IPv6 更高效，且整合各項裝置的新通訊協定。 • 新波形的通訊技術：發展出新的波形，或如正交分頻多工 (orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM) 的波形優化。 • 延伸可用頻譜範圍：比 5G 更廣泛的毫米波應用。 • 系統穩定性：發展更高可靠低延遲的系統，對工業物聯網尤其重要。 • 資安：保障用戶隱私，且抵禦惡意攻擊。 • 實現超現實 (hyper reality)：開發超實感擴增實境及高真實移動式全像投影。 • 實現聯合通訊 (joint communication、及感知 (sensing) 的技術關卡，包括全雙工傳輸、上行鏈路的強化、正交分頻多工波形優化、發展新波形、新頻譜、頻道共享

低軌道衛星技術與聯盟式學習 (federated learning, FL) 演算法為 6G 發

展的主要重點。低軌道衛星通訊的最大特色，就是從距離幾百公里遠的高空發射訊號，達到最大的訊號涵蓋範圍，且不受天候影響訊號傳送。因發射的頻段位置低、訊號延遲相對較小，進而成為各國佈局 6G 時最重要的發展方向。產業分析公司 Counterpoint 的報告指出，6G 頻譜範圍約在 300 GHz 至 3 THz，將使電磁波頻譜的訊息承載量，從每秒十億位元拉高到每秒千兆位元。而 THz 頻段的電磁波需要無遮蔽直線 (line of sight, LoS) 傳播，使得低軌道衛星成為較佳媒介，相關技術變得重要。除了低軌道衛星，6G 的實現還需要能使用於 THz 天線陣列的材料，複雜的訊息傳遞需要 AI 輔助、更高的功率效率，也將大量導入全息無線電 (holoradio) 與大規模 MIMO 技術。當無線通訊的傳輸速度超越 1 Tbps、延遲小於 100 微秒，所能帶來的無線應用包括：8K/16K 串流影音、全息影像與視訊、機器設備的即時操控、虛擬與真實間交互作用的數位分身、16K 高解析延展實境、高解析立體地圖行車輔助系統…等 (Kyle, 2021)。

傳統的機器學習 (machine learning) 是採用集中式運算法，在少數具有高規格的電腦、伺服器上進行大數據分類、訓練，分析理解、進行判斷，最後採取行動。若未來機器學習用於參與 6G 通訊設備的無線電資源分配、訊號收發與加解密，一旦傳統集中式的運算資源被駭客攻擊，發生單點故障 (single point of failure, SPOF)，整個網路將被癱瘓。因而採用先進的聯盟式學習 (federated learning, FL) 演算法，具有分散式演算與兼顧資安的雙重優勢，可改善在 6G 系統的機器演化效能。聯盟式學習主要包括初始化、訓練、聚合三個步驟。初始化：當行動裝置端評估有機器學習需求時，會請運算資源較高的中央伺服器向行動裝置發送預訂訓練 (pre-trained) 的通用模型。訓練：利用上述通用模型，在行動裝置上對有隱私性的數據進行初步的分散式運算。聚合：只將加密過的模型參數傳回中央伺服器，優化通用模型後，再將最佳化後的模型更新到行動裝置端，並將此過程不斷迭代，達到裝置演化的最佳效果。然而分散式運算也是聯盟式學習的天然缺陷。當同一網路中的各個行動裝置運算效能 (CPU、GPU 等)、網路接取形式 (蜂巢式網路、Wi-Fi 等)、電力配置都不同時，如何利用行動裝置反饋的模型參數來達到眾裝置都通用的最佳化模型，將是一個很大的挑戰。

第二節 技術領域範圍定義

本研究文獻與專利統計分析的技術領域範圍，參考了科技部工程司公告的「110 年下世代通訊系統關鍵技術研發專案計畫重點研發項目」B5G/6G 前瞻技術研發的內容，並多次進行關鍵字的試誤、修正來進行定

義；關鍵字英文翻譯主要參考中華民國專利之英文標題。若一技術項目原本對應的關鍵字出現的時間很早，遠早於 B5G 相關技術出現的時間，以此進行檢索時會包括過多 B5G 以前的資訊，所以會另以「B5G、6G」進行交集，進一步限縮檢索結果到適當範圍。用來檢索文獻與專利之資料庫，分別為 Web of Science 及 Derwent Innovation；由於對通訊領域而言，美國專利即具有代表性，故專利的檢索範圍鎖定美國專利申請案。由於資料收集、撰寫報告需要時間，所以本報告文獻與專利檢索的時間範圍不同；檢索之文獻收錄時間範圍為 2017 年 1 月 1 日至 2021 年 6 月 24 日，專利之檢索時間範圍為申請日在 2017 年 1 月 1 日至 2021 年 7 月 23 日。受限於供應商提供的資料庫範圍，文獻檢索欄位包括標題、摘要、關鍵字，運算子「AND」為交集，「OR」為聯集；「NEAR/ 數字」為兩關鍵字之交集，且前後可間隔特定字數；「*」為通配符 (wildcard)。專利運算子「AND」為交集，「OR」為聯集；「NEAR 數字」為兩關鍵字之交集，且前後可間隔特定字數；「*」為通配符 (wildcard)；「CTB」將關鍵字的檢索範圍，限縮在「申請專利範圍、標題、摘要」；「ACP」是合作專利分類 (cooperative patent classification, CPC)，合作專利分類中的「H04W」為無線通訊網路 (wireless communication networks) 相關。工程司公告的重點研發項目，與本研究對應的關鍵字對應如下：

一、電波與天線技術

主要針對太赫茲前端系統、低軌道衛星通訊、電磁創新技術等相關領域進行分析。

1. 次太赫茲 (sub-THz)/ 太赫茲 (THz) 前端系統

- (1) 關鍵晶片零組件 (如功率放大器、頻率轉換器、振盪器、倍頻器及被動元件等)
- (2) 高增益波束成形天線 (AiP 或 AoC) 及前端電路
- (3) 通道分析及量測

表 1-5 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-5 sub-THz/THz 前端系統檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(“TERA HERTZ” OR TERAHERTZ OR THZ) AND ((CHIP AND ((POWER NEAR/3 AMPLIF*) OR OSCILLATOR OR (FREQUENCY NEAR/3 (CONVERTER OR TRANSDUCER OR OSCILLATOR OR DOUBLER OR MULTIPLIER OR BOOSTER)) OR (PASSIVE NEAR/3 (DEVICE OR ELEMENT)))) OR (ANTENNA NEAR/3 CHIP) OR (ANTENNA NEAR/3 PACKAGE) OR (CHANNEL NEAR/3 (ANALY* OR MEASURE*)))
專利檢索關鍵字	CTB=((“TERA HERTZ” OR TERAHERTZ OR THZ)) AND ACP=(H04W) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

關於文獻與專利檢索關鍵字差異的理由，主要是因為專利可利用「無線通訊」之專利分類限縮，而論文不行。在無線通訊網路的專利分類下，申請專利範圍、標題、摘要出現「THz」關鍵字的專利，主要就會是使用到太赫茲的無線通訊。但從文獻找到的結果，會包括化學分子的THz光譜、THz吸收物質等不相關資訊，所以必須用零組件、晶片等關鍵字進一步限縮。

2. 低軌道衛星通訊前端系統

- (1) 輕薄 / 寬頻 / 快速超大型陣列天線
- (2) 波束成形晶片及超高增益多波束寬頻射頻前端系統
- (3) 高效率高線性度功率放大器及收發機系統

表 1-6 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-6 低軌道衛星通訊前端系統檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	COMMUNICATION AND ((LEO AND SATELLITE*) OR “LOW EARTH ORBIT”)
專利檢索關鍵字	CTB=((LEO AND SATELLITE*) OR “LOW EARTH ORBIT”) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此技術項的文獻、專利主要都以低軌道衛星作為關鍵字，差別在於，文獻以「communication」限縮在通訊相關的範圍，專利則以 CPC 限縮。

3. B5G/6G 電磁創新關鍵技術

- (1) 主動式或被動式 Holographic MIMO Surface
- (2) 低損耗 / 縮小化的封裝及被動元件技術

- (3) 高功率，低雜訊的電磁晶片技術
- (4) 電磁感測與精準定位技術

表 1-7 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-7 電磁創新關鍵技術檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(((LOW NEAR/1 LOSS) OR SIZE) AND (WIRELESS OR B5G OR 5G OR 6G) AND COMMUNICATION AND (ENCAP* OR (PASSIVE NEAR/2 (DEVICE OR ELEMENT OR COMPONENT))) OR RESISTANCE OR CAPACITOR OR INDUCTOR OR COIL)) OR (COMMUNICATION AND “LOW NOISE” AND “HIGH POWER” AND (CHIP OR CIRCUIT OR CMOS)) OR ((B5G OR 6G) AND COMMUNICATION AND (SENS* OR POSITION OR LOCAT*)) OR (HOLOGRAPHIC AND (MIMO OR (MULTI* NEAR/0 INPUT NEAR/1 OUTPUT)) AND SURFACE)
專利檢索關鍵字	CTB=((HOLOGRAPHIC AND (MIMO OR (MULTI* NEAR0 INPUT NEAR1 OUTPUT)) AND SURFACE) OR ((LOW NEAR1 LOSS) OR SIZE) AND (ENCAP* OR (PASSIVE NEAR2 (DEVICE OR ELEMENT OR COMPONENT))) OR (“LOW NOISE” AND “HIGH POWER” AND (CHIP OR CIRCUIT OR CMOS)) OR ((SENS* OR POSITION*) AND (5G OR “BEYOND 5G” OR B5G OR 6G))) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

相較於前一項「低軌道衛星通訊前端系統」有「low earth orbit」可作為非常特別且明確的關鍵字，使用本技術項「電磁創新關鍵技術」作為關鍵字時，會有許多雜訊，故採用了子技術項（主動式或被動式 Holographic MIMO Surface，低損耗 / 縮小化的封裝及被動元件技術，高功率、低雜訊的電磁晶片技術，電磁感測與精準定位技術）的關鍵字進行檢索。

二、通訊與傳輸技術

主要針對大規模多輸入多輸出、新興無線通訊技術、人工智慧無線通訊、多重接取技術等相關領域進行分析。

1. B5G/6G 大規模多輸入多輸出 (massive MIMO) 技術

- (1) 新興 6G 多天線陣列演算法及硬體技術 (如極大孔徑天線陣列、全像大規模多輸入多輸出系統、智慧反射面板等)
- (2) B5G/6G 波束掃描、追蹤、校正等演算法及軟硬體架構
- (3) 整合感測、定位及通訊之 6G 多輸入多輸出技術

表 1-8 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-8 massive MIMO 檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(MASSIVE NEAR/1 (MIMO OR (MULTI* NEAR/0 INPUT NEAR/1 OUTPUT)))
專利檢索關鍵字	CTB=(MASSIVE NEAR1 (MIMO OR (MULTI* NEAR0 INPUT NEAR1 OUTPUT))) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此處單純使用 massive MIMO 作為檢索關鍵字。

2. B5G/6G 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計

- (1) 衛星與地面之傳輸與同步技術
- (2) 具低延遲及低複雜度的 B5G/6G 通道編碼及傳輸技術
- (3) 高速率、高平行化、低功耗之 B5G/6G 基頻接收信號演算法與
軟硬體實現架構

表 1-9 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-9 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	“NEW RADIO” AND (ACCESS OR ENCOD* OR DECOD* OR TRANSCEIV*)
專利檢索關鍵字	CTB=(“NEW RADIO” AND (ACCESS OR ENCOD* OR DECOD* OR TRANSCEIV*)) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此處主要使用技術項內容作為檢索關鍵字，再以檢索時間範圍來鎖定較前瞻之技術。

3. 6G 人工智慧無線通訊

- (1) 基於人工智慧之 6G 通道編解碼與基頻傳收機設計
- (2) 基於人工智慧之 B5G/6G 頻譜分享機制
- (3) 人工智慧為基礎之 B5G/6G 協定與網路管理自動化

表 1-10 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-10 人工智慧無線通訊檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(5G OR B5G OR 6G) AND COMMUNICATION AND (INTELLIGENCE OR LEARNING)
專利檢索關鍵字	ACP=(H04W* AND (G06N3* OR G06N7* OR G06N20*)) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

論文部分以「人工智慧」作為主要關鍵字，再以「通訊、5G、6G」等限縮範圍。專利的 CPC 則有「G06N (computer systems based on specific computational models)」與人工智慧相關，可以直接與無線通訊的 H04W 交集檢索。

4. 6G 前瞻多重接取技術

- (1) B5G/6G 巨量用戶與低延遲之多重接取技術
- (2) 6G 跨頻帶 (sub-GHz 至 THz) 的頻譜共享機制
- (3) B5G/6G 前瞻空間或波束多重接取技術

表 1-11 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-11 前瞻多重接取技術

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(5G OR B5G OR 6G) AND (MULTI* NEAR/1 ACCESS)
專利檢索關鍵字	ALL=(5G OR B5G OR 6G) AND CTB=(MULTI* NEAR1 ACCESS) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此處的論文、專利都以「多重接取」作為主要關鍵字，再以「5G、B5G、6G」等限縮範圍。

三、網路技術與通訊軟體

主要針對寬頻通訊協定、三維通訊與衛星協定、物聯網通訊協定、前瞻通訊軟體系統等相關領域進行分析。

1. 6G 寬頻通訊協定

- (1) 整合感測或定位之 6G 無線通訊協定
- (2) Sub-THz/THz 通訊協定
- (3) 多連結與多樣態之 6G 高速通訊協定

表 1-12 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-12 寬頻通訊協定檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	((5G OR B5G OR 6G) OR (“TERA HERTZ” OR TERAHERTZ OR THZ)) AND PROTOCOL
專利檢索關鍵字	CTB=((5G OR B5G OR 6G) OR (“TERA HERTZ” OR TERAHERTZ OR THZ)) AND PROTOCOL) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此處論文、專利都以技術項內容作為主要關鍵字，專利則進一步以 CPC 限縮範圍在無線通訊相關。

2. 6G 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定

- (1) 三維通訊下之 6G 高速移動行動管理協定
- (2) 三維通訊下之 6G 無線電管理、干擾管理與省電協定
- (3) 6G 低軌道衛星與地面站之通信協定

表 1-13 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-13 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(HETEROGEN* OR AERIAL OR TERRESTRIAL) AND COMMUNICA-TION AND SATELLITE AND PROTOCOL
專利檢索關鍵字	CTB=((HETEROGEN* OR AERIAL OR TERRESTRIAL) AND SATEL-LITE AND PROTOCOL) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此處論文、專利都以技術項內容作為主要關鍵字，專利則進一步以 CPC 限縮範圍在無線通訊相關。

3. 6G 物聯網通訊協定

- (1) 高可靠 / 低延遲 / 時效性 6G 通訊協定
- (2) 巨量連網 / 低耗能之 6G 物聯網通訊協定

表 1-14 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-14 物聯網通訊協定檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	((IOT AND (WIRELESS OR COMMUNICATION)) OR (“INTERNET OF” NEAR/1 (THINGS OR VEHICLE))) AND PROTOCOL
專利檢索關鍵字	CTB=((IOT OR (INTERNET NEAR2 (THINGS OR VEHICLE*))) AND PROTOCOL) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

論文部分，由於以縮寫 IoT 直接作為關鍵字會得到太多雜訊 (如不相關之 interocular transfer)，故使用時特別與「無線或通訊」交集。專利則一律以 CPC 限縮範圍在無線通訊相關。

4. B5G/6G 通訊軟體系統

- (1) 開放式與模組化通訊架構及通訊軟體 (如 O-RAN, Integrated and Open Networks 等)
- (2) 6G 通訊與運算整合設計之邊緣智慧
- (3) 開源通訊軟體計畫 (如 open source RAN, open source core network, ONAP, OAI 等)
- (4) L3/L2 小型基地台通信協定軟體

表 1-15 為本研究所使用的文獻與專利檢索關鍵字之比較：

表 1-15 通訊軟體系統檢索關鍵字

文獻檢索關鍵字 (在標題、摘要、關鍵字中檢 索)	(EDGE NEAR/1 INTELLIGENCE) OR ((5G OR B5G OR 6G) AND (“O RAN” OR “OPEN NETWORKS” OR “OPEN SOURCE” OR ONAP OR OAI)) OR ((5G OR B5G OR 6G) AND (“SMALL BASE” OR “SMALL CELL”) AND PROTOCOL)
專利檢索關鍵字	CTB=((EDGE NEAR1 INTELLIGENCE) OR (“O RAN” OR “OPEN NETWORKS” OR “OPEN SOURCE” OR ONAP OR OAI) OR ((“SMALL BASE” OR “SMALL CELL”) AND PROTOCOL)) AND ACP=(H04W*) AND DP>=(20170101) AND DP<=(20210723);

此技術項內容 (通訊軟體系統) 較為空泛，故以子技術項作為關鍵字。但 OAI 等縮寫在論文部分會產生雜訊，所以用「5G、B5G、6G」等進行限縮，專利則使用 CPC 限縮。

第二章 國際現況

第一節 政策

表 2-1~表 2-5 列出了美國、歐盟、日本、韓國、中國目前 6G 技術的相關政策；各國計畫主要鎖定在掌握智財與標準制定話語權、頻譜的延伸、提升網路速度、確保資安、提升運算效能、發展沉浸式媒體、社會整體智慧化等方向。

表 2-1 美國近年 6G 政策

政策名稱	願景與目標	策略與措施
NSF (Resilient & Intelligent NextG Systems) RINGS Program 起迄年： 2021-2024 經費金額： 4000 萬美元	加速下世代具「彈性」的通訊技術發展，開發出在資安、適應力、自主性具彈性的系統，確保極端條件下仍然強健、高效運算的設計架構與運行方式	NSF 結合國防部研究與工程副部長辦公室 (OUSD R&E)、國家標準暨技術研究院 (NIST) 與 Apple、Ericsson、Google、IBM、Intel、Microsoft、Nokia、Qualcomm、VMware 等企業，補助跨領域的團隊研究
Spectrum Horizon 起迄年：- 經費金額：-	發展 95 GHz 以上頻段，預期可用於數據密集的高頻寬應用、成像、傳感操作等	美國聯邦通訊委員會通過開放 95 GHz 到 3THz 頻段供各大公司測試，為 6G 技術鋪路 其中包含 21.2 GHz 頻寬供免執照裝置 (unlicensed devices) 使用，以鼓勵創新通訊技術的發展
大學聯合微電子學計畫 (Joint University Microelectronics Program, JUMP) 起迄年： 2018-2023 經費金額： 2 億美元	投資 6G 技術，開發全新型式的元件，嘗試新穎的異質整合解方，延續摩爾定律突破 2040 年，遏制中國在通訊技術領域取得的領先地位	美國國防部轄下的國防先進研究計劃局 (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 從 2016 年開始，與非營利的半導體研究公司 (Scientific Research Corporation, SRC) 合作；2018 年 1 月進一步與十幾家科技公司共組投資集團，資助由 30 多所大學組成的大學聯合微電子學計畫 DARPA 承擔項目經費的 40%，其他科技公司贊助 60% 子計畫如：赫茲與感知融合技術研究中心

資料來源：National Science Foundation, 2021、Federal Communications Commission, 2019、Scientific Research Corporation, 2018

表 2-2 歐盟近年 6G 相關政策

政策名稱	願景與目標	策略與措施
6G 旗艦計畫 Hexa-X 起迄年： 2021-2023 經費金額：-	讓 5G+ 進一步結合 6G，來推動智慧工廠、沉浸式媒體、及智慧安全的發展	Hexa-X 已獲得歐盟委員會的 Horizon 2020 計畫資助，計畫成員包含 Nokia、Ericsson、Atos、Intel、Orange、Siemens、TIM 及 Telefonica，於 2021 年 1 月 1 日啟動，為期 30 個月。

資料來源：European Commission, 2021

表 2-3 日本近年 6G 相關政策

政策名稱	願景與目標	策略與措施
B5G 推進戰略：邁向 6G 的藍圖 起迄年： 2020-2025 經費金額：-	藉由虛實系統 (Cyber-Physical-System, CPS) 實現 Society 5.0，達到具備 (1) 包容性、(2) 永續性、(3) 高可靠性的 2030 社會	<p>三大戰略主軸：(1) 研發戰略、(2) 智慧財產、標準化戰略、(3) 推展戰略：</p> <p>研發戰略：盡早掌握實現 6G 的關鍵先進技術，尤其於初期階段，集中投入國家資源，藉由建立研發據點、大膽開放電磁波頻段，營造領先世界的研發環境。</p> <p>智慧財產、標準化戰略：以實現 B5G 同時改變遊戲規則為目標，致力於取得智慧財產權並掌握標準制訂權；尤其是天空與海洋領域的擴張與加強資安問題解決能力等。</p> <p>推展戰略：藉由 5G 和光纖網路佈建，使 5G 技術遍及整個領土、深入各行各業，帶動公私部門的應用，及早實現「Beyond 5G Ready」的情境。</p> <p>高速推動整個社會的數位化，如建設強韌安全的資通訊基礎設施等。活用日本優勢，下定五年內 (2020-2025 年) 決勝負的決心。將在 2025 年大阪 / 關西世界博覽會上以「Beyond 5G Ready Showcase」的形式向全世界展現推動成果，並加速開拓全球性市場。</p>

資料來源：財團法人台灣經濟研究院研究四所，2020a

表 2-4 韓國近年 6G 相關政策

政策名稱	願景與目標	策略與措施
投入 6G 研究 起迄年：- 經費金額： 9,760 億韓元	傳輸速度達 1Tbps 使用 THz 頻段 高速服務範圍達垂直高度 10 公里內 延遲速度 < 0.1ms 運用 AI 技術之智慧型網路 發展先進媒體技術	2019 年 4 月 22 日，科學技術資訊通信部 (Ministry of Science and ICT, MSIT) 匯集產、官、學各界舉行 6G 論壇，宣布韓國啟動 6G 研究，成立研究小組，以開發 6G 核心技術及探討相關應用案例。 14 項戰略任務，如： Tbps 級的無線通訊技術及光通訊技術 100GHz 以上超高頻段核心零件開發 端到端高精密聯網技術 超臨場感媒體服務 (Tangible Media) ...

資料來源：財團法人台灣經濟研究院研究四所，2020b

表 2-5 中國近年 6G 相關政策

政策名稱	願景與目標	策略與措施
6G 技術研發工作啟動會 起迄年：- 經費金額：-	為重大決策提供諮詢與建議	中國科技部、發展改革委、教育部、工業和資訊化部、中科院、自然科學基金委等，在 6G 技術研發工作啟動會中宣布，成立國家 6G 技術研發推進工作組和總體專家組，正式啟動 6G 研發。其將推動 6G 技術研發工作，與 6G 技術研究佈局建議與技術論證。

資料來源：「我國 6G 技術研發工作正式啟動」，2019

第二節 產學研現況

一、美國

美國電信產業解決方案聯盟 (Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS) 於 2020 年 10 月 13 日宣布成立下世代聯盟 (Next G Alliance)，目標確保北美地區在 6G 技術領域的領導地位。歸屬於下世代聯盟的業務包括研發、製造、標準化與市場就緒度 (market readiness) 確認。ATIS 的成員包括 AT&T、Ericsson、Facebook、InterDigital、Microsoft、Nokia、Qualcomm、Samsung... 等，並持續增加中。下世代聯盟專注於三大策略：(1) 制定 6G 國家藍圖，研發、標準化、製造都採用聯盟自有「Next G 技術」，並讓世界順應 Next G 技術。(2) 團結北美相關產業，共同影響政府的政策與資源分配。(3) 制定發展策略與施行步驟，快速提升 Next G

技術在國內外的市佔率 (Alliance for Telecommunications Industry Solutions, 2020)。

二、歐盟

由奧盧大學 (University of Oulu) 執行的芬蘭 6G 旗艦計畫是世界上最早啟動的 6G 研究計畫之一，預計在 2018~2026 的執行期間內，集結全球通訊領域專家，定義 6G 技術的樣貌。芬蘭 6G 旗艦計畫不但在 2019 年開始舉辦 6G 無線峰會 (6G Wireless Summit)，目前已發佈 13 本的 6G 白皮書，內容討論了頻譜、聯合國永續發展目標 (sustainable development goals, SDGs)、商業模式、垂直整合、偏鄉覆蓋率、人工智慧、邊緣運算、資安與隱私、巨量機器間通訊、感測等議題 (6G Flagship, 2021)。芬蘭 6G 旗艦計畫特別重視 6G 技術與 SDGs 的相輔相成；專家推測，6G 技術的商業化，以及聯合國永續發展目標，都將在 2030 年達標。預期 6G 技術可以促進全球的發展與生產力的增長，創造新商業模式，並帶來多面向的社會轉型。而另一方面，希望透過達成永續發展目標 (如終結貧窮、性別平權、氣候變遷與智慧城市等)，而在未來實現理想的世界。在其白皮書之前，少有研究討論到通訊與永續發展目標之間的交互作用。芬蘭 6G 旗艦計畫的白皮書從 6G 發展願景出發，分析大趨勢 (megatrend) 與永續發展目標等各類指標間的關聯，描繪出 6G 與 SDGs 間的鏈結。其論述認為，6G 技術與永續發展目標的交互作用中，6G 技術扮演了三重角色：(1) 提供服務、(2) 反映接地氣程度 (hyperlocal granularity)、創造新生態系。其中，6G 服務將幫助、引導、並支持社區乃至國家達成永續發展目標；而大數據的收集、量測結果可作為接地氣程度的指標；而同時會有圍繞永續發展目標而被開發出來的未來行動通訊應用程式，並在 6G 技術的幫助下形成新的生態系統。

三、日本

NTT Docomo 在 2020 年 1 月 22 日所發表的 6G 白皮書中，描繪了 6G 技術的性能目標、技術要素與未來應用案例等，並期許在 2030 年開始提供 6G 服務。6G 技術規格將包括超高速、大容量、低延遲、利用 THz 頻段、全域 (天空、海洋、太空) 通信、超低功耗、低成本等。研究方向則包括空間領域分散式網路強化 (新的網路拓樸結構)、非陸域網路 (non-terrestrial network) 涵蓋範圍擴張等技術。藉由此次的發表，NTT Docomo 也希望引起產官學界的興趣與參與，促成 6G 技術的研發與推展 (NTT Docomo, 2021)。

日本另一間電信業者 KDDI 在 2021 年 10 月發表的「B5G/6G 白皮書第 2 版」(KDDI Corporation and KDDI Research, 2021)，將實現 6G 的時點設在 2030 年，從 9 個角度討論了 B5G/6G 對個人生活的影響，這 9 個角度包括物質層面的食物、購物、保健及生活型態，以及精神層面的工作型態、學習、娛樂、休息及通訊。其並以「Accelerate 5.0」呼應總務省所提出，兼顧經濟發展與社會議題且永續發展的「Society 5.0」。KDDI 將以 7 項技術支持 Society 5.0 的實現：(1) 網路、(2) 安全、(3) 物聯網、(4) 平台、(5) 人工智慧、(6) 拓展實境、(7) 機器人。

日本軟體銀行 (SoftBank)、岐阜大學、國立研究開發法人情報通信研究機構 (National Institute of Information and Communications Technology, NICT)，與俄國的托木斯克國立大學 (National Research Tomsk State University)、托木斯克理工大學 (Tomsk Polytechnic University)，就 6G 技術合作成立研究小組，並於 2020 年 6 月 18 日宣布成功地開發了能夠收發 300 GHz 訊號的超小型天線；為了能容納於行動裝置，兼顧增益與尺寸縮小是天線領域的一大挑戰。該研究小組短期目標在於，開發與毫米波 (mmWave) 相同尺度 (~1 mm)，且能產生光子噴流效應 (photonic jet effect) 的介電材料元件，以應用於超小型天線。此次開發的天線在物理尺寸 1.36 mm × 1.36 mm × 1.72 mm、孔徑面積 1.8 mm² 的條件下，具有 15dBi (模擬值) 的天線增益。相較於毫米波，THz 無線電具有更大的頻寬，但傳播損失 (propagation loss) 也更大，元件增益需求遠高於毫米波。所以長期目標則為，在積體電路中，直接內嵌與 THz 無線電波長相當 (< 0.3 mm) 的天線，同時具有高的輸出功率與訊號解析度 (財團法人台灣經濟研究院研究四所，2020c)。

四、韓國

三星於 2020 年 7 月 14 日發布了 6G 白皮書，描繪 6G 時代的情境與願景。內容涵蓋技術發展與候選技術，標準建立時程，還有社會預期、趨勢、新服務、新需求等各個層面。三星預測，最快能夠於 2028 年完成 6G 的標準化與商業化；而大規模商轉則要在 2030 年才能達到。文中提到未來的應用情境包括延展實境 (extended reality, XR)、高逼真行動全息圖 (high-fidelity mobile hologram) 與數位複製 (digital replica) 等。相較於 5G 的發展集中於效能 (performance) 單方面的提升，三星認為 6G 服務將能同時滿足效能、架構 (architecture) 與可信賴性 (trustworthiness)。效能方面，峰值數據速率預期達到 5G 的 50 倍 (1Tbps)、空中傳輸延遲達到 5G 的 1/10 (低於 100 微秒)。架構方面，導入 AI，實現各裝置 (network entities) 間的靈活整

合，並進一步減輕 5G 時期運算資源受限的情況。可信賴性方面，當 6G 系統導入 AI，讓 AI 存取用戶個資，可能引起安全與隱私問題；故 6G 技術的可信賴性有待解決。而該白皮書另外指出滿足 6G 需求的關鍵候選技術，包括兆赫 (terahertz, THz) 頻段的使用、提升高頻訊號涵蓋範圍的新型天線技術、先進雙工技術、網路拓樸的進化、用於提高頻率利用率的頻譜共用技術等 (Samsung, 2020)。

五、中國

中國在 2020 年 11 月 6 日發射的長征 6 號火箭，攜帶了「電子科技大學號」衛星，該衛星被用來進行太赫茲衛星通訊實驗；由於太赫茲技術是 6G 通訊的關鍵，因此相當受到矚目。另外，IMT-2030 (6G) 推進組在 2021 年 6 月發佈了「6G 總體願景與潛在關鍵技術白皮書」。IMT-2030 (6G) 在中國工業和信息化部的推動下，於 2019 年成立，成員包括中國主要的運營商、製造商、大學院校與研究機構；其作為產學研單位國際交流合作之平台，以推動中國 6G 技術發展。這本白皮書討論了願景、發展推動力、潛在應用場景與關鍵技術等。其願景中，會出現在未來生活的萬物皆會透過智慧網路形成物聯網，並且大量實物在虛擬世界中都有一個數位孿生。6G 發展推動力包括了 (1) 社會變革、(2) 經濟成長、(3) 環境永續。潛在應用場景如 (1) 沈浸式體驗、(2) 全息通信、(3) 感官互聯、(4) 情感交流、(5) 即時感測、(6) 無所不在的 AI、(7) 數位孿生、(8) 零死角通訊。關鍵技術則包括 (1) AI 內生 (intelligent-endogenesis)、(2) 增強型無線空中介面 (air interface)、(3) 新物理維度傳輸、(4) 太赫茲與可見光通訊、(5) 通訊與感測整合、(6) 分散式自主網路、(7) 確定性網路 (deterministic networking)、(8) 算力感知網路、(9) 星空地一體化網路、(10) 內生資安。

第三節 文獻計量

一、次太赫茲 (sub-THz)/ 太赫茲 (THz) 前端系統

2017 至今 sub-Thz/Thz 前端系統相關論文共查到 222 篇，2017 至 2018 年間發表數量微幅下降，後略呈線性成長 (見圖 2-1，2021 年僅統計至 6 月)。發表排名前 10 國 (圖 2-2) 依序為中國 (79 篇，佔整體的 35.6%)、美國 (59 篇，26.6%)、德國 (39 篇，17.6%)、日本 (18 篇，8.1%)、英國 (15 篇，6.8%)、南韓 (15 篇，6.8%)、印度 (11 篇，5.0%)、義大利 (11 篇，5.0%)、俄羅斯 (11 篇，5.0%)、新加坡 (10 篇，4.5%)；台灣與以色列並列第 23 名，有 4 篇論文的發表，論文名稱分別為” 340-GHz Heterogeneously-Inte-

grated THz Imager With 4 degrees-Beamwidth 16 x 16 IPD Antenna Array for Lensless Terahertz Imaging Applications”、“Single Flip-Chip Packaged Dielectric Resonator Antenna for CMOS Terahertz Antenna Array Gain Enhancement”、“300-GHz Direct and Heterodyne Active Imagers Based on 0.13- μm SiGe HBT Technology”、“340-GHz Low-Cost and High-Gain On-Chip Higher Order Mode Dielectric Resonator Antenna for THz Applications”。全球論文發表機構超過 300 個，前 10 名 (圖 2-3，同篇共同發表時，不同單位各計數一次) 則有德國法蘭克福的萊布尼茨高性能微電子研究所 (17 篇)、中國科學院 (15 篇)、加州大學系統 (15 篇)、中國的東南大學 (13 篇)、德國伍珀塔爾大學 (11 篇)、麻省理工 (10 篇)、俄羅斯的科捷尼科夫無線電工程與電子研究所 (8 篇)、俄羅斯科學院 (8 篇)、北京理工大學 (7 篇)、美國的喬治亞理工 (7 篇) 與美國的喬治亞大學系統 (7 篇)。

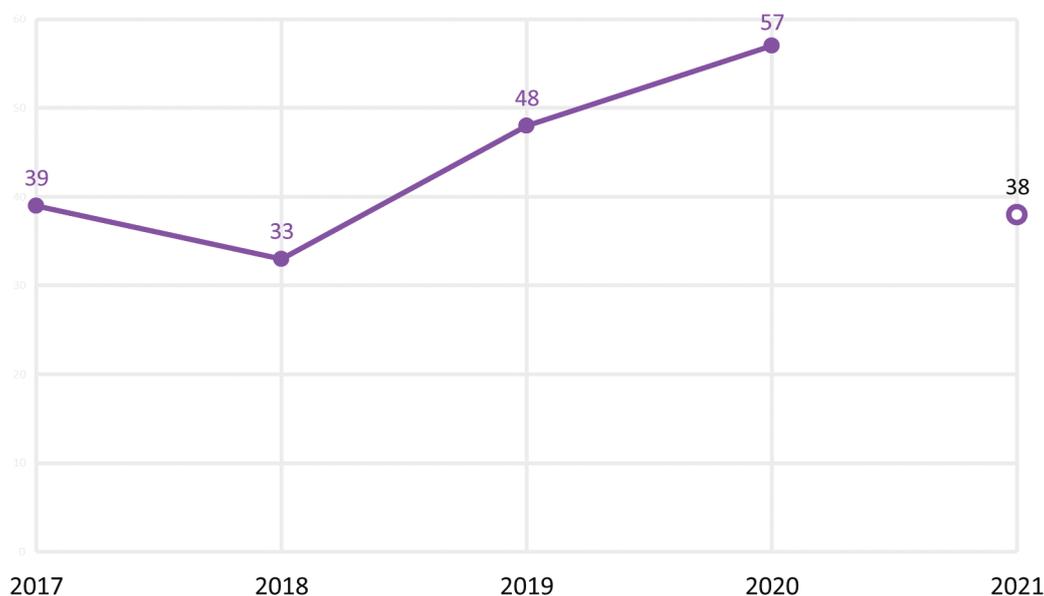


圖 2-1 sub-THz/THz 前端系統論文發表歷年趨勢

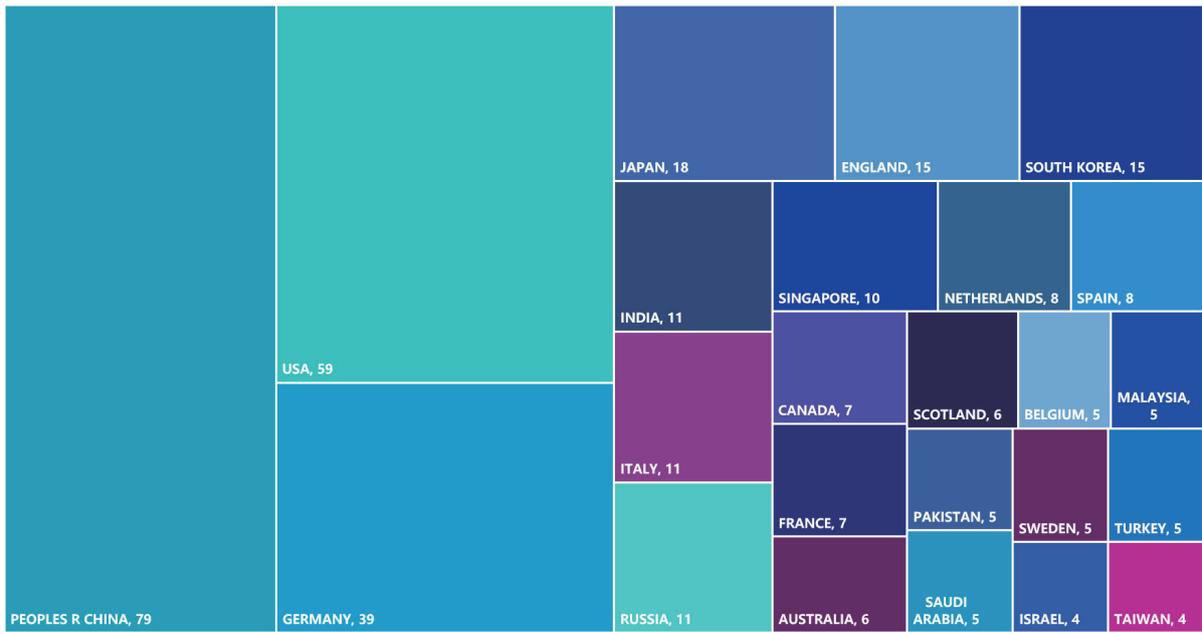


圖 2-2 sub-Thz/Thz 前端系統國家論文統計

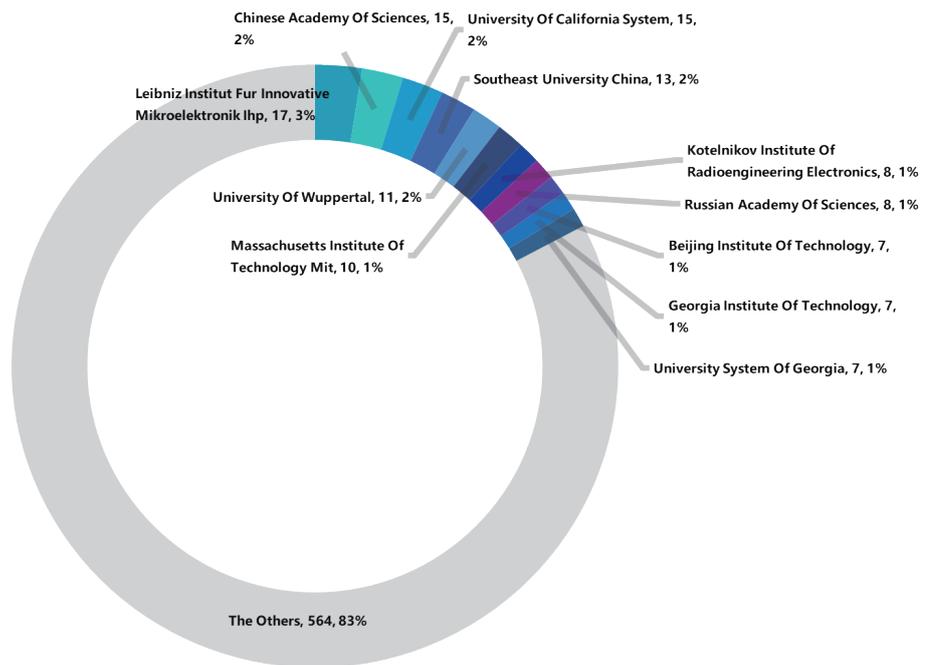


圖 2-3 sub-Thz/Thz 前端系統論文發表單位統計

二、低軌道衛星通訊前端系統

2017 至今低軌道衛星通訊前端系統相關論文共查到 277 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈線性成長（見圖 2-4，2021 年僅統計至 6 月）。發表排名前 10 國（圖 2-5）依序為中國（119 篇，佔整體的 43.0%）、美國（49 篇，17.7%）、德國（21 篇，7.6%）、英國（15 篇，5.4%）、義大利（15 篇，5.4%）、日本（14 篇，5.1%）、澳洲（13 篇，4.7%）、法國（11 篇，4.0%）、印度（11 篇，4.0%）、南韓（11 篇，4.0%）；沒有看到台灣的論文。全球論文發表機構超過 450 個，前 10 名（圖 2-6，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）中中國的機構佔了 8 個（篇數相同有同名次的情況），全部依序為中國科學院（25 篇）、中國科學院大學（12 篇）、北京郵電大學（11 篇）、德國亥姆霍茲國家研究中心聯合會（10 篇）、中國人民解放軍戰略支援部隊信息工程大學（9 篇）、德國航空太空中心（8 篇）、NASA（8 篇）、中國東南大學（8 篇）、中國科學技術大學（8 篇）、哈爾濱工業大學（7 篇）、武漢大學（7 篇）。

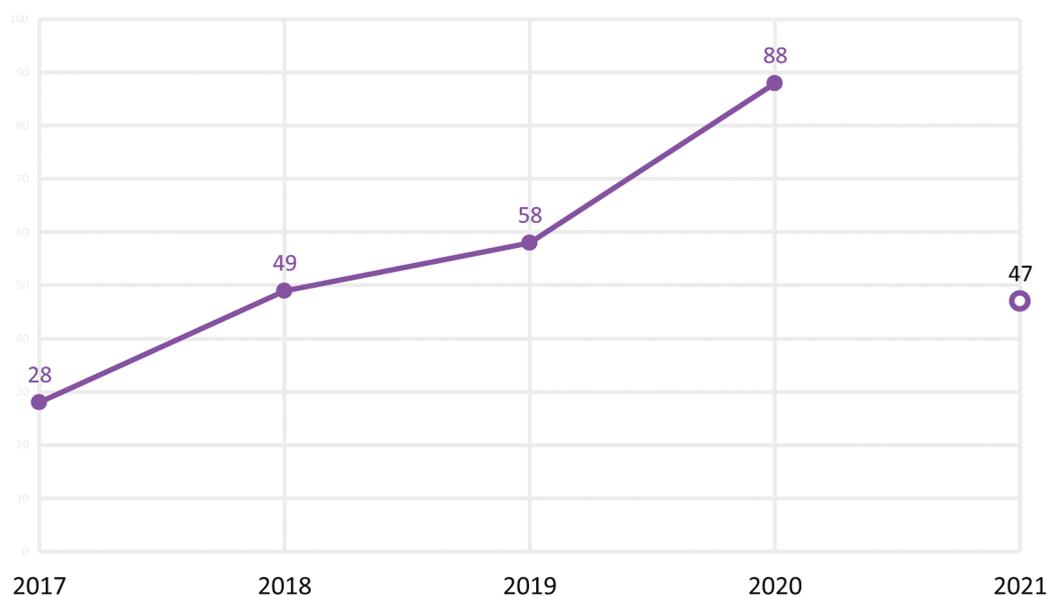


圖 2-4 低軌道衛星通訊前端系統論文發表歷年趨勢

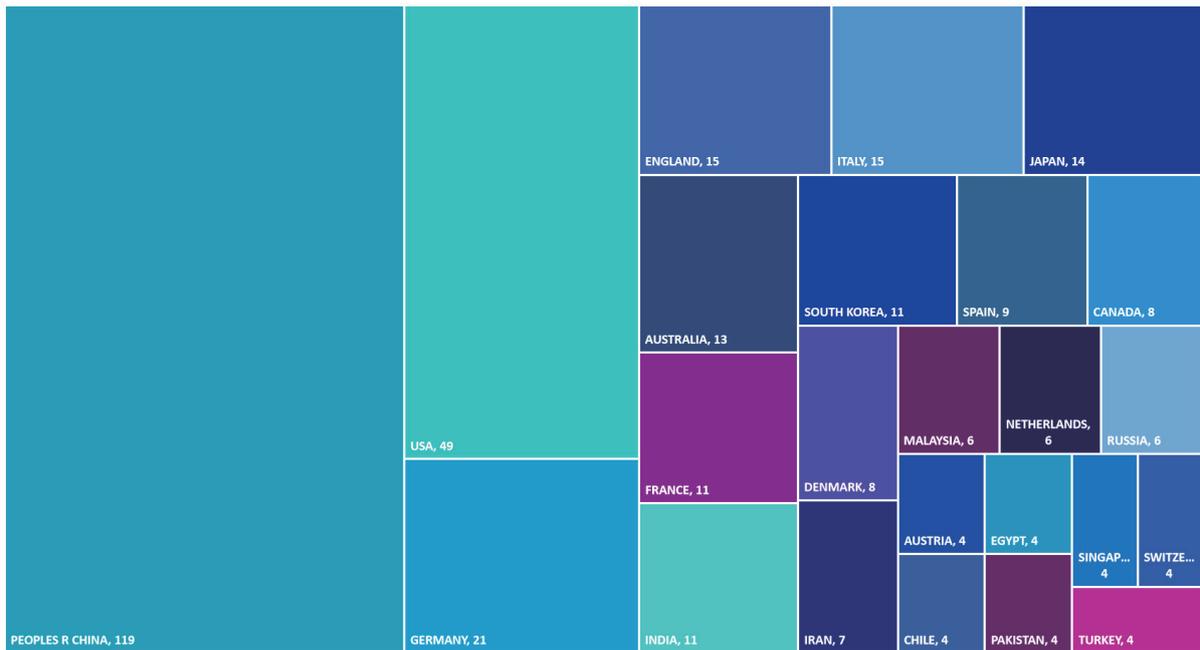


圖 2-5 低軌道衛星通訊前端系統國家論文統計

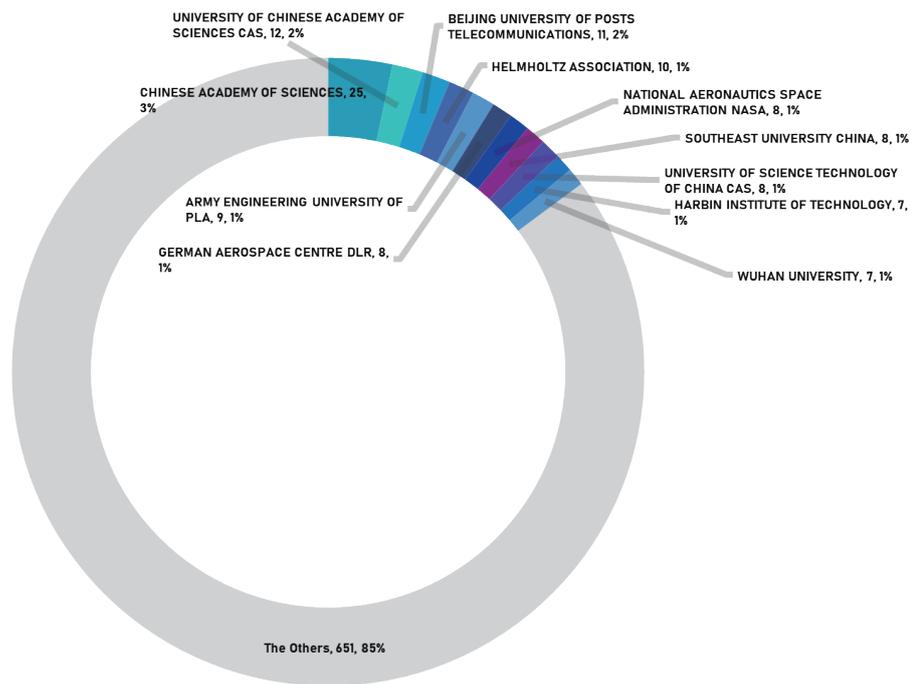


圖 2-6 低軌道衛星通訊前端系統論文發表單位統計

三、B5G/6G 電磁創新關鍵技術

2017 至今 B5G/6G 電磁創新關鍵技術論文共查到 254 篇，2017 至 2020 年間發表數量呈指數性大幅成長（見圖 2-7，2021 年僅統計至 6 月）。發表排名前 10 國（圖 2-8）依序為中國（78 篇，佔整體的 30.7%）、美國（67 篇，26.4%）、南韓（30 篇，11.8%）、英國（20 篇，7.9%）、沙烏地阿拉伯（19 篇，7.5%）、加拿大（17 篇，6.7%）、印度（17 篇，6.7%）、日本（16 篇，6.3%）、德國（13 篇，5.1%）、芬蘭（12 篇，4.7%）；台灣與法國、義大利並列第 11 名，各有 11 篇論文。全球論文發表機構超過 500 個，前 10 名（圖 2-9，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為為加州大學系統（9 篇）、中國科學院（7 篇）、阿布都拉國王科技大學（7 篇）、芬蘭奧盧大學（7 篇）、法國國家科學研究中心（6 篇）、哈爾濱工業大學（6 篇）、Nokia（6 篇）、新加坡科技設計大學（6 篇）、佛州州立大學系統（6 篇）、巴黎薩克雷大學（6 篇）；Nokia 是唯一進榜的企業單位。

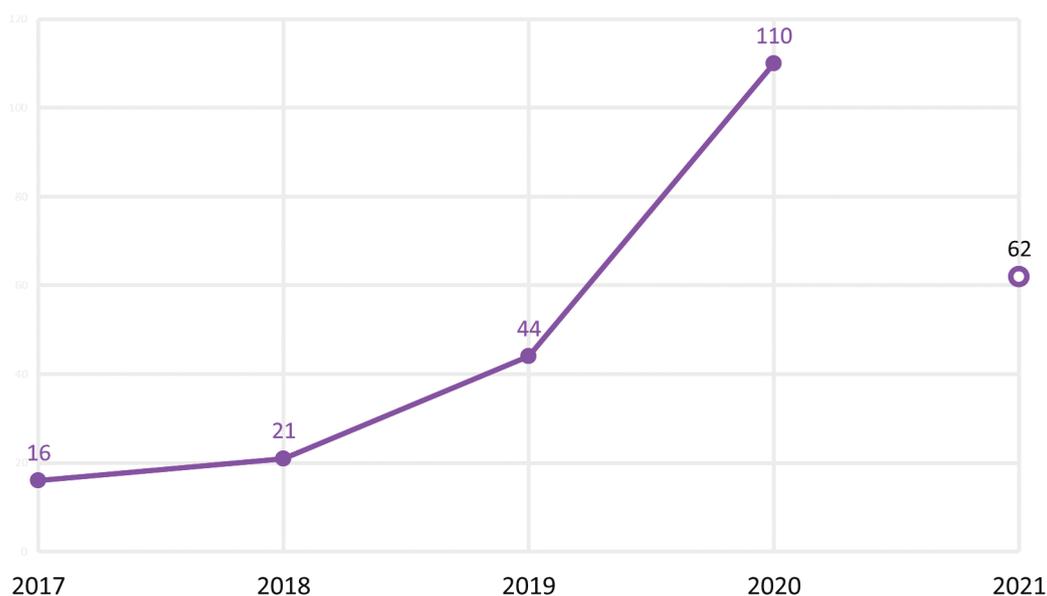


圖 2-7 電磁創新關鍵技術論文發表歷年趨勢

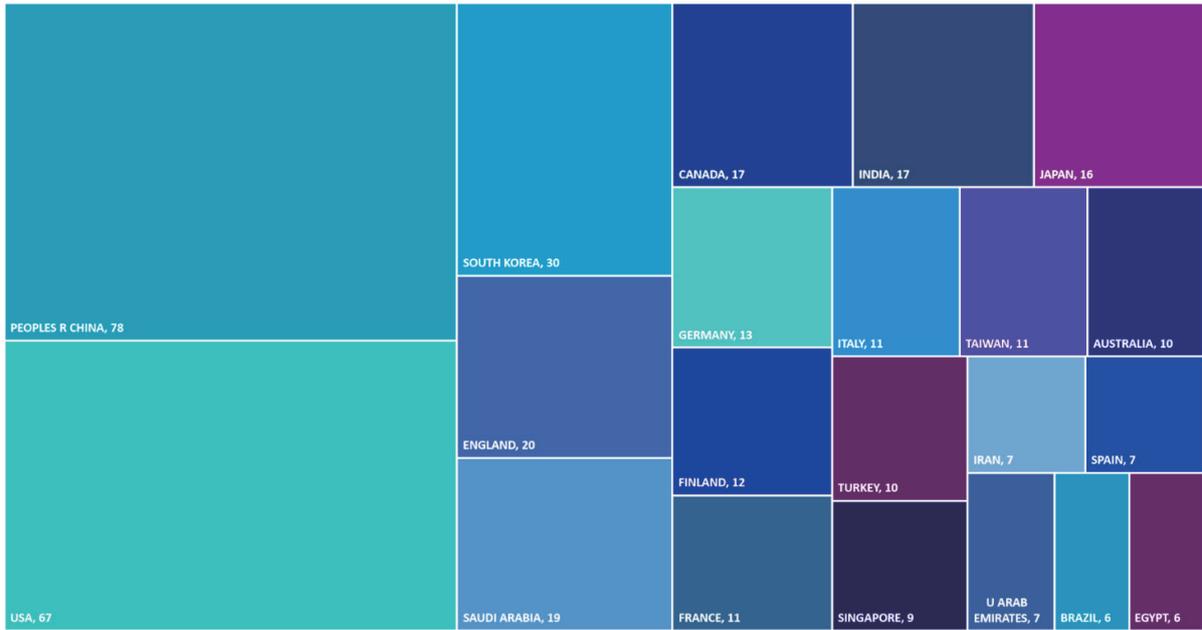


圖 2-8 電磁創新關鍵技術國家論文統計

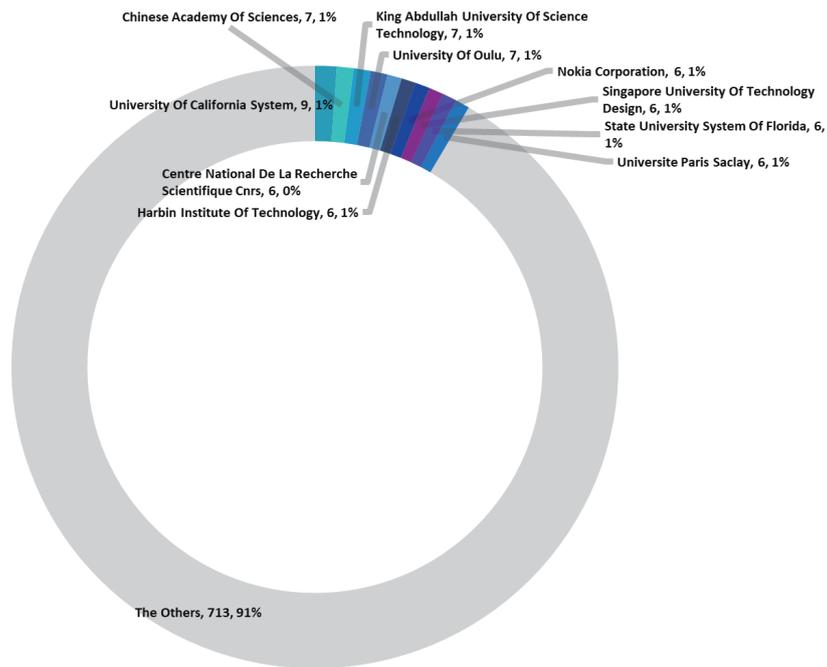


圖 2-9 電磁創新關鍵技術論文發表單位統計

四、B5G/6G 大規模多輸入多輸出 (massive MIMO) 技術

2017 至今 massive MIMO 論文共查到 3810 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈線性成長(見圖 2-10，2021 年僅統計至 6 月)。發表排名前 10 國(圖 2-11)依序為中國(1821 篇，佔整體的 47.8%)、美國(646 篇，17.0%)、英國(332 篇，8.7%)、加拿大(285 篇，7.5%)、南韓(262 篇，6.9%)、瑞典(218 篇，5.7%)、印度(211 篇，5.5%)、澳洲(151 篇，4.0%)、日本(146 篇，3.8%)、德國(134 篇，3.5%)；台灣排在第 11 名，有 132 篇論文。全球論文發表機構超過 1,700 個，前 10 名(圖 2-12，同篇共同發表時，不同單位各計數一次)依序為中國東南大學(395 篇)、北京郵電大學(157 篇)、北京清華大學(147 篇)、南京郵電大學(122 篇)、西安電子科技大學(113 篇)、中國電子科技大學(110 篇)、瑞典林雪坪大學(104 篇)、華為(94 篇)、北京交通大學(85 篇)、倫敦大學(85 篇)；華為是唯一進榜的企業單位。

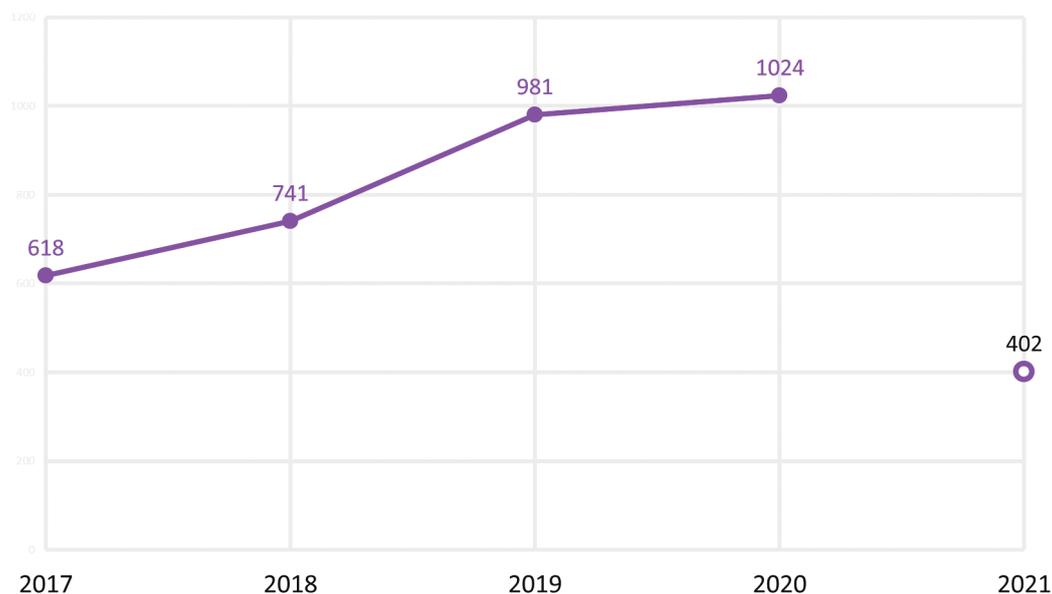


圖 2-10 massive MIMO 相關論文發表歷年趨勢

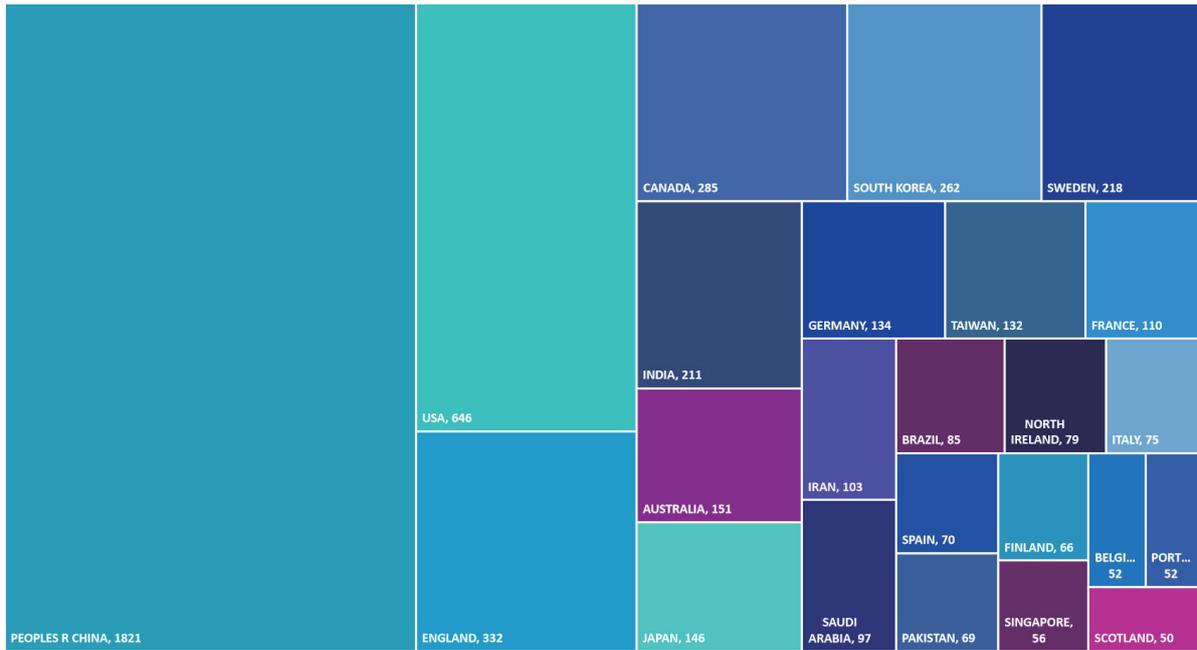


圖 2-11 massive MIMO 相關國家論文統計

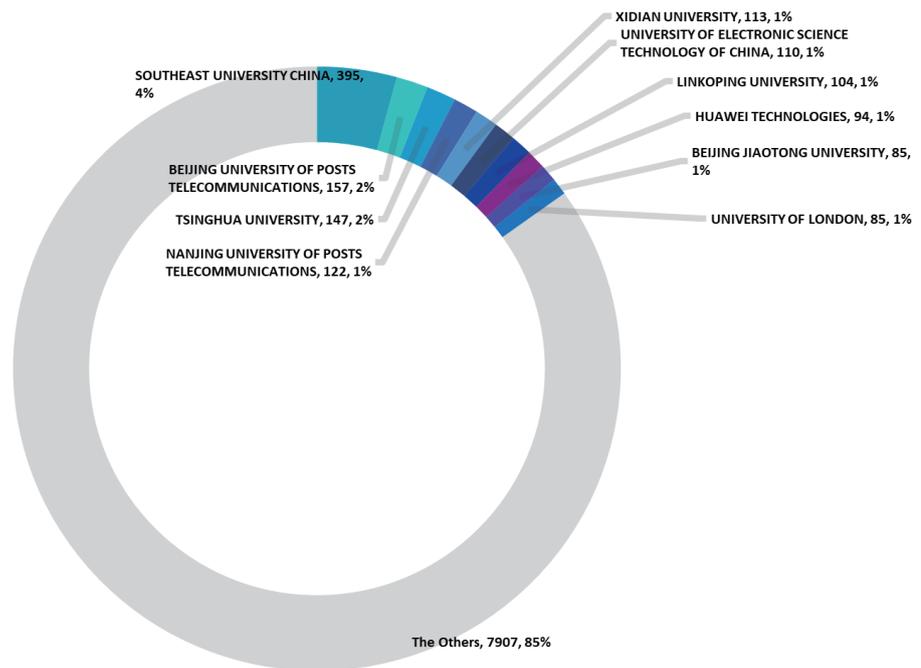


圖 2-12 massive MIMO 相關論文發表單位統計

五、B5G/6G 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計

2017 至今新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計論文共查到 246 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈指數成長（見圖 2-13，2021 年僅統計至 6 月）。台灣的論文數量排名第 10，發表排名前 10 國（圖 2-14）依序為美國（54 篇，佔整體的 22.0%）、中國（46 篇，18.7%）、南韓（33 篇，13.4%）、英國（26 篇，10.6%）、義大利（25 篇，10.2%）、芬蘭（23 篇，9.3%）、西班牙（23 篇，9.3%）、加拿大（20 篇，8.1%）、日本（16 篇，6.5%）、台灣（15 篇，6.1%）。此主題是企業論文發表量高的少數幾個領域，全球論文發表機構超過 400 個，前 10 名（圖 2-15，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為 Samsung（14 篇）、華為（12 篇）、Nokia（11 篇）、芬蘭的坦佩雷大學（11 篇）、美國的喬治亞理工（8 篇）、英國的南安普敦大學（8 篇）、美國的喬治亞大學系統（8 篇）、Ericsson（7 篇）、義大利的波隆那大學（7 篇）、芬蘭的奧盧大學（7 篇）。

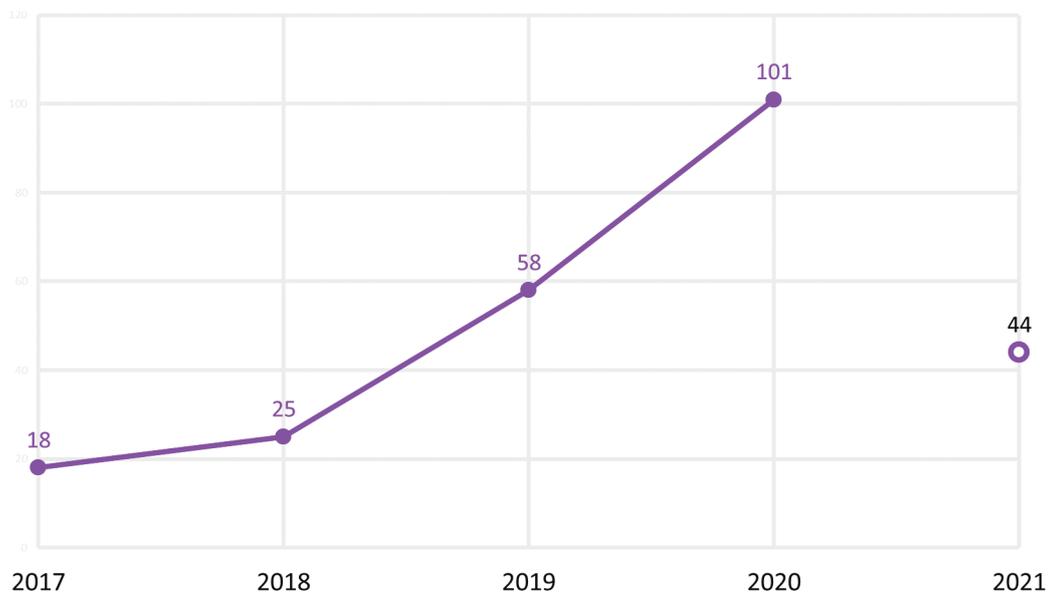


圖 2-13 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計論文發表歷年趨勢

六、6G 人工智慧無線通訊

2017 至今人工智慧無線通訊論文共查到 770 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈指數成長（見圖 2-16，2021 年僅統計至 6 月）。中國參與的論文超過 45%，發表排名前 10 國（圖 2-17）依序為中國（350 篇，佔整體的 45.5%）、美國（160 篇，20.8%）、南韓（95 篇，12.3%）、加拿大（82 篇，10.6%）、英國（65 篇，8.4%）、沙烏地阿拉伯（52 篇，6.8%）、日本（51 篇，6.6%）、法國（49 篇，6.4%）、澳洲（41 篇，5.3%）、芬蘭（40 篇，5.2%）；台灣排名在第 17，以 22 篇與新加坡並列。全球論文發表機構超過 1,000 個，前 10 名（圖 2-18，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為北京郵電大學（43 篇）、中國電子科技大學（30 篇）、芬蘭奧盧大學（28 篇）、加拿大魁北克大學（28 篇）、沙烏地紹德國王大學（24 篇）、中國東南大學（22 篇）、中國科學院（21 篇）、西安電子科技大學（21 篇）、華為（18 篇）、南韓的世宗大學（18 篇）、法國的巴黎薩克雷大學（18 篇）、魁北克大學蒙特婁分校（18 篇）；華為是唯一進榜的企業單位。

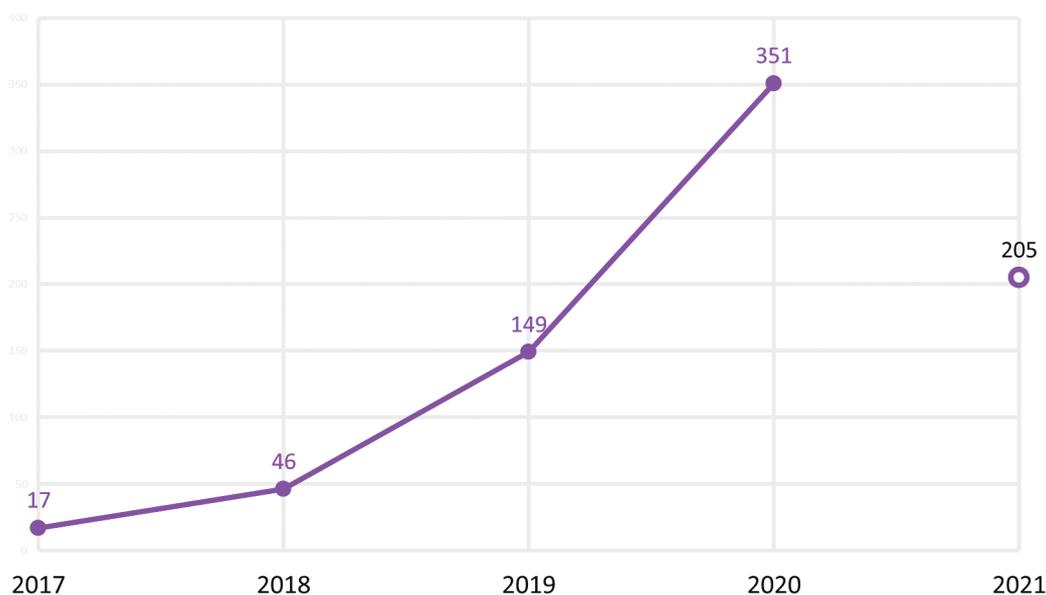


圖 2-16 人工智慧無線通訊論文發表歷年趨勢

七、6G 前瞻多重接取技術

2017 至今多重接取技術論文共查到 1337 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈線性成長（見圖 2-19，2021 年僅統計至 6 月）。論文數量台灣與芬蘭並列第 10 名，發表排名前 10 國（圖 2-20）依序為中國（547 篇，佔整體的 40.9%）、英國（182 篇，13.6%）、加拿大（176 篇，13.2%）、美國（176 篇，13.2%）、南韓（149 篇，11.1%）、印度（104 篇，7.8%）、澳洲（69 篇，5.2%）、巴基斯坦（55 篇，4.1%）、沙烏地阿拉伯（52 篇，3.9%）、芬蘭（49 篇，3.7%）、台灣（49 篇，3.7%）。全球論文發表機構超過 1,100 個，前 10 名（圖 2-21，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為西安電子科技大學（71 篇）、北京郵電大學（56 篇）、中國東南大學（50 篇）、英國倫敦大學（45 篇）、英國的曼徹斯特大學（45 篇）、北京清華大學（37 篇）、英國的蘭開斯特大學（33 篇）、倫敦大學瑪麗王后學院（28 篇）、華為（26 篇）、巴基斯坦的 COMSATS 大學（23 篇）、西南交通大學（23 篇）、中國電子科技大學（23 篇）；華為是唯一進榜的企業單位。

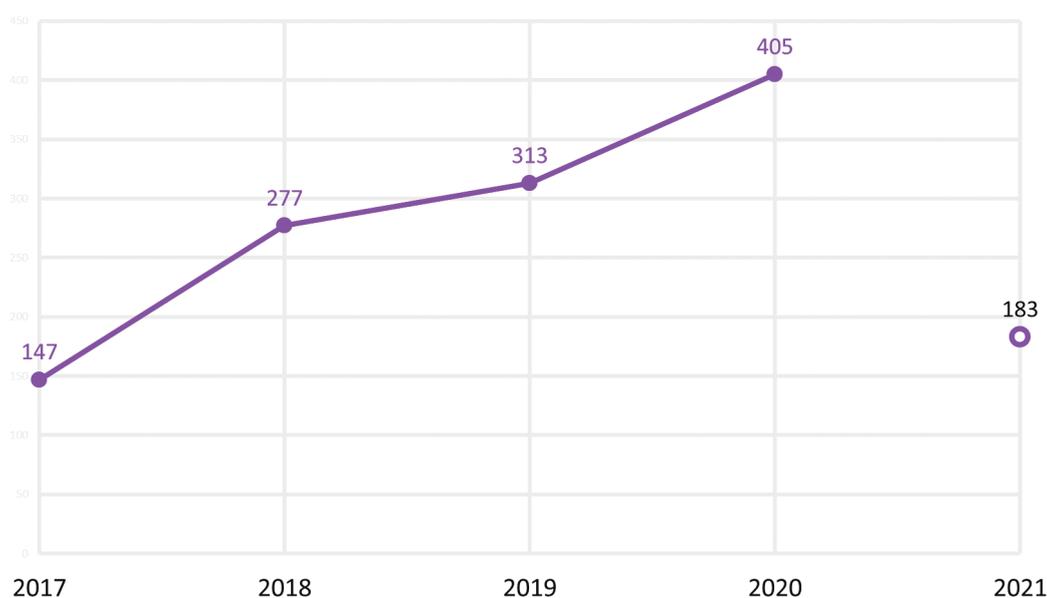


圖 2-19 前瞻多重接取技術論文發表歷年趨勢

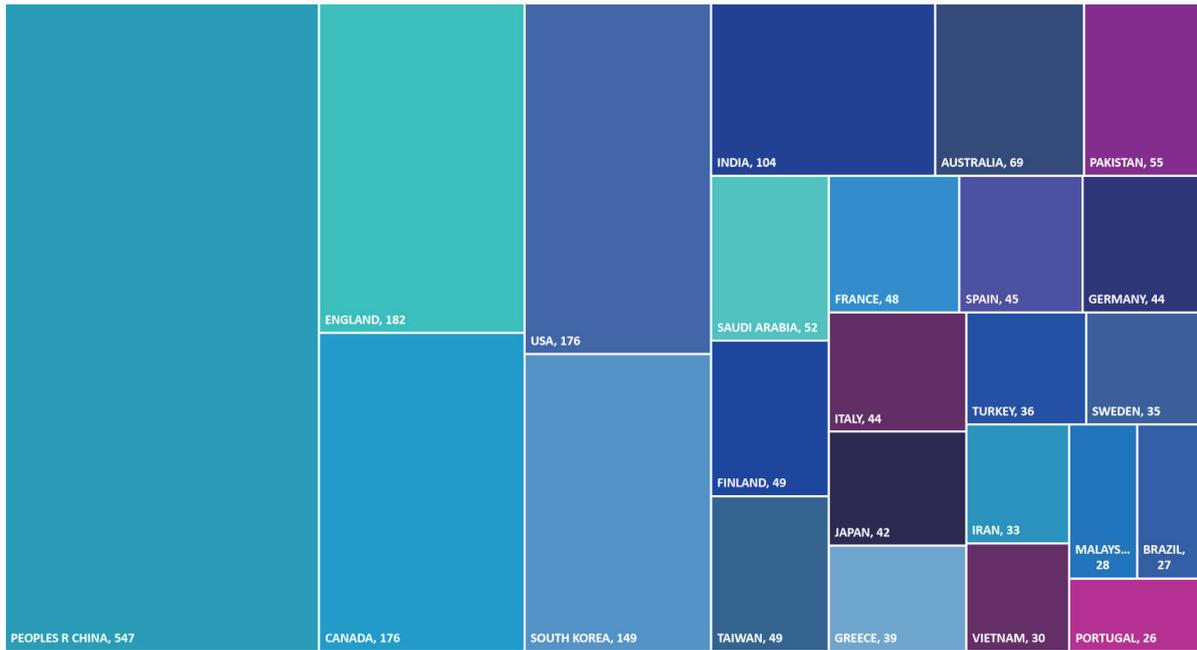


圖 2-20 前瞻多重接取技術國家論文統計

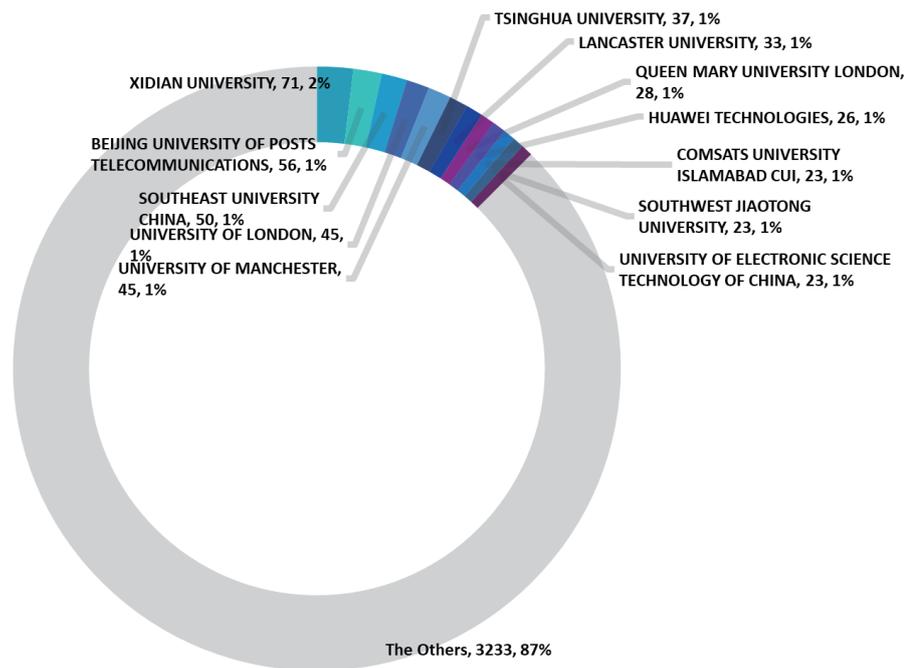


圖 2-21 前瞻多重接取技術論文發表單位統計

八、6G 寬頻通訊協定

2017 至今寬頻通訊協定論文共查到 1036 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈線性成長(見圖 2-22，2021 年僅統計至 6 月)。發表排名前 10 國(圖 2-23)依序為中國(291 篇，佔整體的 28.1%)、美國(168 篇，16.2%)、南韓(102 篇，9.8%)、英國(93 篇，9.0%)、印度(91 篇，8.8%)、西班牙(91 篇，8.8%)、義大利(77 篇，7.4%)、加拿大(72 篇，6.9%)、德國(66 篇，6.4%)、法國(50 篇，4.8%)；台灣以 28 篇排在第 17 名。全球論文發表機構超過 1,500 個，前 10 名(圖 2-24，同篇共同發表時，不同單位各計數一次)依序為西安電子科技大學(26 篇)、英國倫敦大學(21 篇)、北京郵電大學(20 篇)、北京交通大學(17 篇)、丹麥的奧爾堡大學(16 篇)、法國國家科學研究中心(16 篇)、印度理工學院系統(15 篇)、Nokia(15 篇)、義大利的帕多瓦大學(15 篇)、Ericsson(14 篇)、華為(14 篇)、中國東南大學(14 篇)、中國清華大學(14 篇)、中國電子科技大學(14 篇)；進榜的企業單位有 Nokia、Ericsson、華為。

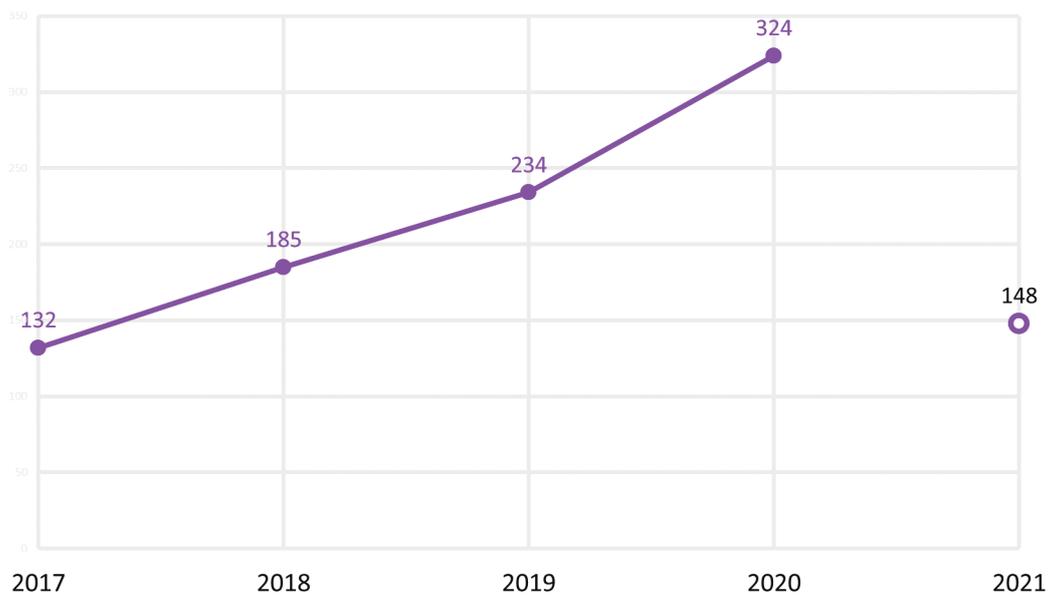


圖 2-22 寬頻通訊協定論文發表歷年趨勢

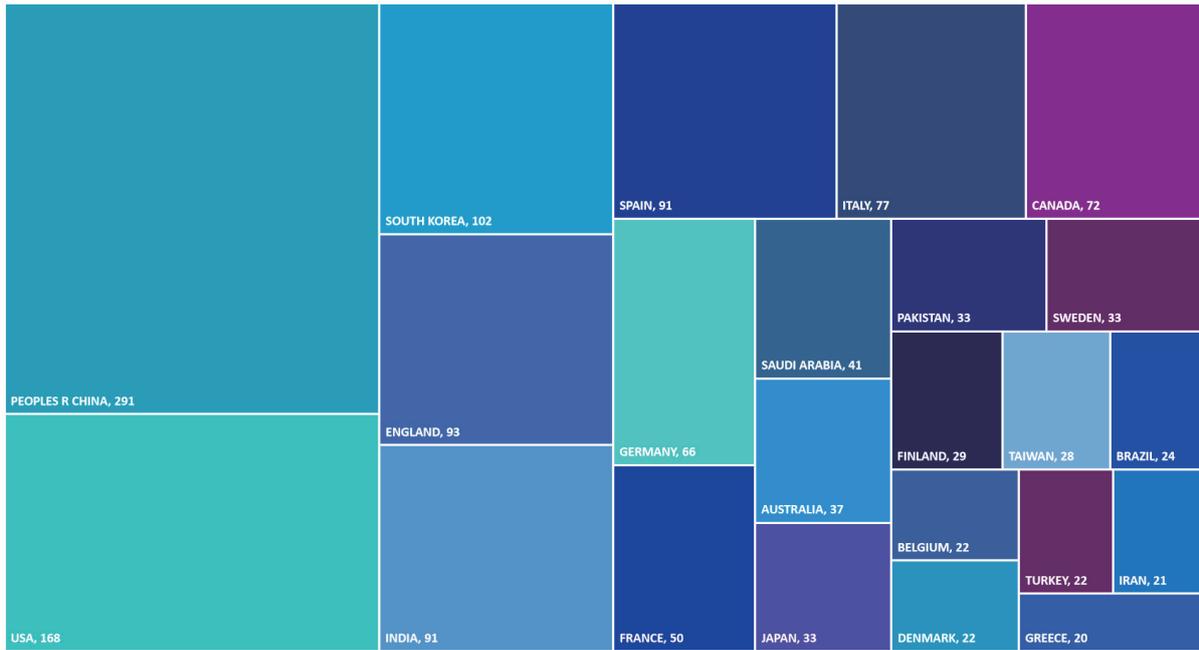


圖 2-23 寬頻通訊協定國家論文統計

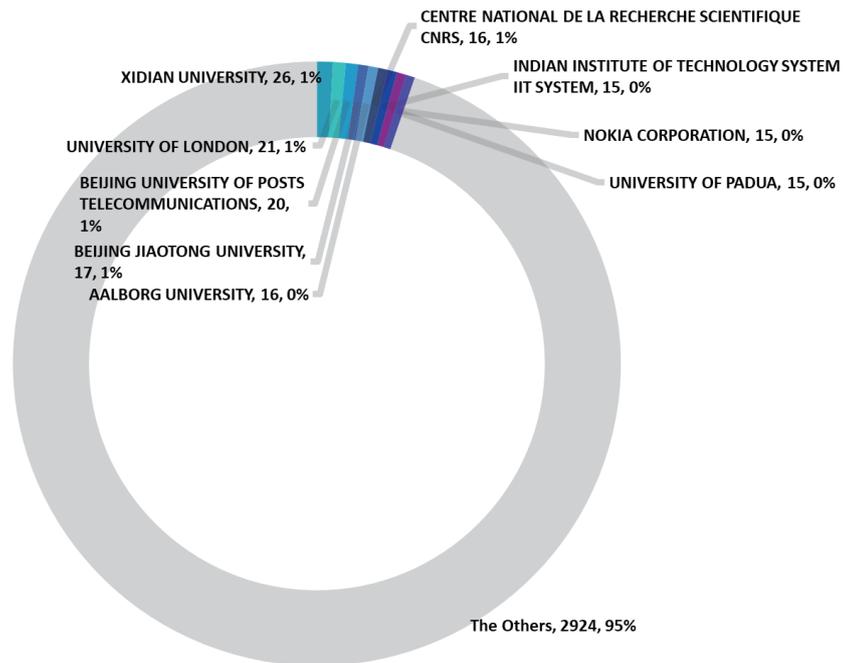


圖 2-24 寬頻通訊協定論文發表單位統計

九、6G 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定

2017 至今異質網路架構下之三維通訊與衛星協定論文共查到 76 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈線性成長（見圖 2-25，2021 年僅統計至 6 月）。發表排名前 10 國（圖 2-26）依序為中國（43 篇，佔 56.6%）、義大利（12 篇，15.8%）、美國（12 篇，15.8%）、加拿大（9 篇，11.8%）、印度（9 篇，11.8%）、英國（8 篇，10.5%）、西班牙（6 篇，7.9%）、巴西（4 篇，5.3%）、沙烏地阿拉伯（4 篇，5.3%）、德國（3 篇，3.9%）。全球論文發表機構超過 150 個，前 10 名（圖 2-27，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為南京郵電大學（12 篇）、印度理工學院系統（10 篇）、中國人民解放軍戰略支援部隊信息工程大學（8 篇）、北京郵電大學（5 篇）、加拿大康考迪亞大學（5 篇）、義大利的熱那亞大學（5 篇）、北京清華大學（4 篇）、中國的空軍工程大學（3 篇）、沙烏地阿拉伯的阿布都拉國王科技大學（3 篇）、南京大學（3 篇）、中國東南大學（3 篇）、巴西的塞阿拉聯邦大學（3 篇）、義大利的羅馬第二大學（3 篇）。

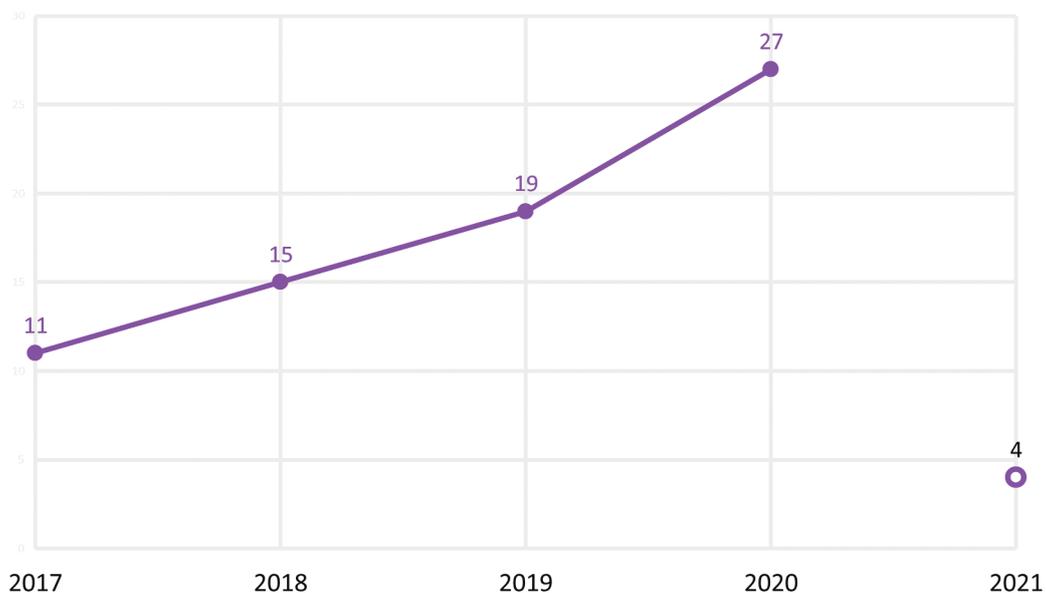


圖 2-25 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定論文發表歷年趨勢

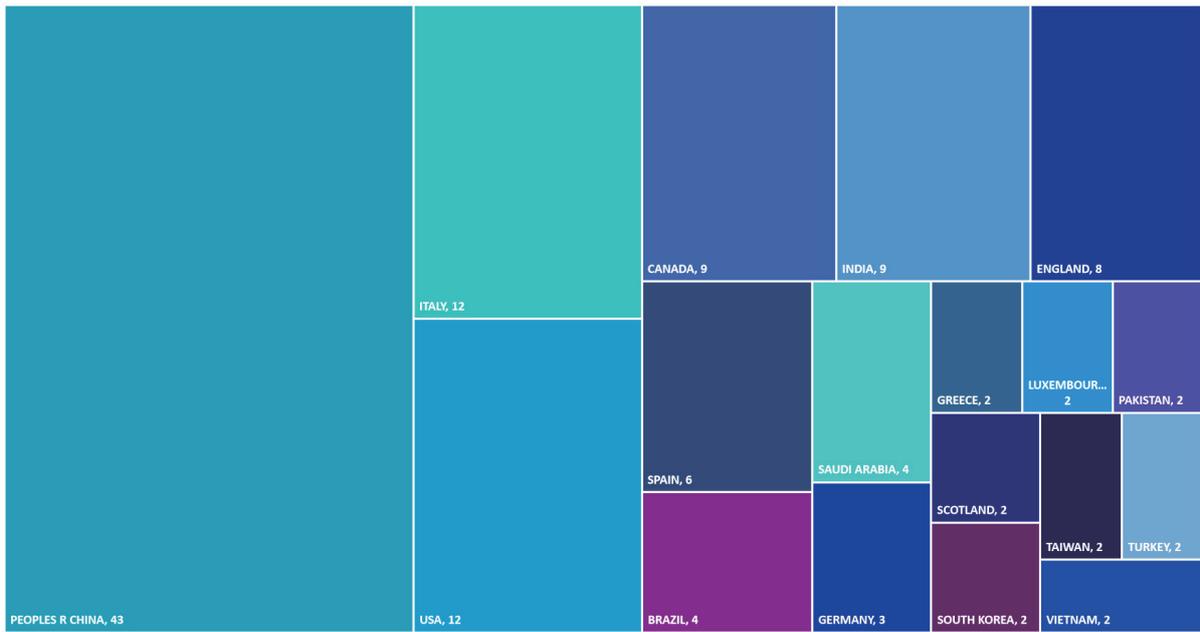


圖 2-26 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定國家論文統計

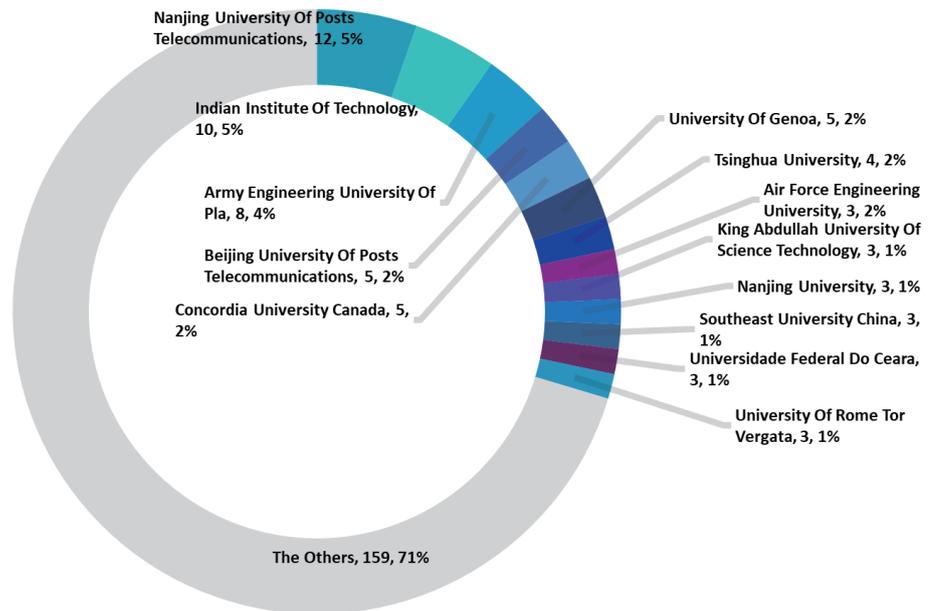


圖 2-27 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定論文發表單位統計

一、6G 物聯網通訊協定

2017 至今物聯網通訊協定論文共查到 3946 篇，2017 至 2020 年間發表數量呈線性成長(見圖 2-28，2021 年僅統計至 6 月)。發表排名前 10 國(圖 2-29)依序為中國(1075 篇，佔整體的 27.2%)、印度(616 篇，15.6%)、美國(535 篇，13.6%)、南韓(472 篇，12.0%)、巴基斯坦(264 篇，6.7%)、沙烏地阿拉伯(243 篇，6.2%)、英國(236 篇，6.0%)、義大利(219 篇，5.5%)、西班牙(205 篇，5.2%)、加拿大(184 篇，4.7%)；台灣以 167 篇排名在第 12。全球論文發表機構超過 3,000 個，前 10 名(圖 2-30，同篇共同發表時，不同單位各計數一次)依序為印度國立理工學院系統(95 篇)、巴基斯坦 COMSATS 大學(94 篇)、沙烏地紹德國王大學(92 篇)、西安電子科技大學(85 篇)、南韓慶北大學(64 篇)、北京郵電大學(63 篇)、印度韋洛爾理工大學(59 篇)、中國科學院(58 篇)、印度理工學院系統(53 篇)、法國國家科學研究中心(51 篇)、中國電子科技大學(51 篇)。

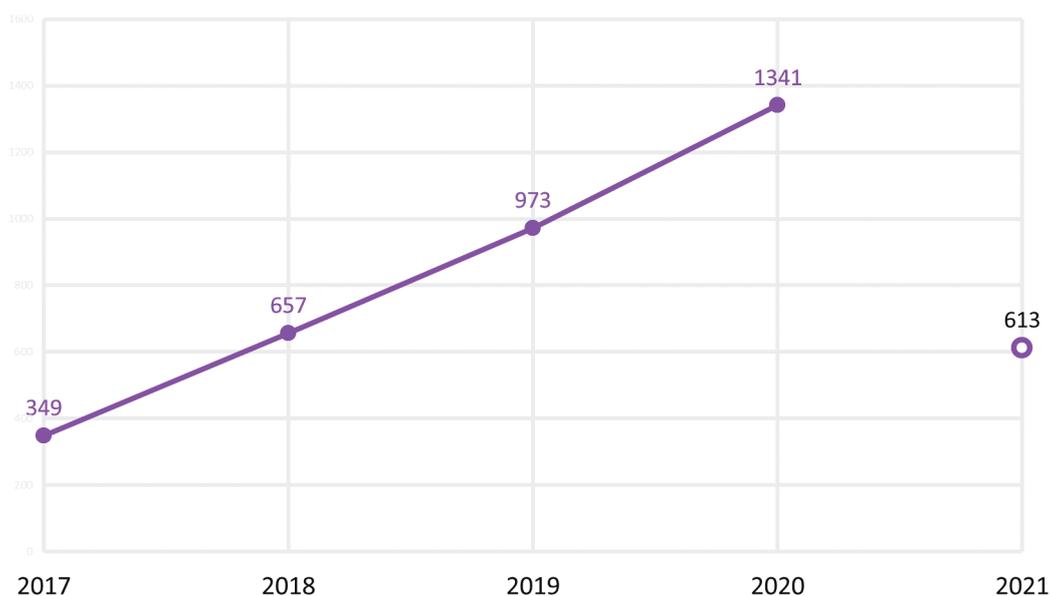


圖 2-28 物聯網通訊協定論文發表歷年趨勢

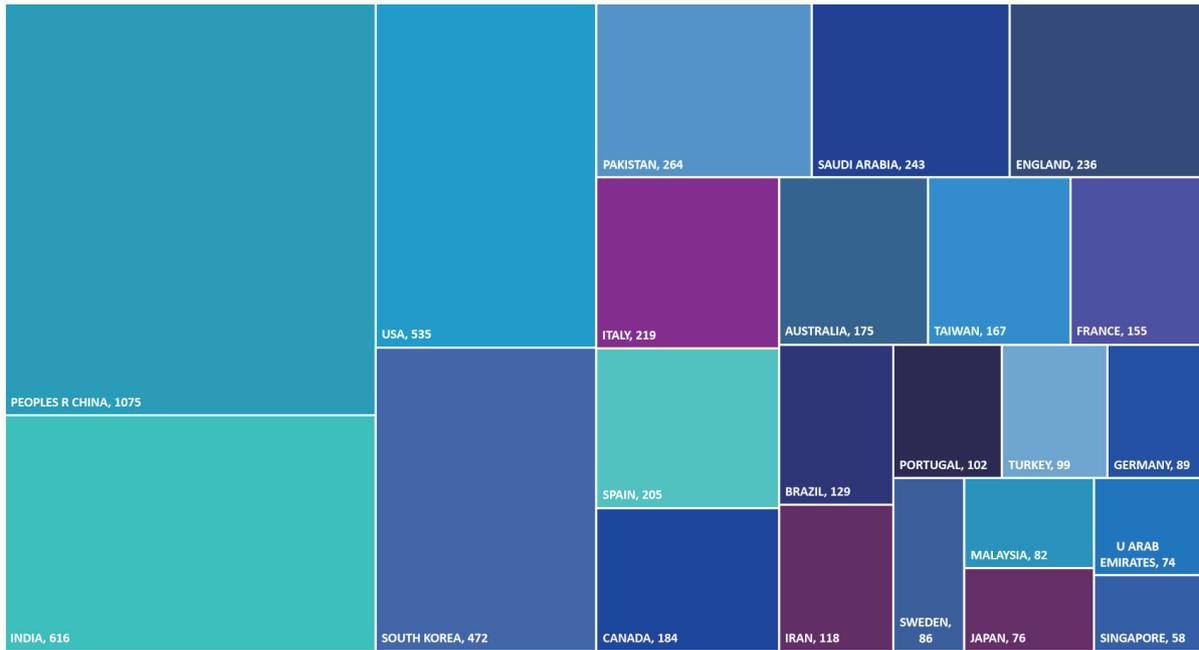


圖 2-29 物聯網通訊協定國家論文統計

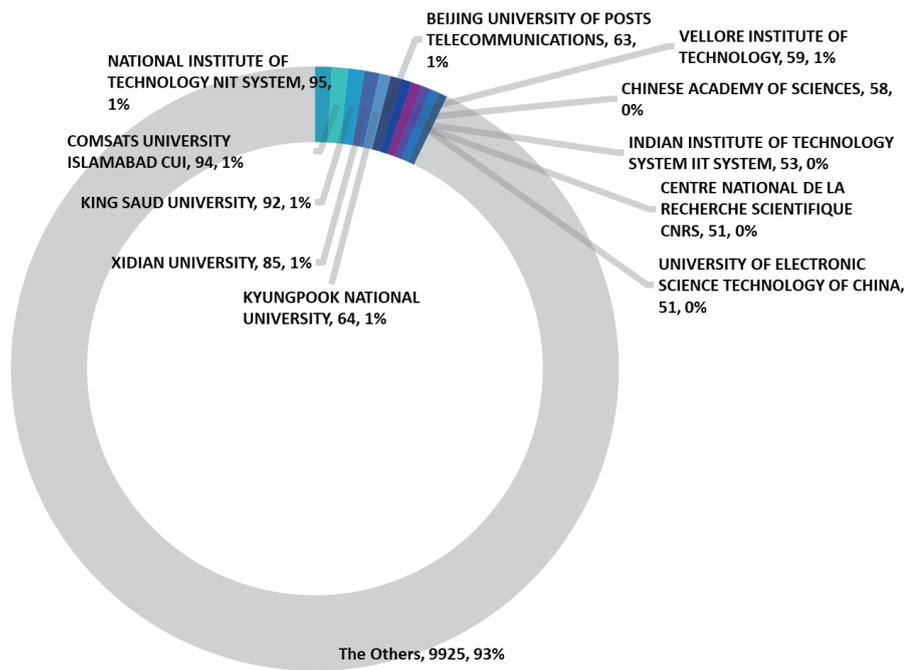


圖 2-30 物聯網通訊協定論文發表單位統計

一一、B5G/6G 通訊軟體系統

2017 至今通訊軟體系統論文共查到 319 篇，2017 至 2020 年間發表數量略呈指數成長（見圖 2-31，2021 年僅統計至 6 月）。台灣的論文數量排名第 8，發表排名前 10 國（圖 2-32）依序為中國（140 篇，佔整體的 43.9%）、美國（74 篇，23.2%）、西班牙（34 篇，10.7%）、英國（29 篇，9.1%）、義大利（25 篇，7.8%）、南韓（24 篇，7.5%）、澳洲（20 篇，6.3%）、台灣（20 篇，6.3%）、加拿大（18 篇，5.6%）、法國（18 篇，5.6%）。全球論文發表機構超過 600 個，前 10 名（圖 2-33，同篇共同發表時，不同單位各計數一次）依序為北京郵電大學（17 篇）、中國中山大學（12 篇）、中國電子科技大學（11 篇）、中國科學院（10 篇）、沙烏地紹德國王大學（10 篇）、法國的通信系統工程師學校與研究中心（8 篇）、新加坡的南洋理工大學（8 篇）、中國的天津大學（8 篇）、挪威的奧斯陸大學（8 篇）、美國的喬治亞大學系統（8 篇）。

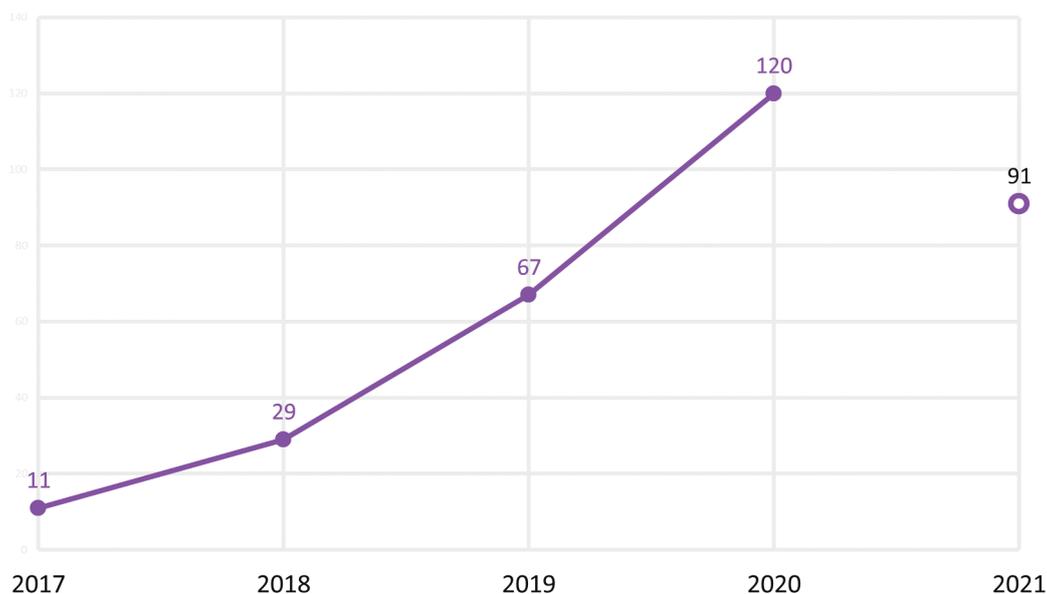


圖 2-31 通訊軟體系統論文發表歷年趨勢

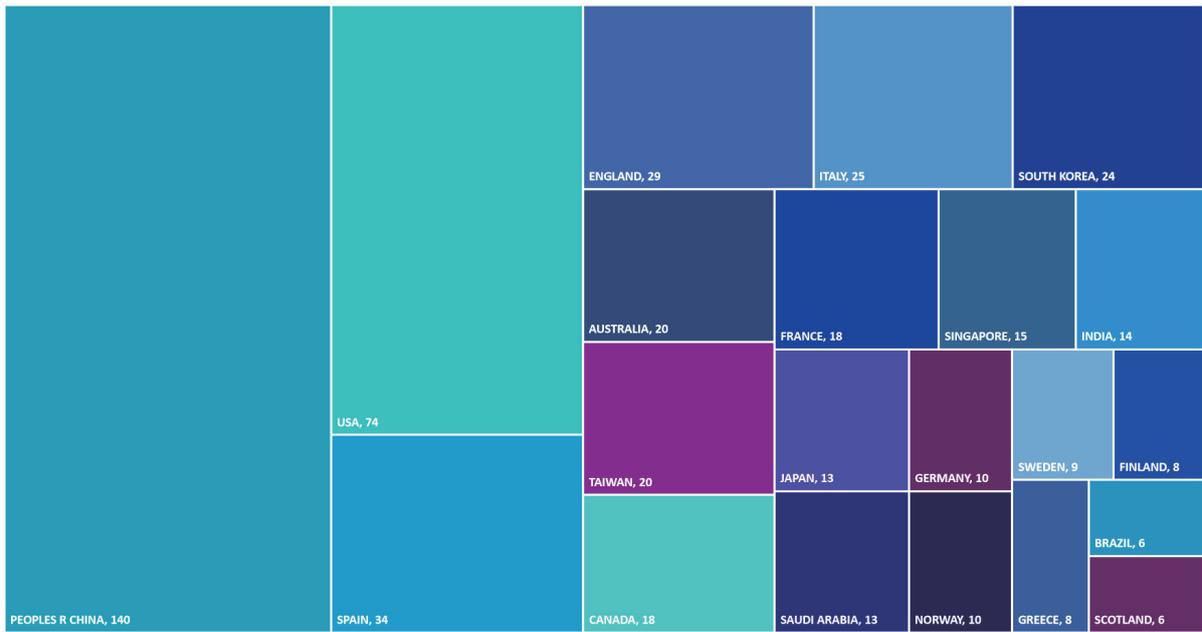


圖 2-32 通訊軟體系統國家論文統計

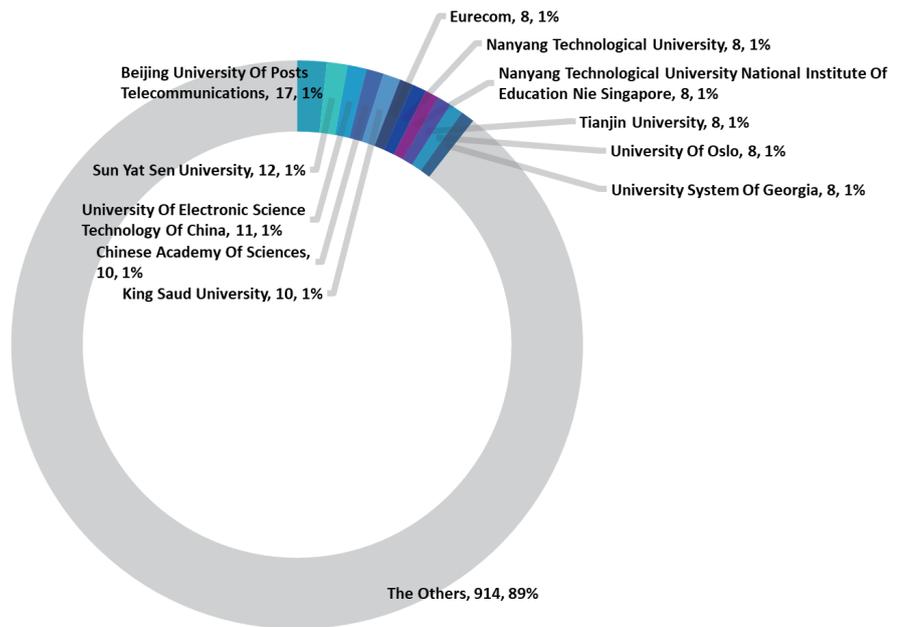


圖 2-33 通訊軟體系統論文發表單位統計

第四節 專利計量

專利之檢索時間範圍為申請日在 2017 年 1 月 1 日至 2021 年 7 月 23 日。專利運算子「AND」為交集，「OR」為聯集；「NEAR 數字」為兩關鍵字之交集，且前後可間隔特定字數；「*」為通配符 (wildcard)；「CTB」將關鍵字的檢索範圍，限縮在「申請專利範圍、標題、摘要」；「ACP」是合作專利分類 (cooperative patent classification, CPC)，合作專利分類中的「H04W」為無線通訊網路 (wireless communication networks) 相關。

一、次太赫茲 (sub-THz)/ 太赫茲 (THz) 前端系統

2017 至今 sub-Thz/Thz 前端系統相關美國公開專利共查到 21 件，總量較少，尚看不出隨時間變化的趨勢 (見圖 2-34，2021 年僅統計至 7 月)。除了美國，其他各國的專利都為個位數 (圖 2-35)。Crowdcomfort、華為、Intel 等各有兩件，Crowdcomfort 的兩件標題都是” Systems and methods for providing geolocation services in a mobile-based crowdsourcing platform” (US2020/0396002A1、US2017/0141848A1)，華為的是” Integration of image/video pattern recognition in traffic engineering” (US2017/0064531A1)、” - Multichannel radio frequency apparatus and method” (US2017/0019847A1)，Intel 的兩件標題都是” Waveguide communication with increased link data rate” (US2019/0013924A1、US2018/0183561A1)；多數申請人都僅有一件申請。

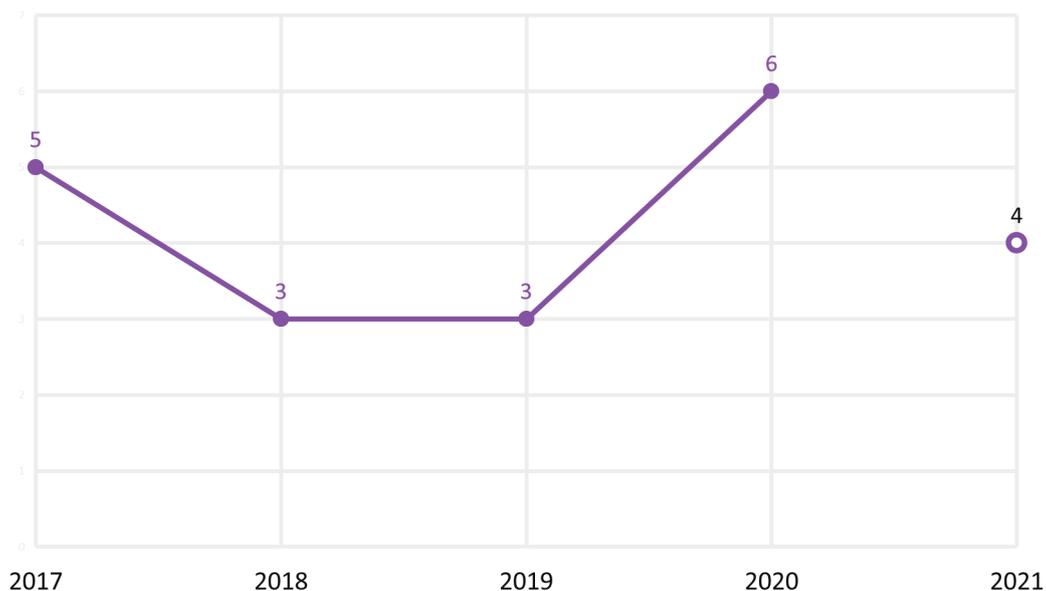


圖 2-34 sub-THz/THz 前端系統美國專利申請趨勢

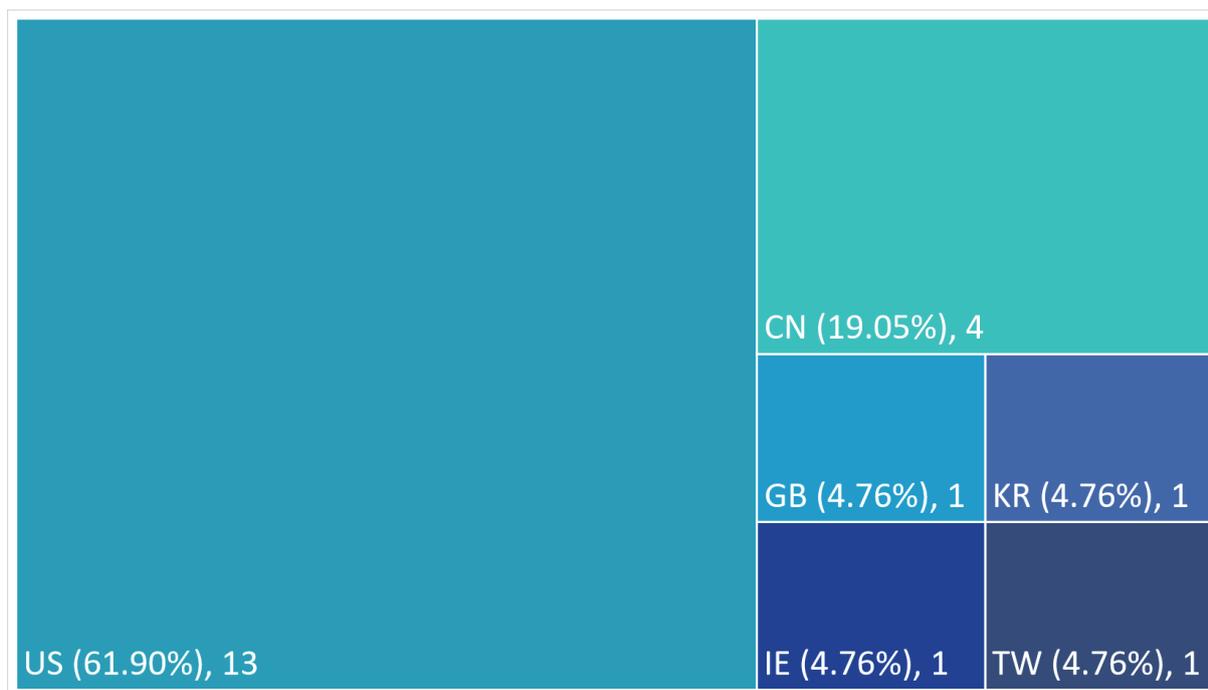


圖 2-35 sub-THz/THz 前端系統各國專利數

二、低軌道衛星通訊前端系統

2017 至今低軌道衛星通訊前端系統相關美國公開專利共查到 106 件，總量較少，尚看不出隨時間變化的趨勢（見圖 2-36，2021 年僅統計至 7 月）。除了美國，其他各國的專利都為個位數，總共包括美國（87 件，佔 82.08%）、澳洲（3 件，佔 2.83%）、加拿大（3 件，佔 2.83%）、德國（2 件，佔 1.89%）、英國（2 件，佔 1.89%）、以色列（2 件，佔 1.89%）、新加坡（2 件，佔 1.89%）、中國（1 件，佔 0.94%）、德國（1 件，佔 0.94%）、法國（1 件，佔 0.94%）、英屬澤西（1 件，佔 0.94%）、南韓（1 件，佔 0.94%）（見圖 2-37）。申請數量前 10 名中的個人申請人有 6 位（相同的 3 件專利，後轉讓給 Ofinno Tech），前 10 名（圖 2-38）依序為 Hughes（14 件）、Iridium Satellite（6 件）、Boeing（5 件）、Qualcomm（5 件）、Hawkeye 360（4 件）、Dish Network（3 件）、Ryu Jinsook（3 件；個人申請人）、Dinan Esmael（3 件；個人申請人）、Yi Yunjung（3 件；個人申請人）、Park Kyungmin（3 件；個人申請人）、Talebi Fard Peyman（3 件；個人申請人）、Qiao Weihua（3 件；個人申請人）、Scepter（3 件）、Viasat（3 件）。

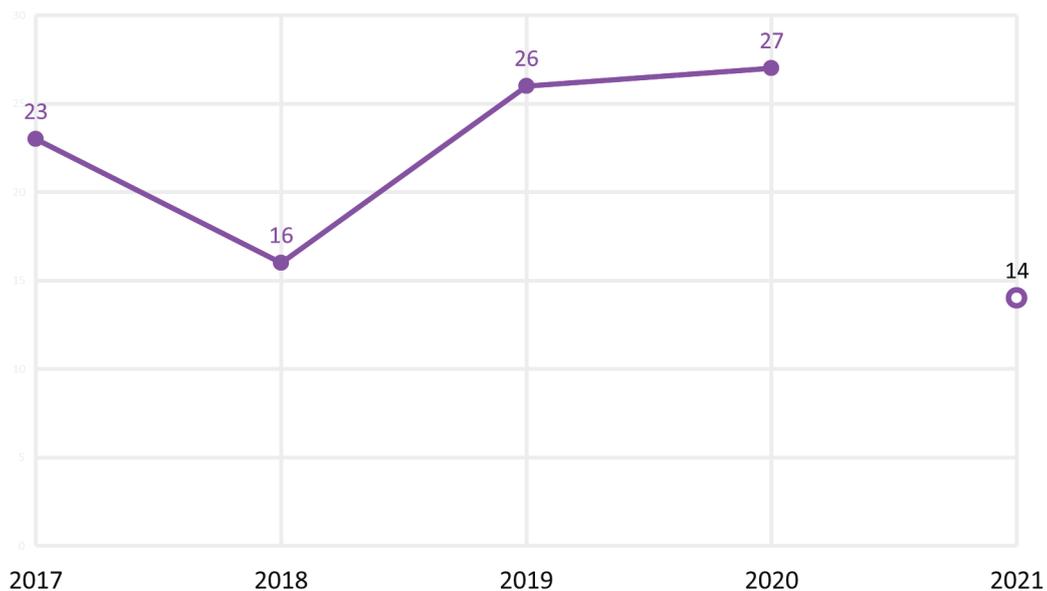


圖 2-36 低軌道衛星通訊前端系統美國專利申請趨勢



圖 2-37 低軌道衛星通訊前端系統重點國家專利數

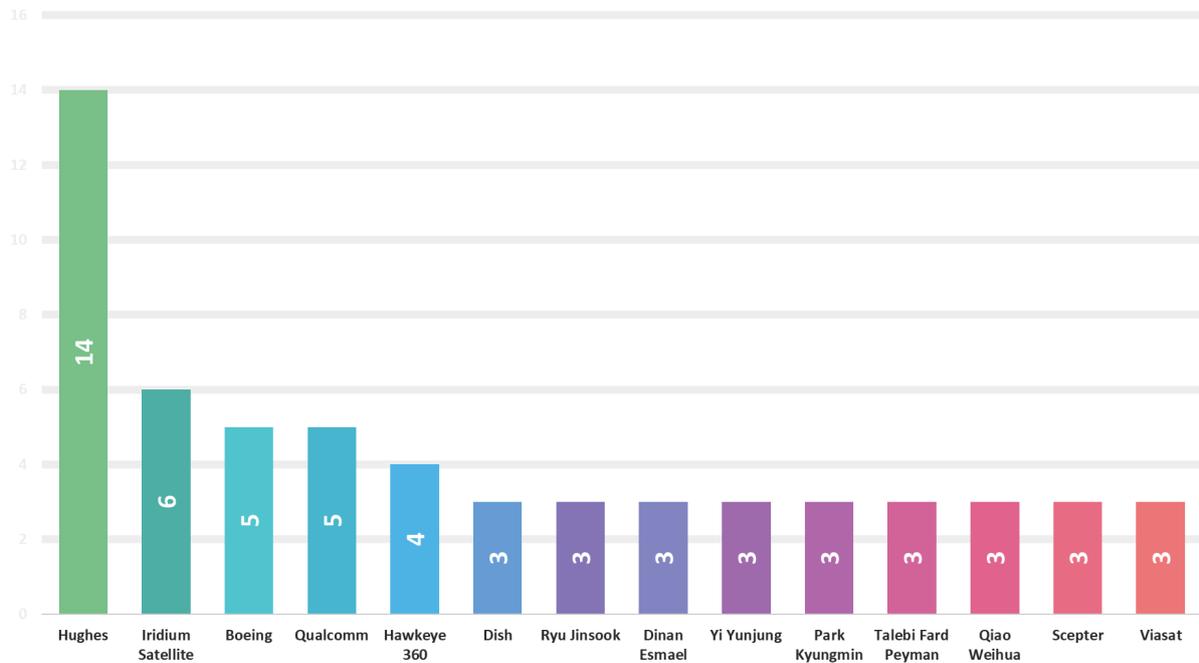


圖 2-38 低軌道衛星通訊前端系統專利申請人排名

三、B5G/6G 電磁創新關鍵技術

2017 至今電磁創新關鍵技術相關美國公開專利共查到 756 件，略呈指數性成長（見圖 2-39，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（333 件，佔 44.05%）、南韓（258 件，佔 34.13%）、中國（52 件，佔 6.88%）、德國（22 件，佔 2.91%）、瑞典（15 件，佔 1.98%）、日本（14 件，佔 1.85%）、法國（10 件，佔 1.32%）、台灣（10 件，佔 1.32%）、加拿大（5 件，佔 0.66%）、荷蘭（5 件，佔 0.66%）（見圖 2-40）。申請數量前 10 名中的個人申請人有 2 位，前 10 名申請人（圖 2-41）依序為 Samsung（157 件）、LG（66 件）、AT&T（50 件）、Qualcomm（44 件）、Intel（10 件）、T Mobile（9 件）、Parallel Wireless（9 件）、Apple（8 件）、Tran Bao（7 件；個人申請人）、Ericsson（7 件）、Feher Kamilo（7 件；個人申請人）。

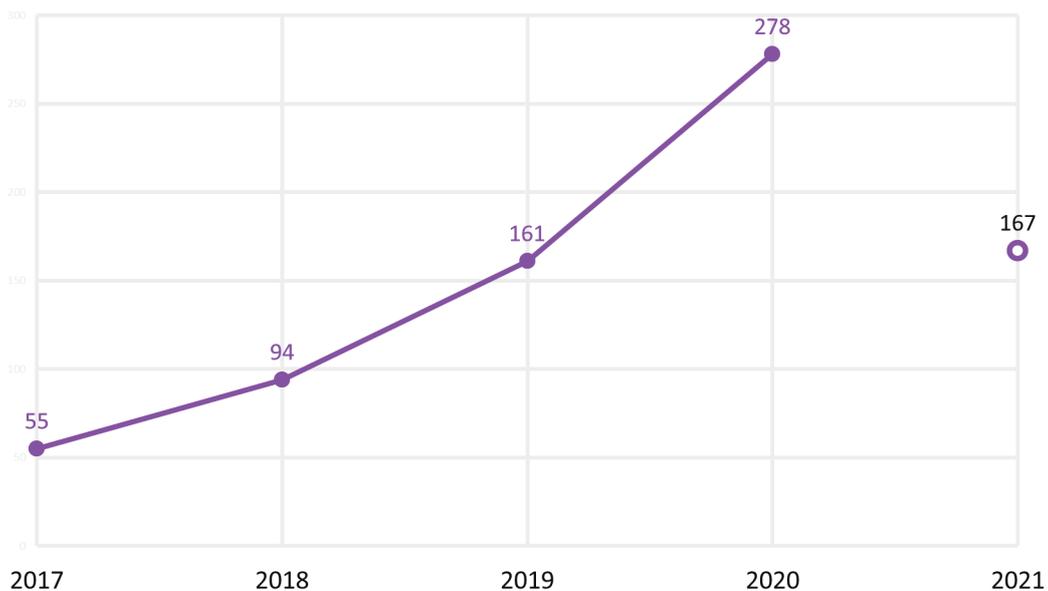


圖 2-39 電磁創新關鍵技術美國專利申請趨勢

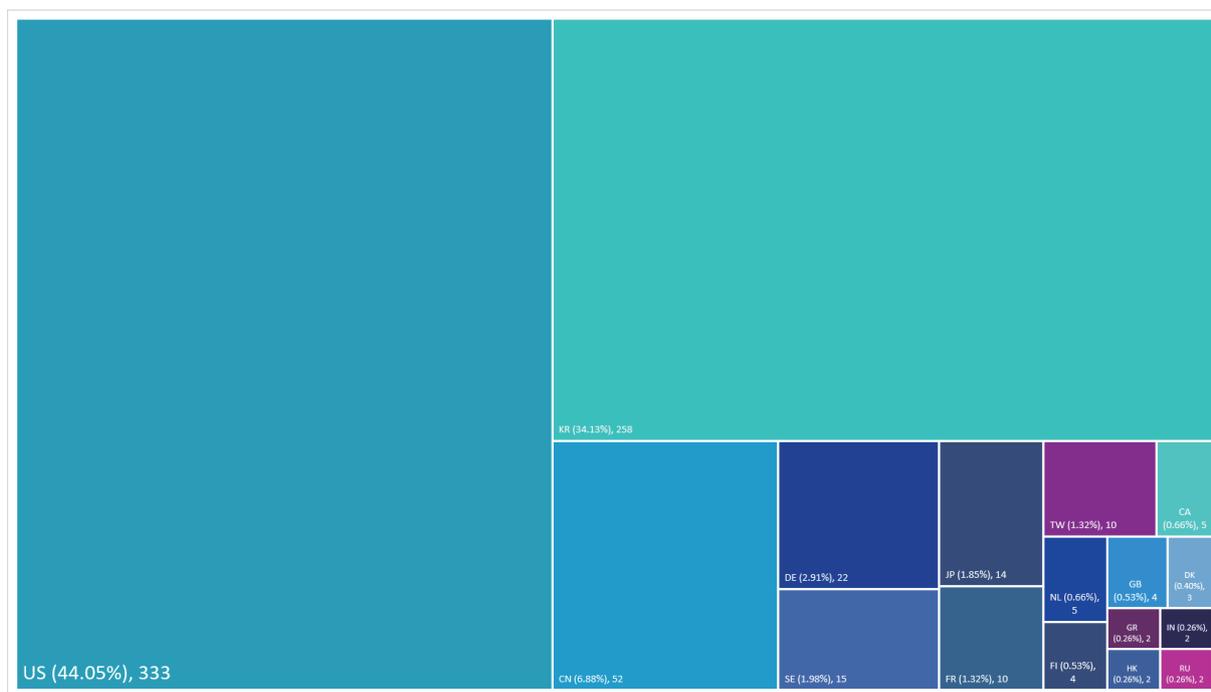


圖 2-40 電磁創新關鍵技術重點國家專利數

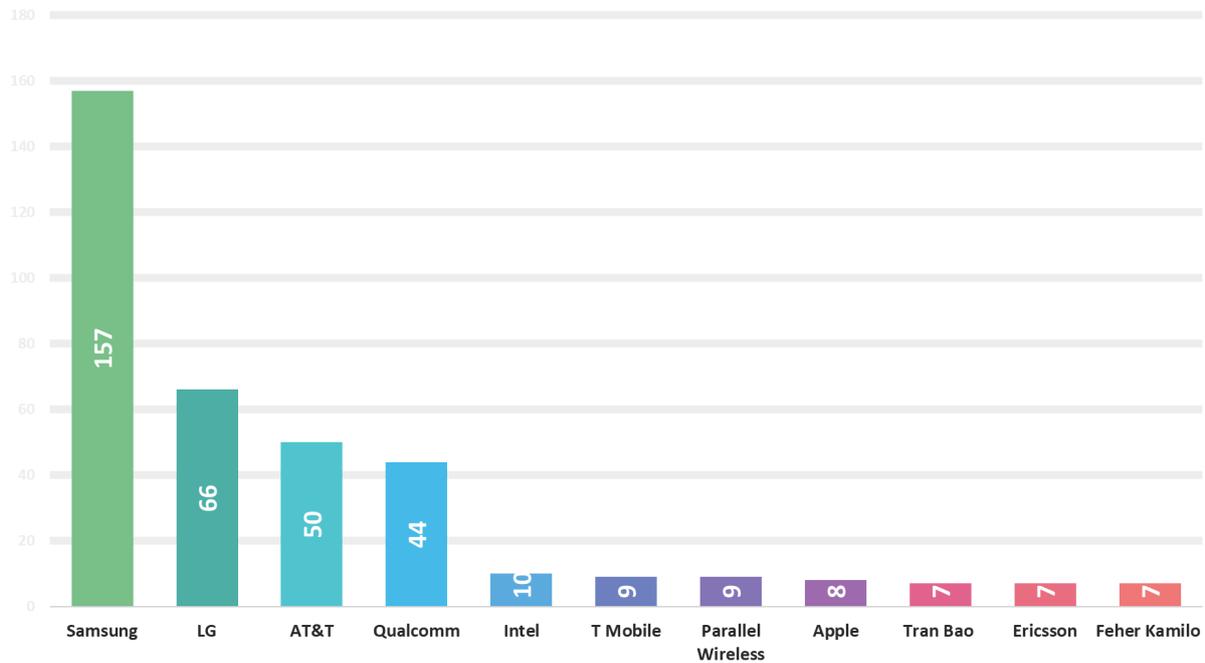


圖 2-41 電磁創新關鍵技術專利申請人排名

四、B5G/6G 大規模多輸入多輸出 (massive MIMO) 技術

2017 至今 massive MIMO 相關美國公開專利共查到 104 件，數量未隨時間增加（見圖 2-42，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前幾名的國家依序為美國（51 件，佔 49.04%）、中國（15 件，佔 14.42%）、南韓（8 件，佔 7.69%）、芬蘭（7 件，佔 6.73%）、日本（6 件，佔 5.77%）、瑞典（5 件，佔 4.81%）、法國（4 件，佔 3.85%）、愛爾蘭（2 件，佔 1.92%）（見圖 2-43）。前 10 名申請人（圖 2-44）依序為 Alcatel（8 件）、Nokia（7 件）、Nxgen IP（5 件）、AT&T（4 件）、Huawei（4 件）、Micron Tech（4 件）、Samsung（4 件）、Qualcomm（3 件）、Corning（3 件）、Futurewei（3 件）、LG（3 件）、RF DSP（3 件）、Liang Ping（3 件；個人申請人）、Sony（3 件）；其中個人申請人有 1 位，Futurewei 是華為旗下的美國研究單位。而 Nxgen IP 是非專利實施實體 (non-practicing entity, NPE)；massive MIMO 目前的專利雖然少，但從 NPE 關注的情況來看，將來可能是兵家必爭之地。

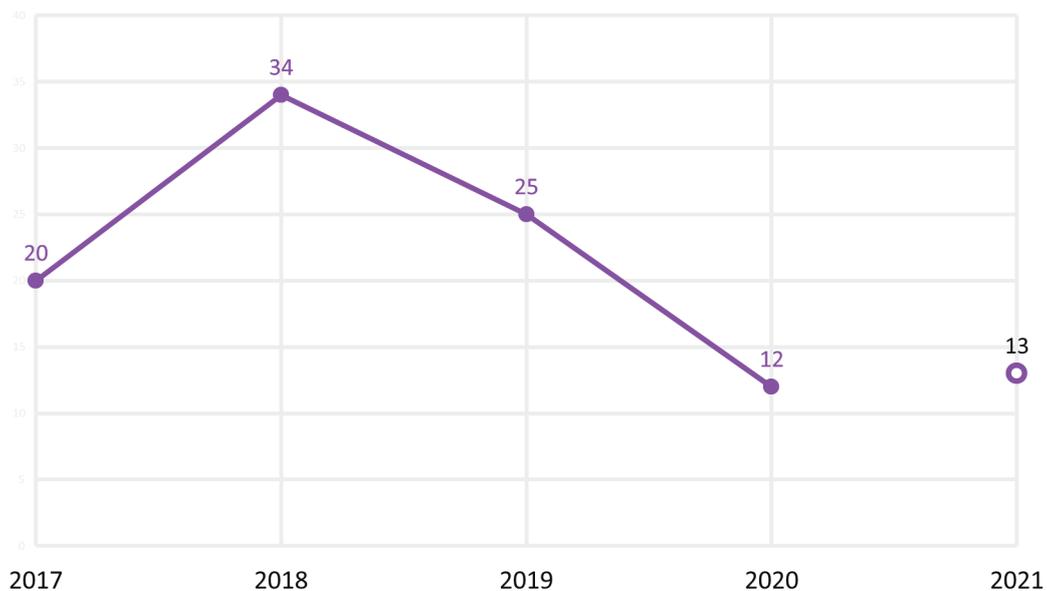


圖 2-42 massive MIMO 美國專利申請趨勢

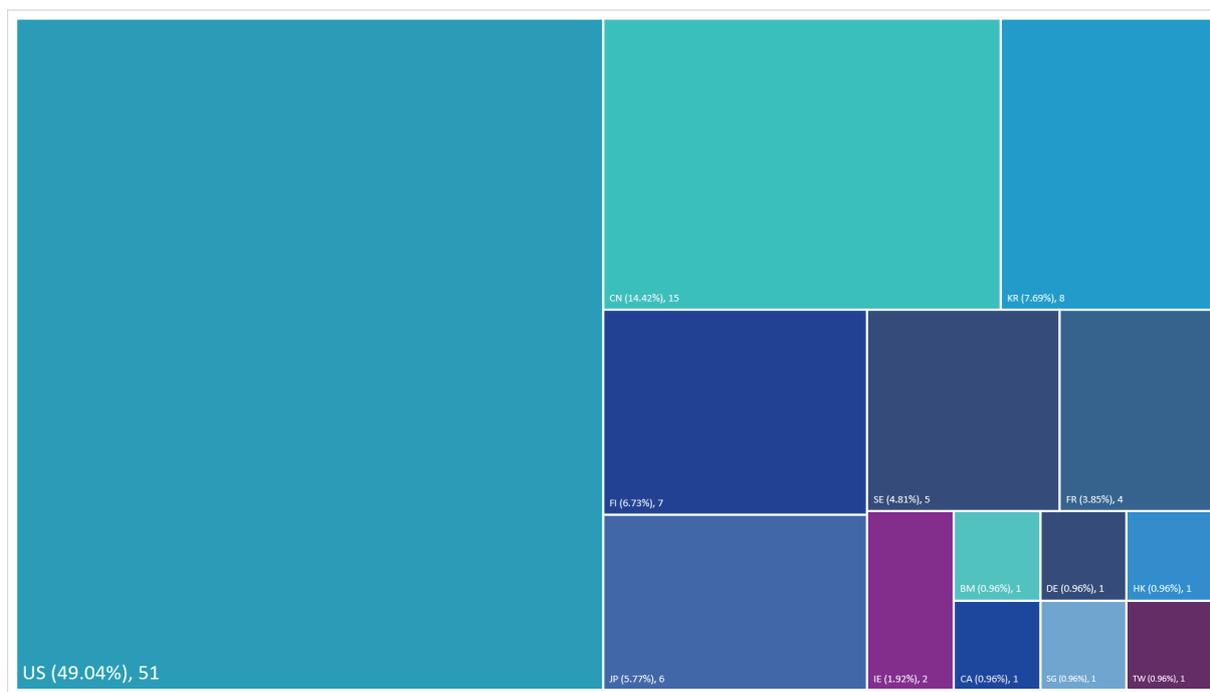


圖 2-43 massive MIMO 重點國家專利數

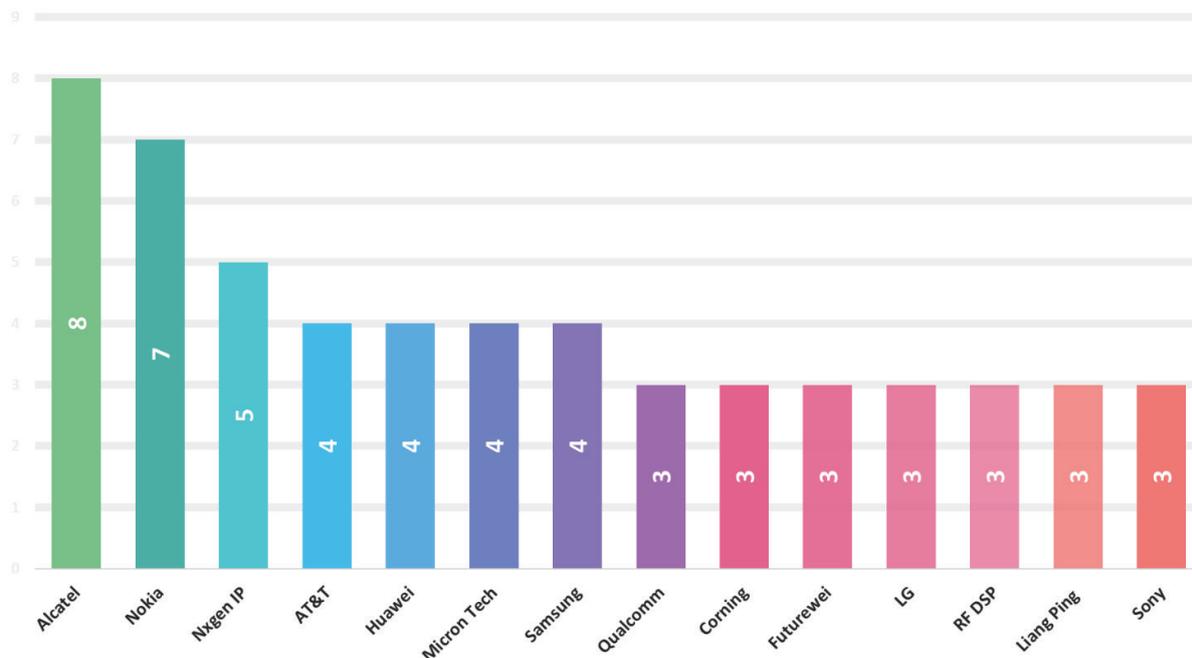


圖 2-44 massive MIMO 專利申請人排名

五、B5G/6G 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計

2017 至今新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計相關美國公開專利共查到 1543 件，數量略呈線性成長（見圖 2-45，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（902 件，佔 58.46%）、南韓（204 件，佔 13.22%）、中國（134 件，佔 8.68%）、瑞典（101 件，佔 6.55%）、台灣（75 件，佔 4.86%）、芬蘭（36 件，佔 2.33%）、日本（30 件，佔 1.94%）、新加坡（26 件，佔 1.69%）、德國（7 件，佔 0.45%）、俄國（6 件，佔 0.39%）（見圖 2-46）。專利申請數量 Qualcomm 獨大，台灣有聯發科排入前 10 名；前 10 名的申請人（圖 2-47）依序為 Qualcomm（323 件）、Intel（124 件）、LG（80 件）、Ericsson（74 件）、Samsung（74 件）、Apple（44 件）、聯發科（33 件）、Huawei（31 件）、AT&T（31 件）、Verizon（30 件）。

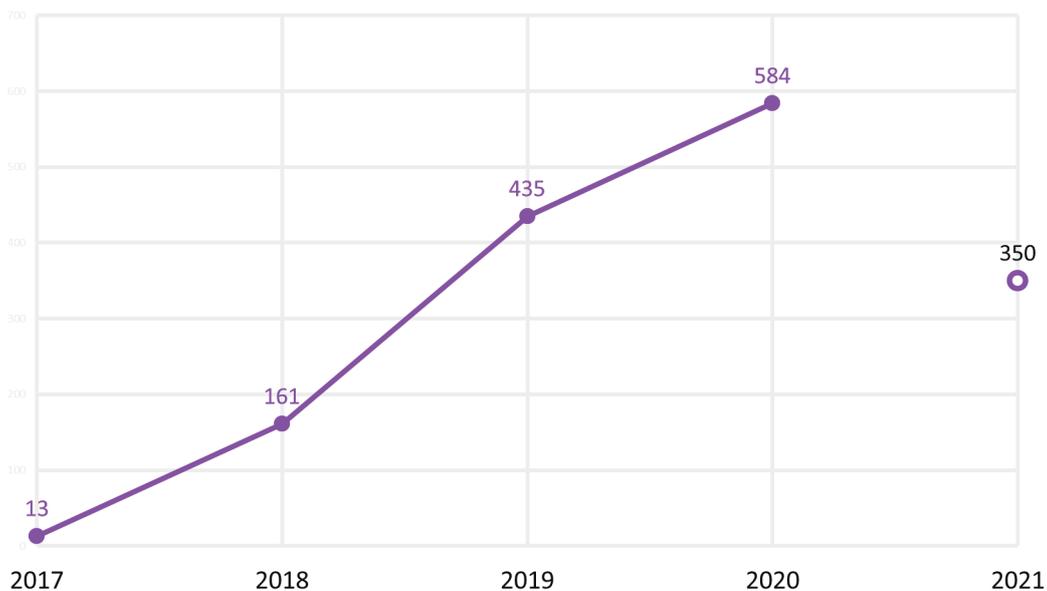


圖 2-45 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計美國專利申請趨勢

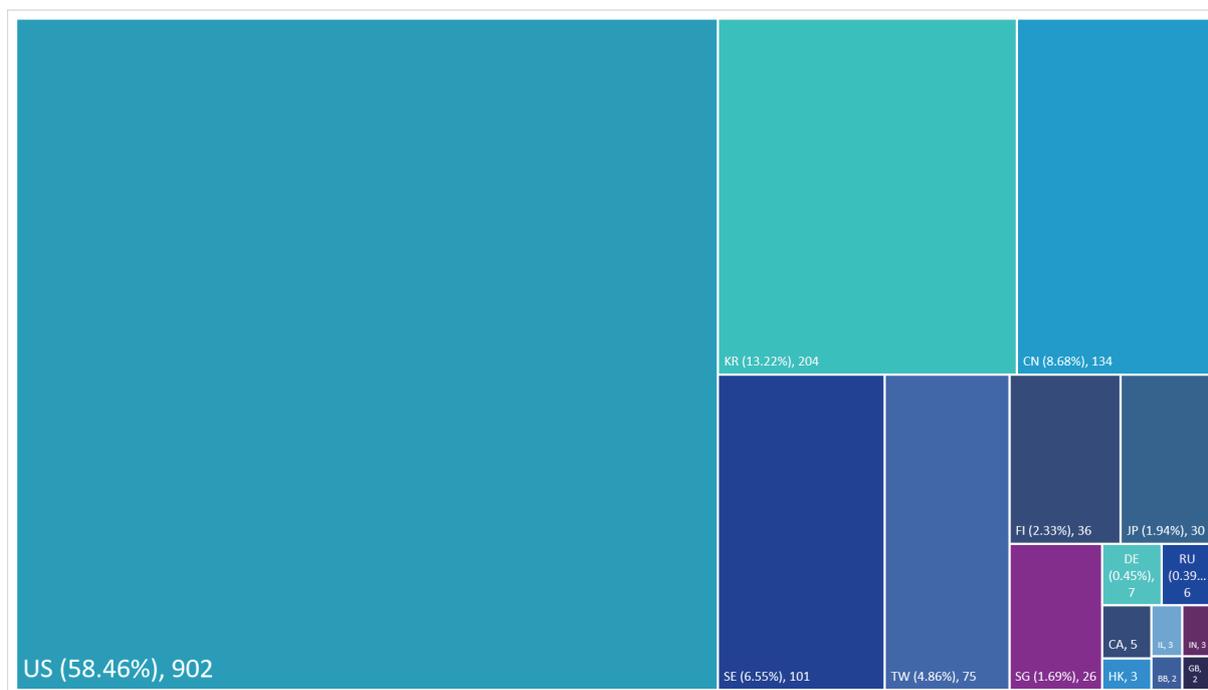


圖 2-46 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計重點國家專利數

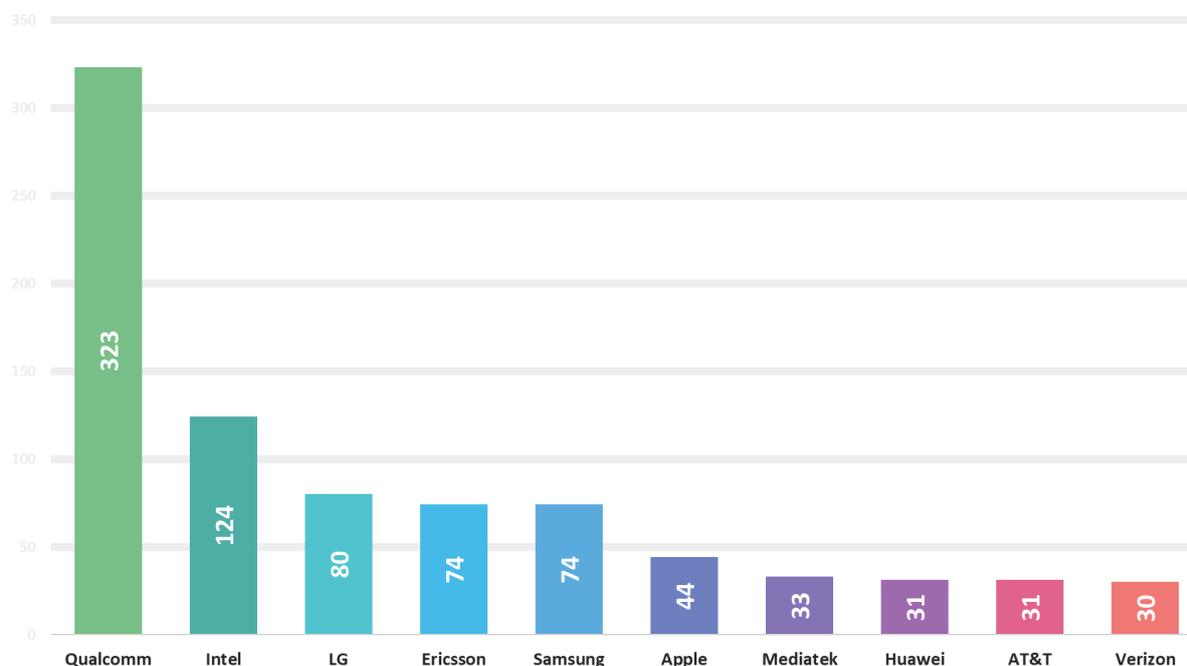


圖 2-47 新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計專利申請人排名

六、6G 人工智慧無線通訊

2017 至今人工智慧無線通訊相關美國公開專利共查到 1950 件，數量略呈線性成長（見圖 2-48，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（1547 件，佔 79.33%）、南韓（73 件，佔 3.74%）、日本（49 件，佔 2.51%）、中國（41 件，佔 2.10%）、以色列（34 件，佔 1.74%）、加拿大（29 件，佔 1.49%）、德國（21 件，佔 1.08%）、瑞典（17 件，佔 0.87%）、瑞士（14 件，佔 0.72%）、芬蘭（14 件，佔 0.72%）（見圖 2-49）。令人意外地，Strong Force 這間 NPE 申請了最多的專利，全為自主申請，無收購或轉讓的情況。開發自駕車的 Nuro 入列則顯示其保護了自有的相關技術；專利申請量前 10 名的申請人（圖 2-50）依序為 Strong Force（151 件）、IBM（89 件）、People AI（74 件）、Cisco（59 件）、Microsoft（45 件）、LG（33 件）、Facebook（32 件）、Nuro（26 件）、Talkdesk（25 件）、Intel（23 件）、AT&T（23 件）。

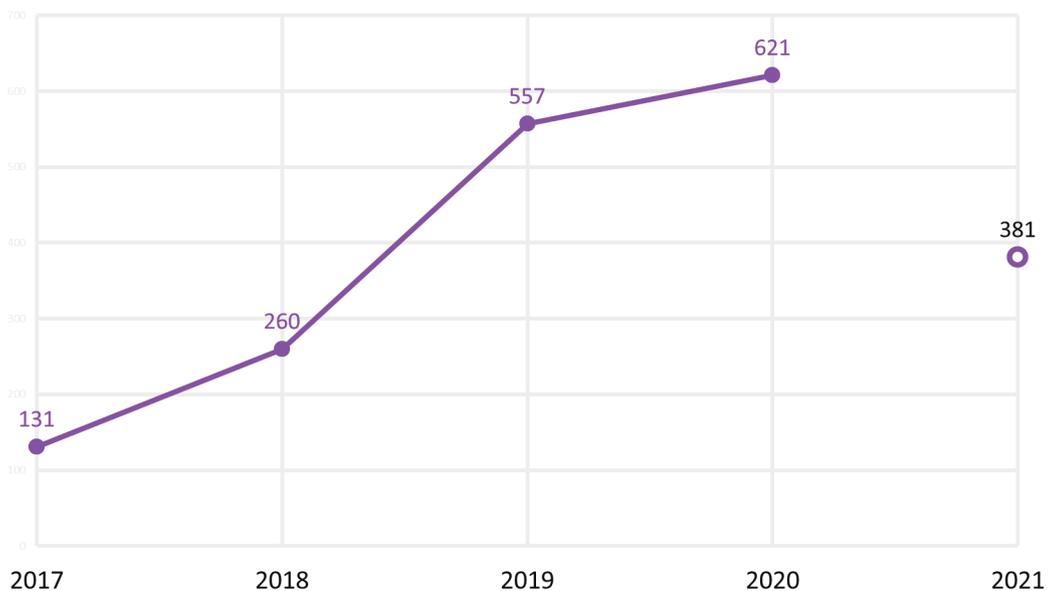


圖 2-48 人工智慧無線通訊美國專利申請趨勢



圖 2-49 人工智慧無線通訊重點國家專利數

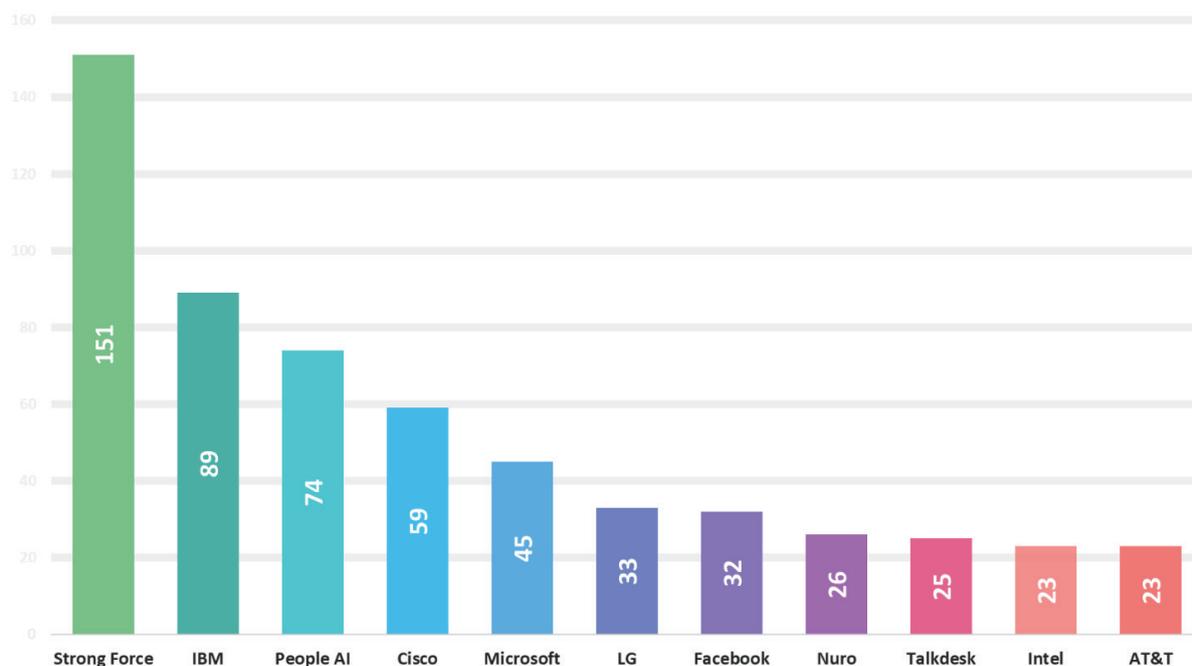


圖 2-50 人工智慧無線通訊專利申請人排名

七、6G 前瞻多重接取技術

2017 至今前瞻多重接取技術相關美國公開專利共查到 907 件，2017 到 2020 年間數量增長的速度放緩，但 2021 半年的數量就已達 2020 年的 83%，2021 年應會有明顯的成長（見圖 2-51，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（487 件，佔 53.69%）、中國（106 件，佔 11.69%）、南韓（103 件，佔 11.36%）、日本（59 件，佔 6.50%）、瑞典（38 件，佔 4.19%）、芬蘭（22 件，佔 2.43%）、台灣（21 件，佔 2.32%）、德國（13 件，佔 1.43%）、加拿大（12 件，佔 1.32%）、新加坡（12 件，佔 1.32%）（見圖 2-52）。專利申請量前 10 名的申請人（圖 2-53）依序為 Qualcomm（76 件）、Intel（60 件）、LG（46 件）、Verizon（45 件）、Huawei（44 件）、Samsung（28 件）、Ericsson（27 件）、Sony（22 件）、AT&T（18 件）、ZTE（15 件）。

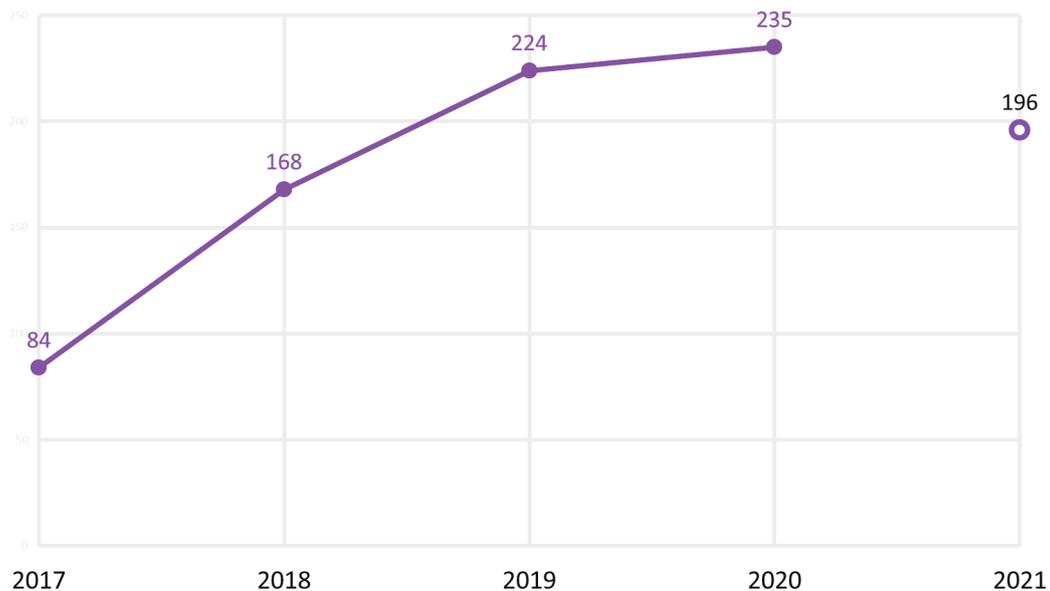


圖 2-51 多重接取技術美國專利申請趨勢

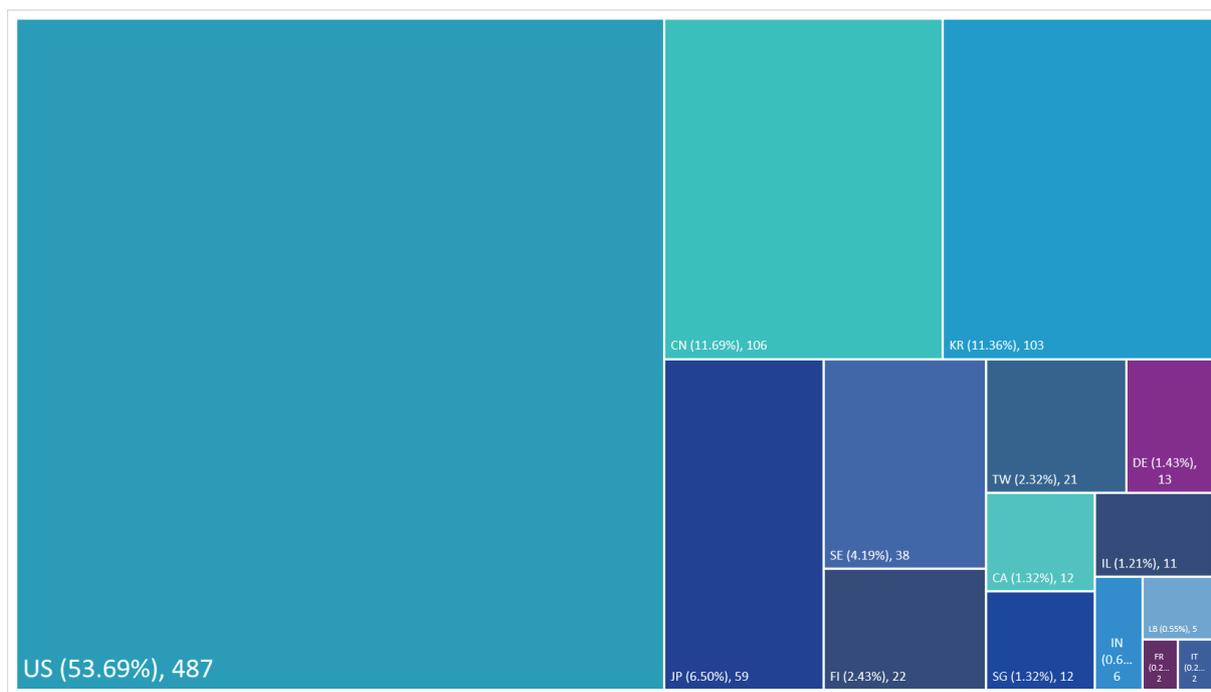


圖 2-52 多重接取技術重點國家專利數

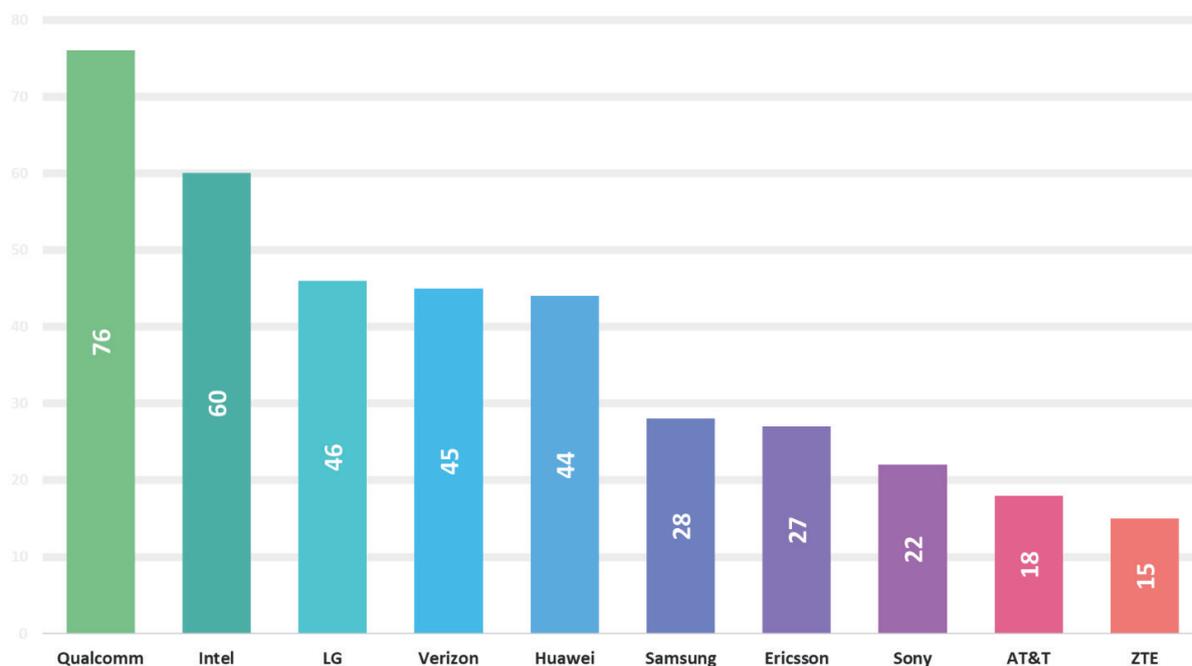


圖 2-53 多重接取技術專利申請人排名

八、6G 寬頻通訊協定

2017 至今寬頻通訊協定相關美國公開專利共查到 1033 件，數量略呈指數性成長（見圖 2-54，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（532 件，佔 51.50%）、南韓（270 件，佔 26.14%）、中國（58 件，佔 5.61%）、台灣（51 件，佔 4.94%）、瑞典（30 件，佔 2.90%）、芬蘭（29 件，佔 2.81%）、德國（13 件，佔 1.26%）、日本（9 件，佔 0.87%）、新加坡（7 件，佔 0.68%）、加拿大（5 件，佔 0.48%）、以色列（5 件，佔 0.48%）（見圖 2-55）。台灣有聯發科排入專利申請量前 10 名，專利申請量前 10 名的申請人（圖 2-56）依序為 Samsung（201 件）、AT&T（103 件）、Qualcomm（57 件）、聯發科（35 件）、Ericsson（22 件）、T Mobile（21 件）、Apple（20 件）、Parallel Wireless（19 件）、Charter Communications（19 件）、Verizon（19 件）。

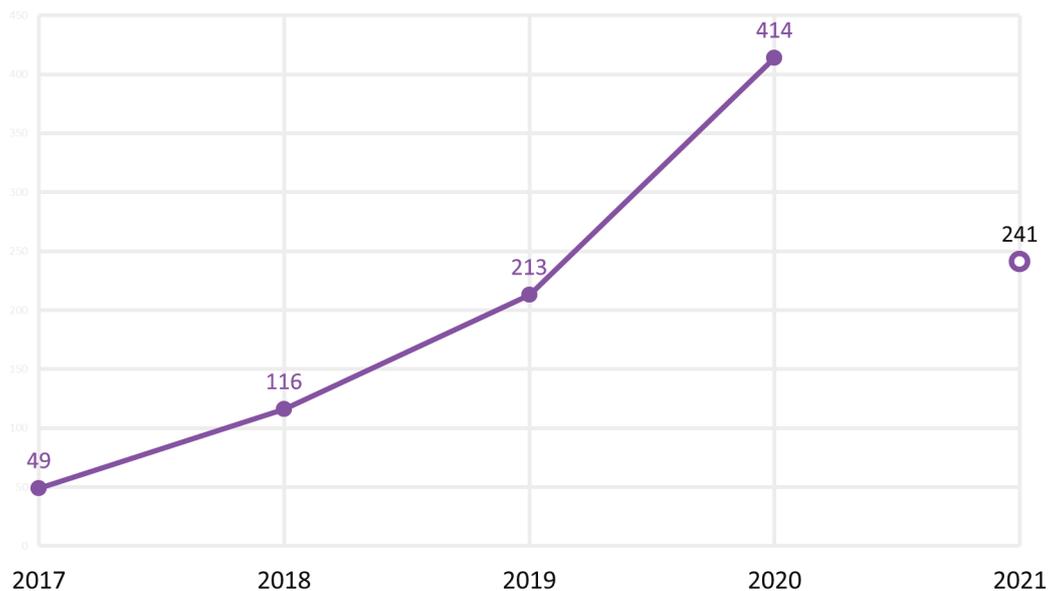


圖 2-54 寬頻通訊協定美國專利申請趨勢

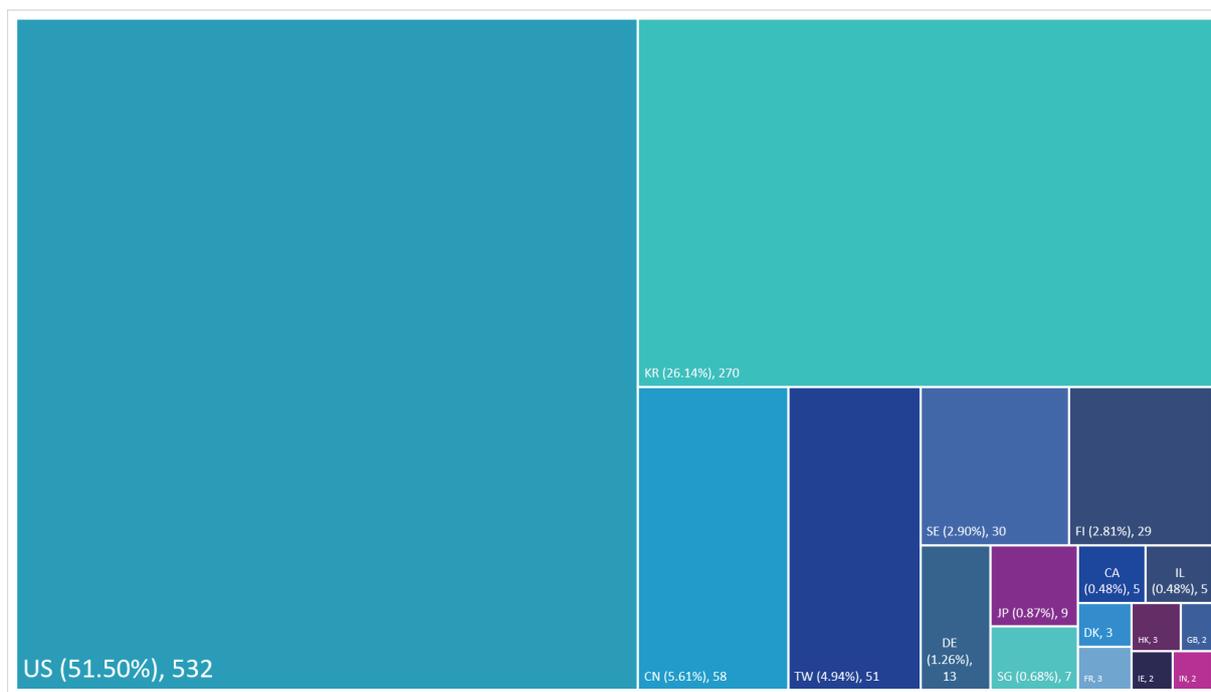


圖 2-55 寬頻通訊協定重點國家專利數

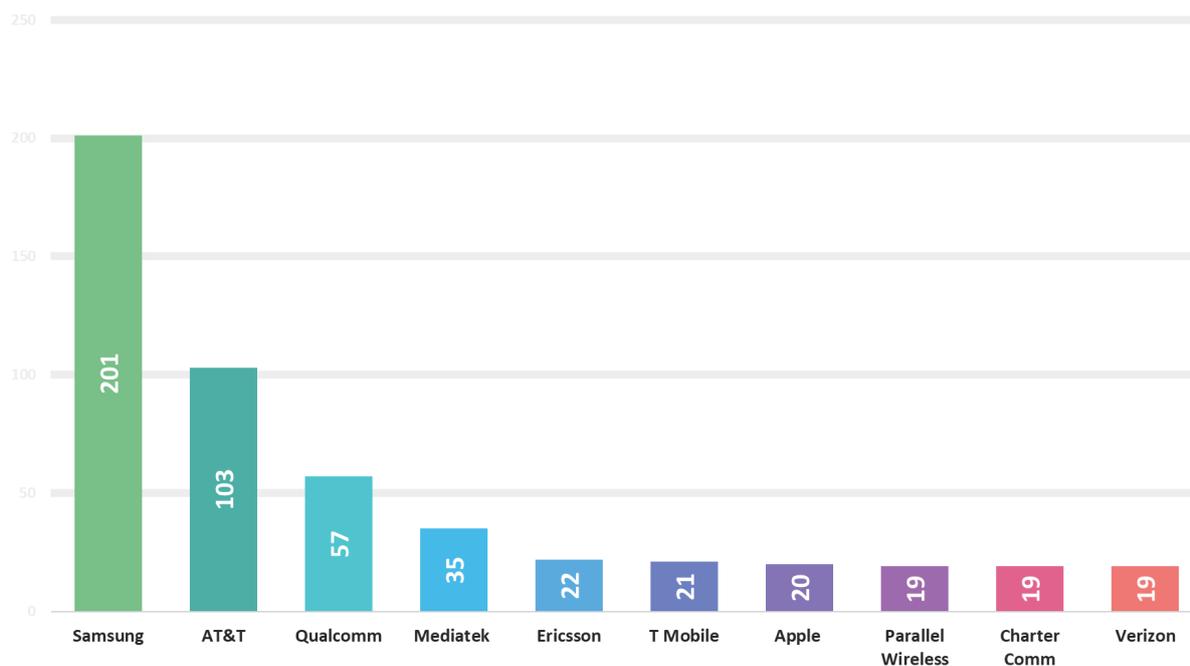


圖 2-56 寬頻通訊協定專利申請人排名

九、6G 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定

2017 至今異質網路架構下之三維通訊與衛星協定相關美國公開專利共查到 53 件，總數偏少但應呈成長趨勢（見圖 2-57，2021 年僅統計至 7 月）。申請人國籍包括美國（43 件，佔 81.13%）、澳洲（2 件，佔 3.77%）、加拿大（2 件，佔 3.77%）、英國（1 件，佔 1.89%）、印度（1 件，佔 1.89%）、義大利（1 件，佔 1.89%）、俄國（1 件，佔 1.89%）、沙烏地阿拉伯（1 件，佔 1.89%）、新加坡（1 件，佔 1.89%）（見圖 2-58）。專利申請量前 7 名的申請人（圖 2-59）依序為 Hughes（5 件）、Boeing（5 件）、AT&T（5 件）、Eisner Gerald R（3 件；個人申請人）、Qualcomm（3 件）、Charter Comm（2 件）、Ubiquitilink（2 件），其他的申請人都只有 1 件申請。

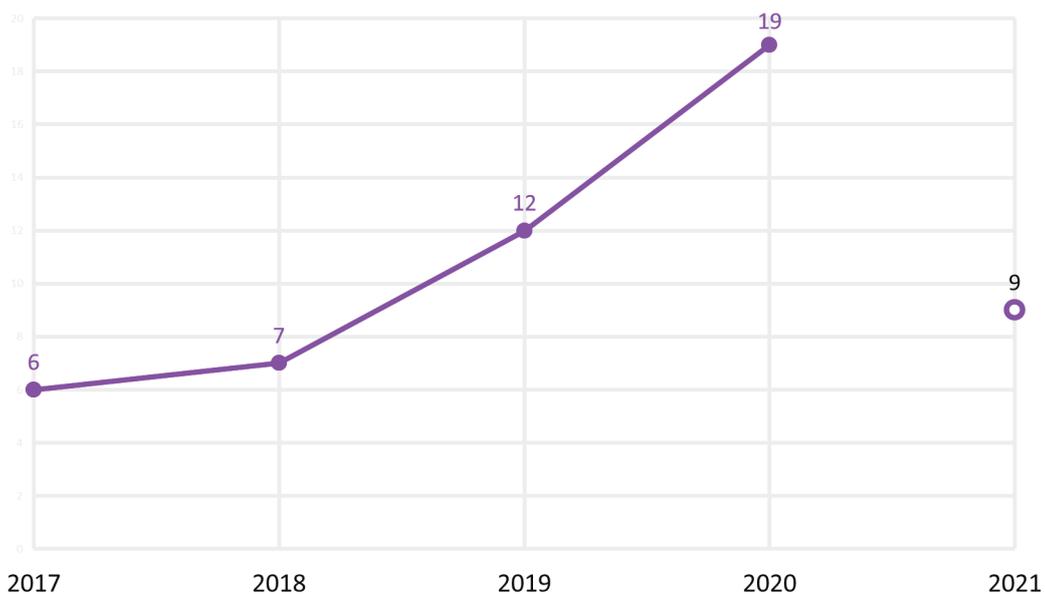


圖 2-57 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定美國專利申請趨勢



圖 2-58 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定重點國家專利數

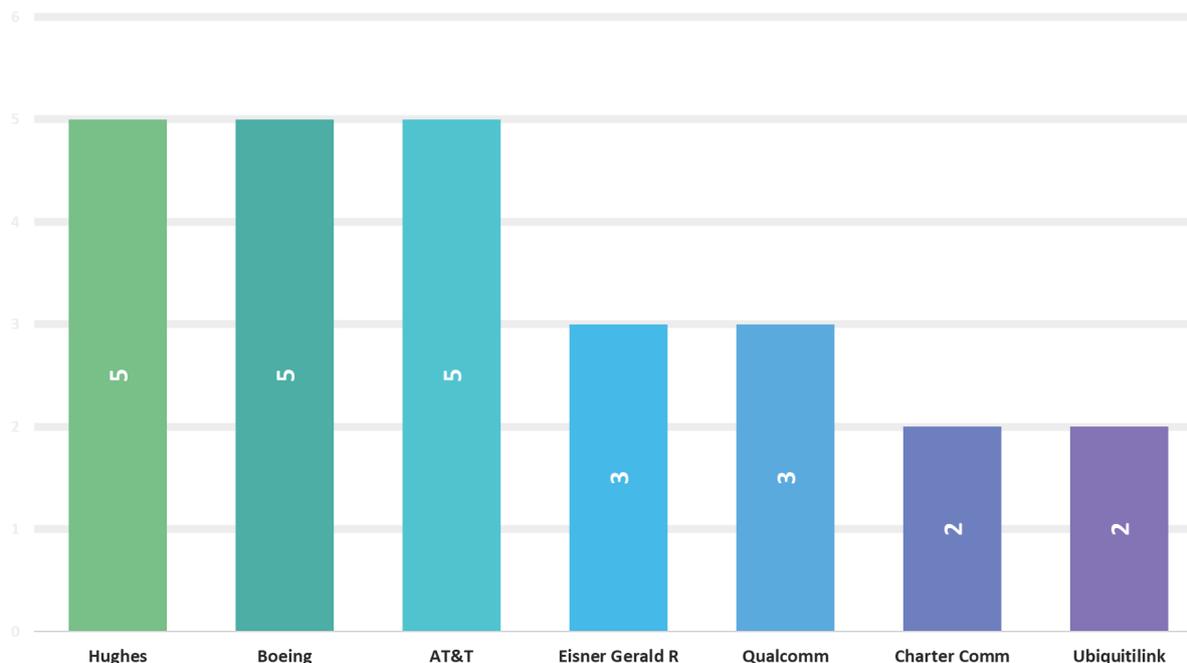


圖 2-59 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定專利申請人排名

一、6G 物聯網通訊協定

2017 至今物聯網通訊協定相關美國公開專利共查到 889 件，數量上略呈線性成長（見圖 2-60，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（514 件，佔 57.82%）、南韓（182 件，佔 20.47%）、中國（41 件，佔 4.61%）、台灣（22 件，佔 2.47%）、日本（20 件，佔 2.25%）、瑞典（19 件，佔 2.14%）、以色列（15 件，佔 1.69%）、加拿大（13 件，佔 1.46%）、德國（12 件，佔 1.35%）、芬蘭（12 件，佔 1.35%）（見圖 2-61）。專利申請量前 10 名的申請人（圖 2-62）依序為 Samsung（128 件）、Intel（39 件）、AT&T（32 件）、Strong Force（25 件）、Qualcomm（21 件）、IBM（14 件）、Centurylink IP（14 件）、T Mobile（13 件）、Cisco（12 件）、Ericsson（12 件）；專利申請量的排名顯示，這項技術受到 Strong Force、Centurylink IP 等兩間 NPE 的重視。

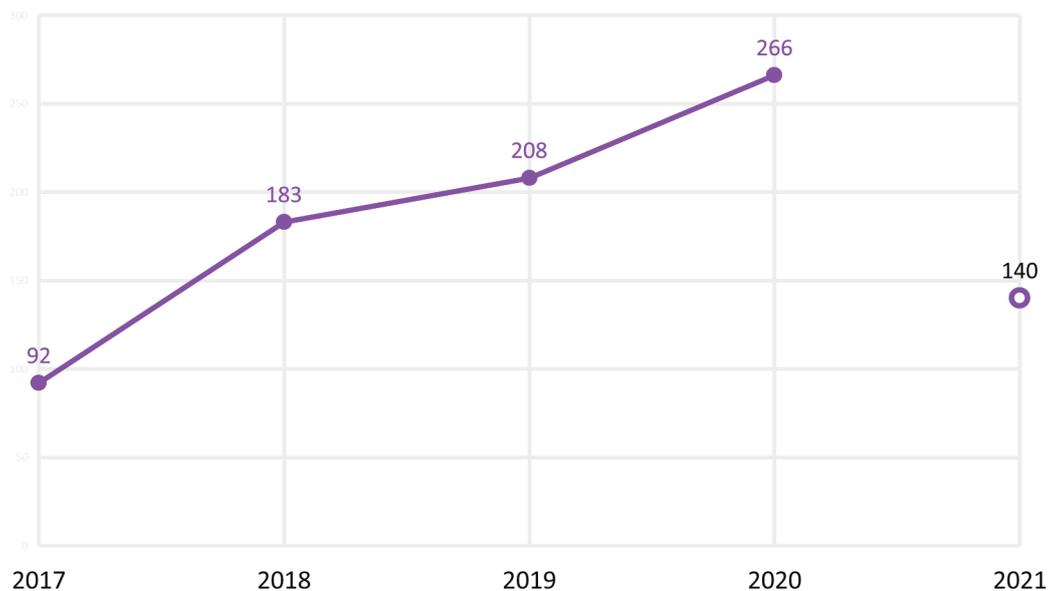


圖 2-60 物聯網通訊協定美國專利申請趨勢

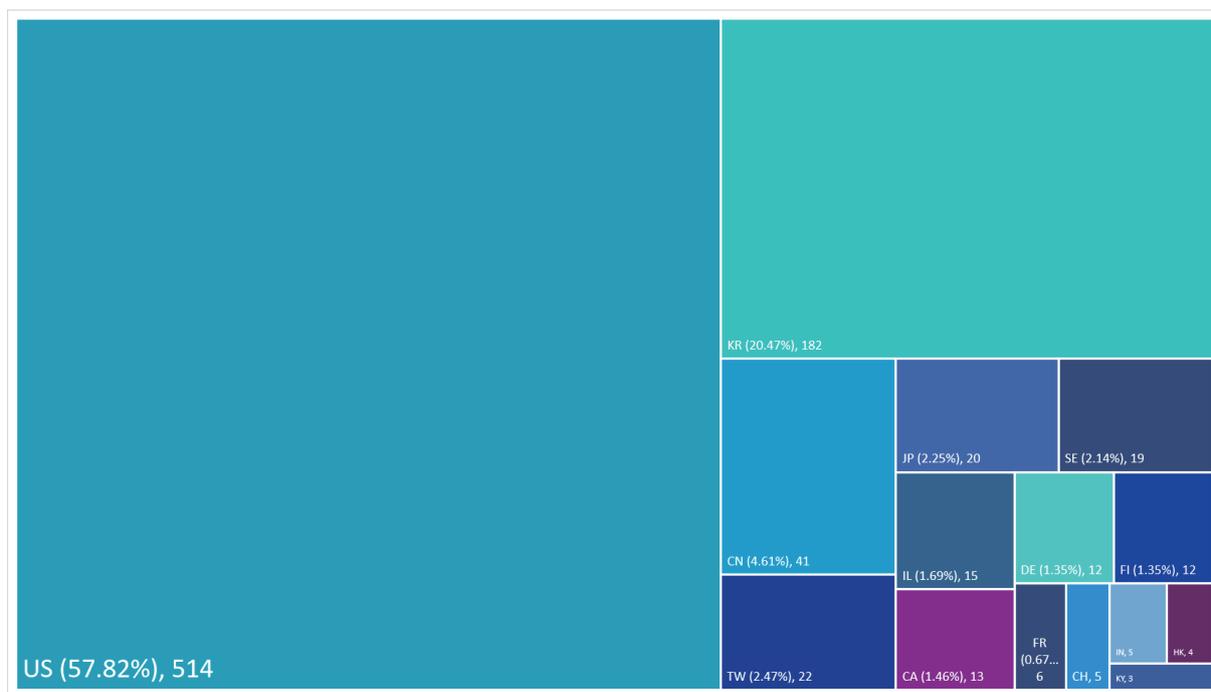


圖 2-61 物聯網通訊協定重點國家專利數

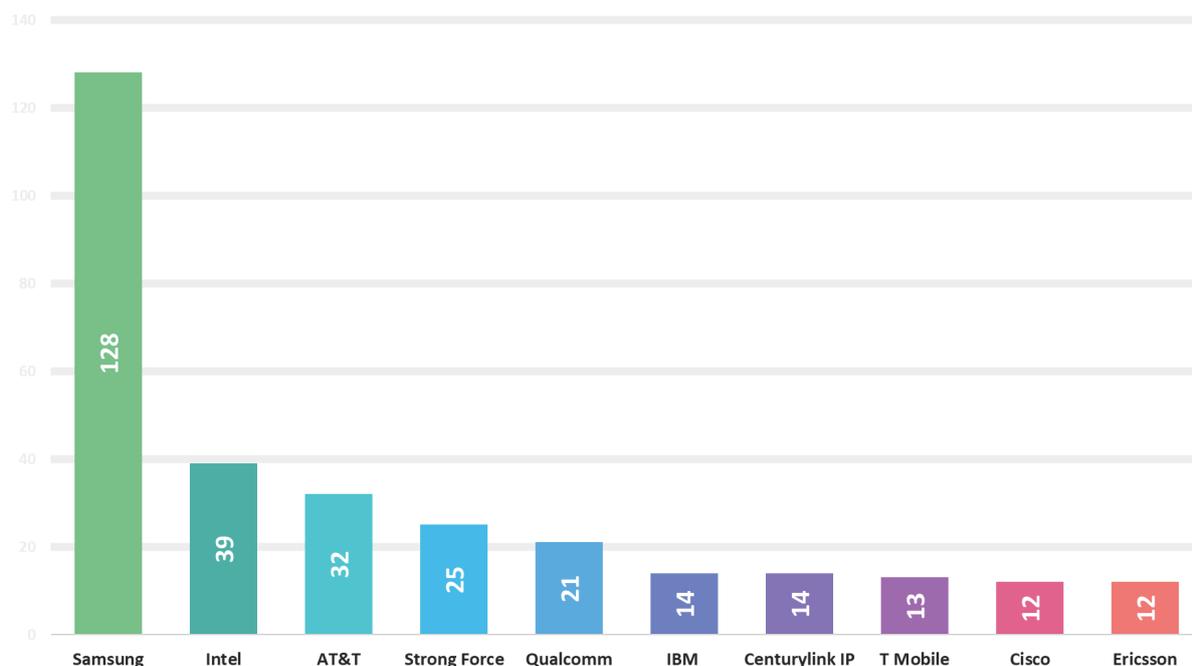


圖 2-62 物聯網通訊協定專利申請人排名

一一、B5G/6G 通訊軟體系統

2017 至今通訊軟體系統相關美國公開專利共查到 212 件，2017 至 2020 年間每年數量沒有增長（見圖 2-63，2021 年僅統計至 7 月）。專利數量前十名的國家依序為美國（144 件，佔 67.92%）、南韓（16 件，佔 7.55%）、中國（12 件，佔 5.66%）、加拿大（6 件，佔 2.83%）、以色列（6 件，佔 2.83%）、英國（4 件，佔 1.89%）、瑞典（4 件，佔 1.89%）、台灣（4 件，佔 1.89%）、德國（3 件，佔 1.42%）、芬蘭（3 件，佔 1.42%）、日本（3 件，佔 1.42%）（見圖 2-64）。專利申請量前 10 名的申請人（圖 2-65）依序為 Cable TV Labs（12 件）、AT&T（8 件）、Netgear（8 件）、Nxgen IP（7 件）、Samsung（6 件）、Cisco（6 件）、Dell（6 件）、Convida Wireless（5 件）、British Telecom（5 件）、Parallel Wireless（4 件）、Ericsson（4 件）、華為（4 件）、Incnetworks（4 件）、Intel（4 件）；其中 Nxgen IP 為 NPE，Cable TV Labs 為全球 63 間系統商共同支持的研究單位，Convida Wireless 則為 Sony 和 InterDigital 這間 NPE 共同成立的物聯網研究單位。

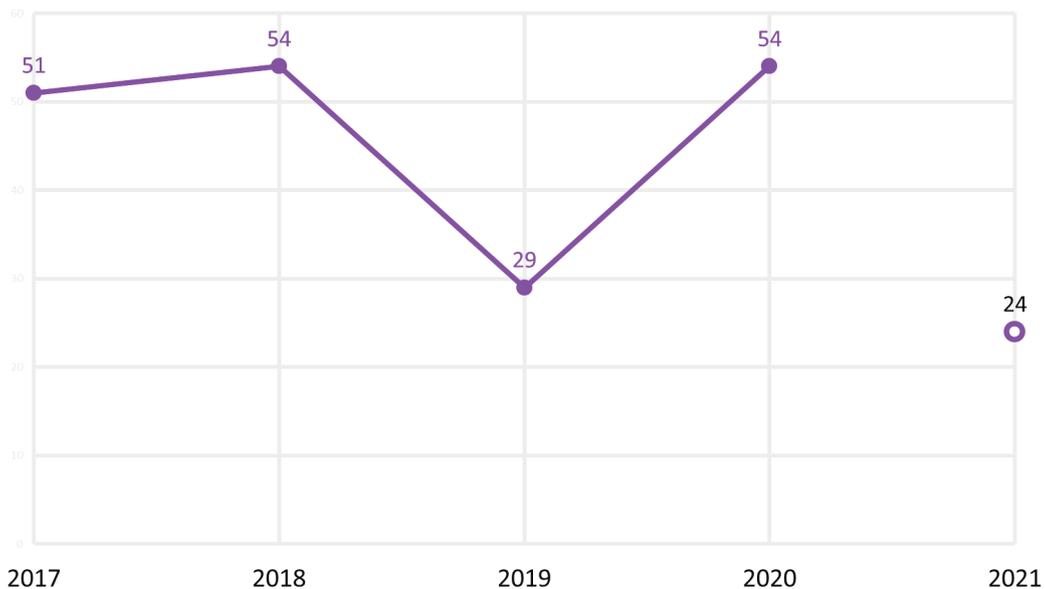


圖 2-63 通訊軟體系統美國專利申請趨勢

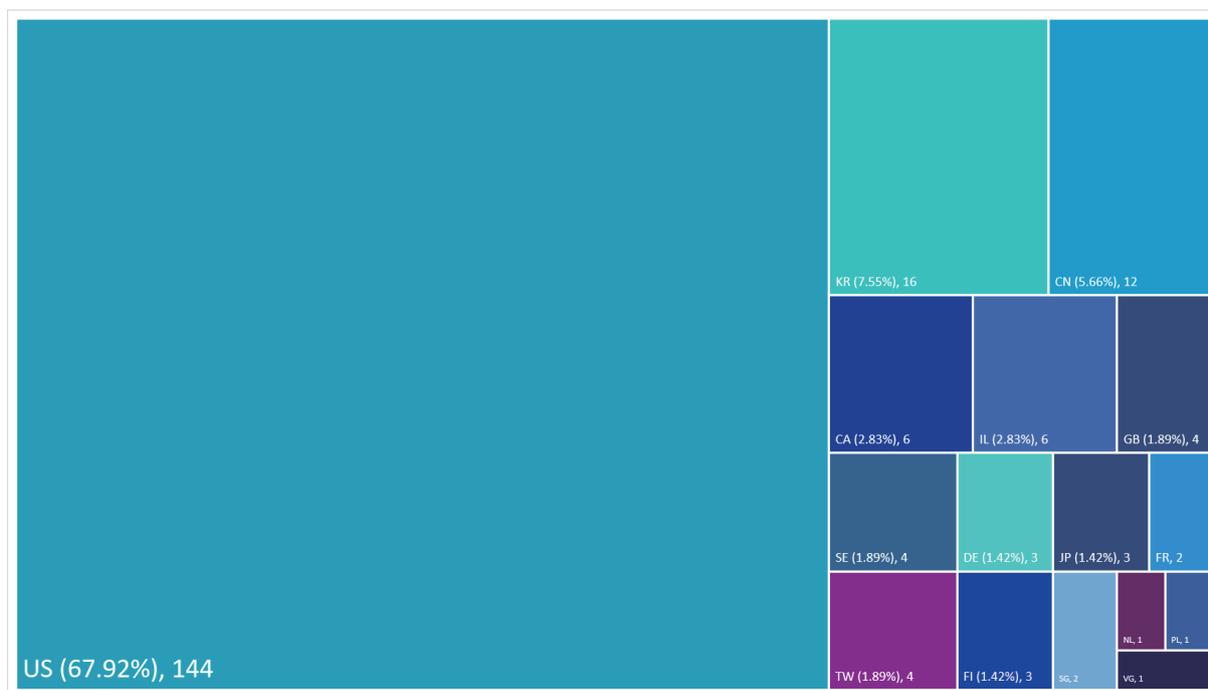


圖 2-64 通訊軟體系統重點國家專利數

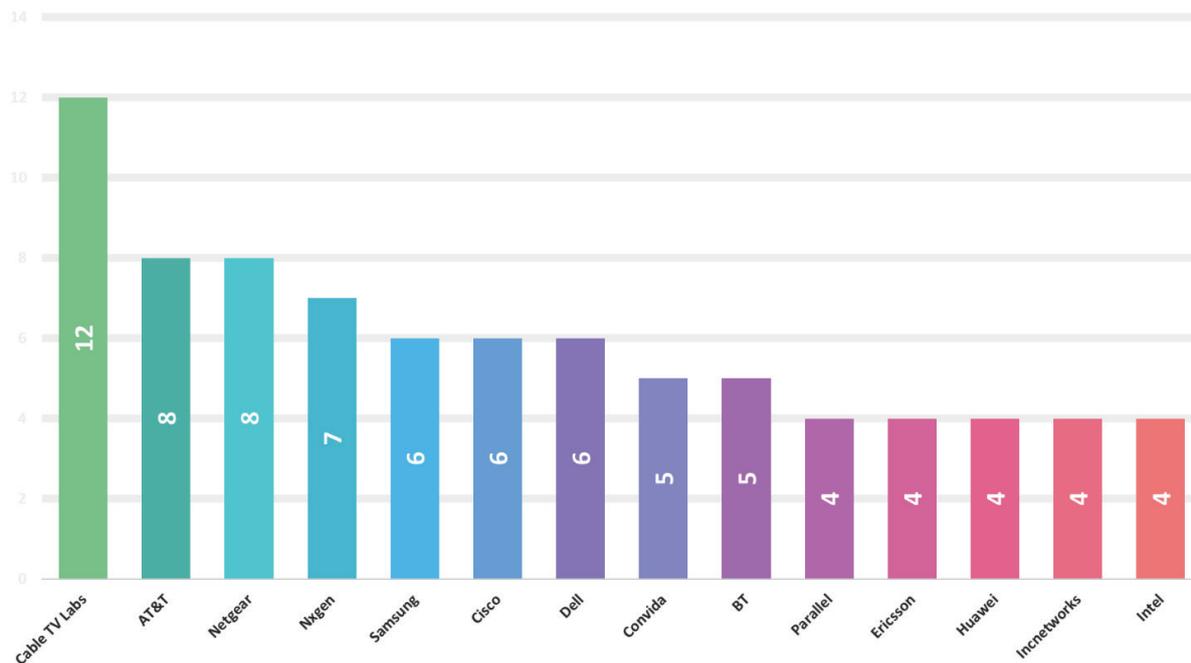


圖 2-65 通訊軟體系統專利申請人排名

第三章 我國現況

科技部表示已經有台灣團隊與美、英、瑞典大學共同投入下一代行動通訊技術的研究。目前已有國內團隊與芬蘭奧盧大學、瑞典查爾摩斯工學院、英國薩里大學與南安普敦大學、美國萊斯大學與威斯康辛大學等進行合作，研究晶片技術、實體層技術及智慧多型態網路技術等三大面向議題。同時，也正規劃與探索 6G 的早期關鍵技術(郜敏，2019)，聚焦整合低軌道衛星通訊人才，及太空領域技術性人才，帶領台灣 ICT、半導體等產業，結合最新太空科技，以促成太空產業鏈的生成。經費投入將在下面討論。

經濟部技術處的 5G 辦公室在 5G 開台後，便升級為 6G 辦公室。雖然預估 2030 年才能實現 6G 的境界，但聯發科等公司皆已提早參與國際各項 6G 研發計畫。IEEE 全球通訊會議 (IEEE GLOBECOM 2020) 於 2020 年 12 月在台灣舉辦，經濟部技術處為 13 組研究團隊與業者打造展場，展出 10 項最新成果，包括打入國際產業鏈的小型基地台和 5G 輕核網，以及榮獲國際性認證的 5G 平台等。政府將提供實證場域，讓業者開發國產 5G 專網技術，形成 5G 與開放式無線存取網路 (open radio access network, Open RAN) 的自主供應鏈與生態系，目標在 2022 年時，讓 5G 整體產值達到 500 億的規模。另一方面，藉由國際合作佈局 B5G、6G 技術與標準制定，預計 6G 標準的完成和初步商業化可能會在 2028 年實現，而大規模商業化將會在 2030 年達成(劉麗榮，2019)。

通訊龍頭中華電信則已開始低軌道衛星相關研究，學術領域則是超前部署，預計會將 SpaceX 公司的 Starlink 低軌衛星服務引進台灣。低軌道衛星是目前大家認知 6G 的重要技術服務內容；低軌衛星好處在於，透過衛星作為兩個地面基地台之間的連線，讓訊號無地形阻礙地連成一片。但由於台灣地狹人稠、地面寬頻環境成熟發達，低軌衛星對台灣本地的通訊來說其實沒有那麼急(邱捷芯，2021)，與產業所面對的全球市場佈局策略是不一樣的。

論文與專利部分，如前所述，台灣在 sub-THz/THz 前端系統的論文數量與以色列並列第 23，有 4 篇，同時是少數有申請專利的國家，申請了 1 件。低軌道衛星通訊前端系統沒有看到台灣的論文或專利。B5G/6G 電磁創新關鍵技術，論文數量台灣與法國、義大利並列第 11 名，各有 11 篇論文；專利則有 10 件，與法國並列第 7。massive MIMO 的論文數量台灣排

在第 11 名，有 132 篇論文；專利有 1 件，與另外 5 個國家並列第 9。新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計，台灣的論文數量以 15 篇排在第 10；專利則以 75 件排在第 5。人工智慧無線通訊，論文數量台灣排名在第 17，以 22 篇與新加坡並列；專利申請數量台灣以 11 件與印度並列第 13。多重接取技術，論文數量台灣以 49 篇與芬蘭並列第 10；專利數量台灣以 21 件排名第 7。寬頻通訊協定，論文數量台灣以 28 篇排在第 17，專利申請數量台灣以 51 件排在第 4。異質網路架構下之三維通訊與衛星協定沒有看到台灣的論文或專利。物聯網通訊協定，論文數量台灣以 167 篇排名在第 12，專利申請數量台灣則以 22 件排在第 4。通訊軟體系統，論文數量台灣以 20 篇排在第 8，專利申請數量台灣以 4 件與英國、瑞典並列第 6。

以下分析我國經費投入情況。我國研究計畫之檢索，係在政府研究資訊系統 (www.grb.gov.tw)，利用「B5G、6G」作為關鍵字，檢索「電信工程、電機電子工程、資訊工程軟硬體、數學」等研究領域而完成。2017 至 2021 年(2021 年統計至 8 月 19 日為止)之間，研究計畫的件數與總金額(圖 3-1) 都有明顯的成長，2017 年出現第 1 件，經費為 268 萬，到了 2021 年達到 74 件，總金額將近十億。

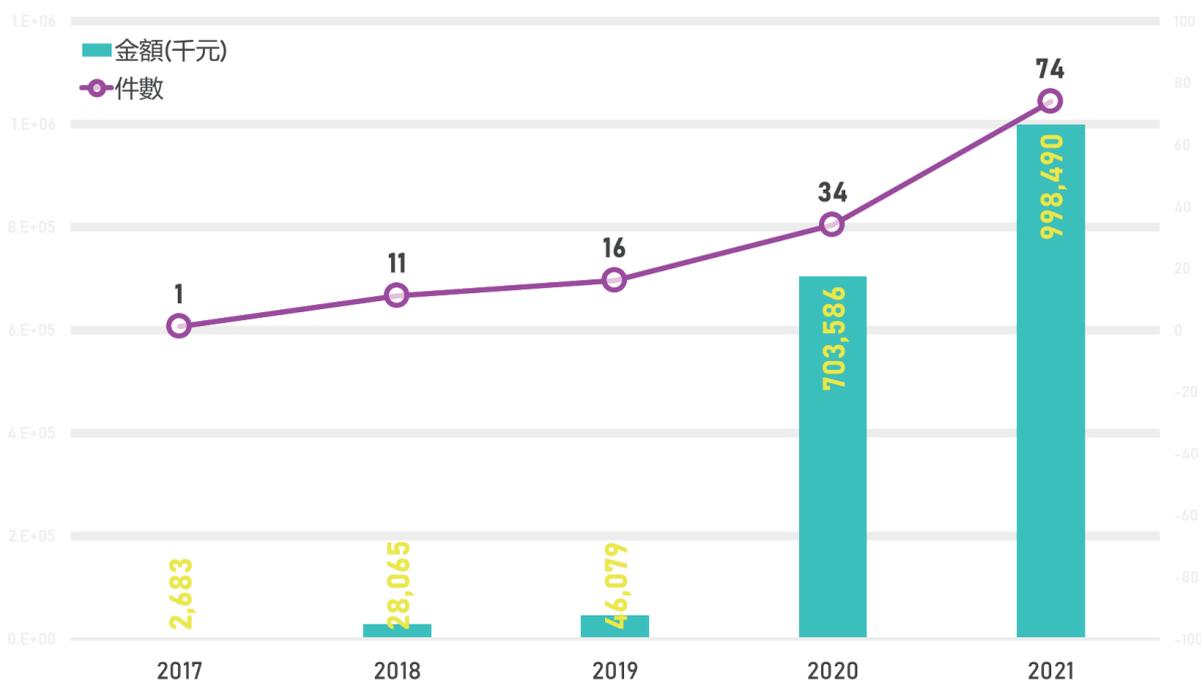


圖 3-1 我國 B5G/6G 相關研究計畫投入歷年統計

上述利用「B5G、6G」作為關鍵字檢索的結果，依照工程司重點研發項目，作者自行人工分類後顯示(見表 3-1，其中「跨主題」係指無法經

由題目看出類別，但關鍵字包括 B5G、6G 的計畫)，電波與天線技術項下的「B5G/6G 電磁創新關鍵技術」相關計畫的總金額最高，達到 7.3 億，申請時間集中在 2020 與 2021 年；總金額超過 3 億的還有跨主題研究與低軌道衛星通訊前端系統。計畫件數最高的則是「人工智慧無線通訊」相關，達到 30 件；計畫件數第 2、3 名分別為「異質網路架構下之三維通訊與衛星協定」與「低軌道衛星通訊前端系統」，各有 18、15 件。單一計畫金額最高的為「B5G 前瞻系統關鍵技術開發計畫」，2020、2021 年分別取得 2.86 億、2.34 億的經費；單一計畫金額最高的前 10 名還包括了 2021 年的「B5G/6G 高頻高功率電子元件與模組計畫」(1.93 億)、2021 年的「文化科技 5G 創新垂直應用場域建構及營運支援計畫」(1.6 億)、2020 年的「3.5GHz 中頻段改善措施建置與潛在干擾評估及處理作業計畫」(1.23 億)、2021 年的「DIGI+ 方案 2.0 推動計畫」(1.07 億)、「新興產業技術研發佈局及策略推動計畫」(2021、2020 年分別為 0.96 億、0.94 億)、「5G 發展策略與跨域合作技術整合計畫」(2020、2021 年分別為 0.77 億、0.69 億)。

以「B5G、6G」作為關鍵字在台灣博碩士論文加值系統檢索可發現，目前直接相關的人才培育還不多，僅有「用於 6G 通訊的太赫茲電漿子光混合器陣列」、「第五代與太赫茲整合無線通訊網路」、「Collaborative detection framework for security attacks on the Internet of Things」等 3 篇論文產出，來自清華與中正大學的資訊工程研究所。

表 3-1 歷年我國 B5G/6G 相關研究計畫

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
1-1 sub-THz/THz 前端系統	下世代通訊系統關鍵技術研發推動計畫	2970	2021
	用於 B5G/6G 無線系統之先進可重構智能表面輔助通訊	700	2021
	全雙工多中繼協力式系統之來源端與中繼端有限階數濾波器設計	754	2021
	使用異質整合積體電路技術之下世代毫米波通訊收發機研究	1202	2021
	採用 40 nm CMOS 技術的 200 GHz 二次採樣 PLL，適用於次 THz 應用	539	2021
	混合式毫米波系統之通道估測	1262	2021
	創新下世代毫米波通訊信號處理技術與實作：基於新式陣列天線架構	989	2019
	創新下世代毫米波通訊信號處理技術與實作：基於新式陣列天線架構 (III)	933	2021
	創新下世代毫米波通訊信號處理技術與實作：基於新式陣列天線架構 (II)	956	2020
	新穎性高效能氮化鋁鎵鎵 / 氮化鎵高電子遷移率電晶體之技術開發	1807	2021
	適用於未來 6G 應用之高效能元件開發與電路技術研究	867	2021
1-2 低軌道衛星通訊前端系統	應用於 5G 小型基地站寬頻寬高線性度低記憶效應之功率放大器與發射機研究	1404	2021
	110 年度「下世代無線通訊發展趨勢」委託研究計畫	14600	2021
	3.5GHz 中頻段改善措施建置與潛在干擾評估及處理作業計畫	122817	2020
	5G 巨量天線陣列系統校正程序及空中校正方法 (I)	694	2019
	Beyond 5G 低軌衛星 - 通訊酬載與地面通訊系統發展計畫 (I/1)	60480	2020
	DIGI+ 方案 2.0 推動計畫	107408	2021
	下一世代智慧無線通信系統的基於模型或數據驅動的方法	1040	2020
	大型天線陣列系統降維方法的研究	1144	2021
	多層次低軌衛星通訊系統中之最佳化路由演算法研究	556	2021
	後 5G 通訊 NB-IoT 非陸地網路 - 上鏈傳收機設計和軟體無線電 / 同步衛星通道模擬器驗證	805	2021
	基於深度學習及受大氣影響信道之非地面通訊設計	1200	2021
智慧物聯網之先進網路技術與協定 - 先進低軌道衛星網路協定與安全技术	983	2021	
氮化鎵高電子遷移率電晶體應用於 5G 衛星通訊的輻射線抗性研究	831	2020	

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
1-3 電磁創新關鍵技術	氮化鎵高電子遷移率電晶體應用於 5G 衛星通訊的輻射線抗性研究	773	2021
	電信工程學門研究發展及推動規劃計畫	2060	2021
	適用於低軌道衛星通訊之相位陣列接收技術	887	2020
	5G 無人機聯網技術	1746	2021
	B5G/6G 高頻高功率電子元件與模組計畫 (1/5)	193000	2021
	B5G 前瞻系統關鍵技術開發計畫 (1/4)	286136	2020
	B5G 前瞻系統關鍵技術開發計畫 (2/4)	234460	2021
	用於即時四維感測的分時多工多天線波束形成次太赫茲 / 太赫茲系統 (I)	8000	2021
	利用無線網路對目標物三度空間位址估測之研究	698	2020
	毫米波 CMOS 元件與傳輸線設計及精實模型研發建構於奈米矽平面與鱈式電晶體技術	1096	2021
2-1 massive MIMO	智慧無線電環境：可重構智慧表面於 6G 無人機通訊網路之關鍵技術	1248	2021
	無線基頻處理器之多核運算自組協調設計	903	2021
	B5G/6G 無線通訊系統之基頻關鍵技術開發 (I)	8000	2019
	B5G 無線通訊之基頻核心技術研究 (I)	6933	2018
	大型多輸入多輸出系統之混合天線選擇 / 類比 / 數位處理技術	901	2019
	差動饋入式雙頻及寬頻濾波圓極化天線之設計	610	2018
	基於中頻高頻段 MIMO 多天線系統之下世代終端及小基站通訊關鍵技術開發 (I)	7000	2021
	毫米波大規模多輸入多輸出系統中減少迴授資訊之低複雜度寬頻混合預編碼設計	858	2021
	混合式波束成形系統之演算法設計	805	2021
	應用於下世代 Massive MIMO 暨智慧型天線操作之前瞻技術發展 (I)	7093	2018
2-2 新無線接收波形、通道編碼與傳輸機設計	應用於巨量天線系統和大型智慧反射平面之選擇技術的研究	759	2021
	5G NR 系統層級模擬器的無人機波束管理和通訊覆蓋優化研究	750	2021
	5G/B5G 數位匯流之應用發展及技術研究採購案	3180	2021
	系統層級模擬器之 NR Rel-16 URLLC 模擬功能開發 (I)	681	2019
	超可靠低延遲通訊及其相關問題之研究 - 媒介存取控制子層中的編碼隨機存取：使用網路科學解決方法 (子計畫三)	861	2021

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
2-3 人工智慧無線通訊	B5G 智慧跨層多接入邊緣運算 (II)	8136	2020
	B5G 網路下基於深度強化學習之智慧資源配置技術研究	621	2021
	B5G 網路之 AR/VR 智慧健康服務與前瞻技術開發 (I)	10000	2019
	下一代智慧無線通信系統的基於模型或數據驅動的的方法	975	2021
	下世代可重構電磁智慧面之創新關鍵技術研發 (I)	7750	2021
	子計畫二：基於深度學習之安全測試與異常偵測於後 5G 行動網路	601	2018
	子計畫五：基於深度學習型後 5G 行動網路干擾避免與管理研究	754	2018
	子計畫四：基於深度學習之後 5G 行動邊緣霧運算研究	752	2018
	支援三維波束成形 (3DBF) 與非正交多重存取 (NOMA) 之人工智慧 B5G 跨網路切片頻寬分配機制	760	2021
	未來 5G 和 6G 中的智能資源管理和無線電接入網路之優化	1315	2020
	具邊緣運算及隱私保護之智慧物聯網	810	2021
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫二：基於深度學習之安全測試與異常偵測於後 5G 行動網路	509	2019
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫二：基於深度學習之安全測試與異常偵測於後 5G 行動網路	509	2020
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫五：基於深度學習型後 5G 行動網路干擾避免與管理研究	674	2019
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫五：基於深度學習型後 5G 行動網路干擾避免與管理研究	674	2020
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫四：基於深度學習之後 5G 行動邊緣霧運算研究	683	2019
	基於深度學習之後 5G 行動網路 - 子計畫四：基於深度學習之後 5G 行動邊緣霧運算研究	683	2020
	基於深度學習的端對端通訊系統設計、驗證、以及軟體定義無線電實現	619	2021
	通過智能反射面和先進的多址技術提高未來多天線無線通信系統的頻譜和能效	858	2021
植基於增強深度學習 AI 馬可夫決策行程之 Flow 預測與虛擬化不同 SCS 模式於無線資源塊結合動態 Sub-6G 和 mmWave 載波聚合於適性網路切片於 5G 新射頻與核心網路之研究	840	2020	
無線通訊系統之先進錯誤控制技術	940	2020	
結合雲端運算並適用於 B5G/6G 之即時計費系統	740	2020	
結合雲端運算並適用於 B5G/6G 之即時計費系統	671	2021	
新世紀 (5G&B5G) 智慧車載網路前瞻技術研究 - 利用深度強化學習達成 5G/B5G 資料中心之流量優化	562	2021	

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
2-3 前瞻多重存取技術	新世紀(5G&B5G)智慧車載網路前瞻技術研究-應用於新世代行動車載網路的深度學習與最佳化之共同設計	762	2021
	運用分層式聯合學習(合作式機器學習)最佳化下世代無線行動網路之車間通訊(C-V2V/V2X)的無線資源分配	1144	2020
	運用分層式聯合學習(合作式機器學習)最佳化下世代無線行動網路之車間通訊(C-V2V/V2X)的無線資源分配	1041	2021
	聯邦式學習機制下考量裝置異質性之行動邊緣綠能	748	2021
	隱私感知智慧城市資料流通與加值應用開發技術-子計畫五：支援智慧城市脈動之B5G網路心智技術	838	2021
	藉由人工智慧輔助之稀疏碼多重存取系統碼簿與接收機設計	1170	2020
	B5G智慧跨層多重存取邊緣運算(I)	9000	2019
	次世代小細胞通訊網路之結合非正交多重連接(NOMA)與JT-CoMP之干擾消除機制效能最佳化研究	560	2021
	超可靠低延遲通訊及其相關問題之研究-編碼多重存取：使用通道編碼方法(子計畫二)	1049	2021
	新一代雲端無線線接收網路針對動態協同傳輸與載波聚合技術研發具有服務品質保證之高效省電排程方法	1040	2020
	新一代雲端無線線接收網路針對動態協同傳輸與載波聚合技術研發具有服務品質保證之高效省電排程方法	953	2021
	藉由人工智慧輔助之稀疏碼多重存取系統碼簿與接收機設計	1125	2021
	5G/B5G異質網路中對於保密傳輸率與功率消耗之最佳權衡	721	2018
	5G/B5G異質網路中對於保密傳輸率與功率消耗之最佳權衡	751	2019
	5G/B5G異質網路中對於保密傳輸率與功率消耗之最佳權衡	866	2020
未來5G-演進及6G泛在智慧無線網路中的合作傳輸優化	1013	2021	
3-2 異質網路架構下之三維通訊與衛星協定	具備全域智慧之B5G/6G三維行動組網與傳輸技術(I)	7000	2021
	基於深度學習之後5G行動網路-總計畫暨子計畫一：後5G行動網路之深度學習平台	1088	2019
	基於深度學習之後5G行動網路-總計畫暨子計畫一：後5G行動網路之深度學習平台	1008	2020
	異質整合光能與2.4-GHz射頻獵能整流器晶片設計及雛型系統驗證	642	2021
	無線基頻處理器之多核運算自組協調設計	894	2020
	量子星空地一體化6G行動網路-子計畫三：星空地一體化6G行動網路之核心網路技術與NTN應用研究	562	2021
	量子星空地一體化6G行動網路-量子星空地一體化6G行動網路之安全性研究	562	2021
	量子星空地一體化6G行動網路-量子星空地一體化6G行動網路之量子路由技術與QoS應用研究	761	2021
	量子星空地一體化6G行動網路-量子星空地一體化6G行動網路水下網路通訊研究	562	2021

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
3-3 物聯網通訊協定	量子星空地一體化 6G 行動網路 - 總計畫暨子計畫一：量子星空地一體化 6G 行動網路之混和式量子機器學習平台研究	1012	2021
	新世紀 (5G&B5G) 智慧車載網路前瞻技術研究 - 5G C-V2X 車聯網架構下之結合區塊鏈與異質車內網路安全開道器設計與實作	661	2021
	新興產業技術研發布局及策略推動計畫 (1/1)	96437	2021
	總計畫暨子計畫一：後 5G 行動網路之深度學習平台	1261	2018
	隱私感知智慧城市資料流通與加值應用開發技術 - 子計畫五：支援智慧城市脈動之 B5G 網路心智技術	838	2020
	110 年度「下世代電信網路號碼技術研析及管理」委託研究計畫	14600	2021
	H2020 Clear5G: 未來工廠之 5G 機器通訊網路 (I)	5730	2018
	合作式細胞型窄頻物聯網 (NB-IoT) 之最佳化節能中繼協定	726	2018
	在有限能量物聯網中以智慧反射表面協助之無人機無線通訊：無限及有限區塊長度之分析	754	2021
	次世代無人機通訊系統：資源分配、佈署與替換之人工智慧技術	708	2021
	基於下一代行動通訊邊緣運算的智慧計算隱私保護技術於物聯網應用之研究	1094	2020
3-4 通訊軟體系統	新世紀 (5G&B5G) 智慧車載網路前瞻技術研究 - 車載物聯網差異化服務品質之研究	562	2021
	新世紀 (5G&B5G) 智慧車載網路前瞻技術研究 - 總計畫與子計畫四：應用於行動 5G/B5G 認知網路之雲端使用者體驗 3D 串流智慧車解決方案	875	2021
	隱私感知智慧城市資料流通與加值應用開發技術 - 總計畫暨子計畫一：支持智慧城市永續脈動之資料循環區塊鏈技術	1951	2020
	隱私感知智慧城市資料流通與加值應用開發技術 - 總計畫暨子計畫一：支持智慧城市永續脈動之資料循環區塊鏈技術	1781	2021
	5G 發展策略與跨域合作技術整合計畫 (2/4)	68650	2021
	B5G/6G 通訊軟體技術 (I)	7500	2021
	SDN/NFV 驅動之 5G/B5G 行動邊緣雲-vCN 與 vRAN 容器加速機制與切片編排佈署	889	2019
	SDN/NFV 驅動之 5G/B5G 行動邊緣雲-vCN 與 vRAN 容器加速機制與切片編排佈署	676	2020
	以使用者體驗為導向之 6G 沉浸式數位實境創新應用之網路資源管理 (I)	6900	2021
	高效能觸覺互聯網應用之智慧 5G/B5G 架構設計及資源管理	730	2021
	基於 SDN/NFV 之 5G/B5G 雲控網與智聯網關鍵技術研究	660	2021
基於高性能虛擬中心之軟體實體層平行拆分與分散運算	1040	2020	

架構	計畫中文名稱	本期經費 (千元)	計畫 年度
	基於高性能虛擬中心之軟體實體層平行拆分與分散運算	973	2021
	開源 B5G/6G 核心網路開發計劃 (I)	7250	2021
	隨機圖型的構造和滲流分析及其在 B5G 網路的應用	899	2019
	5G/B5G 無線通訊網路技術研發專案推動計畫 (I)	2683	2017
	5G/B5G 無線通訊網路技術研發專案推動計畫 (II)	2884	2018
	5G/B5G 無線通訊網路技術研發專案推動計畫 (III)	2965	2019
	5G/B5G 無線通訊網路技術研發專案推動計畫 (IV)	3206	2020
	5G 發展策略與跨域合作技術整合計畫	77421	2020
	B5G/6G 無線通訊系統之基頻關鍵技術開發 (II)	7320	2020
	B5G 無線通訊之基頻核心技術研究 (II)	7356	2019
跨主題	B5G 無線通訊之基頻核心技術研究 (III)	6280	2020
	B5G 網路之 AR/VR 智慧健康服務與前瞻技術開發 (II)	9884	2020
	文化科技 5G 創新垂直應用場景建構及營運支援計畫 (1/4)	160000	2021
	國際通傳產業動態觀測	6450	2020
	新興產業技術研發佈局及策略推動計畫 (1/1)	93622	2020

我國相關的論文產出方面，由第 2 章的文獻分析可知，「通訊軟體系統」最佳，排在全球第 8 名，「新無線接收波形、通道編碼與傳收機設計」、「前瞻多重接收技術」都排在第 10 名；「電磁創新關鍵技術」、「massive MIMO」、「物聯網通訊協定」排名在 11、12 之間，「人工智慧無線通訊」、「寬頻通訊協定」皆為第 17 名，「sub-Thz/Thz 前端系統」排在 23；衛星技術相關的「低軌道衛星通訊前端系統」、「異質網路架構下之三維通訊與衛星協定」表現最為弱勢，幾乎沒有相關論文的產出。

第四章 未來與展望

本研究從各國政策、產業新聞、學研界現況、文獻計量、專利計量、計畫盤點等角度切入，分析 6G 發展趨勢的各個面向。6G 通訊預計在 2030 年實現，頻譜將延伸至 THz，傳輸速度達到 5G 的 50 倍以上，能源效率是 5G 的兩倍；用戶在最高速的陸運工具（如磁浮列車）上依然能享受可靠、高品質的通訊，延遲性遠低於人類所能感知。在這樣高效能的通訊網路環境下，腦機無線串接、超實感延展實境、高真實度移動全息顯示、大規模自動駕駛與機器人聯網系統等都將被實現。

為了在 6G 技術取得領先地位，美國已先後支持了 JUMP、Spectrum Horizon、RINGS 等大型研發計畫，其中美國國防部扮演了出資的角色，進一步突顯 6G 技術對十年後各國國家安全的影響力。世界上的其他區域型 / 國家級計畫還包括了歐盟的「6G 旗艦計畫 Hexa-X」、日本的「B5G 推進戰略：邁向 6G 的藍圖」、韓國的「投入 6G 研究」、中國的「6G 技術研發工作啟動會」等。上述各國計畫主要鎖定在掌握智財與標準制定話語權、頻譜的延伸、提升網路速度、確保資安、提升運算效能、發展沉浸式媒體、社會整體智慧化等方向。我國在科技部的主導下，支持了多個研究團隊與美、英、瑞典等國家進行跨國合作，探索 6G 的早期關鍵技術；另外具官方色彩的通訊龍頭中華電信，則已著手低軌道衛星相關研究。

國際上多個單位以白皮書的方式，對 6G 展開討論。例如芬蘭的 6G 旗艦計畫站在協助發展中國家進步與地球永續的角度，認為 6G 技術應與 SDGs 相輔相成，在終結貧窮、帶動性別平權、抵抗氣候變遷方面做出貢獻，同時平衡城鄉發展，創造多元的新興產業生態系。三星公佈的白皮書對各項通訊規格設下目標，並提醒 6G 將大幅提升 AI 的進化速度，這將帶來安全與隱私疑慮，是需要解決的 6G 信賴性議題。NTT Docomo 的白皮書同樣描繪對各項通訊規格的想像，希望藉由白皮書的發表，引起產官學界的興趣與參與，促成 6G 技術的研發與推展。推動 6G 發展的產業聯盟也陸續成立，像是美國電信產業解決方案聯盟成立的 Next G Alliance，希望團結 AT&T、Ericsson、Facebook、InterDigital、Microsoft、Nokia、Qualcomm、Samsung 等相關企業，確保北美地區在 6G 技術領域的領導地位。台灣完整的半導體供應鏈則是讓台灣站在 6G 發展的最前沿，像是 2020 年的 IEEE 全球通訊會議就在台灣舉辦，通訊技術的發展將帶動台灣相關產業產值在 2022 年達到 500 億；預計未來將可實現 16K 高解析延展實境、

全息影像與視訊、數位分身、高解析立體地圖行車輔助系統等重要應用。

6G 的技術架構則可由科技部工程司規劃的重點研發項目窺知一二。2021 年公告的「110 年下世代通訊系統關鍵技術研發專案計畫重點研發項目」大項包括電波與天線技術、通訊與傳輸技術、網路技術與通訊軟體等三項。從 2017~2021 年全球論文發表量來觀察，「網路技術與通訊軟體」項下的「物聯網通訊協定」，及「通訊與傳輸技術」項下的「massive MIMO 技術」被研究得最多，分別都將近四千篇。篇數在一千左右的則有「通訊與傳輸技術」項下的「前瞻多重接取技術」，「網路技術與通訊軟體」項下的「寬頻通訊協定」，及「通訊與傳輸技術」項下的「人工智慧無線通訊」；其他子領域論文篇數約都在三百以下。美國專利申請方面則呈現不同的樣貌，2589 件的「人工智慧無線通訊」相關專利是數量最多的，且超過文獻的三倍；排在第二的「新無線接取波形、通道編解碼與傳收機設計（屬於通訊與傳輸技術項下）」數量上與第一名相差了一千多件，但整體數量更超過文獻篇數的六倍。數量上反過來遠低於論文篇數的則是 massive MIMO 技術，美國專利申請量只有論文的 1/37。

5G 的時代才剛開始，許多效能與應用都還尚未在我們的日常生活中體現出來，更別說是還在研發初期的 6G 技術；但從美國國防部對 6G 的重視程度就可以知道 6G 技術非常重要。而 B5G/6G 相關的論文數量主要集中在中國的研究單位，屈居第二的美國在多數主題數量上大約只有中國的一半，顯見未來各國若要突破中國從 5G 時代就已成形的技術優勢，勢必非常艱辛。我國政府應從前文論文、專利分析所統計的重點國家中，依國際情勢，選出潛在合作對象與競爭者，積極進行合作或防範。國際研究熱點方面，台灣特別在低軌道衛星通訊前端系統、人工智慧無線通訊、異質網路架構下之三維通訊與衛星協定等領域，論文或專利數量皆未擠進前面名次，應評估研發力道是否應該加強。尤其隨著通訊技術對低軌道衛星的需求漸增，相關企業不論是發展前景或實際營收預期都將起飛；台灣在相關研究上相對弱勢，政府應加速對研發的投資，著手鼓勵供應鏈的形成與培植新興產業。通常 NPE 重視的技術方向就是智財權有利可圖的領域，所以對於 NPE 掌握許多專利的 massive MIMO、人工智慧無線通訊、物聯網通訊協定、通訊軟體系統等技術方向，應小心提防避免受制於人。

參考文獻

6G Flagship (2021). White Papers. Retrieved from <https://www.6gchannel.com/6g-white-papers/>

Alliance for Telecommunications Industry Solutions (2020). Next G Alliance. Retrieved from <https://nextgalliance.org/>

European Commission (2021). Hexa-X. Retrieved from <https://hexa-x.eu/>

Federal Communications Commission (2019). Spectrum Horizons. Retrieved from <https://www.federalregister.gov/documents/2019/06/04/2019-10925/spectrum-horizons>

Mahmoud, H. H. H., Amer, A. A., & Ismail, T. (2021). 6G: A comprehensive survey on technologies, applications, challenges, and research problems. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, e4233.

National Science Foundation (2021). Resilient & Intelligent NextG Systems (RINGS). Retrieved from <https://www.nsf.gov/pubs/2021/nsf21581/nsf21581.htm>

NTT Docomo (2021). White Paper 5G Evolution and 6G. Retrieved from https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperEN_v3.0.pdf

Samsung (2020, July 14). Samsung's 6G white paper lays out the company's vision for the next generation of communications technology. Samsung Newsroom. Retrieved from <https://news.samsung.com/global/samsungs-6g-white-paper-lays-out-the-companys-vision-for-the-next-generation-of-communications-technology>

Scientific Research Corporation (2018). Joint University Microelectronics Program. Retrieved from <https://www.src.org/program/jump/>

KDDI Corporation and KDDI Research (2021). Beyond 5G/6G white paper ver. 2.0. Retrieved from http://www.kddi-research.jp/english/tech/whitepaper_

b5g_6g/

Kyle (2021 年, 1 月 25 日)。2021 年各國追求 6G 研發速度加快, 佈局網路衛星成為重點。科技產業資訊室。取自 <https://iknow.stpi.narl.org.tw/Post/Read.aspx?PostID=17462>

行政院科技會報辦公室 (2018 年, 10 月 3 日)。5G 應用與產業創新策略規劃。行政院 DIGI+ 小組第 3 次會議。取自 <https://digi.ey.gov.tw/File/6EB-932B99C1BAFEA?A=C>

我國 6G 技術研發工作正式啟動 (2019 年, 11 月 7 日)。中國青年報。取自 <http://media.people.com.cn/BIG5/n1/2019/1107/c14677-31442149.html>

邱捷芯 (2021 年, 9 月 11 日)。低軌衛星將成 6G 一個環節, 電信商搶進拚訊號全面覆蓋。科技新報。取自 <https://technews.tw/2021/09/11/6g-low-earth-orbit-satellite/>

財團法人台灣經濟研究院研究四所 (2020a)。日本總務省發布「Beyond 5G 推進戰略: 邁向 6G 的藍圖」。國際通傳產業動態觀測。取自 <https://intlfocus.ncc.gov.tw/xcdoc/cont?xsmsid=0J210565885111070723&sid=0K237537726426071726&sq=>

財團法人台灣經濟研究院研究四所 (2020b)。韓國投入 6G 研究。國際通傳產業動態觀測。取自 <https://intlfocus.ncc.gov.tw/xcdoc/cont?xsmsid=0J210565885111070723&sid=0K104503711865857206&sq=>

財團法人台灣經濟研究院研究四所 (2020c)。SoftBank、岐阜大學與情報通信研究機構 (NICT) 等共同開發 Beyond 5G/6G 之 THz 無線通訊的超小型天線。國際通傳產業動態觀測。取自 <https://intlfocus.ncc.gov.tw/xcdoc/cont?xsmsid=0J210565885111070723&sid=0K237508868885145053&sq=> 岐阜

部敏 (2019 年, 12 月 1 日)。飆速時代! 多國爭先投入 6G 研究 台灣也不缺席。新頭殼。取自 <https://newtalk.tw/news/view/2019-12-01/333721>

黃敬哲 (2020, 12 月 16 日)。5G 其實只是雛形? 通訊專家眼中的 6G 網路到底是什麼。科技新報。取自 <https://technews.tw/2020/12/16/5g-is-actually-just-a-rudimentary-form-what-is-the-6g-network-in-the-eyes-of-communication->

experts/

劉麗榮 (2019 年, 6 月 10 日)。5G 商機卡位戰 台灣年產值 500 億起跳。中央通訊社。取自 <https://www.cna.com.tw/topic/newsworld/127/201906100004.aspx>

6G 通訊技術發展與佈局趨勢

Development and deployment trends in 6G wireless communication technologies

作 者 — 林偉

發 行 人 — 林博文

出 版 者 — 財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心

地 址 — 10636 台北市大安區和平東路二段 106 號 1 樓、14-15 樓

網 址 — <http://www.stpi.narlabs.org.tw>

電 話 — (02)2737-7657

傳 真 — (02)2737-7448

出版日期 — 中華民國 111 年 8 月

I S B N — 9789576193309 (PDF)

D O I — 10.978.957619/3309



NAR Labs 國家實驗研究院

科技政策研究與資訊中心

Science & Technology Policy Research and Information Center