



■文：徐俊毅

在互聯網出現之初，科技人員就已經在考慮組建無線局域網的事情。在上世紀 90 年代初期，IEEE (Institute of Electrical and Electronics) 電氣和電子工程師協會成立了 802.11 工作組，專門研究這項技術並制定相關標準，最早的 Wi-Fi 版本於 1997 年公佈，名稱為 802.11-1997，設計傳輸速率為 2Mbps。這個傳輸率在今天看來簡直就是“龜速”，但在當年大部分人還在使用“高速” 56kbps Modem 接入互聯網的時代已經是

表：Wi-Fi 協議版本

| Wi-Fi 協議版本 | 發佈年份 | 使用頻段 (GHz) | 通道頻寬 (MHz) | 最大資料傳輸速率 |
|---------------------|------------|------------|------------------|-----------|
| 802.11-1997 | 1997 | 2.4 | 22 | 2 Mbps |
| 802.11b | 1999 | 2.4 | 22 | 11 Mbps |
| 802.11a | 1999 | 5 | 20 | 54 Mbps |
| 802.11g | 2003 | 2.4 | 20 | 54 Mbps |
| 802.11n (Wi-Fi 4) | 2009 | 2.4/5 | 20/40 | 600 Mbps |
| 802.11ac (Wi-Fi 5) | 2013 | 5 | 20/40/80/160 | 6.8 Gbps |
| 802.11ax (Wi-Fi 6) | 2019 | 2.5/5 | 20/40/80/160 | 9.6 Gbps |
| 802.11ax (Wi-Fi 6E) | 2020 | 2.5/5/6 | 20/40/80/160 | 9.6 Gbps |
| 802.11be (Wi-Fi 7) | 預計 2024 發佈 | 2.5/5/6 | 20/40/80/160/320 | 46.1 Gbps |

資料來源：編輯部整理

非常超前設計。只是從局域網的角度，當時的同軸電纜和局域網速已經普遍達到了 10Mbps 這一速度水準，無線局域網的設計速率明顯不太有吸引力，因此，在 2 年後的 802.11b，802.11a 兩個版本中，Wi-Fi 傳輸速率大幅提升，值得注意的是，802.11a 在那時就已經提出了使用 5GHz 頻帶的想法。但是由於技術條件所限和成本原因，並未真正廣泛使用。

Wi-Fi 聯盟也是在 1999 年成立，負責協調推廣、認證 Wi-Fi 規

範和相關技術。一大批頂級科技公司 (Apple, Cisco, Dell, Intel, Texas Instruments, Qualcomm, Huawei 等等)，先後加入該聯盟。

2003 年，802.11g 推出，在 2.4GHz 頻帶，將速率提升到 54Mbps，為 Wi-Fi 普及打下了良好的基礎。6 年後，802.11n (Wi-Fi 4) 出現，將理論傳輸速率提升到 600Mbps，並再一次使用了 5GHz 頻帶，引入了 MIMO、MCS、Beamforming 等技術改善用戶體驗，Wi-Fi 市場進入快速成長期。時至今日，802.11g 和 802.11n 仍然在很多 Wi-Fi 設備的保留選項中，市場上仍然有大量 802.11n 的設備在使用。

2013 年，802.11ac (Wi-Fi 5) 版本公佈，Wi-Fi 首次進入了 GHz 時代，通道頻寬提升到 160MHz，並且有引入了 MU-MIMO (Multi-User-MIMO) 技術，讓 AP (Access Point) 設備可以同時與多個設備通信，並能夠複用通道頻寬，讓理論

圖說：Wi-Fi 6 Logo



圖片來源：wi-fi.org

傳輸速率提升到 6.8Gbps。2019 年公佈的 802.11ax (Wi-Fi 6) 引入了移動通信領域的 OFDMA 技術，升級 MU-MIMO，可以大大降低傳輸時延和提升通道利用效率，使得這一規範下最大單流速率可以提升到 9.6Gbps。也是目前中高階 Wi-Fi 設備正在使用的通信協定。

2020 年發佈的 Wi-Fi 6E，與 Wi-Fi 6 唯一不同就是首次使用了 6GHz 頻帶，這樣一來，借助更寬頻率資源，Wi-Fi 6E 可以更加輕易的實現高傳輸速率，且避免干擾降低時延。

目前，已有超過 660 個 Wi-Fi 6E 設備獲得 Wi-Fi Alliance 授予的 Wi-Fi CERTIFIED，如最新版本的蘋果 iPad Pro、Google Pixel 7 以及 7 Pro 和三星 Neo QLED 8K 電視都已經支援 Wi-Fi 6E 協議，Wi-Fi 6E 還將在未來的創新應用中發揮重要作用，包括擴展現實 (XR)，複雜的增強現實應用，甚至是全息協作解決方案。Wi-Fi 6E 將成為這些應用能夠提供最佳用戶體驗的關鍵因素。按照每一代 Wi-Fi 技術規範 10 年左右市場期，接下來的幾年將進入 Wi-Fi 6 和 Wi-Fi 6E 的普及階段。

那麼接下來呢？



Wi-Fi 7 的腳步近了

WiFi 7 (Wi-Fi 7) 是下一代 Wi-Fi 標準，對應的是 IEEE 802.11 正在制定的 IEEE 802.11be 一極高輸送量 EHT (Extremely High Throughput)，目前的進度是 D1.0 版。

Wi-Fi 7 在 Wi-Fi 6 的基礎上引入了 320MHz 通道頻寬、4096-QAM、Multi-RU、多鏈路操作、

增強 MU-MIMO、多 AP 協作等技術，使得 Wi-Fi 7 相較於 Wi-Fi 6 將提供更高的資料傳輸速率和更低的時延。Wi-Fi 7 預計能夠支援高達 46Gbps 的傳輸率，4 倍於 Wi-Fi 6 的速度。

320MHz 通道頻寬更加高效靈活：為了實現最大輸送量接近 50Gbps 的目標，Wi-Fi 7 不僅繼續工作在 6GHz 頻帶，通道頻寬的使用

圖說：Wi-Fi 7 與 Wi-Fi 6 的差別

圖片來源：huawei.com

| | Wi-Fi 6 | Wi-Fi 7 |
|---------|-----------------------------------|---------------------|
| IEEE 標準 | 802.11ax | 802.11be |
| 最大傳輸速率 | 9.6Gbps | 30Gbps |
| 頻帶 | 2.4GHz、5GHz、6GHz (僅Wi-Fi 6E) | 2.4GHz、5GHz、6GHz |
| 安全協議 | WPA3 | WPA3 |
| 信道帶寬 | 20MHz、40MHz、80MHz、160MHz、80+80MHz | 最大可到320MHz |
| 調變方式 | 1024-QAM OFDMA | 4096-QAM OFDMA |
| MIMO | 8x8 UL/DL MU-MIMO | 16x16 UL/DL MU-MIMO |

更加靈活，比如連續 320MHz、240MHz，非連續 160+80MHz，160+160MHz 等等。

OFDMA 加強 -- Multi-RU 機制：在 Wi-Fi 6 中，每個用戶只能在分配到的特定 RU 上發送或接收幀，大大限制了頻率資源調度的靈活性。為解決該問題，進一步提升頻譜效率，Wi-Fi 7 中定義了允許將多個 RU 分配給單用戶的機制。當然，為了平衡實現的複雜度和頻率的利用率，協定中對 RU 的組合做了一定的限制，即：小規格 RU (小於 242-Tone 的 RU) 只能與小規格 RU 合併，大規格 RU (大於等於 242-Tone 的 RU) 只能與大規格 RU 合併，不允許小規格 RU 和大規格 RU 混合使用。

4096-QAM 調變技術 提升單週期傳輸能力：Wi-Fi 6 的調變方式是 1024-QAM，其中調變符號承載 10bits。為提升傳輸速率，Wi-Fi 7 將引入 4096-QAM，使得調變符號承載 12bit。在相同的編碼情況下，Wi-Fi 7 的 4096-QAM 比 Wi-Fi 6 的 1024-QAM 可以獲得 20% 的速率提升。

Multi-Link 多鏈路機制：頻率資源有限的情況下，為實現所有可用頻率資源的高效利用，需要在 2.4 GHz、5 GHz 和 6 GHz 上建立新的頻率管理、協調和傳輸機制。802.11 工作組定義了多鏈路聚合相關的技術，主要包括增強型多鏈路聚合的 MAC 架構、多鏈路通道接入和多鏈路傳輸等相關技術，可以最大限度的發揮頻率資源的效率。

MIMO 加強到 16x16：在 Wi-Fi 7

中，空間流的數從 Wi-Fi 6 的 8 個增加到 16 個，物理傳輸速率理論值可以提升兩倍以上。

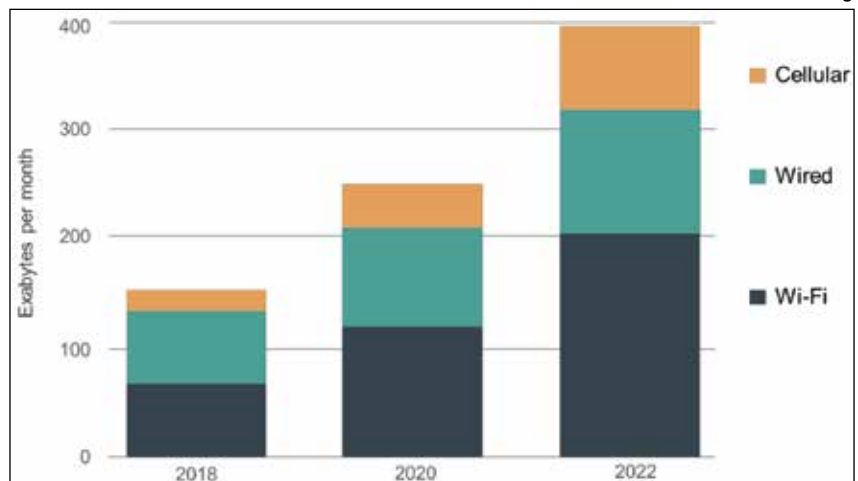
網路延伸能力加強，支援多 AP 間的協同調度：以往各版本 Wi-Fi 協議，除了將 AP (Access Point) 改為中繼設備等少數情況下，AP 之間沒有什麼聯繫。Wi-Fi 7 中的多 AP 間的協同調度，包括小區間的在時域和頻域的協調規劃，小區間的干擾協調，以及分散式 MIMO，可以有效降低 AP 之間的干擾，極大的提升無線資源的利用率。

Wi-Fi 7 將家用無線網路帶入 10Gbps 水準，屆時無線傳輸能力，將超越現有的家用光纖的傳輸能力，甚至超過了 4G 時代移动通信基站的吞吐能力，每一次無線傳輸性能的提升，都會開啓很多新的應用，預計 Wi-Fi 7，能夠在極高清視頻、AR/VR、無線顯示、遠端醫療等更多領域發揮巨大作用。

Wi-Fi 承擔用戶最大流量

在過去的二十年中，隨著全球資料流量呈指數級增長，

圖說：Cisco 發佈全球資料流量趨勢統計，



圖片來源：wi-fi.org

Wi-Fi 已成為連接數十億人和設備不可或缺的一部分。

統計顯示，全球 Wi-Fi 設備已經超過 180 億台。預計到 2024 年，Wi-Fi 設備每年的出貨量將增加至近 40 億。在許多地方，Wi-Fi 設備是消費者和企業使用者連接到互聯網、雲服務和企業網路的主要手段。Wi-Fi 設備還支援一系列廣泛且不斷增長的物聯網 (IoT) 和智慧家居解決方案。

2030 年歐盟委員會的數字羅盤報告強調，十億位元連接對於實現廣域寬頻至關重要，而十億位元連接需要 Wi-Fi 功能來向使用者提供 "最後一米路"。Cisco 在疫情前預測，到 2022 年，Wi-Fi 設備的流量將會超過移動網路和消費者固定寬頻網路流量之和。

2021 年 Wi-Fi 的全球經濟價值為 3.3 萬億元，預計到 2025 年，Wi-Fi 將為全球經濟貢獻近 5 萬億美元，而開放 Wi-Fi 全頻帶的國家也將看到更大的社會經濟效益。

Qualcomm Technologies 雲端與網路部門的高級副總監兼總

經理表示：“過去幾年擴大了消費者對更快、更可靠的連接的長期需求——Wi-Fi 6E 非常適合用來做包括企業在內的所有層次的解決方案。由於預見到了這一轉變，我們已經能夠說明世界各地的客戶在 6GHz 頻帶上提供 Wi-Fi 6E，使智慧手機、PC、增強現實設備、接入點和路由器等多種基礎設施具有突破性的性能，最大限度地提高頻譜使用率。”

Wi-Fi 物聯網

Wi-Fi 在物聯網創新中發揮了基礎性作用，Wi-Fi 設備被廣泛用在包括智慧家居、智慧城市、汽

車、醫療保健、企業、政府和工業物聯網等領域。物聯網系統通常通過移動設備進行控制，而 Wi-Fi 可以無縫控制智慧手機、平板電腦以及目前已經在使用的 180 億台 Wi-Fi 設備。

Wi-Fi 易於部署且性價比高，不需要單獨的閘道或專業技能來交付物聯網應用。對於考慮到成本、可靠性和支援的物聯網產品架構師來說，可最大限度地減少過早淘汰的風險，並確保傳統設備能夠輕鬆連接到家用網路。

Wi-Fi Location 提供亞米級的位置資訊，可以為工業和智慧城市環境提供一系列位置感知的物聯網

服務，實現資產管理、網路管理和地理圍欄等增強效益。

除了通過接入點的傳統 Wi-Fi 連接外，Wi-Fi CERTIFIED EasyMesh，Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Aware 和 Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Direct 為不同的物聯網環境提供各種網路拓撲結構，從而滿足物聯網網路和物聯網應用需求的可擴展和可定制選項。與單純的星形或網狀拓撲結構相比，Wi-Fi 為網路管理者提供了更靈活的物聯網網路連接拓撲選擇。

Wi-Fi 的廣泛組合解決了支援高輸送量和低延遲應用（如 AR/VR）的 IoT 用例，以及長期、低功耗的資產跟蹤應用或農村灌溉系統。Wi-Fi 正在說明提高醫療保健環境中臨床服務的靈活性和效率。未來 5 年，與 IoT 相關的醫療保健設備的交付量將增長 15%。

WPA3 進一步加強 Wi-Fi 安全性

資訊安全問題，是整個數位世界需要認真面對的課題。自從 WPA2 加密被破解之後，WPA3 就承擔起了安全防線的主要任務。

Wi-Fi CERTIFIED WPA3：WPA3 是 Wi-Fi 技術中最先進的安全協議。WPA3 在 WPA2 基礎上，增加了新的功能，以簡化 Wi-Fi 安全保障方法、實現更可靠的身份驗證、為高度敏感的資料市場提高加密強度並保持關鍵任務型網路的彈性。所有 WPA3 網路都：採用最新的安全保障方法；禁止使用過時

圖說：Wi-Fi 在物聯網應用中發揮重要作用



圖片來源：wi-fi.org

的傳統協定；要求使用“受保護的管理幀 (Protected Management Frames，簡稱 PMF)。

由於不同 Wi-Fi 網路的用途和安全需求有所不同，所以 WPA3 專門為個人網路和企業級網路提供了額外功能。WPA3-Personal 針對密碼猜測企圖增強了對用戶的保護，而 WPA3-Enterprise 的用戶現在則能夠利用更高級的安全協定，保護敏感性資料網路的安全。

同樣，WPA3 是 Wi-Fi CERTIFIED 設備的強制認證專案。

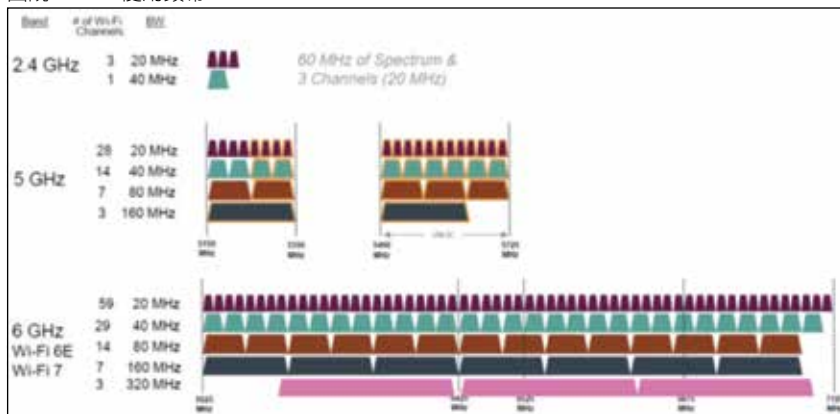
在開放式的 Wi-Fi 環境中，Wi-Fi CERTIFIED Enhanced Open 認證，在保留開放式網路使用便利這一特點的同時，降低了訪問不安全的網路帶來的某些風險。Wi-Fi Enhanced Open 網路無需進行身份驗證，就為用戶提供資料加密，這些保護對用戶是透明的。

頻譜資源可能會是絆腳石？

在 Wi-Fi 6E 首次使用 6GHz 頻段之後，6GHz 的頻率資源，就成關注的焦點，因為蜂窩網路的運營商同樣需要這些頻率資源。6GHz 頻段包含 7 個 160MHz 通道、14 個 80MHz 通道、29 個 40MHz 通道、60 個 20MHz 通道，總計 110 個通道，看上去資源豐富，但是面對海量資料的增長需求，卻並不充裕。

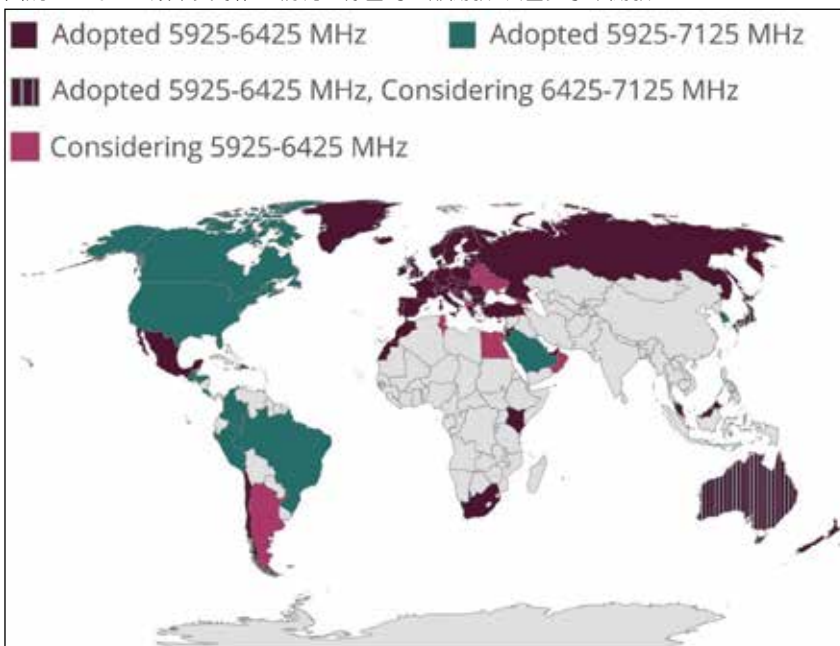
儘管一些國家已經授權在整個 6GHz 頻帶接入 Wi-Fi，但是在很多地區 6GHz 頻帶的使用問題依

圖說：Wi-Fi 使用頻帶



圖片來源：wi-fi.org

圖說：全球 6G 頻率資源配置情況，綠色為全部開放 灰色表示未開放



圖片來源：wi-fi.org

然模糊。

北美地區將 5925-7125MHz，共 1200MHz 通道頻寬的頻率資源全部開放為非授權頻率。這將使得這些地區率先釋放 Wi-Fi 6E 和未來 Wi-Fi 一代的全部潛力。歐洲國家和地區採取了部分開放的方式，將 5925-6425MHz，500MHz 通道頻寬開放給 Wi-Fi 使用，亞洲地區的韓國已經全部開放，日本效法歐洲，最近剛允許使用 6GHz 頻帶

接入 Wi-Fi 的國家包括巴林、肯亞和紐西蘭。

在中國，考慮到 5G 的未來發展需要 6G 頻段的頻率資源，因此將頻率資源進行授權使用。因此 Wi-Fi 6E 的性能還無法讓消費者體驗到。

Wi-Fi 聯盟認為，使用者需要體驗更高級的 Wi-Fi，而提供所有 1200 MHz 頻率的國家和地區確保人們能夠體驗 Wi-Fi 6E 的全

部優勢。提供完整的 1200MHz 頻譜，而不是只開放頻段較低的部分 (500MHz) 給 Wi-Fi 使用，讓人們有更多機會體驗 Wi-Fi 6E 整體優勢，這些優勢可能是新產品或者是大規模部署帶來的。

最新的統計表明，有超過 6 成的移動通信流量借助 Wi-Fi 進行分流，比如在中國，儘管沒有開放 6G 頻帶給 Wi-Fi 使用，但是 Wi-Fi 6E 已被廣泛使用在 5G 網路中，為移動設備提供接入，以彌補 5G 基站的覆蓋能力問題。

Wi-Fi 聯盟在《6GHz Wi-Fi》一文中指出，Wi-Fi 的未來取決於

對 6 GHz 頻帶的訪問，蜂窩服務提供者聲稱，未來 5G/IMT 許可部署需要 6 GHz (即 6.425 至 7.125 GHz) 頻帶的上部，而忽略了以前指定用於 5G/IMT 的大部分頻率仍然無法使用的事實。例如，“頻率指配是 5G 商用的重要前提條件，目前還沒有完成：在絕大多數成員國中，5G 協調頻率總量中僅指配了 56%。因此，蜂窩產業對 6 GHz 的要求是不合理的。

6GHz Wi-Fi 已經在許多國家帶來了巨大的社會經濟效益。隨著 6GHz 產品生態系統的多樣化和不斷增長，Wi-Fi 完全符合市場需

求和客戶對寬頻無線連接的偏好，而不會干擾 6GHz 現有的用戶。在允許這種 Wi-Fi 操作的情況下，6GHz 頻帶的 Wi-Fi 操作會迅速並大幅提升該頻帶的價值。

本次專題參考資源：

- huawei.com
- h3c.com
- iot-book.github.io
- bluetooth.com
- wi-fi.org
- lora-alliance.org 

英特爾實現溫室氣體淨零排放的最新進展

去年 4 月，英特爾執行長 Pat Gelsinger 宣布英特爾降低溫室氣體 (GHG) 排放的承諾，並納入英特爾自身的營運項目和整體價值鏈。包含在現有承諾的基礎上提升標準，並於 2040 年在英特爾全球營運範圍達成範疇一和範疇二溫室氣體淨零排放的目標。

由於生產晶片所需能源和製造過程的獨特需求，降低溫室氣體排放是半導體產業所面臨的最複雜挑戰之一。為滿足不斷成長的晶片需求，半導體生態系更拓展至全球規模，此舉提升了淨零排放的複雜性。

展望未來，英特爾投資獨特技術以進一步降低碳足跡。其中包含持續改善英特爾的系統，最大化回收利用工廠廢熱，進而降低對天然氣的依賴。英特爾也正在開發超高效率的減量設備，運用最新的人工智慧、軟體系統和節能技術，創造出能夠在未來工廠設計當中限制、甚至是消弭使用化石燃料的技術。

英特爾正與 SEMI、Semiconductor Research Corporation 等產業協會合作，建立永續半導體製造計畫，致力研發半導體製造過程中使用各種化學材料的替代品。與此同時，英特爾也與其它業界先進夥伴合作，在生態系內推動有意義且實質的改變。新成立的半導體氣候聯盟 (SCC)，匯聚英特爾的供應商、同業和客戶們，加速降低產業溫室氣體排放的解決方案。

英特爾也加入麻省理工學院的產品碳足跡演算法 (PAIA) 聯盟，開發計算電子產品碳足跡的通用方法。這使產業能夠正確衡量所取得的進展，英特爾的客戶能更清楚了解上游排放狀況以及產品實際碳足跡。

近日，英特爾與德國達姆施塔特的 Merck KGaA 共同宣布一項在歐洲的學術研究計畫，該計畫將利用人工智慧和機器學習，來推動半導體製程和技術創新。

英特爾近期推出最具永續性的資料中心處理器－第 4 代 Intel Xeon 可擴充處理器。透過內建加速器，這些處理器於特定工作負載能夠將每瓦效能提升 2.9 倍。其它功能還可將目標工作負載的功耗最多降低 20%，對效能的影響幾乎可以忽略不計。

為減少電子垃圾，英特爾與開放運算計畫 (OCP) 合作，促進模組化設計發展，提升伺服器元件跨世代的重複利用率。

結合英特爾在營運方面的努力，以及納入產品、平台軟體和解決方案的整體考量，讓英特爾的客戶能夠加速實現這場永續旅程。