

Wi-Fi 8：建立超可靠 Wi-Fi 通信時代



■文：編輯部

在數位化浪潮席捲全球的今天，Wi-Fi 技術已成為我們生活中不可或缺的一部分。從最初的簡單上網流覽，到如今支撐起高清視頻通話、智慧家居控制、遠端醫療等複雜應用，Wi-Fi 不斷進化以滿足日益增長的需求。然而，傳統 Wi-Fi 在可靠性、輸送量和時延等方面逐漸暴露出局限性，特別是在高密度、高干擾的網路環境中。因此，每一代 Wi-Fi 技術規格的演進都在不斷優化短板。

在 2024 年 1 月份，Wi-Fi 7 初步進行認證的時候，有關 Wi-Fi 8 的討論就已經開始了。這一次，新一代 Wi-Fi，也就是 Wi-Fi 8 將優先考慮超高可靠性 (UHR : Ultra High Reliability)，即 IEEE 802.11 bn UHR。

Wi-Fi 8 驅動力

統計顯示，目前移動資料的流量中，Wi-Fi 承擔了其中的三分之二。

2024 年全球家庭寬頻月均流量達 600GB，其中 80% 通過 Wi-Fi 承載，4K/8K 視頻、XR 等應用需求激增，對網路輸送量和穩定性提出了更高要求。5G 在廣域移動場景占優，而 Wi-Fi 憑藉低成本、高頻寬和室內覆蓋優勢，仍是家庭和企業網路的骨幹，二者正協同發展實現更具性價的網路性能。在智慧家居、工業感測器等設備對低時延、高可靠連接的需求推動 Wi-Fi 技術升級，以滿足設備間的高效通信和協同工作。幾乎在所有應用端，人們 Wi-Fi 的要求都在不斷攀升。

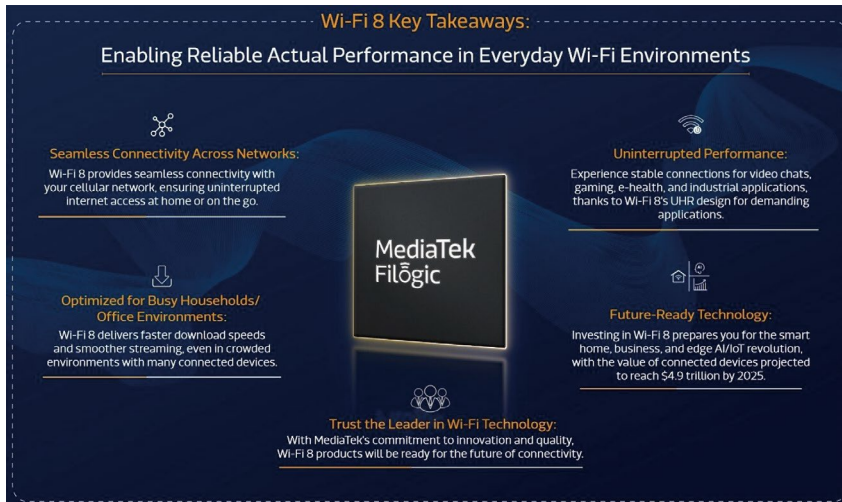
Wi-Fi 8 的標準化工作由 IEEE 802.11bn 超高可靠性

(UHR) 任務組負責，該任務組於 2023 年 11 月成立，預計將持續到 2028 年。其主要目標是在接入點的 MAC 資料服務處將輸送量提高 25%，即使在有移動性和重疊基本服務集 (OBSS) 的情況下，也將第 95 百分位元的延遲和 MAC 協定資料單元 (MPDU) 丟失率降低 25%，並改進 AP 的節能機制及增強點對點資料交換。

Wi-Fi 8 的關鍵技術

Mediatek(聯發科)認為：Wi-Fi 8 優先考慮連接可靠性而不是提高總體速度，旨在更有效地利用相同的三頻 (2.4GHz、5GHz、6GHz) 頻譜。它還引入了流行的網狀網路 (多個接入點) 的增強功能、在擁擠的空域中更可靠的連接、提高 IoT 設備的電源效率以及更大的信

圖說：Wi-Fi 8 優先考慮連接可靠性



圖片來源：mediatek.com

號範圍——所有這些都增強了用戶體驗。

1. 控制傳輸時延，提升可靠性：NPCA、IDC 和新一代 EDCA 技術

Non-Primary Channel Access (NPCA)：當多個無線終端裝置連線到主從路由器時，雖然頻寬不一，但受限於主頻道，任何瞬間只能有一個裝置在傳輸資料，NPCA 技術讓裝置與路由器間利用非主頻道來協調可利用的子頻道，達到同時傳輸資料封包、降低延遲。

圖說：Non-Primary Channel Access (NPCA) 技術示意



圖片來源：mediatek.com

In-Device Coexistence (IDC)：當一個裝置同時使用不同連線方式進行多個動作而造成干擾時，例如手機、平板等設備需同時運行 Wi-Fi、藍牙、UWB 等多協定，天線共用導致信號衝突。IDC 通過終端告知 AP 其藍牙 /Zigbee 的活動時段，AP 避開該時段調度資料，並在干擾視窗內自動降級 MCS 和空間流數以維持連接。在視訊會議中，Wi-Fi 與藍牙耳機的衝突率從 20% 降至 3%，音訊卡頓基本消除，保障了多協定設備的穩定運行。

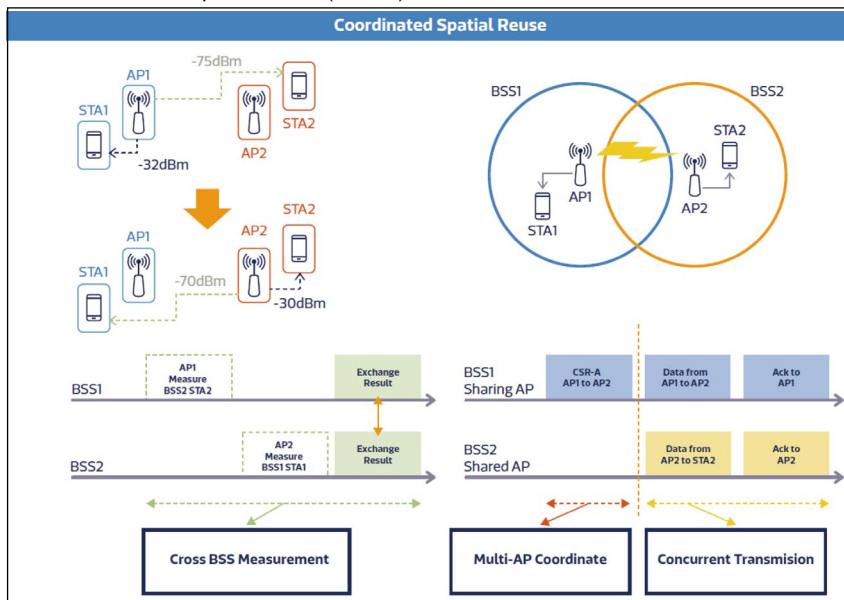
Transmission Opportunity (TXOP) Preemption：為兼顧優先權較低的重要傳輸需求，此技術可藉由拆分優先權較高的需求封包，騰出空間穿插優先權較低的需求封包，讓使用者享受順暢體驗。例如一邊直播（優先權高）一邊玩線上遊戲（優先權低）時，此技術能讓直播與線上遊戲兩者皆擁有低延遲體驗。

High Priority Enhanced Distributed Channel Access (HIP-EDCA)：一般而言，語音擁有傳輸優先權，然而當多人同時使用語音通話時，網路長延遲將不可避免。傳統 EDCA 機制中，高優先順序流量在多設備競爭時仍可能碰撞。由聯發科技提出 HIP-EDCA 技術，採用固定速率 RTS 幀，減少控制幀傳輸時間，並設置激進競爭參數 (AIFSN=2、CWmin=0)，使高優先順序流量始終優先接入。在 8 台設備併發語音通話的場景中，長尾時延 (P99) 從 30ms 壓縮至 8ms，保障了語音通信的流暢性。

2. 優化現有頻段達到提升系統吞吐率的效果：Co-SR、Co-BF、MCS 和 DSO 技術

Coordinated Spatial Reuse (Co-SR) 協同空間複用：透過協調主從路由器的傳輸強

圖說：Coordinated Spatial Reuse (Co-SR) 協同空間複用



圖片來源：mediatek.com

度，降低干擾，讓同頻的主從路由器可以同時傳輸資料給不同的無線終端裝置（如筆電、平板、電視、手機），以提升網路整體的最佳傳輸效果，系統輸送量可提升 15%-25%。

Coordinated Beamforming (Co-BF) 協同式波束成形：當目標連線裝置彼此距離太近而無法以 Co-SR 同時傳輸時，可以透過 Co-BF 技術來協助，路由器針對目標裝置位置，加強該方向的訊號強度，同時發出「空值」(null) 訊號給非目標裝置，以此降低干擾達成同時傳輸，這項技術可以將輸送量提升 20%-50%。

增加 MCS (Modulation and Coding Scheme) 調變和編碼方案：現今 Wi-Fi 7 實體傳輸速率是根據其訊號雜

訊比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 決定，從 2,880Mbps 到 144.1Mbps 間包含了 14 層；然不同層的實體傳輸速率之 SNR 幅度差距相當大，聯發科技提出新增 MCS、縮小相鄰 MCS 等級間 SNR 差距，以更準確地將實體傳輸速率與當前的 SNR 匹配，並使其能夠更有效地應對無線環境中的動態變化，傳輸速率優化 5%-30%。

Dynamic Sub-Channel Operation (DSO) 動態子頻道運作：當一個無線路由器下有多個連線裝置同時有資料傳輸需求時，會依序傳輸資料，同一時間僅有一個連線裝置可以傳輸資料，但會受限於裝置本身的頻寬能力，無法使用路由器所提供的最大頻寬。藉由 DSO 技術，讓路由器能將未使用到

的子頻道給其它連線裝置使用，同時傳送資料，以提升資料傳輸速率、降低延遲，峰值輸送量提升 80%。

Wi-Fi 8 相比 Wi-Fi 7 的主要改進

可靠性提升：Wi-Fi 8 以“確定性通信”為核心目標，通過多接入點協調 (MAPC)、協調波束賦形 (Co-BF) 等技術，解決了傳統 Wi-Fi 因隨機競爭和干擾導致的時延抖動問題，顯著提高了通信的可靠性。例如，在遊戲直播場景中，指令時延從 50ms 降至 8ms，丟包率從 5% 降至 0.1%。

輸送量增加：Wi-Fi 8 通過動態子通道操作 (DSO)、協調空間複用 (Co-SR) 等技術，優化了頻譜利用效率，有效提升了網路輸送量。在多人同時下載場景中，DSO 使單使用者峰值速率從 1.2Gbps 提升至 2Gbps，頻譜利用率提升 80%。

時延降低：Wi-Fi 8 引入了多種低時延技術，如傳輸機會搶佔 (TXOP Preemption)、高優先順序增強型分散式通道接入 (HIP EDCA) 等，顯著降低了資料傳輸的時延。在 8 台設備併發語音通話的場景中，長尾時延 (P99) 從 30ms 壓縮至 8ms。

表：Wi-Fi 4 到 Wi-Fi 8 的關鍵參數對比

Feature	Wi-Fi 4	Wi-Fi 5	Wi-Fi 6	Wi-Fi 7	Wi-Fi 8
Maximum Channel Bandwidth (MHz)	40	160	160	320	320
Frequency Bands (GHz)	2.4 and 5	5	2.4, 5 and 6	2.4, 5 and 6	2.4, 5 and 6
Max PHY rate	150Mbps * 4 600Mbps	866Mbps * 8 ~6.9Gbps	1200Mbps * 8 ~9.6Gbps	2880Mbps * 8 ~23Gbps1	2880Mbps * 8 ~23Gbps
Modulation	64 QAM	256 QAM	1024 QAM	4096 QAM	4096 QAM
Spatial Streams	4	8	8	8	8
MU-MIMO		DL only	UL & DL	UL & DL	UL & DL
Target Wait Time			Individual, broadcast	Restricted	Coordinated
OFDMA (# RU per STA)			Yes (single)	Yes (multiple)	Yes (multiple)
Multi-Link Operation				Yes	Yes
Multi-AP Coordination					Yes
DSO/NPCA					Yes
IDC					Yes
TXOP Preemption/HIP EDCA					Yes
dRU					Yes
IEEE Standard	11n	11ac	11ax	11be	11bn

圖片來源：mediatek.com

多 AP 協同能力增強： Wi-Fi 8 實現了多接入點的動態協調，通過協調時分多址 (C-TDMA)、協調正交頻分多址 (C-OFDMA) 等多種協調方式，提高了多 AP 環境下的網路性能。例如，在雙 AP 組網環境下，Co-SR 使系統輸送量提升 15%-25%，時延降低 40%。

應用場景拓展： Wi-Fi 8 憑藉其超可靠性、高輸送量和低時延的特性，能夠更好地支持家用網路、企業與公共場所、工業物聯網 (IIoT) 等多種應用場景，滿足不同用戶的需求。

■家用網路： 在多層住宅中，通過 Co-SR 和 Mesh 組網，可消除樓層間信號盲區，實現全屋覆蓋。DSO 技術支撐 8K 電視、VR 頭顯、智慧家居設備同時線上，滿足家庭使用者對高清視頻、虛擬實境等高頻寬應用的需求，提升家用網路體驗。

■企業與公共場所： 在高密度辦公區，Co-BF 減少 AP 間干擾，單 AP 可服務超 100 台終端，提高辦公效率。智慧零售中，商場內 AR 導航、電子價簽等應用依賴高可靠連接，為消費者提供便捷的購物體驗，推動商業數位化轉型。

■工業物聯網 (IIoT)： 工廠自動化中，Wi-Fi 8 的低時延 (<10ms) 支持機械臂協同控制，提高生產效率和精度。遠程維護時，4K 工業相機即時回傳高清畫面，依賴 DSO 保障頻寬，助力工業設備的遠端監控與維護。借助極高的輸送量和低時延能力，Wi-Fi 8 可以同時連接數千個設備，滿足工業物聯網中大量設備的連接需求。為構建更加智慧化、自動化的工業生產環境提供了基礎。

Wi-Fi 8 的未來發展方向

借助 AI，下一代 Wi-Fi 將會更佳“懂得”利用頻譜資源。通過機器學習預測干擾模式，動態優化通道分配，進一步提高頻譜利用效率和通信可靠性。在頻譜資源配置使用方面，6G 赫茲以上頻段與 Wi-Fi 8 融合，實現 Tbps 級傳輸，滿足未來對超高速無線通訊的需求。

同時，Wi-Fi 8 將與 5G NR-U、藍牙 Mesh 深度協同，構建無感切換的融合網路，為使用者提供無縫的網路連接體驗。

Wi-Fi 8 不僅是速度的進化，更是從“盡力而為”到“確定性服務”的範式轉變。通過頻譜效率、多設備協同和低時延技術的融合，Wi-Fi 8 將支撐起元宇宙、工業 4.0、自動駕駛等未來場景，甚至在遠端手術的應用中發揮作用。

參考資料：

- Mediatek: 《Pioneering the Future with Wi-Fi 8》
- arxiv.org: 《What Will Wi-Fi 8 Be? A Primer on IEEE 802.11bn Ultra High Reliability》
- ieee.org 《What will Wi-Fi 8 Be? A Primer on IEEE 802.11bn Ultra High Reliability》 