



802.11ax 的 5 項新特性和測試挑戰

全球於 1999 年開始採用 IEEE 802.11b 標準，無線區域網絡（WLAN）隨之變得普及。自此，客戶對無線資料存取和量測速率的需求一直穩定成長。如今，使用者期望走到哪裏都能存取高速 WLAN，以支援資料密集型應用軟體，如影片串流、遊戲以及虛擬實境。此外，WLAN 網路共享裝置數量也顯著增加，其中 PC、智慧型手機、平板電腦、相機、電視以及智慧居家裝置，在家庭環境中已隨處可見。

多年來，802.11 標準持續更新，使得 WLAN 能夠不斷締造更高的資料速率。802.11a/g 將速度從最初 802.11b 的 11 Mbps 提高到 54 Mbps。802.11n（高傳輸速率或 HT 規格）則將 1 個串流的傳輸速率提升至 150 Mbps，同時也引入多輸入多輸出（MIMO）的想法，以便同時傳送多達 4 個串流，進而實現 600 Mbps 的資料傳輸速率。802.11ac（超高傳輸速率或 VHT 規格）將 1 個串流的資料速率提升至 866.7 Mbps，同時讓 8 個串流的資料速率，在理論上最高可達 6.93 Gbps。然而，實際情況是，只要到了機場和體育場館及其他擁擠環境，使用者就會明顯感覺資料速率變得很慢。在此情況下，新的 802.11ax 標準（高效率或 HE 規格）應運而生，以便在密集的部署情境以及戶外環境中，提供更出色的頻譜效率、容量及覆蓋範圍，目標是讓每個站點的平均傳輸速率，比起 802.11ac 至少提升 4 倍。讓我們看一下 802.11ax 的五項新特性，如何讓速率倍增。

802.11ax 的新特性

特性 1：更窄的子載波間隔和更長的符號，改善了頻譜效率和覆蓋範圍

比起 802.11ac，802.11ax 將快速傅立葉轉換（FFT）的大小增加了 4 倍。如此可將子載波間隔縮小至 78.125 kHz，為 802.11ac 312.5 kHz 的 25%，以便在相同的通道頻寬內發射更多資料，進而提高頻譜效率。正交分頻多工（OFDM）符號的持續時間是 12.8 μ s，比 3.2 μ s 高出 4 倍。較長的符號可提供較長的保護間隔，進而在出現衰減的戶外環境和情境下，提供更出色的效能和覆蓋範圍。802.11ax 還添加了一種新型封包，稱為高效率延伸範圍之單一使用者實體層協定資料單元（HE ER SU PPDU），以支援戶外應用。

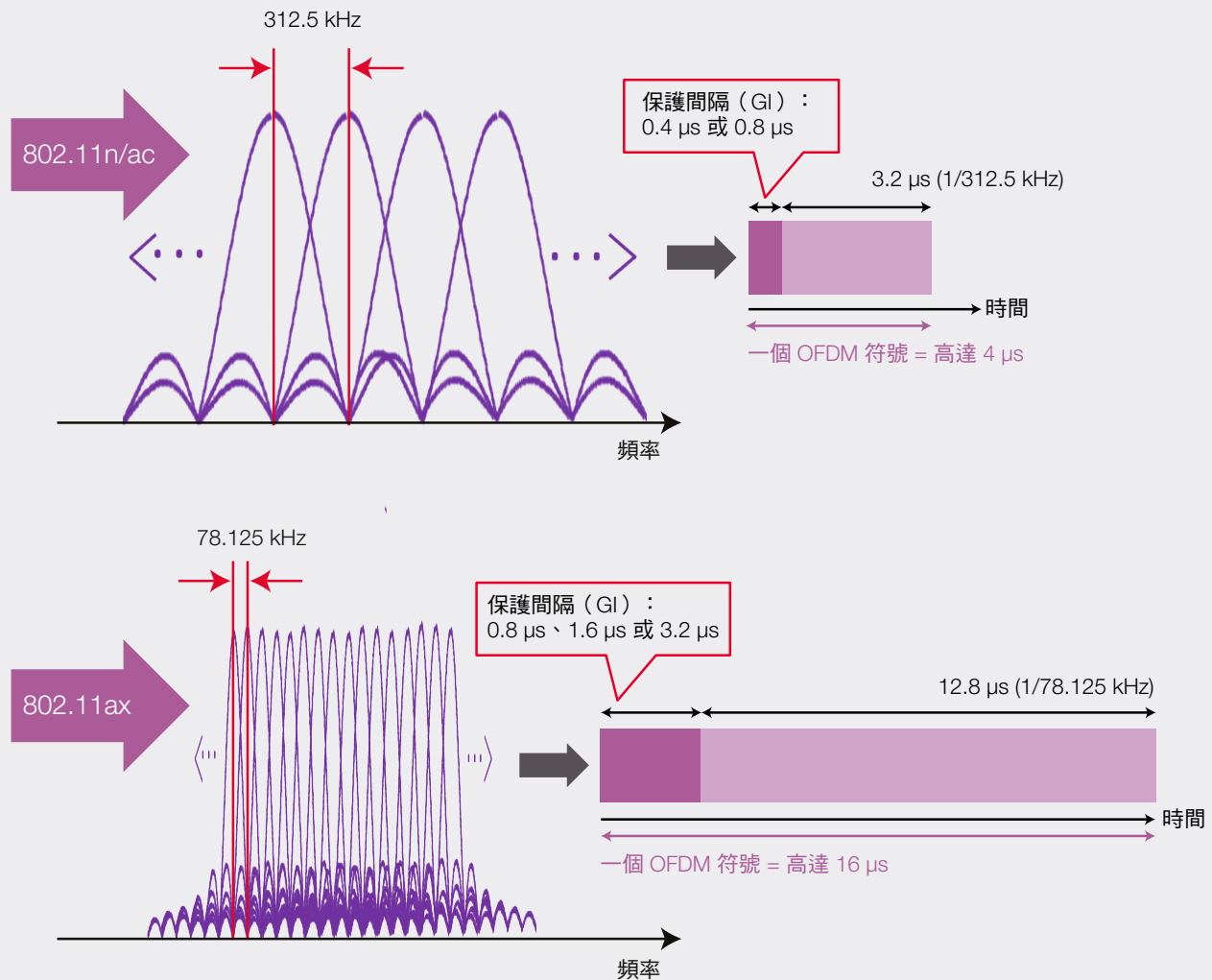


圖 1：802.11n/ac 與 802.11ax 的子載波間隔和 OFDM 符號長度的比較。

特性 2：在更多頻段上運作

802.11ac 只能在 5 GHz 頻段中運作，但 802.11ax 可在 2.4 和 5 GHz 頻段中運作，大幅提升來 WLAN 裝置的效能和效率。不僅如此，802.11ax 任務小組定義了新的 6 GHz 頻段，將頻率範圍延伸至 7.125 GHz。6 GHz 頻段包括從 5.940 GHz 開始，以 5 MHz 為間隔的通道中心頻率。

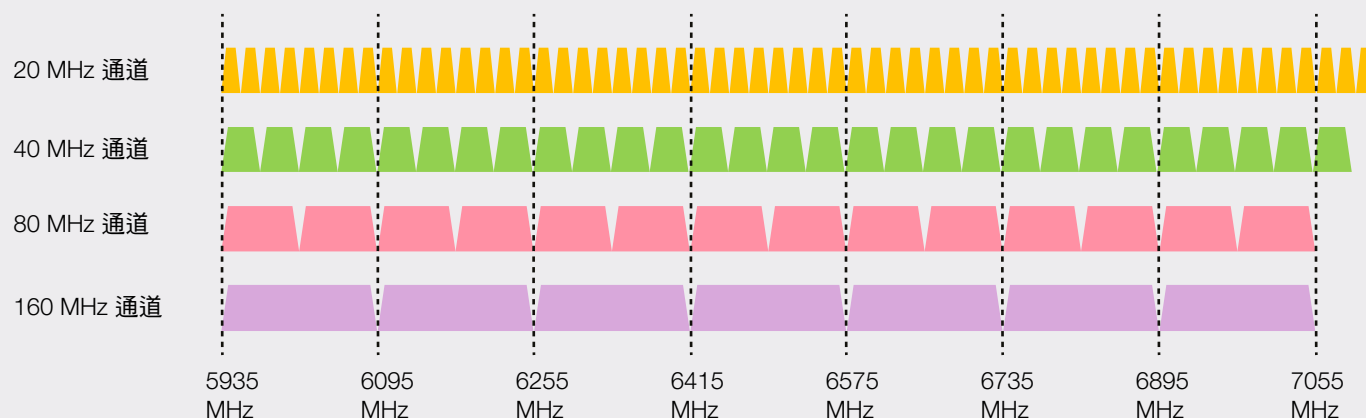


圖 2：6 GHz 頻段的通道分配。

特性 3：OFDMA 支援多使用者模式

802.11a 標準將 OFDM 導入 WLAN 標準，以便使用整個通道頻寬內的多個子載波，同時向同一使用者傳送封包。如果傳輸的資料量不夠大，不需要用到整個頻譜，就會造成頻譜資源的浪費。

802.11ax 是第一個使用正交分頻多重存取（OFDMA）來實現多使用者同時傳輸的 WLAN 標準。這項技術已為其他標準所採用，包括 WiMAX 和 LTE，同時也被用於 5G NR。OFDMA 將頻寬分割為各種大小的資源單元（RU），且基於資料傳輸速率的要求，將不同數量和大小的 RU，分配給不同使用者。RU 的大小可分為 26、52、106、242、484、996 或 2x996 音頻或子載波，而 RU 的位置被定義為 20 MHz、40 MHz、80 MHz 的通道。80 MHz 的 RU 結構，可用於在每個 80 MHz 區段中進行 160 MHz 或 80+80 MHz 發射。圖 4 顯示 80 MHz 通道中 RU 的位置。

下行鏈路發射可以使用高效率多使用者（HE MU）封包結構，藉以透過 OFDMA、多使用者 MIMO（MU-MIMO）或是兩者，來進行發射。相較於 802.11ac 最多支援 4 個使用者，它最多可使用 8 個空間串流來支援最多 8 個使用者。新的 HE-SIG-B 欄位已添加到 HE 多使用者封包的前置符碼中。該欄位包括多個 WLAN 站點（STA）的 RU 分配，以及每個使用者的配置細節，如調變和程式碼的機制（MCS）、空間串流數量，以及站點名稱。

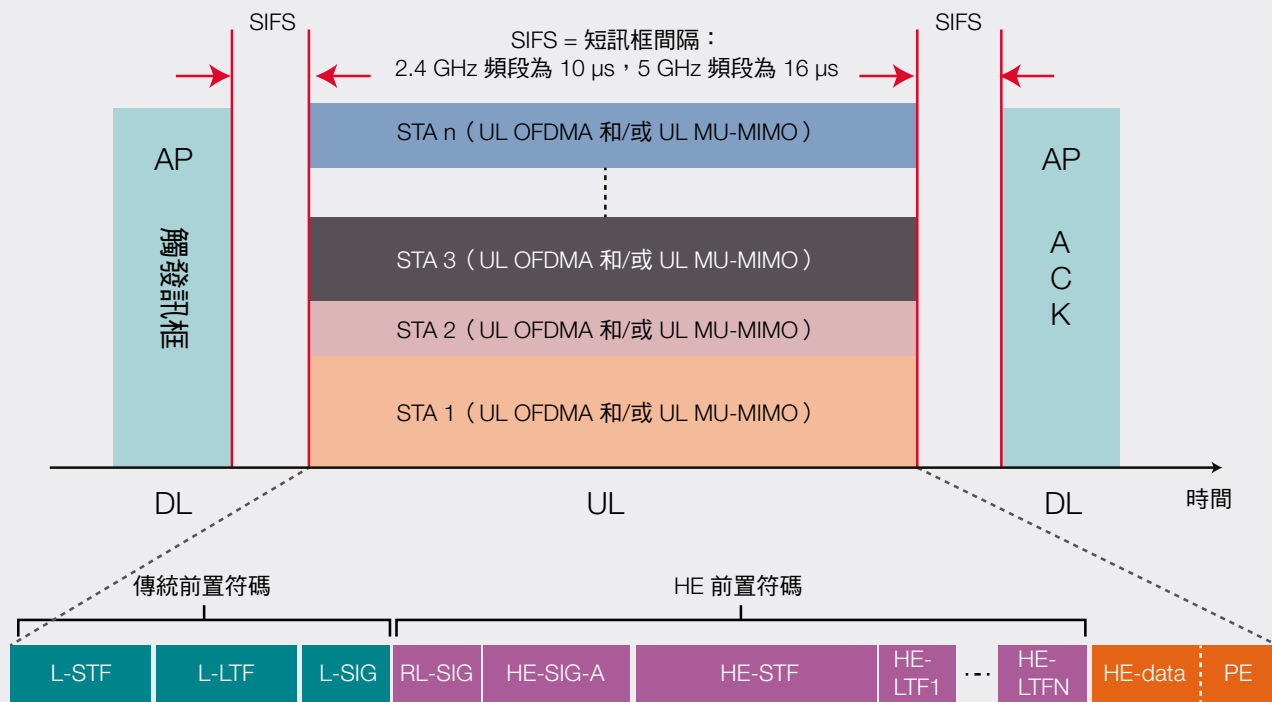


圖 5：HE 多使用者（MU）PPDU 的格式。

特性 4：透過 OFDMA 和排程提高上行鏈路的效率

過去的 WLAN 標準使用載波感知多路存取，其中 STA 必須在傳輸資料前，檢查通道是否暢通，如果通道已被佔用，則須等待一段時間才能再次傳輸。在大量使用者共享網路的情況下，或是感知到鄰近網路也正在進行傳輸時，STA 會出現不必要的發射等待，使得傳輸效率變低。

802.11ax 允許多個 STA 使用 OFDMA 同時進行發射，並要求存取點（AP）進行排程並且啟動上行鏈路發射，以解決低效率的問題。AP 會發射觸發訊框（Trigger Frame），以啟動上行鏈路發射。觸發訊框會指示哪個 STA 正在進行發射、發射長度，以及特定的使用者資訊，如功率位準、RU 分配和 MCS。所有指定的 STA 會緊接在短訊框間隔（SIFS）之後開始資料傳輸。在 2.4 GHz 頻段時 SIFS 為 10 μ s，在 5 GHz 頻段時為 16 μ s。這些傳輸使用 HE-Trigger Based PPDU 的訊框格式同時進行，所有 STA 的封包長度皆相同。接著，AP 會送出已接收到上行鏈路（UL）封包的確認訊息。



基於 HE 觸發的 PPDU - 由 STA 發送，以傳輸 UL OFDMA 和/或 MU-MIMO 封包
注意：所有 STA 必須在同一時間開始傳輸封包，而且封包長度必須相同

圖 6：使用觸發訊框的上行鏈路 OFDMA。

由於多個 STA 同時進行發射，因此 STA 需要對載波頻率偏移（CFO）和取樣時脈誤差執行預修正，以預防載波間干擾，並透過功率預修正來控制干擾。該標準針對 STA 的發射功率準確度，以及接收信號強度指示器（RSSI）的量測準確度，提出相關要求。

特性 5：1024QAM 調變可提高資料傳輸速率

802.11ac 要求支援高達 256QAM 的調變，每個符號可發射 8 位元資料。802.11ax 進一步加入了 1024QAM 調變，讓每個符號能發射 10 位元資料，以提高資料傳輸速率。此調變類型與 8 個空間串流的組合，可提供 9607.8 Mbps 的最大理論資料速率，而 802.11ac 僅為 6933.3 Mbps。

802.11ax 的新測試挑戰

欲充分利用 802.11ax 的新特性，則需改變裝置製造商、服務供應商、企業驗證 WLAN 裝置和基礎設施並將其最佳化的方式。下面讓我們研究一下，因為特性改變而帶來的 5 個新測試挑戰，以及如何應對這些挑戰。

測試挑戰 1：1024QAM 要求更優異的誤差向量振幅（EVM）

使用 1024QAM 時，星座圖點之間的距離變得更近，因此發射器和接收器需具有更出色的 EVM 效能，才能修正解調。802.11ax 標準要求 1024QAM 的 EVM 需 < -35 dB，256 QAM 則 < -32 dB。裝置製造商多半將效能目標設成比規範高出 5 到 10 dB，而且用於驗證效能的測試設備需具有額外的邊限。

是德科技提供包羅萬象的工作台和 PXIe 信號產生器以及信號分析儀，可提供高達 -52 dB 的 EVM 效能，讓設計和驗證測試，以及功率放大器和前端模組的元件測試，變得輕而易舉。以 M9421A VXT 向量收發器 PXIe 模組為例，在 5.8 GHz 時，針對頻寬為 80 MHz 的 802.11ax 信號，它可在信號源上提供高達 -50 dB 的 EVM，並在接收器上提供高達 -49 dB（標稱值）的 EVM。

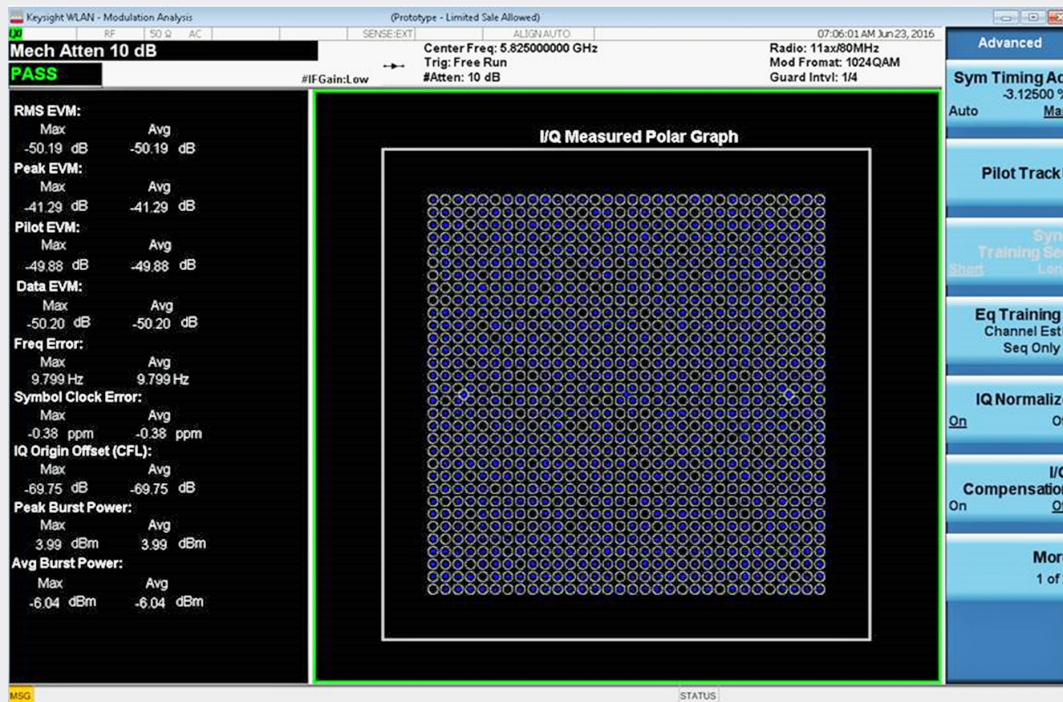


圖 7：使用 Keysight M9421A VXT 向量收發器 PXIe 模組和 N9077A WLAN 量測應用軟體，執行 -50 dB 的 1024QAM EVM 量測。

測試挑戰 2：驗證下行鏈路 OFDMA 和 MU-MIMO

OFDMA 帶來更多元 802.11ax 封包配置的可能性，分別有不同的峰均功率比、EVM 和頻譜特性。您可使用各種不同的封包配置，對裝置設計進行更全面的測試。Keysight N7617B WLAN Signal Studio，可協助使用者建立各種 HE PPDU，以便為不同使用者分配不同的 RU，以及功率位準、MCS、MIMO 等配置參數。驗證 802.11ax 發射器時，89600 VSA 選項 BHX 和 N9077A/C WLAN 量測應用軟體可自動解碼前置符碼的 HE-SIG-B 欄位、偵測 RU 的分配以配置解調，並為每位使用者顯示 EVM 和功率結果。

圖 8 顯示 Signal Studio 中的設定，以配置具有 4 個 RU 的 OFDMA 信號，而 MU-MIMO 在一個 RU 中支援多達 4 位使用者，某些使用者最多有 3 個空間串流。圖 9 顯示使用 89600 VSA 軟體對該 HE MU PPDU 進行的量測。右上方的 OFDM RU Info 視窗列出以 4 個顏色編碼的 RU，並提供每個 RU 的 EVM、子載波範圍、RU 大小、功率位準、使用者及串流總數。下方的 OFDM Multi-User Info 視窗中列出每個 RU 中的每位使用者，並為每位使用者顯示 EVM、MCS、調變格式、串流量、功率、站點名稱、是否使用雙載波調變（DCM）、編碼類型，以及是否使用波束成形技術。

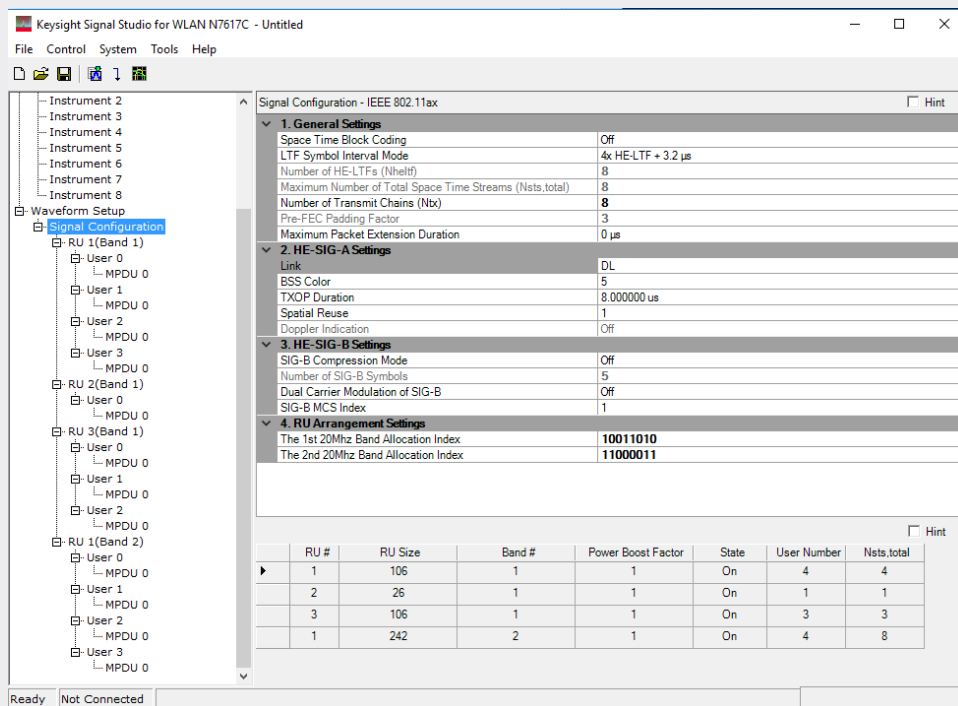


圖 8：適用於 OFDMA HE MU PPDU 的 Signal Studio 設定。

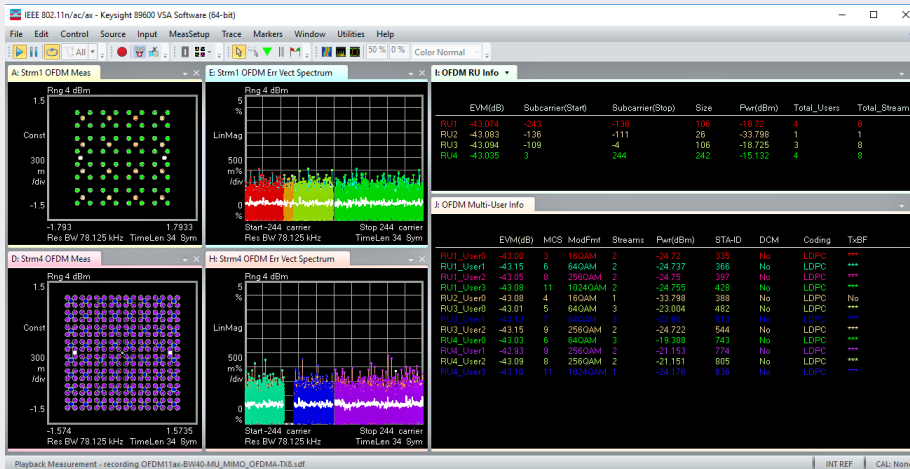


圖 9：使用 OFDMA 和 MU-MIMO 進行封包量測的 89600 VSA。

測試挑戰 3：上行鏈路 OFDMA 頻內發射

使用上行鏈路 OFDMA 來實現多使用者操作時，每個 STA 將使用通道中可用子載波的不同部分，同時進行發射。為了確保多個 STA 彼此間互不干擾，您需量測 STA 在未使用的載波中產生的頻內發射。Signal Studio 可用於產生觸發訊框，讓信號產生器能模擬存取點，並引導待測 STA 發射具有指定 RU 分配的 HE Trigger Based PPDU。89600、N9077A/C 或 Y9077B 應用軟體提供頻內發射測試，以便量測進行發射之 RU 的 EVM，以及未使用的子載波之 EVM，藉以驗證它們是否低於限制。

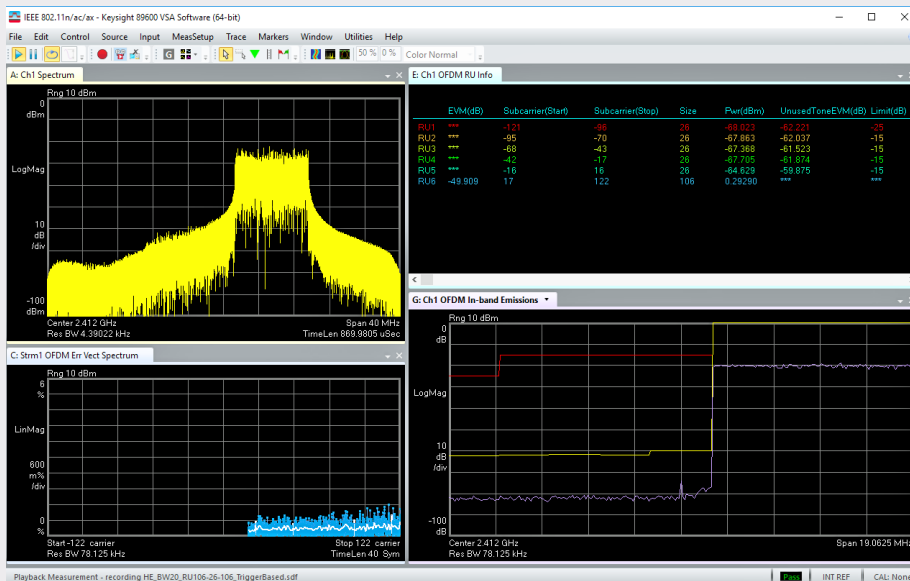


圖 10：上行鏈路頻內發射量測。

測試挑戰 4：透過通道模擬來測試 WLAN 效能

想透過實際測試來驗證 802.11ax 的一些特性（如空間多工、波束成形及 MU-MIMO）之真實效能，可能既困難又費時。不過，您可在實驗室中利用通道模擬來模擬實際的衰減和多路情況，以便輕鬆量測此效能。Keysight PropSim F8 通道模擬器提供射頻對射頻（RF-to-RF）衰減，具有高達 6 GHz 的 160 MHz 頻寬，並支援 8x8 MIMO。圖 11 顯示部分的測試應用軟體範例。

PropSim 應用軟體提供 WLAN 通道模型工具，讓您能更輕易地對 WLAN 產品的 MIMO 效能進行測試設計和驗證。圖形操作介面（GUI）提供存取點（AP）及天線元件以及多用戶端的配置。該軟體包含 802.11 WLAN 通道模型。在更複雜的情境下，可使用幾何通道建模（GCM）來建立使用者定義的 3D 空間情境，並進行移動（movement）動態建模，以模擬或量測的天線場型。Propsim 是一項靈活的工具，同時也支援 4G/5G 蜂巢和 V2X 情境的通道模擬。

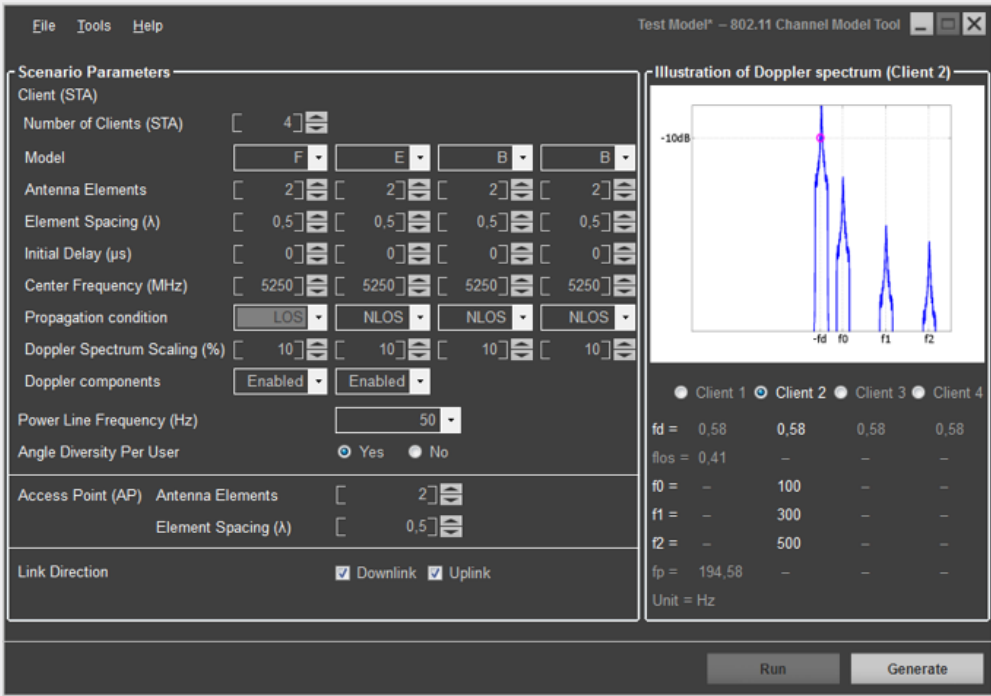


圖 12：Propsim WLAN 通道模型軟體操作介面。

圖 11：具通道模擬的 WLAN 測試案例。

單一用戶端與存取點：

可在各種傳播情況下測試單一連結的效能，包括使用都卜勒衰減的移動性。



多使用者 MIMO：

多使用者 MIMO 操作的網路位準效能。



在存取點間漫遊：

測試用戶端的移動性和能力，使其能夠在存取點間漫遊。



測試挑戰 5：測試第 1 到第 7 層的 WLAN 網路效能和品質

802.11ax 的目標是在密集情境中，將平均站點的傳輸速率提高 4 倍。802.11ax 藉由在 AP 和 STA 間，進行新的 MAC 層，以達成此目標。您需要以廣泛模擬控制和除錯功能，進行自動、可重複的高負載用戶端模擬，並需具有完整訊息解碼和實體（PHY）與 MAC 層的可視度，以便利用 MAC 觸發操作，來驗證下行鏈路（DL）和 UL 多使用者 OFDMA。此外，為了確保真實環境中的服務品質（QoS），您需測試基礎設施網路，以便在各種負載情況下，提升 802.11ax 的傳輸速率和容量。在對 AP 施加最大壓力時，透過第七層語音、視訊及資料等使用者應用，模擬數百個用戶端，以確保使用者能獲得穩健的硬體，為未來 Wi-Fi 容量成長提供強大的支援。最後，您須徹底驗證傳統 802.11a/b/g/n/ac 用戶端對 802.11ax 網路的影響。

Keysight IxVeriWave Wi-Fi 測試平台提供業界最高的用戶端負載，以及驗證這些新技術所需的測試套件。從射頻層一直到應用層，使用者可逐一檢視訊息，這對於 802.11ax MU-OFDMA 驗證至關重要。IxVeriWave 是全球最先進的 MU-MIMO 測試解決方案，使用獨立開發的 802.11 硬體，每個硬體最高可模擬 2,000 個各不相同的 Wi-Fi 用戶端。下表提供 IxVeriWave 模組化軟體套件的摘要。圖 13 顯示一個測試配置範例，其中 IxVeriWave 在主機 PC 上運作，以控制具有兩個刀鋒的 WaveTest 機箱。

測試套件	產品名稱	說明
Benchmark	WaveApps	涵蓋傳輸速率、容量、封包遺失、漫遊和其他關鍵參數的產業標準 AP 標竿測試。
Real-World Ecosystem	WaveQoE	以及不同的應用軟體和流量組合，來驗證經過建模之真實生態系統的 WLAN 處理能力，此生態系統包括路由器、閘道器、交換器、應用軟體/WAN 加速器。添加干擾，例如損壞的訊框或射頻干擾。
Functional Test	WaveDynamix	透過精細的測試控制和廣泛統計，進行功能和負面測試。包括 MU 或 SU-MIMO 的分析。
RF Analysis	WaveAnalyze	完整的 Wi-Fi 向量信號分析（VSA），可即時擷取每個訊框，它具有 15 個關鍵量測，包括 EVM 和 MU-MIMO 波束成形準確度。
RF Generation	WaveGen	利用 802.11a/b/g/n/ac 訊框的任意組合，並針對每個封包套用通道模型，以便完整產生高達 4x4 MIMO 的 Wi-Fi 向量信號。
DFS Certification	WaveDFS	具有自動雷達脈衝產生功能的 DFS 認證。
BYOD Scale	ATA AppLibrary	以真實流量和具指紋辨識功能的用戶端，自動進行長期的大規模測試。監測連線（Monitor session）並獲得詳細的應用軟體和裝置效能資訊。
Automation	WaveAutomation	自動執行標竿測試和真實的生態系統測試。

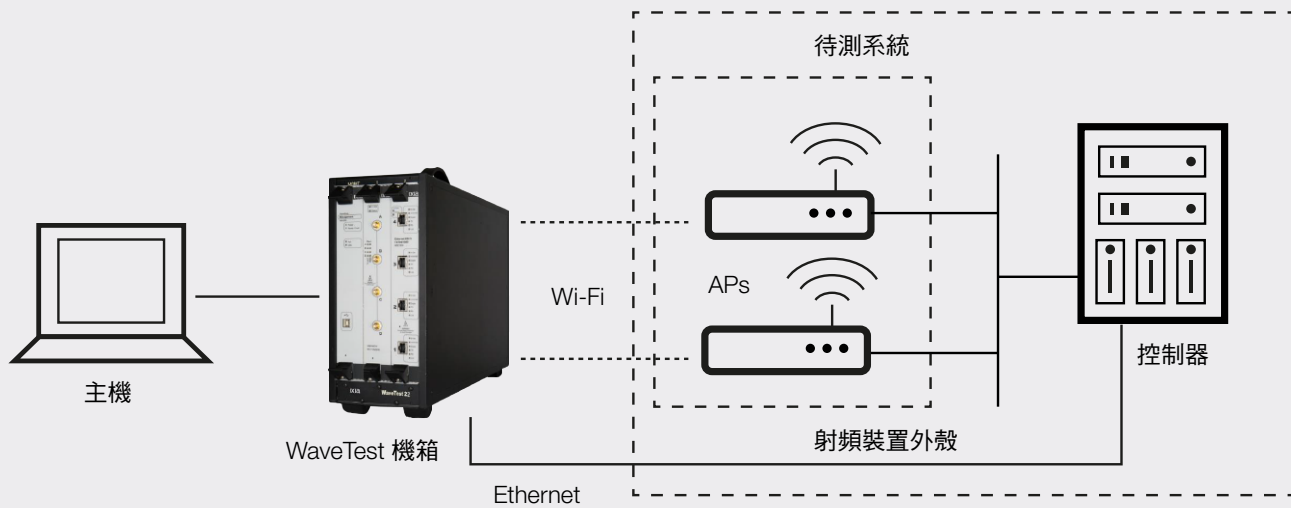


圖 13：典型 Wi-Fi 測試配置。

結語

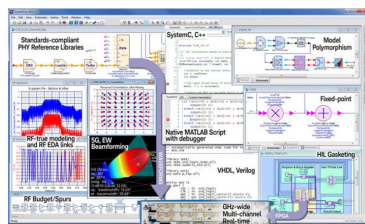
802.11ax 引進了許多新的特性，以提高 WLAN 網路的效率、容量和覆蓋範圍，特別是在高密度和戶外環境中，但同時也帶來新的挑戰。在較窄的子載波間隔和 1024QAM 調變的條件下，WLAN 裝置和測試設備必須具有更出色的射頻效能。OFDMA 和 MU-MIMO 等特性，增加了封包配置和測試情境的數量，以便更全面地驗證裝置。除了實體層測試外，您還需測試網路層，以便驗證 AP 和 STA 間的交互作用，以及真實的 MU-MIMO 和波束成形效能。

是德科技為市場領導者，可在整個產品生命週期中，提供全方位的 802.11ax 裝置和網路測試功能。我們的解決方案可協助您在設計、驗證和製造階段，對功率放大器、前端模組、存取點，以及 IoT 裝置等元件進行測試。是德科技是您首選的合作夥伴，無論您的測試需要 -50 dB EVM 效能、強大的 802.11ax 封包產生能力、OFDMA 和 MU-MIMO 驗證、UL 頻內發射量測，或是實際衰減和多路徑模擬，我們都能助您一臂之力。是德科技提供領先業界的效能、準確度和功能性，可協助您輕鬆驗證當今和未來的無線網路。

是德科技 802.11ax 解決方案摘要

應用軟體

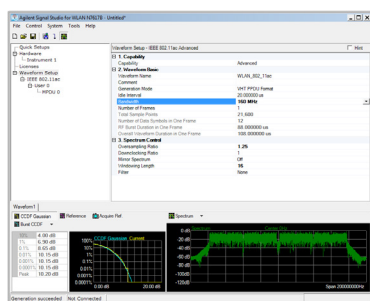
模擬



W1917EP WLAN 基頻驗證程式庫

- <http://www.keysight.com/find/eesof-systemvue-wlan-library>

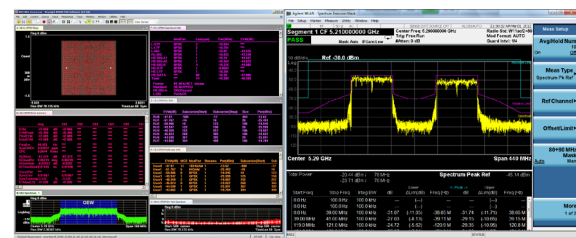
信號產生



N7617B/C Signal Studio for WLAN

- www.keysight.com/find/signalstudio

信號分析



89600 VSA 軟體

- www.keysight.com/find/vsa

N9077A/C WLAN 量測應用軟體

- www.keysight.com/find/xseriesapps

Y9077B WLAN 波形及量測應用軟體

- www.keysight.com/find/y9077b

信號產生器



N5172B EXG 向量信號產生器

N5182B MXG 向量信號產生器

- www.keysight.com/find/mxg

信號分析儀



X 系列信號分析儀

N9020A/B MXA 信號分析儀

N9030A/B PXA 信號分析儀

N9040B UXa 信號分析儀

- www.keysight.com/find/x-series

向量信號產生器與分析儀的組合



M9421A VXT PXIe 向量收發器

- www.keysight.com/find/m9421a



E6640A EXM 無線測試儀

- www.keysight.com/find/exm

系統效能系統測試工具



Propsim F8 通道模擬器

- www.keysight.com/find/propsim



IxVeriWave 平台

- www.ixiacom.com/products/ixveriwave

詳細的資訊，請上網查詢：www.keysight.com

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢。

是德科技聯絡窗口：www.keysight.com/find/contactus

