

Wi-Fi HaLow 與傳統 Wi-Fi 有何不同？

Wi-Fi HaLow 即將出現在人們日常生活的智慧門鎖、安保攝像頭、可穿戴設備和無線感測器網路上。什麼是 Wi-Fi HaLow，與傳統的 Wi-Fi (4/5/6) 有何不同，是什麼讓 Wi-Fi HaLow 成為物聯網的理想協議？

■作者：Shahar Feldman
Morse Micro 行銷副總裁

Wi-Fi 就像是我們互聯世界的氧氣，是當今最普遍的無線網路通訊協定，承載了超過一半的互聯網流量。“Wi-Fi ”是一個通用術語，指的是經過二十多年發展而成的 802.11 協議家族。Wi-Fi 聯盟是推動 Wi-Fi 應用和發展的組織，該組織用數位命名法，簡化了常用的幾代 Wi-Fi 名稱，例如，Wi-Fi 4 = 802.11n、Wi-Fi 5 = 802.11ac、Wi-Fi 6 = 802.11ax。您正在家裡或工作場所使用的，很有可能就是這些類型的 Wi-Fi。

儘管 Wi-Fi 4/5/6 無處不在，但物聯網 (IoT) 的快速發展，迫使人們重新思考傳統 Wi-Fi 揭示技術差距，重新定義 802.11 協議在當今超低功耗物聯網設備的無線連接世界中，應該發揮的作用。物聯網和機器對

機器 (M2M) 應用，對遠端連接和低功耗的更高要求，促使人們需要另一種為物聯網而優化的 Wi-Fi。

Wi-Fi HaLow (發音為 HEY-low) 協議，通過提供超低功耗的無線解決方案，填補了這一空白，與傳統 Wi-Fi 相比，該方案可以在更遠的距離和更低的功耗下，連接更多的物聯網設備。該協議於 2016 年得到了 IEEE 802.11ah 任務組的批准，被 Wi-Fi 聯盟稱為 Wi-Fi HaLow。

Wi-Fi HaLow 本質上是一款低功耗、遠距離、多用途的 Wi-Fi 版本，在免許可的 1 千兆赫頻譜下運行。Wi-Fi HaLow 標準結合了能效、遠端連接、低延遲、高清視頻質量數據速率、安全功能和本地 IP 支援，是無線連接、電池供電的物聯網設備的理想協

表 1：Wi-Fi 4/5/6 與 Wi-Fi HaLow 的比較

功能	Wi-Fi 4/5/6 (IEEE 802.11n/ac/ax)	Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah)
運行頻段	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	Sub-1 GHz (美國為 902 – 928 MHz)
通道寬度選擇	20, 40, 80, 160 MHz	1, 2, 4, 8, (16 可選) MHz
每個接入點的最大可定址站點數	2007	8191
單流 MCS 資料速率範圍	6.5 Mbps-150 Mbps (.11n, Wi-Fi 4)	150 Kbps – 86.7 Mbps
通常範圍	約 100 公尺	1 公里以上 10 倍遠的範圍 100 倍廣的面積 1000 倍大的容量 (與 802.11n 20 MHz 相比)
鏈路預算改進 (1 MHz 通道)	-	15-24 dBm

定選擇。讓我們仔細看看 Wi-Fi HaLow 和傳統 Wi-Fi 之間的一些主要區別，以及為什麼 802.11ah 協議非常適合物聯網應用的連接要求。

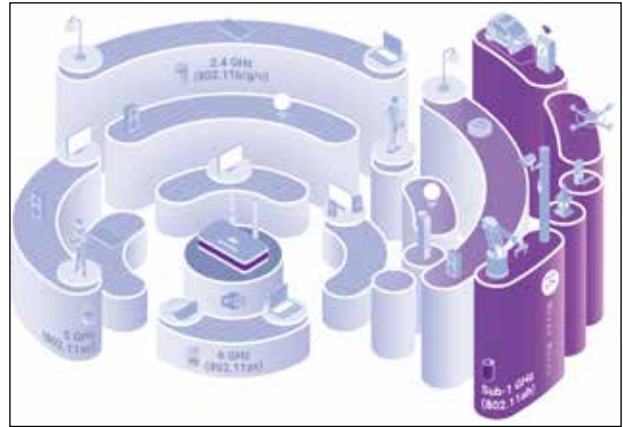
一種省電的協議

Wi-Fi HaLow 為耗電的物聯網設備，提供了卓越的能效。IEEE 802.11ah 規定的各種複雜的睡眠模式，使 HaLow 設備能夠長時間處於極低功率狀態，節省電池能量：

- 目標喚醒時間 (TWT)：這允許網站 (STA) 和接入點 (AP) 預先安排一個時間，讓沉睡的網站醒來並監聽信標。
- 受限訪問窗口 (RAW)：接入點可以授予網站子集傳輸其資料的許可權，而其他網站則被迫休眠、緩衝非緊急資料或兩者兼而有之。
- 擴展的最大基本服務集 (BSS) 空間期：這將網站的“允許空間期”延長至五年。
- 分層的流量指示映射 (TIM)：更有效地分組編碼 TIM，節省信標的傳輸時間。
- 短 MAC 報頭：這減少了報頭的開銷、傳輸時間和功耗，並釋放了頻譜。
- 空資料 PHY 協定資料單元 (NPD)：這將類似 MAC 的 ACKs/NACKs 嵌入 PHY 層，以減少時間和功耗。
- 短信標：短 (有限) 信標頻繁發送以同步網站，而完整信標的發送頻率較低。
- BSS 著色機制：顏色分配表示特定接入點的 BSS 組，而網站可以忽略其他顏色。
- 雙向 TXOP (BDT) (以前稱為速度幀)：當喚醒網站，發現存在用於傳輸的上行鏈路和下行鏈路幀時，這會減少介質訪問的次數。BDT 使用實體層協定資料單元 (PPDU) 的信號欄位中的回應指示，以增加對協力廠商網站傳輸的 TXOP 持續時間保護。

該協定的高效睡眠和電源管理模式，支援物聯網設備使用電池運行多年，以及多種靈活的電源和電池大小選擇，從採用鈕扣電池的短距離物聯網設備，到傳輸超過一公里的更高功率、採用更大電池的應

圖 1：傳統的 Wi-Fi 4/5/6 協定，使用更高的頻率和更寬的頻寬來最大化輸送量。Wi-Fi HaLow 的 sub-1 GHz 協議優化了滲透率、覆蓋範圍、功率和容量。



用。與 2.4 GHz 和 5 GHz 頻段的 Wi-Fi 協定相比，該協定採用的 sub-GHz 窄帶信號，傳輸距離更遠，能耗更低，讓每單位能耗可傳輸更多資料。

因此，Wi-Fi HaLow 晶片所需的功率僅為傳統 Wi-Fi 晶片的一小部分。雖然傳統 Wi-Fi 的資料速率較高，讓使用者能夠在 2.4 GHz、5 GHz 和 6 GHz 頻段，使用寬頻通道快速傳輸高清視頻和下載大量檔，但這些 Wi-Fi 連接的有效距離很短，電池消耗很快，需要頻繁充電或更換電池，或者最好有一個主電源連接。基於這些原因，Wi-Fi HaLow 是電源受限的物聯網設備的更好選擇，這些設備需要達到更遠的距離，並能用電池運行數年，同時仍然提供較高的資料輸送量。

覆蓋範圍更廣

802.11 標準涵蓋的頻率範圍非常廣泛，從 sub-GHz 到毫米波 (mmWave)。Wi-Fi HaLow 是第一個在免許可的 sub-GHz 頻段運行的 Wi-Fi 標準。Wi-Fi HaLow 提供的資料速率，從幾百 kb/s 到幾十 Mb/s 不等，傳輸距離從幾十米到一公里以上。

與傳統 Wi-Fi 使用的最窄的 20MHz 通道相比，Wi-Fi HaLow 的 sub-1 GHz 信號使用更窄的通道，從 1MHz 到更窄。由於通道中的熱雜訊較低，這種 20 倍的頻寬係數轉化為 13 dB 的鏈路預算改進。與傳統的 2.4 GHz Wi-Fi 相比，750 MHz - 950 MHz 之

間的 RF 頻率，需要額外增加 8dB-9 dB 的連結預算，從而節省自由空間傳輸損耗。此外，Wi-Fi HaLow 協定增加了一個範圍優化的調製和編碼方案 (MCS10)，可提供額外的 3dB 鏈路預算改進。

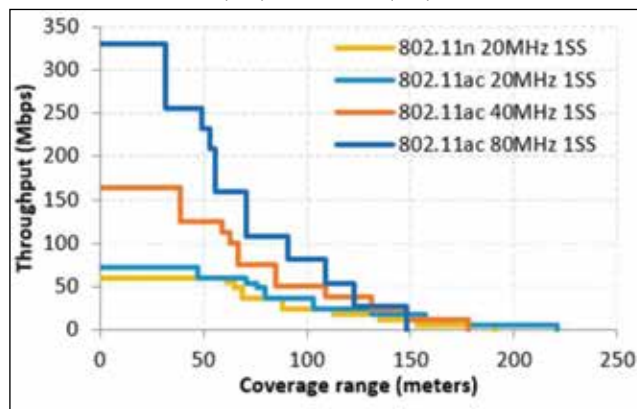
與傳統的 2.4GHz IEEE 802.11n (Wi-Fi 4) 相比，Wi-Fi HaLow 提供了高達 24dB 的鏈路預算改進。與頻率更高、頻寬更寬的 802.11ac (Wi-Fi 5) 和 802.11ax (Wi-Fi 6/6E) 協議相比，Wi-Fi HaLow 鏈路預算優勢進一步增強，其使用頻寬更寬的 5GHz 和 6GHz 頻譜。這就解釋了為什麼 Wi-Fi HaLow 信號的傳輸距離，是傳統 Wi-Fi 的十倍，而不需要網路擴展器。為終端使用者提供無線物聯網解決方案，覆蓋數百公尺的距離，而無需額外的擴展器或昂貴的蜂窩資料套餐，是 802.11ah 協議的一個關鍵競爭優勢。Wi-Fi-HaLow 的遠端覆蓋優勢，擴展了智慧家居和智慧城市網路的範圍，讓使用者能夠控制 1 公里以外的物聯網設備，遠遠超出了傳統 Wi-Fi 協議的覆蓋範圍。

信號穿透力更強

一般來說：頻率越低，覆蓋範圍越遠，穿透障礙物的能力越強。Sub-GHz 的 Wi-Fi HaLow 信號可以比傳統 Wi-Fi 更容易穿過牆壁和其他障礙物。與 2.4GHz 和 5GHz 頻段的 Wi-Fi 協定相比，住宅和商業建築的建築材料和佈局的變化，對 sub-GHz HaLow 信號的影響較小。

Wi-Fi HaLow 使用正交頻分複用 (OFDM) 調製，

圖 2：比較 802.11n/ac (左) 和 802.11ah (右) 的輸送量與範圍。



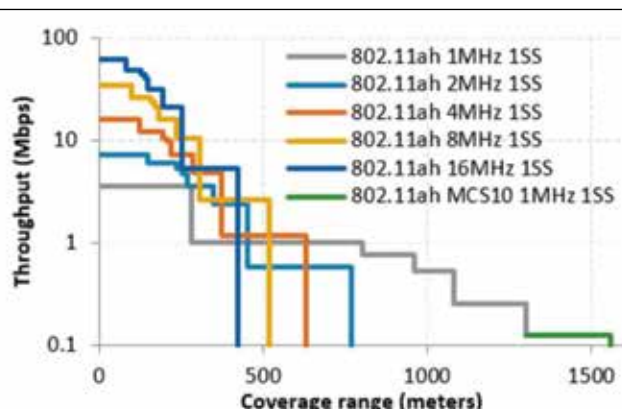
來校正反射和多徑環境。無論設備製造商的產品是在室內還是室外，或者是在地下室還是閣樓，Wi-Fi HaLow 都可以確保設備與接入點之間有穩健的連接。這種靈活性消除了提供專有集線器或橋接設備以補償不同家庭架構的額外成本和複雜性。

高度可擴展的解決方案

單個 Wi-Fi HaLow 接入點可以處理多達 8191 個設備，是傳統 Wi-Fi 接入點的 4 倍多。在可預見的未來，這足夠連接每個 LED 燈泡、電燈開關、智慧門鎖、電動窗簾、恆溫器、煙霧探測器、太陽能電池板、安保攝像頭或任何可想像的智慧家居設備。典型的家庭 Wi-Fi 路由器，通常支援幾十種設備。當寬頻服務提供者在家居中進行部署時，單個 Wi-Fi HaLow 接入點可以成為一個可擴展的平臺，用於提供額外的安全和公用事業管理設備和服務。

多種信號傳遞選項，減少了管理和控制大量 HaLow 設備所需的開銷。這樣可以最大限度地減少信號衝突，並為有源設備釋放無線電波，以便以最快的調製和編碼方案速率傳輸更多資料。與傳統 Wi-Fi 一樣，HaLow 可以根據信號完整性和與接入點的距離，自動調整頻寬。預定義的 MCS 級別支援單流、單天線產品的頻寬從 150 Kbps 到 40 Mbps，使用的通道寬度從 1 MHz 到 8 MHz，80 Mbps 的能力也可通過使用可選的 16 MHz 寬通道來實現。

Wi-Fi HaLow 的星形網路拓撲結構、卓越的穿



資料來源：Sensors 期刊 (Basel)¹。2016 年 11 月

透力、廣闊的覆蓋面積和巨大的容量，將無線連接從難以部署和頻寬受限的網狀網路中解放出來，簡化了網路安裝，並將總體持有成本降至最低。

具有抗噪性的免許可頻譜

與採用 2.4GHz、5GHz 和 6GHz 頻段的傳統 Wi-Fi 一樣，Wi-Fi HaLow 使終端使用者能夠擁有自己的設備並使用免許可的 sub-GHz 無線電頻譜，範圍從 750MHz 到 950MHz。Wi-Fi HaLow 的可用頻率範圍、最大傳輸功率和占空比 (Duty Ratio)，在世界各地有所不同。(例如，美洲可用的 HaLow 頻譜是 902 MHz 至 928 MHz，而在歐洲是 863 MHz 至 868 MHz)。

Wi-Fi HaLow 在工業、科學和醫療 (ISM) 頻段內運行，可以使用多種通道頻寬：1MHz、2MHz、4MHz、8MHz 和 16MHz。頻寬越窄，信號傳輸的距離就越遠。使用 OFDM，以跨多個子通道的資料包形式傳輸資料，這可以提高在具有挑戰性的 RF 環境中的性能，特別是當有來自其他無線電設備的強干擾時。前向糾錯 (FEC) 編碼也為恢復資料包提供了額外的保護，確保穩健的連接。

安全性和互通性

與其他 IEEE 802.11 Wi-Fi 版本一樣，Wi-Fi HaLow 是一種固有的安全無線協定，支援最新的 Wi-Fi 認證要求 (WPA3) 和空中傳輸 (OTA) AES 加密，其資料速率可以實現安全的 OTA 固件升級。

就像其他類型的 Wi-Fi 一樣，HaLow 是一個全球公認的標準 (IEEE 802.11ah)，定義了連接設備如何進行安全認證和通信。採用 Wi-Fi HaLow 的設備供應商，可以保證其產品和網路，將按照 Wi-Fi 聯盟的開發指導來實現互通性。由於 Wi-Fi HaLow 是 IEEE 802.11 標準的一部分，Wi-Fi HaLow 網路也可以與 Wi-Fi 4、Wi-Fi 5 和 Wi-Fi 6 網路共存，而不影響其 RF 性能。

實現本地 IP 支援

所有物聯網網路都需要互聯網協定 (IP) 支援，以實現雲連接。由於 Wi-Fi HaLow 是 802.11 Wi-Fi 標準，因此它提供本地 TCP/IP 支援。這種內置的 IP 功能，意味著物聯網連接不需要專有閘道或橋接器。所有連接到具有 Wi-Fi HaLow 功能的路由器的用戶端設備，可以使用 IPv4/IPv6 傳輸協定，直接訪問互聯網，以獲得基於雲的服務和物聯網資料的管理。

HaLow 效應：延伸範圍，拓展物聯網的可能性

傳統 Wi-Fi 的網路擁堵、範圍限制和較高的功耗，以及可連接到單個 AP 的設備數量有限，在當今物聯網設備的世界中已不再可行。這些限制阻礙了各行業出現的以物聯網為中心的新商業模式，這些模式需要更遠的距離、更大的容量、更靈活的電池和電源選項，同時最大限度地降低部署成本。

作為一種遠端協定，Wi-Fi HaLow 支援那些 2.4GHz 和 5GHz Wi-Fi 無法達到的室內外物聯網應用，例如遠端安保攝像頭、門禁網路甚至無人機。其他潛在的使用案例包括大型公共場所，如體育場館、購物中心和會議中心，在這些場所，單個 Wi-Fi HaLow 接入點可以替代大量的接入點，無需複雜的網狀網路，簡化了安裝，降低了總持有成本。

工業物聯網、程序控制感測器、樓宇自動化、倉庫和零售店等眾多應用，也將受益於這種遠端、低功耗協定，讓無數設備能夠在日益自動化的世界中保持連接。事實上，Wi-Fi-HaLow 在傳統的 802.11 協議中因其覆蓋範圍、能效、容量和多功能性而脫穎而出。

參考資料：

- ¹ IEEE 802.11ah：一種應對物聯網挑戰的技術，作者：Victor Baños-Gonzalez, M. Shahwaiz Afaqui, Elena Lopez-Aguilera, and Eduard Garcia-Villegas