

藍牙 6.0 終於來了

■文：編輯部

藍牙技術聯盟 (Bluetooth Special Interest Group, SIG) 的資料顯示，到 2028 年，藍牙設備的年出貨量將達到 75 億台，五年複合年增長率 (CAGR) 為 8%。過去五年，大多數藍牙設備都採用雙模式，同時支援經典

藍牙和低功耗藍牙，音訊設備也朝向雙模式發展。隨著互連消費電子需求增長和低功耗藍牙普及，加上周邊設備持續增長的推動，未來五年內，低功耗藍牙單模式設備的出貨量將翻倍增長，與雙模式設備持平。預計到

2028 年，97% 的藍牙設備都將支援低功耗藍牙。

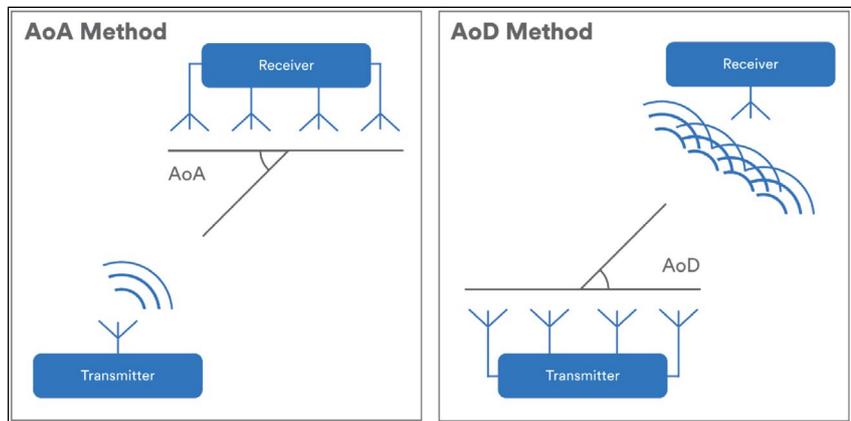
自從 2016 年藍牙 5.0 版本問世，到 2023 年 5.4 版本定型，藍牙 5 系列規範足足當家了 8 年之久，為了滿足市場快速增長的互聯需求。2024 年 9 月，藍牙技術聯盟發佈了藍牙核心規範 6.0，這一新版本在多個方面實現了重大突破，為藍牙技術的發展開啓了新的篇章。

圖說：預計到 2028 年藍牙設備的年出貨量將達到 75 億個



圖片來源藍牙技術聯盟 SIG

圖說：藍牙通道探測，使用 AoA 和 AoD 查找方向



圖片來源：藍牙技術聯盟

藍牙 6.0 技術特點

一、藍牙通道探測：更加精確的定位服務

藍牙 6.0 引入的通道探測功能將成為未來藍牙設備的一個新的應用點。藍牙 Channel Sounding 功能包括兩種不同的距離測量方法，可單獨使用或組合使用。這兩種方法分別稱為相位測距法 (PBR) 和往返定時法 (RTT)。能夠在藍牙互聯設備之間實現高精度測距，精度可達到分米級，根據目前公佈的技術規格，精度可以達到 50 釐米範圍。這意味著在諸如資產追蹤、室內導航以及無鑰匙進入系統等應用場景中，設備

能夠更加精準地感知彼此的位置。例如，在尋找丟失的物品時，用戶可以借助這一功能快速、準確地定位物品所在位置，大大節省了時間和精力。通道探測技術通過分析信號在傳輸過程中的相位變化來計算設備間的距離，這種高精度的測距能力為藍牙技術在定位服務領域開闢了更廣闊的應用空間。

二 . 基於決策的廣告過濾

為了優化藍牙低功耗 (LE) 的擴展廣告功能，藍牙 6.0 引入了基於決策的廣告過濾。在藍牙通信中，廣告資料包用於設備發現和服務廣播。傳統上，設備在接收廣告資料包時可能會無差別地處理所有通道的資料包，這在某些情況下會導致不必要的能耗。藍牙 6.0 允許設備在主廣告通道接收資料包時，智慧決策是否需要掃描次要通道的資料包。通過這種方式，減少了不必要的能耗，尤其在物聯網和穿戴設備等對電池壽命要求較高的領域，能夠顯著提高設備的運行效率和電池壽命。這一功能使得設備能夠更加智慧地管理廣告資料包的接收，避免了對無關資料的處理，從而節省的電池能量。

三 . ISOAL 增強

同步 適配層 (ISOAL) 負

責在多個資料包中傳輸大資料幀。藍牙 6.0 對 ISOAL 進行了優化，減少了延遲，尤其對於對時間敏感的應用場景，如無線音訊和視頻傳輸，能夠提供更加流暢和可靠的用戶體驗。ISOAL 的增強使得資料傳輸更加高效，減少了資料在傳輸過程中的延遲和丟包現象，確保了音訊和視頻內容的高品質呈現。例如，在無線耳機或揚聲器上播放高清音樂或視頻時，使用者將享受到更加無縫的音視頻體驗，不會因為資料傳輸問題而出現卡頓或音畫不同步的情況。

四 . LL (Link Layer) 鏈路層擴展功能

藍牙 6.0 進一步擴展了鏈路層 (LL) 功能集，使設備能夠互相交換更多的鏈路層功能資訊。隨著藍牙 LE 技術的複雜性和多樣性不斷增長，LL 擴展功能集為設備間的高效協作提供了支援，為未來更加複雜的應用場景打下了堅實基礎。通過擴展 LL 功能集，設備之間能夠更好地協商和調整通信參數，以適應不同的網路環境和應用需求。這有助於提高藍牙網路的整體性能和穩定性，使得更多設備能夠同時連接並高效通信，為構建複雜的物聯網生態系統提供了可能。

五 . 幀空間更新：適應更多應用場景

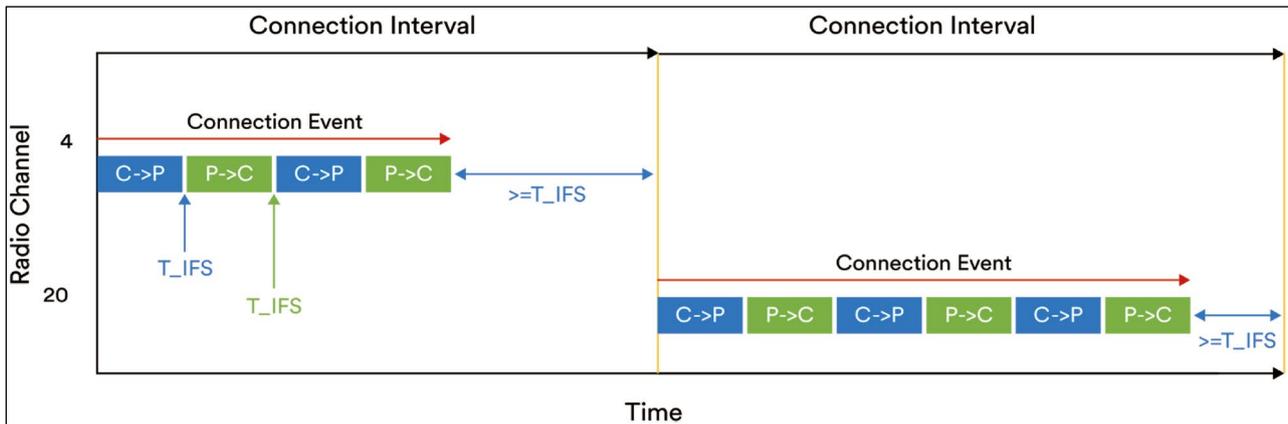
■提高資料輸送量：幀空間更新功能允許設備協商調整幀間隔時間。縮短幀間隔時間可以加速資料傳輸，從而提升連接設備間的整體吞吐效率。這對於追求極致回應速度的高性能應用，如遊戲手柄等，具有明顯的優化效果，確保了更快的反應時間、更加流暢的操作。

■降低延遲：在低延遲音訊 (LE Audio) 應用中，縮短幀間隔時間 (T_IFS) 的作用尤為突出。它不僅加快了音訊資料包的傳送速率，有效降低了音訊延遲，並且資料傳輸時間的減少使得無線干擾碰撞風險降低，進一步保障了音訊的穩定性。此外，頻寬的增加可以執行更多次的有效重傳，從而顯著增強了音訊的傳輸品質和用戶體驗。

■增強可靠性：通過優化幀間隔時間，設備可以根據實際需求靈活調整傳輸間隔，從而在高資料密度的應用場景中優化通信效率。這有助於減少資料傳輸中的干擾和碰撞，提高資料傳輸的可靠性。

■適應不同設備需求：對於處理能力相對有限的晶片而言，延長幀間隔時間則是一種比較好的方案。較長的幀間隔

圖說：通過 ACL 連接交換的資料示意



圖片來源：藍牙技術聯盟

時間 (T_IFS) 為這些晶片提供了更為充裕的時間來處理接收到的資料包。

在藍牙 6.0 的連接中，有兩種邏輯傳輸類型可在連接狀態下運行。它們是連線導向的非同步邏輯傳輸 (ACL) 和連接的等時流 (CIS)。ACL 傳輸允許一台扮演中心角色的設備在連接事件期間與另一台扮演外設角色的設備交換資料包。

藍牙 6.0 幀空間更新功能，意味著設備之間可以根據實際需求靈活調整傳輸間隔，從而在高資料密度的應用場景中優化通信效率。例如，在工業自動化或大型感測器網路中，不同設備可能對資料傳輸的即時性和頻率有不同要求。幀空間更新功能使得這些設備能夠根據自身需求動態調整傳輸間隔，確保資料能夠及時、高效地傳輸，避免了因固定間隔導致的傳輸擁塞或延遲問題。

藍牙 6.0 應用場景

智能家居與物聯網：在智能家居環境中，各種智慧設備如智慧燈泡、智慧插座、智慧窗簾、智慧安防系統等都需要相互連接並進行資料交互。藍牙 6.0 的高效通訊協定能夠實現更加即時和精確的資料交互，讓使用者可以通過手機或其他控制設備遠端控制家中的智慧設備，並即時獲取設備狀態資訊。例如，用戶可以遠端開啓或關閉家中的電器設備，調整燈光亮度和顏色，查看門窗是否關閉等。此外，在物聯網應用中，藍牙 6.0 可以連接大量的感測器設備，如溫度感測器、濕度感測器、運動感測器等，實現對環境參數的即時監測和資料獲取。

數位鑰匙與安全區域訪問：在安全性方面，藍牙 6.0 的表現尤為突出。通過通道探測技術和強大多層安全措施的結

合，確保只有在特定範圍內的授權使用者才能進行門禁解鎖或安全區域訪問。這對於車鎖、家居安全和智慧門鎖等應用來說，無疑是一次質的飛躍，極大地提高了安全性和便利性。例如，在汽車鑰匙應用中，藍牙 6.0 的數位鑰匙功能可以精確感知用戶與車輛之間的距離，只有當用戶靠近車輛到一定範圍內時，車輛門鎖才會自動解鎖，有效防止了遠程竊聽

圖說：借助藍牙通道探測進行車門開關查找方向



圖片來源：藍牙技術聯盟

和中繼攻擊等安全風險。同樣，在智慧家居安全系統中，使用者可以通過藍牙 6.0 的數位鑰匙功能，在確保自身處於安全距離內時控制家中的門鎖和其他安全設備，提高了家居安全的智慧化水準。

音訊應用：藍牙 6.0 對音訊應用的支持也得到了顯著增強。ISOAL 的優化使得音訊廣播的延遲大幅降低，可靠性顯著提高。這為無線耳機、揚聲器等音訊設備提供了更加優質的音質和更加穩定的連接，滿足了用戶對於高品質音訊體驗的需求。例如，在使用無線耳機進行遊戲、觀看視頻或進行語音通話時，藍牙 6.0 的低延遲特性能夠確保音訊與畫面或語音的同步，提供更加沉浸式的體驗。同時，其穩定的連線性能減少了音訊中斷或失真的情況，讓使用者可以享受到連續、高品質的音訊內容。此外，藍牙 6.0 還支援多設備音訊連接，可以同時連接多個音訊設備，並在它們之間快速切換，滿足不同場景下的音訊需求。

工業應用：在工業領域，藍牙 6.0 同樣具備很大潛力。它可以高效追蹤設備的位置，監控物流，優化資源配置，從而顯著提高生產效率。例如，在製造業中，企業可以利用藍牙 6.0 設備即時監控生產線上

的機器設備狀態，包括設備的運行參數、故障報警等資訊，及時發現並解決潛在問題，減少故障停機時間。同時，通過藍牙 6.0 連接的感測器網路可以對生產環境中的溫度、濕度、壓力等參數進行即時監測，為生產過程的優化和品質控制提供資料支援。此外，在物流倉儲管理中，藍牙 6.0 可以用於追蹤貨物的位置和狀態，實現對物流過程的精細化管理。

藍牙 6.0 在現有應用場景的基礎上，它將在更多新興領域發揮重要作用。例如，在環境物聯網、數位鑰匙、Auracast 廣播音訊等領域，藍牙 6.0 將推動更多創新應用的出現，為市場帶來新的增長點。在環境物聯網中，藍牙 6.0 可以連接各種環境監測設備，實現對大氣品質、水質、土壤等環境參數的即時監測和資料分析，為環境保護和可持續發展提供支援。在 Auracast 廣播音訊領域，藍牙 6.0 可以實現一對多的音訊廣播，使得多個音訊設備能夠同時接收同一音訊源的內容，這在公共場所如機場、商場、博物館等場景中具有廣泛應用前景，為用戶提供更加個性化的音訊服務。

藍牙 6.0 未來展望

藍牙 6.0 未來有望在多個

方面實現進一步突破。例如，提升資料傳輸速率，實現更快的資料傳輸；使用更高的頻段，以減少通信擁塞。此外，基於證書的驗證配對 (CBAP) 等新技術也將逐步應用於藍牙設備，提高醫療設備等行業的安全性。隨著對更高性能和更廣泛應用需求的增加，藍牙技術將不斷探索新的技術方向，以滿足市場和用戶的要求。例如，在醫療保健領域，藍牙設備可以通過 CBAP 技術確保醫療設備之間的安全連接和資料傳輸，保護患者的隱私和資料安全。同時，隨著 5G 等高速通信技術的發展，藍牙技術也可能與之融合，為用戶提供更加優質的互聯體驗。

藍牙技術的不斷升級正在推動各行各業的數位化轉型，使我們的生活更加智慧化、便捷化。例如，在零售業中，藍牙 6.0 可以結合電子貨架標籤 (ESL) 技術，實現商品價格的即時更新和庫存管理的自動化，提高零售企業的運營效率和管理水準。在教育領域，藍牙 6.0 可以連接各種智慧教育設備，如電子白板、智慧課桌椅、學生終端等，構建智慧化的教育環境，提升教學品質和學習效果。

參考資料：

■ bluetooth.com 《Bluetooth Core 6.0》 