

藍牙咬緊“低功耗”物聯網

■文：編輯部

從藍牙 4.0 版本開始出現的雙模功能，兩種無線電的選擇，為開發者提供了一套多功能的全棧式、適合目的的解決方案，讓藍牙設備進入了更為廣泛的市場。

Bluetooth 經典 (Classic)：Bluetooth Classic 無線電，也被稱為 Bluetooth 基本速率 / 增強資料速率 (BR/EDR)，工作在 2.4GHz 非授權工業、科學和醫療 (ISM) 頻帶的 79 個頻道上進行資料流程。支援點對點設備通信，Bluetooth Classic 主要用於實現無線音訊流，已成為無線揚聲器、耳機和車載娛

樂系統背後的標準無線電協定。Bluetooth Classic 無線電還能實現資料傳輸應用，包括行動列印。

Bluetooth 低功耗 (LE)：是為非常低的功率操作而設計的。Bluetooth LE 無線電在 2.4GHz 非授權 ISM 頻帶的 40 個通道上傳輸資料，為開發者提供了巨大的靈活性，以構建滿足其市場獨特連接要求的產品。Bluetooth LE 支援多種通信拓撲結構，從點對點擴展到廣播，最近又擴展到廣播。Mesh，使 Bluetooth 技術能夠支援創建可靠的、大規模的設備網路。雖然

最初以其設備通信功能而聞名，但 Bluetooth LE 現在也被廣泛用作設備定位技術，以滿足對高精度室內定位服務日益增長的需求。Bluetooth LE 現在包括一些功能，使一個設備能夠確定另一個設備的存在、距離和方向。

同樣情況也延伸到音訊領域，出現了 Classic Audio (經典音訊) 和 LE Audio (低功耗音訊)，經典音訊在藍牙經典無線電上運行，而 LE Audio 在藍牙低功耗無線電上運行。LE Audio 不僅支援開發與經典音訊相同的音訊產品和用例，

藍牙已經快要 25 歲了

藍牙從誕生至今已將近 25 年，這個最初用來連接耳機的標準，已經先後經歷了五個大版本和十多次小版本的升級換代，成為今天數位生活中不可缺少的無線通訊功能之一。

1998 年，藍牙誕生，同年 10 月 19 日發佈 0.7 版；

1999 年，7 月，藍牙 1.0A 版本，也是第一個正式版面世；單工傳輸，易被干擾，傳輸速率為 723.1kbps

2003 年，11 月，藍牙 1.2 版發佈，自我調整跳頻和快速連接功能讓藍牙設備數量開始快速增長，傳輸速率達到 1Mbps；

2004 年，11 月，藍牙 2.0 版本發佈，全雙工傳輸，最大資料傳輸速度提高到 3Mbps；

2007 年，8 月，藍牙 2.1 版本發佈，優化了藍牙設備的功耗，提供 NFC 配對機制，將待機時間成倍提升；

2009 年，4 月，藍牙 3.0 版本發佈，藍牙最大資料傳輸速度提升 8 倍，達到 24Mbps；

2010 年，7 月，藍牙 4.0 版本發佈，首次推出了低功耗藍牙 BLE 標準，藍牙進入雙模標準時代，同時進一步優化了傳送速率，功耗、相容性，並將傳輸距離延長至 50 m

2013 年，12 月，藍牙 4.1 版本發佈，引入 IPv6 規範，使得藍牙設備接入能力進一步增加，並解決了與 4G 網路的干擾問題；

2014 年，12 月，藍牙 4.2 版本發佈，增加了資料傳輸速度，改善了藍牙的安全性，至今仍有大量 4.2 版本設備在使用中；

2016 年，6 月，藍牙 5.0 版本發佈，最大傳輸速率達到 48Mbps；將藍牙設備的最大傳輸距離擴展到 300 m，針對室內導航和物聯網進行優化，增加很多面向新興應用的功能

2017 年，藍牙 5 版本增加了 Mesh 網路功能

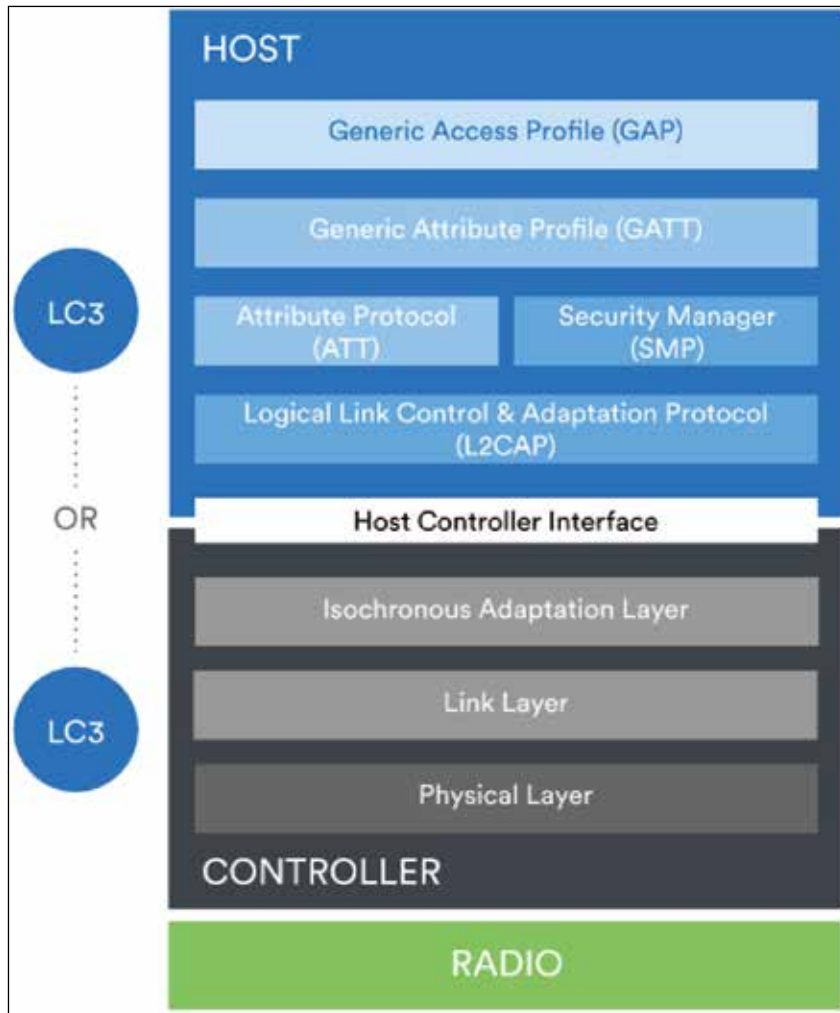
2019 年，藍牙 5.1 版發佈，加入測向 (AOA) 功能和釐米級別的定位功能，主要用於室內定位和物品防丟；

2020 年，藍牙 5.2 版發佈，為 TWS 耳機進行優化，如 LE 同步通道，增加多音訊流支援，增強版 ATT，LE 功率控制；

2021 年，7 月，藍牙 5.3 版發佈，提升低速連接能力，對開放設備增加加密能力，提升抗干擾和電池續航時間等；

2023 年，1 月，藍牙 5.4 版本發佈，針對電子標籤功能進行優化

圖說：低功耗藍牙堆疊



圖片來源：bluetooth.com

圖說：藍牙音訊雙模讓音訊應用更加靈活



圖片來源：bluetooth.com

還引入相當多的新功能，正在創建很多新產品和應用案例。

未來5年藍牙出貨年複合增長率達9%

疫情帶來的變化，推動藍牙在不同解決方案的發展趨勢。

例如，過去五年遠端辦公增加了44%，推動了個人電腦配件等需求的增長。此外，健康意識的提高也正推動智慧手錶、健康追蹤器等可穿戴設備的增長。根據ABI Research的研究，未來五年，藍牙設備年出貨量將保持強勁增長勢頭，預計到2027年將達76億件，複合年增長率為9%，更多新興應用進入快速發展階段。

低功耗音訊有望超越經典音訊
2022年7月發佈的藍牙低功耗

音訊 (LE Audio) 為藍牙最大的解決方案領域——音訊廣播帶來了進一步性能增強。LE Audio 引入了全新 Auracast 廣播音訊功能。

分析師預計，未來五年 Auracast 廣播音訊的設備和其在公共場所的部署量將大幅增長，這將推動全新音訊體驗，提高藍牙音訊週邊設備的價值，並為助聽解決方案創造全新可擴展性選項，為音訊無障礙提供新機遇。預計到2030年，全球將有250萬個場所支援 Auracast 廣播音訊功能。同時，Auracast 廣播音訊部署的增長也將直接影響 LE Audio 設備的採用速率。

2026年前後，將是低功耗藍牙音訊與經典藍牙音訊的分水嶺，屆時低功耗藍牙音訊將逐步成為市場主流。

此外，產業專家還預測 LE Audio 將在助聽器中得到更廣泛的採用。LE Audio 為助聽器提供更好的支援，提高聽力受損者的滿意度，為全球超過1億聽力損失者提供音訊援助。ABI Research 預測，未來五年藍牙助聽設備的年出貨量將增長5.5倍。

2022年9月，美國食品和藥物管理局設立了一類非處方 (OTC) 助聽器。現在，人們可以直接購買支援藍牙的助聽器，而無需體檢、聽力學家就診或處方。因此，分析師預計這個新的非處方助聽器市場將出現激增的增長。ABI Research 預測，到2027年，支援藍牙的非處方 (OTC) 助聽設備的年出貨量

圖說：未來五年，藍牙經典音訊將逐漸過渡到低功耗音訊



圖片來源：bluetooth.com

將增長 5.5 倍。

電子貨架標籤有望成為全新的大批量市場

隨著電子貨架標籤市場無線標準的發佈，藍牙技術將協助零售業進行下一階段的數位化轉型，為商店和購物者提供更好的消費體驗。電子貨架標籤提供了精準的自動定價，並增加了對即時促銷和產品資訊的訪問，提供更令人滿意且整合的全管道體驗。預計到 2027 年，藍牙 ESL 設備的出貨量將達到 3.34 億台。

環境物聯網將有望顛覆市場預期

環境物聯網是一個全新類別的藍牙追蹤解決方案，在不同行業將擁有超過 10 萬億台設備的總目標市場。環境物聯網將顯著改善供應鏈，其早期發展重點是支持過期貨物的高速鏈，如食品、藥品和可回收資產等。藍牙技術的高普及度和成熟的生態系統，以及支援低成

本標籤和接收器設備的能力，使其能夠最大程度地發揮環境物聯網的優勢。

隨著位置服務應用不斷擴展，預計到 2027 年，藍牙位置服務設備年度出貨量將達到 5.15 億。除此之外，在可穿戴設備健康照護、醫療、Mesh 網路，照明網路，長距離傳輸（高達 300 m）等其他應用場景，藍牙的應用也在不斷深入。到 2026 年，藍牙健身和健康追蹤設備的年出貨量將達到 1 億件，智慧手錶 2.1 億件，AR、VR 市場年複合增長率達 51%，智慧眼鏡年複合增長率達 68%！

圖說：藍牙位置服務設備，預期到 2027 年將達 5.15 億 / 年，複合年增長率為 20%。



被寄予厚望的“殺手級”應用場景 藍牙 5.3 和 5.4 版的野心

Auracast 為 LE Audio 拓展鋪路

2022 年 6 月，在藍牙 5.3 版本發佈 1 年後，藍牙技術聯盟於正式公開發佈了新世代藍牙音訊 (LE Audio) 中廣播音訊的技術 - Auracast。這項技術可以使一個音訊源設備 (如智慧手機、平板電腦、電視或公共音響系統) 向不限數量的音訊接收設備 (如耳塞、揚聲器、助聽器等) 廣播一個或多個音訊流。Auracast 廣播音訊為創新開闢了重大發展機遇，包括實現個人和基於位置的音訊分享。

Auracast 基於低功耗藍牙 (BLE) 的週期性廣播 (Periodic Advertising) 技術，在廣播等時通道 (BIG/BIS) 上實現音訊廣播。廣播等時通道在一般用途物理通道 (共計 37 個) 上以固定的時間間隔單向傳輸數位音訊流，一個廣播等時組 (BIG) 可包含最多 31 個廣播等時流 (BIS)，這些廣播音訊流使

用不同的存取位址，互不衝突。

相比經典藍牙音訊，Auracast 具有低功耗 (接收設備只接收信號，並不對外發射)，資料安全，隨時可獲得，理論上在通信範圍內可以有無限多個音訊設備同時接收信號，最為重要的是，這些音訊信號不需要依賴互聯網，有點類似一個局部的 mesh 系統。因此，除了更加方便與朋友分享音樂，還可以方便商家發送廣告，公共場所發送重要通知，博物館、旅遊地區接收導覽資訊等等，為 LE Audio 開發設計人員拓展市場提供更多可行性。

在最新發佈的小米 13 手機中，已經開始支持藍牙 5.3 版的這些特性。

5.4 版本主攻電子貨架標籤

隨著電子貨架標籤 (ESL) 市場的無線標準的引入，低功耗藍牙技術 (BLE) 將有助於開啓零售數位化轉型的下一階段，為商店和購物者提供更好的零售結果。根據 ABI Research 的資料，到 2 年，估計將安裝 3.44 億台 ESL 設備，市場潛力巨大。

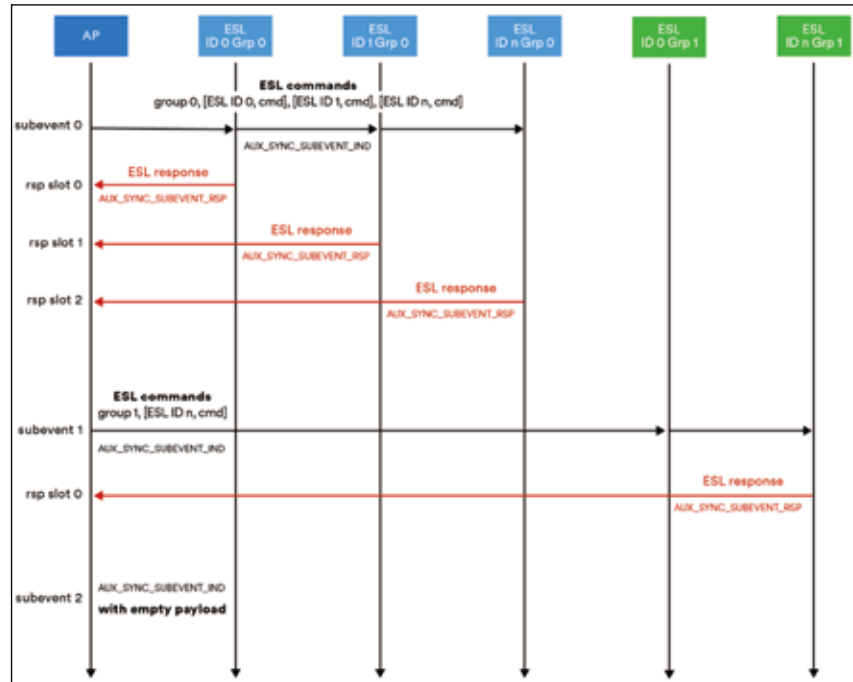
圖說：電子標籤示意



圖片來源：bluetooth.com

電子貨架標籤 (ESL) 是一種由電池供電的小型電子紙 (e-paper) 顯示器，用於在貨架邊緣顯示產品和價格資訊，以取代紙

圖說：接入點和多個 ESL 設備之間通過多個子事件進行的交換資料的過程



質標籤。ESL 使用無線技術與中央集線器通信，以此來組成一個動態的定價自動化網路。

相比傳統的零售貨架依賴易出錯的紙質標籤，依靠人工手動進行價格標注，在一天之中可能需要多次進行標籤更換。人工庫存管理也會減緩運營速度，對缺貨情況回應不及時。電子貨架標籤可以為消費者簡化貨品揀選和執行，同時還可以加快貨架補貨速度。根據統計，有些商超每天 80% 的時間會花費在更新紙質標籤上面，電子貨架標籤解決方案能說明實體店全面自動執行定價策略，即時更新價格顯示，實現無縫的全管道零售，還能有效提升 2-5% 銷售額。因此，電子貨架標籤正在成為未來零售、倉儲管理的新應用趨勢。

2023 年 1 月 31 日，藍牙技術聯盟公佈了 5.4 版的技术規

範，極具針對性的引入了 4 項新特性，支持帶回應的週期性廣播 (PAwR)、支援加密的廣播資料 (EAD)、LE GATT 安全級別特徵、動態廣播編碼選擇 (CSSA)。

帶響應的週期性廣播 (PAwR) 功能定義了一種新的藍牙 LE 邏輯傳輸，旨在支援多種新的設備通信方案，包括集線器需要與數千個終端節點保持雙向通信的情況。與其他藍牙廣告模式相比，它支援雙向應用資料通信。PAwR 功能的一個關鍵用例就是快速增長的電子貨架標籤市場。

結合前面的 Auracast 功能來看，藍牙的觸角已經延伸到零售倉儲應用，開發人員希望藍牙技術能夠在這一市場佔有重要地位。CTA