

藍芽 5.2 及低功耗藍芽音頻概述

1 BT 5.2 新功能概述

不同電子設備之間的無線連接，例如手機，電腦，由於藍牙 (BT) 技術變得越來越容易。藉著採用藍牙技術，支持藍牙的設備之間可在所謂的個人區域網 (PAN) 中交換媒體內容，文件等等。無線音頻串流是一種目前利用藍牙技術最流行的應用。

藍牙技術始於 1998 年，由 5 家公司 (愛立信，IBM，英特爾，諾基亞和東芝) 技術合作，此五家公司也為制定藍牙標準組織藍牙特別興趣小組 (Special Interest Group) 稱為藍牙 SIG 的始創者。從 1999 年首次正式推出制定的 BT 1.0 規範，BT 技術已經發展二十年，至今仍繼續持續發表新的技術應用。而自 1999 年以來 R & S® 一直是 Bluetooth SIG 的活躍成員。

藍牙 SIG 定義了兩種 BT 技術，即 BT Classic (基本速率) (BR) / 增強數據速率 (EDR) 和 BLE (低功耗藍牙)，而兩種 BT 技術彼此不兼容。早在 2010 年 BLE 產品首次推出以來獲得越來越多的市場動力，被規範於 BT4.0，主要瞄準低功耗和低成本裝置市場，此類裝置特別適合應用於物聯網 (IoT)。2016 年宣布的 BT5.0 是豐富的另一個里程碑，與 BT4.0 相反的功能，包括四倍的傳輸範圍，兩倍的速度和數據廣播能力提高了八倍。2019 年 1 月，BT SIG 發行 BT5.1 或 BLE 5.1 標準，並對 BLE 進行更多改進。主要是提供室內定位技術 AoA，AoD，利用 BLE 信號強度及網路布建，達到方位查找的功能。在 2020 年 1 月，發行 BT5.2 標準，其增加三大主要更新如下：

1.1 增強屬性協議 (Enhanced Attribute Protocol)

屬性協議 (ATT) 的改進版本，稱為增強屬性協議 (EATT)，引入對通用屬性的一些相關改進設定檔 (Generic Attribute Profile, GATT)。EATT 支持同時異動的兩事件，允許來自不同應用程式與 ATT 相關的數據封包進行 L2CAP 數據封包交錯放置，並允許將 ATT 最大傳輸單元 (Maximum Transmission Unit, MTU) 在連接過程中改變其大小。總而言之，在同時有多個應用程式使用藍牙低功耗 (LE) 堆棧的裝置上，這些改變可以提供更好的用戶體驗，藉由通過減少一個應用程式臨時使用堆棧阻擋另一個的物件，這可以減少一個或多個應用程式的點對點延遲，並且改善用戶的回應體驗。為了支持 EATT，已定義了新的 L2CAP 模式。新模式稱為 L2CAP 增強的基於信用的流量控制模式 (L2CAP Enhanced Credit Based Flow Control Mode)。此模式提供流量控制，因此允許應用將該協議視為可靠的。與未增強的 ATT 相比，EATT 具有安全性優勢，因為它只能用於加密的連接。

1.2 低功耗(LE)藍芽功率控制

新的 LE 功率控制使設備可以動態優化連接的裝置之間進行通信時使用的傳輸功率。藍牙 LE 接收器現在可以監視信號強度並要求連接裝置的傳輸功率準位改變，通常是從信號品質和低功耗角度來看，都可保持最佳信號強度。藉由使用區域個概念，藍牙控制器可以監控路徑損耗的變化並將其報告給藍牙主機，在某些應用類型上是對它們有用。

LE 功率控制功能的優點包括：

1. 在連接的裝置之間通過動態功率管理減少發射機的總功耗。
2. 通過主動維持接收機信號強度來提高可靠性，從而保持在接收機支持的最佳範圍內。
3. 與改善與環境中其他使用 2.4 GHz 頻率範圍無線設備共存。

1.3 低功耗藍芽等時通道(Isochronous Channels)

此功能主要旨在支持下一代藍牙 LE Audio 音頻，允許將有時間限制的數據傳輸到一個或多個裝置以進行時間同步處理。它可以透過連接使用，也可以廣播到不限數量的裝置中。

藉著 LE 等時通道創造藍芽新的應用，音頻源可以傳輸音頻以通過小型私人設備組進行同步播放（個人音頻共享）或用於電影院等公共場所的各種大小不限的設備。音樂共享只是一種應用。對各種助聽器產品而言，建立新的 LE 等時通道的 LE Audio 將成為標準，LE Audio 也支持分散位置型態的輔助聽覺系統，例如劇院，會議，演講廳和機場；而多語言音頻系統將成為可能是可以期待的，部分要歸功於 LE 等時通道和一起搭配使用全新音頻藍芽配置檔。

2 低功耗藍芽音頻(LE Audio)

2.1 藍芽音頻應用歷史背景

藍芽技術用於各種產品和應用型態。藍芽的最早使用產生了諸如無線滑鼠之類的產品。近年來，藍芽已具備形成數以萬計的設備的網絡或提供高精度，基於位置的服務的能力。但是，音頻仍然是藍芽設備的最大應用類別，預計在 2019 年將出貨約 10 億個設備。它也是藍芽使用時間最長的應用之一，其中包括免持聽筒，藍芽無線耳機等設備。

進階音頻分發配置設定檔（Advanced Audio Distribution Profile，A2DP）定義瞭如何將藍芽用於高品質的音頻應用，例如從智慧手機到一組藍芽耳機的點對點的音樂串流。A2DP 是一種被廣泛採用的配置設定檔，它成



功地為音樂愛好者提供了優質的聆聽體驗，而沒有電線的麻煩。A2DP 使用較舊的 Bluetooth BR / EDR 技術，而不是較新的 Bluetooth LE。

新的音頻應用和產品創意已經出現一段時間，並且在某些情況下，A2DP 無法滿足這些新要求。尤其是，它可以支持的拓撲型態（用於定義音頻源和接收器（接收和渲染音頻的揚聲器之類的裝置）之間的允許關係）僅限於一種或多種點對點佈置。無法確保多個接收器精確地同時渲染其音頻串流，從而無法在一系列關聯的裝置上同步播放。因此，使用 A2DP 的大多數裝置僅在一次連接到另一台裝置時才能工作。

2.2 關於低功耗藍芽等時通道(Isochronous Channels)

藍牙 LE 同步通道功能是一種使用藍牙 LE 在設備之間傳輸時限數據的新方法。它提供了一種機制，可確保從同一來源接收數據的多個接收器設備將同時呈現它。數據具有一個有時間限制的有效期，據稱該有效期將在此期限後到期。尚未發送的過期數據將被丟棄。這意味著接收器設備僅接收關於其可接受的等待時間的規則有效的數據。

LE 同步通信最初是為在音頻產品和系統中使用而設計的。它提供了一種方式，可以同時提供從音源到多個接收器的音頻，以正確同步播放。音頻（由於某種原因在音源處生成後被延遲）會過期並被丟棄，因此它不會影響接收器處的收聽體驗。新的使用方法，新的產品部署拓撲結構以及最終的新產品類型將通過新的 Bluetooth LE 等時通道功能實現。將藍牙 LE 用作音頻稱為 LE 音頻(LE Audio)。

以下是一些可能的 LE Audio 場景的範例。

個人音樂分享: 一群朋友可以通過其藍牙耳機同時欣賞一部智慧手機上播放的音樂。這是一個私人群體分享一個單一音源的範例。

公眾輔助聽力: 在劇院中，演員所有的對話可用低功耗藍芽廣播，以便讓觀眾中擁有 Bluetooth LE 助聽器用戶都能聽到。

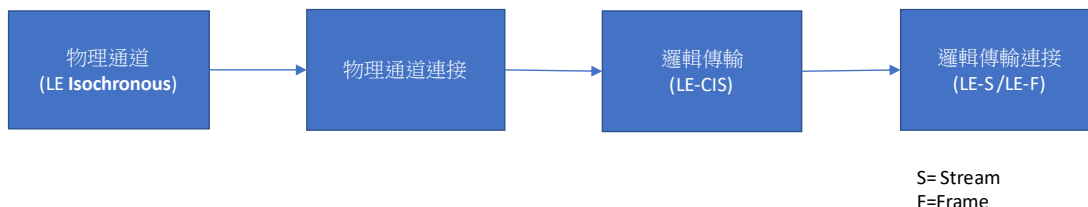
公眾電視: 在機場，火車站，巴士站，所有帶有 Bluetooth LE 耳機或耳塞的與會者都可以在候機室或等車處收聽電視音軌。

多國語言機上航班通知: 飛機上的乘客可以將其耳機連接至航班信息系統，指定其首選語言，並以該語言收聽航班信息。

藍牙數據傳輸體系結構透過 EATT 已得到增強，以支持同步通道，這些通道可以是連接導向(connection-oriented)或無連接導向。在這兩種情況下，同步通信都使用新的 LE 同步物理通道。該物理通道使用跳頻並指定第一個數據封包的時序，然後將其用作後續數據封包時序的定位點。LE-S 邏輯連接用於串流傳輸諸如音頻之類的數據，它沒有固有的結構，而 LE-F 則旨在與成幀的數據封包一起使用。四個藍牙 LE PHY 中的任何一個都可以與新的 LE 同步物理通道一起使用。連接導向的同步通道使用 LE-CIS(LE Connected Isochronous Stream)邏輯傳輸並支持雙向通信。單一 LE-CIS 串流在兩個連接的設備之間提供點對點同步通信。LE-CIS 邏

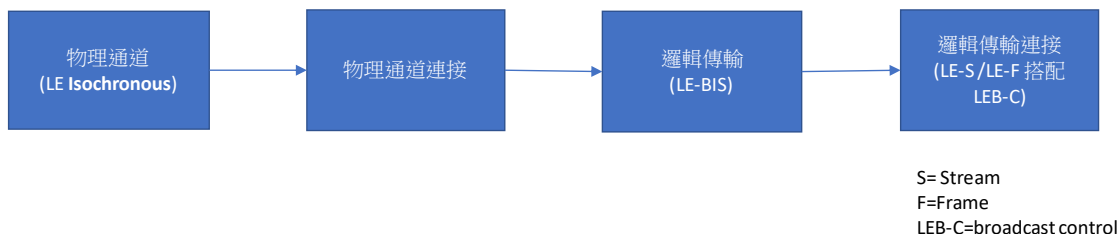
輯傳輸指定刷新周期，在刷新期間內未發送的任何數據封包將被丟棄。連接導向同步通道資料傳輸流程如下圖

一。



圖一：連接導向同步通道資料傳輸流程圖

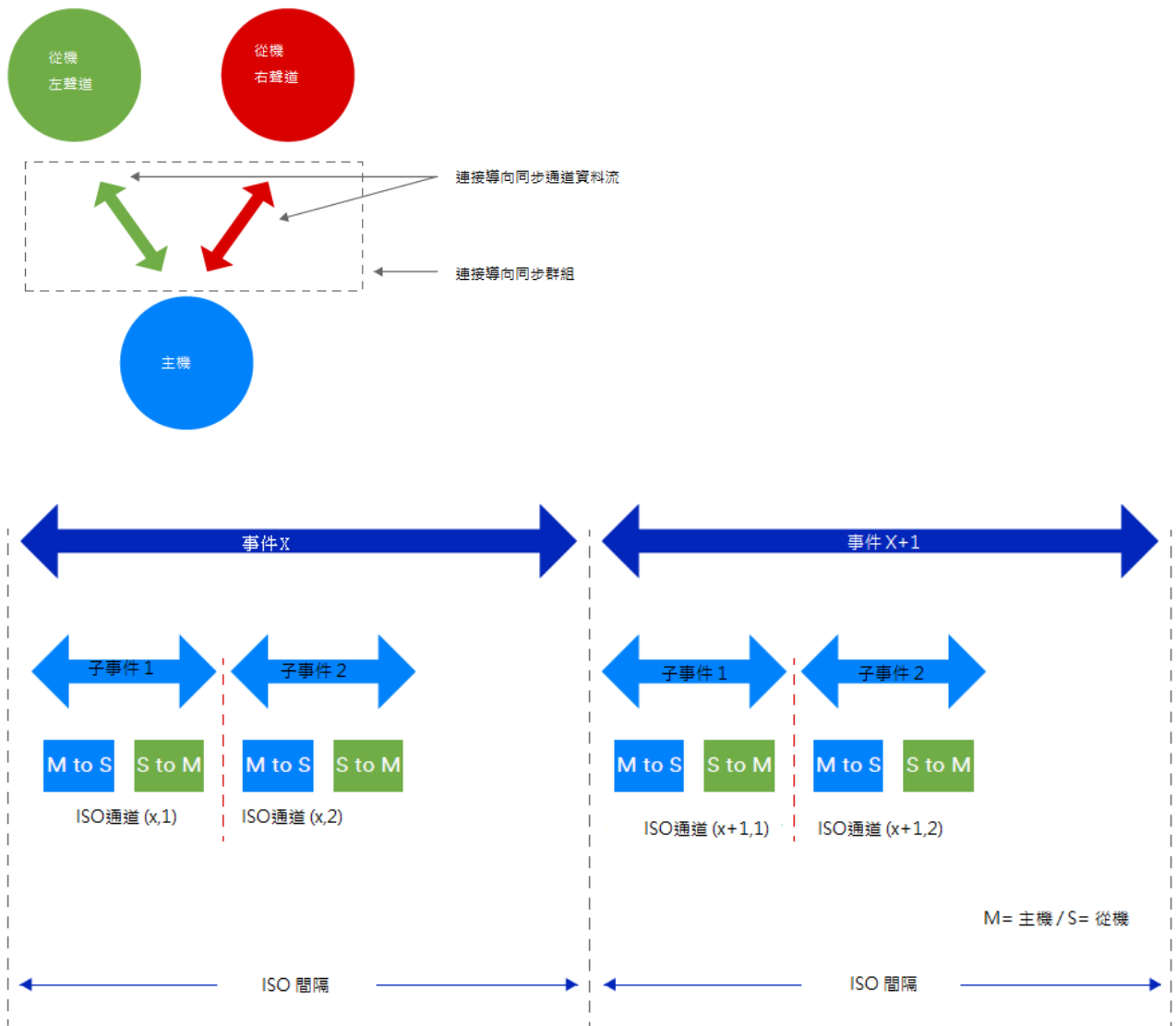
無連接同步通信使用廣播同步流 (Broadcast Isochronous Streams , BIS)，並且僅支持單向通信。LE 等時物理通道上的 LE-S 或 LE-F 邏輯鏈路用於用戶數據，而新的 LEB-C 廣播控制邏輯鏈路用於控制要求，例如通道映射更新的通信。單個 BIS 可以將相同的資料分流傳輸到多個接收器設備。連接導向同步通道資料傳輸流程如下圖二。



圖二：無連接導向同步通道資料傳輸流程圖

CIS 串流是稱為連接同步群組(Connected Isochronous Groups CIG) 的群組的成員，每個群組都可以包含多個 CIS 實例。在一個群組內，對於每個 CIS，都有一個發送和接收時隙的時間表，稱為事件(Event)和子事件(Subevent)。

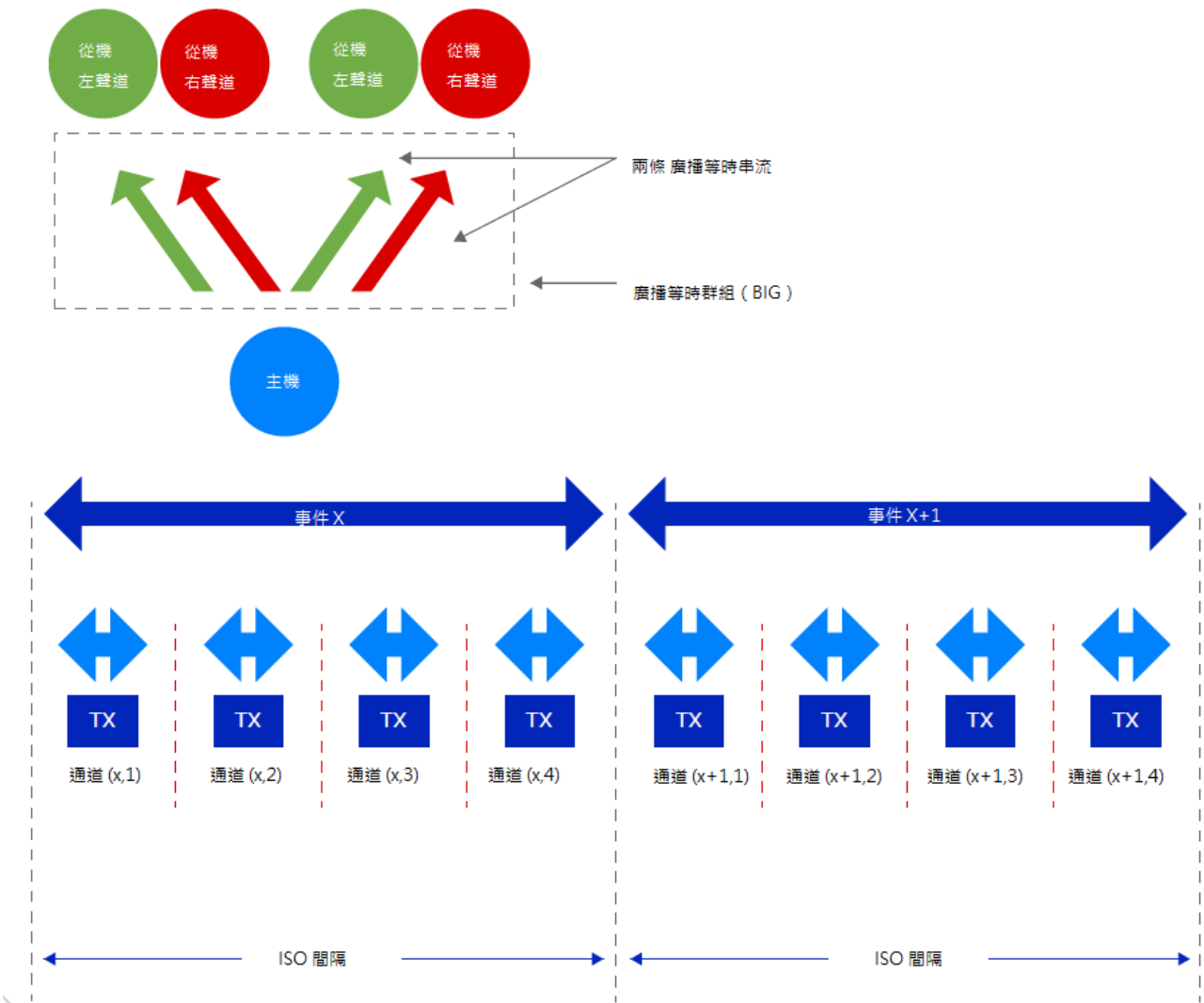
同一 CIG 中的 CIS 實例具有公共的定時參考數據，這些數據用於接收者跨群組中所有串流的同步數據處理 (通常是音頻渲染) 同步。每個事件均以稱為 ISO 間隔的規則間隔發生，該間隔可以在 5ms 至 4s 的範圍內，以 1.25ms 的倍數為單位。每個事件分為一個或多個子事件。在連接的同步流中，在子事件期間，主機 (M) 發送一次，而從機 (S) 進行響應，如圖三。請注意，通道在每個子事件上都會更改。主設備可以創建多個 CIG。



圖三：無連接導向同步通道資料傳輸示意圖

BIS 串流是稱為廣播等時群組 (BIG) 的組的成員，每個組可能包含多個 BIS 實例。主設備可以創建多個 BIG。在一個 BIG 中，對於每個 BIS，都有一個傳輸時隙的時間表，稱為事件和子事件。

同一 BIG 中的 BIS 實例具有公共時序參考數據，該數據用於群組中廣播串流之間的廣播同步數據處理的同步。使用廣播等時串流 (BIS) 時，設備在每個子事件中廣播等時數據封包或廣播控制信息。接收廣播的設備無法響應。



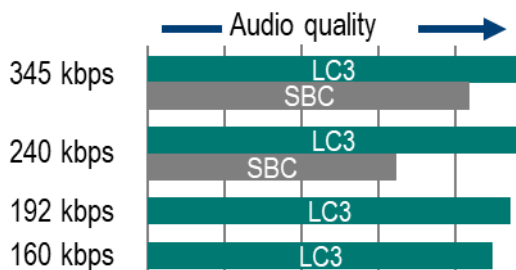
圖四: 廣播等時串流·群組·事件·子事件示意圖

通過稱為 CIG 事件的概念和許多同步定時參數，可以實現通過連接的同步流傳輸的同步數據的同步處理。考慮在一對 Bluetooth LE 耳塞式耳機的左右耳（兩個接收器）中播放來自智慧手機（音源）的音頻的情況。左右耳分別與音源設備建立 CIS 流。這些串流都是同一 CIG 群組的成員。音源產生的音頻片段被編碼為一個數據封包，並且副本通過其串流傳輸到每個接收設備，在一系列連續的 CIS 事件中一次傳輸一個。在 CIG 中的所有設備都接收到數據封包之前，不得進行播放，這將花費一段經過的時間，稱為 CIG_Sync_Delay。每個 CIS 事件都有一個稱為 CIG_Sync_Delay 的延遲參數，該參數等於第一個 CIS 事件的 CIG_Sync_Delay，但隨後在該群組的每個後續 CIS 事件中逐漸減小。這意味著較早發送的数据封包必須等待更長的時間才能被其接收設備呈現，而在群組的事件處理中較晚發送的数据封包則需要更短的時間。這個逐步延遲系統的結果是每個接收器設備將同時渲染接收到的音頻。在群組中，封包到所有連接的接收器設備的傳輸在 CIG 事件中進行。在此方案中，可以通過兩種方式安排 CIS 子事件。在第一種情況下，屬於 CIS 事件的所有子事件都以不間斷的順序進行調度。CIS 事件不會重疊，並且在繼續進行下一個 CIS 事件之前，將一次處理 CIS 事件中的所有子事件。這稱為順序子事件調度。在第二種情況下，CIS 事件重疊，每個 CIS 事件的第一個子事件一個接一個地處理，然

後每個 CIS 事件的第二個子事件依此類推。這稱為交錯子事件調度。請注意，每個 CIG 最多可能有 31 個 CIS 實例。

2.3 LC3 音頻編碼

由德國夫朗和斐協會(Fraunhofer IIS)所開發的新低複雜性音源編碼針對高音質音樂串流再進行優化。新式 LC3 音源編碼開發主要是為了解決出現在今日無線通信平台如藍芽及數位增強無線電話系統(Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT)的缺點，編碼操作範圍從為改善聲音傳輸中階位元編碼速率到實現高品質音樂串流服務需求的高階位元編碼速率，並使其操作在低延遲，低計算量的複雜度及低記憶體需求的模式。在廣泛聽力測試下，LC3 音頻編碼提供在音質上很大的改善，已大幅超越過往使用在傳統藍芽的音頻編碼 SBC，即使 LC3 已少於 50% 位元編碼也可以獲得較佳的結果 如下圖。



3 結語

Apple 推出真無線藍芽耳機(TWS) Airpods 造成市場上一片風潮，藍芽技術一夕成為通信界的顯學。由於傳統式藍芽在耗電及音質上，對產品開發者也是會造成一定瓶頸，這些問題在低功耗藍芽會獲得一定程度改善。低功耗藍芽音頻(LE Audio) 在透過 BT 5.2 上三個新功能的加持，及採用新的音源編碼 LC3，產品開發者勢必可產生出新一代穿戴式產品，發表於市面上，透過更好的用戶使用經驗，讓新一代應用讓藍芽攀向另一個高峰。