

藍芽通訊系統捲土重來

蘇季希
聯信科技公司
經理

摘要

由於價格與互通(Interoperation)的問題，使得藍芽(Bluetooth)的市場未如預期的熱絡。再加上 802.11b/g 蓬勃市場的擠壓，讓國內外許多的廠商紛紛退出藍芽市場，進而轉入 802.11b/g 的懷抱中，使得藍芽漸漸地從無線通訊的舞台消失。但是在 2003 年年底，藍芽晶片每週的出貨量，由首次超過 WLAN 的 100 萬套至 2004 年 7 月已經突破 300 萬套，使人感覺到藍芽晶片又悄悄的回到通訊舞台上來。在本文的第一章中，筆者介紹藍芽系統發展的由來及目的；第二章敘述藍芽無線通訊系統之規格與其運作的原理；第三章則說明藍芽發展至今所遭遇的瓶頸；在文章的最後，筆者就其產品市場的趨勢加以說明。

關鍵詞

藍芽(Bluetooth)、專有網路(Ad-hoc Network)、基頻(Baseband)、射頻(Radio Frequency)、適應性跳頻(Adaptive Frequency Hopping)

什麼是藍芽

Ericsson 無線通訊部門於 1994 年開始著手研究一項低功率、低成本的短距離無線傳輸介面，來取代行動電話與其配件之間的傳輸線。1998 年，Ericsson 與 Intel、IBM、Toshiba 及 Nokia 等五家公司共同組成了 SIG (Special

Interest Group) 策略聯盟，並提出藍芽(Bluetooth)短距離無線通訊協定，其主要的功能有：

1. 取代傳輸線 (Cable Replacement)
2. 擷取入口 (Access Points)
3. 個人專有網路 (Personal Ad-hoc Networks)

由於，SIG在制定標準之初，就考慮到藍芽無線通訊晶片必須有低成本、低功率、多方連結(Multiple Links)，以及可以同時傳送語音及資料的特性，使得SIG在推出藍芽後，加入該聯盟廠商的數目，由開始的五家在短短的幾年內增加到現在的兩千多家。由於藍芽晶片的目標價格為五美元以下，因此，採用CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)製程將基頻與射頻整合在同一個晶片是必然的趨勢。但是由於目前製造晶片的良率無法有效的提高，導致價格無法在短期之內達到五美元的目標。此外，產品之間互通性(Interoperation)則是另一個重要的課題。就使用者而言，沒有繁瑣的設定，購買時不需要考慮相容性的問題，才是他們想要的。因此，SIG在藍芽1.2版標準中提出了適應性跳頻(Adaptive Frequency Hopping; AFH)技術，來解決與802.11相容的問題。在下一個章節，將介紹藍芽通訊系統的基本運作方式。

藍芽通訊系統

藍芽是一個在2.4GHz下使用Industrial Scientific Medical(ISM)頻帶的通訊協定。由於在ISM頻帶並不需要提出頻帶的使用申請，任何的無線通訊器材都可以在該頻帶使用。對藍芽通訊系統而言，相對地就有許多的干擾(Interference)。因此，藍芽採用了跳頻展頻技術(Frequency-Hopping

Spread-Spectrum Techonology)，以每秒1600次的通道轉換來消除其他無線訊號的干擾。表一列出藍芽系統的主要規格。為了達到低成本（低於五美元）的目標，藍芽採用了GFSK的調變方式。由於是2位元(Binary)FSK調變，可以用簡單的FM的方式實作出來。此外，由於藍芽是適用於短距離的無線傳輸；多重路徑(Multi-Path)並不會造成太嚴重的ISI (Inter-Symbol Interference)影響。所以，可省略製作消除ISI等化器(Equalizer)的步驟。基於上述的幾個理由，可以降低藍芽在硬體(Hardware)製作上所需的成本。

藍芽系統架構可以區分成Protocol及實體層兩部分，如圖一所示。其中，RFCOMM (RF Communication)、TCS (Telephony Control Service)、SDP (Service Discovery Protocol)負責連續埠(Serial Port)、電話等網路連結溝通封包的支援。而L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol)則負責對上層不同應用的軟體介面之網路連

表一 藍芽系統的主要規格

Characteristics	Specification
Carrier Freq.	2.4GHz ISM Band
Modulation	GFSK
Transmit Power	Class 1:1-100(mW) Class 2:0.25-2.5(mW) Class 3:1(mW)
Operating Range	Class 1:10(m) Class 3:100(m)
Bit Rate	1Mbit/s

結功能。Baseband主要是作基頻訊號的處理，而 RF(Radio Frequency)則是將基頻的訊號轉換成射頻訊號。

一、跳頻分時雙工

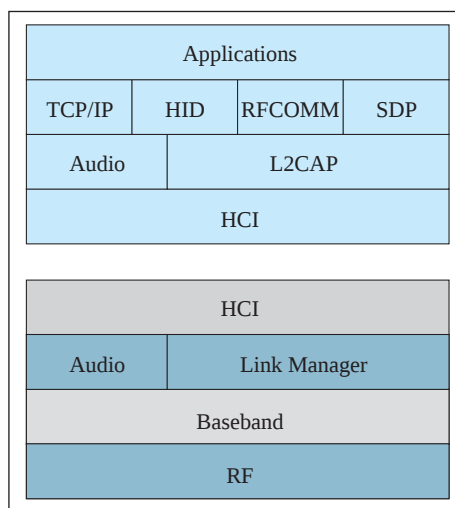
藍芽系統是根據跳頻分時雙工(Frequency-Hopping Time Division Duplex)來作為資料的傳輸方式。如圖二所示，分時雙工機制是將時間區分成一個一個連續的時槽(Slot)。每一個時槽的時間為 $625\mu s$ 。若以圖二中的Unit A、Unit B為例來說明分時雙工的運作方式，則Unit A在時間 $t=k$ 、 $k+2$ 時發送訊號，在 $t=k+1$ 時接收訊號。反之，Unit B則在 $t=k$ 、 $k+2$ 時接收訊號，在 $t=k+1$ 時發送訊號。隨著時槽的改變，其發射或接收的頻率也會隨著改變。

藍芽的跳頻方式是根據一個已知的跳頻序列(Hopping Sequence)改變發

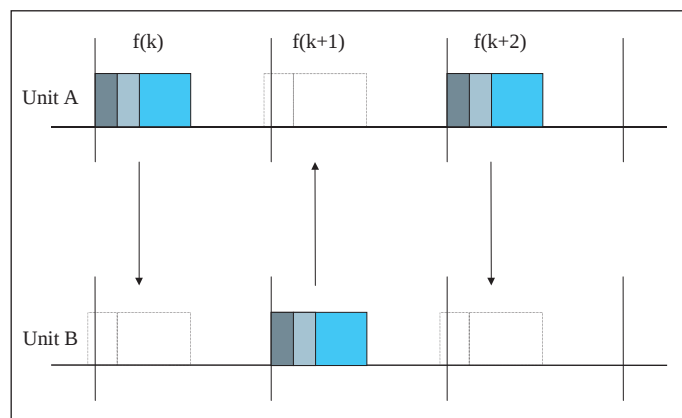
射或接收的頻率。藍芽設備可以依據其運作的方式，分成Master與Slave兩種角色。而上述的跳頻序列則是根據扮演 Master角色的藍芽設備之時間與位址(Address)來產生。由一個 Master與多個 Slave（最多七個Slave）所構成的網路，稱之為Piconet；而由多個Piconet所構成的網路則稱之為Scatternet。

二、封包式傳輸

藍芽系統是採用封包式傳輸(Packet-Based Transmission)來傳送資料；也就是先將原先一長串的资料分割成許多封包，再依序將切割後的封包傳送出去。圖三表示所有藍芽系統的封包種類。其中，ID、Poll、Null以及FHS(Frequency Hopping Synchronization)等封包是用來傳送系統控制或通道建立的訊號。SCO (Synchronous Connection-Oriented)與 ACL (Asynchronous Connectionless Link)封包則是用



▲圖一 藍芽系統架構



▲圖二 Time Division Duplex

來分別傳送資料與聲音的訊號。

藍芽系統根據所傳送的封包種類分成 SCO與ACL 兩種連結 (Link)。SCO連結是屬於一種點對點(Point-to-Point)連結方式，而ACL連結則是屬於點對多點(Point-to-Multi-Point)連結方式。在藍芽系統中，聲音訊號的傳輸速率為64kbit/s；因此，一個SCO封包大約可以傳送幾個毫秒(ms)的聲音訊號。幾個毫秒聲音訊號的遺失，對人耳來說並不容易察覺。所以，用來傳送聲音訊號的SCO連結並不需要有重傳的機制(Retransmission Scheme)。相反的，在ACL連結上傳送資料時，倘若有封包遺失，接收端就必須要發送一個重傳的訊號給發射端，要求對方將遺失的封包重新傳送。

三、連結的建立

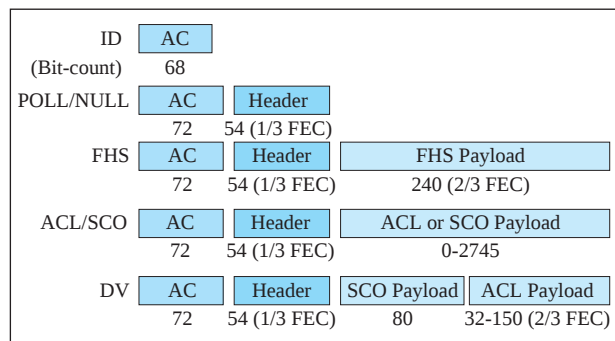
有效的建立連結是專有(Ad-hoc)無線網路設計中非常重要的課題。在藍芽系統中，設備如何發現彼此、如何建立連結呢？我們將在這一章節向讀者介紹。

藍芽系統規劃了三個運作方式，即Inquiry、Page與Connection來完成連結的建立(Connection Establishment)。藉由Inquiry的過程中，扮演 Master角色的藍芽設備就可以得知週遭藍芽設備的時間與其位址。而Page步驟的目的主要是要讓扮演Slave角色的藍芽設備獲得Master之時間與位址。在前一章

節我們曾提到，跳頻序列是根據Master的時間與位址來決定的。因此，藉由Page的過程讓Slave能夠產生相同的跳頻序列。如此一來，才能保證Master所傳送的訊號能被Slave接收；同樣的，Slave所發送的訊號也能夠被Master所接收。除此之外，在一個Piconet的網路中，是以Master的時間為運作基準，所以Slave在收到Master的時間後，必須將自身的時間調整和Master一樣，以便使整個Piconet網路內的藍芽設備時間同步。最後，再經由Connection步驟建立Master與Slave之間的連結。

藍芽系統架構

由於低成本的考量，將射頻、類比與數位電路整合在單晶片上是必然的趨勢。但是，數位電路對射頻所造成的干擾，卻是造成良率降低的主要因素。雖然有人提出以封裝整合系統(System in Package; SiP)的方式來解決以晶片整合系統(System on Chip; SoC)所造成的問題。但是以目前SiP的相關

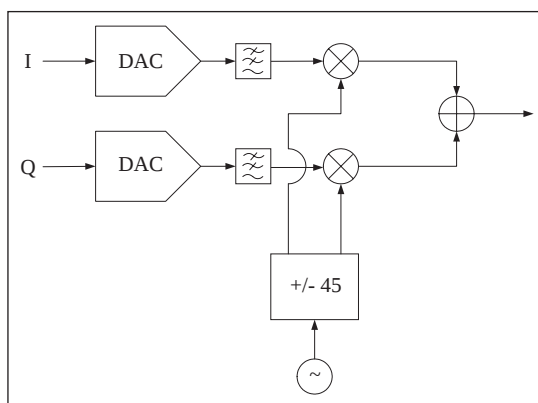


▲圖三 Packet Type

技術尚未成熟的情況下，大多數的IC設計公司仍以 SoC的架構來製造藍芽晶片。系統架構的選擇往往會影響到整個系統品質的好壞與成本的高低。在此，筆者介紹幾個常用的通訊架構，並說明其所可能遭遇的問題及解決的方法。

一、發射器架構 (Transmitter Architectures)

一般的發射器多採用正交式架構來調變傳輸訊號如圖四所示。首先，先將訊號分成同相訊號(Inphase Signal)與90°相移訊號(Quadrature Signal)。再經由兩路的（分別為 I、Q兩路）數位類比轉換器將數位訊號轉變成類比訊號，之後再經過低通濾波器(Low-Pass Filter)將多餘的高頻訊號（因數位取樣所造成的高頻訊號複製現象）給去除掉，最後再經由一組正交混頻器(Mixer)把訊號載到射頻上。採用此種方法，需要兩個 DAC、混頻器及低通

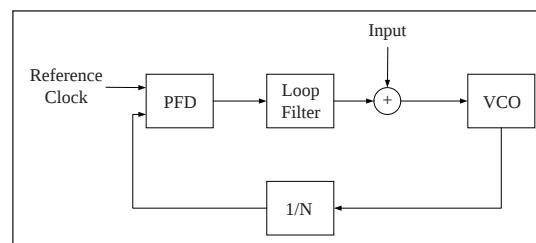


▲圖四 正交(Quadrature)式調變

率濾波器，所以其所花費的硬體成本較高；相對的，所消耗的功率也較多。

不過，由於此類技術較為成熟，再加上藍芽新的版本採用 DQPSK (2Mbits/sec)以及8DPSK (3Mbits/sec)調變方式，需要採用此種正交架構。因此，幾乎所有的設計廠商都採用此種架構。

藍芽目前正式公告的1.2版本是採用GFSK的調變方式，由於此種調變的振幅是維持不變的(Constant Envelope)，所以可以用直接調變振盪器(Direct Modulation of VCO)的方式來實現，如圖五所示。此種方式是利用鎖相迴路(Phase-Locked Loop; PLL)將震盪器鎖定在所要操作的頻率上，之後再將GFSK的訊號由振盪器的Varactor端輸入，以此來產生射頻的訊號。相較於正交式調變架構，此種直接調變所用振盪器的線性度(Linearity)必須要非常的好。除此之外，由Varactor端輸入，整個系統對輸入訊號而言是一個高通濾波(High-Pass)的效應，所以會對低頻的輸入訊號造成傷害。為了解決

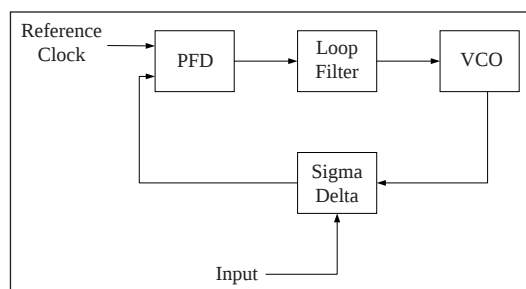


▲圖五 振盪器直接調變(Direct Modulation of VCO)

此類問題，有人就採用Sigma-Delta調變的方式（如圖六所示），來避免上述的高通濾波效應。但是由迴路中輸入訊號，訊號會通過鎖相迴路中的低通濾波器，進而使得較高頻的輸入訊號受到壓抑。因此，此種架構的傳輸速率就受限於鎖相迴路中濾波器的頻寬大小，通常只能到達幾百Kbits 的速率。倘若要提高傳輸速率達到藍芽系統的要求，則需加入一個補償電路，用以補償迴路低通濾波器所造成的速率限制。由於此種補償電路必須匹配迴路低通濾波器來設計，只要此濾波器有所變動就會影響傳輸速率。雖然Sigma-Delta調變的架構較為簡單，相對的所需功率也較少；但其對振盪器線性度的要求及補償電路匹配的限制，再加上版本相容的考量（DQPSK與8DPSK無法採用此種架構），使大多數的藍芽晶片都採用正交式發射架構。

二、接收器架構 (Receiver Architectures)

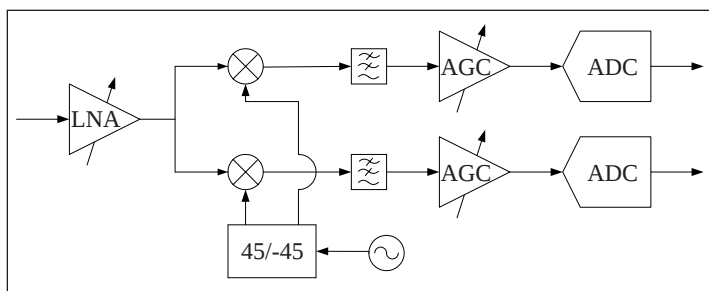
在接收器方面，常用的架構可分



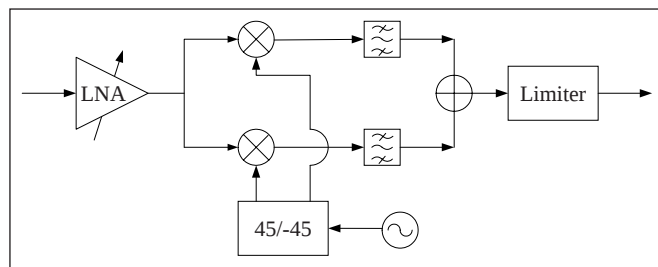
▲圖六 Sigma-Delta調變

為零中頻(Zero-IF)與低中頻(Low-IF)兩種架構。其中，零中頻降頻架構（如圖七所示）是利用混頻器將接收的射頻訊號直接降頻至基頻(Baseband)。在此種架構中，可以用簡單的低通濾波器來壓抑鄰頻的干擾(Adjacent Channel Interference; ACI)，達到選擇通道(Channel Selection)的目的。之後再經由類比數位轉換器(ADC)將其轉換成數位訊號。由於是將訊號直接降至基頻，閃爍雜訊(Flicker Noise)所造成的影響就非常嚴重。此外，振盪器的溢漏(LO Leakage)會經由混頻器降至基頻，因而產生DC位移的現象。所以需要額外的電路來降低閃爍雜訊以及DC位移所造成的影響。

然而，在低中頻接收架構中（如圖八所示），接收器先將射頻訊號降頻至2~3MHz（以藍芽而言），經過帶通濾波器(Bandpass Filter)把鄰頻的干擾降低，最後由Limiter（相當於1-bit ADC）將其轉換成數位訊號，再由數位解調器將訊號解調出來。由於訊號是被降至2~3MHz，而上述的閃爍雜訊影響是隨著頻率降低而增大；因



▲圖七 Zero IF接收架構



▲圖八 Low IF接收架構

此，在此種架構中的影響就遠低於零中頻的架構。此外，DC位移的現象，也可以用交流耦合(AC Couple)方式將其消除（因為訊號集中在中頻，用交流耦合可以在不傷害訊號的情況下將DC消除）。雖然低中頻接收架構沒有DC位移與閃爍雜訊的干擾，但由於帶通濾波器是在 2~3MHz操作，倘使採用被動式(Passive)濾波器設計，所需的電容面積非常的大，不太可能做在晶片中。因此，在濾波器設計中多採用主動式(Active)濾波器設計；而在主動式設計中，則較需考慮到製程、溫度對其元件所產生的影響。至目前為止，大多數的藍芽設計廠商多採用低中頻的接收架構。

市場趨勢

藍芽在推廣之初之所以成為眾所矚目的焦點，主要是因為藍芽產品的價格低廉。再加上藍芽系統採用 2.4GHz的 ISM頻帶，不需頻率使用的許可就能在全球銷售。除此之外，Ericsson、Nokia、Motorola等手機大廠

也紛紛將藍芽系統納入手機的模組中，這也顯示出藍芽產品預期會有大量出貨的商機。

由於藍芽晶片的目標價格為五美元左右，採用 CMOS製程，將基頻與射頻整合在同一顆晶片是必然的趨勢。但是由於製造晶片的

良率無法有效的提高，以及產品之間互通性的問題，使得藍芽的市場一直無法突破。再加上802.11市場熱絡而產生的排擠效應，使得藍芽幾乎退出了無線通訊的市場。有鑑於此，藍芽SIG聯盟將產品彼此的互連列為重要的課題，並進一步推動互連性測試的程序，以確保產品間的互連機制；並考慮與 802.11的相容性，在1.2版標準中加入了適應性跳頻機制來解決彼此相互干擾的問題。

經過這幾年的努力，藍芽產品在2003年的全球出貨量已接近6000萬台的水準，2004年的每週出貨量更高達300萬台數量。這一波的產品多集中在手機與耳機(Headset)市場；與 802.11相互干擾的問題，隨著新版標準制定而解除，與PC連結的週邊產品可能是藍芽下一波鎖定的市場。