

# 頻寬與寬頻

魏學文

國立暨南國際大學 電機工程學系教授

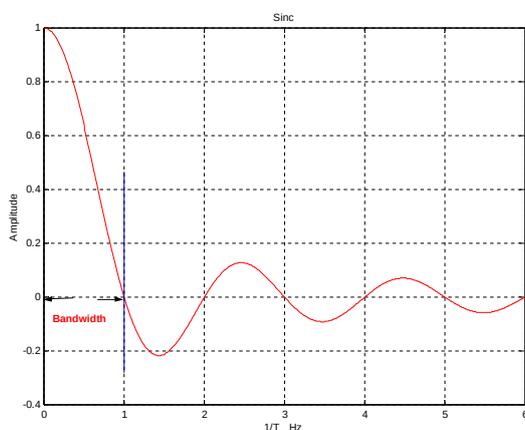
[will@ncnu.edu.tw](mailto:will@ncnu.edu.tw)

和我們生活關係密切的通訊服務與通訊產品中，目前正流行著“寬頻”的口號，不管是服務或產品要賣得好非得是寬頻不可。例如上網現在要用寬頻 ADSL 或寬頻 cable modem 才能跟得上時代。在無線通訊方面則要無線區域網路或是第三代行動電話才夠寬頻，才能寬頻無線上網。所以為了跟上時代，實有必要介紹一下何謂“寬頻”讓各位同學增長一下見識。敝人常自稱是通訊專長的老師，原以為寫篇這樣的文章乃是 piece cake 小事一樁。結果，找遍通訊教科書竟然沒有找到“寬頻”一詞的定義。不得已只好從一些通訊辭典或技術文件中著手，結果卻發現大家採用的解釋也都各自不同。這時才發現原來在通訊界中，寬頻一辭是沒有嚴謹定義的。

既然寬頻並沒有一個數學上或非常嚴謹的定義。那我們只好退求其次至少介紹一下「何謂寬頻」的這個觀念。而如果從觀念的角度來看，則我個人覺得最好的字面解釋就是：所謂寬頻通訊系統即是指頻寬很寬的通訊系統。所以要各位同學了解寬頻的第一步應該就要先介紹何謂「頻寬」。再回去翻開教科書，挫折感再加一層，原來頻寬的定義也沒有一致，常用的定義就有 5,6 種之多，例如 3dB 頻寬、Null-to-null 頻寬、rms 頻寬，等效雜訊頻寬、p% 頻寬等等各式各樣的不同定義。並且在通訊領域中要求一個系統的信號頻寬常常是非常困難的，因為計算信號頻寬之前需要先計算所謂功率頻譜密度(power spectral density, 簡稱 PSD)，而計算一個通訊系統的信號功率頻譜密度又需要用到“隨機過程”的數學，這在一般學通訊的學生大概也是陣亡的居多。因此我建議先不要太貪心要去完全知道信號頻寬如何計算。在此我介紹一個較簡單的頻寬估算方法也是足夠我們去了解寬頻的觀念。

通常一個通訊系統的頻寬是和其符元(Symbol)寬度有很大的關係（在此你可以先假設位元就是符元的一種），如果假設一個符元是一個寬度為 T 秒的方波，則我

們可以對此方波作傅利葉(Fourier)轉換而得到一個所謂 Sinc 的形狀。這裡傅利葉轉換是通訊上常用的工具，用來將時域的信號轉成頻域響應。而所謂的 sinc 函數的定義是一個簡單的數學式子（我們大可不管這個式子）

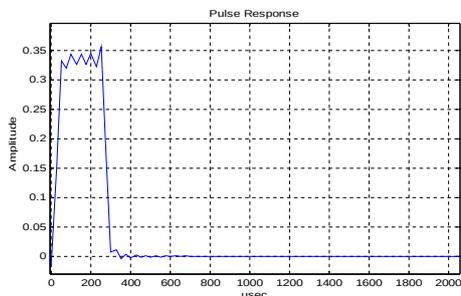


圖一：Sinc(x)= sin $\pi$ x/ $\pi$ x

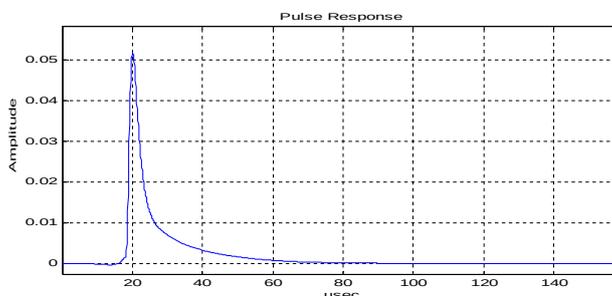
把這個式子畫出即可得到到圖一的 Sinc 形狀。從圖一的形狀可以看到它第一個發生 0 的位置正好就在 1/T 的位置，這個零點即稱為 null。因此就此例而言，1/T 就是一個 Null-to-null 頻寬的定義值。null 頻寬是一般通訊系統求頻寬常用的定義（至於其它頻寬定義在此恕不再介紹）。當然如果符元不是方波，則算出來的 Null 頻寬不一定是 1/T，不過依我們的經驗通常頻寬會在 1/2T 到 1/T 之間。這裡為了簡單起見我們就以 1/T 作為頻寬估計值。1/T 也被稱為符元率 (symbol rate)，因為一個 symbol T 秒，則 1/T 表示每秒有多少 symbols。以寬頻 ADSL 為例，它是由 256 個並列訊號所合成的，每一個訊號的 symbol rate 為 4k，故整個 ADSL 信號的頻寬就應該是 4KHz\*256=1.024MHz（這個值其實就是 ADSL 的真正頻寬）。

接下來我們來解釋在何種條件下可以稱一個信號（或系統）的頻寬很寬，即可以稱之為寬頻。容我再以 ADSL 和一般傳統撥號數據機(voice modem) 為例，一般撥接數據機的頻寬小於 4KHz，因此我如果用一個方波，其寬度 T=1/4K=250us，把這個方波送進一條長 4 公里的電話線上，由圖二(a)可以發現在 4 公里外看到的大致還是一個方波，不會有多少的失真。但是如果把方波的寬度改成 1/1MHz=1us 時，同樣在 4 公里電話線上所量到的波形將變成如圖二(b)所示。不但完全看不到方波的原來形狀，且它的波形被擴散(dispersive)成幾佰個符元的寬度。在這樣嚴重的失真情況下，如果還要達成傳輸信號不失真的目的，整個系統將必須加入許多的信號

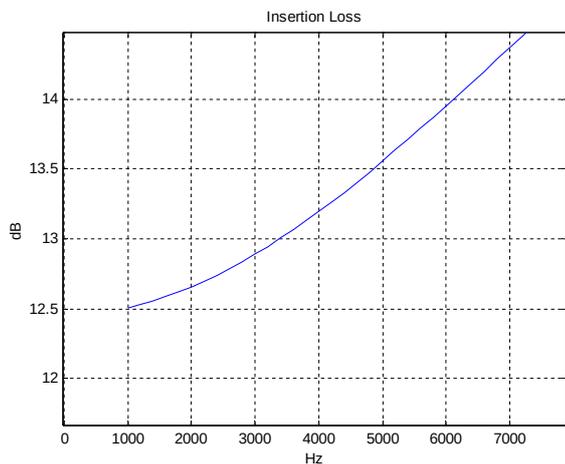
處理技術(如等化器、新的調變架構等),這使得整個傳輸系統變得非常複雜。所以我可以說 voice modem 不是寬頻通訊系統但是 ADSL 是寬頻通訊系統。這就是個人對於寬頻的見解:「當一個傳輸系統的信號頻寬大於傳輸通道所能負荷的頻寬時即可稱為寬頻通訊系統」。



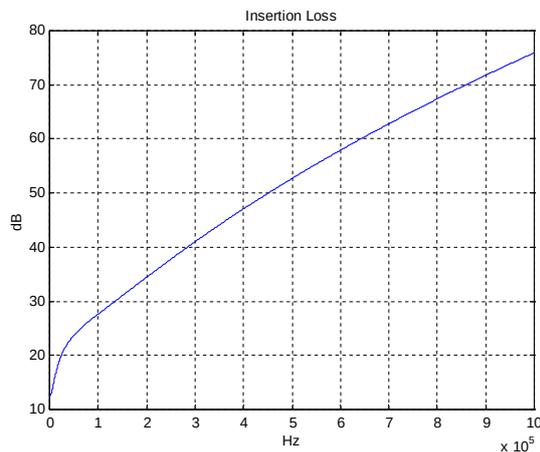
圖二(a)



圖二(b)



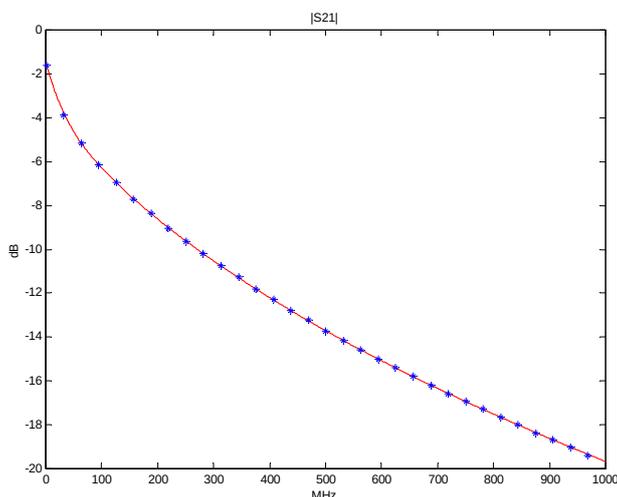
圖三(a)



圖三(b)

要看傳輸通道是否超過負荷除了從時域來看之外,也可以從頻域來看。圖三是4公里電話線的頻域響應(較正確的名詞是插入損失,insertion loss),圖三(a)是圖三(b)在4KHz附近的放大圖,可以看出以4KHz頻寬來看其變化程度不到1dB,但是如果以圖三(B)的1MHz頻寬來看則其變化程度可以高達60dB(即100倍)以上。因此當傳輸通道的頻域響應若在信號頻寬範圍內變化很大的話,即是超過負荷,此時即可稱為寬頻。我們再來看 cable modem 的例子,圖四是同軸電纜的頻域衰減值,若以 cable modem 數據機的6MHz頻寬來看其變化只有數 dB,不太夠格稱為寬頻,但是因為 cable modem 的整個系統可以包含許多的 channels,整個系統的頻寬可以高達800MHz以上,根據圖四我們就可稱它為是寬頻通訊系統。亦即當一個通訊系

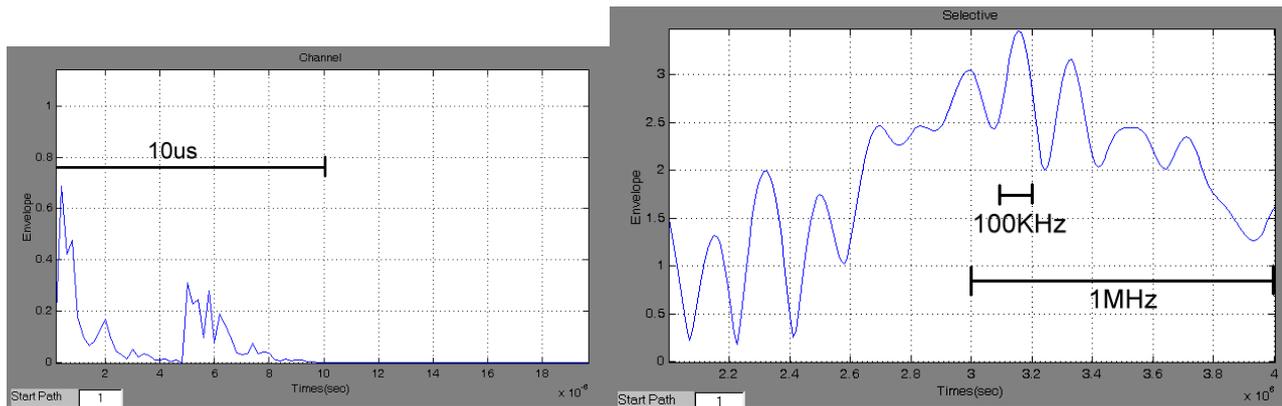
統利用多工技術使得其系統頻寬超過傳輸通道的負荷就可稱它為寬頻通訊系統。在有線傳輸領域中最好的傳輸介質就是光纖電纜了，光纖的衰減損失幾乎可以忽略因此在光纖系統中傳送個幾 Gbps (1Gbps 即  $10^9$  位元每秒，約相當 1GHz 頻寬) 也很難稱為寬頻。不過由於幾個 Gbps 的電子信號交換或處理在現今的技術也已經很難處理，因此目前光纖通訊無法傳送更高頻寬信號的瓶頸常常是在傳收機的電子設備 (例如 ADM) 部份而不是因為光纖。目前有一種新的技術利用不同波長 (即不同色光) 來達到多 channel (即多工) 的目的，稱之為高密度波長多工光纖系統 (Dense Wavelength Division Multiplexing, 簡稱 DWDM) 即可達到所謂的寬頻光纖系統。從這個角度來看，個人覺得當傳送位元率超過了訊號處理的負擔應該也可以稱為寬頻吧。



圖四

而在無線傳輸環境中，現在使用中的第二代行動通訊系統 (GPRS 一般稱為第 2.5 代)、馬上來臨的第三代行動通訊系統和無線區域迴路 (讓 Notebook 可以無線寬頻上網) 都將和我們未來的日常生活關係密切。無線傳輸通道的特性通常由所謂的多路徑 (Multi-path) 所決定。在行動通訊中，信號的傳送路徑常常會被建築物或人車等物所阻隔，使得信號發生反射 (reflection)、繞射 (diffraction)、和散射 (scattering) 等現象，因此信號會以多於一個以上的路徑到達接收端，而形成多路徑傳播的現象。圖五(a)所示是一個典型的例子，以此例言其多路徑產生的擴散有 10 微秒長度。顯然除非信號的寬度  $T$  要比 10 微秒小很多，否則當信號的寬度  $T$  比 Multi-path 的擴散長度小時一定會有嚴重的失真便變形發生，故當信號的寬度  $T$  比 Multi-path 的擴

散長度小時即可稱為寬頻。圖五(b)是圖五(a)的頻率響應，10微秒的倒數是為100KHz，由圖五(b)可以看出當信號的頻寬比100KHz小很多時，其頻域強度變化只有數dB，不太夠格稱為寬頻。當信號的頻寬比100KHz大很多時，例如1MHz的寬度，則其頻域響應會有大幅變化(我們的術語稱之為 Frequency selective fading)。故當一個無線通訊系統的頻寬大到 Frequency selective fading 發生時，此時即可稱之為寬頻通信。



圖五(a)

圖五(b)

以上是個人基於對通訊涉獵的心得所提出的個人見解。既然寬頻一詞很難給一個嚴謹的定義，本文只是希望能讓同學對於寬頻的真正概念能有較清楚的認識。歡迎其他通訊專家先進也能提出更好的見解或指正。

再者，您知道寬頻一詞在英文裡有 broadband 與 wideband 兩個字嗎？您認為這兩個字的定義有何不同？

【附註】以下是一些較具公信力單位對寬頻和頻寬所下的定義：

- [ATM Forum](#)

**Broadband:** A service or system requiring transmission channels capable of supporting rates greater than the Integrated Services Digital Network (ISDN) primary rate.

- [Merriam-Webster's Dictionary](#)

**Broadband:**

1 : operating at, responsive to, or comprising a wide band of frequencies <a *broadband* radio antenna>

2 : of, relating to, or being a communications network in which a frequency range is divided into multiple independent channels for simultaneous transmission of signals (as voice, data, or video)

- [ITU](#)

**Bandwidth:** The range of frequencies available to be occupied by signals. In analogue systems it is measured in terms of Hertz (Hz) and in digital systems in bit/s per second (bit/s). The higher the bandwidth, the greater the amount of information that can be transmitted in a given time. High bandwidth channels are referred to as **broadband** which typically means 1.5/2.0 Mbit/s or higher.

- [Federal Standard 1037C](#) (美國)

**wideband:** **1.** The property of any [communications facility](#), equipment, [channel](#), or [system](#) in which the range of frequencies used for [transmission](#) is greater than 0.1 % of the midband [frequency](#). (188) *Note: "Wideband" has many meanings depending upon application. "Wideband" is often used to distinguish it from "narrowband," where both terms are subjectively defined relative to the implied context.* **2.** In [communications security](#) systems, a [bandwidth](#) exceeding that of a nominal 4-kHz [telephone](#) channel. (188) [[From Weik '89](#)] **3.** The property of a [circuit](#) that has a bandwidth wider than normal for the type of circuit, frequency of [operation](#), or type of [modulation](#). **4.** In [telephony](#), the property of a circuit that has a bandwidth greater than 4 kHz. (188) **5.** Pertaining to a [signal](#) that occupies a broad [frequency](#) spectrum. *Synonym broadband.* [[From Weik '89](#)]