

第二章 實體層

各種傳輸媒介的特性與其應用範圍、訊號方式、編碼技巧、基頻和寬頻傳輸、以及光纖通訊等技術。

2-1 實體層簡介

電腦之間要傳輸訊息，必須透過實體連線（無論有線或無線傳輸）的銜接，將資料轉換成訊號傳遞給對方；而對方接收到訊號後，則須再轉換回原來資料。在這裡面牽涉到：傳輸媒介的規範、資料如何轉換成訊號（訊號方式）、訊號電位水準、訊號如何在傳輸媒介上傳送（傳輸技術）、傳輸媒介的多工技術、甚至接續端子的規範等等，都是『**實體層**』（**Physical Layer**）必須負責定義的。

各種網路為了配合它所提供的特殊功能或環境需求，對所屬的實體層都有特別規範，希望製造商能依照這些規範製造網路產品，使不同廠商所生產的網路都能互相連接。例如，Ethernet 網路採用曼特斯特編碼、Fast Ethernet 網路採用 8B/6T 編碼、FDDI 採用 4B/5B 編碼。本章先介紹實體層的相關技術，而其他特殊技術則會在使用到的章節裡另外介紹。

2-2 傳輸媒介的種類

『**傳輸媒介**』（**Transmission Medium**）的選擇除了考慮環境因素之外，傳輸速率和網路的可靠性也算是決定性的因素，以下介紹一般常用的傳輸媒介及其特性。

2-2-1 雙絞線

『**雙絞線**』（**Twisted Pair**）為表示有兩條導線絞絆在一起並互相絕緣。在一條絞線電纜（Cable）裡可能包含有 4~2000 對的雙絞線。雙絞線為目前使用最普遍的傳輸媒介，它是電話網路主要連線，價格最便宜、佈線也較簡單。一般建築物都有預留電話管線，如果能利用這些管線來佈放網路連線，便可以節省不少費用。也就是這樣，目前 ADSL 使用原來電話線路來連接網路，使網路的普及率快速提高。其特性如下：

- (1) 雙絞線是利用電流傳導來傳遞訊號，容易受電磁波干擾。
- (2) 又可分為『**遮蔽式雙絞線**』(Shielded Twisted Pair, STP)和『**無遮蔽式雙絞線**』(Unshielded Twisted Pair, UTP)，其中 STP 電纜的外殼因有銅網或銅箔環繞保護，較不易受外來電磁波干擾，但因線體比較僵硬，所以不容易佈線，且價格也較昂貴，一般網路上都採用 150 歐姆阻抗的纜線規格。UTP 纜線因為沒有銅網保護，同一電纜內可包裝較多對雙絞線，佈線較容易，價格也較便宜。
- (3) UTP 依其銅導體的蕊心大小，又區分為若干個級數，常用的有第三級 (Category 3, **Cat-3 UTP**) 和第五級 (Category-5, Cat-5 UTP) 兩種。Cat-3 UTP 適用於 10 Mbps 的傳輸，而 **Cat-5 UTP** 則可用於 100 或 1000 Mbps 的網路。
- (4) 因其使用電流傳遞訊號，比較適合於點對點 (Point-to-point) 的傳輸。
- (5) 寬頻載波傳輸可達 1000~2000 公尺，如電話網路及 ADSL 網路等。
- (6) 基頻之數位傳輸一般都限制在 100 公尺以內，如 10BaseT 及 100BaseT 的 Ethernet 等。

2-2-2 同軸電纜

『**同軸電纜**』(Coaxial Cable)包含內外兩層導體，中間則為絕緣的材料，如圖 2-1 所示，可區分為 50 歐姆和 75 歐姆兩種阻抗規格。值得一提的是電纜阻抗大小和電纜粗細無關，而與構造有關 (如材質、內外徑比例...等)。電纜較粗者可傳送較遠距離、承載頻寬也較高；電纜較細者傳送距離較近、傳輸頻寬也較低。其特性如下：

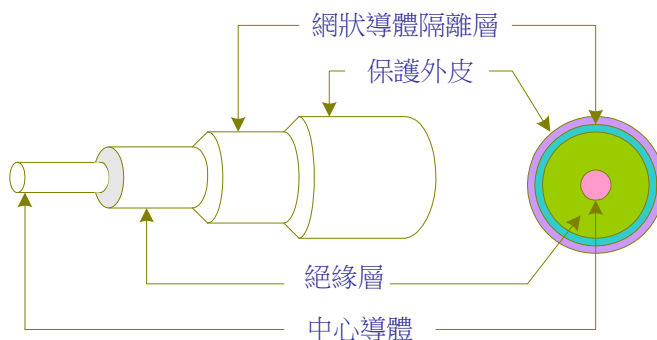


圖 2-1 同軸電纜結構圖

- (1) 50 歐姆電纜用來傳送『基頻』(**Baseband**) 的數位訊號，傳輸速率大約為 10 ~ 100Mbps，傳輸的範圍大約為數公里 (連線距離依照纜線粗細而定，一般規範為 2.5 公里)，可接 100 部以上電腦。
- (2) 75 歐姆電纜用來傳送『寬頻』(**broadband**) 的類比訊號，頻寬約為 300~750 MHz，平均每個頻道頻寬為 6 MHz，平均每個頻道傳輸速率為 20 Mbps，傳輸的範圍大約為數公里 (如 CATV 網路最遠可達 80 公里)，可接 500 部以上電腦。
- (3) 利用電波傳遞訊號，容易被其它電磁波訊號干擾。
- (4) 較適合廣播傳輸模式 (如 Ethernet 網路)。同軸電腦是利用電波傳遞，在網路上任何一點都可利用感應讀取或傳送訊息，因此較適合廣播網路。
- (5) 目前寬頻網路已有許多是佈放同軸電纜，如『有線電視網路』(**Cable Television, CATV**)，可結合有線電視廣播和雙向數據傳輸，不但傳輸速率高，而且價錢比 ATM 網路便宜。

2-2-3 光纖纜線

『光纖纜線』(**Optical Fiber**) 為目前骨幹網路的主要傳輸媒介，不但有較高的承載量，而且可傳輸較遠的距離。如圖 2-2 所示，一條光纖電纜裡可包含數十條緊密光纖導管組，一般每一條導管組是由 4 條緊貼在一起的光纖導管組組成。光纖纜線外圍也有保護層，從外表來看非常類似同軸電纜。光纖所傳遞的是光的訊號，因此必須有光源。常見的光源有兩種：發光二極體 (LED) 和雷射二極體 (Laser)。其特性如下：

- (1) 發光二極體 (LED) 的光源發射器和接收器較為便宜，大都配合多模 (Multi-mode) 光纖使用，價錢較便宜，傳輸距離也較近，大約在 1000 公尺以內。
- (2) 雷射二極體 (Laser Diode) 的光源發射器和接收器較昂貴，一般都配合單模 (Single-mode) 光纖使用，傳輸距離可達數十公里。
- (3) 光的傳遞不會受到電磁波影響，可佈放較惡劣的環境，甚至可以和高壓電纜佈放在一起。

- (4) 光纖類似中空導管 (Pipe)，光訊號在中空導管中傳送就宛如水在水管中流動一樣，如果管道彎曲角度過大，將會影響光訊號的流動。因此，在光纖纜線內都有較硬的中心主幹，預防纜線過分彎曲。
- (5) 基本上光是類比訊號 (某一頻譜上的光)，無論類比訊號或數位訊號都必須經過光電轉換器，將電流轉換成光訊號，或將光轉換成電流訊號。
- (6) 光的傳送較適合點對點 (Point-to-Point) 的傳輸。

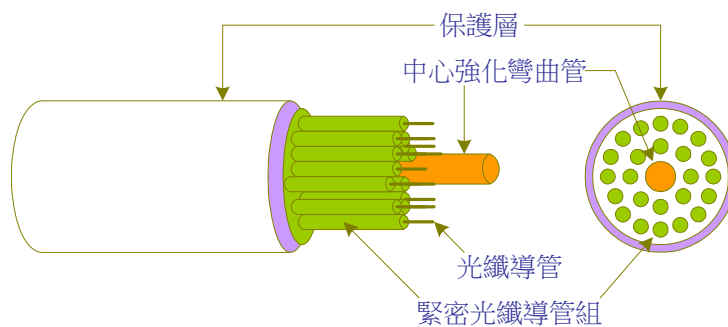


圖 2-2 光纖纜線結構圖

2-2-4 無線傳輸

能將網路延伸得更無遠弗屆的是『無線傳輸』(**Wireless**)，不論行動電話的連線、或無線區域網路的连接，都能使網路更加方便，而將整個電腦網路範圍擴展到任何角落，因此，政府也將無線網路列為國家重點科技項目之一，以下介紹幾種無線傳輸 (有關無線網路的傳輸技術將在第十五章詳細說明)：

(A) 無線電廣播 (**Radio**)

無線電傳輸可分為兩種：一種為定點式無線電網路，例如固定在某一範圍內的無線區域網路、或數位家庭所連結的生活電器用品等；另一種為移動式無線網路，如目前幾近人手一機的行動電話，在可見的未來，也會透過更新的技術，連結掌上型電腦、筆記型電腦、或汽車全球定位系統等等，實現行動生活的理想。

(B) 微波 (**Microwave**)

使用比無線電廣播更高的頻率來通訊。通常國際長途電話會使用微波並利用衛星來轉接。

(C) 紅外線 (Infrared)

遙控器即是使用紅外線來傳資料。目前印表機及手提電腦均有內建紅外線通訊介面。

(D) 雷射 (Laser)

除了在光纖上傳送外，也可在空中傳送。通常應用在建築物之間網路的連線使用。

2-2-5 傳輸媒介的選擇

雙絞線、同軸電纜和光纖等三種纜線是有線網路的主要傳輸媒介，表 2-1 為三種纜線的特性比較。對於在哪種環境下比較適合使用哪種纜線，我們必須考慮下列因素：

表 2-1 三種纜線特性比較

	雙絞線	同軸電纜	光 纖
傳輸訊號	電流訊號	電波訊號	光訊號
連接方式	電流導通	電波感應	感光

- (1) **通訊協定**：各種通訊協定在傳輸媒介上發送訊號可區分為廣播傳輸 (Broadcast) 和點對點傳輸 (Point-to-Point) 等兩種方式。同軸電纜比較適合廣播傳輸 (如 Ethernet 網路)，而光纖比較適合點對點的傳輸 (如 Token-Ring 網路)，雙絞線一般都使用於使用者端的點對點連線。
- (2) **資料傳輸量**：對於傳輸量較高且距離較遠的傳輸骨幹 (Backbone)，則會使用光纖纜線或同軸電纜，至於使用者端或近距離的傳輸，則使用雙絞線 (Cat-5 UTP 或 STP)。
- (3) **可靠度**：網路可靠度高，表示訊號在傳送當中不容易受到外來雜訊干擾，或纜線之間所產生的『串音』。所以對於傳輸品質要求較高的傳輸線，不妨考慮使用光纖。
- (4) **鋪設環境**：一般在室外佈放光纖纜線較理想，室內可考慮其他纜線。對於環境較惡劣的環境也必須使用光纖。

2-3 數據傳輸的相關技術

『**數據傳輸**』(**Data Transmission**) 技術的主要議題是如何將資料透過媒介的傳輸，並能讓對方能完全可靠的接收到該資料。其中必須考慮到通訊雙方的時脈是否完全相同，此即『**同步問題**』；如何將電腦內所儲存的資料 (ASCII 或 Big-5 碼) 轉換成電氣訊號，才能夠在傳輸線上傳送，這就是『**編碼技術**』；訊號在網路上是以『**數位訊號**』或『**類比訊號**』來傳送？不同的訊號方式，網路上的存取技術也不一樣，這要談到『**傳輸技術**』；網路上的傳輸媒介非常昂貴，如何充分利用媒介傳輸，而不至於讓媒介有太長的空間時間？這就牽涉到所謂的『**多工技術**』。以下幾節便分別來探討上述各項資料傳輸技術，各種傳輸技術都有它適用的領域。

數據傳輸技術所討論的主要內容是如何將資料既安全又快速的傳送到對方，首先我們必須考慮到三個主要問題：(1) 資料的本質是數位資料或類比資料？(2) 欲將資料轉換成數位訊號或類比訊號？(3) 欲將訊號透過寬頻網路或基頻網路傳送？圖 2-3 所示為數據傳輸的相關技術，分別敘述如下：

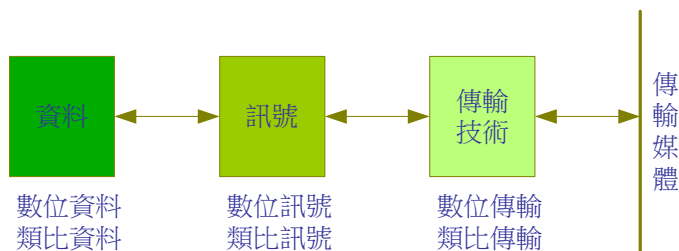


圖 2-3 數據傳輸的相關技術

2-3-1 資料

『**資料**』(**Data**) 就是想要傳送的內涵 (Content)，也是傳送訊息的主體，可區分為『**類比資料**』和『**數位資料**』兩大類。類比資料在任何時段裡都是連續性，例如聲音和影像利用強度高低的連續性來辨識，類比資料一般都是由感應器 (Sensor) 來收集，如麥克風、溫度感應器等等。數位資料最常見的是文字和圖形。它們無法被直接儲存、處理或在通訊系統中傳遞，因此必須使用編碼方法將文字或圖形轉換成一連串的 0 與 1 的位元表示，才能夠直接儲存或做其他處理。最常用的是『**美國標準資訊交換碼**』(**American Standard Code for Information Interchange, ASCII**) 和中文使用的 Big-5 碼。

2-3-2 訊號

『訊號』(**Signal**) 表示放在傳輸媒介上的訊息，可區分為數位訊號和類比訊號。數位訊號是由非連續性的 (Discrete) 脈衝訊號傳送，例如在一串列的脈衝訊號中，固定以正電位和負電位分別表示二進位中的 0 和 1，如圖 2-4 所示。類比訊號是連續性的 (Continuous) 電流 (或電波) 變化，依照其頻譜不同，可在不同的傳輸介質上傳送。

2-3-2 訊號方式

『訊號方式』(**Signaling**) 是表示將資料轉換成訊號的格式。從字義上來看，類比訊號應該就是用來表示類比資料，而數位訊號則可用來表示數位資料；類比資料是連續的時間函數，在有限的頻譜中，類比資料非常適合以電磁訊號表示；數位資料則可以用不同電位的二進位數位訊號來表示，資料的單位為位元。但事實上並非完全這樣，其實我們也可將數位資料轉換成類比或數位訊號，或是將類比資料轉換成數位或類比訊號，如圖 2-4 所示。

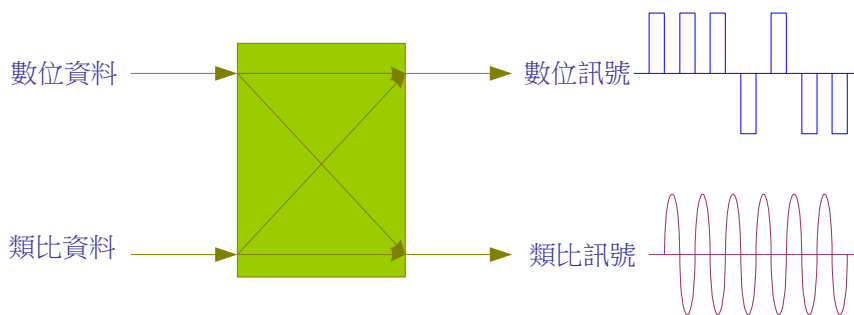


圖 2-4 訊號方式

因此，在訊號方式，可區分為以下四種技術：(容後分別介紹)

- (a) 數位資料以數位訊號表示。
- (b) 數位資料以類比訊號表示。
- (c) 類比資料以數位訊號表示。
- (d) 類比資料以類比訊號表示。

2-3-4 傳輸技術

不論類比訊號或數位訊號都必須發送到傳輸線路上傳送，傳送線路的『傳輸技術』(**Transmission Techniques**) 可分為兩大類：『基頻傳輸』(**Baseband**) 和『寬頻傳輸』

(**Broadband**)，如圖 2-5 所示。基本上，在傳輸媒介上傳遞數位訊號採用基頻傳輸；而傳遞類比訊號則為寬頻傳輸。

以下幾小節分別介紹數據傳輸的相關技術，這些技術將會出現在各種網路之中，另外有些較特殊的傳輸技術（如無線傳輸）也會在相關章節裡介紹。

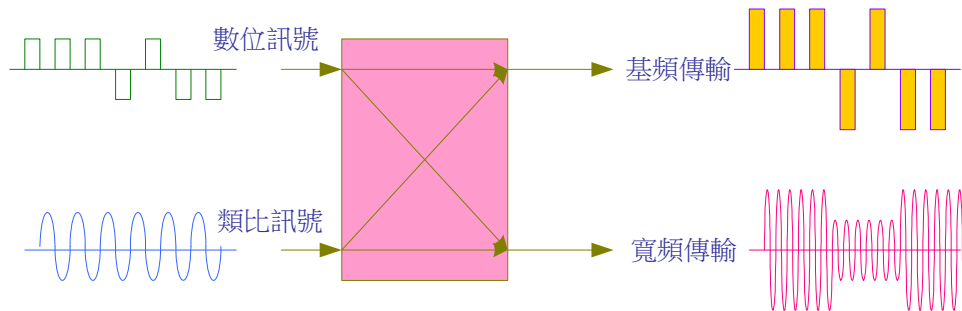


圖 2-5 傳輸技術

2-4 數位資料與數位訊號

傳送端將數位資料轉換成數位訊號稱之為『編碼』(**Encoding**)，編碼設備稱為『編碼器』(**Encoder**)。編碼後的訊號透過傳輸媒介送出，接收端於接收到訊號後，再將之『解碼』(**Decoding**)回原來資料，該設備稱為『解碼器』(**Decoder**)。一般電腦都具有傳送及接收功能，執行此功能的設備就是『編碼解碼器』(**coder-decoder, codec**)，如圖 2-6 所示。

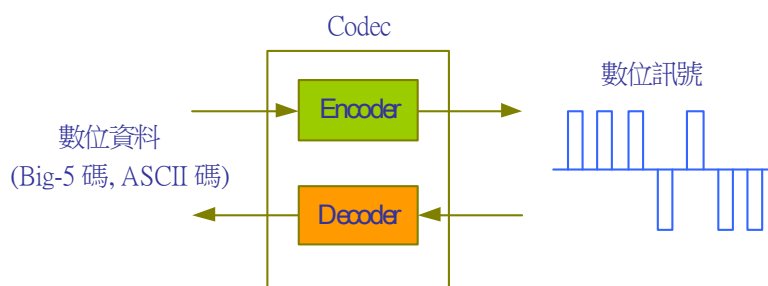


圖 2-6 編碼/解碼器 (Codec)

在數位編碼技巧上有兩大類的表示法，一是直接用脈衝 (**Pulse**) 訊號的高電位和低電位來表示二進位的 0 和 1，例如電報發送方式；另一則是利用脈衝訊號的變化情形 (高低電位的變化) 來表示二進位的 0 和 1，例如曼徹斯特編碼。圖 2-7 為網路上較常用的基本編碼技巧，以下分別述之 (其他較特殊的編碼技巧在各章節中介紹)：

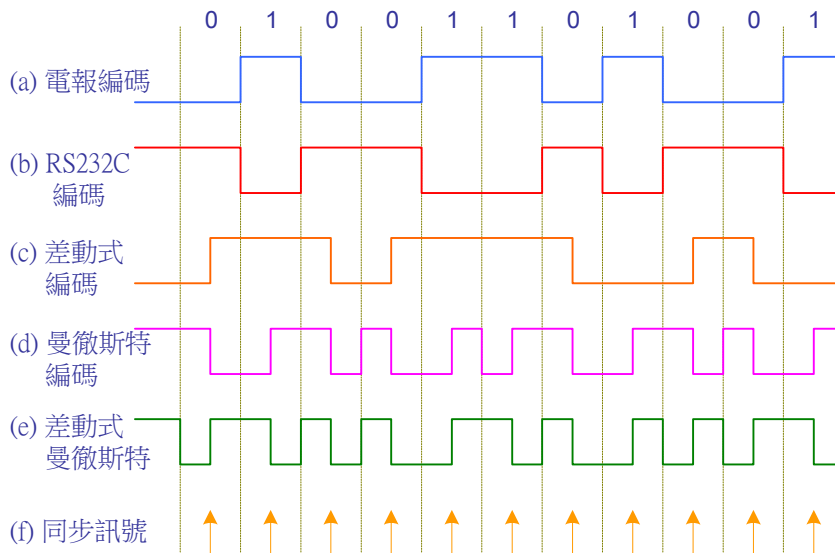


圖 2-7 各種編碼技巧範例

2-4-1 電報編碼

最早的編碼方式是應用在電報上的摩斯 (Morse) 碼。利用高電位來表示二進位中的 1；低電位表示 0。一般電報編碼除了應用在發送電報外，也使用於較近距離的傳輸，譬如主機電腦內資料的傳送，或機房內各設備之間資料的傳輸都是使用電報編碼。其主要編碼方式如下 (如圖 2-7 (a) 所示)：

(a) 高脈衝電壓代表 1、低脈衝電壓代表 0。

2-4-2 RS-232C 編碼

在較低速率、傳輸距離不是很遠的時候，最常用的是 RS-232C 編碼，它是由『**電子工業協會**』(**Electronic Industry Association, EIA**) 所制定的標準。此法採用最簡單的編碼方式，是以低電位為 1，高電位為 0，但如僅以此格式來編碼，並不利於遠距離傳輸；然而 RS-232C 編碼最大的特點是將 0 和 1 之間的電位加大，以 +12 伏特電壓表示 0；而 -12 伏特電壓表示 1，兩者之間相差 24 伏特。訊號差距 (Margin) 增加，可減少訊號偵測的誤差，因為傳輸距離越遠，訊號因纜線阻抗所造成的衰減越嚴重，原來訊號高低電位之間的差距就變得越小，可能會造成接收端偵測高低電位時的錯誤。RS-232C 編碼因為加大高低電位的壓差，因此傳輸距離可達 100 呎，主要應用於主機電腦和終端機之間的連線，如目前個人電腦上的滑鼠、數據機、鍵盤等等，其編碼方式如下 (如圖 2-7 (b))：

(a) 正電壓 (+12V) 代表 0。

(b) 負電壓 (-12V) 代表 1。

2-4-3 差動式零補差編碼

電報編碼和 RS-232C 編碼的編碼技巧都是依照本身位元 (0 或 1) 來決定電位的高低，和二進位字串中的前面任一位元無關，表示每一位元的編碼都是獨立的。而以下要介紹的幾種編碼技巧就不再具有獨立性，反之它的每一位元究竟是 0 是 1，都和前一個位元訊號的電位有關，『差動式零補差編碼』(**Differential Zero-Complemented Encoding**) 便是最好的範例。它是應用在高效率的控制程序線路上，例如 IBM 的 SDLC (Synchronous Data Link Control)；其編碼技巧是任何一個位元時間內只要有電位變化 (由高電位轉變至低電位或由低電位變化到高電位)，都表示 0；而一個位元時間內沒有電位變化，則代表 1。編碼方式如下 (如圖 2-7 ©)：

(a) 0：位元時間內電位由高電位變低電位，或由低電位變為高電位 (high → low 或 low → high)。

(b) 1：位元時間內無電位變化。

2-4-4 曼徹斯特編碼

『曼徹斯特編碼』(**Manchester Encoding**) (為紀念發明者曼徹斯特而命名) 的主要特性是無論二進位資料是 0 或 1，在每一個位元時間的中央一定有電位變化 (由高電位到低電位，或由低電位到高電位)，利用位元中間變化的情形來表示 1 或 0，其編碼如下：(如圖 2-7 (d))

(1) 0：位元中間由高電位變化到低電位 (high → low)。

(2) 1：位元中間由低電位變化到高電位 (low → high)。

曼徹斯特編碼的樣板應用是 Ethernet 網路上的訊號編碼，它的特點是每一位元中間都有變化，傳輸雙方可利用這個特性達到同步的功能 (下小節介紹)。但該特性也是缺點，因為每個位元都要有變化，表示頻寬必須是傳輸速率的兩倍。在目前的高速網路上，傳輸媒介的頻寬是非常珍貴的，為決定傳輸速率的主要因素之一，不可能再浪費在編碼技術上，因此曼徹斯特編碼並不適合於高速網路上使用。

2-4-5 差動式曼徹斯特編碼

『差動式曼徹斯特編碼』(**Differential Manchester Encoding**) 的主要特性和曼徹斯特相同，在每一位元時間的中間都有變化。但差動式曼徹斯特編碼除了位元中間有電位變化外，還利用位元的起始變化情形來表示二進位元中的 1 或 0，其編碼技巧如下 (如圖 2-7 (e)):

- (1) 在每一位元時間的中間都有電位變化 (high \rightarrow low 或 low \rightarrow high)。
- (2) **0** : 位元時間的起始有變化，起始時間可能由高電位轉換到低電位，或由低電位變化到高電位 (high \rightarrow low 或 low \rightarrow high)。
- (3) **1** : 位元的時間起始沒有變化。

2-5 數位資料與類比訊號

如果欲將數位資料以類比訊號表示，則必須將數位資料載入類比載波 (Carrier) 中。由載波訊號的變化來表示二進位之 0 或 1，基本上，有三種編碼技巧 (假設載波訊號為 $A\sin(2\pi fct)$):

- (1) 『**頻率偏移調變**』(**Frequency Shift Key Modulation, FSK**): 利用載波的頻率高低來區分二進位中的 0 或 1。例如用 $A\sin(2\pi f_1t)$ 表示 0 (f_1)，以另一個頻率 $A\sin(2\pi f_2t)$ 表示 1 (f_2)，如圖 2-8 (a) 所示。
- (2) 『**振幅偏移調變**』(**Amplitude Shift Key Modulation, ASK**): 利用載波訊號的振幅大小來表示二進位中的 0 和 1。例如以 $A_1\sin(2\pi ft)$ 表示 1； $A_2\sin(2\pi ft)$ 表示 0，如圖 2-8 (b) 所示。
- (3) 『**相位偏移調變**』(**Phase Shift Key Modulation, PSK**): 利用載波訊號相位的偏移量來表示二進位中的 0 和 1。例如以 $A\sin(2\pi fct + \theta_1)$ 表示 1；用 $A\sin(2\pi fct + \theta_2)$ 表示 0，如圖 2-8 (c) 所示。

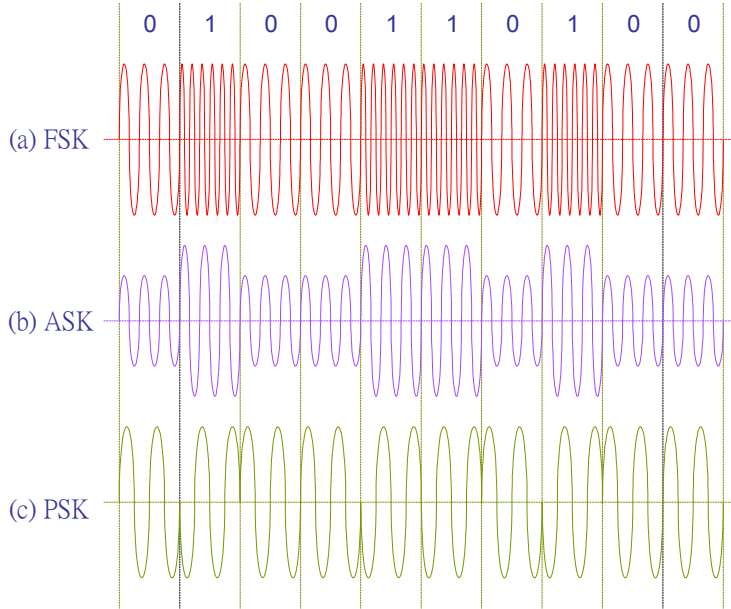


圖 2-8 FSK、ASK 與 PSK 編碼技巧

2-6類比資料與數位訊號

如何將連續性的類比資料以斷續性的數位訊號表示，首先必須將類比訊號取樣，取樣的頻率必須高過於原來訊號，一般至少需原來訊號的四倍以上才不會失真太嚴重。取樣後的訊號稱之為『脈衝振幅調變』(**Pulse Amplitude Modulation, PAM**)。再依照每一個 PAM 的電位大小以二進位表示，則產生一串列的數位訊號來表示原來的類比訊號，稱之為『脈衝編碼調變』(**Pulse Code Modulation, PCM**)。例如電話網路保證客戶聲音傳送範圍在 2KHz 以內，取樣頻率為 8KHz，PCM 以 8 位元來表示每一個 PAM 訊號的電位。取樣頻率愈高，失真就愈低；同樣地，表示資料位元的長度愈長，失真也愈低。PCM 編碼處理程序如圖 2-9 所示。

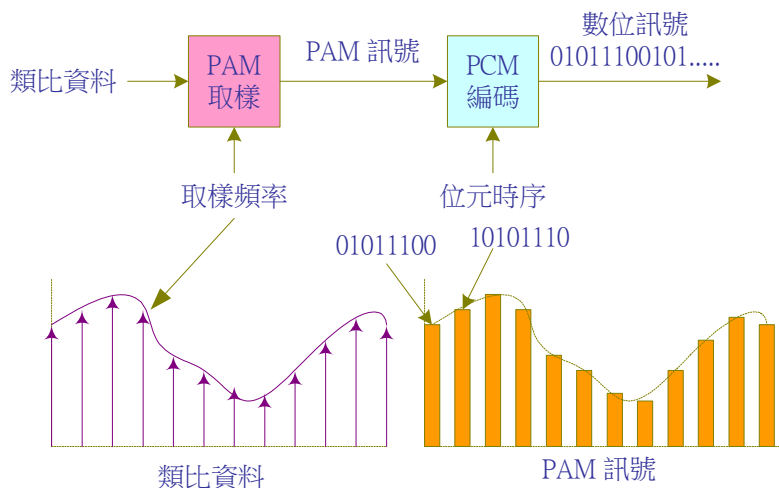


圖 2-9 PCM 編碼處理

2-7 類比資料與類比訊號

類比資料以類比訊號表示，在傳輸技術中歷史最悠久，一般收音機和電視機都採用此技術。它的基本原理是將傳輸訊號 ($x(t)$ ，如圖 2-10 (b)) 調變到載波訊號 ($\cos 2\pi fct$ ，如圖 2-10 (a)) 上，依照調變方式可分為：

- (1) 『振幅調變』(**Amplitude Modulation, AM**)：將傳輸訊號調變到載波訊號的振幅上，亦即載波訊號的振幅大小是依照傳輸訊號的電位高低來變化，如圖 2-10 (c) 所示。發送訊號 $s(t) = [1+nax(t)] \cos 2\pi fct$ ，其中 na 表示調變指數。
- (2) 『頻率調變』(**Frequency Modulation, FM**)：表示將傳輸訊號調變到載波訊號的頻率上，亦即載波訊號的傳送頻率是依照傳輸訊號的電位來改變，如圖 2-10 (d) 所示。發送訊號 $s(t) = \cos [2\pi fct + nfx(t)]$ ，其中 nf 為調頻調變指數。
- (3) 『相位調變』(**Phase Modulation, PM**)：也就是，載波訊號之傳送頻率的角度是隨著傳送訊號的電位來變化，如圖 2-10 (e) 所示。經過調變後的發送訊號為 $s(t) = \cos [2\pi fct + npx(t)]$ ，其中 np 為相位調變指數。

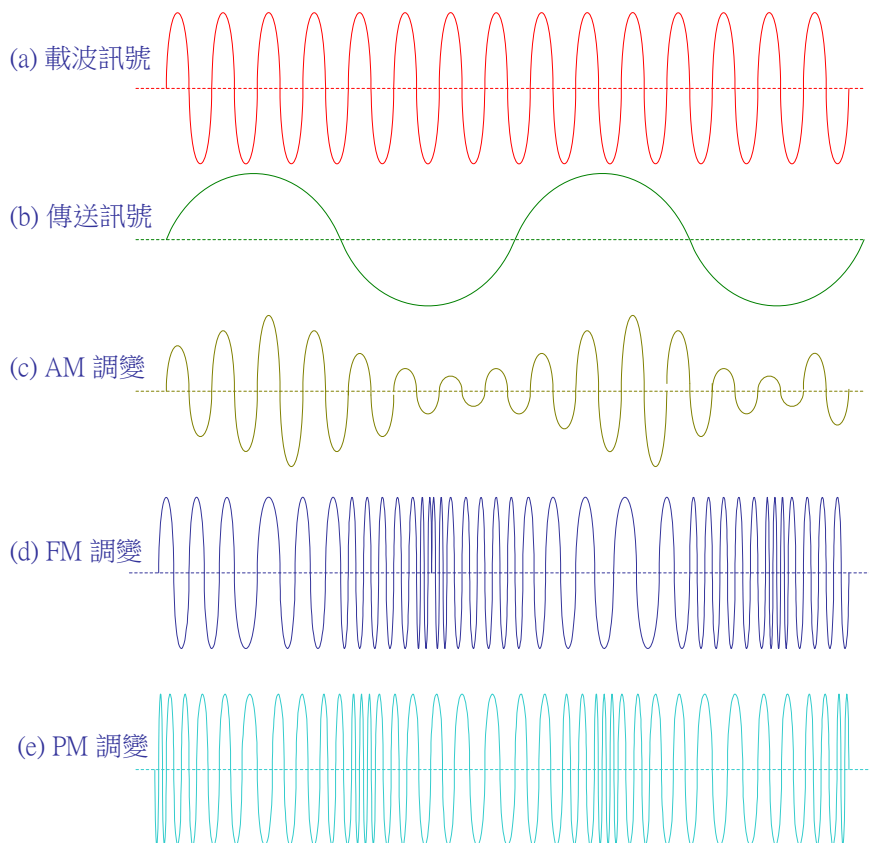


圖 2-10 AM、FM 及 PM 調變方式

由圖 2-10 (d) 和 (e) 觀察起來，似乎 PM 和 FM 調變後的訊號變化都大同小異，其實兩者都屬於『角度調變』(Angle Modulation)。因為無論載波訊號的頻率或相位隨著傳送訊號的強度改變，終究會影響到頻率和相位的變化，因此看起來兩者調變結果的波形才會非常類似。

2-8 基頻傳輸技術

以脈衝(Impulse)訊號(或稱數位訊號)在傳輸媒介上傳送，稱之為『基頻傳輸』(Baseband)，其特性如下：

- (1) **傳輸媒介**：雙絞線、同軸電纜 (50 歐姆) 或光纖。
- (2) **脈衝訊號**：基本上，傳輸媒介上同一時間只允許一個脈衝訊號傳送。如有兩個脈衝訊號同時發送到傳輸媒介，造成兩個脈衝訊號相加，而產生另一個訊號，將會失去原來訊號的意義。此現象稱為『碰撞』(collision)。
- (3) **同步問題**：通訊中的雙方對脈衝訊號的偵測時脈不一定完全同步，會造成雙方訊息傳輸的錯誤，因此必須處理同步問題。
- (4) **訊號重置器 (Repeater)**：脈衝訊號經過長距離的傳送，訊號波形必定會因衰減而改變，必須利用訊號重置器重新整形再傳送，以延伸傳輸距離。訊號重置器也是雙向傳輸。
- (5) **多工技巧**：基頻傳輸一般都使用分時多工技巧。

如果使用同軸電纜，當脈衝訊號被發送到傳輸媒介上後，訊號往兩方向傳遞 (雙向性)。當脈衝訊號傳遞到纜線終端時，會反射回來成為反射波，前進訊號和反射訊號相結合，便破壞原來的訊號。因此在纜線的終端兩頭必須安裝終端器 (Terminator)，將前進波吸收，以免再反射回去。終端器其實是一個電阻器，其阻抗大小和纜線阻抗相同(50 歐姆)，如圖 2-11 所示。

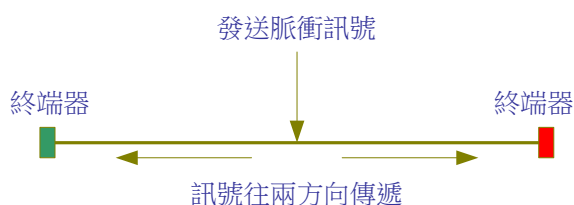


圖 2-11 脈衝訊號的傳遞方向

2-8-1 同步化

『同步化』(**Synchronization**) 的目的是要讓通訊中雙方的時序達到同步，使傳送和接收之訊息不致發生錯誤的判斷。在基頻傳輸中，雖然通訊協定已制定好某一標準工作速率 (如 56Kbps 或 10Mbps)，然而傳送端與接收端也都符合標準，在規定速率下傳送與接收訊號；但雙方震盪器所產的頻率不可能完全相同(物理現象)，因此雙方所產生的速率也不會真的一樣；又即使雙方速率相同，時序也不可能完全同步。當傳送端將訊號發送到網路上，接收端會在每一位元時間內去偵測脈衝電壓是高電位或低電位 (如圖 2-12)，再解碼回二進位的 0 或 1。如果雙方速率不同或時序沒有同步，便無法正常通訊，這種現象稱為『**同步問題**』。

另外，即使通訊雙方開始傳送時都已完全達到同步，但隨著資料增長 (時間拉長)，也有可能失去同步性，如圖 2-12 所示。如果在傳輸的資料中有加入同步訊號，使雙方傳遞訊息中隨時保持同步，便稱為『**同步傳輸**』。如果在資料中沒有加入同步訊號，而必須靠其他控制訊號來達到雙方同步，稱為『**非同步傳輸**』。基本上，不論同步或非同步傳輸，雙方的速率和時序都必須維持同步才能正確通訊。以下介紹非同步傳輸和同步傳輸的同步化。

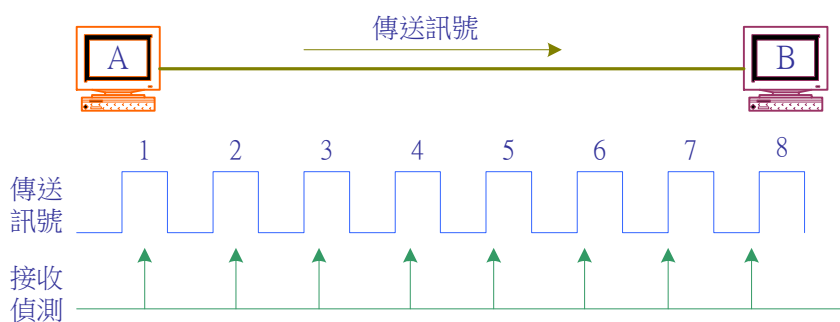


圖 2-12 通訊雙方時序未同步

2-8-2 非同步傳輸

『非同步傳輸』(**Asynchronous Transmission**) 利用一個起始位元 (Start bit) 和結束位元 (Stop bit) 訊號來達到同步目的，前者表示計時的開始，後者表示計時結束，如同雙方事先校準時間一樣。

通訊雙方同步的步驟如下 (如圖 2-13) : (1) 首先雙方協議傳輸速率 , (2) 發送端用起始訊號表示開始傳送 , (3) 傳輸某些位元後緊接著傳送結束訊號 , 表示要求再同步一次。 (4) 發送端再次傳送起始訊號表示欲開始傳送。接收端利用收到的起始和結束訊號來調整時序 , 使之同步於傳送端。因此非同步傳輸每一次只能傳送較少資料 (一般 8 bit) , 便需再要求同步一次。一般使用在交談式傳送 , 如 RS-232C 之傳輸方式 , 其規格如下 :

- (1) 以一位元組 (5 ~ 8 個位元) 為單位傳送 (依照雙方協議而定) , 前後加入起始位元 (一個位元時間的高電位) 和結束位元 (1 ~ 2 個位元時間的低電位) 。
- (2) 平常不送資料時 (Idle , 即空閒狀態) 維持在低電壓 , 傳送資料前先送一個正電位 (起始位元) 表示開始傳送資料 。
- (3) 兩字元間最少要間隔一個結束位元 (低電位) 。

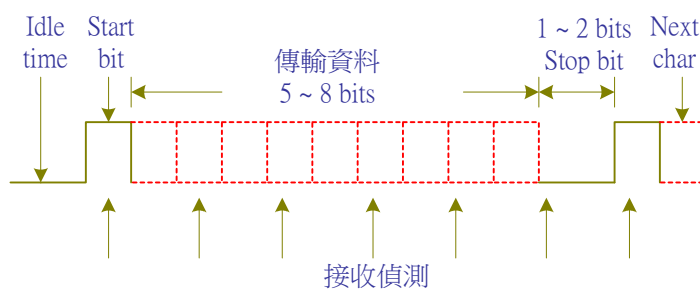


圖 2-13 非同步傳輸範例

2-8-3 同步傳輸

『同步傳輸』 (**Synchronous Transmission**) 表示傳送端會將同步訊號加入到傳輸資料當中 , 使接收端可以一邊接收資料 , 一邊利用該同步訊號調整本身的時序 , 俾能隨時同步於傳送端的時序。在傳輸資料中加入同步訊號最直接的方法是利用曼徹斯特編碼技巧 , 接收端將接收資料中每一位元中間變化的時序取出 , 便成為同步訊號 (如圖 2-7 (f)); 這同步訊號必定和傳送端的時序相同 , 因此接收端便可利用此訊號調整本身的時序 , 使其同步於傳送端。圖 2-14 為 HDLC 傳輸協定的訊框格式 , 傳送端首先傳送一串列的 『前置訊號』 (**48 Bits, Preamble**) , 接收端利用此前置訊號 (曼徹斯特編碼) 來調整時序使同步於傳送端。

接著再利用『旗標』(01111110) 表示訊框的開始和結束。由於整個訊框資料都用曼徹斯特編碼，所以雙方能隨時保持同步狀態。也就是這樣，在同步傳輸中一次可以連續傳送較多的資料，一般協定都規定在 2K ~ 8K 個位元之間。

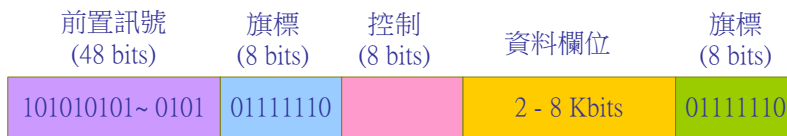


圖 2-14 同步傳輸範例 (HDLC)

2-9 寬頻傳輸

在傳輸媒介上傳遞類比訊號稱為『寬頻傳輸』(**Broadband**)。目前在高速網路上，不論是骨幹網路或區域網路，大多採用寬頻傳輸技術，其特性如下：

- (1) **載波頻率**：寬頻傳輸上，傳輸資料必須載入某一載波訊號之中 (如圖 2-8 之編碼技巧)，再利用載波傳遞將資料攜帶到目的地。在同一條傳輸媒介上，
- (2) 可依照它的頻寬分割為若干個頻道 (Channel)，每一頻道可攜帶一筆資料。因此，對整個媒介而言，可以同時傳送多筆資料，有別於基頻傳輸同時只能傳送一筆訊息。如圖 2-15 為頻寬 300 MHz 的同軸電纜頻譜分配使用的情形 (如 CATV 網路)。圖 2-17 為雙絞線使用在 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line) 頻譜分配的情形。
- (3) **單向傳輸**：在寬頻網路上每一載波訊號的傳輸方向是單方向的，如果要達到雙向傳輸必須使用兩通道的載波訊號 (f_1 和 f_2)。 f_1 作傳送訊號的載波；而 f_2 為承載接收訊號之載波。
- (4) **訊號放大器**：寬頻傳輸是傳送類比訊號，超過傳輸距離必須利用訊號放大器(Amplifier) 增強訊號，以延伸距離。
- (5) **傳輸媒介**：可利用雙絞線、同軸電纜、光纖、或無線電作為傳輸媒介。如果採用同軸電纜，其阻抗必須是 75 歐姆 (CATV 技術)。
- (6) **多工技巧**：寬頻傳輸是利用分頻多工技術，來達成傳輸媒介上多筆訊號傳送的目的。傳輸媒介的頻寬愈高，可分割之頻道也就愈多。每一個頻道傳送一筆資料，整個媒介

就可以同時傳送多筆資料，也就是傳輸速率可以增加。這也是目前都以寬頻網路為傳輸骨幹的主要原因。

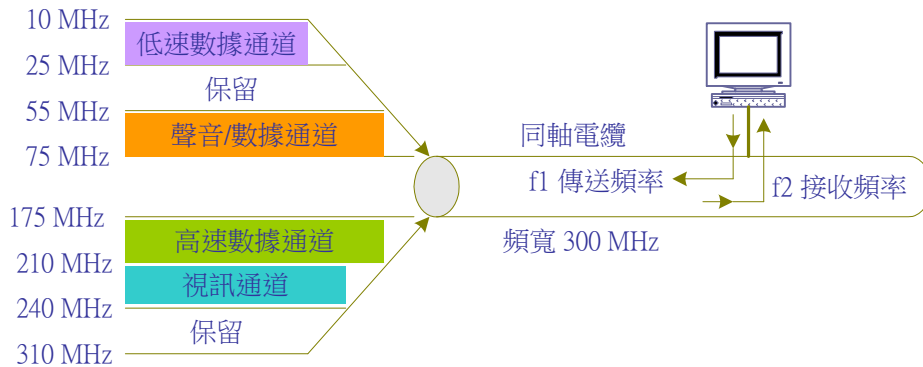


圖 2-15 同軸電纜頻寬分配範例

有關寬頻網路架構可區分為單纜線系統和雙纜線系統，及有關數據調變技術等，分述如下：

2-9-1 單纜線系統

單纜線系統只有使用一條傳輸媒介，必須將其頻寬分為兩部份，一者為傳送頻率；另一者為接收頻率。圖 2-16 為區域網路的單纜線系統，其將同軸電纜的頻寬（如 300 MHz）切成兩半，其中 10~110 MHz 為傳送頻道；175~310 為接收頻道，中間頻道作緩衝隔離用。在纜線的一端有一個『頻率轉換設備』（**Central Retransmission Facility, CRF**），它負責將傳送頻率轉換為接收頻率。工作站之間傳送訊息（使用傳送頻道）必須經過 CRF 轉換為接收頻道，再發送到電纜上。

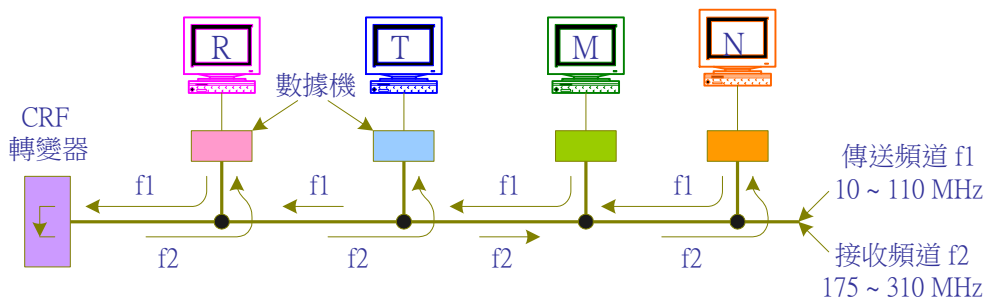


圖 2-16 單纜線寬頻系統

圖 2-17 為 ADSL 寬頻網路傳輸媒介上的頻寬分配和訊號傳輸方向。ADSL 將纜線頻寬分為三部份：語音頻道 (300 Hz ~ 3.4 KHz)、上行數據頻道 (20 KHz ~ 130 KHz) 和下行數據頻道 (140 KHz ~ 1 MHz)。

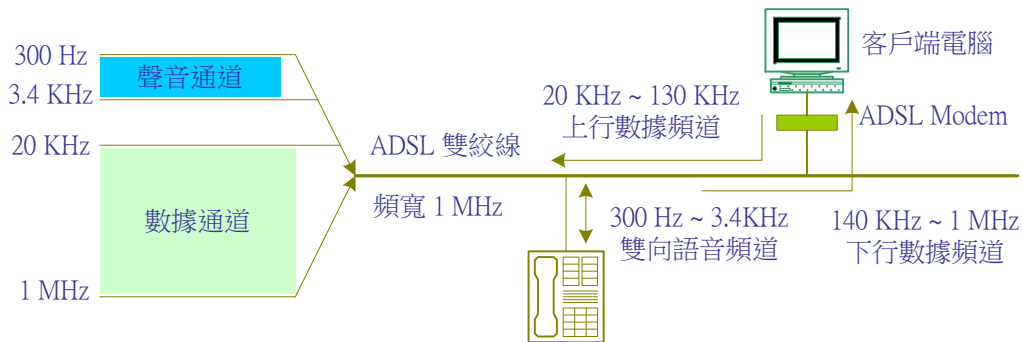


圖 2-17 ADSL 頻譜分配圖

2-9-2 雙纜線系統

雙纜線系統有兩條電纜，整個頻寬 (300 MHz) 都可以用來傳送及接收，其中一條電纜用來傳送資料；而另一條作為接收資料使用，因此沒有 CRF 設備，如圖 2-18 所示。

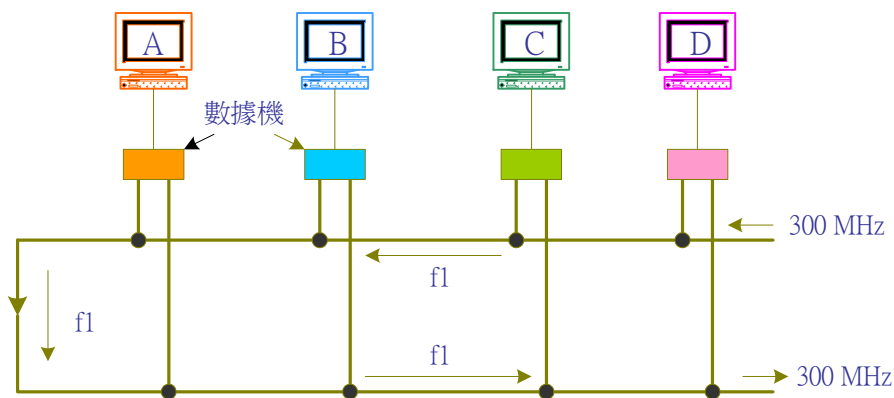


圖 2-18 雙纜線寬頻系統

2-9-3 數據機

一般在通訊主機上處理資料都以數位訊號為基礎，如欲透過寬頻網路傳輸，則必須將數位訊號載入載波訊號上，此工作稱之為調變 (Modulation)；相反的，由載波訊號內取出原數位訊號，稱為解調變 (Demodulation)。一般通訊設備都必須具有接收和發送之功能，將兩者功能合一之設備則稱為『數據機』(Modem, MOdulator-DEModulator)，如圖 2-19 所示。

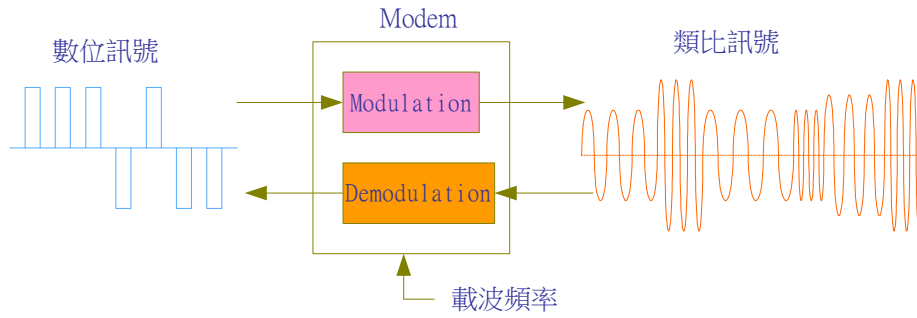


圖 2-19 數據機功能圖

寬頻網路上的數據機為提高頻率的使用量，大多採用『四象限相位位移』(**Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK**) 調變技術，其相位偏移量為 90 的倍數：(假設：載波訊號為 $A\cos(2\pi fCt)$ 、A 為振幅大小、傳送訊號為 $s(t)$)

$$00 \rightarrow s(t) = A\cos(2\pi fCt + 2250)$$

$$01 \rightarrow s(t) = A\cos(2\pi fCt + 3150)$$

$$10 \rightarrow s(t) = A\cos(2\pi fCt + 1350)$$

$$11 \rightarrow s(t) = A\cos(2\pi fCt + 450)$$

因此，每個訊號單元可以表示兩個位元。如果，我們擴充利用八個不同相位角度，則每個訊號就可以表示三個位元。更進一步，每個角度訊號 ($S(t)$) 的振幅 (A) 也可以用超過一個振幅大小來表示。如圖 2-20，我們用八個角度偏移和三種振幅偏移，每個訊號可以表示四個位元。一般撥號數據機的頻率為 2400 Hz，傳輸速率就可達 9600 bps (= 4 × 2400)。

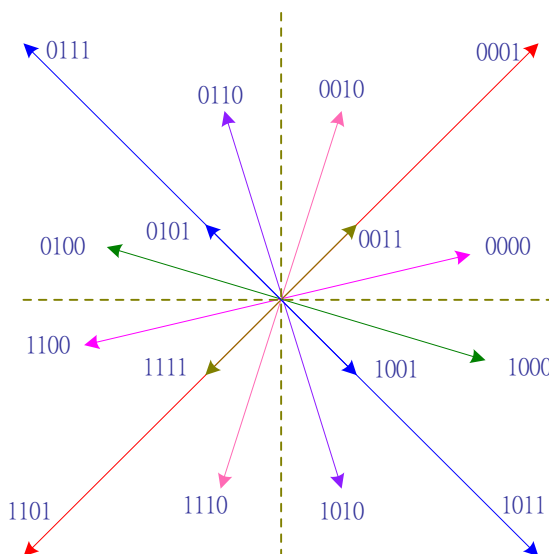


圖 2-20 QPSK 調變技術

如果我們更進一步，將傳輸媒介的頻寬分割若干個頻道（20），每個頻道採用 QPSK 技術調變（9600 bps），則整個傳輸媒介上的傳輸速率為所有頻道傳輸量的總和（ 20×9600 ），這亦是寬頻網路上調變技術的基本原理。一般在『混合光纖同軸電纜』（Hybrid Fiber Cable, HFC）寬頻網路上，用戶端電腦連結到同軸電腦（CATV）所使用的數據機稱為『纜線數據機』（Cable Modem）。在 ADSL 網路上，用戶端電腦連接到雙絞線是使用『ADSL 數據機』（ADSL Modem）。一般最普遍的長距離連線，是將數位訊號調變到音頻訊號（300 Hz ~ 3 KHz），再利用一般電話網路傳送。它必須模擬電話系統上的提起話機、撥號、掛斷話機、忙線、回鈴聲等動作，因此稱之為『撥號數據機』（Dial-up Modem）。

2-10 傳輸頻寬

數據傳輸所說的『頻寬』（Bandwidth），一般都是指『資料傳輸率』（Data Rate），表示該線路每秒可傳輸多少位元數（bits per second, bps），例如 10Mbps（每秒一千萬個位元）或 200 Mbps（每秒兩億個位元）的頻寬。某一傳輸設備可以傳輸多少頻寬，不僅是傳輸媒介的因素，還必須配合許多相關設備，例如多工器、交換機、數據機等裝置；所以一個傳輸設備的頻寬是由若干個傳輸裝置共同來完成。另外，針對傳輸媒介上的訊號變化率，稱之為『鮑爾率』（Baud Rate），也就是常說的傳輸媒介上的頻寬。

如果以寬頻傳輸之媒介而言，頻寬就是媒介上可以承載的最高頻率。一般同軸電纜為 300 ~ 750 MHz，Cat-5 之雙絞線為 45 MHz，依不同的材質，其所能承載的頻率範圍相差很大。在傳輸媒介上訊號變化率不一定等於資料傳輸率，這牽涉到編碼技巧，例如，基頻傳輸上的曼徹斯特編碼（Ethernet 網路），訊號變化率是資料傳輸率的兩倍（每個位元中間都有變化）。在寬頻傳輸上，Dial-up 數據機所調變的訊號變化率為 3 KHz，而資料傳輸率可達到 56 Kbps。

在區域網路或骨幹網路上所講的頻寬，是該網路設備所能承載的最高資料傳輸率，也是該網路的共享頻寬。例如，某一骨幹線路的頻寬為 100 Mbps，而網路上連接 50 部電腦，也都具有 100 Mbps 的傳輸能力。這表示 50 部電腦共享 100Mbps 的骨幹頻寬，且當任何一部取得網路使用權時，是以 100Mbps 速率傳輸資料。但並非每一部電腦皆能獨享骨幹頻寬，如果

按照平均分配，每部電腦只取得 2Mbps 的頻寬；幸而並非每一部電腦都同時在傳輸資料，所以一般使用情況還好。然而一旦網路上傳輸資料過於頻繁時，也許骨幹頻寬就會不符所需。

2-11 傳輸媒介的多工技術

『多工技術』(**Multiplexing**) 的目的是要在一條傳輸媒介上同時傳送多筆資料。也就是說，如何在一條實體連線上建立多條虛擬通道，每一條虛擬通道皆能在兩個通訊實體之間提供連線。傳輸媒介上有兩個基本多工技術：分頻多工和分時多工，以下分別敘述之。

2-11-1 分頻多工技術

將傳輸媒介所能承載的頻譜分割成若干個頻道 (Channel)，每一頻道佔用一小段的頻寬，而通訊設備雙方則可利用某一頻道的頻寬傳輸資料，這些頻道稱為『**虛擬通道**』(**Virtual channel**)。應用這樣的概念，傳輸媒介上就可以同時傳輸多筆資料，也可讓多個通訊設備同時連線，此技術稱之為『**分頻多工**』(**Frequency Division Multiplexing, FDM**) 技術。如圖 2-21 所示，將傳輸媒介的頻譜分割為 5 個頻道，以產生 5 個虛擬通道，其中電腦 A 和電腦 X 之間使用 f_1 通道通訊。

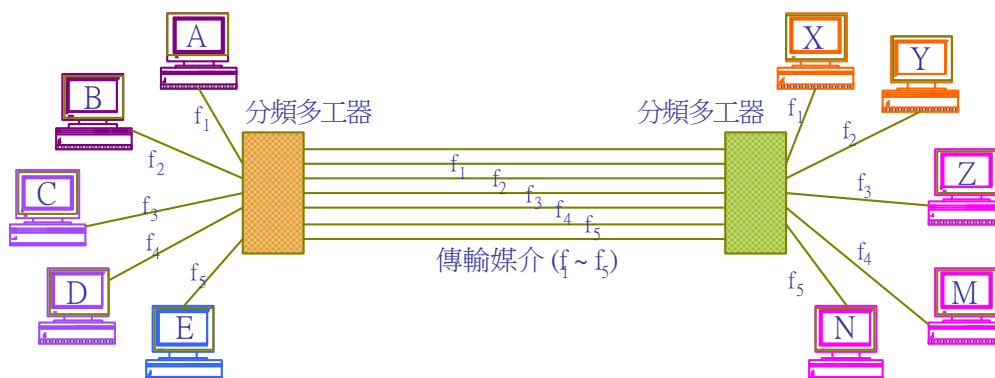


圖 2-21 分頻多工技術

2-11-2 分時多工技術

『分時多工』(**Time Division Multiplexing, TDM**) 技術是將傳輸媒介的使用時間分割成若干個固定的時槽 (Time Slot)，每一時槽佔用一小段時間 (例如 20ms)，而這一小段時間就是一個虛擬通道。通訊時，互連的雙方會被設定在某一時槽上傳送資料，也就是說，在某段時間內它 (它們) 擁有傳輸媒介的使用權；而就較長時間來看，整個傳輸媒體就有多條連線

「同時」傳送資料。如圖 2-22 中，電腦 A 和電腦 X 使用 t1 時槽通訊、B 和 Y 使用 t2 時槽通訊...對整個傳輸媒介而言，就有 5 條通訊通道 (虛擬通道)。

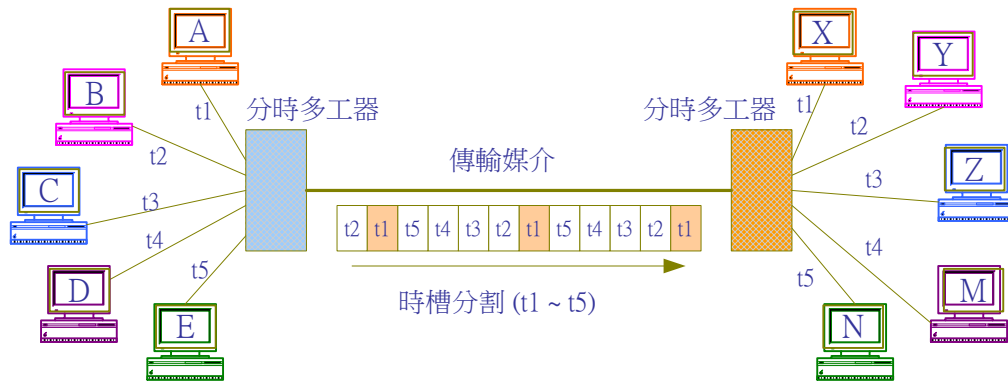


圖 2-22 分時多工技術

2-12 光纖通訊

圖 2-23 為光纖通訊系統的架構圖，數位或類比訊號進入傳送器之驅動器，將訊號調變到某一波長的頻率 (雷射光)，再經過光源轉換成光波訊號，經由光纖傳導到接收端，經由光偵測器轉換回原來的電流訊號，再經由接收器解調變回原來數位或類比訊號。在整個傳輸過程中，建立通道所需的元件可區分為光訊號產生器、光學纖維和光訊號接收器等三個主要部分，以下分別介紹之。

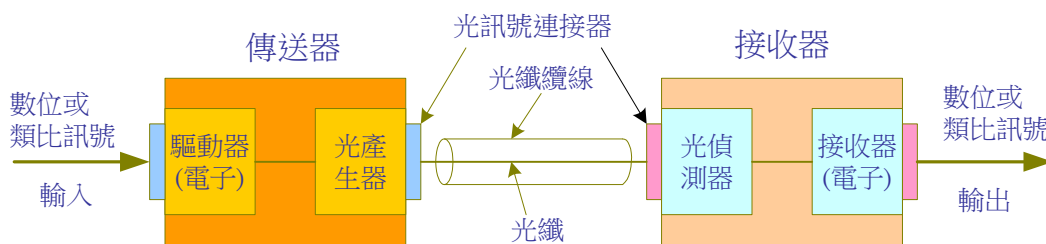


圖 2-23 光纖傳輸系統

2-12-1 光學纖維

『光學纖維』(Optical Fiber)(一般簡稱為光纖) 是一種纖細 (50 ~ 100 微米) 且易於扭曲的中空導管，為引導光波的傳輸媒介。將多條光纖網綁組裝成束，即為一光纖纜線 (一般稱之為光纜)，如圖 2-2 所示；光纜內部有一強化抗彎曲物，可減少光纖彎曲的角度。當光波訊號進入光纖時，低入射角之光線會被反射而沿著光纖導管前進，因此，會有兩個現象發生：(1) 如果光纖的直徑較大時，所產生的入射角過大，光訊號在導管內容易被互相抵銷，

而影響前進光的能量；(2) 光波在光纖導管內，容易被導管吸收，也會影響前進光的能量。當前進之光波在導管裡被吸收或衰減時，將會減少傳輸距離與傳輸頻寬。因此，光纖的品質也會直接影響到傳輸效益，一般光纖的種類可區分為下列三種：

- (1) **階梯級多模光纖 (Step Index Multi-mode Fiber)**：一般採用『玻璃』或『塑膠』材料所製成，導管直徑在 50 ~ 125 μm 之間。此種光纖之導管的直徑較大，光波の入射角較大，光訊號在導管內容易互相抵銷，而且光纖導管也會吸收光訊號，而影響光傳遞的能量，其光訊號傳輸模式如圖 2-24 (a) 所示。一般使用在近距離而且較低速率的傳輸環境上，它的構造簡單，光纖間之接續也較容易，價格較便宜。
- (2) **逐級多模光纖(Graded Index Multi-Mode Fiber)**：是由階梯級多模式光纖改良而來，光纖導管的直徑也是在 50 ~ 125 μm 之間，但使用較好的材料製造，一般使用『石英』材料，可減少光訊號能量被吸收，傳輸距離可較遠，頻寬也較高。光訊號在光纖導管上的傳輸模式，如圖 2-24 (b) 所示。
- (3) **單模光纖 (Single-Mode Fiber)**：是由『石英』材質所製造出來的，光纖直徑在 2~8 μm 之間，導管的直徑非常的細小，光波訊號進入導管後，入射角也非常小，幾乎不會產生折射光，而沿著光纖導管直線傳遞，如圖 2-24 (c) 所示。單模光纖所能傳遞的距離最遠，傳輸頻寬也最高，但因其導管非常的微細，因此無論在製造上或連接上都非常困難，價格也非常昂貴，一般使用在遠距離或傳輸頻寬較高的環境上。

表 2-2 為三種光纖特性的比較。一般評估光纖的頻寬，是依照該光纖所承載的頻率可以傳送多遠的距離，由表中可知，單模光纖的頻寬最高、衰減也最小，這是因為該光纖の入射角最小，並且使用不會吸收光訊號的石英材質。

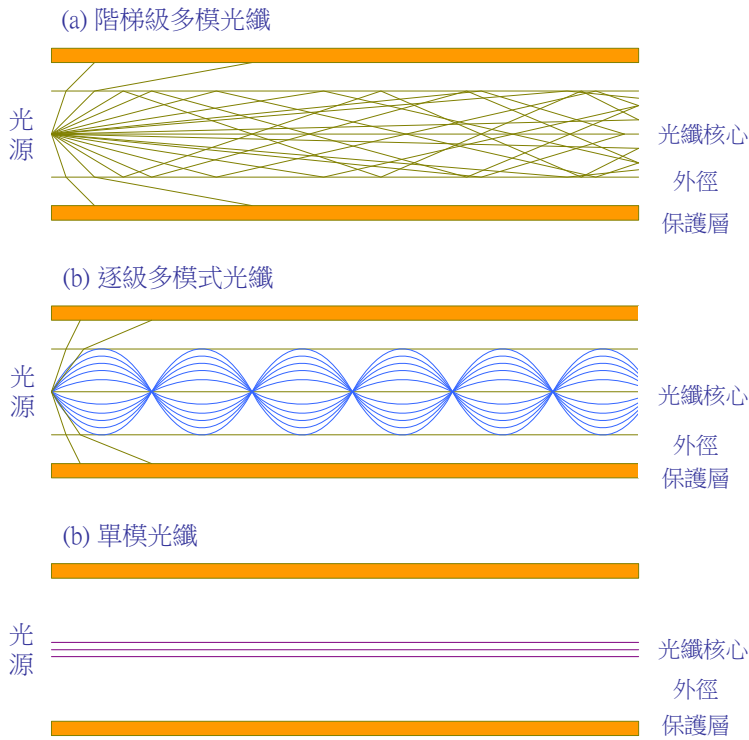


圖 2-24 光纖傳輸模式

表 2-2 三種光纖之比較

	階梯級多模光纖	逐級多模光纖	單模光纖
光源	LED 或雷射	LED 或雷射	雷射
頻寬	200 MHz/公里	200 MHz ~ 3 GHz/公里	3 ~ 5 GHz/公里
接續	較容易	較容易	困難
蕊心內徑	50 ~ 125 μm	50 ~ 125 μm	2 ~ 8 μm
蕊心外徑	125 ~ 400 μm	125 ~ 400 μm	15 ~ 60 μm
衰減	10 ~ 50 dB/公里	7 ~ 15 dB/公里	0.2 ~ 2 dB/公里
價格	較便宜	稍貴	最貴

2-12-2 光訊號產生器

基本上，光纖通訊是屬於振幅位移鍵 (Amplitude Shift Key, ASK) 的調變技術，將訊號調變到某一頻率上，再傳遞給光訊號產生器，該特定頻率直接影響發光器所產生光的波長。再從另一方面來觀察，所謂雷射光表示某一波長的光訊號，而該光訊號聚合性較強，且不容易發散而遺失光的能量。一般雷射光在不同的應用範圍有不同的波長，於光纖通訊系統之中，大多採用 850、1310 與 1550 nm 等三種波長的雷射光，也就是說，我們將訊號經過 ASK 調變到該波長的載波訊號，再由發光器產生雷射光，發送到光纖上傳輸。光訊號在 ASK 的編碼技巧如下：

(a) "1"：以一個脈衝的光代表 (亮)，該光訊號是某載波頻率所產生。

(b) "0"：以沒有光訊號代表 (暗)。

發光元件是屬於物理材料，它必須能發射穩定波長的光訊號，整個光纖傳輸效益才會高，因此，依照不同的應用範圍，有下列兩種發光元件：

(a) **發光二極體 (Light Emitting Diode, LED)**：LED 是一種固態元件，加上電流就會發光，產生的光訊號能量較低，所能承載的頻寬也較小；但線路較簡單，價格也較便宜。一般 LED 發光器都使用在多模光纖通訊上。

(b) **注入雷射二極體 (Injection Laser Diode, ILD)**：ILD 是一種半導體雷射二極體，其所產生光的能量是 LED 的十倍以上，而且所能承載的頻寬也是 LED 的十倍以上；但價格較昂貴，一般使用在單模光纖的通訊系統上。

2-12-3 光訊號接收器

光訊號接收器之中，最主要的是受光元件，依照其製作材料也可以區分為兩大類：

(a) **PIN 二極體**：其構造是 P 層與 N 層之間有一層純質 (Intrinsic) 的矽，利用感光使之產生電流。

(b) **崩潰光電二極體 (Avalanche Photodiode)**：具有內部放大作用，使感光訊號輸出加強，但需使用較強的電場，一般使用在雷射二極體輸出端的感光系統上，價錢也較昂貴。

基本上，受光元件都是屬於光子計數器，PIN 的靈敏度較低，但價格較便宜。在整個光纖通訊系統之中，如果採用某一波長的光傳導 (850 nm、1310 nm 或 1550 nm)，則無論發光二極體或受光二極體，都要採用同一波長之元件。

2-12-4 波長分割多工系統

光纖通訊系統是數位傳輸方式，將數位訊號中的“0”或“1”訊號以 ASK (Amplitude Shift Key) 調變在某一載波頻率上，再傳遞給發光二極體產生某一波長的雷射光，因此，光訊號在光纖導管上傳遞方式是以『亮』或『暗』來表示數位訊號，受光元件也是以計數方式 (亮或暗) 來感測訊號。基本上，光纖導管上只有一種波長的光在傳遞，此現象非常類似電波訊號傳輸方式。在電波通訊系統之中，無論使用何種調變方式 (AM、FM 或 PM)，每一筆傳輸訊號都需要一個載波頻率來調變，但為了提高傳輸媒介的使用率，我們都以頻率分工或分時多工，來提高傳輸媒介的使用率。

當然光傳輸系統之中，如使用單一波長的光在光纖導管上傳遞，其傳輸效率將非常的低，也希望它能像電波通訊系統有多工傳輸的功能。光纖通訊系統的多工功能是将光纖所能傳導的波長範圍分割為若干個通道，每一通道獨享有一個波長範圍、也載入各自的訊號，之後再整合發送到光纖導管上傳送，因此稱之為『波長分割多工』(**Wavelength Division Multiplexing, WDM**)，如圖 2-25 所示。

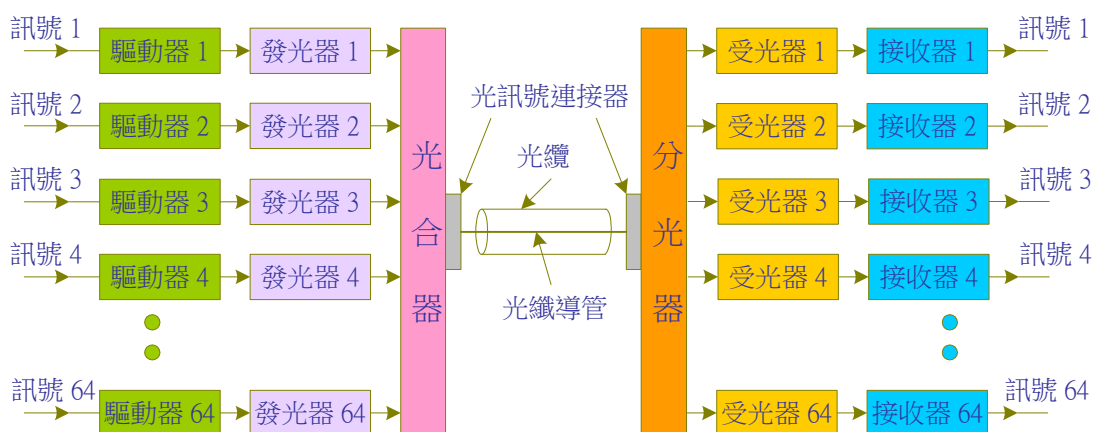


圖 2-25 WDM 架構圖

圖 2-25 以 1550 nm 光纖通訊系統為例，所承載的波長範圍在 1529 nm ~ 1602 nm 之間，將波長劃分為 64 個通道 (Channel)，每一通道可以傳送 2.048 Mbps，整個通訊系統就可以傳輸 131.072 Mbps (= 2.048 × 64)。所有通道之光訊號進入光合器後整合成單一束光，再發

送到光纖導管上；接收端經過分光器，將各種波長的光訊號分離到相對應的通道上。如果單一光纖導管可以提供 100 Mbps 以上的傳送速率，整個光纖纜線（包含多條光纖導管）就可以達到 1 Tbps 以上的傳輸速率。如近年來發展之『**高密度波長分工技術**』，便可在一條光纖導管上提供 1 Tbps 以上的傳輸速率。

2-13 通訊鏈路的方向性

在兩個通訊設備之間的連線稱之為『**通訊鏈路**』(**Communication Link**)。如果這條鏈路是由多工技術所建構，又稱為『**虛擬通道**』(**Virtual Channel**)。通訊鏈路和虛擬通道不一定相同，這牽涉到通訊鏈路的方向性。一般通訊鏈路有下列三種方向性：

- (a) **全雙工 (Full Duplex)**：表示鏈路是雙向性的，連線雙方可以同時互相傳送訊息。但一般虛擬通道都是單向性的，要達到全雙工的傳輸，該通訊鏈路必須使用兩條虛擬通道，每條通道負責一個方向的傳輸。例如在寬頻網路中的 Cable Modem 和 ADSL 網路，都分別有上行和下行兩個通道，才能構成雙向全雙工傳輸。不過兩條通道的速率倒不一定要相同。
- (b) **半雙工 (Half Duplex)**：半雙工的鏈路表示連線通訊設備允許雙方向的通訊，但不可以同時傳輸資料，必須交替輪流傳送。半雙工鏈路只使用一條虛擬通道即可，通訊兩端輪流使用該通道：取得使用權之通訊端可以傳送資料，否則只能準備接收資料。半雙工鏈路雖然取用通道較少，但管理上比較複雜。一般使用權的管理都使用符記 (Token) 的傳遞，取得符記者便可以傳送資料。
- (c) **單工 (Simplex)**：表示通訊鏈路只允許單方向傳輸資料。單工性鏈路只需要一條虛擬通道。通訊雙方之中，一端負責傳送資料；另一端只能接收資料，一般使用於廣播訊息。

習題

1. 請分別敘述傳輸媒介中雙絞線、同軸電纜及光纖之特性。
2. 為什麼光纖不適合於匯流排網路使用？
3. 分別說明單模光纖和多模光纖之特性及應用範圍。

4. 基頻 (Baseband) 傳輸技術的特性為何？
5. 寬頻 (Broadband) 傳輸技術的特性為何？
6. 何謂 Codec？其功能及特性為何？
7. 何謂 Modem？其功能及特性為何？
8. 何謂訊號方式？其有哪四種基本表示法？
9. 請說明數位資料以類比訊號表示，有哪三種基本方法？並說明其特性。
10. 何謂同步 (Synchronization) 問題？在什麼情況下會發生？
11. 請分別敘述非同步傳輸和同步傳輸的特性。
12. 何謂差動式曼徹斯特編碼 (Differential Manchester Encoding)，請繪出下列資料以差動式曼徹斯特編碼的圖形：(起始為低電位)
 - a. 0011101101
 - b. 1011010100
13. 一般撥號數據機採用『四象限相位移位鍵』(Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK) 調變技術，請敘述其特性。
14. 何謂多工技術？有哪幾種基本方法？並說明其特性。
15. 請分別敘述通訊連線中全雙工鏈路、半雙工鏈路和單工鏈路的特性。