

第四章 廣域網路連結

4-1 廣域網路簡介

『廣域網路』(Wide-Area Network, WAN) 是指範圍較大，必須透過公眾『承載網路』(Carrier Network) (一般稱之為電信網路) 系統連結而成的網路。整體而言，廣域網路是由『網路存取提供者』(Network Access Provider, NAP) (如中華電信公司) 所提供之服務，它結合各地區的『網路服務提供者』(Network Service Provider, NSP) (如，HiNet、SeedNet、TANet)，同時讓各地的區域網路(各機關行號的網路) 或端點使用者之間互相連結，並提供存取各項網路的應用，如圖 4-1 所示。近幾年來 Internet 網路風行，網路的應用也深入各個階層，NAP 也不再由大型電信公司(中華電信) 所獨享，目前已有許多新的電信公司相繼成立，爭食廣域網路市場，也讓我們一般網路專業人士有學習廣域網路的機會。

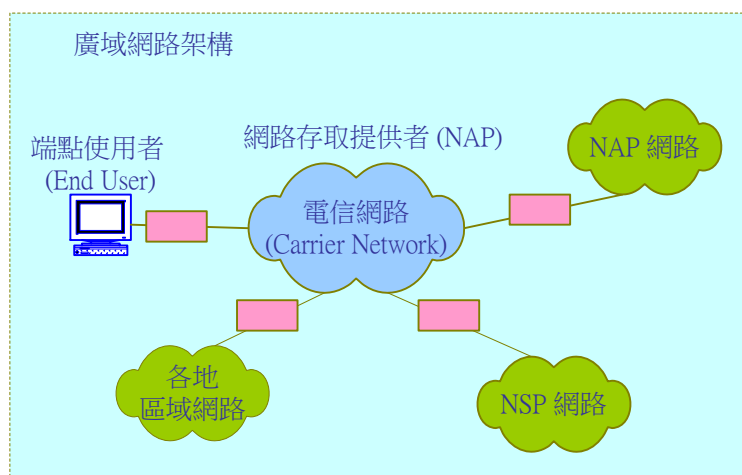


圖 4-1 廣域網路架構圖

基本上，WAN 只負責使用者 (或網路) 之間訊框的轉送，相當於 OSI 參考模式的第一、二層，或是 Internet 網路中『網路存取層』所提供的服務，協定堆疊如圖 4-2 所示。一般有關網際網路之間的路徑選擇 (第三層通訊協定) 還是由 NSP (如 HiNet) 負責，但隨著 ATM 網路的普遍化，為提高連結效益，NAP 和 NSP 之間的連結功能也漸漸提昇，也將會具有路徑選擇之能力。有關 WAN 的連結技術有：WAN 之連結型態、電信網路、傳輸網路，以及寬頻網路技術，以下分別介紹之。

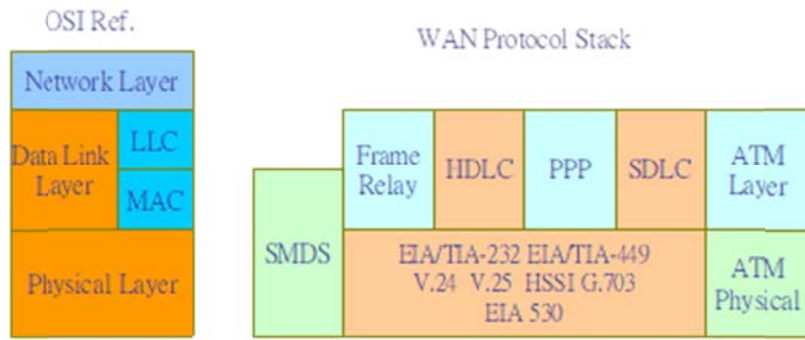


圖 4-2 WAN 之通訊協定堆疊

4-2 廣域網路之連接型態

廣域網路與各地區網路或個人電腦的連結型態，可歸類為 WAN 點對點專線、WAN 虛擬電路、WAN 撥號等三種連接方式。

4-2-1 WAN 點對點專線連接

『點對點專線』(Point-to-Point) 表示連接雙方的區域網路是透過 WAN 的專屬連線，使雙方連結在一起，這種架構是早期網路使用最普遍的連接方法，一般都是向電信公司租用專線 (Leased Line)。WAN 網路只負責提供一條雙向的專屬連線，該連線已永久建立完成，並固定在某一速率下傳輸 (無論是否使用)，如圖 4-3 所示。



圖 4-3 WAN 之點對點鏈路

點對點專線的傳輸方式有：電報傳輸 (Datagram) 和數據串列傳輸 (Data-Stream) 兩種方式。電報傳輸將訊框整合後，已無法區分每一訊框的位址格式；而數據串列傳輸則保留每一訊框的位址格式，而且傳輸當中也會檢查目的位址。

提供租用專線的承載網路 (Carrier Network)，一般都是電路交換系統，例如，數據交換機、數位交換機 (電話系統) 或 ISDN 交換機。

4-2-2 WAN 虛擬電路連接

電路交換系統所提供的點對點專線，所佔用的網路資源過於龐大，而且無論使用者是否有傳輸資料，皆以最高傳輸率計費，對於客戶來講極不合理。目前電信網路（Carrier Network）大多是採用『**虛擬電路**』（**Virtual Circuit**）交換方式，以提高網路資源的使用率。在虛擬電路下，使用者可以承租某一傳輸率，而是當使用者有傳輸資料時，才會佔用頻寬，否則就將頻寬讓給其它電路使用，如此，整個頻寬就可以充分使用，也不會浪費，因此稱之為『**虛擬電路**』。WAN 虛擬電路主要的服務也是提供傳輸網路，讓遠端的網路可以互相連結，但依照其網路特性，可提供兩種連線方式：（如圖 4-4 所示）

- **永久式虛擬電路 (Permanent Virtual Circuit, PVC)**：電信網路內之虛擬電路已永久固定，依照客戶承租速率提供服務，客戶端不用再建立連線。PVC 非常類似點對點專線，但有些交換機會提供品質服務的保證（如 ATM 交換機），而點對點專線就無此功能。一般來講 PVC 的費用比較低廉，承租費用可依照使用頻寬來計算，也比較合理。
- **交換式虛擬鏈路 (Switched Virtual Circuit, SVC)**：SVC 和 PVC 最大的不同是，SVC 並未固定連線，但須依照客戶承租的速率和服務品質進行傳輸。客戶端需要傳輸資料時，再建立連線。理論上，承租費用應該會比 PVC 低廉，但目前各電信公司和客戶之網路的連線，還未達到此連接能力，因此，一般 NAP 並未提供 SVC 連線的承租業務。

提供 WAN 虛擬電路的電信網路，目前以 ATM 網路和訊框中繼網路佔大部份。ATM 網路不但傳輸速率比訊框中繼網路快，而且還提供有服務品質保證的功能，因此，目前訊框中繼網路也漸漸被淘汰當中。



圖 4-4 WAN 虛擬電路

4-2-3 WAN 撥號連接

廣域網路欲結合各地區之網路系統，最簡捷的方法是利用現有的電話網路系統，遠端電腦透過電話撥號連結網路，雖然受限於電話線路的影響，傳輸速率較慢（56 Kbps 以下），但連結範圍較大（依照電話網路所涵蓋的範圍）。

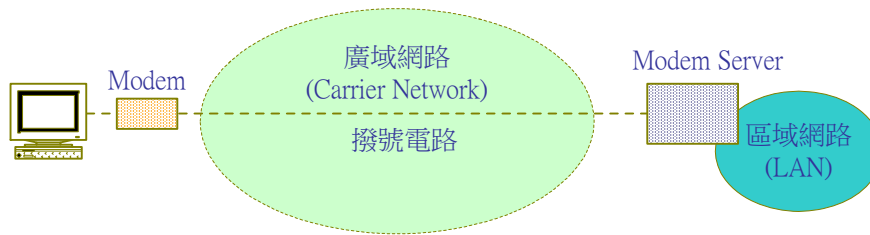


圖 4-5 WAN 撥號電路

圖 4-5 為透過電話系統的撥號網路。目前電話系統都是屬於分時同步多工 (TDM) 方式傳輸，電話語音則是採用 8KHz 取樣的 PCM (Pulse Code Modulation) 調變方式，每條電話線的傳輸頻寬，都限制在 2KHz ~ 3KHz 以內，因此，利用電話系統的撥號電路的傳輸速率，只能提供到 56 Kbps，但如果採用 ISDN 網路的撥號系統，傳輸率可以達到 128 Kbps。

在撥號電路上，遠端電腦和近端網路上都必須具備相對應的數據機 (Modem)，同時也需要相對應的點對點線路，當撥接後，該連線即成為專屬連線 (如同撥接電話)，因此，電路費用也較高。目前致力發展寬頻網路，不但可減少電路費用，更可提高傳輸速率 (不受 PCM 影響)。

4-3 廣域網路之電信網路

在廣域網路上的電信網路 (Carrier Network)，大略可以區分為電路交換和虛擬電路交換兩大系統。電路交換系統是利用數據交換機或 ISDN 交換機所構成，已漸漸減少當中。目前電信網路則以虛擬電路交換為主，而以 Frame Relay 和 ATM 兩種較為普遍，Frame Relay 已使用一段時間也漸被淘汰之中，目前各電信公司皆以 ATM 為主要發展方向。

4-3-1 Frame Relay 電信網路

『訊框中繼』(Frame Relay) 是 1990 年由 CISCO 等五家公司所共同制定的標準，目前也是屬於 ANSI 和 CCITT 的標準規範。訊框中繼是延續 X.25 分封交換的技術，但只提供到第二層資料連結層 (Data-Link Layer) 的服務，並不提供路徑選擇 (第三層) 的功能，亦可說是由 X.25 簡化而來。Frame Relay 在目前電信網路上佔大部分，可租用的傳輸速率 (中華電信公司) 有：14.4 Kbps、19.2 Kbps、64 Kbps、128K ~ 1.544Mbps (T1)、2.048Mbps (E1)，承租費用隨傳輸速率不同而異。

訊框中繼是屬於虛擬電路交換，而且僅負責數據的交換傳輸。它的運作原理非常簡單——將所連接網路（如 Ethernet）的訊框，不經過分割，直接植入訊框中繼的訊框內，再透過所建立的虛擬電路傳送到對方，對方也只要將原訊框由訊框中繼的訊框內取出即可。因此，訊框中繼的訊框長度並非固定，屬於長訊框格式，不似 ATM 網路是以細胞格式交換，所以傳輸速率限制在 1.544 Mbps（T1）或 2.048 Mbps（E1）以內。圖 4-6 為訊框中繼的網路架構，連接設備可區分為兩大類：數據終端設備（Data Terminal Equipment, DTE）和電路終端設備（Circuit-Terminating Equipment, CTE）。DTE 為網路上的客戶端的設備，如路由器、橋接器或工作站等；DCE 是承載網路的設備，為提供連線時序同步之連接設備或訊框交換機等等。

訊框中繼的連線方式，可區分為永久式虛擬電路（PVC）和交換式虛擬電路（SVC）兩種。建立連線的運作程序，是由每一個訊框交換機上，建立該連線的位址路徑表。每條虛擬路徑使用單一個識別碼做為 DLCI（Data-Link Connection Identifier），交換機上則紀錄輸入之 DLCI 和轉送出去的 DLCI 之間的對照表。傳送訊框時，便將所承載之訊框（如 Ethernet 訊框）依照所建立之對照表傳送到目的地，達到訊框轉送的目的，因此稱之為『訊框中繼』（Frame Relay）。

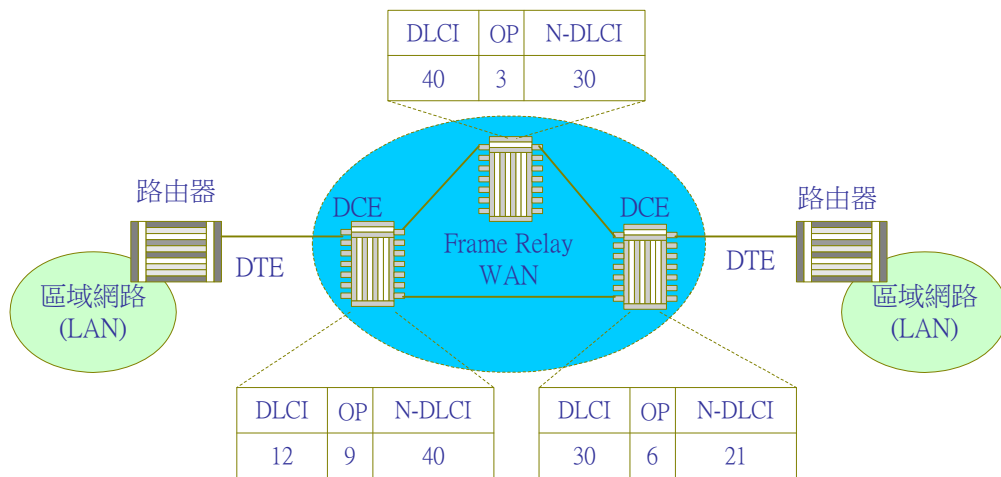


圖 4-6 Frame Relay 電信網路架構圖

基本上，Frame Relay 是將欲承載之訊框，重新包裝後交換傳輸到目的位址，包裝後訊框的長度較長，在傳輸當中所佔的資源時間也較多，因此，交換機無法依照每一訊框的屬性來決定傳輸之優先權，所以沒有『服務品質』（Quality of Service, QoS）的措施。

4-3-2 ATM 電信網路

目前 WAN 的電信網路都是以 ATM 網路為最主要發展方向，不但傳輸率高，又符合服務品質的需求，深受全世界先進國家的重視，紛紛投入大量的人力及物力進行研發 ATM 的工作。我

國目前正大力推展的『國家資訊基礎建設』(**National Information Infrastructure, NII**)也是以 ATM 網路為骨幹網路，希望藉此建立國家的『資訊高速網路』，提供未來大量資訊傳輸的橋樑。首先我們來介紹什麼叫 ATM 網路。

『非同步傳輸模式』(**Asynchronous Transfer Mode, ATM**)是由國際電信聯盟之電信標準部門 (ITU-T)所制定的 XVIII 標準，並由美國國家標準局(**American National Standards Institute, ANSI**)提供應用在公眾網路上傳輸的 VLSI 技術。主要應用於『寬頻整體服務數位網路』(**Broadband Integrated Service Digital Network, B-ISDN**)的傳輸骨幹，該標準為 CCITT I.361。又 ATM 論壇 (**ATM Forum**)也定義一系列有關區域網路模擬 (**LAN Emulation, LANE**)和專屬網路之間介面 (**Private Network to Network Interface, PNNI**)的標準。圖 4-7 為 ATM 架構的電信網路，我們分為下列幾點來介紹 ATM 網路的特性：

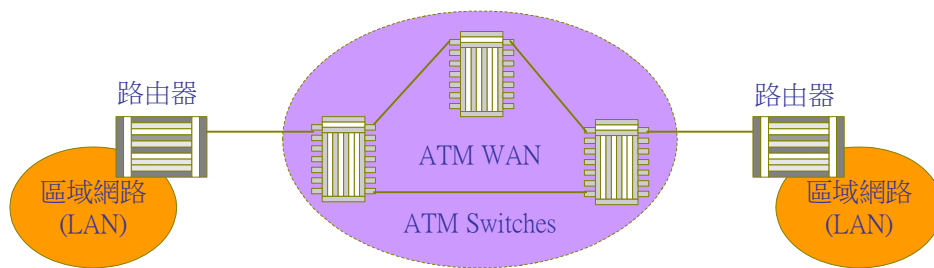


圖 4-7 ATM 電信網路架構圖

(A) ATM 細胞組裝與拆裝

如圖 4-8 所示，ATM 網路包含 ATM 調解層、ATM 層與 ATM 實體層等三個層次。其中 ATM 調解層將上層通訊軟體 (如，IP 或 Ethernet) 的封包分割成若干個細胞，每一細胞大小為 48 Bytes，ATM 層再將細胞加入 5 Bytes 的控制訊息，成為 53 Bytes 的長度。ATM 層就是 ATM 交換機，它將每一細胞依照控制訊欄位內所指定的位址，交換到另一個傳輸埠口上，接收端再以反方向將細胞組合回原來封包格式。ATM 實體層為負責細胞傳輸工作，一般都採用同步光纖網路 (SONET)。

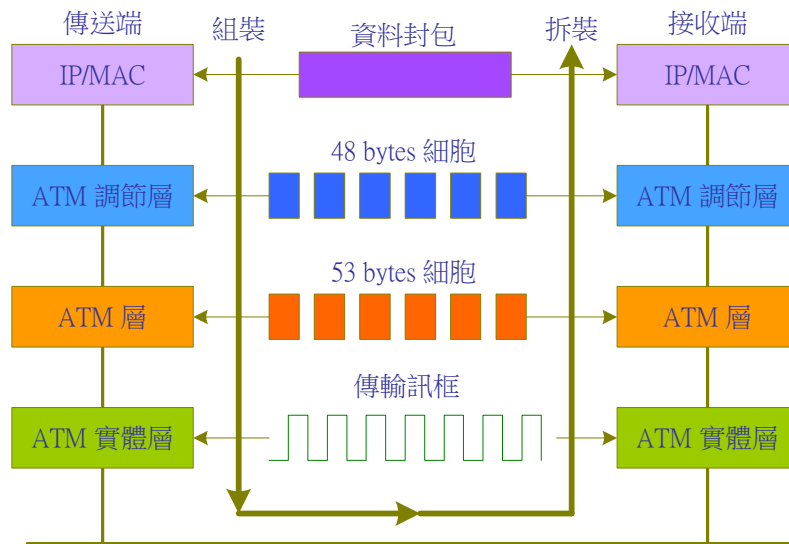


圖 4-8 ATM 細胞組裝與拆裝

(B) ATM 細胞交換原理

ATM 交換機又被稱為『細胞交換』，主要的功能是将輸入埠口所進入的細胞『交換』到適當的輸出埠口去。這條交換出去的虛擬電路就稱之為 ATM 連線。ATM 交換機可以針對每一條連線的『服務品質』(Quality of Service, QoS) 來決定是否給予服務，也就是說，服務品質較高的連線，優先給予傳送出去，而服務品質較低的連線，必須等待交換機空間時，才將細胞轉送出去 (如表 4-1)。

在交換機內部有一個稱之為『頻寬管理系統』軟體，負責整個交換機的頻寬管理。任何一條連線的服務品質，都是在該連線要求建立時，由連線端和頻寬管理系統協商而成。當頻寬管理系統接收到連線要求時，必須檢查本身交換機內部處理的頻寬，以及所能提供的服務是否符合連線要求。如果不能滿足連線要求的品質時，雙方必須協商到都可以接受的範圍內。如果雙方無法協商出一個合理的服務品質，或頻寬管理系統認為接收此連線會影響到其他連線的服務品質，便可拒絕該連線要求。這種控制連線是否能建立的機構，便稱之為『允入控制』(Admission control)。

因此，ATM 網路是屬於連接導向傳輸，表示在細胞進入網路之前其路徑都已經事先建立完成。它所建立連線的方法非常類似分封交換技術的『虛擬電路』，也就是，每一條連線所建立的路徑是在其所經過的埠口上，登錄於輸入/輸出埠對照表。每個埠口都有一個管理輸入/輸出埠對照表，當細胞由某一埠口進入時，就依照輸入/輸出對照表所登錄的下一個埠口交換出去。因此 ATM 交換機所建立的連線是『虛擬電路』(Virtual Circuit)，而不是電路交換 (Circuit Switch) 技術。當 ATM 交換機將某一個埠口所進入的細胞交換到另一個埠口上時，對於該埠口的傳輸媒介和傳輸速率沒有

直接關係。也就是說，不同傳輸媒介和傳輸速率之間埠口的細胞交換，並不影響 ATM 交換機的工作。因此，我們可以將 ATM 細胞交換機的工作原理，歸類為兩個重點：第一，就是每一條連線的表示方法，可以稱為『**虛擬通道**』(**Virtual Channel, VC**)；第二，ATM 交換機必須考慮如何建立每一個埠口上的『**輸入/輸出埠對照表**』。

(C) VP 與 VC 虛擬通道

到目前為止，我們瞭解 ATM 交換機類似統計多工的多工交換技術，唯一不同的是在統計多工技術加入服務品質 (QoS) 的參數，來決定細胞被交換出去的優先順序。對於每一條多工連線，我們稱之為『**虛擬通道**』(**Virtual Channel, VC**)。每一條虛擬通道也都給予一個『**虛擬通道辨識碼**』(**Virtual Channel Identification, VCI**) 以作為辨識。如果整個交換機僅用虛擬通道來區分連線，所造成的連線負荷可能會非常大，我們希望採用二階層式的編號方式來區分各個連線，這種方式類似電話號碼的編號方法，例如：電話號碼是 241-1234，我們很容易知道 241 表示某一個交換機，而 1234 是 241 交換機底下的本地號碼。如果由別的地方撥入 241-1234，便直接交換到 241 交換機上，不用理會 1234 號碼的位址，該工作是由 241 交換機負責便可以。因此，二階層式的編號方法，可以節省許多交換的工作，讓交換機更有效率。

在 ATM 網路中，也是採用類似二階層式的編號方式。我們將若干個虛擬通道合併一個群組稱之為『**虛擬路徑**』(**Virtual Path, VP**)，也給予一個『**虛擬路徑辨識碼**』(**Virtual Path Identification, VPI**) 以作為辨識。因此，每一條通道就可以用一對 (VPI, VCI) 來表示。如圖 4-9 中有三條虛擬路徑 VPI = 100, 200, 300，而連線的虛擬通道的辨識碼分別為：(100, 100)、(100, 200)、(100, 300)、(200, 100)、(200, 200)、(200, 300)、(300, 10)、(300, 20)、(300, 30)。至於如何來區分群組的虛擬路徑問題，我們可以就某一網路位址、某 ATM 交換機、或主機位址來指定虛擬路徑。只要由虛擬路徑上辨識便知道該連線應該交換到哪裡，且在中繼交換機上不用分辨虛擬通道 (VCI) 位址，分辨虛擬通道位址由端點交換機 (End Switch) 負責便可以，因此可以減低交換機的工作負荷，進而提高效率。

(D) 輸入/輸出埠對照表

在 ATM 交換機的每一個埠口上都必須維護一只『**輸入/輸出埠對照表**』。當我們建立連線時，便將連線路徑填入輸入/輸出對照表。表上所紀錄的是『**下一個埠口**』(**Next hop**) 位址。交換機是

否允許建立連線 (或填入對照表)，不僅要考慮當時頻寬使用情形，也要考慮到該連線的服務品質 (QoS) 要求。

圖 4-10 為 ATM 網路連線的範例。工作站 A 和 B 之間連線，經過了 SW1、SW2 及 SW3 之 ATM 交換機。由每個交換機上的『輸入/輸出對照表』紀錄兩工作站所經過的『虛擬通道連線』 (Virtual Channel Connection, VCC) 為：(600/70)、SW1、(300/200)、SW2、(100/50)、SW3、(10/30)。

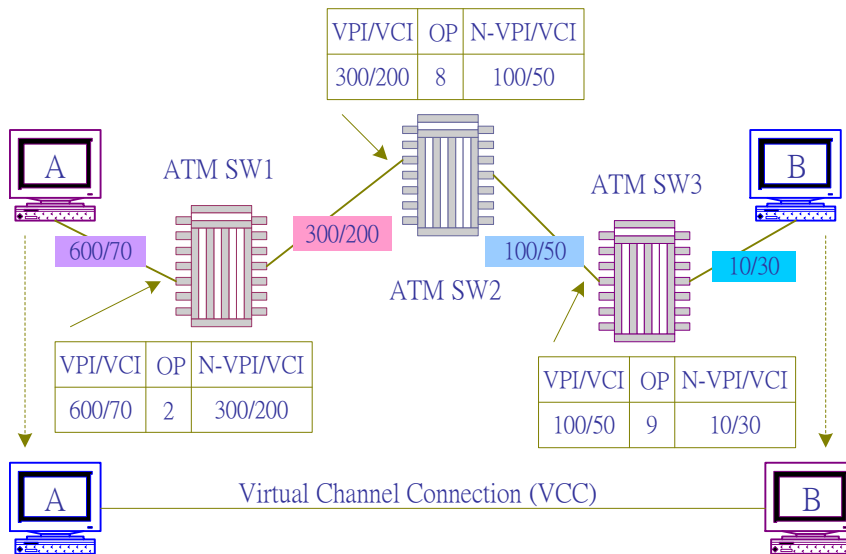


圖 4-10 ATM 網路連線範例

(E) PVC 和 SVC 連線

由以上的介紹我們可以發現，在 ATM 網路上建立連線並非易事。對於某些連線可以使用手動方式載入到 ATM 交換機中稱為『永久式虛擬連結』 (Permanent Virtual Connection, PVC)。PVC 在兩工作站之間 (或交換機之間) 建立一條永久性的連線。此連線不會因為工作站 (交換機) 的因素 (如當機或不傳送資料) 而取消。只要工作站一開機便有一條連線可到達目的地工作站，並保證該連線的傳輸速率及服務品質。傳送端可以在任何時間傳送資料而不必重新建立連線。一般 PVC 的應用有三：

1. 建構網路拓樸圖 (topology)。在建構網路系統時，會有一些固定連線在交換機之間串接，這就必須使用 PVC 連線。
2. 網路系統管理通道。在網路上有一些特殊連線必須永遠保持著，例如系統管理連線，或頻寬管理連線等等。

3. 客戶租用專線。某些客戶需要固定的連線也使用 PVC 來完成。永久式虛擬通道雖然方便但易造成頻寬的浪費。

當工作站需要時再要求 ATM 交換機連線，稱之為『**交換式虛擬連結**』(**Switched Virtual Connection, SVC**)。交換機接收到 SVC 連線要求時，必須評估當時網路頻寬的使用量，以及該連線要求的服務品質，再決定是否允許連線 (允入控制)。連線後必須依照連線時所協商的服務品質提供服務，使用完後立即釋放連線。網路頻寬可充分利用，而不會浪費。但當建立連線時，交換機必須選擇最佳路徑。因此使用到兩個協定：

- **路徑選擇協定 (Routing Protocol)**：網路上交換機之間互相傳遞網路拓樸圖架構的資訊
- **信號協定 (Signaling Protocol)**：讓網路交換機之間可以相互通訊，以及傳遞 UNI (User-Network Interface) 或其他的信號訊息。

(F) ATM 服務類別

ATM 提供多元化的傳輸服務，依資料的性質不同而提供不同的傳輸服務，這就是『**服務品質**』(**Quality of Service, QoS**) 保證。譬如，網路上傳送音訊或視訊時，最重要的是必須即時傳送，但可以允許細胞某種程度的遺失；但如在傳輸資料檔案時，我們大多能夠允許某種程度的延遲，但傳送細胞決不允許遺失，否則整筆資料將會作廢。因此為了符合各種需求而有不同的傳輸服務。我們依照量化的服務品質參數，大略將連線的服務類別區分如下：(如表 4-1 所示)

1. **固定傳輸率 (Constant Bit Rate, CBR)**：提供需要穩定、可預期的傳輸率。該服務不但速率固定，而且延遲時間最小，細胞遺失率最少，又稱為『**線路模擬**』(**Circuit Emulation**)。
2. **即時式變動傳輸率 (Real-Time Variable Bit Rate, RT-VBR)**：提供需要嚴格限制延遲時間、低漏失率的傳輸服務，但容許傳輸率在某種程度下變動，如封包式的語音和視訊的傳送。
3. **非即時式變動傳輸率 (Non-real-Time Variable Bit Rate, NRT-VBR)**：提供支援可以容忍傳輸延遲，以及較不需要及時性的傳輸使用。
4. **可用傳輸率 (Available Bit Rate, ABR)**：提供支援需要高品質傳輸服務 (也就是很低的細胞遺失率)，但又可以容許很大的傳輸速度變化、以及傳遞時間的延遲。如網路上有閒置的網路頻寬時，連線就可以用較快的速率傳送，直到它察覺到接收速率下降，或接收到網路傳來的壅塞通知為止，再降低傳輸速率。

5. **未指定傳輸速率 (Unspecified Bit Rate, UBR)**：未指定傳輸速率，網路頻寬足夠時（其它傳輸服務足以傳送，而剩下之頻寬），再傳送資料服務。如果網路壅塞時，第一個被拋棄的是未指定傳輸速率之細胞。

表 4-1 ATM 的服務類別

服務類別	網路優先權	細胞延遲和延遲變異度	細胞遺失率	尖峰容忍度
CBR	1	低	低	沒有
RT-VBR	2	低	中等	少量
NRT-VBR	3	高	中等	少量
ABR	4	高	中等	高
UBR	5	高	高	高

4-4 廣域網路之傳輸線路

在廣域網路之中，傳輸線路佔非常重要的角色，也佔許多費用。一般連結遠端網路，不論是經過 Internet 網路或專屬線路，都必須向電信公司租用連線，這就是傳輸線路。隨著網路需求日益增加，傳輸線路的傳輸速度也直接影響整個網路的效益，以目前網路發展情況而言，區域網路的速率已接近 Gigabit 以上，最大的瓶頸竟發生在傳輸線路上，一般租用 2.048 Mbps 已算昂貴，但傳輸速率早已不敷所需。目前傳輸線路可分為非同步（PDH）和同步（SDH/SONET）傳輸網路，以下分別介紹之。

4-4-1 PDH 傳輸線路

『非同步數位階層』（**Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH**）是由早期電話語音電路利用多工器，以階層式整合而成，以每一語音通路可傳送 64 Kbps 為基礎，經過多階組合後，成為各種傳輸速率的線路。目前有兩種主要規格：北美採用的 PDH 是 DS-1(T1) (1.544 Mbps)、DS-2(6.312 Mbps)及 DS-3(44.736 Mbps)；而歐洲 PDH 所採用的是 DS-1E(E1) (2.048 Mbps)、DS-2E(8.448 Mbps)、DS-3E (34.368 Mbps) 及 DS-4E (139.264 Mbps) 所組成。各種數位訊號 (Digital Signal, DS) 階層所使用的語音通路數目如表 4-2 所示，及數位階層之多工結構，如圖 4-11 所示。

表 4-2 PDH 之數位位階與語音通路數目

數位位階	語音通路數目	北美	歐洲
DS-0	1	0.064 (Mbps)	0.064 (Mbps)

DS-1	24	1.544	
DS-1E	30		2.048
DS-2	96	6.312	
DS-2E	120		8.448
DS-3E	480		34.368
DS-3	672	44.736	
DS-3+	1344	91.053	
DS-4E	1920		139.264
DS-4	4032	274.167	
DS-5E	7680		565.148

(a) 北美 PDH



(b) 歐洲 PDH

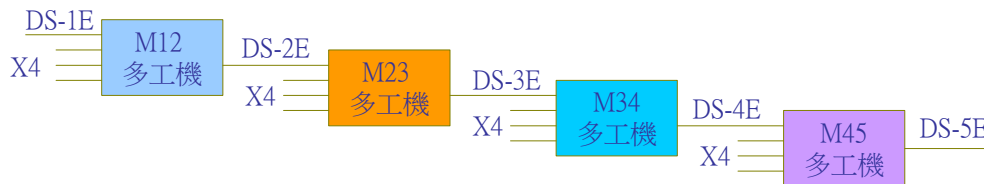


圖 4-11 PDH 構成的數位階層

我們用圖 4-12 來說明區域網路之間如何以 PDH 傳輸線路，藉由廣域網路來互相連結，此連接方式為一般大都會網路系統（如 HiNet、TANet）所使用，各地區網路透過 PDH 傳輸線路連結到骨幹網路，其中也許會經過數據網路系統、ATM 網路或訊框中繼網路等等。區域網路上路由器（或稱外部閘門）以『高速串列介面』(High-Speed Serial Interface, HSSI)（一般稱之為 WAN Port）連結到『通道/數據服務單元』(Channel/Data Service Unit, CSU/DSU)，將原來串列資料依照租用之傳輸速率（D1、E1、D3），填入語音通道之內，再利用雙絞線或光纖傳送到交換網路內。一般大都會網路都會依照地區性，將週邊之區域網路連結到各地區之網路中心，各網路中心之間再租用較快速的傳輸線路來互相連結。

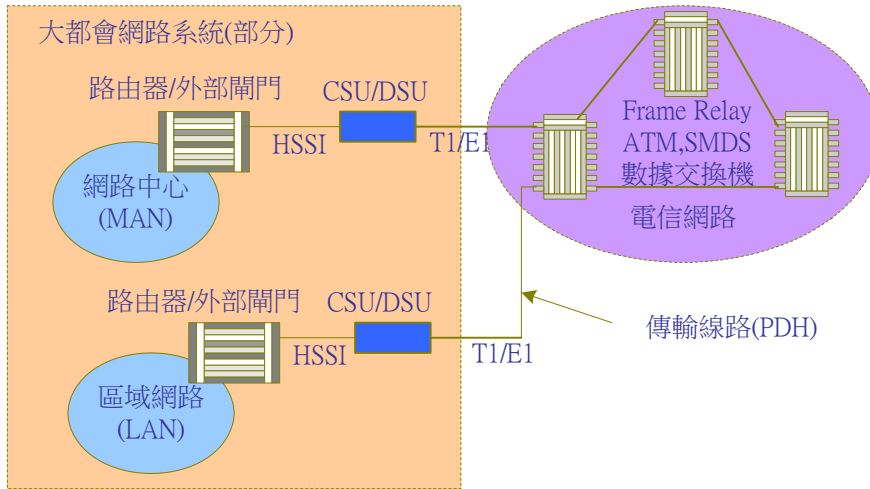


圖 4-12 大都會網路透過 PDH 連接

4-4-2 SDH/SONET 傳輸線路

由圖 4-11 中，我們可以觀察到 PDH 是由多個數位階層 (如 DS-1)，以多工器組合而成，譬如，DS-2 是由四條 DS-1 所組合而成，又 DS-3 是由七條 DS-2 多工而成，因此，DS-N 是由 DS-(N-1) 所構成。如果速率愈高所經過的多工器就愈多，每經過一個多工器，在多工器上的時序就必須再整合同步一次，因此，整個傳輸線路 (如 DS-3) 時序的處理就變得非常困難，所以稱之為『非同步數位階層』(Plesiochronous 為非同步之意)。

『同步數位階層』(Synchronous Digital Hierarchy, SDH) 就是針對 PDH 的缺點改進，可使傳輸速率提高更多 (可達 2.4 Gbps)。圖 4-13 是 SDH 的多工方式，為單一層次的多工處理。SDH 可整合多個 PDH 之訊號階層成為 SDH 的『同步傳輸模組』(Synchronous Transport Module, STM) 訊號，其優點如下：

- 簡化多工/解多工技術。
- 可直接存取低速率的訊號。
- 可隨時加入或取出某一數位訊號。
- 較容易配合未來傳輸技術的發展。

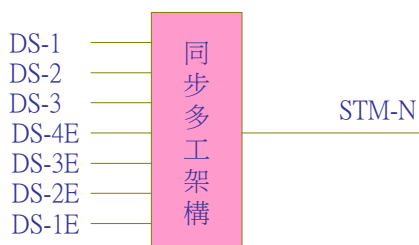


圖 4-13 SDH 的多工方式

SDH 是 1986 年由 CCITT 所制定之標準，另一標準『同步光纖網路』(**Synchronous Optical Network, SONET**) 是由北美 T1X1 於 1985 年所制定，也如同 PDH 一樣，分為北美和歐洲兩種標準，還好兩個標準差異不大，一般都還可以相容，但目前台灣大多是採用 SDH 標準。同步數位架構 (SDH) 是以『同步傳輸訊號』(**Synchronous Transport Signal, STS**) 為基礎，再多工整合而成，STS-1 的標準傳輸速率為 51.84 Mbps。在 SONET 標準中，是以光纖做為傳輸媒介，因此稱之為『光承載』(**Optical Carrier, OC**)，同樣的，OC-1 的傳輸速率也是 51.84 Mbps。表 4-3 為 SDH/SONET 階層的速率標準，和相當於 PDH 的數位訊號階層。表中 STS-N 表示第 N 階的同步傳輸訊號，例如，STM-1 為 STS-3 的數位訊號階層，傳輸率為 155.52 Mbps(= 3 × 51.84 Mbps)。在 SDH 標準中 STM-N 是由 N 個 STM-1 所構成；而 SONET 的 OC-N 是由 N 個 OC-1 所構成。但是 STM-1 的傳輸速率為 155.52 Mbps；而 OC-1 為 51.84 Mbps。

表 4-3 SONET/SDH 標準速率

OC-N/STM-N 階層	STS-N 階層	速率 (Mbps)	Payload (Mbps)	Overhead (Mbps)	DS-3 數目
OC-1	STS-1	51.84	50.112	1.728	1
OC-3/STM-1	STS-3	155.52	150.336	5.184	3
OC-12/STM-4	STS-12	622.08	601.344	20.736	12
OC-24	STS-24	1244.16	1202.668	41.472	24
OC-48/STM-16	STS-48	2488.32	2405.376	82.944	48
OC-192/STM-64	STS-192	9953.28	9621.504	331.776	192

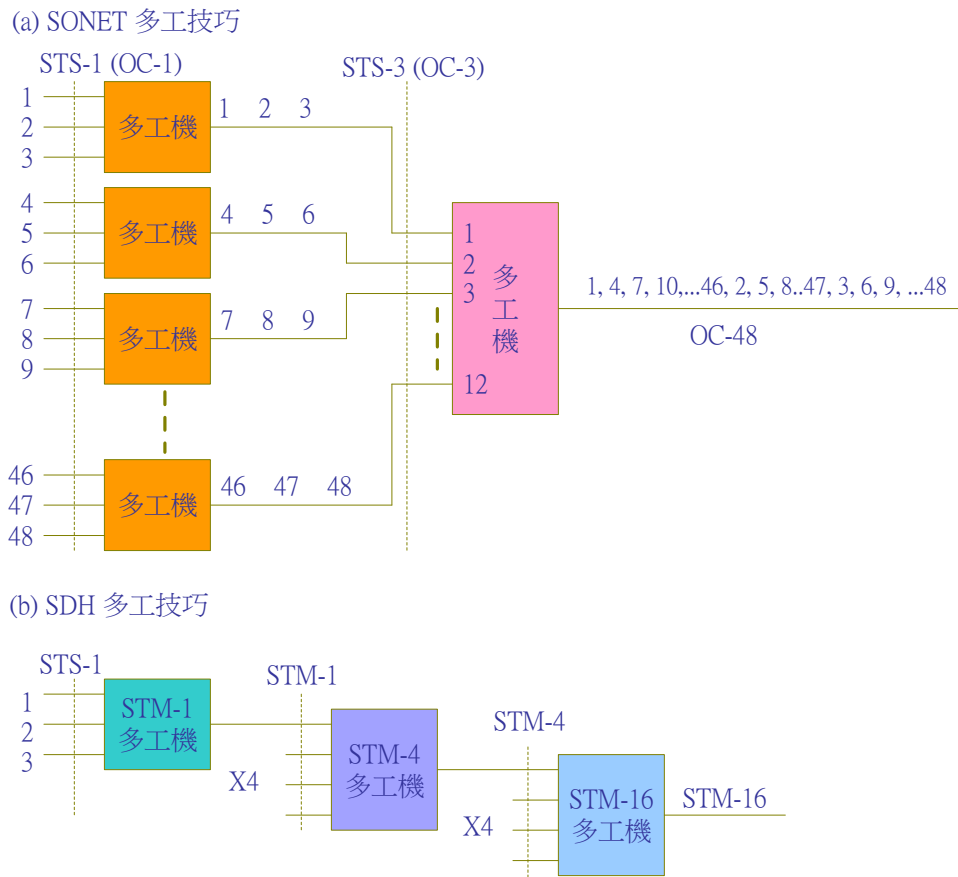


圖 4-14 SDH/SONET 多工方式之範例

圖 4-14 為 SDH/SONET 的多工範例。SONET 訊號是由最低階的 OC-1 (STS-1) 多工而成為較高的 OC-N。如圖 4-14 (a) 中，OC-48 訊號 (2.488 Gbps)，首先由三路的 STS-1 多工成一路的 STS-3，然後再將 12 路的 STS-3 多工成 STS-48，其順序為 1、4、7、...、46、2、5、8、...、47、3、6、9、...、48，然後再將 STS-48 電氣訊號速率轉換成 OC-48 光載波的訊號。SDH 的多工技巧是以 STM-1 為基礎，再以階層式組合而成。如圖 4-14 (b) 中，STM-1 是由三路 STS-1 所多工而成，為基礎訊號，STM-4 是由四路的 STM-1 所多工而成；而 STM-16 則是由四路的 STM-4 多工而成。但在 SDH 系統之中，無法被解多工得到單一個 STS-1 之資料。

一般稱 STM-1 (155.520 Mbps) 為 SDH 的最基本之同步傳送模組，這表示 STM-N 的傳輸模組是以 STM-1 的傳送訊框為基礎。STM-1 之訊框格式如圖 4-15 所示，整個訊框的空間為 $9B \times 270$ ，B 為位元組 (Byte)，每個訊框的傳送時間為 125 us (8000 訊框/秒)。如果以 STM-N 計算，整個訊框空間為 $9B \times 270 \times N$ ，傳輸標頭為 $9B \times 9 \times N$ ，每個訊框的傳送時間依然為 125 us，但傳送速率已提高 N 倍。各種傳輸速率之訊框標頭也會佔用傳輸頻寬，佔用多寡如表 4-3 所示。

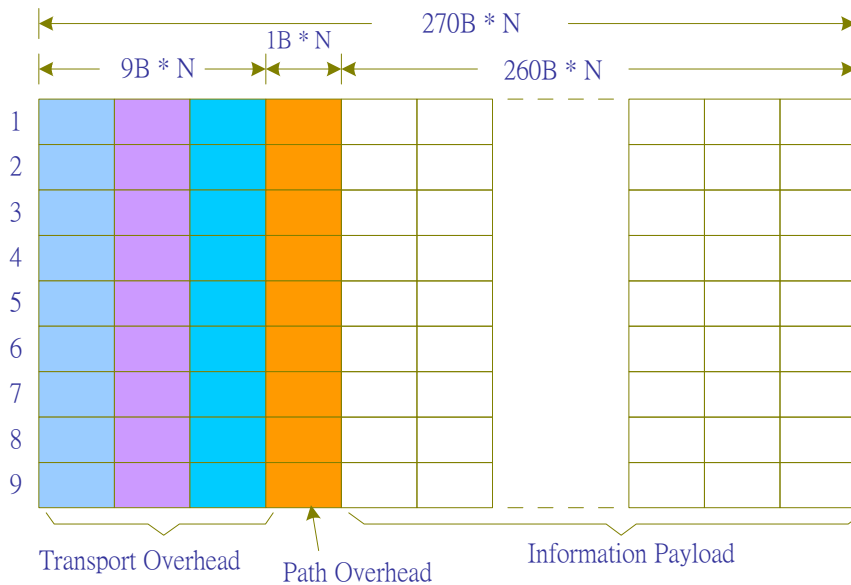


圖 4-15 STM-1 之基本通訊模組

目前許多網路設備的實體層，也都使用 SDH 傳輸模式，如 FDDI 或 ATM 網路，不但可以提高傳輸速率，在不同的網路設備之間連結亦較容易。以圖 4-16 為例，目前許多電信公司皆有 ATM 網路的線路承租，本身 ATM 的實體層可以使用 SDH 傳輸媒介，如和本地區域網路之 ATM 網路連接，就不需要 CSU/DSU 設備，傳輸速率也可達到 2.4 Gbps 以上。

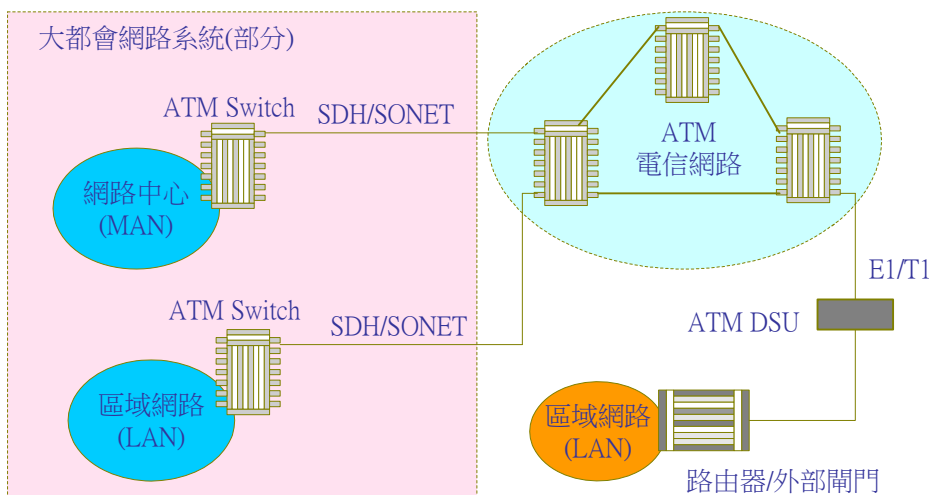


圖 4-16 ATM 網路之間透過 SDH 連接

4-5 寬頻網路簡介

由上述幾節，我們大略可以了解，在廣域網路連結上，最大傳輸瓶頸和網路費用就是遠距離之間的連線，通常的作法是向電信公司承租數據專線，無論承租 SDH 或 PDH 連線，電信公司都必須另外佈放一條雙絞線或光纖纜線到客戶端，導致傳輸費用居高不下。而一般個人用戶端，只好利用原來電話線路，以撥接方式連結到遠端電腦，但受限於電話系統上 PCM 多工處理的頻寬限制，

一條電話線路只容許 2~3 KHz 的頻寬，傳輸速率只能達到 56 Kbps，已難再提昇。如何達成普遍化的廣域網路連線問題，一直是網路市場上最大的利益所在(客戶端佈線一直是電信公司最大的負擔，約佔整個設備資產一半以上)。我們可以觀察到，如果我們利用目前已連線到每一個家庭和公司行號的線路，將數據訊號附加在該傳輸線上，便能有效的解決此問題，因此，就有兩大系統被發展出來：『混合光纖同軸電纜』(Hybrid Fiber Coaxial, HFC)和『非對稱數位用戶迴路』(Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL)。HFC 是利用每一戶家庭都有的有線電視纜線 (CATV)，將數據訊號載入 CATV 纜線上；而 ADSL 是利用現有的電話線路，載入寬頻訊號而成。

4-5-1 HFC 寬頻網路

圖 4-17 為『混合光纖同軸電纜』(HFC)網路系統架構，由電信公司佈放光纖電纜到各區域，每個區域也許是一棟建築物、或是一個街角，再分支出若干個同軸電纜區段 (CATV 部分)，每一區段之內的工作站共享該區段的傳輸媒介。每一區段構成一個獨立的區域網路，可連接 300~500 部工作站，連線距離也可達八十公里。因此，整個網路的架構可區分為兩大部分：光纖區段是屬於點對點的傳輸方式；而同軸電纜是屬於匯流排式共享媒介的傳輸方式。整個網路不但必須傳送廣域網路之數據資料，也必須傳送原來具備之電視頻道的訊號，所以，關於傳輸規格是由 IEEE 802.14 與數位影音委員會 (Digital Audio-Visual Council, DAVIC) 所共同制定而成。

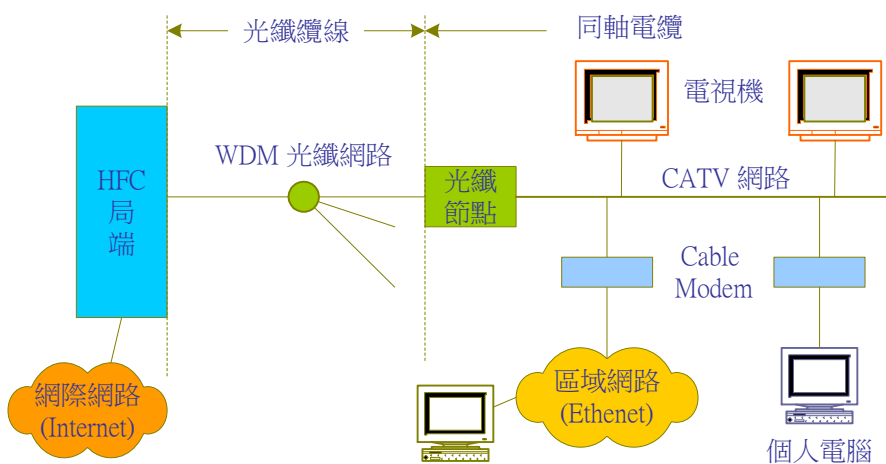


圖 4-17 HFC 網路架構圖

在光纖傳輸方面是使用單模光纖纜線，並以『波長多工調變』(Wavelength Multiplexing Modulation, WDM) 將視訊及數據傳輸訊號傳送到光纖節點上。在 CATV 方面，目前所使用之同軸電纜的頻寬大多是 750 MHz，我們將 54 MHz 到 750 MHz 之間劃歸為下行頻道 (由電信公司到客戶端的傳輸訊號)，承載電視訊號和下行的數據訊號，每一個頻道為 6 MHz。數據訊號以 QPSK

調變(Quadrature Phase Shift Keying Modulation)技術可達 10 Mbps，如以 64 QAM 調變(Quadrature Amplitude Modulation)，則可達 36 Mbps 的傳輸速率。上行通道(由客戶端到電信公司)是介於 5 MHz 到 42 MHz 之間，因為上行通道所接過的纜線環境較為複雜(一般 CATV 只有下行訊號)，只適合使用較窄的頻寬來調變，一般都採用 2 MHz 的頻寬，如使用 64 QAM 調變技術，傳輸速率大約在 15 Mbps 左右。因此，HFC 的傳輸速率在下行方面可達 36 Mbps；而上行速率為 3~10 Mbps 之間，但隨著傳輸距離的遠近，電信公司都會有所調整，一般下行速率在 10~30 Mbps；而上行速率為 2~10 Mbps 之間。但這個傳輸頻寬是 CATV 之下的區域網路共享，如網路上工作站愈多(200~300 部)，各工作站所分配到的頻寬就愈少。在圖 4-17 中，個人電腦或區域網路必須透過『**纜線數據機**』(**Cable Modem**)，將上行數位訊號(基頻訊號)調變成寬頻訊號(類比訊號)，又須將下行之寬頻訊號解調變為數位訊號，因此，CATV 網路又稱之為 Cable Modem 網路。

IEEE 802.14 是 IEEE 於 1994 年所制定的 CATV 區域網路之通訊協定，如圖 4-18 (a)。又 LLC 層之 PDU 經過 802.14 調解層分割為若干個固定大小的封包格式，再傳送給 802.14 MAC 層，取得媒介傳輸權後將封包傳送出去。802.14 實體層為規範訊號調變技術(如 64 QAM 或 256 QAM)，及有關之訊號方式的規格。基本上，IEEE 802.14 是屬於集中控制型態，網路運作原理也非常類似於『**分散式佇列雙匯流排**』(**Distributed Queue Dual Bus, DQDB**)，並以上下頻道來代替雙匯流排。IEEE 802.14 的運作原理，簡要說明如下：(如圖 4-18 (b) 所示)

- 網路源頭(一般都是接點控制器)將上下頻寬分割為數個頻道，每一頻道可給予若干個工作站所共用。
- 工作站由下行頻道接收資料後，再判斷是否傳送給自己，否則將其拋棄。
- 任何工作站啟動時，都必須向網路源頭註冊，網路源頭依照網路負載情況，再將工作站分配到某一頻道上，源頭也必須紀錄每一頻道上之工作站。
- 網路源頭在所有下行頻道上，連續產生固定大小的時槽(Mini-slot)，工作站欲傳送資料便去查閱時槽上的紀錄(優先等級)，如允許傳送便在時槽時間內填入固定大小的封包。
- 工作站欲使用時槽傳送資料必須預先登記，可在上行通道的時槽上登錄欲傳送訊號的優先等級，源頭再依照優先等級發送時槽。
- 如發生碰撞現象(由下行頻道讀出)，再以工作站識別碼比較大小，識別碼較大者取得優先權(如 Token-Bus 的運作方式)。

- 由於有優先等級的控制，CATV 網路也可以提供『常速率』(Constant Bit Rate, CBR)、『變速率』(Variable Bit Rate, VBR) 及『餘速率』(Available Bit Rate, ABR) 等不同等級的服務。

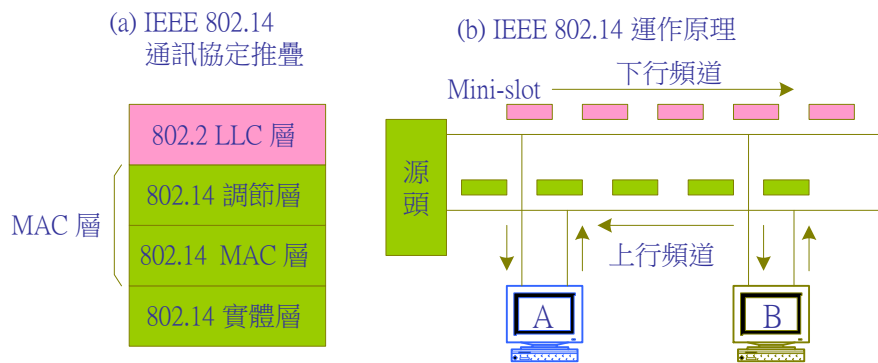


圖 4-18 IEEE 802.14 通訊協定堆疊及運作原理

4-5-2 DSL 寬頻網路

『數位用戶迴路』(Digital Subscriber Line, DSL) 是利用現有的電話線路來傳輸寬頻訊號，一般電話纜線大都是採用 AWG 24 或 AWG 26(American Wire Gauge, AWG)，頻寬也都可達 1 MHz 左右 (隨傳輸距離而變)，我們可以保留原來語音通道的頻寬範圍，而將較高的頻寬範圍拿來傳送數據訊號，這就是數位用戶迴路的基本原理。DSL 之網路架構如圖 4-19 所示，一般傳統之電話系統的設備稱之為『純舊式電話服務』(Plain Old Telephone Service, POTS)，所佔用的語音頻道為 0 ~ 4KHz，如圖 4-20 所示。POTS 分歧器將過濾不同的頻道 (語音和數據)，數據傳輸之頻寬範圍為 25 KHz 到 1.1 MHz 之間。因此，我們就可以利用原來的電話線路，同時傳輸語音訊號和數據訊號。

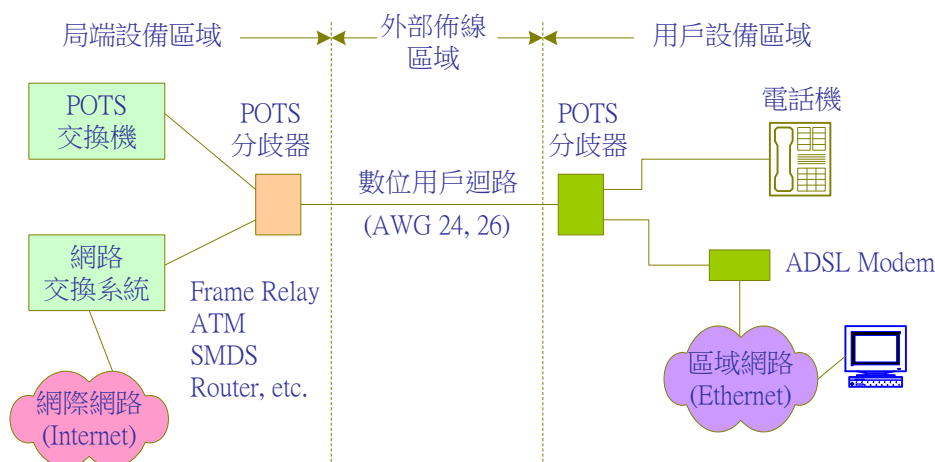


圖 4-19 DSL 網路架構圖

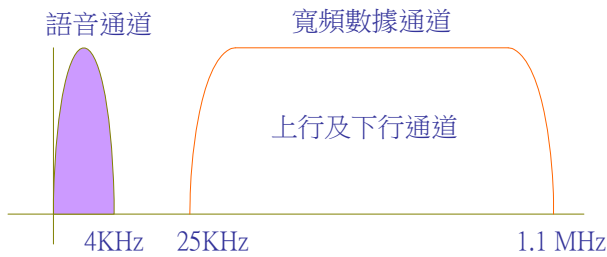


圖 4-20 DSL 之頻寬分配

在寬頻傳輸方面，我們將以每 4.3125 KHz 分個為一個頻道，整個頻寬可區分為 250 個頻道，每一頻道再以 QAM 或 DMT (Discrete Multitone) 等各種調變方式，載入數據資料位元，DSL 的傳輸方式就可以達到數 Mbps 以上。但在這 250 個通道裡，我們會依照各種傳輸線路的要求不同，而有各種不同的上行或下行的頻道分配，如果上行或下行的頻道分配一樣（速率也一樣），就稱為『對稱傳輸』，否則稱之為『非對稱數位用戶迴路』(ADSL)。另一方面，DSL 是要達到數據傳輸為主要目的，該數據交換設備不同（如 Frame Relay、ISDN 或 ATM），所需的訊框結構也不同，因此，由各種上/下行的傳輸速率，以及不同的訊框結構（ATM 或 STM），就有所謂 xDSL 家族系列的產生，各種 DSL 的調變技術也不一樣，其特性如表 4-4 所示，簡單說明如下：

- **HDSL (High Bit-Rate DSL)** : 高傳輸速率 DSL，訊框結構必須能符合 Frame Relay 數據交換設備，傳輸速率也以 T1/E1 (1.544/2.048 Mbps) 為主。
- **VDSL (Very High Bit-Rate DSL)** : 最高傳輸速率可達 52 Mbps，訊框結構也模擬 SONET 的訊框，但傳輸距離只有 500 公尺。
- **SDSL (Single-Line DSL)** : 使用一對線的 HDSL。
- **IDSL (ISDN DSL)** : 符合 ISDN 之 2B/1D 傳輸速率及訊框，傳輸速率也以 128 Kbps 為主。
- **ADSL (Asymmetric DSL)** : 非對稱傳輸速率，亦是，上行和下行傳輸速率不同，為目前最廣泛使用的 DSL 線路，訊框格式可能依照所連接之 ATM 或 Frame Relay 而不同。
- **RADSL (Rate-Adaptive DSL)** : 上下行的傳輸速率會依照線路情況而自動調整。
- **CDSL (Consumer DSL)** : 使用較低傳輸速率的 DSL，用戶端不需要分歧器。

表 4-4 xDSL 家族系列之特性

名稱	傳輸速率	傳輸模式	備註
HDSL	1.544 Mbps 2.048 Mbps	對稱式	使用兩對線。
SDSL	1.544 Mbps 2.048 Mbps	對稱式	使用一對線。
ADSL	上行 16 至 640 Kbps 下行 1.5 至 8 Mbps	非對稱式	使用一對線，最大距離為 5 公里，下行速率一般都使用 6 Mbps。
RADSL	上行 16 至 640 Kbps 下行 1.5 至 8 Mbps	非對稱式	使用一對線，速率可依環境因素改變。
CDSL	上行可達 128 Kbps 下行可達 1 Mbps	非對稱式	使用一對線，用戶端不用分歧器。
ISDL	128 Kbps	對稱式	使用一對線，ISDN 的基本速率介面 (BRI)，語音和數據可同時使用。
VDSL	上行 1.5 至 6 Mbps 下行 13 至 52 Mbps	非對稱式	電話線路為 500 公尺，如配合光纖構成迴路可達 10 公里以上。

表 4-4 只能做參考，因為目前 DSL 的傳輸技術不斷在更新與突破，傳輸速率及線路距離也不斷提高。又 DSL 線路品質也會直接影響到所使用的調變技術，如使用承載容量較高的調變技術（如 256 QAM），所產生之載波訊號容易受外來訊號干擾。原來電話系統大多是佈放 AWG 26 的纜線，對於干擾訊號的抗拒能力較弱，目前電信公司也都將其更換為 AWG 24 纜線。另一方面 DSL 所能夠傳輸的距離，一直就為人所詬病，目前電信公司（中華電信公司）為了克服這個困難點，已將光纖佈放到家（Fiber-to-the- Home, FTTH）、光纖到大樓（Fiber-to-the- Building, FTTB）或光纖到辦公室（Fiber-to-the- Office, FTTO），使 DSL 的連線距離減到最低，也將傳輸速率提到最高。又在 ADSL Modem 方面，各家廠商所使用的調變技術不盡相同，因此無法混合使用。以下我們就針對 ADSL 作介紹，至於其它系統較為少用，有興趣請參考其他書籍。

4-6 ADSL 寬頻網路

『非對稱數位用戶迴路』（Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL）表示上行和下行傳輸速率不同，是依據 ATM Forum 和 ANSI T1.413 Issue 2 所制定的標準。基本上，ADSL 的調變技術是採用 DMT (Discrete Multitone)，但也有許多廠商以 CAP (Carrier-less Amplitude/Phase) 調變技術生產 ADSL Modem。不論採用何種調變技術，對於纜線頻寬的使用可分為『頻率分割多工』（Frequency Division Multiplexing, FDM）和『回聲消除』（Echo Cancelling, EC）兩種。

圖 4-21 (a) 為 FDM 方式，上行頻寬範圍由 25 KHz 到 200 KHz 之間；而下行頻寬由 200 KHz 到 1.1 MHz，上/下行頻寬分開使用。圖 4-21 (b) 為 EC 方式，上行頻寬部分成為雙向使用，

當 ADSL 下行傳送資料時，也可以利用上行頻寬。因此，EC 方式可以充分利用頻寬，對於下行傳輸速率可以提高，但相對應的，必須消除雙向傳輸所產生的『回聲』(Echo)。依照 ANSI T1.423 中規範，DMT 調變技術必須提供 FDM 和 EC 兩種頻寬使用方式。

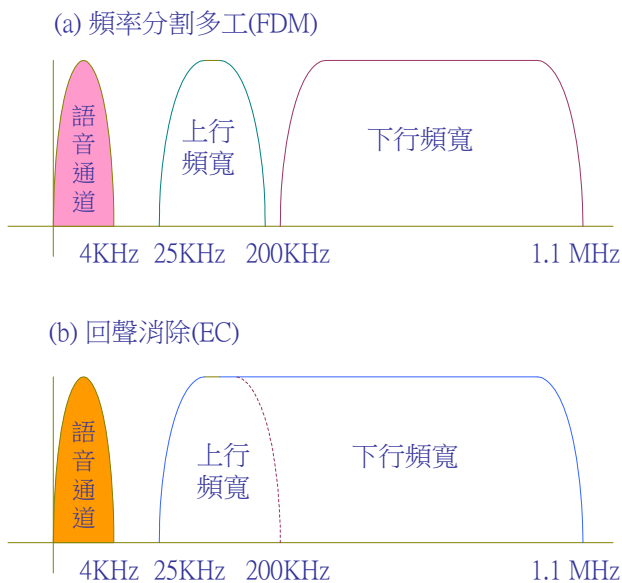


圖 4-21 ADSL 之頻寬分配

4-6-1 QAM/CAP 調變技術

『四象限振幅調變』(Quadrature Amplitude Modulation, QAM)是 ADSL 調變的基本技術，它的調變技術非常類似『四象限相位偏移鍵』(Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK)。首先，我們來探討 QPSK，再依其理論推展出 QAM 的製作原理。基本上，數位訊號調變為類比訊號有三種基本技術：振幅位移鍵 (Amplitude Shift Keying, ASK)、頻率位移鍵 (Frequency Shift Key, FSK) 及相位位移鍵 (Phase Shift Key, PSK)。如果僅用 PSK 調變技術，依照不同的相位來表示各種位元資料，以四種相位偏移為例子，其相位偏移量為 900 的倍數，就可以表示兩個位元的資料，表示資料如下：(假設：載波訊號為 $A\cos(2\pi fCt)$ 、A 為振幅大小、傳送訊號為 $s(t)$)

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

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

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

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

由上述可知，我們可以用四個角度表示二個位元資料，同理，如使用八個角度，則可表示三位元的資料，如果，我們再將振幅位移調變加入相位位移調變之中，以二個振幅大小 (A_1, A_2)，混

合調變之後就可以表示四位元資料，這就是 16-QPSK 的製作原理(16 種數據變化)，如圖 4-22 所示。

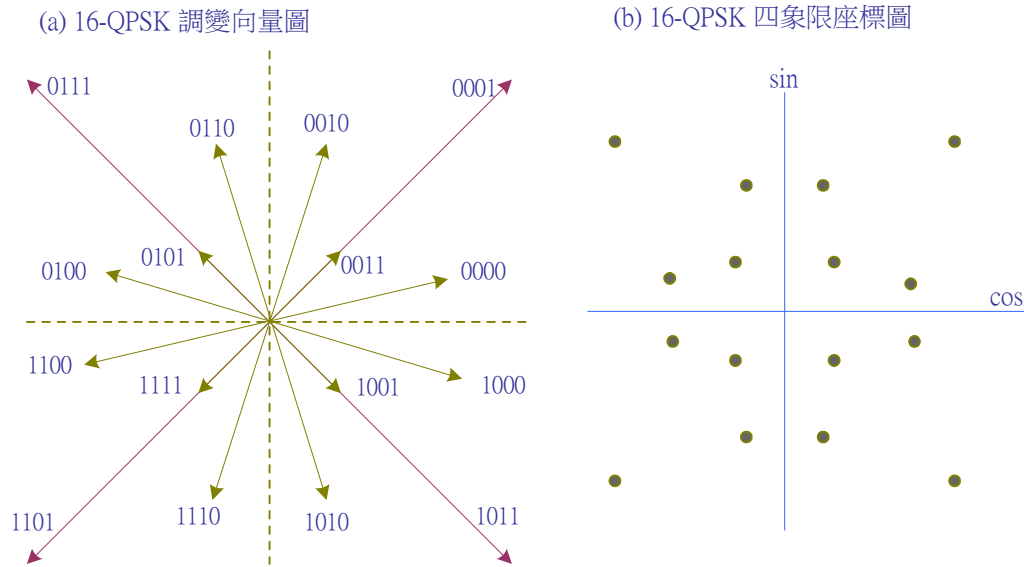


圖 4-22 QPSK 調變技術的基本原理

圖 4-22 為 16-QPSK 調變技術的基本原理，利用 PSK 和 ASK 混合調變技術，圖 4-22 (a) 為每一筆訊號之向量圖，如果以零角度為 cos 座標，900 度為 sin 座標，各筆訊號的四象限位置如圖 4-22 (b) 所示。但 QAM 的調變技術在製作上與 QPSK 有點不同，它是以反方向製作，原理如下說明：依照三角函數計算，PSK 和 ASK 混合調變後訊號，都可以轉換成 sin 和 cos 的函數訊號的合成：(A 和θ 是變化性的)

$$A\cos(2\pi fCt + \theta) = A_1\cos(2\pi fCt) + A_2 \sin(2\pi fCt)$$

因此，在 QAM 的調變技術之中，我們可以取某些位元由 $A_1\cos(2\pi fCt)$ 來表示，以變化不同的 A_1 表示位元資料，另一方面，某些位元由 $A_2 \sin(2\pi fCt)$ 表示，也是變化不同的 A_2 表示各種資料。再將兩序列的訊號混合起來 ($A_1\cos(2\pi fCt) + A_2 \sin(2\pi fCt)$)，就成為 QAM 調變訊號。製作方式如圖 4-23 (a) 所示，首先將輸入之位元分為 X、Y 兩群，X 值用 cosine 波形調變，成為 I (In-phase) 分支訊號；而 Y 值用 sine 波形調變，成為 Q (Quadrature) 分支訊號，兩分支訊號再混合而成，也因此稱之為『四象限振幅調變』(QAM)。圖 4-23 (b) 為 16-QAM 之四象限座標圖。

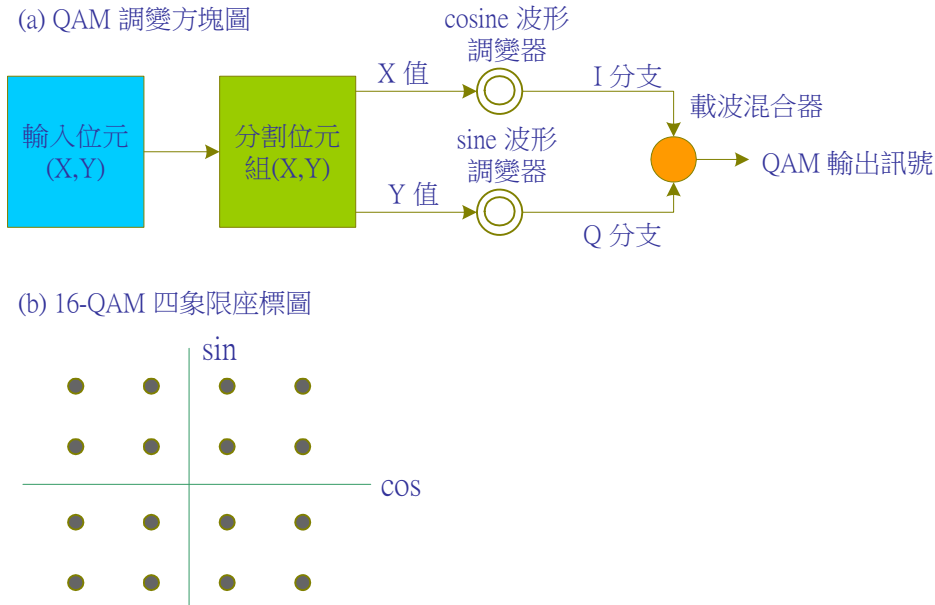


圖 4-23 QAM 調變技術

『無載波之振幅與相位調變』(**Carrier-less Amplitude and Phase Modulation, CAP**) 也是 QAM 應用的一種，當產生 QAM 訊號後，將載波訊號 ($\cos(2\pi f_c t)$) 濾掉，只剩下調變之變化訊號，再將它發送到 ADSL 纜線上。當對方接收到無載波訊號後，必須再回復原來的載波訊號，才可以從事解譯的工作。圖 4-24 (a) 為原來 QAM 之具有載波的訊號波形，濾掉載波訊號後之波形，如圖 4-24 (b) 所示。因此，在纜線傳送之中，就可以減少載波訊號，不論在消耗功率或訊號干擾方面都較為理想，一般無線電或有線電的訊號傳輸都用此方法。

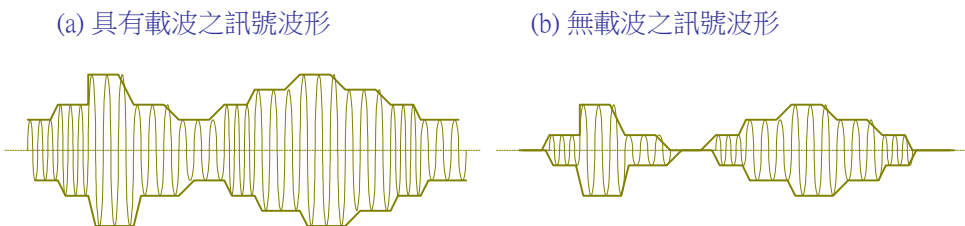


圖 4-24 CAP 調變技術

4-6-2 DMT 調變技術

『離散多聲道調變』(**Discrete Multitone Modulation, DMT**) 也是 QAM 應用的一種，但不同於 CAP 調變，CAP 是將所欲傳送的資料位元數，區分為兩部分以 sine 或 cosine 在整個傳輸頻寬(上行或下行)上調變。而 DMT 是將傳輸頻寬區分為若干個小通道，而每一通道再分別以 QAM 調變技術載入傳送資料。

我們將 ADSL 纜線的頻寬 (0~1.1 MHz) 以 4.3125 KHz (一般簡稱為 4 KHz) 為一小頻寬，分割成 256 個子通道 (Sub-carrier)。#1~#6 子通道預留給原電話語音使用 (佔 25.875 KHz)，#7~#38 之間計有 32 個子通道作為上行傳輸使用 (或雙向使用)，其餘 218 個子通道作為下行傳輸使用，子通道之分配如圖 4-25 所示。上下行的子通道總和為 250 個，如果使用『回聲消除』技術，250 個子通道都可作為下行傳輸使用。如果以 T1.413 規範為例子，每個通道上以 256 QAM 調變技術，那麼每個訊號變化週期就可以承載 8 位元資料 (8 bits/Hz)，每個子通道頻寬為 4 KHz，就可以承載 32 Kbits ($= 4 \text{ KHz} \times 8 \text{ bits/Hz}$)。上下行的傳輸速率的計算如下：

傳輸速率 = 子通道數目 × 子通道頻寬 × 每個訊號週期的傳輸率

上行傳輸速率 = $32 \times 4 \text{ KHz} \times 8 \text{ bits/Hz} = 1024 \text{ Kbps} = 1.024 \text{ Mbps}$

下行傳輸速率 = $218 \times 4 \text{ KHz} \times 8 \text{ bits/Hz} = 6976 \text{ Kbps}$ 或

下行傳輸速率 = $250 \times 4 \text{ KHz} \times 8 \text{ bits/Hz} = 8 \text{ Mbps}$ (使用回聲消除技術)

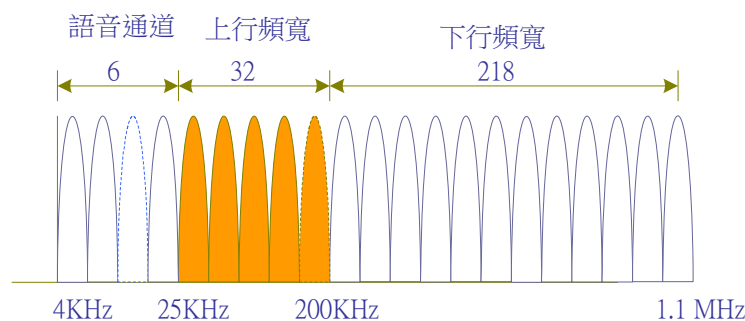


圖 4-25 DMT 之頻分配

上述的計算是一種理想狀態，一般在透過媒介傳輸訊號時，容易受外來的干擾訊號影響，造成某一小通道上有雜訊，或是傳輸媒介的阻抗及衰減等因素，使各小通道上的增益也不會相同，如圖 4-26 所示。DMT 會依照各小頻道上所能傳送之訊號電位大小，來決定每一頻道所能載送的位元數量 (128 QAM、256 QAM 或 512 QAM 調變技術)，或者停止某一頻道上的傳輸。因此，DMT 的調變方式可以依照 ADSL 線路品質，自動調整傳送速率，可適用於『調適速率 DSL』(Rate-Adaptive DSL, RADSL)，這也是 DMT 成為標準規範的主要原因。但 DMT 的數位訊號處理技術比較困難達成，而且在『回聲消除』方面也較困難，隨著新技術的發展，目前這些困難已漸漸能克服。

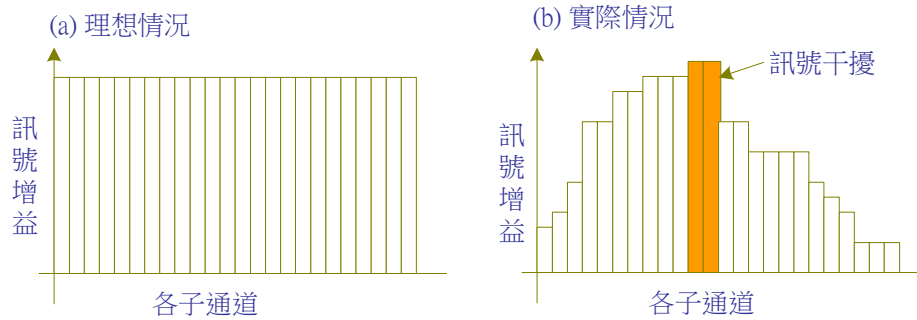


圖 4-26 DMT 調變技術的實際情況

4-6-3 ADSL 訊框格式

ADSL 是數據傳輸機制，如何將欲傳輸的數據整合於訊框之內，也是一件重要的課題。早期設計 ADSL 的最主要目的，是要它具有類似 PDH (T1 或 E1) 的傳輸功能，因此，在訊框的設計方面，非常類似 T1 或 E1 的格式，傳輸速率也以 32 Kbps 的倍數計算。但隨著非同步傳輸的應用越來越廣泛，ADSL 的訊框格式也區分為同步傳輸和非同步傳輸兩大類，但訊框格式都如同圖 4-15 所示。圖 4-27 為 ADSL 的超級訊框，每 17 ms 送出一個超級訊框 (Superframe)。不論上行或下行傳輸，每一個超級訊框是由 68 個 ADSL 資料訊框和一個控制訊框 (synch) 所構成。也就是，ADSL 每 246 μ s 送出一個訊框，69 個訊框佔有 17 ms。各子通道也依照傳輸速率的大小，來決定填入資料訊框內資料的多寡。

ADSL 訊框是由『快速資料緩衝器』(**Fast Data Buffer**)和『插頁資料緩衝器』(**Interleaved Data Buffer**) 兩部分所構成。各個通道的資料經過攪拌及『順向錯誤修正』(**Forward Error Correction, FEC**) 編碼後，填入這兩個緩衝器內。資料經過攪拌後 (攪拌產生器為 $1 + X^{18} + X^{23}$) 較容易處理 FEC 編碼。FEC 是採用 Reed Solomon 編碼技巧，它是 BCH(Bose, Chaudhri, and Hocquenghem) 編碼的一種，可處理二進位或非二進位的錯誤修正碼 (請參考有關錯誤控制編碼的書籍)。資料經過 FEC 編碼後，將產生之多餘檢查碼以交錯方式，放置在插頁資料緩衝器之中，以便對方接收時作錯誤修正之用。

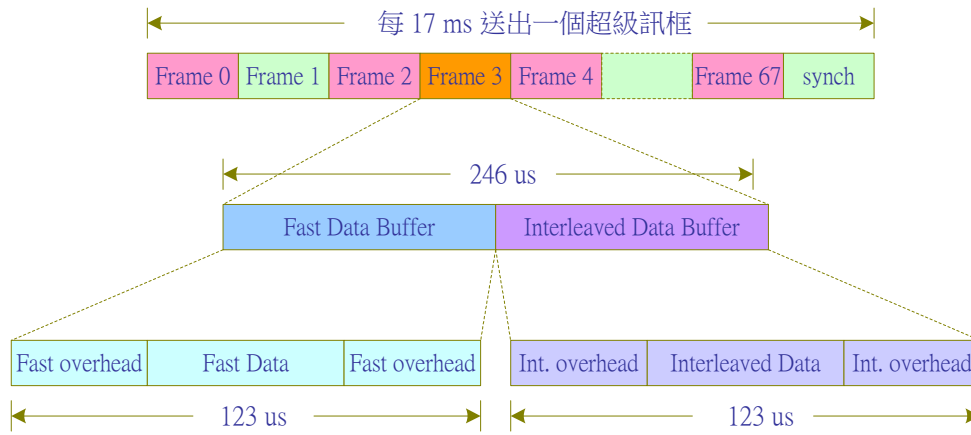


圖 4-27 ADSL 訊框格式

習題

1. 請簡略繪出廣域網路 (WAN) 架構，並說明各部門網路的功能。
2. 何謂 WAN 點對點電路專線連接？並請說明其特性。
3. 何謂 WAN 虛擬電路專線連接？並請說明其特性。
4. 何為 WAN 撥號連接？並請說明其特性。
5. 請簡略說明 Frame Relay 交換機的運作原理。
6. 在 Frame Relay 所連接之專線服務裡，是否可以提供 SVC (Switched Virtual Connection) 連線服務？應該具有哪些條件？
7. 何謂 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) 傳輸線路？
8. 各地區網路如何利用 PDH 傳輸線路，透過廣域網路來互相連接？
9. 請繪圖說明利用 PDH 傳輸線路連接的『大都會網路』網路架構，及應具有之相關技術和設備。
10. 請繪圖說明利用 SDH/SONET 傳輸線路連接的『大都會網路』網路架構，及應具有之相關技術和設備 (電信網路為 Frame Relay 交換機)。
11. 同上題，電信網路為 ATM 交換機。
12. 何謂『服務品質』(Quality of Service) 保證？請說明其在一般應用上有何關聯？

13. 請說明下列 ATM 所提供的服務類別之特性：
 - (1) Constant Bit Rate (CBR)
 - (2) Real-Time Variable Bit Rate (RT-VBR)
 - (3) Non-Real-Time Variable Bit Rate (NRT-VBR)
 - (4) Available Bit Rate (ABR)
 - (5) Unspecified Bit Rate (UBR)
14. 何謂 VP 及 VC ? 請說明兩者之關係。
15. 何謂『**虛擬通道連線**』(**Virtual Channel Connection, VCC**) ? 其如何建構而成 ? 請舉例說明之。
16. 何謂 PVC 連線 ? 何謂 SVC 連線 ? 並請說明兩者建立的時機及其功能。
17. 何謂 SDH/SONET 傳輸線路 ?
18. 請繪圖說明 HFC (Hybrid Fiber Coaxial) 寬頻網路架構。
19. 請說明 CATV 區域網路 (IEEE 802.14) 的工作原理。
20. 請繪圖說明 DSL (Digital Subscriber Line) 寬頻網路架構。
21. 何謂 ADSL 寬頻網路 ? 並請說明其特性。
22. 何謂 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 調變技術 ? 請說明其工作原理。
23. 何謂 CAP (Carrier-less Amplitude and Phase) 調變技術 ?
24. 何謂 DAT (Discrete Multitone) 調變技術 ?
25. 為何 DAT 調變技術可以依照線路品質 , 調整傳輸速率 ?

