

第十四章 廣域網路與寬頻網路連結

介紹廣域網路之連接型態、電信網路與傳輸線路，其中包含 Frame Relay、10 Gb 與 ATM 等電信網路，以及 SDH/SONET 傳輸線路。並介紹 HFC 與 ADSL 寬頻網路的基本原理。

14-1 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』(或稱為電信網路) (Carrier Network) 連結之網路系統。一般廣域網路是由『網路存取提供者』(Network Access Provide, NAP) (如中華電信公司) 所提供的服務，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 14-1 所示。這些 NSP 公司又稱為『網際網路服務提供者』(Internet Service Provider, ISP)，所提供的網路也就是『大都會網路』(MAN)。近年來政府大力開放電信業務，使 NAP 不再由中華電信公司所獨享，已有許多新的電信公司 (如速博、新世紀公司) 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。

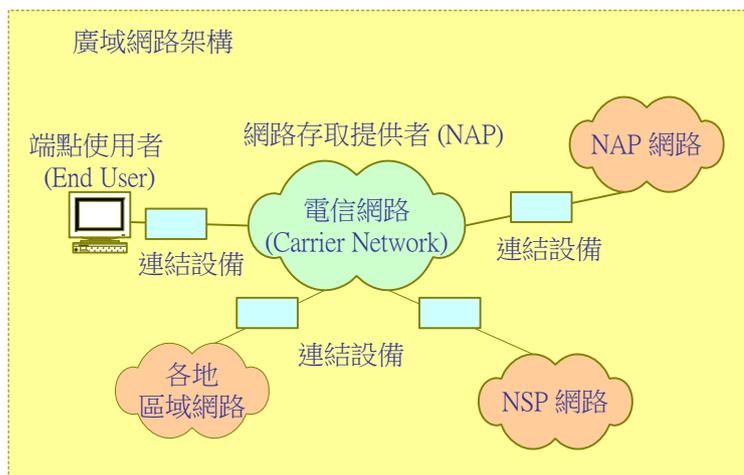


圖 14-1 廣域網路架構圖

如以電信業務來區分，一般人很難分辨『大都會網路』與『廣域網路』的提供者，我們以簡略說明這兩者的業務範圍。如以個人使用為例，不論連結 HiNet、SeedNet、或 SOnet 網路，都必須向中華電信公司承租 ADSL 連線，而且不會受客戶所在所影響，可以想像得到，它所涵蓋的範圍必定非常廣闊。然而中華電信公司必須將各地區的 ADSL 連線所傳遞的信息，

分別轉送到它所屬的 ISP 公司，其中也必須透過電信網路的轉送，這就是『廣域網路』的功能。另一方面，ISP 為了結合各地區的網路，也是需要向中華電信公司承租專線，試想許多專線進入電信公司，也是需要電信網路將它所攜帶的訊息轉送到適當的連線上。ISP 公司利用所承租的專線及客戶端的 ADSL 連線，構成了一個較大的網路系統，便稱為『大都會網路』；它提供 IP 位址分配、路徑選擇、甚至網路各種應用系統環境，讓客戶承租使用。

簡單的說，『廣域網路』提供網路基礎建設；『大都會網路』提供各種網路服務的環境。因此，本章以網路基礎建設的概念，來介紹電信網路的架設，以及所需的傳輸網路。

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，通訊協定堆疊如圖 14-2 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 ISP(如 HiNet)負責，但隨著 ATM 網路的普遍化，為提高連結效益，NAP 和 ISP 之間的連結功能漸漸提昇，也將會具有路徑選擇之能力。有關 WAN 的連結技術有：連接型態、電信網路和傳輸網路，和寬頻網路技術，以下分別介紹之。

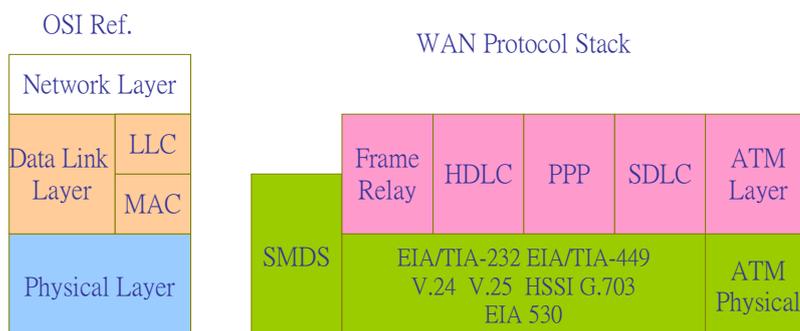


圖 14-2 WAN 之通訊協定堆疊

14-2 廣域網路之連接型態

廣域網路連結各地的大都會網路、區域網路、乃至個人網路，可歸類為下列三種連接型態。

14-2-1 WAN 點對點專線連接

『點對點鏈路』(Point-to-Point) 表示連接雙方的區域網路是透過 WAN 的專屬連線連結，這種架構是早期網路上，使用最普遍的連接方式，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，如圖 14-3 所示。



圖 14-3 WAN 點對點鏈路

點對點鏈路的傳輸方式有：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。提供租用專線的電信網路 (Carrier Network)，一般都是用於電路交換系統，例如，數據交換機、數位交換機(電話系統)或 ISDN 交換機。

點對點鏈路最主要的特性是，連線建立方式是屬於電路交換 (第四章介紹)，也就是說，當連線建立後，無論是否有訊息在傳輸，都必須保留該連線的專屬頻寬，而無法和其它通訊設備共享。由此可見，利用點對點鏈路費用較為昂貴，目前除了特殊系統 (如股票系統) 使用外，已漸為少用。

14-2-2 WAN 虛擬電路專線連接

電路交換系統所提供的點對點連線，所佔用的網路資源過於龐大，目前電信網路大多採用『虛擬電路』(Virtual Circuit) 交換方式，以提高網路資源的使用率。雖然 WAN 虛擬電路的頻寬可和其它通訊設備共享，但也必須保證某種程度的服務品質，有下列兩種連線方式：(如圖 14-4 所示)

- (1) **永久式虛擬電路 (Permanent Virtual Circuit, PVC)**：電信網路內之虛擬電路已被永久固定，並依照客戶承租速率提供服務，而不用再建立連線。PVC 非常類似點對點的鏈路，但有些交換機會提供品質服務的保證 (如 ATM 交換機)，而點對點鏈路就無此功能。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。

(2) 交換式虛擬電路(**Switched Virtual Circuit, SVC**): SVC 和 PVC 最大的不同是，SVC 並未固定連線，但也是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正漸漸被淘汰。



圖 14-4 WAN 虛擬電路

14-2-3 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來連結網路，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 14-5 WAN 撥號電路

圖 14-5 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，電話語音採用 8KHz 取樣的 PCM（Pulse Code Modulation）調變方式，電話線的傳輸頻寬，則限制在 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。又在撥號電路上，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，該連線也成為專屬連線（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）。

14-3 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，已漸漸被淘汰。目前電信網路則以虛擬電路交換為主，有下列三種較普遍的網路：

- (1) 訊框中繼（Frame Relay）網路
- (2) 非同步傳輸模式（ATM）網路
- (3) 10 Gigabit Ethernet（10 Gb）網路

有關 ATM 與 10 Gigabit Ethernet 網路的連結技術，我們已在前面幾章詳細介紹，至於 Frame Relay 雖然已漸漸少用，但目前還是有很大的使用量。我們在此簡單的介紹各種電信網路，使讀者對整個電信網路較為熟悉。

14-3-1 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 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。訊框中繼在目前傳輸網路上佔大部分，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，而且也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給對方，對方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不固定，且屬於長訊框格式，不似 ATM 網路是以細胞格式（短訊框）交換。訊框中繼的訊框格式如圖 14-6 所示，其中各欄位功能如下：

- **旗號 (Flag)**：訊框前後以旗號 01111110 (7E)，代表訊框的起始和結束。
- **資料連結連接識別碼 (Data-Link Connection Identifier, DLCI)**：由 DLCI-upper 和 DLCI-lower 所組合而成。表示所承載之資料連結層 (如 Ethernet 訊框)，所建立之虛擬鏈路 (Virtual Connection) 的號碼。
- **順向明確壅塞指示 (Forward-Explicit Congestion Notification, FECN)**：由網路終端設備 DTE (如，路由器) 通知上層已發生壅塞情形。
- **逆向明確擁塞指示 (Backward-Explicit Congestion Notification, BECN)**：由網路端 DCE (如交換機) 通知已發生壅塞情形。
- **拋棄資格 (Discard Eligibility, DE)**：DE = 1 時，如果網路忙碌時，可將此訊框拋棄。
- **User SDU**：所承載之使用者服務資料單元 (Service Data Unit, SDU)，為可變長度，例如，Ethernet 訊框。
- **C/R**：未定義使用。
- **FCS**：32 位元 CRC 檢查碼。

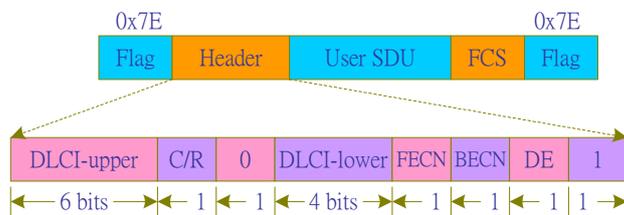


圖 14-6 訊框中繼之訊框格式

訊框中繼的網路架構，如圖 14-7 所示，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。

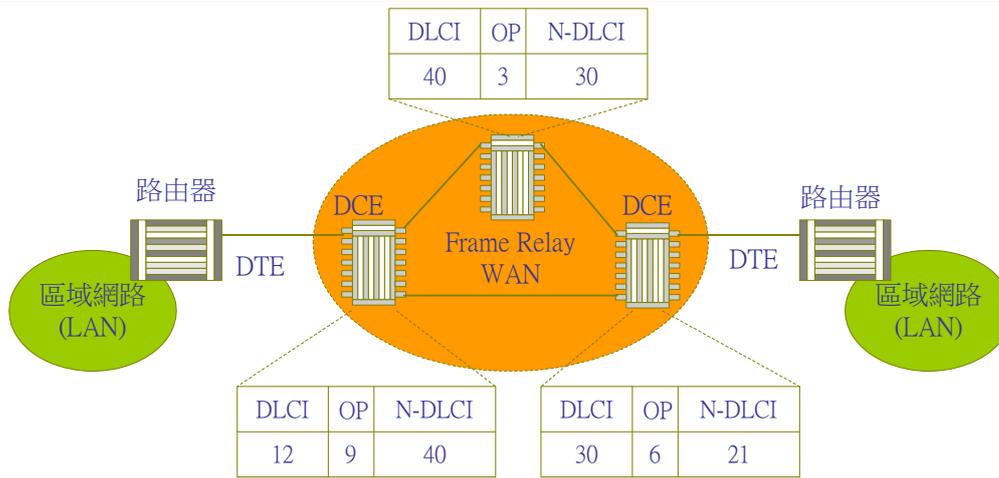


圖 14-7 訊框中繼之網路架構

訊框中繼的連線方式，如 ATM 網路一樣，可區分為永久式虛擬電路 (PVC) 和交換式虛擬電路 (SVC)。交換機之間建立連線是利用『本地管理介面』(Local Management Interface, LMI) 的通訊協定，訊號工作原理也如同 ATM 交換機的『整體區域性管理介面』(ILMI) (請參考 11-14-2 節)。但在 SVC 連線建立方面有些不同 (PVC 不用建立連線)，可分為下列四個連線狀態：

- (1) **呼叫建立 (Call Setup)**：兩個 DTE 之間建立虛擬連線呼叫。
- (2) **數據傳送 (Data Transfer)**：兩個 DTE 之間數據傳送。
- (3) **空閒 (Idle)**：DTE 建立 SVC 連線後，如果沒有在傳送資料，而連線保持在空閒狀態 (一般 SVC 連線都會設定某一段可以忍受空閒的時間)，當它溢時後，會自動終止連線。(ATM 沒有空閒狀態)
- (4) **呼叫終止 (Call Termination)**：連線雙方 DTE 之任何一端要求終止連線。

建立連線的運作程序，也是由每一個訊框交換機上，建立每一個連線的位址路徑表 (如同 ATM 交換機)。但對每一條虛擬路徑只有用單一個識別碼即 DLCI (Data-Link Connection Identifier) (ATM 是用 VPI/VCI)，交換機上得紀錄輸入之 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)。

14-3-2 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，又能符合服務品質的需求。有關 ATM 網路的連結技術已在第十二章詳細介紹。圖 14-8 為 ATM 的 WAN 網路架構，在此僅提出目前 ATM 網路所提供之服務種類（中華電信公司）。

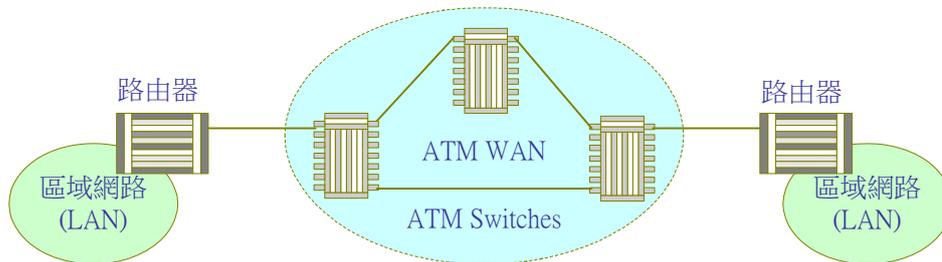


圖 14-8 ATM 電信網路架構圖

- **承租速率**：T1/E1(1.544/2.048 Mbps)、(44.736 Mbps)、STM-1(155.52 Mbps)或 STM-4 (622 Mbps)。
- **承租連線方式**：以 PVC 連線為主。

承租服務類別：有下列五種。

- (1) **固定位元速率 (Constant Bit Rate, CBR)**：提供固定速率，可應用於高解析的視訊、語音、電路模擬等及時性服務。
- (2) **即時變動位元速率 (Real-Time Variable Bit Rate, rt-VBR)**：可變動頻寬，可應用於突發性且即時性的資料服務，如視訊會議。
- (3) **非即時變動位元速率 (Non-Real-Time Variable Bit Rate, nrt-VBR)**：可變動頻寬，可應用於具突發性，但無須即時反應的資料服務，如航空定位，或銀行交易等。
- (4) **可用位元速率 (Available Bit Rate, ABR)**：可應用於廣域與區域網路互連，分散式資料傳送，如一般 ISP 所提供服務。
- (5) **未指定位元速率 (Unspecified Bit Rate, UBR)**：適用於非即時性、突發性的資料應用，且對傳輸速率較不要求之應用。

14-3-3 10 Gigabit Ethernet 電信網路

雖然 ATM 網路可提供高的傳輸速率及精確的品質保證 (QoS)，但價格一直是居高不下。另一方面，全球大部分的區域網路都是利用 Ethernet (Fast Ethernet 或 Gigabit Ethernet) 網路來架設，如果直接提升 Ethernet 網路的傳輸速率，來承擔電信網路的工作，將更容易把所有網路銜接起來，如此的想法便造就了 10 Gigabit Ethernet (10 Gb) 網路，可由以下幾個重點來探討它：(有關 10 Gigabit Ethernet 網路技術請參照第九章說明)

- (1) **訊框一致**：除了使用 Frame Relay 網路外，區域網路 (Ethernet) 訊框進入電信網路後，都必須分割成較小的訊框 (如 ATM 的 48 Bytes)。如果採用 10 Gigabit Ethernet 網路便不需分割，可直接將訊框交由電信網路交換。另一方面，目前 IP 網路上大多依照 Ethernet 訊框大小來制定封包大小 (如 MTU)，如此一來，電信網路可依照 IP 封包來交換傳輸。
- (2) **協定一致**：區域網路、大都會網路與廣域網路所採用的通訊協定都相同 (CSMA/CD)，這可以提高網路之間的連結性。而且網路環境可由區域網路直接擴充到廣域網路，之間的界線可以完全消除。
- (3) **高層通訊協定**：目前高層通訊協定 (如 IP 協定) 在 Ethernet 網路 (IP over Ethernet) 上已使用一段時間，相關技術也非常成熟，因此電信網路採用 Ethernet 網路較為穩定。當我們在第十二章介紹 IP over ATM 或 Multiprotocol over ATM 網路時，可以發現相關連結技術並不容易，也會產生許多不必要的負荷。
- (4) **服務品質保證問題**：ATM 網路最引人為傲的是服務品質保證 (QoS)，但我們發現 QoS 保證是發生在頻寬不足時，給某些優先權較高的通訊連線有優先使用頻寬的權限，但如果頻寬非常充裕 (或完全不足) 時，QoS 功能就如同廢物一般。如果 10 Gigabit 提供足夠的頻寬，便可以解決此問題。另一方面，目前許多新的技術，將 QoS 服務提升到 IP 層次，也就是說，是否給予優先服務是由 IP 封包來決定，而不再由訊框類別來區分。
- (5) **路徑選擇問題**：ATM 網路除了不容易拿來架設 IP 協定 (IP over ATM) 外，在動態路徑選擇能力上也顯得不足，目前 ISP 公司都必須另外架設高效能的路由器來解決此問題。如果採用 10 Gigabit Ethernet 網路便可將路徑選擇功能加入電信網路內。

- (6) **架設容易**：不管是原有的 Fast Ethernet 或 Gigabit Ethernet，還是後來擴充到 10 Gigabit Ethernet 網路，都是使用集線器或交換器來架設，在網路佈線方面會較為容易。

其實 10 Gigabit 的傳輸速率也不會比 ATM 網路差，並且 Ethernet 網路的擴充能力也較為容易，這也是 10 Gigabit Ethernet 網路最大的發展潛力。圖 14-9 為 10 Gigabit Ethernet 在廣域網路的應用架構，目前 10Gb 工作小組確認傳輸線路可採用 SONET OC-192 或 SDH STM-64 的傳輸速率。

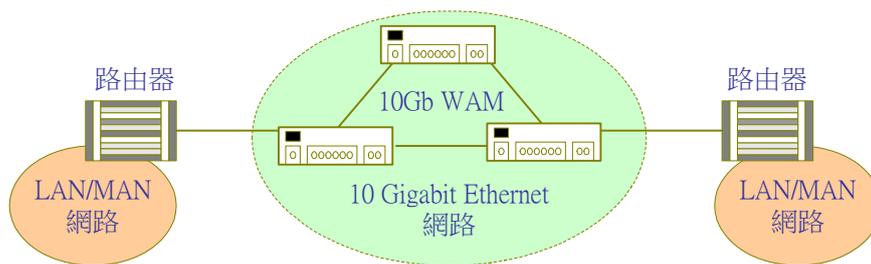


圖 14-9 10Gb WAN 網路架構圖

14-4 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 網路或由專屬線路連結，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。

14-4-1 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)。

各種數位訊號 (Digital Signal, DS) 階層所使用的語音通路數目如表 14-1 所示，而數位階層之多工結構，則如圖 14-10 所示。

表 14-1 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

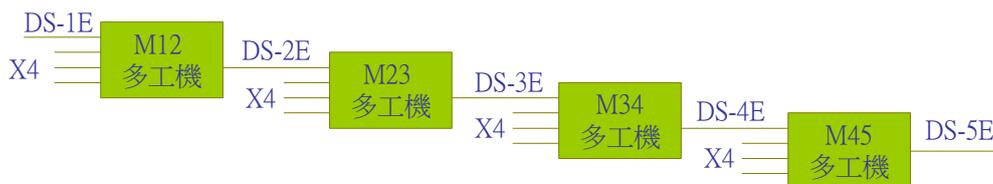


圖 14-10 PDH 構成的數位階層

我們用圖 14-11 來說明區域網路之間如何使用 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。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。

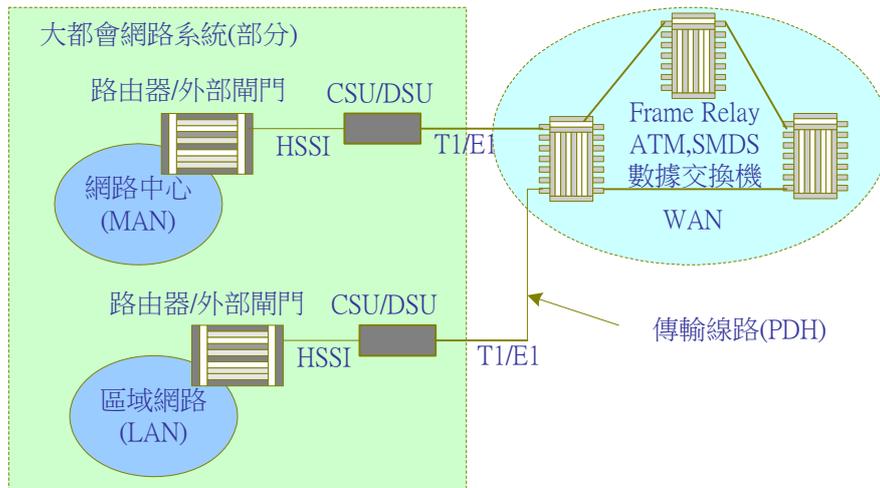


圖 14-11 區域網路之間透過 PDH 連接

14-4-2 SDH/SONET 傳輸線路

由圖 14-10 中，我們可以觀察到 PDH 是由多個數位階層（如 DS-1），以及多工器組合而成，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，想要處理整個傳輸線路（如 DS-3）的時序變得就非常的困難，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 14-12 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 14-12 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 14-2 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 14-2 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

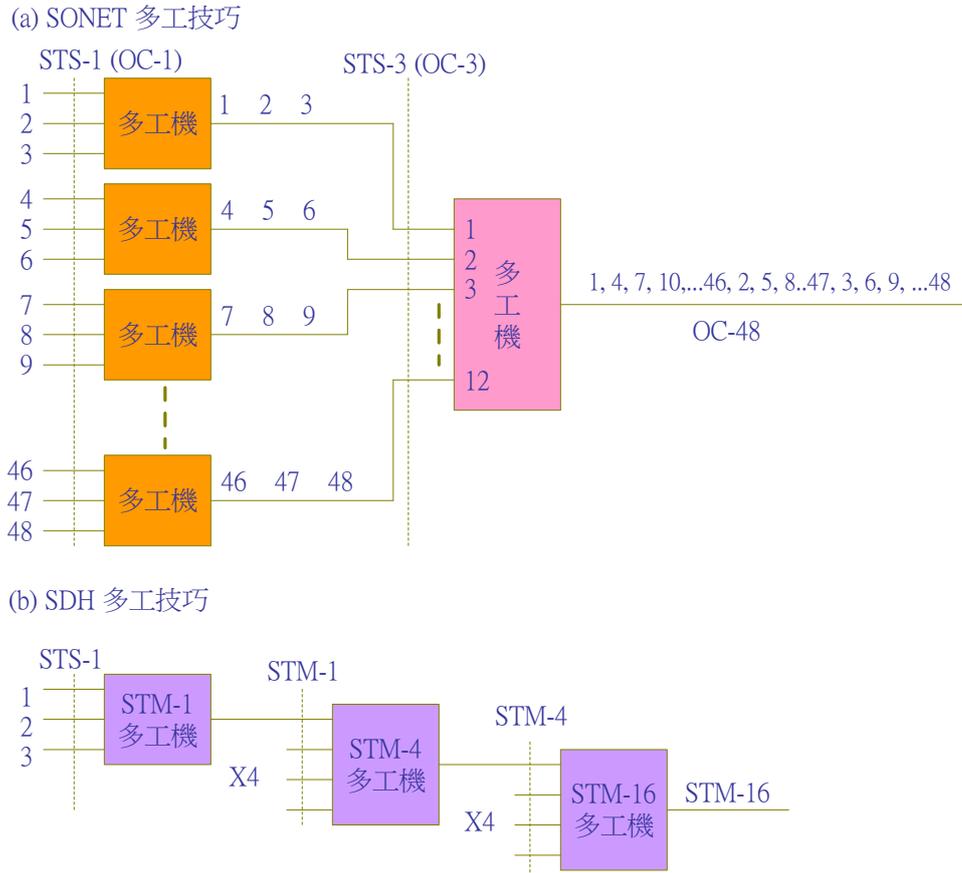


圖 14-13 SDH/SONET 多工方式之範例

圖 14-13 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 14-13 (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 14-13 (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，也表示是 STM-N 的傳輸模組都是以 STM-1 的傳送訊框為基礎。STM-1 之訊框格式如圖 14-14 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 14-2 所示。

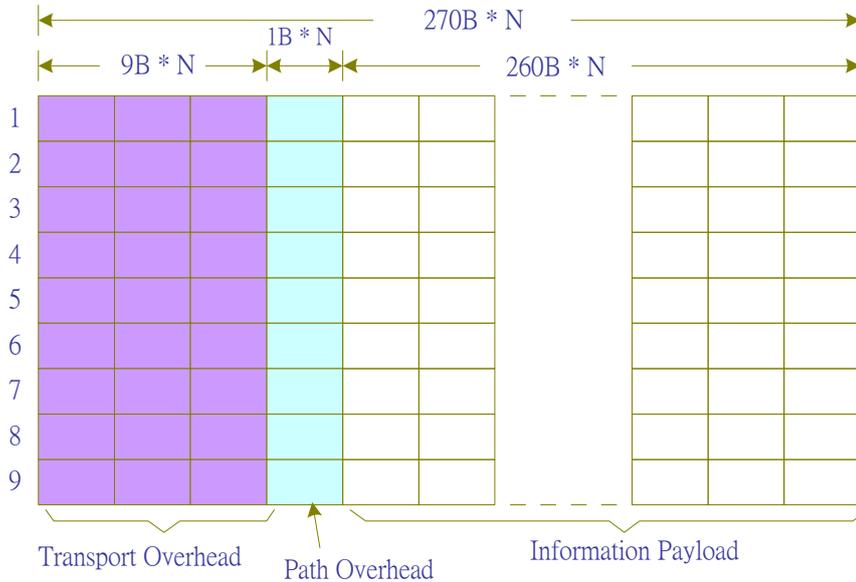


圖 14-14 STM-1 之基本通訊模組

目前許多網路設備的實體層，如 FDDI、ATM 或 10 Gb 網路都是使用 SDH 傳輸模式，不但可以提高傳輸速率，而且較容易連結不同的網路設備。

以圖 14-15 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，也就不需要 CSU/DSU 之設備，傳輸速率也可達到 2.4 Gbps 以上。

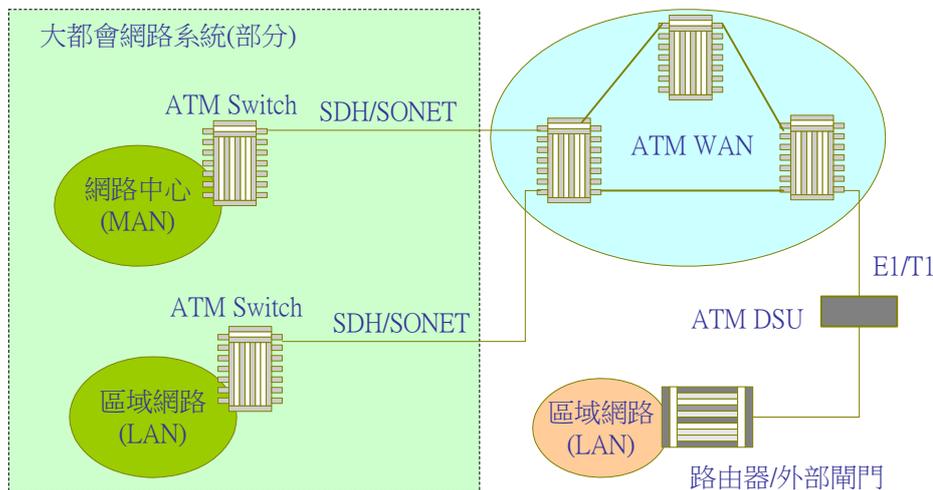


圖 14-15 ATM 網路之間透過 SDH 連接

14-5 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，一般可以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。一般個人之客戶端，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（客戶端的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，以下分別介紹之。

14-5-1 HFC 寬頻網路

圖 14-16 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，每一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，HFC 寬頻網路的傳輸規格是由 IEEE 802.14 與數位影音委員會（Digital Audio-Visual Council, DAVIC）所共同制定而成。

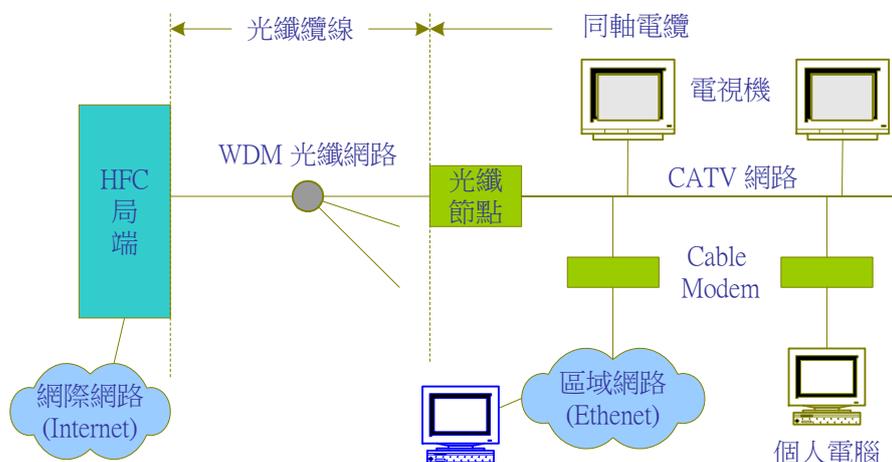


圖 14-16 HFC 網路架構圖

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，但是電信公司會隨著傳輸距離的遠近調整傳輸速率。一般來說，下行速率在 10~30 Mbps；而上行速率為 2~10 Mbps 之間。但這個傳輸頻寬是由 CATV 之下所有的區域網路共享，如果網路上工作站愈多（200~300 部），各工作站所分配到的頻寬就愈少。在圖 14-16 中，個人電腦或區域網路必須透過『纜線數據機』(**Cable Modem**)，將上行基頻訊號（數位訊號）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。（有關 QPSK 及 QAM 技術容後介紹）

IEEE 802.14 是 IEEE 於 1994 年所制定的 CATV 區域網路之通訊協定，如圖 14-17 (a)。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，MAC 層取得媒介傳輸權之後，再將封包傳送出去。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，網路運作原理非常類似『分散式佇列雙匯流排』(**Distributed Queue Dual Bus, DQDB**)。DQDB 的網路架構為『雙纜線寬頻系統』(如第二章之圖 2-18 所示)，其中一條纜線作為傳輸訊號使用；另一條纜線作為接收訊號使用，構成雙匯排網路架構。然而 IEEE 802.14 利用上下頻道來代替雙匯流排。其運作原理簡要說明如下：(如圖 14-17 (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。

- 工作站欲傳送資料時，便將資料附加到所屬的頻道上，再發送到上行頻道上。
- 上行訊框進入『源頭』後，源頭再依照該訊框的目的位址，轉載入該訊框所屬的下行頻道上，並發送到網路上。
- 工作站由下行頻道接收訊框後，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。

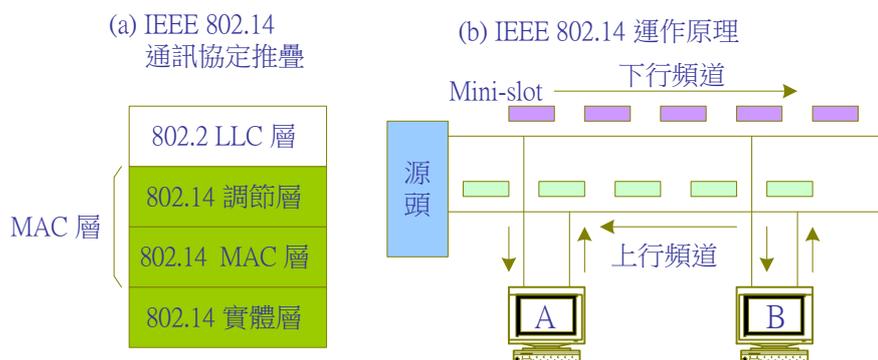


圖 14-17 IEEE 802.14 通訊協定堆疊及運作原理

14-5-2 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 14-18 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 14-19 所示。POTS 分歧器將過濾不同的頻道 (語音和數據)，將數據傳輸之頻寬範圍固定在 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。

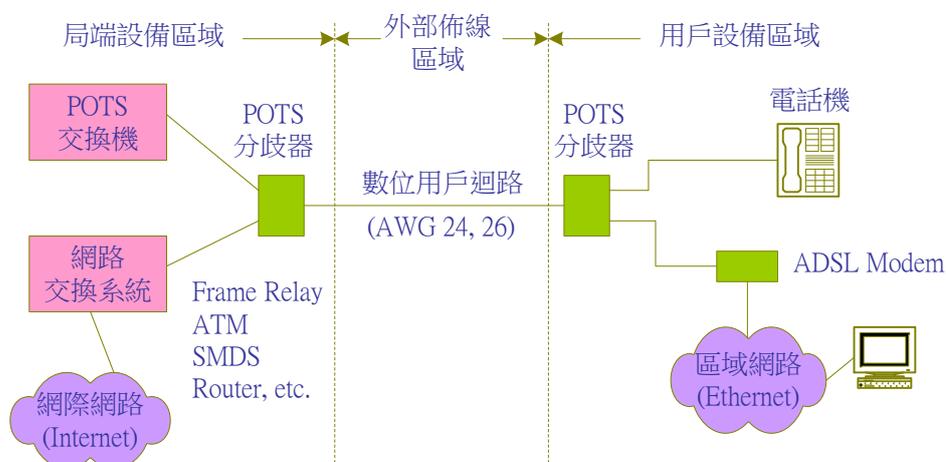


圖 14-18 DSL 網路架構圖



圖 14-19 DSL 之頻寬分配

在寬頻傳輸方面，我們以每 4.3125 KHz 分個為一個頻道，整個頻寬共可區分成 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 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，因為數據交換設備不同 (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 14-3 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 14-3 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 14-3 的內容只能做簡單的參考，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。何況 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，目前電信公司已開始將其更換為 AWG 24 纜線。

另一方面 DSL 所能夠傳輸的距離過短，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。另外，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。

14-6 ADSL 調變技術

依據 ATM Forum 和 ANSI T1.413 Issue 2 所制定的標準，ADSL 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 14-20 (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 14-20 (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，可以提高下行傳輸速率，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。

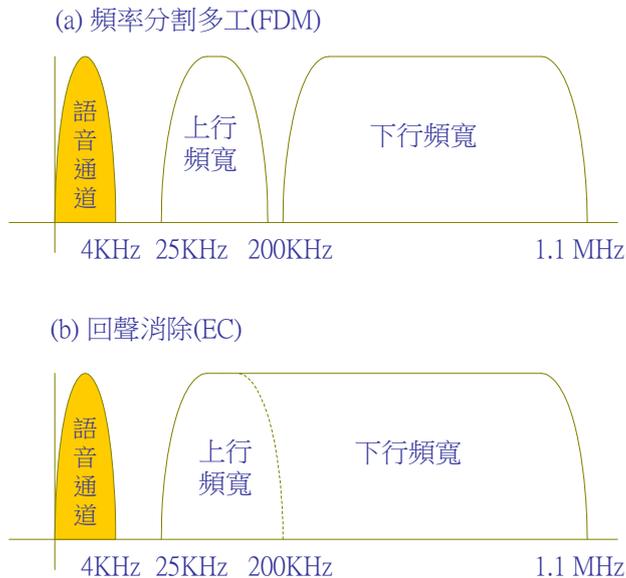


圖 14-20 ADSL 之頻寬分配

14-6-1 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，數位訊號調變成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 90 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 $s(t)$)

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

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

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

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

由上述，我們用四個角度可以表示二個位元資料，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 14-21 所示。

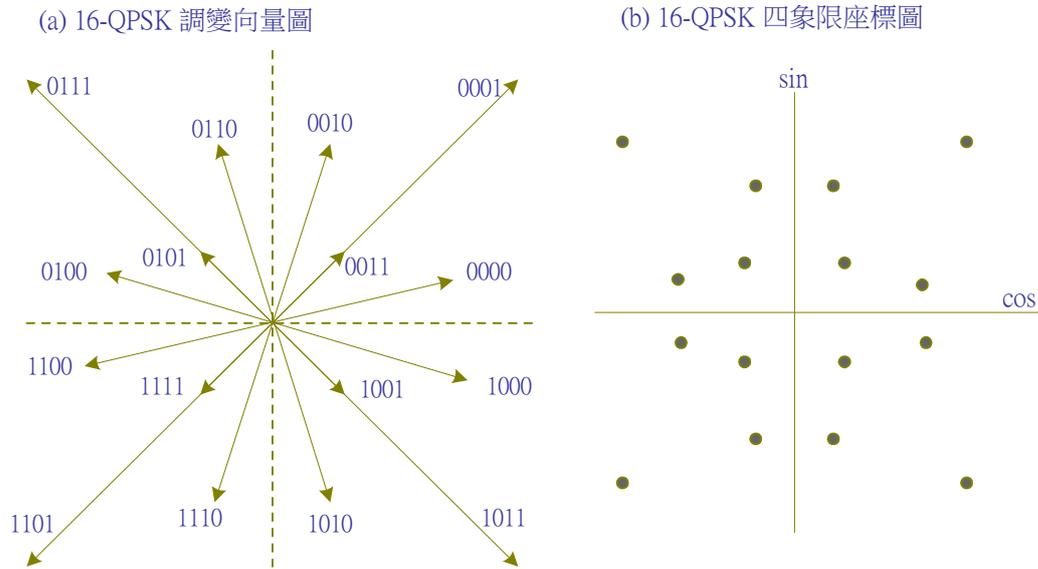


圖 14-21 QPSK 調變技術的基本原理

圖 14-21 為 16-QPSK 調變技術的基本原理，利用 PSK 和 ASK 混合調變技術，圖 14-21 (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 14-21 (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)

$$A\cos(2\pi fCt + \theta) = A1\cos(2\pi fCt) + A2\sin(2\pi fCt)$$

因此，在 QAM 的調變技術之中，我們可以取某些位元由 $A1\cos(2\pi fCt)$ 來表示，以變化不同的 A1 表示位元資料，另一方面，某些位元由 $A2\sin(2\pi fCt)$ 表示，也是變化不同的 A2 表示各種資料。再將兩序列的訊號混合起來($A1\cos(2\pi fCt) + A2\sin(2\pi fCt)$)，就成為 QAM 調變訊號。製作方式如圖 14-22 (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 14-22 (b) 為 16-QAM 之四象限座標圖。

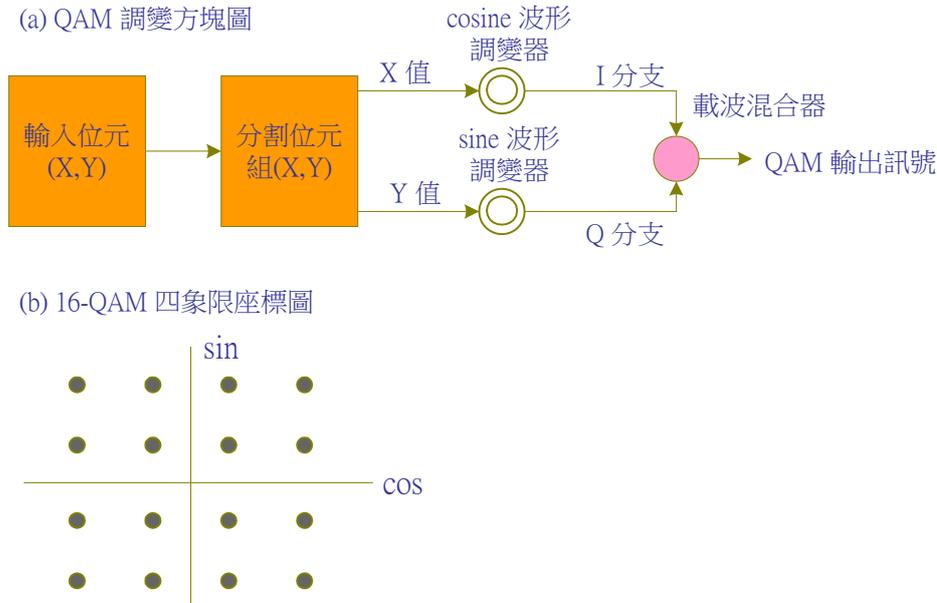


圖 14-22 QAM 調變技術

『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 ($\cos(2\pi fCt)$) 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 14-23 (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 14-23 (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。

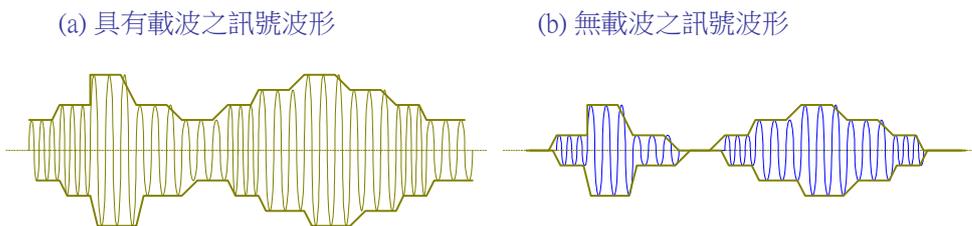


圖 14-23 CAP 調變技術

14-6-2 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 14-24 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 KHz × 8bits/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 × 4 KHz × 8 bits/Hz = 1024 Kbps = 1.024 Mbps

下行傳輸速率 = 218 × 4 KHz × 8 bits/Hz = 6976 Kbps 或

下行傳輸速率 = 250 × 4 KHz × 8 bits/Hz = 8 Mbps（使用回聲消除技術）

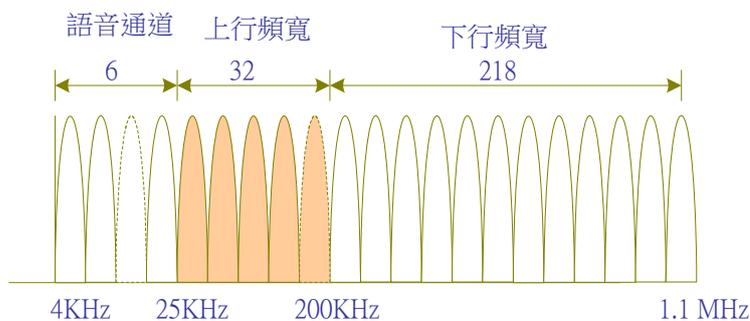


圖 14-24 DMT 之頻分配

上述的計算是一種理想狀態，一般我們在媒介傳輸訊號時，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 14-25 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『速率調適 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，目前已漸漸能克服這些困難。

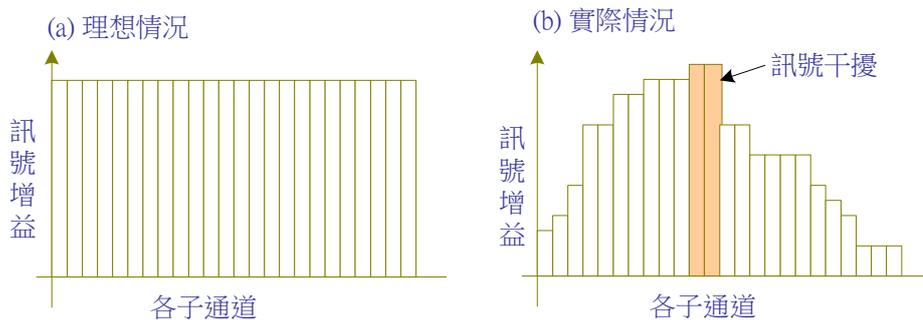


圖 14-25 DMT 調變技術的實際情況

14-6-3 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，採用非常類似 T1 或 E1 的格式，傳輸速率也以 32 Kbps 的倍數計算。隨著非同步傳輸的應用越來越廣泛，ADSL 的訊框格式區分為同步傳輸和非同步傳輸兩大類，兩者的訊框格式都如同圖 14-26 所示。

圖 14-26 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 m。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 (可參考 Error Control Coding: Fundamentals and Application, SHU LIN)。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。

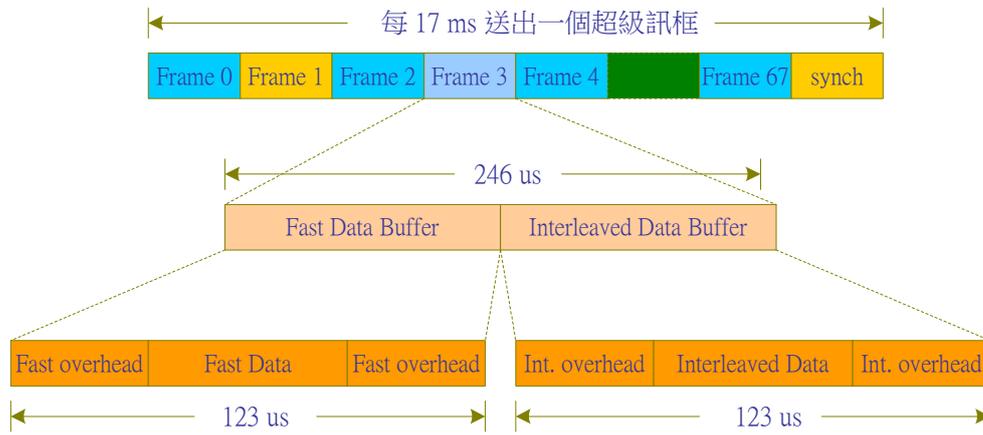


圖 14-26 ADSL 訊框格式

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 交換網路)。
11. 同上題，電信網路為 ATM 交換網路。
12. 請簡略說明 10Gb 電信網路有何優勢？
13. 何謂 SDH/SONET 傳輸線路？
14. 請繪圖說明 HFC (Hybrid Fiber Coaxial) 寬頻網路架構。
15. 請說明 CATV 區域網路 (IEEE 802.14) 的工作原理。
16. 請繪圖說明 DSL (Digital Subscriber Line) 寬頻網路架構。
17. 何謂 ADSL 寬頻網路？並請說明其特性。
18. 何謂 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 調變技術？請說明其工作原理。

19. 何謂 CAP (Carrier-less Amplitude and Phase) 調變技術？
20. 何謂 DMT (Discrete Multitone) 調變技術？
21. 為何 DMT 調變技術可以依照線路品質，調整傳輸速率？