

# 第十一章 ATM 電信網路

介紹 ATM 網路系統的通訊結構、細胞交換原理、服務品質連線、以及 ATM 定址、註冊與訊號方式。

## 11-1 大都會網路模型

『大都會網路』( Metropolitan Area Network, MAN ) 是將各地區的區域網路連結成一個較大型的網路，一般都是由較大型的電信公司經營，也稱之為『網路服務提供者』( Network ( Internet ) Service Provider, ISP or NSP )，譬如 HiNet、TANet、SeedNet 或 GigaNet 網路。

圖 11-1 為大都會網路連結模型，ISP 公司在各地區都透過電信網路連結當地的區域網路，再將各地區的電信網路整合一個完善的大都會網路；電信公司之間也必須相互連接。由此可見，MAN 集合了多個區域網路，並提供所屬區域網路的通訊環境，也從中收取了適當的利潤。基本上，MAN 網路包含下列網路設備：

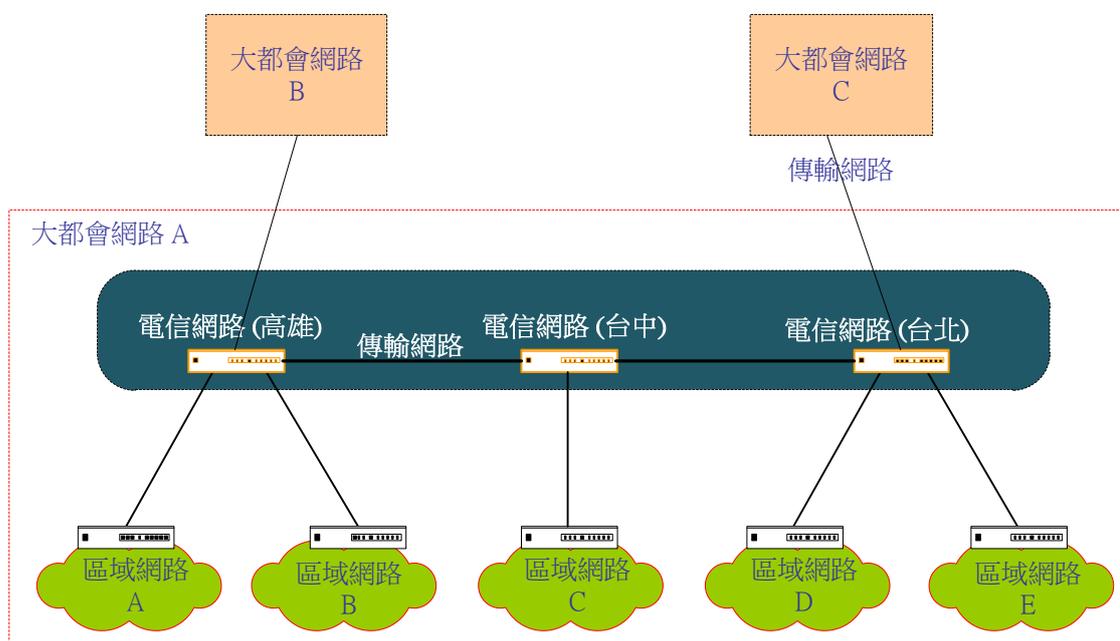


圖 11-1 大都會網路連結模型

(A) 電信網路 ( Carrier Network )：電信網路必須將各區域網路的『訊務』( Traffic ) (或稱資料封包) 轉送到適當的電信網路、或目的區域網路上。『訊務』也許會經過多個電信網路之間的轉送才會到達目的地，之間的流量也會非常的大，因此，電信網路必須具有高效的處理能力，目前較常用的電信網路如下：

- Frame Relay 網路 ( 第十四章介紹 )
- ATM 網路 ( 本章及第十二章介紹 )
- 10 Gigabit Ethernet 網路 ( 第九章介紹 )

**(B) 路由器 ( Router ):** 目前網路之間的封包轉送都是利用 IP 位址來辨識，因此，電信網路必須具有 IP 路徑選擇的功能，也就是必須安裝路由器來負責該項的工作。有關路徑選擇技術將在第十三章介紹。

**(C) 傳輸網路 ( Transmission Network ):** 無論區域網路與電信網路、或電信網路之間的連結都必須透過傳輸網路。目前傳輸網路最大的提供者為中華電信公司。區域網路也許是大型公司、機關、學校，甚至一般家用網路，隨著不同的需求可選擇下列傳輸網路：( 第十四章介紹 )

- PDH 傳輸線路
- SONET/SDH 傳輸線路
- CATV 寬頻網路
- ADSL 寬頻網路

以上是將大都會網路的相關設備做個簡單的介紹，有關技術也會在相關的章節上說明，接下來介紹目前最熱門的 ATM 電信網路。

## 11-2 ATM 網路簡介

『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 ( International Telecommunication Union – Telecommunication Standard Sector, 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, BISDN ) 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。

ATM 網路是以數據交換機為主的架構，不同於一般傳統區域網路 ( Ethernet、FDDI ) 之共享傳輸媒介架構。ATM 網路是最新一代的高速網路，不但傳輸速率高而且提供服務品質保證功能，可依照使用者的需求提供不同服務等級的傳輸。也不像一般傳統網路的傳輸速率都是一致性的，可依照不同的速率制定各收費標準。ATM 也因此受到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。早期 ATM 價格非常昂貴，使用範圍大多限制於公共網路骨幹的架設，例如中華電信公司的 ADSL 網路或其他電信公司所提供的 Cable Modem 都是以 ATM 作為傳輸骨幹。但近幾年來，ATM 價格已大量滑落，有許多學校或機關行號也開始以 ATM 架設骨幹網路，我們相信 ATM 網路的應用將會愈來愈廣泛。本章僅介紹 ATM 網路的主要特性及原理，至於『**ATM 網路連結**』與『**ATM 區域網路仿效**』的相關技術，請參閱第十二章說明。

## 11-3 同步與非同步傳輸模式

我們在 2-11 節中介紹過可以提高傳輸媒介使用率的**多工技術 ( multiplex )**，最簡單而且常用的方法為分頻或分時多工技術。這裡所介紹的同步和非同步傳輸，基本上也是屬於分時多工技巧。唯一的差別是『**虛擬通道**』( Virtual Channel, VC ) 的時槽是否被固定位址，如果虛擬通道被固定在某一時槽，就稱之為『**同步傳輸模式**』( Synchronous Transfer Mode, STM )；否則稱之為『**非同步傳輸模式**』( Asynchronous Transfer Mode, ATM )。以下分別敘述其特性。

### 11-3-1 同步傳輸模式

『**同步傳輸模式**』( Synchronous Transfer Mode, STM ) 表示在分時多工系統中，所建立之虛擬通道被固定在某一時槽內。所謂『分時多工技術』，表示當多個工作站欲共同使用一個傳輸媒介來傳送資料時，將傳輸媒介的傳送時間，分割為固定大小的『**時槽**』( Time Slot )，每一個工作站使用一個時槽，輪流使用該傳輸媒介，如圖 11-2 所示。如果通訊雙方被指定在某一時槽上傳輸，表示雙方已建立『**虛擬通道**』( VC )，並利用該通道通訊。同步傳輸的特點如下：

- (1) 傳輸媒介兩端多工器的時序必須保持同步，才能保證兩端的工作站通訊正常。

- (2) 雙方多工器將某一時槽分配給工作站使用後，表示兩端工作站之間已成功建立連線(或稱虛擬鏈路)。除非工作站釋放該連線，否則它們之間將永遠佔用該時槽。
- (3) 傳送端將資料塞入時槽內，並未加入其它控制訊號；而接收端直接在固定時槽中讀取資料，便可達到雙方通訊的目的。
- (4) 但建立某一連線後，如果傳送端沒有傳送資料時，而使該時槽空閒著，其它工作站亦無法佔用，造成傳輸媒介使用率的降低，如圖 11-2 所示。

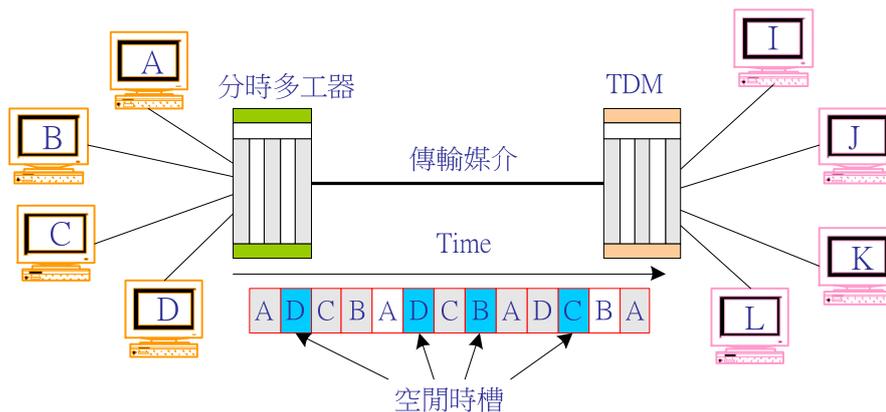


圖 11-2 同步傳輸模式與時槽分配

### 11-3-2 非同步傳輸模式

『非同步傳輸模式』( **Asynchronous Transfer Mode, ATM** ) 表示連線雙方所建立之『虛擬通道』( **VC** ) 並未固定在某一時槽上，如圖 11-3 所示。其特性如下：

- (1) 與同步傳輸模式相同，都是將傳輸媒介的傳送時間分割成若干個固定**時槽( Time slot )**。但雙方建立連線通道後並非固定於某一時槽傳送。只要有空閒時槽時，便可將資料塞入，因此可以提高傳輸媒介的使用率。( **此方法又稱為統計多工, Statistical Multiplexing** )
- (2) 因為**不是固定時槽傳送**，所以工作站將資料放入時槽時，必須加入來源和目的工作站位址，以及相關控制訊息。
- (3) 至於虛擬通道 ( **VC** ) 是否分配到時槽，**ATM** 交換機會依照連線要求的優先等級，來分配時槽，使優先權較高的連線優先取得時槽，因此可以達到『**服務品質**』( **Quality of Service, QoS** ) 保證的功能。另一方面，也可以依照連線要求的速率，來分配使用

時槽的機率。因此，ATM 網路上可允許不同傳輸速率的連線。

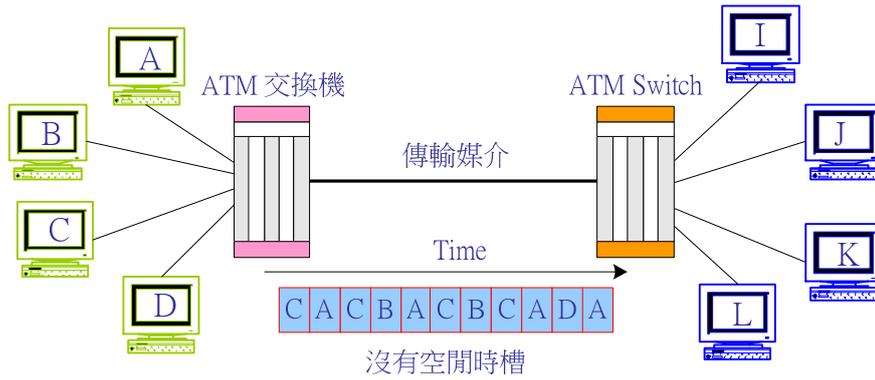


圖 11-3 非同步傳輸模式與時槽分配

## 11-4 ATM 網路結構

基本上，ATM 網路是以『ATM 交換機』( ATM Switches ) 為核心的網路架構，如圖 11-4 所示。其主要內容包括：

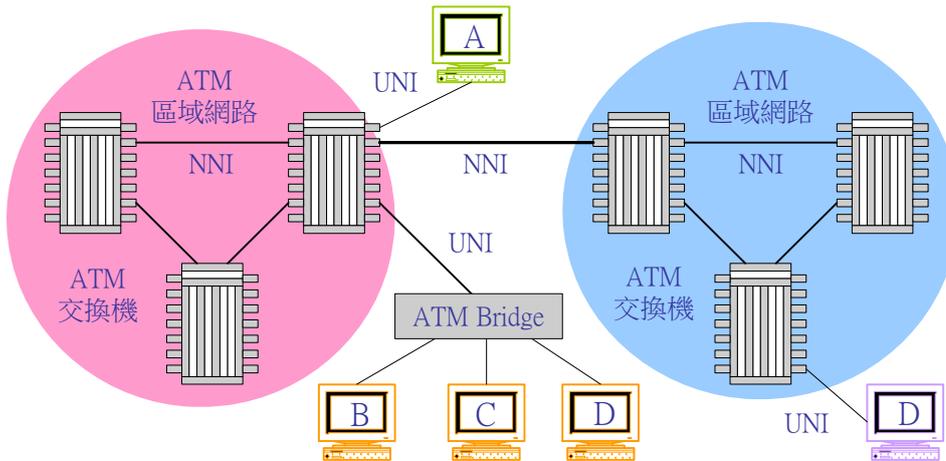


圖 11-4 ATM 網路基本架構

- (1) 每一交換機有若干個連接埠 ( port )：每個連接埠允許設定不同的傳輸速率，以及使用不同的傳輸媒介。
- (2) 連接埠提供兩種連接介面：『網路對網路間介面』( Network –Network Interface, **NNI** ) 和『使用端對網路間介面』( User –Network Interface, **UNI** )。NNI 提供 ATM 交換機之間連線；而 UNI 提供交換機與使用端設備之間連線，兩者之間的 ATM 細胞格式有稍微不同。

- (3) **ATM-Bridge**：用戶端設備可透過『ATM 橋接器』銜接到 ATM 網路。每一橋接器連接的多個端點設備，共享該連接埠的頻寬。ATM 橋接器具有訊框轉換功能，例如：橋接器連接 Ethernet 網路 ( ATM over Ethernet )，則該橋接器必須具有將 Ethernet 訊框和 ATM 細胞之間轉換的能力。或 ATM 橋接器屬於 ADSL 之 DSLM，則必須具有 ADSL 訊框轉換的能力。(請參考第十二章介紹)
- (4) **傳輸媒介**：ATM 連接埠為符合各種環境所需，提供多種傳輸媒介連接方式，如絞對線、同軸電纜或光纖。
- (5) **ATM 骨幹網路**：如果想要要求較快速、穩定度較高的網路，ATM 交換機是良好的選擇。在區域網路方面可使用光纖或同軸電纜，而在廣域網路方面大多以『同步光學網路』( Synchronous Optical Network, SONET ) 連線為主，如圖 11-5 所示。

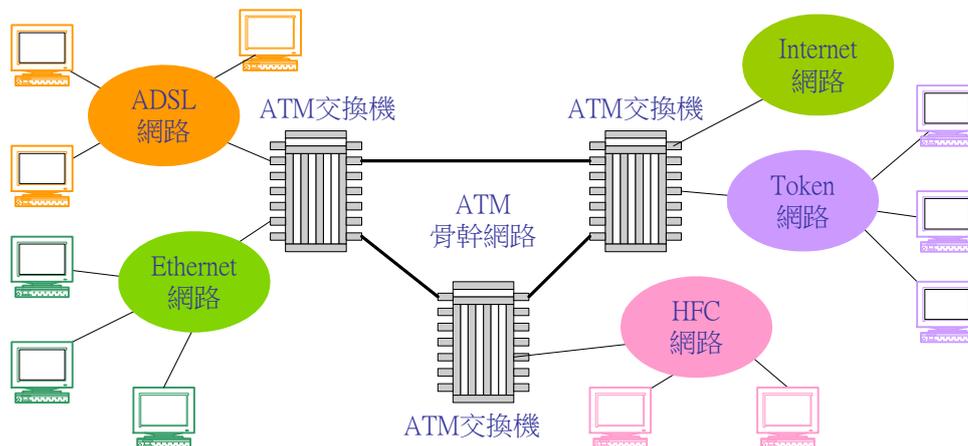


圖 11-5 以 ATM 交換機為主的骨幹網路

## 11-5 ATM 網路特性

ATM 網路是以交換機為主體，每一個交換機有若干個連接埠，做為輸入與輸出的連接之用。每個連接埠上可連接其他通訊設備( ATM 交換機或 ATM 橋接器 )或工作站。在 ATM 交換機上執行訊框交換的單元稱之為『細胞』( Cell )，細胞在各個連接埠之間進行交換工作。當某一個細胞由連接埠進入時，交換機會依照該連接埠的服務品質及傳輸速度來決定是否給於服務，因此，ATM 交換機又稱為『細胞交換機』( Cell Switch )。ATM 網路的特性也將不同於一般共享媒介網路，其特性如下：

### 11-5-1 多種傳輸數率

一般傳統網路 (Ethernet 或 FDDI 網路) 都是在某一固定速率下運作，如 10Mbps 或 100Mbps。ATM 交換機每一個連接埠都可依照其要求，設定在不同的速率下運作；亦是，每一個連接埠都有一個專屬頻寬。對於速率較高的連接埠就給予分配較多的時槽來傳送；而速率較慢的連接埠就分配較少的時槽。目前制定標準中，各個連接埠有：622Mbps、155Mbps、100Mbps、51Mbps、25Mbps 等速率，其中又以 155Mbps 最為常用。

### 11-5-2 多種傳輸媒介

既然 ATM 交換機上每一個連接埠都有專屬頻寬，當然也可依照各種傳輸速率，提供不同的傳輸媒介。在傳輸骨幹方面除了提供單模光纖，也提供多模光纖的連線。對於傳輸速率在 100 或 155 Mbps 的主機電腦或通訊設備 (如 Ethernet 交換機等等) 之間連線可使用同軸電纜外，也可以使用多模光纖。一般用戶連線速率都使用 51 Mbps，使用第五級無遮蔽式雙絞線 (Cat-5 UTP) 即可。

### 11-5-3 累加型頻寬 (Aggregated Bandwidth)

目前區域網路使用之 Ethernet (10Mbps~1000Mbps) 或 FDDI (100Mbps) 網路都屬於『頻寬分享』的技術，網路上所有工作站共享該頻寬，工作站愈多則每工作站平均分配到的頻寬就愈少，傳送時間也得愈長。對於一些必須即時傳送的服務 (如聲音、影像或視訊)，可能無法提供較令人滿意的服務。ATM 網路是屬於『**頻寬累積**』型網路，頻寬並不是固定的，而是由所有傳輸線的頻寬累加起來。例如：一個 ATM 交換機如果接上 16 部工作站，每個埠提供 155Mbps，則整個 ATM 交換機頻寬為 2.4Gbps ( $= 16 * 155Mbps$ )，但並非無限累加，必須視交換機本身的容量而定。

### 11-5-4 連接導向(Connection-oriented)通訊模式

傳統網路都屬於『**非連接導向**』(如 Ethernet 或 FDDI)，工作站在想要傳送訊框前，並未建立雙方連線，而是取得傳輸媒介的使用權之後，便將訊框發出。因此，當一個訊框發送後，並不能保證下一個訊框是否可以如期送出。ATM 網路是『**連接導向**』傳輸，工作站傳送訊框前必須先建立好連線，而且經 ATM 交換機同意並保證在某種速率下傳送，工作站便能在安全連線下，連續傳遞訊框。因此 ATM 網路非常類似電話系統，要先接通電話，然後才傳送訊息。

## 11-6 服務品質及類別

一般在通訊連線之中會依照連線的使用情況產生不同的需求。例如，在音訊或視訊的傳輸當中，我們會對訊息的傳遞時間要求較高，也就是需要即時性的傳遞，否則無法完全表達意思；但對於資料完整性則要求較低，也就是，我們允許訊息在傳遞當中，將某些資料丟棄也不會影響原來的表現。另一種應用，如一般檔案傳送，對傳遞的即時性要求可能會較低，但對資料的完整性要求就非常的高。如果在檔案傳遞當中，有任何資料遺失，則整個檔案傳送將無效。由此可見，各種連線有不同的連線品質要求。ATM 交換機可以針對每一條連線(或連接埠)作不同『服務品質』(Quality of Service, QoS)的保證。

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，是當該連線要求建立時，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，必須協商到雙方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)。如果交換機允許某一個連線要求時，也必須提供符合雙方協商的品質服務。但在真實的使用環境裡，使用者很難去預估所需的服務品質，例如在頻寬方面，有時候所需的頻寬會超過建立連線當時的要求。交換機內部有一個稱之為『使用參數控制』(Usage Parameter Control, UPC)，它會隨時監督每一條連線所送出的資料是否超過連線當時的要求。如果超過連線的服務品質時，其處理方式有兩種：(1) 將超出協商部分的資料(或細胞)丟棄；(2) 視當時網路狀況而定，如果網路負載很高時，便將該超出的資料(或細胞)丟棄，相反的，網路負載較空閒，傳送那些資料也不會影響其他連線，便依然放行。

頻寬管理系統不僅可以控制每個連線細胞交換的要求，也可以登錄每一條連線之中細胞經過的數量，並統計該連線頻寬使用量以作為收費的標準。在傳統網路上，用戶租用某一條專線，其頻寬(如 2048Mbps)都是固定的，不管用戶使用情況(如夜間使用率較低)，電信公司皆以最高速率收費，造成頻寬的浪費及收費的不合理。如果以頻寬使用率來作為收費的標準，應該會較為合理。甚至可以區分不同時段的收費標準，以分散使用者使用頻寬的時間，以提高網路的整體效益。

## 11-6-1 ATM 服務品質參數

我們必須設定一些量化參數來評估每一條連線的服務品質，依照 ATM 協會( ATM Forum ) 制定有下列量化服務品質參數：

- (1) **細胞尖峰傳輸率 ( Peak Cell Rate, PCR )**：一個虛擬連線每秒可以傳送的最大細胞數。
- (2) **細胞延遲變異容忍度 ( Cell Delay Variation Tolerance, CDVT )**：一個連線中，兩個相鄰細胞抵達時間間隔的最大變異容忍度。如果兩點之間傳輸細胞的抵達時間間隔都非常穩定的保持在某一數值附近，那麼就有很低的延遲變異。
- (3) **細胞持續傳輸率 ( Sustained Cell Rate, SCR )**：一個連線中，每一秒鐘平均可以傳送的細胞數。
- (4) **最大尖峰傳輸率 ( Maximum Bust Rate, MBR )**：一個連線中，可允許的突發傳輸的總量。
- (5) **最小細胞傳輸率 ( Minimum Cell Rate, MCR )**：連線無論何時都必須維持的最小細胞傳輸速率。
- (6) **細胞傳輸延遲 ( Cell Transfer Delay, CTD )**：點對點連結中，細胞傳輸的延遲時間。
- (7) **細胞漏失率( Cell Loss Rate, CLR )**：點對點連線中，可以容忍細胞的遺失比率。在 ATM 網路中為了達到即時傳輸，但網路上負荷過高時，有時會拋棄某些細胞以維持傳輸速率；CLR 表示可以容忍被拋棄的比率。

## 11-6-2 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必須提供不同的傳輸服務。譬如，網路上傳送音訊或視訊的要求是必須即時傳送，但它允許細胞某種程度的遺失並不影響傳輸應用；但如應用在資料檔案的傳輸，我們大多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 11-1 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，而且要延遲時間最小，以及細胞遺失率最少，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，以及較不需要即時性的傳輸使用。
- (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 11-1 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

## 11-7 ATM 細胞格式

ATM 網路上所傳的是固定大小的訊框，稱之為『細胞』(Cell)，每一細胞的長度為 53 位元組(Byte)，其中包括 5 位元組的細胞標頭(Cell Header)及 48 位元組的酬載(Payload)。ATM 的細胞格式分為：User-Network Interface (UNI) 和 Network-Network Interface (NNI)

兩大類。UNI 格式是工作站和交換機之間傳遞之細胞格式，而 NNI 是交換機和交換機之間傳遞的細胞格式，其細胞格式如圖 11-6 所示，各欄位功能如下：

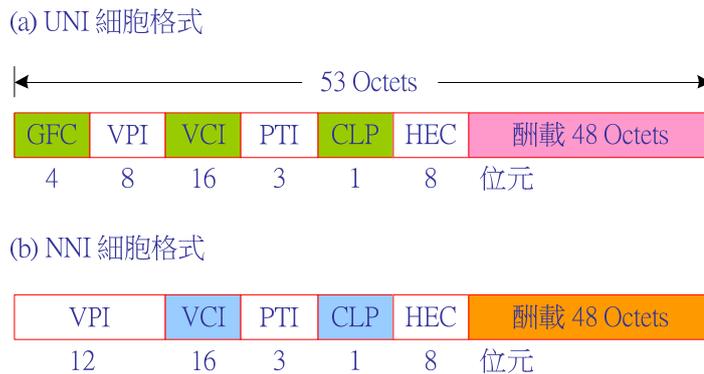


圖 11-6 UNI 和 NNI 細胞格式

- (1) GFC ( Generic Flow Control ): 流量控制欄位 ( 4 bit )，用來控制使用者和網路間傳送細胞的流量。此欄位只有 UNI 介面之間傳送的細胞才代表流量控制。在 NNI 的細胞格式中，此欄位擴充為 VPI 欄位 ( 12 bit )。
- (2) VPI ( Virtual Path Identifier ): 虛擬路徑辨識碼 ( 8 bit )，用來辨識此細胞屬於哪一條虛擬路徑。一條虛擬路徑可包含若干個虛擬通道。
- (3) VCI ( Virtual Channel Identifier ): 虛擬通道辨識碼 ( 16 bit )，用來辨識此細胞屬於哪一條虛擬通道。
- (4) PTI ( Payload Type Identifier ): 酬載型態辨識碼 ( 3 bit )，用來辨識酬載欄位所攜帶資料的型態。
- (5) CLP ( Cell Loss Priority ): 細胞流失優先權 ( 1 bit )，用以表示此細胞遭遇壅塞時被丟棄的優先權。CLP = 1 表示此細胞可優先被丟棄。
- (6) HEC ( Header Error Correction ): 細胞標頭錯誤修正碼欄位 ( 8 bit )，用來更正細胞標頭的前四個位元組 ( 4 Bytes ) 中的任何一個位元錯誤及偵測多位元錯誤。

傳統網路上也有交換器的設備，如 Ethernet Switch。在 Fast Ethernet 網路上，交換器的訊框可允許最大為 1518 位元組，是以較長的訊框作為數據交換單元，而且訊框長度也非固定大小。ATM 網路之所以捨棄傳統網路的長訊框交換，改用較短又固定大小的訊框，主要原因是考慮到網路傳輸時效性的問題。固定細胞長度在緩衝器的交換處理上較容易達成，細胞

長度愈長設計上愈困難，也減低交換機的時效性。至於 53 個位元組的細胞長度是經多個標準中協議出來的，並非有所特殊的意義。

## 11-8 ATM 與 B-ISDN 通訊架構

早期 ATM 是由國際電信聯盟之電信標準部門 (ITU-T) 所定義的標準。ITU-T 所制定的 ATM 規格，是用在公眾網路 (Public Network) 之 B-ISDN 的高速網路上，作為連線的基礎架構。B-ISDN 包含兩大主體：(如圖 11-7 所示)

- (1) ATM 網路：提供訊框細胞的傳輸、交換、和多工技術。
- (2) SONET (同步光學網路)：ATM 細胞的實體傳輸幹線。

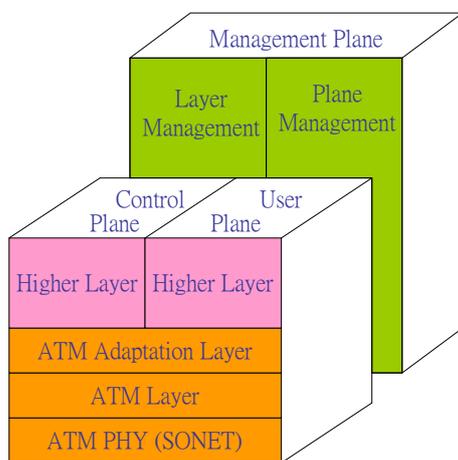


圖 11-7 B-ISDN 通訊模組

其中各工作模組功能如下：

- (1) 使用者面板 (user plane)：定義 ATM 如何在網路上載送使用者訊息。
- (2) 控制面板 (control plane)：是藉由 ATM 信號 (Signaling) 來為 ATM 網路提供服務連結的管理作業，譬如，呼叫建立或結束等工作。
- (3) 面板管理 (plane management)：執行整個系統所需要的管理功能，並提供面板之間的整合工作。
- (3) 層次管理 (Layer Management)：執行個別層次的管理功能，譬如，操作和管理等等。

- (4) **更高層次 ( Higher layer )**：代表任何形式的資料流，這些資料流可以是語音、數據、視訊、以及其他通訊協定的資料格式。譬如，TCP/IP、IPX、NetBUIE 等等。

ATM 協會 ( ATM Forum ) 將 ITU-T 所制定的 ATM 增加一些規範，使其適用於『**公眾網路**』 ( Public Network ) 及『**專屬網路**』 ( Private Network ) 上。ATM 協會將 ITU-T 所制定的標準擴充到公眾網路和私有網路上的連接及應用。其制定有下列標準。

- (1) 使用者與網路介面 ( User-to-Network Interface, UNI )，如 UNI 2.0、UNI 3.0、UNI 3.1。
- (2) 公眾之網路與網路介面 ( Public Network-to-Network Interface, PNNI )。
- (3) 區域網路仿效 ( LAN Emulation, LANE )。

## 11-9 ATM 通訊協定堆疊

圖 11-8 為 ATM 通訊協定和 OSI 參考模式之間的比較。ATM 通訊協定主要包含三個層次，其功能如下：

- (1) **ATM 適應層 ( ATM Adaptation Layer )**：用來定義使用者的資料流，如何轉換成對應的 ATM 細胞。
- (2) **ATM 層 ( ATM Layer )**：定義網路如何在使用者之間傳送細胞，也是 ATM 交換機的主要核心。
- (3) **ATM 實體層 ( ATM Physical Layer )**：定義如何將 ATM 細胞放在實體的傳輸系統上。

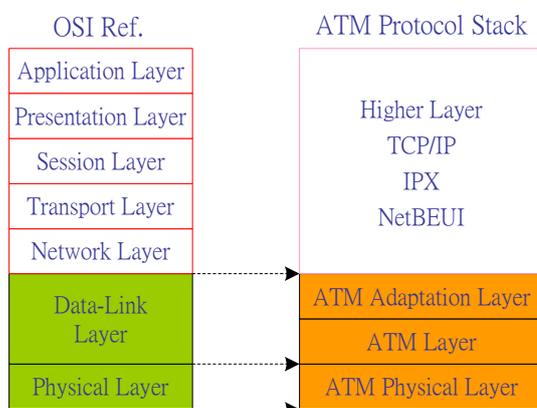


圖 11-8 ATM 通訊協定與 OSI 參考模式

圖 11-9 為 ATM 網路各層次之間細胞『組裝』( Encapsulation )和『拆裝』( Decapsulation )的關係。上層應用軟體 ( 如 IP 或 IPX ) 的資料封包 ( 如 64 Kbytes )，經由 ATM 調節層分割成若干個細胞，每個細胞大小是 48 位元組，ATM 層再將每個細胞上加入 5 個位元組的控制訊息，成為 53 位元組的長度。ATM 實體層再將 53 位元組的細胞以適當的傳輸方法，轉換成訊號且發送至傳輸媒介上。接收端再以反方向將細胞組合回原來封包格式。至於 ATM 各層次之功能及運作原理，我們將會在下面幾節詳加說明。

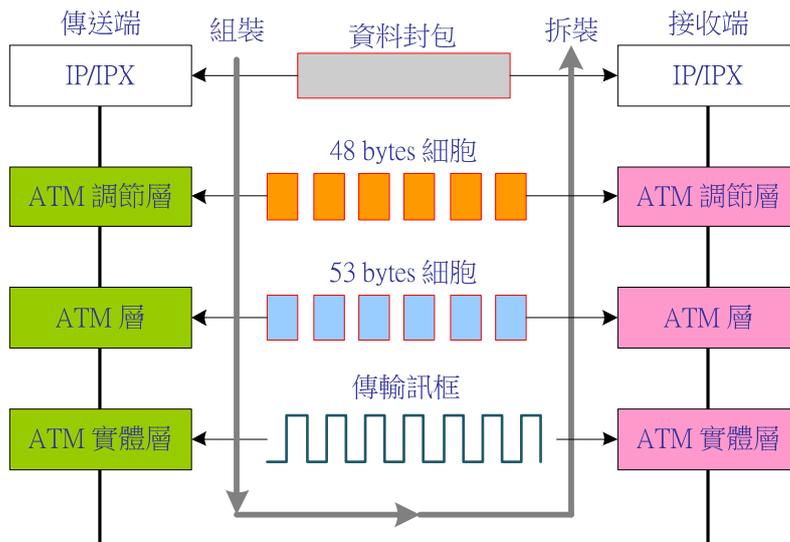


圖 11-9 ATM 細胞的組裝和拆裝

## 11-10 ATM 實體層

ATM 實體層負責提供實體媒介來傳輸 ATM 細胞。其功能包括所有在媒介上的位元傳輸、排列、編碼、光電轉換等等。實體媒介包括雙絞線、光纖、同軸電纜、無線傳輸、以及衛星傳輸等等。ATM 實體層是獨立的，和 ATM 層沒有關聯。換言之，透過 ATM 實體層，ATM 網路可以使用不同的傳輸媒介，並不影響 ATM 層的運作。ATM 實體層又細分為兩個次層 ( Sub-layer )：傳輸匯集 ( Transmission Convergence, TC ) 和實體媒體相依 ( Physical Medium-Dependent, PMD ) 次層，如圖 11-10 所示。

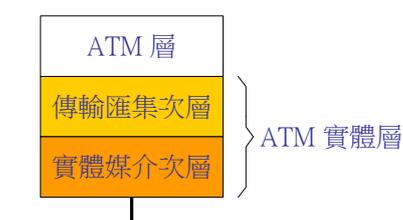


圖 11-10 ATM 實體層架構

## 11-10-1 ATM 傳輸匯集次層

『**傳輸匯集次層**』( **TC sub-layer** ) 主要執行下列四項工作，這四項工作都是針對上一層 ( ATM 層 ) 的特殊功能而設計。

- (1) **傳輸訊框之調適 ( Transmission Frame Adaptation )**: 如果下層的傳輸系統是『訊框式傳輸網路』(如 SONET、SDH 或 T3)，那麼在傳送之前，傳輸匯集次層就必須將細胞包裝成合法的訊框格式。在接收端接收到訊框之後，則傳輸匯集次層再將訊框還原成原來的細胞格式。
- (2) **細胞之素描 ( Cell Delineation )**: 當傳輸匯集次層接收到一位元串 (Bit Stream)時，傳輸匯集次層必須有能力偵測出細胞的邊界，並將位元串還原成細胞。
- (3) **標頭錯誤檢查序列之產生及驗證 ( Header Error-Control (HEC) Sequence Generation and Verification )**: 在 ATM 網路中，對細胞唯一做的錯誤檢查是利用標頭檢查序列 (HEC)，主要用來檢查標頭是否有發生錯誤。因此在傳送前，傳輸匯集次層必須產生錯誤檢查序列，而接收端必須驗證是否發生錯誤，如細胞發生錯誤便將其拋棄。HEC 檢查碼是利用  $CRC-10 (X^8 + X^2 + X + 1)$  所產生。
- (4) **細胞速率之調整 ( Cell Rate Decoupling )**: ATM 傳輸中，速率並非固定模式。因此在資料傳送中，可能會因速率不一致，而產生空白停頓的時間，但後面接著又有資料要傳送。傳輸匯集次層在傳送細胞時，必須將這些空白時間填入空白細胞，而接收端之傳輸匯集層必須過濾掉空白細胞。

## 11-10-2 ATM 實體媒介相依次層

實體媒體相依 ( Physical Medium Dependent, PMD ) 次層的工作比較接近於實體的傳輸媒介，針對傳輸訊號如何發送到傳輸媒介上，或如何由傳輸媒介上取得訊號。因此其工作包含有：(1) 定義位元時序和編碼技巧；(2) 定義實體媒介和其傳輸特性；(3) 擷取和插入時序同步的訊息。ATM Forum 制定四個標準的高速傳輸媒介：

- (a) 155 Mbps 於單模(single-mode)或多模(multi-mode)之光纖。
- (b) 155 Mbps 於多模光纖或遮蔽式絞對線 (shielded twisted pair, STP)，並使用 8B/10B 編

碼。

(c) 100Mbps 於多模光纖，並使用 4B/5B 之編碼。

(d) 44.736Mbps 於同軸電纜 (coaxial cable)。

至於低速率方面，ATM Forum 目前也制定有 51 Mbps Cat-3 UTP 與 155 Mbps Cat-5 UTP 等標準，傳輸技術也如同 FDDI 網路的實體層，不再另述。

ATM 網路主要應用在公眾網路或私有網路的骨幹網路上。為了要連結不同區域的網路，勢必向中華電信或其他電信公司租用專線 (Leased Line)，或自行佈放較遠距離的連線。表 11-2 為各種數據專線的規格。

表 11-2 數據專線

訊號型態	傳輸率	描述	傳輸媒介
DS0	64 Kbps	一個語音通道	雙絞線
DS1	1.544 Mbps	24 DS0s	雙絞線
DS1C1	3.152 Mbps	2 DS1s	雙絞線
DS2	6.312 Mbps	4 DS1s	雙絞線
DS3	44.736 Mbps	28 DS1s	雙絞線/光纖
STS-1/OC-1	51.84 Mbps	28DS1s or 1 DS3	光纖
STS-3/OC-3	155.52 Mbps	3 STS-1s 位元組交插式	光纖
STS-3c/OC-3c	155.52 Mbps	3 STS-1s 位元組串接式	光纖
STS-12/OC-12	622.08 Mbps	12 STS-1s, 4 STS-3cs	光纖
STS-12c/OC-12c	622.08 Mbps	串接式	光纖
STS-48/OC-48	2488.32 Mbps	48 STS-1s, 16 STS-3cs	光纖

### 11-10-3 同步光學網路

ATM 網路主要應用在公眾網路或私有網路的骨幹上，因此它的傳輸媒介也是以光纖纜線為主。目前在『光纖通道』(Fiber Channel) 的技術上較為成熟，使用上也較廣泛。光纖通道技術在 ITU-T 稱之為『同步數位階層』(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)，而 ANSI 稱為『同步光學網路』(Synchronous Optical Network, SONET)。然而 SDH 和 SONET 兩者的規範大部分都相同，其間祇有部分專有名詞不同而已。

SONET 是由『數位傳輸階層』( Digital Transmission Hierarchy, DTH ) 改造而來。而『數位傳輸階層』是以每一條傳輸通道 ( 例如 T1 ) 的傳輸速率 ( 1.544 Mbps ) 為倍數，來整合成各種不同速率的傳輸通道。每一條傳輸通道的數據設備配合傳輸媒介成一個通訊模組( 如 T1 )，組合多個通訊模組成為不同速率的傳輸通道。例如：T3 組合三個通訊模組，其速率為  $1.544 \text{ Mbps} \times 3$ 。DTH 比較適用於低速率的傳輸。然而 SONET 是數位傳輸階層的改良品，它是利用同步多工的方法，將一條光纖纜線分成若干個『光學通道』( Optical Channel, OC )，每一條光纖通道承載相同的傳輸速率 ( 如 51.840 Mbps )，也可以組合多個光纖通道成為多種傳輸速率。基本上，SONET 的傳輸速率比 SDH 高，比較適用於高速率的傳輸。也因此，ITU-T 將 SONET 制定在 B-ISDN 的基本傳輸網路上。

然而，ATM 細胞是如何放在 SONET 網路上傳輸？首先，我們來瞭解 SONET 的訊框結構。以 STS-1 ( OC-1 ) 為例，一個訊框是由長為 90 及寬為 9 的矩陣所構成。每個陣列元素可存放一個位元組，因此一個訊框可承載 810 個位元組 (  $= 90 \times 9$  )。如每秒傳送 8000 個訊框 ( 即是  $125 \mu\text{s}$  傳送一個訊框 )，則傳輸率為 51,840,000 (  $= 8 \times 9 \times 90 \times 8000$  )，如圖 11-11 所示。在整個 SONET 訊框中包含了三個部份：資訊酬載( Information Payload )、傳輸負荷 ( Transport Overhead ) 和路徑負荷 ( Path Overhead )。傳輸負荷位於訊框前面三行，共佔用 1.728 Mbps，其主要是用來攜帶有關 SONET 傳輸連結 ( Transmission Link ) 的警告指示 ( Alarm Indication )、狀態資訊 ( Status Information ) 等等。第四行為路徑負荷，佔用 576 Kbps 的頻寬，其用來傳輸有關 SONET 端點之間的狀態與維護資訊。因此，對整個頻寬而言，可傳輸資料只剩 49.536 Mbps。在一個訊框之中可傳輸資料為 774 (  $= 9 \times 86$  ) 位元組，又一個 ATM 細胞為 53 個位元組，亦是，一個訊框可容納 14.6 個細胞。這表示有些細胞勢必要被拆開，分開存放於不同訊框內。因此，在路徑負擔欄位之中，有一個 H4 指標用來當作 ATM 細胞的指標指示器。

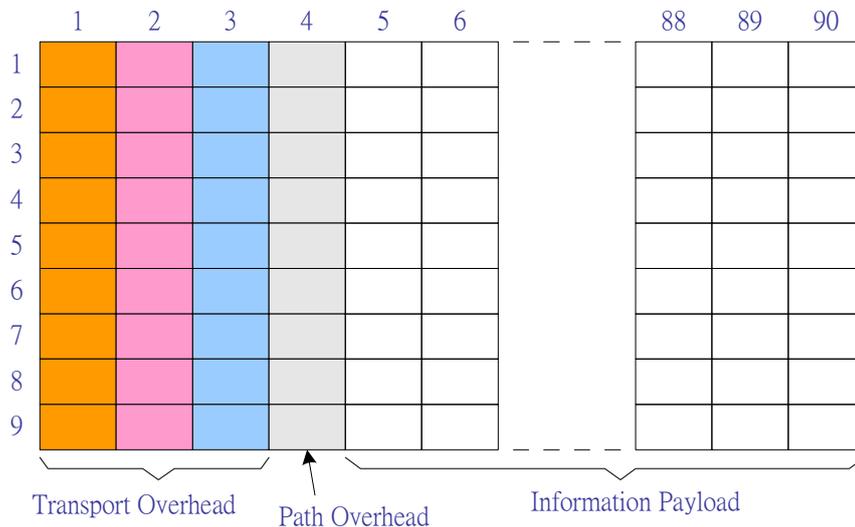


圖 11-11 STS-1 訊框結構

## 11-11 ATM 層

ATM 層是 ATM 通訊協定中的主要核心。我們瞭解 ATM 網路是以『ATM 交換機』(ATM Switch)為主，在交換機上是以 53 位元組的細胞為交換單元。從大略的概念來觀察，在 ATM 交換機上有若干個傳輸埠，訊框訊號由傳輸埠（也許 SONET）進入交換機，交換機必須將該訊框資料以每 53 個位元組為單位分割為若干個細胞。交換機再以細胞為單位轉送到目的傳輸埠上。每一個傳輸埠將交換機轉送過來的多個細胞再組合成一個傳輸訊框發送到傳輸媒體上。這個細胞交換功能就是由 ATM 層來負責。隨著傳輸速率愈快，ATM 層的交流速度就必須更快，在設計上也就愈複雜。

圖 11-12 為 ATM 交換機的基本架構。每一個輸入端都有一個輸入控制器 (Input Controller, IC)，且在輸出端亦有一個輸出控制器 (Output Controller, OC)。輸入控制器控制資料進入交換機；輸出控制器則利用輸出線，將收到的資料傳送出去。輸入控制器和輸出控制器是利用交換機的內接網路來交換資料（每一個傳輸埠上都有輸入和輸出控制設備）。各家廠商對於內接網路的設計也都不盡相同，內接網路設計的良寡，也直接影響到交換機的處理速度，因此各家廠商也將內接網路的架構視為最高機密。

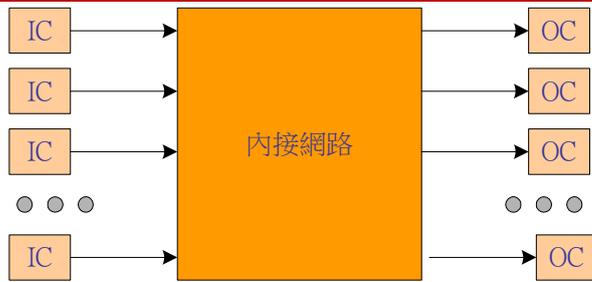


圖 11-12 ATM 交換機基本架構

內接網路之基本原理就如圖 11-13 的矩陣式交換機 ( Matrix-type Switch )，簡單的原理是細胞由 IC 進入，交換機選擇哪一個接點接通，使其轉換到目的 OC 上。但為了緩和各連接埠之間的速率，在輸入和輸出通道必須安裝有緩衝器。並非輸入/輸出都須裝設緩衝器，可依交換機結構而將緩衝器安裝於不同位址，如將緩衝器置於輸入控制器中，稱之為『輸入緩衝器結構』；如置於輸出控制器，則稱之為『輸出緩衝器結構』或將緩衝器安置於矩陣交換點，則稱之為『連接點緩衝器結構』，又稱為『蝴蝶交換機』( Butterfly Switch )。

除了矩陣式交換機外，內接網路還可用其它技術來達成，譬如，中央記憶體交換機、匯流排交換機或環狀交換機等。如欲達到更高的交換速率，也可採用數位交換機之『時間 - 時槽 - 時間』( Time-Slot-Time )的交換技術，或『多重矩陣的移位暫存器』( Multi-Matrix Shift-Register )技術來實現內接網路的交換工作。(因限於篇幅不另敘述)

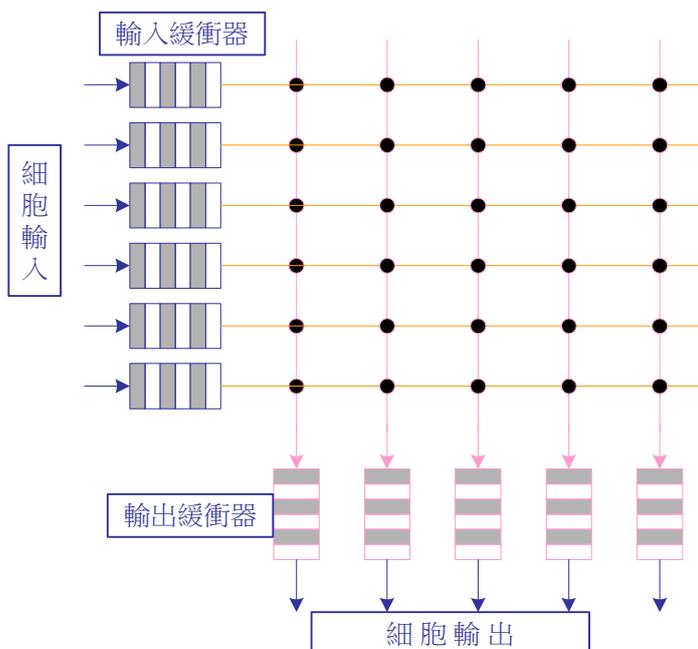


圖 11-13 內接網路的基本原理

## 11-12 ATM 調節層

**ATM 調節層 ( ATM Adaptation Layer, AAL )** 的功能是高層通訊協定 ( 如 IP 或 IPX ) 和 ATM 層之間封包的調節。上層通訊協定 ( 如 IP ) 所傳下來的封包 ( 如 64 K 位元組 ) 經過 AAL 層，將其分割為若干個 48 位元組的細胞。AAL 將 48 位元組的細胞傳送給 ATM 層，ATM 層再將每一細胞前頭加入 5 個位元組的細胞頭 ( Cell Head )，構成 53 位元的細胞格式。但對於不同服務品質，需要不同的細胞格式來區分，這牽涉到細胞傳送即時性和連續性的需求。因此為了符合各種服務品質的需求，ITU-T 將 ATM 調節層區分為四種服務類別：AAL 1、AAL 2、AAL 3/4、以及 AAL 5，如圖 11-14 所示。表 11-3 為各種服務類別之特性。以下將分述之：

**表 11-3 ATM 調解層的服務類別**

型態	AAL 1	AAL 2	AAL 3	AAL 4	AAL 5
同步時序	需要	不需要	不需要	不需要	不需要
傳輸速率	常速率	變速率	變速率	變速率	變速率
連接方式	連接導向	連接導向	連接導向	非連接導向	連接導向
功能應用	傳統語音	封包視訊	多工資料	多工資料	資料

- (1) **AAL 1**：提供連接導向 ( Connection-oriented ) 的常速率 ( Constant rate ) 服務。其功能類似『線路模擬服務』( Circuit Emulation Service, CES )，一般使用在語音或影像方面的傳輸。線路模擬服務提供了一種傳統 TDM 資料流對應到 ATM 網路上的方法，但使用這種方法完全失去統計多工的好處。且既然是同步多工方式，就有時序同步的問題，傳送端和接收端的交換設備必須插入同步訊號。如果實體層使用 SONET 網路，則較容易依照 SONET 網路的同步時序中來插入 ATM 的同步訊號。早期 ITU-T 希望利用這種服務來提供有關聲音和影像的傳輸，但各家 ATM 廠商認為在 AAL 5 上提供封包式語音和影像的壓縮、以及靜音的消除功能，比較有效率，因此 AAL 1 在使用上反而較少。
- (2) **AAL 2**：提供連接導向的變速率 ( Variable Bit Rate, VBR ) 服務。ITU-T 規劃 AAL 2 作為傳輸音訊和視訊的封包資料。
- (3) **AAL 3/4**：提供連接導向或非連接導向 ( Connectionless ) 的變速率服務。原來 ITU-T 規

劃 AAL 3 作連接導向的服務，而 AAL 4 作非連接導向的服務。後來發現兩種規格可以建構在一起，因此，稱為 AAL 3/4。AAL 3/4 主要服務是將多工資料流傳送到單一 ATM 虛擬通道 ( VC ) 上。但其細胞格式的 48 位元組中必須有 4 位元組作控制欄位，也會造成不少頻寬的浪費。

**(4) AAL5**：提供連接導向的變速率服務。主要應用於大量資料的傳送。實際上，在所有服務中，AAL 5 最被為廣泛採用，因為 AAL 5 可以將不必要的多餘浪費減到最低。也就是，AAL 5 所使用的細胞最為精簡，工作負荷 ( Overhead ) 最少，尤其在大量傳輸資料上效率最高。早期 ITU-T 規劃 AAL 5 是專們做 TCP/IP 網路上的傳輸資料，但目前大部分 ATM 網路上的應用，都採用 AAL 5 服務。

ATM 調節層主要提供上述四種服務，每一種服務的細胞格式都不相同，因此各種服務都有其相對應的兩個次層：『集合次層』( **Convergence Sublayer, CS** ) 和 『切割和重組次層』( **Segmentation and Reassembly Sublayer, SAR Sublayer** )，如圖 11-14 所示。CS 是將上層所傳下來的資料加入有關訊息識別，和其他功能之間的時脈修正。也就是類似一般通訊協定，加入封包資料的標頭和尾端。CS 的資料封包大小，依照不同的服務而不一樣。接收端的 CS 也同樣必須去除封包的頭尾再傳送給上一層的通訊軟體。SAR 次層是將 CS 次層所傳下來的資料封包，切割成以 48 位元組為單位的若干個細胞，再傳送給 ATM 層。接收端的 SAR 次層也必須將 ATM 層所傳回多個 48 位元組的細胞組合回原來的封包。有關 CS 和 SAR 資料串流格式，和細胞分割與重組，以下分別介紹之。



**圖 11-14 ATM 調節層的服務類別**

### 11-12-1 AAL 1 型態

AAL 1 提供線路模擬的常速率服務，也是屬於同步多工傳輸。AAL 1 的接收端和傳送端

之間需要使用同步時序技術。它的處理傳送細胞有三個步驟：(1) 同步取樣訊號插入酬載 (Payload) 欄位；(2) 在細胞標頭插入順序號碼欄位和順序號碼保護欄位；(3) 在酬載欄位依序塞資料，使整個細胞滿足 48 位元組。如圖 11-15 中，AAL 1 型態的 SAR-PDU 長度為 48 位元組，其中第一個位元組為通訊協定控制資訊 (Protocol Control Information, PCI)，以及 47 為元組的酬載 (Payload)。其中各欄位功能如下：

- (1) **順序號碼欄位 (Sequence Number, SN)**:( 4 位元 )。此欄位又區分為 CSI( Convergence Sublayer Indication ) 欄位 ( 1 位元 ) 和 SC ( Sequence Count ) 欄位 ( 3 位元 )。CSI 是標示該細胞是否攜帶有關同步時序的訊息。SC 是該 PDU 的順序號碼，用來檢查細胞是否有流失或插入空白細胞。
- (2) **順序號碼保護欄位 (Sequence Number Protection, SNP)**:( 4 位元 )。此欄位又分為 CRC 欄位 ( 3 位元 ) 及 P ( Even Parity ) 欄位 ( 1 位元 )。CRC 用來保護 SN 欄位，所使用的多項式為  $G(x) = x^3 + x + 1$ 。P 欄位則進一步保護前面 7 個位元的同位元檢查，所使用為偶同位元 ( Even parity )。

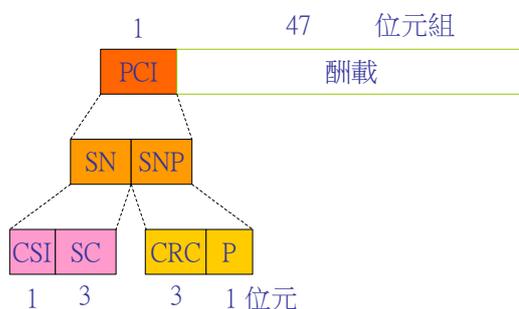


圖 11-15 AAL 1 型態之訊框包裝格式

## 11-12-2 AAL 2 型態

AAL 2 型態的 SAR-PDU 和 AAL 1 型態非常類似，都必須增加一個位元組作為控制訊息用。AAL 2 訊框格式如圖 11-16 所示。SAR-PDU 長度也是 48 位元組，和其後 4 位元的標頭和標尾，其中：

- (1) **順序號碼欄位 (Sequence Number, SN)**:( 2 位元 ) 標示該細胞的順序號碼。
- (2) **資訊型態欄位 (Information Type, IT)**:( 2 位元 ) 有下列四種型態：

- BOM ( Beginning of Message ) : 表示此訊息酬載欄位所帶的訊息為 CS-PDU 的第一個。(如圖 11-16 所示)
- COM ( Continue of Message ) : 第二個訊息以後。
- EOM ( End of Message ) : 最後一個訊息。
- SSM ( Single of Message ) : 唯一個訊息。

(3) 長度欄位 ( Length, LEN ) : ( 2 位元 ) 紀錄酬載長度。

(4) 錯誤檢查碼 ( CRC ) : ( 2 位元 ) CRC-10 檢查範圍包含標頭、酬載、及長度欄位。



**圖 11-16 AAL 2 型態之訊框包裝格式**

### 11-12-3 AAL 3/4 型態

AAL 3/4 主要用途是在 ATM 網路上傳送 **SMDS( Switched Multimegabit Data Service )** 封包。訊框的處理程序如圖 11-17 所示。它將上層的封包加入標頭( Header )和標尾( Trailer )，再依序以每 48 位元為單位分割傳送 ATM 層，再由 ATM 加入另 5 位元組的控制訊息。

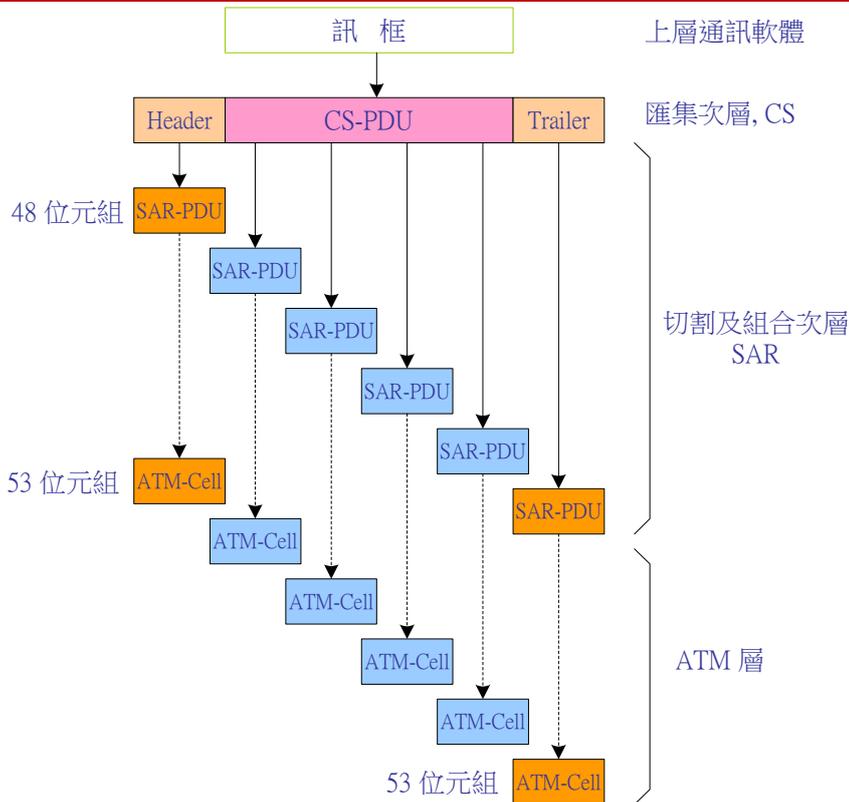


圖 11-17 AAL 3/4 訊框之包裝運作情形

它處理傳送細胞有四個步驟：

(1) CS 次層產生一個協定資料單元( Protocol Data Unit, PDU )，並加入 PDU 的頭( header )和尾( Trailer )的控制欄位，使整個 CS-PDU 是 4 位元組的倍數，如果不足於 4 位元組則加入 PAD 欄位資料使其滿足。而且 CS-PDU 長度必須小於 65535 位元組，如圖 11-18 (a) 所示。其中：

- 共同部分指示欄位 ( Common Part Indicator, CPI ):( 8 位元 )。在 AAL 3/4 型態下，CPI = 00000000。
- 起始/結束標籤欄位( Beginning/Ending Tag, Btag/Etag ):( 8 位元 )。Btag 和 Etag 的值相同，代表同一個 PDU，其值由 0 到 255 之間輪流使用。
- 緩衝器指定大小欄位 ( Buffer Allocated Size, BAsize ):( 16 位元 )。代表接收此封包時所需的緩衝器大小。
- 填塞欄位 ( Padding, PAD ):( 0 ~ 3 位元組 )。使整個 CS-PDU 長度成為 4 的倍數的位元組。

- 對齊欄位 ( Alignment, AL ):( 8 位元 )。用來使 CS-PDU 的標尾成為 32 位元，內容無特殊意義。
- 長度欄位 ( Length, LEN ):( 16 位元 )。用來記錄 CS-PDU 的長度。

(2) SAR 次層分割 CS-PDU 以 44 位元組為一單位的 SAR-PDU 成若干個，並加入標頭。

(3) SAR 次層產生 CRC-10 錯誤檢查碼加入 SAR-PDU 的標尾。

(4) 將 SAR-PDU 變成為 ATM 細胞的酬載欄位，再由 ATM 層加入細胞的標頭控制欄位。SAR-PDU 訊框格式如圖 11-18 (b) 所示。其中：

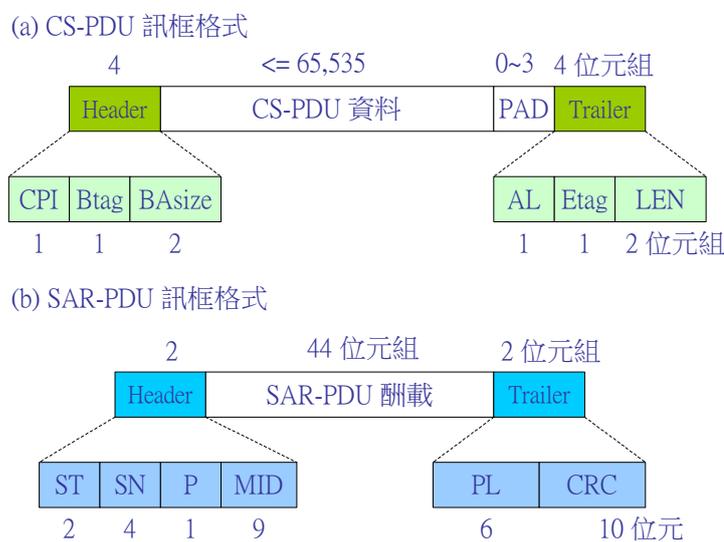


圖 11-18 AAL 3/4 之 CS 和 SAR 訊框包裝格式

(a) 片段型態欄位 ( Segment Type, ST ):( 2 位元 ) SAR-PAD 有四種型態：

- BOM ( Beginning of Message )：此片段為 CS-PDU 中第一個片段。
- COM ( Continue of Message )：第一個以後的連續片段。
- EOM ( End of Message )：表示該 CS-PDU 中最後一個片段。
- SSM ( Single Segment Message )：表示該 CS-PDU 的唯一片段。

(b) 順序號碼 ( Sequence Number, SN ):( 4 位元 ) 表示此 SAR-PDU 的順序號碼。其值由 0 到 15 之間重覆輪流使用。

- (c) **優先權欄位 ( Priority, P )**:( 1 位元 )。P = 1 表示該 SAR-PDU 具有優先權；P = 0 表示一般資料之 PDU。
- (d) **多工識別碼欄位 ( Multiplexing Identifier, MID )**:( 9 位元 ) 屬於同一筆 CS-PDU 封包的 SAR-PDU 有相同的多工識別碼。
- (e) **酬載長度欄位 ( Payload Length, PL )**:( 6 位元 ) 正常情況下，每一筆 SAR-PDU 的酬載長度為 44 位元組，但在 CS-PDU 中的最後一個 SAR-PDU 可能不及 44 位元組。PL 就是用來記錄它的長度。
- (f) **檢查碼欄位 ( CRC )**:( 10 位元 ) 利用 CRC-10 檢查碼來檢查該 SAR-PDU 內容是否傳送錯誤。檢查範圍包括片段頭、片段酬載、及長度欄位等。

### 11-12-4 AAL 5 型態

AAL 5 主要用於結合不同的通訊協定在 ATM 網路上傳送，譬如，IP 架設於 ATM 網路 ( IP Over ATM ) 或區域網路模擬 ( LAN Emulation )。AAL 5 又稱為『**簡單且效率調解層**』 ( Simple and Efficient Adaptation Layer, SEAL )，因為 AAL 5 中的 SAR 次層直接將 CS-PDU 切割成 48 位元組的 SAR-PDU，而未加入任何其他控制訊號，如圖 11-19 所示。AAL 5 產生傳送細胞可分為三個步驟：

- (1) **CS 次層將上層傳來的訊框加入可變長度的 PAD 欄位和訊框的標尾( Trailer )**。加入 PAD 欄位使整個訊框長度是 48 位元組的倍數，因此 PAD 欄位的長度由 0 到 47 位元組。標尾有三個欄位：
- **協定控制 ( Protocol Control, PC )**:( 2 位元組 )。作一般控制訊息使用。
  - **長度 ( Length, LEN )**:( 2 位元組 )。紀錄 CS-PDU 資料的長度。
  - **錯誤檢查碼 ( CRC )**:( 4 位元組 )。CS-PDU 的錯誤檢查碼，以 CRC-32 多項式檢查碼。

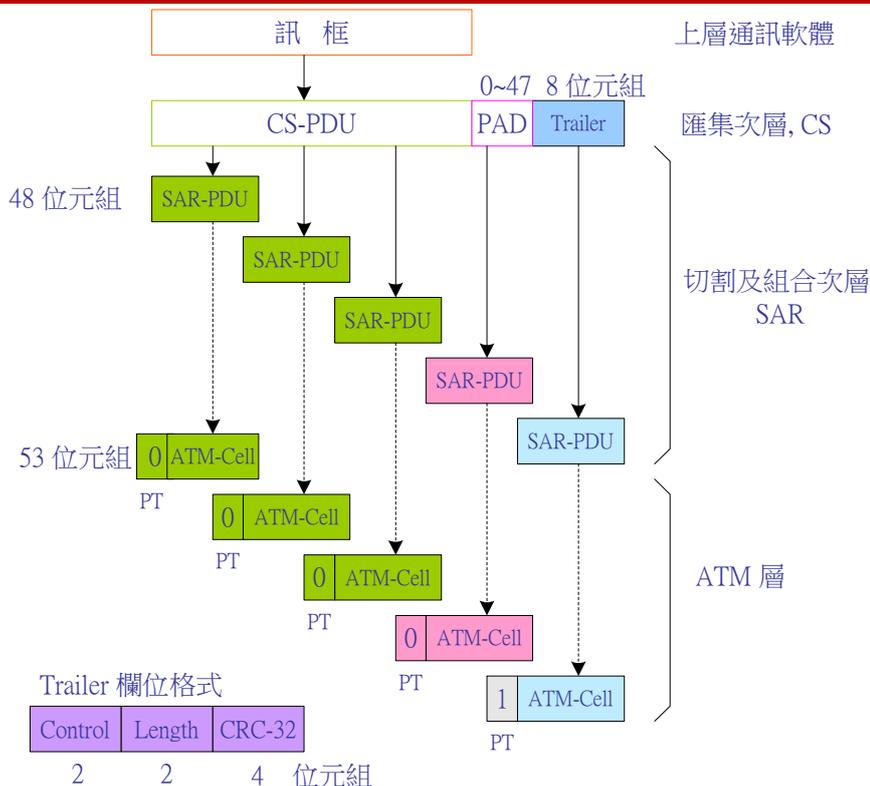


圖 11-19 AAL 5 型態之訊框包裝運作情形

(2) SAR 次層將 CS-PDU 分割成 48 位元組的 SAR-PDU，其中並未加入標頭和標尾訊息。

(3) SAR 次層將 48 位元組的 CS-PDU 依序傳送給 ATM 層。ATM 層也依序填入細胞之酬載欄位 (Payload field)，但在該細胞的酬載型態 (Payload Type, PT) 設定為 0 表示後面還有相同的 CS-PDU 細胞緊接著傳送過來。如果 PT = 1 表示後面已沒有細胞傳送過來或只有單一個細胞。

我們可以比較 AAL 3/4 和 AAL 5 型態的 SAR-PDU 包裝格式。AAL 3/4 為了適合於連接導向和非連接方式，因此在每一個 PDU 上都必須標明順序號碼和其他相關控制訊息。AAL 5 提供連接導向傳輸，細胞到達目的位址的順序不會錯亂，因此不需順序號碼和其他控制訊息。尤其對於大量資料傳輸方面，AAL 5 所產生的工作負荷 (Overhead) 最小，在 SAR-PDU 中幾乎不會浪費空間，只有在 ATM 層之中加入 1 個位元 (PT)。目前網路上的應用不論語音、視訊、或資料幾乎都使用 AAL 5，有關各種通訊協定的連接也都在 AAL 5 上開發。

### 11-13 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。但在 ATM 網路是連接導向傳輸，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**』（第四章中介紹），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。每一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，對於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，我們可以将 ATM 細胞交換機的工作原理，歸類為兩個重點：第一，就是對於每一條連線的表示方法，又稱為『**虛擬通道**』（Virtual Channel, VC）；第二，如何建立每一個埠口上的『**輸入/輸出埠對照表**』。以下分別介紹。

### 11-13-1 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，該工作交由 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 11-20 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, 100)、(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、或 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，在中繼交換機上不用分辨『**虛擬通道**』(VCI)位址，分辨虛擬通道位址是由端點交換機(End Switch)負責便可以，因此可以減低交換機的工作負荷，而提高效率。

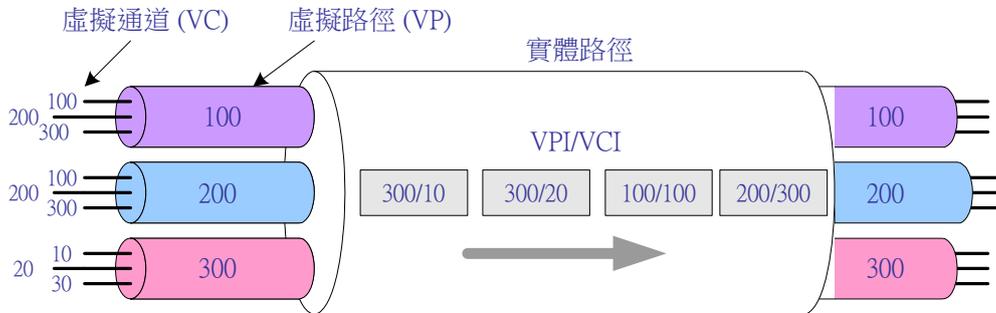


圖 11-20 VPI/VCI 虛擬通道

### 11-13-2 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』，如圖 11-21 所示。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。一般 ATM 網路都有一個集中式，或由多個分散式的『允入控制』(Admission Control)軟體來控制是否允許連線。

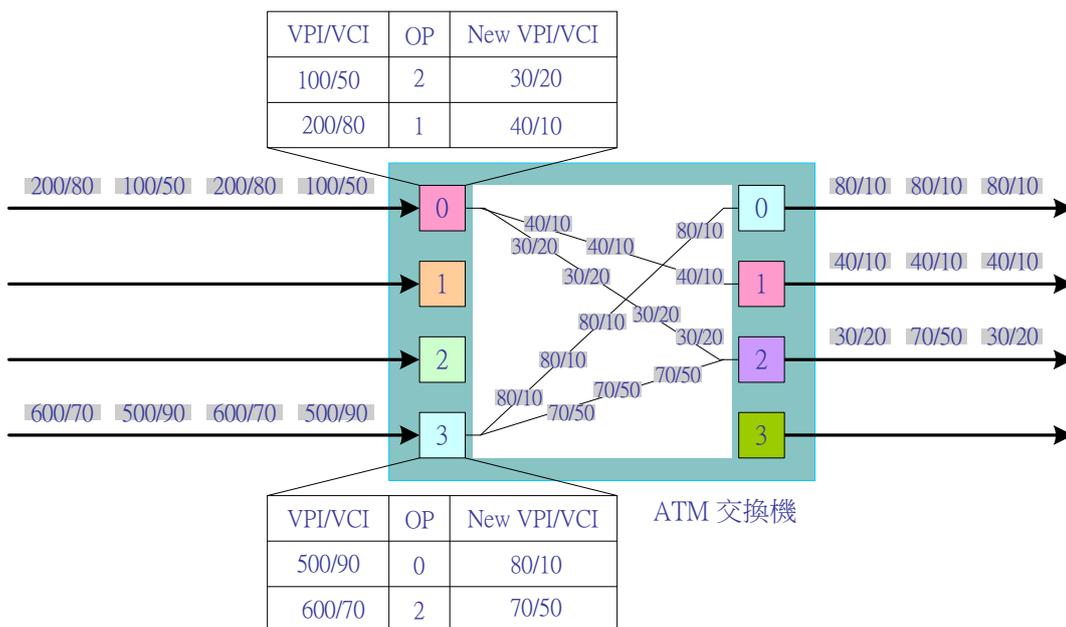


圖 11-21 輸入/輸出埠對照表

『**集中式允入控制**』表示在整個網路上有一個集中控制工作站，負責整個網路的頻寬管理，任何一部交換機上有連線要求時，集中控制工作站依照當時網路頻寬使用情形，以及連線的服務品質要求，決定是否同意連線。當控制站接受連線允許 ( Admission ) 時，必須負責將該連線所經過之交換機的埠口上填入『**輸入/輸出對照表**』。集中控制的優點是控制站能掌握整個網路的全貌，其所挑選出來之連線路徑的效率最高，每一條連線都可達到最佳路徑。但集中式的缺點是每次連線要求時，集中控制站可能需要花費較長的時間，去計算和搜尋路徑。網路上所有交換機必須隨時向集中器報告交換機使用情形，這也必須花費不少的頻寬。最主要的，如果網路過於繁忙時，集中器可能成為網路的瓶頸，而集中器故障也可能導致整個網路癱瘓。因此對於網路範圍較小的環境，使用集中式允入控制較適合，對於較大的網路系統可能較不適合。

『**分散式允入控制**』表示是否允許連線要求是由各個交換機分層負責。一個工作站如果要建立連線，則首先將其要求 ( 包括目的工作站位址和服務品質 ) 送給其所連接的交換機。該交換機的允入控制軟體會選擇一條可能到達目的之埠口 ( 路徑 )，並登入輸入/輸出對照表。該連線要求依照所建立之路徑，進入第二部交換機，再由第二部交換機的允入控制軟體決定下一個埠口 ( Next hop ) 的路徑。以此類推到達目的位址，再依照連線路徑回應給來源工作站。分散式的優點是具有擴充性，其缺點是路徑選擇變得較複雜，為了能選擇較好的路徑，交換機上必須配置『**路徑選擇協定**』 ( Routing Protocol )，而且交換機之間也必須隨時交換路徑選擇訊息。

圖 11-22 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 )。

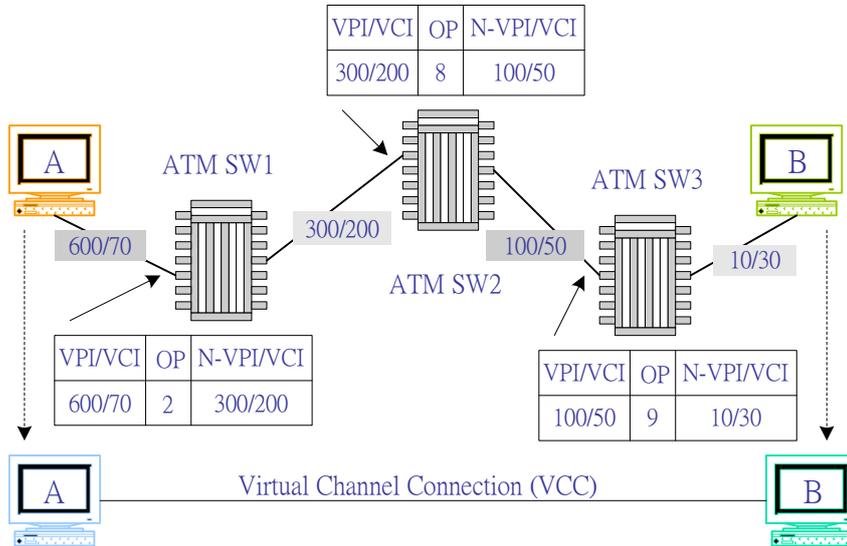


圖 11-22 ATM 網路連線範例

### 11-13-3 VP 與 VP/VC 交換機

我們將所有虛擬通道依群組關係，區分為若干個虛擬路徑，針對每一條通道以( VPI, VCI )表示。其中 VPI 可以用來表示某一區域關係或連線屬性，類似電話系統中的區域號碼；而 VCI 表示某一區域下的虛擬通道，類似電話系統中的本地號碼。每一條連線的 ( VPI, VCI ) 就像是電話系統的『區域號碼 + 本地號碼』。當每一條連線進入交換機時，如果目的位址不是本交換機時，我們可以依照 VPI 的號碼轉送到另一個交換機上，不必再拆解 VCI 號碼。如果連線的目的位址是本交換機，再拆解 VCI 位址，這可減低交換機許多工作負荷。如果沒有將虛擬通道分成兩個層次的拆解，依照 NNI 介面的虛擬通道是以 28 位元表示，所產生的通道位就有 228 個，輸入/輸出對照表的表格長度最長有 228 個欄位。每進入一個細胞就必須在這 228 欄位裡尋找 ( lookup ) 下一個輸出埠，這可要花費很長的時間。如果我們將虛擬通道分為兩個層次：VPI 和 VCI，依照 NNI 介面規格，VPI 以 12 位元表示，VCI 以 16 位元表示。當交換機拆解 VPI 時只要在 212 的表格裡尋找( lookup )目的埠口；拆解 VCI 時尋找表格是 216，而且拆解 VPI 和 VCI 可以同時進行，因此可以節省不少時間。

如果交換機只負責拆解 ( 或交換 ) VPI 位址，稱之為 VP 交換機。VP 交換機類似電話系統的長途交換機，只負責依照區域號碼將電話連線交換到那一個區域上。VP 交換機也是一樣，依照連線的 VPI 位址交換到某一區域或某一主機系統上，主要作主幹連線( Backbone )使用。如果交換機具有交換 VPI 和 VCI 的功能稱為 VP/VC 交換機，類似電話系統的本地交換機。當細胞進入交換機時，首先拆解 VPI，看是否為本交換機所管轄的 VPI 位址，如

果是再拆解 VCI 位址，否則將該細胞依照輸入/輸出對照表轉送到其他 VP 或 VP/VC 交換機上。VP 交換機之間連線或 VP 交換機和 VP/VC 交換機之間連線又稱為 VP 連線 (VP Connection)。VP/VC 交換機之間連接稱為 VP/VC 連線 (VP/VC Connection)。VP 交換機和 VP/VC 交換機的连接範例如圖 11-23 及 11-24 所示。

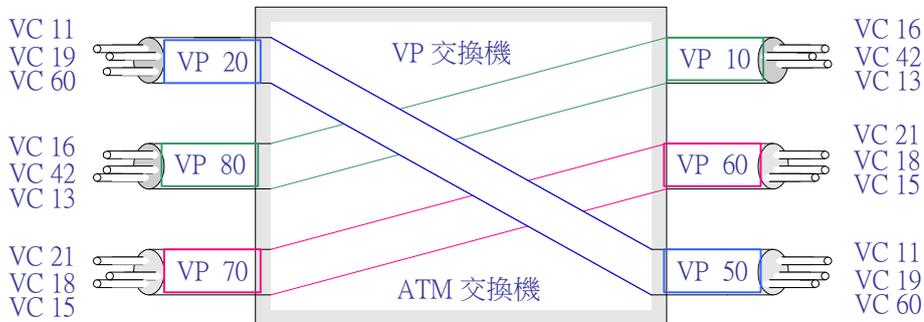


圖 11-23 VP 交換機

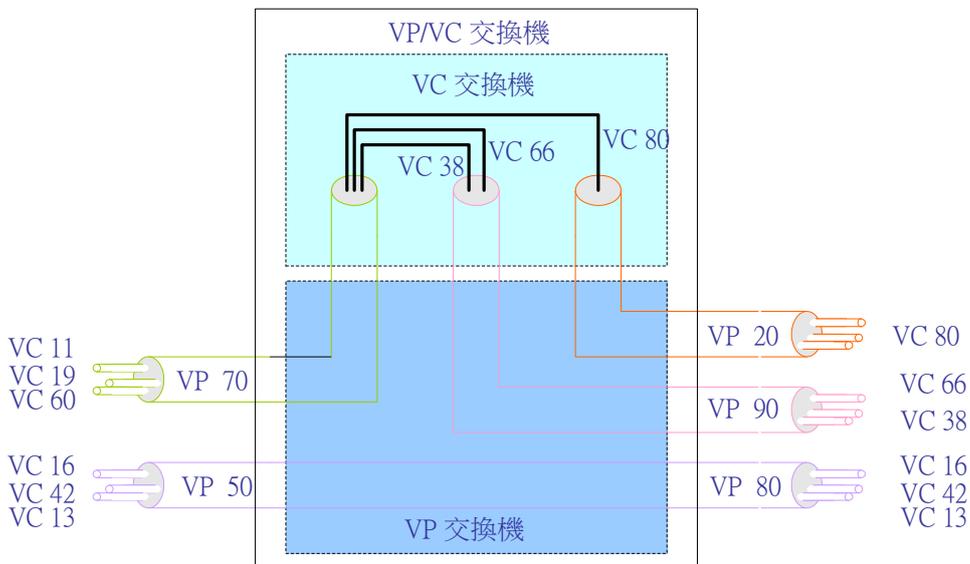


圖 11-24 VP/VC 交換機

### 11-13-4 PVC 與 SVC 連線管理

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。某些可以使用手動方式載入到 ATM 交換機中的連線稱為『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。

當工作站有需要時再要求 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：

- a. **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。
- b. **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。

## 11-14 ATM 定址及位址註冊

如同一般傳統電腦網路一樣，網路 ( 如，Ethernet ) 上任何一部工作站都必須給予一個唯一的名稱 ( 如，Ethernet 位址 )。在 ATM 網路上任何一部交換機或工作站 ( 或其它設備 ) 也都必須給於一個唯一的名稱，但在定址方面有兩個重點和一般網路不同：(1) 位址格式必須符合較廣泛的環境；(2) 工作站位址必須經過註冊才有效。以下分別述之：

### 11-14-1 ATM 位址格式

在專屬 ( Private ) ATM 網路上，ATM Forum 制定了三種 UNI ( User-Network Interface ) 位址格式，這三種位址格式都是由 OSI NSAP ( Network Service Access Point ) 發展出來的，但也不盡然完全相同。ATM 網路將 MAC 位址加入 ATM 位址內，使 ATM 網路較能容易和一般區域網路相容，而能共同運作於同一網路上，稱之為『ATM 端點系統位址』( ATM End

System Address )格式。這三種位址格式為：『資料國碼位址格式』( Data Country Code address format, DCC )、『國際碼指定位址格式』( International Code Designator address format, ICD )和 『ATM E.164 格式』，位址長度皆為 20 位元組。其格式如圖 11-25 所示，各欄位功能如下：

- (1) **AF ( Authority and Format Identifier )**：長度為 1 位元組，用來辨識位址的格式，如位址格式為 DCC，則 AFI 是 39；如 ICD，則 AFI = 47；如 ATM E.164，則 AFI = 45。
- (2) **DCC ( Data Country Code )**：長度為 2 位元組，用來記載此位址，已被哪個國家所註冊使用。
- (3) **IDC ( International Code Designator )**：長度為 2 位元組，用來標示被註冊的國際指定碼。
- (4) **DFI ( Domain Format Identifier )**：長度為 1 位元組，用來說明後面欄位的結構。
- (5) **AA ( Address Authority )**：長度為 3 位元組，用來指示後面位址的使用認可。
- (6) **RSVD ( Reserved )**：長度為 2 位元組，保留將來使用。
- (7) **RD( Routing Domain )**：長度 2 位元組，用來定義唯一的路徑網域( Routing Domain )，表示在此網域之中，這個位址是唯一的。
- (8) **AREA ( Area )**：長度為 2 位元組，定義路徑尋找中的唯一的區域。
- (9) **E.164**：長度為 8 位元組，用來存放 ISDN 電話號碼。
- (10) **ESI ( End System Identifier )**：長度為 6 位元組，定義區域 ( AREA ) 中的端點系統 ( End System ) 位址，即是 802 系列中 MAC 位址。
- (11) **SEL( Selection )**：長度為 1 位元組，用來選擇端點系統中的存取點 ( Access Point )。

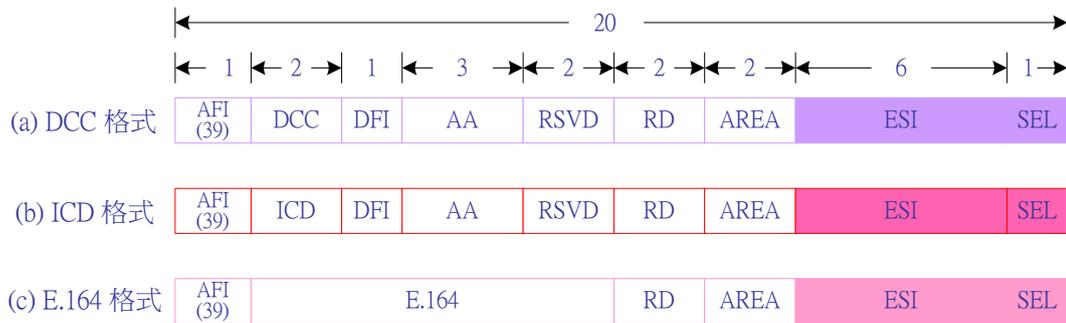


圖 11-25 ATM 位址格式

### 11-14-2 ATM 位址註冊

ATM 工作站連結網路之前必須先做註冊的動作，就稱為『定址』( Addressing )。註冊的動作是要讓該工作站在 ATM 網路上產生一個唯一的位址，有了這個位址，工作站才可要求連接其它工作站，或被其他工作站所連結。這不同於一般網路，如 Ethernet 網路上，工作站之 Ethernet 位址都已固定，不論該工作站移位到什麼地方，位址都一樣。但 ATM 工作站位址是由本身的 MAC 位址和 ATM 交換機的區域位址所結合而成，而工作站位址會隨地區而不同，因此，ATM 工作站就有註冊登錄的必要。

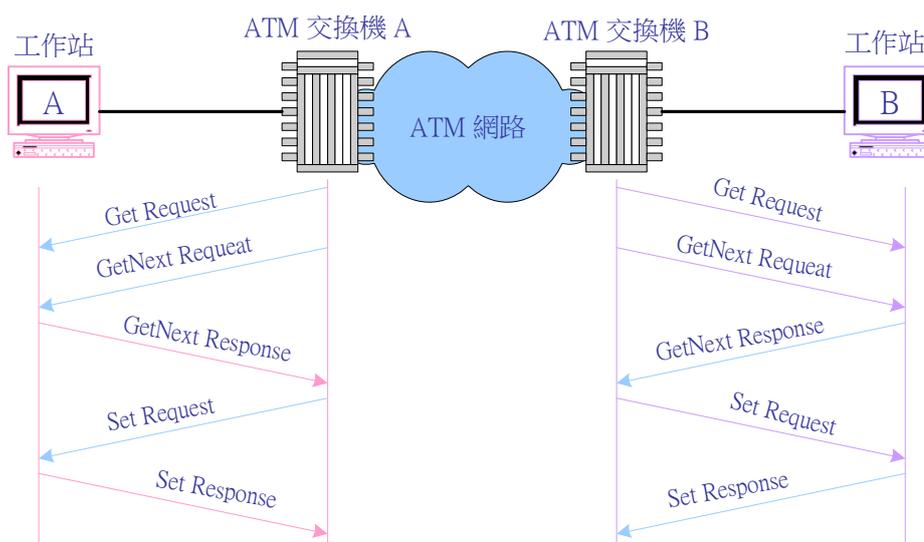
每部 ATM 交換機上都有設定『前置位址』( Prefix Address )，其中包含 ATM 位址格式的前 13 位元組，以 E.164 格式為例，前置位址包含：AFI( 1 )+ E.164( 8 )+ RD( 2 )+ AREA ( 2 )= 13 位元組。再加上工作站本身的 MAC 位址( ESI 欄位 )和選擇存取點( SEL 欄位 )，構成 20 位元組長度的 ATM 位址。工作站 ( 或終端設備 ) 和交換機之間的位址註冊方式是採用 ILMI 通訊協定，以下介紹之。

### 11-14-3 ILMI 管理介面

『整體性區域管理介面』( Integrated ( Interim ) Local Management Interface, ILMI ) 是由 ATM Forum 所定義的標準。一般使用在 ATM 網路的 UNI 介面管理，也就是用於交換機和終端設備 ( 或工作站 ) 之間的介面管理。但目前無論專屬 ( Private ) 或公共 ( Public ) 之 ATM 網路介面，皆使用 ILMI 介面來做管理，例如 ATM 路徑選擇協定、PNNI、IISP 等，或是區域網路模擬 ( LAN Emulation ) 上都使用 ILMI 協定。甚至，我們希望 ATM 網路上有類似 IP 網路的『位址解析協定』( Address Resolution Protocol, ARP )，可供查詢工作站的 ATM 位址，在 ATM ARP 之間的通訊行為也採用 ILMI 協定。( 第十二章介紹 )

ILMI 的管理程序非常類似於『簡易網路管理協定』(SNMP)的訊號方式，換言之，也是採用 Get-Request、Get-Next-Request、Get-Response、Set-Request 及 Trap 等命令方式，而且以『管理資料庫』(Management Information Base, MIB)儲存有關管理資訊。在 SNMP 中，網路上有一部『SNMP 管理者』(SNMP Manager)管理若干個『SNMP 代理者』(SNMP Agent)。一般管理程序是由 SNMP 管理者下達命令給 SNMP 代理者，被管理者再回應訊息，而被管理之設備則以『物件描述樹』的資料格式儲存於 MIB 資料庫中。ILMI 的管理方式也完全師承於 SNMP。也就是工作站和交換機之間採用 ILMI 協定方式來完成位址註冊，其運作程序如圖 11-26 所示，步驟如下：

- (1) 首先由交換機送 **Get Request** 訊息工作站，通知工作站要求通訊。
- (2) 交換機再送 **GetNext Request** 給工作站，要求工作站的 ESI 位址。
- (3) 工作站將 **ESI 位址 (MAC 位址)** 傳送給交換機 (**GetNext Response**)，交換機便將該位址登錄於 MIB 中。
- (4) 交換機將所得到的 ESI 位址和本身的前置位址，利用 **Set Request** 傳送給工作站，要求設定其工作站位址。
- (5) 工作站收到後回應確認給交換機 (**Set Response**)。



**圖 11-26 ATM 位址登錄程序**

在 ATM 交換機與交換機、交換機與終端設備之間採用『永久式虛擬連結』(PVC)連線，表示這些連線已在交換機啟動時，就被固定連接在某些虛擬通道上。因此，以 PVC 連結之

裝置(或工作站),就不需要位址登錄程序。位址登錄程序是專門針對『交換式虛擬連結』(SVC)之工作站(或終端設備)使用。登錄啟動時也需要虛擬通道來通訊,一般ILML通訊協定皆使用(VPI/VCI)=(0/16)的VCC連線。

## 11-15 ATM 訊號

ATM 網路是屬於連接導向,表示工作站間通訊之前就必須做實質的連線,這個連線動作稱之為『ATM 訊號』(ATM Signaling),也就是在交換機和工作站之間建立虛擬通道時,所使用的訊號方式。與傳統網路之連線方式不同的是,訊號方式必須考慮到連線要求的服務品質(QoS),譬如,傳輸速率、細胞遺失率、延遲時間等等。

訊號方式的運作基本上有兩種方式:內頻(In-band)和外頻(Out-of-band)。內頻是指訊號和使用者資料在同一連線或頻道上傳送;外頻是訊號另外建立一條連線使用,或專屬頻道來傳送訊號。ATM 網路是採用外頻訊號,由於 ATM 網路的通道是由 VPI/VCI 所構成,因此會有一些 PVC 通道保留給訊號使用。這些通道稱之為『訊號虛擬通道』(Signaling Virtual Channel),如表 11-4 所示。

**表 11-4 訊號虛擬通道之 VPI/VCI**

通道型態	VPI	VCI
連接控制訊號 (QSAAL)	0	5
ILMI	0	16
PNNI	0	18
交換標籤	0	32

ATM 訊號有兩個主要用途:(1) ATM 連線的建立、維護和釋放。(2) 通訊連線之參數的傳輸和協調,也就是『傳輸量控制』(Traffic Control)與『壅塞控制』(Congestion Control)。依照 ATM Forum 所制定的 UNI 3.0、UNI 3.1 和 UNI 4.0 規格裡,ATM 訊號提供下列功能:

- (1) 提供『點對點』(Point-to-point)和『點對多點』(Point-to-multipoint)連線。

- (2) 提供對稱 ( Symmetric ) 和非對稱 ( Asymmetric ) 之頻寬傳輸控制。
- (3) 提供任一廣播訊號 ( Anycast Signaling )。允許針對群組位址之註冊及連線，但須配合特殊伺服器，如 Configuration Server 或 Name Server。
- (4) QoS 參數的註明訊號 ( Explicit Signaling )。可在訊號內承載：MCTD ( Maximum cell transfer delay )、PPCDV ( Peak-to-peak cell delay variation ) 等 QoS 參數。
- (5) ABR 連線訊號。提供有關參數要求 ABR 連線。
- (6) 虛擬 UNI ( Virtual UNI )。提供多重通道的虛擬 UNI。
- (7) 提供『專屬網路對網路介面』( Private Network-to-Network Interface, PNNI ) 訊號及路徑選擇協定，使 UNI 可跨越 NNI 連結到其他交換機或路由器。

在 ATM UNI 4.0 中是使用 ITU-T Q.2931 通訊協定。基本上 Q.2931 支援『點對點』和『點對多點連線』的交換連線，並允許使用者要求頻寬和服務品質保證的類別，表 11-5 為 UNI 4.0 中所定義的服務品質保證類別與其所需的參數。其中：CDV ( Cell Delay Variation )、MaxCTD ( Maximum Cell Transfer Delay )、MeanCTD ( Mean Cell Transfer Delay )、CLR ( Cell Loss Rate )。

表 11-5 UNI 4.0 定義之服務類別所需的參數

	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
CDV	yes	yes	--	--	--
MaxCTD	yes	yes	--	--	--
MeanCTD	--	--	yes	--	--
CLR	yes	yes	yes	yes	--

用來建立連線並在通訊雙方的 AAL 調節層之間協議，因此稱之為『ATM 調節層訊號』( Signaling AAL, SAAL )。SAAL 因有加入服務品質參數，又稱為 Quality SAAL( QSAAL )。圖 11-27 為 QSAAL 訊號之連線管理的時序圖，至於其它連線程序請參考第十二章說明。

當工作站註冊登錄位址後，即擁有一個唯一的 ATM 位址，便可利用該位址要求連接其它工作站。被連接端之工作站也必須經過登錄程序，才表示存在於 ATM 網路上的成員。

QSAAL 訊號 ( Q.2931 ) 之點對點連線管理，會用到下列訊號：

- (1) 起始建立 ( Setup )：由工作站呼叫交換機希望建立連線，或由交換機呼叫工作站。

- (2) 呼叫處理 ( **Call Proceeding** ) : 被呼叫之工作站或交換機回應訊號。
- (3) 連結要求 ( **Connect Request** ) : 在已建立之連線 ( Setup 命令已成功 ) 上，要求連結通訊。
- (4) 連結確認 ( **Connect Acknowledge** ) : 交換機或工作站回應連結成功。
- (5) 釋放 ( **Release** ) : 工作站或交換機要求釋放連線。
- (6) 釋放完成 ( **Release Complete** ) : 工作站或交換機回應釋放完成。

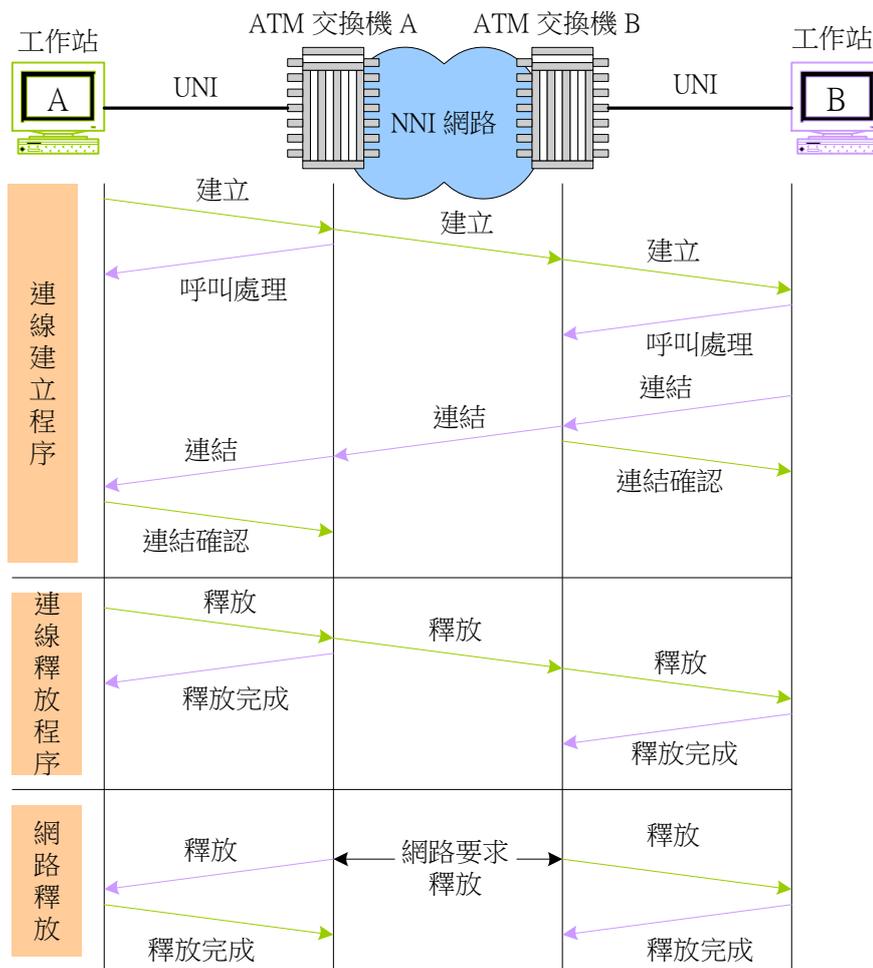


圖 11-27 QSAAL 訊號之連線管理

## 習題

1. 請簡略說明大都會網路架構。
2. 請分別說明『非同步傳輸模式』( ATM ) 和『同步傳輸模式』( STM ) 的運作原理及其特性。
3. 請繪圖說明 ATM 網路架構，並請說明 ATM 網路之特性。
4. 為何 ATM 網路可同時提供多種傳輸速率？請說明其原因。
5. 一般傳統網路 ( 如 Ethernet 或 FDDI ) 都屬於『共享頻寬』型網路，而 ATM 網路是屬於『累加型頻寬』，請說明兩者的差異。
6. 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？
7. 請說明下列服務品質參數的特性：
  - (1) Bandwidth
  - (2) Peak Cell Rate
  - (3) Cell Delay Variation Tolerance
  - (4) Cell Transfer Delay
  - (5) Cell Loss Rate
  - (6) Minimum Cell Rate
8. 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 )
9. 為何 ATM 交換機採用固定長度細胞？為何使用較小的細胞單元 ( 53 Bytes ) ？
10. ATM 通訊協定主要包含：ATM 調解層、ATM 層和 ATM 實體層，請簡略敘述各層次之功能。
11. 請繪圖說明 ATM 網路之封包之組裝 ( Encapsulation ) 和拆裝 ( Decapsulation ) 的處理過程，並說明其特性。
12. 一般傳統網路 ( 如 Ethernet ) 訊框中的 FCS 欄位，是來檢查該訊框在傳輸當中是否有發生錯誤，而 ATM 是以細胞格式傳送，請問 ATM 是用什麼方法來偵測細胞是否發生錯誤？

13. 在骨幹網路當中，ATM 大多以 SONET 為傳輸媒介。但 SONET 是同步傳輸模式；而 ATM 是非同步傳輸模式，兩者是否會發生衝突？請說明其原因。
14. 請說明 SONET 的訊框結構及其特性。並請說明各欄位之功能（以 OC-1 為例）。
15. 請敘述 ATM 交換機中細胞交換的基本原理。並請說明為何它是屬於『虛擬電路』，而並不是一般電話交換機的『電路交換』？
16. 在 ATM 網路控制機制中有：『Admission Control』和『Usage Parameter Control』兩個控制軟體，請說明其工作任務及運作原理。
17. 請分別說明 ATM 控制機制中『分散式允入控制』和『集中式允入控制』的優缺點。
18. ATM 網路為了符合各種服務需求，將 ATM 調節層區分為：AAL 1、AAL 2、AAL 3/4 和 AAL 5 型態，請分別敘述各型態之特性。
19. 為何目前在 ATM 網路上各種應用，大多在 AAL 5 上發展，請說明其原因？
20. 何謂 VP 及 VC？請說明兩者之關係。
21. 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。
22. 何謂 VP 交換機？何謂 VP/VC 交換機？兩者在系統架設上有何相關聯？