

# 1.1 電腦網路的歷史背景

## ▼行動裝置

這是以行動環境為主的裝置，包括行動電話、智慧型手機、平板電腦等，又稱可攜式裝置。

## ▼大型電腦

又稱作通用機、大型主機 (Mainframe)，有時也稱作主機 (Host Computer)。另外，在 TCP/IP 的世界裡，設定了 IP 位址的電腦，即便是筆記型電腦，也稱作「主機」，必須注意別混淆了。

## ▼超級電腦

這是指計算能力非常強大的電腦，用來執行複雜的科學技術演算。

## ▼迷你電腦

這是指體積比大型電腦「迷你」的電腦。事實上，有些大小和衣櫃一樣大。

## ▼個人電腦

這是 Personal Computer 的縮寫，也簡稱為 PC。

## ▼單機模式 (Stand Alone)

這是指電腦沒有連接網路，單獨使用的狀態。

**圖 1-1**  
以單機模式使用電腦的狀態

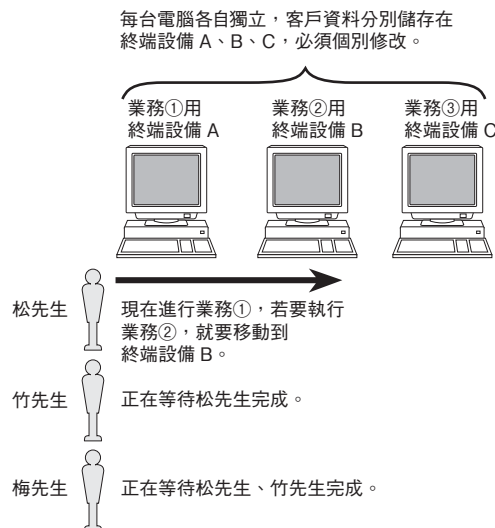
## 1.1.1 電腦的普及與多元化

電腦對我們的社會與生活而言，帶來了無法衡量的影響。有人說「電腦是 20 世界最大的發明」，的確如此，電腦確實運用在各種領域。在辦公室、工廠、學校、教育機構、研究所等地，理所當然地導入電腦，就連一般住家，擁有個人電腦也變得十分尋常。隨身攜帶筆記型電腦、平板電腦、行動裝置▼的人也愈來愈多。此外，乍看之下，似乎與電腦無關的家電產品、音樂播放器、辦公設備、汽車等，現在也都普遍與電腦結合。在我們沒有特別意識到的情況下，已經自然而然接觸到電腦，而這些電腦多數都具備透過網路來通訊的功能。

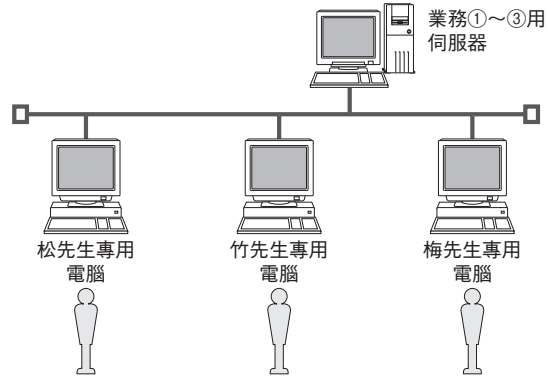
電腦問世到現在，已經進行了各種進化及發展，推出了大型電腦▼、超級電腦▼、迷你電腦▼、個人電腦▼、工作站、筆記型電腦、智慧型手機等各式各樣的電腦。功能不斷提升，價格卻逐年下降，體積也變得愈來愈輕巧。

## 1.1.2 從單機模式到網路模式

以前電腦都是獨立運作，這種使用型態稱作單機模式▼。



**圖 1-2**  
以網路模式使用電腦的狀態



每個人都可以使用各自的電腦，並且隨意切換成業務①、②、③，共用資料還能利用伺服器來進行統一管理。

▼ LAN  
(Local Area Network)

區域網路。在一個區域、一棟建築物，或一個校園等狹窄區域中的網路。

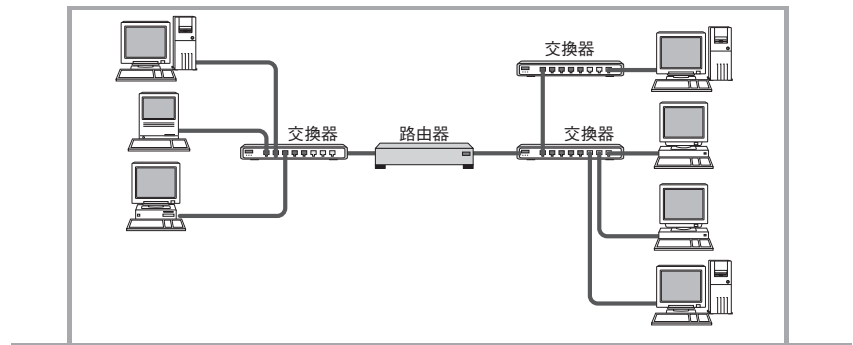
▼ WAN  
(Wide Area Network)

廣域網路。可以擴及到地理性範圍廣大的網路。比WAN還窄的都會等級網路也稱作MAN (Metropolitan Area Network) 都會區域網路。

可是，隨著電腦技術的提升而開發出多台電腦相互連接的電腦網路，不再以單機模式獨立使用。多台電腦彼此串連，將可以在多台電腦之間共用儲存於每台電腦中的資料，或瞬間將資料傳送到遠端的電腦。

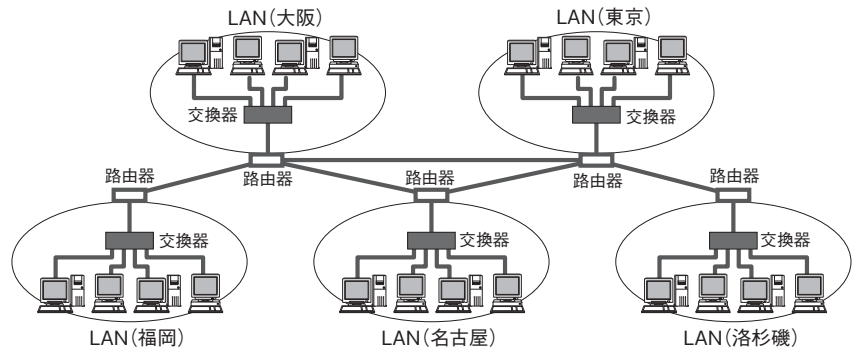
電腦網路依照網路的規模，可以分成 LAN ▼及 WAN ▼等種類。

**圖 1-3**  
LAN



在一棟建築物或大學校園等有限狹窄範圍內的網路。

**圖 1-4**  
WAN



連接遙遠地區的電腦或各個LAN的網路。

### ▼ 2.4.3 網路介面層（資料連結層）

▼大部分會將網路介面層與硬體當成同一層來處理。此外，也稱作網路溝通層。

網路介面層▼是利用乙太網路等的資料連結，進行通訊的介面層級。換句話說，可以把它當成啟動 NIC 的「驅動程式」。驅動程式是介於作業系統與硬體之間，發揮橋樑作用的軟體。電腦的週邊設備或擴充卡，並非連接在電腦上或插入擴充槽內就能使用。作業系統必須要能辨識該卡片，並且完成設定才能使用。添購 NIC 等新硬體時，一般除了硬體之外，還會附上使用該週邊設備的軟體，該軟體就是驅動程式。因此，我們需要在電腦的作業系統中安裝驅動程式，才能打造出可以運用網路介面的環境▼。

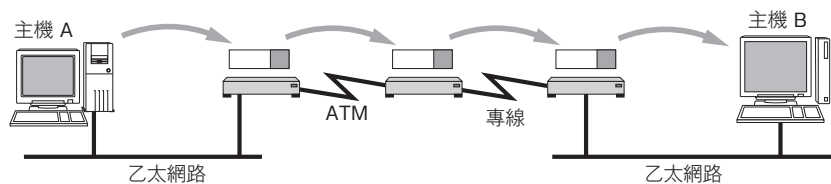
▼最近有很多隨插即用的週邊設備，只要連接就可以使用。此時，在作業系統中，已經預先安裝了支援該網路介面的驅動程式，並非不需要驅動程式。

### ▼ 2.4.4 網際網路層（網路層）

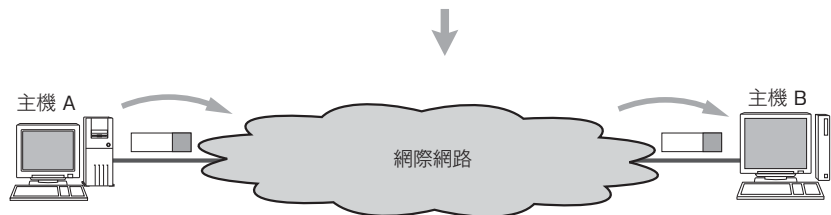
在網際網路層中，使用的是 IP 協定。這個部分的作用相當於 OSI 參考模型的第 3 層網路層。IP 協定是根據 IP 位址來轉發封包。

圖 2-9  
網際網路層

網際網路協定（IP）的作用是将封包傳送到最終目標的主機。



透過網際網路層，可以將網路的詳細結構抽象化。因此，從兩端主機的角度來看，通訊對方的電腦看起來就像連接到一團像雲一樣朦朧的網路。



網際網路是具備網際網路層功能的網路。

在 TCP/IP 的層級模型中，一般是假設該網際網路層與傳輸層安裝在主機的作業系統中。尤其是路由器本身，必須擁有利用網際網路層轉發封包的功能。

連接網際網路的所有主機及路由器，一定要具備 IP 功能。與網際網路相連的設備，如橋接器、中繼器、集線器等，不一定要安裝 IP 或 TCP▼。

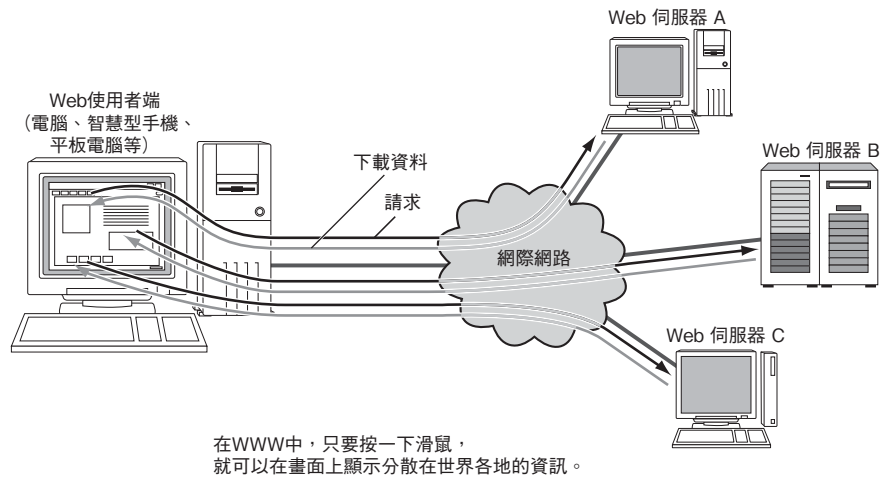
▼有時為方便管理橋接器、中繼器、集線器等設備，也需要擁有 IP 或 TCP 的功能。

TCP/IP 的應用程式大部分都是以使用者 / 伺服器模型的型態來開發的。提供服務的應用程式是伺服器，接受服務的應用程式是使用者。這種通訊模型必須先在主機上執行提供服務的伺服器應用程式，因為這樣在面對使用者提出請求時，隨時都可以因應。

使用者可以隨時發送請求給伺服器，而伺服器可能出現沒有反應或請求集中，無法提供服務的情況。此時，使用者會稍待片刻，之後再次提出請求。

## ■ Web Access ( WWW )

圖 2-12  
WWW



### ▼ WWW (World Wide Web)

這是在網際網路中，進行資料傳輸的結構，又稱作 Web、WWW、W3。

▼ 通常簡稱為瀏覽器。Microsoft 的 IE 及 Edge、Google 的 Chrome、Apple 的 Safari、Mozilla Foundation 的 Firefox，都是現在常用的瀏覽器。

WWW (World Wide Web) ▼ 這個應用程式是讓網際網路普及的原動力。使用者利用滑鼠與鍵盤，操作名為 Web 瀏覽器▼的軟體，就能悠遊於網路中。只要按一下滑鼠，儲存在網路另一端伺服器的各種資料就會顯示在電腦畫面上。在瀏覽器中，可以顯示文字、影像、影片、播放聲音、啟動程式。

瀏覽器與伺服器之間進行通訊時，使用的協定為 HTTP (HyperText Transfer Protocol)。傳送資料時，主要的資料格式是 HTML (HyperText Markup Language)。WWW 中的 HTTP 可以說是 OSI 參考模型的應用層協定，而 HTML 是表現層的協定。

## 3.2 資料連結的技術

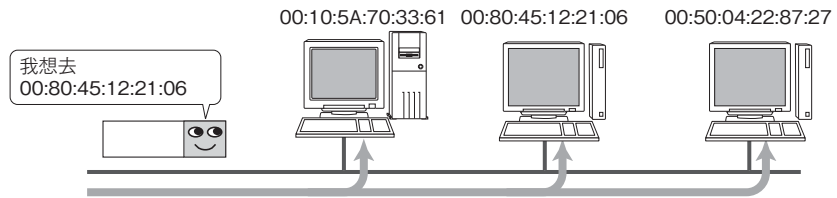
### 3.2.1 MAC 位址

MAC 位址是用來識別在資料連結中，彼此相連的節點（圖 3-4）。乙太網路及 WLAN（IEEE802.11）使用的是依照 IEEE802.3 規範的 MAC 位址。除此之外，FDDI、ATM 及 Bluetooth 等，也是使用相同規格的 MAC 位址。

▼ IEEE802.3

IEEE 是美國電機電子工程師學會。其中包括推動 LAN 相關規格標準化的 IEEE802 委員會，IEEE802.3 是與乙太網路（CSMA/CD）有關的國際規格。

**圖 3-4**  
利用 MAC 位址判斷目標節點

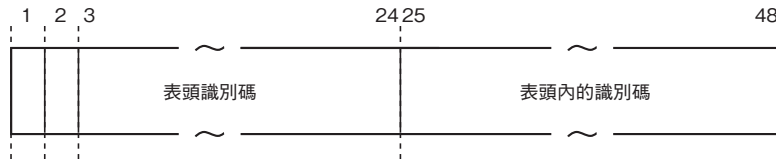


在匯流排型及環型網路中，會暫時接收所有工作站傳送過來的訊框。接著查詢要傳送到哪個 MAC 位址，假如是自己，就進行接收，如果不是，就丟棄（如果是採取 Token Ring 方式，將會轉發給下一個工作站）。

MAC 位址的長度為 48 位元，結構如圖 3-5 所示。如果是一般的網卡（NIC），會將這個位址燒錄在 ROM 裡，而擁有這個 MAC 位址的網卡，世界上只有一張▼。

▼有時也有例外，請參考下一頁的專欄。

**圖 3-5**  
IEEE802.3 的 MAC 位址格式

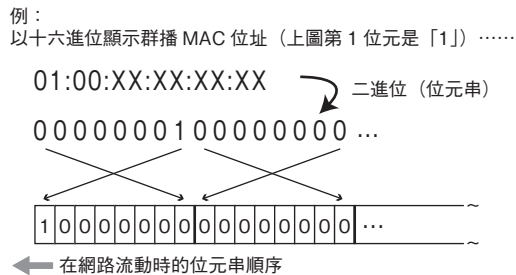


- 第 1 位元：單播位址 (0) / 群播位址 (1)
- 第 2 位元：通用位址 (0) / 本地位址 (1)
- 3 ~ 24 位元：IEEE 按照表頭來管理位址，避免重複
- 25 ~ 48 位元：表頭按照產品來管理位置，避免重複

\* 這張圖顯示了在網路上流動的位元串順序。  
MAC 位址一般以十六進位顯示，如果想用位元來表記，必須注意到這張圖的顯示順序已經以每 8 位元轉換了對應值▼。

▼在乙太網路流動的位元串順序

乙太網路是以 8 位元組為單位來取得資料，其中從最下層的位元往最上層的位元組合位元串，所以網路流動時的位元串順序是每個 8 位元組前後互換。



### 3.2.4 利用 MAC 位址轉發

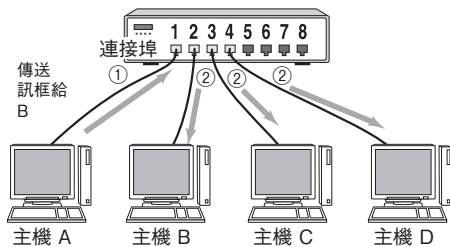
使用於同軸電纜上的乙太網路（10BASE5、10BASE2）等共用通訊媒體方式中，只能同時有一台主機傳送資料。這是因為連接網路的主機數量變多，就會讓通訊效能降低。利用集線器、集訊器等設備，以星型方式連接後，就出現一種新設備，即使是非共用媒體型的交換器技術，乙太網路也能使用。這就稱作交換集線器或乙太網路交換器。

▼電腦設備的外部介面稱作連接埠。TCP、UDP 等傳輸協定中的「連接埠」有其他含義，請特別注意。

乙太網路交換器可以說是有多個連接埠▼的橋接器。在資料連結層的各訊框通過點，查詢該訊框要傳送到達的 MAC 位址，再決定要從哪個介面傳送出去。在做決定時所參考的傳送介面表格，稱作轉發表（Forwarding Table）。

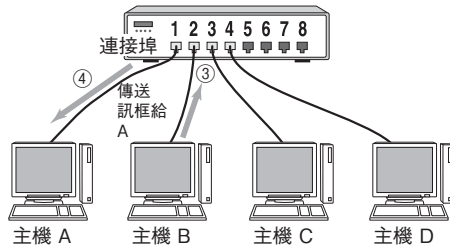
轉發表不是用手動方式設定每個設備或交換器，而是自動產生。資料連結層各個通過點接收到封包時，就會在轉送表中記錄該封包的傳送端 MAC 位址與接收封包的介面對應關係。某個成為傳送端的 MAC 位址，其封包是由該介面接收，表示這個 MAC 位址就是該介面的目標，今後只要是傳送到該 MAC 位址的封包，就從這個介面傳送即可，這就稱作自我學習。

圖 3-12 交換器的自我學習



① 從傳送端的 MAC 位址學到主機 A 與連接埠 1 相連。

② 把尚未學習過的 MAC 位址拷貝給所有連接埠。



③ 從傳送端的 MAC 位址學到主機 B 與連接埠 2 相連。

④ 由於學習過主機 A 與連接埠 1 相連，所以給主機 A 的訊框只拷貝給連接埠 1。

之後，主機 A 與主機 B 的通訊只在各個主機連接的連接埠之間進行。

▼關於位址的層級性，請參考 1.8.2 節的說明。

MAC 位址沒有層級性▼，轉發表的入口要和該資料連結內的設備數量一樣。設備的數量愈多，轉發表就愈龐大，搜尋的時間也會拉長。連接大量設備時，請分成幾個資料連結，利用類似網路層中 IP 位址這種層級式位址來管理。

### ■ 交換器的轉發方式

交換器的轉發方式包括儲存後轉發（Store and Forward）與直接轉發（Cut Through）。

儲存後轉發的方式是，檢查乙太網路框訊末尾的 FCS 後再轉發。因此優點是，不會轉發因碰撞而損壞的訊框或噪音引起的錯誤訊框。

直接轉發方法是，在框訊還未全部儲存前就開始處理，知道接收端的 MAC 位址之後，開始轉發資料。優點是可以縮短傳送時間，不過卻可能把錯誤訊框傳出去。

▼關於 FCS 請參考 3.3.4 節。

## 3.2.5 偵測迴圈的技术

▼熔毀（Meltdown）

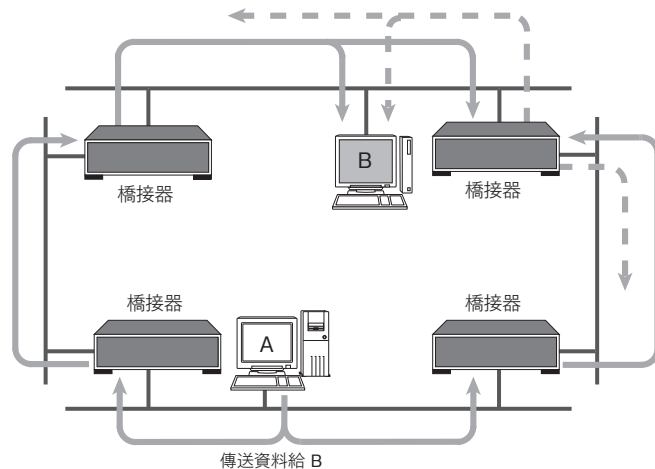
這是指異常封包遍布網路中，造成無法通訊的狀態。大部分的情況只有關掉設備的電源或切斷網路才能恢復原狀。

▼除此之外，在 Token Ring 開發了一種稱作來源路由（Source Routing）的方式。這種方式是指定傳送端的電腦要經由哪個橋接器來傳送訊框，因此訊框可以抵達目的地，不會形成迴圈，不過現在很少使用。

使用橋接器連接網路時，當產生迴圈會發生何種情況？根據網路拓撲及使用的橋接器種類，會出現不同情形，但是最糟糕的狀態是不斷拷貝訊框，形成永無止盡的循環。一旦永無止盡的訊框增多，就會讓網路熔毀。

因此，後來想出生成樹（Spanning Tree）▼，藉此解決迴圈問題。有了具備這些功能的橋接器，即使因為橋接器而架構出形成迴圈的網路，也可以順利通訊。利用適當方式建立迴圈可以分散流量，當路徑發生故障時，讓訊框迂迴傳送，提高承受故障的風險。

**圖 3-13**  
橋接器建構出有迴圈的網路



橋接器拷貝了訊框給相鄰的連結，所以永無止盡地循環轉發訊框。



▼ TDM (Time Division Multiplexer) 分時多工設備。

▼實際上使用的是 TDM 方式的 SONET (Synchronous Optical Network) 或 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 的線路。

▼在以 VPI 識別的通訊線路中，利用 VCI 識別多個通訊。

▼開支  
進行通訊時，實際上除了要傳送的資料外，還必須加上控制資料及處理的時間。

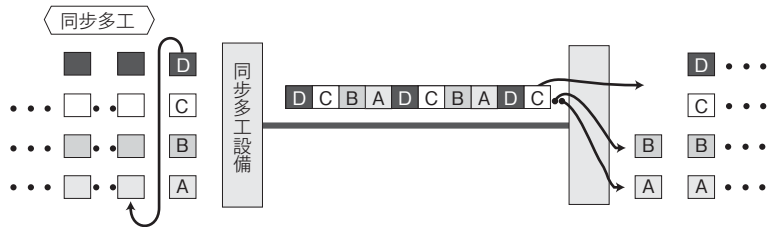
**圖 3-29**  
同步多工與非同步多工

■ 同步多工與非同步多工

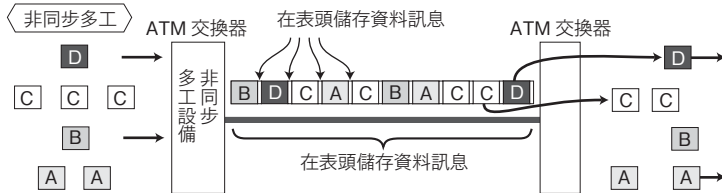
讓我們來思考如何以一條線路連接的方法整合多台通訊設備。這種連接在一起的設備稱作 TDM。TDM 一般是讓兩邊的 TDM 同步，同時以特定的時間單位來分割資料，依序傳送給接收端。這種方法就像是在組裝工廠，按照傳送目的地，把不同顏色的籃子放在輸送帶上，再將特定產品放入特定顏色的籃子內。這裡的籃子稱作時槽 (Slot)。使用這種方法，即使籃子有空位，要是籃子的顏色不對，就無法把產品放進去。換句話說，即使有資料要傳送，仍會出現閒置的時槽。因此，線路的容量只能固定分配給各個通訊，使得線路使用效率降低。

ATM 可以擴充 TDM，提高通訊線路的使用效率。ATM 在 TDM 的時槽放入資料時，不會依照線路的順序來放入，而是依照抵達的資料順序來放入時槽中。但是，這樣無法識別接收端的設備是何種通訊類型，所以傳送端加上 5 位元組的表頭，表頭中附上 VPI (Virtual Path Identifier) 與 VCI (Virtual Channel Identifier) 識別碼。利用這些數字，就能識別進行的是何種通訊類型。VPI 與 VCI 是兩個進行直接通訊的 ATM 交換器之間的設定值，在其他交換器之間的含義是不一樣的。

使用 ATM 可以減少空閒的時槽，提高線路的使用效率，可是表頭會造成開支，使得實際的通訊速度降低。換句話說，線路速度為 155Mbps，因為 TDM 及 ATM 表頭的開支，實際上的吞吐量為 135Mbps 左右。



在同步多工中，A、B、C、D 分別分配一定的傳送時間。即使沒有需要傳送的資料，也必須送出空的資料。



非同步多工是利用表頭來確定接收對象，只在必要時傳送資料。

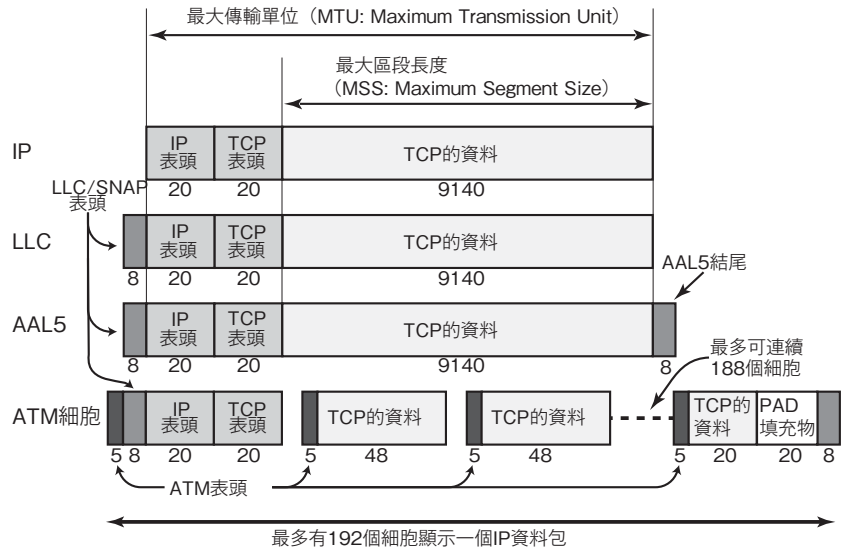


## ■ ATM 與上層

在乙太網路中，一個訊框最大可以傳送 1500 位元組，而 FDDI 最大可傳送 4352 位元組的資料。可是，一個 ATM 細胞只能傳送 48 位元組的資料。而且在 48 位元組的資料部分，含有 IP 表頭與 TCP 表頭，幾乎無法傳送上層的資料。因此，一般不會單獨使用 ATM，而會併用稱作 AAL (ATM Adaptation Layer) 的上層。以 IP 為例，使用的上層是 AAL5。IP 的封包如圖 3-30 所示，依照層級加上表頭，最多分割成 192 個細胞再傳送出去。

▼從 ATM 的角度來看是上層，對 IP 來說是下層。

圖 3-30  
ATM 中的封包細胞化



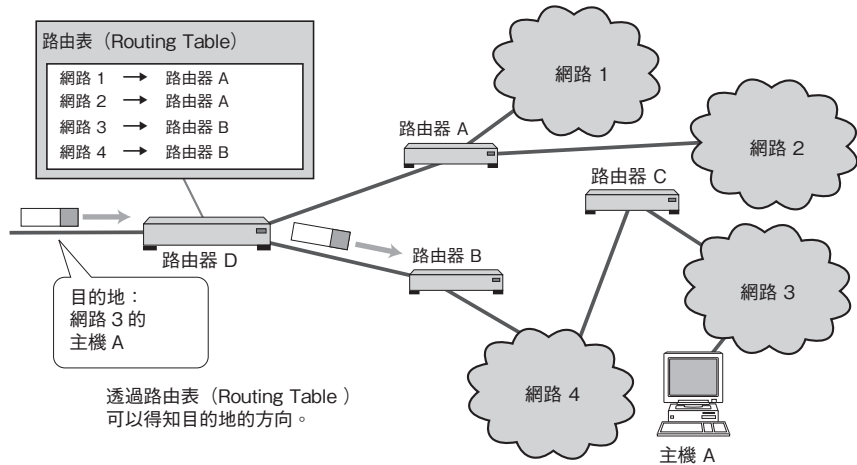
相對來說，只要 192 個細胞少了一個，IP 封包就會被破壞。此時，AAL5 的訊框檢查會出現錯誤，而丟棄所有接收到的細胞。由於 TCP/IP 具備資料傳送的可靠性，所以 TCP 會進行重送處理。不過使用 ATM 網路時，即使遺失一個細胞，仍要再次傳送最多 192 個細胞，這是 ATM 的一大問題。當網路壅塞時，就算只遺失 1% 的細胞（100 個中的 1 個），資料完全不會送達。尤其是，ATM 沒有控制傳送權的機制，因而提高了網路收斂的可能性。建構 ATM 網路時最重要的是，末端的網路頻寬合計必須小於骨幹的頻寬，形成不易遺失細胞的網路環境。另外，現在也正在開發研究，發生網路收斂時可以動態調整 ATM 連接頻寬的技術。

## ■ 路由表 (Routing Table)

如果要將封包送到目標主機，所有主機與路由器必須擁有路由表 (Routing Table)。這張表格中，記載著應該將 IP 封包傳送到哪個路由器。IP 封包將依照這張路由表來傳送資料。

圖 4-8 是路由器 D 的路由表。封包傳到路由器 D 之後，比較封包目的地與路由表，判斷接下來要傳到哪個路由器，再進行轉送。

圖 4-8  
路由表 (Routing Table)



### ▼ 4.2.3 資料連結的抽象化

IP 是用來在多個資料連結之間進行通訊的協定。各個資料連結的種類有不同的特色，而 IP 的重要工作之一，就是將這些特色抽象化。例如，4.2.1 節說明過，資料連結的位址是透過 IP 位址來抽象化。從 IP 的上層來檢視，實際通訊不管是透過乙太網路或 WLAN、PPP 來進行，都將視為是一樣的。

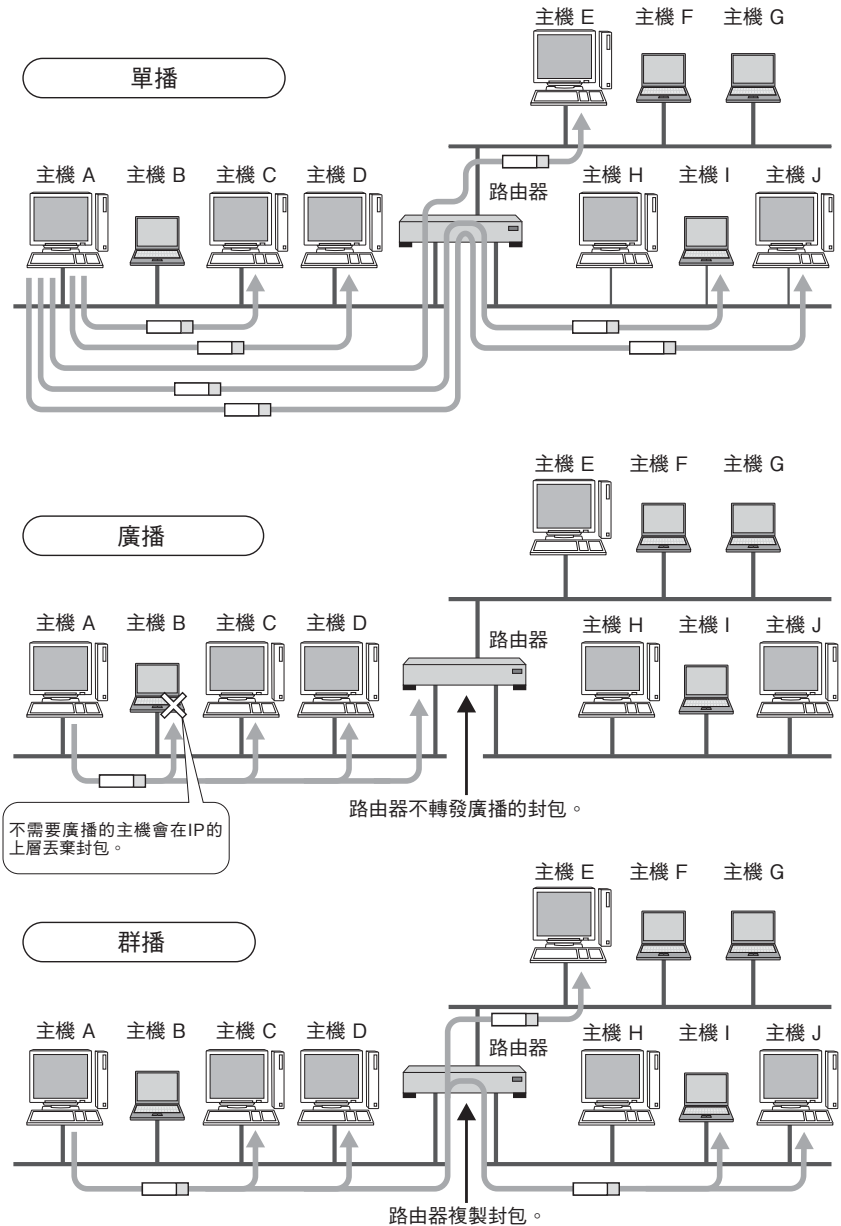
不同的資料連結在性質上最大的差別在於，最大傳輸單位 (MTU, Maximum Transmission Unit)。最大傳輸單位就好比運送包裹或貨物時，有體積的限制。

如圖 4-9 所示，經由貨運公司運送貨物時，每家貨運公司可以運送的最大負載容量並不一樣。即使貨物超出最大負載容量，只要裝在多台貨車上，就可以傳送。雖然貨車與司機的數量也會因此增加，不過若能把貨物全都寄到同一個目的地，代表達成了運送貨物的目的。

### 4.3.5 IP 群播

#### 同時傳送提高效率

圖 4-15  
單播、廣播、群播的  
通訊圖



廣播是用來對特定群組中的所有主機傳送封包。由於廣播是直接使用 IP 來傳送封包，所以無法提供可靠的傳輸。

### 4.5.3 路徑 MTU 探索 (Path MTU Discovery)

分割處理有幾個缺點。第一是會加重路由器的處理負擔。隨著時代的進步，網路的物理性傳輸速度逐漸往上提升，因而期待路由器也能配合網路的傳輸速度來提高效率。可是，相對來說，也增加了路由器必須負責的處理工作，例如提高安全性的過濾處理▼等。IP 的分割處理也會對路由器造成極大的負擔。因此，最好盡可能避免由路由器來負責分割處理。

第二點是，進行分割處理後，即使只缺少一個分割後的碎片，也會遺失整個 IP 資料包。為了避免這個問題，初期 TCP 是以無法分割的小碎片▼來傳輸封包，結果使得網路的使用效率變差。

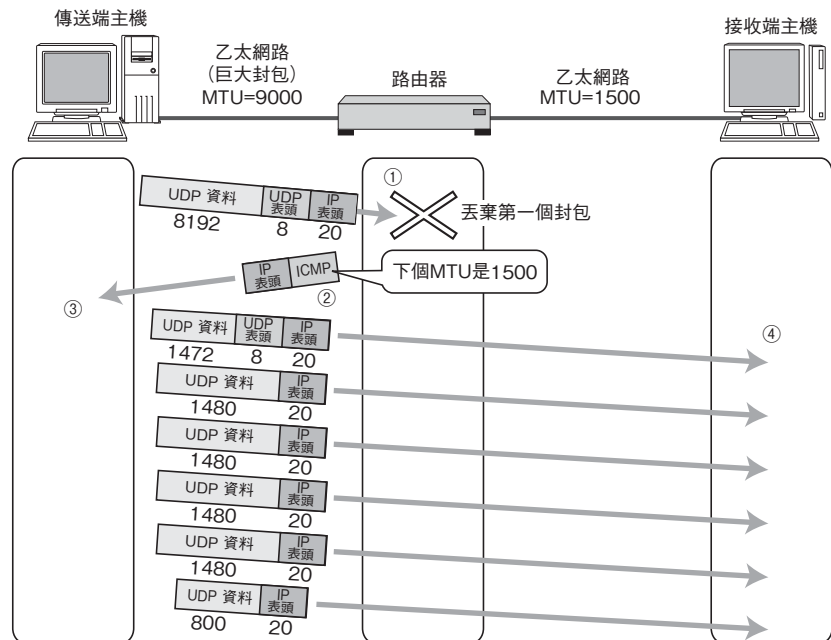
路徑 MTU 探索 (Path MTU Discovery▼) 就是用來防範這些問題的技術。路徑 MTU (PMTU: Path MTU) 是指從傳送端主機到接收端主機，不需要分割處理的最大 MTU。換句話說，就是存在於路徑的資料連結中最小的 MTU。路徑 MTU 探索是發現路徑 MTU，讓傳送端主機依照路徑 MTU 的大小來分割資料再傳送的方法。使用路徑 MTU 探索，中途的路由器就不用執行分割處理，而且 TCP 也能以更大的封包大小來傳送資料。最近大部分的作業系統都具備路徑 MTU 探索功能。

▼這是指只有擁有特定參數的 IP 資料包，才能通過路由器。包括傳送端的 IP 位址、接收端的 IP 位址、TCP 或 UDP 的連接埠編號、TCP 的 SYN 旗標及 ACK 旗標等。

▼TCP 內的資料是 536 位元組或 512 位元組。

▼也可以縮寫成 PMTUD。

圖 4-25  
路徑 MTU 探索的結構 (以 UDP 為例)



- ① 設定禁止分割 IP 表頭的旗標後，再傳送封包。路由器丟棄封包。
- ② 利用 ICMP 取得下一個 MTU 的大小。
- ③ UDP 不進行重送處理。應用程式傳送下一個訊息時，進行分割處理。具體而言，UDP 層轉發的「UDP 表頭+資料」，在 IP 層進行分割處理再傳送。IP 不會區別 UDP 表頭與應用程式的訊息。
- ④ 所有碎片整理起來後，在 IP 層重組，再轉發給 UDP 層。

(數字代表資料的長度，單位是位元組)