

第二章 雜型區域網路 - Ethernet

2-1 區域網路簡介

在 Internet 網路之中，網路存取層主要是負責網路之間的實體連線，亦即經由網路存取層，連線雙方的工作站可將傳輸訊號順利地發送到傳輸網路上，達到互相通訊的目的。由於 Internet 網路是經由各地區小網路連結而成，每一地區將依照其地理環境需要而建構不同型態的網路架構。一般型態大多是由若干個區域網路連結成一個大都會網路（如 HiNet 或 TAnet），而由大都會網路負責管理及維護各區域網路之間的連接，再由大都會網路之間連結構成廣域網路。無論由區域網路到大都會網路，甚至進一步形成廣域網路，都屬於 Internet 通訊協定中的網路存取層部分。由此可見，區域網路是所有連結網路的基礎，這也是本章的重點。至於如何連結成大都會網路，以及廣域網路架構將會在第三章及第四章說明。這三章內容只針對 Internet 網路上較普遍的架構介紹。

『區域網路』（Local Area Network, LAN）是指連接範圍較小或限定在某一固定區域範圍內之網路。在限定範圍內，網路的傳輸品質和速率都較容易控制，不像 Internet 網路，網路連接範圍隨時會變動，因而增加網路連線技術管理的困難度。其實 Internet 網路也是由區域網路堆疊而成，只不過 Internet 網路是跨越多個區域網路連結而成。因此，區域網路連接是 Internet 網路上最根本的技術。

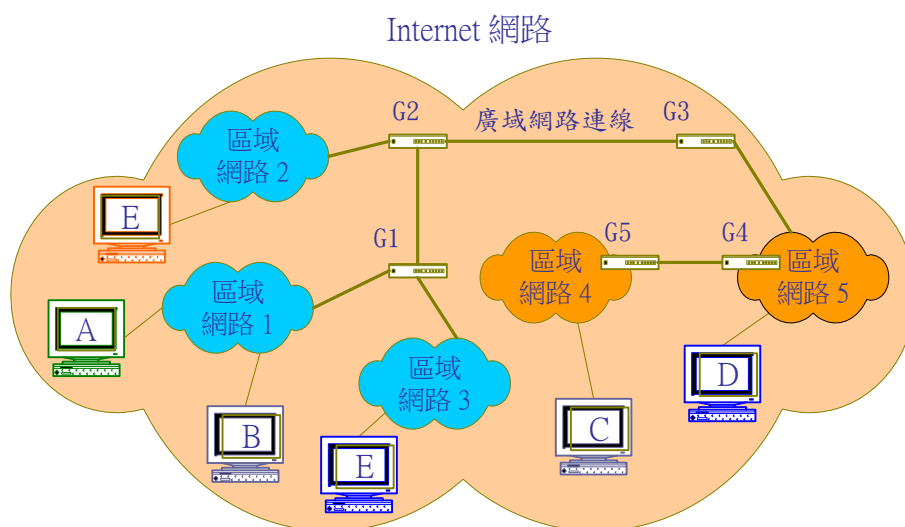


圖 2-1 區域網路與 Internet 網路

2-1-1 區域網路之拓樸圖

在區域網路上，我們將多部工作站連接在一起，使它們之間共用某一傳輸媒介來互相通訊，工作站之間連結方式，也產生不同的連接形狀，稱之為網路『拓樸圖』(Topological)。一般區域網路的拓樸圖可區分為：星狀、環狀、匯流排、以及樹狀等，不同的拓樸圖也會涉及工作站之間的傳輸媒介存取技術，以下分別介紹之。

(A) 星狀網路

星狀網路 (Star Network) 是一種集中控制型，有一個主機置於網路的中央，以點對點的通訊線路連結周圍的工作站，而形成星狀架構。工作站和主機之間的連線是點對點的專線 (如絞對線、光纖或 ADSL 連線等)。一般將該主機稱之為『交換機』(Switches)，如 Ethernet Switch、ATM Switch。此類型網路有 ATM 網路或 ISDN 網路，如圖 2-2 (a) 所示。

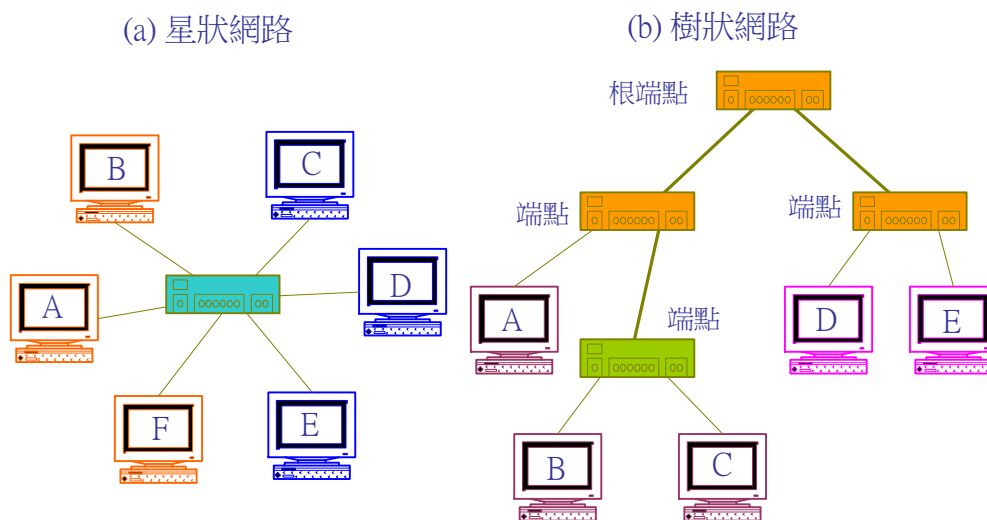


圖 2-2 星狀網路與樹狀網路

- **優點：**資料傳輸品質高、資料安全性強及網路維護較為容易。
- **缺點：**當網路的中央主機發生故障時，將導致整個網路癱瘓，而且每台周邊電腦都必須佈放一條連線到中央主機，對於範圍比較大的環境不易達成，費用也較高。

(B) 樹狀網路

樹狀網路 (Tree Network) 類似星狀網路，但由多部主機做網路的中心控制。主機之間以點對點方式連結，分層來連接周邊的工作站，而形成樹狀架構。各個主機成為樹狀網路中的節點，周邊工作站和主機之間的資料傳送是透過其它節點的主機轉送，來達成網路內所有工作站之間互相通訊。主機也許是交換器或其他網路控制設備，如圖 2-2 (b) 所示。

- **優點：**除了具有星狀優點外，又可改善星狀的缺點，當某一主機電腦故障時，只會影響到該節點的周邊電腦不能通訊，而不會使整個網路癱瘓。其他網路節點還是可以正常運作。
- **缺點：**整個網路的可靠度還是受限於各節點主機電腦。

樹狀網路為『**佈線系統**』(**Wiring System**) 主要拓樸圖。如果依照各種區域網路的拓樸圖來佈線，可能非常的困難(如環狀網路)，也可能使網路可靠性降低、以及維護困難(如匯流排網路)。因此必須透過佈線系統來佈線，使網路佈線較簡單、可靠度提高、維護上也較容易，但也保留原來區域網路拓樸圖的特性(各個電腦之間的通訊協定不變)。最常見的佈線系統是利用集線器(HUB) 來做傳輸媒介，譬如：Ethernet HUB 及 Token-Ring HUB 等等。每單一集線中心為星狀型態，但連結多個集線中心成為一個完整的網路佈線環境，即成為樹狀網路。考慮到施工、網路維護、以及整個網路的可靠性問題，目前不管何種網路架構都採用樹狀的佈線系統來佈線。

(C) 環狀網路

環狀網路 (Ring Network) 不以主機為中心，而是將一串列的節點連結成圓圈或環狀，任一節點上的工作站均可能成為網路的控制中心，且資料的傳遞並非直接傳給對方，而是經由相鄰的節點轉送，如圖 2-3 (a) 所示。

- **優點：**網路上任何一個節點使用傳輸媒體的權限都相等，而且各節點使用傳輸媒體的機會平均分配，沒有爭執及碰撞的現象，尤其使用在高負載網路上非常適合，譬如 FDDI 網路所架設的骨幹網路 (Backbone)。
- **缺點：**環狀網路上任何一個節點發生故障，可能使整個網路癱瘓。而且在佈放網路方面，由一個起始點開始佈放線路，經過整個網路區域後必須回到原點，在網路架設施工方面的確有困難。

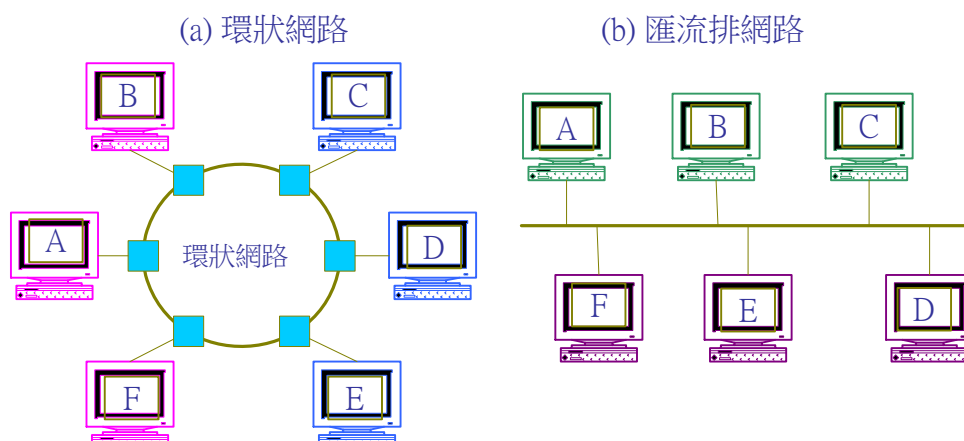


圖 2-3 環狀網路與匯流排網路

(D) 匯流排網路

匯流排網路 (Bus Network) 是不以任何一部工作站為中心，各個節點工作站分別連接在同一傳輸媒介上。工作站之間欲傳送資料，就將訊號廣播到網路主幹線上，每一部工作站也必須隨時隨地由網路上接收訊號，再判斷是否傳送給自己，如果是傳送給自己的便將其保留；否則將已收進來之資料丟棄。其網路結構如圖 2-3 (b) 所示。

- **優點：**網路佈線簡單，只要一條網路主幹就能將網路上所有電腦連結起來，而且如要加入新電腦或電腦欲退出網路不需要做特殊處理。
- **缺點：**連結網路的傳輸媒體任何一個地方斷線，將使整個網路癱瘓。而且想找出到底什麼地方故障非常困難，必須利用特殊設備，如纜線掃描器 (Cable Scanner) 才能找出。但是網路佈線大多走管線佈放，實務上非常困難，更別提各工作站之間傳送資料都必須透過同一傳輸媒介。針對每一工作站如何取得傳輸媒介的使用權？或傳送資料中是否會和其它工作站發生衝突？為了克服這些問題，網路通訊協定必須作適當的處理，如此將大大降低網路的效益。因此，對於較大且負荷較重的網路，匯流排網路便不大適合。

2-1-2 區域網路之傳輸媒介

『**傳輸媒介**』(**Transmission Medium**) 的選擇除了考慮環境因素外，傳輸速率和網路可靠性也佔絕對性的因素，以下介紹一般常用的傳輸媒介及其特性。

(A) 雙絞線

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

- 雙絞線是利用電流傳導來傳遞訊號，容易受電磁波干擾。

- 可分為『遮蔽式雙絞線』(Shielded Twisted Pair, STP)和『無遮蔽式雙絞線』(Unshielded Twisted Pair, UTP)。STP 電纜的外殼有銅網或銅片環繞保護，較不易受外來電磁波干擾。一般網路上都採用 150 歐姆阻抗的纜線規格，纜線比較僵硬而不容易佈線，價格也較昂貴。UTP 表示沒有銅網保護，同一電纜內可包裝較多對雙絞線，價格較便宜，佈線也較容易。
- UTP 又依其銅導體的蕊心大小區分為若干個級數，常用有第三級 (Category 3, Cat-3) 和第五級 (Category-5, Cat-5) 兩種。兩者皆是 4 對線 (8 蕊)，但 Cat-3 使用在 10 Mbps 上傳輸，而 Cat-5 使用在 100 或 1000 Mbps。
- 因其使用電流傳遞訊號，比較適合於點對點 (Point-to-point) 的傳輸。
- 寬頻載波傳輸可達 1000 ~ 2000 公尺，如電話網路及 ADSL 網路等。
- 基頻之數位傳輸一般都限制在 100 公尺以內。

(B) 同軸電纜

『同軸電纜』(Coaxial Cable) 包含內外兩層導體，中間則為絕緣的材料，如圖 2-4 所示，可區分為：50 歐姆和 75 歐姆兩種阻抗規格。電纜阻抗大小和電纜粗細無關，電纜較粗者可傳送較遠距離、承載頻寬也較高；電纜較細者傳送距離較近 (電容性較高)、頻寬也較低。其特性如下：

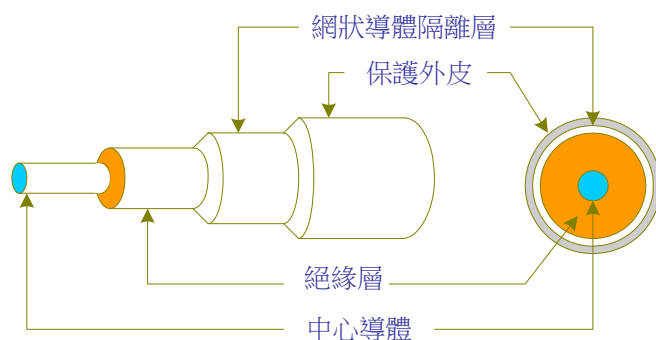


圖 2-4 同軸電纜結構圖

- 50 歐姆電纜用來傳送『基頻』(Baseband) 的數位訊號，傳輸速率大約為 10 ~ 100Mbps，傳輸的範圍大約為數公里，可接 100 部以上電腦。

- 75 歐姆電纜用來傳送『寬頻』(**broadband**) 的類比訊號，頻寬約為 300~750 MHz，平均每個頻道頻寬為 6 MHz，平均每個頻道傳輸速率為 20 Mbps，傳輸的範圍大約為數公里，可接 500 部以上電腦。
- 利用電波傳遞訊號，容易被其它電磁波訊號干擾。
- 較適合廣播傳輸模式 (如 Ethernet 網路)。同纜電腦是利用電波傳遞，在網路上任何一點都可利用感應讀取或傳送訊息，因此較適合廣播網路。
- 目前寬頻網路 (CATV) 大部分佈放同軸電纜，可結合有線電視和數據傳輸，為目前校園寬頻網路的主流，價錢比 ATM 網路便宜，又可達高速網路的需求，而且 CATV 技術也較成熟。

(C) 光纖纜線

『光纖纜線』(**Optical Fiber**) 為目前骨幹網路的主要傳輸媒介，不但有較高的承載量，而且可傳輸較遠的距離。如圖 2-5 所示，一條光纖電纜裡可包含數十條緊密光纖導管組，一般在一條導管組是由 4 條光纖導管緊接著。光纖電纜外圍也有保護層，從外表來看非常類似同軸電纜。光纖所傳遞的是光的訊號，因此必須有光源。常見的光源有兩種：發光二極體 (LED) 和雷射二極體 (Laser)。其特性如下：

- 發光二極體 (LED) 的光源發射器和接收器較便宜，大都使用多模 (Multi-mode) 光纖，價錢較便宜、傳輸距離較近，大約在 1000 公尺以內。
- 雷射二極體 (Laser) 的光源發射器和接收器較昂貴，一般都使用單模 (Single -mode) 光纖，可達數公里。
- 光的傳遞不會受到電磁波影響，可佈放在較惡劣的環境，甚至可以和高壓電電纜佈放在一起。
- 光纖類似中空導管 (Pipe)，光訊號在中空導管中傳送就宛如水在水管中流動一樣。如果管道彎曲角度過大，將會影響光訊號的流動。因此，在光纖電纜內都有較硬的中心主幹預防纜線過分彎曲。
- 基本上光是類比訊號(某一頻譜上的光)，無論類比訊號或數位訊號都必須經過光電轉換器，將電流轉換成光訊號，或光轉換成電流訊號。

- 光的傳送較適合點對點 (Point-to-Point) 的傳輸。

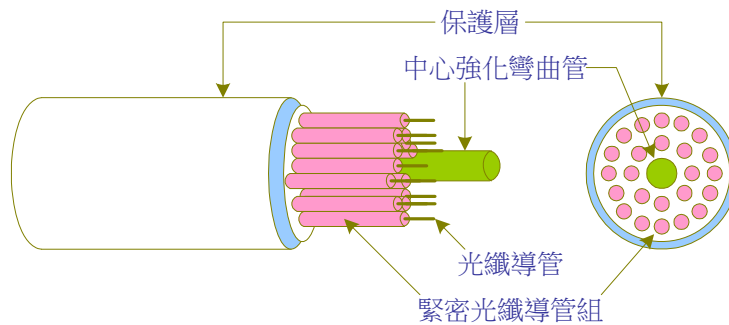


圖 2-5 光纖纜線結構圖

(D) 無線傳輸

能將網路表現得更無遠弗界的是『無線傳輸』(Wireless)，不論行動電話的連線，或無線區域網路的連接，都使網路的連線更加方便。為將整個電腦網路擴展到任何角落，政府也將無線網路列為國家重點科技，以下介紹幾種無線傳輸：

- (1) **無線電廣播 (Radio)**：無線電傳輸可分為兩種，一者為定點式無線電網路，例如，固定在某一範圍內的無線區域網路或數位家庭所連結的生活電器用品等。另一者為移動式無線網路，除了目前幾乎是人手一機的行動電話外，未來也希望能連結掌上型電腦、筆記型電腦、或汽車全球定位系統等等。
- (2) **微波 (Microwave)**：使用無線電廣播更高的頻率來通訊。通常長途電話會使用微波並利用衛星來轉接。
- (3) **紅外線 (Infrared)**：遙控器即是使用紅外線來傳資料。目前印表機及手提電腦均有內建紅外線通訊介面。
- (4) **雷射 (Laser)**：除了在光纖上傳送外，也可在空中傳送。通常應用在建築物之間網路的連線使用。

2-1-3 區域網路之協定標準

一般區域網路的通訊協定都是採用『國際電機電子協會』(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 所制定的標準。在 IEEE 所發表的 802 文件裡規定了各種區域網路連接規格，也就是一般所稱的 IEEE 802 系列規格。它針對各種環境需求制定了一些標準規範，希望各家廠商

能依照規範標準製造。圖 2-6 為區域網路和 OSI 參考模式的協定堆疊關聯，它相當於 OSI 的第 1、2 層。

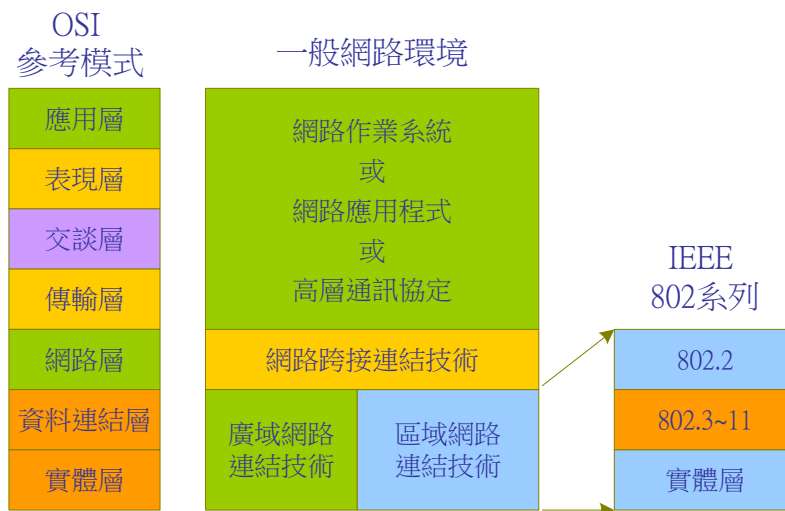


圖 2-6 區域網路的通訊協定關聯

而在圖 2-6 中廣域網路的連接技術也相當於 OSI 參考模式中的第 1、2 層，一般是由電信公司所提供，例如 ATM 網路、HFC 網路、或 SONET 網路（第四章介紹）。當然區域網路也屬於這兩層，又依照 IEEE 的建議模式，將資料連結層分為『邏輯鏈路控制』（Logical Link Control, LLC）和『媒介存取控制』（Medium Access Control, MAC）兩層（如圖 2-6 所示）。IEEE 針對區域網路、大都會網路和高速網路提出一系列標準，統稱為 IEEE Project 802，並分為若干個次級委員會，分別制定下列標準：

- (1) **802.1**：高層次介面（High Level Interface）管理。
- (2) **802.2**：邏輯連結控制（Logical Link Control）。提供和上層（第三層）與 MAC 層無關的獨立連接介面，及提供傳輸介面的服務存取點。
- (3) **802.3**：CSMA/CD 網路。提供載波感應多重存取 / 碰撞偵測（Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection）的媒介存取控制方法（MAC）。
- (4) **802.4**：Token-Bus 網路。提供符記傳遞的匯流排網路的媒介存取控制。
- (5) **802.5**：Token-Ring 網路。提供符記傳遞的環狀網路的媒介存取控制。
- (6) **802.6**：DQDB（Distributed Queue Dual Bus）網路。提供雙匯流排的大都會網路（Metropolitan Area Network, MAN）的媒介存取控制方法。

- (7) **802.7**：寬頻技術 (Broadband Technical Advisory Group)。提供對 802.3 和 802.4 的寬頻電纜中的傳輸存取控制方法。
- (8) **802.8**：光纖技術 (Fiber Optic Technical Advisory Group)。提供對 802.3 和 802.4 的光纖電纜中的傳輸存取控制方法。
- (9) **802.9**：語音 / 數據整合區域網路 (Integrated Voice and Data LAN Working Group)。提供有關區域網路上多媒體整合的標準。
- (10) **802.10**：區域網路安全技術 (LAN Security Working Group)。提供有關區域網路中安全問題的標準。
- (11) **802.11**：無線式區域網路(Wireless LAN)。提供無線區域網路中傳輸媒介的存取控制標準。
- (12) **802.12**：需求優先權 (Demand-Priority) 網路。提供具有優先順序之即時網路的媒介存取控制標準。
- (13) **802.14**：CATV 網路。提供有線電視網路中的媒介存取控制標準。

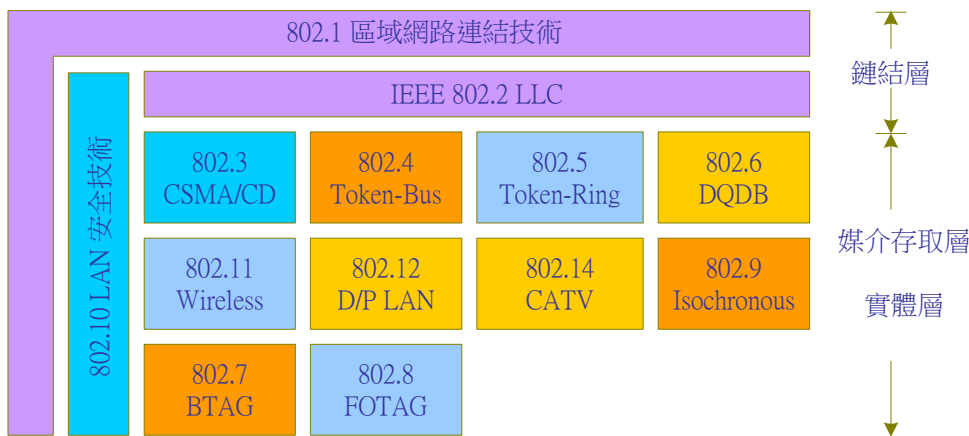


圖 2-7 IEEE 802 系列通訊協定標準

圖 2-7 為 IEEE 802 系列區域網路標準的結構，其中 802.2 LLC 制定高層次通訊軟體和媒介存取軟體之間的獨立介面。對較高層次的通訊軟體而言，只要透過 802.2 的介面，就可以存取不同的實體環境的網路。並提供邏輯性的媒介存取點，讓高層次的通訊軟體直接控制傳輸媒介。本章僅介紹目前使用最普遍的 802.3 CSMA/CD (Ethernet)，至於其他通訊協定請參考拙著『電腦網路理論與連結技術』。

2-2 Ethernet 網路

目前網路環境裡的區域網路大多是 Ethernet 網路，而 Ethernet 網路是 1972 年由 Digital 公司、Intel 公司和 Xerox 公司依照 CSMA/CD 協定標準所制定的。早期 Ethernet 網路製作簡單，連線也非常容易，因此漸漸被工業界喜愛，應用範圍也漸漸擴大。所以目前講區域網路主要以 Ethernet 為標準。但 CSMA/CD 協定也有致命的缺點，就是頻寬分配不均、易發生碰撞的現象而影響傳輸效率。但目前新的技術足以克服，使效率和速率較原來標準完善。我們以 Ethernet 標準網路為基礎開始介紹，再進入 Fast Ethernet 和 Gigabit Ethernet 網路。

2-2-1 Ethernet 網路簡介

Ethernet 網路的基本結構為匯流排 (Bus) 架構，如圖 2-8 所示，基本特性如下：

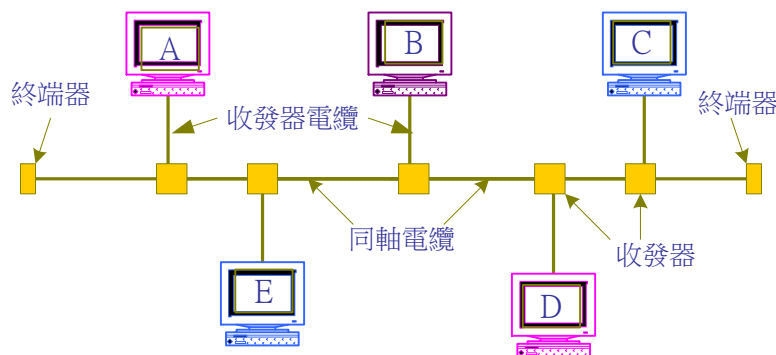


圖 2-8 CSMA/CD 網路基本架構圖

- (1) Ethernet 網路基本上為匯流排架構，傳輸媒介為同軸電纜 (Coaxial Cable)。該傳輸媒介為網路上所有工作站之間通訊的橋樑，任何一部工作站欲傳送資料給其他工作站，必須將資料廣播到 (Broadcasting) 傳輸媒介上，而且所有工作站都要能收到網路上所廣播的訊息，如果有任何一部工作站無法接收到他人發送的訊息(也許網路太大)，則表示網路不正常。
- (2) 網路上同一時間只允許一部工作站發送訊號，如果有兩部以上同時發送訊號，則它們之間的訊號將會在網路上發生碰撞 (Collision)，造成錯誤訊息而失效 (無法解碼)。發生碰撞時，所有傳送中的工作站必須停止傳送，另找適當時機再重新傳送。因此，每部工作站都必須具有偵測碰撞的功能。
- (3) 同軸電纜上傳遞的訊號為電波方式。電波傳遞到纜線的端點會發生反射的現象，造成反射波和前進波混合，而發生訊號錯誤。為了讓網路不要發生反射波現象，我們必須在網路的兩個端點安裝『終端器』(Terminator)，以便吸收前進波而使不致發生反射波的現象。
- (4) 由上述情況可以看出，網路上任何一處斷線、接觸不良、或終端器脫漏將使整個網路癱瘓。

- (5) 同軸電纜和工作站之間必須透過『收發器』(**Transceiver**) 和『收發器電纜』(**Transceiver Cable**) 的連接。收發器是電流訊號和電波訊號之間的轉換，其功能是在同軸電纜上發送和接收訊號。收發器電纜是一般絞對線電纜，其傳遞電流訊號。

由以上的特性，我們將標準 Ethernet 網路的基本規格歸類如下：

- (1) **傳輸速率**：10Mbps (高速 Ethernet 可達 100 Mbps ~ 1 Gbps)
- (2) **訊框格式**：IEEE 802.3 CSMA/CD 格式，最大訊框為 1518 位元組，最小訊框為 64 位元組。
- (3) **傳輸媒介**：50 歐姆之同軸電纜 (Coaxial Cable)、無遮蔽式雙絞線 (UTP) 或光纖 (Optical Fiber)。
- (4) **網路拓樸圖**：匯流排架構、廣播方式傳輸，最大網路範圍 2500 公尺。
- (5) **不提供保證傳送延遲服務**：CSMA/CD 協定為競爭式，沒有優先權傳輸服務。所以不保證工作站是否能在某段時間內取得傳輸媒介的使用權。
- (6) **頻寬使用不保證公平**：工作站的使用頻寬沒有平均分配，由競爭原則取得頻寬使用權。
- (7) **高負載時頻寬使用率低**：高負載時工作站之間碰撞機率提昇，易造成頻寬使用率降低。
- (8) **較不適合多媒體資訊傳輸**：因不保證傳輸延遲時間，而且基本協定規格的速率只有 10 Mbps，所以對即時傳輸的多媒體應用較不適合。

2-2-2 Ethernet 運作原理

Ethernet 網路是採用『載波檢測多重存取附碰撞偵測』(**Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD**) 協定，是 IEEE 802.3 所制定的『媒介存取控制』(**Medium Access Control, MAC**) 通訊協定。它的上層必須配合 IEEE 802.2 LLC (如圖 2-7)，而下層可依照不同環境需求結合各種傳輸媒介。CSMA/CD 協定是屬於廣播方式傳輸，其工作站不是在傳送資料 (發送訊號)，就是在接收資料 (接收訊號)。網路上同一時間只允許一部工作站傳送資料，其餘則處於接收情況。圖 2-9 為 CSMA/CD 通訊協定的運作流程圖，可分為傳送資料和接收資料兩部分，以下分別說明之：

(A) 傳送資料流程：

- (1) 工作站欲傳送資料前，首先聆聽 (Listen) 網路上是否有訊號在傳送 (Carrier Sense) ？如果網路上是安靜的 (Quiet)，表示沒有任何工作站在使用，便可開始傳送資料；否則就必須等待，而且繼續聆聽。
- (2) 當工作站將資料 (訊框) 傳送出去後，必須立即將其讀回，判斷是否與其他工作站碰撞 (Collision Detection) ？如發生碰撞便馬上退回不再傳送，等待某一『隨機時間』(**Random Time**) 後再回到流程 (1) 繼續聆聽；否則便可繼續傳送。
- (3) 資料是否傳送完畢？如完畢便發送介面程式通知上一層 (LLC 層)；否則回到流程 (2) 繼續發送。
- (4) 如發生碰撞 (由訊號改變來判斷是否碰撞)，傳送端將送出擾亂訊號，告知所有工作站，網路已發生碰撞現象，不要再繼續傳送訊號。如果連續發生 16 次以上的碰撞，表示網路或電腦發生嚴重的故障，停止傳送並等待修護人員來修護。
- (5) 在網路上可能有多部工作站在載波偵測 (Carrier Sense) 準備要傳送資料，也有可能是在傳送途中與其它工作站的訊號發生碰撞。

(B) 接收資料流程：

- (1) 工作站如沒有在傳送資料，就在接收狀態下。當它接收完資料，如判斷該資料太短便將其拋棄 (可能傳送途中發生碰撞而停止傳送)，繼續接收資料。否則接下一個流程 (2)。
- (2) 由訊框內的目的位址 (Destination Address, DA) 判斷是否傳送給自己，如果不是傳給自己的就將該訊框拋棄，回到流程 (1)。如果是，接下一個流程 (3)。
- (3) 由訊框中 FCS (Frame Check Sequence) 欄位的值，以 CRC (Cycle Redundancy Check) 檢查方法，檢查訊框內資料是否發生錯誤。如果已發生錯誤則通知 LLC (由 LLC 要求對方重送該訊框)，回到流程 (1)。如果沒有錯誤則接流程 (4)。
- (4) 以訊框中長度 (Length) 欄位的值，與計算資料欄位內資料長度是否相符。如果不符，則通知 LLC (由 LLC 要求對方重送該訊框)；如果相符，則刪除訊框的頭尾，將資料 (LLC-PDU) 傳給 LLC。回到流程 (1) 繼續接收資料。

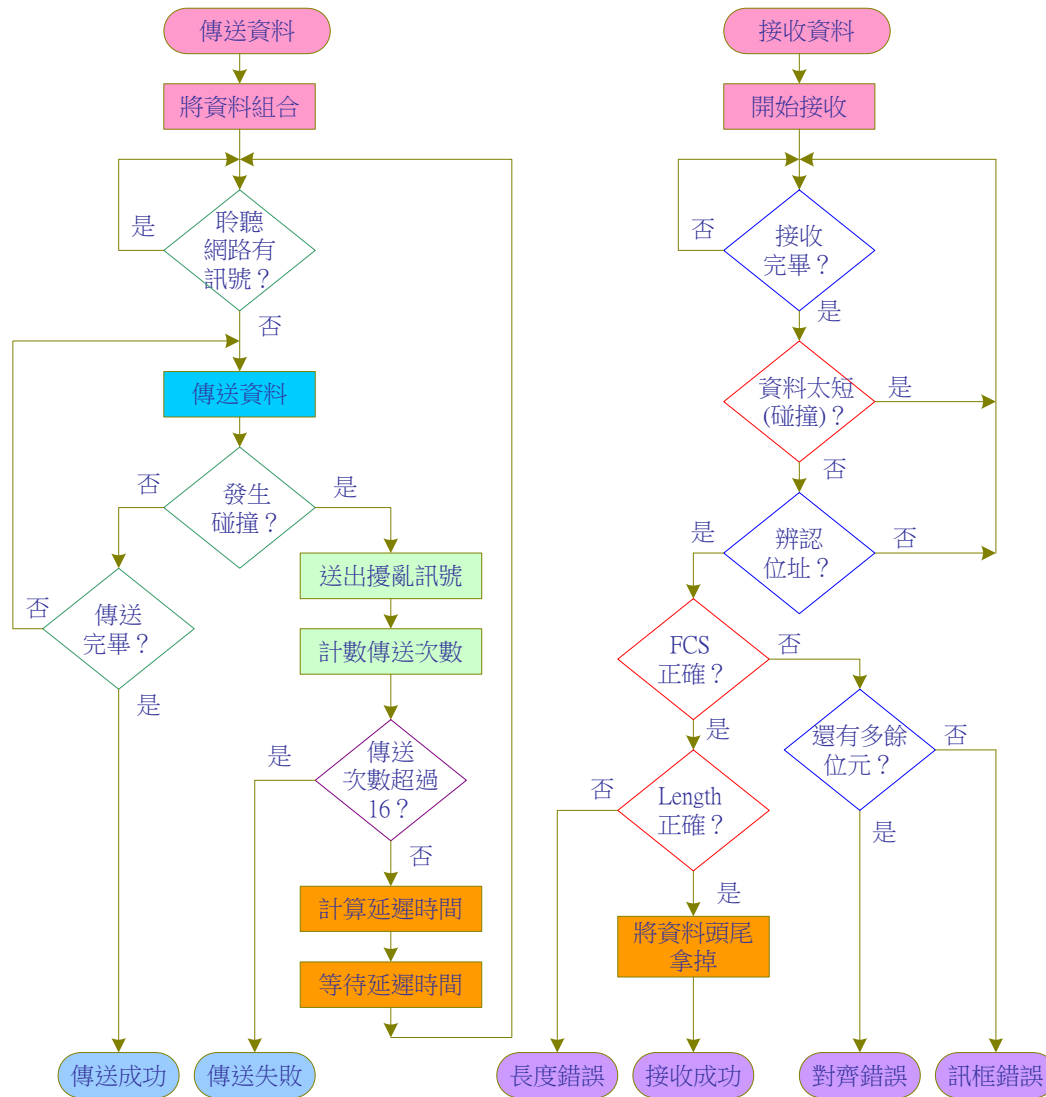


圖 2-9 CSMA/CD 通訊協定流程

2-2-3 Ethernet 延遲等待時間

在 CSMA/CD 協定中，可能同時有多部工作站正準備傳送資料，它們都會在網路上檢測 (Carrier Sense) 是否有其他工作站正在傳送資料。如果有一部工作站檢測出網路是空閒時 (Quiet)，便立即將資料送出，但也有可能與其它工作站同時將資料送出，因此發生碰撞的機率也非常大。因此，在 Ethernet 網路上，發送訊號者必須隨時讀回資料，以便確認是否有碰撞發生。如果讀回的資料和發送的資料相同 (表示傳輸訊號可解碼回原來資料)，則沒有發生碰撞的現象。如果讀回的訊號，無法解碼 (decoding) 回原來資料，則表示發送出來的訊號已和其他訊號相重疊，成為另一個訊號，和原來發送的訊號不同，也就無法解碼回原來資料。我們判斷這不明訊號也許是其他電腦所發送的，因此稱為碰撞 (Collision) 現象。其實，這不一定是發生碰撞，也許是接線不良，造成訊號損失過度嚴重，以致發送端無法解碼回原來資料，也有可能係因纜線受到外來訊號干擾所造成

的。在此我們假設網路情況都非常好，不明訊號皆來自其他工作站。(因此對一個網路管理者而言，網路時常發生碰撞時，必須另外思考有關網路環境的問題)

發送訊號者如果偵測出已發生碰撞，必須放棄正在傳送中的資料，並送出擾亂訊號告知其他電腦目前已發生碰撞，不要繼續發送資料。這時候，每一個發送訊號者必須等待一段時間後再繼續檢測網路是否空間，回到最起始流程(如圖 2-9)。現在，我們來思考一個問題，如果我們在通訊協定裡規定一個固定等待的時間，這時候所有電腦都等待一個固定時間後再去監聽網路，大家都認為空間，所以同時開始傳送資料，碰撞就此發生。因此，等待時間不可以被固定，而必須是隨機性的。然而，產生這一個隨機時間又必須考慮到目前網路的情況，如果網路負載很高，該次傳送資料已連續碰撞多次了，等待的隨機時間就必須久一點；如果從來沒有碰撞過，就可以短一點。如何來產生這『隨機延遲時間』(**Random Delay Time**)，CSMA/CD 採用『二元指數後退演算法』(**Binary Exponential Backoff Algorithm**)，簡述如下：

- **n**：連續發生碰撞次數 ($n \leq 16$)。當同一筆訊框連續碰撞超過 16 次，表示目前網路負載過重，或者是網路狀況有問題。此時，工作站必須停止傳送，並報告網路狀況。
- **k**： $k = \text{MIN}(n, 10)$ ，MIN 是最小值函數。亦即，若碰撞次數超過 10 次，皆以 10 計算。
- **r**：**r** 是隨機延遲單位。**r** 是介於 0 和 $(2^k - 1)$ 之間 ($0 \leq r \leq 2^k - 1$)。例如， $k = 3$ ，表示於 $r = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 之間隨機 (random) 取一個數。
- **t**：**t** 是延遲單位時間。一般都採用網路上的『時槽時間』(**Slot Time**)。一個時槽表示訊號傳遞到網路上最遠距離的『來回傳遞延遲時間』(**Round-Trip Propagation Delay**)。在 CSMA/CD 的通訊協定裡制定網路最遠距離為 2500 公尺，來回時間是 51.2 us。
- 隨機延遲時間 = $r * t$ 。隨機延遲時間等於延遲單位時間的隨機延遲單位的倍數。

例如，當第一次發生碰撞時 ($n = 1$)， $k = \text{MIN}(1, 10) = 1$ ， $r = \{0, 1\}$ ，因此延遲時間有兩種可能：一種立即傳送 ($0 * 51.2 \text{ us}$)；另一種等待 51.2 us ($1 * 51.2 \text{ us}$)。如果第二次發生碰撞 ($n = 2$)， $k = \text{MIN}(2, 10) = 2$ ， $r = \{0, 1, 2, 3\}$ ，因此延遲時間變成四種隨機機率 ($0, 51.2 \text{ us}, 102.4 \text{ us}, 153.6 \text{ us}$)。當碰撞超過 10 次時 ($n \geq 10$)， $k = \text{MIN}(10, 10) = 10$ ， $r = \{0, 1, 2, \dots, 210\}$ ，最高的等待時間是 1023 個時槽 ($1023 * 51.2 \text{ us}$)。

2-2-4 Ethernet 訊框格式

『MAC 訊框格式』(MAC-Frame · Ethernet I 訊框) 牽涉到實體傳輸媒介存取的技术，它是一組在網路上傳送的連續訊號。訊框的結構和長短，與網路的存取方法有連帶的關係，在後文會有詳細的說明。Ethernet 訊框最長為 1518 位元組、最短為 64 位元組。其格式如圖 2-10 所示。

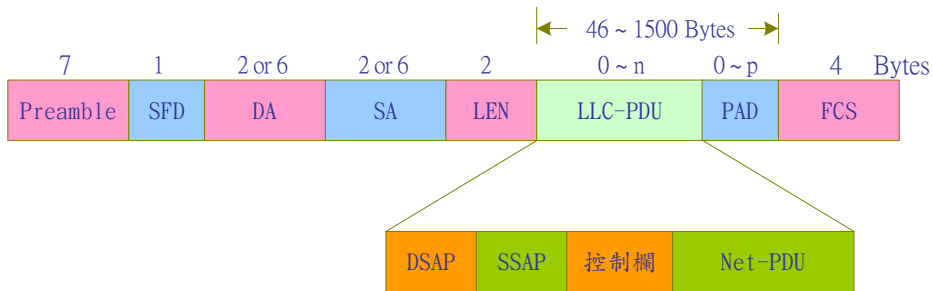


圖 2-10 CSMA/CD 訊框格式(Ethernet I 訊框)

其中：

- **前置訊號 (Preamble)**：7 個位元組 (1010101~1010)。主要是達成接收端的同步功能 (Synchronization)。當傳送端連續發送前置訊號時，接收端利用訊號內的同步訊號 (曼徹斯特編碼技巧) 調整本身的時序，使其同步於傳送端。
- **訊框起始符號 (Start Frame Delimiter, SFD)**：一個位元組 (10101011)，表示訊框的開始，也表示前置訊號的結束。
- **目的地位址(Destination Address, DA)**：用來註明該訊框欲傳送給目的工作站之 MAC 位址，其長度可以是 2 個 或 6 個位元組，一般都採用 6 個位元組 (48 Bits) 格式。此位址又稱為『Ethernet 位址』(Ethernet Address)。
- **來源位址 (Source Address , SA)**：用來註明這訊框是誰發送的。其長度也如同 DA 可以是 2 或 6 個位元組。
- **長度 (Length, LEN)**：2 個位元組，紀錄訊息欄內資料 (LLC-PDU) 的長度。
- **LLC 資料**：此欄位是訊息欄位。就是由邏輯鏈路控制層 (LLC) 所產生的通訊協定單元 (LLC-PDU)，最長為 1500 byte。
- **補位 (Padding, PAD)**：如果 LLC 資料 (LLC-PDU) 小於 46 個位元組時，填入 PAD 內隨意資料 (無意義的資料)，以補滿訊息 46 位元組。

- **訊框檢查序列 (Frame Check Sequence, FCS)**：4 個位元組，紀錄該訊框的錯誤檢查碼。其所檢查的範圍是從 DA 欄位到 PAD 欄位之間的資料，錯誤檢查的方法是採用 CRC-32 (Cyclic Redundancy Check) 技巧，CRC-32 多項式如下：

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

2-2-5 Ethernet 最小訊框

為了實現 Ethernet 網路中碰撞偵測的功能，必須有最小訊框的限制。依照 CSAM/CD 協定規定，工作站之間最遠的距離是 2500 公尺(並非完全相同於網路範圍)，在這距離之中也許會包含：電纜、半增益電電纜、AUI 電纜、增益器、及其他所有設備。我們將從最末端的工作站發出訊號，到達最遠距離的『來回傳遞延遲時間』(**Round-Trip Propagation Delay Time**)，稱之為一個『時槽』(**Time slot**)。預估經歷所有網路設備 (網路卡、增益器、收發器) 和纜線 (同軸電纜、收發器電纜，半增益器電纜) 的延遲大約 46.38 us (微秒)。但為了計算方便及預估不同設備之間的誤差，我們將一個時槽設定為 51.2 us。

如圖 2-11 所示，工作站 A 和 B 在相隔最遠距離 (2500 公尺)。又 CSMA/CD 通訊協定裡，傳送端 (A) 將訊號發送至網路上，再將其讀回判斷是否發生碰撞。於最差狀態 (Worst Case) 下，當訊號傳遞到最遠的地方時，剛好另一端工作站 (B) 發送訊號，兩個訊號發生碰撞。如果訊號太短，發送端傳送完後，訊號還未到達最遠距離，有可能偵測後，才發生碰撞現象。因此，訊框太短有可能無法偵測碰撞現象，所以我們必須增加訊框長度，讓發送端在訊框傳送完成之前，訊框有足夠的時間到達最遠地方。萬一發生碰撞，發送端才能偵測到碰撞現象。也因此，才有最小訊框的限制。



圖 2-11 訊框長度與碰撞偵測

到底最小訊框是多少？我們必須預估最差狀況下，在最遠的地方發生碰撞，而且能將碰撞訊號傳回原來發送端的時間內，此時發送端還在傳送訊框。這一來回的時間剛好是一個時槽(51.2 us)。也就是說，一個訊框傳遞的時間至少要一個時槽時間以上。我們以網路傳送速率 10Mbps 來計算，最小訊框是：

$$10 \times 106 \times 51.2 \times 10^{-6} = 512 \text{ 位元} = 64 \text{ 位元組}。$$

由圖 2-10 CSMA/CD 的訊框格式中，在整個訊框裡包含著 DA、SA、LEN、FCS 和 LLC-PDU。這些總共的長度必須高於 64 為元組，因此我們可以算出最小資料：

$$64 - 6 \text{ (DA)} - 6 \text{ (SA)} - 2 \text{ (LEN)} - 4 \text{ (FCS)} = 46 \text{ 位元組}。$$

如果 LLC-PDU 長度不足 46 位元組，就加入 PAD 欄位的無用的資料，以補足 46 位元。因為 LLC-PDU 的資料長度在 LEN 欄位內有紀錄，所以補上 PAD 欄位並不影響接收端的判斷。

2-2-6 Ethernet 實體層

為了滿足不同環境的需求，IEEE 802.3 標準在實體層上提供多種不同架構的版本，各種版本規格如表 2-1 所示。早期 Ethernet 網路大多以 10Base5 為傳輸骨幹，而以 10Base2 和 10BaseT 為分歧連線來連接一般工作站。雖然目前已甚少使用，但這些都是 Ethernet 網路的基本觀念，我們用圖 2-12 來說明各網路系統的特性如下：

表 2-1 Ethernet 網路實體層規格

參數	10Base5	10Base2	10BaseT	10Broad36
傳輸媒體	同軸電纜 (50 歐姆)	同軸電纜 (50 歐姆)	無遮蔽式 雙絞線	同軸電纜 (75 歐姆)
訊號處理技術	基頻 (Manchester)	基頻 (Manchester)	基頻 (Manchester)	寬頻 (DPSK)
資料傳輸速度	10 Mbps	10 Mbps	10 Mbps	10 Mbps
每段最大長度	500 公尺	185 公尺	100 公尺	1800 公尺
網路最大長度	2500 公尺	925 公尺	500 公尺	3600 公尺
每段最多可連接工作站	100	30	***	***
工作站距離	2.5 公尺 * n	0.5 公尺 * n	***	***
電纜線直徑	10 mm	5 mm	0.4 ~ 0.6 mm	***

(A) 10Base5 網路系統

10Base5 網路是依照 CSMA/CD 網路標準所製作，它的網路架構就如圖 2-12 所示。早期 Ethernet 網路剛開始使用時，都以 10Base5 作為傳輸骨幹。其主要特性如下：

- 傳輸速率 10Mbps。
- 基頻傳輸技術，使用 Manchester 編碼。
- 同軸電纜直徑 10mm (RG-11)，又稱『粗線 Ethernet』(**Thick Ethernet**)。
- 每一段同軸電纜的最大長度為 500 公尺。
- 網路最大範圍可達 2500 公尺。
- 每一段同軸電纜上最多可接 100 部電腦。
- 任何二個收發器 (MAU) 之間的距離為 2.5 公尺的整數倍。
- 使用阻抗為 50 歐姆的同軸電纜。電纜兩端必須接與纜線阻抗相同的電阻，以消除反射波。我們將該電阻裝成接頭直接鎖在纜線的端點，稱之為『終端器』(**Terminator**)。
- 時槽時間 (Slot Time) 為 51.2us。相當於 512 位元時間，一位元時間為 0.1us。
- 每一筆訊框在連續發生碰撞的情形下，最高嘗試傳送次數為 16 次。
- 傳送訊框間格時間 (Inter-frame Gap) 為 9.6 us。
- 訊框傳送發生碰撞後延遲時間的取樣範圍最大為 210，即是 [0, 1, 2, ..., 1023] 的時槽時間。
- 訊框傳送發生碰撞後送出的擾亂訊號 (Jamming Signal) 長度為 32 位元。

(B) 10Base2 網路系統

10Base2 網路的纜線連線比較簡單，但傳輸距離較短，主要是用在連接終端電腦。一般佈線時，我們會以 10Base5 為網路主幹，工作站之間的串接再使用 10Base2。10Base2 和 10Base5 最主要的不同點是，10Base2 將 MAU 部分裝設在網路卡上，因此不需要 AUI 接頭和 AUI 電纜。同軸電腦直接透過 BNC 接頭連上網路卡，多部電腦之間只要利用同軸電纜和 BNC 接頭就可以串接在一起，如圖 2-12 所示。所以對整個佈線系統而言，比 10Base5 簡單又便宜。其特性如下：

- 使用同軸電纜的直徑為 5mm、阻抗為 50 歐姆(RG-58A/U)。因此也稱為『細線 Ethernet』(Thin Ethernet)。
- 傳輸速率為 10Mbps。
- 基頻傳輸技術、使用 Manchester 編碼。
- 每一段同軸電纜的最大長度為 185 公尺。
- 網路最長可達 925 公尺 (185 × 5 = 925)。
- 任何兩部電腦之間的連線為 0.5 公尺的整數倍。
- 每一段同軸電纜上最多可接上 30 部工作站。
- 每一段同軸電纜的兩端需接上 50 歐姆的終端器。
- 每段同軸電纜的連線是利用 BNC-T 型連接器以『雛菊花環式』(Daisy Chaining)串接法，將電腦串接起來。
- 其他特性和 10Base5 的參數相同，彼此可以經由訊號增益器相連接起來成為一個 Ethernet 網路，如圖 2-12 所示。

(C) 10BaseT 網路系統

如果用 10Base2 來佈放電腦端的連線，在某區段中任何地方斷線，或任何一處的 BNC 接頭接觸不良，將使該區段的網路將完全癱瘓。尤其在辦公自動化的環境裡，當網路故障時，要找出故障點，的確不是一件容易的事。10BaseT 網路系統保持原來 CSMA/CD 的特性，將網路架構更改為星狀的集中式。集中設備稱之為『集線器』(HUB)，又稱為 10BaseT HUB，如圖 2-12 所示。任何一部工作站都有專線連接到集線器上，如果該連線斷線，將不會影響到其他工作站的通訊。因此在佈線方面比 10Base2 容易得多，而且維護上也較容易。10BaseT 網路特性如下：

- 傳輸速率為 10Mbps。
- 基頻傳輸，資料編碼採用 Manchester 技巧。
- 使用直徑 0.4 ~ 0.6mm 的雙絞線 (Cat-3 UTP)。
- 雙絞線接頭為 RJ-45 (8 pin)、接續規格為 EIA-568B 方式。

- 工作站和集線器之間的絞對線最長 100 公尺。
- 網路最大範圍為 500 公尺。
- 利用集中器串接以延伸距離。最多可以串接五段傳輸線 (其中兩條為中繼傳輸線)，也就是說最多只能連接四台集線器。
- 其他特性與 10Base5 及 10Base2 的參數相同，彼此可以經由訊號增益器相連接起來成為一個 Ethernet 網路。如圖 2-12 表示由 10Base5 為網路骨幹，10Base2 和 10BaseT 為分歧電腦連線。

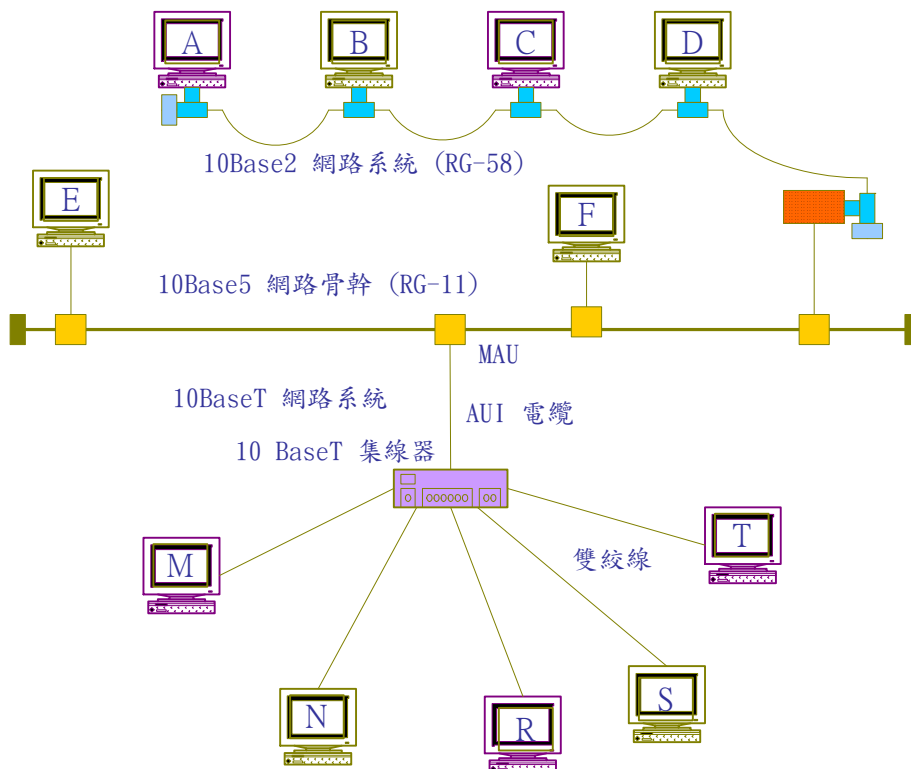


圖 2-12 Ethernet 網路基本架構

2-2-7 Ethernet 編碼技巧

傳送端將數位資料轉換成數位訊號稱之為『編碼』(Encoding)，編碼設備稱為『編碼器』(Encoder)。編碼後將訊號透過傳輸媒體，接收端接收到訊號再將『解碼』(Decoding) 為原來資料，該設備稱為『解碼器』(Decoder)。網路上設備都具有傳送及接收功能，執行此功能設備就是『編碼解碼器』(coder-decoder, codec)，如圖 2-13 所示。一般此裝置都設置在網路卡上，譬如 Ethernet 網路卡。

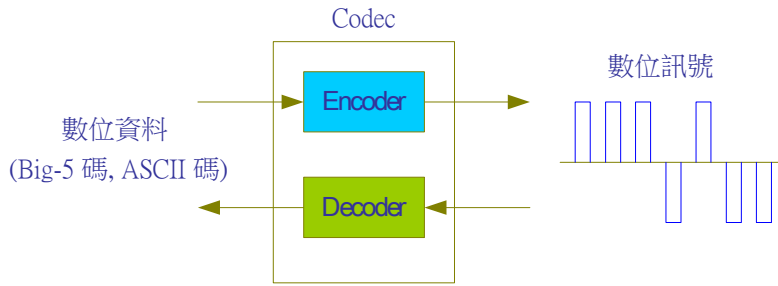


圖 2-13 編碼/解碼器 (Codec)

在數位編碼技巧上有兩大類的表示法，一則是直接用脈衝 (Pulse) 訊號的高電位和低電位來表示二進位的 0 和 1，例如電報發送方式。另一則是利用脈衝訊號的變化情形 (高低電位的變化) 來表示二進位的 0 和 1，Ethernet 網路就是使用這種編碼技巧的『曼徹斯特編碼』(Manchester Encoding)。曼徹斯特編碼的主要特性是無論二進位資料是 0 或 1，在每一個位元時間的中央一定有電位變化(由高電位到低電位，或由低電位到高電位)，利用位元中間變化的情形來表示 1 或 0，其編碼如下：(如圖 2-14 所示)

- 0：位元中間由高電位變化到低電位 (high → low)。
- 1：位元中間由低電位變化到高電位 (low → high)。

曼徹斯特編碼的特點是每一位元中間都有變化，傳輸雙方可利用這個特性達到雙方同步。但該特性也是缺點，因為每個位元都有變化，表示頻寬必須是傳輸速率的兩倍。在目前高速網路上，傳輸媒介的頻寬非常珍貴，是決定傳輸速率的主要因素之一，不可能再浪費在編碼技術上，因此曼徹斯特編碼並不適合於高速網路上使用。

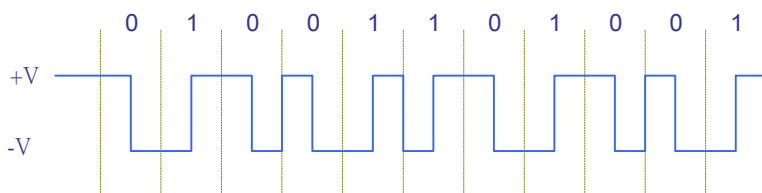


圖 2-14 曼徹斯特編碼技巧範例

2-3 Fast Ethernet 網路

早期 Ethernet 網路 (CSMA/CD) 標準，傳輸速率大多限制在 10 Mbps，已漸漸不能符合工業環境的需求。IEEE 802 工作小組為了提高 Ethernet 網路的傳輸速率，制定了 IEEE 802.3u 的標準規範，希望在不改變原來的通訊協定 (IEEE 802.3) 之下，能將傳輸速率提高到 100Mbps，也稱之

為『高速 Ethernet』(Fast Ethernet) 網路或 100BaseT。此外，希望不用改變任何環境設施情況下，Ethernet 和 Fast Ethernet 網路能夠相容，並且兩種網路可以共同架設於一個網路環境之下。

2-3-1 Ethernet II 封包格式

早期 Ethernet 網路的規劃是在 OSI 網路架構下的，訊框內是承載 LLC 層的封包。但在 TCP/IP 網路內並沒有 LLCC 層，而 Ethernet 訊框直接乘載 IP 封包。另一方面，其他網路如 Novell、Apple Talk、等的網路存取層也需要用到 Ethernet 網路，因此 IITF 於 RFC 894 定義了 Ethernet II 訊框格式，如圖 2-15 所示，並能以原來 Ethernet I 共存。在原來 Ethernet I 訊框裡 Len(length) 欄位表示後面承載 LLC 資料的長度，基本上不會超過 1500 (十進位)。Ethernet II 將此欄位更改為『型態』(Type)，表示後面乘載資料的型態，並大於 1500。當接收到訊框，觀察此欄位如小於 1500，則表示承載 LLC 資料，如果大於 1500，則表示承載其他協定資料。如 0x0800 則表示承載 IP 封包、0x0806，則是 ARP 封包、如 0x0835，則是 RARP 封包。至於其他網路的識別碼，請參考 RFC 894 規範。

Ethernet II 訊框格式(RFC 890)

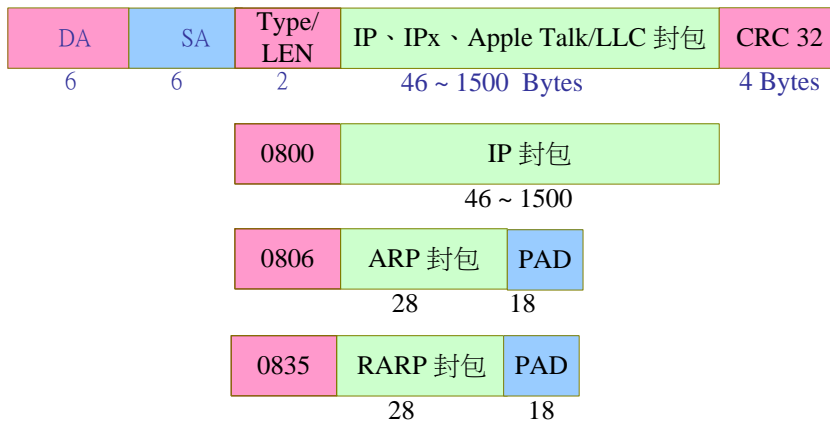


圖 2-15-1 Ethernet II 訊框格式

2-3-2 Fast Ethernet 網路簡介

首先，我們將 Fast Ethernet (100BaseT) 網路特性歸類如下：

- (1) 傳輸速率為 100 Mbps。

- (2) 訊框為 IEEE 802.3 CSMA/CD 訊框。
- (3) 傳輸媒介為無遮蔽雙絞線 (Unshielded Twist Pair, UTP) 之等級 5 (Category 5) 或等級 3 (Category 3)、遮蔽式雙絞線 (Shielded Twist Pair, STP) 或光纖。
- (4) 網路以集線器 (100BaseT Hub) 為主要佈線主幹，最遠距離 205 公尺。
- (5) 通訊協定為 CSMA/CD，不提供優先權傳送服務。
- (6) 不提供保證傳送延遲時間限制服務。
- (7) 頻寬使用不保證公平。
- (8) 高負載時碰撞機率大，因此頻寬使用率低。嚴重碰撞時可能使整個網路癱瘓。
- (9) 可適合多媒體資訊傳輸。在一般負載情況下，100 Mbps 的傳輸速率已達到即時多媒體資訊傳輸的要求。
- (10) 網路容錯性高。網路架構以集線器為主體，每部工作站都有專屬連線，較容易管理。連線斷線也不會影響到其他工作站的傳輸。

2-3-3 Fast Ethernet 網路基本原理

首先我們來探討 Fast Ethernet 網路製作的基本原理。原來 Ethernet 的匯流排架構(10Base5、10Base2)，不論網路佈線或管理都非常困難，因此，Fast Ethernet 採用集線器的佈線方式(10BaseT)。思考如何在 10BaseT 的架構上來提昇傳輸速率，但必須保留原來的通訊協定。在 IEEE 802.3 協定裡最重要的規範如下：

- (1) 為達到碰撞偵測功能，而將網路最遠之間的來回延遲 (Round-Trip Propagation Delay) 時間規範為 51.2 μ s，也稱為一個時槽 (Time slot)。
- (2) 最小訊框時間為一個時槽 51.2 us。最小訊框長度為：

最小訊框長度 = (時槽) \times (傳輸速率)

$$= (51.2 \times 10^{-6}) \times (10 \times 10^6) = 512 \text{ bits} = 64 \text{ Bytes}$$

由上式可知，Fast Ethernet 除了要保留原來 IEEE 802.3 的特性外，也要符合最小訊框長度 512 位元的限制，一個時槽時間也是 51.2 us。增加網路傳輸速率的方法之一，就是減少線路傳輸距離

(時槽時間)。Fast Ethernet 就以 10BaseT 網路為基礎，而要達到 100 Mbps 的傳輸速率，可以從下列幾個因素來思考：

- (1) 縮短整個網路連線距離：10BaseT 最遠距離是 500 公尺，如果僅採縮短距離來達到 100 Mbps，其連線距離只剩下 50 公尺。這當然不可行，我們還必須再利用其他技術來彌補，於 Fast Ethernet 的規範裡，其最遠距離是 205 公尺。
- (2) 提高傳輸線品質，減少訊號傳遞時間的延遲，就可以保留較長的傳輸距離。為了顧及網路佈線的可行性，Fast Ethernet 還是希望保留 10BaseT 的特性，工作站和集線器之間的最遠距離為 100 公尺，而採用第五級無遮蔽式雙絞線 (Cat-5 UTP)，並改變傳輸技術，此規範稱為 100BaseTx。
- (3) 當然採用光纖為傳輸媒介，不但可以提高傳輸速率，也可以延伸傳輸距離，但大多使用在集線器之間的中繼連線，此規範稱為 100BaseFx。
- (4) 如果保留原來的傳輸媒介 (Cat-3 UTP) 不作任何變更，那麼增加工作站和集線器之間連線的數量，也可以提高傳輸速率。原來 10BaseT 連線就有 4 對線，但只用到其中 2 對線。如 4 對線都使用的話，也是提昇速率的方法之一，此規範稱之為 100BaseT4。
- (5) 單單改變傳輸媒介並不能滿足 Fast Ethernet 的要求 (205 公尺)，其中還必須改變編碼和訊號傳輸技術。
- (6) 如果我們希望在建構高速網路的同時，也想保留 10BaseT 網路的特性 (傳輸媒介、編碼技術、訊號傳輸)。另一種方法是提高集線器 (Hub) 的能力，每一部工作站都連接到集線器，如將集線器更改為交換器，也是提昇整個網路傳輸速率的方法之一，此規範稱之為 Ethernet Switch。

以上我們所考慮之提高速率的方法，大多是提昇傳輸媒介傳輸速率，或使用較多的傳輸媒介來分攤傳輸率 (在實體層上變更)。基本上，都沒有修改到原來 CSMA/CD 的通訊協定和訊框格式。因此，Fast Ethernet 完全可以和原來 Ethernet 網路相容，亦可在同一網路上混合架設。這也是，Fast Ethernet 能夠以最快速度切入市場的主要原因。

2-3-4 Fast Ethernet 通訊結構

100BaseT(802.3u)通訊協定必須能相容於兩種規範:802.3i(10BaseT) 和 802.3z(1000BaseT)，因此在通訊協定架構裡增加『聚合次層』(**Convergence Sublayer, CS**)，如圖 2-15 所示。其主要目的是提供 CSMA/CD MAC 次層和 PMD (Physical Medial Dependent) 次層之間的介面，並且不必讓 MAC 次層知道實體層已經使用了 100 Mbps 的傳輸速率，與不同的傳輸線路。也就是說，CSMA/CD 通訊協定可以完全不必修改，就可以透過 CS 次層連接不同傳輸媒介和傳輸速率。為了支援不同的傳輸媒體，在 CS 次層及 PMD 次層之間又定義了『媒體無關介面』(Medial Independent Interface, MII)。

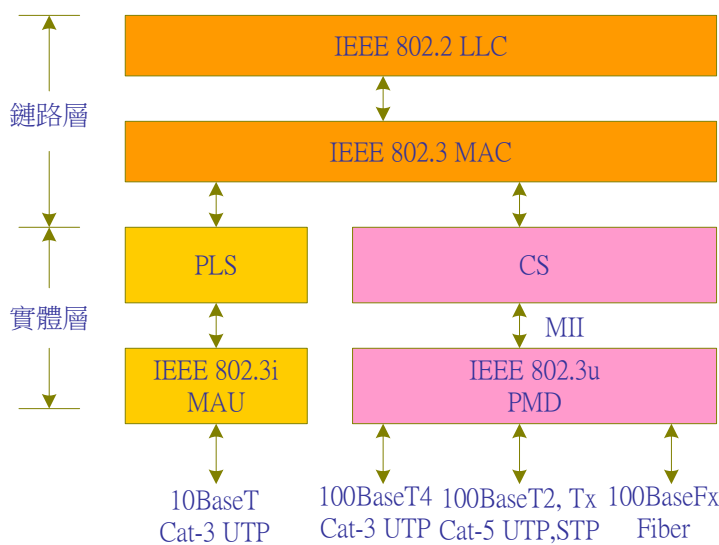


圖 2-15 100BaseT 通訊協定架構圖

依照圖 2-15 所示，不同傳輸媒介都有自己的 PMD 次層，大致上可區分為 100BaseT4、100BaseT2、100BaseTx、以及 100BaseFx，以下分別介紹它們的特性。

(1) 100BaseT4

100BaseT4 網路的傳輸線採用具有四對線的第三級無遮蔽式雙絞線 (Category 3 UPT)。為了達到 100 Mbps 的傳輸速率，每一對線都必須被使用來傳送資料，這也是『T4』名稱的由來。在 CSMA/CD 通訊協定裡，有一個重要的特性就是在同一網路上只有一部工作站可以傳送訊框。對任何工作站而言，不是在傳送資料就是在接收資料，且不可能同時進行。每部工作站都是由集線器連接，因此集線器和電腦之間都是以『半雙工』方式傳輸。在 10BaseT 的系統之下，只用到兩對雙絞線，其中一對用來傳送訊框；而另一對則用來接收訊框，且這兩對線都只能單向傳送。訊框碰撞的偵測方式是當工作站在傳送的雙絞線上發送訊框，同時又在接收的雙絞線上接收訊框。

在 100BaseT4 的四對線使用方式，原來 10BaseT 的兩對雙絞線（第一、二對）仍然相同功能使用（單工模式），但其他兩對則用來傳送和接收交替使用（半雙工模式）。如圖 2-16 所示，其四對雙絞線使用情況如下：

1. 傳輸線運作模式：

- 第一、二對線：單工運作。
- 第三、四對線：半雙工運作。

2. 工作站傳送訊框至集線器

- 第一、三、四對線傳送訊框運作。(工作站 → 集線器)
- 第二對線使用於載波感測和碰撞偵測。(集線器 → 工作站)

3. 工作站由集線器上接收訊框

- 第二、三、四對線傳送訊框。(集線器 → 工作站)
- 第一對線使用於載波感測和碰撞偵測。(工作站 → 集線器)

也就是說，兩個方向的傳送訊框都適用三對線的並行傳送，對於 100 Mbps 的傳輸速率而言，每對線傳送速率為： $100 \text{ Mbps} / 3 = 33.33 \text{ Mbps}$

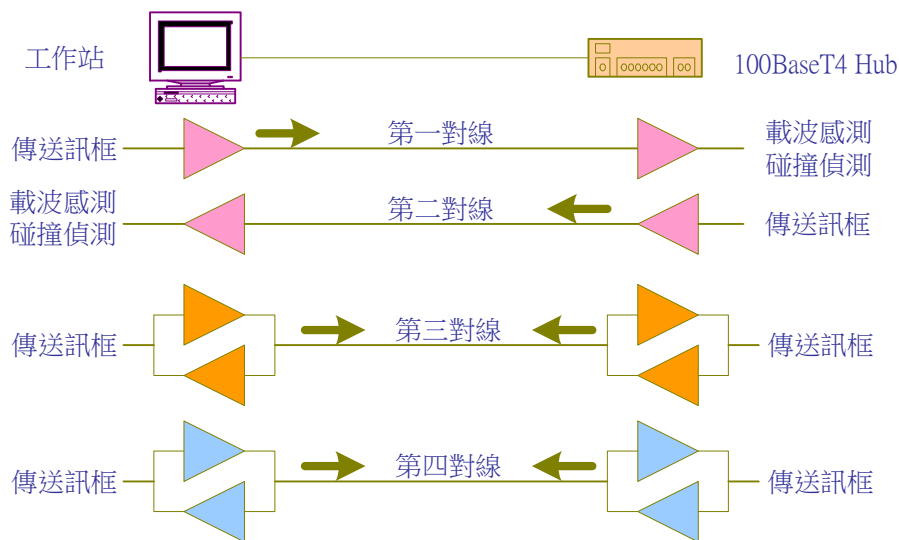


圖 2-16 100BaseT4 四對雙絞線的使用

(2) 100BaseTx

在 100BaseT 中的 Tx、T2 和 Fx 只針對傳輸技術規範的加強，使其達到傳輸 100 Mbps 的能力，不同於 T4，需修改傳輸模式始能達到。100BaseTx 的 PMD (Physical Media Dependent) 標準是 IEEE 802.3u，幾乎完全依照 ANSI X3T9.5 的規範，也因此稱之為『x』。其採用 ANSI 所發展的『雙絞線實體層傳輸媒體』(Twisted-Pair Physical Media Dependent, TP-PMD)，或稱為『銅線分散式資料傳輸介面』(Copper Distributed Data Interface, CDDI) 規範。

100BaseTx 採用兩對雙絞線作為傳輸訊框，一對使用在傳送訊框；另一對作接收訊框使用，其接頭方式 (RJ-45) 和 10BaseT 都相同。為了傳輸 100 Mbps 的速率，100BaseTx 採用頻寬較高的第五級雙絞線 (Cat-5 UTP) 或 150 歐姆的遮蔽式雙絞線 (STP)。傳輸線每段長為 100 公尺。

在資料編碼方面，100BaseTx 也是採用 FDDI 的兩階段編碼技術，第一階段是資料經過 4B/5B 編碼後，再經過第二階段的 NRZI 的 MLT-3 (Multi-Level Transmission) 編碼轉換成訊號，如圖 2-17 所示。而雙絞線上所需的頻寬是 $31.25 \text{ MHz} (=100 \times 4/5 (4B/5B \text{ 編碼}) \times 1/2 (NRZI \text{ 編碼}) \times 1/2 (MLT-3 \text{ 編碼}))$ 。

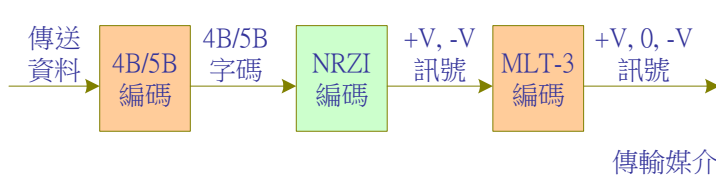


圖 2-17 100BaseTx 的訊號編碼方式

(3) 100BaseT2

100BaseT2 的 PMD 標準規範是 IEEE 802.3y。也是採用兩對雙絞線就可以傳輸資料 (T2 的由來)。而且只要使用第三級雙絞線 (UTP-3) 即可，和 100BaseTx 一樣，100BaseT2 也採用多層級 (Multi-level) 的訊號編碼法。100BaseTx 採用了 MLT-3 這種 3 層級的編碼法。而為了讓 100BaseT2 能使用於傳輸品質較差的傳輸媒體，所以 100BaseT2 採用了更複雜的 PAM5×5 的編碼方法。

(4) 100BaseFx

100BaseFx 的 PMD 標準規範是 IEEE 802.3u，傳輸技術也採用 ANSI X3T9.5 (FDDI)，也因此稱之為『x』。它的應用的目標是放在使用光纖線路和目前廣泛使用的 FDDI 傳輸線路。也就是高速傳輸骨幹的應用、長距離連線的應用、電子干擾環境下的傳輸應用、或者是更安全 (Security) 的傳輸連線使用。100BaseFx 跟 100BaseTx 一樣，也都借用了 ANSI X3T9.5 的實體層規格，但

100BaseFx 採用光纖實體規格 (Fiber PMD)。如同 FDDI，100BaseFx 可以採用多模光纖或單模光纖來當傳輸線路，而其接頭也是採用與 FDDI 相容的 ST 接頭或 MIC 接頭。一般 100BaseFx 大多使用在集線器 (或交換器) 之間的中繼連線。

2-4 Ethernet Switch 網路

以 CSMA/CD 通訊協定的特性的觀點來看，這種通訊協定是屬於廣播性的傳輸。早期 Ethernet 網路都是以粗線 Ethernet (10Base5) 或細線 Ethernet (10Base2) 為主要佈線架構，因為這種匯流排網路最適合廣播性傳輸。但近來年，為了網路佈線及維護上較容易，大部分都採用集中式的 10BaseT 連線。10BaseT 網路是以集線器為網路主幹，每部工作站都有一條專屬連線連接到集線器，而且是點對點的設計，因此沒有廣播的功能。亦是，在匯流排上任何二部工作站同時傳送訊框一定會造成碰撞現象，但在集線器的架構下並沒有訊框實際發生碰撞的問題。但為了符合 CSMA/CD 通訊協定的行為，集線器必須模擬廣播之傳送和訊框碰撞的特性。模擬廣播式的做法是將收到的訊框強制轉送到所有連接埠上；而模擬訊框碰撞是將不同雙絞線上同時傳送的訊框視為碰撞 (其實沒有發生碰撞)。這使集線器上同時能傳送訊框的工作站只有一部，符合 CSMA/CD 通訊協定特性。由以上的敘述，我們能將集線器的功能修改 (或提昇)，使其能將某一個連接埠口所收到的訊框，依照訊框上的目的位址 (MAC 位址) 轉送到另一個連接埠口，這就是交換式 Ethernet (Ethernet Switch) 網路的基本原理，以下說明之。

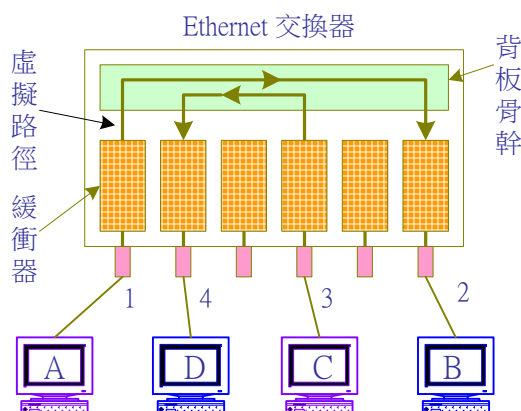


圖 2-18 Ethernet 交換器的基本原理

2-4-1 Ethernet Switch 基本原理

圖 2-18 為 Ethernet Switch 的內部架構圖，交換器採用虛擬連線 (Virtual Connection) 技術，為傳送埠口和目的埠口臨時搭起的一段連線。當傳送埠口經由這段連線將訊框傳至目的埠口後，這

條虛擬連線便告終止。Ethernet Switch 內部維護著一份雙向對照表，記錄著哪個 Ethernet MAC 位址對照到哪一個連接埠口。如圖 2-19 所示，工作站 A 欲傳送訊框給工作站 B，當訊框由第 1 號連接埠進入後，交換器依照該訊框上的目的位址查詢路徑對照表上，而得知工作站 B 在第 2 號埠口。便建立虛擬路徑將第 1 號連接埠的訊框轉送到第 2 號連接埠。工作站 C 傳送訊框給工作站 D 也是相同方式運作。

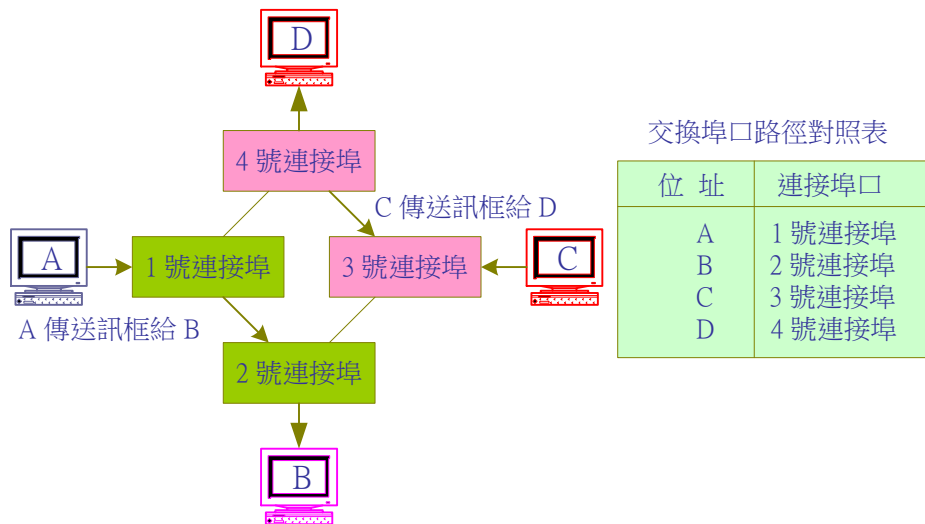


圖 2-19 交換器虛擬路徑對照

在連接埠口之間轉送訊框，也會有潛在的問題發生，就是各個連接埠的傳輸速率不一定相同。例如，工作站 A 傳送給工作站 B，第 1 號連接埠所協商的速率是 100 Mbps，而第 2 號連接埠是 10 Mbps，接收埠口速率過慢將使訊框資料遺失。因此在每一個連接埠上必須有緩衝器，它將接收較高速的訊框再以較慢的傳輸速率傳送給接收端。

目前 Ethernet Switch 的技術每個連接埠的傳輸速率可以是 10 Mbps 或 100 Mbps，實體連線特性也可由自動協商取得。如依照 Ethernet Switch 針對每一個連接埠口的訊框轉送到另一個連接埠的特性來計算它的傳輸頻寬，如有 n 個連接埠口，則它的傳輸頻寬為：

$$\text{傳輸頻寬} = n/2 \times \text{每埠口之傳輸速率}$$

如果每個埠口最高傳輸速率為 100 Mbps，而該交換器有 16 個埠口，則其頻寬為 800 Mbps ($= 16/2 \times 100$)。這個速率就是背板骨幹的交換處理能力。一般 Ethernet Switch 的背板骨幹的設計也類似 ATM 交換機的交換處理設備，可區分為：矩陣式交換處理、中央記憶體交處理、匯流排骨幹交換處理、以及環狀骨幹交換處理等等。

2-4-2 Ethernet Switch 轉送機制

Ethernet Switch 的訊框轉送機制，決定於位址對照表的建立。由交換器的連接埠口轉送到另一個埠口，這表示針對每一埠口而言，已不再是共享傳輸媒體，而是該埠口所連接工作站的專屬傳輸媒體。對交換器的連接埠口之間已沒有碰撞的機會發生，它們之間傳送訊框也不再是 CSMA/CD 的通訊協定，所以 Ethernet Switch 的連接埠之間已沒有 Ethernet 的時槽時間 (time slot) 限制，也不再限制於交換器的最遠距離範圍內。因此對整體網路而言，每一個連接埠都是獨立性網路 (CSMA/CD 網路)。每一個連接埠不一定只連接一部工作站，也許會透過集線器連接多個工作站，如圖 2-20 所示，因此 Ethernet Switch 是擴充網路範圍的最佳設備。

既然 Ethernet Switch 每一個連接埠口上可以透過集線器連接多個工作站，因此對於交換器的主機系統必須紀錄每一個連接埠上所接工作站的位址 (Ethernet 位址)。這些位址必須透過交換機的學習功能來記錄位址，而且這些位址也會隨網路環境變遷而改變。依目前制定的標準，每一個連接埠的次網路可以連接 1024 個工作站，也表示每一個連接埠最高必須紀錄 1024 個 Ethernet 位址。由以上的介紹，Ethernet Switch 的功能大多符合多埠橋接器 (Multi-port Bridge) 的功能，尤其是在 Ethernet 位址的學習功能方面 (請參考第三章)。

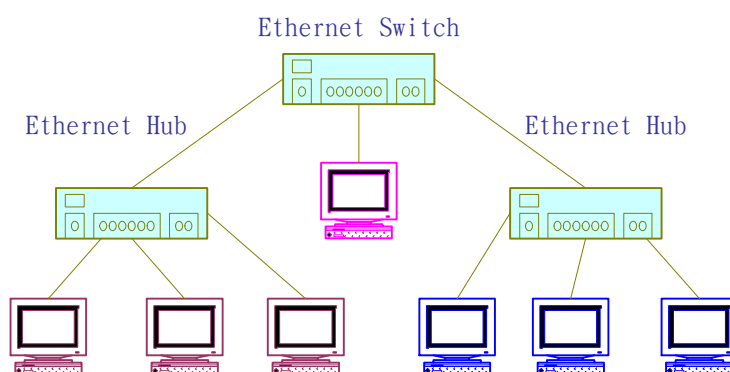


圖 2-20 利用 Ethernet Switch 擴充網路

在 Ethernet Switch 各個連接埠之間訊框的轉送，也具有儲存後轉送 (Store and forward) 的功能。其主要兩個原因是：(1) 因為每個埠口之間的傳輸速率不一定相同，較高速的連接埠必須將訊框儲存於緩衝器上，再以較慢的速率傳送到目的埠口。或者由較慢的埠口所收到訊框轉送到速率較高的埠口，後者必須收集較多訊息後再發送出境口的連接線上。(2) 目的連接埠忙碌中，傳送端的埠口必須將訊框暫儲存於緩衝器上等待對方空間再轉送。因此，對於連接埠上的緩衝記憶體的数量也決定交換器的處理能力。

2-4-3 全雙工 Ethernet 網路

全雙工 Ethernet 網路是 IEEE 802.3x 在 1997 年所制定的標準。首先我們來回顧 Ethernet Switch 傳輸線的特性。在 Ethernet Switch 的连接埠口之間訊框的轉送 (交換器內部) 已不再是 CSMA/CD 通訊協定的規範。又工作站 (或集線器) 連接到 Ethernet Switch 的连接埠上，它們之間的訊框傳送 (交換器外部) 也不是 CSMA/CD 通訊協定所規範。在 CSMA/CD 通訊協定裡主要規範是網路上每一個工作站不是在傳送資料就是在接收資料，所以，基本上 Ethernet 網路都屬於半雙工傳輸模式。

另外，由工作站和交換器的连接埠之間的連線來觀察，它們之間是專線的连接 (點對點)，是獨立的傳輸媒介而不是傳統 Ethernet 網路的共享媒介。因此，工作站 (或集線器) 和连接埠之間已經沒有碰撞偵測的需要，也沒有所謂二元指數後退演算法。一般连接線都採用兩對雙絞線，其中一對雙絞線在傳送訊框，而另一對雙絞線就是在接收訊號以判斷是否發生碰撞。因此 Ethernet Switch 就可以用這兩對雙絞線來做全雙工的傳輸，一對作傳送訊框，而另一對接收訊框，其運作模式如圖 2-21 所示。目前一般網路卡或交換器都具備全雙工的功能，也會經過自動協商取得傳輸模式，如表 2-2 所示。可是一般網路卡或集線器要實做全雙工的運作模式，則必須連接到 Ethernet Switch 的连接埠上才有此功能。

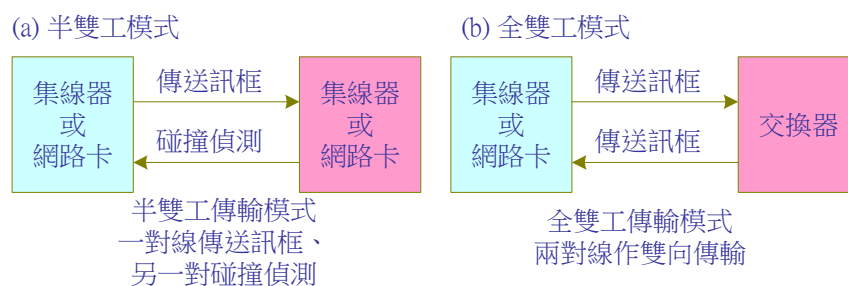


圖 2-21 全雙工或半雙工運作模式

2-4-4 100BaseT 自動協商

自動協商 (Auto-negotiation) 是 100BaseT 一項非常重要的特性。適用於所謂的雙速 (dual-speed) 網路卡或集線器。也就是說，網路卡和集線器的连接埠皆支援 10 Mbps 和 100 Mbps 兩種速率。如果雙方都同時支援 100 Mbps，則以此速率通訊，否則以 10 Mbps 速率通訊。彼此之間協商是由網路卡和集線器的连接埠自動完成，使用者完全不必參與。自動協商除了協商網路卡的雙速特性外，其他協商因素還有收發器型態、傳輸模式 (全雙工或半雙工)、纜線規格 (Cat-3 或 Cat-5 UTP)、以及雙絞線的對數 (二對或四對) 等，如圖 2-22 所示。表 2-2 為自動協商的優先次序。

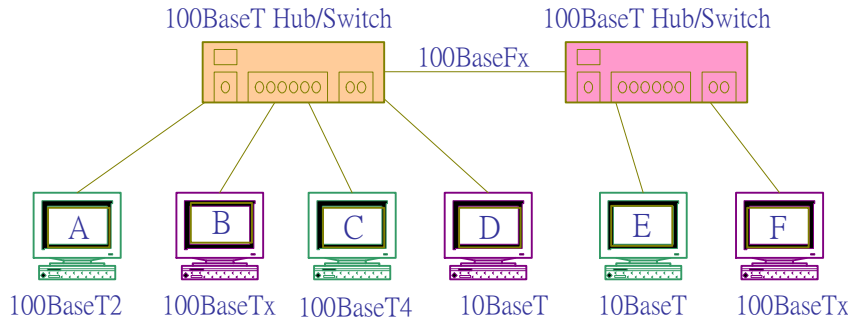


圖 2-22 100BaseT 自動協商功能

表 2-2 自動協商優先次序表

實體層型態	纜線規格	傳輸模式	優先權
100BaseT2	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	全雙工	1
100BaseT2	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	半雙工	2
100BaseTx	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	全雙工	3
100BaseT4	四對雙絞線 (Cat-3 UTP)	半雙工	4
100BaseTx	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	半雙工	5
10BaseT	兩對雙絞線 (Cat-3 UTP)	全雙工	6
10BaseT	兩對雙絞線 (Cat-3 UTP)	半雙工	7

2-5 Gigabit Ethernet 網路

一般稱『超高速 Ethernet』網路為 Gigabit Ethernet，它的標準規範是 IEEE 802.3z (1000BaseX (LX、SX、CX)) 和 IEEE 802.3ab (1000BaseT)，首先我們將 Gigabit Ethernet 網路的主要特性歸類如下：

- (1) 傳輸速率為 1000 Mbps。
- (2) 訊框為 IEEE 802.3 CSMA/CD 訊框。
- (3) 傳輸媒介為第五級無遮蔽式雙絞線 (Unshielded Twist Pair, Cat-5 UTP)、遮蔽式雙絞線 (Shielded Twist Pair, STP)、或光纖纜線。
- (4) 網路架構以集線器或交換器為佈線主要骨幹，網路最大範圍為 205 公尺。

- (5) 通訊協定為 CSMA/CD，不提供優先權傳送服務。採用載波延伸 (Carrier Extension) 技術和訊框爆發 (Frame Bursting) 技術支援 CSMA/CD，以提昇網路傳輸效率。
- (6) 不提供保證傳送延遲服務。
- (7) 頻寬使用不保證公平。
- (8) 高負載時頻寬使用率低。
- (9) 適合多媒體傳送。在頻寬使用容許範圍內，1000 Mbps 的傳輸速率足以應付即時性的多媒體傳送，如語音或視訊等等。
- (10) 網路容錯性高。網路主要架構以集線器連線為主，任何工作站和集線器之間連線發生故障，不會影響到其他工作站的運作情形。

2-5-1 Gigabit Ethernet 基本原理

我們回顧一下，如何由 Ethernet 網路演變到 Fast Ethernet 所使用到的技術。我們為了提高 10 倍的傳輸速率(由 10 Mbps 到 100 Mbps)，我們不但縮短了網路距離(由 500 公尺到 205 公尺)，也改變了編碼技巧 (由曼徹斯特編碼到 8B/6T 編碼) 和訊號傳輸方式 (由二電位之數位編碼到多電位水準編碼)，甚至提高了傳輸媒介的品質 (由 Cat-3 UTP 到 Cat-5 UTP)，好不容易才將速率提高 10 倍。在這所有過程之中，最主要的目的是要 Fast Ethernet 能和原來的 Ethernet 網路規格相符。其間所遇到最困難的瓶頸是要符合 CSMA/CD 通訊協定裡所規定的最小訊框(512 位元)，也就是所謂最遠距離『來回傳遞延遲時間』(**Round-Trip Propagation Delay**) 的 51.2 us 時槽限制 (為了達到碰撞偵測功能)。

如果我們現在要將網路傳輸速率由 100 Mbps 提高到 1000 Mbps 的傳輸速率，依然延伸 Fast Ethernet 中所使用到的技術是幾乎不可行的，比較可行的方法之一就是打破 Ethernet 的最小訊框限制。因此，Gigabit Ethernet 將最小訊框由原來的 512 位元(64 位元組) 提高到 4096 位元(512 位元組)，增加 8 倍，延長訊框停留在傳輸媒介上的時間，以符合碰撞偵測的功能，當然也要相容於原來的 Ethernet 網路，需要一些補救的措施，以下幾節介紹一些相關的技術。

2-5-2 Gigabit Ethernet 訊框格式

Gigabit Ethernet 網路有一個重要的目標就是必須和現有的 Ethernet 標準 (10 Mbps Ethernet, 100 Mbps Ethernet) 相容。首先不同速度的網路區段之間必須能順利轉送訊框，方能簡化多重速度的網路連接器設計，例如：多重速度的集線器、橋接器、交換器、或路由器。為了能讓訊框於不同傳輸速度的區段上順利轉送，訊框格式也必須符合 CSMA/CD 標準格式。Gigabit Ethernet 沒有變更 Ethernet 協定中最短訊框 (64 位元組) 及最長訊框 (1518 位元組) 的限制，甚至連發生碰撞的延遲時間計算方式 (二元指數後退演算法) 也沒有改變。讓我們回顧一下，最小訊框計算方式：

$$\text{最小訊框} = \text{時槽時間} (51.2 \text{ us}) \times \text{傳輸速率} (10 \text{ Mbps, } 100 \text{ Mbps, } 1000 \text{ Mbps})$$

如果我們將傳輸速率提高到 1000 Mbps，但還要保留最小訊框長度 (64 位元組)，唯一的方法就是減低時槽時間 (51.2 us)。一個時槽時間就是來回傳遞延遲時間 (round-trip propagation delay)，也就是說，訊號在最遠距離兩端來回的時間。如要減低訊號來回時間，只好縮短網路的距離。如依照 Fast Ethernet 的技術而將速率提高到 1000 Mbps，網路距離將由 205 公尺縮短到 25 公尺，如此 Gigabit Ethernet 網路將出不了機房。所以我們的思考範圍不能侷限於縮短網路範圍，更非僅思考提高傳輸媒介的品質 (100BaseTx) 或數量 (100BaseT4)。最小訊框的限制最主要的原因是為了讓傳送端有足夠的時間來作碰撞偵測。我們另一種思維方式，就是在不改變最小訊框的前提下，加長訊框停留在傳輸媒體上的時間，也就是說，在最小訊框的後面增加載波延伸 (Carrier Extension)，以維持碰撞偵測的功能。如此便能保留 205 公尺的網路距離，而將傳輸速率提高到 1000 Mbps。IEEE 802.3z Gigabit Ethernet 標準將時槽時間由原來的 512 位元 (64 位元組) 時間增加到 4096 位元 (512 位元組) 時間，增加 8 倍。

(A) 載波延伸

在『載波延伸』(**Carrier Extension**) 的技術下，最短訊框的長度仍然為 64 位元組 (與 10/100 Mbps Ethernet 相同)。但每次成功傳送所需的載波感測最短時間增加為 512 位元組時間，也就是將一個時槽時間增為 4.096 us ($4096 \times 1/1000 \times 106$)。其方法有兩個重點：

- (1) 傳送訊框長度高於 512 位元組。其工作並沒有變更，傳送端將訊框發送出去後，未感測到碰撞發生表示發送正常。
- (2) 傳送訊框長度低於 512 位元組。表示傳送訊框時間低於一個時槽時間 (512 位元組時間)。傳送端發送完訊框後，在訊框的 FCS 欄位之後增加載波延伸訊號。載波延伸訊號的長度以補滿一個時槽時間為準，如圖 2-23 所示。如果在傳送過程之中發現碰撞，不論是發生

在傳送訊框本身或載波延伸部份，則立刻停止發送，並送出一個 32 位元長度的擾亂訊號 (Jam Signal)。



圖 2-23 含延轉載波之訊框格式

在接收端部分也必須特別的處理，我們希望如果碰撞發生在載波延伸部分，接收端也必須將該訊框丟棄。事實上，接收端很難區分擾亂訊號和一般數據訊號。如果碰撞發生在載波延伸部分，接收端可能已經完整的收到該筆資料，而且經過錯誤檢查並傳送給上一層 LLC。這時候它才收到擾亂訊號，又無法辨識擾亂訊號或一般數據訊號，它將因為不知道傳送端已發生碰撞而照常拋棄該訊框。在這種情況下，傳送端認為碰撞而接收端卻認為接收成功，傳送端重送造成訊框重覆問題。

為了克服碰撞發生在載波延伸部分的問題，接收端必須稍作修改。傳送端在發送載波延伸訊號時偵測出發送碰撞，它必定停止發送載波延伸訊號，而改發送擾亂訊號。這樣的話，整個訊框時間將少於一個時槽時間 (512 位元組時間)，接收端就利用這個因素來判斷該訊框是否有發生碰撞。因此，在接收端部份，當它偵測出前置訊號 (Preamble) 和訊框起始符號 (SFD) 便開始計數 (設定延伸旗標)。將包含資料訊框和載波延伸訊號累加起來，如果少於一個時槽時間就停止，判斷傳送端因碰撞而停止發送。相反的，如果累加時間超過一個時槽時間，就判斷訊框傳送正常 (其中可能沒有載波延伸訊號)。

(B) 訊框爆發

從另外一個角度來看，雖然我們只要稍微修改 CSMA/CD 通訊協定，就能增加時槽時間而不必變更最小訊框的限制。但如果我們連續傳送最小訊框時，會發現整個網路傳輸絕大部分都在傳送載波延伸訊號。雖然我們將傳輸速率提高 10 倍 (100 Mbps → 1000 Mbps)，但整個傳輸效率並沒有增加，因為每傳送一筆最小訊框竟然花費 8 倍的訊框時間。我們有一個簡單的構想，就是將一些較短的訊框 (也許大於最小訊框) 組合成一個較大的訊框再來傳送，可以大大地提高網路的傳輸效率，但如此更改所影響的層面非常廣。首先，影響網路傳送即時性的問題，當 MAC 層收到

一個訊框後必須即時送給 LLC 層，如要傳送多筆訊框給 LLC 層，則 LLC 層的通訊協定也必須修改；再者，封裝後的訊框如要轉送到較低速率（10/100 Mbps）區段，是否必須重新拆裝組合，所有路由器或橋接器必須重新更改。由以上觀察，重整訊框來提高傳輸效率所發生的困難重重而不可行。

IEEE 802.3z 也期望訊框傳輸中能具有水管式（pipelining）傳輸技術，能在一個時槽時間內傳送若干個較短訊框，同時又能保持 MAC 層的一次『傳送/接收』一筆訊框的功能。因此，提出一種稱為『訊框爆發』（Frame Bursting）的技術。訊框爆發技術也和訊框打包一樣，允許在一個訊爆（burst）中傳送多筆訊框，訊框之間則以延轉載波來區分。但是訊爆的最大長度還是以訊框最大長度（1518 位元組）為基準，而不是以時槽時間（512 位元組）為基準。所以訊爆的概念是採用最長訊框，希望訊框傳送都採用最長訊框來提高網路的傳輸效率。而且最長訊框也在標準 Ethernet 協定規範的範圍內，對整個通訊協定來講變更可降到最小。

圖 2-24 為一個訊爆週期的範例。每一個訊爆中的第一筆訊框的傳送時間至少必須等於一個時槽時間，如果訊框過短，則以延轉載波加長之。此特性保證碰撞只會影響到訊爆的第一個訊框，因此傳送端和接收端都能保持一次『傳送/接收』一個訊框的特性。訊框爆發技術傳送訊框技術如下：
（傳送端部分）

1. 傳送訊框之前，傳送端首先檢查訊爆計時器是否已啟動。
 - (1) 如果未啟動，則表示該訊框為訊爆週期內第一個訊框，則依照 CSMA/CD 通訊協定取得網路傳輸權。如取得網路傳輸權，才將訊爆計時器啟動並傳送訊框，如該訊框低於 512 位元組則以延轉載波補滿 512 位元組。
 - (2) 如果訊爆計時器已啟動，表示該訊框在訊爆週期時間內，則立刻進行傳送工作。
2. 在訊框傳送當中，傳送端繼續偵測是否發生碰撞，如發生碰撞時，便將訊爆計時器關閉並歸零，並停止傳送（送出擾亂訊號）回到步驟 1。否則緊接著步驟 3。
3. 傳送完第一個訊框後，並且繼續擁有線路使用權。此時檢查訊爆計時器是否溢時。
 - (1) 如尚未溢時，則發送 96 位元長度的延轉載波（訊爆中訊框區隔），然後進入第 4 步驟。
 - (2) 如計時器已溢時，則清除及關閉計時器，停止傳送回到步驟 1。

4. 此時表示已送完 96 位元訊框間隔的延伸載波，如還有訊框要傳送就繼續傳送；否則就清除及關閉計時器，等待下一個傳送。

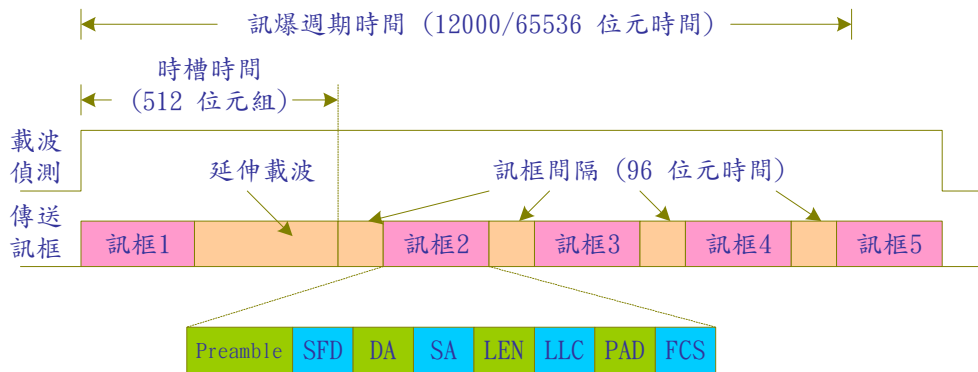


圖 2-24 訊爆週期範例

由圖 2-24 之中，我們可以看出一個訊框要傳送之前，必須在訊爆期間之內，但該訊框結束時可能已超出週期時間。因此是否可將訊框加入一個訊爆週期時間是根據下列兩項檢查：一、此訊框必須能在訊爆計時器溢時之前開始傳送；二、此訊框必須在 96 位元長度的訊框間隔結束之前準備好傳送。早期在 IEEE 802.3z 的草案中，將一個訊爆最大長度設為 12000 位元時間，此值剛好比因公平考量而制定的最大訊框長度 1518 位元組 (12144 位元) 稍小。因此，對於一個訊爆中所包含的訊框來說，無論其長度如何組合，工作站每次傳送訊爆的長度至少可以等於一個最大訊框長度，最多也不會超過兩個最大訊框。不過，進一步的研究卻發現增加訊框上限能明顯改善效能。因此 IEEE 802.3z 在 1997 年將訊爆上限提升到 65536 位元時間。

將訊框爆發技術加到 CSMA/CD 通訊協定上時，接收端也必須作部份修改：

- (1) 當接收端依照 CSMA/CD 通訊協定的程序接收到第一筆訊框時 (還未知是否是訊爆訊框)，也就是說，它偵測到前置訊號 (Preamble) 和訊框起始符號後，便啟動延伸旗標 (Extending Flag) 並接收訊號直到載波結束。判斷在這段期間內，計數訊框長度加延伸載波長度是否大於或等於一個時槽時間 (512 位元組)。如果是，則清除延伸旗標再進入步驟 2；否則，直接進入步驟 2。
- (2) 此時接收端已收到一個訊框，再觀察延伸旗標是否被清除。如未清除，表示傳送端在發送訊框時發生碰撞而停止，此時接收端將該訊框丟棄，並清除延伸旗標回到載波偵測，預備再重新接收訊框；否則，表示傳送端在發送訊框時沒有發生碰撞，並且將該訊框傳送給上一層，直接進入步驟 3。

- (3) 接收端繼續偵測載波，其情況有三種：(1) 載波停止傳送，表示傳送端不再傳送訊框（不是訊爆傳送），則回到預備接收訊號狀態。(2) 偵測到訊框間隔（96 位元）之後，也沒有載波繼續傳送，表示傳送端欲結束該訊爆，不再傳送訊框，則回到預備接收訊號狀態。(3) 訊框間隔之後，偵測到另一個訊框（由前置訊號和訊框起始符號），便依照正常接收訊框程序接收訊號，如發生碰撞則停止，否則回到步驟 2 繼續下一個訊框接收。

2-5-3 Gigabit Ethernet 通訊結構

圖 2-25 為 Gigabit Ethernet 網路通訊架構圖。其中主要分為兩大類：IEEE 802.3z (1000BaseX) 和 802.3ab (1000BaseT)。1000BaseT 為 1999 年 IEEE 所制定的標準。以下分別敘述其特性。

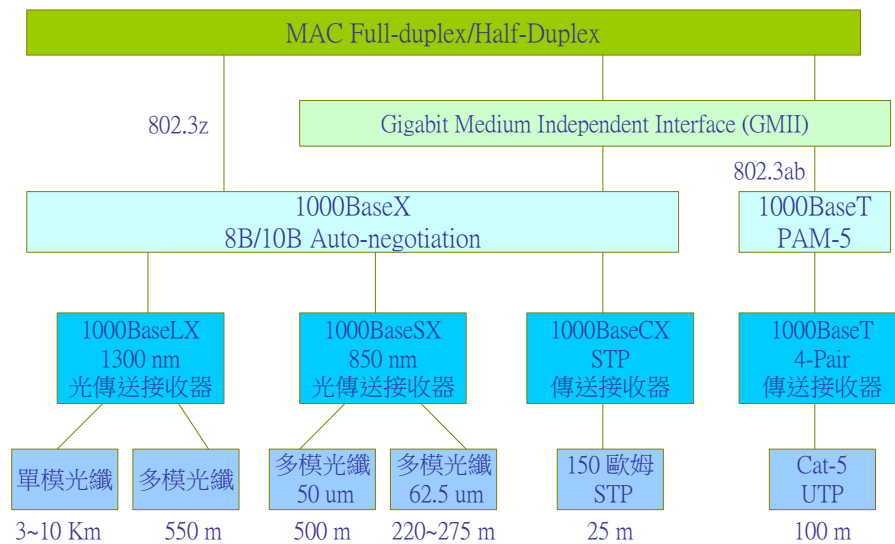


圖 2-25 Gigabit Ethernet 通訊架構

(A) 1000BaseX

1000Base-X 的實體層主要採用 ANSI-X3T11 光纖通道 (Fiber Channel) 的標準，其資料編碼方式採用 8B/10B 編碼技巧。主要有下列三種標準：

- (1) **1000Base-SX (Short-Wavelength Fiber)**：在傳輸媒介方面使用 50 μm 和 62.5 μm (micro-diameter) 的多模光纖纜線 (multi-mode fiber)。50 μm 光纖傳輸距離可達 550 公尺 (頻寬 500 MHz) 和 500 公尺 (頻寬 400 MHz)；62.5 μm 可達 220 公尺 (160 MHz 頻寬) 和 275 公尺 (200 MHz 頻寬)。

- (2) **1000Base-LX (Long-Wavelength Fiber)**：可使用單模光纖和多模光纖。多模光纖纜線也可以採用 50 μm 和 62.5 μm 兩種，傳輸距離可達 550 公尺 (500 MHz)。單模光纖是採用 9 芯的光纖纜線，傳輸距離可達 3 ~ 10 公里，主要使用於較遠距離的傳輸骨幹使用。
- (3) **1000Base-CX**：使用 150 歐姆平衡式遮蔽式銅絞線電纜 (150 Ω balanced shielded copper cable)，傳輸距離只有 25 公尺，最主要使用於電信機房內主機系統的連線，接續端子採用 DB-9。

(B) 1000BaseT

一般環境佈線還是以第五級的無遮蔽式雙絞線 (Cat-5 UTP) 最為方便，還可以延續 100BaseT 的使用環境，不必做任何變更。何況 UTP 的價格比光纖便宜許多，倘若一般環境都要使用光纖纜線，實務上的確有困難，也會限制 Gigabit Ethernet 網路的應用範圍。IEEE 802.3 工作小組有鑑於此，於 1999 年制定 1000BaseT (IEEE 802.3ab) 標準，其連線規格力求儘量相容於 100Base-T。

1000Base-T 提供半雙工 (CSMA/CD) 及全雙工 1000Mbps 之 Ethernet 服務，同樣採用 ANSI/TIA/EIA 568-A 的佈線標準，以 Cat-5 UTP 作為傳輸線及 RJ45 接續端子，傳輸距離保持 100 公尺，但在同一碰撞網域下只允許連接一個訊號增益器 (或集線器)。目前許多廠商都提供 Cat-5e (頻寬 100 MHz)、Cat-6 (頻寬 250 MHz) 或 Cat-7 (頻寬 600 MHz) 的 UTP 纜線。1000BaseT 也使用如同 100BaseTx 的自動協商系統，為了簡化操作及快速進入現有的 Ethernet 系統上使用。一般廠商都有建立符合 100 和 1000 Mbps 實體層 (PHY)，可讓 1000 Mbps 的傳輸速率退回 (fall back) 到 100 Mps，提供較彈性的方法來提昇系統。

在訊號傳輸方面，1000Base-T 採用四對雙絞線作傳送和接收，如圖 2-26 所示。每一對雙絞線的傳輸速率為 250 Mbps (= 1000 Mbps \div 4)，四對線同時作傳送或接收功能。在每對雙絞線上採用 5-水平基準的脈衝調幅調變 (5-Level Pulse Amplitude Modulation, 5-level PAM)。5-level PAM 的每個傳送符號可代表二個位元，因此，每對線傳送頻率為 125 MHz (= 250 \div 2)。

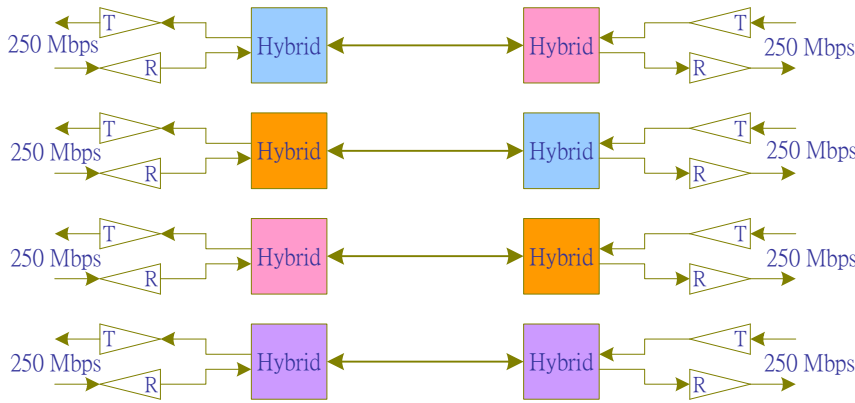


圖 2-26 1000Base-T 四對雙絞線工作模式

2-5-4 Gigabit Ethernet 網路架構

我們可以發現 Gigabit 網路可能主要應用於網路骨幹的傳輸，在這方面還是以交換器的架構最為理想，因此，802.3z 標準中規劃兩種網路架構：

(1) Gigabit Ethernet Switch 全雙工交換架構：提供具有流量控制的全雙工點對點鏈路

(Full-duplex point-to-point links)，其連接埠之間訊框的轉送機制，不限制於 CSMA/CD 通訊協定，且沒有碰撞機率的問題，所以在製作上反而較容易。

(2) Gigabit Ethernet Hub 半雙工集線架構：提供具半雙工共享碰撞特性的網域 (Half-duplex shared collision domain)，還限制於 CSMA/CD 通訊協定，會有碰撞機率產生。

圖 2-27 為兩種架構所建立的基本 Gigabit Ethernet 網路型態，一般在集線器或交換器的連接埠上都具有多重速率自動選擇功能，我們可將全雙工交換器作為傳輸骨幹交換，來連結各地區之全雙工集線器，並且將網路伺服器連結到交換器上，如此各分歧網路上都享有獨立的碰撞網域，網路整體的傳輸效率也較高。

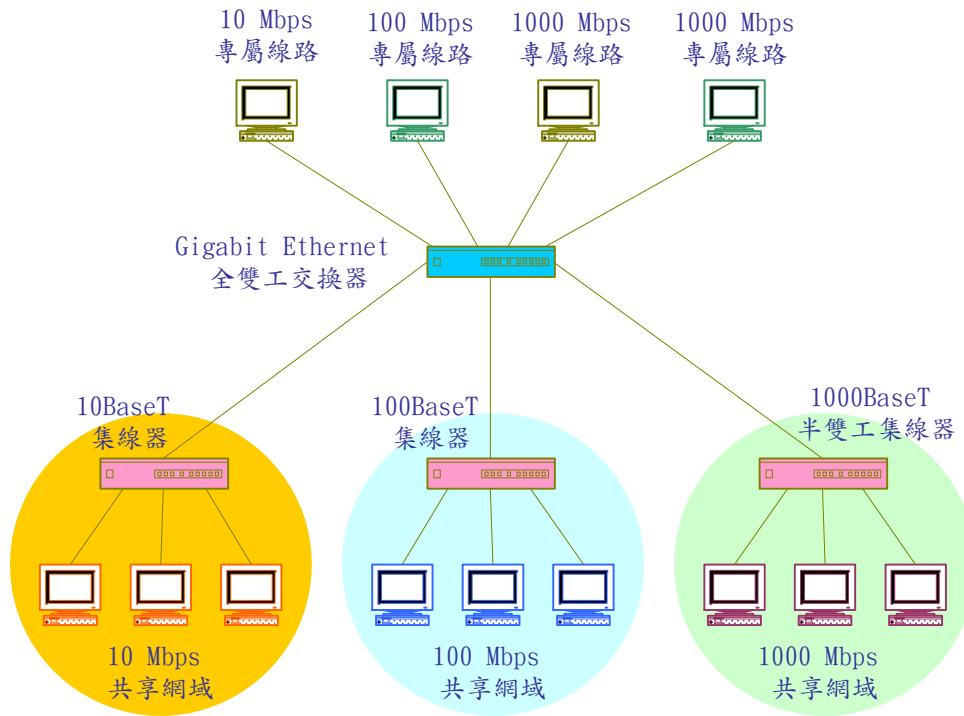


圖 2-27 Gigabit Ethernet 網路架構圖

由以上的介紹，我們大略可以瞭解區域網路上較普遍的網路架構，一般辦公室自動化網路系統還是以 Ethernet 網路佔大部份，當然還有許多網路系統也應用在各種環境之中，譬如，Token Ring、FDDI、ATM、甚至 10 Gigabit Ethernet 網路等等，本書限於篇幅不另敘述，讀者如欲更進一步研習，請參考『電腦網路理論與連結技術』翻轉電子書。

習題

1. 請敘述 Internet 協定中，網路存取層所扮演的功能為何？其可能包含有哪些網路型態？
2. 請描述區域網路連結與廣域網路連結有何差異？並舉例說明之。
3. 何謂區域網路拓樸圖？可區分為哪幾種？請分別敘述其特性。
4. 一般區域網路傳輸媒介有哪幾種？請分別敘述其特性及應用範圍。
5. 請敘述 Ethernet 網路之特性。
6. 請敘述 CSMA/CD 通訊協定的運作原理。
7. 為何 Ethernet 網路不適用於高負載及即時應用環境裡？
8. 請問 Ethernet 網路是如何來判斷網路是否發生碰撞？

9. 何謂『二元指數後退演算法』(Binary Exponential Backoff Algorithm) ? 如果某一訊框已發生第 5 次碰撞，它可能等待的時間有哪幾種？
10. 在 Ethernet 網路中，為何需要最小訊框限制？它的最小訊框是多少？如果訊息長度不及的情況下，應如何克服？
11. 請敘述 10BaseT 網路特性，並繪出其網路架構圖。
12. 何謂『曼徹斯特編碼』(Manchester Encoding) ? 請敘述其編碼技巧及優缺點。
13. 請說明建構 100BaseT 的基本原理。
14. 請說明 100BaseT4 如何利用四對雙絞線來傳送及接收訊框。
15. 為何 100BaseT4 不採用原來 Ethernet 的曼徹斯特編碼技巧？而採用何種編碼技巧？
16. 請說明 100BaseTx 如何達到 100 Mbps 的傳輸速度？
17. 請說明 100BaseFx 如何達到 100 Mbps 的傳輸速度？及其主要應用範圍。
18. 請說明 Ethernet Switch 的基本原理。
19. 為何 Ethernet Switch 不受網路連線範圍限制 (51.2 μ s) ? 並可分割 Ethernet 網路 (碰撞網域) ?
20. 請比較 100BaseT Hub 和 100BaseT Switch 的功能？及其應用範圍？
21. 請利用 Fast Ethernet 網路規劃一個學校之區域網路 (或公司行號)，其中有十個系所，每個係所有 100 個連接埠，網路傳輸速率為 100 Mbps。
22. 請簡述 Gigabit Ethernet 網路的基本原理。
23. 何謂『載波延伸』(Carrier Extension) ? Gigabit Ethernet 如何利用此技術來延伸傳輸距離？
24. 何謂『訊框爆發』(Frame Bursting) ? Gigabit Ethernet 如何利用此技術來增加傳輸量？
25. 請比較說明 1000BaseX 和 1000BaseT 在製作技術上有何不同？以及應用範圍有何不同？
26. 請說明 1000BaseT 如何利用四對雙絞線來達到 1000 Mbps 的傳輸速度？它所使用的編碼技術為何？與 100BaseTx 有何異同？

27. 何謂全雙工集線器？為何 Gigabit Ethernet 以它作為終端工作站的主要佈線？
28. 請舉例說明，如何利用 Gigabit Ethernet 來架設傳輸骨幹？並與 ATM 網路比較兩者優異點為何？
29. 請舉例說明，如何利用 Gigabit Ethernet 提昇網路上高效能伺服器的傳輸效率？