

第八章 Fast Ethernet 網路

詳解 CSMA/CD 協定與 Fast Ethernet 的基本原理、通訊結構與網路應用架構，並包含 Ethernet Switch 的工作原理。

8-1 Ethernet 網路緣由

『乙太網路』(Ethernet) 是目前辦公室自動化環境使用最普遍的網路，然而辦公室自動化的需求量最高，也使其成為佔有率最高的網路。目前所談到的區域網路大多也是以 Ethernet 為代表。另外，在工廠自動化方面，則以 Token-Ring 網路較為適合，我們將在第十七章介紹到它。

Ethernet 網路是如何誕生呢？話說從頭，Ethernet 網路是由 Digital、Intel 與 Xerox 公司在 1972 年，依照 CSMA/CD 協定所制定的規範。早期制定 Ethernet 網路最主要的訴求是，提出標準的傳輸媒介的連結規範，讓不同系統之間的工作站可以透過這些規範來連結。由於 Ethernet 網路連結簡單，且 CSMA/CD 協定製作起來又較為容易，Ethernet 網路漸漸的被工業界喜愛，應用範圍也漸漸擴大。隨著網路需求大增，早期規範中的速率 (10 Mbps) 逐漸不符環境所需，『高速乙太網路』(Fast Ethernet) 於是應運而生。基本上，Fast Ethernet 還是保留 CSMA/CD 協定的功能，但在傳輸媒介的編碼技術上提升了許多。雖然 Fast Ethernet 網路將傳輸速率提升到 100 Mbps，但在傳輸骨幹來講還是不夠，新的 Gigabit Ethernet 很快的被發展出來彌補這個缺憾，這些網路都是本書介紹的重點之一，但我們還是需要由最基礎的 CSMA/CD 協定開始介紹，再進入 Fast Ethernet 網路，而 Gigabit Ethernet 網路則留在下一章介紹。

值得注意的是，無論由 CSMA/CD 協定所延伸的 Ethernet 網路，或再進一步到 Fast Ethernet、Gigabit Ethernet、乃至 10 Gigabit Ethernet，在整個發展過程之中，每一階段的進展都考慮到向下相容的問題，也就是說，當新的規範被發展出來時，都希望能與舊的規範相容。譬如，當 Fast Ethernet 發展出來時，它希望能與原有的 Ethernet 網路相容，並可存在於同一網路上；而 Gigabit 網路又希望能 Fast Ethernet、Ethernet 網路共同存在於同一網路上。雖然向下相容的問題會造成新規範的許多負擔，但這也是情勢所逼，無可奈何的事。這也是

在探討任何一種高速或超高速 Ethernet 網路時，都必須由最基礎的 CSMA/CD 協定開始的主要原因。

8-2 CSMA/CD 網路

『載波檢測多重存取附碰撞偵測』(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD) 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，而下層可依照不同環境需求結合各種傳輸媒介。圖 8-1 為 CSMA/CD 網路 (一般稱之為 Ethernet 網路) 的基本結構，網路拓模圖為匯流排 (Bus) 架構，網路基本特性如下：

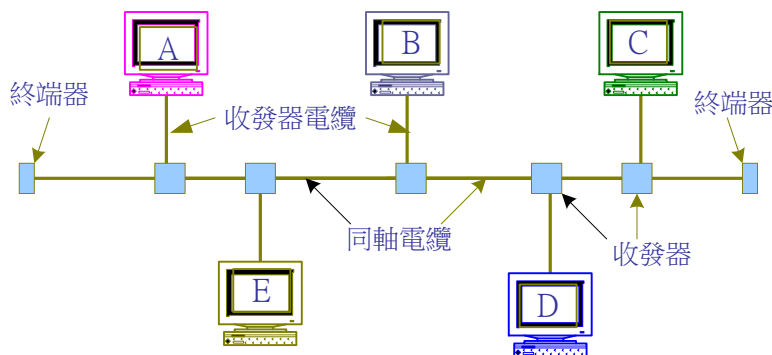


圖 8-1 CSMA/CD 網路基本架構圖

- 基本上 CSMA/CD 網路為匯流排架構，傳輸媒介為同軸電纜 (Coaxial Cable)。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，而且所有工作站都一定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。
- 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。
- 同軸電纜上使用電波來傳遞訊號。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。

- 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。
- 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。收發器電纜是一般雙絞線電纜，用來傳遞電流訊號。

以上是 CSMA/CD 網路的特性，接下來將它的基本規範歸類如下：

- **傳輸速率**：10Mbps (高速 Ethernet 可達 100 Mbps ~ 1 Gbps)
- **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。
- **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)。
- **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。
- **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。
- **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。
- **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，易造成頻寬使用率低。
- **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。



由以上介紹，我們大略可以了解 CSMA/CD 有許多致命的缺點，譬如，頻寬分配不均、容易發生碰撞的現象而影響傳輸效率。但目前新的技術都足以克服這些困難，使傳輸效率和

傳輸速率較原來標準完善，也才能使 Ethernet 網路立足於工業界。有關這方面的技術都是我們探討 Ethernet 網路的重點，將會在本章及下一章介紹到。

8-2-1 運作原理

CSMA/CD 網路採取廣播方式傳輸，任一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 8-2 表示 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，必須聆聽(Listen)網路上有沒有訊號在傳送(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  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 LLC 層；否則回到流程  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息(Jamming Signal)，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，停止傳送且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
- 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，如判斷太短便將其拋棄（可能傳送途中發生碰撞而停止傳送），然後繼續接收資料。否則接下一個 **流程**
- (2)。

- (2) 由訊框內的目的地址 (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。

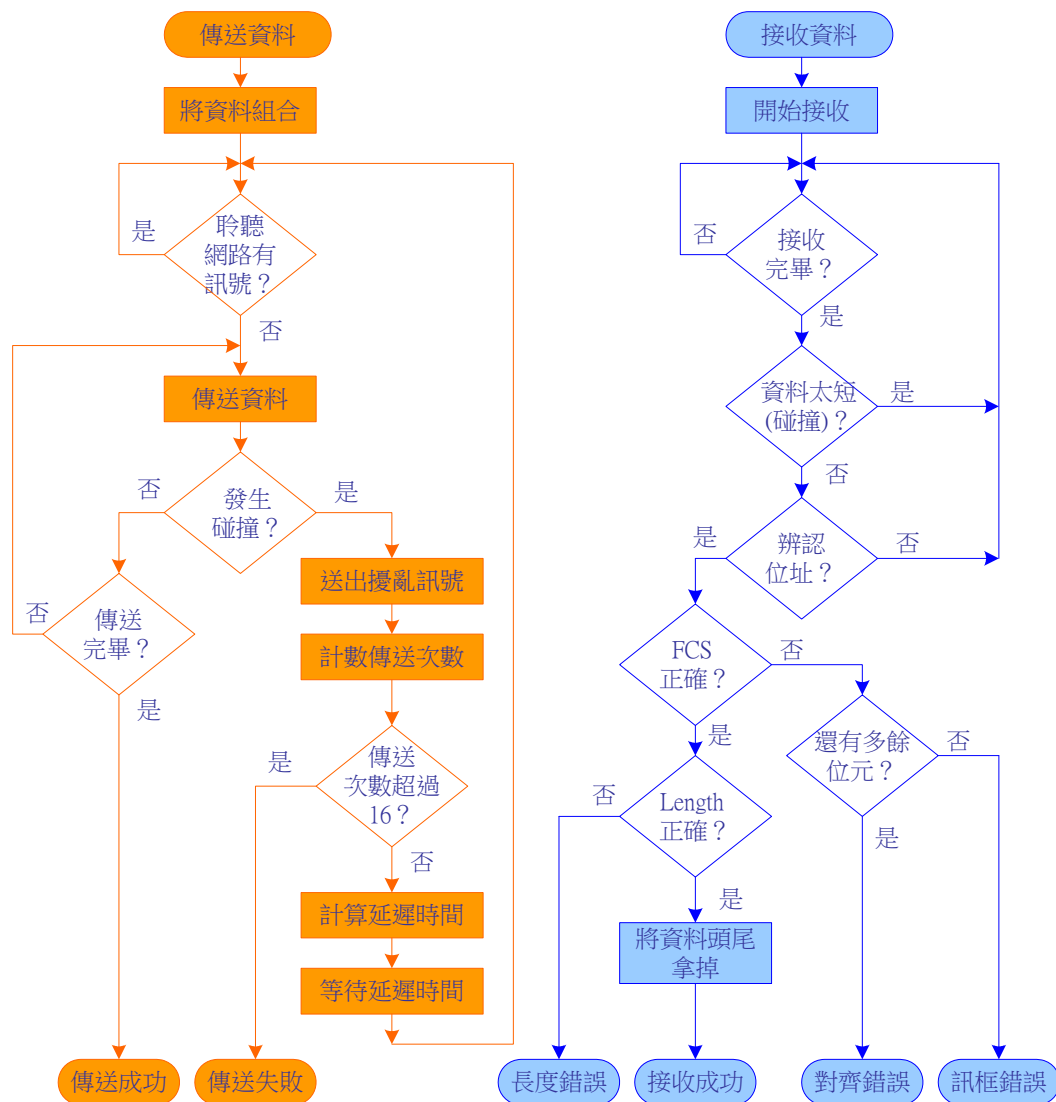


圖 8-2 CSMA/CD 通訊協定流程

8-2-2 延遲等待時間

在『載波檢測多重存取』(**Carrier Sense Multiple Access, CSMA**) 網路中，同時可能有多部工作站準備傳送資料，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送出，因此發生碰撞的機率非常大。解決的辦法是，等待一段時間後，如果訊號真的不再出現，再傳送資料，如此可大大降低碰撞的機率。

針對檢測網路是否空閒，以便立即傳送訊息，有三種方法：

- **1- 堅持法 (1-persistent)**：工作站檢測出網路是空閒時，立即將資料送出。由圖 8-2 可以看出 CSMA/CD 協定是採用 1- 堅持法。
- **P - 堅持法 (P-persistent)**：工作站檢測出網路是空閒時，將資料送出的機率為 P，其中 $0 < P < 1$ 。P 的計算必須依照當時網路的負載情形。
- **0 - 堅持法 (0-persistent)**：工作站檢測出網路是空閒時，立刻退出，不再繼續監聽。等待一段隨機延遲之後再回來檢測，如果網路還是空閒就開始傳送資料；否則回到開始檢測的步驟。

基本上，『**1- 堅持法**』比較適合負載較輕網路的通訊協定，『**0- 堅持法**』適合於負載較重的環境，『**P- 堅持法**』是採用兩者的折衷情況。如果於較輕負載環境，使用『**0- 堅持法**』，會浪費許多時間在等待；於負載較重的環境，如使用『**1- 堅持法**』，網路上碰撞的機率較為提高。『**P- 堅持法**』雖然能取得較平衡狀況下使用，但 P 值的計算必須隨時配合網路上的傳輸狀況，也較為複雜。

於 CSMA/CD 網路之中，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)，表示沒有發生碰撞的現象。如果讀回的訊號，無法解碼回原來資料，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閒，回到最起始流程（如圖 8-2）。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，大家都認為空閒，大家又一起傳送資料，又一起發生碰撞。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，則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** 介於 0 和 $(2k - 1)$ 之間 ($0 \leq r \leq 2k - 1$)。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 ($n \geq 10$)， $k = \text{MIN}(10, 10) = 10$ ， $r = \{0, 1, 2, \dots, 210 - 1\}$ ，最高的等待時間是 1023 個時槽 ($1023 * 51.2 \text{ us}$)。

8-2-3 訊框格式

『MAC 訊框格式』(MAC-Frame) 牽涉到實體傳輸媒介存取的技術，它是一組在網路上傳送的連續訊號。而訊框的結構和長短，與網路的存取方法有連帶的關係。CSMA/CD 訊框最長為 1518 位元組、最短為 64 位元組。其格式如圖 8-3 所示，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 或 6 個位元組。
- **來源位址 (Source Address, SA)** : 用來註明這訊框是誰發送的。其長度也可以是 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。

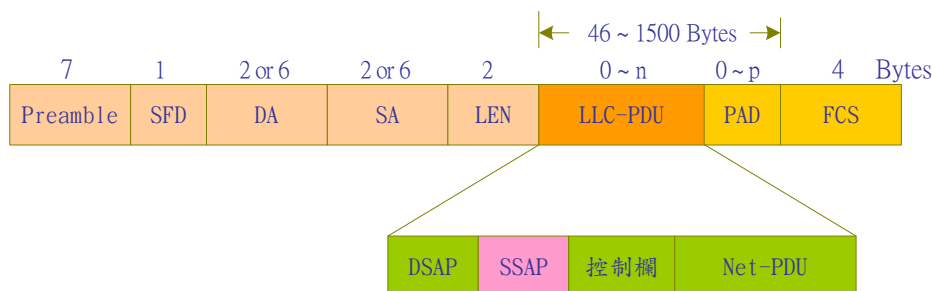


圖 8-3 CSMA/CD 訊框格式

(A) CSMA/CD 位址格式

雖然 CSMA/CD 的位址格式可以有 2 或 6 個位元組，但同一網路上只能採用其中一種，不可以混合使用。我們也將這個地址稱為 MAC 位址 (MAC-address)。如果用在 Ethernet 網路上，就稱為『Ethernet 位址』(Ethernet Address，採用 6 個位元組)。一般 MAC 位址都建構在網路卡上，但也有些網路卡可隨使用者更改設定。基本上，同一個網路上不可以有重覆的 MAC 位址。但一個區域網路上工作站不會很多，位址相衝的機率非常小。圖 8-4 為 CSMA/CD 的位址格式，不論是 2 個或 6 個位元組格式，都可區分為下列兩大類：

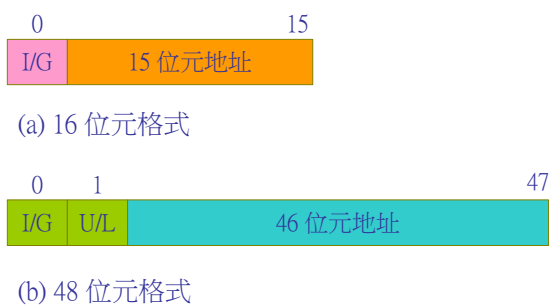


圖 8-4 CSMA/CD 位址格式

- (1) **個別位址 (Individual Address) (I/G = 0)**：任何一部工作站的 MAC 位址都是唯一的，不會與他人衝突。
- (2) **群體位址 (Group Address) (I/G = 1)**：代表某一群組的位址。一個群組可包含多部工作站；任何一部工作站也可以屬於多個不同群組。當發送端將 DA 設定為某一群組位址，該群組內所有工作站都可以接收訊框。但 DA 的群組位址又可區分為下列兩種：
 - **多點傳送位址 (Multicast Address)**：表示傳送給某一群組中的所有成員。
 - **廣播位址 (Broadcast Address)**：表示傳送給網路上所有成員，一般都以 DA 欄位內全部是 1 代表廣播位址。

由圖 8-4 中 48 位元格式的地址，第二個位元 (U/L) 代表此位址是區域性或廣域性的地址，其意義如下：

- (1) 廣域性管理地址 (Globally Administered Address) (U/L = 0) : 表示此地址 (個別或群體位址) 是廣域性的，可以跨越不同網路之間。當傳送端要將某一個訊框傳送到另一個網路上時，就必須將 DA 內地址設定為廣域性地址。
- (2) 區域性管理地址 (Local Administered Address) (U/L = 1) : 表示此地址 (個別或群體位址) 是區域性的，只能在本地區域網路上使用。

(B) LLC 訊息欄位

在圖 8-3 的 LLC 訊息欄位可以看出 LLC 層和 CSMA/CD 訊框之間的關係。由 LLC 所建立的 LLC-PDU 之中包含目的服務存取點 (DSAP)、來源服務存取點 (SSAP)、控制欄和上一層的訊息 (網路層) 都被 CSMA/CD 當成資料看待。傳送端的 CSMA/CD 通訊軟體將這些資料加上自己的控制訊息後傳送出去；而接收端的 CSMA/CD 則將這些控制訊息去除之後的資料 (LLC-PDU) 再傳給 LLC 層。

(C) 訊框檢查序列 (FCS)

四個位元組欄位的 FCS 是作為該訊框的錯誤檢查使用。其所檢查的範圍是從 DA 欄位到 PAD 欄位之間的資料，FCS 錯誤檢查的方法是採用 CRC-32 (Cyclic Redundancy Check) 技巧。CSMA/CD 協定所採用的 CRC-32 多項式 $G(x)$ 如下：

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

CRC-32 產生器如圖 8-5 所示。(CRC 的工作原理請參考 3-5-3 節介紹)

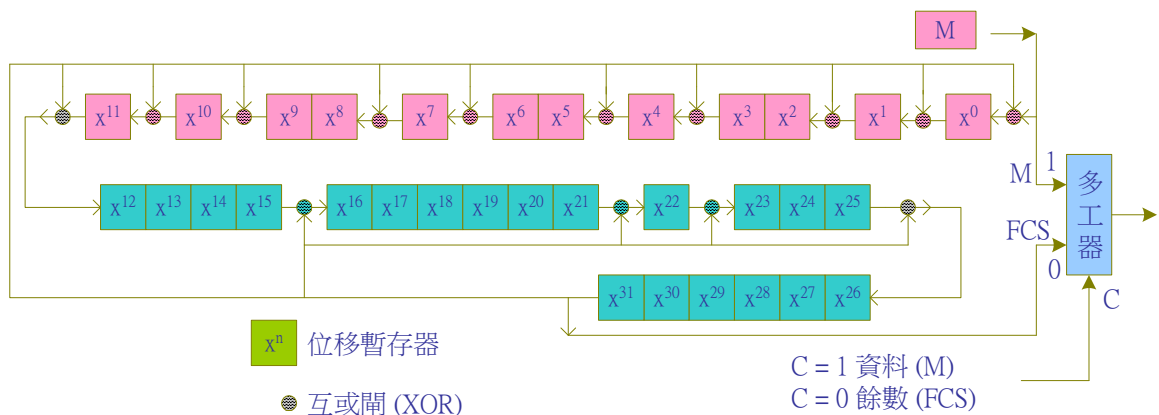


圖 8-5 CRC-32 除法器硬體線路

8-2-4 最小訊框

為了實現 CSMA/CD 網路中碰撞偵測的功能，必須有最小訊框的限制。依照 CSMA/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、半增益電纜、AUI 電纜、增益器、及其他所有設備。我們將由最遠兩端之中的一部工作站發送訊號，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』（Slot Time）。早期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）的延遲大約是 46.38 us（微秒）。但為了計算方便及預估不同設備之間的誤差，便將一個時槽設定為 51.2 us。

如圖 8-6 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。

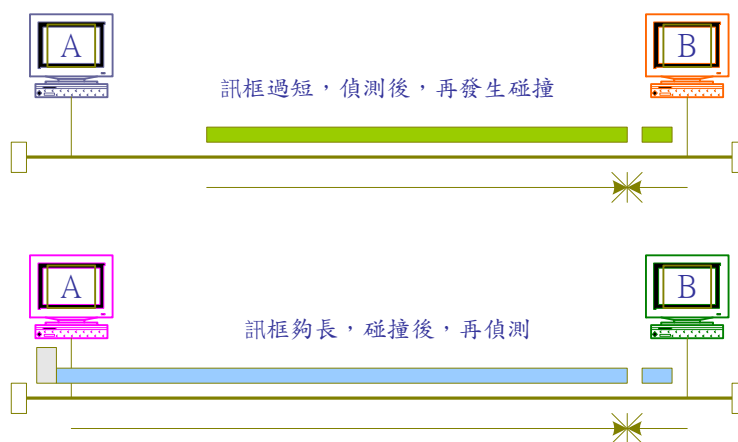


圖 8-6 訊框長度與碰撞偵測

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：

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

由圖 8-3 CSMA/CD 的訊框格式中，在整個訊框裡包含著 DA、SA、LEN、FCS 和 LLC-PDU (SDF 不計入)。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：

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

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。

8-2-5 通訊結構

圖 8-7 表示 CSMA/CD 的通訊結構圖，一般都將其建構在網路卡上。隨著 MAC 層不同，可區分為 Ethernet 網路卡或 Token-Ring 網路卡等。Ethernet 網路卡也會依照實體層和傳輸速率的不同，區分為各式各樣的網路卡，如 BNC、AUI、10BaseT、100BaseT 等等。但基本上都是 CSMA/CD 通訊協定。圖 8-7 是最基本的通訊結構，其包含有下列：(請參照圖 8-1)

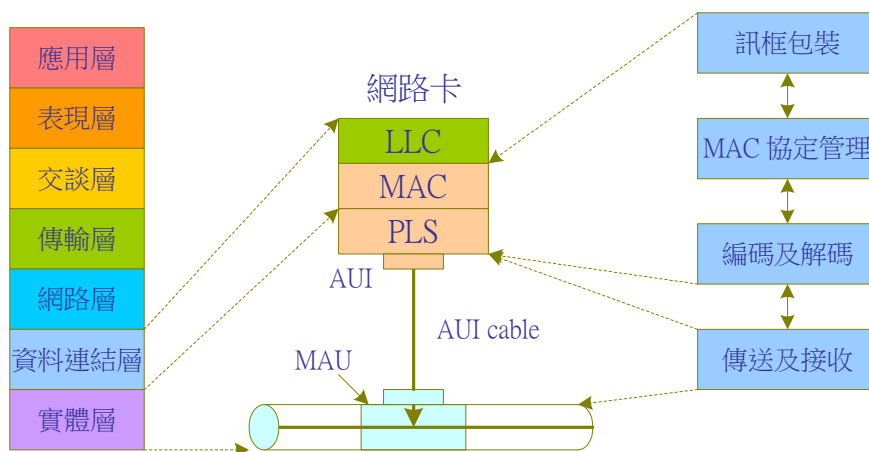


圖 8-7 CSMA/CD 的通訊結構

(A) MAC 服務規格 (Service Specification)

IEEE 802 所制定的 MAC 規格內並沒有服務存取點，也就是說 MAC 並不提供多工處理的功能。對於邏輯鏈路的多工處理是由 LLC 層負責。因此 MAC 所提供的服務就只有單一鏈路，亦是 MAC 只接受一個 LLC 的服務存取點。LLC 如欲發送資料，首先將資料 (LLC-PDU) 傳給 MAC，MAC 再依照媒介存取方法發送資料，傳送成功後回應告知 LLC。

所以回應訊號是由本身的 MAC 層發出，而不是由對方的 MAC 發出。所以 MAC 只有三個基礎呼叫（沒有 "response"）。（MAC 的訊號動作請參考 7-5-3 節與圖 7-14）

- **MA_DATA.request**：LLC 要求 MAC 將資料傳給對方 LLC。
- **MA_DATA.indication**：LLC 由 MAC 上讀取接收的資料。
- **MA_DATA.confirm**：回應 MA_DATA.request 是否傳送成功。

(B) MAC 通訊協定 (CSMA/CD Protocol)

在 IEEE 802 系列裡，MAC 協定是規定在同一網路上，所有工作站必須依照一個共通的方法來存取傳輸媒介。譬如，在 CSMA/CD 網路上所有必須依照 CSMA/CD 的網路存取方法，其中有一部工作站沒有按照此方法（也許是 Token-Ring），它就無法和其他工作站通訊。但除了完成 CSMA/CD 工作外，必須負責將 LLC-PDU 加上一些訊框頭（SFD, DA, SA, LEN）及訊框尾（PAD, FCS）構成傳送的訊框。或者由接收到的訊框，反方向拆除訊框頭和訊框尾，回到原來的 LLC-PDU。前者稱為資料包裝（Data Encapsulation），後者工作稱為資料拆裝（Data Decapsulation）。

(C) 實體層訊號處理 (Physical Layer Signaling, PLS)

此部份有三個主要工作：

- 當 MAC 在傳送資料時，將資料加以編碼成訊號（採用 Manchester 編碼）；另一方面，MAC 接收資料時，將訊號解碼成資料。因此具有編碼/解碼功能（Codec）。（有關 Manchester 編碼請參照第二章說明）
- 產生前置訊號（Preamble）（傳送資料時）及刪除前置訊號（接收資料時）。
- MAC 在接收資料時，提供通道時序校準（Channel Checking）的功能。其利用 Manchester 編碼裡，每一個位元中間都有變化的訊號取出同步訊號。依此同步訊號校準本身的時序，使其同步於發送端。

(D) 接觸單元介面 (Attachment Unit Interface, AUI)

AUI 介面是由同軸電纜連接到工作站之間的介面，其中包含 AUI 接頭(AUI Connector) 和 AUI 電纜(AUI Cable)。AUI 接頭是 15 pin、D-type 的標準接頭，連接網路卡和 MAU 之間。AUI 電纜又稱為分歧電纜 (Branch cable) 或收發器電纜 (Transceiver cable)。

(E) 媒介接觸單元 (Medium Attachment Unit, MAU)

MAU 的主要功能是將訊號發送到纜線上，以及由纜線上接收訊號。因為同軸電纜上傳遞電波訊號，只要用感應的方式，就可以發送和接收，不必要完全接觸。同時，MAU 也必須負責將 AUI 纜線上電流訊號轉換成電波訊號；接收時，將電波訊號轉換成電流訊號。

8-2-6 最大纜線系統

在 IEEE 802.3 CSMA/CD 通訊協定裡規定網路最大範圍 2500 公尺。但限定網路最大範圍的原因，是為了要符合 CSMA/CD 協定中的最小訊框限制，也就是為了能夠順利完成碰撞偵測的功能。其中最主要的癥結是我們假設一個時槽時間是 51.2 us (最遠距離來回時間)。因此，在考慮最大纜線系統時，必須瞭解所使用的纜線特性，和其他各種設備的延遲時間。如果我們可以將各種設備的延遲時間縮短，也同樣可以延伸更遠的距離。

圖 8-8 為 CSMA/CD 網路的最大纜線系統的示意圖，以下介紹它可能用到的纜線及其他設備。

(1) 同軸電纜 (Coaxial cable)：一般皆作傳輸骨幹使用，其特性如下：

- 採用基頻傳輸，電纜阻抗為 50 歐姆。
- 被動式廣播性傳輸媒體 (Passive Broadcast Medium)。
- 訊號傳遞速率為光速的 0.77 倍。
- 電纜兩端各需要一個終端器 (Terminator)。
- 每一段電纜最長 500 公尺，可利用訊號增益器來延長網路長度。
- 任何兩個工作站之間的路徑上最多只能有兩個訊號增益器。
- 任何兩部工作站之間的同軸電纜最長 1500 公尺。在這距離上訊號來回延遲時間約 13 us。

(2) **收發器電纜 (Transceiver cable)**：為絞對線電纜，連接工作站和同軸電腦之間。其特性如下。

- 共有四對絞對線，其功能為：
 - 傳送訊號 (Transmit Signal)
 - 接收訊號 (Receive Signal)
 - 碰撞顯示訊號 (Collision Presence Signal)
 - 電源 (Power)，電源由網路卡送往 MAU。
- 訊號傳遞速率為光速的 0.65 倍。
- 最大長度為 50 公尺。傳遞延遲 5.13 ns/M。每段來回延遲 0.513 us。

(3) **半訊號增益器間電纜 (Half-Repeater Cable)**：點對點 (Point to Point) 的傳遞方式，主要功能是延伸網路的距離。在這條纜線無法連接工作站的時候 (不可以接 MAU)，可以採用光纖、紅外線、無線電波、同軸電纜等傳輸媒介。如使用同軸電纜，一般特性如下：

- 訊號傳遞速度為光速的 0.65 倍。
- 最大長度為 1000 公尺。來回延遲時間約 10.26 us。

(4) **訊號增益器 (Repeater)**：訊號增益器是將纜線上傳遞的脈衝訊號 (基頻傳輸) 重新整形後再往前送，屬於雙方向性的。主要使用於延伸網路的長度，但也使用於不同連接接頭 (AUI、BNC、RJ45) 之間的轉換。來回傳遞時間約 1.2us。

(5) **半訊號增益器 (Half-Repeater)**：和訊號增益器功能相同，但其連接半增益器電纜，可增加纜線的長度。其來回延遲時間和訊號增益器相同。

由圖 8-8 可以看出工作站 A 和 H 之間在網路之中最遠的兩端，它們之間的路徑可由其所經過的 AUI 電纜看出 (a → b → c → d → e → f)。也可計算出它們所經過的纜線：經過三條同軸電纜為 1500 公尺 (3 × 500 公尺)、六條 AUI 電纜為 300 公尺 (6 × 50 公尺)、一條半訊號增益器電纜為 1000 公尺 (以上都以最大纜線計算)。在每部工作站上的網路卡皆有編碼和解碼、以及訊號轉換的延遲。又在訊號增益器上也有 MAU 的時間延遲。我們將工作站 A 和 H 之間所經過的纜線和網路設備的來回時間預估為 51.2 us。

我們必須瞭解一點，最大纜線到底有多大？是由各種纜線和設備的延遲時間而定，並非固定 2500 公尺。基本上，51.2 us 是協定制定的標準，只要最遠之間來回時間不超過該值即可。當然各種設備之中延遲時間也不盡相同，因此，我們設計網路時，必須了解自己所使用設備的特性，才不至於發生網路不穩定現象。如果所架設的網路超過 51.2 us 的延遲時間，並不會使網路立即癱瘓，但在運作時，經常會發生碰撞鎖定的現象（其實並沒有發生碰撞）。

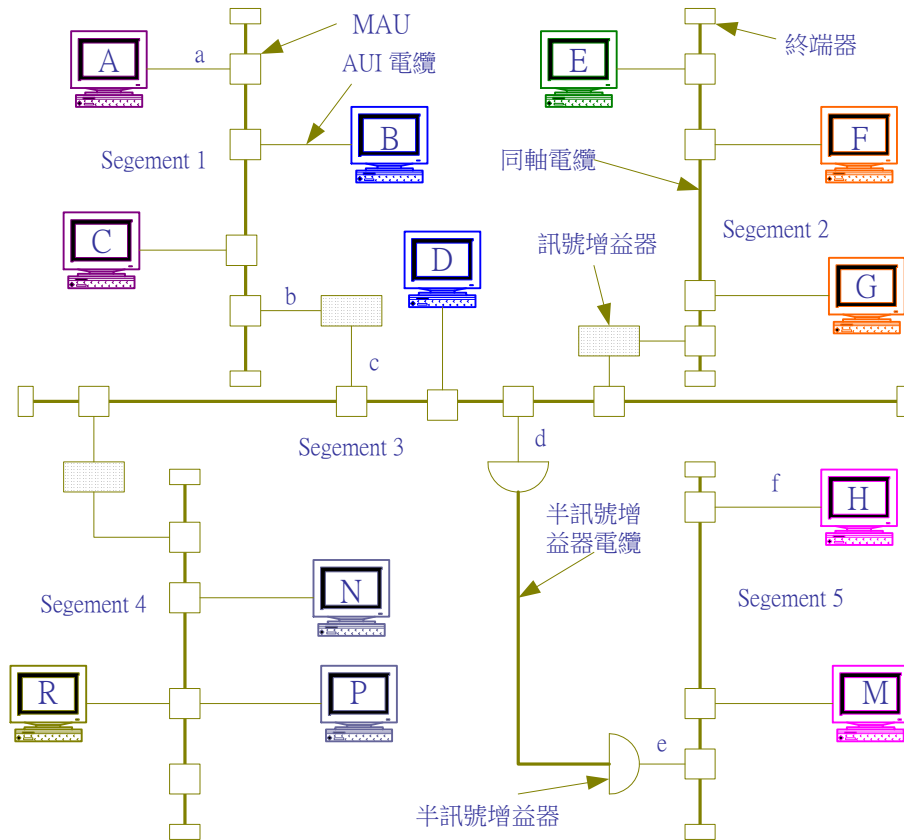


圖 8-8 CSMA/CD 最大纜線系統

8-2-7 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，如表 8-1 所示。圖 8-9 為 CSMA/CD 網路的基本架構圖，其中包含了三個實體層規範(10Base5、10Base2 與 10BaseT)，但這些不同實體層可共同存在於同一網路架構上，這也是早期 Ethernet 網路最常見的佈線方式，以下分別介紹這三種實體層的特性。

表 8-1 CSMA/CD 網路實體層規格

參數	10Base5	10Base2	10BaseT	10Broad36
傳輸媒體	同軸電纜	同軸電纜	無遮蔽式	同軸電纜

	(50 歐姆)	(50 歐姆)	雙絞線	(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	***

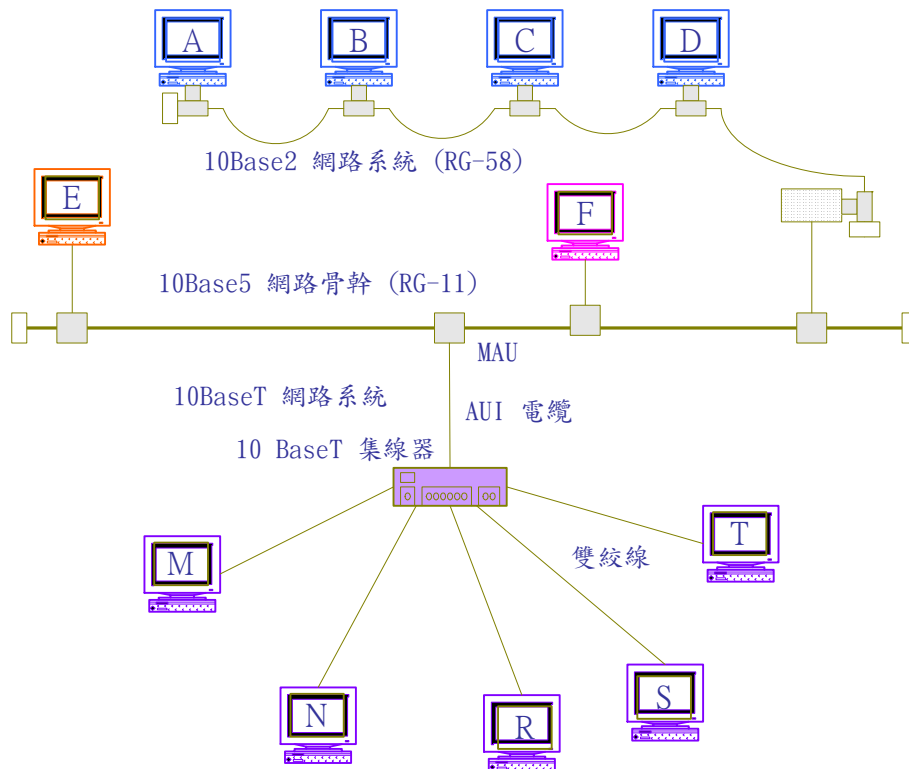


圖 8-9 CSMA/CD 網路架構圖

(A) 10Base5 網路系統

10Base5 網路 (IEEE 802.3) 是依照 CSMA/CD 網路標準所製作，它的網路架構就如圖 8-1 所示。早期 Ethernet 網路剛開始使用時，都以 10Base5 作為傳輸骨幹(如圖 8-9 所示)。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 (IEEE 802.3a) 的纜線連線比較簡單，但傳輸距離較短，最主要是用於連接終端電腦使用。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 8-9 所示。所以對整個佈線系統而言，比 10Base5 簡單且便宜。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 8-11 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。而且當網路故障時，要找出故障點，的確不是一件容易的事。10BaseT 網路 (IEEE 802.3i) 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 8-10 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，而且佈線方面比 10Base2 容易得多，而且維護上也較容易。另一方面，亦可將 10BaseT 與 10Base5 結合在一起，如圖 8-9 所示。(有關 10BaseT 佈線規範請參考第十章說明)

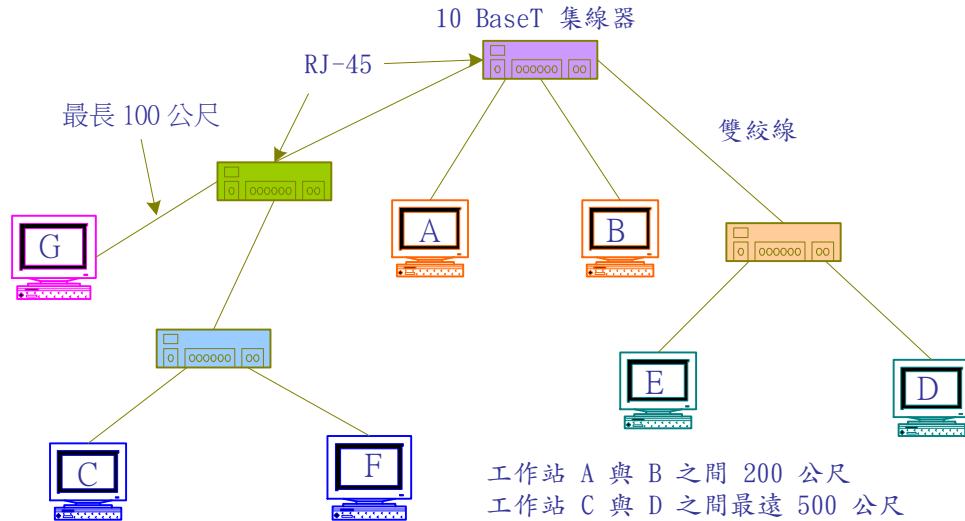


圖 8-10 10BaseT 網路系統佈線圖

基本上，集線器(Hub)是整合型的共通匯流排(Common Bus)，將多重存取(Multiple Access) 的连接點集中在一個裝置上。不但保留原來匯流排的特性，又可用星狀或樹狀的拓模圖來佈線，圖 8-11 為集線器的內部示意圖。集線器還有一個重要的特性，在 10Base5 或 10Base2 網路上，任何一部工作站斷線或接線不良，都會造成整個網路癱瘓，但使用集線器來佈線則不然，任何一部工作站與集線器之間都是專線連接，網路中某一工作站連線不良，對其它工作站的影響較少。

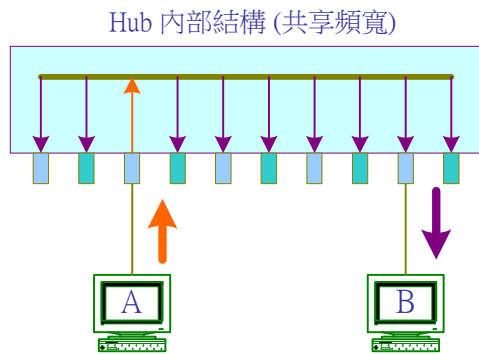


圖 8-11 集線器內部結構示意圖

我們將利用集線器所構成 10BaseT 網路的特性歸類如下：

- 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 8-11 表示由 10Base5 為網路骨幹，10Base2 和 10BaseT 為分歧電腦連線。

8-3 Fast Ethernet 網路簡介

有了 CSMA/CD 協定的基本觀念後，接下來介紹目前使用最普遍的 Fast Ethernet 網路。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，稱之為『**高速 Ethernet**』(**Fast Ethernet**) 網路或 100BaseT。此外，也希望 Ethernet 和 Fast Ethernet 網路能夠相容，並且兩種網路可以架設於同一個網路環境之下(向下相容)。首先，我們將 Fast Ethernet (100BaseT) 網路特性歸類如下：

- 傳輸速率為 100 Mbps。
- 訊框為 IEEE 802.3 CSMA/CD 訊框。
- 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。
- 網路以集線器 (100BaseT Hub) 為主要佈線主幹，最遠距離 205 公尺。
- 通訊協定為 CSMA/CD，不提供優先權傳送服務。
- 不提供保證傳送延遲時間限制服務。
- 頻寬使用不保證公平。

- 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。
- 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。
- 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。

8-4 Fast Ethernet 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)，不論在網路佈線或管理方面都非常困難，因此，Fast Ethernet 採用集線器的佈線方式 (如 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：

- 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 $51.2 \mu\text{s}$ ，也稱為一個時槽 (Time slot)。
- **最小訊框時間為一個時槽 51.2 us。最小訊框長度為：**

$$\begin{aligned} \text{最小訊框長度} &= (\text{時槽}) \times (\text{傳輸速率}) \\ &= (51.2 \times 10^{-6}) \times (10 \times 10^6) = 512 \text{ bits} = 64 \text{ Bytes} \end{aligned}$$

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。在最小訊框長度不變的前提下，增加了傳輸速率，便需要減少延遲時間 (使其小於 $51.2 \mu\text{s}$)，亦是縮短線路傳輸距離來減少延遲時間。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，以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，因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，但大多使用於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，以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) 除了改變傳輸媒介並不能滿足 Fast Ethernet 的要求 (205 公尺)，還必須改變編碼技術和訊號傳輸技術。
- (6) 如果我們要在保留 10BaseT 網路的特性 (傳輸媒介、編碼技術、訊號傳輸) 的前提下，達到高速網路的話。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。

8-5 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 8-12 所示。其主要目的是提供 CSMA/CD MAC 次層和 PMD (Physical Media Dependent) 次層之間的介面，並且讓 MAC 次層不必知道實體層已經使用了 100 Mbps 的傳輸速率和不同的傳輸線路的情形下，依然可以順利運作。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 8-13 表示此介面所包含的訊號。

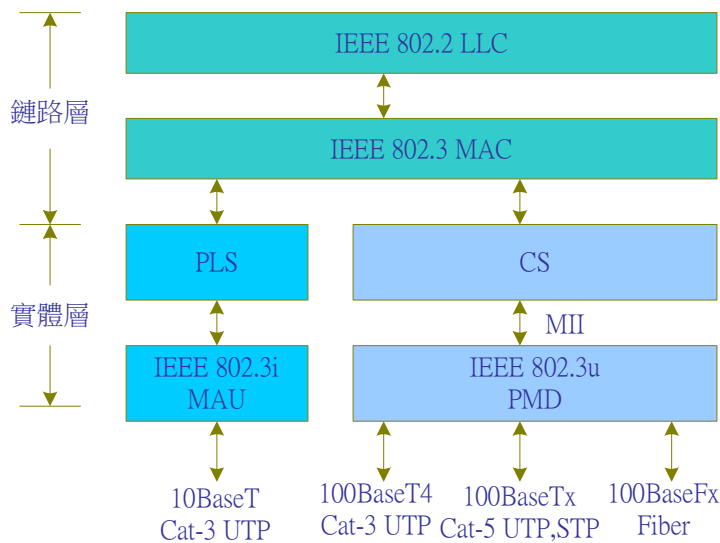


圖 8-12 100BaseT 通訊協定架構圖

在曼徹斯特或差動式曼特斯特特的『**時序編碼**』(**Clock Encoding**) 技術之下，為達到傳送端和接收端之間的時脈同步，在傳輸訊號中每個位元的中間都有變化，相對應的傳輸頻寬也因之提高一倍。但在高速網路之下，頻寬是決定傳輸速率的主要因素，因此 Fast Ethernet 不適合使用曼測斯特編碼技術。但為了解決同步問題，Fast Ethernet 採用的『**位元串編碼法**』(**Bit String Encoding**)，可以保證每一個編碼後之符號都有足夠的訊號轉換，此訊號轉換可以讓接收端達到接收同步的功能。

『**位元串編碼法**』是將原來資料以每四個位元分成一組，每一個編碼符號是由一組或多組的四位元編碼而成。由圖 8-13 所示，串列位元經過 CS 層後，經過編碼並以四個位元為單位的 MII 介面，再依照各個『**實體媒介相依層**』(**Physical Medial Dependent, PMD**) 轉換成訊號傳送出去。因此 CS 次層的主要功能包含：

- (1) 當 MAC 傳送訊框時，負責將 MAC 送出去的位元串轉換成以四個位元為單位 ($TxD[0], \dots, TxD[3]$) 的串列，以便傳給 MII 介面。
- (2) 當 MAC 接收訊框時，負責將 MII 介面送來的四位元單位 ($RxD[0], \dots, RxD[3]$) 轉換成位元串，以便傳給 MAC 層。
- (3) 將 PMD 次層所產生之載波感測 (CRS) 和碰撞偵測 (CD) 訊號傳給 MAC 次層。

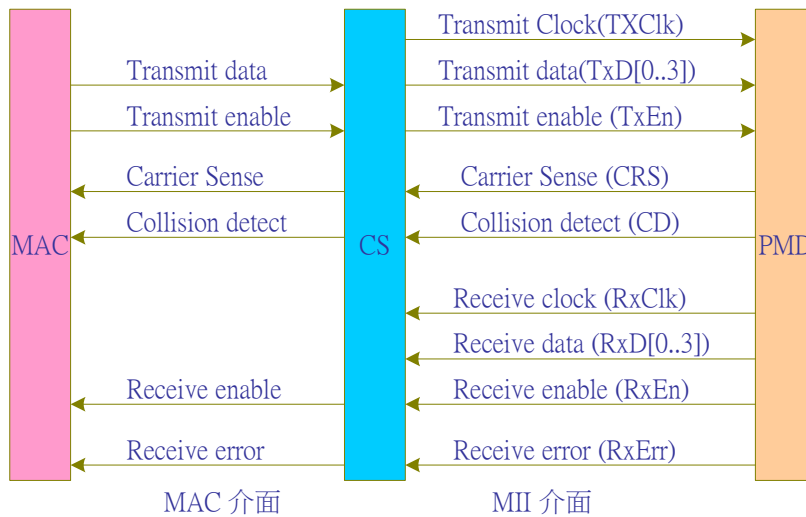


圖 8-13 100BaseT 通訊協定介面訊號

依照圖 8-12 所示，不同傳輸媒介都有自己的 PMD 次層，大致上可區分為 100BaseT4、100BaseTx、以及 100BaseFx，以下幾節我們將分別介紹它們的特性。

8-5-1 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，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 8-14 所示，其四對雙絞線使用情況如下：

● 傳輸線運作模式

- **二對線**：單工運作。

- 四對線：半雙工運作。
- 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)
- 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： $100 \text{ Mbps} / 3 = 33.33 \text{ Mbps}$

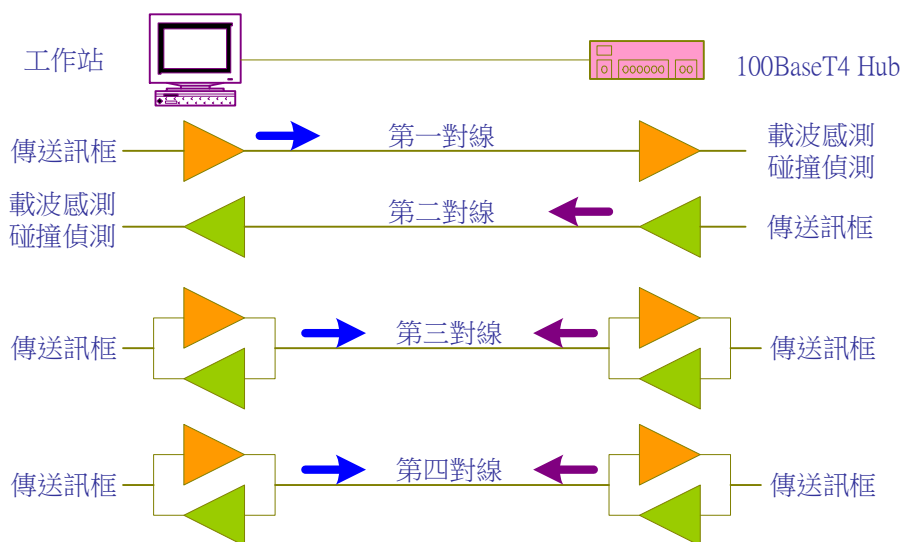


圖 8-14 100BaseT4 四對雙絞線的使用

(A) 8B/6T 編碼

100BaseT4 網路不採用曼徹斯特編碼方法，因為曼徹斯特編碼法中，每個位元中間都有變化，所以其頻寬得是傳輸速率的兩倍。如 100BaseT4 以三對雙絞線傳送訊框，而每一對線必須負責傳輸速率為 33.33 Mbps，如採用曼徹斯特編碼則每對線的頻寬是 66.66 Mbaud (訊號變化率)，遠超過 Cat-3 UTP 所能容忍的最大頻寬 30 Mbaud。為了減少頻寬，100BaseT4 採用 8B/6T 編碼法 (亦是位元串編碼法) (請參考本章 41 頁表 8-3)，這種編碼法是 8 個位元以 6 個符號字碼表示，每個符號字碼具有『三電位水平編碼』(3-Level (ternary) Code)。

這三種電位水平為 $+V$ 、 0 、 $-V$ (以 $+$ 、 0 、 $-$ 表示之)。也就是說，在傳送訊框之前，先將位元串切成每 8 個位元為一組，而每一組轉換成 6 個符號字碼，每個符號字碼都具有 3 種電位變化可能。如圖 8-15 所示，位元組 "01010101" 轉換為 "- - + 0 + +"。如果使用這種編碼法，100BaseT4 每對傳輸線的頻寬由原來 33.33 Mbaud 減少為 25 Mbaud ($= 100 \text{ MHz} \times 1/3 \times 6/8$)，這已經在 UTP 所能支援的範圍內。

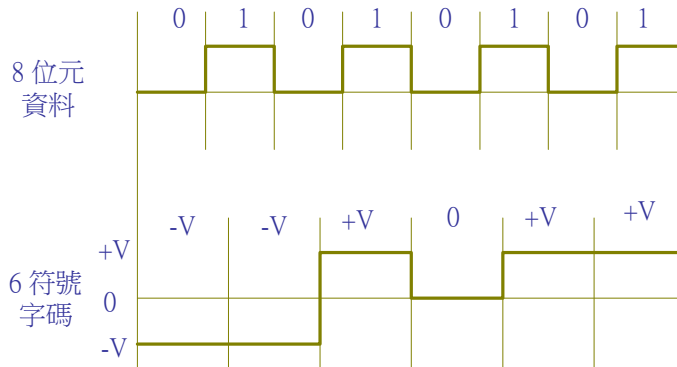


圖 8-15 8B/6T 編碼範例

字碼符號編碼最重要的問題是直流平衡 (DC Balance)，也就是傳輸上的訊號電位的總和最好能維持在零電位的水平，如此，才可以使接收端於接收訊號時，有一個零電位的參考電壓以便能清楚的辨識 $+$ 、 0 、 $-$ 三種電位水平的訊號。在 8B/6T 編碼中，表示字元符號(6T) 有 729 個 ($= 3^6$)，而資料 (8T) 只有 256 個 ($= 2^8$)。我們由這 729 個字碼之中找出合乎直流平衡的 256 個字碼，它的基本條件是每個符號內的電位總和為 0 或 1。因此，我們選擇字碼的原則是先考慮維持直流平衡的字碼，再由這些字碼之中選出至少兩次電位轉換的字碼。後者的考慮因素是為了讓接收端在接收訊號時能達到同步的功能。在所有字碼之中(729)，比重為 0 或 1 的字碼共有 267 個，為了滿足後者的要求，我們將其中電位轉換少於 2 次的字碼剔除(5 個)，然後再將前面或後面有連續 4 個零的字碼去除(6 個)，則剛好剩下 256 個字碼足於表示 8 個二進位元字串。這些字碼的編碼如表 8-3 所示。

在我們所挑選的字碼比重不是 0 就是 1，它的計算方法是將 6 個符號的電位總合是 0 或 1 個 $+$ ，例如字碼 $++0+-$ 的比重是 1，而字碼 $-+00-+$ 的比重是 0。但如果傳送端連續傳送比重為 1 的字碼，接收端在判斷電位的偏移量時有可能會將連續的 $+V$ 電位累加視為零電位，而產生字碼辨識上的錯誤，這個現象稱為『**直流迷失**』(DC Wander)。為了避免接收端產生直流迷失的現象，最好的方法是傳送端在傳送字碼時，能使比重為 1 和 0 的字碼交替發送，讓接收端較容易校準和傳送端同步的電位水平。為了達到這個目的，發

送端在發送資料時，就必須依照比重為 1 和 0 的字碼交替發送，因此，連續發送字碼如未交替變化時，則下一個字碼必須反相 (+ → - 或 - → +) (比重為 1 的反相為 0、反之亦然)。例如傳送連續為 01101101 的資料，其字碼為 ++0+ --，則發送出去的訊號是 ++0+- -、--0- ++、++0+- -、--0- ++、++0+- -...，其中偶數字碼皆以反向發送。接收端以相同的規則處理接收字碼。其傳送字碼之狀態變換如圖 8-16 所示。

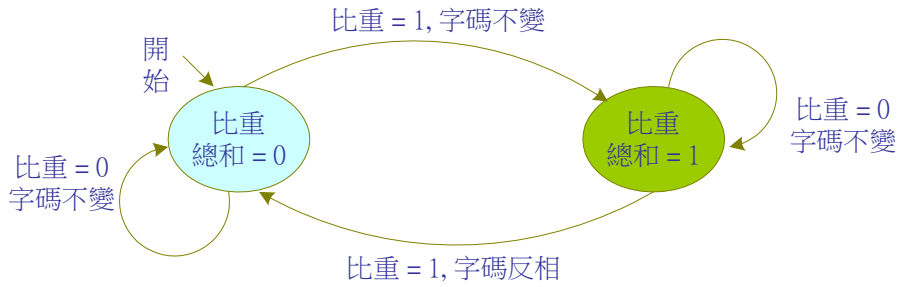


圖 8-16 傳送字碼之狀態變換圖

為了傳輸線路比較容易處理，我們將欲傳送的位元串經過 8B/6T 編碼後，以每一個字碼的 6 個符號分別依序輪流在三條傳輸線上發送，如圖 8-17 所示。每一條傳輸線再依照字碼比重為 1 和 0 交替發送 (依圖 8-16 字碼狀態變換)。接收端再將每一條雙絞線上所收到的字碼依序進行解碼工作，直到訊框的最後字碼收到後，再整合三條線的接收訊息。

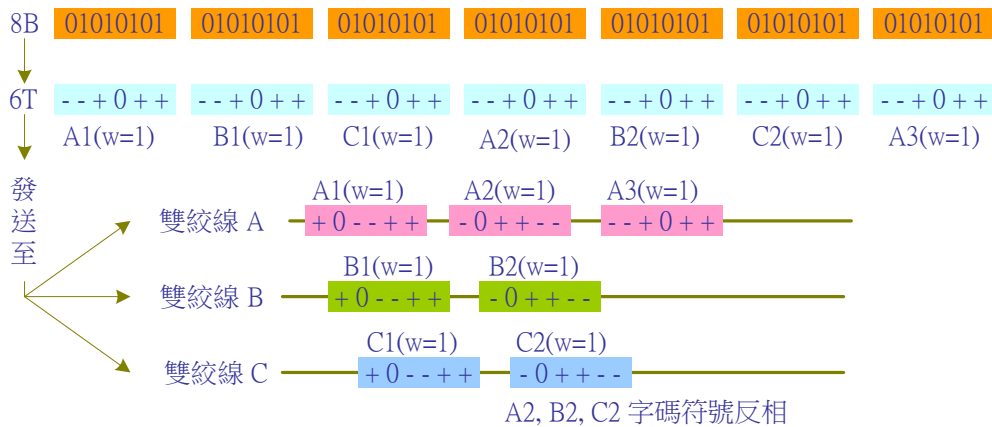


圖 8-17 字碼在雙絞線上的傳送順序

比重為 0 和 1 的字碼交替發送 (如圖 8-17) 也有助於錯誤的檢出。如果接收端發現所收到的字碼並非如圖 8-17 的變化，或字碼總合比重不是 0 或 1，便知道訊號在傳輸線上已受到干擾破壞。因為發送字碼並無法剛好三條傳輸線平均分配，又發送訊框時，三條傳輸線在時序上會有所延遲。因此，為了讓三條雙絞線能同時結束接收訊息，我們在訊框最後的 CRC (4 個位元組) 傳送後加入字串結束 (End of Stream, EoS)，以便讓三條傳輸線的結束對齊。

EoS 的字碼最長為 6 個符號(+++++ 或 - - - - -)，到底傳送該哪一種符號，是根據該傳輸線上字碼的總合，如為 0 則使用 - - - - - ；如總合為 1 則使用 + + + + +。另一則，每條雙絞線上到底傳送幾個符號，這要看最後傳送字碼的結束是否對齊。

(B) 碰撞偵測及預防串音

100BaseT4 的四對雙絞線之中，工作站（集線器）在傳送訊框給集線器（工作站）時，使用第 1、3、4（或 2、3、4）對傳送，而第 2（或 1）對雙絞線則用來偵測是否發生碰撞。如果第 2（或 1）對收到非正常的字碼符號，並判斷訊框已經和其他訊號發生碰撞，如圖 8-17 中。此時，工作站傳送訊框給集線器，而第 1、3、4 對雙絞線上靠近工作站端較強的訊號將會對第 2 對雙絞線發生干擾現象，稱為『近端串音』(Near-End cross-talk, NEXT)。

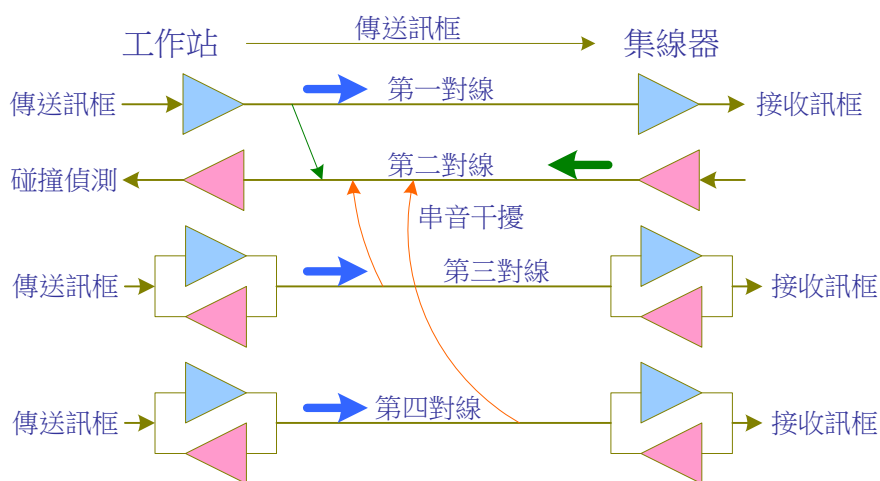


圖 8-18 串音干擾現象範例

此現象可能讓發送端誤判為已經發生碰撞，同樣的現象也會發生在集線器傳送訊框給工作站。為了減低近端串音現象的發生，對每一個訊框的前導部分 (Preamble) 採用兩種電位的編碼，而非如同訊框資料採用三種電位編碼。這種方法增加高低電位大小的差異，有助於工作站或集線器在判斷碰撞時，分辨到底是近端串音或是在前導部分發生碰撞。前導部份在編碼上稱為『字串起始』(Start of Stream, SoS)，並且包含兩種電位水平的字碼：SOS-1 及 SFD (Start Frame Delimiter)。由圖 8-18 中，可以發現第四條雙絞線上的 SFD 前只有一個 SOS-1 字碼，而其他兩條雙絞線上都有兩個 SOS-1 字碼。這是因為訊框的第一個位元組將由第四條雙絞線上傳送，第二個位元組將由第一條發送，第三位元組將由第三條發送，然後依序輪流發送。

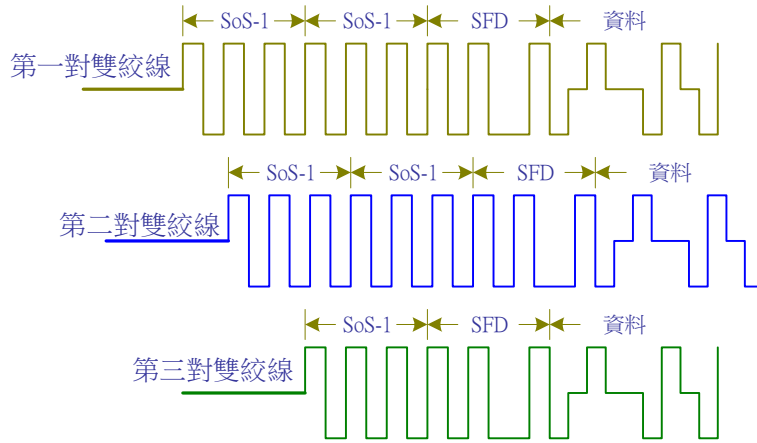


圖 8-19 前導部份的編碼與傳送

當工作站或集線器偵測到訊框發生碰撞時，它會送出一個擾亂訊號 (Jam Sequence) 然後停止發送訊框。此時發送者必須知道其他參與碰撞的工作站何時停止傳送訊框，以便開始進行重新傳送訊框的步驟。此部份較容易完成，因為在 8B/6T 的編碼法下，沒有傳送訊框可由三條雙絞線上的電位都是 0 判斷出來。此時也不會在碰裝偵測上受到近端串音影響。為了增加傳輸線的使用率，傳送訊框的間隔時間 (Inter-Frame Gap) 也由原來 Ethernet 的 9.6 μ s 縮短為 960 ns。

8-5-2 100BaseTx

在 100BaseT 中的 Tx 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 Medial 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 Medial 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 -3) 編碼轉換

成訊號，如圖 8-19 所示。而雙絞線上所需的頻寬是 $31.25 \text{ MHz} (=100 \times 4/5 (4\text{B}/5\text{B} \text{ 編碼}) \times 1/2 (\text{NRZI 編碼}) \times 1/2 (\text{MLT-3 編碼}))$ 。(相關技術請參考第十八章)

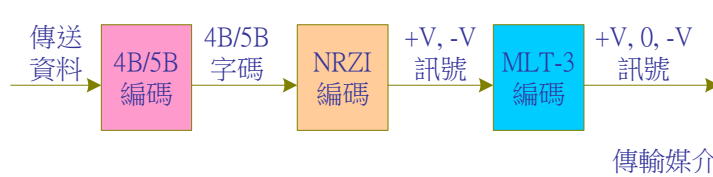


圖 8-20 100BaseTx 的訊號編碼方式

8-5-3 100BaseFx

100BaseFx 的 PMD 標準規範是 IEEE 802.3u，傳輸技術採用 ANSI X3T9.5 (FDDI)，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。(相關技術請參考第十八章)

8-5-4 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，網路卡和集線器的連接埠皆支援 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連接埠自動完成，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 8-20 所示。表 8-2 為自動協商的優先次序。

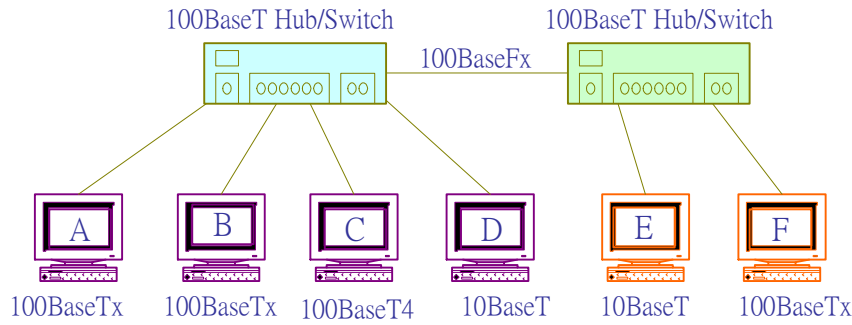


圖 8-21 100BaseT 自動協商功能

表 8-2 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
100BaseTx	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	全雙工	1
100BaseT4	四對雙絞線 (Cat-3 UTP)	半雙工	2
100BaseTx	兩對雙絞線 (Cat-5 UTP)	半雙工	3
10BaseT	兩對雙絞線 (Cat-3 UTP)	全雙工	4
10BaseT	兩對雙絞線 (Cat-3 UTP)	半雙工	5

8-6 Ethernet Switch

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。但近年來，為了網路佈線及維護的方便，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。而且，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就不會讓訊框發生實際碰撞的問題。但為了符合 CSMA/CD 通訊協定的行為，集線器必須模擬廣播是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) 網路的基本概念。

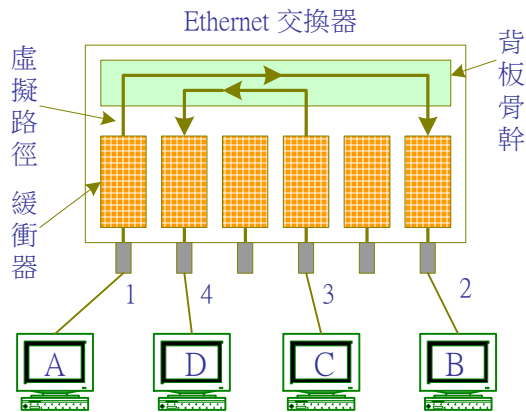


圖 8-22 Ethernet 交換器的基本原理

8-6-1 Ethernet Switch 基本原理

圖 8-21 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 位址該對照到哪一個連接埠口。如圖 8-22 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，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 也是採取相同的運作方式。

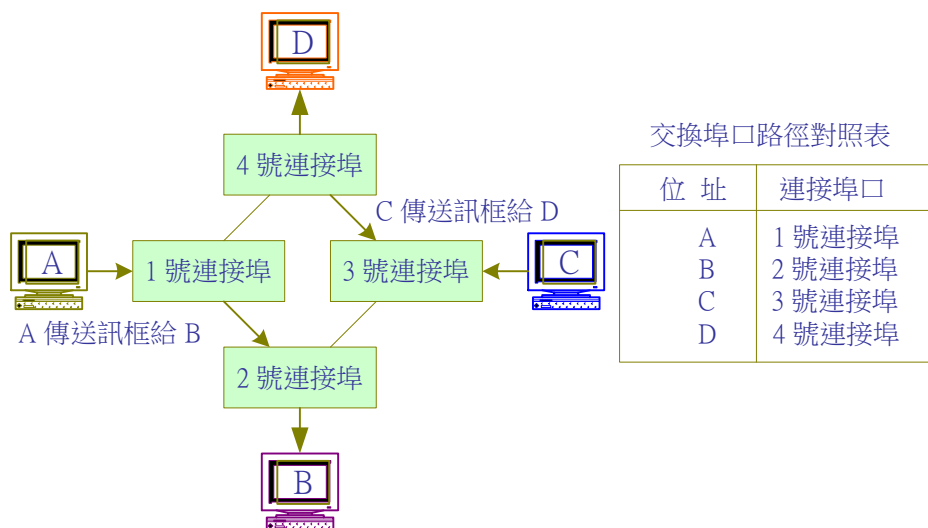


圖 8-23 交換器虛擬路徑對照 (如圖 8-21)

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，它將接收較高速率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，則它的最高傳輸頻寬為：(亦是最佳狀況)

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

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所需的交換處理能力 (但並非每一交換器都有此能力)。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。(請參閱第十二章 ATM 網路)

8-6-2 Ethernet Switch 轉送機制

Ethernet Switch 的訊框轉送機制是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。不同於 Hub，對每一埠口而言，Ethernet Switch 不是共享傳輸媒介，而是該埠口所連接工作站的專屬傳輸媒介。而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，也不再受限於交換器的最遠距離範圍。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 8-23 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紀錄位址，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 的功能大都符合多埠橋接器 (Multi-port Bridge) 的功能，尤其是在網路位址的學習功能方面。(有關學習演算法請參考第十章說明)

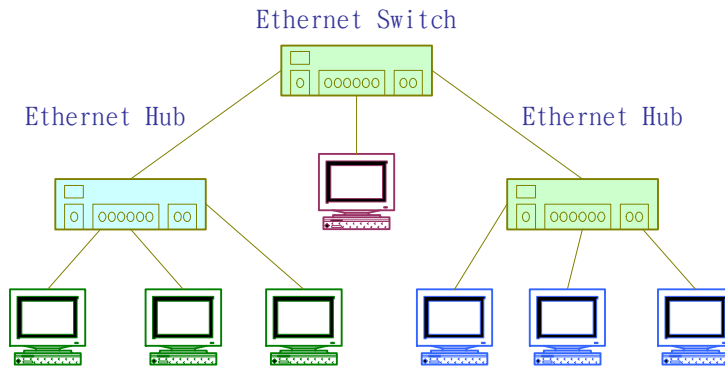


圖 8-24 利用 Ethernet Switch 擴充網路

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埠口的連接線上。(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。

當然，連接埠接收到訊框後轉送的時機也會影響到交換器的處理能力。我們發現連接埠收到訊框後必須拆解訊框，再由訊框上所紀錄的目的地位址轉送出去。至於連接埠口接收到訊框什麼程度後，再將它轉送出去，可區分為下列三種方法：(如圖 8-24 所示)

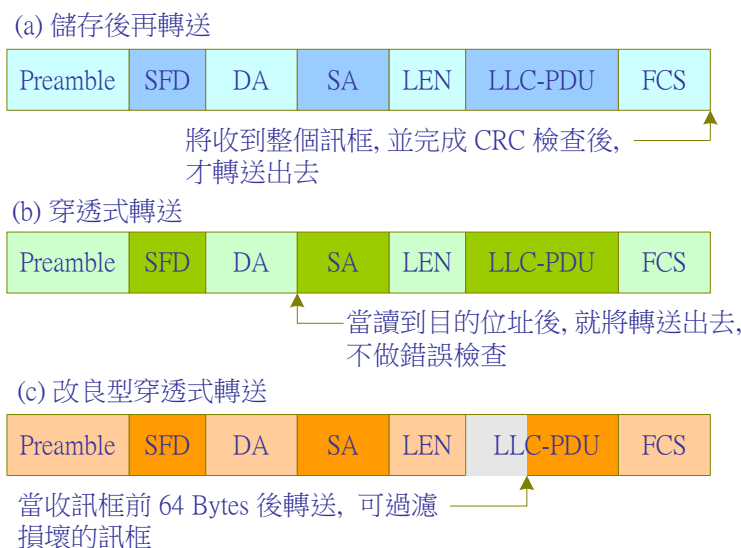


圖 8-25 Ethernet Switch 的轉送機制

- (1) **儲存後再轉送 (Store and Forward)** : 交換器收到整個訊框後，先將其儲存於緩衝器，再處理錯誤偵測的工作。如果沒有發現錯誤，便依照其目的位址 (Ethernet address) 將該訊框轉送出去；如發現該訊框已故障 (碰撞、雜訊干擾)，便將其丟棄而不轉送。這種方法最安全，表示經過轉送的訊框都是正常的，但也表示每一個訊框留在交換器上的時間過長，對整個網路的延遲時間也較長。
- (2) **穿透式轉送 (Cut-Through)** : 為了減少訊框在交換器內的延遲時間，當訊框進入連接埠後，交換器只拆解到該訊框的目的地位址後，便立即將訊框轉送出去。因此交換時間比較短，但不會偵測封包是否有發生錯誤，有可能會將不良的訊框也轉送出去。如果在網路環境較差的地方 (電磁干擾機率大)，或網路負載較高的時候 (碰撞機率大)，其實對整個網路的傳輸速率的提高並沒有多大幫助。
- (3) **改良型穿透式轉送 (Modified Cut-through)** : 結合 Store-and-forward 及 Cut-through 的優點。當連接埠接收到訊框時，一直收到 64Bytes 後，經偵測而無錯誤發生，便立即將該訊框轉送出去。由網路的使用經驗所得，一般認為某一個訊框在前面 64Bytes 都沒有發生錯誤，大概整個訊框也不會發生錯誤。尤其在碰撞方面，一個訊框可以連續傳送 64 Bytes，其他工作站也大都能感測出網路忙碌，而不會再發送訊框產生碰撞。

8-7全雙工 Ethernet 網路

全雙工 Ethernet 網路 (Full-Duplex Ethernet) 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 的連接埠口之間訊框的轉送 (交換器內部) 已不再是 CSMA/CD 通訊協定規範的範圍內。又工作站 (或集線器) 連接到 Ethernet Switch 的連接埠上，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連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) 和連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。一般連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 8-25 所示。也因此一般網路卡或集線器也都有製作全雙工的功能，也會經過自動協商取得傳輸模式，如表 8-2 所示。一般網路卡或集線器要具有全雙工的運作模式，則必須連接到 Ethernet Switch 的连接埠上才有此功能。

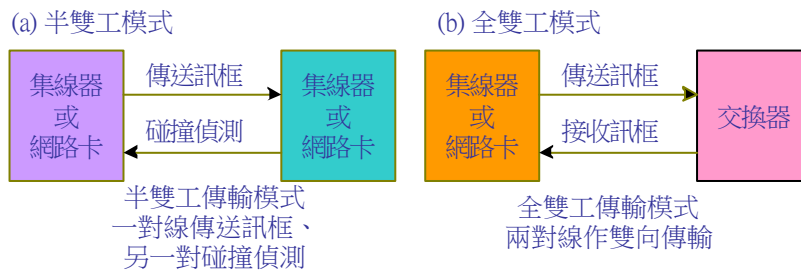


圖 8-26 全雙工或半雙工運作模式

8-8 Ethernet Switch 流量控制

對所有的通訊技術而言，當不同傳輸速率的節點互相傳輸資料時，都需要流量控制 (Flow Control) 機制。試想，一個傳輸速率較快的伺服器將資料傳送給速率較慢的用戶端電腦，如果用戶端來不及接收伺服器端所發送的資料，這時候如果沒有良好的流量控制，將會使資料遺失。同樣的，在交換器 (或集線器) 上各個連接埠都可經過連接工作站之間協商傳輸速率，因此每個埠口之間的傳輸速率可能不同 (10 Mbps 或 100 Mbps)，雖然每個連接埠皆有專屬的緩衝記憶體，但如果沒有流量控制機制，埠口之間轉送資料也可能使緩衝器超載而遺失資料。流量控制最簡單的構想是當接收端的緩衝記憶體快要滿時，立即通知傳送端暫停發送資料，等待緩衝器上的資料消化完時，在請傳送端繼續發送資料。但這個『暫停』(Pause) 的訊號如何傳送給傳送端，這牽涉到它們之間的連線和運作模式 (全雙工或半雙工)，以下分別述之：

8-8-1 半雙工流量控制

一般 Ethernet Switch 都有內建的處理機制，用來解決不同傳輸速率連接埠之間的訊框傳輸。這個機制包含了『反壓力』(Back Pressure) 的運作構想。如果高速連接埠 (100 Mbps) 傳送訊框給較低速率的連接埠 (10 Mbps)，交換器除將訊框傳給目的埠外，同時也儘可能將來不及傳送出去的訊框儲存於緩衝記憶體內。一旦緩衝記憶體快要滿時，交換器便發出訊號給傳送端，要傳送端停止丟訊框過來。

如何反映訊號給傳送端，因半雙工傳輸模式還有一對雙絞線在偵測碰撞情形，我們就利用這對線回應訊號。回應的方法有兩種：(1) 交換器可在這對雙絞線上發送擾亂訊號 (Jam signal)，讓傳送端認為已經發生碰撞而停止發送訊框。(2) 利用載波感測 (Carrier sense) 機制，讓傳送端以為連接埠正忙碌著，而以為交換器正要傳送訊框過來而停止發送。這兩種方法都可以暫時讓傳送端停止發送訊框，讓交換器有時間消化完緩衝器內的訊框。

8-8-2 全雙工流量控制

在全雙工模式下，兩對雙絞線皆在傳送訊框，就沒有辦法產生傳輸碰撞或傳輸感測機制來使傳送端暫停發送訊框。因此 IEEE 802.3x 標準為全雙工模式制定一個流量控制的發法。讓交換器傳送一個『暫停』(Pause) 的訊框給傳送端，傳送端接收到 (由接收雙絞線) 該訊框後便暫停或中斷傳送訊框。這個暫停訊框如經過橋接器或交換器將不會被轉送到其他埠口。

暫停的訊框也可以拿來作頻寬管理使用，針對某些優先權較高的設備所連接的連接埠有訊框要傳送時，交換器如認為處理速度已來不及，這時候可以下暫停訊框給優先權較低的設備使其停止傳送，讓優先權較高的設備優先傳送。

表 8-3 8B/6T 編碼對照表

資料	字碼	資料	字碼	資料	字碼	資料	字碼
00	- + 0 0 - +	20	- + + - 0 0	40	- 0 0 + 0 +	60	0 + + 0 - 0
01	0 - - + + 0	21	+ 0 0 + - -	41	0 - 0 0 + +	61	+ 0 + - 0 0
02	0 - + 0 - +	22	- + 0 - + +	42	0 - 0 + 0 +	62	+ 0 + 0 - 0
03	0 - + + 0 -	23	+ - 0 - + +	43	0 - 0 + + 0	63	+ 0 + 0 0 -
04	- + 0 + 0 -	24	+ - 0 + 0 0	44	- 0 0 + + 0	64	0 + + 0 0 -
05	+ 0 - - + 0	25	- + 0 + 0 0	45	0 0 - 0 + +	65	+ + 0 0 - 0
06	+ 0 - 0 - +	26	+ 0 0 - 0 0	46	0 0 - + 0 +	66	+ + 0 0 - 0
07	+ 0 - + 0 -	27	- + + + - -	47	0 0 - + + 0	67	+ + 0 0 0 -
08	- + 0 0 + -	28	0 + + - 0 -	48	0 0 + 0 0 0	68	0 + + - + -
09	0 - + + - 0	29	+ 0 + 0 - -	49	+ + - 0 0 0	69	+ 0 + + - -
0A	0 - + 0 + -	2A	+ 0 + - 0 -	4A	+ - + 0 0 0	6A	+ 0 + - + -
0B	0 - - - 0 +	2B	+ 0 + - - 0	4B	- + + 0 0 0	6B	+ 0 + - - +
0C	- + 0 - 0 +	2C	0 + + - - 0	4C	0 + - 0 0 0	6C	0 + + - - +
0D	+ 0 - - - 0	2D	+ + 0 0 - -	4D	+ 0 - 0 0 0	6D	+ + 0 + - -

0E	+ 0 - 0 + -	2E	+ + 0 - 0 -	4E	0 - + 0 0 0	6E	+ + 0 - + 0
0F	+ 0 - - 0 +	2F	+ + 0 - - 0	4F	- 0 + 0 0 0	6F	+ + 0 - - +
10	0 - - + 0 +	30	+ - 0 0 - +	50	+ - - + 0 +	70	0 0 0 + + -
11	- 0 - 0 + +	31	0 + - - + 0	51	- + - 0 + +	71	0 0 0 + - +
12	- 0 - + 0 +	32	0 + - 0 - +	52	- + - + 0 +	72	0 0 0 - + +
13	- 0 - + + 0	33	0 + - + 0 -	53	- + - + + 0	73	0 0 0 + 0 0
14	0 - - + + 0	34	+ - 0 + 0 -	54	+ - - + + 0	74	0 0 0 + 0 -
15	- - 0 0 + +	35	- 0 + - + 0	55	- - + 0 + +	75	0 0 0 + - 0
16	- - 0 + 0 +	36	- 0 + 0 - +	56	- - + + 0 +	76	0 0 0 - 0 +
17	- - 0 + + 0	37	- 0 + + 0 -	57	- - + + + 0	77	0 0 0 - 0 +
18	- + 0 - + 0	38	+ - 0 0 + -	58	- - 0 + + +	78	+ + + - - 0
19	+ - 0 - + 0	39	0 + - - + 0	59	- 0 - + + +	79	+ + + - 0 -
1A	- + + - 0 +	3A	0 + - - - 0	5A	0 - - + + +	7A	+ + + 0 - -
1B	+ 0 0 - + 0	3B	0 + - - 0 +	5B	0 - - 0 + +	7B	0 + + 0 - -
1C	+ 0 0 + - 0	3C	+ - 0 - 0 +	5C	+ - - 0 + +	7C	- 0 0 - + +
1D	- + + + - 0	3D	- 0 + + - 0	5D	- 0 0 0 + +	7D	- 0 0 + 0 0
1E	+ - 0 + - 0	3E	- 0 + 0 + -	5E	0 + + + - -	7E	+ - - - + +
1F	- + 0 + - 0	3F	- 0 + - 0 +	5F	0 + + - + +	7F	+ - - + 0 0

表 8-3 8B/6T 編碼對照表 (續)

資料	字碼	資料	字碼	資料	字碼	資料	字碼
80	- 0 0 + - +	A0	- + + 0 - 0	C0	- + 0 + - +	E0	- + + 0 - +
81	0 - 0 - + +	A1	+ - + - 0 0	C1	0 - + - + +	E1	+ - + - 0 +
82	0 - 0 + - +	A2	+ - + 0 - 0	C2	0 - + + - +	E2	+ - + 0 - +
83	0 - 0 + + -	A3	+ - + 0 0 -	C3	0 - + + + -	E3	+ - + + 0 -
84	- 0 0 + + -	A4	- + + 0 0 -	C4	- + 0 + + -	E4	- + + + 0 -
85	0 0 - - + +	A5	+ + - - 0 0	C5	+ 0 - - + +	E5	+ + - - + 0
86	0 0 - + - +	A6	+ + - 0 - 0	C6	+ 0 - + - +	E6	+ + - 0 - +
87	0 0 - + + -	A7	+ + - 0 0 -	C7	+ 0 - + + -	E7	+ + - + 0 -
88	- 0 0 0 + 0	A8	- + + - + -	C8	- + 0 0 + 0	E8	- + + 0 + -
89	0 - 0 + 0 0	A9	+ - + + - -	C9	0 - + + 0 0	E9	+ - + + - 0
8A	0 - 0 0 + 0	AA	+ - + - + -	CA	0 - + 0 + 0	EA	+ - + 0 + -
8B	0 - 0 0 0 +	AB	+ - + - - +	CB	0 - + 0 0 +	EB	+ - + - + 0
8C	- 0 0 0 0 +	AC	- + + - - +	CC	- + 0 0 0 +	EC	- + + - 0 +
8D	0 0 - + 0 0	AD	+ + - + - -	CD	+ 0 - + 0 0	ED	+ + - + - 0
8E	0 0 - 0 0 +	AE	+ + - - + -	CE	+ 0 - 0 + 0	EE	+ + - 0 + -
8F	0 0 - 0 0 +	AF	+ + - - - +	CF	+ 0 - 0 0 +	EF	+ + - - 0 +

90	+ - - + - +	B0	+ 0 0 0 - 0	D0	+ - 0 + - +	F0	+ 0 0 0 - +
91	- + - - + +	B1	0 + 0 - 0 0	D1	0 + - - + +	F1	0 + 0 - + 0
92	- + - - - +	B2	0 + 0 0 - 0	D2	0 + - + - +	F2	0 + 0 0 - +
93	- + - + + -	B3	0 + 0 - - +	D3	0 + - + + -	F3	0 + 0 + 0 -
94	+ - - + + -	B4	+ 0 0 0 0 -	D4	+ - 0 + + -	F4	+ 0 0 + 0 -
95	- - + - + +	B5	0 0 + - 0 0	D5	- 0 + - + +	F5	0 0 + - + 0
96	- - + + - +	B6	0 0 + 0 - 0	D6	- 0 + + - +	F6	0 0 + 0 - +
97	- - + + + -	B7	0 0 + 0 0 -	D7	- 0 + + + -	F7	0 0 + + 0 -
98	+ - - 0 + 0	B8	+ 0 0 - + -	D8	+ - 0 0 + 0	F8	+ 0 0 0 + -
99	- + - + 0 0	B9	0 + 0 + - -	D9	0 + - + 0 0	F9	0 + 0 + - 0
9A	- + - 0 + 0	BA	0 + 0 - + -	DA	0 + - 0 + 0	FA	0 + 0 0 + -
9B	- + - 0 0 +	BB	0 + 0 - - +	DB	0 + - 0 0 +	FB	0 + 0 - 0 +
9C	+ - - 0 0 +	BC	+ 0 0 - - +	DC	+ - 0 0 0 +	FC	+ 0 0 - 0 +
9D	- - + + 0 0	BD	0 0 + + - -	DD	- 0 + + 0 0	FD	0 0 + + - 0
9E	- - + 0 + 0	BE	0 0 + - + -	DE	- 0 + 0 + 0	FE	0 0 + 0 + -
9F	- - + 0 0 +	BF	0 0 + - - +	DF	- 0 + 0 0 +	FF	0 0 + - 0 +

習題

1. 請敘述 CSMA/CD 網路的基本特性。
2. 請敘述 CSMA/CD 通訊協定的運作原理。
3. 為何 CSMA/CD 網路不適合高負載及即時應用環境裡？
4. 請解釋下列訊框傳送時機的特性，以及 CSMA/CD 網路採用何種方法？
 - (1) 1 – 堅持法 (1-persistent)
 - (2) P – 堅持法 (P-persistent)
 - (2) 0 – 堅持法 (0-persistent)
5. 請問 CSMA/CD 網路是如何來判斷網路是否有發生碰撞？
6. 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，而它可能等待的時間有哪幾種？
7. 何謂 Ethernet Address ？請您由電腦上得知它的 Ethernet Address ？
8. 在 CSMA/CD 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？
9. 為何 CSMA/CD 的訊框中需要長度欄位？
10. 請問最大纜線範圍是如何估算出來的？它和工作站之間最遠距離是否有絕對性的關係？
11. 如果網路範圍超過最大纜線範圍，會發生何種情況？您要如何去修正它？
12. 請敘述 10BaseT 網路的特性，並繪出其網路架構圖。
13. 請說明構成 100BaseT 的基本原理。
14. 請說明 100BaseT 的通訊結構。
15. 請說明 100BaseT 通訊結構中『聚合次層』 (Convergence Sub-layer, CS) 的功能。
16. 請說明 100BaseT4 如何利用四對雙絞線傳送訊框。
17. 為何 100BaseT4 不採用原來 Ethernet 的曼徹斯特編碼技術？
18. 何謂 8B/6T 編碼技術？100BaseT4 如何達到 Cat-3 雙絞線的頻寬範圍？
19. 何謂『直流迷失』 (DC Wander) 現象？100BaseT4 如何克服這個問題？
20. 何謂『近端串音』？100BaseT4 如何克服這個問題？
21. 請說明 100BaseTx 如何達到 100Mbps 的傳輸速度？

22. 請說明 100BaseFx 如何達到 100Mbps 的傳輸速度？及其主要應用範圍？
23. 請說 Ethernet Switch 的基本原理？
24. 為何 Ethernet Switch 不受網路連線範圍限制 (51.2 μ s)，並且可分割 Ethernet 網路 (碰撞網域)？
25. 何謂全雙工 Ethernet 網路？請說明其原理。
26. 請說明 Ethernet Switch 的轉送機制？並請說明各轉送機制所適用的環境。
27. 請說明 Ethernet Switch 之半雙工和全雙工的流量控制法？
28. 請比較 100BaseT Hub 和 100BaseT Switch 的功能？及其應用範圍？