

# 第十八章 FDDI/CDDI 網路

## 18-1 FDDI/CDDI 網路簡介

『光纖分散數據介面』( Fiber Distributed Data Interface, FDDI ) 網路就是『美國國家標準局』( American National Standards Institute, ANSI ) 在 1980 年所發表的 ANSI X3T9.5 標準。當時製作 FDDI 標準是希望在現有區域網路 ( Ethernet 或 Token-Ring ) 上架設頻寬較高的傳輸骨幹。直到 1990 年以後，許多區域網路上的技術也都沿用 FDDI 網路的傳輸技術，譬如 100Base-Tx、100Base-Fx 或 1000Base-Fx 等等。目前還是有許多地方使用 FDDI 來架設網路骨幹，它除了有較高的傳輸速率，還具有高容錯性及頻寬分配之功能。FDDI 技術已非常成熟及穩定，且因有多家廠商大量生產，價格也較以往便宜許多。

FDDI 網路不僅提供光纖的傳輸介面，且為了適合各種環境需求及減低成本費用，亦提供銅導線佈線介面，稱之為『銅導線分散數據介面』( Copper Distributed Data Interface, CDDI )。CDDI 使用較便宜的遮蔽式雙絞線 ( STP ) 或無遮蔽式雙絞線 ( UTP )，接續端子也是一般的 DB-15 或 RJ45，適合於一般使用者環境和近距離的網路傳輸使用。

FDDI 大多延伸自 Token-Ring 網路的特性，也是利用環狀架構及符記傳遞 ( Token Passing ) 來分配傳輸媒介的使用權。圖 18-1 為 FDDI 網路的樣板應用，它主要訴求是提供一個高速率及高效能的骨幹網路，來連結不同 MAC 所構成的小型區域網路，因此採用雙環架構來提高網路的可靠性，至於符記的傳遞方式也和 Token-Ring 稍有不同。FDDI 網路主要特性如下：

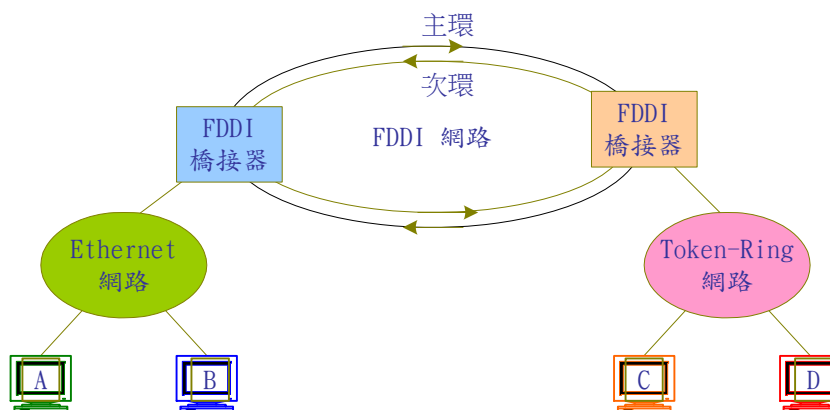


圖 18-1 一般 FDDI 網路應用範例

- 網路為雙環環路架構。網路是利用一對傳輸方向相反的『主環』( **Primary Ring** ) 和『次環』( **Secondary Ring** ) 所構成。正常情況下是經由主環傳送訊框，但當網路發生故障時，再繞接次環重新建構新的環路來傳遞訊框。
- 傳輸速率為 100Mbps。
- 訊框為 FDDI 訊框。
- 網路範圍可達 100 公里以上 ( 依傳輸媒介而定 )。
- 傳輸媒介主要為光纖；亦可採用雙絞線，如使用兩對無遮蔽雙絞線 ( Unshielded Twisted Pair, UTP ) 或遮蔽式雙絞線 ( Shielded Twisted Pair, STP )，此架構稱為『銅導線分散數據介面』( **Copper Distributed Data Interface, CDDI** )。
- 通訊協定採用『符記傳遞』( **Token Passing** ) 通訊模式。工作站公平使用頻寬。
- 提供兩種傳輸服務：『同步傳輸』( **Synchronous** ) 及『非同步傳輸』( **Asynchronous** ) 服務。同步傳輸提供傳輸延遲保證服務，亦即訊框可保證在一定時間內被傳送出去；非同步傳輸提供一般性傳輸服務，並提供 8 種優先等級。
- 高負載時傳輸效率高。工作站取得符記才可發送訊框，因此在正常情況下，網路上只有一部工作站發送訊框，訊框不會發生碰撞。在高負載時，各個工作站輪流傳送訊框，所以傳輸效率高。
- 適合即時性多媒體資訊傳輸。因其傳輸速率高 ( 100Mbps ) 又具有同步傳輸服務，可傳送即時性的音訊或視訊之能力。
- 容錯性高。不論環狀網路的工作站發生故障，或者線路斷裂，都可利用『次環』重新建構新的環路，不會影響網路的正常運作。

## 18-2 FDDI 網路架構

FDDI 網路為雙環架構，是由主環和次環所構成，兩者都只能朝單方向傳送訊號。正常情況下符記和訊框是經由主環傳遞。而次環的傳輸方向和主環相反，如纜線斷裂或工作站故障，

網路會利用次環網路重新建構傳遞訊號的迴路，使整個網路不致於中斷。圖 18-2 為 FDDI 網路基本架構，網路上有三個主要元件：



**圖 18-2 FDDI 網路基本架構**

- (1) **單銜接埠工作站 ( Single-Attachment Station, SAS )**：一般稱為 Class B 工作站。此類型工作站提供單一個 FDDI 連接埠，只能連接主環網路，不具有容錯的功能。
- (2) **雙銜接埠工作站 ( Dual-Attachment Station, DAS )**：一般稱為 Class A 工作站。此類型工作站具有二個 FDDI 連接埠，可同時連接網路上的主環和次環，具有容錯的功能。
- (3) **中樞器 ( Concentrator )**：提供若干個工作站連接埠，讓工作站可以直接連接到 FDDI 網路。中樞器所提供的工作站連接埠只有銜接到主環網路，因此銜接其上的都屬於 Class B 工作站。

一般中樞器都是屬於『**雙銜接埠中樞器**』( **Dual Attachment Concentrator, DAC** )，DAC 可以銜接到網路的主環及次環，具有容錯的功能。但我們架設網路時，也可選擇單一銜接埠的『**單銜接埠中樞器**』( **Single-Attachment Concentrator, SAC** )，SAC 只連接到主環，因此並沒有容錯的功能。另外『**無銜接埠中樞器**』( **Null Attachment Concentrator, NAC** ) 是作為單環網路的控制中心，亦是網路的『**根**』( **Root** ) 連接點。

### **18-2-1 網路實體架構**

基本上 FDDI 網路是屬於雙環架構，但是透過各種中樞器 ( DAC、SAC、NAC ) 的連接也許就會產生不同的網路形狀。就如 Ethernet 網路一樣，透過集線器連接後網路形成星狀或

樹狀的拓樸圖。因此，FDDI 透過中樞器連接後實體連線就成為『樹狀雙環』( Dual Ring with Tree ) 的架構。但為了適合各種環境需求，也許會延伸不同的網路型態如下：

- 含樹狀雙環架構 ( Dual Ring with Tree )
- 不含樹狀雙環架構 ( Dual Ring without Tree )
- 含樹狀單環架構 ( Wrapped Ring with Tree )
- 不含樹狀單環架構 ( Wrapped Ring without Tree )
- 單環樹狀架構 ( Single Ring with Tree )

圖 18-3 為『單環樹狀網路』( Single Ring with Tree )，中樞器 A 是無銜接埠中樞器( NAC )，另外中樞器 B、C 和 D 為單一銜接埠中樞器 ( SAC )。整個網路只有主環而沒有架設次環，因此這個網路就不具有容錯的功能。所連接之工作站都屬於 Class B 型態，而 Token 傳遞方向為：A → B → C → D → E → F → A。

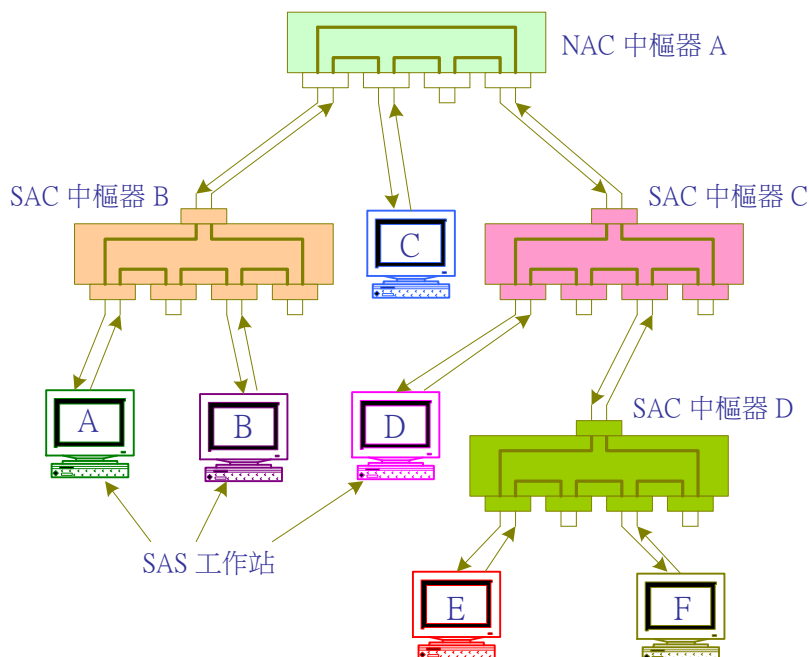


圖 18-3 單環樹狀的實體架構圖

圖 18-4 是『雙環樹狀網路』( Dual Ring with Tree )，網路上所有中樞器 ( DAC ) 都具有二個銜接埠連接到主環和次環。工作站 E 是屬於 Class A 型態 ( DAS ) 可直接連接到網路的骨幹上。其他工作站都屬於 Class B 工作站，只連接到網路的主環環路上，而且必須透過中樞器連接。由圖可看出，主環和次環的訊號傳遞方向是相反的。

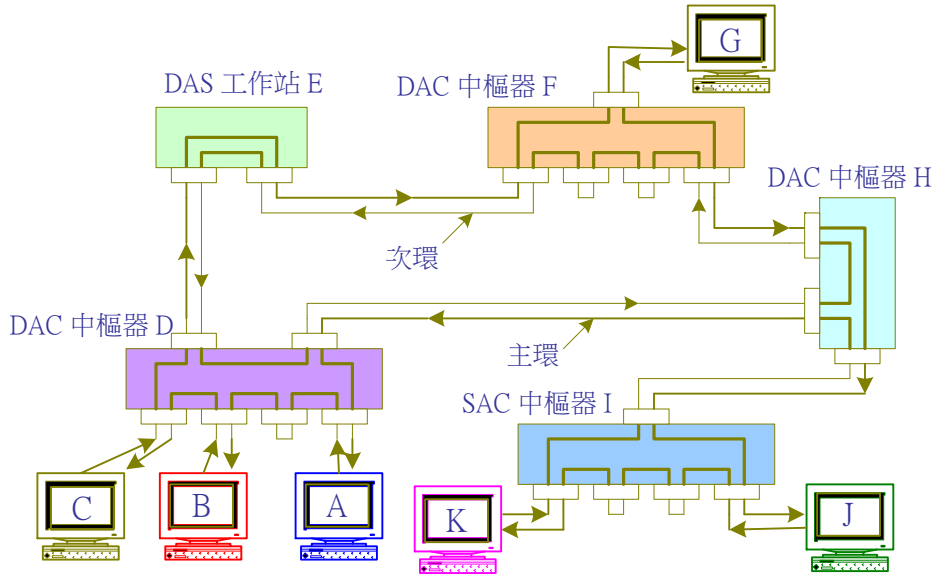


圖 18-4 雙環樹狀的實體架構圖

### 18-2-2 網路邏輯架構

FDDI 網路的邏輯架構是表示符記 (Token) 在網路上傳遞路徑。FDDI 網路透過中樞器連接後，無論實體架構的型態如何，其邏輯架構最多只能有二個邏輯環：主環和次環。在正常情況下，符記只依循在主環上傳遞繞行，而次環路僅作為預備使用，並不傳遞符記；但當網路發生故障，並經重整跨接後，符記才會經由次環路傳遞。如果將圖 18-4 的雙環樹狀架構圖轉換為邏輯架構圖，便如圖 18-5 所示，可觀察出在正常情況下符記傳遞的方向為 (主環)：A → B → C → D → E → F → G → H → I → J → K → A；而次環傳輸方向為：D → H → F → E → D。

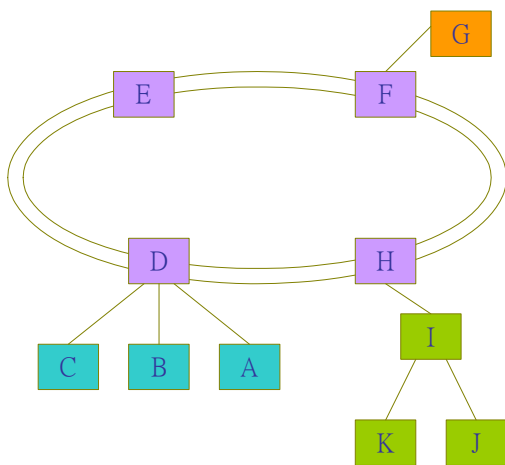


圖 18-5 雙環樹狀網路的邏輯架構圖

## 18-3 FDDI 運作原理

FDDI 如同 Token-Ring 網路一樣，也是利用『符記傳遞』(Token Passing)來決定工作站在網路上發送訊號的權利。亦即，網路是單方向傳送訊號(順時針或反時針方向，依建構網路時所建立)，符記也依照網路方向傳遞，工作站取得符記才可以發送訊框。Token-Ring 是工作站取得符記後便開始發送訊框，當傳送者將其所發送的訊框收回後，才將符記傳送給下一個工作站，因此，在 Token-Ring 網路上同一時間只有一筆訊框在傳送。但 FDDI 所訴求的網路範圍較大(可達 100 公里以上)，當傳送端發送訊框後，不一定可以及時收回，訊框也許會在網路繞行一段時間後，再由傳送端收回。因此，FDDI 的通訊協定就不能如 Token-Ring 網路一樣，否則網路大部分時間都會空閒著。

在 FDDI 網路上，工作站取得符記時並不會將符記改為資料訊框，而是直接將符記侵占(seize)起來，再將所欲傳送的訊框發送出去。發送完訊框後，才將符記緊接著資料訊框後面發送出去。下一個工作站也是一樣，取得符記後便將其侵占，然後再發送資料訊框，接著再發送符記；發送訊框者必須負責將其收回。因此在整個 FDDI 網路上雖然只有一個符記在繞行，但同時可能會有多筆資料在傳送，因此可以提高整個網路的傳輸效率。而且同一時間也只允許一部工作站發送訊號，也不會發生碰撞的現象。

- (a) 工作站 A 等待 Token。
- (b) 工作站 A 取得 Token 並佔有它，亦是取得傳輸權利，開始發送 F1 訊框(目的位址為 C)。
- (c) 工作站 A 發送完訊框(F1)後，便將 Token 送出。
- (d) 工作站 B 取得 Token 並佔有它，開始傳送訊框 F2(目的位址為 D)。同時 F1 訊框已到工作站 C，工作站 C 判斷該訊框是傳給自己的，便將其複製進來。
- (e) 工作站 B 傳送完訊框後，便釋放 Token。同時工作站 D 複製 F2 訊框。
- (f) 工作站 A 收回 F1 訊框。
- (g) 工作站 B 收回 F2 訊框。
- (h) 網路上只剩 Token 在環繞等待被工作站佔有，以便發送訊框。

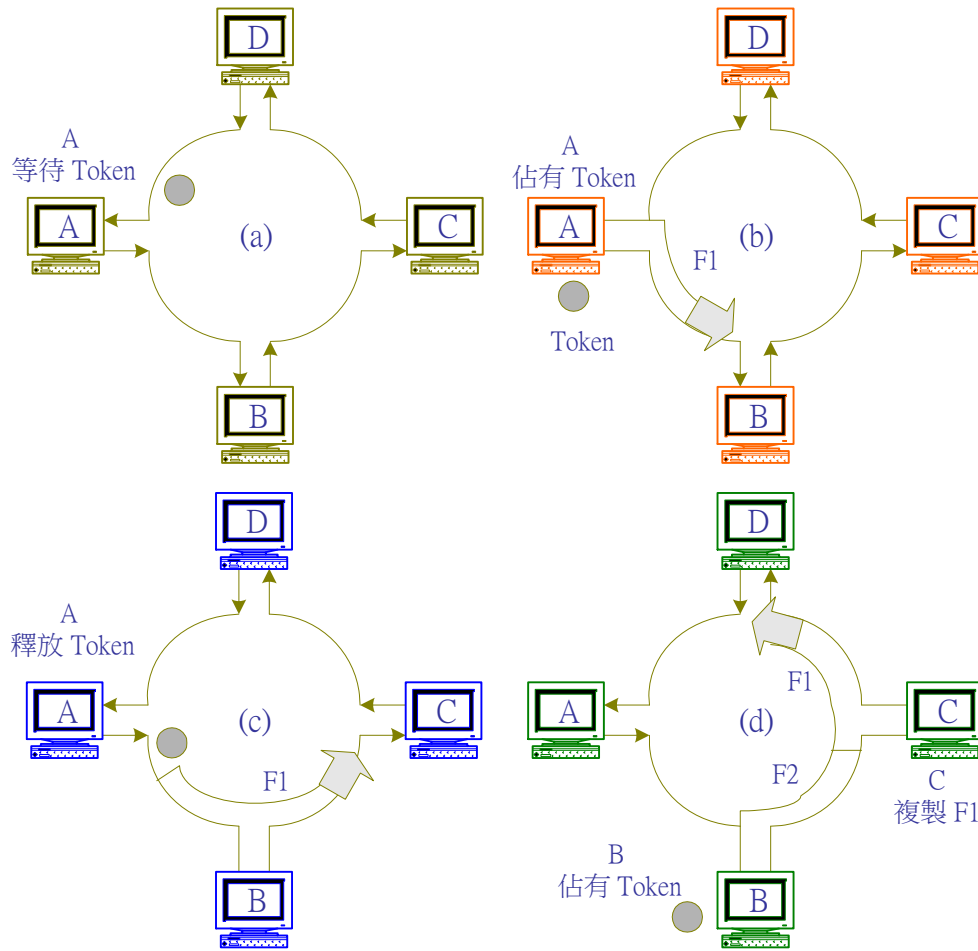


圖 18-6 FDDI 之通訊運作範例

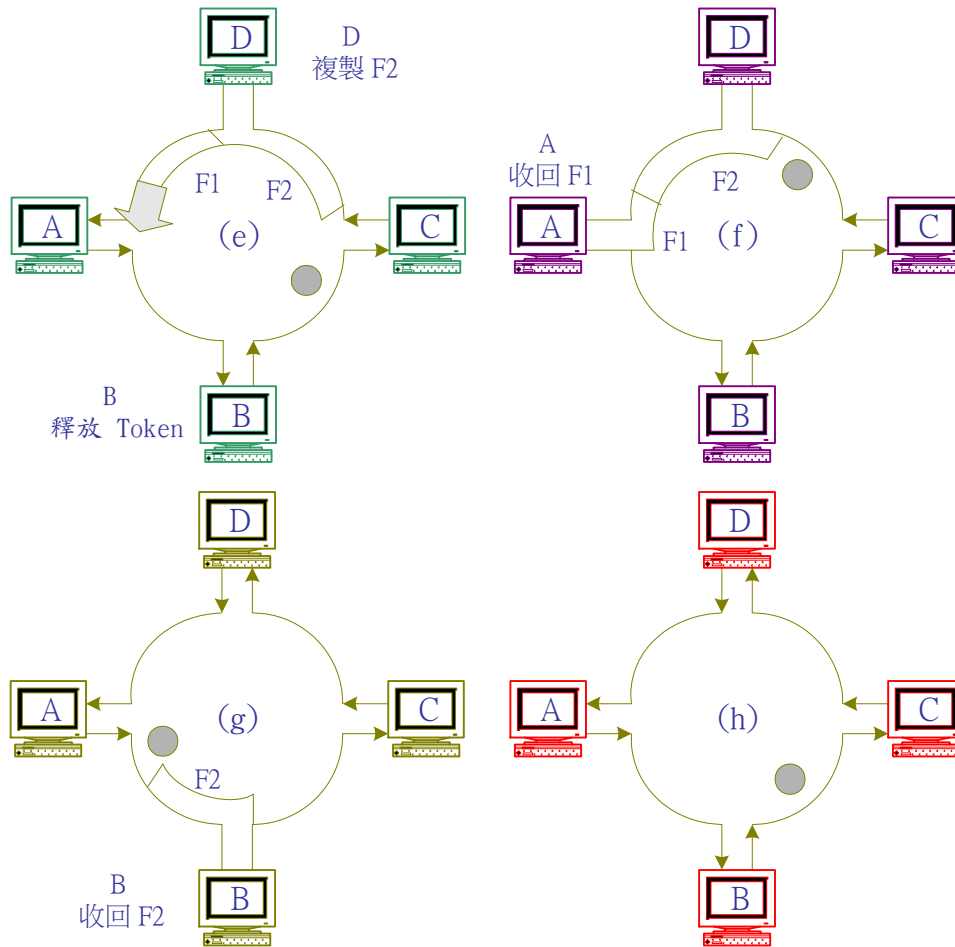


圖 18-6 (續) FDDI 之通訊運作範例

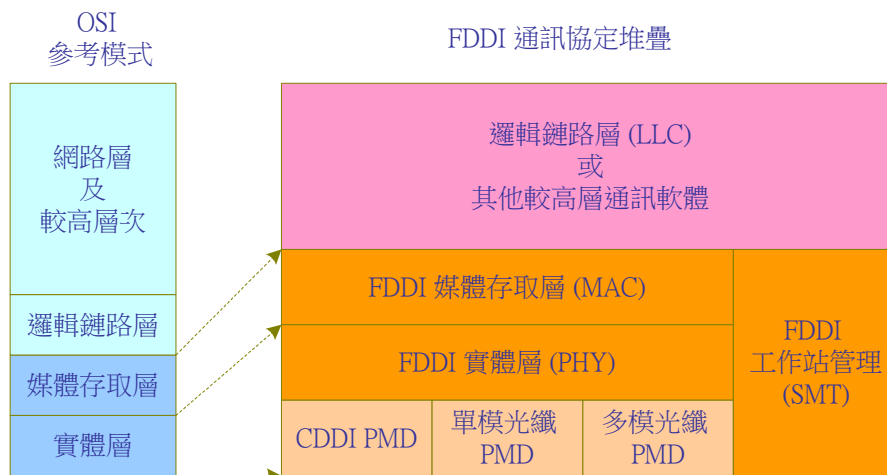
## 18-4 FDDI/CDDI 協定堆疊

圖 18-7 為 FDDI 通訊協定堆疊和 OSI 參考模式的比較，FDDI 主要分為四個部份：FDDI 媒體存取層、FDDI 實體層、FDDI 媒體關聯層和 FDDI 工作站管理。整個通訊協定也儘量相容於 IEEE 802 系列( 802.3、802.4 )，與上層連結亦使用邏輯鏈路控制層( LLC 802.2 )。因此，FDDI 網路可以和 IEEE 802 系列之區域網路在同一網路上共同運作。各層次之功能如下：

- (1) **FDDI 媒體存取層 ( FDDI Medium Access Control, FDDI MAC )**。本層通訊軟體主要製作符記傳遞的通訊行為，包含訊框格式、符記處理、定址、錯誤偵測 ( CRC )、以及錯誤回復 ( Error Recovery ) 等等功能。
- (2) **FDDI 實體層( FDDI Physical Layer )**。定義有關資料編碼及解碼( 4B/5B 編碼技巧 )、時序調整、訊框化、以及有關傳輸媒介的介面制定。



- (3) **實體媒體關聯層 ( Physical Medium Dependent, PMD )**。定義有關傳輸媒體的性質，包含光纖鏈路、電位基準、位元錯誤率、光源元件、以及有關接續端子。
- (4) **工作站管理 ( Station Management )**。其工作包含工作站的加入、退出，和有關工作站的起始、故障的隔離及復原等等。



**圖 18-7 FDDI 通訊協定堆疊**

在 PMD 方面，ANSI X3T9.5 建議的傳輸媒介有三種：單模光纖、多模光纖和銅導線 (CDDI)。單模光纖使用雷射光源，傳輸距離較遠，價格較昂貴。多模光纖使用 LED 光源，傳輸距離較近，價格則較便宜。

## 18-5 FDDI 訊框格式

圖 18-8 為 FDDI 的訊框格式，與 CSMA/CD 及 Token-Ring 格式非常相似，其主要目的是為了結合 IEEE 802 系列的區域網路。其訊框可分為符記訊框和資料訊框。在正常情況下，網路上只有一個符記訊框在繞行，取得符記訊框者才有權利傳送資料訊框。FDDI 訊框裡各個欄位的長度是以符號 (Symbol) 的數目來表示，這是因為 FDDI 是經過 4B/5B 的編碼；而以 4 個位元為單位編碼成 5 位元的符號 (有關 4B/5B 編碼容後介紹)。茲將各個欄位分為三個主要部分說明如下：

- (1) **訊框起始序列 ( Start of Frame Sequence, SFS )**：其中包含前置符號 ( Preamble Symbol, PS ) 和起始符號 ( Start Delimiter, SD )。PS 是由 16 個以上 0 和 1 交替的符號所構成。SD 是由特殊訊號變化格式的 J 和 K 符號所構成 ( J、K 符號請查表 18-2 )。

**(2) FCS 涵蓋部分 ( FCS Coverage ):** FCS ( Frame Check Sequence ) 檢查所涵蓋的範圍。

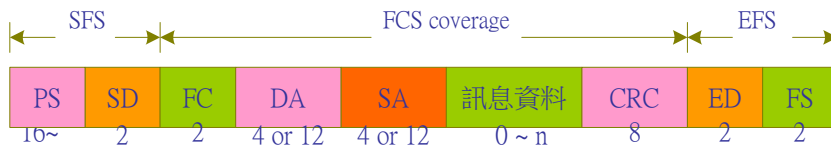
訊框控制欄位 ( Frame Control, FC ) 表示該訊框所攜帶著的是符記或資料，以及有關的控制訊息 ( 如表 18-1 所示 )。其中 "x" 是二進位值 0 或 1；"C" 是等級位元；"r" 是保留位元；"L" 是位址長度位元；"FF" 是格式位元；"ZZZZ" 是控制位元。目的位址 ( Destination Address, DA ) 和來源位址 ( Source Address, SA ) 可為 16 或 48 位元兩種格式。訊框檢查序列 ( Frame Check Sequence, FCS ) 為 32 位元 CRC 檢查碼。

**(3) 訊框結束序列 ( End of Frame Sequence, EFS ):** 該區段包含結束符號 ( End Delimiter, ED ) 和訊框狀態欄位 ( Frame Status, FS )。如果該訊框為符記，則 ED 是由兩個 T ( Terminate symbol ) 符號所構成；如果是資料訊框，則 ED 是一個 T 符號。FS 是由 3 個以上的 R ( Reset symbol ) 或 S ( Set symbol ) 符號附加 1 個 T 符號所構成。

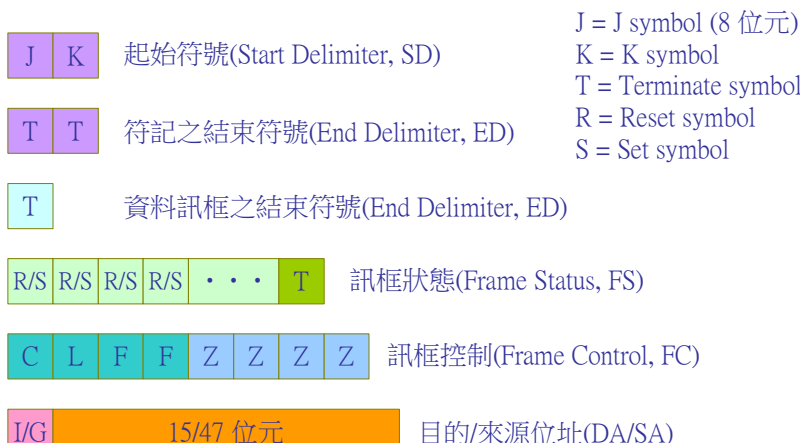
(a) 符記訊框格式



(b) 資料訊框格式



(c) 訊框欄位內容



**圖 18-8 FDDI 訊框格式**

表 18-1 FDDI 訊框型態 ( FC )

訊框型態	FC 控制位元	說明
CLFF ZZZZ to ZZZZ		
不合法訊框	0x00 0000	非訊框 ( 丟棄 )

無限制訊框	1000 0000	傳送同步及無限制同步訊框
限制訊框	1100 0000	傳送同步及限制非同步訊框
MAC 訊框		
MAC 訊框	1L00 0001 to 1111	通訊協定使用
求救訊框	1L00 0100	表示網路發生嚴重故障
要求符記訊框	1L00 0011	產生新符記
工作站管理		
工作站管理	0L00 0001 to 1111	包含工作站管理資訊
下一個工作站訊框	0L00 1111	尋找下一個工作站位址
LLC 訊框		
LLC 訊框	CL01 r000 to r111	包含使用者訊框
非同步訊框	0L01 rPPP	優先權等級為 PPP 之非同步訊框
同步訊框	1L01 rrrr	同步訊框
保留訊框		
保留廠商使用	CL10 r000 to r111	廠商資訊
未來標準	CL11 rrrr	未來標準使用

## 18-6 FDDI/CDDI 通訊結構

FDDI 實體層的通訊結構依圖 18-7 所示，可區分為三種：單模光纖、多模光纖和雙絞線。前兩者為 FDDI 的基本傳輸媒介；後者稱之為『銅導線分散數據介面』(CDDI)。FDDI 和 CDDI 都屬於 ANSI ASCX3T9.5 規範，兩者都使用 4B/5B 編碼方式，以下分別述之。

### 18-6-1 4B/5B 編碼

FDDI/CDDI 編碼技巧不再採用曼徹斯特 (802 系列編碼)，因為曼徹斯特編碼的訊號變化率是傳輸速率的兩倍 (每個位元中間都有變化)，其最主要原因是考慮到接收和傳送端之間時序的同步問題。但在高速網路上，訊號變化率直接影響其傳輸距離，訊號變化率愈高傳輸距離就愈短。

FDDI/CDDI 採用 4B/5B 編碼 (4B/5B Coding) 技巧，雖然可減少訊號變化率，但也必須克服同步問題。因此，除了 4B/5B 的編碼中儘量避開連續性的 1 和 0 外，FDDI/CDDI 還採用其它編碼技巧 (NRZI 或 MLT-3) 來達到傳送和接收端之間時序的同步。

4B/5B 編碼技巧 (表 18-2) 的主要方法是：將一連串的二進位資料以每四個位元為單位編碼成五個位元的『符號』(Symbol)，形成以五個位元為單位的符號串列。在 5 個位元的二進位符號中有 32 種變化 (2<sup>5</sup>)，用來表示 4 個位元中的 16 種變化 (2<sup>4</sup>)，在這其中我們可以選用較『適合』的符號表示。我們選用符號的規則是，這些符號無論如何排列，都不會出現超過連續 3 個 "0" 或連續 8 個 "1" 的現象。

除了表示四位元的資料字元(0~F)外，4B/5B 亦將一些控制符號作特殊編碼，如 "Q" 表示傳輸媒介上沒有訊號傳送；"J" 表示訊框起始第一個符號；"K" 表示訊框起始的第二個符號；"T" 表示訊框結束符號等等。利用特殊編碼來代表某一控制符號，較不會和原有之資料符號混淆。

表 18-2 4B/5B 編碼對照表

字碼	符號	用途
00000	Q	Quiet
11111	I	Idle
00100	H	Halt
11000	J	訊框起始區隔第一個符號
10001	K	訊框起始區隔第二個符號
11110	0	0000
01001	1	0001
10100	2	0010
10101	3	0011
01010	4	0100
01011	5	0101
01110	6	0110
01111	7	0111
10010	8	1000
10011	9	1001
10110	A	1010
10111	B	1011
11010	C	1100
11011	D	1101
11100	E	1110
11101	F	1111

01101	T	訊框結束區隔符號
00111	R	代表邏輯 0 (重設)
11001	S	代表邏輯 1 (設定)

### 18-6-2 FDDI 實體層

圖 18-9 為 FDDI 之編碼技巧，其中傳送資料經過編碼後，轉換成 NRZ( Non Return Zero ) 訊號。又傳送速率為 100 Mbps 轉換成 4B/5B 之後，其訊號變化率必須要有 125 MBaud( 100 \* 5/4 )。在 4B/5B 編碼系統之中，最多可能出現 8 個連續的 1 和 3 個連續的 0，例如兩個連續資料為 ( 0010,0001 )，轉換成 4B/5B 碼為 ( 10100,01001 )，此現象就會出現 3 個連續的 0；又傳送資料為 ( 0111,0000 )，編碼成 ( 01111,11110 )，此時已出現 8 個連續的 1。

如果將這兩筆訊號發送至光纖纜線上，將會出現 3 個連續 "暗" 和 8 個連續 "亮"，在接收端將非常困難偵測到底有幾個 "亮" 或 "暗" 的訊號，而且也非常困難達到時序的同步。因此，我們必須利用第二次的編碼系統，來解決這個問題。FDDI 是利用 NRZI( Non-Return Zero Inverted ) 編碼將 4B/5B 編碼後的 NRI 訊號再編碼一次。NRZI 編碼技巧如下 ( 如圖 18-10 所示 )：

- "1"：在位元的起始時間一定有電位變化，亦即( 高電位 → 低電位 )或( 低電位 → 高電位 )。
- "0"：在位元期間沒有變化。

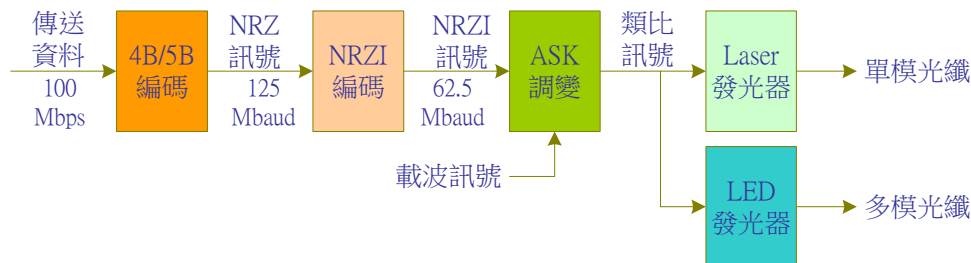
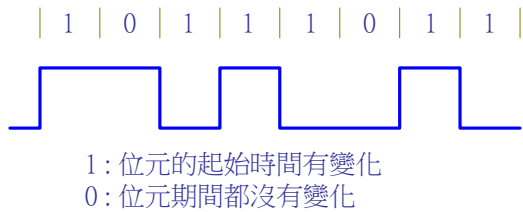


圖 18-9 FDDI 之編碼技巧

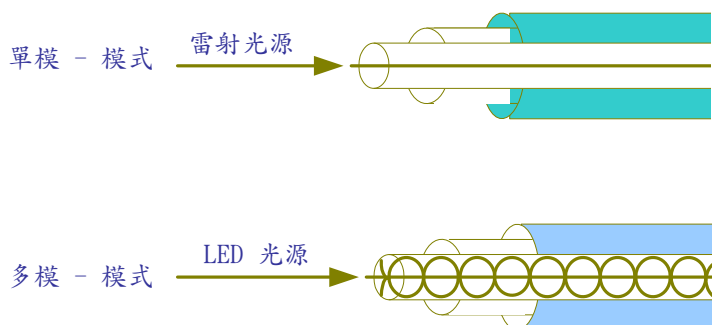


**圖 18-10 NRZI 編碼範例**

由於 NRZI 編碼中資料為 "1" 時一定有電位變化 (亮暗變化)，剛好可解決連續 8 個 "1" 的問題。因此資料經過 4B/5B 編碼後再經過 NRZI 第二次編碼，所產生的連續訊號之中最多只會發生連續 3 個『暗』的光。不但可以解決連續資料 (0 或 1) 的問題，對於時序同步的問題也改進許多。因為接收端是利用訊號變化的時脈來調整本身的時序，使其同步於傳送端。而整個網路的平均訊號變化也只有 62.5 Mbaud ( $= 125 \div 2$ )。

FDDI 網路所使用光源波長為 1300  $\mu\text{m}$ ，但光源發射器有兩種：雷射光發射器 (Laser) 及發光二極體發射器 (LED)，如圖 18-11 所示。雷射光源能量較強、訊號較集中不易發散，可傳輸較遠的距離，但相對應的發射器和接收器價格比較昂貴，一般使用在傳輸骨幹上的單模光纖 (Single-Mode Fiber, SMF) 上使用。對於使用者端之間的 FDDI 連線，我們會選用價格較便宜的多模光纖 (Multi-Mode Fiber, MMF) 或低價位光纖 (Low Cost Fiber, LCF)，這類光纖也會選用較便宜的 LED 發射器和接收器。因此，在同一個 FDDI 網路可以依照環境的需求佈放下列光纖：

- **單模光纖**：62.5/125 單模光纖，每段 2 公里，網路延伸可達 100 公里。
- **多模光纖**：62.5/125 多模光纖，每段 500 公尺，可延伸至 2000 公尺。
- **低價位光纖**：62.5/125 多模光纖，每段 500 公尺，可延伸至 2000 公尺。



**圖 18-11 單模和多模光纖**

### 18-6-3 CDDI 實體層

在許多應用環境裡佈放光纖網路不但成本費用過高，施工方面也比較困難，因而限制了 FDDI 網路的使用範圍。我們希望 FDDI 能夠相容於目前的網路環境，亦即以現有的佈線系統就可以連接 FDDI 網路。目前使用者的網路環境(並非骨幹網路)大部分都使用 Cat-5 UTP 雙絞線，而其每段傳輸距離可達 100 公尺，此規範便稱為 CDDI。它同樣遵循 EIA 568A 佈線規格，傳輸媒介可使用 Cat-5 UTP 及 STP (150 歐姆)，單段連線距離可達 100 公尺。CDDI 在 ANSI ASCX3T9.5 裡稱之為『雙絞線 PMD』( Twisted-pair PMD, TP-PMD )規範。

如果 CDDI 依照 FDDI 光纖網路上的編碼技巧，傳輸速率為 100Mbps，資料經過 4B/5B 後變成 125 Mbaud，再經過 NRZI 編碼後所產生的訊號變化率為 62.5 Mbaud。如果將速率為 62.5 Mbaud 的脈衝訊號加到雙絞線上，不但會發生大量的干擾電磁波，也會受到外來電磁波的干擾而影響傳輸的距離。於是，CDDI 採用另一種稱為『MLT-3』( Multilevel Transmission 3 )的編碼技巧，將訊號變化率再減少一半，進一步降低為 31.25 Mbaud，如圖 18-12 所示。

基本上，MLT-3 是將 NRZI 的技術擴展到三種電位水平，也稱之為 NRZI-3。這三種電位水平分別用『+V』、『0』和『-V』來代表。如同 NRZI 的編碼技巧：



圖 18-12 CDDI 的編碼技巧

- "1"：在位元的起始時間一定有電位變化，但有三種電位、四種變化的可能。
- "0"：在位元的期間沒有電位變化。

不同的是，MLT-3 有三種電位 (+V、0、-V)，因此在電位變化的過程中有四種狀態：+1、0+、0-、-1。"+1" 表示由 0 轉換到 +V 電位，"-1" 表示由 0 到 -V 電位的變化；而 "0+" 是 -V 到 0 電位，"0-" 是 +V 到 0 的電位轉換。如圖 18-13 所示，每一種狀態代表系統的訊號水平，而輸入的位元則標示於代表狀態變化的有向連線上。因此，如果訊號水平在 +V 而有一個 "0" 位元要傳送，則在下一個位元期間，訊號電位水平將維持在 +V。換言之，如果有一個 "1" 要傳送，則訊號的電位水平將轉換到 0 (狀態 0-)。

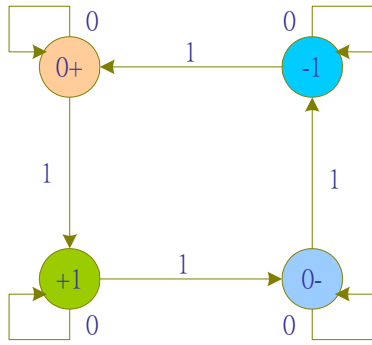


圖 18-13 MLT-3 狀態變化圖

為了更瞭解 MLT-3 編碼技術對訊號變化率的影響，我們用下列的例子來說明。如圖 18-14 所示，假設資料經由 4B/5B 編碼後出現一連串的 1( 最多 8 個 )，其資料傳輸率為 125 Mbps ( = 100 Mbps × 5/4 )。經過 MLT-3 編碼後，訊號變化率為 31.25 Mbaud ( = 125 ÷ 4 )( 四個 NRZ 訊號產生一個 MLT-3 訊號週期 )。

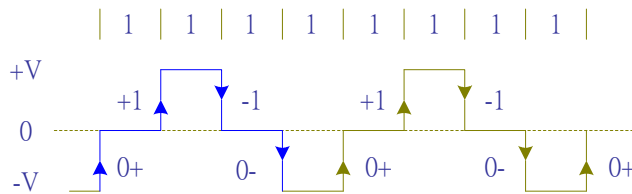


圖 18-14 MLT-3 編碼範例

## 18-7 FDDI 網路可靠度

FDDI 網路提供兩種『容錯功能』( **Fault Tolerance** )：雙環網路繞接與『光學繞接開關』( **Optical Bypass Switch** ) 來提高網路的可靠度。以下分別介紹之：

### 18-7-1 雙環網路繞接

FDDI 提供三種網路連接元件，分別是單銜接埠工作站 ( SAS )( Class B )、雙銜接埠工作站 ( DAS )( Class A ) 和中樞器 ( Concentrator )。SAS 主要是透過中樞器連接，但只能銜接到主環網路，因此不具有容錯功能。DAS 可直接連結到 FDDI 網路的主環和次環且具有容錯功能，其雙埠口結構如圖 18-15 所示。在正常情況下，只有主環有經過 MAC 層處理訊息，而次環只經過 PMD 層的訊號接收及轉送。因此，訊框只經由主環傳送，如圖 18-15 (a) 所示。但如果發生異常狀況時，必須繞接至次環傳送，則可能會如同圖 18-15 (b) 所示，次環經過 MAC 層處理，而主環只經過 PMD 層轉送。



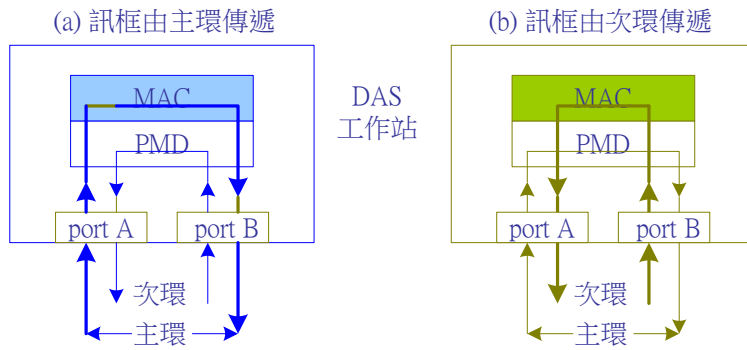


圖 18-15 DAS 工作站之連接埠口的內部結構圖

在雙環路環境下，工作站必須使用雙銜接埠型態 ( Class A )，連接到主環和次環。雙環網路之正常運作如圖 18-16 所示，其符計傳遞方向為工作站 A → B → C → D → A，而次環的傳輸方向和主環相反。

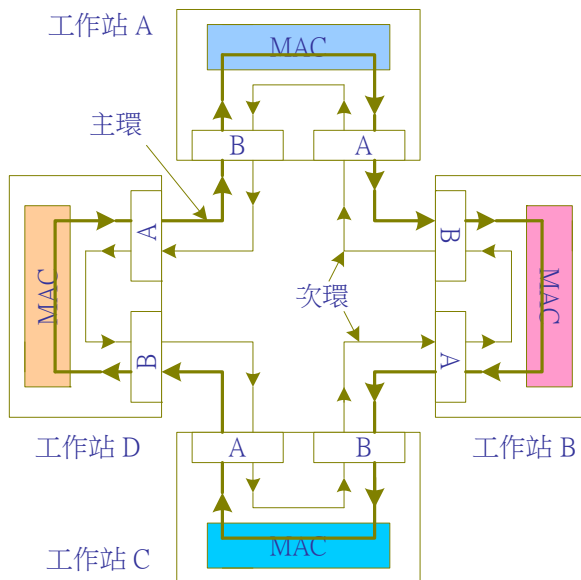


圖 18-16 雙環網路之正常運作

FDDI 雙環網路設計的主要目的是當工作站當機或纜線斷裂時，主環網路可迂迴到次環，再建構新的環路迴路，使整個網路還能正常運作。如圖 18-17 (a) 中，假設工作站 C 發生故障，工作站 D 等待很久都沒收到任何訊息 ( 且已發送過要求符記訊框 )，便發出『求救訊框』( Beacon Frame )，工作站 A 收到求救訊框後立即讓它通過。工作站 B 也發送求救訊框給工作站 D，但無法通過工作站 D，便由主環路繞接到次環路轉送給工作站 A 及 D。若工作站 D 的次環路也無法通過工作站 C，便由次環路繞回主環路，工作站 D 再收到其發送的求救訊框，則表示環路已建構成功。圖 18-17 (b) 則為纜線斷線後重建網路的情形。

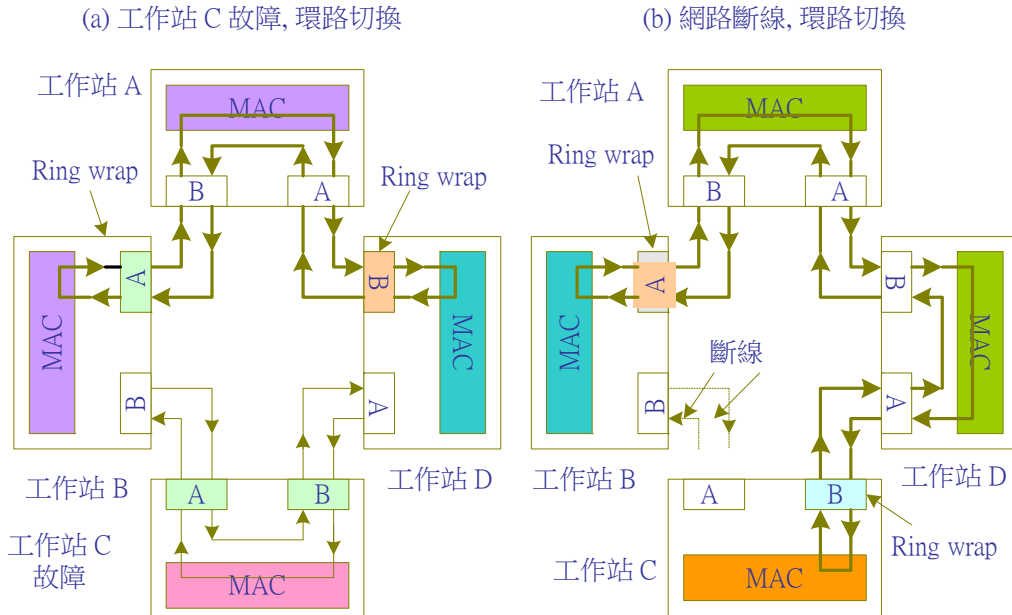


圖 18-17 雙環網路之容錯功能

### 18-7-2 光學繞接開關

『光學繞接開關』( Optical Bypass Switch )的容錯功能有兩種使用情況:(1) 一般情況下，Class B ( SAS ) 工作站是連接到中樞器 ( DAC ) 上使用，當連接之工作站發生故障或沒有開機時，由連接埠上的光學繞接開關 ( 或其它繞接開關 ) 將其繞接，而使該工作站隔離於主環路之外，如圖 18-18 所示。(2) 另一種情況，我們可以利用一個獨立之光學繞接開關銜接在工作站或中樞器與雙環網路之間，如圖 18-19 (a) 所示。如果工作站或集中器發生故障時，可由光學繞接開關將雙環網路跨接，而使該工作站隔離於雙環網路之外，如圖 18-19 (b) 所示。

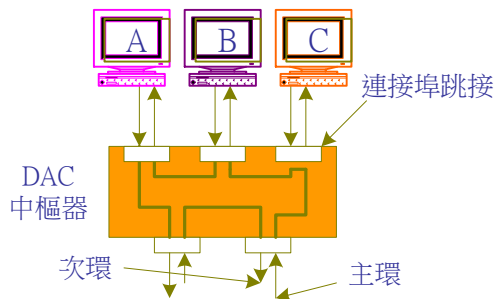


圖 18-18 中樞器之連接埠繞接情況

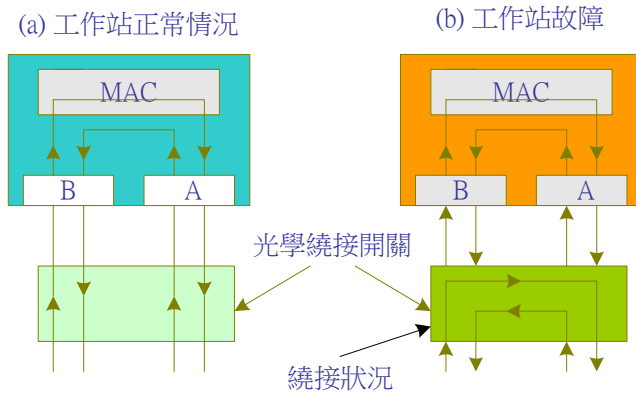


圖 18-19 光學繞接開關之容錯功能

## 18-8 FDDI/CDDI 網路佈線系統

一般工作站都集中於某一地方，如果直接利用 DAC 中樞器佈放連線，將不符經濟效益。我們可以透過『集線組』(Wiring Closet) 一次連結至多個工作站，如圖 18-20 所示。一般集線組都提供 16 個連接埠，工作站和連接埠之間可採用 150 歐姆之 STP，連接接頭為 EIA/TIA 568(IBM Type 1)；或使用 Cat-5 UTP，連接接頭為 EIA/TIA 568B(RJ45) (與 10BaseT 相同)。集線組和中樞器之間可依環境需求，選擇光纖、STP 或 UTP 連線。如圖 18-20 中，SAS 工作站 (Class B) 只要連結到集線組的一個連接埠即可；而 DAS 工作站 (Class A) 必須連結兩個連接埠才具有容錯之功能。

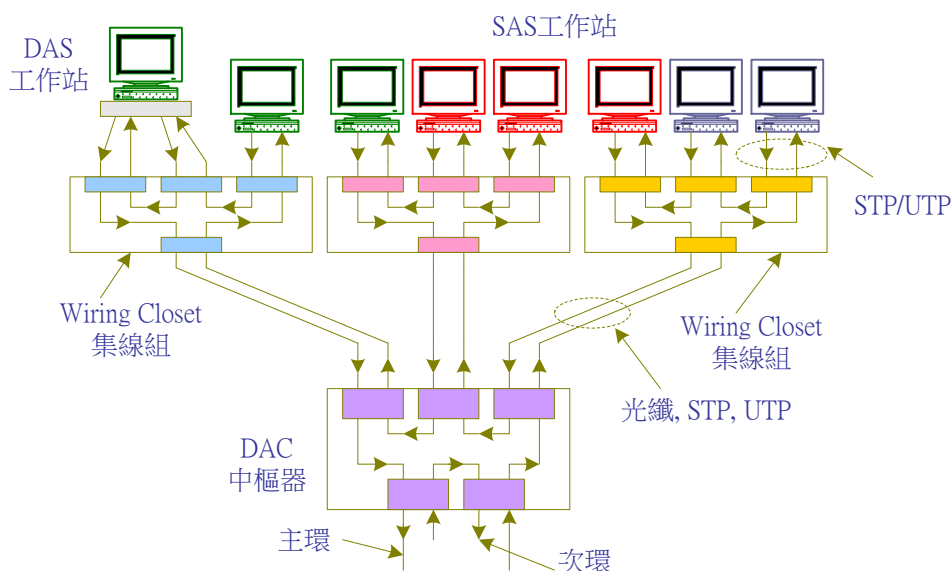


圖 18-20 FDDI/CDDI 集線組佈線架構圖

## 習題

1. 請繪出 FDDI 網路的基本架構圖，並簡述其特性。
2. 在 FDDI 網路中 Class A 和 Class B 工作站的定義為何？
3. 在 FDDI 網路有哪三種主要連結設備？請個別說明其特性。
4. FDDI 網路的邏輯架構為何？與其實體架構有何關係？
5. 請舉出 FDDI 和 Token-Ring 兩網路之間處理 Token 的不同點，並說明 FDDI 網路採用該處理方法的原因。
6. FDDI 網路提供哪三種容錯功能？請分別說明其運作原理。
7. 請比較 FDDI 與 IEEE 802.5 兩種網路，並就其異同處列出至少七個重點。
8. 何謂『4B/5B』編碼技巧？資料經過編碼後有何特性？
9. 在 FDDI 網路中資料經過 4B/5B 和 NRZI 編碼後，為何可解決同步問題？其訊號變化率為何？
10. 請說明單模光纖和多模光纖的特性有何差異？在應用上有何不同？
11. 請說明如何評估光纖纜線的傳輸頻寬？並說明其特性。
12. 請說明為何 CDDI 不採用 NRZI 的編碼技巧，而採用 MLT-3 的編碼技巧？並請說明 MLT-3 編碼的特性。
13. CDDI 網路經過 4B/5B 和 MLT-3 編碼後，為何可解決同步問題？其訊號變化率為何？
14. 100Base-Fx 和 100Base-Tx 是採用 FDDI 網路中何種傳輸技術？

15. 假設某一學校有 5 個系所，各系所中有 50 個工作站所構成之 Ethernet 網路，請設計出以 FDDI 網路為傳輸骨幹的架構圖。
  
16. 同上題，請設計出一個完全為 FDDI/CDDI 網路的架構圖，其中必須含有 FDDI 傳輸骨幹和 FDDI/CDDI 區域網路，並且必須具有容錯之功能(工作站端可免容錯功能)。