

# 環狀線 DCS 光纖骨幹系統設計原則

游飛龍

## 摘要

本局從文湖線開始，行車監控系統就採用CBTC(Communication-based Train Control，通訊式列車控制)技術，CBTC技術的主要特點是列車自動控制系統的控制及監測訊號，經由無線通信的方式以及軌旁信標設備的偵測，並經快速的數據傳輸及計算，來提供移動閉塞區間的功能，以縮短列車間距，提高系統運能，減少軌旁電纜鋪設及後續的維護成本。

由於環狀線行車監控系統也將採用CBTC式的無人駕駛系統，而此CBTC系統需高度依賴列車、軌旁及行控中心間的高速通信傳輸，因此必須有一套有別於傳統軌道電路的高可靠度光纖傳輸系統-資料傳輸系統(DCS，Data Communications System)。為確保能提供一套符合行車監控需求的高可靠DCS光纖骨幹系統，除於設計階段須考量光纖設備選用、備援設計考量及故障收斂時間等設計因素外，營運前尚需執行嚴格的現場測試。

**關鍵詞：**資料傳輸系統、故障收斂時間

## Design Principles of the Circular Line's DCS Backbone network

Fei-Long Yu

### Abstract

Communication-based Train Control (CBTC), an automatic train control system, was first adopted on the Taipei MRT Wenhua line. CBTC technology uses radio communications to transmit control and monitor signals. In addition, CBTC provides moving block functionality so that system capacity can be enhanced and the cost of the trackside cable installation and maintenance can be reduced. Using a beacon transmission mechanism and speedy data communications and calculations, the CBTC system is able to locate the position of trains precisely, thus allowing headway to be improved.

The driverless CBTC system that is to be adopted in the operation control system of the Circular line depends on high speed communications between trains, the Operation Control Center (OCC), and trackside. When compared with the data transmission backbone used in traditional track circuit signal systems, the Data Communications System (DCS) adopted by the CBTC system must be a highly reliable optical transmission system with a different configuration. The optical equipment selection, redundancy design considerations and system failure time convergence shall be considered as basic DCS design elements. After the above design elements have been carefully evaluated, complete onsite testing of the DCS will be conducted to ensure that the DCS is not only a highly reliable optical transmission backbone but it can also fulfill the demands of the operation control system.

**Keywords:** DCS, handover time

## 一、前言

在傳統的號誌軌道控制設計上，主要的維生訊號一般經由佈設於軌旁的電纜負責廠站間傳輸，並經由光纖傳輸骨幹系統將號誌監督訊號傳輸至行控中心，以便行控中心控制人員可掌控列車運作訊息。

惟本局從文湖線開始，行車監控系統就採用CBTC(Communication-based Train Control，通訊式列車控制)技術，CBTC技術的主要特點是列車自動控制系統的控制及監測訊號，經由無線通信的方式以及軌旁信標設備的偵測，並經快速的數據傳輸及計算，來提供移動閉塞區間的功能，以縮短列車間距，提高系統運能，減少軌旁電纜鋪設及後續的維護成本。

由於環狀線行車監控系統也將採用CBTC式的無人駕駛系統，而此CBTC系統需高度依賴列車、軌旁及行控中心間的高速通信傳輸，因此必須有一套有別於傳統軌道電路的高可靠度光纖傳輸系統-資料傳輸系統(DCS，Data Communications System)。

本文將針對環狀線DCS骨幹系統從傳輸設備選用、備援設計考量及故障收斂時間等方面來探討基本的設計原則。

## 二、環狀線 DCS 系統基本架構

環狀線機電廠商為「Ansaldo」(義大利商安薩爾多公司)，負責承包行車監控系統、通訊系統、電聯車、自動收費系統、供電系統等機電系統。廠商依CBTC系統提出數據通訊系統(DCS，data communications system)設計，此DCS是指提供行車監控訊號傳輸用的完整通訊系統，以便傳輸列車、軌旁、車站、行控中心間的行車控制數據資料。

本DCS系統基本上包括四個子系統，行控中心、骨幹系統、軌旁系統、及車載系統(如圖1)。其中車載(電聯車上的設備)訊號包括號誌訊號及列車閉路電視訊號等，經由802.11b/g的無線通訊設備，傳至軌旁的AP(站間沿軌旁設置AP熱點)，然後經由軌旁網路設備，連接至車站的網路骨幹交換器，並經由此光纖骨幹連接至行控中心的網路交換器。骨幹系統將使用兩套獨立的GE網路(包括兩套獨立的設備和獨立的纜線)，兩個GE網路互為獨立運作，不會互相影響，以確保系統的可靠度。換言之，若其中一個GE網路元件(包括設備或纜線)故障，由於另一個獨立的GE網路仍在正常運作中，故不須任何切換動作，也不會干擾或影響整個系統的正常運作。

## 三、光纖骨幹設備選用考量

由於行車監控系統負責列車控制及運作，屬維生系統，而DCS光纖骨幹傳輸系統負責傳輸行車監控系統的訊號，所以光纖骨幹系統之穩定與否，直接影響營運運作。惟由於電子網路設備產品的生產週期極短(傳輸網路設備約經5至10年就會有一個世代產品問世)，相較之下，捷運工程規劃及執行時間過長，因此在執行契約的預定時程壓力下，經核准設備有可能經過採購、廠測及現場安裝等階段後，於通車時就面臨停產的窘境，影響後續備品取得。因此如何選用一個符合市場主流及適合行車監控系統功能需求的光纖傳輸系統，是一個相當複雜而重要的課題。

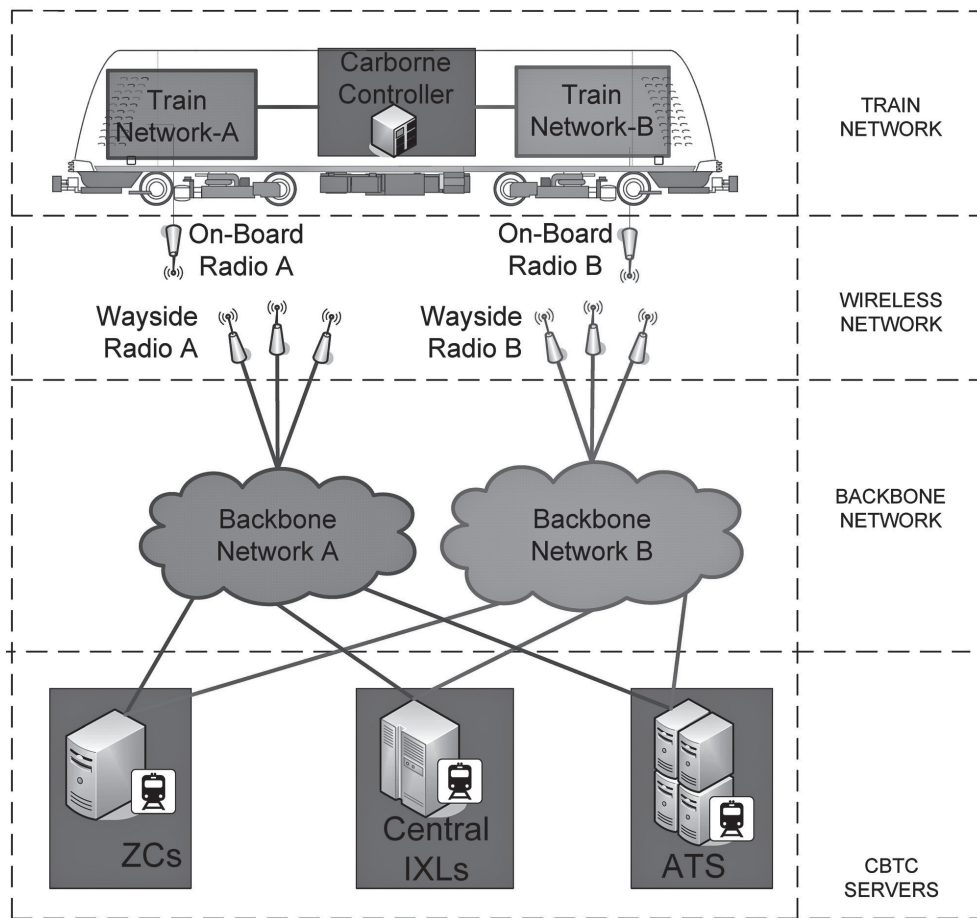


圖1 環狀線DCS系統基本架構

在常用的光纖骨幹傳輸系統的選用上，大致可區分為同步數位階層(SDH)系統、非同步傳輸模式(ATM)系統以及超高速乙太網路(GE)(或更高階的10GE乙太網路)等，上述系統皆以光纖為傳輸媒介，能整合大量的語音、數據、影像信號於同一平台，以提供高效率的寬頻傳輸需求。

ATM系統屬傳統傳輸系統，是相當成熟及穩定，且具有彈性設計功能的光纖傳輸網路系統，曾被喻為網路技術的一大革命，屬「快速分封(fast packet)」技術的一支，是一種以細胞單位為基礎(Cell-based)，針對高速、高容量與多媒體網路傳輸所發展出來的分封多工(Multiplexing)及交換(Switching)的標準，曾普遍使用於各大電信公司、工程界及各大企業。雖然ATM系統具有彈性設計及系統穩定等特點，以及較優的服務品質，惟由於建置成本(包括產品費用)、系統設定複雜及維護成本皆高於其他同頻寬的產品，所以已由市場退出，故本內容將不討論ATM系統。

至於SDH(Synchronous Digital Hierarchy，同步數位階層)系統亦屬傳統傳輸系統，是現今最為普遍使用之電信級光纖傳輸骨幹系統，相較於以往的PDH系統，SDH則有較簡單的多工(或解多工)結構及統一的網管規範，並能提供相關傳輸系統(如ATM，Ethernet)的介面，能有效解決多方介接需求，其安裝及維護也較為簡單，是相當可靠的傳輸系統。

所謂的SDH系統(同步數位階層)是指在光纖上傳送光學訊號的速率和格式標準，屬於歐洲標準(美規稱為SONET)。SDH傳輸速率可分為不同位階，SDH位階及位元速率定義於ITU-T G.707中。SDH最基本傳輸階層為STM-1，傳輸頻寬為155Mbps，其次為STM-4，傳輸頻寬為622Mbps，至於STM-16，其傳輸頻寬為2.5Gbps，而STM-64，傳輸頻寬則為10Gbps。SDH系統常用的介接設備通常有RS422、RS232、E&M訊號、語音通道及E1介面，而次世代SDH系統(NG-SDH)則已將多媒體及網路需求納入產品規格內。

另外，由於個人電腦及網際網路的蓬勃發展，導致了區域網路技術的廣泛使用，區域網路的技術不斷地改進，例如從Ethernet、Token Ring、FDDI到ATM等，其進步之速度與種類之多令人目不暇給，因此以10 Mbit/s Ethernet為基礎而延伸的一系列產品，如100Mbit/s Ethernet、GE、10GE，藉由價格便宜及安裝簡單的優點，並採用光纖作為傳輸媒介，建構WAN路網，已可突破LAN與WAN間的頻寬瓶頸。其中GE系統是於1998年所制定之標準，其頻寬為Gigabits，另外10GE的產品亦已成熟，至於下一世代的乙太網路系統(The Next Generation of Ethernet)若採用WDM技術甚至可到達40GbE及10GbE(IEEE 802.3ba標準)。

至於如何評估SDH系統及GE系統何者適用於環狀線，則可經由以下幾點來探討：行車監控系統介接需求、系統架構、頻寬分析等因素，以下就這幾點分別說明：

#### (一) 行車監控系統傳輸介面

在環狀線中，由於廠商所提供的行車監控系統設備是屬原IP化的乙太網路元件，是以封包交換傳輸技術為基礎，而SDH則是使用屬語音應用服務技術的電路交換設計。由於SDH訊號流量的本質是同步，且所有的訊框均為相同的長度，以及須事前設定節點間的虛擬電路(VC)，所以是屬點對點架構的固定式網路。而本標案的行車監控設備是屬乙太網路元件，若採用SDH系統，則需將此號誌設備的IP訊框，經由外部或內部模組轉換成SDH虛擬電路(VC)的訊框，此轉換意味著頻寬使用效率的降低，以及安裝轉換模組所導致的成本增加。乙太網路封包具有隨時變動資訊量的特性，所以考量原生設備是IP介面的特性，本標案之DCS光纖骨幹系統採用乙太網路GE設備相較SDH設備是較為合適的。

#### (二) 系統架構

由於SDH系統屬固定電路式之設計，而本標案另包括設置備援行控中心，若因故必須啟動備援行控中心，則SDH系統須經一切換程序，以將控制權由行控中心轉換至備援行控中心，此作為將導致系統架構趨於複雜及並降低後續營運效率。若採用全IP導向設計的GE網路，原則上並不須此電路切換的步驟。

此外，由於行車監控系統屬維生設備，任何傳輸系統上的單一故障點，皆不能影響正常之傳輸系統運作，所以網路必須提供複製裝置，包括傳輸設備及傳輸路徑皆需提供必要的備援設計。在此原則上，若採用SDH系統，則SDH的雙路徑及雙設備之架構設計將加重系統複雜度。

#### (三) 頻寬分析

DCS系統內，行車監控系統及列車閉路電路系統的訊號估計約需400 Mbps資料傳輸

量，而GE網路其頻寬為1000Mbps，遠高於實際需求。由於SDH系統屬點對點式的固定電路系統，若將備援行控中心有關的系統架構、訊框轉換效率等因素納入考量，則需採用兩套STM-4以上等級的SDH系統。

由於GE網路具有「設備共通化」及IP化的特點，其後續的維修備品並不虞匱乏。因此基於系統架構、頻寬分析、後續維修、備品取得、保證頻寬、延遲及恢復時間等因素考量，環狀線採GE設備做為DCS的骨幹系統是較SDH系統有較多的優點。

#### 四、備援設計考量

CBTC系統是捷運系統運作的核心，屬於維生系統，因此設計要求上必須確保單一故障點不能影響其餘系統之運作的設計理念；因此傳輸系統上若有單一故障點產生，網路可立即變更路徑，並不會造成正常迴路與備用迴路輪替跳接(toggle)導致網路離線之情形。

而環狀線廠商提送的DCS系統，是採用兩套獨立的環狀(ring)GE系統(如圖2，環狀線DCS骨幹系統架構)，且為了增加網路的可用度，列車上和行控中心行車監控設備也會以兩套獨立路徑來傳送相同的訊號。由於此1+1的GE網路是獨立運作，故若其中一個GE網路有任何故障發生，另外一個GE網路仍會正常工作，並不受影響，並不須任何切換動作，也不會影響整個系統的運作。

除此之外，本DCS骨幹系統僅傳輸行車監控系統及車載影像監控訊號，亦可避免非維生機電系統影響DCS系統運作。

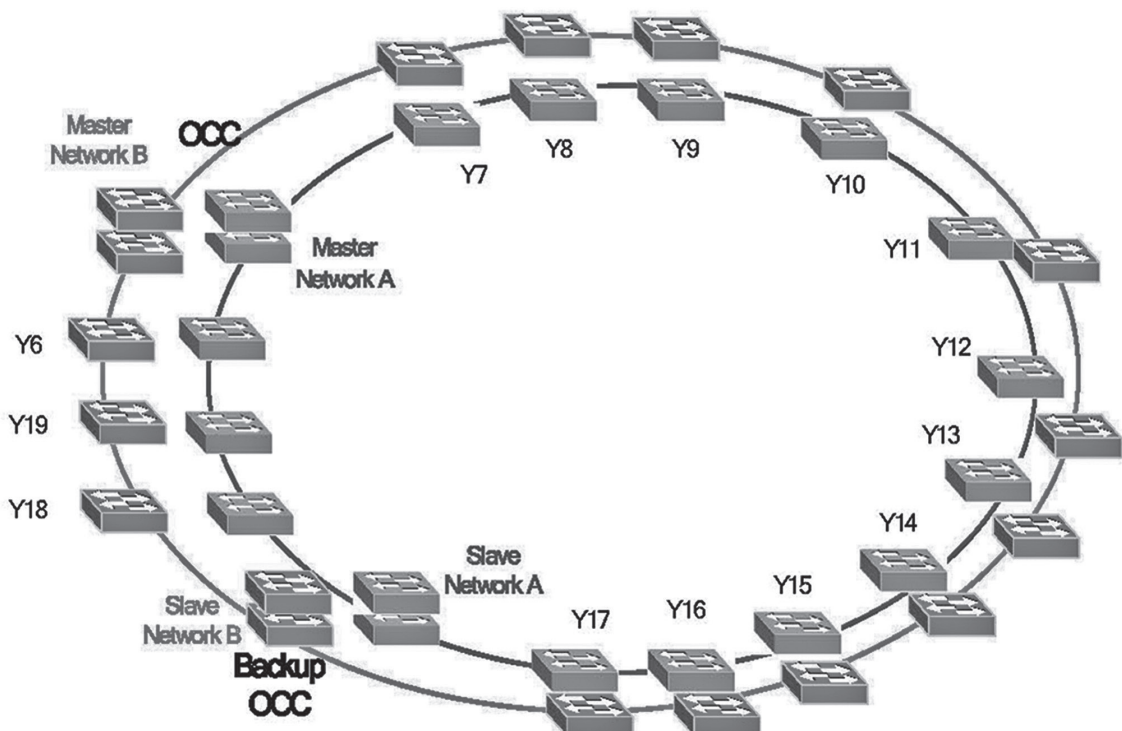


圖2 環狀線DCS光纖骨幹系統架構

## 五、故障收斂時間

傳輸系統若有單一故障點(可能是設備或路徑)產生，則傳輸系統應立即切換傳輸路徑或啟動備援設備，在此切換過程中，將導致藉由此光纖系統傳輸之其餘機電系統(例如行車監控系統)有可能處於斷訊的狀況，並進而使行控中心無法監控列車運作。所以傳輸系統的故障切換時間直接或間接影響系統營運操作。若採用SDH系統作為傳輸骨幹，則SDH系統的切換時間並不高於50毫秒(ms)，網路規模愈小，則切換時間愈小。至於layer2的網路系統則依IEEE 802.1D建議書運作，其中STP收斂初始值(default)可能達到50秒，而RSTP則可減少到約2~3秒，當然此切換時間也依網路規模及其設定架構而有所增減，此外透過網路參數設定(例如：Forwarding delay及hello time等)亦可調整此切換時間。

Layer2的網路交換器必須相容於IEEE 802.1D，最初的802.1D建議書是1998年出版的，不過，由於網路設備的快速發展，各大廠商所發展的設備其規格並沒統一，且802.1D僅為建議書，並非強制規範，惟各大網路設備公司在設計網路交換器時，為利市場擴充，都會相容於802.1D，又由於發展過快且802.1D僅為建議書的狀況下，不同廠商間的網路設備在適用上也有不相容的疑慮。各大廠所生產的網路交換器在相容於802.1D的基礎下，為加速其收斂時間，會各自發展不同的演算法以強化STP協定，阿爾卡特(Alcatel)發展FSTP，而思科(CISCO)則發展RSTP等等，在2004年版的802.1D則將思科的RSTP納入建議書內。

IEEE 802.1D (Media Access Control (MAC) Bridges)主要內容是說明擴展樹協定(Spanning Tree Protocol，STP)及快速擴展樹協定(RSTP)的運作，STP協定是規範在橋接器(Bridge)或是網路交換器(Switch) MAC層上的一種通訊運作協定。STP主要目的是在使用Bridge 或Switch 連接成網路時，避免因為使用冗餘路徑(Redundant Path)機制而產生迴圈(Loop)。STP可以偵測及避免網路迴圈，換句話說，在橋接器或網路交換器間，在有備用路徑的架構下，STP可以確保在網路上的兩個節點間只有單一路徑存在。

STP協定提供了一個無迴圈的網路，當一台支援STP協定的網路交換器在網路拓撲中發現有迴圈的狀況下，它會擋住(Block)一個或多個冗餘的網路埠(Port)，STP協定持續不斷地偵測此網路，當發現網路拓撲改變時，STP協定會自動擋住(disable)某些網路埠，以避免錯誤產生。執行STP協定演算法的橋接器或是網路交換器會定期交換組態訊息，此組態訊息稱為BPDU (Bridge Protocol Data Unit)。根據BPDU的內容，這些具有STP協定的網路設備將可以以樹狀結構的方式來自動建構一個無迴圈的網路。

如上述，擴展樹協定主要的目的是避免layer2交換器的網路間產生多餘迴圈(loop)，若網路中產生不正常迴圈就會造成廣播風暴及/或MAC層傳輸不穩定，並將導致網路傳輸中斷。廣播風暴是乙太網路上所發生的異常傳輸現象，是指大量的廣播封包佔據了網路頻寬，導致一般的封包無法正常傳送，或將造成網路中斷。若網路規模愈大且備援路徑愈多時，則當網

路拓撲改變時，則將增加STP協定的收斂時間，而且任一網路元件失效時，都會造成整個網路重新啟動STP協定演算，增加系統不穩定的狀態及時間。

基於STP協定運作上的一些限制，有些網路設備商針對環狀架構，提出另外的輔助演算協定。例如思科(cisco)提供REP(Resilient Ethernet Protocol)協定，此REP是一種新的復原演算方式，在REP運作中，REP會沿著環狀架構建立一串節點，稱之為REP網段，並以此建構乙太網路環狀架構。

環狀線的DCS光纖骨幹網路將採用環狀架構，並將採用思科具有REP功能的GE設備，而車站網路設備(包括軌旁網路設備)則採用STP通訊協定。REP通訊協定容許和使用STP協定的網路設備共同運作。因此，若車站部份網路設備故障，在啟動STP運作時，並不會影響以REP方式運作的骨幹GE設備，此將可避免整個網路被迫重新啟動STP運作，並將受影響區域侷限在部分使用STP協定的網段。相同的，若故障點發生在REP網段，則其影響區域也僅限在REP網段，並不會對使用STP協定的網段產生影響。

因此就本環狀網路架構下，同時利用REP及STP協定，將可限制故障點影響區域，縮短故障收斂時間，有助於系統穩定。在一般的網路規模下，REP可以提供約50毫秒(ms)的收斂時間，此規格已經相當於SDH網路保護機制效能。所以同時採用REP協定及STP(或RSTP)協定是比僅使用STP(或RSTP)協定有更快的收斂時間及可減少影響區域的優點。

## 六、結論

影響網路穩定的因素很多，除了規劃初期須考量設備供應商的資格、設備適用等級、複式配置設計理念、頻寬考量、電源供應架構及未來維修及備品取得等因素外，在現場安裝期間也應特別關注環境清潔及施工紀律，以避免灰塵影響光模組運作，以及施工人員意外損壞設備。此外，測試期間尚須依據行車監控系統特性及系統整合需求，妥善設定各項網路參數，並經由現場參數的調整及整合運作，將系統做最佳化的處理。

在工地現場安裝及測試階段，網路系統執行整合測試時，若發生整體網路系統異常，也應成立故障檢討會議，明確釐清故障原因，避免系統性故障再度發生。網路設備安裝前，應於工廠試組裝網路設備，並將必要的負載(下游設備)連接，以確認其相容性。

本局為因應網路技術快速發展，提升機電系統穩定度，強化本局網路規劃、設計審查及監造能力，也於99年起遴聘局外專家學者擔任本局網路科技顧問，並會同捷運公司相關部門，齊力把關，以確保能提供一個穩定可靠的傳輸系統。

## 參考文獻

1. 曾堂坤、藍敏鈿(民100)「軌道機電骨幹傳輸網路系統之分析」，中興工程季刊，第110期，頁93-102。
2. 臺北市政府捷運工程局「CF610標特別技術規範」，頁176-178。
3. CF610標設計文件「行車監控數據通訊系統骨幹網路 - 技術分析報告」。