

光纜自動監測系統在國防通訊之應用

作者 / 吳嘉憲 中華電信研究所網路維運技術研究室 研究員

王志益 中華電信研究所網路維運技術研究室 助理研究員

蔡福源 中華電信研究所網路維運技術研究室 計畫主持人

提要

光纜自動監測系統(Optical Cable Automatic Monitoring System, OCAMS)可協助國防通信光纖網路管理維運人員在光纖網路上長期、即時性地自動監測光纖線路狀態，提昇光纜障礙維修效率，並促進國軍光通信網路傳輸品質，隨時確保國防通訊安全無虞，是國防通訊網管相當重要的一環。

本文介紹之光纜自動監測系統是屬國際首創網頁測試機制，只需使用一般視窗瀏覽器即可進行遠端測試及監控光纜光特性、劣化及障礙等問題，並具有查詢、測試、列印、告警及記錄等多項功能。同時，也可選擇搭配無線網路傳輸技術，實現無所不在的網路監控。

壹、前言

光纖傳輸技術突飛猛進，使得光纖大量運用在通訊領域中，但因其具有超大傳輸容量的特性¹，導致光纖通信安全與品質可靠度亦須相對提高，同時，對光纖維運與安全管理的重要性也日漸浮現。隨著光纜數量的增加以及早期敷設光纜的老化，光纜線路的故障次數正在持續增加。傳統的光纜線路維護管理模式在尋找故障點上較為困難，排除障礙時間也較長，以致嚴重影響傳輸系統的正常運作，每年因通信光纜障礙而造成資料與經濟上的重大損失不斷上演。在國防通訊上，除有上述隱憂外，更有光傳輸線路安全性問題，如因此影響到指揮及作戰體系，對國家安全將造成瞬間且莫大的傷害。事實上，維安的最佳策略乃在預防，為此，建立一套國防通信網路光纜自動監測系統，可 24/7²全天候即時發現光纜障礙與劣化，協助維修人員在最短時間內找出光纖障礙位置，便於搶修，並隨時觀察國防通信網路光纜傳輸品質的劣化情況，早期發現和預警光纜劣化，以降低光纜障礙的發生率，從而縮短光纜障礙與查修時間，維護整個國防通訊網路的正常運作乃極具必要性。

光纜自動監測系統係匯集電腦軟、硬體、通信、光電和電子地理圖資技術

¹ 賴英澤，「被動光纖網路監測技術改良之研究」，國立台灣科技大學碩士論文，民國 95 年 6 月，頁 1。

² David J. Piasecki, Inventory Accuracy: People, Processes, & Technology (Kenosha, Wisconsin: OPS Publishing, 2003), p.289.

於一體，具備遠端、即時、定期、查詢、測試與資料分析等多項功能，遇光纜障礙時將會主動測試、定位、告警與派工。透過光纜自動監測系統可即時查詢與測試光纜障礙現況，縮短障礙維修工時，減少通訊失聯時間，確保平時與戰時通訊暢通。平時經由系統定期測試，能及早發現光纜劣化情況，在通信品質下降初期可立即量測出異常狀況及位置，並發出告警通知維修人員立即採取對策，提高光纜的維護品質。

貳、本文

一、概說

隨著光通信與材料科技的進步，光纖在通信領域的應用急速成長。由於光纖通信具有傳輸容量大、傳輸距離遠、性能穩定、防電磁干擾、抗腐蝕能力強等優點，光纖通信在國防通訊上更具有舉足輕重的地位。

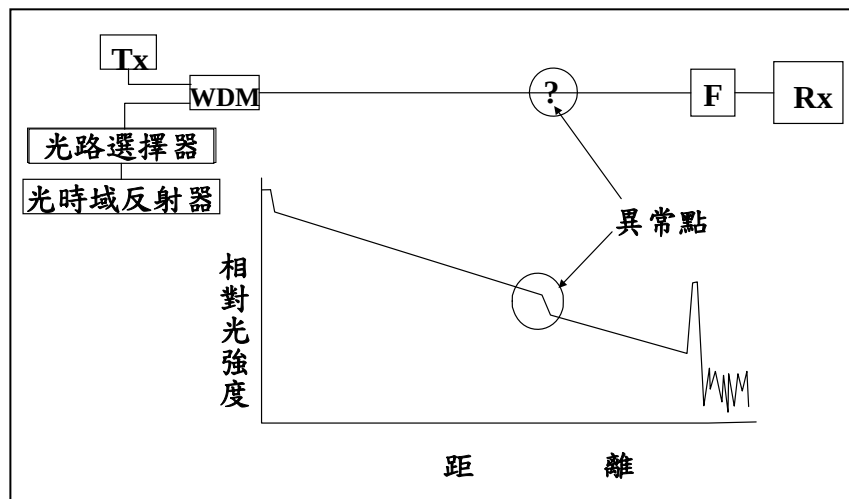
台灣目前具有多條環島光纜、國內與國際海纜等長途光纜傳輸網路，對於國防、學術及商業網路的光纜基礎建設也已大致完成，在都會區方面也陸續佈設數量眾多的幹線與用戶光纜，連接各通信局站及各大樓等節點。在電信業，由於國人對寬頻業務需求不斷提高，光纖到家服務甚囂塵上，各民營電信固網業者相繼投入，加上光纖有線電視急速發展，全國各類網路的光纜建設數量更持續向上攀升。再者，隨著新一代同步數位階層(New Generation Synchronous Digital Hierarchy,NGSDH)傳輸網路和高密度分波多工技術(Dense Wavelength Division Multiplexer,DWDM)的快速發展，光纖傳輸容量也在以前所未有的速度增加著，長途光纜幹線傳輸速率也早已進入 10Gb/s 的 32 個通道 DWDM 傳輸系統時代，光纜的重要性與日俱增。

二、光纖監測技術之演進

早期光纖監測設備，主要以光時域反射器(Optical Time Domain Reflectometer,OTDR)為主³，利用光纖後向散射測試曲線的呈現達到光纜線路自動監測的目的，如圖一所示。為了達到降低監測成本之目的，使一套設備可連續監測多芯光纖，通常會加上光通道選擇器(Optical Channel Selector,OCS)，以充份發揮 OTDR 效能；此配置方式雖可充份利用設備，但因屬輪詢式監測，一定會有當光纖發生障礙時無法即時發現之時間落差問題，以及光通道選擇器長期連續切換、光時域反射器長期連續測試，造成設備容易磨損、耦合不準、量測失效與使用壽命降低等缺點。有鑒於此，目前新一代光纜自動監測系統，增加了光功

³ 陳建村，「光纖拉曼放大系統中 OTDR 即時監控技術之研究」，國立中山大學碩士論文，民國 92 年 6 月，頁 11。

率的即時監視功能，平時只需監測光纖傳輸路由之光功率值，並在光功率值異常時主動啟動 OTDR 進行障礙點定位量測。如此，除可達到一天 24 小時、一年 365 天的隨時監測外，更可大幅降低 OTDR 及 OCS 的使用頻率及延長設備使用壽命。



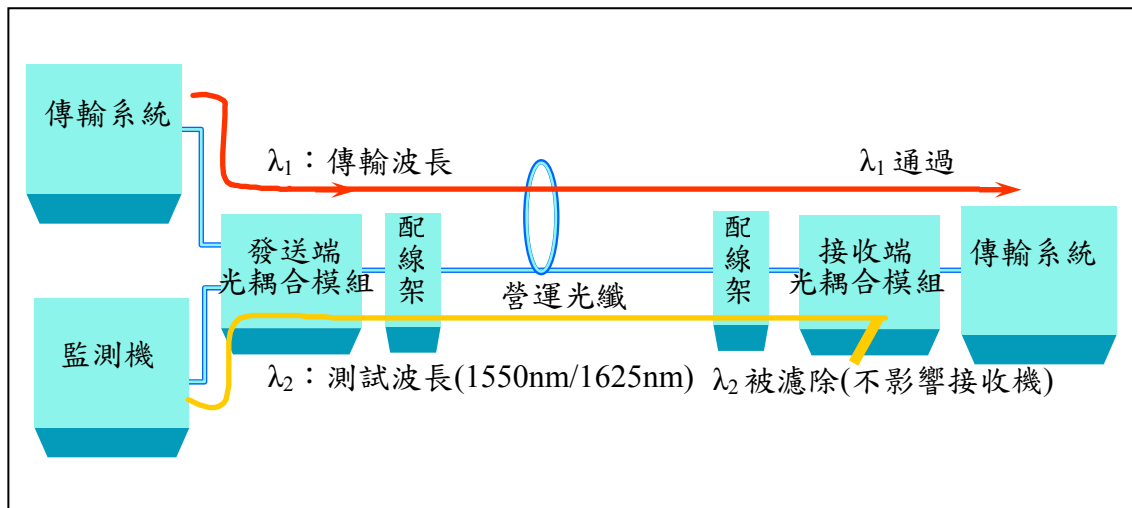
圖一 光時域反射器光纖監測原理（作者繪製）

為了讓維護人員快速、準確得知 OTDR 所測得的光纖障礙點地理位置，現行光纜自動監測系統均配備電子地圖圖示系統，使光纜自動監測系統更能充分發揮其功效，達到即時發現障礙、立即找出光纖障礙位置之目的，並在最短時間內通知現場維護人員進行維修，減少網路障礙時間。

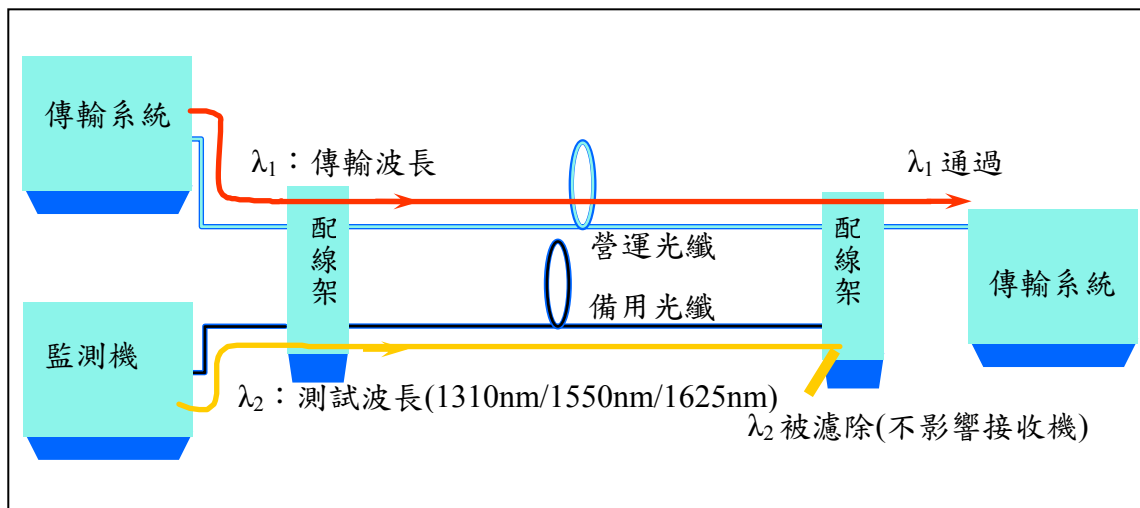
根據不同的監測需求，光纜自動監測系統主要區分為二種監測架構：

(一)在線式 (on-line) 監測：監測光傳輸系統線上使用中之光纖 (in-service fiber)，如圖二。監測機中光時域反射測試模組 (OTDR) 採用與光傳輸設備工作波長不同的測試光進行測試，利用光分波多工器 (Wavelength Division Multiplexer, WDM)、濾波器 (FILTER)、光分歧器 (SPLITTER) 等元件組合成光耦合模組，經由光分波多工技術，可即時對營運中的光纖進行監測。

(二)離線式 (off-line) 監測：監測光纜線路中之備用光纖 (dark fiber)，如圖三。對光傳輸系統本身不會造成任何影響，卻可監測光纜線路的運行狀況。



圖二 在線式監測示意圖 (作者繪製)



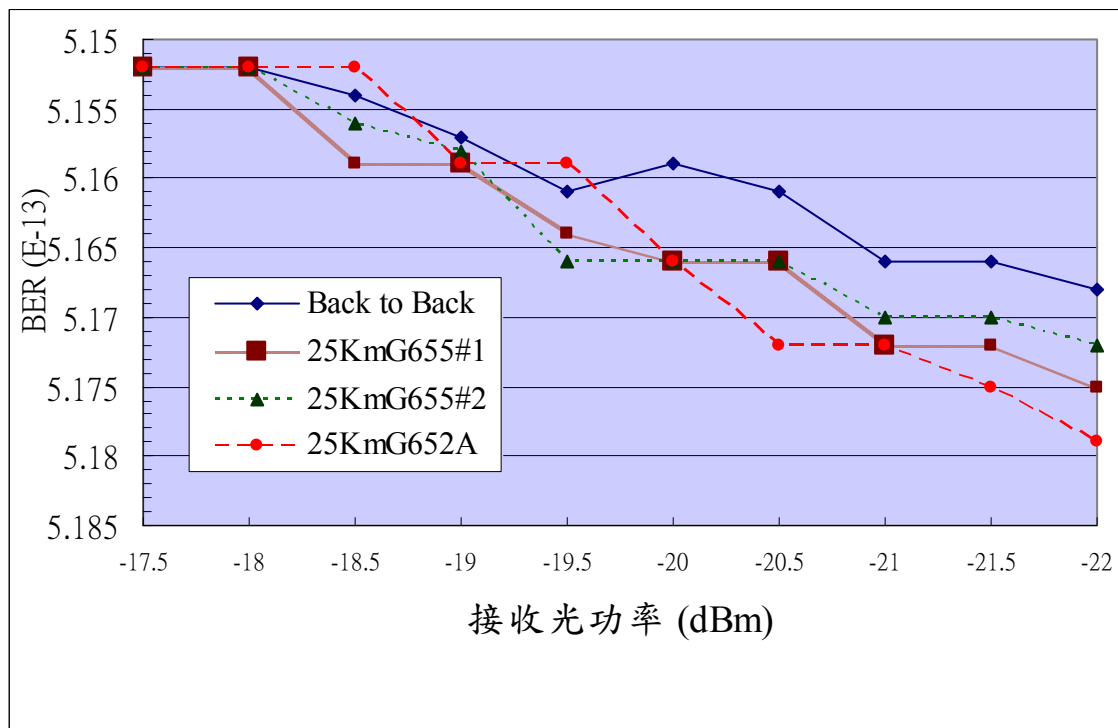
圖三 離線式監測示意圖 (作者繪製)

以上兩種方法亦可同時並存於一個系統中。在線式監測與離線式監測優缺點比較，如表一所述。

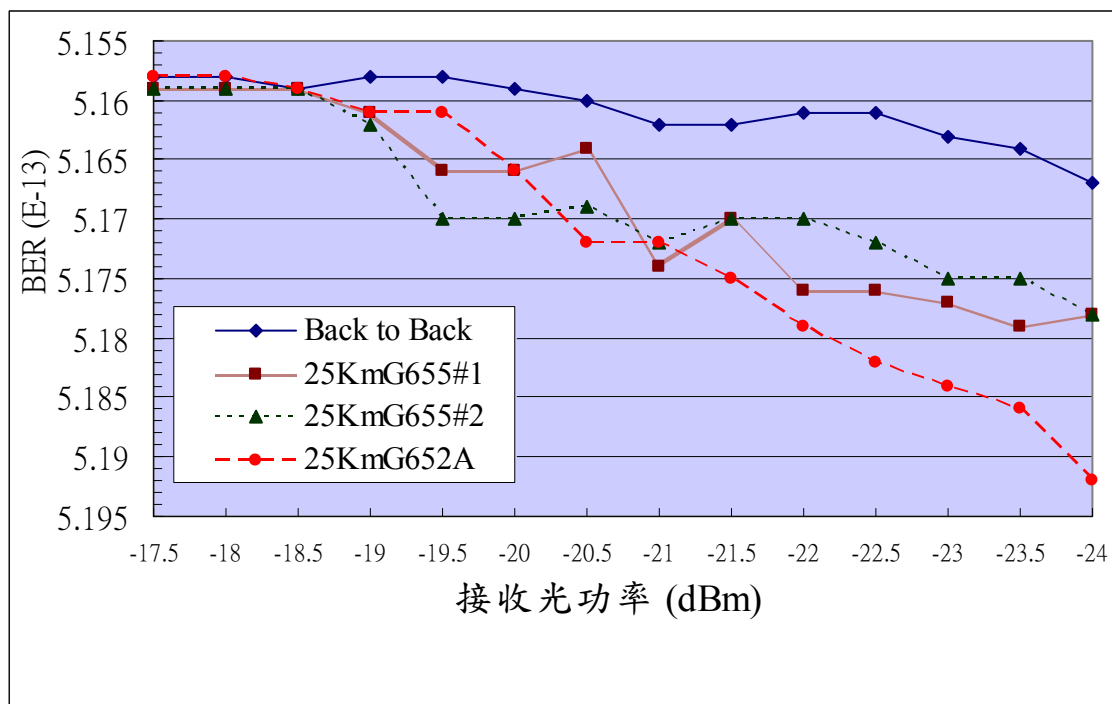
表一 監測方法優缺點比較 (作者繪製)

項 目	在線式監測	離線式監測
監測波長	1550nm(傳輸波長 1310nm)、1625nm(監測波長)	1310nm、1550nm、1625nm 均可
監測差異	監測使用中光纖	監測備用光纖
故障告警差異	可回報所有監測光纖的故障點事件	若故障點發生在非監測光纖上，無法檢測到該事件發生
對傳輸系統影響	增加插入損失約 2.2dB	無
施工性	較難	方便
成本	較高	較低

然而，光纜監測系統若係使用在線式監測，則必須確保不能、也不可影響傳輸系統之傳輸性能。為了解在線式光纜監測系統對傳輸系統之影響，實際進行傳輸系統誤碼率測試，實驗結果，如圖四、圖五顯示，證明本系統之在線式監測的確不致影響目前系統的傳輸品質。



圖四 光纖系統 BER 比較圖（作者繪製）



圖五 光纖系統(含監測光)BER 比較圖（作者繪製）

由圖四測試曲線得知，光纖本身對系統誤碼率（Bit Error Rate, BER）影響不大；在光功率較低時，ITU-T G652A 光纖較 G655 光纖影響稍大。再與圖五測試曲線做比對，監測光在傳輸系統中使用，不會造成系統傳輸品質的劣化，可見在線式監測是完全可行的。

三、光纜自動監測系統開發與應用

自七十年代初期國內光纜開始大量鋪設以來，目前已有數量眾多的各式光纜遍佈全國各地，且大多尚在提供通訊服務。對我國而言，這些光纜均為國家通信命脈之所在，其重要性不言可喻。數年前，電信公司首度引進光纜自動監測系統，監控長途光纜幹線狀況，此系統亦隨光纖監測技術進步而數次更迭，對光纜線路品質之提升功效頗大。

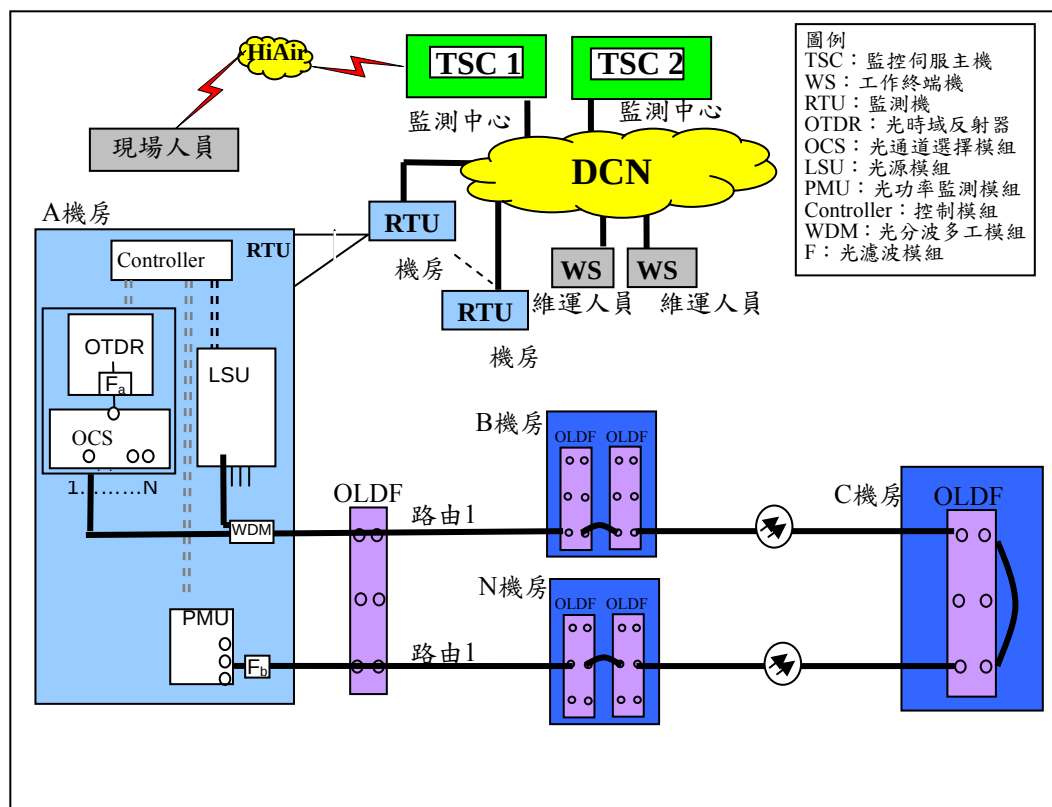
近年來，由於光纜使用量急速增加，並延伸至都會區及用戶端甚至最後一哩，網路架構及環境既廣且繁，為有效維護此大量光纜，電信公司常將系統納入整體維運資訊系統體系之中，開發全新網頁化光纜自動監測系統(Web-base Optical Cable Automatic Monitoring System, Web-base OCAMS)，係利用光纜中離線光纖或在線光纖自動監測光纜線路之光特性、劣化、障礙等問題之整合性設備，具監控、測試、記錄、列印、查詢及告警等多項功能，結合網頁化電子地理圖資，維護人員利用一般網頁瀏覽器即可隨時隨地長期、手/自動監測光纜線路，有效提昇光纜線路品質與維護效率。

建設光纜自動監測系統主要目的在進行光纜線路實體層監測，以彌補其他傳輸設備網管系統之不足，正確判斷光纜障礙的原因及位置。尤其在光纖、光源劣化而網管系統尚無法偵測時即可預先告警，障礙發生時亦可立即自動驅動測試與定位功能，大幅縮短維修時程，以利傳輸網路的服務時間可以更長。若與光網路品質服務系統結合，將可展現優質的光纖監測紀錄，向客戶提出通訊品質的保證，萬一有障礙發生時並可分析影響客戶範圍採取補救措施。隨著相關技術的發展，未來系統可偵測非法盜接光纖，防止非法者入侵；亦可增加先進的路由保護交換功能，使光通訊傳輸系統永遠告別光纜斷線的夢魘。

一般電信公司的各項網路維運資訊系統完備，唯獨光纜監測自動化較未完整規劃與建設。有鑑於此，計畫性推廣以全面管理通訊網路所有光纜是有其必要性。光纜自動監測系統架構如圖六所示，主要採用離線式監測，系統具有24小時隨時監測光功率及障礙主動測試與告警回報功能，可快速判斷光纖實體層的障礙。此系統的組成、工作原理、功能及特性將介紹於後，監測機與監控伺服器主機的監測架構亦會對現場維護人員在線路維護作業的輔助、監測設備的管理與操作的方便性產生不同影響，亦將於本文中一併討論。

(一)系統組成

光纜自動監測系統主要由監測中心之監控伺服主機（Test System Controller, TSC）、監測機（Remote Test Unit, RTU）及工作終端機（Work Station, WS）所組成。



圖六 光纜自動監測系統架構（作者繪製）

1. 監控伺服主機

監控伺服主機係安裝於監測中心透過資訊網路（Data Communication Network, DCN）可接受來自各機房監測機之告警回報並可主動或透過DCN網路接受工作終端機要求，命令各監測機進行資料管理、光纖路由量測等指定工作。主要監控各個監測機與資料儲存、分析，並提供各工作終端機查詢、測試使用。同時接收各機房監測機送來之告警信號，發出可視、可聽之信號，並於印表機印出告警訊息。

監控伺服主機之監控軟體，全網頁化設計，包含網頁化查詢、測試、告警與電子地理圖資功能，提供安全管理、資料庫管理、設備網管、障礙異常告警、劣化比對分析、遠端遙控量測、表格列印、異地備援等主要功能。

監控伺服主機亦可區分為全國性及地區性兩種層級。除方便網管外，更可實現異地備援之目的。

2. 監測機

監測機安裝於機房之光纖監測設備，用以監測光纖之現況。包含控制模組、光時域反射器、光通道選擇模組、光源模組、光功率監測模組、光分波多工模組、光濾波模組、光分歧模組等。含監測機控制模組之作業系統與監測軟體，提供安全管理、資料管理、監測光纖路由之光功率即時監測及光特性量測、異常告警、設備組件網管等主要功能。

光功率即時監測乃在監測機啟動後，即自動進入光功率即時監視流程，具備讀取功能及確認功能。光特性量測也是在監測機啟動後，即自動進入光特性待命量測流程，分別有指定量測及例行量測二種情況。

3.工作終端機

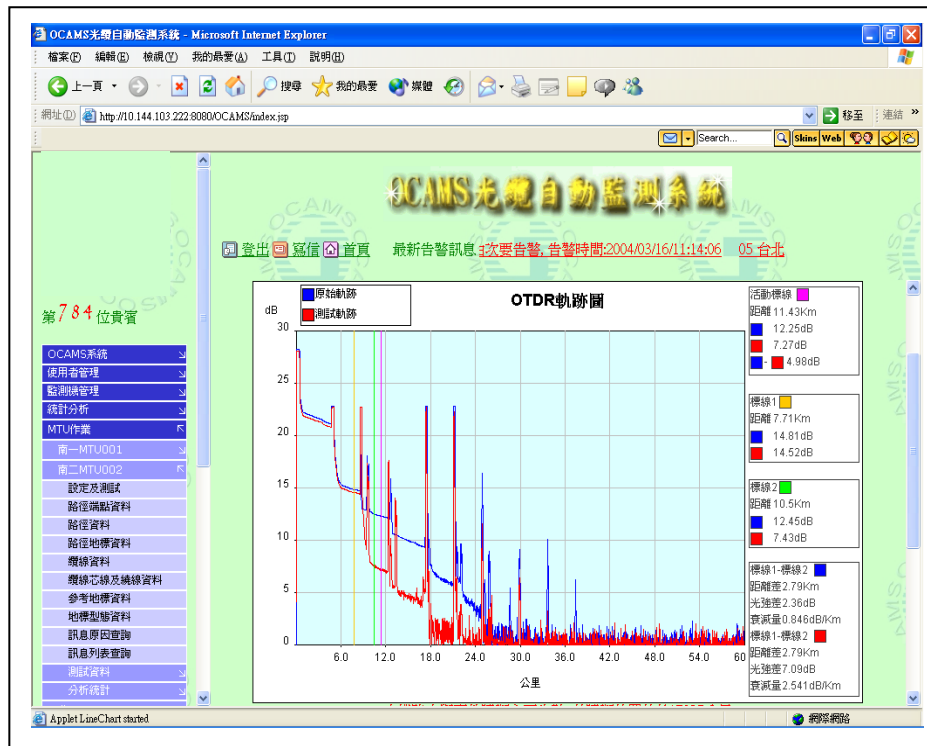
工作終端機安裝於各光纖維護作業相關單位，連接DCN網路，以網路瀏覽器透過監控伺服器主機進行光纖之測試與查詢。設備主要為桌上型或筆記型電腦，供維護人員主動查測光纖線路品質，及接受監控伺服器主機傳回監測光纖之例行資料與告警訊息。提供安全管理、資料管理列印、障礙異常告警、遠端遙控量測、電子地理圖資等主要功能。

(二)系統工作原理

監測機中，光時域反射器經光通道選擇模組與光源模組以光分波多工模組耦合至光纖中受監測光纖路由，並將光功率監測模組(含光濾波模組)串接至該光纖路由之另一終端接頭。光源模組內建主要光源及備援光源各一個，當主要光源故障時能自動啟動備援光源使監測系統仍能正常運作，另由監控伺服器主機亦可遙控切換光源，每一光源模組可監測四路光纖路由。

監測機與監控伺服器主機、監控伺服器主機與工作終端機利用 DCN 進行通訊，採用 TCP/IP 進行設備互連，可使監測中心和監測機(站)同時處理多個連接，並可遠端進行系統維護及軟體升級，還具有較好的安全性和較高的可靠性。工作終端機由監控伺服器主機擷取相關資料或對監測機進行測試。當監測機光功率監測模組偵測到光源模組送來的光功率低於原設定次要/主要告警門檻時，會先自我再確認，在確定測試無誤後將告警訊息傳回監控伺服器主機，監控伺服器主機即自動啟動光時域反射器與光通道選擇模組對該心告警光纖進行路由量測，量測結果再傳回監控伺服器主機。系統判定如量測的光纖路由斷線或光損失值超過所設定的門檻值時，監控伺服器主機將啟動告警作業，發送告警至異常障礙通報系統及維護人員電子信箱或手機簡訊。如量測的光纖路由光損失值未超過所設定的門檻值時，則視為瞬間光信號不足或光源模組暫時性故障，光纖監測系統回復之前的監測模式。

(三)系統功能及特性



圖八 路由障礙測試與劣化分析網頁（作者繪製）

四、光纖監測技術未來發展趨勢

光纖自動監測系統經過長時間的開發、應用和不斷的改善，已經成為國內外光纜維運工程中故障維護的重要一環，在長途幹線網路維護中也確實發揮極大的效果。由於部分新技術正待開發及其他維運因素考量，系統還有一些問題需要解決。

（一）告警信號擷取方式

光纖監測系統擷取告警資訊大致有三種方式：利用光分歧器擷取3~5%的傳輸光，經由光功率偵測進行分析；利用傳輸設備中的測試埠接收光功率；利用傳輸設備的告警信號。但這三種方式都存在一定的問題：利用光分歧器擷取3~5%的傳輸光功率，對於光功率餘裕度較小的中繼系統來說較難接受；利用傳輸設備中的測試埠接收光功率，各廠牌設備規格不一，配合不易；利用傳輸設備的告警信號，監測系統將會對該機架所有的告警信號（包括電源告警、設備告警等）進行緊急反應，易形成誤告警。

（二）系統光損失

由於系統需要加入 WDM、FILTER 等被動光元件，必定會影響傳輸系統的接收光功率，對此，除系統設計時就要預留餘裕度外，應儘量減少光纖監測元件的插入損失。

（三）快速切換路由功能

目前的監測系統只有測試、分析和告警的功能，在光纜發生障礙後仍需被動等待維護人員到現場進行緊急搶修，沒有根本解決主動即時切換光路、恢復通信的問題。

(四)監測光纖數目較少

離線式監測僅具代表性，被監測光纖在光纜中所占比例較小，當光纜發生非全面性障礙時，會因為障礙光纖不是被監測光纖而使監測系統沒有產生應有的告警資訊。在線式監測雖可準確監測系統使用光纖狀態，但因光纖心數眾多，難以全部監測。

一個完整的光纜自動監測系統應包含光纖自動監測和自動切換兩方面，光纖的監測和路由切換各有其主、被動處理障礙的不同含意和作用，二者間彼此互補，相輔相成。

展望未來，對於迅速切換路由之功能，已有設備可以實現，因為新型光切換器切換時間已可縮短至 15ms 以下，較 ITU-T 對一般傳輸系統所規定的 50ms 切換時間快速許多。另外，對於 DWDM 光訊號品質的監測、FTTH 服務光纖的監測、光纖防入侵之安全監測及防止光纜被挖斷之感應式預警監測技術等，都尚有極大的發展空間。

五、光纜自動監測系統在我國防光纖通訊網路之應用與重要性

現今資訊與 Internet 網路發展快速，導致資訊作戰時代來臨，資訊網路也躍升為現代化軍隊的神經中樞；戰爭型態由傳統的消耗戰、機動戰、系統戰，演進到現今的「資訊戰」，未來新世紀想在高科技戰爭中取得主動權，就必須先取得制網路權及制電磁權，才能贏得戰爭。美伊波斯灣戰爭中，伊拉克被美軍空中武力攻擊其指管通情監偵系統後資訊系統迅速潰不成軍，致使美軍於地面作戰僅短短數天即獲得決定性戰果，即為一例。

中共將「信息戰」(Information Warfare)定義為：「綜合運用信息技術和武器，打擊敵人信息系統(偵察與指揮控制系統)，使敵情況不明，決策錯誤或放棄抵抗；此同時採取一切措施，保護自己信息系統不受敵人干擾和破壞，得以充分發揮功能；這種戰爭核心是爭奪制信息權，以掌握戰爭之主動權」。為此，共軍在資訊作戰之建設作為，首重軍隊指管功能之提昇，除發展自動化指揮系統建設，在研製新型指通偵監裝備上，對於加強光纖通訊基礎建設，於 1993～1998 年共計建設完成總長 80,000 公里之跨省距光纖通訊網路工程，並以數位電腦交換機為主要中繼設備，達成「信息高速公路」計畫之建設目標。未來中共資訊作戰之發展重點也有建設光纖通信網路，完成 23 條總長 32,000 公里的軍用光纖「資訊高速公路」提供解放軍專用，提昇中共軍隊「自動化指揮系統」對

抗電磁干擾之指管能力。

在國軍對中共發展資訊戰之眾多因應作為中，建構強固的聯合作戰系統亦為其中重要之一環，防範敵人對我國軍的資訊系統與網路進行破壞，我國軍應研擬相對性戰術戰法，避免在遭受電磁脈衝攻擊後通資電系統產生「失效弱化」反應，造成通連上的障礙或困擾，需結合有效的通資光纖網路鏈結與快速應變、回復系統等措施以為因應。另外，一些先進國家也在研究以各種專用設備，從網路系統（包括電纜、光纜、微波和衛星）中竊取重要資訊。資訊戰的目的之一在於建構安全的網路防禦工事，資訊防護首重網路安全，為確保我國防光纜傳輸網路的安全和暢通，光纜自動監測系統可結合未來國軍通資電整體規劃架構，提供國軍光纖系統未來發展與精進之應用。

參、結論與建議

光纜自動監測系統具有協助光纖網路維護人員隨時掌握光纖品質、釐清網路設備與光纖之障礙責任分界、快速障礙定位提昇光纜維修時效、提供網路劣化預警與確保傳輸品質等效益。

隨著資訊技術、多媒體服務與光纖到家的發展，人們對寬頻通信和服務品質要求的不斷提高，我國的光纖傳輸網路仍會持續快速發展。在此同時，如何進一步提升光纖通信的可靠性，及時有效地對光纜線路進行監控與管理，準確判斷障礙徵兆，防止光纜斷裂，已經是光纖網路維運者所關心的話題，光纜線路監測的重要性將因而更為突出，光纜自動監測與管理系統終將成為一門專門技術並獲得空前的發展。我們相信，隨著通信技術的快速發展，目前光纜自動監測技術本身的限制也終將獲得解決。

基於對光通訊技術長期經驗的累積，並結合IT新進技術，開發最符合國內環境使用並具備國際水準的系統已經完成，並在光纖網路上實際建置使用多年，效果卓越，有目共睹。此研發成果亦可應用在國防光纖通訊領域，因為國防通訊是國家安全命脈之所繫，也是我們期待將此技術應用於國防安全建設的首要目標。

為避免我國軍在遭受攻擊後通資電系統產生失效弱化，須加強國軍通資光纖系統之有效性，確保光纖傳輸網路的安全與暢通，個人以為「光纜自動監測系統」正可結合國軍通資電系統整體架構，提供國軍通資電未來發展與精進之建設方案。

國防資訊基礎建設主要在建置國軍主幹網路，以及運用民間固網光纖網路，達成有效整合通資網路；同時必須加強通資系統作業環境與平臺整合，結

合軍種與聯戰網路為目標。在這總體規劃中，加入 OCAMS 建置始得完整，OCAMS 可以自動監測網路光纖障礙，甚至自動切換保護光路由，消弭光纖網路障礙於無形，達到光通訊不中斷的保證，而且在系統具有 web-base 能力下，與通資電系統結合容易，建置後將使國軍光纖網路更安全、更可靠，絕對可以對國軍通資電做出一份貢獻。

肆、預期成果（貢獻）

自主研發之光纜自動監測系統架構已在各式光纖網路維運實際應用多年，效果卓著。OCAMS可在C4ISR整合系統中做出提升國軍環島光纖網路可靠度之實質貢獻。尤其本系統完全由國人自行研發製造，最符合國內軍用光纖網路使用，同時性能上更超越國際水準，足以負起對國防通信光纖網路安全監控的重要使命。

國軍指管通資情監偵(C4ISR)整合系統的遠景是，配合國軍環島光纖網路，建立三軍互用數據資料鏈路，並有效運用民間通資資源，形成軍民共用多重節點，提升網路可靠度與通達率。OCAMS在這方面可以有實際貢獻，對於運用民間通資光纖網路資源方面，可要求網路提供者必須同時兼具光纖即時監測功能。對於國軍環島光纖網路，可以直接建置OCAMS系統，同時可與國軍其他網管系統整合，以發揮綜效。

OCAMS自始以web-base架構開發，在整合介接相關網管系統與資料庫主機或是國軍通資電整體架構均十分容易，系統在整合電信網管系統上之應用也已行之多年，目前之系統亦遵循國際NGOSS架構開發，已實際提供光纜障礙自動告警WSDL模組之web service，因此系統整合可順利進行。