

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

實習「全光網傳送網路規劃設計技術」

	服務機關：中華電信南區分公司網路處
出 國 人	職 稱：工程師(二)
	姓 名：蔡新錡
	職 稱：助理工程師(二)
	姓 名：謝永輝
出國地區：	美國
出國期間：	92年9月21日至92年10月5日
報告日期：	92年11月25日

H6/  
CO9203875

## 目 錄

摘要

1.	前言.....	1
2.	全光網傳送網路.....	2
3.	全光網傳送網路元件及技術.....	9
4.	光放大器技術.....	13
5.	全光網路設計之考量.....	24
6.	MOVAZ 光通信設備介紹及應用.....	29
7.	整合網路層的未來新趨-GMPLS.....	41
8.	感想與建議.....	47

## 摘 要

本實習報告首先介紹全光網傳送網路概念，接著介紹全光網傳送網路相關元件及其技術，並闡述光放大器技術，其次論述全光網路設計之考量，最後介紹 MOVAZ 公司之光通信設備產品及應用，並就本公司有關全光網路建設之相關事宜，提出個人的感想與建議。

## 1.前言

隨著社會經濟的發展，人們對資訊的需求急劇增加，資訊量呈指數增長，僅 Internet 用戶需要傳送的資訊位元速率每年就增加八倍。通信類別需求的迅速增長對通信容量提出越來越高的要求。光纖近 30THz 的巨大潛在頻寬容量，使光纖通信成為支撐通信類別量增長最重要的技術。現階段採用分時多工(TDM)單波長的光纖傳輸系統容量已達 10Gbit/s，再提高系統速率就會產生技術和經濟上的問題。人們普遍認為分波多工是充分利用光纖低損耗區 30THz 頻寬的一種可行技術，可以打破單個波長系統頻寬的限制，是提高光纖容量的一種有效途徑。但是光纖傳輸系統速率的提高也帶來了一個新的問題。在這種高速傳輸的網路中，如果網路節點處仍以電信號處理資訊的速度進行交換，就會受到所謂「電子瓶頸」(10Gbps)的限制，節點將變得龐大而複雜，超高速傳輸所帶來的經濟效益將被昂貴的光/電和電/光轉換費用所抵消。為了解決這一問題，人們提出了全光網 AON(All Optical Network)的概念。

## 2.全光網傳送網路

### 2.1 光纖網路應用之發展趨勢

由於網際網路的興起，網路服務的種類持續在增加，各種傳輸技術不斷地出現，使得網路傳輸的環境愈來愈複雜，進而嚴重影響網路整體的傳輸品質，因此電信網路的架構產生巨大的改變，但是主要還是因為對頻寬與速率的需求，近年來呈現爆炸性的成長。隨著 SDH、ATM、Frame Relay、Ethernet 及 IP 等各種網路傳輸技術的快速發展與廣泛的應用，而以高速、大容量光纖為主要傳輸幹線的光纖網路已成為目前骨幹網路與地區網路等傳輸網路的主要組成部份。現今的網路架構已逐漸形成新的網路分層架構，如圖 3-1 所示；IP、ATM、SONET/SDH、Ethernet、Resilient Packet Ring(RPR)、WDM/DWDM。

新的網路分層結構可以將 Internet Protocol (IP)的資料訊息傳送到光纖網路上，為了實現 IP over WDM(Fiber)，可以有下列幾種方式：

#### 1. 經由 ATM 映射：

IP→ ATM→ WDM or  
IP→ ATM→ SONET/SDH→ WDM

#### 2. 經由 SDH 映射：

IP→ (PPP/HDLC)→ SONET/SDH→ WDM

#### 3. 簡化的 SDH 層映射：

IP→ (PPP/HDLC)→ Thin SONET/SDH→ WDM or

IP→ (SDL)\*→ Thin SONET/SDH→ WDM

4. 經由 Ethernet 映射：

IP→ Ethernet MAC→ WDM or

IP→ Ethernet MAC→ SONET/SDH→ WDM or

IP→ Ethernet MAC→ Digital Wrapper(G.709)→ WDM

5. 經由 RPR (Resilient Packet Ring)映射：

IP→ RPR→ WDM or

IP→ RPR→ SONET/SDH→ WDM

6. 直接映射至光纖：

IP→ (SDL)\*→ WDM or

IP→ ? → Glass

\* SDL：Simple Data Link

由以上各種映射路徑可以歸納出數種技術，IP over ATM、IP over SONET/SDH、IP over Ethernet over WDM 及 IP over RPR over WDM/DWDM。

有些傳統的電信服務業者認為，要達到有效率、多種服務的網路服務及保證服務質量(QoS)的要求，選擇 IP over ATM 的技術具有較大的優點，但是 IP over ATM 並不適用在大型的 IP 骨幹網，因為此時 ATM 的分段及組裝功能將變得非常複雜而導致傳輸速率無法有效地提昇；然而為滿足傳送大量 IP 服務需採用以 SDH 為基礎的傳輸技術，即 IP over SDH，IP 的特點與 SDH 相結合，可將 IP 資料以分組方式利用點對點協定(Point-to-Point Protocol；PPP)映射至 SDH 的碼框格式中，可

以省去中間的 ATM Layer，此舉可以簡化網路的結構，提高傳輸速率、降低網路設備的成本。

目前 WDM 系統中主要還是利用 SONET/SDH 的訊號格式來傳送資料，未來的網路結構將逐漸減低對 SONET/SDH 的需求，但是 SONET/SDH 在未來五年內是否會被逐漸替換掉？根據網路設備的市場需求分析，在 1998 年 SONET/SDH 設備全球的市場產值達 6.3 億美元，而預估至 2003 年全球 SONET/SDH 的市場產值將達到 15 億美元，為何有如此大幅度的成長？主要是因為新世代的智慧網路(Intelligent Network)系統的發展尚未成熟，國際電信服務經營業者會繼續選擇傳輸品質穩定且價格便宜的 SONET/SDH 系統做為網路傳輸的主要設備，因為它具有統一的訊號介面規範而且在現行的網路傳輸中可以提供整合各種速率的 PDH 訊號的功能。SONET/SDH 網路除了能改善傳輸的效率，提供顧客更好的品質及更新的服務外，在網路的管理與維護方面將更容易，更有彈性。也由於網路上傳輸設備大量的減少，不僅降低了設備與人員訓練之成本，更大大的提高了網路的可靠度。這些優點使得多數電信服務經營業者，在未來的數年內，將繼續採用 SONET/SDH 設備。

以網路未來的發展趨勢而言，WDM/ DWDM 技術將是最重要的傳輸技術之一，由於 WDM/DWDM 與 SDH 同樣都是傳輸的物理層

(Physical Layer)，只是 DWDM 技術可以直接以光訊號進行多工/解多工，而 SDH 只能在電訊號階層進行資料的多工/解多工，因此 DWDM 技術除了高容量、多波長等優點，還具有簡易的訊號模式，可以提供簡易的訊號交錯連接的功能，使得以 WDM/DWDM 技術為主的新型網路大幅簡化網路的架構層次，在光元件技術有長足的進步及價格便宜化等趨勢發展下，WDM/DWDM 傳輸系統技術將是未來光纖網路的核心技術。

## 2.2 光纖傳輸系統技術

在傳輸方面，摻鉕光纖放大器、分波多工和光纖色散補償技術是建立全光通信網的核心技術。光纖在  $1.55\mu\text{m}$  窗口有一較寬的低損耗頻寬(30THZ)，可以容納密集分波多工(DWDM)的光信號同時在一條光纖上傳輸，這樣的多路傳輸系統是可以擴展的，經濟合理。 $1.55\mu\text{m}$  摻鉕光纖放大器(EDFA)能在較寬波段提供同等增益，它與分波多工和光纖色散補償技術結合，成為挖掘光纖潛在頻寬容量的最好辦法。

雖然 DWDM 和 EDFA 的結合堪稱通信領域的最完美的聯結，但是系統只提供了原始的傳輸頻寬，只有再加上靈活的節點才能實現高效的靈活的組網能力。然而現有的電交接機(DXC)系統十分複雜，其系統開發和改進的速度要慢於半導體晶片性能改進的摩爾定律，從發展看是無法跟上網路傳輸鏈路容量每 9 個月倍數的增長速度。於是業界的



注意力開始轉向光節點，即光塞取多工機(OADM)和光交接機(OXC)，靠光層面上的波長連接來解決節點的容量擴展問題，即能直接在光路上對不同波長的信號實現上下和交接功能。

目前具有固定波長上下的 OADM 已經商用，具有軟體可配置的 OADM 也即將商用，而 OXC 尚處於試驗階段，主要問題是尚未有性能價格比好、容量可擴展。穩定可靠的光交換矩陣，核心是光開關。目前看來，微機電系統(MEMS)最有前途，在發展上都有重大突破。

### 2.3 全光網路技術

全光網，它以波長路由光交換技術和分波多工傳輸技術為基礎，在光域上實現資訊的高速傳輸和交換，數據信號從源節點到目的節點的整個傳輸過程中始終使用光信號，在各節點處無光/電、電/光轉換。

全光網，從原理上講就是網中到端用戶節點之間的信號通道仍然保持著光的形式，即端到端的全光路，中間沒有光電轉換器。這樣，網內光信號的流動就沒有光電轉換的障礙，資訊傳遞過程無需面對電子元件處理資訊速率難以提高的困難。全光網技術是光纖通訊領域的先進技術，是 21 世紀真正的高速公路。目前，幾乎先進的電信系統業者及電信服務業者莫不把目光關注於「全光網」的發展及建設。

全光通信網路的結構分為服務層(Service layer)和傳送層

(Transport layer)，網路傳送層分為 SDH 層、ATM 層和光傳送層。光傳送層由光塞取多工機 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer)和光交接機 OXC (Optical Cross-connect)組成。在光傳送層，透過迂迴路由波長(Rerouting wavelength)，在網路中形成大頻寬的重新分配。在光纜斷開時，光傳送層發揮網路恢復(Restoration)的作用。

全光網是通信網發展的目標，分兩個階段完成。第一個階段為全光傳送網，即在點對點光纖傳輸系統中，全程不需要任何光/電和電/光的轉換。長距離傳輸完全靠光波沿光纖傳播，稱為發射端與接收端間點對點全光傳輸。第二個階段為完整的全光網。在完成上述用戶間全程光傳送網後，有不少的信號處理、儲存、交換以及多路多工/解多工、進網/出網等功能都要由光子技術完成。完成端到端的光傳輸、交換和處理等功能，這是全光網發展的第二階段，即完整的全光網。

由此，實現全光網大致有以下幾種關鍵技術。為了補償傳輸上的光功率損耗（從光纖損耗特性圖可以看出，在 1380nm 附近有一個 OH 離子吸收峰。研究表明除了該吸收峰導致的損耗比較大外，其他區域光纖損耗都小於 0.5dB/km，現在已有公司推出了全波「ALLWAVE」光纖，消除了這一損耗峰峰值，使整個頻帶更加平坦，人們所利用的只是光纖低損耗頻譜「1310~1550nm」極少的一部分。），需要光放大器，但是光放大器方面存在頻寬限制，限制了可用的波長資源。為了

實現從傳輸設備中上下載某個波長信號，需要 OADM。為了直接在光域內實現路由選擇、網路恢復等，需要使用 OXC。OADM 和 OXC 因為存在大量的光開關和光濾波器，光信號串擾嚴重，在網路中會積累。另外還有光濾波器的串聯會影響總通帶特性；波長轉換技術不成熟；網路運行、管理和控制方案不成熟等。這些障礙都限制了全光網路的規模。

#### 2.4 全光網路的優點

- 提高 OEO 交換容量的限制
- 在網路接取端使支援多重服務，改善都會網路的財務結構。
- 資訊在網路的接收端與傳送端以相同的協定與速率解多工。簡化操作與設備成本。

### 3.全光網傳送網路元件及技術

#### (一)高密度分波多工器(DWDM)：

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexer)之發展，使得一條光纖可傳 5~8Tbps(相當於六千萬至一億條電話線)數百公里。由於 FBG (Fiber Bragg Grating)光纖光柵之技術，及強力 800MW 多幫浦模組(Multi-pump Module)之發展，使得 Raman 放大效應，可跨 C(1530 ~1560 nm)，S(1460~1690 nm)，L(1565 ~1595nm) 之三個光頻帶，不但使光頻道數目增加，還可增長傳輸至超長距離(Ultra Long Haul)。以 128 $\lambda$ ，每波長 40Gbps 之 DWDM 為例，5.2 Tbps 可傳三百公里。目前最常用之 C band，可作到 80 $\lambda$ ， $\lambda$ 間相隔 50GHz，加入 L band，可做到 160 $\lambda$ ， $\lambda$ 間相隔 50GHz。S band 加入後，可作到 240 $\lambda$ 。此外又由於鍍膜點技術及平面光波電路(PLC)技術之進步，使得光元件之生產良率大增，而使都會區短距低容量之 DWDM 價格大幅降低，而變得使用普遍。

#### (二)光塞取多工器(Optical Add-Drop Multiplexer；OADM)：

由於可調式雷射(Tunable Laser)之發展。DWDM 除了可作光波多工外，還可加入或取出光波長，作為光波長塞取多工之用。因此光波長之使用，變為可調度、可管理，其使用變得很有彈性。

### (三)光交接機(Optical Cross-Connect ; OXC)。

由於 MEMS(Micro Electro-Mechanical System)微機電系統之發展，光交接設備可將光波長作交換。目前交接距陣可做到 512x512、1024x1024 及 4096x4096 之超大型 OXC。

### (四) 拉曼放大(Raman Amplification)：

拉曼放大係利用強力的雷射幫浦模組(Pump Module)，使傳輸光纖本身產生放大作用。要啟動拉曼放大效應、幫浦之雷射(Laser)發射，必須融合雷射之傳輸信號。此種雷射光散射之過程，由同條光纖心線內兩種不同之波長產生，由低波長之光子將能量轉至高波長之光子上，且為非線性的，與光纖內能量之密度成正比。比起摻鉕光纖放大器(Erbium-Doped Fiber Amp ; EDFA)，拉曼放大器之好處是不會因放大而產生雜音。因此傳輸距離可更遠、速率更高，今日之 DWDM 傳輸系統，能長距離傳輸 Terabits 以上，它是重要功臣之一。因為可省掉中間之放大器(In Line Amp ; ILA)，故整個傳輸系統成本可降低很多。

### (五)ADM-64/ADM-256 之發展：

SDH/SONET 塞取多工機(Add Drop Mux ; ADM)之高速端速度漸提高至 10Gbps 及 40Gbps。當然這種以 TDM(分時多工)方式所作成之 ADM，其發展速度遠比不上以分波多工方式之 DWDM 快速。但其於

幹線網路之核心節點上(Core Node)，於提供專線之功能方面，還是佔很重要之地位。

此外於 ADM-64 上 SDH 及 SONET 可透過 AU3 至 TU3 之轉換做連通，使傳輸網路路障消除。ADM-64 亦支援 VC4-64C Concatenated payload，使 SDH 可與 IP Terabit Router 連通，即所謂之 POS (Packet Over SDH)。另外，ADM-16/ADM-64 皆可加上 ATM 及 IP 卡，作為 Through-put 2.5G 及 10G 之 Edge Switch。

(六)IP 與光通信設備介面標準之產生：

一些產業聯盟如 ODSI(Optical Domain Service Interconnect)，還在作一些 IP 與光通信設備間介面標準之測試，並會將它送給 IETF(Internet Engineering Task Force)、OIF(Optical Interworking Forum)、國際電信聯盟(ITU)等之工業標準製定組織，建立共通標準。ODSI 提出新的 GMPLS(Generalized Multi-protocol Label Switching)，使 IP 能直接加入光網路上用。經由 Router、ATM Switch 及 SDH/SONET ADM，靈活快速地調度光網路上之頻寬。其他通信協定，如 MPLS(Multi-protocol Lambda Switching)，亦使光網路上之 lambda 可被靈活調度。

MPLS 其目的是要達到隨取波長(Wavelength on Demand)；

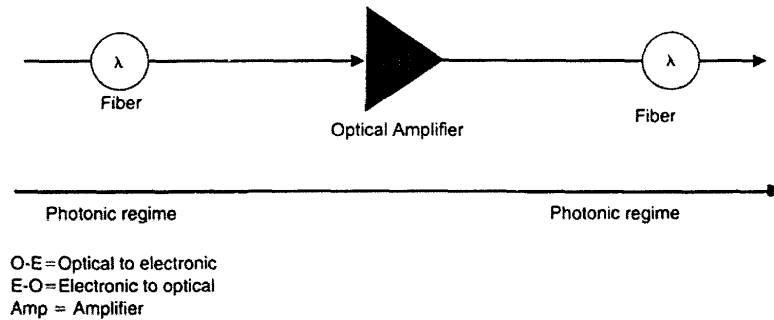
WOD)。它於 Router 與 OXC 結合之網路中，作為調度  $\lambda$  之控制信號及協定。 $\lambda$  之調度，切換可由客戶要求、Router 之填充率(Fill rate)、網路反應時間等決定。

(七)網管(Network Management System)之發展：

目前 SDH 系統最大之問題為不同廠家間之網管系統很難作整合，以達到端對端之電路調度。目前透過 ITU-T 之 Qnn 開放系統介面(Qnn/OSI)，及 TMF 集團之標準 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)介面，可用來整合不同廠家之同步數位階層(SDH)網管系統。網管系統對光網路及 SDH 網路之重要性為：若無網管，整個網路將會全面癱瘓，無法運作。

#### 4.光放大器技術

什麼是 OA，光放大器(OA)顧名思義是將光能量利用設備加以放大，使得光訊號得以在傳輸中不至於因為光訊號的衰減而受限制。



圖一、光放大器(OA)

光放大器種類計有下列數種：

- 摻鉕光纖放大器(EDFA)是利用摻鉕光纖中，鉕元素( $\text{Er}^{3+}$ )電子能階的能量躍遷與轉換，釋放出能量，達到光訊號的放大。
- 半導體光放大器(SOA)是利用直流偏壓，將射入於活性層內的光信號進行放大。
- 拉曼光放大器(Raman)是利用泵激光源和光纖原子間的交互作用所產生之非線性 Stoke Line 而達到放大功能。

光纖放大器不但可對光信號進行直接放大，同時還具有高增益、頻帶寬、低噪聲、低損耗的全光放大功能，是新一代光纖通信系統中



不可缺少的關鍵設備；由於這項技術不僅解決了衰減對光網路傳輸速率與距離的限制，更重要的是它開創了 1550nm 頻段的分波複用，從而將使超高速、超大容量、超長距離的分波複用(WDM)、密集分波複用(DWDM)、全光傳輸等成為現實，是光纖通信發展史上的一個劃時代的里程碑。在目前實用化的光纖放大器中主要有摻鉕光纖放大器(EDFA)、半導體光放大器(SOA)和光纖拉曼放大器(FRA)等，其中摻鉕光纖放大器以其優越的性能現已廣泛應用於長距離、大容量、高速率的光纖通信系統、光纖 CATV 網路、軍用系統(雷達多路數據複接、數據傳輸、製導等)等領域，作為功率放大器、中繼放大器和前置放大器。光纖放大器一般都由增益介質、泵浦光和輸入輸出耦合結構組成。目前光纖放大器主要有摻鉕光纖放大器、半導體光放大器和光纖拉曼放大器三種，根據其在光纖網路中的應用，光纖放大器主要有三種不同的用途：在發射機側用作功率放大器以提高發射機的功率；在接收機之前作光預放大器以提高光接收機的靈敏度；在光纖傳輸線路中作中繼放大器以補償光纖傳輸損耗，延長傳輸距離。

#### 4.1 摻鉕光纖放大器

##### ●EDFA 基本架構

EDFA 主要由摻鉕光纖(EDF)、波長多工器(WDM)、波長 980nm 或 1480nm 的泵激雷射(Pump)及隔離器(Isolator)等所組成。

## ●EDFA 特點及功能

980nm 光學泵激雷射器能向特殊的光纖注入高強度能量，從而啟動鉕離子，把傳輸中的光信號加以放大。能同時做 Multi-channel (DWDM 系統) 的放大。

摻鉕光纖放大器是利用摻鉕光纖這一活性介質，當泵浦光輸入到 EDF 中時，就可以將大部分處於基態的  $\text{Er}^{3+}$  抽運到激發態上，處於激發態的  $\text{Er}^{3+}$  又迅速無輻射地轉移到亞穩態上，由於  $\text{Er}^{3+}$  在亞穩態上的平均停留時間為 10ms，因此很容易在亞穩態與基態之間形成粒子數反轉，此時，信號光子通過摻鉕光纖，在受激輻射效應作用下產生大量與自身完全相同的光子，使信號光子迅速增多，這樣在輸出端就可以得到被不斷放大的光信號。自 80 年代末至 90 年代初研製成摻鉕光纖放大器(EDFA)，並開始應用於 1.55 $\mu\text{m}$  頻段的光纖通信系統以來，推動了光纖通信向全光傳輸方向發展，且目前 EDFA 的技術開發和商品化最成熟；應用廣泛的 C 波段 EDFA 通常工作在 1530~1565nm 光纖損耗最低的窗口，具有輸出功率大、增益高、與偏振無關、噪聲指數低、放大特性與系統比特率和數據格式無關，且同時放大多路波長信號等一系列的特性，在長途光通信系統中得到了廣泛的應用。其不足是 C-Band EDFA 的增益帶寬只有 35nm，僅覆蓋石英單模光纖低損耗窗口的一部分，限制了光纖固有能夠容納的波長信號數；然而隨著網

路技術的迅速發展，要求光纖傳輸系統的傳輸容量要不斷地擴大，面對傳輸容量的擴大，目前主要有三種解決途徑：(1)增加每個波長的傳輸速率；(2)減少波長間距；(3)增加總的傳輸帶寬。對於第一種辦法，如果速率提高到 10Gbit/s 將帶來新的色散補償問題，況且現在的電子系統還存在著所謂"電子瓶頸"效應問題。第二種辦法如果將信號間距從 100GHz 降低到 50GHz 或 25GHz 將給系統帶來四波混頻(FWM)等非線性效應，且要求系統採用波長穩定技術。從而研究新的光纖放大器如 L 波段的 EDFA 是增加總的傳輸帶寬的一種，它將 EDFA 工作波長由 C 波段 1530~1560nm 擴展到 L 波段 1570~1605nm，使 EDFA 的放大增益譜擴展了一倍。盡管 L 波段 EDFA 的波長覆蓋了 EDF 增益譜的尾部，但仍可與性能先進的 C 波段 EDFA 產品相媲美：例如兩者的基本結構相類似，大多數 C 波段 EDFA 的設計和製造技術仍可應用於 L 波段 EDFA 研製；L 波段 EDFA 有較小的輻射和吸收以及較低的平均反轉因子，增益波動系數遠小於 C 波段 EDFA，所存在的是 L 波段 EDFA 的 EDF 較長帶來無源光纖損耗較大，放大噪聲稍大等不足。

#### ●EDFA 的效益

- 1)取代傳統的信號再生器(Regenerator)，Protocol Independent:不需要協定轉換，可應用於單波長或 DWDM 多波長之放大。
- 2)Cost down

-建置成本低於 Regenerator

-可減少中繼站或機房的建置數

### 3)增加傳輸距離

#### ●EDFA 的特性

能同時放大多通道的光信號，輸出功率 up to 25dBm，動態增益高，低雜訊指數，增益與輸入信號的極化特性無關。修改後的 EDFA 可應用於 L Band 或 C+L Band

#### ●EDFA 的用途

中繼放大器(In-line)：當成再生器使用，週期性放大信號強度來增加傳輸距離。

功率放大器(Booster)：置於光發射機的前方，以增加光發射機輸進光纖之信號功率，可增加在衰減限制下系統所能傳送的最長距離。

前置放大器(Pre-Amp)：置於光接收機之前方，當作光接收機的前置放大器使用，以提高光接收機的靈敏度。

### 4.2 半導體光放大器

半導體光放大器(SOA)是採用通信用激光器相類似的工藝製作而成的一種行波放大器，當偏置電流低於振盪閾值時，激光二極管就能

對輸入相干光實現光放大作用。由於半導體放大器具有體積小、結構較為簡單、功耗低、壽命長、易於同其它光元件和電路整合、適合批量生產、成本低，可實現增益兼開關功能等特性，在全光波長變換、光交換、譜反轉、時鐘提取、解多工中的應用受到了廣泛的重視，特別是目前應變量子阱材料的半導體光放大器的研製成功，已引起人們對 SOA 的廣泛研究興趣。但半導體光放大器與摻鉍光纖放大器相比存在著噪聲大、功率較小、偏振敏感、與光纖耦合時損耗大，工作穩定性較差等缺陷，迄今為止，其性能與摻鉍光纖放大器仍有較大的差距。又由於半導體光放大器覆蓋了 1300~1600nm 波段，既可用於 1300nm 窗口的光放大器，也可以用於 1550nm 窗口的光放大器，且在 DWDM 多波長光纖通信系統中，無需增益鎖定，那麼它不僅可作為光放大器一種有益的選擇方案，而且還可以促成 1310nm 窗口 DWDM 系統的實現。

#### 4.3 光纖拉曼放大器

受激拉曼散射(SRS)是光纖中的一種非線性現象，它將一小部分入射光功率轉移到頻率比其低的斯托克斯波上；如果一個弱信號與一強泵浦光波同時在光纖中傳輸，並使弱信號波長置於泵浦光的拉曼增益帶寬內，弱信號光即可以得到放大，這種基於受激拉曼散射機制的光放大器即稱為光纖拉曼放大器(FRA)。近年來光纖拉曼放大器倍受

關注，已成為研製開發的熱點，它具有許多優點：(1)增益介質為普通傳輸光纖，與光纖系統具有良好的兼容性；(2)增益波長由泵浦光波長決定，不受其它因素的限制，理論上只要泵浦源的波長適當，就可以放大任意波長的信號光；(3)增益高、噪聲指數低、頻譜範圍寬、溫度穩定性好。

正因為光纖拉曼放大器有這麼多的優點，它可以放大摻鉍光纖放大器所不能放大的波段，並可在 1292~1660nm 光譜範圍內進行光放大，獲得比 EDFA 寬得多的增益帶寬；再次增益介質為普通光纖，可製作分立式或分布式 FRA，分布式光纖拉曼放大器可以對信號光進行在線放大，增加光放大的傳輸距離，應用於 40Gbit/s 的高速光網路中，也特別適用於海底光纜通信系統，而且因為放大是沿著光纖分布而不是集中作用，所以輸入光纖的光功率大為減少，從而非線性效應尤其是四波混頻效應大大減少，這對於大容量 DWDM 系統是十分適用的。FRA 是 EDFA 的補充，而不是代替，兩者結合起來可獲得大於 100nm 增益平坦寬帶。

但光纖拉曼放大器有一個主要的缺點就是需要特大功率的泵浦激光器，解決這個問題的主要途徑有：一是研究降低閾值功率的泵浦激光器，使得普通的大功率半導體激光器能作為拉曼泵浦使用；其二是提高獲得更大輸出功率泵浦激光器的研製水平；其三是將多個泵浦

源激光器的波長採用列陣、單片組合之多工方式，獲得一個大功率輸出的泵浦激光器，此種方法不但可提供一個寬帶的增益譜，而且還可以通過調節單個激光器的功率來調整增益斜率。

#### 4.4 各式光放大器的優缺點

表一、各式光放大器的優缺點

	優點	缺點
半導體光放大器	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Compact Size</li> <li>· 可與 laser 直接整合</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 雜訊指數高</li> <li>· 輸出功率小且輸出光信號的耦合效率差</li> <li>· 只能單 Channel 放大</li> </ul>
Raman 光放大器	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 放大的波長(波段)不受局限</li> <li>· 搭配 EDFA 做其他波段的放大(L or S Band 以上)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 價格昂貴</li> <li>· Pumping Source 要求高</li> </ul>
摻鉍光纖放大器	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 價格中等</li> <li>· 能同時放大多通道的光信號</li> <li>· 動態增益高</li> <li>· 低雜訊指數</li> <li>· 輸出功率 up to 25dBm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 會產生自發輻射雜訊 (ASE)</li> <li>· 體積無法像 SOA 一樣小，無法與其他半導體元件整合</li> <li>· 具有一定的最高輸出功率</li> </ul>

表二、光放大器與再生器之比較

光纖光放大器	再生器
僅需低速電子電路	需高速數位電子電路
適於多波道傳輸	僅適於單一波道傳輸
適用於任何型式與速率之信號	適用於特定型式與速率之信號
累積全程傳輸線之色散與非線性效應	累積單一區段傳輸線之色散與非線性效應
累積全程傳輸線之雜訊	累積全程傳輸線之誤碼率與時閃
系統升級時僅需更換終端設備	系統升級複雜，需更換大部分傳輸設備

#### 4.5 WDM 傳輸系統中光纖放大器的增益平坦控制技術

為了確保 WDM 系統的傳輸質量，WDM 系統中使用的光纖放大器除具備有足夠的帶寬、高輸出功率和低噪聲系數等特性外，還對增益平坦度控制技術提出了更高的要求。光纖放大器帶內的增益平坦度是指在整個可用的增益通帶內，最大增益波長點的增益與最小增益波長點的增益之差。很明顯，在 WDM 系統中增益平坦度越小越好，否則，如果各信道的增益不均，經過多級放大之後，這種增益差值會線性積累，低增益信道信號的 SNR 惡化，高增益信道的信號也因光纖非線性效應而使信號惡化，因此，要使各信道上的增益偏差處於允許範圍內，放大器的增益就必須平坦，而使光纖放大器增益平坦技術大体有兩種途徑：其一是"增益均衡技術"；其二是"光纖技術"。"增益均衡技術"是利用損耗特性與放大器的增益波長特性相反的增益均衡器來抵消增益的不均勻性，這種技術的關鍵在於放大器的增益曲線和均衡器的損耗特性精密吻合，使綜合特性平坦；現階段實用化的固定式增



益平坦控制技術主要有光纖光柵技術和介質多層薄膜濾波器技術等。但隨著多通道(> ;80Ch)、高速率(>40Gbit/s)、長距離光纖傳輸系統的發展，對光纖放大器的增益平坦控制技術提出了更高的要求，這就需要研製動態增益可調的增益平坦濾波器，這種可調諧增益動態濾波器技術主要有：法拉第旋轉體型增益可調濾波器技術、波導馬赫-曾德型增益可調型濾波器技術、陣列波導型動態增益可調濾波器技術和聲光型動態增益可調濾波器技術等。至於"光纖技術"現階段主要是在進一步研究摻鉍光纖特性的基礎上，改變光纖材料或利用不同光纖的組合來改變 EDF 的特性，從而來改變 EDFA 的增益平坦性，主要有摻鋁的 EDFA、摻氟化物 EDFA、摻碲化物 EDFA、混合型 EDFA 和多纖心 EDFA 等技術。

#### 4.6 光纖放大器的發展方向

由於超高速率、大容量、長距離光纖通信系統的發展，對作為光纖通信領域的關鍵器件——光纖放大器在功率、帶寬和增益平坦方面提出了新的要求，因此，在未來的光纖通信網路中，光纖放大器的發展方向主要有以下幾個方面：

- (1)EDFA 從 C-Band 向 L-Band 發展；
- (2)寬頻譜、大功率的光纖拉曼放大器；

(3)將局部平坦的 EDFA 與光纖拉曼放大器進行串聯使用，獲得超寬帶的平坦增益放大器；

(4)發展應變補償的無偏振、單片集成、光橫向連接的半導體光放大器光開關；

(5)研發具有動態增益平坦技術的光纖放大器；

(6)小型化、集成化光纖放大器。

隨著新材料、新技術的不斷突破，光纖放大器在 1292~1660nm 波長範圍內獲得帶寬為 300nm 超寬帶將不是夢想，Tbit/s DWDM 光網路傳輸系統將一定會實現。

## 5. 全光網路設計之考量

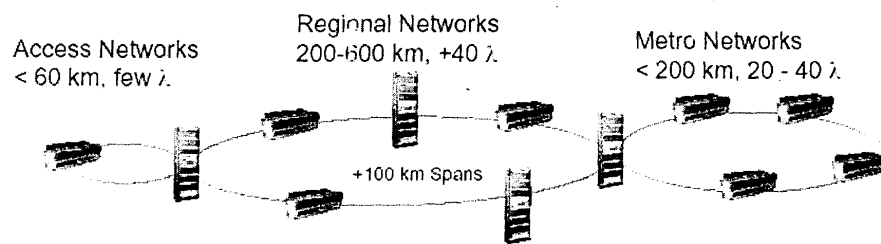
### 5.1. 光纖網路中傳輸的問題

光訊號於光纖中傳送，會產生下列的問題：

- 衰減問題 — 即訊號強度因長途傳送而減弱的問題。
- 訊號再生的問題 — 要再生訊號，必須在網路節點安裝昂貴的電子設備。
- 色散 (chromatic dispersion) 問題 — 由於每個影響光脈衝的光波長或光顏色，以不同的速度通過光纖，造成光脈衝分散及重疊的現象。

### 5.2. 全光網路設計之考量

光系統經光纖須以低 BER( $< E^{-12}$ )傳送資料，網路設計對網路光纖(損失,色散, 偏振模, 非線性效應...等)、DWDM 設備(損失, 雜訊, 動態頻移(chirp), 串訊...等)、系統運作(新增服務, 節點,老化...等)所造成之影響須做精確估算。

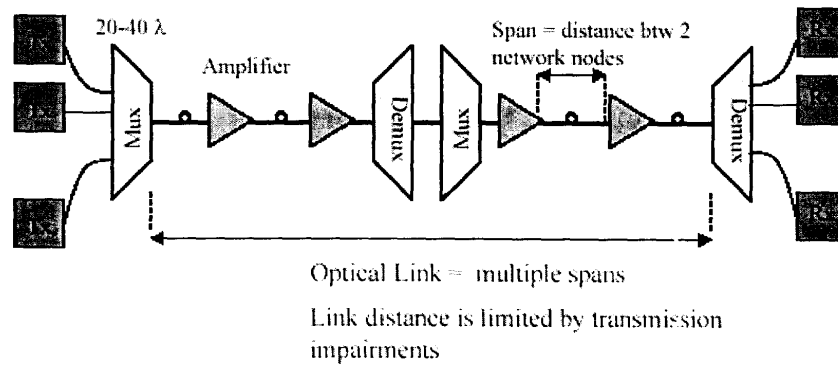


圖二、光網路

因此，設計全光網通信網路必須考慮下列因素：

- 光衰減(Fiber Loss)
- 光訊雜比 (optical signal-to-noise ratio)
- 各類光纖非線性效應(non-linear optical effect)
- 色散(dispersion)
- 偏振模態色散 (Polarization-Mode Dispersion ; PMD)

此外，傳輸設備參數於傳輸系統影響亦應考慮：



圖三、Equipment Transmission Impairments

● 傳輸設備之影響 (Equipment Transmission Impairments)

Transmitter impairments

- Power
- Noise
- Chirp
- Extinction Ratio
- Other (linewidth SMSR, etc)

#### Amplifier impairments

- Noise (ASE)
- Gain stability
- Gain flatness (ripple)
- Transient suppression

#### OADM impairments

- Loss
- Crosstalk
- Loss flatness (ripple)
- Passband width & shape

#### Receiver impairments

- Sensitivity
- Noise
- bandwidth
- Other (linearity, detection threshold, etc)

#### ●光纖之影響(Fiber Impairments)

##### Loss

- Fiber loss
- Splices
- Connectors

##### Chromatic Dispersion

- Dispersion Slope
- Polarization Effects
- Polarization Mode Dispersion (PMD)
- Polarization Dependent Loss (PDL)

##### Nonlinear Effects

- Stimulated Raman Scattering

- Stimulated Brillouin Scattering
- Self Phase Modulation
- Cross Phase Modulation
- Four Wave Mixing

Some impairments can be compensated. Others can not be totally compensated without electrical regeneration. Their impact on BER needs to be calculated. For a given BER, this determines the limits of the optical system :

- Link distance
- Span distance
- No. of wavelengths
- Data rate
- Add drop capacity

### 5.3 色散與偏振模態色散

●色散(dispersion)：光脈衝在光纖中傳輸越遠，脈衝擴散地越寬。當脈衝變寬到與鄰近的脈衝重疊時，即產生碼間 (intersymbol) 干擾。干擾程度越高，位元誤碼率的可能性亦高，甚或光接收器無法分辨“0”或“1”的訊號。所產生的問題，尤其對較高波道數傳輸系統更為重要。

●偏振模態色散 (Polarization-Mode Dispersion ; PMD)：光訊號中電場振動方向。正常狀況下，在相同的傳輸距離中，兩正交分量應有相同的傳輸速度。但光纖的纖核往往不是正圓，導致一分量較另一分量的速度快時，而發生偏振模態色散現象，此時光脈衝會擴展，甚至會與

鄰近脈衝重疊，結果在接收端產生誤碼問題。

發展可實際商用的低成本色散管理解決方案是最重要的議題，目前可以應用較簡易的管理色散方式為使用色散補償光纖（DCF）。

## 6. MOVAZ 光通信設備介紹及應用

### 6.1 MOVAZ 公司簡介

Movaz Networks, an optical networking solutions supplier, headquartered in Atlanta Georgia, was founded with one goal in mind – to dramatically lower the current metro networking and infrastructure economics.

Whether it is providing Gigabit Ethernet services to enterprise campuses, delivering video or data to the cable hubs, or simply linking backbone central offices across carrier's access, metro and regional networks, Movaz offers optical networking solutions with uniquely patented technology and compelling economics.

Since Q1, 2002, when Movaz first began shipping generally available products, Movaz has made significant progress in customer revenue ramp and market acceptance. Highlights include:

- Over 700 systems shipped to date,
- 21 customers worldwide,
- Extensive in-service metropolitan network deployments including AOL, Emory University, Georgia Tech, Vic Tokai as well as Syringa's 1,100 km regional network,
- Infrastructure awards including the \$14 million contract for 21 DWDM rings for Chunghwa Telecom (CHT), the incumbent operator in Taiwan.

Today, Movaz is emerging as a top tier metro optical equipment supplier in full volume production with well-established customers. With new products, strong financial support and the broad range of applications served, Movaz is set to further expand its global presence.

### 6.2 產品介紹

●**RAYexpress™** - A low cost optical add/drop multiplexer (OADM) that serves as the on-ramp for high revenue DWDM and CWDM services, including SONET/SDH, Gigabit Ethernet, Video, SAN and transparent interfaces.

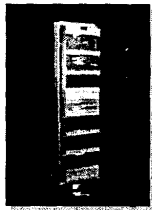
●**RAYextender™** - An erbium-doped fiber amplifier family that extends the all-optical reach of RAYexpress and RAYstar systems. The RAYextender is a NEBS 3 compliant carrier class product with an extensive feature set. It incorporates leading edge technology including



gain equalization and extremely robustness and survivability.

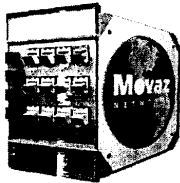


- **RAYstar™** - An ultra-high density central office platform with integrated optical transport and switching technology in modular configurations that can scale economically to serve a broad range of metro and regional applications.

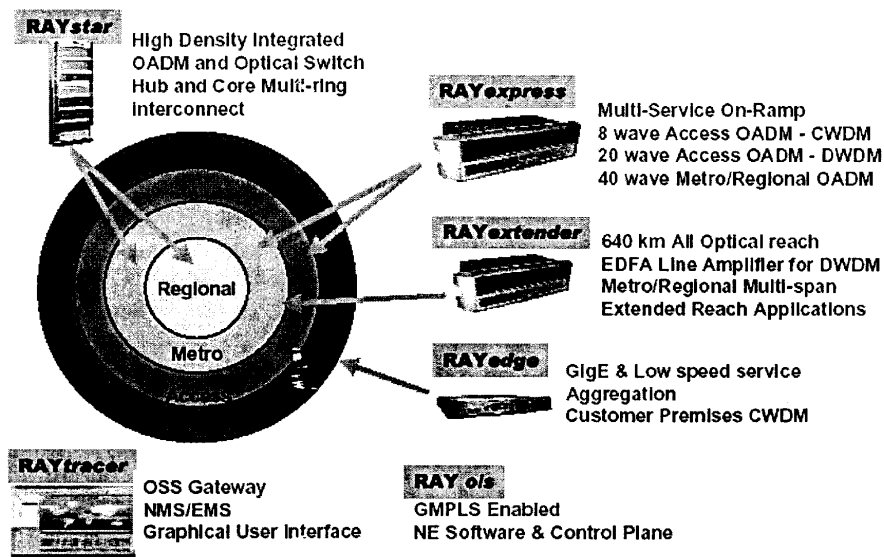


- **RAY Management** - In addition to a full-featured network management platform that greatly simplifies and automates operations, Movaz has embedded GMPLS intelligence into the RAY product family, a first in the industry to offer optical control plane signaling, routing and path computation functionality.

- **iWSS™** - A wavelength switch component that defines the next generation of photonic switching. With a suite of uniquely patented technologies, the iWSS dramatically reduces the cost of wavelength switching and enables highly dynamic network reconfiguration.



- **RAYedge™** - A single, versatile TDM and IP optimized platform for customer premises and edge central offices, offering transparent Ethernet LAN interconnections, high-speed Internet access, private data lines for frame replay and other legacy traffic, PBX voice trunks, ISDN or IP video, and IP telephone.



圖四、MOVAZ Product Portfolio

### 6.3 RAYexpress 光塞取多工機(OADM)

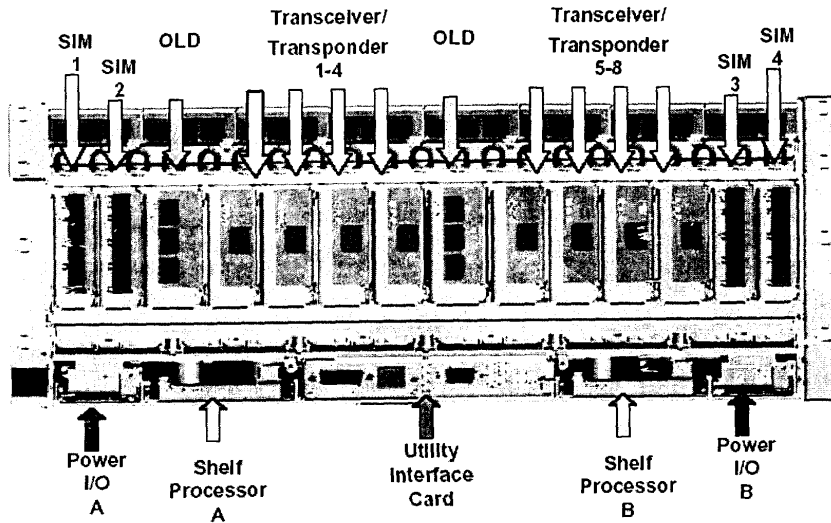
#### ●RAY express

RAYexpress 光塞取多工機提供具可擴充性的方法支援廣泛的服務。在外線側，它能夠接收與傳送多達 20 個被保護的波長。在支路側，它能夠投落多達 4 線被保護的波長，8 線無保護的波長，或兩者的組合。這些支路的介面可為 SONET/ SDH、Gigabit 乙太網路、具整形、再生、和重調時序(3R)的服務介面組件(SIM)等等。

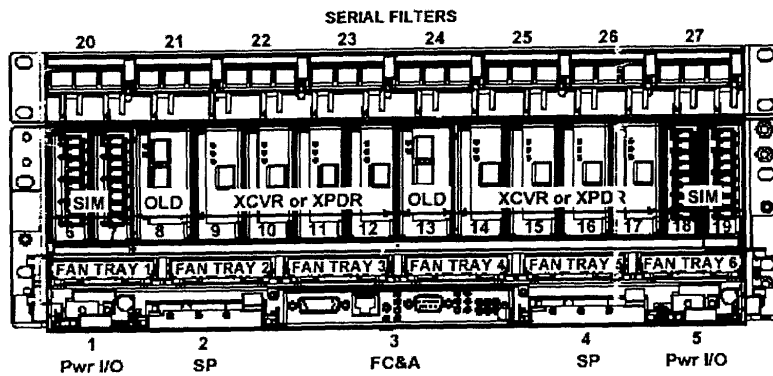
RAYexpress 機框由光的外線驅動器(OLDs)、光收發轉換器(XPDRs)、收發器(XCVRs)、SIM、機框處理器(SPs)、和一個框架/背板上的其他電路套件所組成。

RAYexpress 也提供一個外線放大器組態稱之為 RAYextender。

●RAYexpress 架構：RAYexpress 的硬體組態。

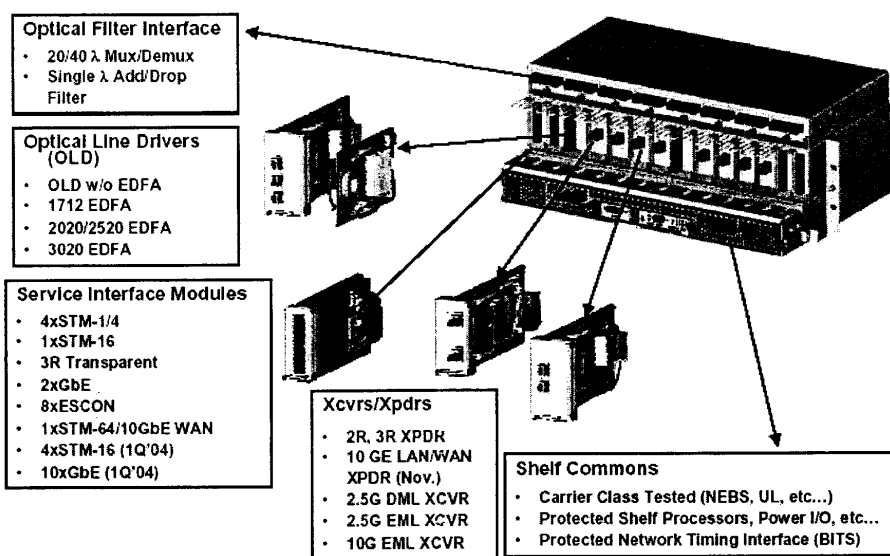


圖五、RAYexpress Architecture 前視圖



圖六、RAYexpress 機框線路圖

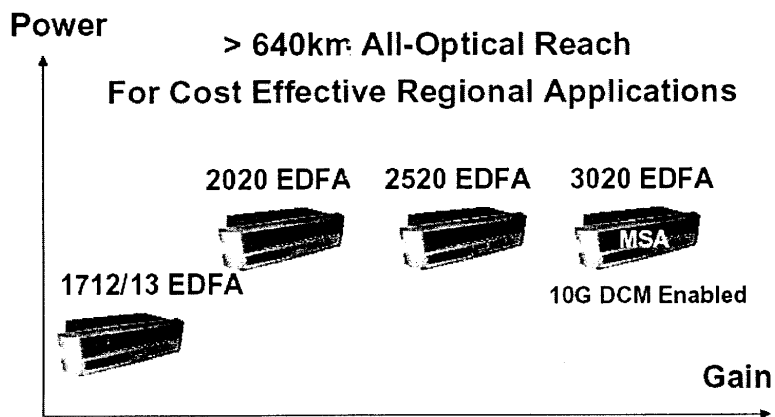
●RAYexpress 功能



圖七、RAYexpress Feature

6.4 RAY extender 光放大器

RAYextender 是一個具可另選購分散補償組件的光外線放大器。



圖八、RAYextender Product Family

RAYextender 擴增 RAY 產品群的範圍。它的功能是 C-頻帶光通路的再整形(1R)放大和分散補償，和光纖監督通道(OSC)的再整形、再生、和重調時序(3R)。

## 6.5 RAYedge

### ●RAYedge features

#### Flexible Transport

- Wide variety of uplinks – GbE, OC-12c/STM4c, OC3c/STM-1, DS3, T1
- Feed RAYexpress or drive dark fiber (1310nm, 1550nm or CWDM)
- Protected or unprotected options

#### Carrier Class Compliance

- 17”W x 20”D x 2.2”H
- NEBS Level 3 Compliance
- ANSI Specifications
- UL Certification



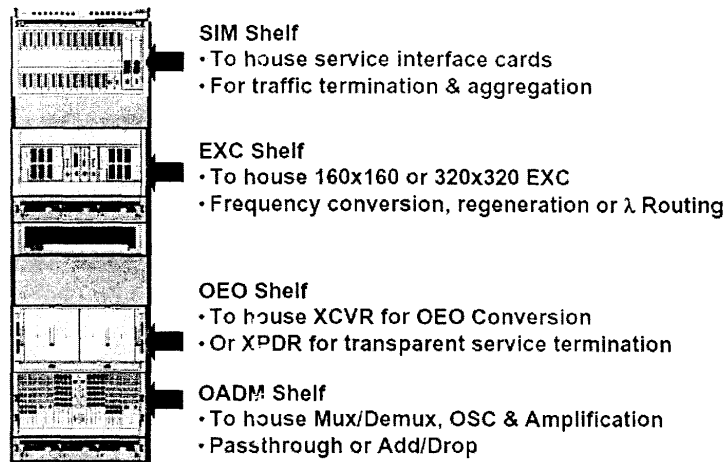
#### Services

- TDM Services
- T1/E1/J1 Voice and Data
- Ethernet Services
- 10/100 to GbE
- Copper or fiber handoff

#### Operations

- Management via RJ-45 and/or in-band via management VLAN
- SNMP management interface
- Multiple software image and configuration management

## 6.6 RAY Star

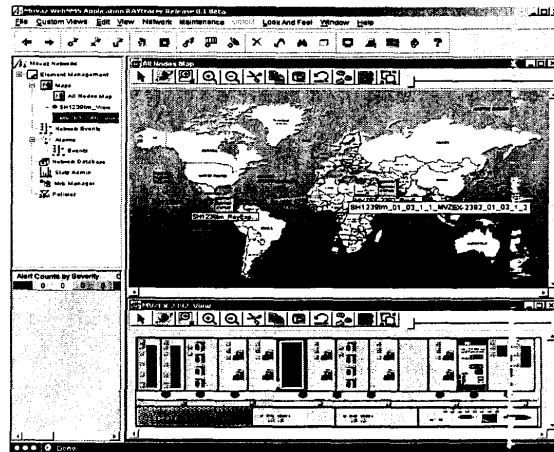


圖九、RAY star Layout

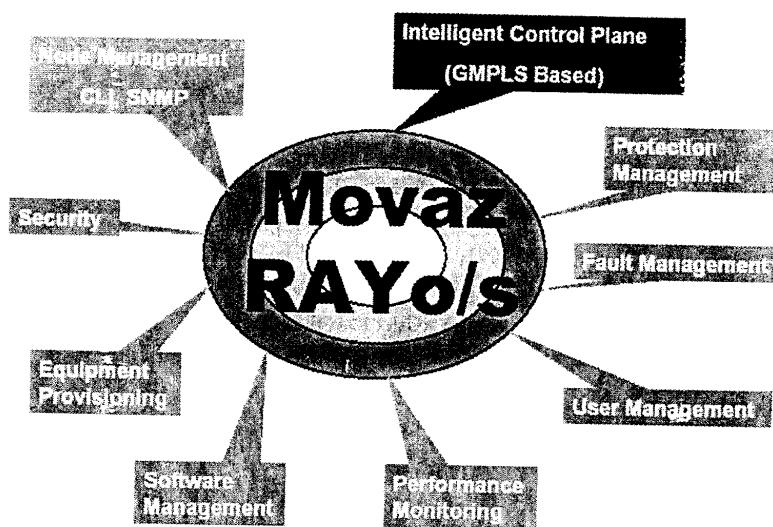
## 6.7 RAYtracers and o/s

### ●RAYtracer Functions

- Auto Discovery
- Commissioning
- Maps & Chassis Views
- Fault Management
- Service Provisioning
- Performance Management
- Inventory
- Software Download/Backup
- Security & Telnet
- Audits & Synchronization



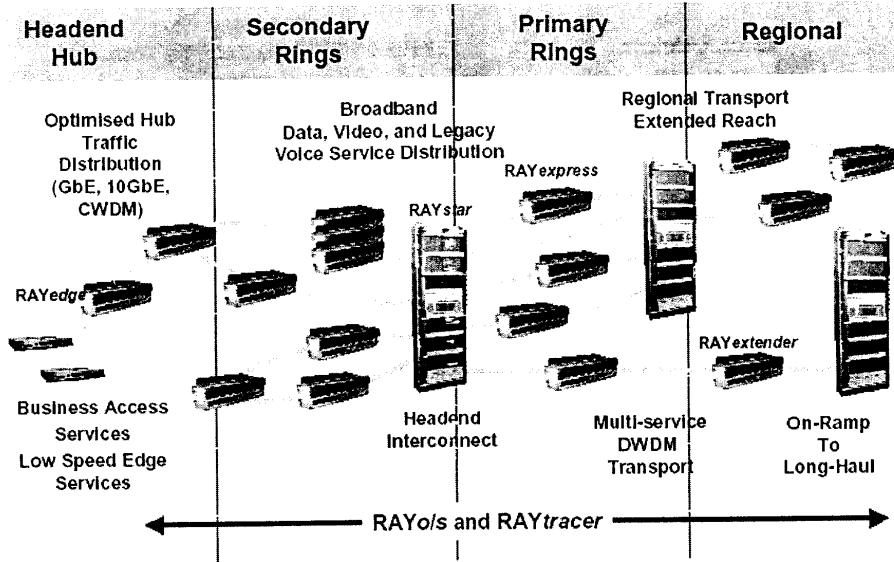
●RAY o/s Functions



圖十、RAY o/s Features

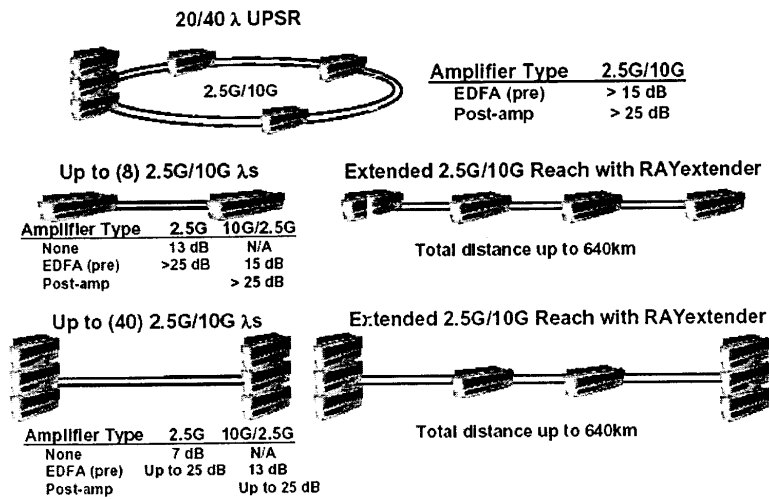
## 6.6 MOVAZ 設備應用

### ● End-to-End Architecture



圖十一、End-to-End Architecture

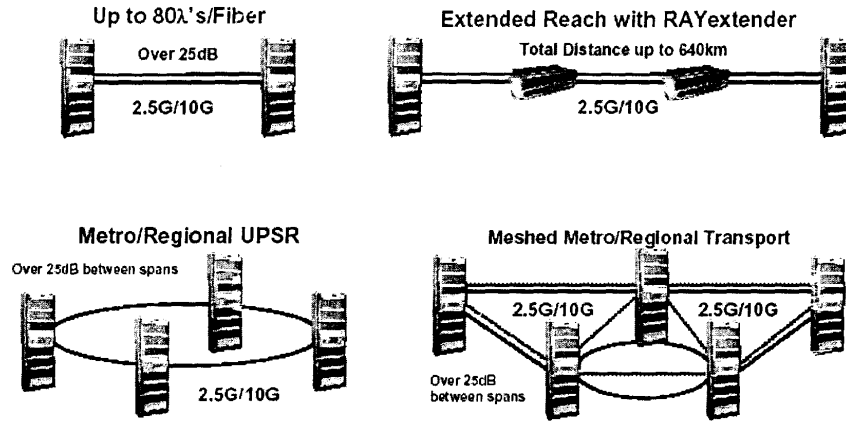
### ● RAYexpress Network Configurations



圖十二、RAYexpress Network Configurations

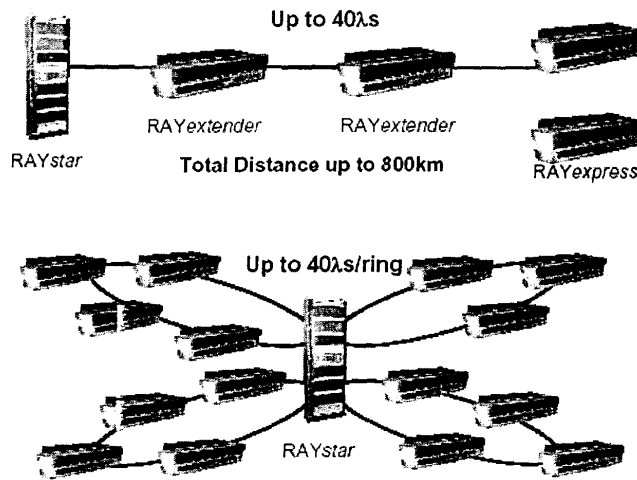


●RAYstar – Network Configurations



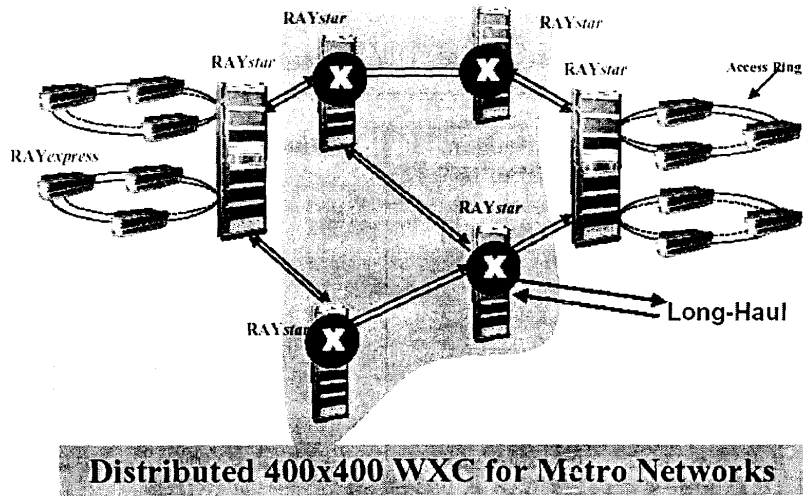
圖十三、RAYstar – Network Configurations

● RAYstar & RAYexpress Networking



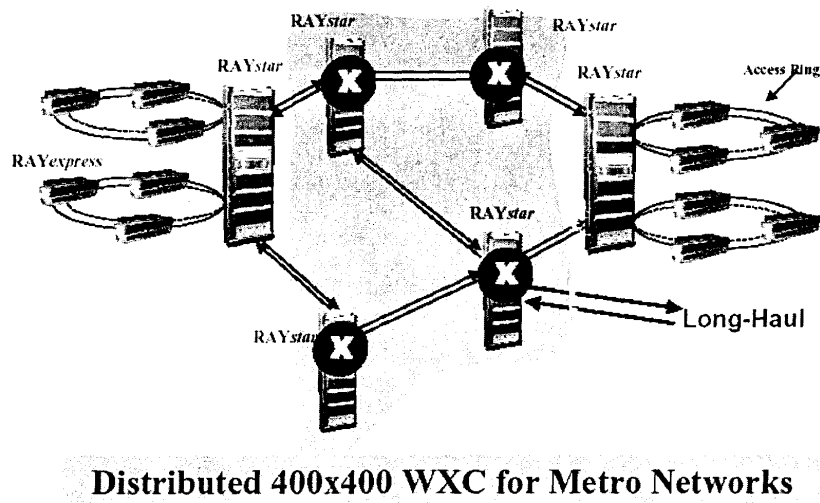
圖十四、RAYstar & RAYexpress Networking

● Metro Network Applications



圖十五、Metro Network Applications

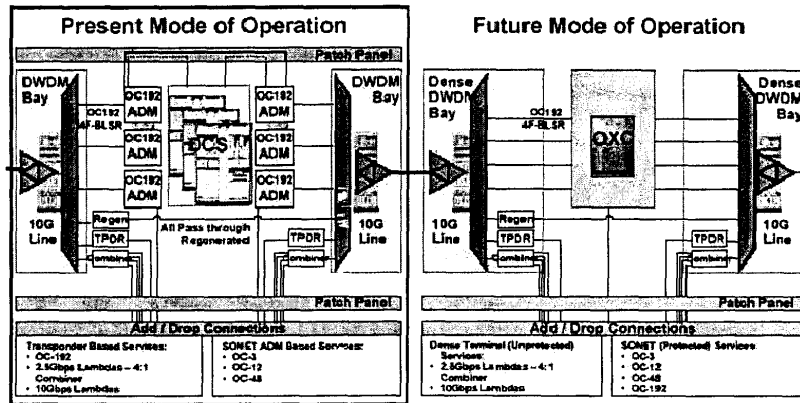
● Access Network Applications



圖十六、Access Network Applications

6.7 未來全光網路節點架構

## Future Node Architecture in USA



圖十七、未來全光網路節點架構

## 7. 整合網路層的未來新趨—GMPLS

Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) is the next-generation implementation of Multiprotocol Label Switching (MPLS). GMPLS extends the functionality of MPLS to include a wider range of label-switched path (LSP) options for a variety of network devices.

Traditional MPLS is designed to carry Layer 3 IP traffic using established IP-based paths and associating these paths with arbitrarily assigned labels. These labels can be configured explicitly by a network administrator, or be dynamically assigned by means of a protocol such as the Label Distribution Protocol (LDP) or the Resource Reservation Protocol (RSVP). GMPLS generalizes MPLS in that it defines labels for switching varying types of Layer 1, Layer 2, or Layer 3 traffic. GMPLS nodes can have links with one or more of the following switching capabilities:

- fiber-switched capable (FSC)
- lambda-switched capable (LSC)
- time division multiplexing (TDM) switched-capable (TSC)
- packet-switched capable (PSC)

Label-switched paths (LSPs) must start and end on links with the same switching capability. For example, routers can establish packet-switched LSPs with other routers. The LSPs might be carried over a TDM-switched LSP between Synchronous Optical Network (SONET) add/drop multiplexers (ADMs), which in turn might be carried over a lambda-switched LSP.

The result of this extension of the MPLS protocol is an expansion in the number of devices that can participate in label-switching. Lower layer devices, such as optical cross-connects (OXC) and SONET ADMs, can now participate in GMPLS signaling and set up paths to transfer data. A router can participate in signaling optical paths across a transport network.

Two service models determine the visibility that a client node (a router, for example) has into the optical core or transport network. The first is through a User to Network Interface (UNI), which is often referred to as the overlay model. The second is known as the peer model. GMPLS signaling requires strict paths. Also, you must disable of CSPF with the

no-cspf statement.

To establish LSPs, GMPLS uses the following mechanisms:

An out-of-band control channel and a data channel—RSVP messages for LSP setup are sent over an out-of-band control network. Once the LSP setup is complete and the path is provisioned, the data channel is up and can be used to carry traffic. The Link Management Protocol (LMP) is used to define and manage the data channels between a pair of nodes.

RSVP-TE extensions for GMPLS—RSVP-TE is already designed to signal the setup of packet LSPs. This has been extended for GMPLS to be able to request path setup for various kinds of LSPs (non-packet) and request labels like wavelengths, time slots, and fibers as label objects.

Bidirectional LSPs—Data can travel both ways between GMPLS devices over a single path, so non-packet LSPs are signaled to be bidirectional.

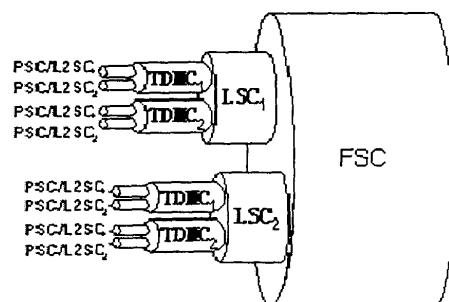
#### ● Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS)

GMPLS (通用多協定標籤交換) 是MPLS技術向光網路發展的產物。GMPLS有效地實現了IP和WDM光網路的無縫融合，很好的滿足了自動交換光網路控制面的需要。什麼是GMPLS？GMPLS是IETF提出的可用於光層的一種通用多協定標籤交換技術，爲了實現IP與WDM的無縫結合，GMPLS對MPLS標籤進行了擴展，使得標籤不但可以用來標記傳統的資料包，還可以標記TDM時隙、波長、波長組、光纖等；爲了充分利用WDM光網路的資源，滿足未來一些新業務的開展（如VPN、光波長租用等），實現光網路的智慧化，GMPLS還對信令和路由協定進行了修改和補充；爲了解決光網路中各種鏈路的管理問題，

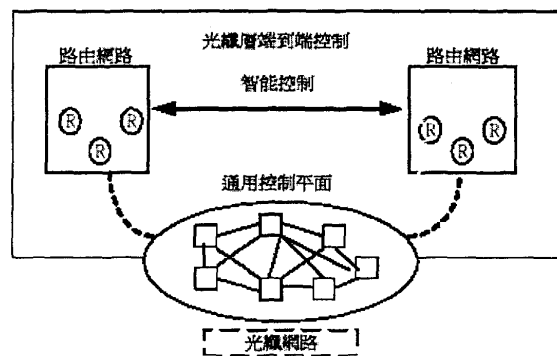
GMPLS設計了一個全新的鏈路管理協定LMP；爲了保障光網路運營的可靠，GMPLS還對光網路的保護和回復機制進行了改進。

在GMPLS的體系結構中，沒有語言的差異，只有分工的不同，GMPLS就是各層設備的共同語言。如果從設備角度來看，我們知道網路設備通常由三個平面組成：管理平面、控制平面和用戶平面。管理平面的網路管理者提供對設備的管理能力；控制平面則是通過信令的交互完成對用戶平面的控制；用戶平面用於轉發和傳遞用戶數據。GMPLS統一了各層設備的控制平面，如圖所示，各個層面的交換數據都將使用同樣的信令完成其對用戶平面的控制。

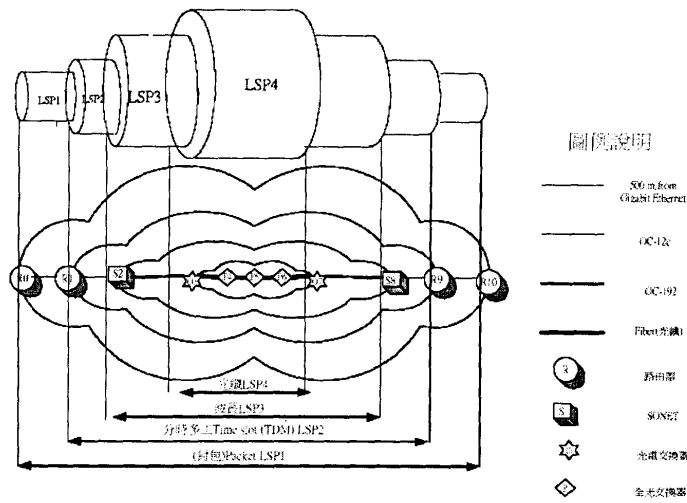
GMPLS雖然統一了信令，但並沒有抹殺網路設備的功能差異，也就是說，GMPLS承認並接受網路設備用戶平面的差異。GMPLS將交換劃分為五種類型：PSC (Packet Switch Capable, 封包交換)、L2SC (Layer2 Switch Capable, 第二層交換介面)、TDM (Time Division Multiplexing Capable, 分時多工)、LSC (Lambda Switch Capable, 波長交換)、FSC (Fiber Switch Capable, 光纖交換) (如圖所示)。



一個網路節點可以僅完成其中一種或幾種交換功能，因此人們仍然習慣將GMPLS 的網路簡單劃分為兩層結構（如圖所示）：路由網路和光網路，但這兩個網路不再是重疊的，而是對等的，它們平等地用相同的信令進行溝通。



GMPLS的基本概念：GMPLS是MPLS的擴展和延伸，與MPLS-TE相同，GMPLS網路由兩個主要元素組成：節點（LSR）和路徑（LSP）。但GMPLS的LSR包括所有類型的節點，可以是PSC，也可以是TDM、LSC或FSC；LSP則既可以是一條傳遞IP包的虛通路，也可以是一條TDM專線，或是一條DWDM的波道。



圖十八、GMPLS 的等級制度

●GMPLS 的技術優勢

- GMPLS 對開放標準的支援允許營運商和業務供應商來選擇最佳的設備以滿足持續增長的網路性能需求。
- 對等模型允許傳輸網路的拓撲向 IP 路由器全面開放，從而使 IP 路由器在為 LSP 計算通路時可以充分利用光層的資源。
- GMPLS 可以使現有的營運商和服務供應商能充分利用傳統的 MPLS 流量工程。--GMPLS 消除了重新開發、測試和量化新型控制協定的必要性。
- 開放式的標準使得 UNI 和 NNI 標準能夠並行發展，因此能不斷地滿足營運商和服務供應商的需求。--GMPLS 與 OIF UNI 並行工作從而



使服務供應商能夠靈活地根據實際需要來選擇合適的方法配置網路。

--GMPLS 實現了快速的配置並能夠實現按需分配。這種全新的光互聯網能在數秒鐘內分配帶寬資源、提供新的增值業務和為業務提供商節約大量的運營費用。

## 8. 感想與建議

目前全光網路設備雖已有產品，但是具 GMPLS、可 A 交換之理想全光網設備發展仍有一段距離，且價格昂貴，短期幾年內本公司對於全光網引進仍宜審慎規劃，待全光網設備發展較成熟時，再依需求逐漸引進，不應過於急躁。尤其是區網部分，短期內骨幹網路仍應以 SDH 或 NG SDH 為主，若有特殊需求，再考慮採用全光網路設備。中長期而言，全光網路設備建設仍為即將面對的課題，相關配套措施亦應重視，例如 G.655 光纖之鋪設，於新設或汰換光纖時應認真思考應否改採 G.655 光纖，揚棄 G.652 光纖。

此次前往美國實習，感覺美國地大物博，人種混雜，交通方便(但是在郊區，有車才像有腳，無車實在出不了門)，但是美國式生活浪費過多的資源，生活上環保概念似乎比不上台灣台北或高雄；對於短期出差、旅遊、商務人士而言，物價實在非常昂貴，感嘆要於美國生活實在相當不容易。