

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：實習)

實習「光波道塞取多工(OADM)技術」  
出國報告

服務機關：中華電信研究所  
出國人 職 稱：副研究員 助理研究員  
姓 名：黃英欽 陳慶賢  
出國地點：美國  
出國期間：90年11月18日至90年11月25日  
報告日期：91年1月2日

H6/  
C09100418

公務出國報告提要

頁數 18 含附件 否

報告名稱

寬頻光波道塞取多工(OADM)技術研究

主辦機關

中華電信研究所

聯絡人/電話

楊學文 / 03-4244218

出國人員

黃英欽 中華電信研究所 寬頻網路技術研究室 副研究員  
陳慶賢 中華電信研究所 寬頻網路技術研究室 助理研究員

出國類別 實習

出國地區 美國

出國期間 民國 90 年 11 月 18 日 - 民國 90 年 11 月 25 日

報告日期 民國 91 年 01 月 02 日

分類號/H6 / 電信 /

關鍵詞 光波道,塞取多工,OADM

內容摘要

網際網路(Internet)服務之需求除推動數據業務之蓬勃發展外,更是催促寬頻光纖通信網路快速成長之原動力,為滿足此一成長,電信業者勢必建設光網路,俾能給予持續成長之新服務更大之彈性及有效擴充網路使用頻寬,為順應此一趨勢及潮流,本所不但已致力於密集式分波多工技術、波道塞取多工(Optical Add-Drop Multiplexer)技術及光交接技術之探討研究,並配合總公司之政策積極協助各分公司推動下一波寬頻網路、全光網路之建設。波道塞取多工技術係將在一芯光纖上傳送的多波長光信號,不必全部解下,僅對本地使用之波長作塞取之動作,可降低網路之成本,並構成線性光網路、環狀光網路,形成光網路基本雛形,本次前往Sorrento公司實習之GIGAMUX設備,此設備允許設定為8波長、16波長、32波長及64波長多工之DWDM及任意波長塞取之固定式 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer),應可滿足現階段電信業者建設光網路之需求。為了解最近波道塞取多工新技術及相關產品之發展,並掌握光網路之現況及發展趨勢,職等奉派前往Sorrento公司實習波道塞取多工設備技術,除學習其先進相關技術外,也了解其波道塞取多工設備商業化產品之研發、生產過程,以提供寬頻網路建設之參考。本所正在建設下一代試用網路評估系統,希望藉由此試用過程中評估設備之性能,學習系統測試工法及了解施工法則,以協助總公司擬定未來光網路架構及各項光網路器材規格。本報告第一章說明實習之目的,第二章說明實習之過程,第三章詳述實習之內容與心得,第四章提出建議。

## 摘要

網際網路(Internet)服務之需求除推動數據訊務之蓬勃發展外，更是催促寬頻光纖通信網路快速成長之原動力，為滿足此一成長，電信業者勢必建設光網路，俾能給予持續成長之新服務更大之彈性及有效擴充網路使用頻寬，為順應此一趨勢及潮流，本所不但已致力於密集式分波多工技術、波道塞取多工(Optical Add-Drop Multiplexer)技術及光交接技術之探討研究，並配合總公司之政策積極協助各分公司推動下一波寬頻網路—全光網路之建設。

波道塞取多工技術係將在一芯光纖上傳送的多波長光信號，不必全部解下，僅對本地使用之波長作塞取之動作，可降低網路之成本，並構成線性光網路、環狀光網路，形成光網路基本雛形，本次前往 Sorrento 公司實習之 GIGAMUX 設備，此設備允許設定為 8 波長、16 波長、32 波長及 64 波長多工之 DWDM 及任意波長塞取之固定式 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer)，應可滿足現階段電信業者建設光網路之需求。

為了解最近波道塞取多工新技術及相關產品之發展，並掌握光網路之現況及發展趨勢，職等奉派前往 Sorrento 公司實習波道塞取多工設備技術，除學習其先進相關技術外，也了解其波道塞取多工設備商業化產品之研發、生產過程，以提供寬頻網路建設之參考。

本所正在建設下一代試用網路評估系統，希望藉由此試用過程中評估設備之性能，學習系統測試工法及了解施工法則，以協助總公司擬定未來光網路架構及各項光網路器材規格。本報告第一章說明實習之目的，第二章說明實習之過程，第三章詳述實習之內容與心得，第四章提出建議。

## 目次

一、目的 .....	1
二、過程 .....	1
三、內容與心得 .....	2
1. OADM 架構 .....	2
2. OADM 系統概述 .....	4
2.1 機架說明 .....	4
2.2 多工解多工說明 .....	4
2.3 光波長調適器 (WAVELENGTH ADAPTERS) .....	6
2.4 光放大器 (OPTICAL AMPLIFIER) .....	7
2.4.1 光放大器之種類 .....	8
2.4.2 Sorrento 所提供光放大器種類 .....	10
2.5 光監視通道(OPTICAL SUPERVISORY CHANNEL, OSC) .....	10
2.6 系統管理 (SYSTEM MANAGEMENT) .....	11
2.7 網路應用 .....	13
3. 心得--未來之發展趨勢 .....	15
3.1 關鍵光組件之開發 .....	15
3.2 光網路之演進趨勢 .....	16
四、建議 .....	18

## 表格

表格 1 Sorrento 公司之產品系列 .....	3
表格 2 Sorrento 所提供光放大器種類 .....	10

## 一、目的

職黃英欽及陳慶賢等二人奉派於 90 年 11 月 18 日 至 11 月 25 日前往美國 Sorrento 公司實習光波道塞取多工(OADM)技術，其目的在學習 OADM 最新產品及網路應用技術，也探討其商業化產品之研發、生產、測試過程，並了解 Sorrento 光網路設備在世界各國用戶之銷售、使用情形，同時也藉由雙方對未來光網路建設的意見和看法吸收其寶貴之經驗，掌握光網路發展趨勢，以提供本公司寬頻網路建設之參考。

## 二、過程

此次實習含行程共計 8 天，其內容如下：

日期	地點	內容
90 年 11 月 18 日	桃園—美國聖地牙哥	去程
90 年 11 月 19-23 日	聖地牙哥	系統架構、 網路管理功能 測試及施工法則
90 年 11 月 24-25 日	美國聖地牙哥--桃園	返程

### 三、內容與心得

#### 1. OADM架構

本系統主要是利用背對背分波多工(Wavelength division multiplexing, WDM)及摻鉕光纖放大器 (Erbium doped fiber amplifier, EDFA)等先進技術完成。

如圖一所示為單方向 OADM 架構，它主要是使用光解多工器 (Optical Demultiplexer, GMEI/GME/GMMD) 及光多工器 (Optical Multiplexer, GMMD/GME/GMEI)等元件，以背對背方式，並以四個波長為單位，進行波長塞取，達到 OADM 之功能，在傳輸網路上配置光放大器 (Optical Amplifier, OA)則可作較長程距離之傳送。

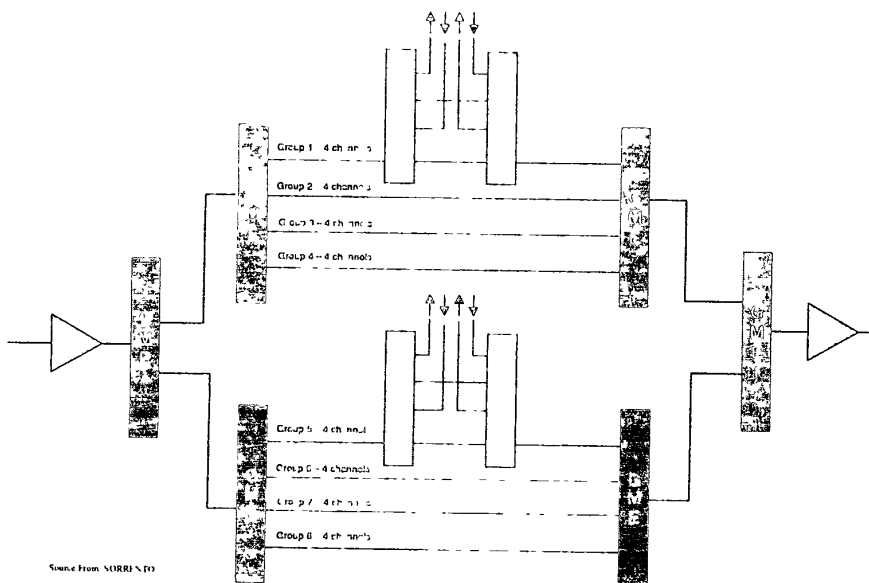


圖 1 分波多工架構

不同技術可以應用在這種 OADM 的製作上，例如：光多工器可用被動式光耦合器(passive optical coupler)，光解多工器則可用光分離器(optical splitter)配合光濾波器 (optical wavelength filters)來完成，由於光多工器或

光解多工器都是在光領域(optical domain)工作, 因此可傳送任何光形式的信號 (例如 SDH、ATM、IP等)。

Sorrento GigaMux 系統在 C band (1530 ~ 1565 nm) 可提供 1-32 波長之塞取, 亦可使用在 L band (1565~ 1610 nm) 提供 1-32 波長之塞取, 共計 64 波長之塞取, 並提供 STM 64 (10 Gbit/s)介面, 其最高傳送總容量可達 640 Gbit/s (64 x10 Gbit/s), 如表 1 所示 Sorrento 公司有一系列產品策略, 以滿足電信業者建設全光網路之需求, :

表格 1 Sorrento公司之產品系列

產品	應用網路層	現有特色
EPC	Optical Access	4*STM-16, 16*STM-1, 4*STM-4, 4*GEB, 2*FC, 8*ESCON
GIGAMUX	Optical Transport	64 波長
TERAMATRIX	Optical Switching	64*64 波長

## 2. OADM系統概述

### 2.1 機架說明

圖二為機架面板圖，從圖形顯示一個 rack 至少可以有三個 shelves 及兩組 power supply redundant，其中一個 shelf 裝載 passive Mux 及 Demux 單板，另外兩個 shelf 裝載界面卡單板及 craft interface card 或 node controller card，並提供電扇冷卻功能。實際上一個 rack 最多可裝載 5 個 shelves，每一個 shelf 除了控制板外，可在任意槽位插入任意種類之卡片。

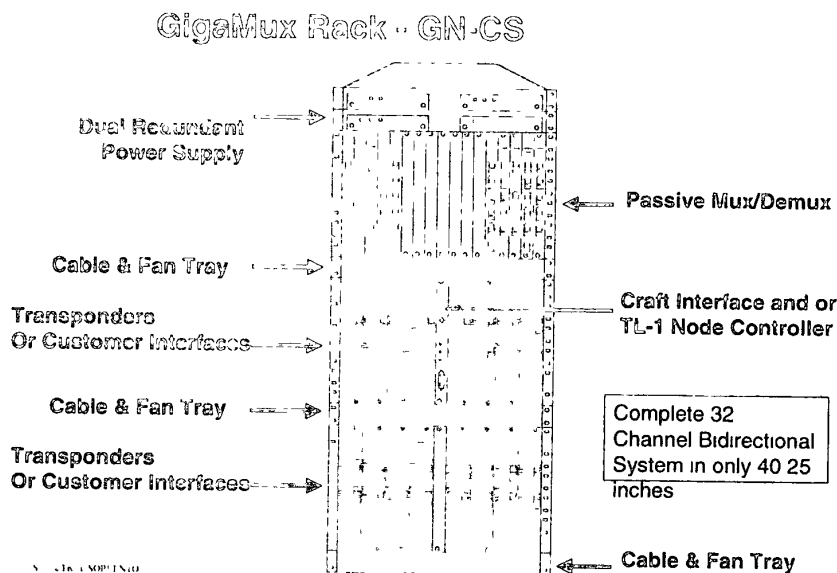


圖 2 機架面板圖

### 2.2 多工解多工說明

如圖 3 所示，32 波長多工解多工元件由三種濾波器所組成，首先將 32 波道以 4 個波長為一組，以 GMMD filter 將其多工，形成 G1-G4 及 G5-G8 波長集合，每個集合有 4 個波長，G1-G4 輸出在用 GME filter 多工成 16 波長之 DWDM 信號，兩個 16 波長之 DWDM 信號以 GMEI filter 多工成一個 32 波長之 DWDM 信號，反之亦然。其波長分配如圖 4 所示，波長距離為 100GHz channel spacing。



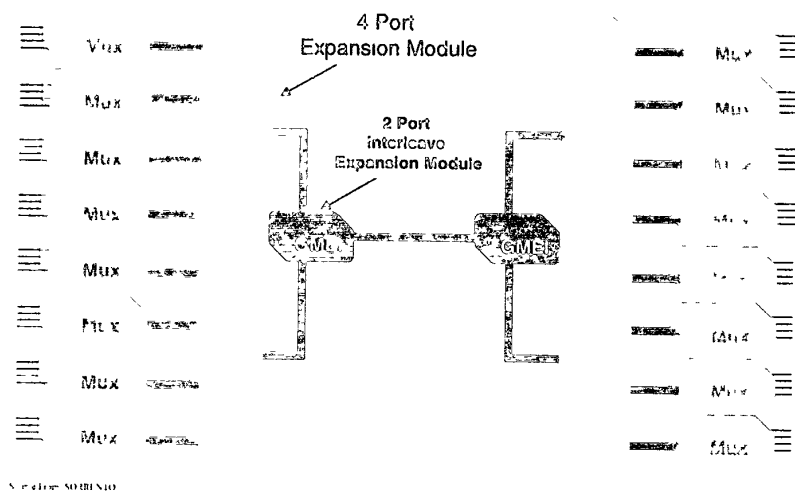


圖 3 GIGAMUX 多工解多工說明

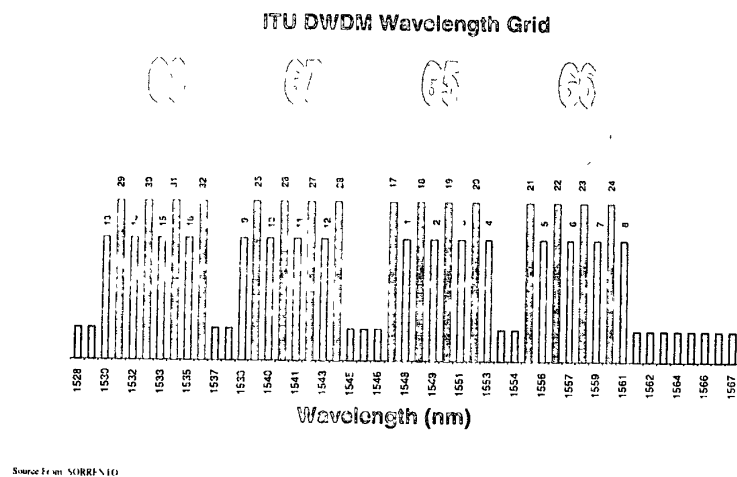


圖 4 GIGAMUX波長計劃-32波長

C band 32 波長及 L band 32 波長可經 GMFE filter 多工成 64 波長，反之亦然，如圖 5 所示。

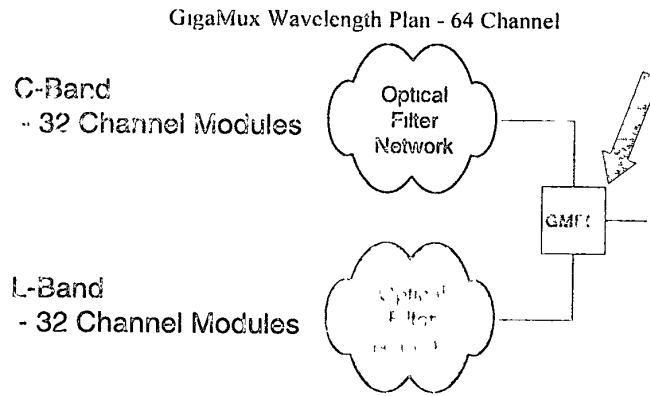


圖 5 C band 32 波長及L band 32 波長多工成 64波長

### 2.3 光波長調適器 (Wavelength Adapters)

本系統提供光波長調適器 (Wavelength Adapters) 可將符合 ITU-T G.957 標準之介面轉換為 ITU-T G.692 標準之波長柵(grid),以進行光網路多波道 DWDM 之傳輸。

光波長調適器根據輸入信號不同而有以下幾種型式：

- OC-192 Transceiver : 可介接符合 ITU-T G.691 標準之 STM-64 信號介面。
- OC-48 Transceiver : 可介接符合 ITU-T G.957 標準之 STM-16 信號介面
- GMI-G1LX : 可介接單路之 Gigabit Ethernet 或 Fiber Channel 信號介面，
- Gigabit Ethernet / Fiber Channel Transceiver : 可介接兩路之 Gigabit Ethernet 或 Fiber Channel 信號介面，映射至 STM-16 信號，並包含 SDH SPAN PM。
- Gigabit Ethernet Module : 可介接 4 路之 Gigabit Ethernet 信號介面，映射

至 STM-16 信號，並包含 STM 16 及 Gigabit Ethernet 信號之 PM。

- 16 Port STM-16 Mux：可將 16 路之 STM-1 或 4 路之 STM-4 多工成一路 STM-16。
- 10G Sync Mux with Transponder：將 4 路 STM-16 多工成一路 STM-64，包含 PM 及 FEC 功能。
- Subrate Multiplexer-GM ESC8：多工 8 路之 ESCON，FDDI，100Base-FX，STM-1。

#### 2.4 光放大器 (Optical Amplifier)

如圖6所示為組成光放大器之基本要素，光放大器是主要是利用摻鉕光纖放大器 (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)技術來完成，目前應用於多波長DWDM系統之光放大器大部分是摻鉕光纖放大器，用1480 nm或980 nm泵激光源可耦合至幾米長的摻鉕光纖，其組成之基本要素包含一段摻鉕光纖、光耦合元件 (如 Isolator、Coupler)、及泵激光源 (Pump Laser)等。

一般之光放大器可以對1550 nm為中心波長之光信號放大，提供相當大之平坦增益，亦即能同時提供多個波長通路之增益，已取代傳統式之電子式再生器應用，大幅減少了光系統之建設成本，使得高密度分波多工之技術可以實現，成為長途光纖網路之重要元件。最近發展成功之分波段架構之超寬頻光放大器可對C-band (1530~1565 nm) 及L-band (1565~1610nm)作放大，提供80波長以上超大容量之光網路傳輸。

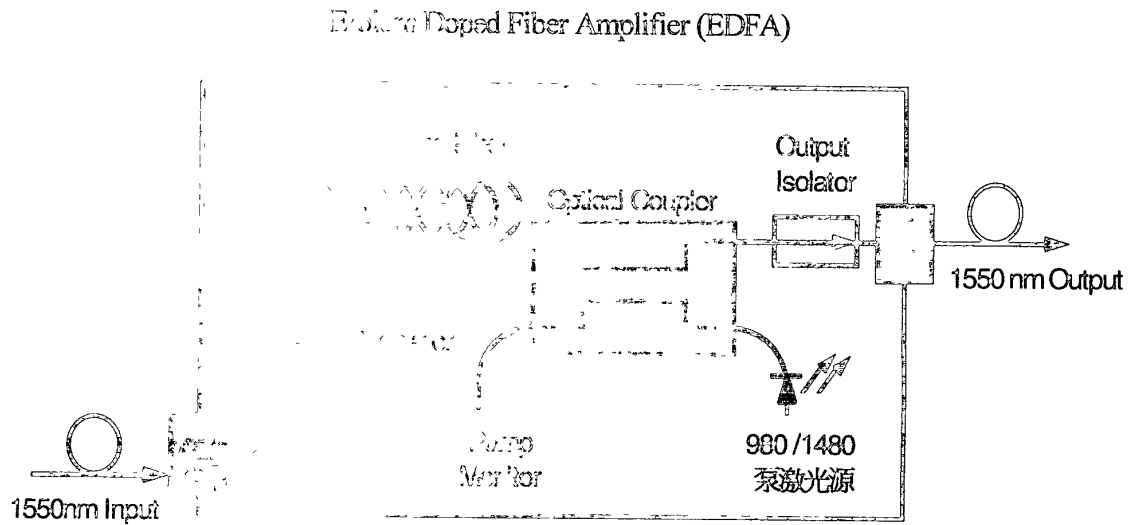


圖 6 光放大器之基本要素

#### 2.4.1 光放大器之種類

光放大器具有光信號格式與位元速率之透通性(Transparent)，運作於 1550 nm 區域有相當高之增益、高光輸出功率及低雜訊指數，如圖 7 所示光放大器依在網路上不同應用有下列三種：

- 光功率放大器 (Booster Amplifier, BA)
- 光前置放大器 (Pre Amplifier, PA)
- 光線路放大器 (Line Amplifier, LA)

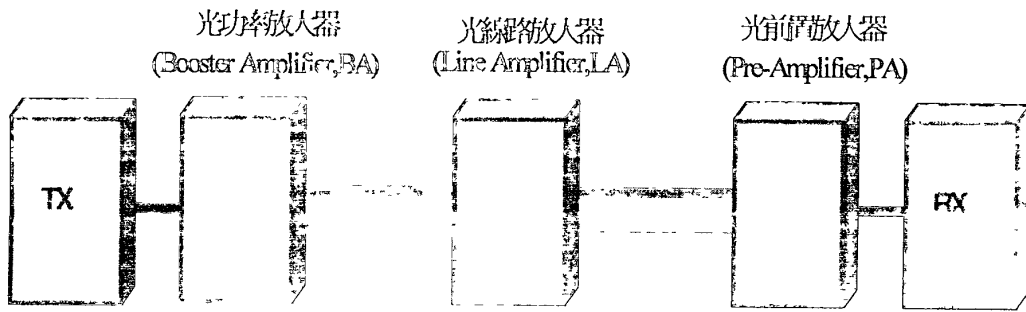


圖 7 光放大器之種類

如圖8所示目前ITU-T 定義之 C band 放大器技術可在1530 –1565 nm之運作波段，而L-band 放大器技術可開啓1565 –1610 nm之運作波段，如通路間隔為100-GHz，則C-band加L-band可提供80波長以上之通信。

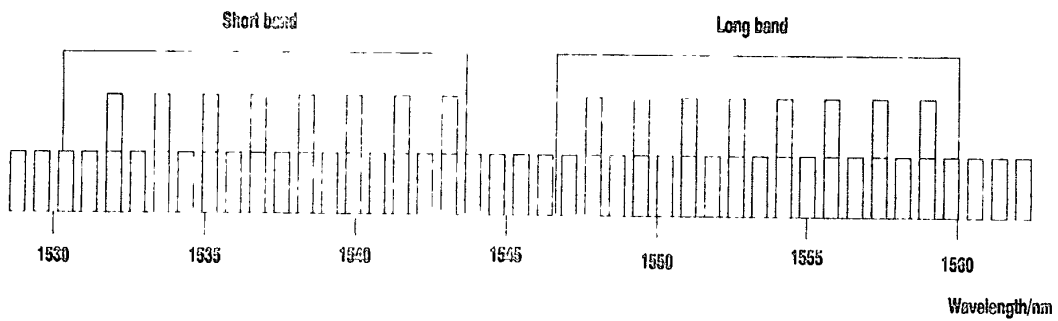


圖 8 ITU-T G.692 定義之C-band光頻譜範圍

## 2.4.2 Sorrento所提供光放大器種類

表 2 Sorrento所提供光放大器種類

	Gain (dB)	Span (nm)	Comp Power Out
Type 1	30 dB	20 nm	+15 dBm
Type 2	30 dB	20 nm	+15 dBm
Type 5	30 dB	20 nm	+17 dBm
Type 6	20 dB	20 nm	+21 dBm

## 2.5 光監視通道(Optical Supervisory Channel, OSC)

如圖 9 所示光監視通道在發送端是由功率放大器(Post Amp)之後再送至光纖，在接收端進入前置放大器(Preamp)前，會先從光信號中取出(extracted)光監視通道作處理，它的好處是當 EDFA 本身發生故障或損壞時，其帶外之 OSC 還可以照常運作，不會影響到光監視通道的正常運作。

光監視通道可位於光放大器使用頻帶的外面，稱為帶外光監視通道(out-of-band OSC)，也可位於光放大器使用頻帶之內，稱為帶內光監視通道(in-band OSC)，但 ITU-T 建議光監視通道最好以帶外頻率  $1510\text{nm} \pm 10\text{nm}$  為標準。例如：光監視通道可應用於遠端光線路放大器故障位置之偵測，若光纜被切斷(cable cut)地點在光線路放大器之前，光線路放大器會偵測輸入信號丟失(Loss of Signal, LOS)告警訊號，此告警訊號會經由光監視通道傳回本地端，以達到單端操作、維護的目的。

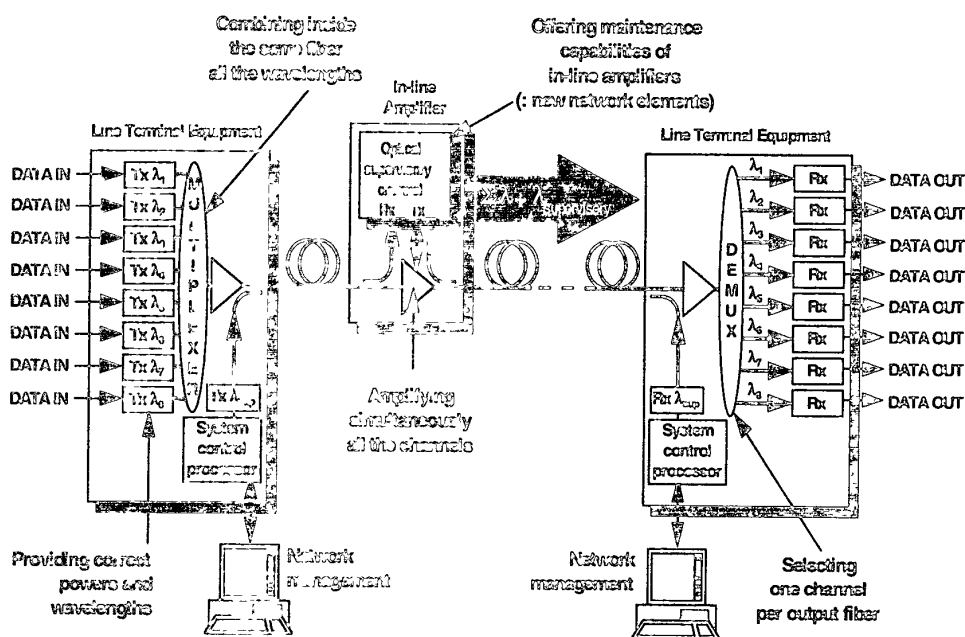


圖 9 光監視通道功能示意圖

## 2.6 系統管理 (System Management)

如圖 10 所示 GIGAMUX 可經由數據通信通路(Data Communication Channel, DCC)來進行系統管理，而數據通信通路是內建在光監視通道，主要是提供光系統維運管理等服務，由於系統本身之管理功能，本系統可以顯示每一個單體之現況(status)、組構 (configuration) 及告警 (alarms)等項目，這些設備之管理資訊(management information)可由系統中之管理單體 (controller unit)作蒐集、處理，而位於不同機框之管理單體則藉由共同之光監視通道作訊息交換，然後經由本地值機員終端設備 (Local Craft Terminal, LCT)或維運管理系統(Operation System)來管理整個網路。

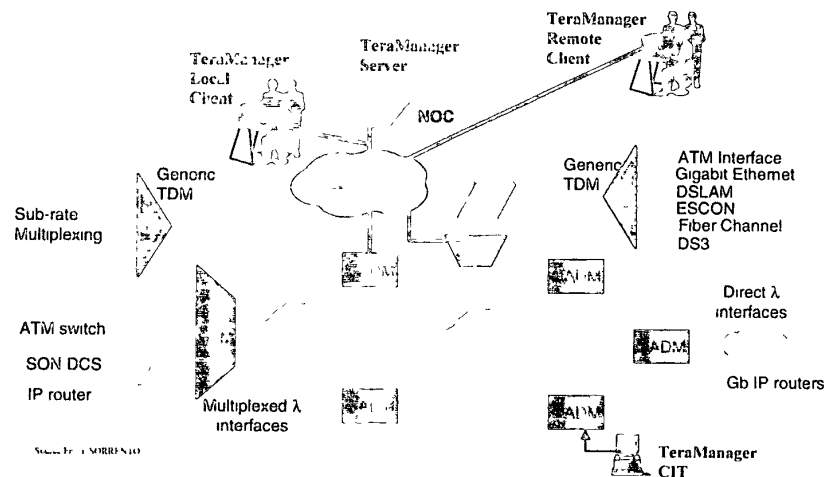


圖 10 系統管理功能示意圖

- 本系統可經由 RS-232 介面連接至本地值機員終端設備 (LCT)，本地值機員終端設備可為標準 PC (Personal Computer)。

本系統具有標準之 TL-1 介面，可用來管理整個網路，其可供管理之參數舉例如下：

- 多工器(Multiplexer) 及解多工器 (Demultiplexer) 之運作
- 功率放大器(booster)及前置放大器(preamplifier)輸入及輸出信號
- 功率放大器及前置放大器之泵激模組(pump modules)
- 光線路放大器(line amplifier)輸入及輸出信號、泵激模組(pump modules)
- 單體故障

系統本身也可量測以下參數(選項)：

- 功率放大器輸入、輸出功率及 OSNR
- 前置放大器輸入、輸出功率及 OSNR
- 光線路放大器輸入、輸出功率及 OSNR



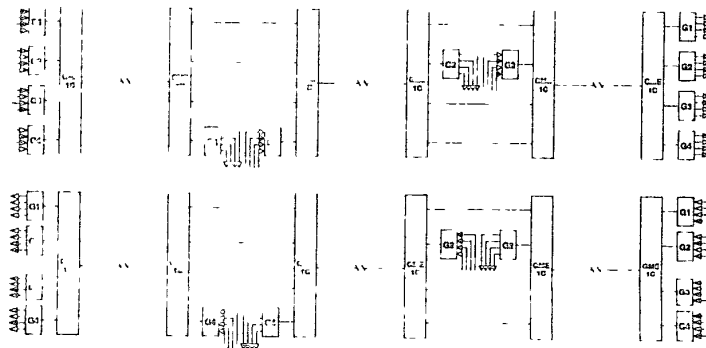
上述參數可經由管理系統之要求而執行，並可將其資料以檔案方式儲存作為系統之操作、維運參考。

## 2.7 網路應用

本系統在網路的應用方式有下列幾種：

### (1) 含光塞/取多工機之線型(Linear)網路應用

如圖 11 所示為 GIGAMUX 含塞/取多工機之線型(Linear)網路應用，在通信地點之兩端各用一部 WDM 終端設備，中間視傳送距離之長短可裝置若干個光塞/取多工機，以作中、長程之傳送。光塞/取多工機以技術之演進層次不同，可分為固定式光塞/取多工機及可程式光塞/取多工機，可用作波長之穿越、塞入或取出，以達到可作光波長調度之寬頻服務目的。



Source From SORRENTU

圖 11 含光塞/取多工機之線型(Linear)網路

### (2) 環路架構(Architectures-Ring)

如圖 12, 13 所示，GIGAMUX 提供 OchDPRing(Och dedicated protection

ring)保護功能，將用戶端信號橋接到個別的光路徑，但相同之波長，分走在順時針及逆時針的光纖環上，到目的端再執行選擇的功能，可做 Hub Ring 及 Mesh Ring 的應用。切換時間小於 25ms。

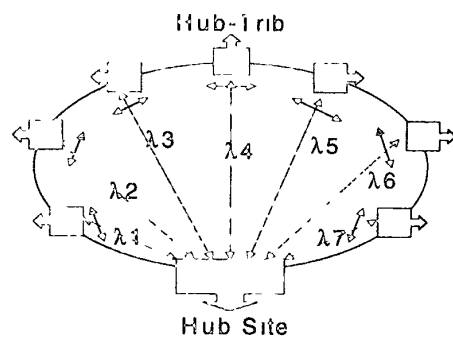


圖 12 Hub Ring

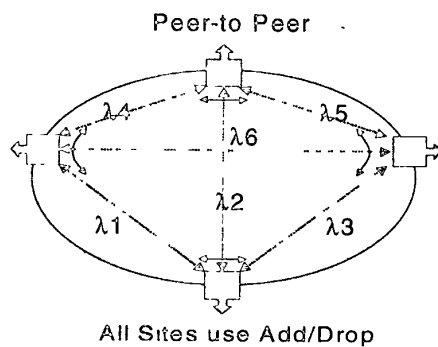


圖 13 Mesh Ring

### 3. 心得—未來之發展趨勢

#### 3.1 關鍵光組件之開發

為實現未來光網路波長管理之目標，必需加速發展相關之關鍵光組件，關鍵光組件包含可調雷射(tunable laser)發送器、S-band 光放大器、可程式化 OADM 及 OXC 等。

(1) 可調雷射：對遠端節點之波長塞/取，須經由可調雷射來達成，可配合微機電系統(micro-electromechanical systems, MEMS) 技術之開發，應用於光交接機，使得 DWDM 系統可指揮環狀網路上之波長塞/取。

(2) S-band 光放大器：除了 C-band 及 L-band 光放大器之應用外，短波段(Short band, S-band)雖然尚未正式定義，但目前認知之範圍自 1440 nm 至 1500 nm, S-band 放大器仍在實驗室階段尚未商用化，有兩種放大技術可實現 S-band 光放大器：

- 萊曼光纖放大器(Raman Fiber Amplifier, RFA): 利用非線性萊曼散射技術來提供更寬頻之光放大器，需要高功率 pump 雷射及特別之波長設計以提供所需波段之信號放大。

- 摻鈹(thulium)放大器：類似傳統之摻鉕光纖放大器(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)，預估未來二、三年內會有試用系統。目前仍在研究那一種技術之效能及成本因素較適於商用化。

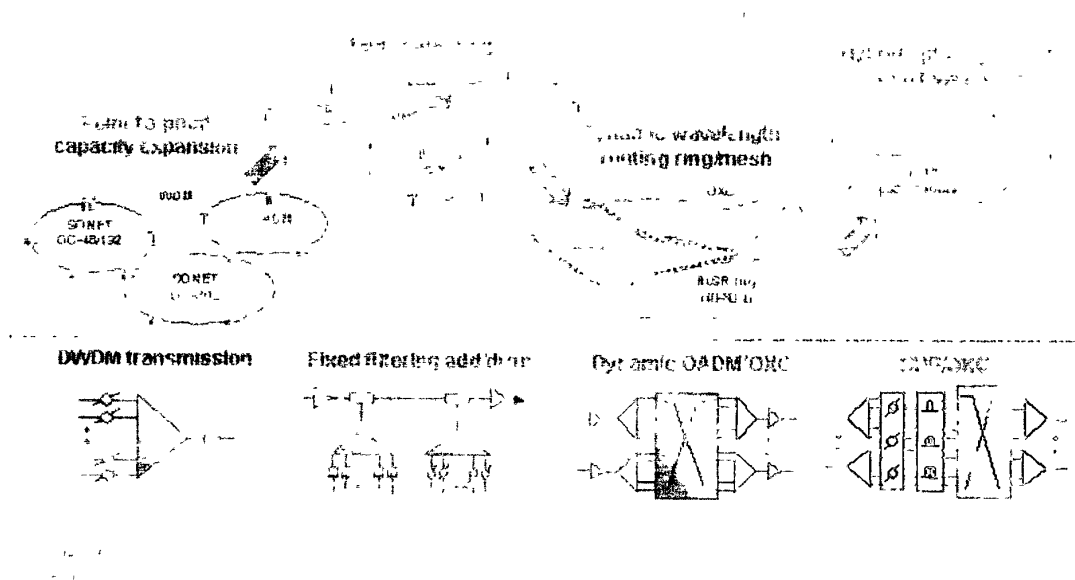
(3) 動態光塞取多工機(Dynamic OADM)：使用 OADM 可彈性的塞取波長，由於 OADM 動態的塞取光波長，將產生功率波動之現象，此時光放大器須能監視這些波動並自動調整控制參數，使其輸出功率維持在固定位準。另外，在任一節點塞/取波長，為維持功率準位一定，亦需加入一光衰減器來控制接收功率。由於波長塞取之實際地點是未知的，如何維持功率位準在光功率預算範圍內是一大挑戰。目前之研究方向係開發一通路等化器(channel equalizer)及可變光衰減器(variable optical attenuator, VOA)來自動調整每一塞取通路之功率位準。

(4) 光交接機(OXC)：以往光信號之塞/取係由大量光學元件來完成，亦即構成可程式化之光塞/取設備需包含光多工器、光解多工器、光交換器及可變光衰減器，如此方式將使設備體積龐大及製造成本高昂。

目前傾向於使用矽製陣列導波管(silicon array waveguide)與高密度 3D MEMS 來構成 OXC，DWDM 環狀網路可經由 OXC 互連，以利高速數據服務之調度及網路復原。

### 3.2 光網路之演進趨勢

以 DWDM 技術及其相關設備為基礎可邁向未來所謂“光網路”的遠景，光網路從現在 DWDM 基本的點對點網路開始將漸漸演進為較複雜的光網路架構，如圖 14 所示為 DWDM 相關技術在光網路之角色及未來發展趨勢。



Source from Sorrento

圖 14 DWDM在光網路之角色及未來發展趨勢

DWDM 演進至未來光網路，將分成下列四個階段：

- (2) 中期 (1999-2001)：利用固定式的光塞取多工機可組成線性的網路架構，利用可程式化光塞取多工機可組成 DWDM 環狀架構，可降低中間節點背-對-背設備之複雜度，並節省光-電-光轉換成本，對於客戶提供快速調度、多樣化、高可用度之寬頻服務。
- (3) 中長期 (2002~2004)：由於光交接機 (Optical Cross-Connect) 在網路的配置應用，可經由光波長管理，路由改接等功能而應用於環狀或網狀間的連接，在短時間內調度或啓用客戶所申請之電路，並可利用光交接網路提供分級服務，實現所謂端對端光波長及時服務。
- (4) 長期 (2005~)：將進入光交接機 (Optical Cross-Connect)與光封包交接機(OPS, Optical Packet Switch)混合使用時期。
- 目前由於不景氣之影響，第(3)、(4)項應會延後 1-2 年才實現。

#### 四、建議

DWDM/OADM 在光纖通信系統上提供超高容量之頻寬及塞取功能，加速以網際網路、多媒體為主寬頻服務之蓬勃發展，因此在未來邁向光網路過程中扮演重要角色。此次研習過程中，除了探討波道塞取多工設備架構外，並經由實際量測，以了解其產品性能技術。

為了解其 OADM 設備實際研發的過程，我們也參觀他們的研發及測試部門，對於各部門主管、工作人員對工作之投入、敬業精神及專業化，也都留下深刻印象，雖然目前世界上電信製造業不景氣，但他們仍然看好光通信之前景，沒有放慢研發腳步，我們應以此為借鏡，不要因不景氣而延後光通信建設時程，更應全力建設，以應付將來強烈頻寬需求。

由於我國目前正規劃邁向寬頻網路架構，建議總公司及各分公司更應加快腳步大力推廣以 DWDM/OADM 為基礎之光網路建設工作，例如早日佈放 G.655 新一代非零色散移位光纖並引進最先進擁有 10Gb/s 介面及保護架構之 DWDM/OADM 設備，同時給切注意 Dynamic OADM 及 OXC 市場發展狀況，並提早規劃 Fixed OADM 升級之方法，才可確實發揮寬頻網路功能及最高效率，俾能在當今眾多固網公司爭食的電信市場中保有強大的競爭力。