

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：實習)

DWDM 光纖通信系統規劃設計及量測技術

服務機關：中華電信股份有限公司
電信訓練所

出國人 職 稱：助理工程師

姓 名：張啟添

出國地點：美國

出國期間：自 92 年 12 月 6 日至 12 月 13 日

報告日期：93 年 1 月 15 日

196/
00930028/

系統識別號:C09300281

公務出國報告提要

頁數: 41 含附件: 否

報告名稱:

DWDM光纖通信系統規劃設計及量測技術

主辦機關:

中華電信訓練所

聯絡人/電話:

胡玲/02-29639282

出國人員:

張啓添 中華電信訓練所 網路技術科 助理工程師

出國類別: 實習

出國地區: 美國

出國期間: 民國 92 年 12 月 06 日 -民國 92 年 12 月 13 日

報告日期: 民國 93 年 01 月 15 日

分類號/目: H6/電信 H6/電信

關鍵詞: DWDM,OADM,OXC

內容摘要: 隨著網際網路接取(Internet Access)、視訊(Video)等電信服務之寬頻化,使主幹(Backbone)網路之傳輸容量亦須隨之提升。提升傳輸容量最快、最經濟的方法就是使用密集式分波多工(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)。亦就是利用現有之光纖,將傳輸頻寬提升至16、32、80甚至160倍。DWDM技術奠定了由電網路演進至光網路之基礎,傳統的電網路(Electronic Networking)無法直接在光層(Optical Layer)進行多工(multiplexing)、切換(switching)、或路由改接(routing)等動作,在網路節點需使用光電轉換設備將光信號轉換為電信號再將電信號轉回光信號,如此一來總體傳輸速率會因使用光電轉換設備而受到限制,無法將光纖與生俱來無限頻寬的潛力好好發揮。以DWDM為機制之光網路(Optical Networking)可直接在光層作信號之運作來解決上述問題,因此克服了傳統傳輸瓶頸而帶來了"Virtual fibre"的觀念,將既有光纖作最有效率的利用。有鑑於此,為因應DWDM網路系統規劃設計及量測技術應用所需之訓練需求,以及時培育本公司DWDM網路系統規劃設計及量測技術專業人才,本公司核派助理工程師張啓添至美國實習DWDM網路系統規劃設計及量測技術新技術,訓練期間自九十二年十二月六日起至十二月十三日止(含行程共八天),訓練課程內容主要包含DWDM架構, OADM及OXC設備。並對MOVAZ公司產品作詳細說明。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘要

隨著網際網路接取(Internet Access)、視訊(Video)等電信服務之寬頻化，使主幹(Backbone)網路之傳輸容量亦須隨之提升。提升傳輸容量最快、最經濟的方法就是使用密集式分波多工 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)。亦就是利用現有之光纖，將傳輸頻寬提升至 16、32、80 甚至 160 倍。

DWDM 技術奠定了由電網路演進至光網路之基礎，傳統的電網路(Electronic Networking) 無法直接在光層(Optical Layer)進行多工(multiplexing)、切換 (switching)、或路由改接(routing)等動作，在網路節點需使用光電轉換設備將光信號轉換為電信號再將電信號轉回光信號，如此一來總體傳輸速率會因使用光電轉換設備而受到限制，無法將光纖與生俱來無限頻寬的潛力好好發揮。

以 DWDM 為機制之光網路(Optical Networking)可直接在光層作信號之運作來解決上述問題，因此克服了傳統傳輸瓶頸而帶來了"Virtual fibre"的觀念，將既有光纖作最有效率的利用。

有鑑於此，為因應 DWDM 網路系統規劃設計及量測技術應用所需之訓練需求，以及時培育本公司 DWDM 網路系統規劃設計及量測技術專業人才，本公司核派助理工程師張啟添至美國實習 DWDM 網路系統規劃設計及量測技術新技術，訓練期間自九十二年十二月六日起至十二月十三日止(含行程共八天)，訓練課程內容主要包含 DWDM 架構，OADM 及 OXC 設備。並對 MOVAZ 公司產品作詳細說明。

目錄

第一章	摘要.....	2
第二章	行程及實習內容紀要.....	4
第三章	DWDM 架構.....	5
第四章	OADM 原理及設備.....	17
第五章	OXC 原理及設備.....	33
第六章	量測技術.....	40
第七章	實習心得.....	41

第二章 行程及實習內容紀要

本出國實習時間自民國九十二年十二月六日起至十二月十三日止含行程為期八天，本次實習行程及實習內容紀要如下：

92年12月06日：行程，搭機赴美國亞特蘭大

92年12月8日~12月11日：研習 DWDM 網路系統規劃設計及量測技術

92年12月12日~12月13日：返程，搭機返回台北。

第三章 DWDM 架構

3.1 前言

隨著快速網際接取(Internet Access)、視訊(Video)等電信服務之寬頻化，使主幹(Backbone)網路之傳輸容量亦須隨之提升。目前，商用 SDH STM-16 (2.5 Gb/s) 系統，在未來將有容量匱乏之虞，因此不少廠家企圖將 SDH 傳輸系統容量提升至 10 Gb/s (STM-64)，40 Gb/s(STM-256)。40 Gb/s(STM-256) 系統因色散及非線性影響使得傳輸距離受到很大限制，短期內應無商用化之可能。近幾年來由於半導體雷射、光放大器、光濾波器 etc 光元件技術日趨成熟，使得 DWDM 技術蓬勃發展，DWDM 除了解決以上 10 Gb/s 帶來問題外也改善現有光纖缺乏現象，並提供大容量、多樣化之寬頻服務，可使網路經營者在有效成本下，將傳輸頻寬提升至 16、32、80 甚至 160 倍。這些技術之發展，將主導主幹網路架構之未來趨勢，因此，為迎接大容量光網路時代之來臨，建立 DWDM 之關鍵技術乃刻不容緩。

密集式分波多工 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 之架構如圖 1 所示，傳送端可結合 n 個波長之光信號在光纖上傳送，在遠端可分別解出個別波長之光信號，網路之傳輸容量可提升為 n 倍

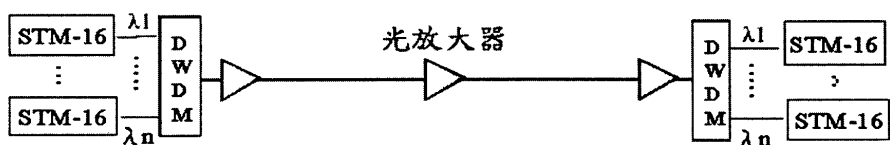


圖 3.1 DWDM 架構

3.2 DWDM 的好處

3.2.1 由電網路演進至光網路:

DWDM 技術奠定了由電網路演進至光網路之基礎(如圖 3.2 所示),傳統的電網路(Electronic Networking)無法直接在光層(Optical Layer)進行多工(multiplexing)、切換(switching)、或路由改接(routing)等動作,在網路節點需使用光電轉換設備將光信號轉換為電信號再將電信號轉回光信號,如此一來總體傳輸速率會因使用光電轉換設備而受到限制,無法將光纖與生俱來無限頻寬的潛力好好發揮。

以 DWDM 為機制之光網路(Optical Networking)可直接在光層作信號之運作來解決上述問題,因此克服了傳統傳輸瓶頸而帶來了"Virtual fibre"的觀念,將既有光纖作最有效率的利用。

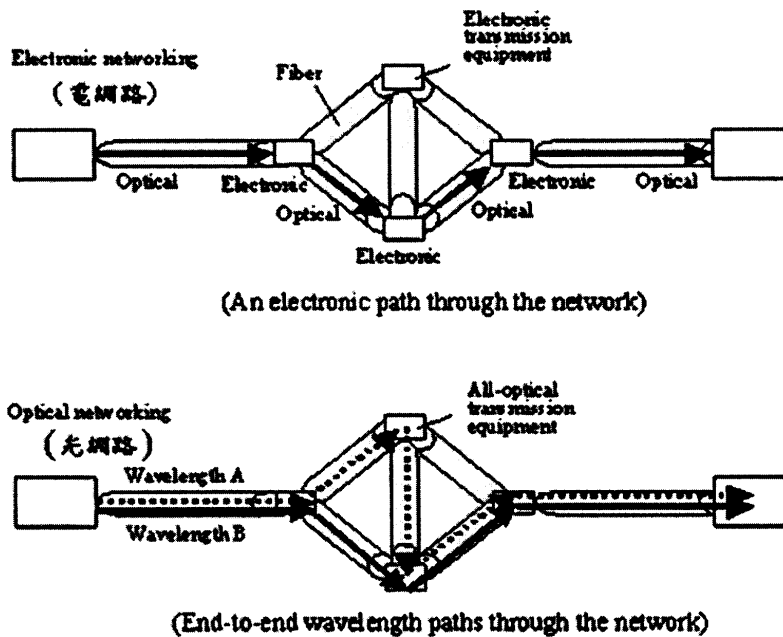


圖 3.2 從電網路演進到光網路

3.3 提供網路多樣化的服務:

DWDM 和傳送速率(Bite Rate)及規約(Protocols)無關,也就是說可提供和服務形式完全無關的傳送網路,例如:一個對傳送速率及規約完全透通(Transparent)的 DWDM 網路可和 ATM、IP、SDH 等信號介接,提供網路多樣化的服務。

3.4 減少費用支出改善服務品質:

由於在光層(Optical Layer)進行信號的指配或調度,相較於傳統上在電層的頻寬調度來的更簡單而有效率,可減少費用支出。另外在網路上光纖被切斷(cable cut)或光信號故障時,可在光層(Optical Layer)進行信號保護切換或網路路由回復(Restoration)的動作,相對於傳統上在電層作回復的動作其切換時間較短,使網路之可用度(availability)提高而改善服務品質。

3.5 比 TDM 更能提升傳輸距離及網路容量

高速之 STM-64 TDM (Time Division Multiplexing) 傳輸上的最大問題在於分散(Dispersion)現象嚴重,對於傳送之光信號會產生劣化效應,因此,若不使用電子式再生器(Electrical Regenerator),STM-64 只可傳送距離約 60 公里。若以 8 個波長的 DWDM 技術傳送,每個波長為 2.5Gb/s 之信號,其傳輸容量可為 20 Gb/s (8x2.5Gb/s),其傳輸距離可達 600 公里以上而不需電子式再生器(需要光放大器)。

STM-64 的多工對於支流信號(Tributary)的頻率與格式，通常都有一定的限制，而 DWDM 的多工幾乎完全不設限，PDH、ATM、SDH、及 IP 等任何信號格式皆可輸入，增加網路傳輸之彈性。若未來光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)及光交接機(Optical Cross-Connect, OXC)的問世，可直接以光波長為交接單位，免除 O/E/O 的轉換步驟，可提昇網路調度的效率。在解決與日俱增的用戶頻寬需求及提升網路容量之方案中，雖然 DWDM 與 TDM 技術提供了不同之選擇，但 TDM 受到的限制比較多，且目前能提供 TDM 設備之廠家較少，不比 DWDM 設備來的普遍。

3.5 DWDM 相關設備

提供全光網路之 DWDM 相關設備主要包括如下：

- (1) 光放大器 (Optical Amplifier)
- (2) DWDM 終端機 (DWDM Terminal)
- (3) 光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)
- (4) 光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)
- (5) 光交接機 (Optical Cross-connects, OXC)

茲將 DWDM 相關設備之主要功能敘述如下：

3.6 光放大器(Optical Amplifier)：

具有光信號格式與位元速率之透通性，且運作於 1550 nm 區域有相當高之增益、高光輸出功率及低雜訊指數，光放大器依據不同應用包括：

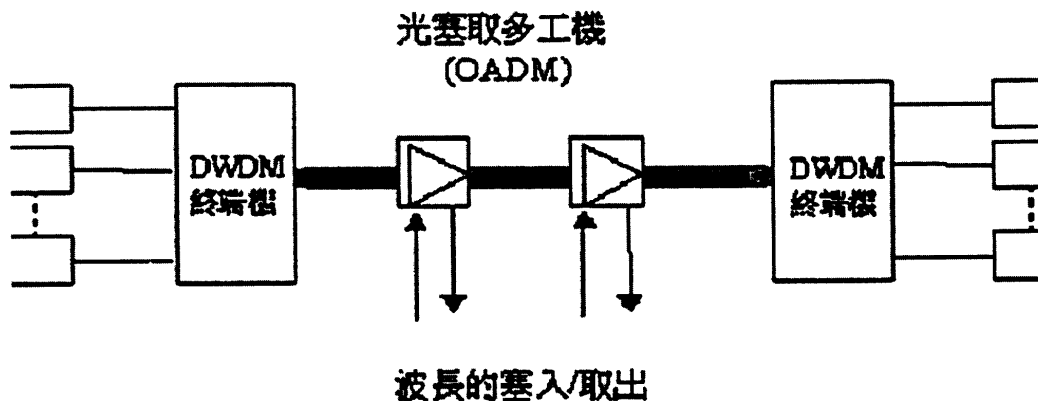
- 光功率放大器 (Booster Amplifier, BA)
- 光前置放大器 (Pre-Amplifier, PA)
- 光線路放大器 (Line Amplifier, LA)

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 (Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA)其主要組成包含一段摻鉕光纖、幫浦雷射(Pump Laser)及 DWDM 組件(用來混合傳輸光信號及幫浦光輸出)。EDFA 直接放大 1550 nm 區域無需使用電子式再生器，可在相當大之波長範圍內提供平坦增益，亦即單一 EDFA 能同時提供多個波長通路之增益，已取代大部分之再生器應用，成為長途光纖網路之構成部分。

3.7 DWDM 終端機

DWDM 終端機配合光放大器可應用於光傳輸網路 (如圖 3.3 所示)，在傳送端可接受多個波長之光信號輸入，並轉換成符合 ITU-T G. 692 固定波長之光信號，經多工混合、光放大後傳至光傳送網路，在接收端可接收來自光傳送網路之信號，經光前置放大、解多工、及光濾波器後輸出。

DWDM 終端機有下列兩種型式



OADM: Optical Add-Drop Multiplexer

圖 3.3 DWDM 終端機及塞取多工機

- (1) 開放式系統(Open System)：通常稱為轉頻式(transponder-based) DWDM，在 SDH 及 DWDM 設備間有轉頻器，可介接不同廠家(Multivendor)的 SDH 設備。
- (2) 整合式系統(Integrated System)：通常稱為被動式(passived) DWDM，SDH 設備已具有 ITU-T G. 692 之介面功能。

開放式系統和整合式系統之優缺點之比較如表 1 所示

表 1 開放式系統和整合式系統之比較

	開放式系統	整合式系統
優點	可介接多樣式的傳輸信號格式(如:PDH, SDH etc...)支援不同廠家(Multivendor)的 SDH 設備	SDH 和 DWDM 功能整合一起設備費用較低 和既存的 SDH 網管容易整合
缺點	因需裝設轉頻器設備價錢較高和既存的 SDH 網管系統不易整合	不能介接多樣式的傳輸信號格式(如:PDH, SDH etc...), 只適合某一特定的 SDH 廠家

3.8 光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)

光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM)，如圖 3.3 所示，可以在一個光傳輸網路之中間站塞入或取出個別的波長通道(Wavelength Channel)。一般而言，它是置於兩個 DWDM 終端機之間來代替某一光放大器，目前有部份廠家已研製出固定型光塞取多工機 (Fixed OADM)，它對於要塞入或取出的波道必須事先設定，至於另一種稱為可任意設定之光塞取多工機 (Programmable OADM)，則可藉由外部指令對於要塞入或取出的波道作任意的指配。

3.9 光交接機(Optical Cross-Connect, OXC)

在電信網路中使用於 DWDM 波長愈來愈多時，對於這些波道須作頻寬彈性之調度或路由之改接(Routing)，此時必須藉由光交接機 (如圖 3.4 所示)來完成此項功能，通常它可置於網路上重要的匯接點，在其輸入端可接收不同波長信號，經由光交接機將它們指配到任一輸出端，光交接機在連接至 DWDM 光纖時有以下三種切換方式：

光纖切換 (Fiber switching)：可連接任一輸入光纖到任一輸出光纖，但

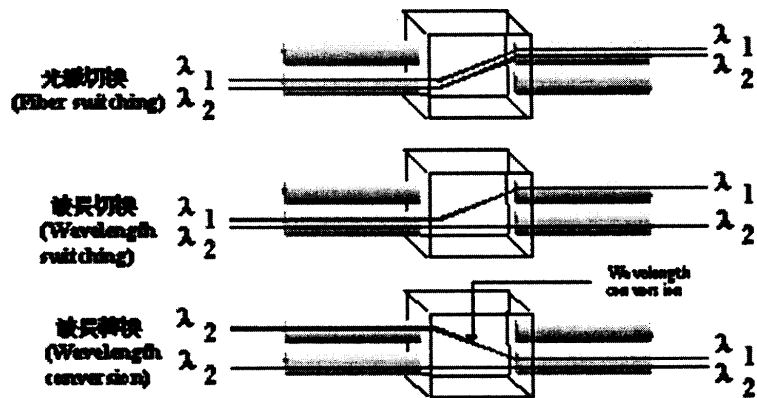


圖 3.4 光交換機(OXC)

光交換機可提供下列幾種應用：

(1) 路由回復(Route Restoration):

在光纖被切斷(Cable Cut)或話務壅塞時，對於網路上正在運作的波道可提供自動保護切換功能，尤其對於與日俱增的數據話務(如 IP/WDM)將益形重要，因為 IP/WDM 它沒有在 SDH 這層作保護。

(2) 波長管理(Wavelength Management):

在網路中對於 DWDM 系統中之多種波長可作任意交接或指配，例如：可將部份波長租給特定客戶或其它的網路業者。

(3) 話務之調度和集中(Grooming):

可將類別相同之話務集中一起送至某指定目的地，或將多路只有部份裝滿 (partial filled) 之話務集中一起傳送，以提高光纖之利用率讓網路調度更有彈性及效率。

3.10. 傳輸媒體－光纖

3.10.1 使用光纖好處：

- * 傳輸頻寬相當大
- * 低傳輸損失
- * 減低串音(cross-talk)及電磁干擾
- * 體積小，重量輕易於處理及攜帶
- * 提供高度保密性

3.11 光纖的種類與特性

圖 3.5 為光纖的特性曲線圖，應用於光傳輸媒體之光纖主要有下列三種類型：

(1) 標準單模態光纖 (Single-Mode Fiber, SMF)：

本光纖的相關規格是在 ITU-T G.652 標準中定義，又稱分散無移位 (Dispersion-Unshifted) 單模態光纖，可操作之中心波長為 1310nm 或 1550nm，零分散點在波長為 1310nm 附近，在波長為 1550nm 時，其最大色散係數(maximum chromatic dispersion coefficient)為 20 ps/nm/km，波長 1310nm 每公里光纖的損失為 0.3-0.4 dB，波長 1550nm 每公里光纖的損失為 0.15-0.25 dB，當傳輸速率 ≥ 10 Gbit/s 時需配合使用色散補償光纖(Dispersion Compensation Fiber, DCF)以保持相當傳輸距離及服務品質。

(2) 分散移位光纖 (Dispersion-Shifted Fiber, DSF):

本光纖的相關規格是在 ITU-T G.653 標準中定義，可操作之中心波長為 1550nm，零分散點在波長為 1550nm 附近，1525nm 至 1575nm 其最大色散係數(maximum chromatic dispersion coefficient)為 3.5 ps/nm/km，波長 1550nm 每公里光纖的損失為 0.19-0.25 dB，此種光纖適合單波長、高速率之傳輸系統，但不適合多波長(例如:DWDM)、高速率之傳輸系統，其傳輸距離及系統容量因 4 波混合 (Four-Wave Mixing)效應影響而受到很大的限制。

(3) 非零分散移位光纖(Non-zero Dispersion-shifted Fiber, NZDSF)：

本光纖的相關規格是在 ITU-T G.655 標準中定義，可操作之中心波長為 1500nm

至 1600nm，其最大色散係數(maximum chromatic dispersion coefficient) 為 6.0 ps/nm/km，應用在 DWDM 傳輸系統時，可以改善 4 波混合(Four-Wave Mixing) 效應及減少非線性的影響。

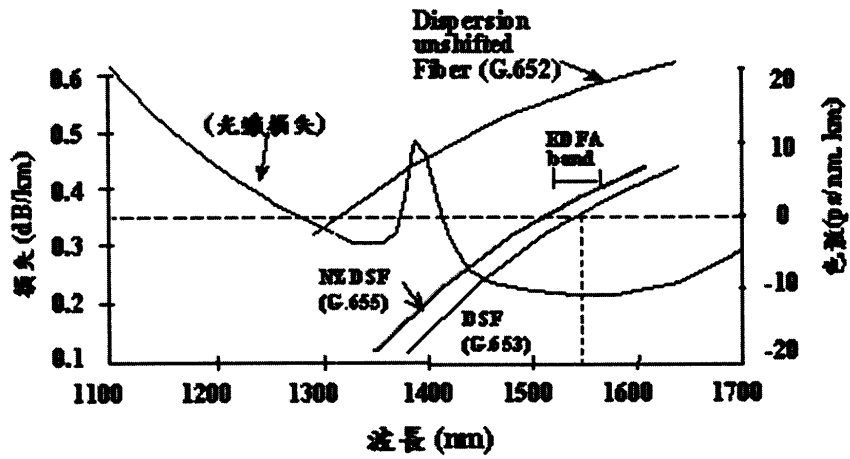


圖 3.5 光纖的特性曲線

3.12 不同種類光纖的比較

茲將三種不同種類光纖的比較列表如下：

	標準單模態光纖 (SMF)	分散移位光纖 (DSF)	非零分散移位光纖 (NZDSF)
色散	高	很低	低
好處	適合 DWDM 傳輸，較便宜。	很低的色散，適合 10 Gbit/s 單通道 SDH 傳輸系統，價錢貴。	較低的非線性影響，對 DWDM 傳輸非常適合，價錢貴。
缺點	在高速 10Gbit/s 時受色散影響大。	不適合 DWDM 傳輸	大容量傳輸特性尚待評估。
應用	骨幹網路	長途網路	目前未大量使用。

3.13 DWDM 之網路應用

如圖 3.6 所示 DWDM 有下列幾種不同的網路應用：

(1) 長距離網路 (Long -Distance Network):

此種網路是提供骨幹(Backbone)鏈路的連接，可從較低層的區域網路 (Regional Network)收集話務，然後經由主幹網路(Core Network)來傳送，此種長距離網路主要是由 DWDM 終端機配合很多個光放大器而構成，由於光放大器可代替數目龐

大、價格昂貴的中繼器(Regenerator)，同時可避免重新埋設更多的光纖及不必再建置較高速率的SDH設備，所以DWDM應用於長距離網路時，可以在低投資成本下增加網路頻寬。

(2) 都會區/局間網路(Metropolitan/Inter-office Network):

這種距離較短之都會型/局間網路應用，其傳輸距離大約30公里左右，適合於都會區中有環狀架構的網路，或是作為局間鏈路(inter-office link)之連接，可將目前SDH環狀網路提升至更高的速率。

(3) 接取網路(Access Network)

本地接取網路是指公眾網路到企業體(Business)或社區(Residential)用戶之最後一段>Last Mile)，也就是提供用戶到公眾網路之連接網路，漸漸地，DWDM技術將應用於此種接取網路。

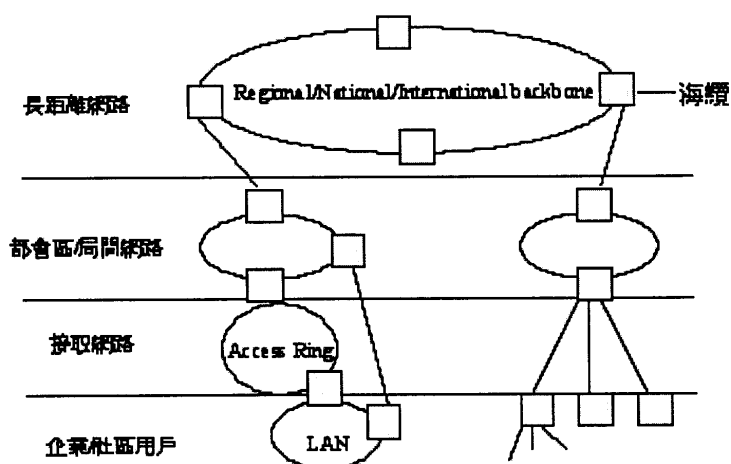


圖 3.6 DWDM 之網路應用架構

3.14 DWDM 在光網路之角色及未來發展

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(Point-to-Point)鏈路開始將漸漸演進為較複雜的光網路架構，DWDM 在光網路之角色及未來發展如圖 3.7 所示。

(1) 初期(~1999)：以 DWDM 終端機為主所組合而成之點對點(Point-to-Point)架構將解決現行光纖短缺、網路擁塞的問題，電信業者可藉由增加光波長數目來提供網路更多的使用容量。

(2) 中期 (1999-2001)：利用固定式的光塞取多工機(Fixed OADM)可組成線性(Linear)的網路架構，利用可任意設定的光塞取多工機(Programmable OADM)可組成 DWDM 環狀(Ring)架構，對於客戶提供多樣化、高可用度之寬頻服務。

(3) 長期 (1999~)：由於光交接機在網路的配置應用，可經由光波長管理，路由改接等功能而應用於環狀(Ring)或網狀(Mesh)間的連接，提供端對端波長服務(End-to-end Wavelength Service)。

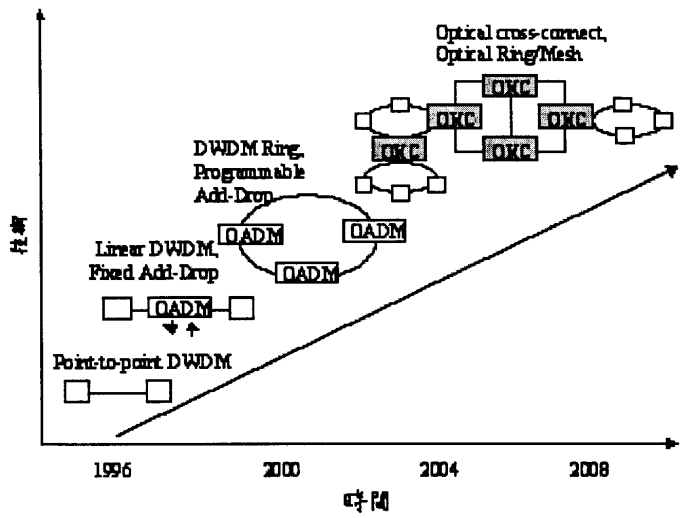


圖 3.7 DWDM 在光網路之角色及未來發展

第四章 OADM 原理及設備

光塞取多工機 (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM), 可以在一個光傳輸網路之中間站塞入或取出個別的波長通道(Wavelength Channel)。OADM 也可組成環網路, 一般而言分為 2 種環。一為單向光通道保護(UPSR, OSNCP, OchDPRing) 如圖 4.1。另一為雙向光通道共用保護(BPSR, OMS-SPRing) 如圖 4.2。目前產品以 OchDPRing 較多, 以下針對 MOVAZ 公司的 RAYexpress 作功能介紹。

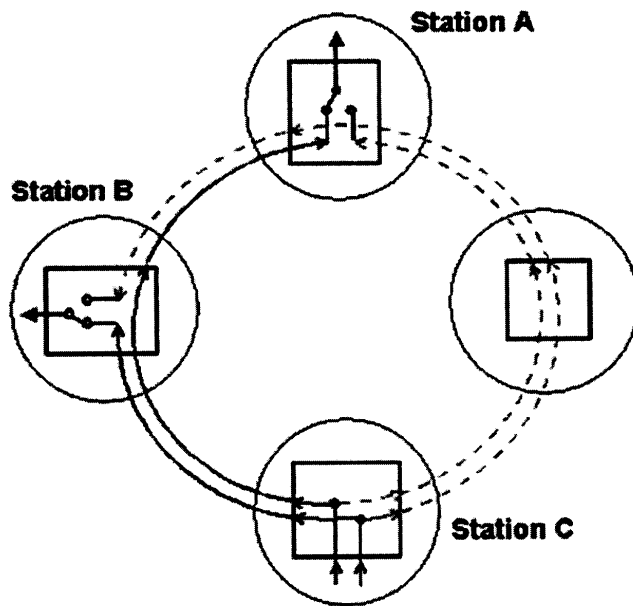


圖 4.1 單向光通道保護

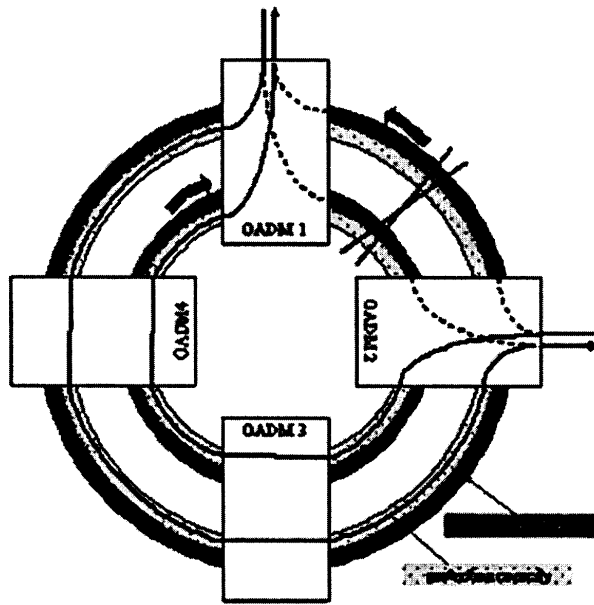


圖 4.2 雙向光通道共用保護

4-1 RAYexpress

架構與單體介紹：

圖 4.1.1 是 MOVAZ 的 OADM 產品 RAYexpress。RAYexpress 的插槽由左下角數起，Slot 1 與 Slot 5 是 redundant 的電源，Slot 2 與 Slot 4 是 redundant 的機框處理器源(shelf processor)，Slot 3 是應用介面卡。機框的中間部份 Slot 6 ~ Slot 19 分為兩個工作平面(plane)，Slot 6 ~ Slot 12 是 plane 0；Slot 13 ~ Slot 19 是 plane 1。Slot 6,7,18,19 是 SIM(Service Interface Module)卡插槽，Slot 8 跟 13 是 OLD(Optical Line Driver)，Slot 9~12 與 Slot 14 ~ 17 是 Transceiver 或 Transponder 插槽。機框的上方 Slot 20 ~ Slot 27 是光濾波器介面。

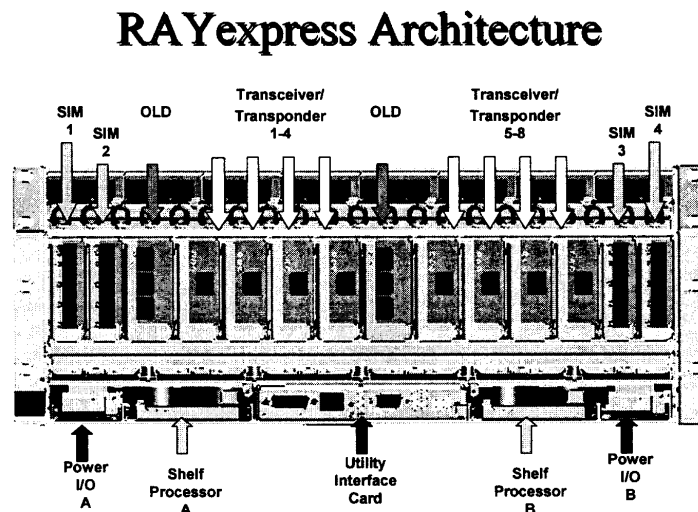


圖 4.1.1

RAYexpress Features

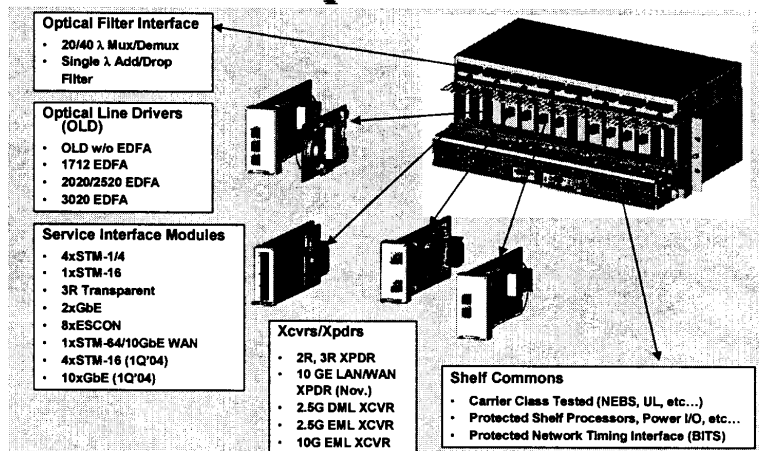


圖 4.1.2

圖 4.1.2 圖示各種介面卡支援的單體類型。光濾波器介面可以插 20 種波長或 40 種波長的多工/解多工器，也可以插單一波長的塞取(Add/Drop) 濾波器。OLD(光驅動器)有多種不同的摻鉍光纖放大器(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)模組，其型號與規格如表 3.1.1，計有 1712，2020，2520 和 3020 四種。1712 型的訊號流程圖示如圖 4.1.3，接收光訊號的輸入範圍在-5 ~ -21dBm，可分出 5%的訊號供監視量測，再取出波長 1310nm 的控制訊號(Optical Signal Channel, OSC)供系統控制，之後取 1%功率給光二極體(Photo Diode, PD)作光訊號強度偵測，作為下一級可變光衰減器(Variable Optical Attenuator, VOA)的衰減調控，經過可變光衰減器後，適當強度的光訊號輸入摻鉍光纖放大器，經放大後輸出到後端設備的訊號強度範圍在-3 ~ +12dBm。

RAYexpress C-Band Amplifier Specifications

Specification	OLD Amplifier Type and Part Number			
	1712 (150-0057-01)	2020 (150-0052-01)	2520 (150-0054-01)	3020 (150-0058-01)
Stages	1	1	1	2
Wavelength Range (nm)	1528-1563	1528-1563	1528-1563	1528-1563
Wavelengths Supported	20	40	40	40
Gain	17 dB	20 dB	25 dB	20 dB
Minimum Input Power (see note 2)	-21 dBm	-17 dBm	-22 dBm	-17 dBm
Maximum Input Power	-5 dBm	13 dBm	13 dBm	13 dBm
Maximum Output Power	12 dBm	20 dBm	20 dBm	19.5 dBm
Spectral Flatness	±0.5 dB	±0.5 dB	±0.5 dB	±0.5 dB
Maximum Noise Figure	8.0 dB	8.5 dB	8.5 dB	9.0 dB
Maximum Reflectance Tolerated	-6 dB	-6 dB	-6 dB	-6 dB
Maximum Single Reflectance	-20 dB	-20 dB	-20 dB	-20 dB
Amplifier Shutdown Threshold	-23 dBm	-27 dBm	-27 dBm	-27 dBm

表 4.1.1

Optical Line Driver Signal Flow

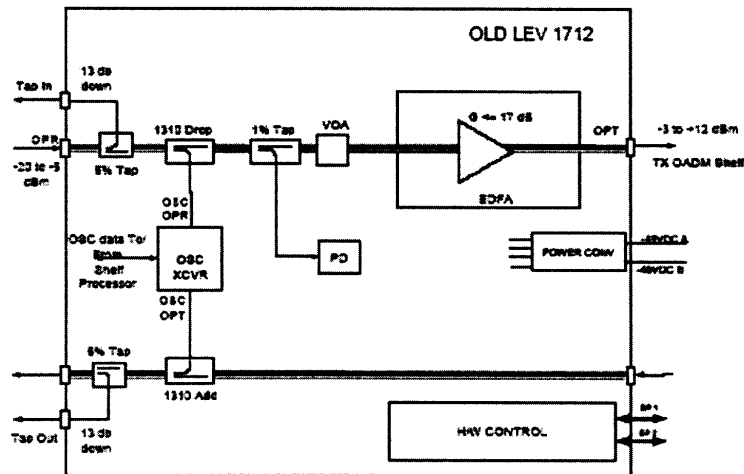


圖 4.1.3

MOVAZ 提供多種 SIM(服務介面)卡，圖 4.1.4 ~ 圖 4.1.9 分別是不同的卡板外觀與訊號流程圖。圖 4.1.4 是 155/622M 的 SIM 卡可提供用戶端 4 - Port 的 STM-1 或 STM-4 訊號，經過 SONET/SDH 的多工器後多工成 STS - 48 的 SONET 訊框，分送到 PLANE 0 和 PLANE 1 的 Transceiver 卡中；反之

Transceiver 卡來的 STS - 48 光訊號，經過選擇器後送解多工器，解多工成四路 STM-1 或 STM-4 訊號，分送四個用戶 PORT。圖 3.1.5 是 GEB(Giga Bit Ethernet)的 SIM 卡，可提供用戶端 2 - Port 的 GBE 訊號，其訊號流程架構類似 155/622M 的 SIM 卡，不同在於以 Packet Over SONET Framer 模組來接取用戶端的 Giga Bit Ethernet 訊務，取代 SONET/SDH 的多工/解多工器。圖 3.1.6 的 SIM 卡提供 1 - PORT 的 3R 功能，3R 功能是波形再造(Reshaping)，訊號再造(Regenerating)，時脈再造(Retiming)，3R 的功能由 CDR 模組運作。圖 3.1.7 的 SIM 卡提供 2 - PORT 的 3R 功能，因此除 CDR 模組的 3R 功能外，尚需要類似多工/解多工器的功能，這理是以 Mapper/DeMapper 與 G.709 的訊框/解訊框器來完成，再利用前向錯誤校正碼(Forward Error Correction, FEC)的 Encoder/Decoder 來增加訊號的解析能力。圖 4.1.8 是 STM-16 的 SIM 卡，同 155/622M 的 SIM 卡的架構，由於 STM-16 的速度等同於 STS-48，故只能提供一個 PORT。

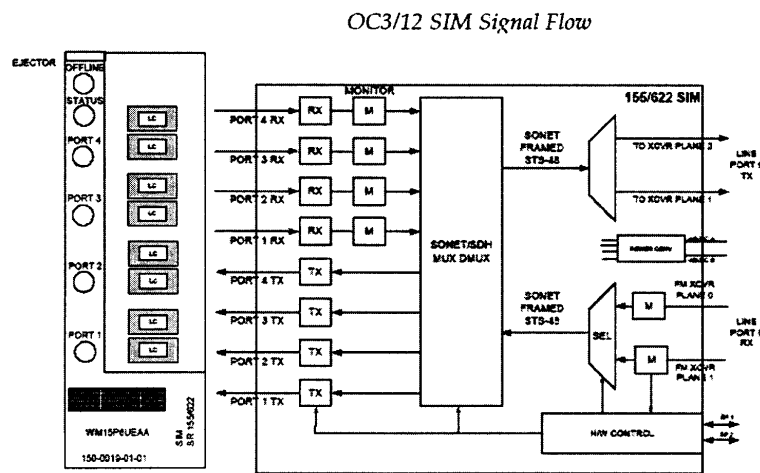


圖 4.1.4

GIGE SIM Signal Flow

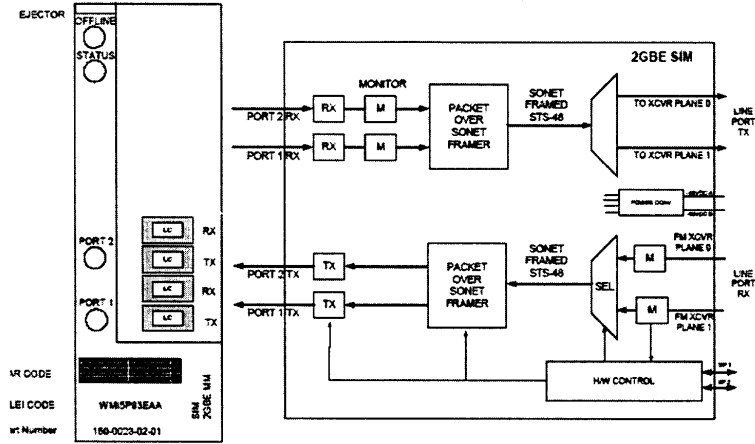


图 4.1.5

3R SIM Signal Flow

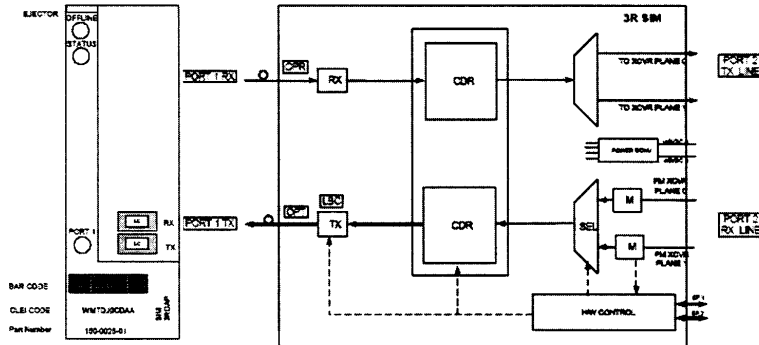


图 4.1.6

2X3R SIM Signal Flow

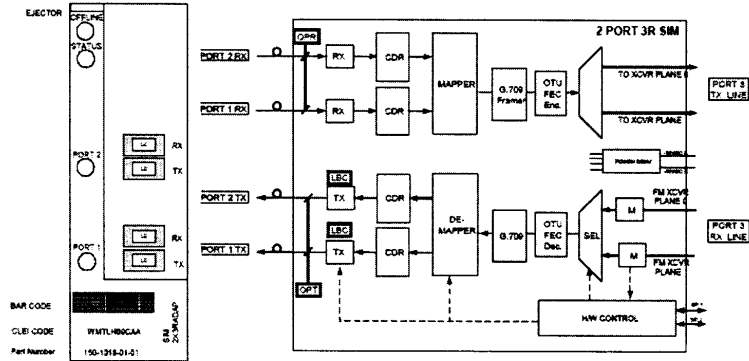


图 4.1.7

OC48/STM16 SIM Signal Flow

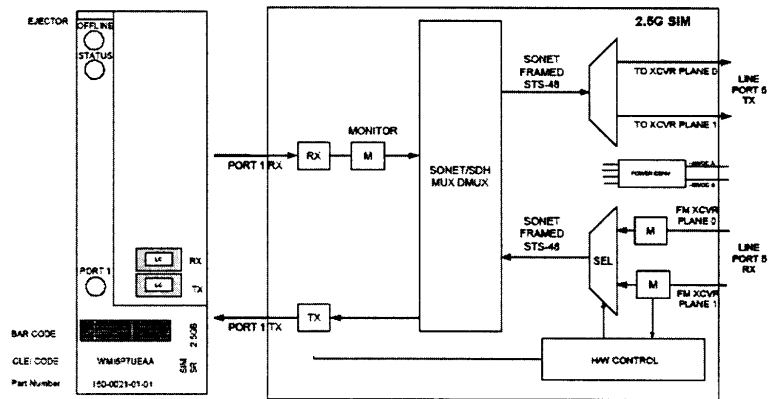


图 4.1.8

10 Gbps SIM Circuit Pack Signal Flow

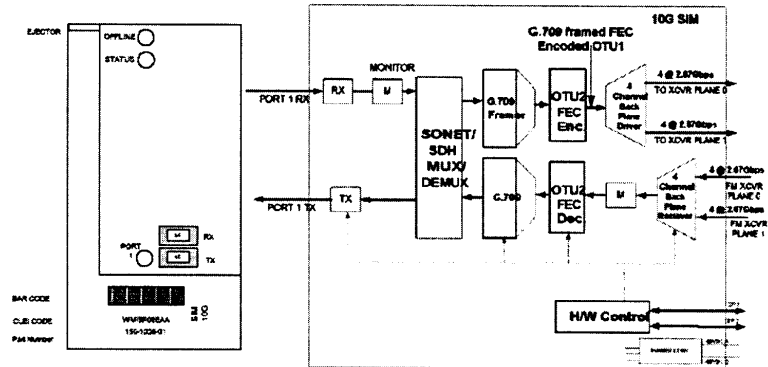


圖 4.1.9

圖 4.1.9 是 10Gbps 的 SIM 卡，10Gbps 的速度需要 4 個 STM-16 來傳送，所以 MOVAZ 的架構中以 4 個 STM-16 傳輸，因此用戶端 10Gbps 的訊號先經 SONET/SDH DEMUX 解多工成 4 個不同的訊號，再經 G.709 訊框器與 FEC 編碼器後，以 4 個 STM-16 訊號送出；同理，4 個 STM-16 從網路端送來，先經 FEC 解碼器，G.709 解訊框器後，由 SONET/SDH MUX 多工成 10Gbps 的訊號。除上述的多種 SIM 卡外，MOVAZ 尚提供多種 SIM 卡如表 4.1.2。

SIM	Port Config	Data Rate	Transmit Wave-length	Transmit Power Range	Receive Wave-length	Min. Receive Sensitivity	Receive Saturation Level	Reach
OC-3 OC-12 STM-1/ STM-4	4 LC	35.5 348ps or 622 Mbps	1274 nm to 1396 nm	-15 dBm to -8 dBm	1261 nm to 1390 nm	-28 dBm	-6 dBm	12 km
OC-48/ STM-16	1 LC	2.488 Gbps	1266 nm to 1360 nm	-10 dBm to -3 dBm	1260 nm to 1390 nm	-18 dBm	-3 dBm	2 km
OC-48/ STM-16	4 LC	2.488 Gbps	1266 nm to 1360 nm	-10 dBm to -3 dBm	1260 nm to 1390 nm	-18 dBm	-3 dBm	2 km
OC-192 STM-64	1 LC	9.953 Gbps	1290 nm to 1320 nm	-1 dBm to 5 dBm	1250 nm to 1645 nm	-11 dBm	-1 dBm	20 km
Gigabit Ethernet (1.3)	2 LC	1.250 Gbps	1266 nm to 1360 nm	-11 dBm to -3 dBm	1260 nm to 1390 nm	-19 dBm	-3 dBm	10 km
Gigabit Ethernet (5%)	2 LC	1.250 Gbps	830 nm to 860 nm	-6.4 dBm to -4 dBm	770 nm to 860 nm	-17 dBm	-6 dBm	200 m
2.5 Gbps SR Trans- parent SMD	1 LC	Proc. 155 Mbps to 2.67 Gbps	1266 nm to 1360 nm	-10 dBm to -3 dBm	1260 nm to 1390 nm	-18 dBm	-3 dBm	2 km
2.5 Gbps SR Trans- parent SMD	2 LC	Proc. 155 Mbps to 2.67 Gbps	1266 nm to 1360 nm	-10 dBm to -3 dBm	1260 nm to 1390 nm	-18 dBm	-3 dBm	2 km
ESCCN SMD (single mode)	4 LC	200 Mbps	1266 nm to 1360 nm	-15 dBm to -6 dBm	1260 nm to 1390 nm	-28 dBm	-6 dBm	10 km
ESCCN SMD (multi mode)	4 LC	200 Mbps	1266 nm to 1360 nm	-15 dBm to -8 dBm	1260 nm to 1390 nm	-28 dBm	-6 dBm	2 km

表 4.1.2

Transceiver 的功能是光轉電/電轉光，作為濾波器與 SIM 卡間的媒介，有兩種不同速度 2.5Gbps 與 10Gbps 的介面，和兩種雷射調變技術：直接調變雷射(direct modulated laser, DML)與外部調變雷射(externally modulated laser, EML)。圖 3.1.10 是 2.5Gbps Transceiver 的訊號流程圖，從濾波器來的光訊號由 2.5Gbps 的光接收器轉換成電訊號，經過限制放大器(Limiting Amplifier)放大訊號後，透過 I/O 介面輸出到 SIM 卡；反之從 SIM 來的 2.5Gbps 電訊號，經過限制放大器後輸入雷射驅動器，由雷射驅動器驅動 2.5Gbps 的雷射，經可變光衰減器往濾波器送。圖中光接收器的 LOL(Loss of Laser)可偵測有無輸入光訊號，限制放大器的 LOS(Loss of Signal)可偵測光接收器是否有輸出電訊號。圖 4.1.11 是 10Gbps Transceiver 的訊號流程圖，從濾波器來的光訊號由 10.709Gbps 的光接收器轉換成電訊號，經過限制放大器(Limiting Amplifier)放大訊號後，由 1:16 的解多工器，分成 16 個 667MHz 的訊號，再由 4 個頻道的時脈/資料回復器，重整成 4 個 2.67Gbps 的電訊號送到 SIM 卡；反之從 SIM 來的 4 個 2.67Gbps 的電訊號，經過 16:1 的多工器多工成 10.709Gbps 的電訊號後，再藉由雷射驅動器驅動 10.709Gbps 的雷射。

2.5G Transceiver Signal Flow

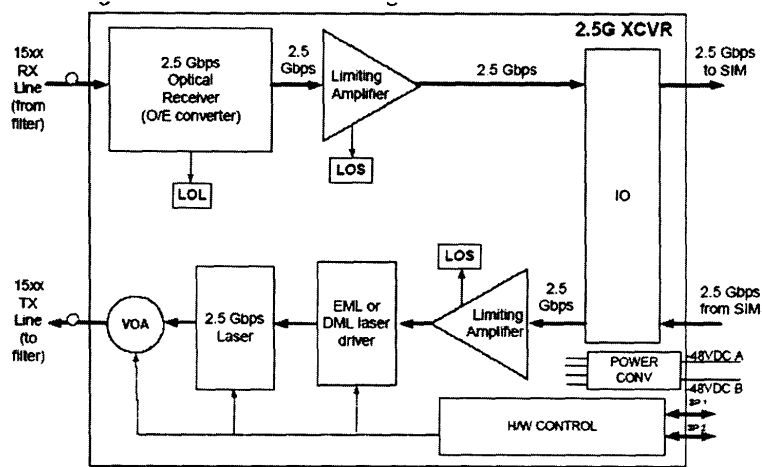


圖 4.1.10

10 Gbps Transceiver Circuit Pack Signal Flow

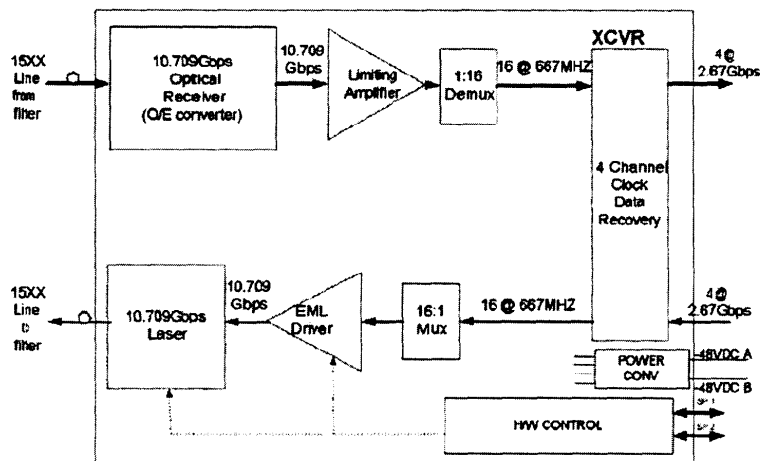


圖 4.1.11

Transponder的功能是將15xx nm的光訊號轉換成電訊號，再將電訊號轉換成1310 nm的光訊號供用戶端應用，Transponder可支援100MHz到2.5Gbps的速率。圖

4.1.12 是 Transponder 的訊號流程圖，用戶端 1310 nm 的光訊號，由接收器轉換成電訊號，再由發送單體轉換成 15xx nm 的光訊號經可變光衰減器送濾波器；反之由濾波器來的 15xx nm 的光訊號先由接收器轉換成電訊號，再由發送單體轉換成 1310 nm 的光訊號，送用戶端。

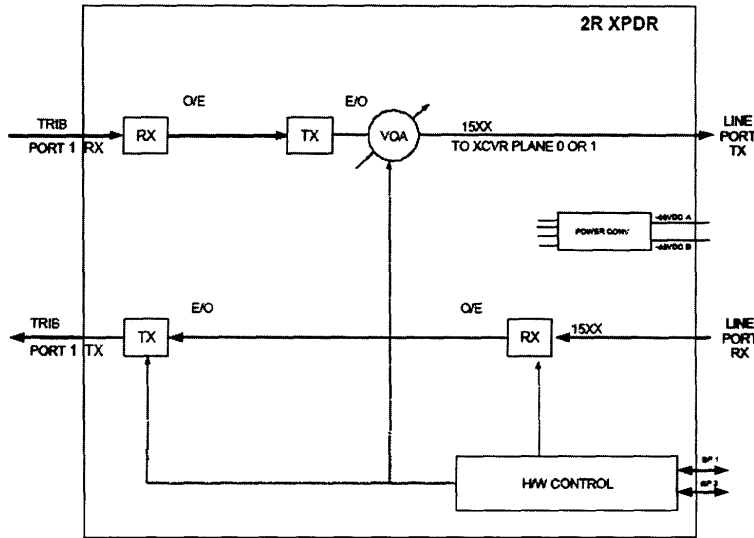


圖 4.1.12

Signal Flow Through a RAYexpress

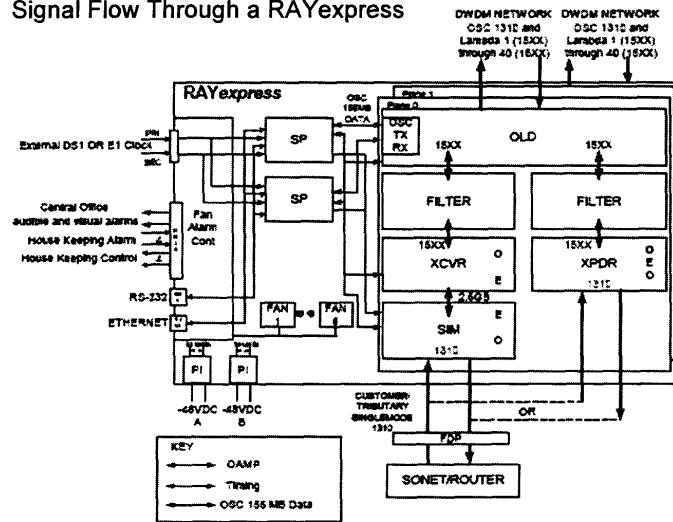


圖 4.1.13

系統訊號流程介紹：

圖 4.1.13 是整個 RAYexpress 的整個訊號流程架構。用戶端 1310 nm 的單模光訊號可以藉由 Transponder 光轉電，電轉光，轉換成 15xx nm 波長的光訊號，經過濾波器送到 OLD 整合多個不同波長光訊號後，送 DWDM 網路；用戶端 GBE、10Gbps 光訊號可藉由 SIM 單體收容，將光訊號轉換成適合 Transceiver 的電訊號，再藉由 Transceiver 將電訊號轉換成 15xx nm 的光訊號，經濾波器由 OLD 整合多個不同波長光訊號，送 DWDM 網路；從圖 3.1.13 可以發現 RAYexpress 有兩組電源(Power Indicator, PI)，多組風扇，兩組機架處理器(Shelf Processor, SP)，機架處理器可以直接控制 OLD、Transceiver/Transponder 和 SIM 卡，同時可利用波長 1310 nm，155MHz 的光訊號頻道(OSC)透過 OLD 與周邊 MOVAZ 系列設備溝通，此外機架處理器可以接受 OSC 來的時脈訊號，也可以接受外部的時脈訊號，來對 SIM 卡作同步動作。

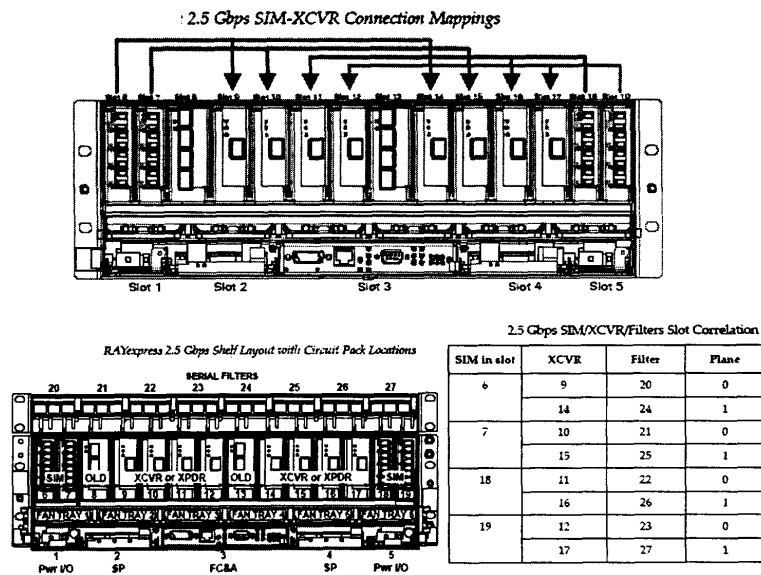


圖 4.1.14

RAYexpress 應用介紹：

RAYexpress 的單機框除了可以提供 STM-1 ~ STM-16 服務外，還可以提供

2.5G 的服務如圖 4.1.14，和 10G 的服務如圖 4.1.15。從圖 4.1.14 中可以得知，一框的 RAYexpress 提供 2.5G 的服務時，每個 Plane 可以插兩片 SIM 卡，Slot-6 的 SIM 卡接 Slot-9 和 Slot-14 的 Transceiver，再接 Slot-20 和 Slot-24 的濾波器，分別從 Plane 0 和 Plane 1 的 OLD 送出，其餘的詳細對照表同樣顯示於圖 4.1.14 的右下方表格。當 RAYexpress 提供 10G 的服務時，每個 Plane 只可以插一片 SIM 卡，如圖 4.1.15 所示，Slot-6，Slot-7 只能插一片 SIM 卡，其詳細對照表顯示於圖 4.1.15 的下方表格。

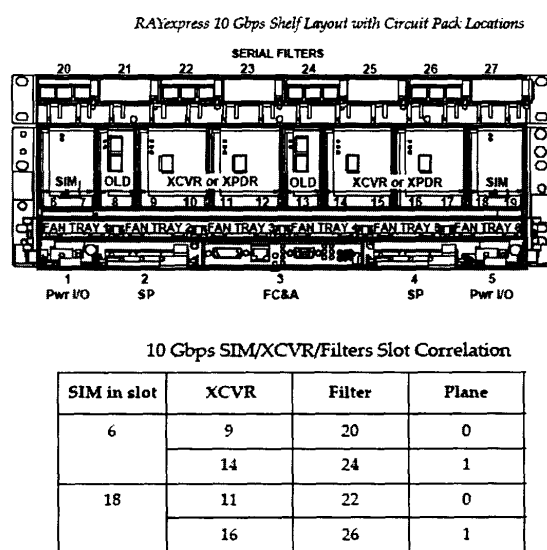


圖 4.1.15

除了單機框的應用外，RAYexpress 也可作堆疊的應用，特別是 20 波長和 40 波長的應用，一定是堆疊架構如圖 3.1.16，左邊是 20 波長架構，堆疊了 5 個 RAYexpress，右邊是 40 波長架構，堆疊了 10 個 RAYexpress。圖 3.1.17 有 20 個波長的多工/解多工器外觀及其波長列表，還有 20 波長堆疊的訊號流程圖示。每個 RAYexpress 的每個 Plane 計有 4 片的 Transceiver/Transponder，每片 Transceiver/Transponder 佔用一個波長，所以 20 個波長用了 5 個 RAYexpress 的

堆疊，分別與 20 波長的多工/解多工器銜接，然後串接第一框的 OLD 與網路連接，同理 Plane 1 也可提供一路 20 波長的服務。圖 3.1.18 是 40 個波長的多工/解多工器外觀及其波長列表，還有 40 波長堆疊的訊號流程圖示。40 波長堆疊的訊號流程類似於 20 波長堆疊的訊號流程，只是 10 個機框堆疊與 40 個波長的多工/解多工器取代 5 個機框堆疊與 20 個波長的多工/解多工器，如圖 4.1.16 的右圖。圖 4.1.18 的 40 波長堆疊只用了 5 個 RAYexpress，每個 RAYexpress 的兩個 Plane 共計有 8 片的 Transceiver/Transponder，每片 Transceiver/Transponder 佔用一個波長，所以共用了 40 個波長，圖中除了第一框 Plane 0 的 OLD 連接上網路外，第一框 Plane 1 的 OLD 銜接第二框 Plane 0 的 OLD，第二框 Plane 1 的 OLD 銜接第三框 Plane 0 的 OLD，依此類推，這些未連接到網路的 OLD 只使用到 OSC 的 1310 nm 波長，供系統管理各個機框。

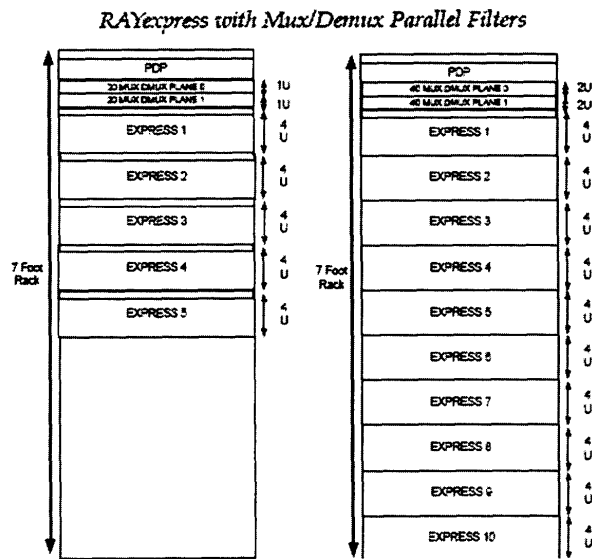
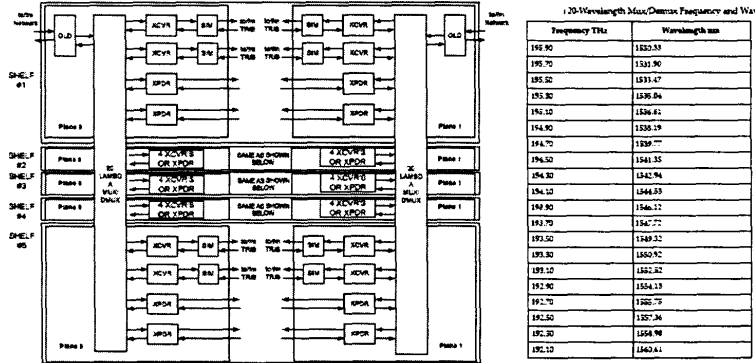


圖 4.1.16

20-Wavelength Mux/Demux Shelf



Flow Chart of Five Shelf 20 Lambda Mux/Demux (Headend)



第五章 OXC 原理及設備

MOVAZ 公司另一產品為 R-OADM，屬於 OXC 設備，以下為其說明。

R-OADM – Broadcast and Select

Splitter with Mux/Demux (fixed- λ -port)

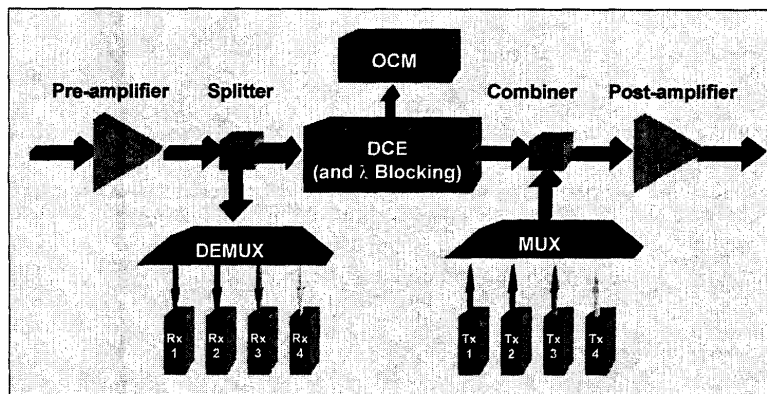


圖 5.3.1

R-OADM – Broadcast and Select

Splitters and Tunable Filters (any- λ -any-port)

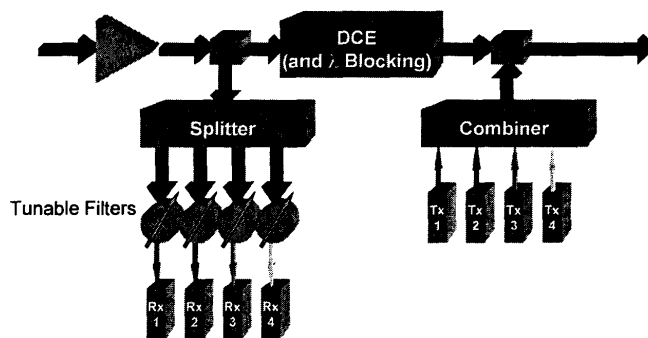


圖 5.3.2

圖 5.3.2 是另一種廣播與選取架構的可重新規劃光塞取多工機。此架構類似圖 5.3.1 的架構，所不同點主要在於解多工器換成分歧器與可調式光濾波器 (Tunable Filters)，如此可任意選擇要取出的光訊號波長，該波長的光訊號可重新再利用於後面的傳輸網路。

• 交換(Switched)的機制

圖 5.3.3 的 R-OADM 中，光訊號經過前級放大器後，輸入一個 1x2(一進二出)的波長選擇交換器，可將要取出的特定波長訊號切換輸出到解多工器；其餘波長的光訊號切換輸出到下一級 2x1(二進一出)的波長選擇交換器，匯整多工器送來可重新使用的特定波長訊號，送到後級放大器。

R-OADM – 1x2 wavelength switch

1x2 Wavelength-selective switch with Mux/Demux (fixed- λ -port)

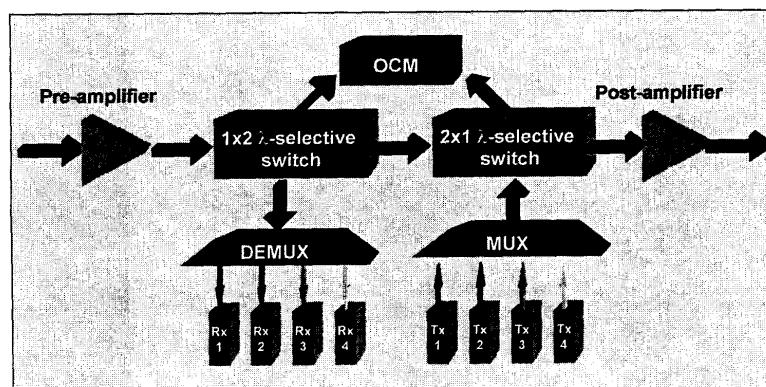


圖 5.3.3

R-OADM – Switched

Splitter with Mux/Demux (fixed- λ -port)

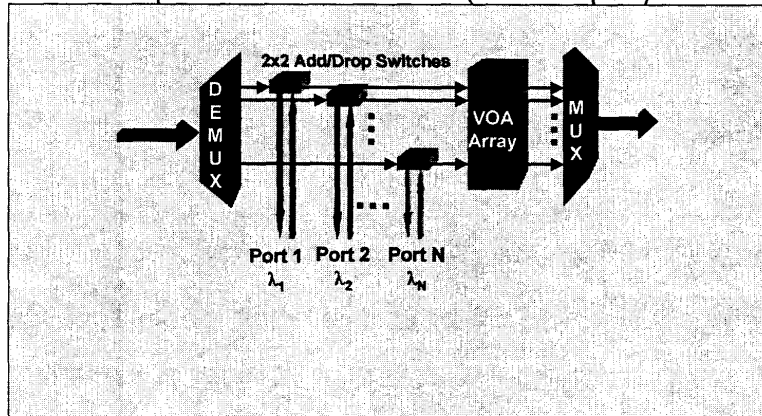


圖 5.3.4

圖 5.3.4 的 R-OADM 中左端輸入的光訊號，先進入解多工器，解多工成 N 種不同波長的光訊號，在經過 N 個 2x2 的塞取交換器來決定那個特定波長的光訊號要在此 R-OADM 取出，則該特定波長的光訊號可重新應用於右端環路的傳輸。N 個塞取交換器輸出訊號到 N 進 N 出的矩陣式可變式光衰減器(variable optical attenuator, VOA)將 N 種不同波長的光訊號等化後，經多工器整合由單一光纖傳送。

圖 5.3.5 的 R-OADM 中，

R-OADM – Switch (MEMS)

MEMS Switch Array with Mux/Demux (any- λ -any-port)

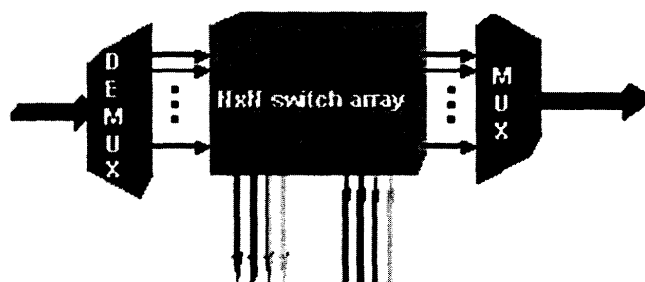


圖 5.3.5

N 個 2x2 的塞取交換器與 N 進 N 出的矩陣式可變式光衰減器，由一個 NxN 的交換矩陣所取代，這個 NxN 的交換矩陣可選取任意波長的光訊號並加以等化處理，故可選取任意波長與任意埠作為重複傳輸使用。圖中 NxN 的交換矩陣使用一種整合式波長選擇交換器(integrated Wavelength Selective Switch, iWSS)，這個交換器的機構圖與 MOVAZ 的實際成品圖分別如圖 5.3.6 與圖 5.3.7。其中的交換核心是以微機電(Micro Electronics Mechanical System, MEMS)的 IC 製造技術所設計的可控制鏡面角度的鏡子矩陣，可控制鏡面的微機電機構圖如圖 5.3.8 右下圖，是利用控制電壓來調控鏡面對任意波長光訊號的鏡射角度，再配合光柵與折射反射的物理處理，以達成任意波長任意埠的光訊號可以交換成任意波長到任意埠。圖 5.3.8 左邊是 MEMS 的 IC 光罩圖，中間部分是 960 個可調控的鏡子矩陣；LV decoder ASIC 是可定址的內容記憶體(Content Addressable Memory, CAM)為低電壓模組，一組 CAM 可紀錄 240 筆的鏡子傾斜資料，故有 4 組 CAM；因為鏡面傾斜角的控制需要高電壓，所以 CAM 與 Mirrors 之間必須借由高壓的驅動模組 HV Drive ASIC 將 5V 的方波訊號提升為 200V，共有 12

個模組；圖 5.3.8 右邊則是成品的照相圖，

Free Space Optical System

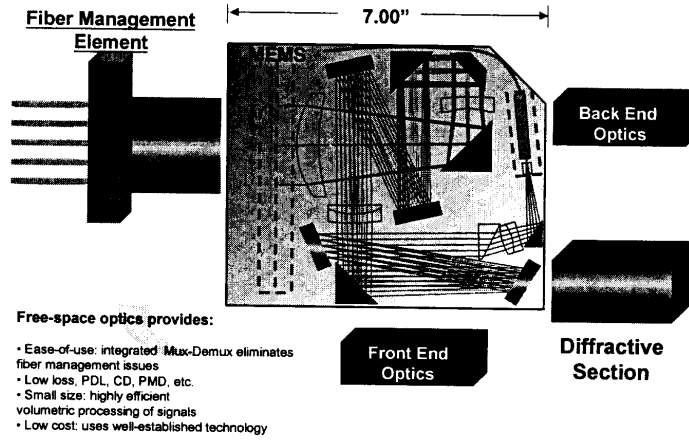


圖 5.3.6

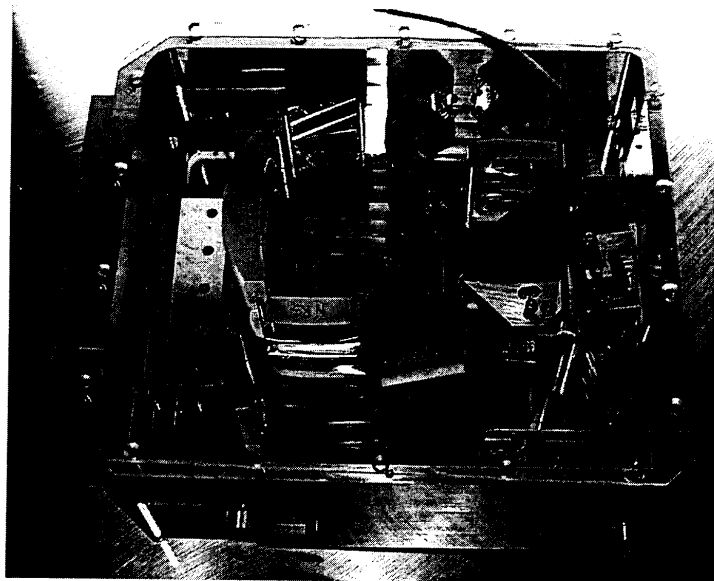


圖 5.3.7

Custom Drive IC's and Si Packaging

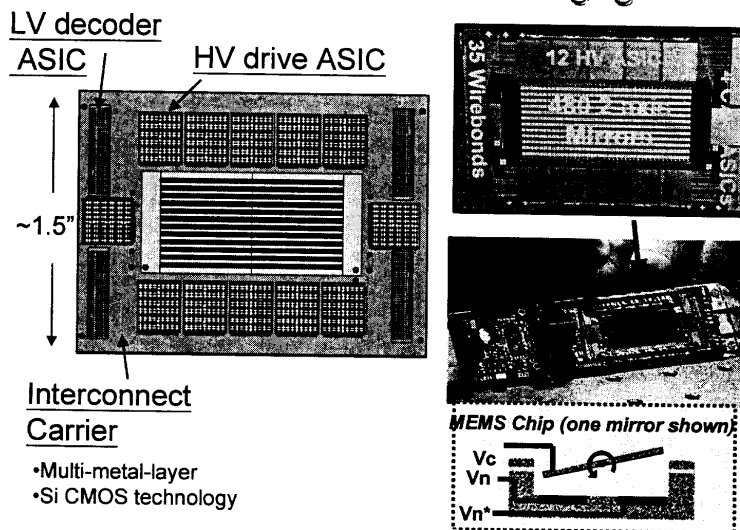


图 5.3.8

第六章 量測技術

多通道光系統之介面參數

ITU-T G. 692 建議文件主要是定義多通道光系統之特性及介面參數，圖6表示多通道光系統之介面，Tx1 … Txn 為光發射器，Rx1 … Rxn 為光接收器，可以介接SDH, ATM及IP等設備，光多工器 (Optical Multiplexer, OM) 可組合多通道光信號，經光放大器(Optical Amplifier, OA)放大後在光纖上傳送，在接收端先經光放大後再經光解多工器 (Optical Demultiplexer, OD)，將各通道光信號分解送至光接收器。

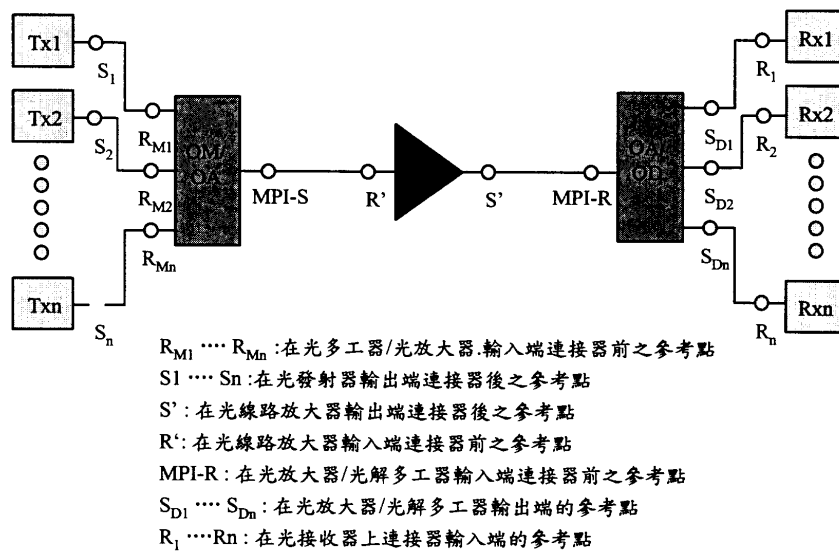


圖 6 多通道光傳輸系統之介面

DMDM的量測參考點如圖6，多要符合相關標準。其中最重要的是每一頻道的中心波長要符合ITU-T G. 692.1的建議。

第七章 實習心得

傳輸網路已邁向全光網路，直接在光層(Optical Layer)進行多工(multiplexing)、切換(switching)、或路由改接(routing)等動作。可以提供網路多樣化的服務，減少費用支出改善服務品質，提升傳輸距離及網路容量。再配合GMPLS(Generalized MPLS)網路控制平台，網路可以容易調度，安全性也很高。