

光通訊系統未來發展趨勢分析

周雲龍

工研院電腦與通訊工業研究所

視訊與光通訊技術組 光通訊網路技術部 經理

摘要

在今日的網路傳輸技術中，應用光纖傳輸已成為提昇網路效能的重要手段之一，而以高密度的分波多工器及光放大器所組成的光纖網路，已經對傳統的長途電信傳輸網路帶來了革命性的改變，它不僅大大地提昇了骨幹傳輸網路的頻寬，而且降低網路費用及使網路傳輸系統的控制維護趨於簡單。目前，全世界主要的電信網路以SDH及DWDM組成主要的光通訊傳輸網路之基礎骨幹網，提供大容量且穩定性高的資料傳送。因此，新的網路建設在骨幹傳輸網已朝向All Optical Network發展，應用單波長SDH技術及多波長的WDM /DWDM技術所發展的Optical Add/Drop Multiplexing、Optical Cross Connecting 系統已成為光纖核心網路上最重要的應用，而此趨勢也逐漸延伸向都會網及接入網。隨著高密度分波多工器之波長數的增加、光波塞取技術與其他光纖網路元件新技術的出現，以及光放大器和雷射單體等元件的降價，使得DWDM的技術及設備愈來愈普遍，此趨勢逐漸影響到區域網路及大都會網路的架構。

由於在都會網及接入網的應用將面對介接複雜的多種接取網路服務的需求，以及網路低價化競爭的趨勢，因此僅管網路全光化是一個遠大的目標，但是實際上在都會網及接入網的發展仍將以光-電-光(O-E-O)混合的傳輸技術為主，例如在都會網中將以Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)、Metro Optical Ethernet、Resilient Packet Ring、Next Generation SONET/SDH等技術為主，而在接入網中將以Next Generation DLC、Passive Optical Network(PON)等傳輸技術為主。本篇文章係介紹目前光纖傳輸技術在光纖都會/接入(Metro/Access)網路上的各種應用，以及SONET/SDH、Next Generation SONET/SDH、CWDM、Dense Wavelength Division Multiplexer(DWDM)、各種被動光網路技術(PON)等多種光纖傳輸系統的發展現況與未來趨勢。

關鍵詞

分時多工技術(Time Division Multiplexing, TDM)；分頻多工技術(Frequency Division Multiplexing, FDM)；分波多工技術(Wavelength Division Multiplexing, WDM)；高密度分波多工技術(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)；粗分波多工技術(Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM)；光塞取多工技術(Optical Add-Drop Multiplexing, OADM)；可重置光塞取多工技術(Reconfigurable OADM)；光交錯連接系統(Optical Cross-Connect System, OXC)；同步光纖網路(Synchronous Optical Network, SONET)；同步數位階層(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)；廣域網路(Wide Area Network, WAN)；區域網路(Local Area Network, LAN)；骨幹網(Backbone Network)；地區網(Regional Network)；接入網(Access Network)；都會/接入網(Metro/Access)；光纖都會網(Metro Optical Networking)；EDFA(Erbium-doped Fiber Amplifiers)；Next Generation SONET；EPON(Ethernet Passive Optical Network)；光電轉換器(Optical Transponder)

以下我們將針對應用於都會/接取網路的各種光通訊技術進行分析及比較。

光纖都會網路技術分析

一、SONET/SDH vs Next Generation SONET/SDH技術

在1980年代中期以後，骨幹網(Backbone Network)及地區網(Regional Network)所鋪設的傳輸系統主要以SONET/SDH為主的光纖傳輸系統。SONET/SDH是採用TDM技術為主的傳輸系統，由於它具有標準化的優點，可以提供相同的傳輸介面，即使不同

的製造廠商也可以藉由相同的標準傳輸介面達到資料互通，此優點不僅可以增加網路單元(Network Element)的管理能力，而且可以大幅降低設備及維護的成本；此外，SONET/SDH系統還可以提供強大的遠端操作與管理的功能及完善的網路存活(Survivability)能力。

1.什麼是SDH/SONET

由於光纖具有高頻寬和低干擾之特性，目前已大量用於電信網路和數據網路，由於以往購自不同製造商的光纖通訊設備均很難直接連接在一起，因此使用者愈來愈希望能由不同的製造商獲得可以相容的通訊設備，而SDH/SONET的出現就解決了這個問題。

題。SDH(Synchronous Digital Hierarchy)是現代長程光纖通訊的世界標準，是目前寬頻整體服務數位網路(Broadband ISDN)的骨幹(Backbone)，是邁向數位傳輸全球統一化的重大一步，也是長程光纖通訊的主流。目前，許多國家均積極地展開網路架設工作。其中，以美國所鋪設之SONET網路最普及，其它歐洲與亞洲國家也已開始SDH網路架設工作。

早期SDH/SONET的鋪設主要是為了解決骨幹網(Backbone Network: BB)頻寬擁塞的瓶頸，但是由於頻寬的需求快速成長，STM-1速率(155.52Mbps)的SDH已延伸至接入網(Access Network)網路架構中，因此在接入網的傳輸設備將會有大量的近似同步數位階層(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)設備逐漸被SDH設備所取代。SDH/SONET的目的在於建立一套標準化的光纖界面，使得不同製造商的設備可以在傳輸的每一端使用，而不必配置中間信號的轉換設備。SDH的基本架構是以同步傳送模組(Synchronous Transport Module, STM)為基礎，而其基本速率為155.52Mbps的信號，稱之為同步傳送模組第一位階(STM-1)，而SONET基本速率為51.84Mbps的信號，稱之為同步傳送信號第一位階(STS-1)。為了透過光纖傳輸，SONET規定了和STS-1信號相對應的光傳輸信號第一位階(OC-1)信號，此信號由STS-1直接經由電-光(E/O)轉換而獲得。OC-1

是SONET傳輸的基本信號，將其乘以一個整數倍即可得到更高速率之信號，例如OC-3信號的速率是OC-1(51.84 Mbps)的3倍，即155.52Mbps，它相對於SDH的STM-1信號。由於傳統數位傳輸網路的限制，如Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)類同步數位階層網路是發展在低頻寬的電話語音系統，它的網路管理能力有限，時序的同步機制差且網路的服務較沒有彈性，較不適合擔任需具有高度可靠性的傳輸系統角色。

2.標準與發展現況

目前同步光纖網路標準主要分為北美標準和國際標準。在北美標準中稱為SONET(Synchronous Optical Network)。國際電信聯盟(International Telecommunication Union- Telecommunication Standardization Sector, ITU-T)（前身為CCITT）則以SONET為藍本，訂定出共通的標準建議書(Recommendations)。因其不只侷限於光纖網路之應用，所以定名為同步數位階層(SDH)。

(1)北美標準(American National Standard)主要有三：

①ANSI T1.105:

最主要是訂定了一系列的數位信號、速率及碼框之格式。

②ANSI T1.106:

訂定了光介面參數，例如光波長、光能強度等。

③ANSI T1.119:

訂定了SONET系統的操作、維護與設定等。

(2) 國際標準 (ITU-T Recommendations)

① ITU-T Recommendation G.707

定義同步數位階層的位元速率及其同步多工及解多工的架構，已經過多次修訂，最新的版本為10/2000。

② ITU-T Recommendation G.708

定義同步數位階層中STM-0(51Mbps)之網路界面。

③ ITU-T Recommendation G.709

定義光傳輸網路(Optical Transport Network, OTN)的界面，主要為數字封包(Digital Wrapper)的定義及架構。

* ITU-T有關SDH(Synchronous Digital Hierarchy)尚有其他定義光參數、時閃、漂移、系統時序、設備等的相關建議書。

④ G.774及G.774-01~G.774-04定義SDH管理資訊模型(Management Information Model)。

⑤ G.781、G.782及G.783定義Alarm Signal及Performance Monitoring等。

上述G.781、G.782及G.783三種建議書已合併成為新版G.783 Recommendation(04/97)，此版次於10/2000做再次的修訂。

⑥ G.813定義SDH中的時序參數及各種時閃(Jitter)與漂移(Wander)等。

⑦ G.841定義SDH網路中Sub-Network Connection Protection(SNCP)

的保護機制。

3. Why Next Generation SONET/SDH

在SONET/SDH網路相當普及的今天，為何我們還需要下一世代的SONET/SDH網路(Next Generation SONET/SDH)? 因為在現今的網路中，隨著網路應用的普及化及網路服務的多元化，使得以資料傳輸為主的電腦網路及以語音服務為主的電信網路逐漸結合在一起，但是其基本的傳輸特性不同。一般來說，SONET/SDH網路具有很好的容錯能力、完整的網路保護機制等優點。不過，SONET/SDH傳輸技術的規範非常嚴謹，因此其設備建置成本較為昂貴，且在以64Kbps為單元的TDM技術，對於IP/Ethernet的相容並無法提供有效的傳輸機制，目前IP over SONET/SDH主要是以IP over PPP (with HDLC) over SDH的方式來進行，但是其效能並不好，因此有Next Generation SONET/SDH技術的研議。

ITU-T在2001年11月提出新一代的協議如G.7041(Y.1303)，針對不同格式的訊號框設計一個Generic Framing Procedure (GFP)的機制，來加以轉換成共同的訊框格式，及G.7042(Y.1305)，針對Virtual Concatenation設計一個良好的鏈結容量轉換機制(Link Capacity Adjustment Scheme, LCAS)協議，以提昇IP over SONET/SDH的效能，而新一代的晶片也逐漸包含上述功能。一般來說，目前在下一代SONET/SDH晶

片的開發上有Agree Systems、Agilent Technologies Inc.、PMC-Sierra Inc.、Transwitch、Cypress Semiconductor Corp.等國際大廠相繼投入研發，而這些國際大廠所研發出來的新一代的晶片，大多具有虛連接Virtual Concatenation (VC)、GFP(Generic Framing Procedure)、LAPS(Link Access Protocol-SDH)，以及LCAS等下一代網路設備的功能。

國際標準如 ITU-T 及ANSI標準如下：

1. ITU-T G.707/Y.1322, October 2000: Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy ([G707])

2. ITU-T G.7041/Y1303, January 2002: Generic Framing Procedure ([G7041])

3. ITU-T G.7042/Y1305, November 2001: LCAS for Virtually Concatenated Signals ([G7042])

4. ITU-T X.85/Y.1321, March 2001: IP over SDH Using LAPS

5. ITU-T X.86, February 2001: Ethernet over LAPS

6. ANSI T1X1.5, October 9-13, 2000: A Proposed Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) for SONET Virtually Concatenated SPEs

所有這些協議都是針對如何在SONET/SDH網路上進行數據封包的傳輸，如Generic Framing Procedure (GFP)就是要將乙太網路的信號封裝到

SONET/SDH網路中，虛連接(VC)則是可以用多個STS-1的信號整合在一起，以避免頻寬的浪費，LCAS技術則是提供對頻寬任意配置的功能，可以獨對某一用戶的數據通道頻寬，而不影響其他通道使用者。

綜合來說，現有的SDH被設計能很有效率地符合未來網路服務的需求，依SDH標準所建立的網路具有下列優點：

(1)可與現有設備以及目前使用的近似同步數位階層數位信號分級體系相容。

(2)可將不同製造商的設備及系統互相連接。

(3)具有加入／抽出(Add/Drop)資料通路的功能及交錯連接功能。

(4)容易獲得已複合於高速率光傳輸線路中的低速率信號，如DS1、DS3等。

(5)模組化結構，方便於系統更新與擴展。

(6)具有資料通路保護切換的能力，可以快速的恢復斷線前的服務。

(7)高頻寬、高傳輸品質及有效的網路管理能力。

而Next Generation SONET/SDH除了以上的優點，還可以提供高效率且多元化的網路服務介面，尤其是在IP/Ethernet的應用上，較傳統的SONET/SDH技術具有更大的彈性，因此也有人將NG SONET/SDH歸類為MSPP(Multi-service Provisioning

Platform)的主要設備之一。一般來說，NG SONET主要是以TDM技術為基礎，提供在實體層(Layer 1)上的資料傳輸，包含資料的塞取多工(ADM)、彙集(Grooming)、交錯連接(Cross Connect)等功能，而MSPP主要是結合傳輸、交換及路由(Routing)等技術於一個共同的整合性傳輸平台上，以提供低價且彈性化的多種服務之設備，目前MSPP並無任何的標準及規範，也就是說，MSPP的功能由廠商因應市場的需求各自決定。

二、Metro WDM vs CWDM

由於光纖特性的研究不斷地獲得進展，同時雷射與光電(Opto-electronic)驅動元件技術亦有長足的進步，促使在同一光纖中傳送一個以上之光波長的技術得以實現，此種傳輸技術就是 Wavelength Division Multiplexing (WDM)一分波多工技術。WDM系統中，每一個光波長具有獨立的資料通道，因此不斷增加的通道數即代表頻寬容量的增加；以骨幹網的頻寬需求每年呈數倍以上的成長而言，WDM傳輸系統無論是在傳輸頻寬的增加或是傳輸速率的提昇(2.5Gbits/sec→40Gbits/sec)皆可滿足骨幹網頻寬成長的需求。高密度分波多工技術(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)系統可以提供更高的傳輸通道數，目前較具商業用途

的DWDM系統大多以1550nm為主。DWDM技術的應用主要有光塞取多工機(OADM)及光交錯連接系統(OXC)，目前大多數的DWDM系統皆可以在光纖網路上提供點對點(Point-to-point)連接的網路架構，而部分國際先進通訊系統廠商已經可以在骨幹網及地區網上提供環網(Ring Network)的DWDM網路架構設計，這種設計也成為未來DWDM系統在網路應用上所必備的技術。而在都會網的發展也逐漸開始應用WDM技術來提昇網路的傳輸效能，但是目前WDM技術在光纖都會網的應用，主要以低通道數的粗分波多工系統-CWDM(Coarse WDM)或是WWDM(Wide WDM)系統為主，CWDM系統的光通道之間的時間隔約為20nm，通道數以4或8個為主，也有廠商發表16個Channel的CWDM系統。

以上所提到的商用化的DWDM傳輸系統，大多數仍然是點對點的網路架構，若要應用在重要的網路交換設備上，目前傳輸通道上的資料交換主要還是以電子式的交換為主，也就是說在光纖通訊網路中負責資料傳輸與交換的主要節點，其DWDM傳輸設備既要處理通過此節點的資料流(Data Follow)，又要處理在此節點上、下(Add-Drop)的資料流，目前大多數的傳輸系統都將光纖上傳輸的資料先行轉換為電的資料流，再加以處理，此種方式在傳輸通道的速率越大時(>2.5Gb/s)，其電子處理的瓶頸越高，

因此新的網路建設已逐漸朝向 All Optical Network 發展，應用 WDM/DWDM 技術所發展的 Optical Add/Drop Multiplexing (OADM) 及 Optical Cross Connecting (OXC) 系統就成為光纖網路上最重要的應用。換言之，在 DWDM 原有的點對點的系統架構中（見圖一）再加上具有波長上、下（圖二）及波長路由的光交換技術，不僅可以提昇網路傳輸的容量、增加網路的靈活性及安全性，還可以避免電子式交換的頻寬限制。

1. 國際標準與發展之情況

目前國際電信聯盟 (ITU-T) 已訂定出相關共通的標準建議書。

(1) ITU-T Recommendation G.652~G.655:

定義可適用於 WDM/DWDM 系統的光纖特性標準，包含標準的單模光纖 (G.652)、色散位移光纖 (G.653) 及非零色散位移光纖 (G.655) 等。

(2) ITU-T Recommendation G.691:

定義含光放大器 (Optical Amplifier) 之 STM-64 (10Gbps) 及 STM-256 (40Gbps) 之單通道光纖傳輸系統的光介面傳輸標準，主要定義的波長範圍在 1310nm 及 1550nm。

(3) ITU-T Recommendation G.692:

定義含光放大器之多通道光纖傳輸系統的光介面傳輸標準，主要定義的波長範圍在 1530nm 到 1565nm 之間。

(4) ITU-T Recommendation G.957:

定義可適用於 SDH 系統的光介面

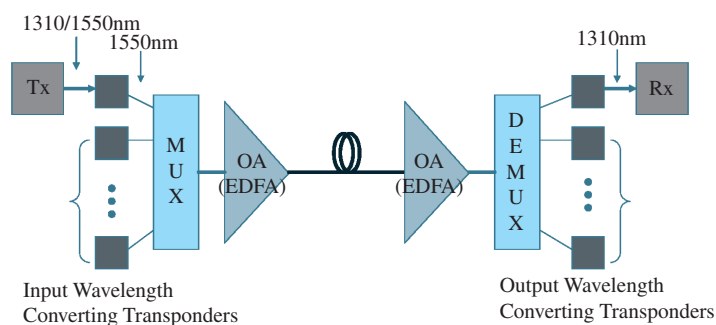
標準。

(5) ITU-T Recommendation G.975:

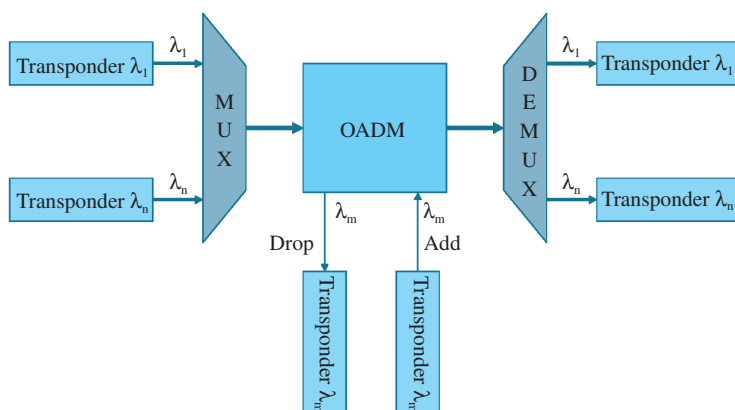
定義可適用於海底光傳輸系統的前向錯誤糾正 (Forward Error Correction) 標準，亦可用於 SDH、WDM 等光纖傳輸系統。

2. 技術發展現況

因頻寬需求的增加，傳輸速率不斷地提昇已成為必然的趨勢，但是當速率進一步提昇時，會遭遇到嚴重的技術障礙，而利用分波多工技術的傳輸系統可以大幅度地提昇光纖傳輸系



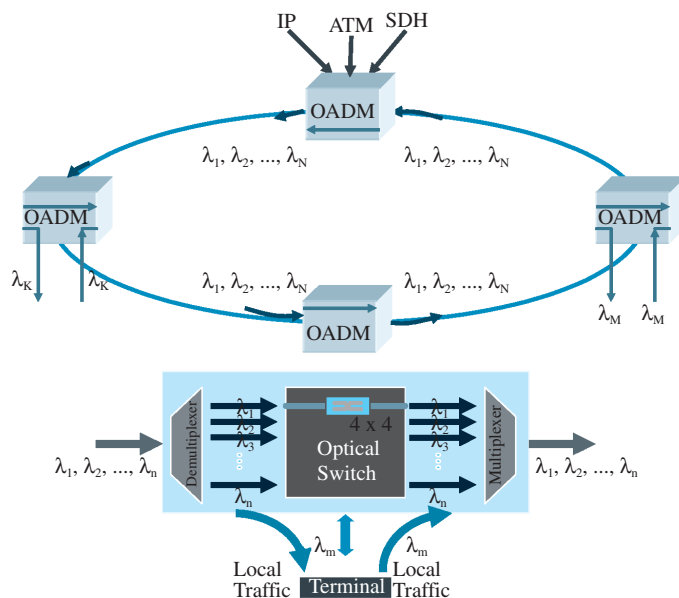
▲圖一 點對點的WDM系統架構



▲圖二 具上、下波長能力之WDM系統架構

統的速率與容量，技術瓶頸再次突破使得傳輸速率與容量每年可以增長數倍，而以目前都會網路環境發展的需求來看，Metro WDM為光纖都會網路發展的最重要技術之一。

圖三光塞取多工機，可應用於都會網路中點對點網路架構及環形網路架構。此點對點的OADM系統可以利用光波塞取技術將特定的光通路路由至指定的網路連接設備上。此技術可分為設定傳送固定波長及動態可選擇波長；固定波長的OADM系統，其取出與加入之光波長（光通道）為固定值，即預先設定完成，若要更改需要以人為操作模式來修改；而動態可選擇光波長（光通道）之OADM系統，可以動態地任意選擇在De-multiplexer中的任一光通道直接傳送到Multiplexer中的任一光通道直接傳送到Multiplexer



▲圖三 Add/Drop Configuration

中的任一光通道。

另一種應用是環狀網路架構的OADM系統。它可以提供電信業者整合各種不同網路的應用，如SDH、ATM及IP等傳輸技術，而且提供頻寬保護的功能。當然，它也可以藉由環形網路連結的特性，提供光通路路由的功能，OADM系統更可以將不同應用介面的光通路路由至網路的任何一個位置，所有不同傳輸或資料型態的光通道皆可利用此種網路架構來傳輸。

在Metro WDM的應用中，有一種所謂的粗分波多工技術—Coarse WDM (CWDM)。CWDM設備一般應用在光纖都會網路，此系統技術利用光波多工器實現將在不同光纖中傳輸的波長結合到一根光纖中傳輸。在光纖的接收端，利用解多工器將解多工後的波長分別送到不同的光接收器。應用CWDM傳輸系統於光纖都會網路中，同樣可以有以下三種不同的網路架構之應用：點對點應用、OADM應用及環型網路的應用。以點對點的架構應用來說，可以提供10M/100M/GbE等乙太網路接入服務及STM-1、STM-4、STM-16等SDH/ATM等2~8個光通道的服務；OADM的應用主要是提供資料通道在傳送過程中需要上、下塞取及多工的服務；而環型網路的應用主要是使CWDM傳輸系統具備自愈(Self-healing)保護的功能，可以保證資料傳輸通道工作正常。

在光纖都會網路中，CWDM傳輸技術逐漸成為應用的要角，其具有以下優點：

①成本低廉：由於元件成本和系統要求的降低，使得CWDM系統的價格比DWDM系統具有較大的競爭力。

②系統架構：由於CWDM的傳輸通道間隔比較大(20nm)，所以相對於DWDM系統功率均衡(Power Balance)的問題並不明顯，且不需要OLA (Optical Line Amplifier)光放大器。

③功率的損耗低及系統體積小：在DWDM系統中，隨著多工的波長總數的增加，以及單通道傳輸速率的增加，功率損耗及其溫度管理變成了系統設計上的關鍵問題。CWDM系統的Laser是使用不帶冷卻器的Laser，且較DWDM系統所用的Laser小，所以系統功率損耗低。

④可應用於一般光纖：CWDM系統在傳輸時對光纖的使用並沒有特殊的要求，也不需要採用特殊的光纖來克服高速傳輸時所產生的非線性現象，因此，無論是G.652、G.653、G.655光纖均可應用於CWDM技術，所以可以大量利用已經鋪設的舊有光纖及光纜。

⑤網路應用環境：目前適合都會網路的WDM系統(Metro WDM)大多沿用於長途骨幹網的DWDM系統的設計，因此大多數的Metro WDM是End-to-end的架構連接，此網路結構不夠靈活，且無法提供網孔狀(Mesh)的

網路結構，並不能適應都會網路中複雜且機動的彈性需求。在都會網路的建置中，網路成本主要在於接入端設備的成本，而不是傳輸線路成本，所以Metro DWDM系統在價格方面並不具備很大的優勢，反而是CWDM設備具有對波長的視窗較低的要求，而且可以進行在1260~1620nm之間大波長範圍內的分波多工，使得CWDM系統具有較高的性能價格比。

目前研議中的建議草案將CWDM系統波長頻譜劃分為三個波段，分別是：“O波段”包括四個波長：1290、1310、1330和1350nm，“E波段”包括四個波長：1380、1400、1420和1440nm及“S+C+L”波段包括從1470nm到1610nm的範圍，間距為20nm的八個波長和1470、1490、1510、1530、1550、1570、1590、1610nm等波長。這些相鄰間隔為20nm的波長已利用目前光纖的全部光譜，不但增加可傳輸的光通道數，又可與傳統的SDH系統進行互通。

一般來說，都會網路中所應用的CWDM傳輸系統具備以下的功能：

①協議的透明性：可以和Ethernet、SONET/SDH、Optical Channel等介接，包括各種不同的傳輸介面，如ATM、GbE、STM-1/4/16等介面。

②傳輸速率的透明性：接收及發送的速率可由45Mbps~2.5Gbps。

③滿足不同的傳輸距離：20km~

60km，可以使用光放大器，以增加傳輸距離到200公里。

④具備多個插槽，有良好的可擴展性，系統最大可提供雙纖單向八個波長。

⑤具有光通道保護和切換的功能，提供光纖故障時自動保護切換的能力。

⑥具備各種組網的能力：單纖四個波長或雙纖八個波長，提供包括點到點等各種組網方式。

⑦具有多種光纖接入能力：單模、多模光纖。

⑧可以容納多種波長的接入：850nm、1310nm、1550nm等波長。

⑨具有多種廠商的設備互連、互通的開放式系統架構。

⑩提供網管功能，具備SNMP和Telnet等管理介面。

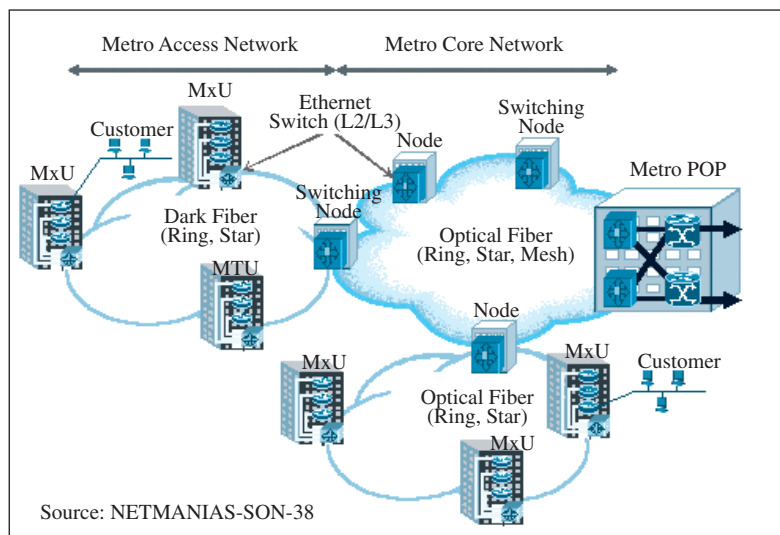
三、Optical Ethernet

乙太網路發展快速，已是目前最廣泛的區域網路(LAN)協定對象，而IP Traffic則是除了電信網路以外的廣域網路(WAN)最頻繁的資料，所以發展Ethernet Based的光纖網路，將可完美的連接這LAN和WAN。

光纖乙太網路是以光纖為主要傳送媒介的乙太網路技術。因為乙太網路具有建置成本和運營成本較低、網路容擴性好、容易安裝等優點，乙太網路技術已成為目前成長最快的網路應用，在全球已有超過6億個乙太網交換埠。目前應用的傳輸介面以10/100/ 1000Mbit/s為主，而10Gbit/s乙太網路系統產品也陸續推出。在IP over WDM的需求下，1Gbit/s和10Gbit/s乙太網技術可以直接以WDM的光波長通道來傳送，由於省掉了中間的ATM層和SDH層，可以大幅地減少投資成本。

光纖都會乙太網路(Optical Metro Ethernet)的應用主要是在都會網路中佈建以GbE、10GbE應用為主的光纖乙太網路，並且可以CWDM設備連接以IP over WDM的方式，提供與核心網路的鏈結(圖四)。

現今的網路架構已逐漸形成新的網路分層架構：IP、ATM、SONET/SDH、Ethernet、Resilient Packet Ring (RPR)、WDM/DWDM。新的網路分層結構可以提供IP的資料訊息，傳送到



▲圖四 Network Architecture of Optical Metro Ethernet

光纖網路上，為了實現IP over WDM (Fiber)，可以採用下列幾種方式：

1. 經由ATM映設：

IP → ATM → WDM or

IP → ATM → SONET/SDH → WDM

2. 經由SDH映設：

IP → (PPP/HDLC) → SONET/SDH
→ WDM

3. 簡化的SDH層映設：

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

IP → (SDL)* → Thin SONET/SDH →
WDM

4. 經由Ethernet映設：

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
設：

IP → RPR → WDM or

IP → RPR → SONET/SDH → WDM

6. 直接映設至光纖：

IP → (SDL)* → WDM or

IP → ? → Glass

*SDL: Simple Data Link

由以上各種映設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議(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。而在乙太網路光纖化後，將不再是以IP over ATM over SONET over WDM的方式，而是直接以IP over WDM的方式存在，不再有ATM及SONET的需求。

在公眾電信網路服務中，具有計費、服務品質、定址、管理、安全以及私有性等多項特性，而要在目前的乙太網路技術上提供公眾電信網路接入服務，目前仍存在一些問題，主要是第一、目前乙太網路還無法提供保證端到端性能的機制，無法提供傳送即時資料所需要的QoS功能和多用戶共用節點功能，以及網路所必須的計費統計能力。第二、目前的乙太網路無法提供電信等級設備所需的可靠性，尤其是缺乏故障定位和性能監控能力，使得在乙太網路設備中所發生的故障難以診斷和修復。第三，現有的乙太網沒有線路保護功能，主要是靠

路由器來進行保護，資料流程的改變需要大約1秒以上的時間，使得語音資料服務難以提供。

在新一代的光纖都會乙太網路中主要具有以下的關鍵技術：Long Range Optics、Rate-limiting、Classification、L2/L3 QoS、802.1p/q、MPLS、RSTP、RPR、10GbE、CWDM、Billing、Management、Redundancy，可以逐漸達到所謂電信等級的網路設備功能。由於傳統的乙太網路技術主要以Ethernet LAN技術的延伸為主，因此沒有頻寬保證(BW Guarantee)、服務品質保證(CoS/QoS)、彈性回覆能力(Resiliency)、環型網的組網能力（僅有支援點對點及網孔狀網路結構），而其傳輸距離短，以1000BaseLX為例，資料傳送僅能達5公里，故主要的網路服務以LAN為主。因此都會乙太網路技術的應用，首先必須能提供長距離的資料傳送(>20公里)，然後根據都會網路服務多樣化的需求，必須具備動態頻寬預設能力(Dynamic Bandwidth Provisioning)、端點到端點的頻寬保證(End-to-End BW Guarantee)、以硬交換技術為主的L2/L3交換器功能(H/W-Based Wire-speed L2/L3 Forwarding、Queueing、and Scheduling)、以MPLS為主的服務品質保證(MPLS-based CoS/QoS)能力等，如以下所示：

●Dynamic BW Provisioning：

Ingress Rate-limiting (UPC) + MPLS LSP (Per-LSP Bandwidth Reservation)

●Rate-limiting

●Long Range Optics：BGIC/CWDM/DWDM

●VLAN

●QoS：L2-L4 Classification、802.1p Priority Queueing、Diff-serv、MPLS

●Security：VLAN、ACL、NAT

●MPLS：Scalability、Traffic Management、Internetworking、QoS、Restoration (802.1p/TOS/Diff-serv/port # to Exp/CoS or LSP)

●Resiliency/Restoration：802.1w RSTP、IETF MPLS Fast Reroute (<100msec)

●Ring Architecture：RPR (802.17) - SRP、Restoration (<50msec)、Fair Ring-access、Statistical BW Sharing

●Network Management

●Packet-based Billing

●10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae)

●VoIP

隨著未來越來越多即時性服務（例如話音服務）需在IP網路中傳輸(ex. VoIP, etc.)，QoS的機制和在網路傳送失敗的情況下，快速恢復等瓶頸將成為未來IP網路的重要問題。而新一代光纖都會乙太網路在CoS/QoS功能上，提供較ATM網路更具彈性的機制(表一)。

光通訊接取網路技術分析

未來光通訊接取系統的發展將著重於以FTTx應用為重點的接取網路，及以FTTx與Mobile/WLAN整合的異質網路應用為主。以下主要介紹以SDH-Based Broadband DLC、xPON、NG SDH及Metro Ethernet等，我國光通訊系統未來可積極發展之系統技術。

一、Broadband DLC (NG DLC)

在用戶迴路接入系統中(Subscriber Loop Access System)與交換機的介面，因世界各大知名通訊廠商以其產品市場佔有率等因素，皆自行發展各自的傳輸系統，而形成軟體介面無法互通，甚至與交換機的介面協定，亦是各自發展符合其本身的軟體協定。經由ETSI、ITU相繼訂出V5相關協定以

統一PSTN及ISDN等接入端系統(Access Network, AN)與交換機(Local Exchange, LE)之間的介面協定，目前已經為大多數國家發展接入端通訊產品所採用的共通標準，尤其已成為大陸郵電單位對外採購電信接入端系統的必備標準。

國際電信聯盟ITU-T 於 1994 年通過了接入網與交換機之間新的數位介面標準：V5.1: G.964(ETSI 300324-1)及V5.2: G.965(ETSI 300347-1)。其中V5.1通訊協定是由 E1(2.048 Mbps)鏈路構成，用以支持電話(POTS)及ISDN基本速率服務(BRA)等服務；V5.2通訊協定則定義每個V5.2介面需由1~16個E1鏈路構成，除了支持V5.1外，還可支持 ISDN 一次群速率(PRA)，這些接入類型都具有靈活的、基於呼叫的承載通路分配，並且在接入設備內和 V5.2

表一 Metro Ethernet vs ATM's QoS Function

	ATM	Metro Ethernet
L2 Connectivity	VCC (Pre-established)	Connection-less - 802.1q VLAN - Ethernet over MPLS
Switching Architecture	H/W—Based Forwarding, Switching, Queueing and Scheduling	H/W-based L2/L3 Forwarding, Switching, Queueing and Scheduling
Traffic Classification	Implicit (VPI/VCI)	L2/L3/L4 Classification
Addressing	Exact Matching	L2: Exact Matching L3: Longest Prefix Matching
Rate Limiting	UPC	Ingress Rate-limiting
Priority Queueing	5 Traffic Classes	8 Traffic Classes (IEEE 802.1p)

介面上具有集線（集縮）功能(Concentration)。目前的 NG DLC(Next Generation DLC)在用戶接入端均採用 V5 介面所提供的應用服務的信號(Signal)連上交換機。

NG DLC(or Broadband DLC)主要是因應光纖傳輸技術在接入網的應用，已逐漸取代銅線技術，成為寬頻有線接入網傳輸設備主要幹線的趨勢，有效地利用光纖傳輸技術，再整合 V5 接入技術，此為目前接入網設備最熱門的技術之一。其中光纖傳輸技術大多採用 SDH 技術，可以提供大容量、可靠性高及標準化的光纖傳輸介面，而且利用其虛擬容器(Virtual Container, VC)的特性可以將 PDH 網路的各級訊號直接映射到 SDH 的碼框中，對於 ATM 信號也可以直接接入 SDH 中，因此存在於接入網的各種混合的設備皆可利用 SDH 技術及 V5 協議

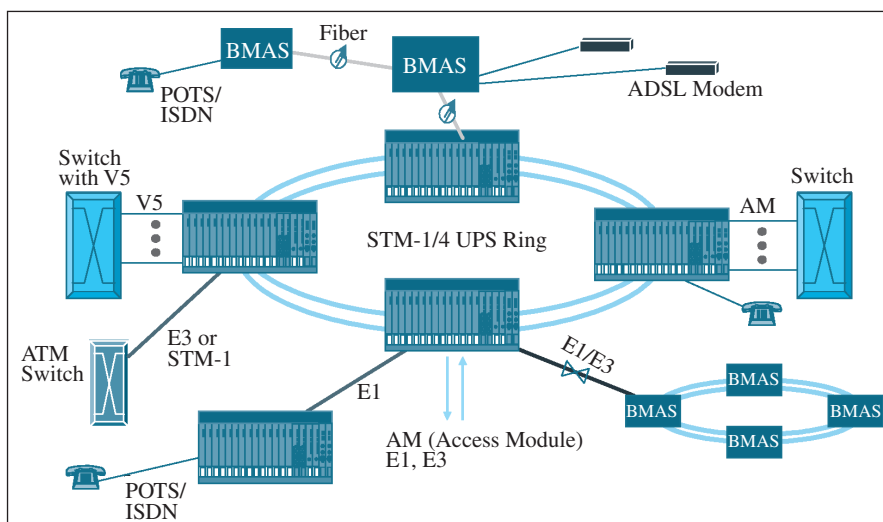
加以整合，接入網整體設備的網路操作、維護及管理的能力可以大大地提昇；圖五的網路架構即是以同步數位階層(SDH)中 STM-1(155.52Mbps)或 STM-4 (622.08Mbps)傳輸系統在接入網提供傳統語音/資料服務- POTS、ADSL 等，並結合 V5 技術的訊號處理特性。目前在接入網的 NG DLC 設備，已有廠商將傳輸幹線(Trunk)提昇到 STM-16(2.5Gbps)的傳輸容量。

二、xPON Based 的寬頻光纖接取網設備

除了以 DLC-based 的傳輸技術，接入網中光纖技術的應用還有以 ATM 技術、Ethernet 及以 WDM 技術為基礎的接入端技術，其中 WDM 技術日趨成熟，在接入網或都會網的應用是促成全光網路(All Optical Network)及光纖

到家(Fiber-to-the-Home)早日實現的重要手段之一，目前正進行研究及實驗中。

在光纖接入網中，如何提供低廉的網路服務，Passive Optical Network (PON) 即為一個很好



▲圖五 SDH-based NG DLC

的解決方案，因為其網路架構主要以低價的被動元件為主，因此也成為實現光纖到家(FTTH)的重要技術之一。依其技術發展的趨勢，其中又以ATM-PON(APON)、Ethernet-PON(EPON)、Giga-PON及WDM PON為主要的發展方向。

1. APON(or Broadband PON-BPON)標準與發展之情況

針對APON的標準，目前國際電信聯盟已訂定出相關共通的標準建議書（表二）。

(1) ITU-T Recommendation G.983.1:

主要定義基於被動光網路的寬頻光纖接取網路系統的網路建置標準，包含網路架構(OLT、ODN、ONU)、傳輸的光介面標準、使用者介面(UNI)定義等。

(2) ITU-T Recommendation G.983.2:

定義在ATM-PON網路中，OLT與ONT之間的控制介面及對ONT的管理機制。

(3) ITU-T Recommendation G.983.3:

定義因應未來應用於FTTB/C/H網路的ATM-Based PON寬頻接取技術，

表二 ITU-T Standards of B-PON

Number	Title	Date
G.983.1	Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)	10 / 1998
G.983.1.amd1	Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON) amendment 1	12 / 2001
G.983.2	The ONT Management and Control Interface	4 / 2000
G.983.2r	Specification for ATM-PON	5 / 2002
G.983.3	A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation	4 / 2001
G.983.3.amd1	A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation amendment 1	5 / 2002
G.983.4	A Broadband Optical Access System with increased service capability using Dynamic Bandwidth Assignment	12 / 2001
G.983.5	A broadband optical access system with enhanced survivability	1 / 2002
G.983.6	ONT management and control interface specification for B-PON system with protection features	5 / 2002
G.983.7	ONT management and control interface specification for DBA B-PON system	12 / 2001
Q.834.1	ATM-PON requirements and managed entities for the network element view	4 / 2001
Q.834.2	ATM-PON requirements and managed entities for the network view	4 / 2001
Q.834.3	A UML description for management interface requirements for broadband passive optical networks	12 / 2001

如多通道、多重服務、傳輸時波長的配置等定義。

一般來說，ATM PON的接取傳輸技術主要是發展基於ATM網路技術的被動光網路傳輸技術；在早期PON技術的發展，以ATM技術為基礎的原因，是當時看好ATM技術將大量地使用在骨幹網及都會網甚至在接入網，但是隨著乙太網路建置快速地成長及Gbps Ethernet、10Gbps Ethernet陸續地推出，乙太網路的應用已經由LAN擴展到WAN，且價格快速下滑，它的鋪設已經是到處都有。另一方面，在承

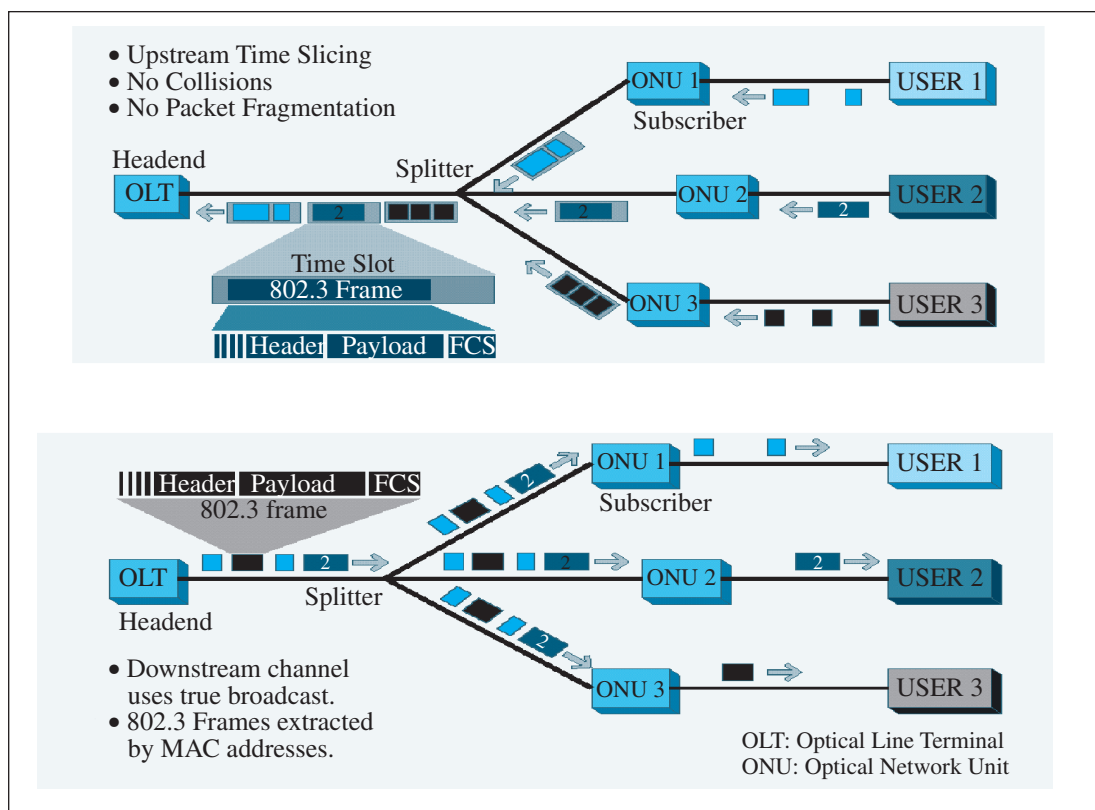
載IP封包時，ATM Frame並不能有效地提昇網路傳輸的效能，而且到目前為止，ATM設備的價格仍然居高不下，因此也影響了ATM PON未來發展的可能性。

2. EPON標準與發展之情況

目前 EPON標準的訂定，主要是在IEEE 802.3ah，也就是Ethernet in the First Mile(EFM)。

(1) IEEE 802.3ah

定義可適用於Fiber-to-the-Home (FTTH)接取網路的光纖傳輸技術，其中定義包括網路架構、傳輸距離、網



▲圖六 EPON Upstream and Downstream Architecture

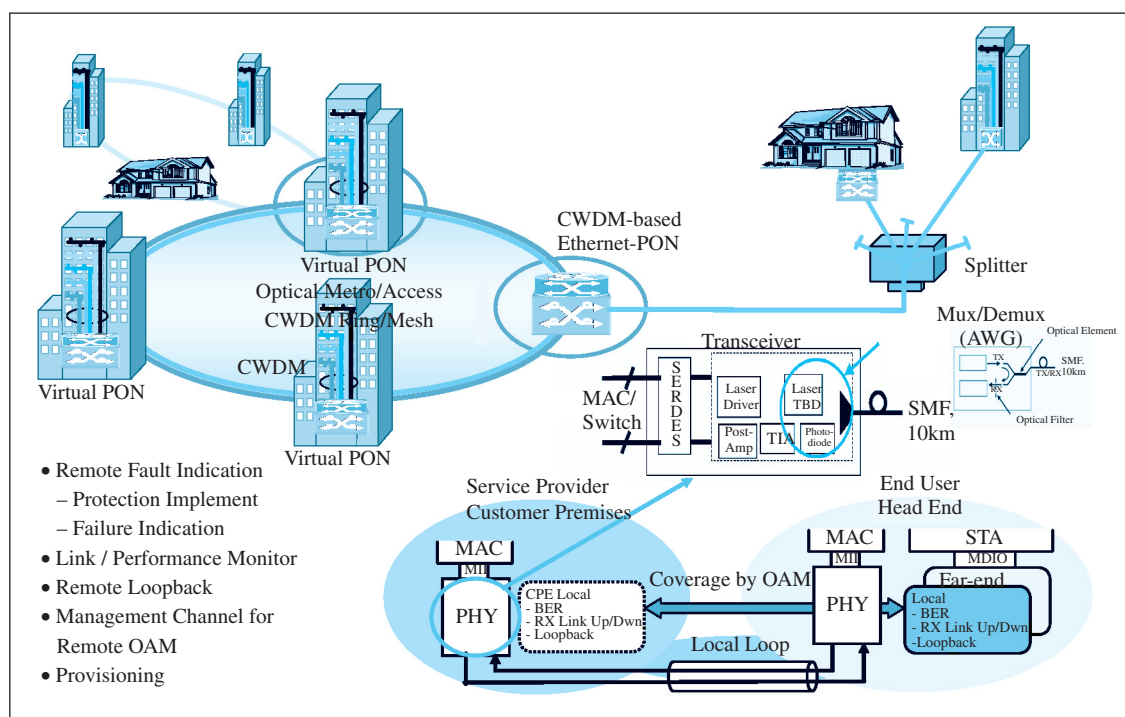
路設備 (OLT、ODN及ONU)、上下行 (Upstream、Downstream) 傳輸技術等 (圖六)。

以技術及應用面來看，Ethernet PON的確較ATM PON具發展性，由於Ethernet技術非常便宜且容易應用，因此將Ethernet技術與PON相結合是十分合理，但是EPON必須提供較好的傳輸機制，以符合公眾網路傳輸時所具備的操作、管理、維護(OAM)等特性，如計費及用戶管理、安全機制、服務管理等。

目前 IEEE 802.3ah在傳輸的安全性、網路服務品質的要求、上/下行傳輸的接取技術等的標準制定上是非常

地積極，此標準預計在2003年3月推出，屆時將為FTTH提供一個簡單的網路架構，且網路服務的價格低廉，可以帶動光纖接取網路市場的蓬勃發展。

在寬頻發展的趨勢需求下，未來PON傳輸技術將逐漸與分波多工技術結合以形成WDM PON (圖七)，利用WDM可以快速地提昇網路的頻寬，且可以因應各種不同網路服務的需求，即無論被動光網路是以ATM、IP或是Ethernet為基礎皆可以應用，WDM PON除了可以提供多個光通道來提昇網路傳輸的頻寬，且每個ONU可以使用獨立的傳輸通道，因此其安全性設



▲圖七 WDM Technology within PON

計將較傳統的PON或是EPON來得容易，但是目前WDM相關元件仍屬昂貴，尤其是可調式的光源、光濾波器、光傳送/接收器、Transponder等。最近，光元件技術在被動光網路上逐漸有新的應用，如Athermal AWG、Long Wave的VCSEL及1xN PLC Splitter等。

3. Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON)標準與發展之情況

針對Giga-PON的標準，目前國際電信聯盟於2003年3月已訂定出相關共通的標準建議書草案。

(1) ITU-T Recommendation G.984.1:

主要定義基於可涵蓋155M、622M、1.25G、2.4G等SDH及Gigabit Ethernet傳輸介面之被動光網路的寬頻光纖接取網路系統的網路建置標準，包含網路架構(OLT、ODN、ONU)、傳輸的光介面標準、使用者介面(UNI)定義等。

(2) ITU-T Recommendation G.984.2:

定義在Giga-PON網路中，Optical Line System與ONT之間的控制介面及對ONT的管理機制。

(3) ITU-T Recommendation G.984.3 (ANSI T1X1.5 GTC):

定義在Giga-PON網路中，Transmission Convergence Layer的特性及GPON網路中Encapsulation Method (GEM)協定的機制。

此外，在ITU-T G.985中定義了以點對點為主，基於100M乙太網的光接取系統。以目前的應用及技術分析來看，GPON為下一代的PON技術，應具有相當的發展性，但是目前G-PON的相關標準訂定仍未完善，且系統設備商也尚未有完整之系統產品推出，其後續發展仍有待觀察。

結語

在這個資訊爆炸的時代，光纖網路的應用將愈來愈廣泛，網際網路頻寬需求的增長會不斷地持續下去，而且網路服務也逐漸邁向Fiber-to-the-Home的目標，也就是全光纖網路的實現，而DWDM的應用將不再只侷限在長途傳輸網路上，而會逐漸應用在區域網路、都會網及一般的接入網，如CWDM、PON等。在未來的網路發展上，以光纖傳輸技術為主，配合IP網路技術將成為未來寬頻網路發展的重要方向。

參考文獻

1. ITU G.692, "Optical interface for multichannel systems with optical amplifiers", 10/98.
2. Bruce Nyman, JDS. "WDM Components", 1999 Optical Fiber Communication Conference.
3. Daniel Y. Al-Salameh, Mohammad T. Fatehi, William J. Gartner, Stan Lumish, Bruce L. Nelson, and Kamal K. Raychaudhuri, "Optical Networking", Bell Labs Technical Journal, Jan-Mar., 1998.
4. Govind P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems", Second edition, John Wiley & Sons, Inc.
5. Ronnie Chua, Bo Cai, "Component technology enables high-capacity DWDM systems", pp. 64-69, Lightwave, August 1998.