

FTTx技術發展趨勢簡介

*楊舜凱 **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 *副工程師 **經理

摘要

現今人類在渴望應用各種資訊的帶動下，使網路的頻寬成為無盡的追求目標。擁有高頻寬、大容量及低損失等特性的光纖，將逐漸取代傳統銅線傳輸，成為下一代接取網路媒介佈署的不二之選。本文將介紹光纖接取網路(FTTx)的緣起、FTTx相關技術發展現況，並說明由日韓帶動引起全球的佈建風潮，未來將引出何種新技術？最後評估現在全世界與我國FTTx的技術概況與差異。

關鍵詞

光纖到路邊(Fiber To The Curb; FTTC)、光纖到樓(Fiber To The Building; FTTB)、光纖到戶(Fiber To The Home; FTTH)、被動光纖網路(Passive Optical Network; PON)

技術簡介

未來寬頻的應用將以整合語音、文字資料、影像的多媒體應用為主，而所需頻寬將視各種不同多媒體應用而不同，一般來說，主要有以下四種媒體需求：

- 1.文字資料(Text/Data)
- 2.語音(Voice/Audio)
- 3.影像(Image)
- 4.視訊(Video)

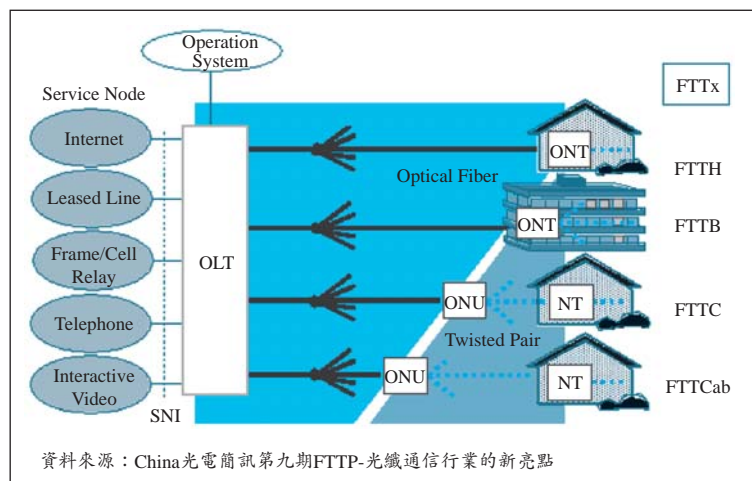
而結合Voice、Data及Video為主的寬頻應用已成為未來趨勢(Triple-play Media Application)。因此，隨著資訊的蓬勃發展與網路基礎建設的快速佈署，帶動諸如Online-game、E-learning、MOD等網路寬頻應用的普及，光纖因具有高頻寬、大容量、低損失與不受電磁波干擾等特性，相較於與其他傳播介質具有明顯的優勢，在光通訊的急速成長下，逐漸取代傳統以銅線傳輸的通訊模式，成為未來

寬頻網路佈建的趨勢。

整體網路架構可區分為四大塊：骨幹網(Backbone)、都會網(Metro Network)、接取網(Access Network)與區域網(LAN)。目前全球骨幹網已完全光纖化，主要以DWDM技術來提昇傳輸頻寬(2.5G->10Tbps)；都會網光纖成長率急速地增加，密集度已接近飽和，其中重要技術有SONET/SDH-Based Metro Optical Network、Metro WDM及Optical Metro Ethernet等，每一波長的頻寬約2.5G->10Gbps，而區域網佔有率第一的乙太網速度主流已從100Mbps慢慢走向光纖傳輸的1Gbps，從整體網路角度來看，唯獨介於都會網與區域網的接取網速度仍在數位用戶迴路(Digital Subscriber Loop; DSL)的Mega等級，很明顯地，接取網將是現在網路上最大的頻寬瓶頸。接取網逐步光纖化是唯一解決方法，範圍從局端的光線路終端(Optical Line Terminal; OLT)到接取網路上的光網路單元(Optical Network Unit; ONU)或用戶端的光用戶終端(Optical Network Terminal; ONT)，ONU/ONT設備可放置於不同位置上，如局端交換箱、路邊、商業住宅大樓甚至是住戶家中，形成的光纖化為光纖到迴路(Fiber

in the Loop; FITL)、光纖到交換箱(Fiber To The Cabinet; FTTCab)、光纖到路邊(Fiber To The Curb; FTTC)、光纖到樓(Fiber To The Building; FTTB)及光纖到戶(Fiber To The Home; FTTH)，根據光纖到用戶延伸的距離不同，區分成數種服務模式，這樣的光纖化統稱為FTTx，最後一哩(Last Mile)後端延續將於ONU設備透過雙絞線連至住戶家裡的用戶終端(Network Terminal; NT)，如圖一。

光纖到迴路技術是以 Broadband DLC (or Next Generation DLC)技術為主；由於在傳統的用戶迴路接取系統中(Subscriber Loop Access System)與交換機的介面，因原有的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



▲圖一 FTTx網路示意圖

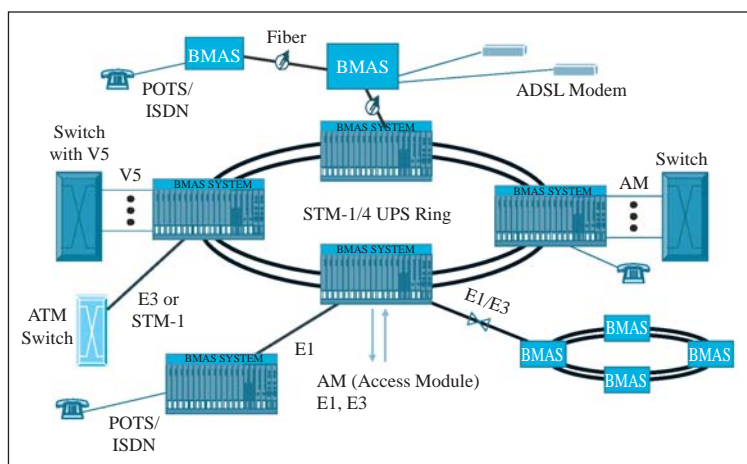
出V5相關協定，以統一PSTN及ISDN等接取端系統(Access Network; AN)與交換機(Local Exchange; LE)之間的介面協定，目前已經為大多數國家發展接取端通訊產品所採用的共通標準，尤其已成為大陸郵電單位對外採購電信接取端系統的必備標準。

國際電信聯盟ITU-T於1994年通過了接取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)鍵路構成，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鍵路構成，除了支持V5.1外，還可支持ISDN一次群速率(PRA)，這些接取類型都具有靈活的、基於呼叫的承載通路分配，並且在接取設備內和V5.2介面上具有集線(集縮)功能(Concentration)。目前的NG DLC(Next

Generation DLC)在用戶接取端均採用V5介面所提供的應用服務的信號(Signal)連上交換機。

此外，NG DLC (or Broadband DLC)主要是因應光纖傳輸技術在接取網的應用，已逐漸取代銅線技術，成為寬頻有線接取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接取技術，此為目前接取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信號也可以直接接取SDH中，因此存在於接取網的各種混合的設備，皆可利用SDH技術及V5協議加以整合，使接取網整體設備的網路操作、維護及管理的能力大大地提昇；圖二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)傳輸系統在接取網提供傳統語音/資料(Voice/Data)服務POTS、ADSL等，並結合V5技術的訊號處理特性。目前在接取網的NG DLC設備，已有廠商將傳輸幹線(Trunk)提昇到STM-16(2.5Gbps)的傳



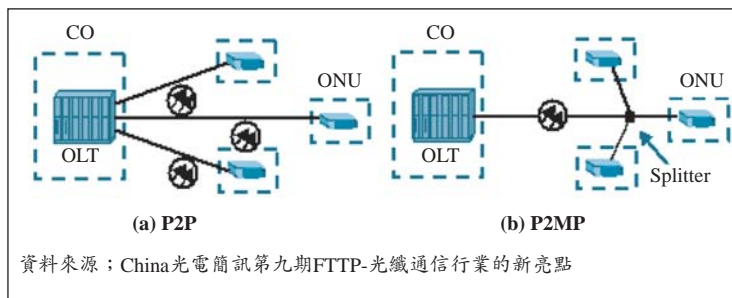
▲圖二 SDH-based NG DLC

輸容量。

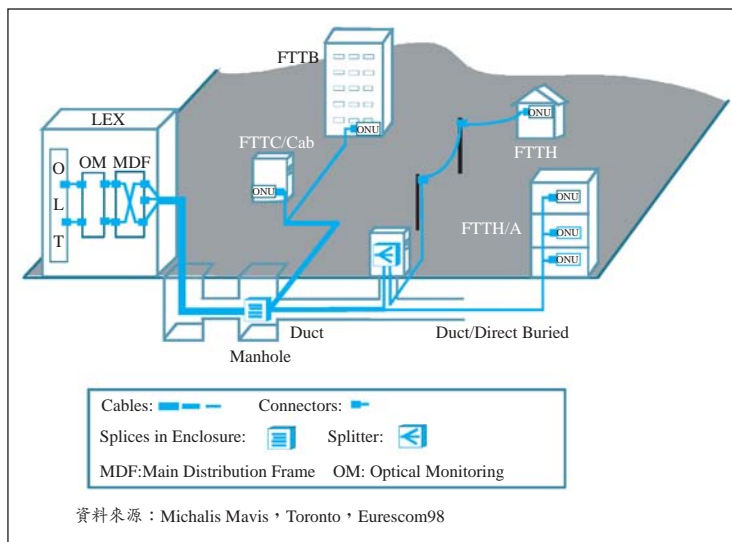
FTTCab服務形式是針對較為分散的企業、公司、學校、醫院、政府部門和小型偏遠地區的居民。FTTC為目前最大宗的服務形式，主要是為住宅區的用戶作服務，將ONU設備放置於路邊機箱，利用ONU出來的同軸電纜傳送CATV訊號或雙絞線傳送電話及上網服務。FTTB依服務的對象不同分為兩種，一種是公寓大廈的用戶服務，另一種是商業大樓的公司行號服務，兩種皆將ONU設置在大樓的地下室配

線箱處，只是公寓大廈的ONU是FTTC的延伸，而商業大樓是為了中大型企業單位，必須提高傳輸的速率，以提供高速的數據、電子商務、視訊會議等寬頻服務。FTTH是網路光纖化的極致，將光纖的距離延伸到終端用戶家裡，使得家庭內能提供各種不同的寬頻服務，如VOD、在家購物、在家上課等，提供更多的商機。若搭配WLAN技術，將使得寬頻與行動結合，達到未來寬頻數位家庭的願景。

CO端設備OLT至ONU之間的網路



▲圖三 接取網路光纖佈建拓樸方式



▲圖四 各種接取網路光纖佈建方式

拓樸方式有點對點(Point to Point; P2P)與點對多點(Point to Multi-Point; P2MP)兩種，如圖三。點對點拓樸的優點在於工作簡單、容易管理、光纖頻寬專屬，缺點是光纖使用量大、成本投資較大，而點對多點拓樸則相反，使用光分歧器(splitter)分光形式，光纖使用量少，節省建置維護的成本，但工作複雜，尤其ONU數多時難於管理（如圖四），不過由於技術上的困難目前已慢慢被突破，使得各國運營商鋪設PON網路意願開始提高。點對點技術目前有美國EFM工作組的IEEE 802.3ah (P2P

Fiber)規格與IEEE 802.3ah (Ethernet over Copper)-尚未標準化、日本TTC組織制訂的TS 1000標準(亦稱媒體轉換器Media Converter; MC),內容如表一;點對多點拓樸技術目前以被動光網路(Passive Optical Network; PON)為市場主流,有美國EFM聯盟的IEEE 802.3ah (EPON)規格及FSAN和ITU-T

制訂的G.983 (A/BPON)、G.984 (GPON)標準,內容如表二。

點對點技術中,TS1000針對日本的特殊需求加了L2 OAM功能外,其餘物理層特性和乙太層功能皆與IEEE 802.3ah (P2P Fiber)相同,可彼此相容於系統。TS1000標準利用 Ethernet-based MC技術架構,將局端Ethernet訊

表一 MC標準比較

	TS1000	802.3ah P2P Fiber	802.3ah Ethernet Over Copper
Standard Body	Japan TTC	IEEE	IEEE
Standardization Timeline	2002.10	2004.07	2004.07
Media	Fiber	Fiber	Copper
Max Speed	1 Gbps	1 Gbps	54Mbps (Depend on VDSL)
Basic Protocol	Ethernet	Ethernet	Ethernet

資料來源：工研院電通所(2004/03)

表二 PON標準比較

	EPON	A/BPON	GPON
Standard Body	IEEE	ITU-T (FSAN)	ITU-T SG15(FSAN)
Standardization Timeline	2004.07	1998	2003.01
Standard Driven by	Vendors	SP	SP
Max Speed	1 Gbps	155/622 Mbps	Up to 2.488 Gbps
Basic Protocol	Ethernet	ATM	ATM
Line Coding	8B/10B	NRZ	NRZ
Split Ratio	1:16	1:32	1:64
Security	No (Possible in IEEE LinkSec)	Yes	Yes
Protection	No	Yes	Yes
Support Voice	Poor	Good	Good
Support QoS	Poor	Good	Good
WDM Overlay	No	Yes	Yes

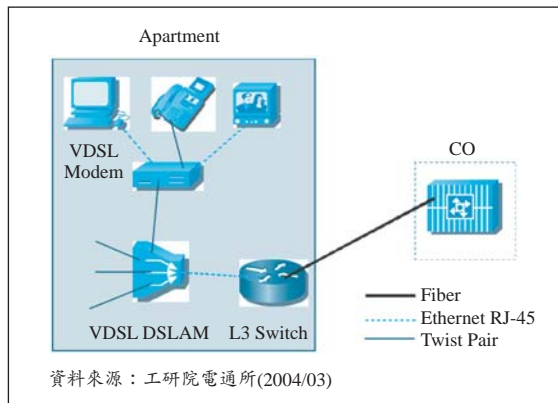
資料來源：工研院電通所(2004/03)

號轉換光訊號，經過光纖傳輸一段距離後，再使用相同方式轉換回 Ethernet 訊號，架構簡單，成本也相當低廉，如圖五所示。

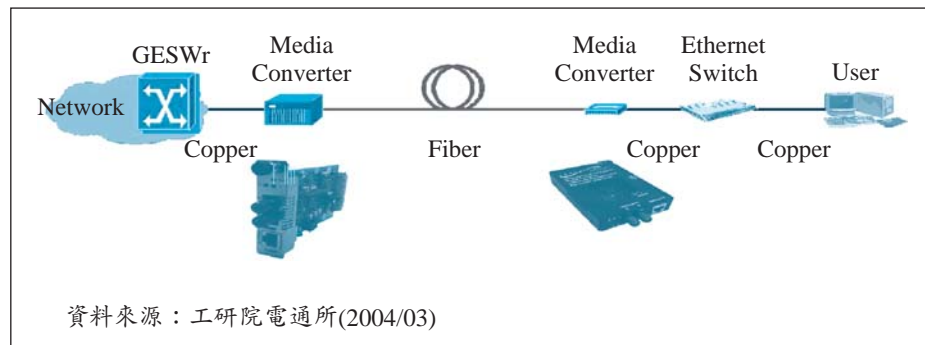
由於上述兩種技術的用戶端介面是 Ethernet，很適合佈署在新蓋大樓，但如果是在佈滿雙絞線的舊大樓，這兩種方法肯定無法利用到原有的銅線，似乎不太經濟且施工上也不方便，顯然需要加強，IEEE 802.3ah (Ethernet over VDSL; EoVDSL)是新的解決方案，建設架構如圖六所示。透過放置於大樓地下室的L3 Switch和

VDSL DSLAM將 Ethernet訊號轉換成雙絞線傳輸的VDSL訊號，再傳至每一樓層的用戶家中之VDSL Modem接收訊號。EoVDSL擁有幾個優勢：第一，大大延長Ethernet傳輸距離，從僅能傳輸50~100公尺到架構於VDSL上傳輸，距離可達300~1000公尺。第二，提高傳輸速率，支援到13M/13M、25M/3M、50M/7M下上行速率，能提供更多的寬頻數位內容服務。第三，降低成本，無需重新佈線，只要架構在電話線上即可，可省下大筆經費。因此EoVDSL目前所帶來的成本效益對運營商來說是相當不錯的解決方案。

P2MP的 PON技術研究及發展可以追溯至1995年，由21個全球主要電信運營商組合的FSAN集團，經由努力不懈，1998年10月通過以ATM協定為基礎的PON網路標準APON-G.983.1，隨後幾年又陸續通過通道規範的標準G.983.2、波長分配的標準G.983.3，由於技術採用成熟的ATM，因此APON提供用戶良好的服務品質。不過後來



▲圖六 EoVDSL的傳輸架構



▲圖五 Media Converter的傳輸架構

由於要支援影像上的服務，加強為BPON標準。到2001年之後，FSAN組織開始起草超過1Gbps速率以上的PON網路標準GPON，GPON提供1.25和2.5Gb/s的下、上行速率，並且支援多種服務（包含ATM、Ethernet、TDM）、OAM&P能力、保護安全和可升級能力，可說是功能最強的PON網路技術。IEEE在2001年11月成立了802.3ah EFM工作組，準備引入一些新的乙太網路接取技術標準，在現有IEEE802.3協議的基礎上，通過較小的修改，實現在用戶接取網路中傳輸乙太網封包的目的，EFM工作組定義了三個拓樸結構及物理層，除了前述的Ethernet over Copper和P2P Fiber之外，另外使用1條光纖以1Gbps的資料傳送速度，在10、20公里距離內進行連接的P2MP方式的光纖連接，即EPON規格。由於區域乙太網路藉由EPON的傳遞，可減少封包的重新轉換，使得速率及效率都得以提昇，然而在為了加快標準化，EPON借鏡了APON標準內容，因此完成標準制定時間將指日可待。

全球與我國技術發展現況與趨勢

全球經歷經濟衰退後，投資者的意願明顯趨為保守謹慎，各大小企業開始精簡人事、節省支出，但仍有經營不善導致關廠或合併的情況發生，光通訊廠商當然也不例外，加上寬頻

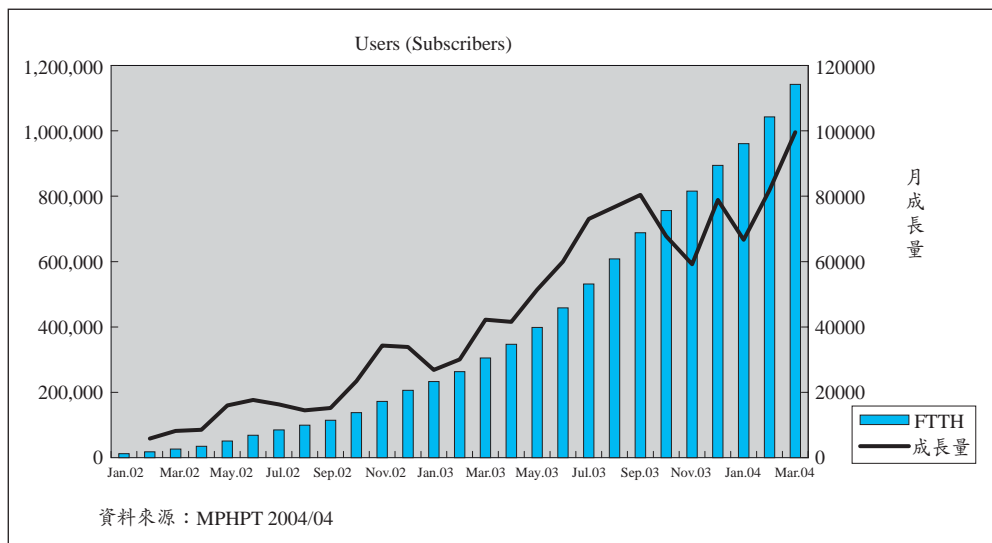
數位內容開發進度落後，民衆不願花費升級線路，種種因素導致運營商佈建網路腳步緩慢。直到日、韓兩國FTTx網路推行成功，使得寬頻接取網路受到全球注意，引發各大運營商部署光纖接取網路的強烈動機，此日韓成功的示範，帶動起全球FTTx網路佈建風潮。以下即將介紹全球各地主要運營商推行FTTx網路現況及未來發展趨勢。

日本在FTTH的推行及營運堪稱全球第一，主要運營商NTT可視為全球標竿，得到日本政府所提供的各種優惠的建設措施進而節省成本之後，才能使得FTTH價格一直不斷地下降，根據日本總務省在2004年4月底公佈的資料顯示，全日本的FTTH用戶數已超過110萬的用戶數（如圖七），未來還會持續地成長。現在NTT的FTTH網路架構主要以MC架構所組成，但在2004 OFC會議中，NTT宣稱從現在起日本FTTH標案將採取P2MP架構的PON網路模式，預料未來將影響現在FTTH供應鏈上的廠商，尤其是台灣、大陸。第二大運營商Yahoo BB目前提供的服務為FTTB-based ADSL技術，最快速度可達45Mb/s，其數位內容服務包含VoIP、BB TV、VOD及Wireless LAN，內容豐富且價格便宜，未來將會影響到NTT的市場佔有率。

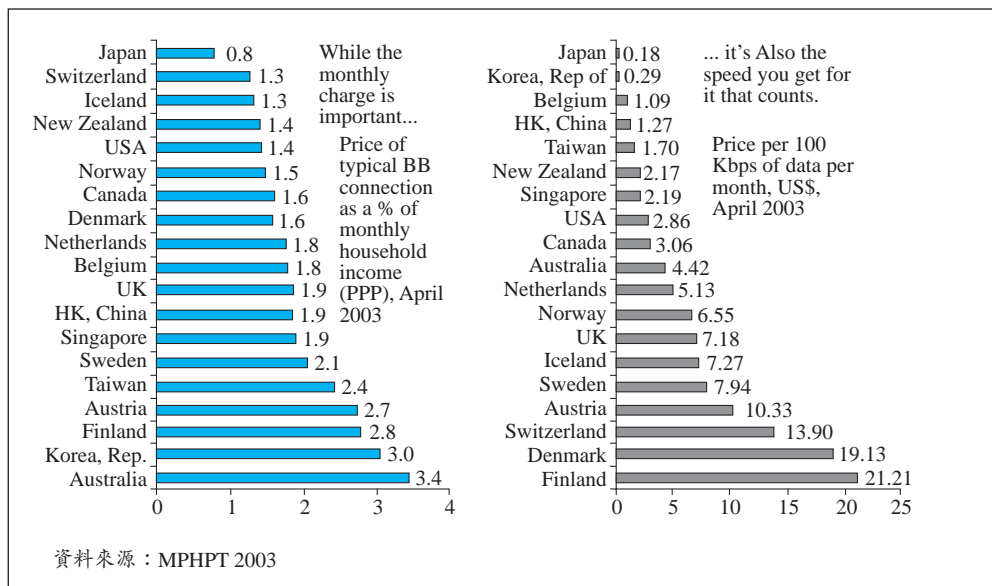
韓國是世界上寬頻普及率最高的國家（參考圖八），成功模式主要也是和日本雷同，利用政府的政策引導措

施、市場進入與完全自由競爭、娛樂與線上遊戲需求大增等因素，使得FTTx網路迅速發展，而韓國也成為全球重要的指標國。主要運營商韓國電信KT並利用韓國特殊的地形人口結構

一密集型公寓大樓與高度集中的都會化人口，衍生最佳解決方案就是FTTC-based EoVDSL技術，用戶端速度達26Mbps，未來幾年將朝FTTH技術佈署，將現存寬頻網路速率提高至



▲圖七 日本FTTH寬頻服務



▲圖八 全球寬頻服務建設比較

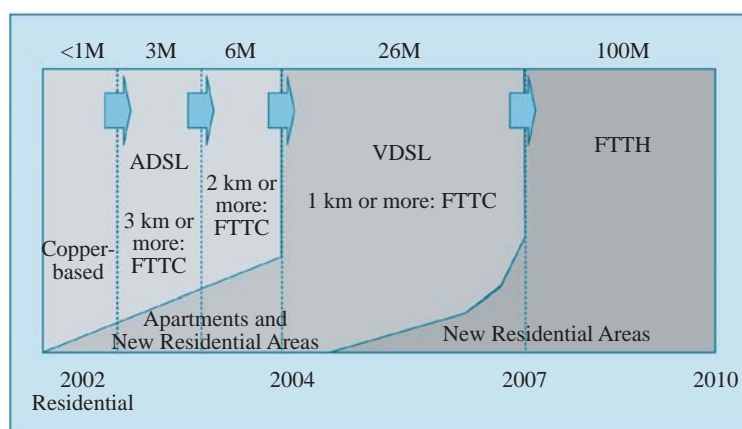
100Mbps，如圖九。

美國因幅員廣闊及Cable TV市場強大，要實現 FTTH所花費的各項建設成本，相較於亞洲國家來得吃力，雖然如此，2003年6月美國三大運營商 Verizon、SBC與BellSouth共同發表聲明，提出建設 FTTP(Fiber-to-the-Premise)計劃的 RFP(Requests for Proposal)，並釋出標案內容給各大設備廠，包括 Alcatel、Motorola、AFCI、Cisco、Quantum Bridge、Terawave等公司，此計畫預計將使得美國本土及全球中下游廠商受益，3家運營商的FTTP計劃是屬於BPON標準，計劃在2004年把光纖連到100萬戶家庭裡，預計從2005年開始每年可成長200萬用戶以上。歐洲曾經是光纖接取網實驗與部署最早的地區，德國、英國在20世紀80年代末就開始 FTTH的計劃，但由於需求不足與技術之不成熟，致使失敗。到2002年，歐洲瑞典 B2和義大利 E·biscom兩個運營商各有十多萬的FTTH用戶。到2004年歐洲其它地方的FTTH市場將會開始緩步啟動，在荷蘭，由於KPN電信與眾多的DSL和有線運營商之間的激烈競爭，有可能產生一個全國性產業聯盟，來共用FTTH網路，荷蘭目前正在評估一個遍佈全國的FTTH網路工程。而在歐洲其他地方如瑞典、希臘、挪威和丹麥已經進行了一些FTTH網

路鋪設，預計在未來將會有更多的網路投入營運。

中國大陸各大運營商對FTTH/FTTP的興趣十分濃厚，已有一些地區如北京、長沙、武漢光穀在進行FTTH光纖試點，除了點對點拓樸技術之外，PON的部署也即將開始，中國網通採用Salira的EPON設備提供服務，將應用於各大城市中，並逐步推廣全國。因此，在中國大陸，2004年將以進行各種PON的現場試驗(Field Trial)為主，預計於2005年開始進行商業應用。中國大陸挾著擁有全世界最多的人口數優勢，無疑是未來全球FTTH最大的市場所在。

台灣目前家庭用戶主流是FTTC-based ADSL技術，速度為2M/512k。最大運營商中華電信，針對企業客戶推出FTTB-based EoVDSL服務，3M/512k高速上網及1.5M/1.5M雙向高頻寬服務，並搭配MOD、影像電話、視訊會



資料來源：IEEE Communication Magazine December 2003

▲圖九 KT的寬頻發展趨勢

議、門禁保全等各類增值服務，以滿足客戶之寬頻需求。

全球領導廠商與我國主要廠商技術概況

全球通訊業者在網際網路泡沫化之後，開始對通訊產業重新分工與合併，結果幾年發展下來，各個領域的產品（系統設備、元件模組等）分別產生多家的領導性廠商，不再像過往一家廠商獨攬的局面，FTTx產業在最近幾年興起，也發生類似情形。我們將FTTx主要技術產品區分成xDSL、MC、PON三類，逐一觀察這三類主要技術下全球與我國技術發展概況，作為未來FTTx技術發展方向的參考：

一、xDSL技術

xDSL技術是目前全球寬頻接取網路市場的主流，其技術主流包含ADSL、ADSL2、ADSL2+、VDSL、SHDSL，產品主要包括DSLAM、

Switch、Modem，由於全球市場極大，各家廠商都對此領域很有興趣，所以投入xDSL的廠商相較其它FTTx技術的廠家還來得多，表三為目前全球與我國生產xDSL產品廠商列表，國內在xDSL上表現得相當亮眼，投入的廠家數量很多，因而我國通訊產業得以蓬勃發展。

二、MC

目前MC需求量最大的國家是日本，因此日本在全球MC市場佔有舉足輕重的地位。日本的運營商或設備商為使產品物美價廉、品質優良，因此積極開始向亞洲下單，此時擁有低成本優勢的中國大陸或台灣就成為日本運營商主要尋找的對象，中國大陸的光橋光科技、浙江東風奧光通訊設備，台灣的台達電、連碁、滿利、德勝、智邦、友訊等皆是。表四為製造MC的主要領導廠商及其產品功能比較。

表三 全球與我國 xDSL廠商

	國外廠商	國內廠商
xDSL	NEC、Ambit、Arescom、Broadxent、Cisco、Linksys、Orckit、Siemens、Sumitomo、Telindus、Thomson、Westell	友訊、亞旭、突破、東訊、金寶、康全、合勤、國碁、華碩、居易、久津、大霸、中磊、台林、台康、台聯、正文、正華、仲琦、如訊、宏傳、亞瑟、享承、南方、建漢、星通、筋斗雲、展達、悅達、捷超、盛達、連碁、凱碩、智邦、普萊德、智易、榮群、邁智

資料來源：工研院IEK、電通所(2004/03)

表四 全球與我國MC廠商產品

MC Vendor	Product	Transmission Rate	Follow STD	Application Support
台達電	LM-GC1SC	1000M	1000Base-SX/LX	FTTC FTTB
連碁	Nexus 2010-MC1(SC)	10/100M	10BaseT 100BaseTX-FX	FTTH
	Nexus 2010-MC20	100M	100Base-TX	FTTB FTTH
滿利	NE-202X-C(MM)	10/100M	10Base-T 100BaseFX-TX	FTTH
	NE-202X-C-30(SM)	100M	100Base-FX	FTTB FTTH
	NE202G-C-SX/LX	1000M	1000Base-SX/LX	FTTC FTTB
德勝	RC-2201/2202	10/100/1000M	1000Base-SX/LX	FTTH
智邦	EC3002S	100M	10/100Base-TX 100Base-FX	FTTC FTTB
友訊	DMC-700SC(MM)	1000M	1000Base-T 1000Base-SX	FTTC
	DMC-810SC	1000M	1000Base-T 1000Base-LX	FTTC
鈦威	SL-OT1000	1000M	1000Base-T 1000Base-SX/LX	FTTC
	SL-OT100D	10/100M	10/100Base-TX/FX	FTTH
	SL-OT100	100	100Base-TX/FX	FTTB FTTH
光橋光	FC-216	10/100M	10Base-T 100Base-FX/TX	FTTH
浙江東風奧	Viper 20050	10/100M	10Base-T 100Base-FX/TX	FTTH
NEC	FN100M-C1S-A FN100M-MA	10/100M	10Base-T/100Base-TX	FTTH
Hitachi	XGMC-1001L-IFS	10G	10GBase-LR/SR	FTTC FTTB
ComWorth	GFC-5555	1000M	1000Base-SX	FTTC FTTB
SEI	DN2600-Series	100M	100Base-TX	FTTB FTTH

資料來源：工研院電通所(2004/03)

三、PON

目前在PON的技術上較成熟的應用主要有APON(ATM PON)、EPON及GPON(Gigabit-capable PON)等三種技術，在此三種主要PON技術中，

APON/BPON標準是於ITU-T G.983系列標準（1998年）所制定的技術，GPON標準於2003年1月制定通過，相關標準定義於ITU-T G.984系列標準，而EPON標準則定義於IEEE802.3ah（或稱EFM），此標準將於2004年中完

表五 全球與我國 PON 廠商產品

PON Vendor	Product		Transmission Rate		Split	Type	Application Support
	OLT	ONU	DS	US			
Alcatel	7340 FTTU P-OLT/V-OLT	7340 FTTU H-ONT	622M	155M	32	BPON	FTTB FTTH
Quantum Bridge	QB3000/5000	QB 155/622	622M	155M/ 622M	32	APON	FTTC FTTB FTTH
Zhone Technologies	MALC 319/719/723	ZRG 510/550	622M	155M	32	APON	FTTB FTTH
AFC	AccessMax OLT	AccessMax ONT 6xx	622M	155M	32	BPON	FTTB FTTH
Nortel	BAS7700	BAS7000/7100	622M	155M	32	BPON	FTTB FTTH
Paceon	ADS2000OLT	AONT-B200	622M	155M/ 622M	32	BPON	FTTC FTTB FTTH
Optical Solutions	FiberDrive OLT	FiberPath 500/400	622M	155M	32	BPON	FTTB FTTH
華為	MA510X	MA510X	155M	155M	64(2 fiber)	APON	FTTH
烽火	OLT	ONU	155M	155M	32	APON	FTTH
格林威爾	OLT	ONU	1.25G	1.25G	32	EPON	FTTC FTTB
Salira	2500OLT	2300ONT	1.25G	1.25G	32	EPON	FTTC FTTB
Pirelli	OLT	ONU	1.25G	1.25G	32	EPON	FTTC FTTB
Alloptic	EdgeGEAR 2000	BizGEAR 200 HomeGEAR1000	1.25G	1.25G		EPON	FTTC FTTB
Fujikura	FNP1102	FNP5003	625M	625M	32	EPON	FTTC FTTB
SEI	FSU3100	FTE3010	155M	155M	32	EPON	FTTB FTTH
Fujitsu	GeoStream A550	GeoStream A503	100M	100M	32	EPON	FTTB FTTH
NEC	Spectral Wave ME1600	Spectral Wave ME1600-R-PON	100M	100M	32	EPON	FTTB FTTH
Optical Soutlions	FiberDrive	FiberPath 500	1.25G	622M	32	GPON	FTTB FTTC
FlexLight	OPTIMATE 2500LT	OPTIMATE 2500NT/ 1000NT	2.5G	1.25G	32	GPON	FTTB FTTC FTTMTU
Analog Devices	OLT (Chip)	ONU (Chip)	2.5G	2.5G	32	GPON	

資料來源：工研院電通所(2004/03)

成。目前，EPON標準並無定義太多的QoS機制，但是不少EPON設備製造商研發自有技術，以提供具有QoS保證的TDM（語音）服務技術及線路保護切換功能。因此EPON和GPON相較，APON/BPON是新的技術，現在市面上的廠商或產品都來得較少。在市場上APON/BPON比較活躍的廠商有Alcatel、Quantum Bridge、Optical Solutions、Nortel、華為、烽火等；EPON目前市場上主導廠商有兩家，即Alloptic和Salira，此外Pirelli、NEC、格林威爾等也有EPON產品；GPON主要公司有FlexLight、Optical Solutions、Analog Devices。目前生產A/BPON產品的廠商也有意涉足GPON產品。

PON的發展趨勢

PON是一個點對多點的光接入網路，具有很好的性能價格比，提供用戶可靠的資料、語音和視訊功能，其頻寬遠大於其它接入網路技術，被視為下一代寬頻接入網路最好的選擇。目前PON的優點普遍被業者認同，不過由於部分PON技術尚未完成標準化，仍有許多關鍵性技術有待突破，以下將簡述這些關鍵性技術的問題發生緣由。

一、突波接收器(Burst mode receiver)

由於上行使用TDMA方式，因此

每一ONU傳送的時槽皆不同，對於OLT來講可能發生此時槽有訊號，下一時槽無訊號的突波情形，因此所造成的技術困難在OLT接收器上，必須能對任何一時槽的訊號作完美解調，並且能在訊號準位不相同與在輸入訊號速度快的條件下完成。

二、動態頻寬配置(DBA)

頻寬配置分為靜態和動態兩種，靜態頻寬由ONU數量及管理員政策決定，動態頻寬則根據ONU的需要，由OLT動態分配。實現動態頻寬配置的關鍵在於如何獲得ONU的實際狀態。

三、安全

在點對多點的模式下，下行以廣播方式發送給所有連接的ONU，每個ONU都可以接收OLT發送給特定ONU的資訊，所以產生了一些安全問題，比如資訊被竊聽、修改資訊上傳、以合法身份攻擊其它ONU等。

前述之PON技術有A/BPON、EPON與GPON，上行方向使用TDMA方式，統稱為TDM-PON（亦稱PS-PON）；另外一種使用WDMA方式，稱之為WDM-PON，如圖十所示。WDM PON除了可以提供多個光通道來提昇網路傳輸的頻寬，而每個ONU可以使用獨立的傳輸通道，因此其安全性設計將較傳統的PON或是EPON來得

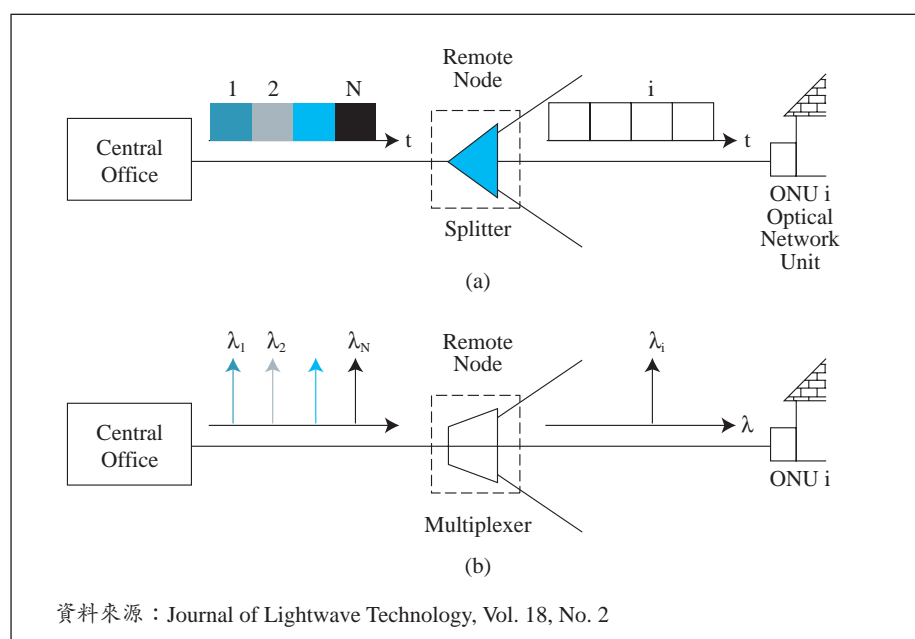
容易，但是目前WDM相關元件仍屬昂貴，尤其是可調式的光源、光濾波器、光傳送/接收器、Transponder等。最近，光元件技術在 Passive Optical Network上逐漸有新的應用，如 Athermal AWG、Long Wave的VCSEL及1xN PLC Splitter 等。一般來說，TDM-PON與WDM-PON兩者區分在兩個地方：第一，對下行來說，TDM-PON使用光分歧器分光，將下行的光功率平均分配 N個使用者，當分歧數目愈大時會伴隨大量的光損失，而限制使用者的數量；WDM-PON使用光多工器分光，因為所使用的用戶端波長不同，每一分支功率不會因為解多工而變小，光損失是固定的，不會因為分歧數目變大而提升光損失的影響。第二，對上行來說，TDM-PON會

有前述的突波現象，而WDM-PON使用各別的波長可同時上傳於 ODN上，無此現象發生。因應ODN元件的不同，OLT端和ONU端所使用的傳送器與接收器也有所不同，如表六所示。WDM-PON技術沒有 TDM-PON的 Burst Mode 與DBA問題，安全性問題也相對來得比較小，只要未來各個關鍵性元件（光多工器、傳送接收器）的價格能夠下降，WDM-PON預料是取代 TDM-PON的寬頻網路明日之星。

全球與我國技術差異比較

由市場面來看，目前台灣寬頻市場技術主流為ADSL，與同屬亞洲四小龍的日本的 FTTH、韓國的VDSL相比明顯落後，甚至於歐美、中國大陸已

►圖十 TDM-PON(a)與WDM-PON(b)的傳輸架構



表六 TDM-PON與WDM-PON所使用之元件

	TDM-PON	WDM-PON
ODN	光分歧器	光多工器
OLT	TX：連續式雷射 RX：突波式接收器	TX：寬頻譜光源（如LED） RX：解多工器+ N*連續式接收器
ONU	TX：突波式傳送器 RX：連續式接收器	TX：連續式雷射(λ_n) RX：連續式接收器

資料來源：工研院電通所(2004/03)

表七 台灣 FTTx產業發展之SWOT分析

優勢(Strength)	機會(Opportunity)
<ul style="list-style-type: none"> ●製造能力強 ●成本具競爭力 ●具有綿密的水平與垂直專業分工體系 ●IC、元件能力強 	<ul style="list-style-type: none"> ●中小企業發展潛力大 ●全球發展FTTH趨勢，市場商機無限 ●國際大廠釋出代工訂單，給予台灣製造機會
弱勢(Weakness)	威脅(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ●系統技術開發能力不足 ●政府政策不明 ●系統與網管根基薄弱 ●國內市場規模小 	<ul style="list-style-type: none"> ●大陸製造，低成本的競爭 ●國際大廠併購整合，加入競爭 ●全球廠商焦點在FTTH市場

資料來源：工研院電通所(2004/03)

開始著手規劃 FTTH網路，台灣仍未傳任何有關消息，歸納其主要原因為政府政策上不夠積極、最後一哩線路未開放與殺手級應用沒有出現等因素導致。

由產業面來看，台灣xDSL的發展主要以ADSL廠家居多，其它DSL技術廠商目前雖少，未來將隨全球市場增大而變多，在 DSLAM方面有東訊、合勤、台聯、友訊等系統廠商投入，而國外主要領導廠商如Alcatel、Nortel等產品線相當完整，競爭力強。台灣MC產業主要依靠日本 FTTH市場發展，未

來將因日本FTTH方案的改變，而有所影響；目前產品速率包含10/100/1000M，產品線齊全，國內由於佔有Optical Transceiver製造研發的優勢，適合國內廠商發揮的領域，而國外以日本本土和中國大陸廠商為主要對手，由於削價競爭，市場競爭格外強烈。台灣PON產業才剛剛起步，目前尚無任何產品上市，而國外在不同的PON技術上已有所謂的領導廠商出現，相關產品的功能也十分完整。表七為台灣FTTx產業發展之SWOT分析。