

101 年委託研究報告

次世代網路終端設備規管方式及 相關技術規範研究

計畫委託機關：國家通訊傳播委員會

中華民國 101 年 12 月

101 年委託研究報告

NCC-J101-030

次世代網路終端設備規管方式及 相關技術規範研究

受委託單位：

高苑科技大學

主持人：

王春清

共同主持人：

黃振發、鄭旭志、曾信賓

研究人員：

陳金嘉、李國龍

兼任助理：洪健翔、許仲慶、劉家維

林致翔、洪新志、蔡武錡

林信全、賴欣蔚、楊友媛

本報告不必然代表國家通訊傳播委員會立場

中華民國 101 年 12 月

目 次

表 次.....	III
圖 次.....	VIII
提 要.....	XII
中文摘要.....	XVI
ABSTRACT.....	XX
第壹章 緒論.....	1
第一節 研究動機.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 問題陳述.....	2
第四節 研究方法.....	2
第五節 研究架構.....	3
第貳章 國際組織 NGN 發展現況研析.....	5
第一節 國際組織 NGN 發展現況.....	5
第二節 國際標準組織 NGN 光接取網路技術標準發展.....	26
第三節 綜合分析.....	49
第參章 NGN 光接取網路之終端設備規格標準.....	53
第一節 ITU GPON 和 XG-PON 終端設備規格標準.....	53
第二節 IEEE EPON 和 10G-EPON 終端設備規格標準.....	87
第三節 IEEE 100 BASE-LX10/BX10 和 1000 BASE-LX10/BX10 終端 設備規格標準.....	122
第四節 綜合研析.....	158
第肆章 世界先進國家 NGN 發展現況與進程.....	162
第一節 美國.....	162
第二節 英國.....	164
第三節 日本.....	166
第四節 韓國.....	174
第五節 澳洲.....	176

第六節 中國大陸.....	180
第七節 臺灣.....	185
第八節 綜合研析.....	187
第伍章 世界先進國家之 NGN 光接取網路終端設備技術規範與我國現行規範比較分析.....	190
第一節 光介面技術規範.....	191
第二節 UNI 介面技術規範.....	196
第三節 綜合研析.....	199
第陸章 研究發現.....	204
第一節 NGN 寬頻接取網路技術發展現況與趨勢.....	204
第二節 世界先進國家 NGN 發展現況與進程.....	205
第三節 NGN 終端設備技術規範發展趨勢.....	206
第四節 產官學研座談會意見分析.....	206
第柒章 結論與建議.....	208
第一節 立即可行建議.....	208
第二節 中、長期建議.....	208
參考文獻.....	231
附錄.....	236
附錄一、原文對照表.....	236
附錄二、座談會記錄.....	247
附錄三、訪談記錄.....	250
附錄四、期中報告審查意見回覆.....	252
附錄五、期末報告審查意見回覆.....	253

表 次

表 2- 1 UNI 與實體介面與提供服務的範例.....	35
表 2- 2 ITU GPON 標準文件一覽表.....	38
表 2- 3 GPON 網路及實體層特性.....	39
表 2- 4 ITU XG-PON 標準文件一覽表.....	40
表 2- 5 XG-PON 網路及實體層特性.....	43
表 2- 6 EPON 實體層特性.....	46
表 2- 7 10G-EPON 實體層特性.....	48
表 2- 8 NGN 技術標準發展現況.....	49
表 2- 9 ITU GPON/XG-PON、IEEE EPON/10G-EPON 技術標準差異比較..	51
表 3- 1GPON 傳輸速率.....	55
表 3- 2 XG-PON ONU/ONT 發射機參數數值.....	61
表 3- 3 XG-PON 抖動產生規範.....	70
表 3- 4 ODN 的實體介質相依層參數.....	72
表 3- 5 1,244Mbps 下行方向光介面參數.....	73
表 3- 6 2,488Mbps 下行方向光介面參數.....	74
表 3- 7 155Mbps 上行方向光介面參數.....	75
表 3- 8 622Mbps 上行方向光介面參數.....	77
表 3- 9 1,244Mbps 上行方向光介面參數.....	79
表 3- 10 1,244Mbps 上行方向，在 ONU/ONT 發射機採用功率值調節機制的光介面參數.....	80
表 3- 11 2,488Mbps 上行方向光介面參數.....	81
表 3- 12 2,488Mbps 上行方向，在 ONU/ONT 發射機採用功率值調節機制的光介面參數.....	83
表 3- 13 XGPON 各類別光路徑衰減值.....	83
表 3- 14 XG-PON 的 ODN 實體介質相依(PMD)層參數.....	84
表 3- 15 XG-PON 9.95328Gbps 下行方向光介面參數.....	84
表 3- 16 XG-PON 2.48832Gbps 上行方向光介面參數.....	86
表 3- 17 IEEE 802.3 標準 EPON 系統實體介質相關子層類型.....	88

表 3- 18 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX 信號檢測值定義.....	92
表 3- 19 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 發射特性.....	94
表 3- 20 IEEE 802.3 標準 EPON 光纖特性.....	94
表 3- 21 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 發射機光譜範圍.....	95
表 3- 22 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 接收特性.....	96
表 3- 23 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 發射特性.....	97
表 3- 24 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 發射機光譜範圍.....	98
表 3- 25 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 接收特性.....	99
表 3- 26 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 通道插入損耗及損失.....	100
表 3- 27 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 下行抖動預算.....	101
表 3- 28 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 上行抖動預算.....	101
表 3- 29 ITU 光參考接收機衰減容限.....	104
表 3- 30 IEEE 802.3av 標準主要類型及特性.....	105
表 3- 31 IEEE 802.3av 標準 10G EPON 系統功率預算.....	105
表 3- 32 IEEE 802.3 av 標準 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX 信號檢測值定義.....	110
表 3- 33 IEEE 802.3av 標準 PR 及 PRX 類型 OLT PMD 發射特性.....	111
表 3- 34 IEEE 802.3av 標準 10G EPON 光纖特性.....	111
表 3- 35 IEEE 802.3av 標準 PR 類型 OLT PMD 接收特性.....	113
表 3- 36 IEEE 802.3av 標準 PRX 類型 OLT PMD 接收特性.....	114
表 3- 37 IEEE 802.3av 標準 PR 類型 ONU/ONT PMD 發射特性.....	115
表 3- 38 IEEE 802.3av 標準 PRX 類型 ONU/ONT PMD 發射特性.....	116
表 3- 39 IEEE 802.3av 標準 10/1GBASE-PRX-U3 發射機光譜範圍.....	118
表 3- 40 IEEE 802.3av 標準 PR 及 PRX 類型 ONU/ONT PMD 接收特性.....	119
表 3- 41 IEEE 802.3av 標準 PMD 雙速率模式選項.....	119
表 3- 42 ITU 光參考接收機衰減容限.....	121
表 3- 43 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 PMD 的分類.....	122

表 3- 44 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 信號檢測值定義.....	126
表 3- 45 100BASE-LX10 的發射特性.....	127
表 3- 46 100BASE-LX10 的接收特性.....	128
表 3- 47 100BASE-BX10 的發射特性.....	129
表 3- 48 100BASE-BX10-D 和 100BASE-BX10-U 接收特性.....	131
表 3- 49 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 通道和損失.....	132
表 3- 50 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的抖動預算.....	133
表 3- 51 發射機通道規範.....	135
表 3- 52 適用的正弦抖動.....	136
表 3- 53 符合的溫度類別.....	137
表 3- 54 光纖和光纜特性.....	138
表 3- 55 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 PMD 的分類.....	139
表 3- 56 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 信號檢測值的定義.....	144
表 3- 57 1000BASE-LX10 的發射特性.....	146
表 3- 58 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 發射機光譜限制.....	147
表 3- 59 1000BASE-LX10 的接收特性.....	148
表 3- 60 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 發送特性.....	149
表 3- 61 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 接收特性.....	151
表 3- 62 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 通道和損失.....	152
表 3- 63 1000BASE-LX10 在 MMF 的預設抖動.....	153
表 3- 64 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 在 MMF 的預設抖動..	154
表 3- 65 符合的溫度類別.....	155
表 3- 66 光纖和光纜特性.....	157
表 3- 67 GPON 與 XG-PON 規格標準摘要比較表.....	159
表 3- 68 EPON、10G-EPON 規格標準摘要比較表.....	160
表 3- 69 100 BASE-LX10/BX10 與 1000 BASE-LX10/BX10 規格標準摘要比較表.....	161
表 4- 1 日本政府刺激光纖網路投資之主要獎勵及規管措施.....	172
表 4- 2 2004 - 2010 年韓國政府及業者 BcN 網路部署投資金額.....	175

表 4-3 韓國營運商 NGN 網路部署現況.....	176
表 4-4 澳洲國家寬頻網路計畫大綱.....	177
表 4-5 我國與世界先進國家 NGN 寬頻網路政策目標比較.....	187
表 4-6 我國與世界先進國家 NGN 寬頻網路部署現況比較.....	188
表 5-1 ITU GPON OLT 與 ONU/ONT 互通性檢測項目.....	190
表 5-2 世界先進國家光接取網路技術標準採用情況表.....	191
表 5-3 中國大陸 GPON 終端設備光介面技術規範.....	192
表 5-4 中國大陸 EPON 終端設備光介面技術規範.....	194
表 5-5 中國大陸 EPON 1000BASE-PX10-U 發射機頻譜限制(多縱模雷射).....	194
表 5-6 中國大陸 EPON 1000BASE-PX20-U 發射機頻譜限制(多縱模雷射).....	195
表 5-7 我國與世界先進國家 WLAN 技術規範.....	197
表 5-8 國際標準組織 ITU 與中國大陸 GPON 終端設備光介面技術規範比較.....	200
表 5-9 國際標準組織 IEEE 與中國大陸 EPON 終端設備光介面技術規範比較.....	203
表 6-1 有線寬頻接取網路傳輸效能比較表.....	204
表 7-1 被動式光纖網路 (PON) 終端設備技術規範建議草案.....	209
表 7-2 被動式光纖網路專業術語.....	210
表 7-3 終端設備 ONU/ONT 檢驗明細表.....	211
表 7-4 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之工作波長規範值.....	214
表 7-5 IEEE 802.3av-2009 ONU/ONT 發射機之工作波長規範值.....	214
表 7-6 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值.....	215
表 7-7 ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值.....	216
表 7-8 IEEE 802.3av-2009 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值.....	216
表 7-9 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之發射機洩漏功率規範值.....	219
表 7-10 ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機之發射機洩漏功率規範值.....	220
表 7-11 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 接收機之接收靈敏度規範值.....	220
表 7-12 ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 接收機之接收靈敏度規範值.....	220
表 7-13 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 接收機之接收過載功率規範值.....	221
表 7-14 ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 接收機之接收過載功率規範值.....	221

圖 次

圖 1- 1 計畫研究架構.....	4
圖 2- 1 ITU NGN 技術標準發展進程.....	5
圖 2- 2 ITU NGN 架構圖.....	6
圖 2- 3 ITU、ETSI、3GPP NGN 標準化任務分工.....	7
圖 2- 4 ETSI TISPAN 技術標準發展進程.....	7
圖 2- 5 ETSI NGN 標準架構示意圖.....	9
圖 2- 6 TISPAN R2 專用型 IPTV 架構圖.....	12
圖 2- 7 TISPAN R2 IMS-based IPTV 架構圖.....	13
圖 2- 8 3GPP IMS 網路架構圖.....	14
圖 2- 9 IMS- CSCF 網路運作關聯圖.....	15
圖 2- 10 IETF IPv6 標準發展期程.....	20
圖 2- 11 IPv6 封包格式.....	22
圖 2- 12 IPv6 與 IPv4 封包互通及格式轉換.....	23
圖 2- 13 DOCSIS 最大上、下行傳輸速度演進.....	24
圖 2- 14 DOCSIS 網路架構圖.....	25
圖 2- 15 DOCSIS 寬頻終端設備市場預測.....	26
圖 2- 16 頻寬需求發展趨勢.....	27
圖 2- 17 ITU XG-PON 之應用情境示意.....	28
圖 2- 18 光接取網路技術標準發展進程.....	30
圖 2- 19 AON 網路架構.....	31
圖 2- 20 PON 網路架構.....	32
圖 2- 21 TDM-PON(上)與 WDM-PON(下)示意圖。.....	33
圖 2- 22 光接取網路架構圖.....	34
圖 2- 23 ONU/ONT 提供 VDSL/POTS 的應用情境.....	36
圖 2- 24 ONT 提供數據機介面的應用情境.....	36
圖 2- 25 整合型 ONT 的應用情境.....	37
圖 2- 26 ONT 提供家庭閘道器(Residential gateway)介面的應用情境.....	37

圖 2- 27 FSAN NG-PON 發展時程.....	40
圖 2- 28 XG-PON 系統架構.....	41
圖 2- 29 XG-PON 與 GPON 共存網路架構.....	42
圖 2- 30 XG-PON 與 GPON 系統共存架構圖.....	43
圖 2- 31 EPON 系統架構.....	45
圖 2- 32 10G-EPON 標準協定層架構示意.....	47
圖 2- 33 10G EPON 與 EPON 系統共存架構圖.....	48
圖 2- 34 AON 系統架構.....	49
圖 3- 1GPON/XG-PON 網路架構.....	53
圖 3- 2 GPON ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範.....	60
圖 3- 3 XG-PON ONU/ONT 發射機眼圖遮罩.....	61
圖 3- 4 測量眼圖遮罩的測試裝置.....	61
圖 3- 5 最大光路徑衰減的差異.....	64
圖 3- 6 GPON ONU/ONT 的抖動傳輸.....	66
圖 3- 7 GPON ONU/ONT 的抖動容限區間.....	67
圖 3- 8 抖動容忍限度.....	68
圖 3- 9 XG-PON OUN 抖動傳遞.....	69
圖 3- 10 XG-PON 抖動傳遞的高頻段正弦抖動區間.....	69
圖 3- 11 XG-PON 的抖動容限區間.....	70
圖 3- 12 IEEE EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯.....	89
圖 3- 13 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX 方塊圖.....	91
圖 3- 14 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10-U 發射機光譜範圍.....	95
圖 3- 15 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20-U 發射機光譜範圍.....	99
圖 3- 16 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10-U 及 1000BASE-PX20-U 抖動增益 曲線.....	102
圖 3- 17 IEEE 802.3 標準正弦抖動誤差元件.....	102
圖 3- 18 IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 發射機眼圖定 義.....	103
圖 3- 19 IEEE 10G-EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯.....	106
圖 3- 20 IEEE 10G/1G EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯.....	107

圖 3- 21 IEEE 802.3 av 標準 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX 方塊圖.....	108
圖 3- 22 IEEE 802.3 av 標準 PR-D 類型發射機相容示意圖.....	112
圖 3- 23 IEEE 802.3 av 標準 PR-U 類型發射機相容示意.....	117
圖 3- 24 IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-U3 發射機光譜範圍.....	117
圖 3- 25 IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-PMD 發射機上行方向眼圖.....	120
圖 3- 26 IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-PMD 下行方向及 10GBASE-PR-PMD 發射機下上行方向眼圖.....	121
圖 3- 27 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的結構.....	123
圖 3- 28 100BASE-X 方塊圖.....	125
圖 3- 29 發射機眼圖遮罩定義.....	134
圖 3- 30 發射機光波形測試方塊圖.....	135
圖 3- 31 抖動容忍限度的正弦遮罩.....	136
圖 3- 32 光纖佈線模式.....	138
圖 3- 33 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 的結構.....	141
圖 3- 34 1000BASE-X 方塊圖.....	143
圖 3- 35 1000BASE-LX10 發射機的頻譜限制.....	145
圖 3- 36 發射機眼圖遮罩定義.....	155
圖 3- 37 光纖佈線模式.....	156
圖 3- 38 GPON 與 EPON 差異比較.....	158
圖 4- 1 21CN 建置時程.....	164
圖 4- 2 英國寬頻網路政策之推動策略.....	166
圖 4- 3 日本 NGN 發展.....	167
圖 4- 4 日本 ICT 維新 Vision 2.0 政策大綱.....	169
圖 4- 5 日本 NTT 組織結構演變歷程及未來調整方向.....	170
圖 4- 6 2001 - 2009 年日本政府及 NTT 光纖網路投資金額.....	171
圖 4- 7 日本至 2012 年 6 月寬頻網路服務用戶數及其服務最高速率.....	173
圖 4- 8 韓國 IT839 計畫.....	174
圖 4- 9 我國 NGN 發展進程.....	185
圖 4- 10 我國數位匯流發展方案(2010-2015)評估指標.....	186

圖 5- 1 光接取網路架構圖.....	197
圖 7- 1 ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範值.....	217
圖 7- 2 ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範值.....	218
圖 7- 3 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10/20-U 與 IEEE 802.3av-2009 10/1GBASE-PRX-U1/U2/U3 發射機眼圖遮罩規範值.....	218
圖 7- 4 IEEE 802.3av-2009 10GBASE-PR-U1/U3 發射機眼圖遮罩規範值..	219
圖 7- 5 ONU/ONT 發射工作波長測試接線圖.....	222
圖 7- 6 ONU/ONT 平均發射功率測試接線圖.....	223
圖 7- 7 ONU/ONT 發射機眼圖遮罩測試接線圖.....	224
圖 7- 8 ONU/ONT 發射機洩漏功率測試接線圖.....	225
圖 7- 9 ONU/ONT 接收靈敏度測試接線圖.....	226
圖 7- 10 ONU/ONT 交流電源線雷擊測試接線圖.....	228
圖 7- 11 開路雷擊電壓波形.....	229
圖 7- 12 短路雷擊電流波形.....	230

提 要

關鍵詞：次世代網路、寬頻網路、光接取網路、終端設備技術規範

1、研究緣起

近年來科技匯流發展日行千里，新興有線/無線寬頻接取技術的不斷升級，不僅為民眾的生活帶來便利的創新應用，寬頻服務亦由以往一種技術提供一種服務的方式，逐漸提升涵蓋語音(voice)、數據(data)及影音(video)等三種服務的匯流。這股新興的科技匯流趨勢加速了電信、傳播與網路通訊產業升級的需求，更帶來嶄新的市場動能與發展契機。

為承載日益豐富化與多樣化服務的頻寬需求，以網際網路通訊協定(IP)封包為基礎之次世代網路(NGN)，儼然成為世界先進國家積極部署之重點。本研究期經由研析國際組織 NGN 發展規劃、世界先進國家 NGN 建置方針與推動策略及終端設備監理技術規範，研提具體可行之建議方案。俾據以制訂我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範，以促進 NGN 寬頻接取服務發展，提升我國寬頻網路普及率，達成寬頻接取發展環境之政策目標。

2、研究方法及過程

本研究係透過對國際標準組織(ITU、IEEE、ETSI、3GPP 及 IETF 等)NGN 之光接取網路技術發展研究、世界先進國家 NGN 發展策略與終端設備技術規範研究，釐清我國發展 NGN 寬頻接取服務時，可能遭遇的關鍵性議題，並研提具體可行的建議方案。

本研究係根據文獻蒐集法、比較研究法、專家學者深度訪談法方式進行。

3、重要發現

透過本研究發現：

- 匯流化的 NGN 應用服務「網路電視」(IPTV)「高畫質電視」(HDTV)、視訊會議、線上遊戲及家庭網路等，將帶動頻寬需求發展趨勢。
- 光接取網路國際標準組織(ITU 及 IEEE)依據光纖網路中繼設備型態，可區分主動式(AON)與被動式(PON)網路兩大類型，在佈建成本與傳輸效益(Gbps 以上)考量下，被動式光接取網路已逐漸成為光纖連網服務主要佈建技術。

- 具有 10Gbps 傳輸速度以上技術標準(XG-PON、10G-EPON)，將成為 GPON 與 EPON 後續發展技術標準。
- 依據網路佈建型態及終端設備安裝位置，光接取網路終端設備可提供局端延伸設備功能(例如 MDU/MTU/CBU..)，以及用戶終端設備功能(例如：ONU/ONT)。
- 安裝於家庭/企業內之光接取網路終端設備(ONU/ONT)，除具有光介面連接局端設備外，亦提供至少一種以上之使用者網路介面/埠(UNI)連接消費者設備，例如：乙太網路(Ethernet)、無線網路(WLAN)、數據專線(Leased Line)。
- 世界先進國家 NGN 發展策略，可區分兩大層面：提高寬頻網路涵蓋率與鼓勵發展各類創新寬頻內容和應用服務。
- 世界先進國家推動 NGN 寬頻網路發展策略，提升光纖化接取網路取代傳統銅絞線接取網路，主要措施：政府主導、降低管制、獎補助、投資抵免..等方式。
- 日本、韓國及中國大陸等亞洲鄰國寬頻網路政策展現積極，分別以 2012-2015 年期間內，完成 100Mbps 傳輸速率為目標，作為國家 NGN 發展進程的重要評估指標
- 目前世界先進國家對於光接取網路終端設備之光介面監理規範，大都開放業者直接依循國際電信標準組織(ITU IEEE)技術標準，而不另訂國家技術標準規範，唯中國大陸援引其國內業界標準，作為國家訂定之產業標準。
- 未來電信業者佈建光接取網路時，局端設備(OLT)與用戶終端設備(ONU/ONT)可能由不同供應商所製造生產，可能造成互通性與網路效能等不確定因素。

4、主要建議事項

(1)立即可行建議

依據本研究發現安裝於家庭/企業內之光接取網路終端設備(ONU/ONT)，除具有光介面連接局端設備外，亦提供至少一種以上之使用者網路介面/埠(UNI)連接消費者設備，例如：乙太網路(Ethernet)、無線網路(WLAN)、數據專線(Leased Line)。考量世界先進國家對於光接取網路終端設備技術監理採取低度管制趨勢與促進我國光接取網路佈建速度，並兼顧我國電信法第 42 條與我國電信終端設備審驗辦法之規範。因此，本研究建議國家通訊傳播委員會，爰用電信終端設備審驗辦法管理以下

類型之終端設備(ONU/ONT)，確保設備運作與人員操作之安全性，以及頻率和諧有效共用。

- 提供之使用者網路介面(UNI)：為乙太網路(Ethernet)或數據專線(Leased Line)者，開放符合國際標準組織(ITU、IEEE)光介面標準規範，針對其電磁相容性(EMC)與電氣安全性(Safety)等型式認證規範項目進行審驗。
- 提供之使用者網路介面(UNI)：為無線網路(wireless local area network, WLAN)者，開放符合國際標準組織(ITU、IEEE)光介面標準規範，除其電磁相容性與電氣安全性等型式認證規範項目進行審驗外。並需依據我國『低功率電波輻射性電機管理辦法』第5條規定，進行審驗符合『低功率射頻電機技術規範』後，始可輸入與販售。

(2)中、長期建議

為消弭未來電信業者佈建光接取網路時，局端設備(OLT)與用戶終端設備(ONU/ONT)可能由不同供應商所製造生產，所可能造成互通性與網路效能等不確定因素，並考量被動式光纖接取網路為未來發展趨勢。本研究建議國家通訊傳播委員會參考國際電信標準組織(ITU 及 IEEE)終端設備技術標準、互通性測試技術規範與世界先進國家終端設備技術規範，擬訂符合我國光接取網路發展之終端設備光介面技術檢測規範建議，至少包括：發射工作波長範圍、平均發射功率、發射機眼圖遮罩、消光比、發射機洩漏功率、接收靈敏度及接收過載功率等檢驗項目，如表 1 所示，提供電信產業發展光接取網路參考之依據，完善 NGN 技術監理規範。

表 1 終端設備 ONU/ONT 技術規範建議檢驗項目

檢驗項目	說明
發射工作波長範圍 (Operating Wavelength Range)	確認終端設備發射工作波長符合標準規範
平均發射功率(Average Launch Power)	確認終端設備發射之光訊號功率最大值與最小值符合標準規範
發射機眼圖遮罩(Transmitter eye mask)	確認終端設備發射之光訊號品質符合標準規範

檢驗項目	說明
消光比(Extinction Ratio)	確認終端設備發射之已調變光訊號邏輯 1 與邏輯 0 功率比值符合標準規範
發射機洩漏功率 (Average launch power of OFF transmitter)	確認終端設備於電源開啟狀況，但無訊號輸入，發射機所洩漏之光訊號功率符合標準規範
接收靈敏度 (Minimum Receiver Sensitivity)	確認終端設備在符合標準規範最低的接收功率下亦不影響用戶端介面服務品質
接收過載功率 (Minimum Overload)	確認終端設備在符合標準規範最大的接收過載功率下亦不影響用戶端介面服務品質
雷擊測試 (Surge Testing)	確認終端設備電源部分，經雷擊波試驗後，設備須可正常工作
電氣安全(Safety)	確認終端設備操作安全性
電磁相容(EMC)	確認終端設備在射頻及輻射擾動限制值下可正常工作

資料來源：本研究團隊整理

中文摘要

關鍵詞：次世代網路、終端設備、光接取網路、技術規範

本研究報告分為七個章節，相關內容摘要分述如下：

■ 第壹章 緒論

本章說明次世代網路技術發展及終端設備技術規範關注之議題，包括研究動機、研究目的、問題陳述、研究方法與研究架構之說明。

■ 第貳章 國際組織 NGN 發展現況研析

蒐集 ITU、IEEE、3GPP、ETSI、IETF 及 CableLabs 等組織相關文獻，綜整分析次世代網路技術標準發展趨勢。其中，在眾多的有線寬頻(固定通信)接取網路中，具有高頻寬(Gbps)特性及佈建彈性之光接取網路(GPON/XG-PON、EPON/10G-EPON)，逐漸成為世界主要國家及我國發展次世代網路佈建有線寬頻接取網路，提供光纖到府系列 (FTTx)服務，採用技術標準之一。

■ 第參章 NGN 光接取網路之終端設備規格標準

綜整分析國際標準組織 ITU、IEEE 所制定之光接取網路終端設備技術標準，依據採用技術不同(GPON/XG-PON、EPON/10G-EPON...等)終端設備技術規格亦有所不同。因此，光接取網路採用之終端設備互通性議題將更顯重要。本研究依據 ITU 及 IEEE 光接取網路架構，摘要說明點對多點(P2MP)之 GPON 與 XG-PON、IEEE EPON、10G-EPON 以及點對點(P2P)之 IEEE 100 BASE-LX10/BX10 和 1000 BASE-LX10/BX10 等終端設備規格標準，包含發射工作波長範圍、平均發射功率、發射機洩漏功率等項目，歸納各種應用環境下終端設備之技術要求，以供國家通訊傳播委員會規範光接取網路終端設備技術之參考。

■ 第肆章 世界先進國家 NGN 發展現況與進程

蒐集美國、英國、日本、澳洲、韓國及中國大陸等世界先進國家，綜整分析各國 NGN 發展策略、寬頻網路技術市場占有率有別及寬頻網路服務發展現況。其中，亞洲鄰國(日本、韓國及中國大陸)寬頻網路政策展現積極。

■ 第伍章 世界先進國家之 NGN 光接取網路終端設備技術規範與我國現行規範比較分析

綜整分析世界先進國家 NGN 光接取網路終端設備技術規範，發現對於終端設備(ONU/ONT)技術規範之訂定，唯有中國大陸援引其國內業界標準，作為國家訂定之產業標準，其餘國家(包含美國、英國、日本、南韓及澳洲)，均援用國際組織標準，作為電信業者佈建網路之參考依據。

■ 第陸章 研究發現

在研究被動式光接取網路技術標準發展進程，發現目前國際上主流技術是以 GPON、EPON 為主，並已開始演進至具有 10Gbps 傳輸速度的 XG-PON(ITU，2010 年公佈)、10G-EPON(IEEE，2009 年公佈)技術標準。另外，隨著光纖化接取網路逐漸取代傳統銅絞線網路的發展趨勢，光接取網路的佈建服務的範圍從大樓、路邊、企業用戶持續擴大至線路交接箱、家庭用戶、行動通信基地臺等，原本光接取網路的終端設備，亦產生不同功能角色之變異，造成監理機關後續管理之困難度。經由本研究團隊研究國際標準技術發現，依據網路佈建型態及終端設備安裝位置，光接取網路終端設備可區分為局端延伸設備(例如 MDU/MTU/CBU..)，以及用戶終端設備(例如：ONU/ONT)，且主要規範其光介面技術標準。

基於 NGN 匯流化應用服務獲得消費者廣泛地接納的發展趨勢，消費者不需再受限於特定技術或設備，可以選擇任何一個業者提供的傳輸平台取得所想要的任何種類的應用服務，消費者透過最後一哩網路接取至應用服務傳輸平台。因此，連接消費者最一哩接取網路傳輸效能，將成為 NGN 產業發展關鍵因素之一。

根據本研究研析英國、美國、澳洲、日本、韓國及中國大陸等世界先進國家 NGN 的發展進程發現，完善寬頻基礎網路環境為各國 NGN 主要發展策略，且並透過政府主導、降低管制、獎補助、投資抵免..等措施與誘因，提升電信業者投資建設具有高傳輸品質與頻寬的光纖化接取網路取代傳統銅絞線網路，作為國家 ICT 產業的發展基石，其中以日本、韓國及中國大陸等亞洲鄰國寬頻網路政策展現積極，分別以 100Mbps 傳輸速率為目標，作為國家 NGN 寬頻網路政策的重要評估指標。

依據本研究對於 NGN 光接取網路終端設備技術規範的研究，發現 ITU、IEEE 等國際標準組織制訂其 GPON/XGPON、EPON/10G-EPON 光接取網路及終端設備技術標準，主要規範其光介面各項功能參數標準值，使用者網路介面(電介面)考量服務的延展性與電信業者網路佈建的彈性，並另未訂標準，電信業者得以依據服務特性沿用既有使用者網路介面(例如：Ethernet、WLAN..等)提供多樣化的光纖連結服務。

其中，國際標準組織 ITU 考量電信市場在開放競爭情況下，電信業者建置光纖化的接取網路時，其 OLT 與 ONU/ONT，可能由不同供應商所製造生產，為使電信業者在使用不同供應商之 OLT 與 ONU/ONT 能互通操作與確保系統效能，ITU 針對 GPON 制訂實體層符合性驗證、ONU/ONT 啟用及管理、光網路終端設備管理及控制介面 (OMCI) 驗證、系統效能測試與故障復原等檢測項目標準提供電信業者建置光接取網路 (GPON) 參考依據。

依據產官學研座談會意見分析，發現 NGN 發展政策對於推動各種產業發展是存在著其重要性的，並且依照世界各國寬頻發展的現況，各國皆認定 NGN 的發展對國家經濟的提升是一個重要的指標，以韓國為例，現階段韓國已成為寬頻普及之冠，但韓國政府並不滿足，更向上推展到 10Gbps 的階段。而韓國的經濟成長是非常明顯的上升，顯然網路的發展對國家的重要性意義非常重大。

由於以光纖為傳輸媒介的網路並不涉及射頻干擾與調和的問題，且 OLT 與 ONU/ONT 互通的議題主要發生在管理層 (OMCI)，目前實體層可能發生互通的問題，目前只有日本消費者因為可自行購買 ONT 設備安裝可能衍生互通問題。因此建議光接取網路終端設備技術規範項目應以電磁相容與電氣安全性為主。

■ 第七章 結論與建議

依據本研究發現安裝於家庭/企業內之光接取網路終端設備 (ONU/ONT)，除具有光介面連接局端設備外，亦提供至少一種以上之使用者網路介面/埠 (UNI) 連接消費者設備，例如：乙太網路 (Ethernet)、無線網路 (WLAN)、數據專線 (Leased Line)。考量世界先進國家對於光接取網路終端設備技術監理採取低度管制趨勢與促進我國光接取網路佈建速度，並兼顧我國電信法第 42 條與我國電信終端設備審驗辦法之規範。因此，本研究建議國家通訊傳播委員會，爰用電信終端設備審驗辦法管理安裝於家庭/企業內之光接取網路終端設備 (ONU/ONT)，確保設備運作與人員操作之安全性，以及頻率和諧有效共用。

為消弭未來電信業者佈建光接取網路時，局端設備 (OLT) 與用戶終端設備 (ONU/ONT) 可能由不同供應商所製造生產或是電信業者開放消費者自行購買終端設備連接網路，所可能造成互通性與網路效能等不確定因素。本研究參考國際標準組織 (ITU 及 IEEE) 被動式光接取網路終端設備技術標準、互通性測試技術規範與世界先進國家終端設備技術規範，爰擬具

『被動式光纖網路（PON）終端設備技術規範』建議草案，俾利國家通訊傳播委員會推動 NGN 寬頻接取網路技術監理參考之依據。

ABSTRACT

Key Words: Next-generation network (NGN), optical network terminal (ONT), optical access network (OAN), and technical specification.

The research report is divided into seven chapters and briefly described as follows. Chapter 1 discusses a significant issue on the technical development of the next-generation network (NGN) and technical specification of the optical network terminal (ONT), including our motivation and purpose, problem description, and the explanations of the research method and architecture.

In Chapter 2, we collect and analyze a number of NGN-related articles originated from ITU, IEEE, 3GPP, ETSI, and CableLab organizations. Among wire broadband access networks, the gigabit-capable passive optical network (GPON), 10gigabit-capable PON (XG-PON), Ethernet-PON (EPON), and 10Gbps EPON (10G-EPON) play a key role to offer the fiber to the x (FTTx) services because they are capable of providing the properties of high bandwidth and flexible deployment. The FTTx service has also been as one of technical standards in our and developed countries.

Chapter 3 provides a comprehensive analysis of the technical standards of the optical access network (OAN) proposed by the ITU-T and IEEE study groups. Because of the distinction in their access technology, the communication between different ONTs is an important topic. Next, the recommendation on how to regulate the ONTs is proposed to the National Telecommunications Commission (NCC).

In Chapter 4, we present a comprehensive comparison between various developed countries for wire broadband networks, especially in the policy of the NGN, and in the developing markets and services. Therein, our neighboring countries such as Japan, South Korea, and China are fairly aggressive to plan the NGN policy.

Chapter 5 is devoted to study the regularity of the NGN/OAN ONTs in developed countries. Based on amendment to the technical regularity of the ONUs/ONTs, it is found that only China is quoting the domestic industry standards as the national standards, while other developed nations such as America, British, Japan, South Korea, and Australia are adopting the international organization standards as the national references when telecommunication operators deploy the network.

Chapter 6 illustrates our research findings: How to regulate the NGN/OAN ONTs adopting the GPON, XG-PON, EPON, and 10G-EPON standards. Moreover, the opinions of Industry, Official, and University Experts are presented and analyzed. Finally, we conclude this project and present feasible proposals to the NCC as the recommendation for the regulation of the AON ONUs/ONTs in Chapter 7.

第1章 緒論

第1節 研究動機

以「網際網路通訊協定」(Internet Protocol, IP)為基礎匯流電信與傳播網路提供用戶單一終端設備接取語音(voice)、數據(data)及影音(video)匯流化之「次世代網路」(Next Generation Network, NGN)應用服務[1-5]，科技的進步與網際網路的興起，對消費者而言 NGN 的發展將帶來多樣化的整合服務體驗外，另一方面亦促進提升接取頻寬的需求。目前以傳統銅絞線為基礎的寬頻接取網路(xDSL、Cable)，已逐漸面臨技術發展瓶頸無法以供更快的傳輸頻寬。有鑒於此可提供 Gbps 以上傳輸速率的光接取網路(Optical Access Network, OAN)，例如「秭位元能力被動式光纖網路」(Gigabit-capable Passive Optical Network, GPON) [6-10]、「乙太被動式光纖網路」(Ethernet Passive Optical Network, EPON)[11-12]..等，逐漸成為世界先進國家部署寬頻接取網路之主要技術標準。

對於寬頻接取網路由光纖取代銅絞線的發展趨勢，關係 NGN 應用服務未來的發展。本研究將透過廣泛的文獻蒐集包括國際組織就 NGN 光纖化寬頻接取網路與終端設備技術標準、世界先進國家 NGN 發展策略與光接取網路終端設備監理規範等議題進行研析，並研議我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範建議，配合專家學者座談與深度訪談，以確保本研究能符合社會全體及產業界的期待，提供作為國家通訊傳播委員會(以下簡稱通傳會)決策之參考。

第2節 研究目的

本研究主要以國際標準組織 NGN 寬頻接取網路技術發展趨勢、世界先進國家發展現況及終端設備技術規範為目標進行以下研究：

(1) 掌握 NGN 技術發展現況與趨勢

因應數位匯流發展趨勢，掌握國際標準組織：「國際電信聯合會」(International Telecommunication Union, 以下簡稱 ITU)、「歐洲電信標準協會」(European Telecommunications Standards Institute, 以下簡稱 ETSI) [1-5]、「第三代合作夥伴計畫」(3rd Generation Partnership Project, 以下簡稱 3GPP)[13-17]、「網際網路工程任務組」(Internet Engineering Task Force, IETF)[18-22]及美國 CableLabs[23-27]對於次世代網路技術標準的相關議題，將有助於我國通訊傳播監理主管機關 NCC 掌握國際標準組織對於 NGN 光接取網路的發展規劃。

(2)瞭解世界先進國家 NGN 發展現況與進程

目前世界先進國家所推動以光纖網路為基礎的國家寬頻接取網路政策，是以寬頻服務普及化作為國家發展的重要工作之一，本研究針對世界先進國家(如歐盟、美國、澳洲、日本、南韓及中國大陸)NGN 的發展現況與進程進行研析，並與我國做比較，以符合國際發展趨勢。

(3)研擬我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範之建議

電信產業的發展除了新興技術與應用服務的研發外，健全完善的監理法規亦為不可或缺的重要環節。本研究參酌先進國家所制訂之終端設備技術監理規範，並整理分析國際標準組織 NGN 光接取網路技術標準發展趨勢與世界先進國家對於 NGN 光接取網路終端設備技術監理規範之研究成果，召開專家諮詢會議、公聽會或座談會等，並進行專家深度訪談，以研擬符合我國產業需求的 NGN 光接取網路終端設備技術規範之建議，俾使國內電信業者在採購或設備製造商在生產 NGN 光接取網路設備時有所依循，建立有效的品質標準，以加速網路部署與應用服務開發時程，落實政府推動數位匯流發展方案政策，營造我國網路寬頻化之優質生活環境。

第3節問題陳述

隨著科技進步與網際網路的興起，帶動資通訊產業與社群網路等新興服務的發展，為承載日益豐富化與多樣化服務的頻寬需求，以 IP 封包為基礎之 NGN，儼然成為世界先進國家積極部署之重點。國家通訊委員會為因應 NGN 發展趨勢，特委外進行「次世代網路終端設備規管方式及相關技術規範研究」研究案，期經由研析國際標準組織 NGN 技術標準演進、先進國家 NGN 發展現況與進程，以及光接取網路終端設備技術監理規範、提出適合我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範之建議。本研究案預期產出如下：

- 研析國際標準組織 NGN 技術標準之最新發展。
- 研析國際標準組織 NGN 光接取網路 GPON/XGPON、EPON/10G-EPON 終端設備標準規格。
- 研析世界先進國家部署現況與發展趨勢。
- 研析世界先進國家 NGN 光接取網路終端設備技術規範發展現況。
- 研究與比較我國與世界先進國家應用於光接取網路終端設備 UNI 介面差異。
- 研擬適合我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範之建議。

第4節研究方法

本研究係根據國際 NGN 寬頻接取網路技術標準、世界先進國家 NGN 發展趨勢、光接取網路終端設備技術規範及國內產業發展實際需求蒐集而提出之趨勢研究，希冀透過本研究對國際標準組織與世界先進國家的研究，研提符合我國產業需求之 NGN 光接取網路終端設備技術規範建議。為達前述目的，本研究將以下方式進行：

(1)文獻分析法

本研究團隊針對 ITU、IEEE、ETSI、IETF、3GPP 及 CableLabs 等國際標準組織所制訂 NGN 技術標準進行整理與研析，以及英國、美國、澳洲、日本、韓國及中國大陸等世界先進國家 NGN 部署現況與光接取網路終端設備技術監理規範進行整理與分析。

(2)比較分析方法

承前項蒐集、整理及分析之文獻資料，本研究團隊將以比較研究方法，進行 ITU、IEEE 等國際標準組織之 NGN 光接取網路與英國[28-31]、美國[32-33]、澳洲[34-48]、日本[49-50]、韓國[51-52]、中國大陸[53-56]等世界先進國家所頒訂之 NGN 光接取網路終端設備技術規範分類說明，並列比較其差異性。

(3)深度訪談法

依據研究議題的需求，本研究團隊將整理文獻分析法之研究結果：國際標準組織與世界先進國家 NGN 光接取網路技術規範發展趨勢。邀請國內主管機關(通傳會)及相關業界代表(包含中華電信、台灣大哥大、盟創科技、新永安有線電視及慶聯有線電視等)，舉辦座談會進行互動交流瞭解業者發展 NGN 光接取網路之實際需求與意，作為通傳會修訂 NGN 終端設備技術規範參考[57-61]。

第5節研究架構

本計畫之研究架構如圖 1-1 所示。主要分成兩個階段，期中報告階段完成 NGN 光接取網路技術發展現況與趨勢、世界先進國家 NGN 發展現況與進程研究與分析，並比較我國與世界先進國家光接取網路終端設備技術規範之差異。期末報告階段進行依據國際標準組織與世界各國發展趨勢，研擬我國 NGN 光接取網路終端設備技術規範草案建議。

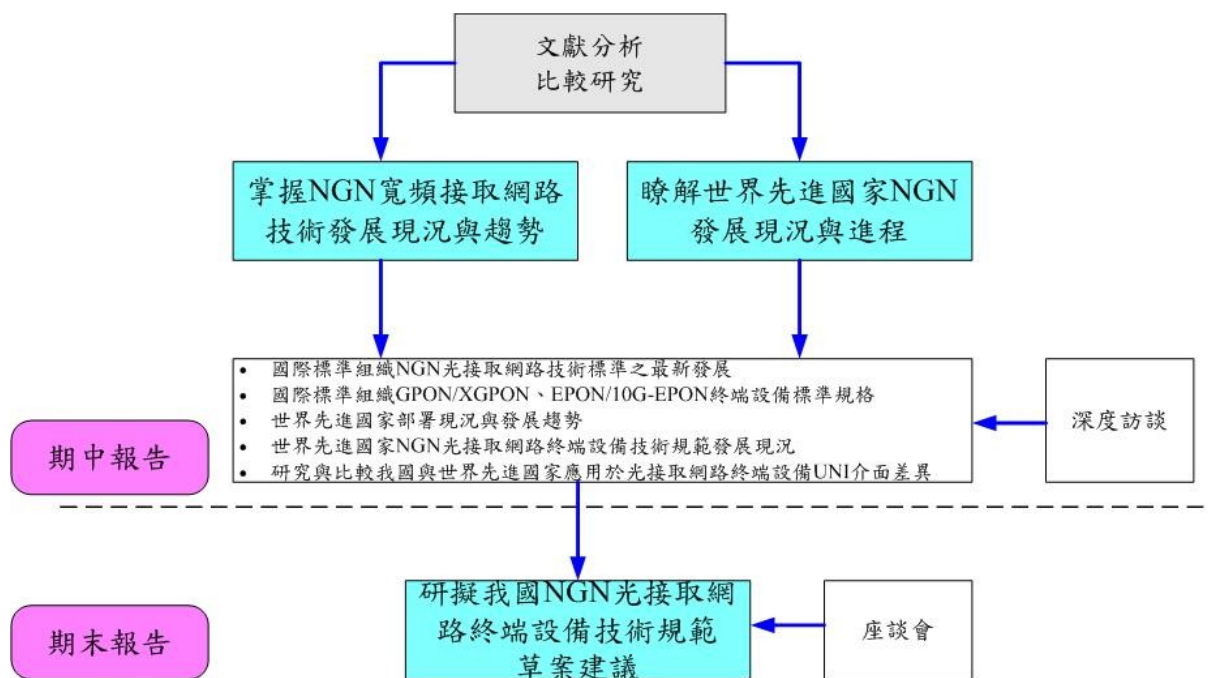


圖 1- 計畫研究架構

第2章國際組織 NGN 發展現況研析

第1節國際組織 NGN 發展現況

在有線及無線寬頻通訊技術發展日新月異與電信市場自由化創造營運商公開競爭之環境下，各類型匯流(Convergence)應用服務(例如網路電話、多媒體、雲端服務..)不斷推陳出新，促進使用者對於頻寬需求不斷增加。為確保匯流化應用服務與網路之互通性，國際電信標準組織(ITU)於2003年成立「次世代網路聯合書記小組」(Joint Rapporteur Group on NGN，簡稱JRG-NGN)，以ETSI「先進電信與網際網路整合服務與協定網路」[1-5](Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks，簡稱TISPAN)為基礎制訂NGN技術標準初期工作：需求、功能、參考模型、架構與演進。2004年成立「次世代網路工作小組」(Focus Group on NGN，簡稱FGNGN)，依據JRG-NGN工作的產出規劃各工作小組負責之技術標準範圍。2006年成立「次世代網路全球標準提議行動」(NGN-Global Standards Initiative，簡稱NGN-GSI)，承接先前規劃工作，加速NGN技術標準制訂工作，以推動NGN全球化的部署，如圖2-1所示。



圖 2- ITU NGN 技術標準發展進程

資料來源：ITU-T NGN FG Proceedings Part I，本研究團隊整理

依據ITU所定義之NGN架構功能屬性，可劃分為服務層(應用服務與服務傳送平台)、傳輸層(核心網路、接取網路)，如圖2-2所示。並以服務互通於各網路前提下制訂相關標準。目前主要參與NGN的相關標準制訂工作的組織有ITU、IEEE、ETSI、3GPP、CableLabs及IETF等標準組織。

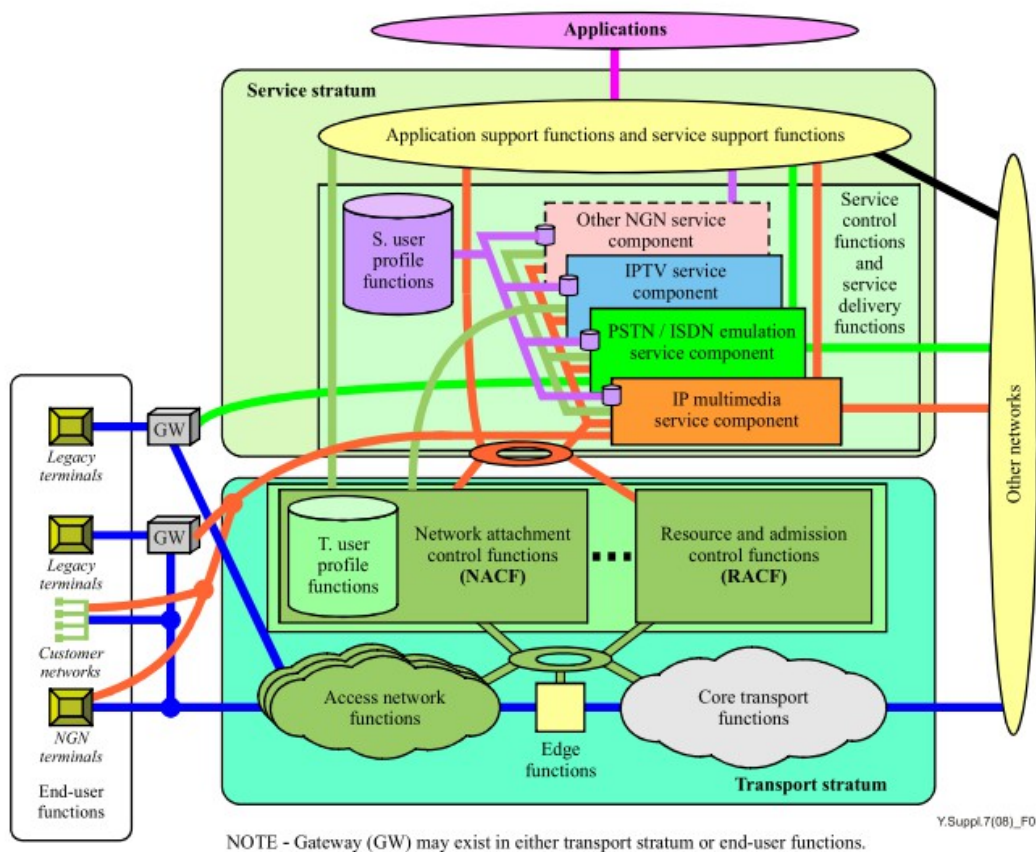


圖 2- ITU NGN 架構圖

資料來源：ITU-T Y-series Recommendations – Supplement 7：Supplement on NGN release 2 scope.(2008)

1、ETSI NGN 標準發展現況

歐洲電信標準協會(ETSI)所成立的 TISPAN 是 ETSI 研究次世代網路 (NGN) 的標準化組織，TISPAN 於 2004 年開始 NGN 全球標準的研究，目前 TISPAN 分為 8 個研究工作組和一個系統工作組，共分別為 WG1 業務工作組、WG2 體系架構工作組、WG3 協議工作組、WG4 編碼和路由工作組、WG5 家庭網路工作組、WG6 測試工作組、WG7 安全工作組、及 WG8 網路管理工作組，系統工作組則負責協調各組共同相關的問題或事宜。TISPAN 不僅是專門針對 NGN 進行標準化的標準組織，並且與行動通信產業標準組織第三代合作夥伴計畫 (3GPP) 共同合作，協調「網際網路通訊協定多媒體子系統」[13-17](IP Multimedia Subsystem, IMS)的標準制定。如圖 2-3 所示。

ITU-T, ETSI, 3GPP architectures

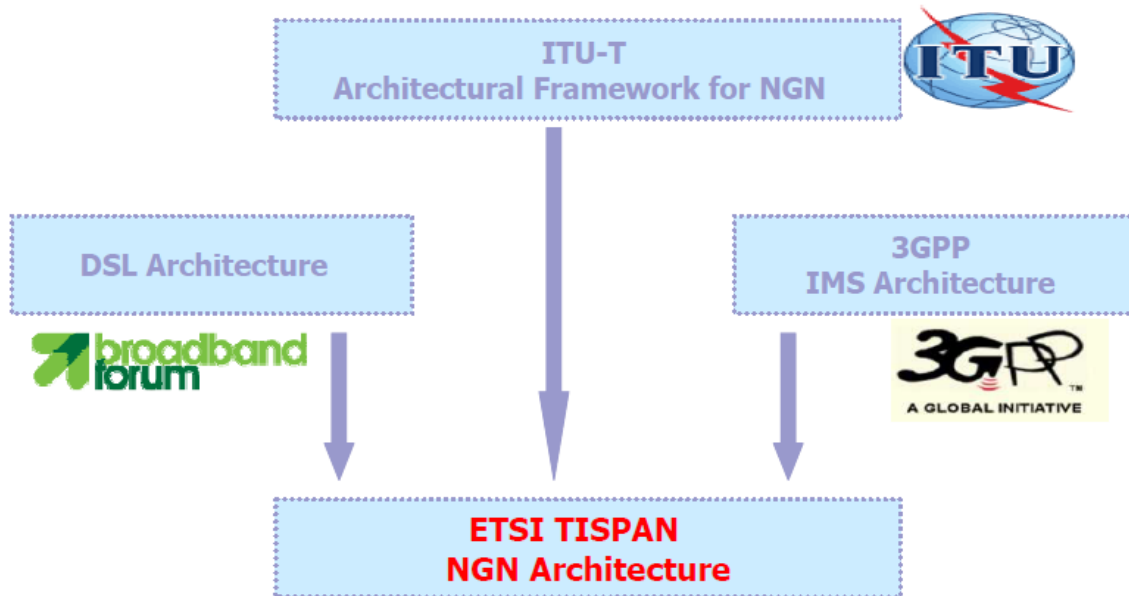


圖 2- ITU、ETSI、3GPP NGN 標準化任務分工

資料來源：ETSI TISPAN WG，本研究團隊整理

TISPAN 針對 NGN 標準化的工作係採用分階段的作業方式，目前已經制定完成 R1(2005 年完成)及 R2(2008 年完成)兩個版本的技術規範，R1 主要著重於次世代網路架構和網路電話的標準制定[1]，R2 提出次世代網路架構的進階版本及專屬「網路電視」(internet protocol television, IPTV)的網路結構[3]，2011 年完成 NGN R3 階段的研究及標準化工作，主要係提出 IMS 基礎的 IPTV 次世代網路電視的技術標準[5]，如圖 2-4 所示。



圖 2- ETSI TISPAN 技術標準發展進程

資料來源：ETSI TISPAN，本研究團隊整理

ETSI TISPAN 於 2005 年 12 月在法國 Sophia Antipolis 召開第九次 NGN 標準制定會議，並發佈 NGN R1 版本的歐盟標準。自從 2003 年 9 月第一次 NGN 會議開始，ETSI TISPAN 技術委員會陸續制定一系列有關次世代網路的技術標準，成為歐盟 ICT 產業建置次世代網路（NGN）基礎設施建設工程的技術基礎。ETSI TISPAN 在 NGN R1 的技術標準共提出 20 多項的技術規範提供次世代網路做為傳統的「公眾交換電話網路」（Public Switch Telephone Network，PSTN）和新興 IP-based 電話網路的融合服務平臺[2]。

另外在 NGN「服務品質」(Quality of Service，QoS)等級的區分上，提出更高的服務要求，NGN R1 QoS 主要負責承載網路設備的 QoS 處理能力及技術，例如佇列及差異性服務的具體實作規範。NGN 網路對 QoS 的技術要求，包括從服務資源的控制、管理、及分配方面均制定相呼應的 QoS 策略，形成端對端 QoS 的整體標準，包括策略控制(Policy Control)、資源預留(Resource Reservation)、接取控制(Access Control)、「網路位址轉換」(Network Address Translation，NAT)和防火牆的通透性功能控制等。

(1)ETSI TISPAN NGN R1 成果概述

TISPAN 在 NGN R1 階段所完成的主要成果歸納如下：

1. 提出 NGN 總體架構，規範「網路連接子系統」(Network Attachment Subsystem，NASS)、「資源及接取控制子系統」(Resource and Access Control Subsystem，RACS)、模擬 PSTN/「整體服務數位網路」(Integrated Services Digital Network，ISDN)、及 IMS 等次世代網路架構的重要子系統及功能實體(Functional Entities)構造[4]，如圖 2-5 所示。

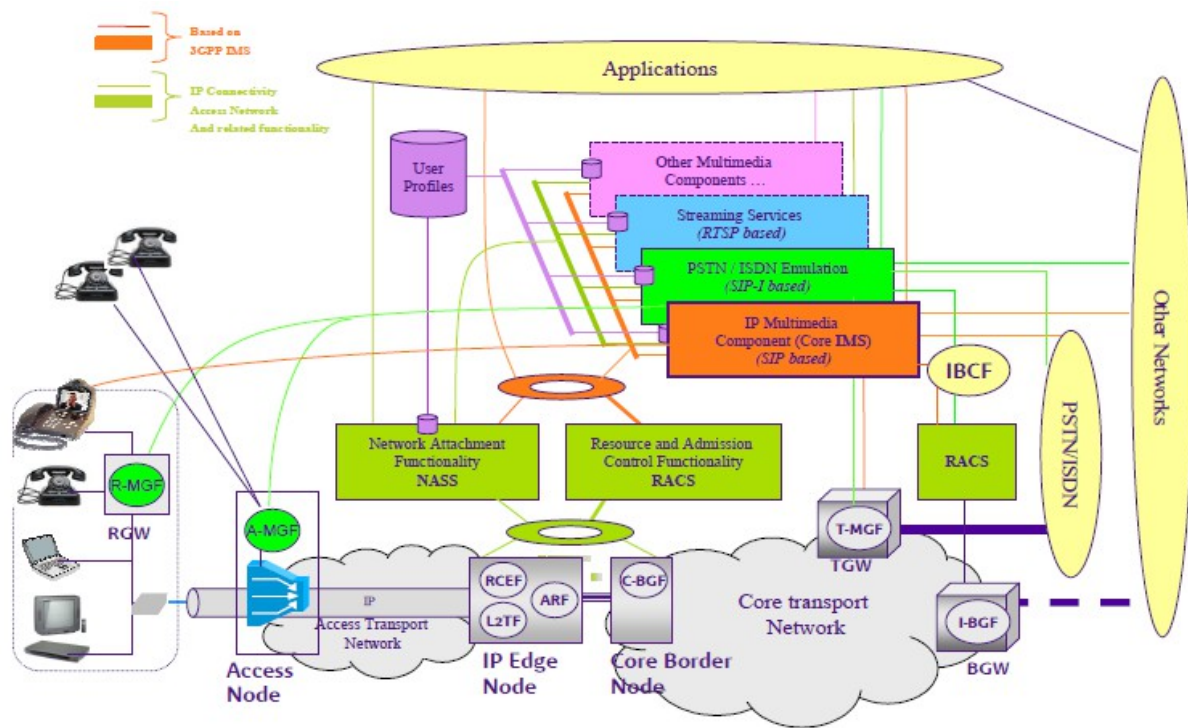


圖 2- ETSI NGN 標準架構示意圖

資料來源：ETSI TISPAN WG，本研究團隊整理

2. 規範 NASS 子系統、RACS 子系統、及 IP-based 的 PSTN/ISDN 模擬子系統的功能標準，包括這些子系統所涉及的功能實體，各功能實體之間的關係，以及不同子系統之間的互動操作的詳細規範。R1 對 NGN 子系統的接取方式主要以「非對稱數位用戶迴路」(asymmetric digital subscriber line, ADSL)的接取為主。對於 IMS 子系統則直接採用 3GPP Release 7 的技術標準，並同時導入「互連邊界控制功能」(Interconnection Border Control Function, IBCF)、「互連邊界閘道功能」(Interconnection Border Gateway Function, IBGF)、「媒體閘道功能」(Media Gateway Function, MGF)等功能實體。
3. 規範各子系統之間的介面協定，包括「應用功能」(Application Function, AF)和 RACS 之間的介面、使用者設備(UE)和「接取轉傳功能」(Access Relay Function, ARF)、「接取管理功能」(Access Management Function, AMF)之間的介面、NASS 和業務控制子系統之間的介面、NASS 和 RACS 之間的介面、「用戶接取授權功能」(User Access Authorization Function, UAAF)和 UAAF 之間的介面、「服務策略決策功能」(Service Policy Decision Function, SPDF)和「邊界閘道功能」(Border Gateway Function, BGF)之間的介面、SPDF 和「接取資源

和管理控制功能」(Access-Resource and Admission Control Function, A-RACF)之間的介面、「媒體資源功能控制器」(Media Resource Function Controller, MRFC)和「媒體資源功能處理器」(Media Resource Function Processor, MRFP)之間的介面、及「媒體閘道控制功能」(Media Gateway Control Function, MGCF)和「中繼閘道器」(Trunking Gateway, TGW)之間的介面等。

4. 規範支援的多媒體服務，主要針對公眾交換機服務(PSTN/ISDN 模擬)業務，在 2005 年底完成和發佈的服務要求包括有「發話者號碼顯示」(Originating Identification Presentation, OIP)、「發話者號碼不顯示」(Originating Identification Restriction, OIR)、「受話者號碼顯示」(Terminating Identification Presentation, TIP)、「受話者號碼不顯示」(Terminating Identification Restriction, TIR)、「匿名者通信抑制」(Anonymous Communication Rejection, ACR)「訊息等待指示」(Message Waiting Indication, MWI)「惡意通信識別碼」(Malicious Communication Identification, MCID)「通話轉移」(Communication Diversion, CDIV)「會議通話」(Conference)及「明確呼叫轉傳」(Explicit Communication Transfer, ECT)等服務功能的實作規範。
5. 在編碼和路由方面，則產出 W14005 NNA(Numbering, Naming, Addressing)and Identification in NGNs，提出關於「電話號碼映射」(tElephone NUmber Mapping, ENUM)的技術要求，交付 IETF 負責制定。
6. 在服務品質方面，針對語音(voice)、視訊(video)、數據資料(data)和「封包資料通訊協定」(Packet Data Protocol, PDP)內容的 QoS 提出技術規範，及包括 QoS 的分類、QoS 的架構和 QoS 的指令要求等。
7. 完成制定測試範例，並進行相關的測試，驗證 NGN 相關功能的可行性，例如「會談起始協定」(Session Initiation Protocol, SIP)和「ISDN 用戶端」(ISDN User Part, ISUP)的互通服務測試。

8. 規範「維運支援系統」(Operations Support System, OSS)的需求和 OSS 的網路管理架構。

(2)3GPP 和 ETSI TISPAN 的 NGN 合作進展

在整體 NGN 標準化的進程上，TISPAN 和 3GPP 彼此的合作關係密切，在 ETSI 的統籌規劃下 TISPAN 和 3GPP 兩個標準化組織之間有明確的責任分工。例如在核心網路(core network)方面，TISPAN 主要參考 3GPP Release 6 的規範基礎擴展固定通信網路的特性，為了融合固定和行動網路的接取技術，TISPAN 及 3GPP 皆使用 IMS 做為應用服務的共通平臺，而 IMS 的核心規範係由 3GPP 負責制定及維護的工作。如果當 TISPAN 需要對核心 IMS 進行網路服務功能的擴展或增修時，TISPAN 則須向 3GPP 提出修訂請求。另一方面在 3GPP 在制定 Release 7 的技術規範時，則大量採用 TISPAN NGN 的研究成果以及所提出的技術規範[13]。在網路安全方面，係由 TISPAN 制定安全架構，3GPP 負責規範具體的實作功能

(3)TISPAN NGN R2 概述

ETSI TISPAN 於 2005 年完成 NGN R1 的技術標準，主要著重網路和 IP 電話。為了滿足次世代多媒體服務的需求，TISPAN 在 2008 年 6 月發布 NGN R2 的版本。NGN R2 提出兩種 IPTV 的網路架構，主要的差別在於如何使 IMS 的功能元件，分別為專用型 IPTV(Dedicated IPTV)路及以 IMS 系統為基礎的 IPTV (IMS-Based IPTV)。

1. 專用型 IPTV

TISPAN R2 的專用型 IPTV 主要提供許多現有的 IPTV 系統和主要的「數位視訊廣播－網際網路協定」(Digital Video Broadcasting - internet protocol, DVB-IP)服務，如圖 2-6 所示。

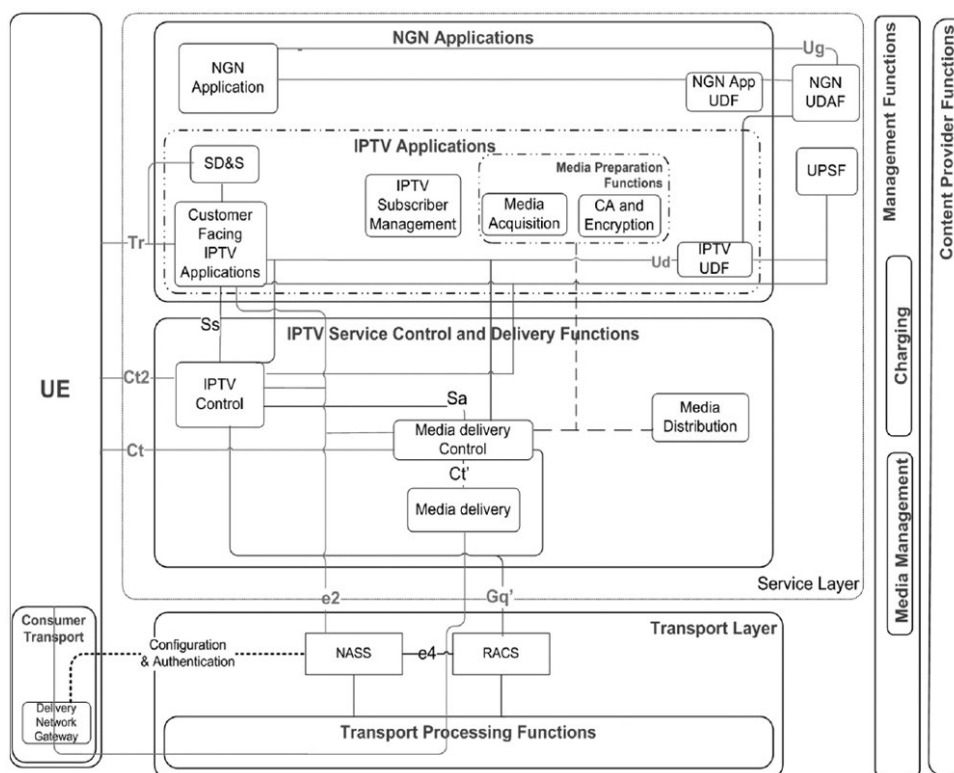


圖 2- TISPAN R2 專用型 IPTV 架構圖

資料來源：ETSI TISPAN WG，本研究團隊整理

專用型 IPTV 的技術標準直接採用許多 IETF 的通訊協定，例如「超連結傳輸協定」(Hyper Text Transfer Protocol, HTTP)、「即時資料流通訊協定」(Real Time Streaming Protocol, RTSP)和「網際網路群組管理通訊協定」(Internet Group Management Protocol, IGMP)等。專用型 IPTV 利用 NGN 的元件來儲存用戶個人資料，控制網路特性與網路連接子系統(NASS)，和資源及接入控制子系統(RACS)之服務品質及收費機制。Dedicated IPTV 提供三種類型的 IPTV 服務，包括廣播服務、隨選內容服務、「網路個人錄影機」(Network Personal Video Recorder, NPVR) 服務。專用型 IPTV 制定「數位視訊廣播－網際網路協定基礎建設」(Digital Video Broadcasting - internet protocol infrastructure, DVB-IPI) 1.3 技術規範以做為 IPTV 的終端裝置和網路之間的控制介面，並且使用 HTTP 和 RTSP 協定提供會談層(Session Layer)之控制機制，及採用網際網路組群管理協定(IGMP)提供群播服務，頻寬保留機制則遵循 RACS 的設計以提供頻寬管理的功能。

2. IMS-based IPTV

IMS-Based IPTV 的網路架構則完全依據 3GPP 所制定的 IMS 技術標準，使用 IMS 核心網路的功能及會談起始協定(SIP) 做為網路通信協定並管理應用服務的提供、執行及計費等功能。因此完全承繼 3GPP IMS 的特點及應用服務，

包含認證、網路漫遊和 NGN 元件之各項標準介面，例如 UAAF、NASS、RACS 及收費機制。IMS-Based IPTV 可同時支援三種類型的 IPTV 服務，例如廣播服務、隨選內容服務、和網路個人錄影機服務等。IMS-Based IPTV 的網路架構如圖 2-7 所示[3]。

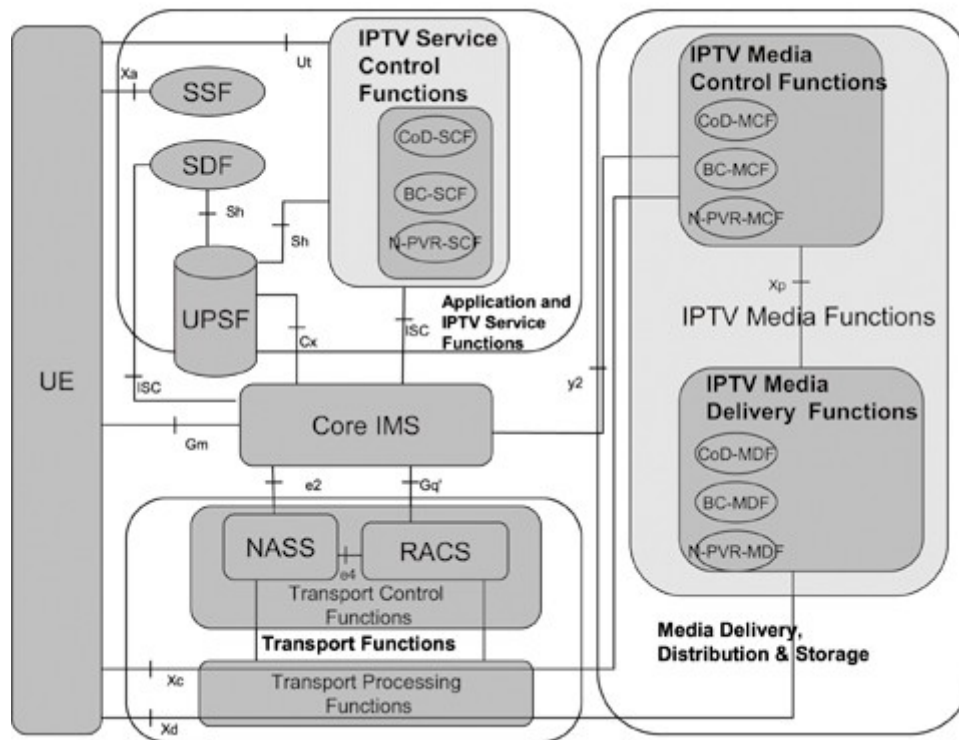


圖 2- TISPAN R2 IMS-based IPTV 架構圖

資料來源：ETSI TISPAN WG，本研究團隊整理

IMS-Based IPTV 提供隨選內容服務時，係採用 IMS 系統建立使用者的服務會談，並透過 SIP 的媒體控制機制提供多媒體傳輸功能所需的服務頻寬，IMS-Based IPTV 可使用直接即時串流通訊協定連接媒體服務器以控制媒體的播放功能。IMS-Based IPTV 的廣播服務具有兩個特點，一為須預留服務的頻寬，另一個特點則是須取得廣播頻道的存取權限。

IPTV 終端裝置的啟動程序必須首先執行 IMS 的註冊程序，其次是服務發現(Service Discovery)的程序。服務發現程序包括兩種不同的形式，一種是使用 SIP 取得發現資料(Discovery Data)，或是使用 HTTP 取得廣播服務的電子節目表單等資料。

2、3GPP NGN 標準發展現況

綜上所述，在整體 NGN 標準化的進程中，TISPAN 和 3GPP 彼此的合作關係密切，在 ETSI 的統籌規劃下 TISPAN 和 3GPP 兩個標準化組織之間有明確

的責任分工。3GPP 負責制定 IMS 的核心規範，做為融合固定和行動網路接取應用的共通平臺。3GPP 於 2007 年完成 Release 7 的技術標準，R7 版本涵蓋完整的 IMS 核心規範及網路架構。IMS 不僅適用於行動網路，也能支援固網的接取應用[14]。

ETSI 和「電信工業解決方案聯盟」(Alliance for Telecommunications Industry Solutions, ATIS)等國際標準組織也採用 IMS 作為固網演進的參考架構，IMS 也同時結合 IETF 在 SIP 及「網際網路通訊協定第 6 版」(Internet Protocol version 6, IPv6) 協定上的支援，使得 IMS 具備行動網路和固定網路兩者整合的次世代網路技術，提供支援多種協定及接取功能的多媒體應用服務，包括傳統的電信應用服務和非電信應用服務，例如網路電話、「即時訊息」(Instant Messaging, IM)、IPTV、「多媒體服務」(Multimedia Messaging Service, MMS)等。更重要的是，在單一個通信會談中，IMS 提供用戶能同時開啟使用多種媒體服務的應用情景。

3GPP IMS 的網路架構主要包含 IMS 核心元件 (Core IMS) 和「本籍網路用戶伺服器」(Home Subscriber Server, HSS)用戶資料處理及儲存功能元件。3GPP R7 所定義的 IMS 網路架構，如圖 2-8 所示。

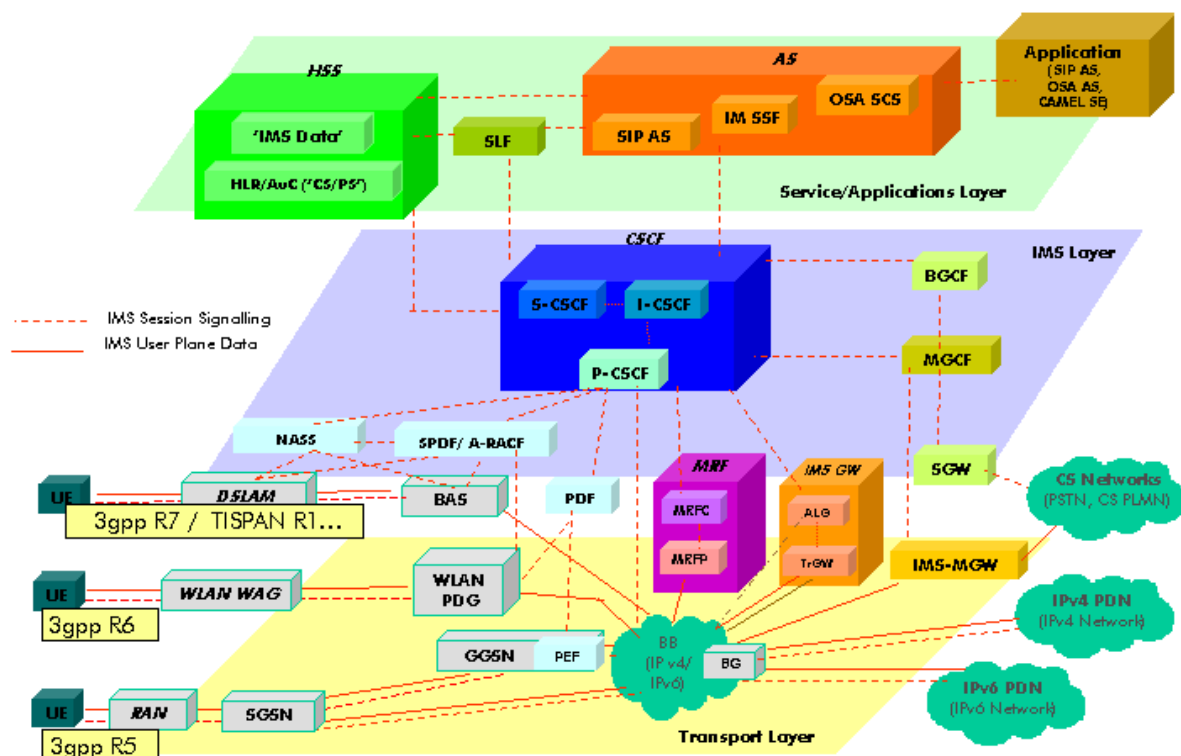


圖 2- 3GPP IMS 網路架構圖

(1)IMS 網路架構概述

IMS 系統是由不同的功能元件所組成，各個功能元件之間由標準的通信介面進行互連，組成完整的 IMS 網路。IMS 的功能元件並非僅由一個網路節點或實體設施所組成，依據軟交換的技術概念，IMS 按照用戶服務需求的容量、考慮負載平衡和資源管理等因素，可將多個功能元件組建在一個網路節點，亦允許一個功能元件的服務實作在多個網路節點上[17]，以下簡述 IMS 網路架構所列的各個元件功能。

1. 「呼叫會談控制功能」 (Call Session Control Function, CSCF)

CSCF 是用戶的多媒體服務會話的路由控制中心，以及服務策略(service policy)的管理及執行元件，可同時提供多個以上使用 SIP 的應用服務，SIP 服務係以 IP 傳輸為主的 real-time 應用服務，例如網路電話、即時訊息 (IM)、網路視訊(video streaming)等。CSCF 提供用戶各種不同應用服務的需求，並且使用通信會談(session)資訊提供動態管理及網路資源分配，例如執行不同應用服務的伺服器(servers)、媒體閘道(media gateways)，及網路設備，並且依照應用服務的優先順序及使用者的服務需求，提供或預留所需的網路資源。依照使用功能的不同，CSCF 可分成三種類型，如圖 2-9 所示。

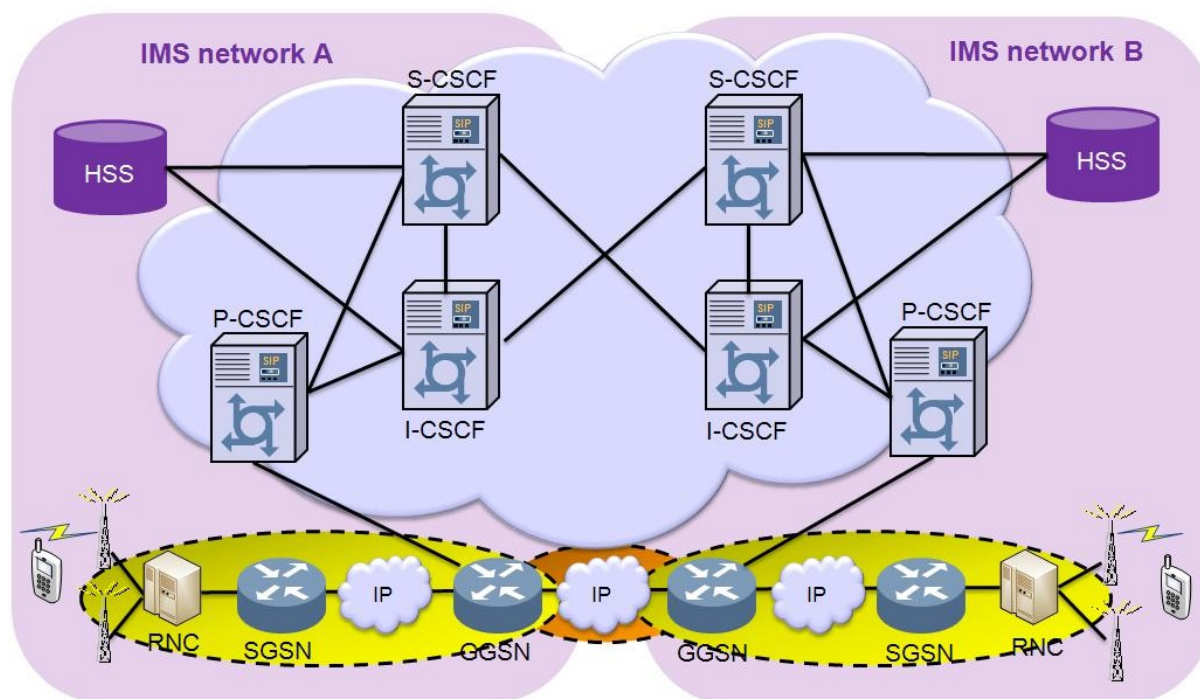


圖 2- IMS- CSCF 網路運作關聯圖

(1) 「代理-呼叫會談控制功能」 (Proxy-Call Session Control Function, P-CSCF)

P-CSCF 是用戶終端與 IMS 系統的通信接取入口，主要功能是扮演接收及轉送用戶終端發出 SIP 請求訊息的代理伺服器(Proxy Server)，此外也包含一個「策略控制功能」(Policy Control Function, PCF)主要是用來決定應如何藉由底層通道來傳遞資料，P-CSCF 也負責轉送註冊訊息或其他 SIP 訊息於用戶終端和網路之間，在轉送過程中，也會視需要修改 SIP 訊息。其他功能還包括維護安全性資料、偵測緊急呼叫以及產生通話明細資料。

P-CSCF 係用戶啟用 IMS 服務的起始點，同時扮演一個 SIP 的代理者角色。所有發起於 IMS 終端和終止於 IMS 終端的會話消息都要通過 P-CSCF。P-CSCF 作為一個 SIP 代理器(Proxy)，負責與接取網路相關的用戶認證與 IPsec 的安全管理，防制網路攻擊與安全保護，進行 SIP 信號的壓縮與解壓以節省無線網路資源，執行用戶的漫遊控制，協同「策略決策功能」(Policy Decision Function, PDF)進行 NAT 與 QoS 等功能。P-CSCF 可以設置在公眾網路(Public Network)內也可以設置在 IMS 的本籍網路(Home Network)中。P-CSCF 的核心功能是「會談邊界控制器」(Session Border Controller, SBC)的元件，SBC 控制用戶與 IMS 核心網路之間的通信介面，當用戶漫遊至公眾網路時，使用位於漫遊網路(Visiting Network)的 P-CSCF，漫遊網的 P-CSCF 接收到用戶的服務啓始需求(Service Request)，選擇由本身的 IMS 提供用戶所需的服務或是依據通訊路由將用戶的 Service Request 轉送回用戶本籍網路的「服務-呼叫會談控制功能」(Serving-CSCF, S-CSCF)進行處理。

(2) 服務-呼叫會談控制功能(S-CSCF)

S-CSCF 主要是提供使用者會談控制服務，負責維護通訊狀態給已註冊的使用者，管理所有進行中的會談，並且執行相關功能，如註冊管理、SIP 通訊控制管理及轉送 SIP 訊息、扮演 SIP 代理伺服器(Proxy Server)的功能以及其他「通話明細紀錄」(Call Detail Record, CDR)和服務相關之事件通知，另外 S-CSCF 也負責和其他應用伺服器之間溝通的介面。

S-CSCF 接受來自漫遊網路通過 P-CSCF 轉發來的註冊請求，與 HSS 配合進行用戶認證。並從 HSS 處下載用戶的個別服務資料。S-CSCF 對於用戶主叫(Originating)及被叫(Terminating)會談進行路由管理。根據用戶的「初始過濾規則」(Initial Filter Criteria, IFC)，在提供用戶 IMS 服務之前，S-CSCF 依據註冊用戶的資料確認用戶的使用資格及權限，之後提供通訊連結至用戶本籍網路的「應用服務伺服器」(Application Server, AS)處理來自用戶的多媒體服務需求。S-CSCF 係位於用戶的本籍網路，從信號傳遞及服務提供的角度分析，S-CSCF 是 IMS 子系統的信號及負載的交換核心，負責處理用戶啓始的 SIP 服務

需求及服務會談的控制。S-CSCF 使用專屬的通信介面向 IMS 網路的 HSS 進行查詢，可從 HSS 下載用戶的服務配置(Service Profile)並且上傳註冊用戶與 S-CSCF 有關的及時資訊。

(3) 「查詢-呼叫會談控制功能」 (Interrogating-CSCF, I-CSCF)

核心網路內各不同伺服器之間，或是不同業者網路之間伺服器的連接，都是靠 I-CSCF 來完成，I-CSCF 扮演居中連絡協調的角色。當用戶終端的 SIP 訊息被 P-CSCF 收到後，會先經由 I-CSCF 選擇一個適合的 S-CSCF 去處理 SIP 訊息。而且 I-CSCF 是進入 IMS 核心網路的入口，基於網路安全的考量，來自網外的服務請求透過 I-CSCF 的處理後，即轉換成本籍網路的 IP 以及路由，以保護 IMS 核心網路不受到外界的窺探。

在註冊的過程中，I-CSCF 通過查詢 HSS，為用戶選擇適合的 S-CSCF。I-CSCF 向 HSS 查詢那一個 S-CSCF 較適合處理用戶端的特殊需求，藉由查詢 HSS 資料庫的動作，IMS 系統能知道有那些 S-CSCF 正處於忙碌的狀態中，進而選擇由較不忙碌且頻寬條件較佳的 S-CSCF 提供用戶服務。在服務呼叫的過程中，進入 IMS 網路的呼叫首先被路由到 I-CSCF，由 I-CSCF 從 HSS 獲取用戶所註冊的 S-CSCF 位址，即可將資訊再路由到用戶所在的 S-CSCF。另外，亦可藉由 P-CSCF 詢問 I-CSCF，以得知用戶所在的 S-CSCF。

2. 本籍網路用戶伺服器(HSS)

HSS 經常與電信營運業者的「本籍位置記錄器」 (Home Location Register, HLR)資料庫介接，或與 HLR 和認證中心(AuC)共同組成用戶資料庫，以便可以取得及維護用戶相關的服務資訊。不論 IMS 的用戶係來自於固網或是行動網路，HSS 主要的功能即是儲存、更新及維護用戶的服務資訊，並透過查詢的通訊介面，提供 CSCF 所欲查詢的用戶資料，以提供服務所須的相關訊息。

除了 CSCF 與 HSS 外，IMS 還有其他重要的功能元件，包括：

3. 「出口閘道控制功能」 (Breakout Gateway Control Function, BGCF)

BGCF 處理來自 S-CSCF 的路由請求。BGCF 具有傳統 E.164 電話號碼的路由功能，用來選擇與 PSTN 網路的介面點。當 BGCF 發現被叫網路位於一個 PSTN 網路時，BGCF 就選擇一個媒體閘道控制功能(MGCF)，將會談路由到 MGCF。MGCF 扮演 IMS 與外部網路的分界點，當有與 PSTN 的通話產生時，負責選擇 IMS 到 PSTN 之間信號傳送的出口位置。

4. 媒體閘道控制功能(MGCF)

提供 IMS 與 PSTN 或是「公眾地面行動網路」(public land mobile network, PLMN)網路中有關「電路交換」(Circuit Switching, CS)信號的網路連結，例如執行 SIP 與 ISUP 之間的通信協定轉換。

5. 「媒體閘道」 (Media Gateway, MGW)

MGW 提供 IMS 與 PSTN 或 PLMN 網路之間的用戶資料層(user-plane)連結，MGW 作為閘道器負責在傳統網路與封包網路之間轉換語音訊號與控制信號，及轉換所撥電話號碼及 IP 地址。控制信號包括 on-hook、 off-hook、 dial-tone、 dialed-digits、 busy-tone、 及 ring-back-tone 等。

6. 策略決策功能(PDF)

PDF 可以作為獨立的功能元件或與 CSCF 的功能整合，PDF 負責管理 IMS 網路的 IP flows 資源，例如 QoS、策略控制、及頻寬管理等。

7. 「媒體資源功能」 (Media Resource Function, MRF)

MRF 包括媒體資源功能處理器 (MRFP) 及媒體資源功能控制器(MRFC)兩個元件。MRFC 藉由 H.248 介面控制 MRFP，MRFP 則是實際執行媒體資源的處理，例如處理來自多個用戶媒體串流的資源需求。

8. 應用伺服器(AS)

IMS AS 負責提供服務，AS 與 S-CSCF 之間使用 SIP 進行服務的通訊。基於具體的服務不同，AS 可以選擇不同的 SIP 模式，例如 SIP 代理模式、SIP 用戶代理 (UA - User agent) 模式和 SIP 端點對端點用戶代理(B2BUA)模式等。AS 可以設置在 IMS 本籍網路內或設置在外部的第三者網路，當 AS 位於本籍網路時，可以使用 Sh 或 Si 介面查詢 HSS 有關用戶的服務訊息。

9. 「註冊定位功能」 (Subscription Locator Function, SLF)

SLF 的主要功能負責用戶在註冊和會談建立期間，接受 I-CSCF 查詢，SLF 即向 I-CSCF 提供儲存用戶服務資料的 HSS 的地址。SLF 透過 Dx 通訊介面與 IMS 的 CSCF 交接。在只有單一個 HSS 的環境中，則不需要設置 SLF。然而在多個 HSS 元件的大型網路中，利用 SLF 可以具體地查詢註冊用戶服務資料所在正確的 HSS。

(2) 3GPP IMS 的應用發展趨勢

使用 IMS 作為次世代通信網路的核心架構已經成為趨勢，目前許多標準組織在制定 NGN 架構規範時，都確定以 IMS 為基礎。例如 ITU-T 的 FGNGN 和 ETSI 的 TISPAN 及 3GPP IMS 等，都陸續開始進行關於 IMS 在控制與信號 (control and signaling)、網路安全、網路服務品質 (QoS) 和行動管理能力等相關研究及標準制定作業。以 ETSI TISPAN 為例，ETSI TISPAN 提出的 NGN 架構中完全採用 IMS 的網路架構作為其核心網路子系統，並且盡可能符合 3GPP R7 的相關規範，並要求支援更多的接取方式，包括「各類型數位用戶迴路」(x Digital Subscriber Lines, xDSL)、「無線區域網路」(wireless local area network, WLAN)、「區域網路」(local area network, LAN) 及「都會區域網路」(Metropolitan Area Network, MAN) 等有線及無線的接取網路。

為了達到整合各個不同有線及無線的通信網路，使得用戶從行動網路到無線或有線網路時，必須要能偵測到並且通知 IMS 的核心網路，包含 P-CSCF、S-CSCF、I-CSCF 等元件，進行相關的處理並藉由 IMS 提供通話延續性的相關服務，以保持通話的品質。而且除了語音的通訊服務外，也必須同時支援其他的數據增值服務，及必須整合現有公眾網路 (PSTN) 裡所提供的各種語音或附加服務 (supplementary services)。

除此之外，完善的 IMS 系統亦須考量整個架構的延伸性 (Scalability)，一旦網路的規模擴大，IMS 的 CSCF 核心應發展成為具備智慧型的分散式伺服器功能的運作模式，並提供無縫式的通話交遞及具備自適調控的 QoS 管理機制。目前上述許多技術或相關標準都已納入在 3GPP 的標準制定計畫中，預計在 3GPP R10 以後的版本將更加的具體完備 [16]。

3、IETF NGN 標準發展現況

網際網路工程任務組 (IETF) 係負責網際網路技術標準的開發和推動的標準化組織。IETF 的運作由「網際網路架構委員會」(Internet Architecture Board, IAB) 所監督，而 IAB 則須向「網際網路協會」(Internet Society, ISOC) 負責並定期提出報告。IETF 針對 NGN 標準的主要工作是負責制訂次世代 IPv6 的標準化作業。IPv6 是被全球 ICT 產業指定為 IPv4 演進技術的次世代網際網路通訊協定技術標準。

由於網際網路的應用持續呈現高度成長的趨勢。目前用於封包交換網際網路的網路層協議 IPv4 的位址空間預估會快速耗竭而不敷使用。因此，IETF 在 1998 年 12 月提出 IPv6 的網際網路技術規範 RFC 2460 的技術標準。IPv6 具有比 IPv4 更多的位址空間，因為 IPv6 使用 128 位元的位址，而 IPv4 只使用 32 位元。因此，新增的位址空間提供支援位址擴充的功能、靈活的位址分配、路由

轉發，及消除 NAT 所需的資源消耗等。當 IPv6 尚未提供服務時，NAT 是目前減緩 IPv4 位址耗盡最有效的方式，但是 IPv4 終將有資源耗盡的一天。

(1)IPv6 發展現況

促進 IPv6 需求的主要原因是源自網路空間位址的匱乏。從 1990 年代開始，IETF 即開始規劃 IPv4 的下一代演進協定，IETF 除了需要解決即將遇到的 IP 位址短缺的問題之外，同時還要開展更多的服務擴充功能。為此，IETF 成立次世代網際網路協定第 6 版工作組(IP Version 6 Working Group)[18]，並於 1994 年在多倫多舉辦的 IETF 大會，正式提出 IPv6 的研究發展規劃，IPv6 WG 並於 1998 年 8 月向 IETF 提出 IPv6 的技術標準草案。IPv6 技術標準提供建立未來網際網路擴充的技術基礎，並逐步取代 IPv4 的基礎設施，預計在 2025 年以前 IPv4 仍會被支援並與採用 IPv6 的 NGN 基礎設施共存及互連，以便給 ICT 產業留下足夠的時間從 IPv4 演進至 IPv6。有關 IPv6 的推展期程如圖 2-10 所示。

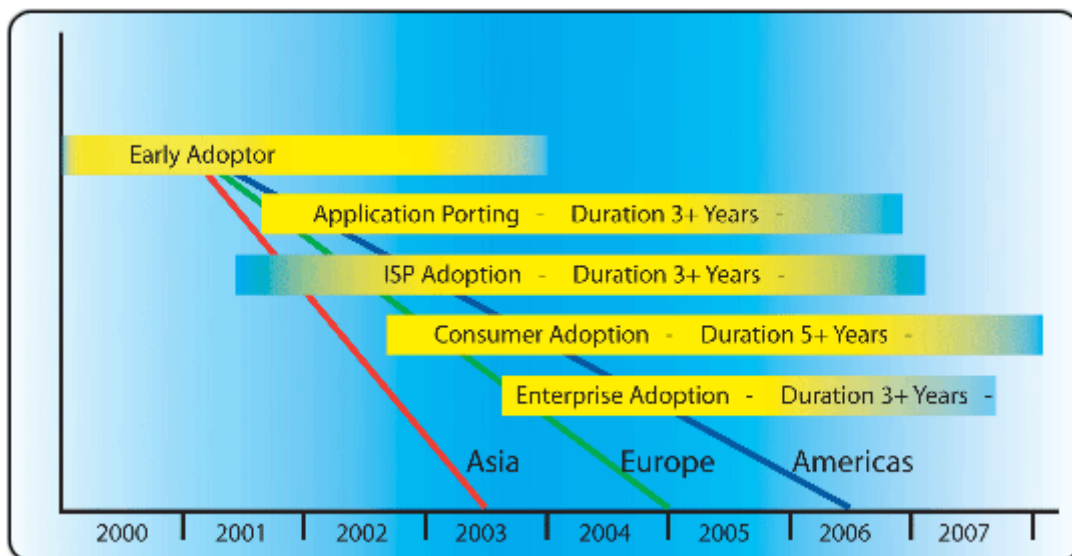


圖 2- IETF IPv6 標準發展期程

資料來源：IETF IPv6 WG，本研究團隊整理

(2)IPv6 標準概述

1. IPv6 封包編址

從 IPv4 演進到 IPv6 最顯著的變化即是擴充網路通訊協定位址的長度，包括 RFC 2373 和 RFC 2374 兩份技術文件所定義的 128 位元長度的 IPv6 位址，其具體的表達形式一般採用 32 個十六進制的位元數。IPv6 可編碼的位址總數共有 2^{128} 個約略等同 3.4×10^{38} 個位址數。或以十六進制表示的 16^{32} 個。在實作方面，

IPv6 位址包含兩個邏輯部份，組成一個 64 位元的網路字首和一個 64 位元的主機位址封包，主機位址通常根據實體位址自動生成，稱為 EUI-64。

2. IPv6 位址的分類

IPv6 位址可區分為三種類別：單播（unicast）位址、任播（anycast）位址，及多播（multicast）位址。

■ 單播位址

標示單一個網路通訊介面的位址，把送往該位址的封包投送給至其網路通訊介面。IPv6 的單播位址可以代表特殊位址名字的範疇，例如 link-local 位址和「唯一區域位址」（unique local address，ULA）。單播位址亦包括可類聚的全球單播位址、及鏈路本地位址等類型。

■ 任播位址

任播位址亦稱為泛播位址，任播位址用於指定一群屬於不同節點的網路通訊介面。當封包被傳送予一個任播位址時，則會被傳送到任播群體成員中的其中之一個代表成員，通常會根據先前所預設的路由協定，選擇傳送予最接近發送端的成員接收。任播位址擁有與單播位址一樣的封包結構，而在路由協定中可設定多個節點於通訊網路。

■ 多播位址

多播位址亦稱為組播位址。多播位址係指定到一群不同節點的網路通訊介面，傳送到多播位址的封包會被傳送到所有的位址。多播位址的位元組起始為 FF00::/8。多播位址封包的第二個位元組之最後四個位元用以標明位址名字的範疇。一般有 node-local(0x1)、link-local(0x2)、site-local(0x5)、organization-local(0x8)和 global(0xE) 等。多播位址中的最低 112 位元會組成多播群組識別碼，不過因為傳統方法是從 MAC 位址產生，故只有使用群組識別碼中的最低 32 位元。另一種多播群組的位址為 solicited-node 的多播位址，是由前置 FF02::1:FF00:0/104 和剩餘的群組識別碼所組成。這些位址允許經由「鄰網區域發現協定」(Neighbor Discovery Protocol, NDP)進行連結層位址的解譯，而不致對區域網路內的所有節點造成影響。

3. IPv6 封包的架構說明

IPv6 封包包括兩個主要部分：封包標籤和封包負載。封包標籤是前 40 位元組並包含來源和傳送目的位元址、通訊協定的版本資訊、通訊類別（共 8 位元長度）的優先排序、QoS 服務品質的控制流標記（共 20 位元長度）、負載長度（共 16 位元長度）、可用於回溯相容性的下一個封包頭部資訊，和 8 位元長度

的生存時間標記。封包負載至少有 1,280 位元組的長度，或者在可調變的最大傳輸單元設定為 1,500 位元組。封包負載在標準模式下最大可擴充為 65,535 位元組，可在封包標籤的擴充功能設定超長負載(jumbo payload)的選項。有關 IPv6 封包結構如圖 2-11 所示。

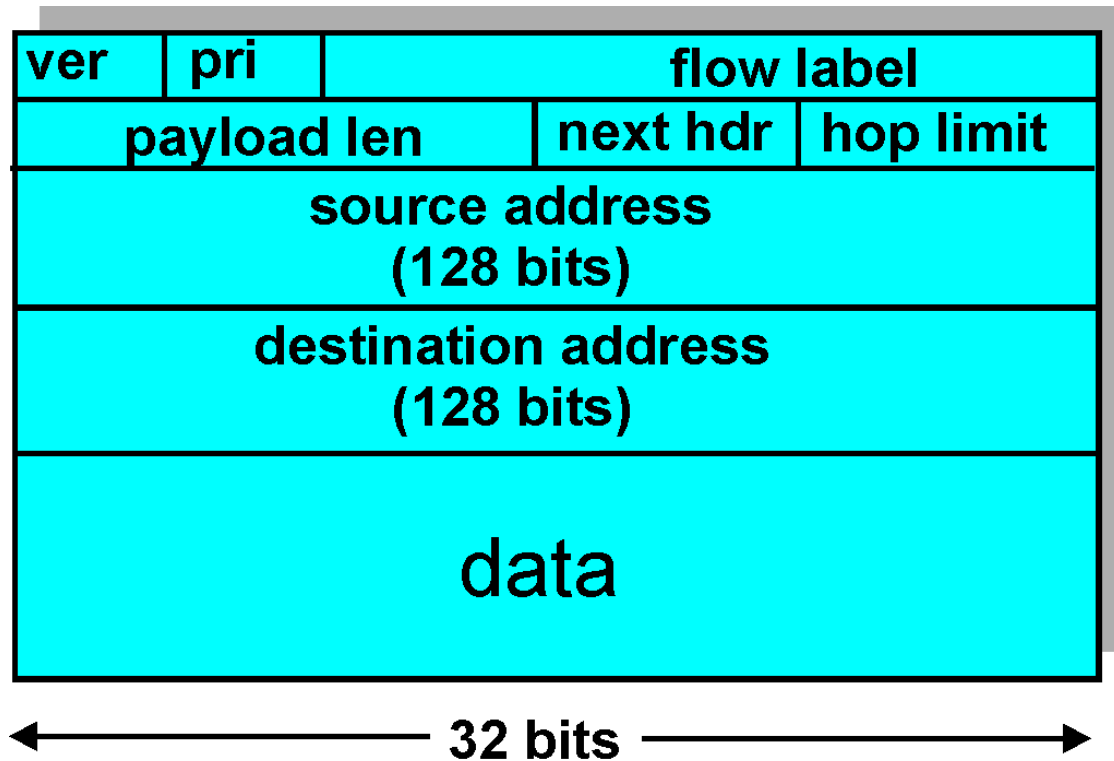


圖 2- IPv6 封包格式

資料來源：IETF IPv6 WG，本研究團隊整理

(3)ICANN 及 IPv6 的部署與應用

「網際網路名稱與號碼指配組織」(The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, ICANN)是一個非營利性的國際組織，負責 IP 位址的分配、「通用頂級網域名稱」(Generic Top-Level Domain, gTLD)以及「國碼頂級網域名稱」(country code Top-Level Domain、ccTLD)系統的管理、以及根伺服器(root server)系統的管理。ICANN 致力於維護網際網路運行的穩定性、公平競爭性、並廣泛代表全球網際網路相關組織，由下而上(bottom-up)的方式達成一致意見與政策。ICANN 於 2004 年 7 月宣佈全球網際網路的根功能變數名稱的伺服器已經可同時支援 IPv6 和 IPv4 兩種通訊協定。有關網路搜尋及應用服務供應商同時支援 IPv6 和 IPv4 兩種通訊協定的技術方式，如圖 2-12 所示。

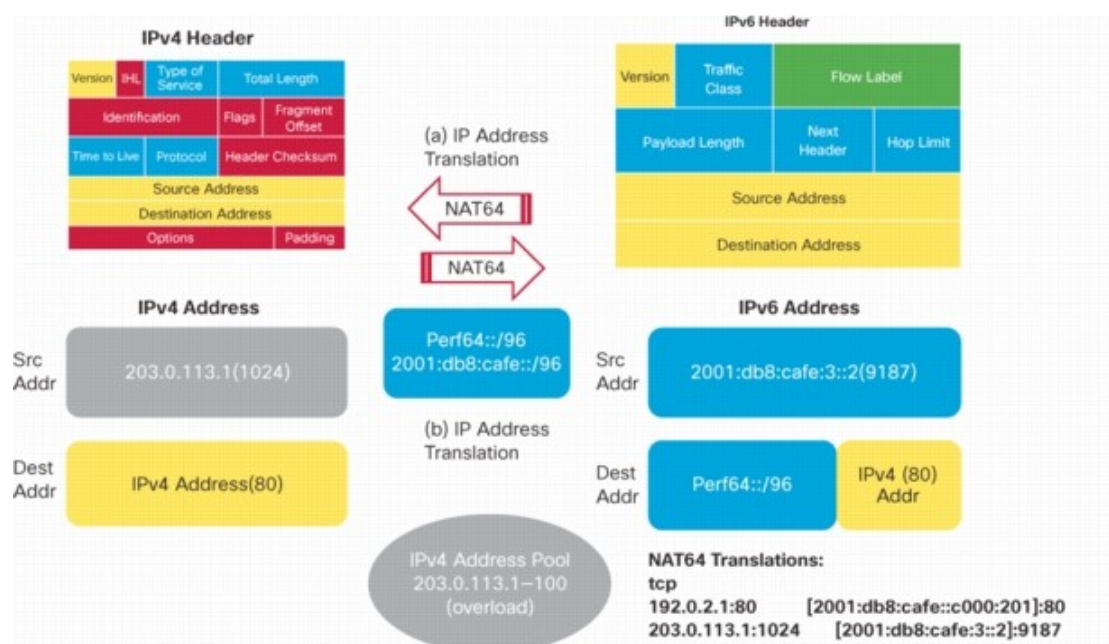


圖 2- IPv6 與 IPv4 封包互通及格式轉換

資料來源：IETF IPv6 WG，本研究團隊整理

根據統計至 2011 年底，全球 IPv6 產品認證進度上，已經通過 IPv6 第二階段認證的產品共有 644 項。以國別區分，則美國位居首位共有 264 種產品通過階段認證，其次為日本合計共 143 項，臺灣僅次於美國和日本位居世界第三，共有 115 項完成取得 IPv6 第二階段的認證，中國大陸居第四位，共計有 68 件產品通過 IPv6 第二階段認證，日本並於 2005 年宣佈開始採用 IPv6 的設備進行網路基礎設施的建設。全球網路搜尋及應用服務供應商包括 Google、Facebook 和雅虎都同時在 2011 年 6 月宣佈啟用以 IPv6 為基礎的服務，以推進網際網路產業加速部署 IPv6 的進度期程。

4、CableLabs 標準發展現況

目前雙向有線電視網路架構為「混合同軸光纖網路」(Hybrid Fiber Coaxial Networks, HFC)，可同時提供有線電視廣播及寬頻網路服務，對現有的有線電視網路業者而言，不僅佈建的成本較為經濟，亦可滿足使用者對須即時傳輸的網路服務需求。例如，瀏覽網頁、多媒體訊息服務、隨選視訊、視訊會議、線上教學、及遠端監控等。美國有線電視實驗室(CableLabs)於 1997 年開始制定有線電視混合同軸光纖網路的雙向傳輸技術標準：「有線纜線數據服務介面規範」(Data Over Cable Service Interface Specification, DOCSIS)。CableLabs 成立於 1988 年，係非營利的有線電視網路標準化協會，其成立宗旨係專注於推動有線電視網路相關技術，並訂定導入最新技術規格，以推動有線電視網路之相關技術、應用及服務。CableLabs 目前制定包含 DOCSIS、Packetcable、CableHome、及 OpenCable 等技術標準。

(1)DOCSIS 1.0、2.0 及 3.0 的演進

根據 DOCSIS 1.0 的規格，在提供社區用戶的頻道頻寬約 6Mbps 的條件下，經過調變處理，則可提供下載傳輸速度可達 42.88Mbps 和上傳速度可達 10.24Mbps。為了改善上、下行傳輸速度的落差，DOCSIS 2.0 增強在上傳的調變技術能力，提供在約 6Mbps 的頻寬條件下，下載傳輸速度維持在 42.88Mbps，而上傳的速度增加到 30.72Mbps。所以在同一個頻道的條件，DOCSIS 2.0 的上傳速度頻寬在同一個光投落點的服務區域約為 DOCSIS 1.0 的 3 倍以上，大幅度改善上下行傳輸速度落差太大的問題。

為了滿足 NGN 網路對雙向高速數據服務的需求，DOCSIS 3.0 增加頻道合併(Channel Bonding)的功能，在提供社區用戶的頻寬約 6Mbps 的條件下，DOCSIS 2.0 已經可以提供 42.88Mbps 的下載傳輸速度，因此利用頻道合併技術，合併四/八個頻道之後，即可提供 171.52Mbps/343.04Mbps 的下載傳輸速度。同理，以上傳速度 30.72Mbps 為基準，利用頻道合併的技術，合併四/八個上傳頻道之後，即可提供 122.88Mbps/245.76Mbps 的上傳速度。所以在同一頻寬的條件下，視頻道的合併數多寡，DOCSIS 3.0 的上、下行傳輸速度在同一個光投落點的服務區域可達 DOCSIS 2.0 的數倍以上，大幅度增加有線電視網路上下行傳輸速度的效能。有關 DOCSIS 各版本的傳輸速度演進，如圖 2-13 所示。

Version	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
1.x	42.88 (38) Mbps	10.24 (9) Mbps	55.62 (50) Mbps	10.24 (9) Mbps
2.0	42.88 (38) Mbps	30.72 (27) Mbps	55.62 (50) Mbps	30.72 (27) Mbps
3.0 4 channel	+171.52 (+152) Mbps	+122.88 (+108) Mbps	+222.48 (+200) Mbps	+122.88 (+108) Mbps
3.0 8 channel	+343.04 (+304) Mbps	+122.88 (+108) Mbps	+444.96 (+400) Mbps	+122.88 (+108) Mbps

圖 2- DOCSIS 最大上、下行傳輸速度演進

資料來源：CableLabs，本研究團隊整理

(2)DOCSIS 3.0 的發展現況

CableLabs 於 1997 年公布 DOCSIS 1.0 技術標準的版本，之後在 1999 年 4 月增修 DOCSIS 1.1 版本，增訂服務流量(Service Flow)和 QoS 兩項的服務特性。為了滿足 VoIP 服務對上下行流量對等的要求，CableLabs 於 2001 年 12 月，公布 DOCSIS 2.0 的技術標準，增加數據服務的上行速率。目前最新推出的版本係於 2006 年制訂的 DOCSIS 3.0 版本，不僅極大地增加了上、下行的傳輸速率，並且引進對 IPv6 的支援。目前所有 DOCSIS 的技術版本均保持終端（Cable Modem）和「頭端裝置」（Cable Modem Termination System, CMTS）之間向下

相容的彈性。有線電視網路是透過同軸纜線傳輸網際網路訊號，因此光投落點的同軸電纜線即被稱做是光纖同軸電纜線混合架構(HFC)。因為同軸纜線端的分歧器是不需要主動供電的，所以類似「光纖到府」(Fiber to the Home, FTTH)光纖網路的「被動式光纖網路」(Passive-Optical-Network, PON)架構，如圖 2-14 所示[23]。

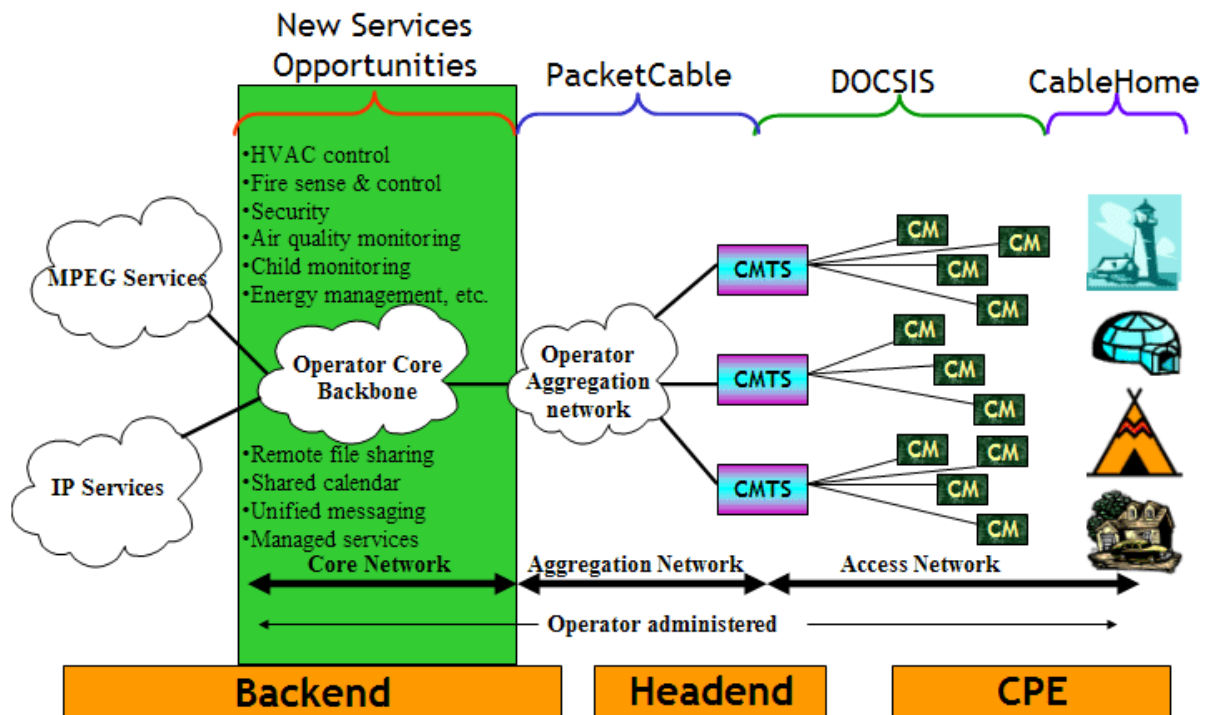


圖 2- DOCSIS 網路架構圖

資料來源：CableLabs，本研究團隊整理

據 2012 年 IHS iSuppli 公司的統計報告，全球各地有線電視營運商在家用網路採用 DOCSIS 3.0 標準的設備使用量持續的增加。預估在 2012 年整體寬頻「用戶端設備」(Customer Premises Equipment, CPE)的出貨量將達到 3,310 萬套，比去年的 2,930 萬個增長 13%。由於目前 DOCSIS 3.0 設備處於市場成長週期的階段，未來幾年亦將持續保持增長。預計 2016 年寬頻 CPE 出貨量將達到約 3,540 萬套，如圖 2-15 所示。

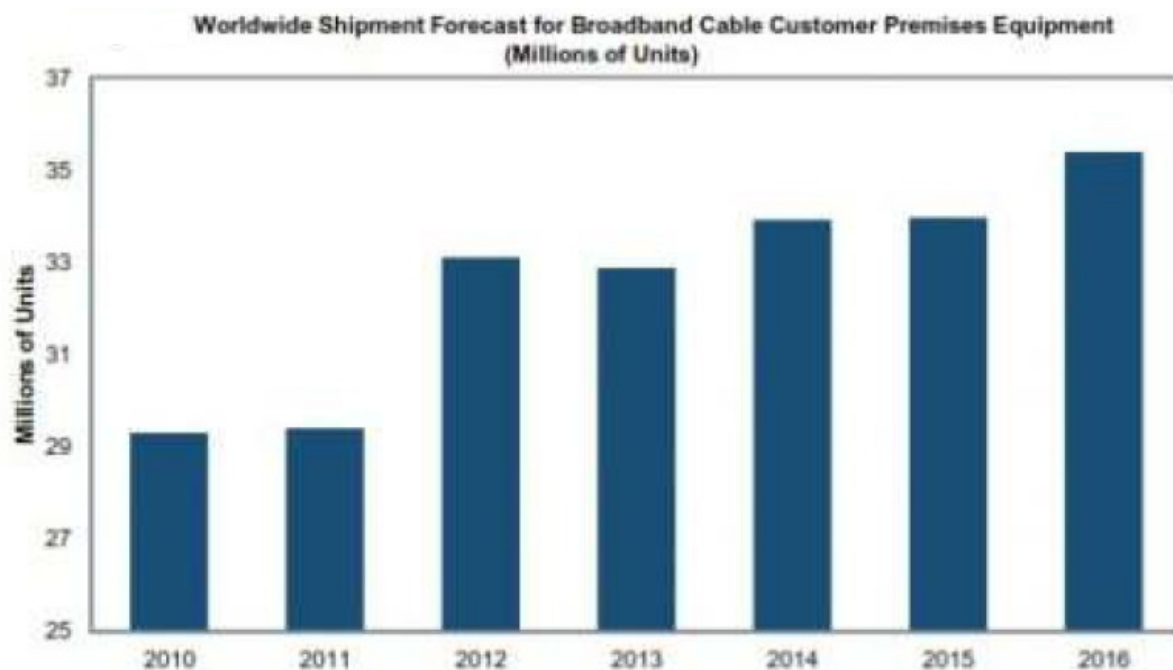


圖 2- DOCSIS 寬頻終端設備市場預測

資料來源：IHS iSuppli Research, October 2012，本研究團隊整理

由於 DOCSIS 3.0 是最新版的有線電視網路技術標準，資料的上傳與下載速度都高於 DOCSIS 2.0 版，目前在有線電視設備市場是明顯的增長。2011 年 2.0 與 3.0 版的 CPE 出貨量不相上下，但是在 2012 年底，3.0 預估將較 2.0 版多出四倍。3.0 版未來幾年將繼續增長，而 DOCSIS 2.0 版則將穩步下滑至 2015 年，預估在 2016 年完全終止。

第2節國際標準組織 NGN 光接取網路技術標準發展

隨著網際網路的蓬勃發展與網路基礎建設的日益完備，利用大規模的運算能力、高速的資料連結及雲端運算技術，帶動需要高寬頻的 NGN 應用服務興起，無論是網路電視(IPTV)、「高畫質電視」(high definition television，HDTV)、視訊會議、線上遊戲及家庭網路等，如圖 2-16 所示。由於人們對於頻寬的需求越來越多，而傳統的銅絞線網路寬頻接取網路(如：xDSL、Cable)已逐漸無法負荷龐大的資訊需求，這也使得電信業者開始尋求次世代的寬頻網路解決方案。因光纖具有高頻寬、大容量、低損失與不受電磁波干擾等特性，與其他傳播介質相較更具明顯優勢，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，故光纖通訊網路已成為現在寬頻接取網路的最佳解決方案之一。電信業者早期所建設的光纖是從骨幹網路(Backhaul Network)率先開始進行鋪設，時至今日光纖已漸漸朝向接取網路(Access Network)發展，各種以光纖為主的寬頻接取網路(FTTx)技術競相出現。

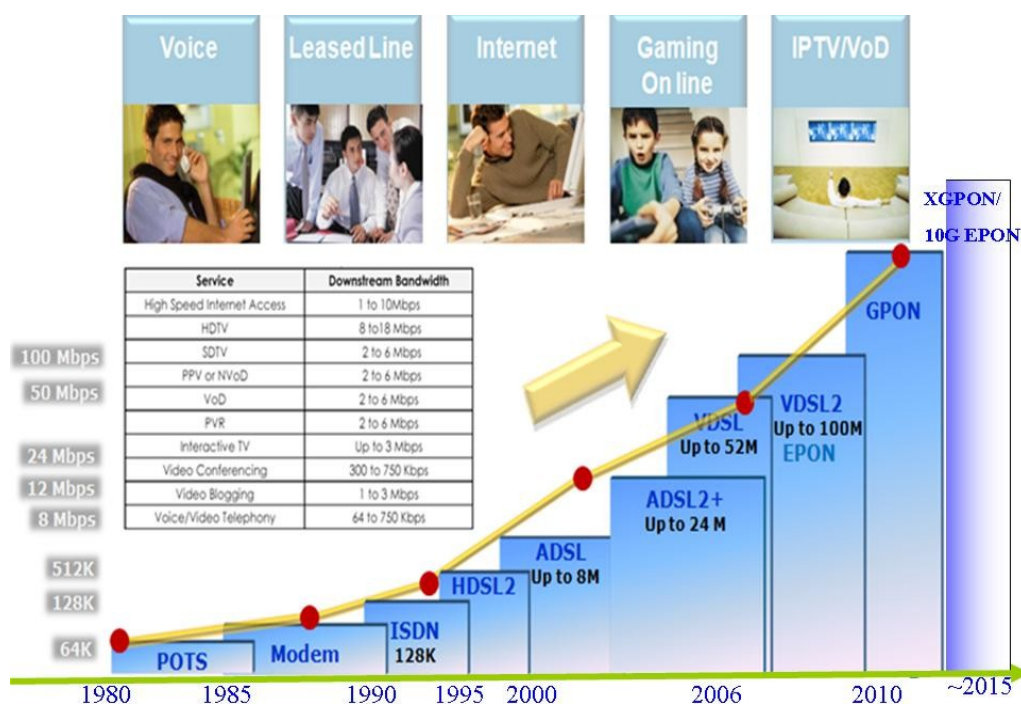


圖 2- 頻寬需求發展趨勢

資料來源：合勤科技，本研究團隊整理

1、光接取網路的連線模式(FTTx)

FTTx 為「Fiber To The x」之縮寫，其中「x」，代表營運業者所提供的各種光世代連線模式[62]，FTTx 技術主要用於接取網路光纖化，範圍從區域電信機房局端設備到用戶終端設備之間。局端與終端間的光接取網路之連接段(optical section)是由有源的(active)或無源的(passive)的元件組成，連接方式則可採取「點對點」(Peer To Peer, P2P)或「點對多點」(Point To Multiple Point, P2MP)的架構。常見的 FTTx 模式有: 光纖到府 (FTTH)、「光纖到基站」(Fiber To The Cell site, FTTCell)、「光纖到大樓/路邊」(Fiber To The Building/Curb, FTTB/C)、「光纖到交接箱」(Fiber To The Cabinet, FTTCab)等型態，如圖 2-17 所示，光接取網路 (OAN)通用於所有的連線模式，FTTx 的應用型態也隨著支援的服務有所不同。

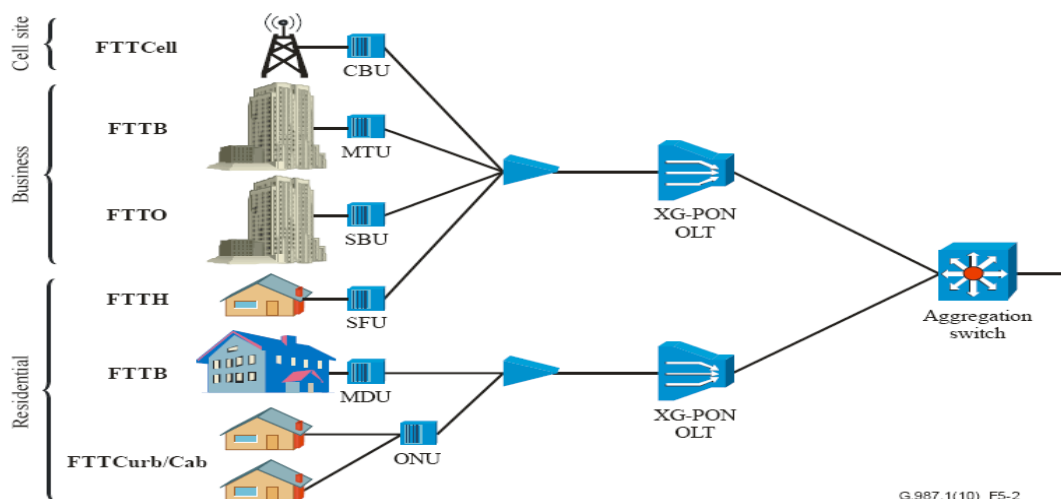


圖 2- ITU XG-PON 之應用情境示意

資料來源：ITU-T Rec.G.987.1(2010)

(1)FTTB 應用型態

FTTB 型態可分成兩種情況，一種是用於「多住宅單元」 (Multi-Dwelling Units, MDU)，而另一種則用於商業用戶，FTTB 主要服務類型包括：

1. 住宅用戶的 FTTB

- 提供非對稱寬頻服務，例如：網路電視 (IPTV)、數位廣播服務、「隨選視訊」 (Video On Demand, VOD)、檔案下載等。
- 提供對稱寬頻服務，例如：內容廣播、電子郵件、檔案交換、遠距教學、遠距醫療、在線遊戲等。
- 提供「傳統電話服務」(Plain Old Telephone Service, POTS)，使用模仿(完整的複製傳統的電話服務)或模擬(提供幾乎相同於傳統的服務)的方式支援窄頻的電話服務。

2. 商業用戶的 FTTB

- 提供對稱寬頻服務，例如：集群軟體(group software)、內容廣播、電子郵件、檔案交換等。
- 提供 POTS，使用模仿(完整的複製傳統的電話服務)或模擬(提供幾乎相同於傳統的服務)的方式支援窄頻的電話服務。
- 提供多種速率的專線服務。

(2)FTTC 和 FTTCab 應用型態，在這個型態中，服務的類別包括：

- 提供非對稱寬頻服務，例如：IPTV、數位廣播服務、VOD、檔案下載及線上遊戲等。
- 提供對稱寬頻服務，例如：內容廣播、電子郵件、檔案交換、遠距教學、遠距醫療等。
- 提供 POTS，使用模仿(完整的複製傳統的電信服務)或模擬(提供幾乎相同於傳統的服務)的方式支援窄頻的電話服務。
- 提供 xDSL 中繼服務。

(3)FTTH 應用型態，在這個型態中，服務的類別包括：

- 提供非對稱寬頻服務，例如：IPTV、數位廣播服務、VOD、檔案下載等。
- 提供對稱寬頻服務，例如：內容廣播、電子郵件、檔案交換、遠距教學、遠距醫療、在線遊戲等。
- 提供 POTS，使用模仿(完整的複製傳統的電話服務)或模擬(提供幾乎相同於傳統的服務)的方式支援窄頻的電話服務。

(4)FTTO 應用型態

「光纖到辦公室」(Fiber To The Office，FTTO)是針對中小型企業客戶的服務環境。在這種情況下，具有下列的服務類別：

- 提供對稱寬頻服務，例如，集群軟體(group software)、內容廣播、電子郵件、檔案交換等。
- 提供 POTS，使用模仿(完整的複製傳統的電話服務)或模擬(提供幾乎相同於傳統的服務)的方式支援窄頻的電話服務。
- 提供多種速率的專線服務。

(5)FTTCell 無線應用型態

這種型態的 ONU/ONT 被稱為「基站迴路單元」(Cell-site Backhauling Unit，CBU)，並提供與無線基站的連接，具有下列的服務類別：

- 提供對稱的「分時多工」(Time division multiplexing，TDM)服務，例如：「第二世代行動通信」(second-generation，2G)基站的迴路。
- 提供封包傳輸基礎的對稱/非對稱寬頻服務，例如：「第三代行動通信」(third-generation，3G)/「第四世代行動通信」(fourth-generation，4G)基站的迴路。

■ 熱點(hot spots)。

2、光接取網路(OAN)

(1)光接取網路簡介

光接取網路技術依據機房局端配送光訊號至用戶端之間設備(如：路由器、多工器、分歧器..)，可區分為「主動式光網路」(Active Optical Network, AON)及被動式光網路 (PON)，相關之技術標準主要由 ITU、IEEE 所訂定之，如圖 2-18 所示。

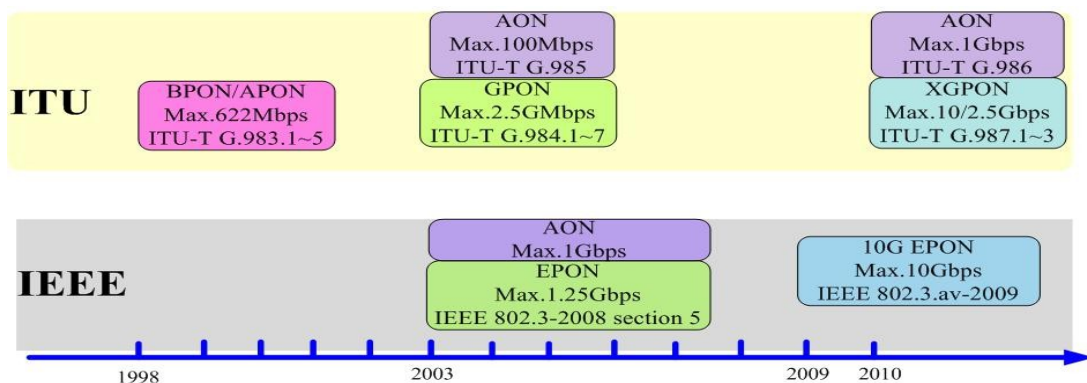


圖 2- 光接取網路技術標準發展進程

資料來源：ITU、IEEE，本研究團隊整理

AON 也被稱為主動式乙太網(active Ethernet)，或點對點(P2P)乙太網，或其他類似的名稱，由於 AON 有不同的類型變化，在 ITU-T Recommendation G.985(100Mbps)、G.986(1Gbps)與 IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force 技術文件有描述相關的規範，但在標準中並沒有特別提到 AON 這個專門術語。由於 AON 需要電信營運商利用外部電源之主動式設備(路由器、多工器)配送光訊號至用戶端，以提供用戶寬頻接取服務，傳輸方式則是一對一(機房端設備對用戶端設備)的關係，當用戶數量增加時，機房端光訊號傳輸設備亦需相對增加，AON 目前主要應用於點對點接取服務，如圖 2-19 所示。

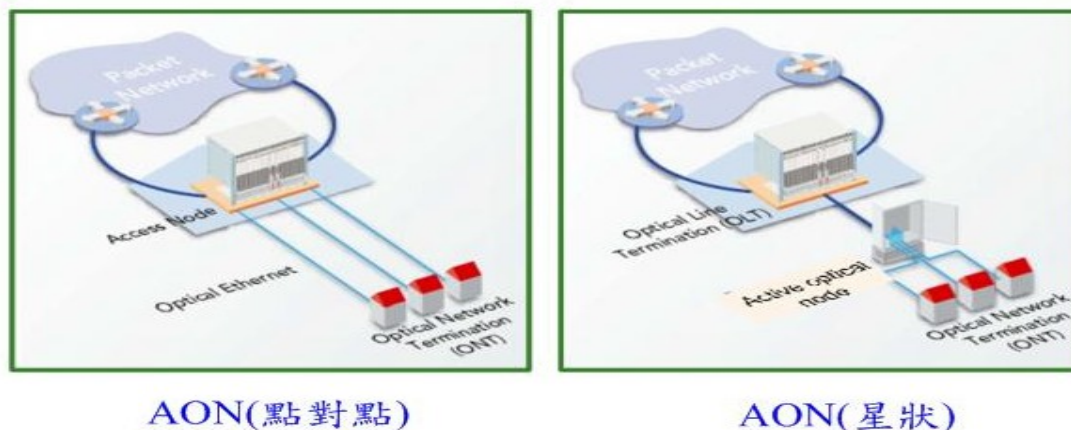


圖 2- AON 網路架構

資料來源：European Commission Seventh Framework Programme(2010)，本研究團隊整理

PON 是一個點到多點(P2MP)的架構，由於 PON 不需要外部電源，電信營運商利用被動式設備(分歧器)，可將單一光訊號以分享方式由「光網路局端設備」(Optical Line Termination，OLT)配送至用戶端「光網路終端設備」(Optical Network Unit/Terminal，ONU/ONT)，提供用戶寬頻接取服務。PON 的傳輸方式具有多用戶分享同一光訊號及提供一對多接取服務的特性，可降低電信營運商佈建網路成本，並具有節省光纜資源、頻寬共享、節省機房設備、安全性高、網路佈建速度快、綜合建網成本低等優勢，成為目前世界先進國家發展動光纖連網到戶(FTTH、FTTB/C、FTTCab...等)主要採用之技術標準，並作為下世代新興的覆蓋最後一哩(Last Mile)的寬頻接取網路技術，如圖 2-20 所示。

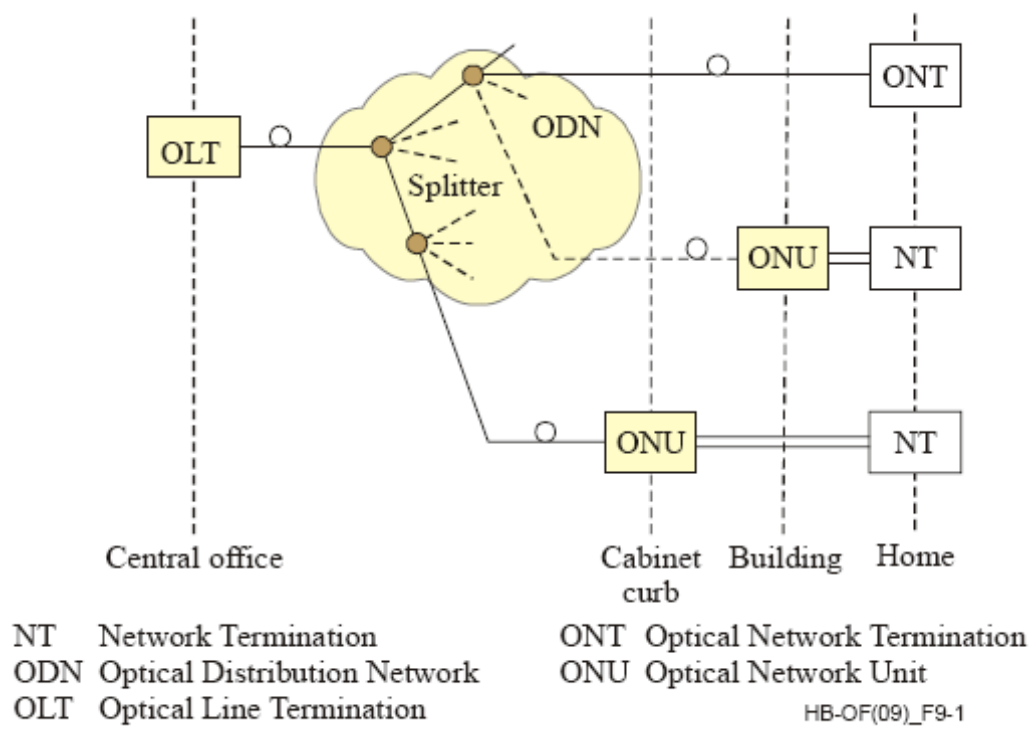


圖 2- PON 網路架構

資料來源：ITU-T Handbook, Optical fibers, cables and systems(2009)

若依照多工器的類型分類，PON 可區分為 TDM 與「分波多工」(Wavelength division multiplexing, WDM) 兩種型式，如圖 2-21 所示。

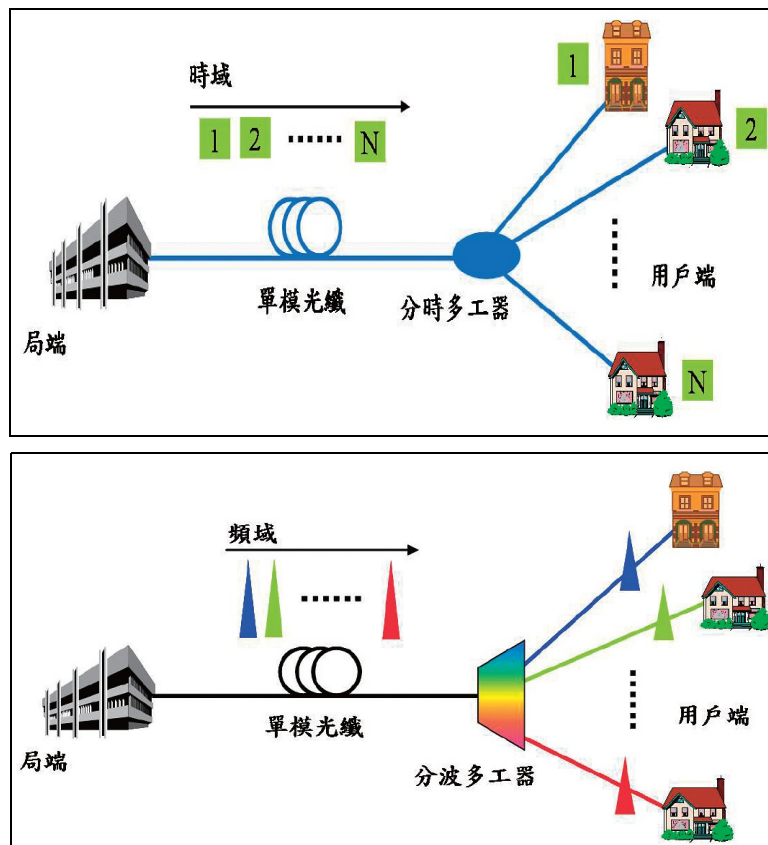


圖 2- TDM-PON(上)與 WDM-PON(下)示意圖。

資料來源：物理雙月刊 32 卷 1 期(2010)

PON 技術因能提供全服務(Full Service)、高速率(High data rate)的光纖接取方案成為當前最有效的解決方案之一。現行商業的 TDM-PON 部署類型，包括「非同步轉送模式被動式光纖網路」(ATM-PON，APON)、「寬頻被動式光纖網路」(Broadband-PON，BPON)、「乙太被動式光纖網路」(Ethernet-PON，EPON)、GPON、「10 秊位元能力被動式光纖網路」(10Gigabit-capable Passive Optical Network，XG-PON)及 10 Gbps Ethernet(10G EPON)等。目前雖然有多種不同的 PON 架構被提出，例如混合 TDM 和 WDM 的 PON，甚至於混合 AON 和 PON 的光纖網路，而由 ITU 和 IEEE 兩大技術標準組織所提出的 GPON、XG-PON、EPON 和 10G-EPON)技術則是當前最具有代表性的被動光網路架構[11-12],[7-9]。

(2)光接取網路架構

光接取網路設備是提供 NGN 服務最後一哩重要的網路設備，也是 NGN 服務的關鍵設備。在光纖接取網路架構如圖 2-22 所示，機房局端配送光訊號至用戶端的設備，包括：光網路局端設備(OLT)、用戶的光網路終端設備(ONU/ONT)，以及「服務節點介面」(Service Node Interface，SNI)與「使用者網路介面」(User Network Interface，UNI)等。

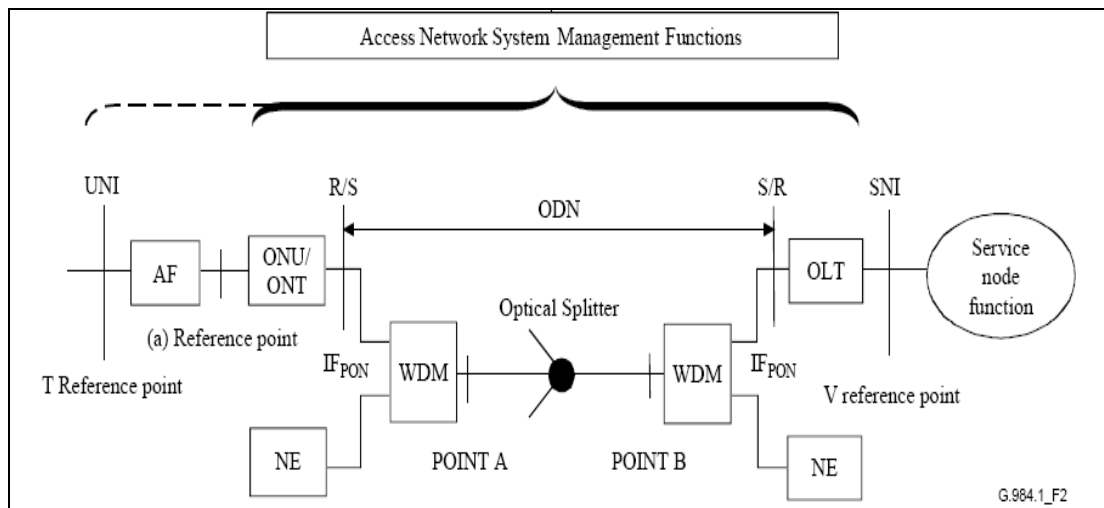


圖 2- 光接取網路架構圖

資料來源：ITU.T Rec.G.984.1(2008)

圖 2-22 中的參考點被定義如下：

- S：被定義在 OLT [下行]/(ONU/ONT)[上行]光連接點(即，光連接器或光分歧器)之後的光纖參考點。
- R：被定義在 ONU/ONT[下行]/OLT[上行]光連接點(即，光連接器或光分歧器)之前的光纖參考點。
- S / R，R / S：在雙向模式下操作時，同時存在於單模光纖，並由 S 點和 R 點結合的參考點。
- Oru，Ord：在 ONU/ONT 和 ODN 之間參考點 R/S 處分別用於上行和下行方向的光介面。
- Olu，Old：在 OLT 和 ODN 之間參考點 R/S 處分別用於上行和下行方向的光介面。

在「光配送網路」(Optical Distribution Network，ODN)中，光傳輸的兩個方向被定義：下行方向是指訊號從 OLT 傳送到 ONU/ONT，上行方向則是訊號從 ONU/ONT 傳送到 OLT。下行和上行方向的傳輸可以在同一個光纖和元件中進行，稱為半雙工/全雙工組態；或是在各自的光纖和元件中進行，稱為單工組態。其中在參考點 S / R 和 R / S2 的 IF_{PON}是一個 PON 網路特定的介面，它支援所有必要的協定以允許 OLT 和 ONU/ONT 之間的傳輸。在用戶端的光網路終端設備(ONU/ONT)有一個用戶網路介面(UNI)，而局端的光線路終端(OLT)則有一個服務節點介面(SNI)。在 ITU-T G.984.1 的規範中，UNI/SNI 被定義為具有下列二條件的介面：首先是須為眾所周知的標準，其次須含有物理層的特性。雖然有些 UNI 是經由額外的調配「轉換設備」(Adaptation Function，AF)，或內含於 ONU/ONT 的調配功能所提供的介面，然而對 ONU/ONT 而言，支援的這

些介面是非強制性的。UNI/SNI 的類型取決於服務運營商所提供的服務，表 2-1 所示為 UNI 與實體介面的範例，以及它們所提供的服務。

表 2- UNI 與實體介面與提供服務的範例

用戶網路介面(UNI) (註 1)	實體介面(註 2)	服務(註 3)
1000/100/10BASE-T [IEEE 802.3]	-	Ethernet
ITU-T Q.552	-	POTS
ITU-T I.430	-	ISDN(BRI)
ITU-T G.703	PDH	DS3、ATM、E1、E3
ANSI T1.102、 ANSI T1.107	PDH	T1、DS3
註 1:還有很多其他的服務可用於光網(如 GPON/XG-PON 等)，但這些服務並沒有規範 UNI。 註 2:在實體介面的每一項欄位，可由對應的 UNI 欄位對照說明。 註 3:服務欄位中所敘明的服務，可由實體介面得到支援。		

資料來源：ITU.T Rec.G.984.1 (2008)、ITU-T Rec.G..987.1(2010)，本研究團隊整理

1. ONU/ONT 提供 VDSL/ POTS 介面的應用

圖 2-23 所示為「超高速數位用戶迴路」(Very High Bit-rate DSL, VDSL)/POTS 的 ONU/ONT 變化類型。這種變化的特點是，ONU/ONT 被用來建立一個像是「數位用戶迴路載波機」(Digital Loop Carrier, DLC)/「數位用戶迴路接取多工機」(Digital Subscriber Loop Access Multiplexer, DSLAM)，以銅線為基礎的介面。在此方案中有兩種子類型，第一種情況的 ONU/ONT 同時提供 POTS 與 VDSL 介面給客戶，藉以集中相關功能及減少所需的用戶端設備(CPE)。第二種情況是，ONU/ONT 僅提供 VDSL 介面，藉以盡量降低 ONU/ONT 的尺寸和功耗，儘管在 CPE 衍生出 POTS 需求的成本。這種變化類型的方案，主要用於 FTTB 和 FTTC 的應用。

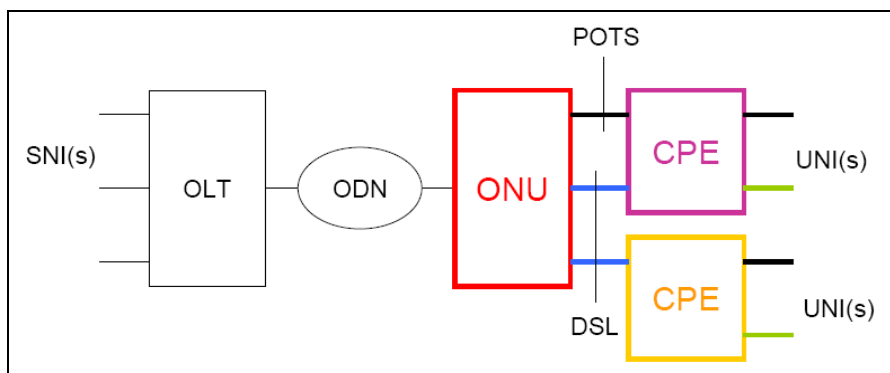


圖 2- ONU/ONT 提供 VDSL/POTS 的應用情境

資料來源：ITU.T Rec.G.984.1(2008)

2. ONT 提供數據機介面的應用

圖 2-24 所示為 ONT 提供數據機(Modem)介面的應用，在這類型應用中 ONT 可能小而簡單，它類似於一個數據機提供光介面和數據鏈路(Data Link)的第 1 層和第 2 層之間的互通。數據鏈路將承載所有到 CPE 的服務流量(service flows)，其此類型主要用於 FTTH 的應用[63]。

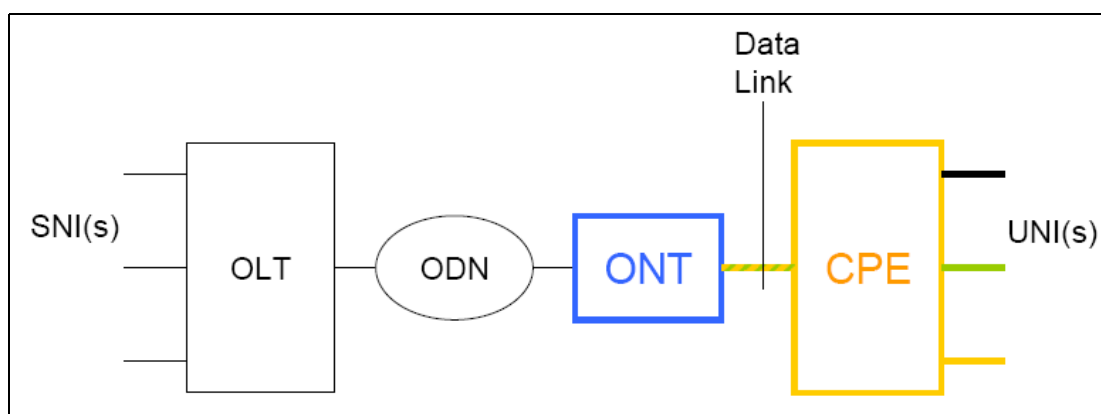


圖 2- ONT 提供數據機介面的應用情境

資料來源：ITU.T Rec.G.984.1(2008)

3. 整合型 ONT 的應用

圖 2-25 所示為整合型 ONT 的應用情境，這種應用可以視為將 ONT 與服務導向 CPE 的合併。然而，這種功能的合併具有重要的意義是系統負責服務的管理。儘管顯著的功能已被納入的 ONT，通常 CPE 仍然放置於家中。這種情境也是 FTTH 應用的主流。

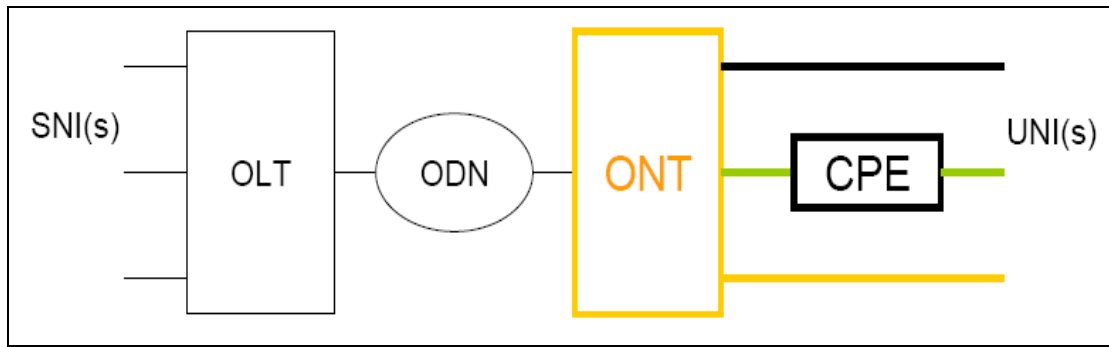


圖 2- 整合型 ONT 的應用情境

資料來源：ITU.T Rec.G.984.1(2008)

4. ONT 提供家庭閘道器(Residential gateway)介面的應用

圖 2-26 所示為家庭閘道器 ONT 的情境，這種應用可以視為將整合型 ONT 與服務導向 CPE 的合併。如圖示已將網路第 3 層功能納入 ONT 中，包括路由、網路位址轉換(NAT)和防火牆功能等項目。這種情境也是 FTTH 應用的主流。

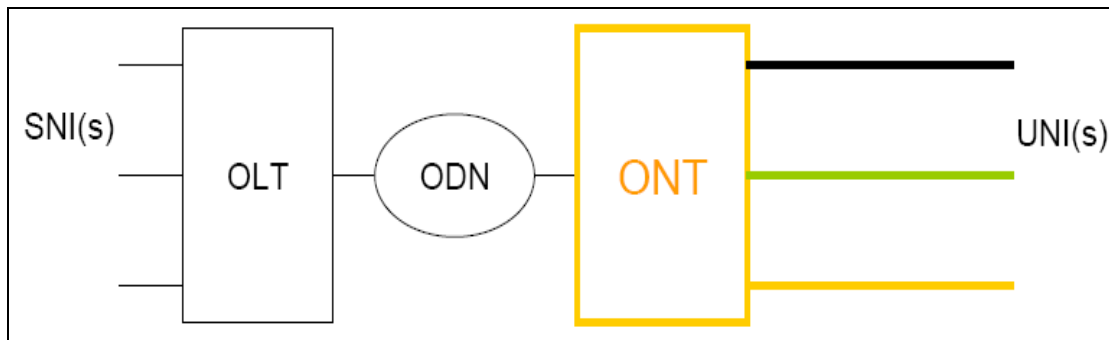


圖 2- ONT 提供家庭閘道器(Residential gateway)介面的應用情境

資料來源：ITU.T Rec. G.984.1(2008)

3、ITU GPON

GPON 最早是由「全服務接取網路」(Full Service Access Network，FSAN)組織於 2002 年以 APON/BPON 為基礎提出具有千兆位元(Gigabit)以上傳輸速率之被動式光接取網路[64]，ITU-T 以此為基礎於 2003 年及 2004 年陸續完成 ITU-T G.984.1(網路架構及特性)、G.984.2(實體層)及 G.984.3(傳輸聚合層)的標準規格的制訂[7-8]，並於 2007 至 2010 年間，制訂 G.984.4-7 的標準文件，以強化 GPON 技術標準的完整性與功能性，如表 2-2 所示。

表 2- ITU GPON 標準文件一覽表

文件編號	主要內容
ITU-T G.984.1	網路架構及特性
ITU-T G.984.2	實體層技術規格
ITU-T G.984.3	傳輸聚合層(Transmission convergence)技術規格
ITU-T G.984.4	終端設(ONT)控制與管理技術規格
ITU-T G.984.5	保留波長頻道，供分波多工(WDM)使用
ITU-T G.984.6	服務距離延長，提升光訊號路徑損失的管理機制
ITU-T G.984.7	服務範圍延伸至 40 公里

資料來源：本研究團隊整理

GPON 主要是由光纖網路局端設備(OLT)、光纖網路終端設備(ONU/ONT)構成，搭配不同等級光路徑損失之 ODN(5 種類型)，提供點對多點傳輸服務。並依據 ODN 的路徑損失與分歧器的分路比可以提供不同距離之服務範圍(標準 20 公里，最大 60 公里)，如表 2-3 所示。

GPON 主要特性是兼具向下相容早期以非同步轉送模式(ATM)為基礎之 APON/BPON，以非對稱式速率進行上下行傳輸，以可同時承載 IP 化網路與 ATM 網路數據資料服務。GPON 在下行傳輸（OLT 到 ONU/ONT）使用廣播方式、上行傳輸（ONU/ONT 到 OLT）則採用「分時多工接取」(Time Division Multiple Access, TDMA)方式，以提供彈性的拓撲結構(樹形、星形、總線形等)。為使 GPON 系統符合 ITU-T G.652 標準的單模光纖雙向多工傳輸方式，ITU 規範 GPON 上傳輸行使用 1,260nm~1,360nm 波長，下行傳輸使用 1,480nm~1,500nm 波長。另外，為考量 GPON 承載服務的多元性，並規劃 1,540nm~1,560nm 波長，以承載「有線電視」(Cable Television, CATV)之「射頻」(Radio Frequency, RF) 視頻訊號。

表 2- GPON 網路及實體層特性

類別	說明
ODN 類型 (光路徑損失範圍)	A 類(5~20dB) B 類(10~25dB) B+類(13~28dB) C 類(15~30dB) C+類(17~32dB)
波長(nm)	上行 1,260-1,360 下行 1,480-1,500
傳輸速率 (下行/上行 Mbps)	1244.16/155.52 1244.16/622.08 1244.16/1244.16 2488.32/155.52 2488.32/622.08 2488.32/1244.16 2488.32/2488.32
傳輸距離	最大物理傳輸距離：20km 最大邏輯距離：60km
分歧比	標準：1:16、1:32、1:64 最大可擴展至 1:128
最大光纖距離差 (Differential fiber distance)	最大光纖距離至少為 20km

資料來源：ITU-T Rec.G.984.1(2008)、ITU-T Rec.G.984.2(2008)，本研究整理

4、XG-PON

2009 年 1 月，國際電信聯合會(ITU)啟動次世代被動式光纖網路的規範制定工作，並於 2009 年 5 月發佈 NP-PON 白皮書，明確定義 NG-PON 區分 NG-

PON1 與 NG-PON2 兩階段的技術演進路線，如圖 2-27 所示。NG-PON1(XG-PON)優先考量向下相容現有 GPON 系統，利用既有的 GPON ODN 使用 WDM 技術同時提供兩種不同波長傳輸技術。2010 年 1 月 ITU-T 正式發佈第一階段的 XG-PON 標準(一般性要求)，後續發佈的標準規範如表 2-4 說明[65]。

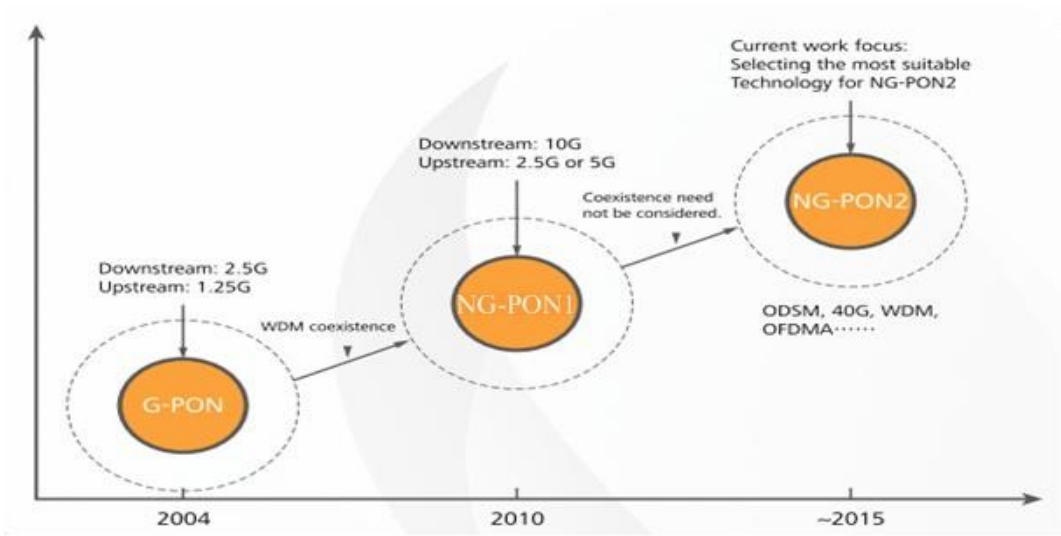


圖 2- FSAN NG-PON 發展時程

資料來源：華為科技，” Next-Generation PON Evolution”(2010)

表 2- ITU XG-PON 標準文件一覽表

文件編號	主要內容
ITU-T G.987	定義、縮寫與概括性說明
ITU-T G.987.1	服務要求
ITU-T G.987.2	實體層規範
ITU-T G.987.3	XGTC 層規範

資料來源：本研究團隊整理

(1)XG-PON 系統架構

XG-PON 系統架構近似於 G-PON，如圖 2-28 所示。當 XG-PON 用於承載 RF 視訊(RF video overlay)服務時，光纖配送網路(ODN)利用分波多工(WDM)技術或是光耦合器/分光器，結合 XG-PON 與 RF 視訊訊號。光耦合器/分光器可在局端提供分光的功能。

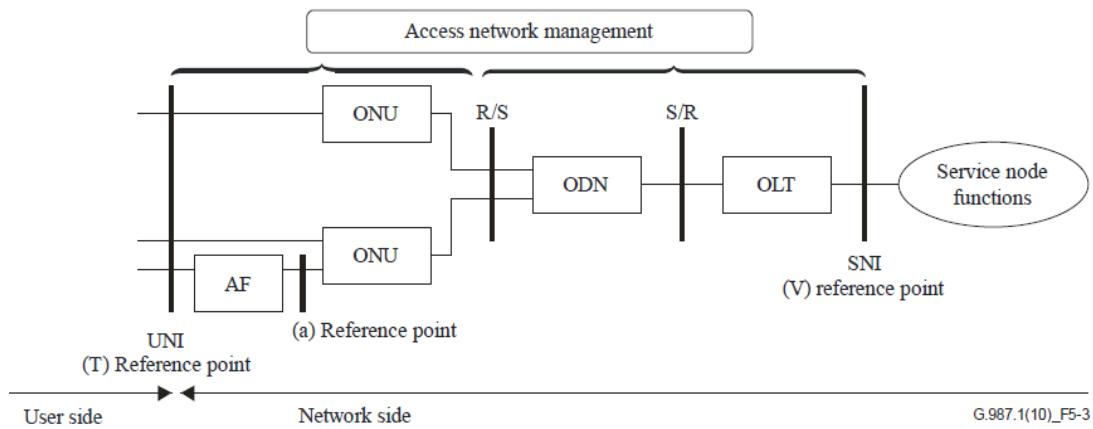


圖 2- XG-PON 系統架構

資料來源：ITU-T Rec.G.987.1(2010)

XG-PON 的架構考慮對營運業者現有網路的相容性，即 XG-PON 與 GPON 可共存在同一個 ODN 上。由於，XG-PON 的上/下行波長規劃不同於 GPON，因此會透過分波多工(WDM)技術的方式(在局端放置 WDM1r 元件，結合終端前置入「波長阻塞濾波器」(wavelength blocking filter, WBF)元件，在上/下行方向分別對多個工作信號進行合波/分波)實現 XG-PON 和 GPON 的相容，如圖 2-29 所示。

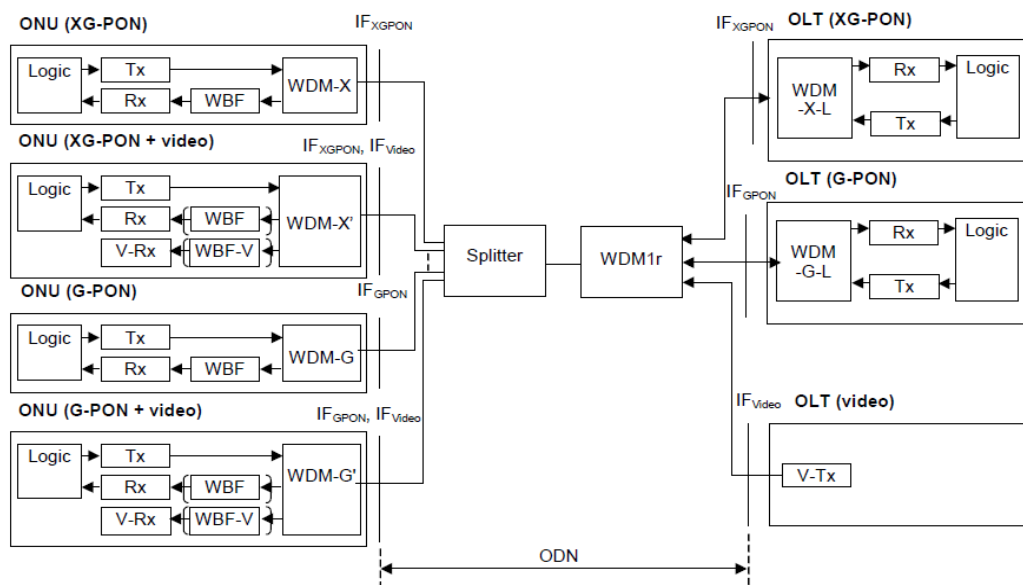


圖 2- XG-PON 與 GPON 共存網路架構

資料來源：ITU-T Rec.G.987.1(2010)

(2)XG-PON 實體層特性

使 XG-PON 向下兼容 GPON 系統及未來擴充性，ITU 規劃 4 種波長組合提供營運商在佈建 XG-PON 新系統及保留既有 GPON 系統共存營運服務之彈性，如圖 2-30 所示。XG-PON 所主要使用的下行光信號波長為 1,575-1,580nm(戶外應用時為 1,575-1,581nm)，上行信號波段為 1,260-1,280nm。XG-PON 在上行方向與 GPON 系統（其上行波長範圍為 1,290-1,330 nm）不會重疊，因此採用分波多工(WDM)技術的方式實現共存，與 10G-EPON 雙速接收機的方式不同。在傳輸速率方面，XG-PON 系統的下行傳輸速率為 10Gbps，上行傳輸速率為 2.5 Gbps，線路編碼為「不歸零」(non-return-to-zero, NRZ)編碼演算法，詳細實體層特性，如表 2-5 所示。

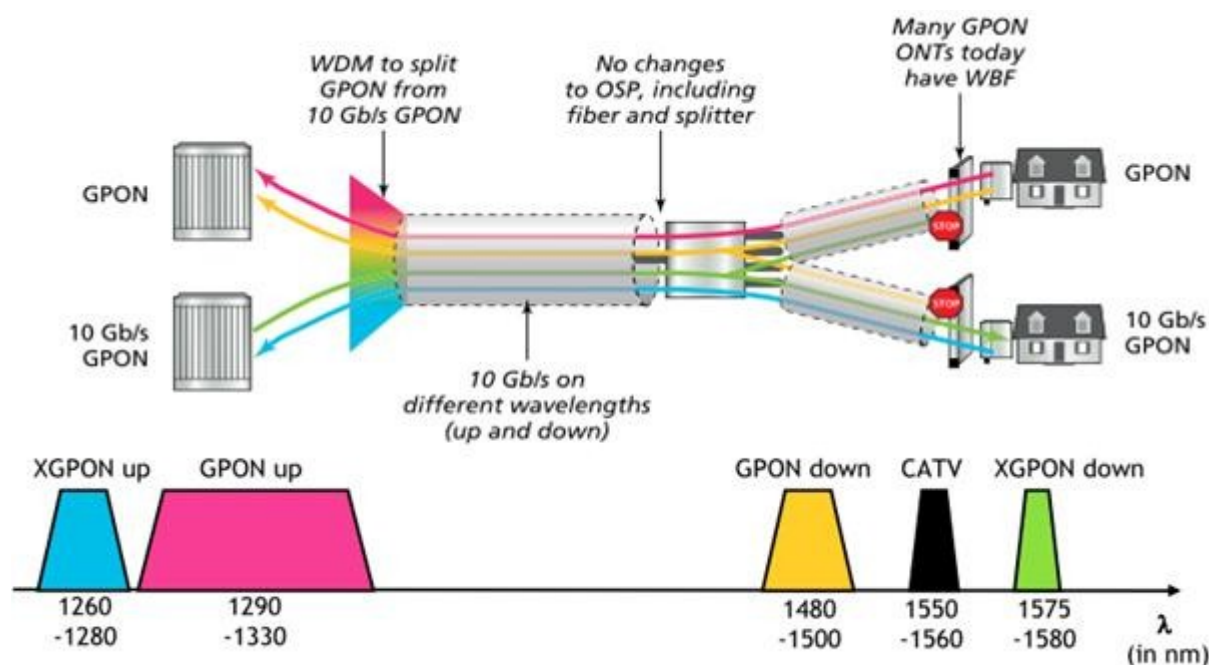


圖 2- XG-PON 與 GPON 系統共存架構圖

資料來源：Alcatel-Lucent：“Future Technologies for the Mass Market Residential Access Network”(2010)

表 2- XG-PON 網路及實體層特性

類別	說明
ODN 類型 (光路徑損失範圍)	N1 類(14~29dB) N2 類(16~31dB)

類別	說明
	E1 類(18~33dB) E2 類(20~35dB)
波長(nm)	上行：1,260-1,280 下行：1,575-1,580 (於戶外使用時，下行為 1,575-1,581)
傳輸速率	上行：2.5 Gbps 下行：10 Gbps
傳輸距離	最大物理傳輸距離：20 公里 最大邏輯距離：60 公里
分歧比	最少 1:64 最大可擴展至 1:128 與 1:256
最大光纖距離 (Differential fiber distance)	可擴展至 40 公里。

資料來源：ITU-T Rec.G.987.1(2010)、ITU-T Rec.G.987.2(2010)，本研究團隊整理

5、IEEE EPON

2000 年 11 月，電機電子工程協會(IEEE)成立 EFM(Ethernet in the First Mile)研究小組開始進行被動式光纖網路的規範制定工作，其標準名稱為 802.3ah，由於 802.3ah 是基於乙太網路技術為基礎，因此也稱為乙太被動式光纖網路 (EPON)。並於在 2004 年提出標準，名為 802.3ah-2004，目前已經整合至 802.3-2008 標準規格書的第五部分。EPON 透過單光纖接取系統，實現數據、語音與視訊的綜合性服務接取，因此 EPON 可提供 FTTH 服務良好的解決方案，在乙太網路的基礎下，也較易於與用戶端電腦網路結合。

(1)EPON 系統架構

EPON 以被動光纖網路(PON)架構為基礎，採點對多點架構。典型的 EPON 系統由局端設備(OLT)、終端設備(ONU/ONT)和被動式光分歧器(Passive Optical Splitter, POS)構成，如圖 2-31 所示。OLT 位於局端(CO)，透過 ODN 連接到各個 ONU/ONT，並提供「開放系統互連」(Open Systems Interconnection, OSI)模

型中 2、3 層的封包交換與路由功能，依據網路架設及設定的需求，OLT 可支援多個 ONU/ONT，視分支率而定，同時也可支援 ATM、「訊框傳送」(Frame Relay，FR) 以及提供 OC3/12/48/192 等不同速率的「同步數位階層」(Synchronous Digital Hierarchy，SDH)/「同步光纖網路」(Synchronous Optical Network，SONET)介面標準。

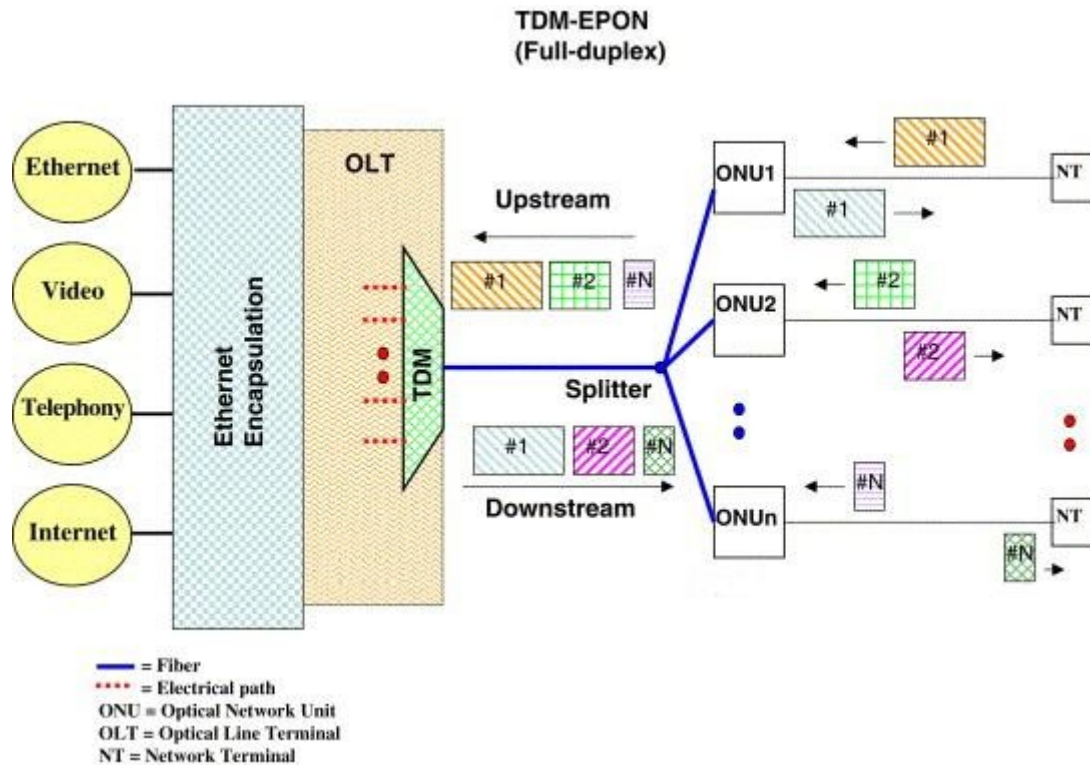


圖 2- EPON 系統架構

資料來源：本研究團隊整理

ODN 由 POS、光纖與連接器構成，POS 為連接 OLT 與 ONU/ONT 的被動設備，OLT 透過 POS 廣播下行的資料封包給各個 ONU/ONT，同時也須負責 ONU/ONT 上行 OLT 的資料封包。ONU/ONT 位於用戶端，連接各種不同的網路介面，包括乙太網路、T1 等。ONU/ONT 將各種不同網路介面所接收的資料格式轉換成光信號。此外，ONU/ONT 同時也提供 OSI 模型的第二層交換及第三層路由能力。

EPON 具有同時傳輸 TDM、IP 資料和視頻廣播的能力，其中 TDM 和 IP 資料採用 IEEE 802.3 乙太網的格式進行傳輸，輔以電信等級的網管系統，足以保證傳輸品質。通過擴展第三個波長(通常為 1550nm)即可實現視訊服務廣播傳輸。

(2)EPON 實體層特性

在實體層，EPON 採用分波多工(WDM)技術(下行 1,490nm、上行 1,310nm)實現單纖雙向傳輸，同時定義 1000 BASE-PX-10 U/D 和 1000 BASE-PX-20 U/D 兩種 PON 光介面，分別支援 10 公里和 20 公里的最大傳輸距離。在實體編碼子層，EPON 系統承襲原有 Gigabit 乙太網路的標準，採用 8B/10B 線路編碼和標準的上下行對稱 1Gbps 資料速率(線路速率為 1.25 GBd)，如表 2-6 所示。

表 2- EPON 實體層特性

類別	說明
波長	上行：1,310 nm 下行：1,490 nm
傳輸速率	上行：1.25 Gbps 下行：1.25 Gbps
傳輸距離與分歧比	OLT 和 ONU/ONT 之間的最大物理距離在 10 公里與 20 公里範圍內，至少提供 1:16 的分歧比。
傳輸距離 (Nominal reach)	1000 BASE-PX-10 U/D：10 公里 1000 BASE-PX-20 U/D：20 公里

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

6、IEEE 10G-EPON

10G-EPON 是 IEEE 於 2006 年以 EPON 為基礎，所制訂新一代 EPON 標準 (IEEE 802.3av)，並以 10Gbps 的傳輸速率為目標，因此又稱作 10G-EPON。該標準針對 10Gbps 傳輸速率的需求制訂新的 EPON 實體層規範，並對 MAC 層進行更新，正式的標準已在 2009 年 9 月正式擬定。EPON 除了使用了點對多點 (P2MP) 的概念，並制訂網路的「操作維護管理」 (Operations Administration and Maintenance, OAM) 的設計，以供營運商發展網路營運與控制系統之參考標準。

(1)10G EPON 系統架構

IEEE 在制定 10G EPON 標準之初，考量保護原 EPON 營運業者已投入的建設，兼具 EPON ONU/ONT 的相容性，因此沿用原本 EPON 的系統架構，只針對 10G EPON 協定層中的操作維護管理 (OAM)，加入多點 MAC 控制，

MAC，RS 子層進行少部分調整，大部分都沿用 EPON 的協定。而變動較大部分是「實體編碼子層」 (Physical Coding Sublayers, PCSs)，10G EPON 以 64B/66B 和 RS(255, 223)作為其實體層主要的編碼，不同於 EPON 的 8B/10B 和 RS(255, 239)，藉由上述編碼方式提高 10G EPON 編碼與 FEC 的編碼效率和糾錯強度。詳細協定如圖 2-32 所示。

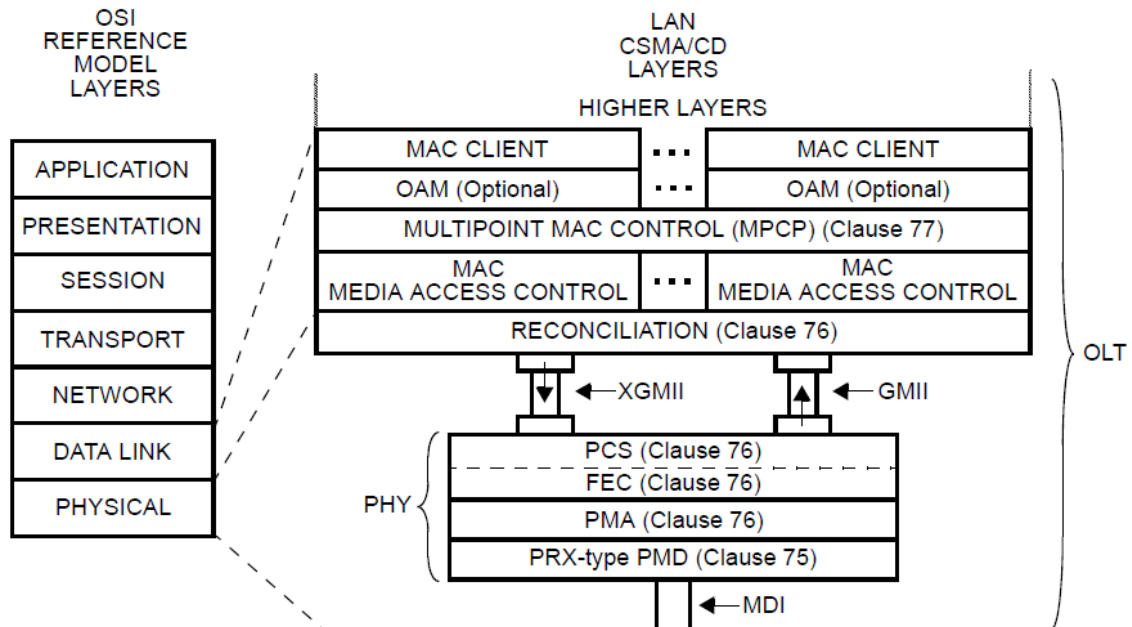


圖 2- 10G-EPON 標準協定層架構示意

資料來源：IEEE 802.3av(2009)

(2)10G EPON 實體層特性

為了實現與 EPON 共存相容運作，10G-EPON 不使用 EPON 系統所使用的 1,490nm 的下行波長，同時考慮避開 RF 視頻所使用的波長 (1,550nm) 和「時域反射儀」 (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) 測試波長 (1,600~1,650nm)，IEEE 802.3av 標準選擇 1,575~1,580nm 波長範圍作為 10Gbps 下行信號的波長，如圖 2-33 所示。因此，在下行方向，10G-EPON 信號與 EPON 信號是以 WDM 方式同時發送。而上行方向，EPON 信號的波長是 1,260~1,360nm，IEEE 802.3av 標準規定 10G EPON 信號的上行波長是 1,260~1,280nm，二者有重疊，因此不能採用 WDM 方式，而採用雙速率 TDMA 方式加以實現，詳細實體層特性，如表 2-7 所示。

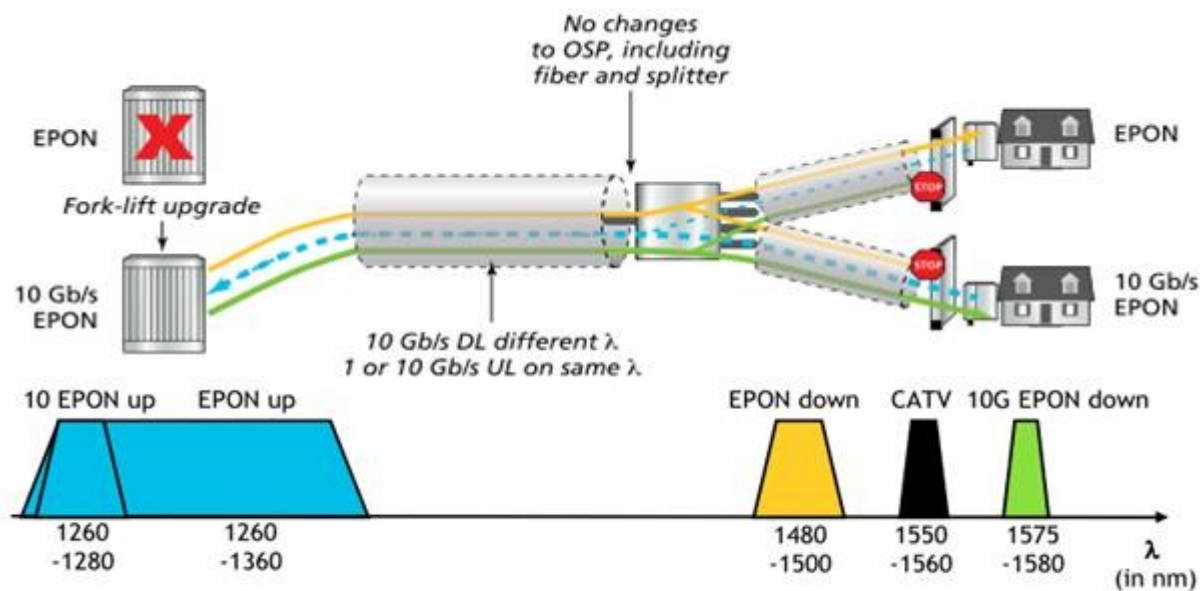


圖 2- 10G EPON 與 EPON 系統共存架構圖

資料來源：Alcatel-Lucent：“Future Technologies for the Mass Market Residential Access Network”(2010)

表 2- 10G-EPON 實體層特性

類別	說明
波長	上行：1,260~1,280nm 下行：1,575~1,580nm
傳輸速率	上行：10 Gbps、下行：10 Gbps 上行：1 Gbps、下行：10 Gbps
傳輸距離與分歧比	傳輸距離至少可達 10 公里或 20 公里 分歧比至少為 1:16 或 1:32
傳輸距離 (Nominal reach)	10/1GBASE-PRX-U1/D1：10 公里 10GBASE-PR-U1/D1：10 公里 10/1GBASE-PRX-U2/D2：20 公里 10/1GBASE-PRX-U3/D3：20 公里 10GBASE-PR-U1/D2：20 公里 10GBASE-PR-U3/D3：20 公里

資料來源：IEEE 802.3av(2009)，本研究團隊整理

7、主動式光接取網路(AON)

主動式光接取網路(AON)與被動式光纖網路(PON)的主要差異在於使用主動式電源裝置(Active Powered Electronics)進行配送，例如：交換機、多工器。從中央局端(CO)提供專用光纖頻寬的一路到用戶端，因此主動式(Active)光接取網路特質適用於「點對點」的網路。ONT 位於用戶端，可針對所收到的光訊號資料進行處理，如圖 2-34 所示

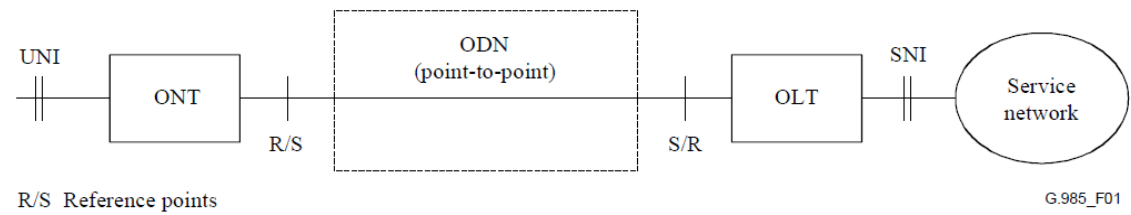


圖 2- AON 系統架構

資料來源：ITU-T Rec. G.985(2003)，本研究團隊整理

第3節綜合分析

國際標準組織在制訂 NGN 的技術標準過程，主要考量滿足次世代網路產業發展需求為前提下訂定目標，而不同標準組織之間則透過「聯合作業小組」(Joint Working Group, JWG) 針對彼此 NGN 的標準制定工作進行調諧及分工。目前國際標準組織依據 NGN 架構(服務層、傳輸層)之需求，已完成全 IP 化核心網路、Gbps 以上傳輸速率接取網路及應用服務界面標準等技術標準制訂，如表 2-8 所示。

表 2- NGN 技術標準發展現況

	ITU-T	ETSI	3GPP	IETF	CableLabs	IEEE
服務層	H.323	固網 IMS、 IPTV	行動 IMS	SIP/IPv6		
傳輸層	GPON、 XGPON			H.248/Megaco /MGCP/SCTP	Docsis 3.0	EPON、 10G-EPON、

資料來源：本研究團隊整理

本研究發現目前通信網路演進至 NGN 過程中，形成四大類的技術發展趨勢：

■ 固定通信網路和行動通信網路的 NGN 演進融合

目前，在 NGN 網路架構上主要由 ITU-T、ETSI 及 3GPP 所主導制訂，ITU-T 於 2005 年完成 NGN R1 的技術版本，規劃可同時滿足固定通信網路和行動通信網路服務的 NGN 模組化的網路架構，並由 ETSI TISPAN 及 3GPP 分別針對固定通信網路和行動通信網路服務制訂 NGN 的網路架構。例如 ITU-T 第 13 工作小組負責制訂 NGN 模組化的網路架構，而 ETSI TISPAN 則依據 3GPP 所制訂的 IMS 系統提出適用固定通信網路的 NGN 架構和邏輯功能元件，且 ETSI TISPAN 所提出的 NGN 架構可以同時接取行動通信網路用戶和固定通信網路用戶。在 ITU 所規劃的 NGN 演進藍圖中，固定通信網路和行動通信網路並非一次到位轉換成 NGN 架構，而是採取循序漸進方式完成轉換，例如固定通信網路將發展支援固定式及漫遊式的軟交換網路，接著演進成為能夠同時支援固定通信網路和行動通信網路的完整 NGN 網路。

■ 軟交換控制核心的 NGN 階層化網路架構

NGN 主要基於軟交換技術提供包括數據、語音、視訊等多媒體服務。而軟交換是 NGN 的重要組成部分及控制單元，主要功用是做為 NGN 的控制層元件及通過標準協定與 NGN 的其他元件進行通信，軟交換不僅能夠整合語音、數據與視訊，並能在固網與行動不同的網路之間進行協定轉換。ETSI TISPAN 的控制層元件包含 IP 多媒體子系統和 PSTN/ISDN 模擬子系統兩種邏輯功能實體，提供多媒體及傳統電信有關的功能和服務。IP 多媒體子系統和 PSTN/ISDN 模擬子系統可以根據用戶的需求，將兩種功能建置在同一個實體元件，也可以各別獨立設置在 NGN 網路。

■ IPv6 網路的演進

以 IP 為基礎的 NGN 網路，在應用服務層面日益擴大接取入網的元件不斷增加情況下，IP 位址已分配殆盡的 IPv4 將無法滿足 NGN 發展的需求，但具有 2^{128} 個位址空間的 IPv6 則可提供豐沛的 IP 位址，作為串連雲端計算、「無線射頻識別」(Radio Frequency Identification, RFID)、感測器等以 IP 網路為基礎的 NGN 應用服務之未來發展應用。目前 ITU-T、ETSI、3GPP 和 CableLabs 等國際標準組織在制訂相關 NGN 技術標準時 IP 定址技術主要採用 IPv4 與 IPv6 並行兼容方式，並逐漸轉移 IPv4 網路至 IPv6 網路。

■ 寬頻接取網路的演進

隨著跨越不同網路平台的 NGN 匯流服務(例如 VoIP、IPTV、線上遊戲、多媒體服務、雲端計算..)不斷推陳出新，刺激使用者網路頻寬的需求，帶動電信營運商佈建或升級網路基礎設施，以滿足使用者對於頻寬的需求。過去傳統電信交換機網路架構，頻寬的主要需求來自機房與機房之間的骨幹網路。因此，電信營運商大量佈建光纖骨幹網路，使得目前電信營運商之骨幹網路頻寬容量不致產生瓶頸。相較於光纖化骨幹網路，傳統銅絞線接取網路受限於傳輸媒介的頻寬特性，已無法滿足使用者的需求¹。因此，佈建寬頻接取網路滿足使用者頻寬需求，已成為電信營運商現階段重點工作。

在眾多的有線寬頻(固定通信)接取網路中，具有高頻寬(Gbps)特性及佈建彈性之光接取網路技術標準(ITU GPON/XG-PON、IEEE EPON/10G-EPON)，逐漸成為世界主要國家及我國發展 NGN 佈建有線寬頻接取網路，提供光纖到府系列 (Fiber to the x)服務，營造全光接取及智慧生活環境，ITU 與 IEEE 所制訂之光接取網路技術標準如表 2-9 所示。因此，本研究以光接取網路作為主要研究範圍，蒐集目前國際標準組織技術標準發展情況、世界主要國家部署情況及技術規範，分析其優缺點比較與我國現況差異，並建議適用於我國之技術規範，提供主管機關修訂技術管理規範之佐參。

表 2- ITU GPON/XG-PON、IEEE EPON/10G-EPON 技術標準差異比較

標準 組織	技術 標準	下行 傳輸速度 (Mbps)	上行 傳輸速度 (Mbps)	傳輸 距離(km)	ODN 類型及路徑衰 減規範 (dB)
ITU	GPON	1,244.16	155.52、62 2.08、 1244.16	10、20、60 (最大邏輯距離)	Class A：5-20 Class B：10-25 Class C：15-30
		2,488.32	155.52、62 2.08、 1244.16		
	XG-PON	9,953.28	2,488.32	20、40、60 (最大邏輯距離)	Class N1：14-29 Class N2：16-31 Class E1：18-33 Class E2：20-35

¹ 無線接取網路亦需有線接取網路提供基地台與機房之間傳輸頻寬。

IEEE	EPON	1,250		10 、 20	PX10-U ： 5-20
					PX10-D ： 5-19.5
	PX20-U ： 10-24				
	PX20-D ： 10-23.5				
10G -EPON	10,312.5	1,250	PRX10 、 PR10 ： 5-20		
	10,312.5			PRX20 、PR20 ： 10-24	
				PRX30 、PR30 ： 15-29	

資料來源：ITU、IEEE，本研究團隊整理

第3章 NGN 光接取網路之終端設備規格標準

在 NGN 光接取網路的發展演進，由於終端設備技術規格將依據所佈建之網路架構而有所不同，故本研究團隊歸納國際標準組織(ITU-T IEEE)之光接取網路終端技術規格，以供國內規範光接取網路終端設備技術之參考。

第1節 ITU GPON 和 XG-PON 終端設備規格標準

1、GPON/XG-PON 網路架構

ITU GPON 被定義於 ITU-T G.984.x 系列標準文件，XG-PON 則定義在 ITU-T G.987.x 系列標準中[9-10]，GPON/XG-PON 光接取網路的架構如圖 3-1 所示。圖中的 R 和 S 是參考點(Reference points)， O_{rd} 、 O_{ru} 、 O_{ld} 和 O_{lu} 是光接取介面(Optical interfaces)，實線代表正常運作的光纖，虛線代表選配(optional)的保護光纖。

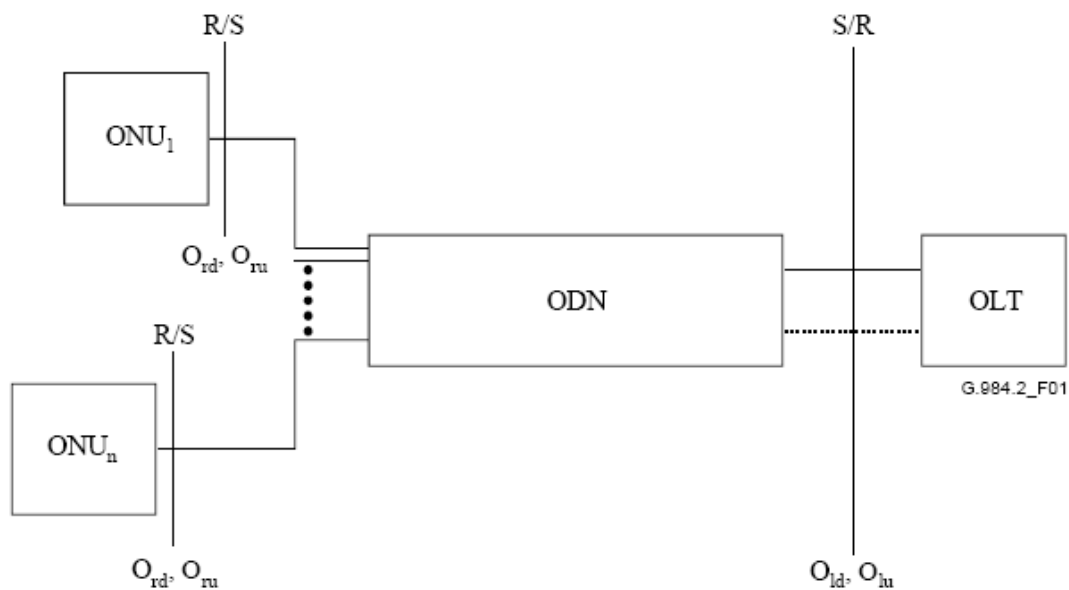


圖 3- GPON/XG-PON 網路架構

資料來源：ITU-T G.984-2(2003)/G.987-2(2010)

ODN 透過被動光學元件(passive optical components)構成光纖傳輸的網路，將機房局端所配送的光訊號，由光網路局端設備(OLT)傳送到分歧器在集縮分配給用戶終端的光網路終端設備(ONU/ONT)設備，反之亦然。OLT 提供光接取網路(OAN)網路端的介面，可以連接一個或多個 ODN。光網路終端設備(ONU/ONT)則提供 OAN 於用戶端的介面，並連接到 ODN。光傳輸的方向被定義如下：

- 光訊號從 OLT 往各個 ONU/ONT 的方向傳輸定義為下行傳輸(downstream)。
- 光訊號從各個 ONU/ONT 往 OLT 的方向傳輸定義為上行傳輸(upstream)。

下行與上行傳輸可以在相同的光纖和元件中進行，稱為半雙工/全雙工(duplex/duplex working)，也可在不同的光纖和元件中進行，稱為單工(simplex working)。

2、GPON/XG-PON「實體介質相依層」(Physical Media Dependent，PMD)之技術要求：

ITU 訂定此規範的所有參數值都是最壞情況值，技術標準在所運行的條件範圍（即溫度和濕度範圍）內都應滿足，包括老化效應。當光路徑衰減和色散狀況在極端情況時，針對設計目標的光段(optical section)之位元誤碼率(BER)不可劣於 1×10^{-10} 。

(1)傳輸媒介(Transmission medium)

在 GPON 的 ITU-T G.984.2 與 XG-PON 的 ITU-T G.987.2 標準建議書，皆以 ITU-T G.652 建議書所規範的光纖為基礎。其他類型的光纖可能會與建議書相容。例如，ITU-T G.657 所規範的光纖，可用於在大樓室內的佈線與分段部分。

(2)傳輸方向(Transmission direction)

在 GPON 與 XG-PON 系統，光訊號皆透過傳輸媒介在上行(upstream)和下行(downstream)方向傳輸。

(3)傳輸方法(Transmission methodology)

在 GPON 架構中，可藉由單光纖(single fiber)上使用分波多工(WDM)技術，或在二條光纖上分別進行單向傳輸，來完成雙向傳輸。在 XG-PON 架構中，是以單纖上使用分波多工(WDM)技術來完成雙向傳輸。

(4)傳輸速率(Bit rate)

傳輸線路的速率應當是 8Kbps 的倍數，ITU 訂定 GPON 及 XG-PON 系統的目標標準，如下說明：

1. GPON 傳輸速率

由於 GPON 系統發展考量向下相容 BPON 系統，因此採用對稱性及非對稱性兩種傳輸模式，以相容既有系統延續使用，其中下行(OLT→ONU/ONT)

傳輸速率提供 1,244.16Mbps 與 2,488.32Mbps 兩種超過 Gbps 的傳輸速率，搭配上行(ONU/ONT→OLT)155.52Mbps 或 622.08Mbps 兩種不同傳輸速率組成非對稱性傳輸模式，以及搭配上行 1,244.16Mbps 或 2,488.32Mbps 兩種傳輸速率組成對稱性傳輸模式，如表 3-1 所示。

表 3- GPON 傳輸速率

下行傳輸(Downstream) 單位：Mbps	上行傳輸(Upstream) 單位：Mbps
1,244.16	155.52
	622.08
	1,244.16
2,488.32	155.52
	622.08
	1,244.16
	2,488.32

資料來源：ITU-T Rec.G.984-2(2003)

(1) GPON 下行傳輸(Downstream)說明

OLT 到 ONU/ONT 信號的傳輸速率是 1,244.16 或 2,488.32 Mbps。當 OLT 和局端處於正常的工作狀態時，速率追蹤第一層(Stratum-1)時鐘(精準度為 1×10^{-11})。當局端處於自由振盪模式時，下行傳輸信號速率追蹤第三層(Stratum-3)時鐘(精準度為 4.6×10^{-6})。當 OLT 處於自由振盪模式時，下行信號速率追蹤第四層(Stratum-4)時鐘(精準度為 3.2×10^{-5})。

(2) GPON 上行傳輸(Upstream)說明

ONU/ONT 到 OLT 信號的傳輸速率是 155.52、622.08、1244.16 或 2488.32 Mbps。當處於其中一種工作狀態並有授權時，ONU/ONT 應依據接收下行信號的精準度發送信號。當不處於其中一種工作狀態或沒有授權時，ONU/ONT 不發送任何信號。

2. XG-PON 傳輸速率

目前 ITU 所制訂的 XG-PON 傳輸模式為非對稱性下行 9.95328 Gbps 與上行 2.48832 Gbps，對稱性傳輸模式上下行皆為 9.95328 Gbps 傳輸速率，預計制訂在 XG-PON2 規格中。

(1) XG-PON 下行傳輸(Downstream)說明

OLT 到 ONU/ONT 信號的傳輸速率是 9.95328 Gbps。當 OLT 和局端處於正常的工作狀態，速率追蹤第一層(Stratum-1)時鐘(精準度為 1×10^{-11})。當 OLT 處於自由振盪模式時，下行信號速率追蹤第四層(Stratum-4)時鐘(精準度為 3.2×10^{-5})。當 OLT 在自由振盪模式作為關鍵時序(timing-critical)應用，例如行動骨幹網路(mobile backhaul)，可能需要第四層(Stratum-4)時鐘的品質。OLT 無論是從專門的定時信號源(dedicated timing signal source)或從同步數據介面(線路定時(line timing))都可以得到它的時間，也可以使用封包定時(packet-based timing)資源。

(2) XG-PON 上行傳輸(Upstream)說明

ONU/ONT 到 OLT 信號的傳輸速率是 2.48832 Gbps。當處於工作狀態，並有授權時，ONU/ONT 應依據接收下行信號的精準度發送信號。

(5)線路碼(Line code)

ITU 針對 GPON 及 XG-PON 之線路碼(Line code)，下行(Downstream)和上行(Upstream)皆採取不歸零(NRZ)編碼。在實體介質相依層(PMD)中不定義擾碼方法(scrambling method)。擾碼方法被定義於 ITU-T G.984.3(GPON)，及 ITU-T G.987.3(X-GPON)的規範中。常規使用的光邏輯準位值是：

- 光發射的高準位值是二進位 “1”；
- 光發射的低準位值是二進位 “0”。

(6)工作波長(Operating wavelength)

1. GPON 工作波長

■ 下行方向(Downstream direction)

在單光纖系統，下行方向的工作波長範圍是 1,480-1,500 nm。在雙光纖系統，下行方向的工作波長範圍是 1,260-1,360 nm。

■ 上行方向(Upstream direction)

上行方向的工作波長範圍是 1,260-1,360 nm。

2. XG-PON 工作波長

■ 下行方向(Downstream direction)

下行方向的工作波長範圍是 1,575-1,580 nm。其中於戶外使用時，下行為 1,575-1,581 nm。

■ 上行方向(Upstream direction)

上行方向的工作波長範圍是 1,260-1,280 nm。

(7) O_{ld} 和 O_{ru} 的發射機(Transmitter at O_{ld} and O_{ru})

1. 光源類型(Source type)

按照衰減(attenuation)/色散(dispersion)的特性，對於每種的應用在 ITU-T 規範中，稱為光源類型。在 GPON 系統中，發射機設備包括「多縱模」(Multi-Longitudinal Mode, MLM)雷射和「單縱模」(Single-Longitudinal Mode, SLM)雷射。在 XG-PON 系統中，可行的發射機設備只包括單縱模(SLM)雷射。雖然在 ITU-T G.987-2 規範中指示的正常光源類型並不是必需的，但它也預期只有 SLM 雷射能滿足所有 XG-PON 系統的距離和線路，及下行和上行鏈路的速率要求。此外，由於實際距離/線路速率的限制，ITU-T G.987-2 建議書並不考慮使用多縱模(MLM)雷射。

2. 光譜特性(Spectral characteristics)

在 GPON 系統中，對於 MLM 的雷射，是以標準工作狀態的最大均方根(RMS)寬度來規範譜寬。RMS 寬度被理解為光譜分佈之標準差的平均。RMS 寬度的測量方法應考慮到不低於峰值 20 dB 的所有模式。對於 SLM 雷射，則用中心波長峰的最大全寬度來規範最大頻寬，在標準工作狀態距中心波長最大幅度之下 20 dB 處測量。另外，在 SLM 系統中為控制模式分配雜訊，要規範雷射邊模抑制比(side-mode suppression ratio)的最小值。

在 XG-PON 系統中，對於 SLM 的雷射被規範在其光纖的色散範圍內，超過該範圍內的雷射特性和色散效應。在標準操作條件下所指定的光纖距離將導致一個定義上的損失(penalty)。此外，在 SLM 系統中為控制模式分配雜訊，要規範雷射邊模抑制比的最小值。實際的光譜特性受限於最大光纖路徑損耗數量的產生，即數據通道中最壞情況下的色散。因此，在 ITU-T G.987-2 建議書中，並不考慮 MLM 雷射的使用。

3. 平均發射功率(Mean launched power)

在 GPON 與 XG-PON 系統中， O_{ld} 和 O_{ru} 的平均發射功率是指發射機耦合進入光纖的虛擬亂數(pseudo-random)資料序列之平均功率。它被設定一個範圍，以便能夠對製造成本進行優化並能包容於標準工作條件下的工作誤差、發射機連接器的劣化、測量誤差和老化效應。在工作狀態中，較低的數值是應提供的最小功率，較高的數值是決不能超過的功率。換言之，在 O_{ru} 光介面發射功率的測量，應考慮到 ONU/ONT 上行突發性的傳輸流量。

(1) 無輸入時發射機洩漏功率 (Launched optical power without input to the transmitter)

在上行方向，在沒有指派給 ONU/ONT 的所有時槽內，ONU/ONT 發射機應當沒有發射功率。故規範表 3-5 至表 3-12 沒有傳輸資料輸入送到發射機時發射光功率的光功率位準。此外，除了用於雷射預偏置(pre-bias)最後的 Tx 啟始位元(Tx Enable)，和緊隨指派封包的 Tx 停止位元(Tx Disable)期間，在此期間輸出落到零之外，在指派給它的時槽保護時間(guard time)之期間，ONU/ONT 也應符合這個要求。

在 GPON 系統中，允許的最大發射功率位準，是雷射預偏置為零準位所對應於表 3-5 至表 3-12 中規定消光比的期間，在 XG-PON 系統則對應於表 3-15 至表 3-16。GPON 對於每種上行傳輸速率，所規範的 Tx 啟始(Tx Enable)與 Tx 停止(Tx Disable)最大數目，將由表 3-5 至表 3-12 提供，XG-PON 則由表 3-15 至表 3-16 提供。

4. 消光比(Minimum extinction ratio)

在 GPON 與 XG-PON 系統中，光邏輯位準採用的慣例是：

- 高位準光功率值的邏輯是"1"
- 低位準光功率值的邏輯是"0"

消光比(extinction ratio，EX) 的定義是：

$$EX = 10 \log_{10} (A/B)$$

上式中，A 是邏輯"1"的平均光功率位準，B 是邏輯"0"的平均光功率位準。上行方向突發模式(burst mode)信號的消光比，適用於從突發信號起始的第一個位元到最後一個位元，但不適用於與光功率設置相關的最終程序。

5. 最大反射波長 (Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength)

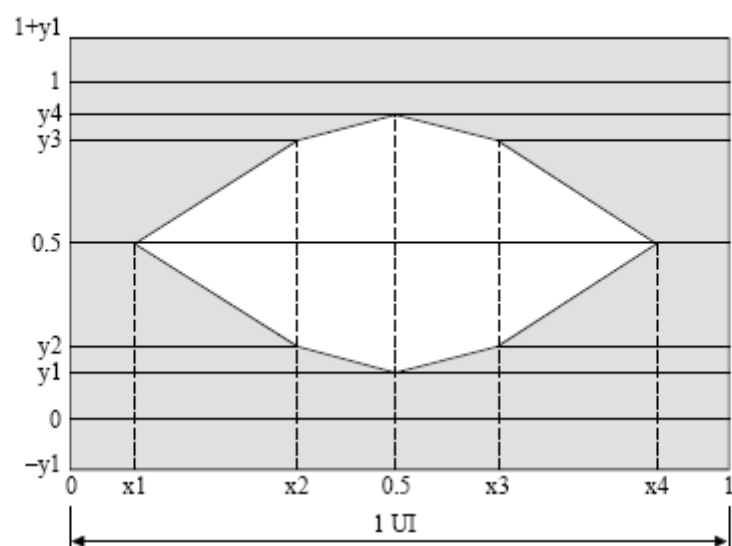
在 O_{ld}/O_{ru} 測得的設備最大允許反射規範了從設備（ONU/ONT）、OLT 反射到光纜設施的反射。在 GPON 系統中，應當符合表 3-5 至表 3-15 規定。在 XG-PON 系統中，則應符合表 3-5 至表 3-16 規定。

6. 發射機眼圖遮罩(Mask of transmitter eye diagram)

在 GPON 的 ITU-T G.984-2 及 XG-PON 的 ITU-T G.987-2 的規範中，一般發射機的脈衝形狀，包括上升時間、下降時間、脈衝過衝(pulse overshoot)、脈衝未達目標(pulse undershoot)和振盪，所有這些都應加以控制以預防接收機靈敏度過度的劣化，故在 GPON 的 ITU-T G.984-2 及 XG-PON 的 ITU-T G.987-2 的建議書中，以 O_{ld}/O_{ru} 的發射機眼圖遮罩的形式加以規範。

(1) ONU/ONT 發射機(ONU/ONT transmitter)

在 GPON 系統中，ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範的參數，如圖 3-2 所示。上行方向突發模式信號的眼圖遮罩適用於從突發信號起始的第一個位元到最後一個位元，但不適用於與光功率建立有關的最終程序。在 XG-PON 系統中，ONU/ONT 發射機眼圖遮罩如圖 3-3 所示，ONU/ONT 發射機的參數數值如表 3-2 中所示。測量眼圖遮罩的測試裝置，如圖 3-4 所示。



	155.52 Mbit/s	622.08 Mbit/s	1244.16 Mbit/s	2488.32 Mbit/s
x1/x4	0.10/0.90	0.20/0.80	0.22/0.78	For further study
x2/x3	0.35/0.65	0.40/0.60	0.40/0.60	For further study
y1/y4	0.13/0.87	0.15/0.85	0.17/0.83	For further study
y2/y3	0.20/0.80	0.20/0.80	0.20/0.80	For further study

圖 3- GPON ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範

資料來源：ITU-T Rec.G.984.2(2003)

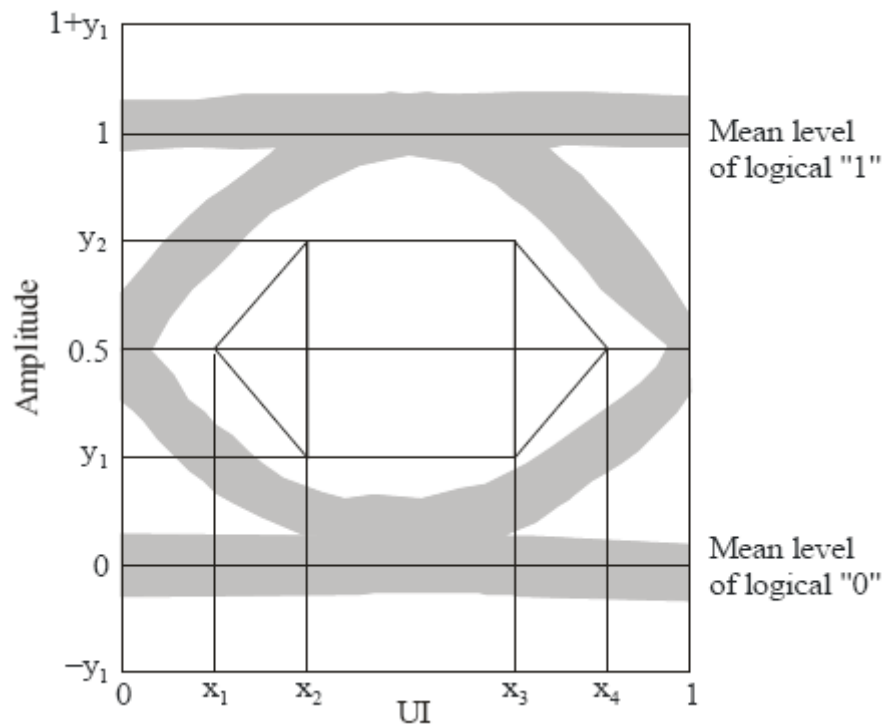


圖 3- XG-PON ONU/ONT 發射機眼圖遮罩

*Mean level of centre of logical "1"：邏輯"1"的中央平均光功率值

*Mean level of centre of logical "0"：邏輯"0"的中央平均光功率值

資料來源：ITU-T Rec.G..987.2(2010)

表 3- XG-PON ONU/ONT 發射機參數數值

	2.48832 Gbit/s
$x_3 - x_2$	0.2
y_1	0.25
y_2	0.75

資料來源：ITU-T Rec.G..987.2(2010)

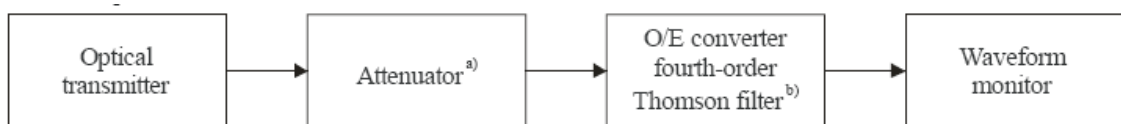


圖 3- 測量眼圖遮罩的測試裝置

*必要時使用衰減器。

*濾波器的截止頻率(3dB 衰減頻率)是 0.75 倍的輸出速率。

資料來源：ITU-T Rec.G..987.2(2010)

(2) 反射光功率容忍限度(Tolerance to the reflected optical power)

在 GPON 系統中，規定的發射機性能必須符合表 3-5 至表 3-12 規範的在 S 點呈現的光反射準位。在 XG-PON 系統中，則須滿足表 3-15 和表 3-16 在 S 點呈現的光反射準位。

(8) O_{ld}/O_{ru} 和 O_{rd}/O_{lu} 之間的光路徑(Optical path between O_{ld}/O_{ru} and O_{rd}/O_{lu})

1. 衰減範圍(Attenuation range)

衰減的規範是以最壞情況下的值，包括接頭、連接器、光衰減器（若有使用）或其他無源光設備的損耗，以及應附加在光纜餘量(cable margin)的下列情況：

- 未來光纜配置的修改（增加接頭、增加光纜長度等）。
- 由於環境因素引起的光纜性能變化。
- 在 S 和 R 點之間安裝的任何連接器、光衰減器（若有使用）或其他無源光設備的劣化。

(1) GPON 系統

在 GPON 系統中，依 ITU-T G.984.2/G.983.1/G.982 建議書規定衰減範圍規範為五類：

- A 類：5-20 dB。
- B 類：10-25 dB。
- B+類：13-28 dB。
- C 類：15-30 dB。
- C+類：17-32 dB。

(2) XG-PON 系統

在 XG-PON 系統中，依 ITU-T G.987.2 規範之各類型的光路徑損失分為四類：

- N1 類：14-29 dB。

- N2 類：16-31 dB。
- E1 類：18-33 dB。
- E2 類：20-35 dB。

2. 在 R/S 點的光纜設施，連接器的最小光反射損失(Minimum optical return loss of the cable plant at point R/S, including any connectors)

在 GPON 與 XG-PON 系統中，在 ODN 內 R/S 點之所有最小「光反射損失」(Optical Return Loss, ORL) 指標，應優於 32 dB。另可選擇的是 ODN 內 S 點的最小 ORL 指標應高於 20 dB。ODN 模型 S/R 點的總反射是由「光配線架」(Optical Distribution Frame, ODF) 的光連接器控制。在 ITU-T G.982 建議書中單一離散元件的最大反射是 -35 dB。來自兩個 ODF 連接器的反射，將導致其值為 -32 dB。然而，根據另一種網路模型，總反射變得比 -32 dB 還差。

3. S 和 R 點之間最大離散反射(Maximum discrete reflectance between points S and R)

在 GPON 與 XG-PON 系統中，ODN 內所有的離散反射(discrete reflectance)應較 -35 dB 更好，如 ITU-T G.982 建議書的規定。

4. S/R 點與 R/S 點之間最大光纖距離(Maximum fiber distance between S/R and R/S points)

在 GPON 系統中，ITU-T G.984.2 所定義的 S/R 點與 R/S 點之間最大光纖距離為 20 公里或 10 公里(可選擇)，在 XG-PON 系統中，ITU-T G.987.2 規範將光纖距離差(Differential Distance, DD)分為 DD20 與 DD40 等二類。其中，DD20 最大的距離差為 20 公里，DD40 最大的距離差為 40 公里。

5. 色散(Dispersion)

在 GPON 系統中，受色散限制的系統具有最大的色散值（單位：ps/nm），如表 3-5 至表 3-12 所示。在 XG-PON 系統中，則如表 3-15 至表 3-16 所示。這些值符合規範的最大光路徑損失。它們考慮到了特定的發射機類型，和工作波長範圍內的光纖色散係數。所考察的受衰減限制的系統若沒有最大色散值規範，則以“NA”（不採用）表示。

(9) O_{rd} 和 O_{lu} 的接收機(Receiver at O_{rd} and O_{lu})

1. 最大光路徑損耗(Maximum optical path penalty)

由於光訊號在光路徑傳輸時的信號波形失真，將導致光接收器之靈敏度明顯的降低。造成光傳輸品質總劣化的「光路徑耗損」(Optical Path Penalty, OPP)成因，包括反射「符元間干擾」(Inter-Symbol Interference, ISI)、雷射模態分割雜訊(Mode Partition Noise)，以及引起訊號波長寬度會變寬的 chirp 效應等。其影響結果是在最小的發射機輸出功率(minimum output power)和最小接收機靈敏度(minimum receiver sensitivity)另外減少光路徑損失，造成最大光路徑衰減(maximum optical path attenuation)的差異，如圖 3-5 所示。

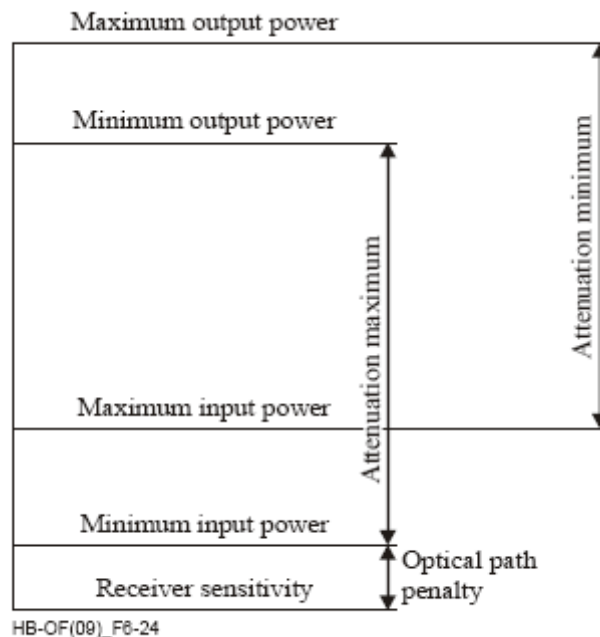


圖 3- 最大光路徑衰減的差異

資料來源：ITU-T Handbook, Optical fibers, cables and systems(2009)

在 GPON 方面，根據 ITU-T G.984-2 規範，要求接收機容許光路徑損耗不超過 1 dB。在上行方向，規定雷射器類型在 ODN 上產生的光路徑損耗需小於 1 dB。傳輸速率在 622 Mbps 或以上時，色散(dispersion)引起上行方向的光路徑損耗增加是可以被接受的。如果光路徑損耗超過 1 dB，可以透過增加最小的發射機功率或提高最小接收機靈敏度來做補償 [8]。

在 XG-PON 方面，根據 ITU-T G.987-2 規範，要求在 9.95328Gbps 下行方向，要求接收機容許光路徑損耗不超過 1 dB，在 2.48832Gbps 上行方向，要求接收機容許光路徑損耗不超過 0.5 dB[10]。

2. 接收機靈敏度(Receiver sensitivity)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，光接收機靈敏度被定義為：在參考點 R 點上，達到 10^{-10} 的 BER 的最小可接受之平均接收功率值。接收機靈敏度必須考慮到，

所使用的發射機在消光比(extinction ratio)、脈衝上升和下降時間、R/S 點的光反射損失(Return Loss)最差情況下之標準工作條件，以及接收機連接器劣化和測量誤差等帶來的功率損失。雖然接收機靈敏度不包括，與色散(dispersion)、抖動(jitter)、或光路徑的反射(reflection)相關的功率損耗，但這些效應在最大光路徑損耗(maximum optical path penalty)中作出規定。接收機靈敏度之數值，詳如表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 所示。

3. 接收機過載(Receiver overload)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，接收機過載是為獲得 10^{-10} BER 在 R 點接收平均功率的最大可接受值。由於啟動或測距(ranging)期間的潛在碰撞，所引起的光功率位準(optical power level)增加，接收機應具有某種程度的耐受力，對這些情況不保證 BER 仍為 10^{-10} 。接收機過載之數值，詳如表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 所示。

4. 最大邏輯距離(Maximum logical reach)

在 GPON 網路中，最大邏輯距離定義為在不考量光預算(optical budget)的情況下，實際傳輸系統能獲得的最大長度並以公里測量，不受 PMD 參數限制。

5. 最大邏輯距離差(Maximum differential logical reach)

在 GPON 網路中，最大邏輯距離差是所有 ONU/ONT 邏輯距離之間的最大差，並以公里為單位測量，不受 PMD 參數限制。

6. 在接收機波長測量之接收設備的最大反射 (Maximum reflectance of receiver equipment, measured at receiver wavelength)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，從設備 (ONU/OLT) 返回光纜設施的反射，在 O_{rd} 和 O_{lu} 測得的允許最大設備反射規範，應符合表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 所示。

7. 光路徑損耗差(Differential optical path loss)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，光路徑損耗差是指在同一個 ODN 內，最大和最小光路路徑損耗間的差值。最大光路徑損耗差值，詳如表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 所示。

8. 時脈抽取能力(Clock extraction capability)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，上行傳輸信號的時脈從幾個前置碼(preamble)的交替位元中迅速抽出。從前置碼中抽出的時脈，至少要維持在接收信號的定界分隔符號到上行封包終點的這個期間，或連續地從接收信號前置碼之後的信號中抽取。

9. 抖動性能(Jitter Performance)

(1) GPON 的抖動性能

(A) 抖動傳遞(Jitter transfer)

抖動傳遞技術要求只適用於 ONU/ONT，抖動傳遞函數的定義是：

$$jitter\ transfer = 20\log_{10}\left[\frac{jitter\ on\ upstream\ signal\ UI}{jitter\ on\ downstream\ signal\ UI} \times \frac{down\ stream\ bit\ rate}{upstream\ bit\ rate}\right]$$

其中，jitter on upstream signal UI 是指上行信號抖動時間間隔 (Unit Interval, UI)。jitter on downstream signal UI 是指下行信號抖動 UI，downstream bit rate 是下行傳輸率，upstream bit rate 是上行傳輸率。

ONU/ONT 的抖動傳遞函數應當在圖 3-6 的曲線之下，當輸入的正弦抖動超過時，可應用圖 3-7 的容限區間。

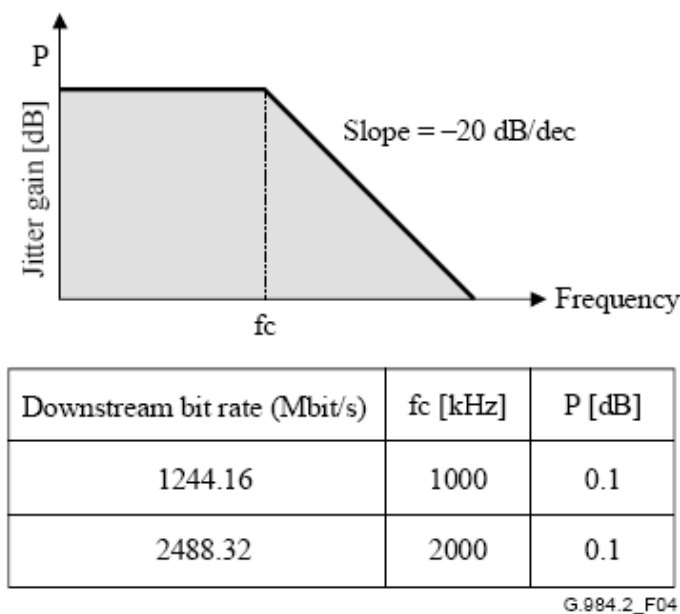


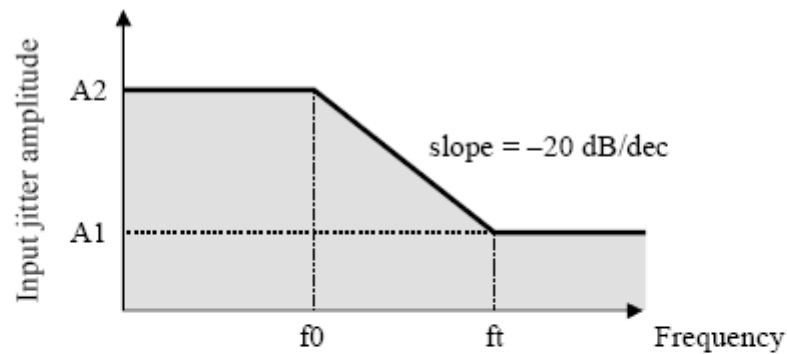
圖 3- GPON ONU/ONT 的抖動傳輸

*Jitter gain：抖動增益

*Slope：斜率(-20dB/dec)

*fc：頻率(kHz)

資料來源：ITU-T Rec.G.984-2(2003)



Downstream bit rate (Mbit/s)	ft [kHz]	f0 [kHz]	A1 [UIp-p]	A2 [UIp-p]
1244.16	500	50	0.075	0.75
2488.32	1000	100	0.075	0.75

G.984.2_F05

圖 3- GPON ONU/ONT 的抖動容限區間

*Input jitter amplitude：輸入抖動幅度

*Slope：斜率(-20dB/dec)

*fc：頻率(kHz)

資料來源：ITU-T Rec.G.984.2(2003)

(B) 抖動容忍限度(Jitter tolerance)

抖動容忍限度的定義是：會對光設備引起 1 dB 光功率損耗之施加在輸入 GPON 信號上正弦抖動的峰對峰(peak to peak)振幅。這是一種壓力測試(stress test)，以便確保在運行條件下不會遭受附加的損耗。ONU/ONT 至少應容許施加於符合圖 3-8 範本的輸入抖動與圖中規範每種傳輸速率的參數。

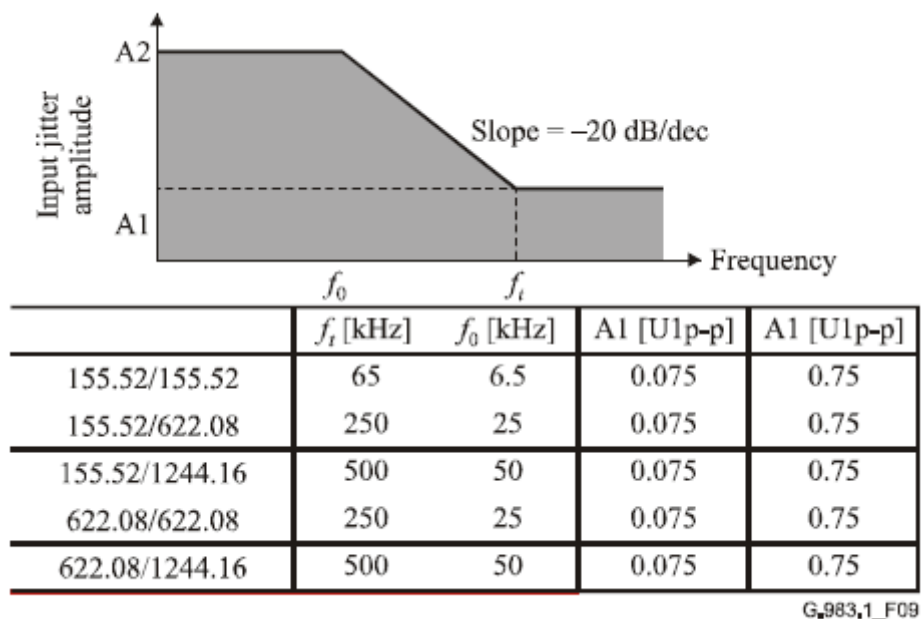


圖 3- 抖動容忍限度

資料來源：ITU-T Rec.G.983.1(2005)

(C) 抖動產生(Jitter generation)

抖動產生之技術要求只適用於 ONU/ONT。在下行輸入沒有施加抖動時，頻寬測量的規範如表 3-5 至表 3-12 所示。在傳輸速率為 155.52 或 622.08 Mbps，ONU/ONT 應不產生大於 0.2 UI 的峰-峰抖動。在傳輸速率為 1,244.16 Mbps 應不產生大於 0.33 UI 的峰-峰抖動。在 2,488.32 Mbps 允許的最大峰-峰抖動及相關的測量頻率範圍則尚未制訂。

(2) XG-PON

(A) 抖動傳遞(Jitter transfer)

抖動傳遞技術要求只適用於 ONU/ONT，抖動傳遞函數的定義是：

$$jitter\ transfer = 20\log_{10}\left[\frac{jitter\ on\ upstream\ signal\ UI}{jitter\ on\ downstream\ signal\ UI} \times \frac{down\ stream\ bit\ rate}{upstream\ bit\ rate}\right]$$

上式中 jitter on upstream signal UI 是指上行信號抖動時間間隔單位(Unit Interval, UI)。jitter on downstream signal UI 是指下行信號抖動 UI，downstream bit rate 是下行傳輸率，upstream bit rate 是上行傳輸率。

ONU/ONT 的抖動傳遞函數應當在圖 3-9 的曲線之下，當輸入的正弦抖動超過時，可應用圖 3-10 的容限區間。

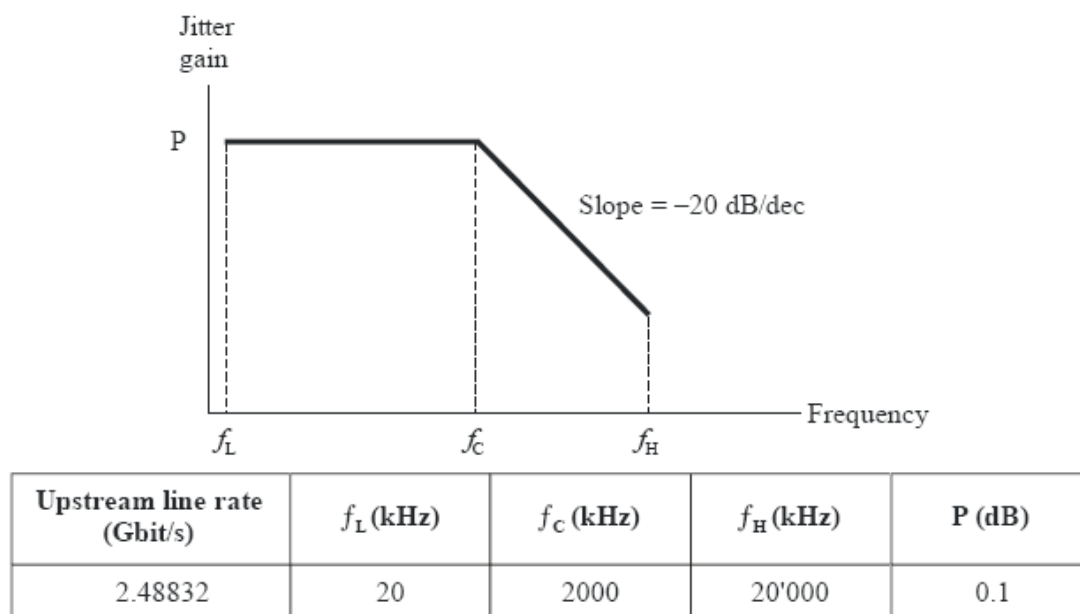


圖 3- XG-PON OUN 抖動傳遞

*Jitter gain：抖動增益

*Slope：斜率(-20dB/dec)

*Frequency：頻率(kHz)

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)

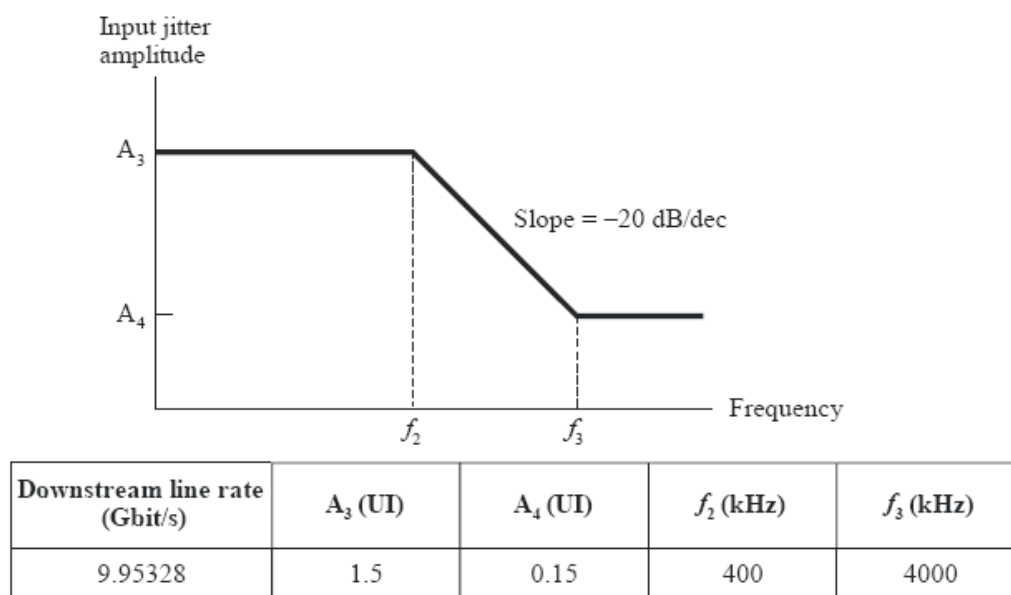


圖 3- XG-PON 抖動傳遞的高頻段正弦抖動區間

*Input jitter amplitude：輸入抖動幅度

*Slope：斜率(-20dB/dec)

*Frequency：頻率(kHz)

資料來源：ITU-T G.987.2(2010)

(B) 抖動容忍限度(Jitter tolerance)

抖動容忍限度的定義是：會對光設備引起 1 dB 光功率損耗之施加在輸入 XG-PON 信號上正弦抖動的峰對峰(peak to peak)振幅。這是一種壓力測試(stress test)，以便確保在運行條件下不會遭受附加的損耗。ONU/ONT 至少應容許施加於符合圖 3-11 範本的輸入抖動與下行傳輸速率的參數。

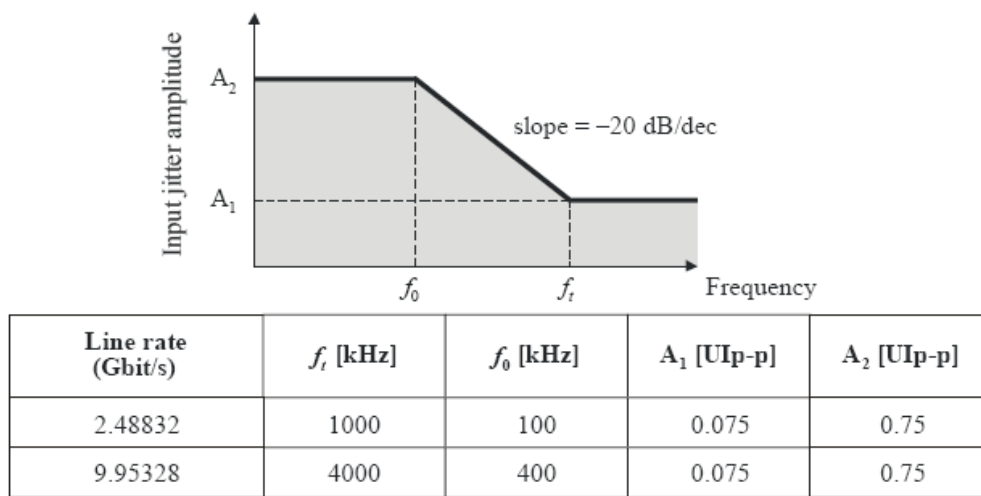


圖 3- XG-PON 的抖動容限區間

*Input jitter amplitude：輸入抖動幅度

*Slope：斜率(-20dB/dec)

*Frequency：頻率(kHz)

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)

(C) 抖動產生(Jitter generation)

ONU/ONT 產生的峰-峰抖動振幅將不超過表 3-3 中傳輸速率在 2.48832 Gbps 的數值。在下行輸入沒有施加抖動時，頻寬測量規範如表 3-3 所示。

表 3- XG-PON 抖動產生規範

傳輸速率 (Gbps)	測量頻帶		峰-峰振幅(peak-peak amplitude (UI)
	(-3dB 頻率)		
	高通 (kHz)	低通(MHz) -60dB/dec	
2.48832	5	20	0.30
	1,000	20	0.10
9.95328	20	80	0.30
	4,000	80	0.10

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)，本研究團隊整理

10. 連續同一數字(Consecutive Identical Digit，CID)免除性

在 GPON 與 XG-PON 網路中，OLT 和 ONU/ONT 應當具有如表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 所規定的 CID 免除性。

11. 接收機反射功率之容忍限度(Receiver tolerance to reflected power)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，反射功率容忍限度是當多重反射的光線分別被當作在 O_{rd} 和 O_{lu} 的雜訊光線時，能容許的 O_{rd} 和 O_{lu} 光輸入平均功率與反射光平均功率之比。反射功率容忍限度被定義在最小的接收機靈敏度。

12. 傳輸品質和差錯性能(Transmission quality and error performance)

在 GPON 與 XG-PON 網路中，為避免系統的停機或失效，訊框架構應具穩健性，其傳輸誤碼率應比現行的表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 中定義的值為大。單個鏈路(individual link)在整個 PON 系統上的平均 BER，通常是低於在表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 中所定義的值。在條件允許的情況下，光學元件將比表 3-5 至表 3-12 和表 3-15 至表 3-16 之定義，提供較佳的 BER 值。

(10)功率準位調整機制(Power Leveling Mechanism，PLM)

由於 OLT 到 ONU/ONT 的距離、輸出功率的誤差和一般 ODN 的損失等因素，OLT 接收機必須提供一個用於接收高傳輸速率的高靈敏度及較大的動態

範圍。為了緩和這種動態範圍，運用功率準位調整機制(PLM)可調整 ONU/ONT 的光功率，使 OLT 接收機的動態變化盡可能變短。

在 GPON 系統中，根據 ITU-T G.984.2 的規範 OLT 接收器要求在 1,244.16 Mbps 及以上速率採用基於 APD 的實現方式。這種接收器對於高位元傳輸率的突發模式(burst-mode)接收必須提供高靈敏度和大動態範圍。因此，需要綜合考慮基於 APD 的接收器的倍增因數 M，這是一個複雜的問題特別是對於 GPON 支援增補波段(Enhancement Band)的情況，在那種情況由額外的 WDM 分量的損耗和損耗變化要會進一步提高。為了緩和 OLT 接收器動態範圍要求，遭遇低的 ODN 損耗，ODN 的發射機功率位準應當降低，以避免 OLT 接收器超載。基於這個理由，應當實施適當的功率準位調整機制。

功率準位調整機制要求的功能屬於(Transmission Convergence, TC)TC 層，例如 ONU/ONT 能夠根據 OLT 發來的下行訊息，增加或減小發送的功率。這樣的功能以及在初始化或在運行期間，執行功率位準調節的能力。在 GPON 系統中，ONU/ONT 輸出功率有三種模式，PMD 能直接位於任何模式中運行，以獲得以下規定範圍內的輸出功率：

- 模式 0: 正常功率
- 模式 1: 低 1 = 正常的 - 3dB
- 模式 2: 低 2 = 正常的 - 6dB

3、GPON 終端設備技術標準

表 3- ODN 的實體介質相依層參數

項目	單位	規範
Fiber type (註 1)		ITU-T G.652 建議書
Attenuation range (ITU-T Rec. G.982)	dB	A 類：5-20
		B 類：10-25
		C 類：15-30
Differential optical path loss	dB	15
Maximum optical path penalty	dB	1
Maximum logical reach	km	60 (註 1)

項目	單位	規範
Maximum differential logical reach	km	20
Maximum fiber distance between S/R and R/S points	km	20 (10 為選項)
Minimum supported split ratio		受路徑損耗限制
		PON 有被動分歧器(16, 32 或 64 路分歧)
Bidirectional transmission		1-光纖分波多工(WDM)或 2-光纖
Maintenance wavelength	nm	尚未制訂
註 1 — 為了未來能擴展距離(> 20 公里)而使用另外類型光纖的 PMD 規範尚未制訂。 註 2 — 考量到今後 PMD 的規範，這個最大距離受系統的更高層(MAC、TC、測距)控制。		

資料來源：ITU-T Rec.G.984.2(2003)，本研究團隊整理

(1)GPON 下行傳輸速率的光介面參數

表 3- 1,244Mbps 下行方向光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 接收機(光介面 O _{rd})					
Maximum reflectance of equipment, measured at receiver wavelength	dB	小於-20			小於-20		
Bit error ratio		小於 10 ⁻¹⁰			小於 10 ⁻¹⁰		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Minimum sensitivity	dBm	-25	-25	-26	-25	-25	-25

項目	單位	單光纖			雙光纖		
Minimum overload	dBm	-4	-4	-4(註)	-4	-4	-4
Consecutive identical digit immunity	bit	大於 72			大於 72		
Jitter tolerance		圖 3-7			圖 3-7		
Tolerance to the reflected optical power	dB	小於 10			小於 10		

註 — 為支持 C 類 ODN，只要求 - 6 dBm 超載時，在此選定 - 4 dBm 超載值作為覆蓋所有 ODN 類別的 ONU/ONT 接收器的統一值。

資料來源：ITU-T G.984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 2,488Mbps 下行方向光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 接收機(光介面 O _{rd})					
Maximum reflectance of equipment, measured at receiver wavelength	dB	小於-20			小於-20		
Bit error ratio		小於 10 ⁻¹⁰			小於 10 ⁻¹⁰		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Minimum sensitivity	dBm	-21	-21	-28(註)	-21	-21	-28(註)
Minimum overload	dBm	-1	-1	-8(註)	-1	-1	-8(註)
Consecutive identical digit immunity	bit	大於 72			大於 72		
Jitter tolerance		圖 3-7			圖 3-7		
Tolerance to the reflected optical power	dB	小於 10			小於 10		

項目	單位	單光纖	雙光纖
註 — 這些值是假定 OLT 發射機使用高功率 DFB 雷射器和 ONU/ONT 使用基於 APD 的接收機。考量到 SOA 技術今後的發展，OLT 發射機今後會用 DFB 雷射器加 SOA 或更高功率雷射器來實現，ONU/ONT 會使用基於 PIN 的接收機。假定值是(以眼圖安全性規則和實踐為條件)： OLT 發射機最大平均發射功率： +12 dBm OLT 發射機最小平均發射功率： +8 dBm ONU/ONT 接收機最小靈敏度： -23 dBm ONU/ONT 接收機最小超載： -3 dBm			

資料來源：ITU-T G.984.2(2003)，本研究團隊整理

(2)GPON 上行方向四種傳輸速率的光介面參數

表 3- 155Mbps 上行方向光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖			
		ONU/ONT 發射機(光介面 O _{ru})						
Nominal bit rate	Mbps	155.52			155.52			
Operating wavelength	nm	1,260-1,360			1,260-1,360			
Line code		擾碼 NRZ			擾碼 NRZ			
Mask of the transmitter eye diagram		圖 3-2			圖 3-2			
Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength	dB	小於-6			小於-6			
Minimum ORL of ODN at O _{ru} and O _{rd} (註 1、2)	dB	大於 32			大於 32			
ODN Class		A	B	C	A	B	C	
Mean launched power MIN	dBm	-6	-4	-2	-6	-4	-2	
Mean launched power MAX	dBm	-0	+2	+4	-1	+1	+3	

項目	單位	單光纖	雙光纖
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	比最小靈敏度-10 還小	比最小靈敏度-10 還小
Maximum Tx Enable (註 3)		2	2
Maximum Tx Disable (註 3)		2	2
Extinction ratio	dB	大於 10	大於 10
Tolerance to the transmitter incident light power	dB	大於-15	大於-15
If MLM Laser ?Maximum RMS width	nm	5.8	5.8
If SLM Laser ?Maximum -20 dB width (註 4)	nm	1	1
If SLM Laser ?Minimum side mode suppression ratio	dB	30	30
Jitter transfer		圖 3-6	圖 3-6
Jitter generation from 0.5 kHz to 1.3 MHz	UI p-p	0.2	0.2
註 1 — 在 O_{ru}、O_{rd}、O_{lu} 和 O_{ld} 點，ODN 的最小 ORL 值，如 ITU-T G.983.1 所述的任意情況下，應大於 20 dB。 註 2 — 在 O_{ru}、O_{rd}、O_{lu} 和 O_{ld} 點，ODN 的最小 ORL 值為 20 dB 的情況下，ONU/ONT 發射機反射的值如 ITU-T G.983.1 所述。 註 3 — 如沒有輸入到發射機時之發射光功率(Launched optical power without input to the transmitter)的規定。 註 4 — 最大-20 dB 頻寬和最小邊模抑制比之值參見 ITU-T G.957 建議書。			

資料來源：ITU-T Rec.G.984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 622Mbps 上行方向光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 發射機(光介面 O _{ru})					
Nominal bit rate	Mbps	622.08			622.08		
Operating wavelength (註 5)	nm	MLM 類型 1 或 SLM：1,260-1,360			MLM 類型 1 或 SLM：1,260-1,360		
		MLM 類型 2：1,280-1,350			MLM 類型 2：1,280-1,350		
		MLM 類型 3：1,288-1,338			MLM 類型 3：1,288-1,338		
Line code		擾碼 NRZ			擾碼 NRZ		
Mask of the transmitter eye diagram		圖 3-2			圖 3-2		
Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength	dB	小於-6			小於-6		
Minimum ORL of ODN at O _{ru} (註 1、2)	dB	大於 32			大於 32		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	-6	-1	-1	-6	-1	-1
Mean launched power MAX	dBm	-1	+4	+4	-1	+4	+4
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	比最小靈敏度-10還小			比最小靈敏度-10還小		
Maximum Tx Enable (註 3)		8			8		
Maximum Tx Disable (註 3)		8			8		

項目	單位	單光纖	雙光纖
Extinction ratio	dB	大於 10	大於 10
Tolerance to transmitter incident light power	dB	大於-15	大於-15
MLM Laser - Maximum RMS width (註 5)	nm	MLM 類型 1 : 1.4	MLM 類型 1 : 1.4
		MLM 類型 2 : 2.1	MLM 類型 2 : 2.1
		MLM 類型 3 : 2.7	MLM 類型 3 : 2.7
SLM Laser_Maximum -20 dB width (註 4)	nm	1	1
If SLM Laser_Minimum side mode suppression ratio	dB	30	30
Jitter transfer		圖 3-6	圖 3-6
Jitter generation from 2.0 kHz to 5.0 MHz	UI p-p	0.2	0.2
*註 1 — 在 Oru、Ord、Olu 和 Old 點，ODN 的最小 ORL 值，如 ITU-T G.983.1 所述的任意情況下，應大於 20 dB。 *註 2 — 在 Oru、Ord、Olu 和 Old 點，ODN 的最小 ORL 值為 20 dB 的情況，ONU/ONT 發射機反射的值如 ITU-T G.983.1 所述。 *註 3 — 如沒有輸入到發射機時之發射光功率(Launched optical power without input to the transmitter)的規定。 *註 4 — 最大-20 dB 頻寬和最小邊模抑制比之值參見 ITU-T G.957 建議書。 *註 5 — 符合窄頻寬規範的發射激類型，允許較寬的中心波長範圍。規定的雷射器類型在整個 ODN 上產生的光功率損耗小於 1 dB。假如 1) 總波長範圍不超過 1260-1360 nm，和 2) 能用提高最小發射功率或提高最小接收器靈敏度來補償超過 1 dB 的光路徑損耗，則可以用具有不同光參數的雷射器來取代它。			

資料來源：ITU-T G.984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 1,244Mbps 上行方向光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 發射機(光介面 O _{ru})					
Nominal bit rate	Mbps	1244.16			1244.16		
Operating wavelength	nm	1260-1360			1260-1360		
Line code		擾碼 NRZ			擾碼 NRZ		
Mask of the transmitter eye diagram		圖 3-2			圖 3-2		
Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength	dB	小於-6			小於-6		
Minimum ORL of ODN at O _{ru} and O _{rd} (註 1、 2)	dB	大於 32			大於 32		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	-3(註 5)	-2	+2	-3(註 5)	-2	+2
Mean launched power MAX	dBm	+2(註 5)	+3	+7	+2(註 5)	+3	+7
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	比最小靈敏度-10 還小			比最小靈敏度-10 還小		
Maximum Tx Enable (註 3)		16			16		
Maximum Tx Disable (註 3)		16			16		
Extinction ratio	dB	大於 10			大於 10		
Tolerance to transmitter incident light power	dB	大於-15			大於-15		

項目	單位	單光纖	雙光纖
MLM Laser_Maximum RMS width	nm		
SLM Laser_Maximum -20 dB width (註 4)	nm	1	1
If SLM Laser ?Minimum side mode suppression ratio	dB	30	30
Jitter transfer		圖 3-6	圖 3-6
Jitter generation from 4.0 kHz to 10.0 MHz	UI p-p	0.33	0.33
*註 1 — 在 Oru、Ord、Olu 和 Old 點，ODN 的最小 ORL 值，如 ITU-T G..983.1 所述的任意情況下，應大於 20 dB。 *註 2 — 在 Oru、Ord、Olu 和 Old 點，ODN 的最小 ORL 值為 20 dB 的情況，ONU/ONT 發射機反射的值如 ITU-T G..983.1 所述。 *註 3 — 如沒有輸入到發射機時之發射光功率(Launched optical power without input to the transmitter)的規定。 *註 4 — 最大-20 dB 頻寬和最小邊模抑制比之值參見 ITU-T G..957 建議書。 *註 5 — 當 MLM 雷射器類型不能符合表 3-4 的整個 ODN 光纖距離時，如果 R/S 和 S/R 之間最大 ODN 光纖距離限制在 10 公里之內，則可以使用這樣的雷射器。表 3-8 的 MLM 雷射器類型能用來支持 1,244.16 Mbps 所受限制的光纖距離。			

資料來源：ITU-T Rec.G984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 1,244Mbps 上行方向，在 ONU/ONT 發射機採用功率值調節機制的光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 發射機(光介面 O _{ru})					
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	-2(註 2)	-2	+2	-2(註 2)	-2	+2

項目	單位	單光纖			雙光纖		
Mean launched power MAX	dBm	+3(註 2)	+3	+7	+3(註 2)	+3	+7
*註 1 — 本表僅列出因為在 ONU/ONT 發射機應用了功率電平調節機制而使表 3-4 中有變化的參數，也就是應用了 ONU/ONT 發射機的發射功率和 OLT 接收機的靈敏度和超載的變化參數。其他參數和備註與表 3-4 的相同。 *註 2 — 這些值是假設在 A 類的 OLT 使用基於 PIN 的接收機。根據連接到 OLT 的 ONU/ONT 的多寡，更經濟的實現方式是在 OLT 使用基於 APD 的接收機，讓 ONU/ONT 能使用更便宜的光纖連接發射功率雷射器。在這種情況，A 類的值是： ONU/ONT 發射機最小平均發射功率： - 7 dBm ONU/ONT 發射機最大平均發射功率： - 2 dBm OLT 接收機最小靈敏度： - 28 dBm OLT 接收機最小超載： - 10 dBm 為了符合眼圖，限制了發送的最小功率，以減小功率電位準調節的影響。							

資料來源：ITU-T Rec.G984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 2,488Mbps 上行方向光介面參數

項目	單位	單光纖	雙光纖
		ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})	
Nominal bit rate	Mbps	2,488.32	24,88.32
Operating wavelength	nm	1,260-1,360	1,260-1,360
Line code		擾碼 NRZ	擾碼 NRZ
Mask of the transmitter eye diagram		圖 3-2	圖 3-2
Maximum reflectance of equipment, measured at transmitter wavelength	dB	FFS	FFS
Minimum ORL of ODN at O_{ru} and O_{rd}	dB	FFS	FFS

項目	單位	單光纖			雙光纖		
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	FFS			FFS		
Mean launched power MAX	dBm	FFS			FFS		
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	FFS			FFS		
Maximum Tx Enable (註 2)		32			32		
Maximum Tx Disable (註 2)		32			32		
Extinction ratio	dB	FFS			FFS		
Tolerance to the transmitter incident light power	dB	FFS			FFS		
If MLM Laser_Maximum RMS width	nm	FFS			FFS		
If SLM Laser_Maximum -20 dB width	nm	FFS			FFS		
If SLM Laser_Minimum side mode suppression ratio	dB	FFS			FFS		
Jitter transfer		圖 3-6			圖 3-6		
Jitter generation (measurement frequency range is FFS)	UI p-p	FFS			FFS		
*註 1 — FFS = 尚未制訂							
*註 2 — 如沒有輸入到發射機時之發射光功率(Launched optical power without input to the transmitter)的規定。							

資料來源：ITU-T Rec.984.2(2003)，本研究團隊整理

表 3- 2,488Mbps 上行方向，在 ONU/ONT 發射機採用功率值調節機制的光介面參數

項目	單位	單光纖			雙光纖		
		ONU/ONT 發射機(光介面 O _{ru})					
ODN Class		A	B	C	A	B	C
Mean launched power MIN	dBm	FFS			FFS		
Mean launched power MAX	dBm	FFS			FFS		
*註 一本表僅列出因為在 ONU/ONT 發射機應用了功率電平調節機制而使表 3-9 中有變化的參數，也就是應用了 ONU/ONT 發射機的發射功率和 OLT 接收機的靈敏度和超載的變化參數。其他參數和備註與表 3-9 的相同。							

資料來源：ITU-T Rec.984.2(2003)，本研究團隊整理

4、XG-PON 終端設備技術標準

國際電信標準組織 ITU 所制訂之 XG-PON 依據光訊號在 ODN 的路徑衰減的範圍，可區分為 4 種類別(N1、N2、E1 及 E2)的網路，以對映不同服務距離之網路型態，如表 3-13 所示。

表 3- XGPON 各類別光路徑衰減值

	正常類別(N1)	正常類別(N2)	延展類別(E1)	延展類別(E2)
最小衰減值	14dB	16dB	18dB	20dB
最大衰減值	29dB	31dB	33dB	35dB

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)，本研究團隊整理

對於單星形(single-star)架構，光分歧裝置可能導致光路徑衰減小於 5 dB。在這樣的情況下，在 ODN 必須包含額外的光衰減器，以讓定義的類別保障最低限度的路徑損耗，以防止對接收機的潛在損害及確保傳輸品質。

ITU 在 XG-PON 標準中訂定 DD20 和 DD40 的兩種服務範圍的類型，DD20 的最大服務距離是 20 公里，而 DD40 最大服務距離則是 40 公里。

表 3- XG-PON 的 ODN 實體介質相依(PMD)層參數

項目	單位	規範
Fiber type		依據 ITU-T G.652 建議書
Attenuation range (如表 3-13)	dB	N1 類：14-29
		N2 類：16-31
		E1 類：18-33
		E2 類：20-35
Maximum fiber distance between S/R and R/S points	Km	DD20：20
		DD40：40
Minimum fiber distance between S/R and R/S points	Km	0
Bidirectional transmission		1-光纖分波多工(WDM)
Maintenance wavelength	Nm	參考 ITU-T L.66 建議書

資料來源：ITU-T Rec.G..987.2(2010)，本研究團隊整理

(1) XG-PON 下行方向的光介面參數

表 3- XG-PON 9.95328Gbps 下行方向光介面參數

項目	單位	單光纖
ONU/ONT 接收機(光介面 O_{rd})		
Maximum optical path penalty (註 3)	dB	1.0
Maximum reflectance at R/S, measured at receiver wavelength	dB	小於-20

項目	單位			單光纖			
Bit error ratio reference level		小於 10 ⁻³ (註 1)					
ODN Class		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Minimum sensitivity at BER reference level (註 2)	dBm	-28.0	-28.0	-21.5	-28.0	-28.0	-21.5
Minimum overload at BER reference level	dBm	-8.0	-8.0	-3.5	-8.0	-8.0	-3.5
Consecutive identical digit immunity	bit	大於 72					
Jitter tolerance		圖 3-11					
Receiver tolerance to reflected optical power (註 4)	dB	小於 10					
*註 1 – 更多細節請參見[ITU-T G-Sup.39]，第 9.4.1 條。 *註 2- 這種靈敏度應符合在同一個 ODN，GPON 和視頻疊加的狀況。如果 GPON、視頻疊加或它們兩者不存在時，靈敏度可能是不同的。 *註 3 – 特定的損耗可達 40 公里的連接距離。 *註 4 - 參見 [ITU-T Rec.G..984.2] 反射光功率容忍限度 (Tolerance to the reflected optical power)。							

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)，本研究團隊整理

(2)XG-PON 上行方向的光介面參數

表 3- XG-PON 2.48832Gbps 上行方向光介面參數

項目	單位	標準值
ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})		

項目	單位	標準值			
Nominal line rate	Gbps	2.48832			
Operating wavelength	nm	1260-1280			
Line code		擾碼 NRZ			
Mask of the transmitter eye diagram		圖 3-3			
Maximum reflectance at R/S, measured at transmitter wavelength	dB	小於-6			
Minimum ORL of ODN at O_{ru} and O_{rd} (註 1、註 2)	dB	大於 32			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0
Mean launched power MAX	dBm	+7.0	+7.0	+7.0	+7.0
Launched optical power without input to the transmitter (註 3)	dBm	比 BER 參考值的最小靈敏度-10 還小			
Maximum Tx enable (註 3)		32			
Maximum Tx disable (註 3)		32			
Minimum extinction ratio	dB	8.2			
Transmitter tolerance to reflected optical power	dB	大於-15			
Dispersion range (註 4、註 5)	ps/nm	0 到-140(DD20)			
		0 到-280(DD40)			
Minimum side mode suppression ratio	dB	30			
Jitter transfer		圖 3-9			
Jitter generation		表 3-3			

項目	單位	標準值
*註 1 - 有可選的情況下，ODN 在 Oru 和 Ord 的最小 ORL 可以低至 20dB，(見[ITU-T G.983.1 附錄 I])。 *註 2 - ONU/ONT 傳送器對應 ODN 在 Oru 和 Ord 的最小 ORL 的反射值為-20 dB(見[ITU-T G.983.1 附錄 II])。 *註 3 - 定義在沒有輸入到發射機時之發射光功率(Launched optical power without input to the transmitter)。 *註 4 - 此色散範圍被認為是設定雷射光譜特性最合適的方法。這些值都被認為兼容於使用最大-20 dB 頻寬和低於 2.5 Gbps 傳輸速率的舊方法設定值。 *註 5 -最大的等效頻寬值-20 dB 被規範在當小於 1nm 時。		

資料來源：ITU-T Rec.G.987.2(2010)，本研究團隊整理

第2節IEEE EPON 和 10G-EPON 終端設備規格標準

1、EPON 終端設備規格標準

(1)概述

1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 實體介質相關子層提供點到多點結構的被動光纖網路連接，可支援傳輸距離分別至少 10 公里及 20 公里，典型分歧比為 1:16。在 EPON 系統中，下行方向為點到多點的拓撲結構；而其上行方向則為多點到點的拓撲結構。上下行方向使用同一根光纖。所謂下行方向，係指由局端設備 OLT 傳送至用戶端 ONU/ONT，而上行方向，則指 ONU/ONT 傳送至 OLT²。

1000BASE-PX10 鏈路的一端使用 1000BASE-PX10-U PMD，另一端使用 1000BASE-PX10-D PMD 作連接；1000BASE-PX20 鏈路的一端使用 1000BASE-PX20-U PMD，另一端使用 1000BASE-PX20-D PMD 作連接。其中，「D」及「U」分別表示鏈路兩端的 PMD 發射及接收方向。1000BASE-PX20-D PMD 與 1000BASE-PX10-U PMD 互通，俾未來可支援傳輸距離由 10 公里升級至 20 公里。通常，EPON 下行傳輸波長為 1,490nm，而其上行傳輸波長為 1,310nm。另外，如網路使用「向前錯誤更正」(Forward Error Correction, FEC) 技術，可提高集縮比或傳輸距離等。IEEE 802.3 標準關於 EPON 系統的實體介質相關子層類型，如表 3-17 所示。

² IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, p.45.

表 3- IEEE 802.3 標準 EPON 系統實體介質相關子層類型

項 目	1000BASE PX10-U	1000BASE PX10-D	1000BASE PX20-U	1000BASE PX20-D	單位
Fiber type	B1.1, B1.3 單模光纖				
Number of fibers	1				
Nominal transmit wavelength	1,310	1,490	1,310	1,490	nm
Transmit direction	上行	下行	上行	下行	
Minimum range(註1)	0.5公尺至10公里		0.5公尺至20公里		
Maximum channel insertion loss(註2)	20	19.5	24	23.5	dB
Minimum channel insertion loss(註3)	5		10		dB

註1：如網路使用前向錯誤更正技術，可提高傳輸距離或容許較高的通道衰減等。

註2：指正常發射波長。

註3：鏈路衰減差係指最大通道衰減與最小通道衰減之差。

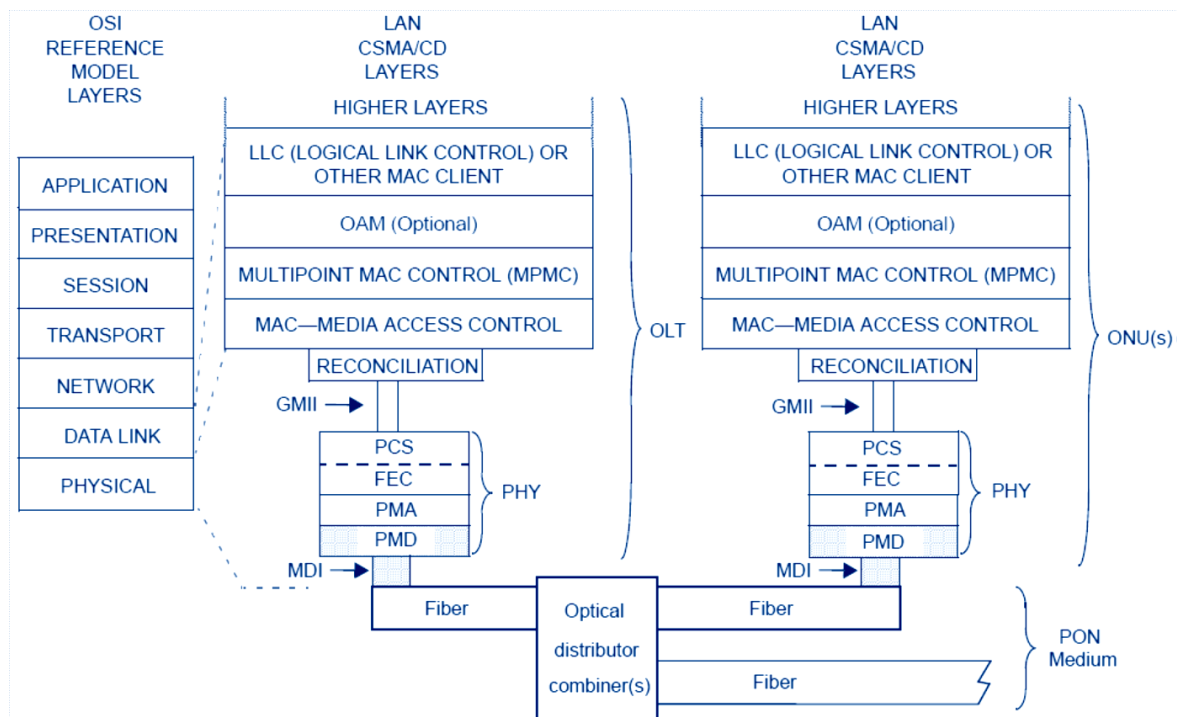
資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.1, p.123.

1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 特性如次：

- 點到多點的光纖傳輸。
- 單模光纖速率為 1,000 Mbps、分歧比為 1:16、傳輸距離可達 10 公里。
- 單模光纖速率為 1,000 Mbps、分歧比為 1:16、傳輸距離可達 20 公里。
- 實體層服務介面誤碼率，等於或優於 10^{-12} 。

1. 802.3 標準架構下之 PMD 定位

有關點到多點 EPON 系統之 PMD 與其他分層及開放式通信系統互連（OSI）參考模型之間的關聯性，如圖 3-12 所示。



GMII = Gigabit Media Independent Interface Gbit介質獨立介面
MDI = Medium Dependent Interface 介質相依介面
OAM = Operations, Administration & Maintenance 維運、管理與維護
OLT = Optical Line Terminal 光線路終端
ONU = Optical Network Unit 光網路單元
PCS = Physical Coding Sublayer 實體編碼子層
PHY = Physical Layer Device 實體層設備
PMA = Physical Medium Attachment 實體介質附著層
PMD = Physical Medium Dependent 實體介質相依層

圖 3- IEEE EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.1.2, p.124.

2. PMD 子層服務介面

PMD 子層服務介面支援 PMA 及 PMD 實體間的 8B/10B 碼組交換。PMD 子層將 PMA 的序列數據轉換為適合特定介質的信號。由「介質相依介面」(Medium Dependent Interface, MDI) 至 Gbit「介質獨立介面」(Gigabit Media Independent Interface, GMII) 有延遲要求，每個 PMD 發射及接收功能可預留 20 ns，並考量尾纖的情形。1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX10 PMD 所提供指定服務如次：

(1) PMD_UNITDATA.request

此資料元定義為由 PMA 至 PMD 的序列數據串流轉換。其服務資料元為 PMD_UNITDATA.request(tx_bit)。PMD_UNITDATA.request 所傳輸的數據為連

續的位元流 tx_bit 參數值為 1 或 0 擇一。PMA 以正常速率 1.25 GBd 連續發送位元流至 PMD；一旦接收到此資料元，PMD 將特定的位元流於 MDI 轉換為適當的信號。

(2) PMD_UNITDATA.indication

此資料元定義為由 PMD 至 PMA 的數據傳輸。其服務資料元為 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)。PMD_UNITDATA.indication 所傳輸的數據為連續的位元流。rx_bit 參數值為 1 或 0 擇一。PMD 連續發送由 MDI 所接收的位元流至 PMA。

(3) PMD_SIGNAL.request

在上行方向，此資料元為由實體編碼子層（Physical Coding Sublayer，PCS）生成，以依據授權時間開啟及關閉發射機。其服務資料元為 PMD_SIGNAL.request(tx_enable)。tx_enable 參數值為啟用（ENABLE）或禁用（DISABLE）擇一，以開啟或關閉 PMD 發射機。PCS 產生此資料元用於指示 tx_enable 參數值之變化；一旦接收到此資料元，PMD 相應開啟或關閉發射機。

(4) PMD_SIGNAL.indication

此資料元為由 PMD 生成，以指示由 MDI 所接收的信號狀態。其服務資料元為 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)。SIGNAL_DETECT parameter 參數值為成功（OK）或失敗（FAIL）擇一，以表示 PMD 接收機光檢測是否成功。當出現 SIGNAL_DETECT = FAIL 時，PMD_UNITDATA.indication(rx_bit) 未定義；PMD 生成此資料元以指示 SIGNAL_DETECT 參數值變化。如 MDIO 介面完成，則 PMD_global_signal_detect 須連續設定 SIGNAL_DETECT 值。而 SIGNAL_DETECT = OK 不保證 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit) 是好的；因為有時鏈路品質差，即使檢測到足夠的光（SIGNAL_DETECT = OK），但仍可能不符合鏈路正常傳輸之位元錯誤率要求。另 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT) 在上行/下行鏈路時，其特性並不相同。

(2) PMD 功能規格

1000BASE-PX PMD 執行 PMD 服務介面與 MDI 介面間數據傳輸的發射及接收功能。

1. PMD 方塊圖

PMD 子層定義 4 個參考點，如圖 3-13 所示。其中，第 1 個數字表示下行方向，第 2 個數字表示上行方向。TP2 及 TP3 為相容參考點，TP1 及 TP4 為執行參考點。光發射信號定義在光纖跳接線輸出端（TP2）之 2 至 5 公尺處，該跳接線的光纖類型與發射機類型一致。除非另行定義，否則全部發射機在 TP2 進行量測與檢測。光接收信號定義在光纖接收機輸出端（TP3）。除非另行定義，否則全部接收機在 TP3 進行量測與檢測。

PMD 服務介面的電力規格（TP1 及 TP4）並非系統的相容參考點，因為系統執行時無法對其進行檢測。

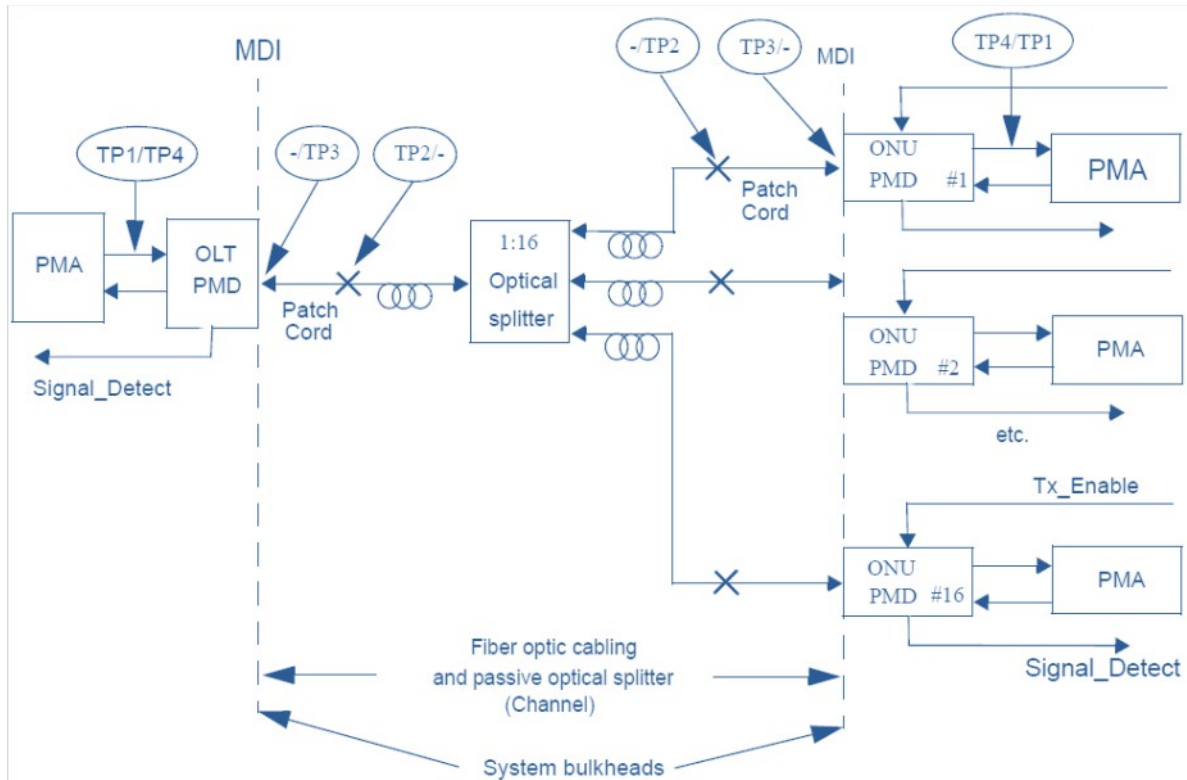


圖 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX 方塊圖

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.2.1, p.126.

2. PMD 發射功能

PMD 發射功能應由 PMD 服務介面訊息 `PMD_UNITDATA.request(tx_bit)` 所要求的位元傳輸至 MDI。當 `tx_bit = ONE` 時，對應至較高的光功率水準。

在上行方向時，依據 `PMD_SIGNAL.request(tx_enable)` 以中斷位元流。此意味有「1」、「0」及「暗」等三種級別，後者表示發射機處於「關閉」狀態。

3. PMD 接收功能

PMD 接收功能應將由 MDI 介面訊息 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)所接收的位元傳輸至 PMD 服務介面。當 rx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率水準。

4. PMD 信號檢測功能

(1) 光網路單元 PMD 信號檢測（下行）

PMD 信號檢測功能應使用連續 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)訊息，將下行信號上報予 PMD 服務介面。PMD_SIGNAL.indication 訊息用於指示光信號存在與否。

SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-18 關於 1000BASE-PX 的條件定義。PMD 接收機無需驗證所接收信號是否相容於 1000BASE-PX。

(2) 光線路終端 PMD 信號檢測（上行）

對於突發模式(burst mode)的上行信號，PMD 信號檢測功能的回應時間可能大於或小於突發長度，因此可能無法滿足傳統的信號檢測要求。PMD_SIGNAL.indication 訊息用於指示光信號存在與否。光線路終端 PMD 信號檢測功能可於 PMD 或 PMA 層執行。SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-18 的條件定義。PMD 接收機無需驗證所接收信號是否相容於 1000BASE-PX。1000BASE-PX PMD 信號檢測參數值定義，如表 3-18 所示。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX 信號檢測值定義

接 收 條 件		Signal_detect值
1000BASE-PX10	1000BASE-PX20	
平均輸入光功率 ≤ 表：1000BASE-PX10 接收特性之信號偵測臨界值（最小）	平均輸入光功率 ≤ 表：1000BASE-PX20 接收特性之信號偵測臨界值（最小）	FAIL
平均輸入光功率 ≥ 表：1000BASE-PX10 接收特性及與1000BASE-X相容的信號輸入條件下之最大接收靈敏度	平均輸入光功率 ≥ 表：1000BASE-PX20 接收特性及與1000BASE-X相容的信號輸入條件下之最大接收靈敏度	OK
所有其他條件	所有其他條件	未規定

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.2.4.3, p.126.

5. 光網路單元 PMD 發射啟用功能

PMD_SIGNAL.request(tx_enable)定義是因為有兩種光網路單元 PMD。光網路單元 PMD 發射數據前先判斷是否收到 PMD_SIGNAL.request(tx_enable)訊息。

(3)1000BASE-PX10-D 及 1000BASE-PX10-U 發收機由 PMD 至 MDI 的光規格

1000BASE-PX10 發收機工作範圍定義，如表 3-17 所示。符合 1000BASE-PX10 規格的發收機，須運作如表 3-20 所列的介質類型；超出其工作範圍要求但符合其他全部光規格的發收機，視為符合規範。諸如，作業於 10.5 公里但符合 1000BASE-PX10 關於 0.5 公尺至 10 公里最小範圍要求的單模解決方案。

1. 發射機光規格

1000BASE-PX10-D 及 1000BASE-PX10-U 發射機的信號速率、工作波長、光譜寬、平均發射功率、消光比、反射損失容限、OMA、眼圖、發射機色散損失及 $RIN_{15}OMA$ ，應符合表 3-19 之定義。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 發射特性

項 目	1000BASE PX10-D	1000BASE PX10-U	單位
Nominal transmitter type (註1)	長波雷射	長波雷射	
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range) (註2)	1,480 ~ 1,500	1,260 ~ 1,360	nm
RMS spectral width (max)	詳表2-4	詳表2-4	nm
Average launch power (max)	+2	+4	dBm
Average launch power (min)	-3	-1	dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)	-39	-45	dBm
Extinction ratio (min)	6	6	dB
RIN ₁₅ OMA (max)	-118	-113	dB/Hz
Launch OMA (min)	-2.2 (0.6)	-0.22 (0.95)	dBm (mW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, Y1, Y2, Y3}	{0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30}	{0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30}	UI
Ton (max)	不適用	512	ns
Toff (max)	不適用	512	ns
Optical return loss tolerance (max)	15	15	dB
Optical return loss of ODN (min)	20	20	dB
Transmitter reflectance (max)	-10	-6	dB
Transmitter and dispersion penalty (max)	1.3	2.8	dB
Decision timing offset for transmitter and dispersion penalty (min)	± 0.1	± 0.125	UI

註1：正常的設備不要求原型，符合本表所定義關於發射機特性的設備，可取代該正常發射機類型。

註2：此為RMS光譜寬的中心波長±1σ範圍。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.3.1, p.128.

表 3- IEEE 802.3 標準 EPON 光纖特性

項 目 (註1)	B1.1, B1.3 SMF		單位
Nominal wavelength (註2)	1,310	1,550	nm
Cable attenuation (max) (註3)	0.4	0.35	dB/km
Zero dispersion wavelength (λ_0) (註4)	$1,300 \leq \lambda_0 \leq 1,324$		nm
Dispersion slope (max) (S ₀)	0.093		ps/nm ² km.

註1：除色散 (dispersion) 值為強制規範外，其他為參考性。

註2：波長規格為一般所量測的正常光纖波長。

註3：單模光纖衰減值依ITU-T G.652之定義。

註4：零色散波長及色散斜率，依據IEC 60793或ITU-T G.652。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.3.1, p.128.

1000BASE-PX10 最大容許 RMS 頻寬與對應波長，如表 3-21 所示；其中，第 2 欄為正常值，最右欄為參考值。1000BASE-PX10-U 最大容許 RMS 頻寬與對應波長，如圖 3-14 所示。

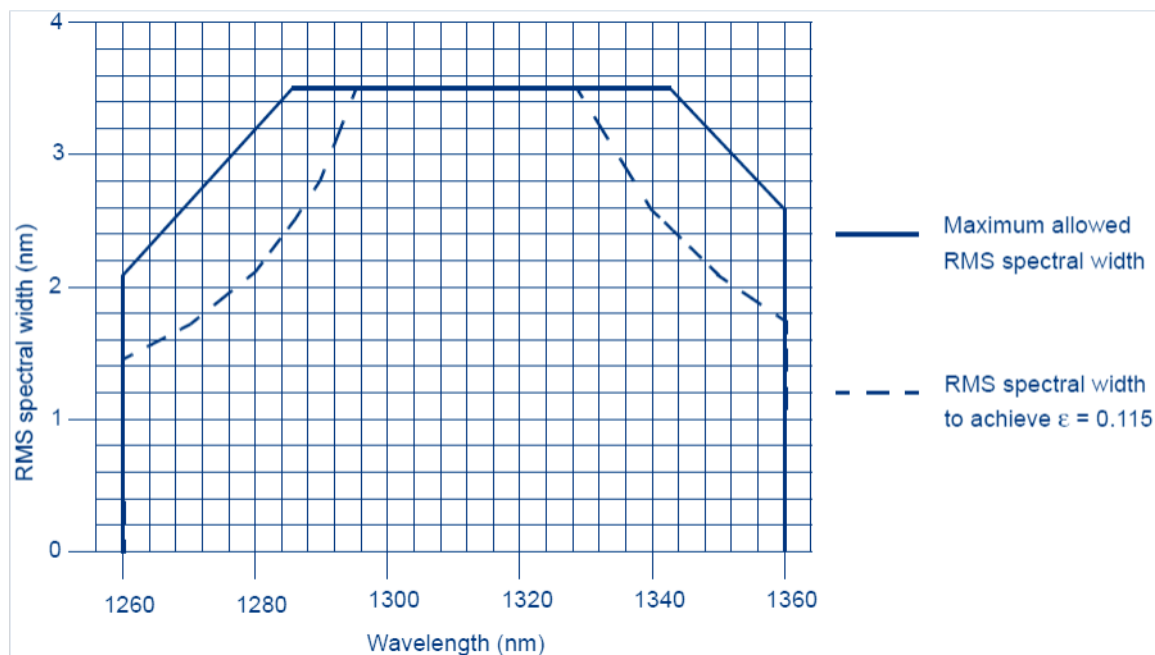


圖 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10-U 發射機光譜範圍

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.3.1, p.129.

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 發射機光譜範圍

Center Wavelength	RMS spectral width (max) ^a	RMS spectral width to achieve epsilon $\epsilon \leq 0.115$ (informative)
nm	nm	nm
1260	2.09	1.43
1270	2.52	1.72
1280	3.13	2.14
1286	3.50	2.49
1290		2.80
1297		3.50
1329		2.59
1340		2.41
1343	3.06	2.09
1350	2.58	1.76
1360		
1480 to 1500	0.88	0.60

註：1000BASE-PX10-U發射機光譜範圍制詳圖：IEEE 802.3標準1000BASE-PX10-U發射機光譜範圍。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.3.1, p.129.

2. 接收機光規格

1000BASE-PX10-D 及 1000BASE-PX10-U 接收機的信號速率、工作波長、接收過載、靈敏度、反射比及信號檢測，應符合表 3-22 之定義。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 接收特性

項 目	1000BASE PX10-D	1000BASE PX10-U	單位
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,260 ~ 1,360	1,480 ~ 1,500	nm
Bit error ratio (max)	10 ⁻¹²		
Average receive power (max)	-1	-3	dBm
Damage threshold (max)	+4	+2	dBm
Receiver sensitivity (max)	-24	-24	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)	-23.2 (5.0)	-23.2 (5.0)	dBm (μW)
Signal detect threshold (min)	-45	-44	dBm
Receiver reflectance (max)	-12	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max) (註1)	-22.3	-21.4	dBm
Stressed receive sensitivity OMA (max)	-21.5 (7.0)	-20.7 (8.6)	dBm (μW)
Vertical eye-closure penalty (min) (註2)	1.2	2.2	dB
Treceiver_settling (max)	400	不適用	ns
Stressed eye jitter (min)	0.25	0.25	UI pk 至 pk
Jitter corner frequency	637	637	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15	0.05, 0.15	UI

註1：受壓接收機靈敏度係選項。

註2：垂直眼圖關閉損失及抖動規範係接收機靈敏度之條件測試，並非接收機的特性要求。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.3.2, p.130.

(4)1000BASE-PX20-D 及 1000BASE-PX20-U 發收機由 PMD 至 MDI 的光規格

1000BASE-PX20 發射機工作範圍定義，如表 3-23 所示。超出表 3-23 工作範圍要求但符合其他全部光規格的發收機，視為與 1000BASE-PX20 相容的發射。諸如，作業於 20.5 公里但符合 1000BASE-PX20 關於 0.5 公尺至 20 公里最小範圍要求的單模解決方案。

1. 發射機光規格

1000BASE-PX20-D 及 1000BASE-PX20-U 發射機的信號速率、工作波長、頻寬、平均發射功率、消光比、反射損失容限、OMA、眼圖、發射機色散損失及 RIN₁₅OMA，應符合表 3-23 之定義。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 發射特性

項 目	1000BASE PX20-D	1000BASE PX20-U	單位
Nominal transmitter type (註1)	長波雷射	長波雷射	
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range) (註2)	1,480 ~ 1,500	1,260 ~ 1,360	nm
RMS spectral width (max)	詳表：IEEE 802.3標準 1000BASE-PX20發射機光譜範圍		nm
Average launch power (max)	+7	+4	dBm
Average launch power (min)	+2	-1	dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)	-39	-45	dBm
Extinction ratio (min)	6	6	dB
RIN ₁₅ OMA (max)	-115	-115	dB/Hz
發射OMA (min)	2.8 (1.9)	-0.22 (0.95)	dBm (mW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, Y1, Y2, Y3}	{0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30}	{0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30}	UI
Ton (max)	不適用	512	ns
Toff (max)	不適用	512	ns
Optical return loss tolerance (max)	15	15	dB
Optical return loss of ODN (min)	20	20	dB
Transmitter reflectance (max)	-10	-6	dB
Transmitter and dispersion penalty (max)	2.3	1.8	dB
Decision timing offset for transmitter and dispersion penalty (min)	± 0.1	± 0.125	UI

註1：正常的設備不要求原型，符合本表所定義關於發射機特性的設備，可取代該正常發射機類型。

註2：此為RMS光譜寬的中心波長 $\pm 1\sigma$ 範圍。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.4.1, p.131.

1000BASE-PX20 最大容許 RMS 頻寬與對應波長，如表 3-24 所示；其中，第 2 欄為正常值，最右欄為參考值。1000BASE-PX20-U 最大容許 RMS 頻寬與對應波長，如圖 3-15 所示。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 發射機光譜範圍

Center Wavelength	RMS spectral width (max) ^a	RMS spectral width to achieve epsilon $\epsilon \leq 0.10$ (informative)
nm	nm	nm
1260	0.72	0.62
1270	0.86	0.75
1280	1.07	0.93
1290	1.40	1.22
1300	2.00	1.74
1304	2.5	2.42
1305	2.55	2.5
1308	3.00	
1317		
1320	2.53	2.2
1321	2.41	
1330	1.71	1.48
1340	1.29	1.12
1350	1.05	0.91
1360	0.88	0.77
1480 to 1500	0.44	0.30

註a：1000BASE-PX10-U發射機光譜範圍詳圖2-4。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.4.1, p.132.

2. 接收機光規格

1000BASE-PX20-D 及 1000BASE-PX20-U 接收機的信號速率、工作波長、接收過載、靈敏度、反射比及信號檢測，應符合表 3-25 之定義。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20 接收特性

項 目	1000BASE PX20-D	1000BASE PX20-U	單位
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,260 ~ 1,360	1,480 ~ 1,500	nm
Bit error ratio (max)	10^{-12}		
Average receive power (max)	-6	-3	dBm
Damage threshold (max)	+4	+2	dBm
Receiver sensitivity (max)	-27	-24	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)	-26.2 (2.4)	-23.2 (5.0)	dBm (μ W)
Signal detect threshold (min)	-45	-44	dBm
Receiver reflectance (max)	-12	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max) (註1)	-24.4	-22.1	dBm
Stressed receive sensitivity OMA (max)	-23.6 (4.3)	-21.3 (7.4)	dBm (μ W)
Vertical eye-closure penalty (min) (註2)	2.2	1.5	dB
Treceiver_settling (max)	400	不適用	ns
Stressed eye jitter (min)	0.28	0.25	UI pk至pk
Jitter corner frequency	637	637	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15	0.05, 0.15	UI

註1：受壓接收機靈敏度係選項。

註2：垂直眼圖關閉損失及抖動規範係接收機靈敏度之條件測試，並非接收機的特性要求。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.4.2, p.132 to 133.

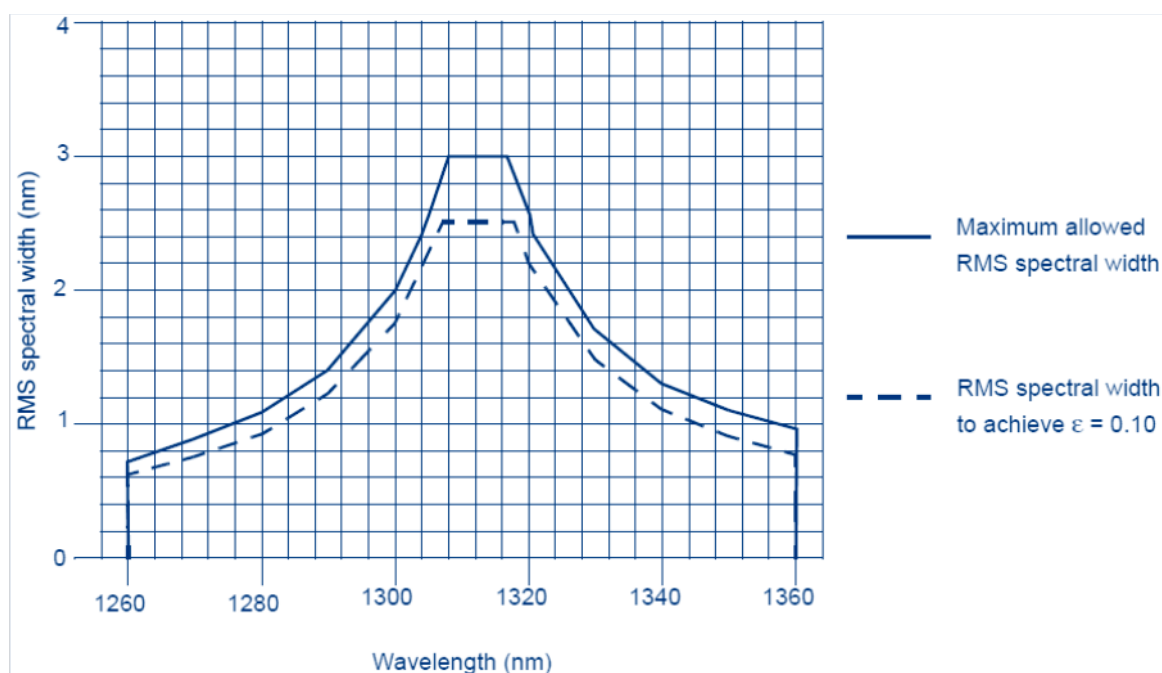


圖 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX20-U 發射機光譜範圍

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.4.2, p.133.

(5) 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 通道損耗及損失

1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 通道功率，如表 3-26 所示(接收機功率預算尚包含 - 12 dB 反射)。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 通道插入損耗及損失

項 目	1000BASE PX10		1000BASE PX20		單位
	上行	下行	上行	下行	
Fiber Type	B1.1, B1.3 SM				
Measurement wavelength for fiber	1,310	1,550 (註1)	1,310	1,550 (註1)	nm
Nominal distance	10	10	20	20	km
Available power budget (註2)	23.0	21.0	26.0	26.0	dB
Channel insertion loss (max) (註3)	20	19.5	24	23.5	dB
Channel insertion loss (min) (註4)	5	5	10	10	dB
Allocation for penalties (註5)	3	1.5	2	2.5	dB
Optical return loss of ODN (min)	20	20	20	20	dB

註1：正常傳輸波長為 1,490 nm。

註2：如在鏈路啟用前向錯誤更正，且不於色散限制操作模式下，可用功率預算可提高 2.5 dB。

註3：通道損耗係基於纜線衰減受距離及波長範圍影響。通道損耗亦包含因連結、接合、分歧點等所造成的損耗。

註4：PX10及PX20鏈路的功率預算係假設發射機與接收機間有最小插入損耗，PMD測試此要求最小衰減。

註5：損失分配為可用功率預算與通道損耗之差；正常與最差工作情境的波長條件下，插入損耗之差值即為損失。此分配可用於補償傳輸相關損失。

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.5, p.134.

(6) 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 參考點 TP1-4 之抖動

表 3-27 及表 3-28 所表示高頻率抖動，並未涵蓋低頻率抖動，其以兩邊量測而得。其中表 3-27 適用於下行方向，而表 3-28 適用於上行方向。

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 下行抖動預算

Reference point	Total jitter		Deterministic jitter	
	UI	ps	UI	ps
TP1	0.24	192	0.10	80
TP1 to TP2	0.191	153	0.15	120
TP2	0.431	345	0.25	200
TP2 to TP3	0.009	7	0	0
TP3	0.44	352	0.25	200
TP3 to TP4	0.309	247	0.212	170
TP4	0.749	599	0.462	370

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.6, p.134.

表 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 上行抖動預算

Reference point	No Jitter input to ONU				Jitter input to ONU			
	Total jitter		W		Total jitter		W	
	UI	ps	UI	ps	UI	ps	UI	ps
TP1	0.19	152	0.06	48	0.24	192	0.11	88
TP1 to TP2	0.16	128	0.14	112	0.16	128	0.14	112
TP2	0.35	280	0.20	160	0.40	320	0.25	200
TP2 to TP3	0.09	72	0.05	40	0.09	72	0.05	40
TP3	0.44	352	0.25	200	0.49	392	0.30	24
TP3 to TP4	0.18	144	0.15	120	0.18	144	0.15	120
TP4	0.62	496	0.40	320	0.67	536	0.45	360

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.6, p.135.

1000BASE-PX10 上行抖動預算的抖動轉換函數（jitter transfer function）定義如公式 3-2，所得如圖 3-16，並適用於 ONU/ONT 接收機。其中，正旋抖動係依據圖 3-17 及表 3-22 與表 3-24。二組上行抖動值列於表 3-28，其一對應於檢測上行鏈路及下行未發生抖動（抖動產生）；其二為下行最大抖動（抖動產生與轉換）。另外，表 3-28 中總抖動定義為 10^{-12} BER，其常用模型如公式 3-1。再者，參考點 TP2 或 TP3 之抖動定義為同發射眼圖（transmitted eye）規格頻寬的接收機。

$$TJ = 14.1\sigma + DJ \text{ at } 10^{12}$$

公式 3-

1

$$\text{Jitter Transfer} = 20\log_{10}\left[\frac{\text{Jitter on upstream signal (UI)}}{\text{Jitter on downstream signal (UI)}}\right]$$

公式 3-

2

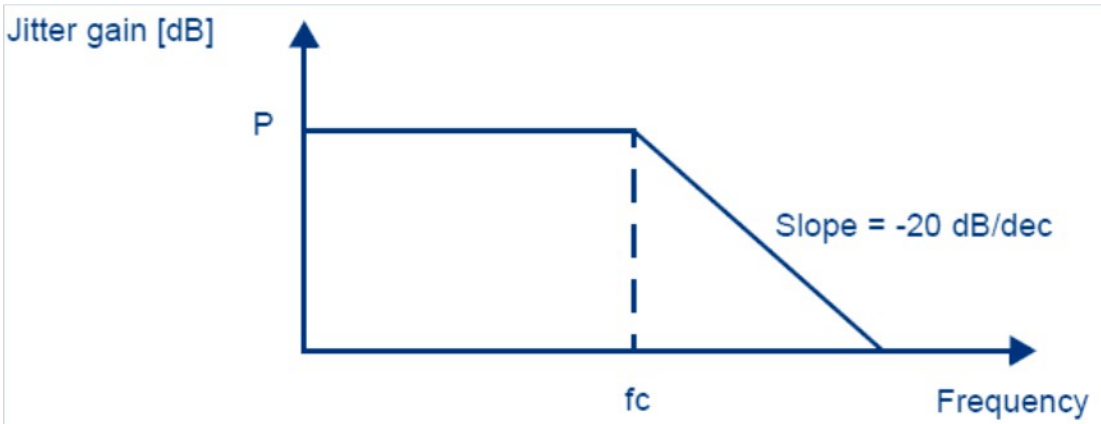


圖 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10-U 及 1000BASE-PX20-U 抖動增益曲線

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.6, p.135.

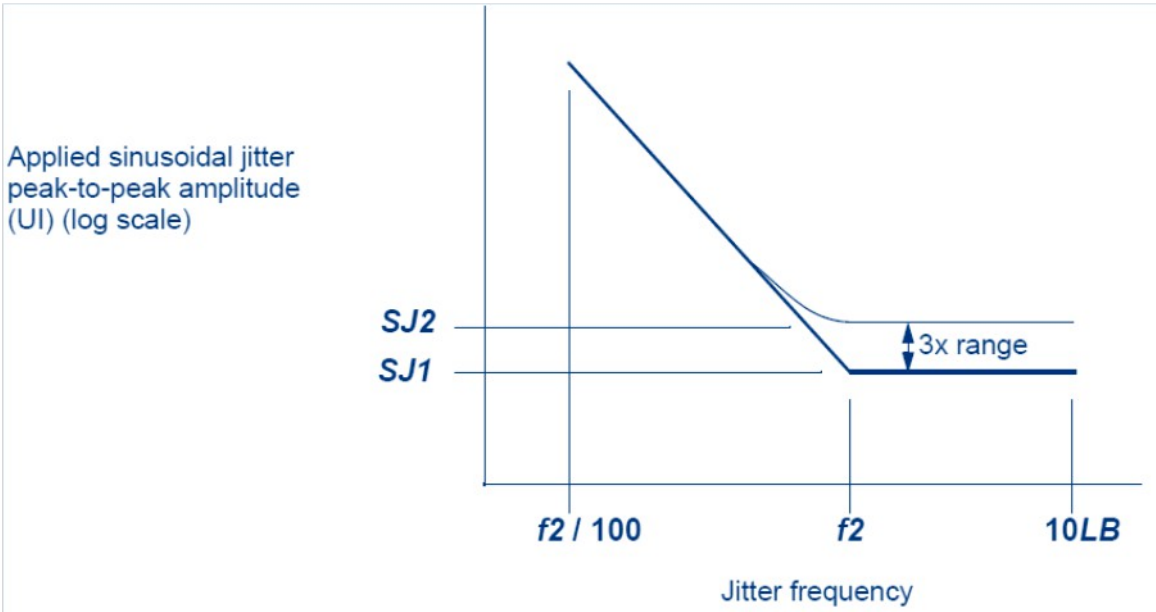


圖 3- IEEE 802.3 標準正弦抖動誤差元件

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §58.7.11.4, p.86.

(7)發射機光波形（發射眼圖）

發射機脈衝形狀特性規格如圖 3-18。眼圖應採用 fourth-order Bessel-Thomson 接收機，其 $f_r = 0.9375$ GHz，及相對頻率響應（response）vs.相對頻率之定義，如表 3-29 之 STM-16 欄³⁴。

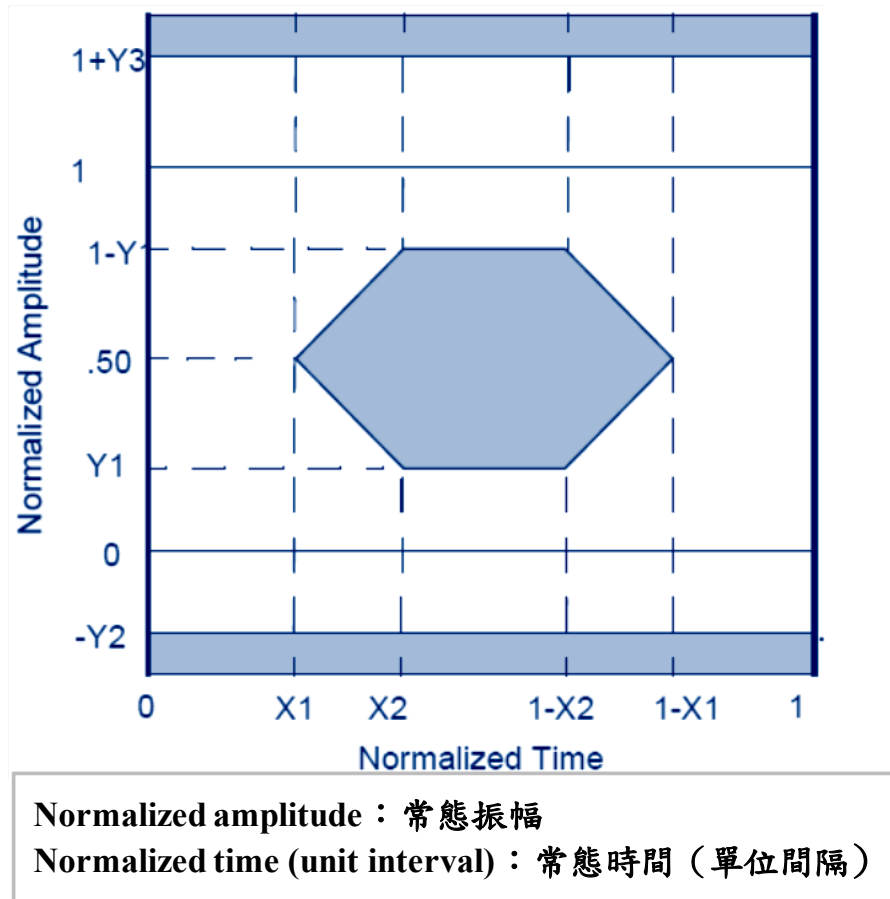


圖 3- IEEE 802.3 標準 1000BASE-PX10 及 1000BASE-PX20 發射機眼圖定義

資料來源：IEEE, “802.3-2008,” 2008/12, §60.7.8, p.137.

³該 Bessel-Thomson 濾波器並非光接收機所使用雜訊濾波器，而係提供發射機一致地量測條件。

⁴該 fourth-order Bessel-Thomson 濾波器會產生反作用。為減緩此種反射，可於濾波器輸入及/或輸出時要求衰減 6 dB。

表 3- ITU 光參考接收機衰減容限

f/fr	Δa (dB) (註1)		
	STM-1	STM-4	STM-16
0.001 ~ 1	± 0.3	± 0.3	± 0.5
1 ~ 2	$\pm 0.3 \sim \pm 2.0$	$\pm 0.3 \sim \pm 2.0$	$\pm 0.5 \sim \pm 3.0$

註1：暫定值。

說明： Δa 的中間值應由對數頻率表以線性插補法求得。

資料來源：ITU, “Optical Interfaces for Equipments and Systems relating to the Synchronous Digital Hierarchy,” Rec. G.957, 2006/03, p.21.

2、10G-EPON

(1)概述

本段就 IEEE 所制定 802.3av-2009 標準，說明實體介質相關子層乙太網被動光纖網路下行或下行/上行線路速率 10.3125 GBd (10G-EPON) 光接取網路之終端設備規格。

IEEE 802.3av 10G-EPON 標準主要涉及 OSI 參考模型的實體層。其特性如下：

- 點到多點的光纖傳輸。
- 實體層分為不對稱（下行 10 Gbps/上行 1 Gbps）及對稱（下行 10 Gbps/上行 10 Gbps）等二種類型，分別以 PRX 及 PR 表示；又依功率預算別分為低功率預算、中功率預算及高功率預算等三種，並分別以 10、20 及 30 表示。茲彙整如次（另詳見表 3-30）：
 - 低功率預算：支援點到多點(P2MP)媒介通道插入損耗(insertion loss) ≤ 20 dB。即分歧比至少為 1:16 及傳輸距離至少可達 10 公里的 PON。
 - 中功率預算：支援點到多點(P2MP)媒介通道插入損耗 ≤ 24 dB。即分歧比至少為 1:16 及傳輸距離至少可達 20 公里的 PON，或分歧比至少為 1:32 及傳輸距離至少可達 10 公里的 PON。
 - 高功率預算：支援點到多點(P2MP)媒介通道插入損耗 ≤ 29 dB。即分歧比至少為 1:32 及傳輸距離至少可達 20 公里的 PON。
- 實體層服務介面誤碼率，等於或優於 10^{-12} 。

表 3- IEEE 802.3av 標準主要類型及特性

項 目	速率	分歧比	傳輸距離 (公里)	通道衰減 (dB)
PR10/PRX10	10 Gbps/10 Gbps 或 10 Gbps/1 Gbps	1:16	10	≤ 20
PRX20	10 Gbps/1 Gbps	1:16	20	≤ 24
PR20	10 Gbps/10 Gbps	1:32	10	≤ 24
PR30/PRX30	10 Gbps/10 Gbps 或 10 Gbps/1 Gbps	1:32	20	≤ 29

註：PR 表示速率對稱、PRX 表示速率不對稱；

10 表示低功率預算、20 表示中功率預算、30 表示高功率預算。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.1.2 to 4, p.45 and 46.

有關 IEEE 802.3av 標準 10G EPON 系統功率預算之定義，如表 3-31 所示。

表 3- IEEE 802.3av 標準 10G EPON 系統功率預算

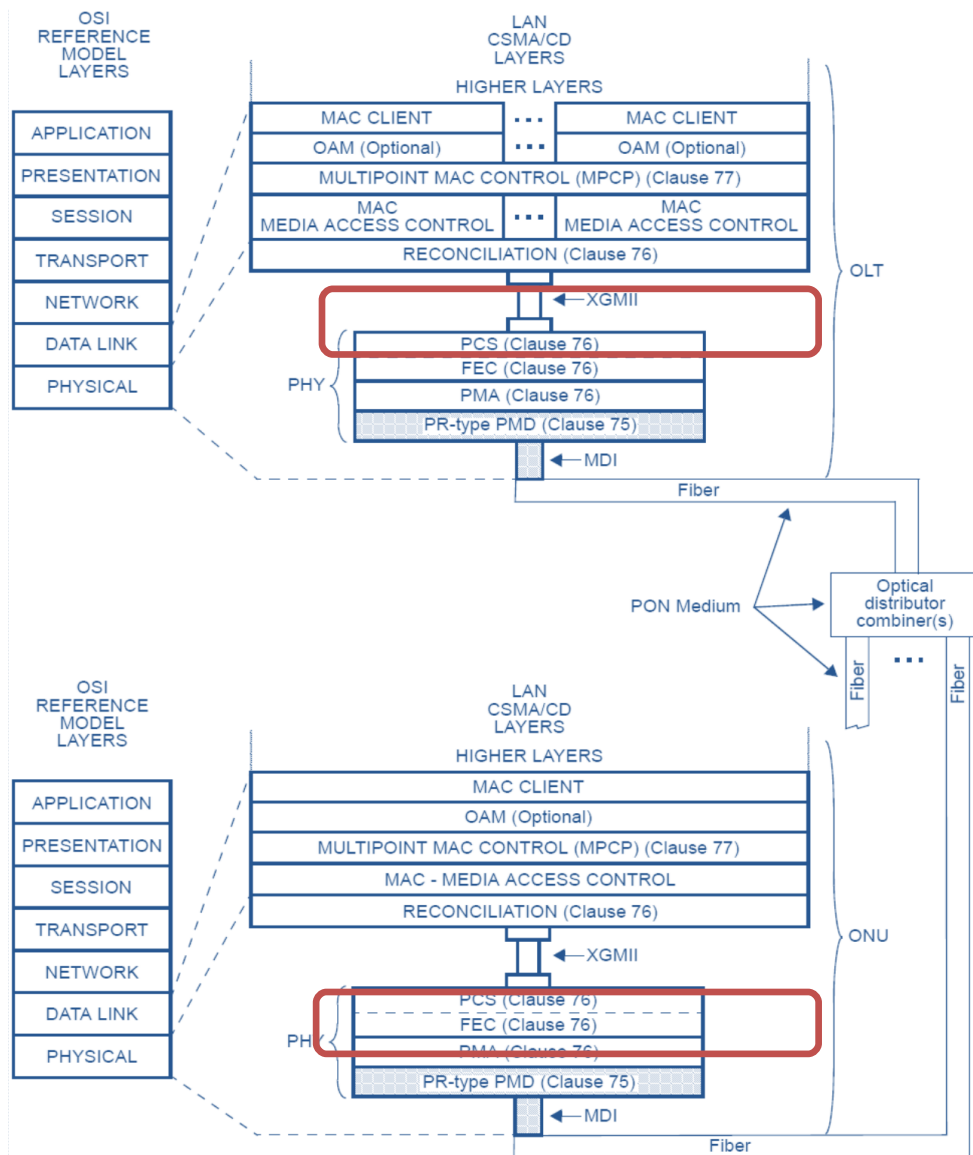
項 目	低功率 預算		中功率 預算		高功率 預算		單位
	PRX10	PR10	PRX20	PR20	PRX30	PR30	
Number of fibers	1						-
Nominal downstream line rate	10.3125						GBd
Nominal upstream line rate	1.25	10.3125	1.25	10.3125	1.25	10.313	GBd
Nominal downstream wavelength	1,577						nm
Downstream wavelength tolerance	-2, +3						nm
Nominal upstream wavelength	1,310	1,270	1,310	1,270	1,310	1,270	nm
Upstream wavelength tolerance	± 50	± 10	± 50	± 10	± 50	± 10	nm
Maximum reach(註1)	≥ 10		≥ 20		≥ 20		km
Maximum channel	20		24		29		dB
Minimum channel	5		10		15		dB

註1：如符合光功率預算及其他強制性光層級規格者，其相容系統仍有可能超過個別功率預算下的最大傳輸範圍。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.1.4, p.47.

1. 802.3 標準架構下之 PMD 定位

有關點到多點 EPON 系統 PMD 子層對稱速率（10/10G-EPON）及不對稱速率（10/1G-EPON）與其他分層及 OSI 參考模型之間的關聯性，如圖 3-19 及圖 3-20 所示。



XGMII= 10 Gigabit Media Independent Interface 10 Gbit介質獨立介面

MDI = Medium Dependent Interface 介質相依介面

OAM = Operations, Administration & Maintenance 維運、管理與維護

OLT = Optical Line Terminal 光線路終端

ONU = Optical Network Unit 光網路單元

PCS = Physical Coding Sublayer 實體編碼子層

PHY = Physical Layer Device 實體層設備

PMA = Physical Medium Attachment 實體介質附著層

PMD = Physical Medium Dependent 實體介質相依層

圖 3- IEEE 10G-EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.2, p.48.

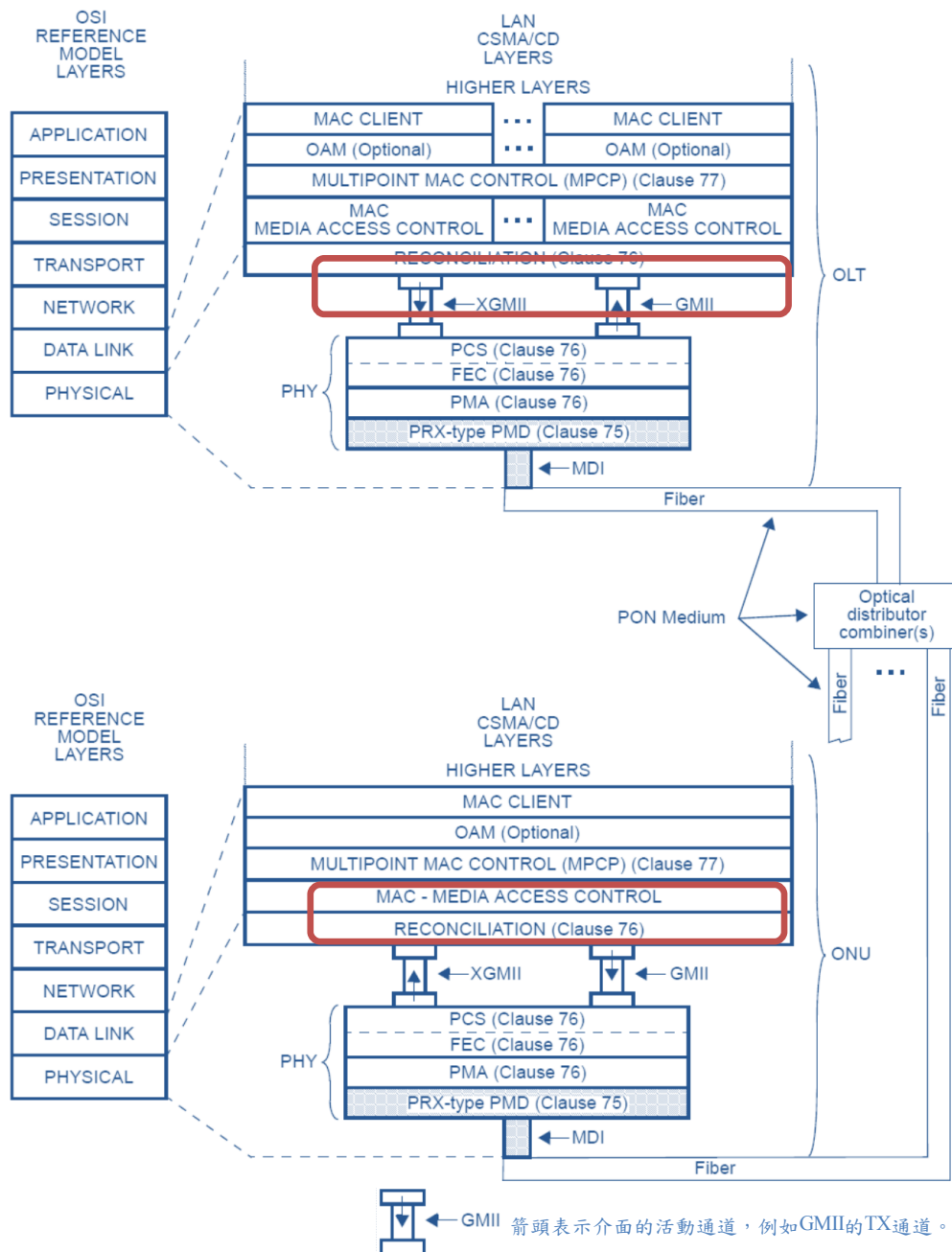


圖 3- IEEE 10G/1G EPON 協議分層與 OSI 參考模型間之關聯

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.2, p.49.

(2)PMD 功能規格

10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX PMD 執行 PMD 服務介面與 MDI 介面間數據傳輸的發射及接收功能。PMD 子層定義 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX PMD 的 8 個參考點，如圖 3-21 所示。

1. PMD 方塊圖

在 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX PMD 子層中，TP1 至 TP4 表示下行方向，TP5 至 TP8 表示上行方向。其中，TP2 及 TP3 為下行方向的相容參考點，TP6 及 TP7 為上行方向的相容參考點。TP1、TP4、TP5 及 TP8 為執行參考點。光發射信號定義在光纖跳接線輸出端（TP2 為下行通道、TP6 為上行通道）之 2 至 5 公尺處，該跳接線的光纖類型與發射機類型一致。除非另行定義，否則全部發射機在 TP2 或 TP6 進行量測與檢測。光接收信號定義在光纖接收機輸出端（TP3 為下行通道、TP7 為上行通道）。除非另行定義，否則全部接收機在 TP3 進行量測與檢測。

PMD 服務介面的電力規格（TP1 及 TP4 為下行通道、TP5 及 TP8 為上行通道）並非系統的相容參考點，因為系統執行時無法對其進行檢測。

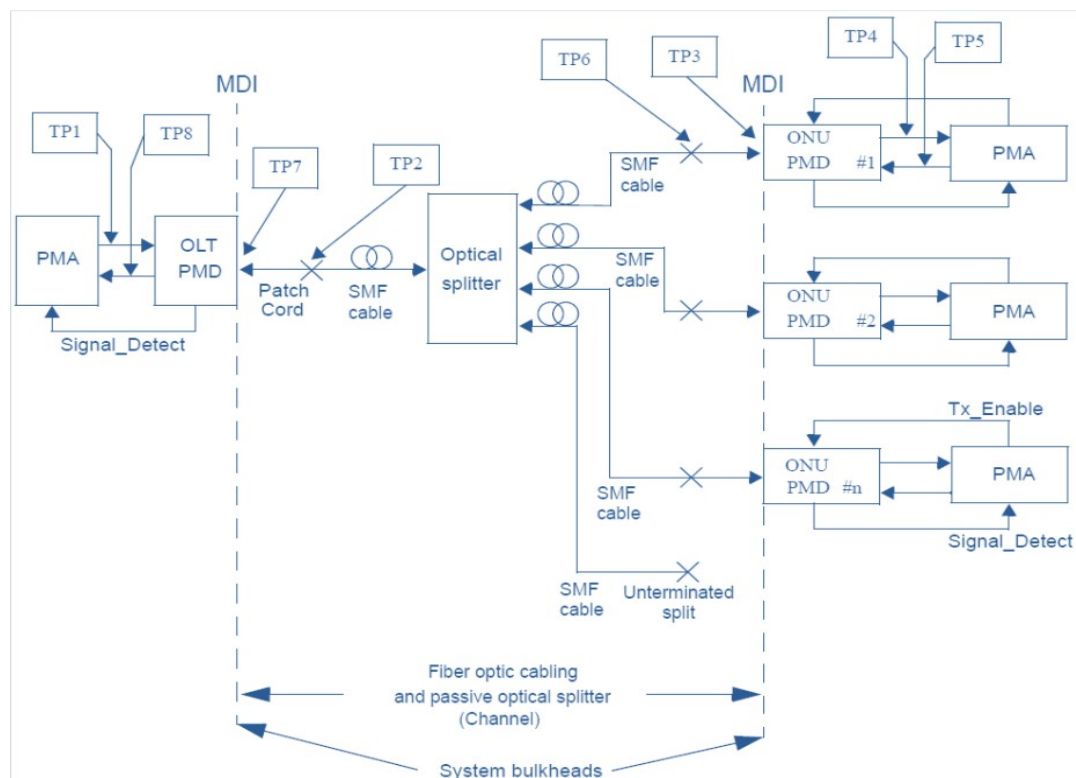


圖 3- IEEE 802.3 av 標準 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX 方塊圖

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.3.2, p.53.

2. PMD 發射功能

PMD 發射功能應由 PMD 服務介面訊息 PMD_UNITDATA.request(tx_bit) 所要求的位元傳輸至 MDI。

在上行方向時，依據 PMD_SIGNAL.request(tx_enable) 以中斷位元流。此意味有「1」、「0」及「暗」等三種級別，後者表示發射機處於「關閉」狀態。當 tx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率水準。

3. PMD 接收功能

PMD 接收功能應將由 MDI 介面訊息 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit) 所接收的位元傳輸至 PMD 服務介面。當 rx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率水準。

4. PMD 信號檢測功能

(1) 光網路單元 PMD 信號檢測

PMD 信號檢測功能應使用連續 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT) 訊息，將下行信號上報予 PMD 服務介面。PMD_SIGNAL.indication 訊息用於指示光信號存在與否。

SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-32 的條件定義。ONU/ONT PMD 接收機無需驗證所接收信號是否相容於 10GBASE-PR。

(2) 光線路終端 PMD 信號檢測

對於突發模式的上行信號，PMD 信號檢測功能的回應時間可能大於或小於突發長度，因此可能無法滿足傳統的信號檢測要求。PMD_SIGNAL.indication 訊息用於指示光信號存在與否。光線路終端 PMD 信號檢測功能可於 PMD 或 IEEE 802.3av-2009 第 76 章關於 PMA 層執行。

SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-32 的條件定義。10GBASE-PR-D PMD 接收機無需驗證所接收信號是否相容於 10GBASE-PR。同樣，10/1GBASE-PRX-D PMD 接收機無需驗證所接收信號是否相容於 1000BASE-PX。

10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX PMD 信號檢測參數值定義，如表 3-32 所示。

表 3- IEEE 802.3 av 標準 10GBASE-PR 及 10/1GBASE-PRX 信號檢測值定義

接 收 條 件			Signal_detect值
10GBASE-PR-D1, 10GBASE-PR-D2, 10GBASE-PR-D3	10GBASE-PR-U1, 10GBASE-PR-U3, 10/1GBASE-PRX-U1, 10/1GBASE-PRX-U2, 10/1GBASE-PRX-U3	10/1GBASE-PRX-D1, 10/1GBASE-PRX-D2, 10/1GBASE-PRX-D3	
平均輸入光功率≤「表： IEEE 802.3av標準PR類型OLT PMD接收特性」關於接收機 波長之信號偵測臨界值（最 小）	平均輸入光功率≤「表： IEEE 802.3av標準PR及PRX類 型ONU PMD接收特性」關於 接收機波長之信號偵測臨界 值（最小）	平均輸入光功率≤「表： IEEE 802.3av標準PR類型OLT PMD接收特性」關於接收機 波長之信號偵測臨界值（最 小）	FAIL
平均輸入光功率≥「表： IEEE 802.3av標準PR類型OLT PMD接收特性」關於接收機 波長及與10GBASE-PR相容 的信號輸入條件下之最大接 收靈敏度	平均輸入光功率≥「表： IEEE 802.3av標準PR及PRX類 型ONU PMD接收特性」關於 接收機波長及與10GBASE- PR相容的信號輸入條件下之 最大接收靈敏度	平均輸入光功率≥「表： IEEE 802.3av標準PR類型OLT PMD接收特性」關於接收機 波長及與1000BASE-PX相容 的信號輸入條件下之最大接 收靈敏度	OK
所有其他條件	所有其他條件	所有其他條件	未規定

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.3.5.3, p.54.

5. 光網路單元 PMD 發射啟用功能

PMD_SIGNAL.request(tx_enable)定義是因為有兩種光網路單元 PMD。光網路單元 PMD 發射數據前先判斷是否收到 PMD_SIGNAL.request(tx_enable)訊息。

(3)10/10G-EPON 及 10/1G-EPON OLT PMD 發收機由 PMD 至 MDI 的光規格

PR 及 PRX 各功率預算的工作範圍定義，如表 3-31。符合 100BASE-LX10 規格的發收機，須運作如表 3-34 所列的介質類型；超出其工作範圍要求但符合其他全部光規格的發收機，視為符合規範⁵。

1. 發射機光規格

10/10G-EPON 及 10/1G-EPON OLT PMD 發射機的信號速率、工作波長、邊模壓抑比、平均發射功率、消光比、反射損失容限、OMA、眼圖、發射機色散損失及 RIN₁₅OMA，應符合表 3-33 之定義。

⁵應依據消光比、最小平均發射功率或最大接收機靈敏度，定義光調變振幅（OMA）規格

表 3- IEEE 802.3av 標準 PR 及 PRX 類型 OLT PMD 發射特性

項 目	10GBASE-PR-D1, 10GBASE-PR-D3, 10/1GBASE-PRX-D1, 10/1GBASE-PRX-D3	10GBASE-PR-D2, 10/1GBASE-PRX-D2	單位
Signaling speed (range)	10.3125 ± 100 ppm	10.3125 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,575 ~ 1,580	1,575 ~ 1,580	nm
Side Mode Suppression Ratio (min) (	30	30	dB
Average launch power (max)	5	9	dBm
Average launch power (min) (註2)	2	5	dBm
Average launch power of OFF	-39	-39	dBm
Extinction ratio (min)	6	6	dB
RIN15OMA (max)	-128	-128	dB/Hz
Launch OMA (min) (註2)	3.91 (2.46)	6.91 (4.91)	dBm (mW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3} (註3)	{0.25, 0.40, 0.45, 0.25, 0.28, 0.40}	{0.25, 0.40, 0.45, 0.25, 0.28, 0.40}	UI
Optical return loss tolerance (max)	15	15	dB
Transmitter reflectance (max)	-10	-10	dB
Transmitter and dispersion penalty (max)	1.5	1.5	dB
Decision timing offset for transmitter and dispersion penalty	±0.05	±0.05	UI

註1：發射機為單縱模機型。

註2：最小平均發射功率及最小發射OMA於ER = 9 dB時，是有效的（詳圖：PR-D類型發射機相容示意）。

註3：詳圖：10/1GBASE-PRX-PMD下行方向及10GBASE-PR-PMD發射機下上行方向眼圖。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.4.1, p.55.

表 3- IEEE 802.3av 標準 10G EPON 光纖特性

項 目 (註1)	IEC 60793 B1.1, B1.3 SMF, ITU-T G.652, G.657 SMF (註2)				單位
Nominal fiber specification wavelength (註3)	1,270	1,310	1,550	1,577	nm
Fiber cable attenuation (max) (註4)	0.44	0.4	0.35	0.35	dB/km
Zero dispersion wavelength (λ_0) (註5)	$1,300 \leq \lambda_0 \leq 1,324$				nm
Dispersion slope (max) (S_0)	0.093				ps/nm ² km

註1：除色散（dispersion）值為強制規範外，其他為參考性。

註2：凡ODN符合通道損耗及色散規範的其他光纖類型，亦可接受。

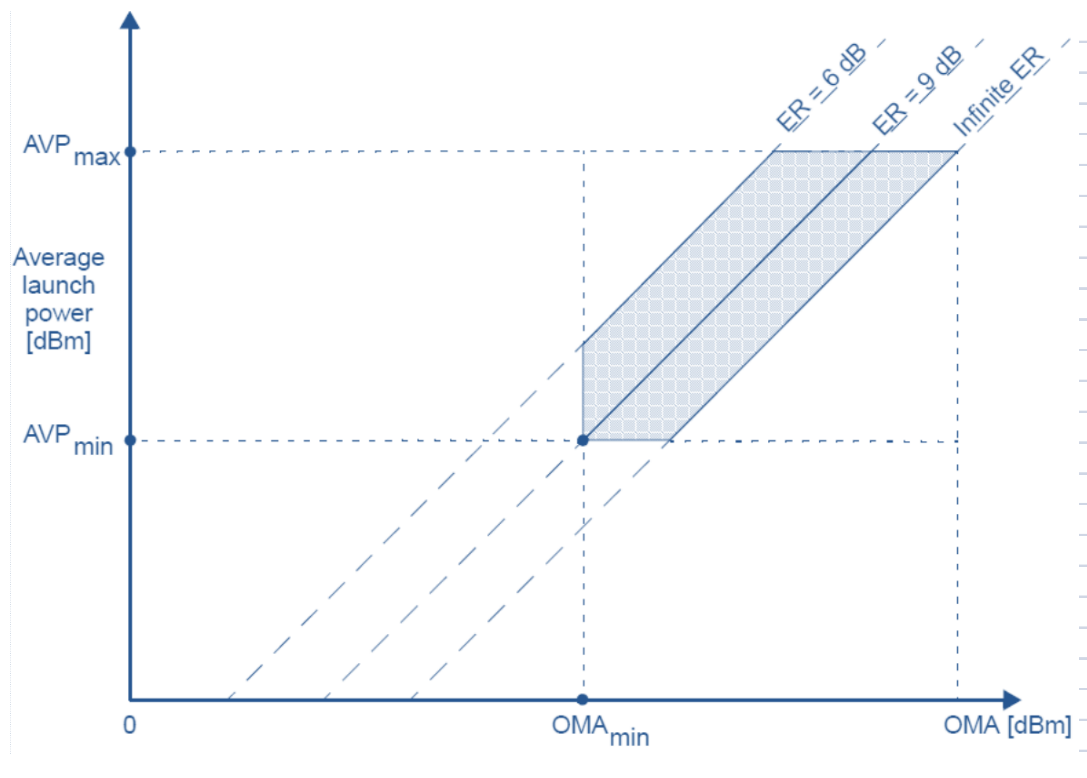
註3：波長規格為一般所量測的正常光纖波長。

註4：1,310 nm及1,550 nm波長的單模光纖衰減值，依據ITU G.652之定義；1,270 nm及1,577 nm波長間衰減值之計算方法，依據ITU G.650.1 (06/2004)關於光譜衰減模式及IEEE 802.3 附錄2關於矩陣係數之規範。1,310 nm (0.4 dB/km)、1,380 nm (0.5 dB/km)及1,550 nm (0.35 dB/km)等衰減值，係作為預測模型的輸入值。

註5：依據IEC 60793或ITU-T G.652。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.9.3, p.72.

相容發射機 OMA、消光比及平均發射功率間之關聯，如圖 3-22 所示，陰影部分表示相容。



AVP_{min} = Average Launch Power (min) 最小平均發射功率
 OMA = Optical Modulation Amplitude 光調變振幅

圖 3- IEEE 802.3 av 標準 PR-D 類型發射機相容示意圖

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.4.1, p.56.

2. 接收機光規格

10/10G-EPON 及 10/1G-EPON OLT PMD 接收機的信號速率、工作波長、接收過載、受壓靈敏度、反射比及信號檢測，應分別符合表 3-35 及表 3-36 之定義。

表 3- IEEE 802.3av 標準 PR 類型 OLT PMD 接收特性

項 目	10GBASE-PR-D1	10GBASE-PR-D2, 10GBASE-PR-D3	單位
Signaling speed (range)	10.3125 ± 100 ppm	10.3125 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,260 ~ 1,280	1,260 ~ 1,280	nm
Bit error ratio (max) (註1)	10 ⁻³		-
Average receive power (max)	-1	-6	dBm
Damage threshold (max) (註2)	0	-5	dBm
Receiver sensitivity (max)	-24	-28	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)	-23.22 (4.77)	-27.22 (1.90)	dBm (μW)
Signal detect threshold (min)	-45	-45	dBm
Receiver reflectance (max)	-12	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max) (註3)	-21	-25	dBm
Stressed receive sensitivity OMA (max)	-20.22 (9.51)	-24.22 (3.79)	dBm (μW)
Vertical eye-closure penalty (註4)	2.99	2.99	dB
Treceiver_settling (max) (註5)	800	800	ns
Stressed eye jitter	0.3	0.3	UI pk ~ pk
Jitter corner frequency for a sinusoidal jitter	4	4	MHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	(0.05, 0.15)	(0.05, 0.15)	UI

註1：如網路使用前向錯誤更正技術，最大位元錯誤率可達 10⁻¹²。

註2：光網路單元與光線路終端直接連結可能損害接收機。

註3：受壓接收機靈敏度為強制規範。

註4：垂直眼圖關閉損失及抖動規範係接收機靈敏度之條件測試，並非接收機的特性要求。

註5：Treceiver_settling represents an upper bound. Optics with better performance may be used in compliant implementations, since the OLT notifies the ONUs of its requirements in terms of the Treceiver_settling time via the SYNCTIME parameter.

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.4.2, p.57.

表 3- IEEE 802.3av 標準 PRX 類型 OLT PMD 接收特性

項 目	10/1GBASE-PRX-D1	10/1GBASE-PRX-D2	10/1GBASE-PRX-D3	單位
Signaling speed (range)			1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)			1,260 ~ 1,360	nm
Bit error ratio (max)			10^{-12}	
Average receive power (max)	同 100GBASE-PX10-D 接收參數	同 100GBASE-PX20-D 接收參數	-9.38	dBm
Damage threshold (max)			-5.00	dBm
Receiver sensitivity (max)			-29.78	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)			-29.00 (1.26)	dBm (μ W)
Signal detect threshold (min)			-45	dBm
Receiver reflectance (max)			-12	dB
Stressed receive sensitivity (max)			-28.38 (註1)	dBm
Stressed receive sensitivity OMA (max)			-27.60 (1.74)	dBm (μ W)
Vertical eye-closure penalty (註2)			1.4	dB
Treceiver_settling (max) (註3)			400	ns
Stressed eye jitter			0.28	UI pk ~ pk
Jitter corner frequency for a sinusoidal jitter			637	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)			(0.05, 0.15)	UI

註1：受壓接收機靈敏度為強制規範。

註2：垂直眼圖關閉損失及抖動規範係接收機靈敏度之條件測試，並非接收機的特性要求。

註3：Treceiver_settling represents an upper bound. Optics with better performance may be used in compliant implementations, since the OLT notifies the ONUs of its requirements in terms of the Treceiver_settling time via the SYNC TIME parameter.

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.4.2, p.58.

(4)10/10G-EPON 及 10/1G-EPON ONU/ONT PMD 發收機由 PMD 至 MDI 的光規格

PR 及 PRX 各功率預算的工作範圍定義，如表 3-31 所示。超出表 3-31 工作範圍要求但符合其他全部光規格的發收機，視為與 PR 或 PRX 相容的發射⁶。

1. 發射機光規格

10/10G-EPON 及 10/1G-EPON ONU/ONT PMD 發射機的信號速率、工作波長、頻寬（10/1G-EPON ONU/ONT PMD）或邊模壓抑比（10/10G-EPON ONU/ONT PMD）、平均發射功率、消光比、反射損失容限、OMA、眼圖、發射機色散損失及 $RIN_{15}OMA$ ，應分別符合表 3-37 及表 3-38 之定義。

⁶應依據消光比、最小平均發射功率或最大接收機靈敏度，定義光調變振幅（OMA）規格

表 3- IEEE 802.3av 標準 PR 類型 ONU/ONT PMD 發射特性

項 目	10GBASE-PR-U1	10GBASE-PR-U3	單位
Signaling speed (range)	10.3125 ± 100 ppm	10.3125 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,260 ~ 1,280	1,260 ~ 1,280	nm
Side Mode Suppression Ratio (min)	30	30	dB
Average launch power (max)	4	9	dBm
Average launch power (min) (註2)	-1	4	dBm
Average launch power of OFF	-45	-45	dBm
Extinction ratio (min)	6	6	dB
RIN15OMA (max)	-128	-128	dB/Hz
Launch OMA (min) (註2)	-0.22 (0.95)	4.78 (3.01)	dBm (mW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3} (註3)	{0.25, 0.40, 0.45, 0.25, 0.28, 0.40}	{0.25, 0.40, 0.45, 0.25, 0.28, 0.40}	UI
Ton (max)	512	512	ns
Toff (max)	512	512	ns
Optical return loss tolerance (max)	15	15	dB
Transmitter reflectance (max)	-10	-10	dB
Transmitter and dispersion penalty (max) (註4)	3	3	dB
Decision timing offset for transmitter and dispersion penalty	±0.0625	±0.0625	UI

註1：發射機為單縱模機型。

註2：最小平均發射功率及最小發射OMA於ER = 9 dB時，是有效的（詳圖：IEEE 802.3 av標準 PR-U類型發射機相容示意）。

註3：詳圖：IEEE 802.3 av標準10/1GBASE-PRX-PMD下行方向及10GBASE-PR-PMD發射機下上行方向眼圖。

註4：如發射機色散損失（Transmitter and Dispersion Penalty, TDP）較低者，最小發射OMA及最小平均發射功率可放寬3.0 dB - TDP。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.1, p.59.

表 3- IEEE 802.3av 標準 PRX 類型 ONU/ONT PMD 發射特性

項 目	10/1GBASE-PRX-U1	10/1GBASE-PRX-U2	10/1GBASE-PRX-U3	單位
Signaling speed (range)			1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (註1)			1,260 ~ 1,360	nm
RMS spectral width (max)			詳註2	dB
Average launch power (max)	同 1000BASE-PX10-U 發射 參數	同 1000BASE-PX20-U 發射 參數	5.62	dBm
Average launch power (min) (註3)			0.62	dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)			-45	dBm
Extinction ratio (min)			6	dB
RIN15OMA (max)			-115	dB/Hz
Launch OMA (min) (註3)			1.40 (1.38)	dBm (mW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10}			{0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30}	UI
Ton (max)			512	ns
Toff (max)			512	ns
Optical return loss tolerance (max)			15	dB
Transmitter reflectance (max)			-10	dB
Transmitter and dispersion penalty			1.4	dB
Decision timing offset for transmitter			±0.125	UI

註1：此為RMS光譜寬的中心波長±1σ範圍。

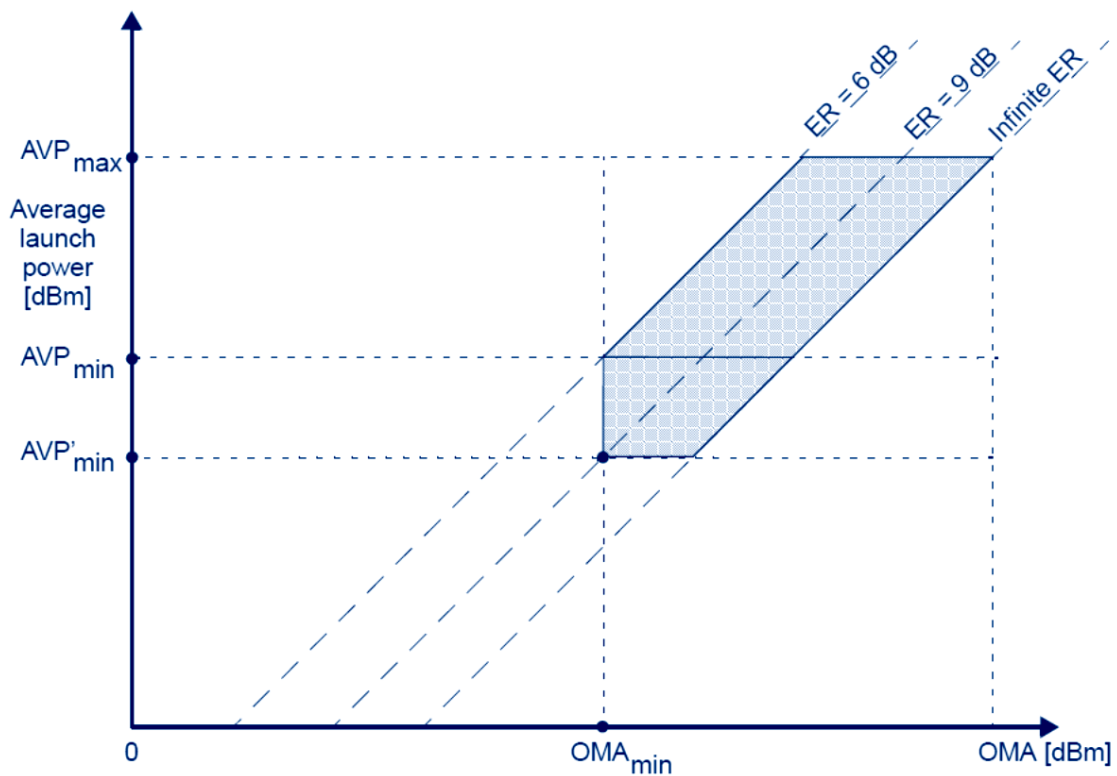
註2：如發射機採用Fabry-Perot雷射時，RMS光譜高應符合表：IEEE 802.3av標準10/1GBASE-PRX-U3發射機光譜範圍；如發射機採用DFB雷射時，最小邊模壓抑比應為30 dB。

註3：最小平均發射功率及最小發射OMA於ER = 9 dB時，是有效的。

註4：詳圖：IEEE 802.3 av標準10/1GBASE-PRX-PMD發射機上行方向眼圖。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.1, p.60.

相容發射機 OMA、消光比及平均發射功率間之關聯，如圖 3-23 所示。陰影部分表示相容。



AVPmin = Average Launch Power (min) 最小平均發射功率
OMA = Optical Modulation Amplitude 光調變振幅

圖 3- IEEE 802.3 av 標準 PR-U 類型發射機相容示意

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.2, p.61.

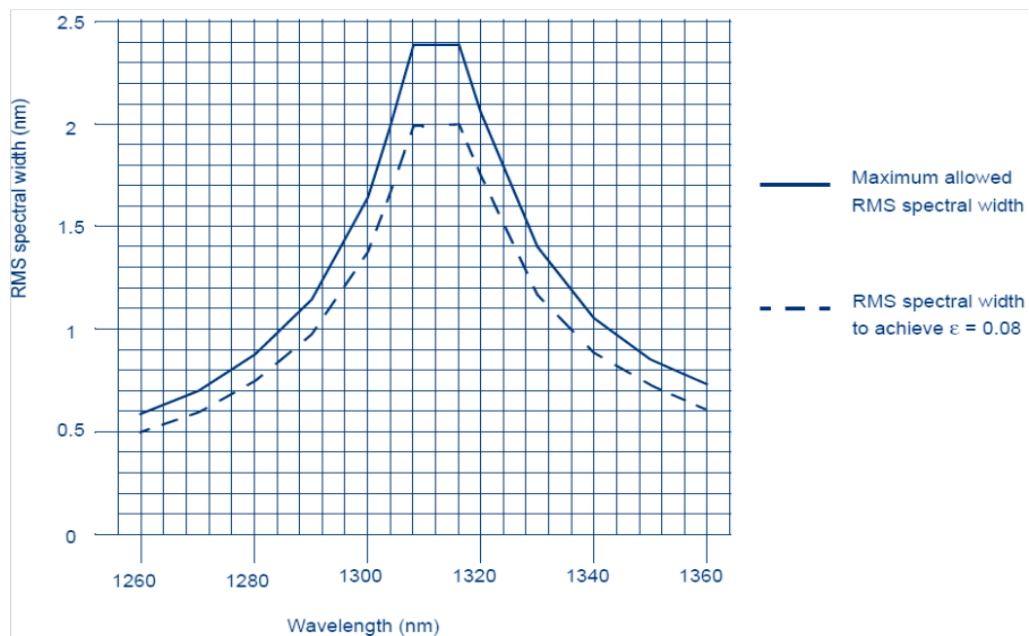


圖 3- IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-U3 發射機光譜範圍

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.2, p.61.

10/1GBASE-PRX-U1、10/1GBASE-PRX-U2 及 10/1GBASE-PRX-U3 PMD 最大容許 RMS 頻寬與對應波長，如表 3-32、表 3-36 及表 3-39。

表 3- IEEE 802.3av 標準 10/1GBASE-PRX-U3 發射機光譜範圍

Center Wavelength	RMS spectral width (max) ^a	RMS spectral width to achieve epsilon $\epsilon \leq 0.08$ (informative)
nm	nm	nm
1260	0.59	0.5
1270	0.7	0.59
1280	0.87	0.74
1290	1.14	0.97
1300	1.64	1.39
1304	1.98	1.67
1305	2.09	1.77
1308	2.4	2
1317	2.4	2
1320	2.07	1.75
1321	1.98	1.67
1330	1.4	1.18
1340	1.06	0.89
1350	0.86	0.72
1360	0.72	0.61

註：10/1GBASE-PRX-U3發射機光譜範圍制詳圖：10/1GBASE-PRX-U3發射機光譜範圍。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.2, p.62.

2. 接收機光規格

10/10G-EPON ONU/ONT 及 10/1G-EPON ONU/ONT PMD 接收機的信號速率、工作波長、接收過載、受壓靈敏度、反射比及信號檢測，應符合表 3-40 之定義。

表 3- IEEE 802.3av 標準 PR 及 PRX 類型 ONU/ONT PMD 接收特性

項 目	10GBASE-PR-U1, 10/1GBASE-PRX-U1, 10/1GBASE-PRX-U2	10GBASE-PR-U3, 10/1GBASE-PRX-U3	單位
Signaling speed (range)	10.3125 ± 100 ppm	10.3125 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1,575 ~ 1,580	1,575 ~ 1,580	nm
Bit error ratio (max) (註1)	10 ⁻³	10 ⁻³	-
Average receive power (max)	0	-10	dBm
Damage threshold (max) (註2)	1	-9	dBm
Receiver sensitivity (max)	-20.50	-28.50	dBm
Receiver sensitivity OMA (max)	-18.59	-26.59	dBm
Signal detect threshold (min)	-44	-44	dBm
Receiver reflectance (max)	-12	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max) (註3)	-19	-27	dBm
Stressed receive sensitivity OMA	-17.09 (19.55)	-25.09 (3.10)	dBm (μW)
Vertical eye-closure penalty (註4)	1.5	1.5	dB
Stressed eye jitter (min)	0.3	0.3	UI pk ~ pk
Jitter corner frequency for a sinusoidal jitter	4	4	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	(0.05, 0.15)	(0.05, 0.15)	UI

註1：如網路使用前向錯誤更正技術，最大位元錯誤率可達 10⁻¹²。

註2：光網路單元與光線路終端直接連結可能損害接收機。

註3：所有PR-D類型發射機相容如圖：IEEE 802.3 av標準PR-D類型發射機相容示意，其受壓接收機靈敏度為強制規範。

註4：垂直眼圖關閉損失及抖動規範係接收機靈敏度之條件測試，並非接收機的特性要求。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.5.2, p.62 to 63.

(5)雙速率模式

10G-EPON 及 1G-EPON ONU/ONT 雙速率模式可支援傳輸及/或接收速率為 10 Gbps 及 1 Gbps 等二者，如表 3-41。

表 3- IEEE 802.3av 標準 PMD 雙速率模式選項

項目	ONU PMD相容於同一ODN
Downstream	(1) 1000BASE-PX-U (2) 10/1GBASE-PRX-U
Upstream	(1) 10GBASE-PR-U (2) 10/1GBASE-PRX-U
Downstream and upstream	(1) 1000BASE-PX-U (2) 10/1GBASE-PRX-U (3) 10GBASE-PR-U

註：僅功率預算可相容的PMD始可連接於同一ODN。

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.6, p.63.

(6)發射機光波形（發射眼圖）

10/1GBASE-PRX-PMD 發射機脈衝形狀特性之上行方向規格，如圖 3-25 及；而 10/1GBASE-PRX-PMD 及 10GBASE-PR-PMD 發射機脈衝形狀特性之上行方向及下行方向規格，如圖 3-26 所示。

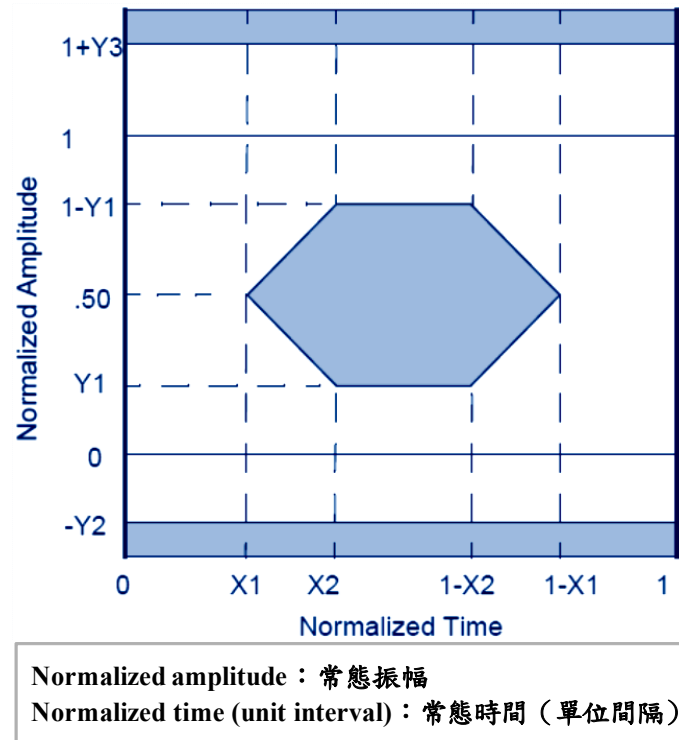


圖 3- IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-PMD 發射機上行方向眼圖

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.7.9, p.66.

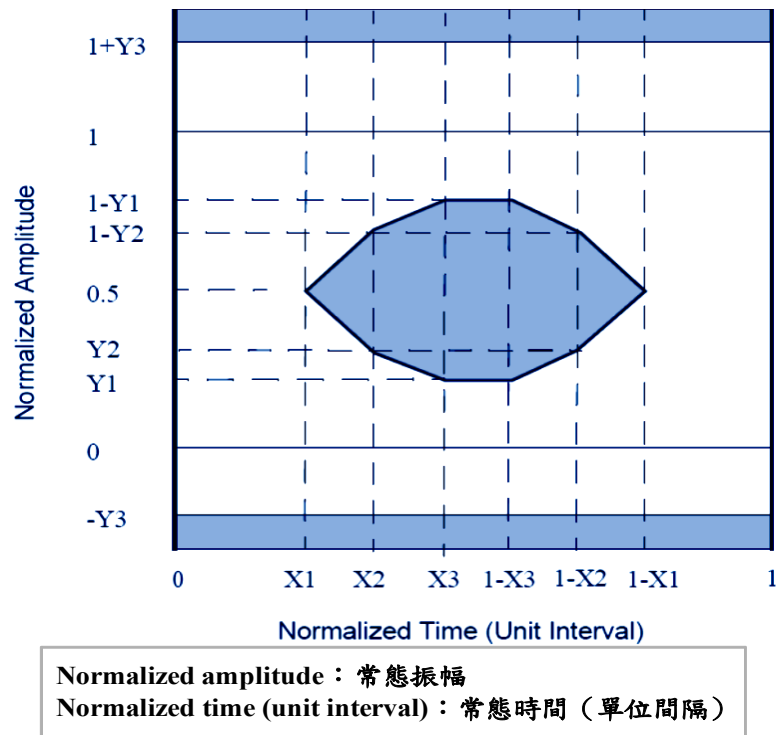


圖 3- IEEE 802.3 av 標準 10/1GBASE-PRX-PMD 下行方向及 10GBASE-PR-PMD 發射機下上行方向眼圖

資料來源：IEEE, “802.3av-2009,” 2009/10, §75.7.9, p.67.

1 Gbps PMD 及 10 Gbps PMD 發射機的眼圖應採用 fourth-order Bessel-Thomson 接收機，其接收機頻率響應（response）之定義，分別如表 3-42 之 STM-16 欄及 STM-64 欄。

表 3- ITU 光參考接收機衰減容限

f/fr	Δa (dB) (註1)			
	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
0.001 ~ 1	± 0.3	± 0.3	± 0.5	± 0.85
1 ~ 2	$\pm 0.3 \sim \pm 2.0$	$\pm 0.3 \sim \pm 2.0$	$\pm 0.5 \sim \pm 3.0$	$\pm 0.85 \sim \pm 4.0$

註1：暫定值。

說明： Δa 的中間值應由對數頻率表以線性插補法求得。

資料來源：ITU, “Optical Interfaces for Equipments and Systems relating to the Synchronous Digital Hierarchy,” Rec. G.957, 2006/03, p.21; ITU, “Optical Interfaces for Single Channel STM-64 and other SDH Systems with Optical Amplifiers,” Rec. G.691, 2006/03, p.26.

第3節 IEEE 100 BASE-LX10/BX10 和 1000 BASE-LX10/BX10 終端設備規格標準

1、IEEE 100 BASE-LX10/BX10 終端設備規格標準

100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的實體介質相依層(PMD)子層透過一對光纖或單光纖，提供點對點(P2P) 100Mb/s 的鏈路，可長達 10 公里。本章將定義 100BASE-LX10 PMD 和 100BASE-BX10 PMD 之單模(SMF)規範。一個 PMD 向上可連接 100BASE-X 的「實體介質附著層」(Physical Medium Attachment, PMA)，向下則經由「介質相依介面」(Medium Dependent Interface, MDI)與介質界接。100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 PMD 的分類如表 3-43 所示。

表 3- 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 PMD 的分類

說明	100BASE-LX10	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
Fiber type	B1.1, B1.3 SMF(註 1)			
Number of fibers	2	1	1	
Typical transmit direction	Any	Downstream	Upstream	
Nominal transmit wavelength	1,310	1,550	1,310	nm
Minimum range	0.5 m to 10 公里			
Maximum channel insertion loss	6	5.5	6	dB

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

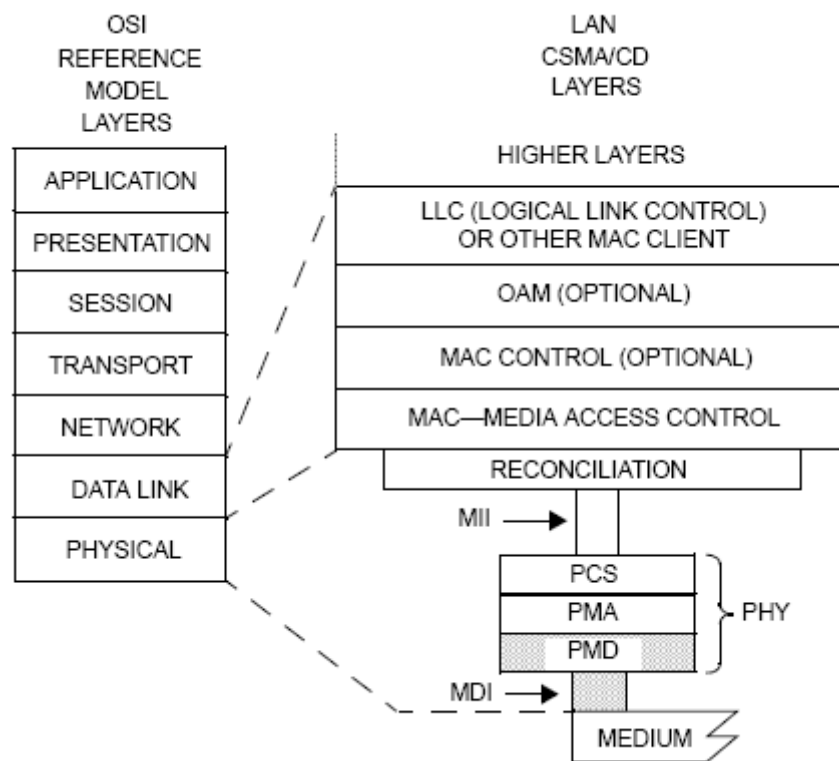
100BASE-LX10 在每一端使用 100BASE-LX10 PMDs 作連接，而 100BASE-BX10 是在一端使用 100BASE-BX10-D PMD，在另一端使用 100BASE-BX10-U PMD 作連接。通常 1550nm 波段是用於發送遠離網路中心(下行)，而 1310 nm 波段是用於傳送朝向網路中心(上行)。尾碼“D”和“U”表示在 PDMs 每個端部的連接，其接收的方向是相反的。

使用 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的主要目的是：

- 光纖點對點
- 100BASE-X 在 SM 光纖上可超過 10 公里
- 在 PHY 服務介面，BER 可以比 10^{-12} 更好或相等

(1) 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的結構

100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的結構如圖 3-27 所示：



*MDI：介質相依介面

*MII：介質獨立介面

*PCS：實體編碼子層

*PHY：實體層設備

*PMA：實體介質附著層

*PMD：實體介質相依層

圖 3- 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的結構

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(2)PMD 層之服務介面

下列指定的服務是由 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 實體介質相依層 (PMD)所提供的。PMD 服務介面支援 PMA 及 PMD 實體間的 4B/5B 碼組(code-groups)交換。PMD 負責轉譯 PMA 的序列資料為適合特定介質的信號。從 MDI 至 GMII 有延遲的需求，每個 PMD 的發射與接收功能最多可預留 12 ns，並已考慮到尾纖 (Pigtail) 的情況。

1. PMD_UNITDATA.request

資料元(primitive)的定義是: 由 PMA 至 PMD 之序列資料串流的轉換。其服務資料元的語義是 PMD_UNITDATA.request(tx_bit)。PMD_UNITDATA.request 所傳送的數據是一個連續的位元流，其中 tx_bit 參數可以採取兩種值：1 或 0。PMA 連續發送適當的位元流到 PMD，以在介質上提供正常的 1.25 GBd 信號速率。收到這個資料元時，PMD 將在 MDI 將特定的位元流轉成適當的信號。

2. PMD_UNITDATA.indication

此原式定義由 PMD 至 PMA 的資料傳輸，其服務資料元的語義是 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)。PMD_UNITDATA.indication 所傳送的數據是一個連續的位元流，其中 rx_bit 參數可以採取兩種值：1 或 0。PMD 連續發送從 MDI 接收的相關位元流到 PMA。

3. PMD_SIGNAL.indication

此資料元是由 PMD 產生，以指示從 MDI 來的信號被接收到的狀態。其服務資料元的語義是 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)。SIGNAL_DETECT 參數可以採取兩種值：OK 或 FAIL，以此表示 PMD 在接收機光的檢測是否成功。當 SIGNAL_DETECT=FAIL，PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)是未定義的。PMD 生成此資料元以指示 SIGNAL_DETECT 數值的變化。當 SIGNAL_DETECT=OK 時，並不保證 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)是好的，這可能由一個的質量較差的連接提供足夠的光，但仍不符合特定的位元誤差率(BER)要求。

(3)PMD 層之功能規範

100BASE-X PMD 是負責執行 PMD 服務介面與 MDI 介面間，資料傳輸的發射及接收功能。

1. PMD 方塊圖

PMD 層被定義在圖 3-28 中所示的四個基準點。TP2 和 TP3 兩點是相符參考點，TP1 和 TP4 是執行者之參考點。光發射信號被定義在光纖佈線(TP2)的輸出端，長度介於 2m 和 5m。光纖的型態與連接到發射機的鏈路型態一致。若有使用光纖調配器(single-mode fiber offset-launch mode-conditioning patch cord)，則光發射信號被定義在光纖調配器終點的 TP2。除非另有說明，所有發射機均在 TP2 進行測量。光的接收信號被定義在光纖佈線(TP3)的輸出端，所有接收機均在 TP3 進行測量。

PMD 服務介面 (TP1 及 TP4) 的電力規格，並非系統的相符性參考點，因為系統執行時無法對其進行檢測。

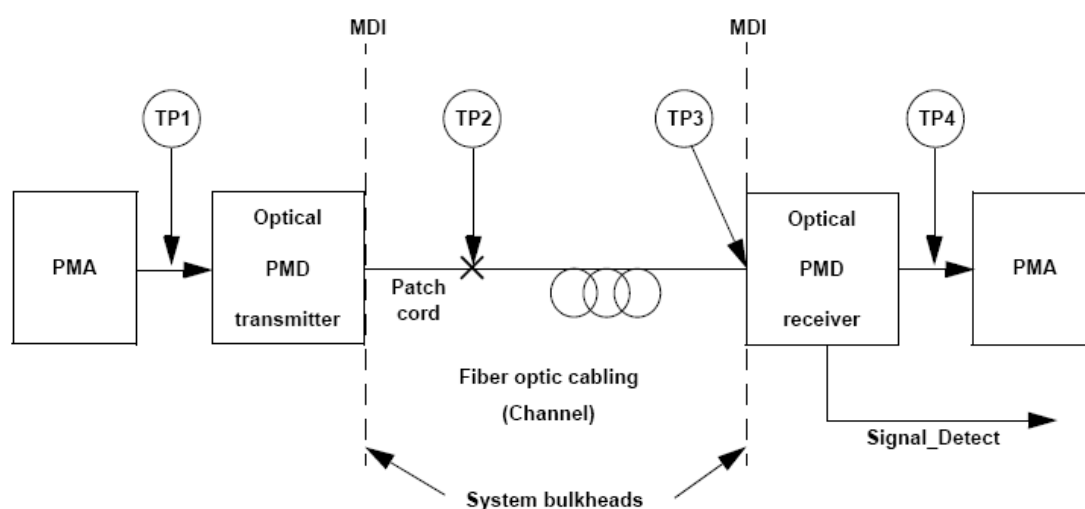


圖 3- 100BASE-X 方塊圖

資料來源：IEEE 802.3-2008

2. PMD 發射功能

PMD 發射功能應由 PMD 服務介面訊息 PMD_UNITDATA.request(tx_bit) 所要求的位元傳輸至 MDI。當 tx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率位準。

3. PMD 接收功能

PMD 接收功能是從 MDI 透過 PMD 服務介面的 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit) 訊息，所接收的位元資訊。當 rx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率位準。

4. PMD 信號檢測(signal detect)功能

PMD 信號檢測功能應報告予 PMD 服務介面，並以連續的信號回報 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)，PMD_SIGNAL.indication 訊息用於指示光信號的現況。SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-44 中定義的條件所產生。PMD 接收機無需驗證是否符合於 100BASE-X 的信號被接收。

設置 SIGNAL_DETECT 參數的一個不可避免後果是，執行時必須提供適度的迂迴(margin)空間，在輸入光功率位準之 SIGNAL_DETECT 參數設為 OK，以及因串音或電源雜訊產生的 PMD 固有雜訊位準(inherent noise level)之間。

各種信號檢測功能的實行是 IEEE802.3-2008 Clause 58 標準所允許的，包括：響應光信號 4B/5B 調變的振幅，所產生的 SIGNAL_DETECT 參數值的實行，以及響應光信號 4B/5B 調變的平均光功率的施行。

表 3- 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 信號檢測值定義

接收狀況		信號檢測值
100BASE-LX10	100BASE-BX10	
平均輸入光功率小於 100BASE-LX10 信號檢測門檻	平均輸入光功率小於 100BASE-BX10 信號檢測門檻	FAIL
平均輸入光功率大於 100BASE-LX10 最大接收靈敏度或信號輸入	平均輸入光功率大於 100BASE-BX10 特定接收波長的最大接收靈敏度	OK
其他狀況		未定義

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(4)100BASE-LX10 之 PMD 到 MDI 的光譜規範

100BASE-LX10 的操作範圍被定義在表 3-43。一個符合 100BASE-LX10 規格的收發機(Transceiver)須可運作如表 3-43 列出的介質類型。一個超過操作範圍(operating range)要求的收發機，同時滿足所有其他光規格仍可視為是符合規範的。

1. 發射機的光規範(Transmitter optical specifications)

100BASE-LX10 發射機的信號傳輸速率、工作波長、頻寬、平均發送功率、消光比(extinction ratio)、反射損失容限(return loss tolerance)、光調變振幅(OMA)、眼圖和發射色散損失(TDP)應符合表 3-45 規範中定義，相對強度雜訊光調變振幅(RIN₁₂OMA)也應符合表 3-45 中所列的值。

表 3- 100BASE-LX10 的發射特性

說明	Type B1.1, B1.3 SMF	單位
Transmitter type(註 1)	Longwave laser	
Signaling speed (range)	125 ± 50 ppm	MBd
Operating wavelength range(註 2)	1260 to 1360	nm
RMS spectral width (max)	7.7	nm
Average launch power (max)	-8	dBm
Average launch power (min)	-15	dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)	-45	dBm
Extinction ratio (min)	5	dB
RIN ₁₂ OMA (max)(註 3)	-110	dB/Hz
Optical return loss tolerance (max)	12	dB
Launch OMA (min)	-14.8 (33.1)	dBm (μW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3, Y4}	{0.18, 0.29, 0.35, 0.35, 0.38, 0.4, 0.55}	UI
Transmitter and dispersion penalty (max)	4.5	dB
Decision timing offsets for transmitter and dispersion penalty (min)	±1.6	ns
*註 1 - 正常的發射器類型不是光源類型的要求，任何發射機符合指定的發射機特性可以取代成為正常發射器類型。 *註 2 - 大部分的發射頻譜必須符合工作波長範圍。 *註 3 - RIN₁₂OMA 的建議是訊息提供，不是強制性的。		

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

2. 接收機的光規範(Receiver optical specifications)

100BASE-LX10 接收機的信號速率、工作波長、接收過載(overload)、靈敏度、增強型接收特性(stressed receive characteristics)、反射比及信號檢測，應符合 100BASE-LX10 的接收特性如表 3-46 所示。

表 3- 100BASE-LX10 的接收特性

說明	Type B1.1, B1.3 SMF	單位
Signaling speed (range)	125 ± 50 ppm	MBd
Operating wavelength range	1260 to 1360	nm
Bit error ratio (max)	10 ⁻¹²	
Average received power (max)(註 1)	-8	dBm
Receiver sensitivity (max)	-25	dBm
Receiver sensitivity as OMA (max)	-24.8 (3.3)	dBm(μW)
Receiver reflectance (max)(註 2)	-12	dB
Stressed receiver sensitivity(註 3)	-20.1	dBm
Stressed receiver sensitivity as OMA (max)	-19.9 (10.2)	dBm(μW)
Vertical eye-closure penalty (min)(註 4)	3.7	dB
Stressed eye jitter (min)	0.25	UI pk-pk
Jitter corner frequency	20	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15	UI
Signal detect threshold (min)	-45	dBm
*註 1 - 接收機在沒有損壞的情況下，應能容忍連續曝光的光輸入信號，其光功率		

說明	Type B1.1, B1.3 SMF	單位
位準等於最大平均接收功率加上至少 1dB。 *註 2 – 參考反射的定義。 *註 3 – 負載接收機靈敏度是可選的。 *註 4 – 垂直閉眼損耗和抖動特性是測量負載接收機靈敏度的測試情況，它們不是接收機要求的特性。		

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(5)100BASE-BX10-D 和 100BASE-BX10-U 之 PMD 到 MDI 的光規範

100BASE-BX10 的操作範圍被定義在表 3-43。依據光纖佈線特性訂定的規範，符合 100BASE-BX10 發射機工作的介質類型如表 3-43 所示。符合的收發機須符合工作範圍的要求，並同時滿足其他所有的光學規格。在本節中，OMA 的規格是來自消光比和最小平均發射功率或最大接收機的靈敏度。

1. 發射機的光規範(Transmitter optical specifications)

100BASE-BX10-D 和 100BASE-BX10-U 發射機的信號傳輸速、工作波長，頻寬、平均發送功率、消光比、反射損耗性、OMA、眼圖和 TDP 應符合表 3-47 規範中定義， $RIN_{12}OMA$ 也應符合表 3-47 中所列的值。

表 3- 100BASE-BX10 的發射特性

說明	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
Nominal transmitter type(註 1)	Longwave laser		
Signaling speed (range)	125 ± 50 ppm		MBd
Operating wavelength range(註 2)	1,480 - 1,580	1,260 - 1,360	nm
RMS spectral width (max)	4.6	7.7	nm
Average launch power (max)	-8		dBm
Average launch power (min)	-14		dBm

說明	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
Average launch power of OFF transmitter (max)	-45		dBm
Extinction ratio (min)	6.6		dB
RIN ₁₂ OMA (max)(註 3)	-110		dB/Hz
Optical return loss tolerance (max)	12		dB
Launch OMA (min)	-12.9 (51.0)		dBm(μ W)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3, Y4}	{0.18, 0.29, 0.35, 0.35, 0.38, 0.4, 0.55}		UI
Transmitter and dispersion penalty (max)	4.5		dB
Decision timing offsets for transmitter and dispersion penalty (min)	± 1.6		ns
*註 1 - 正常的發射器類型不是光源類型的要求，任何發射機符合指定的發射機特性可以取代成為正常發射器類型。 *註 2 - 大部分的發射頻譜必須符合工作波長範圍。 *註 3 - RIN₁₂OMA 的建議是訊息提供，不是強制性的。			

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

2. 接收機的光規範(Receiver optical specifications)

100BASE-BX10-D 和 100BASE-BX10-U 接收特性如表 3-48 所示。

表 3- 100BASE-BX10-D 和 100BASE-BX10-U 接收特性

說明	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
Signaling speed (range) (註 1)	125 $\pm$ 50 ppm		MBd
Operating wavelength range(註 2)	1,260 -	nm	nm

說明	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
	1,360		
Bit error ratio (max)	10^{-12}		
Average received power (max)(註 2)	-8		dBm
Receiver sensitivity (max)	-28.2		dBm
Receiver sensitivity as OMA (max)	-27.1 (1.94)		dBm(μ W)
Receiver reflectance (max)(註 3)	-12		dB
Stressed receiver sensitivity(註 4)	-23.3		dBm
Stressed receiver sensitivity as OMA (max)	-22.3 (6.0)		dBm(μ W)
Vertical eye-closure penalty (min)(註 5)	3.8		dB
Stressed eye jitter (min)	0.25		UI pk-pk
Jitter corner frequency	20		kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15		UI
Signal detect threshold (min)	-45		dBm
*註 1 - 100BASE-BX10-U 接收機的波長範圍比相關的發射機範圍寬大，以允許和現有 100 Mbps 的雙向收發機相互操作。 *註 2 - 接收機在沒有損壞的情況下，應能容忍連續曝光的光輸入信號，其光功率位準等於最大平均接收功率加上至少 1dB。 *註 3 - 參考反射的定義。 *註 4 - 負載接收機靈敏度是可選的。 *註 5 - 垂直閉眼損耗和抖動特性是測量負載接收機靈敏度的測試情況，它們不是接收機要求的特性。			

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(6) 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 路徑和損耗

最大路徑插入損耗是依據目標距離的電纜衰減和正常的測量波長。路徑插入損耗還包括連接器、熔接及其他被動元件的損耗。預設可用功率和路徑插入損耗之間的損耗配置不同，正常和較差的工作波長的插入損耗差異被認為是一種損耗代價(penalty)，如表 3-49 所示。

表 3- 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 通道和損失

說明	100BASE-LX10	100BASE-BX10-D	100BASE-BX10-U	單位
Fiber type	B1.1, B1.3 SMF			
Measurement wavelength for fiber	1,310	1,550	1,310	nm
Nominal distance	10			km
Available power budget	10	14.2		dB
Maximum channel insertion loss(註 1)	6	5.5	6	dB
Allocation for penalties(註 2)	4	8.7	8.2	dB
*註 1 -最大通道插入損耗是依據目標距離的電纜衰減和正常的測量波長。通道插入損耗還包括連接器、熔接及其他被動元件的損耗。 *註 2 – 損失分配是可用功率預算和通道插入損耗之間的差異。正常和最壞情況下的工作波長插入損耗差異被認為是一種損失(penalty)。對 100BASE-X 來說，它的損失分配可能小於 TDP 的限制，因為 TDP 測得的損失可能會出現在接收端，因此不需被計算兩次。				

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(7) 抖動規格

所有的高頻抖動(20 kHz 以上)如表 3-50 所示，不包括低頻率抖動或漂移。在 TP2 的高可能性抖動被眼圖遮罩所限制。在 TP3 的總抖動(同 TP2)受到錯誤檢測定時偏移(error detector timing offsets)的限制。由於高可能性基限偏移的因

素，可預期 TP2、TP3 和 TP4 高可能性抖動的高位準。在 TP2 和 TP3 間的抖動差預期是低於更高速的 PMDs。

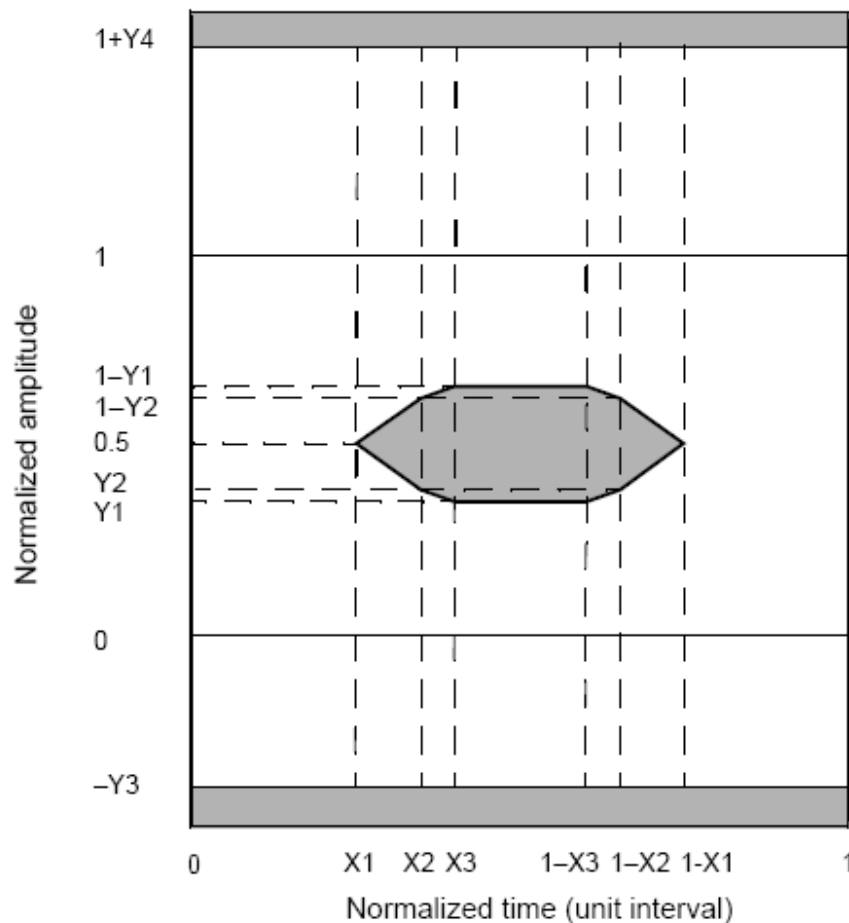
表 3- 100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 的抖動預算

	總抖動		高可能性抖動(W)	
Reference point	UI	ns	UI	ns
TP1	0.09	0.72	0.05	0.4
TP2	0.4	3.2	0.305	2.44
TP3	0.43	3.54	0.305	2.44
TP4	0.51	4.04	0.305	2.44
*註 - 抖動值的資訊選擇是兼容於眼圖遮罩和 TDP 的限制。由於不同的元件可能會互相影響，在抖動測試點之間的差異不能被用來顯示中間部分的性能位準。				

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(8)發射機光波形(傳輸眼圖遮罩)

100BASE-LX10 和 100BASE-BX10 所需的發射脈衝形狀特性是訂定在發射機眼圖遮罩中，如圖 3-29 所示，符合才能確保系統的運作。



*Normalized amplitude：常態振幅

*Normalized time (unit interval)：常態時間(單位間隔)

圖 3- 發射機眼圖遮罩定義

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

標準化振幅的 0 和 1 分別代表振幅的邏輯 0 和 1，這些都是依據眼圖遮罩中心 0.2 UI 的上半部和下半部所定義。單位間隔的 0 和 1 是由眼圖遮罩的交叉方式所定義。一種時脈恢復單元(Clock Recovery Unit，CRU)可用於觸發遮罩量測的範圍，如圖 3-30 所示，其應有一個高頻的角帶頻寬(corner bandwidth)，且應小於或等於發射機相對接收機的抖動角帶頻率(corner frequency)，例如一個斜率為-20 dB/decade 的表 3-46 或表 3-48。CRU 追蹤可接受的低頻率抖動和漂移位準，測量儀器(例如示波器)的響應頻率基本上會延伸低於測試模式的重複頻率。一個直流連接儀器是較方便的。

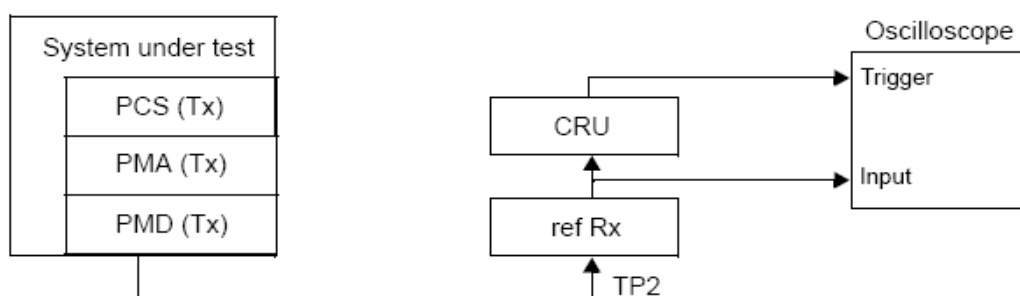


圖 3- 發射機光波形測試方塊圖

資料來源：IEEE 802.3-2008

(9)通道需求

PMD 規範光電通道測試符合的發射機類型如表 3-51 所示。

表 3- 發射機通道規範

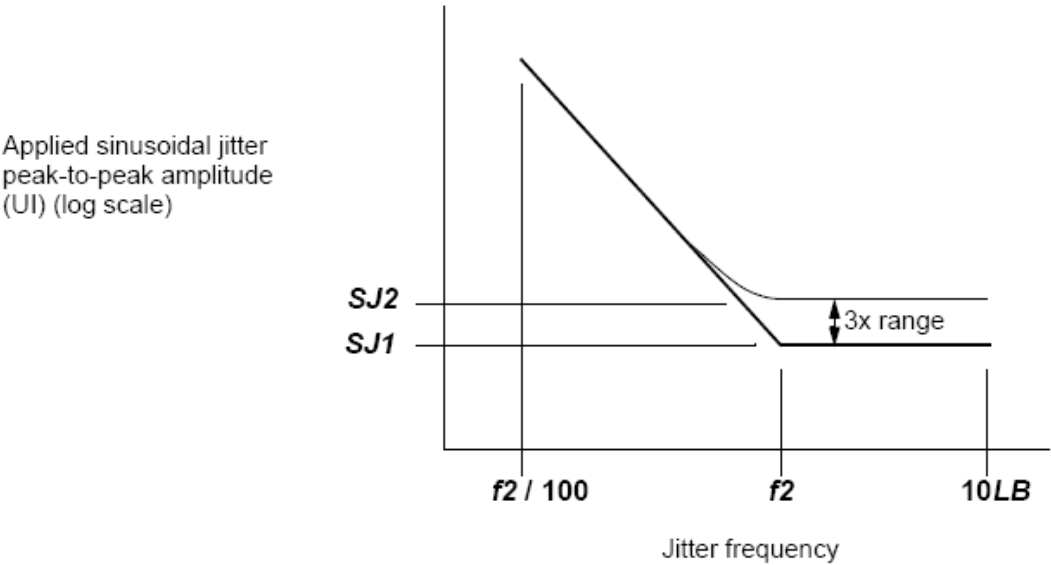
PMD 發射機的波長，光纖類型	光通道		電通道	
	色散 (ps/nm)(註 1)		光最大反射損耗 (註 2)	延遲差異 (ps)
	最小	最大		
1,310 nm band for SMF	$0.02325.L.c.\lambda.[1-(1324/\lambda)^4]$	$0.02325.L.\lambda.[1-(1300/\lambda)^4]$	參考發射機的 ORLT 規範	N/A
1,550 nm band for SMF	0	$0.02325.L.\lambda.[1-(1300/\lambda)^4]$		N/A
*註 1 – 此色散值被指定為測試設備的實際波長。				
*註 2 – 此為 TP2 的光反射損耗。				
*註 3 – L 為上層運作範圍限制(REACH)，例如表 3-43 的定義。				

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(10)接收機正弦抖動一致性測試

正弦抖動是用來測試接收機抖動容忍限度。正弦抖動振幅可能會因為精確地校準負載眼圖而有所不同，限制範圍如圖 3-31 和表 3-52 所示，其中 f2，SJ1 和 SJ2 的接收規範如表 3-46 和表 3-48 所示，頻率 f2 被定義為抖動角帶頻率

(jitter corner frequency)，SJ1 和 SJ2 被定義為負載接收機一致性測試的正弦抖動限制(最大和最小)。



*Jitter frequency：抖動頻率

*Applied sinusoidal jitter peak-to-peak amplitude：適用的正弦抖動峰-峰振幅

圖 3- 抖動容忍限度的正弦遮罩

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

表 3- 適用的正弦抖動

頻率範圍	正弦 (UI pk-pk)
$f < f_2 / 100$	N/A
$f_2 / 100 < f \leq f_2$	$0.05 \times f_2 / f + S - 0.05$ (註 1)
$f_2 < f < 10 \times LB$ (註 2)	$SJ1 \leq S \leq SJ2$ (註 1)

*註 1 - S 是正弦抖動振幅，實際使用於負載眼圖的校準。

*註 2 - LB = 環路頻寬，頻率上限為增加的正弦抖動，應該是被測試接收機至少 10 倍的環路頻寬。

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(11)環境

表 3-53 中定義了兩個可選的溫度範圍。執行時應符合在一個或兩個完整的範圍內，或聲明(當僅符合部分這些範圍或另一個溫度範圍時)。

表 3- 符合的溫度類別

類別	低溫(°C)	高溫(°C)
Warm extended	-5	+85
Cool extended	-40	+60
Universal extended	-40	+85

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(12)光纖佈線特性

100BASE-BX10 和 100BASE-LX10 光纖佈線應符合的色散和頻寬模式規格定義在 IEC 60793-2 和 ITU-T G.652 中，也如表 3-54 所示。光纖纜線的衰減值僅供參考，終端設備到終端設備間的路徑損耗應符合表 3-43 的要求。光纖佈線由一條或多條光纖電纜和任意所需的中間連接所組成，光纖電纜從一個介質相關介面(Medium dependent interface, MDI)跨接到另一個 MDI，光纖佈線模式如圖 3-32 所示。

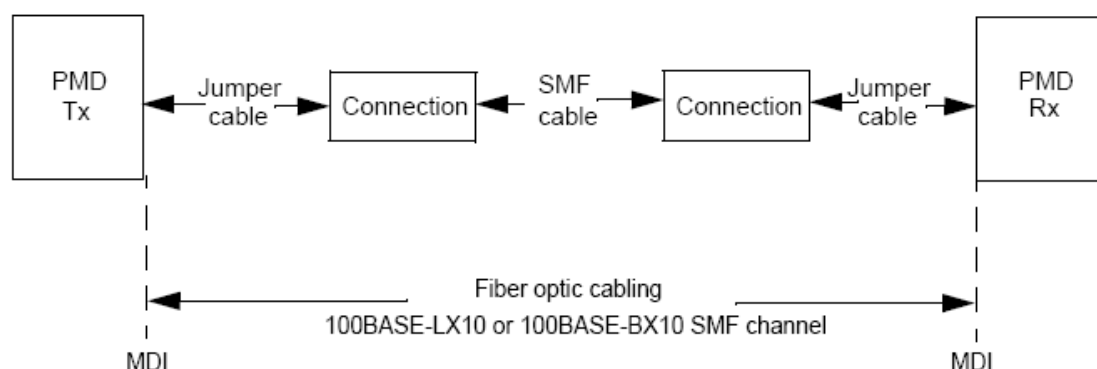


圖 3- 光纖佈線模式

資料來源：IEEE 802.3-2008

最大路徑插入損耗應符合表 3-43 中規範的要求。100BASE-BX10 和 100BASE-LX10 最小的損耗為零。路徑可以包含額外的連接器或其他光學元件，

只要路徑的光學特性符合規格即可，例如衰減、色散和反射。光纖電纜的佈線插入損耗測量是依據 ANSI/TIA/EIA-526-7 方法 A-1。此處定義的光纖佈線模型(路徑)和單一光纖連結路段是相同的，這裡使用的路徑術語與通用的佈線標準一致。

光纖和光纜的規格須符合 IEC 60793-2 Type B1.1(未偏移色散單模光纖)、Type B1.3(低水峰 (low water peak)單模光纖)，以及 ITU-T G.652 的規範。

表 3- 光纖和光纜特性

說明(註 1)	B1.1, B1.3 SMF		單位
Nominal fiber specification wavelength(註 2)	1310	1550	nm
Fiber cable attenuation (max) (註 3)	0.4	0.35	dB/km
Zero dispersion wavelength (λ_0) (註 4)	1300≤λ0 ≤ 1324		nm
Dispersion slope (max) (S0)	0.093		ps /nm ² -km
*註 1 - 光纖的色散值是規範性的，表中其他的值僅是資料提供。 *註 2 - 規範的波長是一般測量的正常光纖的規格波長，其他波長的功率損失會計入。 *註 3 - 衰減值不是規範性的。單模光纖電纜的衰減定義在 ITU-T G.652。 *註 4 - 光纖零色散波長和色散斜率的正確使用方式請參考 IEC60793 或 G.652。			

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

單模光纖的最大鏈路距離是依據 2 dB 的連接和熔接損耗分配計算而來，可以使用不同損耗特性的連接以符合表 3-43 的需求。一個連接或接頭的最大離散反射應小於 -26 dB。100BASE-LX10、100BASE-BX10-D 或 100BASE-BX10-U 的 PMD 被連接到光纖佈線的 MDI，MDI 是 PMD 和光纖佈線之間的介面，如圖 3-32 所示。MDI 包括外接光纖尾纖(pigtail)和 PMD 插座。

當 100BASE-BX10 連接單光纖和 100BASE-LX10 連接雙光纖時，MDI 傳送雙向的信號。當 MDI 是一個補救的連接，應符合 IEC 61753-1 的介面規格。一致性測試是在 TP2 和 TP3 進行，而不是在 MDI。

2、 IEEE 1000BASE-LX10/BX10 終端設備規格標準

1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 的實體介質相依層(PMD)子層透過一對光纖或單光纖，提供點對點(P2P)的 1000BASE-X 鏈路，可長達 10 公里。本章將定義 1000BASE-LX10 PMD 之單模(SMF)與多模(MMF)，以及 1000BASE-BX10 PMD 單模之規範。一個 PMD 向上可連接 1000BASE-X 的「實體介質附著層」(Physical Medium AttachmentPMA)，向下則經由介質相依介面(Medium Dependent Interface，MDI)與介質界接。1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 之 PMD 分類，如表 3-55 所示。

表 3- 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 PMD 的分類

說明	1000BASE-LX10		1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
Fiber type (註 1)	B1.1,B1.3 SMF	50,62.5μm MMF	B1.1, B1.3 SMF		
Number of fibers	2	2	1		
Typical transmit direction	N/A		Downstream	Upstream	
Nominal transmit wavelength	1310	1310	1490	1310	nm
Minimum range	0.5m 至 10km	0.5m 至 550m (註 2)	0.5m 至 10km		
Maximum channel insertion loss(註 3)	6.0	2.4	5.5	6.0	dB
註 1:依據 IEC60793-2 註 2:請參考本節後之光纖與光纜特性說明 註 3:在 Nominal transmit wavelength					

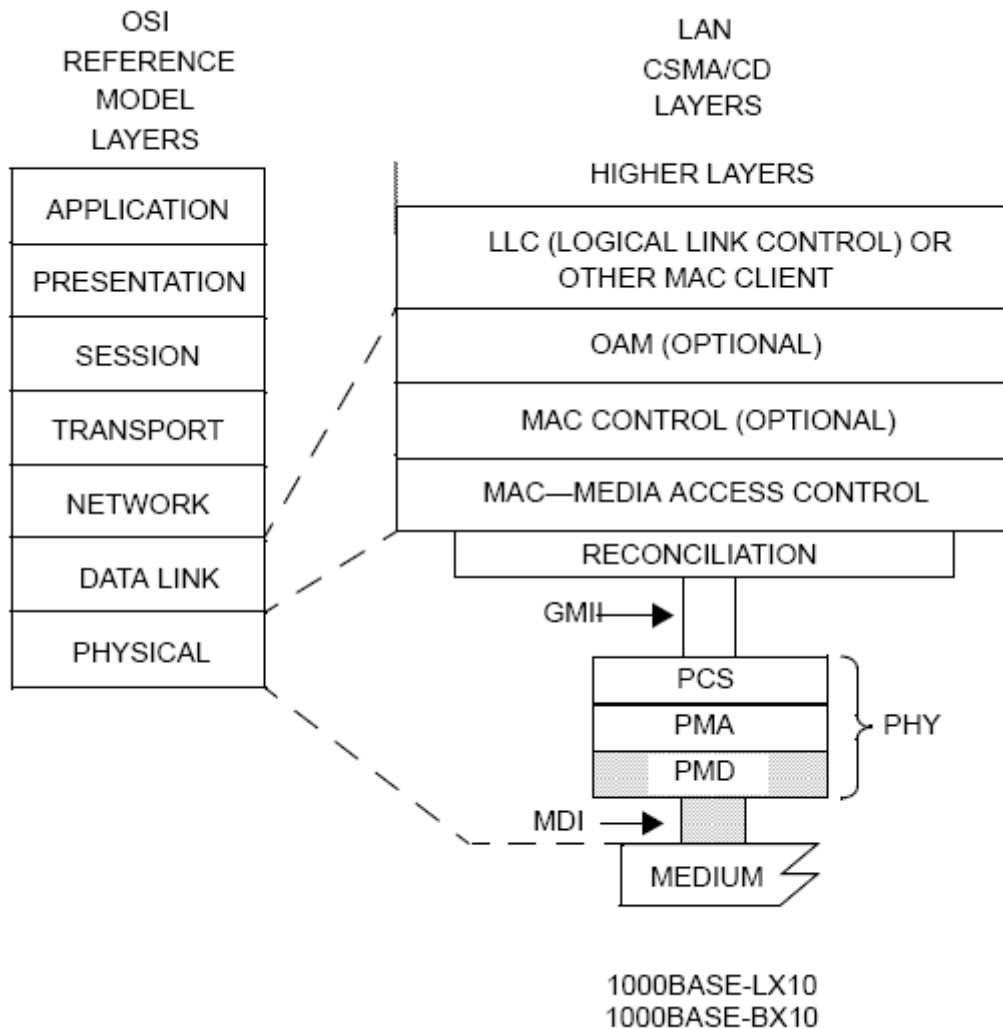
資料來源：IEEE 802.3-2008 Clause 59，本研究團隊整理

1000BASE-LX10 在每一端使用 1000BASE-LX10 PMDs 作連接，而 1000BASE-BX10 是在一端使用 1000BASE-BX10-D PMD，在另一端使用 1000BASE-BX10-U PMD 作連接。1000BASE-LX10 也可互通於 1000BASE-LX。通常 1,490nm 波長是用於發送遠離網路中心(下行;Downstream)，而 1,310 nm 波長是用於傳送朝向網路中心(上行;Upstream)。尾碼 “D”和 “U”表示在 PMDs 每個端部的連接，其接收的方向是相反的。使用 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 的主要目標是：

- 光纖點對點(P2P)
- 1000BASE-LX 可擴展溫度範圍
- 1000BASE-BX 在單模光纖上可長達 10 公里
- 在 PHY 的服務介面，BER 可以比 10^{-12} 更好或相等

(1)1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 在 IEEE 802.3 的結構

1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 的結構如圖 3-33 所示：



*MDI：介質相依介面

*GMII：Gbit 介質獨立介面

*PCS：實體編碼子層

*PHY：實體層設備

*PMA：實體介質附著層

*PMD：實體介質相依層

圖 3- 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 的結構

資料來源：IEEE 802.3-2008 Clause 59，本研究團隊整理

(2)PMD 層之服務介面

下列指定的服務是由 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 實體介質相依層(PMD)所提供的。PMD 服務介面支援 PMA 及 PMD 實體間的 8B/10B 碼組

(code-groups)交換。PMD 負責轉譯 PMA 的序列資料為適合特定介質的信號。從 MDI 至 GMII 有延遲的需求，每個 PMD 的發射與接收功能最多可預留 20 ns，並已考慮到尾纖（Pigtail）的情況。

1. PMD_UNITDATA.request

資料元(primitive)的定義是：由 PMA 至 PMD 之序列資料串流的轉換。其服務資料元的語義是 PMD_UNITDATA.request(tx_bit)。PMD_UNITDATA.request 所傳送的數據是一個連續的位元流，其中 tx_bit 參數可以採取兩種值：1 或 0。PMA 連續發送適當的位元流到 PMD，以在介質上提供正常的 1.25 GBd 信號速率。收到這個資料元時，PMD 將在 MDI 將特定的位元流轉成適當的信號。

2. PMD_UNITDATA.indication

此原式定義由 PMD 至 PMA 的資料傳輸，其服務資料元的語義是 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)。PMD_UNITDATA.indication 所傳送的數據是一個連續的位元流，其中 rx_bit 參數可以採取兩種值：1 或 0。PMD 連續發送從 MDI 接收的相關位元流到 PMA。

3. PMD_SIGNAL.indication

此資料元是由 PMD 產生，以指示從 MDI 來的信號被接收到的狀態。其服務資料元的語義是 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)。SIGNAL_DETECT 參數可以採取兩種值：OK 或 FAIL，以此表示 PMD 在接收機光的檢測是否成功。當 SIGNAL_DETECT=FAIL，PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)是未定義的。PMD 生成此資料元以指示 SIGNAL_DETECT 數值的變化。當 SIGNAL_DETECT=OK 時，並不保證 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit)是好的，這可能由一個的質量較差的連接提供足夠的光，但仍不符合特定的位元誤差率(BER)要求。

(3) PMD 層之功能規範

1000BASE-X PMD 是負責執行 PMD 服務介面與 MDI 介面間，資料傳輸的發射及接收功能。

1. PMD 方塊圖

PMD 層被定義在圖 3-34 中所示的四個基準點。TP2 和 TP3 兩點是相符參考點，TP1 和 TP4 是執行者之參考點。光發射信號被定義在光纖佈線(TP2)的輸出端，長度介於 2m 和 5m。光纖的型態與連接到發射機的鏈路型態一致。若有

使用光纖調配器(single-mode fiber offset-launch mode-conditioning patch cord)，則光發射信號被定義在光纖調配器終點的 TP2。除非另有說明，所有發射機均在 TP2 進行測量。光的接收信號被定義在光纖佈線(TP3)的輸出端，所有接收機均在 TP3 進行測量。

PMD 服務介面 (TP1 及 TP4) 的電力規格，並非系統的相符性參考點，因為系統執行時無法對其進行檢測。

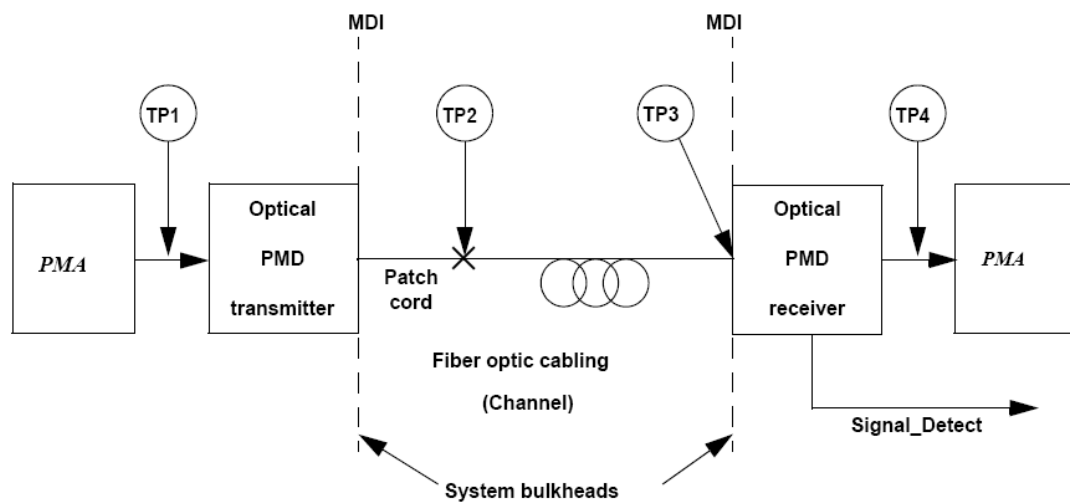


圖 3- 1000BASE-X 方塊圖

資料來源：IEEE 802.3-2008 Clause 59，本研究團隊整理

2. PMD 發射功能

PMD 發射功能應由 PMD 服務介面訊息 PMD_UNITDATA.request(tx_bit) 所要求的位元傳輸至 MDI。當 tx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率位準。

3. PMD 接收功能

PMD 接收功能是從 MDI 透過 PMD 服務介面的 PMD_UNITDATA.indication(rx_bit) 訊息，所接收的位元資訊。當 rx_bit = ONE 時，對應至較高的光功率位準。

4. PMD 信號檢測(signal detect)功能

PMD 信號檢測功能應報告予 PMD 服務介面，並以連續的信號回報 PMD_SIGNAL.indication(SIGNAL_DETECT)，PMD_SIGNAL.indication 訊息

用於指示光信號的現況。SIGNAL_DETECT 參數值應依據表 3-56 中定義的條件所產生。PMD 接收機無需驗證是否符合於 1000BASE-X 的信號被接收。

設置 SIGNAL_DETECT 參數的一個不可避免後果是，執行時必須提供適度的迂迴(margin)空間，在輸入光功率位準之 SIGNAL_DETECT 參數設為 OK，以及因串音或電源雜訊產生的 PMD 固有雜訊位準(inherent noise level)之間。

各種信號檢測功能的實行是 IEEE802.3-2008 Clause 59 標準所允許的，包括：響應光信號 8B/10B 調變的振幅，所產生的 SIGNAL_DETECT 參數值的實行，以及響應光信號 8B/10B 調變的平均光功率的施行。

表 3- 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 信號檢測值的定義

接收狀況		信號檢測值
1000BASE-LX10	1000BASE-BX10	
平均輸入光功率 $\leq$ 1000BASE-LX10 信號檢測門檻(min)(註 1)	平均輸入光功率 $\leq$ 1000BASE-BX10 信號檢測門檻(min)(註 2)	FAIL
平均輸入光功率 $\geq$ 接收靈敏度(max)符合 1000BASE-LX10(註 1) 或 1000BASE-LX10 信號輸入	平均輸入光功率 $\geq$ 接收靈敏度(max)符合 1000BASE-BX10 在特定接收波長的信號輸入(註 2)	OK
所有其他狀況		未定義
註 1:請參考表 3-59，1000BASE-LX10 接收特性 註 2:請參考表 3-60，1000BASE-BX10 接收特性		

資料來源：IEEE 802.3-2008 Clause 59，本研究團隊整理

(4) 1000BASE-LX10 之 PMD 至 MDI 的光規範

1000BASE-LX10 的操作範圍被定義在表 3-55。一個符合 1000BASE-LX10 規格的收發機(Transceiver)須可運作如表 3-55 列出的介質類型。一個超過操作範圍(operating range)要求的收發機，同時滿足所有其他光規格仍可視為是符合規範的。

1. 發射機的光規範(Transmitter optical specifications)

1000BASE-LX10 發射機的信號傳輸速率、工作波長、頻寬、平均發送功率、消光比(extinction ratio)、反射損失容限(return loss tolerance)、光調變振幅(OMA)、眼圖和發射色散損失(TDP)應符合表 3-59 規範中定義，相對強度雜訊光調變振幅(RIN₁₂OMA)也應符合表 3-59 中所列的值。為了確保表 3-59 的規範能與 MMF 鏈路連接，1000BASE-LX10 發射機的輸出將透過光纖調配器(single-mode fiber offset-launch mode-conditioning patch cord)耦合。1000BASE-LX10 最大 RMS 頻譜寬度相對於中心波長如表 3-60 和圖 3-35 所示。1000BASE-LX10 的發射特性如表 3-59 所示。

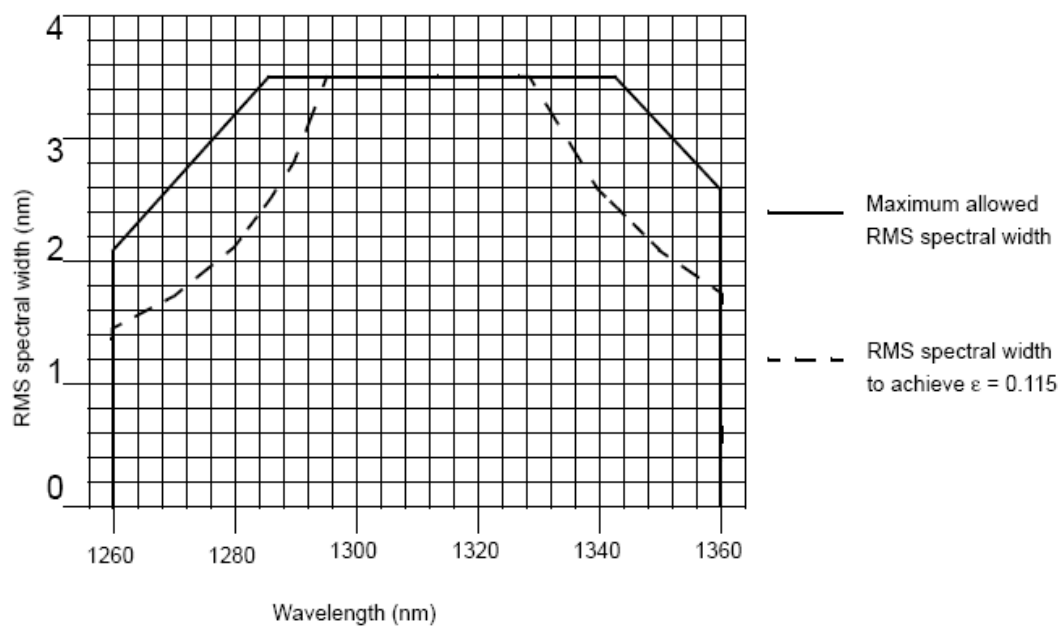


圖 3- 1000BASE-LX10 發射機的頻譜限制

資料來源：IEEE 802.3-2008 Clause 59

表 3- 1000BASE-LX10 的發射特性

説明	SMF	50μm MMF	62.5μm MMF	単位
Nominal transmitter type (註 1)	Longwave Laser			
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm			GBd
Operating wavelength range (註 2)	1260 至 1360			nm
T rise /T fall (max, 20% response time)	0.30			ns
RMS spectral width (max)	表 3-60			nm
Average launch power (max)	-3			dBm
Average launch power (min)	-9	-11.0	-11.0	dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)	-45			dBm
Extinction ratio (min)	6			dB
RIN _{OMA} (max)	-113			dB/Hz
Optical return loss tolerance (max)	12			dB
Launch OMA (min)	-8.7 (130)	-10.2 (100)	-10.2 (100)	dBm (μW)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, Y1, Y2, Y3}	0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30			UI
Decision timing offsets for transmitter and dispersion penalty (min)	±80			ps
Transmitter reflectance (max)	-6			dB
Transmitter and dispersion penalty, TDP (max)	3.3	3.5		dB

說明	SMF	50μm MMF	62.5μm MMF	單位
Differential delay, reference receiver for TDP (min)	NA	367		ps
註 1 - 正常的發射器類型不是光源類型的要求，任何發射機符合指定的發射機特性可以取代成為正常發射器類型。 註 2 - 大部分的發射頻譜必須符合工作波長範圍。				

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

表 3- 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 發射機光譜限制

中心波長 單位：nm	RMS 頻寬(最大) 單位：nm	符合 $\epsilon \leq 0.115$ 的頻寬 單位：nm
1,260	2.09	1.43
1,270	2.52	1.72
1,280	3.13	2.14
1,290	3.5	2.49
1,300	3.5	2.8
1,310	3.5	3.5
1,320	3.5	3.5
1,330	3.5	2.59
1,340	3.5	2.41
1,350	3.06	2.09
1,360	2.58	1.76

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

2. 接收機的光規範(Receiver optical specifications)

1000BASE-LX10 接收機的信號速率、工作波長、接收過載(overload)、靈敏度、增強型接收特性(stressed receive characteristics)、反射比及信號檢測，應符 1000BASE-LX10 的接收特性如表 3-59 所示。

表 3- 1000BASE-LX10 的接收特性

說明	值	單位
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm	GBd
Wavelength (range)	1260 至 1360	nm
Average receive power (max)	-3	dBm
Receive sensitivity (max)	-19.5	dBm
Receiver sensitivity as OMA (max)	-18.7(13.4)	dBm(μ W)
Bit error ratio (max)	10^{-12}	
Receiver reflectance (max) (註)	-12	dB
Stressed receive sensitivity (max)	-15.4	dBm
Stressed receiver sensitivity as OMA (max)	-14.6(35)	dBm(μ W)
Vertical eye-closure penalty (min)	3.6	dB
Receive electrical 3 dB upper cutoff frequency (max)	1500	MHz
Signal detect threshold (min)	-45	dBm
Stressed eye jitter (min)	0.3	UI pk-pk
Jitter corner frequency	637	kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15	UI
註 - 垂直閉眼損耗和抖動特性是測量負載接收機靈敏度的測試情況，它們不是接收機要求的特性。		

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(5) 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 之 PMD 至 MDI 的光規範

1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 的操作範圍被定義在表 3-55 中。符合 1000BASE-BX10 單模發射機工作的光纖類型如表 3-55 所示。符合的收發機須超過工作範圍的要求，並同時滿足其他所有的光學規格。

1. 發射機的光規範(Transmitter optical specifications)

1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 發射機的信號傳輸速、工作波長，頻寬、平均發送功率、消光比、反射損耗性、OMA、眼圖和 TDP 應符合表 3-60 規範中定義， $RIN_{12}OMA$ 也應符合表 3-60 中所列的值。

1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 發送特性如表 3-60 所示。

表 3- 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 發送特性

說明	1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
Nominal transmitter type(註 1)	長波雷射		
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm		GBd
Operating wavelength range(註 2)	1480 至 1500	1260 至 1360	nm
RMS spectral width (max)			nm
Average launch power (max)	-3		dBm
Average launch power (min)	-9		dBm
Average launch power of OFF transmitter (max)	-45		dBm
Extinction ratio (min)	6		dB
$RIN_{12}OMA$ (max)	-113		dB/Hz
Optical return loss tolerance (max)	12		dB
Launch OMA	-8.2(151)		dBm(μ

說明	1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
			W)
Transmitter eye mask definition {X1, X2, Y1, Y2, Y3}	0.22, 0.375, 0.20, 0.20, 0.30		UI
Transmitter reflectance (max)	-10	-6	dB
Transmitter and dispersion penalty, TDP (max)	3.3		dB
Decision timing offsets for transmitter and dispersion penalty (min)	± 80		ps
註 1 - 正常的發射器類型不是光源類型的要求，任何發射機符合指定的發射機特性可以取代成為正常發射器類型。			
註 2 - 大部分的發射頻譜必須符合工作波長範圍。			

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

2. 接收機的光規範(Receiver optical specifications)

1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 接收特性如表 3-61 所示。

表 3- 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 接收特性

說明	1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
Signaling speed (range)	1.25 ± 100 ppm		GBd
Wavelength (range)	1,260-1,360	1,480-1,500	nm
Bit error ratio (max)	10^{-12}		
Average receive power (max)	-3		dBm
Receive sensitivity (max)	-19.5		dBm
Receiver sensitivity as OMA (max)	-18.7(13.4)		dBm(μ

說明	1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
			W)
Receiver reflectance (max)	-12		dB
Stressed receive sensitivity (max) (註 1)	-15.4		dBm
Stressed receiver sensitivity as OMA (max)	-14.6(35)		dBm(μ W)
Vertical eye-closure penalty (min) (註 2)	2.6		dB
Receive electrical 3 dB upper cutoff frequency (max)	1500		MHz
Signal detect threshold (min)	-45		dBm
Stressed eye jitter (min)	0.3		UI pk-pk
Jitter corner frequency	637		kHz
Sinusoidal jitter limits for stressed receiver conformance test (min, max)	0.05, 0.15		UI
註 1 – 負載接收機靈敏度是可選的。 註 2 – 垂直閉眼損耗和抖動特性是測量負載接收機靈敏度的測試情況，它們不是接收機要求的特性。			

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(6) 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 通道和損失

最大路徑插入損耗是依據目標距離的電纜衰減和正常的測量波長。通道插入損耗還包括連接器、熔接及其他被動元件的損耗。預設可用功率和通道插入損耗之間的損耗配置不同，正常和較差的工作波長的插入損耗差異被認為是一種損失代價(penalty)，如表 3-62 所示。

表 3- 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 通道和損失

PMD 型式	1000BASE-LX10		1000BASE-BX10-D	1000BASE-BX10-U	單位
Fiber type	B1.1, B1.3 SMF	50µm 62.5µm MMF	B1.1, B1.3 SMF		
Measurement wavelength for fiber	1,310	1,300	1,550	1,310	nm
Nominal distance	10	0.55	10		km
Available power budget	10.5	8.5	10.5		dB
Maximum channel insertion loss(註 1)	6	2.4	5.5	6	dB
Allocation for penalties(註 2)	4.5	6.1	5	4.5	dB
註 1 -最大通道插入損耗是依據目標距離的電纜衰減和正常的測量波長。通道插入損耗還包括連接器、熔接及其他被動元件的損耗。 註 2 – 損失分配是可用功率預算和通道插入損耗之間的差異。正常和最壞情況下的工作波長插入損耗差異被認為是一種損失(penalty)。					

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(7) 抖動規格

1000BASE-LX10 在 MMF 的所有預設抖動如表 3-63 所示， 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 在 SMF 的所有預設抖動如表 3-64 所示，其代表高頻抖動(637kHz 以上)，不包括低頻率抖動或漂移。W 是類似的，但與確定性抖動(deterministic jitter)不一定相同。在 TP2 和 TP3 的抖動是被定義為相同頻寬接收機的特定發送眼圖。

表 3- 1000BASE-LX10 在 MMF 的預設抖動

	總抖動		W	
參考點	UI	ps	UI	ps
TP1	0.24	192	0.1	80
TP1 至 TP2	0.284	227	0.1	80
TP2	0.431	345	0.2	160
TP2 至 TP3	0.17	136	0.05	40
TP3	0.51	408	0.25	200
TP3 至 TP4	0.332	266	0.212	170
TP4	0.749	599	0.462	370

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

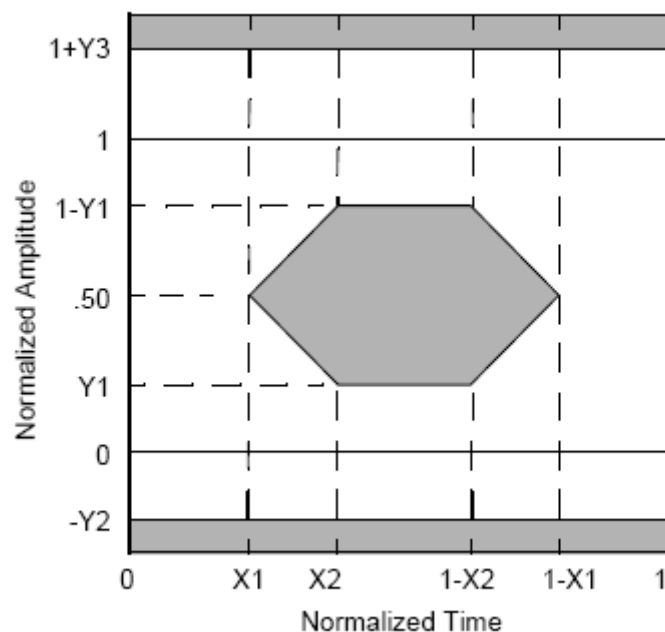
表 3- 1000BASE-BX10-D 和 1000BASE-BX10-U 在 MMF 的預設抖動

	總抖動		W	
參考點	UI	ps	UI	ps
TP1	0.24	192	0.1	80
TP1 至 TP2	0.334	267	0.15	120
TP2	0.481	385	0.25	200
TP2 至 TP3	0.119	95	0	0
TP3	0.51	408	0.25	200
TP3 至 TP4	0.332	266	0.212	170
TP4	0.749	599	0.462	370

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(8)發射機光波形(傳輸眼圖遮罩)

使用四階 Bessel-Thomson 接收機應遵守 $f_r = 0.9375$ GHz 的眼圖遮罩，相關的頻率和響應定義在 ITU-T G.957，也定義了物理實現所允許的公差，如圖 3-36 所示。



*Normalized Time：常態時間

*Normalized Amplitude：常態振幅

圖 3- 發射機眼圖遮罩定義

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(9) 環境

表 3-65 中定義了兩個可選的溫度範圍。執行時應符合在一個或兩個完整的範圍內，或聲明(當僅符合部分這些範圍或另一個溫度範圍時)。

表 3- 符合的溫度類別

類別	低溫(°C)	高溫(°C)
Warm extended	-5	+85
Cool extended	-40	+60

類別	低溫(°C)	高溫(°C)
Universal extended	-40	+85

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

(10) 光纖佈線特性

1000BASE-BX10 和 1000BASE-LX10 光纖佈線應滿足的色散和頻寬模式規格定義在 IEC 60793-2 和 ITU-T G.652 中，也如表 3-66 所示。光纖纜線的衰減值僅供參考，終端設備到終端設備間的通道損耗應符合表 3-55 的要求。光纖佈線由一條或多條光纖電纜和任意所需的中間連接所組成，光纖電纜從一個介質相關介面(Medium dependent interface, MDI)跨接到另一個 MDI，光纖佈線模式如圖 3-37 所示。

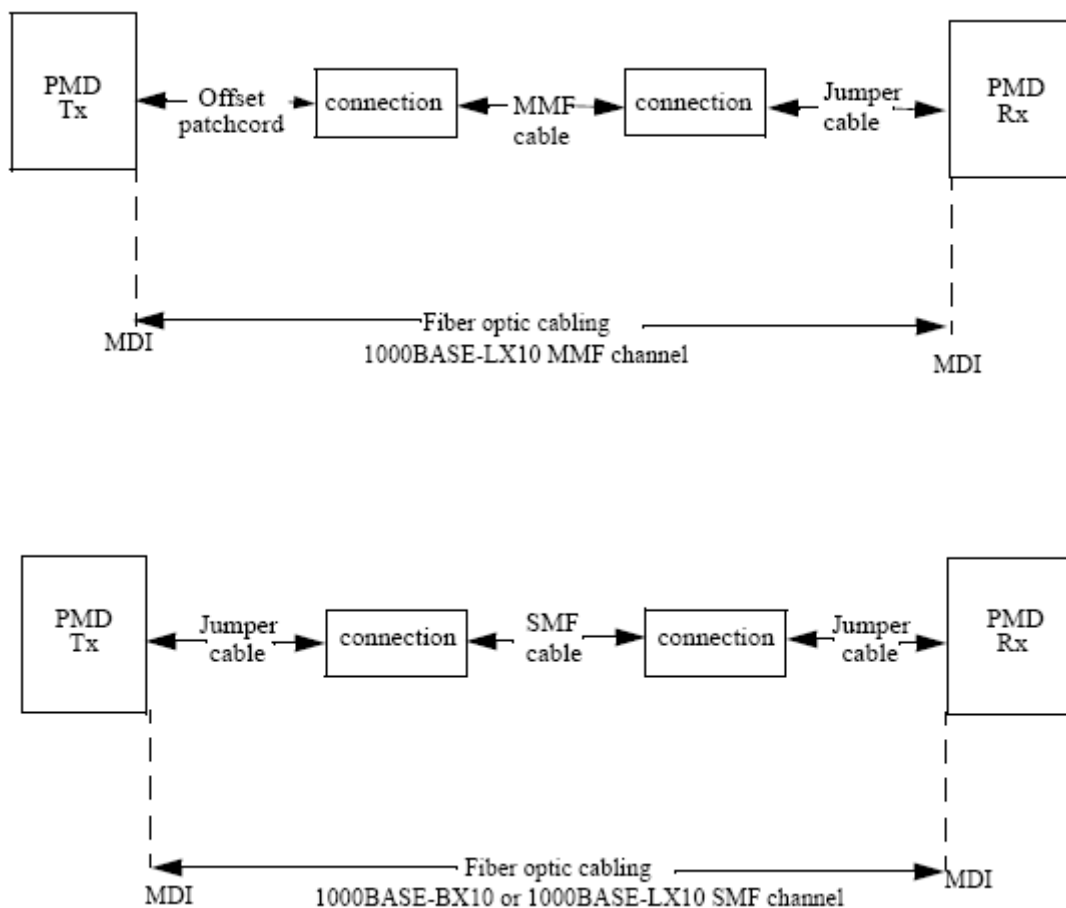


圖 3- 光纖佈線模式

資料來源：IEEE 802.3-2008

最大通道插入損耗應符合表 3-55 中規定的要求。1000BASE-BX10 和 100BASE-LX10 最小的損耗為零。路徑可以包含額外的連接器或其他光學元件，只要路徑的光學特性符合規格即可，例如衰減、色散和反射。光纖電纜的多模佈線插入損耗測量是依據 ANSI/TIA/EIA-526-14A 方法 B，而光纖電纜的單模佈線插入損耗測量是依據 ANSI/TIA/EIA-526-7 方法 A-1。此處定義的光纖佈線模型(路徑)和單一光纖連結路段是相同的，這裡使用的路徑術語與通用的佈線標準一致。

光纖和光纜的規格須符合 IEC 60793-2 Type B1.1(未偏移色散單模光纖)、Type B1.3(低水峰 (low water peak)單模光纖)，以及 ITU-T G.652 的規範。

表 3- 光纖和光纜特性

說明	B1.1, B1.3 SMF		50 μm MMF	62.5 μm MMF	單位
Nominal fiber specification wavelength	1,310	1,550	1,300		nm
Fiber cable attenuation (max)	0.4	0.35	1.5		dB/km
Modal Bandwidth (min; overfilled launch)	N/A		500		MHz-km
Zero dispersion wavelength	$1300 \leq \lambda_0 \leq 1324$		$1295 \leq \lambda_0 \leq 1320$	$1320 \leq \lambda_0 \leq 1365$	nm
Dispersion slope (max)	0.093		$1300 \leq \lambda_0 \leq 1320$ 是 0.11 和 $1295 \leq \lambda_0 \leq 1300$ 是 0.001($\lambda_0 - 1190$)	$1320 \leq \lambda_0 \leq 1348$ 是 0.11 和 $1348 \leq \lambda_0 \leq 1365$ 是 0.001($1458 - \lambda_0$)	ps /nm ² -km

資料來源：IEEE 802.3-2008，本研究團隊整理

多模光纖的最大鏈路距離是依據 1.5 dB 的連接和熔接損耗分配計算而來，可以使用不同損耗特性的連接以符合表 3-55 的需求。

單模光纖的最大鏈路距離是依據 2 dB 的 1000BASE-LX10 和 1000BASE-BX10 連接和熔接損耗分配計算而來，可以使用不同損耗特性的連接以符合表 3-55 的需求。多模連接的最大離散反射應小於 -20 dB，單模連接的最大離散反射應小於 -26 dB。1000BASE-LX10 或 1000BASE-BX10 PMD 被連接到光纖佈線的 MDI，MDI 是 PMD 和光纖佈線之間的介面，如圖 3-37 所示。MDI 包括外接光纖尾纖(pigtail)和 PMD 插座，當 MDI 是一個補救的連接，應符合 IEC 61753-1 的介面規格。1000BASE-BX10 連接單光纖和 1000BASE-LX10 連接雙光纖時，MDI 傳送雙向的信號。

第4節 綜合研析

光接取網路終端設備規格，依據採用技術不同 (GPON/XG-PON、EPON/10G-EPON...等)終端設備技術規格亦有所不同，如圖 3-38 所示。由於營運商佈建光纖網路所採用的終端設備與局端設備可能來自於不同的設備廠商，同時未來開放消費者自行購買入網的終端設備也可能造成與光接取網路之局端設備互通性議題。因此，本節依據國際標準組織(IEEE 及 ITU)光接取網路架構，摘要說明點對多點(P2MP)之 GPON 與 XG-PON、IEEE EPON、10G-EPON 以及點對點 (P2P) 之 IEEE 100 BASE-LX10/BX10 和 1000 BASE-LX10/BX10 等網路架構與終端設備規格標準，包含發射工作波長範圍、平均發射功率、發射機洩漏功率、消光比、接收靈敏度及接收過載功率等項目，歸納各種應用環境下終端設備之技術要求，以供通傳會規範光接取網路終端設備技術之參考[11-12],[6-10],[66-67]。

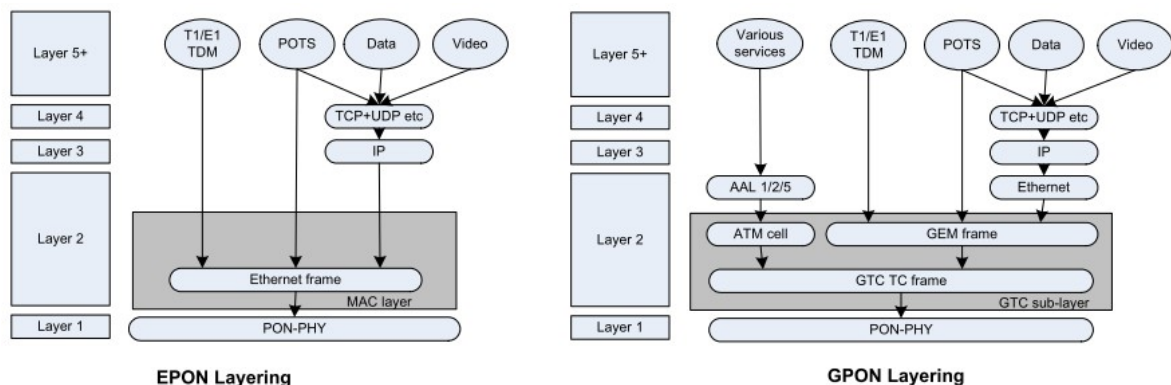


圖 3- GPON 與 EPON 差異比較

資料來源：Westnet，” EPON vs. GPON”(2004)

■ ITU GPON、XG-PON 終端設備規格標準

GPON 與 XG-PON 在發射工作波長範圍、最大平均發射功率、發射機洩漏功率、消光比、接收靈敏度與接收過載功率的規格標準比較如表 3-67 所示。GPON 上行速率在 155Mbps 和 622Mbps 時，最大平均發射功率標準小於 XG-

PON 的標準。XG-PON 的消光比標準為 8.2dB，而 GPON 消光比標準大於 10dB。GPON 的接收機靈敏度僅在 2,488Mbps 的下行速率下，規格標準才與 XG-PON 的-28dBm 標準相同。GPON 在 2,488Mbps 的下行速率下，有較高的接收過載功率標準。

表 3- GPON 與 XG-PON 規格標準摘要比較表

	GPON							XG-PON
發射工作波長範圍(nm)	155M、1244M：1,260-1,360 622M： MLM type 1 或 SLM：1,260-1,360 MLM type 2：1,280-1,350 MLM type 3：1,288-1,338							1,260-1,280
最大平均發射功率(dBm)		單光纖			雙光纖			+7
	ODN Class	A	B	C	A	B	C	
	155M	0	+2	+4	-1	+1	+3	
	622M	-1	+4	+4	-1	+4	+4	
	1244M	+2	+3	+7	+2	+3	+7	
發射機洩漏功率(dBm)		單光纖			雙光纖			-37.5(N1) -39.5(N2) -41.5(E1) -43.5(E2)
	ODN Class	A	B	C	A	B	C	
	155M	-37	-40	-43	-37	-40	-43	
	622M	-37	-37	-42	-37	-37	-42	
	1244M	-34	-38	-39	-34	-38	-39	
消光比(dB)	10							8.2
接收靈敏度(dBm)		單光纖			雙光纖			-28(N1、N2a、E1、E2a) -
	ODN Class	A	B	C	A	B	C	

	GPON							XG-PON
	1244M	-25	-25	-26	-25	-25	-25	21.5(N2b、E2b)
	2488M	-21	-21	-28	-21	-21	-28	
接收過載功率(dBm)		單光纖			雙光纖			-8(N1、N2a、E1、E2a) -3.5(N2b、E2b)
	ODN Class	A	B	C	A	B	C	
	1244M	-4	-4	-4	-4	-4	-4	
	2488M	-1	-1	-8	-1	-1	-8	

資料來源：ITU，本研究團隊整理

■ IEEE EPON、10G-EPON、AON 終端設備規格標準

EPON 與 10G-EPON 在發射工作波長範圍、最大平均發射功率、發射機洩漏功率、消光比、接收靈敏度與接收過載功率的規格標準比較如表 3-68 所示。10G-EPON 的 PR-U3 和 PRX-U3 有較高的最大平均發射功率標準。EPON 與 10G-EPON 的發射機洩漏功率標準均相同為 -45dBm，消光比標準也均為 6dB。10G-EPON 的 PR-U3 和 PRX-U3 有較低的接收靈敏度標準，而 10G-EPON 的 PR-U1、PRX-U1 與 PRX-U2 有較高的接收過載功率標準。

表 3- EPON、10G-EPON 規格標準摘要比較表

	EPON	10G-EPON
發射工作波長範圍 (nm)	1,260-1,360(PX10、PX20)	1,260-1,280(PR-U1、PR-U3) 1,260-1,360(PRX-U1、U2、U3)
最大平均發射功率 (dBm)	+4(PX10、PX20)	+4(PR-U1、PRX-U1、PRX-U2) +9(PR-U3) +5.62(PRX-U3)
發射機洩漏功率 (dBm)	-45(PX10、PX20)	-45(PR-U1、PR-U3、PRX-U1、U2、U3)
消光比(dB)	6(PX10、PX20)	6(PR-U1、PR-U3、PRX-U1、U2、U3)
接收靈敏度(dBm)	-24(PX10、PX20)	-20.5(PR-U1、PRX-U1、PRX-U2) -28.5(PR-U3、PRX-U3)

	EPON	10G-EPON
	(BER=10 ⁻¹²)	BER=10 ⁻³
接收過載功率(dBm)	-3(PX10、PX20)	0(PR-U1、PRX-U1、PRX-U2) -10(PR-U3、PRX-U3)

資料來源：IEEE，本研究團隊整理

100 BASE-LX10/BX10 與 1000 BASE-LX10/BX10 在發射工作波長範圍、最大平均發射功率、發射機洩漏功率、消光比與接收靈敏度的規格標準比較如表 3-69 所示。100 BASE-LX10/BX10 與 1000 BASE-LX10/BX10 的發射工作波長範圍和發射機洩漏功率均有相同的規格標準。1000 BASE-LX10/BX10 使用較高的最大平均發射功率標準，而 100 BASE-BX10 則具有較高的消光比標準和較低的接收靈敏度標準。

表 3- 100 BASE-LX10/BX10 與 1000 BASE-LX10/BX10 規格標準摘要比較表

	100 BASE-LX10/BX10	1000 BASE-LX10/BX10
發射工作波長範圍(nm)	1,260-1,360	1,260-1,360
最大平均發射功率(dBm)	-15(LX10) -8(BX10)	-3
發射機洩漏功率(dBm)	-45	-45
消光比(dB)	5(LX10) 6.6(BX10)	6
接收靈敏度(dBm)	-25(LX10) -28.2(BX10)	-19.5

資料來源：IEEE，本研究團隊整理

第4章 世界先進國家 NGN 發展現況與進程

NGN 之發展可謂自電信自由化競爭制度以來，電信基礎設施最重大變革之一。高速寬頻網路不僅為溝通工具，也是資訊、媒體、娛樂及金融服務等傳遞媒介；未來高速寬頻網路崛起，更可發展應用在健康照護及遠距教學等服務。其對國內生產毛額之影響，勢必隨著產業關聯性擴增而提高。爰此，建置以「次世代接取網路」(Next Generation Access Network, NGAN)為基礎之寬頻網路環境，儼然成為世界各國軟國力的衡量指標之一，世界先進國家及亞洲鄰國莫不透過推動寬頻網路政策之契機，積極整備寬頻匯流網路，加速提升國際競爭力及增進經濟成長與產業發展。

第1節 美國

為化解金融海嘯危機，美國政府提出振興經濟方案 - 「美國經濟復甦與再投資法」(American Recovery and Reinvestment Act of 2009, ARRA)，並於 2009 年 2 月 17 日通過。依據該法第 6001 條第 k 項規定，「聯邦通訊委員會」(Federal Communications Commission, FCC)須提出國家寬頻網路計畫遞交國會以確保每位美國民眾均有能力負擔與使用寬頻網路服務[32-33]。

旋 FCC 於 2010 年 3 月 16 日發布國家寬頻網路計畫 (Connecting America: the National Broadband Plan)，並於同日遞交國會。該計畫揭櫫建置寬頻網路之長期目標，主要為 2020 年 100 Mbps 以上之寬頻網路達到住宅至少 1 億戶及 1 Gbps 以上之寬頻網路達到各社區重要機構（諸如學校、醫院及政府機關）等。該計畫被喻為 1996 年美國電信法 (Telecommunications Act of 1996) 生效以降，影響寬頻網路服務至深之最重大公共政策。前揭計畫之主要項目如次：

1. 建立有效競爭政策：主要包含全面檢視批發市場規管、修正無線中繼用頻譜相關規管，及建置寬頻網路服務訂價與有效競爭情形資訊等。
2. 確保效率分配及使用政府資產：
 - 頻譜方面：主要包含釋出 500 MHz 的頻譜，供寬頻網路服務用，其中 300 MHz 須供行動通信網路服務用；促成頻譜彈性使用之誘因與機制，以及對於頻譜的核配、指配及使用，有較大的透明度。
 - 寬頻網路基礎設施方面：主要包含改善路權管理 (rights-of-way management)，以降低成本與節省時效；促進基礎設施的近用等。
3. 營造寬頻網路普及使用之誘因：主要包含促進佈建寬頻網路普及服務，及建立提供低收入戶可負擔的寬頻網路服務機制等。
4. 修正政策、制定標準及誘因：主要包含透過寬頻網路服務提升醫療照護與教育品質、改善能源效率與環境、創造經濟性機會，及增進公共與國土安全等。

同時，「美國商務部」（National Telecommunications and Information Administration of the Department of Commerce，NTIA）透過「寬頻網路技術機會方案」（Broadband Technology Opportunities Program，BTOP），撥款 FCC72 億美元，提供相關業者與非營利事業機構補助與貸款方式等政策措施，以促進寬頻網路基礎設施與服務發展。

該計畫主要項目在於改善政府效能、簡化行政流程及獎勵民間參與，以提升消費者福祉及國家利益。至於經費主要用於公共安全及佈建特定地區寬頻網路基礎設施等，並預計透過拍賣約 500 MHz 的頻譜，以抵銷潛在成本[32]。

另外，白宮於 2011 年 2 月 10 日發布新聞稿指出，美國總統歐巴馬是日提出「國家無線網路倡議」（National Wireless Initiative），主要重點為未來 5 年建置 4G 技術的無線寬頻網路人口覆蓋率達到 98%，以提供企業與遠距教學等用途之更高速、全國性行動通信網路服務，並兼具公共安全之考量。其子計畫包含 (1) 未來 5 年(至 2016 年)建置 4G 技術的無線寬頻網路人口覆蓋率達到 98% 及修正電信普及服務基金（Universal Service Fund），以確保更多民眾使用該項服務，預計經費約為 50 億美元；(2) 設置「無線寬頻網路創新基金」（Wireless InNovation，WIN），資助新無線通信網路技術與應用等創新服務之研發，預計經費約為 30 億美元；(3) 研發公共安全用途之全國性無線寬頻網路，預計經費約為 107 億美元；(4) 未來 10 年內釋出 500 MHz 的頻譜，以供行動通信網路服務用，並預計頻譜拍賣所得款達 278 億美元；及(5) 預計未來 10 年內可降低預算赤字約 96 億美元等。

第2節 英國

為了因應數位匯流，英國政府依據「通訊未來白皮書」之政策建議在2003年成立了「通訊局」(Office of Communications, Ofcom)，以藉由競爭機制增進國民在通訊傳播之相關權益，後續提出「電信競爭策略」，確立了英國未來在IP網路時代的電信監理原則與競爭策略的發展方向[29-30],[68]，對自1984年實施民營化的「英國電信公司」(British Telecom, BT)產生重大的影響，英國BT於2004年推動網路計畫提出「21世紀IP網路計畫，21CN」，此時市話市場BT含有八成以上的市佔率，Ofcom於2005年提出次世代網路諮詢(Next Generation Networks: Further Consultation)，以確保英國次世代網路發展，能提供平等接取，不會影響既有業者的競爭，BT回應並承諾支持這些目標，提供非捆綁網路接取(Unbundled network access)，以實現平等接取，在Ofcom的支持下，2006年英國成立了以獨立產業機構NGNuk(Next Generation Networks in the UK)，NGNuk的使命是提供溝通管道的論壇，在公眾及業者的參與下，以研究與討論的方式提供NGN發展方向，促使NGN的商業模式與政策能互相結合，並議定通訊產業於NGN的互連模型，使NGN新服務得以實現。

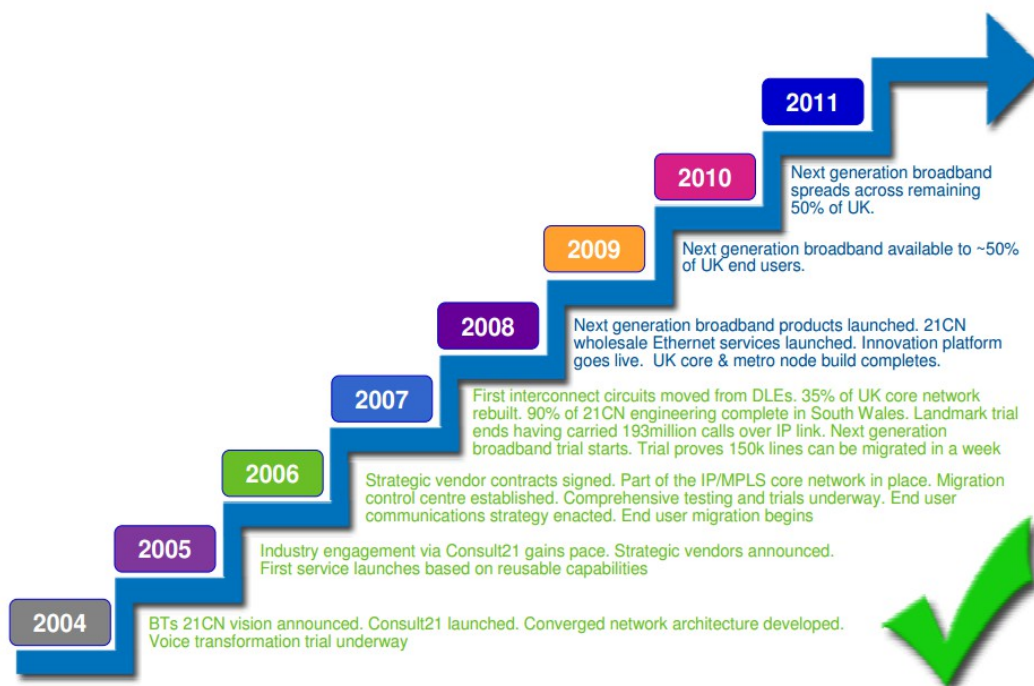


圖 4- 21CN 建置時程

資料來源：BT，21CN introduction(2008)

BT 規劃的次世代網路 21CN 在網路互連介面、資通訊技術演進或系統變革對其他業者將造成很大影響，因此 BT 採取明確的原則就 21CN 的設計、規劃及建置時程提出說明如圖 4-1 所示，並承諾以下事項，以確保平等接取。

1. BT 承諾提供其他業者 NGN 的「市場主導者」(significant market power, SMP)產品，未與 Ofcom 及其他業者達成事前協商前，不會做出有礙提供次世代網路 SMP 產品相關設計的決定。
2. SMP 產品的費率將採合理有效的方法，依據網路建置成本，設定適當的價格。
3. 在「投入平等」的原則下，進行次世代網路及其相關系統之設計作業。
4. 在其他業者可以利用次世代網路的批發 SMP 產品之前，BT 不會先獨自提供其相關之零售產品。
5. BT 承諾參加 Ofcom 認可的 NGNuk 組織活動，以凝聚次世代網路發展的共識。
6. BT 承諾在 Ofcom 所認可的條件下參加「業務紛爭仲裁人制度」
7. 因次世代網路之轉移過程發生網路互連條件變更時，導致依賴 BT 的 PSTN 其他業者發生必然成本追加，BT 承諾將視情況提供補償。

Ofcom 為檢驗 BT 承諾履行狀況，制定四大指標區分為：「承諾事項之履行」、「承諾精神之履行」、「中間業者成果」及「企業及消費者成果」等四大項目，當檢驗指標或其他證據顯示 BT 沒有履行承諾事項時，Ofcom 得直接對 BT 進行行政指導或提出訴訟強制 BT 履行承諾義務。

BT 已於 2009 年完成 21CN 計畫，BT 為實現承諾成立獨立的接取服務部門「Openreach」，對所有通訊業者一視同仁，以相同的條件、相同的時間、相同的系統流程以及相同的商業資訊為前提，提供相同的商品或服務。為成為全球由電信業者主導次世代寬頻網路改造計畫之先驅，在次世代寬頻接取網路方面，BT 宣布如投資環境許可，預計於 2015 年底前斥資高達 25 億英鎊，建置高速寬頻接取網路，以符合英國寬頻網路政策主要目標 2015 年以前達到 2 Mbps 以上之寬頻網路覆蓋率達 100%。英國寬頻網路推動策略可分為固定寬頻網路策略、無線寬頻網路策略及其他等三面向；其中，固定寬頻網路策略主要適用於都會區及郊區，無線寬頻網路策略主要適用於偏鄉地區。茲將其要點如圖 4-2 所示。

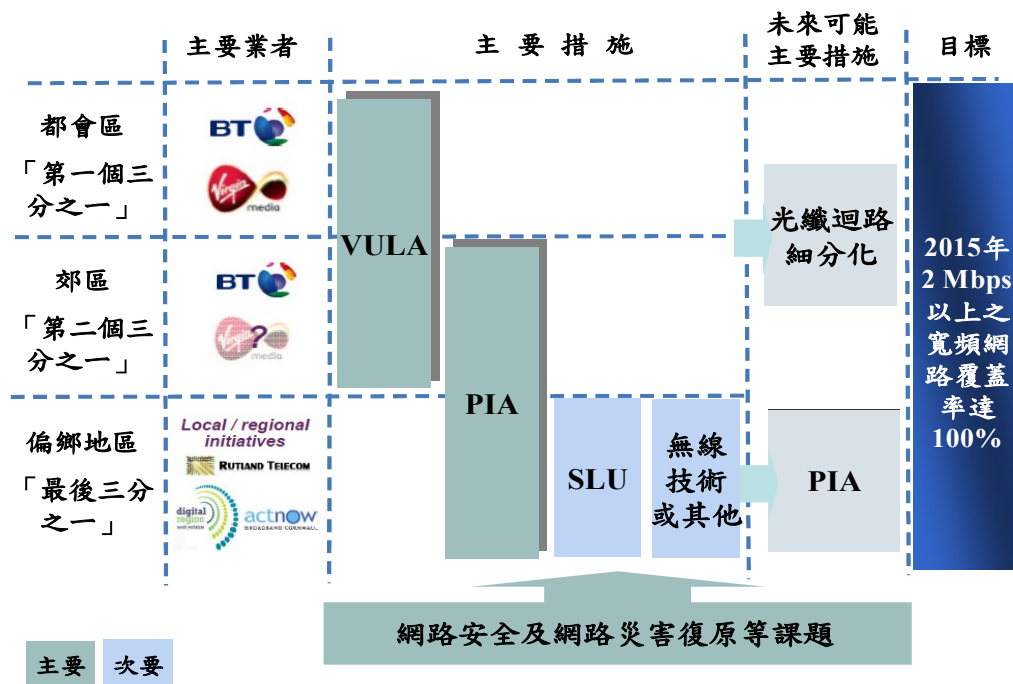


圖 4- 英國寬頻網路政策之推動策略

資料來源：BERR and DCMS：“Digital Britain Report”(2009)、Ofcom：“Briefing for analysts: Telecoms”(2010).，本研究團隊整理

第3節 日本

1、日本 NGN 發展策略

日本於2001年實施「e-Japan」政策，為確保成為世界最先進的IT國家，日本主管機關「總務省」（Ministry of Internal Affairs and Communications，MIC）在2004年進一步提出2006-2010年IT發展政策「u-Japan」，為了進一步建設日本成為以「資訊傳播科技」（Information Communication Technology，ICT）為基礎的社會，日本總務省於2005年將原有的「e-Japan」政策進一步提升為「u-Japan」政策，並且具體的以2010年為目標，要建設日本為「無所不在」（ubiquitous）的網路社會「u-Japan」政策中的「u」的內涵是指 ubiquitous 強調網網相連的傳播環境 使用者導向與個性化 彈性化的社會環境，日本政府為達到NGN的發展目標，亦即將語音、網路、視訊服務合而為一的三網融合（triple play），聯合推動日本ICT社會，這是總務省的重點政策。如圖 4-3 所示[69]。

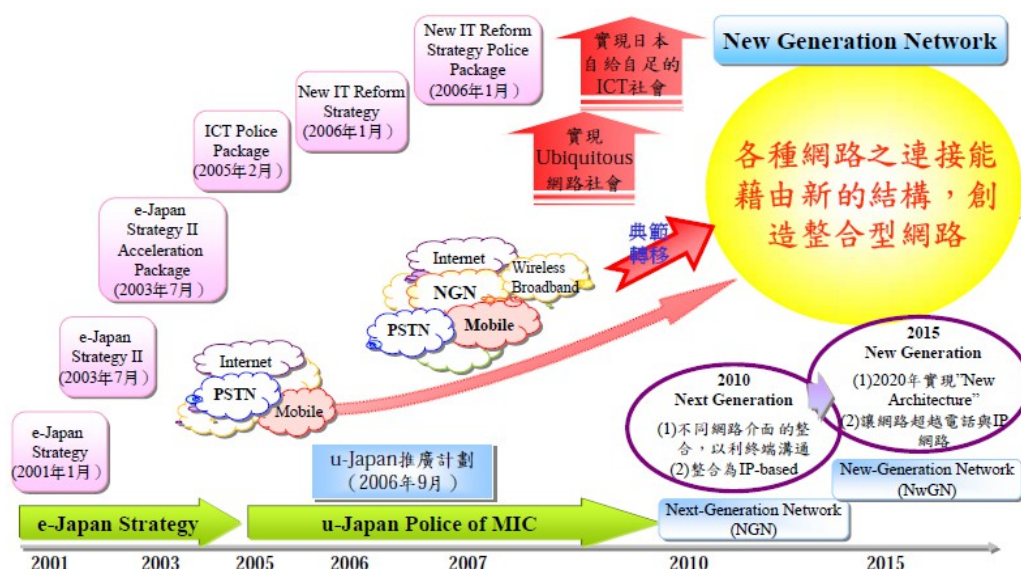


圖 4- 日本 NGN 發展

資料來源：日本總務省：“Trend of NGN and Japan Trend of NGN and Japan’s Initiatives s Initiatives”(2007).，本研究團隊整理

日本總務省因應 NGN 的工作計畫包含以下議題的檢視並進行相關工作計畫：

1. 促進設施面之競爭議題，於 2006 年 9 月提出簡化電線桿佈放光纖程序規範等試驗評估報告。
2. 檢討「指定電信設施制度（市場主導業者規則）」，2007 年第二季提出修正第一類指定電信設備會計系統建議書，2010 年引進整體性檢視指定電信設備制度（包含特定架構之發展）。
3. 檢討 NTT East/West 之互連費計算方法，2007 年第二季光纖網路互連資費架構進行疊架式測試（Stack test）檢視及廢除「事後」結算攤分制度之可行性評估，2007 年提出「FY 2010 年以後未來網路互連計費架構」建議書，2008-2009 年提出修正現行「長期增支成本法」（Long-Run Incremental Cost model, LRIC）具體建議案，2010 年起進行網路互連計費三大方案（現行長期增支成本法、實際成本法或「計費保留法（bill and keep model）」）比較性分析。
4. 促進行動通信市場競爭，2006 年底前修正「行動虛擬網路事業經營規則」，並明確定義日本電氣通信事業法有關行動虛擬網路業者及行動網路業者間關係。
5. 電信普及服務（universal service）制度，於 2007 年發布建議書，配合 2010 年全國性寬頻接取目標。
6. 確保網路中立，第一階段於 2007 年第二季完成。

7. 強化爭議處理機能，由總務省成立電信紛爭處理委員會，對業者間的爭議進行仲裁及答覆，以改善競爭規則。

為掌握日本民眾對 NGN 使用服務需求與接受度日本 NTT 自 2006 年 12 月起開始進行為期一年的 NGN 試運計畫。這項計畫實施地區，主要是在東京與大阪部分，2008 年 2 月 25 日，日本總務省對 NTT DoComo 的 NGN 業務申請正式決定予以同意，對其收費辦法、限定條件（如網路開放）也進行了明確規範。為了保證公正的競爭，日本總務省也以相同的條件，對 KDDI 與軟體銀行所經營 NGN 業務的申請，在進行了審議之後，決定發放了經營 NGN 網路業務的許可證。

日本主要三家營運商的服務，大都使用 NTT 提供的基礎設施網路。NTT 的次世代網路架構層級，乃參考國際組織（如 ITU-T、IETF）與日本社團法人「情報通信技術委員會」（Telecommunication Technology Committee，TTC）之技術標準，建立具備 QoS、安全性（Security）、信賴性（Reliability）以及開放性介面（Open Interface）四項特徵的智慧型網路環境，讓應用服務供應商與影音內容供應商可提供不同類型的服務，也提供 ISP 與其他 IP 網路互通互運相容接取的環境。

日本次世代網路將朝向社會面、企業面以及個人面三大範疇，發展相關的應用服務，總務省於 2010 年 5 月提出「ICT 維新 Vision 2.0 政策」，冀透過增加 ICT 相關投資，以建構知識資訊社會發展之基礎環境及發揮日本綜合實力，並於 2015 年前實現全體家戶可使用寬頻網路服務（即 2015 年寬頻上網帳號數達 4,900 萬戶）及未來 10 年（2011 至 2020 年）平均經濟成長率提升至 2.6%。其 3 大主軸為活化民眾日常需求連結、開拓新服務市場及實現民眾導向之電子化政府等，如圖 4-4 所示。

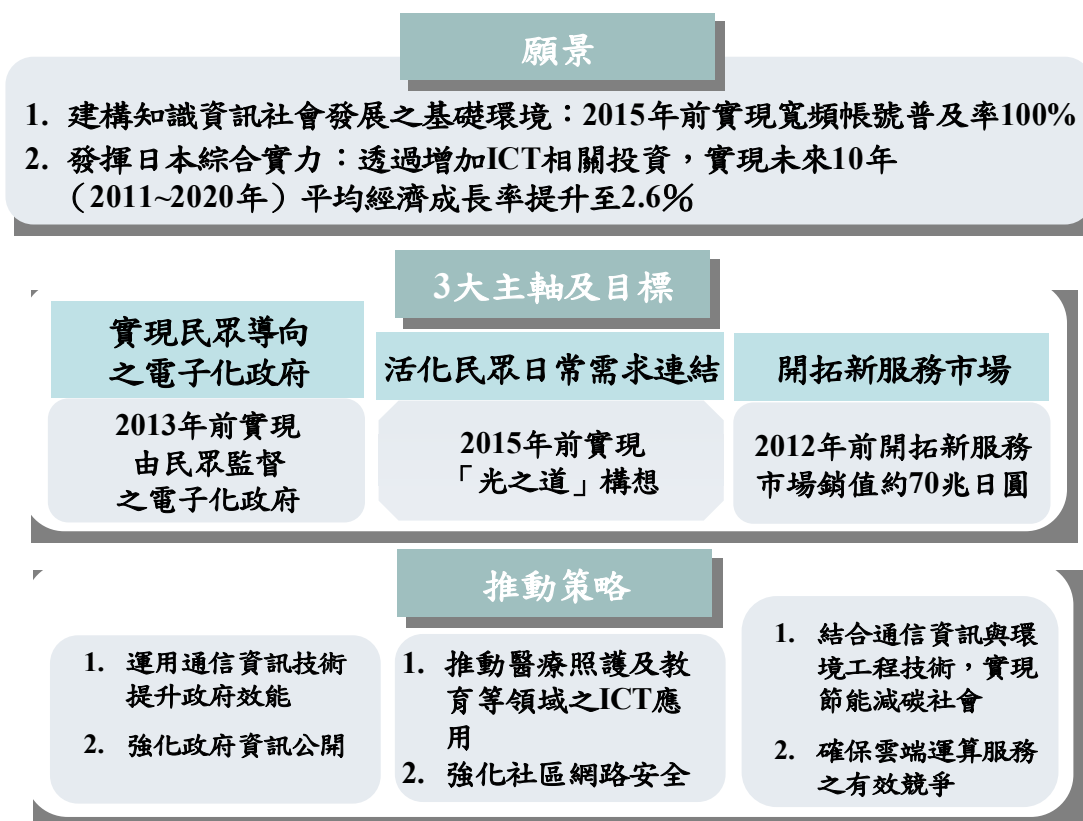


圖 4- 日本 ICT 維新 Vision 2.0 政策大綱

資料來源：APEC：“Recent Regulatory and Policy Development in Japan” (2010)、日本總務省：“New Generation Network and Future Internet” (2010)，本研究團隊整理

ICT 維新 Vision 2.0 政策之核心為「光之道」構想。其由總務省於 2010 年提出，目標為 2015 年全部家戶使用超高速寬頻網路，冀透過加速與活用寬頻網路基礎設施及實現，以振興經濟成長。希望透過 FTTH 技術除了將光纖網路普及至全國外，也將上網速率由目前 30 Mbps 提高至 100 Mbps。光之道主要三項推動策略為檢視競爭政策（含檢視 NTT 組織結構）、促進通信資訊基礎設施使用及改革規管以促進通信資訊應用服務發展等。茲摘要說明如次：

■ 檢視競爭政策（含檢視 NTT 組織結構）

既有業者 NTT 自 1985 年民營化以降，歷經多次組織結構變更。1992 年引進事業部制度，以促進有效競爭。1999 年更改組為控股公司制，固定通信網路服務分為市話業務及長話業務；市話業務由 NTT 東日本及 NTT 西日本營運，長話業務則由 NTT 長途國際營運。後因應 IP 及光纖網路時代，復於 2010 年鬆綁 NTT 東日本及 NTT 西日本營運長話業務之限制。

現行關於 NTT 東日本及 NTT 西日本瓶頸設施平等接取之規範，主要為接取條件事前申請核准、接取資訊透明化及禁止 NTT 東日本與 NTT 西日本不當

利用其他競爭者資訊等。為促進光纖網路服務發展，總務省認為有必要檢視 NTT 組織結構。

基於促進光之道構想發展、兼顧設備面與服務面有效競爭、降低對 NTT 股東之衝擊、強化國際競爭力及成本效益等因素，總務省考慮將 NTT 東日本及 NTT 西日本之瓶頸設施實施功能分離。其主要重點為強化 NTT 東日本及 NTT 西日本瓶頸設施事業部與其他事業部間之防火牆規範，包含瓶頸設施與資訊管理系統之實體分離，及建立監督制度等，如圖 4-5 所示。

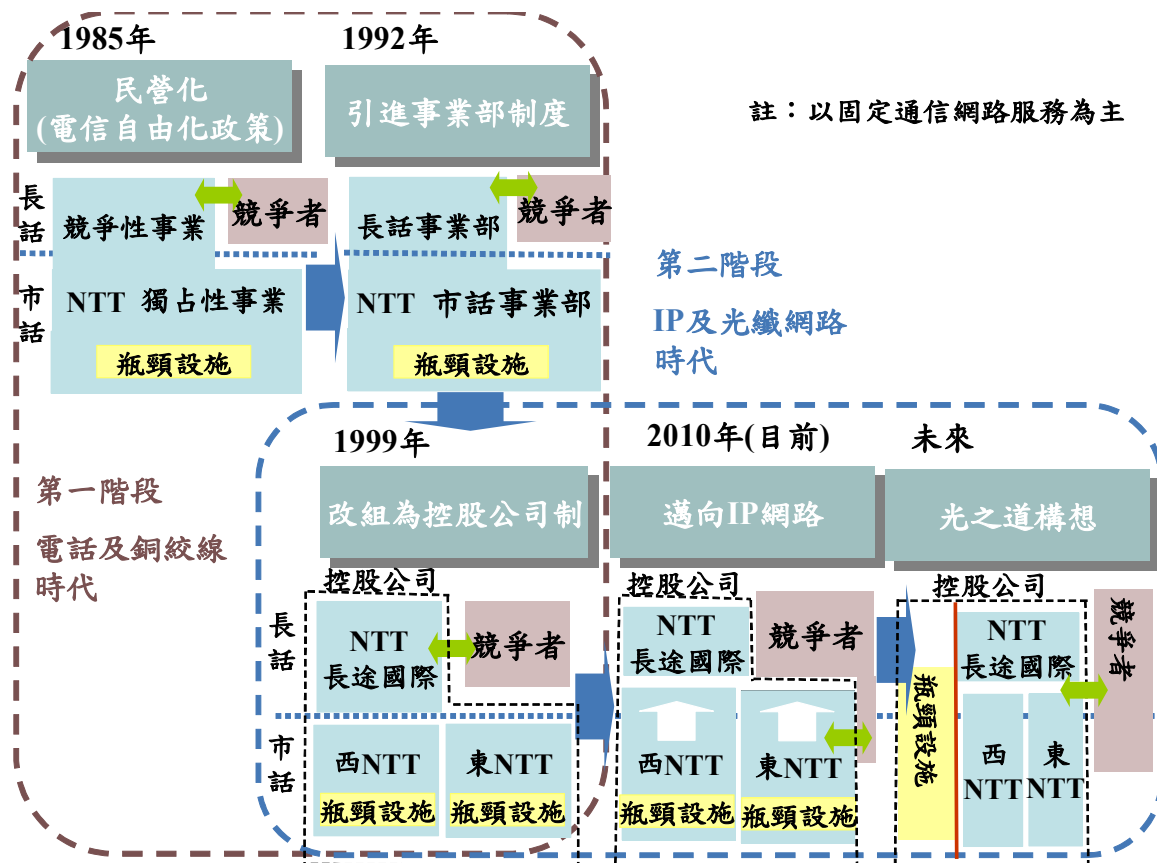


圖 4- 日本 NTT 組織結構演變歷程及未來調整方向

資料來源：KDDI & KDDI Research：“Vertical Separation”(2010)，本研究團隊整理

■ 促進通信資訊基礎設施使用

依據 NTT 東日本及 NTT 西日本估計，超高速寬頻網路建置成本約 1 兆 5 千億日圓。短期內回收該成本誠屬不易，故有必要提供促進通信資訊基礎設施使用之誘因。為促進渠等服務發展，須加強應用於政府部門、醫療產業及教育界等，並由政府予以財務支援。

■ 改革規管以促進通信資訊應用服務發展

誠如前述，地方政府、醫院及學校等機構積極落實通訊技術之利用，實屬重要，故有必要檢視有否阻礙通訊技術利用之規管。再者，強化個人資料保護、打擊非法資訊於網際網路散播及反垃圾郵件等措施。此外，提供資訊教育來強化兒童、長者與殘障人士之資訊技能，以擴大網路公民參與及促進多元資訊應用服務發展。

2、日本政府獎勵 NGN 網路部署之作法

為積極推動 NGN 基礎設施的部署，日本政府主要措施透過 2006 年 u-Japan 政策影響日本固定通信最大業者 NTT，部署以光纖網路為基礎之 NGN 服務。另外，在政府資助方面，NTT 早於 2001 年起即投資於 FTTH 光纖網路事宜；2003 - 2009 年間其每年在光纖網路的投資金額約 3,000 億日圓上下，2001 - 2009 年光纖網路的投資總額約達 2.7 兆日圓。然而，日本政府對於推動 NGN 基礎設施的部署，採用直接投資方式的金額相當少，且日本政府挹注 NGN 基礎設施的時機偏重於初期階段，如圖 4-6 所示。日本政府的資助方式，主要係以中央直接撥款市級（municipalities）地方政府的補助機制（grants-in-aid），補助重點為寬頻網路尚未涵蓋的最後 1% 地區。前開補助每年撥款約 24 億日圓，以資助建置一次性光纖網路成本的三分之一為標準[50]。

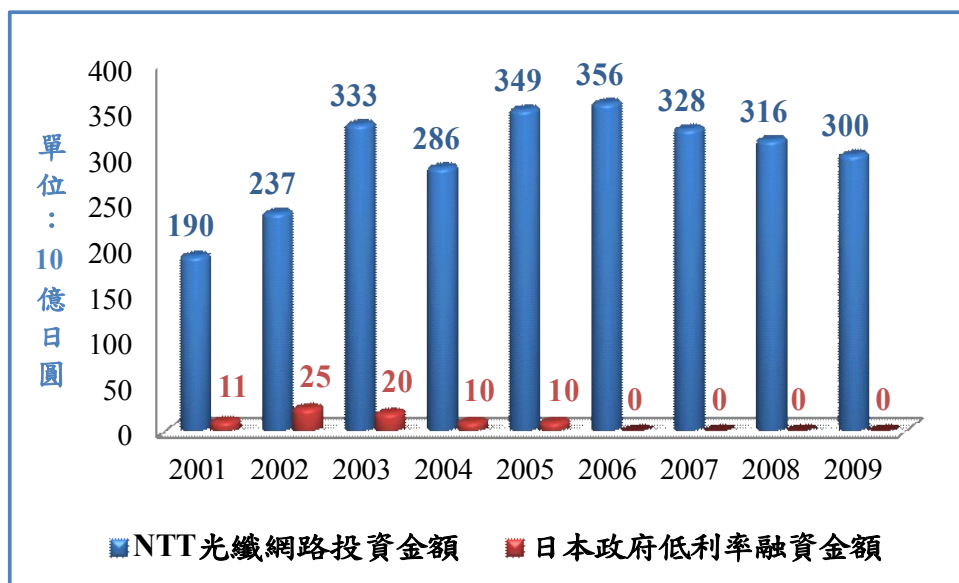


圖 4- 2001 - 2009 年日本政府及 NTT 光纖網路投資金額

資料來源：Plum, “Next Generation Networks: next generation regulation?”(2012/01)，本研究團隊整理

再者，日本對於業者部署光纖網路的獎勵措施，除前開低利率融資（最高利率 2%）外，亦提供貸款保證及租稅減免等優惠。其中，租稅減免方式包含固定資產投資抵減及加速折舊等。

另外，日本對於 NTT 的光纖網路亦賦予用戶迴路細分化之義務。然而，光纖用戶迴路細分化義務之市場效益，不如銅絞線用戶迴路細分化義務；以 2012 年 6 月為例，NTT 服務用戶數市場占有率高達 74%，其餘主要由 KDDI 及日本電力公司分食。有關日本政府刺激光纖網路投資之主要獎勵及規管措施，如表 4-1 所示[31]。

表 4- 日本政府刺激光纖網路投資之主要獎勵及規管措施

獎勵措施	規管措施
低利率融資：最高利率 2% 貸款保證：擔保額度上限貸款金額的八成 租稅減免：固定資產投資抵減及加速折舊	光纖用戶迴路細分化

資料來源：Plum, “Next Generation Networks: next generation regulation?”(2012/01)，本研究團隊整理

3、日本 NGN 寬頻網路部署現況

日本 NGN 基礎設施部署不僅限於 FTTH 光纖網路，亦涵蓋混合光纖同軸網路（Hybrid Fiber-Coax，HFC）及無線網路（含 LTE 及 WiMAX）。在有線 NGN 寬頻網路部署方面，日本早於 2008 年 9 月 FTTH 光纖網路部署家戶涵蓋率即達 90%，領先全球鰲頭。其餘傳統銅絞線網路部分，NTT 方面規劃於 2020 年起逐步汰換；其主要原由有二：(1)基於普及服務義務，偏遠地區部署光纖網路的成本過高，(2)基於成本考量，部分服務需使用銅絞線網路，諸如訊務量管控（traffic light control）。

特別值得一提的是，日本在有線 NGN 寬頻服務的使用及速率等，皆有長足的進展。2012 年 6 月底 FTTH、CATV 及 DSL 服務用戶數分別約為 2,280 萬、600 萬及 630 萬用戶，其比重各為 65%、17%及 18%；且與 2008 年相較，FTTH 及 CATV 服務用戶數皆有二位數的成長力道，而 DSL 服務用戶數則呈衰退趨勢。再者，目前 FTTH、CATV 及 DSL 網路已可分別提供 1 Gbps、160 Mbps 及 50 Mbps 之最高峰值速率，如圖 4-7 所示。

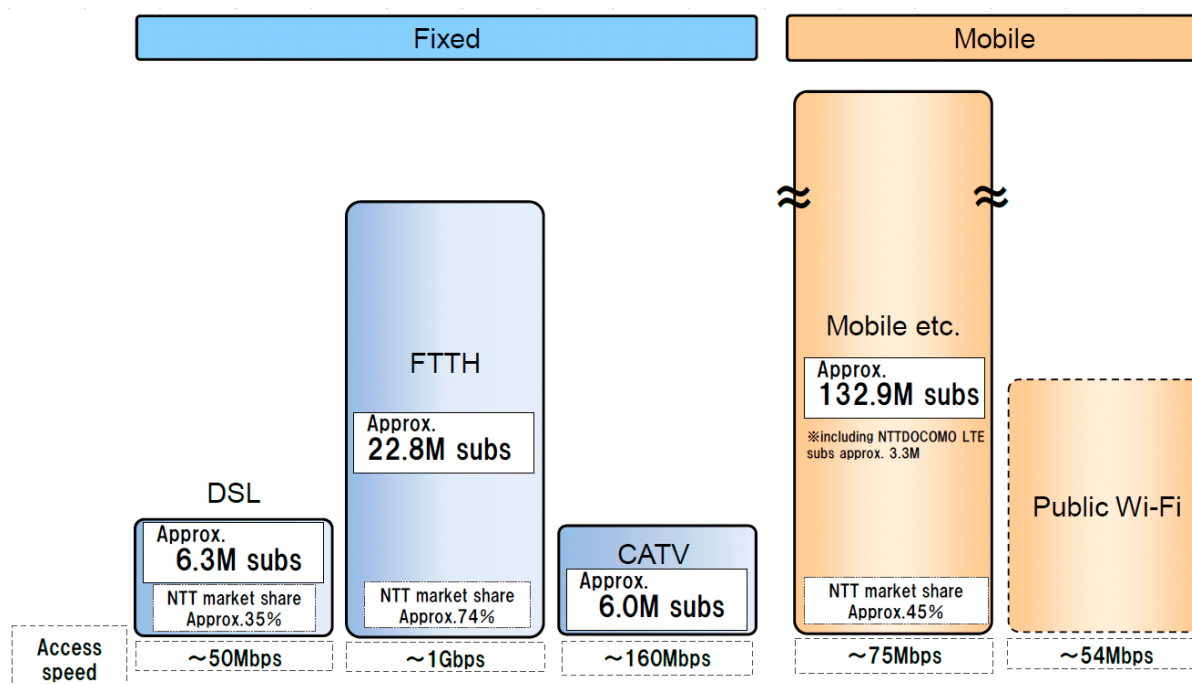


圖 4- 日本至 2012 年 6 月寬頻網路服務用戶數及其服務最高速率

資料來源：NTT：“IR Presentation: Appendices”(2012/11)，本研究團隊整理

在光纖網路發展方面，日本 NTT 以光纖網路為發展主軸部署 NGN 網路歷程分為三階段如次：

- 2006 年下半年展開建置過渡至 NGN 的網路，並於 2006 年 12 月於東京及大阪進行場測。
- 2007 年下半年開始部署先進的節點及服務控制功能，並正式提供 FTTH 服務。
- 2008 年透過與行動網路無縫隙地整合，達成 NGN 網路部署。同年 9 月其 FTTH 服務家戶涵蓋率達 90%。

在混合光纖同軸(HFC)網路方面，雖然日本政府對於 NGN 網路部署，偏重於光纖網路，日本業者在混合光纖同軸網路的部署，仍不餘遺力。以日本最大有線電視業者 J:COM⁷為例，已部署混合光纖同軸網路，並提供速率 160 Mbps、40 Mbps 及 12 Mbps 等三種速率之寬頻上網服務。再者，J:COM 寬頻網路服務的新增用戶中，超過三分之一選用速率 160 Mbps 的服務，其餘各半分別選用速率 40 Mbps 及 12 Mbps 的服務。2011 年 9 月 J:COM 寬頻網路服務之用戶數市場占有率為 4.9%[70]。

第4節 韓國

⁷ 2011 年 J:COM 有線電視服務收視戶數市場占有率為 36%。

1、韓國 NGN 發展策略

韓國從 1987 年起便有一系列連續性的國家資訊基礎建設計畫，分別是國家基本資訊系統（1987~1991），韓國資訊基礎建設（1993~2000），自韓國政府推出寬頻網路服務以來於 2002 年 10 月用戶數已超過 1,000 萬的規模，占其總人口數的 21%，韓國政府便決定投入十幾兆韓圓發展境內高速網路服務、執行相關設備與技術的開發方案，以支援這股無線網路帶來的市場商機。2004 年資訊通訊部（MIC）提出「IT839 計畫」，篩選出九項具有產業競爭力，同時具有高度附加價值與成長動力之資訊科技，分別為智慧型機器人（Intelligent Service Robot）、智慧型家庭網路（Intelligent Home Network）、後個人電腦（Post PC）、IT 系統晶片（IT SoC）、新一代無線通訊技術（NG Mobile Communication）、數位內容（Digital Content）、車用資通訊系統（Telematics）、嵌入式軟體（Embedded S/W）、數位電視（Digital TV）等九個項目，其目的是計畫打造「u-Korea」，使韓國發展成為一個「無所不在運算技術」的網路社會。IT839 計畫預計花費 700 億美元，來為韓國打造一個完全匯流的次世代網路，如圖 4-8 所示。

● The Implementation of IT839 Strategy

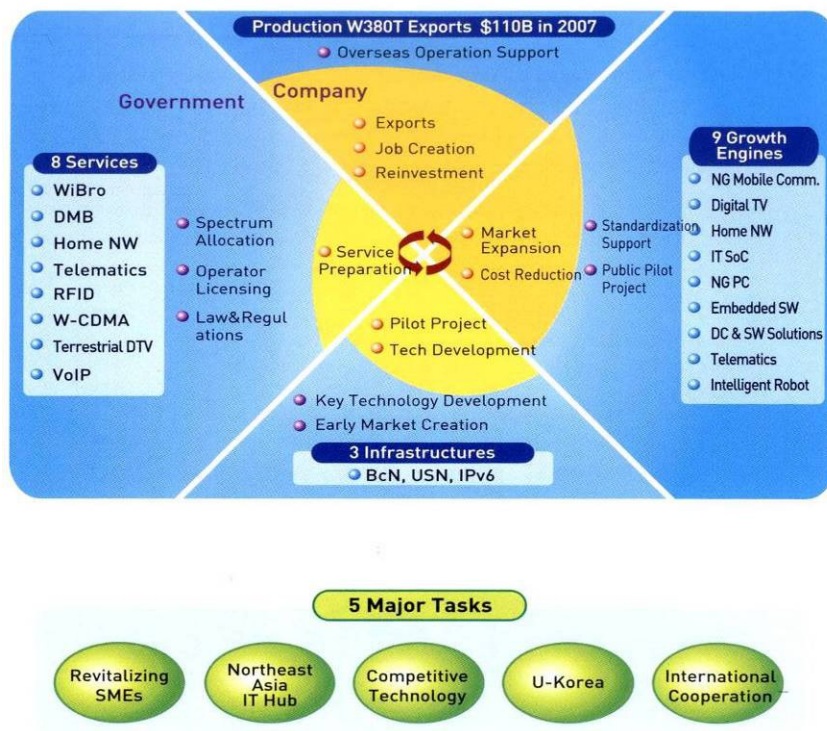


圖 4- 韓國 IT839 計畫

資料來源：韓國資訊通訊部，IT839 計畫(2007)

依據「經濟合作與發展組織」(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)於 2007 年所公布資料顯示，韓國在 2005 年時是居世界

寬頻領導之地位，電信部門不論是有線或是無線俱呈現激烈競爭態勢。韓國雖然已擁有全球最快之網速，但該國政府並不滿足，「南韓國家通訊傳播委員會」（Korea Communications Commission, KCC）及「國家資訊社會局」（National Information Society Agency, NIA）於2009年7月24日共同開展「超高速寬頻匯流網路」（Ultra Broadband convergence Network, UBcN）計畫，2009至2013年將投資1,471億美元。預計於2013年底提供85%家戶接取50-100Mbps(最大1Gbps)有線寬頻網路，並預計2016年開始佈建10 Gbps之寬頻接取網路，2020年正式將10 Gbps以上之寬頻接取網路商用化。根據OECD最新研究韓國在2011年已是寬頻密度世界排名第二的國家⁸。

2、韓國政府獎勵NGN網路部署之作法

韓國政府對於BcN計畫採取由業者主導的方式。即由業者開發BcN所需技術、部署BcN網路及進行相關先導方案；而韓國政府提撥資金的主要用途為研發、開發基礎技術及進行相關先導方案。值得注意的是，韓國政府在BcN網路部署投資比重相當高，第一階段（2004 - 2005年）投資比重甚至超過半數，其後第一、二階段（2006 - 2010年）雖略降，然投資比重超過43%以上，如表4-2。

表4- 2004 - 2010年韓國政府及業者BcN網路部署投資金額

單位：10億韓圓

項目		第一階段		第二階段		第三階段	合 計
		2004	2005	2006	2007	2008 - 2010	
政府部門	金額	1,807	2,046	1,349	933	3,672	9,807
	%	53%	56%	46%	43%	45%	48%
業界	金額	1,610	1,624	1,609	1,245	4,420	10,508
	%	47%	44%	54%	57%	55%	52%
合 計		3,417	3,670	2,958	2,178	8,092	20,315

資料來源：Plum, “Next Generation Networks: next generation regulation?”(2012/01)，本研究團隊整理

再者，依據2009年BcN計畫，2009 - 2013年BcN網路部署後將再投資金額34.1兆韓圓；其中，韓國政府資助約1.3兆韓圓。

3、韓國NGN寬頻網路部署現況

在有線寬頻網路服務方面，目前韓國營運商皆已提供下行速率為100 Mbps之服務。至於NGN網路部署方面，以既有業者KT最為積極更新其原有固定通信網路，目前已將市話及長途網路升級為IP網路，分別為30%及

⁸ OECD Broadband statistics, 2011 Dec.

100%，FTTH 網路人口涵蓋率更高達 88.5%。此外，KT 預計 2012 年底將提供下行速率達 1 Gbps 之服務。

在行動寬頻網路服務方面，目前韓國營運商已提供 LTE 服務。其中，LG U+於 2011 年 7 月 1 日正式提供 LTE 服務，下行速率為 75 Mbps，並於 2012 年 7 月達成 LTE 網路人口涵蓋率 100%。另外，韓國最大行動營運商 SKT 亦於 2011 年 7 月 1 日正式提供 LTE 服務，下行速率為 127 Mbps（LTE 75 Mbps + Wi-Fi 52 Mbps），並 2012 年 6 月達成 LTE 網路人口涵蓋率 99%。同時，SKT 結合 femtocell 與 Wi-Fi 分流及漫遊技術，於 2011 年 12 月提供 LTE 結合 femtocell 的商用服務，為首家提供是項服務的業者。此外，SKT 預計 2013 年上半年提供下行速率 150 Mbps（800 MHz 頻段 75 Mbps + 1800 MHz 頻段 75 Mbps）之 LTE-A 服務。

綜上，SKT 及 LG U+於 2012 年達成 LTE 網路全國涵蓋，且核心 IP 網路達成率約八成，可謂超前 KCC 目標 [51]，有關韓國營運商 NGN 網路部署現況，如表 4-3 所示。

表 4- 韓國營運商 NGN 網路部署現況

項 目	SKT	KT	LG U+
NGN人口涵蓋率	-	88.5%	-
使用技術	DOCSIS 3.0	FTTH	DOCSIS 3.0
下行速率	100 Mbps (2007年)	100 Mbps (2007年) 1 Gbps (預計2012年)	100 Mbps (2007年)
LTE服務			
開始提供日	2011年7月1日	2012年1月3日	2011年7月1日
人口涵蓋率	99% (2012年6月達成)	90% (2012年4月)	全國 (2012年7月達成)
下行速率	127 Mbps (LTE 75 Mbps + Wi-Fi 52 Mbps) (註)	-	75 Mbps
預估用戶數 (2012年底)	約700萬用戶	約400萬用戶	約400萬用戶

註：SKT預計2013年上半年提供下行速率150 Mbps（800 MHz頻段75 Mbps + 1800 MHz頻段75 Mbps）之LTE-A服務。

資料來源：KISDI, (2012/02); Qualcomm, (2012/04); SK Telecom, (2012/06); LG U+, 2012/11/26，本研究團隊整理

第5節 澳洲

澳洲在推動 NGN 之建置上，既有業者 Telstra 早於 2005 年 11 月即曾宣布建置「光纖到節點」（Fiber-To-The-Node, FTTN）網路計畫，總投資金額達 30 億澳元。惟 2006 年 8 月初，經與「澳洲競爭暨消費者委員會」（Australian Competition and Consumer Commission, ACCC）談判有關批發接取 FTTN 條件破裂後，是項計畫宣告無限期延後。Telstra 宣稱，談判破裂主因為 ACCC 規管草案將致使 Telstra 無法獲得合理報酬。

「澳洲工黨」(Australian Labor Party, ALP) 於 2007 年大選的重要競選政見之一為建置國家寬頻網路 (National Broadband Network, NBN)，並承諾一旦當選將提供政府預算高達 470 億澳元及修正相關規管，以加速其建置，如表 4-4 所示。國家寬頻網路計畫之要點如次[35]：

- 成立澳洲首家專營批發開放式接取網路之 NBN 公司：聯邦政府預計補助金額高達 275 億澳元，初期資金來源主要為澳洲聯邦政府由「澳洲建設基金」(Building Australia Fund, BAF) 及澳洲「基礎設施建設公債」(Australian Infrastructure Bonds, AIBs) 籌措，並開放部分民間投資。未來於該新 NBN 建置與正式營運後，將考量市場環境及國家利益與安全等因素，預計 5 年內移轉民營。
- 建置「光纖到戶」(Fiber To The Premises, FTTP) 網路：未來 8 年內 100 Mbps 之 NBN 網路覆蓋率達 93%，較目前多數住宅及企業等寬頻帳號之上網速率高達 100 倍，並具備提供 1 Gbps 之性能。
- 建構無線寬頻網路服務：其餘 7% 未建置光纖到戶地區，則預計以次世代無線及衛星技術建構無線寬頻網路服務，上網速率達 12 Mbps。
- 創造就業機會：預計未來 8 年內，每年平均增加 25,000 個直接就業機會。

表 4- 澳洲國家寬頻網路計畫大綱

主 要 項 目		內 容 摘 要	
		傳 送 速 率	技 術 方 法
目 標	都會區及郊區 (93%)	100 Mbps (可擴充至 1 Gbps)	FTTP 技術
	偏鄉地區 (7%)	12 Mbps	次世代無線及衛星技術
主要作法		成立澳洲首家專營批發開放式接取網路之 NBN 公司，以建置澳洲歷來最龐大的全國性高速寬頻網路基礎設施。	
資本支出 (至 2020 年 12 月)		預計 359 億澳元。澳洲聯邦政府經與 Telstra 協商，關於 NBN 公司承租 Telstra 之既有基礎設施，包含管道、局間中繼光纖電路等，以避免基礎設施之非必要重複投資，資本支出可望由原預計 430 億澳元大幅調降為 359	

主 要 項 目	內 容 摘 要	
	傳 送 速 率	技 術 方 法
	億澳元。	
營運支出（至 2020 年 12 月）	預計 218 億澳元，含使用 Telstra 基礎設施及停用 Telstra 之銅絞線網路與電纜線寬頻網路服務費用約 137 億澳元。	
資金需求（至 2020 年 12 月）	資金需求約 409 億澳元（含資金成本）； 其中，澳洲聯邦政府預算預計 275 億澳元（由澳洲建設基金及澳洲基礎設施建設公債等籌措，超過全案資金需求三分之二），及發行公司債預計募集 134 億澳元。	
主要財務預測 （至 2020 年 12 月）	累計營業收入預估 208 億澳元、累計稅前息前折舊攤銷前獲利（EBITDA）預估 10 億澳元 內部報酬率約 7%。	
移轉民營時程	全部建置完成及全面營運後 5 年內，考量電信市場環境及證券市場情形，以安排出售政府所持有 NBN 公司股份。	
主要綜效	改善高速寬頻網路之可用度，並預計未來 8 年內每年平均增加 25,000 個直接就業機會，進而提升國家競爭力及刺激經濟成長。	

資料來源：DBCDE，本研究團隊整理

為兌現競選承諾，「寬頻通訊傳播暨數位經濟部」（Department of Broadband, Communications and the Digital Economy，DBCDE）於 2008 年發布「國家寬頻網路」（National Broadband Network，NBN）政策諮詢文件。旋於 2009 年 4 月 7 日發布 NBN 政策，為改善高速寬頻網路之可用度（availability），並於同年 4 月 9 日成立澳洲首家專營批發寬頻接取網路之新公司 - NBN 公司，從事建置、維運與管理該國家寬頻網路。再者，預計未來 8 年內斥資高達 430 億澳元，建置澳洲歷來最龐大的全國性基礎設施，以提供業者得無差別待遇與平等接取 NBN 服務，該計畫可謂 1997 年澳洲電信自由化以降，最重大之電信改革方案。該計畫業於 2010 年 8 月 12 日已在 Tasmania 地區展開提供當地第一期高速寬頻網路服務。

在監理法規調整方面，DBCDE 於 2009 年 9 月 15 日及 2010 年 2 月 12 日分別就 1974 年商業交易法（Trade Practices Act 1974）第 XIC 章（關於電信接取體系）與第 XIB 章（關於反競爭行為）提出修正草案及制訂國家寬頻網路公司法草案等，並於 2011 年 3 月 1 日經眾議院通過。前者主要修正重點為解決 Telstra 有高度垂直整合兼具水平整合、調整競爭機制及電信普及服務機制等，以促進有效競爭及增進消費者利益；後者主要重點為確立 NBN 公司之定位及規範。茲將前揭法案臚列如次：

- 制訂「2010 年國家寬頻網路公司法草案（National Broadband Network Companies Bill 2010）」；
- 制訂「2010 年國家寬頻網路接取安排法草案（Telecommunications Legislation Amendment (National Broadband Network Measures—Access Arrangements) Bill 2010）」，及
- 修正「2010 年促進電信市場有效競爭及保護消費者利益法（Telecommunications Legislation Amendment (Competition and Consumer Safeguards) Act 2010）」。

1、計畫執行進程

Telstra 與 NBN 公司於 2010 年 6 月 20 日簽署不具法律約束力之銅纜線網路基礎設施使用權之初步協議，以參與國家寬頻網路計畫，雙方業於 2011 年 2 月 10 日簽署正式協議。該協議之重點為 NBN 公司承租 Telstra 之既有基礎設施，包含管道、局間中繼光纖電路等，以避免基礎設施之非必要重複投資，及換取政府承諾該交易完成後，Telstra 可取得 4G 網路服務所需頻譜之競標權。該交易總值達 110 億澳元，主要為停用 Telstra 之銅絞線網路與電纜線寬頻網路服務、使用 Telstra 之基礎設施，及 Telstra 可免成本現值等，諸如電信普及服務義務成本，並由 NBN 公司分期支付予 Telstra。爰此，國家寬頻網路計畫之資本支出，可望由原 430 億澳元大幅降低為 359 億澳元，其中 275 億澳元來自澳洲政府預算，其餘由 NBN 公司募集。NBN 公司預估 2034 年前回收全部投資成本。

第6節 中國大陸

1、中國大陸 NGN 發展策略

中國大陸繼 2010 年提出加快推動電信網、廣播電視網和互聯網(Internet) 的融合發展，並計畫於 2015 年完成實現三網的互聯互通，以提供結合語音、數據和廣播電視等多種服務的「三網融合」之目標。因此，在第十二個國家五年發展計畫(簡稱十二五計畫)將光纖寬頻網路的佈建列為國家寬頻建設規劃的重點投資項目之一。此外，中國大陸工業和資訊化部亦於 2010 年發表《關於推進光纖

寬帶網絡建設的意見》，明確提出對中國大陸光纖寬頻網路建設的四點意見，摘要如下[53]：

1. 充分認識光纖寬頻網路建設的重要性，共同推進網路建設發展；
2. 加快光纖寬頻網路建設，提升資訊基礎設施能力；
3. 制定和完善光纖寬頻網路建設的配套措施，支援網路建設發展；
4. 引導寬頻應用發展和創新，帶動光纖寬頻網路建設。

以上四點建議明確宣示中國大陸對發展光纖寬頻網路的策略，以及扶植光纖寬頻產業相關的研發、技術改進、增值服務等企業，可依法享受稅收優惠的政策，將光纖寬頻網路的建設、應用和研發納入政策優惠的產業類別，以加速推動光纖寬頻網路的基礎建設。

中國大陸實施國家寬頻發展戰略是落實國家資訊化發展戰略、大力推進其國民經濟發展和社會資訊化進程的重要舉措。中國電信於2011年「十二五計畫」提出：全面提高資訊化水準，推動資訊化和工業化深度融合，加快經濟社會各領域資訊化。實現電信網、廣播電視網、互聯網「三網融合」，構建寬頻、融合、安全的下一代國家資訊基礎設施。

中國大陸的寬頻發展狀況不及西方先進國家，互聯網速度平均僅為1.774Mbps(2011年)，排名全球第71位，無論是寬頻速率還是寬頻家庭普及率與發達國家相比都存在較大差距，明顯處於低速寬頻階段。而且，中國大陸寬頻發展嚴重不平衡，東部的寬頻市場比中西部寬頻市場多，東部的家庭寬頻普及率比中西部高出很大比例，都不利於中國大陸經濟和諧發展。對於如何提高寬頻普及率，中國大陸制訂國家寬頻發展戰略的五點具體政策目標，說明如后：

1. 儘快制定中國寬頻發展的國家戰略

中國大陸雖然已經啟動三網融合，但寬頻建設仍是憑藉各運營商的企業行為，各自為政，因此要制定切實可行的國家寬頻戰略。一是要制定國家寬頻發展的總體規劃，制定配套的產業、技術、應用和監管政策，創建寬頻產業持續發展的良好環境。二是要形成“政府引導、企業主導、用戶參與”的寬頻產業發展機制，並充分發揮全社會的力量，快速推進其國內寬頻產業發展。

2. 國家建立寬頻發展普遍服務基金

在偏遠農村地區進行大範圍的寬頻網路建設，耗費成本大但收益小，企業進入的積極性不高，需要政府相關資金和政策扶持。可以借鑒發達國家的經驗，

建立寬頻發展普遍服務基金。依據中國的國情，用於提高寬頻普及率的資金可以來源於三個方面：工信部從高利潤的移動和長途固網業務收入抽成，建立寬頻普遍服務基金、國家給予專項撥款以及返還固網業務稅收。

3. 迅速制訂寬頻建設的國家標準與規範

一是要將光纖寬頻網路建設納入城鄉建設整體規劃，在住宅社區、商住樓、辦公樓等新建及改擴建項目的審批中，明確為光纖寬頻建設預留管道、設備間、電力配套等資源，所需投資納入建設項目概算，各級政府要對公共服務機構的寬頻建設費用和光纖使用費用給予財政補貼。二是加快制定和完善光纖寬頻網路相關的技術標準、工程規範和驗收規範，加快城市新建住宅社區、商用樓預先佈放光纜等規範的制訂和落實。三是調整駐地網市場開放模式，實行嚴格的審查制度，沒有合法資格的不得從事光纖網路施工。四是積極發揮中國固網運營商寬頻網路建設的優勢，保護國有固網價值並創造固網價值，通過共建共用減少重複建設。

4. 全力推動寬頻業務創新和應用深化

- 通過光進銅退，加快光纖寬頻網路的建設，大力發展寬頻傳輸網及次世代網路技術，融合有線寬頻、3G、Wi-Fi等多種接取方式，構建「光網城市」、「智慧城市」。
- 加強寬頻通信網、數位電視網和下一代互聯網等資訊基礎設施建設，深入推進三網融合，針對城市和農村的不同特點，大力發展IPTV服務，拓展基於IPTV的加值應用，不斷提升用戶體驗。
- 加快推動寬頻業務應用與內容的發展，鼓勵發展文化創意產業，促進基於寬頻的文化娛樂、網路教育等業務開發，推動健康網路文化產品和網路文化產業的發展。
- 要進一步擴大寬頻網路在傳統產業的改造、創造知識密集型現代服務業和社會公共服務方面的應用深度與廣度，推動電子化政府、電子商務、現代物流、網路醫療保健、網路化社會公共服務、家庭網路等應用的發展。
- 加快寬頻業務生態環境的建設，加強產業鏈上下游的合作，促進寬頻價值鏈的完善，鼓勵商務模式創新，建立良性發展的寬頻盈利模式。

5. 積極追蹤和推動寬頻技術創新。

- 進一步深化改革，以體制創新推動技術創新，密切追蹤國際資訊技術和產業發展趨勢，加大對基礎性、戰略性、先導性關鍵技術的開發力度，形成完善的資訊技術創新體系和強大的創新能力。

- 充分把握通信與資訊技術變革的機遇，面向國家資訊化建設和重大業務應用，加快自主創新，在次世代網路、寬頻無線移動通信、IPTV、數位家庭網路、數位內容等領域實現突破，形成一批具有自主知識產權的核心技術和創新產品，構建完善的寬頻產業鏈。
- 適應寬頻互聯網的發展需求，積極促進物聯網與互聯網、通信網的融合發展，在 IPv6 的發展、光纖傳感技術提升的基礎上，加快推動物聯網產業鏈的成熟發展。

2、加速建設光纖寬頻網路之產業計畫

依據中國大陸「十二五計畫」發展光纖寬頻網路的國家戰略規劃，中國工業和資訊化部明確提出預估在 2012 年達成以下光纖寬頻網路的建設目標：

1. 全國的光纖寬頻埠超過 8000 萬；
2. 城市用戶接取能力平均達到每秒 8 Mbps 以上；
3. 農村用戶接取能力平均達到 2 Mbps 以上；
4. 商業大樓用戶實現 100 Mbps 以上的接取能力。

故而，中國的電信運營商遂於 2011 年提出「寬頻中國光網城市」的通信基礎設施計畫，以帶動中國大陸整體光網基礎設施的投資並落實既定的建設目標。按照光網計畫的目標，中國大陸電信產業的整體投資將達到約人民幣 2 兆元的規模，其中寬帶基礎設施的投資約佔總體投資的 80%。

在推動「寬頻中國光網城市」計畫的期間，中國大陸電信產業的主導廠商-中國電信，宣佈啟動寬帶升級工程，針對南方用戶涵蓋密集的都會區，進行全面光纖化的工程。預定的各項 KPI 指標為：

- 中國電信寬頻用戶的接取頻寬將在 3~5 年內躍升 10 倍以上，並將持續快速提升，寬頻用戶的資費將在 3 年後持續顯著下降。
- 中國電信覆蓋區域的南方城市將全面實現光纖化，核心城區全部實現光纖接取，而且最高接取頻寬達到 100M，城市家庭的接取頻寬可普遍達到 20M 以上。
- 中國電信將全面實現 3G 網路覆蓋，熱點區域 Wi-Fi 覆蓋，建成有線無線一體化的高速寬頻網路，提供無處不在、無縫覆蓋的寬頻服務。
- 中國電信於 2012 年計畫在城市地區新增 3000 萬個 FTTH 家庭，接取頻寬達到 100M 以上。光纖入戶總數成長為「十一五」期間的 3 倍，累計覆蓋 4000 萬家庭。
- 在南方城市地區，將全面實現 8M 的接取頻寬並達到 100% 的覆蓋率，可提供 20M 的接取頻寬及達到 70% 的覆蓋率。

- 中國電信在東部發達城市和中西部省會城市，將實現 20M 的接取頻寬，並達到 80% 以上的覆蓋率。實現在 2013 年中國電信對南方城市(含縣城)的所有光纖入戶的家庭全面提供 20M 的接取頻寬，光纖入戶覆蓋總數達 8000 萬戶。預計到「十二 五」末期，南方城市地區可全面實現家庭和政府企業用戶 100% 的光纖網路覆蓋，光纖入戶數超過 1 億戶，位居世界領先地位。

在 2012 年 5 月的中國國務院常務會議中，已提出並確立實施「寬頻中國」工程。這也意味著 2010 年啟動的光纖寬頻網路的佈建計劃已經上升到國家戰略層面，電信運營商將作為「寬頻中國」的載體，投資重點將圍繞在光纖寬頻網路佈建，預估年 2012 年的投資就將達到 3,700 億元。除此之外，中國科學技術部於 2012 年 9 月 18 日公佈了國家寬頻網路科技發展「十二五」專項規劃，其中發展一系列關鍵技術、設備和系統，使用戶具有 100Mbps 的傳輸速率，並建置 2 個公共技術創新試驗平台及 10 個示範和測試應用服務。

3、「寬頻中國 光網城市」的資訊應用計畫

中國電信在「寬頻中國 光網城市」的建設工程將引入物聯網和雲端計算技術，打造綜合能力平臺，整合智慧傳輸管道。利用光纖化的寬頻網路，中國電信將提供政府、企業客戶滿足不同需求的高品質、高速率的接取網路，並向各類商業用戶提供以寬頻網路為基礎的網際網路、固網、及行動通信服務，以及支援視頻、音頻和資料應用 triple-play 的互動式多媒體通信等融合類應用服務。

中國電信表示，「寬頻中國 光網城市」的戰略實施充分發揮資訊技術在擴大內需、保護增長、促進就業的促進作用，最終將惠及中國百姓的資訊化生活。以中國大陸家庭寬頻接取普及程度約 23% 的狀況，寬頻網路發展的空間很大。這項工程需要設備製造業、通信建設服務業、互聯網應用及資訊服務業的共同參與和努力。中國電信希望在這三年規劃中實現規模效應，使每兆寬頻的價格顯著下降，讓消費者、產業鏈環節和企業都受益。同時，中國電信將通過「寬頻中國 光網城市」戰略的實施，讓頻寬更寬，網路更具智慧功能，給予客戶充分的接取自由權，可以在任何地點，以任何方式，選擇包括寬頻、「分碼多路進接」(code division multiple access, CDMA) EVDO、Wi-Fi，以及衛星在內的“天地一體化”的通信服務。

中國電信規劃新一輪資訊化應用，具有四個顯著的寬頻化特徵，

1. 資料海量化
2. 應用視頻化
3. 智慧分佈化
4. 交互即時化

寬頻化的發展趨勢從基礎網路設施和能力上給予頻寬保障，網路全面寬頻化提供應用業務的承載能力，特別是隨著智慧城市的推進，商業應用資訊化水準的提高，如電子商務、遠端教育、平安城市的視頻監控、遠端醫療、視頻會議、節能監控、緊急服務、酒店旅遊資訊化等應用，對網路頻寬及智慧管理有巨大的需求。據中國電信預估，在未來五年內，中國互聯網業務量將平均增加 56%~80%，點對點與網路視訊服務是互聯網流量的主要增長點，點對點則占骨幹網流量的 55%，其中絕大部分是視訊服務。

按照中國電信規劃，2011~2013 三年內，中國縣級以上城市的寬頻網路將全部光纖化。3 級以上城市實現 4 Mbps 以上接取頻寬，2 級以上城市實現 8 Mbps 以上接取頻寬，核心城市實現 20 Mbps~100 Mbps 光纖到戶的接取頻寬。從某種意義上看，「寬頻中國光網城市」戰略，是中國電信為滿足高寬頻、高速率的業務需求，所規劃的前瞻性佈局。而以寬頻應用為特徵的新一代資訊化浪潮，讓中國電信以更成熟的技術、更廣泛的應用、更具體的措施，落實推動寬頻戰略，及資訊化的社會。

4、中國大陸 NGN 寬頻網路部署現況

目前在政府引導、電信業者主導和用戶參與的寬頻產業發展機制下，依據中國工業和資訊化部最新的數據統計，至 2012 年 9 月底，光纖網路總長度已達到 14,044,417 公里，比 2011 年底的總長度增加 1,991,375 公里，其中在長途光纖網路的長度是 854,592 公里。而電信業者所建置寬頻網路接取埠容量已達到 26,014.3 萬個，比 2011 年底增加 2,848.7 萬個。2012 年 1-9 月寬頻網路用戶成長 2,056.6 萬戶，累計總用戶數為 17,056.7 萬戶。

在縮小城鄉電信發展落差方面，中國大陸在「寬頻中國」計畫的引導下也有不錯的進展。依據中國工業和資訊化部最新的數據統計，2012 年 1 至 9 月，中國東、中、西部地區電信主要業務收入分別是 4,646、1,865 和 1,803 億元，比 2011 年同期分別提高 8.3 %、10.4% 和 13.3 %。農村通信服務水準也逐步提高，2011 年 1 至 11 月，農村地區寬頻網路新增用戶為 789 萬戶，累計農村地區寬頻網路用戶已達到 3,265 萬戶，佔中國大陸全部寬頻網路用戶的 22%。

中國三大電信運營商於 2012 年 5 月 17 日在北京所舉行的世界電信與資訊社會日 (World Telecommunication and Information Society Day) 各自公佈目前的固定通信和行動寬頻網路的佈建狀況和近期計劃。依據中國電信同月發佈的資訊化服務報告，中國電信在南方 21 省城市中，20M 光纖寬頻接取網路的覆蓋率已提高到 70%，今年將繼續投入 400 億元佈建光纖接取網路，預估將新增 2,500 萬戶光纖到府家庭；中國聯通公佈 2012 年北方 10 省已新增 1,000 萬戶光纖到府家庭，並首次發佈雲端運算發展計劃，確立了雲端主機、雲端存儲、私有

雲、測試雲與雲端整合等五大服務發展方向，雲端運算將有機會成為寬頻網路的主要應用服務。

第7節 臺灣

我國的資通訊環境建設始於2001年即展開。透過包括第一期「國家資訊通信發展方案」(2002-2006年)、第二期「國家資通訊發展方案」(2007~2011)、「數位匯流發展方案」(2010-2015)與第三期「國家資通訊發展方案」(2012-2016年)，廣續推動我國資通訊基礎建設與資通訊技術應用，建構寬頻匯流網路，打造智慧型基礎環境，發展創新科技化服務，提供安心便利的優質生活環境，並達到節能減碳的目的，建設臺灣成為安心、便利、健康、人文的優質網路社會，如圖4-9所示。截至2012年10月底我國NGN寬頻網路家戶已達553萬戶，家戶涵蓋率68%以上，且有40%以上用戶具有10Mbps傳輸速率[71-73]。

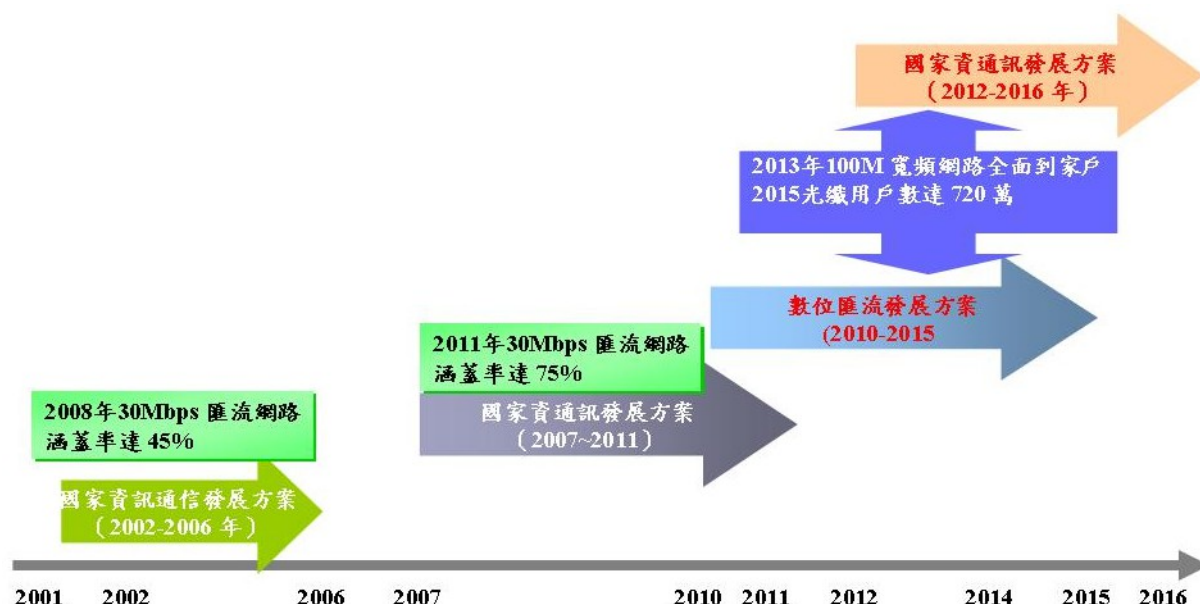


圖 4- 我國 NGN 發展進程

資料來源：行政院國家資訊通信發展推動小組、數位匯流專案小組，本研究團隊整理

另外，因應NGN之數位匯流發展趨勢，我國行政院於2010年核定「數位匯流發展方案」(2010-2015)，透過整備高速寬頻網路、推動電信匯流服務、加速電視數位化進程、建構新興視訊服務、促進通訊傳播產業升級、豐富電視節目內容、調和匯流法規環境等七大主軸推動，並擬定九大評估指標以完善我國的數位匯流產業發展環境，維護國家競爭力，如圖4-10所示。



圖 4- 我國數位匯流發展方案(2010-2015)評估指標

資料來源：行政院數位匯流發展方案，本研究團隊整理

為完成達成「數位匯流發展方案」(2010-2015)所規劃 2013 年 100Mbps 寬頻網路全面到家戶、2015 年光纖用戶數達到 720 萬戶之目標，由交通部、經濟部、內政部與通傳會等政府單位，共同推動的整備高速寬頻網路發展主軸，主要推動策略區分三大重點及六項措施，以實現我國高速寬頻網路普及的目標：

1. 推動次世代網路建設

- 加速推動我國光纖網路建設相關辦理措施包括：(1)推動用戶光纖網路建置；(2)次世代網路(NGN)架構之研議；(3)建築物電信設備管理規則之修訂；(4)光纖佈纜率暨普及率的提升；(5)推動寬頻管道佈纜工作。
- 推動我國無線寬頻網路建設，相關辦理措施包括：(1)創造有利的基地台建置環境；(2)推動無線寬頻接取網路建置；(3)強化無線寬頻（新興無線技術）涵蓋率。

2. 促進資源有效利用

- 促進頻譜資源有效利用，相關辦理措施包括：(1)頻譜資源規劃；(2)頻譜資源定期檢視與整備。
- 促進號碼與網際網路關鍵資源有效利用，相關辦理措施包括：(1)NGN 號碼編碼規劃；(2) 推動網際網路通訊協定升級；(3)號碼與位址資源定期檢視與整備；(4)強化 IP 安全管理。

3. 促進匯流技術發展

- 促進異質網路融合，相關辦理措施包括：研議電信號碼運用於異質網路之推動策略與可行性評估。
- 促進通訊傳播技術介面標準化，相關辦理措施包括：訂定通訊傳播技術介面標準規範。

第8節綜合研析

基於各國 NGN 寬頻網路技術市場占有率有別及寬頻網路服務發展現況不同等因素，爰各國寬頻網路政策之目標設定高低有異，例如我國依據行政院數位匯流發展方案(2010-2015)第二版所擬定目標，2013 年希望能達到可接取 100Mbps 寬頻網路之家戶涵蓋率達 100%的目標[71]。；其中，歐盟會員國(英國)寬頻網路政策目標相對保守，亞洲鄰國寬頻網路政策展現積極。茲將我國與世界先進國家及亞洲鄰國最新寬頻網路政策之重點目標綜合比較表列，如表 4-5 所示：

表 4- 我國與世界先進國家 NGN 寬頻網路政策目標比較

國家	覆蓋率	目標速率	目標年度
我國	100% ⁹	100 Mbps	2013
英國	100%	2 Mbps	2015
美國	--	100 Mbps (1 億家戶) 1 Gbps (社區重要機構)	2020
澳洲	93% 其餘 7%	100 Mbps 12 Mbps	2020
日本	100%	100 Mbps	2015
大陸	100% (南方城市)	100 Mbps(商業大樓) 8 Mbps(城市) 2 Mbps(農村)	2012
韓國	85%	100Mbps (最高 1 Gbps)	2013

⁹可接取 100Mbps 寬頻網路家戶率定義為：以光纖方式投落點涵蓋半徑 300 公尺之非偏遠地區，其設備均建設完成且備妥，提供服務時程內可提供服務之家戶數/台灣家庭總戶數。

資料來源：本研究團隊整理

有鑑於各國寬頻網路政策之目標速率與目標完成年度設定不同，所以目前各國寬頻網路服務發展的目標達成率亦不相同，例如韓國依據韓國通訊委員會(KCC)所公佈寬頻網路家庭用戶數(18,137,762)已超過全國家戶數(17,951,000)，且所提供之寬頻接取網路(光纖、銅絞線)傳輸速率皆可超過100Mbps，部分地區可提供用戶1Gbps傳輸速率。另外，以光接取網路為NGN發展主軸的日本其家戶涵蓋率約68%，但FTTH用戶比重佔約65%，並且已可提供用戶1Gbps傳輸速率。綜整各國NGN寬頻網路部署現況如表4-6所示：

表 4- 我國與世界先進國家 NGN 寬頻網路部署現況比較

國家	NGN 寬頻網路部署現況 ¹⁰
臺灣	至 2012 年 10 月底 1.家戶涵蓋率約 68%。 2.用戶數統計：ADSL 186 萬、FTTx 260 萬、CATV 107 萬。 3.40%以上用戶具有 10Mbps 傳輸速率[61]。
英國	至 2012 年 3 月底 1.家戶涵蓋率約 64%[68]。 2.FTTC 家戶涵蓋率約佔 31%。 3.約有 99%的用戶連線速率超過 8Mbps，其中 8%具有 30Mbps 以上的傳輸速率，60%具有 10-30Mbps 的傳輸速率。
美國	至 2011 年 12 月底 1.家戶涵蓋率約 28%[74]。 2.約 45%人口涵蓋率具有 100Mbps 寬頻接取能力，其中 Cable 約佔 40%，而光纖約佔 5%[75]。
澳洲	至 2011 年 12 月底 1.家戶涵蓋率約 25%[74]。 2.FTTP 家戶涵蓋率約 1%(2012/7)，預計 2015 提高至 41%。
日本	至 2012 年 6 月底 1.家戶涵蓋率約 68%。 2.用戶數統計：xDSL 630 萬、FTTx 2,280 萬、CATV 600 萬 [76]。 3.用戶可申請最高傳輸速率：FTTH 1 Gbps、CATV 160

¹⁰ 家戶涵蓋率=寬頻家戶數/該年度全國總家戶數

國家	NGN 寬頻網路部署現況
	Mbps、xDSL 50 Mbps。
中國大陸	至 2012 年 9 月底 1. 家戶涵蓋率約 42%[54]。 2. 20Mbps 光纖寬頻接取網路家戶覆蓋率約 70%(南方 21 省城市)。
韓國	至 2012 年 9 月底 1. 家戶涵蓋率約 101%。 2. 用戶數統計：FTTx 1,095 萬、DSL 220 萬、CATV 496 萬[77]。 3. 用戶可申請最高傳輸速率：FTTH 1 Gbps、CATV 100 Mbps。

資料來源：通傳會、Ofcom、NTIA、FCC、DBCDE、中國工業和資訊化部、NTT、KISA，本研究團隊整理

第5章 世界先進國家之 NGN 光接取網路終端設備技術規範與我國現行規範比較分析

誠如本文第肆章「世界先進國家 NGN 發展現況與進程」研究發現，建置光纖化的接取網路已逐漸成為世界先進國家在推動 NGN 的有線寬頻網路之主要策略，並且降低管制措施，以促進電信業者投資意願。然而在電信市場開放競爭情況下，電信業者建置光纖化的接取網路時，其 OLT 與 ONU/ONT，可能由不同供應商所製造生產，為使電信業者在使用不同供應商之 OLT 與 ONU/ONT 能互通操作與確保系統效能，國際標準組織 ITU 制訂實體層符合性驗證、ONU/ONT 啟用及管理、「光網路終端設備管理及控制介面」(Optical Network Unit Management and Control Interface, OMCI)驗證，系統效能測試與故障復原等檢測項目標準，如表 5-1 所示，提供電信業者建置光接取網路 (GPON) 參考依據。

表 5- ITU GPON OLT 與 ONU/ONT 互通性檢測項目

類別	檢測項目
實體層符合性驗證	發射功率
	發射波長
	接收靈敏度
	接收過載功率
ONU/ONT 啟用及管理	ONU/ONT 啟動時間
	TC 層 OAM 操作
	安全功能
OMCI 驗證	ONU/ONT 管理介面
	OMCI 設備管理
系統效能測試	多個 ONU/ONT 在無傳輸中的 PON
	多個 ONU/ONT 在運行中的 PON

故障復原	接收效能
	PON 故障
	設備故障

資料來源：ITU-T Series G Supplement 46(2009)

為使通傳會在推動我國光接取網路時，對於 ONU/ONT 之互通性，有其參考標準。本研究團隊針對光接取網路普及程度高之先進國家通訊傳播監理機構，包括美國 FCC、英國 Ofcom、澳洲「通訊媒體管理局」(Australian Communication and Media Authority, ACMA)、日本 MIC、韓國 KCC 及中國大陸工業和信息化部，對於光網路終端設備(ONU/ONT)光介面與使用者網路介面(UNI)所採行之技術規範，進行研究與分析，綜整結果如下。

第1節 光介面技術規範

近年來隨著技術中立管制原則的興起，以及發展寬頻網路提升國家競爭力的策略趨勢下，歐美日等先進國家對於 NGN 之光接取網路，大都採取低度管制(例如免除開放義務)之措施，以提升電信業者升級或建置光接取網路之意願。爰此，先進國家(如英國、美國、日本、韓國及澳洲)對於光接取網路採用技術標準，採取開放式管理，未制定光接取網路終端設備技術規範，電信業者得以依據其建置與經營策略，採用符合國際標準之光接取網路標準(如 EPON 或 GPON)，如表 5-2 所示，以及對應之終端設備產品，其終端設備經由國家合格檢測機構或是簽署「多邊相互承認」(Multilateral Mutual Recognition, MRA)之國家合格檢測機構，驗證符合國際組織標準、「電磁相容性」(Electro Magnetic Compatibility, EMC)及電氣安全(Safety)規範，確保電信網路機線設備與操作人員安全性，申報核准後即可部署使用。

表 5- 世界先進國家光接取網路技術標準採用情況表

國家名稱	採用技術	終端設備技術規範
臺灣	GPON、EPON	尚未制訂
美國	GPON、EPON	尚未制訂
英國	GPON	尚未制訂
日本	GPON、EPON、10G	尚未制訂

國家名稱	採用技術	終端設備技術規範
	EPON	
韓國	GPON、EPON、10G EPON	尚未制訂
澳洲	GPON	尚未制訂
中國大陸	GPON、EPON	GPON：YD/T 1995-2006 EPON：YD/T 1531-2006

資料來源：本研究團隊整理

另外，電信事業屬於高度管制的中國大陸對於光接取網路則依據 ITU 及 IEEE 等國際標準，制訂符合中國大陸 NGN 產業發展之光接取網路產業標準 (GPON 及 EPON)，並制訂其局端與終端設備光介面技術標準規範與測試方法，如表 5-3、表 5-4、表 5-5 及表 5-6 所示，作為電信業者採購光接取網路設備參考依據[55-56]。

表 5- 中國大陸 GPON 終端設備光介面技術規範

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	標準規範
發射功率	1,244	class B：-2~+3dBm class B+：+0.5~+5dBm class C：+2~+7dBm
發射波長	1,244	1,260nm~1,360nm (單光纖系統)
發射機眼圖	1,244	x1/x4：0.22/0.78UI x2/x3：0.40/0.60 UI y1/y4：0.17/0.83 UI y2/y3：0.20/0.80 UI
消光比	1,244	>10dB
單縱模雷射-20dB 頻寬	-	<1nm

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	標準規範
單縱模雷射邊模抑制比	-	>30dB
接收機靈敏度(BER<10 ⁻¹⁰)	1,244	class B : -25dBm class B+ : - class C : -26dBm
	2,488	class B : -21dBm class B+ : -27dBm class C : -28dBm
接收機過載功率	1,244	class B : -4dBm class B+ : - class C : -4dBm
	2,488	class B : -1dBm class B+ : -8 dBm class C : -8dBm
發射機無輸入時之發射功率	1,244	class B : -35dBm class B+ : - class C : -36dBm
	2,488	class B : -31dBm class B+ : -37dBm class C : -38dBm

資料來源：中國大陸通信行業標準，YD/T1995-2009，本研究團隊整理

表 5- 中國大陸 EPON 終端設備光介面技術規範

檢測項目	標準規範
發射功率	-1~+4dBm
發射機無輸入時之發射功率	-45dBm
發射波長	1,260nm~1,360nm

檢測項目	標準規範
單縱模雷射 -20dB 頻寬	<1nm
單縱模雷射 邊模抑制比	>30dB
發射機眼圖	X1 : 0.22UI X2 : 0.375 UI Y1 : 0.20 UI Y2 : 0.20 UI Y3 : 0.30 UI
消光比	>6dB
光調變振幅(OMA)	>-0.22dBm/0.95mW
接收機靈敏度(BER<10 ⁻¹²)	<-24dBm
接收機過載功率(BER<10 ⁻¹²)	<-3dBm
接收機反射功率比	<-12dB

資料來源：中國大陸通信行業標準，YD/T1531-2006，本研究團隊整理

表 5- 中國大陸 EPON 1000BASE-PX10-U 發射機頻譜限制(多縱模雷射)

中心波長(nm)	最大 RMS 頻寬(nm)	當 $\epsilon \leq 0.115$ 時 RMS 頻寬 (nm)
1,260	2.09	1.43
1,270	2.52	1.72
1,280	3.13	2.14
1,286	3.50	2.49
1,290		2.80

中心波長(nm)	最大 RMS 頻寬(nm)	當 $\epsilon \leq 0.115$ 時 RMS 頻寬 (nm)
1,297		3.50
1,329	3.50	3.50
1,340	3.50	2.59
1,350	3.06	2.41
1,360	2.58	1.76

資料來源：中國大陸通信行業標準，YD/T1531-2006，本研究團隊整理

表 5- 中國大陸 EPON 1000BASE-PX20-U 發射機頻譜限制(多縱模雷射)

中心波長(nm)	最大 RMS 頻寬(nm)	當 $\varepsilon \leq 0.115$ 時 RMS 頻寬 (nm)
1,260	0.72	0.62
1,270	0.86	0.75
1,280	1.07	0.93
1,290	1.40	1.22
1,300	2.00	1.74
1,304	2.50	2.42
1,305	2.55	2.50
1,308	3.00	
1,317		
1,320	2.53	2.2
1,321	2.41	
1,330	1.71	1.48

中心波長(nm)	最大 RMS 頻寬(nm)	當 $\epsilon \leq 0.115$ 時 RMS 頻寬 (nm)
1,340	1.29	1.12
1,350	1.05	0.91
1,360	0.88	0.77

資料來源：中國大陸通信行業標準，YD/T1531-2006，本研究團隊整理

第2節 UNI 介面技術規範

光接取網路終端設備在多樣化的服務情境(FTTH、FTTB、FTTC..等)中，除了提供中繼設備角色，收納既有 xDSL、E1、T1..等銅絞線網路，提供骨幹頻寬服務。亦可直接提供 UNI 連接用戶終端設備，如圖 5-1 所示，例如在 FTTH 的服務情境是由電信業者將光纖直接鋪設至用戶家庭，用戶終端設備(例如網路電話、電腦、智慧型手機及智慧型家電等)可透過結合 ONU/ONT 與 UNI 功能之「整合型接取設備」(Integrated Access Device，IAD)所提供之 POTS、乙太網(Ethernet)及「無線區域網路」(wireless local area network，WLAN)介面，進行語音及數據傳輸服務。其中乙太網是提供用戶終端設備以乙太網協定進行寬頻上網，POTS 則是提供用戶以 IP 為基礎的傳統語音服務。另外，WLAN 介面使用無線電波為傳輸媒介接取用戶設備，由於涉及使用無線電頻率與產生輻射場強，在我國與世界先進國家皆屬高度管制之 UNI 設備，除規範工作頻譜外，並依據採用之技術差異例如：「跳頻展頻」(Frequency-hopping spread spectrum，FH)、「直接序列展頻」(Direct Sequence Spread Spectrum，DS)及「正交頻分複用」(Orthogonal Frequency Division Multiplexing，OFDM)，訂定相對對應之最大發射功率、天線增益等相關技術規範，如表 5-7 所示[29-30],[33],[52],[60],[78-80]。

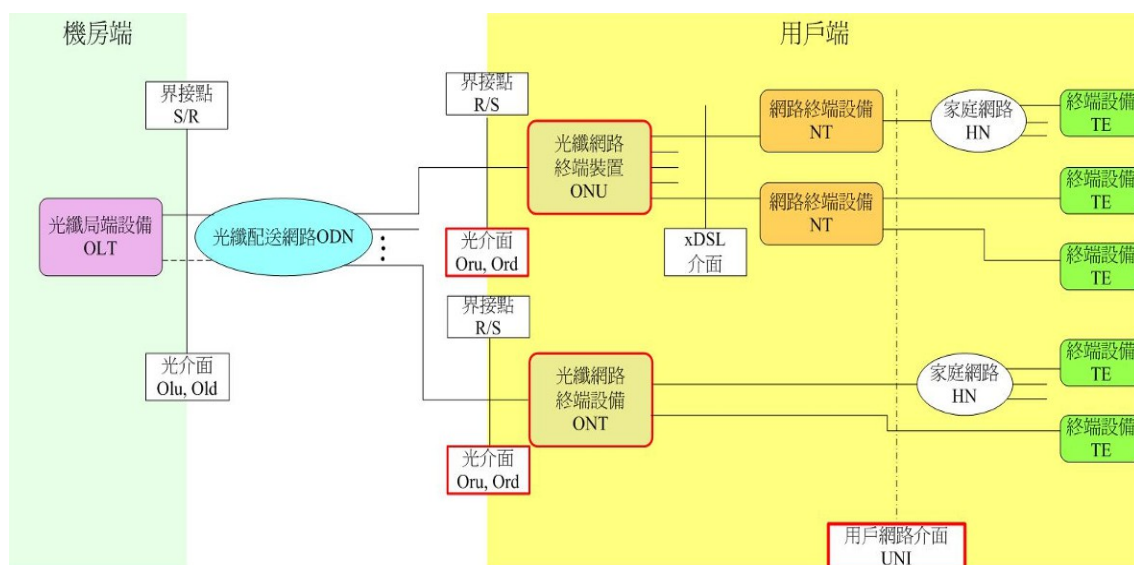


圖 5- 光接取網路架構圖

資料來源：ITU-T G.983.2(2005)，本研究團隊整理

表 5- 我國與世界先進國家 WLAN 技術規範

國家名稱	使用頻譜(MHz)	最大發射功率	天線增益
臺灣	2,400-2,483.5	a)1W(至少使用 75 個頻道之 FH 系統) b)125mW(其他 FH 系統)	≤ 6dBi(若超過 6dBi 則每 3dB 應降低 1dB 之最大發射功率)
	5,725-5,850	1W	無
美國	2,400-2,483.5	a)1W(至少使用 75 個頻道之 FH 系統) b)125mW(其他 FH 系統)	≤ 6dBi(若超過 6dBi 則每 3dB 應降低 1dB 之最大發射功率)
	5,725-5,850	1W	在點對點應用環境時，可大於 6dBi
英國	2,400-2,483.5	a) 100 mW(EIRP) b)FH 系統頻譜功率密	無

國家名稱	使用頻譜(MHz)	最大發射功率	天線增益
		度 限 制 : 100mW(EIRP)/100KHz c)其他系統頻譜功率密度 度 限 制 : 10mW(EIRP)/MHz	
	5,150-5,350	a) 200 mW(EIRP) b) 頻譜功率密度限制 : 10mW(EIRP)/MHz	無
日本	2,400-2,483.5	a) FH 或 FH/DS 系統 : 3 mW/MHz b) DS 、OFDM 及其他系 統 : 10 mW/MHz	≤2.14 dBi
	2,471-2,497	DS 、FH 及 FH/DS 系統 : 10 mW/MHz	≤2.14 dBi
	5,150-5,350 (室內使用)	a)DS 及其他系統 : 10 mW/MHz b)OFDM 系 統 : 5 mW/MHz	無
	5,470-5,725	a)DS 及其他系統 : 10 mW/MHz b)OFDM 系 統 : 5 mW/MHz	無
韓國	2,400– 2,483.5	a)FH 系統 : 3 mW/MHz b) 其 他 系 統 : 10 mW/MHz	a)≤6dBi b)≤20dBi(點對點 應用環境)
	5,725 – 5,825	10 mW/MHz	

國家名稱	使用頻譜(MHz)	最大發射功率	天線增益
澳洲	2,400– 2,483.5	a)4W	無
	5,725 – 5,825	b)頻譜功率密度限制： 25mW/3KHz	
中國大陸	2,400– 2,483.5	a)FH 系統頻譜功率密度限制：100 mW/MHz(EIRP) b)DS 及其他系統：10 mW/MHz(EIRP)	≤10dBi
	5,725 – 5,825	≤500mW	無

資料來源：通訊傳播委員會、ARIB、Ofcom、FCC、ACMA、工業和資訊化無線電管理局及 TTA，本研究團隊整理

第3節綜合研析

具有承載多樣化服務、高傳輸速率及連線品質穩定等諸多優點之光纖化網路，在材料科技與製程技術進步推助下，應用範圍已由核心骨幹網路擴大至用戶接取網路，並逐漸取代銅絞線網路或混合使用提供用戶寬頻上網服務，電信業者面臨不斷增加的 ONU/ONT，並且可能由不同供應商所製造生產，造成諸多網路服務品質不確定因素(例如 ONU/ONT 的互通性、管理與維護等)。然而先進國家中對於 ONU/ONT 技術規範之訂定，唯有中國大陸援引其國內業界標準，作為國家訂定之產業標準，其餘國家(包含美國、英國、日本、南韓及澳洲)與我國，均援用國際組織標準，作為電信業者佈建網路之參考依據。為使電信業者在使用不同供應商之 OLT 與 ONU/ONT 能互通操作與確保系統效能。本研究團隊擬參考國際電信標準組織(ITU 及 IEEE)PON 之終端設備技術標準、互通性測試技術規範與中國大陸 GPON EPON 終端設備技術規範，如表 5-8、表 5-9 所示。草擬符合我國光接取網路發展之 PON 終端設備光介面技術規範，提供通傳會，修訂我國 PON 終端設備技術規範之參考依據。

表 5- 國際標準組織 ITU 與中國大陸 GPON 終端設備光介面技術規範比較

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	ITU 標準規範	中國大陸標準規範
發射功率	1,244	單光纖：	class B：-2~+3dBm

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	ITU 標準規範	中國大陸標準規範
		class A : -3~+2dBm class B : -2~+3dBm class B+ : +0.5~+5dBm class C : +2~+7dBm class C+ : +0.5~+5dBm 雙光纖 : class A : -3~+2dBm class B : -2~+3dBm class C : +2~+7dBm	class B+ : +0.5~+5dBm class C : +2~+7dBm
發射波長	1,244	Class A、B、B+、C : 1260~1360nm Class C+ : 1290~1330nm	1,260nm~1,360nm
發射機眼圖	1,244	x1/x4 : 0.22/0.78UI x2/x3 : 0.40/0.60 UI y1/y4 : 0.17/0.83 UI y2/y3 : 0.20/0.80 UI	x1/x4 : 0.22/0.78UI x2/x3 : 0.40/0.60 UI y1/y4 : 0.17/0.83 UI y2/y3 : 0.20/0.80 UI
消光比	1,244	>10dB	>10dB
單縱模雷射- 20dB 頻寬	-	<1nm	<1nm
單縱模雷射 邊模抑制比	-	>30dB	>30dB
接收機靈敏 度 (BER<10 ⁻¹⁰)	1,244	單光纖 : class A : -25dBm class B : -25dBm class C : -26dBm 雙光纖 :	class B : -25dBm class B+ : - class C : -26dBm

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	ITU 標準規範	中國大陸標準規範
		class A : -25dBm class B : -25dBm classC : -25dBm	
	2,488	單光纖： class A : -21dBm class B : -21dBm class B+ : -27dBm class C : -28dBm class C+ : -30dBm 雙光纖： class A : -21dBm class B : -21dBm class C : -28dBm	class B : -21dBm class B+ : -27dBm class C : -28dBm
接收機過載 功率	1,244	單光纖： class A : -4dBm class B : -4dBm classC : -4dBm 雙光纖： class A : -4dBm class B : -4dBm classC : -4dBm	class B : -4dBm class B+ : - class C : -4dBm
	2,488	單光纖： class A : -1dBm class B : -1dBm class B+ : -8dBm class C : -8dBm class C+ : -8dBm 雙光纖： class A : -1dBm	class B : -1dBm class B+ : -8 dBm class C : -8dBm

檢測項目	傳輸速率 (單位 Mbps)	ITU 標準規範	中國大陸標準規範
		class B : -1dBm class C : -8dBm	
發射機無輸入時之發射功率	1,244	單光纖： class A : -34dBm class B : -38dBm class B+ : -38dBm class C : -39dBm class C+ : -42dBm 雙光纖： class A : -34dBm class B : -38dBm class C : -39dBm	class B : -35dBm class B+ : - class C : -36dBm
	2,488	未制訂	class B : -31dBm class B+ : -37dBm class C : -38dBm

資料來源：ITU-T G.984.2(2003)、中國大陸通信行業標準 YD/T1995-2009，本研究團隊整理

表 5- 國際標準組織 IEEE 與中國大陸 EPON 終端設備光介面技術規範比較

檢測項目	IEEE 標準規範	中國大陸標準規範
發射功率	-1~+4dBm	-1~+4dBm
發射機無輸入時之發射功率	-45dBm	-45dBm
發射波長	1,260nm~1,360nm	1,260nm~1,360nm
單縱模雷射 -20dB 頻寬	未制訂	<1nm

檢測項目	IEEE 標準規範	中國大陸標準規範
單縱模雷射 邊模抑制比	未制訂	>30dB
發射機眼圖	X1 : 0.22UI X2 : 0.375 UI Y1 : 0.20 UI Y2 : 0.20 UI Y3 : 0.30 UI	X1 : 0.22UI X2 : 0.375 UI Y1 : 0.20 UI Y2 : 0.20 UI Y3 : 0.30 UI
消光比	>6dB	>6dB
光調變振幅(OMA)	>-0.22dBm/0.95mW	>-0.22dBm/0.95mW
接收機靈敏度(BER<10 ⁻¹²)	<-24dBm	<-24dBm
接收機過載功率 (BER<10 ⁻¹²)	<-3dBm	<-3dBm
接收機反射功率比	1000BASE-PX10-U : <-6dB 1000BASE-PX20-U : <-10dB	<-12dB

資料來源：IEEE 802.3-2008、中國大陸通信行業標準 YD/T1531-2006，本研究團隊整理

第6章研究發現

本研究在參照國際組織與先進國家對於 NGN 技術標準、發展進程與終端設備技術規範，歸納以下重要發現：

第1節 NGN 寬頻接取網路技術發展現況與趨勢

原本獨立傳輸與服務的電信、廣播及網際網路，經由 NGN 以 IP 封包為基礎的架構進行演進與匯流，提供匯流化的 NGN 應用服務「網路電視」(IPTV)、「高畫質電視」(HDTV)、視訊會議、線上遊戲及家庭網路等，進而帶動接取頻寬需求發展趨勢。利用傳統銅絞線網路所提供的寬頻接取服務，逐漸面臨技術上瓶頸無法提供更高速的傳輸速率，因應此一發展趨勢具有 Gbps 以上傳輸效能的光接取網路，隨著科技進步突破技術障礙，已逐漸成為電信業者建置寬頻接取網路採用主要技術標準之一，如表 6-1 所示。依據國際標準組織 ITU、IEEE 光接取網路技術標準，以網路中繼設備型態(例如：交換機、路由器及分歧器)，可區分主動式(AON)與被動式(PON)網路兩大類型，在佈建成本與傳輸效益(Gbps 以上)考量下，被動式光接取網路已逐漸成為光纖連網服務主要佈建技術 [7-12], [66]。

表 6- 有線寬頻接取網路傳輸效能比較表

技術標準	下行/上行 最高傳輸速率 (Mbps)
ADSL 1	8/1
ADSL 2	12/3.5
ADSL 2+	24/3.3
VDSL	55/3
VDSL 2	200/200
EPON	1,250/1,250
GPON	2,488/1,244
XG-PON	9,953/2,488
10G-EPON	10,312/10,312

技術標準	下行/上行 最高傳輸速率 (Mbps)
AON	1,000/1,000
DOCSIS 3.0	444/122

資料來源：ITU、IEEE、ETSI、ANSI、Cable Lab，本研究團隊整理

在研究被動式光接取網路技術標準發展進程，發現目前國際上主流技術是以 GPON、EPON 為主，拜光纖傳輸科技進步迅速具有 10Gbps 傳輸速度的 XG-PON(ITU，2010 年公佈)、10G-EPON(IEEE，2009 年公佈)，分別成為 GPON 與 EPON 後續發展技術標準，並兼具向下相容功能，提供電信業者與有線電視業者佈建光接取網路或是升級既有 GPON 與 EPON 網路規劃之依據。

另外，隨著光纖化接取網路逐漸取代傳統銅絞線網路的發展趨勢，光接取網路的佈建服務的範圍從大樓、路邊、企業用戶持續擴大至線路交接箱、家庭用戶、行動通信基地臺等，原本光接取網路的終端設備，亦產生不同功能角色之變異，造成監理機關後續管理之困難度。經由本研究團隊研究國際標準技術發現，依據網路佈建型態及終端設備安裝位置，光接取網路終端設備可區分為局端延伸設備(例如 MDU/MTU/CBU..)，以及用戶終端設備(例如：ONU/ONT)，且主要規範其光介面技術標準。

第2節世界先進國家 NGN 發展現況與進程

基於 NGN 匯流化應用服務獲得消費者廣泛地接納的發展趨勢，消費者不需再受限於特定技術或設備，可以選擇任何一個業者提供的傳輸平台取得所想要的任何種類的應用服務，消費者透過最後一哩網路接取至應用服務傳輸平台。因此，連接消費者最后一哩接取網路傳輸效能，將成為 NGN 產業發展關鍵因素之一。根據本研究研析英國、美國、澳洲、日本、韓國及中國大陸等世界先進國家 NGN 的發展進程發現，完善寬頻基礎網路環境為各國 NGN 主要發展策略，且並透過政府主導、降低管制、獎補助、投資抵免..等措施與誘因，提升電信業者投資建設具有高傳輸品質與頻寬的光纖化接取網路取代傳統銅絞線網路，作為國家 ICT 產業的發展基石，其中以日本、韓國及中國大陸等亞洲鄰國寬頻網路政策展現積極，分別以 100Mbps 傳輸速率為目標，作為國家 NGN 寬頻網路政策的重要評估指標。

第3節 NGN 終端設備技術規範發展趨勢

依據本研究對於 NGN 光接取網路終端設備技術規範的研究，發現 ITU、IEEE 等國際標準組織制訂其 GPON/XGPON、EPON/10G-EPON 光接取網

路及終端設備技術標準，主要規範其光介面各項功能參數標準值，使用者網路介面(電介面)考量服務的延展性與電信業者網路佈建的彈性，並另未訂標準，電信業者得以依據服務特性沿用既有使用者網路介面(例如：Ethernet、WLAN..等)提供多樣化的光纖連結服務。

其中，國際標準組織 ITU 考量電信市場在開放競爭情況下，電信業者建置光纖化的接取網路時，其 OLT 與 ONU/ONT，可能由不同供應商所製造生產，為使電信業者在使用不同供應商之 OLT 與 ONU/ONT 能互通操作與確保系統效能，ITU 針對 GPON 制訂實體層符合性驗證、ONU/ONT 啟用及管理、光網路終端設備管理及控制介面 (OMCI)驗證、系統效能測試與故障復原等檢測項目標準提供電信業者建置光接取網路(GPON)參考依據。

另外，本研究亦發現世界先進國家對於 NGN 光接取網路終端設備之光介面技術監理規範，大都開放業者直接依循國際電信標準組織(ITU IEEE)技術標準，而不另訂國家技術標準規範，唯中國大陸援引其國內業界標準，作為國家訂定之產業標準。另一方面具有多樣化的組合的 NGN 光接取網路終端設備之電介面，各國技術監理規範主要針對使用無線電波為傳輸媒介的服務介面(例如：WLAN)，爰用相關射頻電機技術規範進行管制(例如：我國低功率射頻電機技術規範、FCC Title 47 Part 15、Ofcom UK Interface Requirement 2005/2006..等) [29-30] ,[33]。

第4節產官學研座談會意見分析

本研究計畫除了研析國際標準組織與世界先進國家之 NGN 與終端設備技術規範發展外，為使本研究成果能符合國內產業發展需求，本研究團隊於 2012 年 11 月 15 日邀請電信業者(台灣固網)、專家學者(成功大學陳立祥教授、中華電信研究所陳聰謀副研究員)、有線電視業者(新永安、慶聯)、製造業者(盟創科技)及電信技術中心等國內專家先進，參加座談會討論我國 NGN 發展策略、光接取網路及其終端設備規管等議題之建議與意見，藉此凝聚各界共識。提供通傳會推動 NGN 發展參考，詳細會議記錄參見附錄二。以下為本研究團隊綜整座談會之意見分析：

■ NGN 發展政策對於推動產業（電信業、製造業...）發展重要性

與會專家學者表示 NGN 發展政策對於推動各種產業發展是存在著其重要性的，並且依照世界各國寬頻發展的現況，各國皆認定 NGN 的發展對國家經濟的提升是一個重要的指標，以韓國為例，現階段韓國已成為寬頻普及之冠，但韓國政府並不滿足，更向上推展到 10Gbps 的階段。而韓國的經濟成長是非常明顯的上升，顯然網路的發展對國家的重要性意義非常重大。

我國 NGN 發展政策對於營運商來說還有許多必須商討的事情，營運商認為我國對各方營運商之間並沒有做到一個良好協調者的工作，在規範方面各營運商普遍認為國家應該來規管的方向應該屬於安全與技術品質方面，而不是政府規定所有營運商必須使用某種特定的技術來達成網路速度的提升，這樣不只侷限了 NGN 的發展，對於營運商之間的公平競爭且用戶也沒有辦法擁有多樣的選擇。而對於現行對於 NGN 發展的政策，營運商認為這些政策並沒有完整的配套措施，對於未來的 NGN 發展的政策，勢必還要政府再深入研究。

■ 光接取網路終端設備技術規範重要性

專家學者對於光接取網路終端設備技術規範重要性是表示認同的，並提出了相當多的例子，如日本為瞭解全光纖化的網路可能遭遇之問題，在 15 年前蓋了一個實驗性的全光纖化的小鎮，作為日本發展 NGN 的參考基礎。

另外由於以光纖為傳輸媒介的網路並不涉及射頻干擾與調和的問題，且 OLT 與 ONU/ONT 互通的議題主要發生在管理層(OMCI)，目前實體層可能發生互通的問題，目前只有日本消費者因為可自行購買 ONT 設備安裝可能衍生互通問題。因此建議通傳會制訂光接取網路終端設備技術規範項目應以電磁相容與電氣安全性為主。

■ 光接取網路終端設備技術規範建議

與會專家學者對於本研究團隊提出的光接取網路終端設備技術規範項目皆表示符合產業需求。另外，由於台灣網際網路的繁榮普及，亦造成資安漏洞的疑慮，建議主管機關制訂終端設備技術規範時，應將資安議題的檢測項目也列入範圍。

第7章 結論與建議

綜整世界先進國家 NGN 發展策略，推動光接取網路取代傳統銅絞線接取網路儼然成為固定通信網路未來發展趨勢，然而投資鉅資建置光接取網路環境，除了技術藩籬的消融，亦需政府規劃配套措施(例如：政府主導、降低管制、獎補助、投資抵免..等)，以影響電信業者投資之意願。有鑑於我國固定通信網路市場最後一哩不對稱的結構，以及平等接取規範影響下，為提升電信業者建置光接取網路之意願，並兼顧我國電信法之完整性，以健全我國 NGN 寬頻網路發展，本研究團隊建議通傳會，針對安裝於用戶/企業內提供光纖到府(FTTH)服務之光接取網路終端設備(ONU/ONT)[81]，採取以下技術監理措施：

第1節 立即可行建議

依據本研究發現安裝於用戶家庭/企業內之光接取網路終端設備(ONU/ONT)，除具有光介面連接局端設備外，亦提供至少一種以上之使用者網路介面/埠(UNI)連接消費者設備，例如：乙太網路(Ethernet)、無線網路(WLAN)、數據專線(Leased Line)。考量世界先進國家對於光接取網路終端設備技術監理採取低度管制趨勢與促進我國光接取網路佈建速度，並兼顧我國電信法第 42 條與我國電信終端設備審驗辦法之規範。因此，本研究建議通傳會，爰用電信終端設備審驗辦法管理以下類型之終端設備(ONU/ONT) [8], [10-12]，確保設備運作與人員操作之安全性，以及頻率和諧有效共用[57-60]。

- 提供之使用者網路介面(UNI)：為乙太網路(Ethernet)或數據專線(Leased Line)者，開放符合國際標準組織(ITU、IEEE)光介面標準規範，針對其電磁相容性與電氣安全性等型式認證規範項目進行審驗。
- 提供之使用者網路介面(UNI)：為無線網路(WLAN)者，開放符合國際標準組織(ITU、IEEE)光介面標準規範，除其電磁相容性與電氣安全性等型式認證規範項目進行審驗外。並需依據我國『低功率電波輻射性電機管理辦法』第 5 條規定，進行審驗符合『低功率射頻電機技術規範』後，始可輸入與販售。

第2節 中、長期建議

為消弭未來電信業者佈建光接取網路時，局端設備(OLT)與用戶終端設備(ONU/ONT)可能由不同供應商所製造生產或是電信業者開放消費者自行購買終端設備連接網路，所可能造成互通性與網路效能等不確定因素。本研究參考國際標準組織(ITU 及 IEEE)被動式光接取網路終端設備技術標準、互通性測試技術規範與世界先進國家終端設備技術規範[6],[55-56]，並考量被動式光纖接取網路為未來發展趨勢。爰擬具『被動式光纖網路(PON)終端設備技術規範』

建議草案，俾利通傳會推動 NGN 寬頻接取網路技術監理參考之依據，共計七條，其要點如下，草案條文說明如表 7-1 所示：

- 一、法源依據。（草案第一條）
- 二、適用範圍。（草案第二條）
- 三、內容及參考。（草案第三條）
- 四、用詞定義。（草案第四條）
- 五、PON 系統架構。（草案第五條）
- 六、檢驗項目及合格標準。（草案第六條）
- 七、測試方法。（草案第七條）

表 7- 被動式光纖網路（PON）終端設備技術規範建議草案

條文	說明
第一條本規範係依據電信法第四十二條第一項規定訂定之。	本條規定本規範之訂定依據，即電信法第四十二條第一項，連接第一類電信事業所設電信機線設備之電信終端設備，應符合技術規範，並經審驗合格，始得輸入或販賣；其技術規範由通傳會訂定公告之。
第二條本規範適用於被動式光纖網路終端設備 ONU/ONT(Optical Network Unit/Terminal)。	本條規定適用於本規範之設備範圍。
第三條本規範訂定之被動式光纖網路(PON)終端設備檢驗項目參考標準。	本條規定本規範之被動式光纖網路(PON)終端設備檢驗項目訂定參考之國際組織與標準(ITU、IEEE)。
第四條本規範訂定之被動式光纖網路專業術語。	本條規定本規範被動式光纖網路相關用詞與定義，詳如表 7-2 所示。
第五條本規範訂定之被動式光纖網路架構	本條規定本規範被動式光纖網路架構與相關節點說明。

條文	說明
第六條本規範訂定之被動式光纖網路(PON)終端設備檢驗項目及合格標準。	本條規定本規範之被動式光纖網路(PON)終端設備檢驗項目及合格標準，詳如表 7-3 所示。
第七條本規範訂定之被動式光纖網路(PON)終端設備檢驗程序。	本條規定本規範之被動式光纖網路(PON)終端設備測試方法與步驟說明，詳如本章第二節第一條所示。

表 7- 被動式光纖網路專業術語

英文縮寫	中文	英文全名
BER	誤碼率	Bit Error Rate
EPON	乙太被動式光纖網路	Ethernet Passive Optical Network
FTTB	光纖到樓	Fiber to the Building
FTTC	光纖到路邊	Fiber to the Curb
FTTCab	光纖到交接箱	Fiber to the Cabinet
FTTH	光纖到家	Fiber to the Home
GPON	稀位元能力被動式光纖網路	Gigabit-capable Passive Optical Network
ODN	光配送網路	Optical Distribution Network
OLT	光局端設備	Optical Line Terminal
OPM	光功率表	Optical Power Meter
OSA	光頻譜分析儀	Optical Spectrum Analyzer
ONU/ONT	光網路終端設備	Optical Network Unit/Terminal
PON	被動式光纖網路	Passive-Optical-Network
WDM	波長多工	Wavelength Division Multiplex

英文縮寫	中文	英文全名

表 7- 終端設備 ONU/ONT 檢驗明細表

項次	檢 驗 項 目	合 格 標 準
1	發射工作波長範圍 (Operating Wavelength Range)	● GPON 設備須符合 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之工作波長規範值，如表 7-4[8]。 ● XG-PON 設備須符合 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之工作波長規範值：1,260~1,280 nm(1270nm±10nm)[10]。 ● EPON 設備須符合 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之發射機工作波長規範值：1,260~1,360 nm(1310nm±50nm)[58]。 ● 10G-EPON 設備須符合 IEEE 802.3av-2009 發射機(光介面 O_{ru})之工作波長規範值，如表 7-5[12]。
2	平均發射功率 (Average Launch Power)	● GPON 設備須符合 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之平均最小與最大發射功率規範值，如表 7-6。 ● XG-PON 設備須符合 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之平均最小與最大發射功率規範值，如表 7-7。 ● EPON 設備須符合 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之發射機平均最小與最大發射功率規範值：-1dBm~+4dBm。 ● 10G-EPON 設備須符合 IEEE 802.3av-2009 之發射機平均最小與最大發射功率規範值，如表 7-8。
3	發射機眼圖遮罩 (Transmitter eye mask)	● GPON 設備須符合 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之發射機眼圖遮罩規範值，如圖 7-1。 ● XG-PON 設備須符合 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之發射機眼圖遮罩規範值，如圖 7-2。

項次	檢 驗 項 目	合 格 標 準
		● EPON 設備須符合 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之發射機眼圖遮罩規範值，如圖 7-3。 ● 10G-EPON 設備須符合 IEEE 802.3av-2009 之發射機眼圖遮罩規範值，如圖 7-3 及圖 7-4。
4	消光比 (Extinction Ratio)	● GPON 設備須大於或等於 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之消光比規範值：10dB。 ● XG-PON 設備須大於或等於 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之消光比規範值：8.2dB。 ● EPON 設備須大於或等於 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之發射機消光比規範值：6dB。 ● 10G-EPON 設備須大於或等於 IEEE 802.3av-2009 10/1GBASE-PRX-U1/U2/U3 或 10GBASE-PR-U1/U2 之發射機消光比規範值：6dB。
5	發射機洩漏功率 (Average launch power of OFF transmitter)	● GPON 設備須小於或等於 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之發射機洩漏功率規範值，如表 7-9。 ● XG-PON 設備須小於或等於 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 發射機(光介面 O_{ru})之發射機洩漏功率規範值，如表 7-10。 ● EPON 設備須小於或等於 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之發射機洩漏功率規範值：-45dBm。 ● 10G-EPON 設備須小於或等於 IEEE 802.3av-2009 802.3av-2009 10/1GBASE-PRX-U1/U2/U3 或 10GBASE-PR-U1/U2 之發射機洩漏功率規範值：-45dBm。
6	接 收 靈 敏 度 (Minimum Receiver Sensitivity)	● GPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-10} (Class C+：10^{-4})情況下，須小於或等於 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 接收機(光介面 O_{rd})之最小靈敏度規範值，如表 7-11。

項次	檢 驗 項 目	合 格 標 準
		● XG-PON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-3} 情況下，須小於或等於 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 接收機(光介面 O_{rd})之最小靈敏度規範值，如表 7-12。 ● EPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-12} 情況下，須小於或等於 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之接收機最小靈敏度規範值：-24dBm。 ● 10G-EPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-3} 情況下，須小於或等於 IEEE 802.3av-2009 10GBASE-PR-U1、10/1GBASE-PRX-U1、10/1GBASE-PRX-U2 之接收機最小靈敏度規範值：-20.5dBm 或 10GBASE-PR-U3、10/1GBASE-PRX-U3 之接收機最小靈敏度規範值：-28.5dBm。
7	接 收 過 載 功 率 (Minimum Overload)	● GPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-10} 情況下，須大於或等於 ITU-T Rec.G.984.2 ONU/ONT 接收機(光介面 O_{rd})之接收過載功率規範值，如表 7-13。 ● XG-PON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-3} 情況下，須大於或等於 ITU-T Rec.G.987.2 ONU/ONT 接收機(光介面 O_{rd})之接收過載功率規範值，如表 7-14。 ● EPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-12} 情況下，須大於或等於 IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10-U 或 1000BASE-PX20-U 之接收過載功率規範值：-3dBm。 ● 10G-EPON 設備在接收誤碼率(BER)小於或等於 10^{-3} 情況下，須大於或等於 IEEE 802.3av-2009 10GBASE-PR-U1、10/1GBASE-PRX-U1、10/1GBASE-PRX-U2 之接收過載功率規範值：+1dBm 或 10GBASE-PR-U3、10/1GBASE-PRX-U3 之接收過載功率規範值：-9dBm。
8	雷擊測試 (Surge Testing)	經雷擊波試驗後，設備須可正常工作[82]。

項次	檢 驗 項 目	合 格 標 準
9	電氣安全(Safety)	須符合 CNS 14336-1 標準。
10	電磁相容(EMC)	須符合 CNS 13438 標準。

表 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之工作波長規範值

傳輸速率 單位：Mbps	波長合格範圍 單位：nm
155.52	1,260~1,360(1310nm±50nm)
622.08	MLM Type 1 or SLM: 1,260~1,360 (1310nm±50nm) MLM type 2: 1,280~1,350(1315nm±35nm) MLM type 3: 1,288~1,338(1313nm±25nm)
1,244.16	1260~1360(1310nm±50nm) Class C+：1290~1330(1310±20nm)

資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)

表 7- IEEE 802.3av-2009 ONU/ONT 發射機之工作波長規範值

實體層類型	波長合格範圍(單位：nm)
10GBASE-PR-U1	1,260~1,280(1,270nm±10nm)
10GBASE-PR-U3	
10/1GBASE-PRX-U1	1260~1360(1310nm±50nm)
10/1GBASE-PRX-U2	
10/1GBASE-PRX-U3	

資料來源：IEEE 802.3av-2009

表 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值

傳輸速率 單位 Mbps		單光纖					雙光纖			
		ODN 類型					ODN 類型			
		A	B	B+	C	C+	A	B	C	
155.52	最小	-6	-4	-	-2	-	-6	-4	-2	單位 dBm
	最大	0	+2	-	+4	-	-1	+1	+3	
622.08	最小	-6	-1	-	-1	-	-6	-1	-1	
	最大	-1	+4	-	+4	-	-1	+4	+4	
1,244.16	最小	-3	-2	+0.5	+2	+0.5	-3	-2	+2	
	最大	+2	+3	+5	+7	+5	+2	+3	+7	

資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)

表 7- ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值

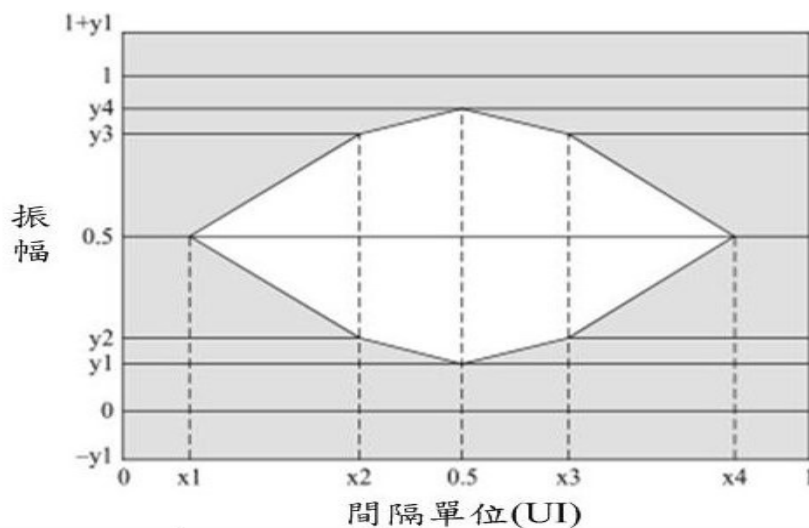
傳輸速率 單位：Gbps		ODN 類型				
		N1	N2	E1	E2	
2.48832	最小	+2	+2	+2	+2	單位 dBm
	最大	+7	+7	+7	+7	

資料來源：ITU-T Rec. G.987.2(2010)

表 7- IEEE 802.3av-2009 ONU/ONT 發射機之平均發射功率規範值

實體層類型	平均發射功率		
	最小	最大	
10GBASE-PR-U1	-1	+4	單位：dBm
10GBASE-PR-U3	+7	+9	
10/1GBASE-PRX-U1	-1	+4	
10/1GBASE-PRX-U2			
10/1GBASE-PRX-U3	+0.62	+5.62	

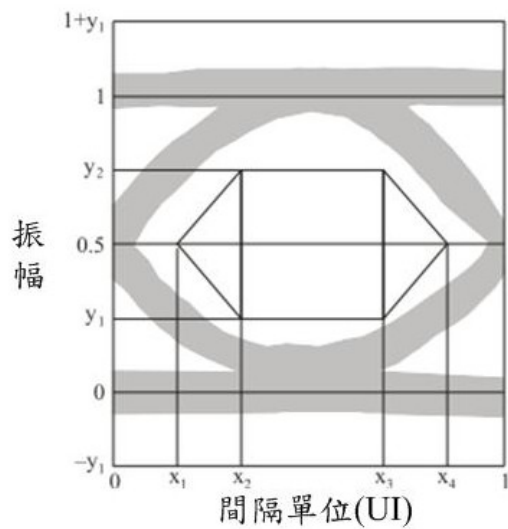
資料來源：IEEE 802.3av-2009



發射機眼圖定義	傳輸速率(單位:Mbps)		
	155.52	622.08	1244.16
x1/x4	0.10/0.90	0.20/0.80	0.22/0.78
x2/x3	0.35/0.65	0.40/0.60	0.40/0.60
y1/y4	0.13/0.87	0.15/0.85	0.17/0.83
y2/y3	0.20/0.80	0.20/0.80	0.20/0.80

圖 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範值

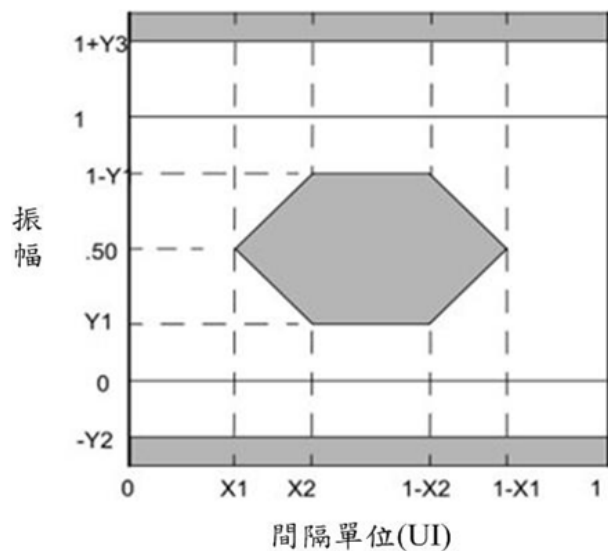
資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)



發射機眼圖定義	傳輸速率(單位:Gbps)	
	2.48832	
x3-x2	0.2	
y1	0.25	
y2	0.75	

圖 7- ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機眼圖遮罩規範值

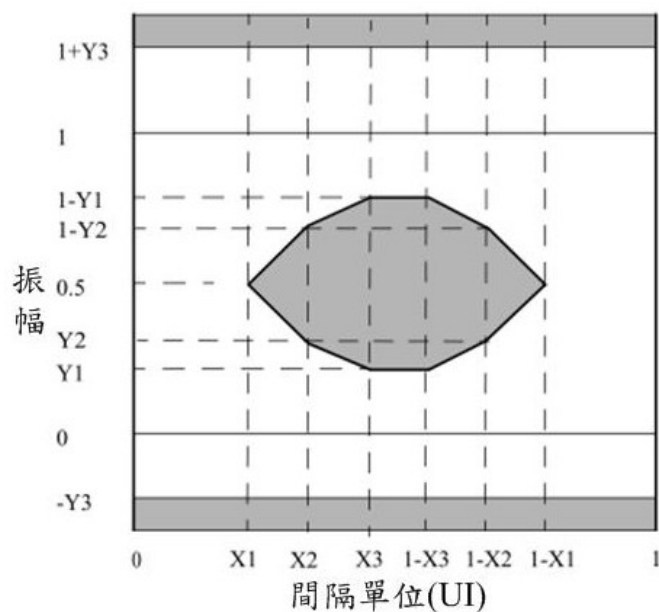
資料來源：ITU-T Rec. G.987.2(2010)



發射機眼圖定義	介面標準				
	1000BASE -PX10-U	1000BASE -PX20-U	10/1GBASE -PRX-U1	10/1GBASE -PRX-U2	10/1GBASE -PRX-U3
{X1,X2,Y1,Y2,Y3}	{0.22,0.375,0.20,0.20,0.30}				

圖 7- IEEE 802.3-2008 1000BASE-PX10/20-U 與 IEEE 802.3av-2009 10/1GBASE-PRX-U1/U2/U3 發射機眼圖遮罩規範值

資料來源：IEEE 802.3-2008、IEEE 802.3av-2009



發射機眼圖定義	介面標準	
	10GBASE - PR-U1	10GBASE - PR-U3
{X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3}	{0.25, 0.40, 0.45, 0.25, 0.28, 0.40}	

圖 7- IEEE 802.3av-2009 10GBASE-PR-U1/U3 發射機眼圖遮罩規範值

資料來源： IEEE 802.3av-2009

表 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 發射機之發射機洩漏功率規範值

	單光纖					雙光纖			
	ODN 類型					ODN 類型			
傳輸速率 單位：Mbps	A	B	B+	C	C+	A	B	C	
155.52	-37	-40	-	-43	-	-37	-40	-43	單位 dBm
622.08	-37	-37	-	-42	-	-37	-37	-42	
1,244.16	-34	-38	-38	-39	-42	-34	-38	-39	

資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)

表 7- ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 發射機之發射機洩漏功率規範值

傳輸速率	ODN 類型	
------	--------	--

單位：Gbps	N1	N2	E1	E2	
2.48832	- 37.5	- 39.5	- 41.5	- 43.5	單位：dBm

資料來源：ITU-T Rec. G.987.2(2010)

表 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 接收機之接收靈敏度規範值

	單光纖					雙光纖			
	ODN 類型					ODN 類型			
傳輸速率 單位：Mbps	A	B	B+	C	C+	A	B	C	
1,244.16	-25	-25	-	-26	-	-25	-25	-25	單位 dBm
2,488.32	-21	-21	-27	-28	-30	-21	-21	-28	

資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)

表 7- ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 接收機之接收靈敏度規範值

傳輸速率 單位：Gbps	ODN 類型						
	N1	N2		E1	E2		
9.95328		N2a	N2b		E2a	E2b	單位 dBm
	-28	-28	-21.5	-28	-28	-21.5	

資料來源：ITU-T Rec. G.987.2(2010)

表 7- ITU-T Rec. G.984.2 ONU/ONT 接收機之接收過載功率規範值

	單光纖					雙光纖			
	ODN 類型					ODN 類型			
傳輸速率 單位：Mbps	A	B	B+	C	C+	A	B	C	
1,244.16	-4	-4	-	-4	-	-4	-4	-4	單位 dBm
2,488.32	-1	-1	-8	-8	-8	-1	-1	-8	

資料來源：ITU-T Rec. G.984.2(2008)

表 7- ITU-T Rec. G.987.2 ONU/ONT 接收機之接收過載功率規範值

傳輸速率 單位：Gbps	ODN 類型						
	N1	N2		E1	E2		
9.95328		N2a	N2b		E2a	E2b	單位 dBm
	-8	-8	-3.5	-8	-8	-3.5	

資料來源：ITU-T Rec. G.987.2(2010)

1、『被動式光纖網路（PON）終端設備技術規範』建議草案，第七條測試方法

(1)發射工作波長範圍(Operating Wavelength Range)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 發射工作波長，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

2. 接線方式：

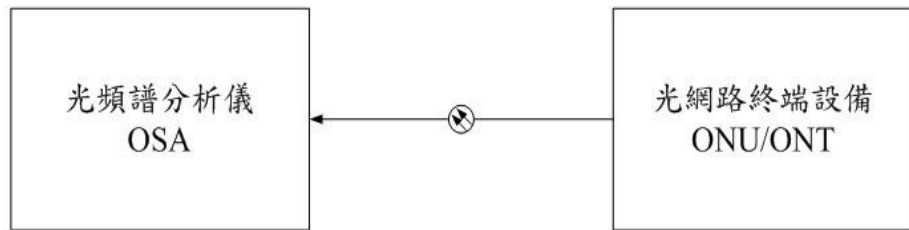


圖 7- ONU/ONT 發射工作波長測試接線圖

3. 測試步驟[6]：

- (1) 將受測 ONU/ONT 輸出端以光纖跳線連接至 OSA 輸入端，如圖 7-5。
- (2) 設定 OSA 在 WDM 測試模式。
- (3) 將受測 ONU/ONT 設定離線狀態，並依照符合受測 ONU/ONT 之標準設定輸出中心波長。
- (4) 設定受測 ONU/ONT 連續發送狀態，進行波長測試，並記錄 OSA 量測接收結果，受測 ONU/ONT 停止發送。
- (5) 重覆測試步驟(4) 5 次。

(2)平均發射功率(Average Launch Power)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 發射之光訊號功率，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

2. 接線方式：

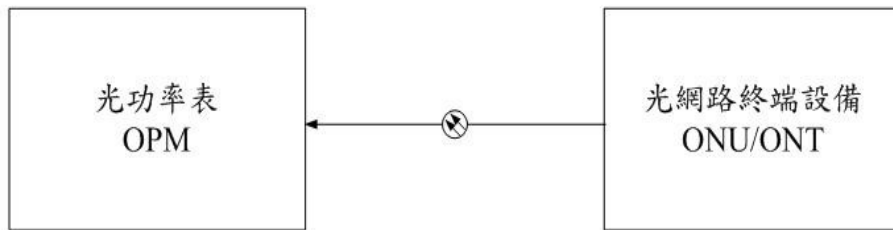


圖 7- ONU/ONT 平均發射功率測試接線圖

3. 測試步驟[6]：

- (1) 將受測 ONU/ONT 輸出端以光纖跳線連接至 OPM 輸入端，如圖 7-6。
 - (2) 將受測 ONU/ONT 設定離線狀態，設定受測 ONU/ONT 使用最小平均發射功率。
 - (3) 設定受測 ONU/ONT 連續發送狀態，進行最小平均發射功率測試，並記錄 OPM 量測結果，受測 ONU/ONT 停止發送。
 - (4) 重覆測試步驟(3) 5 次。
 - (5) 將受測 ONU/ONT 設定離線狀態，設定受測 ONU/ONT 使用最大平均發射功率。
 - (6) 設定受測 ONU/ONT 連續發送狀態，進行最大平均發射功率測試，並記錄 OPM 量測結果，受測 ONU/ONT 停止發送。
 - (7) 重覆測試步驟(6) 5 次。
- (3)發射機眼圖遮罩(Transmitter eye mask)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 發射之光訊號品質，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

2. 接線方式：

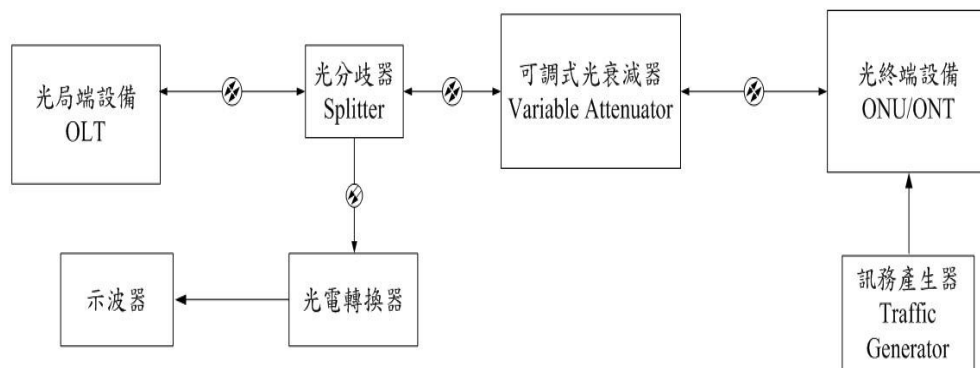


圖 7- ONU/ONT 發射機眼圖遮罩測試接線圖

3. 測試步驟[55-56]：

- (1) 將 OLT、光分歧器、可調式光衰减器、光電轉換器、示波器、訊務產生器與受測 ONU/ONT 連接，如圖 7-7。
- (2) 設定受測 ONU/ONT 及 OLT 在正常運作模式狀態，並設定訊務產生器產生測試訊號經由受測 ONU/ONT 傳送至 OLT。
- (3) 調整可調式光衰减器至符合光電轉換器允許之光訊號接收功率範圍。
- (4) 進行發射機眼圖遮罩測試，並記錄示波器顯示量測結果。

(4)消光比(Extinction Ratio)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 發射之已調變光訊號邏輯 1 與邏輯 0 功率比值，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

2. 接線方式：如圖 7-7。

3. 測試步驟[55-56]：

- (1) 將 OLT、光分歧器、可調式光衰减器、光電轉換器、示波器、訊務產生器與受測 ONU/ONT 連接，如圖 7-7。
- (2) 設定受測 ONU/ONT 及 OLT 在正常運作模式狀態，並設定訊務產生器產生測試訊號經由受測 ONU/ONT 傳送至 OLT。
- (3) 調整可調式光衰减器至符合光電轉換器允許之光訊號接收功率範圍。
- (4) 進行消光比測試，並記錄示波器顯示之邏輯 1 的光訊號功率 P_1 與邏輯 0 的光訊號功率 P_0 量測結果。
- (5) 計算消光比公式： $ER=10 \lg(P_1/P_0)$ 。
- (5)發射機洩漏功率(Average launch power of OFF transmitter)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 於電源開啟狀況，但無訊號輸入，發射機所洩漏之光訊號功率，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

2. 接線方式：

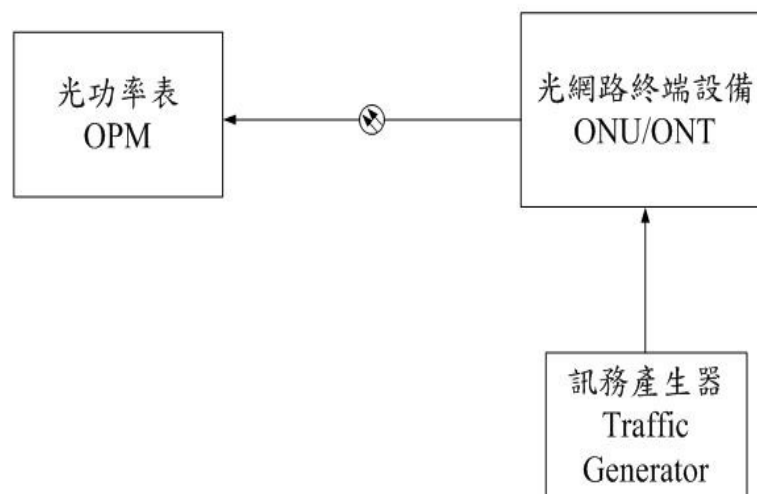


圖 7- ONU/ONT 發射機洩漏功率測試接線圖

3. 測試步驟[6]：

- (1) 將 OPM、訊務產生器與受測 ONU/ONT 連接，如圖 7-8。

(2) 設定受測 ONU/ONT 在正常運作模式狀態，並設定訊務產生器產生測試訊號，確認受測 ONU/ONT 正常發射光訊號。

(3) 停止訊務產生器輸出測試訊號，保持受測 ONU/ONT 在電源開啟狀況下。

(4) 進行發射機洩漏功率測試，並記錄 OPM 表顯示之光訊號功率量測結果。

(6)接收靈敏度(Minimum Receiver Sensitivity)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 接收來自光局端設備(OLT)發送之光信號，符合表 7-3 ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準，在最低的接收功率下亦不影響用戶端介面服務品質。

2. 接線方式：

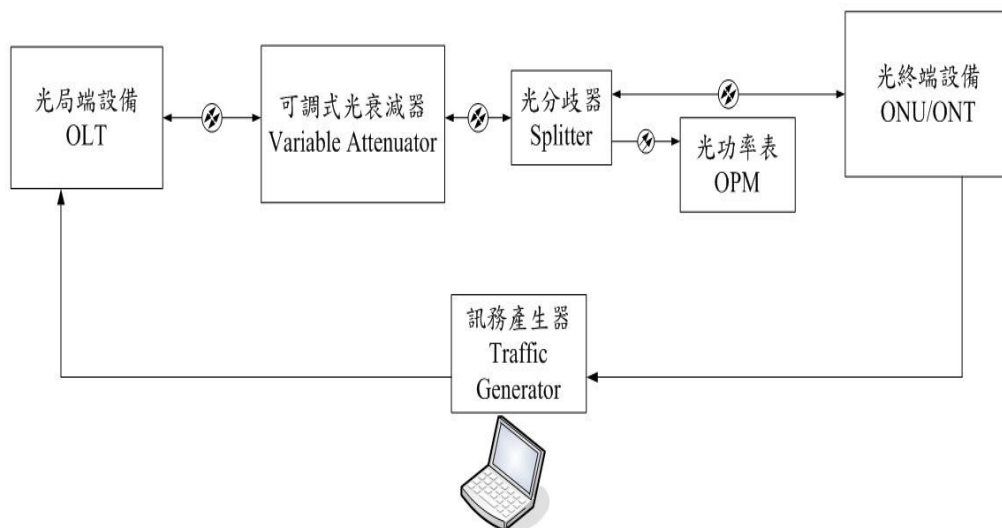


圖 7- ONU/ONT 接收靈敏度測試接線圖

3. 測試步驟[6]：

(1) 將 OLT、訊務產生器、光分歧器、可調式光衰減器、OPM 與受測 ONU/ONT 連接，如圖 7-9。

(2) 設定受測 ONU/ONT 及 OLT 在正常運作模式狀態，並設定訊務產生器產生測試訊號經由 OLT 傳送至受測 ONU/ONT。

(3) 調整可調式光衰減器至 OPM 顯示符合受測 ONU/ONT 之最低接收功率，如表 7-2 ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

(4) 清除訊務產生器錯誤與已傳送及接收資料，開始傳輸測試資料。

(5) 進行接收靈敏度測試，並記錄光功率表之功率數據與訊務產生器之 BER 量測結果。

(7)接收過載功率(Minimum Overload)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 接收來自 OLT 發送之光信號功率，符合表 7-3ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準，在最大的接收過載功率下亦不影響用戶端介面服務品質。

2. 接線方式：如圖 7-9。

3. 測試步驟[6]：

(1) 將 OLT、訊務產生器、光分歧器、可調式光衰減器、OPM 與受測 ONU/ONT 連接，如圖 7-9。

(2) 設定受測 ONU/ONT 及 OLT 在正常運作模式狀態，並設定訊務產生器產生測試訊號經由 OLT 傳送至受測 ONU/ONT。

(3) 調整可調式光衰減器至 OPM，顯示符合受測 ONU/ONT 之最大接收功率，如表 7-2 ONU/ONT 檢驗明細表之合格標準。

(4) 清除訊務產生器錯誤與已傳送及接收資料，開始傳輸測試資料。

(5) 進行接收功率過載測試，並記錄 OPM 之功率數據與訊務產生器之 BER 量測結果。

(8)雷擊測試(Surge Testing)

1. 目的：確認受測終端設備 ONU/ONT 接受交流電源線雷擊測試後，所有操作功能均須正常。

- (1) 交流電源線雷擊波形：前段時間(T_f) $\leq 2\mu s$ 、衝擊時間(T_d) $\geq 10\mu s$ 及峰值電壓 $\geq 2500V$ ，且雷擊產生器須具備 1,000A 以上的峰值電流能量。
- (2) 當終端設備在交流電源電力供應中(開機及關機狀態)，由電源線兩端之間施以雷擊，正向、反向各三次。

2. 接線方式：

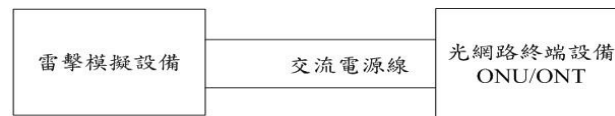


圖 7- ONU/ONT 交流電源線雷擊測試接線圖

3. 測試步驟[82]：

- (1) 設定交流電源線雷擊電壓波型之前段時間(T_f)、衝擊時間(T_d)及峰值電壓。
- (2) 設定受測 ONU/ONT 在開機狀態。
- (3) 電源線兩端之間施以雷擊，正向、反向各三次。
- (4) 紀錄及檢查受測 ONU/ONT 的功能。
- (5) 設定受測 ONU/ONT 在關機狀態，重複測試步驟(3)及(4)。

備註：開路雷擊電壓波形如圖 7-11 所示

前段時間(T_f)= $1.67 \times T$ (自頂點電壓 30%上升至 90%之時間)。

衝擊時間(T_d)：自虛擬原點至衰減到頂點電壓 50%之時間。

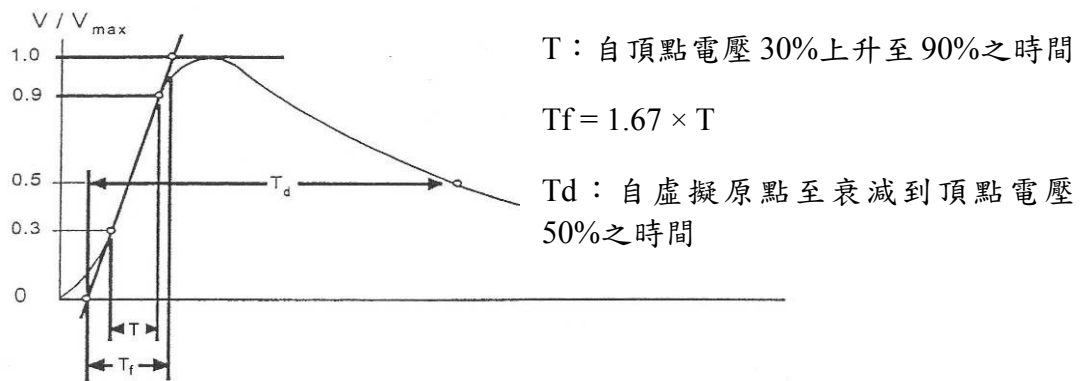
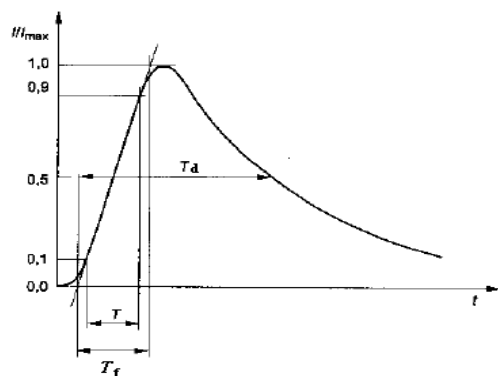


圖 7- 開路雷擊電壓波形

備註：短路雷擊電流波形如圖 7-12 所示

前段時間(T_f)= $1.25 \times T$ (自頂點電流 10% 上升至 90% 之時間)。

衝擊時間(T_d)：自虛擬原點至衰減到頂點電流 50% 之時間。



T ：自頂點電流 10% 上升至 90% 之時間

$$T_f = 1.25 \times T$$

T_d ：自虛擬原點至衰減到頂點電流 50% 之時間

圖 7- 短路雷擊電流波形

參考文獻

- [1] ETSI TR 180 001 V1.1.1 (2006-03), “Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Release 1”.
- [2] ETSI TS 181 002 V2.2.5 (2007-11), “Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); Multimedia Telephony with PSTN/ISDN simulation services”.
- [3] ETSI TS 183 063 V2.1.0 (2008-06), ” Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IMS-based IPTV stage 3 specification”.
- [4] ETSI ES 282 007 V2.1.1 (2008-11), “Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IP Multimedia Subsystem (IMS); Functional architecture”.
- [5] ETSI TS 183 063 V3.5.1 (2011-02), “Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IMS-based IPTV stage 3 specification”.
- [6] ITU-T Series G Supplement 46, ”G-PON interoperability test plan between optical line terminations and optical network units”,2009.
- [7] ITU-T G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON) General characteristics, 2008.
- [8] ITU-T G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON) Physical Media Dependent (PMD) layer specification, 2008.
- [9] ITU-T G.987.1 10-Gigabit-capable passive optical networks(XG-PON) General requirements, 2010.
- [10] ITU-T G.987.2 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON) Physical media dependent (PMD) layer specification, 2010.
- [11] IEEE 802.3-2008_section5,” Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications”,2008.
- [12] IEEE 802.3av-2009,” Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10Gb/s Passive Optical Networks”,2009.
- [13] 3GPP TS 23.206 V7.5.0 (2007-12), “Technical Specification Group Services and System Aspects; Voice Call Continuity (VCC) between Circuit Switched (CS) and IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2 (Release 7)”.
- [14] 3GPP TS23.228 V8.12.0 (2010-03), “Technical Specification Group Services and System Aspects; IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2”.
- [15] 3GPP TS 23.207 V11.0.0 (2012-09), “Technical Specification Group Services and System Aspects; End-to-end Quality of Service (QoS) concept and architecture (Release 11)”.

- [16] 3GPP TS 23.237 V11.5.0 (2012-06), “Technical Specification Group Services and System Aspects; IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 2 (Release 11)”.
- [17] 3GPP TS 23.517 V8.0.0 (2007-12), “Technical Specification Group Technical Specification Group Services and System Aspects; Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IP Multimedia Subsystem (IMS); Functional architecture (Release 8)”.
- [18] IETF RFC 3513 (2003-04), “Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture”.
- [19] IETF RFC 4007 (2005-03), “IPv6 Scoped Address Architecture”.
- [20] IETF RFC 4311 (2005-11), “IPv6 Host-to-Router Load Sharing”.
- [21] IETF RFC 5072 (2007-09), “IP Version 6 over PPP”.
- [22] IETF RFC 5175 (2008-03), “IPv6 Router Advertisement Flags Option”.
- [23] DOCSIS 3.0 CM-SP-CMCIv3.0-I01-080320 (2008-03), “Cable Modem to Customer Premise Equipment Interface Specification”.
- [24] DOCSIS 3.0 CM-SP-PHYv3.0-I10-111117 (2011-11), “Physical Layer Specification”.
- [25] DOCSIS 3.0 CM-SP-MULPIv3.0-I20-121113 (2012-12), “MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification”.
- [26] DOCSIS CM-TR-MGMTv3.0-DIFF-V01-071228 (2007-12), “DOCSIS® 3.0 Management Features Differences Technical Report”.
- [27] DOCSIS 3.0 CM-SP-SECv3.0-I14-120809 (2012-08), “Security Specification”.
- [28] Analysys Mason, “Fostering creative ambition in the UK Digital Economy,” Final report for the Department for Culture, Media and Sport, 2009/05.
- [29] Ofcom,UK Interface Requirement 2005 : ‘UK Radio Interface Requirement for Wideband Transmission Systems operating in the 2.4 GHz ISM Band and Using Wide Band Modulation Techniques’.
- [30] Ofcom,UK Interface Requirement 2006 : ‘Wireless Access Systems (WAS) including RLANs operating in the 5150-5725 MHz band’.
- [31] Plum, “Next Generation Networks: next generation regulation?” report for Ofta, 2012/01.
- [32] FCC, “Connecting America: the National Broadband Plan,” 2010/03.
- [33] FCC, Title 47 Telecommunication.
- [34] DBCDE, “Request for Proposals to Roll-out and Operate a National Broadband Network for Australia,” 2008/04.
- [35] DBCDE, “National Broadband Network: Regulatory Reform for 21st Century Broadband,” Discussion Paper, 2009/04.

- [36] DBCDE, “Telecommunications Legislation Amendment (Competition and Consumer Safeguards) Bill 2009,” A Bill for an Act to amend legislation relating to telecommunications, 2009/09.
- [37] DBCDE, “Telecommunications Legislation Amendment (Competition and Consumer Safeguards) Bill 2009,” Explanatory Memorandum, 2009/09.
- [38] DBCDE, “National Broadband Network Companies Bill 2010,” 2010/02.
- [39] DBCDE, “Telecommunications Legislation Amendment (National Broadband Network Measures—Access Arrangements) Bill 2010,” A Bill for an Act to amend legislation relating to telecommunications, 2010/02.
- [40] DBCDE, “National Broadband Network Companies Bill 2010 and Telecommunications Legislation Amendment (National Broadband Network Measures—Access Arrangements) Bill 2010,” Explanatory Notes for Exposure Drafts of Bills, 2010/02.
- [41] DBCDE, “Telecommunications Legislation Amendment (Competition and Consumer Safeguards) Bill 2009,” 2010/06.
- [42] DBCDE, “Implementation of Universal Service Policy for the Transition to the National Broadband Network Environment,” Discussion Paper, 2010/10.
- [43] DBCDE, “National Broadband Network: Progress update,” 2010/12.
- [44] DBCDE, “Convergence Review,” Background Paper, 2010/12, p4.
- [45] DBCDE, “Convergence questions and answers,” 2010/12,
http://www.dbcde.gov.au/digital_economy/convergence_review/questions_and_answers, visited on 2011/5/3.
- [46] DBCDE, “Major step forward for Government - Telstra - NBN Co Agreement,” 2011/02.
- [47] DBCDE, “Convergence Review Terms of Reference,” 2011/03.
- [48] DBCDE, “Address to Australian Broadcasting Summit,” speech, 2011/03.
- [49] MIC JP, “Information and Communications in Japan 2010?” 2011.
- [50] MIC JP, “Nationwide Broadband: Strategy for Japan,” slides, 2008/10.
- [51] KISDI, “Broadband Internet in Korea,” slides, 2012.
- [52] KT, “IR Presentation,” slides, 2012/02.
- [53] 十二五中國電信寬頻戰略解析
http://www.chinatelecom.com.cn/news/06/gwcs/gwjj/t20110428_71802.html
- [54] 中國大陸工業和資訊化部網站 http://www.gov.cn/zwgk/2010-04/08/content_1576039.htm
- [55] 中國大陸通信行業標準，YD/T1531-2006.
- [56] 中國大陸通信行業標準，YD/T1995-2009.
- [57] 國家通訊傳播委員會，電信法。
- [58] 國家通訊傳播委員會，電信終端設備審驗辦法。

- [59] 國家通訊傳播委員會，低功率電波輻射性電機管理辦法。
- [60] 國家通訊傳播委員會，LP0002 低功率射頻電機技術規範。
- [61] 國家通訊傳播委員會，寬頻上網帳號數(101 年)，
[http://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?
site_content_sn=2035&is_history=0&pages=0&sn_f=25721](http://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=2035&is_history=0&pages=0&sn_f=25721)
- [62] 中央研究院 FTTx 光世代服務簡介,網址:
http://newsletter.ascc.sinica.edu.tw/news/read_news.php?nid=1803
- [63] 光纖到家(FTTH：Fiber To The Home)技術簡介,工業技術研究院 江昭佑, 2007.
- [64] 智慧生活 GPON 技術暨互通測試發展趨勢,工業技術研究院 網址:
<http://www.fbblife.com.tw/47049068/article/content.aspx?ArticleID=597>
- [65] 華為科技，” Next-Generation PON Evolution”，2010.
- [66] ITU-T G.986 1Gbps point-to-point Ethernet-based optical access system, 2010.
- [67] ITU-T Handbook, Optical fibers,cables and systems, 2009.
- [68] Ofcom analyst briefing：” The Communications Market Report 2012.”
- [69] 日本總務省， “Toward Realization of the “New Broadband Super Highway (Hikari no Michi)” Plan,” Final Report (Draft), 2010/11.
- [70] J:COM, “Annual Report 2011,” 2012.
- [71] 行政院，數位匯流發展方案(2010-2015 年).
- [72] 行政院，國家資通訊發展方案 (2007-2011 年).
- [73] 行政院，國家資通訊發展方案 (2012-2016 年).
- [74] OECD Broadband statistics， 2011/12.
- [75] National Broadband Map,” Broadband Statistics Report”,2011
- [76] NTT, “IR Presentation: Appendices,”2012/11.
- [77] KISA,” Broadband Subscribers “,
<http://isis.kisa.or.kr/eng/sub01/?pageId=010400>
- [78] ARIB STD-33:’ LOW POWER DATA COMMUNICATION SYSTEM/WIRELESS LAN SYSTEM’.
- [79] ARIB STD-T66:’ SECOND GENERATION LOW POWER DATA COMMUNICATION SYSTEM/WIRELESS LAN SYSTEM’.
- [80] Australia,Radiocommunications (Low Interference Potential Devices) Class Licence 2000.
- [81] 光纖到家(FTTH：Fiber To The Home)技術簡介,工業技術研究院 江昭佑, 2007.

- [82] TIA-968-A Telecommunications Telephone Terminal Equipment Technical Requirements for Connection of Terminal Equipment to the Telephone Network,2002.

附錄

附錄一、原文對照表

英文縮寫	英文全名	中文
2G	second-generation	第二代行動通信
3G	third-generation	第三代行動通信
3GPP	third Generation Partnership Project	第三代合作夥伴計畫
4G	fourth-generation	第四代行動通信
A-RACF	Access-Resource and Admission Control Function	接取資源和管理控制功能
ACCC	Australian Competition and Consumer Commission	澳洲競爭暨消費者委員會
ACMA	Australian Communication and Media Authority	澳洲通訊媒體管理局
ACR	Anonymous Communication Rejection	匿名者通信抑制
ADSL	asymmetric digital subscriber line	非對稱數位用戶迴路
AF	Application Function	應用功能
AMF	Access Management Function	接取管理功能
APON	ATM-PON	非同步轉送模式被動式光纖網路
AON	Active Optical Network	主動式光纖網路
ARF	Access Relay Function	接取轉傳功能
ARRA	American Recovery and Reinvestment Act of 2009	美國經濟復甦與再投資法

英文縮寫	英文全名	中文
AS	Application Server	應用服務伺服器
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions	電信工業解決方案聯盟
ATM	Asynchronous Transfer Mode	非同步轉送模式
BPON	Broadband-PON	寬頻被動式光纖網路
BGCF	Breakout Gateway Control Function	出口閘道控制功能
BGF	Border Gateway Function	邊界閘道功能
BT	British Telecom	英國電信公司
CATV	Cable Television	有線電視
CBU	Cell-site Backhauling Unit	基站迴路單元
CDIV	Communication Diversion	通話轉移
CDR	Call Detail Record	通話明細紀錄
ccTLD	country code Top-Level Domain	國碼頂級網域名稱
CDMA	code division multiple access	分碼多路進接
CPE	Customer Premise Equipment	用戶端設備
CS	Circuit Switching	電路交換
CSCF	Call Session Control Function	呼叫會談控制功能
DLC	Digital Loop Carrier	數位用戶迴路載波機
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	有線纜線數據服務介面規範
DS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列展頻

英文縮寫	英文全名	中文
DSLAM	Digital Subscriber Loop Access Multiplexer	數位用戶迴路接取多工機
DVB-IP	Digital Video Broadcasting - internet protocol	數位視訊廣播－網際網路協定
DVB-IPi	Digital Video Broadcasting - internet protocol infrastructure	數位視訊廣播－網際網路協定基礎建設
ECT	Explicit Communication Transfer	明確呼叫轉傳
EMC	Electro Magnetic Compatibility	電磁相容性
ENUM	Telephone Number Mapping	電話號碼映射
EPON	Ethernet Passive Optical Network	乙太被動式光纖網路
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	歐洲電信標準協會
EX	extinction ratio	消光比
FCC	Federal Communications Commission	美國聯邦通訊委員會
FEC	Forward Error Correction	向前錯誤更正
FGNGN	Focus Group on NGN	次世代網路工作小組
FH	Frequency-hopping spread spectrum	跳頻展頻
FR	Frame Relay	訊框傳送
FTTB	Fiber to the Building	光纖到樓
FTTC	Fiber to the Curb	光纖到路邊
FTTCab	Fiber to the Cabinet	光纖到交接箱
FTTCell	Fiber To The Cell site	光纖到基站

英文縮寫	英文全名	中文
FTTH	Fiber to the Home	光纖到府
FTTN	Fiber-To-The-Node	光纖到節點
FTTP	Fiber To The Premises	光纖到戶
FTTO	Fiber To The Office	光纖到辦公室
GMII	Gigabit Media Independent Interface	介質獨立介面
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network	稀位元能力被動式光纖網路
gTLD	Generic Top-Level Domain	通用頂級網域名稱
HDTV	high definition television	高畫質電視
HFC	Hybrid Fiber-Coax	混合光纖同軸網路
HLR	Home Location Register	本籍位置記錄器
HSS	Home Subscriber Server	本籍網路用戶伺服器
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	超連結傳輸協定
I-CSCF	Interrogating- Call Session Control Function	查詢-呼叫會談控制功能
IAB	Internet Architecture Board	網際網路架構委員會
IAD	Integrated Access Device	整合型接取設備
IBCF	Interconnection Border Control Function	互連邊界控制功能
IBGF	Interconnection Border Gateway Function	互連邊界閘道功能
ICANN	The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers	網際網路名稱與號碼指配組織

英文縮寫	英文全名	中文
ICT	Information Communication Technology	資訊傳播科技
IETF	Internet Engineering Task Force	網際網路工程任務組
IFC	Initial Filter Criteria	初始過濾規則
IGMP	Internet Group Management Protocol	網際網路群組管理通訊協定
IM	Instant Messaging	即時訊息
IMS	IP Multimedia Subsystem	網際網路通訊協定多媒體子系統
IP	internet Protocol	網際網路通訊協定
IPTV	internet protocol television	網路電視
IPv6	Internet Protocol version 6	網際網路通訊協定第6版
ISDN	Integrated Services Digital Network	整體服務數位網路
ISI	inter-symbol interference	碼際干擾
ISUP	ISDN User Part	整體服務數位網路用戶端
ITU	International Telecommunication Union	國際電信聯合會
JRG-NGN	Joint Rapporteur Group on NGN	次世代網路聯合書記小組
KCC	Korea Communications Commission	韓國通訊委員會
LAN	local area network	區域網路
MAN	Metropolitan Area Network	都會區域網路

英文縮寫	英文全名	中文
MCID	Malicious Communication Identification	惡意通信識別碼
MDI	Medium Dependent Interface	介質相依介面
MDU	Multi-Dwelling Units	多住宅單元
MGCF	Media Gateway Control Function	媒體閘道控制功能
MGF	Media Gateway Function	媒體閘道功能
MGW	Media Gateway	媒體閘道
MIC	Ministry of Internal Affairs and Communications	日本總務省
MMS	Multimedia Messaging Service	多媒體服務
MRA	Multilateral Mutual Recognition	多邊相互承認
MRF	Media Resource Function	媒體資源功能
MRFC	Media Resource Function Controller	媒體資源功能控制器
MRFP	Media Resource Function Processor	媒體資源功能處理器
MWI	Message Waiting Indication	訊息等待指示
NAT	Network Address Translation	網路位址轉換
NASS	Network Attachment Subsystem	網路連接子系統
NCC	National Communications Commission	國家通訊傳播委員會
NTIA	National Telecommunications and Information Administration of the Department of Commerce	美國商務部
NGN	Next Generation Network	次世代網路

英文縮寫	英文全名	中文
NGN-GSI	NGN-Global Standards Initiative	次世代網路全球標準提議行動
NGAN	Next Generation Access Network	次世代接取網路
NPVR	Network Personal Video Recorder	網路個人錄影機
NRZ	non-return-to-zero	不歸零
OAM	Operations Administration and Maintenance	操作維護管理
OAN	Optical Access Network	光接取網路
ODF	Optical Distribution Frame	光配線架
ODN	Optical Distribution Network	光配送網路
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	經濟合作與發展組織
Ofcom	Office of Communications	英國通訊管理局
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交頻分複用
OIP	Originating Identification Presentation	發話者號碼顯示
OIR	Originating Identification Restriction	發話者號碼不顯示
OLT	Optical Line Termination	光網路局端設備
OMA	optical modulation amplitude	光調變振幅
OMCI	Optical Network Unit Management and Control Interface	光網路終端設備管理及控制介面
ONU/ONT	Optical Network Unit/Terminal	光網路終端設備
OPP	Optical Path Penalty	光路徑耗損

英文縮寫	英文全名	中文
ORL	Optical Return Loss	光反射損失
OSI	Open Systems Interconnection	開放系統互連
OSS	Operations Support System	維運支援系統
OTDR	Optical Time Domain Reflectmeter	時域反射儀
P2P	peer-to-peer	點對點
P2MP	point to multiple point	點對多點
P-CSCF	Proxy-Call Session Control Function	代理-呼叫會談控制功能
PCF	Policy Control Function	策略控制功能
PCSs	Physical Coding Sublayers	實體編碼子層
PDF	Policy Decision Function	策略決策功能
PDP	Packet Data Protocol	封包資料通訊協定
PLMN	public land mobile network	公眾地面行動網路
PMA	Physical Medium Attachment	實體介質附著層
PMD	Physical Media Dependent	實體介質相依層
PON	Passive-Optical-Network	被動式光纖網路
POS	Passive Optical Splitter	被動式光分歧器
POTS	Plain Old Telephone Service	傳統電話服務
PSTN	Public Switch Telephone Network	公眾交換電話網路
QoS	Quality of Service	服務品質

英文縮寫	英文全名	中文
RACS	Resource and Access Control Subsystem	資源及接取控制子系統
RF	Radio Frequency	射頻
RTSP	Real Time Streaming Protocol	即時資料流通訊協定
S-CSCF	Serving- Call Session Control Function	服務-呼叫會談控制功能
SBC	Session Border Controller	會談邊界控制器
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步數位階層
SIP	Session Initiation Protocol	會談起始協定
SLF	Subscription Locator Function	註冊定位功能
SLM	Single-Longitudinal Mode	單縱模
SMP	significant market power	市場主導者
SNI	Service Node Interface	服務節點介面
SONET	Synchronous Optical Network	同步光纖網路
SPDF	Service Policy Decision Function	服務策略決策功能
TDM	Time division multiplexing	分時多工
TDMA	Time Division Multiple Access	分時多工接取
TGW	Trunking Gateway	中繼閘道器
TIP	Terminating Identification Presentation	受話者號碼顯示
TIR	Terminating Identification Restriction	受話者號碼不顯示

英文縮寫	英文全名	中文
TISPAN	Telecoms & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networks	先進電信與網際網路整合服務與協定網路
UAAF	User Access Authorization Function	用戶接取授權功能
UBcN	Ultra Broadband convergence Network	韓國超高速寬頻匯流網路
UE	User Equipment	使用者設備
UI	Unit Interval	時間間隔單位
ULA	unique local address	唯一區域位址
UNI	User Network Interface	使用者網路介面
VDSL	Very High Bit-rate DSL	超高速數位用戶迴路
VoD	Video On Demand	隨選視訊
WBF	wavelength blocking filter	波長閉塞濾波器
WDM	Wavelength division multiplexing	分波多工
WLAN	wireless local area network	無線區域網路
xDSL	x Digital Subscriber Lines	各類型數位用戶迴路
XG-PON	10Gigabit-capable Passive Optical Network	10 稀位元能力被動式光纖網路

附錄二、座談會記錄

- 舉辦日期時間： 101 年 11 月 15 日（週四）上午 13:30～下午 16:00
- 舉辦地點：財團法人電信技術中心(路竹辦公大樓)
- 指導單位：國家通訊傳播委員會
- 主持人：王春清博士
- 與談人：出席代表

單位	姓名
高苑科技大學	王春清博士
國立虎尾科技大學	鄭旭志博士
國立聯合大學	曾信賓博士
國立成功大學	陳立祥博士
財團法人電信技術中心	胡志男 研究員
中華電信研究所	陳聰謀 副研究員
台灣固網	陳清松 經理
台灣固網	曾友惇 副理
盟創科技	蘇文進 副總
新永安有線電視股份有限公司	吳元景 副理
慶聯有線電視股份有限公司	林永得 副理

■

■ 會議記錄

1. NGN 政策議題專家學者意見

■

- 國家應該是訂定一個標準讓我們業者去達成，而不是制定用何種技術讓我們達成目標，效率與安全規範需要交由 NCC 決定，技術比較侷限在應用層面。有線電視業者也表示，目前光纖建置的夠密集，夠綿密，對未來的光纖化已有所準備。

■

- 寬頻網路的發展與普及是可以代表國家的競爭力，故寬頻接取網路的建設是 NGN 發展的關鍵因素之一。
- NGN 可以用各種服務系統去達成 不管是 EPON、GPON，100M 都可以去達成，而且臺灣的網路其實對很多人來說，已經用了，能降價比較對用戶比較實在，但是要提升到 100M 對國家整體經濟也會有相對應的提升，只是對單純上網的用戶的幫助可能沒有那麼大。
- ITU 所定義的 NGN 主要分為服務與傳輸兩個層面，政府目前在推動 NGN 發展時需要有完整的配套措施，除了寬頻基礎網路建設外，亦需加強扶植應用服務的發展，有了豐富的應用服務使用者才會有寬頻的需求產生，相對才有機會帶動電信業者增加光纖網路佈建的意願。
- ITU 所定義的 NGN 主要分為服務與傳輸兩個層面，政府目前在推動 NGN 發展時需要有完整的配套措施，除了寬頻基礎網路建設外，亦需加強扶植應用服務的發展，有了豐富的應用服務使用者才會有寬頻的需求產生，相對才有機會帶動電信業者增加光纖網路佈建的意願。
- 以韓國 NGN 發展經驗為實例，韓國政府推動 NGN 的策略，除了建置寬頻接取網路（2012 年提供 1Gbps 接取服務），並規劃完善的應用服務發展環境促進韓國線上遊戲產業的繁榮發展，亦帶動使用者頻寬的需求。

另外，以歐洲為例，由於大多數國家的電信業者其接取網路需擔負開放義務，因此影響電信業者投入建置光接取網路的意願。

■

■ 由於 NGN 是一個廣義的名詞，包含應用服務與傳輸網路各層面

■ 以韓國為例其政府在推動 NGN 發展是從上游至下游規劃完整配套措施，政府除了獎勵投資外，並協助電信業者解決建置上的障礙，且穩站於領先的地位。

■

■ 政府在推動 NGN 發展時，應要協助電信業者取得最後一哩管道使用權，才能促進業者加速寬頻接取網路佈建速度。

■

■ 以英國 NGN 發展經驗，建置大量寬頻基礎網路後，發現應用服務的成長與頻寬需求呈現不對稱性，故建議政府推動 NGN 發展應有整體性規劃。

■

■ 政府推動 NGN 需要有完善的配套措施，例如解除法令的管制、開放最後一哩管道..等。

2. 光接取網路終端設備技術規範議題專家學者意見

■

■ 光接取網路終端設備技術規範是 NGN 重要的一個環節，缺少這個部分消費者權益將受到影響。

■

■ 終端設備要相容非常困難，還不是一個政府能制定出來的東西，在中國大陸規格就非常多種，設備商也有很多因應的方法。

■

■ 設備互連問題，全世界只有日本可以做到互連，因為他們自己去開設一個規格來制定使用 但是台灣市場不夠大要做到兩端互連有一定的困難度。

■ 由於以光纖為傳輸媒介的網路並不涉及射頻干擾與調和的問題，且 OLT 與 ONU / ONT 互通的議題主要發生在管理層（OMCI），目前實體層可能發生互通的問題，只有日本消費者因為可自行購買 ONT 設備安裝可能衍生互通問題。因此建議研究團隊研擬 PON 終端設備技術規範項目應以電磁相容與電氣安全性為主。

■

■ 日本寬頻非常進步，市場也比臺灣大，目前終端設備相當普遍，所以互連不是問題。

- 以日本為例：15 年前日本已經制定未來的網路規劃，建造了一個村落來測試光纖網路的規劃，建議主管單位也可以考慮實際在一棟大樓裡面做一個實測，所有的問題，包含設備，空間，資金等等，都可以從最根本的上游到下游來探討，其他配套措施也可以考慮的到，如果政府要執行以後蓋大樓可以直接用 NGN 制定好的方式來興建。
-
- 由於中國大陸過去電信基礎網路普及程度低，近年來拜經濟發展消費者寬頻需求逐漸提升情況下，電信業者大都採用光纖建置接取網路，並訂有相關的產業規範，因此建議研究團隊可借鏡中國大陸發展經驗做為參考。
-
- 由於有線電視產業正在進行數位化轉換，且目前使用技術透過同軸電纜網路已可提供用戶 100Mbps 傳輸速率，故光纖連網到府服務大都還在實驗階段。
-
- 由於網際網路的繁榮普及，亦造成資安漏洞無所不在，建議主管機關制訂終端設備技術規範時，應將資安議題的檢測項目也列入範圍。
- 在 PON 終端設備技術規範所檢測的項目應以電磁相容與電氣安全性為主，至於光介面應由電信業者自行規範。

附錄三、訪談記錄

- 時間：2012 年 09 月 27 日下午 14:00~16:30
- 地點：盟創科技 4 樓會議室
- 出席者：盟創科技寬頻接入產品事業處蘇文進副總經理、趙偉成經理、王春清副教授、鄭旭志副教授、曾信賓助理教授
- 重點整理：

1. 您認為 NGN 發展政策對於推動產業(電信業、製造業..)發展重要性為何?

非常不重要	不重要	普通	重要	非常重要
			✓	

2. 您認為我國 NGN 發展政策是否明確?

非常不明確	不明確	普通	明確	非常明確
		✓		

3. 您認為 NGN 發展中，光接取網路(GPON/XGPON、EPON/10G EPON 及 Active Ethernet 等)的重要性為何？

非常不重要	不重要	普通	重要	非常重要
			✓	

4. 您認為臺灣與世界先進國家光接取網路普及程度為何？

0-30%	31-50%	51-70%	71-90%	91%以上
☐ 臺灣	☒ 臺灣	☐ 臺灣	☐ 臺灣	☐ 臺灣
☐ 美國	☐ 美國	☐ 美國	☒ 美國	☐ 美國
☐ 英國	☒ 英國	☐ 英國	☐ 英國	☐ 英國
☐ 日本	☐ 日本	☐ 日本	☐ 日本	☒ 日本
☐ 韓國	☐ 韓國	☐ 韓國	☐ 韓國	☒ 韓國
☐ 澳洲	☐ 澳洲	☐ 澳洲	☐ 澳洲	☐ 澳洲
☐ 中國大陸	☐ 中國大陸	☒ 中國大陸	☐ 中國大陸	☐ 中國大陸

5. 您認為光接取網路終端設備技術規範重要性為何？

非常不重要	不重要	普通	重要	非常重要
☐ 光介面	☐ 光介面	☐ 光介面	☒ 光介面	☐ 光介面
☐ 電介面	☐ 電介面	☐ 電介面	☒ 電介面	☐ 電介面

6. 您認為我國光接入網路終端設備技術規範是否明確？

非常不明確	不明確	普通	明確	非常明確
☐ 光介面 ☐ 電介面	☒ 光介面 ☐ 電介面	☐ 光介面 ☐ 電介面	☐ 光介面 ☒ 電介面	☐ 光介面 ☐ 電介面

7. 貴公司在發展光接入網路(GPON、EPON 及 Active Ethernet 等)產品時，參考哪些國際標準組織技術規範？或是哪些國家之技術規範？

國際標準組織	國家
☒ ITU ☒ IEEE ☐ 3GPP ☐ ETSI ☐ ANSI ☐ 其他	☒ 臺灣 ☒ 美國 ☐ 英國 ☐ 日本 ☐ 韓國 ☐ 澳洲 ☒ 中國大陸 ☐ 其他

8. 本研究計畫擬建議主管機關針對光接入網路(GPON/XGPON、EPON/10G EPON 及 Active Ethernet 等)制訂下列項目技術規範，以確保 ONU/ONT 之互通性與服務品質，您認為重要性？或是需要再增加哪些項目？

重要性排序	項目
1	發射工作波長範圍(Operating Wavelength Range)
2	平均發射功率(Average Launch Power)
7	發射機眼圖遮罩(Transmitter eye mask)
5	消光比(Extinction Ratio)
6	發射機洩漏功率(Average launch power of OFF transmitter)
3	接收靈敏度(Minimum Receiver Sensitivity)
4	接收過載功率(Minimum Overload)
8	雷擊實驗
9	電氣安全
10	電磁相容
	其他：

9. 你對於本研究計畫研究方向是否有其他建議與指教？

附錄四、期中報告審查意見回覆

項次	審查委員之意見	研究團隊之回應
1	應增加研究內容的廣度，例如：蒐集 ETSI/3GPP/IETF 等標準組織與 ITU 及 IEEE 在 NGN 標準上的差異。	依據委員建議，於期末報告第貳章第一節增加 ETSI/3GPP/IETF/CableLabs NGN 發展現況，以及第三節增加 ITU 及 IEEE NGN 光接取網路技術標準差異比較
2	請研究團隊再補充日本 100Mbps 之作法(架構及標準)，提供本國規劃參考。	依據委員建議，於期末報告第肆章第三節、第四節及第六節增加日本、韓國及中國大陸 NGN 寬頻網路部署現況及政府獎勵 NGN 網路部署之作法，並於第七節增加各國 NGN 寬頻網路部署現況比較
3	請研究團隊釐清次世代網路終端設備定義範圍及建議技術規範草案之檢測項目包含 EMC 及 safety 相關項目。	1. 依據國際標準組織 ITU 所定義之 NGN，其網路終端設備涵括固定通信與無線通信之寬頻接取網路。本研究計畫依據委託單位需求，研究範圍為我國目前尚未制定之光接取網路終端設備。 2. 依據委員建議，EMC 及 Safety 已納入技術規範草案之檢測項目
4	中國大陸的光終端設備規範是否具有強制性？	目前中國大陸的光終端設備規範屬於國家制定之產業規範，提供電信業者參考，並未具有強制性
5	請研究團隊釐清美國寬頻網路 98% 的定義(P.135~136)。	美國寬頻網路 98% 之定義為美國政府規劃至 2016 年建置 4G 無線寬頻網路之目標，已於期末報告進行修正

附錄五、期末報告審查意見回覆

項次	審查委員之意見	研究團隊之回應
1	期末報告第二章第三節(P.49-50)請強化ITU、ETSI、IETF、3GPP及cable labs等國際組織NGN技術標準發展現況之比較分析	依據委員建議於本文第貳章第三節增加國際標準組織NGN技術標準發展現況之比較分析說明
2	期末報告第三章第四節(P.156)請強化相關內容之綜合研析	依據委員建議於本文第參章第四節增加ITU、IEEE光接取網路終端設備技術規範比較分析說明
3	期末報告第四章第七節(P.180-182)請CHECK相關內容之正確性(如我國2013年100Mbps 100%覆蓋率?)，以及各國NGN部署現況之呈現方式	1. 依據委員建議已補充我國我國2013年100Mbps 100%覆蓋率之定義與參考資料來源(行政院數位匯流發展方案) 2. 修訂表4-6我國與世界先進國家NGN寬頻網路部署現況比較數據呈現之一致性
4	座談會會議記錄(P.238-240)請彙整以”會議紀要”方式呈現，不要直接引用各單位技術人員(非該公司代表?)之發表內容	依據委員建議座談會會議記錄已修訂為會議紀要方式呈現
5	依表5-2所示目前有制訂光接取網路技術”終端設備技術規範”者僅中國大陸，其主要規範如表5-3~表5-6所示。建議能增述該規範與ITU、IEEE等國際相關介面標準之關聯性	依據委員建議於本文第伍章第三節增加表5-8及表5-9國際標準組織ITU、IEEE與中國大陸GPON、EPON介面標準規範之關連性

項次	審查委員之意見	研究團隊之回應
6	第四章世界先進國家 NGN 發展現況與進程，建議能增加一節有關我國發展現況與進程，以增加資料之完整性	依據委員建議於本文新增第肆章第八節研析我國 NGN 發展現況與進程
7	所有參考書目請於本文中適切位置標示出參考編號	依據委員建議已將參考文獻標示於報告內適切位置
8	第七章之建議草案較為不足，能有改善空間	依據委員建議已增強建議草案架構，並新增建議草案內被動式光纖網路相關用詞與定義