

# PON 網路的障礙量測新技術之研發

方毅\*、莊修榮、王志益、林勝福  
中華電信研究院寬頻網路研究所

**摘要：**佈建 FTTH 網路已是未來通訊網路建設之趨勢，但因 FTTH 之 PON(Passive Optical Network)網路架構具有多分歧的特性，因此在高分歧率的狀況下，如果使用一般傳統之光時域反射器(OTDR)將無法進行精確的光特性量測，因而造成網路設計人員於設計選擇上的困難，而現場之客網人員則無法進行快速有效之網路監測及障礙查修，針對此迫切之需求，本研究成功發展出光頻域反射器(OFDR)的新型測試技術，而此種 OTDR/OFDR 的結合測試技術，就能有效的應用於 PON 網路架構的多分歧光路由之精確障礙量測。

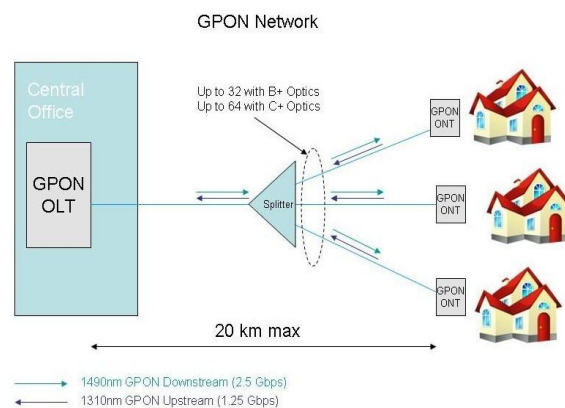
## 一、前言

光纖通信具有傳輸容量大、傳輸距離遠及高保密性等優點，因此已成為現今最主要的有線通信方式；而為了因應雲端、MOD 與企業專線等各種電信服務的廣泛需求，以及有線電視業者之營運挑戰，電信網路已開始朝向寬頻化、智能化與整合化的方向發展；而基於客戶對電信服務頻寬之需求越來越高，因此，電信公司開始規劃及佈建光纖到家(FTTH)網路；在 FTTH 之網路架構是一種點對多點型式(Point to Multipoint)拓撲，為包含有各種不同的光通訊網路架構，而隨著 FTTH 之 PON 的網路架構中的各種多分歧光纜開始佈放，因此用戶主軸光纜將大量的被分歧引出，而此種引用多分歧光纜的網路架構佈放方式，雖可大量減少光纖的使用量並且降低佈建的資本支出，但也造成實體層的光纖網路之複雜化；因此，電信之客網與傳輸人員如果要進行 PON 架構之光特性量測，使用一般傳統之光時域反射器(OTDR)來進行光纖的障礙量測將有技術上之困難[1]；如果 PON 是在低的分歧率之架構下，OTDR 網路量測雖可顯示出測試曲線，但卻不易測試出事件點之光特性與位置；而在高的分歧率(如 1x32 及 1x64)架構，OTDR 之量測則將無法顯示出測試曲線，因此，在多分歧光纜上的 OTDR 量測技術瓶頸，除了將造成電信網路設計上的技術問題，也對 FTTH 之網路維運產生大的困難；針對此一電信設計及維運人員所迫切需求及必須快速解決的問題，本研究發展出光頻域反射器(OFDR)的測試技術，再結合一般傳統之 OTDR 測試技術，因而可於 PON 的用戶端上加裝 HRD 之後，此種 OTDR/OFDR 的結合測試技術，就可分別利用 OTDR 於 PON 架構之光纖衰減曲線特性測試，再使用 OFDR 於光分歧路由之反射事件的測試，因而成功解決現場之客網與傳輸人員的高難度 FTTH 障礙查修之技術問題；此外，經由系統整合，此種新的量測技術也可應用於各種 FTTH 之網路維運系統，因而將可有效的提升電信網路之服務品質。

## 二、實驗

### 2.1 實驗設備

- 1.分別為 0.9 km、1 km、2 km、3 km、3.5 km、5 km、5.5 km、10 km、20 km 長之 G652C 光纖。
- 2.高反射定界濾波器(High-Reflectance Demarcation Filter, HRD)。
- 3.1x2、2x2、2x32、1x64 光分歧器。
- 4.JDSU 之 OLP-57 PON Power Meter。
- 5.JDSU 之 8117 RLR PON OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)。
- 6.研發之新型 OFDR(Optical Frequency Domain Reflectometer)。
- 7.Alcatel-Lucent GPON System(圖一)。



圖一：GPON 系統架構圖

### 2.2 實驗步驟

實驗為將不同長度的光纖、不同分歧率的光分歧器、HRD，分別組合於 GPON 系統架構、再以 OTDR 及 OFDR 做光特性量測。

## 三、結果與討論

在 FTTH 之 PON(Passive Optical Network)的網路架構中進行光纖網路之障礙量測，由於其具有之多分歧設計的特性，如果使用一般傳統之 OTDR 來進行光纖之障礙量測將有技術上之困難，因此，研究建立一種用於多分歧的 PON 架構之新型量測技術，而此種量測技術之系統組合為先在 PON 的網路架構之每一用戶端上加裝 HRD，因此如果分歧光纖路由發生障礙，則該光纖連接之 HRD 的光反射量會降低，而無障礙的光纖路由之 HRD 的光反射量則仍維持不變，因而利用此光反射量

變化的原理，就能於各分歧之光纖路由上做光損失的測試分析。而此量測系統技術之核心，就為在高分歧率時具有精確之量測及分辨能力的新型 OFDR，由於一般使用於量測之 OFDR 只能用於短距離的設備之量測，因此本研究修改 OFDR 之整體組成架構及量測方法，因而發展出一種新型的 OFDR；研究先將此新型的 OFDR 和 PON OTDR 做量測特性之比較驗證，再實際應用於 1:64 分光比之 GPON 光纖監測系統，而量測結果顯示：新型的 OFDR 結合傳統 OTDR 的 OTDR/OFDR 測試系統，在高分光比之 PON 架構的量測具有高的量測精準度及高的解析度，因而就可有效的應用於未來高分歧率 PON 架構之量測。

### 3.1 新型 OFDR 量測特性之驗證

#### 3.1.1 光纖長度之測試

為分析以新型 OFDR 來量測光網路之光纖長度的精準度，研究以 OFDR 與 PON OTDR 分別量測光纖折射率為 1.5，其範圍為在 0.9 km 到 5.5 km 的四種不同長度的光纖，而由表 I 及表 II 的量測結果顯示：以 OFDR 或 PON OTDR 來量測光纖長度，如果光纖之長度越短，其誤差度較高，在 0.9 km 到 5.5 km 的光纖長度範圍，OFDR 之誤差度在 0.08%~1.1% 的範圍，而 PON OTDR 之誤差度在 0.14%~1.07% 的範圍，因此應用在量測光纖長度，不論是 OFDR 或 PON OTDR，其量測準確度基本上為相當。

表 I  
OFDR 量測不同光纖長度的比較

光纖長度 (km)	測試頻率 (MHz)	計算光纖長度 (km)	誤差度 (m)	誤差度 (%)
0.9	5.47	0.8901	9.9	1.1
2.0	12.31	2.0108	10.8	0.54
3.5	21.31	3.4853	14.7	0.42
5.5	33.58	5.4956	4.4	0.08

表 II  
PON OTDR 量測不同光纖長度的比較

光纖長度 (km)	量測光纖長度 (km)	誤差度 (m)	誤差度 (%)
0.9	0.89038	9.62	1.07
2.0	2.00961	9.61	0.48
3.5	3.48259	17.41	0.50
5.5	5.49220	7.8	0.14

#### 3.1.2 近端盲區之測試

為分析以新型 OFDR 來量測光網路的近端盲區之特性，研究以 OFDR 與 PON OTDR 分別量測在 1 m 到 20 m 之短距離範圍的六種不同長度的光纖，而由表 III 的測試結果顯示，如果光纖之長度超過 5 m，則不論是 OFDR 或 PON OTDR 均可做出有效量測，但如果光纖長度縮短至 3 m 長度以下，則 PON OTDR 就無法有效量測，而 OFDR 則仍可精確的測試計算在 1 m 到 3 m 長度的光纖，這顯示出在測試短長度光纖的應用上，新型 OFDR 的量測能力超過 PON OTDR。

表 III  
以 OFDR 與 PON OTDR 量測近端盲區的比較

事件	光纖長度 (km)	PON OTDR 量測長度 (m)	OFDR 測試頻率 (MHz)	OFDR 計算長度 (m)
1	1	×	0.685	1.04
2	2	×	0.783	1.91
3	3	×	0.880	2.91
4	5	5.1	1.070	4.86
5	10	9.74	1.550	9.77
6	20	19.84	2.530	19.81

#### 3.1.3 反射事件之測試

如果在 PON 之各用戶端上加裝 HRD，再以 OFDR 來量測 PON 之多分歧架構的光反射損失，則測試系統之核心部份將為測試光反射事件所具備的高準確度；研究以反射鏡及光衰減器來製造不同的反射事件，因而分別量測各個反射事件的反射損失值及光功率值，然後再和 OFDR 測試之反射事件準位進行比較，由表 IV 及表 V 之量測結果顯示：OFDR 測試反射事件能力與光反射損失測試的變化是成約 2 倍的正比關係，而 2 倍之光損失之差值 (dB) 接近 OFDR 準位差，這符合  $10 \log P = 2 \times 10 \log(V/R)$  的理論相對應關係，因此新型 OFDR 除顯現出其具備有可精準應用於多分歧架構上的量測功能，在理論上也完全符合光纖事件中的光反射損失之校正機制。

表 IV  
光反射事件光特性和 OFDR 測試之數值比較

事件	光反射損失	接收光功率	OFDR 讀值
1	14	-20	-40.83
2	20	-26	-52.77
3	30	-36	-72.58
4	35	-41	-82.46

表 V  
不同反射事件前後之光反射損失差、光功率差與 OFDR 差值

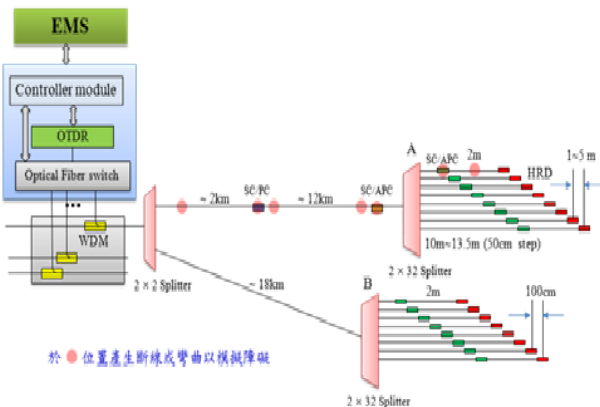
事件	前後光反射損失差	前後接收光功率差	前後 OFDR 讀值差
1			
2	$\Delta=6$	$\Delta=6$	$\Delta=11.94$
3	$\Delta=10$	$\Delta=10$	$\Delta=19.81$
4	$\Delta=5$	$\Delta=5$	$\Delta=9.88$

#### 3.1.4 解析能力之測試

分析新型 OFDR 之解析度(為以光傳送速率除以 2 倍的掃描頻寬)，由於光在光纖中的傳送速率為約  $2 \times 10^8$  m/sec，因此掃描頻寬如為 100 MHz，計算出之解析度則為 1 m；研究實際測試兩事件的最短距離為 2 m 之實驗架構，結果顯示可詳細的分辨出在 2 m 間距的事件，這表示理論與實際在 PON 架構之測試的結果接近，而新型 OFDR 之解析能力也超過 PON OTDR，如果將掃描頻寬進一步的提升至 400 MHz，則此新型 OFDR 之解析度就可進一步的縮小為 0.25 cm，因而將可更大幅提升其有效解析能力，並應用於 PON 之多分歧光纖的障礙查測。

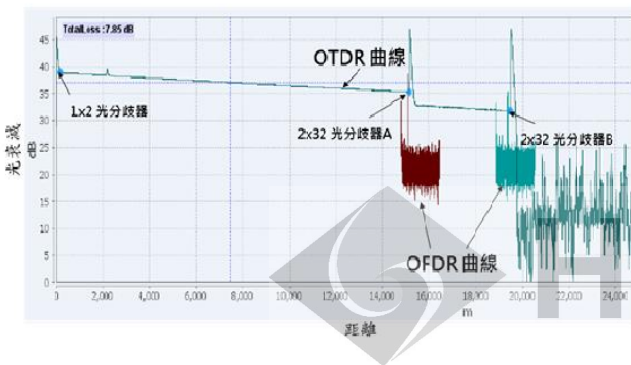
### 3.2 OTDR/OFDR 測試系統應用於 1:64 分光比之 PON 架構

為因應 FTTH 之網路架構建立，並達到精準建設的需求，研究以發展之 OTDR/OFDR 測試系統實際量測為 1:64 高分光比之 PON 架構(圖二)，此二階 PON 架構之組成為於局端內先安裝一個 2×2 光分枝器，並在其之兩個分枝光纖路由，第一個光纖路由先連接總長約 14 km 的光纖，其後再連接一個 2×32 的光分枝器 A，在光分枝器 A 之後連接的光纖路由由長度分別相差 1 m、2 m、3 m、5 m；另一個光纖路由為總長約 18 km 的光纖，再連接一個 2×32 的光分枝器 B，在光分枝器 B 之後的不同路由所連接之光纖長度為分別相差 1 m。



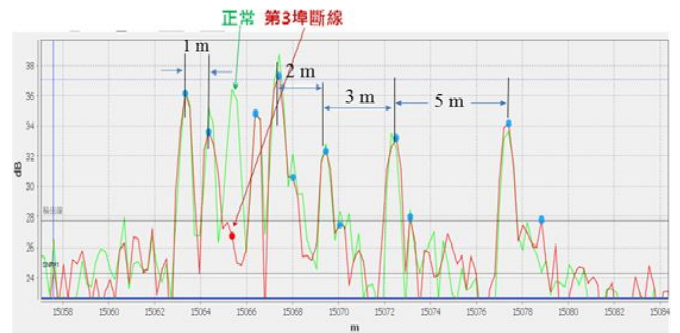
圖二：二階 PON 之網路的架構圖

使用 OTDR/OFDR 測試系統量測 1:64 高分光比之 PON 架構，在 OTDR 之量測部份，圖三之測試結果顯示：在高分光比 PON 架構的測試曲線之判定上，OTDR 測試曲線可正確測試出光纖的正常光損失，而且在端對端的光網路中，也可正確的判定出在 PON 架構中所建構的第一個 2×2 光分枝器以及其後連接的二個 2×32 光分枝器之間的距離及其位置。

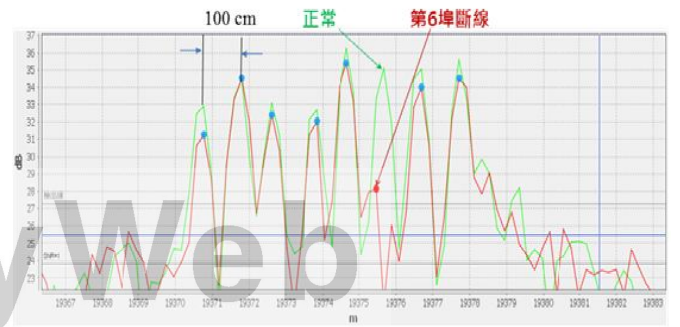


圖三：OTDR/OFDR 之測試結果圖

而在 OFDR 之量測，圖二之 PON 架構的第一階 2×2 光分枝器及其後連接之第二階光分枝器 A 及光分枝器 B 之位置也可由 OFDR 之量測而正確判定，因此各個光分枝器於位置被成功的判定後，其位置點之 OFDR 曲線就可進行如圖四及圖五之定點圖的展開放大；由於在 PON 的網路架構，其於連接光分枝器後之各個分支光纖路由的末端都連接 HRD，因此使用 OFDR 就可測試出連接光分枝器後之各個分支光纖路由末端的 HRD 之反射峰。研究之新型 OFDR，可成功的測試出二階 PON 架構的第一階 2×2 光分枝器後所連接的第二階二個 2×32 光分枝器之各個分支光纖末端的 HRD 之反射峰。由於在正常之狀態時，所有各分支光纖路由都可經由 OFDR 的測試曲線而正確顯示出各個 HRD 的位置，而在圖四顯示：如果連接光分枝器 A 之第 3 埠的分支光纖路由發生光纖斷線，其 OFDR 測試之正常狀態的 HRD 反射峰將消失，因此就可判定出該分支光纖路由發生障礙。再展開另一量測 OFDR 曲線，在圖五顯示：如果連接光分枝器 B 之第 6 埠光纖路由也發生斷線，其 OFDR 量測曲線之反射峰也將消失，而此測試結果除顯現該連接 HRD 之分支光纖路由也發生障礙，更顯示新型 OFDR 可量測出包含有二個第二階 2×32 光分枝器的 PON 架構中發生了分支光纖路由的斷線障礙，因此驗證出新型 OFDR 具有高解析度及高精確度，可實際應用在高分光比的 PON 架構之障礙量測。



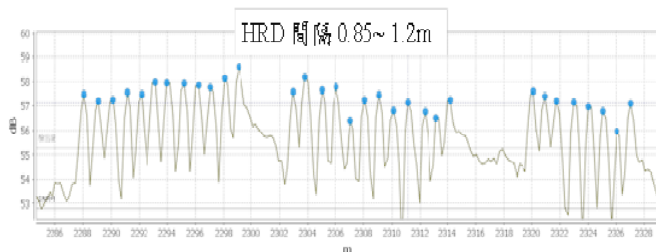
圖四：OFDR 量測光分枝器 A 之 HRD 反射峰結果展開圖



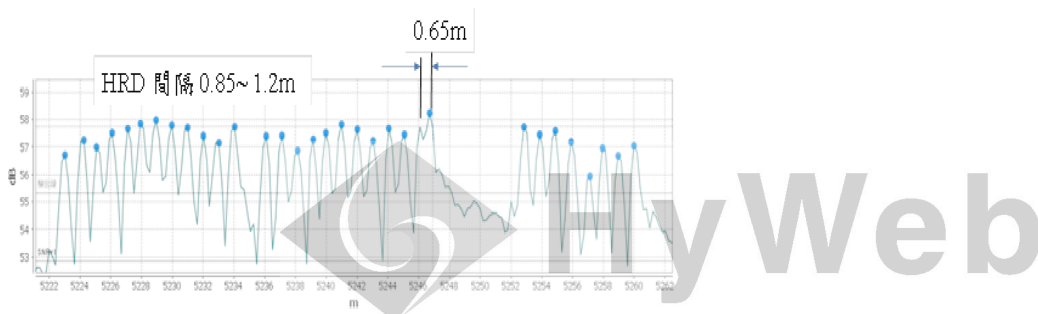
圖五：OFDR 量測光分枝器 B 之 HRD 反射峰結果展開圖

### 3.3 OTDR/OFDR 測試系統之全負載測試

OTDR/OFDR 測試系統為 OFDR 與傳統 OTDR 技術進行結合，因此在 PON 架構量測時可同步正確的顯示出 OTDR 與 OFDR 之測試曲線，但此系統如果是應用在精準建設所要求的 1:64 高分光比之 PON 架構的量測，也就是所有之用戶端將為全部安裝 HRD 的最高滿載狀況，則此 OTDR/OFDR 測試系統是否仍可完全及有效的顯示並辨識出所有用戶端之 HRD 的反射峰？研究因此以 OTDR/OFDR 測試系統量測全滿載之 1:64 高分光比之 PON 架構，結果顯示：在主光纖路由測試的 OTDR，其 OTDR 測試曲線中可測試出光纖損失以及網路中的第一階 2×2 光分岐器以及其後連接的第二階二個 2×32 光分岐器之位置。而在 OFDR 之測試，由於 PON 架構之第二階兩個 2×32 光分岐器之各 32 個分支光纖路由末端為均接上 HRD 之全滿載狀態，圖六之 OFDR 量測結果顯示出第二階之 2×32 光分岐器 A 之 OFDR 展開曲線可偵測並精確判定出各個 HRD 點之反射峰頂點並且定位，而圖七顯示第二階之 2×32 光分岐器 B 之 OFDR 展開曲線也可同時偵測並精確判定出各 HRD 點之反射峰頂點並成功定位，研究因此證明 OTDR/OFDR 測試系統對全滿載之二階，具 1:64 高分光比的 PON 架構進行 OND 網路測試，其對於間隔距離為 0.85 m 以上的各分支光纖路由均可極準確的辨識出各 HRD 之位置，而此量測結果更證明在全滿載，高分光比的 PON 架構的實際量測應用上，所研究之 OTDR/OFDR 測試系統具有極高的量測精準度及極其優異之解析特性。



圖六：OFDR 量測全滿載狀況下之第二階 2×32 光分岐器 A 的 HRD 反射峰結果圖



圖七：OFDR 量測全滿載狀況下之第二階 2×32 光分岐器 B 的 HRD 反射峰結果圖

### 結論

在 FTTH 的網路維運系統架構中，如果使用一般傳統之 OTDR 將無法有效進行 PON 架構的網路障礙查測，因而造成通訊網路之維運上極大的困難，因此，本研究先成功發展出新型 OFDR 的測試技術，然後再結合 OTDR 技術，而此種 OTDR/OFDR 的結合測試技術，就可克服目前廣泛存在於多分歧之 PON 架構網路上的障礙量測技術瓶頸；而經由不同系統之整合，此種新技術也可進一步的應用於 FTTH 之各種網路維運系統之中，因而將更有效提升電信網路之服務品質。

### 參考文獻

- 【1】方毅,王志益,林勝福,蔡福源,“光纜進水監測系統在光通訊網路上之應用”,2012 年全國電信研討會,2012,B4-5\_1192.