

GPON 網路之劣化預測分析

方毅	梁嘉權	王志益
中華電信研究院	中華電信研究院	中華電信研究院
寬頻網路研究所	寬頻網路研究所	寬頻網路研究所
高級研究員	研究員	高級研究員
yf@cht.com.tw	jqliang@cht.com.tw	halolo@cht.com.tw

摘要

為使光通訊網路達到最佳的網路服務品質，所建設之光纖網路必須同步建置監測系統來進行網路之維運管理；而由於光纖到家 (FTTH)之光纖網路的複雜化，因而在 FTTH 之網管系統的障礙查修也具備高的困難度。本研究經由理論分析及比較，因而建立 GPON 網管系統之 BER 劣化分析技術與預測分析；而其選擇出的重要參數，已成功的應用於 GPON 網管系統之障礙量測及障礙發生時間點判定；而所建立的網路維運管理系統，不但已成功的在 GPON 系統中上線運作，並可進一步運用於其他的 PON 系統。

關鍵詞：網路、劣化、障礙、光纖到家。

Abstract

For the optical communication network to achieve the best service quality, the monitoring system must be established in optical network. Because the complicated network of Fiber to the Home (FTTH), the FTTH network management system will also have the high degree of difficulty. In this paper, the BER degradation analysis technology and prediction analysis of GPON network management system are established by theoretical analysis and comparison. The important parameters have been successfully applied to the obstacle measurement of GPON network management system and the time point of obstacle detection, and its established network management system, not only has been successful in the line work on GPON system, and also further applied to other PON system.

Keywords: network, degradation, obstacle, Fiber to the Home,

1. 前言

光纖通信為現今最主要的有線通信方式，而為了因應雲端、MOD 與企業服務專線等各種電信服務的大量需求，電信之接取網路必須朝向光纖化、IP 化、智能化、高寬頻化及數位匯流的方向發展，目前也正走向光世代接取網路必須要能提供出 100 Mbps 的高速電路；而為達此目標，唯有建設 FTTH 網路，才能滿足通訊系統之承載能力與寬頻服務傳送的需求。

在 FTTH 網路之架構設計中，PON(Passive Optical Network)是一種被動式光纖接取網路，其採用的是點對多點型式拓撲，並包含有各種不同的光通訊網路架構；為由局端設備之光線路終端 (Optical Line Terminal; OLT) 經由光分歧器 (Optical Splitter) 的分光而傳送給多個用戶端設備的光網路單元 (Optical Network Unit; ONU)；而此架構就可大量減少光纖的使用量，並降低光纖網路佈建的資本支出，而由於 GPON (Gigabit-capable Passive Optical Networks) 之提升上/下行的速率 (Data Rate) 至 1.25Gbps/2.5Gbps，並可達到 20 km 的距離[1]，因此目前建設之 PON 網路主要是 GPON。由於 PON 之實體層的光纖網路相當複雜，因此光纖網路也容易受到外力的作用或人為破壞的影響，因而造成光纖受損或斷裂，以致於發生光傳送訊號中斷或劣化，因而導致通訊服務之中斷或是服務品質不佳之狀況；因此電信公司必須開發光纖寬頻網路障礙查測系統，如此不但可以縮短障礙查測時間，並可減少電信公司之光纖到家寬頻服務的 CAPEX (Capital Expenditure) 及 OPEX (Operating Expenditure) 費用支出。

由於光纖網路的複雜化，光纖障礙查測作業也變得相當困難。如使用一般之光時域反射器 (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) 的自動監測方式，其測試每一路由的時間約為 1~2 分鐘，並且需要大量設置設備而提高投資成本，而隨著光纖到家網路的大量採用，使用 OTDR 的測試方法將花費極長的時間，其在維

運時效性上將顯現出大的缺點，而且此測試架構必須於局端建置光切換器，並在每一個客戶 ONU 端前需安裝光濾波元件，這也將會大幅增加 CAPEX 成本；綜合來說，OTDR 自動監測方式並非最佳的障礙查測方法，因此，研究利用網管資訊探勘分析來診斷光纖網路障礙，以達成光纖到家服務之光分配網路障礙診斷之目的。此方法包含：(1)透過網管光資訊來分別讀取 OLT 與 ONU 的光功率量測資訊，於經過校正程序後可縮小量測光功率的誤差值[2]；(2)對 GPON 網路架構中之混成 ONU 做眼圖的光介面參數量測，並配合加入同一 PON (Passive Optical Network) 埠下的相鄰電路分析及發展 BER 劣化預測分析技術，用以判斷出光分配網路 (ODN: Optical Distribution Network) 之網路障礙，因而提高 FTTH 之障礙維修效率，並降低電信公司未來之維運成本。

2. 實驗

2.1 實驗樣品

- (1) 18 km 長之 G652C 光纖。

2.2 實驗設備

- (1) 一種 GPON 系統(圖 1)，其之 ONU 包括 16 個 HGW-O 和 16 個 ONT。
- (2) JDSU 之 PON Power Meter。
- (3) EXFO 之 FOT-930 Multifunction Loss Tester。
- (4) Acterna 之 Optical Level Controller。
- (5) Agilent 之 B6100A Wide-Bandwidth Oscilloscope。

2.3 實驗步驟

研究以 18 km 長之 G652C 光纖，連接 GPON 系統之各個 OLT Port、Splitter 以及各個 ONU，並進行電路量測及光層資訊校正，劣化前後之 ONU 則以 Oscilloscope 做眼圖量測。

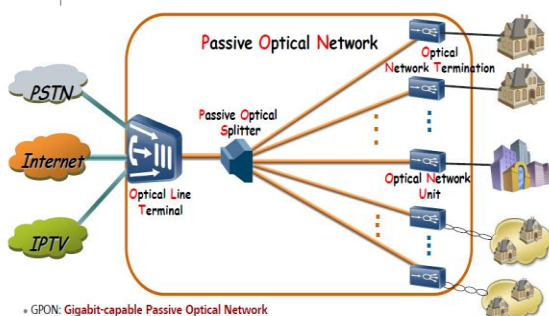


圖 1. GPON 之系統架構圖

3. 結果與討論

3.1 ONU 的眼圖光介面參數量測

在 GPON 之整體網路架構中，ONU 為其中的關鍵組成部分，而如果在 ONU 中引入閘道器(Gateway)做不同網路間資料移動及不同協定間移動轉換的閘門，GPON 系統就可更進一步的提供包括語音、視頻和高速上網等服務於家庭用戶，這就是 HGW-O；由於 HGW-O 和 ONT 之介面管控不同，其 ONU 之光收發模組、晶片及結構組成也不同於 ONT；而在現有之 GPON 整體網路架構中，其 ONU 已由最初之配置全部為 ONT 而轉變為 ONT 及 HGW-O 的共同混成，因此在整體 GPON 系統中之光層資訊必須先判斷其是否存有大的差異；研究先量測 GPON 網路架構中的混成 ONU 之眼圖，而其劣化前後之眼圖的「眼睛」區域範圍為幾乎一樣(圖 2 及圖 3)，由於眼圖的「眼睛」區域範圍越大表示信號失真的幅度會越小，而劣化前後之眼圖顯示出在 GPON 整體網路架構中，ONU 混成中的 HGW-O 並未因晶片之變換及加入 Wi-Fi 天線而產生眼圖區域範圍變小的狀況，因此在 GPON 系統中如有雜訊或是符碼間之干擾時，並不容易造成信號之失真。

3.2 BER 劣化技術與預測分析

BER 是一種衡量光纖寬頻迴路服務品質的重要指標，當電路的 BER 特性不好時，就代表寬頻服務之品質不佳，因此透過長時間的觀察 BER 指標，則可看出電路服務品質的變化趨勢，並可進一步的預測出障礙發生的可能時間點。

當電路開始劣化後，將 GPON 之網管系統之測試數據資料以數值分析的方法進行解析，結果發現數據資料會隨時間的前進而呈現一定的走勢，且與時間性產生關連性的變化，而為了突顯劣化之走勢，並預測下一次的資料數值，即所謂的時間序列分析法；本研究 GPON 之 BER 劣化所採用的方法為移動平均法，此方法是一種簡單平滑預測技術，其基本概念是依照時間序列資料做逐項推移，因而依次計算包含一定項數的平均值，以反應出長期趨勢的方法，而採用此方法的原因為時間序列的數值易受到週期變動和隨機波動之影響而使起伏變化較大，因而造成不易突顯出事件的發展趨勢，若使用移動平均方法即可消除這些起伏變化因素之影響，而顯現出事件的發展方向與趨

勢（即趨勢線，移動平均線可視為一趨勢線），因此就可依據趨勢線而成功分析並預測序列的長期趨勢。

3.3 BER 劣化趨勢之分析

劣化之預測模型可依據各測試數據資料的所負權重不同，分為簡單移動平均法（Simple Moving Average, SMA）、加權移動平均法（Weighted Moving Average, WMA）與指數移動平均法（Exponential Moving Average, EMA 或 EWMA）等方法，以下分別說明其原理與模型分析：

3.3.1 簡單移動平均法（SMA）

各資料的權重都相等，以前 n 個資料來做加權算術平均，其表示方式為：

$$SMA_1 = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n}$$

其中 SMA_1 是今日的簡單移動平均； p_1 是今日的資料，也就是前 1 天的資料； p_2 是昨日的資料，也就是前 2 天的資料； p_n 是 n 日的資料。

3.3.2 加權移動平均法（WMA）

每個資料給予不同的權重，也就是將個別資料乘以不同數值，最近期資料乘以較大的權重 n ，次近期資料乘以次較大的權重 $n-1$ ，依此類推，一直到 0，其之表示方式為：

$$WMA_1 = \frac{np_1 + (n-1)p_2 + \dots + 2p_{n-1} + p_n}{n + (n-1) + \dots + 2 + 1}$$

其中 WMA_1 是今日加權移動平均； p_1 是今日的資料； p_2 是昨日的資料； p_{n-1} 是 $n-1$ 日的資料； p_n 是 n 日的資料。圖 4 中的左圖為以 n 為 15 的 WMA 權重示意圖。

3.3.3 指數移動平均法（EMA）

為各資料的權重影響力隨時間而指數式遞減，愈近期的資料，權重影響力愈重，但較舊的資料也給予一定的權重，其表示方式為：

$$\begin{aligned} EMA_1 &= EMA_2 + \alpha(p_1 - EMA_2) \\ &= \alpha p_1 + (1 - \alpha)EMA_2 \\ &= \alpha p_1 + (1 - \alpha)[\alpha p_2 + (1 - \alpha)EMA_3] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \alpha[p_1 + (1 - \alpha)p_2] - (1 - \alpha)^2 EMA_3 \\ &\vdots \\ &= \alpha[p_1 + (1 - \alpha)p_2 + \dots + (1 - \alpha)^{n-1}p_n] - (1 - \alpha)^n EMA_{n+1} \end{aligned}$$

其中 EMA_1 是今日的指數移動平均； EMA_2 是昨日的指數移動平均； p_1 是今日的資料； α 是平滑係數，小於 1 的參數。從上方方程式中可發現，每多一天，資料的權重就會多乘 $(1 - \alpha)$ 成指數關係，公比是 $(1 - \alpha)$ ，而因為平滑係數小於 1，所以如果考慮很長的一段時間，最後一項也就是 $(1 - \alpha)^n EMA_{n+1}$ 幾乎可以忽略。所以今日的指數移動平均就變成是 $\alpha[p_1 + (1 - \alpha)p_2 + \dots + (1 - \alpha)^{n-1}p_n]$ ，大概估算需要往前推算幾天，就可以涵蓋 86% 的權重，也就是 $1 - e^{-2}$ ，其計算方法為假設加了 N 天可以有 86% 的權重，

$$\frac{\alpha(1 + (1 - \alpha) + (1 - \alpha)^2 + \dots + (1 - \alpha)^N)}{\alpha(1 + (1 - \alpha) + (1 - \alpha)^2 + \dots + (1 - \alpha)^\infty)} = 1 - e^{-2} = 0.866$$

左式利用等比級數的公式化簡，結果如下：

$$1 - (1 - \alpha)^{N+1} = 1 - e^{-2}$$

再利用

$$\exp(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n$$

所以令

$$\alpha = 2 / N + 1$$

此時可發現當 $N=12$ 與 $N=26$ 分別代入 $1 - (1 - \alpha)^{N+1}$ ，可得 0.886 與 0.875，且很接近目標值。圖 4 中的右圖為以 N 為 15 的 EMA 權重示意圖。

3.3.4 SMA、WMA 與 EMA 的方法比較

根據三種移動式平均法進行時間序列分析，以 BER 劣化每日 Bit Errors 數量為範例，利用各自方程式分別繪製 SMA、WMA 與 EMA 的走勢曲線於圖 5 中，從該圖得知 SMA_1 、 SMA_2 與 SMA_3 的週期 n 分別設定為 12、20 與 30，其次 WMA_1 、 WMA_2 與 WMA_3 的權重 n 分別設定為 12、20 與 30，最後 EMA 的 N 設定為 12。歸納分析此三種移動平均法的結果，首先是簡

單移動平均法所運算出的趨勢線大約與實際資料變化走勢相近；其次是加權移動平均法，因為此法給予近期資料較大的權重，對於走勢的預測可以隨機調整，因此比較靈活且快速因應，其趨勢線也大致符合實際資料變動的方向；最後為指數移動平均法，與加權移動平均法走勢相似，一般取涵蓋 86% 的權重，因此，由圖中可看出 EMA 走勢曲線相對位置比實際測試資料變化走勢低，但其趨勢線也大致符合實際資料變動方向且與加權移動平均法所運算出的趨勢線相似。

3.4 電路劣化預警功能之建立

經由系列之分析的結果顯示：由於 EMA 的權重影響力會隨時間而指數式遞減，因此取涵蓋 86% 的權重後，其 EMA 趨勢線往下平移，造成不利於預測模型建立；而 WMA 對於資料走勢的預測可以隨機調整，為較靈活且可快速因應，因此，使用 WMA 做為預測電路劣化的方法，而預測的參數為 GPON 之網管系統的每日 Bit Errors 數量。因此，經由每日網管系統實際測試數據資料庫之建立，並套用 WMA 的運算式，就可獲得重要的加權移動平均趨勢線，因而可判斷出是否已接觸到警告位準，在下一階段，運用回歸分析（Regression Analysis）法，將每日測得實際資料與欲擬合的函數做最小平方誤差法之分析運算，就求出預測趨勢線的方程式，因而就能運算出預估 GPON 網路障礙發生的時間點。

4. 結論

為建立 FTTH 之障礙量測系統，本研究經由理論分析比較，成功建立出 GPON 網管系統之 BER 劣化預測分析的參數選擇及計算，而此重要的計算參數，已進一步的成功應用於 GPON 網管系統之障礙量測及障礙發生時間點判定；再配合 GPON 之光層資訊的量測，將使 GPON 之網路維運管理系統趨向更完善及更精準；而此 BER 劣化趨勢之分析技術將可進一步運用於其他的 PON 系統，因而將可大幅提升 FTTH 之各項服務品質及施工效率。

參考文獻

[1]“Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON):Physical Media Dependent(PMD)

layer specification”, in *ITU-T G.984.2* . 03, 2003.。

[2]方 毅、莊修榮、王志益，“GPON 網路之光層資訊量測”，*2016 第十屆資訊科技國際研討會*，pp785-788，2016。

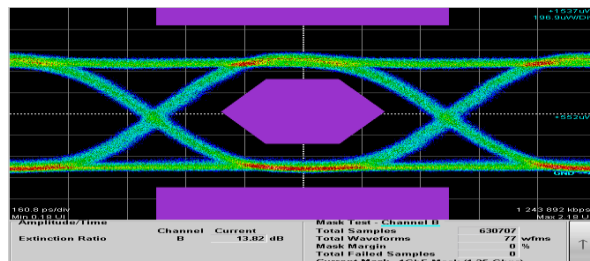


圖 2. ONT 劣化後之眼圖

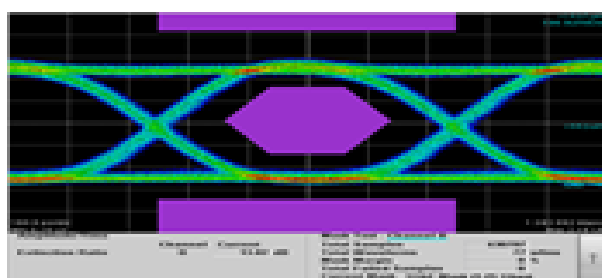


圖 3. HGW-O 劣化後之眼圖

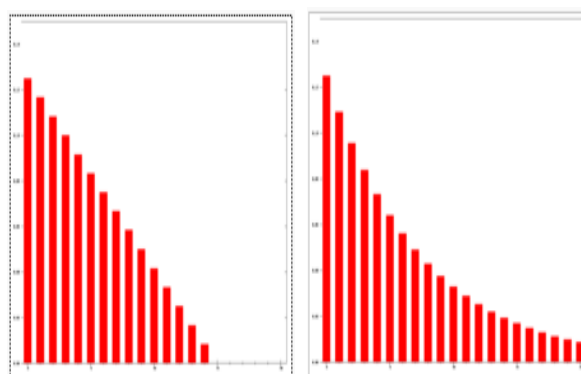


圖 4. WMA 與 EMA 權重之示意圖

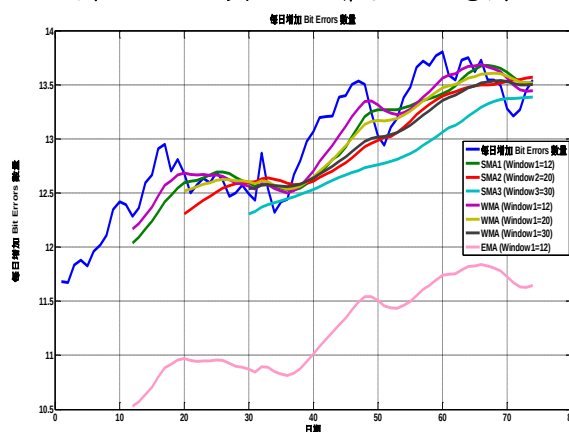


圖 5. SMA、WMA 與 EMA 之示意圖