

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

實習乙太式被動光纖網路(EPON)
通訊技術與光波交換(OBS)技術

服務機關：中華電信研究所
出國人職稱：助理研究員
姓名：彭正文
出國地區：美國 NIST
出國期間：92年5月4日~93年2月1日
報告日期：93年3月4日

H6/
C09205062

公務出國報告提要

頁數: 17 含附件: 否

報告名稱:

實習乙太式被動光纖網路(EPON)通訊技術與光波交換(OBS)技術

主辦機關:

中華電信研究所

聯絡人/電話:

楊學文/03-4244218

出國人員:

彭正文 中華電信研究所 寬頻網路技術研究室 助理研究員

出國類別: 實習

出國地區: 美國

出國期間: 民國 92 年 05 月 04 日 -民國 93 年 02 月 01 日

報告日期: 民國 93 年 03 月 04 日

分類號/目: H6/電信 /

關鍵詞: EPON,通訊技術,光波交換,OBS

內容摘要: 光纖迴路 (FITL, Fiber in the Loop) 包含以光纖為傳輸媒體的高頻寬光傳輸系統與以此系統為提供服務之傳輸媒體。隨著各設備發展廠商在光電通訊技術與網際網路(Internet)的快速發展全球資訊網(World Wide Web)的風行, 以及數位多媒體內容的增加, 大眾對高速網路的網路頻寬需求呈倍數般爆量成長, 因此電信業者須提高對於寬頻光纖網路系統與光網路的建置, 提供更多更快的數位網路服務。本次實習的主要研究方向規劃有: (1)進行Ethernet over 各種光網路平台架構之研究。(2)提出EPON架構下各類服務(services)的bandwidth allocation控制設計, 使bandwidth utilization最佳化。(3)探討EPON架構下各類服務(services)之priority設定, 並以simulation方式解析在EPON網路內之Bandwidth utilization, packet delay等參數。(4)藉由Queueing theory的輔助, 以數學分析建立EPON之各種traffic的機率模型。(5)找出能使packet delay最小, utilization最大之最佳化設計。本次實習的預期效益: • 建立前瞻性且符合國際標準之Optical Internet基礎建設技術。• 除研發相關新技術外, 並將所學習之最新資訊與技術帶回本所進行交流, 提升本所之研究水平。• 本實習研究案之研發成果除可協助本中華電信在未來佈建光纖到家(FTTH)網路能有更前瞻性的瞭解外, 亦可提供總公司建設光交換機與全光網路之決策參考資訊。• 支援我國Broadband Internet寬頻接取設備之研發實力本報告第一章說明出國實習之目的, 第二章出國實習過程, 第三章詳述實習之細節及內容, 第四章則提出心得與建議, 第五章為參考文獻。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

目 錄

目 錄.....	0
摘要.....	1
一、目的.....	2
二、過程.....	2
三、內容.....	3
1. 概述.....	3
1.1 EPON 技術.....	4
1.2 EPON Multiple Access Technique.....	4
1.3 Polling Algorithm (MPCP).....	5
2. OPNET MODELER 模擬系統.....	6
2.1 OPNET 設計結構.....	6
2.2 EPON 模擬軟體系統架構與參數設定.....	6
2.3 Discovery and Register Process.....	8
2.4 Ranging Process and RTT Computing.....	10
2.5 REPORT Process.....	10
2.6 Data Transmission Process.....	11
2.7 Bandwidth Allocation Algorithm Design.....	11
2.8 Linear Predictor Algorithm Design.....	12
3. OPNET 模擬結果.....	13
3.1 EPON Performance Evaluation.....	13
四、心得與建議.....	15
五、參考文獻.....	16

摘要

光纖迴路 (FITL, Fiber in the Loop) 包含以光纖為傳輸媒體的高頻寬光傳輸系統與以此系統為提供服務之傳輸媒體。隨著各設備發展廠商在光電通訊技術與網際網路(Internet)的快速發展全球資訊網(World Wide Web)的風行，以及數位多媒體內容的增加，大眾對高速網路的網路頻寬需求呈倍數般爆量成長，因此電信業者須提高對於寬頻光纖網路系統與光網路的建置，提供更多更快的數位網路服務。

本次實習的主要研究方向規劃有：

- (1)進行 Ethernet over 各種光網路平台架構之研究.
- (2)提出 EPON 架構下各類服務(services) 的 bandwidth allocation 控制設計, 使 bandwidth utilization 最佳化.
- (3)探討 EPON 架構下各類服務(services)之 priority 設定, 並以 simulation 方式解析在 EPON 網路內之 Bandwidth utilization, packet delay 等參數.
- (4)藉由 Queueing theory 的輔助, 以數學分析建立 EPON 之各種 traffic 的機率模型。
- (5)找出能使 packet delay 最小, utilization 最大之最佳化設計.

本次實習的預期效益：

- 建立前瞻性且符合國際標準之 Optical Internet 基礎建設技術。
- 除研發相關新技術外，並將所學習之最新資訊與技術帶回本所進行交流，提升本所之研究水平。
- 本實習研究案之研發成果除可協助本中華電信在未來佈建光纖到家(FTTH)網路能有更前瞻性的瞭解外，亦可提供總公司建設光交換機與全光網路之決策參考資訊。
- 支援我國 Broadband Internet 寬頻接取設備之研發實力

本報告第一章說明出國實習之目的，第二章出國實習過程，第三章詳述實習之細節及內容，第四章則提出心得與建議，第五章為參考文獻。

一、目的

職彭正文奉派於 92 年 5 月 4 日至 93 年 2 月 1 日前往美國國家技術標準局 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 實習乙太式被動光纖網路 (Ethernet over Passive Optical Network, EPON) 技術，其目的主要是學習 OPNET (Optimal Performance NETWORK Simulator) 的模擬技術，進而發展程式碼 (source code) 以模擬 IEEE 802.3ah 標準制定之 EPON 模型，做出相關之效能分析與 scheduling algorithm 設計，以及設計出 Prediction-based EPON 系統之模擬程式。

另外本次實習同時探討新一代光交換 (Optical Burst/ Packet Switching) 技術之發展情形，經由與 NIST 先進討論了解 OBS 光交接設備目前在世界先進國家之使用情形及發展趨勢，此種經驗將有助於我們掌握未來全光網路的發展趨勢，提供營運公司未來網路建設之參考。職於 NIST 期間，總計帶回 2003 IEEE GLOBECOM 與 Opticomm 2003 之參考資料，可供相關同仁使用。

二、過程

此次實習含行程共計 270 天，其內容如下：

日期	地點	內容
92 年 5 月 4 日	桃園—洛杉磯—華盛頓	去程
92 年 5 月 5 日	華盛頓	實習 OPNET 架構、系統、
~ 93 年 1 月 30 日	華盛頓 NIST	研習 EPON 技術與撰寫模擬程式
93 年 1 月 31 日	華盛頓—洛杉磯—桃園	返程
~ 93 年 2 月 1 日		

三、內容

1. 概述

職於 2003 年 5 月 4 日啟程赴美，當時正值國內 SARS 疫情蔓延期間，因此抵美後即遭 NIST 單位執行十天的隔離(quarantine)，成為第一個以及往後 NIST 執行類似措施之典範。

至 NIST ITL (Information Technology Laboratory)報到後，立即與 ITL 的 Chief – Dr. David Su 及 ANTD Group manager – Dr. Nada Golmei 討論雙方合作細節與執行方式；首先由職簡報 IEEE 802.3ah EPON 系統規範與 MPCP (Multi_Point Control Protocol) MAC layer 的規約 (Protocol)，由於 NIST 先前做過 HFC 網路 DOCSIS 1.0 的模擬，因此對 EPON MAC 層的控制方式並不陌生，基本上仍屬於 Polling 的範圍與方式，只不過 NIST ITL 本身專注於 OPNET Modeler 模擬程式的撰寫與使用，對於 ISO OSI 第二層相當熟悉，但對於 EPON 的 physical layer 則不清楚，因此較無法體會 EPON MAC 層的 MPCP 為何如此設計，其中原因乃受限於第一層硬體(如 LASER)的限制。

由於 NIST 擅長於 OPNET 軟體設計，且經常參加 ITU-T, ANSI, IEEE 等制定規格的會議，且佔有部分發言權及影響力，因此相當了解產業界的動向與前瞻趨勢，所以在執行相關之研究議題上能相對呼應(match)，頗具相輔相成之良性循環。且職發現，NIST 的研究方向多為主導業界之純研究領域，與本所以支援營運單位為主的方式有所不同。

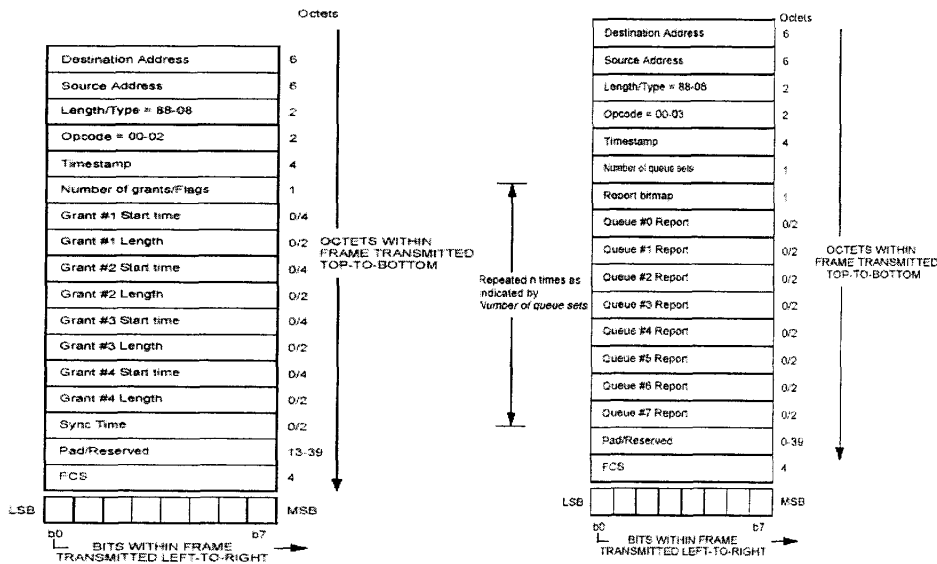
職於準備 EPON 簡報之同時間，NIST ITL 指派一位在 OPNET Modeler 領域已運作 2 ~ 3 年經驗之 guest researcher (Mr. Oilver Rebala)負責協助職在最短期間了解 OPNET Modeler 模擬軟體的指令、操作方式、設計流程等，使職能儘快進入狀況，進行 EPON model 的程式設計。

OPNET Modeler 不愧是一套功能強大的模擬軟體，幾乎能進行各式各樣的模擬(只要知道該如何操作)，但複雜的指令與不同的連接(Link)方式操作，令初學的人吃盡苦頭，有時無法以人類的邏輯思維來設計程式，必須以其 Kernel

的設計為之，故職戲稱此種方式為“OPNET Way”。

1.1 EPON 技術

隨著時間的流逝，職漸漸地抓住 OPNET 設計的竅門，從 OLT (Optical Line Terminal)端開始，首先用 Packet Editor 設計與定義 OLT 與 ONU 間送收封包的格式，主要包括控制用的封包，資料封包則以 Default 的 Ethernet 封包送收，IEEE 802.3ah D3.0 Specification 中定義了相關控制封包之格式，稱為 MPCPDU (Multi_Point Control Protocol Data Unit)，如圖一所示，由 OLT 送至各 ONU 稱為 GATE MPCPDU，由 ONU 送回至 OLT 端的稱為 REPORT MPCPDU；另外 ONU 在註冊(register)過程中使用 REGISTER MPCPDU，共有 register_request, register_ack, de_register, re_register, register_confirm 等幾個溝通指令。

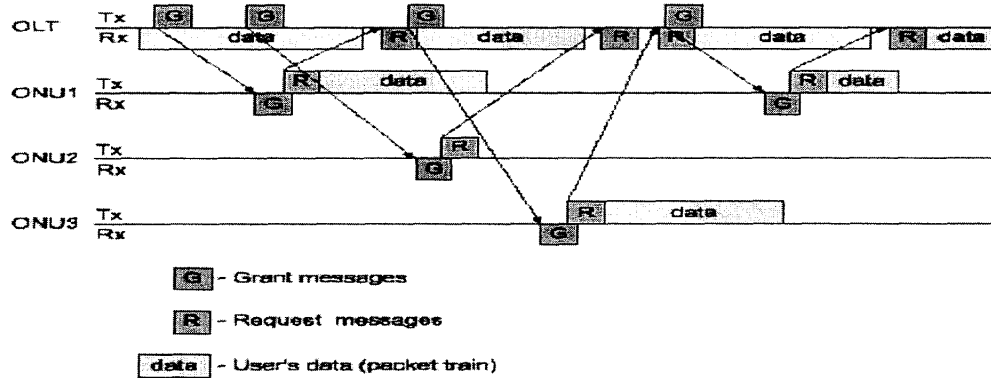


圖一：GATE and REPORT MPCPDU frame structure

1.2 EPON Multiple Access Technique

Multi_Point Control Protocol 為 OLT 處理多個 ONU 上行頻道的 timeslot assignment 機制，基本上屬於一種 scheduling 排程機制，用意在於使各個 ONU 的上行信號不至於互相交錯。圖二說明 EPON MAC 層的信息溝通方式，OLT 送

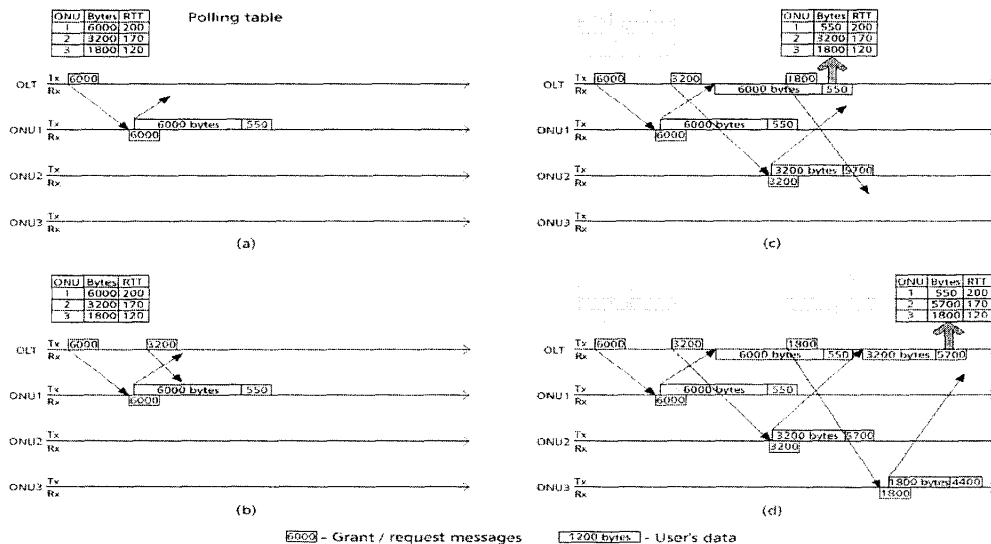
出 Grant message 給各個 ONU，ONU 則依據 Grant 封包信息所給定的頻寬與起止時間傳送上行資料，並在資料封包的最後附加 REPORT MPCPDU(此種技術又稱為 Piggytail)，以通知(要求)OLT 在下一環中(cycle time)給與多少頻寬。



圖二：Interleave Polling Scheme

1.3 Polling Algorithm (MPCP)

如圖三中說明，依據 IEEE 802.3ah D3.0 Specification 中定義的 Polling 方式，OLT 逐一詢問 ONU(round_rubin)各 ONU 的頻寬需求，逐一表列於 Polling table 中，再依據表中的 RTT 資訊逐一給定 ONU 的傳送頻寬，ONU 則回應剩餘在其 queue 內的封包數，作為下一輪的頻寬要求設定參考。



圖三：Steps of Polling Algorithm

2. OPNET Modeler 模擬系統

2.1 OPNET 設計結構

OPNET Modeler 軟體的設計架構主要由 Network model editor, Link model editor, Nodal model editor, Process model editor 以及一些 external source model 所組成，彼此間有所謂從屬關係，軟體的模擬主要由 Kernal 來執行，此部分為 OPNET 軟體的核心，吾人只有使用權，無法更動。

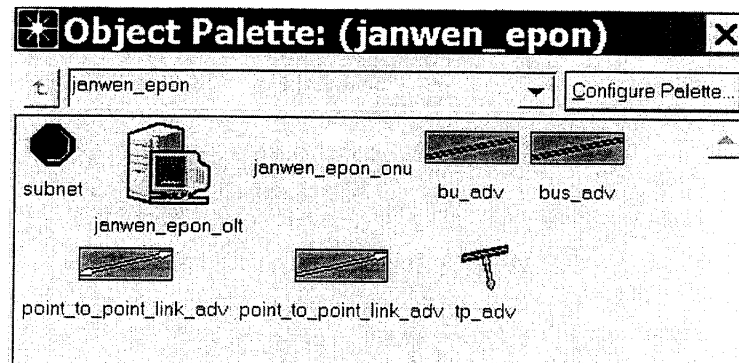
Network model 通常定義網路架構與網路元件，以及元件的數量，屬於上層結構；Link model 則是建立網路元件之間彼此的連結方式、delay 及速率等參數；Nodal model 建立網路元件本身(node)的內部架構，如 OSI 七層之關聯性，從應用層至傳輸層之封包送收關係；Process model 則是以 state machine 方式建立各種邏輯之關聯性，形成 state diagram，然後在各個 state 撰寫程式使系統動作，此部分為 OPNET 的主要核心作業，所撰寫之程式在 Process model 編輯、compile，直到進行 simulation 動作。

幾個 model 之間彼此也有上下層從屬關係，下層可提供特性(features)與屬性(attribute)給上層做參數設定，但彼此需協調好，否則易造成模糊不清(ambiguity)之設定，製造出錯誤之模擬結果。

2.2 EPON 模擬軟體系統架構與參數設定

首先建立 EPON 各網路元件的代表符號(symbol)，如圖四所示，此乃由於 EPON 屬於新技術，OPNET library 軟體並無現成之模型。當各種基本元件(如 OLT, ONU, Bus)特性設定與模型建置好之後，即可連結成 EPON 網路模型(如圖五所示)。此網路共有 32 ONU，OLT 以 Bus 架構連結 32 個 ONU，散佈距離從 5 公里至 20 公里，傳送速率為 1 Gbit/s，transmission delay 設為 $5 * 10^{-9}$ sec (光信號在光纖傳送假設為 $2 * 10^8$ m)，TSI 部分採用 TDMA, Polling, Dynamic

三種基本方式做效能分析，例外附加預測器(Predictor)與 MTW (Maximum Transmission Window)的設計，共有六種 Bandwidth Allocation 方式。

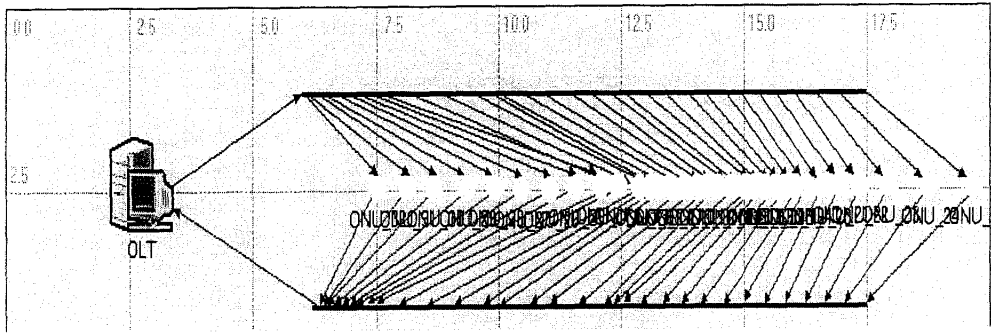


圖四：EPON 網路元件模型

碼框的傳送方式分別有(1)TDMA, (2)Polling, (3)Polling + Predict, (4)Dynamic, (5)Dynamic with MTW, (6)Dynamic with MTW + Pedict, 暫定每個 ONU 給定一個 Grant。另外在 ONU 傳送資訊之間，設定 5 us 的 Guard time 作為 Laser ON/OFF 的 warm-up 時間，而每個 ONU 給予 16.384 us 作為處理封包的時間。

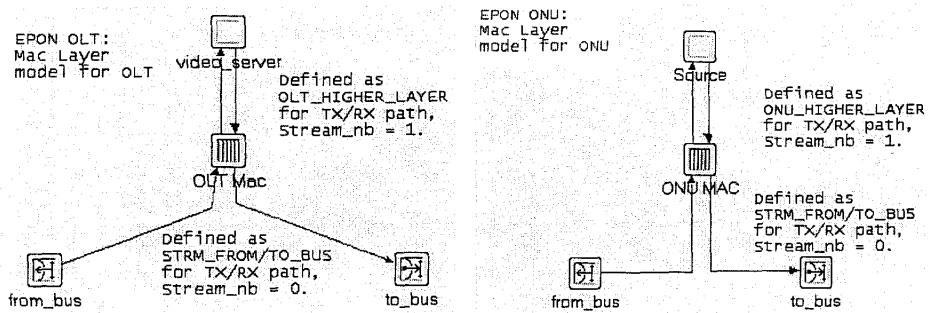
封包的產生方式為模擬 Ethernet 格式，長度有 64 Byte (0.4 possibility), 512 Byte (0.25 possibility), 1518 Byte (0.35 possibility)；OPNET 設定每個 ONU 具備 infinity queue length，程式中給定 OLT 以 round_rubin 方式輪流詢問 ONU，ONU 並以 Pacjet-based 方式傳送資料，直到無法送完最後一整個的封包，但 ONU 回應 REPORT 封包則寫入 total_bit_length_in_queue 給 OLT。

ONU 封包產生的速率為變化自 0.02 sec 至 0.00005 sec (共有十次變化) 的 Constant 或 Exponential distribution，每回模擬的時間長度為 1 秒，因此能得出一個 utilization 對 traffic intensity 的對應圖。



圖五：EPON 網路架構圖

圖六為 OLT 與 ONU 的 Nodal model 圖，主要模擬 OLT 與 ONU 的 MAC 層規約，其中 Bus 為第一層雙向送收 Link，Source 表示 ONU 的資料產生源，可設定成各種機率分布與封包產生速率，video server 代表模擬視訊頭端產生視訊流的方式，可於內部(將該 ICON 點開)做更詳細之模擬參數設定，做有關視訊封包傳送之模擬(如 Video downloading, on-line watching 等)。



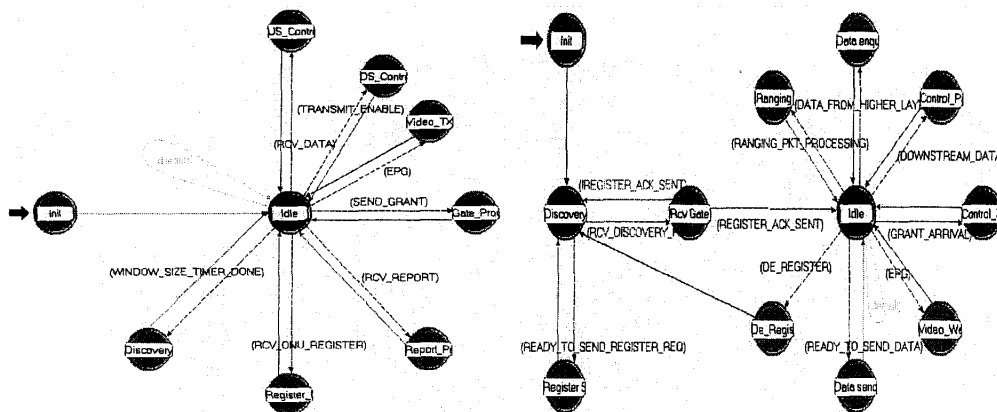
圖六：OLT/ONU nodal model 圖

OPNET 基本上可根據使用者之要求做各種之參數設定，使模擬結果趨近於實際狀況，另外輔以自行設計之程式，幾乎可進行任何的模擬。

2.3 Discovery and Register Process

圖七為 OLT 與 ONU 在 OPNET Modeler 模擬軟體所設計的 State Diagram，主要是將 IEEE 802.3ah EPON MAC 層的 MPCP 轉換設計成 OPNET Modeler 的程式設計，將每一個封包(包括控制封包與資料封包)的送收以程式逐一模擬，

進而查看網路傳送效能。



圖七：OLT and ONU Process model State Diadram

接下來說明 OLT 如何發現 ONU 以及將 ONU 註冊，登入 OLT 之參考表的程序。如圖八所示，首先由 OLT 發送一 broadcasting 的 GATE message(送出訊息後啟動 Discovery_window timer)，內容為要求收到但尚未註冊(register)之 ONU 送出註冊信息(此 broadcasting 信息原則上每固定時間發送一次，以免漏失新增 ONU)；ONU 收到後等待一段時間 (每個 ONU 之等待時間長短不一，為 random delay)後送出 register_request 訊息給 OLT；OLT 每次選擇一於最短時間 (在 timer 時間內)回應之 ONU 做註冊動作，將該 ONU 之 MAC address 給予一 Logic Link ID (LLID)，然後送出此訊息外加一個 Grant message；ONU 在收到註冊訊息後回應一 Register_ACK 訊息給 OLT，完成註冊程序。

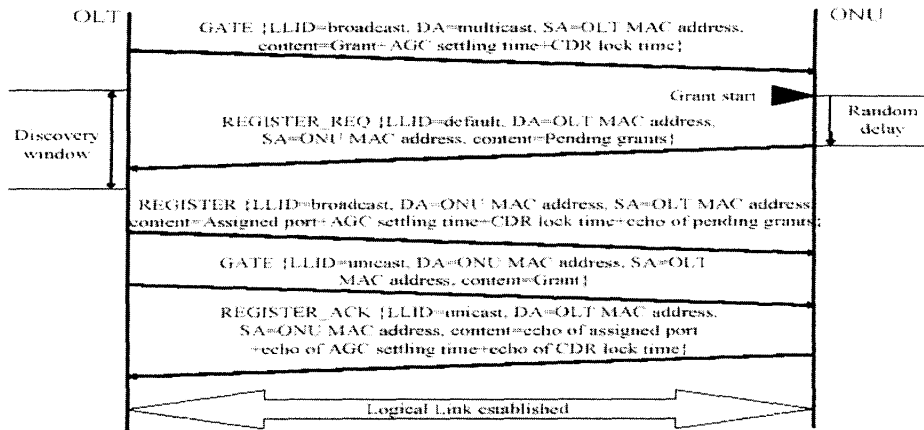
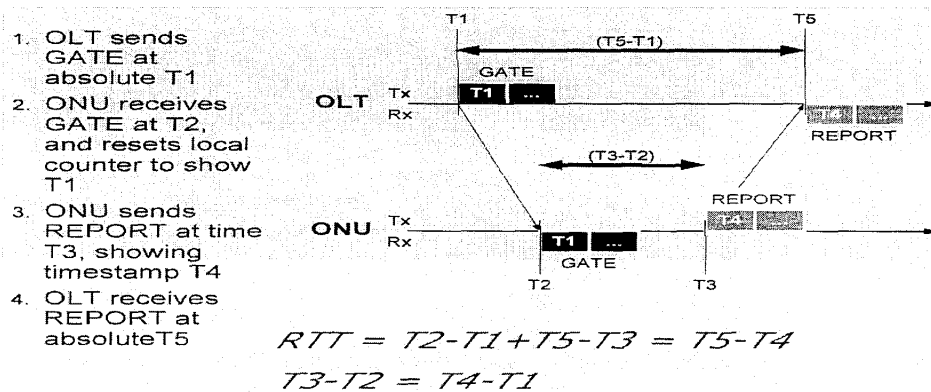


Figure 64-13—Discovery handshake message exchange

圖八：EPON Discovery and Register Process

2.4 Ranging Process and RTT Computing

註冊完後之 ONU 即進入送收資料狀態(state)，在真正傳送資料以前須先做 Ranging 與計算 RTT (round trip time)，計算的方式如圖九所示，OLT 送 GATE message 給 ONU，同時啟動 Timer，ONU 立即回應 REPORT message，OLT 收到後計算 RTT 來測知該 ONU 之距離。



圖九: EPON Ranging Process

2.5 REPORT Process

此 message 具有某種強制性，每當 ONU 傳送資料後，在最後一筆資料後端會附加 REPORT message 以回應 Grant message，此 REPORT 資訊主要負責

回報現有 ONU queue 內之長度(封包數)，該封包數則由上層所發出，即使無資料傳送(queue length = 0)，ONU 也必須回覆 REPORT message。

2.6 Data Transmission Process

當註冊、RTT 計算等動作完成後，OLT 與 ONU 即開始進行資料傳送，提供相關服務。本程式計算 Utilization, throughput, delay 等參數則於此 Process 進行，在設計上，由 ONU queue 端傳送、在 OLT 端收到無誤後始記為一次成功的封包送收，再累積計入 throughput 內，如此算出真正的效能。

2.7 Bandwidth Allocation Algorithm Design

依據 IEEE 802.3ah 標準所設計，只有 Polling scheme，而為了對各種頻寬排定機制的效能做比較分析，職一共探討六種方法：

(1) Fixed_Length Timeslot: OLT 傳送 Grant 給 ONU 時，每次最多可給 4 個 Grants，每個 Grant 可給 ONU 帶來最大約 1 ms (1 Mbits)*長度的頻寬，因此 TDMA 的設計以 4 ms 的固定長度平均給每個 ONU 頻寬以傳送資料，而一個 cycle time 則為 $32 * 4 \text{ ms} = 128 \text{ ms}$ ，所以每 128 ms 後可循環回至原始 ONU，使服務不至於中斷。

* 註: 1 Mbits 長度計算方式如下: Grant 封包內有 16 bits 變化之 time_quanta 數，每一 time_quanta 為 4 bits 長，故共有 $2^{16} * 2^4 = 1,024 \text{ kbits}$ 。

(2) Poll_Request (IPACT): 由 OLT 依序詢問各 ONU 的 queue length，ONU 則以 REPORT MPCPDU 回應，然後 OLT 排定各 ONU 的頻寬後，於下一個 cycle time 給予各 ONU 所要求的頻寬數以及起始終止雷射光源送收時間，給與頻寬的方式則為最小頻寬給予 1 ms，最大頻寬給予 4 ms，介於之間的頻寬要求則依 ONU 所要求數來分配，如此可使頻寬得到較佳之使用率。第二版則設定最小頻寬給予為 64 kbits，提高頻寬使用效率。

(3) Predict: 主要依據(2)Polling 的方式，於原有之 Grant 外加一預測值(預測

方法於下一章節說明)給 ONU，主要的著眼點在於當 OLT 傳送 Grant 給 ONU 時，其中的頻寬給定值為 ONU 在前一個 cycle time 所要求之 REPORT 值，而經過一個 cycle time 後，ONU 將有一些新增(arrival)之封包，因此，這個 Predict 的預測值即是預測該 ONU 在 cycle time 時間內所來到的封包數，而如果預測得準的話，REPORT 值將趨近於零，或甚小於某一 Threshold。

另一著眼點則是為解決 Polling algorithm 的盲點:當 ONU 在某個時間已送完所有資料，因此 REPORT = 0 回應至 OLT，於是在下一個 cycle time 中該 ONU 將無頻寬可用(依據 Polling 方法，OLT 給 Grant = 0)，而經過某些時間，該 ONU 有封包產生，但是在下一個 cycle time 該 ONU 無頻寬可用，只能以 REPORT 訊息重新要求頻寬，於是此封包必須等待至少 2~3 個 cycle time 才能傳送出去。因此，為了解決此一情形與提升效能，職特別設計此 Predict，用在每一個 cycle，可祛除以上之情形。

(4) Dynamic Bandwidth Allocation: OLT 依據每個 ONU 所要求之頻寬給予，不限定上下限值。

(5) Dynamic with MTW : OLT 依據每個 ONU 所要求之頻寬給予，但限定上限值 MTW (Maximum Transmission Window)為 12 ms，下限值為 64 Kbits。

(6) Dynamic with MTW plus Predict : 依據(5)的設定在加上 Predict Algorithm。

2.8 Linear Predictor Algorithm Design

Predict 的設計方式如下說明:

1. Predictive window reservation sets at OLT site.
2. ONU asks BW by way of REPORT packet.
3. OLT assigns Grant and bandwidth to ONUs by (REPORT + Predict).
4. Predict value (P) : represents the packet arrivals during grant cycle time interval, window is set between 64 kbits to 1 Mbits,with adding up every 64 kbits.

5. Trend value (T) : set the variation between each different cycle of R as Trend.
6. (R, T) set : when R is increasing, it means that the Trend is going UP and packets are accumulating at the ONU queue, so increase P.

We say that (R, T) is positive correlation, and P will be the correlation coefficient of R and T. $0 < P < 1$.

Otherwise decreasing P to basic window size immediately. We say that (R, T) is negative correlation. $-1 < P < 0$.

7. R=0 processing: when R=0 first time, set $P = \text{min_W} - 64$ kbits; R=0 again, set $P=0$; R=0 third times and above, set $P = \text{Min_W}$ by way of exponential backoff algorithm.
8. Time_out setting: when R=0 for sometime(> 10 min or 10000 counters), set ONU deregister and share its bandwidth to other ONUS until it get back (re-register).
9. When P is approaching precise, R should close to Min-Tx_window (4 ms for Fixed_length, 1 ms for Poll_request).
10. When P is a worse prediction, it will waste ustream bandwidth. So, it needs to adjust R and P value simultaneously.
11. Using ARMA (p, q) model to count the P value:

$$Z_t = a_0 + a_1 Z_{t-1} + a_2 Z_{t-2} + \dots + b_1 Q_{t-1} + b_2 Q_{t-2} + \dots + b_t$$

p -> Auto Regressive (AR) model
q -> Moving Average (MA) model

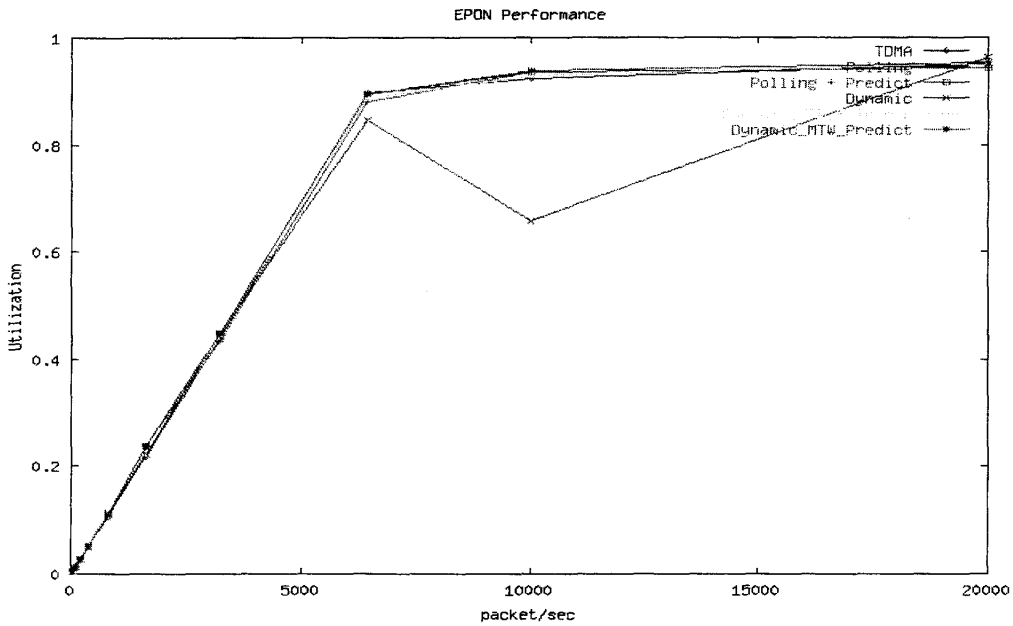
3. OPNET 模擬結果

3.1 EPON Performance Evaluation

以下說明本程式所模擬之結果，如圖十所示，為六種 Bandwidth Allocation 方法對網路訊務量的效能分析，此圖為模擬當 ONU 的訊務由低(封包產生率 = 50 packets/sec)至高(封包產生率 = 10000 packets/sec)甚至更高的封包數，在 OLT 端接收到正確的封包後所紀錄下來的累積封包數，而表一則是將實際送

收的封包數做一整理。

由圖中可看出，由於每個 ONU 的封包均是以 constant distribution 的分佈來產生，可說是每個 ONU 都一樣，因此圖形成線性增加直到頻寬不足才出現轉折，且每種頻寬設定方法的效能都差不多，無法看出實際的差異，但仍能約略看出 Dynamic 與 Poll_request 在 high loading 時的表現較 Fix_length 佳。而由表一的數字亦驗證此一情形。



圖十: 不同頻寬設定機制的效能分析比較圖

SS rate (p.	TDMA	Polling	Polling + F	Dynamic	Dynamic_M	Dynamic+
50	0.006257	0.006257	0.005358	0.004336	0.004336	0.005358
100	0.013595	0.011223	0.013427	0.012361	0.012372	0.013427
200	0.027733	0.025331	0.027317	0.027357	0.02738	0.027317
400	0.050654	0.051574	0.052035	0.048193	0.051978	0.052035
800	0.105219	0.113021	0.11144	0.113305	0.11351	0.11144
1600	0.218639	0.236812	0.238558	0.222064	0.237191	0.238558
3200	0.43792	0.432891	0.449104	0.446201	0.447207	0.449104
6400	0.896334	0.878908	0.894724	0.846028	0.88833	0.894724
10000	0.922983	0.935899	0.936812	0.657031	0.929962	0.938347
20000	0.95188	0.944185	0.943181	0.962104	0.953535	0.953631

表一：Constant Distribution Performance Table

圖十一則顯示各種頻寬設定機制在 exponential distribution 情形下的效能，可看出彼此的差異性較大。

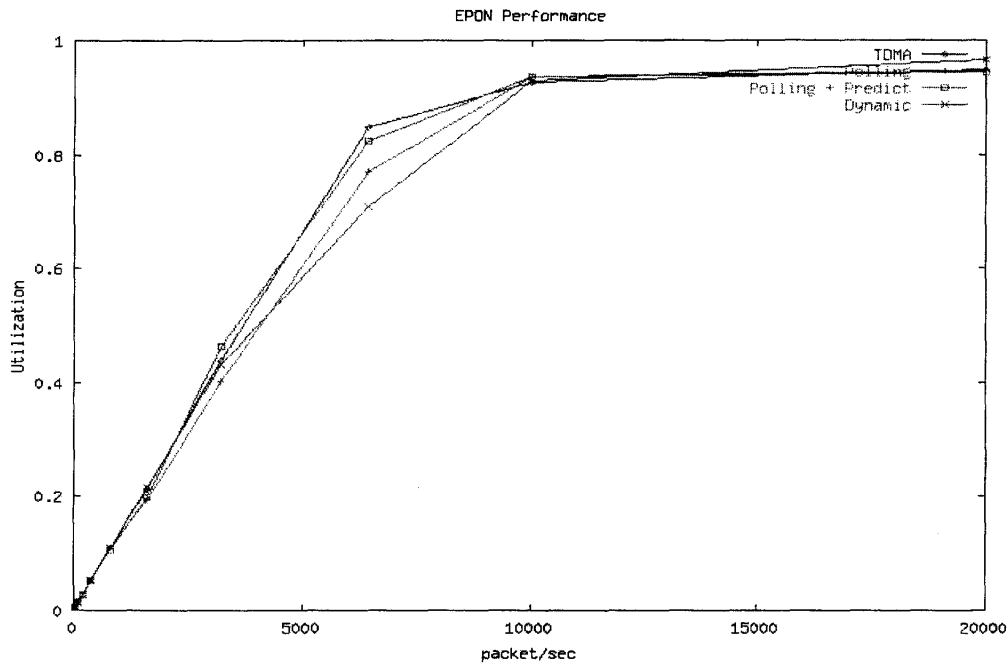


圖 十一：Exponential Distribution Performance

四、心得與建議

針對本次與 NIST 的交流合作，有以下幾點心得與建議：

1. NIST 之研究多屬於 R&D 環節之 Research 的部分，因此研究領域較尖端較廣但範圍較小(人數少)，且研究成果佳，僅 NIST 即產出約 5 位 Nobel Prize winner。
2. 本所之研究則因民營化緣故，研究偏重 R&D 環節之 Developing 的部分。
3. NIST 定位為國家技術標準，目標是產出結果可讓所有人分享使用，但因有權制定標準，因此得以派員參加 ITU-T, ANSI, IEEE 等各式會議，頗具發言權，也因此訂定年度研究計畫時可同時 watch 及 match 業界需求，

具相輔相成效果。

4. NIST ITL 目前以 Wireless (LAN, PAN), Internet security (DDOS), Optical Restoration 為主，計畫人員頗多年青 Guest researcher，由資深研究人員帶領。
5. NIST 發表論文採 2 位 Reviewer 審核制，對文章內容與英文語法等均能適度修訂，使論文容易被接受，且 NIST 本身亦常派員審核其他之投稿論文，經驗豐富。
6. 建議加強與 NIST ITL 之交流合作

由於韓國學界及產業界頗支持此類合作，因此 NIST 單位內頗多韓籍研究人員，而幾乎無台籍人士，長此下去對台灣之研發技術將無法領先競爭對手，建議本所可多派人進行相關合作事宜。合作議題則可就 ITL, Security, Quantum Computing 三方面與 NIST 合作。

7. OPNET Modeler 模擬軟體之設計符合知價時代(Knowledge-based)的需求，且具有某種形式的相對低成本與便利性，雖設計進入門檻高，一但熟悉後，應用其強大的功能所產生的效益甚高，可使用於應用層(如 IT Guru, WDM Guru)，亦可使用於研發層(如 Modeler)。本所現有 OPNET 公司之過期 Modeler 7.0/Wireless (無線室林柏儔)，為使本研究計畫得以延續，擬後續進行版本升級建里本所之模擬環境。

五、參考文獻

- [1]Rajendra Jain, “A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer System”, DEC Report, Sep. 26, 1984.
- [2]D. Nikolova, “Dynamic bandwidth allocation algorithms in EPON: a simulation study”, Opticomm 2003.
- [3]Glen Kramer, “Supporting differentiated classes of service in EPON”, J. of Optical Networking, Aug. 2002.
- [4]Glen Kramer, “IPACT: A Dynamic Protocol for an EPON”, IEEE

Communications Magazine, Feb. 2002.