

TWAREN 光網路實驗環境之建置與光通道控制系統測試

林書呈 曾惠敏 張宜正 李慧蘭 劉德隆 楊竹星

國家高速網路與計算中心

{daniellin, n00hmt00, andy, gracelee, tliu, csyang}@nchc.org.tw

摘要

隨著網路之普及，多元化的各項應用如雨後春筍般的誕生，網路流量亦隨之逐日增加，為了因應此一趨勢，網路骨幹頻寬已從 ATM 155Mbps 昇級至 Gigabit Ethernet 1Gbps，甚至於 10Gbps 之容量。除了一般的網路使用外，尚有影音串流、高畫質影像與高容量格網資料傳輸等下一世代 e-Science 軟體，這些軟體之共同特性為需要高容量的光網路頻寬以保證傳輸之服務品質，因此目前國際研網均將研發重心著重於光網路控制層之實作。為了要研究次世代的光網路服務，臺灣高品質學術研究網路[2] (TWAREN) 建置了光網路實驗室，除了同步數位階層 (SDH) 功能外，亦規劃了下一代同步數位階層 (Next-Generation SDH) 與稠密光波分割多工技術 (Dense Wavelength-Division Multiplexing, DWDM) 系統，提供國內外學研界整合 IP 路由與光通道測試的實驗平台。在目前進行之光通道控管計劃裡，我們已研發出適用之頻寬管理資料庫結構，並研製配合此頻寬管理系統之光控制層軟體，可提供故障繞徑之功能，未來預計將此系統整合至 TWAREN 維運中心，除提升維運之便利性外，尚可減少故障恢復時間並降低維運人力成本。

關鍵詞：臺灣高品質學術研究網路 (TWAREN)、光網路 (Optical Networks)、光通道 (Lightpath)。

1. 前言

由於格網技術與高速運算等 e-Science 軟體之蓬勃發展，學研界對於網路頻寬之需求與日俱增，因此可提供高容量與服務品質保證之光網路已成為各國研網之基礎建置項目，而在完成光實驗平臺的架設之後，為了便利於光通道的配置，亦開始研發光通訊控制層系統，茲整理如下：

● UCLP (User-Controlled LightPath)

UCLP[3]系統為加拿大 CANARIE 與思科公司所贊助研發，由四個軟體團隊分別開發：University of Waterloo、Communications Research Centre of Ottawa University、University of Quebec a Montreal 與 Carleton University。傳統上光通道之建立為由管理者檢視是否有足夠的系統頻寬後，再經由設定光設備上之線路交換以將可用頻寬串聯

成為點對點的光通道；透過 UCLP 軟體的授權功能，管理者可以將光網路之頻寬預先保留給使用者，再由使用者操作 UCLP 介面自行決定要串聯的頻寬，以建立適用之光通道。目前 UCLP 為唯一運用於實際網路上之系統，加上 CANARIE 於各國之推廣，幾乎已成為配置光通道的標準。TWAREN 亦與 CANARIE 自 2004 年開始合作進行將 SONET 版本修改為適用於 SDH 技術之系統，並於 TWAREN 光網路上完成 UCLP 系統之建置[1]。

● DRAGON (Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks)

DRAGON[4]為美國國家科學基金會所補助的計劃，為配合 Internet2 的 HOPI (The Hybrid Optical and Packet Infrastructure) 計劃的一環，HOPI 為將 Abilene IP/MPLS 網路與 NLR 光網路進行連結，建立一混合型的新型態網路架構，DRAGON 之目標為在 HOPI 架構中配置點對點之連線，以 GMPLS 技術為基礎，設計出統一的應用程式介面 (Application Programming Interface) 供撰寫 e-Science 程式之開發者使用；建置網路資源代理人 (Network Aware Resource Broker) 以解決跨網域 (inter-domain) 之連線建立問題；對於非 GMPLS 之設備，以虛擬標籤交換路由器 (Virtual Label Switched Router) 來協助配置標籤交換路徑 (Label Switched Path)。

● JRA3-BoD (Bandwidth on Demand)

GEANT 為結合 26 個歐洲研網之大型合作網路計劃，2005 年起進入第二代 GN2 之建置，包含了許多的整合研究計劃 (Joint Research Activity) [5]，隨選頻寬 BoD 計劃即為整合研究計劃之一，旨在設計出一套自動之控制系統，可建立跨越不同網域、不同網路層 (包括第三層 IP 網路第二層網路與光網路) 之點對點通道。

由以上討論可知，目前各國在光網路之研發均以光通訊層為重心，然而在光網路實體環境運作成熟後，在可預期的未來將會遇到維運時管理之問題，因此 TWAREN 為此建置了光網路實驗室，以模擬維運之環境並開發光通道管控系统，並可針對光網路之各項議題與國內外學研界合作。在第二章中，我們將介紹目前 TWAREN 光網路架構與光網路實驗室之組態，並於第三章探討光設備之控制方式，在第四章內將詳述所開發之控制系統與測試成果，並將未來之可能發展整理於第五章結論中。

2. TWAREN 光網路架構與光網路實驗室

2.1 TWAREN 光網路架構

TWAREN 骨幹於 2003 年建置完成之時採 IP 網路與光網路分離之雙骨幹架構，隨著對光網路維運之成熟度日增，於 2006 年底改採圖 1 所示整合 IP 與光網路之單一骨幹架構，各個虛擬網路或專線服務均由底層之光通道構成，在頻寬使用上提供學研界更大的彈性。在規劃上仍以臺北、新竹、臺中、臺南四個主節點間的 STM-64 線路為主，並各自以 STM-64 連結到所屬之 GigaPOP，為了考慮故障備援之需求，各 GigaPOP 間各以 STM-16 或 STM-64 之線路互連，加強網路之存活性 (survivability)。

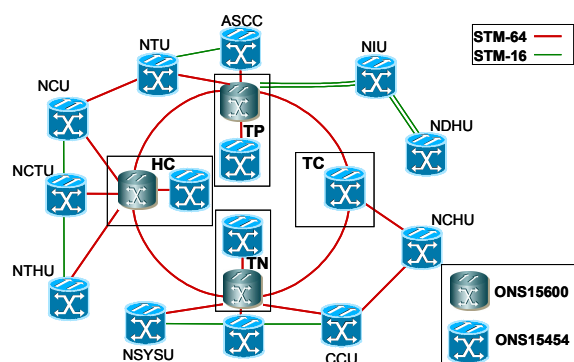


圖 1 TWAREN 骨幹光網路架構

2.2 TWAREN 光網路實驗室介紹

國家高速網路與計算中心於 TWAREN 建置後，在網路服務不中斷之高度要求下，相關網路管理工具的開發實驗與測試不宜在營運中之 TWAREN 光網路骨幹上進行。因此 TWAREN 光網路研發小組規劃了新一代 SDH 和 DWDM 整合之實驗平台——TWAREN 光網路實驗室。

本實驗環境使用與 TWAREN 光網路骨幹設備相同之 CISCO ONS15454 光交換器。CISCO ONS 15454 可同時使用操作於 SDH 模式與 DWDM 模式。目前 TWAREN 光網路骨幹設備均為 SDH 模式，在考量未來新一代 TWAREN 網路之研究，在實驗室中的光交換器除了 SDH 之外，亦安排 Next-Generation SDH 與 DWDM 之卡版可供不同網路需求規劃出適用之架構。

實驗室架構圖如圖 2 所示，包含有五個機櫃，分別放置以下機器：四部 CISCO ONS15454、三部 CISCO 7609 路由器、兩部 RPM 電源管理器和 HP 伺服器。並將四部 CISCO ONS15454 規劃成三個節點，分別是節點 A、節點 B、節點 C，其中節點 A 有兩個機櫃，分別是 shelf A 和 shelf A2。shelf A 安裝 DWDM 卡版，shelf A2 安裝 SDH 卡版，節點 B 和節點 C 各有一個機櫃，同時安裝 SDH 和 DWDM 卡版。

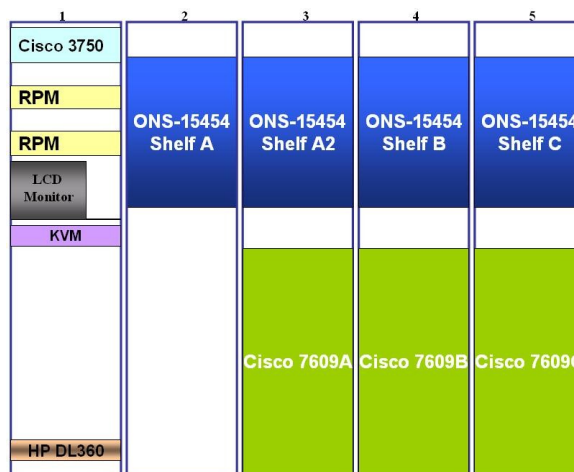


圖 2、光網路實驗室網路架構圖

網路拓模圖如圖 3 所示，四部 CISCO ONS15454 組成的三個節點，節點 A、B、C，其下均各自介接一部 CISCO 7609 路由器。實體線路為 A-B 和 A-C 兩條暗光纖 (dark fiber，圖中彩色線部份所示)。在於此 DWDM 網路上切割 A-B、A-C 和 B-C 三條 10G SDH 線路 (圖中紅線所示)，以 STM-64 線路連接 A-B、A-C 和 B-C 成為環狀 SDH 拓模。CISCO 7609 路由器以 GE 線路介接於環狀節點之下，形成 IP 和光網路的混合架構。

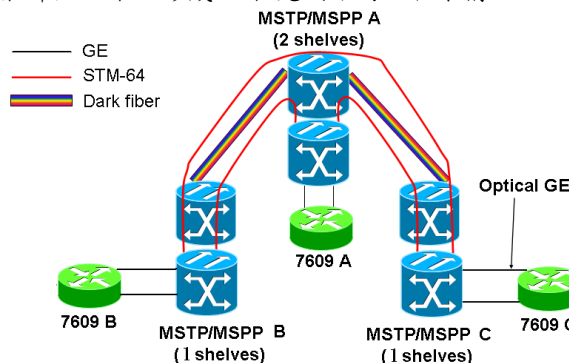


圖 3、光網路實驗室網路拓模圖

本實驗室已於 2007 年初建置完成。目前利用光網路實驗室正進行中的實驗與合作有：協助加拿大 Communications Research Centre 開發適用於 SDH 之 UCLP (User-Controlled LightPath) 系統、與中央大學合作研究光網路上之 SLA 機制，並與清華大學合作研究在光網路實驗平台上服務品質保證與系統安全之測試。未來期望可提供更多光網路網管研發人員一個可供測試除錯的實驗研究環境，或提供光網路相關之國際性計畫交流。

3. 光設備控制介面研究

3.1 TL1

Transaction Language 1 (TL1) 為傳統電信設備之標準控制語言介面，在制訂 TL1 之前，各家電信設備商都有各自的控制語言，彼此互不相通。

到了1984年，Bellcore(現Telcordia)以Z.300標準為基礎，定義了一套人機互通的控制語言介面TL1，便於管理各種電信設備。由於Telcordia以TL1作為設備管理的通訊協定，各家設備商均主動在設備上開發TL1控制介面，TL1遂成為電信設備控制語言的統一標準。除了傳統電信設備支援TL1協定外，新的設備如光通訊設備上也多提供TL1介面供管理人員進行開發。

TL1透過telnet session傳遞ASCII-Based的命令至光設備，亦可以ASCII格式讀取光設備目前的組態資訊，協助維運系統能夠有效管理網路設備及其資源。TL1是目前北美主要控制電信網路的協定，也是電信行業最廣泛使用的管理協定之一。它管理了世界上數量眾多的寬頻網路設備，正在不斷廣泛應用，成為通訊設備的一項管理標準。

TL1協定具有以下優點：

- 標準語法：TL1提供標準的命令列介面語法來管理設備，也保留彈性讓設備商可以開發專用的特殊指令。
- 雙向訊息傳遞：TL1支援雙向的訊息傳遞，指令可由管理端發出，而設備端亦可發出事件訊息給管理端。
- 人機互通語言：TL1訊息以無加密之標準文字格式呈現，管理人員能夠容易瞭解訊息代表的意義，也能夠透過程式語言撰寫開發相關控制功能。
- 機器溝通語言：TL1亦提供設備間以二元碼的方式彼此進行溝通。
- 定義完整的語言：TL1是一項定義完整的語言，能滿足效能、事件、管理等各種需求。
- 易學且免費：目前大部分通訊設備皆提供TL1介面供管理人員進行開發使用，不用額外購置其他配件。另TL1為一項通訊標準，易於管理人員學習。

由於TL1為最廣泛使用的管理協定之一，不用額外花費即可開發管理功能，適合學研界進行相關研究。如加拿大研究網路CANARIE所贊助的UCLPv2計畫，就是以TL1為工具，開發光網路上的光通道管理系統。

目前荷蘭研究網路SURFNet贊助了一項TL1 Toolkit[6]的開發計畫，提供一個較高階層的應用程式介面，讓光控制層程式開發更為容易。TL1 Toolkit以Perl為基礎，代為處理繁雜的連線、登入登出等程序，將繁雜的TL1語法包裝成容易使用的API，有助於維運人員開發相關網管功能。本論文即以此TL1 Toolkit為工具，開發光設備上的光通道控制系統。

3.2 Corba 介面

CORBA(Common Object Request Broker Architecture)為OMG(Object Management Group)在一九九一年十二月提出之分散式物件導向工作

環境規格。OMG是一個由會員贊助而成立的非營利組織，其目的在推廣物件導向(Object-Oriented)的觀念及使用並致力於加強軟體的可攜性(portability)、再利用性(reusability)、以及互通性(interoperability)。該組織會員包括了廠商、學術單位及用戶。

CORBA發展的原因是為了解決企業的電腦系統在整合各種平台和作業系統時，能夠有一種一致的標準讓這些不同的平台、作業系統、以及程式語言可以互相溝通的技術。OMG在CORBA中定義了IDL(Interface Define Language)，可以讓程式撰寫者利用各種不同語言撰寫管理程式，管理程式透過與ORB(Object Request Broker)溝通管理相關設備設定。ORB是連結伺服器與用戶端的一組服務，能中介客戶端與伺服器端之間的溝通，讓CORBA的運作更加方便。ORB實作了一些特定服務，例如命名服務讓客戶端可以簡單取得伺服器物件的相關資訊、交易服務可確保程式間溝通的一致性、安全服務可以確保已授權的程式進行相關存取動作，這些服務的實作處理掉繁雜的細節，讓程式間溝通更容易。

目前一般光設備亦提供CORBA介面供管理人員開發相關控制程式使用，如CISCO的光設備管理軟體CTM(Cisco Transport Manager)即使用CORBA介面開發而成。但CORBA中的ORB套件需付費才可取得，一般開發人員需額外購置相關ORB套件才能使用相關IDL定義檔來開發相關網管程式，學研界較少使用。

4. 光通道控制系統

4.1 系統及測試架構介紹

本系統以Linux為開發平台，主要利用PHP程式語言所開發，結合Shell Script控制TL1 Toolkit的Perl模組，後端資料庫使用MySQL Database儲存相關資料。

測試架構包含光網路實驗室中三個SDH節點A、B、C，彼此間以STM64 channel連接，如圖4所示，在基本的點對點連線實驗中，B與C包含了Ethernet卡板，其餘介接點皆以OC192XFP或是OC192LR卡板互連，光網路管控伺服器則以頻帶外(Out-of-Band)線路透過TL1介面與ONS連線，並將光通道狀態記錄並更新於資料庫中。

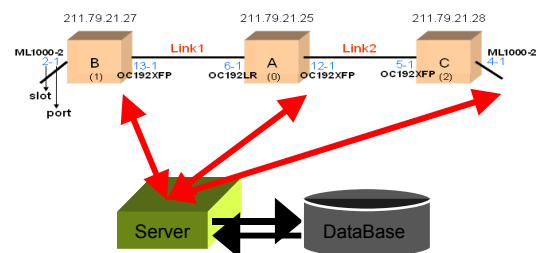


圖4：測試系統架構圖

在管控程式啟動之時，伺服器會讀取設定檔以進行初始化程序，在使用者提出連線建立需求後，管理介面先 query Node 光通道設定之即時資訊，計算出目前系統各節點可用之卡版埠號與各線路可配置之頻寬，接著利用 PHP script 做最短路徑演算法將欲建立之光通道更新至資料庫，同時透過 TL1 Toolkit 設定光通道所經 ONS 之光開關，最後將結果回傳資料給使用者。

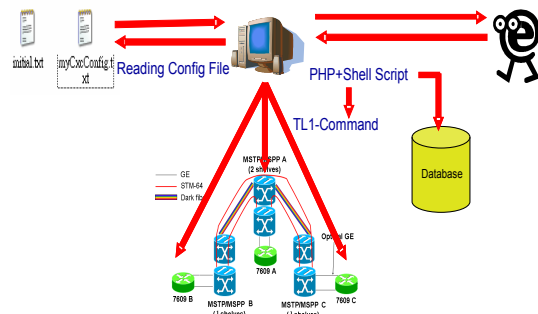


圖 5：建立連線流程架構圖

上述建立連線流程如圖 5 所示，詳細步驟如下：

1. 利用 TL1 Toolkit 至每個 Node Query 即時狀態，找出每個 Node 上面的 slot、port 及 channel 數之使用狀態
2. 依據使用者需求建立連線資訊
 - a. 初始化檢查，檢查目前使用資源是否足夠及顯示網路拓撲
 - b. 自動依據要求的 channel，找尋 Link 上是否有足夠的頻寬
3. 執行最短路徑演算法
4. 找出 Free LPO channel 並透過 TL1-Toolkit 做 Cross Connect
5. 同步資料庫

4.2 資料庫設計

根據光網路資源管理與分配的概念，可以將各資源(如實體連線、光網路交換器設備、介面卡等)利用程式語言將其物件化，再與資料庫搭配做儲存管理與配置，以實現自動光通道配置與管理的技術。資料庫設計方面，我們依據光資源設備之資訊與性質，設計了相關的資料表與欄位。以下逐一說明各資料表與欄位明細：

✧ Topology (Link)Table：紀錄網路拓撲環境中所有”鏈結”的資訊，包含每一條鏈結上目前已經建立的 Virtual Circuit。

欄位	Type	說明
Link	Char	拓撲上實際的鏈結名稱
NodePair	Char	Link 兩端所對應的節點

Connect_From_RO	Char	於 Link 兩端之左端點(稱 From)的 RO
Connect_To_RO	Char	於 Link 兩端之右端點(稱 To)的 RO
LinkTotalVC	Int	目前鏈結上已建立的 VC 數量

✧ Topology (Node)Table：紀錄網路拓撲環境中所有”節點”的資訊，包含每個節點所相鄰的各個節點，以及是否為邊界(下車：Drop)節點。

欄位	Type	說明
Node	Char	拓撲上之節點名稱
NodeName	Char	是否為邊界(下車)節點
Adjacent	Char	相鄰節點

✧ Link Status Table：建立 LPO，並紀錄每一條在鏈結上所建立的 VC 使用狀況。

欄位	Type	說明
Link	Char	所屬的鏈結
NameLPO	Char	所建置之 LPO 的名稱，若出現 Cross Connect 動作而產生的 LPO 包含”[X]”標記
VC_Size	Char	LPO 之 Channel 數目
S_Channel	Int	LPO 之 Channel 起始編號
E_Channel	Int	LPO 之 Channel 結束編號
Assign	Char	是否已被 Request 所配置
NameRO1	Char	VC 所使用的 RO Name1
NameRO2	Char	VC 所使用的 RO Name2
Tmp	Char	包含以下格式： ◦ N：Not Merge, 表示為一個單獨線段的 LPO ◦ M：Merge, 表此 LPO 將被 Cross Connect 為另一個 LPO ◦ T：Temp, 表由 Merge 而來的 LPO, 通常已被[X] ◦ Y：表示由自動建置 LPO 程式所產生的暫存資料
Tl1_Cmd	Char	儲存 TL1 的部份指令

✧ Request Table：紀錄每一次使用者建立連線的需求，包括 Request Number，來源到結束之節點，所分配的 LPO Number。

欄位	Type	說明
NameReq	Char	使用者要求的名稱編號
Source	Char	起始節點
S_Ethernet_RO	Char	起始節點使用

		Ethernet RO 之名稱
S_SDH_RO	Char	起始節點使用 SDH RO 之名稱
Dest	Char	結束節點
D_Ethernet_RO	Char	結束節點使用 Ethernet RO 之名稱
D_SDH_RO	Char	結束節點使用 SDH RO 之名稱
Assign	Char	所分配的 LPOn
Bandwidth	Float	要求頻寬

◇ Resource Table：代表 RO 資源建立的相關資訊。

欄位	Type	說明
Node	Char	建立 RO 之節點
IP	Char	所屬 IP
Slot	Int	所屬 Slot number
Port	Int	所屬 Port number
Type	Char	所屬型態(Ethernet/SDH)
Bandwidth	Float	頻寬大小
Name	Char	RO 名稱
UpDown	Char	若為上下車 RO，記入 "v"；反之為 "-"

◇ Card Table：TL1 所記載卡版的相關資訊。

欄位	Type	說明
Card_Name	Char	卡版型號名稱
TL1_AliasName	Char	於 TL1 所對應卡版型號之別名

4.3 測試方案與測試結果

在光網路實驗室設備上，我們建立了一個測試環境，模擬故障繞徑之功能。如圖 6 所示，假設 Node B 與 Node A 之間，有一條 STM64 線路提供服務，Node B 另有一備援 STM64 連線，可透過 Node C 連接到 Node A，以 Node A 另一片 GE 卡板作為備援連線。

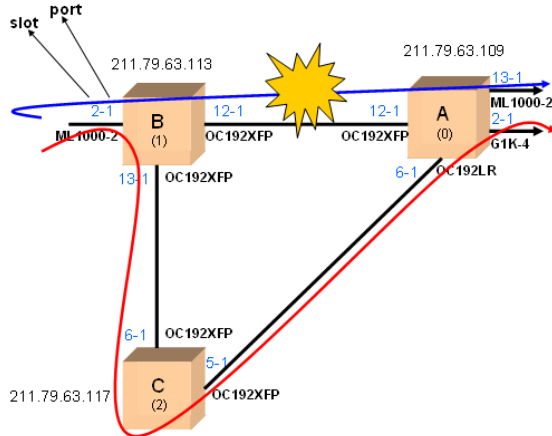


圖 6：測試方案示意圖

在系統當中，我們先在 B-A 建立一條名為

”Test_B-A”的 STM-4 連線，模擬提供服務的連線，並在 B-C 間建立一條名為”Test_B-C”的 STM-4 連線，以檢驗系統是否能自動偵測尋找可用頻寬來建立備援連線。由系統的查詢介面，我們可以看到 Node B 上的設定資訊，在 Cross connection 處可見已設定好的兩條 Cross connections，見圖 7

Node Info.										
Name				IP						
1				211.79.63.113						
Neighbor Info.										
Node				Link Number						
2				2						
Resource Info.										
Slot	Port	Type	Card_Name	Bandwidth	Name	IP	Terminated			
2	1	Ethernet	ML1000-2	64	R1-2-1	140.110.1.1	v			
12	1	SDH	OC192XFP	64	R1-12-1	140.110.1.1	-			
13	1	SDH	OC192XFP	64	R1-13-1	140.110.1.1	-			
Cross Connect Info.										
Node	Slot	Port	Type	Start_End Channel	Node	Slot	Port	Type	Start_End Channel	Request Name
1	2	0		-	1	12	1	SDH	1-4	Test_B-A
1	13	1	SDH	1-4	1	12	1	SDH	5-8	Test_B-C

圖 7：Node B 設備資訊查詢結果

當線路 B-A 間發生障礙時，我們只需在系統介面上，執行建立連線的指令，系統即會執行以下步驟，見下圖 8：

START: Slot 2 / Port: END: Slot 2 / Port:

Channel:

Connections:

=====

Initial Topology Done! Reading TL1 Data Completed!

=====

Stating GRAPH() Succeed!

=====

Starting AUTO-SET GEAPH() Succeed

=====

Query: From:[1] To:[0]

Result:

[1][2][0]

Execute TL1 Command[CXC]: Connection to [211.79.63.117]...

0 M 123 COMPLD

Execute TL1 Command[CXC]: Connection to [211.79.63.109]...

0 M 123 COMPLD

Execute TL1 Command[CXC]: Connection to [211.79.63.113]...

0 M 123 COMPLD

=====

圖 8：連線建立介面

1. Initial Topology Done!：首先利用 TL1 Toolkit 到各設備查詢及時狀態，將每個 Node 之間的可用資源同步至資料庫，由於我們已將 B-A 連線拆除，同步之後資料庫已無 B-A 之連線資源可供使用
2. Starting GRAPH() Succeed!：檢查目前資源是否能滿足使用者連線需求，由於查詢仍有 B-C-A 連線，連線需求可滿足。
3. Starting AUTO-SET GRAPH() Succeed!：檢查 B-C-A 連線中，是否仍有足夠頻寬可供使用由於 B-C 上目前僅有一條 STM-4 被使用，C-A 上無 LightPath 佔用頻寬，頻寬需求可滿足。
4. Query From(1) To (0)：執行最短路徑演算法，程式中以 {0}(1)(2)代表 NodeA NodeB NodeC。因 B-A 間最短路徑已拆除，故最短路徑演算結果為(1)(2)(0)。
5. Execute TL1 Command[CXC]：找出 Free

LPO，利用 TL1 Toolkit 至各設備將 Cross connect 建立起來。程式會判斷 Node B 上原先 Test B-A 連線已不存在，先拆除此條 Cross connection，再尋找 B-C-A 間可用頻寬，由於 channel1-4 已被 Test_B-C 使用，故利用 channel 5-8 建立備援連線。

- 最後程式會將資料同步至資料庫，並將所建立之備援連線名稱顯示在網頁上。

Node Info.													
Name				IP									
1				211.79.63.113									
Neighbor Info.													
Node				Link Number									
2				2									
Resource Info.													
Slot	Port	Type	Card_Name	Bandwidth	Name	IP	Terminated						
2	1	Ethernet	ML1000-2	64	R1-2-1	140.110.1.1	v						
12	1	SDH	OC192XFP	64	R1-12-1	140.110.1.1	-						
13	1	SDH	OC192XFP	64	R1-13-1	140.110.1.1	-						
Cross Connect Info.													
Node	Slot	Port	Type	Start_End	Channel	Node	Slot	Port	Type	Start_End	Channel	Request	Name
1	13	1	SDH	1-4		1	12	1	SDH	5-8			Test_B-C
1	13	1	SDH	5-8		1	2	1	Ethernet	-			Req1-0-95

圖 9：Node B 設備資訊查詢結果

如圖 9 所示，連線建立完成後，再登入查詢介面，即可看出 Node B 上的 Cross connection 資訊已更新，原先建立的 Test_B-A 連線已被移除，並利用可用 channel 5-8 建立一個名為”Req1-0-95”的備援連線，證明故障自動繞徑功能可正常運作。

雖目前系統可完成自動繞徑之功能，但是對於故障異常的發生，仍須透過人工判斷以觸發此故障繞徑工作，未來若能結合網管資訊，根據故障發生的訊息，針對受影響連線進行自動繞徑，將能大幅提昇維運的效率並減少維運人力的使用。

5. 結論

TWAREN 光網路實驗環境的建置，除了模擬維運之環境，開發相關控制系統外，亦提供國內外學研界整合 IP 路由與光通道測試的實驗平台，讓學研界能在混合網路中進行相關研究，提升國內學術研究的能量。

而光通道控制系統的開發，已於實驗環境測試故障自動繞徑的功能，待此控制系統整合至 TWAREN 維運中心，可有效縮短故障發生時間並減少維運人力。未來若能結合光設備告警與錯誤辨識系統，擷取來自管理層之光網路告警訊息，配合本系統控制光設備，自動將受影響的光通道以動態重建的方式進行修復，將大幅提升 TWAREN 網路的可用率及穩定性，並減少維運人力的使用，提高維運的效率。

參考文獻

- [1] 林書呈、曾惠敏、張宜正、劉德隆，「TWAREN 光網路上之光通道控制技術」，TANET2006 論文集，花蓮，2006 年 11 月。
- [2] TWAREN website, <http://www.twaren.net>
- [3] User-controlled LightPath Project, <http://www.canarie.ca/canet4/uclp/index.html>
- [4] JRA3-BoD Project, <http://www.geant2.net/server/show/nav.756>
- [5] DRAGON Project, <http://dragon.east.isi.edu/twiki/bin/view/Main/>
- [6] TL1 Toolkit Project, <https://noc.sara.nl/nrg/TL1-Toolkit/>