

國際學術研究網路發展趨勢與 TWAREN 國際線路的發展方向

劉德隆 古立其 陳敏

財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心

{lku, tliu, minchen}@nchc.org.tw

摘要

隨著位居世界學術網路樞紐地位的美國及加拿大紛紛於今年度引進最新光網路技術，並大幅將骨幹網路的頻寬拓寬到 100Gbps 至 320Gbps，正式宣告了國際學術研究網路的光網路新時代即將來臨。其中美國 Internet2 及 NLR 的重新整合，及國際光網路設施共享組織的重要性增加，更是國際學術研究網路發展所不能忽視的重要發展。台灣高品質學術研究網路 (TWAREN) 近年來積極在光網路的技術發展及實體建置上努力，並在與國際學術研究網路的介接合作及連線範圍的拓展上不斷進步，期能達成與國際網路先進國家並駕齊驅的目標。

關鍵詞：臺灣高品質學術研究網路、國際線路，光網路。

Abstract

2007 is a fast changing year to the international research and education network society. In their leading position in this society, United States and Canada adopted DWDM and ROADM, dramatically increasing their backbone bandwidth to an impressive level of 100 Gbps to 320 Gbps. This declares the coming of the lightpath era of the international research and education network. Taiwan Advanced Research and Education Network (TWAREN) has been focusing on the development of lightpath technology and implementation for years. This achievement has shown its way on the international circuit deployment in recent years. This article describes the design and the evolution of the TWAREN lightpath network.

Keyword: TWAREN, DWDM, ROADM, international circuit.

1. 前言

縱觀近幾年來各國學術研究網路骨幹網路之演進，仍以光網路之佈建與發展最受矚目，自本世紀起經過數年之發展，以 SONET/SDH 為基礎的光網路架構已成為目前各國研網之基礎設施，透過動態光通道配置，可提供更具彈性化的專屬電路，而在可預見之未來，學研界若要充分運用暗光纖 (dark fiber) 可用的頻寬，稠密光波多分割工 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 骨幹配合成熟的可靠構光塞取多工器

(Reconfigurable OADM, ROADM) 技術將成為下一階段之發展目標；在此同時全球光通道交換中心 (GLIF Open LightPath Exchange, GOLE) 如雨後春筍般設立，可協調各研網間光通道資源之介接，未來亦將成為國際合作或展示不可或缺之要角。

2. 各國學術研究網路之發展趨勢

2.1 網路先進國家之發展現況

於 1998 年，加拿大 CANARIE 首度以光網路佈建 CA*net3，成為全球第一個採用光技術之研究網路，此後隨著網路流量快速成長，加上許多高頻寬需求網路應用逐漸成熟，CA*net3 的頻寬很快地就不敷使用，在 2002 年，加拿大政府撥出 1.1 億，由 CANARIE 負責設計、建置及維運 CA*net4[1]，延續 CA*net3 的精神，提供高品質的網路頻寬給各研究中心、大學、政府單位及國家實驗室來使用，除了連接加拿大國內各地區網路之外，也與國際研究網路介接，至今仍位居國際研網中光網路之領導地位。

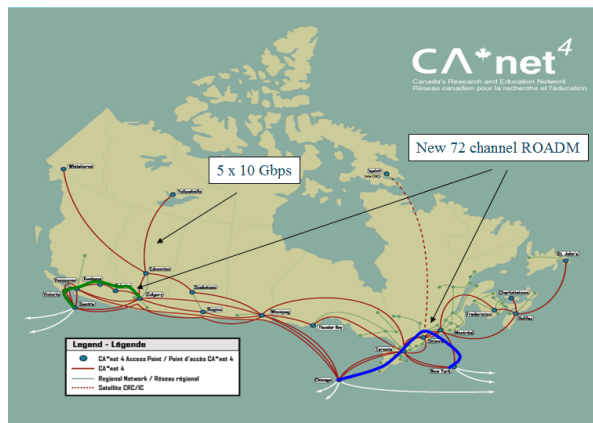


圖 1、CA*net4 之 ROADM 架構圖

在 CA*net4 成功地建置以 SONET 為主之光骨幹後，許多應用研究與網路專線之需求仍然很快地將可用頻寬耗盡，為此 CANARIE 選擇了 BCNET 作為其新一代 ROADM 建置與維運之伙伴，針對以下網路流量最為繁忙的瓶頸處規劃 ROADM 設備，相對於目前之網路使用量，預期將可提供 "無窮盡之網路頻寬"：

(1) 芝加哥—多倫多—渥太華—蒙特婁—紐約 (圖 1 中之藍線)

(2) 西雅圖—維多利亞—溫哥華—坎盧普斯/甘

露市一卡加立（圖1中之綠線）

根據規劃中之 CA*net5，此 ROADM 網路未來將可延伸到薩克斯其萬省與曼尼托巴省，甚至可達大西洋岸。

此網路採用北電網路公司（Nortel）之 ROADM 設備，可將暗光纖分割成 72 個不同波長使用，各波長之傳輸速率可達 10Gbps，未來預期可升級成 40Gbps 模組，可滿足未來十年所有使用者之需求。CANARIE 業已完成部份波長之規劃，提供給高速運算所需傳輸、遠端探測器、實驗用設備與橫跨全國的資料儲存使用，建置完成後將會有更多的研究學者受惠。ROADM 與傳統 DWDM 網路不同處在於如需新增一波長，傳統的 DWDM 網路需要有專業之工程師親臨機房調校光波參數，而在 ROADM 網路僅需於遠端設定即可，因此拓展網路頻寬將更為快速，同時可節省所需人力與設備成本，CANARIE 預計配合其 UCLP（User-Controlled LightPath）計劃，開發出可提供給其使用者控制 ROADM 網路之應用介面，並整合 Gird 應用發展平台，以符合科學使用者之需求。綜合觀之，此一創新性之 ROADM 網路將可為加拿大帶來以下之利益：

- (1) 拓展加拿大科學所需之基礎架構
- (2) 激勵研究學者創新與提升生產力
- (3) 協助加拿大保留國內研究專家人才並吸引外來學者
- (4) 維持加拿大在先進研網中之領先地位
- (5) 使加拿大成為次世代網路之全球中樞
- (6) 促進加拿大學者於國際先進科學合作之參與

TWAREN 自 2004 年起便與 CANARIE 進行 UCLP 技術之合作，去年度更成為 UCLPv2 搶先試用之國家之一，由於 TWAREN 使用 SDH 光骨幹而 CA*net4 是以 SONET 骨幹為主，UCLPv2 技術在移植至 SDH 系統時亦選擇 TWAREN 為開發之伙伴，TWAREN 目前正規劃以 DWDM/ROADM 為主的新骨幹，未來在建置後亦會與 CANARIE 保持合作關係，以提供最適用於國內研究學者之光網路服務為目標。

自網際網路發展之始美國即已執全球研網發展之牛耳，然而 1998 年起，Internet2 之 Abilene 骨幹即以向固網 Qwest 公司租用 SONET 專線電路方式維運，雖然頻寬由 2.5Gbps 逐漸升級至 10Gbps，仍無專屬之光網路骨幹，相對於 CA*net4 等國際研網對於光網路之大舉投資，美國國內亦建置另一套以暗光纖為骨幹之 NLR（National Lambda Rail）網路，而為了接取 Abilene 之原有各連線單位，NLR 所佈建版圖不得不與 Abilene 高度重疊，而 NLR 除了 Layer 1 之 DWDM 光波網路外尚提供了 Layer 2 交換網路與 Layer 3 路由網路，因此對於 Abilene 頗具取代性，並對其造成極大的衝擊。有鑑於 NLR 之崛起以及與 Qwest 租約即將到期，Internet2 已與 Level3 簽定七年的暗光纖租約，

擬於今年(2007)十月提前啟用新網路，以取代 Abilene。此一新的混合型網路（hybrid network）除了傳統的路由網路外尚包括了底層之 DWDM 光波網路，暗光纖的鋪設亦延襲 Abilene 之路徑，因此未來新一代的 Internet2 網路將與 NLR 幾乎雷同，兩個網路之實體架構圖請參閱圖 2 與圖 3。

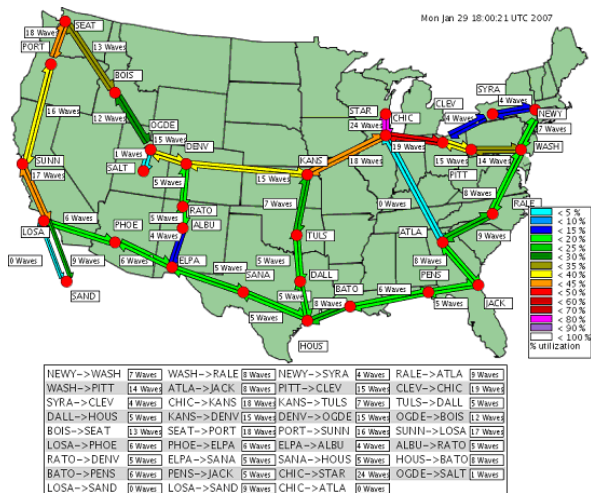


圖 2、NLR 實體線路與光波配置示意圖（2007/1）

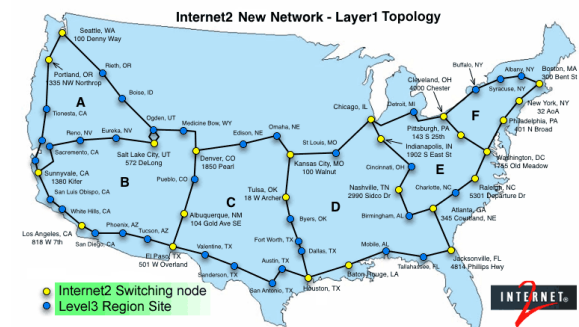


圖 3、Internet2 新網路實體線路圖

其實早在 2005 年 7 月，Abilene 即有計劃與 NLR 進行雙網整合（merge），長途骨幹使用 NLR 的光波，將可節省固網租金，同時研究學者也不需耗費多於資金接取兩個性質雷同的網路，然而後續的發展未聞有任何行動，肇因於雙方對於整合後之發展與營運模式之分歧，NLR 首席執行長 Tom West 於 2006 年 4 月發表整合破局之公開信，同年 6 月 Internet2 即公布了前述之新骨幹計劃，至此整合行動似無挽回之勢，然而在歷經人事異動，Jeffery Lehman 擔任 Internet2 主席後收到 NLR 主席 Tracy Futhey 對於重啟合作之善意，很快地雙方於 2007 年 3 月發表合作備忘錄，並成立 www.internet2-nlr.org 專屬網站記錄整合之最新進度，同時由網路規劃小組（Network Planning Team, NPT）領軍，搜集整理雙方之設備線路等資源，以規劃出適當的網路架構，4 月時由雙方主席帶領新的整合規劃小組（Merger Planning

Team, MPT)，分析整合之商業模式與未來發展，原預期於六月底完成整合，目前網頁上關於雙網整合的具體新聞僅更新至五月，後續有待進一步之公告。

美國國內 Internet2 與 NLR 的整合案足為世界各國在網路發展之明鑑，雖然雙網之整合指日可待，但將有很長的一段期間同時存在兩套暗光纖骨幹，而除了網路之整合外，相關計劃如 HOPI 等整合光網路與封包網路之先進研究的後續也有待觀察。因此，為了節省有限之投資成本，各相關單位宜於早期捐棄成見攜手並進，在國內 TANet 與 TWAREN 雖然存在於類似之競合關係，在雙方主任與副主任之努力下有幸於 2005 年度完成合作，TANet 可省下編列骨幹預算的費用由 TWAREN 協助其長途傳輸，有效地樽節政府對於骨幹網路電路之投資，雙方合作的結果亦可集中人力與設備之運用，有助於拓展國家網路之未來發展能量。

2.2 全球光通道交換中心之設立與技術合作

全球擁有光網路之研究網路於 2003 年在冰島開會後，由荷蘭發起，擬將這類網路資源視為可整合共享的「設施 (Facility)」，取名為 GLIF (Global Lambda Integrated Facility)，之後每年均舉辦定期集會，討論光網路之技術與政策等議題，同時整理目前各國可用之光網路資源，圖 4 為目前 GLIF 的光網路資源地圖，TWAREN 所維運之跨太平洋線路 TAIWANLight 亦名列其中。

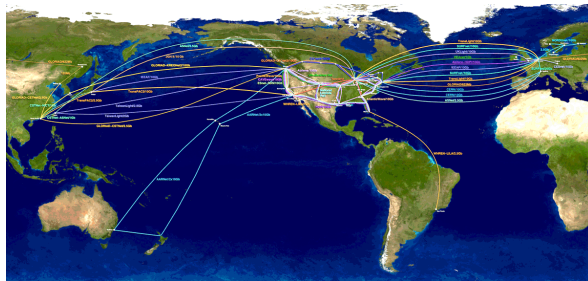


圖 4、GLIF 全球光網路資源地圖

配合 GLIF 的硬體建置，美國國科會於 2004 年 12 月贊助五年 GLORIAD (Global Ring Network for Advanced Applications Development) 計劃，連結美國、加拿大、韓國、中國、俄國與荷蘭之 10Gbps 線路，於北半球形成一環狀光網路，並於此平臺上進行各項網路相關實驗與研究。而因應各研網光網路之互連，需要和以往處理 IP 層互連不同的交換中心，全球光通道交換中心 (GOLE) 因應而生，藉由其內所設置之光交換器，各研網可進行第一層光通道之交換，同時亦可結合傳統交換中心之功能，進行第三層 IP 路由之交換，目前已有位於荷蘭的 NetherLight、美國的 StarLight 與 PNWG、日本 T-Lex 和中國的香港公開交換中心等，目前 GLIF 網站所列舉之全球光通道交換中心如表 1。

表 1 全球光通道交換中心表

GOLE	Location
AMPATH	Miami
CERN	Geneva
CzechLight	Prague
HKOEP	Hong Kong
KRLight	Daejeon
MAN LAN	New York
MoscowLight	Moscow
NetherLight	Amsterdam
NGIX-East	Washington DC
NorthernLight	Copenhagen
Pacific Wave	Los Angeles Seattle Sunnyvale
StarLight	Chicago
T-LEX	Tokyo
UKLight	London

我國地處 APAN 網路南北環之交界點，擁有地理位置之先天優勢；而近年來在政府支持與學研界極力推動之下，TWAREN 亦全力發展全島光網路基礎建設，具備光網路交換中心之通訊基礎條件；再者，TWAREN 自建置之初，持續與美國保持高頻寬之網路連線，於 2006 年初建置越洋光網路，此成果備受國際學研網組織肯定，也因此，順利於 2006 年底獲得荷蘭研究網路贊助一路跨大西洋之 OC12 網路 (622M)，因此我國非常具有發展為全球光通道交換中心 (GOLE) 之潛力，在此同時，TWAREN 於 2004 年度起即參與 GLIF 組織之相關會議，於 2007 年 3 月正式成為 GLIF 的一員，未來將積極加強對外之光網路連線，同時促成國內外之合作，加速帶動學研界研發成果與資訊之交流，提昇我國在國際社會所扮演之角色。

3. TWAREN 國際線路之發展方向

3.1 光網路的發展

有鑑於光網路為未來學術研究網路，甚至一般商業網路的必然發展方向，TWAREN 近年來積極進行光網路的建置及相關技術的發展。TWAREN 於 2004 年完成第一代骨幹的建置時，即以光網路為主要的設計重心，接著在 2006 年 2 月完成新一代國際線路的建置，達成跨洋國際線路全線均以光網路貫通的歷史性目標。秉持光網路多年的維運經驗，TWAREN 積極進行新一代光網路的設計與改進，順利在 2006 年底完成第二代骨幹的建置與上線，使得國內外的光網路更加緊密整合，無論

效能及可用度 (Availability) 均更上層樓。其架構如圖 5 所示。

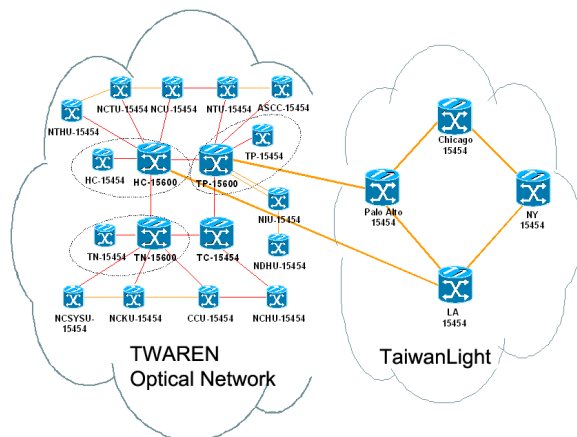


圖 5 TWAREN 及 TaiwanLight 光網路架構圖

為了確保最高的可用度，TWAREN 國際線路將多條 Lightpath 規劃分散於兩條跨洋海纜之中，並在抵達美國西岸後各循兩條不同的陸纜路徑分別抵達洛杉磯及芝加哥兩地，如圖 6 所示。當任何一條海纜或陸纜發生障礙時，路由器會自動進行路徑的切換，確保抵達洛杉磯及芝加哥兩地的 Lightpath 均仍能同時存活，因此不論單一線路或交換中心的設備發生故障時均不會影響 TWAREN 國際線路的實質服務，大幅提高了國際線路的可靠性。



圖 6 TWAREN 國際線路 Lightpath 邏輯示意圖

3.2 擴大與國際學研網的交接合作

植基於穩固而高效率的國際線路基礎建設之上，TWAREN 近年度亦積極在美國洛杉磯 Pacific Wave、芝加哥 StarLight，及紐約 MANLAN 等網路交換中心與各國學術研究網路進行交接，使彼此的網路訊務能直接交換，縮短網路傳輸實質路徑，使網路延遲大幅降低，並使整體網路路由的穩定性大幅提高。TWAREN 在美國各交換中心與各國學術研究網路的交接架構如圖 7 所示。藉由這樣的交接合作，TWAREN 得以與世界上大多數的網路先進國家達成直接的互連。目前與 TWAREN 直接互連的國家廣佈於美洲、亞洲、紐澳等地，如圖 8 所示目前僅有歐洲及非洲兩地未與 TWAREN 有直接的網路交接合作。受經濟發展條件所限，非洲國家的網路發展較不興盛，因此 TWAREN 專注於歐洲國

家學術研究網路互相合作的開展。

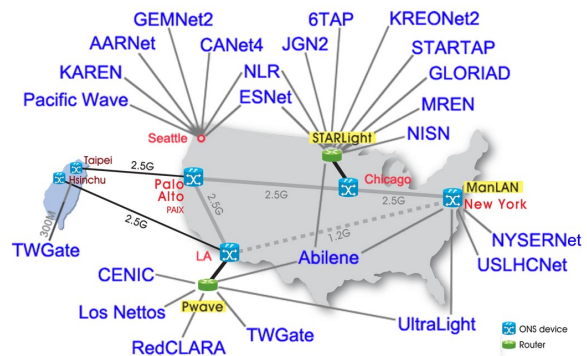


圖 7 TWAREN 國際學研網交接示意圖



圖 8 TWAREN 直接交接之國際學研網分佈圖

3.3 國際線路的持續拓展

受限於近年來歐洲國家節省經費及國際頻寬共用的趨勢影響，自從 2005 年荷蘭的 SURFNet 及愛爾蘭的 HEANet 分別從芝加哥的 StarLight 網路交換中心撤出之後，TWAREN 就失去了與歐洲國家的直接網路合作，必須經由美國的 Abilene 進行轉接，才得以與歐洲國際間接連接。TWAREN 當時的國際線路架構如圖 9 所示。



圖 9 TWAREN 國際線路現行架構

經過數年的努力，TWAREN 於 2006 年底順利爭取到 IEEAF 組織所捐贈的一路從美國紐約抵達荷蘭阿姆斯特丹的 OC12 (622Mbps) 跨洋線路，使得 TWAREN 終於再度敲開了歐洲的大門，擁有了直接與歐洲各網路先進國家進行合作的基礎。由於此路海纜使用的是 SONET 系統，與 TWAREN 光網路所使用的 SDH 系統並不能直接相容，因此在 2007 年初 TWAREN 與 Internet2 及位於紐約的

MANLAN 網路交換中心多次洽商，於 2007 年春天完成了 TWAREN SDH 線路透過 Internet2 ONS 設備轉換為 SONET 訊號的解決方案，並透過這個轉換與紐約－阿姆斯特丹線路完成連接。至此，TWAREN 的訊務終於得以直達歐洲，開啟了 TWAREN 國際合作的新際元。其架構如圖 10 所示。



圖 10 紐約-阿姆斯特丹 OC-12 線路示意圖

在下半年中 TWAREN 工作團隊將積極與歐洲國家進行洽商，期能使 TWAREN 藉由受贈的這條跨洋線路，達成與歐洲學術研究網路直接介接合作的目標。

4. 結論

隨著位居世界學術研究網路樞紐位置的美國及加拿大分別於今年度完成國家骨幹網路的升級，及 DWDM ROADM 光網路技術的導入，學術研究網路走向全面光網路化及頻寬 100Gbps 化的趨勢已勢不可免。隨著光網路的傳輸頻寬大幅增加，各國將所擁有的閒置頻寬彼此共享互惠，進行更緊密的網路合作，也將是未來必然的發展方向。因此對於 TWAREN 來說，未來發展最重要的課題就是積極在光網路技術上迎頭趕上美國及加拿大等網路先進國家，並同步擴大在國際光網路合作組織的參加，以期能在國際網路社會彼此合作的浪潮中，與世界各先進國家同步邁進。隨著 TWAREN 獲得與歐洲國家直接介接合作的能力，未來 TWAREN 將更有把握能在網路技術及先進網路應用發展等方面與世界接軌，達成帶動國內學術研究與國外先進國家並駕齊驅的使命。

參考文獻

- [1] CA*Net4, <http://www.canarie.ca/canet4/>, last viewed on Aug 13, 2007.
- [2] Water Resource Agency, <http://www.wra.gov.tw/>, last viewed on Jul 6, 2007.
- [3] TWAREN, <http://www.twaren.net/english/>, last viewed on Jul 8, 2007.

[4] GSN, <http://gsn.nat.gov.tw/eng/index.html>, last viewed on Jul 8, 2007.

[5] NLANR, Iperf, <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>, last viewed on Jul 8, 2007.

[6] TPTEST, <http://tptest.sourceforge.net/>, last viewed on Jul 8, 2007.

[7] Palmieri, F., "VPN scalability over high performance backbones evaluating MPLS VPN against traditional approaches", vol 2, pp 975-981, ISCC 2003 Proceedings, 2003.