

# TWAREN 國際線路光通道網路之設計及架構

古立其 陳敏 許瑞明

國家實驗研究院國家高速網路與計算中心

lku@nchc.org.tw, minchen@nchc.org.tw, rmhsu@nchc.org.tw

## 摘要

光通道網路 (Lightpath) 由於具備低延遲時間、保證頻寬以及動態調整傳輸路徑與頻寬分配的高管理彈性，已成為國際各重要學術研究網路發展的趨勢。台灣高品質學術研究網路 (TWAREN) 於今 (2006) 年初完成新一代全光波長 (Wavelength) 國際線路的建置後，已具備自國內建立跨國光通道網路直達美國的強大優勢。本文將自海纜傳輸、美國境內陸纜配置、光通道設計及容錯備援等方面說明 TWAREN 國際線路的光通道網路設計及架構，並就現今世界先進國家之學術研究網路光通道的發展，探討 TWAREN 國際線路光通道網路未來的展望。

**關鍵詞：**台灣高品質學術研究網路、國際線路、光通道網路、光波長網路

## Abstract

With the power of low transmission delay, guaranteed bandwidth and high path management flexibility, lightpath has become the most promising technology to national research and education networks (NRENs). Taiwan Advanced Research and Education Network (TWAREN) has gained this power since the successful acquisition of a new wavelength international circuit in early 2006. The purpose of this paper is to provide a detail insight into the topology of the international circuits and the design of the lightpath arrangement, as well as the perspective of the TWAREN international lightpath network.

**Keywords:** TWAREN、Light Path、Wavelength、International Circuit

## 1. 前言

現代網路日益發達之後，網路的規模一日千里，連線的複雜度也隨之直線上升。傳統以網路階層第三層 (Layer 3) 運作的網際網路協定 (Internet Protocol; IP) 路由選擇機制也隨著路由表的急速膨脹而效率下降，導致路由選擇成為網路傳輸延遲時間居高不下的主要瓶頸。另一方面，兩點間的網路傳輸有效頻寬也極易受到路徑中其他網路流量的影響，頻寬維持恆定的不確定性，也連帶影響了網路在特定學術研究領域的可應用

性。光通道網路 (Lightpath) 是目前最先進的網路技術之一，由於具備低延遲時間、保證頻寬以及動態調整傳輸路徑與頻寬分配的高管理彈性，適足以解決目前規模日益龐大且設定複雜度急速增加的網際網路營運問題，因此光通道網路已成為國際各重要學術研究網路重點發展的方向。

台灣高品質學術研究網路 (Taiwan Advanced Research and Education Network; TWAREN) 自今 (2006) 年初順利完成全光波長網路 (Wavelength) 的國際線路之後，也正式成為具備光通道網路連線能力的國際學術研究網路。本文即從跨洋海纜到美國境內的光波長陸纜設計，剖析 TWAREN 國際線路光通道網路的設計及其架構。

## 2. TWAREN 國際線路光網路之架構

TWAREN 2006 年國際線路的主體設計及美國端落地點的選擇乃從 TWAREN 2005 年國際線路擴充案的架構改良而來，因此接下來將先從新舊架構的比較開始，繼而從海纜的拓撲、美國陸纜的架構，到整體光通道網路的設計進行介紹。

### 2.1 TWAREN 國際線路的演進

下圖 1 為 TWAREN 2005 年的國際線路舊有架構。當時 TWAREN 共有兩路海纜合計 4.5 Gbps 的頻寬到達美國西岸，既而經過 1.25 Gbps ~ 2.5 Gbps 不等的美國國內線路連達西雅圖、Palo Alto、洛杉磯、芝加哥、紐約五個落地點，並於上述落地點分別與其他國家的學術研究網路相介接。

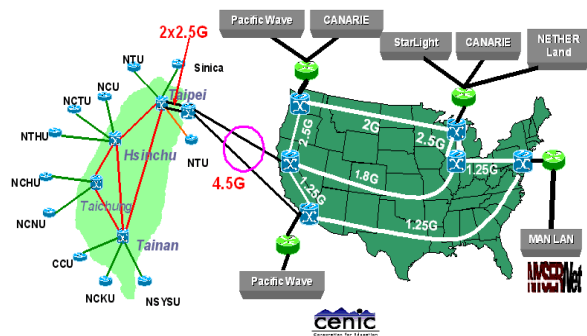


圖 1 TWAREN 2005 年國際線路架構

下圖 2 為 TWAREN 2006 年的國際線路新架

構。若與 2005 年的舊有架構相比，到達美國西岸的海纜總頻寬升級到 5 Gbps，美國境內的各段線路也全部升級為 2.5 Gbps，此外，也考量因可藉由美國研網 Abilene 做備援而減少在西雅圖落地點的建置，原有在西雅圖介接的學研網則改由洛杉磯介接。然而其中意義最為重大的，為全段國際線路海纜及陸纜全部採用 Wavelength 線路，配上台美間各點的光網路 ONS 設備，TWAREN 擁有自國內切割各種不同頻寬 Lightpath 到美國任一落地點的能力，正式成為具備國際 Lightpath 連線能力的學術研究網路。

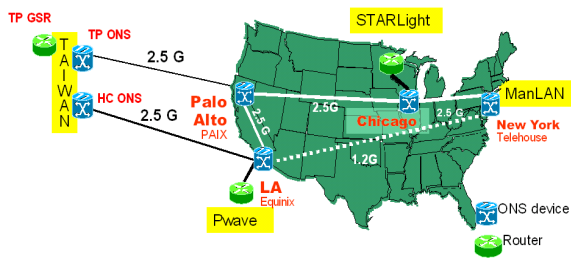


圖 2 TWAREN 2006 年國際線路架構

## 2.2 Wavelength 海纜及陸纜架構

圖 3 為 2006 年新架構中所使用的 Wavelength 海纜架構示意圖。由於台美間並無直通的高速 Wavelength 海纜系統可供選擇，因此 TWAREN 兩段國際線路分別自台北及新竹出發到達宜蘭頭城後，經 FNAL 海纜系統繞經日本 Wada，再經由 VSNL 海纜系統直抵美國西岸奧勒崗州的 Nedonna Beach 及加州的 Redondo Beach。

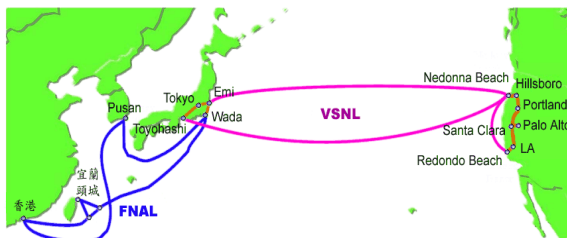


圖 3 TWAREN Wavelength 海纜架構

其中從頭城直達日本 Wada 的工作路徑 (Production Path) 長約 2736 公里，若工作路徑發生故障時，網路流量會自動切換到距離為 7004 公里、途經香港、韓國釜山到達 Wada 的保護路徑 (Protected Path)，如圖 4。



圖 4 海纜路徑長度一覽圖

從 Wada 到美國西岸的海纜可以分為北環 (8280 公里) 及南環 (9277 公里)，其中北環從 Nedonna Beach 海纜站上岸後，途經 Portland 及 Santa Clara 到達舊金山南方的 Palo Alto。而南環繞過 Nedonna Beach 後繼續向南從洛杉磯西南方的 Redondo Beach 海纜站上岸後到達洛杉磯。如

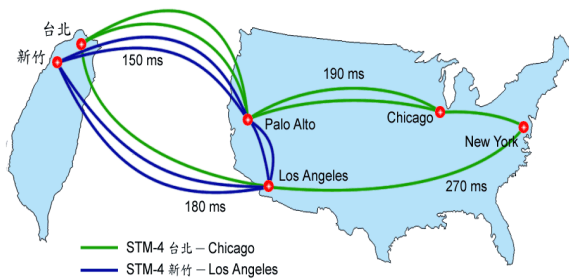


下圖 5 所示。

圖 5 美國境內陸纜路徑長度及網路來回延遲時間 (Round Trip Time; RTT) 一覽圖

## 2.3 Lightpath 邏輯架構設計

目前 TWAREN 國際線路共切割 4 條 622 Mbps 頻寬的 STM-4 lightpath 從新竹到美國洛杉磯，3 條 622 Mbps 頻寬的 STM-4 lightpath 從台北到美國芝加哥。為了防止單點失誤 (Single point of failure) 造成國際線路中斷，4 條從新竹到洛杉磯的 lightpath 分別於北環中配置 2 條、南環中配置 2 條 (如圖 6 中藍色線條所示)。而從台北到芝加哥的 3 條 lightpath 則分別於北環中配置 2 條、南環中配置 1 條 (如圖 6 中綠色線條所示)。其中配置於南環的這一條台北-芝加哥 lightpath 更向東繞經紐約，再通過紐約-芝加哥間的線路抵達芝加哥，以更進一步避免 Palo Alto 與芝加哥間的線路發生故障時造成台北到芝加哥間網路中斷的可能性。



**圖 6 國際線路 Lightpath 架構設計。**藍線為新竹到洛杉磯之 622 Mbps STM-4 lightpath，綠線則為台北到芝加哥之 622 Mbps STM-4 lightpath。標示於藍線旁的數字為從新竹至洛杉磯間通過該路徑所需要的來回延遲時間 (RTT)，標示於綠線旁的數字則為從台北至芝加哥間通過該路徑所需要的來回延遲時間。

北環路徑距離較短，因此從台灣出發通過此路徑抵達洛杉磯及芝加哥的網路流量，其來回延遲時間 (Round Trip Time; RTT) 亦較短，分別為 150 ms 及 190 ms。南環路徑距離較長，其中芝加哥 lightpath 更繞經紐約抵達芝加哥，因此從台灣出發通過此路徑抵達洛杉磯及芝加哥的網路流量，其來回延遲時間較長，分別為 180 ms 及 270 ms，如圖 6 lightpath 旁標註的延遲時間所示。

國際線路中共計 4 條的新竹－洛杉磯 lightpath 及共計 3 條的台北－芝加哥 lightpath 分別以負載平衡 (Load Balance) 方式運作，相互備援，因此北環、南環其中任一路海纜故障，或是美國境內洛杉磯、Palo Alto、芝加哥及紐約四點間的線路任一條阻斷，均不影響台灣到洛杉磯及芝加哥的網路流量。上述美國境內線路必須同時故障兩段以上，才有可能影響台灣到芝加哥間的網路交通，惟此時前往芝加哥網路交換中心的網路流量仍可從洛杉磯以 Layer 3 IP 的方式透過美國 Abilene 網路[1] 抵達芝加哥，僅 Layer 1 的服務受到影響。經此層層方式保護，TWAREN 國際線路的可靠度乃大為提升。

## 2.4 光通道網路的服務水準協議 (SLA) 制定

TWAREN 使用全程 wavelength 網路建構國際線路，並因此具備台美各點間自由切割 lightpath 及充分使用所有頻寬的優異能力，開創了國內學術研究網路的先河。由於 wavelength 線路不具備一般 SDH/SONET 光網路雙條光纖形成自復環自我備援的特性，因此 wavelength 線路的服務品質控管，亦無法以舊有 SDH/SONET 網路的方式要求。開發適用於 wavelength 線路的服務水準協議 (Service Level Agreement; SLA) 乃成為當務之急，而率先以 wavelength 線路提供服務的 TWAREN 國際線路，亦參考美國 wavelength 線路現有的 SLA，配合 TWAREN 國際線路現有的特色及需求，成功發展出國內學術研究網路國際

線路的首套 SLA 標準。

**表 1 Wavelength 線路障礙時間分級表**

級數	各段線路每月故障累計時數
1	不超過 8 小時
2	超過 8 小時，未滿 24 小時
3	超過 24 小時，未滿 48 小時
4	超過 48 小時
設備故障	以受該設備故障所影響的全部線路進行計算

在 TWAREN 的 SLA 中將線路障礙的時間分為四級，如表 1 所示。由於 wavelength 缺乏自我備援的能力，一旦發生阻斷，均需以手動方式排除故障，參照 Global Crossing 公司在美國陸纜所使用的 SLA[3]，線路供應商所提供的 wavelength 線路每個月累計故障時間在 8 小時以內應屬合理，因此 TWAREN 各段國際線路每月累計故障時間 8 小時內定義為第一級，不計罰，在中斷期間將由其他線路進行備援，以達成無中斷的實質網路服務。

中斷時間在 8 到 24 小時間、24 小時至 48 小時間及 48 小時以上，分別定義為第 2、3、4 級，並以其累計故障時間超過 8 小時以上的總時數，依級數累進計罰。目前 TWAREN 使用雙倍累進，亦即每進一級，計罰採用的月租費百分比即加倍一次，以促使線路商在線路故障發生時，儘早排除故障恢復線路正常功能。由於採用累進方式計罰，線路累計故障時間超過 36 小時後，罰款的月租費比例即已遠較 Global Crossing 等大型網路所定義的 SLA 為高。此舉旨在促使 TWAREN 的國際線路得標供應商選用最高品質的海纜系統及美國陸纜廠商，以進一步提供高可靠度的國際線路服務。

當網路設備發生故障時，不僅可能造成與當地國際學術研究網路的介接發生障礙，甚至可能同時影響在該地交會的其他各段線路的正常運作。因此網路設備故障獨立區分為一級，當發生網路設備的障礙時，以受此障礙影響而失去功能的全部線路進行故障時間累計，並即刻開始依以累進計罰。

## 3. TWAREN 國際線路光網路之未來展望

世界各國學術研究網路均以建置光通道網路做為未來發展的目標，其中又以美國的建置時程最早，相關環境最為完善。其中最具代表性的即為剛完工開始營運的 National LambdaRail (NLR)，及即將於明年提供服務的 Internet2 New



Network。分別簡介如下。



圖 7 National LambdaRail 光網路架構。取自 NLR Topology 網頁[8]

National LambdaRail[9] 為由美國擁有光網路之大學、研究機構及區域光網路共同組成的網路骨幹，如圖 7 所示。目前提供 Layer 3 的 PacketNet、Layer 2 的 FrameNet 及 Layer 1 的 WaveNet 光網路服務。其光網路涵蓋範圍遍及全美各大城市。參與的機構只要從 NLR 眾多交換中心的任一點連上 NLR，即可與任何其他參與 NLR 的機構進行光通道網路的直連。

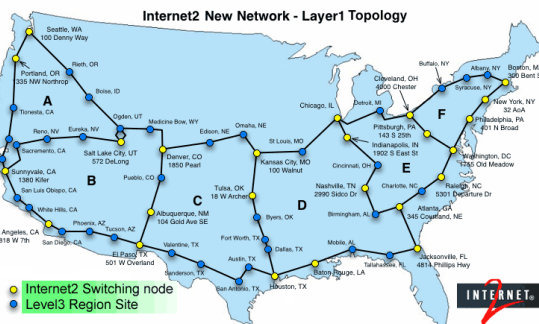


圖 8 Internet2 New Network 光網路架構。修改自 Internet2 Introduction 簡報[5]

Internet2 為美國最早提供 IPv6、Multicast 等先進網路技術的學術研究網路。原先 Internet2 以提供 Layer 3 的 IP 轉訊服務為主，但從去年底開始歷經數次與 NLR 的合併談判失敗之後，Internet2 決定自行推出 Layer 1 的光網路服務，為與舊有網路有所區別，新網路稱為 New Network，其架構如圖 8 所示。

NLR 及 Internet2 New Network 均為遍及全美的大型光網路骨幹，而 TWAREN 在洛杉磯、芝加哥及紐約三個 NLR 及 Internet2 New Network 的重要交換中心均佈有落地點，可就近與此二網路連接。其中芝加哥、紐約兩點 TWAREN 的網路設備更與此二研網的設備位於同一主機交換中心之中。未來 TWAREN 與美國光網路將有極大的合作空間。

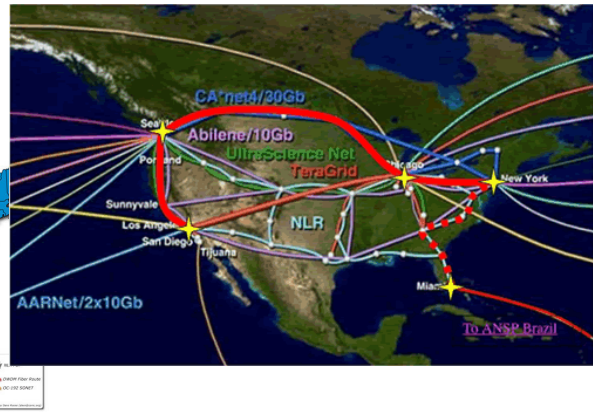


圖 9 Pacific Wave 及 Atlantic Wave 連線一覽圖

除了佈建新的光網路基礎設施之外，區域網路資源的整合也成為各大學術研究網路的發展趨勢。以美國為例，今年七月間位於美國西岸的 Pacific Wave 即將貫通西岸的網路服務沿伸到美東的芝加哥。美國東海岸的 Atlantic Wave 計畫亦將把東岸的紐約、華盛頓、邁阿密以及位於南美的巴西串連起來，並與西岸的 Pacific Wave 相連，構成貫通美西、美東及南美州的大型基礎網路。加上歐洲最先進的學術研究網路亦紛紛通過 GEANT2 及 SURFnet 等跨國網路連至美國紐約及芝加哥等地，使得美國漸漸成為光網路最重要的交換中心。透過一區域整合的趨勢，將來 TWAREN 的光網路亦可透過與美國光網路的合作，有機會達成與美國各地及歐洲、南美等地互相連接。

目前東亞的區域整合網路亦在快速的發展之中。然而此區域中比較重要的學術研究網路如 TransPAC2[7]、TEIN2[6]、GLORIAD[4] 及 APAN[2] 目前均著重於 Layer 3 服務的發展與整合，目前較少 Layer 1 光通道網路相關的發展。相對來說，短期內 TWAREN 要在東亞區域尋求光網路的合作夥伴較為不易。

#### 4. 結論

綜觀世界各國學術研究網路的發展來看，光通道網路必將在不久的未來成為學術研究網路發展的主軸。目前美國成為世界上光網路基礎建設最為齊全的國家，日後亦將成為世界光網路主要的集中交換國家。歐洲亦將繼美國之後成為第二個光網路快速發展的區域。目前東亞區域網路較少側重光網路的合作與發展，歐亞間的網路亦屬起步階段，因此 TWAREN 未來國際線路光通道網路的發展，將以與美國光網路互相連接，並促進雙方光網路應用的互相合作為主。TWAREN 在未來亦將持續拓展對外的光網路頻寬，引入更新的光網路相關技術，並選擇重要的光網路交換中心進行介接，以便取得更佳的國際合作機會。

## 参考文献

- [1] Abilene, <http://abilene.internet2.edu/>, Last updated: Apr/2006, Last viewed: Jul/31/2006.
- [2] APAN, <http://www.apan.net/>, Last updated: Jul/27/2006, Last viewed: Jul/31/2006.
- [3] Global Crossing. "Service Terms and SLA for Global Crossing Wavelength Service", Master Services Agreement Appendix, Nov 2001.
- [4] GLORIAD, <http://www.gloriad.org/gloriad/>, Last updated: Jul/30/2006, Last viewed: Jul/31/2006.
- [5] Internet2 Introduction, <http://events.internet2.edu/2006/jt-madison/agenda.cfm?event=253&day=&track=&details=all>, Last updated: Jul/19/2006, Last viewed: Jul/19/2006.
- [6] TEIN2, <http://www.tein2.net/>, Last updated: Jul/19/2006, Last viewed: Jul/31/2006.
- [7] TransPAC2, <http://www.transpac.org/>, Last updated: Apr/11/2006, Last viewed: Jul/31/2006.
- [8] NLR Topology, <http://noc.nlr.net/topology.html>, Last updated: Nov/14/2003, Last viewed: Jul/31/2006.
- [9] National LambdaRail, <http://www.nlr.net/>, Last updated: Jul/5/2006, Last viewed: Jul/31/2006.