先進研究網路發展趨勢與 TWAREN 國際骨幹未來展望

林書呈
財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心
daniellin@narlabs.org.tw

摘要

隨著電腦運算能力的提昇與巨量資料(Big Data)蓬勃發展，大量科學計算資料需要透過網際網路來傳輸以進行研究，國際各先進國家的研究網路近年來陸續提昇骨幹頻寬與對外頻寬以滿足各科學領域的研究與國際合作的進行。本文將了解各先進研究網路發展趨勢，作為 TWAREN 未來骨幹網路設計之參考，另一方面介紹 TWAREN 國際骨幹的現況與未來展望，期能滿足國內學研界的傳輸需求，利用 TWAREN 與國際接軌，提供國內研究單位高頻寬、高品質的網路平台以提昇台灣的研究能量。

關鍵詞：台灣高品質學術研究網路、研究網路、國際骨幹、軟體定義網路。

Abstract

With the enhancement of computing power and the rapid development of Big Data, a large number of scientific computing data need to be transmitted through the Internet for research purpose. Research networks in recent years have upgraded the backbone network bandwidth and international backbone bandwidth to meet the needs of science research and international cooperation. This article will explore the trend of all advanced research network, as a reference to TWAREN backbone network design. The second part of this article will describe the status and vision of TWAREN international backbone. Hope TWAREN international backbone can meet domestic researcher's need and provide a high-bandwidth and high-quality network platform to enhance the study of energy in Taiwan.

Keywords: TWAREN, Research network, International backbone, SDN.

1. 前言

近年來各國際學術研究網路皆投入許多經費提昇骨幹及對外頻寬，也帶動許多科學計算領域的發展，包含高能物理(High Energy Physics)、天文物理(Astrophysics)、生物資訊(Bioinformatics)、地球科學(Earth Science)等，這些科學資料利用高品質傳輸網路進行跨單位與跨國際間的傳送，創造了豐碩的科學研究成果。

本文主要介紹當前各國先進研究網路發展的趨勢，並介紹 TWAREN 國際骨幹的現有架構、未來展望與目前進行中的國際合作計畫。除了讓國內學術研究單位了解目前台灣連往國際學研網的架構，也希望匯集國內研究單位的需求與能量，持續拓展國際先進學術研究網路的介接與連線，與國際先進研究網路接軌，提供國內學研界更高品質的網路環境。

2. 各先進國家研究網路之發展現況

網路技術日新月異，各國研究網路肩負科學研究資料傳輸的重大使命，在各國政府的大力支持下，國際學術研究網路的骨幹頻寬與對外頻寬近年來均呈現爆炸性的成長，包含美國、歐洲、澳洲等先進國際研究網路皆已建置 100Gbps 的高速骨幹網路，並大幅提昇對外頻寬，目前各先進研究網路對外頻寬現況整理如下表 1，本章節也將深入了解各國先進研究網路的發展現況。

表 1:各先進研究網路對外頻寬現況

研究網路名稱	對外頻寬現況
Internet2(美)	TransPACT3-20Gbps 連往日本，10Gbps 連往中國。 ACE-40Gbps 連往荷蘭阿姆斯特丹，30Gbps 連往德國法蘭克福，另有 ANA-200Gbps 頻寬連往歐洲。
AARNet(澳)	5Gbps 連往新加坡，120Gbps 連往美國。
GÉANT(歐)	90Gbps 連往美國，30Gbps 連往亞洲，20Gbps 連往非洲，另有電路連往拉丁美洲、中亞地區，另有 300Gbps 頻寬連往美國能源網 ESNet。
SINET(日)	(現況)10Gbps 連往新加坡，30Gbps 連往美國 (2016 起)10Gbps 連往新加坡，110Gbps 連往美國，20Gbps 連往英國。
KREONet(韓)	10Gbps 連往香港，30Gbps 連往美國。

2.1 美國 Internet2[1]

Internet2 成立於 1997 年，是美國最大的研究網路，由 Indiana University 負責骨幹網路維運，不論是 100Gbps 骨幹的建立與維運，或者是 SDN 網路的測試與服務，Internet2 都是全球研究網路的先驅。

Internet2 的國際對外連線由兩個不同的合作計畫負責建立，連歐洲部份稱為 ACE(America Connects to Europe)，與歐洲的 DANTE 及美國的 NYSERNet 合作，共有 1 路 10Gbps 電路連接芝加哥到荷蘭阿姆斯特丹、3 路 10Gbps 電路連接紐約至荷蘭阿姆斯特丹以及 3 路 10Gbps 電路接華盛頓到德國法蘭克福；連亞洲部份稱為 TransPAC3，與歐洲的 DANTE 及亞洲的 APAN(Asia Pacific Advanced Network)合作，共有 2 路 10Gbps 電路連接洛杉磯到日本東京，以及 1 路 10Gbps 電路連接到中國北京，整體對外連線架構如下圖 1:

圖 1:Internet2 國際連線架構圖

為帶動美歐之間大資料相關研究與合作，美國 Internet2 與加拿大 CANARIE、北歐 NORDUNet 及荷蘭 SURFNet 共同合作 ANA-200G 計畫，建置跨大西洋 200G 的電路，以環狀架構連接美國紐約 MANLAN、美國華盛頓 WIX、荷蘭阿姆斯特丹 NetherLight 及英國倫敦的 GÉANT open 四大交換中心，跨大西洋端電路頻寬達 200Gbps，大幅提昇美歐之間傳輸的效率，也將促成美歐間大資料相關研究及合作。

2.2 澳洲 AARNet[2]

AARNet(Australian Academic and Research Network)成立於 1989 年，是全球前幾個成立研究網路組織的國家，提供澳洲大學與研究機構互連的網路平台，澳洲跟台灣一樣屬於海島國家，必須利用跨洋電路才能與世界接軌。目前運行的 AARNet4 自 2013 年營運至今，國內骨幹部份已採用 DWDM 技術搭配暗光纖為基礎，利用 100Gbps 骨幹將澳洲數個大城市彼此串連起來。而國際網路連線的部份如下圖 2 所示，海纜電路多由雪梨出發，使用不同路徑的 2 路 2.5Gbps 電路連往新加坡，並擁有 4 路 10Gbps 電路分別連往美國四個不同的介接地點，使網路架構具備備援性，另外比較特別的是 AARNet 另外使用 2 路目前較少見的 40Gbps 電路連往美國西雅圖與洛杉磯，使其連亞洲頻寬達 5Gbps，連美國頻寬達 120Gbps，對外頻寬相當大。

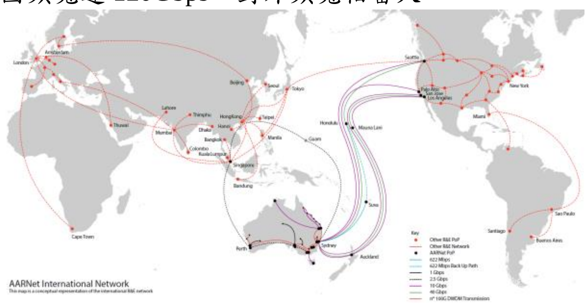

圖 2:AARNet 國際網路連線圖

AARNet 可提供 Layer1 的傳輸電路服務、Layer2 的 VPN 服務、Layer3 的 IP 連線服務及雲端服務，可滿足國內學術研究領域不同的網路需求。

2.3 泛歐研網 GÉANT[3]

泛歐研網 GÉANT 是一個特殊的研究網路，他由歐盟贊助成立，委由 DANTE((Delivery of Advanced Network Technology to Europe)負責維運，連結整個歐洲 38 個以上的研究網路，10000 多個研究機構與組織，5000 萬個以上的使用者，網路服務範圍超過 50 萬公里，服務整個歐洲地區大部分的研究用戶。

GÉANT 國際連線架構如下圖 3 所示，因整個網路涵蓋歐洲 38 個研究網路，對外網路也分別使用 30Gbps、10Gbps、1Gbps 等頻寬連往北美地區、拉丁美洲、東亞地區、非洲大陸、中亞地區等，幾乎與全世界各區域皆有串連。研究領域也涵蓋了高能物理、生物醫學、電波天文、地球觀測與預警、文化藝術等各專業。

圖 3:GÉANT 國際網路連線圖

此外，為了擴大與美國間的大資料研究，GÉANT 另與美國能源網 ESNet 合作，將歐洲的倫敦、阿姆斯特丹、日內瓦三地，與美國的紐約、波士頓、華盛頓三地，以 3 條 100Gbps 的跨大西洋電路，連結歐美兩端，讓歐洲的大資料研究重鎮可以延伸到美國 100Gbps 骨幹，讓高能物理、天文等諸項美歐大資料研究更加順利的進行。

2.4 日本 SINET[4]

SINET(Science Information Network)是由日本國立情報學研究中心(National Institute of Informatics)所維運，主要連接 800 多所大學與研究機構的日本學術研究網路，提供包含太空科技、高能物理、核子反應、計算科學等研究領域優質的網路平台，且具備高頻寬的國際連線頻寬進行國際研究合作。

現行 SINET4 國際骨幹架構如下圖 4，包含 1 路 10Gbps 連接至新加坡，並有 3 路 10Gbps 電路分別連接至美國 Pacific wave、MANLAN 與 WIX 三個交換中心，以支援包含多個國際合作大資料傳輸計畫的進行。而下一代的 SINET5 預計於 2016 年初

開始營運，其中國內骨幹將使用 ROADM 設備搭配案光纖升級為全網 100Gbps 骨幹，預計於 2016 年 1 月正式營運；而國際骨幹部份，日本至美國的連線頻寬將提昇為 1 路 100Gbps 電路接入美國 Pacific Wave 及 1 路 10Gbps 電路接入美國 MANLAN 交換中心，另有 2 路 10Gbps 電路連往英國倫敦，1 路 10Gbps 電路連接至新加坡，國際骨幹預計於 2016 年 3 月開始營運。

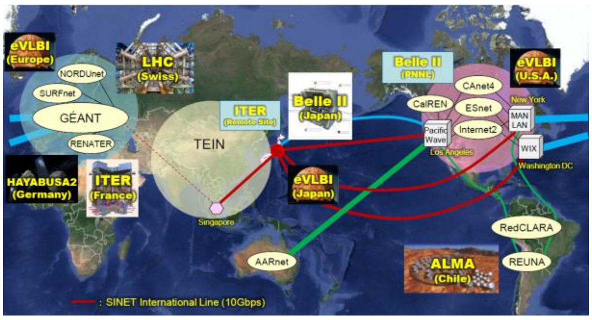

圖 4: SINET4 國際骨幹連線圖

2.5 韓國 KREONet[5]

KREONet(Korea Rearch Enviroment Open NETwork)是韓國的科學與研究網路，建立於 1998 年，由韓國科學技術資訊院(Korea Institute of Science and Technology Information, KISTI)負責維運。國內網路連接韓國境內大約 200 個大學及研究機構，骨幹由 17 個 GigaPOP 構成，分別以 10Gbps 電路與 100Gbps 電路彼此串連，其中 5 個 GigaPOP 間已具備 100Gbps/40Gbps 互連之能力。

而國際骨幹連線部份架構圖如下圖 5 所示 ，目前有 1 路 10Gbps 電路連往香港，1 路 10Gbps 電路連往美國西雅圖接入 Pacific Wave 交換中心，2 路 10Gbps 電路連往美國芝加哥。

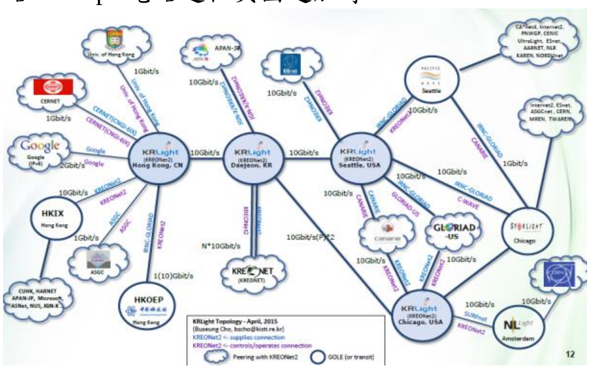

圖 5: KREONet 國際骨幹連線圖

KREONet 提供韓國科學與學術界良好的網路平台，目前已有包含電波天文學、地質學、大氣科學、高能物理、地震研究、醫療科學與氣候變遷等多個領域的合作計畫運行於此。

3. TWAREN 國際骨幹之現況與發展

3.1 TWAREN 國際骨幹現有架構

為因應國內各級學校網路教育、教學研究、國際交流等國際網際網路(Internet)連線服務需求，國網中心自 TWAREN 建置以來，經由國際骨幹電路的規劃設計，提供國內研究網路與國際學術研究網間相互合作、交流之平台。

台灣是個海島國家，必須透過跨洋電路才能與世界進行交流。TWAREN 國際骨幹主要負責跨太平洋海纜與歐美國研究網路串接[6]，架構如下圖 6，國內端接取點包含新竹與台北，美國端接取點包含洛杉磯、芝加哥與紐約，架構設計本身即具備備援能力，單一線路中斷並不會影響台灣國際骨幹連線之服務。

圖 6:TWAREN 國際骨幹現有架構

目前跨洋海纜部份包含台北-芝加哥、新竹-洛杉磯 STM-16 電路各 1 路，總頻寬為 5Gbps，而美國國內陸纜包含芝加哥-紐約 STM-16 電路、洛杉磯-紐約 STM-16 電路各 1 路，主要將美國端落地點芝加哥、紐約與洛杉磯三點串連起來，分散單點或單路電路中斷的風險。紐約-歐洲阿姆斯特丹 1 路 STM-4 電路則是多年前由荷蘭 SURFNet 提供，經加拿大 CANARIE 協助轉換的一路跨大西洋電路。

目前美國研究網路主要的交換中心有洛杉磯的 Pacific Wave、芝加哥的 StarLight 與紐約的 MANLAN[7]。Pacific Wave 主要包含加州研網 CENIC 與 PNWGP(Pacific Northwest Gigapop)，分別由南加州大學與 U. Washington 負責維運，主要匯集美國西部的研究機構與學術單位，提供洛杉磯、舊金山與西雅圖三個接取點讓研網間可以彼此互連。芝加哥的 StarLight 是西北大學負責維運的研究網路交換中心，因其地理位置位居美國中部，因此匯集加拿大、美西/美東重要研究與學術單位，並與一些重要的研究計畫進行互連。而紐約的 MANLAN 則是由 Internet2 建立委由 Indiana University 維運的交換中心，由於地處美國東岸，歐洲地區的主要研究網路包含 SURFNet、GÉANT、NORDUNnet 等多在此地進行交換互連。TWAREN 與各先進研究網路互連的現況如下表 2 所示:

表 2:TWAREN 研網互連現況

研究網路名稱	**IPv4**	**IPv6**
SINET(2907) @ L.A.	⊙	
AARNet(7575) @ L.A.	⊙	⊙
CUDI(18592) @ L.A.	⊙	⊙
DREN(668) @ L.A.	⊙	⊙
UltraLight(32361) @ L.A.	⊙	⊙
Abilene(11537) @ L.A.	⊙	⊙
TWGate(9505) @ L.A.	⊙	
CENIC(2153) @ L.A.	⊙	⊙
LosNettos(226) @ L.A.	⊙	
GLORIAD(20388) @ Seattle	⊙	⊙
Microsoft(8075) @ Seattle	⊙	⊙

GEMENet(23796) @ Seattle	⊙	
Pacificwave(101) @ Seattle	⊙	
AARNet(7575) @ Seattle	⊙	⊙
ESNet(293) @ Seattle	⊙	⊙
CANARIE(6509) @ Seattle	⊙	⊙
NREN(24) @ Sunnyvale	⊙	
DREN(668) @ Chicago	⊙	⊙
GLORIAD(20388) @ Chicago	⊙	⊙
ESNet(293) @ Chicago	⊙	
KREONet(17579) @ Chicago	⊙	⊙
Abilene(11537) @ Chicago	⊙	⊙
NISN(297) @ Chicago	⊙	
STARTAP(10764) @ Chicago	⊙	
MREN(22335) @ Chicago	⊙	
NORDUNet(2603) @ New York	⊙	⊙
GÉANT(20965) @ New York	⊙	⊙
SURFNet(1103) @ New York	⊙	⊙
NYSERNet(3754) @ New York	⊙	⊙
Abilene(11537) @ New York	⊙	⊙

3.2 TWAREN 國際骨幹調整方向

現有國際骨幹電路採用 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)的技術[8]，具有動態調整專屬頻寬的特性，可將 STM-16 電路依據傳輸需求切割出多條專屬電路。但研究網路的流量與一般商業網路的流量不同，商業網路上傳送的主要以 Video 為主，而研究網路上傳送的都是資料，隨著電腦運算能力與 Big Data 的發展，研究網路上資料的傳輸量大幅增加，造成下載研究資料時，國際頻寬經常滿載長達數天，即使提供多條電路來增加傳輸頻寬，也因大檔案資料傳輸集中於單一 flow 無法分散，導致傳輸效能低落。

TWAREN 國內骨幹目前也採用 SDH 的技術作為骨幹的基礎架構，但配合下一代 100G 骨幹的建置，未來 TWAREN 國內骨幹將採用 ROADM/DWDM 搭配暗光纖的方式來供裝，下一代國內骨幹中將沒有 SDH 的設備可供介接，如何與國內骨幹介接也成為未來國際骨幹調整時必須思考的問題。

為改善現有架構的網路傳輸品質，經過本中心維運團隊的討論，未來規劃將調整 TWAREN 國際骨幹的架構如下圖 7。主要異動有下列兩項：

- 跨洋電路頻寬由兩路 STM-16(2.5Gbps)提昇為兩路 10Gbps 電路，美國內陸陸纜頻寬由兩路 STM-16(2.5Gbps)調整為兩路 1Gbps 電路。
- 電路規格由 SDH 電路改為租用 Ethernet 電路，停止租用光傳輸設備，電路直接連接兩端路由器。

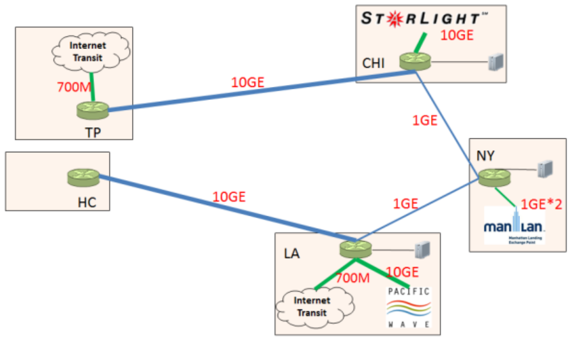

圖 7: 未來 TWAREN 國際骨幹架構

在國際骨幹架構調整之後，TWAREN 連美的頻寬將由現行 5Gbps 提昇為 20Gbps，將大幅降低傳輸大量科學研究資料降的時間，且實體架構維持與現行架構一致，可保有架構備援性不會因為單一電路中斷而影響國際連線服務，可在最小改動的前提下改善資料傳輸之品質。而原本由紐約連往歐洲的 STM-4 電路，因電路規格異動為 Ethernet 之後，無法繼續使用，維運團隊也將持續尋求合作機會，將連線範圍擴展至歐洲。

3.3 TWAREN 國際合作發展現況

TWAREN 國際骨幹已連線美國 Internet2 及接入美國 Pacific Wave、StarLight、MANLAN 三大交換中心，與世界各先進研究網路彼此串連互接，提供高頻寬的網路連接及網路實驗平台的建立，使國內學術研究單位可方便的進行國際合作。TWAREN 國際骨幹除了提供高能物理、電波天文學、海洋與大氣、自然生態、貴重儀器觀測資料等科學應用領域網路連線外，目前也有數個國際應用合作計畫利用 TWAREN 國際骨幹連線進行研究。

第一個進行中的合作是 PerfSONAR 計畫，PerfSONAR(Performance Focused Service Oriented Network Monitoring Architecture)是由美國研網 Internet2、美國能源網 ESNet 與泛歐研網 GÉANT 共同開發的 open source 網路效能量測工具，主要運作於網路中介層，能夠幫助網路管理者找出影響網路傳輸效能的原因，即使是跨網域(Multi-Domain)的架構，依然可以解決點對點的網路效能問題，因此 Internet2 極力推廣此工具，希望讓國際研究網路能有一個共同的效能量測平台，有助於改善跨國際之間大量研究資料的傳輸效能，也可以協助網管人員了解骨幹傳輸效能不佳的原因。TWAREN 目前將 PerfSONAR 佈建於國內的 16 個節點與國外的三個節點[9]，形成 fully-mesh 的監控架構，可了解骨幹即時的網路效能狀態，現已成為 TWAREN 整合是監控平台中一項監控標的。

第二則是未來網路的測試計畫，自 2010 年 Google 採用 SDN 架構建置機房間連線以來，SDN 已成為近年來學術研究網路的熱門議題之一，TWAREN 對此議題也有深入研究。 TWARN 近年來建立了 SDN 的網路測試平台[10]，國內利用 VPLS 技術，將國內研究 SDN 的大學實驗室包含交

通大學、成功大學、中央大學、高雄應用科技大學、台灣科技大學串連起來，而中華電信研究院與宜蘭大學，則利用 Tunnel 的方式加入此測試平台。未來我們更計畫將 SDN 網路設備佈建到國內的區網中心，讓連線單位更容易加入此測試平台。

國際合作部份則利用 TWAREN 國際骨幹參與美國 iGENI 計畫，iGENI 為美國西北大學 iCAIR 研究中心推動的國際合作計畫，TWAREN 的 SDN 測試平台目前是計畫成員之一，近年來 iGENI 在國際的展覽中，TWAREN 都利用國際骨幹電路與 iGENI 共同展示合作成果。另外 TWAREN 也在 2013 年與日本 JGN-X 的 SDN 平台利用 Pacific Wave 交換中心互連，將我們的研發成果於 JGN-X 的平台測試與驗證，整個 TWAREN SDN 測試平台如下圖 8 所示：

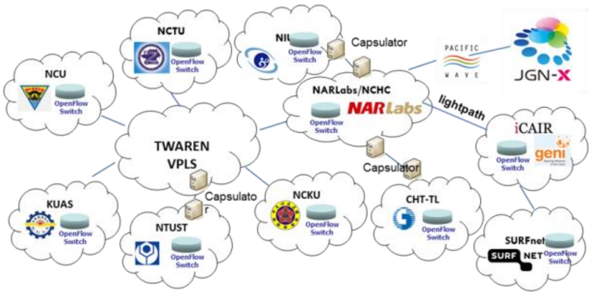

圖 8:TWAREN SDN 測試平台

4. 結論

國際學研網的合作與網路大頻寬的接取，可提供學研界國際合作的網路平台服務，各先進學研網近年來大幅擴張對外網路頻寬，即是希望能在各個大資料研究領域能夠參與研究。TWAREN 國際骨幹未來規劃由 5Gbps 提昇為 20Gbps，屆時希望可以帶動台灣在大資料科學研究的國際合作能量，讓國內學研界創造出更豐碩的研究成果。

此外關於網路大頻寬的維運管理及下一代網際網路的相關研究，相較於各先進研究網路的發展，目前我們尚處於起步的階段，期望能夠結合國內各單位的研究能量，共同合作以迎接未來的挑戰。

參考文獻

[1] Internet2, http:// www.internet2.edu/
[2] AARNet, https://www.aarnet.edu.au/
[3] GÉANT, http://www.geant.net/
[4] SINET, http://www.sinet.ad.jp/
[5] KREONet, http:// http://www.kreonet.re.kr/
[6] TWAREN, http://www.twaren.net/
[7] 古立其,劉德隆,陳敏,國際學術研究網路發展趨勢與 TWAREN 國際骨幹線路的發展方向, TANet2007, Oct.2007
[8] 古立其, 陳敏, 許瑞明,TWAREN 國際線路現狀報告與未來規劃, TANet2005, Oct.2005
[9] 陳品瑄,古立其,楊哲男,perfSONAR 應用於 TWAREN 國際線路頻寬量測之探討,TANet2009, Oct.2009
[10] Jen-Wei Hu, Wun-Yuan Huang, Hui-Min Tseng, Hui-Lan Lee, Li-Chi Ku, Shu-Cheng Lin, Te-Lung Liu, Chu-Sing Yang, Future Internet in Taiwan: Design and Research Activities over TWAREN Network, Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, 2012