

TWAREN 新世代400G 骨幹網路規劃建置

張聖翊 謝欣叡 王洋銘 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

{changsy hsiehsr,2103059,daniellin}@niar.org.tw

摘要

因應 AI 世代下的資訊傳遞及大資料(Big Data)傳輸需求，研究資料需要透過 TWAREN 國內學研骨幹網路進行傳輸，暨有 TWAREN 100G 學研骨幹網路舊設備及舊架構已無法滿足未來學術研究之大頻寬傳輸需求。本文將說明 TWAREN 新世代400G 高頻寬、高強韌性學研骨幹網路架構建置規劃，並說明未來將面臨之挑戰與展望。

關鍵詞： TWAREN、骨幹網路

Abstract

In response to the demands of information delivery and Big Data transmission in the AI era, research data needs to be transmitted through the TWAREN domestic research and education backbone network. The existing TWAREN 100G backbone equipment and architecture can no longer meet the future high-bandwidth requirements of academic research. This paper will present the planning of the new generation TWAREN 400G backbone network architecture, featuring high bandwidth and high resilience, and will also discuss the challenges and prospects it will face in the future.

Keywords: TWAREN、backbone network.

1. 前言

TWAREN 是臺灣高品質學術研究網路簡稱，目前由國研院國網中心負責維運，TWAREN 維運團隊負責國家學研網 TWAREN 建置規劃、維運管理、研究計畫與重大會議展示之網路支援等工作，TWAREN 主要是提供給國內大專院校執行研究計畫使用，目前連接的大專院校近100所，目前 TWAREN 骨幹網路上傳輸的大資料包含環境防災、生醫製藥、高能物理等，皆需要高頻寬的網路來進行研究資料傳輸。TWAREN 國內200G 骨幹架構自105年10月完成建置並啟用，架構如圖1[3][4][5][6]。



圖 1 TWAREN 國內200G 骨幹架構圖

TWAREN 國內100G 骨幹設備自105年使用至今已逐年老舊，且部份設備已停止銷售(EOS, END OF SERVICE)、終止生命週期(EOL, END OF LIFE)等狀況，為避免 TWAREN 骨幹網路設備異常或故障致網路服務中斷，影響 TWAREN 骨幹網路服務，本中心與教育部共同編列前瞻計畫經費規劃建置 TWAREN/TANet 新世代400G 骨幹網路設備，以持續提供高強韌性骨幹網路供國內學研單位使用。國研院國網中心 TWAREN 維運團隊主要負責 TWAREN/TANet 國內400G 骨幹架構規劃[1]、新世代教育學術研究骨幹網路設備採購案 RFP 需求規格制訂，由教育部辦理採購案招標作業。採購案已於113年10月決標作業，規劃建置期為113年10月至114年 Q3。本文將說明 TWAREN 新世代400G 骨幹網路規劃建置。

2. TWAREN 新世代400G 骨幹規劃與建置

新世代400G 學術研究骨幹網路規劃架構示意圖如圖2所示，包含由 ROADM(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer)光傳輸網路交換設備組成之全光波網路，以及骨幹路由交換設備組成之 IP/MPLS 網路，本專案規劃建置一套 ROADM 全光波網路供 TWAREN 及 TANet 雙骨幹網共同管理使用，並建置兩套 IP/MPLS 骨幹網路，一套由 TWAREN 管理使用，另一套由 TANet 管理使用。

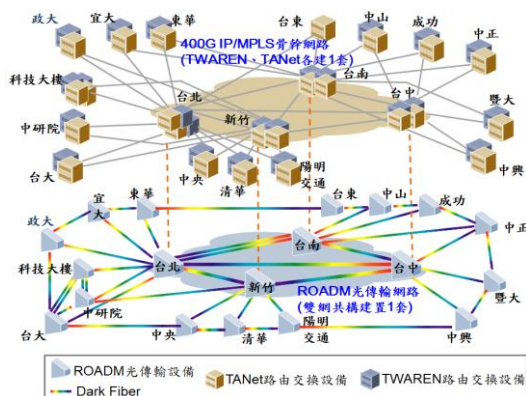


圖 2 新世代 TWAREN/TANet 400G 骨幹共構架構

2.1 學研網光傳輸網路規劃建置

在光纖線路架構規劃方面，新世代400G ROADM 光傳輸網路骨幹光纖線路規劃使用國網中心自建骨幹光纖[1][2](圖2.1.1 紅色線 N1~N17)、中研院支援提供 Taipei GigaPOP 光纖(圖2.1.1 橘色線 S1、S2)，搭配租用兩家 ISP 業者光纖(圖2.1.1 藍色線 DFB3~DFB15及綠色線 DFA3~DFA16)，規劃設計環狀線路備援架構，新世代學研骨幹具備多家 ISP 管道路由光纖備援，具備容錯性及備援性特色，四個主節點對外至少具備4條連外線路(以台中主節點為例，對外具備 N3、N4、N5及 N14共計4條對外線路)，13個大學節點對外至少具備2條連外線路(以暨南大學 GigaPOP 為例，對外具備 DFA7及 DFB11共計2條對外線路)，可降低線路單斷造成單一節點對外完全中斷風險，提升新世代骨幹網路可用性。

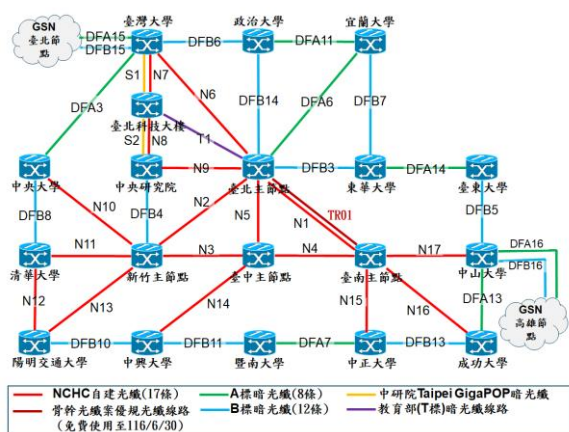


圖 2.1.1 新世代學研網光纖線路規劃架構圖

新世代學研骨幹 ROADM 光傳輸設備規劃採用 IPoDWDM 的技術架構，結合 IP 和 DWDM 的優勢，IP 流量可直接在光層上傳輸，提高頻寬利用率，簡化網路架構，降低運營和維護成本；而採用 DWDM 技術，一對光纖可同時傳輸多個波長，

每個波長攜帶高速的 IP 流量，從而實現高效的頻寬利用和低延遲的數據傳輸。

新世代學研骨幹全網各個主節點及 GigaPOP 節點 ROADM 光傳輸設備具備 Colorless、Directionless、Flex Grid、Contentionless 功能(功能優點說明請參表2.1)，光波長與方向皆可調整，提升光路由彈性與波長資源利用率，降低波長衝突可能性。

表2.1 ROADM 光傳輸設備功能說明

設備功能項目	功能優點說明
Colorless	允許任何光波長的光訊號都可透過任一埠 Add/Drop，不需物理調整
Directionless	允許光通道可從任意方向 Add/Drop，不受物理方向限制
Flex-Grid	允許依據需求動態配置光頻寬度，更細緻頻譜分配，提升頻譜利用率
Contentionless	允許多個相同波長的光訊號同時從不同方向 Add/Drop，不會產生波長衝突

新世代學研骨幹建置之 ROADM 光傳輸系統 WSON (Wavelength Switched Optical Network) 是一種具備自動化與智慧化特性的光傳輸平台，具備動態服務配置、重新路由恢復(Restore)功能，可於 Dark Fiber 線路故障時依據整體網路資源智能地選擇合適的替代路由與波長恢復兩端點間連線，這種1+R 光層保護和恢復機制，可提升自動化與網路穩定性。

ROADM 光路由恢復(Restore)是基於 WSON 控制平面的自動光路徑恢復機制(無需人工介入)，其主要功能為：(1) 偵測光路徑中斷或失效、(2) 通報控制平面、(3) 重新計算路徑 (光路重路由)、(4) 透過 ROADM 節點自動調整方向與波長、(5) 快速恢復服務。運作流程請參圖2.1.2。動態路由恢復(Restore)時間取決於網路拓樸 (Network topology) 架構，通常為 1 秒至數十秒內可完成。



圖2.1.2 ROADM 故障偵測及自動光路徑恢復流程說明

以下說明 ROADM Restore 運作機制，當電路主要路徑中斷時，ROADM Restore 運作機制為「最佳路徑」，會優先選擇經過最少節點的路徑作為備援路徑，若備援路徑所經過之節點數相同時，

再以路徑長度總和作為次要選擇的依據。圖2.1.3以成功大學至臺南主節點為例，當主要線路 Working Path N16中斷時，備援線路有兩條路徑可以選擇，備援路徑 Backup Path A(經過中山大學 ROADM 設備及中繼機房 OLA 光放大器共2個節點，備援路徑 Backup Path B(經過中正大學 ROADM 設備及中繼機房 OLA 光放大器總計亦為2個節點)，唯 N17與 A13路徑長度加總(157Km)短於 N15與 B13路徑長度加總(186Km)，因此，Restore 備援路徑會優先選擇備援路徑 Backup Path A。



圖2.1.3 光傳輸網路系統 Restore 運作圖例

2.2 TWAREN IP/MPLS 骨幹網路規劃建置

在新世代 IP/MPLS 骨幹網路規劃建置方面，在主節點、GigaPOP 之骨幹路由器以兩路400Gbps，合計800Gbps 頻寬方式與另一節點骨幹路由器對接。利用「鏈路聚合控制協議」(LACP: Link Aggregation Control Protocol)的功能，將兩個400Gbps 的頻寬綁定成單一介面，以達成800Gbps 交換速度，而800Gbps 的流量會平均分散於兩個400Gbps 電路介面上，取得負載平衡。GigaPOP 至雙主節點 IPoDWDM 電路架構示意圖詳參圖2.2.1，GigaPOP 以兩路400G 對接至主節點一、以兩路400G 對接至主節點二。各 GigaPOP 分別以800G 頻寬連線至兩個主節點，對接架構詳參圖2.2.2。

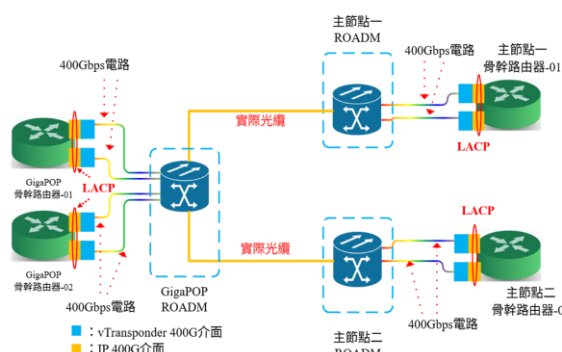


圖2.2.1 GigaPOP 至雙主節點 IPoDWDM 電路架構示意圖



圖2.2.2 GigaPOP 連線至雙主節點架構示意圖

在 TWAREN 新世代骨幹頻寬規劃建置，以 400G 電路頻寬為基礎進行設計及配置，台北、新竹、台中、台南這4個主節點之間頻寬為 1.6Tbps(400Gx4)，各 GigaPOP 至骨幹雙主節點合計總頻寬為 1.6Tbps(400Gx2x2)，主節點之間頻寬配置請參考表2.2.1，GigaPOP 至雙主節點之間頻寬配置請參考表2.2.2。

表2.2.1 TWAREN 主節點至主節點間頻寬配置

主節點/主節點	台北	新竹	台中	台南
台北	N/A	400Gx4	400Gx4	400Gx4
新竹	400Gx4	N/A	400Gx4	400Gx4
台中	400Gx4	400Gx4	N/A	400Gx4
台南	400Gx4	400Gx4	400Gx4	N/A

註: 表中 N/A 表示無頻寬配置

表2.2.2 TWAREN GigaPOP 至雙主節點間頻寬配置

GigaPOP/主節點	台北	新竹	台中	台南
中研院	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
台北科技大樓	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
臺灣大學	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
政治大學	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
中央大學	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
陽明交通大學	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
清華大學	400Gx2	400Gx2	N/A	N/A
中興大學	N/A	N/A	400Gx2	400Gx2
暨南大學	N/A	N/A	400Gx2	400Gx2
中正大學	N/A	N/A	400Gx2	400Gx2
成功大學	N/A	N/A	400Gx2	400Gx2
中山大學	N/A	N/A	400Gx2	400Gx2
宜蘭大學	400Gx2	N/A	N/A	200Gx4
東華大學	400Gx2	N/A	N/A	400Gx2

註: 表中 N/A 表示無頻寬配置

在骨幹路由器規劃建置方面，TWAREN 全網 18個節點(含主節點及 GigaPOP 節點)均規劃建置為雙路由器 HA 架構，各節點倘若發生單一主節點骨幹路由器設備異常時，可由另一台路由器持續提供服務，不影響該節點 TWAREN 骨幹服務，可大幅提升各節點網路韌性。原本在現網 100G 舊骨幹架構，各 GigaPOP 節點僅建置單一主節點骨幹路由器，當此單一主節點骨幹路由器發生異常時，該節點網路發生

中斷無法提供網路連線服務。TWAREN 新世代 IP/MPLS 骨幹網路架構詳參圖2.2.3，各節點均建置2台骨幹路由器 HA 架構。

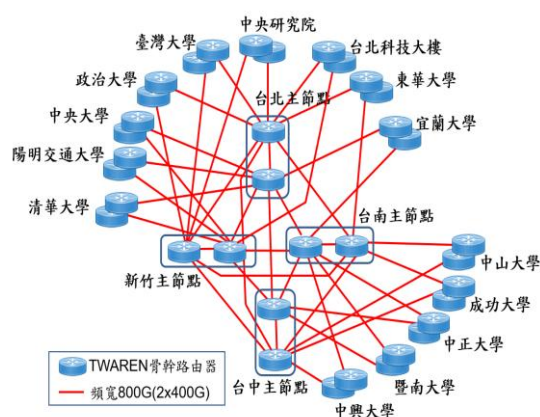


圖2.2.3 TWAREN 新世代 IP/MPLS 骨幹網路架構

TWAREN 新世代 IP/MPLS 骨幹以 Segment Routing(SR)取代傳統 MPLS，Segment Routing 是新一代的 IP/MPLS 路由技術，具備以下優點：(1)可簡化網路操作與除錯、(2)提升可擴展性與靈活性、(3)提升網路可視性、(4)支援 TI-LFA 快速切換 Fast Reroute 功能。TI-LFA (Topology Independent-Loop-Free Alternate)是 Segment Routing (SR) 環境下的一種 Fast Reroute (FRR) 技術，目的是當主路徑上的某個鏈路或節點發生故障時，能在 50毫秒 (ms)內將流量快速切換到備用路徑(切換後的路徑是「無迴圈」的，不會造成封包轉發迴圈)，不中斷服務。

Segment Routing 是針對現代化網路設計的一種更簡潔、靈活、高擴展性的解決方案，特別適合與 SDN、流量工程和5G 等需求相結合。與傳統 MPLS 相比，SR 減少協定依賴與網路狀態複雜度，已逐漸成為電信與大型網路營運商的主流選擇。

在 TWAREN 新世代骨幹服務建置規劃方面，規劃提供 IPv4、IPv6及 EVPN 服務，其中新世代 EVPN 服務將取代舊網 VPLS 服務，新世代骨幹 EVPN 服務應用架構詳參圖2.2.4，採用 EVPN 有以下優點：

- 改善原本舊網 VPLS 無法 Multi-Homing 的問題，因為原 VPLS 協定無法控制 Layer 2的 STP(Spanning-Tree)協定在 VPLS 中流動的問題，而此問題已在新一代的 EVPN 中得以解決，此一 LAN 服務可同時接入兩個 PE 路由器，當其中一路由器發生異常時，另一 PE 路由器仍可維持運作，提高了 MPLS 網路的高可用度。
- 更容易負載平衡，因為 EVPN 的 Multi-Homing 是採用 Per-Flow 的方式運行，因此

在雙線雙 PE 採用 Active-Active 架構時，可以使流量分散於不同的 PE 線路上，更有效的頻寬應用。



圖2.2.4 新世代骨幹 EVPN 服務應用架構

表2.2.3 重點摘要列出新世代 EVPN 服務與傳統 VPLS 服務之比較。

表2.2.3 EVPN 與 VPLS 比較表

比較項目	EVPN(L2VPN)	VPLS(傳統 L2VPN)
支援度	Multihoming 支援雙 PE 易擴充與分散	Single Homing 只支援單 PE
應用場景	E-Line、E-LAN、E-Tree	VPLS VPN

在各節點連線接取架構規劃建置方面。目前大部份 TWAREN 連線單位以1G 或10G 專線進行連線，TWAREN 維運團隊規劃於各節點建置骨幹連線交換器，作為連線單位1G/10G 介接(參考圖2.2.5 用戶連線型態1及型態2)，倘若有部份連線單位因大資料傳輸需求，需申請100G 專線連線 TWAREN(參考圖2.2.5用戶連線型態3)，TWAREN 維運團隊規劃以骨幹路由器進行連線介接。TWAREN 連線單位可以租用專線方式連接到最近的 TWAREN GigaPOP 網路設備上。TWAREN GigaPOP 連線單位接取架構示意圖詳參圖2.2.5，TWAREN 連線接取設備規劃說明請參考表2.2.4。

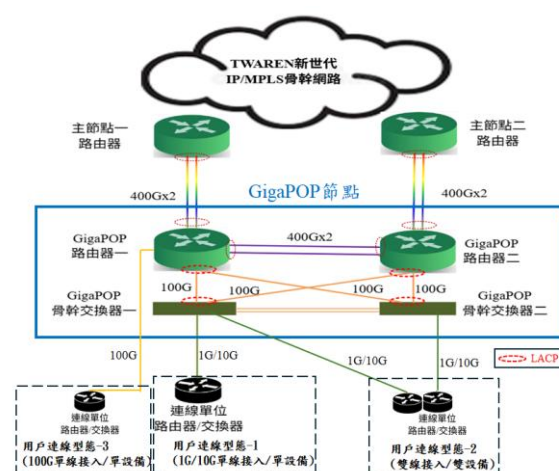


圖2.2.5 TWAREN 連線單位接取架構示意圖

表2.2.4 TWAREN 連線接取設備規劃說明表

連線設備	連線說明
GigaPOP 路由器	(1) 各節點建置2台 (2) 提供100G 連線介接
GigaPOP 骨幹交換器	(1) 各節點建置2~4台 (2) 提供1G/10G 連線介接 (3) 採跨機箱式 LACP 技術，可同時達成 HA 與負載平衡需求 (4) 可承載上行400G 之流量負載

2.3 TWAREN/TANet 互為備援架構設計

為提昇 TWAREN/TANet 雙骨幹網的可用率，維運團隊規劃 TWAREN/TANet 雙網互為備援架構，因考量 TWAREN 及 TANet 大部份骨幹設備均建置於相同區網中心/GigaPOP 機房內，規劃在每一個主節點以400G 線路串接 TWAREN 及 TANet 骨幹路由器，每一個區網中心/GigaPOP 各以4條100G 線路串接 TWAREN 及 TANet 骨幹路由器，如圖 2.3，並透過預先的設備組態設定，於雙網各自預先設定 L2VPN 備援網路互為備援，透過此規劃建置，可達到平時 TWAREN 及 TANet 雙骨幹網保持獨立運作，當某一個節點之 TWAREN 或 TANet 對外網路異常時，經雙單位維運管理人員確認後可以立刻手動進行備援線路切換，以確保單一節點對外網路可以持續運作。

TWAREN 與 TANet 的相互備援的前提條件是，雙網所共構之光傳輸網路(ROADM)仍為正常運作，但其中一個區網中心/GigaPOP 之對所有節點皆無法其主節點對外連線時，才會啟動此一緊急通道的使用。在此緊急通道的使用，只有一方發生上述情事時，才會啟動，若為光傳輸網路導致之兩網同時離線情形下，則不適用於雙網相互備援的前提。

以圖2.3.1進行說明，TANet 某區網中心連線單位平時走 TANet 主要連線路徑(綠色實心線)經 TANet 新世代骨幹至 TANet 主節點，當 TANet 某區網中心對外 TANet 線路或設備卡板發生異常時，可透過與 TWAREN GigaPOP 互連之400G 線路，將 TANet 區網中心對外流量切換至改走 TANet 備援路徑(其中 TANet L2VPN 備援網為 TWAREN 新世代骨幹網路上預先為 TANet 建立之 L2VPN 備援網路)，區網中心流量改走備援路徑(綠色虛線)經 TWAREN 主節點後回到 TANet 主節點進入 TANet 骨幹交換，以持續提供 TANet 該區網之連線單位對外連線服務。

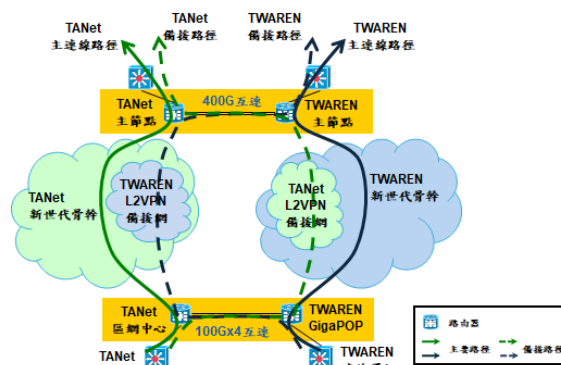


圖 2.3 TWAREN/TANet 雙網互為備援架構示意圖

2.4 國內新世代400G 學研網架構特色

綜合2.1至2.3章節之規劃說明，國內學研網 400G 架構具備如表2.4所匯整之特色。

表2.4 新世代骨幹架構特色說明匯整表

項目	新世代骨幹網路特色說明
提升國內頻寬	(1) 各主節點之間骨幹頻寬由 100G/200G 提升至1.6T。 (2) TWAREN 各 GigaPOP 至雙主節點之間頻寬由100G 提升至 1.6T。
架構容錯及備援性	(1) ROADM 光傳輸網路，TWAREN/TANet 雙網共構建置1套光傳輸設備。 (2) ROADM 光傳輸網路具備 Colorless、Directionless、Flex Grid、Contentionless 功能及 WSON 功能，利用光層保護和自動恢復機制(能在數十秒內快速切換到備用路徑)，提升自動化與網路穩定性。 (3) IP/MPLS 骨幹採用 Segment Routing (SR) 新技術，原生支援 TI-LFA 快速切換 Fast Reroute，目的是當主路徑上的某個鏈路或節點發生故障時，能在 50毫秒(ms)內將流量快速切換到備用路徑，不中斷服務。 (4) 骨幹光纖線路規劃使用國網中心自建骨幹光纖/中研院光纖/租用兩家 ISP 業者光纖，新世代學研骨幹具備多家 ISP 管道路由光纖備援，降低線路單斷風險。 (5) 各 GigaPOP 異地雙主節點(Dual Homing)連線架構，單一主節點完成失能或單一光纖線路斷線不影響 GigaPOP 對外連線服務，提升網路可用性。

	(6) TWAREN/ TANet 各節點400G 互連設計，雙網互為備援，提升網路可用性。 (7) 全網各節點均為路由器雙機 HA 高可用架構，降低單一設備故障風險。 (8) 以建置可用率達99.999%以上電信等級之高品質骨幹傳輸網路為目標。
提供多速率連線交接	規劃由骨幹路由器、骨幹交換器提供連線用戶100G 及1G/10G 等多速率連線交接。
提供骨幹服務/ 負載平衡	(1) 提供 IPv4/IPv6/ EVPN 服務。 (2) 新網 EVPN 服務取代舊網 VPLS 服務:改善原 VPLS 無法 Multi-Homing 的問題、提高 MPLS 網路的高可用度、更容易負載平衡(使流量分散於不同的 PE 線路上，更有效的頻寬應用)。

3. 未來規劃與挑戰工作

因應 AI 世代下的資訊傳遞及研究大資料傳輸需求，TWAREN 維運團隊已於113年完成 TWAREN 新世代400G 學研骨幹網路建置規劃，並於113年10月與合作共構單位教育部共同完成採購案決標作業，開始規劃建置我國新世代400G 學研骨幹網路，新世代400G 骨幹設備採購案預計於114年 Q4完成建置及驗收。倘若新世代400G 骨幹設備採購案順利完成建置驗收，本中心預規劃於115年進行骨幹服務切換改接移轉，將 TWAREN 連線單位由暨有100G 骨幹設備改接至新世代400G 骨幹設備上，並完成 TWAREN 新世代400G 骨幹架構正式上線提供服務。未來，TWAREN 維運團隊亦會持續提供高品質、高強韌性及超高頻寬骨幹網路供國內研究大資料傳輸使用，相信將可大幅節省研究人員的資料傳輸等待時間，加速國內研究計畫整體的研究效率，進而提昇我國的研究能量。

參考文獻

- [1] 張聖翊 鄧丞淇 謝欣叡 王洋銘 林書呈“TWAREN 高強韌性骨幹網路與流量監控系統建置規劃”, TANet 2024,Oct.2024
- [2] 張聖翊、林書呈、鄧丞淇、謝欣叡、李慧蘭、陳敏、李柏毅,“國網中心申請公眾電信網路設置及審驗以營運骨幹光纖之規劃”, TANet 2023,Nov.2023
- [3] 張聖翊,古立其,林書呈,謝欣叡“TWAREN 國內及國際骨幹現況與發展趨勢”, TANet 2021,Dec.2021
- [4] 張聖翊,“TWAREN 國內100G 骨幹網路規劃建置與新舊骨幹移轉規劃”, TANet 2016,Oct.2016
- [5] TWAREN, <http://www.twaren.net/>
- [6] TWAREN NOC, <http://noc.twaren.net/>