

# 台灣學術網路 IPv6 建置概況

賴守全  
銘傳大學  
電腦與通訊工程學系  
sclai@mail.mcu.edu.tw

黃敬哲  
銘傳大學  
電腦與通訊工程學系  
zszc10128@gmail.com

莊育秀  
國立台灣科技大學  
管理研究所  
教育部電算中心  
chuang@mail.moe.gov.tw

## 摘要

因應 IPv4 位址可能面臨枯竭的危機,以及 IPv6 所帶來的新興技術,台灣學術網路自 2003 年起即推動相關的建置測試計畫,從 IPv4/IPv6 轉換機制的測試建置,骨幹網路 IPv4/IPv6 雙協定的啟用,大專校院的校園網路 IPv6 測試建置,縣市教育網路中心 IPv6 測試建置,到中小學校園網路 IPv6 的測試建置,完成一系列的 IPv6 網路測試建置計畫。更在 2009 年,配合新世代網路建置案,於 25 個縣市全面更新佈建新一代縣市教育網路,將支援 IPv6 列為基本要求,讓全國中小學的教師和學生,得以在校園輕鬆的连接 IPv6 網路,讓縣市教育網路進入全新的世代。

**關鍵詞:** 台灣學術網路(TANet)、IPv6、VoIP。

## Abstract

To deal with the exhaustion of IPv4 address space and to benefit from the new technologies of IPv6, a series of IPv6 trial projects have been deployed on TANet since 2003. These projects helped implement IPv4/IPv6 translation mechanism, enable IPv6 routing on TANet backbone, setup IPv6 network on campuses, deploy IPv6 on city education networks, and connect IPv6 network to junior and elementary schools. In 2009, conducted by the NGN project, all 25 city and county education networks are renewed, and all new networks support IPv6, such that teachers and students will be able to connect to IPv6 network easily in the new coming network era.

**Keywords:** TANet, IPv6, VoIP.

## 1. 前言

台灣學術網路(Taiwan Academic Network, 簡稱 TANet)是國內主要網路之一,連線範圍主要包含教育部、大專校院、高中職、全國 25 縣市之國中小學等各級學校及教育行政機關(構),使用者預估主要約有 440 萬的在職及在校之教職員生,校園內所使用的電腦及網路設備更是數量眾多,相對的需要有足够的 IP 位址以提供整體電腦網路環境的運作,目前 TANet 使用 IPv4 位址約 90 個 class B 的數量。為面對可能來臨的 IPv4 位址枯竭問題,台灣學術網

路必須有所因應方能持續支援未來教學及研究所需。在眾多的 IPv4 位址不足的解決方案中,對台灣學術網路來說,最直接,也最徹底的解決方案就是讓台灣學術網路直接支援 IPv6[1]的連線,也就是讓學術網路的使用者使用具備 IPv6 連線能力的電腦、設備或行動裝置等環境,直接以 IPv6 位址連接到網際網路。同時,因應 IPv6 網路可能的到來,台灣學術網路亦須及早累積相關的建置及維運經驗,以期在必要時能將 IPv6 網路順利推展至各級連線學校。因此自 2003 年起,台灣學術網路便參與了第一階段的 IPv6 實驗計畫(2003~2007)。

在第一階段的實驗計畫中,台灣學術網路完成了 IPv4/IPv6 轉換機制的建置[2][4],隨後也完成 TANet 區域網路中心骨幹網路設備具備支援 IPv6 路由功能,隨後更擴大在台南市教育網路中心,及所屬之國民中小學進行 IPv4/v6 Dual stack 的實體實驗建置計畫,成功的將 IPv6 網路從骨幹網路推動到末端連線學校,驗證了 IPv6 在台灣學術網路建置的可行性。因此配合新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫(NGN)[5],台灣學術網路自 2009 年起開展了第二階段全面佈建 IPv6 建置計畫。

在第二階段的計畫,配合新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫的經費,教育部推動了 25 個縣市教育網路的更新計畫,將支援 IPv6 列為本次網路更新的必備要件[7],並將建置縣市教育網路語音系統(VoIP)平台[3][6]及建置校園無線網路二項網路應用,做為推動 IPv6 網路的示範應用,以實現建置 IPv6 網路於縣市中小學的校園,並實際統計分析應用 IPv6 網路的效益,同時累積 IPv6 管理維運的經驗。

經過 25 縣市的努力,各縣市教育網路均於 2009 年內完成網路更新建置,教育部隨後於 2010 年 4 月開始進行建置成果訪視調查。調查結果顯示,全部縣市均達成本次建置計畫的基本指標,部分縣市更有令人稱羨的建置成果。本文將對台灣學術網路推動 IPv6 建置的歷程加以介紹,並針對本次網路更新建置計畫的建置發展及調查結果進行分析與探討,期能為後續持續推動 IPv6 提供重要參考。

本論文各節內容安排如下。在第二節將介紹台灣學術網路的組織及架構。在第三節中將說明台灣學術網路推動 IPv6 的發展歷程。在第四節中,我們將說明本次新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫及建置調查結果,並針對調查過程中所發現問題加以探討。最後一節為本論文的結論。

## 2. 台灣學術網路(TANet)

台灣學術網路(TANet)係由教育部及幾個主要國立大學於1990年7月起所共同建立的一個全國性教學研究網路，之後經過多年的發展，已經連接教育部及其附屬機構、全國各級學校及學術研究機構，以及教育行政機關及其附屬機構，其主要任務在於支援全國各級學校、研究機構及相關單位間之教學與學術研究活動及教育行政應用服務。現行TANet的管理組織分為三個階層，包括台灣學術網路管理會、區域網路中心及縣市教育網路中心、以及連線台灣學術網路之各連線單位。

TANet之連線架構如圖1所示，可以分為三個層次：

### (1) 骨幹網路

TANet的骨幹網路由教育部及13個區域網路中心連接而成，由區域網路中心負責網內的連線，教育部負責對網外的連線。政府網路(GSN)及其他國內網際網路服務供應商(ISP)，則經由教育部或區域網路中心以單點或多點互連的方式連接TANet。

### (2) 區域網路

區域網路為各級學校連線TANet的連接處，主要由區域網路中心及各縣市教育網路中心負責。區域網路中心負責大專院校的連線，縣市教育網路中心則負責中小學的連線。高中及與高職則就其實際需求連線區域網路中心或縣市教育網路中心。

### (3) 校園網路

各學校負責建置其校園網路，並依台灣學術網路管理規範申請透過區域網路中心或縣市教育網路中心連線TANet。

透過各層次網路的連接，在校園內的教師和學生，得以經由校園網路連線至其他學校，並連線至國內外的網路。



圖1 TANet 連線架構圖

## 3. 台灣學術網路 IPv6 推展計畫

有鑒於IPv4位址可能面臨枯竭的問題，為避免因IPv4位址嚴重不足，對TANet未來可能的應用與發展構成威脅；同時，考慮即早評估新興IPv6技術對TANet未來發展的可能性，TANet自2003年起，配合新世代骨幹網路實驗計畫成功將TANet骨幹網路轉換為Gigabit Ethernet後，即開始IPv6的推展計畫，其計畫發展時程如圖2所示。

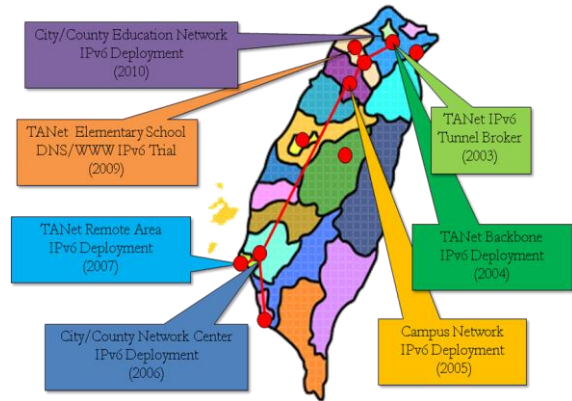


圖2 TANet 推展 IPv6 計畫時程圖

在2003年，台灣學術網路原訂啟動TANet骨幹路由之IPv6功能，後因硬體設備限制問題，改於各區網中心建置Tunnel Broker。在2004年，TANet新世代骨幹網路於選定區域網路中心之骨幹網路設備同時啟動IPv4及IPv6路由，在不影響現有IPv4網路運作的原則下，建立TANet IPv6骨幹網路。

在2005年，TANet成功全面開啟骨幹網路設備的IPv6功能，並啟動全數區域網路中心的IPv6路由交換，並透過IPv6路由的交換，連接到其他國內外IPv6網路，直接採用IPv4/IPv6雙協定的方式，提供校園網路使用者最方便的IPv6上網環境。同年，選定4所大專院校，進行了校園IPv6網路的建置實驗，並建置了4組校園DNS及WWW網站，以驗證TANet IPv6骨幹網路及校園IPv6網路的建置成果。

在2006年，TANet經由先前建置完成的台南區網IPv6網路，將IPv6網路延伸至台南市教育網路，同時升級台南市教育網路的骨幹設備，並利用雙迴路的設計，使其同時支援IPv6及IPv4網路，也建置了IPv6網路所必備的DNSv6伺服器，提供基本的IPv6網路服務。同年，在兩所國小完成了校園IPv6網路的建置，以驗證IPv6網路的整體建置成果，並將建置成果置放於台南市教育網路中心IPv6網站上，分享經驗給其他縣市教育網路中心。

在2007年，TANet嘗試把IPv6網路由縣市教育網路中心，再推展至偏遠地區的學校，讓偏遠地區的師生，也能透過IPv6網路學習相關經驗。此外，也在中小學校園內建置校園無線IPv6網路，提

供隨時隨處的 IPv6 上網環境，並將計畫成果累積於縣市 IPv6 專屬網站，分享建置成果。

在 2009 年，TANet 持續推動 IPv4/IPv6 雙協定網路基礎建設至 5 個縣市教育網路中心，並選定 5 所中小學作為中小學校園 IPv6 網路的示範學校，成功驗證建置 IPv4/IPv6 雙協定校園網路的可行性。

在這一系系列從骨幹到區域，從區域到縣市，從縣市到校園，從都會到偏鄉，從網路基礎到應用服務的 IPv6 推展計畫的成功基礎之上，教育部在 2009 年執行「新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫」，全面推展 25 個縣市教育網路的 IPv4/IPv6 雙協定網路基礎建設更新案。

在 2010 年，配合前一年縣市教育網路更新建置案，教育部規劃進行了 25 個縣市的建置成果訪視，以了解整體建置的成果；同時，更規劃推動了區域網路中心的 IPv4/IPv6 語音交換平台建置案，以擴大 TANet 縣市教育網路 IPv6 更新建置的整體效益，並積極研討規劃後續之 IPv6 推展方向。

#### 4. 縣市教育網路 IPv6 建置成果調查

在「新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫」中，教育部邀集了專家學者組成技術小組，協助定訂本次縣市網路更新建置案的關鍵績效指標 (KPI)，以做為縣市規劃更新建置縣市教育網路的參考指標，同時也為各縣市所提出的縣市教育網路更新計畫進行意見諮詢，期在投入經費後，能有效達成新一代縣市教育網路的建置。在各縣市建置完畢後，亦邀集相關專家學者組成計畫成果訪視小組，實際造訪各個縣市教育網路中心及縣市內若干中小學，了解各縣市教育網路更新建置的概況，檢視縣市教育網路所提供的建置數據，並聽取縣市教育網路中心的意見。

以下將就本次縣市教育網路更新建置所訂定之關鍵績效指標，縣市教育網路中心之建置成果概況，以及縣市教育網路中心所提出之意見加以探討。

##### 4.1 縣市教育網路更新建置關鍵績效指標

本次縣市教育網路更新建置依教育部之規定須達成下列幾項關鍵績效指標(KPI)之要求：

- (1) 國中小學校對外網路出口需符合新世代網路環境(IPv6) 依學校數量計算需達 50%。另本計畫新購之網路設備需符合 IPv6 規格。
- (2) 各縣市網路中心路由器需符合新世代網路環境(IPv6)。
- (3) 各縣市國小網路電話普及率達 50%。
- (4) 各縣市網路語音系統均須能與教育部語音交換平台互通。
- (5) 每門話機均應配發並註冊教育部語音交換門號。
- (6) 各縣市網路語音系統須能配合提供教育部資料統計。

- (7) 縣市內各國中小無線網路節點達 2 點以上。
- (8) 提供縣市內國中小教師校際漫遊帳號及使用環境。
- (9) 各縣市國中小無線網路佈建校數達 70%。
- (10) 無線網路帳號、密碼驗證須透過 WPA2 或 802.1x 等加密機制

這些 KPI 可以略分為三類：第一大類為網路基礎建設，從縣市教育網路中心，到各連線中小學之網路必須支援 IPv6。第二大類為縣市教育網路語音平台之建置，期能配合新建之教育網路，提供更實務之網路應用。第三大類為校園無線網路之建置，期能提升學校教師和學生更方便之上網環境，提供更多網路輔助教學之可能性。

在這些關鍵指標中，除了第一大類明確指出新購置之核心網路設備，及建置完成之中小學校園網路必須支援 IPv6 外，各縣市在進行更新建置計畫報告時，教育部諮詢委員亦就期望所新建之網路語音交換平台和校園無線網路建置應充分支援 IPv6，以因應未來之所需提出意見。因此，在各縣市最後的建置規劃中，除特殊情況外，均將 IPv6 實現於整體建置案之中，包含基礎網路建設，網路語音平台，及校園無線網路。

##### 4.2 縣市教育網路更新建置成果概況

自 2010 年 4 月起，教育部邀集相關專家學者針對本次縣市教育網路更新建置案進行實地訪查。在實地訪查前，教育部先行發文各縣市教育網路中心，請各縣市教育網路中心就實際建置成果填報參訪評量自評表。在實地訪查時，訪查委原則就該縣市填報之參訪評量表進行複評，同時於訪查當日隨機抽訪若干中小學，實際了解校園網路的建置概況，並實地以各抽訪學校之網路及 VoIP、無線網路等應用進行 IPv4/IPv6 可正常運作的測試，同時聽取縣市教育網路中心及學校老師對本次建置過程及需改善的問題進行技術與行政配合作業的經驗交流。

縣市教育網路自評表主要調查骨幹網路設備及應用服務兩大部份。骨幹網路設備之調查主要針對縣市教育網路之核心網路設備及新購置網路設備是否支援 IPv6，以及連線學校校園網路支援 IPv4/IPv6 雙協定之比例。另外應用服務部分，則調查單位 DNS 和 WWW 網站是否支援 IPv6，以及網路語音系統和校園無線網路之建置概況。

調查結果顯示，各縣市更新建置完成之教育網路可略分為 L3 架構及 L2 架構兩類。以下將以台中縣教育網路及台南市教育網路為例，分別介紹兩種網路架構之特色。

###### (1) 台中縣教育網路

台中縣教育網路中心是以 Layer3 為主的網路架構，如圖 3 所示。在這個架構中，各連線學校係透過 Layer 3 的 switch router 和縣教育網路中心的路



由器連接。其中最為特殊的部分，是台中縣教育網路使用兩個路由器透過兩個不同 ISP 的迴路與各個學校連接，且路由器啟用高可用性(High Availability)功能，且與學校連線端架設有資訊安全防護設備，提供縣教育網路中心及各連線學校基本的網路安全防護功能。此種架構在維運上較為複雜，但可適用於連線環境較為複雜的縣市，各校可就其特殊需求調整其對外 switch router 的功能。在支援 IPv6 的部分，只要教育網路中心的路由器及學校對外的 switch router 支援 IPv6 即可達成學校支援 IPv4/IPv6 雙協定的目標。

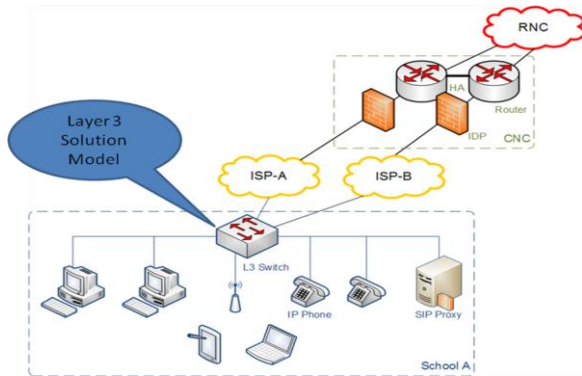


圖 3 台中縣教育網路中心架構圖

(2) 台南市教育網路

台南市教育網路中心採用以 Layer2 為主的網路架構，如圖 4 所示。這個架構是各個學校透過其對外的 switch 直接連線到教育網路中心的路由器，整個教育網路係由教育網路中心直接於網路中心設定與管理，所以對於各連線學校的網路管理者來說，無需額外的特殊設定，即可輕鬆連接教育網路中心。這個架構適用於連線環境較為單純的縣市，其優點為教育網路中心可以統籌管理各校的網路連線，各校網路管理者僅需負擔簡易的線路障礙排除即可，但相對來說，也較不易滿足各校的特殊需求。在這個架構下，只要教育網路中心的路由器支援 IPv6，在標準的 switch 運作情況下，即可達成學校網路支援 IPv4/IPv6 雙協定之目標。

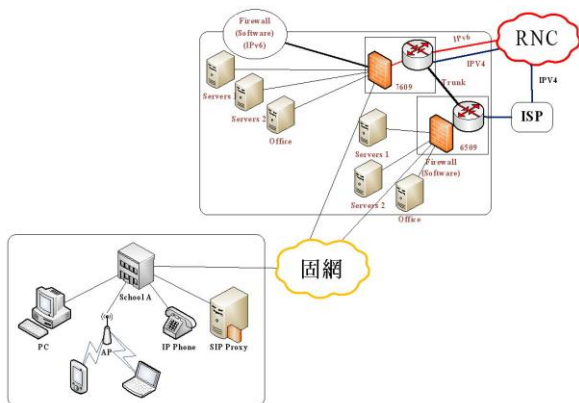


圖 4 台南市教育網路中心架構圖

在整體建置成果方面，依據 24 個縣市(不含連江縣)的教育網路建置調查結果顯示，在骨幹網路設備部份，部份縣市原有設備已經非常老舊，因此藉此計畫汰換大量老舊設備，所新購之設備均支援 IPv6，且全部縣市教育網路中心之骨幹網路設備均達成支援 IPv6。

在縣市中小學校園網路支援 IPv6 的部分，其調查結果如圖 5 所示，目前已有 14 個縣市中小學支援雙協定完成比例達 100%，其餘縣市之中小學支援雙協定完成率也都有超過 90% 之情況，遠遠超過 KPI 所訂定之 50% 目標。另外調查結果也呈現，各縣市所採用之 IPv6 安全防護機制大多為網路設備內建之存取控制(Access Control List)或外加之防火牆(Firewall)。另外各縣市教育網路中心均完成建置支援 IPv6 之單位 DNS 和 WWW 網站，這個項目的縣市整體達成率為 100%。

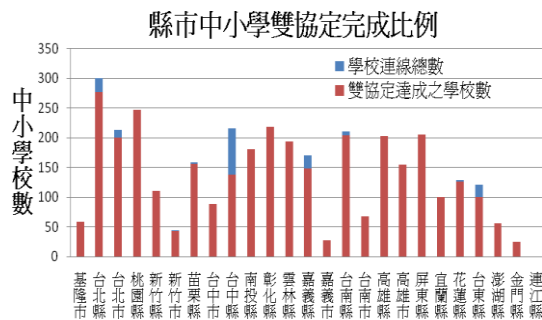


圖 5 縣市中小學雙協定比例圖

在網路語音系統方面，各縣市均完成網路語音系統的建置(SIP server)，其中 18 個縣市網路語音系統支援 IPv6，佔全部縣市的 75%。在學校網路電話普及率方面，縣市教育網路中心網路語音系統連接縣市內中小學校的數量，有 20 個縣市達到 100%，其餘縣市達成率均達 92% 以上。另外，縣市內中小學班級建置網路電話的調查結果如圖 6，有 4 個縣市中小學班級網路電話建置率達到 100%，另有 9 個縣市班級達成率超過 50%，平均各縣市整體達成率為 56%。另外調查結果顯示，各縣市均依建置要求，新購置之網路電話機均支援 IPv4/IPv6 雙協定，且均註冊有 TANet 語音交換門號。

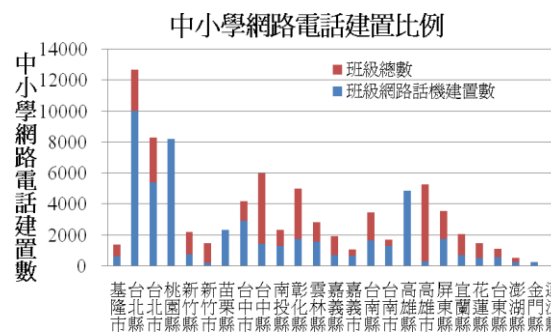


圖 6 縣市中小學網路語音系統建置比例圖

在校園無線網路建置部份，其調查結果如圖 7 所示，全部縣市均完成中小學校園無線網路的建置，其中有 19 個縣市中小學校園無線網路建置率達到 100%，整體中小學校園無線網路建置率達 98%。而所建置完成的校園無線網路，共有 23 個縣市支援 IPv6，縣市整體達成率為 96%。另外在校園無線網路加密部分，多數縣市採用 WPA2 或 WPA2-AES 方式，有 5 個縣市中並未完成無線網路加密安全機制的建置。各縣市完成之校園無線網路均建制有帳號漫遊機制，教師可以在他校使用原有帳號進行無線網路連線。

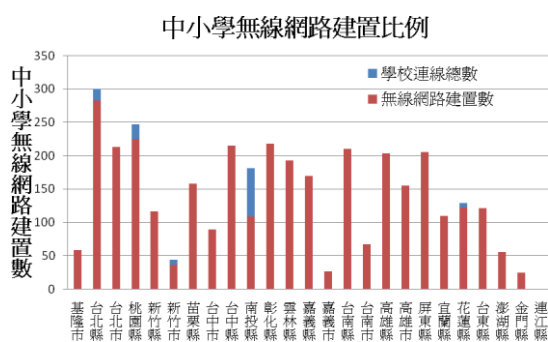


圖 7 中小學無線網路建置比例圖

### 4.3 效益分析

依調查結果分析，本次台灣學術網路在中小學的校園 IPv4/IPv6 雙協定網路建置有下列的效益：

- (1) 促進產業界投入具備 IPv6 電腦及網路設備的設計與量產作業。
- (2) 提供台灣學術網路累積維運 IPv6 經驗的實體網路環境。
- (3) 備妥因應 IPv4 位址枯竭之解決方案。
- (4) 建立發展 IPv6 網路應用的實驗環境。
- (5) 驗證並改善現有支援 IPv6 網路設備的運作功能、效能及穩定度等作業。

### 4.4 問題與討論

調查結果顯示，本次縣市教育網路 NGN 建置案，已經將 TANet 對 IPv6 的支援程度從骨幹網路延伸至 25 個縣市教育網，全國有近 90% 的中小學都可以在校園使用 IPv6 上網，並且有 96% 的中小學建置完成網路語音系統，更有 98% 的中小學建置有校園無線網路，且這兩種服務應用多數中小學都可以使用 IPv6 來連線，整體建置成果相當豐碩。然而在實地訪視資料中，我們也發現以下幾點問題值得討論。

- (1) 中小學校園內部需配合更新

本次縣市教育網路更新建置，基本上已經完成

大部分的硬體建設，也已經將 IPv4/IPv6 雙協定網路完成建置至學校出口網路設備，然而因學校人力有限，不少中小學，除了新購電腦之作業系統支援 IPv6 網路連線外，僅有少部分舊有電腦完成支援雙協定的軟體更新，且僅有少數教師和學生對 IPv6 網路有所認識，因此如何加速校園內部的軟體更新，並提升中小學師生對 IPv6 的認知，實為後續努力的重要目標。因為唯有完整的軟硬體建置，方能發揮本次擴大建置之最大效益。

- (2) 積極發展教育相關應用

在完成實體教育網路更新建置後，如何發展充分利用本次網路更新建置優勢的教育相關應用，讓中小學師生能充分體驗和感受更新網路後所帶來的好處，特別是引進 IPv6 網路後，如何發揮 IPv6 的優勢，發展過去受限於 IPv4 所不能實現的教育應用，亦為後續持續推展縣市教育 IPv6 網路的重要關鍵。

- (3) 建構支援 IPv6 之網路管理及資安防護機制

完成網路基礎建置後，各縣市更關心的是後續的網路維運機制，包含支援 IPv6 的網路管理系統及資訊安全防護系統。因為唯有穩定、快速、安全、方便的網路環境，才是網路系統得以持續發展的重要關鍵。現今，幾乎每個縣市教育網路中心對 IPv4 網路的維運都已經具備相當水準與能力，然而面對新興的 IPv6 網路，卻顯得相當陌生，網路管理人員亟需更務實的教育訓練以及更完善的網路管理工具和資訊安全防護設備，來協助維運這全新的教育網路。

- (4) 持續投入後續發展經費

本次建置雖已經完成大多數區域和項目的更新建置，然而部分區域和項目，受限於某些特定因素，並未能在此次順利完成更新建置。為提供每位中小學的教師和學生公平學習的機會，後續應持續投入發展經費，以完成尚待更新建置的部分，讓網路發揮打破地理環境限制的特性，落實建置中小學優質化均等數位教育環境的計畫目標。

## 5. 結論

台灣學術網路(TANet)自 2003 年起即開始進行 IPv6 網路的實驗計畫，在一系列實驗計畫的成功基礎之上，於 2009 年執行新一代校園寬頻有線及無線網路環境計畫(NGN)，讓 25 個縣市教育網路全面升級為支援 IPv4/IPv6 雙協定的新世代網路，讓 TANet 走入一個新世代。

這次縣市教育網路更新建置，在全國完成近 90% 的中小學校園 IPv4/IPv6 雙協定網路的建置，學校師生經由校園網路可連接全世界的 IPv6 網路。另

有 96% 的中小學完成校園網路語音系統，並連接到縣市教育網路語音系統，更可經由台灣學術網路語音交換平台，與其他縣市進行語音學習活動。更有 98% 的中小學完成校園無線網路建置，學校師生從此可以在校園的每個角落上網學習，讓網路資源的使用不在受限於教室。本次更新建置案，成果相當豐碩，如何有效管理維運並發展相關應用，則為後續持續努力的目標。

## 參考文獻

- [1] S. Deering and R. Hinden, Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification , RFC 2460, Dec. 1998.
- [2] J. Hagino and K. Yamamoto, An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator, IETF RFC 3142, June 2001.
- [3] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, E. Schooler, Session Initiation Protocol (SIP). IETF RFC 3261, June 2002.
- [4] M . Samad , F . Yusuf , Hibah Hashim and Md MahidZ Md Zan, Deploying Internet Protocol Version6 (IPv6) over Internet Protocol Version 4 (IPv4) Tunnel, Student Conference on Research and Development, 2002.
- [5] 教育部，振興經濟擴大公共建設投資－資訊服務業擴大公共建設計畫之建置中小學優質化均等數位教育環境計畫新一代校園網路環境構子計畫，2009。
- [6] 教育部，「TANet 網路語音交換平台技術諮詢組」第 6 次會議紀錄，2009。
- [7] 教育部，「TANet IPv6 技術維運小組」第 2 次諮詢會議紀錄，2009。