

以可選擇之 MPLS Label 提供 IPv6 跨校互連機制

黃燕忠* 簡承光**

*中國文化大學資訊管理研究所 副教授

yjhwang@faculty.pccu.edu.tw

**中國文化大學資訊管理研究所 研究生

jonathan@ems.cku.edu.tw

摘要

近年來台灣學術網路對 IPv6 網域的佈署愈來愈重視，然而由於各學術網路尚未有一致的 IPv6 互連機制，複雜的過境及轉移設定可能會增加各校網管人員的負擔與風險。有鑑於此，本研究試著模擬在 TANet 骨幹上設定 MPLS 網路協定，作為提供校際間 IPv6 跨校互連，期望研究結果能建立各校 IPv6 互連機制的一致性，另外，本研究也提出在 MPLS 中可選擇性加入 Label，使得 IPv4 與 IPv6 在共存時期，可簡化網管設定，降低複雜性，並可維持原 IPv4 的骨幹架構不變。

關鍵詞：IPv4、IPv6、MPLS、MPLS Label。

Abstract

Recent years have seen increased attention being given to deployment of IPv6 domain in the TANet. However, it does not reach consistent in IPv6 interconnection. The complex configuration of IPv6 transition and transformative mechanism will increase burdens of networking engineers and accordingly increases risk. Therefore, this study attempts to operate the MPLS network protocol in simulated TANet backbone to serve as a base of IPv6 for interconnection among interscholastic institutions. We expect the result of this study could reach to the consistent mechanism of IPv6 interconnection. Furthermore, we also propose a selective MPLS Label insertion that can not only simplify and decrease the complexity of network management, but also does not change the original IPv4 backbone during the IPv4 and IPv6 coexist time

Keywords: IPv4, IPv6, MPLS, MPLS Label。

1. 前言

隨著政府積極推動行動台灣(Mobile Taiwan)、無所不在台灣(Ubiquitous Taiwan)，校園間也瀰漫著一股濃厚的U化與M化，然而有許多研究預期2010年到2015年間，IPv4的網路位址將全部耗盡[6,15,17]。我國政府在挑戰2008國家發展重點計畫之數位台灣計畫--「6.1.3建制發展網路協定IPv6計畫書」中的目標之一，也期望達成建立 IPv4 至 IPv6網路轉換機制，以提供各界導入 IPv6平台的無縫解決方案[16]。目前學術網路校際間所建制的

IPv6 網域，可依據 IETF NGT(Next Generation Transition, NGtrans)所定義 Dual Stack、Tunnel及 Translator等機制[2,3]進行互連，然而由於各學術網路尚未有一致的IPv6互連機制，複雜的過境及轉移設定可能會增加各校網管人員的負擔與風險。

有鑑於此，我們之前曾探討以 MPLS VPN 在 TANet 骨幹環境作為 IPv4/IPv6 轉移機制 [4]，現在我們在本研究模擬 TANet 骨幹，以可選擇之 MPLS Label 機制，經由實作方式，藉由 MPLS Label 提供 IPv6 跨校互連，預期研究結果可為 TANet 骨幹網路及各大專院校帶來以下 4 項優點：(1) 可與原骨幹網路之 IPv4 架構共存，(2)骨幹網路軟硬體升級變動量小，(3)不需複雜的設定與維護，(4) MPLS Label 可堆疊的特性，可提供學術網路加值應用。

2. 文獻探討

2.1 MPLS (Multiprotocol Label Switching)

MPLS 協定的發展突破了網路層路由技術的瓶頸，更解決了傳統路由協定應用上的困境[14]。一台執行 MPLS 協定的路由器被定義為 LSR (Label Switching Router)，其主要結構分為 Control Plane 與 Data Plane。Control Plane 用來與其他 LSR 交換網路層的路由協定(如 IS-IS, OSPF, EIGRP)並透過 LDP(Label Distribution Protocol)建立 LDP session 如圖 1 所示。

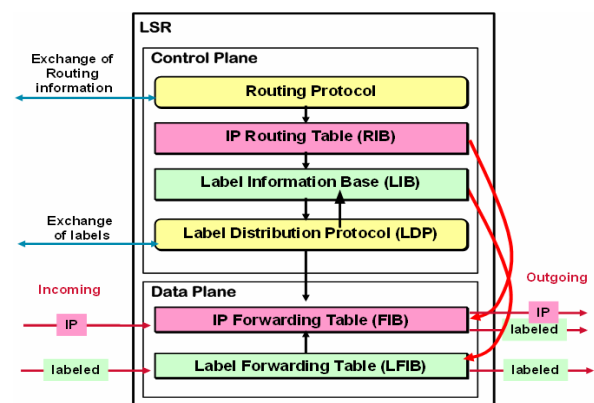


圖 1 LSR 主要結構 [12]

當 Control Plane 透過路由協定建立 IP 路由表 RIB(IP Routing Table)，且由 LDP 交換並建立 Label 後，LSR 可將路由表與 Label 兩者資訊進行連結，

並儲存於 LIB(Label Information Base) 稱為 Label Binding[12]。而 Data Plane 則將 RIB 及 LIB 資訊分別存放至 FIB(IP Forwarding Table)與 LFIB(Label Forwarding Table)作為 MPLS 實際 Label 與 IP 封包的轉送表。

2.2 MPLS Label Forwarding

LSR 在骨幹的架構中，可依資料流的方向區分為 Ingress LSR、LSR 及 Egress LSR。LSR 有三個主要功能：(1)交換網路層的 IGP(Internal Gateway Protocol)路由，(2)交換 MPLS Label，(3)Label 的處理(Insert, Swap, Remove)。當一 IP 封包抵達 Ingress LSR 時，LSR 依照所建立好的 LSP(Label Switching Path)對此 IP 封包加上(Insert) Label，並將此 Label 交換(Swap)至下一個 LSR，最後封包抵達 Egress LSR，再移除(Remove)此封包的 Label，整個過程稱為 MPLS Label Forwarding 如圖 2 所示。

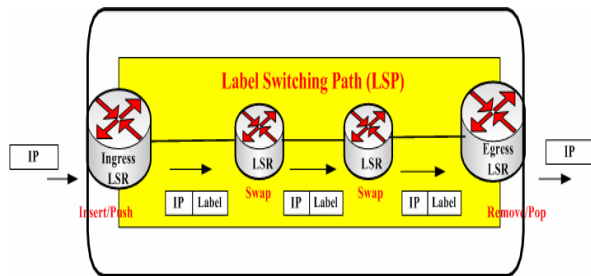


圖2 MPLS Label Forwarding

2.3 MPLS VPN 骨幹架構與運作

MPLS VPN 網域由客戶端路由器(CE Router)、供應商邊界路由器(PE Router)及供應商核心路由器(P Router)所組成[13]。網域中所交換的協定為(1)客戶端 IGP：運作於 CE、PE 之間進行客戶端路由交換，(2)骨幹 IGP 及 LDP：執行於 PE 及 P 之間，以進行 MPLS 骨幹網域 IGP 路由及 Label 交換，(3) 骨幹 BGP(Border Gateway Protocol)協定：運作於各 PE 路由器，透過 MP-BGP 將 Next Hop 送給其他 PE 路由器[7]如圖 3 所示。

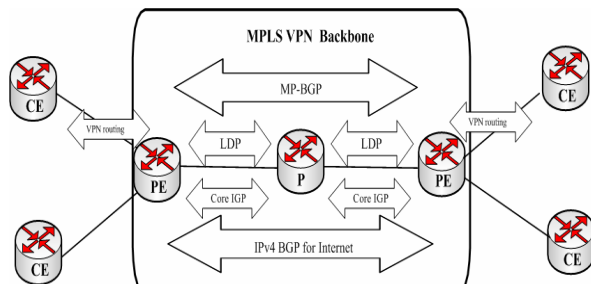


圖3 MPLS VPN 架構與協定

3. MPLS 6PE 於 TANet 中的模擬與實作

綜合上述 MPLS、MPLS Label Forwarding 及 MPLS VPN，再參考「教育部顧問室九十三年度通訊科技教育改進計畫」之多重協定 Label 技術對 TWAREN (Taiwan Advanced Research and Education Network)架構 [1]，我們認為能以 MPLS 執行於 TANet 學術網路骨幹，進而規劃設計圖 3 的 MPLS VPN 架構與協定，將 PE 視為欲提供各大專校院進行 IPv6 過境之路由器，且由於該 PE 需同時支援 IPv4 與 IPv6 成為 Dual Stack，亦稱之為 6PE。6PE 可視為縣市教網中心或區網中心(如政治大學、台灣大學、交通大學等)，CE 可視為連接在區網中心上的各大專校院路由器，其中 P 路由器屬 TANet 骨幹的核心路由器。

3.1 LSR 之選擇性加入 Label

如前述，由於 LSR 可針對 Incoming/Outgoing 的封包區分為 IP 封包及 Label 封包，我們可依 LSR 的特性經由實作在 LSR 中選擇性加入 Label。如此可模擬 TANet 在 MPLS 中提供校際間 IPv6 過境的初期，能先針對 Incoming 的 IPv6 封包宣告及加入 Label，使 IPv4 封包仍維持原 IP Packet Forwarding 而不加入 Label，如圖 4 所示。

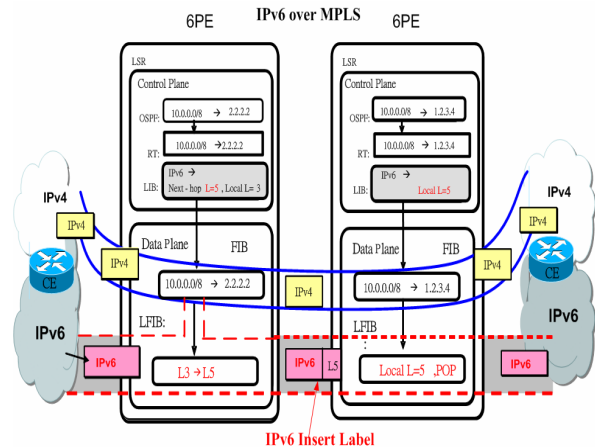


圖4 在 LSR 中選擇性加入 Label

6PE 選擇性加入 Label，可使 IPv4 與 IPv6 共存於 TANet MPLS 網域的時期，網管人員可選擇性地將 IPv6 網段加入 Label，以減少過境時的複雜性與維運上的負擔。

3.2 實驗網路架構

本研究之實驗網路架構是以東南科技大學及台北醫學大學作為 CE 路由器，模擬連接至政治大學與台灣大學之 PE 路由器，而 PE 路由器與核心路由器 Core-P 相連如圖 5 所示。

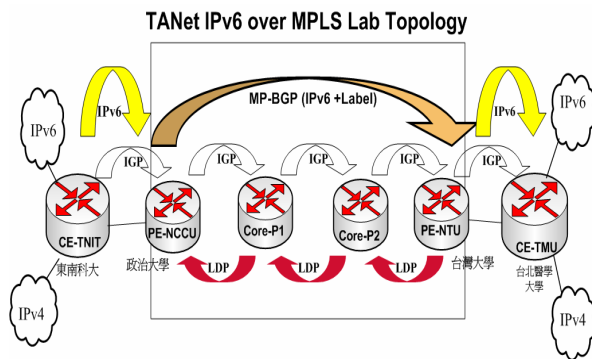


圖 5 模擬 TANet 之實驗環境架構圖

並以 Dynagen - 0.9.2 / Dynamips- 0.2.7-RC3 / Wincap 4.0 模擬 Cisco 路由器，載入版本 12.4(11)T 之 c2691-adviservicesk9-mz.124-11.T IOS 實機模擬 6 台 2691 Router。實驗環境之 IP v4 與 IPv6 定址如表 1 所示。

表 1 實驗環境之 IP v4 與 IPv6 定址

北區大學	Host Name	Loopback 0	Fast Ethernet0/0	Serial 1/0
東南科大	CE-TNIT		IPv4 : 140.119.252.2/30 IPv6 : 2001:288:2001:2001::2002/64	
政治大學	PE-NCCU	IPv4 : 192.168.100.1/32 IPv6 : 2001:DB8:1111:1111::1111/64	IPv4 : 140.119.252.1/30 IPv6 : 2001:288:2001:2001::2001/64	10.10.10.1/30
TANet Core	Core-P1	192.168.100.2/32	10.10.10.5/30	10.10.10.2/30
TANet Core	Core-P2	192.168.100.3/32	10.10.10.6/30	10.10.10.9/30
台灣大學	PE-NTU	IPv4 : 192.168.100.4/32 IPv6 : 2001:DB8:2222:2222::2222/64	IPv4 : 202.169.174.1/30 IPv6 : 2001:288:1001:1001::1001/64	10.10.10.10/30
台北醫學大學	PE-TMU		IPv4 : 202.169.174.2/30 IPv6 : 2001:288:1001:1001::1002/64	

3.3 實作步驟及設定

3.3.1 IPv4 路由設定與 MPLS 的啟動

Lab 環境中我們以 OSPF 作為貫穿 TANet 骨幹網路 IGP 路由協定，CE 使用 default route 指向 PE，以完成現行 IPv4 網路互連性。

在 Cisco 路由器上啟動 MPLS 須先於 global 模式中啟動 CEF (Cisco Express Forwarding)。而 IOS 可依每一 Interface 分別啟動 LDP 協定或 Cisco 專屬的 TDP (Tag Distribution Protocol)，本研究以標準的 LDP 協定為主如圖 6 所示。LDP 協定啟動的範圍為 TANet 骨幹所有參與 MPLS 之路由器。PE 與 CE 所連接之 Interface 不交換 Label，因此無須啟動 LDP。

```

Telnet Core-P1
Core-P1#show run | beg interfa
interface Loopback0
ip address 192.168.100.2 255.255.255.255
?
interface FastEthernet0/0
description Link-->Core P2 Fe0/0
ip address 10.10.10.5 255.255.255.252
speed 100
full-duplex
mpls label protocol ldp
mpls ip
?
interface Serial1/0
description Link-->PE-NCCU Se1/0
ip address 10.10.10.2 255.255.255.252
encapsulation frame-relay
ip ospf network broadcast
mpls label protocol ldp
mpls ip
serial restart-delay 0

```

圖 6 Enable MPLS Protocol

3.3.2 檢測 MPLS 網域連通性

經過 OSPF 路由協定、LDP Label 的交換與建制，透過指令可觀察到 Control Plane 的 LIB 為每一 IPv4 網段所配置的 Label 及 Label Binding 資訊如圖 7 所示。

```

Telnet PE-NTU
PE-NTU#show mpls ldp bindings
tib entry: 10.10.10.0/30, rev 10
local binding: tag: 17
remote binding: tsr: 192.168.100.3:0, tag: 17
remote binding: tsr: 192.168.100.2:0, tag: imp-null
remote binding: tsr: 192.168.100.1:0, tag: imp-null
tib entry: 10.10.10.4/30, rev 8
local binding: tag: 16
remote binding: tsr: 192.168.100.3:0, tag: imp-null
remote binding: tsr: 192.168.100.2:0, tag: imp-null
remote binding: tsr: 192.168.100.1:0, tag: 16
tib entry: 10.10.10.8/30, rev 4
local binding: tag: imp-null
remote binding: tsr: 192.168.100.3:0, tag: imp-null
remote binding: tsr: 192.168.100.2:0, tag: 17
remote binding: tsr: 192.168.100.1:0, tag: 17
tib entry: 140.119.252.0/30, rev 18

```

圖 7 MPLS Label binding

我們以東南科技大學 140.119.252.0/30 的網段為例，在 PE-NTU、Core-P2、Core-P1 路由器上追蹤所有 LSR 為該網段所配置 Label 之情形為：PE-NTU <21>、Core-P2 <21>、Core-P1 <19>如圖 8 所示得知，針對此網段 MPLS 所建制的 LSP 為 21→21→19。因此若有資訊流欲從 PE-NTU 至 140.119.252.0/30 網段，則 LSR 便依照 21→21→19 進行 Swap。由於 Core-P1 為該網段的倒數第二台路由器，因此在 Cisco IOS 預設值會執行 PHP (Penultimate Hop Popping)，使 Label 的 Remove 提早於前一台路由器執行，以省去 Egress 路由器 PE-NCCU 再進行一次 LFIB Lookup。

Telnet PE-NTU

```
PE-NTU#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or UC	Prefix or Tunnel Id	Bytes	tag switched
16	Pop tag	10.10.10.4/30	0	
17	17	10.10.10.0/30	0	
18	16	192.168.100.2/32	0	
19	Pop tag	192.168.100.3/32	0	
20	20	192.168.100.1/32	0	
21	21	140.119.252.0/30	0	

Telnet Core-P2

```
Core-P2#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or UC	Prefix or Tunnel Id	Bytes	tag switched
16	Pop tag	192.168.100.2/32	13418	
17	Pop tag	10.10.10.0/30	0	
18	Pop tag	192.168.100.4/32	31462	
19	Pop tag	202.169.174.0/30	0	
20	18	192.168.100.1/32	20271	
21	19	140.119.252.0/30	0	

Telnet Core-P1

```
Core-P1#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or UC	Prefix or Tunnel Id	Bytes	tag switched
16	Pop tag	192.168.100.3/32	12054	
17	Pop tag	10.10.10.0/30	0	
18	Pop tag	192.168.100.1/32	24849	
19	Pop tag	140.119.252.0/30	0	
20	18	192.168.100.4/32	24008	
21	19	202.169.174.0/30	0	

圖 8 MPLS 建立之 LSP

3.3.3 Implementation IPv6

為了模擬各大專院校 IPv6 網路環境，我們分別於 PE 與 CE 所連結的各 Interface 設定 IPv6 位址(如圖 9)。而由於 IPv6 過境 MPLS IPv4 網域中，核心路由器 P 不需要執行 IPv6，因此 PE 與 P 路由器相連的 Interface 及 P 路由器所有 Interface 皆維持原 IPv4。

Telnet PE-NCCU

```
PE-NCCU#show run | beg ipv6
```

```
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
mpls ipv6 source-interface Loopback0
multilink bundle-name authenticated
!
interface Loopback0
ip address 192.168.100.1 255.255.255.255
ipv6 address 2001:DB8:1111:1111::1111/64
!
interface FastEthernet0/0
ip address 140.119.252.1 255.255.255.252
speed auto
full-duplex
ipv6 address 2001:288:2001:2001::2001/64
!
```

圖 9 Implementation IPv6

3.3.4 6PE 的 NLRI 與 Next-hop

MPLS 網域中，6PE 透過 MP-BGP 交換網路層可達性資訊(Network Layer Reachability Information, NLRI)[10]。而 6PE 以 BGP 中的 IPv4 位址與其他 6PE 建立 BGP Session，為使 MP-BGP 的 NLRI 有其 next-hop，因此該 IPv4 位址將被嵌入 IPv6 格式[9]。

如圖 10 所示，PE-NCCU 的 BGP neighbor IP 為 192.168.100.4 (PE-NTU Loopback 0)，將被自動嵌入為 ::FFFF:192.168.100.4 作為 IPv6 的 Next-hop。

Telnet PE-NCCU

```
PE-NCCU#show run | beg router bgp
```

```
router bgp 65001
no bgp default ipv4-unicast
bgp log-neighbor-changes
neighbor 192.168.100.4 remote-as 65001
neighbor 192.168.100.4 update-source Loopback0
!
address-family ipv6
neighbor 192.168.100.4 activate
neighbor 192.168.100.4 next-hop-self
neighbor 192.168.100.4 send-label
network 2001:288:2001:2001::2001/64
network 2001:DB8:1111:1111::1111/64
exit-address-family
```

Telnet PE-NCCU

```
PE-NCCU#show bgp ipv6
```

```
BGP table version is 7, local router ID is 19
Status codes: s suppressed, d damped, h histo
r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Network	Next Hop	Metri
i2001:288:1001:1001::/64	::FFFF:192.168.100.4	
*> 2001:288:2001:2001::2001/64	::	
*> 2001:DB8:1111:1111::1111/64	::	
*>i2001:DB8:2222:2222::/64	::FFFF:192.168.100.4	

NOTE: This command is deprecated. Please use

圖 10 IPv4 嵌入 IPv6 格式

3.3.5 6PE Two-Label 運作機制

承 3.3.4 節所提之 NLRI 中所包含的資訊為 <prefix,label,next-hop>，或可表示為 ipv6+label+next-hop。因此，我們從 PE-NTU 上檢測 PE-NCCU 所宣告 MP-BGP 的 NLRI 加上 MPLS 網域 Label 資訊[8]時，我們會發現對於 PE-NCCU 所宣告的 IPv6 網段產生了兩個 Label：

- (1) NLRI 所產生：PE-NTU 收到 PE-NCCU 宣告的 2001:288:2001:2001::/64 的 IPv6 網段，next-hop 為 ::FFFF:192.168.100.1，Label 為 <24>。
- (2) MPLS 網域所產生：P 與 6PE 路由器間透過 IPv4 IGP 及 LDP 為 192.168.100.1 所 Binding 的 Label 為 <20>。
- (3) 承(1),(2)在 PE-NTU 以指令 show ipv6 cef 結果 2001:288:2001:2001::/64 網段會有兩個 Label <20,24> 如圖 11 所示。

其最上層的 Label <20> 由 Core-P2 透過 LDP 所配置，以此 Label 在 MPLS 網域間進行 Swap 至目的 Egress 路由器。而第二層 Label <24> 則由 6PE MP-BGP 宣告得來，由於 Core-P1 為倒數第二個路由器，因此對最上層的 Label <20> Remove 後，將帶有第二層 Label 為 <24> Swap 至 PE-NCCU。Egress 路由器 PE-NCCU 為第二層的 Label <24> 進行 Remove，最後剩下 IPv6 封包，PE-NCCU 搜尋 IPv6 路由表，並傳送 IPv6 封包至所屬的 CE 路由器。

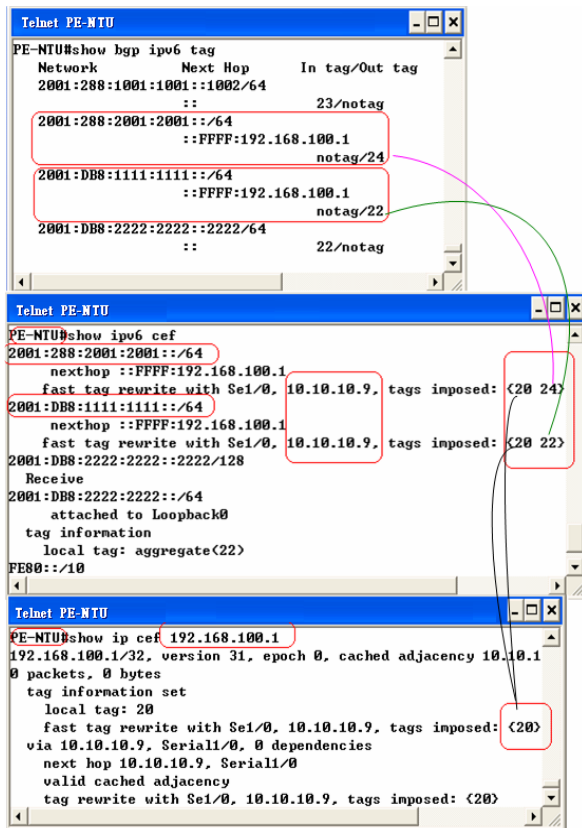


圖 11 6PE Two-Label

3.3.6 LSR 選擇性加入 Label

承 3.1 所描述，本研究建議可在 IPv4 與 IPv6 共存時期，將現有各大專院校所配發 IPv4 位址，選擇性地進行過濾，使各校 IPv4 仍維持 Packet Forwarding。這將使 MPLS 骨幹 LSR 不對現有的各校 IPv4 加入 Label。本研究利用 IOS 指令 access-list 編號為 90 的條件，將來自校園網路的 IPv4 網段進行過濾，並於 global 模式中以指令 mpls ldp advertise-labels 宣告過濾條件為 access-list 90 如圖 12 所示，而該指令必須執行於所有的 MPLS 網域中的 LSR。

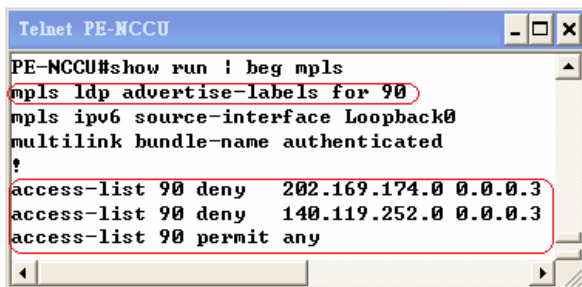


圖 12 過濾校園 IPv4 網段

指令完成後，我們在 PE-NTU 檢測來自 TNIT 的 IPv4 網段 140.119.252.0/30 為 Untagged 如圖 13 所示，表示 LSR 不再宣告此網段的 Label。除有效管理路由器對 Label 分配，更簡化 IPv4/IPv6 共存時

期的複雜性。

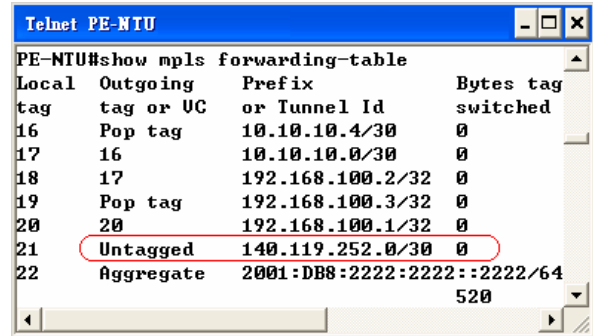


圖 13 IPv4 網段 Untagged

3.3.7 CE IPv4/IPv6互連結果測試

實驗的最後階段，我們在 CE-TNIT、CE-TMU 路由器上進行 IPv6 的跨校互連測試，其結果顯示如圖 14，兩校間可透過 TANet 所提供 MPLS 的過境機制順利完成 IPv6 互連，且 IPv4 仍維持原來的 Packet Forwarding 不加入 Label，而 IPv6 封包則被選擇需要加入 Label，得以順利過境 TANet IPv4 網域。

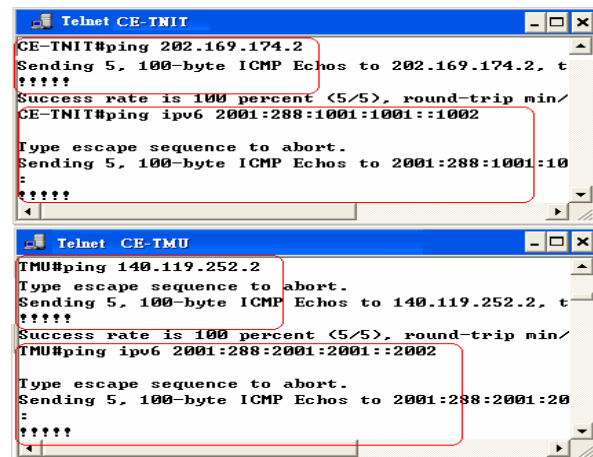


圖 14 IPv6 跨校互連測試

4. 結論與未來發展

4.1 研究結論

如前節實作及測試結果，本研究以 MPLS 可選擇性加入 Label 作為 IPv6 跨校互連機制，有以下的優點：

- (1) 可與原 TANet 骨幹網路之 IPv4 架構共存

由於 MPLS 協定介於 L3 於 L2 之間，並透過 LDP 協定交換 Label。因此，學術骨幹網路原 IPv4 路由協定可在不變動的架構下，透過原 IPv4 IGP 與 MPLS 協定所結合的通道，來承載從各大專院校 CE 所過來的 IPv6 資訊流。

(2) TANet 骨幹網路軟硬體升級變動量小

由於 6PE 藉由 MP-BGP 將 Next-hop 路徑傳送給 MPLS 網域中其他 6PE 路由器。因此，TANet 骨幹網路原已執行的 BGP 路由協定仍可正常運作，而核心路由器 P 不需啟動 BGP 及 IPv6 就可使 MPLS 正常運作。

(3) 不需複雜的設定與維護

以 MPLS 作為 IPv6 過境通道時，將 IPv6 封包進行 Label Binding、Forwarding 運作是在學術網路的 PE 及 P 路由器。因此各大校院 CE 路由器只需啟動 IPv6，不需要進行其轉換的複雜設定與架構的變動。

(4) MPLS Label 可提供學術網路加值應用

MPLS 的 Label 具有可堆疊(Label Stack)的特性與功能，所衍生之加值服務如 Traffic Engineering、Virtual Private Network、QOS、Fast Reroute 等，將可為學術骨幹網路帶來更多元化的資訊發展與網路應用。

4.2 研究建議與未來發展

當學術骨幹網路執行 MPLS 協定時，本研究建議維運的網管人員仍需注意下列三項議題：

- (1) IP Fragmentation：MPLS 於 IP Packet 前加入 Label，使得最大傳輸單位(maximum transmission unit, MTU)較原 1500 byte 大而產生 Jumbo frames。TANet 網管人員需要注意骨幹中的 LAN Switch 是否支援 Jumbo frames 或 baby giants 來防止 IP Fragmentation。
- (2) 骨幹 IP 的匯集：大型骨幹網路中經常會將 prefix 較小的 route，summarization 成 prefix 較大段的 route，以減少路由表中 route 的數量。但 route 的 summarization 執行可能導致 LSP 路徑通道分成兩段，因此網管人員需注意 IP 匯集的問題。
- (3) MP-BGP Next-hop：大型骨幹網路中所執行 BGP 協定 next-hop-self 參數，在 MPLS 環境中如使用不當，可能導致在 6PE 學來的 Next-hop 不是所配置 Label 的 6PE。所以網管人員務必確保 6PE 透過 MP-BGP Next-hop 的正確性。

除上述建議之外，未來還可深入探討與研究 IPv6 在 MPLS 網域上的可攜性(Portability)、移動性(Mobility)、安全性(Security)、流量工程(Traffic Engineering)、差異性服務(Differentiated Services)等加值服務相關議題[5,11]。

參考文獻

- [1] 吳承崧、陳煥、侯廷昭、鄭伯昭。2004。教育部顧問室九十三年度通訊科技教育改善計畫。
- [2] 張瑞雄、陳俊良、陳彥文、趙涵捷、賴威光、賴溪松等人。2004。IPv6 新世代網際網協定際整合技術。台北市：旗標出版。
- [3] 黃能富、黃仁竑、趙涵捷、陳懷恩。2000。國家寬頻實驗網路上新一代網際網路通訊協定服務之建置與測試。台灣區網際網路研討會論文集。
- [4] 黃燕忠、簡承光。2007。以 MPLS 作為 IPv4/IPv6 轉移機制之研究。知識社群與資訊安全研討會。
- [5] F. Le Faucheur, Hiroshi Esak, Mallik Tatipamula, Tomohiro Otanii, "Implementation of IPv6 services over a GMPLS-based IP/optical network", Communications Magazine, IEEE, Volume 43, pp 114 – 122, Issue 5, May 2005.
- [6] N.F. Huang, H.C. Chao, R.C. Wang, W.E. Chen, T.F. Sheu, "The IPv6 deployment and projects in Taiwan" Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings. 2003 Symposium on .pp 157-160, January 2003.
- [7] D. Katz, R. Chandra, T. Bates, Y. Rekhter, "Multiprotocol Extensions for BGP-4", RFC2858, June 2000.
- [8] D. Ooms, M. Carugi, F. Le Faucheur, J. De Clercq, "BGP-MPLS IP Virtual Private Network (VPN) Extension for IPv6 VPN", RFC4659, September 2006.
- [9] D. Ooms, F. Le Faucheur, J. De Clercq, S. Prevost, "Connecting IPv6 Islands over IPv4 MPLS Using IPv6 Provider Edge Routers (6PE)", RFC4798, February 2007.
- [10] N. Ogashiwa, S. Uda, Y. Uo, Y. Shinoda, "IPv6 support on MPLS networks: Experiences with 6PE approach", Proceedings of the 2003 Symposium on Applications and Internet Workshops, pp226-231, January 2003.
- [11] I. Pepelnjak, J. Guichard, J. Apcar, MPLS and VPN Architectures Volume II Cisco Press, 2003.
- [12] I. Pepelnjak, J. Guichard, MPLS and VPN Architectures, Cisco Press, 2001.
- [13] E. Rosen, Y. Rekhter "BGP/MPLS VPNs", RFC2547, March 1999.
- [14] A. Viswanathan, R. Callon, E. Rosen "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC 3031, January 2001.
- [15] http://www.ipv6.org.tw/ipv6sc_statement.html
- [16] http://www.etaiwan.nat.gov.tw/content/application/etaiwan/project/guest-cnt-browse.php?cntgrp_oridinal=&cnt_id=203
- [17] <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/>