編　碼：TWNIC-IP-089-003

研究主題：下一代網際網路 IPv6 網址分配原則之研究

委託單位：財團法人台灣網路資訊中心

計畫主持人：嚴劍琴 博士

財團法人台灣網路資訊中心 編印

中 華 民 國　九十 年 十　月 二十二 日

編　碼：TWNIC-IP-089-003

研究主題：下一代網際網路 IPv6 網址分配原則之研究

委託單位：財團法人台灣網路資訊中心

計畫主持人：嚴劍琴博士

研究人員：邱弘斌，
鍾福貴，
康崇源，
陳錦洲，
劉景豐

財團法人台灣網路資訊中心 編印

中 華 民 國　九十 年 十　月 二十二 日

摘　要

一. 緣起:

全球網際網路的興起，激發了應用與服務多元化的快速發展，人們可藉由它獲得許多資訊與商務處理上的方便性，地球村與世界公民將不在只是一句口號，資訊的取得在於彈指之間。由於網際網路的蓬勃發展，使得網路產業湧入了許多新的競爭者，也直接或間接的改變整個網路市場的生態、商業交易模式、以及人們的消費行為，未來的網際網路資訊世界之多樣性將為人們所始料未及。惟傳統 IPv4 採用 32 位元的網路定址方式卻面臨了網址即將耗盡的問題，主要歸因於包括 IPv4 二階式的定址結構太浪費網址空間、網路節點及 TCP/IP 應用的成長快速以致網址不敷需求、以及裝置允許二個以上的 IP 位址等因素。此外，未來的網路應用服務對於各種服務品質(*QoS*)的要求亦不斷的提高，舉凡網路安全、保障頻寬、使用者付費原則下的分級服務(Differentiated Service)…等，傳統 IPv4 皆已無法滿足需求。因此 IETF 於 1995 年起開始提出新一代的網際網路通信協定，稱之為 IPng 或 IPv6，以解決此問題。

IPv6 網址的格式與 IPv4 二階式的網址結構不同，它包括 Aggregatable global unicast address、Link-local address、Site-local address、IPv4-compatible IPv6 address、Subnet-router anycast address、及 Multicast address 等格式，其中 Aggregatable global unicast address 提供全球連接節點之網路定址。目前國內已有研究單位向 APNIC 申請獲得 IPv6 商用網址區段，緊接下來的『網址分配原則』以及最好的『網址分配效率』等，實為一個相當重要且值得研究的課題。

本計畫乃欲就此一課題，提出其可行之網址分配架構，提供給各網路業者於建設下一代寬頻網際網路時參考，以期促進國內網路產業的進步與現代化，達到國家高速資訊通信及寬頻上網之需求，迎接多媒體網路服務時代的來臨。

二. 研究主題背景:

IPv4 32 位元的網路定址方式有網址即將耗盡的問題，雖然許多改善措施減緩了網址不敷使用問題的加速惡化，例如：CIDR、DHCP 等，但個人通訊時代的來臨與電信網路將以 IP 導向(IP Centric)的趨勢潮流之下，現有的網路位址終將用完。而 IPv6 Aggregatable global unicast address 網路定址的格式與 IPv4 完全不同，且其網址分配的方式有相當大的彈性空間，雖然國外有諸如 ESnet 及 WIDE 等組織提出了其網址之分配原則，但其並不全然適用於國內之環境，因此確有必要針對此一課題，提出一可行之國內網址分配架構。

三. 研究方法:

蒐集相關的國際標準制定組織與知名廠商，對 IPv6 網址分配所制定出的相關規格標準與原則，評估其適用於國內網址分配之可行性及其效益，以提出國內 IPv6 網址分配可行架構與建議方案。

關鍵詞：IPv6、網際網路互連、定址架構、*QoS*

目 錄

圖 表 目 錄

1. 前言

全球網際網路的興起，激發了應用與服務多元化的快速發展，人們可藉由它獲得許多資訊與商務處理上的方便性，資訊的取得在於彈指之間。由於網際網路的蓬勃發展，使得網路產業湧入了許多新的競爭者，也直接或間接的改變整個網路市場的生態、商業交易模式、以及人們的消費行為，未來的網際網路資訊世界之多樣性將為人們所始料未及。惟傳統 IPv4 採用 32 位元的網路定址方式卻面臨了網址即將耗盡的問題，主要歸因於包括 IPv4 二階式的定址結構太浪費網址空間、網路節點及 TCP/IP 應用的成長快速以致網址不敷需求、以及裝置允許二個以上的 IP 位址等因素。此外，未來的網路應用服務對於各種服務品質(*QoS*)的要求亦不斷的提高，舉凡網路安全、保障頻寬、使用者付費原則下的分級服務(Differentiated Service)…等，傳統 IPv4 皆已漸無法滿足需求。因此 IETF 於 1995 年起開始提出新一代的網際網路通信協定，稱之為 IPng 或 IPv6，以解決此問題。

IPv6 網址的格式與 IPv4 二階式的網址結構不同，它包括 Aggregatable global unicast address、Link-local address、Site-local address、IPv4-compatible IPv6 address、Subnet-router anycast address、及 Multicast address 等格式，其中 Aggregatable global unicast address 提供全球連接節點之網路定址。目前國內已有中華電信公司 HiNet 與教育部 TANet 等單位向 APNIC 申請獲得 IPv6 商用網址區段，緊接下來的『網址分配原則』以及最好的『網址分配效率』等，則是本研究案探討之重點。

本研究案報告將在第二章簡要說明 IPv6 發展現況，包括其相關標準制定現況及目前之推廣狀況。而於第三章中，我們彙整了世界上主要 NIC (Network Information Center) IPv6 商用位址分配策略現況，接著針對個別位址型態整理目前之分配原則。IPv6 商用位址申請因目前僅限於 unicast 位址，並採用 Aggregatable Global Unicast Address 格式[3]，因此相關之位址分配原則也以 unicast 位址較為完備，本案研究報告將著重於此。第四章，將分別介紹世界各主要地區 IPv6 網際網路交換中心（Internet eXchange，簡稱 IX）建設現況，例如亞洲地區，包括日本的 NSPIXP6、韓國的 6NGIX-KR，美洲地區包括美國的 6TAP 、6IIX 、NY6IX，歐洲地區，包括荷蘭的

AMS-IX、英國的 UK6X、德國的 INXS。第五章則提出 IPv6 位址分配及國內建置 IPv6 Internet Exchange 之架構規劃建議，最後於第六章作個結語與後續研究建議。

2. IPv6 現況

2.1. IPv6 標準現況

IPv6 之相關標準正透過 IETF 積極訂定中。目前 IETF IPv6 routing protocols、transport protocols 及部分 IPv6 相關應用(如 DNS、FTP 等)等 RFC(Request For Comment)已經陸續被訂定完成。除了在 routing protocols 方面仍進行部分修訂外，如 RSVP、multicast routing、mobile IP routing、RTP/SDP 及 MPLS 等標準亦於 IETF 相關會議積極訂定中。

目前缺少的關鍵部分則是建置計劃(deployment plan)，包括與 IPv4 間之無縫之互作(seamless interworking)等。目前為大家所共同期望的三個可能運用 IPv6 的領域是：VPN、Satellite IP (DBS)及大量的 PDA-GSM-3G 行動通信之應用。這種無縫互作之重要是因為 Internet 目前已經大量建設，不易使商用的廠商或業者短期間內進行全面性的汰換成純 IPv6 的網路。因此如何將 IPv4 世界轉成 IPv6 將是一項重要的課題，再再都需有一套很有效率之移轉計劃。

2.2. 無線網路尋求 IPv6 以解決移動性 IP 之問題

當在未來三年內數億個行動手機(Mobile Phones)連上 Internet 時，到底何種網路可以負載這些訊務量呢？IPv6 將會是下一代 Internet Protocol 之解決方案，而無線訊務的需求也將會讓商用的 ISP 業者開始建置 IPv6 網路。在美國，一些著名的骨幹網路業者，例如 Qwest Communications International 及 Sprint 已經進行實驗性的 IPv6 建置計劃。然而這些計劃大部分只為了要獲得對於這個新技術及 protocol 的工程經驗。目前而言，商用的 Internet 並未完全準備好移轉至 IPv6，大部分的網路設備及相關伺服器等均未支援 IPv6 之標準，且 IPv6 之運作模式(operational model)仍在研究中。然而如果目前的 Internet 網路提供者對 IPv6 態度不積極，則無線服務的提供者可能轉而建置自己的網路來傳送行動 Internet 用戶所產生的訊務，當然這個網路會採用 native IPv6 protocol。

無線業者亦認為建置自己的網路雖然有利，但無線業者亦不願比現有的 ISPs 先投

入這個新的技術領域而建置新的 IPv6 的商用骨幹網路。無線業者可能在其已提供之區域性數據網路建置 IPv6，如此可避免影響至整個 IPv4 之商用網路。這些業者亦期望將 IPv6 納入 3G 之標準中。其底線將可能為：讓行動電話客戶使用 IP 服務而產生的區域性訊務，使用自行建置的 IPv6 骨幹。然後此 IPv6 網路再與現存 ISP 業者的 IPv4 骨幹 peering，以使行動電話客戶可至 Internet 取得一些 Web Content 及與其他 Internet 用戶互連。這將是一個比較可能實現的方法。

2.3. IPv6 發展現況

本節將介紹目前全球 IPv6 的發展，包括相關之推廣組織、市場設備產品、各國 ISP 提供 IPv6 服務之狀況與 IPv6 定址架構方案之現況。由於國際上相關組織計劃眾多，因此只選擇代表性組織作介紹。

2.3.1. IPv6 推廣組織

IPv6 相關協定主要在 IETF 下之 *ipngwg* 及 *ngtrans* 二工作小組負責制定，除了 IETF 制定標準外，需有其他組織來推動 IPv6 試用及普及，簡介如下:

2.3.1.1. 6Bone

6Bone[18]是為了在 Internet 上推廣 IPv6 的一個全球性 IPv6 測試平臺，目的在提供設備廠商測試其產品間互通性(Inter-operability)及使用者試用相關功能的環境。而 6Bone 的運作經驗，更可成為日後制定 IPv6 後續協定及政策之重要依據。它於 1997 年 6、7 月間開始運作，其相關活動皆屬 IETF 下 *ngtrans* 工作小組的一部份，是免費且可自由加入的組織。6Bone 的主幹是由許多相互連接的網路服務提供者(ISP)及用戶網路所組成。事實上，它是一個以架構在原 IPv4 網路上，使 IPv6 封包透過通道(tunnel) 轉運的虛擬網路。加入的各點依運作方式，可分為骨幹點(Backbone Site)、轉接點(Transit Site)及端點（Leaf Site），且彼此間利用固定路由或 BGP4+路由協定交換路由訊息。隨著 IPv6 的發展，連上 6Bone 的單位也急速增加，目前已有兩百多個單位。未來，當陸續有網路服務提供者及用戶網路提供網際網路上 IPv6 傳輸後，它將以一種透通的方式逐漸被取代。現在全球採用聚集單一傳遞位址格式(aggregatable global unicast address format)來建連線並進行測試，以達到較好的位址整合。其中， ox1FFE 被指定為 6Bone 測試

用的 TLA(Top Level Aggregator) [3] [4][19][20]，是專為測試用的暫時性位址空間，將來正式的商用位址必須重新申請。而 6Bone 再於其位址空間下切割出 NAL1 及 NLA2 等欄位，並將 NAL1 部份分配給其骨幹點，稱為 pTLA (Pseudo TLA)，如圖一所示。目前有 50 個國家 200 多個單位連上 6bone，國內計有 10 多個單位加入 6bone [21][22]，中華電信更成為其上之骨幹點，提供連接 6Bone 之轉接服務。

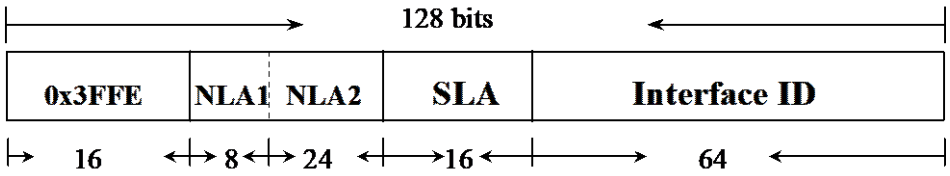


圖 2-1. 6Bone 試用位址架構

2.3.1.2. IPv6 Forum

IPv6 Forum[23]於 1999 年四月由一群網際網路廠商、研究及教育網路單位成立，其使命在推廣 IPv6 網路以提供高品質及更安全之下一代網際網路，並希望藉由此組織讓使用者熟悉 IPv6 技術以提高市場接受度。主要目標在：

- 建立一個 IPv6 專門技術之公開性國際論壇
- 分享 IPv6 知識與經驗
- 推展新的 IPv6 應用
- 推展 IPv6 實作
- 達到點對點間的 QoS
- 解決 IPv6 發展過程中的障礙。

IPv6 Forum 並不制定協定標準，但會與 IETF 組織密切合作，提供有關技術協定制定之意見。IPv6 Forum 同時也與其他組織結盟以加強 IPv6 的發展，列舉如下：

- ETSI [24]
- UMTS 論壇[25]
- 3GPP 計劃[26]
- 無線多媒體論壇[27]
- 國際無線通訊協會[28]

不同於先前之 6Bone 及 6Ren，加入 IPv6 Forum 需付年費。目前已有 AT&T、NTT、Cisco、Sun 及 Microsoft 等三十多個單位加入，是極為活躍的組織，並定期舉行會議。

2.3.2. IPv6 產品現況

本節將針對 IPv6 路由路、主機操作系統等軟硬體產品，逐一說明目前網路設備供應商、電腦廠商、研發機構的產品現況及未來發展趨勢。目前大部分廠商皆支援 IPv6 協定，但功能及完整性各不相同，且許多為測試版本，僅提供有興趣之客戶自行下載安裝。又可分為路由器及主機兩方面。

2.3.2.1. IPv6 路由器

在路由器方面，3Com、Ericsson/Telebit、Hitachi 及 Nortel 已推出支援 IPv6 之商品，而 Cisco 推出 Beta 版，至於 Juniper 據傳亦將支援 IPv6。以下選擇具代表性廠商做進一步介紹。

- Cisco

Cisco 公司於 2000 年 6 月發表 Statement of Direction[29][30]，將該公司 IPv6 產品的開發規劃為三個階段，各階段時程及產品特性敘述如下。

第一階段(2000 年秋季)：在 2000 年秋季，推出支援 IPv6 的 IOS 版本 12.2 (1)T，此 IOS 版本可在 Cisco 800, 1400, 1600, 1700, 2500, 2600, 3600, 4x00, A5x00, 7200, 7500 系列硬體平台上執行。IOS 版本的功能有：

- IPv6 (RFC 2460)，
- IPv6 位址架構(RFC 2373)，
- IPv6 網路芳鄰偵測(RFC 2461)，
- stateless 自動網址設定(RFC 2462)，
- ICMPv6 (RFC 2463)，
- MTU Path Discovery (RFC 1981)，
- RIPv6 (RFC 2080)，
- BGP4 + (RFC 2283, RFC 2545)，
- IPv6 automatic tunnels, manually configured tunnels, 6to4 tunnels，
- DNS client, Telnet, Ping, TraceRoute, FTP, Standard Access List 等。

第二階段(2001 年中)：在 2001 年中將發行新版的 IOS 軟體，將增加下列支援 IPv6 的功能：

- NAT-PT (RFC 2766)

- IPv6 Switching Cisco Express Forwarding (CEF)
- Integrated IS-IS routing protocol
- IPv6 over MPLS, IPv6 MIB (RFC 2465) 等。

第三階段(2001 年中以後)：在 2001 年中以後將陸續推出下列新功能，包括有 OSPFv6, Mobile IPv6, IPv6 Multicast, IPv6 stateful configuration, IPv6 Security, Voice over IPv6 等功能；其中 Voice over IPv6 部份將配合 3GPP/UMTS ROO 規範及時程，適時推出互通的 Voice over IPv6 軟體。

➢Ericsson Telebit

Telebit[31]路由器提供商業用版 IPv6 功能，目前支援 IPv6 的功能有 Native IPv6, RIPv6, OSPFv6, BGP4+, PIM (SM & DM), RSVP, Mobile IPv6, SNMP support, LLC + SNAP IPv6 encapsulation, Neighbor Discovery, stateless address configuration, manually configured tunnels, automatic tunnels, Accounting, packet filtering for IPv6, ICMPv6, IPv6 multicast, Ping, TraceRoute 等。

➢Nortel Networks

Nortel Networks[32]在 BayRS 12.0 版即支援 IPv6 相關功能，目前提供的 IPv6 功能有 IPV6 Stateless Autoconfiguration, IPv6 Neighbor Discovery, IPv6 ICMP, manually configured tunnels, automatic tunnels, Path MTU Discovery, RIPng, IPv6 static routes, IPv6 over PPP, IPv6 traffic filtering, IPv6 MIB 等。

➢Hitachi

Hitachi[32]於 2000 年 4 月推出 GR2000 Gigabit Router IPv6 beta 版軟體，目前僅於日本國內發行。

➢3Com

3Com 公司[33]的 NET Builder Ⅱ 及 Path Builder S500 router 自 11.0 版軟體即提供 IPv6 相關功能，包括：Neighbor Discovery, static route, automatic tunnels, manually configured tunnels, IPv6 over ATM, Ping, TraceRoute, Telnet, RIPng, BGP 等。

➢Zebra

Zebra 產品為 Zebra routing software，可在 Linux, BSD 上執行，目前 Zebra routing software 提供 RIPng, BFP4 +, OSPFv3 等 routing protocol 功能。

2.3.2.2. IPv6 主機

目前市面上較大之主機廠牌，幾乎皆支援 IPv6 協定，如 Sun、IBM 及 Trumpet 已推出支援產品，而 KAME、HP、Microsoft、Compaq 及 Linux Community 則推出 Beta 版，使用者需自行安裝使用，以下僅列舉較具代表性之廠牌做進一步介紹。

- Sun Microsystems

Sun Microsystems[34]於 2000 年 3 月推出 Customer Release Solaris 8，此產品為 UNIX 作業環境，可使用 SPARC 及 x86 等平台，目前提供的 IPv6 應用功能有 telnet, rlogin, rsh, ifconfig, tftp, Inetd, sendmail, ping, snoop, route, traceroute, webstat 等；Solaris 8 亦具有 NIS, NIS+, DNS 等 Name Service 功能；在 IPv4 到 IPv6 移轉機制的支援方面，提供 RFC 1933, Dual IPv4/IPv6 stack, IPv6 in IPv4 tunnels 等功能。在未來發展方面，Solaris 將陸續擴增其 IPv6 功能，預計於 2001 年第一季推出 BIND 及 6to4，2001 年第三季推出 IPSec 及 PPP，而 Mobile IPv6 部份預計 2002 年完成。

- Microsoft

Microsoft[35]於 2000 年 12 月推出新版 IPv6 Technology Preview for Windows 2000，此 IPv6 technology preview 版本可提供應用軟體開發者，發展 IPv6 應用軟體或轉換既有應用程式到 IPv6 的環境。目前主要的功能有 Winsock application programming interface, stateless address autoconfiguration, 6to4 tunneling, IPSec policies and security association, HTTP client, FTP client, Telnet client 及 Telnet server 等；同時亦提供 checkv4.exe 程式，可輔助軟體開發者將程式由 IPv4 原始程式碼轉換到符合 IPv6 的程式碼。在未來發展方面，將陸續開發 IP telephony, video tele-conferencing, QoS, Mobile IPv6, IPSec 等功能。

- KAME

KAME[36]計劃是由 WIDE[37]延伸而來，計劃時程自 1998 年 4 月至 2000 年 3 月份，目前計劃時程再延長到 2002 年 3 月。該計劃發展的 IP_{V6} 相關軟體可在 BSDI, FreeBSD, NetBSD, OpenBSD 等環境下運作，提供 IP_{V6}, IPSec for IP_{V4} and IP_{V6}, IKE, Mobility, ATM Advanced queuing/routing, BIND DNS 等功能。

- Linux

Linux 於 2.1.8 版之後均提供 IPv6 beta 版程式碼，目前支援的功能有 FTP, Telnet, SMTP, TFTP, HTTP, POP3, NTP, LDAP, Route, DNS servers，另外 KAME 針對 BSD 所

發展的 IPv6 程式大都能在 Linux 上正常運作。

2.3.3. 各國 IPv6 發展現況

亞洲及歐洲對 IPv6 發展的關注甚於美國，這可由申請商用 IPv6 位址上略窺一二，尤其日本、韓國及中國大陸更投入大量人力從事 IPv6 相關技術產品之研發。目前三家號稱提供 IPv6 商用服務之 ISP，有兩家即為日本 NTT 及 IIJ。這應歸因於美國進入網路服務之時間較早，其 IPv4 位址較充裕所致，而亞洲國家普遍對-IP 位址需求的迫切性遠甚於美國，尤其是中國大陸，隨著其廣大人口上網比例不斷增加，IP 位址的使用更是捉襟見肘，以下選擇較具代表性之國家及計劃做介紹:

日本可說是投入 IPv6 最積極的國家，目前已有 14 個單位申請 sTLA 商用位址。除 NTT 與 Hitachi 自行研發其 IPv6 路由器外，亦有許多 ISP 免費提供現有客戶試用 IPv6，其中 NTT 及 IIJ 兩家更推出商用 IPv6 服務，見表一。除了採用 IPv6-over-IPv4 tunnel 方式外，NTT 及 IIJ 亦提供 Pure IPv6 連線，另外 NTT 更提供 IPv4-IPv6 translator，使 IPv4 主機可與 IPv6 主機聯繫。至於服務對象，目前仍限於專線用戶，但 NTT 計劃未來提供 IPv6 存取給撥接用戶。至於在應用服務方面，仍著重在 WWW、DNS、ftp 及 telent 等基本項目，NTT 曾於 IPv6 Forum 會議中展示其 TV conference 及 Music Distribution with IPSec 等功能，但應為測試階段。此外，日本目前亦有許多大型計劃進行中，介紹如下：

- WIDE v6

WIDE (Widely Integrated Distributed Environment) [37] v6 於 1995 開始致力於發展 IPv6 的環境，主要專注於 IPv6 技術的研究，至於 IPv6 產品的開發則由子計劃 KAME [36]負責。而其目前發展的產品包括了 IPv6 路由器與主機核心軟體、v6 與 v4 轉換器、以及 v6 網域伺服器等。WIDE 計劃已向 APNIC 取得 2001:0200::/35 的商用位址網段，並開始份配位址給日本的組織、學術單位與研究機構，至於其與 6Bone 之連線及網路架構則分別如圖 2-2 與圖 2-3 所示。

表 2-1. 日本 ISP 提供 IPv6 服務現況

	NTT	IIJ	BIGLOBE(NEC)
sTLA	2001:218::/35	2001:240::/35	2001:260::/35
服務類別	Trial Commercial	Trial commercial	Trial
客戶	leased line	dedicated access	leased line
存取方式	Native Tunnel IPv4-IPv6 translator	Native Tunnel	Tunnel
服務	Music Distribution TV Conference Security	WWW server ftp server	Mail DNS Web Server

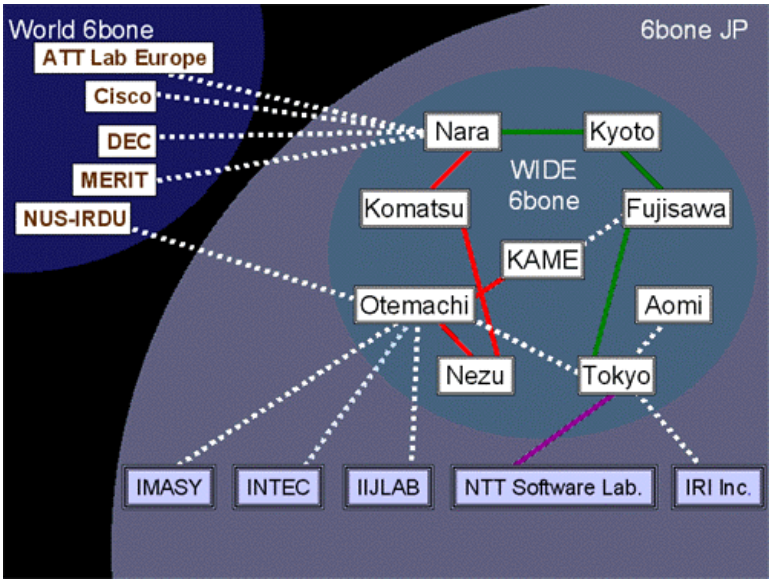


圖 2-2. Wide 6Bone 連線

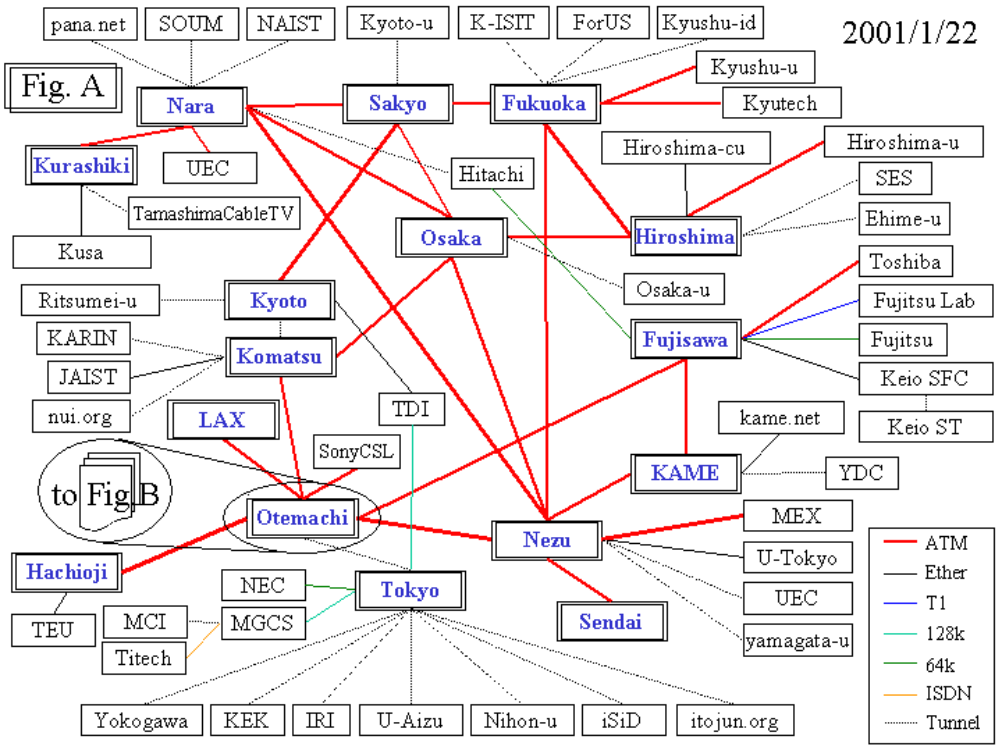


圖 2-3. Wide 網路架構

- KAME

KAME 計劃於 1998 年 3 月成立，原本為兩年的計劃現今已將計劃擴展至 2002 年 3 月。成員包括日本 Fujitsu Limited、Hitachi, Ltd.、IIJ Research Laboratory、NEC Corporation、Toshiba Corporation、YDC Corporation、Yokogawa Electric Corporation 等七家公司。主要任務在開發穩定之軟體，特別是針對 IPv6 與 IPsec 領域，以提供免費的實作參考。在 IPv6 方面包括轉移機制、IPSec、ftp/tftp/telnet 伺服器、DNS 伺服器、stateful/stateless autoconfiguration 及 routing daemon 等軟體之開發。

- TAHI

TAHI[38]由 The University of Tokyo、YDC Corp. 與 Yokogawa Electric Corp . 三個組織所成立的計劃，主要目的是針對 IPv6 發展和提供技術驗證，並將驗證的結果免費供外界使用。工作項目包括 IPv6 的研究、符合性測試與不同廠商產品間之互通性測試。同時與 KAME 計劃緊密的配合，協助 KAME 計劃驗證其產品以提昇研發的品質與效率。

韓國亦十分關注 IPv6 之發展，不但成立測試平台(6Bone-KR)及 Korea IPv6 Forum 以促進 IPv6 之發展，並且建置如圖 2-4 之 6NGIX IPv6 商用網路，目前已有 ETRI、KT、

Dacom、Hitel 及 hanaro 等五個單位申請獲得 sTLA 商用位址。另外有 KRv6 計劃，致力於轉移機制及應用軟體之研發，同時提供測試平台並制定推廣策略。

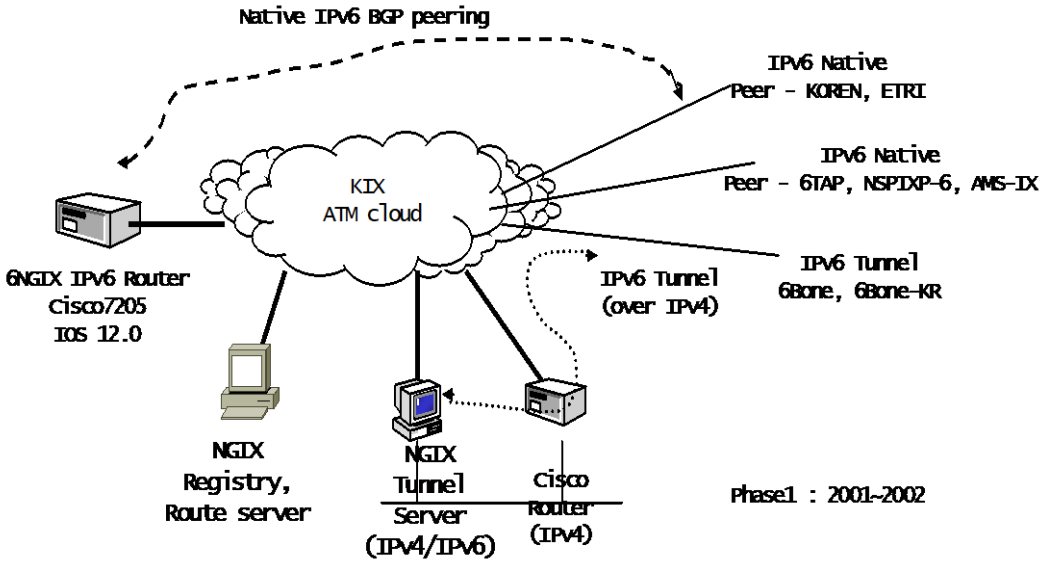


圖 2-4. 6NGIX 網路架構

至於在中國大陸方面，其最大之教育研究網路 CERNET 亦建置如圖 2-5 之 IPv6 網路，設立測試平台進行 IPv6 研究發展，目前並已申請到 sTLA 商用位址。此外，與 Nokia 合作來建置全國性的 IPv6 網路並進行關鍵技術研究。

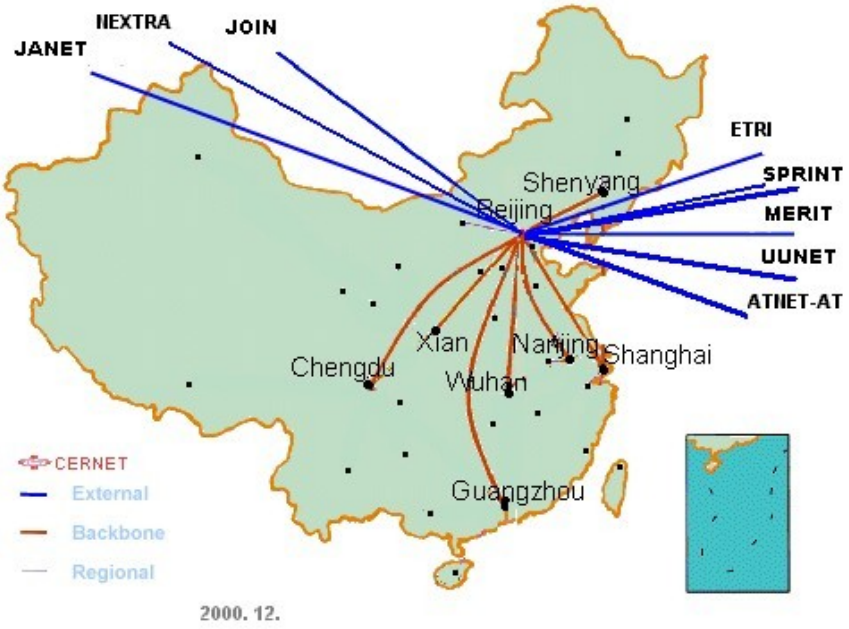


圖 2-5. 中國大陸 IPv6 網路

2.3.4. IPv6 定址架構方案之現況

為了解決 IPv4 位址不敷使用及定址空間使用效率不彰….等問題，新一代的網際網路通訊協定 IPv6 被提出，用以解決上述問題。在 IPv6 的定址空問上採用了 128 個位元來代表任何一個裝置在網路上的識別號碼，將定址欄位的長度由 IPv４的 32 個位元增加到 IPv6 的 128 個位元，這樣的設計大幅擴充了定址空間的容量。此外，IPv6 為了增加用戶在使用與設定上的方便，設計了一些新穎的機制，例如：Multi-Homing，隨插即用(plug and play)，行動 IP(Mobile IP)，線上自動更新位址(renumbering)….等。上述機制在設計上，雖然沒有受限於必須搭配某種型式的定址架構之下才能正常運作，但如果針對定址空間妥善規劃及設計之下，提供上述機制時的操作複雜度將可大幅降低，例如：路由的選擇與位址的 renumbering 皆與定址空間的安排有密切的關係。由此可見，定址空間架構設計的優劣，將影響整個 IPv6 的使用效能，本節將針對現有已經提出的各種不同的設計作一說明，並比較其差異。

IPv6 在定址的方式方面，提供了三種不同的模式(A)Unicast (B) Multicast (C)Anycast，各種模式的定義及應用場合，因與本研究案無關，故不在此贅述。IPv6 的定址空間為了能同時支援上述三種模式，在 IETF 的 RFC2373 [23]所定義的位址架構中，已經將定址空間切割成幾塊不同的區域 (如圖 2-6)，

Allocation	Prefix (binary)	Fraction of Address Space
Reserved	0000 0000	1/256
Unassigned	0000 0001	1/256
Reserved for NSAP Allocation	0000 001	1/128
Reserved for IPX Allocation	0000 010	1/128
Unassigned	0000 011	1/128
Unassigned	0000 1	1/32
Unassigned	0001	1/16
Aggregatable Global Unicast Addresses	001	1/8
Unassigned	010	1/8
Unassigned	011	1/8
Unassigned	100	1/8

Unassigned	101	1/8
Unassigned	110	1/8
Unassigned	1110	1/16
Unassigned	1111 0	1/32
Unassigned	1111 10	1/64
Unassigned	1111 110	1/128
Unassigned	1111 1110 0	1/512
Link-Local Unicast Addresses	1111 1110 10	1/1024
Site-Local Unicast Addresses	1111 1110 11	1/1024
Multicast Addresses	1111 1111	1/256

圖 2-6. 定址空間分配圖

提供各種不同的模式使用，而每一種模式又可按照不同的需求再作分類，例如：在 Unicast 的定址模式之下，可提供 Loopback Address，Aggregatable Global Unicast Address….等，由此可見，在規劃定址空間時，必須以階層式的方式較適合，至於在階層架構下，每一個欄位，到底必須分配多少長度將是本研究案的重點。另外一項課題，便是如何決定裝置介面識別碼(ID)的指派，而這種指派的方法又與實體層及資料鏈層有密切的關係，例如：目前非常盛行的乙太網路，終端設備所安裝的網路介面卡，本身都有一組編號，而 IPv6 便利用這 48 個位元的資訊轉換成 64 個位元的介面識別碼，目前採用 EUI-64 的格式(如圖 2-7) ，其轉換格式如圖 2-8 所示。有關 Ethernet 網路的細作業情形已經規範於 RFC2464 [24]，至於 FDDI 網路與 ATM 網路，其終端設備的位址指派則分別規範於 RFC2467 [25]與 RFC2492 [26]。另外 RFC2472 [27]與 RFC2497 [28] 則分別用於規範 IP over PPP 與 IP over ARCnet，綜合以上的說明，大致可以確定。

```
|0                   7|8                  15|16                 23|24                 31|
|32                 39|40                  47|48                 55|56                 63|
c c c c c c u g c c c C c c c c c c c c c c c c c m m M m m m m m
m m m m m m m m m m m M m m m m m m m m m m m m m m m M m m m m m
```

"c" :the bits of the assigned company_id,

"u" : "0" is the value of the universal/local bit to indicate global scope

"g" : individual/group bit,

"m" : the bits of the manufacturer selected extension identifier.

圖 2-7. EUI-64

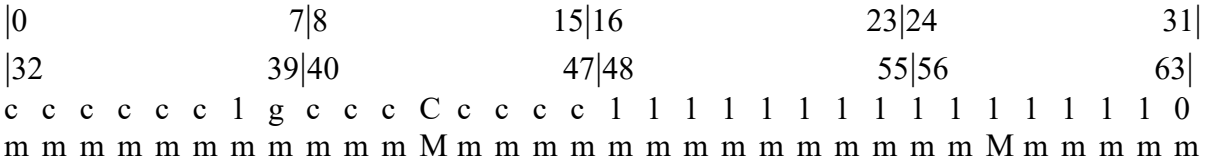
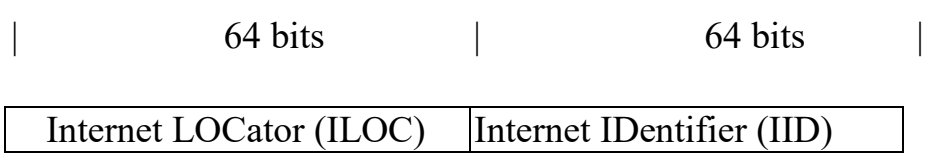


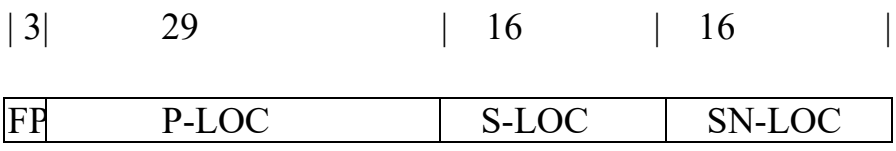
圖 2-8. 乙太網路 IPv6 位址格式

除了 RFC 2373 所規範的定址空間架構之外，另外在文獻[44]所提出的"8+8" IPv6 定址架構，是目前針對 Aggregatabl Global Unicast Address 格式提出另一種設計理念，其主要的設計理念是把 128 個位元的定址格式切割成 2 個部份，各為 64 個位元，前 64 個位元稱為 Internet Locator，主要是作為對封包路由選擇之用，後半部 64 個位元稱為 Internet Identifier，為一個全球性單一的裝置識別碼，而這裡所稱的全球單一性，即是指當裝置因為行動性(mobility)的需求或更換 ISP 而被迫必須更換原有 IP 位址的情況下，在"8+8" IPv6 的架構性，只須更改 Internet Locater 部份的欄位即可，而 Interface Identifier 完全可以不必更改，換句話說，Internet Identifier 是一個 Global 的識別碼(ID)。

接下來我們說明"8+8" IPv6 架構之下其 Aggregatable Global Unicast Address 的格式(如圖 2-9)，在 RFC 2373 的規範架構下(如圖 2-10)



(a) "8+8" IPv6 欄位格式

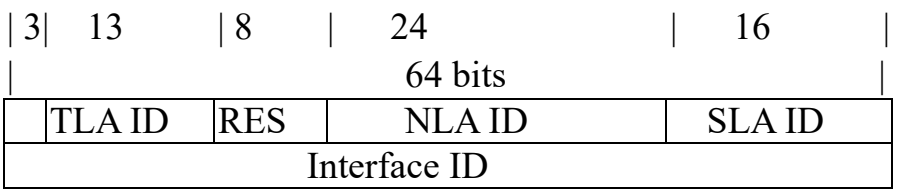


(b) ILOC 欄位格式

Where

FP: Format Prefix for 8+8 Addresses (3 bits, to be assigned by IANA)
P-LOC: Provider LOCator (29 bits, assigned by IANA to Providers)
S-LOC: Subscriber LOCator (16 bits, assigned by a Provider to its Subscribers)
SN-LOC: SubNet LOCator (16 bits, allocated by the Subscriber itself)

圖 2-9. "8+8" IPv6 Aggregatable Global Unicast Address



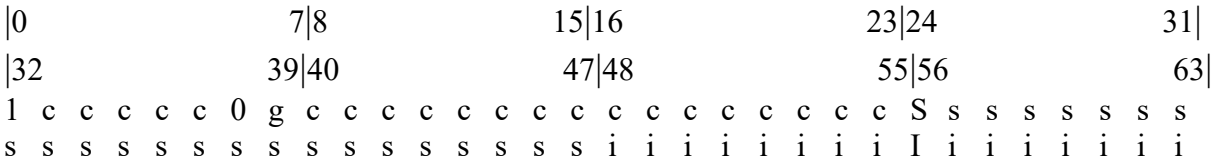
Where
FP Format Prefix (3 bit) for Aggregatable Global Unicast Addresses = 001
TLA ID Top-Level Aggregation Identifier
RES Reserved for future use
NLA ID Next-Level Aggregation Identifier
SLA ID Site-Level Aggregation Identifier
Interface ID Interface Identifier

圖 2-10. IPv6 Aggregatable Global Unicast Address

前 64 個位元分別定義了 13 個位元的 TLA， 8 個位元的保留部份及 24 個位元的 NLA 及 16 個位元的 SLA，而 Interface ID 仍然使用 64 個位元，但必須注意一點 Interface ID 只須在 Local scope 的範圍下為唯一位址，但並不強制為 Global 範圍下的唯一位址。至於"8+8" IPv6 的架構，將 64 個位元的 Internet Locator 分割成數個欄位，前 3 個欄位仍然是當作格式的前置表頭(prefix)，接下來是長度 29 個位元的 Provider Locator，由 IANA 來指派給 Provider，接下來是長度 16 位元的 subscriber Locator，這是由 Provider 來指派，最後是長度 16 個位元的 subNet Locator，這部份是由用戶自行來設定。

而 Interface ID (IID)的格式(如圖 2-11)，"8+8" IPv6 將其切割成 3 個部份，第一個位元與第 6 個位元被分別固定設定為 1 及 g，當 g=0 時，代表 Unicast IID，當 g=1 時則代表 multicast IID，這樣的設定可以避開與 EUI-64 格式的衝突而造成混淆，而 IID 中首先把長度 24 個位元的欄位定義定國家網路資訊中心(Country Network Information

Center，CNIC)的識別碼，接下來 24 個位元為 Subscriber's Global Unique ID，是由自己國內的 NIC 來指派，而最後的 16 個位元稱為 Local Node ID，交由用戶自行設定。



where

c CNIC-ID: Country Network Information Center ID, Assigned by IANA to Country NICs (CNICs) (24 bits)

s SGU-ID: Subscriber's Global Unique ID, Assigned by a CNIC to a Subscriber (24 bits)

i LN-ID: Local Node ID, Allocated by the Subscriber itself (16 bits)

g g = 0 indicates unicast IID, g = 1 indicates multicast IID

圖 2-11. Interface ID (IID) 欄位格式

在 Internet Locator 的部份，P-LOC 加上 S-LOC 形成所謂的 Provider-Dependent-Part (PDP)，雖然每一個用戶可經由同一個或不同的 ISP 獲得多個 S-LOC，但每一個 PDP 恰巧只能代表 Internet 上的唯一一個用戶，換包話說，由 PLOC+L-LOC 所構成的 PDP 在網際網路的世界裡是唯一的一個 ID。

上述是本節針對目前有關 IPv6 定址架構中相關的 RFC 系列做概略性的介紹，此外，對於一些尚未被接受成為 RFC 的標準，目前狀態仍在 draft 階段的一些提案，本節亦對具有參考價值的部份做一陳述。

3. IPv6 位址分配原則最新現況

自從 1999 年 7 月 IANA 開始開始分配 IPv6 商用位址給 ARIN、RIPE NCC、APNIC 等 RIR(Regional Internet Registries)後，這些 RIR 亦開始接受 IPv6 商用位址申請，但目前僅限於 Unicast 位址，並採用 Aggregatable Global Unicast Address 格式[3]，因此相關之位址分配原則也以 unicast 位址較為完備。以下就目前 IPv6 位址分配策略現況作整理，首先提出主要 NIC 之 IPv6 商用位址分配策略現況，接著針對個別位址型態整理目前之分配原則。

3.1. 世界主要 NIC IPv6 商用位址分配策略現況

自 1999 年 7 月 IANA 開始授權 IPv6 商用位址分配給 APNIC、ARIN、RIPE NCC 等 RIRs 後，APNIC、ARIN、RIPE NCC 即開始著手於接受 IPv6 商用位址的申請，目前 IPv6 商用位址已有多家 ISP 取得，在此將對現況作一簡介。

當初 IANA 所分配之 IPv6 商用位址，是根據"Provisional IPv6 Assignment and Allocation Policy Document"[1]一文來分配，同時亦要求授權單位，對於位址之核發也應遵循這個政策，如此才能達到一致性。其實 IANA 所分配之 IPv6 商用位址指的是 2001::/16 ，僅限於 IPv6 Unicast 商用位址，初期 IPv6 商用位址分配架構如圖 3-1。實際的分配情形[2]如表 3-1。

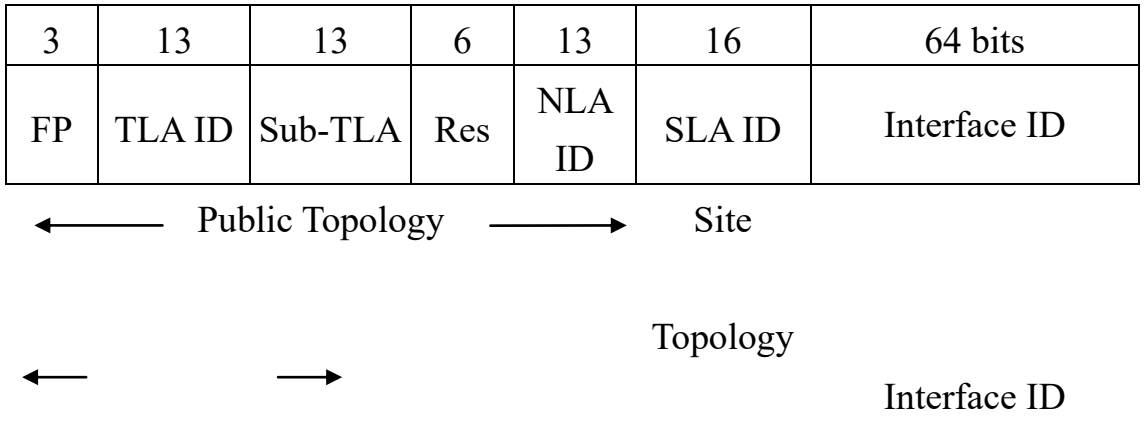


圖 3-1. 初期 IPv6 商用位址分配架構

表 3-1. Sub-TLA ID 分配表

Binary Value	IPv6 Prefix Range	Assignment
0000 000X XXXX X	2001:0000::/29 - 2001:01F8::/29	IANA
0000 001X XXXX X	2001:0200::/29 - 2001:03F8::/29	APNIC
0000 010X XXXX X	2001:0400::/29 - 2001:05F8::/29	ARIN
0000 011X XXXX X	2001:0600::/29 - 2001:07F8::/29	RIPE NCC
0000 100X XXXX X	2001:0800::/29 - 2001:09F8::/29	(future)
0000 101X XXXX X	2001:0A00::/29 - 2001:0BF8::/29	(future)
0000 110X XXXX X	2001:0C00::/29 - 2001:0DF8::/29	(future)
0000 111X XXXX X	2001:0E00::/29 - 2001:0FF8::/29	(future)
0001 000X XXXX X	2001:1000::/29 - 2001:11F8::/29	(future)
. . .		
. . .		
. . .		
1111 111X XXXX X	2001:FE00::/29 - 2001:FFF8::/29	(future)

Where "X" indicates "0" or "1".

APNIC、ARIN、RIPE NCC 在取得 IPv6 商用位址後，也開始接受 IPv6 商用位址的申請，目前取得 IPv6 商用位址的單位已很多，但實際再將位址分發出去的並不多，而正式宣佈提供 IPv6 商用位址申請的 ISP，則只有 NTT、IIJ、vBNS+等。

3.2. 位址分配原則現況

IPv6 在定址的方式方面，提供了 unicast、multicast 及 anycast 等三種不同的模式，並於所定義的位址架構中，將定址空間切割成幾塊不同的區域，以提供各種不同的模式使用。以下我們將就這三種位址模式之分配原則現況一一作介紹。

3.2.1. Unicast 位址

初期使用修改後如圖 3-1 之架構[4]，FP(Format Prefix)為 3 位元，其值為 001(二進位)，TLA(Top Level Aggregator)為 13 位元，其值為 0x0001(十六進位)。將 sub-TLA 分配給各 ISP，並保留其後 6 位元之 Reserved 位元，因此最多可申請獲得 35 位元 prefix 之 IPv6 位址空間。此外，規定必須預定於三個月內提供 native IPv6 服務，並同時能提供其他組織轉接功能之單位方可申請 TLA 位址區間。待 sub-TLA 申請者將其下九成以上之 NLA ID 分配出去後，即可再申請另一完整之 TLA，共 24 位元 prefix 之位址空間，且原 sub-TLA 位址空間不需歸還。

申請獲得 sub-TLA 之單位，主要在其位址區段內分配 NLA 給其他 ISP 或公司行號，並建議採用 “slow start”機制[4][5]，即先依申請者對位址之立即需求來分配，當申請者使用超過 90%位址後，再分配另一段位址空間，以避免浪費。可採用 Hierarchy 位址架構，將 NLA 欄位進一步切割。採用 hierarchy 位址架構，主要優點是可執行位址整合(aggregation)，使路由器所需維護之路徑數減到最低，以達到更有效率之 Routing。但此架構卻會造成位址分配上的彈性(flexibility)問題，管理者必須預估申請者所需之位址量，若估計過大，會造成位址浪費。反之，若估計過小，就可能造成位址 renumbering 或整合不易之問題。因此，管理者在制定 NLA 分配原則時，必須同時考慮路徑整合效率及管理彈性[4]。另外，在 APNIC 對 IPv6 位址分配政策文件[1]中指出，對於網路中需再劃分 subnet 之 end-user，最少需分配 /48 之網路位址區段，而且除非有特殊需求否則，否則此/48 SLA 位址區間應足夠。至於撥接用戶則視為 ISP 架構中之一部份，應由 ISP 之 SLA 位址區間內分配，因此可分配比 48 位元更長之 prefix 給非永久上線之單一用戶，目前建議可分配 /64 之位址空間。

目前有關位址分配議題仍繼續於 IETF 討論中，如是否以/56 取代/48 之位址區間分配給家庭及小企業用戶，對於 mobile phone 等單一用戶要分配多大位址區間等，隨著實際運作經驗之累積，未來應有更明確之答案。

3.2.2. Multicast 位址

IPv6 群播位址(Multicast address)是用來識別一群節點(Node)的位址，每一個節點可同時加入多個群播群組(Multicast group)，其詳細定義可參考[6-7]，IPv6 的群播位址

格式如圖 3-2 所示。

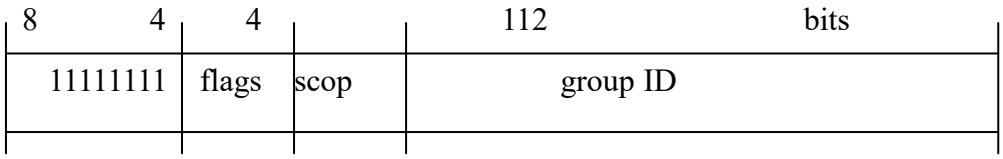


圖 3-2. IPv6 群播位址格式

IPv6 群播位址格式說明如下：

- 位址字首欄位：IPv6 位址起始的 8 個位元皆為”1”時，定義為 IPv6 群播位址。
- 旗標(flags)欄位：旗標欄位為四個位元，其中 3 個高位元目前定義為保留位元且起始值皆為”0”。第四個位元定義為 T(Transient)旗標，T 旗標為”0”時表示此群播位址被 IANA(Internet Assigned Number Authority)所指定公認的永久性群播位址；T 旗標為”1”時表示為一暫時性的群播位址，在動態群播位址定址[8]中即需利用此段位址。
- 範圍(scop)欄位：為四個位元，用來指定群播群組在群播資料時的傳送範圍，目前定義如表 3-2 所示[9]；而在 IPv4 的群播技術則是利用 TTL 值來限制群播資料的傳送範圍。

表 3-2. IPv6 群播位址範圍欄位值

值	用途
0	reserved
1	interface-local scope
2	link-local scope
3	reserved for subnet-local scope
4	admin-local scope
5	site-local scope
6	(unassigned)
7	(unassigned)
8	organization-local scope
9	(unassigned)
A	(unassigned)

B	(unassigned)
C	(unassigned)
D	(unassigned)
E	global scope
F	reserved

- 群組識別(group ID)欄位：112 個位元，用來識別 IPv6 群播群組。

在 IPv6 群播位址的區段中已預先確認(Pre-Defined)的永久性位址[7,9]，舉例說明如下：

(1) 保留位址(FF00:0:0:0:0:0:0:0~ FF0F:0:0:0:0:0:0:0)

此段位址已予保留，不可用於任何的群播群組定址。

(2) 群播群組內的所有節點位址

FF01:0:0:0:0:0:0:1 表示 IPv6 群播群組 interface-local 內的所有節點。

FF02:0:0:0:0:0:0:1 表示 IPv6 群播群組 link-local 內的所有節點。

(3) 群播群組內的所有路由器位址

FF01:0:0:0:0:0:0:2 表示 IPv6 群播群組 interface-local 內的所路由器。

FF02:0:0:0:0:0:0:2 表示 IPv6 群播群組 link-local 內的所有路由器。

FF05:0:0:0:0:0:0:2 表示 IPv6 群播群組 site-local 內的所有路由器。

基本上，IPv6 群播位址預先確認的永久性位址大致遵循 IPv4 已定義的群播位址。其它永久性 IPv6 群播位址也將陸續被定義或註冊於 IANA。

為了使 IPv6 群播位址對應至 IEEE 802 MAC 位址，最新定義的位址格式[9]如圖 3-3 所示，前面的 16 個位元如前述相同。不一樣的是將後面 group ID 欄位 112 位元變化成保留欄位 80 位元與新的 group ID 欄位 32 位元，如此的安排可使 32 位元的 group ID 欄位產生一個唯一 MAC 位址。

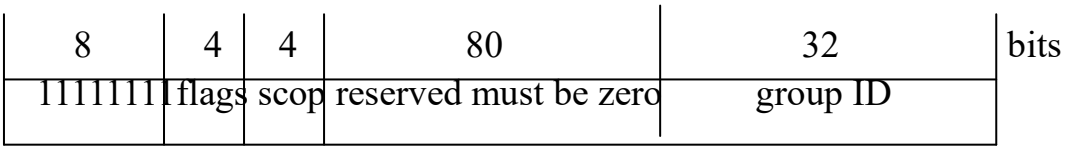


圖 3-3. New IPv6 群播位址格式

雖然最新的 IPv6 群播位址格式的定義[9,10]目前尚在 IETF draft 階段，但日本方面已積極的實作 IPv6 群播技術[11]並在 WIDE IPv6 骨幹網路實際測試與評估數位視訊群播的效能[12]，由此可知 IPv6 群播技術在 IPv6 多媒體領域裡將扮演重要的角色。

3.2.3. Anycast 位址

在 IPv6 協定中 anycast 位址位於 unicast 位址空間中，雖然 anycast 位址之應用及相關機制尚未完備，但 IPv6 標準已為其保留位址空間，如 subnet-Router[6]及 subnet anycast address[13]。其中 subnet anycast address 是於每個 IPv6 subnet 中，保留 128 個連續位址空間。目前已將其中一個位址分配給 mobile IPv6 機制，作為 Home agent address，其餘則視未來需要再進一步指派。然而所有 anycast address 之分配皆須由單一管理組織統籌執行，並經 IESG 認證，而非由使用者自行制定，因此並無適用之位址分配原則。

3.3. APNIC 會議研討中之新 IPv6 位址分配原則說明

90 年 8 月底在台北圓山飯店舉行之 APNIC 2001 年會中，分別由日本 JPNIC 代表 Takashi Arano 及 APNIC chairman Paul Wilson 提出新的 IPv6 address allocation policy，經過一番討論後兩人又共同整理出一份建議案，已獲致與會人員之初步共識，將開放大家先經過 SIG-ipv6 Mail list 討論後，於下次會議中提出正式文件供大會討論確定之。以下將最後討論之建議整理如下:

(1) Proposed Size of Initial Allocation:

S_0 = Shorter {eval (v4infra), x}

其中之 x 之值與 routing table 之長度有關，e.g. X=35 時有 4.3G 之 routing entries, X=23 時有 1M 之 routing entries 等，需進一步討論;

(2) Subsequent Allocation

- Criteria : HD (Host Density) Ratio = 0.80-0.85

- Size : S_n = shorter {S_{n-1}-1, eval2 (2-year-req)}

(3) LIR to ISP :

- No requirements
- LIR can decide the criteria and size
- But they must report sum of all /48s to RIR when they come back to RIR in evaluation of normal HD-ratio.

(4) Assignment

- Which should be assigned, /48, /64, /128?
  - It's within the IETF boundary.
  - Upper layer's registries must not concern which size LIRs/ISPs assign to end-users.
- Multiple /48s
  - If end users use up /48 and need more, they can request an additional /48 with justification.
  - This request will be processed in the RIR/NIR level.
- Definition of "site"
  - ISP-connection basis, i.e. every end user can get a /48 when they get an IPv6 connection from ISP, regardless of organization, location, etc.
- Assignment to Infrastructure
  - Basically up to /48 per a PoP (regarded as just one assignment)
  - Office use can be regarded separately.

(5) DB Registration

- Every /48 should be registered.
- Admin-c and tech-c of home residential users can be substituted by ISP contacts.
  - Privacy reason
- Details: TBD.

會中初步之建議新位指分配政策為 :

- Minimum allocation 建議由/35 提升至/32
- Qualification Threshold 定為 /36,

但最後決論仍有待 SIG-ipv6 討論, 並與其他之 RIR 取得必要之共識後才能定案。

4. IPv6 IX (Internet Exchange)現況

IPv6 IX 設置目的與 IPv4 IX 雷同，成立宗旨大多為期望以公平、中立、獨立運作原則，提供 ISPs、大型網路及學術機構 IPv6 訊務交換的服務。本節將針對亞洲地區、美洲地區及歐洲地區選擇具代表性 IPv6 IX 建制現況做進一步介紹[16]。

- 亞洲地區

  NSPIXP6 為一僅提供 IPv6 的試驗性網際網路交換中心(Internet Exchange，IX)，它於 1999 年 8 月開始建立在位於東京的 KDDI Otemachi，目前則包括 NTT Otemachi，Toyama 及 NTT West Dojima。雖然 NSPIXP6 仍只是個試驗性的 IX，但目前已有超過 20 家 ISPs 與它互連，而且它是世界最大的 IPv6 IX 之一。NSPIXP6 的架構如圖 4-1。

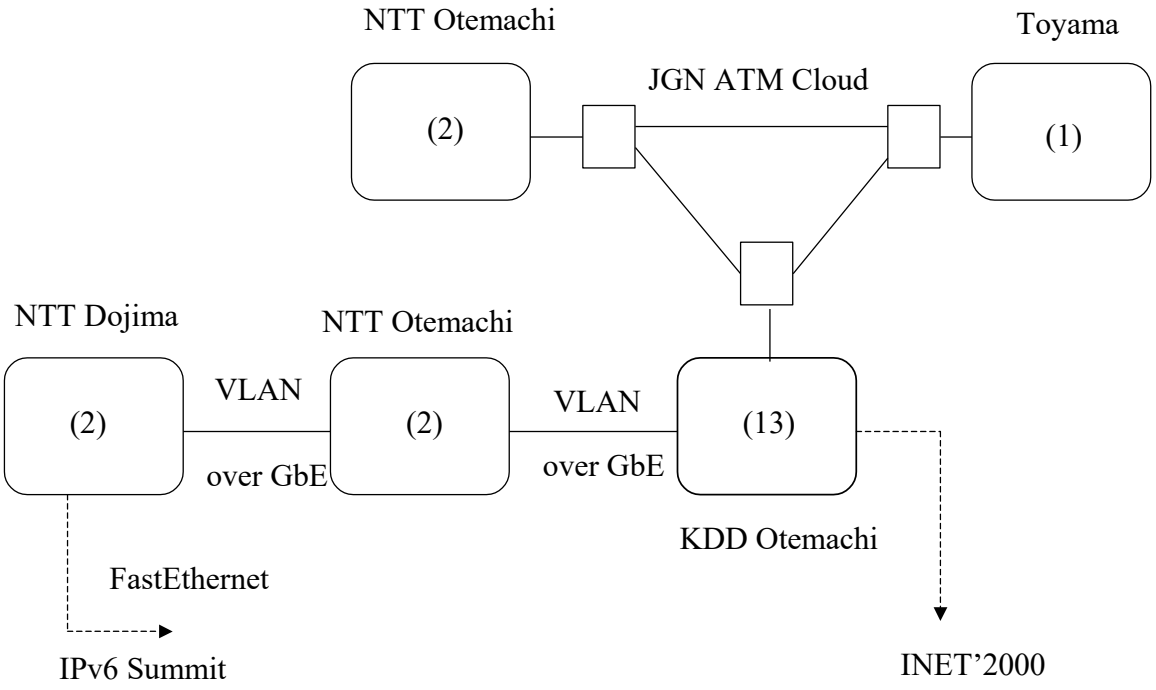


圖 4-1. NSPIXP6 Topology

6NGIX-KR[17]設立於韓國，預計在 2001 上半年完成測試提供服務，目前主要服務為 native IPv6 peering。6NGIX-KR 網路架構請參見圖 4-2，在韓國境內部份，預計參與 peering 的成員有 KT(Korea Telecom)、ETRI、 DACOM 及 KOLNET 等；

在國外部份預計與 6TAP(US)， NSPIXP-6(JP)及 AMX-IX(Europe)達成 native peering；另外再以 IPv6 over IPv4 tunneling 方式與 6Bone 及 6Bone-KR 互連。

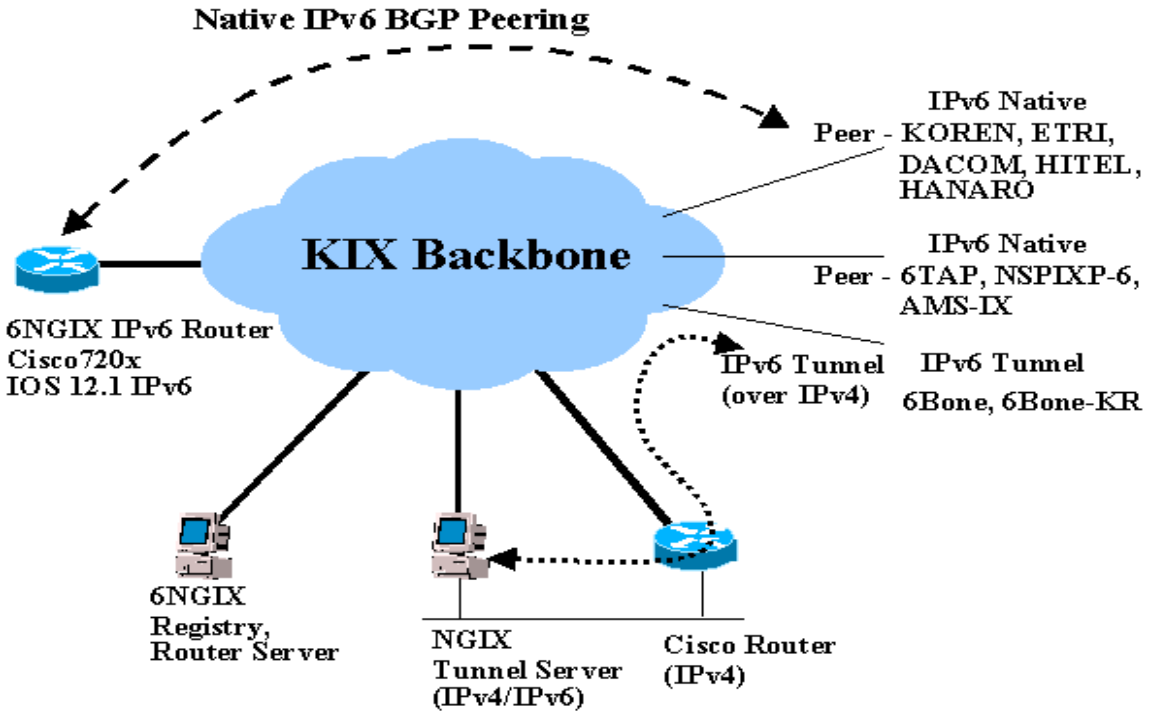


圖 4-2. 6NGIX-KR Topology

➢ 美洲地區

6TAP 位於美國芝加哥，是 ESnet 與 CANARIE 共同設立，目的在提供 IPv6 網路互連，目前主要服務有 Native IPv6 link service 及 IPv6 over IPv4 tunneled link services。目前參與的成員有 APAN Japan, APAN Korea, Esnet, NTT-ECL, vBNS, SingAREN(Singapore), University of Wisconsin-Madison 等。ESnet 並提供 transit traffic 到 6Bone 的服務。6TAP 網路架構請參見圖 4-3。

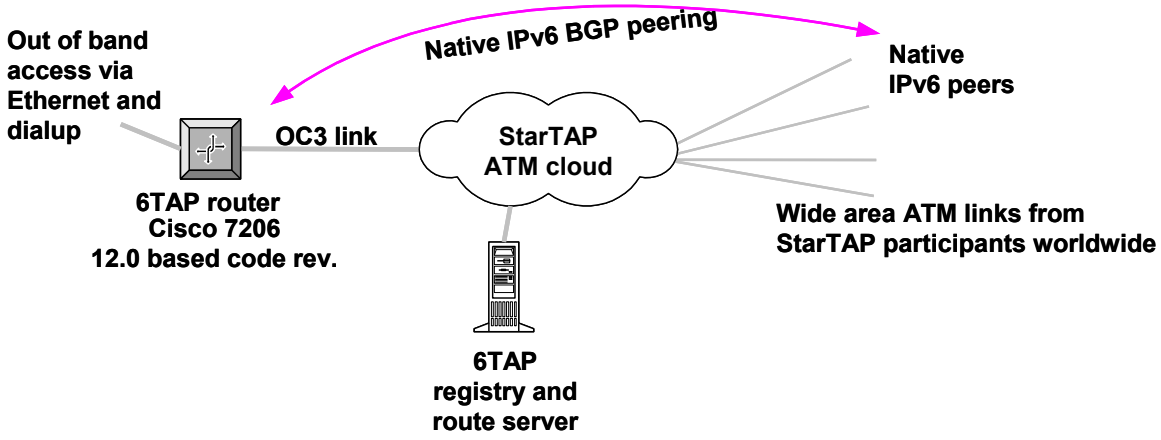


圖 4-3. 6TAP

6IIX 是由 TELEHOUSE 公司設立，成立宗旨為以公正、中性立場提供 ISPs 及學術機構 IPv6 訊務交換的服務，目前分別在 New York, Los Angeles, Santa Clara 設置 IPv6 IX。主要的交換設備為 Foundry BigIron 4000，而 Carrier 部份可由客戶自由選定。

NY6IX 設立於美國紐約，是由 Stealth Communications 公司設立與維運，主要是提供 native IPv6 peering ，NY6IX 的交換設備主要是由 FastEthernet Switch 所構成，Switch 間以 T3 相連，用戶介面則採用 10 或 100base 的 FastEthernet。參加的成員必須擁有 sTLA 或 pTLA 的位址。

- 歐洲地區

AMS-IX 設立於荷蘭阿姆斯特丹(Amsterdam)，是由非營利性、中立、獨立運作的協會所成立。目前參與 peering 的成員有荷蘭當地 ISPs、國際 ISPs(美、英、德、比利時、日耳曼語系國家、韓)及 RIPE NCC 組織。韓國 IPv6 IX(6NGIX-KR) 既是藉由 AMS-IX 與歐洲主要 ISPs 互連。AMS-IX 主要的交換設備為 Foundry BigIron 15000、8000，交換設備間以 Gigabit Ethernet over dark fiber 連接，用戶介面為 10BaseT/100BaseTX 及 1000BaseSX。

UK6X 設立於英國倫敦，是由 BTexact Technologies 成立的，主要的目標為提供 Ipv6 ISPs 與學術單位的互連，並進行 Ipv6 技術的相關測試，希望從中獲得實際操作經驗，研擬未來商業運轉模式。目前提供的服務種類有 native IPv6 peering 、IPv6 in IPv4 tunnelling 、BGP Route Server 及 6 to 4 gateway。

INXS 設立於德國慕尼黑(Munich)，提供 Native Ipv6 peering。加入 INXS Ipv6

peering 的條件是須為 regular INXS member，並且須擁有 ARIN、RIPE 或 APNIC 分派的 production quality sTLA 或 TLA；只擁有 6Bone pTLA 是不符合加入條件。在 Carrier 部份可由客戶自由選定。

5. 建議

本節將針對 IPv6 位址分配及國內建置 IPv6 Internet Exchange 之架構提出規劃建議，分別敘述如下。

5.1. IPv6 位址分配建議

根據本文前述之位址分配原則並並參考其他單位[14][15]做法，提出如圖 5-1 之 IPv6 Unicast 位址分配架構，並說明如下。

圖 5-1. IPv6 Unicast 位址分配建議架構

- 13 位元之 NLA 使 sub-TLA 申請單位能於其位址區間內採用 hierarchy 定址，可依據顧客特性(ISP 或 end user)或網路架構進一步劃分欄位。因此將 NLA 再劃分為 5 位元之 NLA1 及 8 位元之 NLA2 欄位，視申請單位之位址需求分配 NLA1 (xxxx:xxxx:xxxx::/40)或 NLA2 (xxxx:xxxx:xxxx::/48)。至於 NLA1/NLA2 之切割比例，可依各 sub-TLA 單位之實際需求或策略作彈性調整。
- 在 APNIC 對 IPv6 位址分配政策文件[1]中指出，除非有特殊需求，否則對 end-user 而言，分配一 /48 SLA 位址區間應足夠。因此，NLA1 主要分配給位址需求較大且提供轉接之申請單位，如 ISP 或 Internet Gateway，使這些 ISP 及 Gateway 可進一步提供 256 個主要客戶。為解決申請單位位址需求擴增時之 renumbering 問題，可由最左位元開始指派。
- 在 APNIC 對 IPv6 位址分配政策文件[1]中指出，對於網路中需再劃分 subnet 之 end-user，最少需分配 /48 之網路位址區段。因此，NLA2 主要直接分配給各公司行號等位址需求較小之單位。為解決申請單位位址需求擴增時之 renumbering 問題，可由最右位元開始指派，且建議指派之 NLA2 值每次增加 2，以預留申請單位位址需求之成長空間。

- 在 APNIC 對 IPv6 位址分配政策文件[1]中指出，對撥接用戶視為 ISP 架構中之一部份，應由 ISP 之 SLA 位址區間內分配，因此可分配比 48 位元更長之 prefix 給非永久上線之單一用戶，建議可分配 /64 之位址空間。

5.2. 我國 IPv6 ISP 互連建議

兩個 ISP 間之 IPv6 網路互連架構有兩種模式 1.Native IPv6 BGP peering 2.Tunneled IPv6 BGP peering.

5.2.1. Native IPv6 BGP peering

5.2.1.1. 互連網路架構

Native IPv6 BGP peering 是兩個 ISP 間各別架設具 IPv6 功能之路由器，透過廣域網路通信鏈路如 HDLC、PPP、Frame-Relay、ATM 等或區域網路通信鏈路如乙太網路(Ethernet)等直接互連，並啟動 BGP4+ 路由通信協定建立 Peering Session，以交換彼此間之 IPv6 位址(Address Prefix)之路由訊息，其網路架構如圖 5-2 所示。

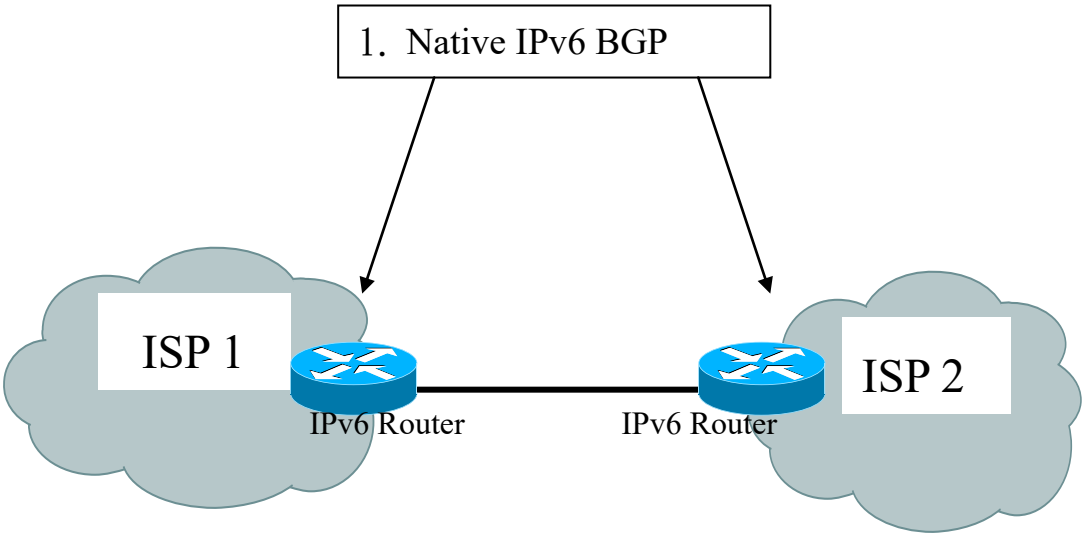


圖 5-2. Native IPv6 BGP peering

以下為使用 Cisco IOS Version 12.1 之路由器為測試樣品進行互連測試之案例，測試項目包括：

(1) 互連通信鏈路測試

(2) BGP4+ Peering Session 測試

(3) DNS 對映測試

(4) WWW 瀏覽測試

(5) E-mail 互傳測試

5.2.1.2. 互連通信鏈路測試

ISP1 與 ISP2 兩個 IPv6 路由器之間使用 Frame-Relay 通信鏈路互相連接，本測試主要目的為確認兩路由間已建立通信鏈路，可互傳 IPv6 封包，測試架構如圖 5-3 所示。

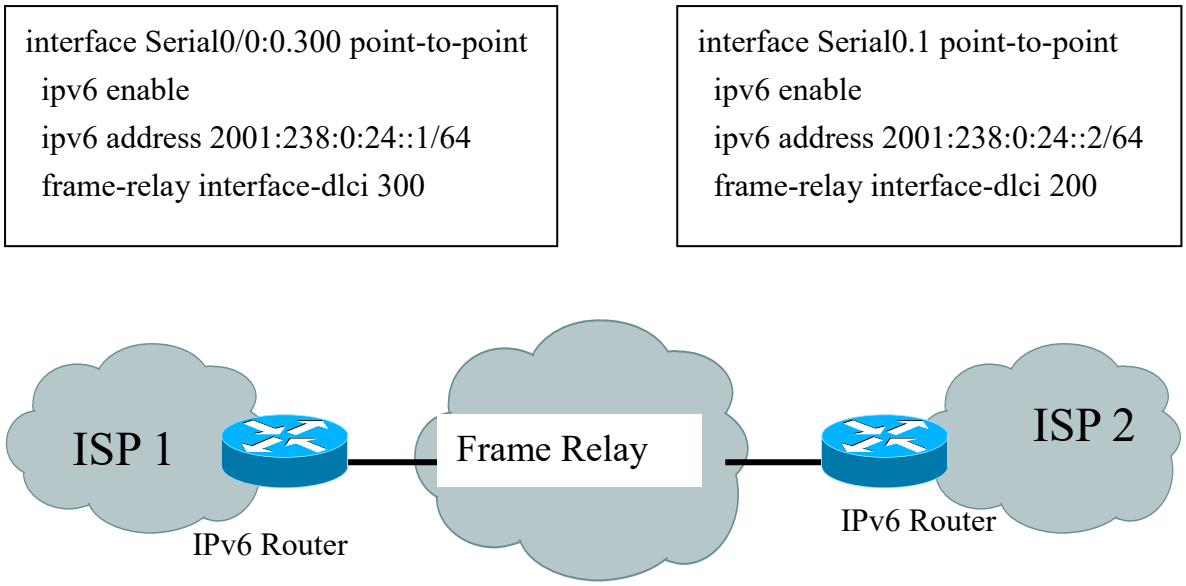


圖 5-3. 互連通信鏈路測試

在 ISP1 及 ISP2 路由器中分別檢視互連通信介面狀態及使用 ICMPv6 等指令來檢測通信鏈路是否暢通。

```
ISP1#show interfaces Serial0/0:0.300
Serial0/0:0.300 is up, line protocol is up
  Hardware is DSX1
    MTU 1500 bytes, BW 1536 Kbit, DLY 20000 usec,
      reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation FRAME-RELAY IETF
```

```
ISP2#show interfaces serial0.1
Serial0.1 is up, line protocol is up
  Hardware is HD64570
    MTU 1500 bytes, BW 1544 Kbit, DLY 20000 usec,
      reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation FRAME-RELAY IETF
```

```
ISP1#ping ipv6 2001:238:0:24::2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:238:0:24::2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/7/8 ms
```

```
ISP2#ping ipv6 2001:238:0:24::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:238:0:24::1, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/6/8 ms
```

5.2.1.3. BPG4+ Peering Session 測試

ISP1 及 ISP2 兩個 IPv6 路由器分別啟動 BGP4+ 路由通信協定，並建立 Peering Session，以交換彼此間 IPv6 位址(Address Prefix)之路由資訊。

本測試主要目的為確認兩路由器間已建立 Peering Session，可互相 Advertise Address Prefix ，測試架構如圖 5-4 所示。

```
router bgp 17419
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 2001:238:0:24::2 remote-as 17420
!
 address-family ipv6
 neighbor 2001:238:0:24::2 activate
 neighbor 2001:238:0:24::2 prefix-list bgp-in in
 neighbor 2001:238:0:24::2 prefix-list aggregate out
 network 2001:238::/35
 exit-address-family
```

```
router bgp 17420
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 2001:238:0:24::2 remote-as 17419
!
 address-family ipv6
 neighbor 2001:238:0:24::1 activate
 neighbor 2001:238:0:24::1 prefix-list bgp-in in
 neighbor 2001:238:0:24::1 prefix-list aggregate out
 network 2001:288::/35
 exit-address-family
```

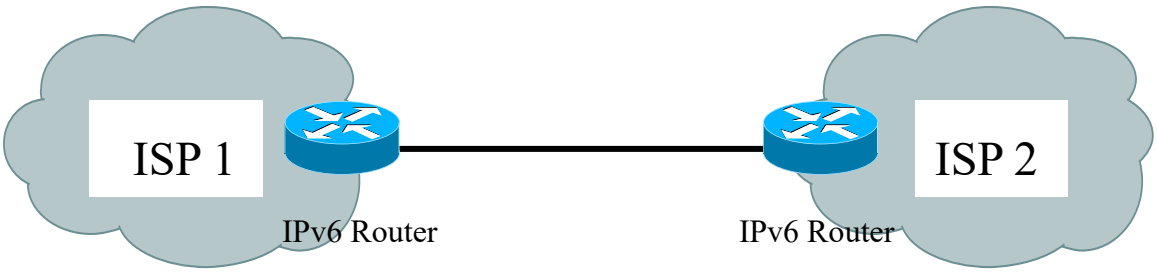


圖 5-4. BGP4+ Peering Session 測試

在 ISP1 及 ISP2 路由器中分別使用 show ipv6 bgp、show ipv6 bgp summary 指令檢測 BGP Session 是否正確建立。

```
ISP1#show bgp ipv6 2001:288::/35
BGP routing table entry for 2001:288::/35, version 10974
Paths: (1 available, best #1)
  Not advertised to any peer
  17420
    2001:238:0:24::2 from 2001:238:0:24::2 (1.0.0.130)
      Origin IGP, localpref 100, valid, external, best
```

```
ISP2#show bgp ipv6 2001:238::/35
BGP routing table entry for 2001:238::/35, version 75
Paths: (1 available, best #1)
  Not advertised to any peer
  17419, (received & used)
    2001:238:0:24::1 from 2001:238:0:24::1 (210.242.0.97)
      Origin IGP, localpref 100, valid, external, best
```

```
ISP1#show bgp ipv6 summary
BGP router identifier 210.242.0.97, local AS number 17419
BGP table version is 10971, main routing table version 10971
162 network entries and 163 paths using 31330 bytes of memory
127 BGP path attribute entries using 7620 bytes of memory
123 BGP AS-PATH entries using 3178 bytes of memory
0 BGP route-map cache entries using 0 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP activity 2297/9505 prefixes, 2507/2344 paths, scan interval 15 secs

Neighbor        V    AS MsgRcvd MsgSent   TblVer  InQ OutQ Up/Down
State/PfxRcd
2001:238:0:24::2
                4 17420      11      138    10971    0    0 00:08:26
                1
```

```
ISP2#show bgp ipv6 sum
BGP router identifier 1.0.0.130, local AS number 17420
BGP table version is 163, main routing table version 163
162 network entries and 162 paths using 31266 bytes of memory
126 BGP path attribute entries using 7560 bytes of memory
124 BGP AS-PATH entries using 3362 bytes of memory
0 BGP route-map cache entries using 0 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP activity 162/54 prefixes, 162/0 paths, scan interval 15 secs

Neighbor        V    AS MsgRcvd MsgSent   TblVer  InQ OutQ Up/Down  State/PfxRcd
2001:238:0:24::1
                4 17419     142      15      163    0    0 00:03:58        162
```

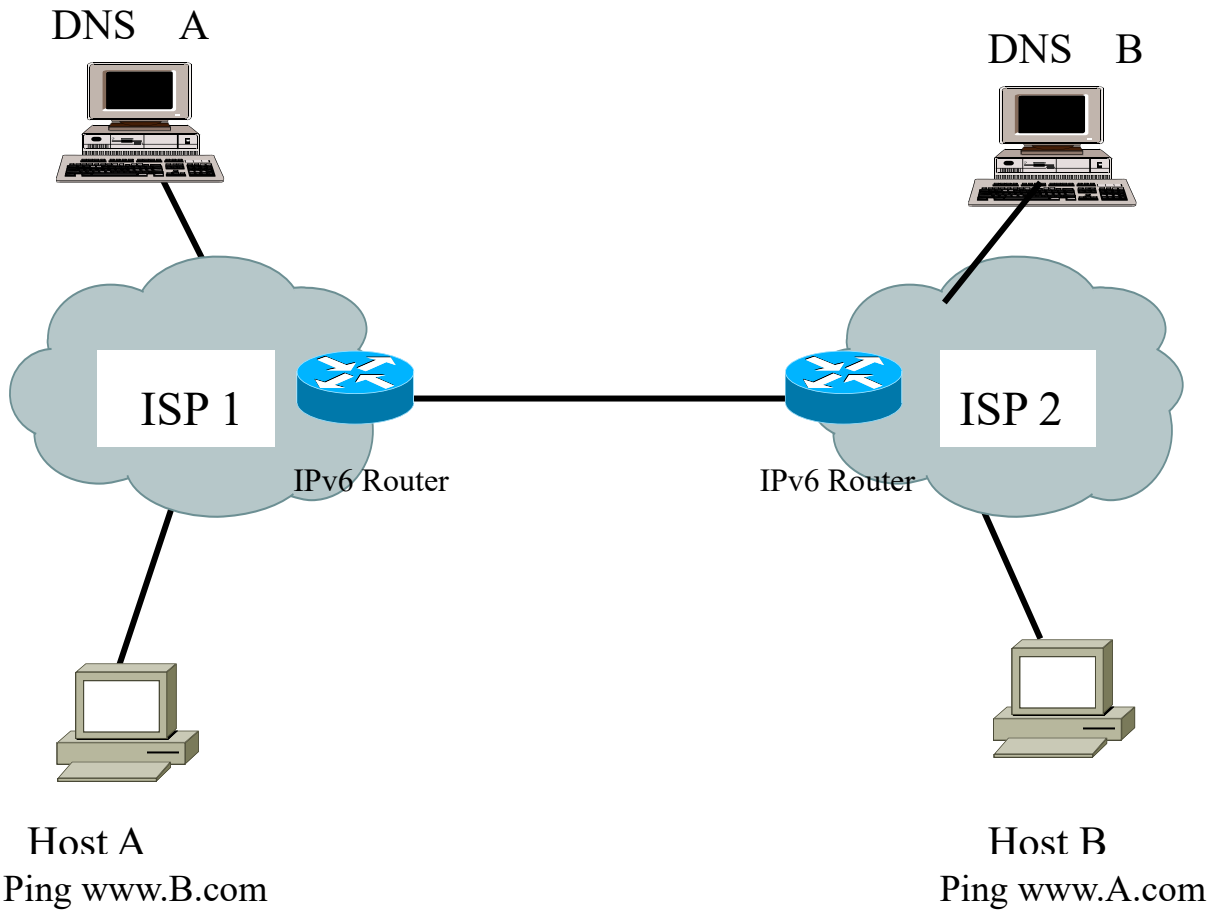


圖 5-5. DNS 對映測試

5.2.1.4. DNS 對映測試

本測試主要目的為確認兩 ISPs 之 DNS 是否建置完成，可互相檢索以正確得知領域名稱(Domain Name)與 IPv6 Address 之對映，測試架構如圖 5-5 所示。

在 ISP1 及 ISP2 IPv6 網路之 Host A、B 分別 ping ipv6 www.B.com及www.A.com 檢測 DNS 是否對映成功。

5.2.1.5. WWW 瀏覽測試

本測試主要目的為確試兩 ISPs 之間是否可完成互相瀏覽首頁，以確保 Web 服務之提供，測試架構如圖 5-6 所示。

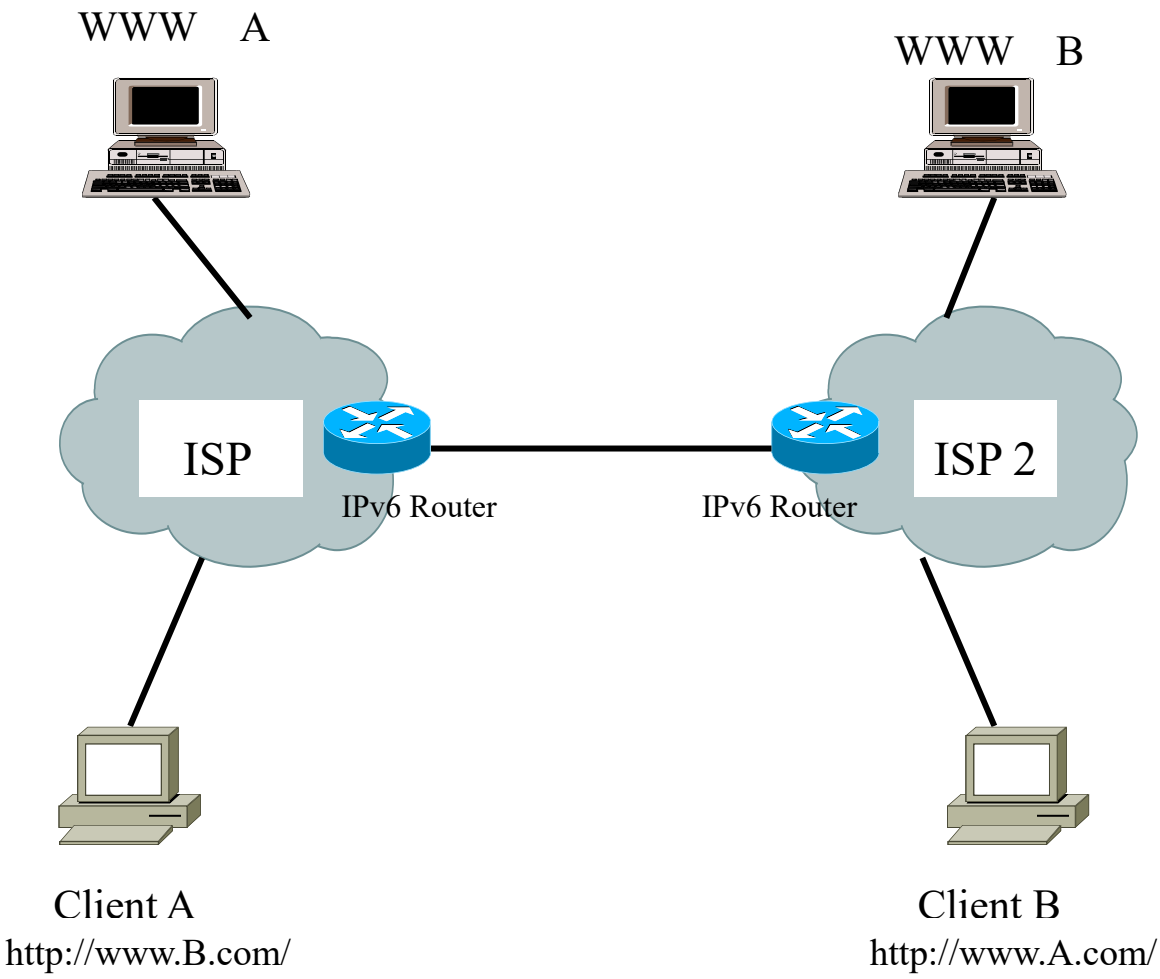


圖 5-6. WWW 瀏覽測試

在 ISP1 及 ISP2 IPv6 網路之 Client A，B 分別開啟 WWW A 及 WWW B 檢測 Web 服務功能。

5.2.1.6. E-mail 互傳測試

本測試主要目的為確認兩 ISPs 之 E-mail 伺服器是否建置完成，可互傳 E-mail，測試架構如圖 5-7 所示。

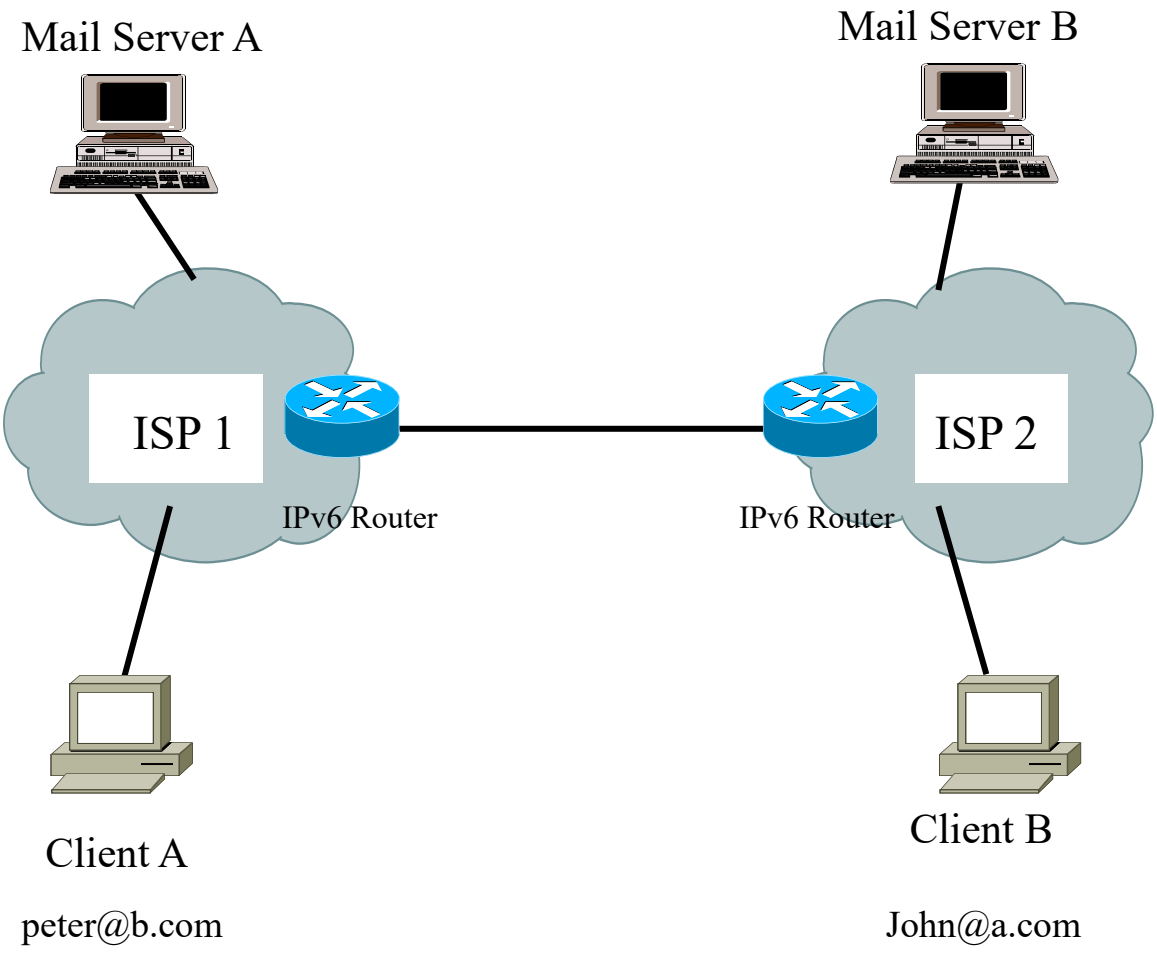


圖 5-7. E-mail 互傳測試

5. 2. 2.　Tunneled IPv6 BGP peering

5.2.2.1.　互連網路架構

Tunneled IPv6 BGP peering 是兩個 ISP 所架設之 IPv6 網路閘道路由器透過 IPv4 網路互連，首先兩個閘道路由器間建立 IPv6 over IPv4 之 Tunnel，然後啟動 BGP4+ 路由通信協定建立 Peering Session，其餘 DNS 對映、www 瀏覽、E-mail 互傳測試動作均與 Native IPv6 BGP peering 相似，其網路架構如圖 5-8 所示。

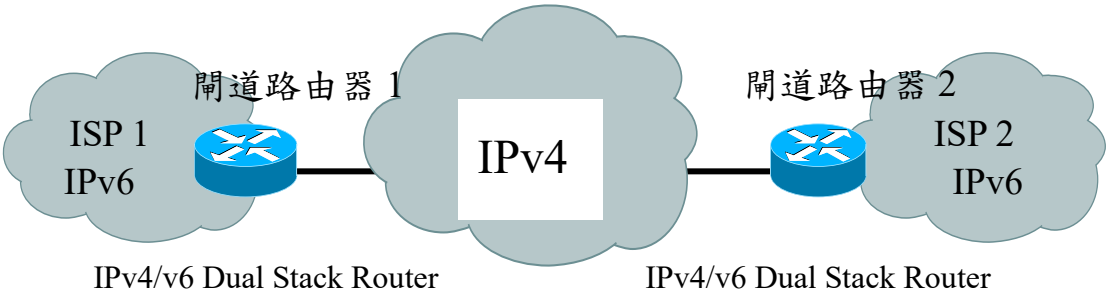


圖 5-8. Tunneled IPv6 BGP peering

5.2.2.2.　Tunnel 鏈路測試

本測試主要目的為確認兩個閘道路由器間之 Tunnel 鏈路是否已建立完成，可互傳封包，測試架構如圖 5-9 所示。

```
interface Tunnel0
  no ip address
  ipv6 enable
  ipv6 address 3FFE:3600::1:21/127
  tunnel source Loopback0
  tunnel destination 202.39.142.145
  tunnel mode ipv6ip
!
```

```
interface Tunnel0
  no ip address
  ipv6 enable
  ipv6 address 3FFE:3600::1:20/127
  tunnel source Loopback0
  tunnel destination 210.242.0.97
  tunnel mode ipv6ip
!
```

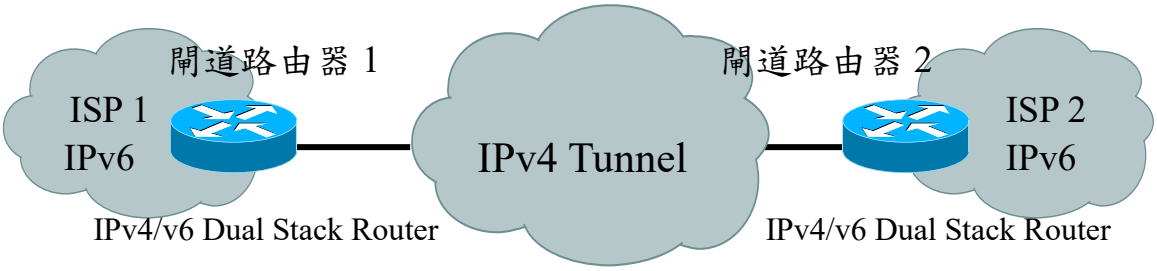


圖 5-9. Tunnel 鏈路測試

在閘道路由器 1、2 中分別檢視 Tunnel 鏈路介面狀態及使用 ICMPv6 等指令來檢測 Tunnel 鏈路是否暢通。

```
ISP1#show interfaces tunnel 0
Tunnel0 is up, line protocol is up
  Hardware is Tunnel
  MTU 1514 bytes, BW 9 Kbit, DLY 500000 usec,
     reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation TUNNEL, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Tunnel source 210.242.0.97 (Loopback0), destination 202.39.142.145
  Tunnel protocol/transport IPv6/IP, key disabled, sequencing disabled
  Checksumming of packets disabled
  Last input 00:00:09, output 00:00:09, output hang never
  Last clearing of "show interface" counters never
  Queueing strategy: fifo
  Output queue 0/0, 1 drops; input queue 0/75, 0 drops
  5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
     162147 packets input, 16873267 bytes, 0 no buffer
     Received 0 broadcasts, 0 runts, 0 giants, 0 throttles
     0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 ignored, 0 abort
     167688 packets output, 26377704 bytes, 0 underruns
     0 output errors, 0 collisions, 0 interface resets
     0 output buffer failures, 0 output buffers swapped out
```

```
ISP1#ping 202.39.142.145

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 202.39.142.145, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 16/16/20 ms

ISP1#ping ipv6 3FFE:3600::1:20

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 3FFE:3600::1:20, timeout is 2 seconds:
!!!!!
```

本測試主要目的為確認兩閘道路由器間已建立 Peering Session ，且可互相 Advertise Address Prefix，測試架構如圖 5-10 所示。

```
router bgp 17419
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 3FFE:3600::1:20 remote-as 3462
!
 address-family ipv6
 neighbor 3FFE:3600::1:20 activate
 neighbor 3FFE:3600::1:20 prefix-list bgp-in in
 neighbor 3FFE:3600::1:20 prefix-list aggregate out
 network 2001:238::/35
 exit-address-family
```

```
router bgp 3462
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 3FFE:3600::1:21 remote-as 17419
!
 address-family ipv6
 neighbor 3FFE:3600::1:21 activate
 neighbor 3FFE:3600::1:21 prefix-list bgp-in in
 neighbor 3FFE:3600::1:21 prefix-list aggregate out
 network 2001:288::/35
 exit-address-family
```

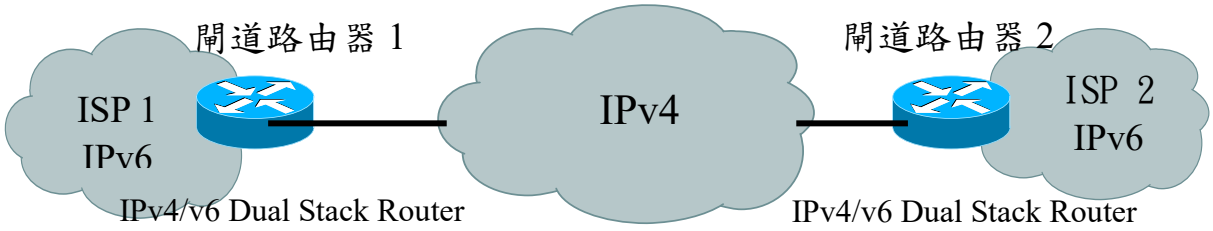


圖5-10. BGP4+ peering session 測試

在閘道路由器 1、2 中分別使用 show ipv6 bgp、show ipv6 bgp summary 指令檢測 BGP Session 是由正確建立。

```
ISP1#show bgp ipv6 summary
BGP router identifier 210.242.0.97, local AS number 17419
BGP table version is 10988, main routing table version 10988
163 network entries and 164 paths using 31523 bytes of memory
128 BGP path attribute entries using 7680 bytes of memory
124 BGP AS-PATH entries using 3202 bytes of memory
0 BGP route-map cache entries using 0 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP activity 2299/9511 prefixes, 2509/2345 paths, scan interval 15 secs

Neighbor        V    AS MsgRcvd MsgSent   TblVer  InQ OutQ Up/Down  State/PfxRcd
2001:238:0:1:260:2FFF:FEA4:3E3D
                4 17419   76292   97762    10988    0    0 2w4d            2
2001:238:0:20::2
                4 17419   32949   41915    10988    0    0 2w4d            2
2001:238:0:21::2
                4 17419   28455   35208    10988    0    0 2w4d            2
2001:238:0:22::2
                4 17419   29180   36580    10988    0    0 2w4d            2
2001:238:0:24::2
                4 17420      91     356    10988    0    0 01:12:37        1
2001:238:0:25::2
                4 17419   28524   35208    10988    0    0 2w4d            2
3FFE:3600::1:20 4  3462  100299   74074    10988    0    0 2d00h         151
```

```
ISP1#show bgp ipv6
BGP table version is 10988, local router ID is 210.242.0.97
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network          Next Hop                Metric LocPrf Weight Path
*> 2001:200::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 6435 8002 2500 i
*> 2001:208::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 7610 i
*> 2001:218::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 4697 2914 i
*> 2001:220::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 3748 9270 i
*> 2001:228::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 109 4725 2713i
*> 2001:230::/35    3FFE:3600::1:20              0 3462 3748 i
*> 2001:238::/64    2001:238:0:1:260:2FFF:FEA4:3E3D      100    0 i
*> 2001:238::/35    ::                           32768 i
*> 2001:238:0:1::/64 2001:238:0:1:260:2FFF:FEA4:3E3D     100    0 i
*> 2001:238::/35    ::                           32768 i
```

➢ 系統工程

(a)系統架構及相關設備

IPv6 IX 系統架構初期建議由兩部 Route Reflector、兩部 Ether Switch、一部網路管理主機及 Web 伺服器構成，如圖 5-11 所示。

Route Reflector 提供 ISP 間建立 IPv6 Native Peeing Session；NMS 主機提供 IPv6 IX 網路管理功能；Web 伺服器提供 IPv6 IX 之首頁(Home page)並提供訊務及運作狀況等資訊。

(b)路由規劃

各連線 ISP 之路由規劃依照下列準則建立：

(1) 各 ISP 之連線 IPv6 位址由 IX 指定配發。

(2) 各連線 ISP 對 IX 之 Route Reflector 建立 BGP4+ Session。

(3) IX 兩部 Route Reflector 使用之 AS 號碼為 XXXX。

各連線 ISP 間之 Peering 關係，由 ISP 雙方各自行依雙邊互連協議(Bi-Lateral Peering Agreement，BLPA)內容自行建置 in bound Route Prefix filter 管制過濾，Route Reflector 依各 ISP 在 Route register 註冊之 Address Prefixs 只對各

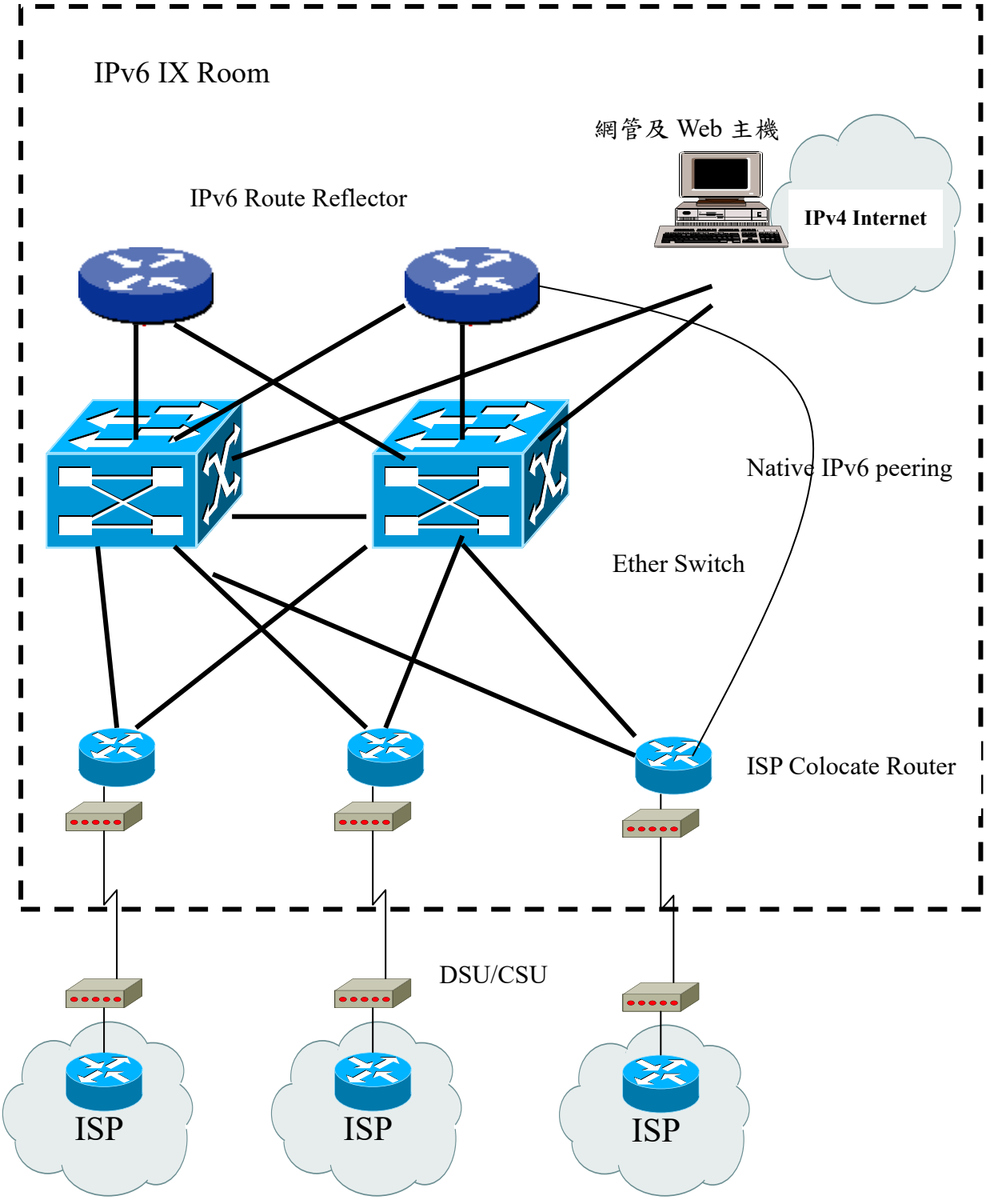


圖 5-11. IPv6 IX 系統架構

ISP outbound route Prefix 做過濾管制。

(c) 備援措施

為提供高系統可用度，IPv6 IX 宜採用雙系統備援設計，Route Reflector 及 Ether Switch 建議採用雙電源、雙主控模組備援設計之設備外，也同時使用兩套機器並聯運作方式相互備援。

(d) 安全考量

為安全上之考量，IPv6 IX 須為獨立隔間機房，消防設備齊全，除大樓守衛人員外須具備電腦門禁及攝影監視系統，以維護 IX 機房之實體安全。

在 IX 系統設備操作上，除使用封包過濾等防火牆功能阻絕不合法入侵外；在系統操作者進入系統後將經 AAA 的認證通過後依授權範圍分級操作系統，並記錄操作過程，以確保系統安全。

- 收費方式

IPv6 IX 依建置及維運成本計收連線 ISP 之費用，其收費方式建議參考 TWIX 現行收費標準採一次設定費、機箱月租費、Ether Switch 通信埠月租費等項目計費。

5.3. 我國 IPv6 IX 建置建議

5.3.1. 概述

有關我國 IPv6 IX 建置初期建議以設立台北第一交換中心，以提供國內 ISP IPv6 網路訊務交換為主，系統架構建議採用 Layer2 Ether Switch 交換機制，ISP 間路由規劃建議採用 Native IPv6 BGP pearing 模式，及 Bi-Lateral Peering Agreement，BLPA 雙邊互連協議方式，除提供高可用度之電力、空調、機房安全等基礎服務以外，可提供運轉相關之資訊服務。

5.3.2. 服務

- IPv6 IX 建置地點

依據 IPv4 營運經驗台灣網際網路的市場北部地區約占 65%，而中、南部地區僅占 35%，因此建議先在台北市建置我國 IPv6 IX 第一交換中心，至於中、

南部是否建置及其時程，再依市場需求狀況決定。

- 連接資格

在初期設立一個交換中心時，ISP 只要符合下列資格即可申請連接：

(1) 具備交通部電信總局第二類電信事業許可執照之 ISP，或交通部專案特許之網路。

(2) 擁有直接向 NIC 申請之合法 IPv6 Address。

(3) 擁有直接向 TWNIC 申請之合法 AS Number。

- 連線方式

ISP 申請連接獲准後，須依下列技術需求進行連線作業：

(1) ISP 須申請數據專線連接至 IPv6 IX。

(2) IPv6 IX 提供 Ethernet Switch 接入方式，連線之 ISP 須備妥 IPv6 IX 端具 IPv6 功能之路由器。

(3) 路由通信協定為 BGP4+，相關標準請參照 IETF RFC2283，RFC2545 等。

- 服務項目

(1)基本服務

IPv6 IX 須提供機房空間接(應不小於 20 坪且需考慮同一層樓可連續擴充空間達 100 坪以上)、不斷電電力系統(至少須 1000KVA 以上且可視需要擴充)並有發電機備援、空調、出入門禁、線路管道等服務。

(2)資訊服務

為建立有效便捷的資訊溝通管道，IPv6 須建置 Web 伺服器，以提供下列資訊：

(a) IPv6 IX 連接申請手續。

(b) IPv6 IX 系統架構介紹。

(c) IPv6 IX 連線技術規劃。

(d) IPv6 IX 加入成員(participator)(含技術、互連洽談連絡人)資訊。

(e) IPv6 IX 交換訊務統計資訊。

(f)IPv6 IX 相關服務及公告資訊。

(3)其他服務

IPv6 IX 可視連線 ISP 之需求提供下列服務：

(a) 連線建置時之技術諮詢服務。

(b) 偵錯工具(Looking Glass)

IPv6 IX 為協助 ISP 技術人員偵測路由交換資訊是否正確傳遞，可設置 Looking Glass 伺服器並建議以 Web 方式供查閱使用。

(c) 連線障礙查測服務

IPv6 IX 人員可依連線 ISP 之需求提供基本 Remote hand 服務(如開、關電源等)協助連線 ISP 處理簡易障礙查測。

其中第(b)項建議為免費服務，(a)、(c)項收費方式另行研議。

6. 結論

IPv6 的使用將是必然的趨勢，儘早規劃定址分配原則將是刻不容緩的議題。本委託計畫研究案已完成下列議題: (1)IPv6 網址分配原則之建議，(2) 我國 IPv6 ISP 互連之建議， (3) 我國 IPv6 IX 建置之建議，可提供給國內各網路業者，於建設或規劃寬頻網際網路時有所參考。此外，本研究報告對於相關國際標準制定組織與知名廠商，對於 IPv6 相關網際網路新技術的規格制定與研發狀況亦有完整之資料蒐集，將可作為引進國外技術之參考，與制定或修改相關電信法規之依據。

7. 誌謝

本技術之研究，首先感謝 TWNIC 之專案委託與充分授權，另對相關研究同仁之努力，一併致上最誠摯之謝意。

8. 參考資料

[1] APNIC, “Provisional IPv6 Assignment and Allocation Policy Document”

[2] http://www.isi.edu/in-notes/iana/assignments/ipv6-tla-assignments.txt

[3] R. Hinden, M. O’Dell, S. Deering, “An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format”, *RFC2374*, July 1998

[4] R. Hinden, “Proposed TLA and NLA Assignment Rules”, *RFC 2450,* Dec. 1998

[5] K. Hubbard, M. Kosters, D. Conrad, D. Darrenberg, J. Postel, “Internet Registry IP Allocation Guidelines” RFC 2050, Nov. 1996

[6] R. Hinden, S. Deering, “IP Version 6 Address Architecture”, *RFC 2373*, July 1998

[7] R. Hinden, S. Deering, “IPv6 Multicast Address Assignments”, *RFC 2375,* July 1998.

[8] B. Haberman, “Dynamic Allocation Guidelines for IPv6 Multicast Addresses”, *draft-ietf-malloc-ipv6-guide-02.txt*, April 2001.

[9] R. Hinden, S. Deering, “IP Version 6 Address Architecture”, *draft-ietf-ipngwg-addr-arch-v3-05.txt*, March 2001.

[10] B. Haberman, D. Thaler, “Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Address”, *draft-ietf-ipngwg-uni-based-mcast-01.txt*, January 2001.

[11] http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/1c/1c_2.htm

[12] http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/1c/1c_3.htm

[13] D. Johnson, S. Deering, “Reserved IPv6 Subnet Anycast Address” *RFC 2526*, March, 1999

[14] http://www-6bone.es.net/ipv6-addressing/production-esnet-ipv6-addr.html

[15] http://www.v6.wide.ad.jp/Registry/v6_addr_track/stla_addr_list.txt

[16] http://www.ep.net

[17] http://ipv6.kosinet.ne.kr

[18] http://www.6bone.net

[19] CSELT paper, “IPv6 operational experience within the 6bone”, http://carmen.cselt.it/papers/inet2000/index.htm

[20] R. Hinden, R. Fink, J. Postel, “IPv6 Testing Address Allocation”, *RFC2471*,

December 1998.

[21] http://www.cs-ipv6.lancs.ac.uk/ipv6/6Bone/Whois/bycountry.html

[22] http://www.cs-ipv6.lancs.ac.uk/ftp-archive/6Bone/Maps/backbone.gif

[23] http://www.ipv6forum.com/

[24] http://www.etsi.org/press/etsi-IPv6.htm

[25] http://www.umts-forum.org

[26] http://www.3GPP.org

[27] http://www.wmmforum.com/

[28] http://www.wcai.com/

[29] http://www.cisco.com/warp/public/732/ipv6/

[30] Patrick Grossetete, "Cisco Systems Statement of Direction- IP version 6 ", Cisco IOS Product Management, Cisco Systems, June 2000

[31] http://www.tbit.dk/Products/SW/SWIP/index.htm

[32] http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-implementations.html

[33] http://www.3com.com/nsc/ipv6.html

[34] http://www.sun.com/solaris/ipv6/

[35] http://msdn.microsoft.com/downloads/sdks/platform/tpipv6/

[36] http://www.kame.net

[37] http://www.wide.ad.jp

[38] http://www.tahi.org

[39] RFC 2464 "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks"

[40] RFC 2467 "Transmission of IPv6 Packets over FDDI Networks"

[41] RFC 2492 "IPv6 over ATM Networks"

[42] RFC 2472 "IP Version 6 over PPP"

[43] RFC 2497 "Transmission of IPv6 Packets over ARCnet Networks"

[44] M. Sola, M. Ohta, Y. Muraoka and T. Maeno "The 8+8 IPv6 Addressing Architecture "

[45] http://www.dfn.de/service/ipv6/ipv6aggis.html

[46] P. Tsuchiya, "On the Assignment of Subnet Numbers", *RFC 1219*, April 1991.

[47] M. Blanchet, "A flexible method for an IPv6 addressing plan",

draft-ietf-ipngwg-ipaddressassign-01, Nov. 2001.