

摘要

下個世代的網際網路通訊協定第六版 IPv6 發展進度不如制定時間般快速，雖然某些商業化的網路產品已開始慢慢支援 IPv6 協定中的功能，卻始終無法完全取代目前的網際網路通訊協定第四版 IPv4，在逐步取代的過程中，必須考慮目前所有的網際網路使用者，所以 IPv4 及 IPv6 兩種網路的結合使用，是相當重要且必須開始實行的，在本計畫中，我們提出一結合網路位址轉換技術之階層式繞送方式以結合 IPv4/IPv6 網路，同時改善 tunneling 封裝效能之問題與 NAT-PT 消耗 IP 位址之問題。

關鍵詞：IPv4, IPv6, 網路位址轉換

I. 前言暨研究目的

下個世代的網際網路通訊協定第六版 IPv6 [1] 已制定了一段很長的時間，在 IPv6 協定中，除了表頭網路位址長度的增加以外，還有許多功能上的修改及進步，但是 IPv6 的發展進度卻不如制定時間般快速，雖然某些商業化的網路產品已開始慢慢支援 IPv6 協定中的功能，卻始終無法完全取代目前的網際網路通訊協定第四版 IPv4。在逐步取代的過程中，必須考慮目前所有的網際網路使用者，所以 IPv4 及 IPv6 兩種網路的結合使用，是相當重要且必須開始實行的。

在所有整合 IPv4 及 IPv6 網路的方案中，可區分為兩種類型：NAT-PT (Network Address Translator – Protocol Translator) [2-6] tunneling [7-11]，以這兩種技術為基礎進而發展出許多的整合方法。在 NAT-PT 的方法中，會進行 IPv4 及 IPv6 兩種表頭 (header) 的轉換，其中最主要的改變，是以長度為 16-byte 的 IPv6 位址取代長度為 4-byte 的 IPv4 位址。

在 tunneling 的方法中，是在資料的前端同時擁有兩種表頭，內部表頭用於實際接收與傳送端的位址辨識，外部表頭用於網路開

道器及路由器的繞送，例如發送端處與接收端皆位於 IPv6 網路中，則傳送封包通過 IPv4 網路時，外部表頭為 IPv4，內部表頭為 IPv6，最後由進入目的端 IPv6 網路的開道器 (gateway) 負責拆解外部表頭，將內層封包含內部表頭送到 IPv6 網路中，或由接收端自行拆解外部表頭。在 tunneling 的方法中，因封裝兩表頭，所以網路頻寬使用略受影響，因此在目前 IPv4 網路使用者頻寬需求愈來愈大的情況下，使用 tunneling 的方式容易增加網路負載。

在 NAT-PT 的方法中，NAT-PT 伺服器需要建置 IPv4 address pool 來分配 IPv4 位址給 IPv6 主機，做為 IPv6 主機暫時的 IPv4 位址；當 IPv6 網路日漸成長，NAT-PT 就需要愈來愈多的 IPv4 位址分配給 IPv6 主機，將造成 IPv4 位址更快速消耗的問題，因此，研究不需要使用 IPv4 address pool 結合 IPv4/IPv6 網路是相當重要的。

在本計畫中，我們提出一結合網路位址轉換技術之階層式繞送方式以結合 IPv4/IPv6 網路。本方法同時改善 tunneling 封裝效能之問題與 NAT-PT 消耗 IP 位址之問題。本報告在第 II 節將介紹過去學者所提出結合 IPv4/IPv6 網路之相關研究，第 III 節敘述我們所提出之解決方法，第 IV 節為結論，第 V 節為成果自評。

II. 文獻探討

在 IPv6 網路發展過程中，已經有許多連接 IPv4 及 IPv6 網路的方法被提出，其中包括許多重要的技術、方法及元件：

A. *Dual Stack host*

如圖 1 所示，Dual Stack host 指同時擁有 IPv4 及 IPv6 兩種不同的 protocol stack 的主機，提供 IPv4 與 IPv6 完整的支援性，能夠處理來自 IPv4/IPv6 兩種網路的封包的主機。有關於 Dual Stack host 在 IETF 所制定的 RFC 1933 [12] 文件中有更詳細的說明。在

目前網際網路環境下，同時連接 IPv4 及 IPv6 兩種網路的做法，以個別新增實體網路卡及安裝兩種 protocol stack 之軟體為主，但要求所有想連接 IPv4/IPv6 網路者皆新增網路卡及安裝新軟體是繁瑣較難實現的。

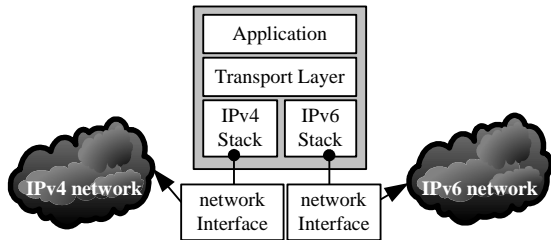


圖 1. Dual Stack host 主機架構

B. Bump-In-the-Stack

當主機位於 IPv6 的網路中且應用程式只支援 IPv4 時，主機可使用 BIS(Bump-In-the-Stack)方法與其它 IPv6 網路中的主機連線，如圖 2 所示，BIS [13] 的方法可讓只支援 IPv4 的應用程式能與 IPv6 網路中的主機連線；首先在 BIS 主機中，只支援 IPv4 的應用程式送出資料前，主機中的 extension name resolver 會先完成 DNS 查詢動作，取得目的端的 IPv6 位址，再由 address mapper 分配一個暫時的 IPv4 位址對映至目的端之 IPv6 位址，並將對映之關係儲存至 address mapper，最後在應用程式會依照對映關係傳送資料，由 translator 將原先之表頭轉換為 IPv6 表頭。

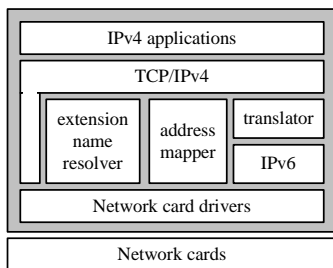


圖 2. BIS 主機架構圖。

C. 6to4 tunneling

6to4 tunneling 的做法 [14] 是將 IPv6 的

封包封裝在另一 IPv4 表頭之下，以 IPv4 表頭做繞送動作以通過 IPv4 的網路，最後由路由器拆解外部 IPv4 表頭、接收 IPv6 之封包，或由接收端本身完成拆解外部表頭及接收，發送端需為 Dual Stack host 並有 tunnel 封裝及傳送的能力。

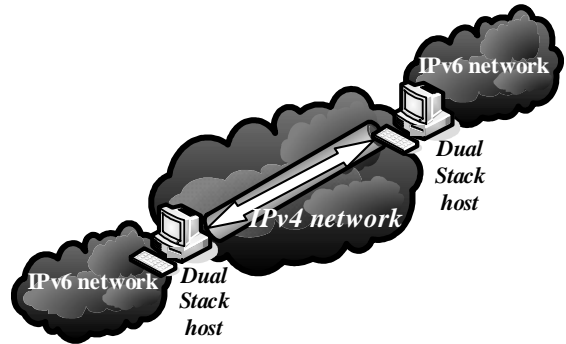


圖 3. 6to4 tunneling 架構圖。

D. Bi-Directional-NAT-PT

Network Address Translation Protocol Translation(NAT-PT)已被 IETF 制訂為標準文件，Bi-Directional-NAT-PT 為 NAT-PT 中 IPv4 主機連線至 IPv6 主機的解決方案；IPv4 主機位於 IPv4 網路下，IPv6 主機位於 IPv6 網路下，IPv4 主機靠 DNS-ALG(Domain Name Server Application Layer Gateway) [15] 主動連線至 IPv6 主機，如圖 4 所示。

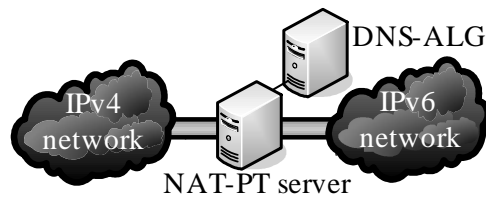


圖 4. NAT-PT 架構圖。

在 IPv4 主機傳送資料前，必須由 DNS 流程先取得 IPv6 目的端網路位址，IPv4 主機發出之 DNS query 以 type A record [16] 查詢只能傳回 IPv4 位址，必須由 DNS-ALG 轉為可查詢 IPv6 位址之 type A6 或 AAAA

record [17], 並轉送至 IPv6 網路之 DNS, 流程圖示於圖 5。

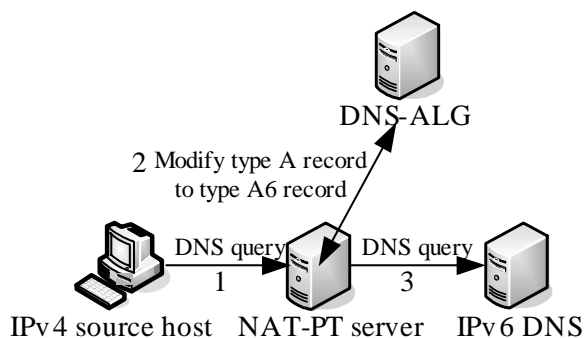


圖 5. Bi-Directional-NAT-PT 下 DNS query 傳送流程.

DNS response 從 IPv6 網路傳送回至 NAT-PT 伺服器, NAT-PT 收到 DNS response 後, 會從 NAT-PT 主機中的 IPv4 address pool 中選擇一個暫時的 IPv4 位址, 對映至 DNS response 傳回的目的端 IPv6 位址; DNS-ALG 會將 DNS response 訊息中的 type A6 或 AAAA record 改回可代表 IPv4 位址的 type A record, 並將目的端位址改為 NAT-PT 從 pool 中選定的 IPv4 位址, 最後 NAT-PT 將暫時之 IPv4 與目的端之 IPv6 位址之對映關係儲存在 NAT-PT, 流程圖示於圖 6。

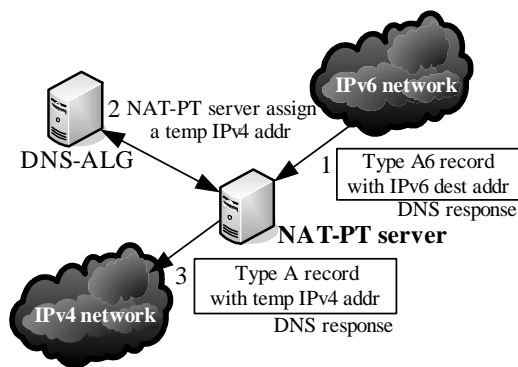


圖 6. DNS response 傳送流程.

如圖 7 所示, IPv4 發送端以 NAT-PT 選定之暫時 IPv4 位址為目的端, 傳送至 NAT-PT 伺服器, 再由 NAT-PT 伺服器依對映關係, 將目的端位址由選定的暫時 IPv4 位址改為真實的目的端 IPv6 位址, 並將 IPv4 表

頭轉換為 IPv6 表頭傳送至 IPv6 網路完成傳送, 回送流程 NAT-PT 位 IPv6 位址反向轉換。

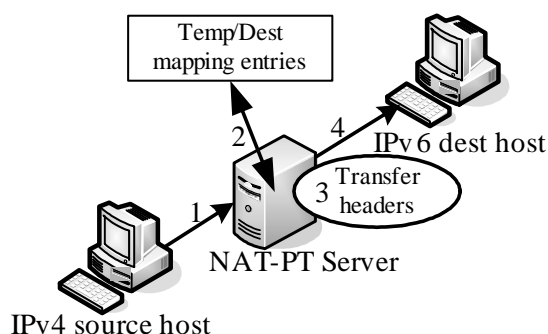


圖 7. Bi-Directional-NAT-PT 資料傳送流程.

III. 研究方法：階層式繞送方式

階層式繞送方式觀念來自傳統之 IPv4 網路觀念, 如圖 8 所示, 同一 subnet 之來源端與目的端, 其繞送是藉由 bridge 或 L2 switch 所完成。而不同 subnet 之來源端與目的端需藉由 router 或 L3 switch 所完成。在考慮 IPv4 與 IPv6 網路連接時, 需藉由 IPv4/IPv6 Gateway 之協助以繞送封包, 不同階層之繞送, 其主要繞送設備不同。

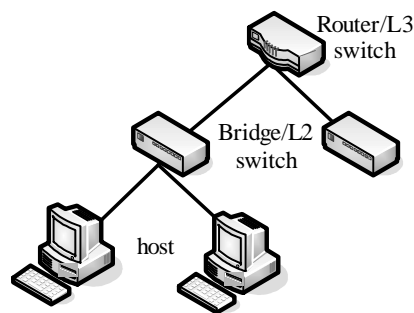


圖 8. IPv4 網路階層式架構圖.

在階層式的繞送觀念中, 我們發現到同一 subnet 之繞送, bridge/L2 switch 本身的設計搭配 ARP 通訊協定即可輕易達成。而在跨 subnet 之繞送上, 每一節點需藉由人工設定或 DHCP 通訊協定設定其預設閘道器 (default gateway), 封包在 Layer2 之表頭上標

示預設開道器之 Layer2 MAC 位址，bridge/L2 switch 將封包轉送至預設開道器，再轉送至目的地。

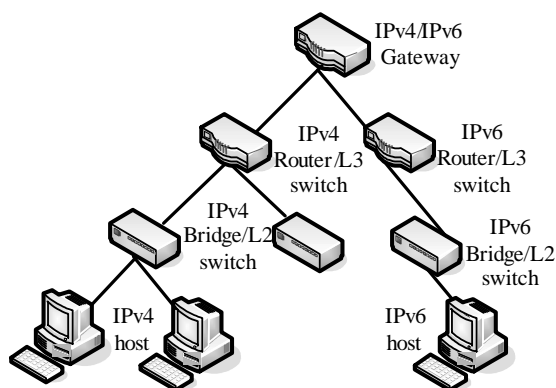


圖 9. 以階層式架構結合 IPv4/IPv6 網路示意圖。

如圖 9 所示，我們將跨網路的階層觀念應用在 IPv4 及 IPv6 網路的結合，以 IPv4/IPv6 Gateway 連接 IPv4 及 IPv6 網路，需要跨網路傳送的封包，將被轉送至 IPv4/IPv6 Gateway，由 IPv4/IPv6 Gateway 建立規則並轉換表頭傳送之，此一觀念必須解決的問題為 IPv4/IPv6 Gateway 之位址訊息如何呈現，使 IP 封包能正確的被繞送至 IPv4/IPv6 Gateway。依網際網路繞送之方式，IPv4 封包之目的地需為 IPv4/IPv6 Gateway 之位址，換句話說，當應用程式建立連線，若發現另一端位於 IPv6 網路內時，必須在 IPv4 封包之目的地欄位設定為 IPv4/IPv6 Gateway 之位址。因此，IPv4/IPv6 Gateway 之 IPv4 之位址必須藉由人工設定或 DHCP 設定之，就如同 default gateway 之設定一般。當利用 DNS 查詢到目的端位址為 IPv6 位址時，就將目的地之位址先設定為 IPv4/IPv6 Gateway 之位址，並遵循階層式繞送的方式：

- (1) 利用 ARP 通訊協定，將 L2 之目的地 MAC 位址設定成 default gateway 之 MAC 位址，封包因此由 bridge/L2 switch 繞送至 default gateway。
- (2) Default gateway 收到封包後，依目的地

(IPv4/IPv6 Gateway) IPv4 位址，繞送至 IPv4/IPv6 Gateway。

- (3) IPv4/IPv6 Gateway 收到封包後，依後述之方式轉換 IPv4 表頭與 IPv6 表頭，將封包繞送至 IPv6 主機。

衍生出來之問題為步驟(3)之 IPv4 表頭與 IPv6 表頭轉換之目的地 IPv6 之位址如何表示？由於 IPv4 與 IPv6 兩版本之 IP 位址位元數與格式不同，所以在 IPv4/IPv6 Gateway 中需有適合之機制來做對應。以 Tunneling 方式為主之方法，將 IPv4 表頭與 IPv6 表頭同時附在傳送之封包前，所以 IPv4/IPv6 Gateway 負責做對應的轉換工作，其主要的缺點是封裝效率較差。以 NAT-PT 為主的方法是在 IPv4/IPv6 Gateway 中產生臨時對應表，將造成 IP 位址大量消耗。

在 NAT-PT 架構中，IPv4/IPv6 Gateway 必須建置 IPv4 address pool 以存放 IPv4 位址，才能完成 IPv4 位址的分配，並建立對映關係表至 IPv6 目的端位址，隨著 IPv6 網路的成長，將會有愈來愈多的 IPv4 位址必須分配給 IPv6 做為暫時性的位址，會有 IPv4 位址不足的問題發生；而 IPv4 發送端送出 DNS query 取得暫時 IPv4 目的端位址，且由 NAT-PT 建立 IPv4 暫時位址與 IPv6 目的端位址對映關係，必須在傳送資料前完成，無法動態建立。

為解決封裝效率與 IP 位址消耗之可能問題，我們採用 IP option 之方式來加註 IPv6 位址於 IPv4 表頭中。

IPv4/IPv6 Gateway 收到封包後，將先檢查表頭之格式，是否包含 option 欄位並為一個合法的 IPv6 網路位址，若檢查正確無誤，如圖 10 所示，IPv4/IPv6 Gateway 依轉換規則 [5] 完成轉換程序，將建立新的 IPv6 表頭取代原本的 IPv4 表頭；此一 NAT 之動作應用於所有 IPv4 主機上，所以為避免來自其它 IPv4 主機的來源埠相同造成無法辨識，IPv4/IPv6 Gateway 重新選擇來源埠，如圖 11 所示，建立對映關係儲存之；IPv6 網路回送

IPv4 網路的資料，IPv4/IPv6 Gateway 將依既有對映關係表轉換資料。

IPv6 欄位	IPv6 欄位填入值
Version	6
Traffic Class	同 IPv4 表頭 TOS 欄位值
Flow Label	0
Payload Length	IPv4 總長度欄位減 IPv4 表頭長度
Next Header	同 IPv4 表頭 Next Header 欄位值
Hop Limit	同 IPv4 表頭 TTL 欄位值
Source Address	IPv4/IPv6 Gateway IPv6 address
Destination Address	Destination IPv6 Address

圖 10. IPv4 表頭轉換為 IPv6 表頭(不切割)

Source port within IPv4 Network	Destination port within IPv4 network	IPv4 address of IPv4 host	Source port within IPv6 network
---------------------------------	--------------------------------------	---------------------------	---------------------------------

圖 11. IPv4/IPv6 Gateway 之對映關係格式。

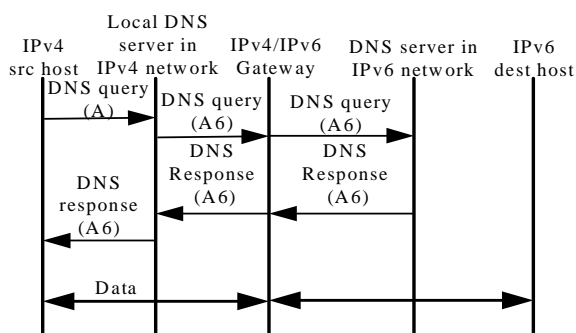


圖 12. IPv4/IPv6 Gateway 整合 DNS-ALG 流程圖

如圖 12 所示，DNS-ALG 流程整合至我們的方法中，當使用者送出 DNS query 時，IPv4 DNS server 發現所查詢之主機位於 IPv6

網路內，因此利用上述方法，透過 IPv4/IPv6 Gateway 傳送 DNS query 至 IPv6 網路之 DNS server 上。而在 IPv6 網路上之 DNS server 回應之 DNS query reply 其 IPv6 主機位址 type 為 A6/AAAA record，而回送之 DNS reply 訊息也可循上述步驟回應，如此發送端也可接受使用者輸入 Domain Name 之情形。

IV. 結論

結合網路位址轉換技術之階層式方式整合 IPv4 及 IPv6 網路，可架構於現行的網際網路之上，以 IPv4/IPv6 Gateway 連接兩種網路，使用者及使用者環境無需做過大的變動，IPv4 及 IPv6 網路的使用者只需擁有單一的 protocol stack，並且可以避免 IPv4 位址快速消耗的問題。

我們提出之解決方法，在網路環境不做大改變的前提下，用階層式的方法連接 IPv4 及 IPv6 網路，將 IPv4/IPv6 Gateway 架構於現有網路之上，非常適合整合第四版及第六版網際網路通訊協定。

V. 計畫成果自評

本計畫研究內容“結合網路位址轉換技術之階層式繞送方式結合 IPv4/IPv6 網路” [22] 與原計畫“以網路位址轉換技術整合 IPv4 與 IPv6”相符，並達成預期目標情況

本計畫研究成果極具學術與應用價值，已撰寫成論文投稿 [18-23]，並有數篇論文已被接受發表 [18, 20-22]。

參考文獻

1. S. Deering, R. Hinden, “Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification,” *IETF RFC 1883*, December 1995.
2. P. Srisuresh, K. Egevang, “Traditional IP Network Address Translator (Traditional NAT),” *IETF RFC 1631*, January 2001.
3. R. Droms, “Dynamic Host Configuration Protocol” *IETF RFC 2131*, March 1997.

4. G. Tsirtsis, P. Srisuresh, "Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)," *IETF RFC 2766*, February 2000.
5. Xiaoyu Zhao and Yan Ma, "Linux based NAT-PT gateway implementation" in *Proc. International Conference on Info-teck and Info-net*, Beijing, China, 29 Oct.- 1 Nov. 2001, vol. 5, pp. 258-263.
6. Joo-Chul Lee, Myung-Ki Shin and Hyong-Jun Kim, "Implementing NAT-PT/SIIT, ALGs and consideration to the mobility support in NAT-PT environment" in *Proc. The 6th International Conference on Advanced Communication Technology*, Phoenix Park, Republic of Korea, Feb. 2004, vol. 1, pp. 433-439.
7. C. Perkins, "IP Encapsulation within IP," *Internet RFC 2003*, Oct. 1996.
8. W. Simpson, "IP in IP Tunneling," *Internet RFC 1853*, Oct. 1995.
9. Eun-Young Park, Jae-Hwoon Lee, Byoung-Gu Choe, "An IPv4-to-IPv6 dual stack transition mechanism supporting transparent connections between IPv6 hosts and IPv4 hosts in integrated IPv6/IPv4 network" in *Proc. International Conference on Communication*, Paris, France, Jun. 2004, Vol. 2, pp. 1024-1027.
10. Wang Kai, A.-K Yeo, A.L. Ananda, "DTTS: a transparent and scalable solution for IPv4 to IPv6 transition" in *Proc. Tenth International Conference on Computer Communication and Networks*, Scottsdale, USA, Oct. 2001, pp. 248-253.
11. M. Simons-Nikolova, X. Bodlaender-Pu, "PF 41-packet forwarding for seamless use of IPv6 device behind IPv4-only gateways" *IEEE Transactions on Consumer Electronics.*, Vol. 51, pp. 76-79, Feb. 2005.
12. R. Gilligan, E. Nordmark, "Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers," *IETF RFC 2893*, Aug. 2000.
13. K. Tsuchiya, H. Higuchi, Y. Atarashi, "Dual Stack Hosts using the 'Bump-In-the-Stack' Technique (BIS)," *IETF RFC 2767*, Feb. 2000.
14. M. Samad, F. Yusuf, H. Hashim, Md. Mahfudz and Md. Zan, "Deploying Internet Protocol Version 6 (IPv6) Over Internet Protocol Version 4 (IPv4) Tunnel" in *Proc. Student Conference on Research and Development*, Shah Alam, Malaysia, July, 2002, pp. 309-312.
15. Yong Geun Hong, Myung Ki Shin and Hyoung Jun Kim, "Application translation for IPv6 at NAT-PT," in *Proc. The 9th Asia-Pacific Conference on Communications*, Penang, Malaysia, Sep. 2003, vol. 1, pp. 203-207.
16. P. Mockapetric, "DOMAIN NAMES - IMPLEMENTATION AND SPECIFICATION" *Internet RFC 1035*, Nov. 1987.
17. M. Crawford, C. Huitema, "DNS Extensions to Support IPv6 Address Aggregation and Renumbering" *Internet RFC 2874*, July 2000.
18. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Kuo-Chuan Su, "Portable IP over Wireless LAN Environments," *Chung Hua Journal of Science and Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 97-103, January 2005. NSC 93-2213-E-216-025- and CHU 93-2213-E-216-025
19. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Kuo-Chuan Su, "IP Mobility over Wireless LAN Environments," submitted to *Computer Communications*, submitted Oct.

2004.

20. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Chih-Lin Tseng, "Mobile IP with Mobile Servers," *Proceedings of National Symposium on Telecommunications, NST2004*, Keelung, Taiwan, Dec. 2004, pp 594-599. NSC 93-2213-E-216-025-
21. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Kuo-Chuan Su, "Portable IP," *Proceedings of National Symposium on Telecommunications, NST2004*, Keelung, Taiwan, Dec. 2004, pp 734-739. NSC 93-2213-E-216-025-
22. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Pang-Shih Liu, "以階層式繞送方式結合 IPv4/IPv6 網路與其實作," *2005 數位生活與網際網路科技研討會論文集*, Section 4C, Tainan, Taiwan, June 2005. NSC 93-2213-E-216-025- and CHU 93-2213-E-216-025
23. Huai-Jen Liu, Chih-Hsun Chou, and Chih-Hao Wang, "Transparent IP Mobility Management and Its Implementation," submitted to the 63rd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), submitted Sept. 2005.