

SIP 網路電話在 IPv4 與 IPv6 之互通設計

曾保彰 廖婉君

國立台灣大學計算機及資訊網路中心

bjseng@ntu.edu.tw, wjliao@ntu.edu.tw

摘要

電信國家型計畫在三年前開始佈建以 SIP 為基礎的 VoIP 平台，目前全國所有的大專院校及區縣網師生皆可使用 SIP 網路電話在 IPv4 網路上作互相連繫，而今年開始將作 SIP 為基礎的 VoIP 往 IPv6 發展，為解決在二個不同網路之間 SIP 網路電話互通，本文將介紹透過 IPv6-to-IPv4 SIP 轉換器 (translator) 來達到互通的目的地。

關鍵詞： SIP, IPv6, VoIP, translator

1. 前言

我國政府以高速網路與網路普及程度作為國家發展進步的重要指標之一，在政府的推動下，各動網路應用如雨後春筍般出現，而其中 VoIP (Voice over IP) 網路電話就是目前炙手可熱的應用之一。有鑑於此，電信國家型計畫在三年前開始也開始進行 SIP/ENUM trial，讓全國所有的大專院校及區縣網師生皆可使用 SIP (Session Initiation Protocol) 網路電話在 IPv4 的環境下作互相連繫。SIP 與其他的 VoIP 的協定比起來擁有容易開發、內容簡潔及擴充性高、相容性佳的優點。

以 SIP 為基礎的 VoIPv4 平台，時常要面對的最大問題是 IP 位置不足，SIP 網路電話互通上是屬於點對點 (peer-to-peer) 型的應用程式，雖然有很多方式可以讓 SIP 網路電話在 NAT (Network Address Translation) 後的私有 (private) IP 上使用，但也增加 VoIP 成本及管理上的複雜度。

以 SIP 為基礎的 VoIPv6 平台是一個絕佳的選擇，網路設備商如 Cisco, Juniper 所製作的路由器，支援 IPv4 與 IPv6 兩個通訊協定可在相同的路由器上，而作業系統廠商如微軟、Linux 也內建 IPv6，以 Window XP 為例，使用者可輕意透過 6to4 自動通道的方式取得 IPv6 的位置。IPv6 之 SIP 網路電話 IP 位置不足的問題解決後，另一個問題是 IPv6 軟硬體 (如 SIP proxy、user agent 及 gateway) 的普及不如 IPv4 的成熟，透過本文的原理我們實作了 IPv6-to-IPv4 SIP 轉換器 (translator)，透過這個 translator 可以讓二個不同網路的 SIP 網路電話互通，再加上 IPv4 的 PSTN (public switched telephone network) gateway，可以輕易讓 IPv6 之 SIP 網路電話與公眾電話網路互通。

2. 相關環境介紹

有很多標準皆支援 VoIP，如 ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication) 所製定的 H.323 [1]、IETF (Internet Engineering Task Force) 所定義的 SIP [2] 及 MGCP (Media Gateway Control Protocol) [3]。近年來 SIP 漸成為 VoIP 信號 (signaling) 的主流，而它是一種基於文字模式為基礎的協定，與 H.323 使用編碼方式比起來其靈活性與擴充性的表現較好。

IPv4/IPv6 位址協定轉換機制目前比較常用有以下三種：網路位址與通訊協定之轉換 NAT-PT (Network Address Translation-Protocol Translation) [4]、IPv6-to-IPv4 Transport 轉換機制 [5]、Bump-In-the-Stack (BIS) 機制 [6]。以這些轉換機制為基礎，有設計出 IPv6 SIP Application Level Gateway (ALG) [7]，而我們所設計的 IPv6-to-IPv4 SIP 轉換器會處理 IPv6 與 IPv4 之 protocol translation 及類似 ALG 會處理封包的內容。其相關的比較如表 1，各種的轉換機制我們依它工作的特性分三個項目來討論，分是是否處理封包內容、轉換機制複雜度及轉換是否受限制，從表 1 可知 IPv6-to-IPv4 SIP 轉換器在轉換機制上因 IPv4 與 IPv6 之間轉換位址需透過 SIP signaling 才能得知，所以複雜度比其他轉換機制高。

表 1 各種 translator 的比較

function Translator	是否處理封包內容	轉換機制複雜度	轉換是否受限制(限制原因)
NAT-PT ALG	Yes	Easy	Yes (NAT)
IPv6-to-IPv4 Transport	No	Easy	No
BIS	No	Easy	No
IPv6-to-IPv4 SIP	Yes	Medium	No

SIP 網路電話運作細分二大部份，分別是信號 (signaling) 的封包及語音 (voice) 的封包，信號 (signaling) 的封包是透過 SIP/SDP (Session Description Protocol) 來完成，語音 (voice) 的封包是透過即時傳輸協定 (RTP: Real-time Transport Protocol)，即時傳輸控制協定 (RTCP: Real-time Transport Control Protocol)。在 SIP/SDP 的某些欄位

會含有 IP 及 port 的訊息，所以 SIP/SDP 從 IPv4 傳輸到 IPv6 或由 IPv6 傳輸到 IPv4 時，通過轉換器 (Translator) 時需在這些欄位作修改，才能達到 SIP 網路電話在二個不同網路間互通的目的地，即時傳輸協定/ 即時傳輸控制協定內容則與 IP 位址/Port 無關，只要正確的轉換至正確的 IP 位址/Port 即可。

SIP 的元件及功能相當廣泛，元件部分如：用戶代理 UA (User Agent, 即 SIP 話機或軟體)、Proxy Server (代理伺服器)、Redirect Server (重定位伺服器)、Register Server (受理登錄及帳號相關功能)、Voice Mail Server (語音信箱) 等等。IPv6-to-IPv4 SIP 轉換器應用所需要的所有元件，並詳述其方式及細節，實超出本文的範圍，SIP 網路電話在 IPv4 與 IPv6 之互通設計本文將針對 UA-Translator-UA 及 UA-Proxy Server-Translator-Proxy Server-UA 比較常見的型式，對其原理及細節作描述，最後在對轉換器的效能作測試，並預測一台轉換器可支援的使用者人數。

3. UA-Translator-UA 之互通設計

圖 1 顯示 UA-Translator-UA 之互通的測試環境，圖中轉換器是使用微軟 Windows 2003，而網卡設定為雙重架構 (Dual Stack)，4001 代表是 IPv4 的 UA，6001 代表是 IPv6 的 UA，一個最基本的點對點的 SIP 訊息呼叫流程，是由僅有兩個 SIP 用戶代理 (UA) 之間進行的呼叫過程，首先由 IPv4 的 4001 送出一個 INVITE 請求，在 IPv4 的網路環境下另一個用戶代理是轉換器，隨後轉換器回應 100 Trying 及 180 Ringing，都是屬於暫時性的 1xx 中間回應過程，直到轉換器回應一個 200 OK 的最終回應訊息，才完成了一個呼叫的 Transaction。接著就是由 RTP/RTCP 接手，進行雙方串流媒體通道的建立。當雙方決定要掛斷電話時，假設由 4001 主動掛斷電話，則此時會送出一個 BYE 請求訊息，隨後轉換器回應 200 OK 的最終回應訊息，再完成一個結束通話的 Transaction，同理在 IPv6 的網路環境下，轉換器與 6001 複製了同一對話規則之 SIP 訊息，三者之間的 SIP 訊息如圖 2。

圖 2 中是二個不同網路之 UA 完整點對點的 SIP 訊息呼叫流程，轉換器大致上有二部份工作，一是不同網路的 SIP 訊息置換工作，另一為 RTP/RTCP 轉送。二個不同網路之 UA 點對點的 SIP 訊息呼叫，轉換器必需知道二個 UA 的 IP 位址及 port 值，而轉換時有一定的規則，我們僅對其中之 SIP 訊息 1, 2, 3 及 4 作詳述介紹。

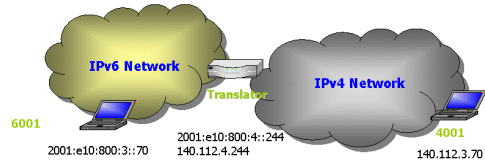


圖 1 UA-Translator-UA 之測試架構

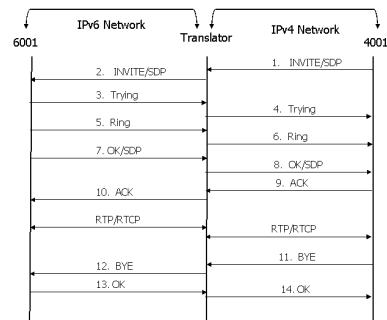


圖 2 UA-Translator-UA 之 SIP 訊息

圖 3 為 SIP 訊息 1 及 3 的內容，訊息 1 為 IPv4 的 INVITE，訊息 3 為 IPv4 為 Trying。圖 4 為 SIP 訊息 2 及 4 的內容，訊息 2 為 IPv6 的 INVITE，訊息 3 為 IPv6 的 Trying。其轉換的過程如下：原轉換器 IPv4 的 IP 位址改為 6001 UA 的 IPv6 的 IP 位址，原 4001 UA 之 IPv4 的 IP 位址改為轉換器 IPv6 的 IP 位址，而 SDP 的部份會含有網路類別及 Owner/Creator 的 IP 位址，全置換為另一個網路類別及轉換器的另一個網路之 IP 位址，SDP 置換時 IPv6 的 IP 位址則無需加[]。最後 Content-Length 是表示 SIP 訊息主體部份的長度，即 SDP 的資料長度，原 IPv4 (或 IPv6) 的 IP 位址置換為 IPv6 (或 IPv4) 的 IP 位址，所以長度會隨之改變。圖 3 需置換的部份在圖 4 用藍色字體表示。

```

1.
INVITE sip:6001@140.112.4.244 SIP/2.0
Call-ID:51990503-9D81-1457-92B0-A83E2EA55C5E@
Contact:sip:4001@[2001:e10:800:4::244] 5060
Content-Length:266
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:sip:4001@[2001:e10:800:4::244] 5060;tag=c2lwOjA5N
DQwNLUJmTFAMTQwLEsM4dLjwOJmNjA
Max-Forwards:70
To:sip:6001@[2001:e10:800:4::244]
Via:SIP/2.0/UDP
140.112.3.70;5060;branch=z9hG4kK10f68ea62d9d10
0a98e29070a4ffe8b43

v=0
o=4001 468848421 468848421 IN IP4 140.112.3.70
s=Session SDP
c=IN IP4 140.112.3.70
t=0 0
m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:8 PCMA/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:4 G729/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:18 G729/8000
a=ptime:20

3.
SIP/2.0 100 Trying
Call-ID:51990503-9D81-1457-92B0-A83E2EA55C5E@
Content-Length:0
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:sip:4001@[140.112.3.70;5060;tag=c2lwOjA5N
DQwNLUJmTFAMTQwLEsM4dLjwOJmNjA
To:sip:6001@[140.112.4.244]
Via:SIP/2.0/UDP
140.112.3.70;5060;branch=z9hG4kK10f68ea62d9d10
0a98e29070a4ffe8b43

```

圖 3 SIP 訊息 1 及 3 的內容

```

2.
INVITE sip:6001@[2001:e10:800:3::70] SIP/2.0
Call-ID:51990503-9D81-1457-92B0-A83E2EA55C5E@
Contact:sip:4001@[2001:e10:800:4::244] 5060
Content-Length:263
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:sip:4001@[2001:e10:800:4::244] 5060;tag=c2lwOjA5N
DQwNLUJmTFAMTQwLEsM4dLjwOJmNjA
Max-Forwards:70
To:sip:6001@[2001:e10:800:3::70]
Via:SIP/2.0/UDP
[2001:e10:800:4::244] 5060;branch=z9hG4kK10f68ea62d9d10
0a98e29070a4ffe8b43

v=0
o=4001 468848421 468848421 IN IP6 2001:e10:800:4::244
s=Session SDP
c=IN IP6 2001:e10:800:4::244
t=0 0
m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:8 PCMA/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:4 G729/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:18 G729/8000
a=ptime:20

4.
SIP/2.0 100 Trying
Call-ID:51990503-9D81-1457-92B0-A83E2EA55C5E@
Content-Length:0
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:sip:4001@[2001:e10:800:4::244] 5060;tag=c2lwOjA5N
DQwNLUJmTFAMTQwLEsM4dLjwOJmNjA
To:sip:6001@[2001:e10:800:3::70]
Via:SIP/2.0/UDP
[2001:e10:800:4::244] 5060;branch=z9hG4kK10f68ea62d9d10
10a98e29070a4ffe8b43

```

圖 4 SIP 訊息 2 及 4 的內容

4. UA-Proxy Server-Translator-Proxy Server-UA 之互通設計

圖 5 顯示 UA-Proxy Server-Translator-Proxy Server-UA 之互通的測試環境，圖中轉換器一樣是使用微軟 Windows 2003，而網卡一樣設定為雙重架構 (Dual Stack)，IPv4 SIP Proxy 的 IP 位址為 140.112.4.161，IPv6 SIP Proxy 的 IP 位址為 2001:e10:800:4::a7，在我們的測試環境假設 4xxx 是 IPv4 環境的使用號碼，6xxx 是 IPv6 環境的使用號碼。圖 5 電話號碼 4001 代表是 IPv4 (IP 為 140.112.3.70) 的 UA，另一號碼 6001 代表是 IPv6 (IP 位址為 2001:e10:800:3::70) 的 UA。

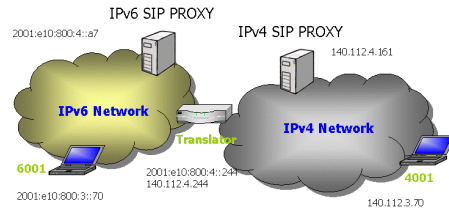


圖 5 UA-Proxy Server-Translator-Proxy Server-UA 之測試架構

SIP 的會談架構中除了上一節所提的點對點呼叫模式外，也支援主從式 (Server-Client) 的代理呼叫架構。因為這個架構每個 UA 在使用 SIP 網路電話時，只要記得 SIP Proxy 的位置並向它註冊即可，其他 UA 亦同，這樣在 VoIP 互通上不用記錄其他 UA 的位置，會比點對點的架構容易使用，而各校也是採用這個架構為主。對 IPv4 SIP Proxy 而言 6001 號碼的 IPv4 位址是轉換器，同樣 4001 號碼對 IPv6 SIP Proxy 註冊之位置也是轉換器。

最基本兩個 SIP 用戶代理 (UA) 的完整代理呼叫流程如圖 6，轉換器只要紀錄二個不同網路 SIP Proxy 位置，並針對 SIP 訊息作轉換，轉換後也只要傳送到 SIP Proxy 即可，其過程與上節所提類似，首先由 IPv4 的 4001 送出一個 INVITE 請求，在 IPv4 的 SIP Proxy 回應 100 Trying 及 180 Ringing..，唯一不同的是 IPv6 SIP Proxy 回應 100 Trying 時，轉換器不作轉換，一直到收到 ACK 時即完成了一個呼叫的 Transaction。接著就是由 RTP/RTCP 接手，進行雙方串流媒體通道的建立。當雙方決定要掛斷電話時，假設由 4001 主動掛斷電話，則此時會送出一個 BYE 請求訊息，如圖 6 直到 4001 收到 200 OK 的最終回應訊息，即再完成一個結束通話的 Transaction。

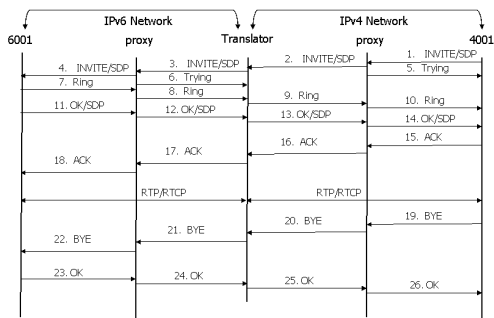


圖 6 UA-Proxy Server-Translator-Proxy Server-UA 之 SIP 訊息

從圖 6 中可知轉換器一樣有二部份工作，一是不同網路的 SIP 訊息置換工作，另一為 RTP/RTCP 轉送。轉換時的規則與點對點的 SIP 訊息呼叫有不同之處，轉換器不需知道二個 UA 的 IP 位址，而是透過 SDP 得知二個 UA 的 IP 及 port，如圖 7 及圖 8 我們僅對其中之 SIP 訊息 2 及 3 作詳述介紹。

圖 7 為 SIP 訊息為 IPv4 的 INVITE。圖 8 為 SIP 為 IPv6 的 INVITE。轉換的過程如下：原轉換器 IPv4 的 IP 位址及 IPv4 SIP Proxy 的 IP 位址皆改為 IPv6 SIP Proxy 的 IP 位址，但 Contact 及 Via 二個欄位則是改為轉換器 IPv6 的 IP 位址，而 SDP 的部份會含有網路類別及 Owner/Creator 的 IP 位址，全置換為另一個網路類別及轉換器的另一個網路 IP 位址，SDP 置換時 IPv6 的 IP 位址則無需加[]。最後 Content-Length 是表示 SIP 訊息主體部份的長度，即 SDP 的資料長度，原 IPv4(或 IPv6)的 IP 位址置換為 IPv6 (或 IPv4) 的 IP 位址，所以長度亦會隨之改變。圖 7 需要置換的部份在圖 8 用藍色字體表示。

```

2.
INVITE sip:6001@140.112.4.244:5060 SIP/2.0
Allow: INVITE,ACK,OPTIONS,BYE,CANCEL,REGISTER,REFER,NOTIFY
Call-ID:44ac918f-3 @2001:e10:800:4:a71:5060
Contact:4001 <sip:4001@140.112.4.161>
Content-Length:266
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:4001 <sip:4001@140.112.4.161>;tag=44ac918f-4
Max-Forwards:70
To:<sip:6001@140.112.4.244>
Via:SIP/2.0/UDP
140.112.4.161:5060;branch=z9hG4k90b61dc197edcca1009b39d14d728d83714140.112.4.705060

v=0
o=4001 638826765 638826765 IN IP4 140.112.3.70
s=Session SDP
c=IN IP4 140.112.3.70
t=0 0
m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:8 PCMA/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:4 G723/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:18 G729/8000
a=ptime:20

```

圖 7 SIP 訊息 2 的內容

```

3.
INVITE sip:6001@[2001:e10:800:4:a7] SIP/2.0
Allow: INVITE,ACK,OPTIONS,BYE,CANCEL,REGISTER,REFER,NOTIFY
Call-ID:44ac918f-3 @2001:e10:800:4:a71:5060
Contact:4001 <sip:4001@[2001:e10:800:4:a7]>
Content-Length:280
Content-Type:application/sdp
CSeq:1 INVITE
From:4001 <sip:4001@[2001:e10:800:4:a7]>;tag=44ac918f-4
Max-Forwards:70
To:<sip:6001@[2001:e10:800:4:a7]>
Via:SIP/2.0/UDP
[2001:e10:800:4:244]:5060;branch=z9hG4k90b61dc197edcca1009b39d14d728d837142001e10:800:4:244:5060

v=0
o=4001 638826765 638826765 IN IP6 2001:e10:800:4:244
s=Session SDP
c=IN IP6 2001:e10:800:4:244
t=0 0
m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:8 PCMA/8000
a=ptime:20
a=rtpmap:4 G723/8000
a=rtpmap:18 G729/8000
a=ptime:20

```

圖 8 SIP 訊息 3 的內容

轉換器在代理呼叫過程中，透過 SDP 得知二個 UA 的不同網路的 IP 及 Port，當很多使用者利用轉換器作 RTP/RTCP 轉送時，就必需建立對應表 (Mapping List)，而對應表的對應關係會隨收到之 SIP 訊息作修改，轉換器程式設計的流程詳如圖 9 流程圖。

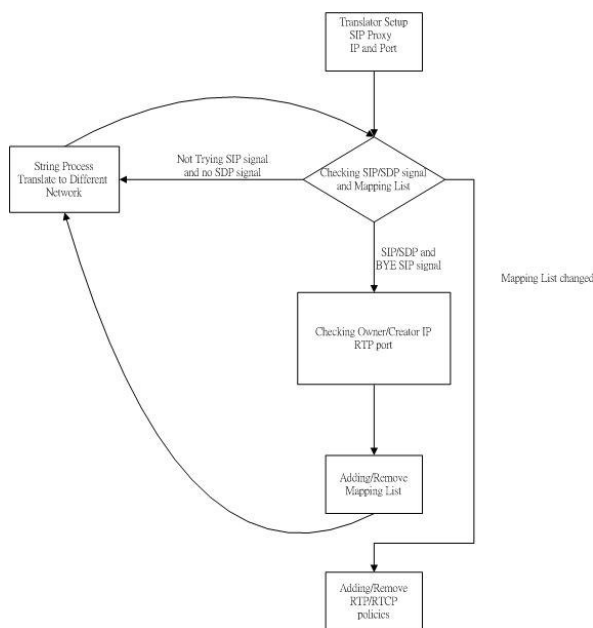


圖 9 程式流程圖

5. 轉換器(Translator)效能測試

轉換器的效能測試環境，UA 端是使用微軟 Windows XP，而該電腦網卡設定為雙重架構 (Dual Stack)，效能測試是針對轉換器的 RTP 處理能力作測試，封包格式是模擬標準的脈衝編碼調製 (PCM) 所製定的 G.711，有效負載大小是設為每 20 毫秒 160 位元，而這個效能測試主要是針對轉換器的封包轉換到不同的網路所要花的時間 (delay)，因一個語音封包在 VoIP 運作時延遲 (delay) 的原因有很多，主要有壓縮數位化的語音信號的演算法延遲時間，封包

間隔時間，網路傳輸時間..等，本次測試的環境可以忽略壓縮數位化的語音信號的演算法延遲時間，網路傳輸時間平均約是 1 毫秒，而模擬程式會同時產生多人的 RTP 封包，程式對其中一個使用者紀錄它的封包寄出的時間及收到的時間，每個 User 的封包數共 6000 個，再將每次的延遲總和加起來，最後算出平均值，轉換器的效能測試結果如圖 10。

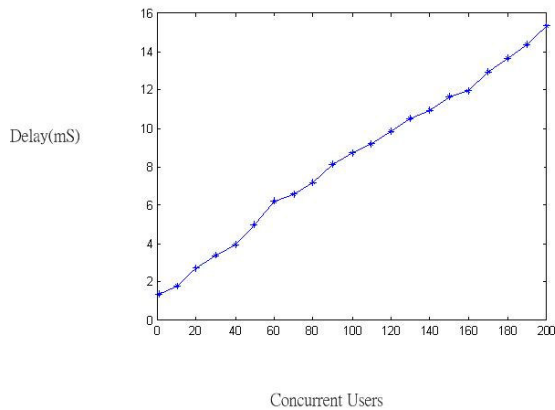


圖 10 效能測試圖

從圖 10 中可以看出一個 User 的延遲約 1.4 毫秒，扣除網路的 round-trip time 約 1 毫秒，轉換器的一個 User 時轉換到不同網路的時間約 0.4 毫秒，可是隨著 Concurrent Users 人數增加，延遲時間亦增加，同時有 200 個 Concurrent Users 時延遲時間高達 15ms，在加上 VoIP 在其他地方的延遲，可能會影響到語音的品質，所以轉換器在實際運作時也要考量到連線人數，當人數超出某一個上限，需作動態的調整到另一個轉換器。

結論

我們設計轉換器是為解決在二個不同網路之間 SIP 網路電話，比一般 IPv4/IPv6 位址協定轉換機制複雜，希望這個設計能讓使用 SIP 的 VoIPv6 能與 VoIPv4 作結合，透過代理呼叫架構使得轉換器運作可以自動完成，目前的版本只能支援 UA 及 Proxy 是設定 IP 位址的方式，將來再升級支援 DNS 的版本。轉換器所服務人數是有上限，多個轉換器的動態負載平衡也是將來要考慮的問題。

在台大很多區域已啟用 IPv6，如一直使用 Private IP 位址的無線網路，使用 IPv6 SIP 網路電話的品質與 IPv4 一樣好，可是 IPv4 除了要解決 NAT 的問題外，另因資通安全的緣故，個人防火牆也使得 IPv4 SIP 網路電話運作更困難，而這些問題對剛起步的 IPv6 較小。

最後我們使用 SIP 元件有相容性的問題，目前的轉換器適用在台大測試中的版本(SIP version 2)，將來如採購其他的公司設計或有新的 SIP 版本，在置換 SIP 訊息時可能要作調整。

參考文獻

- [1] ITU-T. Rec. H323. Packet-based multimedia communication systems. February 1998.
- [2] 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.
- [3] F. Andreassen, B. Foster. Media Gateway Control Protocol (MGCP) Version 1.0. IETF RFC 3435, January 2003.
- [4] G. Tsirtsis and P. Srisuresh, Network Address Translation-Protocol Translation (NAT-PT), IETF RFC 2766, February 2000.
- [5] J. Hagino and K. Yamamoto, An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator, IETF RFC 3142, June 2001
- [6] K. Tsuchiya, H. Higuchi and Y. Atarashi, Dual stack hosts using Bump-in-the-Stack(BIS) techniques, IETF RFC 2767, February 2000.
- [7] W. E. Chen, Q. Wu, Y. B. Lin and Y. C. Lo, Design of SIP Application Level Gateway for IPv6 Translation, Journal of Internet Technology Vol.5, No.2, pp.147-154, 2004.