

國立交通大學

資訊工程系

碩士論文

以 SIP 為基礎之 IPv4/IPv6 網路電話轉換器之研發

Design and Implementation of SIPv6 Translator



研究生：翁瑞鴻

指導教授：林一平 教授

陳懷恩 博士

中華民國九十四年六月

以 SIP 為基礎之 IPv4/IPv6 網路電話轉換器之研發

Design and Implementation of SIPv6 Translator

研 究 生：翁瑞鴻

Student : Jui-Hung Weng

指 導 教 授：林一平 教授

Advisor : Prof. Yi-Bing Lin

陳懷恩 博士

Dr. Whai-En Chen

國 立 交 通 大 學

資 訊 工 程 系



Submitted to Department of Computer Science and Information Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Computer Science and Information Engineering

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

以 SIP 為基礎之 IPv6/IPv4 網路電話轉換器之研發

學生：翁瑞鴻

指導教授：林一平 教授

陳懷恩 教授

國立交通大學資訊工程學系（研究所）碩士班

摘 要

隨著 SIP (Session Initiation Protocol) 網路電話的普及，每個網路電話裝置都至少需要一個 IP (Internet Protocol) 位址，IPv4 (IP version 4) 將不足以分配給每一台網路電話。雖然 IPv6 (IP version 6) 提供大量的 IP 位址來解決 IPv4 位址不足的問題，但在 IPv6 佈建初期大多數的 SIP 網路電話仍只支援 IPv4。本論文提出 SIPv6 Translator 系統之設計與實作，提供一個 SIP 協定的轉換機制，讓 IPv6 網路電話使用者與 IPv4 網路電話使用者可以互相通訊。SIPv6 Translator 系統以 NAT-PT (Network Address Translation and Protocol Translation) 機制為基礎，加入了 SIP-ALG (Application Level Gateway) 轉換機制，針對 SIP 訊息內的 IP 資訊作轉換，讓 SIP 訊息可以在 IPv6 與 IPv4 網路 SIP 設備之間正確的傳遞。本論文針對 SIPv6 Translator 系統作了互通性測試與效能評估，得知本系統對於通話建立所造成的影響非常小，幾乎可以忽略。此成果對於 IPv6 與 VoIP (Voice over IP) 的推廣均有相當大的助益。

關鍵字：IPv4、IPv6、VoIP、SIP、NAT-PT、SIP-ALG 以及 Translation

Design and Implementation of SIPv6 Translator

Student : Jui-Hung Weng

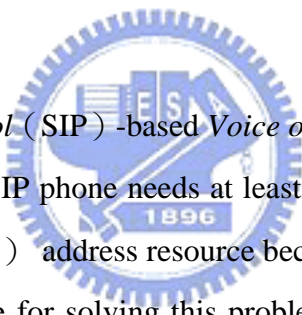
Advisor : Prof. Yi-Bing Lin

Prof. Whai-En Chen

Department of Computer Science and Information Engineering

National Chiao Tung University

Abstract



Session Initiation Protocol (SIP)-based *Voice over IP (VoIP)* services have become popular recently. Since each SIP phone needs at least one *Internet Protocol (IP)* address, shortage of *IP version 4 (IPv4)* address resource becomes a problem. *IP version 6 (IPv6)* provides a large address space for solving this problem, but most SIP phones support only IPv4 in the early deployment of IPv6. This thesis proposes design and implementation of SIPv6 Translator, which provides a transition mechanism for SIP between IPv6 and IPv4 users. SIPv6 Translator, which includes *Network Address Translation and Protocol Translation (NAT-PT)* and *SIP-Application Level Gateway (ALG)* mechanisms, translates IP information embedded in SIP messages, so that SIP messages can be delivered correctly between IPv6 and IPv4 SIP devices. In the interoperability and performance evaluation experiments, we observe that SIPv6 Translator contribute negligible overheads on call setup time.

Keywords: IPv4, IPv6, VoIP, SIP, NAT-PT, SIP-ALG, and Translation.

誌 謝

首先，我要感謝我的指導教授林一平教授與陳懷恩博士，在我撰寫這篇論文的期間，他們給予我相當多的指導，也進行相當多的討論。由於他們的寶貴意見與指正，這篇論文才能順利的完成。

接下來要感謝的是賴健利與蔡孟勳學長，在技術上與實作上都給予我相當多的建議與協助。同時也要感謝楊舜仁、李佩君、吳怜儀、皇甫建君、蘇淑茵、許世芬、周家銘與黃祥鳴，以及實驗室所有的學弟妹，在我念研究所這段時間內給予的幫助與鼓勵，也因為有他們的陪伴，讓我的生活充滿歡樂。

最後，要感謝我的父母親以及家人，在我求學生涯上給我支持與照顧，默默的在背後支持我，給我最大的信心與動力。謹以此論文，獻給我最摯愛的家人。



目 錄

| | |
|-------------------------------------|------|
| 摘 要..... | i |
| Abstract..... | ii |
| 誌 謝..... | iii |
| 目 錄..... | iv |
| 圖 目 錄..... | vi |
| 表 目 錄..... | viii |
| 第一章 簡介..... | 1 |
| 1.1 NAT-PT轉換機制 | 2 |
| 1.2 SIP、SDP與RTP通訊協定 | 4 |
| 1.3 SIP傳送之IPv4/IPv6 轉換問題..... | 9 |
| 第二章 SIPv6 Translator系統架構 | 12 |
| 2.1 SIPv6 Translator系統之軟體架構 | 12 |
| 2.1.1 應用層閘道器模組..... | 13 |
| 2.1.2 NAT-PT模組 | 15 |
| 2.2 SIPv6 Translator系統之軟體運作範例 | 17 |
| 2.2.1 對於IPv6 SIP訊息之轉換範例 | 17 |
| 2.2.2 對於IPv4 SIP訊息之轉換範例 | 21 |



| | |
|---------------------------------------|----|
| 第三章 SIPv6 Translator系統實作原理 | 25 |
| 3.1 SIP-ALG實作方法一 | 25 |
| 3.2 SIP-ALG實作方法二 | 29 |
| 3.3 SIP-ALG實作方法一與二之比較 | 32 |
| 第四章 SIPv6 Translator之互通性測試與效能評估 | 33 |
| 4.1 SIPv6 Translator系統之互通性測試實驗 | 33 |
| 4.2 SIPv6 Translator系統之效能量測實驗 | 39 |
| 第五章 結論..... | 44 |
| 參考文獻..... | 45 |
| 附錄A DNS-ALG模組實作原理 | 47 |
| A.1 DNS訊息格式..... | 47 |
| A.2 DNS-ALG之實作原理..... | 50 |

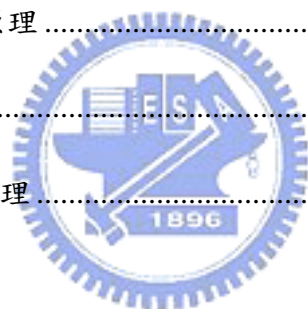


圖 目 錄

| | | |
|-------|--|----|
| 圖 1-1 | NAT-PT的網路架構圖與各元件通訊協定堆疊 | 2 |
| 圖 1-2 | SIP通訊協定運作範例圖 | 5 |
| 圖 1-3 | SIP信令範例圖 | 6 |
| 圖 1-4 | IPv4/IPv6 SIP互通之網路架構 | 9 |
| 圖 1-5 | NAT-PT轉換後的IP位址相關參數 | 11 |
| 圖 2-1 | SIPv6 Translator系統之軟體架構圖 | 13 |
| 圖 2-2 | 位址轉換表內轉換項目的詳細資訊 | 17 |
| 圖 2-3 | 轉換前的IPv6 SIP INVITE要求訊息 | 18 |
| 圖 2-4 | SIPv6 Translator系統運作流程圖：對IPv6 SIP訊息之轉換範例 | 18 |
| 圖 2-5 | 轉換後的IPv4 SIP INVITE要求訊息 | 21 |
| 圖 2-6 | 轉換前的IPv4 SIP INVITE要求訊息 | 22 |
| 圖 2-7 | SIPv6 Translator系統運作流程圖：對IPv4 SIP訊息之轉換範例 | 22 |
| 圖 2-8 | 轉換後的IPv6 SIP INVITE要求訊息 | 24 |
| 圖 3-1 | SIP-ALG實作方法一流程圖 | 26 |
| 圖 3-2 | struct SIPMessage 資料結構之範例 | 27 |
| 圖 3-3 | SIP-ALG實作方法二流程圖 | 30 |
| 圖 4-1 | SIPv6 Translator系統之互通性測試環境架構圖 | 34 |
| 圖 4-2 | Windows Messenger 4.7 無法判讀IPv6 位址 | 35 |

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 4-3 | Windows Messenger 4.7 無法判讀IPv6 位址之封包擷取畫面 | 36 |
| 圖 4-4 | 未修改SIP標頭中的From或To標頭欄位..... | 37 |
| 圖 4-5 | 未修改SDP標頭中的o欄位 | 37 |
| 圖 4-6 | SIP通話建立之訊息流程圖..... | 39 |
| 圖 4-7 | SIPv6 Translator系統之效能量測實驗環境架構圖 | 40 |
| 圖 4-8 | 實驗 1 之測試環境..... | 40 |
| 圖 4-9 | 實驗 2 之測試環境..... | 41 |
| 圖 4-10 | 實驗 3 之測試環境..... | 41 |
| 圖 A-1 | DNS 訊息格式..... | 48 |
| 圖 A-2 | DNS標頭格式..... | 48 |
| 圖 A-3 | DNS Query Entry格式..... | 49 |
| 圖 A-4 | DNS Answer RR, Authority RR, Additional RR格式 | 49 |
| 圖 A-5 | 在DNS Entry與RR中，名稱欄位之訊息壓縮格式 | 50 |
| 圖 A-6 | DNS-ALG模組架構圖 | 51 |
| 圖 A-7 | DNS通訊協定資料結構的型態定義圖..... | 51 |
| 圖 A-8 | DNS通訊協定資料結構的型態關係圖..... | 52 |

表 目 錄

| | | |
|-------|--|----|
| 表 1-1 | SIP訊息中的必要標頭欄位說明 | 7 |
| 表 1-2 | SIP訊息中的路由相關標頭欄位說明 | 7 |
| 表 1-3 | SDP型態說明 | 8 |
| 表 3-1 | SIP-ALG實作方法一與二之比較表 | 32 |
| 表 4-1 | 使用SIPv6 UA與各家軟一體廠商的SIPv4 UA互通性測試比較 | 38 |
| 表 4-2 | SIPv6 Translator在各分項實驗中所增加負擔之比較 | 42 |
| 表 4-3 | SIP-ALG實作方法一與二之效能比較 | 43 |
| 表 A-1 | Question Entries轉換演算法 | 53 |
| 表 A-2 | Answer RRs, Authority RRs, Additional RRs轉換演算法 | 53 |

第一章

簡介

由於透過既有的網際網路來撥打電話，費用比傳統電話費更低，因此目前網路電話（Voice over IP，簡稱 VoIP）服務越來越流行。在眾多 VoIP 通訊協定之中，目前的趨勢是採用 SIP（Session Initiation Protocol）作為 VoIP 的信令通訊協定。因每一個網路電話裝置都至少需要一個 IPv4（Internet Protocol version 4）位址，隨著 VoIP 網路電話的普及，可用的 IPv4 位址將不足以分配給每一台網路電話。新一代的網際網路通訊協定（Internet Protocol version 6，簡稱 IPv6）提供大量的 IP 位址來解決 IPv4 位址不足的問題。但是在 IPv6 網路佈建初期，仍有 SIP 網路電話（例如 Cisco7960）只支援 IPv4 通訊協定，因此需要提供適當的轉換機制，讓 IPv6 網路電話使用者與 IPv4 網路電話使用者互相通訊。

IETF(Internet Engineering Task Force)制定了 NAT-PT(Network Address Translation and Protocol Translation) 轉換機制[1]，內部採用 SIIT（Stateless IP/ICMP Translation）演算法[2]，將 IPv4 標頭轉換成 IPv6 標頭或者將 IPv6 標頭轉換成 IPv4 標頭。然而 SIP 通訊協定訊息在應用層（Application Layer）會帶有 IP 資訊，當封包穿越 NAT-PT 到另一端網路時，因為 SIP 訊息內的 IP 相關資訊未轉換成正確的資訊，而導致無法建立連線。因此，要如何讓 SIP 訊息能夠正確地轉換，使 IPv6 網路電話能夠與既有的 IPv4 網路電話互相通訊，是一個很重要的議題。

本論文說明 SIPv6 Translator 之設計與實作。SIPv6 Translator 系統以 NAT-PT 轉換機制為基礎，研發出 SIP-ALG（Application Level Gateway），希望在不改變原有網路電話組態設定的情況下，讓 IPv4 網路與 IPv6 網路的 SIP 使用者相互通訊。

1.1 NAT-PT 轉換機制

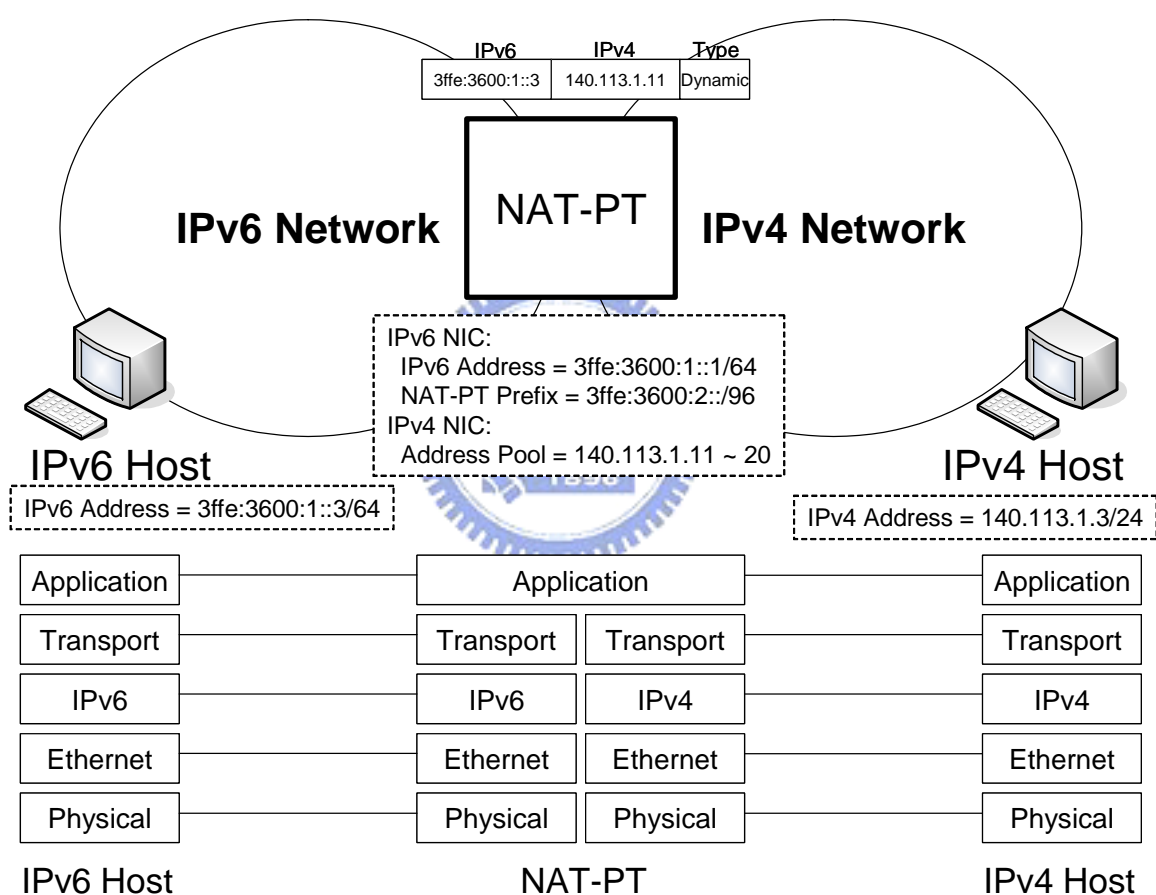


圖 1-1 NAT-PT 的網路架構圖與各元件通訊協定堆疊

圖 1-1 說明 NAT-PT 的網路架構與各個網路元件的 TCP/IP 通訊協定堆疊。如圖所示，NAT-PT 系統連接 IPv6 與 IPv4 網路。由於 IPv6 網路的網段位址為 3ffe:3600:1::/64，因此，NAT-PT 系統在連接 IPv6 網路的介面卡上所設定的 IPv6 位址為 3ffe:3600:1::1，

而 NAT-PT Prefix 則是設定為 3ffe:3600:2::/96。圖中 IPv4 網路的網段位址為 140.113.1.0/24，且 NAT-PT 系統在連接 IPv4 網路的介面卡上所設定的 Address Pool 為 140.113.1.10 至 140.113.1.20 共 11 個 Public IPv4 位址。

就 IPv6 網路而言，NAT-PT 系統扮演一個 IPv6 路由器 (Router) 的角色，負責將封包送往 IPv4 網路。為了替 IPv4 網路上的主機定址，IPv6 網路會將 IPv4 網路視為一個虛擬的 IPv6 網路，以一個 IPv6 Prefix (例如 3ffe:3600:2::/96) 代表此虛擬 IPv6 網路的網段，此 IPv6 Prefix 亦稱為 NAT-PT Prefix。當 IPv6 網路主機 (例如 3ffe:3600:1::3) 欲將封包送給 IPv4 網路主機 (例如 140.113.1.3) 時，則目的位址應填入此 IPv4 網路主機的虛擬 IPv6 位址 (例如 3ffe:3600:2::140.113.1.3)。因為此虛擬 IPv6 位址與 IPv6 網路主機屬於不同網段，所以 IPv6 主機會將封包傳送給 NAT-PT 系統 (預設路由器) 作轉送。當 NAT-PT 系統收到此 IPv6 封包之後，會將此封包內的 IPv6 標頭轉換成 IPv4 格式，再送往 IPv4 網路。NAT-PT 系統會以封包 IPv6 標頭內的 IPv6 來源位址 (例如 3ffe:3600:1::3) 查詢 IPv6-IPv4 位址轉換表，若表內已有對應的 IPv4 位址資料，則直接將此 IPv6 來源位址轉換成 IPv4 來源位址。若表內對此 IPv6 位址尚未建立對應的 IPv4 位址資料，則從 Address Pool 內取出一個尚未使用的 IPv4 位址作為對應，並且在位址轉換表內新增此 IPv6 與 IPv4 位址的動態對應資訊。接著，再針對 IPv6 目的位址 (例如 3ffe:3600:2::140.113.1.3) 取最後 32 位元轉換成 IPv4 目的位址 (例如 140.113.1.3)。最後再將 IPv6 標頭中其餘欄位依 RFC2765 定義轉換成相對意義的 IPv4 欄位。

對 IPv4 網路上的主機來說，為了將封包送給 IPv6 網路上的主機，會先將封包傳給 IPv6 主機所對應的虛擬 IPv4 位址，再由 NAT-PT 系統再作轉送。NAT-PT 系統提供了一個 Address Pool 來儲存這些 Public IPv4 位址。這些位址被用來對應 IPv6 網路主機，作為這些 IPv6 網路主機在 IPv4 網路上的虛擬 IPv4 位址。當 IPv4 網路主機 (例如 140.113.1.3) 欲將封包送給 IPv6 網路主機 (例如 3ffe:3600:1::3) 時，封包內的 IPv4 目的位址必須是 Address Pool 內的某個 IPv4 位址 (例如 140.113.1.11)。當 NAT-PT 系統

收到此 IPv4 封包之後，必須將此封包內的 IPv4 標頭轉換成 IPv6 格式，再送往 IPv6 網路。NAT-PT 系統先以封包內的 IPv4 目的位址查詢位址轉換表，找出對應的 IPv6 位址（例如 3ffe:3600:1::3），並將此 IPv4 目的位址作轉換成 IPv6 位址。接著，再將封包內的 IPv4 來源位址加上 NAT-PT Prefix，轉換為 IPv6 位址（例如，140.113.1.3 加上 3ffe:3600:2::/96 之後，為虛擬 IPv6 位址 3ffe:3600:2::140.113.1.3）。最後再將 IPv4 標頭中其餘欄位轉換成相對的 IPv6 欄位。

1.2 SIP、SDP 與 RTP 通訊協定

SIP 為應用層通訊協定[16]，可架構於 TCP（Transition Control Protocol）或 UDP（User Datagram Protocol）上層，預設埠號為 5060。SIP 訊息主要被用來控制多媒體會期（Session）的建立、修改或中斷，可分為 SIP 要求（Request）與 SIP 回應（Response）兩種訊息。SIP 要求以 SIP 方法（Method）指明要求的目的。RFC 3261 中定義了六種 SIP 方法，分別為 INVITE、ACK、CANCEL、OPTIONS、REGISTER 與 BYE[16]。INVITE 方法用來建立會期。ACK 方法主要用來回應 INVITE 方法的最後回應訊息（包括 2xx、3xx、4xx、5xx、6xx 的回應）。CANCEL 方法用來取消未建立完成的 SIP 要求訊息。OPTIONS 方法用來查詢 SIP 伺服器的能力。REGISTER 方法用來向 SIP 伺服器註冊位址資訊。BYE 方法用來結束已建立完成的會期。SIP 回應以回應碼來表示 SIP 要求的結果，其中回應碼 1xx（100~199）表示暫時性回應、回應碼 2xx（200~299）表示要求方法成功、回應碼 3xx（300~399）表示重導（Redirect）要求方法，而其餘的回應碼包括 4xx、5xx 與 6xx 表示要求方法失敗。

SIP 網路元件包含 SIP 伺服器與 SIP UA（User Agent）。SIP 伺服器分為三類：SIP Proxy 是能夠傳遞 SIP 要求與回應訊息的伺服器，SIP Registrar 是能夠接受 SIP UA 的 SIP 註冊訊息的伺服器，SIP Redirect 是能夠回應 SIP 重導（Redirect）訊息的伺服器。

常用的 SIP 伺服器通常同時扮演 SIP Registrar 以及 SIP Proxy 的角色。

在圖 1-2 中，兩個 SIP UAs 透過 SIP 伺服器來交換 SIP 訊息，在交換完 SIP 訊息中 SDP (Session Description Protocol) [18]所描述的語音編碼 (codec) 與連線資訊之後，雙方即可建立起 RTP (Real-time Transport Protocol) 多媒體會期[21]。

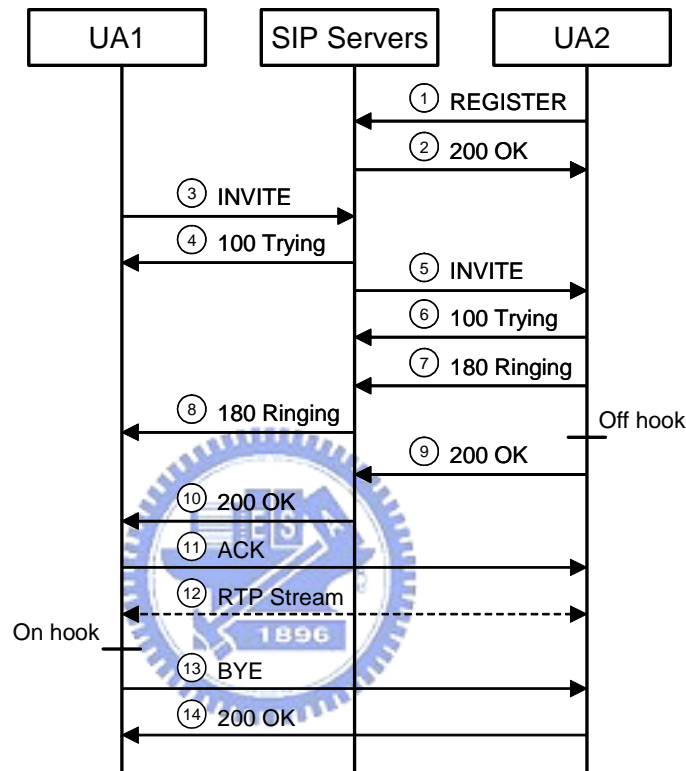
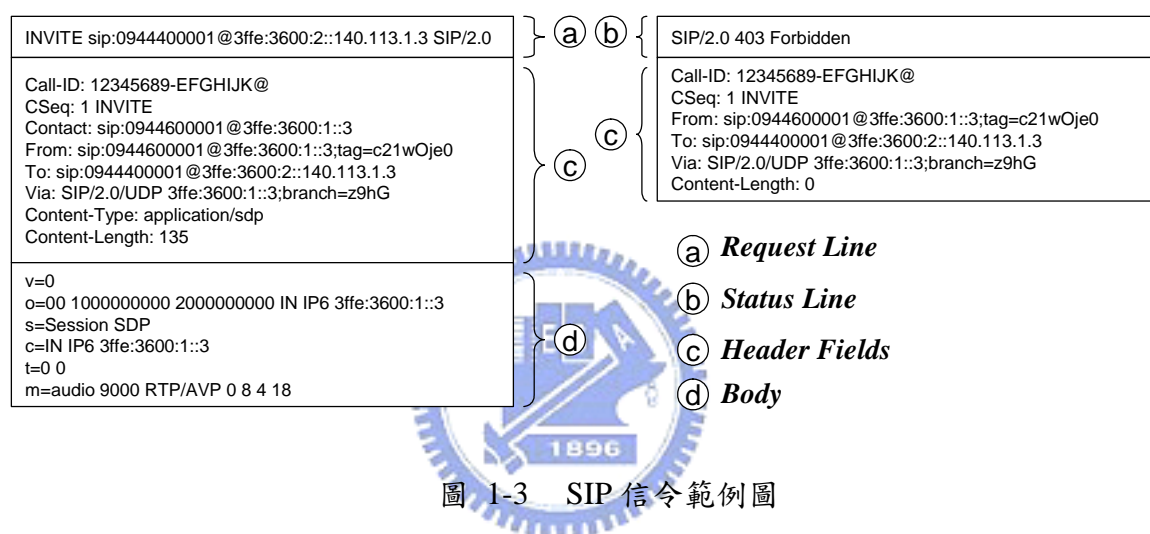


圖 1-2 SIP 通訊協定運作範例圖

圖 1-2 為 SIP UA 註冊以及建立通話的運作流程範例。圖中的 UA1 與 UA2 為 SIP UAs，而 SIP 伺服器提供 SIP Registrar 與 SIP Proxy 功能。當 UA2 的 IP 位址資訊改變時，發出 REGISTER 訊息向 SIP 伺服器註冊目前的位置 (如圖 1-2①)。SIP 伺服器回應 200 OK 訊息表示 UA2 成功的完成註冊(如圖 1-2②)。接著 UA1 與 UA2 進行 SIP VoIP 通訊。假設由 UA1 向 SIP 伺服器發出 INVITE 訊息(如圖 1-2③)。SIP 伺服器收到 INVITE 訊息後，首先回應 100 Trying 訊息表示嘗試處理 INVITE 訊息 (如圖 1-2④)。SIP 伺服器將 INVITE 訊息傳送到 UA2 之前所註冊的位置 (如圖 1-2⑤)。UA2 收到 INVITE 訊息後，回應 100 Trying 訊息表示嘗試處理 INVITE 訊息 (如圖 1-2⑥)。UA2 回應 180

Ringling 訊息表示目前正處於響鈴狀態（如圖 1-2⑦）。SIP 伺服器將 180 Ringling 訊息傳回 UA1（如圖 1-2⑧）。當 UA2 接受語音通訊時，UA2 回應 200 OK 訊息表示接受 INVITE 訊息（如圖 1-2⑨）。SIP 伺服器將 200 OK 訊息傳回 UA1（如圖 1-2⑩）。此時 UA1 與 UA2 已知彼此 IP 位址，UA1 直接向 UA2 發出 ACK 訊息，確認收到 UA2 的 200 OK 訊息（如圖 1-2⑪）。接著 UA1 與 UA2 以 RTP 進行雙向的語音通訊（如圖 1-2⑫）。當 UA1 結束語音通訊時，UA1 發出 BYE 訊息給 UA2（如圖 1-2⑬）。最後 UA2 回應 200 OK 訊息表示結束語音通訊（如圖 1-2⑭）。



SIP 為採用 UTF (Universal Character Set Transformation Format) -8 字集的信令協定。如圖 1-3 所示，左部分為 SIP 要求，右部分為 SIP 回應。SIP 訊息的結構分為三部分。這三部分為起始行、標頭欄位 (Header Fields; 圖 1-3(c)) 與主體 (Body; 圖 1-3(d))。起始行在 SIP 要求中稱為 Request Line (圖 1-3(a))，在 SIP 回應中稱為 Status Line (圖 1-3(b))。Request Line 指明 SIP 要求方法、目的 SIP URI (Uniform Resource Identifier) 與 SIP 版本。Status Line 指明 SIP 版本、SIP 回應碼與 SIP 回應碼的文字描述。表 1-1 說明 SIP 訊息中必要 (mandatory) 的標頭欄位，而表 1-2 說明與 SIP 信令路由路徑有關的標頭欄位。Content-Type 標頭儲存著主體擺放的資訊類型。

表 1-1 SIP 訊息中的必要標頭欄位說明

| SIP 標頭欄位 | 說明 |
|--------------|--|
| Call-ID | Call-ID 值用來辨識 SIP 對話 (Dialog)，同 SIP 對話會有相同 Call-ID 值 |
| From | 進行初始 SIP 會期的來源端 SIP URI |
| To | SIP 會期目的端的 SIP URI |
| Via | 指明 SIP 回應的回程路由路徑 |
| Cseq | 用來匹配 SIP 要求與 SIP 回應的序號 |
| Max-Forwards | SIP 要求信令經過 SIP 伺服器，伺服器會將此欄位值減一，當此欄位值為零，SIP 要求將被伺服器丟棄 |

表 1-2 SIP 訊息中的路由相關標頭欄位說明

| SIP 標頭欄位 | 說明 |
|--------------|--|
| Contact | 指明目前 SIP UA 的所在 IP 位址與使用者名稱 |
| Record-Route | SIP Proxy 伺服器會依據需要而加入路由資訊 |
| Route | 複製 Record-Route 標頭內的路由資訊並指明 SIP 信令行進路徑 |

為了轉換 SIP 標頭內所帶的 IP 位址，本論文所研發的 SIPv6 Translator 系統先解析出 SIP 標頭欄位，並將標頭欄位中含有 IP 資訊的部份作轉換。Request Line 以 SIP URI 指名 SIP UA 發出要求的對象。Contact 標頭欄位以 SIP URI 指明 SIP UA 目前所在的 IP 位址與使用者名稱。From 與 To 標頭欄位分別表示 SIP 會期來源端與目的端的 SIP URI，並不會影響到 SIP 信令的路由路徑。Via 標頭欄位指明 SIP 回應的路由路徑。Record-Route 標頭欄位可讓 SIP 伺服器強制指定 SIP 要求的傳送路由路徑。Route 標頭欄位的內容是從 Record-Route 欄位複製，用來指明 SIP 要求的傳送路由路徑。透過 Via 與 Route 標頭欄位可得知 SIP 信令的行進路徑，其餘的標頭欄位請參考 RFC 3261[16]。

SDP 為內嵌在 SIP 主體 (如圖 1-3④) 中，並採用 UTF-8 字集的通訊協定。SDP 提供多媒體串流傳送或接收的相關資訊，當兩個 SIP UAs 透過 SIP 訊息交換 SDP 內容之後，即可建立 RTP 多媒體通訊。SDP 包含數行<Type>=<Value>格式的文字，如圖 1-3 中 SIP 要求的主體部分所示。表 1-3 列出所有 SDP 協定中的型態 (Type) 說明。

以圖 1-3④的 SIP 主體為例，v=0 表示 SDP 版本為 0；o=00 1000000000 2000000000 IN IP6 3ffe:3600:1::3 表示產生會期的使用者名稱為 00、會期識別碼為 1000000000、會期版本為 2000000000、網路型態為 IN 即 Internet、主機位址型態為 IP6 即主機位址型態為 IPv6 位址與主機位址為 3ffe:3600:1::3；s=session SDP 表示會期名稱為 session SDP；c=IN IP6 3ffe:3600:1::3 表示會期連結的網路型態為 IN（即 Internet）、主機位址型態為 IPv6 與主機位址為 3ffe:3600:1::3；t=0 0 表示會期的起始時間為與結束時間為 0（起始於結束時間都為 0，表示會期會一直持續）；m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18 表示會期的多媒體型態為語音、接收多媒體資訊的埠號為 9000、傳輸層協定採 RTP/AVP 即 RTP over UDP，語音編碼格式依序為 0（表示 PCMU）、8（表示 PCMA）、4（表示 G.723）及 18（表示 G.729），詳細對照請參考 RFC3550[21]。

表 1-3 SDP 型態說明

| 型態 | 說明 |
|----|------------------|
| v | SDP 版本 |
| o | 會期 ID 與產生會期的主機資訊 |
| s | 會期名稱 |
| c | 連接資訊，包括 IP 位址 |
| b | 頻寬資訊 |
| z | 時區調整資訊 |
| k | 加密鑰匙 (Key) |
| a | 會期屬性 |
| t | 會期的起始時間 |
| r | 會期的重複次數 |
| m | 多媒體名稱與傳輸埠位址 |
| i | 多媒體標題 |
| u | URI 資訊 |
| e | E-Mail 位址 |
| p | 電話號碼 |

1.3 SIP 傳送之 IPv4/IPv6 轉換問題

本節說明 SIP 訊息穿越 NAT-PT 時所發生的 IPv4/IPv6 轉換問題。圖 1-4 為 IPv4/IPv6 SIP 互通之網路架構範例。在圖 1-4 中，NAT-PT 系統參數設定以及 IPv6 與 IPv4 網路的網段位址皆和圖 1-1 相同，可參考 1-1 節的說明。為了連結 SIP VoIP 通訊，在本範例中加入了兩台 SIP 伺服器（即 IPv6 SIP Server 和 IPv4 SIP Server），並在 IPv6 與 IPv4 主機上分別安裝 SIPv6 UA（UA1）與 SIPv4 UA（UA2）。

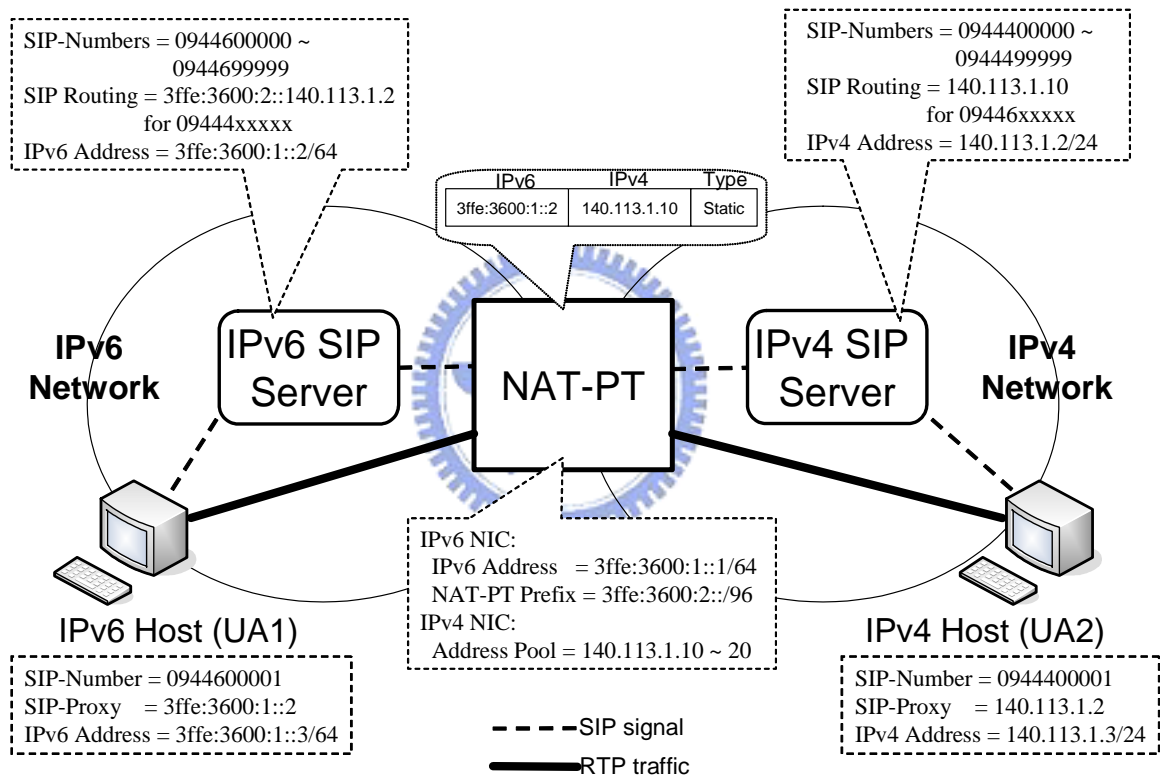


圖 1-4 IPv4/IPv6 SIP 互通之網路架構

在 IPv6 網路中，IPv6 SIP 伺服器的 IPv6 位址為 3ffe:3600:1::2，並管理前置碼為 09446 (0944600000 ~ 0944699999) 的十萬門電話號碼。UA1 將 IPv6 SIP 伺服器設為預設 SIP 伺服器，並註冊了電話號碼 0944600001。在 IPv4 網路中，IPv4 SIP 伺服器的 IPv4 位址為 140.113.1.2，並管理前置碼為 09444 (0944400000 ~ 0944499999) 的十萬門電話號碼。UA2 將 IPv4 SIP 伺服器設為預設 SIP 伺服器，並註冊了電話號碼 0944400001。

為了在 IPv6 與 IPv4 網路之間傳遞 SIP 訊息，IPv6 SIP 伺服器需設定將 SIP 要求中帶有前置碼為 09444 的 SIP URI，傳遞給 IPv4 SIP 伺服器作處理。同理，IPv4 SIP 伺服器需設定將 SIP 要求中帶有前置碼為 09446 的 SIP URI，傳遞給 IPv6 SIP 伺服器作處理。在 NAT-PT 的位址轉換表中，必須先在 IPv6 SIP 伺服器中設定一組靜態對應資訊，內容為 3ffe:3600:1::2 (IPv6 SIP 伺服器的 IPv6 位址) 對應到 140.113.1.10。

由於 NAT-PT 只修改封包中網路層的標頭，並不處理位於應用層 SIP 訊息的內容，因此 SIP 訊息在經過 NAT-PT 之後，網路層的 IP 位址就會和 SIP 訊息中所攜帶的 IP 位址不同。

圖 1-5 顯示 Request Line、Contact 和 Via 標頭欄位攜帶 IPv6 位址的例子。在 SIP 要求中，這三個欄位為 SIP 標頭中必要的欄位，且皆與 SIP 訊息的路由路徑有關。Request Line 記錄著要求方法與 Request-URI。若 Request Line 內的 Request-URI 為 IPv6 位址(例如 3ffe:3600:2::140.113.1.2)，IPv4 網路上的 SIP 設備 (SIP 伺服器或 SIP UA) 收到此 SIP 要求之後，會判斷這個 IPv6 位址並非是該 IPv4 SIP 設備的，此錯誤將導致該 IPv4 SIP 設備無法作進一步的處理。Contact 標頭欄位是用來告知對方此後的 SIP 要求可直接送達的位址。若 Contact 標頭欄位內容為 IPv6 位址 (例如 3ffe:3600:1::3)，IPv4 網路上的 SIP 設備便無法依照 Contact 標頭欄位所攜帶的資訊將 SIP 要求正確傳給 IPv6 網路內的 SIP 設備。當 SIP 要求被送出時，SIP 設備會加入一個含有本機 IP 位址的 Via 標頭欄位，並將此 Via 標頭欄位放在整個 SIP 訊息中所有 Via 標頭欄位的上方。當目的地 SIP UA 準備要送出 SIP 回應時，會將 SIP 要求中的所有 Via 原封不動地複製到 SIP 回應中。而 SIP 伺服器會依序檢查 Via 標頭欄位所帶的 IP 資訊，以便將封包依照原路徑反向送回。經 NAT-PT 轉換後之 IPv4 SIP 訊息中，若 Via 標頭欄位帶有 IPv6 位址 (例如 3ffe:3600:1::2)，則 SIP 回應將無法從 IPv4 網路送回到 IPv6 網路內的 SIP UA。

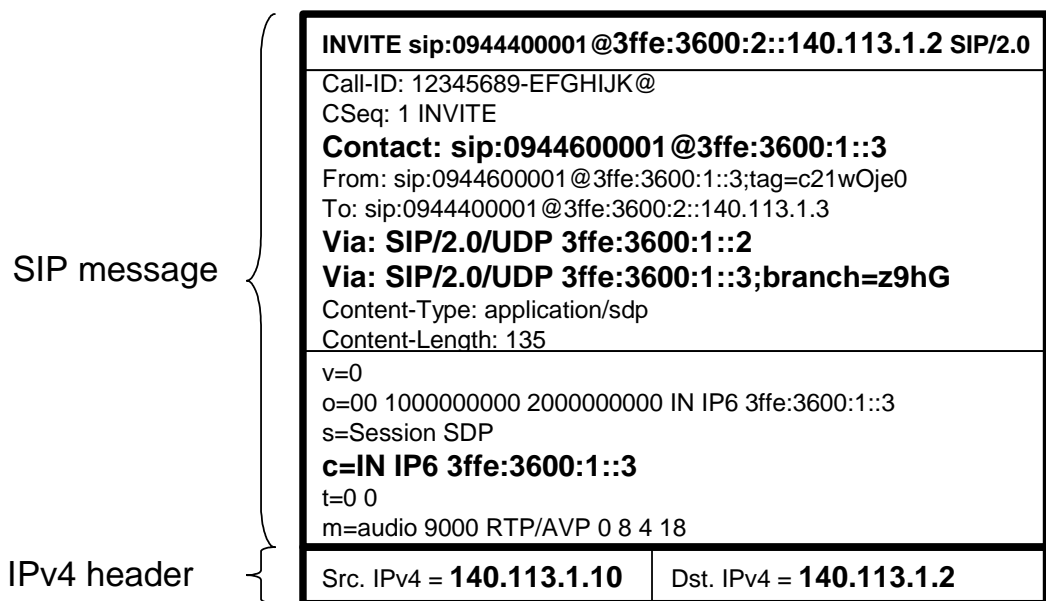


圖 1-5 NAT-PT 轉換後的 IP 位址相關參數

除了 SIP 標頭欄位部份的問題外，在 SIP 訊息本體的 SDP 訊息中，c 欄位帶有欲接收 RTP 封包的 IP 位址。若這些欄位填入的是 IPv6 位址，IPv4 網路上的 SIP UA 在收到此 SIP 要求之後，將無法辨識 IPv6 位址。同樣地，IPv6 網路上的 SIP UA 也無法辨識 IPv4 位址。如此一來，IPv6 與 IPv4 上的 SIP UAs 便無法建立影音通訊（如圖 1-5 所示）。由上述的說明可以得知，除了 NAT-PT 機制外還需要一個機制能將 IPv4 封包 SIP 訊息中的 IPv6 位址修改為 IPv4 位址，並且將 IPv6 封包 SIP 訊息中的 IPv4 位址修改為 IPv6 位址，讓 IPv4 與 IPv6 網路上的 SIP UAs 建立通話，並且互相傳送與接收影音封包。本論文提出 SIPv6 Translator 機制能達到上述要求，讓 IPv4 與 IPv6 網路電話互通。

本論文的章節組織描述如下。第二章說明 SIPv6 Translator 系統的系統架構與運作範例。第三章說明 SIPv6 Translator 系統的實作原理。第四章說明 SIPv6 Translator 系統效能量測與互通性測試的結果。第五章說明結論。

第二章

SIPv6 Translator 系統架構

本章描述 SIPv6 Translator 系統的軟體架構，並以 IPv6 與 IPv4 SIP 訊息轉換範例來說明 SIPv6 Translator 系統的運作流程。

2.1 SIPv6 Translator 系統之軟體架構



SIPv6 Translator 系統架構圖如圖 2-1 所示。本系統包括兩大模組，分別為應用層閘道器模組（簡稱 ALG Modules；圖 2-1(a)）以及 NAT-PT 模組（Network Address Translation and Protocol Translation Module，簡稱 NAT-PT Module；圖 2-1(b)）。應用層閘道器模組（例如 SIP-ALG）針對應用層協定（例如 SIP）進行分析，並將分析出來的 IPv6 位址轉換成 IPv4 位址，或者將 IPv4 位址轉換成 IPv6 位址。NAT-PT 模組針對網路層通訊協定進行轉換工作，將 IPv6/ICMPv6 標頭轉換成 IPv4/ICMPv4 標頭，反之亦然。SIPv6 Translator 系統使用作業系統內部的 Socket 元件（圖 2-1(c)）進行封包的收送工作。

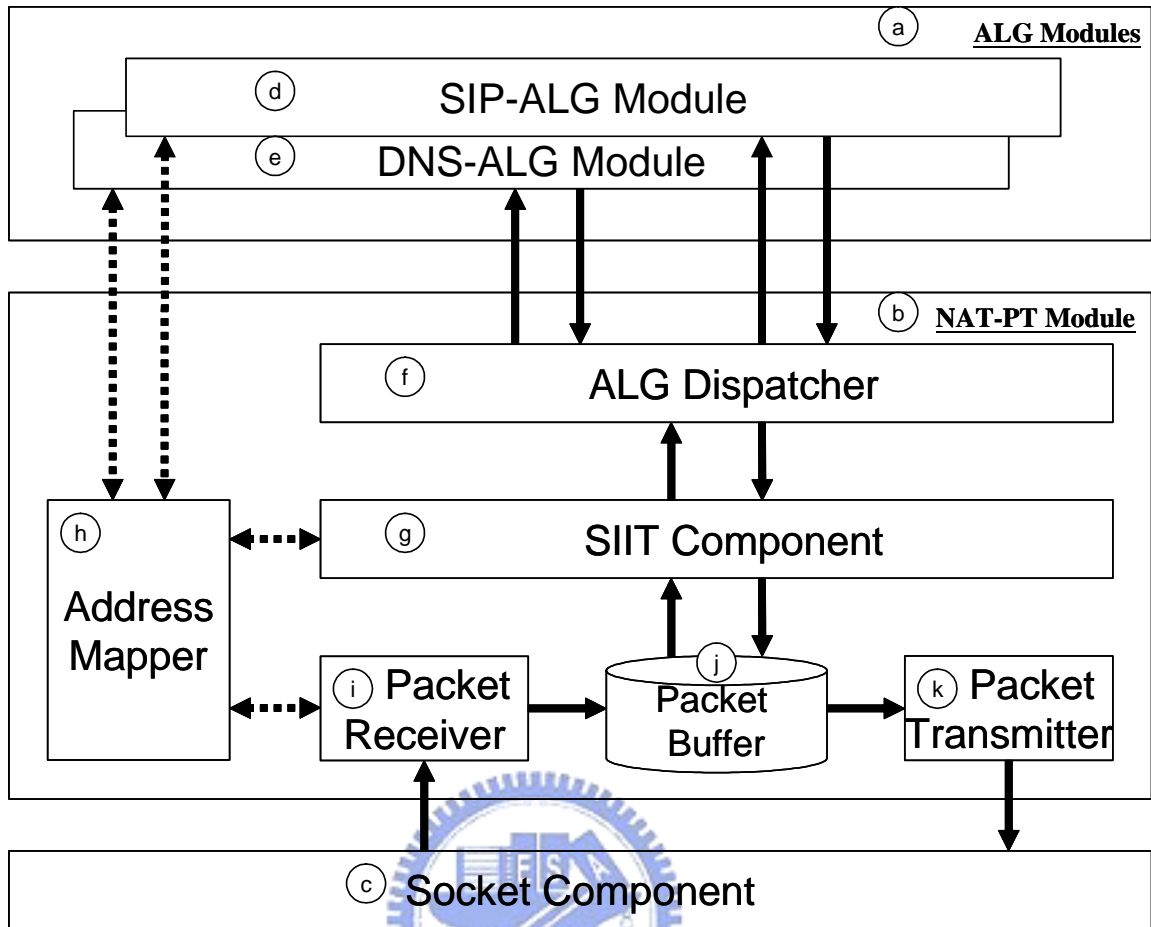


圖 2-1 SIPv6 Translator 系統之軟體架構圖

2.1.1 應用層閘道器模組

本系統於應用層閘道器模組內實作 DNS (Domain Name System) -ALG 模組 (圖 2-1④) 以及 SIP-ALG 模組 (圖 2-1⑤)。由於 DNS-ALG 在 RFC2694 中已提出轉換 Private IPv4 與 Public IPv4 的機制[15]，本系統可參考此 RFC 文件設計出 IPv6 與 IPv4 的轉換機制；而 SIP-ALG 則尚未有標準出現，因此本論文將針對 SIP-ALG 模組進行說明，DNS-ALG 模組之說明請參考附錄 A。

在 SIP 訊息中，Request Line 內的 Request-URI 指明要求的對象；Contact 標頭欄位

表示目前 SIP UA 所在的 IP 位址；From 與 To 標頭欄位為必要欄位，許多大廠（例如 Cisco）研發的 SIP 設備會分析這些欄位內的 IP 位址；Via、Record-Route 與 Route 指明 SIP 訊息的路由路徑。由於上述原因，Request-URI 與 Contact、From、To、Via、Record-Route 以及 Route 等六個特定標頭欄位內的 IP 位址都需要轉換。SIP 訊息內可能會帶有數個 Via、Record-Route 以及 Route 標頭欄位，記錄路由所經過的 IP 位址。為了避免浪費 Address Pool 內的 IPv4 位址，因此 SIP-ALG 僅針對上述三個標頭欄位的第一個作 IP 位址轉換。在 SDP 標頭中，c 欄位帶有欲接收 RTP 封包的 IP 位址。雖然 o 欄位僅提供主機資訊而不影響 RTP 多媒體通訊之建立，但如 Cisco 等廠商的 SIP 設備仍然會分析 o 欄位內的 IP 位址。基於上述原因，c 與 o 這兩個特定欄位內的 IP 位址與位址型態都需要轉換。

NAT-PT 轉換 IP 位址演算法直接對來源位址與目的位址作轉換。此演算法對於來自 IPv6 網路的封包，取 IPv6 目的位址的最低 32 位元作為轉換後的 IPv4 目的位址，並以 IPv6 來源位址向 Address Mapper (圖 2-1(h)) 查詢，來取得相對應的 IPv4 位址。此演算法對於來自 IPv4 網路的封包，將 IPv4 目的位址直接向 Address Mapper 查詢，來取得相對應的 IPv6 位址，並將 IPv4 位址加上 NAT-PT Prefix 作為轉換後的 IPv6 位址。

然而在 SIP 訊息中，不易判斷標頭欄位內的位址是來源位址或者是目的位址，可能會發生誤判情形，例如 REGISTER 要求內的 From 與 To 標頭欄位可能帶有相同的 SIP URI。因此，我們提出了另一個轉換演算法。若 SIP 訊息是來自 IPv6 網路，則先找出特定標頭欄位中 IPv6 位址，對於含有 NAT-PT Prefix 的 IPv6 位址，取最低 32 位元來作為轉換後的 IPv4 位址；對於不含 NAT-PT Prefix 的 IPv6 位址，則向 Address Mapper 查詢，來取得相對應的 IPv4 位址。若 SIP 訊息是來自 IPv4 網路，則先分析出 IPv4 位址，對於屬於 Address Pool 的 IPv4 位址，向 Address Mapper 查詢，來取得相對應的 IPv6 位址；對於不屬於 Address Pool 的 IPv4 位址，則加上 NAT-PT Prefix 作為轉換後的 IPv6 位址。

2.1.2 NAT-PT 模組

NAT-PT 模組包括 Packet Receiver 元件 (圖 2-1(i))、封包暫存區 (Packet Buffer ; 圖 2-1(j))、Packet Transmitter 元件 (圖 2-1(k))、SIIT (Stateless IP/ICMP Translation) 元件 (圖 2-1(g))、Address Mapper (圖 2-1(h)) 以及 ALG Dispatcher (圖 2-1(f))。

封包暫存區是一個採用共享記憶體 (Shared Memory) 實作方式的記憶體緩衝區 (Memory Buffer)，分別以輸入緩衝區 (Input Buffer) 與輸出緩衝區 (Output Buffer) 來儲存轉換前與轉換後的封包。輸入緩衝區與輸出緩衝區各自可以儲存 1024 個封包，每個封包的儲存空間為 1600 位元組。為了分辨封包是來自 IPv4 或者 IPv6 網域，本系統使用 is_version4or6 旗標在輸入緩衝區與輸出緩衝區內記錄封包的 IP 版本資訊。Packet Receiver 元件透過 Socket 元件以中斷 (Interrupt) 方式取得封包，接著對網路層 IP 協定的版本欄位進行分析，判斷是 IPv4 或是 IPv6 封包。若封包為 IPv4 協定，Packet Receiver 元件必須先向 Address Mapper 查詢，檢查位址轉換表中是否已經存對應的轉換資訊，若有則表示此封包合法。若封包為 IPv6 協定，Packet Receiver 元件必須先檢查此封包 IPv6 目的位址是否包含 NAT-PT prefix，若有則表示此封包合法。Packet Receiver 元件會過濾掉 IP 目的位址不合法的封包，並將合法的封包儲存於輸入緩衝區中。Packet Transmitter 元件以詢問 (Polling) 方式檢查輸出緩衝區中是否有已轉換完成的封包，如有則透過 Socket 元件送出封包。

SIIT 元件以詢問的方式檢查輸入緩衝區內是否有尚未轉換的封包，如有則讀入此封包的記憶體位址來作進一步處理。SIIT 元件採用 RFC2765 所制定的演算法，針對封包網路層的 IP 與 ICMP (Internet Control Message Protocol) 標頭進行轉換工作 [2,3,6,8,9,10]。當 SIIT 元件轉換完封包的網路層標頭之後，會將封包的記憶體位址傳遞

給 ALG Dispatcher 來判斷是否應傳給應用層閘道器模組對應用層協定內的訊息做進一步轉換。

ALG Dispatcher 負責比對封包傳輸層的 Port 值，針對在 ALG Dispatcher 註冊 Port 的應用層通訊協定（例如 SIP）傳遞給特定 ALG（例如 SIP-ALG）做進一步處理。舉例來說，一開始 SIP-ALG 向 ALG Dispatcher 註冊了 Port 5060。當 SIIT 元件將封包的記憶體位址傳給 ALG Dispatcher 比對時，若 Port 值為 5060 則表示此封包為 SIP 封包，ALG Dispatcher 將封包的記憶體位址傳遞給 SIP-ALG 元件以供後續分析處理；若 Port 值並非已在 ALG Dispatcher 中註冊，則 ALG Dispatcher 不作任何動作直接回傳成功到 SIIT 元件。

Address Mapper 管理一個位址轉換表（圖 2-2）與一個 Address Pool，並負責維護以及提供 IPv4 位址與 IPv6 位址轉換的資訊。位址轉換表內儲存著許多轉換項目（Mapping Entry），每個轉換項目內都含有 IPv6 位址、IPv4 位址以及轉換型態等三個欄位。轉換型態（Type）記錄此轉換資訊的型態為靜態（Static）對應或者為動態（Dynamic）對應。當要查詢 IPv6 位址時，必須以 IPv4 位址為鍵值（Key）向位址轉換表查詢，來取得對應的 IPv6 位址；反之，當要查詢 IPv4 位址時，必須以 IPv6 位址為鍵值向位址轉換表查詢，來取得對應的 IPv4 位址。Address Pool 內存放著數個 IPv4 位址，用來在位址轉換表內對應 IPv6 網路上主機的 IPv6 位址。Address Mapper 提供位址轉換資訊讓 Packet Receiver 元件、SIIT 元件、DNS-ALG 模組以及 SIP-ALG 模組進行查詢。若以 IPv6 位址來進行查詢時，卻發現沒有對應的 IPv4 位址資訊，Address Mapper 會從 Address Pool 中找出尚未使用的 IPv4 位址來作為對應的 IPv4 位址，並將此轉換資訊新增到位址轉換表中。若位址轉換表內的對應資訊是動態對應，而且經過一段固定時間沒有被查詢，則 Address Mapper 將此轉換項目刪除，並且把 IPv4 位址釋放回 Address Pool 中。

Address Mapping Table

Mapping Entry {

| IPv6 Address | IPv4 Address | Type |
|----------------|--------------|---------|
| 3ffe:3600:1::2 | 140.113.1.10 | Static |
| 3ffe:3600:1::3 | 140.113.1.11 | Dynamic |

圖 2-2 位址轉換表內轉換項目的詳細資訊

2.2 SIPv6 Translator 系統之軟體運作範例

本節以 SIP INVITE 訊息為範例，說明 SIPv6 Translator 系統運作原理。2.2.1 小節說明 IPv6 SIP INVITE 訊息轉換的運作流程，2.2.2 小節說明 IPv4 SIP INVITE 訊息轉換的運作流程。



2.2.1 對於 IPv6 SIP 訊息之轉換範例

由於 SIPv6 Translator 系統以 NAT-PT 機制為基礎加入了 SIP-ALG 機制，因此在本範例中 SIPv6 Translator 系統採用與圖 1-4 中的 NAT-PT 系統相同的網路參數與環境設定。當 UA1 撥打電話號碼 0944400001 給 UA2 時，UA1 向 IPv6 SIP 伺服器發出 SIP INVITE 要求訊息。IPv6 SIP 伺服器由電話號碼的前置碼為 09444 判斷是由 IPv4 SIP 伺服器所管理，因此將此 SIP INVITE 要求訊息的 IPv6 目的位址填入 IPv4 SIP 伺服器的虛擬 IPv6 位址 3ffe:3600:2::140.113.1.2。由於此一訊息之目的位址與本機位址 (3ffe:3600:1::2) 分屬不同子網路，因此先送給預設閘道器 (即 SIPv6 Translator)，透過 SIPv6 Translator 轉換後傳遞給 IPv4 SIP 伺服器。此 SIP INVITE 要求訊息的詳細內容如圖 2-3 所示。圖 2-4 詳列 SIPv6 Translator 系統轉換 IPv6 SIP INVITE 訊息之運作流

程圖。為了讓 IPv6 SIP 伺服器與 IPv4 SIP 伺服器可以互相傳遞 SIP 訊息，本系統在位址轉換表中，必須先設定一筆靜態對應資料，內容為 3ffe:3600:1::2 (IPv6 SIP 伺服器的 IPv6 位址) 對應到 140.113.1.10。

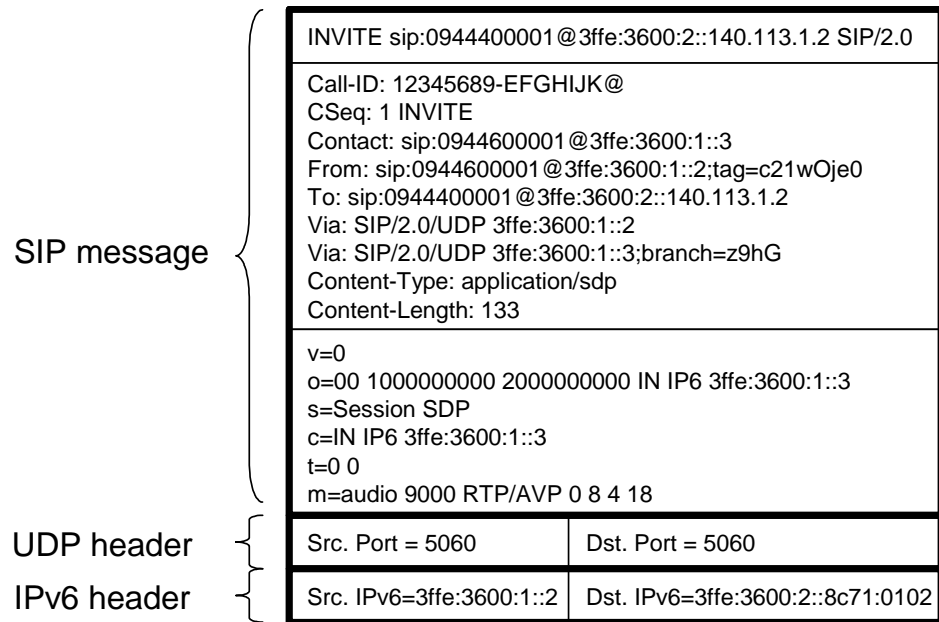


圖 2-3 轉換前的 IPv6 SIP INVITE 要求訊息

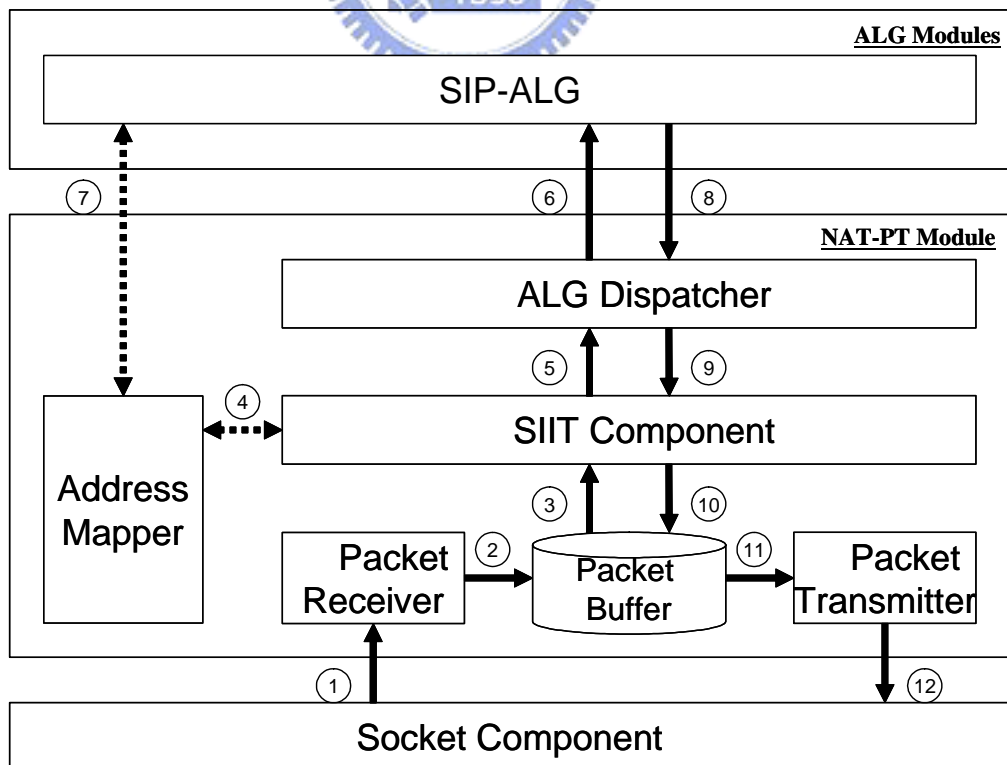


圖 2-4 SIPv6 Translator 系統運作流程圖：對 IPv6 SIP 訊息之轉換範例

步驟①：Socket 元件透過網路介面卡驅動程式擷取到此 IPv6 SIP 封包，並將封包以中斷方式傳遞給 Packet Receiver 元件進行封包的解析與過濾工作。首先，Packet Receiver 元件解析網路層 IP 協定的版本欄位來判斷封包為 IPv6 協定。接著，Packet Receiver 元件會先檢查 IPv6 封包內的目的位址 3ffe:3600:2::8c71:0102，由於此位址包含了 NAT-PT prefix (3ffe:3600:2::/96)，即表示此封包為一個合法封包。

步驟②：Packet Receiver 元件將此封包儲存於輸入緩衝區中。

步驟③：SIIT 元件以詢問方式檢查到輸入緩衝區內有尚未轉換的封包，並取得此一封包的記憶體位址。

步驟④：SIIT 元件以 IPv6 來源位址 3ffe:3600:1::2 向 Address Mapper 進行查詢，找出對應的 IPv4 位址 140.113.1.10，作為轉換後的 IPv4 來源位址。接著，再針對 IPv6 目的位址 3ffe:3600:2::8c71:0102 取最後 32 位元，作為轉換後的 IPv4 目的位址 140.113.1.2。最後再將 IPv6 標頭中其餘欄位轉換成相對意義的 IPv4 欄位[2]。

步驟⑤：SIIT 元件將此封包的記憶體位址傳給 ALG Dispatcher。ALG Dispatcher 負責對 NAT-PT 模組傳遞上來的封包來分析傳輸層的 Port 值，來判斷封包是否屬於特定的通訊協定。

步驟⑥：ALG Dispatcher 從封包的傳輸層得知 Port 值為 5060，判斷該封包為 SIP 封包後，將此封包的記憶體位址傳遞給 SIP-ALG 進行 SIP 訊息轉換工作。

步驟⑦：SIP-ALG 元件對封包的 SIP 與 SDP 欄位進行解析工作，對含有 IP 位址資訊的特定標頭欄位進行轉換工作。在 SIP 標頭的部分，針對 Request-URI、Contact、From、To 以及第一個 Via 標頭欄位的內容分析出 IPv6 位址並進行轉換工作，

並由 Content-Type 標頭欄位判斷 SIP 訊息主體為 SDP。對於 From 與第一個 Via 標頭欄位內的 IPv6 位址，將 3ffe:3600:1::2 對 Address Mapper 查詢位址轉換表後轉換成 140.113.1.10；對於 Contact 標頭欄位內的 IPv6 位址，以 3ffe:3600:1::3 對 Address Mapper 查詢位址轉換表後發現並無相對應的 IPv4 位址，因此 Address Mapper 從 Address Pool 取出未使用的 140.113.1.11 來作為對應的 IPv4 位址，並在位址轉換表內新增一組 3ffe:3600:1::3 與 140.113.1.11 的動態對應，並將此 IPv4 位址回傳作為轉換後的 IPv4 位址；對於 Request-URI 與 To 標頭欄位內的 IPv6 位址，將 3ffe:3600:2::140.113.1.2 轉成 140.113.1.2。由於從 Content-Type 判斷出 SIP 主體為 SDP 訊息，因此在 SDP 標頭的部分，針對標頭中 c 與 o 欄位的內容分析出 IPv6 位址，將 3ffe:3600:1::3 對 Address Mapper 查詢位址轉換表後轉換成 140.113.1.11。當 SDP 訊息修改後，SIP-ALG 會重新計算 SIP 標頭中 Content-Length 標頭欄位內的長度值。轉換後的詳細內容請詳見圖 2-5。



步驟⑧與⑨：SIP-ALG 元件完成 SIP 訊息轉換工作，並回傳 SIP 訊息轉換後所減少的長度。

步驟⑩：SIIT 元件重新計算 IPv4 標頭長度欄位內的值，最後完成 IP 標頭轉換工作並回傳成功。

步驟⑪：Packet Transmitter 元件以詢問方式檢查到輸出緩衝區內有轉換完成的封包，接著將此轉換完成的 SIP 封包從輸出緩衝區中取出，以中斷方式傳遞給 Socket 元件以進行傳送工作。

步驟⑫：Socket 元件透過網路介面卡驅動程式，將轉換完成的 IPv4 封包送往 IPv4 網路，轉換後的 SIP 訊息如下圖 2-5 所示。

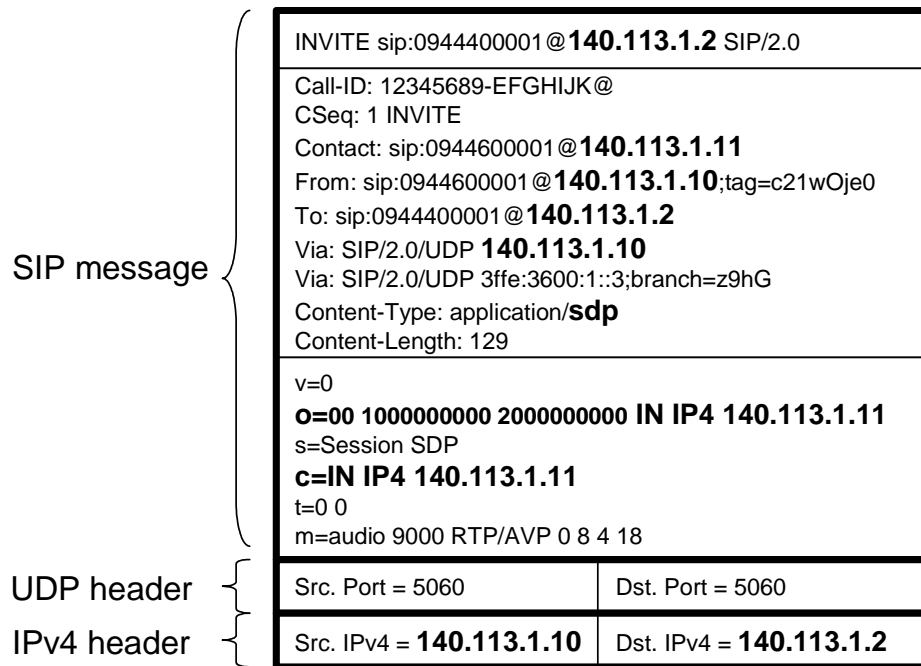


圖 2-5 轉換後的 IPv4 SIP INVITE 要求訊息

2.2.2 對於 IPv4 SIP 訊息之轉換範例

本範例與 2.2.1 節採用相同的網路參數與環境設定。當 UA2 撥打電話號碼 0944600001 給 UA1 時，UA2 向 IPv4 SIP 伺服器發出 SIP INVITE 要求。IPv4 SIP 伺服器由電話號碼的前置碼為 09446 判斷是由 IPv6 SIP 伺服器所管理，因此將此 SIP INVITE 要求訊息的 IPv4 目的位址填入 IPv6 SIP 伺服器的虛擬 IPv4 位址 140.113.1.2，透過 SIPv6 Translator 傳遞給 IPv6 SIP 伺服器。此 SIP INVITE 要求訊息的詳細內容如圖 2-6 所示。圖 2-7 詳列 SIPv6 Translator 系統運作流程圖。為了讓 IPv6 SIP 伺服器與 IPv4 SIP 伺服器可以互相傳遞 SIP 訊息，本系統在位址轉換表中，必須先設定一筆靜態對應轉換資料，內容為 3ffe:3600:1::2 (IPv6 SIP 伺服器的 IPv6 位址) 對應到 140.113.1.10。

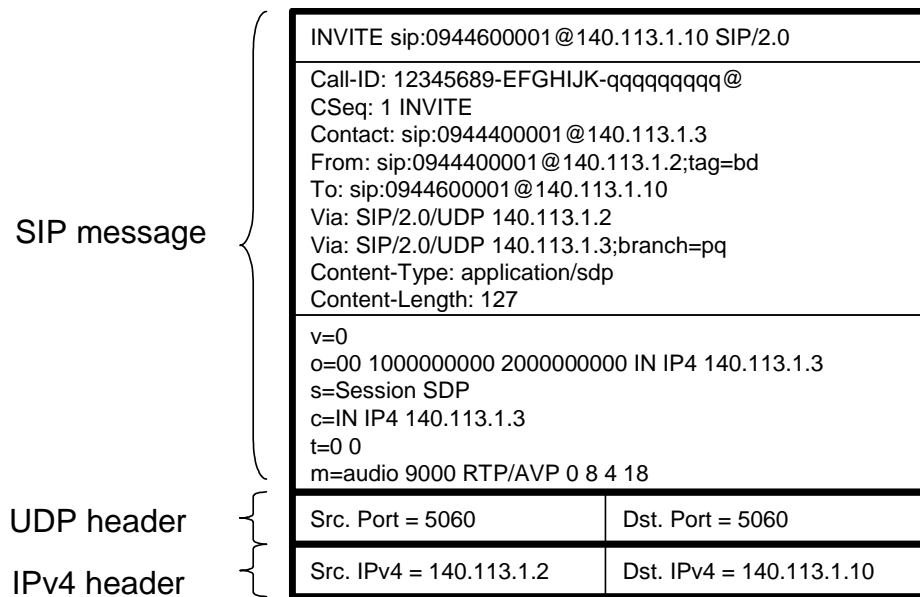


圖 2-6 轉換前的 IPv4 SIP INVITE 要求訊息

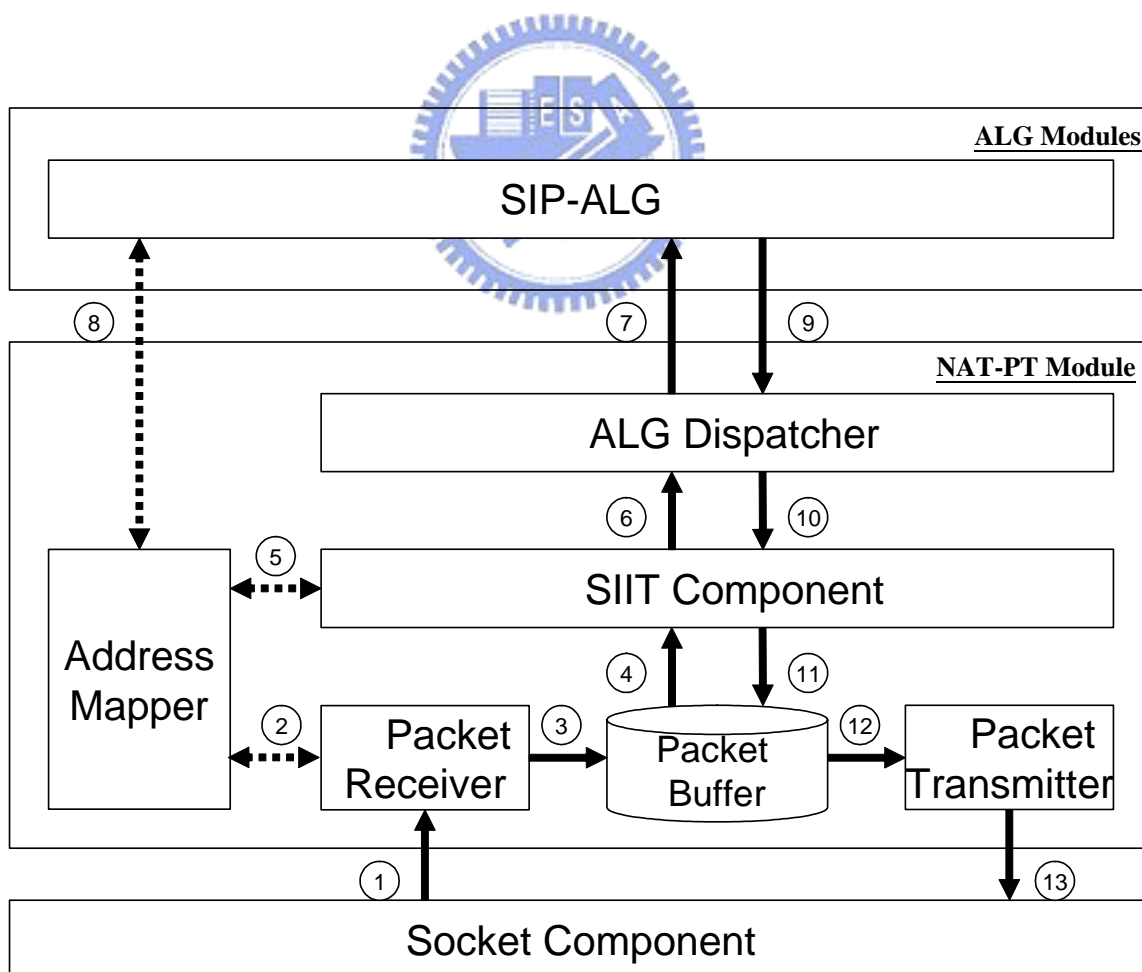


圖 2-7 SIPv6 Translator 系統運作流程圖：對 IPv4 SIP 訊息之轉換範例

步驟①與②：Socket 元件透過網路介面卡驅動程式擷取到此 IPv4 SIP 封包，並將封包以中斷方式傳遞給 Packet Receiver 元件進行封包的解析與過濾工作。首先，Packet Receiver 元件解析網路層 IP 協定的版本欄位來判斷封包為 IPv4 協定。接著，Packet Receiver 元件會先對 Address Mapper 查詢位址轉換表，檢查 IPv4 封包內的目的位址 140.113.1.10 是否已有對應的 IPv6 位址。當發現位址轉換表內有對應的 IPv6 位址 3ffe:3600:1::2，即表示此封包為一個合法封包。

步驟③：Packet Receiver 元件此合法的 IPv6 SIP 封包儲存於輸入緩衝區中。

步驟④：SIIT 元件以詢問方式檢查到輸入緩衝區內有尚未轉換的封包後，並取得此一封包的記憶體位址。

步驟⑤：SIIT 元件針對 IPv4 來源位址加上 NAT-PT Prefix 之後，轉換為 IPv6 來源位址 3ffe:3600:2::8c71:0102。接著，再以 IPv4 目的位址 140.113.1.10 向 Address Mapper 查詢，找出對應的 IPv6 位址 3ffe:3600:1::2 作為轉換後的 IPv6 目的位址。最後再將 IPv4 標頭中其餘欄位轉換成相對應的 IPv6 欄位[2]。

步驟⑥：SIIT 元件將此封包的記憶體位址傳給 ALG Dispatcher。

步驟⑦：ALG Dispatcher 從封包的傳輸層標頭得知 Port 值為 5060，判斷該封包為 SIP 封包後，將此封包的記憶體位址傳遞給 SIP-ALG 進行 SIP 訊息轉換工作。

步驟⑧：SIP-ALG 元件對封包的 SIP 與 SDP 欄位進行解析工作，對含有 IP 位址資訊的特定標頭欄位值進行轉換工作。對於 From 與第一個 Via 標頭欄位內的 IPv4 位址，將 140.113.1.2 加上 NAT-PT Prefix (3ffe:3600:2::/96) 之後轉換成 3ffe:3600:2::140.113.1.2；對於 Contact 標頭欄位內的 IPv4 位址，將 140.113.1.3 加上 NAT-PT Prefix 之後轉換成 3ffe:3600:2::140.113.1.3；對於 Request-URI 與 To 標頭欄位內的 IPv4 位址，藉由 Address Mapper 的對應，將 140.113.1.10

轉換成 3ffe:3600:1::2。針對標頭中 c 與 o 欄位的內容分析出 IPv4 位址 140.113.1.3，加上 NAT-PT Prefix 後轉換成 3ffe:3600:2::140.113.1.3。當 SDP 訊息修改完成後，會重新修正 SIP 標頭中 Content-Length 標頭欄位內的長度值。轉換後的詳細內容請詳見圖 2-8。

步驟⑨與⑩：SIP-ALG 元件完成 SIP 訊息轉換工作，並回傳 SIP 訊息轉換後所增加的長度。

步驟⑪：SIIT 元件重新計算 IPv6 標頭長度欄位內的值，最後完成 IP 標頭轉換工作並回傳成功。

步驟⑫：Packet Transmitter 元件以詢問方式檢查到輸出緩衝區內有轉換完成的封包，並將此轉換完成的 SIP 封包從輸出緩衝區中取出，以中斷方式將此封包傳遞給 Socket 元件以進行傳送工作。

步驟⑬：Socket 元件透過網路介面卡驅動程式，將轉換完成的 IPv6 封包送往 IPv6 網路。轉換後的 SIP 訊息如下圖 2-8 所示。

| | | |
|-------------|--|------------------------------------|
| SIP message | INVITE sip:0944600001@ 3ffe:3600:1::2 SIP/2.0 | |
| | Call-ID: 12345689-EFGHIJK-qqqqqqqqq@ CSeq: 1 INVITE Contact: sip:0944600001@ 3ffe:3600:2::140.113.1.3 From: sip:0944600001@ 3ffe:3600:2::140.113.1.2 ;tag=bd To: sip:0944400001@ 3ffe:3600:1::2 Via: SIP/2.0/UDP 3ffe:3600:2::140.113.1.2 Via: SIP/2.0/UDP 140.113.1.3;branch=pq Content-Type: application/ sdp Content-Length: 153 | |
| | v=0 o=00 1000000000 2000000000 IN IP6 3ffe:3600:2::140.113.1.3 s=Session SDP c=IN IP6 3ffe:3600:2::140.113.1.3 t=0 0 m=audio 9000 RTP/AVP 0 8 4 18 | |
| UDP header | Src. Port = 5060 | Dst. Port = 5060 |
| IPv6 header | Src. IPv6 = 3ffe:3600:2::8c71:0102 | Dst. IPv6 = 3ffe:3600:1::10 |

圖 2-8 轉換後的 IPv6 SIP INVITE 要求訊息

第三章

SIPv6 Translator 系統實作原理

本系統的實作重心在 SIP 通訊協定的轉換，因此本章詳細說明 SIP-ALG 模組（圖 2-1④）的實作原理。本章前兩節提出兩個 SIP-ALG 實作方法，並在第三節比較這兩個方法的優缺點。



3.1 SIP-ALG 實作方法一

在初期開發 SIP-ALG 模組過程中，為了方便程式除錯與驗證程式的正確性，程式（本章指的是 SIP-ALG 程式）一開始會先從輸入緩衝區讀入 SIP 訊息，然後再解析 SIP 訊息的結構，並儲存到一個資料結構中，之後即可對 SIP 與 SDP 的欄位內容進行處理。程式最後再將資料結構中的 SIP 訊息依照 RFC3261 所定義的格式寫入輸出緩衝區，我們稱此為 SIP-ALG 實作方法一。圖 3-1 詳列 SIP-ALG 實作方法一的程式流程。

步驟①：由於 ALG Dispatcher 將 SIP 封包在輸入緩衝區的記憶體位址以及 SIP 封包轉換後在輸出緩衝區的記憶體位址當作參數傳進本程式，因此一開始程式直接

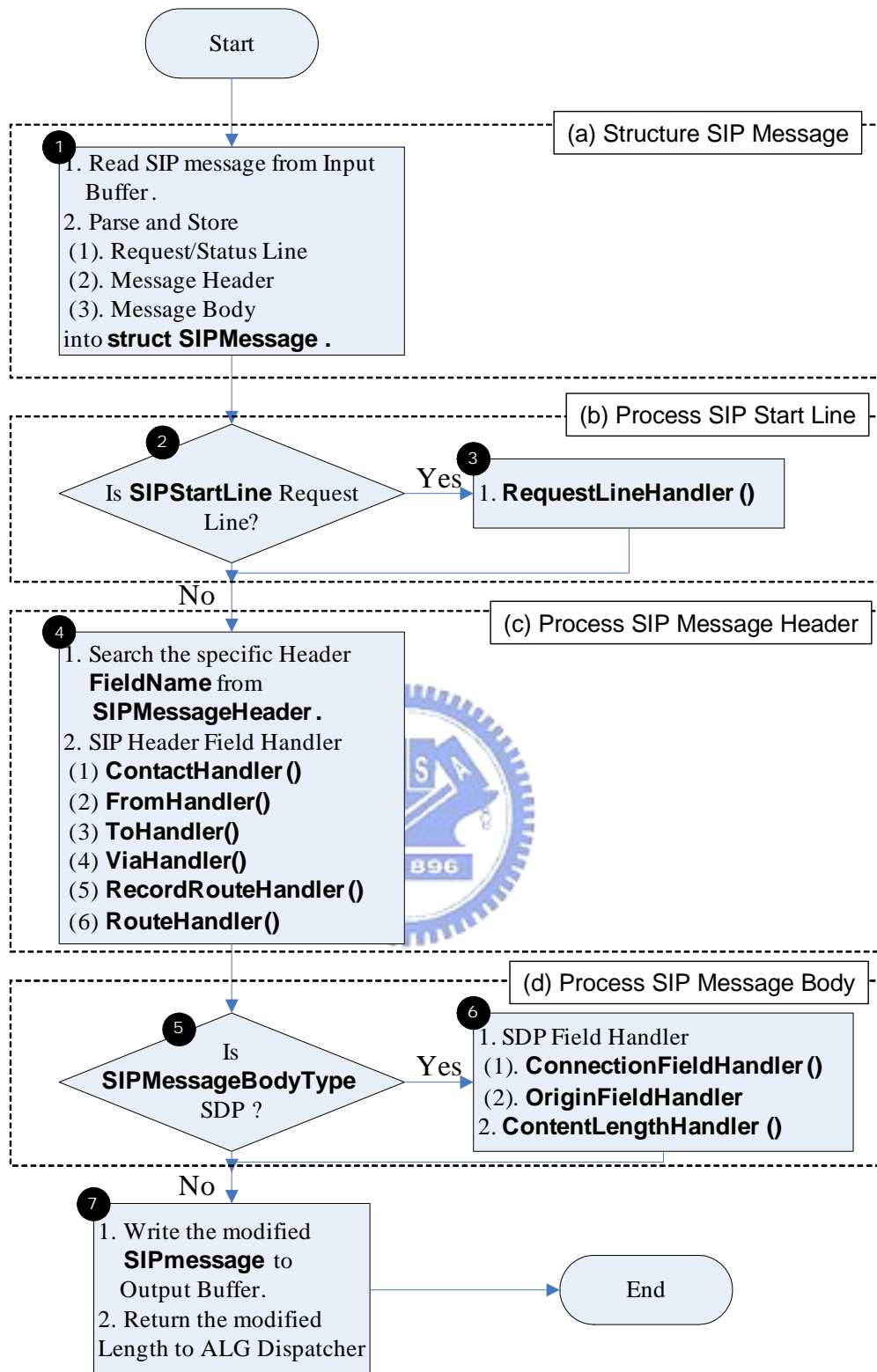


圖 3-1 SIP-ALG 實作方法一流程圖

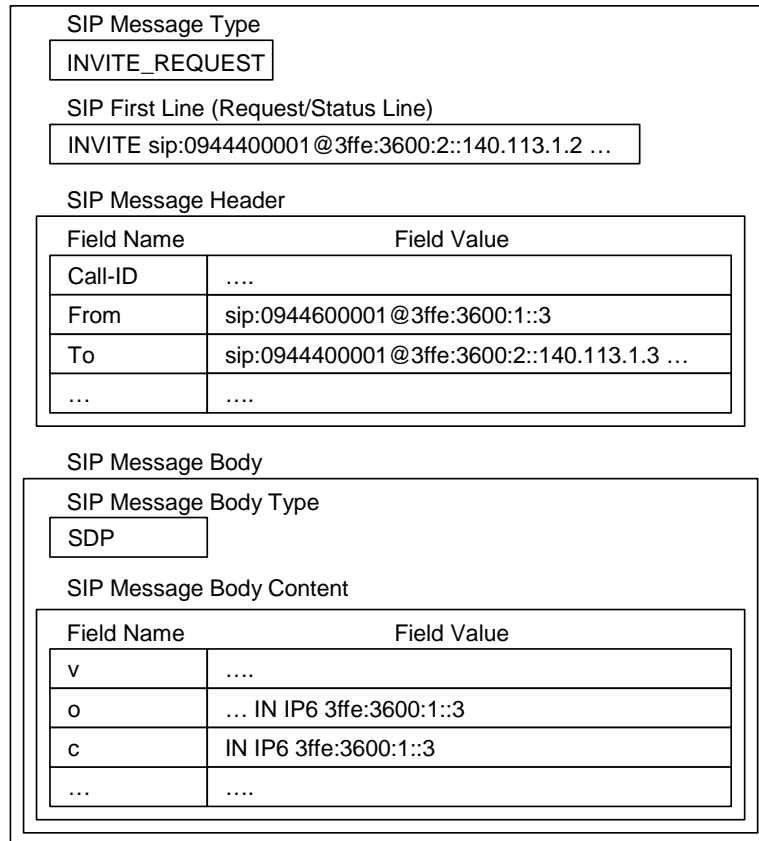


圖 3-2 struct SIPMessage 資料結構之範例

從輸入緩衝區讀入此 SIP 訊息，並以一個 **SIPMessage** 資料結構來儲存 SIP 訊息的結構（如圖 3-2 所示）。在 **SIPMessage** 資料結構中，包括 **enum SIPMessageType**、**SIPStartLine** 字串、**SIPMessageHeader** 資料結構以及 **SIPMessageBody** 資料結構。**SIPMessageType** 儲存兩項資訊，第一項說明此 SIP 訊息的方法，第二項說明此 SIP 訊息為 SIP 要求或 SIP 回應。在圖 3-2 範例中，INVITE_REQUEST 表示此 SIP 訊息是方法為 INVITE 的 SIP 要求訊息。**SIPStartLine** 字串用來儲存 SIP 訊息中第一行資訊。若 SIP 訊息為 SIP 要求訊息，則 **SIPStartLine** 字串儲存著 SIP 要求的 Request Line。若 SIP 訊息為 SIP 回應，則 **SIPStartLine** 字串儲存著 SIP 回應的 Status Line。**SIPMessageHeader** 資料結構用來儲存 SIP 訊息標頭欄位，因為 SIP 標頭欄位的個數不固定，此資料結構以串列結構來儲存每一筆 SIP 標頭欄位。每個標頭欄位分別用 **FieldName** 字串與 **FieldValue** 字串儲存著欄位型態與欄位

內容。 **SIPMessageBody** 資料結構儲存 SIP 訊息主體，分別以 **SIPMessageBodyType** 字串與 **SIPMessageBodyContent** 資料結構來儲存 SIP 訊息主體的型態與內容。由 SIP 標頭中 Content-Type 標頭欄位可知 SIP 訊息主體的類型，若 SIP 訊息主體為 SDP，則 **SIPMessageBodyType** 儲存著字串“SDP”，並以 **SIPMessageBodyContent** 資料結構以串列資料結構儲存每一筆 SDP 欄位內容，每個欄位分別用 **FieldName** 字串與 **FieldValue** 字串儲存著欄位型態與欄位內容。

步驟②：程式從 **SIPMessageType** 判斷是否為 Request Line。若是，則執行步驟③。若否，則跳到步驟④進一步處理 SIP 訊息標頭欄位。

步驟③：**RequestLineHandler** 函式找出 Request Line 中 Request-URI 的 IP 位址部份作轉換。

步驟④：程式針對 **SIPMessageHeader** 資料結構內的 **FieldName** 字串進行搜尋工作，判斷 Contact、From、To、Via、Record-Route 以及 Route 等六種特定標頭欄位是否存在，若存在則分別呼叫 **ContactHandler**、**FromHandler**、**ToHandler**、**ViaHandler**、**RecordRouteHandler** 以及 **RouteHandler** 函式針對欄位內的 IP 作轉換。此步驟針對特定 SIP 標頭欄位完成轉換工作。

步驟⑤：程式從 **SIPMessageBodyType** 字串從判斷 SIP 訊息主體是否為 SDP，若是則執行步驟⑥。若否則跳到步驟⑦。

步驟⑥：程式在 **SIPMessageBodyContent** 資料結構內搜尋 **FieldName** 字串，找出 c 與 o 欄位，並且分別呼叫 **ConnectionFieldHandler** 以及 **OriginFieldHandler** 函式對 c 與 o 欄位內的 IP 位址進行轉換。最後，呼叫 **ContentLengthHandler** 函式針對 SIP 標頭中 Content-Length 標頭欄位內的 SIP 訊息主體長度值做修正。

步驟⑦：程式將 **SIPMessage** 資料結構轉換為 RFC3261 定義的 SIP 訊息格式，寫入輸出緩衝區中。最後並回傳 SIP 訊息轉換後所改變的長度。

3.2 SIP-ALG 實作方法二

為了提升 SIP-ALG 模組的運算速度，實作方法二是從輸入緩衝區讀入並解析 SIP 訊息結構，判斷是否該作轉換，再直接寫入輸出緩衝區。圖 3-3 詳列 SIP-ALG 方法二實作的程式流程。

步驟①：程式從輸入緩衝區讀入 SIP 訊息起始行。

步驟②：從 SIP 訊息起始行的前三個字元可以判斷是否為 Request Line。若前三個字元並非“SIP”，則為 Request Line，並執行步驟③。若前三個字元為“SIP”，則為 Status Line，並執行步驟④。

步驟③：**RequestLineHandler** 函式找出 Request Line 中 Request-URI 的 IP 位址部分進行轉換。最後，將轉換後的 Request Line 寫入輸出緩衝區。

步驟④：直接將 Status Line 寫入輸出緩衝區。

步驟⑤：從輸入緩衝區讀入下一行的 SIP 標頭欄位。

步驟⑥：判斷此 SIP 標頭欄位名稱，若是 3.1 節步驟④所說明的特定標頭欄位，則執行步驟⑦。若是其他的標頭名稱，則執行步驟⑧。若是 CRLF 則表示 SIP 標頭已經結束，請跳到步驟⑨。

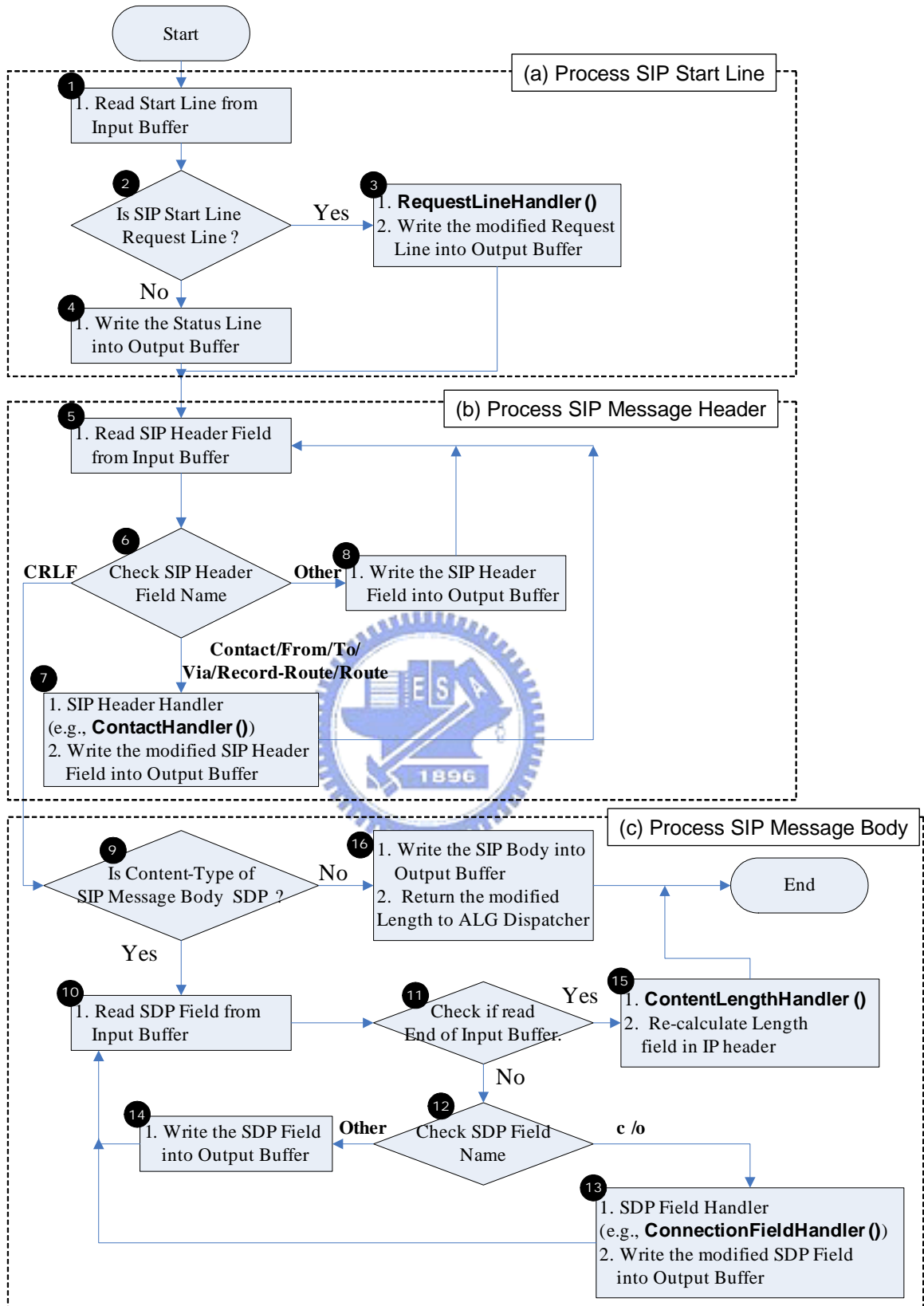


圖 3-3 SIP-ALG 實作方法二流程圖

步驟⑦：針對此特定 SIP 標頭欄位（例如 Contact），呼叫對應的 SIP 標頭欄位處理函式（例如 **ContactHandler**），對此 SIP 標頭欄位內的 IP 作轉換。最後，將轉換後的 SIP 標頭欄位寫入輸出緩衝區。重複步驟⑤。

步驟⑧：直接將此 SIP 標頭欄位寫入輸出緩衝區。重複步驟⑤。

步驟⑨：從 Content-Type 標頭欄位內容可以判斷 SIP 訊息主體是否為 SDP。若是 SDP，則執行步驟⑩至⑮轉換 SDP 標頭中 c 與 o 欄位。若不是，則執行步驟⑯結束 SIP-ALG 轉換。

步驟⑩：從輸入緩衝區讀入下一行的 SDP 欄位。

步驟⑪：依據 SIP 標頭中 Content-Length 欄位內的值，判斷是否已經從輸入緩衝區讀完整個 SIP 訊息。若不是則跳到步驟⑫進行轉換。若是，則執行步驟⑮結束 SIP-ALG 之轉換。

步驟⑫：判斷此 SDP 欄位名稱，若是 c 或 o 欄位，則執行步驟⑬轉換欄位中 c 與 o 的 IP 位址。若是其他欄位則執行步驟⑭直接複製。

步驟⑬：針對此 SDP 欄位（例如 c），呼叫對應的 SDP 欄位處理函式（例如 **ConnectionFieldHandler**）對此 SDP 欄位內的 IP 作轉換。最後，將轉換後的 SDP 標頭欄位寫入輸出緩衝區。重複步驟⑩。

步驟⑭：直接將此 SDP 欄位寫入輸出緩衝區。重複步驟⑩。

步驟⑮：呼叫以 **ContentLengthHandler** 函式針對 SIP 標頭中 Content-Length 標頭欄位內的 SIP 訊息主體長度值做修正。

步驟⑯：直接將 SIP 訊息主體寫入輸出緩衝區。最後並回傳 SIP 訊息轉換後所改變的長度。

3.3 SIP-ALG 實作方法一與二之比較

表 3-1 對 SIP-ALG 實作方法一與二作比較。圖 3-1 (a) 顯示 SIP-ALG 實作方法一在程式開始以 **SIPMessage** 資料結構來儲存 SIP 訊息。因此，在除錯與程式的正確性上，可以隨時針對 SIP 訊息內容作新增、修改與刪除，並可以很輕易地更動圖 3-1 之程式架構。但產生 **SIPMessage** 資料結構將導致記憶體配置與釋放的動作大量增加，非常浪費運算時間。在圖 3-1②搜尋特定的 SIP 標頭欄位時，因為是採用串列資料結構儲存每筆 SIP 標頭欄位，因此每次搜尋 SIP 標頭名稱都必須要從頭開始搜尋，此一程序會增加運算時間。

為了提升 SIP-ALG 的運算速度，SIP-ALG 實作方法二針對 SIP 訊息的結構，採取讀入輸入緩衝區後直接轉換標頭，然後再寫入輸出緩衝區。因此，實作方法二對所有 SIP 與 SDP 欄位僅需要讀取一次，即可將所有特定欄位轉換完畢。而在實作方法一，由於一開始就已經將 SIP 訊息存在 **SIPMessage** 資料結構中，每當要對 SIP 與 SDP 特定標頭作轉換之前，就必須先分別對 **SIPMessageHeader** 與 **SIPMessageBodyContent** 資料結構內所有 **FieldName** 作搜尋。假設有 n 個特定欄位(包含 SIP 與 SDP 標頭)需要作轉換，就必須對 **SIPMessage** 資料結構做 n 次搜尋。實作方法二的優點是效能比實作方法一好很多，詳細數據可以參考第四章效能測量實驗，但缺點則是程式架構比較不易更動。

表 3-1 SIP-ALG 實作方法一與二之比較表

| | Method 1 | Method 2 |
|-----------------------|----------|----------|
| Structure SIP Message | Yes | No |
| Search SIP Headers | O (n) | O (1) |

第四章

SIPv6 Translator 之互通性測試與效能評估

本章節介紹本論文對 SIPv6 Translator 所作的測試實驗。測試實驗總分為兩部份：

(1) SIPv6 Translator 系統之互通性測試實驗與 (2) SIPv6 Translator 系統之效能測試實驗。



4.1 SIPv6 Translator 系統之互通性測試實驗

為了驗證 IPv6 SIP UA 是否可以透過 SIPv6 Translator 與 IPv4 SIP UA 通訊，本實驗針對電信國家型計畫（National Telecommunication Program；簡稱 NTP）VoIP 平台之 SIPv4 軟硬體設備做了互通性（Interoperability）測試實驗。

互通性測試實驗環境架構圖如圖 4-1 所示。在 IPv6 網路環境中，IPv6 SIP UA（本節中簡稱 UA1）擔任撥話者（Calling Party），測試設備採用本實驗室所開發的 SIPv6 UA。在 IPv4 網路環境中，IPv4 SIP UA（本節中簡稱 UA2）擔任受話者（Called Party），測試設備採用 NTP VoIP 平台之 SIPv4 軟硬體設備，包括軟體電話設備（包括 Windows Messenger 4.7 與 CCL Vontel Skin UA）、硬體電話設備（包括 PinTel 2.1.10、snom 200 與 Cisco 7940）以及 PSTN 閘道器（包括 Cisco2621 與 Vontel PSTN Gateway）。為了

除錯與分析，我們同時在 IPv6 網路與 IPv4 網路上安裝封包分析器（SIPv6 Analyzer），來觀察轉換前的 SIP 訊息以及轉換後的 SIP 訊息。

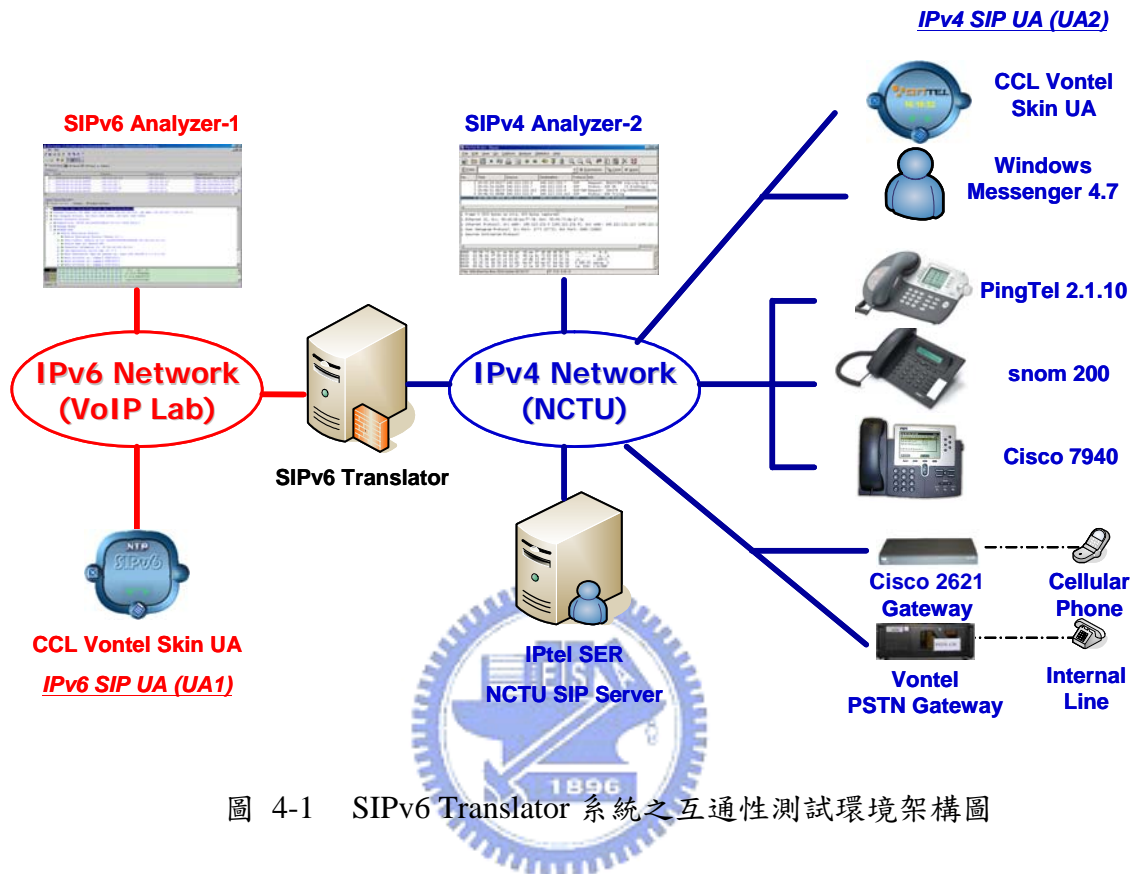


圖 4-1 SIPv6 Translator 系統之互通性測試環境架構圖

我們在實驗過程之中，先讓 SIP-ALG 模組轉換 SIP 標頭中有關路由的 Request-URI 與 Contact、Via 標頭欄位以及 SDP 標頭中 c 欄位，再觀察 NTP VoIP 平台中的軟硬體設備是否能正常運作，若不能運作，我們會觀察錯誤原因並逐漸加入其他欄位含有 IP 位址的必要轉換。實驗結果顯示，UA1 與 Windows Messenger 4.7 網路電話軟體建立通話時，Windows Messenger 4.7 會因為在分析 SIP 標頭欄位時檢查到 IPv6 位址，而在視窗中顯示錯誤訊息，並直接切斷這個連線且不回應任何的 SIP 訊息給 UA1（如圖 4-2 所示）。此時當其他的 SIP UA 想要與 Windows Messenger 4.7 建立通話時，Windows Messenger 4.7 一律會回 "486 Busy Here"，我們推論可能是因為 Windows Messenger 4.7 讀到 IPv6 位址顯示錯誤時，SIP 撥話者狀態機（State Machine）未回到最後狀態而造成這樣的狀況。

由圖 4-2 的錯誤訊息與圖 4-3 封包分析器交叉比對，得知此 IPv6 位址為 From 欄位內的值，因此當 SIPv6 Translator 在增加了 From 欄位的轉換之後，UA1 與 Windows Messenger 4.7 即可正常通訊，因此可知除了上述的 Request-URI、Contact、Via 標頭欄位以及 c 欄位之外，Windows Messenger 4.7 還會檢查 From 標頭欄位。

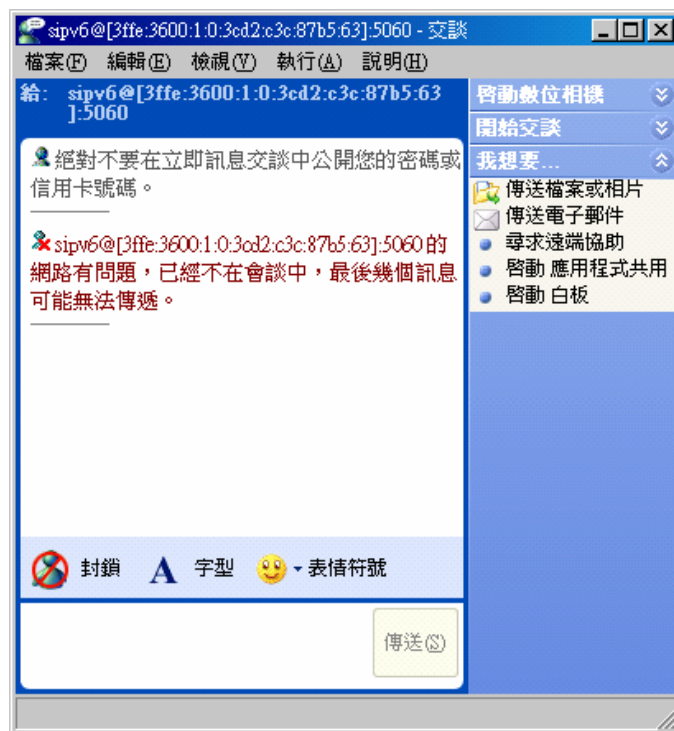


圖 4-2 Windows Messenger 4.7 無法判讀 IPv6 位址

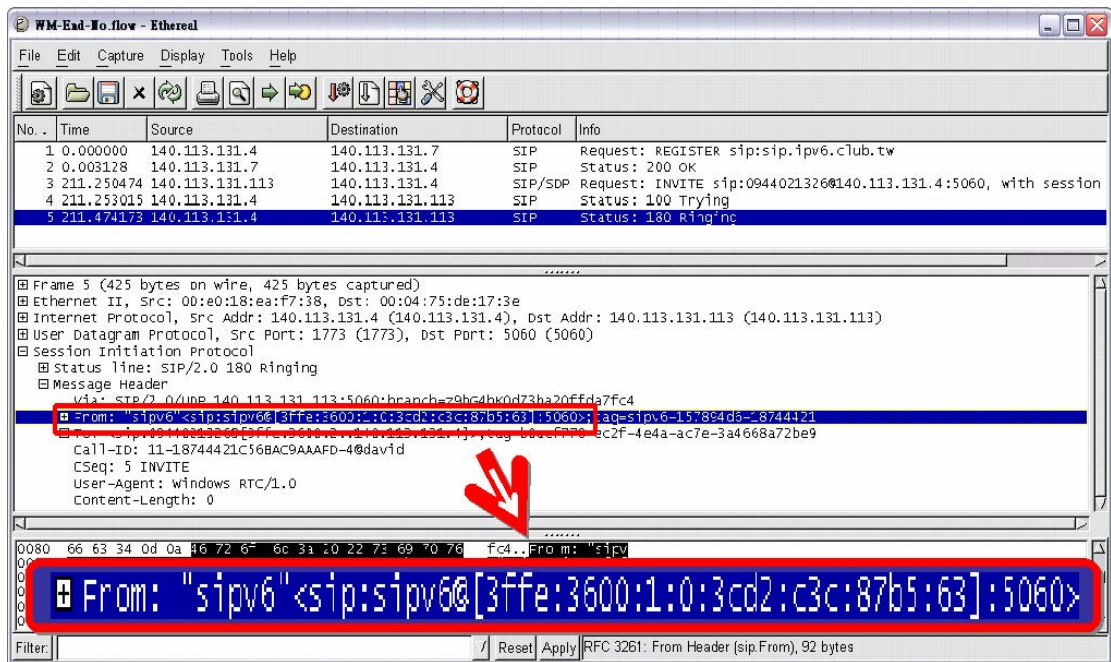


圖 4-3 Windows Messenger 4.7 無法判讀 IPv6 位址之封包擷取畫面



Cisco 所製造的 IP Phone 7940 Series 與 Cisco 2621XM 設備，檢查的欄位更多。如圖 4-4 所示，當 SIPv6 Translator 加入了 From 標頭欄位轉換之後，Cisco 設備仍然會回覆”400 Bad Request”給 UA1，由結果判斷 SIP 訊息中仍然有標頭欄位需要轉換。如圖 4-5 所示，接著當 SIPv6 Translator 同時加入了 From 與 To 標頭欄位轉換之後，Cisco 設備仍然會發出”400 Bad Request , Warning: 399 Invalid SDP Message”，由此結果判斷 SDP 中仍然有欄位需要轉換。最後，當 SIPv6 Translator 同時加入了 SIP From、To 標頭欄位以及 SDP 標頭中 o 欄位的轉換之後，UA1 與 Cisco 設備即可建立通訊。因此，我們由實驗結果推測，這 Cisco 的網路電話設備會將所有與 IP 位址相關的欄位全部都做檢查。

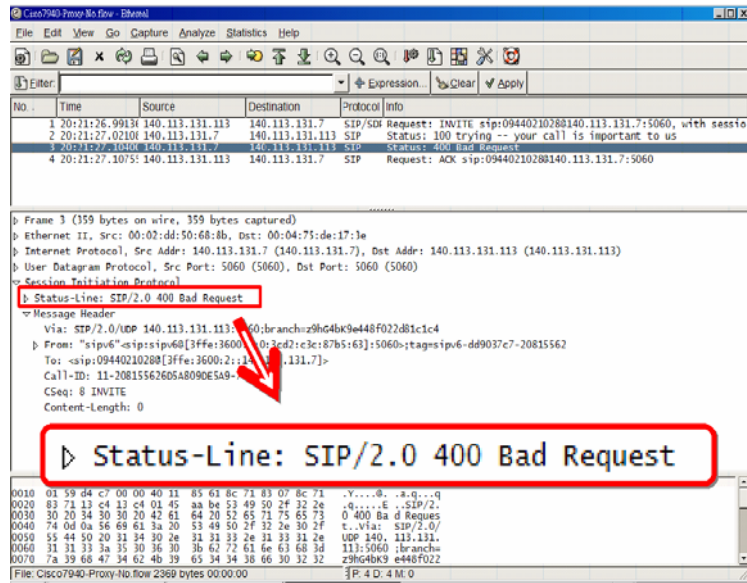


圖 4-4 未修改 SIP 標頭中的 From 或 To 標頭欄位

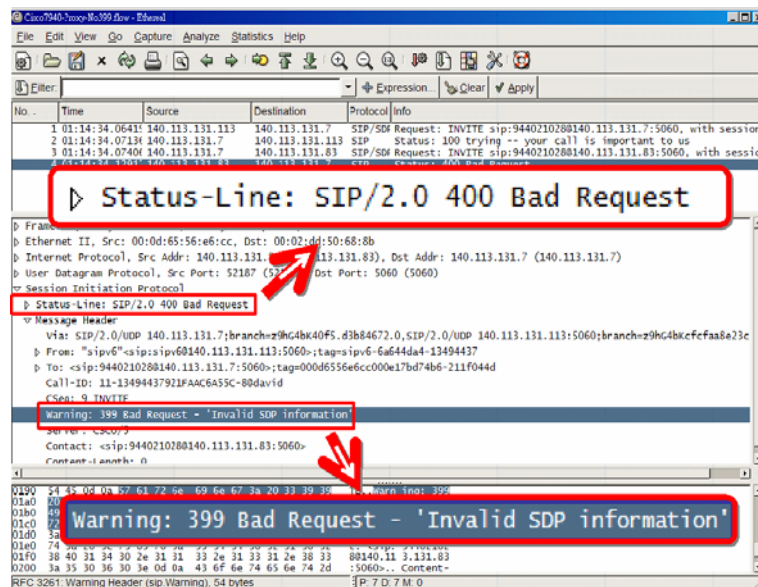


圖 4-5 未修改 SDP 標頭中的 o 欄位

最後將實驗結果整理如下表 4-1 所示，我們將各 SIP UA 設備需檢查 IP 資訊的 SIP 與 SDP 欄位列出，必定會檢查欄位的欄位以打勾表示。由表 4-1 可知 CCL Skin UA、Vontel PSTN Gateway、美國廠商所製造的 PingTel 2.1.10 以及德國廠商所製造的 snom 200，僅檢查 SIP 訊息的 Request-URI、Contact、Via 標頭欄位與 SDP 中的 c 欄位，即

與 UA1 建立通訊。由實驗結果得知，加入了 SIP 的 From 與 To 標頭欄位以及 SDP 標頭中 o 欄位之後，Cisco 設備與 Windows Messenger 都可以正常運作了。

表 4-1 使用 SIPv6 UA 與各家軟一體廠商的 SIPv4 UA 互通性測試比較

| | | SIP Header Fields | | | | | SDP Fields | |
|---------------|----------------------------|-------------------|---------|-----|------|----|------------|---|
| | | Request-URI | Contact | Via | From | To | c | o |
| IP Soft Phone | CCL Skin UA | v | v | v | - | - | v | - |
| | Windows Messenger 4.7.2009 | v | v | v | v | - | v | - |
| IP Hard Phone | PingTel 2.1.10 | v | v | v | - | - | v | - |
| | snom 200 | v | v | v | - | - | v | - |
| | Cisco IP Phone 7940 Series | v | v | v | v | v | v | v |
| PSTN Gateway | Vontel PSTN Gateway | v | v | v | - | - | v | - |
| | Cisco PSTN Gateway | v | v | v | v | v | v | v |

v: The Field must be translated.

-: The Field may not be translated.

在本實驗的互通性測試之中，SIPv6 Translator 可以讓 SIPv6 UA 與電信國家型計畫所佈建的 SIPv4 軟硬體以及 PSTN 閘道器相互通訊，證明 SIPv6 Translator 可以支援大多數的 SIPv4 電話網路設備。此一成果也可以支援 NICI IPv6 基礎建設分組，讓 IPv6 SIP 網路建置成果與現有 IPv4 電話網路相互通訊。

4.2 SIPv6 Translator 系統之效能量測實驗

為了分析本系統 SIPv6 Translator 的效能，我們觀察 SIP 撥話者通話建立時所增加的延遲時間，來作為 SIPv6 Translator 系統之效能量測實驗的評估依據。

為了快速地開發出 SIP 通話建立訊息測試程式，本論文採用開放原始碼的 osip 以及 eXosip 函式庫套件作為底層開發模組[23,24]。撥話者發出 SIP INVITE 要求到發出 SIP ACK 要求這段時間為通話建立時間，我們定義為通話建立時間（Call Setup Time；簡稱 CST）。如圖 4-6 所示，本實驗中以測量 CST 所增加的延遲時間來評估 SIPv6 Translator 的效能。

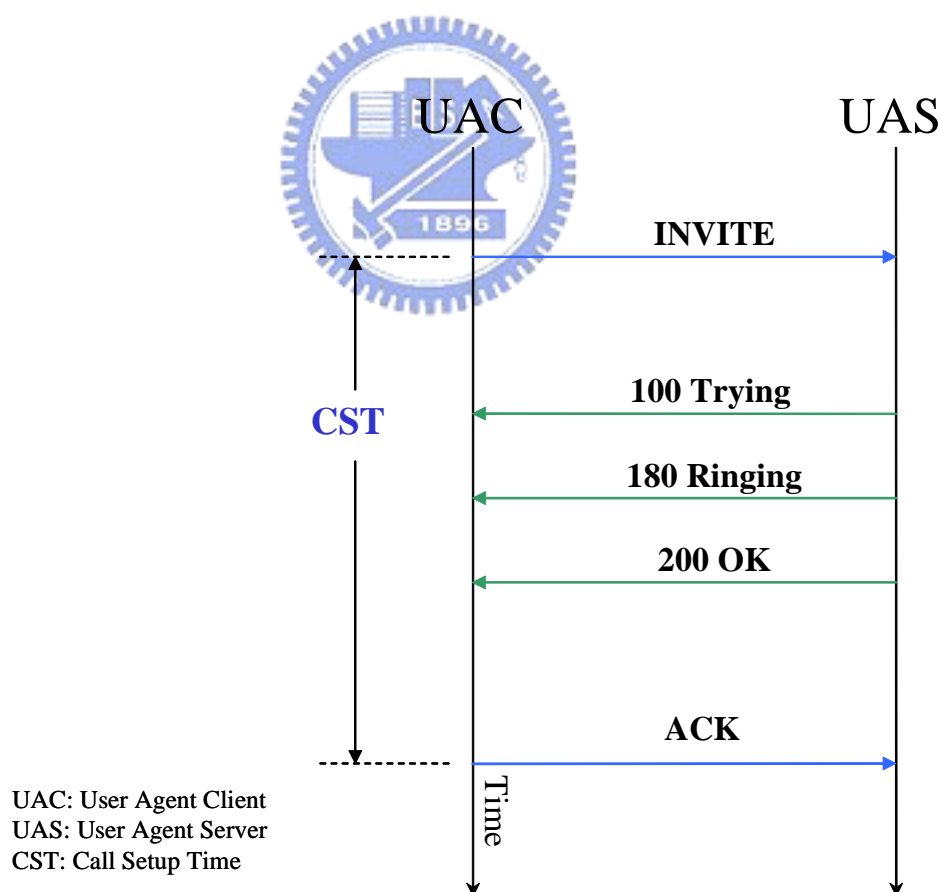


圖 4-6 SIP 通話建立之訊息流程圖

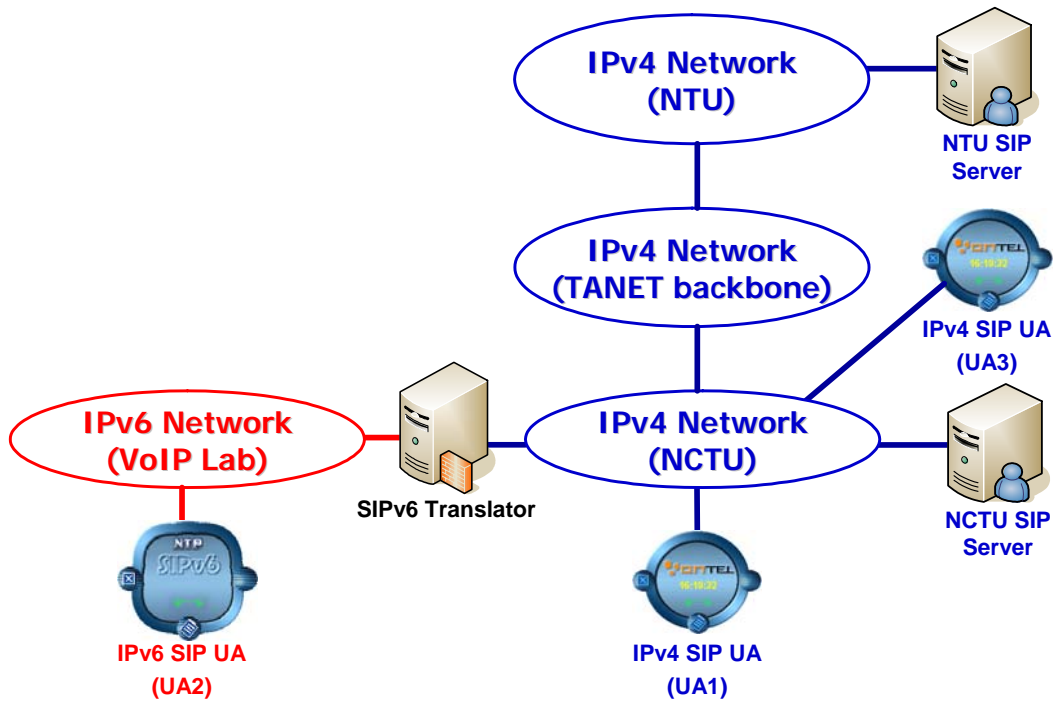


圖 4-7 SIPv6 Translator 系統之效能測量實驗環境架構圖

效能測試實驗環境架構圖如圖 4-7 所示。UA1 與 UA3 為 IPv4 SIP UAs，UA2 為 IPv6 SIP UA。UA1 與 UA2 擔任為撥話者，UA3 則擔任受話者。接下來我們以三個實驗來測試 SIPv6 Translator 所增加的額外負擔，每個實驗分成實驗組 a 與對照組 b。實驗組表示此實驗環境不包含 SIPv6 Translator，對照組表示此實驗環境包含 SIPv6 Translator。藉由實驗組與對照組的比較，就可以得到 SIPv6 Translator 所增加的延遲時間。底下描述各分項實驗之環境架構。

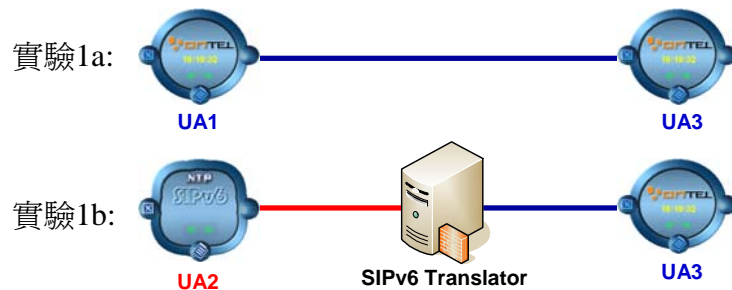


圖 4-8 實驗 1 之測試環境

如圖 4-8 所示，在最簡單的環境（實驗 1）下，兩個 UAs 不需要透過 SIP 伺服器直接互相連線。實驗 1 的目的是在最簡單的環境下測量 SIPv6 Translator 所增加的 CST。在實驗 1a，UA1 與 UA3 之間直接透過網路線連接。在實驗 1b，UA2 與 UA3 透過 SIPv6 Translator 連接。

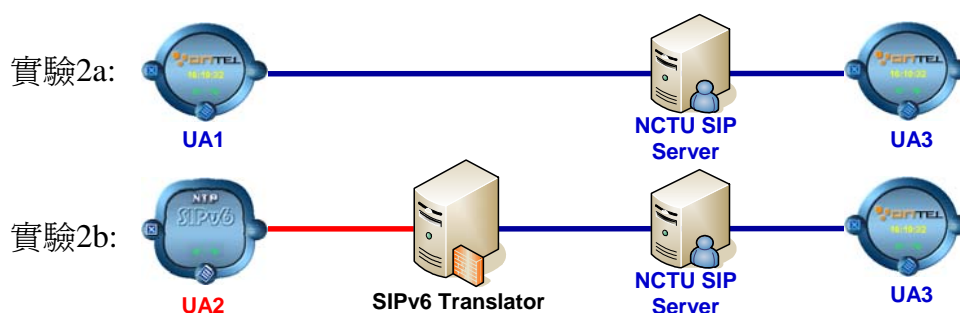


圖 4-9 實驗 2 之測試環境

如圖 4-9 所示，目前大多數的 SIP UA 都透過 SIP 伺服器來建立通話，為了比較 SIP 伺服器對於 CST 的影響，實驗 2 在透過 SIP 伺服器的環境下測量 CST。在實驗 2a，UA1 透過 NCTU SIP 伺服器與 UA3 建立通話。在實驗 2b，UA2 會先經過 SIPv6 Translator 的轉換，再透過 NCTU SIP 伺服器與 UA3 建立通話。比較實驗 1 與 2，我們可以得到 SIPv6 Translator 與 SIP 伺服器之 CST。

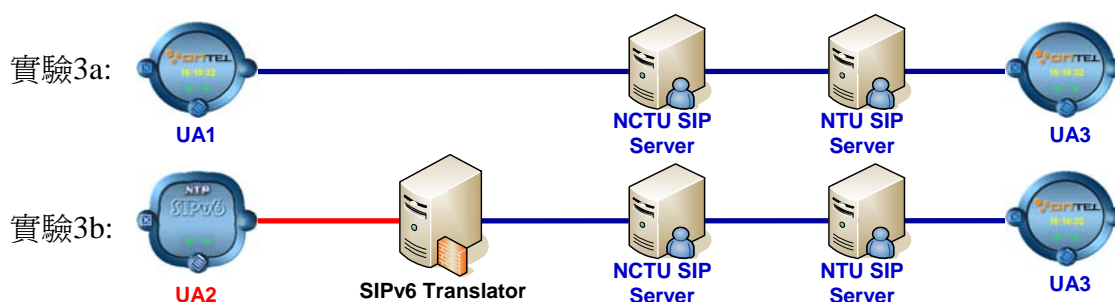


圖 4-10 實驗 3 之測試環境

如圖 4-10 所示，實驗 3 比較網路傳輸對於 CST。在實驗 3a，UA1 會先透過 NCTU SIP 伺服器，將 SIP 訊息傳遞給 NTU SIP 伺服器，然後再透過 NTU SIP 伺服器傳回給 UA3 來建立通話。在實驗 3b，UA2 會先經過 SIPv6 Translator 的轉換，將 SIP 信令傳遞

給 NCTU SIP 伺服器，然後再透過 NTU SIP 伺服器傳給 UA3 來建立通話。實驗 3 增加了從 NCTU 到 NTU 網路之間經過了兩次 TANet (Taiwan Academic Network) 骨幹網路傳輸，因此比較實驗 2 與 3 可得網路傳輸之 CST。

每一實驗在測量大約 1 萬次時，CST 值在統計分布上已經穩定且無明顯的變化，因此本論文以 1 萬次作為 CST 測量的樣本大小。如表 4-2 所示，由實驗 1、2 以及 3 測量出來的 CST 平均值得知，以方法一實作在這三個分項實驗所增加負擔約 970 us，分別佔實驗組 CST 的 24.15%、13.02% 以及 4.93%。由分項實驗 1a 與 2a 得知，經過 SIP 伺服器之後，CST 大約增加 3.6 ms；由分項實驗 2a 與 3a 得知，在經過網路的影響之後，CST 大約增加 11.3 ms；而經過 SIPv6 Translator，CST 大約增加不到 1 ms。由此可知，SIP 伺服器、網路以及 SIPv6 Translator 都會增加 CST 的負擔，在這些因素之中，SIPv6 Translator 的影響最小。

表 4-2 SIPv6 Translator 在各分項實驗中所增加負擔之比較

| CST (us) | Mean | Extra Overhead |
|-----------------|-------------------|----------------|
| 實驗1a | 4003.3634 | 0 |
| 實驗1b (Method 1) | 4970.3859 | 967 (24.15%) |
| 實驗2a | 7595.5500 | 0 |
| 實驗2b (Method 1) | 8584.6394 | 989 (13.02%) |
| 實驗3a | 18891.0756 | 0 |
| 實驗3b (Method 1) | 19823.7192 | 932 (4.93%) |

表 4-3 比較 SIP-ALG 實作方式一與二的效能。SIPv6 Translator 採用方法二來實作 SIP-ALG，對 CST 所增加的負擔大約 0.2 ms，效能大約比方法一提升近 5 倍。從實驗 1 來看，SIPv6 Translator 所增加的負擔降到了 5.07%，在實驗 2 更是降到了 2.76%。

表 4-3 SIP-ALG 實作方法一與二之效能比較

| CST (us) | Mean | Extra Overhead |
|-----------------|------------------|--------------------|
| 實驗1b (Method 1) | 4970.3859 | 967 (24.15%) |
| 實驗1b (Method 2) | 4206.1100 | 203 (5.07%) |
| 實驗2b (Method 1) | 8584.6394 | 989 (13.02%) |
| 實驗2b (Method 2) | 7805.0647 | 210 (2.76%) |

實驗結果顯示，SIP-ALG 實作方法二的效能比方法一提升接近 5 倍。一個 SIP Proxy 所增加的時間延遲大約為 3.6 ms，經過了網路之後，所增加的時間延遲大約為 11.3 ms，而本論文的 SIPv6 Translator 系統僅僅增加了大約 0.2 ms 的負擔，幾乎可以被忽略不計。



第五章

結論

由於越來越多人使用 SIP 網路電話，每個網路電話裝置都至少需要一個 IP 位址。隨著網路電話的普及，IPv4 將不足以分配給每一台網路電話。IPv6 提供大量的 IP 位址來解決 IPv4 位址不足的問題，但在 IPv6 佈建初期，大多數的 SIP 網路電話仍只支援 IPv4。本論文提出 SIPv6 Translator 系統之設計與實作，提供一個 SIP 協定的轉換機制，讓 IPv6 網路電話使用者與 IPv4 網路電話使用者可以互相通訊。SIPv6 Translator 系統以 NAT-PT 機制為基礎，加入了 SIP-ALG 轉換機制，針對 SIP 訊息內的 IP 資訊作轉換，讓 SIP 訊息可以在 IPv6 與 IPv4 網路 SIP 設備之間正確的傳遞。SIP 伺服器、網路路由以及 SIPv6 Translator 都會對 SIP 通話建立的時間造成影響，然而在這些影響 SIP 通話建立時間的因素之中，以 SIPv6 Translator 系統所增加的負擔最小，其中 SIP-ALG 實作方法二之延遲幾乎可以被忽略。

未來期望以 SIPv6 Translator 的開發成果，協助 NICI IPv6 基礎建設分組之 IPv6 SIP 網路之建置，藉 SIP 網路電話之應用來推動國內 IPv6 之使用，並促進 SIP 設備廠商進一步研發 IPv6 SIP 網路電話設備。此成果對於 IPv6 與 VoIP 的推廣均有相當大的助益。

參考文獻

- [1] Tsirtsis, G., and Srisuresh, P., “DNetwork Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)”, RFC [2766](#), February 2000.
- [2] Nordmark., E., “Stateless IP/ICMP Translation Algorithm (SIIT)”, RFC [2765](#), February 2000.
- [3] Postel, J. (ed.), "Internet Protocol - DARPA Internet Program Protocol Specification”, STD 5, RFC [791](#), USC/Information Sciences Institute, September 1981.
- [4] J. Postel, "Transmission Control Protocol", STD 7, RFC [793](#), USC/Information Sciences Institute, September 1981.
- [5] J. Postel, "User Datagram Protocol", STD7 , RFC [768](#), USC/Information Sciences Institute, August 1980.
- [6] Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC [2460](#), December 1998.
- [7] Hinden, R. and S. Deering, "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture", RFC [3513](#), April 2003.
- [8] Postel, J., "Internet Control Message Protocol", STD 5, RFC [792](#), September 1981.
- [9] Conta, A. and S. Deering, "ICMP for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)", RFC [2463](#), December 1998.
- [10] Narten, T., Nordmark, E. and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC [2461](#), December 1998.
- [11] Mockapetris, P., "Domain Names - Concepts and Facilities", STD 13, RFC [1034](#), November 1987.
- [12] Mockapetris, P., "Domain Names - Implementation and Specification", STD 13, RFC [1035](#), November 1987.
- [13] Thomson, S. , Huitema, C., Ksinant, V. and M. Souissi, "DNS Extensions to support IP version 6", RFC [3596](#), October 2003.
- [14] Bush, R., "Delegation of IP6.ARPA", BCP 49, RFC [3152](#), August 2001.
- [15] Srisuresh, P., Tsirtsis, G., Akkiraju, P., and Heffernan, A., “DNS extensions to Network Address Translators (DNS_ALG)”, RFC [2694](#), September 1999.
- [16] Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks , R. , Handley, M. , and E. Schooler , “SIP: Session Initiation Protocol”, RFC [3261](#), June 2002.
- [17] Johnston, A., Donovan, S., Cunningham, C., and Summers., K., “Session Initiation Protocol (SIP) Basic Call Flow Examples”, RFC [3665](#), December 2003.

- [18] Handley, M. and V. Jacobson, “SDP: Session Description Protocol”, RFC [2327](#), April 1998.
- [19] Olson, S., Camarillo G., A. B. Roach, “Support for IPv6 in Session Description Protocol (SDP)”, RFC [3266](#), June 2002.
- [20] Rosenberg, J., and Schulzrinne, H., “An Offer/Answer Model with the Session Description Protocol (SDP)”, RFC [3264](#), June 2002.
- [21] Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and V. Jacobson, “A Transport Protocol for Real-Time Application”, RFC [3550](#), July 2003.
- [22] Silvia Hagen. IPv6 Essentials. Oreilly. 2002.
- [23] <http://savannah.nongnu.org/projects/exosip/>
- [24] <http://www.gnu.org/software/osip/osip.html>



附錄 A

DNS-ALG 模組實作原理

當網路上的使用者想要建立連線，必須先知道雙方的 IP 位址，然而 IP 位址繁瑣冗長，使用者並不容易牢記，因此就有 DNS (Domain Name System) 協定被提了出來。DNS 伺服器提供 IP 與網域名稱 (Domain Name) 對應的服務，網域名稱為一連串有意義的字串，字串之間以句號分隔 (例如 www.nctu.edu.tw 對應到 140.113.1.1)。網域名稱對使用者來說較為記憶方便。



A.1 DNS 訊息格式

DNS 訊息如圖 A-1 所示。DNS 訊息最前面的部份為 DNS 標頭，接著四個部份依序為 Query Entries、Answer RRs (Resource Records)、Authority RRs 以及 Additional RRs。DNS header 指明此訊息是查詢 (Query) 訊息或回應 (Response) 訊息，並記錄 Query Entries、Answer RRs (Resource Records)、Authority RRs 以及 Additional RRs 的個數。Query Entries 指明訊息中查詢的資訊。Answer RRs 指明該查詢的答覆。Authority RRs 指明授權的名稱伺服器資訊。Additional RRs 指明其他相關資訊。DNS header 在 DNS 訊息中一定會出現，而 Query Entries、Answer RRs (Resource Records)、Authority RRs 以及 Additional RRs 則不一定會出現。

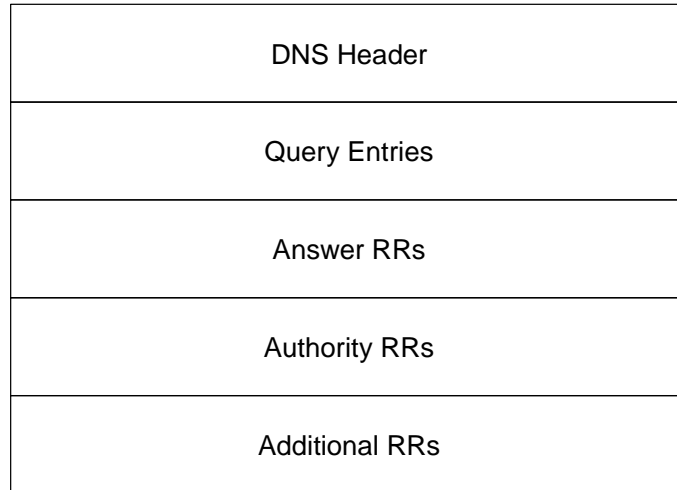


圖 A-1 DNS 訊息格式

如圖 A-2 所示，DNS 標頭格式中的 QDCount 欄位記載著 Query Entries 的個數，ANCount、NSCount 以及 ARCount 欄位分別記載 Answer RRs、Authority RRs 以及 Additional RRs 的個數。當上述四個欄位中任一欄位為 0，則對應的資訊不會出現在 DNS 訊息之中。例如 ARCount 欄位為 0，則 Additional RRs 不會出現在 DNS 訊息中。其餘欄位定義請參閱 RFC1035。

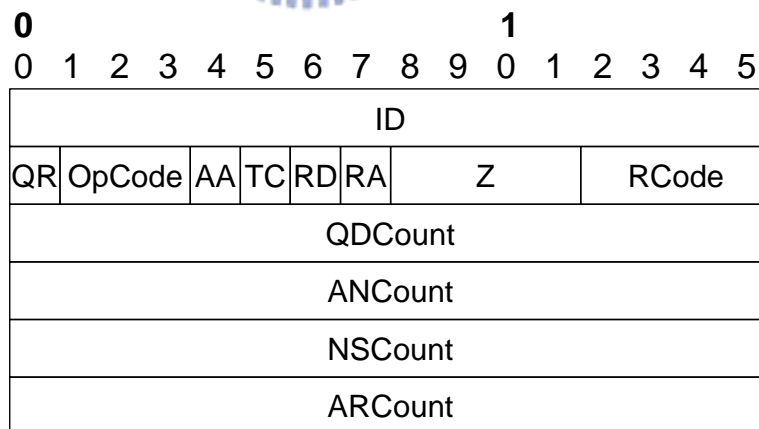


圖 A-2 DNS 標頭格式

如圖 A-3 所示，Query Entries 格式包括三個欄位，分別為查詢名稱 (QName)、查詢型態 (QType) 以及查詢類別 (QClass)。查詢名稱指明欲查詢之網域名稱字串 (如 www.nctu.edu.tw 或 1.0.0.127.in-addr.arpa.)，字串以數值 '0' 作為結束字元。查詢型態與

查詢類別定義請參閱 RFC1035。

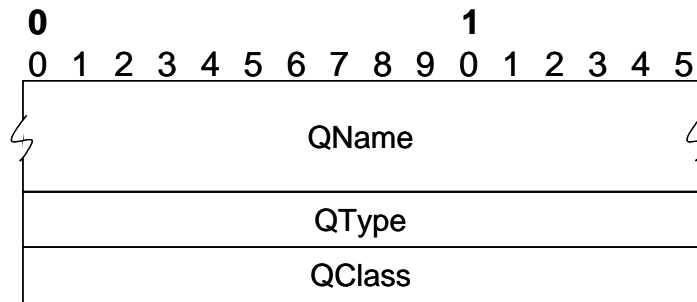


圖 A-3 DNS Query Entry 格式

如圖 A-4 所示，Query Entries、Answer RRs (Resource Records)、Authority RRs 以及 Additional RRs 的格式皆相同，包括名稱 (Name)、型態 (Type)、類別 (Class)、有效時間 (TTL)、RR 資料長度 (Data Length) 與 RR 資料內容 (Data)。

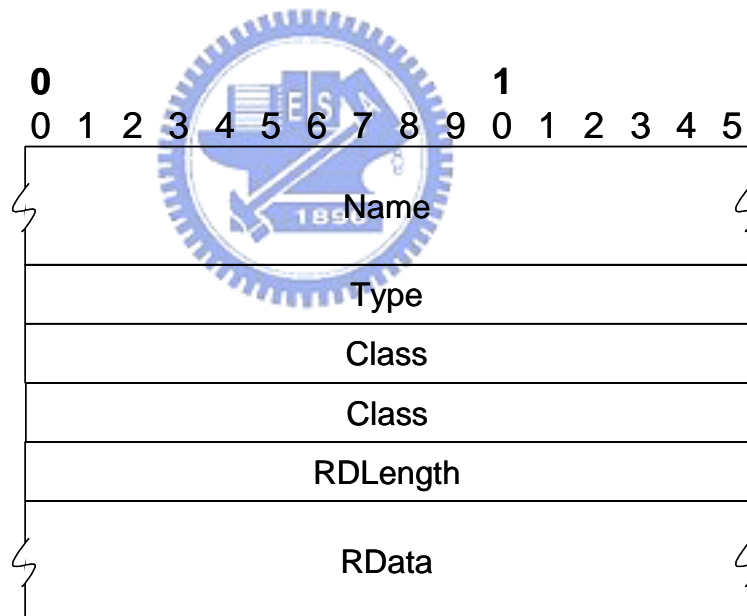


圖 A0-4 DNS Answer RR, Authority RR, Additional RR 格式

在 Query Entries 中的查詢名稱欄位以及 RRs 中的名稱欄位中，大多數的情況下帶有非常長的字串名稱 (例如 www.csie.nctu.edu.tw 共有 21 個字元)，而且在 DNS 訊息中，名稱欄位內的網域名稱有可能重複。由於在現實網路環境中 DNS 訊息的使用非常頻繁，為了減少 DNS 訊息在網路中的流量，DNS 標準文件提出了訊息壓縮 (Message

Compression) 的模式。當名稱欄位最前面兩個位元同時為 1 的情況下，表示此名稱欄位為訊息壓縮的模式，接著並以 14 個位元的位移 (Offset) 欄位指明名稱字串指標在 DNS 訊息中的位置。雖然 DSN 標準文件稱為訊息壓縮模式，實際上是以 16 個位元來指明 DNS 訊息中已經出現過的名稱。訊息壓縮的範例請參閱 RFC1035 第 31 頁。

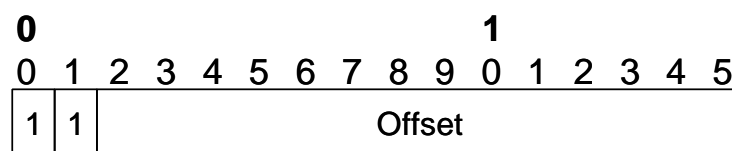


圖 A-5 在 DNS Entry 與 RR 中，名稱欄位之訊息壓縮格式

A.2 DNS-ALG 之實作原理

在 NAT-PT 的網路架構中，IPv6 網路上的主機藉由 IPv6 DNS 伺服器與 IPv6 網路上其他的主機建立連線，IPv4 網路上的主機使用 IPv4 DNS 伺服器與 IPv4 網路上其他的主機建立連線。但是當 IPv6 主機要與 IPv4 主機建立連線之前，會先向 IPv6 DNS 伺服器查詢 IPv4 主機的位址，由於在 IPv6 DNS 伺服器與 IPv4 DNS 伺服器之間並沒有傳遞 (Forwarder) 關係，因此就無法遞迴式 (Recursive) 查詢到 IPv4 使用者的位址。除此之外，即使 IPv6 與 IPv4 DNS 伺服器互相設定傳遞關係，由於 IPv4 DNS 伺服器回傳給 IPv6 DNS 伺服器是 IPv4 位址，IPv6 主機仍然無法以 IPv4 位址在 IPv6 網路中建立連線。

為了讓 IPv6 與 IPv4 網路的主機可以雙向查詢並且正確建立連線，首先在 NAT-PT 上設定 IPv6 DNS 伺服器的 Public IPv4 位址靜態對應 (Static Mapping)，讓 IPv4 伺服器可以將 DNS 封包送到此 Public IPv4 位址，然後透過 NAT-PT 的轉換之後傳遞給 IPv6 DNS 伺服器。接著在 IPv6 與 IPv4 DNS 伺服器上互相設定傳遞關係。最後在 NAT-PT 系統上加入 DNS-ALG 模組，DNS-ALG 模組針對 DNS 查詢或回應訊息封包內的 IP 位

址作轉換。

DNS-ALG 模組針對 DNS 通訊協定的封包進行分析。DNS-ALG 模組內部包括 DNS 解析 (DNS Parser) 單元 (圖 A-6(a))、IP 位址字串處理單元 (圖 A-6(b)) 以及封包長度修正單元 (圖 A-6(c))。

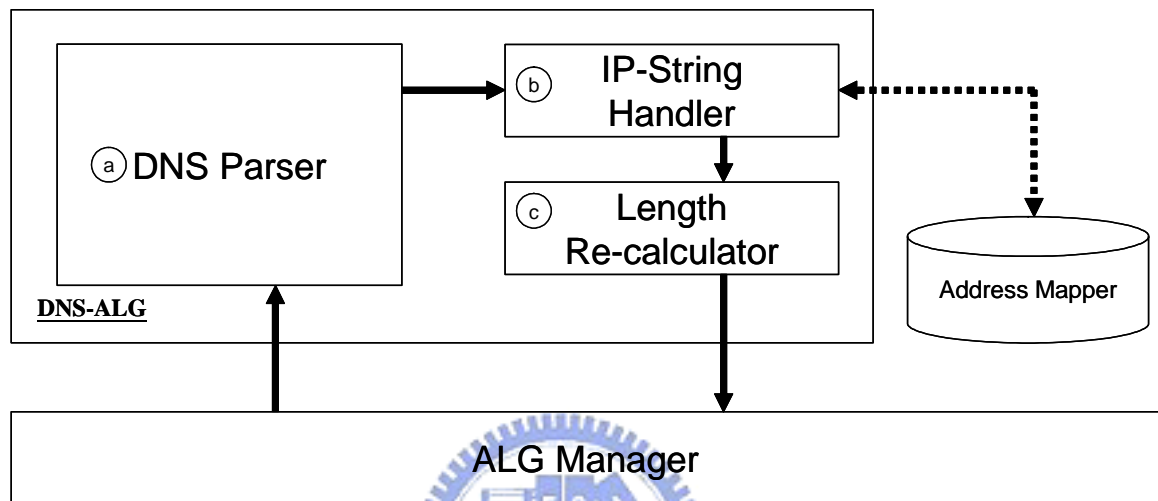


圖 A-6 DNS-ALG 模組架構圖

DNS 解析單元針對 DNS 訊息進行解析，解析之後以資料結構 (圖 A-7) 來儲存此 DNS 訊息。為了能方便進行 DNS 訊息的轉換，本系統採用串列資料結構的方式儲存 DNS 訊息中 Query Entries 以及 RRs 的內容 (圖 A-8)。

```
/* Definition of DNS Message */
struct DNSMessage
{
    DNSHeader * header; /* Header Section */

    DNSEntry * qdENT; /* point of question Entry */
    DNSRR * anRR; /* point of answer RR */
    DNSRR * nsRR; /* point of authority RR */
    DNSRR * arRR; /* point of additional RR */
}
```

圖 A-7 DNS 通訊協定資料結構的型態定義圖

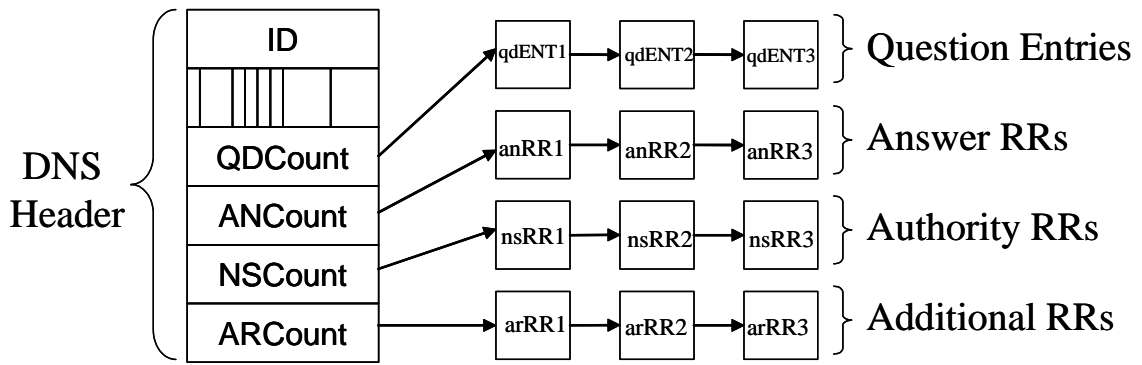


圖 A-8 DNS 通訊協定資料結構的型態關係圖

IP 位址字串處理單元針對 DNS 訊息內的 IP 位址，進行轉換的工作。底下對 Question Entries 以及其他 RRs（包括 Answer RRs、Authority RRs 以及 Additional RRs）分別說明轉換演算法。

IP 位址字串處理單元針對於 DNS 訊息內的 Question Entries 進行分析工作。若類別（Class）欄位為 Internet（值等於 1），且型態（Type）欄位的值為 A（值等於 1），表示這是一個 DNS IPv4 正查訊息，IP 位址字串處理單元要將型態欄位的值由 A 轉換為 AAAA，若類別欄位為 Internet，且型態欄位的值為 AAAA（值等於 28），表示這是一個 DNS IPv6 正查訊息，IP 位址字串處理單元要將型態欄位的值由 AAAA 轉換為 A。若類別欄位為 Internet，且型態欄位的值為 PTR（值等於 12），表示這是一個 DNS 反查訊息，IP 位址字串處理單元針對名稱（Name）欄位，將 IPv4 位址反查字串加上 NAT prefix 字串後轉換成 IPv6 位址反查字串，或者將 IPv6 位址反查字串透過 Address Mapper 的位址對照表以查詢或新增的方式獲得 IPv4 位址資訊之後，轉換成 IPv4 位址反查字串（如表 A-1 所示）。

IP 位址字串處理單元針對於 DNS 訊息內的 Answer RRs, Authority RRs, Additional RRs 進行分析工作。若型態欄位的值為 A，表示這是一個 DNS IPv4 訊息，IP 位址字串處理單元要將型態欄位的值由 A 轉換為 AAAA，並且將 RR 資料內的 IPv4 位址轉換為

IPv6 位址；若型態欄位的值為 AAAA，表示這是一個 DNS IPv6 訊息，IP 位址字串處理單元要者將型態欄位的值由 AAAA 轉換為 A，並且將 RR 資料內的 IPv6 址轉換為 IPv4 位址（如表 A-2 所示）。

表 A-1 Question Entries 轉換演算法

| Field | If <i>QClass</i> ==IN (1) | If <i>QClass</i> ==IN (1) and <i>QType</i> ==PTR (12) |
|--------------|---------------------------|--|
| <i>QType</i> | A (1) 轉換 AAAA (28) | No Modification |
| <i>QName</i> | No Modification | IPv4 octets with preceding string "IN-ADDR.ARPA" (e.g., 100.100.113.140.IN-ADDR.ARPA.) 轉換 IPv6 octets with preceding string "IP6.NET" (e.g., 4.6.4.6.1.7.c.8.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.1.0.0.0.0.0.6.3.e.f.f.3.IP6.NET.) |

表 A-2 Answer RRs, Authority RRs, Additional RRs 轉換演算法

| Field | |
|--------------|--|
| <i>Type</i> | A (1) 轉換 AAAA (28) |
| <i>RData</i> | 4-bytes IPv4 address (e.g., 140.113.100.100) 轉換 16-bytes IPv6 address (e.g., 3ffe:3600:1::8c74:6060) |

封包長度修正單元負責兩個工作。第一，針對 IP 位址資訊已轉換完成的 RRs 進行 RR 資料長度欄位的修正；第二，當 DNS 訊息中名稱欄位內的 IP 位址經過轉換之後，IP 位址的字串長度會改變，若其他的 Query Entries 或 RRs 中有名稱欄位採用訊息壓縮模式，則會影響到位移指標所指的位置，因此必須根據 IP 位址的改變長度，再去重新計算位移指標的值。最後，封包長度修正單元會將 DNS 訊息轉換完成後的資料長度資訊，透過 ALG Dispatcher 傳遞給 SIIT 模組，來對 IP 標頭中的資料長度欄位進行修正。