

HiMIPv6: 階層式行動 IPv6

HiMIPv6: Hierarchical Mobile IPv6

孫雅麗	李振維	黃仲君	劉凡
台大資管所	台大資管所	台大資管所	台大資管所
sunny@im.ntu.edu.tw	r91045@im.ntu.edu.tw	r91045@im.ntu.edu.tw	r91045@im.ntu.edu.tw

摘要

HiMIPv6 延伸了 Mobile IPv6 的功能，並且引入了階層式架構的 mobility 管理模型。我們的方法是將 foreign network 中的 routers 建構成階層式的架構(稱為 hierarchical-structured Foreign Mobility Agents)，並且加入我們設計的功能模組。HiMIPv6 的運作不但對於原本 Mobile IPv6 運作的衝擊極小，同時能夠大幅地降低 Mobile IPv6 的 signaling overhead，以及最小化 handoff 時所造成的封包 delay，有效地增進無線網路的連線品質。

關鍵詞：階層式(Hierarchical), mobile, IPv6, handoff, mobility management

一、簡介

目前，網際網路是在 IPv4 協議的基礎上加以運行。IPv6 可以說是下一個階段的網際網路協議。IPv6 的提出最初是因為隨著網際網路的迅速發展，IPv4 所定義的有限位址空間因為使用的人數遽增而將被耗盡，而 IPv4 位址空間的不足將會妨礙網際網路發展的需求。為了能夠加大位址空間使其不至於匱乏，因此設計使用 IPv6 的機制來重新定義位址空間。目前所使用的 IPv4 是採用 32 位元的位址長度，計算起來大約只有 43 億個位址，預估會在 2005-2010 年間被分配完畢，而 IPv6 採用 128 位元的位址長度，幾乎可以說是沒有位址提供數目的限制。再者，在 IPv6 的設計過程中，還考慮了在 IPv4 中一些尚未解決或不當處理的部分，主要包含有 multicast、security、end-to-end IP connection 及 quality of service (QoS) 等議題。

隨著無線網路的快速發展，mobile users

可能會進行移動。Mobile IP 就是為了讓到處移動的 mobile users 能夠與其他的 users 進行溝通，而不需去知道 mobile users 的實際位置為何。Mobile IP 使用的方式是每當 mobile users 移動到一個新的網域時，便向自己的 Home Agent 做註冊的動作，告知目前所在位置為何，則一旦有其他的 users 想要傳送封包給 mobile users 時，就傳送封包至 mobile users 原來在 home network 中所用的位址(也就是 Home Address)，則此封包會被 home network 中的 router 所攔截下來，並將之轉送給 mobile users 目前所處的位址。一旦 mobile users 收到這樣的封包時，發現有其他的 users 要與其進行 connection，便會送個訊息告訴此 user 目前 mobile users 所在的位置，以利之後的 connection 可以在兩者間直接進行。

在目前的 RFC2002 中，我們可以看出在 Mobile IP 中，進行註冊過程時，會發生延遲時間過久的問題。我們所提出的 HiMIPv6，就是為了彌補 Mobile IP 的不足。具體來說，HiMIPv6 延伸了 Mobile IPv6 的功能，並且引入了階層式架構的 mobility 管理模型，局部化在相同網路範圍內的 signaling 訊息。HiMIPv6 的運作不但對於原本 Mobile IPv6 運作的衝擊極小，同時能夠大幅地降低 Mobile IPv6 的 signaling overhead，以及最小化 handoff 時所造成的封包 delay，有效地增進無線網路的連線品質。

二、系統運作流程

(一) 系統架構

在 HiMIPv6 的架構中，除了原本 Mobile IPv6 就存在的 Home Agent(HA)、Mobile Node (MN) 以及 Correspondent Node(CN)，新加入

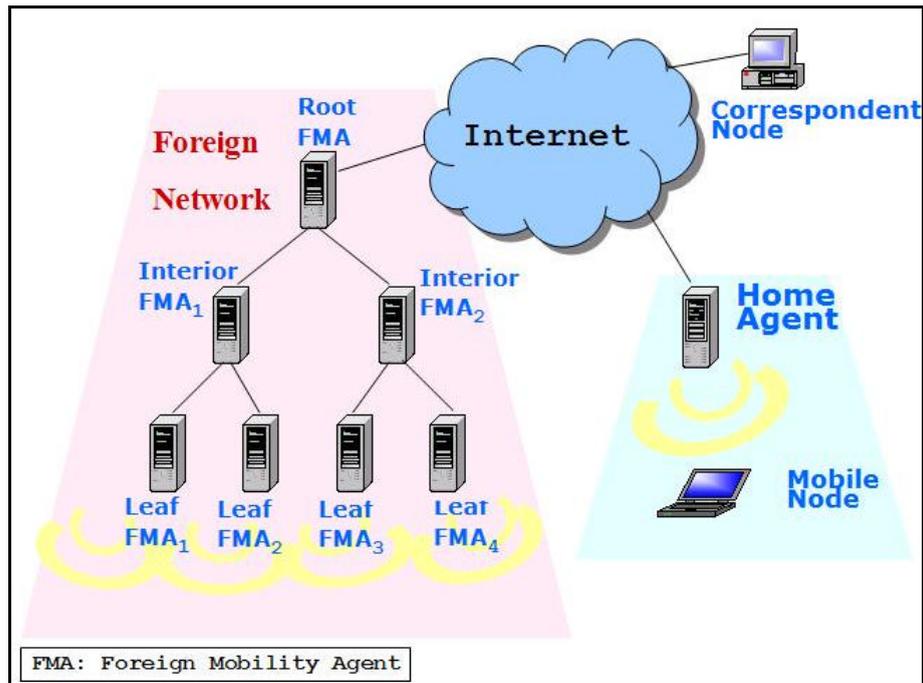


圖 1 HiMIPv6 系統架構圖

了 Foreign Mobility Agent(FMA)此一成員。並且還將 foreign domain 中的 routers 以階層式建構(一般稍具規模大專院校或公司園區皆如此建構該區網路), 如圖 1 所示。根據在階層中的位置, FMA 可以分類成 root-FMA、interior-FMA、leaf-FMA。我們系統架構的特色之一, 是對於在 Mobile IPv6 中已存在的成員做極小幅度的修改, 幾乎不會與 FMA 作直接的互動; 整個機制的絕大部份都是由 FMA 自動地進行處理。

(二) 向 HA 註冊

依[2]所述, MN 藉由收到與前次不同的 Router Advertisement(RA)判斷自己進行了移動, 並根據 RA 中的 prefix 自動設定出自己的 Care-of Address(CoA), 接著向 HA 發出 Binding Update(BU)。對 HiMIPv6 而言, 若是該 foreign network(RA 中的 prefix 與 home network 不同)部署具有 HiMIPv6 機制的 FMA hierarchy 時, 則 RA(由 leaf-FMA 負責發出)裡的“Hy” flag 會被設為 1(我們稱此 RA 為 Hy-RA, 見第四章第二節)。而 MN 收到 Hy-RA 時, 便會將 BU 中的“Hy” flag 設為 1(見第四章第三節)。我們稱這樣的 BU 為 Hy-Binding Update, Hy-BU)。

在 Hy-BU 被繞送出該 foreign domain 往 HA 時, 所有被此 Hy-BU 通過的 FMA 都會在自己的 Visitor List 中, 為此 MN 新增一個 entry, 紀錄 MN 的 CoA 以及其他相關資訊(見

第四章第一節)。特別的是, 當 Hy-BU 經過 root-FMA 的時候, root-FMA 除了會像其他的 FMAs 一樣在自己的 Visitor List 中, 為此 MN 建立一個 entry 之外, 還會將帶著 Hy-BU 封包的來源位址替換成 root-FMA 自己的位址。如此一來 HA 收到這個 Hy-BU 便會將該封包的來源位址視為 MN 的 CoA (也就是 root-FMA 的位址)。這樣做的目的是希望, 當 MN 在同一個 FMA hierarchy 下的多台 leaf-FMA(也就是不同 subnet)之間移動時, 不需另外通知 FMA hierarchy 外的 HA, 只要透過 root-FMA 的位址, 就能夠聯絡到 MN。

依[2]所述, HA 收到此 BU 之後, 如果允許此次 binding 便會發出 Binding Acknowledgement(BA)給 MN。對 HiMIPv6 而言, 為了讓 FMA 在收到 FMA hierarchy 之外來的封包(目的地位址是 root-FMA)時, 能夠正確的繞送給 MN, 這些帶著 BA 的封包中還會帶有在 HiMIPv6 中新定義的 Receiver Home Address Destination Option(見第四章第四節)。在這個新定義的 option 中存有 MN 的 home address, 如此一來 root-FMA 才會知道該要把這個 BA 往哪一條路徑繞送。少了 Receiver Home Address option, root-FMA 對於應該將此 BA 往哪一個 FMA router 繼續繞送出去, 是一無所知的。

當 FMAs 收到相對應於某個 Hy-BU 的 BA 時, 會根據該封包中的 Receiver Home Address

Option 所帶 MN 的 home address，從自己的 Visitor List 查出先前 Hy-BU 封包所帶 MN CoA，並依此替換掉所收到的 BA 封包的目的地位址，再向下繞送此 BA 封包，直到 MN 收到，完成第一次進到此 FMA hierarchy 的註冊程序。

(三) Switching FMA

HiMIPv6 與 Mobile IPv6 最大的不同點在於，當 MN 移動至不同於前一個 subnet(仍然在同一個 FMA hierarchy 中)時，MN 會再度向 HA 發出 Hy-BU。此時 Hy-BU 一路上所經過的 FMAs 都會進行前述 Hy-BU 通過時的動作，直到 Hy-BU 抵達 switching-FMA (新舊 Hy-BU 經過路徑的交叉點，如圖 2 所示)。

Switching-FMA 會將該 Hy-BU 攔截下來不再繞送出去。然後從自己 Visitor List 中，找出對應於該 MN 的 entry，並且把 MN's CoA 欄位更新為此時收到的 Hy-BU 封包的來源位址。接著以 MN 舊的 CoA 為目的地位址，送出 HiMIPv6 新定義的 Hy-Binding Inform(Hy-BI)。此 BI 將會延著 MN 舊的註冊路徑向 FMA hierarchy 下方繞送，每一個收到 Hy-BI 的 FMA 將得知 MN 已經移動到別的 subnet 之中。

最後 Switching-FMA 會代替 HA 回送一個 Hy-BA 給 MN，也就是說，此 Hy-BA 的來源

位址填的是 HA 的位址，而非 switching-FMA 的位址。當 MN 在收到時將會認為此 Hy-BA 即是由 HA 所送回來的 BA，進而確認完成註冊程序。

(四) 與 CN 進行連線

依[2]，如果某個在 FMA hierarchy 外的 CN 想要與 MN 進行連線，因為一開始沒有 MN 的位置資訊，所以送出來的封包填的目的地位址是 MN 的 Home Address，進而被繞送到 MN 的 home network，而 HA(已經收過 MN 的註冊)會攔截此封包，並且以 IP-in-IP (encapsulation)的方式，將封包 tunnel 至 MN 所註冊的 CoA(也就是 root-FMA 的位址)。而 MN 收到 tunnel 的封包時，便會向 CN 發出 BU，註冊其位置資訊，使得之後 CN 要送封包給 MN 時不需再透過 HA。

而根據 HiMIPv6 的設計，如果 FMAs 收到 tunneled 的封包，則會藉由 inner IPv6 header 的目的地位址(也就是 MN 的 Home Address)去 Visitor List 中查出 MN 的 CoA，取代掉 outer IPv6 header 的目的地位址，再繼續一般的繞送程序。之後在 MN 送給 CN 的(Hy-)BU 中，同樣也會將"Hy"flag 設為 1。而路徑上所有的 FMA 也會做出相對應於有 Hy-BU 通過時的動作。

在 CN 接受 MN 的 Hy-BU 之後，在接下

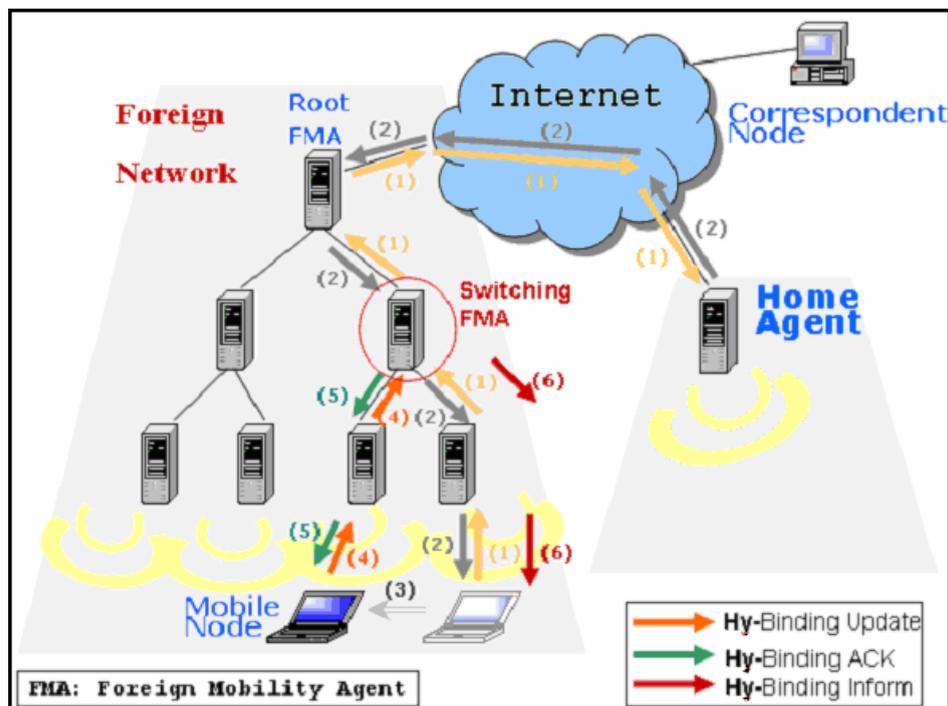


圖 2 The Switching-FMA in HiMIPv6

來的連線當中，CN 將可以直接的送封包給 MN。此時封包中亦必須帶有 Receiver Home Address Option，用以 FMA 的目的地位址轉換 (詳細敘述在第二章第二節)。

MN 移動時所對應的動作如同第二章第三節所述。

三、實作細節與設計

(一) Visitor List

當 FMAs 在處理 HiMIPv6 註冊相關訊息、以及繞送 (route) 送往/來自該 domain 中 MNs 的封包時，Visitor List 是很重要的資料結構。因此，Visitor List 的搜尋效率對於路由器來說是非常關鍵的。在 HiMIPv6 Visitor List 的實作中，我們以 MN's Home Address 以及 MN 連線對象的 IPv6 Address 這兩個欄位，作為搜尋 Visitor List 時所使用的 hash key。在 Visitor List 中，我們所紀錄的每一筆資料主要包含下列幾個欄位：

- MN's Home Address
- Destination address：這個欄位記錄的是與 MN 進行連線的 IPv6 Address
- MN's Care-of Address：MN 在目前所處的 domain 中，所使用的 CoA
- Expiration Time：紀錄此筆資料在 Visitor List 中的 lifetime
- State：記錄目前此筆資料的註冊程序進行狀態，State 之間轉換的可能情形如表 1。

表 2 State 轉換表

Before \ After Action	0 [尚未認證成功]	1 [認證成功]	2 [等待BA, which responds to BR]	3 [MN已離開]
0 [尚未認證成功]	收到來自HA或CN送出的失敗BA	收到來自HA或CN送出的成功BA		收到switching-FMA所送出的Hy-BI
1 [認證成功]			收到HA或CN所送出的BR	收到switching-FMA所送出的Hy-BI
2 [等待BA, which responds to BR]		收到來自HA或CN送出的成功BA		收到switching-FMA所送出的Hy-BI
3 [MN已離開]	收到來自MN送出的BU			

(二) Hy-Router Advertisement (Hy-RA)

我們在原本的 RA 的格式中，利用 reserved 欄位，定義了一個新的 flag：“Hierarchy (Hy)”，如圖 3 所示。當 MN 收到帶有 Hy flag 的 RA 時，MN 可以立即瞭解到目前所漫遊到的網域是處在一個 HiMIPv6 的 FMA Hierarchy 下。另

外，在我們現在的設計中，只有 leaf-FMA 會週期性地發出 RA。

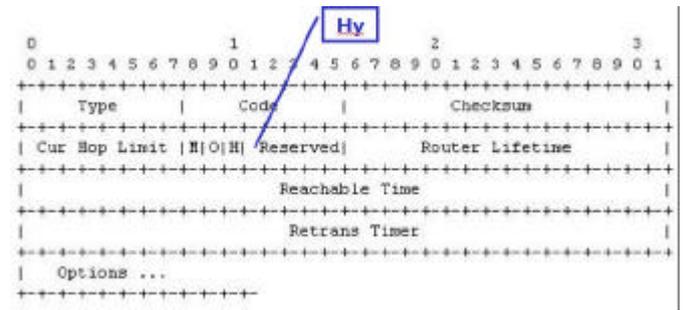


圖 3 The Router Advertisement with “Hy” flag

(三) Hy-Binding Update (Hy-BU)

我們利用 Mobile IPv6 的 BU 中 reserved 的欄位，定義了 Hy flag，如圖 4 所示。位於 FMA Hierarchy 之下的 MN，可以在發出的 BU 中將此 flag 設為 1，表示 MN 要使用 HiMIPv6 的機制。

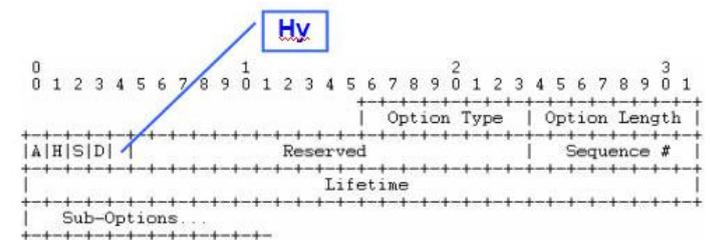


圖 4 The BU message with the “Hy” flag

(四) Receiver Home Address Option

在 HiMIPv6 中，當 HA 或 CN 傳送封包給 MN 時，每個封包中都必須帶著 Option Type 為 205 (0xCD) 的 Receiver Home Address Option。目的是為了讓 FMAs 知曉，封包實際接收端的 Home Address。這個 option 的格式如圖 5 所示。

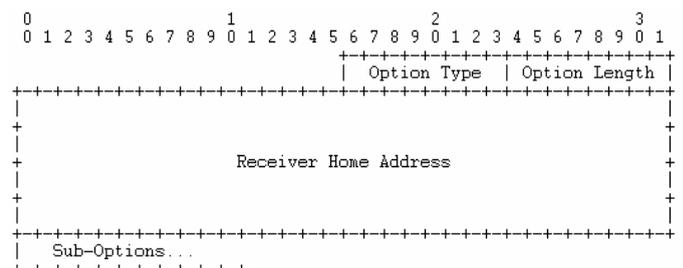


圖 5 The Receiver Home Address Destination Option Header Extension

(五) Hy-Binding Inform (Hy-BI)

我們設計 Hy-BI 的目的，是希望 switching-FMA 在更新 Visitor List 之前，先以 MN 之前的 CoA 為 destination 送出 Hy-BI 訊息。如此一來，Hy-BI 會沿著 MN 之前的註冊路徑繞送，沿途收到此訊息的 FMAs 都會知曉 MN 已經移動至其他 subnet。我們定義 Hy-BI 的封包格式，如圖 6 所示，是 status 欄位為 200 的 BA 訊息。

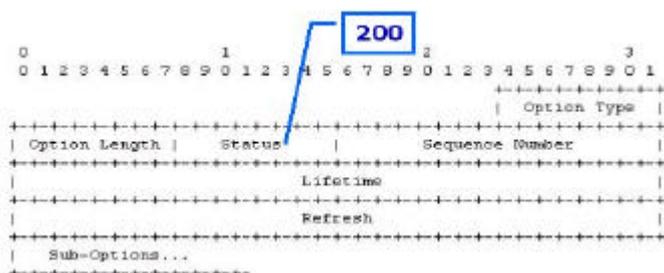


圖 6 The Hierarchical Binding Inform message

(六) HiMIPv6 SNMP Network Management

Mobile users 會在不同的網域中進行移動，由於考量網路管理者的需求，希望能夠瞭解每個 MNs 目前的相關資訊及註冊狀態，我們設計了 HiMIPv6 MIB (Management Information Base)，利用 SNMP (Simple Network Management Protocol) 來對網路中的路由器 (如 HA 與 FMAs) 進行監控的動作。

表 2 HiMIPv6 MIB

```

1.3.6.1.4.1
|----- 2025 HiMIPv6 mib
|----- 2025 . 1 HiMIPv6 Statistics Table
|----- 2025 . 1 . 1 . 1 MIPv6_BU_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 2 MIPv6_BA_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 3 MIPv6_BR_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 4 MIPv6_BU_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 5 MIPv6_BA_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 6 MIPv6_BR_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 7 MIPv6_RA_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 8 HiMIPv6_HIRA_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 9 HiMIPv6_HIBU_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 10 HiMIPv6_HIBA_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 11 HiMIPv6_HIBU_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 12 HiMIPv6_HIBA_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 13 HiMIPv6_HIBI_sent,
|----- 2025 . 1 . 1 . 14 HiMIPv6_HIBI_rcvd,
|----- 2025 . 1 . 1 . 15 HiMIPv6_HIBU_passed,
|----- 2025 . 1 . 1 . 16 HiMIPv6_HIBA_passed,
|----- 2025 . 1 . 1 . 17 HiMIPv6_HIBU_blocked,
|----- 2025 . 2 HiMIPv6 Visitor List Table
|----- 2025 . 2 . 1 . 1 HiMIPv6_VList_Index,
|----- 2025 . 2 . 1 . 2 HiMIPv6_VList_HomeAddress,
|----- 2025 . 2 . 1 . 3 HiMIPv6_VList_DstAddress,
|----- 2025 . 2 . 1 . 4 HiMIPv6_VList_COA,
|----- 2025 . 2 . 1 . 5 HiMIPv6_VList_ExpireTimer,
|----- 2025 . 2 . 1 . 6 HiMIPv6_VList_State,

```

再透過我們所設計的 SNMP Monitoring Tool，管理者可以簡易的獲取階層式架構中所需要的相關資訊，來充分瞭解目前網路的狀況，加以分析管理，以期達成完善的網路管制與監控。

我們建立 HiMIPv6 MIB 的路徑是在 1.3.6.1.4.1.2025 下，設計了兩個 Tables 以記錄相關資訊。第一個表格是 HiMIPv6 Statistics Table，記錄了流經各路由器 (HA 與 FMAs) 或是各路由器所接收/發送的 HiMIPv6 註冊相關訊息個數。當所有的資訊一起呈現時。我們可以經由各訊息數目的比較，來判斷訊息的傳遞與 HiMIPv6 機制的運行是否如預期地進行。第二個表格是 HiMIPv6 Visitor List Table，根據其中的資訊，網管人員可以知道目前網域下的 MNs 有哪些，他們移動的狀況以及註冊狀態，以利於觀察與監控的進行。每個 Table 中記錄的細節如表 2。

四、實作

(一) HiMIPv6 實作

我們在 Linux 平台上實作出了完整的 HiMIPv6 系統，使用的是 Redhat 7.2 (kernel v2.4.7) 的作業系統，硬體的裝備如表 3 所示。我們的 HiMIPv6 是實作成 loadable module 的形式。採用的 Mobile IPv6 package 是來自 HUT Telecommunications and Multimedia Lab 所發展的 MIPL (mipv6-0.9-v2.4.7.tar.gz)。另外，為了使用 IPv6 的通訊協定，如 Router Advertisement, ICMP, Telnet, FTP 等，所以我們加裝了 Usagi 套件 (usagi-linux24-s20020930.tar.bz2)。圖 7 為我們的實作環境。

表 3 硬體配備

Name	CPU	Memory
HA	Intel Pentium IV 1600MHz	256MB
MN	Intel Pentium III 500MHz	128MB
CN	Intel Pentium III 866MHz	262MB
Root-FMA	Intel Pentium IV 1600MHz	262MB
Leaf-FMA 1	Intel Pentium IV 1500MHz	524MB
Leaf-FMA 2	Intel Pentium IV 1500MHz	131MB

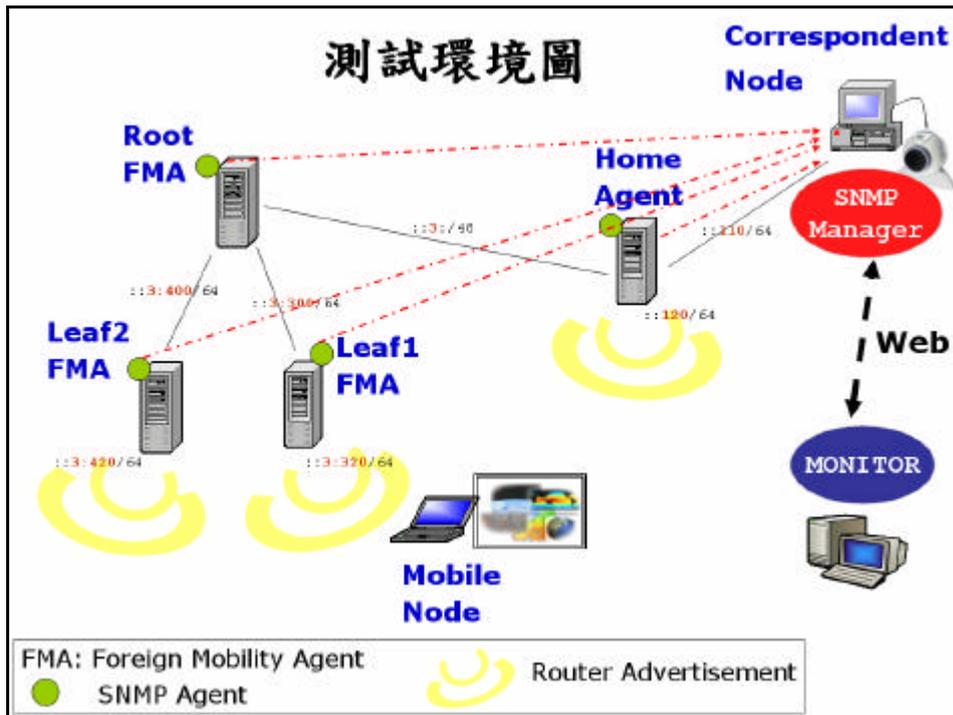


圖 7 實作環境與網路管理架構圖

(二) HiMIPv6 SNMP 網路管理實作

在 HiMIPv6 架構之下，Mobile users 會在不同的 network domain 中進行移動，為了確保 MN 在移動的過程中能夠正確的傳送封包，並且瞭解各個 MN 在不同網域中進行註冊的各項資訊以及狀態，我們建立了 HiMIPv6 的 MIB (Management Information Base)，利用 SNMP(Simple Network Management Protocol) 的功能來對網路中的 HA、CN、FMAs、MN 進行監控的動作。

我們利用一台主機當作 SNMP 的 Manager，而我們想要監控的主機則是 SNMP 的 Agents。每當我們想要獲取各項資料的時候，便經由 SNMP 的 Manager 去向各個 SNMP Agents 收集相關的資料，所以當 SNMP 的 Agents 接到了 SNMP 的 Manager 發出的指令時，便會將本身記錄下來的資料從檔案中拿出來，傳送回去給 SNMP 的 Manager。同時，我們會在身為 SNMP Manager 的主機上安裝 APACHE，如此一來，任何的電腦都可以連到這台主機上來查詢或觀看各項的封包流動的紀錄以及不同網域目前所處的 MN 有哪些及其相關的資訊與狀態。

在我們的架構中(見圖 7)，我們讓 HA 與 FMAs 為 SNMP 的 Agents，而選擇讓 load 最輕的 CN，兼具 SNMP 的 Manager 之身分。如

此一來，網路管理者則可以經由任何一台的電腦登入到 SNMP 的 Manager 來進行對 HiMIPv6 的網路管理。

(三) 實作結果數據

我們利用三種不同的 Applications：Net Meeting、FTP 與 ICMPv6 echo request and reply，分別測量出 HiMIPv6 所造成的 handoff latency，並且用同樣的環境測量出 MobileIPv6 所造成的 handoff latency，比較的結果如圖 9 所示。根據圖 8 所示，我們可以很明顯的看出 HiMIPv6 handoff 所造成的 delay 遠低於 MIPv6 handoff 所造成的 delay。

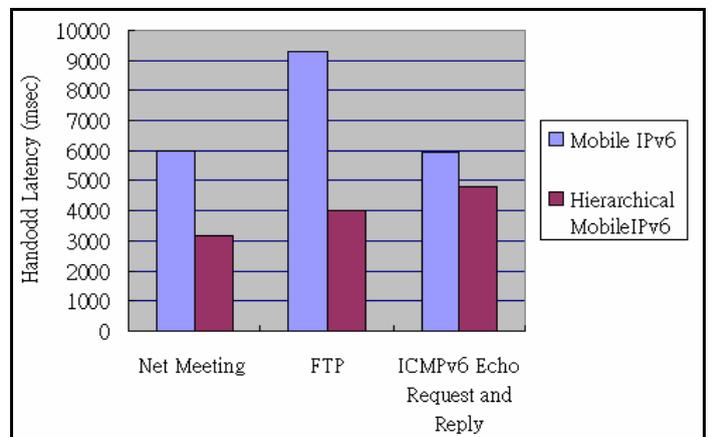


圖 8 Handoff Delay 的比較

(四) SNMP Monitor Tool

根據第三章第六節中提及的 SNMP Monitoring Tool, 我們將利用圖 9 與圖 10 中的兩種 Web 的使用者圖形介面, 分別展示 Statistics table 與 Visitor List table 的資訊, 以利網路管理者使用。

HiMIPv6 的原理是完全相同的; 而在運作的流程上, 也十分相近。所以, 若是比較此兩者的 handoff performance, 是沒有明顯差異的。

然而, HiMIPv6 的優勢則是在於 IPv6 本身的特性, 這也就是為何我們選擇把焦點放在 Mobile IPv6 的原因:

五、比較

(一) HiMIPv6 V.S. HiMIPv4

基本上, Hierarchical Mobile IPv4 和

- Expanded Addressing Capabilities
- Header Format Simplification
- Improved Support for Extensions and Options
- Flow Labeling Capability
- Authentication and Privacy Capabilities

Action				
Packet Type	Leaf FMA 1	Leaf FMA 2	Root FMA	Home Agent
Send Ht-Binding Ask		Send Ht-Binding Ask	Send Ht-Binding Inform	Receive Ht-Binding Update

Hierarchical Mobile IPv6 Packets				
Packet Type	Leaf FMA 1	Leaf FMA 2	Root FMA	Home Agent
Ht-Binding Update Sent	0	0	0	0
Ht-Binding Ask Sent	2	4	11	1
Ht-Binding Inform Sent	0	0	11	0
Ht-Binding Update Recv	0	0	0	1
Ht-Binding Ask Recv	0	0	0	0
Ht-Binding Inform Recv	8	5	0	0
Ht-Roamer Adv Recv	0	0	0	0
Ht-Binding Update Passed	0	7	4	0
Ht-Binding Ask Passed	11	12	3	0
Ht-Binding Update Blocked	2	4	11	0

圖 9 Statistics Table 圖形介面

Root Foreign Mobility Agent					
Home Address	Destination Address	Care-Of-Address	Lifetime	State	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe00000000110202b3ffe186dc0	3fe0000000042002022dffe22c188	30	1	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe0000000012102022dffe20980e	3fe0000000042002022dffe22c188	9970	1	

Leaf 1 Foreign Mobility Agent					
Home Address	Destination Address	Care-Of-Address	Lifetime	State	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe0000000012002022dffe30880e	3fe000000002022dffe22c188	8947	3	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe000000001100202b3ffe186dc0	3fe000000002022dffe22c188	9	3	

Leaf 2 Foreign Mobility Agent					
Home Address	Destination Address	Care-Of-Address	Lifetime	State	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe000000001100202b3ffe186dc0	3fe000000002022dffe22c188	20	1	
3fe0000000012002022dffe22c188	3fe0000000012002022dffe30880e	3fe0000000042002022dffe22c188	8978	1	

圖 10 Visitor List Table 圖形介面

(二) HiMIPv6 V.S. MIPv6

在 MIPv6[2]的機制下，當 MN 進行移動時，註冊的訊息將會送至 HA/CN，因此會造成過長的 handoff delay 及 signaling overhead。而在我們所設計的 HiMIPv6的機制中，當 MN 進行移動而發出 BU 時，攔截到這些訊息的 FMA 會根據 visitor list 中的資訊，來判斷是否需要將這些訊息繼續向上轉送，或是代替 HA 來回 BA 給 MN。如此一來，MN 進行註冊的動作將可以在目前所在的 foreign network 中完成，而不需要回到 HA/CN，這樣不但可以降低外部網域的 signaling overhead，更可以將 handoff 所需之 latency 減至最小。

(三) HiMIPv6 V.S. HMIPv6

HMIPv6[3]是目前所提出的另一套在 Mobile IPv6 下所採行的階層式架構機制。在這套機制之下，MN 必須同時擁有兩個 CoAs (Regional 以及 On-Link)，並且分別發出兩種不同的 BU：一種是原有 Mobile IPv6 機制之下的 BU，而另一種則是 local BU，其目的地位址是位於階層頂端的 Mobility Anchor Point(簡稱 MAP)。每當 MN 在同一 domain 中因為移動到不同的子網域而改變(On-Link) CoAs 時，則只須向 MAP 發出 local BU 即可。

MN 應該是一個輕便且計算能力較弱、記憶體較少(為了省電的因素，不應做過多的運算)的設備。然而在 HMIPv6 的機制之下，MN 必須判斷要發出何種的 BU，並且記更多幫助其使用階層性架構所需的資訊。但是在 HiMIPv6 架構下，僅要求在支援 HiMIPv6 機制的 MN 在所發出的 BU 中帶有 Hy flag。我們認為在 HiMIPv6 的機制之下，不需要 MN 多作判斷所要發出的 BU 是送給 HA/CN，或是要送給 FMAs，因此是更適當的設計。

另外，HMIPv6 是兩層式的架構(MAP and Access routers)，每次 MN 移動到不同子網域，一定要向同一個 MAP 註冊。然而在我們的 HiMIPv6 中，我們可以架構多層的階層式架構，對於 MN 在子網域之間的移動，可以由不同於 root-FMA(相對應於 MAP)的 switching-FMA 來處理 MN 的註冊訊息，大大減低對 root-FMA 的負載。

六、結 論

我們成功地實作出 Hierarchical Mobile IPv6 的系統，其中的軟體元件包含了 Foreign

Mobility Agent、Home Agent、Correspondent Node 以及 Mobile Node。這個系統擁有下列幾項優點、是傳統的 Mobile IPv6 所沒有的：

- **減少在 Internet 上的 signaling overhead**
當一個 Mobile Node 在同一個 HiMIPv6 FMA hierarchy 下的 FMAs 之間移動時，MN 所發出的註冊訊息會在 FMA hierarchy 中被攔截，並不會傳送給 Home Agent 或 Corresponding Node。
- **減少 Mobile Node 發生 handoff 時的 latency**
因為註冊的動作只會發生在 FMA hierarchy 之內，所以 handoff 的動作能夠很快地完成。這對於需求日漸增加的即時影音服務是相當重要的特性。
- **減緩 HA 和 CN 的負荷**
所有的運作過程，對 HA 和 CN 來說，都是 transparent，完全不用做特殊的處理。
- **僅對 Mobile IPv6 的做了小幅度的修改**
我們在 MN, HA, 和 CN 上所做的修改是很少的。在 HiMIPv6 中，絕大部份的運作都是在 FMAs 上進行。我們的實作方式是做成 Linux 系統中的 loadable module，因此對於原本的 Mobile IPv6 的衝擊也降到了最低。

七、誌謝

在 HiMIPv6 整套系統的設計與實作的過程中，非常感謝台大資管所高等網路技術服務實驗室所有成員的陪伴，以及中研院陳孟彰博士的從旁指導，另外當然還有我們身旁朋友及親人的支持。

八、參考文獻

- [1] Charles Perkins, "IP Mobility Support", *RFC2002*, October 1996.
- [2] D. B. Johnson and C. Perkins, "Mobility Support in IPv6", Internet Draft, draft-ietf-mobileip-ipv6-13.txt, November 2000.
- [3] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El-Malki, L. Bellier, "Hierarchical MIPv6 mobility management", *IETF Mobile IP Working Group*, September 2000
- [4] MIPL package v2.4.7, *HUT Telecommunications and Multimedia Lab*, <http://www.mipl.mediapoli.com>