

張英超 陳建豪

國立彰化師範大學資訊工程學系

500 彰化市進德路一號

Email: icchang@cc.ncue.edu.tw

### 摘要

隨著網路的四通八達，深入現今人們的生活，現有的有線網路已漸漸無法滿足人們的需求，而對於無線通訊的要求日益劇增；為此，Mobile IPv6(MIPv6)[1]技術在無線通訊的中途換手、Mobile Node(MN)[1]之管理中扮演著重要角色。但目前 MIPv6 仍有許多困難存在著：MN 的管理如何實作出多層架構、如何降低中途換手時資料的遺失訊息量、換手時間可能過久導致 TCP 連線逾時，減少控制訊息流量等。

為此，IETF 提出了 Network Mobility(NEMO)[2]，將一群 MN 視為一個整體，透過 Mobile Router(MR)[2]支援群體性的移動，並且可延伸成巢狀式 NEMO，降低換手期間的訊息量。本論文內容主要是利用 NEMO Platform for Linux (NEPL)將 NEMO 環境實際架設在 Ubuntu 上，分析整個執行的流程架構，並且對其執行時間做出分析。

關鍵字: 關鍵字 1, MIPv6 2, NEMO 3, NEPL

### I. 簡介

因為無線網路廣泛的使用以及對於車載網路的需求，將原先 MIPv6[1]的問題加以改進，並且重視群體移動的狀況之後，IETF 提出了 NEMO[2]的概念，將一群 MN 視為一個整體由 MR(Mobile Router)[2]控制，透過 MR 支援群體性的移動，降低換手期間的訊息量，並且可延伸成巢狀式 NEMO。

NEPL 將 NEMO 架構實作在 Ubuntu 作業系統之上，我們希望觀察 NEPL 的流程效能分析，可方便日後進行改進時的依據。

### II. 研究動機

近年來，無線網路的需求上升迅速，目前的無線網路生態，雖號稱無線，但僅限於在同一個區域內的活動，一旦離開了此區域，那一切的連線行為必須重來、影音服務中斷便會發生，所以跨區域性無線網路的發展開始萌芽。

因為在跨區域性無線網路中，MN 可以自由地在不同 AR(Access Router)[4]間進行換手(Handoff)切換所連接的無線網路，導致原先的傳輸路徑失去效用，通訊中的兩端點斷線。

換手過程中的控制訊息封包如何傳遞，會影響到換手中斷時間的長短，若是中斷時間過久，造成逾時，便會使兩端點斷線；換手發生的同時，若資料仍在傳輸中，那便會造成更為棘手的問題：資料的中途停止傳輸有可能致使許多資料重傳的可能，這對於許多的應用是難以忍受的，如影音下載傳輸。

Network Mobility (NEMO)有了一個新設備 MR，將一群MN視為一個整體，透過MR支援群體性的移動，所以不需要全部的MN都要跟HA來溝通註冊，只需要交由給MR來統一進行註冊，以達到更有效率的使用，不會造成HA的負擔過大，也不需要花費更多的時間去註冊。我們希望可以藉著架設NEPL環境，進行程式碼的研究與探討，並分析其時間效能。

### III. 文獻回顧與探討

#### A. MIPv6

此協定是為了提供一個 MN 能穩定持續地無線通訊的能力，即使處於移動、切換網路區段後，傳輸仍能暢通無阻。在 MIPv6 下，有三個角色：MN、Corresponding Node (CN)[3]及 Home Agent (HA) [3]。

##### 1) 移動偵測

移動偵測(Movement Detection)主要目的在偵測網路層(L3)的換手，運作方式可以分為兩種：被動式以及主動式。

在被動式移動偵測中，MIPv6 在 RA 中制訂了一個新的 advertisement interval option 欄位，此欄位明確指明 RA(Router Advertisement)[4]的傳送間隔時間，MN 藉由等待 AR 週期性所發送過來的 RA，確認目前是否仍與原先的 AR 連接著，若是接收到 RA 的間隔逾時或在一段時間內沒收到一定數量的 RA，MN 可以由此跡象去判斷目前的 AR 是否已經不在連接狀態。

在主動式移動偵測中，MN 藉由底層連結層所發送上來的事件訊息進行判斷。當由連結層得知一個新的 Link 被建立起來，MN 首先會發送一個 unicast Neighbor Solicitation 給原先連接的 AR，假設他沒有從原先 AR 收到 solicited neighbor advertisement，MN 便再發送一個 multicast neighbor solicitation，若 MN 仍遲遲沒有接收到 neighbor advertisement，便會發送一個 multicast router solicitation 找尋新 AR 的資訊，當接收到了從新 AR 所發送的 RA 取得了新 AR 的 prefix 與 MN 的 LLA(Link Local Address)結合形成了新的 CoA(Care-of Address)，並執行 DAD(Duplicate Address Detection)，確認在遠端網路下 MN 的 LLA 沒有重複，確認無重複後，MN 發送一個 BU 給 HA 通知目前 MN 的 CoA。

回到家網路的情況與離開至遠端網路類似，MN 會接收到關於 Home Network 的 RA 獲知 Prefix 判斷出已經回到了家網路，故 MN 先發出一個 Lifetime 為 0 的 BU 給 HA，之所以不先做 DAD 的原因是目前的 HA 尚且認為 MN 在遠端網路下，此時執行 DAD 將會失敗，為了註銷之前的 BU，使 HA 得知目前 MN 已回到家網路下，所以必須先註銷 BU 再進行 DAD 動作。

##### 2) 離開 Home network

Binding Update(BU)的動作是為了讓 HA 能夠得知目前 MN 所在的位置。

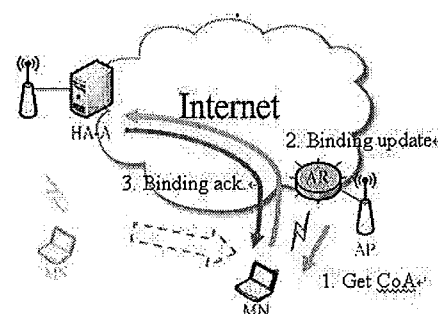


圖 1、Binding Update 示意圖

如圖 1 所示，原本在 Home Network 的 MN 移動到遠端網路下，此時 MN 收到遠端網路所配給的 IP CoA 後，必須通知 HA，讓它知道 MN 目前正確位置，才能夠維持正常通訊，我們可以把整個過程分成 3 個步驟：

a) MN 取得 CoA: MN 移動到遠端網路的 AR 下後，會接收到 AR 週期性發送的 RA，取得遠端網路的 Prefix 與 MN 的 LLA 結合，成為在遠端網路下可用的新 IP，即 CoA。

b) MN 發送 BU 通知其 HA: MN 所運行移動偵測得知目前 MN 接收到遠端網路 AR 所發送的 RA，確定移動到遠端網路下之後，便發送 BU 給 HA，目的是為了讓 HA 知道 MN 目前的 CoA 位址為何。

BU 主要夾帶的訊息是 MN 的 HoA(Home Address)以及 HoA 所對應到 MN 的 CoA，HA 會將此訊息記錄在 BC(Binding Cache)裡，以後若有 CN 與 MN 通訊，可以透過 HA 正確地將訊息轉送給 MN。

c) HA 回送 BA(Binding Acknowledgment)給 MN: BA 的功能主要是 HA 回覆 MN，已經正確地收到 BU 且完成 BC 的更新，此外，BA 也會夾帶 HA 的 BU 保留紀錄時間，因此不管 MR 有無移動，皆須在保留時間內再次發送 BU，以更新 BC 的紀錄。

BU 是 MN 向 HA 進行註冊 CoA 的動作，HA 將此 BU 加入 HA 的 Binding Cache(BC)中，記錄下 MN 的 HoA 及 CoA，並與 MN 建立起 BT，之後傳送到此 MN 的封包，會被 HA 攔截，接著利用封包的目的地位址在 BC 中查詢目前 MN 的 CoA，接著利用 BT 將封包轉送到遠端網路。

##### 3) 回到 Home network

當 MN 回到了 Home Network 下，便會進行以下動作：

a) MN 發送 Lifetime 為 0 的 BU 給 HA: MN 運行移動偵測判斷出 MN 連接到 Home Network 之下後，MN 必須發送一個 Lifetime 為 0 的 BU 給 HA，進行註銷的動作；HA 收到此 BU 後，因

| 0    |      | 8 |                | 16       |  | 24 |           | 32 |        |  |
|------|------|---|----------------|----------|--|----|-----------|----|--------|--|
| Type | Code |   |                | Reserved |  |    | Check sum |    |        |  |
| R    | S    | C | Target Address |          |  |    |           |    | Option |  |

表 1、Neighbor Advertisement Format

為不再需要進行轉送封包的動作，所以 HA 刪除跟 MN 之前在遠端網路時所建立的 BT(Bidirectional tunnel)以及 MN 在 BC 中的 BU。HA 完成後回傳 BA 給 MN，當註銷動作完成後即可進行 DAD 動作。

b) MN 廣播 NA(Neighbor Advertisement): 當 MN 收到 BA 做完 DAD 後，廣播一個 NA(Neighbor Advertisement)[12]到 ff02::2 位址，通知 Home Network 上所有其他的 MN，MN 回到 Home Network 下了。此 NA 必須將 MN 的 LLA 放在 Target Address 欄位，因為這時的 NA 並不是用來回應 Neighbor Solicitation[12]，所以必須把 S Flag 清除為 0，並且把 O Flag 設置為 1，告訴收到 NA 的 MN，必須使用 Target Address 中的 LLA 更新 Link Local Cache。

#### B. Network Mobility

NEMO 是基於 MIPv6 之上的一個延伸，它的目的是如何使一個 Mobile Network 可以移動，連接上不同的 Access Point (AP)。

##### 1) 跟 MIPv6 的差異點

有最主要以下三點不同：

a) 群體性：MIPv6 所關注的是一個 MN 在移動的情形下，無線通訊仍得以穩定傳輸；NEMO 則是對於一個 Mobile Network，在遠端網路下，可將其視為由 MR 所管理的一個群體，如圖 4。

b) 架構成本：MIPv6 的每一個 MN 都必須完整地支援 Mobility；NEMO 只有 MR 需要，如此一來可以降低成本，換手延遲及頻寬需求都得以下降。

### 2) 新的裝置 Mobile Router

在 NEMO 當中多了一個 MR 的裝置，原先 MIPv6 是由許多的 MN 在底下，而 NEMO 架構下的 MR，將多個 MN 視為一個整體，於是 MN 並不需要跟 HA 去註冊，只要透過 MR 去註冊，所以不會造成 HA 過大的負擔，也不需要花費更多的時間去註冊。

### 3) Tunnel

Tunnel 的作用就是在進行封包轉送服務，屬於第三層的動作。實作上是將原本的 IP 封包（包括 Header）整個當作內容，外層加以封裝成為一個新的 IP 封包，不過在其 Header 中，目的位址填入轉送後目的端的 IP，來源位址填入自己的 IP。等到封包到達目的位址後，再進行解封裝的動作，就可以看到原本的封包資訊。

如圖 2 所示，CN 欲傳送訊息給 MNNA，根據 MN-A 的 Prefix，會一路往 MR 傳送，但是 MR 已經不在 Home Network 下了，此時，MR-A 的 HA (HA-A) 會將這個封包攔截下來，由 Binding Cache 查詢得知 MR-A 的 CoA 之後，即將此 IP 封包以 HA-A 為 source IP，MR-A's CoA 為 Destination IP，再次封裝起來，這個過程即稱為 Tunneling，而 HA-A 傳送到 MR-A 即稱為 Tunnel。等到 MR-A 接收到此封包之後，進行解封裝的動作，再路由給真正的目的地，即可到達 MN-A。

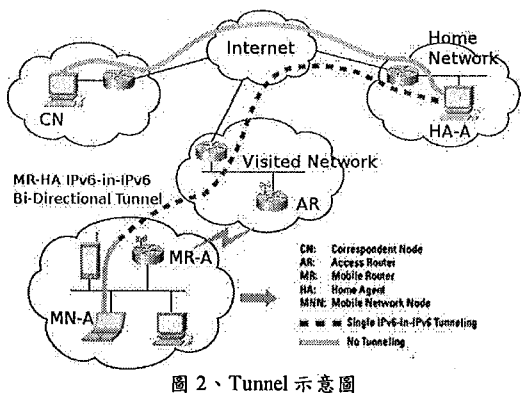


圖 2、Tunnel 示意圖

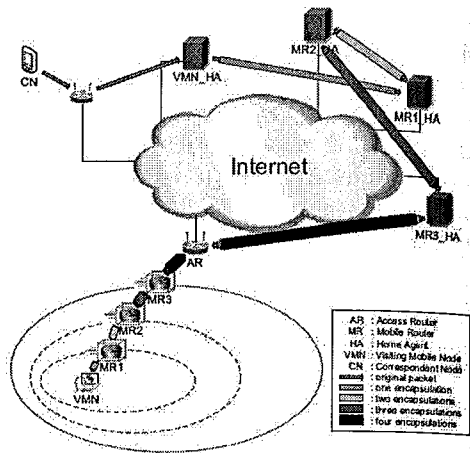


圖 3、巢狀式 NEMO 架構[11]

### C. 巢狀式 NEMO

MR 允許其它 MR 可以連接到其所服務的網路之下，形成階層性。

在此情況中有一顯著的問題為乒乓路由，如圖 3 中，乒乓路由是由於在巢狀式 NEMO 下，CN 只能得知 Visited MN(VMN)的 HoA 為何，當 CN 要傳送給 VMN 封包時，CN 會按照 VMN 的 HoA，企圖將封包送至 VMN，由於 VMN 並不在 Home Network 下，所以 VMN-HA 會先將這些封包攔截，再依據封包的目的位址 (即 VMN 的 HoA)查詢 BC，得知目前 VMN 的 CoA，將封包送至 VMN，又 MR1-HA 攔截到送至 VMN 的封包，MR1-HA 查詢 BC 得知目前 MR1 在 MR2 之下，所以 MR1-HA 便與 MR1 建立起 BT，依此步驟，最後總共被封裝了四次。封包必須按照最後封裝完成後的 IP Header，依序路由、逐層解封裝，才能到達目的地 MN，造成路由達不到最佳化效果。

## IV. 環境建置

如圖 4 中，可分成兩種情況，分別為 MR 在 Home Network 下，以及 MR 離開 Home Network 到遠端網路下的情況。所需要設備為三台筆記型電腦分別作為 HA、MR、遠端網路的 Router 之

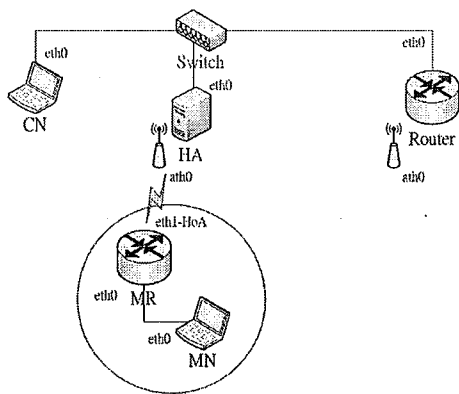


圖 4、環境架構圖

用途、兩片無線網路卡以及一條實體網路線。

A. 安裝 Ubuntu 作業系統：將筆記型電腦安裝好 Ubuntu 8.04 LTS 作業系統後，必須重新編譯核心，將 NEPL 程式所需要的 IPv6 模組加入核心中。

B. 利用 Madwifi 技術模擬 AP 功能：由於 HA 與位於遠端網路的 Router 必須具備有無線 AP 的功能，故利用 Madwifi 技術在 HA 及 Router 上模擬 AP 的功能，但 Madwifi 版本會因為不同的無線網路卡而會有不同的支援程度，所以必須找尋適合的 Madwifi 版本才可正常地模擬 AP 的功能，在本專題中所使用到的版本為 Madwifi-ng 以及搭配的網卡為 DLink DWL-G650。

C. HA 與 Router 的連接：將 HA 與 Router 以有線的方式連接起來，作業系統會依照網路卡介面的 MAC address 推算出網路卡介面的 LLA 進行自動配置；若系統沒有自動配置，則使用者必須手動進行配置，否則在 Neighbor Discovery 會出錯。

D. 安裝 radvd 程式發送 RA：在 HA、MR 以及 router 上安裝 radvd 程式發送 RA 以及 NEPL 程式執行 NEMO 功能，要注意的是在安裝過程中，預設將 radvd 及 mip6d 設定為啟動服務，但若於作業系統啟動後便執行此兩種服務，此時設備間的無線網路通訊尚未正確地被設置，程式將會讀取到錯誤的網卡資訊，而建立錯誤的 tunnel，造成之後的程式運行錯誤，故必須將啟動服務功能關閉，改為手動開啟。

E. 關閉 Network Manager：在 Ubuntu 下的無線網路支援，預設使用 NetworkManager 套件進行管理，此套件在網卡連上 AP 後，會與 AP 要求 DHCP 給予 IP 的動作，若 AP 沒有回應 DHCP，便會在此等待，無法完成無線訊號之建立，故必須將 Network Manager 關閉，才能順利讓無線網卡連上 AP。

F. 編輯設定檔：按照 NEPL 網站上所給予的範例設定檔編輯設定好後，執行 NEMO 程式，並且可利用 telnet 協定連線至 port 7777 觀察封包傳送狀況。

## V. 實驗數據

圖 5 所呈現的時間為，MN 利用 iwconfig 指令切換 MN eth1 無線網卡的 ESSID，由 Home network 切換到遠端網路，到 MN 收到遠端網路 AR 週期性所發送的 RA 所花的時間，其平均時間為 2.081 秒。圖 6 所呈現的時間為，MN 接收到 AR 所發送下來的 RA，到 MN 利用 RA 所得

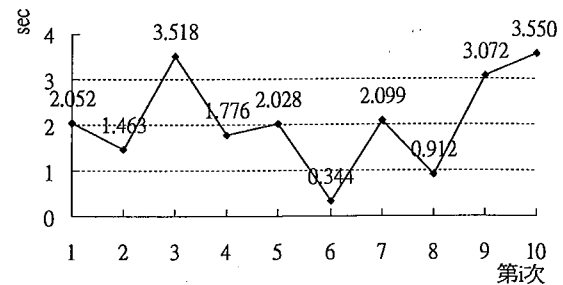


圖 5、MN 切換 ESSID 到接收到新 AR 的 RA

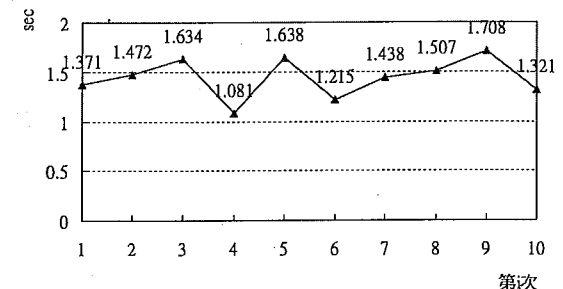


圖 6、MN 接收到新 AR 的 RA 到產生新的 CoA

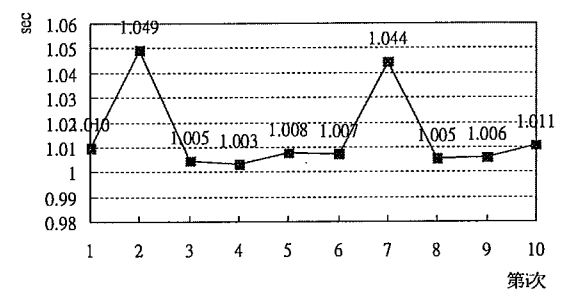


圖 7、MN 發送 BU 到 HA 到接收由 HA 所發送來的 BA

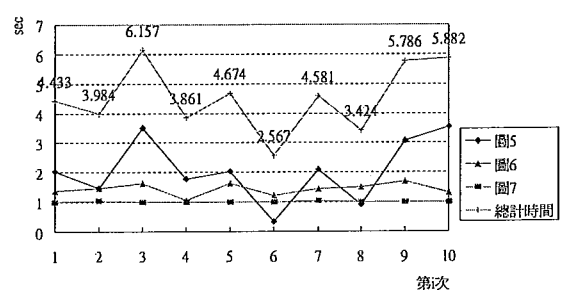


圖 8、MN 由 Home Network 到遠端網路的總計時間  
表 2、MN 由 Home Network 到遠端網路的各項平均時間

| 由 Home Network 到遠端網路           |           |
|--------------------------------|-----------|
| 項目名稱                           | 平均時間      |
| MN 切換 ESSID 到接收到新 AR 的 RA      | 2.081 sec |
| MN 接收到新 AR 的 RA 到產生新的 CoA      | 1.438 sec |
| MN 發送 BU 到 HA 到接收由 HA 所發送來的 BA | 1.014 sec |
| MN 由 Home Network 到遠端網路的總計時間   | 4.534 sec |

到的 Prefix 資訊與 MN 本身的 LLA 結合而成的 CoA，進行執行 DAD 驗證的時間，平均為 1.438 秒。圖 7，是 MN 發送 BU 向 HA 註冊，到 MN

接收到 HA 所回傳回來的 BA，表示 Binding 成功，可以繼續傳輸資料的時間，平均為 1.014 秒。圖 8 則為上述三圖加總的曲線，總合的平均時間為 4.534 秒。由表 2 可以得知在 MN 由 Home Network 換手到 Foreign Network 的每一段過程的平均時間。

## VI. 結論

由實驗數據得知整體換手時間平均起來仍然需要到 4.5 秒的時間，如此的時間仍然對於影音傳輸或者是一般檔案的傳輸造成了一定的影響，甚至是逾時，MN 切換 ESSID 到接收到新 AR 的 RA 內，可以設定將新 AR 的 RA 傳送間隔時間縮短，以期縮短這部分的時間。

MN 接收到新 AR 的 RA 到產生新的 CoA，這中間包含是 DAD 的時間以及 MN 發送 BU 到 HA 到接收由 HA 所發送來的 BA，HA 接收到 BU 後，會執行 DAD 確認在 Home network 下沒有 MN 的存在，DAD 偵測的時間普遍設計為 1 秒，若是我們能夠針對此處設計出較好的演算法，使其不用到 1 秒，便可大幅降低此處的時間耗費。

所以我們建議可以從縮短 RA 發送時間以及 DAD 的偵測改進方法，去改進 NEPL 的效能。

## 參考文獻

- [1] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility support in IPv6," IETF RFC 3775, Jun. 2003.
- [2] V. Devarapalli and R. Wakikawa, "NEMO basic support protocol," IETF RFC 3963, Jan. 2005.
- [3] J. Manner and M. Kojo, "Mobility related terminology," IETF RFC 3753, Jun. 2006.
- [4] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6", IEEE RFC 2461, Dec 1998.
- [5] S.Jeon, N. KANG, Y. KIM and W. Yoon, "Enhanced PMIPv6 route optimization handover," IEICE TRANS. COMMUN, Nov. 2008
- [6] P. Thubert and M. Molteni, "Taxonomy of route optimization models in the NEMO context," Internet Draft: draft-thubert-nemo-ro-tax-onomy-00, Oct. 2002.
- [7] F. Dupont, "Dynamic home agent address discovery considered harmful," Internet Draft: draft-dupont-mip6-dhaadharmful-01, Oct. 2005.
- [8] D. Lee, K. Kim and M. Kim, "Hierarchical route optimization for NEMO," IEEE 18th International Conference on Advanced Information Networking and Application, 2004.
- [9] C. Ing-Chau and C. Chou, "HCoP-B: A hierarchical care-of prefix with BUT Scheme for Nested Mobile Networks," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Nov. 2008.
- [10] J.K. Seo, S.H. Nam, K.G. Lee, "Fast route optimization for dynamic nested NEMO," International Conference on Parallel Processing Workshops, Sep. 2007.