

# 巢狀式無線網路之單一轉送點繞送法

## The Single Tunneling Route in the Nested NEMO

李龍盛

Long-Sheng Li

國立嘉義大學 資訊工程研究所

[sheng@mail.ncyu.edu.tw](mailto:sheng@mail.ncyu.edu.tw)

陳靜盈

Chin-Yin Chen

國立嘉義大學 資訊工程研究所

[cychen@mail.csie.ncyu.edu.tw](mailto:cychen@mail.csie.ncyu.edu.tw)

### 摘要

由於無線網路的普及，舊有的 IPv4 架構已不敷使用，促使 IPv6 的盛行，Mobile IPv6 的廣為推動，漸漸的演變為 Network Mobility (簡稱 NEMO) 的萌芽，有鑑於此，故 IETF (Internet Engineering Task Force) 成立了一個 Network Mobility Working Group，用以討論並解決 NEMO 的相關連線問題 [1]。其架構中，又以巢狀式的 Mobile Network (簡稱 Nested NEMO) 問題較為嚴重，舉凡在 Nested NEMO 環境下，會衍生出多的不必要的 Tunnel Overhead 等；本篇文章是用以解決此類問題而探討研究，希冀能減少 Tunnel Overhead，增加封包的傳輸速度。

**關鍵詞：**移動式網路(NEMO)、行動路由器(Mobile Router)、繞送最佳化、MIPv6、通道(Tunnel)

### 一、 Introduction

隨著世界的進步，網際網路的盛行，為迎接多變的網路環境，各種連線上網的技術也隨之的日益精進。無線網路的產品與服務亦與日激增，使用者期望能藉由通訊產品達到可隨時隨地 "Anywhere at Anytime" 的連線上網。而每一個行動產品皆可個別的當成一個可連線上網的介面，並彼此相互間可做溝通。欲達此目的，它似乎已經成為個人擁有一不了一個行動產品的準則。現今行動通訊規模大致可分為兩類，一類為以使用者為基準，攜帶著如行動電話、筆記型電腦或 PDA... 等，行動產品一起行動，組成一個人區域網路

(Personal Area Network, 簡稱 PAN)。此為一小規模的行動網路。另一類為較大規模的行動網路則稱之為大型區域網路(Vehicular Area Network, 簡稱 VAN)。如在大眾交通運輸工具裡的網路存取功能，像是船、火車、公車與飛機... 等。

有鑑於此，故 IETF 於近幾年來致力發展多種協定(protocol)，如：MIPv4、MIPv6... 等，其目的是用來提供對行動產品無接縫式(seamless)的連接能力。又因為現今幾乎已達到人手一機(如：PDA、手機或筆記型電腦)的狀態，更甚者為擁有一個以上的上網裝置，人們可在 Mobile Network 上網並且與該網路一起行動，故 IETF 成立了一個 Network Mobility Working Group，用以討論並解決 Network Mobility (NEMO) 的相關連線問題[4][5]。

在 Network Mobility Working Group 的規劃下，Mobile Network 中的 Mobile Node (MN) 可利用 Bi-Directional Tunnel 方式與 Correspondent Node (CN) 做雙方面的溝通。在 Mobile Network 下若還有一個以上的 Mobile Network，則稱之為巢狀式行動網路 (Nested Mobile Network)[7]。雖然以 Network Mobility Working Group 所提出的方式仍可解決連線溝通問題，但卻會發生 Tunnel Overhead 的問題[2]，故本篇文章中提出了解決方式，期望能減少 signaling 的數量，降低 Tunnel 的次數，以增進系統效能。

本篇文章首先導引了現今無線網路的環境規模架構；在第二章中敘述了 NEMO 的基本概念；第三章說明巢狀式 NEMO 環境架構，節點間如何相互的溝通，並解說巢狀式網路下無法達成最佳化的理由；第四章提出對巢狀式網路於資料傳輸時，

其 Tunnel Overhead 問題的解決方式，並於第五章做各方面的分析比較；最後，第六章做總結與未來工作。

## 二、 NEMO Basic Support

由於 NEMO 是將整個 Mobile Network 當成一個點做傳輸，故須有一個 main Mobile Router (MR) 管理該 Mobile Network 內的節點，此網路內的節點可以是 MN、MR 或一 sub-Mobile Network，整個 Mobile Network 對外是透過 Access Router (AR) 與外界 Internet 作溝通。其基本架構如下圖 1 所示。每一個 MN 可當 MN 或 MR 兩種角色，只需更改設定即可。

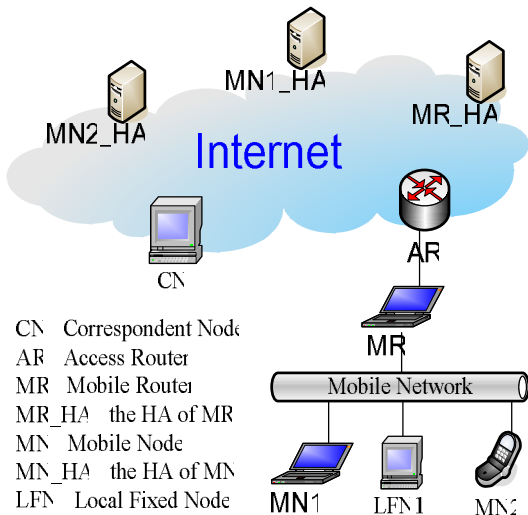


圖 1 NEMO 架構

每一個 MN 皆有自己的 Home Agent (HA)，記錄著該 MN 原始位置(Home Address)與目前所在位置(Care of Address)[3][6]。

### (一) Registration

以圖 2 為例，當 MN 從原本的 Home Network 移出至 Mobile Network 時，新的 MR 會利用 Router Advertisement (RA) 的方式給與該 MN 一個暫時可與外界溝通的 Address，稱之為 CoA (如圖 3 step.2)。由於 MR 是定期發送 RA 訊息至所管轄內之節點，若 MN 移進此 Mobile Network 內且欲傳

送資料給與對應的 Correspondent Node (CN) 時，若 MN 尚未獲得 CoA，則 MN 會自動發送 Router Solicitation (RS) 給 Mobile Network 之 MR，要求取得 CoA (如圖 3 step.1)，MR 收到請求後，會配置一 CoA 利用 RA 訊息傳送給與 MN。當 MN 收到新的 CoA 後，會傳送 Binding Update (BU) 之訊息給自己的 HA (即 MN\_HA)，通知 MN\_HA 該 MN 目前位置 (如圖 3 step.3)，如此，HA 即可將 MN 目前所在位置記錄於 Binding Cache 中。當 MN\_HA 處理完成後，MN\_HA 會回傳 Binding Acknowledgement (BA) 給 MN，通知 MN，Binding 動作已順利完成 (如圖 3 step.4)。

另外，若此架構已符合 Mobile IP version 6 (MIPv6) 最佳化情況[1]，當 MN 收到 RA 訊息後，不僅會傳送 BU 給自己的 HA (MN\_HA)，亦會同時傳 BU 給對應的 CN，告知目前位置 (如圖 3 step.3)，以利後續 CN 欲與 MN 溝通之用。當 CN 收到後將資料存至 Cache 中後，亦會回傳 BA 給 MN (如圖 3 step.4)，告知已 Update 完成。

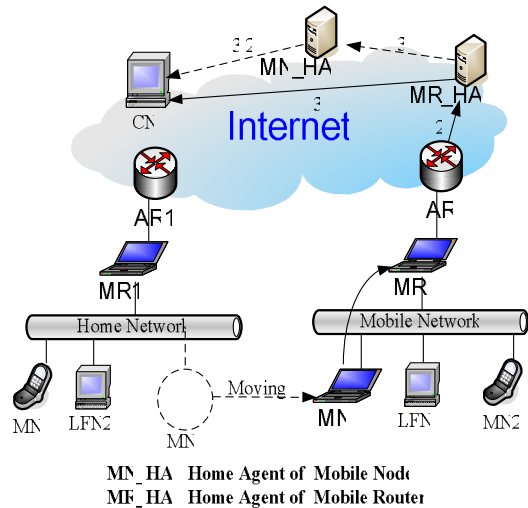


圖 2 MN 從 Home Network 移至 Mobile Network 內

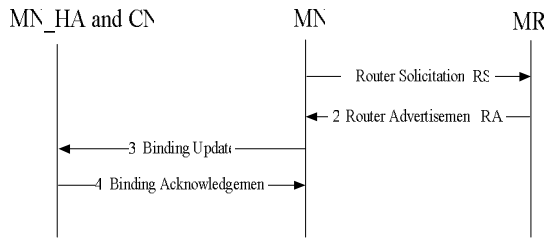


圖 3 MN 之註冊程序

## (二) Communication

以圖 2 為例，當 MN 欲傳送資料給予對應之 CN，其傳送路徑如下：

1. 首先，MN 會先將封包(Packet)以自己的 CoA 為 Source Address，CN 的 Address 為 Destination Address，將封包上傳至 MR (如圖 2 step.1)。
2. 當 MR 收到封包後，會將原封包做封裝 (Encapsulate)動作，再以 MR 的 CoA 當此封包之 Source Address，MR\_HA 的 Address 當 Destination Address。處理完成後，透過 Access Router 將封包 Tunnel 至 MR\_HA (如圖 2 step.2)。
3. MR\_HA 收到封包後，發現 Destination Address 為自己時，則做解封裝 (Decapsulate) 動作，發現該封包最後目的位址為 CN，則將資料轉送往 CN。(如圖 2 step.3)。原在無 MIPv6 的最佳化情況下，仍須將該 Packet 傳送至 MN\_HA，再由 MN\_HA 解封裝後才順利將封包送往 CN。(如圖 2 step.3.1 與 step.3.2)。

## 三、 Nested Network and Optimization Problem

### (一) Nested Network Mobility

以圖 4 為例，當 CN 欲傳送封包(Packet)至巢狀式網路(Nested Mobile Network)下的 MN2 時，若以 MIPv6 已達成的最佳化情況為例。首先，CN 會將封包送至 MR2 之 Home Agent (MR2\_HA)，(如圖 4 step.1)，待 MR2\_HA 收到並攔截(intercept)該封包後，會查尋內部的 Binding Cache，並得知該

MR2 目前為 MR1 所管轄，MR2\_HA 會將該封包做封裝動作，並 Tunnel 給 MR1 之 Home Agent (MR1\_HA)，(如圖 4 step.2)，待 MR1\_HA 收到並攔截該封包後，會重複上述步驟，直到該 Nested Mobile Network 之 root Mobile Network 之 MR 為止，以圖 4 為例即為 MR1\_HA。

MR1\_HA 會將該封包再一次的封裝並 Tunnel 至 MR，(如圖 4 step.3)，當 MR 收到該封包，並發現該 packet 之目的地為自己時，則解封裝 (Decapsulate)此封包且查尋出下一個目的地為所 MR1 本身所管轄之 Node，故將其 Forward 至 MR2，(如圖 4 step.4)，MR2 收到該封包後，重複上述動作，將封包順利傳達至 MN2，(如圖 4 step.5)[7]。

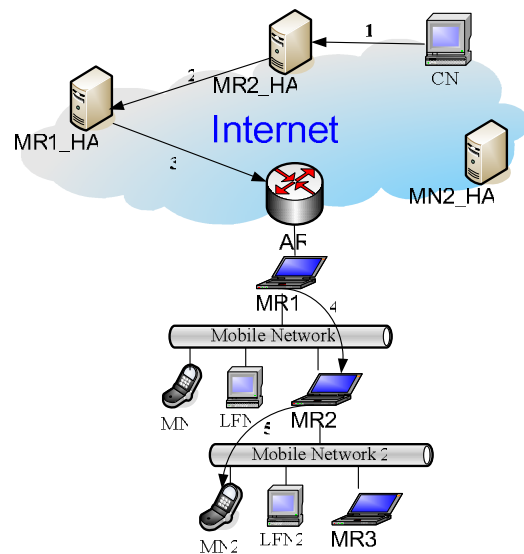


圖 4 以 NEMO Basic Support 方式之傳送路徑

### (二) Optimization Problem

以上節為例，CN 欲傳送封包至 MN2，其傳送路徑(path)為：

CN ->MR2\_HA -> MR1\_HA -> MR1 -> MR2 -> MN2

以 Network Mobility Working Group 所提供的方法來實作 Nested Mobile Network 環境，當 CN 欲傳送封包給 Nested Mobile Network 下最底層的

Node 時，該封包必須經由每一層 Mobile Network 之 MR 所屬的 HA 來做轉送的動作，需轉送多次後才能成功地將封包送至該目的 Node。如此一來，若巢狀式網路其 level 層一多，其轉送的情況越嚴重，不僅會降低傳送封包的效能(Performance)，亦會造成 Tunnel Overhead[2][7]。

#### 四、 Single Tunneling Route

為了解決上述 Overhead 問題，故本方法希望 CN 在傳送封包至 MN2 時其傳送路徑為：CN -> MR1\_HA-> MR1-> MR2-> MN2。其詳細傳送過程方法如下說明：

(一) 當 MN 進入新的 Mobile Network 之註冊程序

以圖 5 為例，當 MN2 從外部網路移動至此巢狀式網路內之 MR2 所管轄下時，其註冊程序為：

1. MR2 會發送 RA 訊息給 MN2，告知其所配予之 CoA 為何，其中 RA 訊息中亦包含了該巢狀式網路 root MR(即 MR1)之 Home Address 與 MR2 目前所在該巢狀式網路的 Level 層數(以利後續資料傳送過程使用)。(如圖 6 step.1)
2. 當 MN2 接收完 RA 訊息後，會傳 Binding Update (BU) 訊息給本身所屬之 Home Agent (即 MN2\_HA)，與所對應之 CN。告知其目前位址、MR1 之 Home Address 與該 MN2 所在 Level 層數(即，將 MR2 的 level 層加 1)。(如圖 6 step.2)
3. 若 MN2\_HA 與 CN 分別同意接受，並各自更新其 Binding Cache 後，亦會分別回傳 Binding Acknowledge (BA) 給 MN2，告知已更新完成。(如圖 6 step.3)

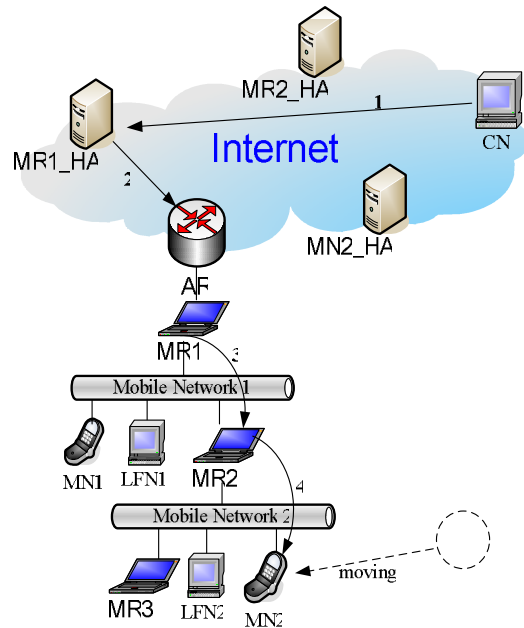


圖 5 最佳化傳送路徑

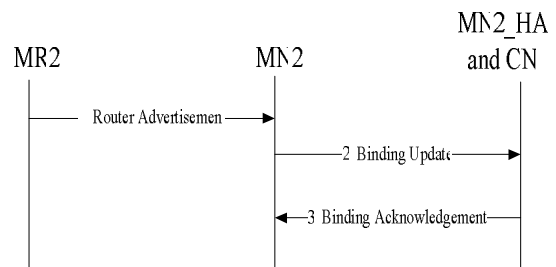


圖 6 MN2 之註冊程序

(二) MN 欲傳送封包至 CN

以圖 5 的架構說明當 MN2 欲傳送資料至 Internet 上之 CN 時，其傳送路徑如下：

1. 首先，MN2 會將該資料以自己的 CoA 當來源位置(Source Address)，CN 位址當目的位址(Destination Address)，將封包送往 MR2。其封包格式詳如圖 7(a)。
2. 當 MR2 收到該封包後，會依據 MR2 所在 Level 層數，給予該封包增加 Level 數加 1 的預留空間，命名為 add 空間，依此例，即是增加了 3 個空間。新增完成後，MR 會記錄原封包之目的位址(CN 位址)至 add[0]，原封包之來源位址

Source CoA of the MR2	Destination HoA of the MR1	Payload
--------------------------	-------------------------------	---------

(a)原始封包格式

Source CoA of the MR2	Destination HoA of the MR1	add[2]	add[1] CoA of the MN2	add[0] CN	Payload
--------------------------	-------------------------------	--------	--------------------------	--------------	---------

(b) 經 MR2 處理後之封包格式

Source CoA of the MR1	Destination HoA of the MR1	add[2] CoA of the MR2	add[1] CoA of the MN2	add[0] CN	Payload
--------------------------	-------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------	---------

(c) 經 MR1 處理後之封包格式

圖 7 MN2 傳送封包至 CN，其封包格式

(MN2\_CoA)記錄至 add[1]中，將該封包的來源位址改為自己(MR2\_CoA)，目的位址改為 root MR 之 Home Address 位址(即 MR1 之 Home Address)，處理完成後，將該封包送往 MR1。其封包格式詳如圖 7(b)。

- 當 MR1 收到 MR2 送來的封包後，會檢查有無 add 的新增預留空間，若有，表示為巢狀式網路內的節點傳送之封包，將該封包之來源位址轉寫入 add[2]中，此時，該封包已送至該巢狀式網路最上層之 MR1。故 MR1 會將該封包做封裝(Encapsulate)動作，再另外將來源位址存放自己的 CoA(即 MR1 的 CoA)。處理完成後，將封包送往 MR1 之 Home Address。其封包格式詳如圖 7(c)。
- 當 MR1\_HA 收到 Packet 後，發現該封包之目的位址為自身所管轄之 Address 時，則將該封包做解封裝(Dencapsulate)動作，解封裝完成後，將 add[2]以上位置依序存放於自身的 Binding Cache 中；完成後，以 add[0]之內容當該封包之目的位址(即 CN 之 Address)，以 add[1]的內容當該封包之來源位址，完成後，去除封包先前預留空間，如此一來，該封包即可順利的送至 CN。其封包格式詳如圖 7(a)。

### (三) CN 欲傳送封包至 MN

當 CN 欲傳送資料給巢狀式網路中最底層 MN2 時(以圖 5 為例)，其傳送路徑如下：

- 由於，我們的方法中，於 MN2 註冊時，已先將 MN2 所屬的 root MR 之 Home Address 與 MN2 所在的 Level 層數，存放於 CN 之 Binding Cache 中，故 CN 欲傳送資料至 MN2 時，會依據 Binding Cache 內所記錄之 MN2 之 Level 層數為該封包新增 add 的預留空間，即新增三個預留空間，其中 add[0]存放該封包最終目的位址，即 MN2 之 CoA，以 MR1 之 Home Address 當目的位址，將資料送出。其封包格式詳如圖 8(a)。
- MR1\_HA 收到並攔截此封包訊息後，會檢查是否有 add 預留空間，若有，代表該封包是傳送至巢狀式網路下的節點；則會以封包之 add[0]之內容值，即 MN2 之 CoA，查詢內部 Binding Cache，找出對應值填入封包預留空間中，即會找出 MR2\_CoA，並將其填入於 add[2]中；將來源位址，CN，填入 add[1]內；並以 MR\_HA 當來源位址，MR1 之 CoA 當其目的位址，最後，MR\_HA 處理完成後，會將封包做封裝(Encapsulate)動作，再將封包 Tunnel 至目的地。其封包格式詳如圖 8(b)
- MR 接收後，發現其目的位址為自己時，會將該封包做解封裝(Dencapsulate)動作，並檢查是否有 add 之額外預留空間，若有，代表該封包是傳送至巢狀式網路下的節點；此時，封包目的位址以 add 最大編號之數值依序往下改變，即 add[2]內容值。處理完成後，將封包往目的

Source CN	Destination HoA of the MR1	add[2]	add[1]	add[0] CoA of the MN2	Payload
--------------	-------------------------------	--------	--------	--------------------------	---------

(a) 原始封包格式

Source MR_HA	Destination CoA of the MR1	add[2] CoA of the MR2	add[1] CN	add[0] CoA of the MN2	Payload
-----------------	-------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------------	---------

(b) 經 MR1\_HA 處理後之封包格式

Source CoA of the MR1	Destination CoA of the MR2	add[2] CoA of the MR2	add[1] CN	add[0] CoA of the MN2	Payload
--------------------------	-------------------------------	--------------------------	--------------	--------------------------	---------

(c) 經 MR1 處理後之封包格式

Source CoA of the MR2	Destination HoA of the MR1	Payload
--------------------------	-------------------------------	---------

(d) 經 MR2 處理後之封包格式

圖 8 CN 傳送封包至 MN2，其封包格式

位址送達。其封包格式詳如圖 8(c)。

- 以此類推，一直往下層 MR 做封包轉送動作，每做一次轉送，即將 add 編號往下遞減 1，直至該目的點與 add 當時內容值相同，或直到已讀取至 add[1]，即停止做轉送動作，此時代表封包已轉送至管轄 MN2 之 MR，即 MR2。此時，將 add[0] 內容轉存入該封包之目的位址，即 MN2 的 CoA；將 add[1] 內如轉存至來源位址，即 CN 之 Address。當處理完成後，即可將先前預留空間刪除，並將封包順利往目的地傳送。其封包格式詳如圖 8(d)。

由上述過程可知，當 CN 欲傳送封包至 MN2 時，該傳送路徑為：CN -> MR1\_HA-> MR1-> MR2-> MN2，如此一來，當巢狀式網路其 Level 層一多時，其封包傳送路徑仍是只傳該巢狀式網路 root MR 之 HA，待封包傳送至 root MR 時，仍只須解該 root MR 之封裝動作。此外，我們的模式著重在以 root MR 的移動機率較小的環境來深入探討。如此一來，可大大的減少封包傳送所增加的 Overhead。以達到最佳化目的。

## 五、 Analysis

在此分析中，是以 Network Basic Support 所

提出的方法、已做 MIPv6 最佳化的方法與我們提出的最佳化方法等三種方式做比較分析，在圖 9 中，X 軸代表巢狀式網路的 Level 層數，Y 軸代表每一個巢狀式網路，從最底層節點傳送封包至對應的 CN 所需的 Tunnel 次數。在圖 9 中說明了以 Nested NEMO Level 層為 4 時，若用 Network Basic Support 所提出的方法，其封包所傳送的 Tunnel 次數為 5 次；以 MIPv6 最佳化的方法實作，其 Tunnel 次數為 4 次；但我們的方式只需一次的 Tunnel 次數。因此，當巢狀式網路的 Level 層一增多為 N 層時，以 NEMO Basic Support 方式實作其 Tunnel 次數亦會隨之增長為 N+1 次之 Tunnel 次數；雖然以 MIPv6 的方式做最佳化情況，但只能減少最底層節點的 Tunnel 次數一次，故其 Tunnel 之 Overhead 仍相對的多，為 N 次 Tunnel 次數。但以我們的方式，無論巢狀式網路 Level 數多寡，其 Tunnel 次數仍只需一次，故 Tunnel 次數呈穩定形態，皆只有一次。(如圖 9 所示)。



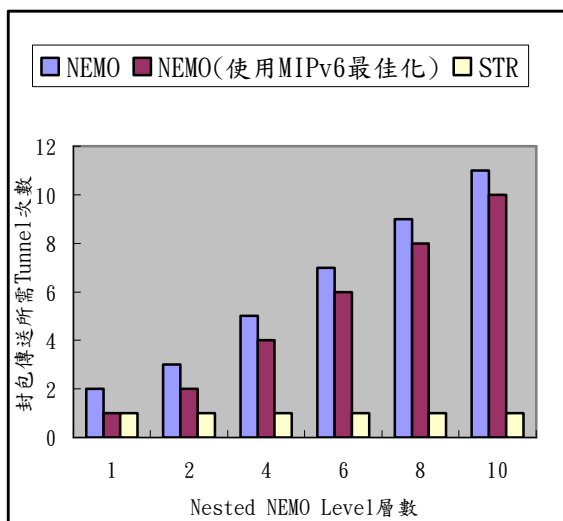


圖 9 分析比較 Tunnel 次數

另外，我們亦比較了封包大小的 Overhead 情況、Tunnel 的 Overhead、經由 HA 處理的 Overhead 與經由 MR 處理的 Overhead 等[2]，其比較結果如圖 10 所示。

NEMO：Network Basic Support 所提的方式。  
MIPv6：利用 Network Basic Support 所提的方式再加上 MIPv6 的最佳化。  
STR：我們的方式。

	NEMO	MIPv6	STR
Packet Size Overhead	Very High	High	Low
Tunneling Overhead	Very High	High	Low
Processing Overhead of HA	Low	Low	Middle
Processing Overhead MR	Low	Low	Low

圖 10 分析比較各方法的優、缺點

由圖 9 與圖 10 說明了我們提出的方式皆優於 NEMO Basic Support 與有做 MIPv6 方式最佳化的方法。

## 六、 Conclusion and Future Work

### (一) Conclusion

在巢狀式網路架構下，雖然現今已能點對點的溝通，但會產生許許多多不必要的 overhead，為了解決此問題，故提出本篇文章，用以討論在巢狀式網路下如何能達到封包傳送的最佳化。以節省網路空間進而能服務更多的使用者。

### (二) Future Work

未來，首要工作是能更進一步的將此構想將予以實作出來，希望能透過實驗數據與 NEMO Basic Support 相比較。用以證明此方法是可行並能達到最佳化。

當實作結果數據如我們所預期時，接下來則考慮其另一重要議題，即在 NEMO 的環境中，其 Security 是目前熱烈討論與關切的重要環節，如何將本方法套用於網路上時能不遭受駭客攻擊，其資料不被竄改是未來仍待解決的問題。

## 七、 Reference

- [1] Alex Conta and Stephen Deering, "Generic Packet Tunneling in IPv6", IETF REC 2473, Dec. 1998
- [2] Dongkeun Lee, Keecheom Lim, Moonhae Kim, "Hierarchical route optimization for nested mobile network", IEEE Advanced Information Networking and Applications, Vol. 1, pp.225-229, 2004
- [3] E. Perera, V. Sivaraman, and A. Seneviratne "Survey on Network Mobility Support", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol. 8, Iss. 2, Apr. 2004, pp. 7-19.
- [4] Eun Kyoung Paik and Yanghee Choi, "Seamless Mobility Support for Mobile Networks on Vehicles across Heterogeneous Wireless Access Networks",

IEEE International Conference on Vehicular Technology, Vol. 4, Apr. 2003.

[5] Hiroshi Esaki, “Multi-Homing and Multi-Path Architecture Using Mobile IP and NEMO Framework”, Symposium on Applications and the Internet, Jan. 2004.

[6] R Bhagavathula, N Thanthy, K Namuduri, and R Pendse, “Issues With Nested Mobility”, IEEE International Conference on Vehicular Technology, Vol. 3, Oct. 2003.

[7] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert, “Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol”, IETF RFC 3963, Jan. 2005.