

巢狀式行動網路下之反應式快速換手機制

張英超 呂秋松

彰化師範大學資訊工程學系

Email: icchang@cc.ncue.edu.tw

摘要—我們過去藉由結合 FMIPv6 與 HCoP-B 的概念，設計出預測式(Predictive) FHCOP-B，利用第二層(Layer 2)的 trigger 來通知第三層的行動網路協定 HCoP-B 提早做換手。然而預測式 FHCOP-B 可能會面對行動子網路移動太快或換手預測錯誤，導致原本的流程無法正確完成。在本篇論文中，我們將提出預測式 FHCOP-B 預測換手失敗時，所必須執行的反應式(Reactive) FHCOP-B 的流程，並分析可能會發生的換手延遲、封包遺失與暫存封包時間。藉由這一套完整的預測式與反應式 FHCOP-B 協定，將可以達到：1. 顯著的減少行動子網路換手延遲的時間。2. 達成路由最佳化。3. 在換手期間藉由 MAP 暫存無法收到的封包，大幅降低封包遺失。4. 以最少的額外訊息，達成無縫式換手。

關鍵詞—Network Mobility, HCoP-B, Predictive FHCOP-B, Reactive FHCOP-B

一、簡介

基於 MIPv6[1]，IETF 的一個工作小組(Network Mobility, NEMO, Group)[2-3]設計了支援行動網路的通訊協定(NEMO Basic Support, 簡稱為 NBS)。此通訊協定支援單層的行動網路，主要是希望能夠讓行動網路裡的所有網路節點，能夠在改變對網際網路的連接點(Access Router, AR)時，也能夠保持進行中的連線不中斷。根據 NBS 的設計，若推廣到巢狀式行動網路的環境，封包在傳送時需對每層 MR 做封裝，產生 tunnel in tunnel 的問題，這樣會增加封包長度與延遲，也會產生乒乓路由(pinball route) [4]的現象，導致無法達到路徑最佳化(route optimization)。因此[5]提出 HCoP-B 行動網路架構，NEMO 的 Mobility Anchor Point (MAP) 上的 BUT 內記錄著：1. 行動網路拓撲架構以及 2. 每

個 Mobile Router (MR)/Visiting Mobile Node (VMN) 所有連線中的 CN 和 MR-HA/VMN-HA。HCoP-B 設計的優點是當 NEMO 子網路進行 Inter-MAP 換手時，HCoP-B 可以同時執行：1. 由換手子網路的最上層 MR (Handoff Leading MR, HLMR) 透過 Local Binding Update (LBU)程序(step 1.1)，傳送這個子網路的 BUT 資訊給新的 MAP，立即對所有的 HA 與連線中的 CN 執行 Global Binding Update (GBU) (step 1.2)。2. 對行動網路內部的前置碼授權(step 2.1)與前置碼授權後內部 MR 對 MAP 的 LBU(step 2.2)。HCoP-B 確實可以因此減少執行路由最佳化所需換手延遲的時間。

另一方面，IETF 所訂定的 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6) [6]協定可藉由第二層的幫助來減少換手延遲時間和達成快速換手(Fast Handoff)。為了因應下一代行動網路的發展，行動網路的管理需求顯得愈來愈重要，支援巢狀式行動網路內所有的 MN 在行動網路移動的情況下可以達到快速無縫式換手，我們延伸 FMIPv6 與 HCoP-B 的特性，設計出 Predictive Fast HCoP-B (預測式 FHCOP-B) [7]，藉由整合 Layer 2 的換手事件(trigger)預約提早換手與 Layer 3 HCoP-B 路由最佳化，在換手動作發生前，讓巢狀式行動網路預測之後可能換手至另一 MAP 下的 AR，藉由交換 HI 和 HAck 等訊息，同時傳遞 HCoP-B 的 BUL 資訊給新的 MAP 來完成路由最佳化。隨後在舊的和新的 MAP 下的兩個 AR 之間建立通道，轉送並暫存換手過程中收到的封包，達成快速無縫式換手。

如同 FMIPv6 的設計，預測式 FHCOP-B 可能會面對以下兩種移動太快的例外狀況，導致原本的流程無法正確完成。因此對於換手延遲(Handoff Latency)、封包遺失(Packet loss)等效能項目勢必比原本執行預測式 FHCOP-B 之流程還

要更多，因此本論文將設計因 FHCoP-B 預測換手失敗時，所必須執行的反應式 (Reactive) FHCoP-B 的流程，並分析可能會發生的換手延遲、封包遺失和暫存封包時間(Buffering time)。

以下本論文主要分為四節：第二節中將回顧針對行動網路快速換手的研究，特別探討 FMIPv6 與預測式 FHCoP-B；第三節將詳細說明本論文所提出反應式 FHCoP-B 架構面對兩種例外狀況的流程，並分析各種效能項目的結果；第四節是預測式 FHCoP-B、反應式 Fast HCoP-B 與其他機制的效能模擬實驗；最後是結論。

二、相關研究

FMIPv6 可使目前仍在自己所屬的 Previous Access Router (PAR)下的 MN 自行偵測自己即將是否移動至另一個 new Access Router (NAR)子網路範圍，並取得新的子網路 prefix 資訊。例如，MN 可使用特定的第二層鏈結層(link layer)機制(稱為 L2 的 trigger)來發現一個或多個 AP，藉由取得它們的 AP-ID 和 AR-Info，MN 可很快地發現自己有沒有可能將移動至另一 AR 下的子網路。如果有，便藉由 FMIPv6 的方法，MN 利用 L2 的 trigger 主動發出 Router Solicitation for Proxy Advertisement (RtSolPr)訊息給 PAR 或被動的從 PAR 接收 Proxy Router Advertisement (PrRtAdv)訊息。一旦此訊息傳給 MN，MN 就可知道新的 AR 或 AP 的資訊，讓 MN 可提早獲知新網域的路由器名稱並取得新的 Care of Address (CoA)，減少因換手時所衍生的延遲時間。此協定可分為預測式(Predictive)快速換手和反應式(Reactive)快速換手二種模式。二者差別在於預測換手目的地的機制是否成功。如果成功，FBACK 會在舊的 Link disconnect 前就送給 MN，而 PAR 暫存的資料就會立刻送給 NAR，再送給 MN；如果失敗，在舊的 Link disconnect 後才能進行 FNA, FBU, FBACK 訊息的傳送，PAR 暫存的資料才會送給 NAR，再送給 MN，造成較長的換手延遲。

[8,9]提到一般傳統 MIPv6 的作法，先執行完第二層換手後再執行第三層換手(L2+L3)，所需的換手延遲時間約 2000~3000ms，而結合快速換手的做法，換手延遲時間約可減少至

100~300ms。因此本節主要探討使用快速換手 (FMIPv6)來減少換手延遲的情況。之後所做的探討會分為三部分：1. 探討單一行動節點使用 FMIPv6。2. 探討整群行動網路使用 FMIPv6。3. 整合 FMIPv6 與 HCoP-B 的預測式 FHCoP-B。

2.1 單一行動節點使用 FMIPv6

[10]中提出「增強快速換手」(enhanced fast handoff)，在 IPv6-based 可移動網路環境下，使用暫時的 CoAs 和 Packet Buffering Point (PBP)。此目的是要使用一些已經執行過 Duplicate Address Detection (DAD)程序的 CoAs，如此當 MN 向新網域做位址更新時就不必再做 DAD 程序，這樣的話可減少因換手延遲時發生的封包遺失。[11]所提的方法是基於 802.11 WLAN 對 Mobile IPv6 加上 Return Routability (RR)的機制並且明確定義 L2 與 L3 流程圖，當 MN L2 發現新的 AP 發出 802.11 訊號並且 802.11 訊號強度 (RSS)降至門檻值以下，第二層就必須觸發第三層執行 FMIPv6。

2.2 整群行動網路使用 FMIPv6

[12]裡提出 fast NEMO (FNEMO)方法，FMIPv6 原本的流程 HI 的訊息是送到 NAR，在這篇論文中將 HI 訊息延伸送至 HA，並且 NAR 直接與 HA 形成 tunnel。這樣的好處是封包轉送可以直接送至 NAR，可是缺點是 PAR 暫存的資料該如何送至 NAR，在論文中卻沒提到解決的方法。[8]提出基於 NEMO-Based 的環境下使用快速換手，在網路架構 AR 上面新增一個 Intelligent Control Entity(ICE)元件來管理 AR 和 MR 之間的資訊，當 MR 移動時需幫 MR 選出一個可連線的 AR，優點是 MR 有附近可用網路的資訊來預測換手。缺點是需要增加 ICE 元件，提高佈置網路的成本，也無法達成路由最佳化。

2.3 整合 FMIPv6 與 HCoP-B 的預測式 FHCoP-B

我們設計了一個 L2 與 L3 共同合作的預測式 FHCoP-B，透過 FMIPv6 減少換手延遲時間與 HCoP-B 執行路由最佳化。在原本執行 HCoP-B

的換手流程上，如圖 1(a)所示，需先執行 Layer 2 裡 Channel Scanning、Authentication、Association 的程序，再執行 Layer 3 裡 HCoP-B 的 Prefix Delegation、Binding Update、Media Stream 程序。當換手發生時，時間 t_2 - t_6 將中斷封包接收， t_6 之後才能接收由 NAR 轉送與 CN 送來的新封包，如此情形想必對一些 real-time service QoS 會造成重大的影響。因此預測式 FHCoP-B 所提的方法，如圖 1(b)所示，便是希望預知在 Channel Scanning 發生 link going down 事件將會換手時 (t_1)，藉由 L2 通知 L3 提早在 t_1 時間做 HCoP-B Prefix Delegation 與 Binding Update(稱為 predictive binding update)，讓行動網路可以提早取得 CoA 並與 HA 和 CN 執行 BU，由新路徑快速恢復封包的接收，希望只在 t_2 - t_4 停止接收，減少換手延遲與達成無縫式換手。

我們在[7]以圖 2 的網路架構，提出第二層的 802.11 及 802.16e 如何與第三層 HCoP-B 執行不同 MAP 之間(inter-MAP)的預測式 FHCoP-B。所謂 inter-MAP 換手就是行動子網路由舊的階層式行動網路(Previous MAP，簡稱 PMAP)換手至新的階層式行動網路(New MAP，簡稱 NMAP)下。行動網路最上層 MR 是以適用於較長距離的 802.16 與上層 AR 做連結，行動網路內部 MR 間與 MR 與 MN 間則以 802.11 來做連結。

定義下列參數(如表一所示)： MR_i^l 為巢狀行動網路內第 l 層第 i 個 MR，而 HA_i^l 則是每一 MR_i^l 所對應的 HA。在行動網路內每個 hop 傳送封包的時間以 t_{in} 表示；行動網路外每一網路節點間傳送封包的時間以 t_{out} 表示。而行動網路外任兩節

點(S,D)之間的 hop count，以 H_D^S 表示。 $t_{RS/RA/HMRA}$ 為行動網路內，每個 hop 傳送 RS/RA/HMRA 訊息所需的處理時間。 t_{cc} 為 MR/MN 取得新的 care-of prefix (CoP)時，把新的 CoP 與 MR/MN 的 ID (MAC Address)做配置取得新的 CoA 的時間。 t_{e2} 為行動網路內 L2 通知 L3 換手的事件； t_{L2} 為行動網路換手時，L2 執行 Authentication 與 Association 的動作時間。

表一. 相關參數設定

Notations	Descriptions
MR_i^l	The i th MR at the l th layer of the nested NEMO
H_D^S	Internet distance in hop count from the source node S to the destination one D in the nested NEMO
t_{bc}	The processing time, which value is $5ms$, for the node to update the LBC/VBC when receiving the BU.
t_{cc}	The processing time, which value is $5ms$, for the MR to configure its new CoA.
t_{in}	The propagation delay and link access delay, which value is $10ms/hop$, between any two adjacent nodes in the nested NEMO.
t_{out}	The propagation delay and link access delay, which value is $10ms/hop$, between any two adjacent nodes in Internet.
t_{e2}	Layer 2 notifies Layer 3 of the handoff event, which value is $1ms$.
t_{L2}	L2 executes the procedure of Authentication and Association with the value of $50ms$. [26]
t_{DAD}	The time for duplicate address detection of the CoA, which value is $1000ms$. [26]
t_{RS}, t_{RA}, t_{HMRA}	The propagation delay, which value is $10ms/hop$, to transmit the RS, RA or HMRA message between two adjacent MRs in the nested NEMO.

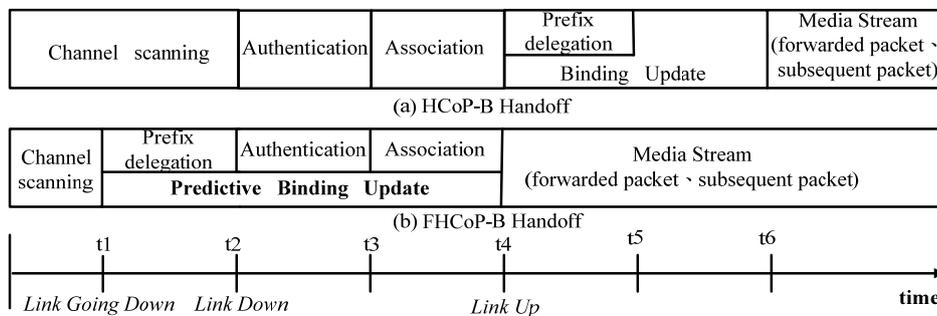


圖 1. HCoP-B 與預測式 FHCOP-B 換手流程圖

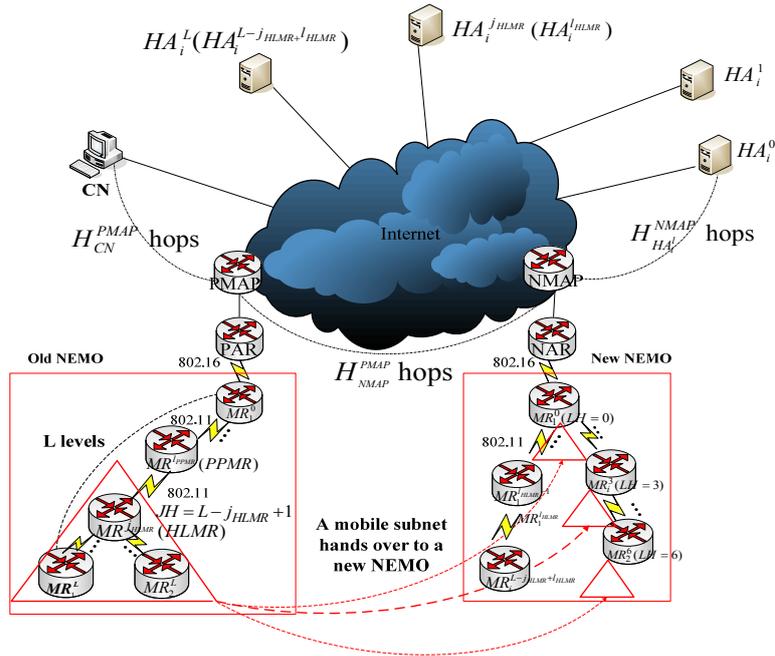


圖 2. FHCOP-B 802.11 to 802.11 inter-MAP handoff (LH = 0, 3, 6)

- **換手延遲時間(Handoff Latency)**: 當 HLMR 換手會執行 L2 的 channel scanning、authentication、association 與 L3 的 prefix delegation、binding update、恢復接收 media stream。接收 media stream 又分為二部分：
 1. 轉送封包(forwarded packet): 在 PAR 暫存的封包，之後會轉送至 NAR。
 2. 後續封包(subsequent packet): 當 NAR 發出 GBU 給 CN、HA 之後，封包會直接傳送至 NAR，不必再經由舊的路徑。因此從 HLMR 斷掉 link (Link Down 事件發生)，執行 L2 與 L3 的動作，換手成功並且接收到下一筆轉送封包，這段時間就定義為換手延遲時間。在最差的情況下， $MR_i^{L-j_{HLMR}+l_{HLMR}}$ 下最深層的 MN 在收到經由原本路徑的最後一個封包後將停止接收封包，直到收到第一個轉送的封包，如公式 1 所示。

$$2 \times t_{e2} + t_{L2} + t_{bc} + t_{out} \times (2 \times H_{NMAP}^{PMAP} + 3) + t_{in} \times (j_{HLMR} + 2 \times l_{HLMR} + 4) \quad (1)$$

- **全部暫存時間(Total buffering time)**: 執行 FHCOP-B 的過程中，從 HLMR 經由 PAR 發送 FBU 訊息給 PMAP 要求暫存封包開始，

之後再轉送至 NMAP 暫存，直到 HLMR 完成新的 L2 鏈結，並發送 UNA 通知 NMAP 解除暫存封包的限制。這個換手情況的完整暫存時間是三段暫存時間(PMAP 暫存時間、NMAP 暫存轉送封包的時間與 NMAP 暫存換手後續封包)的總和，如公式 2 所示。

- **封包遺失時間(Packet Loss Time)**: 一旦 HLMR L2 發生 link going down 事件，HLMR 會發 LBU 訊息給 MAP 執行 FHCOP-B，此時在 PAR 會暫存 HLMR 在換手時可能遺失之封包。在這個情況下，由於所有換手期間的封包都暫存在 PMAP 與 NMAP，並完全轉送到 MN，因此預測式 FHCOP-B 不同 MAP 之間(inter-MAP)的換手不會造成封包遺失。

- **全部換手成本(Total Handoff Cost)**: 我們定義「全部換手成本」為「完整暫存時間」加上「封包遺失時間」。因為封包遺失時間的值為 0，全部換手成本的值可以用公式 2 計算。

$$2 \times t_{bc} + 4 \times t_{e2} + 2 \times t_{L2} + t_{in} \times (j_{HLMR} + l_{HLMR} + 2) + t_{out} \times (2 \times H_{NMAP}^{PMAP} + H_{PMAP}^{CN} - H_{NMAP}^{CN} + 4) \quad (2)$$

三、反應式 FHCOP-B 的流程與效能分析

當執行預測式 FHCOP-B 時，假如因某種原

因而發生預測失敗的話，之前所做的預測換手動作勢必無效。在本節我們將根據[13]詳細探討 FHCoP-B 可能換手失敗的二種快速移動，把 FMIPv6 的反應式換手應用在預測式 FHCoP-B 的預測換手失敗上，設計出反應式 FHCoP-B 的流程，並且對預測換手失敗的效能項目進行分析。

3.1. 快速移動(Fast Movement) case 1

在 FHCoP-B 裡，因為 HLMR 必須在有限時間內完成換手動作，否則就視為預測換手失敗。但如果 HLMR 突然快速地移動至 NAR 下的新網域，雖然預測新網域成功，但是因為運作時間上不足而無法完成預測式 FHCoP-B 的流程導致預測換手失敗的話，勢必會浪費一些額外訊息和遺失封包。在這種失敗原因下，透過新增二個符號，X：HLMR link down 的時間點， Δ ：HLMR 再次執行 channel scanning 找到應該換手的新 AR 的額外時間。我們可以將它細分為二種換手失敗情形，以 Inter-MAP 換手為例，其情形如下：

Case 1：HLMR 送出 FBU 給 PMAP 之前就 link down：

換手失敗的時間圖如圖 3，詳細流程由圖 4 所示，當 HLMR 收到由 NAR 的 802.16 BS 週期性的發出 MOB_NBR-ADV，並且此時發生 Link Going Down 事件後，HLMR 會開始執行 FHCoP-B 的 prefix delegation($t_1 \sim t_2$)流程。假設在時間 X 點發生連線中斷(link down)，HLMR L2 會傳送 Link Down 事件給 L3，此時 HLMR 因時間上不足，而無法正常傳送 FBU 訊息至 PMAP，導致由外部 CN 傳送來的封包(original packet)就無法正常傳送給 HLMR 子網路，使得 HLMR 與底下 MR 和 VMN 開始發生封包遺失。

因為 HLMR 子網路快速移動導致無法執行完 FHCoP-B 流程，但是 HLMR L2 由之前 PrRtAdv 訊息得知 NAR 可提供連線服務的資訊是正確的，因此 HLMR 在與 PPMR link down 後會繼續與 NAR 執行 L2 的連結，此時間為 $\Delta + t_{e2} + t_{L2}$ 。如同[9]，這種模式是屬於反應式 FHCoP-B，執行完新的 L2 鏈結後，HLMR 會經由 NAR 傳送 UNA 訊息給 NMAP 要求傳送暫存的封包給 HLMR，此時間為 $t_{in} \times (l_{HLMR} + 1) + t_{out}$ 。

但由於之前的 FHCoP-B 流程只完成 prefix delegation，並沒有執行 Predictive Binding Update，所以 PMAP 沒有幫 HLMR 暫存它換手後的封包，使得 PMAP 無法將 forwarded packet 預先轉送給 NMAP。因此當 HLMR 送出 UNA 後，由於預測換手失敗，因此 HLMR 會送出 FBU(夾帶 BC)訊息給 NMAP 更新 BC，此時間為 $t_{in} \times (l_{HLMR} + 1) + t_{out} + t_{bc}$ 。NMAP 會將此 FBU 訊息轉送給 PMAP，PMAP 再發出 HI 訊息，希望在 PMAP 和 NMAP 間建立隧道，使得在 PMAP 暫存的封包可以轉送給 NMAP，此交換 FBU、HI、HACK、FBACK 的時間為 $4 \times t_{out} \times H_{PMAP}^{NMAP}$ 。但由於之前 HLMR 因為快速移動，導致 FBU 訊息並無法順利傳送給 PMAP，因此在 PMAP 並沒有封包可以轉送給 NMAP。當 NMAP 收到 PMAP 傳送的 FBACK 訊息後，NMAP 隨後會將 subsequent packet 往下傳送給 HLMR 子網路，最後由 MN 收到所需時間為 $t_{in} \times (L - j_{HLMR} + l_{HLMR} + 2) + t_{out}$ 。由於此 Case 1 較早發生預測失敗，因此 NMAP 與外部網路執行的 FBU 和 RR 程序有可能比 HLMR 執行完反應式 FHCoP-B 的時間來的晚，因此換手延遲時間有二種可能。若 NMAP 在 FBACK 之後才收到 GBACK，則 NMAP 沒有暫存時間，但是換手延遲時間會較大。若 NMAP 在 FBACK 之前就收到 GBACK，則 NMAP 有暫存時間，但是換手延遲時間會較小。

以下我們將針對發生第一種換手失敗情形時，探討換手延遲時間、封包遺失、暫存時間與全部換手成本四種項目：

- **換手延遲時間**：由圖 3 所示，換手延遲時間從此 X 時間點開始，並且等待 Δ 時間進行 channel scanning 找到新的 BS/AP，執行新的 L2 鏈結。一旦 Link Up，HLMR 就必須遵照反應式 FHCoP-B 的流程執行換手程序，因此由圖 3 可知換手延遲時間為 $\Delta + (t_6' - t_2')$ 。NMAP 代替 HLMR 子網路執行 GBU 和 RR 程序的時間總和如公式 3 所示。由於 HLMR 傳送 FBU 訊息並沒有成功傳送給 PMAP，因此在圖中會產生二種情況，一為 NMAP 收到 GBACK 訊息比 FBACK 時間來的早，因此第

一種換手延遲時間為 link down 事件發生，一直到收到第一個 subsequent packet 之間的時間，如公式 4 所示；另一為 NMAP 收到 GBACK 比 FBACK 訊息來的晚，因此換手延遲時間如公式 5 所示。

$$2 \times t_{out} \times \left\{ \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + \text{MAX} \left[\begin{array}{l} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right. \\ \left. + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}}, H_{CN}^{NMAP} \right) \right] + H_{CN}^{NMAP} \right\} \quad (3)$$

$$\Delta + t_{e2} + t_{L2} + t_{bc} + t_{in} \times (L - j_{HLMR} + 2 \times l_{HLMR} + 3) + t_{out} \times (4 \times H_{NMAP}^{PMAP} + 2) \quad (4)$$

$$-2 \times t_{out} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) \\ + \text{MAX} \left[\begin{array}{l} \left(H_{HA_i}^{NMAP} + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}}, \right. \\ \left. H_{CN}^{NMAP} \right) \right] + H_{CN}^{NMAP} \end{array} \right\}$$

$$t_{in} \times (L - j_{HLMR} + 1) + 2 \times t_{out}$$

$$\times \left\{ \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + \text{MAX} \left[\begin{array}{l} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right. \\ \left. + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}}, H_{CN}^{NMAP} \right) \right] + H_{CN}^{NMAP} \right\}$$

(5)

- **封包遺失時間**: 由圖 4 所示，反應式 FHCoP-B (Case 1) 的封包遺失時間為從 CN 傳送的封包無法再讓 HLMR 子網路收到開始，直到 NMAP 與 CN 執行 GBU 後更改目的地位址後，開始傳送後續 subsequent 封包到行動子網路的時間。由圖所示從 NMAP 收到 LBU 並執行更新 BUT 後，便會執行與 MR-HA 的 GBU/GBA、與 CN 的 RR 程序和傳送 GBU 給 CN，此過程時間為公式 6。同時 NMAP 將 LBA 訊息經由 PMAP 回覆給 HLMR 子網路，正好發生 Link down，此段時間為(公式 7)。因此封包遺失的總時間為執行 GBU 和 RR 所需的時間(公式 6)，減去 NMAP 傳送 LBA 訊息給 HLMR 的時間(公式 7)，但是需加上 CN 在 HLMR 子網路 Link down 前還是會將封包經由舊路徑（只經過 PMAP）傳送給 HLMR 的時間，此時間為公式 8。因此在封包遺失時間為公式(6)-(7)+(8)，化簡通式結果如公式 9 所示。

$$t_{out} \times \left[\begin{array}{l} 2 \times \text{MAX} \left(\begin{array}{l} H_{HA_i}^{NMAP} \\ + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}}, H_{CN}^{NMAP} \end{array} \right) \\ + 2 \times \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + H_{CN}^{NMAP} \end{array} \right] \quad (6)$$

$$t_{in} \times (j_{HLMR} + 1) + t_{out} \times H_{PMAP}^{NMAP} \quad (7)$$

$$t_{in} \times (j_{HLMR} + 1) + t_{out} \times H_{PMAP}^{CN} \quad (8)$$

$$t_{out} \times \left[\begin{array}{l} 2 \times \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + 2 \times \text{MAX} \left(\begin{array}{l} H_{HA_i}^{NMAP} + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}} \\ H_{CN}^{NMAP} \end{array} \right) \\ + 2 \times \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + H_{CN}^{NMAP} - H_{PMAP}^{NMAP} + H_{PMAP}^{CN} \end{array} \right] \quad (9)$$

- **全部暫存時間**: 在此換手失敗情形下，由於 PMAP 因為時間上不足而沒有收到 HLMR 傳送 FBU 請求暫存封包的要求，因此在 PMAP 並沒有暫存 forwarded packets。由圖 4 所示，在 Prefix delegation 階段，由於 HLMR 在 Link Going Down 事件後會發出 LBU 給 PMAP 要 BUT 資訊，並且將此 BUT 傳送至 NMAP 執行更新 BUT 後，NMAP 會代替 HLMR 子網路執行 GBU 與 RR 程序。因此在與 CN 執行 GBU 後，CN 會將 subsequent packets 送至 NMAP，此時等待 HLMR 子網路與 PMAP 鏈結後，將 packets 送至 HLMR。由以上分析可知，在此換手失敗情形下，只有在 NMAP 有 subsequent packets 的暫存時間，此時間結果如公式 10 所示。

$$\Delta + t_{e2} + t_{L2} + t_{bc} + 2 \times t_{in} \times (l_{HLMR} + 1) -$$

$$2 \times t_{out} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{MAX} \left[\begin{array}{l} \left(H_{HA_i}^{NMAP} + H_{CN}^{HA_i^{HLMR}} \right. \\ \left. H_{CN}^{NMAP} \right) \right] \\ + \text{MAX}_{l \geq l_{HLMR}} \left(H_{HA_i}^{NMAP} \right) + H_{CN}^{NMAP} \\ - 2 \times H_{NMAP}^{PMAP} - 1 \end{array} \right\} \quad (10)$$

- **全部換手成本**: 在此反應式 FHCoP-B (Case 1) 的全部換手成本為公式(9)+(10)。

3.2. 快速移動(Fast Movement) case 2

Case 2: HLMR 送出 FBU 後收到 PMR 的 FBack 之前就 link down :

假設 HLMR 執行完 Prefix Delegation 程序，並且開始執行 Predictive Binding Update。HLMR 會經由 PAR 發送 FBU 訊息給 PMAP，並且請求 PMAP 暫存之後要送往 HLMR 之封包，之後 PMAP 會傳送 HI 訊息給 NMAP，此 HI 訊息主要目的為更新 NMAP 的 BC，並且讓 PMAP 與 NMAP 建立隧道(tunnel)，之後在 PMAP 所暫存之封包就可經由隧道轉送至 NMAP。假如在過程中，HLMR 斷掉原本的 link，HLMR 將不會收到 FBack，我們假設為第二種換手失敗之情形，換手失敗時間圖如圖 75 所示。

詳細流程由圖 6 所示，HLMR 在 t2 時間點執行完 Prefix delegation，會經由 PAR 發送 FBU(夾帶 BC)訊息給 PMAP 請求停止傳送封包給 HLMR 子網路，並且 PMAP 會將此 FBU 以 HI 訊息轉送給 NMAP，讓 NMAP 代替 HLMR 子網路執行 GBU 和 RR 程序。假設此時發生連線中斷(link down)，HLMR L2 會傳送 Link Down 事件給 L3，HLMR 並依據 L2 之前由 PrRtAdv 訊息得知 PMR 可提供連線服務，因此 HLMR 會與 PMR 執行 L2 的連結。由於 X 時間點是在 FBU 成功觸發 PMAP 執行 FHCoP-B 後，因此儘管 HLMR 已經與 PPMR 連線中斷，後面的 FHCoP-B 流程還是繼續做不會中斷。當 HLMR L2 傳送 LUP 事件給 L3 後，HLMR 會發出 UNA 訊息給

NMAP 請求傳送暫存的封包給 HLMR 子網路，但是因運作時間不足，因此 NMAP 會依據反應式 FHCoP-B 執行剩下的流程，之後 HLMR 子網路才能收到 CN 與暫存在 PMAP 的封包。

- **換手延遲時間**：由圖 5 所示，換手延遲時間從 t2 之後的 X 時間點開始，直到執行完反應式 FHCoP-B 的流程，才能收到由 PMAP 轉送到 NMAP 的 forwarded packet，因此換手延遲時間為 $\Delta + (t6' - t2')$ 。由於 NMAP 已經幫 HLMR 子網路執行 GBU，所以換手延遲時間會比第一種換手失敗情形要來的少，此時間為公式 11，在此情形下的 Δ 會至少比 Case 1 多上 $t_{in} \times (L - j_{HLMR} + 1)$ 的時間，因為 HLMR 需額外時間成功讓 FBU 成功傳送至 NMAP。

$$\Delta + t_{e2} + t_{L2} + t_{bc} + t_{in} \times (L - j_{HLMR} + 2 \times l_{HLMR} + 3) + t_{out} \times (4 \times H_{NMAP}^{PMAP} + 2) \quad (11)$$

- **封包遺失時間**：在第二種換手失敗情形裡，由於 HLMR 有足夠的時間在 L2 斷掉前就將 FBU 送給 PMAP，因此在 PMAP 會暫存送往 HLMR 子網路的封包，因此在此情形裡沒有封包遺失的情形發生。
- **全部暫存時間**：在 Inter-MAP 的換手情形中，在 PMAP 與 NMAP 都有暫存時間，之後我們將分別針對 PMAP 暫存時間和 NMAP 暫存時間進行探討。

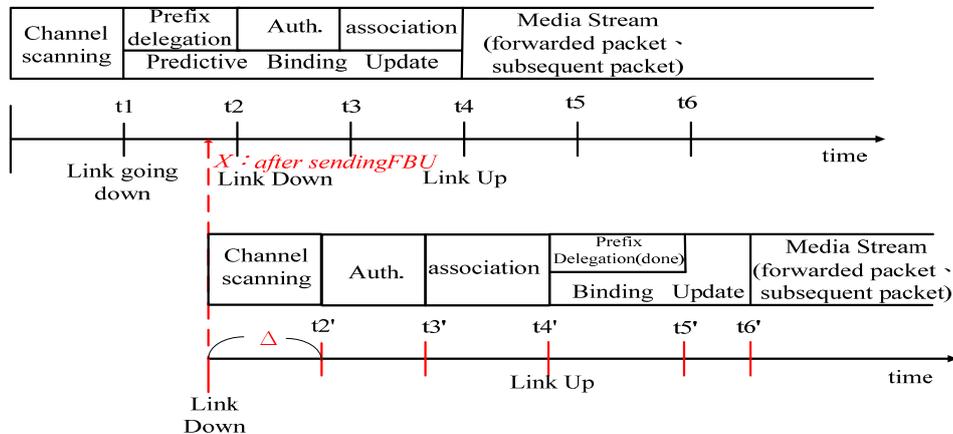


圖 5. FHCoP-B 換手失敗時間圖 (Fast Movement case 2)

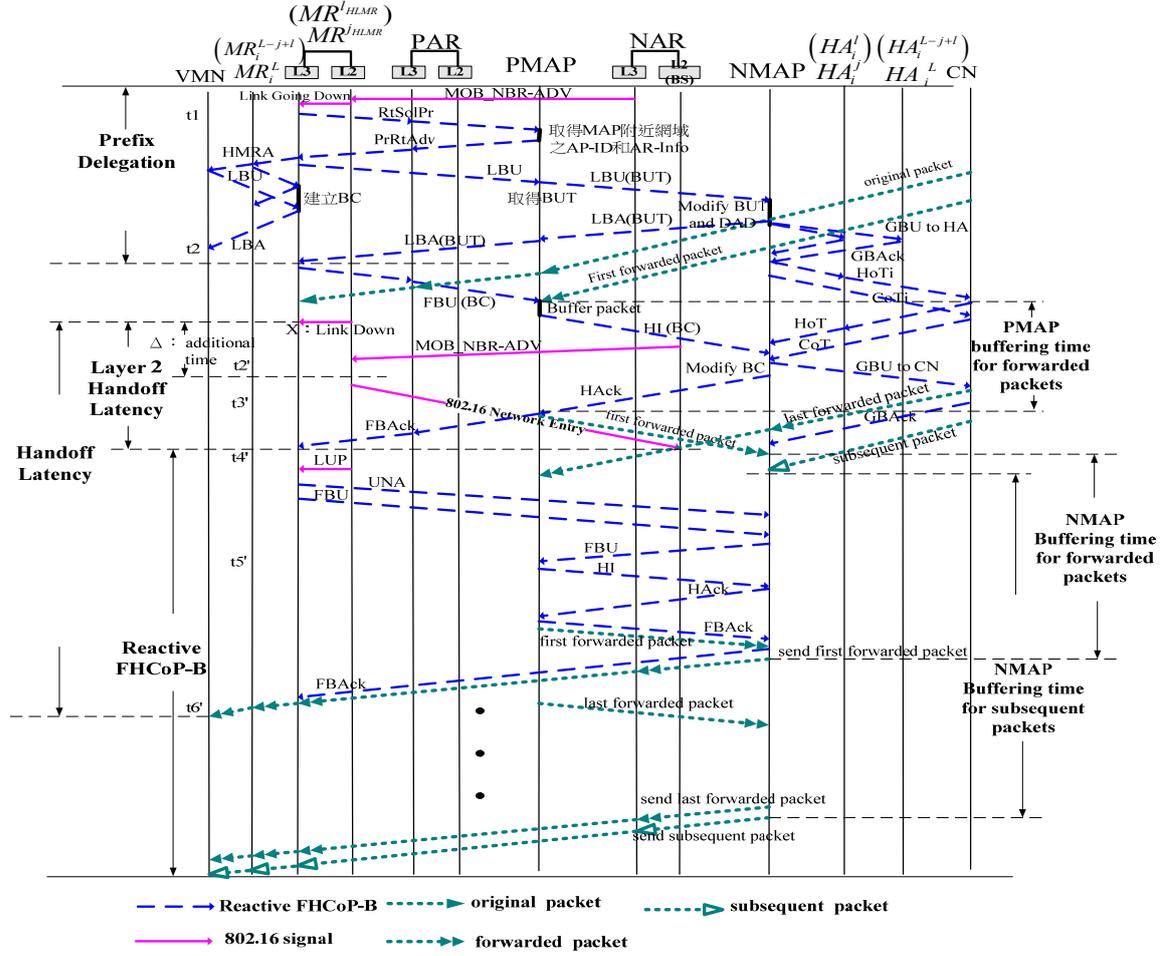


圖 6. FHCOP-B Inter-MAP 802.11→802.11 換手失敗流程圖 (Fast Movement case2)

a. forwarded packets 在 PMAP 暫存時間:由圖 6 所示,此時間為 $t_{bc} + 2 \times t_{out} \times H_{NMAP}^{PMAP}$ 。

b. forwarded packets 在 NMAP 暫存時間:由圖 6 所示,因為預測換手失敗,在 NMAP 需要執行反應式 FHCOP-B 程序,PMAP 才能將封包送給 NMAP 下的 HLMR 子網路,此時間化簡通式結果如公式 12 所示。

$$2 \times t_{e2} + t_{L2} + t_{bc} + t_{in} \times (j_{HLMR} + 2 \times l_{HLMR} + 3) + t_{out} \times (3 \times H_{NMAP}^{PMAP}) \quad (12)$$

c. subsequent packets 在 NMAP 暫存時間:由圖 6 所示,因為預測換手失敗,在 NMAP 需要執行反應式 FHCOP-B 程序,PMAP 才能將封包送給 NMAP 下的 HLMR 子網路,因此 NMAP 裡的 subsequent packets

同樣需要等待執行反應式 FHCOP-B 的時間,因此在此情形下的時間化簡通式結果如公式 13 所示。

$$2 \times t_{bc} + t_{but} + 2 \times t_{e2} + t_{L2} + t_{in} \times \left(2 \times l_{HLMR} + j_{HLMR} + 3 \right) + t_{out} \times \left[7 \times H_{NMAP}^{PMAP} + (H_{PMAP}^{CN} - H_{NMAP}^{CN}) + (1 - H_{NMAP}^{PMAP}) + 2 \right] \quad (13)$$

● **全部換手成本:**在此反應式 FHCOP-B (Case 2) 的全部換手成本為全部暫存時間: $t_{bc} + 2 \times t_{out} \times H_{NMAP}^{PMAP} + (12) + (13)$,化簡通式結果如公式 14 所示。

$$2t_{e2} + t_{L2} + 4 \times t_{bc} + t_{in} \times (L + 6 \times l_{HLMR} + 8) + t_{out} \times (13 \times H_{NMAP}^{PMAP} + 4) \quad (14)$$

四、數值分析與結果

圖 2 是網路架構圖，我們假設建立其深度為 L 層的 Full binary tree 的巢狀式行動網路，圖中包含了下列幾個元件：CN、HA、MR、AR 等元件。由表一我們可知在行動網路內每個 hop 傳送封包的 link access delay 時間為 10ms，以 t_{in} 表示；行動網路外每一網路節點間傳送封包的 link access delay 時間為 10 ms，以 t_{out} 表示；行動網路外任兩 nodes (S,D) 之間的 hop count，隨機產生數值介於 1~30，而在每一 MAP 間皆屬固定式的網路設備距離較近，隨機產生其 hop count 數值介於 1~10；每個 hop 傳送 RS/RA/HMRA 訊息所需的處理時間，其值為 10ms/hop； t_{cc} 其值為 5ms。 t_{DAD} 的時間我們參考[14]，其值為 1000ms。在圖 2 的網路架構圖上，我們設定換手行動子網路的總層數(簡稱 JH)移動至新網域時，將與新的行動網路的第 l 層(簡稱 LH)的 MR 進行鏈結。

4.1 換手延遲時間

如圖 9 所示，以 HLMR 為首的行動子網路 (JH=1-7) 之後會換手鏈結至新網域與 LH = 0, 3, 6 層鏈結。由圖所示，反應式(Case1 and Case 2)因為一開始預測新網域成功且執行 PBU 程序，但是因為換手時間上不足導致換手失敗，因此在 Inter-MAP 換手延遲時間比預測式 FHCOP-B 來的大。而反應式(Case 1)則因為沒有足夠時間並且將 FBU 暫存封包的訊息傳送給 MAP，所以導致 HLMR 接收到封包的時間需等到與 CN 執行 GBU 後，方能從 CN 收到換手後的第一筆資料，因此在換手延遲時間上會較反應式(Case 2)來的長。我們可以發現 LH 或 JH 的層數上升時，換手延遲時間都會隨著層數增加而逐漸往上增加。

4.2 全部暫存時間

全部暫存時間的定義為在各 MAP 暫存 forwarded packet 和 subsequent packet 的時間和，由圖 10 可知每種換手情形都隨著 LH 和 JH 層數增加而暫存時間逐漸提升。在反應式 FHCOP-B Case 2 的情況下，需要的暫存時間比一般執行預

測式 FHCOP-B 要來的多。而在反應式 Case 1 的情形裡，則因為 FBU 並沒有成功送至 PMAP 請求暫存封包，所以在 PMAP 和 NMAP 都沒有暫存 forwarded packet 和 subsequent packet，因此全部暫存時間為 0。

4.3 封包遺失時間

封包遺失時間定義為從以 HLMR 為首的行動子網路在 link down 事件後就無法再從 PPMR 和 CN 接收到封包開始，直到 HLMR 鏈結至新網域，方能從 PMR 恢復接收封包。由圖 11 我們可知不管在 LH 或 JH 層數增加時，在 Inter-MAP Handoff 下封包遺失最嚴重的是反應式 Case 1，其原因為 HLMR 子網路在 link going down 事件後，所預測的新網域是正確的，但是在執行 Predictive Binding Update 的時候，因為快速移動而導致 FBU 訊息並未送至 PMAP，因此 PMAP 並不會幫 HLMR 子網路暫存在換手期間應該接收到的封包，才導致發生封包遺失的情形。而預測式 FHCOP-B、反應式 Case 2 封包遺失時間都為零，其原因是藉由 PMAP、NMAP 或 NNMAP 暫存封包，得以讓 HLMR 在換手後能從新的 MAP 收到在換手期間可能遺失的封包。

4.4 全部換手成本

FHCOP-B 藉由 L2 事件得以在 L2 斷掉前就預先暫存之後有可能遺失的封包，藉以降低封包遺失時間，但是也相對地增加暫存封包的時間。由圖 10 可知，反應式 FHCOP-B Case 2 與預測式 FHCOP-B 需要的暫存時間大於反應式 Case 1 的全部暫存時間(0)。在圖 11 中可以明顯發現反應式 Case 1 的封包遺失時間遠比預測式 FHCOP-B 與 Case 2 (都等於 0) 來的大。在加總兩者之後，由圖 12 中可以發現，每種換手情形都隨著 LH 和 JH 層數增加而逐漸提升全部換手成本。反應式 Case 1 的全部換手成本最大，其次是反應式 Case 2。而預測式 FHCOP-B 因為能成功事先完成換手，全部換手成本是最低的。

表二為 Predictive 與反應式 FHCOP-B 在所有 LH 與 JH 值下的平均效能比較表。Reactive Case 1 與 Case 2 則因為預測正確，可以提早執行 Predictive Binding Update，但是卻因為移動過快

無法完成流程。特別是 Reactive Case 1 因為移動的效能) 來執行 FCoP-B 的流程。太快, 反而需要比 Case 2 付出更大的代價 (較差

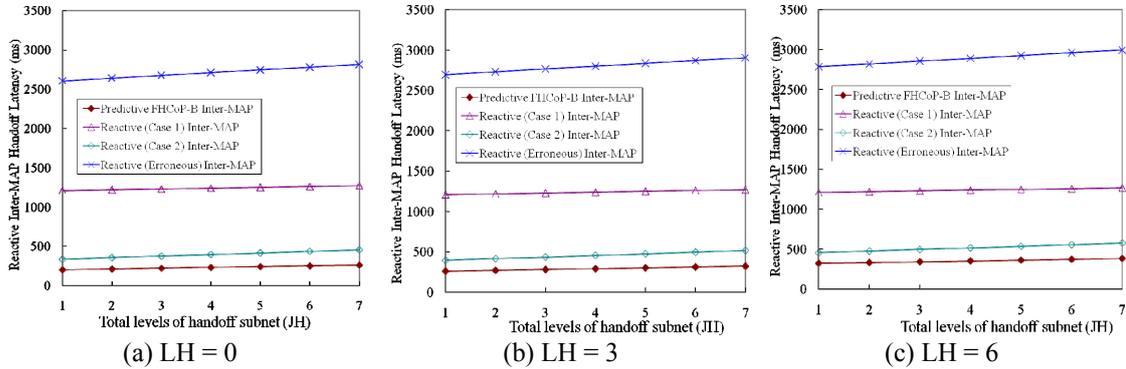


圖 9. FCoP-B Inter-MAP Handoff Latency

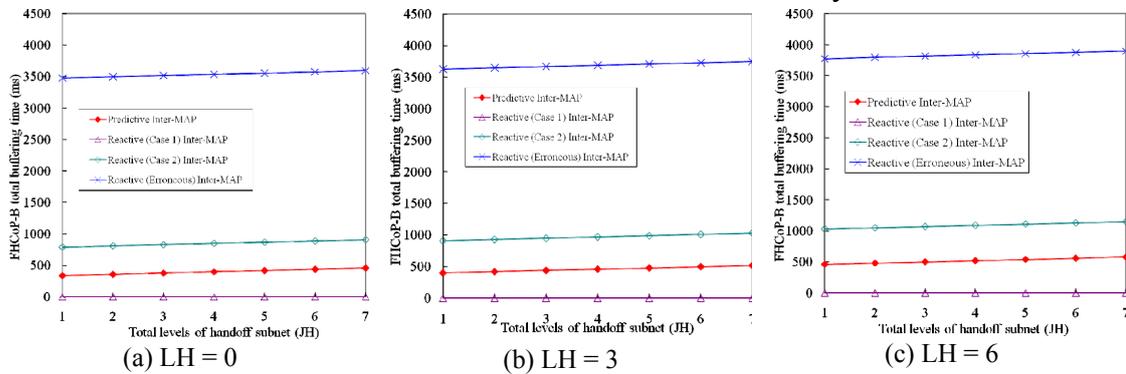


圖 10. FCoP-B Inter-MAP total buffering time

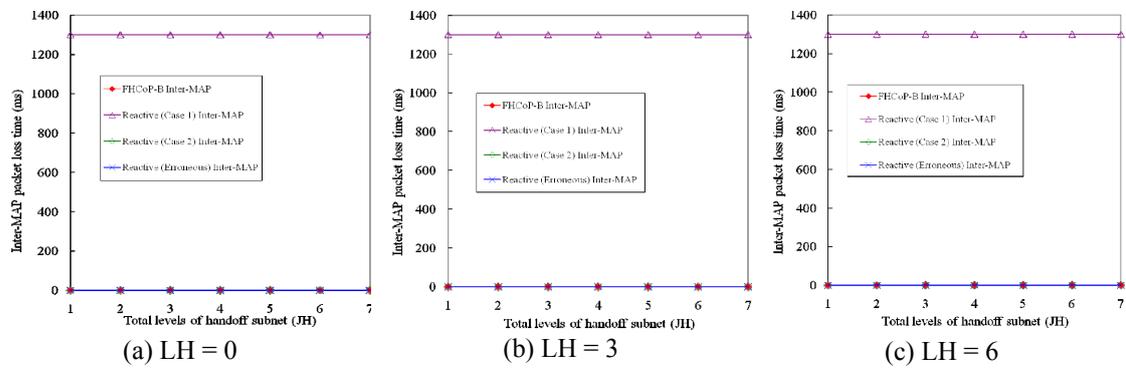


圖 11. FCoP-B Inter-MAP packet loss time

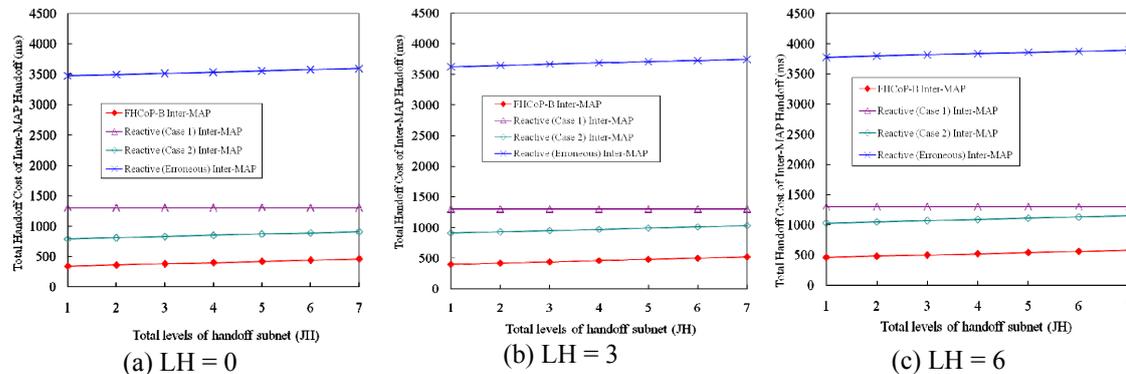


圖 12. FCoP-B Inter-MAP total handoff cost

表二、Predictive 與反應式 FHCoP-B 的平均效能比較表

Scheme	Reactive (Case 1)	Reactive (Case 2)	FHCoP-B Inter-MAP
Handoff Latency	1240 ms	456 ms	292 ms
Total Buffering time	0 ms	969 ms	459 ms
Packet loss time	1300 ms	0 ms	0 ms
Total Handoff Cost	1300 ms	969 ms	459 ms

五、結論

本論文提出預測式 FHCoP-B 失敗時的兩種相關反應式 FHCoP-B 的流程，並完成四種效能項目的分析與數值計算。可以發現，預測式與反應式 FHCoP-B 成為完整的一套行動網路協定，能夠適用於未來異質性無線網路下 NEMO 的高速移動，達成低換手延遲、低封包遺失，支援無縫式換手。

六、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] K. Leung, et al., "Network Mobility (NEMO) Extensions for Mobile IPv4," IETF RFC 5177, Apr. 2008.
- [4] P. Thubert and M. Molteni, "IPv6 Reverse Routing Header and Its Application to Mobile Networks", Internet Draft: draft-thubert-nemo-reverse-routing header-05, June 2004.
- [5] I.C. Chang and C.H. Chou, "HCoP-B: A Hierarchical Care-of Prefix with BUT Scheme for Nested Mobile Networks", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.58, No.6, pp. 2942-2965, July 2009.
- [6] R. Koodli et al., "Fast Handover for Mobile IPv6", IETF RFC 4068, July 2005.
- [7] I.C. Chang and C.S. Lu, "Design and Analysis of the FHCoP-B Scheme for Fast Handoff Support in the Nested Mobile Network", IEEE International Conference on New Trends in Information and Service Sciences (NISS2009), pp.653-658, June 2009.
- [8] L. Hai and L. Houda, "Hybrid Handover Optimization for Multiple Mobile Routers-based Multihomed NEMO Networks", IEEE International Conference on Pervasive Services, pp. 136-144, Jul. 2007.
- [9] M.H. Han, K.S. Han, D.J. Lee, "Fast IP Handover Performance Improvements Using Performance Enhancing Proxys between Satellite Networks and Wireless LAN Networks for High-Speed Trains", IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 2341-2344, May 2008.
- [10] H. Oh, et al., "An Enhanced Fast Handover Scheme with Temporal Reuse of CoAs and PBP in IPv6-Based Mobile Network", IEEE Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp. 183-189, Apr. 2007.
- [11] S. Ryu and Y. Mun, "Enhanced Fast Handover for Mobile IPv6 based on IEEE 802.11 Network", Internet Draft: draft-mum-mipshop-efh-fast-mipv6-02.txt, Jun. 2008.
- [12] L. Jang, et al., "Fast Handover Scheme for Supporting Network Mobility in IEEE 802.16e BWA System", IEEE Wireless Communications, pp. 1757-1760, Sep. 2007.
- [13] R. Koodli, Ed., "Mobile IPv6 Fast Handover", IETF RFC 5268, Jun. 2008.
- [14] W.K. Lai and J.C. Chiu, "Improving Handoff Performance in Wireless Overlay Networks by Switching Between Two-Layer IPv6 and One-Layer IPv6 Addressing", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 23, pp. 2129-2137, Nov. 2005.