

國立交通大學

網路工程研究所

碩士論文

IEEE 802.11s 無線網狀網路的位置管理與流暢換手機制
Location Management and Smooth Handover Scheme for IEEE
802.11s Wireless Mesh Networks

研究生：吳俊良

指導教授：曾建超 教授

中華民國九十八年八月

IEEE 802.11s 無線網狀網路的位置管理與流暢換手機制

Location Management and Smooth Handover Scheme for IEEE 802.11s

Wireless Mesh Networks

研究生：吳俊良

Student：Jun-Liang Wu

指導教授：曾建超

Advisor：Chien-Chao Tseng

國立交通大學

網路工程研究所



Submitted to Institute of Network Engineering
College of Computer Science
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Computer Science
June 2009
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年八月

IEEE 802.11s 無線網狀網路的位置管理與流暢換手機制

研究生： 吳俊良

指導教授： 曾建超 教授

國立交通大學資訊學院網路工程研究所

摘 要

本論文針對以 Proxy Table 為路由基礎的 802.11s 無線網狀網路 (Wireless Mesh Network) 提出一套位置管理與流暢換手機制。802.11s WMNs 採取以 Proxy 為基礎的 layer-2 路由機制，並藉由 Proxy Table 作為位置追蹤的依據。本機制僅需使用少量的控制訊息來維護 Proxy Table 以達到位置追蹤 (Location Tracking)，並且能以更有效率的封包轉送方式來實現流暢換手 (Smooth Handovers)。

在 802.11s WMNs 中，Mesh 節點需要參照 Proxy Table 才能對行動裝置作定位，也因為如此，從 WMNs 外部進入的網路封包才得以正確從傳送端到達目的地。但是 Proxy Table 的維護不易，對目的地 Proxy 的查找可能會產生誤失或是過期的問題，再加上沒有明確的平順換手機制，所以 802.11s WMNs 對於行動性的支援更顯的困難，雖然 802.11s WMNs 可以透過 AODV (Ad-hoc On Demand Protocol) 的程序來解決對目的地 Proxy 發生查找誤失的問題，不過 AODV 可能會產生成本相當高的廣播訊息；而透過封包轉送方式雖然可以達到平順換手，但是卻有可能衍生出三角路由 (Triangular Routing) 或是轉送路徑過長等問題。

目前各研究所提的位置管理與流暢換手機制，都是為了達到位置追蹤或是

完成封包轉送，其中位置追蹤的方法又可分成集中式及分散式兩種。集中式的位置追蹤方法通常會有一個特定機器（位置伺服器）紀錄所有行動裝置的位置，行動裝置可以直接或是間接的向位置伺服器執行位置註冊的動作，這種方式的缺點是缺乏彈性，在建立連線時可能都必須向位在他處的位置伺服器進行詢問的動作。相對的，分散式的位置追蹤方法則是把紀錄行動裝置的表格分散在各個網路節點上，雖然建立連線時可能可以免去詢問的動作，但是維護這些分散在各處的表格通常會採用廣播的方式進行位置的更新，需要花費更大的成本。此外，為了解決封包轉送產生的三角路由問題，大多數的研究方法都會選擇直接對來源端進行位置更新，但是無線的傳輸過程卻可能導致在更新過程的延遲或是更新失敗。

本論文提出一套有效率的解決方案包含三種機制：(1) 兩層式 Proxy Table 架構、(2) Proxy 的解析及更新機制、(3) 逐步最佳化路徑轉送機制。兩層式架構的 Proxy Table：利用 Location Registrar (LR)集中處理行動裝置的位置註冊並搭配各 Mesh 節點的 Proxy Table 達到位置追蹤的目的，LR 具備 Proxy 的解析及更新機制，除了能正確解析出目的地 Proxy 還可以對來源 Proxy 進行更新，而逐步最佳化路徑轉送機制能提供更好的封包轉送方式，此外，由於 Wi-Fi 僅支援在相同 ESS (Extended Service Set)的換手行為，為了能支援跨越不同 ESS 的換手行為，我們還設計了動態位置更新機制來輔助。

本論文對於所提出的方法，透過目前學術界廣為人知的網路模擬器 NS2 進行模擬實驗，並分別以 AODV 還有行動 IP (MIP)、Ant 做為比較對象。在位置追蹤的實驗中，我們發現無論是建立連線的延遲時間，或是所需要的控制訊息量，AODV 都明顯比我們的方法多上許多；在封包轉送的實驗中，若以換手過程中封包經過的路徑長度來看，MIP 與 Ant 皆固定且高於我們的方法，此外，我們的方法在更新過程的延遲時間及封包的遺失率的表現都優於其他兩者。

關鍵詞：802.11s 無線網狀網路、行動性、位置追蹤、流暢換手、封包轉送。

Location Management and Smooth Handover Scheme for IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks

Student : Jun-Liang Wu

Advisor : Dr. Chien-Chao Tseng

Institute of Network Engineering
College of Computer Science
National Chiao Tung University

Abstract

In this thesis, we proposed a Location Management and Smooth Handover Scheme with Proxy Table-based Routing Mechanisms for the 802.11s wireless mesh networks (WMNs). Unlike other WMNs, 802.11s WMNs adopts proxy-based layer-2 routing mechanism, and can track the locations of mobile stations based on Proxy Tables situated at Mesh Access Points. Although several location management or smooth handover techniques for WMNs have been proposed in the literature, none of them have tailored their proposal for 802.11s WMNs. They either adopt layer-3 routing or layer-2 routing without considering proxy tables.

In 802.11s WMNs, a Mesh node needs to lookup its Proxy Table to locate the proxy (MAP) that are serving a designated mobile node (MN) before it routes the packets to the MN. However, it is difficult to maintain up to date proxy table entries, and the destination serving Proxy lookup may fail or find an out of date serving proxy. Although the Proxy Table

miss problem can be resolved by Ad-hoc On Demand Protocol (AODV) procedure, AODV may introduce excessive broadcast messages in searching the MN. In addition, 802.11s WMNs does not specify how to accomplish smooth handovers when MNs change their locations. Smooth handovers could be accomplished by packet forwarding in 802.11s WMNs to achieve smooth handovers. However, packet forwarding may result in a triangular route or a lengthy forwarding path. Even if the triangle routing problem may be resolved by sending location updates to the source proxy directly, location updates via wireless links may take too long or even fail. Therefore, in this thesis, we proposed a location management and smooth handover scheme that utilize the proxy tables and layer-2 routing mechanism to reduce the overhead of location management, and achieve better packet forwarding for smooth handovers.

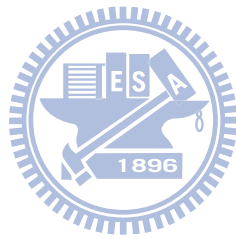
Location tracking methods can be classified into two categories: Centralized and Distributed. A centralized location tracking method usually employs a centralized Location Server that can record the location of each MN. An MN itself or its serving proxy can register the MN's location with the Location Server. The drawback of the centralized location tracking method is that an MN must query the location server and wait for response before it can setup a connection with the corresponding nodes. Distributed location tracking methods, on the other hand, distributes the location tables to each mesh node. Although this approach may avoid the query procedure, it normally needs a high cost broadcasting mechanism to maintain the distributed location tables.

The proposed scheme consists of three mechanisms: (1) Location Tracking with Two-level Proxy Tables, (2) Proxy Resolution and Update Mechanism, and (3) Progressive Shortcut Forwarding. We use a centralized Location Registrar (LR) to keep track of the locations of all MNs. The centralized LR and the Proxy Tables of Mesh nodes form a two-level hierarchy of proxy tables. LR and can cooperatively perform Proxy Resolution to find out the destination proxy of the designated station. A Mesh node needs to query LR for Proxy Resolution only when it cannot find from its local proxy table the destination proxy. When LR receives a query, it will perform a Proxy Resolution to find out the destination Proxy and sends a proxy update (PU) to inform the source Proxy of the new destination proxy of the designated station. Furthermore, we adopt a Progressive Shortcut Forwarding scheme to provide better packet forwarding. In addition, because 802.11 Wireless LAN Adaptors behave differently in inter-ESS (Extended Service Set) handovers than in intra-ESS handovers, we also propose a Adaptive Location Update Mechanism to support inter-ESS handovers.

Finally, we conduct a simulation using a well known network simulator NS2 to compare the performance of our proposed mechanism with AODV for location tracking, and with Mobile IP (MIP), and Ant for packet forwarding. The simulation result shows that show that our proposal introduces less control messages than AODV for location tracking, and has a shorter connection setup delay. As for packet forwarding, our proposal has a much lower hop counts than MIP and Ant,

which both have stably high hop counts. In addition, our solution surpasses others in terms of location update latency and packet loss rate.

Keywords : 802.11s WMNs 、 Mobility 、 Location Tracking 、 Smooth Handovers 、 Packet Forwarding.



誌 謝

本論文能夠順利地完成，不是單單只倚靠個人的辛苦以及努力，而是要歸功於許多人的指導、協助。在此，希望以我最誠摯的心意，向你們說聲「謝謝」。

首先感謝我的指導教授曾建超教授，由於他不吝於分享其豐富的經驗與知識，給予我論文上認真地指導與細心地協助、耐心地傾聽我的想法、關心我的狀況。感謝口試委員曹孝櫟教授、王讚彬教授與嚴力行教授對於本論文詳細的指正與建議，使得本篇論文內容能更加完善。

特別感謝史永健學長，以及兩位共同研究的夥伴冠銘、俊延。在史永健學長的指導下，透過互相的督促鼓勵與共同討論，使得本篇論文能順利完成，三人也能如期同時畢業，在此預祝史永健學長能順利取得博士學位。此外，感謝實驗室的學長及學弟妹們，兩年來有你們的陪伴，讓原本枯燥的研究生生活充滿了歡樂也變得絢麗多彩，也感謝同期的同學們，希望大家都能順利畢業。

最後要感謝我的女友 佩佑，有了你的支持與體諒，我才能專心完成學業，雖然時常分隔兩地，但是感謝你能體諒我因為課業而無法陪伴在你身旁，你的鼓勵是我精神上最大的支柱。

最後，僅以此文獻給我的父母，感謝你們在背後無私的支持，讓我能夠無後顧之憂完成學業。

目 錄

| | |
|--|------|
| 摘 要..... | iii |
| Abstract..... | v |
| 誌 謝..... | ix |
| 目 錄..... | x |
| 圖目錄..... | xiii |
| 表目錄..... | xv |
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1. 研究動機..... | 1 |
| 1.2. 研究目的..... | 3 |
| 1.3. 章節簡介..... | 4 |
| 第二章 背景知識及相關議題介紹..... | 5 |
| 2.1. IEEE 802.11s (802.11s WMNs)..... | 5 |
| 2.2. Background on 802.11s WMNs..... | 5 |
| 2.2.1 Hybrid Wireless Mesh Protocol..... | 6 |
| 2.2.1.1 AODV..... | 6 |
| 2.2.1.2 Tree Based..... | 7 |
| 2.2.2 Routing in 802.11s WMNs..... | 8 |
| 2.2.3 MAC位址轉換方案..... | 9 |
| 2.2.4 基於Proxy Table的封包遞送方式..... | 12 |
| 2.3. 802.11s 對於行動性的支援..... | 13 |
| 2.3.1 Location Management..... | 13 |

| | | |
|-------------------------|--|----|
| 2.3.2 | Smooth Handover | 15 |
| 2.3.3 | 802.11s 對於支援行動性的議題..... | 16 |
| 2.3.4 | Re-association支援Handover的問題 | 17 |
| 2.4. | 總結 | 19 |
| 第三章 相關研究 | | 20 |
| 3.1. | 研究背景 | 20 |
| 3.2. | Location Management..... | 20 |
| 3.2.1 | Light-weight Handoff Protocol (LIHP) | 20 |
| 3.2.2 | iMesh | 21 |
| 3.3. | Smooth Handover | 22 |
| 3.3.1 | 基於隧道技術的方法..... | 23 |
| 3.3.1.1 | Mobile IP Based | 23 |
| 3.3.1.2 | Ant | 25 |
| 3.3.2 | 基於路由技術的方法..... | 26 |
| 3.3.2.1 | HAWAII..... | 26 |
| 3.3.2. | Wireless Access Point Link (WAPL)..... | 29 |
| 3.4. | 總結 | 31 |
| 第四章 無線網狀網路的行動性支援機制..... | | 33 |
| 4.1. | 簡介 | 33 |
| 4.2. | 位置管理與流暢換手機制 | 34 |
| 4.2.1 | 支援位置追蹤的兩層式Proxy Table架構 | 34 |
| 4.2.2 | Proxy的解析及更新 | 36 |

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| 4.2.3 | 逐步最佳化路徑轉送..... | 37 |
| 4.2.4 | 動態位置更新機制..... | 39 |
| 4.3. | 其他Scenario的應用..... | 41 |
| 4.3.1 | 傳送端執行Handover..... | 41 |
| 4.3.2 | 建立連線時產生Forwarding Chain..... | 42 |
| 4.4. | 單元總結..... | 44 |
| | 第五章 模擬實驗結果與討論..... | 45 |
| 5.1. | 簡介..... | 45 |
| 5.2. | 模擬環境..... | 46 |
| 5.3. | 實驗結果與分析..... | 49 |
| | 第六章 結論與未來工作..... | 58 |
| 6.1. | 結論..... | 58 |
| 6.2. | 未來工作..... | 60 |
| | 參考文獻..... | 61 |



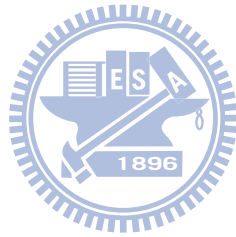
圖目錄

| | |
|--|----|
| Figure 1-1 IEEE 802.11s 基本架構圖..... | 2 |
| Figure 2-1 AODV | 7 |
| Figure 2-2 Proxy-based routing in WMNs | 8 |
| Figure 2-3 MAC Address Translation in 802.11s | 10 |
| Figure 2-4 MAC Address Translation via Root | 11 |
| Figure 2-5 MAC Address Translation without Root | 12 |
| Figure 2-6 Proxy Table-based Data Delivery | 13 |
| Figure 2-7 Location Management Supports in 802.11s WMNs.. | 14 |
| Figure 2-8 Smooth Handover Supports in 802.11s WMNs..... | 15 |
| Figure 2-9 Issues in Mobility Supports in 802.11s WMNs..... | 17 |
| Figure 2-10 Packet Forwarding without Re-association..... | 18 |
| Figure 3-1 LIHP | 21 |
| Figure 3-2 The sequence of Handover process in iMesh (引自 [8]) | 22 |
| Figure 3-3 Binding Management in Mobile IPv6 | 24 |
| Figure 3-4 Ant Fast Handover Scheme..... | 25 |
| Figure 3-5 HAWAII Forwarding Schemes. (a) MSF. (b) SSF. (引自 [17]) | 28 |
| Figure 3-6 HAWAII Nonforwarding schemes. (a) UNF. (b) MNF. (引自[17]) | 29 |
| Figure 3-7 LT generation process in WAPL (引自[18]) | 30 |
| Figure 3-8 WAPL grasping neighbor communication (引自[18]) | 31 |

| | |
|--|----|
| Figure 3-9 WAPL Handover notification (引自[18]) | 31 |
| Figure 4-1 Two-level Proxy Tables | 35 |
| Figure 4-2 Proxy Resolution and Updates..... | 36 |
| Figure 4-3 Progressive Shortcut Forwarding | 38 |
| Figure 4-4 (a) Parallel Scheme (b)Sequential Scheme..... | 40 |
| Figure 4-5 傳送端執行Handover..... | 41 |
| Figure 4-6 Forwarding Chain solved by PSF | 43 |
| Figure 5-1 模擬環境I..... | 47 |
| Figure 5-2 控制訊息數量 | 49 |
| Figure 5-3 網路連線數與所需Hop count的關係 | 50 |
| Figure 5-4 網路連線數與Proxy Update Delay的關係 | 51 |
| Figure 5-5 網路連線數與Packet Loss Rate的關係 | 52 |
| Figure 5-6 連線Hop數與Packet Loss Rate的關係..... | 53 |
| Figure 5-7 網路連線數與收到轉送封包數的關係 | 54 |
| Figure 5-8 網路連線數與Total Message Counts的關係..... | 54 |
| Figure 5-9 模擬環境II..... | 55 |
| Figure 5-10 連線Hop數與Total Message Counts的關係 | 56 |
| Figure 5-11 網路連線數與Forwarded Packet Percentage關係 | 56 |

表目錄

Table 5-1 模擬參數 48



第一章 緒論

1.1. 研究動機

隨著無線通訊技術的蓬勃發展，無線網狀網路 (Wireless Mesh Networks, WMNs) [1]，已經成為新一代網路 (Next Generation Networks, NGNs)的關鍵技術之一。在無線網路中最廣為使用的基礎架構模式 (Infrastructure Mode)，有著線路佈建及維護上的成本過高以及擴充性不佳等缺失，相對的WMNs除了擁有低成本及高擴充性的優勢，更為最後一哩 (Last Mile) 的網路連接提供了更寬廣的通訊覆蓋範圍。

行動上網已經成為現代人的重要生活模式，隨著行動上網裝置不斷推陳出新，從筆記型電腦 (Note Book)到小筆電 (Net Book)，從個人數位助理 (Personal Digital Assistant, PDA) 到智慧型手機 (Smart Phone)，這些產品都是訴求輕、薄、短、小，以增加使用者行動上網時的便利性，加上近年來網路上的數位影音內容有爆炸性的成長，使用者對於即時影音的需求也越來越高，所以無線網路對於行動性 (Mobility)的支援也越來越重要。

WMNs 由於網狀節點 (Mesh Nodes)可以擴充至數十個之多，同時可支援的行動裝置 (Mobile Station, STA)更可能有上百個，所以如果沒有一套完善的位置管理與流暢換手機制，很難滿足所有使用者對於行動性的要求。然而對於現今存在的 WMNs 普遍都缺乏完善的機制，目前 WMNs 的相關技術已有部分相關的標準正在制訂：

1. IEEE 802.15.5 [2]：無線個人網路 (Wireless Personal Area Network, WPAN)，在閘道器 (Coordinator)間架構無線網狀網

路。

2. IEEE 802.11s [3]：無線區域網路 (Wireless Local Area Network, WLAN)，在無線存取點 (Access Point)間架構無線網狀網路。
3. IEEE 802.16j [4]：無線都會網路 (Wireless Metropolitan Area Network, WPAN)的基站 (Base Station)與中繼站 (Relay Station)間的多跳躍傳遞技術標準。

本篇論文希望基於 IEEE 802.11s (802.11s WMNs)研究一套完整的位置管理與流暢換手機制，在相容於標準的規範下，可以滿足位置管理 (Location Management)與流暢換手 (Smooth Handover)的需求。

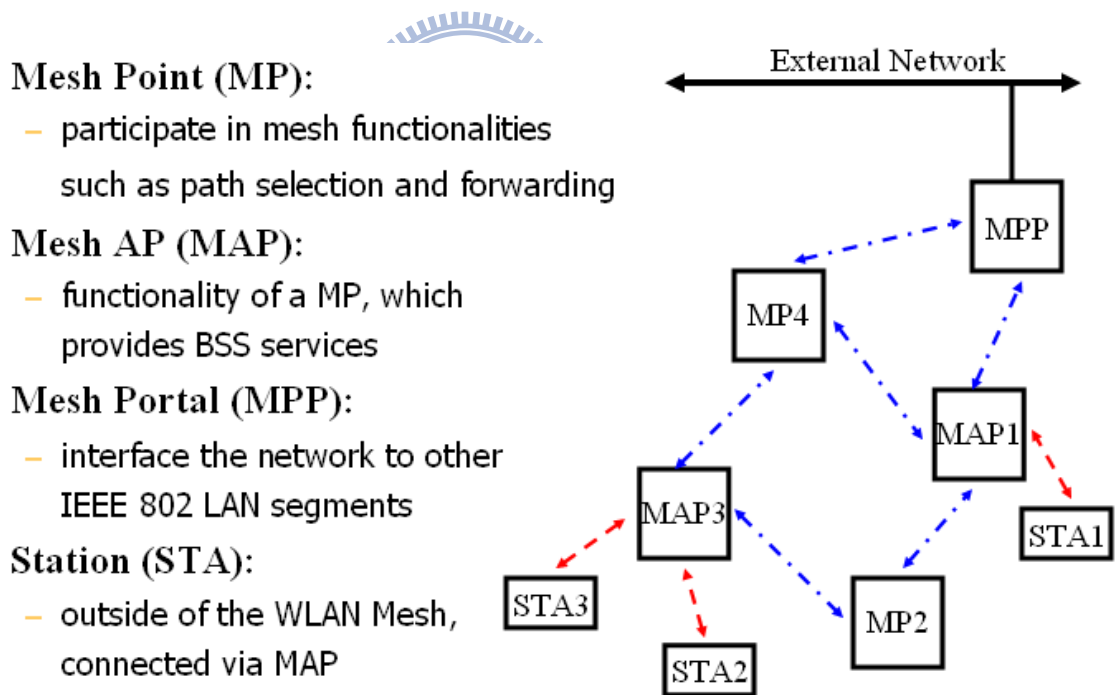


Figure 1-1 IEEE 802.11s 基本架構圖

Figure 1-1 為 802.11s WMNs 基本架構圖，以及其所定義的三種基本

節點 Mesh Point (MP)、Mesh AP (MAP)、Mesh Portal (MPP)。

1.2. 研究目的

由於802.11s WMNs是採用Proxy-based的Layer-2 Routing機制，具有可以讓STA透過One-hop Link連上Internet或是與其他STA溝通，以及透過MAC位址格式轉換的方式無須讓STA參與Routing等特色，所以在802.11s WMNs上運行的位置管理與流暢換手機制也會不同於其他網路。

在過去，大部分在WMNs上關於位置管理與流暢換手機制所作的研究，是將傳統網路中的行動管理問題直接放在WMNs上探討，這些研究不是基於在Layer-3的Routing下探討，就是沒有在Layer-2下採用Proxy-table的Routing，所以並沒有能完全符合上述需求，以致於無法真正探討在802.11s WMNs這類的環境中所需克服的問題，以及提出相對性的解決方案。此外，802.11s WMNs本身的Wireless Link也會造成許多傳輸上的問題，像是傳輸延遲、封包遺失等問題，影響其他研究方法實際在802.11s WMNs上運行時的可靠性及效能表現。

因此，本篇論文考量目前實際應用的802.11s WMNs網路環境，歸納了在802.11s WMNs下對於Mobility的支援可能產生的問題，並探討其他研究在上述問題的解決方法，期望能提出一套能符合802.11s WMNs並且有效率的Location Management and Smooth Handover Scheme，包括：

- 定義明確的位置註冊 (Location Registration)協議
- 透過少量的控制訊息來達到 Proxy Table 的維護
- 對封包轉送 (Packet Forwarding)作最佳化的處理

- 採用動態位置更新策略來支援 Packet Forwarding

1.3. 章節簡介

- 第一章 緒論
簡介本篇論文的研究動機及目的
- 第二章 背景知識及相關議題介紹
相關背景知識介紹以及研究議題探討
- 第三章 相關研究
介紹相關領域的研究概況
- 第四章 無線網狀網路的行動性支援機制
闡述本篇論文所提出的位置管理與流暢換手機制。
- 第五章 模擬實驗結果與討論
描述實驗環境、參數設定及實驗結果分析與討論。
- 第六章 結論與未來工作
結論、本篇論文的總結以及未來可進行的研究方向。



第二章 背景知識及相關議題介紹

2.1. IEEE 802.11s (802.11s WMNs)

802.11s WMNs 可以讓 802.11 無線區域網路 (Wi-Fi)的擷取點 (Access Point, AP)能自動建立並修復連結，與 Wi-Fi 中無線橋接系統 (Wireless Distribution System, WDS)必須事先設定路徑的無線橋接功能相較，增加更多的彈性及便利，是目前相當熱門網路架構。802.11s WMNs 標準定義了透過無線電波溝通的媒體存取控制層 (MAC Layer)介面，此標準在 2004 年由 IEEE 制訂之後發展至今。

在這個章節裡，我們將先介紹 802.11s WMNs 的背景知識，並且針對支援行動性 (Mobility)的相關作法以及可能產生的問題作介紹。

2.2. Background on 802.11s WMNs

我們基於上述 802.11s WMNs 作為主要的研究對象，由於 802.11s WMNs 所制訂的標準除了增加 Mesh Header 外，還新增了 Path Selection Protocol、MAC Address Translation 以及 Proxy Table、Proxy Update messages 等新規格，因此在對於 Mobility 的支援上也衍生出一些特別的問題，所以我們將介紹 802.11s WMNs 基本定義及運作方式。

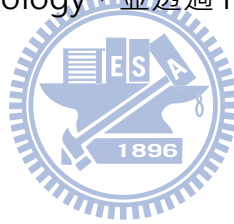
802.11s WMNs 所定義的 WMNs：在一群 MPs 中擁有相同的 MeshID 且能執行相同 Mesh Functionality 的 MPs 視為同一個 WMNs。Mesh Functionality 包括 Path Selection Protocol、Radio Metric 等。

2.2.1 Hybrid Wireless Mesh Protocol

這一節我們要先介紹 802.11s WMNs 的 Path Selection Protocol : Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) , 採用兩種可並行模式的 Routing Protocol :

- On Demand Mode (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol , AODV [5]) : 使用的時機有兩種情形 , 一種是在沒有設定任何Root MP的情況 , 另一種是當有Root MP存在但是AODV能建出一條更好的Path到指定的Destination 。
- Proactive Tree Building Mode : 可以透過兩種不同的機制 , 建出以Root 為基礎的 Tree Topology , 並透過 Proactive 的方式維護 。

2.2.1.1 AODV



在 Ad-hoc Network 中相當著名的 Routing Protocol , 參考 Figure 2-1 , 當節點 4 欲建立到節點 6 連線 , 發現節點 4 的 Routing Table 並沒有到節點 6 的路徑 , 節點 4 會執行 AODV 建立到節點 6 的路徑 , 首先發送 Broadcast 的 Path Request (PREQ) message , 所有收到 PREQ 的 MP 都會建立到節點 4 的反向路徑 , 並記錄此路徑的 Metric (衡量路徑中節點間的訊號強度) , 當節點 6 收到 PREQ 後 , 會沿著剛剛建立到節點 4 的反向路徑回覆 Unicast 的 Path Response (PREP) message 給節點 4 (圖中上半部) 。同樣的 , 路徑上收到 PREP 的 MP 也會建立到節點 6 的路徑 , 並記錄此路徑的 Metric , 當節點 4 收到 PREP 後就能建立起到節點 6 的路徑 , 如此節點 4 到節點 6 的雙向路徑就能建立起來 。由於 PREQ 是以 Broadcast 發送 , 所

以節點 6 可能會收到多份的 PREQ，只有當目前收到的 PREQ 中 Metric 比之前收到的 PREQ 更好時，節點 6 就會選擇目前最好的路徑回覆 PREP 給節點 4 (圖中下半部)。所以節點 4 也會更新 Routing Table 建立新的路徑。

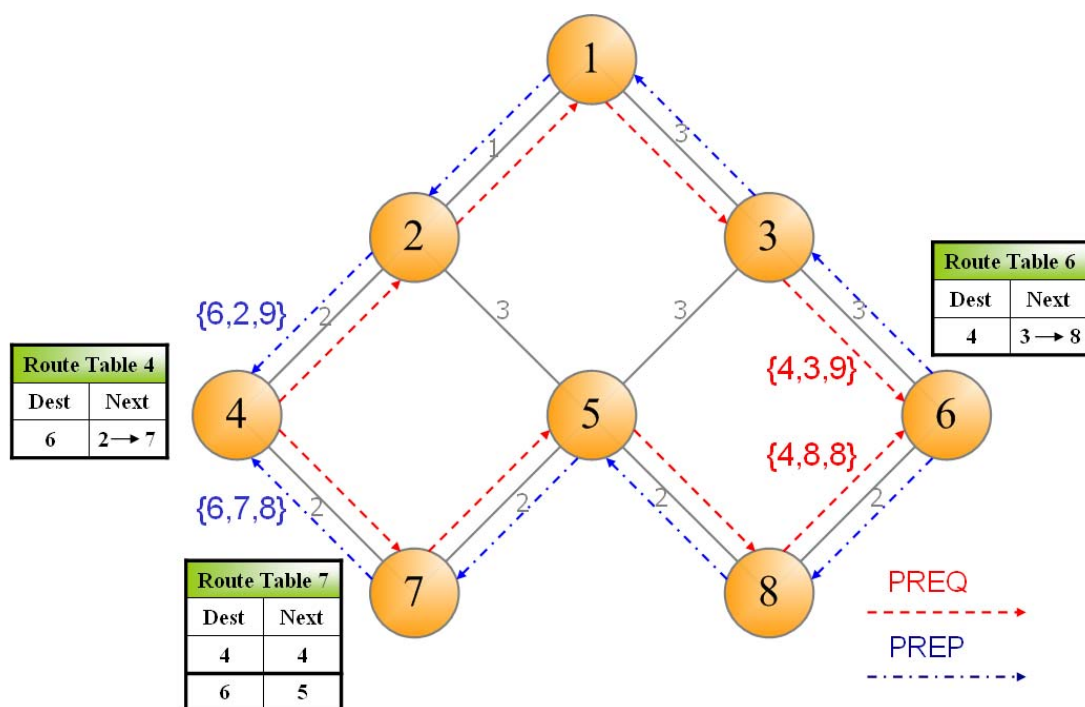


Figure 2-1 AODV

2.2.1.2 Tree Based

802.11s WMNs 提供兩種 message：Root Announcement (RANN)、PREQ 來完成建立 Tree Topology。

由 Root 發送 Broadcast 的 RANN message，所有收到 RANN message 的 MP 都會沿著剛剛收到 RANN 的方向回覆一個 Unicast 的 PREQ 給 Root，建立 Root 到 MPs 的路徑，當 Root 收到 PREQ 後會再利用剛建立的路徑回覆 PREP 給 MP，完成 Tree 的建立。

由 Root 發送 Broadcast 的 PREQ message，所有收到 PREQ message 的 MP 都會建立到 Root 的反向路徑，並回覆 PREP 給 Root 完成路徑的建立。

兩種方法都是 Proactive Mode，所以 Root 會主動維護到所有 MP 的路徑。Root 在設定完成後會通知所有 MP 它的存在，而 MP 如果要送出封包到其他 MP 且不存在路徑時，會將封包往 Root 遞送。

2.2.2 Routing in 802.11s WMNs

參考 Figure 2-2，在 802.11s WMNs 中每個 MAP 對於它下面的所連結的 STAs 都被視為是他們的 Proxy，因此 STA 不需要參與 WMNs 的 Routing。802.11s WMNs 的 Routing 代表 layer-2 的 Mesh Path Selection 以及 Forwarding。

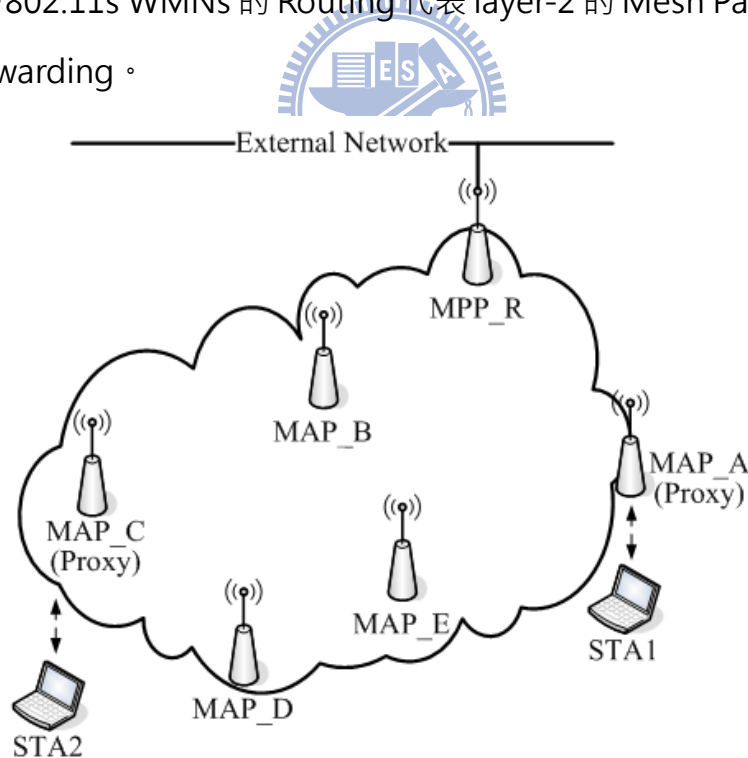


Figure 2-2 Proxy-based routing in WMNs

STA 可以透過 One-hop Link 交由 MPs 來執行封包遞送 (Data Delivery) · 一般在 WMNs 的 Data Delivery Mechanisms 可以分成：

- Layer-3 Tunneling：在 MP 間建立 Tunnel 來執行 Data Delivery。
- Layer-2 Data Delivery：802.11s WMNs 採取 Layer-2 Routing · 並且透過 MAC 位址轉換方案 (MAC Address Translation Scheme)的輔助來完成 Data Delivery。

2.2.3 MAC位址轉換方案

802.11s WMNs 新增的 Mesh Header 中最主要的部分就是 Mesh Address Extention · 將原本 Wi-Fi 的四個 MAC 位址格式擴充到六個 · 主要原因是 Routing 的機制是由 802.11s WMNs 的 MPs 所執行 · STA 本身並不參與 Routing · STA 彼此間的連線 · 或是對外部網路的連線都必須透過 802.11s WMNs 的 Serving Proxy 代為執行 · 為了支援 STA 來自不同網路的連結性 · 必須提供 MAC 位址轉換方案 (MAC Address Translation Scheme) · 所以將位址格式增加到六個 · 這六個位址的定義如下所示：

- Address 1：在 Mesh Path 上下一個 MP 的位址
- Address 2：在 Mesh Path 上目前 MP 的位址
- Address 3：在 Mesh Path 上終點 MP 的位址
- Address 4：在 Mesh Path 上起點 MP 的位址
- Address 5：封包的目的端位址
- Address 6：封包的來源端位址

由於 802.11s WMNs 外部的 STA 無法參與 Routing，所以從其他型態網路的封包進入了 802.11s WMNs 後都需要經過轉換，802.11s WMNs 一共定義了三種不同的 MAC Address Translation Scheme：

1. 連線兩個端點至少有一個不屬於 802.11s WMNs，會使用六個位址作轉換 (Figure 2-3)。
2. MP 必須透過 Root 作轉送才能與其他 MP 建立連線，也會需要六個位址 (Figure 2-4)。
3. MP 與其他 MP 建立連線時不須經由 Root 作轉送，僅需使用四個位址 (Figure 2-5)。

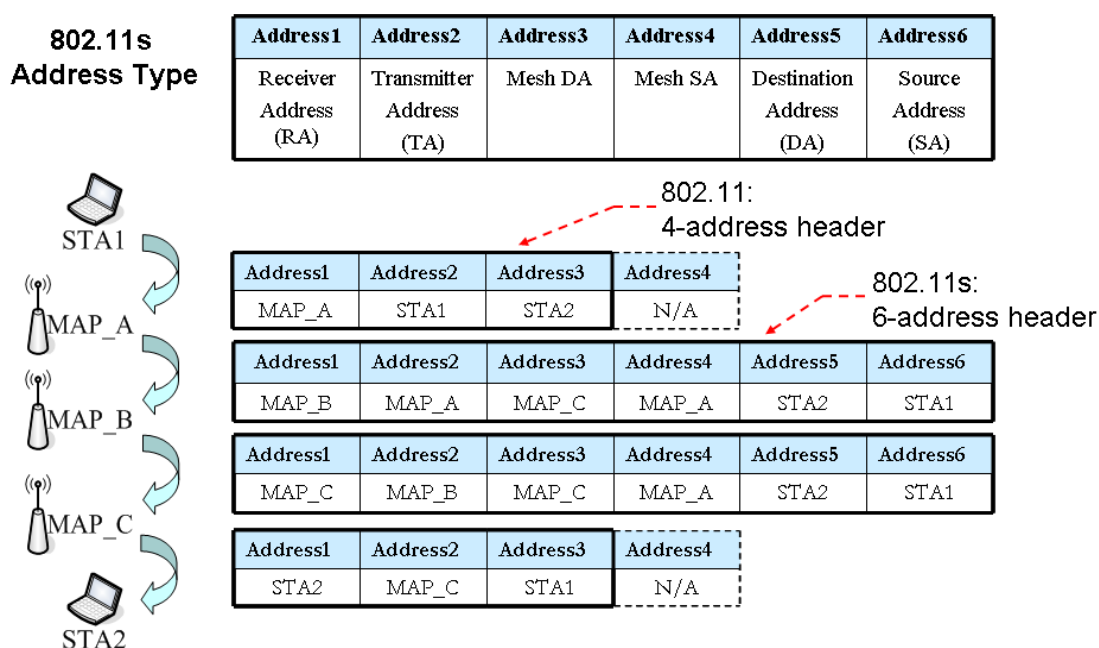


Figure 2-3 MAC Address Translation in 802.11s

參考 Figure 2-3，STA1 與同樣位於 802.11s WMNs 底下的 STA2 建立連線時，資料封包從 Wi-Fi 進到 802.11s WMNs，然後 802.11s WMNs 依照建立好的 Path 完成 Data Delivery，最後再進入到 Wi-Fi，整個傳送過程

中的位址轉換。每個位址如何透過查表方式完成，我們會在下一節中介紹。

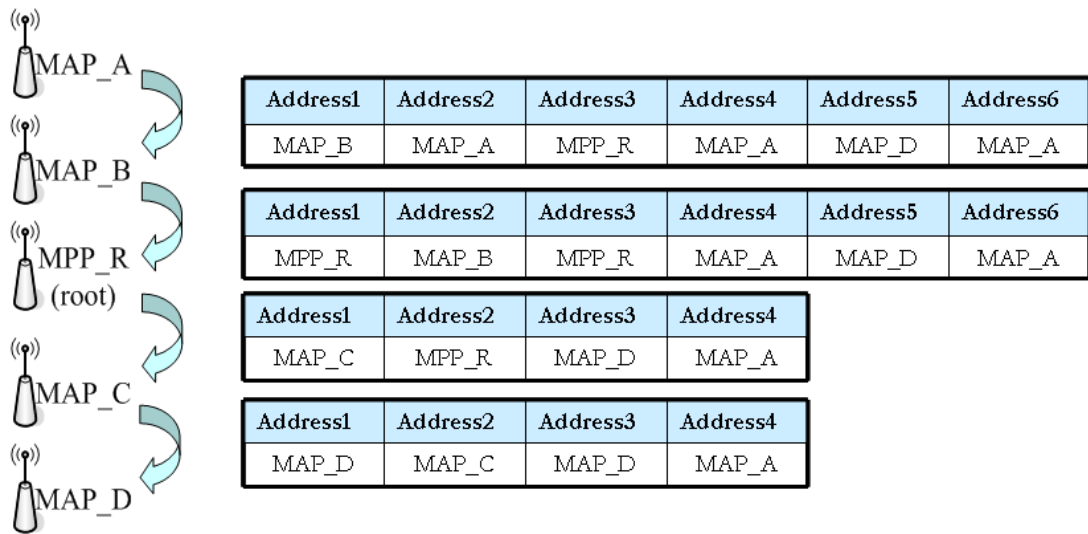


Figure 2-4 MAC Address Translation via Root

參考 Figure 2-4，MP 與其他 MP 建立連線時，當 Source MP 發現沒有到 Destination MP 的路徑時，如果有 Root 存在時，會將封包經由 Root 轉送，所以整個連線可以看成兩部分：(1)從 Source MP 到 Root，(2)從 Root 到 Destination MP。第一部份需要用到六個位址目的是要將 Routing 用的 Destination MP 與真正的 Destination MP 分開，Source MP 會先假設 Root 為 Destination MP 先將封包送至 Root；第二部分從 Root 送至 Destination MP 僅需四個位址即可完成 Routing。

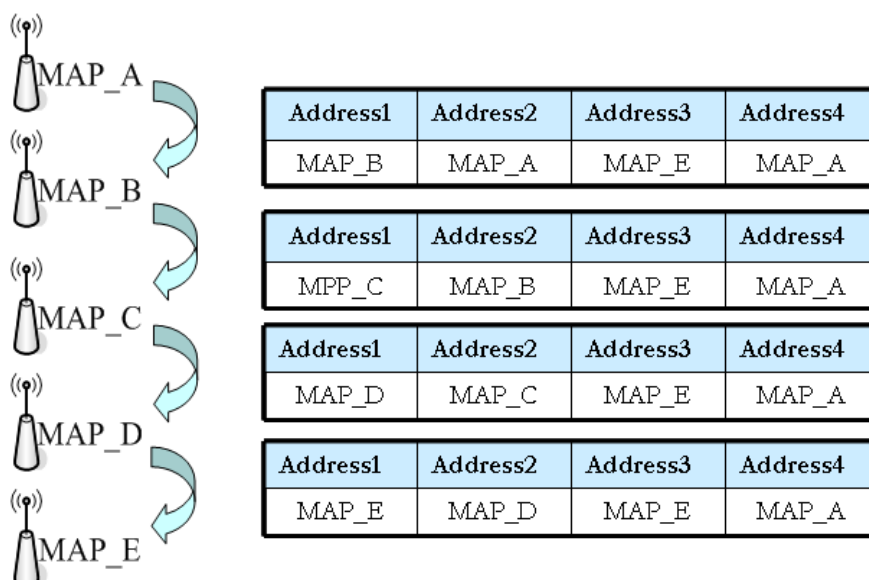


Figure 2-5 MAC Address Translation without Root

參考 Figure 2-5，MP 與其他 MP 建立連線時不須經由 Root 作轉送，僅需使用前四個位址即可完成 Routing，與 Figure 2-4 第二部分從 Root 送至 Destination MP 相同。

2.2.4 基於Proxy Table的封包遞送方式

根據 Figure 2-3 所示，Address3 所代表的是 Mesh DA，也可以說是目的端 STA 的服務代理者 (Serving Proxy)，根據 802.11s WMNs 標準規定，來源端 STA 的 Serving Proxy 必須要對其代理者表格 (Proxy Table) 作查找，以將目的端 STA 的 Serving Proxy 正確填入 Address3 才能以此來查找 Routing Table 並將封包送出。Proxy Table 所紀錄的資訊為 {STA, Proxy} 的對應資訊，802.11s WMNs 上所有的節點都會有一份自己所保持的 Proxy Table。

參考 Figure 2-6 展示如何利用 Proxy Table 完成 Data Delivery，當 STA1 要傳送封包給 STA2，STA1 的 Serving Proxy (MAP_A) 收到來自 STA1 的封包後，會將封包表頭 (Packet Header) 轉換成 6 個 Address 的 802.11s WMNs 格式，並且查找其 Proxy Table A 找到 STA2 所對應的 Serving Proxy (MAP_C)，並填入 Address3，之後再根據 Routing Table 得知送往 MAP_C 路徑的 Next Hop MP 為 MAP_B，並填入 Address1，然後將其餘的 Address 欄位依照前一節所示填入正確位址，最後我們就可以完成六個 Address (B, A, C, A, 2, 1) 並將封包送出，Mesh Path 上的節點會依據其 Routing Table 遞送封包，直到 Mesh Path 上的終點 MAP_C，MAP_C 收到封包後可以根據其 Proxy Table 確認 Address5 是其所服務的 STA，然後再將封包轉換成

Wi-Fi 封包格式並送至目的端 STA2，完成整個 Data Delivery 的程序。

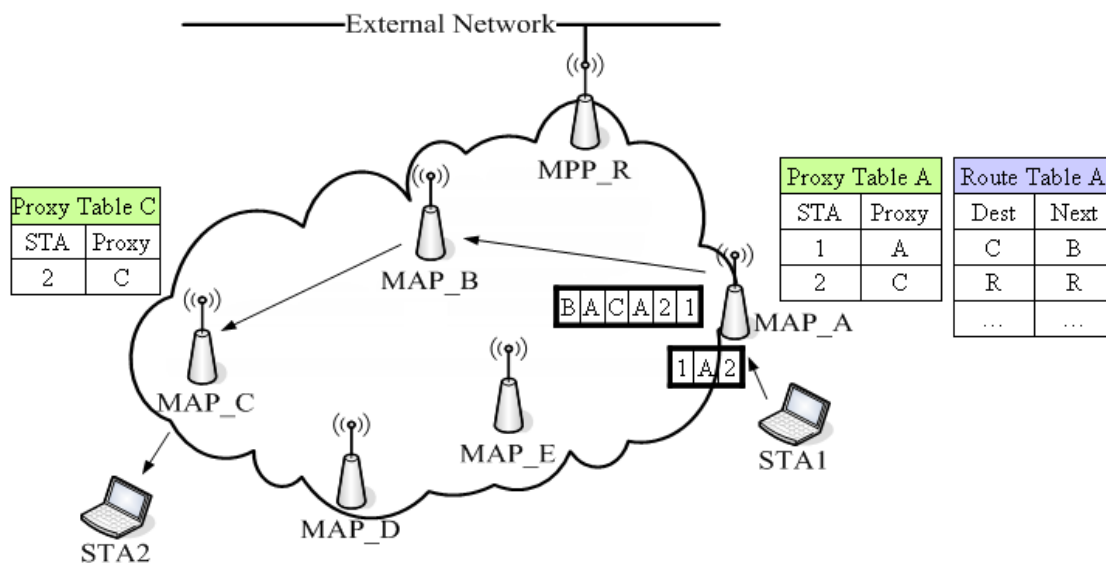


Figure 2-6 Proxy Table-based Data Delivery

2.3. 802.11s 對於行動性的支援

前面介紹完 802.11s WMNs 的基本定義及運作方式，接下來我們將介紹 802.11s 如何支援 Mobility，們將分成 Location Management 及 Smooth Handover 來作介紹，最後再歸納可能產生的問題。

2.3.1 Location Management

由於在 802.11s WMNs 中對於位置追蹤 (Location Tracking)並沒有明確的 Registration Protocol，但是卻能夠透過擴充 AODV 在必要的時候來協助找尋到 STA 的路徑，以及提供 Proxy Update messages 作為 STA 位置改變時的通知訊息。

參考 Figure 2-7，如果 STA1 要送封包給 STA3，根據前一節介紹的 Data Delivery 規則，當 MAP_A 在查找其 Proxy Table 時 (1. Lookup)無法找到 STA3 所對應的 Serving Proxy，而無法將封包送出。根據 802.11s 規定，如果無法得知到達目的端的 Mesh Path，在有 Root 的情況下，封包將直接送往 Root (2. Data)交由 Root 轉送，因為 Root 會記錄到所有 MP 的路徑。如果沒有 Root 則 MAP_A 會啟動 AODV 來找尋到 STA3 的路徑。Figure 2-7 所示為前者的情況，因為 Root 只保證有到所有 MP 的路徑，並不保證有到所有 STA 的路徑，也就是 Root 並不一定會有所有 STA 的代理者資訊 (Proxy Information)，所以一樣會啟動 AODV 來找尋到 STA3 的路徑 (3. PREQ)，MAP_B 會代替 STA3 回覆帶有 Proxy Information {3·B} 的 PREP message 給 Root (4. PREP)，Root 可以依據此訊息更新其 Proxy Table (5a. Update)，並且將封包順利轉送至 MAP_B (5b. Data)。

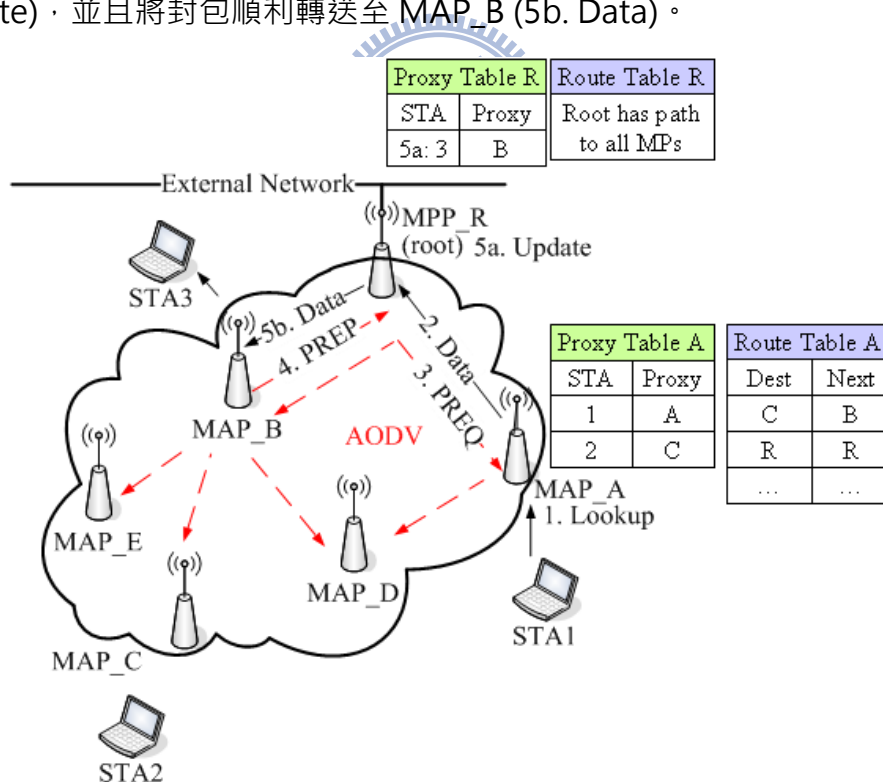


Figure 2-7 Location Management Supports in 802.11s WMNs

2.3.2 Smooth Handover

由於 802.11s WMNs 並沒有提供特定的 Packet Forwarding 方法來達到 Smooth Handover，不過我們可以利用 802.11s WMNs 所提供的 Proxy Update messages 來支援 Packet Forwarding。

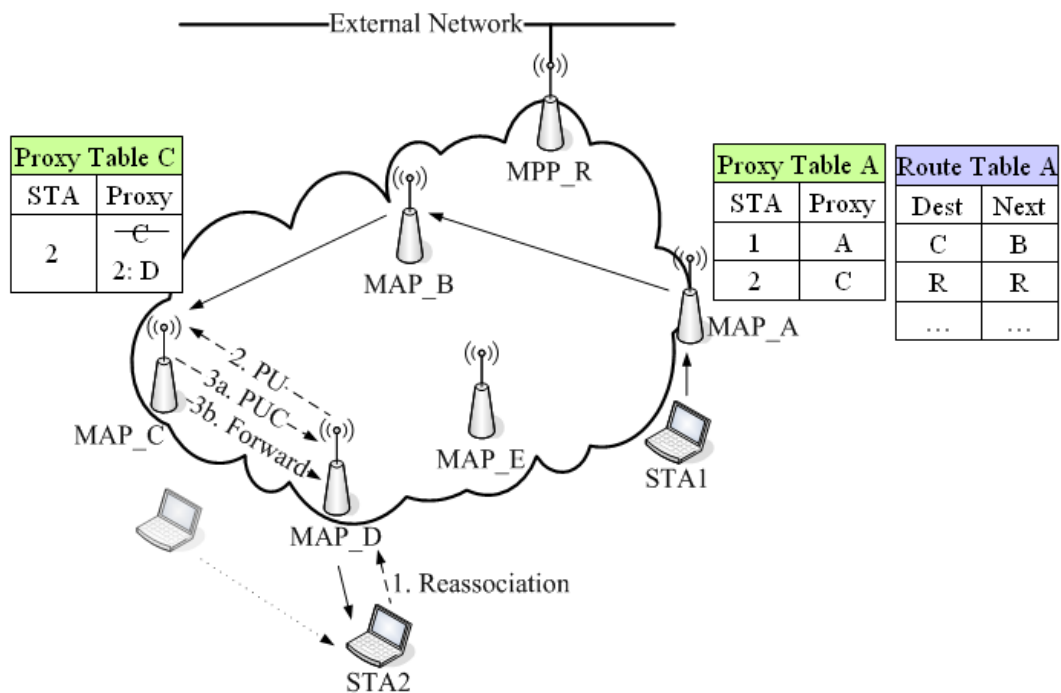


Figure 2-8 Smooth Handover Supports in 802.11s WMNs

參考 Figure 2-8，展示在 802.11s WMNs 中如何完成 Smooth Handover。當 STA1 正在與 STA2 傳送封包，此時如果 STA2 從原本連結的 MAP_C 漫遊 (Roaming) 至 MAP_D，並以 Reassociation 向 MAP_D 作重新連結 (1. Reassociation)，MAP_D 會透過 Proxy Update (PU) message 向 MAP_C 發送更新 Proxy Table 的資訊 (2. PU)，當 MAP_C 更新完 Proxy Table 後會回覆 Proxy Update Confirm (PUC) message 給 MAP_D (3a. PUC)，然後將所有原本送往 MAP_C 的封包轉送往 MAP_D (3b. Forward)。

以達到 Smooth Handover。

2.3.3 802.11s 對於支援行動性的議題

基於上述對於 802.11s 在 Mobility 支援上的介紹，我們可以歸納出幾點可能產生的問題，並分成兩個主要的議題作討論：

Location Tracking：由於沒有明確的 Location Registration 機制所以 Proxy Table 的維護工作相當困難。為了建立連線，我們必須對 Destination Proxy 作查找的動作，可能會導致查找失敗或是找到錯誤的 Proxy：參考 Figure 2-9：

- STA1 欲與 STA3 建立連線，在 MAP_A 發生 Proxy Table 查找誤失。
- 當 STA2 移動位置後，MAP_A 的 Proxy Table 就會過期。

此外，參考 Figure 2-7，802.11s WMNs 為了解決 Proxy Table 查找誤失問題，在即使 Root (MPP_R)已經存在到 MAP_B 路徑的情況下，仍然需要啟動 AODV 來找尋 STA3，產生額外的 Broadcast messages，造成網路頻寬的浪費。

Packet Forwarding：為了達到 Smooth Handover 需要 Packet Forwarding 的支援，可是 Packet Forwarding 僅只對於 Previous Serving Proxy 進行位置更新，當沒有明確的對其他 Proxy Table 進行更新，可能會產生其他問題，參考 Figure 2-9：

- 對 Source Proxy (MAP_A)來說，因為 STA2 Handover 至 MAP_D，造成 MAP_A 無法以最佳路徑遞送封包至 MAP_D，必須經過其他節點轉送而形成三角路由 (Triangular Routing) [10]。

- 如果 STA3 要送封包給 STA2，而此時的 STA2 已經再度漫遊到 MAP_E 下，那這個在連線建立初期經過 MAP_C、MAP_D 的 Forwarding 而產生過長的 Forwarding Path 就會造成 Forwarding Chain 的問題。

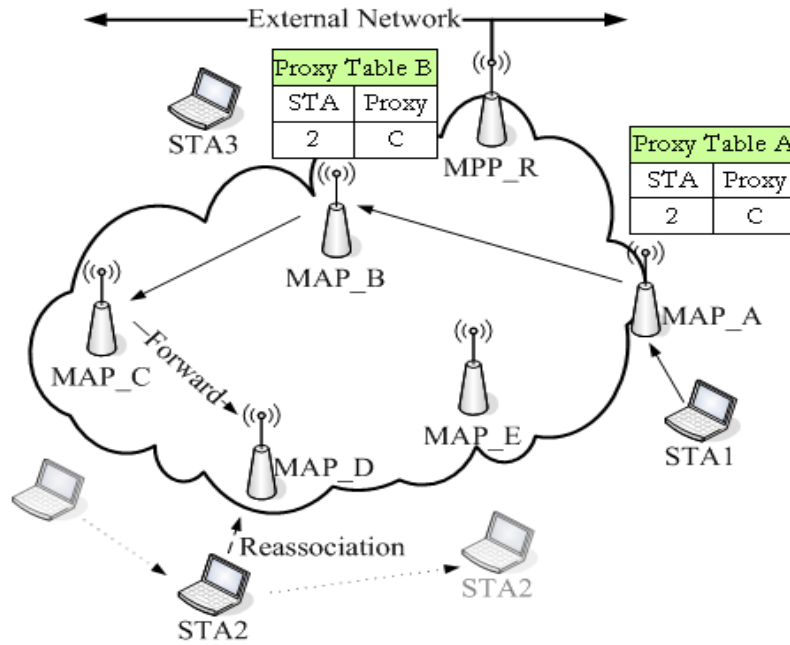


Figure 2-9 Issues in Mobility Supports in 802.11s WMNs

2.3.4 Re-association支援Handover的問題

在 Wi-Fi 中有提供 Inter Access Point Protocol (IAPP)來支援 Handover，它的運作必須基於 Wi-Fi 所提供的 Re-association Request message：當行動節點 (Mobile Node，MN)移動後超過原來連結的 AP 之訊號範圍，且進入其他 AP 的訊號範圍時所發出的管理封包。參考 Figure 2-10，Re-association Request message 可以攜帶舊 AP (oMAP)的 MAC Address，新 AP (nMAP)可以藉由 IAPP 要求 oMAP 幫忙轉送資料 (Figure 2-10 (左))，不過 Wi-Fi 只定義了在 Intra Extended Service Set (ESS)下，

可以透過 Re-association messages 來支援 Mobility，並不支援 Inter ESS Handover (跨 ESS Domain 的漫遊)，而且各家網卡實作的方式皆不同，導致我們實際觀察四張不同廠商製造的網卡在發生 Intra ESS Handover 時的行為，發現並非每次 Handover 都會發出 Re-association Request，甚至有些網卡只會發出 Association Request，而 Association Request 並不會攜帶舊 AP (oMAP) 的 MAC Address，導致收到 Association Request 的 AP 無法判斷 MN 是新加入網路還是從其他 AP Handover 過來的，所以無法執行 Packet Forwarding。

雖然在 Wi-Fi 的環境中即使新 AP 收到的是 Association Request 無法執行 Packet Forwarding，但是仍能保持 Handover 不斷線的原則。不過在 802.11s WMNs 中，一旦 nMAP 沒能收到 Re-association Request (Figure 2-10 (右))，而是收到 Association Request，nMAP 就無法直接通知 oMAP 更新其 Proxy Table，因此也無法收到來自 CN 的封包進而無從得知 CN 所連接的 Proxy，所以也無法通知它更新 Proxy Table，最後可能導致整個連線中斷。

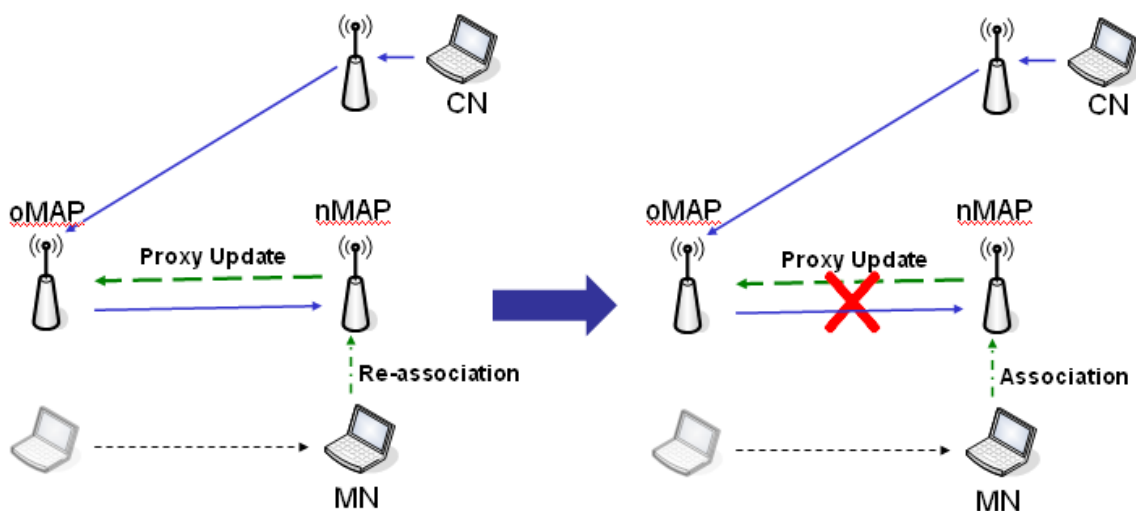


Figure 2-10 Packet Forwarding without Re-association

2.4. 總結

經過上述針對 802.11s WMNs 的背景知識介紹以及相關議題探討，如果我們要在 802.11s WMNs 上支援 Location Management 及 Smooth Handover，可以歸納出下列幾點必須解決的問題：

- 在執行 Destination Serving Proxy lookup 時發生 Proxy Table miss，為了能達到 Location Tracking 可能需要發送 Broadcast 的 AODV messages 而造成網路頻寬的浪費。
- 為了保持 Smooth Handover 需要透過 Packet Forwarding 的支援，可能會導致過長的轉送路徑，如果是發生在 Handover 期間可能造成 Triangular Routing，如果是發生在 Connection Setup 初期可能會造成 Forwarding Chain。
- 在 MN 在執行 Handover 時，如果以 Association 取代 Re-association 向 Target MAP 發出連結要求，會導致 Packet Forwarding 失敗，更嚴重的可能會讓整個連線中斷。

我們希望提出能支援 802.11s WMNs 且有效率的 Location Management and Smooth Handover Scheme，期望能透過少量的控制訊息來達到 Proxy Table 的維護；以及對 Packet Forwarding 作更好的處理，避免過長的轉送路徑；並採用動態位置更新策略來支援 Handover。

第三章 相關研究

3.1. 研究背景

現今在WMNs上所提出的Location Management and Smooth Handover Scheme相當繁多 [6]，其中絕大部分的研究都在探討如何在Mesh Router間完成Layer-3 的行動管理，或是注重於解決Cross Layer的問題，而沒有基於 802.11s WMNs在Layer-2 的Proxy-based Routing探討Location Management and Smooth Handover Scheme的研究。

我們在2.3.3節所探討 802.11s WMNs支援行動性需解決的問題中，分成Location Management及Smooth Handover兩部分，所以我們在此也將相關的研究分成上述兩種類型來作介紹。

3.2. Location Management

絕大多數在 Location Management 所提出的研究，都是需要提供Location Table 當作 Location Tracking 的依據，這個 Table 可能集中在某個特定節點或機器上維護，也可能是分散在各網路節點上，以下我們就針對集中式以及分散式各舉代表性的例子作介紹。

3.2.1 Light-weight Handoff Protocol (LIHP)

LIHP [7] 將集中式的Global Location Table設計在Access Gateway (AG)上，負責記錄MN的IP、MAC以及MN所連結上AR的IP，以及連結上的時間。參考Figure 3-1 當有MN連上Serving Access Router (AR)後，

Serving AR會向AG送出一個Location Update message作為MN的位置註冊。AG會依據此message在Global Location Table上新增一筆記錄。當MN移動至新AR後，新AR也會依照上述步驟向AG作位置更新。在LIHP中所有的封包都會經由AG透過IP Tunnel來傳送封包。

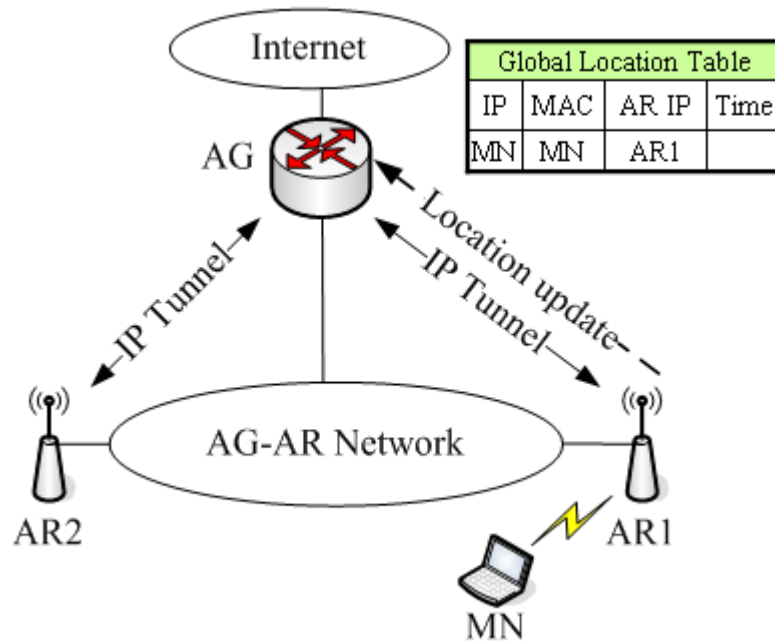


Figure 3-1 LIHP

3.2.2 iMesh

iMesh [8] 是最早在WMN上設計的行動管理機制，它是針對Link-layer Handover提倡一個能快速更新Target AP與Mobile Station (MS)間連線的方案，並且採用扁平式Ad Hoc Routing Protocol (Optimized Link State Routing, OLSR)的方法來產生AP與MS的對應資訊。當一個MS連上某個AP後，AP會觸發產生Flooding的Host and Network Association (HNA) messages，HNA會包含MS的MAC位址資訊在裡面，所以當有AP收到後都可以產生AP與MS的對應資訊，來完成Location Tracking。當AP間要執行

Network-layer Handover，iMesh採用MIP based的機制，利用上述對應資訊再透過Routing Table，就可以將封包從Home AP Tunnel 到Foreign AP。

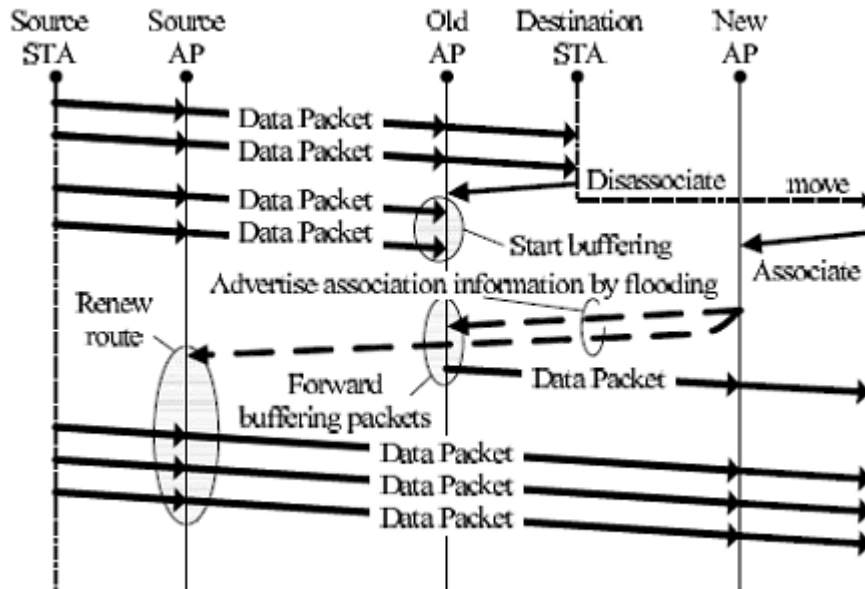


Figure 3-2 The sequence of Handover process in iMesh (引自[8])

參考 Figure 3-2，在 MS 發生 Handover 時，它會送出 Deauthentication message 給 Old AP 以及 Reassociation message 給 New AP。Old AP 收到 Deauthentication message 就可以開始 Buffer packets，New AP 收到 Reassociation message 後會 Flooding HNA messages 給所有 AP，直到 HNA message 送到 Source AP 後，連線路由就可以被更新，封包就可以直接送往 New AP。在 Flooding 的過程中，如果 Old AP 收到 HNA message 就可以將 Buffer 的封包轉送到 New AP。

3.3. Smooth Handover

大多數研究在解決 Smooth Handover 上都會需要使用連結更新或是


位置更新的訊息來通知前一個連結的網路節點以及來源節點。連結更新的機制基本上可以根據封包轉送的方式分成以下兩種類型：

- 基於隧道技術的方法 (Tunnel-based solutions)
- 基於路由技術的方法 (Routing-based solutions)

3.3.1 基於隧道技術的方法

由於 Network Layer 的 Routing 是基於 IP header 在執行，所以資料封包的轉送 (Forwarding) 無法透過傳統 IP header 達成，必須透過 Tunnel 的方式 (IP-in-IP) 來完成。

3.3.1.1 Mobile IP Based



連結更新 (Binding Update) 機制在行動 IP (Mobile IP, MIP) 上已經發展了一段時間，包括 MIPv4 [9]、MIPv6 [10]、Hierarchical MIP (HMIP) [11]、Fast Handover for MIP (FMIP) [12]、Fast handover for Hierarchical MIP (F-HMIP) [13]、Proxy MIP (PMIP) [14]、MIP Regional Registration (MIP-RR) [15] 都有使用相關的機制，只不過並非所有方法都能完全適用於 802.11s WMNs，所以我們僅介紹較具代表性的 MIPv6 Binding Update 機制。

MIPv6 允許 IPv6 主機離他所屬的 Home Subnet 後，能隨時保持與網路的可連結性。當一個 MN 離開 Home 或是偵測到它改變了目前的 Link，且發現了一個新的預設路由器 (Router)，參考 Figure 3-3，MN 可依照 Router Advertisement 自動裝配一個轉交位址 (Care-of Address)，此位

址能識別 MN 目前的所在位置，MN 會以目前的 Care-of Address 向位於 Home Domain 的 Home Agent (HA)進行註冊 (1. Registration)，當 HA 攔截到指定要送給 MN 的封包時，HA 會將封包以 Tunnel 的方式轉送至 MN 目前的 Care-of Address (2. Data)。如果 MN 欲送出任何封包給其他節點時，它會直接將封包送到目的地，不必經由 HA。

如果 MN 在移動的過程中持續與 CN 溝通，封包的轉送路徑為：CN 送到 HA，由 HA Tunnel 到 MN，即使 CN 與 MN 間存在更有效率的路由。這樣的不規則路由行為我們稱之為三角路由 (Triangle Routing)。為了避免 Triangle Routing，MN 可以傳送 Binding Update 給 CN (3. Binding Update)，這使得 CN 能夠直接將封包傳送到 MN (4. Data)不必在經由 HA 的轉送。

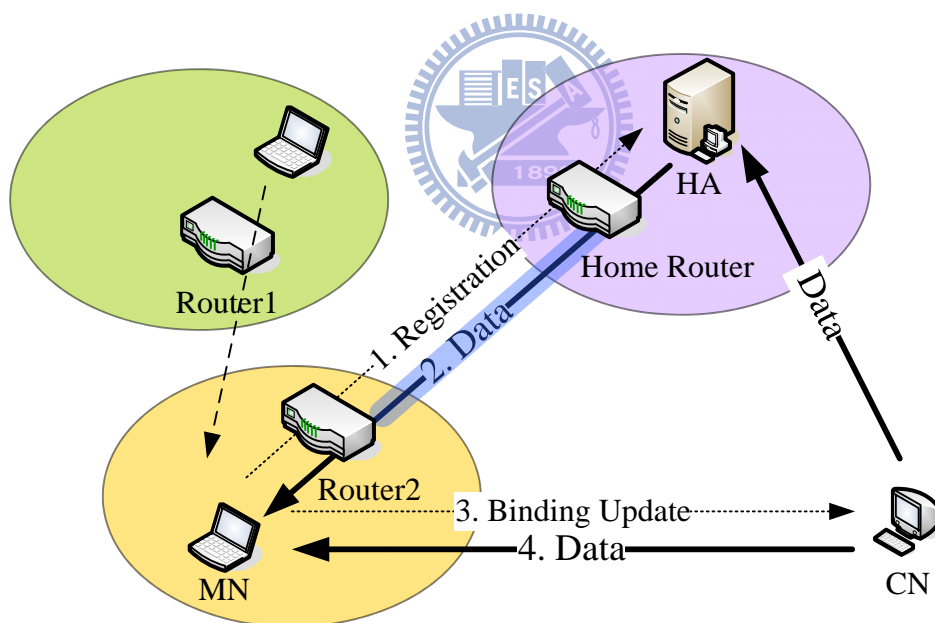


Figure 3-3 Binding Management in Mobile IPv6

由於 802.11s WMNs 是具有 Proxy 的 Two-tier 架構，且 MN 在一般 Wi-Fi 中也不具有支援 Mobility 的功能，所以我們必須作些適度的修改，

以便於將 MIPv6 的機制實作於 802.11s WMNs。

3.3.1.2 Ant

Ant [16] 是另一個採用 Tunnel-based 的行動管理機制，它的目標是希望能達到低延遲的換手以及在換手的過程中降低封包的遺失率。Ant 設計了讓 Mobile Host (MH) 不需額外行動支援功能的 Fast Handover Scheme: 當 MH 改變它連結的 Routing Access Point (RAP)，新連結上的 RAP (New RAP) 必須代替 MH 向 Location Server 送出 Location Update message，此外，每個 RAP 都會擁有一份 Neighboring RAPs 的表格。

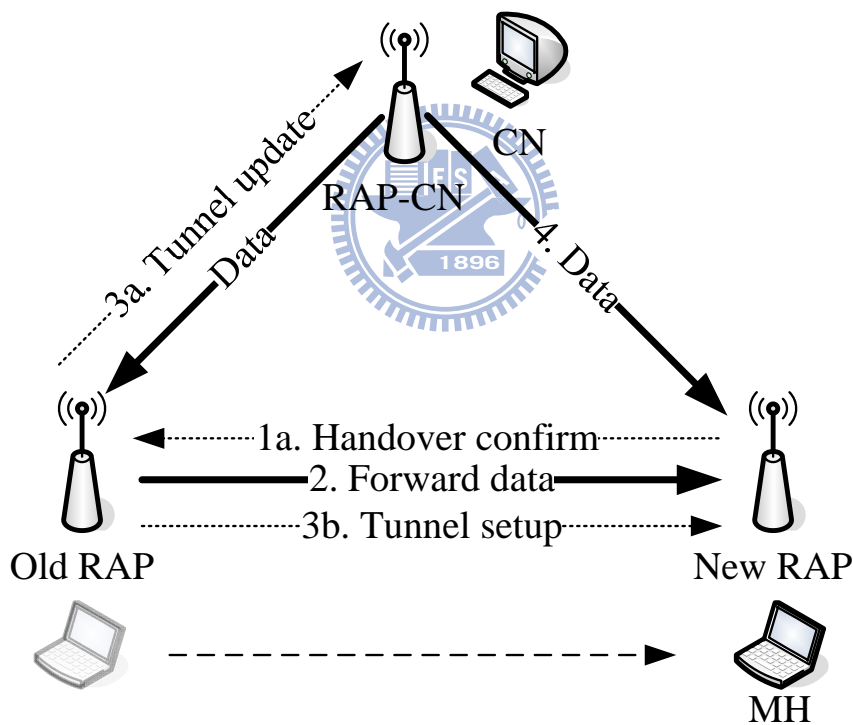


Figure 3-4 Ant Fast Handover Scheme

參考 Figure 3-4，當 MH 從原本的 RAP (Old RAP) 換手到新的 RAP (New RAP) 時，Old RAP 如果偵測到 MH 的 MAC-layer Event：

De-association · Old RAP 會開始 Buffer 送往 MH 的封包並且向它的 Neighboring RAPs 發送 Handover Notification message · 當 New RAP 接收到 MH 的 MAC-layer Event : Association 或 Re-association · 它會檢查是否有收到關於 MH 的 Handover Notification message · 如果有 · New RAP 就知道那個 RAP 是 MH 剛剛連上的 · 如果沒有 · New RAP 會向 Location Server 作查詢 · 也能得知 MH 剛剛連上的 RAP 是誰 · 然後就可以開始 Binding Update 的相關機制。

New RAP 在得知 MH 的 Old RAP 後 · New RAP 可以發送 Handover Confirm message 給 Old RAP · 同時也發送 Location Update message 給 Location Server · 當 Old RAP 收到 Handover Confirm message 後 · 就停止 Buffer packets 並且透過一個由 Old RAP 及 New RAP 暫時建立的雙向 Tunnel 來轉送剛剛 Buffer 的封包以及其他接續來到的封包 · 之後 Old RAP 會送出 Tunnel Update message 通知 RAP-CN 可以直接將封包送往 MH 所連上的 New RAP · 同時也會送出一個 Tunnel Setup message 通知 New RAP 直接將封包送往 CN 所連上的 RAP-CN · 當兩邊都收到 messages 後 · CN 與 MH 間的封包就不需再經過轉送。

3.3.2 基於路由技術的方法

可以藉由更新 Routing Table 或是與 Routing 相關的表格 · 在 Handover 後達到重新建立連線。

3.3.2.1 HAWAII

HAWAII [17] 是 Micro-mobility 中相當著名的行動管理機制 · 透過特殊

的 Path Setup message 來建立及更新 Host-based Routing Entries。依照 Path Setup 的方式可分為兩種方式：

- Forwarding Schemes (Figure 3-5)：封包在經由 Crossover Router (Router 0) 直接遞送前會經由 Old BS 轉送。

依照是否會造成封包 Miss-ordered 的 Multiple Stream 情形又分成：

- Multiple Stream Forwarding (MSF)
 - Single Stream Forwarding (SSF)
- Non-forwarding Schemes (Figure 3-6)：Router 0 收到 Path Setup message 後，封包都經由 Crossover Router 直接遞送。

依照 Crossover Router 的遞送情形又分成：

- Unicast Nonforwarding (UNF)
- Multicast Nonforwarding (MNF)

雖然根據上述分類，HAWAII 可以產生多種情形，不過基本上 Path Setup message 都是由 Mobile user 先送至 Old BS，只是過程中 BS 及 Router 更改其 Routing Entry 的規則不同，我們僅介紹當 Crossover Router (Router 0) 收到 Path Setup message 時，四種更改 Routing Entry 的規則。

Figure 3-5 (a)：當 Router 0 收到 Message 3 後，才會將所有送往 Mobile User (IP：1.1.1.1) 的封包由 Port C 送出，在此之前所有送往 Mobile User 的封包必須由 Port B 送至 Old BS。所以造成有段時間 Router 1 收到來自 Port A 要送往 Mobile User 的封包再由 Port A 送出，同時也收到來自 Port C 經由 Old BS 轉送要送往 Mobile user 的封包，而形成 Multiple Stream

Forwarding (MSF) · 可能會造成封包 Miss-ordered 。

Figure 3- 5 (b) : 當 Router 0 收到 Message 3 · 會將所有來自 Prot A 、Port C 要送往 Mobile User 的封包由 Port B 送出 · 將來自 Prot B 要送往 Mobile User 的封包由 Port C 送出 · 直到 Router 0 收到 Message 6 後 · 才會將所有送往 Mobile User 的封包由 Port C 送出 。此規則有強制封包按照一定方向路由 · 所以是 Single Stream Forwarding (SSF) 。

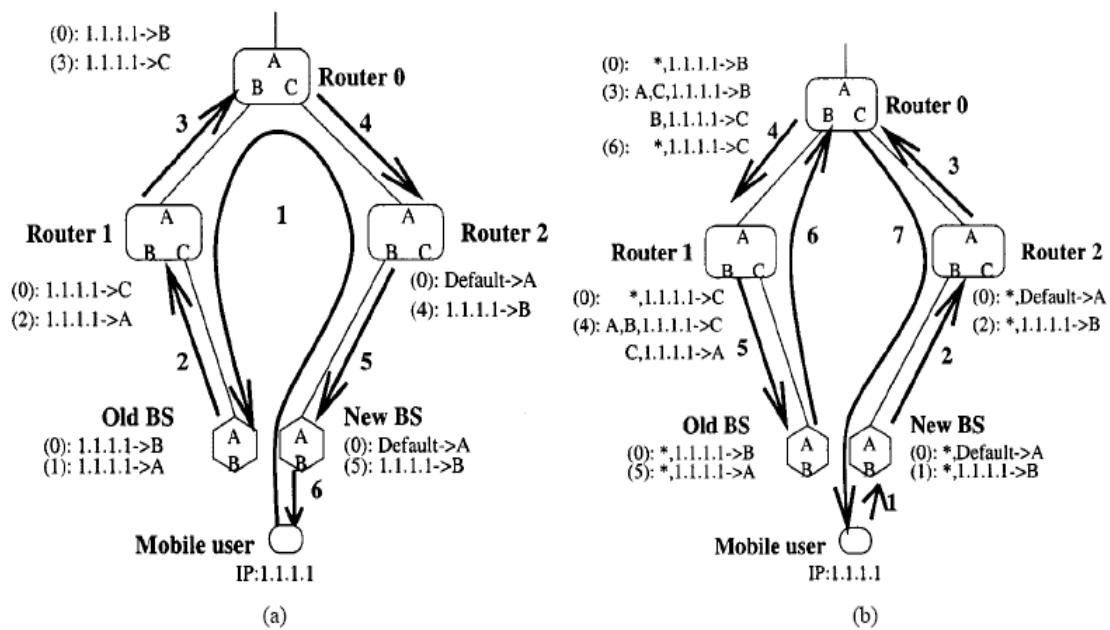


Figure 3-5 HAWAII Forwarding Schemes. (a) MSF. (b) SSF. (引自[17])

Figure 3- 6 (a) : 當 Router 0 收到 Message 3 後 · 會將所有要送往 Mobile User 的封包由 Port C 送出 · 而不會有從 Old BS 所轉送的封包 。 Router 0 只有作 Unicast Nonforwarding(UNF) 。

Figure 3- 6 (b) : 當 Router 0 收到 Message 3 後 · 會將所有要送往 Mobile User 的封包同時由 Port A 、Port C 送出 · 直到 Router 0 收到 Message 6 後 · 才會將所有送往 Mobile user 的封包由 Port C 送出 。由於

有 Bi-cast 所以形成 Multicast Nonforwarding (MNF)。

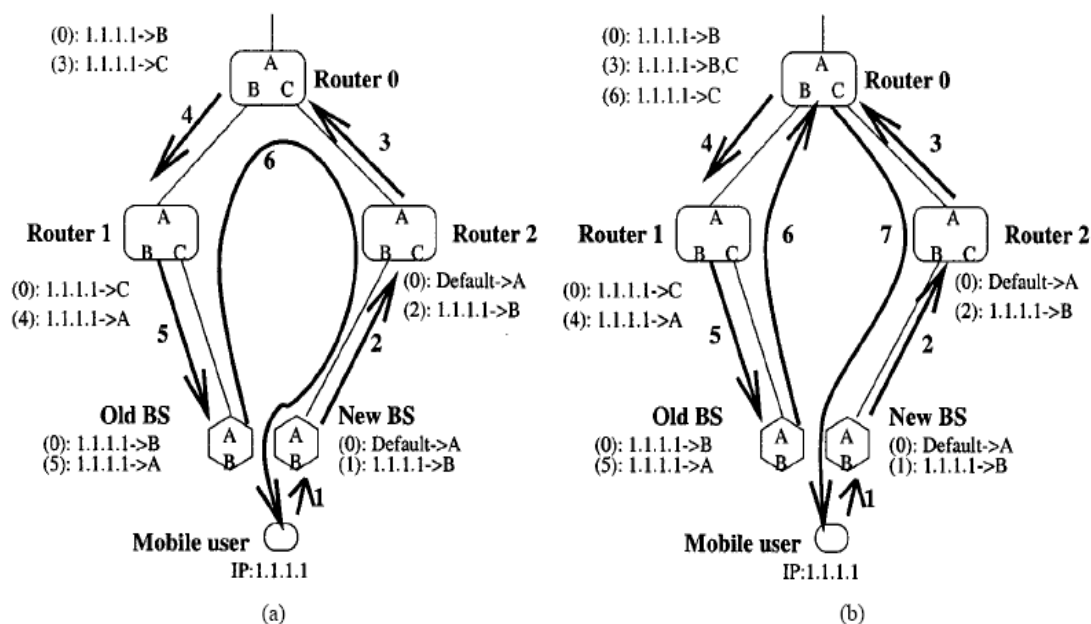


Figure 3-6 HAWAII Nonforwarding schemes. (a) UNF. (b) MNF. (引

自[17])

3.3.2.2 Wireless Access Point Link (WAPL)

參考Figure 3-7，WAPL [18] 利用Link Table (LT)紀錄Wireless Access Point (WAP)與MS間的對應資訊，LT是透過MS觸發ARP Request message，然後當WAP收到ARP request後透過Flooding LT Generation Request來通知其他WAP更新LT，當有WAP收到LT Generation Request就可以更新LT中SrcSTA / SrcWAP的對應資訊，而且如果收到LT Generation Request後發現Destination MS就連結在它底下，Destination WAP會回覆Unicast的LT Reply給Source WAP，當Source WAP收到LT Reply後也可以更新LT中DstSTA / DstWAP的對應資訊。WAPL可以透過Ad-hoc Routing Protocol建立的Routing Table以及LT的對應資訊完成封

包的Routing。

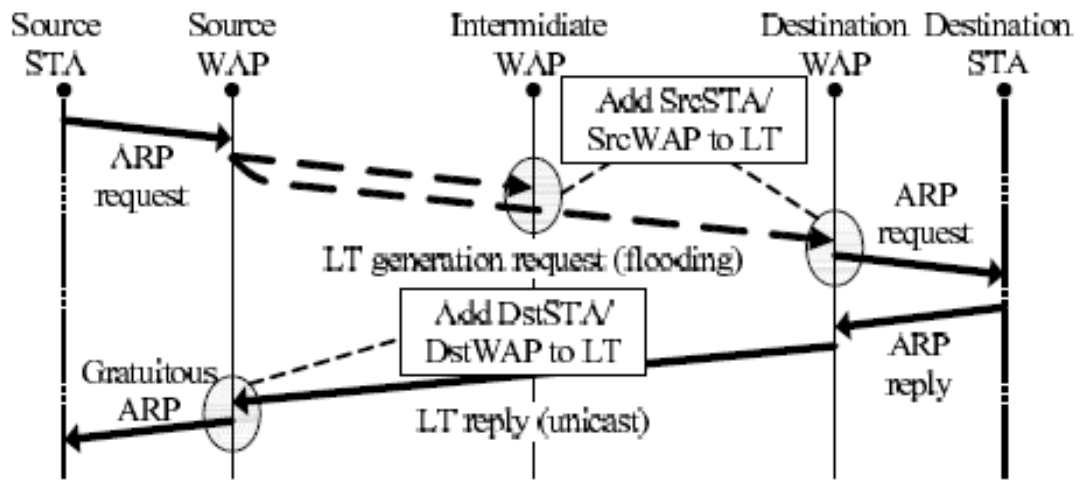


Figure 3-7 LT generation process in WAPL (引自[18])

WPAL 除了完成 LT 的建立完成 Packet Routing，另外也設計了透過監聽附近的 WAP 連線封包來支援 Seamless Handover，WPAL 將監聽到的封包資訊記錄在“Nearby Communication Table (NCT)”中，參考 Figure 3-8，透過 NCT 每個 WAP 都能夠取得在它附近其他 WAP 的連線情況。

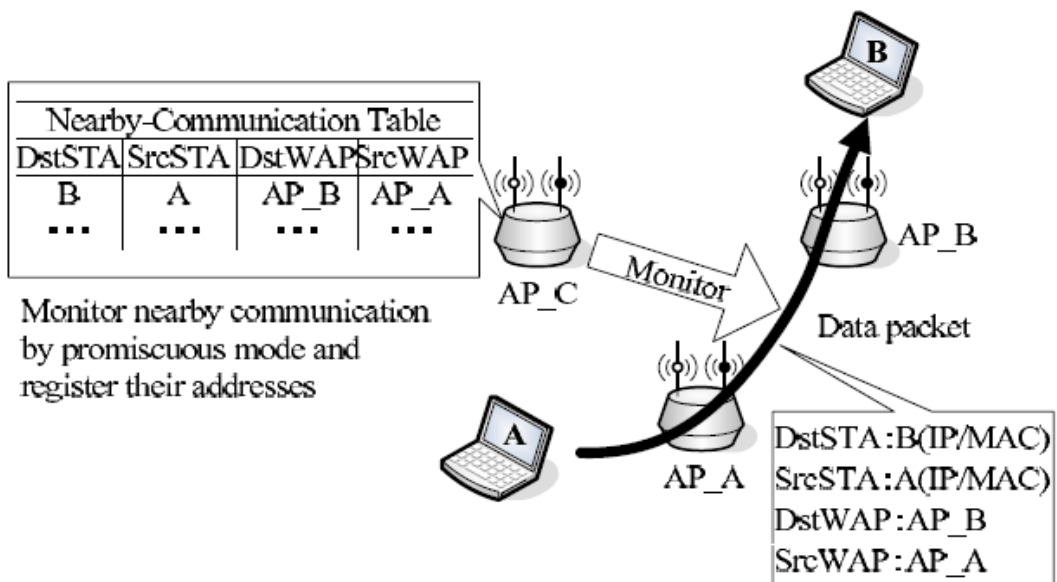


Figure 3-8 WAPL grasping neighbor communication (引自[18])

參考 Figure 3-9，當行動節點 B 開始 Handover，New WAP 會收到來自 B 的 Reassociation Message，如果 New WAP 查找 NCT 發現有 B 的紀錄，就可以送出 Buffering-Packet Release Request message 給 Old WAP 更新其 LT，並要求 Old WAP 轉送 buffered packets 給 New WAP，同時也會送出 Route-Renewal Request message 給 Source WAP 更新其 LT，使封包能直接 route 至 New WAP，完成 Handover。

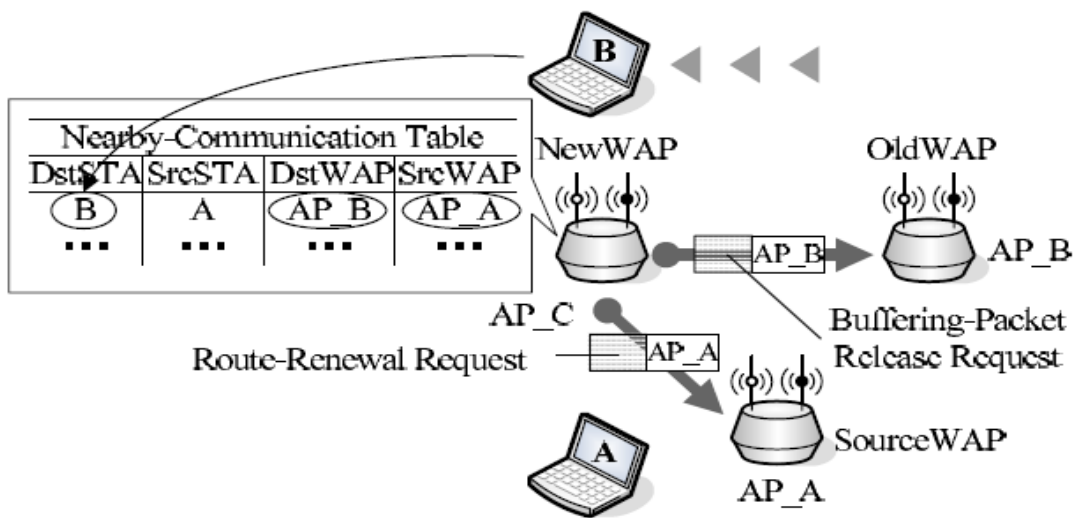


Figure 3-9 WAPL Handover notification (引自[18])

3.4. 總結

總結本節所述，在無線網狀網路環境中，對於 Location Management 中所提的研究方法，可以採用中控式的位置註冊機制或是分散式的更新機制。中控式的缺點是封包的遞送或是位置的查詢都需經由特定 Gateway 或是 Location Server，對於行動性的支援較不具彈性。分散式的機制需要在每個 WMNs 的節點都有個記錄 STA 位置的對應表格，缺點是維護這些表格

需要大量更新訊息，對網路頻寬會造成影響。

對於 Smooth Handover 的研究方法中，不管是 Tunnel-based solutions 還是 Routing-based solutions 都能解決或是避免 Packet Forwarding 的 Triangular Routing 問題，但是由於 802.11s WMNs 的環境中是 Wireless Link，所以傳遞 Location Update messages 過程的 Latency 可能會增加，Packet Loss 也會變的較為嚴重，導致網路的效能受到影響。

因此，本篇論文考量目前實際應用的 802.11s WMNs 環境，提出一套適合的行動性支援機制。此機制中對於 Location Management 的支援，我們希望能兼具中控式便利以及分散式的彈性，同時避免掉大量的位置更新訊息。對於 Smooth Handover 的支援，我們希望能改善因為 Latency 及 Packet Loss 導致網路效能不佳的問題，並且達到 Packet Forwarding 的最佳化。



第四章 無線網狀網路的行動性支援機制

4.1. 簡介

綜合前面章節介紹的問題以及我們所期望能達到的目的，我們對於在無線網狀網路的行動性支援機制提出了位置管理與流暢換手機制：

- 支援位置追蹤的兩層式 Proxy Table 架構 (Location tracking with Two-level Proxy Tables) :
 - 避免對 Proxy Table 進行更新或查找時使用 Flooding message，提供有效率的支援 Location Tracking。
- Proxy 的解析及更新機制 (Proxy Resolution and Updates) :
 - 降低查找的延遲時間及控制訊息數量，提供有效率的支援 Location Tracking。
- 逐步最佳化路徑轉送機制 (Progressive Shortcut Forwarding) :
 - 降低 Proxy Update 時因無線傳輸所造成的風險，對 Packet Forwarding 作最佳化的處理。
- 動態位置更新機制 (Adaptive Location Update Mechanism) :
 - 解決 Serving Proxy 無法判斷 STA 是新加入網路還是從其他節點 Handover 過來的問題，提供 Smooth Handover 的 Packet Forwarding 支援。



4.2. 位置管理與流暢換手機制

本章節中將逐一介紹本篇論文提出的解決方案，並依照不同的情境，說明本方案如何支援無線行動裝置在 802.11s WMNs 所需的移動性 (Mobility) 需求。情境說明如下：

- A. 位置註冊及更新：當 Device 連上 802.11s WMNs 後，其 Serving Proxy 需要執行註冊動作。
- B. 建立連線時 Proxy Table 發生查找誤失：Source Device (CN)與 Destination Device (MN)欲建立連線，但 Source Proxy 無法從 Proxy Table 中查到 CN 的 Proxy 是誰。
- C. 連線過程中接收端執行換手：Source Device (CN)與 Destination Device (MN)已建立連線，但 MN 已從目前的 Serving Proxy 移動 (Roaming)到其他 MAP。



4.2.1 支援位置追蹤的兩層式Proxy Table架構

為了支援 Location Tracking，需要有能隨時提供 MN 目前所在位置的特定 MP，且在建立連線時不需每次都對特定 MP 作查詢，所以設計了兩層式 (Two-level)Proxy Table 架構。這個架構包含 Location Registrar 以及一般的 Proxy Table，不僅能滿足常移動不常傳送資料的行為，也能滿足不常移動但是常需要傳送資料的行為。

我們仿照 IEEE 802.11s 設計 Root 的概念，設計了 Location Registrar (LR)的功能，負責集中儲存 802.11s WMNs 內所有 MN 的位置資訊於 Proxy

Table 中，關於 LR 的定義如下：

1. 任何 MP 都可以被設定為 LR，如果有 MPP (Root) 存在，MPP 會直接被設定成 LR，但在同一個 802.11s WMNs 中只能有一個 LR 存在。
2. LR 被設定後必須通知其他 MP 它的存在。
3. 如果有任何 MN 連上 MAP, 該 MAP 必須透過 PU 向 LR 註冊此 MN 的位置。

參考 Figure 4-1，由 LR 的 Proxy Table 與一般 Proxy Table 構築成的 Two-level Proxy Table，能夠在避免使用 Flooding messages 的情況下支援 Location Tracking。

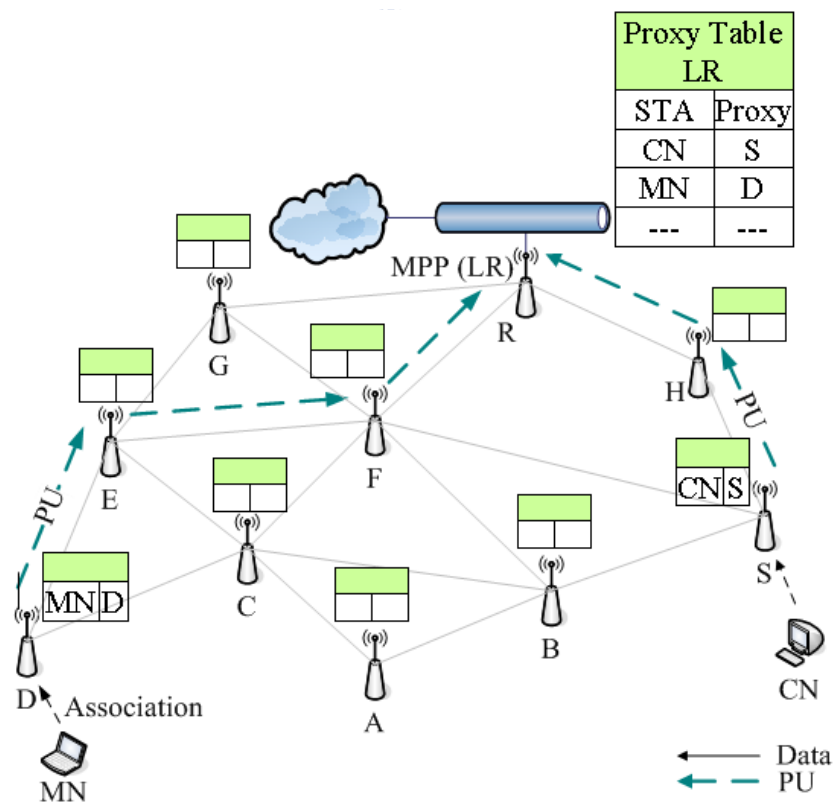


Figure 4-1 Two-level Proxy Tables

4.2.2 Proxy的解析及更新

此節中我們將重點放在介紹 Proxy 的解析及更新機制 (Proxy Resolution and Updates, PRU) : LR 能藉由對 Destination Proxy 的解析找到正確位置, 同時能根據封包的 Address Fields 與 Proxy Entry 的對應, 感測出來源節點 Proxy Table 發生查找誤失, 主動送出 PU 更新。參考 Figure 4-2, MN 及 CN 分別已經連上節點 D、節點 S, 且已完成為 MN 及 CN 的位置註冊。

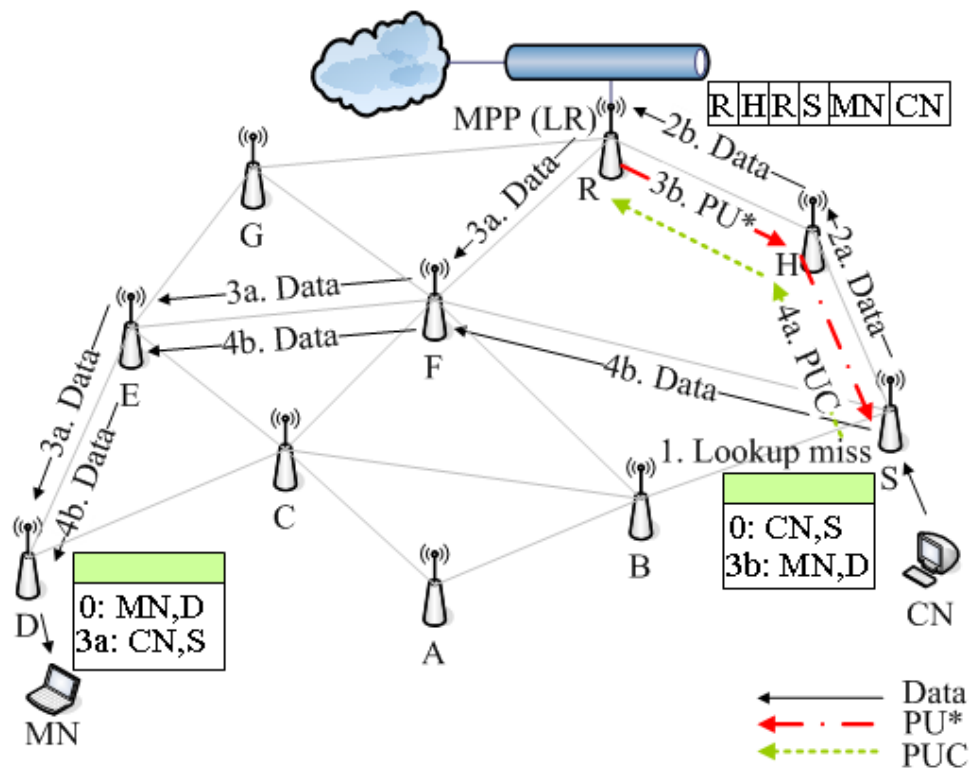


Figure 4-2 Proxy Resolution and Updates

當 CN 欲 MN 與建立連線, 節點 S 收到 CN 的封包後, 發現其 Proxy Table 並無 MN 的 Proxy 資訊, 發生 Proxy Table 查找誤失 (1. Lookup miss), 所以直接將封包送至具有 LR 及 Root 功能的 MPP (2a. Data, 2b.Data), 交由 LR 轉送, 當 LR 收到封包後查詢其 Proxy Table (LR 紀錄著

所有連上此網狀網路 STA 的 Proxy Information)對 Destination Proxy 進行解析後，可將封包轉送至 MN 所連上的 Proxy 節點 D (3a. Data)，同時 LR 可經由比對封包中的 Address Fields {Addr5 : MN · Addr3 : R}與 Proxy Table LR 中的 Proxy Entry {STA : MN · Proxy : D}不一致，感測到節點 S 的 Proxy Table 發生查找誤失，因而發送 PU 給節點 S (3b. PU*，PU*表示所有收到此訊息的 MP 皆須更新其 Proxy Table)更新其 Proxy Table。此外，當節點 D 收到 (3a. Data)的資料後，可以透過封包中的 {Addr6 : CN · Addr4 : S}來更新其 Proxy Table (Proxy Table A · 3a: CN,S)。最後，當節點 S 收到 (3b. PU*)且更新其 Proxy Table 後 (Proxy Table S · 3b: MN,D)，需回覆 Proxy Update Confirm (PUC)message 給 LR (4a. PUC)確認更新，之後送往 MN 的封包就會以正確的路徑送達 (4b. Data)。

透過我們所提的 Proxy Resolution and Updates 機制，當發生 Proxy Table 查找誤失時，無須執行特定的 Query 訊息以及 AODV 程序，可以達到使用少量控制訊息來完成 Proxy Table 的維護。

4.2.3 逐步最佳化路徑轉送

在此節中我們將介紹逐步最佳化路徑轉送 (Progressive Shortcut Forwarding · PSF)機制：在舊 Serving Proxy 到 Source Proxy 的反向路徑上，所有的 MP 在 MN Handover 的過程中，在收到 PU*並完成 Proxy Table 的更新後，可以將封包以 Shortcut 的方式直接送至新 Serving Proxy，並將 PU*繼續往路徑上的下一個 MP 遞送，以達到逐步縮短轉送路徑的效果。參考 Figure 4-3，MN 及 CN 分別已經連上節點 D、節點 S 並已完成向 LR 的位置註冊，並且建立 CN 至 MN 的連線。

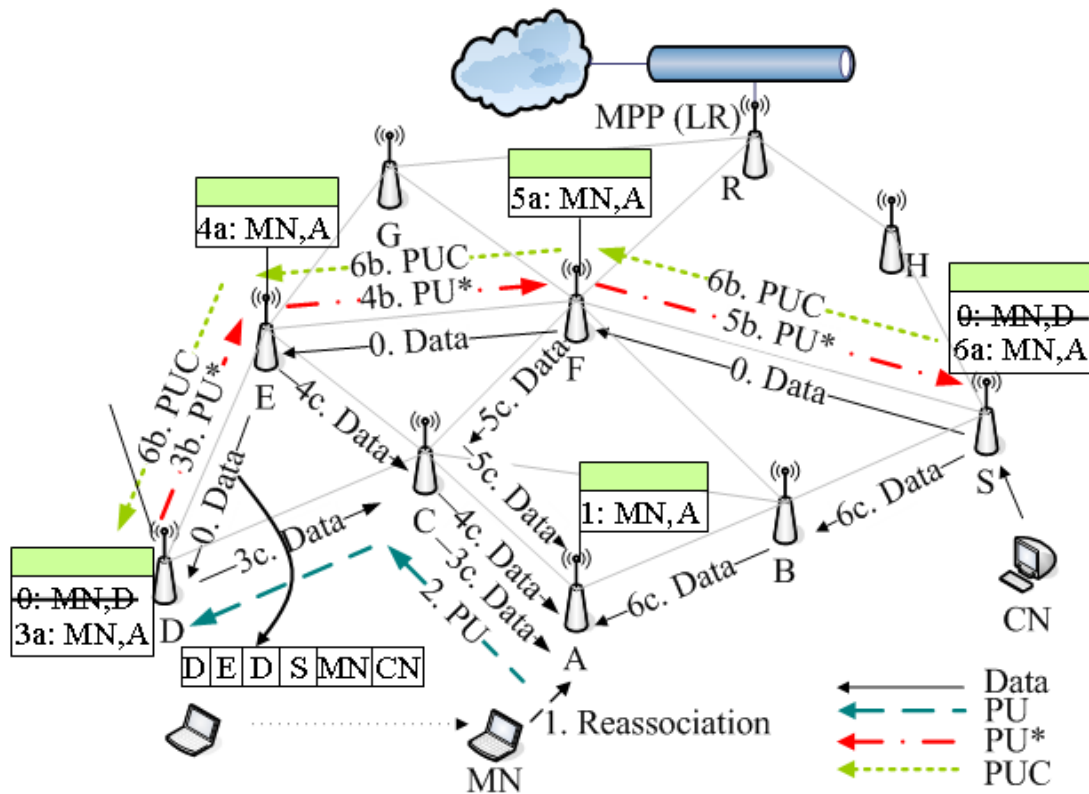


Figure 4-3 Progressive Shortcut Forwarding

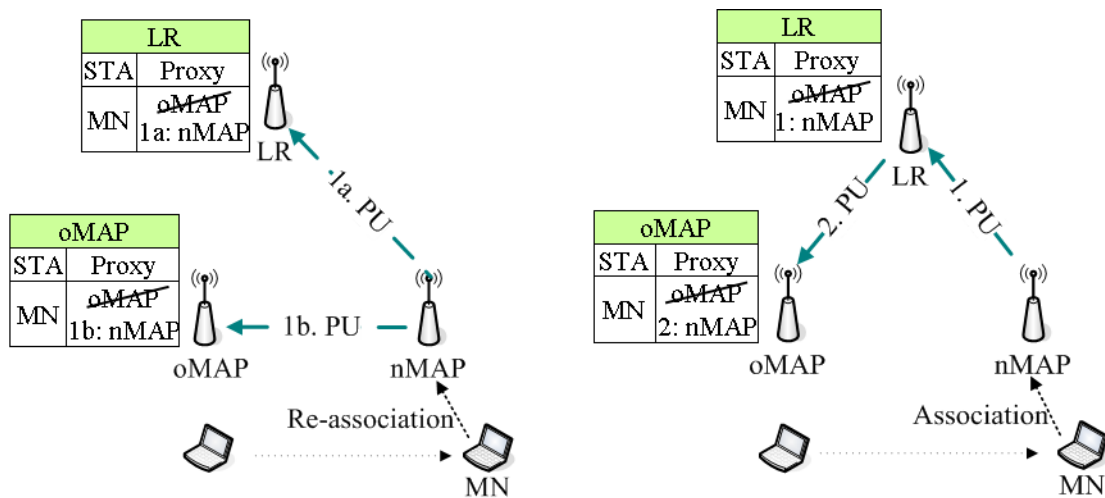
當正在接收資料的 MN 從節點 D Handover 至節點 A，MN 送出 Reassociation Request message (1. Reassociation) 向節點 A 進行重新連結，節點 A 可以依此更新其 Proxy Table 後，送出 PU 給節點 D (2. PU) 更新其 Proxy Table (Proxy Table D，3a: MN,A)，節點 D 在收到節點 S 的封包後，可以經由比對封包中的 Address Fields {Addr5 : MN，Addr3 : D} 與 Proxy Table D 中的 Proxy Entry {STA : MN，Proxy : A} 不一致，發現節點 S (封包中 Addr4) 的 Proxy Table 未更新，因而發送 PU* 給節點 S (3b. PU*)，然後節點 D 會將原本要送至 MN 的封包轉送往節點 A (3c. Data)，此時節點 A 收到資料封包後，亦可透過封包中的 Address Fields {Addr6 : CN，Addr4 : S} 來更新其 Proxy Table。PU* 代表路徑上經過節點 (節點 E、節點 F) 收到後，皆需更新其 Proxy Table (Proxy Table E，4a: MN,A，Proxy

Table F·5a: MN,A)並且繼續將 PU*往路徑上的下一個 MP 遞送 (4b. PU*、5b. PU*)，在過程中除了路徑終點 - 節點 S 外，其餘節點皆會針對路徑終點 - 節點 S 暫存至一檢查表中以檢查所有由節點 S 送出的封包表頭位址是否與 Proxy Table 內容不一致，以節點 E 為例：收到來自節點 S 的封包中的 Address Fields {Addr5 : MN, Addr3 : D}與 Proxy Table E 中的 Proxy Entry {STA : MN, Proxy : A}不一致，節點 E 便會直接將封包以最佳路徑 (Shortcut)轉送往節點 A (4c. Data)，節點 F 依此步驟類推 (5c. Data)。直到節點 S 完成 Proxy Table 更新後 (Proxy Table S·6a: MN,A)並回覆 PUC 給節點 D (6b. PUC)，而路徑上經過的節點收到 PUC 後，即可將剛才暫存至檢查表中節點 S 的資料刪除，如此一來，節點 E、F 就不需再花費額外的 Overhead 幫忙轉送，而由節點 S 要送往 MN 的封包會直接經由正確路徑送至節點 A (6c. Data)，上述過程我們稱之為逐步最佳化路徑轉送機制。

此機制對路徑轉送作了逐步最佳化處理，即使 PU*在過程中封包遺失了，在重新送出 PU*之前，轉送路徑已經有部分被縮短了，可以降低對 Source Proxy 更新時因無線傳輸所造成的風險。

4.2.4 動態位置更新機制

動態位置更新機制 (Adaptive Location Update Mechanism)可依據連結要求封包類型，採用同步式 (Parallel)或連續式 (Sequential)的位置更新 (Location Update)方法。由於同步式位置更新比連續式較為快速直接，但 MN 受限於各家廠商設計發送 Re-association request 機制不同，所以我們設計了動態位置更新機制：MAP 可依據接收到來自 MN 的連結要求封包類型是 Re-association request (Figure 4-4 (a))或 Association request (Figure 4-4 (b))，來決定執行何種 Location Update 方式。



- 同步式位置更新 (Figure 4-4 (a))：當 nMAP 收到來自 MN 的 Re-association Request message，nMAP 除了向 LR 執行位置註冊，同時也能向 oMAP 執行位置更新。
- 連續式位置更新 (Figure 4-4 (b))：當 nMAP 收到來自 MN 的 Association Request message，nMAP 直接向 LR 執行位置註冊，當 LR 收到 PU 後，在更新 Proxy Table 中 MN 的 Entry 前，就可以得知 MN 之前是否連上其他 MAP，如果有就能向 oMAP 執行位置更新。

動態位置更新機制解決了 Serving Proxy 無法判斷 STA 是新加入網路還是從其他節點 Handover 過來的問題，提供不論在何種 Handover 環境下完成 Packet Forwarding 支援。

4.3. 其他Scenario的應用

4.3.1 傳送端執行Handover

我們將介紹上述三種機制 (包含動態位置更新機制、Proxy 的解析及更新機制、逐步最佳化路徑轉送機制)共同使用的情境。參考 Figure 4-6，MN 及 CN 分別已經連上節點 D、節點 S 並已完成向 LR 的註冊，並且建立 CN 至 MN 的連線。

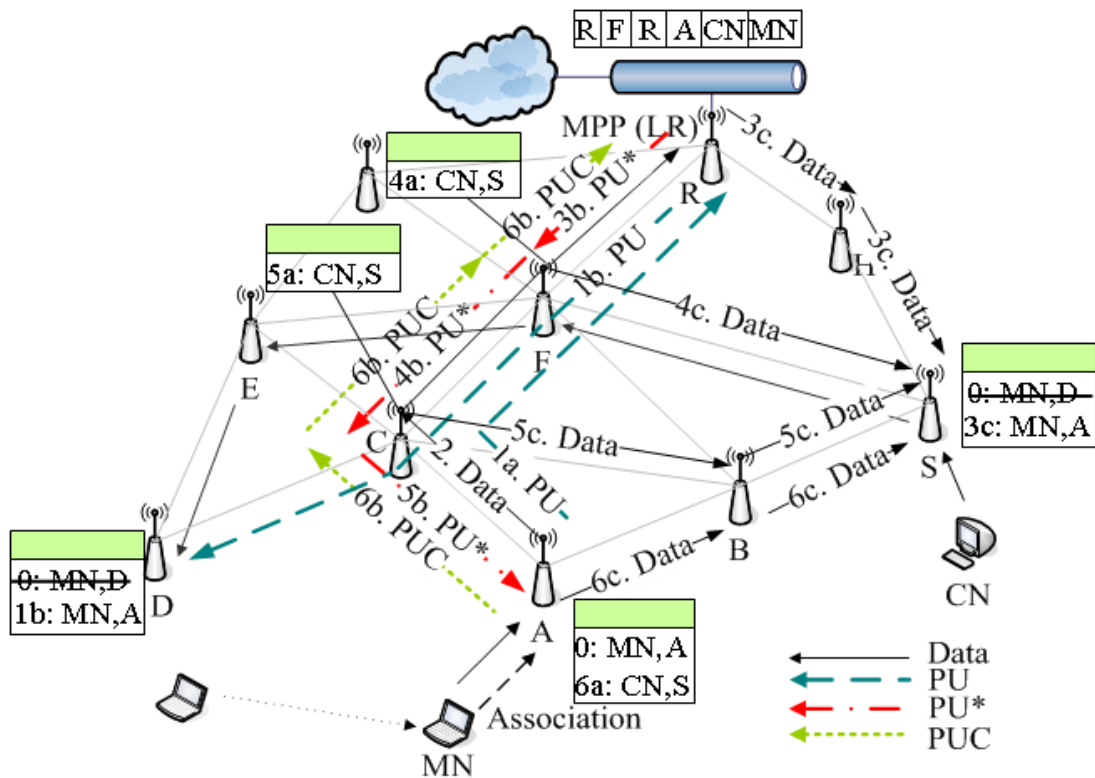


Figure 4-5 傳送端執行 Handover

當需要送出封包給CN的MN從節點D Handover至節點A後，MN送出 Association Request message向節點A進行重新連結，節點A在更新完

Proxy Table後會採取動態位置更新機制 (參考4.2.4節) · 完成對LR的位置註冊 (1a. PU)及節點D的Location Update (1b. PU) 。且當節點A發現Proxy Table中沒有CN及其Proxy的紀錄 · 或是經由節點D轉送的封包尚未到達 · 以致於無法得知CN的Proxy時 · 節點A將封包送往LR · LR會採取Proxy的解析及更新機制 (參考4.2.2節) · 執行封包轉送 (2. Data) · 以及發出的PU*給節點A · 經由反向路徑遞送 (3b. PU* ; 4b. PU* ; 5b. PU*)然後依序更新路徑上節點的Proxy Table (Proxy Table F · 4a: CN,S ; Proxy Table C · 5a: CN,S ; Proxy Table A · 6a: CN,S) · 在PU傳送的過程中依然會採取逐步最佳化路徑轉送機制 (參考4.2.3節) · 在完成路由最佳化的過程中減少頻寬的浪費 (4c. Data ; 5c. Data ; 6c. Data) · 最後節點A再以回覆PUC給LR (6b. PUC) · 完成整個行動管理機制。

4.3.2 建立連線時產生Forwarding Chain

前面已經介紹完我們所提出的運用在 802.11s WMNs 的行動管理機制。這一小節我們將介紹一特殊情境 (Forwarding Chain)發生的情形 · 以及如何透過逐步最佳化路徑轉送機制解決 Forwarding Chain 。

參考 Figure 4-7 · 延續前述情境 · MN 在與 CN 連線過程中 · 從節點 D 移動 (Roaming)到節點 A 完成 Handover · 然後繼續移動到節點 B · 此時已完成對 LR、節點 D、節點 A 的 Proxy Table 更新。當 CN2 此時欲與 MN 建立連線 · 由於節點 D 及節點 A 會形成 Forwarding Point · 所以封包會從 CN2 的 Proxy 節點 G 送出到節點 D 再轉送到節點 A 最後再轉送到節點 B · 如此在連線建立時會形成一條過長的路徑 · 浪費無線網路的頻寬資源 · 我們稱之為 Forwarding Chain 。

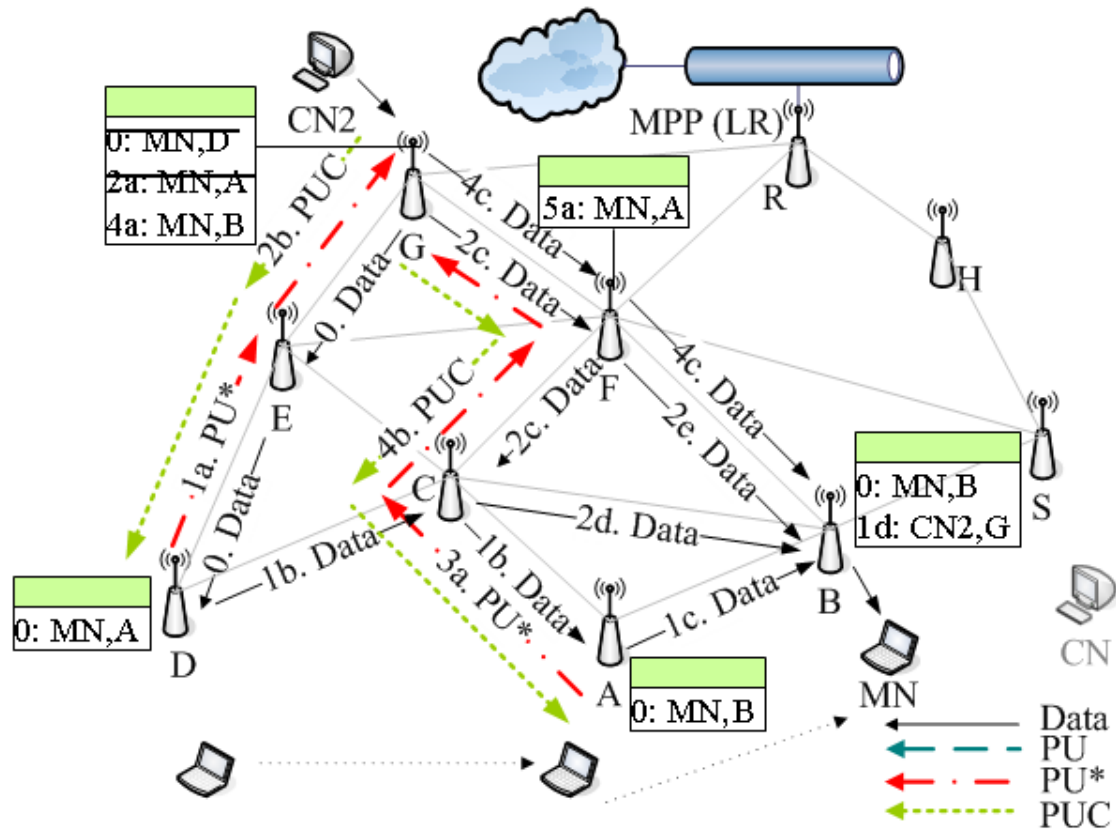


Figure 4-6 Forwarding Chain solved by PSF

我們試著將4.2.3節所介紹的逐步最佳化路徑轉送機制運用在上述環境中。當節點D收到來自節點G的封包後，可經由比對封包中的Address Fields {Addr5 : MN, Addr3 : D}與Proxy Table D中的Proxy Information {STA : MN, Proxy : A}不一致，感測到節點G的Proxy Table未更新，因而發送PU*給節點G (1a. PU*)更新其Proxy Table (Proxy Table G : 2a: MN,A)，同時將原本要送至MN的封包轉送往節點A (1b. Data)。當節點A可能收到來自節點D或是節點G的封包後 (Figure 4-7 表示先收到來自節點D的封包)，透過執行與剛才節點D一樣的步驟發送PU*給節點G (3a. PU*)及封包轉送 (1c. Data)。當節點C收到 3a. PU*並完成Proxy Table更新後，經由節點G送出封包 (2c. Data)，節點C可以用最佳路徑轉送封包至MN的Proxy - 節點B (2d.

Data) · 同樣的節點F在收到 3a. PU*可以用最佳路徑轉送封包至節點B (2e. Data) · 最後當節點G收到 3a. PU*並完成Proxy Table更新 (Proxy Table G · 4a: MN,B)並回覆PUC給節點A (4b. PUC)後 · 即可將封包送往正確的路徑 (4c. Data) · 整個過程中節點G可能會收到多個PU · 也需要回覆多個PUC · 雖然逐步最佳化路徑轉送機制能解決Forwarding Chain的問題 · 但是可能需要的額外的Overhead ·

4.4. 單元總結

總結本章節所述 · 我們所提的行動管理機制包含下列幾個部分：

- 支援位置追蹤的兩層式 Proxy Table 架構：能滿足 Location Tracking 及連線建立的需求 · 且不需要 Flooding message 來維護 Proxy Table ·
- Proxy 的解析及更新機制：省去連線建立時為了找尋 Destination Proxy 所產生 Broadcast messages 的 Overhead · 此外 · 無須特定的 Query message · LR 就可以根據封包的 Address Fields 與 Proxy Entry 的對應 · 感測出來源節點 Proxy Table 發生查找誤失 · 主動送出 PU 更新 ·
- 逐步最佳化路徑轉送機制：我們提出此機制的目的除了可以減少頻寬浪費 · 也可以減輕因無線傳輸過程中 PU 發生 Packet Loss 造成持續性的 Triangular Routing 或 Forwarding Chain ·
- 動態位置更新機制：解決行動裝置的行動性需求 · 並提供不同 Handover 情形下 Packet Forwarding 的支援 ·

第五章 模擬實驗結果與討論

5.1. 簡介

本篇論文所提的方法適用於 IEEE 802.11s 的無線網狀網路中，因此可直接在支援 802.11s WMNs 網路環境中實作本篇論文所提出的演算法，測量其在真實網路環境中實際的運作情形。

然而由於考量佈建時間與成本過於龐大，因此我們透過網路模擬器來模擬本篇論文所提出的演算法在真實網路環境中運作的情形。網路模擬具有模擬時間少、成本低的優點，提供了學者來驗證自己提出的方法是否有效，以及初學者可以驗證學習到的網路技術，這比真正的來建構一個網路環境，還要容易方便的多 [19]。

因此我們採用功能強大且頗具參考價值的NS2 [20]，NS2 最早來自於 1989 年的Real Network Simulator。NS2 一直以來都在吸收全世界各地研究者的成果，包括UCB、CMU等大學和SUN等公司的無線網絡方面的原始碼。經過多年的發展之後，NS2 成為在學術研究上最具影響力及代表性的網路模擬器。

NS2 由兩種程式設計語言，OTCL (具有物件導向特性的 TCL 腳本程式設計語言)和 C++ 實作。之所以使用兩種程式設計語言，是因為模擬器有兩方面的事情需要做。一方面，具體協定的模擬和實現，需要一種程式設計語言，能夠高效率的處理位元組 (Byte)，標頭 (Packet Header)等資訊，能夠應用合適的演算法在大量的資料集合上進行操作。為了實現這個任務，程式內部模組的運行速度 (Run-time Speed)是非常重要的，而運行模擬環境



的時間、尋找和修復 bug 的時間，重新編譯和運行的時間 (Run-around Time)不是很重要。這種情況下，C++ 語言是非常合適的。

另一方面，許多網路中的研究工作都圍繞著網路組件和環境的具體參數的設置和改變而進行的，需要在短時間內快速的開發和模擬出所需要的網路環境 (scenarios)，並且方便修改和發現、修復程式中的Bug。在這種任務中，網路環境佈建的時間就顯得很重要了，因為模擬環境的建立和參數資訊的配置只需要運行一次。這種情況下，腳本語言 (Script)有很大優勢，具有物件導向特性的TCL腳本語言可以充分滿足需求 [21]。

5.2. 模擬環境

本篇論文所使用的 NS2 版本為 2.33 版，NS2 提供 IEEE 802.11 的模組方便我們進行 AP 在 MAC 層及 PHY 層的模擬，我們僅需在其 Routing Agent 上設計支援 HWMP 及 Address Translation Scheme 的模組，並將本論文所提之方法也實作於 Routing Agent 上。

考慮到實驗環境的可擴充性，我們採用格狀 (Grid)網路的佈建方式，加上 802.11s WMNs 名義上支持的最大可擴展 MP 數目為 32 個，考慮實際應用環境，我們傾向採用中型網路的佈建方式為基準，若有實驗上需要再擴展成較大型網路。

第一個實驗環境如 Figure 5-1 所示，在 500m x 500m 的空間中，佈建 16 個 Mesh Access Point (MAP)每個 MAP 的無線訊號範圍大致上為 100 公尺，所以我們設定每個 MAP 彼此間距 80m，確保對角線的 MAP 不在通訊範圍。

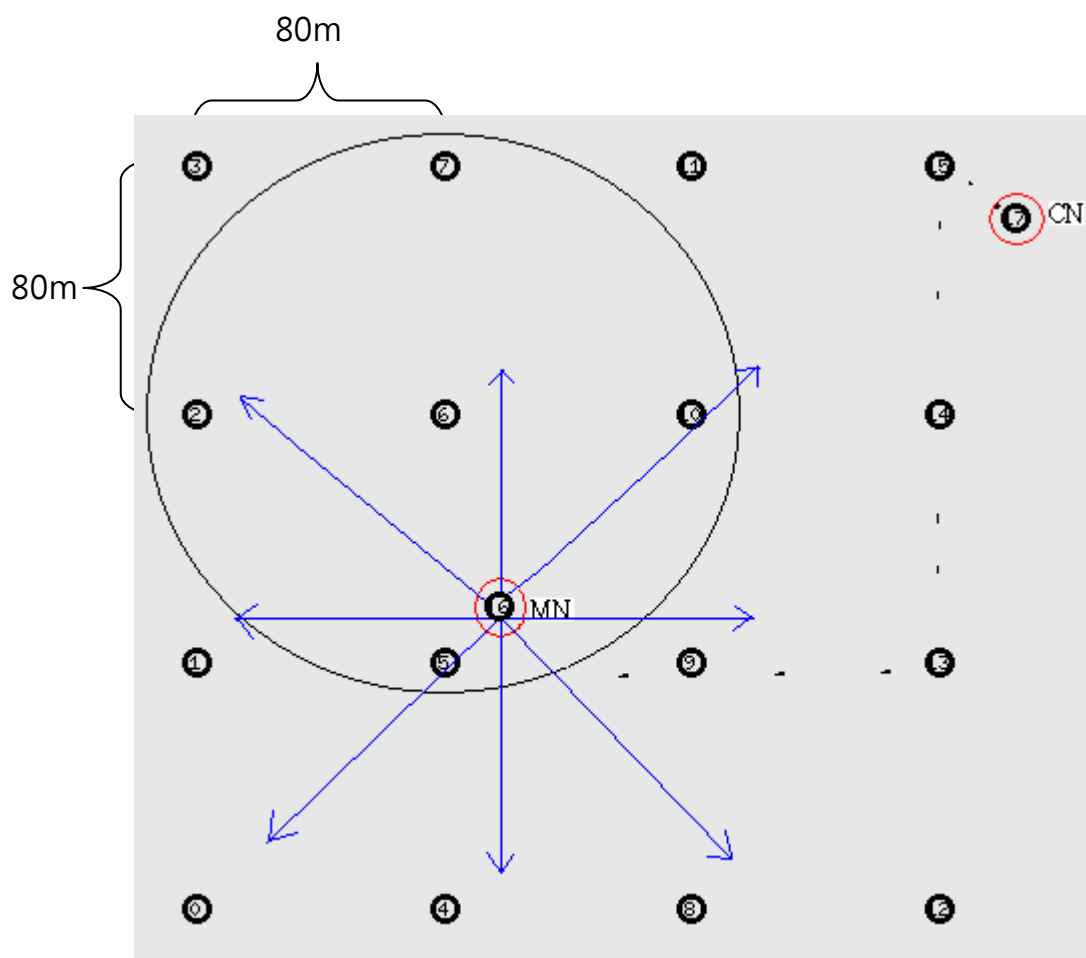


Figure 5-1 模擬環境 I

為了模擬 Location Tracking 的行為，我們將 Location Registrar (LR) 設置在每個 Mesh 節點上逐一進行 100 次模擬實驗，並且將以各節點為 LR 所產生的 Control message 數取平均值。

為了模擬 Handover 的行為，會在網路趨於穩定之後一段時間，進行交遞。MN 會以 Random 的方式往鄰近的節點移動。CN 會在整個模擬過程中一直與 MAP 15 連結，並與 MN 進行 600 kbps 的 CBR Traffic。進行模擬實驗時，持續增加 Background Traffic 的數目，並對於不同連結更新方法逐一進行 100 次模擬實驗，分別記錄其傳送及接收的封包數、封包繞送的 Hop 數、Proxy Update 延遲時間等，再將記錄到的數據予以平均，並在下個小

節列出比較結果。其中PSF (Progressive Shortcut Forwarding)代表我們所提的連結更新方法，Ant為3.3.1.2節所介紹的研究方法，MIP為3.3.1.1節所介紹的MIPv6 所支援的Route Optimization。各項環境及參數說明可參考Table 5-1。

Table 5-1 模擬參數

| | |
|--------------------|-----------------|
| NS 2 版本 | 2.33 |
| MAC 層協定 | IEEE 802.11 MAC |
| PHY 層協定 | IEEE 802.11 PHY |
| Routing 協定 | HWMP |
| 分布區域大小 | 500m x 500m |
| 訊號傳輸最大距離 | 100m |
| 節點個數 | 16 |
| Data Traffic | 600 kbps CBR |
| Background Traffic | 50 kbps CBR |
| 封包大小 | 512 byte |
| 重複實驗次數 | 100 |
| 模擬時間 | 30s |

5.3. 實驗結果與分析

首先針對 Mesh 節點在執行 Location Tracking 的行為進行模擬，將本篇論文所提出之 Proxy Resolution and Update (PRU)方法與 AODV 在執行 Location Tracking 時所產生的 Control Message 數作比較，參考 Figure 5-2 中我們可以很明顯的觀察出 PRU 所產生的 Message 數遠低於 AODV。這是因為 PRU 都只使用 Unicast Control Message 但是 AODV 卻會產生 Broadcast Control Message。

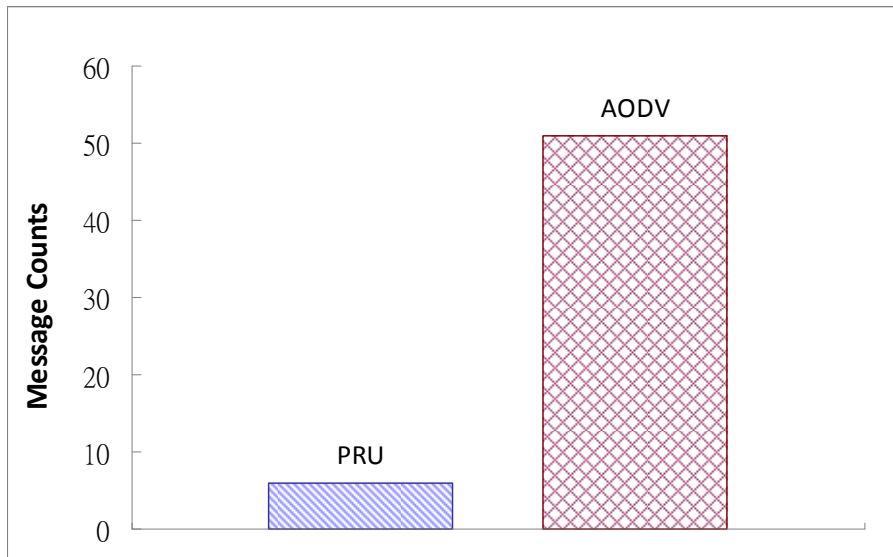


Figure 5-2 控制訊息數量

接著針對行動節點 (MN)移動時的網路的行為進行模擬，並比較不同方法在 Handover 的過程中對轉送封包以及網路頻寬帶來的影響，以及隨著 Background Connections 的增加，對於 Proxy Update 延遲時間、Packet Loss Rate 等所產生的影響。

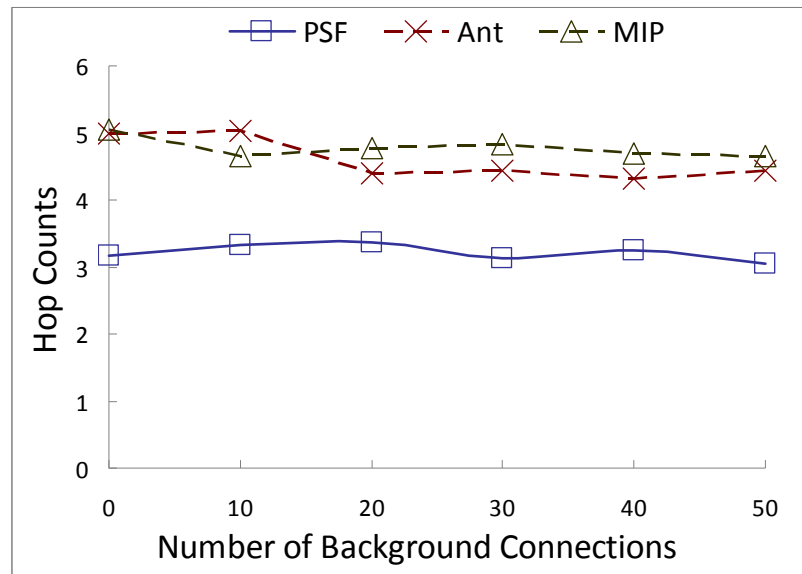


Figure 5-3 網路連線數與所需 Hop count 的關係

Figure 5-3 中，橫坐標代表 Background Connection 數目的增加，縱座標是封包轉送過程中所需經過的 Hop 數。不難發現本篇論文所提出之連結更新方式 (PSF) 其平均 Hop 數會比 Ant 及 MIP 少許多。這是由於 Ant 及 MIP 的連結更新機制都必須等到 Source Serving Proxy 收到更新訊息後才會更改封包傳送路徑，在此之前兩種方法都必須透過舊的 Destination Proxy (MAP 0) 轉送封包，所以封包轉送所需的 Hop 數都會固定；然而 PSF 由於在連結更新訊息傳送的過程中，即可改變封包轉送的路徑，所以傳輸所需經過的平均 Hop 數會比其他兩種方法還要少。

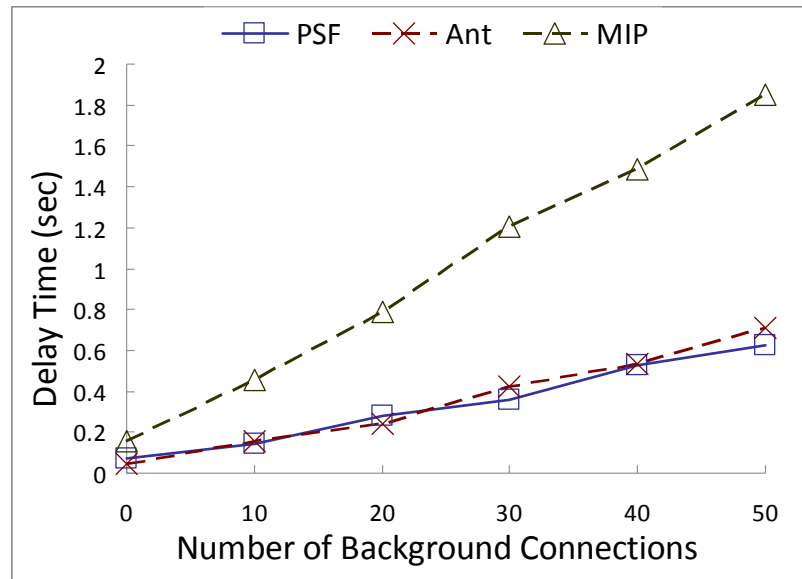


Figure 5-4 網路連線數與 Proxy Update Delay 的關係

Figure 5-4 是完成 Source Proxy 的 Proxy Table 更新所需時間，橫坐標代表 Background Connection 數目的增加，縱坐標是更新所需時間。由圖中可以看到，PSF 及 Ant 完成更新所需花費的時間幾乎差不多，原因是兩者的更新訊息的傳遞方向相同；此外，MIP 完成更新所需花費的時間高於前兩者，這是因為 MIP 更新訊息的動作是分成兩段來進行，MN 連上的新 MAP 先是對舊 MAP 發出更新訊息，然後要等到收到舊 MAP 的轉送封包後再對 Source Proxy 發出更新，雖然過程中所需經過的 Hop 數與前兩個方法相同，但是分段進行後就造成延遲時間增加。

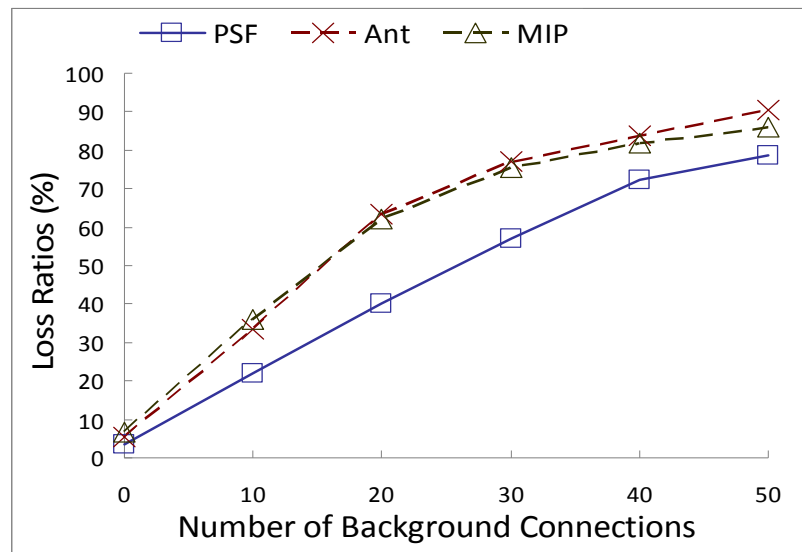


Figure 5-5 網路連線數與 Packet Loss Rate 的關係

然而參考 Figure 5-5，代表在 Handover 的過程中需要被 Forward 封包的遺失率，橫坐標代表 Background Connection 數目的增加，縱座標是封包遺失率。由圖中可以看到 PSF 的封包遺失率隨著 Background Connection 數目的增加而平均低於 Ant 及 MIP，造成這個現象的原因是 Wireless Link 本身隨著 Relay 的 Hop 數增加，封包的遺失率也會隨之增加，參考 Figure 5-6：在有固定 Background Connections 的情形下，隨著 Relay 的 Hop 數增加，封包的遺失率增加的情形。根據 Figure 5-3，Ant 及 MIP 的平均轉送所需 Hop 數相近且均較 PSF 高，所以 Figure 5-5 中 Ant 及 MIP 的封包遺失率相近也都較 PSF 來的高。

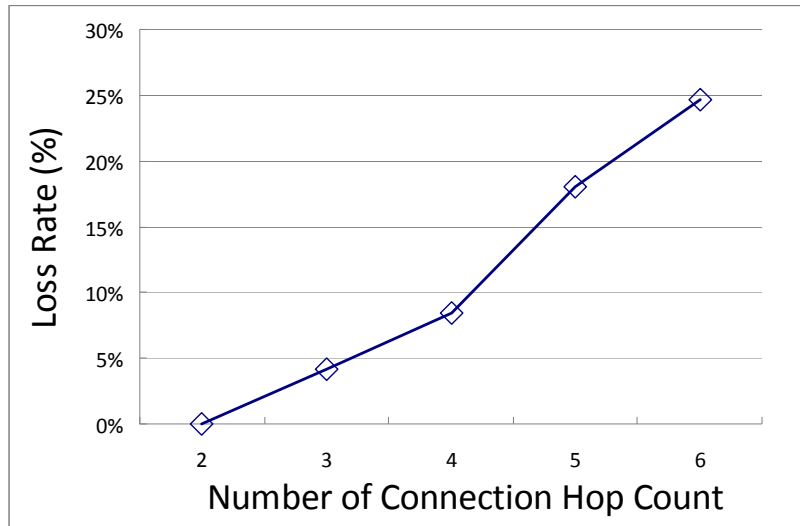


Figure 5-6 連線 Hop 數與 Packet Loss Rate 的關係

參考 Figure 5-3 平均轉送所需 Hop 數，以及 Figure 5-7 在 Handover 過程中新 MAP 所收到需要被轉送的封包數，就可以得到總共需要使用多少 Message 數 ($\text{Packets} \times \text{Hop Count}$)。Message 數目越大表示需要佔用的網路頻寬越多。由 Figure 5-8 可以看出 PSF 佔用的網路頻寬最少，但是如果加上封包遺失率的考量，參考 Figure 5-5，Ant 及 MIP 在 Handover 期間送出的封包會比實際收到的還要多，所以整體所需的 Message 數會更多，佔用的網路頻寬也會更多。

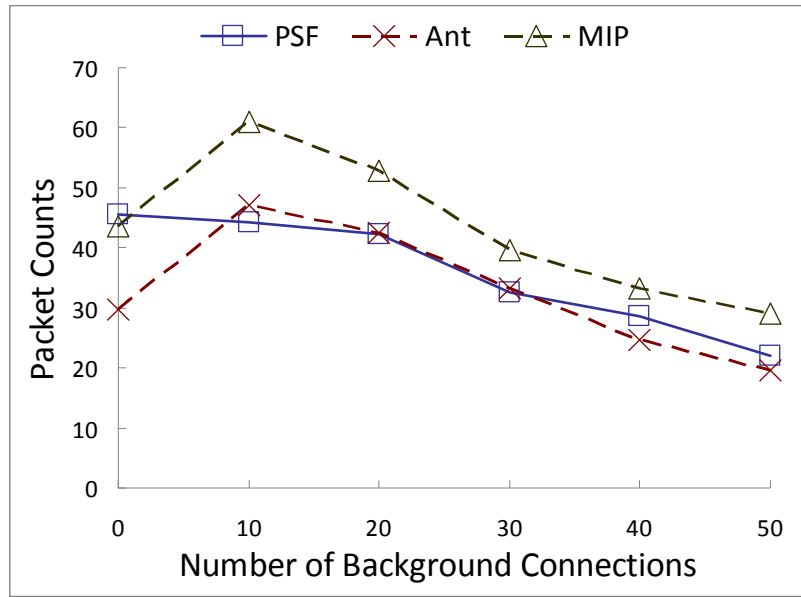


Figure 5-7 網路連線數與收到轉送封包數的關係

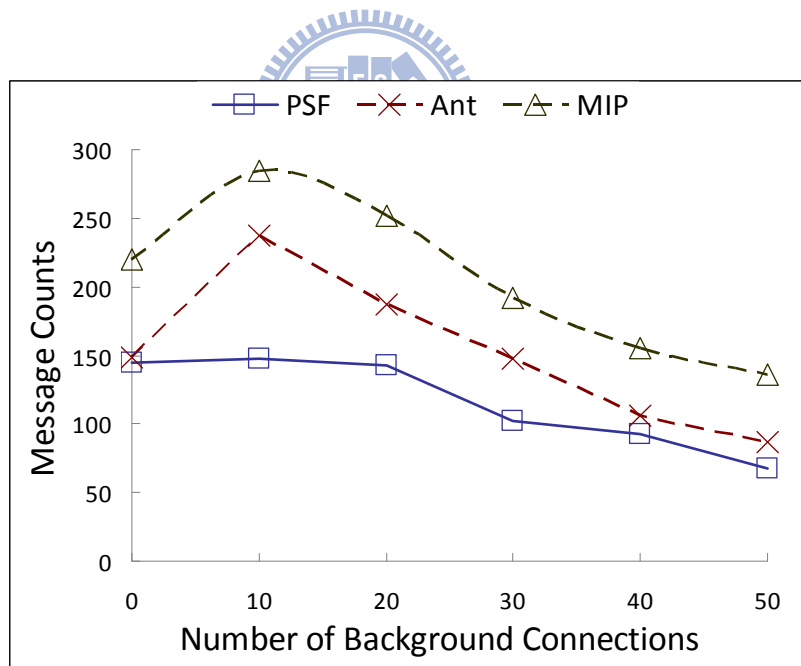


Figure 5-8 網路連線數與 Total Message Counts 的關係

第二個實驗環境如 Figure 5-9 所示，在 500m x 500m 的空間中，佈建 36 個 MAP，其餘實驗環境參數均與第一個實驗相同，不同的是，2 個負責通訊的行動節點 MN、CN，MN 同樣的往目標 MAP 移動，而 CN 的位置每次實驗均不同，如圖，CN 每次實驗會變更所連結上的 MAP，讓整個連線所需的 Hop 數變長。

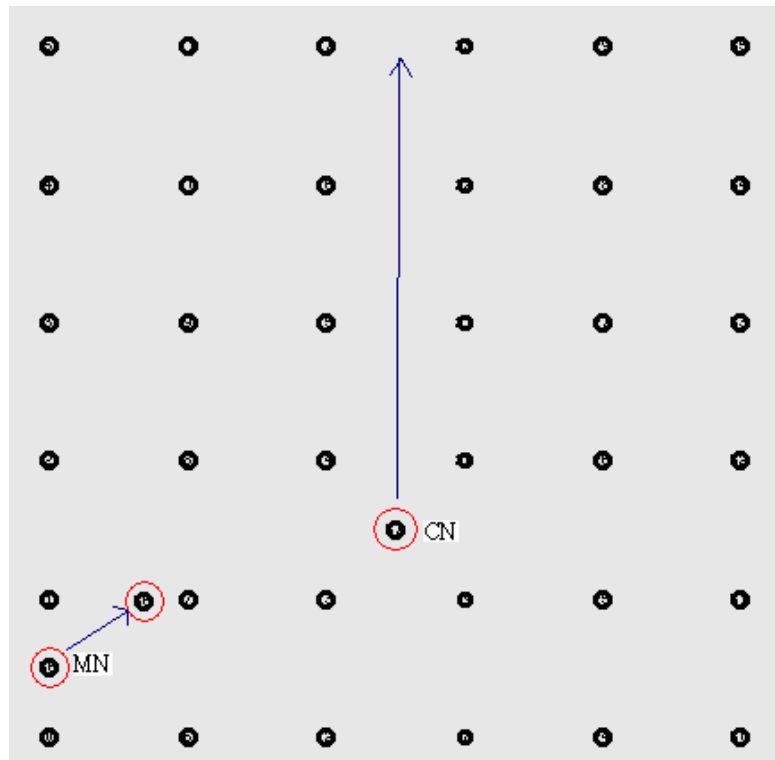


Figure 5-9 模擬環境 II

參考 Figure 5-10，我們觀察在一定的 Background Connections 下 Handover 的過程中所產生的總 Message 數會隨著連線 Hop 數目的增加而增加，橫坐標代表連線 Hop 數目的增加，縱座標是產生的 Message 數。由圖中可以看出隨著原先所建立連線的 Hop 數增加，Ant 及 PSF 所產生 Message 數會越高於 PSF，這是由於連線的 Hop 數增加導致完成 Proxy Update 的 Delay 也會跟著增加，所以需要被轉送的封包數也會增加，再加上 Ant 及 MIP 的平均轉送所需 Hop 數高於 PSF。

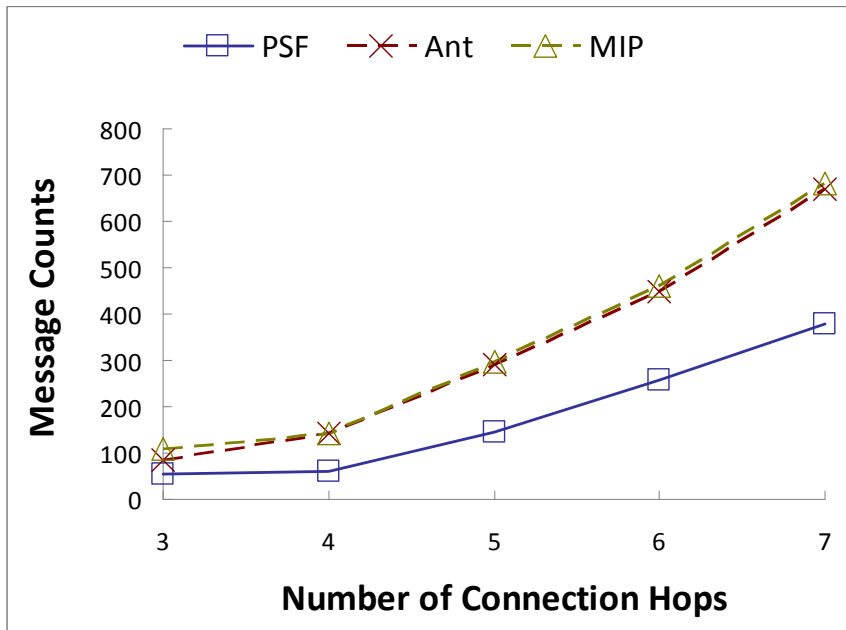


Figure 5-10 連線 Hop 數與 Total Message Counts 的關係

最後我們設計另外一個實驗環境來觀察 PSF 的方法在各個的 Forwarding Point 所能轉送的封包分佈情形。轉送所需 Hop 越少表示越接近 Source Proxy。

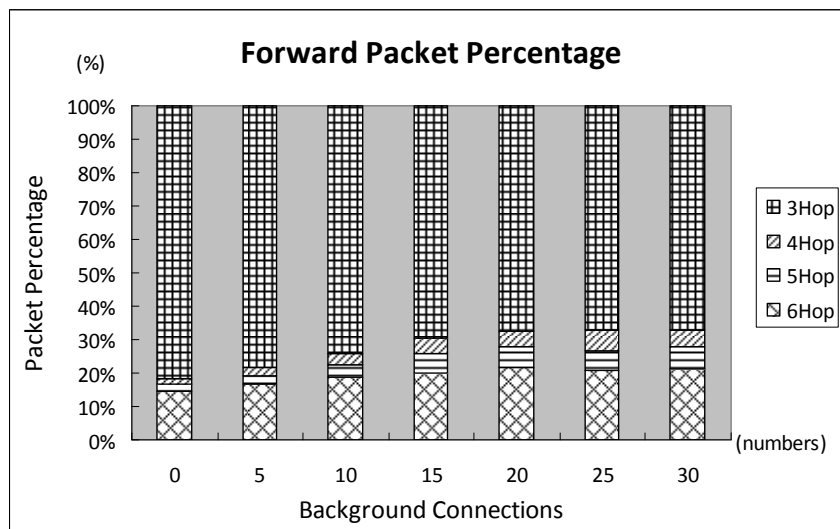


Figure 5-11 網路連線數與 Forwarded Packet Percentage 關係

由 Figure 5-11 可以看出大部分封包都集中在 3 Hop 的 Forwarding 其次是 6Hop，這是因為 CN 所送出的封包速率遠高於 802.11s WMNs Multi-hop Relay 所能承受的速率所以大部分封包會被 Queue 在 Source Proxy，導致 Handoff 過程中有大量封包會經由 Source Proxy 的下一個節點轉送，圖中最遠的轉送 Hop 數是 6 個，代表經由舊 Serving Proxy 轉送所需的 Hop 數，由於從 Handover 開始到舊 Serving Proxy 送出 Proxy Update message 之前，路徑上的封包都必須經由舊 Serving Proxy 轉送，所以需要轉送的封包比例也較高。

由模擬結果可以看出，我們提出的位置管理與流暢換手機制中，PRU 是一個僅需使用少量 Control Messages 就能達到 Location Tracking 的方法，而 PSF 是一個可以縮短平均 Forwarding Path，並且具有低 Proxy Update 延遲、低 Packet Loss Rate 而且具有節省網路頻寬的方法，因此能對 802.11s WMNs 提供良好的行動性支援。但實驗環境的設計仍然有待補強，不同的實驗參數能夠凸顯 PSF 方法，適合多大規模的網路環境，或是封包速率不同對於 PSF 有什麼樣的影響，以及不同型態的網路連線 (TCP、RTP 等)所造成的影響。

第六章 結論與未來工作

6.1. 結論

我們所提出的位置管理與流暢換手機制當中，當行動裝置加入網路時，其所連結的 Serving Proxy 即向 LR 進行位置註冊。當 Source Proxy 的 Proxy Table 發生 Lookup Miss 轉而將封包送往 LR，LR 會透過 Proxy 的解析及更新機制完成 Packet Forwarding 以及更新 Source Proxy 的 Proxy Table。如果行動裝置發生 Handover 可以透過逐步最佳化路徑轉送機制來完成 Packet Forwarding，由舊的 Serving Proxy 送出 PU 更新 Source Proxy 的 Proxy Table。此外，我們針對 Packet Forwarding 在 Inter ESS Handover 的缺失，提供動態位置更新機制，能在不同 Handover 環境中順利完成 Packet Forwarding。

我們的解決方案除了提供 802.11s WMNs 對行動性的支援，也能應用在連線端點同時移動的環境，除了 Location Management、Smooth Handover 等基本功能外，同時也具有節省頻寬、低延遲、低遺失率等特色，適用於無線的傳輸環境，總體歸納具有以下特色：

- 行動性支援：透過兩層式 Proxy Table 架構能滿足 Location Tracking 及連線建立的需求，且不需要 Flooding message 來維護 Proxy Table。
- 低訊息量：LR 所執行的 Proxy 的解析及更新機制，省去連線建立時為了找尋 Destination Proxy 所產生 Broadcast messages 的 Overhead。此外，無須特定的 Query message，LR 就可以根據

封包的 Address Fields 與 Proxy Entry 的對應，感測出來源節點 Proxy Table 發生查找誤失，主動送出 PU 更新。

- 減少頻寬浪費：逐步最佳化路徑轉送機制，對於平均轉送封包所需路徑較短，可以減少頻寬浪費。
- 低延遲時間：相較於其他研究方法，傳送 PU 所需的時間較短。
- 降低封包遺失率：逐步最佳化路徑轉送機制對於平均轉送封包所需路徑較短，所以可以降低封包在無線傳輸過程中的遺失率。
- 支援 Inter ESS Handover：動態位置更新機制提供在不同 Handover 環境中皆能順利完成 Packet Forwarding。



6.2. 未來工作

由於本篇論文所提的方法皆假設各 MP 間的路徑已經建立，因此省去建立路徑所需的時間及訊息數量，不過一旦路徑有所變動，我們實驗結果中相關的延遲時間及訊息數量都可能有所改變，這是接下來可以繼續觀察的實驗結果。

另外，由於逐步最佳化轉送路徑使用的環境是基於假設 AODV 所建立路徑是對稱的情形，也就是正向及反向路徑會是同一條，但是實際環境上卻有可能產生不對稱的路徑。雖然實作上，依然可以沿著封包來的反方向，將 PU 送往前一個 MP，不過這樣每次都要等待封包才能繼續往前遞送，反而增加延遲時間。因此，如何能解決在不對稱路徑的環境中完成逐步最佳化轉送路徑，將會是我們未來研究的目標。

最後，我們目前所討論的 Mobility 環境都是在相同的 WMN 下，然而在實際的使用環境中，我們常會遇到跨不同 WMN 的 Mobility 使用環境。未來的研究方向可以針對跨越不同的 WMN 提出更有效率的位置管理與流暢換手機制，或是設計出其他行動性支援機制可適用於跨越不同 WMN 的環境等。

參考文獻

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 9, pp. 23-30, Sept., 2005.
- [2] IEEE 802.15 WPANTM Task Group 5. Available: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG5.html>.
- [3] IEEE 802.11s TG, Status of Project IEEE 802.11s "ESS Mesh Networking". Available: http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.html.
- [4] IEEE 802.16's Relay Task Group. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay/index.html>.
- [5] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing" RFC 3561, July, 2003.
- [6] J. Xie, X. Wang, "A Survey of Mobility Management in Hybrid Wireless Mesh Networks," *IEEE Network Magazine*, vol. 22, no. 6, pp.34-40, Nov./Dec., 2008.
- [7] J. Lin, S. Rangarajan, "LIHP: A Low Latency Layer-3 Handoff Scheme for 802.11 Wireless Networks," *In Proc. of 7th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, pp. 401-409, 2006.
- [8] V. Navda, A. Kashyap, S. R. Das, "Design and evaluation of iMesh: an infrastructure-mode wireless mesh network," *In Proc. of 6th IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, pp. 164-170, June, 2005.
- [9] C. E. Perkins, "IP mobility support for IPv4," RFC 3344, Aug., 2002.
- [10] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in Ipv6," RFC 3775, June, 2004.
- [11] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki, L. Bellier, "Hierarchical Mobile Ipv6 mobility management (HMIPv6)," RFC 4140, Aug.,

2005.

- [12] G. Koodli, "Fast Handovers for Mobile Ipv6," RFC 4068, Jul., 2005.
- [13] H. Y. Jung, E. A. Kim, J. W. Yi, H. H. Lee, "A scheme for supporting fast handover in hierarchical mobile Ipv6 networks," *ETRI journal*, vol. 27, no. 6, pp. 798-801, Dec., 2005.
- [14] S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, B. Patil, "Proxy Mobile Ipv6," RFC 5213, Aug., 2008.
- [15] E. Fogelstroem, A. Jonsson, and C. E. Perkins, "Mobile IPv4 regional registration," RFC 4857, June, 2007.
- [16] H. Wang, Q. Huang, Y. Xia, Y. Wu, Y. Yuan, "A Network-Based Local Mobility Management Scheme for Wireless Mesh Networks," *In Proc. of Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Hong Kong, Mar., 2007.
- [17] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, S.Y.Wang, "HAWAII: A Domain Based Approach for Supporting Mobility in Wide-Area Wireless Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol.10, pp. 396-410, 2002.
- [18] M. Ito, T. Shikama, A. Watanabe, "Proposal for a Wireless Mesh Network that Realizes Seamless Handover and Its Simulation Results," *International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, pp. 701-706, 2007.
- [19] The Network Simulator - ns-2, Available:
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [20] NS2 簡介與安裝, Available:
<http://blog.pixnet.net/NS2lab/post/5645626>
- [21] 網路類比環境 NS-2 模擬軟體簡介, Available:
http://net.zdnet.com.cn/network_security_zone/2007/0918/511555.shtml