

# 國立交通大學

資訊學院 資訊學程

碩士論文

IEEE 802.11 無線網路和 SIP-based VoIP 交遞之實驗與分析

An Empirical Analysis of IEEE 802.11 Wireless Networks and

SIP-based VoIP Handovers

研究生：洪嘉琪

指導教授：曾建授 教授

中華民國九十六年十月

# IEEE 802.11 無線網路和 SIP-based VoIP 交遞之實 驗與分析

研究生：洪嘉琪

指導教授：曾建超 博士

國立交通大學 資訊學院 資訊學程 碩士班

## 摘 要

本論文針對現有 802.11 無線網路及部署環境，利用 SIP-based 的 VoIP 軟體，分析現有無線區域網卡和微軟 Windows 系統之交遞 (handover) 行為以及交遞過程中跨階層的交互影響，並逐層探討與歸納這些行為所造成的各項延遲。在無線網路的環境裡，當行動節點在漫遊時，偵測到訊號品質降低而影響通訊穩定度時，為了能保持在通訊狀態，行動節點會重新找尋目標基地台 (Access Point, AP)，並與選定的目標基地台重新建立連線，這種交換基地台的過程稱為鏈路層 (link layer) 交遞。交遞的行為包含目標基地台探索 (probe)、認證 (authentication) 與連結 (association) 等三個步驟。

Mishra 等人[3] 在無線區域網路鏈路層交遞的實證研究中，指出基地台的探索是無線區域網路交遞程序中最耗費時間的步驟；但卻未探討無線區域網卡的實作與網路部署環境對鏈路層交遞所造成之延遲，也未分析鏈路層交遞對上層通訊協定行為的影響。各廠牌的無線區域網卡因設計思維所著重的層面不同，因此所產生的交遞延遲也有差異；在更壞的情況下，若行動節點所連線的目標基地台與原服務基地台分屬不同的網域，則鏈路層交遞會進一步觸發網路層之交遞，導致整個交遞時間過長。以網路語音 (Voice over Internet Protocol, VoIP) 即時應用軟體為例，過長的交遞時間可能會干擾甚至中斷現有的

語音通訊連線，影響通話品質。而且，若應用軟體本身對網路連線中斷是敏感的，則應用軟體需在網路連線恢復後與通訊對方重建應用層的通訊連線，這也意謂著延遲時間將拉的更長。因此，在本篇論文裡，我們透過有系統的方式，逐層分析及探討不同廠牌的無線區域網卡、不同的網路環境組態以及應用軟體實作上的差異的交遞行為，以及在交遞過程中跨階層的交互影響。

在這些實驗中，我們發現許多有趣現象。(一)鏈路層의交遞偵測(handover detection)對交遞延遲是有顯著影響的，且各廠牌無線區域網路卡設計的偵測方法也不相同。(二)無線區域網卡於交遞前後所連結的基地台屬於不同之 ESS，稱之為 inter-ESS；各廠牌無線區域網卡在基地台探索行為雖不相同，但在交遞的過程裡，大都傾向尋找原基地台所屬的延伸式服務組合 (Extended Service Set, ESS) 的基地台與之連線，因此當行動節點進行跨 ESS 漫遊時，這種保持同一 ESS 的特性，會導致較長的基地台探索延遲。(三)不同無線區域網路組態管理工具(例如 Windows Zero Configuration 及 Intel PROSet)，對基地台的探索行為也會產生影響。(四)當無線區域網路卡對所要連結的基地台下達連結請求時，普遍的實作方法仍會對所要連結的基地台送出探索訊息後，才會進行連結，這樣的作法比較沒有效率，尤其是當無線區域網卡不支援單點探索(unicast probe)時，基地台的探索會花費更長的時間。(五)鏈路層事件觸發(event triggers) 若沒有伴隨充足的資訊給上層通訊協定參考，鏈路層事件觸發會有正反兩面的效果。(六) 相對節點上的應用程式若有能力收送行動節點新 IP 位址的資料，也可縮短整體的交遞延遲。

# An Empirical Analysis of IEEE 802.11 Wireless Networks and SIP-based VoIP Handovers

Student: Chia-Chi Hung

Advisor: Dr. Chien-Chao Tseng

Degree Program of Computer Science  
National Chaio Tung University

## Abstract

In this thesis, we present the experimental results and analysis of the handover behaviors of the IEEE 802.11 wireless network (WLAN) and the cross-layer interaction between WLAN adapters and Microsoft Windows operating systems during handoffs using SIP-based VoIP applications. In wireless networks when a mobile node (MN) detects poor link performance (e.g., low received signal strength or signal-to-noise ratio, or high frame error rate), the MN may have to change its point of attachment to the Internet from one access point (AP) to another in order to retain its connection. The link-switch process is called a link layer handover, and involves AP probe, authentication, and association phases in 802.11 WLANs.

Mishra et al. have conducted an empirical study on link layer handover and shown that probe delay constitutes most of the link layer handover latency. However, they did not explore the handover delays caused by different WLAN adapters implementations and network deployments, and the effects of the link layer handovers on the behaviors of the upper layer protocols.. The link layer handover behaviors may vary with different WLAN adapters, resulting in different handover delays. Even worse, a link layer handoff may further cause a layer-3 network layer handover if the new AP is situated in another subnet. Such handover delays may disturb or even break an ongoing session, especially for real-time services, such as Voice over Internet Protocol (VoIP) applications, Furthermore, the implementation of the application software itself also affects the handover delays. Therefore,

in this thesis, we conduct a layer-by-layer analysis of handovers and investigate, systematically, the cross-layer effects of WLAN adapters, network configurations and application software on handover delays.

Our experimental study discovers several interesting results. First, link layer handover detection has a significant effect on handover delays and different WLAN adapters adopt different heuristic approaches to link layer handover detection. Second, different WLAN adapters employ different probe behaviors, and most WLAN adapters first look for the APs in the same extended service set (ESS) as the AP the adapter currently associates with during handovers. The adherence to the same ESS may contribute a significant amount of probe delay when a WLAN adapter makes an inter-ESS movement, that is, from the coverage area of an AP to the one of another AP in a different ESS. Third, different configuration tools, such as Windows Zero-configuration or Intel PROSet, of WLAN adapters have different probe behaviors. Fourth, the probe-before-associate of WLAN adapters makes direct connection inefficient, especially when WLAN adapters do not support unicast probes. Fifth, the most interesting observation, link layer event triggers have both their pro and con if not accompanied by sufficient information. Finally, the capability for applications to receive/send data from/to the new IP address of a corresponding node will shorten the overall handover latency.

## 誌謝

本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授—曾建超 博士在這三年來給予我論文耐心的指導及幫忙。在論文方向尚未明朗化時，能循循善誘引導我往正確的方向，也在論文實驗進行的過程中，能及時指正我疏忽及未考量的地方。同時也要向我的口試委員：曹孝櫟 博士、張弘鑫 博士、嚴力行 博士致上謝意，感謝他們能在百忙中撥空審查我的論文並給予寶貴的參考意見，使得本論文能夠更趨於完善。

另外也非常感謝張弘鑫學長及李勇昇學長，感謝他們在百忙中仍能抽空指導我的論文，包括實驗進行時所碰到的難題及在論文寫作時所給予我在文章架構及完整性的寶貴意見。也非常感謝實驗室的同學們及學長學弟妹們在我論文進行的過程中給予的任何協助。也謝謝我公司的老闆—高遠忠 先生，在我論文寫作期間給予的諸多意見及幫忙。也謝謝我的好朋友曉玲、清茹、碧如、亭翰等好友，在我碰到困難或挫折時能給予我精神上的鼓勵與實質的幫助，讓我能順利的克服難關。由衷的將此論文成果獻給一路支持我的家人，沒有您們的體諒及鼓勵，就沒有今天的我。

最後 謝謝上帝吧!



# 目 錄

摘 要 .....	i
Abstract.....	iii
表目錄 .....	viii
圖目錄 .....	ix
第 1 章 緒論 .....	1
1.1 研究動機 .....	1
1.2 研究目標 .....	1
1.3 論文內容 .....	1
第 2 章 研究背景與相關論文研究 .....	3
2.1 IEEE 802.11 無線網路架構 .....	3
2.2 無線網路下的交遞動作 .....	4
2.3 SIP (Session Initiation Protocol) .....	6
2.3.1 簡介 .....	6
2.3.2 呼叫流程 (Call Flow).....	7
2.4 相關論文探討 .....	8
第 3 章 各種交遞行為之設計 .....	13
3.1 基本交遞流程 .....	13
3.1.1 鏈路層交遞行為 .....	13
3.1.2 網路層交遞行為 .....	15
3.1.3 應用層交遞行為 .....	16
3.2 跨階層之快速交遞方法 .....	17
3.3 交遞觸發機制及量測環境方法 .....	19
3.4 交遞延遲之計算 .....	23
3.4.1 一般交遞機制之延遲時間計算 .....	23
3.4.2 快速交遞機制之延遲時間計算 .....	26
第 4 章 鏈路層之交遞延遲量測與結果分析 .....	28
4.1 實驗工具 .....	28
4.2 實驗環境 .....	30
4.3 交遞行為之分析 .....	32
4.3.1 交遞行為分析 .....	32
4.3.1.1 Intel 無線區域網卡 .....	34
4.3.1.2 Z-Com 無線區域網卡 .....	37
4.3.1.3 D-Link 無線區域網卡 .....	39
4.3.1.4 Cisco 無線區域網卡 .....	43
4.3.1.5 小結 .....	45

4.3.2 各交遞觸發方法之數值分析 .....	48
4.3.2.1 Method 1 – 自然轉換服務基地台 (Decrease the Tx power of current AP).....	48
4.3.2.2 Method 2 – 強制關閉服務基地台電源(Power off the current AP)..	51
4.3.2.3 Method 3 基地台強迫接續法(Direct Association) .....	53
4.3.3 小結 .....	55
4.4 交遞觸發機制對交遞延遲之影響 .....	56
4.4.1 Intra ESS – Search phase.....	56
4.4.2 Inter ESS – Search phase.....	58
4.5 無線網路組態管理工具對網路探查行為之影響 .....	60
4.5.1 Intra ESS.....	60
4.5.2 Inter ESS.....	61
4.5.3 小結 .....	62
4.6 基地台對 Authentication 及(Re)Association 之延遲影響 .....	65
4.7 鏈路層交遞分析小結 .....	67
第 5 章 其他量測結果與綜合分析 .....	68
5.1 網路層交遞 .....	68
5.1.1 網路層交遞行為與延遲分析 .....	68
5.1.1.1 行為分析 .....	68
5.1.1.2 總延遲時間 .....	72
5.1.1.3 各階段交遞之延遲 .....	74
5.1.1.4 鏈路層對網路層交遞延遲之影響與分析 .....	75
5.1.2 網路層交遞延遲之改善 .....	76
5.2 應用層延遲時間分析 .....	77
5.2.1 IP Sensitive scheme .....	77
5.2.2 IP Not-aware scheme.....	79
5.3 總體交遞延遲 .....	80
第 6 章 結論與未來工作 .....	84
6.1 結論 .....	84
6.2 未來工作 .....	86
參考文獻 .....	87

## 表目錄

Table 3-1 Handoff Environment .....	19
Table 4-1 Inter ESS - Link layer handoff latency for different WLAN Cards .....	45
Table 4-2 Link layer latencies: decrease the tx power for intra ESS .....	50
Table 4-3 Link layer latencies: decrease the tx power for inter ESS .....	51
Table 4-4 Link layer latencies: power off for intra ESS.....	52
Table 4-5 Link layer latencies: power off for inter ESS.....	52
Table 4-6 Link layer latencies: direct association for intra ESS .....	53
Table 4-7 Link layer latencies: direct association for inter ESS .....	54
Table 4-8 Link layer latencies of search phase for intra ESS.....	57
Table 4-9 Link layer latencies of search phase for inter ESS.....	59
Table 4-10 Intel - Power off the current AP for zero configuration v.s. wireless utility	63
Table 4-11 Intel - Decrease the Tx power of current AP for zero configuration v.s. wireless utility.....	64
Table 4-12 Authenticaiton , (Re)Association latencies : Z-Com AP vs. Cisco AP .....	66
Table 5-1 DHCP Time of different WLAN cards .....	72
Table 5-2 Case 3 : Network layer latencies for different WLAN cards.....	73
Table 5-3 Latencies of network handoff detection and DHCP for case3.....	74
Table 5-4 Case 4 - network layer latencies.....	74
Table 5-5 Case 2 - network layer latencies.....	74
Table 5-6 Case 3 - network layer latencies.....	74
Table 5-7 Network layer latencies after improving .....	76
Table 5-8 $t_{ReInit}$ latencies .....	78
Table 5-9 $t_{MNUdate}$ latencies .....	78
Table 5-10 $t_{CNUdate}$ latencies.....	78
Table 5-11 Application layer latencies (IP Not-aware) .....	79
Table 5-12 MN perceivable handoff latencies .....	80
Table 5-13 CN perceivable handoff latecies.....	81
Table 5-14 Overall latencies of Inter-ESS, Intra subnet.....	82

## 圖目錄

Figure 2-1 BSS transition (Adapted from [17]).....	4
Figure 2-2 ESS transition (Adapted from [17]).....	5
Figure 2-3 SIP architecture .....	6
Figure 2-4 SIP call flow .....	7
Figure 2-5 SIP Re-Invite Message Flow.....	8
Figure 3-1 Network layer handoff.....	16
Figure 3-2 Re-Invite message .....	20
Figure 3-3 RTP header .....	22
Figure 3-4 IP Not-aware.....	22
Figure 3-5 Link-layer handoff procedures and delays .....	23
Figure 3-6 Network layer handoff procedures and delays.....	24
Figure 3-7 Application layer handoff procedures and delays.....	25
Figure 3-8 Direct association procedures and delays .....	26
Figure 3-9 Pre-allocation procedures and delays.....	27
Figure 4-1 Intra subnet - Intra ESS/Inter ESS Environment .....	30
Figure 4-2 Inter subnet - Intra ESS Environment.....	31
Figure 4-3 Inter subnet - Inter ESS Environment.....	31
Figure 4-4 link layer handoff latency with event triggering.....	33
Figure 4-5 Intel - Inter ESS (power off).....	36
Figure 4-6 Intel - Intra ESS (power off).....	37
Figure 4-7 Z-Com - Inter ESS (power off).....	38
Figure 4-8 Z-Com - Intra ESS (power off).....	39
Figure 4-9 D-Link - Inter ESS (power off).....	41
Figure 4-10 D-Link - Intra ESS (power off).....	42
Figure 4-11 Cisco - Inter Ess (power off).....	44
Figure 4-12 Cisco - Intra Ess (power off).....	45
Figure 4-13 Link layer latencies: decrease the tx power for intra ESS.....	49
Figure 4-14 Link layer latencies: decrease the tx power for inter ESS.....	50
Figure 4-15 Link layer latencies: power off for intra ESS .....	51
Figure 4-16 Link layer latencies: power off for inter ESS .....	52
Figure 4-17 Link layer latencies: direct association for intra ESS .....	53
Figure 4-18 Link layer latencies: direct association for inter ESS .....	54
Figure 4-19 Link layer latencies of search phase for intra ESS .....	57
Figure 4-20 Link layer latencies of search phase for inter ESS .....	59
Figure 4-21 Intra ESS: Authentication latency - Z-Com AP vs. Cisco AP.....	65

Figure 4-22 Intra ESS: Association latency – – Z-Com AP vs. Cisco AP .....65

Figure 4-23 Inter ESS: Authentication latency – Z-Com AP vs. Cisco AP.....66

Figure 4-24 Inter ESS: Association latency – – Z-Com AP vs. Cisco AP .....66

Figure 5-1 Network layer latencies : Intra Subnet – Inter ESS.....69

Figure 5-2 Network layer latencies : Inter Subnet – Intra ESS.....70

Figure 5-3 Network layer latency : Inter Subnet – Inter ESS .....71

Figure 5-4 Case 3 :Network layer latencies for different WLAN cards.....73

Figure 5-5 Latencies of network handoff detection and DHCP for case 3 .....73

Figure 5-6 Network layer latencies after improving.....76

Figure 5-7 Application layer latencies (SIP Re-Invite) .....77



# 第1章 緒論

## 1.1 研究動機

近年來隨著無線通訊技術的成熟與快速發展，人們利用無線連上網際網路，使用各項服務的需求也愈來愈普遍。而無線區域網路的架設因簡單且價錢便宜，不管是在企業、學校、家庭都廣受歡迎，甚至在公眾場合也被普遍採用。但無線區域網路受其基地台較小涵蓋範圍所影響，容易因短距離內的移動而發生基地台甚或跨子網域的交遞。

在無線區域網路裡，行動節點因漫遊而使得接收自原(舊)服務基地台的訊號強度或訊號品質衰減，為了保持在通訊狀態，此時行動節點會重新尋找目標基地台，並與之重新建立連線，所引發一連串的程序稱之為鏈路層交遞；而交遞前後所連線的目標基地台若分屬於不同子網域，則會引發網路層以上的交遞，這也勢必加長交遞延遲。以 VoIP 應用軟體為例，過長的交遞延遲會讓語音的傳送延遲或中斷，進而影響到通話品質；若 VoIP 應用軟體對於網路連線中斷是敏感的，也意謂著延遲會再拉長。

關於交遞發生後，所產生的延遲及如何縮短，從鏈路層到應用層已有不少的研究及改善方法被提出 [3]-[11]，但缺乏以更詳盡的方式分析與探討在無線區域網卡的不同實作與部署環境對鏈路層交遞所造成之延遲及行為有那些？以及交遞過程中跨階層之間的交互影響為何？因此，本論文以此為出發點，有系統的分析在這些狀況下的交遞過程，並試圖釐清相關問題。

## 1.2 研究目標

本論文之研究目標可分二，第一部分是以前述 SIP-based 的 VoIP 軟體作為實際量測交遞的標的，分析不同廠牌的無線區域網卡和微軟 Windows 系統的交遞行為，再配合不同網路環境組態以及應用軟體在實作上的差異，觀察在不同網路架構層之間的交遞行為及量測其延遲，並解析各層之間的交互影響為何。

第二部份則是根據前述量測所得及結果分析，總合套用各種縮短延遲的方法，經進行實際量測，分析其改善之效益。

對 VoIP 相關應用而言，在通話的過程中，中斷期間過長，是使用者無法接受的，對於縮短交遞延遲，已有不少學者提出如何縮短或排除這些延遲的理論，而本論文則將各種網路環境均納入考量範圍內，透過實際量測得到的結果及行為的分析與歸納，提供全盤性的資料來源，給想要跨入此研究領域的學者，能夠清楚的了解在真實網路環境下，VoIP 軟體於交遞時可能引發的延遲及問題為何。



## 1.3 論文內容

關於本篇論文的內容簡述如下：

### 第一章 緒論

描述本篇論文的研究動機及研究目標。

### 第二章 研究背景與相關論文研究

介紹SIP與交遞的行為流程，並分析其所造成的跨網域交遞延遲，而為了達到快速交遞目標，有哪些相關方法被提出。

### 第三章 各種交遞機制之設計

在此將介紹實驗方法及測試流程

### 第四章 鏈路層之交遞延遲量測與結果分析

在此將詳細介紹鏈路層量測所得結果及行為分析。

## 第五章 量測結果及分析

除了網路層及應用層的量測結果及行為分析外，也會在此章節裡詳列行動節點及相對節點在各種測試案例下，交遞時所造成的總延遲時間為何。

## 第六章 結論與未來工作

對本文作出結論並提出未來可繼續研究的方向



## 第2章 研究背景與相關論文研究

### 2.1 IEEE 802.11 無線網路架構

在無線網路的環境下，依照提供的服務形態可分為 independent basic service set (IBSS)，及 infrastructure basic service set (infrastructure BSS)，在 IBSS 的網路環境下，行動節點之間不需要經由基地台即可彼此互相通訊，也稱之為 ad hoc network，而 Infrastructure BSS 則需有基地台參與其中，所有行動節點的資料傳輸均須透過此基地台傳送，就算是行動節點要互相通訊，也須經由基地台幫忙將資料轉送，一般的無線網路服務即是此一類型。

為了擴充涵蓋範圍，將多個 BSS 聚集為一，稱之為 ESS (Extended Service Set)，所有位於同一 ESS 下的基地台，會使用相同的 SSID (Service Set Identifier)，也就是一般所稱的網路名稱，在無線網路的環境裡，SSID 是一組字串，所定義出來的名稱，用來區分不同的 WLAN，最大長度是 32 bytes，此名稱是被網路管理者所命名，就像一般公司名稱一樣，不同的 SSID 名稱則用以區隔出不同的 WLAN。當行動節點主動探查鄰近地區有那些可用無線網路時，所發出的 probe request 訊息可以指定原服務基地台的“網路名稱“，或是使用 broadcast SSID<sup>1</sup>，收到 probe request 的基地台會查看自己是否屬於此網路，若是才會回覆 probe response，若 SSID 是屬於 broadcast 型式，則收到 probe request 訊息的基地台均會回覆 probe response。

---

<sup>1</sup> broadcast SSID: 不指定特定的 SSID 值，其訊息有兩種型式，一為 SSID 長度為 0，以下以 NULL 表示，二為長度為 32 bytes 且含不可列印的 ascii 字元，以下以 ANY 表示。

## 2.2 無線網路下的交遞動作

在 WLAN 裡，對於使用者行動性的支援，可以分為下列三種：

### 1. 不轉換：

行動節點也許是靜止或在移動的過程中，並未超出目前基地台的覆蓋範圍，則不會發生基地台的轉換。

### 2. BSS (Basic Service Set) 轉換— Intra ESS

行動節點在移動的過程中，超出服務基地台的覆蓋範圍，而移動至下一目標基地台涵蓋範圍內。且這些基地台屬於相同的 ESS。為一般所稱的無間隙的交遞 (seamless handover)。

Figure 2-1 表示 BSS 的轉換過程。此圖中 AP1、AP2、AP3 同屬於相同的 ESS，在  $t=1$  的時間內，行動節點位於 AP1 的覆蓋範圍內，於  $t=2$  的時間時，行動節點已移動至 AP2 的覆蓋範圍，此時則發生 BSS 的轉換。而行動節點會要求與 AP2 重新連線，於完成連線後，AP2 會將資料轉送至行動節點。

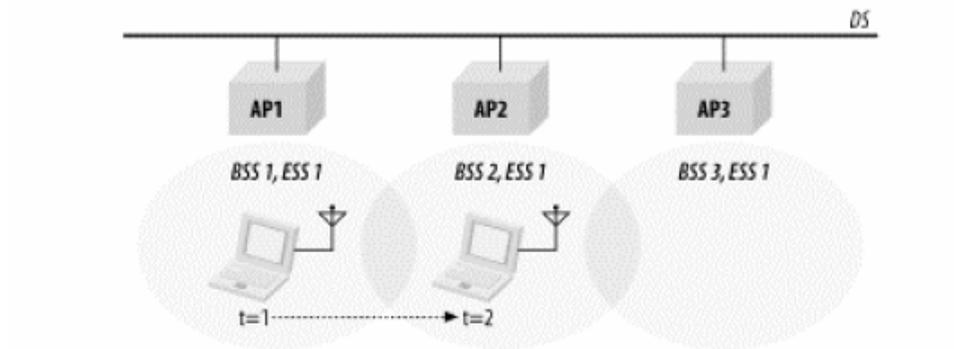


Figure 2-1 BSS transition (Adapted from [17])

### 3. ESS (Extended service set)轉換— Inter ESS

行動節點在移動的過程中，從某個 ESS 移動到另一 ESS 的涵蓋範圍。Figure 2-2 裡，共有四個 BSS 被劃分為兩個 ESS，行動節點從 ESS1 的覆蓋範圍移動至 ESS2 的覆蓋範圍內，因 802.11 不支援無間隙的 ESS 轉換，故在這之前作用中的網路連線均會中斷。

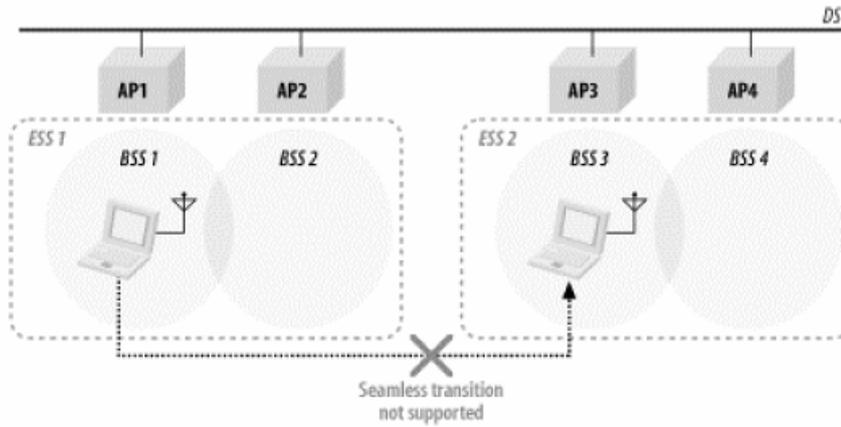


Figure 2-2 ESS transition (Adapted from [17])



## 2.3 SIP (Session Initiation Protocol)

### 2.3.1 簡介

SIP 為一應用層的訊息控制協定，用來建立及管理參與者之間的訊息交流。SIP 提供多種不同的運用，這些運用從即時文字訊息的交換到語音資料的傳輸，均可配合相關的傳輸協定一起完成。一般最常見的運用為網路電話，SIP 負責訊息的傳輸及協調，而取得雙方可支援的語音編碼型態，RTP (Realtime Transport Protocol) 透過此資訊則可送出對方支援的語音編碼封包。SIP 與 HTTP 相似，使用簡單的 Text based 作為訊號交換的方式，有兩種訊息型態，一種為 request message，另一種 response message。request message 例如：REGISTER、INVITE、ACK, BYE, CANCEL, OPTIONS。而 response message 則以三位數字作為訊息的回覆型態。例如 200 表示訊息交換成功。

SIP 在 VoIP 的通訊協定架構裡，扮演著訊息控制的角色。Figure2-3 中表示利用 SIP 訊息建立雙方通話，在未正式通話前，透過 SIP 訊息交換協商出之後要建立通話的資訊。例如，要使用的通訊協定、語音資料的編碼方法等。而於完成通話資料的協商工作後，可用任何傳輸協定來支援語音的傳輸，通常是以 RTP 傳輸協定來完成。在邏輯上，訊號控制與實際的語音資料傳輸是分開的，這樣的好處是除了可在用戶端使用點對點的 SIP 訊息傳輸外，也可透過第三者，例如 redirect server 支援 SIP UA (user agent) 的行動性。

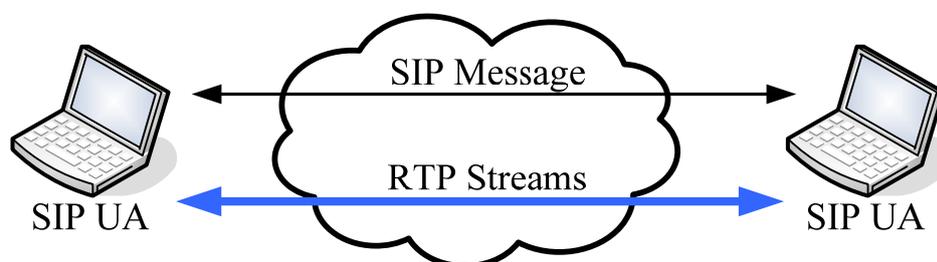


Figure 2-3 SIP architecture

### 2.3.2 呼叫流程 (Call Flow)

一個 User Agent 具有兩種角色，分別為 UAC (User Agent Client)及 UAS (User Agent Server)。UAC 負責初始化連線及送出 SIP Request。而 UAS 於收到 UAC 的請求後，根據此請求回覆相對應的要求。

Figure2-4 表示通話的建立過程，SIP 訊息的交換情形。UAC 送出建立連線的要求 (INVITE)，UAS 收到後回覆 100 Trying 訊息，表示它有收到 UAC 送來的 INVITE 訊息，於內部處理完成則播放 ring back tone，且送出 180 Ring，通知 UAC 可以電話響鈴。當 UAS 將電話接起來後，則送回 200 OK 給 UAC，UAC 收到此訊息後，則回覆 ACK 確認訊息。這樣通話就可以被建立起來，在交談過程中大部分是以 RTP 作為語音資料的傳送。若要結束通話，任何一方均可以啟始此動作，在此例子裡是由 UAS 啟始此一程序，UAS 送出 BYE 訊息給 UAC 後，則 UAC 回覆 200 OK 確認收到此訊息，並結束通話。

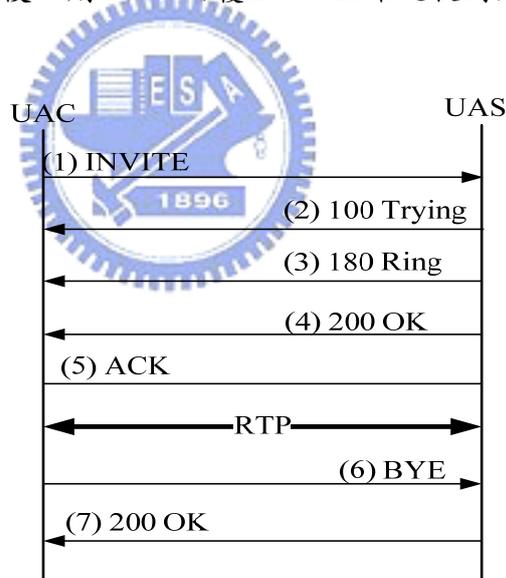


Figure 2-4 SIP call flow

## 2.4 相關論文探討

已有許多論文探討於交遞時在網路各層中所產生的延遲，並提出各種改善方法，主要多在鏈路層、網路層、應用層這三層縮短其延遲時間，其中就其典型，擇要簡介如下：

### Application-Layer Mobility Using SIP

[7] 提到 Application -Layer Mobility，使用 SIP 可以達到 Terminal mobility、Session mobility、Personal mobility、Service mobility。其中我們所關心的為 Terminal mobility。此 mobility 提到當行動節點轉換網域時，仍然能夠保持連線。要如何以 SIP 達到 Terminal mobility，我們以 Figure 2-5 作為說明。

- ① 行動節點 (Mobile Node, MN) 與相對節點 (Correspondent Node, CN) 處於通話狀態
- ② 當行動節點移動到新網域後會向 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) Server 要求新的 IP 位址
- ③ 行動節點向相對節點發出 Invite 訊息，請求建立新的連線
- ④ 相對節點回覆行動節點 200 OK 訊息，表示收到請求
- ⑤ 行動節點與相對節點恢復通話連線

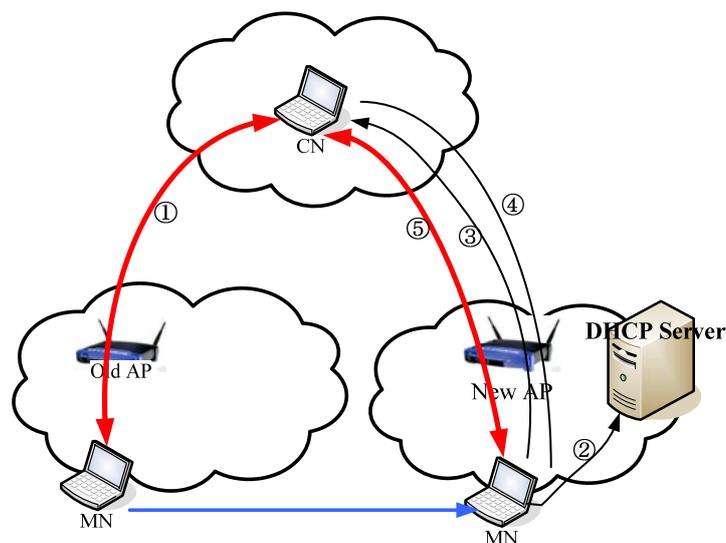


Figure 2-5 SIP Re-Invite Message Flow

此篇論文中另提到一個觀念—使用 RTP Support mobility。對於 RTP 這個傳輸協定而言，不需依靠 IP 位址來維護雙方的連線狀態。可以透過 RTP header 內的 SSRC 欄位來維護，SSRC 欄位是用來識別 RTP Session，相同的 Session 擁有相同的 SSRC 值。故當行動節點移動到新的網域後，向相對節點發出第一個語音封包 (RTP packets)，相對節點即可從 IP Header 內得知行動節點新的 IP 位址，進而更新語音封包內送往行動節點的 IP 位址，而不須等到應用程式感覺已經中斷連線才動作。

### **An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process**

[3] 對鏈路層的交通行為與延遲時間作分析，將鏈路層的延遲分為 probe delay、authentication delay、re-association delay。使用不同廠牌的無線區域網卡及 APs 進行量測，得出如下結果：

- (1) probe delay 佔總體延遲時間的 80%。而其中又以 probe-wait time 的時間變動對於 probe delay 的影響最大，不同廠牌的無線區域網卡 probe-wait time 也不同。
- (2) 不同廠牌的 APs 及行動節點之間的組態設定也會影響總體延遲時間。
- (3) 在頻道 (channel) 上的 traffic 及收到的 probe response 訊息個數也會影響 probe delay 時間。

### **Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs**

此法[10] 使用 selective scanning 演算法及 caching 機制縮短鏈路層交通延遲。其中又以 probe 在鏈路層所花費時間為總體延遲的 90%，故使用 selective scanning 演算法縮短頻道描瞄的程序，讓鏈路層的延遲，由原來的 343 毫秒，降低至 130 毫秒。但在 VoIP 裡為了達到無接縫交遞 (seamless handoff)，延遲時間不宜超過 150 ms，故使用了 AP caching 機制。將延遲時間縮短至 3 毫秒。

## Techniques to reduce IEEE 802.11b MAC layer handover time

[4] 是將行動節點在交遞時於鏈路層產生的延遲分成三個 phase，分別為 detection、search、execution。

detection phase：偵測是否需要作交遞。其啟始決定於偵測到有多個未回覆的 ACK frames，這些傳送失敗的 frames 是控制整個 detection phase 時間長短的主因，而且不同廠牌的無線區域網卡時間也不相同，取決於用途。但有一共通點，所有的無線區域網卡均會降低傳輸速率，及在 frames 傳送失敗時使用 RTS/CTS 機制克服可能是 fading 效應或傳送資料時發生的碰撞。

search phase：取得於交遞時所必需的資訊，亦即執行 active scan。這段時間也是變動，取決於被送往每個頻道的 probe request 個數。而較顯著的時間花費在於等待 probe response 訊息的回覆。

execution phase：由 authentication 及 association 兩階段組成。

detection phase 的縮短上是以偵測到連續三個 frames 被傳送失敗，或是在行動節點只有接收資料的情況下，只要有 beacon 訊息的接收遺失，則可啟始 search phase。所以縮短 beacon 傳送的區間也可減少 detection phase 的時間，但缺點是會增加網路流量。

search phase 的降低，可將 MaxChannelTime 縮短至 10 毫秒，而且不要進行 full scan，將目前有佈建 AP 的清單透過 beacons 訊息發送給行動節點，行動節點只要針對這些頻道進行 active scan。而 execution 的縮減則可透過 pre-authentication。

## Location-based Fast Handoff for 802.11 Networks

此方法[5] 提出行動節點能隨時量測目前的地理位置，透過GPS、sensor network或其他定位技術。再從特定location server取得帶有座標位置的網路佈建資訊圖，而依照目前座標位置推算出行進方向，並根據網路佈建資訊取得鄰近目標基地台子集合，當行動節點訊號低落到某一臨界值 (threshold) 時，從取得的鄰近目標基地台子集合及移動方向推算出未來最有可能連線的基地台，不須再probe，直接與目標基地台作direct association<sup>2</sup>。

## Topology-Aided Cross-Layer Fast Handoff Designs for IEEE 802.11/Mobile IP Environments

此方法[6] 提出在 Mobile IP 環境下跨階層 (cross-layer)的快速交遞機制。在交遞的過程中，若需跨網域，則會引發網路層以上的交遞，當行動節點到達新的網域時，必須透過像是 DHCP 的方法取得有效 IP 位址，若有應用程式的活動在進行，則必需重新與對方再建立連線。而使用 Mobile IP 作跨網域的交遞時，可以讓應用層無感於網路斷線，但在網路層引發的活動包含 move detection、agent discovery/address configuration、registration，這些活動也需要花費不少時間。使用 L2 triggers 可縮短這些延遲，L2 triggers 包含 pre-handoff 及 post-handoff triggers。pre-handoff trigger 讓 agent discovery/address configuration 在進行網路層的交遞之前先處理，而 post-handoff trigger 降低 move detection 的延遲。行動節點則可利用 cross-layer topology<sup>3</sup>資訊縮短在鏈路層、網路層及應用層造成的交遞延遲。

---

<sup>2</sup> direct association：行動節點在取得目標基地台的BSSID及所在頻道後，可直接與目標基地台進行連線，不需再花費時間探查鄰近可用APs。最好情況下是可以省下頻道探查時間，但這需要無線區域網卡driver完全支援，但市售的無線區域網卡，在不更動driver的情況下，仍需花費一小段時間探查。

<sup>3</sup> cross-layer topology：包含鄰近基地台的佈建資訊與上層網路資訊的關連性 (例如：行動節點目前的位置與移動方向、AP 與 MA (Mobile Agent)的關連、AP 與 SIP proxy servers 或是 AAA server 的關連。

上述論文提出在交遞時，如何縮短各網路架構層之延遲，也有以跨階層的方法縮短鏈路層到應用層之間的延遲。以 VoIP 軟體而言，對於聲音品質是很敏感的，我們需要更仔細的知道在不同的網路環境組態下，這些延遲發生的原因，在那些行為下花費最多時間及跨階層之間的交互影響。故我們以 SIP-based 的 VoIP 軟體配合市售不同廠牌的無線區域網卡進行實際的量測，除了逐層分析與探究交遞的行為與延遲，也藉此得知各廠牌無線網卡在處理交遞時的設計思維。



## 第3章 各種交遞行為之設計

在本章裡，我們將說明一般交遞行為下的量測方法，並配合不同的網路環境組態，包含 APs 及子網域的組態設定。透過實際的量測，在不同的網路環境下所產生的交遞行為及延遲有那些，並分層剖析其原因。並根據前述所得的量測結果，利用目前學者已提出的方法來進行改善。

在 3.1 節，首先是介紹一般的交遞流程，包含鏈路層、網路層、應用層，而這些 layer 會產生那些交遞行為。3.2 節描述在跨階層裡使用那些改善方法。3.3 節中介紹使用那些交遞觸發機制及量測環境。3.4 節則針對交遞時產生的延遲時間作一定義。

### 3.1 基本交遞流程

當行動節點移動距離超出原服務基地台的覆蓋範圍時，則會引發交遞，而這一長串

的交遞程序有那些？詳細說明如後。



#### 3.1.1 鏈路層交遞行為

##### I · L2 handoff detection

在一般無線區域網卡的作法中，送出語音封包後，沒有立即收到服務基地台回覆 ACK 訊息，則此時會嘗試以降低傳輸速率方式，重傳語音封包，並且使用 RTS/CTS 機制克服可能是 fading 效應所造成封包傳送失敗，當封包掉失超過一個限度，則無線區域網卡判斷需要進行交遞。

##### II · Probe

當行動節點偵測到服務基地台傳輸訊號變弱或是可能與服務基地台失去連線時，則會掃描所在區域內有那些基地台可供連結。此時是以 active scan 針對要掃描的頻道發出 probe request 訊息。若送出的 probe request 訊息所要探查的網路與之相容，則目標基地台會回覆 probe response。當完成近端目標基地台的搜索偵測後，得到目前可供交遞的基地台清單後進行選擇，通常作法是選擇訊號最強的基地台進行連結。

### III · Authentication 與 Deauthentication

Authentication：在 802.11 Standard [1] 中，Open System 是預設的認證模式，行動節點選出要連線的目標基地台後，則對此目標基地台發出 authentication request，目標基地台於收到後回覆 authentication response。

Deauthentication：當行動節點要離開此 BSS 時，服務基地台必須將原來與行動節點的認證關係終止，稱作 Deauthentication。

### IV · Association 、 Reassociation 、 Disassociation

Association：行動節點與目標基地台完成身份認證後，便會發出 association request 給目標基地台，進行連線要求。此時目標基地台會檢查此行動節點是否已通過身份認證，若是則回覆 association response。

Reassociation：位於相同 ESS 內，但在不同基地台之間遊走的行動節點，若要再次使用傳輸系統，必須與網路重新連線。當行動節點處於漫遊狀態，發現新的基地台訊號強度大於目前連線的基地台，且此基地台屬於相同 ESS，於是行動節點會送出 reassociation request 到新的基地台要求連線，則新的基地台回覆 reassociation response。目標基地台也許會和服務基地台協調轉送之前可能被保留的封包到行動節點中，此行為的發生，必需在行動節點已與目標基地台完成身份認證後，才能進行，若行動節點尚未完成認證，則目標基地台會回應 Deauthentication，則此時行動節點需重新作身份認證。

Disassociation：行動節點要終止與服務基地台的連線關係時，可送此訊息通知服務基地台。例如：行動節點要關機時，可送此訊息告知服務基地台，而服務基地台則可清除為此行動式工作站分配的相關資源。

## 3.1.2 網路層交遞行為

### I · Network handoff detection

當行動節點完成鏈路層之交遞後，需要花費時間偵測是否須發出重新取得 IP 位址的請求。若是不需跨網域，則行動節點可繼續原來的資料傳送。若改變網域，於完成鏈路層之交遞後，行動節點會先將原來放在 buffer 內未送完的封包繼續丟往舊網域的路由器，而新網域的路由器看到不是自己網域的封包，當然是選擇直接丟棄。當完成 buffer 內的資料傳送後，行動節點才會正式發出 IP 位址請求。如 Figure 3-1 所示。

### II · Address Configuration (DHCP)

在 IP 位址的重新取得方面，目前最普遍的作法則是向網路上的 DHCP Server 要求 IP 位址。行動節點扮演 DHCP Client 角色，向新網域以 broadcast 方式發出 DHCP Discovery 尋找 DHCP Server，同網域內的 DHCP Server 收到此請求後，將分配給行動節點的 IP 位址帶在 DHCP Offer 訊息內，回覆給行動節點。行動節點收到後，它必需告訴 DHCP Server 接受所分配的 IP address，於是再以 broadcast 方式回覆 DHCP Request。DHCP Server 收到 DHCP Request 後，於是將此 IP 位址正式分配給行動節點，並回覆 DHCP ACK，完成整個 IP 位址的要求程序。DHCP 訊息交換參考 Figure 3-1。

### III · IP 位址重覆偵測 (Duplicate Address Detection, DAD)

為了避免取得的 IP 位址可能會和網路上其他 host 衝突，行動節點會送出 Gratuitous ARP，詢問網路上是否有其他 host 使用相同 IP 位址，若無 host 回覆，至此進行下一程序。若有 host 回覆，則重新再啟始 IP 要求程序。訊息交換參考 Figure 3-1。

### IV · IP 位址組態設定 (IP Address Configuration)

若此 IP 位址在網路上沒有跟其他 host 重覆，則行動節點進行 IP 位址及預設閘道器設定。

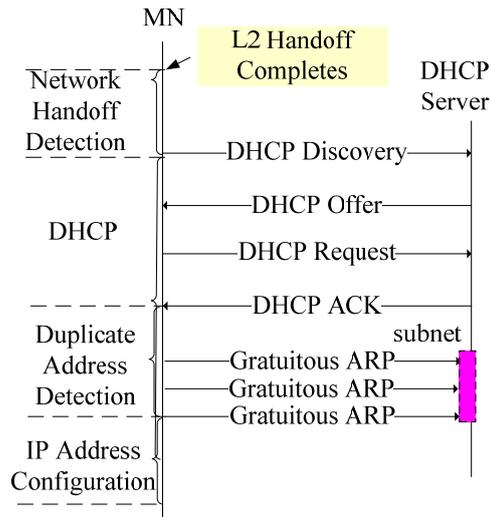


Figure 3-1 Network layer handoff

### 3.1.3 應用層交遞行為

#### Application session re-construct

行動節點完成網路層的交遞後，若是有需要通知網路上的其他 host，則需重新啟始一 session。以下以 VoIP 服務作一說明。

當行動節點與相對節點正處於通話狀態，而此時交遞發生，則停止傳送語音封包及相關事件的派送，待完成網路層交遞後，需重新與相對節點建立連線，才可繼續通話。在 VoIP 軟體裡，廣泛的使用 SIP Protocol 作為 session 的建立及管理，當行動節點欲重建連線，可對相對節點發出 Re-Invite message [7]。

## 3.2 跨階層之快速交遞方法

### Direct association

依據[5] 提出的快速交遞機制，事先向特定的 location server 取得鄰近 APs 的佈建資訊圖，依據行動節點目前的位置，動態計算出下一個移動方向，並推算出將與之連線的目標基地台，直接進行連線，不需再 probe。proble delay 在鏈路層是花費最多時間的，使用此方法可以省去探查鄰近訊號較強 APs，依據事先取得 AP 的 BSSID 及所在頻道後，與之建立連線。行動節點可使用 background scan<sup>4</sup>方法 probe 鄰近 APs 所在的頻道。

### Pre-allocate network resource

依據[6] 提出的方法中，可提供鄰近 APs 的佈建資訊再加上預先向 DHCP Server 要求的 IP 位址，組成網路資源可用對照表，行動節點可利用此資訊，與新的基地台完成鏈路層的連線後，就可直接使用預先配置好的 IP 位址，不需再重新啟始 IP 位址請求程序。



### Proactive DAD

一般 IP 位址在偵測是否重覆，至少需花費 1 秒的時間，在[9] 提出，IP 位址是否與網路上的其他 host 發生重覆，其偵測可在網路層之交遞之前或是同時完成。作法是行動節點從取得的 MAP table 裡取出新 AR (Access Router) 的 prefix，然後產生一暫時性的 IP 位址，根據此 IP 位址向新的 AR 詢問此 IP 是否有其他節點使用，若無，則此 IP 位址就可保留給行動節點，故當行動節在完成 IP 位址的取得後，不必再進行 IP 位址衝突偵測。

---

<sup>4</sup> background scan：當 AP 與行動節點仍然在連線狀態，且仍有封包在交換時，行動節點可以通知 AP，它要進入省電模式，要求 AP 為之暫存從網路收進來的封包，此時行動節點則可以轉換至其他頻道上，探查頻道上各 AP 的訊號強度，待完成 scan 後，行動節點通知 AP 取消省電模式，並取回 AP 為之暫存的封包。此種作法，行動節點不需中斷連線即可完成頻道掃瞄，但相對的暫存在 AP 裡封包也會有 delay 發生。

## L2 trigger

此機制是利用網路層或應用層的應用程式向鏈路層註冊事件通知，當完成鏈路層的交遞後，則通知網路層或應用層的應用程式事件的發生，如此即可開始進行網路層或應用層之交遞程序。此法可減少因行動節點跨越不同網域時需要花時間偵測已不存在原來網域時所造成的延遲。



### 3.3 交遞觸發機制及量測環境方法

為更明確的瞭解在不同交遞機制下，對 VoIP 軟體整體延遲時間的影響，故在不同的網路分層中，以各種交遞觸發方式進行量測，並分別求算出各網路分層的延遲時間，並分析造成延遲的原因。進一步採取目前學者所提出的改善方法，比較改善前後的差異。在 Table 3-1 中為網路環境的組態設定方式，在基地台的組態設定，可分為 Intra ESS (SSID 名稱相同)與 Inter ESS (SSID 名稱不同)。而子網域的組態設定，則分為單一子網域 (Intra subnet)與跨子網域 (Inter subnet)。

如 Table 3-1 所示，分成四種不同的測試環境，個別為：

Case 1: Intra subnet – Intra ESS

Case 2: Intra subnet – Inter ESS

Case 3: Inter subnet – Intra ESS

Case 4: Inter subnet – Inter ESS



	Intra ESS	Inter ESS
Intra subnet	1	2
Inter subnet	3	4

Table 3-1 Handoff Environment

在交遞被觸發前，行動節點與服務基地台仍處於連線狀態。一般交遞時所使用的觸發行為，可分為自然轉換服務基地台 (Method 1)及強制關閉服務基地台電源 (Method 2)，而改善方法則為基地台強迫接續法 (Method 3)。以這三種交遞觸發方式，分別在 Intra ESS 及 Inter ESS 的網路環境下進行測試。

Method 1-自然轉換服務基地台 (Decrease the Tx power of current AP)

以一般行走的速度，逐漸遠離服務基地台，隨著行動節點與服務基地台的距離愈來愈遠，所接收到訊號逐漸遞減，當衰落到某一 threshold 值時，則觸發交遞。

## Method 2-強制關閉服務基地台電源 (Power off the current AP)

手動將服務基地台的電源關閉，行動節點因已找不到原服務基地台，迫使交遞觸發。

## Method 3—基地台強迫接續法 (Direct Association) [5]

透過預先取得的網路資源對照表，並在行動節點計算出下一個所要連線的基地台準確率為百分百的前提下，當行動節點在移動時，其接收的訊號強度小於某一 threshold 值時，則以目標基地台的 MAC 位址為參數，對行動節點下達要連線至新目標(新服務)基地台的命令。

在 Method 1 與 Method 2 的交遞觸發行為裡，分別以四種網路環境進行測試，如 Table 3-1 所示，其中在 Case 2,3,4 的網路環境下，需要重新取得 IP 位址，而本實驗則是透過 DHCP 的方式，於完成 IP 位址的請求程序後，行動節點進行 IP 位址設定前會針對取得的 IP 位址進行重覆偵測，於完成後才會對所獲得的 IP 位址進行設定。

而應用層的交遞則是以工研院所提供的 SIP UA 進行測試，此套 VoIP 軟體對於連線的暫時中斷是有知覺的，在完成網路層的交遞後，須重新建立與相對節點的連線。以 Figure 3-2 所示，行動節點重新送出 Re-Invite 訊息至相對節點，通知 IP 位址已改變，要求重新建立 session，相對節點收到後，回覆已收到 session 重建要求的訊息 (100 Trying, 200 OK)後，將原傳送至行動節點舊 IP 位址的語音封包轉送至新的 IP 位址。

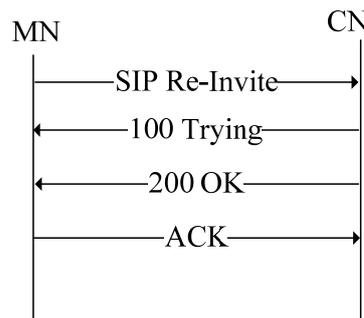


Figure 3-2 Re-Invite message

本實驗中，以 Method 3 [5] 縮短鏈路層產生的交遞延遲，並結合以下方法改善網路層及應用層的交遞延遲。在縮短網路層的延遲上使用以下方法：

### Pre-allocate network resource [6]

根據預先取得的網路資源對照表，查詢行動節點連線的目標基地台記錄裡預先分配

給行動節點的 IP 位址，於完成鏈路層的交遞後，將取得的 IP 位址進行設定。

## L2 trigger [6]

如何得知何時完成鏈路層的交遞？作法是透過用戶模式的應用程式向無線區域網卡的 driver layer 註冊事件通知 – link up，當發生 link up 事件時，則通知上層的用戶模式的應用程式，其獲知此事件通知後，則可開始下一階段的工作。

## Disable IP address duplicate detecton

在 Windows XP 裡為了偵測取得的 IP 位址是否和網路上其他 host 重覆，會發出 Gratuitous ARP 訊息，此段時間約 1 秒以上，假設預先分配給行動節點的 IP 位址不會發生重覆的前提下，將此偵測機制關閉，故可省下此段延遲時間。

縮短應用層交遞延遲是利用 RTP [12]對行動性支援的特性來達成，VoIP 軟體於傳輸語音封包時，通常使用 RTP 作為傳輸的協定，RTP 是一種提供點對點服務的即時傳輸協定，用來支援在單目標及多目標廣播的網路服務中，傳輸即時資料，而 RTCP 協定則用來監視和控制資料的傳輸。使用 RTP 協定的應用程式運作於 RTP 之上，而 RTP 則是運作在 UDP [22]的上層，故傳承其 UDP 之資料傳輸的運作模式。當行動節點因為跨網域交遞後更新 IP 位址，並不會影響行動節點傳輸聲音封包給相對節點。相對節點由於是根據本身的 port number 在收送封包，故相對節點而言仍然可以收到行動節點更換 IP 位址後所送抵的語音封包，不需重建 session。

在 Linux 下運作的一套 VoIP 軟體—Kphone，則是依此概念為基礎，並配合 RTP header 內的 SSRC (Synchronization source identifier)欄位，如 Figure 3-3 所示，此欄位是隨機產生的識別值，用來確保通話期間 RTP session 的獨一性。當相對節點收到行動節點的語音封包時，因為是架構於 UDP 之上，在 port number 沒有變動的前提下，此封包仍然會被接收，相對節點根據 RTP 內的 SSRC 欄位，判斷此封包與之前的語音封包是屬於相同 session，則根據此網路來源位址，作為送出語音封包的新目標位址。根據這樣的設計機制，納入 Windows 版本的 CCL SIP UA。此 SIP UA 新增加兩種能力：

- (1) 忽略因 IP 位址變動而須重建 session 及 media 重新被啟始。
- (2) 對於收到的語音封包，若與之前 session 建立的來源 IP 位址不同，但 SSRC 值相同，

仍視為相同 session，仍將此語音封包往上層傳送，並解析出來源端的 IP 位址後，將後續送出的語音封包送出位址更改為新來源端的 IP 位址。

RTP Header :

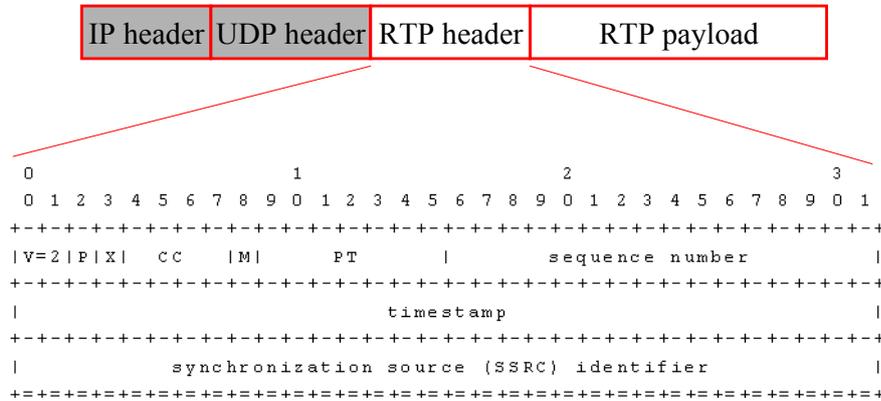


Figure 3-3 RTP header

在 Figure 3-4 裡，當 IP 位址設定完成，行動節點送出語音封包後，相對節點則根據收到的語音封包，學習到行動節點新的 IP 位址，接下來的語音封包則送往新的目的地。這樣一來，就可大幅減少行動節點為了重建 session，必需重新啟始內部事件派送及訊息重建所需花費的延遲，及相對節點收到 session 重建的訊息後，內部需要作部份調整才能送出語音封包至行動節點新的目的地的所造成的延遲。

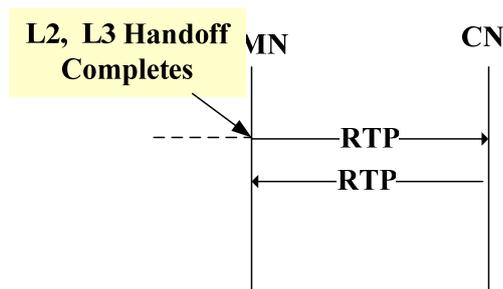


Figure 3-4 IP Not-aware

### 3.4 交遞延遲之計算

交遞延遲時間的計算將之切割為兩大部分，3.4.1 為未使用任何縮短交遞延遲方法下，在各網路架構層所造成的延遲時間為何。3.4.2 則為運用跨層之快速交遞的方法後，仍會有那些延遲產生。

#### 3.4.1 一般交遞機制之延遲時間計算

鏈路層之交遞延遲  $t_{LK}$  可表示為：

$$t_{LK} = t_{L2-HD} + t_{Search} + t_{Auth} + t_{Ass}$$

$t_{L2-HD}$ ：行動節點偵測是否需要作交遞

$t_{Search}$ ：行動節點開始搜尋附近訊號強度較強的基地台，並選出訊號最強的基地台

$t_{Auth}$ ：行動節點與目標基地台作 authentication(Open System)

$t_{Ass}$ ：行動節點與目標基地台作 association

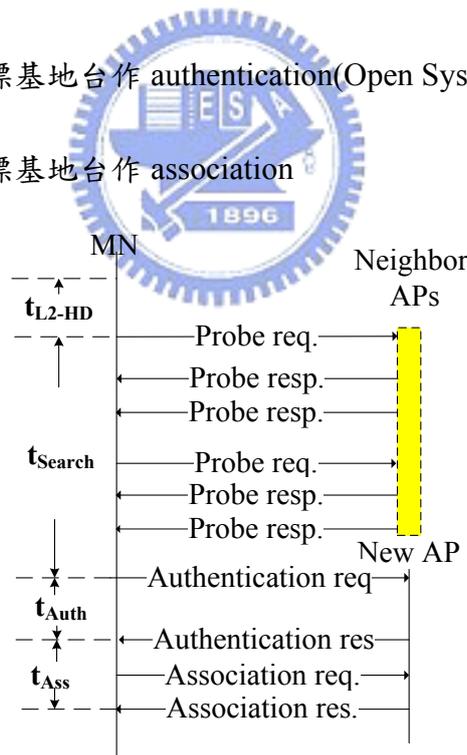


Figure 3-5 Link-layer handoff procedures and delays

網路層的交通延遲  $t_{NW}$  可表示為:

$$t_{NW} = t_{NW-HD} + t_{DHCP} + t_{DAD} + t_{IPConf}$$

$t_{NW-HD}$  : 行動節點於完成(re)association~發出 DHCP Discovery 訊息之前

$t_{DHCP}$  : 行動節點向 DHCP Server 請求網路位址

$t_{DAD}$  : 行動節點檢查拿到的 IP 位址是否與網路上其他 host 重覆

$t_{IPConf}$  : 行動節點取得新 IP 位址後，設定 IP 位址的時間

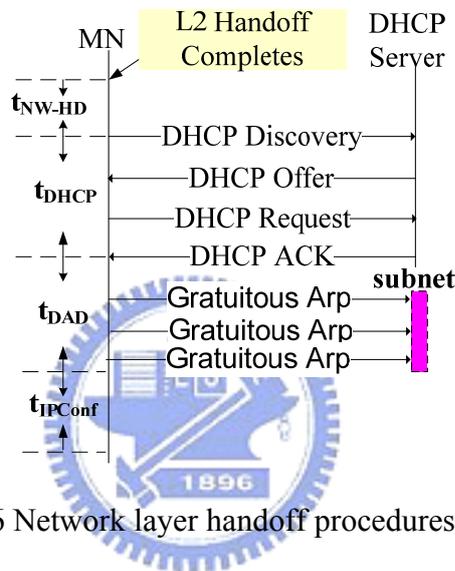


Figure 3-6 Network layer handoff procedures and delays

鏈路層與網路層不管是對行動節點或相對節點所造成的交通延遲均是相同，但在應用層是不同於上述兩層，故行動節點在完成網路層的交通後，行動節點與相對節點能夠開始傳送語音封包到被彼此收到，這些時間點是不相同的，故應將在此 layer 的延遲分別列出。

行動節點及相對節點網路層的交通延遲， $t_{MNApp}$  及  $t_{CNApp}$ ，可分別表示為:

$$t_{MNApp} = t_{Re\ Init} + t_{MNUpdate} + t_{CNUpdate} + t_{Pr\ oigationACK} + t_{RTPCNSend}$$

$$t_{CNApp} = t_{Re\ Init} + t_{MNUpdate} + t_{Pr\ oigationACK} + t_{RTPMNSend}$$

$t_{Re\ Init}$  : 行動節點重新啟始 SIP 事件派送，並重建 Re-Invite 訊息

$t_{MNUpdate}$  : 收到相對節點回覆 200 OK 後，行動節點須重新建立與相對節點之間的連線

$t_{CNUpdate}$  : 當相對節點收到行動節點回覆 ACK，相對節點需重新啟始與行動節點的連線

$t_{PragationACK}$  : ACK 訊息由行動節點送給相對節點~相對節點收到 ACK 訊息延遲時間

$t_{RTPMNSend}$  : 行動節點於網路連線恢復後，送給相對節點的第一個語音封包~相對節點收到語音封包的延遲時間

$t_{RTPCNSend}$  : 行動節點於網路連線恢復後，由相對節點送出的第一個語音封包~行動節點收到語音封包的延遲時間

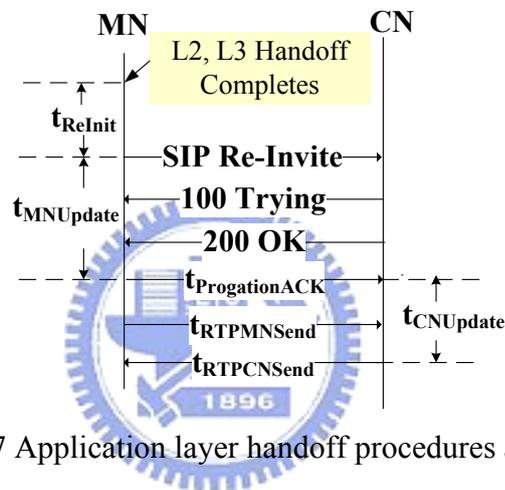


Figure 3-7 Application layer handoff procedures and delays

### 行動節點與相對節點總體延遲時間的計算

$$MNPerceivableLatencies(t_{MN}) = t_{LK} + t_{NW} + t_{MNApp}$$

$$CNPerceivableLatencies(t_{CN}) = t_{LK} + t_{NW} + t_{CNApp}$$

### 3.4.2 快速交遞機制之延遲時間計算

鏈路層之交遞延遲  $t_{LK}$  可表示為:

$$t_{LK} = t_{DisConnect} + t_{Search} + t_{Auth} + t_{Ass}$$

$t_{Disconnect}$ : 行動節點收到連線至新基地台的命令後，會與新服務基地台解除連線或認證

$t_{Search}$ : 行動節點開始搜尋附近訊號強度較強的基地台，並選出訊號最強的基地台

$t_{Auth}$ : 行動節點與目標基地台作 authentication 時間(Open System)

$t_{Ass}$ : 行動節點與目標基地台作 association 的時間

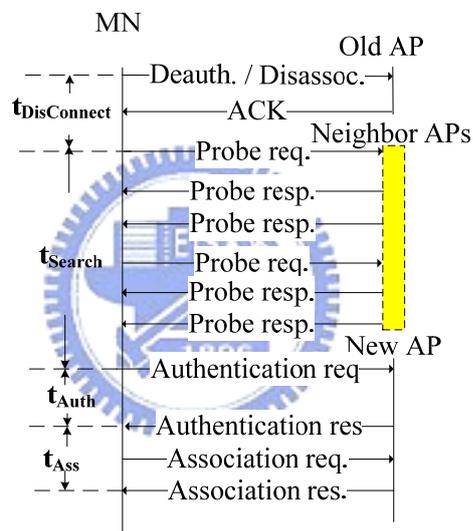


Figure 3-8 Direct association procedures and delays

網路層之交遞延遲  $t_{NW}$  可表示為:

$$t_{NW} = t_{NW-HD} + t_{IPConf}$$

$t_{NW-HD}$ : 行動節點於完成(re)association後~收到下層 driver layer 送出的 link up 事件通知的時間區間

$t_{IPConf}$ : 行動節點依照預先取得的 IP 位址，進行設定的時間。

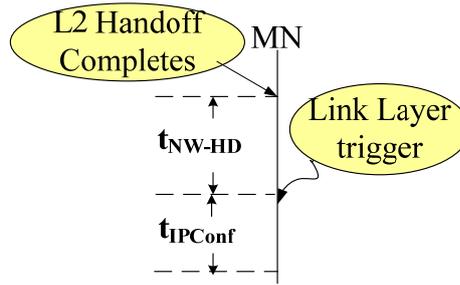


Figure 3-9 Pre-allocation procedures and delays

行動節點及相對節點網路層的交通延遲， $t_{MNAPP}$  及  $t_{CNAPP}$ ，可分別表示為：

$$t_{CNAPP} = t_{MNConstructRTP} + t_{RTPMNSend}$$

$$t_{MNAPP} = t_{CNApp} + t_{CNUdatePeerAddr} + t_{CNConstructRTP} + t_{RTPCNSend}$$

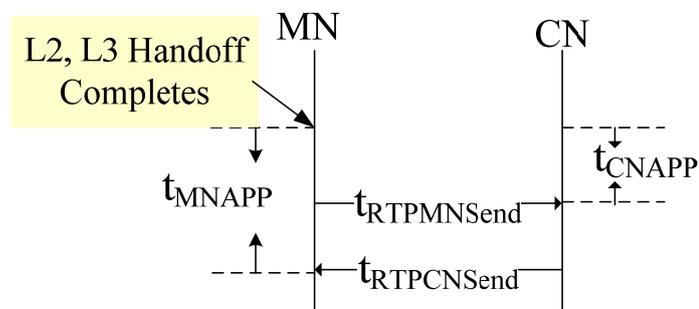
$t_{MNConstructRTP}$ ：行動節點在完成網路層交遞後，重建語音封包所需耗費的時間

$t_{CNUdatePeerAddr}$ ：相對節點收到行動節點移動～新地點後送出的第一個語音封包，取出此封包的來源位址，更新送往行動節點的語音封包的位址所耗費的時間

$t_{CNConstructRTP}$ ：相對節點重建語音封包所需耗費的時間

$t_{RTPMNSend}$ ：行動節點於網路連線恢復後，送給相對節點第一個語音封包～相對節點收到語音封包的延遲時間

$t_{RTPCNSend}$ ：行動節點於網路連線恢復後，由相對節點送出的第一個語音封包～行動節點收到語音封包



## 第4章 鏈路層之傳遞延遲量測與結果分析

### 4.1 實驗工具

Mobile Node: Windows XP

APs:

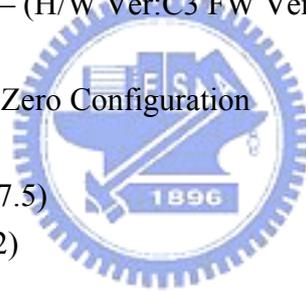
- Z-Com XG1000 (chip modules: 79RC32V334-150BB),  
Z-Com XG1100 (chip modules: MAC ISL3893 (ARM9-based))
- Cisco Aironet 1230AG series (modules AIR-AP1232AG-T-K9)

Wireless LAN cards:

- Intel(R) PRO/Wireless LAN 2100 3B Mini PCI (1.1.50, chip: Intel),
- Cisco Aironet 802.11 a/b/g (AIR-CB21AG-W-KG, chip:Athores),
- ZCom XI-325,(H/W REV:0.3, F/W REV:1.8.0, chip: Prism),  
XG-350 – (H/W Ver:0.4, chip: Prism)
- D-Link DWL-G650 – (H/W Ver:C3 FW Ver:4.30, chip:Athores)

Tools and applications:

- ESS transition tool : Zero Configuration
- Ethereal (v0.99)
- Sniffer Portable (v4.7.5)
- AiroPeek NX (v2.0.2)
- CCL SIP UA(v0.34)
- VoIP packets generation: MN and CN both run CCL SIP UA to generate VoIP packets



Zero Configuration：為了要讓行動節點能夠在不同的 ESS 之下作轉換，透過 Windows 內建的 Zero Configuration 支援轉換。此套 tool 是 Windows XP 或 Windows Server 2003 所提供用來連線至無線網路的工具。它可以動態的連線到偏好的無線網路上。根據當初使用者的偏好無線網路設定順序。它允許使用者在任何地方可以連線到不同的無線網路，而不需再新設定。在初始化掃描可用網路時，會將顯示在可用網路清單裡的設定值，依據使用者的偏好設定次序，連接至網路。意即偏好設定次序最高的網路，最先被連接，若連接不上，才會往下尋找第二偏好網路，以此類推。此 tool 平均 60 秒會在背景自動掃描目前可用的網路，並增加至可用網路清

單中，在第二次以後的掃瞄裡，Zero Configuration 會決定是否在整個無線網路的環  
境下，是否有優先權高於目前偏好設定的網路可用，若無，則維持連線，若有，則  
自動斷掉目前的連線，連上優先權更高的網路。



## 4.2 實驗環境

### ➤ 網路拓撲 (Network Topology)

Figure 4-1 裡基地台的組態設定為 Intra ESS 及 Inter ESS，網域的規劃為同一個子網域。行動節點向左移動表示交遞前後連線的基地台均屬於相同的 ESS (Intra ESS)，向右移動表示交遞前後連線的基地台屬於不同的 ESS (Inter ESS)。行動節點的機器上裝有用來截取封包的工具 (Ethereal) 及語音封包產生器 (SIP UA)。另有一台機器裝有兩張無線區域網卡，用來監聽兩個頻道的封包，分別為行動節點交遞前連線的頻道 (CH6) 及交遞後連線的頻道 (CH11)。在相對節點上也會安裝 Ethereal 及 SIP UA，藉此模擬行動節點與相對節點處於通話狀態中，行動節點因移動距離超出新服務基地台的涵蓋範圍，而觸發交遞。

Figure 4-2 與 Figure 4-3 為行動節點於交遞前後為不相同的子網域，故會有兩台 DHCP server 來動態提供行動節點 IP 位址，其他環境設定則與 Figure 4-1 相同。

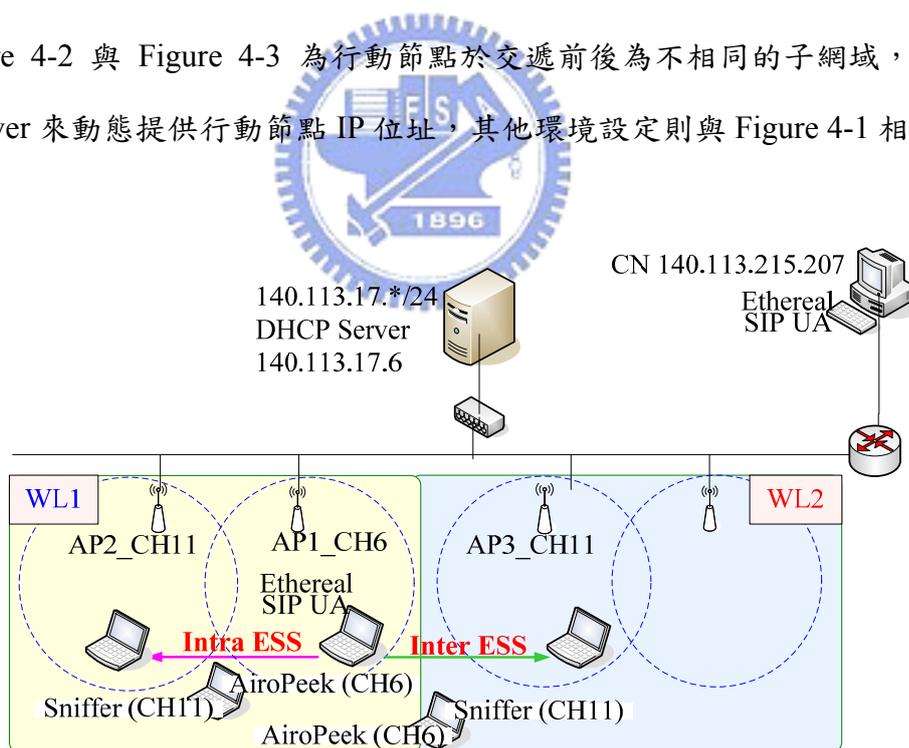


Figure 4-1 Intra subnet – Intra ESS/Inter ESS Environment

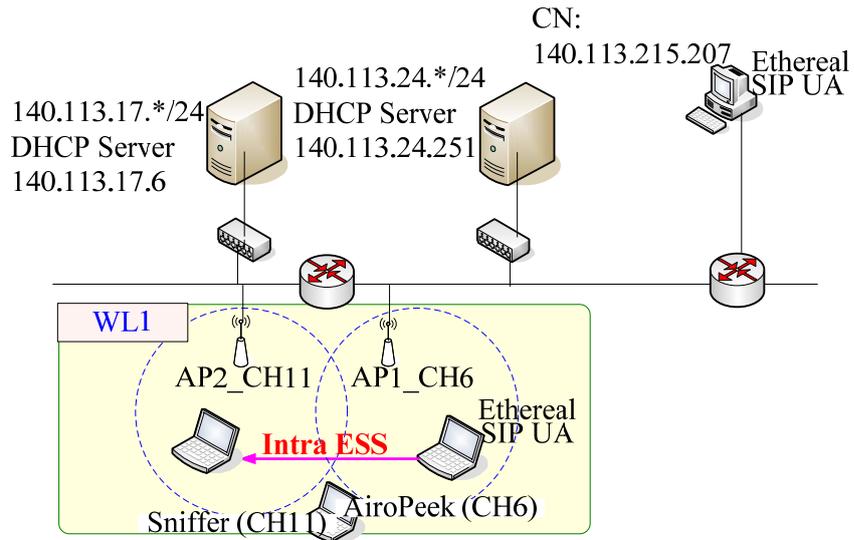


Figure 4-2 Inter subnet – Intra ESS Environment

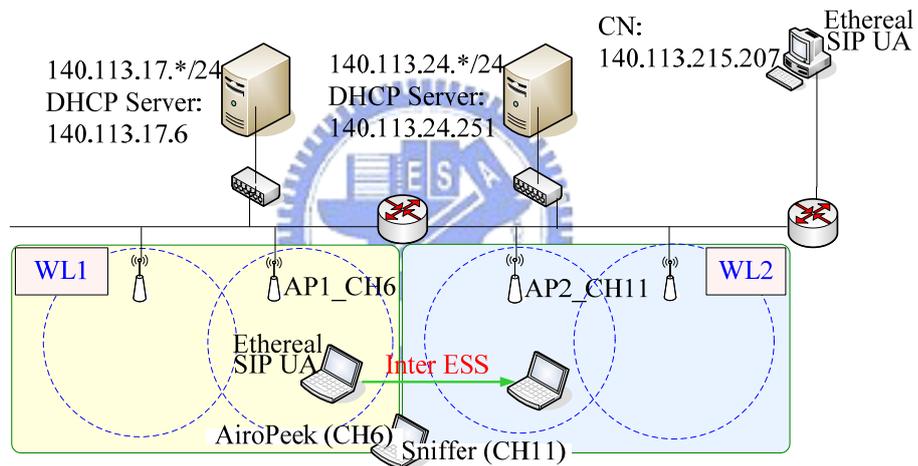


Figure 4-3 Inter subnet – Inter ESS Environment

➤ 軟體修改

在行動節點觸發交遞後，要能得知無線網路媒體何時感應出斷線及連線事件，故須提供一偵測程式，當發現網路媒體有任何事件發生時，可以通知上層的 user application。本論文將范榮軒同學 [24] 所提供用來感應網路媒體事件的程式整合至 SIP UA，使其具備此能力。當網路媒體偵測到中斷連線時，則送出 link down 的事件通知 user application，若偵測到連線事件時則送出 link up 事件通知 user application。

## 4.3 交遞行為之分析

在以下各小節中，使用不同廠牌的無線區域網卡配合實體環境作為交遞時量測的基準，這些無線區域網卡的廠商包含 Intel、Cisco、D-Link、Z-Com。當行動節點與原服務基地台處於連線狀態下，使用三種方法觸發交遞，分別為強制關閉服務基地台電源、自然轉換服務基地台及基地台強迫接續法。在探查鄰近可連線 APs 是以 active scan 方式進行。

在 4.3.1 小節裡，在 Inter ESS 與 Intra ESS 的網路環境下，使用強制關閉服務基地台電源觸發交遞的行為為例，詳盡說明各廠牌無線區域網卡產生的交遞行為為何，並探討這些行為如何對延遲造成影響。而以自然轉換服務基地台觸發交遞而言，各廠牌無線區域網卡所產生的行為與強制關閉服務基地台電源並無太大的差異，故在 4.3.2 小節裡並不會再特別說明。至於基地台強迫接續法其行為差異，除 L2 handoff detection 這段延遲時間被排除外及各無線區域網卡在收到連線至新基地台的命令後，會有不同的訊息送出外，其他行為與強制關閉服務基地台電源並無不同，故將其行為表現合併至 4.3.2.3 小節進行探討。另在後續各小節中，分析與探討在交遞時造成的延遲時間與行為之間的關連性。

### 4.3.1 交遞行為分析

以 Figure 4-1 實驗環境，說明實驗步驟。

步驟一：將 AP1 (CH6)及 AP2 (CH11)電源打開

步驟一：讓 行動節點與 AP1 連線後，行動節點與相對節點進行通話

步驟三：關閉 AP1 的電源，此時會有一連串之交遞行為發生，待完成後，則行動節點與相對節點才能恢復通話。

這些不同廠牌的無線區域網卡，對於鏈路層於交遞時產生的延遲，在[4] 裡將其分為三個 phase，分別為 detection、search 及 execution phase，而在本實驗為了能夠更清楚的區別出鏈路層與網路層的 detection 延遲，故將 detection phase [4] 重命名為 L2 handoff detection，而 execution phase 則再細分為 Authentication 與 Association phase。各個 phase 的延遲時間計算見 Figure 4-4，以 L2 Handoff Detection Phase 為例，時間的計算為第一個

傳送至舊服務基地台失敗的 VoIP 語音封包 (Codec 為 G.711) 到最後一個傳送至舊服務基地台失敗的 VoIP 語音封包為時間區段。以下各 phase 時間的計算以此類推。

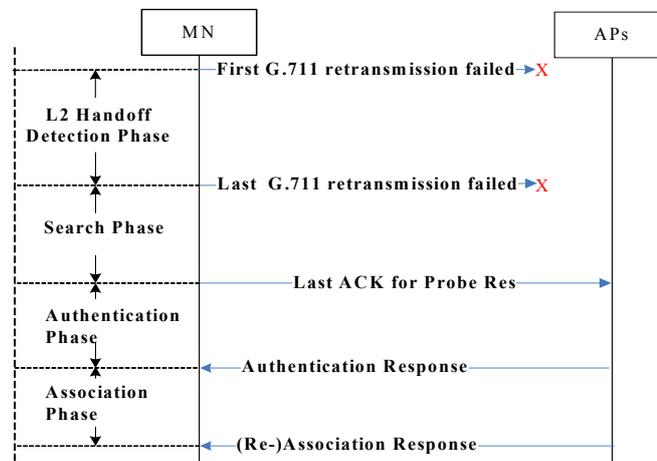


Figure 4-4 link layer handoff latency with event triggering

在 Figure 4-5 ~ Figure 4-12 中，均標示出在交遞的過程中，各事件發生的時間點。以下就各事件代表的意義說明如下：

Link down：網路驅動程式偵測到發生網路媒體連線中斷事件，通知上層用戶模式的應用程式之時間點

AddrChangeNotify：行動節點在感知網路連線中斷後，將原本 binding 在此張無線區域網卡上的 IP 位址釋放，此時的 IP 位址被清除為 0.0.0.0。

RTP stop：當行動節點有感網路斷線後，停止送出封包，但上層的用戶模式的應用程式仍不知情。至此時間點，用戶模式的應用程式方有感於網路斷線，會停止相關事件派送，並不再傳送語音封包至下層。

Link up：網路驅動程式偵測到發生網路媒體連線恢復事件，通知上層用戶模式的應用程式之時間點

### 4.3.1.1 Intel 無線區域網卡

Figure 4-5及Figure 4-6說明在Intel的無線區域網卡裡，在Inter ESS及Intra ESS的無線網路環境下，不同phase佔用的時間及各event所發生的時間點。

以 Figure 4-5為例，其內的大箭號表示傳送的訊息個數為多個。而以下各張無線區域網卡的表現方式亦如此。訊息—Probe Req (SSID=WL1) – ch11-b (86 times)，表示此訊息形態為probe request，訊息內的SSID欄位值為WL1，ch11表此訊息發送的頻道為11，b表broadcast形式的訊息，86 times表訊息平均傳送次數。

#### ➤ Inter ESS (Figure 4-5)

##### I · L2 handoff detection phase :

此段時間需要花費 0.818 秒。在此段時間裡，無線區域網卡發現送出的語音封包沒有收到原服務基地台 (WL1) 所回覆的 ACK 訊息，於是再一次重傳同一個語音封包，仍未回到回應訊息。因此送出 RTS 訊息，嘗試淨空無線網路環境，因 WL1 電源已被關閉，故無法回覆 CTS 訊息。於下一時間點，無線區域網卡再次重傳相同的語音封包，仍未收到回應訊息。如此 G.711 語音封包與 RTS 交錯傳送，直至無線區域網卡判斷需要作交遞，才進行下一階段的工作。在語音封包重傳部分，同一序號的封包被重傳 5 次後，才會繼續送下一個序號的語音封包。

##### II · Search phase :

此 phase 裡，Intel 無線區域網卡會來回 probe 各個頻道，這些 probe request 訊息之間的時間是非常短暫的，以頻道 6 觀察到的 probe request 訊息發送頻率為例，連續發出的 probe request 訊息為 2~3 個，間隔時間為 10~15 毫秒之間。而於下次再回到頻道 6 發出 probe request 訊息的間隔時間約為 100~150 毫秒。此無線區域網卡對於 probe request 訊息的發送均是以 broadcast 方式發出，但此 probe request 內的欄位 "SSID 值" 則有 4 種不同的變化，分別為舊服務基地台的 SSID 名稱、NULL、ANY 及新服務基地台的 SSID 名稱。

在初始階段，SSID 的內含值為舊 AP SSID 名稱，以此訊息型式 probe 各頻道，收

到 probe request 的 APs 是不會回覆的。根據 802.11 標準[1] 基地台必須收到 probe request 內的 SSID 是「不指定特別 SSID」或「所指定的 SSID 為基地台本身所使用的 SSID」，才可回覆 probe response。在送出一連串 probe request 均未收到任何 probe response 的回覆後，此無線區域網卡送出 2 ~ 3 次的 probe request，其內的 SSID 轉換為 NULL，此時其他的 APs 回覆 probe response。接下來發出的 probe request 訊息其 SSID 欄位又轉換為舊 AP 的 SSID 名稱，以這樣的行為推測，此無線區域網卡認為有可能只是短暫的訊號衰弱，所以一發現有其他 APs 回覆訊息，則認為原服務基地台可能還存在，因為所收到來自原服務基地台的訊號強度並未遞減，只是可能短暫斷訊，所以又再送出 probe request 訊息探查原服務基地台。從這可以看出此無線區域網卡對於要更換連線的網路是相當謹慎的，能夠不換就不更換。在送出多個 probe request 內含舊 AP 之 SSID 名稱的訊息後，仍未得到其他 APs 的回覆，則再變換 probe request 訊息欄位內的 SSID 名稱為 ANY，送出一連串此類型式的訊息後，新服務基地台回覆 probe response 訊息，此無線區域網卡也學習到新 AP 的 SSID 名稱，所以接下來發出 2 次 probe request 訊息，其內的 SSID 欄內也已改為新 AP 的 SSID 名稱。在這段時間耗費高達 11.195 秒，再次證明此無線區域網卡對於要更換至新的網路是非常審慎看待，所以利用各種方式來驗證舊有連線的網路確實已不存在後才會更換連線網路。

### III · Authentication 及 Association phase :

此段時間共花費 0.110 秒。

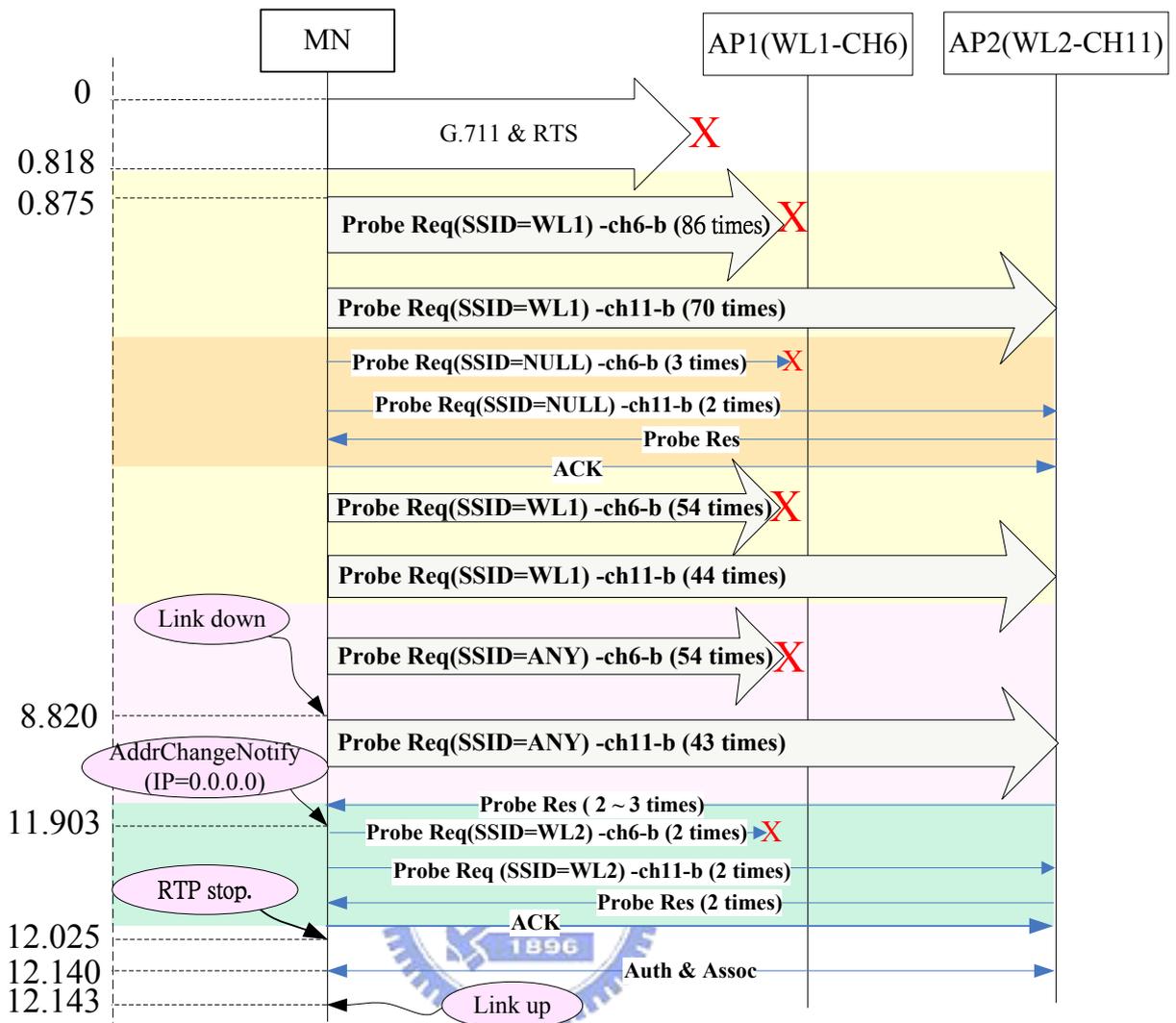


Figure 4-5 Intel - Inter ESS (power off)

➤ Intra ESS (Figure 4-6)

I · L2 handoff detection phase :

此段時間需要花費 0.815 秒。在此段時間裡，無線區域網卡與在 Inter ESS 的環境下的行為相同，同一個語音封包送出後若未收到原服務基地台 (WL1 )回覆 ACK，在重傳 5 次後則繼續傳送下一個語音封包。在這過程中 RTS 訊息也會被發送。

II · Search phase :

此 phase 裡，在送出 4~5 次的 probe request 訊息給各頻道後，收到新目標基地台回覆 probe response 後，則完成網路探查，繼續下一階段的工作。也表現出其在可連線網路的探查上較為保守，並非一有鄰近的 AP 回覆就結束探查的工作。

### III · Authentication 及 Association phase :

此段時間共花費 0.118 秒。

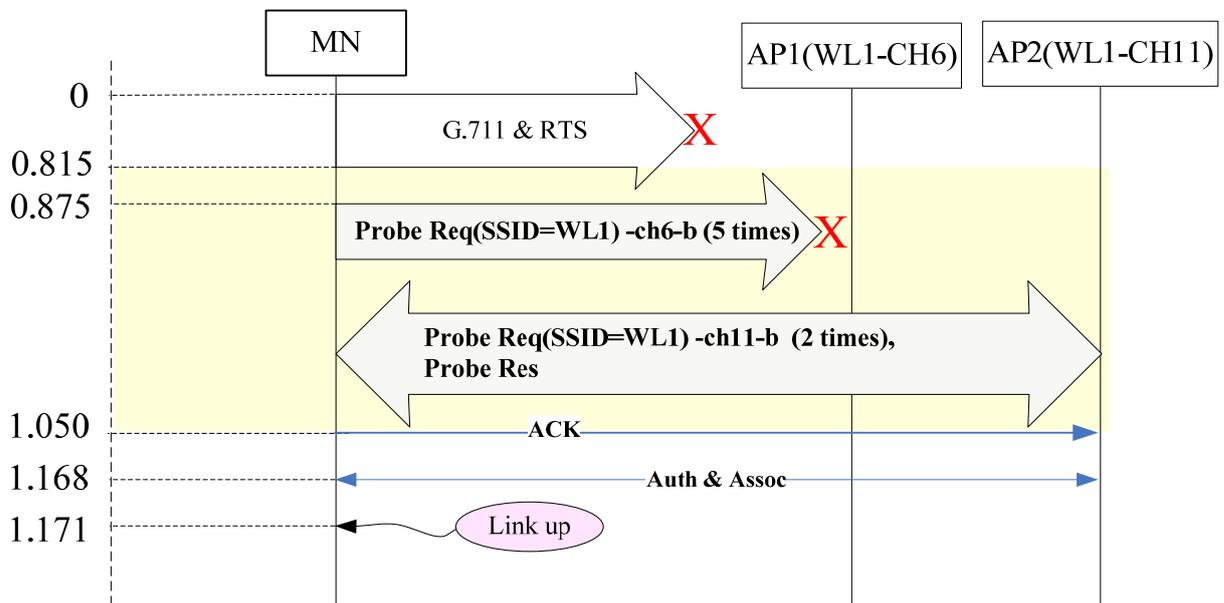


Figure 4-6 Intel - Intra ESS (power off)

#### 4.3.1.2 Z-Com 無線區域網卡

以 Figure 4-7 及 4-8 說明在 Z-Com 的無線區域網卡裡，在 Inter ESS 及 Intra ESS 的無線網路環境下，不同 phase 佔用的時間及各 event 所發生的時間點。

##### ➤ Inter ESS (Figure 4-7)

###### I · L2 handoff detection phase :

與 Intel 無線區域網卡相同，仍會耗費時間偵測是否需要作交遞。此無線區域網卡對於每一個語音封包會重送三次，接著嘗試淨空無線網路環境，連續送兩次 RTS 訊息。與 Intel 無線區域網卡相同，因 WL1 電源已被關閉，故均不會收到 WL1 的任何回應。語音封包與 RTS 訊息反覆交錯傳送，直到無線區域網卡認為需要作交遞。此段時間需要耗費 11.195 秒之久，與 Intel 無線區域網卡的 0.818 秒相較之下明顯的高出很多，顯見此無線區域網卡在偵測是否要作交遞是非常謹慎的，所以一再的確認原服務基地台真的已無法滿足其需求，才會觸發交遞。

###### II · Search phase :

在此階段，此無線區域網卡送出 probe request 訊息形式仍為 broadcast，其數量與 Intel 無線區域網卡相較，明顯少很多。在同一頻道內平均會收到 3~4 次不連續的 probe request 訊息，前 2~3 個 probe request 訊息間隔總時間不到 1 秒，最後一個訊息與前一個訊息的間隔時間接近 3 秒，推測此段時間除了耗費部分時間在 probe 各頻道外，於收集到必要資訊後，即選定要連線的 AP，故有部分時間花費在此。所送出的 probe request 訊息欄位內的 SSID 值為 NULL，故只要有收到此訊息的 APs 均會回覆，此無線區域網卡陸續搜集鄰近可供連線 APs 的資訊，並進而選定要連線的 AP，在最後一個 probe request 訊息將 SSID 名稱改變為要連線 AP 的名稱。此段時間花費 3.302 秒。

### III · Authentication 及 Association phase :

此段時間花費 0.241 秒。

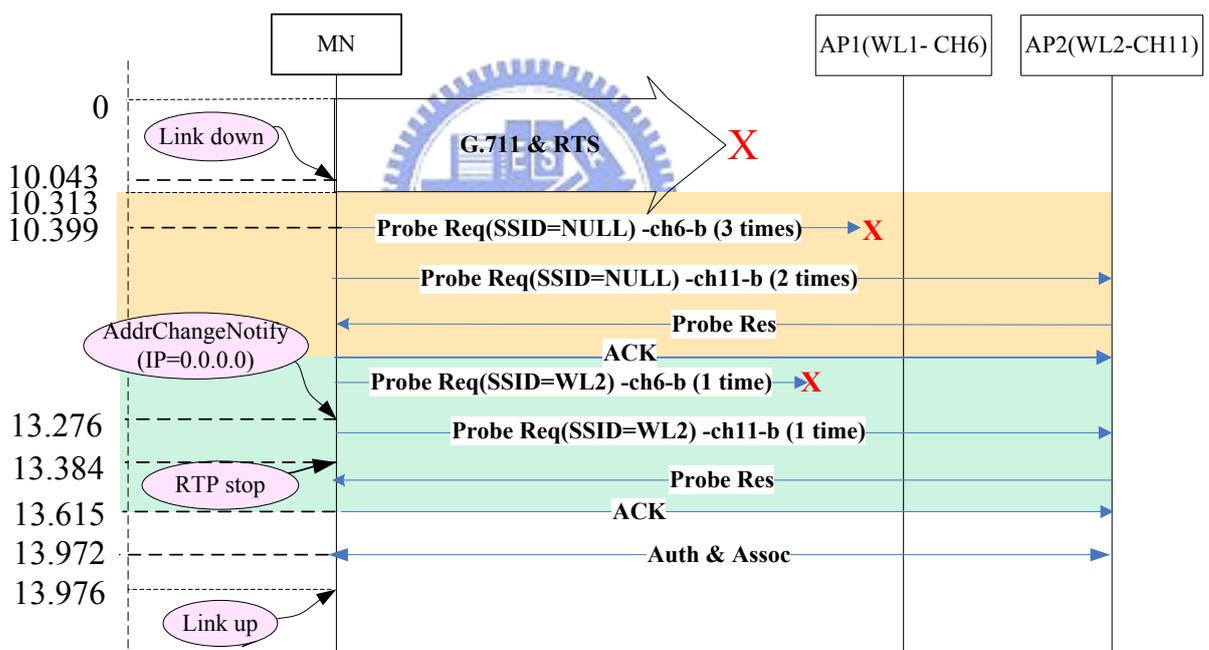


Figure 4-7 Z-Com – Inter ESS (power off)

## ➤ Intra ESS

### I · L2 handoff detection phase :

此段時間需要花費 4.018 秒。在此段時間裡，Z-Com 無線區域網卡在語音封包重傳的次數與在 Inter ESS 的網路環境下相同，而延遲時間也是佔鏈路層 交遞裡最大比例。

## II · Search phase :

此 phase 裡，從新舊服務基地台所在頻道中觀察得出，只會各有一次的 probe request 訊息送出，在收到新服務基地台的回應後，則結束此階段的網路探查。

## III · Authentication 及 Association phase :

在此 phase 裡的訊息交換異於其他無線區域網卡，當此無線區域網卡送出 ACK 訊息回覆新服務基地台後，則會先送出 reassoc request 給新服務基地台，但因尚未完成認證，故新服務基地台回覆 deauthentication，於是此無線區域網卡才送出 authentication request 執行重新認證的程序。

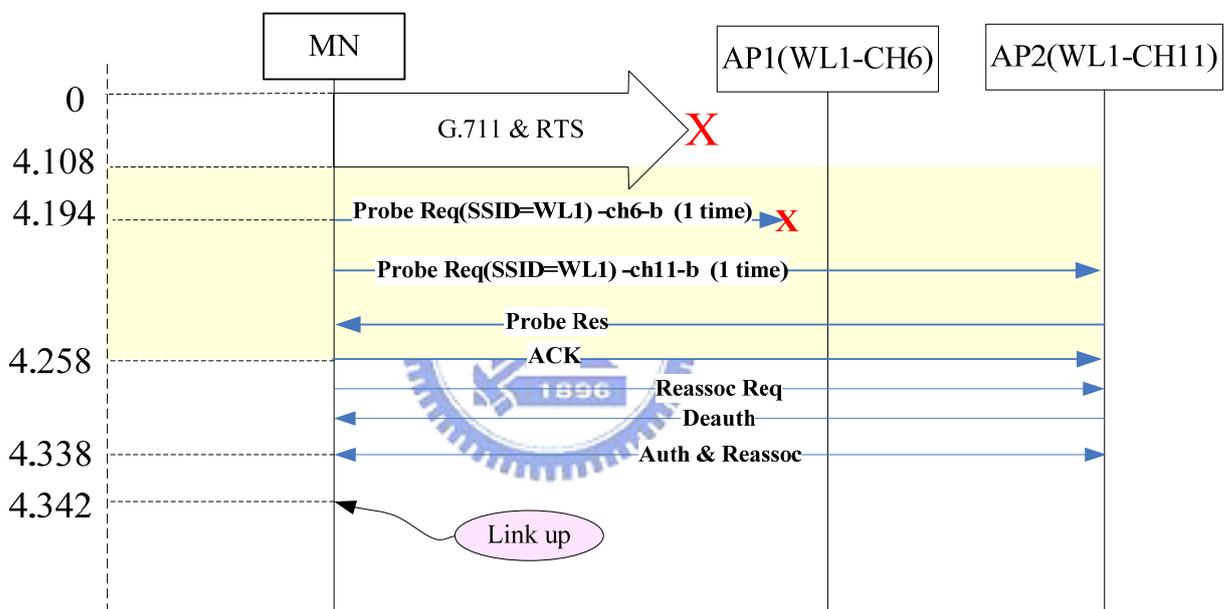


Figure 4-8 Z-Com – Intra ESS (power off)

### 4.3.1.3 D-Link 無線區域網卡

以 Figure 4-9 及 4-10 說明在 D-Link 的無線區域網卡裡，Inter ESS 及 Intra ESS 的無線網路環境下，不同 phase 佔用的時間及各 event 所發生的時間點。

訊息— Probe Req(SSID=WL1) -ch11-b & Probe Req(SSID=NULL) -ch11-b 表示所送出的 probe request 訊息型式為 broadcast，其 SSID 值的變化依序為 WL1、NULL，且此兩種訊息交錯傳送。

訊息— Probe Req(SSID=WL2) -ch11-AP2，表示對 AP2 對出 unicast 的 probe request (BSSID 為特定 AP 的 MAC address)。

## ➤ **Inter ESS (Figure 4-9)**

### **I · L2 handoff detection phase :**

在此段時間裡，對於無法送達的語音封包，此無線區域網卡會連續重傳 6 次後，再連續傳送 24 次的 RTS 訊息，嘗試淨空無線網路環境，同樣的，因 AP1 電源已被中斷故不會有任何的回覆訊息，於是在語音封包與 RTS 訊息交錯傳送下，花費 3.018 秒。

### **II · Search phase :**

此無線區域網卡在搜集鄰近 APs 所發出的 probe request 訊息，會先以 broadcast 方式送出，於最後一個訊息再以 unicast 發出。另外在 probe 各頻道時，所送出的 probe request 訊息，其欄位內的 SSID 名稱先帶舊服務基地台的名稱，緊接送出的 probe request 訊息欄位內 SSID 更改為 NULL。頻道上的 APs 收到 SSID 為 NULL 則會回覆 probe response。而此無線區域網卡則繼續以此訊息形式 probe 各個頻道。這樣一來除了可以確認舊有網路是否真的不存在，也可藉此探查鄰近網路有那些 APs 可供連線。直到此無線區域網卡認為舊有網路已不存在後，而資訊也搜集足夠，則在最後一次的 probe request 訊息中直接以 unicast 方式對所選定的 AP 發出請求，且其內的 SSID 欄位也修改為新服務基地台的 SSID 名稱，理所當然的新 AP 收到後一定會先回覆 ACK 訊息再回覆 probe response 訊息。此段時間花費 13.924 秒。

### **III · Authentication 及 Association phase :**

此段時間花費 0.105 秒。

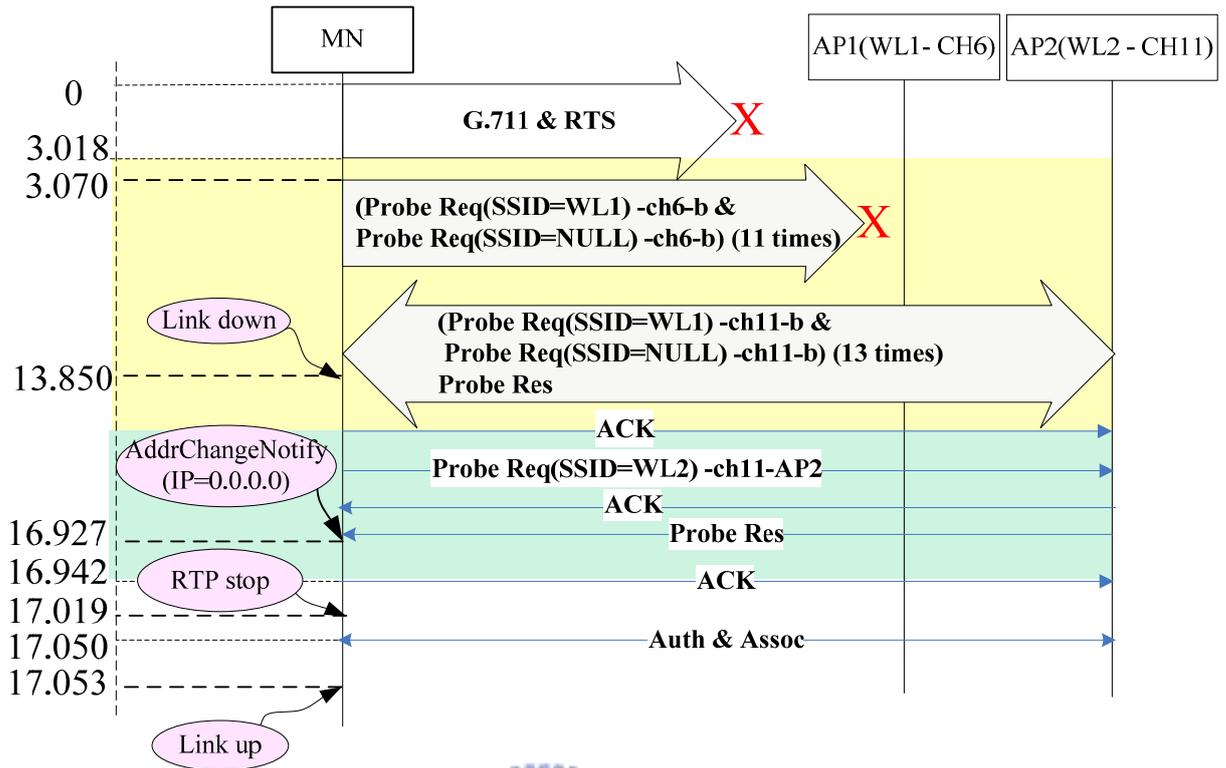


Figure 4-9 D-Link - Inter ESS (power off)

➤ **Intra ESS (Figure 4-10)**

**I · L2 handoff detection phase :**

在此段時間裡，封包重傳行為與處於 Inter ESS 的網路環境下相同，但頻率減少，延遲時間為 2.993 秒。

**II · Search phase :**

在此 phase 裡的 probe 行為與 Inter ESS 的環境相同，但 probe 次數變少，降為 3~4 次，此段時間花費 0.668 秒。

**III · Authentication 及 Association phase :**

此段時間花費 0.120 秒。

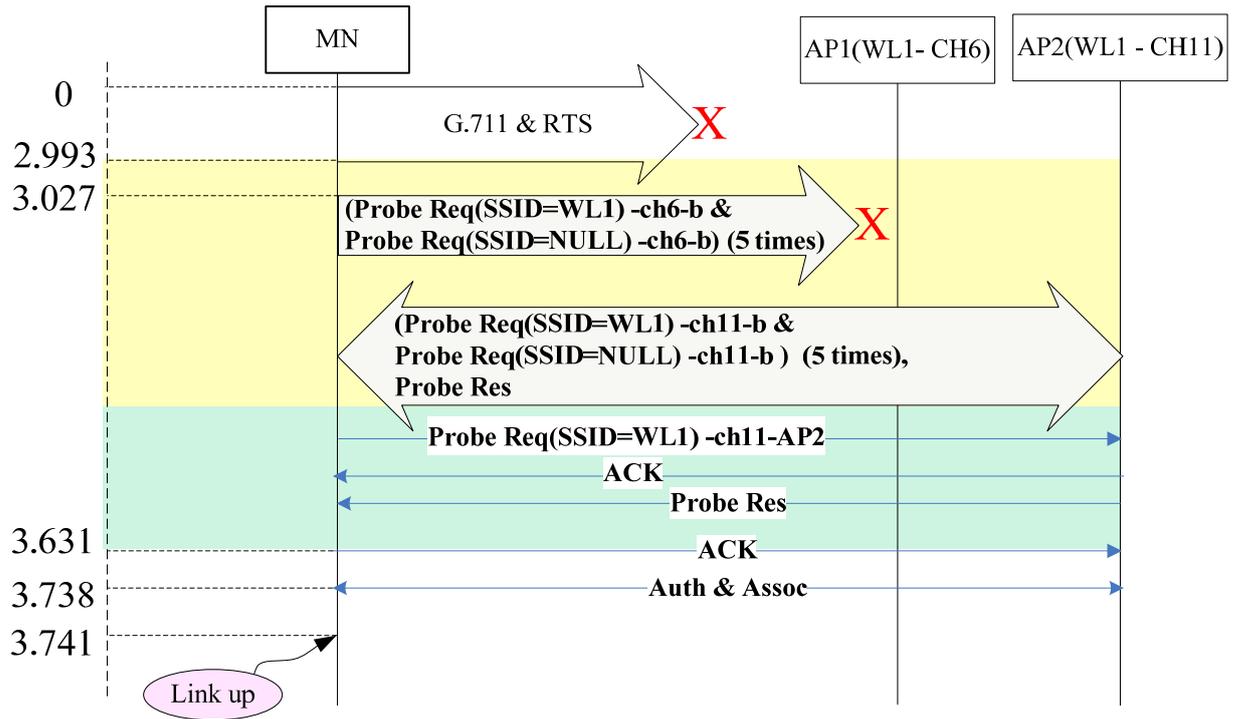


Figure 4-10 D-Link - Intra ESS (power off)



#### 4.3.1.4 Cisco 無線區域網卡

以 Figure 4-11 及 4-12 說明在 Cisco 的無線區域網卡裡，Inter ESS 及 Intra ESS 的無線網路環境下，不同 phase 佔用的時間及各 event 所發生的時間點。

訊息— Probe Req(SSID=WL1) -ch6-APs & ACK 表示對 channel 6 裡的 APs 均送出 probe request 的訊息但 AP1 除外，所有收到此訊息的 APs 均會回覆 ACK。

訊息— Probe Req(SSID=WL2) -ch11-AP2 & APs，表示對 channel 11 裡的 AP 均送出 probe request 的訊息，所有收到此訊息的 APs 均會回覆 ACK

#### ➤ Inter ESS (Figure 4-11)

##### I · L2 handoff detection phase :

在此段時間裡，由於與 D-Link 所採用的晶片均是 Atheros，在作法上有些許的相同。對於語音封包仍是連續重傳 6 次後，再連續傳送 24 次的 RTS 訊息，依舊是無法得到 WL1 的訊息回覆，在語音封包與 RTS 訊息交錯傳送下，花費高達 18.479 秒。雖是與 D-Link 無線區域網卡採用相同的訊息樣式進行偵測是否需要作交遞，但在決定要不要作交遞上，Cisco 的無線區域網卡顯然比 D-Link 的無線區域網卡要保守許多。

##### II · Search phase :

此無線區域網卡在處理探查鄰近可供連線 APs 作法上與上述三家廠牌的無線區域網卡有很大的不同，它是以 unicast 的方式對 APs 進行 probe，而如何得知鄰近網路有那些 APs? 此無線區域網卡利用 Windows Zero Configuration 在系統初始化時所作的掃描得到可用網路清單，當需要作交遞時，則逐一對這些 APs 發出 probe request 訊息，雖然訊息欄位內的 SSID 名稱指定為舊 AP，但因 probe request 訊息形式為 unicast，故收到的 APs 均要回覆 ACK 訊息，而無需理會此網路是否與自己屬於相同的 ESS。也因而學習到新服務基地台的 SSID 名稱為何，故在最後一次所發出的 probe request 訊息裡，SSID 欄位內的值更改為新連連線 AP 名稱。此無線區域網卡發出的 probe request 訊息數量是依據可用網路清單上有多少 APs 存在而決定。若可用網路清單上的 APs 數

量減少是否就會縮短此段時間，依據搜集到的封包所得出的結果，當減少 APs 數量對於縮短 probe 的延遲時間影響不大，並不會讓延遲縮短在 10 秒以內。依據頻道 11 所截取的封包，所觀察到的結果推論，當此無線區域網卡在開始作 probe 時前半段所發出的時間間隔較短，到了後半段會等待 8 秒多的時間後才會再收到 probe request 的訊息，除了會花費部分時間在 probe 其他頻道外，可能也花費大部分時間在處理選定要連線的新 AP 上。此段時間持續 13.946 秒之久。

### III · Authentication 及 Association phase :

此段時間花費 0.099 秒。

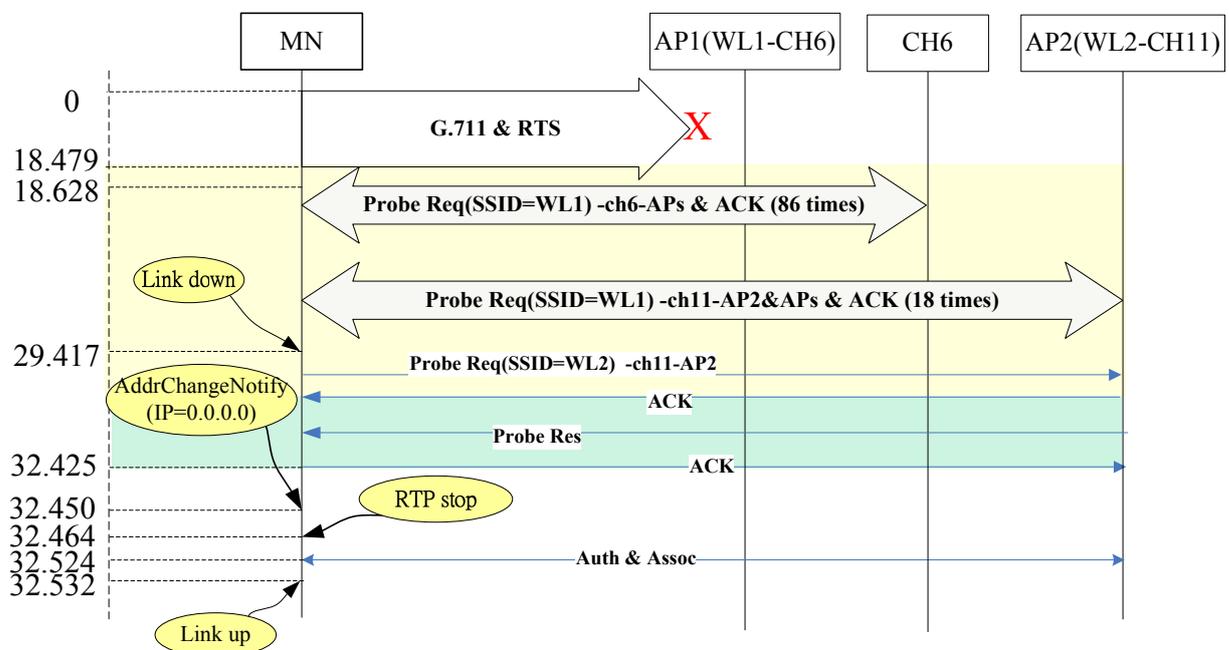


Figure 4-11 Cisco – Inter Ess (power off)

## ➤ Intra ESS

### I · L2 handoff detection phase :

此 phase 裡，其語音封包重傳與 RTS 傳送次數與在 Inter ESS 的網路環境下相同，延遲時間為 3.013 秒。

### II · Search phase :

因所有的 probe 訊息均是以 unicast 形式傳送，而在網路初始化掃瞄時也已得知與

舊服務基地台屬於相同 ESS 的 APs 有那些，且在經過一長段 L2 handoff detection 後，確認舊服務基地台無法連線，故只針對新目標基地台送出一次的 probe request 訊息後，而在新目標基地台回覆訊息後，即結束此階段的網路探查。延遲時間為 0.020 秒。

### III · Authentication 及 Association phase :

此段時間花費 0.100 秒。

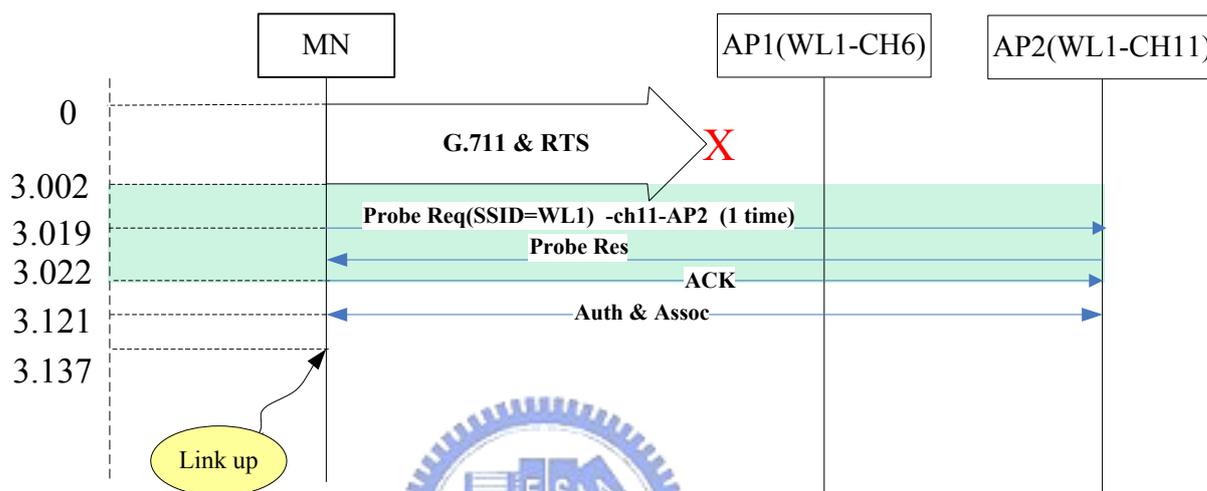


Figure 4-12 Cisco – Intra Ess (power off)

#### 4.3.1.5 小結

Phase / NIC	Intel	Z-Com	D-Link	Cisco
L2 handoff detection	0.818	10.313	3.018	18.479
Search	11.195	3.302	13.924	13.946
Authentication 及 Association phase	0.110	0.241	0.108	0.099
L2 Total Latencies	12.123	13.856	17.050	32.524
Link down event	8.820	10.583	13.856	29.417

Table 4-1 Inter ESS - Link layer handoff latency for different WLAN Cards

從 Figure 4-5 、Figure 4-7 、Figure 4-9 、Figure 4-11 中，Intel 無線區域網卡 probe 與 link down 發生的時間點分別為 0.819 秒與 8.820 秒，Z-Com 無線區域網卡 probe 與 link down 發生的時間點分別為 10.313 秒與 10.583 秒，D-Link 無線區域網卡 probe 與 link down 發生的時間點分別為 13.924 秒與 13.856 秒，Cisco 無線區域網卡 probe 與 link down 發生

的時間點分別為 18.479 秒與 29.417 秒。由以上的結果得知，尚未發生 link down 事件前，各廠牌的無線區域網卡會開始進行 probe，probe 一段時間仍然未收到舊有網路回覆訊息才會判斷與舊有網路失去連線。從這些無線區域網卡發生 link down 事件的時間點，我們得知均是發生在 probe 之後，若想要用此項事件來縮短鏈路層的交遞延遲，改善效果是有限的。

Table 4-1 列出各無線區域網卡處於 Inter ESS 的網路環境下，鏈路層交遞時所花費的時間，在 L2 handoff detection phase 裡所花費的時間，其中花費時間最短的為 Intel 無線區域網卡，而最長則為 Z-Com 無線區域網卡。可以顯見這兩家無線區域網卡的廠商其設計思維的不同。Intel 無線區域網卡認為在決定要不要觸發交遞反應是很快速的，但 Z-Com 無線區域網卡則相當謹慎。但 Intel 無線區域網卡雖然快速決定要開始作交遞，但它在探查舊有連線 AP 是否存在及尋找新連線 AP 上卻又相當保守，可能它認為在無線網路的環境裡，變化相當快速，所以會用各種方式去確認是否真的要換連線的網路，這些方式包含以不同的 SSID 名稱去探查鄰近 APs 及在短時間內送出多個 probe request 訊息。而 Z-Com 無線區域網卡一旦決定要作交遞，並且收集到足夠的資訊後就立即與選定的新 AP 連線。

D-Link 無線區域網卡裡其 probe request 訊息各數遠遠少於 Intel 無線區域網卡，但 probe 的延遲時間為何還高於 Intel 無線區域網卡？根據觀察頻道 6 及頻道 11 上的封包得到可能的結論為：

Intel 無線區域網卡較不信任無線網路環境，所以在 search phase 會送出大量的 probe request 訊息，訊息間隔不超過 150 毫秒，且從這兩個頻道上觀察到訊息的間隔時間較平均。相反的在 D-Link 無線區域網卡上，一開始送出 probe request 訊息時，平均間隔時間為 200~400 毫秒，而在探查一段時間後發現舊連線 AP 都沒有回覆訊息，於是將送出 probe request 訊息的間隔時間拉長，也就是等待回應的時間變長。從頻道 6 及頻道 11 上觀察到 probe request 送出的頻率約為 6~5 次，在頻道 11 裡最後二個 probe request 訊息的時間間隔接近 5 秒，也因此而造成 D-Link 無線區域網卡在 search phase 的時間高於 Intel 無線區域網卡。

Cisco 無線區域網卡與 D-Link 無線區域網卡雖都採用 Atheros 的晶片，但在探查鄰近

可連線網路的作法的設計上卻有不同，Cisco 無線區域網卡以 unicast 的方式去 probe 鄰近 APs，而 D-Link 則先採用 broadcast 方式，於最後確定要連線的 AP 後，才對此 AP 發出 unicast 的 probe request。但於 search phase 上所花費的時間差異不大，相同點均在於開始進行 probe 時訊息數量較多，一段時間後會等較長的時間後才送出 probe 訊息。

雖然各家廠牌的無線區域網卡在決定要不要進行交遞，及交遞時要用什麼方式去探查新舊網路不盡相同，但有一共同點，則是能夠不改變原連線網路就不改變，所以在 search phase 裡，對於同一頻道會來來回回多次的探查舊有網路是否存在，直到確認舊有網路不存在或是無法連線才連線至新的網路。

Figure 6、Figure 8、Figure 10、Figure 12 為各無線區域網卡在 Intra ESS 的環境下，交遞時所發生的行為及延遲時間。在 search phase 裡，我們發現各無線區域網卡送出 probe request 的頻率明顯下降許多。因送出的 probe request 訊息在頻道 11 被屬於相同 ESS 的 AP 回應，也因而縮短此段延遲時間。

從 Figure 6、Figure 8、Figure 10、Figure 12 也發現各無線區域網卡均只有 link up 事件，未有 link down 事件；因原服務基地台與新連線的基地台均屬於相同 ESS，在基地台佈建良好的情況下，各無線區域網卡中斷與原服務基地台的連線後，立即又收到新目標基地台的回應，且訊號良好，故交遞延遲未超過各無線區域網卡的規範時間，所以上層通訊協定未收到 link down 的事件通知。

上述可得出以下四點結論：

1. probe 行為依各廠牌無線區域網卡的設計思維而有所不同
2. 跨 ESS 漫遊會對 probe 的行為造成影響
3. link down 事件是在 probe 一段時間後才發生
4. link down 事件的發生取決於交遞延遲是否過長

### 4.3.2 各交遞觸發方法之數值分析

本小節裡針對在三種交遞觸發行為下，所造成的延遲為何，分別以 4.3.2.1 ~ 4.3.2.3 進行個別的探討。而在 4.3.2.1 ~ 4.3.2.3 裡又可分成在 Intra 與 Inter ESS 的網路環境下進行量測。以下實驗數據的取得，是以 10 次實驗結果，取其平均值。

#### 4.3.2.1 Method 1 — 自然轉換服務基地台 (Decrease the Tx power of current AP)

行動節點移動其位置，使其接收來自原服務基地台的訊號逐漸遞減，在訊號遞減的過程中，當行動節點發現封包無法傳送成功時，則會逐漸降低傳輸速率，並於重傳多次後仍然無法送達則放棄傳送此封包，繼續傳送下一個。Figure 4-4 裡提到各 phase 的時間切割，因在訊號遞減的過程中，仍有些封包在重傳多次後仍然可以送達，故對時間的統計作了部分修正以符合真正在交遞時所產生的延遲。

##### ➤ Intra ESS :

在此網路環境下，行動節點收發資料時是漸漸的遠離原服務基地台，故部份資料仍可傳送或接收成功，而部分資料則否。依據各家無線區域網卡的設計原則，仍遵循著不輕易更換連線 AP 的精神，所以依舊花費較多的時間在偵測是否要作交遞。一旦決定要作交遞，則開始送出 probe request 詢息探查鄰近網路。原服務基地台因還存在，故仍然會回覆 probe response 訊息。與原服務基地台屬於相同 ESS 的其他 APs，於收到 probe request 後也會立即回覆 probe response。因此各廠牌的無線區域網卡送出的 probe request 訊息數量與 Inter ESS 的環境相較下，明顯少很多，延遲時間也縮短。

Figure 4-13 為各無線區域網卡在此環境設定下交遞的延遲時間。Table 4-2 裡，列出各無線區域網卡在此環境下，不同 phase 的延遲時間。

Cisco 無線區域網卡在封包重傳多次後，仍收不到原服務基地台回覆 ACK 訊息，則再往下降一傳輸速率，直到降傳輸速率為 1.0 Mbps，仍然未收到 ACK 訊息，才會發送 RTS 訊息。D-Link 無線區域網卡發現以相同速率多次重傳封包，仍未收到 ACK 訊息，則送出 RTS 訊息，原服務基地台若收到會立即回覆 CTS 訊息，此時 D-Link 無線區域網卡認為原服務基地台仍然存在，往下降一傳輸速率後，再重傳封包，若仍未收到 ACK，於是

以多次的 RTS/CTS 訊息交換方式確認原服務基地台是否仍然可以收送封包，多次的 RTS/CTS 訊息交換與降低傳輸率重傳封包，直到所降的速率可以讓封包傳送成功。在判斷是否要降低傳輸速率以重傳封包的設計思維上，Cisco 及 D-Link 無線區域網卡設計方式的不同，也使得 D-Link 無線區域網卡的 L2 handoff detection 延遲時間會長於 Cisco 無線區域網卡。

根據觀察封包行為裡推得，Intel 無線區域網卡在訊號遞減的過程中降低傳輸速率後仍然可以收到來自原服務基地台的回覆訊息，有可能認為只是短暫的封包無法送達，所以會花較多的時間偵測原服務基地台是否真的已無法使用，才會切換連線的基地台，使得 Intel 無線區域網卡在 L2 handoff detection 延遲時間多於 D-Link or Cisco 無線區域網卡。

Z-Com 無線區域網卡是所有網卡裡花費最多時間在 L2 handoff detection。當訊號逐漸遞減，導致多個封包傳送失敗，其作法上較趨於保守，為了防止乒乓效應，花費較多的時間偵測是否要作交遞，在這段時間裡會重覆傳送封包及送出 RTS 訊息淨空無線網路。一旦完成 L2 handoff detection 且認為有必要作交遞，在後續的選擇要連線的 AP 所花費的時間 (search time) 就比其他無線區域網卡要來的快。

Z-Com 無線區域網卡在未對新服務基地台送出 authentication request 訊息之前就先送出 reassociation request，新目標基地台發現此行動節點尚未經過認證，則送出 deauthentication 訊息，此時 Z-Com 無線區域網卡才送出 authentication request，使得延遲時間高於其他三家廠牌的無線區域網卡。如 Table 4-2 所示。

總延遲時間：

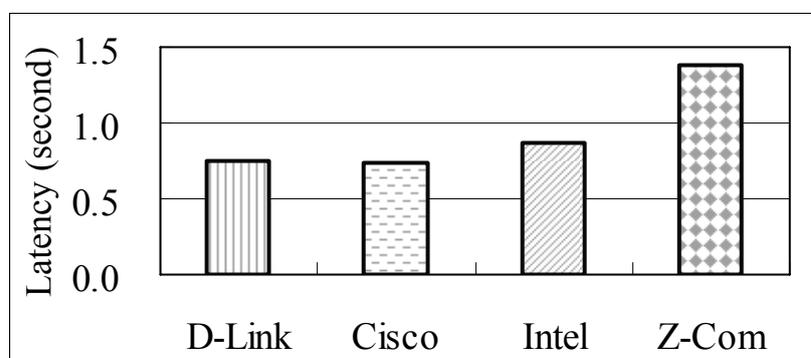


Figure 4-13 Link layer latencies: decrease the tx power for intra ESS

✚ 各無線區域網卡延遲時間：

	L2 handoff Detection	Search	Authentication	Reassociation
D-Link	0.510	0.228	0.002	0.004
Cisco	0.210	0.516	0.003	0.004
Intel	0.682	0.164	0.015	0.005
Z-Com	1.152	0.115	0.002	0.112

Table 4-2 Link layer latencies: decrease the tx power for intra ESS

➤ **Inter ESS**

在此網路環境裡，Intel 無線區域網卡 L2 handoff detection 延遲高於強制關閉服務基地台電源的時間，從截取到封包裡，推論在訊號遞減的過程中，Intel 無線區域網卡送出的封包或 RTS 訊息，於降低傳輸速率後，有時仍可被原服務基地台收到，或是收到原服務基地台傳送過來的封包，故此無線區域網卡認為原服務基地台仍可使用，在資料傳輸錯誤率到達某一程度後，才會判斷需要作交遞，也因此自然轉換服務基地台的交遞觸發機制下，交遞延遲高於強制關閉服務基地台電源方法。

從 Figure 4-14 裡，列出各無線區域網卡在此交遞機制下的總延遲時間，也看出 Cisco 無線區域網卡交遞延遲為最長，主要花費在探查鄰近可連線基地台這段時間內；因 probe request 訊息是以 unicast 方式對網路可用清單上的 APs 一一發出，故需等待被 probe 的 AP 回覆 ACK，若 AP 未立即回覆，則此無線區域網卡會重送 probe request，直到收到 AP 回覆 ACK 為止。Table 4-3 列出不同廠牌無線區域網卡在各 phase 的延遲時間。

✚ 總延遲時間：

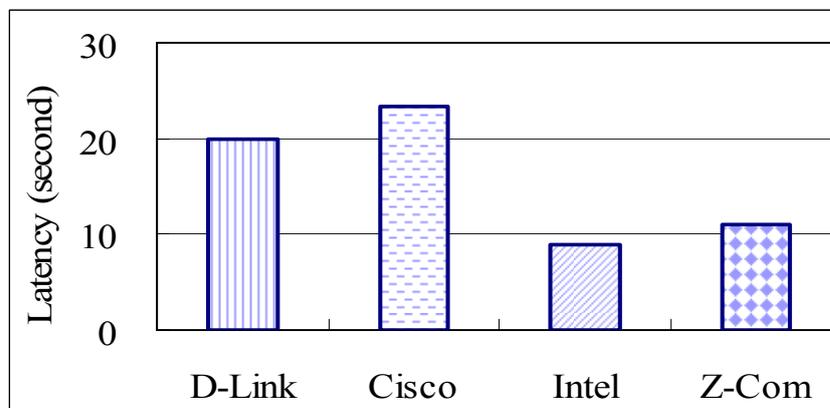


Figure 4-14 Link layer latencies: decrease the tx power for inter ESS

各無線區域網卡延遲時間：

	L2 Hand off Detection	Search	Authentication	Reassociation
D-Link	11.643	8.210	0.046	0.065
Cisco	9.157	14.046	0.032	0.066
Intel	2.560	6.303	0.047	0.064
Z-Com	6.626	3.477	0.208	0.064

Table 4-3 Link layer latencies: decrease the tx power for inter ESS

#### 4.3.2.2 Method 2 — 強制關閉服務基地台電源(Power off the current AP)

##### ➤ Intra ESS

從 Figure 4-15 裡可見 Intel 無線區域網卡總體延遲時間最短，主要差異時間在於 L2 handoff detection。因為是讓舊服務基地台電源供應突然消失，Intel 無線區域網卡持續重傳封包及 RTS 訊息一段時間後均未收到任何的 ACK 訊息回覆，此無線區域網卡認為不需再花費時間進行偵測是否與舊服務基地台失去連線，則判斷需要作交遞，而進入下一階段進行探查鄰近可連線的 AP。

Cisco 無線區域網卡在探查鄰近可連線 AP 所送出的 probe request 均以 unicast 方式，故收到此訊息的 AP 必定要回覆 ACK，也由此得知在與舊服務基地台屬於相同 ESS 環境裡有那些 APs 仍然存在，在完成一次的 probe request 及 probe response 訊息交換後，此無線區域網卡則對選定的 AP 送出 authentication request 訊息，也因此在此 search phase 裡，此無線區域網卡的交遞延遲為最短。

總延遲時間：

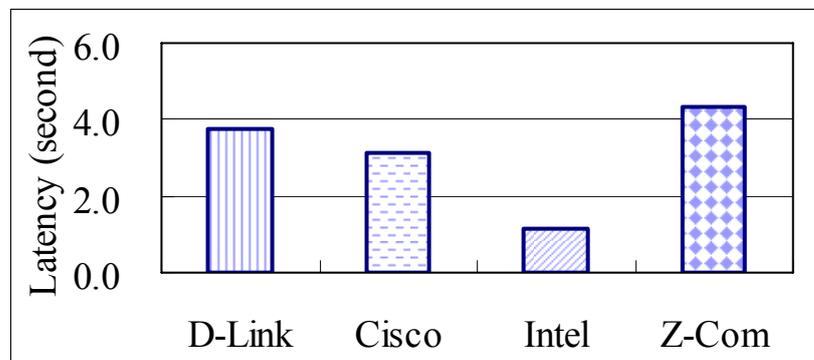


Figure 4-15 Link layer latencies: power off for intra ESS

各無線區域網卡延遲時間：

	L2 Hand off Detection	Search	Authentication	Association
D-Link	2.984	0.668	0.051	0.069
Cisco	3.004	0.018	0.034	0.064
Intel	0.815	0.235	0.049	0.069
Z-Com	4.108	0.150	0.076	0.004

Table 4-4 Link layer latencies: power off for intra ESS

➤ **Inter – ESS**

詳細分析見 4.3.1.1 ~ 4.3.1.4 小節。

總延遲時間：

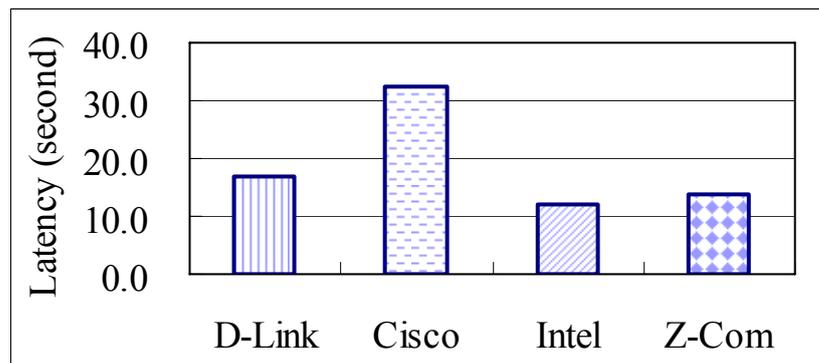


Figure 4-16 Link layer latencies: power off for inter ESS

各無線區域網卡延遲時間：

	L2 Hand off Detection	Search	Authentication	Association
D-Link	3.018	13.924	0.038	0.071
Cisco	18.479	13.946	0.034	0.064
Intel	0.819	11.195	0.046	0.064
Z-Com	10.313	3.302	0.176	0.065

Table 4-5 Link layer latencies: power off for inter ESS

### 4.3.2.3 Method 3 基地台強迫接續法(Direct Association)

#### ➤ Intra ESS

在此交遞觸發機制下，由於是直接指定要連線的目標基地台，故 L2 handoff detection 的延遲均被排除。在收到連線至新目標基地台的命令後，Intel 與 Z-Com 無線區域網卡會送出 Disassociation 給目前的服務基地台，解除其連線。D-Link 及 Cisco 無線區域網卡的封包內則未見任何與目前服務基地台解除連線的訊息，只會對目標基地台發出一次 unicast 的 probe request 訊息，而目標基地台回應 probe response 後，則結束 probe。至於 Intel 及 Z-Com 無線區域網卡因為不支援以 unicast 方式發出 probe request，仍然以 broadcast 方式探查可連線的基地台，導致延遲時間過長。

✚ 總延遲時間：

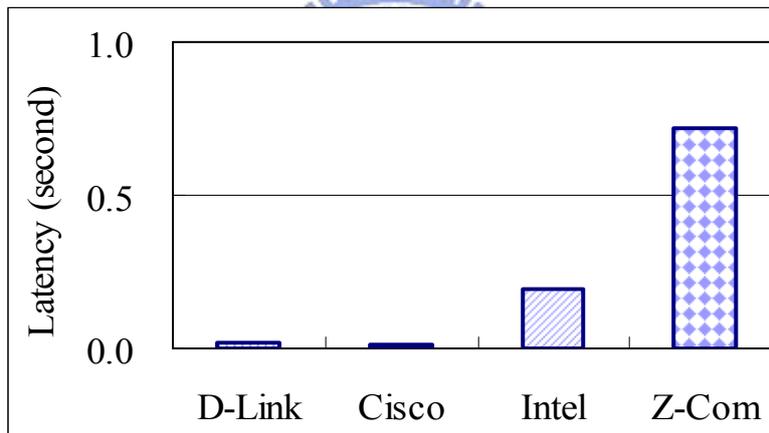


Figure 4-17 Link layer latencies: direct association for intra ESS

✚ 各無線區域網卡延遲時間分佈：

	Disassociation	Search	Authentication	Association
D-Link	N/A	0.010	0.003	0.004
Cisco	N/A	0.009	0.002	0.004
Intel	0.010	0.166	0.016	0.003
Z-Com	0.008	0.665	0.041	0.006

Table 4-6 Link layer latencies: direct association for intra ESS

## ➤ Inter-ESS

在此交遞觸發機制下，Cisco 與 D-Link 無線區域網卡收到連線至新目標基地台的命令後，會送出 Deauthentication 訊息給原服務基地台，解除認證。而 Intel 與 Z-Com 無線區域網卡則送出 Disassociation 訊息給原服務基地台，解除連線。

Cisco 及 D-Link 無線區域網卡支援以 unicast 方式發送 probe request 訊息，故在一次的 probe request/response 訊息交換所要連線的目標基地台存在後，則對所要連線的 AP 送出 authentication request。而 Intl 無線區域網卡 probe 時間是所有無線區域網卡花費最長的。從封包中觀察出 Intel 無線區域網卡會以 broadcast 方式發出大量的 probe request 訊息，且一直帶著舊有 AP 的 SSID 探查網路，但均無 AP 回覆，直到 Intel 無線區域網卡發出 association request 訊息，才將 SSID 更改為目標基地台的 SSID 名稱。

✚ 總延遲時間：

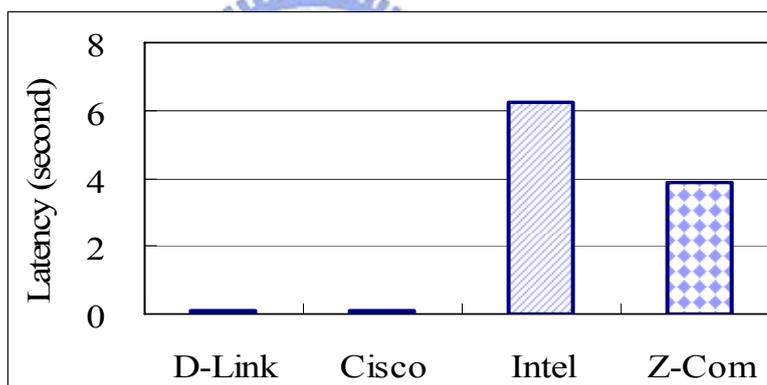


Figure 4-18 Link layer latencies: direct association for inter ESS

✚ 各無線區域網卡延遲時間分佈：

	Deauthentication/ Disassociation	Search	Authentication	Association
D-Link	0.011	0.005	0.034	0.065
Cisco	0.008	0.002	0.038	0.071
Intel	0.024	6.122	0.051	0.066
Z-Com	0.007	3.816	0.068	0.004

Table 4-7 Link layer latencies: direct association for inter ESS

### 4.3.3 小結

1. L2 handoff detection 的延遲，各廠牌無線區域網卡會有差異
2. probe 的延遲也因不同廠牌無線區域網卡的設計傾向而有不同
3. 無線區域網卡若能支援 unicast probe request，則可大幅縮短 probe delay



## 4.4 交遞觸發機制對交遞延遲之影響

以下針對各無線區域網卡在不同的網路環境下，使用不同的交遞觸發行為（強制關閉服務基地台電源以 Power off 代稱，而自然轉換服務基地台則以 Decrease Tx 代稱。基地台強迫接續法則以 DA 代稱），於探查鄰近 APs (search phase)時產生的延遲與行為差異作一詳細說明。Z-Com 無線區域網卡的交遞測試使用兩款形式的無線區域網卡，因 XI-325 這張無線區域網卡不支援 DA 的交遞觸發行為，故使用 XG-350 這一張無線區域網卡作為 DA 測試的基準。

### 4.4.1 Intra ESS - Search phase

#### ➤ Z-Com :

Power off：相同頻道裡送出的 probe request 頻率只有 1 次，在收到目標基地台回覆 probe response 後，則結束探查動作。Decrease Tx 的行為與 Power off 相同。

DA：從頻道 6 截取的封包中觀察出，此無線區域網卡收到 DA 命令後，平均間隔 300 多毫秒才送出 probe request 訊息。同一頻道一次送出連續 2~3 個 probe request 訊息後，才會繼續探查下一頻道。從頻道 6 及頻道 11 裡觀察 probe request 訊息送出頻率平均約為 3 次，每一次的訊息間隔時間為 319 毫秒。其他廠牌的無線區域網卡在收到 DA 命令後，並不會間隔 300 多毫秒才送出 probe request，而這也造成 Z-Com 無線區域網卡在 DA 的交遞觸發方法裡，延遲較其他無線區域網卡為長。

#### ➤ Intel :

Power off：相同頻道裡送出的 probe request 頻率為 5 次，訊息間隔時間為 10~20 毫秒。Decrease Tx：相同頻道裡送出的 probe request 頻率為 2~3 次，訊息間隔時間為 10~20 毫秒。Power off 送出的 probe request 頻率大於 Decrease Tx，也因此產生的延遲時間較長。DA：其 probe request 的訊息個數、頻率、訊息間隔區間與 Decrease Tx 相同，故延遲時間幾盡相同。

#### ➤ D-Link :

Power off：相同頻道裡送出的 probe request 頻率為 4 次，一次送出的 probe request 訊息個數為 1~2 個，每次的間隔時間為 50~55 毫秒。而 Decrease Tx：相同頻道裡送出的

probe request 頻率為 3~4 次，一次送出的 probe request 訊息個數也為 1~2 個，但間隔時間則降為 10~15 毫秒，也因此 Decrease Tx 的交遞觸發行為延遲時間短於 Power off。

DA：只會有一次的 probe request/response 訊息交換且是以 unicast 的方式對所要連線的 AP 送出，故延遲時間遠短於其他兩種交遞觸發行為。

➤ Cisco：

Power off：因原服務基地台在瞬間電源被切斷，而此無線區域網卡對目標基地台所在頻道送出 probe request 訊息後，目標基地台立即回應 probe response，則完成鄰近 APs 的探查工作。此交遞觸發行為與 DA 相同，故延遲時間差異不大。Decrease Tx：因是訊號逐漸遞減，當此無線區域網卡開始送出 probe request 訊息時，探查的 APs 也包含原服務基地台，此基地台仍然會回應 probe response。經過 2 次探查網路上可用清單上所有 APs 後，也收到另一訊號較強的基地台回應 probe response 後，才進行與新目標基地台認證的動作。也因送出的 probe request 訊息次數多於 Power off 與 DA，使得延遲時間較長。

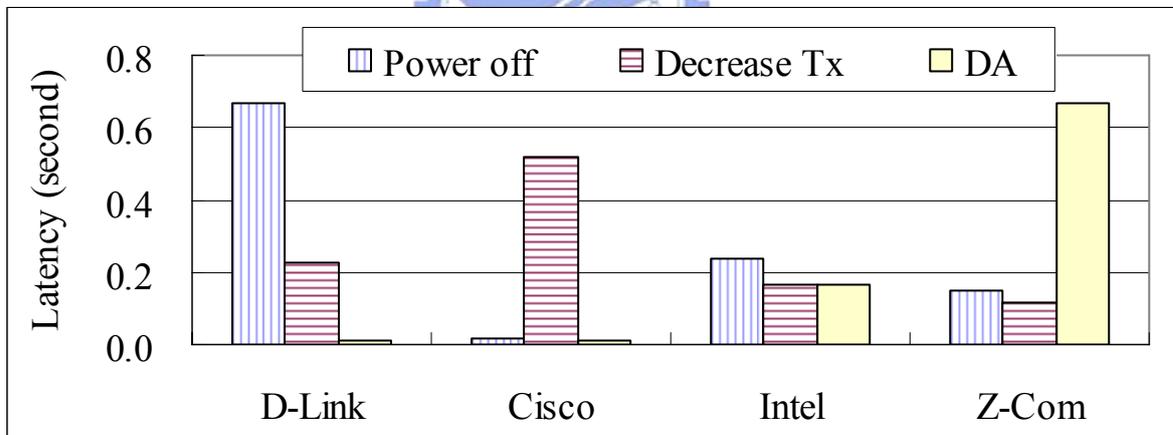


Figure 4-19 Link layer latencies of search phase for intra ESS

Intra-ESS(Search)	Power off	Decrease Tx (Decrease the Tx power)	DA (Direct Association)
D-Link	0.668	0.228	0.010
Cisco	0.018	0.516	0.009
Intel	0.235	0.164	0.166
Z-Com	0.150	0.115	0.665

Table 4-8 Link layer latencies of search phase for intra ESS

## 4.4.2 Inter ESS – Search phase

### ➤ Z-Com:

Power off: 從頻道 6 及 頻道 11 裡觀察得出，probe 頻率為 2~3 次，前二次訊息發送間隔時間約為 0.150 秒，後二次訊息發送間隔時間約為 2.8 秒。推測後二次訊息發送除花費時間探查鄰近可連線 APs 外，亦花費部分的時間在選擇要連線的基地台上。Decrease Tx 的行為與 Power off 相同。DA: 在一次的 probe 訊息發送中，會連續送出 3 個 probe request，probe 頻率約為 5~6 次，最後二次的 probe request 訊息間隔仍然佔 search phase 最多時間。因 probe 頻率的差異，使得 DA 在 search time 的延遲稍微高於其他兩種交遞觸發機制。詳見 Table 4-6。

### ➤ Intel:

Power off: 在送出 probe request 訊息次數上，約為 160~199 次，訊息間隔區間為 10~15 毫秒，而 Decrease Tx 從單一頻道上觀察，probe request 訊息次數 14~22 次。另 probe request 訊息間隔時間也拉長。至於 probe request 訊息欄位內的 SSID 值也有差異，在 power off 裡其值的變化依序為舊服務基地台的 SSID 名稱、NULL、舊服務基地台的 SSID 名稱、ANY、新服務基地台 SSID 名稱，而 Decrease Tx 則依序為舊服務基地台 SSID、ANY、新服務基地台 SSID 名稱。從以上這些差異可以得出此無線區域網卡對於轉換連線 AP 是採取很保守的策略，因 Power off 是突然讓舊服務基地台電源中斷，但原處於連線狀態時訊號仍然很好，所以才會重覆的去探查舊服務基地台是否真的不存在。

### ➤ D-Link:

Power off: probe request 針對一個頻道，平均探查頻率為 6~5 次，而 Decrease Tx 頻率則為 9~10 次，也因此 Decrease Tx 延遲時間高於 Power off。另在 Power off 的機制下，probe request 訊息內的 SSID 值變化，以帶舊服務基地台的 SSID 名稱及 SSID 為 NULL 交錯傳送，到最後一個 probe request 則改為選定要連線 AP 的 SSID 名稱。而 Decrease Tx 所送出的 probe request 訊息其 SSID 欄位先帶舊服務基地台的 SSID 名稱與 SSID 為 NULL 形式交錯傳送，之後再將 SSID 改為 ANY 與 NULL 形式交錯傳送，傳送頻率平均為 2 次。而在 DA 機制下的網路探查只會以 unicast 訊息形式對即將連線的 AP 送出一次的 probe request 訊息，以確保此 AP 確實存在，才進行下一階段的程序。

➤ Cisco:

此無線區域網卡不管是在 Power off 或 Decrease Tx 的交遞觸發機制裡，均是以 unicast 的訊息逐一對事先取得的網路可用清單上的 AP 送出 probe request，針對同一個 AP 探查頻率至少為 3 ~ 10 次。而在 DA 的 probe 頻率只會發生一次，且是對即將要連線的 AP 送出訊息。

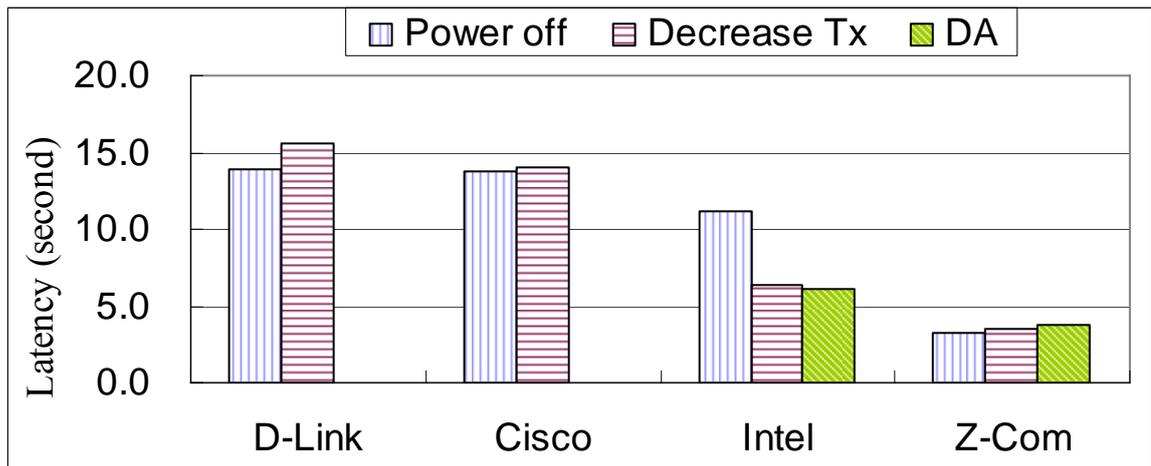


Figure 4-20 Link layer latencies of search phase for inter ESS

Inter-ESS(Search)	Power Off	Decrease Tx (Decrease the Tx power)	DA (Direct Association)
D-Link	13.924	15.618	0.005
Cisco	13.946	14.046	0.002
Intel	11.195	6.303	6.122
Z-Com	3.302	3.477	3.816

Table 4-9 Link layer latencies of search phase for inter ESS

## 4.5 無線網路組態管理工具對網路探查行為之影響

本章節裡以兩套無線網路管理工具為例，探討當行動節點發生交遞後，對網路探查行為 (search phase) 與所產生延遲之影響，根據這些行為的發生推測這兩套工具在不同情境下設計的思維。此兩套管理工具分別為 WindowsXP 內建的 wireless zero configuration 及無線區域網卡廠商提供用來管理連線至無線網路的應用程式 (WLAN utility)。

4.4.1 及 4.4.2 小節中個別以 Inter ESS 與 Intra ESS 分析與比較 wireless zero configuration 及 WLAN utility 對 search phase [4] 的延遲影響。因並非所有的 WLAN utility 均支援 Inter ESS 的交遞，故僅對 Intra ESS 與 Inter ESS 均支援的 utility 作詳細的說明。而在交遞觸發行為中，以自然轉換服務基地台 (Method 1) 與強制關閉服務基地台電源 (Method 2) 作為行為比較的基準。

### 4.5.1 Intra ESS

#### Intel WLAN card –



#### ➤ Method 1 :

在此交遞觸發行為下，使用 zero configuration 作為 WLAN 之組態管理工具所觀察的結果為：從新舊服務基地台所在頻道裡觀察出，此無線區域網卡送出的 probe request 訊息週期為 2 ~ 3 次，延遲時間為 0.163 秒。使用 WLAN utility 所觀察的結果為：此無線區域網卡會對新舊基地台所在頻道各別送出一次 probe request，一有基地台回應則停止送出 probe request，延遲時間為 0.022 秒。

#### ➤ Method 2 :

在此交遞觸發行為下，使用 zero configuration 作為 WLAN 之組態管理工具所觀察的結果為：從新舊服務基地台所在頻道裡觀察出，此無線區域網卡送出的 probe request 訊息週期為 2 ~ 5 次，延遲時間為 0.235 秒。而使用 WLAN utility 所觀察的結果為：此無線區域網卡會對新舊基地台所在頻道各別送出一次 probe request，一有基地台回應則停止送出 probe request，延遲時間為 0.025 秒。

由 Method 1 與 Method2 結果得知，WLAN 的管理工具對於 search phase 的延遲會造成影響。zero configuration 會促使無線區域網卡送出多次的 probe request，顯見此套 tool 的設計思維傾向無線網路環境變化快速，不能過於信任，故藉由此方式來確認舊有的連線網路是否真的已不存在。而在 WLAN utility 方面，為了達到能快速完成交遞的目的地，故在收到其他基地台的回應後則結束網路的探查。

## 4.5.2 Inter ESS

### Intel WLAN card —

#### ➤ Method 1 :

在此交遞觸發行為下，使用 zero configuration 作為 WLAN 之組態管理工具所觀察的結果為：在單一頻道上得出 probe request 訊息次數 14 ~ 22 次。總延遲時間為 6.303 秒。SSID 值的變化分別為舊服務基地台名稱、ANY、新服務基地台 名稱。probe request 內的 sequence number 重新 reset 的延遲時間為 3.048 秒。SSID 值由 ANY 轉換至新服務基地台名稱之間的延遲約為 2.295 秒。

使用 WLAN utility 所觀察的結果為：probe request 訊息次數為 16 ~ 19 次。總延遲時間為 9.395 秒。所送出的 probe request 訊息裡可劃分為三個階段，第一階段是 sequence number 的 reset，亦即由原先累加的 sequence number 重新啟始為 1，延遲時間為 2.757 秒。第二階段為 probe request 內 SSID 欄位值的變化，由原先只送舊服務基地台名稱轉換成 SSID 為 NULL 與舊服務基地台名稱交錯傳送，轉換的延遲約為 2.554 秒。第三階段為第二階段的值域變化至新服務基地台的 SSID 名稱，延遲約為 3.140 秒。

以 zero configuration 作為連線至無線網路的管理工具，所送出的 probe request 訊息個數雖高於 WLAN utility，但因其內部在處理轉換訊息型態的延遲及訊息送出間隔時間均少於 WLAN utility，故網路探查的延遲時間低於 WLAN utility。

#### Method2 :

在此交遞觸發行為下，使用 zero configuration 作為 WLAN 之組態管理工具所觀察的結果為：從單一頻道裡觀察出所送出 probe request 訊息次數約為 160 ~ 199 次，訊息間隔

區間為 10~15 毫秒，probe request 訊息欄位內的 SSID 值的變化依序為舊 AP 名稱、NULL、舊 AP 的 SSID 名稱、ANY、新服務基地台名稱。延遲時間為 11.195 秒。

使用 WLAN utility 所觀察的結果為：probe request 訊息次數為 20 ~ 24 次。送出的 probe request 訊息裡可劃分為三個階段，分別為舊服務基地台名稱，NULL 與舊服務基地台名稱交錯傳送，最後才更改為新服務基地台名稱。SSID 名稱由舊服務基地台更改為 NULL，其延遲時間為 4.654 秒。而 SSID 名稱由舊服務基地台名稱更改為新服務基地台名稱，其延遲時間為 7.776 秒。search 總延遲時間為 13.586 秒。

zero configuration 管理工具送出的 probe request 訊息次數遠高於 WLAN utility 所送出，且訊息之間的時間只有 10 ~ 15 毫秒也遠低於 WLAN utility 的時間。從這也可看出 zero configuration 在此種網路環境下的設計方法是以送出大量的 probe request 訊息來獲取鄰近可供連線的網路，企圖縮短此階段延遲，而 WLAN utility 除了有較大的延遲在 SSID 值的更改外，送出 probe request 後也會花費較多的時間來等待回應。



#### 4.5.3 小結

從 zero configuration 與 WLAN utility 這兩套管理工具對於無線區域網卡在探查網路時的影響來看，WLAN utility 在 Intra ESS 的表現優於 zero configuration，而在 Inter ESS 的無線網路環境下，zero configuration 的表現卻優於 WLAN utility。以 probe request 訊息個數來看，不管是在 Intra ESS 與 Inter ESS，zero configuration 均高於 WLAN utility，從這我們也可以看出 zero configuration 以較積極的方式探查網路，這樣的設計方式在 Inter ESS 的環境下就較有優勢，以大量 probe 訊息詢問舊有網路是否已確實不存在，在均無 APs 回應下則可判斷出舊有連線網路已不存在，但這種設計方式的缺點則是讓整個網路產生大量的 traffic。而在 Intra ESS 的環境下相對優勢消失，因送出多個 probe request 訊息後仍需花費一段時間等待回應。

WLAN utility 在 Intra ESS 的環境下則只對新舊服務基地台所在頻道各送出一次的 probe request，當有 AP 回應時則立即進行連線。顯見 WLAN utility 對於無線網路環境較

zero configuration 信任。但在 Inter ESS 的環境裡，WLAN utility 對於改變 probe request 的訊息形式 (sequence number reset 與 SSID 值的變化) 在處理時間上均較 zero configuration 為久，若排除效能不彰的因素外，可能原因為藉由較長的等待時間來確認原服務基地台是否已無法連線。

Table 4-10, Table 4-11 分別列出 Zero Configuration 與 Intel wireless utility 在 L2 handoff detection 與 search phase 的延遲時間與訊息次數及 SSID 欄位的變化值。

	Zero Configuration		Intel Pro Set	
	Intra ESS	Inter ESS	Intra ESS	Inter ESS
L2 handoff detection	0.815 s	0.819 s	0.365 s	4.557 s
Probe times	2 ~ 5	160 ~ 199	1	20 ~ 24
Probe delay	0.235 s	11.195 s	0.025 s	13.586 s
SSID Variation		(1) Old AP, (2) NULL (3) Old AP (4) ANY (5) New AP		(1) Old AP, (2) NULL and old AP interleaving (3) New AP

Table 4-10 Intel – Power off the current AP for zero configuration v.s. wireless utility

	Zero Configuration		Intel Pro Set	
	Intra ESS	Inter ESS	Intra ESS	Inter ESS
L2 handoff detection	0.682 s	2.560 s	0.363 s	4.132 s
Probe times	2 ~ 3	14 ~ 22	1	16 ~ 19
Probe delay	0.163 s	6.303 s	0.022 s	9.395 s
SSID Variation		(1) Old AP (2) NULL and old AP interleaving (3) New AP		(1) Old AP (2) ANY (3) New AP

Table 4-11 Intel – Decrease the Tx power of current AP for zero configuration v.s. wireless utility



## 4.6 基地台對 Authentication 及(Re)Association 之延遲影響

在 Figure 4-24~ Figure-4-26 中分別呈現 Z-Com AP 與 Cisco AP 對 Authentication 及 Association 延遲時間的影響，從這四張圖裡可以觀察出 Cisco AP 顯然效能較 Z-Com AP 表現佳。在縮短交遞延遲上，AP 的選擇應是被考量的因素之一。

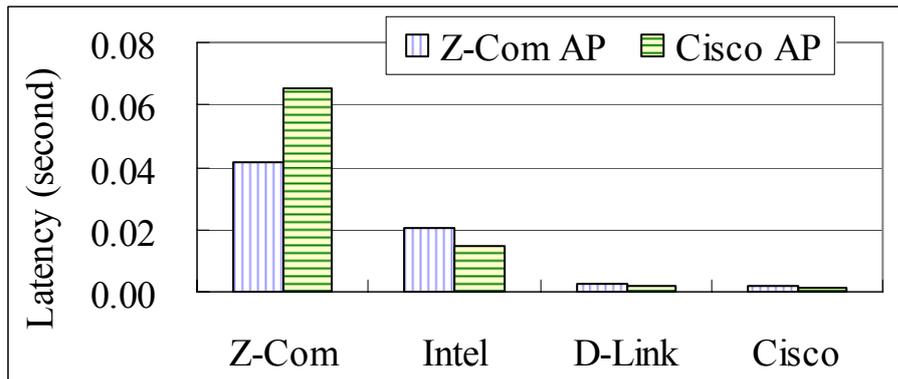


Figure 4-21 Intra ESS: Authentication latency –Z-Com AP vs. Cisco AP

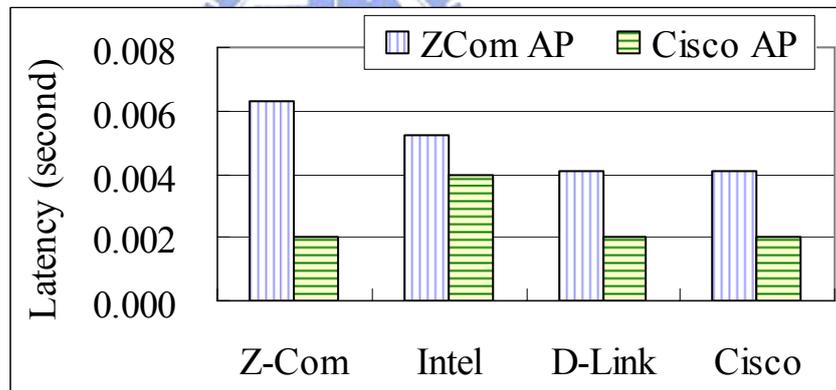


Figure 4-22 Intra ESS: Association latency —Z-Com AP vs. Cisco AP

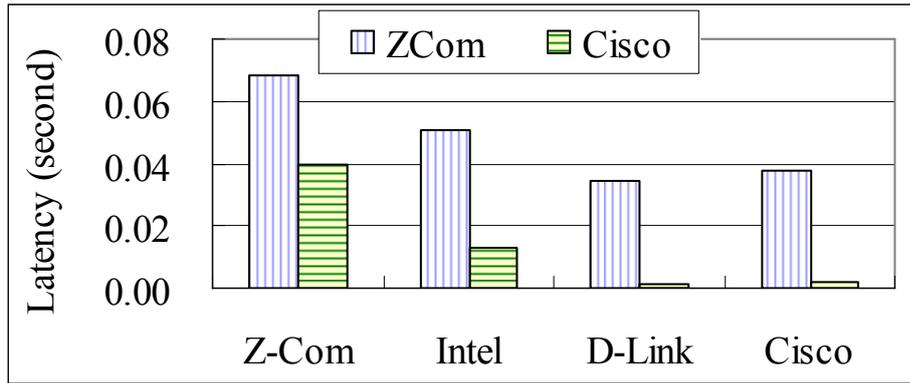


Figure 4-23 Inter ESS: Authentication latency –Z-Com AP vs. Cisco AP

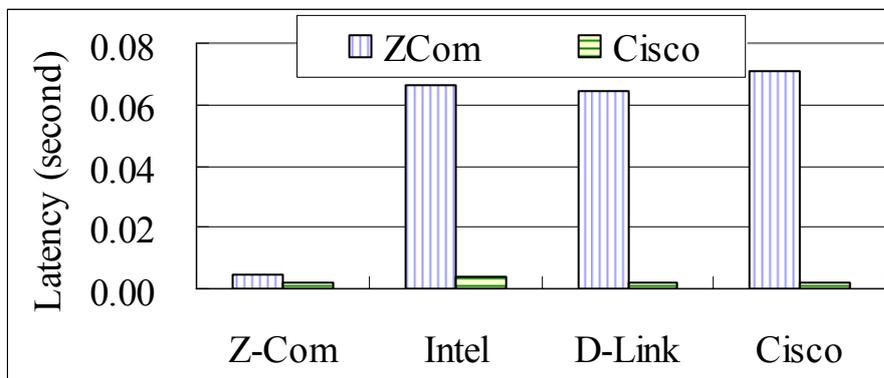


Figure 4-24 Inter ESS: Association latency —Z-Com AP vs. Cisco AP

NIC		Z-Com AP		Cisco AP	
		Authentication	(Re)Association	Authentication	(Re)Association
Z-Com	Intra SSID	0.041	0.006	0.065	0.002
	Inter SSID	0.068	0.004	0.040	0.002
Intel	Intra SSID	0.021	0.005	0.015	0.004
	Inter SSID	0.051	0.066	0.013	0.004
D-Link	Intra SSID	0.003	0.004	0.002	0.002
	Inter SSID	0.034	0.065	0.001	0.002
Cisco	Intra SSID	0.002	0.004	0.001	0.002
	Inter SSID	0.038	0.071	0.002	0.002

Table 4-12 Authenticaiton , (Re)Association latencies : Z-Com AP vs. Cisco AP

## 4.7 鏈路層交遞分析小結

在鏈路層의交遞行為與延遲的分析中，我們發現了以下幾項有趣的現象：

### ➤ L2 handoff detection phase :

1. 不管是在語音封包的重傳或是 RTS/CTS 的訊息傳送，在無法傳送成功時，均會以降速方式重傳
2. 此段交遞延遲，不同廠牌的無線區域網卡會有差異

### ➤ Probe phase :

1. probe 行為及延遲依各廠牌無線區域網卡的設計思維而有所不同
2. 在跨 ESS 漫遊時，因各廠牌無線區域網卡仍傾向尋找舊有連線網路，故對 probe 的行為會造成影響
3. 無線區域網卡若能支援 unicast probe request，在使用基地台強迫接續法的交遞觸發機制下，則可大幅縮短 probe delay
4. 不同的交遞觸發機制對於無線區域網卡 probe 的行為會產生影響
5. Wireless configuration tool 對於無線區域網卡 probe 的行為會有影響

### ➤ Authentication and Association phase :

不同廠牌的 APs 會對 authentication and association 的延遲造成影響

### Event trigger :

1. link down 事件是在 probe 一段時間後才發生
2. link down 事件的發生取決於交遞延遲是否過長

## 第5章 其他量測結果與綜合分析

5.1 節裡描述行動節點在發生網路層交遞時所產生的延遲與行為分析，其中 IP 位址的取得可分為二種方式，一為發生網路層交遞時才動態向網路上特定 host 獲取，另一為在觸發網路層交遞前則預先向網路上的特定 host 取得。

在 5.2 節裡說明行動節點在應用層發生交遞時產生的延遲及行為，分別為對 IP 的變動具知覺與不具知覺進行分析與探討。

最後在 5.3 節裡，綜合各層交遞行為，作一跨層延遲之解析。

### 5.1 網路層交遞

#### 5.1.1 網路層交遞行為與延遲分析

在完成鏈路層之交遞後，若需重新取得 IP 位址則會觸發網路層之交遞行為。Table 3-1 中，分成四種測試環境，除了 case 1 的網路環境不會觸發網路層之交遞外，case 2,3,4 均會發生，以下分別針對這些 case 在網路層之交遞行為與延遲時間作詳盡的分析。

##### 5.1.1.1 行為分析

###### Case 2 : Intra Subnet - Inter ESS

在此網路環境下，行動節點雖然在鏈路層之交遞前後均屬於相同網域，但因在 Inter ESS 環境下延遲時間過長，因而觸發網路層交遞。完成 network handoff detection 後，行動節點會連續向所在網路送出 2 次 DHCP Discovery，在 DHCP Discovery 訊息的 header 裡，Client IP address 欄位已被更改為 0.0.0.0 (表示為 broadcast)，而 Option 50 (表 Requested IP Address) 請求原來使用的 IP 位址，Figure 5-1 分別以 IP<sub>S</sub>: 0 及 IP<sub>R</sub>: Old IP 表示 Client IP address 與 Requested IP address。而網路上的 DHCP server 收到後會以 DHCP Offer 訊息回覆所請求的 IP 位址，因行動節點仍處於原來的網域中，故網域上的 DHCP Server 所提供的位址為所請求 IP。行動節點於間隔約 3~4 秒後行動節點才又發出第三次 DHCP Discovery，這樣的處理方式可能是跑在行動節點上的 DHCP client 應用程式在設計上採取較保守作法，

認為在此網域下可能不只存在單一 DHCP server，所以藉由等待，查看是否仍有其他 DHCP server 存在，若所要求的 IP 位址早一步被租用，還可向其他 DHCP server 請求 IP 位址。於收到第二次 DHCP server 傳送的 DHCP Offer 訊息後，行動節點以廣播的方式送出 DHCP Request 訊息向 DHCP Server 申請租用，也讓網路上其他 DHCP server 知道，不需再保留所提供的 IP 位址。若 DHCP Server 允許 DHCP Client 的請求，會將該資訊記錄下來並回覆允許租用 (DHCP ACK) 的訊息給 DHCP client。若 DHCP Server 不能同意請求，則會發出 DHCP NACK 封包，行動節點收到後，便重新執行整個流程。如 Figure 5-1 所示。

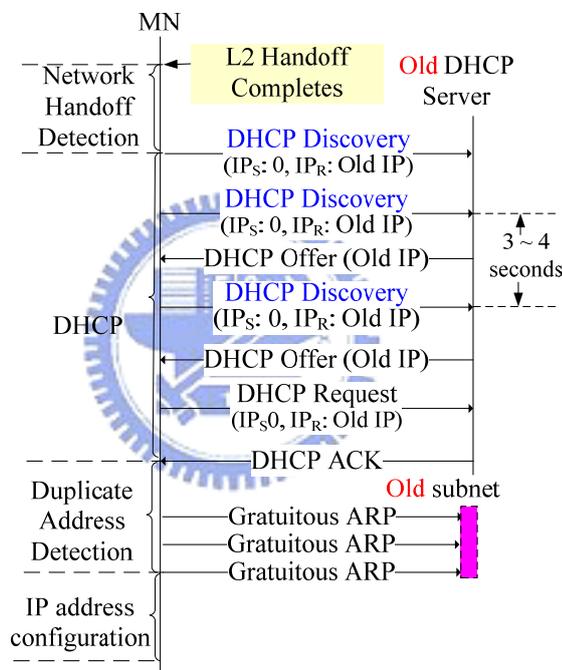


Figure 5-1 Network layer latencies : Intra Subnet – Inter ESS

### Case 3 - Inter subnet – Intra ESS

此網路環境下，網路層並未被告知需要作交遞。故送出的封包仍丟往舊有網域的路由器，當新基地台收到此封包並轉送給新網域上的路由器，新網域上的路由器並不認得不同網域路由器的 MAC 位址，故將此封包丟棄。這些被丟棄的封包並不會有任何的機制告知行動節點應改變傳送的路由器，此時只是不斷的丟出封包，而新網域上的路由器收到則不斷丟棄。ARP table 內的 entry 在 timeout 前均未被再更新，故 ARP 應用程式將關於記載舊

有網域裡預設路由器之 ARP entry 清空，當有 network traffic 要送出時，發現 ARP table 內已無此 entry，故呼叫 ARP 程式送出 ARP request 向網路上詢問舊有網域上路由器對應的 MAC address，時間週期為每間隔 1 秒發送 1 次，但新網域上的 host 均無回應。距離第一個 ARP request 發出後的第 4 秒，行動節點會帶舊有網域之 IP 位址以 unicast 方式送出 DHCP Request 訊息。訊息內所要表達的意涵為向網路上的 DHCP server 重新更新租約，但仍得不到新網域上的 DHCP Server 回應，此訊息共發送三次，間隔時間分別為 4,8,16 秒。行動節點經過一連串的測試後察覺到原來的 IP 位址確實無法使用後，才重新發出 DHCP Discovery 訊息探查新網域的 DHCP Server 為何，並於後續的 IP 位址請求只花費三次訊息交換的時間。在 Figure 5-2 以  $IP_S$ : Old IP 表示 DHCP Request 訊息的 header 裡，Client IP address 欄位為舊網域 IP 位址， $IP_R$ : NULL 表示在此 header 內並未出現此 Option 50 (表 Requested IP Address) 欄位。

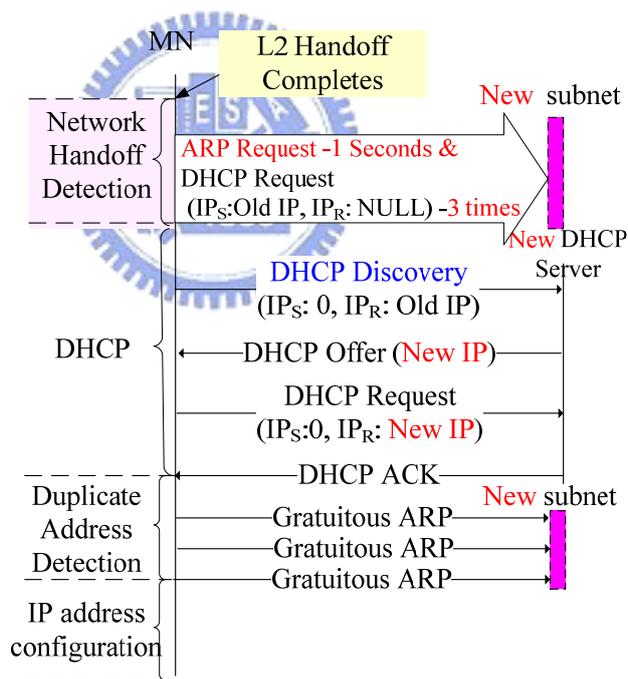


Figure 5-2 Network layer latencies : Inter Subnet – Intra ESS

### Case 4 : Inter Subnet- Inter ESS

在此網路環境下，行動節點須作跨網域交遞。當行動節點送出 DHCP Discovery 訊息探查網路上可提供 IP 位址的 host，而新網域上的 DHCP server 送出 DHCP Offer，內含分配給行動節點在此新網域上的 IP 位址。行動節點仍然是送出三次的 Discovery 訊息後，才發出 DHCP Request 請求租用 IP 位址，此 IP 位址則為新網域裡 DHCP server 所允許租用的位址。見 Figure 5-3。

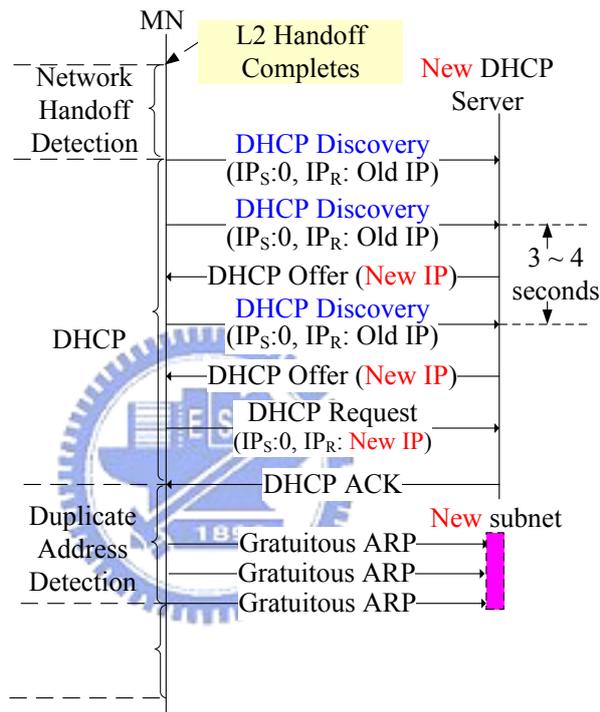


Figure 5-3 Network layer latency : Inter Subnet – Inter ESS

### 5.1.1.2 總延遲時間

此段延遲時間的計算是在完成鏈路層的交遞後到 IP 位址設定完成。從 case 2,3,4 裡，我們觀察到這四家廠牌的無線區域網卡，driver layer 通知上層用戶模式的應用程式有 link down 事件發生，此時無線區域網卡判斷網路連線已中斷，在完成鏈路層的連線後，則會發送重新取得 IP 位址的請求。

Table 5-1 裡呈現各廠牌的無線區域網卡在 DHCP 訊息交換所花費的時間。case2 與 case 4 的網路環境裡，其中以發出第二次與第三次的 DHCP Discovery 時間間隔最長，間隔時間為 3~4 秒，以致於讓整個 DHCP 訊息交換時間延長。而 case 3 在 network handoff detection 後，後續的 DHCP 只有四次的訊息交換並且訊息回覆的延遲時間均縮短，因而最多於 1 秒內即可完成 IP 位址的租用。

在 case2 或 case4 裡所得出之 DHCP 訊息交換延遲時間裡，不同廠牌的無線區域網卡，DHCP 訊息交換時間有些微差異，可能是在無線區域網卡呼叫 DHCP Client 的時間前後不相同所造成的差異。

NIC	Case2 (Intra subnet - Inter ESS)	Case4 (Inter subnet - Inter ESS)	Case 3 (Inter-subnet - Intra ESS)
Intel	3.601	4.396	0.582
Z-Com	3.849	3.856	0.879
D-Link	2.937	3.572	1.007
Cisco	3.249	3.633	0.408

Table 5-1 DHCP Time of different WLAN cards

Figure 5-4 呈現各廠牌無線區域網卡在不同網路環境下網路層的總延遲時間。其中以 case3 的網路環境下，網路層的延遲時間高達 40 秒以上。由 Figure 5-5 可看出，其中花費最多的延遲在 network handoff detection，在行動節點完成鏈路層的交遞後，不知已轉換網域，故需花費不少時間偵測。換句話說，若鏈路層無法提供有效資訊告知上層曾經發生交遞，而交由網路層進行探測，自然使得交遞延遲時間加長。

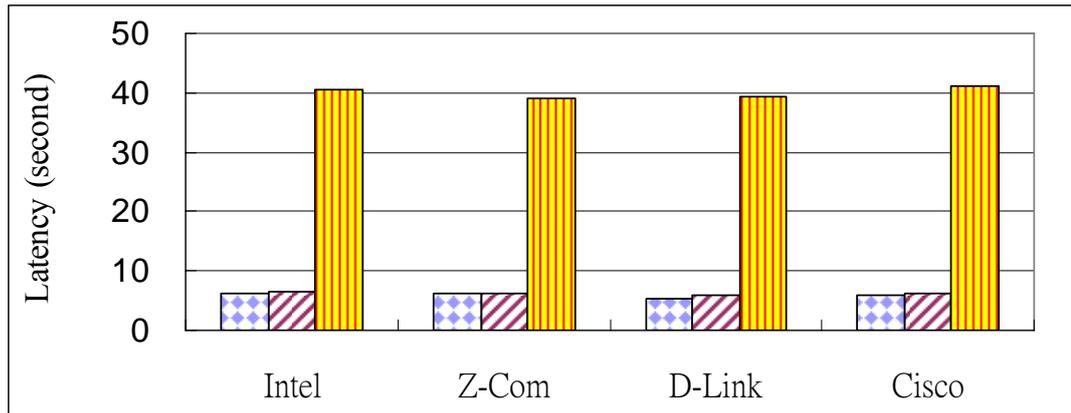


Figure 5-4 Case 3 :Network layer latencies for different WLAN cards

	Case 2	Case 4	Case 3
Intel	6.285	6.646	41.654
Z-Com	6.175	6.175	40.884
D-Link	5.386	6.012	41.277
Cisco	5.853	6.322	42.433

Table 5-2 Case 3 : Network layer latencies for different WLAN cards

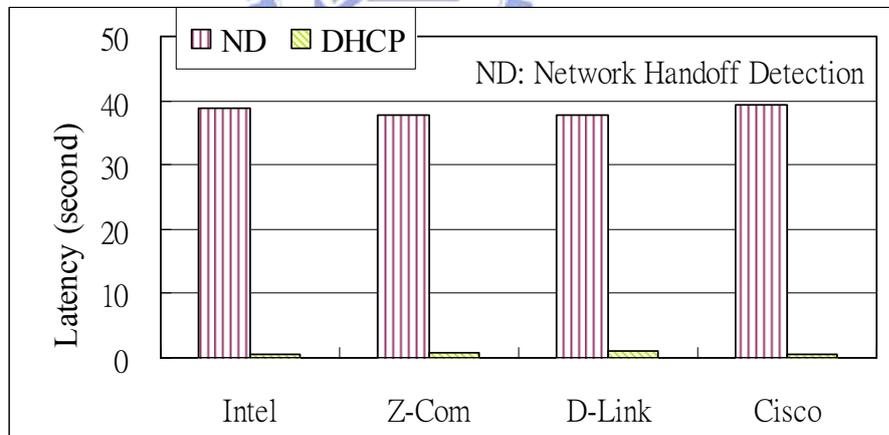


Figure 5-5 Latencies of network handoff detection and DHCP for case 3

	DHCP Time	Network handoff detection
Intel	0.582	38.832
Z-Com	0.879	37.689
D-Link	1.007	37.834
Cisco	0.408	39.437

Table 5-3 Latencies of network handoff detection and DHCP for case3

### 5.1.1.3 各階段交遞之延遲

$$NetworkLayerLatency(t_{NW}) = t_{NW-HD} + t_{DHCP} + t_{DAD} + t_{IPConf}$$

以下各表中，列出行動節點在不同的網路環境下觸發網路層交遞時，於不同階段所產生的延遲時間。

	$t_{NW-HD}$	$t_{DHCP}$	$t_{DAD}$	$t_{IPConf}$
Intel	0.010	4.396	1.229	1.011
Z-Com	0.003	3.856	1.308	1.008
D-Link	0.005	3.572	1.428	1.008
Cisco	0.010	3.724	1.578	1.010

Table 5-4 Case 4 - network layer latencies

	$t_{NW-HD}$	$t_{DHCP}$	$t_{DAD}$	$t_{IPConf}$
Intel	0.015	3.601	1.661	1.008
Z-Com	0.010	3.849	1.308	1.008
D-Link	0.013	2.937	1.428	1.008
Cisco	0.016	3.249	1.578	1.010

Table 5-5 Case 2 - network layer latencies

	$t_{NW-HD}$	$t_{DHCP}$	$t_{DAD}$	$t_{IPConf}$
Intel	38.832	0.582	1.229	1.011
Z-Com	37.689	0.879	1.308	1.008
D-Link	37.834	1.007	1.428	1.008
Cisco	39.437	0.408	1.578	1.010

Table 5-6 Case 3 - network layer latencies

#### 5.1.1.4 鏈路層對網路層交遞延遲之影響與分析

從以上的實驗裡，我們發現基地台的組態設定(Intra ESS, Inter ESS)對於網路層的交通延遲是有影響的。從 Table 5-4、Table 5-5、Table 5-6 裡的 Network Handoff Detection( $t_{NW-HD}$ ) 欄位，可以很明顯的看出其時間上的差異。尤其是在 case 3 的網路環境下更為明顯。

在實驗裡，以用戶模式的應用程式先向 NdisProt 協定驅動程式註冊，若發生網路媒體斷線或連線情況則要回報至應用程式。當偵測到網路媒體斷線後，則有 link down 事件被觸發，當網路媒體恢復連線會有 link up 事件被觸發。由這兩個事件可以得知行動節點是否有感於網路斷線，當感覺斷線到恢復連線，行動節點則會立即啟始 DHCP Client 去重新取得 IP 位址。但若是只有目前網路媒體仍然處於連線狀態被回報，則行動節點無法感覺網路已中斷，自然會需要花費較多的時間偵測是否能將封包送達。故當鏈路層無法提供有效資訊給網路層時，則會延長網路層的交通延遲。



### 5.1.2 網路層交遞延遲之改善

在完成鏈路層交遞後，以 L2 trigger 方式通知應用程式，應用程式收到此事件通知後，即可將預先取得的 IP 位址及預設閘道器進行設定，因此可排除 IP 位址重新取得。故 IP 位址的組態設定由原先的 1 秒多遞減至 10 毫秒。至於 IP 位址是否重複的偵測，在預先取得 IP 位址不會發生重複的前提假設下，此段時間是可以被省略。如 Figure 5-7。

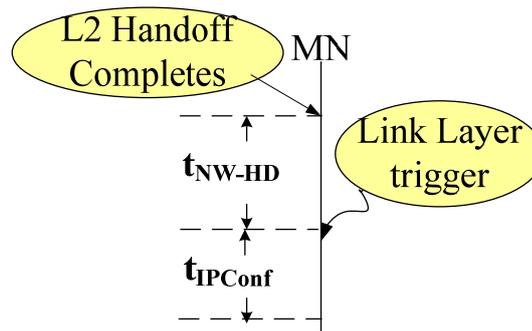


Figure 5-6 Network layer latencies after improving

NIC	Network Handoff Detection	IP Configuration	total
intel	3 ms	10 ms	13 ms
Z-Com	2 ms	10 ms	12 ms
Dlink	2 ms	10 ms	12 ms
cisco	8 ms	10 ms	18 ms

Table 5-7 Network layer latencies after improving

## 5.2 應用層延遲時間分析

5.2.1 小節裡，描述應用層有感於連線中斷，故須重新建立與相對節點的連線，其中包含二部分，一為系統內部處理時間，包含 library 與事件派送及 media 重新啟始，二為 SIP 訊息更新時間。5.2.2 則描述應用層無感於連線中斷，僅在連線恢復後，產生的延遲時間縮短為重建 media 與傳送語音封包至對方。

### 5.2.1 IP Sensitive scheme

行動節點在應用層的交遞延遲於 261 毫秒 ~ 372 毫秒可收到相對節點送來的語音封包，而相對節點於 195 毫秒~ 306 毫秒可收到行動節點送來的語音封包。也就是最遲在 306 毫秒後，雙方可互聽到彼此的聲音。詳細時間的計算如下：

$$t_{MNApp} = t_{ReInit} + t_{MNUdate} + t_{CNUdate} + t_{PragationAck} + t_{RtpCNSend}$$

$$t_{MNApp} = (100 / 211 \text{ ms}) + 85 \text{ ms} + 66 \text{ ms} + 5 \text{ ms} + 5 \text{ ms} = 261 \sim 372 \text{ ms}$$

$$t_{CNApp} = t_{ReInit} + t_{MNUdate} + t_{PragationAck} + t_{RtpMNSend}$$

$$t_{CNApp} = (100 / 211 \text{ ms}) + 85 \text{ ms} + 5 \text{ ms} + 5 \text{ ms} = 195 \sim 306 \text{ ms}$$

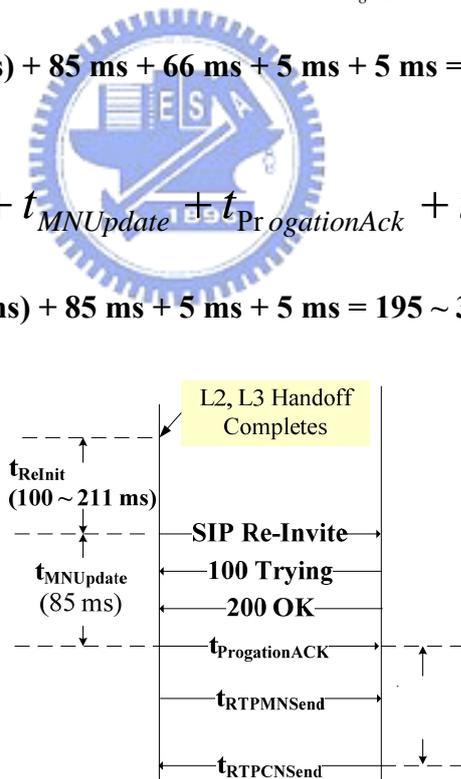


Figure 5-7 Application layer latencies (SIP Re-Invite)

在  $t_{ReInit}$  時間區段內，行動節點需要完成的工作項目包含，若未停止語音封包傳送則需停止、事件派送的啟始、UA library 的重新初始化及重建 Invite 訊息。Table 5-8 列出在  $t_{ReInit}$  各別事件所耗費的時間。

Media stop (if not stopped)	111 ms
Profile init	3 ms
Stop event dispatch	87 ms
UA library re-init	6 ms
Start event dispatch	1 ms
Construct re-invite message	2 ms
Other event (Update the location profile, Reconfig data for ua library re-init)	1 ms
Total	100 ~ 211 ms

Table 5-8  $t_{ReInit}$  latencies

當行動節點收到從相對節點回覆的 200 OK 訊息後，需啟始語音封包重建的相關工作，於完成後才會送出 ACK 訊息回覆相對節點，這段時間花費 85 ms。如 Table 5-9 所示。

Start Play sound	1 ms
Construct RTP connection to peer	43 ms
Enable Wave I/O stream and start playing/recording	41 ms
Total	85ms

Table 5-9  $t_{MNUpdate}$  latencies

當相對節點收到行動節點回覆 ACK 訊息，亦需啟始語音封包重建的相關工作，於完成後才會送出語音封包至行動節點，這段時間花費 66 ms。如 Table 5-10 所示。

Get information from MN's SDP	29 ms
Construct connection to peer	19 ms
Enable Wave I/O stream and start playing/recording	11 ms
Other event	7 ms
Total	66 ms

Table 5-10  $t_{CNUdate}$  latencies

### 5.2.2 IP Not-aware scheme

在此方法中，行動節點對於網路連線中斷是沒有感覺的，故不會有 SIP 訊息 Update 及語音封包需要再重新被建立的延遲。在 27 毫秒後，相對節點可以收到行動節點送出的語音封包，在 52 毫秒後，行動節點與相對節點可以互相聽到彼此的聲音。

$$t_{CNApp} = t_{MNConstructRTP} + t_{RTPMNSend}$$

$$t_{CNApp} = 20 \text{ ms} + 5 \text{ ms} = 25 \text{ ms}$$

$$t_{MNApp} = t_{CNApp} + t_{CNUpdatePeerAddr} + t_{CNConstructRTP} + t_{RTPCNSend}$$

$$t_{MNApp} = 25 \text{ ms} + 2 \text{ ms} + 20 \text{ ms} + 5 \text{ ms} = 52 \text{ ms}$$

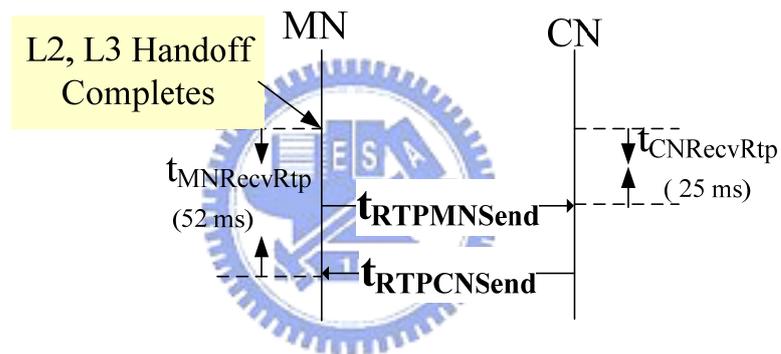


Table 5-11 Application layer latencies (IP Not-aware)

### 5.3 總體交遞延遲

在針對鏈路層、網路層、應用層各層交遞延遲及行為分析、歸納後，我們以 VoIP 軟體的角度來看，對於在不同的網路環境下，行動節點與相對節點有感交遞時造成的總體延遲為何？

Table 5-12 與 Table 5-13 分別列出行動節點與相對節點總體交遞延遲時間，依照不同的無線區域網卡分別列出。Method 1 ~Method 3 為交遞觸發方式，分別為強制關閉服務基地台電源、自然轉換服務基地台、基地台強迫接續法。Method 1 與 Method 2 的總體延遲時間計算，網路層與應用層交遞方式為改善前的方法。在 Method 3 的總體延遲時間的計算裡，除了運用鏈路層的改善方法外，也將網路層及應用層改善方法納入。case 1 只會有鏈路層的延遲。case 2 與 case 4 使用 Method 3 方法後，交遞延遲時間是相同的。

#### I · MN perceivable handoff latencies

Environment / NIC		Intra ESS – Intra subnet (case 1)	Intra ESS – Inter subnet (case 3)	Inter ESS– Intra subnet (case 2)	Inter ESS– Intra subnet (case 4)
Intel	Method 1	0.865	42.649	15.519	15.881
	Method 2	1.168	43.083	18.668	19.030
	Method 3	0.235	0.269	6.303	
D-Link	Method 1	0.220	41.758	25.910	26.237
	Method 2	3.772	45.310	22.697	23.323
	Method 3	0.017	0.056	0.153	
Cisco	Method 1	0.733	43.427	29.415	29.772
	Method 2	3.116	45.810	38.415	38.772
	Method 3	0.015	0.060	0.164	
Z-Com	Method 1	1.453	42.598	16.810	16.811
	Method 2	4.367	45.512	20.292	20.293
	Method 3	0.721	0.760	3.934	

Table 5-12 MN perceivable handoff latencies

## II · CN perceivable handoff latencies

Environment / NIC		Intra ESS – Intra subnet (case 1)	Intra ESS – Inter subnet (case 3)	Inter ESS– Intra subnet (case 2)	Inter ESS– Intra subnet (case 4)
Intel	Method 1	0.865	42.649	15.453	15.815
	Method 2	1.168	43.083	18.602	18.964
	Method 3	0.235	0.267	6.335	
D-Link	Method 1	0.220	41.692	25.844	26.171
	Method 2	3.772	45.24	22.631	23.257
	Method 3	0.017	0.091	0.185	
Cisco	Method 1	0.733	43.361	29.349	29.706
	Method 2	3.116	45.744	38.349	38.706
	Method 3	0.015	0.094	0.198	
Z-Com	Method 1	1.453	42.598	16.744	16.745
	Method 2	4.367	45.512	20.226	20.227
	Method 3	0.721	0.792	3.966	

Table 5-13 CN perceivable handoff latencies

在一般的交遞行為下 (Method 1, Method 2)，行動節點與相對節點有感於網路斷線的時  
 間，因網路環境的設定不同，所產生的交遞延遲亦不相同。其中 case 1 的網路環境只有鏈  
 路層之交遞延遲。至於在其他的網路環境下，則包含鏈路層至應用層之交遞延遲。因網路  
 環境組態設定的差異，各無線區域網卡量測的結果，在最糟的情況下高達 40 秒以上。

利用學者們所提出的改善方法 (Method 3)，在不更改各家無線區域網卡驅動程式的前  
 提下，Cisco 與 D-Link 的無線區域網卡接近 ITU 所建議的交遞延遲為 150 毫秒。將網路層  
 與應用層的改善方法應用於各無線區域網卡後，所產生的交遞延遲時間大致相同，而鏈路  
 層的延遲改善在不同的無線區域網卡會有不同效果，其中 Cisco 與 D-Link 無線區域網卡因  
 支援 unicast probe request，故套用此改善方法後，所有的網路測試環境均能夠讓總體延遲限  
 制在 200 毫秒以內。

Table 5-14 列出行動節點在 Inter-ESS 與 Inter Sunbet 的測試環境裡，以自然轉換服務基地台 (Normal) 及 direct association (Proposed) 的方式觸發交遞，列出在各 layer 裡，不同 phase 中產生的交遞延遲為何。從 Table 5-14 中，採用 Proposed 的方法，L2 handoff detection 時間可以排除，且也大副縮短 Probe 時間。而 IP 位址也因事先預得省下大幅動態取得 IP 位址及其所衍生的相關處理時間。而應用層的交遞延遲也因 session 不須重建，而省下 SIP 訊息交換與語音封包需重新啟始所造成的延遲。另 Cisco 無線區域網卡可以在不改動驅動程式的情況下，滿足 ITU 所容許的最大延遲時間。

Stage	Action	Intel		D-Link		Cisco		Z-Com	
		Normal	Proposed	Normal	Proposed	Normal	Proposed	Normal	Proposed
Link Layer Handoff	L2 Handoff Detection/Disassociation	2.560	0.024	3.908	0.011	9.157	0.008	6.626	0.007
	Probe Time	6.303	6.122	15.618	0.005	14.046	0.002	3.477	3.816
	Authentication	0.047	0.051	0.046	0.034	0.032	0.038	0.208	0.068
	Association	0.064	0.066	0.065	0.065	0.066	0.071	0.064	0.004
Network Layer Handoff	L3 handoff Detection	0.010	0.003	0.005	0.002	0.010	0.008	0.003	0.008
	DHCP	4.396		3.572		3.724		3.856	
	Duplicate Address Detection	1.229		1.428		1.578		1.308	
	IP Configuration	1.011	0.010	1.008	0.010	1.010	0.010	1.008	0.010
Application Layer Handoff	SIP Reinvite /RTP Issue	0.261	0.027	0.261	0.027	0.261	0.027	0.261	0.027
total		15.881	6.303	25.911	0.154	29.884	0.137	16.811	3.94

Table 5-14 Overall latencies of Inter-ESS, Intra subnet

在網路層與應用層的交遞行為與延遲分析裡，我們得到如下結論：

1. 鏈路層於感應網路媒體中斷事件發生後，送出 link down 通知上層通訊協定，此事件的

觸發會令 DHCP 用戶端或 ARP 模組採取行動，例如清除 IP table 及 ARP cache，進而引發網路層的交通。但若網路媒體暫時中斷事件未被告知上層通訊協定，則在網路層交通開始後，需耗費長時間偵測。亦即鏈路層的事件觸發 (event trigger) 若能提供充足的資訊給上層通訊協定，則可縮短網路層的交通延遲。

2. VoIP 應用軟體的設計方式，若能無感於 IP 位址的變動，則可縮短應用層的交通延遲。



## 第6章 結論與未來工作

### 6.1 結論

本論文的研究結果為提供在 VoIP 軟體發生交遞時，能有一個詳盡的延遲時間及行為分析。我們透過不同的交遞機制並配合各種網路環境，並使用市面上各廠牌的無線區域網卡進行實際量測，得出延遲時間及分析各廠牌的無線區域網卡在面對不同的交遞機制及網路環境時，在實作上的差異。

以 Intel、D-Link、Cisco、Z-Com 這四家無線區域網卡作為本實驗量測的基準。在鏈路層之交遞偵測方面，各廠牌無線區域網卡的偵測方法雖不盡相同，但對鏈路層之交遞延遲影響是顯著的。雖說交遞時所發生的行為都依照 SPEC 而設計，但是在偵測是否要作交遞及搜尋要連線的 APs 因實作方法各有不同，導致延遲時間有差異。尤其是在跨 ESS 漫遊時，為了確認舊有的連線網路（原服務基地台所屬的 ESS）是否已不存在，會藉由送出大量的訊息進行確認。這也說明了各廠牌的無線區域網卡若要作交遞，在設計上仍傾向尋找舊有連線網路，需多次確認舊有網路已無法使用後才會連線至新網路上。

在 authentication 及 association 所產生的延遲方面，不同廠牌的 AP 對此段時間會有影響。在實驗中分別以 Cisco AP 與 Z-Com AP 為量測標準，從數據裡得到 Cisco AP 在大部份情況下都比 Z-Com AP 表現得好，這也說明為縮短這兩段時間的延遲，AP 的硬體規格應被列入考量。

在網路層方面，我們發現鏈路層對網路層延遲造成的影響，以下分成兩部分說明：

一、Intra/Inter subnet, Inter ESS 的網路環境下，根據不同無線區域網卡所量測出的延遲時間約為 5~6 秒。主要延遲為第二與第三次 dhcp discovery 的間隔時間，差距約為 3~4 秒。這樣的設計可能是 DHCP client 在設計時較保守，它會認為在這個網域裡可能不只存在一台 DHCP server，故藉由等待，是否有其他 DHCP server 回應，若所要求的 IP 位址早一步被用走，可選擇其他 DHCP server 所提供的 IP 位址。

二、Inter subnet, Intra ESS 的環境下，延遲時間則高達 40 秒以上。原因為在此網路環

境下是由作業系統偵測封包是否能被送達，而非由下層提供資訊告知作業系統，以致於交遞延遲時間加長。在此測試案例中，網路的佈建架構裡，若須切割子網路，其基地台的網路名稱設定應有所區分，以避免造成使用者在交遞時，發生過長的延遲。

在應用層裡，VoIP 應用軟體的實作可分為對 IP 位址的變動是否具知覺，當 VoIP 應用軟體有感於 IP 位址的變動時，需在完成網路層的交遞後，重建與通訊對方的連線，這也拉長整體的交遞延遲。

對於在一般交遞行為下產生的延遲我們有詳盡的了解後，再以現行快速交遞方法改善延遲。使用基地台強迫接續法觸發交遞，對無線區域網卡下達連線至新目標基地台的指令，其中以 D-Link 及 Cisco 的無線區域網卡改善最為顯著，而 Intel 及 Z-Com 改善情況不明顯。從這四張無線區域網卡的訊息交換行為中我們得知 D-Link 及 Cisco 這兩張無線區域網卡均支援 unicast probe request，只花費一次 probe request 的時間，確認所要連線的目標基地台確實存在後，即進行下一階段的認證工作。而 Intel 及 Z-Com 因只支援 broadcast probe request，雖然收到連線至某一基地台的命令，仍送出多次的 probe request 訊息，所以改善效果有限。於網路層的延遲裡，運用鏈路層事件觸發及預先配置網路資源方法，可大幅縮短延 IP 位址重新取得及設定時間；偵測 IP 位址是否重覆，平均至少花費 1 秒以上，若此偵測行為能夠在鏈路層的交遞前或網路層的交遞前完成，則可省去這段延遲。在應用層的延遲縮短上，排除大量 SIP message update 及語音封包被重新啟始傳送的時間，惟一的延遲是在相對節點必需收到行動節點送出的語音封包才能根據行動節點新 IP 位址傳送語音封包至新目的地。

無線區域網卡進行目標基地台的探索上，我們發現一、不同的無線區域網路組態管理工具對於基地台的探索行為也會造成影響，在本篇論文中是以 Windows Zero Configuration 與 Intel PROSet 這兩套管理工具進行探討。二、不同的交遞觸發機制（自然轉換服務基地台、強制關閉服務基地台電源及基地台強迫接續法）也會對基地台的探索行為造成影響。三、鏈路層的改善方法—基地台強迫接續法，各廠牌的無線區域網卡在收到連線至新目標基地台的命令後仍會送出 probe request 訊息，確認新的目標基地台是否存在。但若無線區域網卡不支援 unicast probe request，則使用此方法後，並無法縮短基地台探索造成的延遲。

在鏈路層對網路層的交通延遲裡，若鏈路層無法提供有效的資訊給網路層，會加長網路層的延遲。應用層的交通延遲中，行動節點上的應用程式要能無感於 IP 位址的變動，相對節點上的應用程式對於新 IP 位址送出的語音封包要能有自動覺查的能力，則能縮短此段延遲。

透過本篇論文，對於想要了解 VoIP 軟體上可能發生的交通延遲有那些，可以有個整體性的了解。而針對這些交通延遲設計出各項理論或是機制之前，本篇論文的研究結果，可以給予相當多的參考及建議。讓設計者可以明確的知道，在那些交通機制下有那些瓶頸，且必須特別注意及考量，並能認清問題的本質及研究的核心價質。經由實際量測市售不同廠牌的無線區域網卡並配合不同的交通機制，提供給有心前往此一領域的學者能在研究方向上更加明確。

## 6.2 未來工作

在提供完善的安全機制被日益重視的今天，行動節點與基地台之間的信任關係也更重要，但在這些實際量測的過程，尚未將 VoIP 軟體若運行在安全協定及有服務品質的環境下納入考量，若將這些因素納入考量範圍，勢必造成額外的交通延遲。

另外本篇論文主要針對市售不同無線區域網卡的交通延遲進行分析，為了排除不同基地台相容性互通的問題，只使用相同廠牌的基地台進行測試。但對於交通前後使用不同廠牌基地台可能會產生的不同行為及影響則未列入考量。

針對上述兩項議題，可以在未來進一步的探討及分析中，將這些因素均列入量測的範圍內，並提供降低這些延遲時間的分析數據，以期提供更為完整的分析資料。

## 參考文獻

- [1] IEEE 802.11 "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification," 1999.
- [2] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol," *IETF RFC 3261*, June 2002.
- [3] A. Mishra, M. Shin, and W. A. Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process," *ACM Computer Communications Review*, vol. 33, no. 2, pp. 93-102, Apr. 2003.
- [4] H. Velayos, G. Karlsson, "Techniques to reduce the IEEE 802.11b handoff time" *Communications, 2004 IEEE International Conference on* , Volume: 7 , 20-24 June 2004 Pages:3844 - 3848 Vol.7.
- [5] C.-C. Tseng et al., "Location-based Fast Handoff for 802.11 Networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no. 4, 2005, pp. 304–06.
- [6] C.-C. Tseng, L.-H. Yen, H.-H. Chang, and K.-C. Hsu, "Topology-aided cross-layer fast handoff designs for IEEE 802.11/mobile IP environments," *IEEE Communications Magazine.*, Volume 43, Issue 12, December 2005, pp. 156-163.
- [7] H. Schulzrinne and E. Wedlund, "Application-Layer Mobility Using SIP," *ACM Mobile Computing and Communications Review*, vol. 4, no. 3, pp. 47-57, July 2000.
- [8] Areg Alimian, Bernard Aboba "Analysis of Roaming Techniques (Submission to IEEE 802.11r,work in progress)
- [9] C.-C. Tseng, Y.-C. Wong, L.-H. Yen, and K.-C. Hsu, "Proactive DAD: an L2-assisted fast address acquisition strategy for Mobile IPv6 networks," *IEEE Internet Computing*, Vol. 10, No. 6, pp. 52-57, Nov-Dec, 2006.
- [10] S. Shin, A. Forte, A. Rawat, and H. Schulzrinne, "Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs," *ACM MobiWac 2004*, October 2004.
- [11] H.-H. Chang, S-Li Tsao, C.-C. Tseng, "Cross-layer fast handover for real-time application" (Submission to IEEE,work in progress)

- [12] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications," *IETF RFC 3550*, June 2003.
- [13] T. T. Kwon, M. Gerla, Sajal Das, and Subir Das, "Mobility Management for VoIP Service: Mobile IP vs. SIP," *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 9, no. 5, pp. 66–75, Oct. 2002.
- [14] H. Fathi, R. Prasad and S. Chakraborty, "Mobility Management for VoIP in 3G Systems: Evaluation of Low-Latency Handoff Schemes," *IEEE Wireless Communications*, pp. 96-104, April 2005.
- [15] Thavisak Manodham, Luis Loyola, Gustavo Atoche, Mitsuo Hayasaka, Tetsuya Miki: A Seamless Handoff Scheme with new AP Module for Wireless LANs Support VoIP. 253-258 Electronic Edition (link) BibTeX
- [16] Nicolas Montavont, Thomas Noel, "Anticipated Handover over IEEE 802.11 Networks," *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing (WiMob'05)*, August 2005
- [17] M. Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 2<sup>nd</sup> Edition," O'Reilly Media, Inc., Apr. 2005
- [18] K. El Malki *et al.*, "Low Latency Handoffs in Mobile IPv4," *Internet Draft*, Aug. 2005.
- [19] J. C.-S. Wu *et al.*, "Intelligent Handoff for Mobile Wireless Internet," *Mobile Networks and Applic.*, vol. 6, 2001, pp. 67–79
- [20] R. Droms. Dynamic Host Configuration Protocol. *IETF RFC 2131*, Mar. 1997.
- [21] D. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol," *RFC 826*, November 1982.
- [22] Postel, J., "User Datagram Protocol," *RFC 768*, USC/Information Sciences Institute, August 1980
- [23] ITU, "One-way Transmission Time," *ITU-T Recommendation G.114*, Feb.

2003.

- [24] Jung-Hsuan Fan, “Design and Implementation of Integration Platform for Heterogeneous Network Roaming Systems”. Master Thesis, NCTU CS, Aug. 2005

