

國立交通大學

資訊學院資訊科技（IT）產業研發碩士班

碩士論文

IEEE 802.11 無線網路鏈結層與跨階層交遞行為之分析

Analysis of Link-layer and Cross-layer Handover Behavior of IEEE 802.11
Wireless Networks

研究生：徐媛莉

指導教授：曾建超 教授

中華民國九十八年七月

IEEE 802.11 無線網路鏈結層與跨階層交遞行為之分析
Analysis of Link-layer and Cross-layer Handover Behavior of IEEE 802.11
Wireless Networks

研究生：徐媛莉

Student : Yuan-Li Hsu

指導教授：曾建超

Advisor : Chien-Chao Tseng

國立交通大學
資訊學院資訊科技 (IT) 產業研發碩士班
碩士論文

A Thesis

Submitted to College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Industrial Technology R & D Master Program on
Computer Science and Engineering

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

IEEE 802.11 無線網路鏈結層與跨階層交遞行為之分析

研究生：徐媛莉

指導教授：曾建超 教授

國立交通大學 資訊學院 資訊科技產業研發 碩士班

摘要

無線網路在交遞過程造成的網路中斷，為諸多學者和設計者積極想要改善的。雖有不少的論文研究著重於縮短交遞延遲時間，但多為模擬實驗或是以單一的環境為探討方向，缺少詳細的分析和實際的量測。本論文針對現有的 802.11 無線網路，在 Windows XP 系統上利用 SIP-based 的 VoIP 軟體進行交遞實驗，分析不同無線網卡在不同環境下的交遞行為和交遞過程中跨階層的交互影響。交遞實驗選用四種市佔率高的品牌之網卡 (Intel、D-Link、Cisco 和 Linksys)，並利用訊號隔離箱及訊號衰減器模擬各式網路環境。透過在交遞過程的實際封包擷取及電腦系統內 NDIS(Network Driver Interface Specification)的訊息攔截，本論文計算交遞過程中各階段所花的時間並分析各種網卡的行為。

實驗過程中，分別在這四張網卡上都有一些發現。由於無線網卡的做法都傾向和同一 ESS(Extended Service Set)的基地台連線，因此 Inter ESS 類型的網路環境，鏈結層會需要較長的時間來判斷是否搜尋或轉換其它可連線目標基地台。在 Intra ESS 的網路環境，鏈結層之交遞延遲時間短，但交遞前後的基地台若處於不同網域之交遞，則會使得網路層之交遞時間拉長。此外，跨階層的訊息傳遞也在交遞過程扮演重要角色，若能儘早將底層的資訊提供給上層，上層就能越早為交遞做預先的準備，進而縮短交遞延遲。

本篇論文根據各家網卡交遞時的行為，推論其無線網卡的設計思維，和影響延遲時間的因素。交遞延遲時間取決於無線網卡的行為，若省略或改變一些交遞進行中的行為，就能減少總延遲時間。依據這些推論結果，除可對網卡製造商提出修正建議外，並且提供使用者在不同的網路環境下使用網卡的建議。

Analysis of Link-layer and Cross-layer Handover Behavior of IEEE 802.11 Wireless Networks

Student : Yuan-Li Hsu

Advisor : Dr. Chien-Chao Tseng

Industrial Technology R & D Master Program of Computer Science
National Chiao Tung University



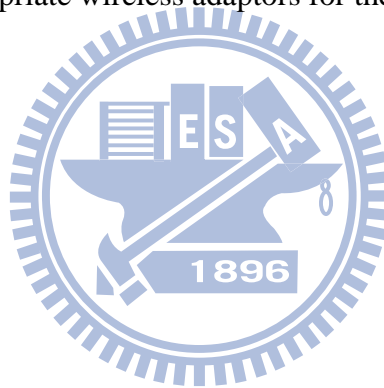
Abstract

Much research aims to shorten the handover delay in the wireless network. Although there are many papers discussing this issue, most of them lack empirical measurement of handover behavior in the real and various topologies of wireless networks. In this thesis, we inspect the process and the cross-layer effects of the IEEE 802.11 handover conducted by the SIP-based VoIP applications on the Microsoft Windows XP system over various network topologies. Wireless adapters of four high market-shared companies (Intel, D-Link, Cisco and Linksys) are selected in our experiment. Besides, signal shielding boxes and attenuators are also used to block out unnecessary signals and simulate signals received by a moving mobile node.

We first intercept the packets exchanged by wireless adaptors and catch the signaling events triggered by the Network Driver Interface Specification (NDIS) system during handovers under different network settings. Then we analyze the handover behavior and compute the latencies of different steps that constitute the overall handover delay for each adaptor under different network settings. One of the findings is that all the adaptors tend to assume an intra-extended service set (ESS) handover and try to associate with an access point with the same network identity first. Consequently, each adaptor needs extra time to detect

that it indeed encounters an inter-ESS handover, and thus take more time in searching and locating a new base station with a different ESS. An intra-ESS handover consumes short link layer delay. However, if the two base stations were set to different subnets it will prolong the layer-3 handover process. Furthermore, event signaling across different layers also plays an important role in determining the overall handover latency. Through the event signals a lower layer process can notify an upper layer process of the status changes. The earlier the higher layer process (either the applications or kernel processes) aware of the lower layer status changes, the sooner the high layer process can prepare for a handover, and thus can shorten the handover delay.

From the above study, we can infer the design consideration and find out the reason influencing the handover delays for each chosen adaptor. Some of our suggestions could help the manufactories to improve their wireless adaptors. Furthermore, our findings could also help users in choosing appropriate wireless adaptors for their application under different network environments.



誌 謝

本論文順利完成，要感謝我的指導教授—曾建超 博士，這兩年來在實驗與論文中給予指導。在論文方向未定，還未有明確的想法時，能引導我往正確的方向，也在論文實驗進行的過程中，能及時指正我的疏忽和沒有考量到的地方。在此，要向我的口試委員：曹孝櫟 博士、張弘鑫 博士、顏力行 博士致上謝意，非常感謝三位教授能在百忙中撥空審查我的論文並給予寶貴的參考意見，使得本論文能夠有多方面的考慮，也讓我從中學習到很多。

另外也非常感謝張弘鑫學長，感謝他在百忙中仍能抽空指導我的論文，包括實驗進行時所遇到的問題和實驗結果上的分析，以及在論文撰寫上，給我意見並教導我論文架構和寫作方式。也感謝實驗室的同學們，在這兩年一起同樂也一起努力學習，互相幫助。並感謝學長學弟妹們在我論文進行的過程中給予打氣和協助。並且也感謝室友們的幫忙和加油點心。

最後，感謝我的家人，對於我的支持與關心從不間斷。因向來對我疼愛有加的阿公阿嬤在年前過世而低潮，但家人的陪伴與扶持，將最深的不捨化為祝福。最後，將論文獻給在天上的阿公阿嬤，雖然您們沒能參加我的畢業典禮，但您們對子孫的關心與疼愛，是我完成論文的動力，謝謝您們。

謝謝老師的指導，謝謝幫助過我的人，謝謝。

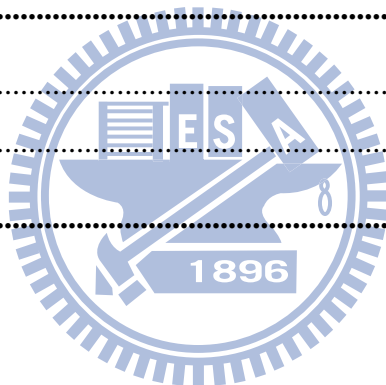
目 錄

摘 要	i
Abstract	ii
誌 謝	iv
目 錄	v
圖目錄	viii
表目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
1.3 章節簡介	2
第二章 背景知識介紹與相關論文研究	3
2.1 IEEE 802.11 無線網路架構	3
2.2 SIP (Session Initiation Protocol) 簡介	3
2.3 相關論文探討	4
第三章 實驗環境與方法	8
3.1 研究方法	8
3.1.1 問題陳述	8
3.1.2 模擬環境	9
3.1.3 實際網路架構	12
3.2 實驗	16
3.2.1 實驗環境	16
3.2.2 網路設定	18
3.2.3 實驗測量方法	22
3.3 各項測量	22
3.3.1 模擬交遞環境	22
3.3.2 實驗步驟	24

3.3.3 實驗工具	25
3.3.4 時間同步	25
3.3.5 各項時間量測	26
3.3.5.1 L2H.....	27
3.3.5.2 L3H.....	29
3.3.6 各種事件(event)通知	31
3.4 資料分析方法	32
3.4.1 L2H Detection	33
3.4.2 Probing	34
3.4.3 Authentication.....	34
3.4.4 Association	35
3.4.5 L3H Detection	35
3.4.6 DHCP	35
3.4.7 DAD	35
3.4.8 IP Configuration	36
3.5 UI.....	36
3.5.1 動機與目的	36
3.5.2 功能	36
3.5.3 特色與優點	39
第四章 實驗結果與分析	40
4.1 網卡行為分析	40
4.1.1 共同行為	40
4.1.2 各別行為	44
4.1.2.1 L2H Detection	44
4.1.2.2 Probing	46
4.1.2.3 L3H Detection	50
4.1.2.4 DHCP	51
4.1.2.5 DAD	51
4.2 數據分析	51
4.2.1 L2H 延遲時間.....	51
4.2.1.1 Case I Intra ESS-Intra subnet.....	52



4.2.1.2 Case II Inter ESS-Intra subnet.....	52
4.2.1.3 Case III Intra ESS-Inter subnet.....	55
4.2.1.4 Case IV Inter ESS-Inter subnet.....	57
4.2.1.5 小結	59
4.2.2 L3H 延遲時間	59
4.2.2.1 Case II Inter ESS-Intra subnet.....	59
4.2.2.2 Case III Intra ESS-Inter subnet.....	60
4.2.2.3 Case IV Inter ESS-Inter subnet.....	61
4.2.2.4 小結	62
4.2.3 總延遲時間	63
4.2.4 網卡在不同網路環境下比較	65
4.3 總結	67
第五章 結論與未來工作	70
5.1 結論	70
5.2 未來工作	72
Reference	73



圖目錄

Figure 2-1 SIP call flow (Adapted from [2]).....	4
Figure 2-2 Handover Manager (Adapted from [3]).....	5
Figure 3-3 Intra ESS-Intra subnet Environment.....	13
Figure 3-4 Inter ESS-Intra subnet Environment.....	14
Figure 3-5 Intra ESS-Inter subnet Environment.....	15
Figure 3-6 Inter ESS-Inter subnet Environment.....	16
Figure 3-9 MN move from AP1 to AP2	24
Figure 3-11 Layer 2 Handover Procedure	29
Figure 3-12 Layer 3 Handover Procedure	31
Figure 3-13 Handover Procedure	33
Figure 4-3 Inter ESS-Intra subnet.....	44
Figure 4-4 Retries G.711 & RTSS.....	46
Figure 4-5 Intel Probe.....	47
Figure 4-6 D-Link Probe	48
Figure 4-8 Linksys Probe	50
Figure 4-9 Case II -L2H Detection Delay Time.....	54
Figure 4-10 Case II -Probing Delay Time.....	55
Figure 4-11 Case III -L2H Detection Delay Time.....	56
Figure 4-13 CaseIV-L2H Detection Delay Time.....	58
Figure 4-14 CaseIV-Probing Delay Time.....	58
Figure 4-15 Case II -L3H Detection Delay Time.....	60
Figure 4-16 Case III -L3H Detection Delay Time.....	61
Figure 4-17 CaseIV-L3H Detection Delay Time.....	62

表目錄

Table 3-1 Handover Environment	12
Table 3-3 Configuration for Case II Inter ESS-Intra subnet	14
Table 3-4 Configuration for Case III Intra ESS-Inter subnet	14
Table 3-5 Configuration for Case IV Inter ESS-Inter subnet	15
Table 3-6 Experimental Node and Application	17
Table 3-7 Set Nodes for Intra ESS-Intra subnet	19
Table 3-8 Set Nodes for Inter ESS-Intra subnet	20
Table 3-9 Set Nodes for Intra ESS-Inter subnet	20
Table 3-10 Set Nodes for Inter ESS-Inter subnet	21
Table 4-1 Retries G.711 & RTSs Numbers	45
Table 4-2 Intra ESS-Intra subnet L2H Delay Time (unit: seconds)	52
Table 4-3 Inter ESS-Intra subnet L2H Delay Time (unit: seconds)	52
Table 4-4 Numbers of Probe Request at L2H Detection (unit: times)	54
Table 4-5 Numbers of Probe Request at Probing (unit: times).....	55
Table 4-7 Inter ESS-Inter subnet L2H Delay time (unit: seconds).....	57
Table 4-8 Inter ESS-Intra subnet L3H Delay Time (unit: seconds)	60
Table 4-9 Intra ESS-Inter Subnet L3H Delay Time (unit: seconds).....	61
Table 4-10 Inter ESS-Inter subnet L3H Delay Time (unit: seconds)	62
Table 4-11 Intra ESS-Intra subnet Handover Delay Time.....	63
Table 4-12 Inter ESS-Intra subnet Handover Delay Time.....	64
Table 4-13 Intra ESS-Inter subnet Handover Delay Time.....	64
Table 4-14 Inter ESS-Inter subnet Handover Delay Time.....	64
Table 4-15 Intel-four cases Handover Delay Time (unit: seconds).....	66
Table 4-16 D-Link-four cases Handover Delay Time (unit: seconds).....	66
Table 4-17 Cisco- four cases Handover Delay Time (unit: seconds)	67
Table 4-18 Linksys- four cases Handover Delay Time (unit: seconds).....	67
Table 4-19 Handover Procedure of four cases.....	68

第一章 緒論

1.1 研究動機

無線網路的發展無庸置疑，使用的族群愈來愈廣泛，使用的場合也愈來愈多，多數公眾場所甚至私人空間都已經陸續佈建無線網路。在無線區域網路裡，行動節點因為移動導致原提供服務的基地台因距離或是障礙物的阻隔而出現訊號衰減的情況，使得通訊中的服務品質受到影響。為了維持通訊，行動節點會重新尋找可連線的基地台，並與其進行連線。此種行為會引發一連串的程序，稱之為交遞。

交遞造成的網路中斷，不同的應用服務對中斷時間長短的忍受度不同，其中以聲音及影像對於中斷最敏感。在另一方面，無線區域網路的佈建方式上，依其區域大小或位置之不同，可能會有不同的網路環境設定。這些不同的環境，會對交遞行為產生不同的影響，交遞完成的時間會拉長導致影響服務品質。聲音對於中斷最敏感，因此本論文希望利用 VoIP 來進行交遞實驗，藉以觀察不同的網路環境下，交遞行為對服務品質的影響。

交遞造成的網路中斷，為諸多學者和設計者積極想要改善的。雖有不少的論文研究著重於縮短交遞延遲時間，但多為模擬實驗或是以單一的環境為探討方向，缺少詳細的分析和實際的量測。本論文希望詳細的探討網卡行為，以了解交遞過程。本論文將在不同的網路環境下，使用不同的無線網卡進行交遞實驗，觀察這兩者在交遞行為上會產生哪些影響。經由實驗數據的分析，試著找出不同的網路環境是是否有適合的無線網卡，或是建議各網卡採用合理的交遞行為。

1.2 研究目的

本論文的研究目的有兩個部分，第一部分是為了瞭解交遞行為所做的實驗。在無線網路環境下，使用不同的無線網卡在不同網路環境組態下進行交遞實驗，以 VoIP 軟體作為量測交遞延遲時間的標的，將交遞過程前後的封包擷取下來，觀察並分析其交遞流程與行為的差異，藉以解析鏈結層對網路層交遞行為的影響。

第二部份是設計一分析封包的工具。將實驗中取得的封包利用此工具進行分析，以便能快速找出各個重要的時間點，量測出交遞流程中每階段的延遲時間。另外也能統計出每階段訊息之數量，以方便對交遞行為進行分析。

許多學者在進行交遞相關的研究，大多致力於縮短交遞延遲時間，而本論文進一步將各種網路組態的環境納入考量範圍，並利用不同無線網卡的實驗，找出各種可能出現在交遞時的行為，進行分析與歸納。本論文希望提供真實的網路環境實驗結果，來了解 VoIP 軟體交遞時可能引發的延遲及行為，讓相關領域研究者或是設計者可以有所參考，並將縮減延遲的方法做實際的應用。

1.3 章節簡介

關於本篇論文的内容簡述如下：

第一章 緒論

描述本篇論文的研究動機及研究目的。

第二章 背景知識介紹與相關論文研究

簡單介紹無線網路架構、SIP 簡介和訊號控制流程。並有一些探討交遞延遲的方法被提出。

第三章 實驗環境與方法

問題陳述和實驗使用的方法說明。

第四章 實驗結果與分析

不同網卡的交遞延遲時間和交遞行為對延遲時間的影響分析。

第五章 結論與未來工作

對本論文作結論和未來可繼續研究的方向。



第二章 背景知識介紹與相關論文研究

2.1 IEEE 802.11 無線網路架構

無線網路的組成元件有行動節點(Mobile Node)和基地台(Access Point)。由一群彼此通訊的工作站組成的稱為 Basic Service Set (BSS)，基本服務組合。在 IEEE 802.11 基本網路架構依照提供服務類型可分為：Independent Basic Service Set (IBSS)和 Infrastructure Basic Service Set (Infrastructure BSS)。

IBSS 網路也稱為 Ad hoc Network，每一個行動節點之間可以互相進行通訊而不需經由基地台。而一般的無線網路服務是 Infrastructure BSS 網路，在此環境下，行動節點彼此之間的通訊需透過基地台幫忙轉送通訊中的資料。

為了讓無線網路的涵蓋範圍延伸，因此會將多個 BSS 佈建在彼此相鄰附近，聚集為一較大涵蓋範圍的網路，稱之為延伸式服務組合(Extended Service Set, ESS)。在同一 ESS 裡的基地台會將 SSID(Service Set Identifier)名稱作一樣的命名。SSID 名稱就是所謂的網路名稱，即行動節點連上基地台時所會看到的名稱。

SSID 名稱是用來區分不同的無線區域網路，通常由管理者命名。不同的 ESS，基地台的 SSID 名稱也會不同。當行動節點從某個 ESS 涵蓋範圍移動到另一 ESS 的涵蓋範圍，因為 802.11 不支援無間隙的 ESS 轉換，所以此時的網路連線均會中斷連線。

2.2 SIP (Session Initiation Protocol)簡介

SIP[2]是一個由 IETF MMUSIC 工作組開發，為應用層的訊息控制協定。是用於 VoIP 通話前後主要的訊號控制的作用，在語音傳遞功能提供較高的延展性，並直接採用文字模式(Text-based)的通訊協定，發展及控制多媒體傳送(multimedia sessions)，SIP 也規範通話建立與結束所使用的訊息控制與訊息傳輸規格的協商機制。常見應用於網路電話，SIP 負責訊息的傳輸及協調，並確認雙方都有支援的語音編碼型態。

在參與者雙方尚未正式通話之前，要透過 SIP 訊息交換協商。例如：使用的通訊協定、語音編碼格式等。完成協商後，蒐集足夠的訊息後，就可用傳輸協定傳送語音資料，通常都以 RTP(Realtime Transport Protocol)傳輸協定來進行傳送。

SIP 的訊號控制和實際語音資料是分開傳送，建立通話前會有如 Figure 2-1 的訊息交換。User Agent 應具有兩種角色，分別是 UAC (User Agent Client)和 UAS (User Agent Server)。在 Figure 2-1 中，首先 UAC 會先向 UAS 提出建立通話的請求，而 UAS 收到要求後，即回覆“100 Trying”表示 UAS 收到從 UAC 傳送過來的“INVITE”訊息。接著 UAS 送出“180 Ring”，通知 UAC 可以電話響鈴，另一方面也表示 UAS 已作好準備。當 UAS 將電話接起後，送出“200 OK”訊息給 UAC。UAC 收到此訊息後，回覆“ACK”訊息給 UAS 表示一個確認的動作。完成上述動作，通話就可以被建立，並以 RTP 來傳送語音封包。

當要結束通話時，UAS 和 UAC 都可做結束通話的一方，以 Figure 2-1 的情況是由 UAC 啟動結束通話的程序，由 UAC 送出“BYE”訊息給 UAS，UAS 回覆“200 OK”確認收到 UAC 送出的訊息，然後結束通話。

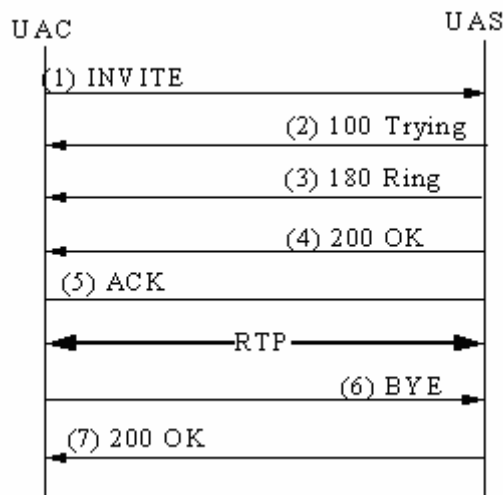


Figure 2-1 SIP call flow (Adapted from [2])

2.3 相關論文探討

行動節點在交遞時的延遲議題已被探討很久，許多論文都以此為方向進行研究，多在減少交遞延遲時間。

● Handover Management based on the Number of Retries for VoIP on WLANs[3]

S. Kashihara, etc.提供一個 Handover Manager 的方法在傳輸層運作，依照封包重傳次數來判斷網路情況是否良好，並為了改善封包掉失的問題在行動節點上安插兩張無線網

卡。但若兩張網卡一起作用是以多重路徑的方式傳送，行動節點會送出兩個一模一樣的封包，此舉會造成網路不必要的負擔，因此以封包重傳的次數判斷網路情況，是否需要使用兩張網卡來傳送，簡單來說，就是依照封包重傳次數判斷網路傳輸情況做 Multi-Path 和 Single-Path 兩種傳輸模式的轉換。

Figure 2-2 為 MAC 層通知傳輸層的情況，分別設有 MPT 和 SPT，當作轉換傳輸模式的門檻值(threshold)。而 Ret_IF1 和 Ret_IF2 分別為在 Single-Path 傳送情況下，兩張網卡的重傳封包次數。SC_IF1 和 SC_IF2 則是在 Multi-Path 情況下，兩張網卡封包重傳的次數。

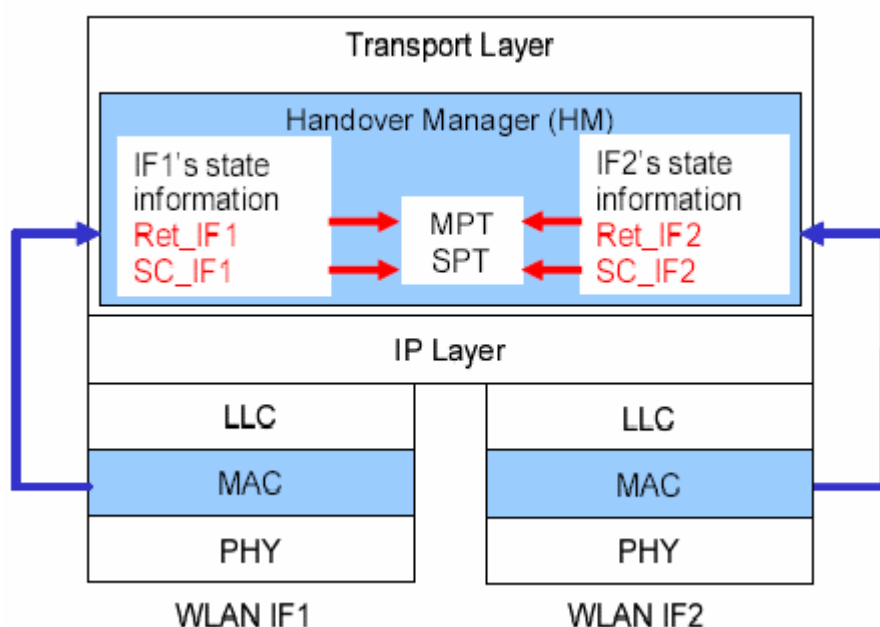


Figure 2-2 Handover Manager (Adapted from [3])

● **Techniques to reduce IEEE 802.11b MAC layer handover time[4]**

此篇在分析鏈結層交遞時間，將交遞時間分別三個階段：Detection、Search 和 Execution 的延遲時間，而重點在減少 Detection 和 Search 階段的時間。

Detection 階段在判斷是否需要搜尋其它可連線基地台，當行動節點發出的封包且未收到“ACK”的回覆，這些未收到回覆訊息的數量是決定 Detection 階段的延遲時間長短的主因。且不同網卡有不同的判斷標準。當連續三個封包傳送失敗，即沒有收到回應時，或是利用從基地台發出的 beacon 來判斷基地台是否還存在。

而在 Search 階段則是利用 active scanning 的方式在執行。延遲時間取決於每個頻道上所發的“Probe Request”的數量和等待“Probe Response”訊息回應。等待的時間有兩個，MinChannelTime 和 MaxChannelTime。當行動節點在 MinChannelTime 時間內無聽到任何回應，即換下一個頻道去搜尋基地台，若有聽到回應則等待的時間延長至 MaxChannelTime。因此可將 MaxChannelTime 的等待時間縮短，且不要進行全部頻道的搜尋，只針對目前清單上的基地台所在的頻道進行 active scan 的動作，來進行縮短 Search 階段的延遲時間。

● Reducing MAC Layer Handover Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs[5]

S. Shin, etc.利用 Selective Scanning 演算法和 Caching 機制，減少鏈結層交遞延遲時間。其中 Probe 階段的延遲時間占總延遲時間的 90%，因此致力於此階段延遲時間的縮減。Selective Scanning 演算法是利用 channel mask 的方式去選擇頻道上的基地台，而不是每一個頻道都做搜尋，利用此方式將原來 343 毫秒的延遲時間降至 130 毫秒。並搭配 Caching 機制的使用，將鄰近基地台的 MAC 位址記錄表單中。若在 Caching 的表單中找到可連線基地台，則不需要做 Selective Scanning。反之，則進行 Selective Scanning，重新搜尋新的可連線基地台。即達到縮減交遞延遲時間的目的。

● Proactive Scan: Fast Handover with Smart Triggers for 802.11 Wireless LAN[6]

一般論文都提出 Search 階段的延遲時間佔總延遲時間最高比重，因此都著重於減少搜尋基地台的時間。此篇也希望減少在搜尋可連線基地台的時間，因此提出 Proactive Scan 的方法。在不影響原服務品質的情況下，去進行背景作業的 active scan，較早去偵測其它頻道上的基地台，此方法在與原服務基地台未斷線之前就先以背景掃描的方式，蒐集可連線基地台的資訊。在交遞真正被觸發的時候，已蒐集足夠的資訊選擇目標基地台，縮短搜尋的時間。

● An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handover Process[8]

A. Mishra, etc.將鏈結層之交遞延遲時間分成三個階段，分別依序是：Probe Delay、Authentication Delay 和 Reassociation Delay。此篇論文是使用不同的無線網卡和基地台進行實驗，實驗結果發現，同一張網卡配合不同的基地台實驗出來的結果並不會相似，由此得知，基地台的設定和廠牌會影響交遞延遲時間。

在[8]的實驗數據，Probe Delay 佔鏈結層交遞時間的 80%，因此若是想要減少交遞

時間，因著重於此階段的延遲時間。另實驗結果也發覺接收到的“Probe Responses”訊息數量會影響延遲時間。當行動節點在某一頻道上發送“Probe Request”，並且收到“Probe Responses”訊息的回應時，會在此頻道上多停留一段時間。此行為會影響延遲時間，且收到的“Probe Responses”訊息數量會影響停留等待的時間。且不同廠牌的無線網卡對於此階段的等待時間皆有不同的設計。

上述論文主要在減少交遞的延遲時間，各有各的考量與方法。而本論文在不同網路環境下，以不同廠牌的無線網卡進行實作實驗，探討交遞延遲的原因，和交遞行為對交遞延遲時間長短的影響。交遞延遲會對通訊中的聲音品質是個很大的問題，因此使用 SIP-based 的 VoIP 軟體來配合本論文的實驗進行，藉以了解交遞時，無線網卡的行為模式。



第三章 實驗環境與方法

本章節將說明實驗進行的原因與考量以及實驗架構和實驗進行的方式。實驗的設計將在各種網路組態的設定下，使用 SIP-based VOIP 軟體觀察交遞過程。實驗內定義了交遞過程中各階段時間的分隔點，透過實際的量測，進行交遞行為分析。本實驗使用訊號隔離及訊號衰減器來模擬各式網路環境及使用者移動的情況，探討交遞發生時一連串交遞行為的意義，及其影響因素。

3.1 研究方法

在 3.1.1 節先介紹為什麼會進行實驗，3.1.2 節則會說明實驗是在模擬什麼樣的網路環境，而這些環境在校園中可能會怎麼去佈建。3.1.3 節以真實的實驗操作方式說明如何將網路環境建構起來。

3.1.1 問題陳述

無線網路普遍被使用於生活中，當使用中的行動節點遠離原基地台，連線必會因此而受影響，為保持現有的服務，行動節點會尋找並交遞到新目標基地台。交遞延遲時間的長短必會影響服務品質，為能詳細了解影響交遞延遲的原因，研究各種情況。因此實驗藉由不同的無線網路設定引發不同交遞行為，統整出網卡的交遞行為及其延遲時間。希望藉由實驗觀察網卡的行為模式，推測影響交遞延遲的可能原因。

本實驗利用不同廠牌無線網卡來比較交遞行為的不同與交遞延遲時間的差異。因此，找了較常見的四個普及性廣及市佔率高之廠牌的網卡，實驗用的四張無線網卡分別是：Intel、D-Link、Cisco、Linksys。不同廠牌的設計思維不同，可能有不同的交遞行為處理方式。

以一般實際環境來執行實驗，可能會因為基地台架設的關係或是建物的阻擋，而使得無線網路環境過於複雜。或在特定環境裡面可能因架設太多基地台而有過多非需要的訊號干擾，因此，將使用隔絕箱來隔絕非必要之基地台的無線訊號。將行動節點與基地台分別置於隔絕箱中使得行動節點在引發一連串交遞行為不受其它因素影響，企圖減少外在可能影響原因。並利用可程式化衰減器控制訊號的強弱，模擬使用者因移動所觸發交遞的行為。詳細實驗架構和環境將在後續小節中說明。

3.1.2 模擬環境

為更深入的了解與分析行動節點交遞行為，本論文依照不同的網路組態設定組合，設計四種網路架構，以模擬各種網路環境的可能，觀察其差異並做探討與分析。

各種交遞狀況可能會在不同環境不同無線網路架設方式呈現。以校園的實際環境來分析，其網路管理的方式可能是依建築物或研究行政單位來分配子網域。而多個研究單位可能在同一建築物內或是分處於不同建築物。加上各研究單位因使用 IP 位址的需求量不同導致分配到各系所的子網域可能是多系所共用或是單一系所獨用。

本論文的網路設定之不同，是以基地台的 SSID 設定值及配發 IP 所屬的子網域 (subnet) 來區分。試想，當行動節點離開原基地台的涵蓋範圍，往另一基地台的涵蓋範圍移動，就可能會有各種移動情況的組合。校園內的無線網路佈建承上所說般的多樣化，當行動節點移動至目標基地台涵蓋範圍，其和原服務基地台的 SSID 名稱設定可能是相同或是不同，或有另一種可能情況網域的設定，目標基地台與原服務基地台規劃為同一網域或不同。

當身處於校園，使用者在某一實驗室中將行動節點連線上實驗室自行架設的基地台，若行動節點在此實驗室內移動而產生交遞，而交遞後所連線的基地台仍為此實驗室自行架設，其將交遞前後所連線的基地台設為相同 SSID 名稱，此時的交遞即是 Intra ESS 環境的交遞。若行動節點離開實驗室，遠離原服務基地台的訊號涵蓋範圍，而與校園網路架設於附近的基地台連線，此時因基地台管理者不同而各自設定基地台 SSID 名稱，此種交遞即是 Inter ESS 環境下的交遞。

以 Figure 3-1 來作說明，AP1 為行動節點(MN)的原服務基地台，當行動節點從 AP1 的收訊範圍移動到左下邊 AP2 的收訊範圍後，MN 會交遞到 AP2。當兩個 AP 的 SSID 之設定相同為“SSID_WINLAB”時，這兩個 AP 屬同一 ESS，此種交遞的情況為 Intra ESS 的移動。若行動節點是從 AP1 的收訊範圍往右方 AP3 的收訊範圍做交遞，因 AP3 的 SSID 為“SSID_CAMPUS”，與 AP1 之 SSID 不同，因此定義為不同 ESS，此種情況定為 Inter ESS。簡單來說，以交遞前後基地台之 SSID 不同來區分 Intra ESS(相同 SSID 名稱)和 Inter ESS(不同 SSID 名稱)的交遞。

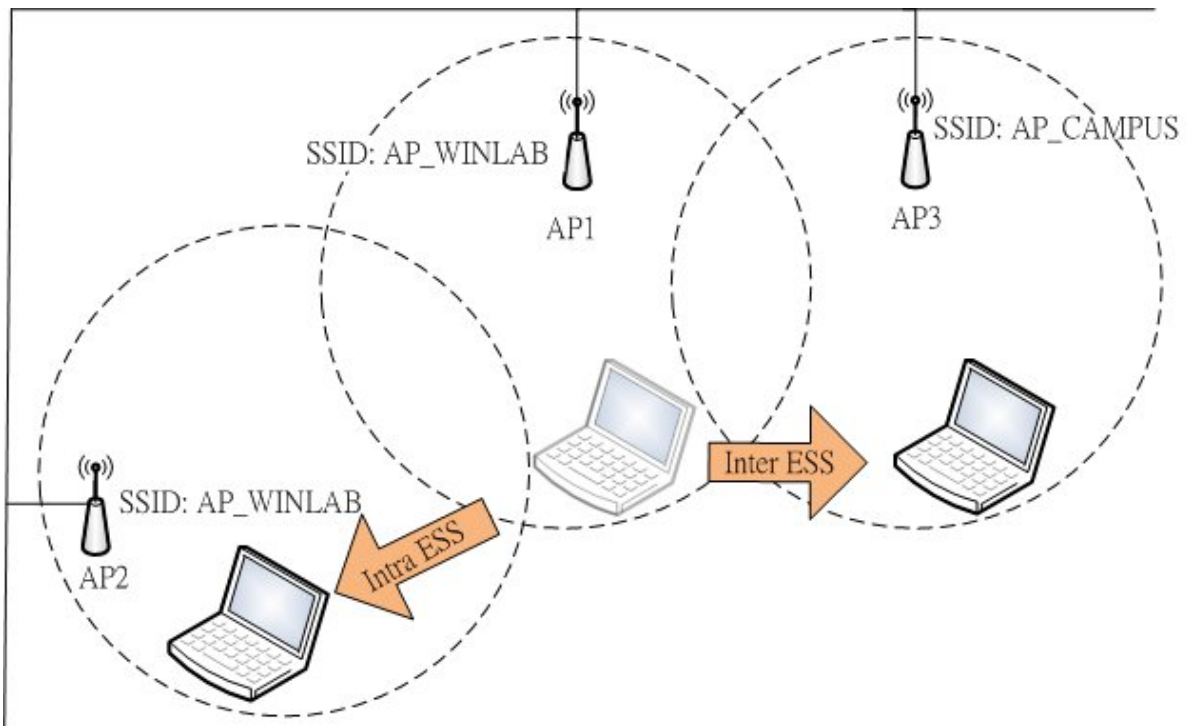


Figure 3-1 Intra ESS and Inter ESS

上述情況是以基地台的 SSID 組態之設定來做區分，而另一種情況則是以子網域設定來看，假設 AP1 和 AP2 同處於同一辦公室、同一樓層或同一棟建築物內，即可能設為同一子網域。而 AP1 和 AP3 可能因單位不同，作用不同而屬於不同的子網域。

若交遞前後的兩基地台都是相同子網域，則行動節點的移動是單一子網域，屬於 Intra subnet。反之若兩基地台的子網域設定不相同，則行動節點移動是屬於跨網域之交遞，定義為 Inter subnet 的情況，以 Figure 3-2 來說明。行動節點由 AP1 範圍移動到 AP2 的範圍，行動節點的 IP 不變，是屬 Intra subnet 交遞。行動節點由 AP1 範圍移動到 AP3 的範圍，行動節點的 IP 由 192.168.1.100 改變為 192.168.2.100，是屬 Inter subnet 交遞。

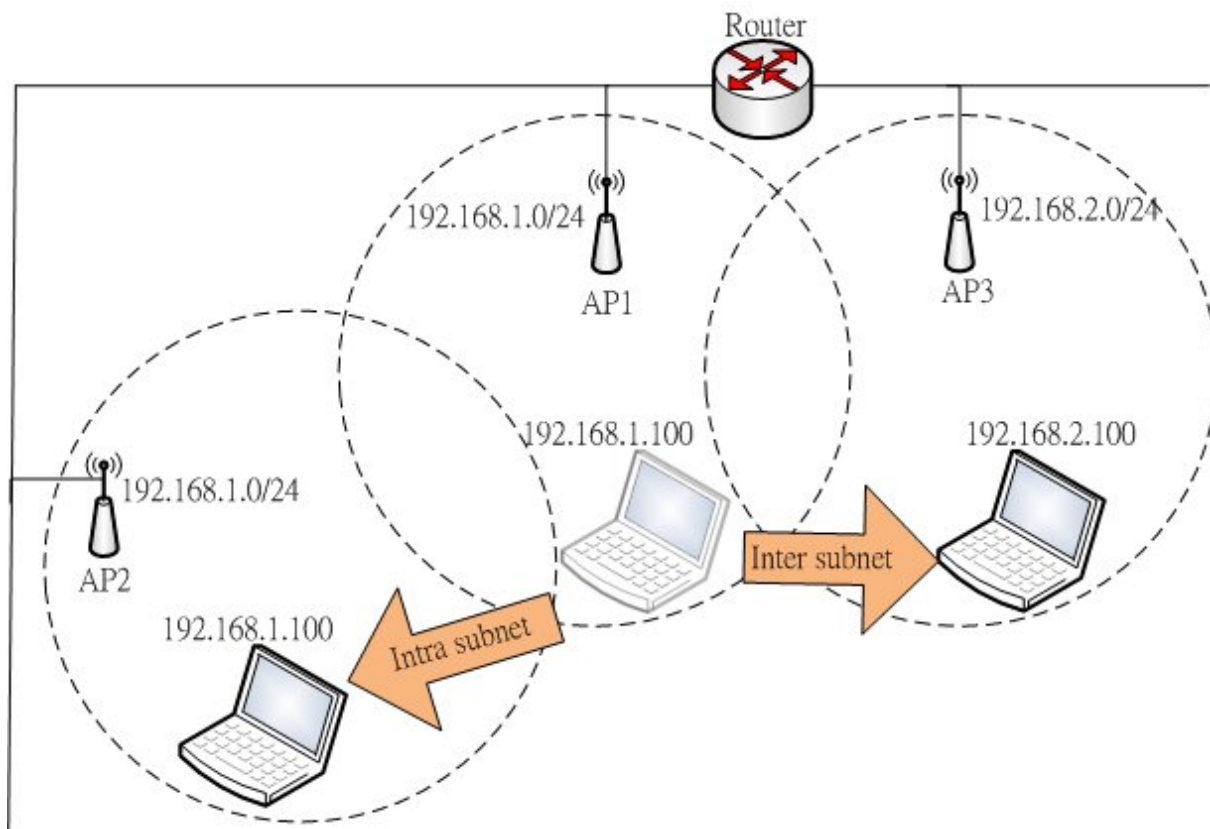


Figure 3-2 Intra subnet and Inter subnet

依具上述不同分類的各有兩種情況加以組合，會有四種情況產生，如 Table 3-1，分為四個 case 分別為：

- ◇ Case I：Intra ESS – Intra subnet，行動節點交遞前後的兩基地台是設定相同 SSID 名稱和相同子網域。
- ◇ Case II：Inter ESS – Intra subnet，這個 case 的兩基地台分別是不同的 SSID 名稱，但仍在同一子網域的環境下
- ◇ Case III：Intra ESS – Inter subnet，兩基地台在這個 case 的設定是相同的 SSID 名稱，不同的子網域設定。
- ◇ Case IV：Inter ESS – Inter subnet，最後一個情況，是兩基地台的 SSID 名稱不相同，也不屬同一子網域下。

利用這四種組合來做為網路環境的架構，藉由這四種情況找出其不相同的交遞過程和影響因素。以 Table 3-1 將四種網路環境做整理，規劃出的四種網路情況將套用在實驗中。

Table 3-1 Handover Environment

	Intra ESS	Inter ESS
Intra Subnet	Case I	Case II
Inter Subnet	Case III	Case IV

3.1.3 實際網路架構

上一章節所描述的無線網路狀況常見於校園網路內，若某系位處於某棟建築物內，分配到一組子網域，該系可能架設多點基地台，並將基地台都設定為相同的 SSID 名稱來組成一個 ESS，或是更小的研究單位如系所實驗室、辦公室內，自行架設組成一 ESS，在此建築物或實驗室內的交遞行為即為 case I IntraESS-IntraSubnet 的狀況。

第二種可能是同一棟建築物內有多個系所，這些系所共同使用同一子網域，但因各自架設基地台，因此有以不同 SSID 名稱設定的基地台在同一建築物。行動節點在這棟建築物移動，引發交遞就是屬於 case II InterESS-IntraSubnet 的情況。

校園環境的網路組合非常多樣，若同一棟建築物內有多個系所，也分配到多個子網域，系所聯合架設相同 SSID 名稱的基地台。或者是兩個系所各自擁有兩棟不同網域的建築物因屬同一學院而將多點基地台設都為相同 SSID 名稱。這兩種可能的交遞行為即為 case III IntraESS-InterSubnet 的狀況。或是校園所提供的無線網路，其通常只會設定一種的 SSID 名稱，但因全校式的佈建，使得範圍太大而無法只使只用一個網域，也可能會有此種狀況。

不同教學大樓或不同研究單位則可能採用不同 SSID 名稱設定之基地台，也可能是分配不同網域方便網路管理。例如理工大樓和商管大樓是不同研究單位，可能就會分配不同的子網域來使用，也各自設定基地台的 SSID 名稱，在這之間的交遞情況則是 case IV InterESS-InterSubnet 的模式。

這四種網路情況都為現實生活中會遇到的情況，因此有這四種情況的考量，利用這四種交遞情況去架設網路環境，模擬各種可能，找出四種情況的對交遞行為或時間延遲各有什麼影響。

利用 3.1.2 節定義的四種情境來做實驗架構的設計，實驗會在一個路由器(router)下進行。並將子網域切成三區，192.168.3 網域給 CN 使用，192.168.1 和 192.168.2 網域則用於 case III、IV 行動節點移動的兩個子網域。在實驗過程會有一台筆電分別監聽原服務基地台和目標基地台所在的兩個頻道(cannels)。以四種網路架構，藉以模擬上述校園無線網路的狀況。

● Case I Intra ESS-Intra Subnet :

Case I 的設定是 intra ESS-intra Subnet，Figure 3-3 架設兩台基地台組態設定為 SSID1_AP1 的 ESS 下規劃為同一子網域分別在頻道 6 和頻道 11 上。行動節點由 AP1 往 AP2 移動。

Table 3-2 Configuration for Case I Intra ESS-Intra subnet

	Channel	SSID	Subnet
AP1	CH6	AP_WINLAB	192.168.1.0/24
AP2	CH11	AP_WINLAB	192.168.1.0/24

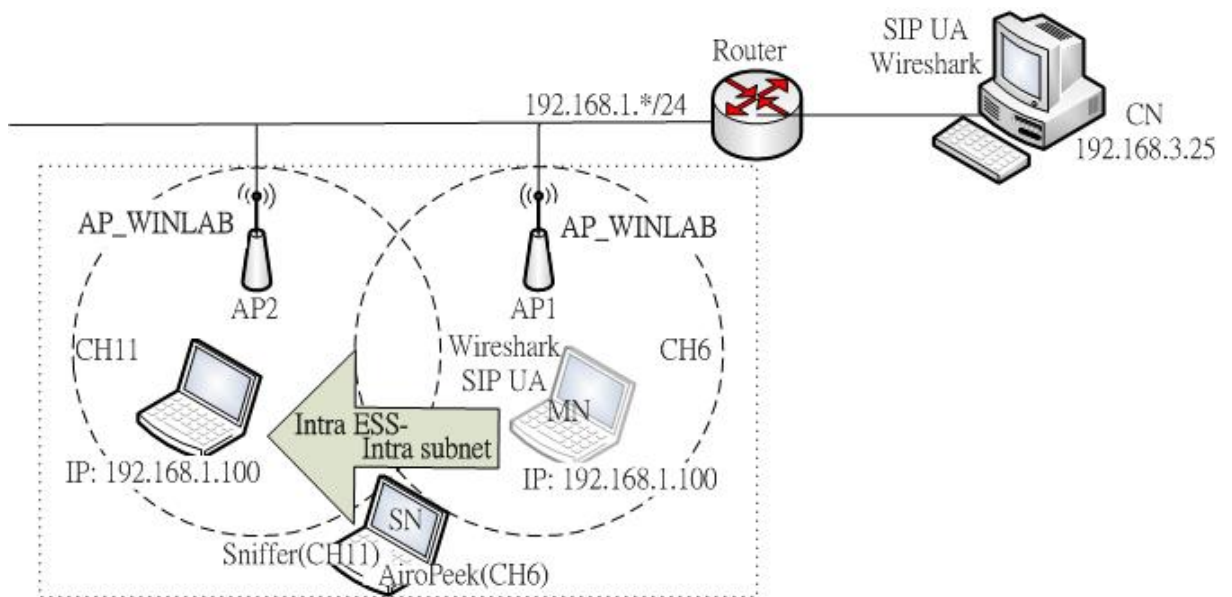


Figure 3-3 Intra ESS-Intra subnet Environment

● **Case II Inter ESS-Intra subnet :**

Case II 是 inter ESS-intra Subnet 的網路環境，Figure 3-4 有兩個 ESS 分別為 AP_WINLAB 和 AP_CAMPUS。AP1 在 Channel6，AP2 在 Channel11 上。行動節點由 AP1 往 AP2 移動是跨 ESS 的交遞。

Table 3-3 Configuration for Case II Inter ESS-Intra subnet

	Channel	SSID	Subnet
AP1	CH6	AP_WINLAB	192.168.1.0/24
AP2	CH11	AP_CAMPUS	192.168.1.0/24

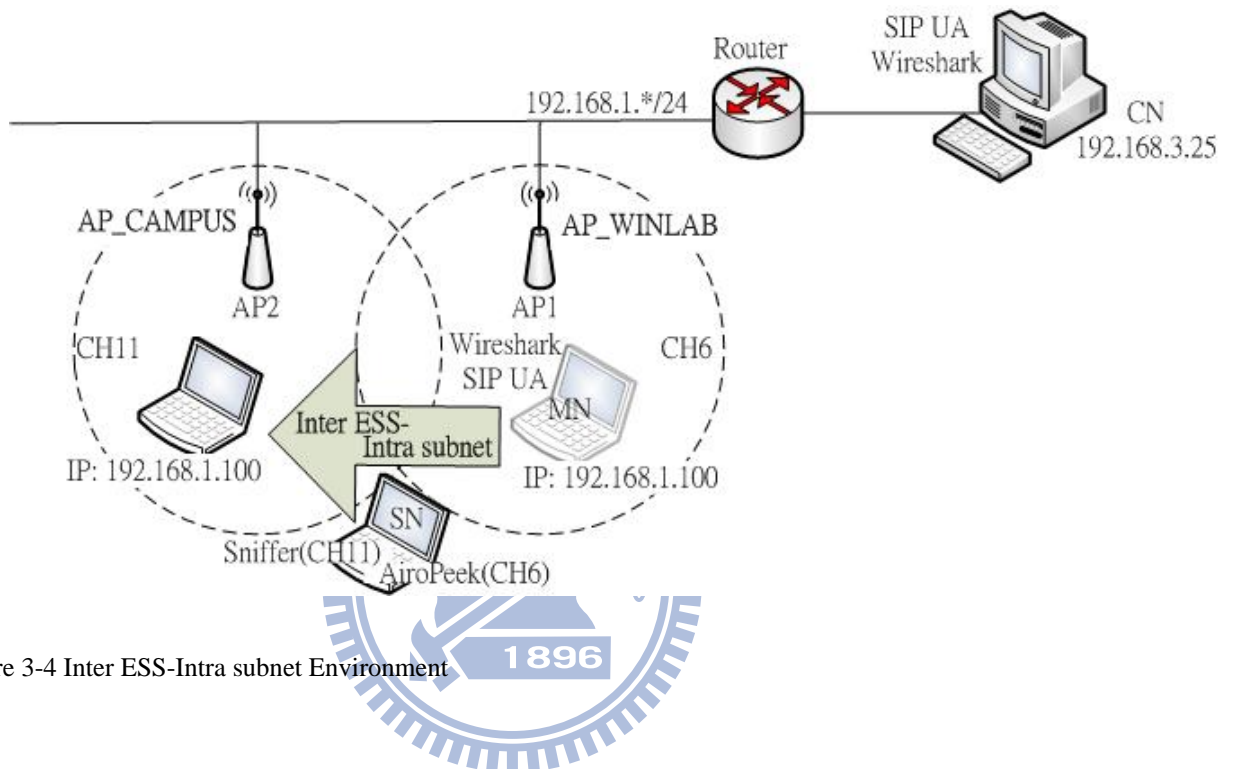


Figure 3-4 Inter ESS-Intra subnet Environment

● **Case III Intra ESS-Inter subnet :**

Case III 的設定是 intra ESS-inter Subnet，Figure 3-5 有兩個網域，192.168.1 和 192.168.2，但屬於同一 ESS 下。行動節點由 AP1 往 AP2 移動是跨 subnet 的交遞。

Table 3-4 Configuration for Case III Intra ESS-Inter subnet

	Channel	SSID	Subnet
AP1	CH6	AP_WINLAB	192.168.1.0/24
AP2	CH11	AP_WINLAB	192.168.2.0/24

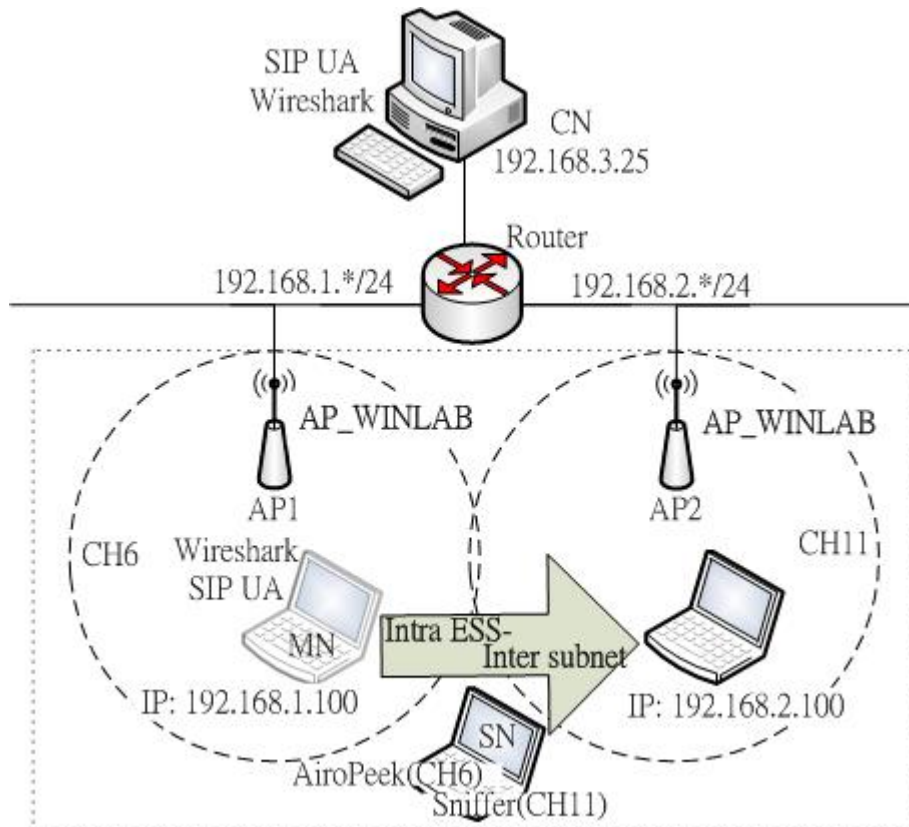


Figure 3-5 Intra ESS-Inter subnet Environment

● **CaseIV Inter ESS-Inter subnet :**

CaseIV的設定是 inter ESS-inter Subnet，Figure 3-6 有兩個網域和兩個 ESS。行動節點所連線的基地台在交遞前後是不一樣的 SSID 名稱和網域。

Table 3-5 Configuration for CaseIV Inter ESS-Inter subnet

	Channel	SSID	Subnet
AP1	CH6	AP_WINLAB	192.168.1.0/24
AP2	CH11	AP_CAMPUS	192.168.2.0/24

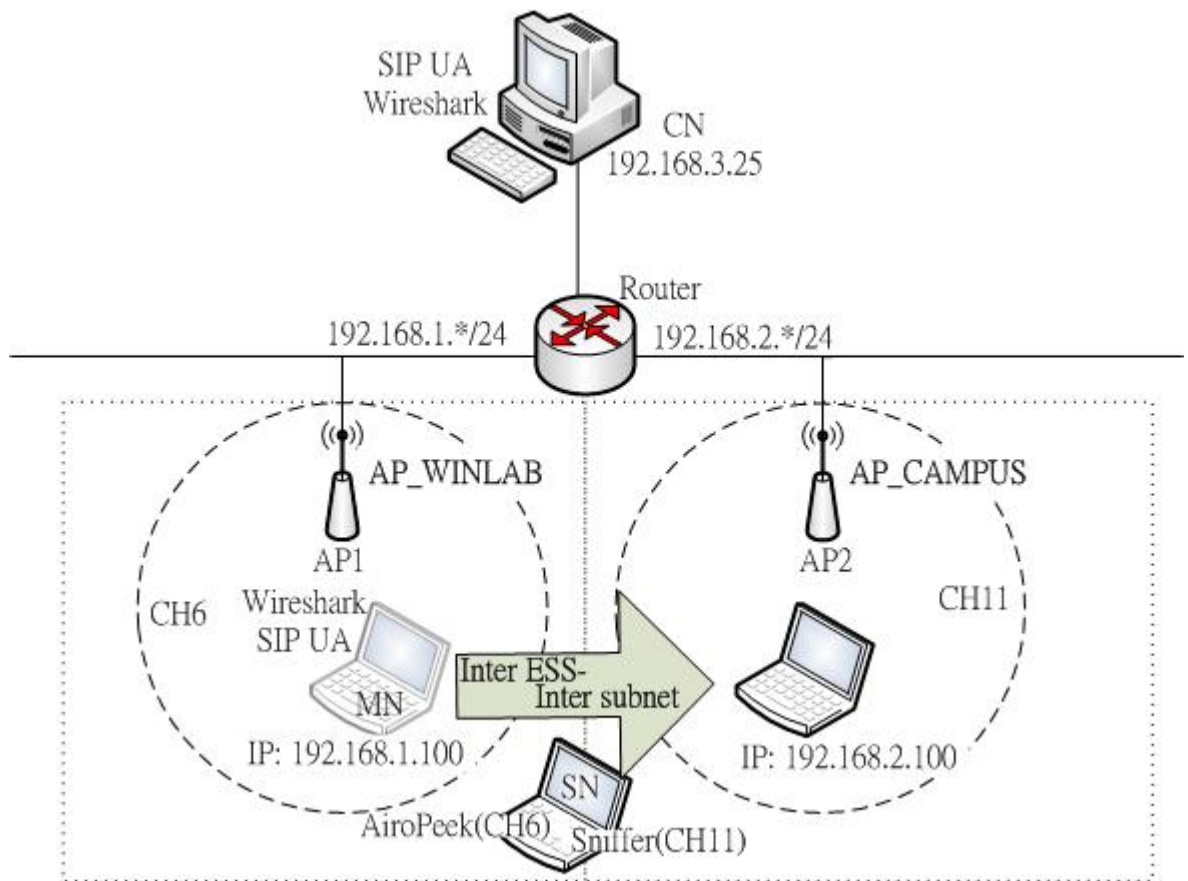


Figure 3-6 Inter ESS-Inter subnet Environment

3.2 實驗

此部份將說明實驗所用的工具與應用軟體。3.2.1 節定義各節點名稱和其所負責的項目和作用，3.2.2 節則是將這些節點做設定。最後，3.2.3 節介紹行動節點與相對節點之間在實驗時的情境。

3.2.1 實驗環境

為將 3.1.3 小節所描述的無線網路架構具體化，需利用筆記型電腦、基地台、無線網卡，及其它工具與應用程式輔助完成實驗的架構。實驗有三台筆電分別是行動節點、相對節點和監聽節點，基地台兩台，無線網卡四張，其它將於 Table 3-6 中提出介紹與簡單說明用途。

為了深入了解與分析行動節點的交遞行為，本論文除了基地台與行動節點等設備並

利用訊號隔絕箱和可程式化衰減器做為輔助，設計了多種不同的網路環境，藉此做多方探討與深入研究。

實驗進行需行動節點和相對節互相通訊後，因基地台訊號衰減而有交遞行為。為模擬此行為，整個實驗的架構需要的硬體設備如下：

1. 行動節點(MN)
2. 相對節點(CN)
3. 監聽節點(SN)
4. 基地台(AP)
5. 無線網路卡(Wireless NICs)
6. 隔絕箱(Shading Box)
7. 衰減器(Attenuator)

Table 3-6 Experimental Node and Application

MN	
ASUS S5200N-Windows XP sp2	行動節點，在實驗過程中和 CN 進行通話，並從 AP1 的涵蓋範圍移動到 AP2
CN	
ASUS M5200N-Windows XP sp2	相對節點，固定不動，在實驗過程中和 MN 進行通話
SN	
ASUS A6M-Windows XP sp2	監聽節點，截取行動節點進行一連串交遞行為的封包
AP	
ZyXEL P330W (chip: RTL8186)	架設二基地台，分別為 AP1 和 AP2。做為 MN 可連線之基地台
Wireless NICs	
Intel(R) PRO/Wireless LAN 2100 3B Mini PCI	安裝於行動節點上，觀察其交遞行為。版本為 1.1.50，使用晶片則是 Intel
D-Link DWL-AG660	安裝於行動節點上，觀察其交遞行為。硬體版本是 B3，韌體版本是 2.40，使用 Athores 晶片
Cisco Aironet 802.11	安裝於行動節點上，觀察其交遞行為。

a/b/g	AIR-CB21AG-W-KG，使用 Athores 晶片
Linksys WPC54G-TA	安裝於行動節點上，觀察其交遞行為。版本為 V3.1，使用 Broadcom 晶片
Application	
ESS transition tool	利用 Windows XP 提供的 Zero Configuration 進行行動節點交遞時轉換 ESS
Wireshark v1.0.2	安裝於行動節點上，在實驗過程監聽行動節點所送出與接收的封包
AiroPeek NX v2.0.2	安裝於監聽節點上，監聽行動節點連上的原服務基地台的頻道
Sniffer Portable v4.7.5	安裝於監聽節點上，監聽行動節點欲連上的目標基地台的頻道
CCL SIP UA v0.34	安裝於行動節點與相對節點上，VoIP 軟體
VoIP packets generation	行動節點與相對節點執行 SIP UA 軟體產生語音封包
Equipments	
Shading Box	盒子樣貌，可將行動節點放入，作隔絕訊號用
Attenuator EPA-1200	可程式化衰減器

實驗會有四張不同廠牌的無線網卡進行交遞的動作，並利用 Wireshark、AiroPeek 和 Sniffer Portable 來做監聽。而 Windows XP 內建的 Zero configuration 則是用來在交遞時提供行動節點不同 ESS 的轉換，它會列出所搜尋到可用的 SSID 清單，可以參考清單在“變更喜好網路的順序”設定 SSID 的優先順序，做為交遞時會依照設定的順序自動連接上可用的 AP。

而 Shading Box 是為了隔絕其它訊號的干擾。Attenuator EPA-1200 可程式化衰減器則搭配隔絕箱，在箱內模擬基地台訊號衰減。

3.2.2 網路設定

實驗設計了四種網路架構，分別有對應的設定，如基地台架設、路由器的設定等等，在此章節將分別以四種網路架構的網路設定做說明。

此實驗在內網下進行，因此將路由器內分為三個子網域，分別為 192.168.1.0/24、192.168.2.0/24 和 192.168.3.0/24，三個網域在四種網路架構有不同的分配。而基地台需

有兩台以上，讓行動節點有可選擇的基地台來進行交遞。之後的說明將原服務基地台以 AP1 稱之，目標基地台則以 AP2 稱之。

相對節點是有線網路固定 IP，而行動節點會先和 AP1 連線，交遞後是與 AP2 連線。而 AP1 和 AP2 依照設定變更，模擬行動節點在四種網路環境架構下交遞。藉由不同組態設定，組成不同的無線網路架構。

● Case I Intra ESS-Intra subnet

這情況即為兩基地台 SSID 名稱相同，並設為相同網域，同為 .1 的網域，如 Table 3-7 各節點的設定。

Table 3-7 Set Nodes for Intra ESS-Intra subnet

	設定
AP1	SSID: AP_WINLAB Subnet: 192.168.1.0/24 Channel: 6 DHCP Server: Enable DHCP Range: 192.168.1.100~192.168.1.200
AP2	SSID: AP_WINLAB Subnet:192.168.1.0/24 Channel: 11 DHCP Server : Enable DHCP Range : 192.168.1.100~192.168.1.200
CN	固定 IP, 使用 192.168.3.0/24 網域, 所以將 IP address 設為 192.168.3.25
MN	依 DHCP Server 分配的 IP address 來使用
SN	兩張無線網卡, 分別監聽 Channel6 和 Channel11

由此設定可以得知，AP1 和 AP2 兩基地台在同一網域內，而 DHCP Server 由 AP1 所擔任。

● Case II Inter ESS-Intra subnet

這情況即為兩基地台 SSID 名稱不同，但設為相同網域，其節點與基地台的設定如

Table 3-8。

Table 3-8 Set Nodes for Inter ESS-Intra subnet

	設定
AP1	SSID: AP_WINLAB Subnet: 192.168.1.0/24 Channel: 6 DHCP Server: Enable DHCP Range: 192.168.1.100~192.168.1.200
AP2	SSID: AP_CAMPUS Subnet:192.168.1.0/24 Channel: 11 DHCP Server : Enable DHCP Range : 192.168.1.100~192.168.1.200
CN	固定 IP, 使用 192.168.3.0/24 網域, 所以將 IP address 設為 192.168.3.25
MN	依 DHCP Server 分配的 IP address 來使用
SN	兩張無線網卡, 分別監聽 Channel6 和 Channel11

● Case III Intra ESS-Inter subnet

這情況即為兩基地台 SSID 名稱相同, 但設為不同網域, 分別為.1 和.2 網域, 在 Table 3-9 有節點和基地台詳細設定。

Table 3-9 Set Nodes for Intra ESS-Inter subnet

	設定
AP1	SSID: AP_WINLAB Subnet: 192.168.1.0/24 Channel: 6 DHCP Server: Enable DHCP Range: 192.168.1.100~192.168.1.200
AP2	SSID: AP_WINLAB

	Subnet:192.168.2.0/24 Channel: 11 DHCP Server : Enable DHCP Range : 192.168.2.100~192.168.2.200
CN	固定 IP, 使用 192.168.3.0/24 網域, 所以將 IP address 設為 192.168.3.25
MN	依 DHCP Server 分配的 IP address 來使用
SN	兩張無線網卡, 分別監聽 Channel6 和 Channel11

● **CaseIV Inter ESS-Inter subnet**

這情況即為兩基地台 SSID 名稱不同, 並在不同的網域。此種情況在 Table 3-10 的設定中, 有 .1 和 .2 網域。

Table 3-10 Set Nodes for Inter ESS-Inter subnet

	設定
AP1	SSID: AP_WINLAB Subnet: 192.168.1.0/24 Channel: 6 DHCP Server: Enable DHCP Range: 192.168.1.100~192.168.1.200
AP2	SSID: AP_CAMPUS Subnet:192.168.2.0/24 Channel: 11 DHCP Server : Enable DHCP Range : 192.168.2.100~192.168.2.200
CN	固定 IP, 使用 192.168.3.0/24 網域, 所以將 IP address 設為 192.168.3.25
MN	依 DHCP Server 分配的 IP address 來使用
SN	兩張無線網卡, 分別監聽 Channel6 和 Channel11

將上述的設定套用在實驗中, 模擬四種網路架構, 滿足 3.1.3 所提到的四種可能的

無線網路環境架構。讓行動節點在這四種環境進行實驗，行動節點皆由 AP1 的訊號涵蓋範圍移往 AP2 的訊號涵蓋範圍。行動節點所獲取的 IP 位址皆由 AP1 或 AP2 分配，兼 DHCP Server 的功能。

3.2.3 實驗測量方法

實驗的目的是量測行動節點和相對節點之間封包交換情況，觀察兩節點間通訊狀況和通訊過程中行動節點移動發生交遞時封包交換情況。因此讓行動節點和相對節點上執行通話軟體 SIP UA，並利用語音封包軟體產生語音封包相互傳遞。在通話的過程中，讓行動節點移動，從原服務基地台的訊號涵蓋範圍移動至目標基地台的訊號涵蓋範圍。

實驗中所使用的 SIP UA 經過洪嘉琪學姐的修改，將用來感應網路媒體事件的程式整合進 SIP UA。使得網路媒體有任何事情發生時，可以通知上層的使用者應用程式。其利用的即是 Microsoft 與 3Com 公司聯合制定的一套開發視窗環境下網路驅動程式的規範，NDIS(Network Driver Interface Specification)其中的 User Mode Protocol。

修改後的 SIP UA 有一視窗，開啟 NDIS 與網路驅動程式之間的界面。為進行實驗需要，使為將會對感應網路媒體連線、斷線、IP 變更等事件進行註冊。而啟動後，所進行的交遞實驗，則會將交遞過程中所觸發的網路媒體事件(包含發生的時間)顯示於視窗內。

SIP UA 除了感知網路媒體的事件的加入，也修改通話管理上的問題，忽略 IP 變更所造成 session 被重建，以 SSRC(Synchronization source identifier)欄位來判斷是否為相同的 session。此欄位在語音封包的 header 內，是隨機產生的識別值，用來做唯一識別，雖然 IP 位址不同，但 SSRC 相同，仍判斷為相同的 session。減少行動節點為了重建 session 而造成的延遲。將交遞延遲時間單純化，只考慮鏈結層和網路層的延遲。

3.3 各項測量

本章節說明量測步驟和四種網路架構移至隔絕箱執行的實際實驗情況，如何達到模擬真實環境的網路架構。

3.3.1 模擬交遞環境

實驗的無線網路架構的佈建，將利用隔絕箱、衰減器和基地台組態設定的更改來模擬實際的網路環境。實驗的架構如 Figure 3-7，將基地台和行動節點分別置於不同的隔

絕箱中，再藉由衰減器做訊號衰減的動作。AP1 透過衰減器(Attenuator1)訊號由強變弱到無訊號，而 AP2 透過 Attenuator2 增強訊號，模擬行動節點移動於 AP1 訊號涵蓋範圍和 AP2 訊號涵蓋範圍之間。

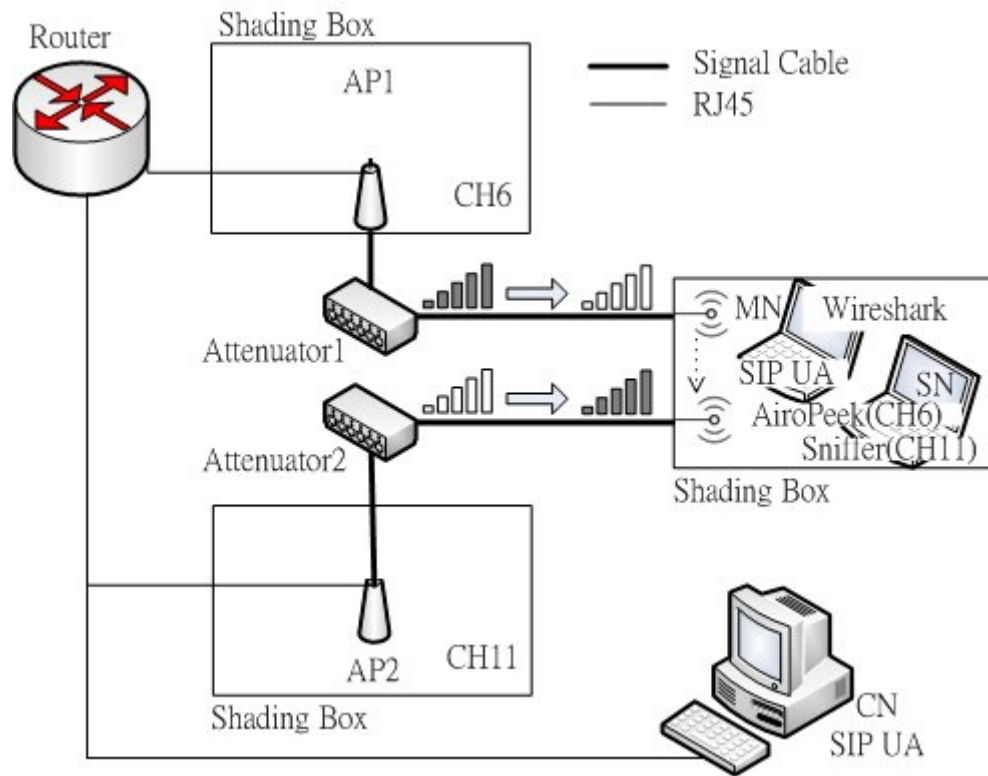


Figure 3-7 Experimental Environment

此實驗架構希望模擬四種不同的網路架構，藉由更改 AP1 與 AP2 的組態設定來完成四種情況的實驗。而這四種網路架構分別是 Intra ESS-Intra subnet、Intra ESS-Inter subnet、Inter ESS-Intra subnet 和 Inter ESS-Inter subnet。

此實驗是行動節點與進行監聽之筆電一同放入隔絕箱中，並將 AP1 和 AP2 訊號輸出至衰減器中。訊號會經由衰減器達到訊號衰減或增強的效果，再分別將訊號輸出至放有行動節點的隔絕箱中，而讓行動節點接收到不同的訊號強度，模擬遠離 AP1 接近 AP2，以完成交遞實驗。

Figure 3-8 顯示實驗中兩基地台的訊號衰減方式為線性衰減，原服務基地台為 AP1，目標基地台為 AP2，橫軸代表時間，縱軸則代表訊號強弱。橫軸愈靠右，表離原點愈遠是時間愈久，AP1 隨著時間橫軸愈大訊號愈弱，模擬行動節點移動，慢慢遠離原服務基地台的訊號涵蓋範圍。AP2 則是隨著時間橫軸愈大，訊號強度愈大，此時模擬行動節點慢慢靠近 AP2。如此，就可利用隔絕箱及衰減器模擬 Figure 3-9 行動節點移動而基地台

訊號自然衰減或增強的現象，達到實驗規劃的效果。

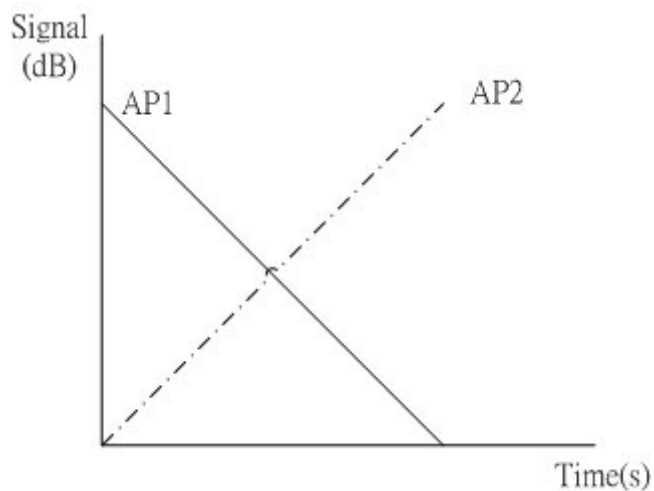


Figure 3-8 Reduce and Increase Signal Strength

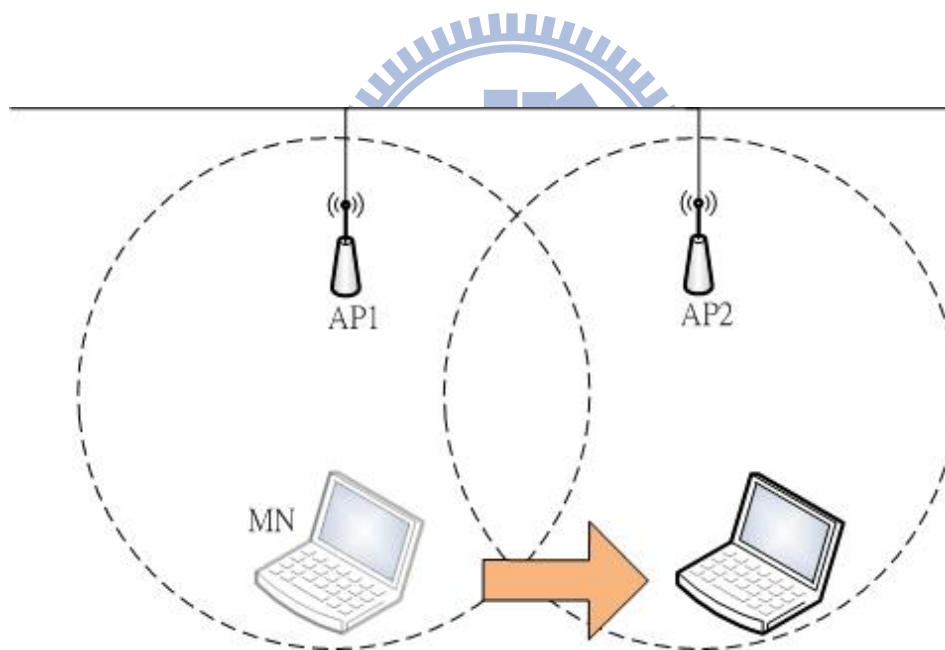


Figure 3-9 MN move from AP1 to AP2

3.3.2 實驗步驟

實驗有四張無線網卡安分別於四種網路環境下，插於行動節點上來進行，每張網卡都會執行 3.1.2 節所描述的四種網路架構。每次的實驗皆依照相同的實驗步驟進行，各種類型的實驗約進行 25 次。

此實驗分別將行動節點和 AP1、AP2 放入隔絕箱中，並在 AP1、AP2 和行動節點所在隔絕箱之間接上衰減器控制訊號強弱，依照實驗架構，將實驗環境架設完成。下列為實驗執行步驟：

步驟一：開啟 AP1、AP2 電源

步驟二：並依照網路架構的不同設定基地台。

步驟三：開啟放有 AP 和行動節點之間的衰減器，以便實驗進行訊號強弱的衰減。

步驟四：設定行動節點慣用網路的優先權。

步驟五：先讓行動節點與 AP1 連線。

步驟六：將行動節點與相對節點都執行 SIP UA 軟體，並讓雙方進行通訊後。

步驟七：關上隔絕箱。

步驟八：啟動衰減器。設定實驗模擬環境，使 AP1 訊號衰減，AP2 訊號增強。

3.3.3 實驗工具

實際的實驗過程中，環境如同 Figure 3-7 所示，原服務基地台 AP(AP1)的頻道設在 6，而目標基地台(AP2)頻道設在 11。行動節點除了執行 SIP UA 還執行 Wireshark 監聽無線網卡本身送出與接收的封包。相對節點連接有線網路，也會執行 Wireshark，監聽網卡本身送出與接收的封包。而監聽節點則會安插兩張網卡，分別利用 AiroPeek 監聽頻道 6(原服務基地台)和 Sniffer Pro 監聽頻道 11(目標基地台)。當行動節點從原服務基地台的訊號涵蓋範圍移動到目標基地台的訊號涵蓋範圍時，為監測通話過程和一連串交遞過程，因此同時監聽頻道 6 和頻道 11，可藉此監測到交遞前後的封包。

實驗也將利用一些無線網路媒體的斷線及連線事件來觀察交遞行為，即當發現網路媒體有任何事件發生時，可以通知上層的應用程式。因此在行動節點與相對節點上執行的 SIP UA，除了進行雙方通話產生語音封包，並結合了感應網路媒體事件程式整合，使其具備事件通知的功能。

3.3.4 時間同步

實驗目的在找出不同的無線網卡在不同網路架構環境下交遞行為的差異，和其交遞延遲時間的分析。因此必須將可能影響實驗的原因排除，讓實驗結果能不被其它非交遞因素所影響。

實驗使用的節點有行動節點、相對節點和監聽節點，當實驗開始前，要先將三個節點的系統時間調整為一致，以減少在分析交遞延遲時間時因時間不同步所產生的誤差，導致實驗結果不能反應真正延遲時間。

實驗設計有一台監聽封包專用的監聽節點，安插兩張網卡，分別監聽原服務基地台的頻道和目標基地台的頻道。將兩張網卡置於同一節點上，目的就是為了減少不同節點的差異和時間不同步。

而相對節點、行動節點和監聽節點之間則利用網路校時協定 NTP(Network Time Protocol)來達到三台節點時間同步的。在實驗開始之前就用 NTP 將三個節點時間做同步，之後每一小時進行調校的動作，以避免實驗進行時間過長而產生時間誤差，讓實驗更具可靠性與正確性。

3.3.5 各項時間量測

交遞動作其實是由一連串的動做所完成，在此小節將為各個小階段的動作做區別，探討交遞延遲時間各階段的定義，與交遞過程會執行的一連串動作說明。本論文所量測的交遞延遲皆是在鏈結層和網路層，因此之後的討論都是以這兩層做為主要的探討方向。

一般探討交遞的行為多半著重於偵測搜尋可用基地台的部份，但無線網卡的交遞行為在開始搜尋前會有一段時間做為決定是否交遞。這階段可能因為收不到語音封包，而有 RTS/CTS 的封包傳送。本論文將加入這階段進行探討。

Figure 3-10 為本論文各項時間定義的標準。總延遲時間為鏈結層交遞(L2H)和網路層交遞(L3H)的加總。而鏈結層和網路層的交遞又分別包含四階段的行為模式，交遞延遲時間會因為這些行為而有不同。3.3.5.1 將說明鏈結層交遞各階段行為的定義，3.3.5.2 則說明網路層交遞各階段行為的定義。而測量的方法將於 3.4 節中再做說明。

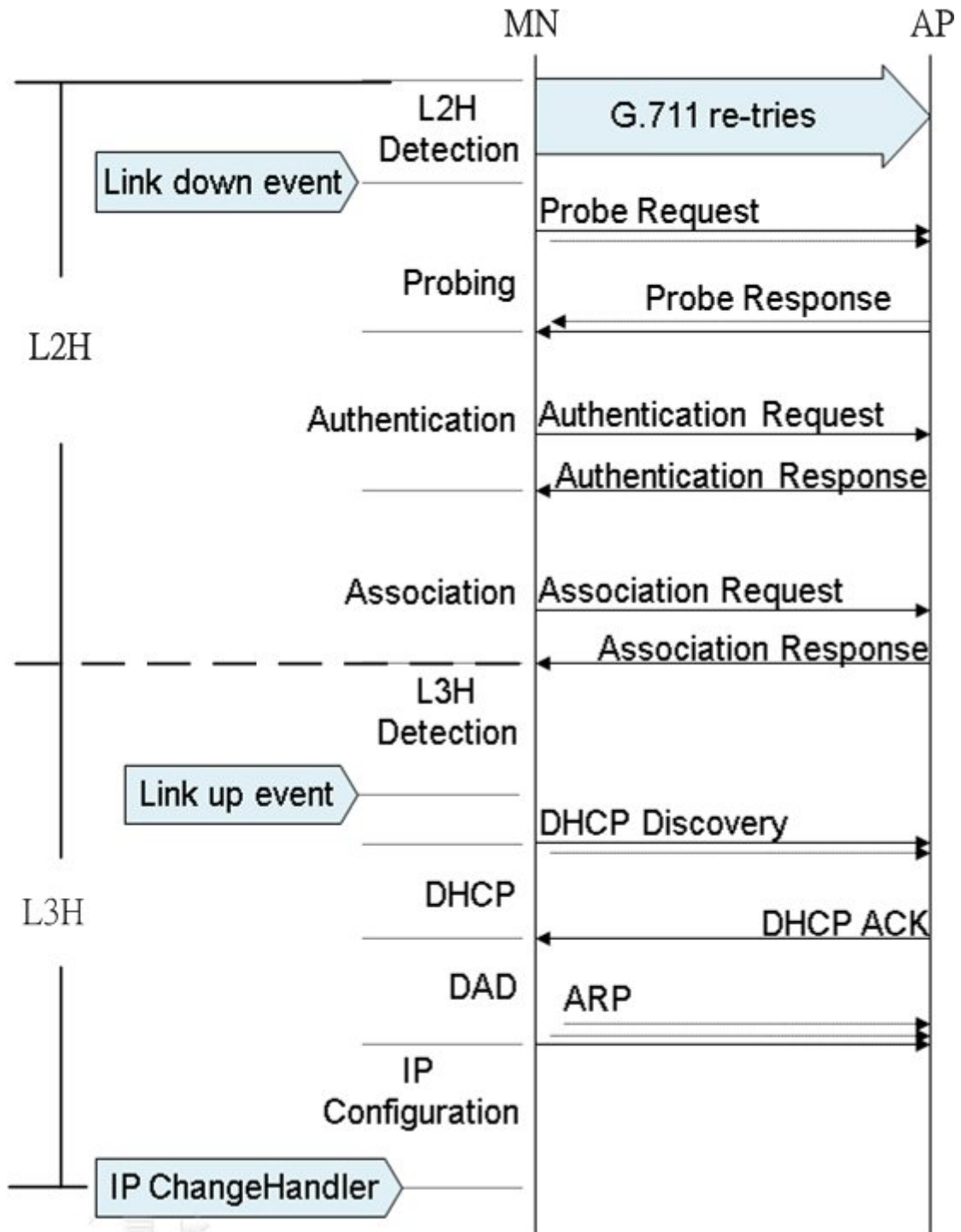


Figure 3-10 Handover Procedure Overview

3.3.5.1 L2H

在鏈結層交遞本論文稱為 L2H (Layer 2 Handover)。將鏈結層的行為分為四個階段，分別為：L2H Detection、Probing、Authentication 和 Association，本小節將每一階段做定義，Figure 3-11 為鏈結層交遞的行為。

● L2H Detection

Detection 主要是在決定是否該尋找其它目標基地台連線，藉由一些訊息傳遞或跡象推測需尋找可連線的基地台。無線網路卡在送出語音封包後，沒有立即收到服務基地台回覆 ACK 訊息，此時會嘗試降低傳輸速率的方式重傳語音封包。網卡可能推測網路過於擁擠，並且試著使用 RTS/CTS 機制，來淨空無線網路環境。直到封包掉失超過一個限度，則無線網卡判斷可能需要搜尋另一目標基地台來做連線，以讓服務繼續。

● Probing

這階段主要是在對原基地台一連串傳送失敗的語音封包之後，搜尋其它可用的基地台，利用 active scan 針對要掃描的 channel 主動發出 probe request 的請求訊息。若 Probe Request 訊息所帶的資訊相容於 channel 上的基地台，則目標基地台回覆 Probe Response 訊息。當完成 probe 得到可用的基地台清單後選擇其一進行連結。

● Authentication

實驗設定 Open System 為認證模式。行動節點選出要進行連線的目標基地台後，送出 Authentication Request 訊息，目標基地台收到由行動節點發出的請求後，回覆 Authentication Response 訊息給行動節點，表通過認證。

● Association

行動節點通過目標基地台的身份認證後，即可要求連線。於是發出 Association request 訊息，要求進行連線，目標基地台則會回應 Association response 訊息，告知允許連線。



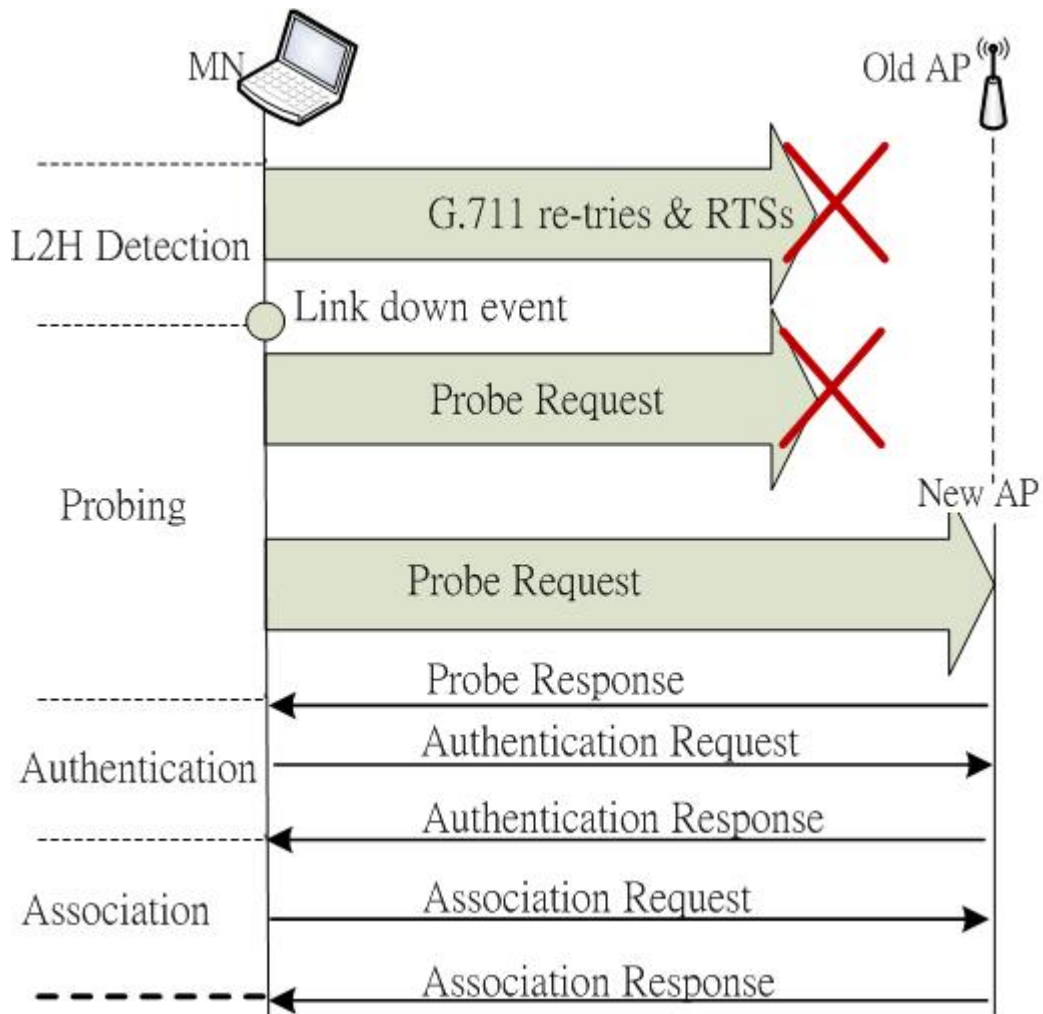


Figure 3-11 Layer 2 Handover Procedure

因此，在鏈結層的延遲時間為：

$$\text{L2H Delay Time} = \text{L2H Detection} + \text{Probing} + \text{Authentication} + \text{Association}$$

3.3.5.2 L3H

本論文將網路層的交遞定義為 L3H (Layer 3 Handover)。當行動節點在兩個不同的子網域移動產生交遞行為，L3H 就會被觸發。此時，L3 會有一連串之交遞行為，Figure 3-12 為網路層交遞行為的程序。

● L3H Detection

若原服務基地台和目標基地台分處於不同的子網域，L2H 完成即是 L3H detection 的開始。這階段將判斷是否需重新取得 IP address。

● DHCP

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 有四個訊息的往來，讓行動節點來取得 IP address，分別是：

DHCP Discovery：由行動節點發出，尋找可提供 IP 的 Server，以 broadcast 方式發出請求。

DHCP Offer：由 DHCP Server 回應給行動節點的訊息，帶有將分配給行動節點的 IP address。

DHCP Request：行動節點收到 Offer 之後，藉由 DHCP Request 向 Server 提出租約申請。

DHCP ACK：若 Server 同意行動節點的請求，即回覆 ACK，將 IP address 正式分配給行動節點，完成整個程序。

DHCP 階段完成，行動節點將可以得到一個 IP address。

● DAD

DAD (Duplicate Address Detection)，為避免行動節點取得的 IP address 和其它網路上的 host 衝突，即是拿到和某台 host 同樣的 IP address 而無法作用。在此階段則是確認網路上是否有其它 host 使用相同 IP，若沒有 host 回應，則行動節點可使用此 IP，反之則需要重新再要一個 IP address。

● IP Configuration

確定取得的 IP 位址並未和其它主機衝突，為可用 IP 之後，就可以進行一些網路組態的設定，如 DNS、Gateway…等。

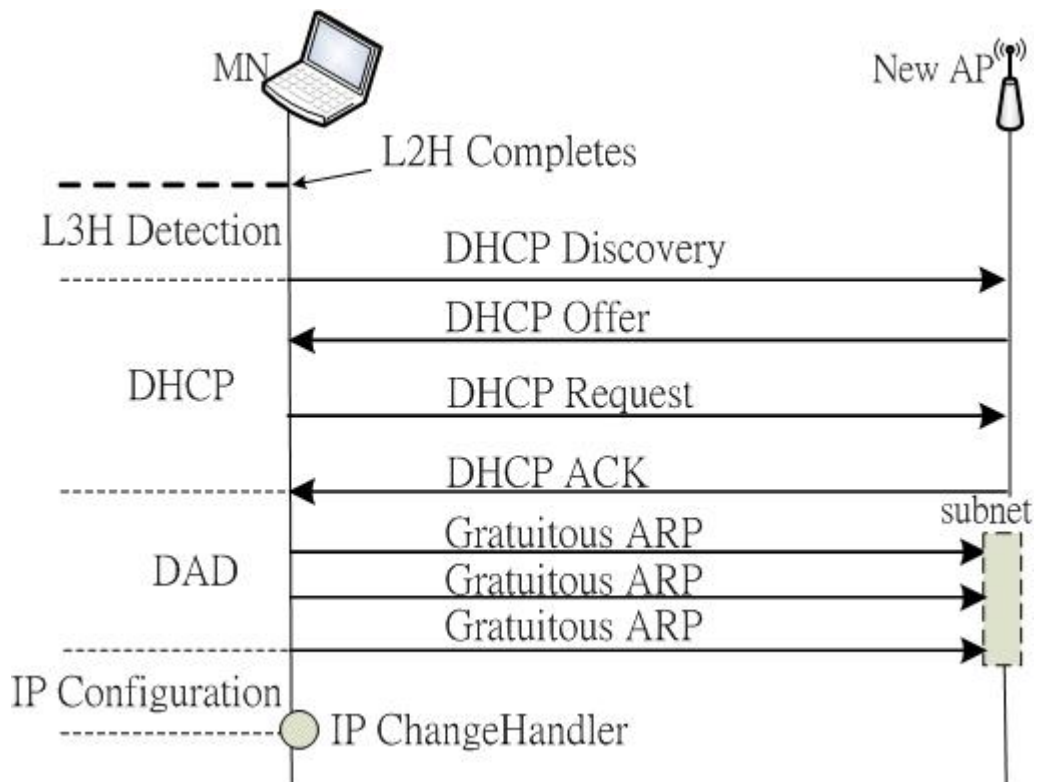


Figure 3-12 Layer 3 Handover Procedure

3.3.6 各種事件(event)通知

本論文的實驗，用來建利行動節點與相對節點之間的 session 所使用的通話軟體為 SIP UA，其整合了感應網路媒體事件的程式，提供偵測的功用，當發現網路媒體有任何事件發生時，就會通知上層的用户模式的應用程式。

● Link down

此事件發生於當媒體連線中斷被網路驅動程式偵測到，即通知上層用户模式的應用程式的時間點。

● AddrChangeNotify

行動節點感知網路連線中斷後，將原本綁在無線網路卡上的 IP 位址釋放，此時的 IP 位址會被清為 0.0.0.0。

● RTP stop

當行動節點有感於網路斷線後，會停止送出封包，但上層用戶模式的應用程式仍不知情。RTP(Realtime Transport Protocol) stop 的 event 由底層送到上層時，用戶模式的應用程式才會知道網路已斷線，會停止相關事件的傳送，且不再傳送語音封包至下層。

● Link up

當網路媒體重新恢復連線被網路驅動程式察覺的事件，並通知上層用戶模式的應用程式的時間點。

● IP ChangeHandler

網路重新連線後，行動節點的 IP 位址和網路相關設定需要重新做變更設定，當完成設定時的事件通知，通知上層應用程式的時間點。

因此，Figure 3-10 中所標示為鏈結層與網路層之交遞行為與事件(event)時間點先後發生的順序。而交遞延遲時間為：

$$\text{Handover Delay Time} = L2H + L3H$$



3.4 資料分析方法

實驗所監聽到的封包，需經過分析才能成為有用的資訊，因此分析的依據就是一個重要的探討議題。本論文所探討交遞流程包含鏈結層和網路層，其會產生哪些交遞行為，該怎麼利用所得到的封包訊息來進行分析，都在本節做說明。

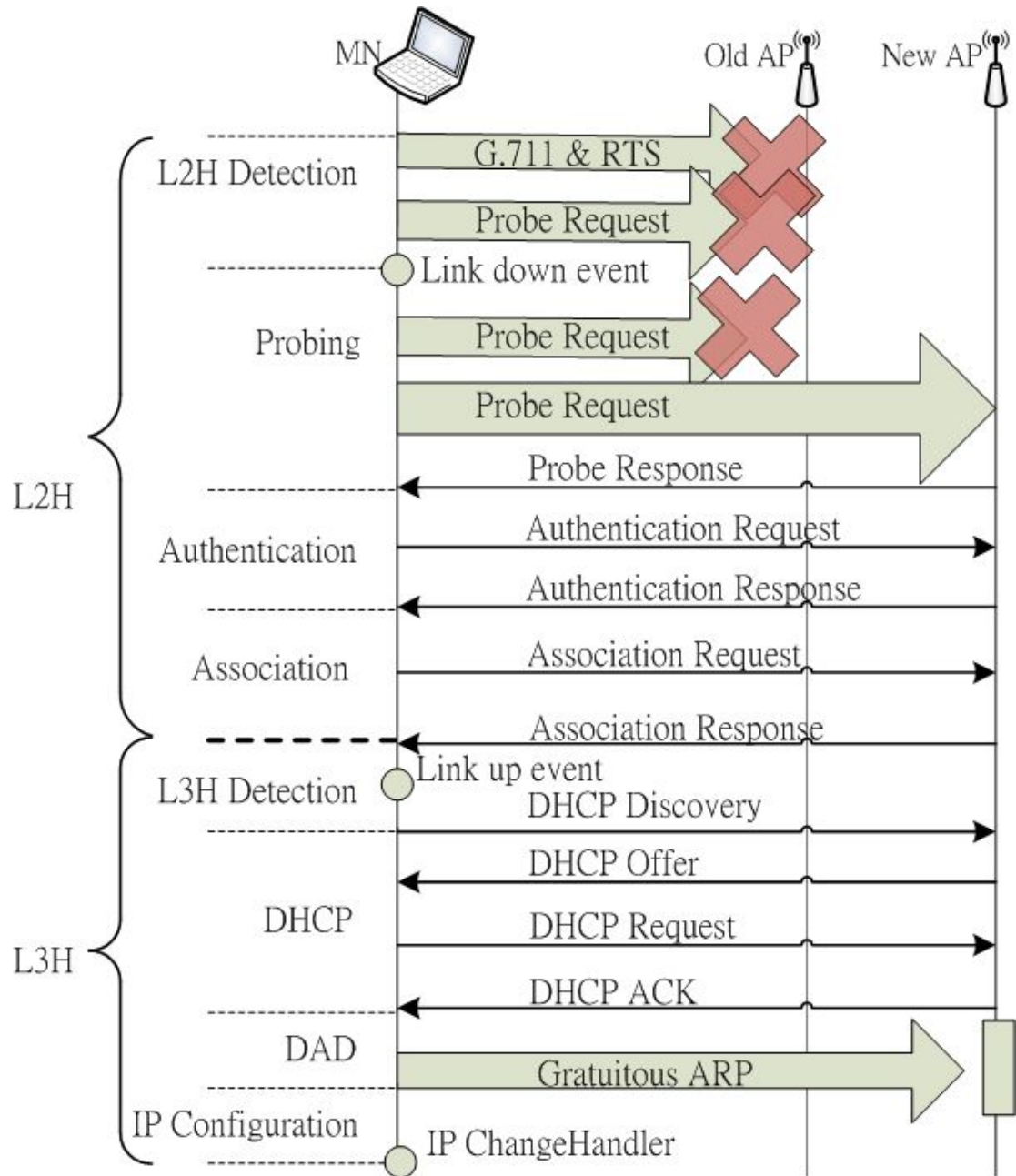


Figure 3-13 Handover Procedure

3.4.1 L2H Detection

隨著原服務基地台的訊號愈弱，封包失掉的機率也愈高，無線網卡開始嘗試用較低的速率來傳送封包，也會啟動 RTS/CTS 機制。當開始出現一連串重傳語音封包，其第一個重傳的語音封包就是 L2H Detection 階段的起點。

在無線網卡感知網路媒介斷線之前，會有一段時間行動節點發出語音封包(G.711)卻無法收到回應，而開始重傳語音封包。這段期間，無線網卡會假設網路環境過於忙碌而無法送出封包，因此啟動 RTS/CTS 機制，當重傳 4~6 次的語音封包而無任何回應，

則送出 RTS，並等待基地台回應 CTS。無線網卡約送出 21~24 次的 RTS，卻無收到 CTS 回應，則無線網卡選擇傳送下一個語音封包。語音封包和 RTS 會交錯傳送一段時間，直到無線網卡察覺到網路媒介斷線。

藉由行動節點送出的語音封包和回傳的 ACK 來幫忙判定第一個重試的語音封包。找出最後一個因送出語音封包所回應的 ACK，表示目前為止基地台都尚有回應。原先也加入了 CTS 的回應考量，但因其與語音封包的時間差等級是毫秒，對於 Probe 時間計算影響不大，因此暫且不計。所以最後一個從基地台回應 ACK 之後的第一個重傳語音封包則就是起點。結束點則是 Link Down 事件的通知時間點，此時間點表示網路媒介已斷線。

另外，實驗是模擬基地台訊號慢慢衰減，於是行動節點有感於封包掉失的情況愈來愈嚴重，因此在此階段就會看到有“Probe Request”封包的發送，企圖知道原連線的服務基地台是否還存在。此時發送的“Probe Request”封包不算在 Probing 階段。

所以最後一個從基地台回應 ACK 之後的第一個重傳語音封包則就是起點。結束點則是 Link Down 事件的通知時間點，此時間點表示網路媒介已斷線。

$$\text{L2H Detection} = \text{Link Down} - \text{First G.711 Retries}$$

3.4.2 Probing

Probing 為行動節點搜尋各個頻道可用基地台的動作，可分為 active scan 和 background scan。當無線網卡察覺斷線並且有重新尋找基地台連線的需要時，會在各個頻道會發出 Probe Request 尋找可連線的基地台。但有些無線網卡早在網卡有感於訊號變弱到某個程度或封包遺失率提高時，就會在仍與原服務基地台連線時發出 Probe Request 的封包去找尋基地台。本論文認為此種的掃描方式為背景掃描(background scan)，預先發出 Probe Request 確認原服務基地台是否仍在，並不能算是 Probing 階段。

因此，在無線網卡有感於網路媒介斷線之後才能算是 Probing 階段的開始，將收到通知的 Link Down 事件時間點當 Probing 的開始。並找出最後一個行動節點收到回應的 Probe Response 當作 Probing 階段的結束點。此時間點會比較新舊頻道上分別監聽到的 Probe Response，比較其時間先後，找出最後一個 Probe Response 的封包。

$$\text{Probing} = \text{last Probe Response} - \text{Link Down}$$

3.4.3 Authentication

結束 Probing 階段，行動節點對選定目標基地台，對其發出認證的要求後，會收到目標基地台的回覆。所以，Authentication 階段，以 Probing 的結束點為啟點，以收到

Authentication Response 為結束點。

$$\text{Authentication} = \text{Authentication Response} - \text{last Probe Response}$$

3.4.4 Association

在收到 Authentication Response 之後，表示通過認證，可以連上目標基地台。行動節點因而發出連線請求，若目標基地台有回應 Association Response 則表示連線成功。因此，以 Authentication Response 為啟點，以 Association Response 為 Association 階段的結束點。

$$\text{Association} = \text{Association Response} - \text{Authentication Response}$$

3.4.5 L3H Detection

行動節點收到 Association Response 回應，表示連線成功，L2H 算是完成，進入 L3H 階段。在此階段，判斷是否需要進行 DHCP，若在 DHCP Discovery 之前有 Request 等行為，則不算在 DHCP 階段。因此以 Association Response 為起點，以 DHCP Discovery 為結束點。

$$\text{L3H} = \text{DHCP Discovery} - \text{Association Response}$$

3.4.6 DHCP

DHCP 階段交遞延遲時間的判定方式是由行動節點發出的“DHCP Discovery”封包為起點，經過 Request、Offer 訊息的交換後，行動節點收到“DHCP ACK”為 DHCP 此段時間的終點。因此，此段交遞延遲時間是利用行動節點收到 ACK 的時間減掉發出 Discovery 的時間。

$$\text{DHCP} = \text{DHCP ACK} - \text{DHCP Discovery}$$

3.4.7 DAD

DAD 為 Duplicate Address Detection 的縮寫，為避免取得的 IP 位址和網路上其它主機的 IP 衝突，所以會送出 Gratuitous ARP 詢問是否有其它相同於行動節點的 IP 位址被使用。此段延遲時間在 DHCP 之後發生，由 DHCP ACK 為起點，最後一個 GARP 封包為結束點。延遲時間的算法為行動節點最後一個發出的 GARP 時間減掉收到的 DHCP ACK 時間。

$$\text{DAD} = \text{last GARP} - \text{DHCP ACK}$$

3.4.8 IP Configuration

在確定取得 IP 位址為可用的 IP 之後，會有一連串的網路設定需進行，因此利用 IP ChangeHandler 事件通知為 IP Configuration 為結束點。

IP Configuration = IP ChangeHandler – last GARP

3.5 UI

為有一簡單使用的分析工具來進行實驗結果分析的动作，方便交遞行為的分析與檢視。此章節將介紹此工具的設計思維與功能介紹。

3.5.1 動機與目的

在實做實驗方面，利用四張不同無線網卡來進行實驗，觀察其不同之行為。因此設計四張網卡安插於行動節點上來進行，每張無線網卡都會執行 3.1.1.1 所描述的四種實驗情況。每張無線網卡的每一種實驗情況約有二十五次的實驗，最後差不多是四百多次的實驗結果要檢視。為使實驗結果分析有效率並能公正公平且條件一致的檢視每一次的實驗結果，因而設計一個能達到此目的並簡單使用的工具。

檢視實驗結果需要過濾 IP 位址，對監聽到的封包進行交遞行為的分析，找出交遞行程每一階段的延遲時間，由於現有的 Sniffer Portable、AiroPeek NX 和 Wireshark 等監測軟體並沒有這些功能，因此希望有個可以幫忙做分析的介面去做這些工作。

3.5.2 功能

此工具主要用來分析監聽到的封包，以便作實驗數據上的觀察與分析。因此，將重點放在交遞延遲時間的計算和交遞過程中封包產生的時間點。並藉由分析的過程中，找出一些無線網卡的習性，推測可能影響的因素。

依照本論文想要得知的訊息來設計此工具來配合分析數據的使用，其所需具備的功能如下：

功能一

過濾功能。依照參予實驗的無線網卡所使用的 MAC 位址和 IP 位址，過濾掉不必要的封包，將封包做初步的整理。

功能二

分析整批數據。若有一組以上的實驗結果待進行各階段時間點的計算，可一次處理

多組封包檔案，計算出每組數據的各階段交遞延遲時間，並將結果顯示於畫面上和匯出檔案。

功能三

檢視交遞行為相關封包的時間點。對於每一組實驗數據不單只是計算出每階段的延遲時間，可以去若觀察其交遞流程，和因交遞而產生的封包所發生的時間點。結果將於畫面上顯示並匯出檔案。

功能四

依照通訊協定觀看封包。選擇想要觀看的封包類型，勾選後，即顯示選擇的封包類型。此功能主要用於某幾種特定封包的觀看，並可計算發送次數。

依上述功能需求並以簡單使用為訴求，撰寫出一使用者介面如 Figure 3-14。Figure 3-14 中顯示的按鈕分別代表不同的功能，功能一為顯示和行動節點相關的封包，將此功能完成於使用者介面上的“ALL”按鈕。功能二為計算出每階段的交遞延遲時間，將此功能完成於使用者介面的“SORT”按鈕。功能三則是為了觀察交遞延遲的流程，列出關鍵封包與時間點排列，此功能完成於“LIST”。最後，功能四是利用所選擇的協定來觀看封包，此功能完成於“Configure”。而“Exit”則是結束並離開。

Figure 3-15 中為選擇“SORT”按鈕之後的結果並在顯示結果的列表中點選某一行，則可顯示出同“LIST”功能的視窗結果，方便立即檢示某一組數據。

此工具操作簡單，只需將欲分析之數據封包放入資料夾內。選擇想觀看查詢的需求功能按鈕即可。分析結果會出現在最下方的表格內，而中間則會顯示目前分析的網卡及數據比數。

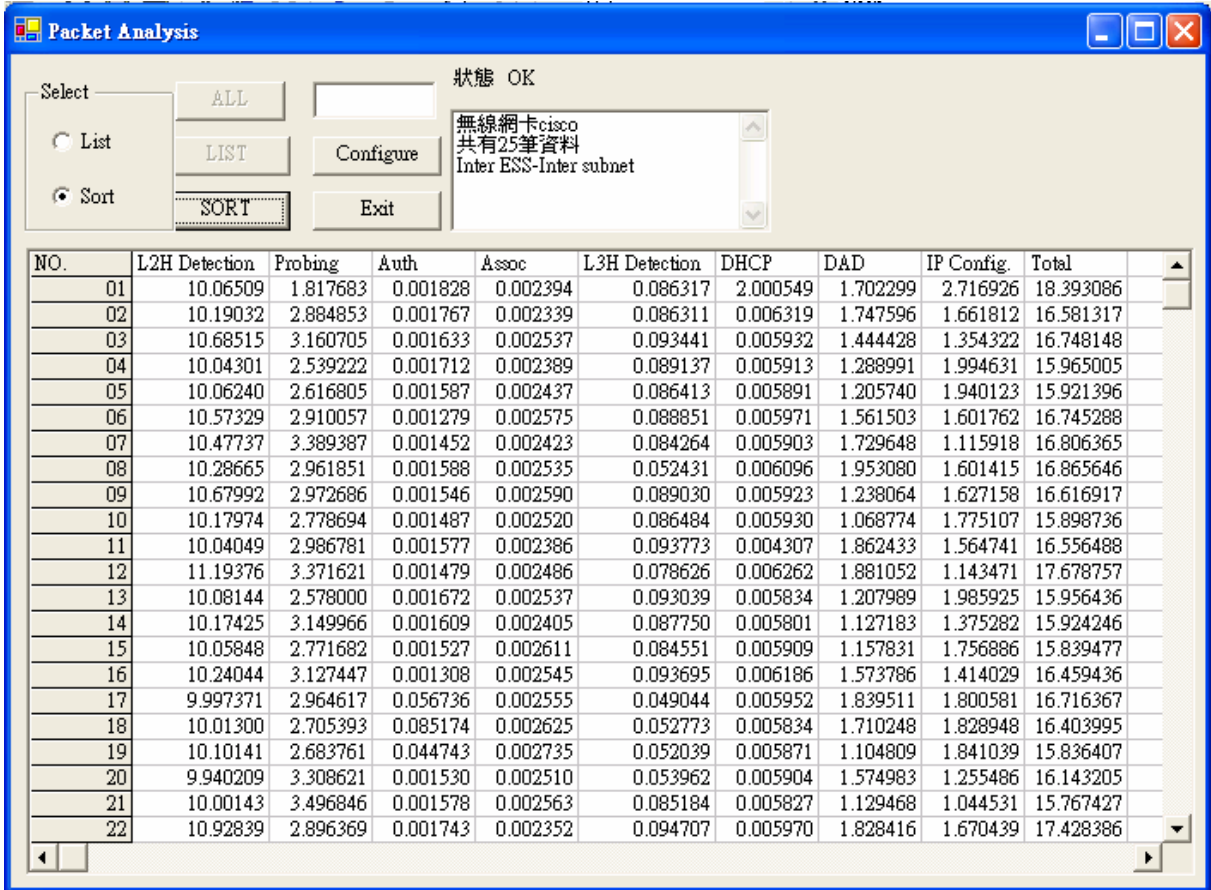


Figure 3-14 Analysis Tool - SORT

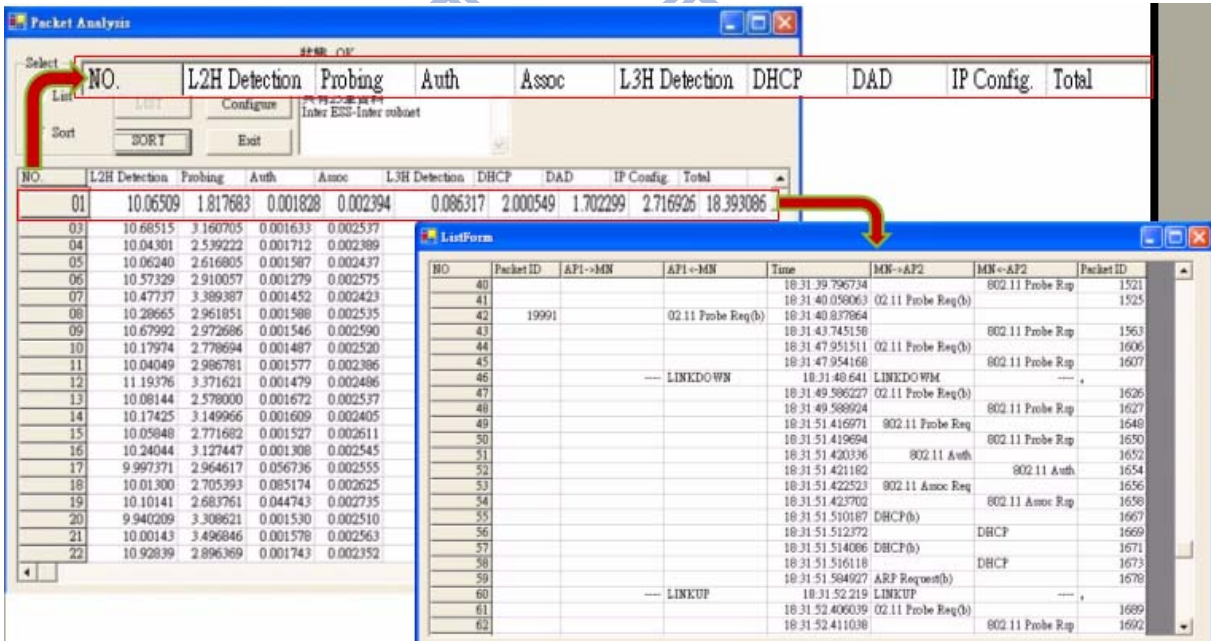


Figure 3-15 Analysis Tool - LIST

3.5.3 特色與優點

為了達到分析標準一致性並有效率檢視每一次的實驗結果，因此設計了有 3.2.3 所介紹功能的工具。此工具所進行交遞行為的分析，是參考其它相關論文和檢視實驗結果，嚴謹定義每一階段判斷的依據。此工具能進行封包分析彌補現有監測軟體的不足，並輔助了解網卡行為。以下為工具之優點特色：

- ◇ 避免人為在檢視封包上的輸失
- ◇ 用一樣的標準進行分析，確保正確性
- ◇ 有效率的進行大規模實驗數據分析
- ◇ 幫助推測網卡行為



第四章 實驗結果與分析

依照實驗架構與網路組態設定來進行實驗，不同的設定與環境架構下，無線網卡有不同的行為模式和不同的實驗結果。本論文的實驗使用四張不同廠牌的無線網卡，配合不同組態設定和環境架構，觀察無線網卡行為，比較有何異同之處，將在此章節做說明與分析。

在 4.1 節先介紹各家無線網卡在交遞時的行為。4.2 節則會有交遞延遲時間的實驗數據統計。4.3 節依據無線網卡的交遞行為和延遲時間進行分析與討論，並推測出一些結論。

4.1 網卡行為分析

四張網卡在四種網路環境架構下進行交遞實驗會有哪些相同的行為，或是不同於其它網卡的行為，觀察後統整，將有利於交遞延遲時間的分析與驗證。有些行為看似相仿，但各家網卡仍有自己思考的模式。

4.1.1 共同行為

從交遞實驗中觀察，一般無線網卡在開始察覺封包掉失或送出的封包無得到回應時，會先採取降低傳送封包速率的方式。若傳送速率低於某個門檻值，而封包掉失的情況沒有改善或是送出的語音封包仍無收到回應，無線網卡會推測網路可能會過於擁擠而採取 RTS/CTS 機制，試圖清空無線網路環境，因此讓語音封包(G.711)和 RTS 交錯的傳送。此時，若行動節點離原服務基地台愈遠，收到的訊號也愈弱，可能有一連串的重傳語音封包和 RTS，而第一個重傳的語音封包則定為 L2H Detection 階段的開始。以此為基點，猜測無線網卡應該要開始判斷是否搜尋其它可連線之目標基地台。

無線網路卡通常在網路媒介未斷線前，可能因封包掉失或重傳過多就會先發“Probe Request”，本論文視為背景掃描(Background Scan)，主目的在於確認原服務基地台是否還存在。在網路媒介斷線之後開始真正的做搜尋，在每個頻道上發出“Probe Request”尋找可連線基地台。

當搜尋到並選定目標基地台之後，發出“Authentication”，向目標基地台認證，通常預設為“Open System”，因此只需基地台回應就算通過認證。

通過目標基地台的認證後，請求跟其進行連線，而接著發出“Associaton

Request”，等收到“Association Response”，鏈結層的交通就算完成。

本實驗除了 Case I : Intra ESS - Intra subnet 的網路環境架構沒有網路層的交通，其它三種網路環境架構都包含網路層的交通。因此，在網路層的交通行為有 L3H Detection、DHCP、DAD、IP Configuration。

在完成鏈結層的交通完成後，無線網卡上的 IP 位址可能需要重新取得設定，因此會先有“DHCP Discovery”去找一個 DHCP Server 要求可用的 IP 位址，此時 DHCP Header 裡的 Client IP address 欄位已清為 0.0.0.0，而 Request specific IP address 欄位則是放舊的 IP 位址。DHCP Server 收到請求後，會將其所分配給行動節點的新位址放在“DHCP Offer”訊息內的 Your (client) IP address 欄位裡，回覆給行動節點，通常也會包含使用租約等訊息。行動節點收到後以廣播的方式發出“DHCP Request”在 Requested IP Address 欄位告知接受所分配的 IP 位址。之後，當 DHCP Server 同意行動節點使用所要求的 IP 位址，會以“DHCP ACK”來回覆，若不能同意則回覆“DHCP NACK”。這些為一般基本的 DHCP 行為，但依照不同的網路環境會有一些不同的反應，以下分別針對這行為做介紹。下述關於 DHCP 圖示中的 IP_S 表示 Client IP address， IP_R 表示 Requested IP address，而 IP_C 則是代表 DHCP 以 Client IP address 欄位告知要分配給行動節點使用的 IP 位址。

● Case II Inter ESS-Intra subnet

行動節點在此網路環境下的交通雖是屬於相同網域，但交通前後的兩基地台屬於不同的 ESS 環境。因此在鏈結層的交通，行動節點搜尋其它可連線基地台的時間會較長，而觸發網路層交通。

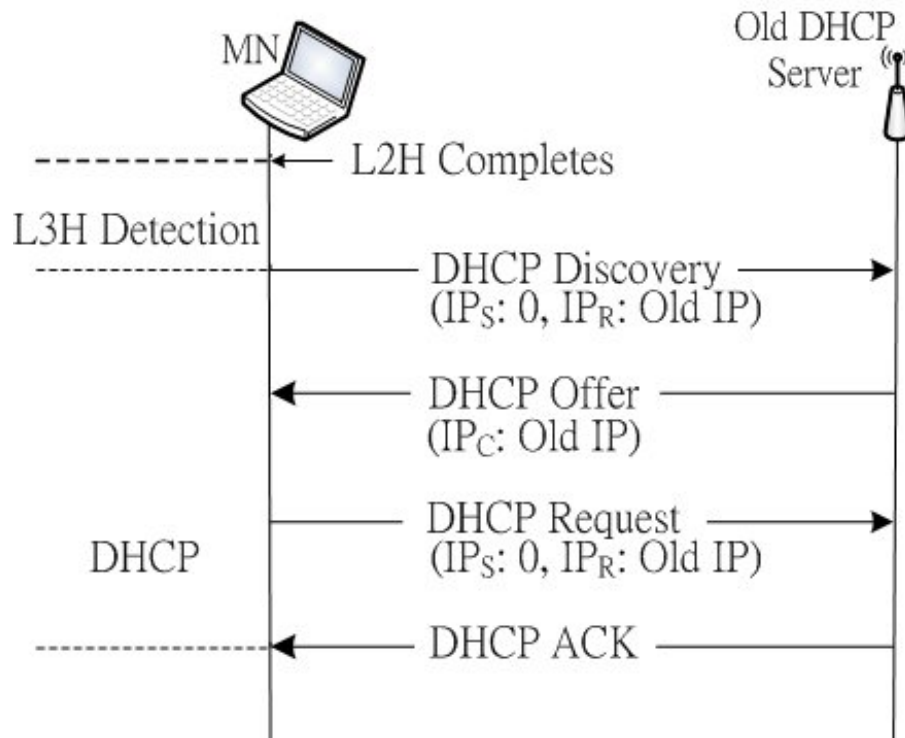


Figure 4-1 Inter ESS-Intra subnet DHCP

此種環境的 DHCP 行為，由於是相同網域，因此在送出“DHCP Request”時，其 DHCP Header 內的 Requested IP Address 欄位仍是帶舊的 IP 位址。

● Case III Intra ESS-Inter subnet

此種網路環境下，網路層並未被告知需要做交遞，因此當新連線的目標基地台收到行動節點送出的封包並轉送給新網域上的路由器，此路由器並不認得行動節的 MAC 位址，而將封包丟棄。因此，在這段時間，ARP table 在 timeout 之前並沒有被更新。ARP 應用程式將原本在 ARP table 內，舊網域之路由器的對應清除之後，若行動節點有封包要送出時，發現 ARP table 內無與路由器的對應關係，因此會送出“ARP Request”尋問舊網域上路由器的對應 MAC 位址，約 3、4 秒之後行動節點會用舊 IP 位址，以 unicast 的方式發送“DHCP Request”，此訊息在向 DHCP Server 請求更新使用租約。

雖然行動節點無預期做換網域的動作，在舊 IP 位址無法使用後會推測可能是租用位址的時間到期，而在 DHCP 行為之前，會先發送“DHCP Request”重新更新地址的使用租約。約 1 到 2 秒之後，無收到任何回應才開始 DHCP 的行為，發出“DHCP Discovery”，探查新的 DHCP Server。

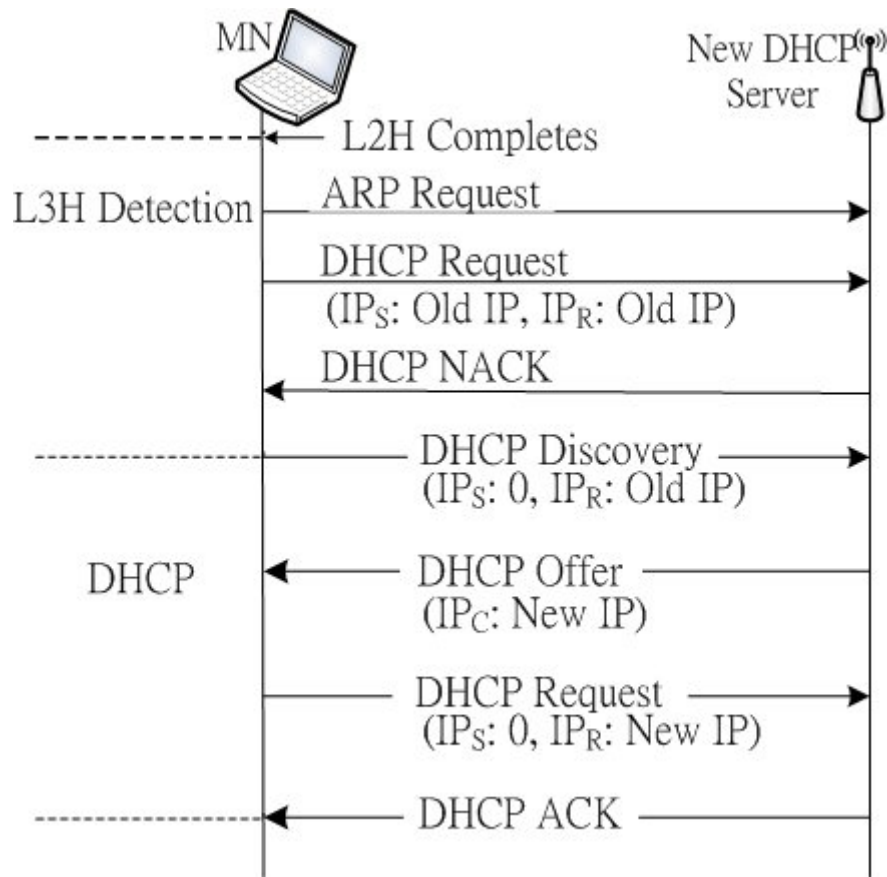


Figure 4-2 Intra ESS-Inter subnet

● **Case IV Inter ESS-Inter subnet**

此種網路環境的行動節點交遞行為在不同的 ESS 和跨網域的環境下進行，DHCP 的行為則是依照“DHCP Discovery”、“DHCP Offer”、“DHCP Request”、“DHCP ACK”四個訊息交換。其訊息交換的方式同 Case II，但由於 Case II 為單一子網域之交遞，Case IV 為跨網域之交遞，因此訊息交換所帶欄位值會有所不同。

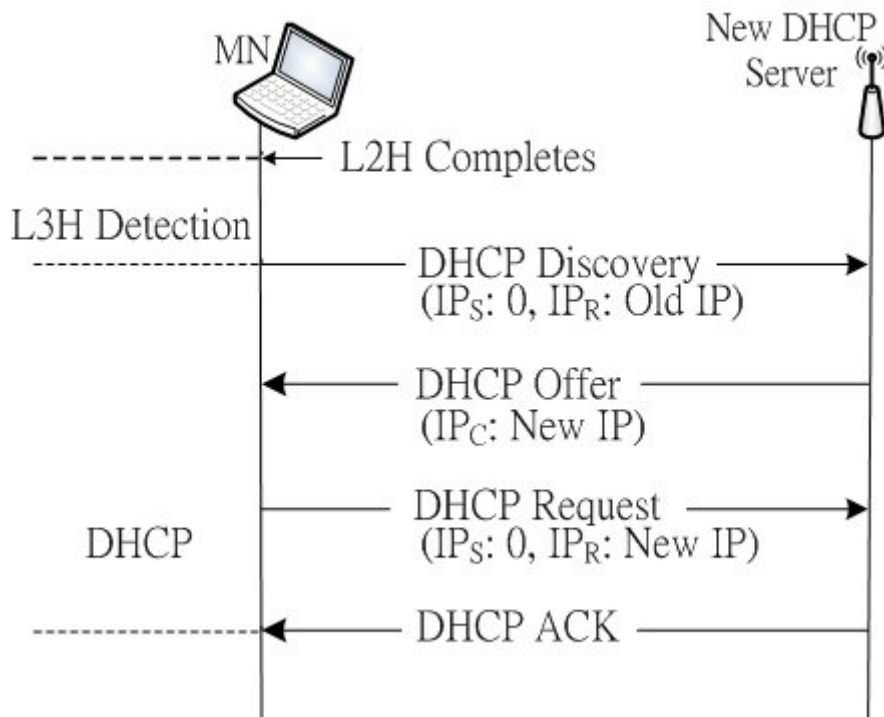


Figure 4-3 Inter ESS-Intra subnet

在 DHCP 之後，為了必避取得的 IP 位址與其它網路上的位址重覆，因此行動節點會送出 “Gratuitous ARP” 去尋問其它的網路節點是否有使用相同的 IP 位址。若無任何回應，則可進行其它網路組態設定。

以上為一般無線網卡會有的交遞行為，但這些交遞行為在不同廠商設計方式會有不一樣的執行方式，將在 4.1.2 節做說明。

4.1.2 各別行為

四張網卡都依照交遞的行程的執行，L2H Detection、Probing、Authentication、Association、L3H Detection、DHCP、DAD、IP Configuration。但不同網卡有不同的方式去執行階段任務。將在這小節做介紹。

4.1.2.1 L2H Detection

四種網路環境在下若發生交遞的情況，即原服務基地台因訊號衰減而導致封包掉失等問題，無線網卡有一些機制去應變。依觀察的結果發現，不同的網路卡會有自己設計的規則。

● Intra ESS

Intra ESS 是指有相同 SSID 名稱的基地台，通常這些有相同 SSID 名稱的基地台佈建都在彼此附近。因此，交遞行為多假設 Intra ESS 環境下的基地台是屬於同一網域，而在交遞之後的網路組態設定變更較少。所以，無線網卡在 Intra ESS 的網路環境下，通常會較 Inter ESS 快觸發交遞行為。

D-Link 和 Linksys 兩張網卡在 Intra ESS 環境下，可能因較快進入 Probing 階段，而還未觸發行動節點發出 RTS 階段。或者，可能這兩張網卡在此環境下並不會發出 RTS 訊息。推測其在有相同 SSID 名稱的基地台存在時，判斷是否要進行交遞行為是較果決的。

而 Intel 和 Cisco 兩張網卡，仍發出 RTS 訊息，與 G.711 封包交錯送出。Intel 網卡發出 RTS 的次數約 2~4 次而 G.711 重送的次數為 4~5 次。另一 Cisco 網卡，發出的 RTS 次數較 Intel 多次，約 10 多次到 20 多次不等，重傳 G.711 則是 5~6 次。

四張網卡各自的判斷交遞的行為會影響此階段的延遲時間，明顯看出 Cisco 在是否要進行交遞的判斷較其它三張網卡來的保守。D-Link、Linksys 可能以相信 Intra ESS 環境多數為同網域為基準，而有較快決定是否進行交遞。

● Inter ESS

將語音封包送出後等無回應，會重傳語音封包，但各家網卡重傳的次數和方式卻不太相同。Intel 在重傳 1~2 次的語音封包就會送出 RTS，如此交錯的傳送。若把同一語音封包的重傳視為一組，Intel 一組會有 5 個左右的語音封包、4 個 RTS。D-Link 的做法則是接連傳送 5、6 個語音封包後送出 24 個左右的 RTS，語音封包和 RTS 交錯的傳送。

Cisco 這和 D-Link 類似，約送 6 個語音封包後送 22~25 個 RTS。而 Linksys 是不停重傳語音封包，同一語音封包傳 7 次，但無 RTS 的發送。RTS 發送的示意圖如 Figure 4-4 所示。

Table 4-1 Retries G.711 & RTSs Numbers

	G.711	RTS	EX: (MN→CN)
Intel	4~6	4	Figure 4-4 (A)
D-Link	5~6	23~25	Figure 4-4 (B)
Cisco	5~6	22~25	Figure 4-4 (B)
Linksys	7	0	Figure 4-4 (C)

(A)	(B)	(C)
MN→CN	MN→CN	MN→CN
G.711 (Seq. N=22113)	RTS	G.711 (Seq. N=22113)
G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)
RTS	G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)
G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)
RTS	G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)
RTS	G.711 (Seq. N=22113)	G.711 (Seq. N=22113)
G.711 (Seq. N=22113)	RTS	G.711 (Seq. N=22113)
RTS	RTS	G.711 (Seq. N=22114)
	RTS	G.711 (Seq. N=22114)
	RTS	G.711 (Seq. N=22114)

Figure 4-4 Retries G.711 & RTSs

4.1.2.2 Probing

發 “Probe Request” 將考慮頻道上有多少可連線基地台，和每一頻道上等待的最大時間和最小時間。因實驗環境單純，實驗所用到的頻道上都只有一個可連線的基地台。在 “Probe Request” 的 SSID 欄位有四種狀態：原服務基地台的 SSID 名稱(OLD_AP)、NULL、ANY、目標基地台的 SSID 名稱(NEW_AP)。不同網卡發 “Probe Request” 有不同的方式和次數。

● Intra ESS

此階段在搜尋其它可連線基地台時，由於目標基地台和原服務基地台有相同的 SSID 名稱，因此各家網卡發送 “Probe Request” 的次數較少。次數較多的為 Cisco 網卡，“Probe Request” 的 SSID 欄位分別以 OLD_AP 和 NULL 為一組約 3~5 次，總共約 6~10 次的請求訊息在舊頻道發送。而其它三家網卡則是 1~2 次的 “Probe Request”，SSID 欄位也是 OLD_AP 和 NULL 做變化。

由此看出 Cisco 網卡在此階段也相較其它網卡來的慎重，不因目標基地台和原服務基地台有相同 SSID 名稱而縮短搜尋其它可連線基地台的機會。但相對延遲時間也較其它三張網卡久。

● Inter ESS

Intel 都是以 broadcast 方式來發 “Probe Request”，Figure 4-5 為 Intel 網卡發出 “Probe Request” 行為模式，SSID 欄位帶 OLD_AP 約 3~5 次，再將 SSID 名稱換為 ANY，發送約 11~14 次，最後 SSID 名稱更為 NEW_AP 約發送 2、3 次。在 Link down 事件被觸發之後，因在 L2H Detection 階段已經有一連串的 “Probe Request”，所以在真

正的 Probing 階段時即可以花費較少的時間。

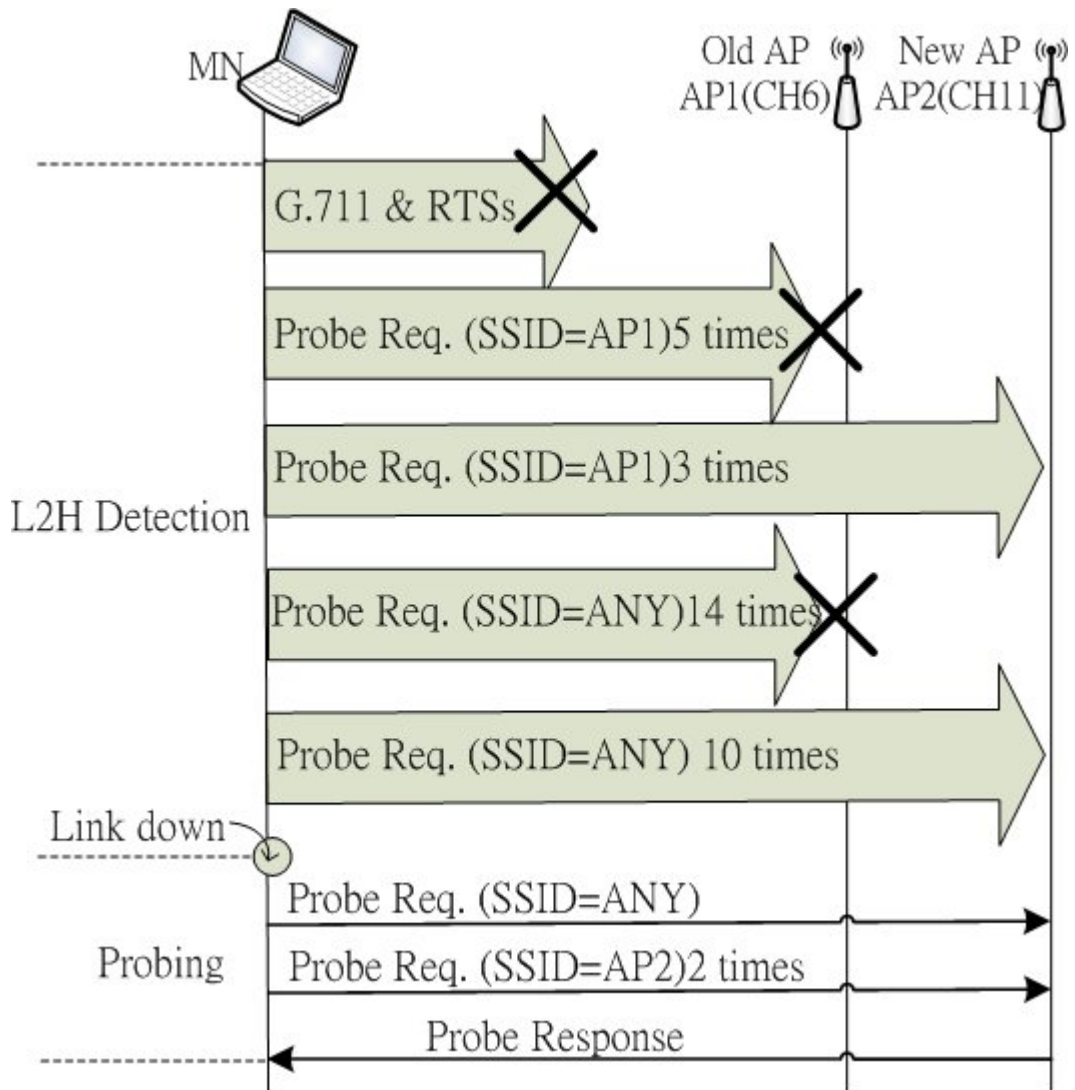


Figure 4-5 Intel Probe

D-Link 在搜尋可用基地台時，會先以 unicast 的方式對原服務基地台發送“Probe Request”約 4~6 次之後，才以 broadcast 的方式發“Probe Request”。而在 broadcast 時，SSID 欄位會依序帶 OLD_AP、NULL、ANY、NEW_AP。OLD_AP 和 NULL 為一組約送 2、3 次，NULL 和 ANY 為一組也送 2、3 次，最後 SSID 是帶 NEW_AP。原服務基地台所在的頻道上約有 15 次左右的“Probe Request”發送，而在目標基地台所在的頻道上約有 15、16 次的“Probe Request”發送。Figure 4-6 為 D-Link 發送“Probe Request”的行為模式，因在 Detection 階段即有 16 次左右的“Probe Request”訊息去搜尋可連線基地台，因此在 Probing 階段已經蒐集到足夠的資訊去選擇目標基地台來做連

線的動作。

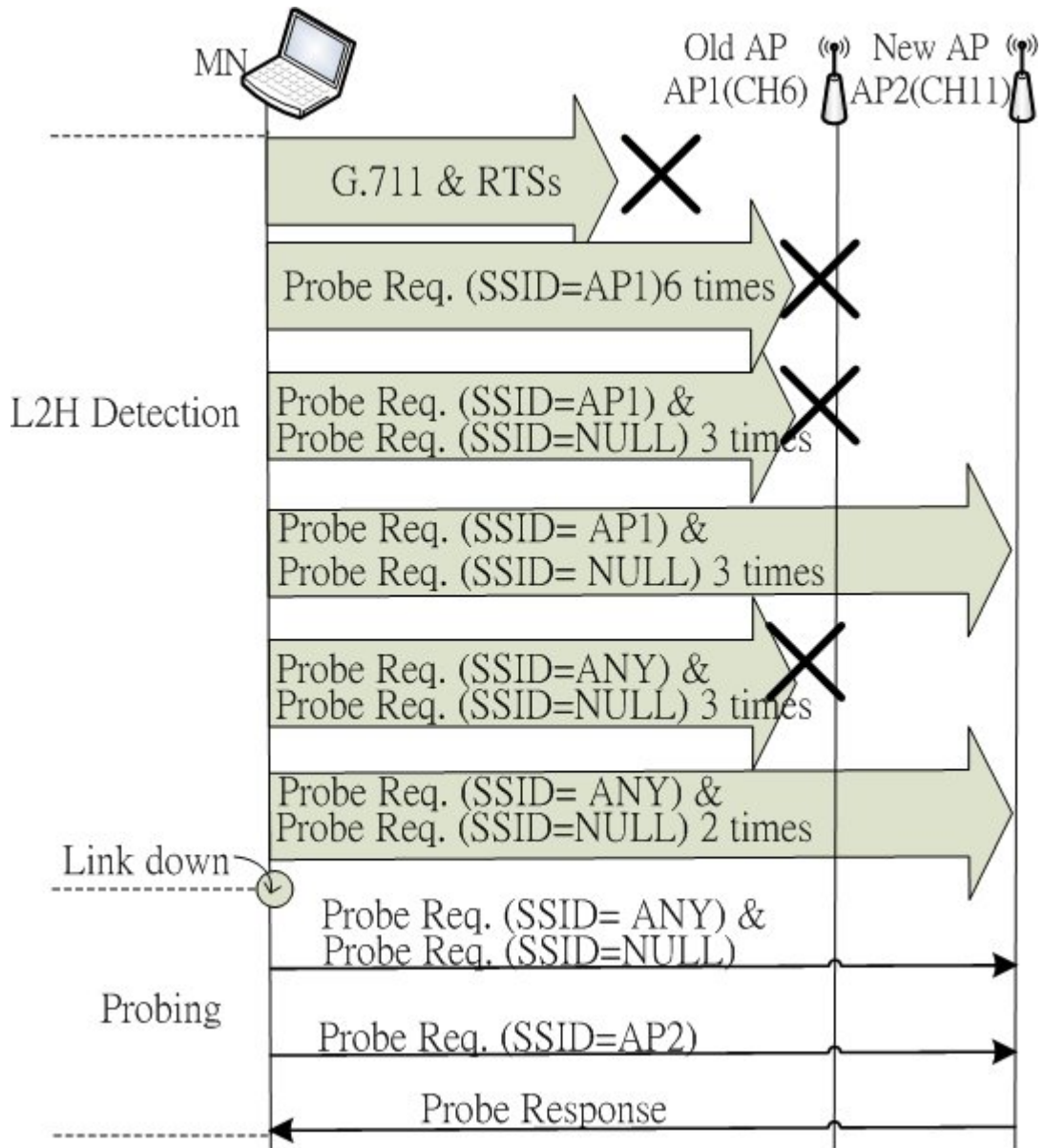


Figure 4-6 D-Link Probe

Cisco 的網卡和 D-Link 網卡所使用的晶片均是 Atheros，因此其在發“Probe Request”的行為模式有些雷同。從 Figure 4-7 看出，Cisco 會在 L2H Detection 階段先以 unicast 的方式對原服務基地台發送“Probe Request”約 5 次之後，再以 broadcast 發送“Probe Request”。此網卡在 broadcast 所發的“Probe Request”會先將 SSID 名稱設為 OLD_AP 和 NULL 去搜尋，一方面希望與原服務基地台繼續連線，或是與同一 ESS 的基地台連線，節省一些設定上的時間，另一方面也在搜尋其它可連線之基地台，這期間約 4~6 次的“Probe Request”。之後，“Probe Request”帶的 SSID 名稱改為 NULL 與

ANY，約 4、5 次。最後，SSID 欄位會帶 NEW_AP。Cisco 在舊的頻道上會送出約 8~11 次的“Probe Request”訊息，而在新的頻道上會送出約 11~14 次的請求訊息。用戶模式的應用程式收到 Link down 事件後，約有 2~3 個“Probe Request”，是由於在 L2H Detection 階段就已經開始發送“Probe Request”，不需在 Probing 階段再重新做搜尋的動作。

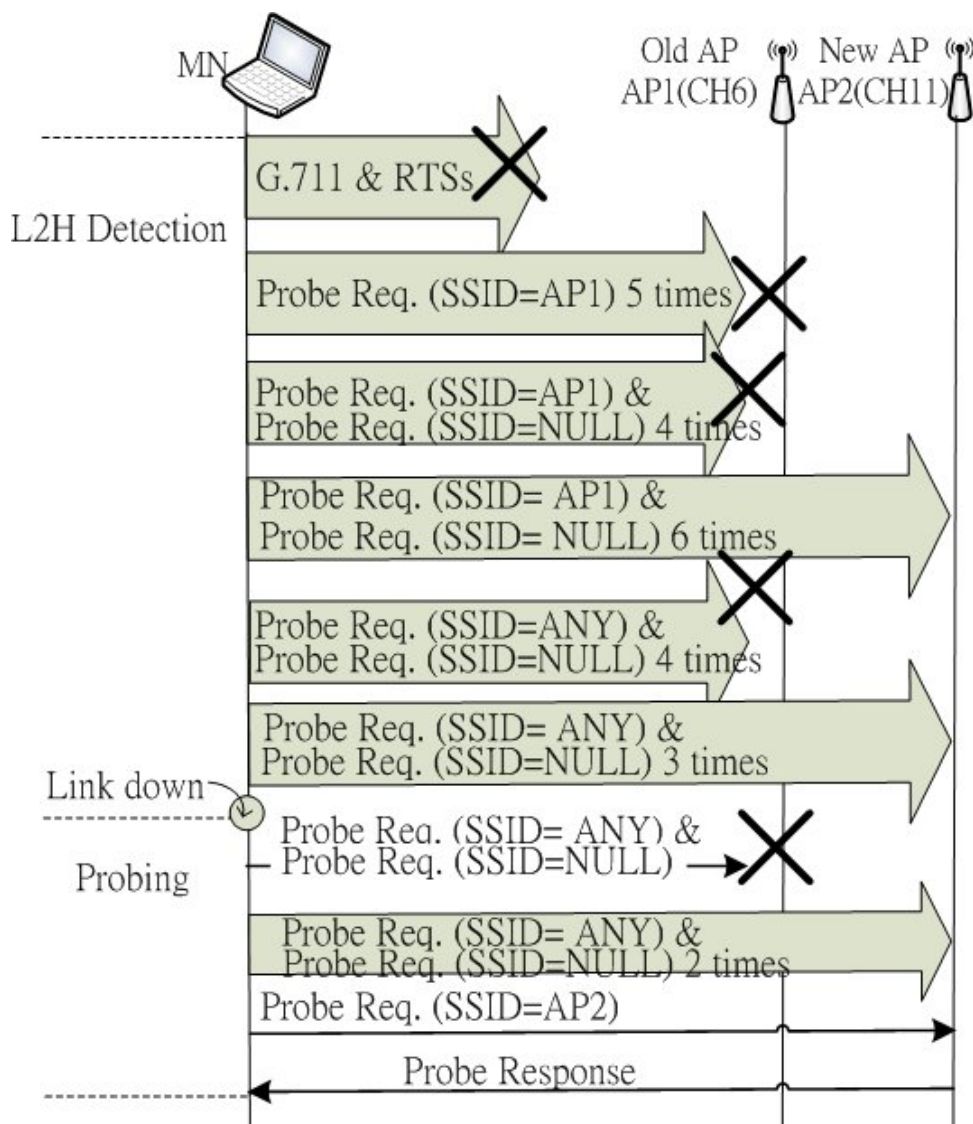


Figure 4-7 Cisco Probe

Figure 4-8 則是 Linksys 網卡的 Probing 行為，較其它三家網卡不一樣，所發的“Probe Request”次數較多，且 SSID 名稱帶 OLD_AP 的次數就高達 160 多次。接著是 NULL，約有 22~25 次，最後是 NEW_AP 次數約 3、4 次。由可以看出，Linksys 網卡在搜尋其它可用基地台的階段，更換連線基地台較為其它三張網卡來的謹慎，利用原服務基地台的 SSID 名稱去搜尋基地台的次數遠高於其它三張網卡。Linksys 在 Link down 之後有約 0.96 秒的時間仍送出語音封包，因此以 Link down 為分界，在 Link down 之前的“Probe

Request” 約有 148~152 次，是所謂的 background scan。在 Link down 之後的 “Probe Request” 約是 32~37 次，就數量來說仍比其它網卡多。

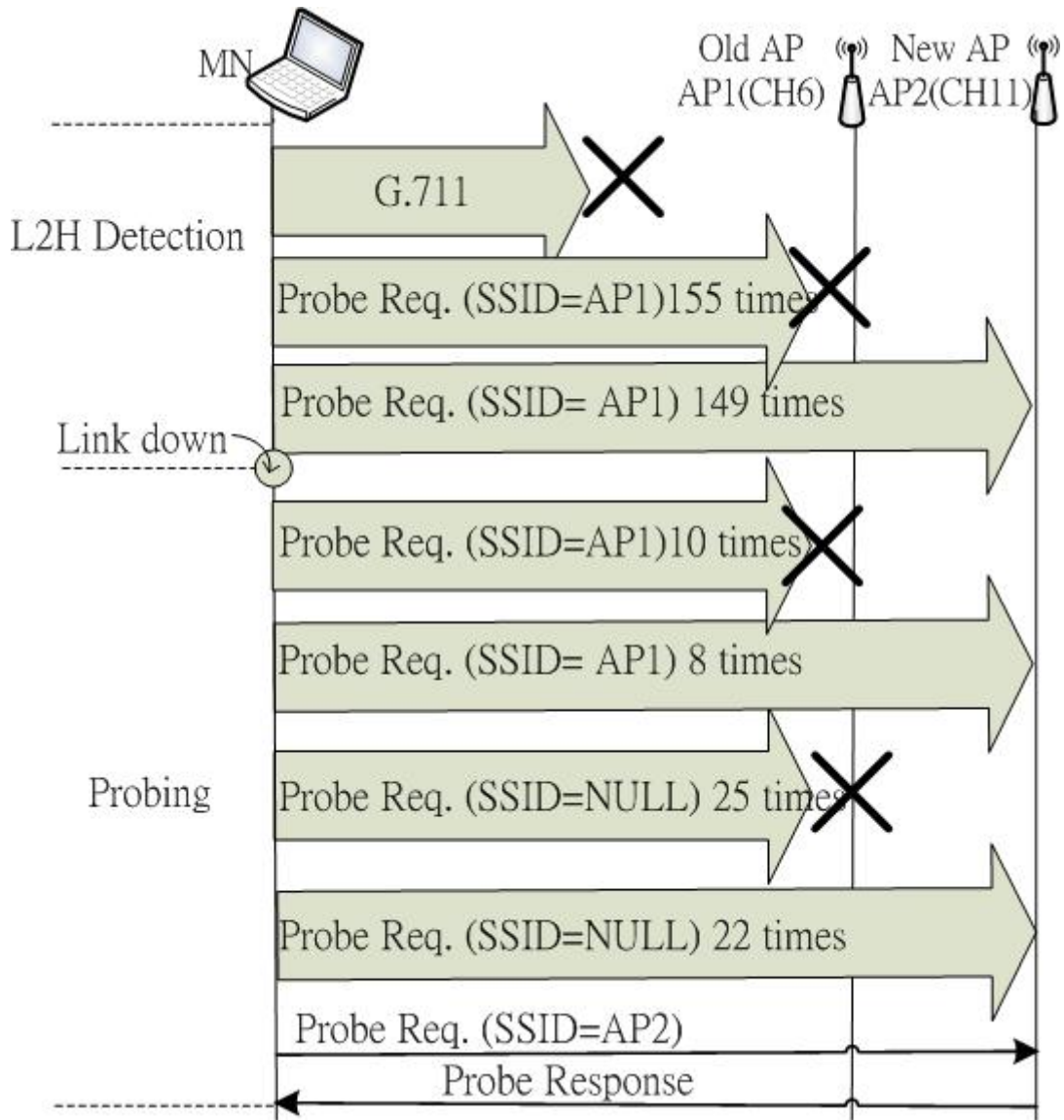


Figure 4-8 Linksys Probe

4.1.2.3 L3H Detection

在 L3H Detection 階段，定義的時間點是從目標基地台回應 “Association Response” 到行動節點送出 “DHCP Discovery” 訊息的這段時間，網卡的行為基本上大同小異，在 Case III 的情況，Linksys 網卡和其它三張網卡不同。在這段時間，Linksys 網卡會立即嘗試用舊 IP 位址重傳語音封包給相對節點，可能因為是 Intra ESS 的原因，在 L2H 完成後就開始重傳舊語音封包，可能希望減少封包掉失的機率。

4.1.2.4 DHCP

各家網卡在 DHCP 的行為上皆大同小異，D-Link、Cisco 和 Linksys 三家網卡在訊息傳送的方式都同於 4.1.1 節中的說明，Intel 則是有些微不同。

Intel 會傳送 2 次的“DHCP Discovery”和“DHCP Request”訊息，可能是推測同頻道上有其它的 DHCP Server 藉以搜尋其它可能的 DHCP Server，或是 Intel 網卡對於 DHCP 行為較為其它保守而怕有網路上的問題而多送出一次的封包，

“DHCP Request”訊息也是多送出一次的封包，可能是網卡在未接到 DHCP Server 回覆的“DHCP Offer”“DHCP ACK”訊息之前的反應時間較其它三張網卡來的短，因此在短時間又送出一次的請求封包。

雖然 Intel 在 DHCP 的行為上有多於其它三家網卡的訊息傳送，但因時間都以毫秒計算，並不會對延遲時間有很大的影響。

4.1.2.5 DAD

這階段主要是確定網路上沒有主機使用相同的 IP 位址，因此在這階段都是以發 GARP 訊息去詢問網路上是否有主機使用跟自己相同 IP 位址。D-Link、Cisco、Linksys 都是發送 3 次的 GARP，只有 Intel 發送 6 次的 GARP。由此看出不同網卡有不同的思考模式，推測 Intel 是以發送 6 次的 GARP 來減少有相同 IP 位址的主機反應而未收到的情況。

4.2 數據分析

每一種網路環境架構下有四張不同廠牌的無線網卡進行交遞實驗，每一張網卡進行約 25 次的實驗。將 25 次的實驗數據利用統計程式 R，配合 Box Plot 統計方法，除掉有離群值(outlier)的那組實驗數據，剩下的做平均。實驗的四種網路架構中 Intra ESS - Intra subnet 的網路環境沒有網路層之交遞動作，因此無數據。

4.2.1 L2H 延遲時間

鏈結層之交遞延遲時間，每一張網卡皆不相同，而造成延遲時間的差異，與網卡思維之交遞行為有關。本小節的實驗結果對照 4.1 節網卡的行為，可以推測出一些結論。並探討這些行為是否有義意。

L2H 在觀看數據上可以分成 Intra ESS 和 Inter ESS 兩部份來看，明顯的看出 Intra ESS

的交遞延遲時間較 Inter ESS 來的短。4.1.2.1 小節到 4.2.1.4 小節將有四個 case 的實驗結果。

4.2.1.1 Case I Intra ESS-Intra subnet

在 Case1 的網路環境，因為原服務基地台和目標基地台的 SSID 名稱相同，且為同一網域。所以，在進行交遞實驗時，幾乎沒有什麼斷線的感覺，從 Table 4-2 看出延遲時間皆在 1 秒內結束。除了 Cisco 網卡，在 L2H Detection 階段有較長的延遲時間，可能是實驗過程中，有所誤差所造成。

Table 4-2 Intra ESS-Intra subnet L2H Delay Time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H Detection	0.01985	0.01520	5.55300	0.00641
Probing	0.00280	0.00281	1.22055	0.03657
Authentication	0.02930	0.00168	0.00174	0.07202
Association	0.00320	0.00266	0.00257	0.03765
L2H total delay time	0.05515	0.02235	6.77860	0.15265

在此種網路環境下，網卡皆會快速的選擇與訊號強度較強且不需做太大變更的目標基地台來連線，以確保服務品質。

4.2.1.2 Case II Inter ESS-Intra subnet

Case II 在交遞前後的基地台雖屬於 Intra subnet，但基地台是不同的 SSID 名稱為 Inter ESS 的網路情況。通常網卡會偏好和原服務基地台有相同 SSID 名稱的基地台連線，或是能不交遞就不交遞，以免產生網路組態設定的變更而影響服務品質。推測網卡設計思維是認為擁有相同的 SSID 名稱基地台，在交遞之後可以有較少的延遲時間去進行組態的設定。

Table 4-3 Inter ESS-Intra subnet L2H Delay Time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H Detection	5.50419	19.70751	17.48994	15.96238
Probing	4.49449	3.04720	2.95177	7.56473

Authentication	0.12812	0.00164	0.00167	0.08108
Association	0.00316	0.00262	0.00262	0.00285
L2H total delay time	10.12996	22.75897	20.44600	23.61104

從 Table 4-3 觀察，Authentication 和 Association 階段的延遲時間四張網卡並沒有多大的差異，不到 1 秒的時候都可以完成。主要影響鏈結層交遞延遲時間的階段是 L2H Detection 和 Probing。

D-Link 與 Cisco 網卡使用同一晶片，其交遞行為模式類似，但並不會完全一致，因此仍有 2~3 秒左右的差距。Figure 4-9 Case II -L2H Detection Delay Time Figure 4-9 可以看出 D-Link 在 L2H Detection 階段所花的時間最長，推測其在 Inter ESS 網路環境下，交遞思維最為保守，傳送最多組的重傳語音封包和 RTS，以確認網路是否真的斷線或是短暫無法使用。

在 L2H Detection 階段 D-Link 和 Cisco 在重送語音封包和 RTS 的方式為連續 5~6 個重傳的語音封包和 24 個左右的 RTSs，如此交錯的傳送。而 Intel 則是 1、2 個語音封包和 1、2 個 RTS 交錯傳送，約 4 個重傳的語音封包和 4 個 RTSs 其 RTS 的量遠少於 D-Link 和 Cisco。Linksys 網卡又和前三家網卡完全不同，在 L2H Detection 階段，每一語音封包重傳 7 次，而無任何的 RTS。

因此，網卡的行為模式不同，使得 L2H Detection 的延遲時間就出現了很大的差異，Intel 的傳送方式 RTSs 量少，嘗試傳送的語音封包也較少次，為最少的延遲時間。

加上行動節點在 L2H Detection 就有“Probe Request”的發送，因此可能也是造成此階段延遲時間佔總延遲時間最高比重的原因。Table 4-4 是行動節點在 L2H Detection 階段發送“Probe Request”的次數統計，D-Link 是 1 秒內傳送 2 次“Probe Request”，將此看為 1 組，每 2 秒左右才會發送 1 組的“Probe Request”。Cisco 也是 1 秒內傳送 2 次“Probe Request”視為一組，每 1~3 秒不等會傳送一組。

Intel 發送“Probe Request”的方式和 D-Link 和 Cisco 較不同，是以連續性的一段時間去發送“Probe Request”。若 Intel、D-Link 和 Cisco 網卡在 L2H Detection 階段所發送“Probe Request”的總次數差距不大，Intel 可能會花較短的時間在 L2H Detection 階段搜尋基地台。

Linksys 發送“Probe Request”方式和 Intel 類似，為大量密集的發送帶有舊 SSID 名稱的“Probe Request”，約 1 秒就有 22 次的發送，且 Linksys 在 L2H Detection 階段所發送的“Probe Request”為 Background scan。所以，雖然傳送次數遠超出其它三張網

卡，但所花時間可能不會比 D-Link 和 Cisco 網卡來的長。

因此，推測在 L2H Detection 階段會受兩個因素的影響，一是語音封包和 RTS 交錯發送的方式，二是“Probe Request”封包的發送數量和方式。

Table 4-4 Numbers of Probe Request at L2H Detection (unit: times)

	SSID=AP1	SSID=NULL	SSID=ANY	SSID=AP2	Total Numbers
Intel	3~5	0	10~14	0	16
D-Link	9	6	5	0	20
Cisco	9	8	7	0	24
Linksys	149~155	0	0	0	152

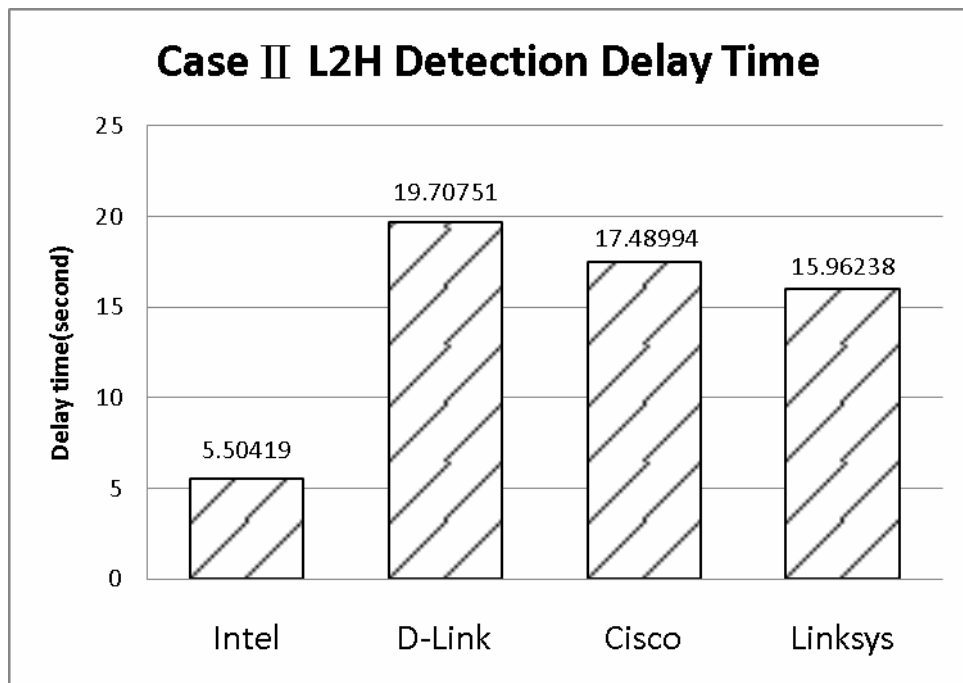


Figure 4-9 Case II -L2H Detection Delay Time

而在 Probing 階段，Intel、D-Link 和 Cisco 三張網卡約在 3~4 秒，但 Linksys 卻比前三張網卡多了 4 秒左右。此差異是因 Linksys 網卡在 Probing 階段所發送的“Probe Request”約有 36 個左右，遠超出其它三張網卡發“Probe Request”的總數。

此四張網卡在 Probing 階段發送“Probe Request”的總數在 Table 4-5 做統計，Intel、D-Link 和 Cisco 三張網卡發送的數量差不多，只有 Linksys 網卡以近 10 倍的量發送，且集中於帶有原服務基地台 SSID 名稱和 NULL 的“Probe Request”，使得 Linksys 網卡

的 Probing 延遲時間多於其它三家網卡。

Table 4-5 Numbers of Probe Request at Probing (unit: times)

	SSID=AP1	SSID=NULL	SSID=ANY	SSID=AP2	Total Numbers
Intel	0	0	1	2	3
D-Link	0	1	1	1	3
Cisco	0	2	2	1	5
Linksys	10	25	0	1	36

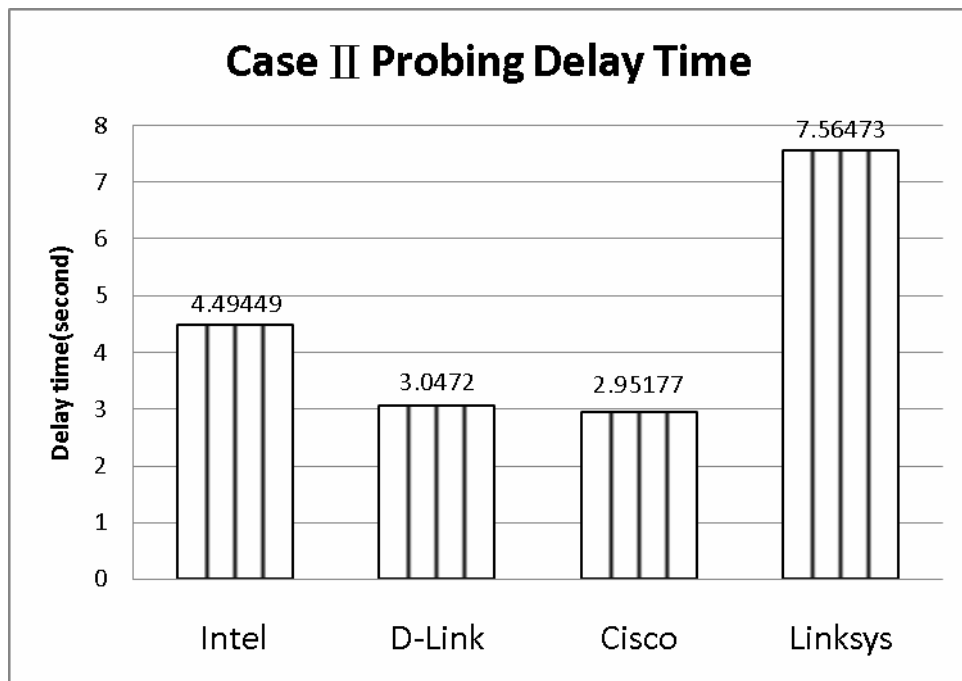


Figure 4-10 Case II -Probing Delay Time

4.2.1.3 Case III Intra ESS-Inter subnet

在 Case III 的環境，因為是 Intra ESS 的情況，所以行為動節點在鏈結層交遞時的決定和選擇目標基地台都較 Inter ESS 來的快。Table 4-6 為 Case III 的 L2H 延遲時間，和 Case I 差不多，約在 0~2 秒可以完成。

各家網卡在交遞前後的基地台為 Intra ESS 的情況，因此在 Detection 時並不會花太多時間，可能有感於封包掉失到一程度或原服務基地台訊號衰減到某個門檻值就會交遞至目標基地台，藉以維持較好的服務品質。此時的原服務基地台可能訊號強度仍還可傳

送封包。

通常網卡的設計思維，在 Intra ESS 環境下，可能是相同子網域，因此會很快的做了交遞，但不見得 Intra ESS 下的基地台都為同一網域，此種 Intra ESS-Inter subnet 網路環境在網路層的交遞行為就可以多加研究。

Table 4-6 Intra ESS-Inter subnet L2H Delay time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H Detection	1.32400	0.00736	0.75439	0.00425
Probing	0.52244	0.00299	1.15731	0.33420
Auth	0.02523	0.00167	0.00168	0.07259
Assoc	0.00327	0.00271	0.00263	0.00292
L2H total delay time	1.87494	0.01473	1.91601	0.41396

雖在 Intra ESS 的情況下，L2H 的交遞時間並不長，但，L2H Detection 和 Probing 階段仍是占 L2H total delay time 大部的時間。

比較 Figure 4-11 和 Figure 4-12 發現 D-Link 和 Linksys 的 L2H Detection 和 Probing 階段都有較低的延遲時間，而 Intel 和 Cisco 則是恰恰相反。Intel 在 L2H Detection 階段花費較多的時間而 Cisco 則是在 Probing 階段花費較多的時間。推測此兩張網卡的設計思維不太一樣。

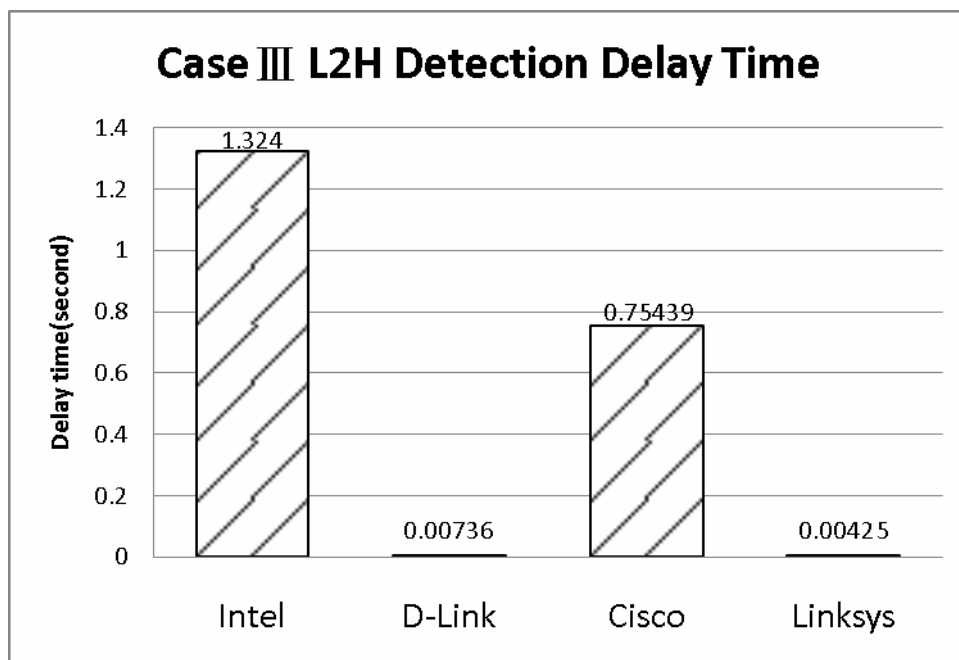


Figure 4-11 Case III-L2H Detection Delay Time

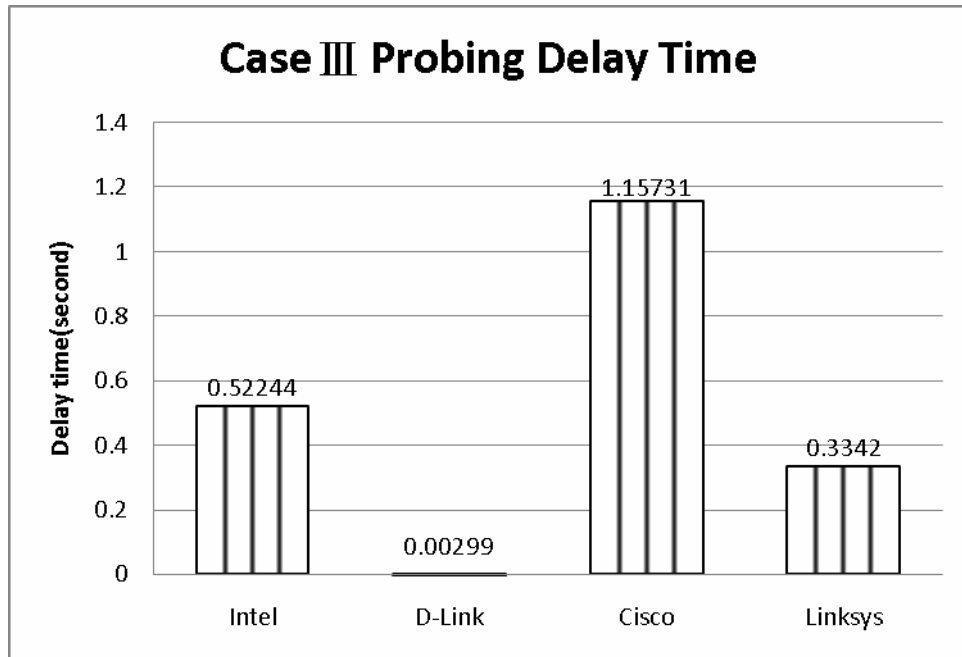


Figure 4-12 Case III-Probing Delay Time

4.2.1.4 Case IV Inter ESS-Inter subnet

Table 4-7 是在 Case IV 的環境下交遞實驗的鏈結層延遲時間，其與 Case II 同樣是 Inter ESS 的 case。所以，在 L2H Detection 和 Probing 需要花較多的時間去判斷和搜尋其它可連線之基地台。

與 Case II 相同是 D-Link 和 Cisco 在 Detection 階段為最長延遲時間。而 Linksys 網卡在 Probing 階段所發送的“Probe Request”也約有 36 次左右，所以高於其它三張網卡的 Probing 延遲時間。

Table 4-7 Inter ESS-Inter subnet L2H Delay time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H Detection	8.47086	13.38449	10.27809	8.88134
Probing	3.25502	2.88379	2.99506	7.49115
Auth	0.11456	0.00168	0.00167	0.30974
Assoc	0.00297	0.00263	0.00259	0.00285
L2H total delay time	11.84341	16.27259	13.27741	17.13508

Figure 4-13 和 Figure 4-14 分別為在 Case IV 情況下的 L2H Detection 和 Probing 階段的延遲時間，其時間以長條圖來呈現，清楚看出 D-Link 在此網路環境下是高出 Intel 和

Linksys。雖然，在 Intra ESS 的環境 D-Link 在 L2H Detection 階段的延遲時間，低於 Intel 並和 Linksys 只差 0.003 秒的差距。這可說明這四張網卡在面對 Intra ESS 和 Inter ESS 兩種情況，其思維模式並不相同。

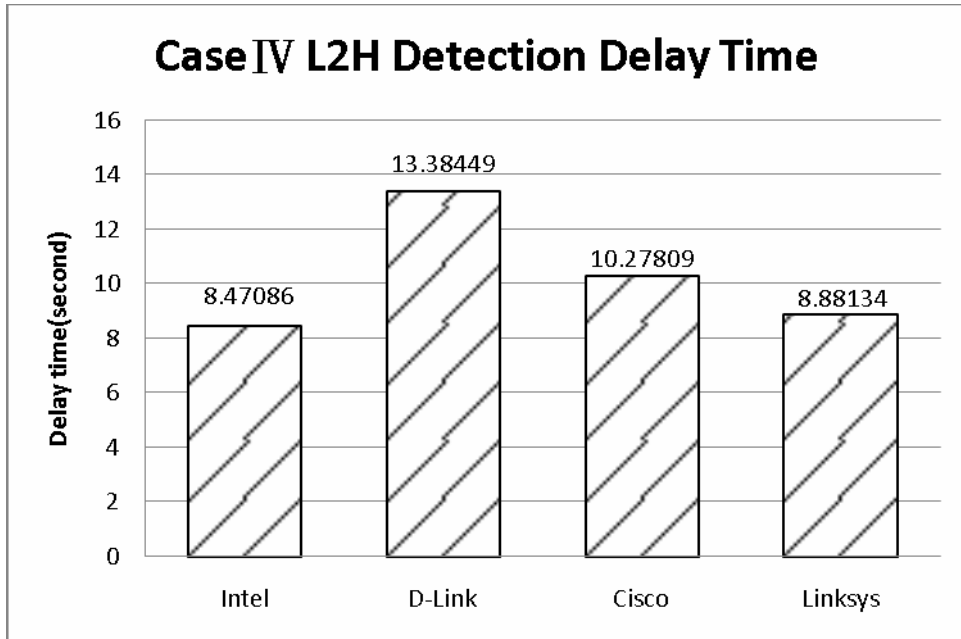


Figure 4-13 CaseIV-L2H Detection Delay Time

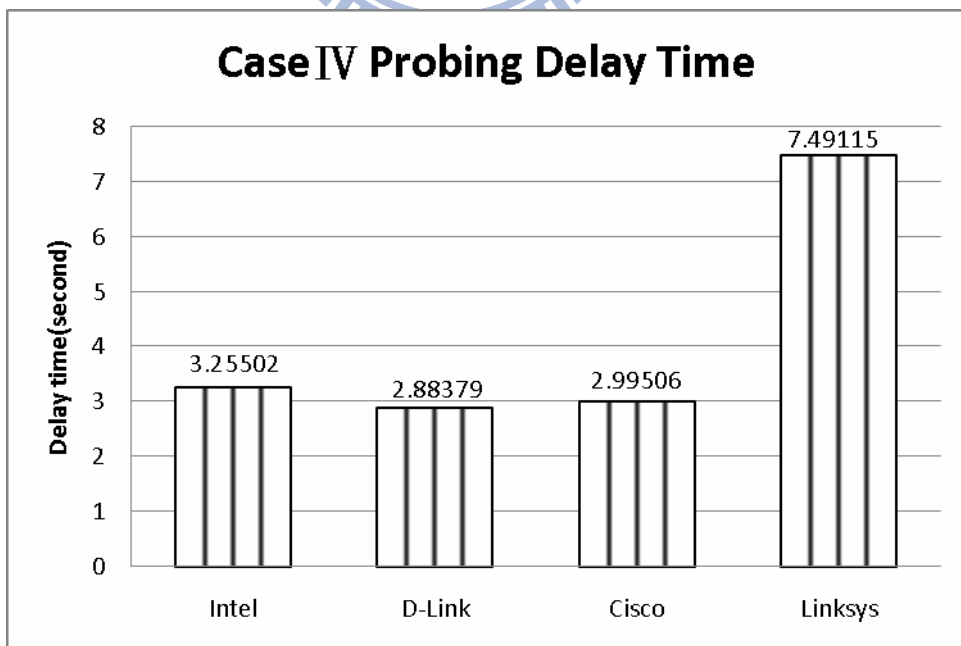


Figure 4-14 CaseIV-Probing Delay Time

4.2.1.5 小結

Intra ESS 環境下的鏈結層交遞約 0~2 秒就可完成，推測若是在此環境下，行動節點查覺到訊號衰減超過某個門檻值或是封包掉失超過某個程度，就會直接進行交遞，欲與訊號較強且無需對網路組態做大變更的基地台連線，維持服務品質。此階段還來不及發出 RTS 封包就進入 Probing 階段。

Intra ESS 環境下，因前後連線的基地台都是相同的 SSID 名稱，所以搜尋其它可連線基地台的延遲時間較 Inter ESS 短很多。網卡的設計思維目的在維持服務品質，因此，行動節點發覺原服務基地台的訊號衰減，而目標基地台的訊號增強，就會選擇較相同 SSID 名稱，但訊號強度較強作為維持服務品質的選擇。可能網卡在進行交遞時，預期 Intra ESS 環境下的基地台，多是相同網域，鏈結層完成交遞後，不必進行網路層之交遞行為，大為減低交遞延遲時間，亦可維持服務品質。所以，在 Probing 階段，若是 Intra ESS 都會較快決定目標基地台。

若是在 Inter ESS 環境下的鏈結層交遞行為，L2H Detection 多會維持一段時間的重傳測試，為確定是否需要做基地台的轉換，所以在此情況下會花費較多的時間。但一般網卡，若需變換連線基地台可能會有較大的網路設定要變更，因此仍希望與原服務基地台連線，在執行搜尋可連線的基地台時仍以原服務基地台為發送“Probe Request”所帶之 SSID 名稱的第一選擇，為確定原服務基地台是否真的不存在，才向目標基地台進行認證和連線。

4.2.2 L3H 延遲時間

實驗進行的四種網路環境，只有 Case I 沒有 L3H 的行為。因此，此節沒有 Case I 的延遲時間，而 Case II、III、IV 這三種網路環境的 L3H 延遲會因為網路環境不同而也有不同的行為和結果。

以 Table 4-8~Table 4-10 來看 DHCP、DAD 和 IP Configuration 三階段在 Case II、III IV 環境下差異並不大，主要觀察 L3H Detection 階段的變化。

4.2.2.1 Case II Inter ESS-Intra subnet

Case II 為 Intra subnet，其在交遞後 IP 位址並不會改變。但因 Inter ESS 而使得在鏈結層之交遞延遲時間拉長，而影響總交遞延遲時間。Case II 在網路層之交遞延遲約在 3~5 秒，從 Table 4-8 的統計結果中，Linksys 有較長的 L3H Detection 時間，推測 Linksys 在觸發 DHCP 有較嚴謹的作法。

Table 4-8 Inter ESS-Intra subnet L3H Delay Time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L3H Detection	0.11698	0.08339	0.09209	2.95134
DHCP	0.01124	0.00848	0.00611	0.00820
DAD	1.63497	1.51914	1.49573	1.16675
IP Configuration	1.59174	1.49348	1.55931	1.50632
L3H total delay time	3.35493	3.10449	3.15324	5.63261

Figure 4-15 只列出 L3H Detection 延遲時間的比較，DHCP、DAD 和 IP configuration 階段在四張網卡實驗結果中差異並不大，行為也相同，因此並無加入長條中比較其延遲時間之差距。

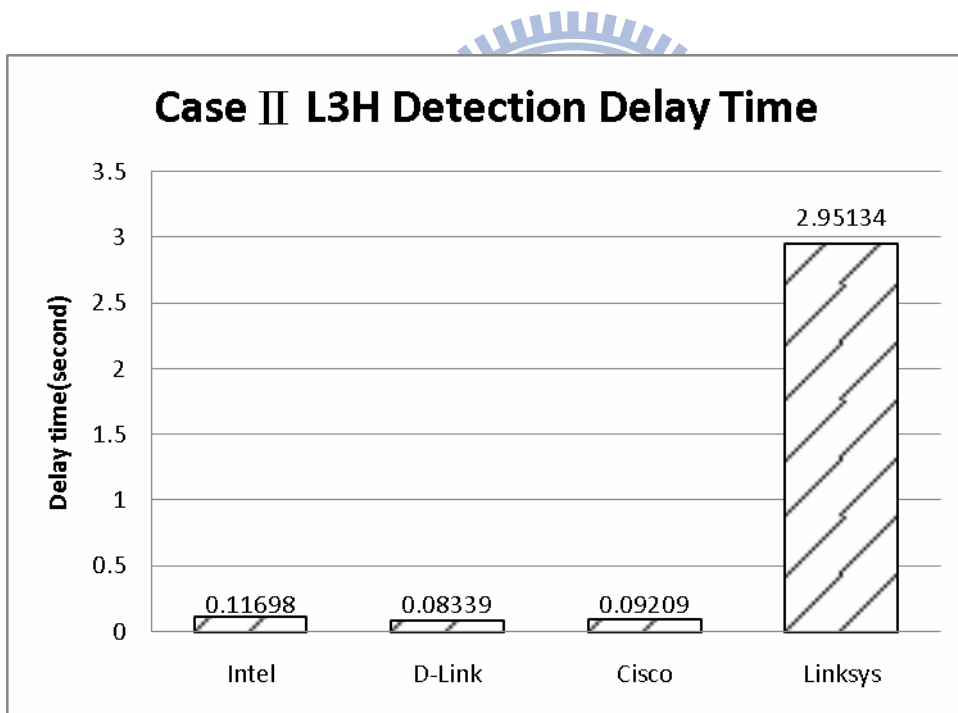


Figure 4-15 Case II -L3H Detection Delay Time

4.2.2.2 Case III Intra ESS-Inter subnet

此種網路環境，雖是 Intra ESS，在鏈結層的交通延遲時間不長，行動節點很快就決定做基地台轉換。但，Case III 為 Inter subnet 的類型，必需重新取得 IP 位址。因此拉長總交通延遲時間。

Case III 在沒有被告知需要更換 IP 位址的情況下，完成鏈結層交通後利用舊 IP 位址

去傳送語音封包，但因無法傳送成功而在 L3H Detection 階段發送“ARP”和“DHCP Request”。使得 Case III 的 L3H Detection 延遲時間較 Case II、IV 來的長。

Table 4-9 Intra ESS-Inter Subnet L3H Delay Time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L3H Detection	7.96944	8.74722	8.40254	7.94659
DHCP	0.00790	0.00606	0.00610	0.00632
DAD	1.55550	1.55965	1.26847	1.45838
IP Configuration	1.44316	1.50094	1.70022	1.63407
L3H total delay time	10.96700	11.81387	11.37733	11.04536

行動節點在 L3H Detection 階段會以 unicast 的方式來發送“DHCP Request”，因為並無預期需要更換 IP 位址，導致在這階段有一些測試行為，直到察覺原來的 IP 位址不能使用，才重新執行 DHCP 流程。

Figure 4-16 為 Case III 的 L3H Detection 延遲時間的長條圖，基本上這四張網卡的延遲時間差距不超過 1 秒，在網路層之交遞行為四張網卡沒什麼差異。

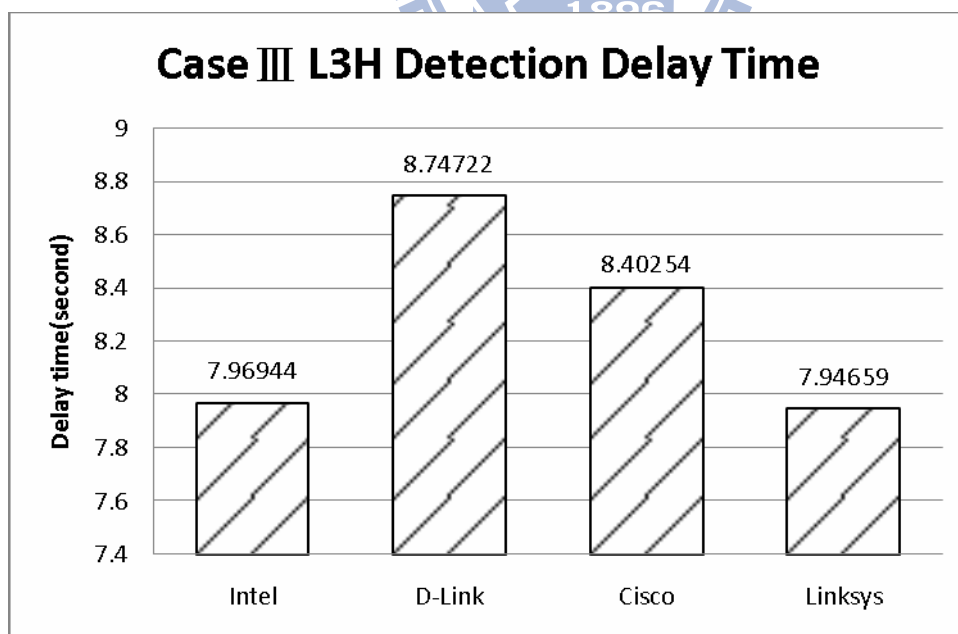


Figure 4-16 Case III -L3H Detection Delay Time

4.2.2.3 Case IV Inter ESS-Inter subnet

Case IV 雖與 Case III 同為 Inter subnet，但 Case IV 為 Inter ESS 的類型。一般網卡的交

遞設計思維認為交遞前後的基地台屬於 Inter ESS 的類型通常會在不同的網域，而屬於 Intra ESS 類型的環境則通常會在同一網域。因此，網路層在 L3H Detection 階段並無像 Case III 一樣花費在測試確認舊 IP 是否可用。

Table 4-10 Inter ESS-Inter subnet L3H Delay Time (unit: seconds)

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L3H Detection	0.05392	0.08807	0.08334	1.45806
DHCP	0.00823	0.00609	0.00601	0.00847
DAD	1.46491	1.62548	1.46415	1.61748
IP Configuration	2.37327	1.59969	1.55167	1.43755
L3H total delay time	3.90033	3.31933	3.10517	4.52156

Figure 4-17 為 Case IV 環境的 L3H Detection 交遞時間。Linksys 和在 Case II 環境下一樣，在此階段延遲時間都較其它三張網卡長。由此推測，鏈結層之交遞行為會影響網路層對交遞行為的判斷。

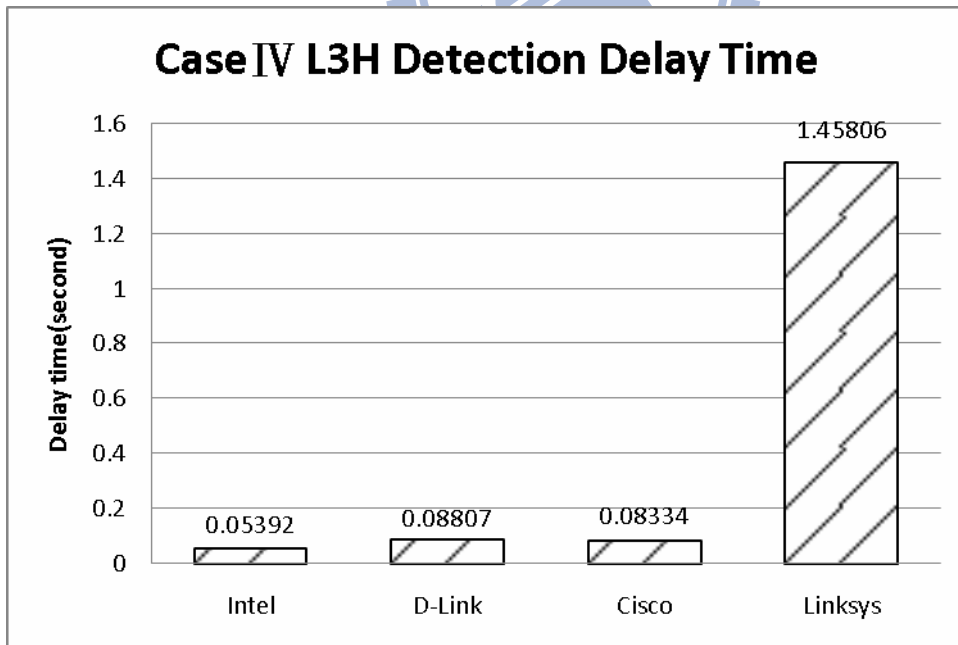


Figure 4-17 Case IV-L3H Detection Delay Time

4.2.2.4 小結

Case II、III、IV 在網路層之交遞延遲時間裡，DHCP、DAD 和 IP configuration 階段

其執行的時間四張網卡都差不多在 3~4 秒左右，其行為也沒什麼差異。但，在 L3H Detection 階段，Case III 就花費較多時間去判定是否該觸發 DHCP 行為。

Case II 為 Intra subnet 的環境類型，進行交遞後，並不需要改變 IP 位址。因此，可以不需要有網路層之交遞行為來取得新 IP 位址。若網卡能在鏈結層交遞完成後利用舊 IP 嘗試送出語音封包來測試是否 IP 位址為效 IP，或利用別的方式來尋問網域上的路由器等判斷方式進行判別是否需要重新取得 IP 位址，Case II 將可以減少 3~4 秒的延遲時間。

4.2.3 總延遲時間

總交遞時間的計算為鏈結層延遲時間加上網路層延遲時間，將四種網路環境的延遲時間做四張網卡的比較，並不一定是鏈結層之交遞時間最短或是網路層之交遞時間最短就會有最短的總延遲時間。

● Case I Intra ESS-Intra subnet

Case I 因為沒有網路層之交遞行為，在 Table 4-11 將 L3H total delay time 的欄位階以“-”表示，因此總延遲時間即為鏈結層之交遞時間。

Table 4-11 中，沒有網路層的延遲時間而鏈結層的延遲很短，除了 Cisco 網卡之外，三張網卡的總延遲時間並不長，在此種網路環境之交遞幾乎不會影響行動節點與相對節點之間的通話。所以，若是在 Case I 的網路環境進行交遞，幾乎都能有好的服務品質。

Table 4-11 Intra ESS-Intra subnet Handover Delay Time

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H total delay time	0.05515	0.02235	6.77860	0.15265
L3H total delay time	-	-	-	-
Total delay time	0.05515	0.02235	6.77860	0.15265

● Case II Inter ESS-Intra subnet

Table 4-13 中的數據顯示，總延遲時間最短的是 Intel，總延遲時間最長的是 Linksys。以鏈結層的延遲時間來看，時間最短的是 Intel，延遲時間最長的則是 Linksys。雖然在網路層的延遲最短時間的是 D-Link，但在鏈結層 Intel 網卡延遲時間少於 D-Link 約 12 秒，總延遲時間最短的還是 Intel。因此，階段性延遲時間無法直接判別哪一張會有較長或較短的總延遲時間。

但，Case II 延遲時間主要的延遲因素是在鏈結層。在此網路環境下，選擇 Intel 網卡，會有較少的延遲時間。

Table 4-12 Inter ESS-Intra subnet Handover Delay Time

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H total delay time	10.12996	22.75897	20.44600	23.61104
L3H total delay time	3.35493	3.10449	3.15324	5.63261
Total delay time	13.48489	25.86346	23.59924	29.24365

● **Case III Intra ESS-Inter subnet**

由於 Case III 為 Intra ESS 類型的網路環境，因此 Table 4-13 的鏈結層延遲時間約在 1、2 秒完成，而網路層沒有被告知需要作 IP 位址的變更，在網路層有較長的延遲時間。因此，此種網路環境下，可以選擇 Intel、D-Link 或 Linksys 網卡來使用。

Intel 在網路層的延遲時間最短，但因在鏈結層的延遲拉長了一點總延遲時間，因此在此種環境下的網卡選擇，建議可將其列入考慮。

Table 4-13 Intra ESS-Inter subnet Handover Delay Time

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H total delay time	1.87494	0.01473	1.91601	0.41396
L3H total delay time	10.96700	11.81387	11.37733	11.04536
Total delay time	12.84194	11.8286	13.29334	11.45932

● **Case IV Inter ESS-Inter subnet**

Case IV 的總延遲時間長短的排序結果同於 Case II，兩種網路環境同為 Inter ESS，交遞延遲時間由短到長分別是，Intel、Cisco、D-Link、Linksys。在此種環境，網路層的延遲時間並不會多於 Case III，是因為在 Inter ESS 的網路類型，網卡預期會進行 IP 位址的變更，並沒有花費時間去嘗試判斷是否需更換 IP。

Table 4-14 Inter ESS-Inter subnet Handover Delay Time

	Intel	D-Link	Cisco	Linksys
L2H total delay time	11.84341	16.27259	13.27741	17.13508

L3H total delay time	3.90033	3.31933	3.10517	4.52156
Total delay time	15.74374	19.59192	16.38258	21.65664

看完上述四種網路環境的實驗結果發現，其實有一些不必要的交遞行為，若省略不作將可以縮短交遞延遲時間。Case II 和 Case IV 同為 Inter ESS 環境，但一個為 Intra subnet 一個為 Inter subnet，但兩種網路在網路層的延遲時間卻都是 3~4 秒。Case II 是 Inter ESS-Intra subnet 的網路環境，因此只需有鏈結層交遞，不需要做網路層的交遞，行動節點和相對節點就能繼續通訊，若能判別出 Case II 的環境，將可以減少 3~4 秒的延遲時間。

另一個有趣的地方是 D-Link 和 Cisco 在 Intra ESS 和 Inter ESS 的網路環境會有不同註解。在 Intra ESS 情況下，都是 D-Link 延遲時間小於 Cisco，但在 Inter ESS 的網路類型則相反。雖然這兩張網卡使用相同的晶片，交遞行為類似，但在不同的網路類型所考量的因素可能會不一樣。

4.2.4 網卡在不同網路環境下比較

此小節從網卡的角度來看四種網路環境，Table 4-15~Table 4-18 為四張網卡在四種網路環境下交遞延遲時間的整理。

在 Table 4-15、Table 4-16、Table 4-17、Table 4-18 裡的 L3H Detection 欄位明顯看出，不管是哪一張網卡在 Case III 的網路環境下延遲時間較其它網路環境來的長，這是鏈結層對網路層交遞延遲的影響。因鏈結層沒有提供足夠的資訊給網路層，使得在 L3H Detection 階段透過網路層的通訊協定去偵測封包是否能被送達，因此造成 L3H Detection 的交遞延遲時間被拉長。

在實驗中，以用戶模式的應用程式先向 NDIS Port 協定驅動程式註冊。若有察覺網路媒體斷線或連線的情況則要回報至應用程式。因此，當偵測到網路媒體斷線後，則有 Link down 事件由下層送往上層，告知用戶模式的應用程式。當偵測到網路媒體連線恢復，會有 Link up 事件回報至應用程式。若能以此事件通知網路層的應用程式事件發生，應用程式即可開始進行網路層的交遞程序。此舉可以縮短跨網域交遞時，浪費時間在偵測已不存在的舊網域所造成的延遲。

除了上述縮短延遲時間的方法之外，本論文所進行的實驗排除了讓 Probing 延遲時間增長的因素。在 Probing 階段若行動節點在頻道上收到基地台的所回應的“Probe response”就會在此頻道上多停留一段時間。本實驗的環境，只有原服務基地台與目標基地在兩個頻道上，因此，就可以減少在 Probing 階段的延遲時間。

Table 4-15 Intel-four cases Handover Delay Time (unit: seconds)

INTEL	Case I	Case II	Case III	CaseIV
L2H Detection	0.01985	5.50419	1.32400	8.47086
Probing	0.00280	4.49449	0.52244	3.25502
Authentication	0.02930	0.12812	0.02523	0.11456
Association	0.00320	0.00316	0.00327	0.00297
L2H total	0.05515	10.12996	1.87494	11.84341
L3H Detection		0.11698	7.96944	0.05392
DHCP		0.01124	0.00790	0.00823
DAD		1.63497	1.55550	1.46491
IP Configuration		1.59174	1.44316	2.37327
L3H total		3.35493	10.96700	3.90033
Total	0.05515	13.48489	12.84194	15.74374

Table 4-16 D-Link-four cases Handover Delay Time (unit: seconds)

D-Link	Case I	Case II	Case III	CaseIV
L2H Detection	0.01520	19.70751	0.00736	13.38449
Probing	0.00281	3.04720	0.00299	2.88379
Authentication	0.00168	0.00164	0.00167	0.00168
Association	0.00266	0.00262	0.00271	0.00263
L2H total	0.02235	22.75897	0.01473	16.27259
L3H Detection		0.08339	8.74722	0.08807
DHCP		0.00848	0.00606	0.00609
DAD		1.51914	1.55965	1.62548
IP Configuration		1.49348	1.50094	1.59969
L3H total		3.10449	11.81387	3.31933
Total	0.02235	25.86346	11.8286	19.59192

Table 4-17 Cisco- four cases Handover Delay Time (unit: seconds)

Cisco	Case I	Case II	Case III	CaseIV
L2H Detection	5.55300	17.48994	0.75439	10.27809
Probing	1.22055	2.95177	1.15731	2.99506
Authentication	0.00174	0.00167	0.00168	0.00167
Association	0.00257	0.00262	0.00263	0.00259
L2H total	6.77860	20.44600	1.91601	13.27741
L3H Detection		0.09209	8.40254	0.08334
DHCP		0.00611	0.00610	0.00601
DAD		1.49573	1.26847	1.46415
IP Configuration		1.55931	1.70022	1.55167
L3H total		3.15324	11.37733	3.10517
Total		23.59924	13.29334	16.38258

Table 4-18 Linksys- four cases Handover Delay Time (unit: seconds)

Linksys	Case I	Case II	Case III	CaseIV
L2H Detection	0.00641	15.96238	0.00425	8.88134
Probing	0.03657	7.56473	0.33420	7.49115
Authentication	0.07202	0.08108	0.07259	0.30974
Association	0.03765	0.00285	0.00292	0.00285
L2H total	0.15265	23.61104	0.41396	17.13508
L3H Detection		2.95134	7.94659	1.45806
DHCP		0.00820	0.00632	0.00847
DAD		1.16675	1.45838	1.61748
IP Configuration		1.50632	1.63407	1.43755
L3H total		5.63261	11.04536	4.52156
Total	0.15265	29.24365	11.45932	21.65664

4.3 總結

依照以上的實驗和實驗結果，整理出 Table 4-19，有些行為和事件並不是在每種網

路環境下都會被觸發。Table 4-19 中的 Link down、Link up 和 IP ChangeHandler 為底層通知上層應用程式的事件。Case I 和 Case III 並不會觸發 Link down 的事件，只有 Link up 事件通知。

Table 4-19 Handover Procedure of four cases

	Case I	Case II	Case III	Case IV
L2H Detection	●	●	●	●
Link down		●		●
Probing	●	●	●	●
Authentication	●	●	●	●
Association	●	●	●	●
Link up	●	●	●	●
L3H Detection		●	●	●
DHCP		●	●	●
DAD		●	●	●
IP Configuration		●	●	●
IP ChangeHandler		●	●	●

前述實驗與實驗結果，將鏈結層的交遞以 Intra ESS 和 Inter ESS 來看，發現在 L2H Detection 階段在 Inter ESS 的網路類型會有較長的延遲時間。延遲時間最長的為 D-Link 網卡，第二為 Cisco 網卡，其這兩張網卡在發送語音封包和 RTS 的方式和數量可以減少或有所改變，也許不需要這麼多次的嘗試就可以要判別是否要搜尋其它可連線的基地台，可能會讓交遞延遲時間縮短。

同樣是 Inter ESS 的網路類型，在鏈結層的 Probing 階段，以 Linksys 延遲時間最長。在 L2H Detection 階段已經有一段時間的嘗試看是否能傳送封包成功，在 Probing 階段應該就可以減少“Probe Request”發送數量，以縮短延遲時間。

在有網路層交遞行為的三種網路環境，在 L3H Detection、DHCP、DAD 和 IP Configuration 四階段的延遲時間差距皆不大，除了 Case III 的網路環境只有 Link up 的事件通知，並不會觸發 DHCP，因此會讓 L3H Detection 延遲時間拉長。若是在 Case III 環境下，L3H Detection 階段，行動節點在發出“DHCP Request”之後到 DHCP 階段約有 3~4 秒的等待，若可以縮短這等待時間，應可以減少延遲時間。

Case II 和 Case IV 一為相同網域交遞一為跨網域交遞，但在 Table 4-19 裡，發現 Case II 的網路環境在交遞前後雖為相同網域，但仍會觸發網路層的交遞，且交遞延遲時間和跨網域的 Case IV 網路層交遞延遲時間並無較短。因此，若 Case II 可以省略不必要的網路層交遞行為，就可減少延遲時間約 3~4 秒。



第五章 結論與未來工作

5.1 結論

本論文所做的實驗是在無線網路環境下，觀察 VoIP 軟體發生交遞時，鏈結層和網路層之交遞延遲時間與行為。透過交遞前後基地台的訊號衰減增強配合各種網路環境，利用四家無線網卡來進行實驗。量測和分析各家網卡在各種網路環境下，延遲時間的統計和交遞行為的差異。

● 各網卡的行為

所選用來實驗的網卡為 Intel、D-Link、Cisco 和 Linksys 這四家廠商的無線區域網卡。各家網卡之交遞流程皆一致，但各家網卡在實作方法上各有不同。因此，交遞延遲時間也會有不同的結果。尤其是在 Inter ESS 網路類型的鏈結層 Detection 階段之交遞行為，為了確認原服務基地台是否已經不存在，會送出大量的訊息進行確認。這也說明了各家無線網卡若要進行交遞，其設計思維仍傾向和原服務基地維持連線，而花較長的時間去確認原服務基地台已經不存在。

在鏈結層之交遞流程中的 Probing 階段，各家網卡的做法也不盡相同，特別是 Linksys 無線網卡，在此階段發送的訊息量遠多於其它三家網卡，所花費的延遲時間也較其它三張網卡長。在 L2H Detection 已經有進行原服務基地台是否存在的確認動作，因此，此階段可以減少發送“Probe Request”的訊息數量，應可以減少在 Probing 階段的延遲時間。

在鏈結層之交遞行為除了 Authentication 和 Association 階段的延遲時間，在各家網卡 and 不同實驗環境下 (Intra ESS 和 Inter ESS)，被量測出來的結果差距不大，且在鏈結層之交遞延遲時間所占比重不大。L2H Detection 和 Probing 階段在 Inter ESS 網路環境下，會有較長延遲時間去確認原服務基地台是否還存在，而在 Intra ESS 環境下因交遞前後的基地台 SSID 名稱相同，各家網卡在判斷上皆會較快做決定，延遲時間約 0~3 秒就可完成。

在網路層之交遞會受到鏈結層的影響，可以分成兩部份來看。一種情況是 Intra/Inter subnet-Inter ESS，第二種情況是 Inter subnet-Intra ESS。在第一種情況下，網路層的延遲時間約為 3~5 秒，各家網卡的延遲時間並沒有很大的差距，除了 Linksys 網卡在 L3H Detection 階段有多出其它網卡約 1 秒的延遲時間。

第二種情況為 Inter subnet-Intra ESS，延遲時間為 11 秒左右，較第一種情況高出 6～9 秒，主要拉長延遲時間原因在 L3H Detection 階段。因為，此種網路環境下，是透過網路層的通訊協定去偵測封包是否能傳送成功，而非由下層提供資訊告知上層，導致交遞延遲時間拉長。若是在第二種情況在鏈結層事件被觸發時，預先配置網路資源的話，應該可以大幅縮短延遲時間。

● 使用網卡的建議

接著來探討無線網卡對交遞的影響。若在 Intra ESS-Intra subnet 的網路環境情況下，四張網卡皆不會有太長延遲的時間。因此，四張網卡皆適合在 Intra ESS-Intra subnet 的網路環境進行交遞。若是在同一實驗室或同一辦公室裡可能就會出現此種環境的交遞，此種情況，四張網卡都適合使用。

在 Inter ESS-Intra subnet 類型的網路環境，因屬於 Inter ESS，在鏈結層的延遲時間被拉長，其中，Intel 較其它三張網卡的延遲時間少了 10～13 秒，此差距主要是因為在 L2H Detection 階段，Intel 花費較少的時間在判斷是否要進行 Probing。在網路層的延遲時間，除了 Linksys 花費 5 秒左右，其它三張網卡皆在 3 秒左右。若是在此種環境下，依據交遞實驗的數據顯示，Intel 網卡在鏈結層有較短的延遲時間，雖然在網路層的延遲時間並不是最短，和最短延遲時間相差 0.25 秒。但由於鏈結層延遲時間比網路層延遲時間比重來的重，因此，建議若在 Inter ESS-Intra subnet 環境下，進行交遞，可使用 Intel 網卡。此種網路最常見於，同一系所之下的不同實驗室之間，使用同一網域但各自架設基地台。若交遞常發生於兩實驗室的基地台，可考慮 Intel 網卡。

第三種情況是 Intra ESS-Inter subnet，在 Intra ESS 的環境下，鏈結層交遞前後的基地台有相同的 SSID 名稱，網卡多會認為目標基地台應與原服務基地台屬於同一網域，應同於 Case I，因此在判斷是否該進行交遞會較快速。與目標基地台連線後，用舊 IP 送出封包後仍無得到回應，導致在 L3H Detection 階段花費較長的時間，才進行 DHCP。在網路層的 Detection 階段成為整個交遞流程中花費時間最長的階段。Linksys 和 Intel 在 L3H Detection 階段為延遲時間最短的兩張網卡，使得兩張網卡在總延遲時間也是最短。在 Intra ESS-Inter subnet 環境下的交遞，建議可選擇 Intel 和 Linksys。此兩張網卡建議使用於校園無線網路，校園網路會使用相同的 SSID 名稱，但因範圍太大所以會涵蓋多個不同的網域。

最後一種情況是 Inter ESS-Inter subnet，此種環境同 Inter ESS-Intra subnet，在鏈結層之交遞延遲時間即被拉長，Intel 網卡是花費最少時間的網卡。Inter ESS-Intra/Inter subnet 兩種網路，在網路層的行為並無不同，所以延遲時間差距不大，皆在 3～5 秒。

因此，若實際環境是不同教學單位或不同大樓之間的交遞行為很有可能即是 Inter ESS-Inter subnet 的網路環境，建議可以使用 Intel 網卡。

本篇論文探討不同網路環境下，VoIP 軟體上可能發生的交遞行為和延遲時間，並提供各家網卡在執行交遞時訊息的傳送方式。利用交遞時的訊息，推測無線網卡的設計思維，和影響延遲時間的因素。依據不同的網路環境提出一些建議，提供設計者一個參考和需注意的考量。經由實際量測各家網卡在各種網路環境下的延遲時間，讓使用者對各家網卡有所了解。

5.2 未來工作

交遞的實驗環境只有兩台基地台做為交遞前後與行動節點連線用。此目的在觀察單純的實驗環境下的行為與延遲時間。未來可將實驗環境佈建成一擬真的環境，可能有多台的基地台，在行動節點一進入此環境下訊號就強弱有別。並將衰減程式改進，令行動節點不僅僅只能做線性移動。

除了實驗環境的變更，尚可加入更多變數，例如不同廠牌的基地台交遞或是使用不同網路管理工具等。這些變數皆可能會影響交遞延遲時間和交遞行為，比較與分析加入變數的差異。

上述的變異可以在未來做進一步的探討和分析，並做多方比較，以期提供更完整的行為分析和實驗數據。

Reference

- [1] IEEE, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification," *IEEE Standard 802.11*, 1999.
- [2] C. C. Hung, "An Empirical Analysis of IEEE 802.11 Wireless Network and SIP-based VoIP Handovers ," NCTU, October 2007
- [3] S. Kashihara, Y. Oie, "Handover management based on the number of retries for VoIP on WLANs," *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st* , vol.4, no., pp. 2201-2206, May 2005.
- [4] H. Velayos, G. Karlsson, "Techniques to reduce the IEEE 802.11b handover time," *Communications, 2004 IEEE International Conference on* , Volume: 7 , 20-24 June 2004 Pages:3844 - 3848 Vol.7.
- [5] S. Shin, A. Forte, A. Rawat, and H. Schulzrinne, "Reducing MAC Layer Handover Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs," *ACM MobiWac 2004*, October 2004.P. J.
- [6] H. Wu, K. Tan, Y. Zhang, Q. Zhang, "Proactive Scan: Fast Handover with Smart Triggers for 802.11 Wireless LAN," *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE* , vol., no., pp.749-757, May 2007
- [7] Huang, Y. C. Tseng, K. C. Tsai, "A Fast Handover Mechanism for IEEE 802.11 and IAPP Networks," *Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd* , vol.2, no., pp.966-970, May 2006
- [8] A. Mishra, M. Shin, and W. A. Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handover Process," *ACM Computer Communications Review*, vol. 33, no. 2, pp. 93-102, Apr. 2003.
- [9] A. Lakas, M. Boulmalf, "Experimental Analysis of VoIP over Wireless Local Area Network," *JOURNAL OF COMMUNICATIONS*, vol. 2, no. 4, JUNE 2007.
- [10] D. Murray, M. Dixon, T. Koziniec, "Scanning Delays in 802.11 Networks," *Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 2007. NGMAST '07. The 2007 International Conference on* , vol., no., pp.255-260, Sept. 2007
- [11] S. Shin, H. Schulzrinne, "Experimental Measurement of the Capacity for VoIP Traffic

- in IEEE 802.11 WLANs," *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE* , vol., no., pp.2018-2026, 6-12 May 2007
- [12] C.-C. Tseng, K.-H. Chi, M.-D. Hsieh, H.-H. Chang, "Location-based fast handoff for 802.11 networks," *Communications Letters, IEEE* , vol.9, no.4, pp. 304-306, April 2005
- [13] S. Mohanty, I.F. Akyildiz, "A Cross-Layer (Layer 2 + 3) Handoff Management Protocol for Next-Generation Wireless Systems," *Mobile Computing, IEEE Transactions on* , vol.5, no.10, pp.1347-1360, Oct. 2006
- [14] J. H. Fan, "Design and Implementation of Integration Platform for Heterogeneous Network Roaming Systems". Master Thesis, NCTU CS, Aug. 2005
- [15] B. Singh, "Hard Handover Performance Evaluation through Link Drops," *Signal Processing, Communications and Networking, 2007. ICSCN '07. International Conference on* , vol., no., pp.459-463, 22-24 Feb. 2007
- [16] H. Schulzrinne, E. Wedlund, "Application-layer mobility using SIP," *Service Portability and Virtual Customer Environments, 2000 IEEE* , vol., no., pp.29-36, 2000
- [17] T. Aoyama, K. Ishibashi, M. Bandai, M. Kuroda, T. Watanabe, "Handover latency analysis on mobile Ethernet," *Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE* , vol.3, no., pp. 1389-1394 Vol. 3, 13-17 March 2005
- [18] R. Koodli, C. Perkins, "Mobile IPv4 Fast Handovers", RFC 4988, October 2007
- [19] Wikipedia – "Linux", Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Linux>
- [20] Bird, "Bird's Linux", Available from: <http://linux.vbird.org/>