

國立交通大學

電信工程學系

碩士論文

以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中
適用於即時性服務之前置式基地台切換技術

Proactive Base Station Switching for Real-Time Services in
IP-based OFDMA Systems

研究生：林愷昕

指導教授：沈文和 博士

中華民國九十四年七月

以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中
適用於即時性服務之前置式基地台切換技術
Proactive Base Station Switching for Real-Time
Services in IP-based OFDMA Systems

研究生：林愷昕

Student : Kai-Shin Lin

指導教授：沈文和 博士

Advisor : Dr. Wern-Ho Sheen

國立交通大學

電信工程學系碩士班



A Thesis

Submitted to Institute of Communication Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Communication Engineering

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年七月

以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中 適用於即時性服務之前置式基地台切換技術

研究生：林愷昕

指導教授：沈文和 博士

國立交通大學
電信工程研究所

摘要

以網際網路協定(Internet Protocol, IP)為基礎的正交分頻多重接取(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)系統憑藉著與網際網路良好的互連(internetworking)能力以及在多路徑(multipath)傳播環境下可提供更高的資料傳輸率而被採用於 IEEE 802.16 無線寬頻接取(Broadband Wireless Access, BWA)標準之中。有別於 IEEE 802.16 標準制定初期以提供固定式無線接取服務為目標，近期該標準正積極發展可支援使用者移動性之版本以期能提供行動通訊服務，而換手技術(handoff)的開發正是該系統能否支援使用者移動性的關鍵。當使用者在系統中移動時，換手技術負責在不同基地台間傳遞使用者的連線以確保服務的連續性，然而現有標準中的硬式換手(hard handoff)技術會因過長的處理時間而導致即時性(real-time)通訊服務中斷過久，並進而造成使用者對服務品質的不滿意。本篇論文提出一套適用於以 IP 為基礎之 OFDMA 系統之前置式基地台切換(Proactive Base Station Switching, PBSS)技術，利用預先註冊(pre-registration)、資料轉遞(data forwarding)與快速調距(fast ranging)等技巧以確保因基地台切換而造成的服務中斷時間(service disruption time)能滿足即時性服務對於品質的要求。文中同時提出符合於 IEEE 802.16e 標準之網路控制訊號交換流程，及以無線通道品質為依據之基地台切換啟動機制。模擬結果顯示本機制可確保即時性通訊服務的品質，並降低因資料傳送延遲而造成的封包遺漏率。

Proactive Base Station Switching for Real-Time Services in IP-based OFDMA Systems

Student: Kai-Shin Lin

Advisor: Dr. Wern-Ho Sheen

Institute of Communication Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

IP (Internet Protocol)-based OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) system is adopted in IEEE 802.16 standard by its great internetworking capability with Internet and its capability to achieve high transmission rate in multipath environment. Instead of providing fixed wireless access services, the standard committee also aims to develop a newer version to support user mobility for mobile communications services. Therefore, development on handoff technology, which is the process to transfer the connectivity of mobile station from one base station to another, is the key to achieve this objective. However, the hard handoff process in current standard will lead to high service disruption time and make user feel uncomfortable on service quality. This paper proposes a proactive base station switching (PBSS) mechanism to reduce service disruption time to satisfy the quality of service (QoS) requirement of real-time services, which is achieved by network pre-registration, data forwarding and fast ranging. This paper also proposes an IEEE 802.16e compatible signaling procedure and a link quality-based PBSS initiation algorithm to realize PBSS mechanism in real system. The simulation results show that the service disruption time can be reduced by PBSS mechanism to satisfy the requirement by real-time services; moreover, the packet loss rate can also be reduced by preventing packets timeout.

Index Terms: IP (Internet Protocol)-based , OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), handoff, PBSS(proactive base station switching), service disruption time.

致謝

本論文得以順利完成，首先要感謝我的指導教授 沈文和博士，在我兩年多的研究生涯中，給予的關心和照顧，並給予我研究的方向及建議；不僅在研究上其認真嚴謹的態度深深影響了我，在生活上遇到困難時，沈文和教授也都會盡力協助，讓我能更加專心在研究上。

還要感謝資工系教授 曹孝礫博士，也同時給予我論文研究許多協助和幫忙，使我的論文得以順利完成。

特別感謝博班學長傅宜康，總是很有耐心的與我討論並給予我許多研究上的經驗談，並幫助我建立許多作研究的觀念和態度；此外，要感謝無線寬頻接收實驗室的所有學長姊、同學及學弟們，在這些日子以來，讓我愉快的處在實驗室這個大家庭中。

最後，要感謝我的家人，在我遇到困難和挫折時，給予我鼓勵和支持，讓我有堅持下去的原動力，順利完成此論文，在此致上萬分謝意。



民國九十四年七月
研究生林愷昕謹識於交通大學

目錄

第一章	簡介.....	1
1-1	行動通訊技術發展簡史.....	1
1-2	以 IP 為基礎之無線網路中快速換手技術發展現況.....	3
1-3	研究動機.....	4
第二章	以 IP 為基礎之 OFDMA 系統.....	5
2-1	OFDM 傳輸技術簡介.....	5
2-2	蜂巢式 OFDMA 無線接取網路.....	11
2-3	以 IP 為基礎之 OFDMA 系統.....	12
第三章	前置式基地台切換技術.....	17
3-1	換手技術簡介.....	17
3-2	換手技術在 IP 網路中對即時性服務之影響.....	20
3-3	適用於即時性服務之前置式基地台切換技術.....	25
第四章	媒體接取控制訊號交換流程設計.....	27
4-1	IEEE 802.16e 系統之硬式換手流程.....	27
4-2	適用於 IEEE 802.16e 系統之前置式基地台切換控制訊息與交換流程設計.....	32
第五章	前置式基地台切換之啟動演算法.....	36
5-1	前置式基地台切換之啟動演算法設計.....	36
5-2	預測式啟動演算法.....	39
第六章	模擬結果.....	41
6-1	模擬環境設定.....	41
6-2	模擬結果與分析.....	49
第七章	結論與展望.....	54

圖目錄

圖 2-1.1	OFDM 技術示意圖.....	6
圖 2-1.2	傳統(a)FDM 與(b)OFDM 的頻譜.....	6
圖 2-1.3	OFDM 系統傳送端調制器示意圖.....	7
圖 2-1.4	OFDM 之保護區段.....	8
圖 2-1.5	ICI 之示意圖.....	9
圖 2-1.6	OFDM 區塊之循環展延.....	9
圖 2-2.1	蜂巢式網路架構.....	11
圖 2-3.1	IP network 支援異質性無線通訊技術.....	12
圖 2-3.2	IEEE 802.16g 分散式網路架構.....	13
圖 2-3.3	TDD 模式之碼框示意圖.....	15
圖 2-3.4	載波置入示意圖.....	16
圖 3-2.1	Network Structure.....	21
圖 3-2.2	Baseband and MAC processor chip.....	22
圖 3-2.3	硬式換手技術演算法.....	23
圖 3-2.4	軟式換手技術演算法.....	24
圖 3-3.1	前置式基地台切換.....	26
圖 4-1.1	IEEE 802.16e 系統中硬式換手流程.....	27
圖 4-1.2	SIP reINVITE 示意圖.....	29
圖 4-1.3	Ranging Code 分配圖.....	30
圖 4-1.4	Ranging Process in IEEE 802.16e standard.....	31
圖 4-2.1	前置式基地台切換流程.....	32
圖 4-2.2	改進後的 SIP reINVITE 示意圖.....	33
圖 4-2.3(a)	Modified Fast Ranging Process.....	35
圖 4-2.3(b)	Modified Fast Ranging Process.....	35
圖 5-1.1	前置式基地台切換演算法.....	36
圖 5-1.2	Network pre-registration 提前執行示意圖.....	38
圖 5-1.3	前置式基地台切換啟動演算法.....	39
圖 5-2.1	預測式啟動演算法.....	40
圖 6-1.1	Jakes 模型所考慮之訊號入射角度.....	44
圖 6-1.2	折疊技術全圖.....	46
圖 6-1.3	折疊技術.....	47
圖 6-2.1	各類換手技術服務中斷時間分布.....	49
圖 6-2.2	不同換手技術之平均封包移漏率.....	50
圖 6-2.3	不同 Th_change 下使用者之平均封包移漏率.....	51
圖 6-2.4	使用者平均遭受乒乓效應的次數.....	51

圖 6-2.5	不同換手技術之平均 Active Set Size 之比較.....	52
圖 6-2.6	不同換手技術網路層平均 Active Set 更新的次數.....	53

表目錄

表 2-3.1	802.16 主要標準比較.....	14
表 2-3.2	載波置入之分配.....	15
表 3-1.1	換手技術之分類.....	19
表 6-1.1	鏈路預算.....	48



第一章 簡介

目前我們使用的蜂窩式移動電話 (cellular telephone) 是數位式的的第二代 (second generation, 2G) 系統。隨著行動通訊商品化後，行動通訊的服務和人類生活息息相關，人們將要求隨時隨地都可上網。行動通訊的發展便是朝著加強行動數據通訊這方向走。隨著 2.5G 及 3G 行動通訊的發展，無線網路、行動網路和網際網路的結合將會更為緊密。

802.16 和 WiMAX 即在此條件下受到越來越多的關注。802.16 標準是由 IEEE 相關工作組製定的物理層和 MAC 層標準。此標準採用了最新的調製技術，基於 IP 網路及開放式網路模式，具備的全球一致性，以及低廉的佈設和營運成本等優勢，業界預期 WiMAX 將成為 3G 的強力競爭者，旨在首先解決寬帶無線互聯的基礎上，逐步實現無線 VoIP 音頻業務，從而取代 3G 而與 2G/2.5G 長期並存。

1-1 行動通訊技術發展簡史

第一代行動通訊在 1980 年代開始商業化，訊號是類比處理，並採用電路交換的方式來提供語音方面的服務，但其缺少了提供使用者在不同網路間漫遊服務的能力。主要的第一代行動電話網路有三種：北美制式行動電話系統 (Advanced Mobile Phone System, AMPS)、英國完全抓取通訊服務 (Total Access Communication Services, TACS)、北歐行動電話 (Nordic Mobile Telephone)。

第二代 (2G) 或 2.5 代 (2.5G) 的行動電話系統在 1990 年代早期出現，採用類比訊號處理的方式並且使用了一些新的傳輸技巧，提升了系統容量、頻譜使用效能、增強語音服務的品質及減少功率損耗等優點，除了提供語音方面的服務外，還多加了行動資料和行動網路的功能。主要的第二代行動電話網路有三種：環球行動通訊系統 (Global System for Mobile Communication, GSM)、北美數字窩蜂制式 (Digital Advanced Mobile Phone Services, D-AMPS) 即 IS-136 標準及分碼多重接取 (Code Division Multiple Access, CDMA) IS-95A 標準。IS 標準是美國 Electronic Industries Association and Telecommunication Industry Association (EIA/TIA) 的通訊標準。2.5G 的行動電話標準有二種：General Packet Radio Service (GPRS)、Enhanced Data Rates for Global GSM Evolution (EDGE), 2.5G 提供比 2G 更高的系統容量及使用者的資料率，但仍沒有達到 3G 所承諾的標準。

第三代行動電話系統規格的研發，是早從 1985 年開始，由 ITU-T 提出、在 2GHz 頻段工作的行動通訊系統規格，最初的名稱為 Future Public Land Mobile

Telephone System (FPLMTS)。其後這個系統正式更名為 International Mobile Telephone 2000 (IMT-2000)，同時 ITU 也為了這個第三代行動通訊傳輸技術定了一個傳輸的速度的指標：

1. 在快速移動環境，最高數據傳輸速率需達到 144Kbit/s；
2. 在室外、室內或是步行環境，最高數據傳輸速率需達到 384Kbit/s；
3. 室內靜止的環境，最高數據傳輸速率需達到 2Mbit/s。

目前台灣地區已踏入第三代行動通訊 (3G) 的時代，估計在一兩年後便可投入服務。第三代行動通訊提供了行動通訊商品可以用較高速率連上網際網路，用戶也可以隨時在網際網路下載資訊、娛樂服務、網上遊戲及進行電子商務活動等，並可以透過第三代行動通訊商品瀏覽網站，收發電郵，網上購物，處理財務等。還有的是當用戶身處海外時，仍然可以經由通訊商品處理投資，甚至可以查看當地的地圖、觀光景點等。

雖然目前行動電信業者耗資巨大的 3G 網路即將要步上軌道，並且開始營運，但是之前在德國漢諾威舉行的 CeBit 展覽會上，計算機行業又開始推展另外一種功能更強大的無線技術-WiMAX，3G 技術的前景有可能再次受到影響[1]。

3G 網路的資料傳輸速率雖比目前的行動電話網路快，卻比 WiMax 慢 30 倍。3G 網路的每一無線電遮罩 (radio mask) 的涵蓋面積比 WiMax 小 10 倍，且 WiMax 頻譜可免費使用，業者所需的基地台數目也比較少。

WiMAX 的另一個名字是 802.16，可以在授權的 3.5GHz 和不用授權的 5GHz 頻帶上運作，並支援非視線(non-line-of-sight)通訊功能。具備適應性調變和編碼性能，WiMax 宣稱能覆蓋最遠達 50 公里的範圍，並提供 75Mbps 的資料傳輸率。再加上，它還具備了網際網路協定(IP)架構和先進的 QoS 機制，因此 WiMax 贏得了一些業者的強力支援與看好。WiMax 也被視為固網電信公司反擊行動電信業者吞蝕語音通話市占率的武器，還沒有無線網路的電信業者，可以偏低的成本搭建行動網路，運用成本已攤提完畢的固網網路把資料無線傳送到網際網路，開始把已流失的營收從無線電信業者的手中奪回。

WiMax 將進一步釋放筆記型電腦等行動裝置的應用範圍。今日風行的 Wi-Fi 無線技術，也就是 802.11a/b/g 等，屬於「區域」型無線網路技術，傳輸距離約數十至數百公尺，部分晶片經過特殊設計可達 1000 公尺，Wi-Fi 傳輸速率為 11Mbps-54Mbps。

總而言之，相較於 3G 系統及 WLAN，WiMax 的優勢如下[2]:

1. 更遠的傳輸距離：WiMax 能實現 50 公里的無線信號傳輸距離，此為無線區域網路所望塵莫及的；在網路覆蓋區域上，WiMAX 覆蓋範圍為一個 3G 基地台覆蓋範圍的十倍，只要少數基地台建設就能實現全域覆蓋，使得無線網路應用的範圍大大擴展。
2. 更高速的寬帶接入：WiMax 所能提供的最高接入速度是 70M，為 3G 所能提供的寬帶速度的 30 倍。對無線網路來說，這的確是一個驚人的進步。
3. 優良的最後一公里網路(last mile)接入服務：作為一種無線區域網路技術，它可以將 Wi-Fi 熱點連接到互聯網，也可作為 DSL 等有線接入模式的無線擴展，實現最後一公里的寬帶接入。
4. 多媒體通訊服務：由於 WiMax 較之 Wi-Fi 具有更好的可擴展性和安全性，從而能夠實現電信級的多媒體通信服務。

對於固定電話業者來說，他們可以建立一個基於 WiMAX 技術的低成本網路，並透過他們的固定電話網路把無線網路與互聯網相連，從而可以逐步從行動通訊業者手中奪回部分收入。

由以上所述，我們可以知道 WiMax 技術不僅將帶動寬頻網路無線化，且 Wi-Fi、WiMax 等技術將互相結合朝向無縫 (Seamless) 式的無線通訊環境發展。



1-2 以 IP 為基礎之無線網路中快速換手技術發展現況

硬式換手(Hard Handoff)技術普遍被應用在許多商用化的無線通訊網路中，其特點在於使用者必須中斷現有的連線後才能與新的基地台建立連線，在換手過程中，使用者無法接收資料而造成服務的中斷。為了改善硬式換手技術的缺點，軟式換手(Soft Handoff)技術允許使用者同時和一個以上的基地台建立連線且傳收資料，因此在換手過程中，使用者能從多個建立連線的基地台獲取資料，以確保在換手過程中，服務不被中斷[3]。就系統容量觀點而言，軟式換手技術可以使訊號獲得組合增益(combing gain)，使用者在進行上鏈(uplink)傳輸時可降低傳送功率而減少系統整體之上鏈干擾強度，提升上鏈系統容量；但在下鏈(downlink)時，因為同時有一個以上的基地台傳送訊號給使用者，造成系統整體之下鏈干擾強度上升，而減少下鏈系統容量[4]。

由於無線通訊的標準不斷增加，未來的無線通訊系統可能建構在多個既有的系統之上，為了支援各種異質性網路(heterogeneous network)的互聯性(internetworking)，下一代無線接取網路將朝向完全以網際網路協定(Internet Protocol, IP)為基礎 [5]，而如何在異質性網路中執行換手(或稱垂直換手, Vertical Handoff)，成為目前備受關注的議題。

有別於以往具有專屬核心網路的系統，以 IP 為基礎之無線接取系統在實現換手技術時，面臨更大的挑戰。由於換手至新的基地台時，必須要重新建立點對點(end-to-end)的連線，並且重新取得新的 IP 位址，使得硬式換手流程所需的處理時間可能更長，在[6]提到在 IEEE 802.11b 無線區域網路中，使用 SIP 換手方式所造成的服務中斷時間可長達 40s 之久，或是採用 Mobile IP 的方法[7]，但單由網路層所造成的時間延遲就已達到 0.1~1 秒，造成使用者無法接受的服務品質；將部分換手流程提前執行的前置型(Proactive)換手技術預期將可以有效的縮短服務中斷的時間，此種觀念已在 WLAN 系統中被提出使用[7]。而在以 IP 為基礎之系統中，軟式換手技術的實現也較為困難，因為不同基地台傳送給使用者的資料必須進行同步，以利使用者自不同連線收到相同的資料時能獲取組合增益；但來自不同基地台的資料不一定會通過網路中特定的路由器(router)，因此如何獲取上鏈的組合增益成為另一個議題。

換手技術除了藉由妥善的流程設計以確保服務不被中斷外，也被認為是一種無線資源管理(Radio Resource Management)的重要工具。系統可依據通道品質的量測來作為換手啟動(initiation)的根據，如此使用者可維持較佳的通道品質以增加資料傳輸率或減少傳輸功率的消耗，進而提升系統容量[8]；此外，系統也可根據不同基地台間負載的情況來決定是若要執行換手，以達到系統負載平衡(load balancing)的目的[4]。



1-3 研究動機

在蜂巢式系統中，由於使用者的移動性，使得換手會被經常性的執行，為了達到滿足即時性服務對中斷時間的要求，軟式換手技術被廣為使用，但目前在以 IP 為基礎之網路架構上實現軟式換手技術仍有其困難點，因此，在本論文中，我們將以 802.16 系統為例子，提出一套解決方法。802.16 系統架構在 IP 為基礎之 OFDMA 系統之上，為目前最熱門的話題，並從固定式的 802.16 系統發展出一套支援行動裝置的版本 802.16e。而對於有行動性的使用者，如何確保在其移動過程中滿足即時性服務對中斷時間的要求，成為一個重要的議題，因此本文以 IEEE 802.16e 為參考依據及 OFDM 技術的理論認知，發展出一套前置式基地台切換技術的理論並配合模擬的結果，提供未來在此系統中研究換手技術問題的一個研究基礎。本文將在各章節分別說明前置式基地台切換技術的設計理念及理論依據：第二章節介紹 OFDM 技術及 IP-based 核心網路；第三章節介紹過去系統中所使用的換手技術及適用於此系統之換手技術實現方法；第四章節介紹實現前置式基地台切換技術中，控制訊息及訊號交換流程；第五章節介紹前置式基地台切換之啟動演算法設計；第六章節為模擬結果；第七章節為全文總結並提出未來的研究展望。

第二章 以 IP 為基礎之 OFDMA 系統

目前 OFDM 技術已經被廣泛應用在廣播的寬帶數據通信、無線區域網路 (WLAN)、高清晰度數位電視 (HDTV) 和數位音頻廣播 (DAB)，非對稱的數位用戶迴路 (ADSL)。此外，還由於其具有更高的頻譜使用效率和良好的抗多路徑干擾能力，也被看好成為新一代行動通訊的核心技術之一。而多種異質性無線網路共存，從無線區域網路到蜂巢式系統，為了直接快速的向網際網路抓取所需要的資料，並且提供一個共同性且全球性的解決方法，IP_based 無線抓取網路逐漸成為主流。因此，在本章中將介紹 OFDM 技術及以 IP 為基礎之 OFDMA 系統。

2-1 OFDM 傳輸技術簡介

正交分頻多工技術 [9,10,11]-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)採用一種不連續的多音調技術，將被稱為載波的不同頻率中的大量信號合併成單一的信號，從而完成信號傳送。此種多載波(Multicarrier)的傳送方式，是將原有的資料傳輸序列從單一載波(Carrier)分配到多個不同的子載波(Subcarrier)上平行(Parallel)傳送，因此每一子載波上的傳輸間隔變大為原本間隔的數倍，使得在每個子載波上的符元間距(Symbol Duration)增加，如圖 2-1.1 所示。

OFDM 技術可以對抗頻率選擇性衰落或窄帶干擾。在單載波系統中，單個衰落或干擾能夠導致整個通信鏈路失敗，但是在多載波系統中，因每個載波同時受到衰減的機率很小，因此，對這些子通道可以採用錯誤更正碼(error correction coding)來進行糾錯。

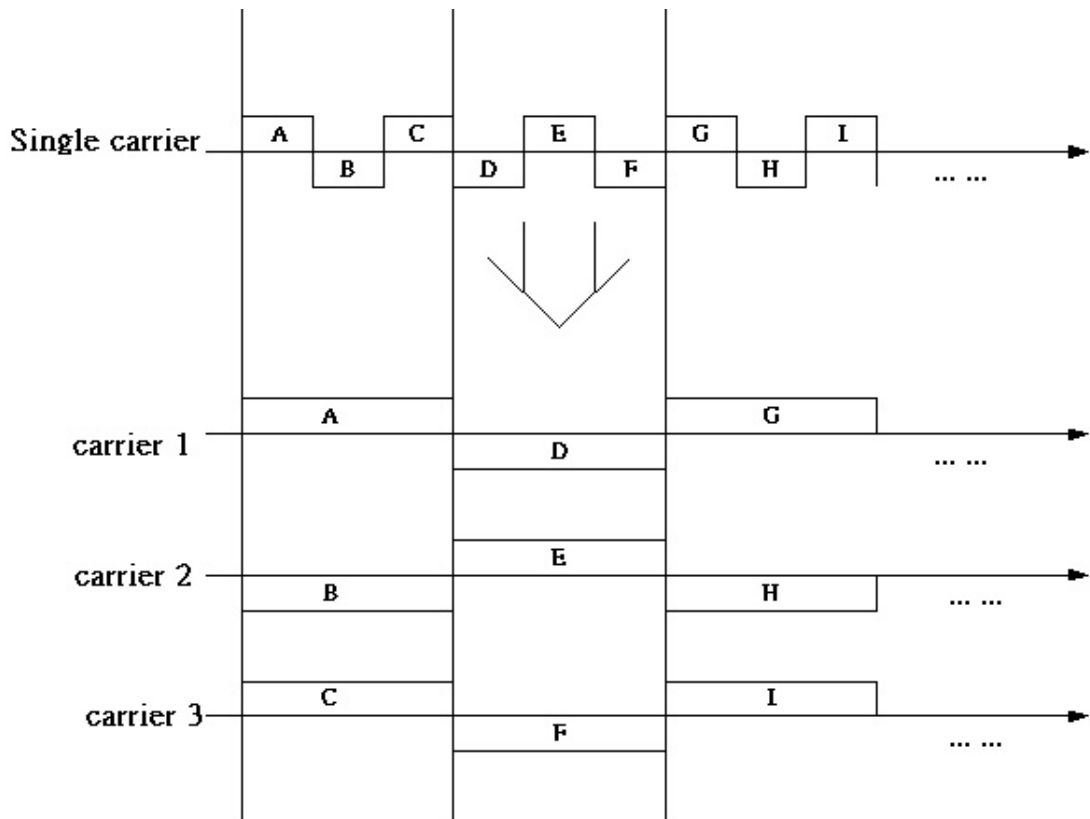


圖 2-1.1 OFDM 技術示意圖

傳統的 FDM (分頻多工) 理論將頻寬分成幾個子通道，中間用保護頻帶來降低干擾，它們同時發送數據。而 OFDM 系統比傳統的 FDM 系統要求的頻寬要少得多。由於每個子載波間具有正交性，子載波彼此之間不會產生干擾，因此頻譜可以相互重疊且不需保護頻帶。因此，OFDM 系統比傳統分頻多工系統具有較好的頻寬效益(Bandwidth Efficiency)[12] (其頻譜如下圖 2-1.2 所示)。

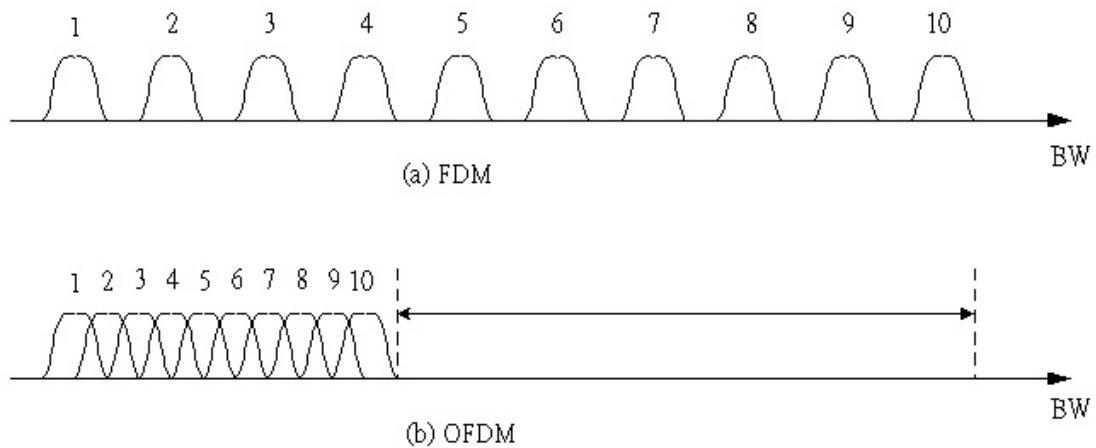


圖 2-1.2 傳統(a)FDM 與(b)OFDM 的頻譜

子載波上所傳送的符元使用相移鍵控(Phase-Shift Keying, PSK)或正交振幅調變(Quadrature-Amplitude Modulation, QAM),子載波上的符元組成一個 OFDM 區塊(OFDM Block), OFDM 時域信號為所有調制後的子載波所構成,其基頻數學表示式(1)與傳送端調制器示意圖 2-1.3 :

$$s(t) = \begin{cases} \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp\left(j2\pi \frac{i}{T}(t-t_s)\right), & t_s \leq t \leq t_s + T \\ 0 & , t < t_s \text{ and } t > t_s + T \end{cases} \quad (1)$$

d_i : 複數的符元, N_s : 子載波的數目, T : 子載波符元區間

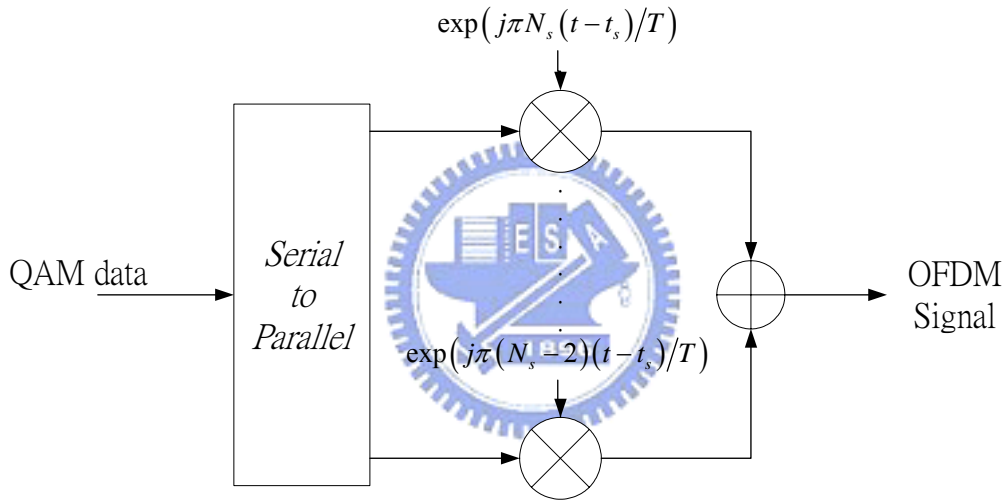


圖 2-1.3 OFDM 系統傳送端調制器示意圖

上述為基本的類比正交多載波調制系統,需要多組的傳收機傳送 OFDM 信號,其複雜度太高;實際上的 OFDM 系統採用快速傅立葉(IFFT/FFT)的方式來實現,因此不需要同時設計多組的傳收機。首先將 OFDM 信號以 kT_s 取樣,則 OFDM 信號如式(2)

$$s(t) = \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp\left(j2\pi \frac{i}{N_s T_s}(t-t_s)\right)$$

$$s(k) = \frac{1}{N_s} s(t = kT_s) = \frac{1}{N_s} \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp\left(j2\pi \frac{ik}{N_s}\right), \quad k = 0, 1, \dots, N_s - 1 \quad (2)$$

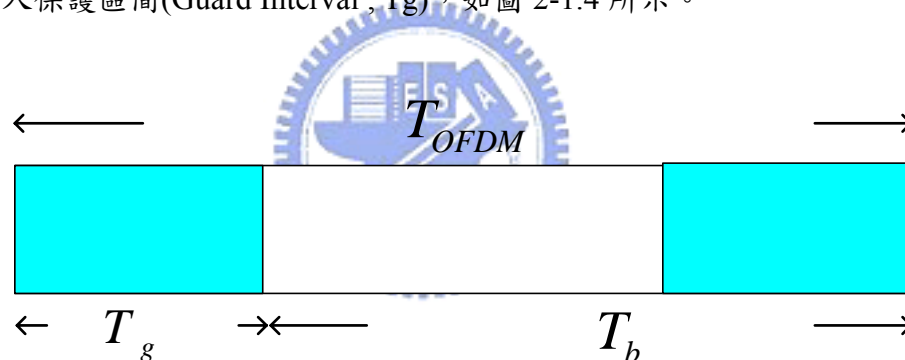
$$\Rightarrow s(k) = FFT^{-1} \left\{ d_{i+N_s/2} \right\}$$

由式(2)，以時域(Time Domain)與頻域(Frequency Domain)的觀點來看，OFDM 信號為時域的類比波形取樣點，而符元則為頻域上每個子載波的信號。因此，OFDM 系統可以傅立葉轉換之方式實現代替多載波調製和解調。

為了以數位方式作傅立葉轉換，必須對信號取樣，而且取樣信號必須滿足取樣定理(Sampling Theorem)，即取樣頻率必須大於等於兩倍信號頻寬，若使用所有子載波載送信號，則信號頻寬會大於 0.5 倍取樣頻率，如此無法滿足取樣定理，若是增加子載波數，則頻寬會接近 0.5 倍取樣頻率，當子載波數趨近於無限多時才會滿足取樣定理。

實際上並不能使用無限多的子載波，因此，真正傳送信號的子載波數必須小於總載波數，以滿足取樣定理。不送信號的子載波稱之為虛擬載波(Virtual Carriers)。

因為多路徑延遲擴散除了造成符元之間的干擾外，也會造成不同 OFDM 區塊間的區塊間干擾(Inter-block Interference, IBI)，為了消除此干擾，在每一 OFDM 區塊中加入保護區間(Guard Interval, T_g)，如圖 2-1.4 所示。



Where the is the same

圖 2-1.4 OFDM 之保護區段

保護區間的長度必須大於所預期之最大傳輸延遲擴散(Max Delay Spread)，使得 OFDM 區塊不會干擾下一個 OFDM 區塊。此外，若保護區間內不送信號，則會引起載波間干擾(Inter-carrier Interference, ICI)，載波之間不再具有正交性如圖 2-1.5 所示。

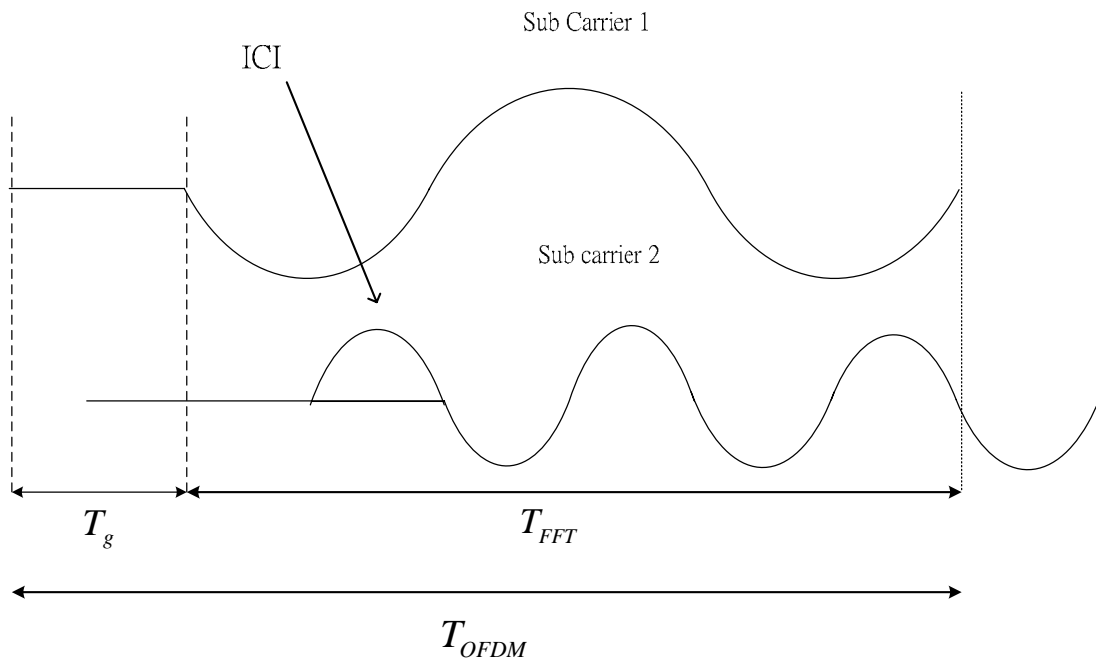


圖 2-1.5 ICI 之示意圖

為了維持正交性，選擇保護區段之信號為 OFDM 區塊之循環展延如圖 2-1.6，只要傳輸延遲擴散小於保護區間，則在一個完整 FFT 區間中總是有整數倍週期的弦波，如此將不會有 ICI 現象發生，可維持 OFDM 系統之正交性，我們以下面的例子說明。

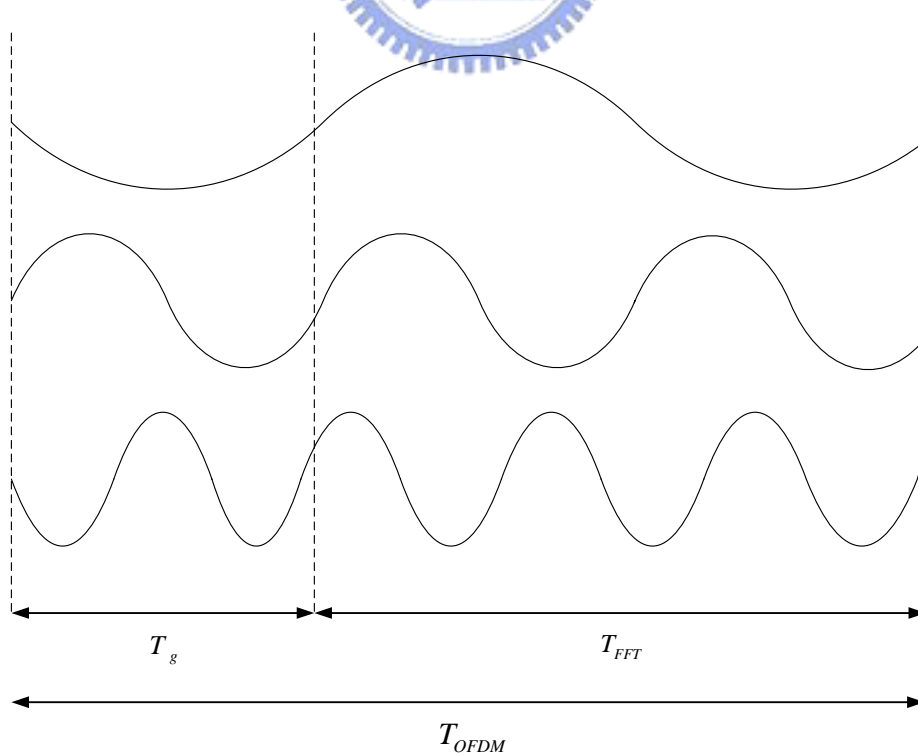


圖 2-1.6 OFDM 區塊之循環展延

以兩個路徑的傳輸為例，因第二路徑的 OFDM 信號延遲，在 OFDM 符元邊界處有相位跳躍產生。對於第二路徑信號而言，其相位跳躍發生在第一個路徑之後的某一特定延遲。當此延遲小於保護區間，則在完整的 FFT 區間中不會有相位跳躍，因此雖然 OFDM 信號有相位的變化，但是載波之間仍然維持正交性，若是延遲大於保護區間，則在 FFT 區間內會有相位跳躍，使得載波之間失去正交性。

由此可知，OFDM 系統載波之正交性的重要，因此在接收端必須進行同步的動作，只要同步誤差小於保護區間，則 OFDM 區塊之各載波間仍維持正交性，同步誤差僅造成相位偏轉(Phase Rotation)，可利用通道估測的方式加以補償，因此接收端仍可作正確的解調變。反之，若是正交性被破壞，則接收端便無法進行正確的解調變。

此外，OFDM 系統另一重要問題為峰值對均值功率比 (Peak to Average Power Ratio, PAPR)，由於 OFDM 信號為多個載波組合而成，因此其信號功率會隨著子載波所載之符元不同而變化，若變化之範圍超出功率放大器之線性區域則產生非線性失真，因此在多載波時必須考慮 PAPR 問題，以減少功率放大器之非線性失真。

總而言之, OFDM 技術的主要優點如下：

1. 該技術對傳輸線路上的多路徑外界信號干擾有較強的抵抗力，不需要複雜的時間等化器，可降低複雜度。非常適合工作在一些惡劣的通信環境中。在一個固定最大擴散延遲的系統中，OFDM 可以簡單的克服延遲擴散所引起的信號干擾，而單載波系統卻需要一個複雜度相當高的等化器來消除延遲擴散所引起的信號干擾。
2. 在緩慢的時變通道中，可以根據每個子載波的訊號雜訊比來調整每個子載波的資料傳輸速率，以提升系統的容量。
3. OFDM 系統具有頻率分集(Frequency Diversity)的效果，比單載波機制更能夠對抗窄頻干擾。

OFDM 系統與單載波機制相比，也有一些缺點，可說明如下：

1. OFDM 系統對於頻率偏差與相位雜訊較為敏感，容易破壞正交性而造成 ICI。
2. 峰值對均值功率比相對較大，造成非線性失真，會增加功率放大器之設計複雜度。

2-2 蜂巢式 OFDMA 無線存取網路

蜂巢式網路為目前行動電話所使用的重要基礎架構，基本上由一群六角型彼此相接的單位細胞(cell)所組成，系統包含了行動電話交換中心、基地台(BS)，和行動用戶(MS)三部份。一個基地台控制一到多個的蜂巢或稱細胞(cell)，每個蜂巢有自己的控制頻道、多個通話頻道…等，半徑約 2~20 公里，細胞間彼此相接，形成蜂巢式的大片涵蓋區域，可支援行動用戶在不同細胞間的移動性，如圖 2-2.1 所示。

每個基地台透過線路(或微波)連結到行動電話交換中心(Mobile Switching Center, MSC)，此交換機又與公眾網路交換機相接，各基地台的控制頻道可隨時將細胞內的用戶資料傳遞至行動電話交換機中心，使行動用戶可撥出或接收電話，且在各細胞間可以進行頻率切換。

早期蜂巢式行動電話系統採用類比方式，但由於電話容量不足，無法進行數據通訊等缺點，因此新一代的蜂巢式行動電話系統採用數位方式。

OFDMA 的方式，可以將整個頻帶分成很多子通道，不同的子通道可以分配給不同的使用者，每個子通道之間彼此正交且頻譜可重疊，可同時支援多用戶信號的抓取，且在抵抗多徑效應、頻率選擇性衰落或窄帶干擾上具有明顯的優勢。目前熱門的系統如 WiMax，便是採用 OFDM 的調製技術。

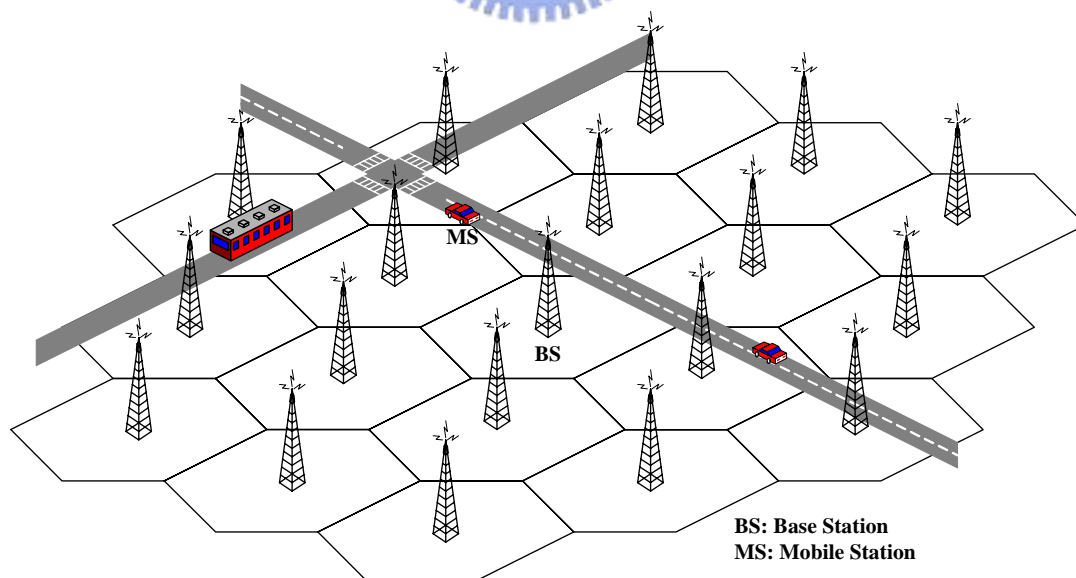


圖 2-2.1 蜂巢式網路架構

2-3 以 IP 網路為基礎之 OFDMA 系統

目前行動資料服務的趨勢朝向高速及多媒體行動網路服務，例如照相功能、多媒體訊息，網路遊戲、串流式影音…等；而且從無線區域網路到蜂巢式系統，多種異質性無線網路共存，為了直接快速的向網際網路抓取所需要的資料，並且提供一個共同性且全球性的解決方法，以 IP 為基礎之無線抓取網路逐漸成為主流。

過去各電信業者在 3G 系統中建置了功能強大的專屬核心網路（core network），以確保語音服務的品質與數據資料的傳送可透過單一網路支援，但目前電信公司和電話製造商熱中於把語音電話服務搬上網際網路，運用網路電話（VoIP）技術進行通話，以大幅降低成本，把所需系統簡化為單一的網際網路協定（IP）網路。單來說，以 IP 為基礎之核心網路有具有以下特點[13]：

1. 其核心網路是採用 IP（Internet Protocol）的技術
2. 一個共同的 IP 核心網路必須要支援各種異質性無線抓取網路，如圖 2-3.1 所示。
3. 當使用者有移動性（mobility），必須要支援使用者在大範圍中各種聲音、資料、和多媒體等服務。
4. IP-based 之無線抓取系統可無縫式（seamless）的整合快速成長的行動資料和多媒體服務至網際網路，來達到全球性的漫遊。



圖 2-3.1 IP network 支援異質性無線通訊技術 [13]

以 IEEE 802.16 標準為例子，其背後便是使用以 IP 為基礎的核心網路，並採用 OFDMA 的調變技術。在 IEEE 802.16g-04/03r2 [14]中，提出了一些在以 IP 為基礎之架構下，IEEE 802.16[15]及 IEEE 802.16e[16]中標準化介面的行為，以達到更有效率的安排網路資源、行動性及頻譜。其所提出的是一分散式 (distributed)網路配置如圖 2-3.2 所示，每個基地台都是直接連接到 IP 網路，基地台本身可視為有閘門(gateway)及路由器(router)的功能。其中 NCMS(Network Control and Management System)作為不同基地台之間的介面，基地台之間的協調都是經由 NCMS 來達成，但其控制的方法是分散式的。NCMS 並可負責網際網路中 IP 位址的安排，安全性的服務等功能。

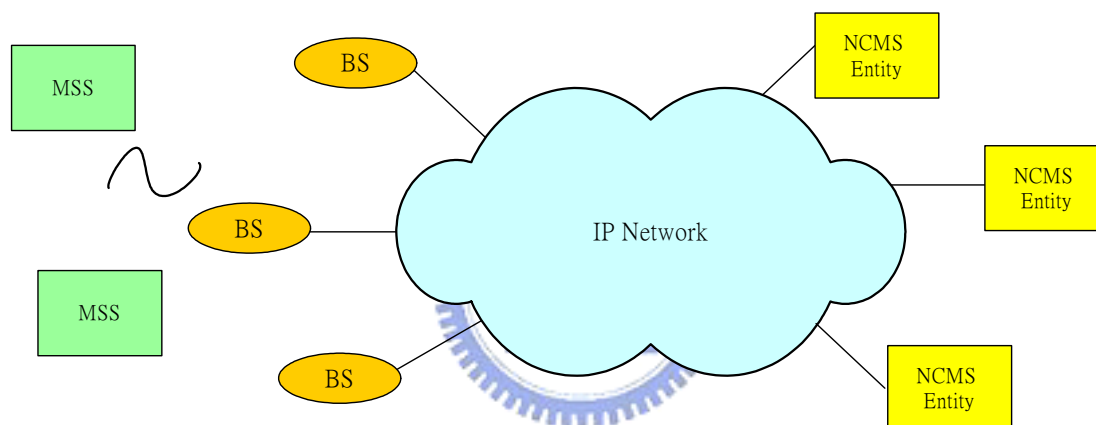


圖 2-3.2 IEEE802.16g 分散式網路架構[14]

802.16 標準主要包括 802.16a、802.16d 和 802.16e 三個標準。802.16a 是為支援在 2-11GHz 頻段的非視距(NLOS)寬帶固定接入系統而設計的，802.16d(802.16-2004)是 802.16a 的增強型，802.16e 則是 IEEE802.16a/d 的進一步延伸，其目的是在已有標準中增加數據移動性，802.16e 標準目前已在 2005 年發布，但仍在修訂當中。

	802.16	802.16a/d	802.16e
完成日期	2001 年 12 月	2003 年 1 月/ 2004 年 Q4 前	預計 2004 年底
應用方向	最後一哩及 Backhaul	最後一哩及 Backhaul	手持式行動裝置
頻譜規格	10~66GHz	2~11GHz	2~6GHz
傳輸條件	LOS	非 LOS	非 LOS
傳輸速率	32~134Mbps (通道頻寬為 28MHz)	75Mbps (通道頻寬為 20MHz)	15Mbps (通道頻寬在 5MHz)
調變技術	QPSK,16QAM,64QAM	QPSK,16QAM,64QAM 採 256 子載波 OFDM	QPSK,16QAM,64QAM 採 256 子載波 OFDM
移動性	固定性	固定性	具移動性
通道頻寬	20,25 及 28MHz	1.5~20MHz	1.5~20MHz
傳輸距離	1~3 英哩	4~6 英哩	1~3 英哩

表 2-3.1 802.16 主要標準比較[17]

碼框 (frame) 結構

IEEE 802.16-2004[15]系統採用的是正交分頻多重抓取 (OFDMA) 技術，其多載波及多通道的特性，可同時支援多個使用者，有 FDD 及 TDD 兩種模式，我們以 TDD 模式之點對多點(Point to Multi-Point, PMP)碼框結構作一個介紹。

根據 IEEE 802.16-2004 標準中，其碼框長度有 2, 2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5 和 20ms 不同的選擇，由圖 2-3.3 可看出，每個碼框又分成下鏈子碼框 (DL subframe) 和上鏈子碼框 (UL subframe)。其中下鏈子碼框包含了 preamble, FCH(frame control header), DL_MAP 和 UP_MAP 及下鏈給使用者的資料區塊。DL_MAP 和 UP_MAP 最主要在提供使用者資料會被分配在下鏈子碼框和上鏈子碼框的哪一塊區域內；上鏈子碼框包含了使用者上鏈的資料區塊及調距子通道(ranging subchannel)。

下鏈的子通道置入 (subchannel allocation) 方式有兩種：

1. Partial Usage of Subchannel(PUSC): 部分的子通道被分配給傳輸端使用
2. Full Usage of Subchannel (FUSC): 全部子通道都被分配給傳輸端使用

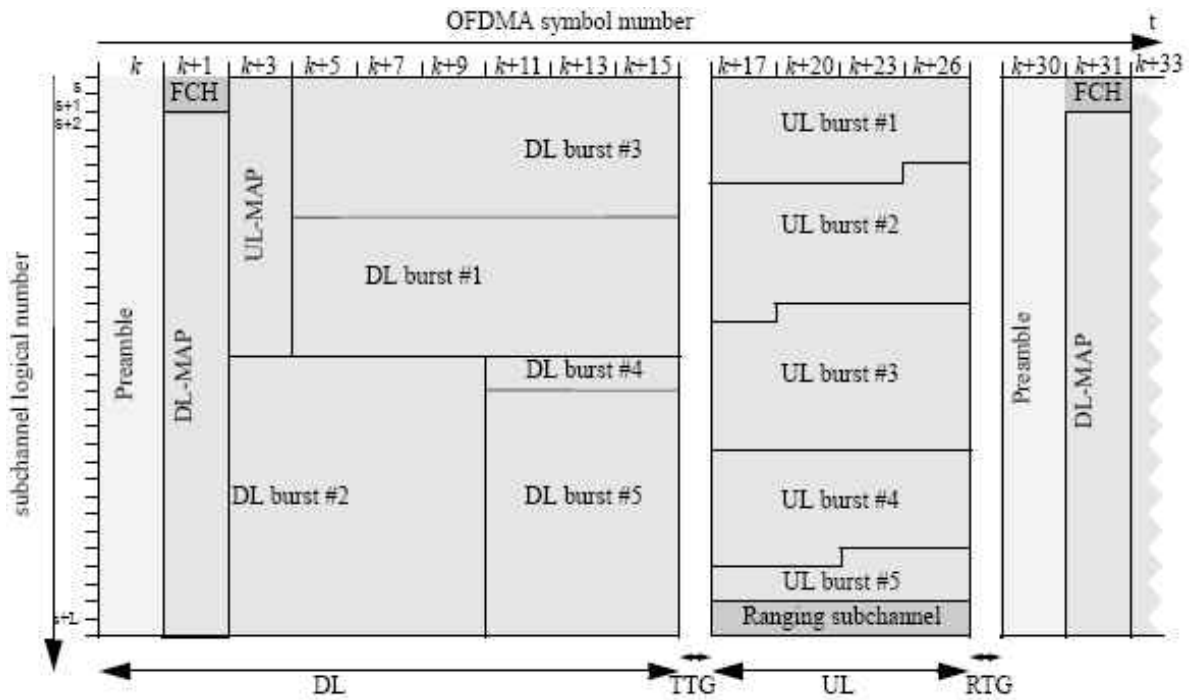


圖 2-3.3 TDD 模式之碼框示意圖[15]

我們這裡所選用的是 FUSC 的方式，其載波置入 (Carrier Allocation) 的分配，是根據 IEEE 802.16-2004[15]所提出的方法。由表 2-3.2 可看出，下鏈載波共 2048 個，真正會使用到的載波是 1703 個，不會使用的到的載波左右各 173 個與 172 個，先把領航(Pilot)載波分配完後，再將剩下的子載波用(3)式分成 32 個子通道(Sub-Channel)，其中有 48 個資料載波。

Parameter	Value	
Number of DC carriers	1	
N_{used}	1703 (include pilots and DC carrier)	
Guard Carrier: Left, Right	173	172
Number of data subcarriers	1536	
Number of data carriers per subchannel	48	
Number of subchannels	32	
PermutationBase	{3,18,2,8,16,10,11,15,26,22,6,9,27,20,25,1,29,7,21,5,28,31,23,17,4,24,0,13,12,19,14,30}	

表 2-3.2 載波置入之分配[15]

$$subcarrier(k, s) = N_{subchannels} \cdot n_k + \left\{ p_s \left[n_k \bmod (N_{subchannels}) \right] + ID_{cell} \right\} \bmod (N_{subchannels}) \quad (3)$$

$subcarrier(k, s)$: 第 s 個子通道中的第 k 個子載波

s : 子通道編號，從 0 ~ 31

n_k : $(k + 13 \cdot s) \bmod N_{subcarriers}$, k 是子載波在子通道中的編號

$p_s[j]$: 把排列基底向左移 s 次所得到的新序列

ID_{cell} : 從 0 到 31 的整數，代表基地台的編號

$X_{\bmod k}$: X / k 所得到之餘數

由此可知，每個子通道的載波，是分散在這 1703 個載波之中，由圖 2-3.4 可以大略看出，每個子通道的 53 個載波，並不會連續的從這 1703 個載波取出，而是跳躍的取出，且不同的子通道，不會取到相同的載波。

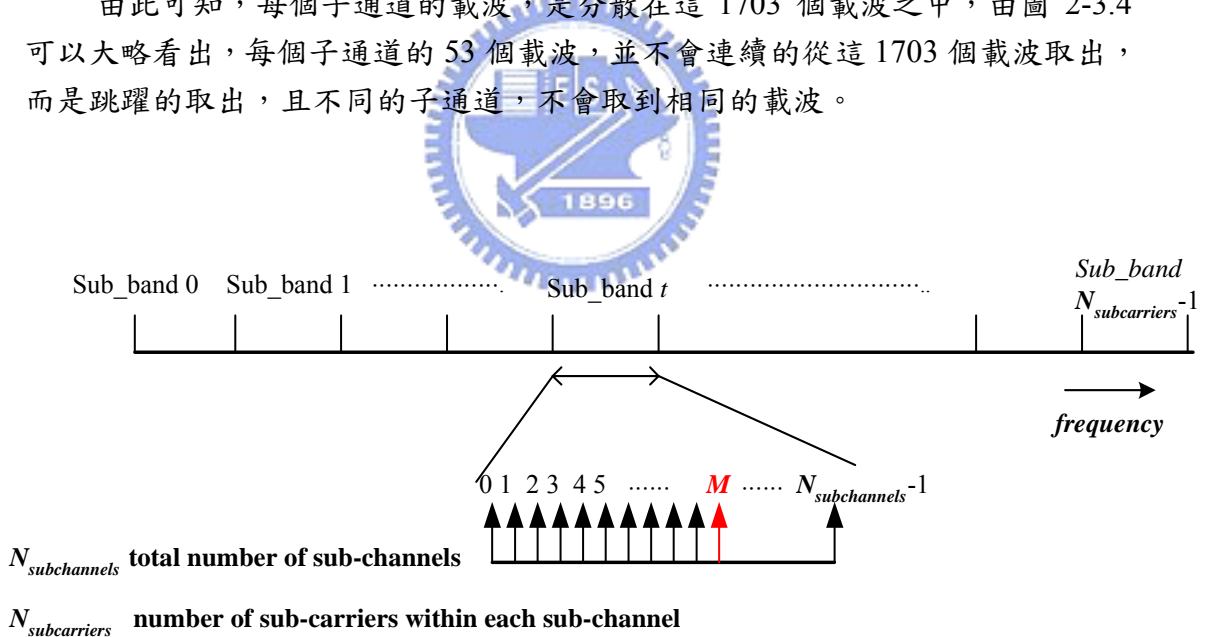


圖 2-3.4 載波置入示意圖[15]

目前在 IEEE 802.16e 的版本中，才提出支援使用者移動性的換手機置，但因為 IEEE 802.16e 是建置在 OFDMA 系統之上，因此，具有移動性的使用者基本上是採用硬式換手技術，但無法滿足即時性服務對中斷時間的要求。因此如何在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中實現有效率的換手機置，以支援即時性服務的換手技術，成為本論文重要的議題。

第三章 前置式基地台切換技術

目前的行動通訊系統支援了使用者在不同區域之間的移動性，但使用者的移動會造成訊號強度變動而導致服務品質變差，因此，為了維持連線品質及避免不必要的功率消耗和干擾，如何在不同的基地台之間適時的切換，以確保使用者連線至通道品質較佳且負載較輕的基地台，成為行動通訊系統中一個重要的課題。

在過去第一代行動通訊系統(如 AMPS)，其換手的方法非常簡單。第二代行動通訊系統(如 GSM)，其換手的方法較第一代更為進步，在作基地台切換時，其延遲時間較短，使用者比較不容易查覺，但採用的皆是硬式換手技術(Hard Handoff)。直到 CDMA 系統出現，帶動了軟式換手技術(Soft Handoff)興起。但目前最熱門的系統-WiMax，其網路架構改變，並採用 OFDM 技術，在這樣的系統架構下，軟式換手技術似乎不那麼容易被實現；因此，在此章中，我們將對硬式和軟式換手技術作一個介紹，並探討其對於以 IP 為基礎之 OFDMA 系統之適用性，接著提出在以 IP 為基礎之 OFDMA 的系統中前置型基地台切換(Proactive Base Station Switching)技術的基本理論。



3-1 換手技術簡介

由於使用者的移動性，當使用者由一個基地台的涵蓋範圍移動到另一個基地台的涵蓋範圍時，就必須啟動換手機置，將使用者的服務適時的切換到另一個基地台，一般來說，執行換手的目的如下：

1. 當使用者跨越細胞邊緣時，必須執行換手以滿足服務的連續性。
2. 維持服務品質(QoS)。
3. 當使用者總是可以和對本身來說通道品質最好的基地台連線，可減少功率消耗或增加傳輸速率，降低對系統整體的干擾。
4. 支援使用者在不同異質性網路間的漫遊(Roaming)。
5. 將系統負載平均分散到不同基地台，以達到負載平衡(Load balancing)的目的。

而連線品質的改變，服務性質的改變，使用者速度的改變，以及通道流量改變等都可能是造成啟動換手機置的原因。我們從三個觀點把過去在不同通訊系統中所使用的換手技術分成三類[5]，如表 3-1.1。

■ 系統整合觀點

System Interoperation	<p>■ Intra-system Handoff: Handoff occurs within one system, which can be further divided into :</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Intra-frequency handoff: Handoff with the BSs using <u>the same</u> carrier frequency □ Inter-frequency handoff: Handoff with the BSs using <u>different</u> carrier frequencies
	<p>■ Inter-system Handoff: Handoff with the BSs using to different radio access technologies. ex: handoff from GSM system to WCDMA system</p>



■ 換手執行流程

Handoff Procedure	<p>■ Hard handoff: <u>Breaking</u> existing connection <u>before making</u> a new one</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Inter-cell hard handoff Handoff with different <u>base stations</u> □ Intra-cell hard handoff Handoff with different <u>sectors</u> within the same base station
	<p>■ Soft handoff: <u>Making</u> new connection <u>before breaking</u> existing one</p> <ul style="list-style-type: none"> □ Inter-cell soft handoff Handoff with different <u>base stations</u> □ Intra-cell soft handoff (Softer handoff) Handoff with different <u>sectors</u> within the same base station

■ 換手啓動機置

Handoff Initiation	<p>■ Mobile initiated:</p> <p>MS makes link quality measurements, then makes the handoff decision with the network cooperation.</p>
	<p>■ Network initiated:</p> <p>BS or network controller makes the measurements and the handoff decision.</p> <p>The measurement may include loading on network / radio resources and capacity</p>
	<p>□ Network initiated with mobile assisted:</p> <p>BS or network controller makes the handoff decision with the reported link quality measurements by MS</p>

表 3-1.1 換手技術之分類

在以換手執行流程為分類中，我們把換手技術分為硬式換手(Hard Handoff)和軟式換手(Soft Handoff)，硬式換手技術一次只能和一個基地台建立連線，且和新的基地台建立連線之前，就先中斷原有的連線，造成使用者在切換過程中有被中斷的感覺；軟式換手技術則是先和其他基地台建立連線，同時傳收資料，最後才把訊號品質不好的基地台移除掉。軟式換手技術的興起，是為了克服硬式換手所不能達到的連線品質要求，但也必須付出一些額外的代價；相較於硬式換手技術，軟式換手技術的優缺點如下[4,5]:

1. 優點

- a. 可消除硬式換手技術所造成的”乒乓效應 (Ping-Pong Effect)”，減少使用者在兩個相同基地台間來回切換，不僅增加網路層的負擔，也造成使用者在通話過程中，有斷斷續續的感覺。
- b. 硬式換手技術為了克服乒乓效應，必須要適當的設定一個遲滯值(hysteresis)，也就是換手對象的基地台的訊號強度要高於原本提供服務的基地台這個遲滯值，才能進行換手，在此過程中，原本提供服務的基地台就必須增加傳輸功率以對抗干擾，但同時又造成系統整體干擾的上升；軟式換手技術則不需要設定遲滯值，可先與訊號品質符合要求的基地台建立連線，由多個基地台傳收資料，可減少上鏈時對系統所造成的干擾。

- c. 軟式換手技術因為可以在中斷原有服務之前，就先和其他基地台建立連線，因此可不受限於網路層換手所造成的時間延遲。

2. 缺點

- a. 因為同時要和多個基地台建立連線，因此造成系統資源的消耗，並對系統中其他使用者造成下鏈干擾。
- b. 其執行流程較硬式換手技術複雜。

目前無線通訊網路漸漸走向以網際網路(IP)為基礎，因此，我們參考了一些以 IP 網路為基礎之換手技術關文章[7,18],發現在以網際網路為基礎的系統中,由於換手的流程牽涉到背後廣大的網際網路，因此，雖然有許多文章提出了採用 SIP、Mobile IP 或是 Cellular IP 的方式，但仍無法有效縮短網路層所造成的換手時間延遲。在這些文章中，大都將換手的流程分為網路層級換手(Network Layer Handoff)及鏈結層級換手(Link Layer Handoff), 並再加以區分為:

1. 前置式(Proactive): 執行鏈結層換手之前會預先執行網路層換手。
2. 後置式(Reactive): 執行鏈結層換手之後才執行網路層換手。

在本篇論文中，我們是在 intra-system mobile-initiated 的基礎下，並利用前置式(Proactive)換手的機置，來改善換手技術流程，以期在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統下滿足即時性服務在換手時對於中斷時間的要求。

3-2 換手技術在 IP 網路中對即時性服務之影響

過去已有許多的文獻[4,5,27]在討論硬式換手技術和軟式換手技術的優缺點。軟式換手技術能提供較好的通訊品質，減少干擾，並避免在硬式換手技術中常見的乒乓效應 (Ping-pong Effect)，但其缺點為複雜度較高及需要消耗較多額外的資源。

在 CDMA 系統中，軟式換手技術已被普遍採用，其效果也為大家所接受，但為什麼在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中，我們不用軟式換手技術，而提出一個以硬式換手技術為基礎所衍生出的前置式基地台切換技術，我們從三個方面來探討:

1. 網路架構的改變：

如圖 3-2.1 左半邊所示，過去在 WCDMA 系統中，軟式換手技術之所以能夠獲取很大的增益，是因為業者會架設專屬的核心網路(core network), 而此核心網路由一個控制中心(Radio network controller, RNC)所主宰，可負責其範圍內基地台的動作及資源的分配。從下鏈(Downlink)的角度來看，此 RNC 會協調在

Active set 中各基地台傳送封包給 MS 的時間點，以維持同步，使得 MS 端不需要使用很大的緩充區 (buffer) 來等待不同時間點到達的封包收完才對這些封包作組合(combining)；從上鏈 (Uplink) 的角度來看，使用者傳給不同基地台的封包，可以預先在 RNC 可作組合，而所得到的組合增益(combining gain)可減少錯誤率及使用者輸出功率，為軟式換手技術最大的優點之一。由此可知，在實現軟式換手技術的過程中，RNC 此種集中式(centralized)的控制機置占有舉足輕重的地位；但如圖 3-2.1 右半邊所示，我們發現以 IP 為基礎的系統中，業者直接和網際網路相連，雖然有 NCMS 這個機置，但此種分散式(distributed)的控制機置下，每個基地台的封包不必然會通過 NCMS。不再架設專屬的 RNC,雖然節省了成本，但卻使得軟式換手技術在上鏈和下鏈時，缺少協調和控制的機制，若要在此架構下實現軟式換手技術，不僅無法得到組合增益，在無線端又因為同時維持多條連線而造成無線資源的浪費。

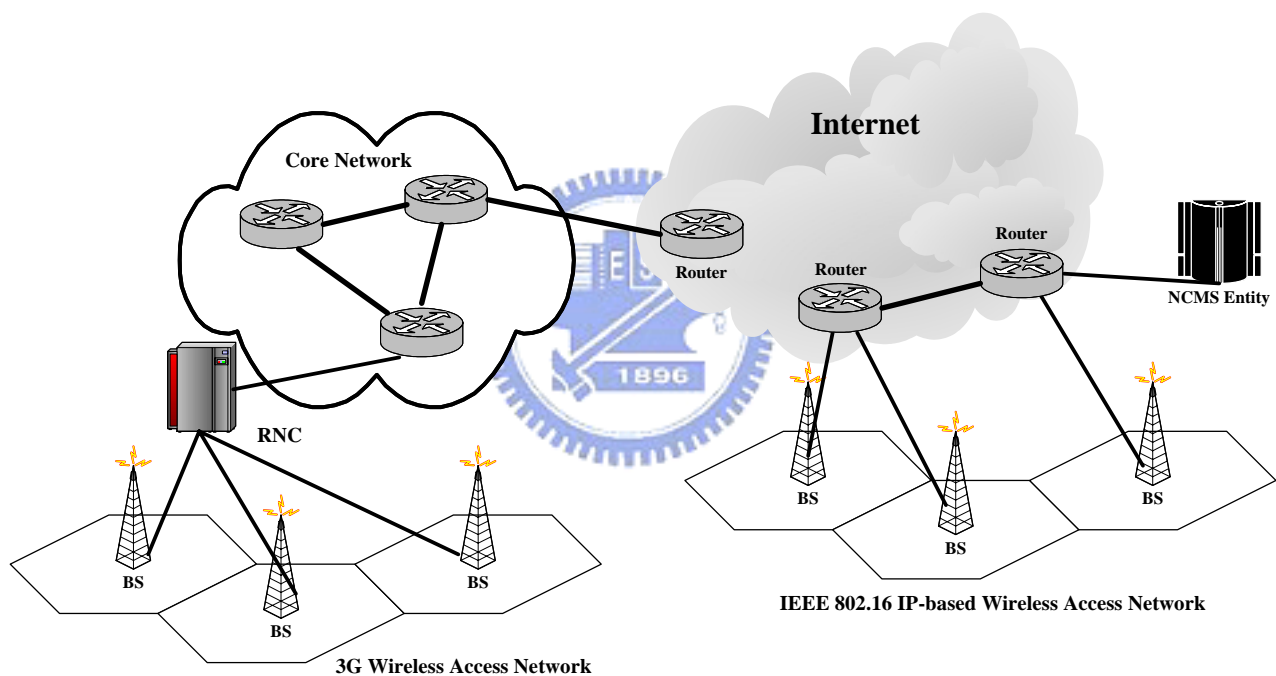


圖 3-2.1 Network Structure

2. 硬體成本的限制

在 CDMA 系統中，軟式換手技術之所以容易實現，是因為其頻率重覆使用因子(reuse factor)為 1，因此能夠同時接收來自不同基地台的訊號而作處理，但在 OFDMA 架構下，每個子通道 (subchannel) 都是由不同子載波(subcarrier)所構成，使用者無法同時接收來自不同頻段的訊號。

圖 3-2.2 為接收機之晶片模組示意圖，其中和基頻 (baseband) 接收機相關

的三個模組分別為 Synchronisation, FFT, Viterbi，若我們想要在此系統下實現軟式換手技術，同時由多個基地台接收封包並解出來，就需要多套完整的基頻接收機模組；若是採用我們所提出的前置式基地台切換技術(Proactive Base Station Switching)，因為實際上一次只接收一個基地台的封包並作解調，所以只需要多套 Sync 的模組來解不同基地台的 preamble，和一套完整的基頻接收機模組來解資料封包。由於硬體成本和晶片面積是成比例的，由此可知，若採用前置式基地台切換將會使晶片面積和成本大幅下降。

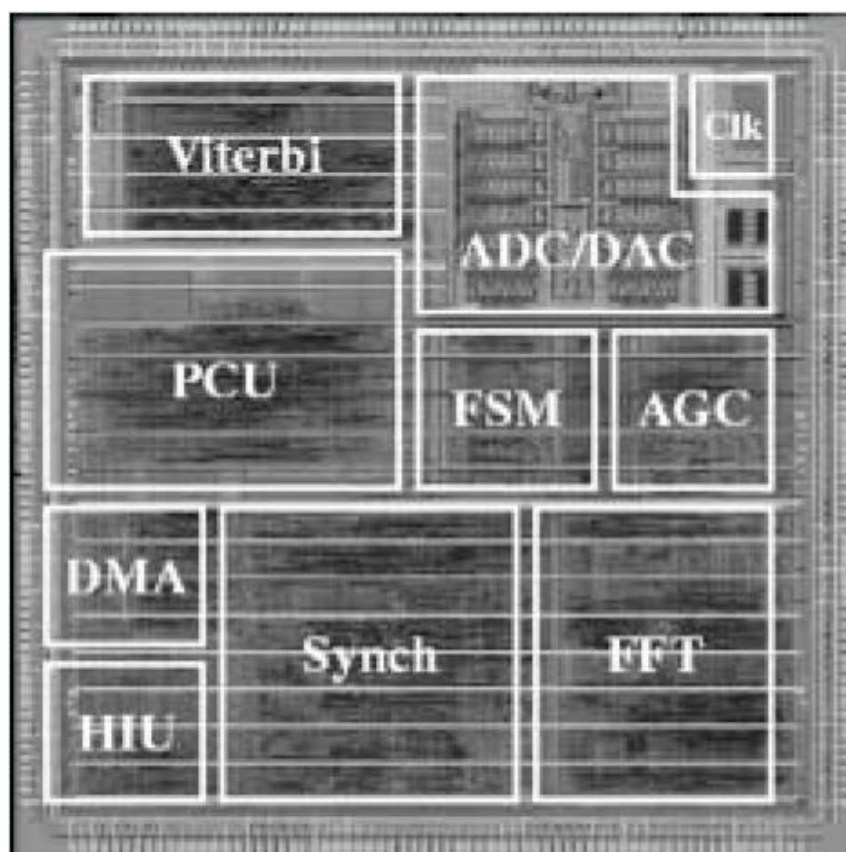


圖 3-2.2 Baseband and MAC processor chip

3. 服務中斷時間的要求

我們分別由網路層 (network) 和鏈結層 (link) 的觀點，來探討造成服務中斷的原因：

A. 硬式換手技術(Hard Handover)：

- a. 網路層：沒有預先和其他基地台作任何的溝通，因此使用者的封

- 包，只會傳給目前提供服務的一個基地台(Anchor Base Station.)。
- b. 鏈結層：一次只和一個基地台建立連線，在換手時，必須先和原來提供服務基地台斷線後，才能和另一個基地台開始建立新的連線。因重新建立連線，其時間延遲較久，容易讓使用者有不舒服的感覺。

圖 3-2.3 為硬式換手技術演算法示意圖。由圖中可知，當使用者從 BS1 接收到的訊號強度低於 BS2 一個 Th_HHO 時，才開始啟動換手的動作，因此，換手執行所造成服務中斷的時間(Service Disruption time)將會很長而無法滿足即時性服務的要求。

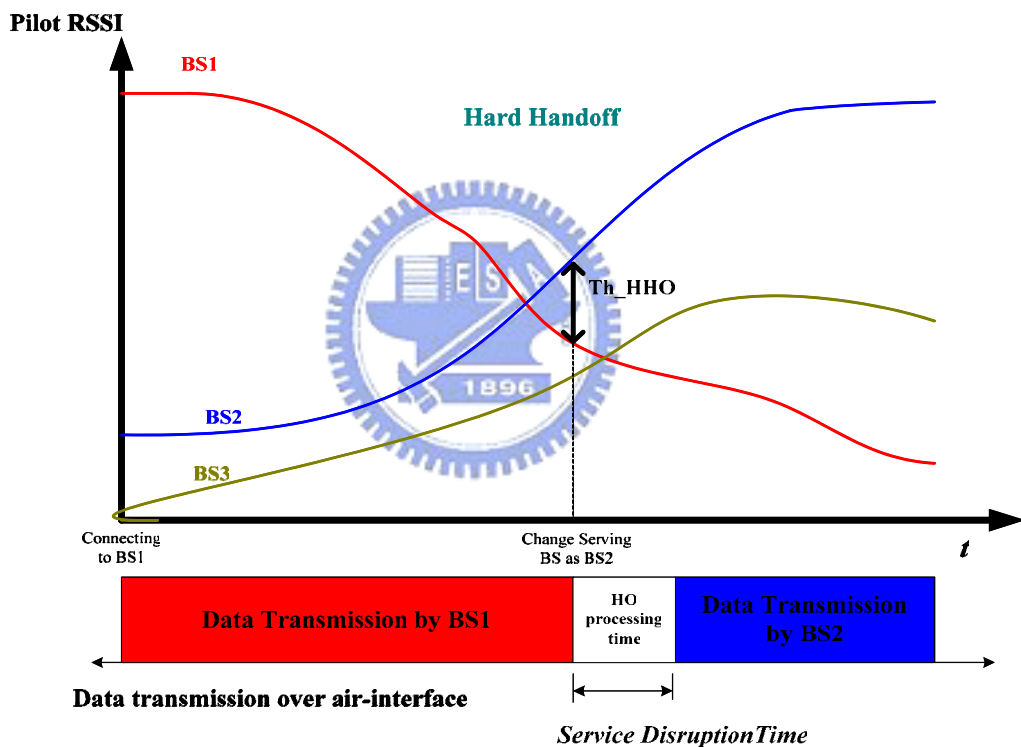


圖 3-2.3 硬式換手技術演算法

- B. 軟式換手技術(Soft Handoff)：
- a. 網路層：會預先和其他基地台作溝通，建立一個 Active Set, 因此使用者的封包，會預先傳給所有 Active Set 裡的基地台。
- b. 鏈結層：同時和 Active Set 裡的多個基地台建立連線，在換手時，已經和其他基地台建立連線並接受資料。因此，在換手的過程

中，使用者不會有被斷線的感覺。

圖 3-2.4 為軟式換手技術演算法示意圖。由圖中可知，有別於硬式換手技術，隨著使用者的移動，使用者從 BS2 接收到的訊號強度漸漸上升，當使用者從 BS2 接收到的訊號強度低於 BS1 的差小於 Th_add 時，就啟動換手的機置，當換手完成後，使用者同時由 BS1 和 BS2 接受到資料封包，因此，使用者的服務不會因為換手而遭到中斷。

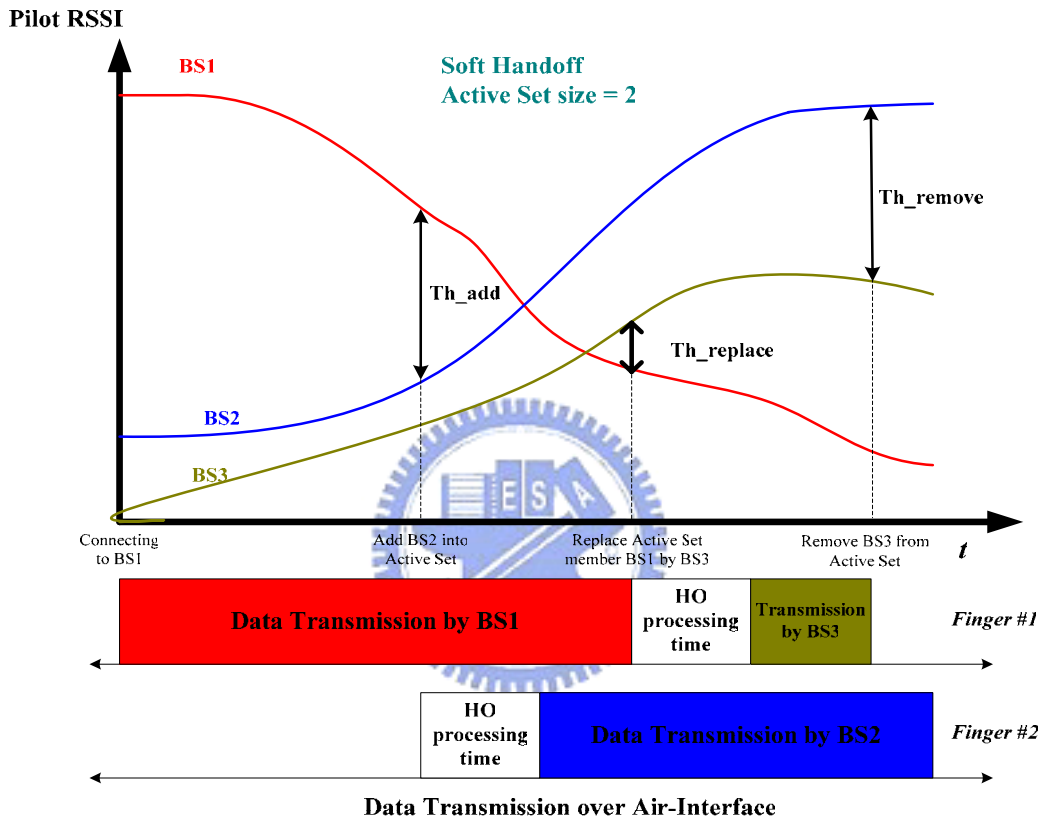


圖 3-2.4 軟式換手技術演算法

由 1.2.3 的論述中，我們可以發現在 WCDMA 系統中表現出色的軟式換手技術似乎不那麼適用於以 IP 為基礎之 OFDMA 系統，但硬式換手技術的連線品質卻又不能符合我們的需求，因此我們結合了軟式和硬式換手技術的技巧，希望在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中，使用我們所提出的“前置式基地台切換”的技術，在不增加額外硬體複雜度的情況下，達到理想的換手品質要求。

3-3 適用於即時性服務之前置式基地台切換(Proactive Base Station Switching) 技術

前置式基地台切換是結合了傳統硬式和軟式換手技術為基礎，並加以改善，其特點如下：

1. 網路層：類似軟式換手技術，會預先和其他基地台作任何的溝通，建立一個 Active Set, 因此使用者的封包，會預先傳給所有 Active Set 裡的基地台。
2. 鏈結層：類似硬式換手技術，一次只和一個基地台建立連線，在換手時，必須先和原來提供服務基地台斷線後，才能和另一個基地台開始建立新的連線。但因為在網路端，基地台之間已經預先交換了一些訊號和資料轉移的動作，因此，換手的過程中，使用者只需快速的調整鏈結層的時脈，頻率和傳輸功率，延遲時間幾乎不被察覺，其效果仍像軟式換手技術，使用者不會有不舒服的感覺。

前置式基地台切換在網路層類似軟式換手技術，維持了一個 Active Set, 使用者的封包，會傳給所有 Active Set 裡的基地台。雖然在鏈結層，和硬式換手技術一樣，使用者一次只和一個基地台作連線，並接收其封包，但因為使用者已經預先和 Active Set 裡的基地台作了一些網路層控制訊號的交換，並把封包傳給這些基地台，所以使用者要在基地台作切換時，當和原先提供服務的基地台中斷連線後，不需要再花費很長的時間作網路層中的訊號交換，而只要在無線端適當的作功率和時脈的調整，便可迅速的切換到新的基地台，此新的基地台便可以把存在本身緩充區的封包直接傳給使用者，大幅縮短了在硬式換手技術中重新建立連線造成的延遲時間，一方面達到支援使用者即時性(real time)服務的系統效能，一方面又不會在無線端同時建立多條連線而造成的資源浪費以及硬體成本的增加。前置式基地台切換示意圖如圖 3-3.1 所示。

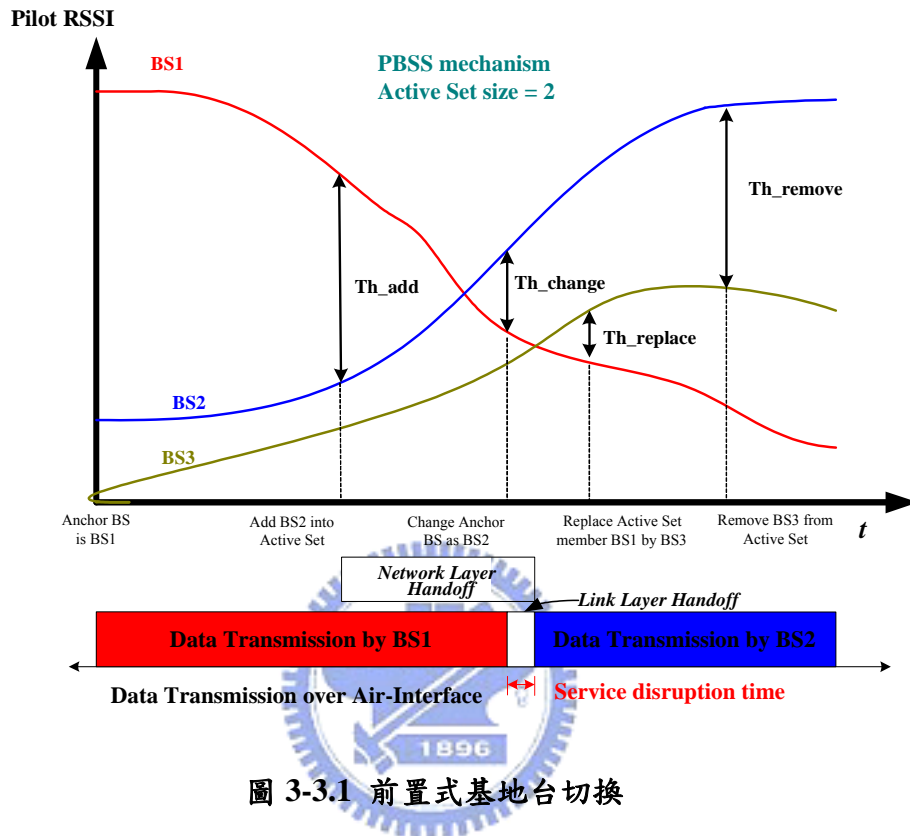


圖 3-3.1 前置式基地台切換

由圖 3-3.1 可知，要實現前置式基地台切換，必須同時考慮硬式換手技術和軟式換手技術演算法中的參數，以期結合兩者的優點，前置式基地台切換演算法將在第五章中介紹。

第四章 媒體接取控制訊號交換流程設計

IEEE 802.16e Standard 是架構在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統之上，在本章中，我們將以 IEEE 802.16e Standard[16]為例子，介紹其換手訊號之交換流程，接著提出一套新的訊號交換流程(Signaling Procedure)，以實現前置式基地台切換。

4-1 IEEE 802.16e 系統之硬式換手流程

圖 4-1.1 為 IEEE 802.16e 系統中所提出的硬式換手訊號流程，其流程簡述如下：

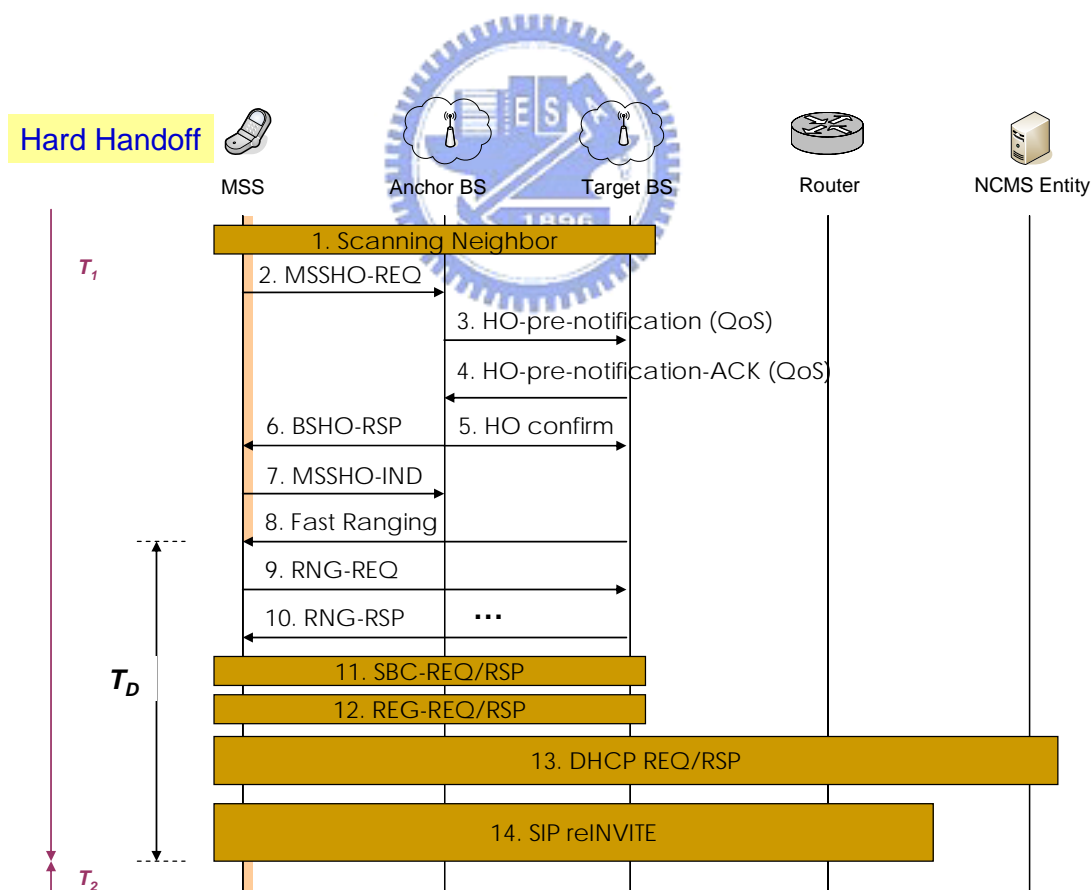


圖 4-1.1 IEEE 802.16e 系統中硬式換手流程[14]

1. MS 定期的去掃瞄鄰近的基地台。
2. 使用者對 Anchor BS 提出換手的要求 (MSSHO-REQ)，並根據先前所量測到的訊號品質提出建議的換手對象 (target BS)。
3. Anchor BS 會預先透過網路端和 target BS 作一些控制訊號及使用者資訊的交換 (HO-pre-notification)，以確保 target BS 有足夠的能力支援使用者的服務
4. Anchor BS 接到 target BS 的回覆 (HO-pre-notification-ACK)。
5. Anchor BS 通知此 target BS (HO confirm) 將成為 MS 換手的對象，此時 target BS 可預先保留一個交換控制訊號的通道給此 MS。
6. 接著通知 MS (BSHO-RSP) 確定的 target BSID。
7. MS 透過 MSSHO-IND 來告訴 Anchor BS 是否接受換手；若此訊息為接受，則 Anchor BS 切斷對 MS 的連線。
- 8.~10. MS 使用步驟 5 中 target BS 預留的 channel 作快速調距(Fast Ranging)的動作，目的為調整 MS 的上鏈功率強度 (UL power)、時間(timing)及頻率，直到 target BS 認為 MS 上鏈功率強度在可接受的範圍，並回傳一個 RNG-RSP 其狀態設為成功 (status=Success) 為止。後面將會介紹此部分的詳細流程。
- 11.~13. MS 和 target BS 完成進入網路 (network entry) 的動作，此部分包含了認證 (authorization)、註冊 (registration) 和建立 IP (DHCP) 的動作。
14. SIP reINVITE 完成後，MS 開始和新的 Anchor BS 作資料的傳送和接收。

其中 DHCP 及 SIP reINVITE 的動作主宰了 Network Layer Handoff 的時間，接下來我們將介紹 DHCP 及 SIP reINVITE 的動作流程。

1. DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)
當 MS 只是暫時連接到網路，而不須要永久的 IP 位址時，就由 DHCP 的機置動態的分配一個 IP 位址給 MS。但在分配 IP 位址之前，會先透過一個 Duplicate Address Detection (DAD)來確認此 IP 位址沒有被其他 MS 所使用，NCMS 才透過 DHCP 把位址分配給 BS，作為 MS 的 IP 位址。在 WLAN 的環境中 DAD 的動作約要花費 1500ms 的時間 [6]。
2. SIP (Session Initiation Protocol) reINVITE[19]
目的是將資料封包從原本的 IP 位址重新導向到新的 IP 位址，如圖 4-1.2。

在 T1 時間點,遠端的 IP Phone 將 MS 的資料封包透過紅色的路徑導向 IP1 的位址，在 T2 時間點，當 MS 從 BS1 切換到 BS2，先透過 DHCP 的機置拿到新的 IP 位址，MS 就會發出 SIP reINVITE 的要求給遠端的 IP Phone，要求將資料封包導向 IP2 的位址，這時 MS 就必須等待 SIP reINVITE 完成，才能由 IP2 取得

資料封包。由於 SIP reINVITE 的動作需要橫跨整個網路才能完成，其時間長短與 MS 和遠端 IP Phone 之間的距離有關，其時間範圍約在 10ms~10s。

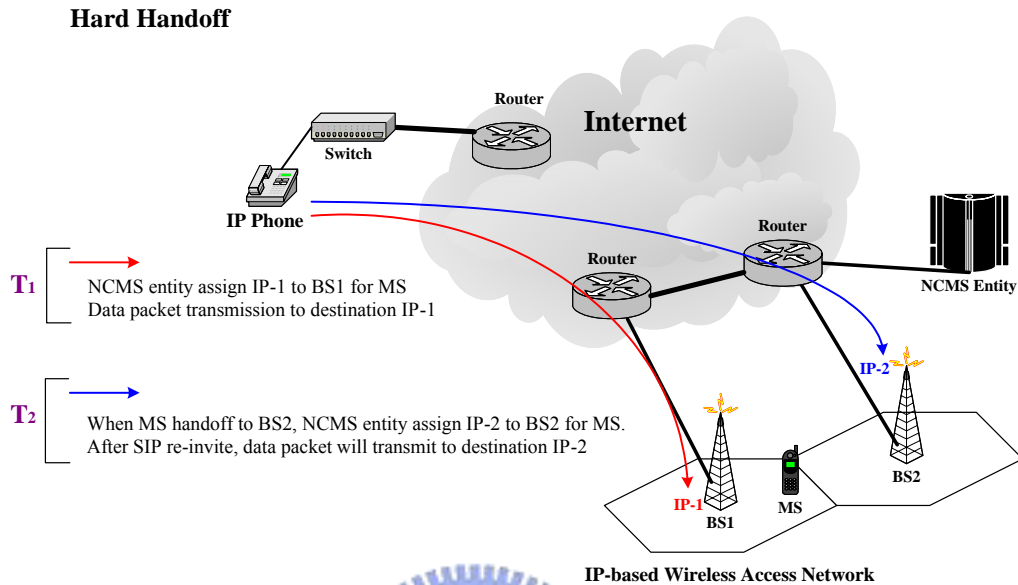


圖 4-1.2 SIP reINVITE 示意圖

在圖 4-1.1 中，8、9、10 這三個步驟，屬於鏈路層的動作，接下來也以 IEEE 802.16 標準中的流程作一個介紹。

在基地台切換過中，鏈結層主要的動作為調距(Ranging)。Ranging 主要在調整時脈(timing)、頻率(frequency)、功率(power)以維持 RF 端連線品質的一個過程，使 MS 在上鏈時，基地台接收的碼框彼此協調；在下鏈時，到達 MS 的符元(symbol)可以不超過 OFDM 符元的保護區間，而維持正交性。當 MS 執行註冊(重新註冊)或抓取不到同步時，就必執行 Ranging 的動作。

在 IEEE 802.16e[16]系統中，OFDMA 模式下，會在上鏈的子碼框分配特定的通道讓 MS 作 ranging，ranging 可分為以下四種模式：

1. initial ranging
2. periodic ranging
3. bandwidth request

4. handover ranging

並有一組 Pseudonoise Ranging Codes(0 ~ 255), N 個作為 initial ranging codes , M 個作為 periodic ranging codes, L 個作為 bandwidth request codes , O 個作為 handover ranging codes, 如圖 4-1.3 所示,讓 MS 根據目前想要執行的動作,而從不同的 group 中選出一個 code, 基地台接收到後,便能用 Code 來識別目前使用者想要執行何種動作。

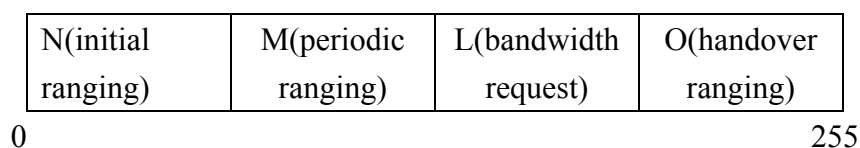


圖 4-1.3 Ranging Code 分配圖

圖 4-1.4 為 Initial Ranging 的流程示意圖。Ranging 的流程簡述如下:

1. 使用者收到基地台的 UL_MAP, 會找出其 ranging channel 所在的位置, 並且和其他的使用者競爭 (contention) 作 ranging 的機會, 等到搶到 ranging 的機會, 就隨意選一個 ranging slot 和一個 ranging code 上傳給基地台。
2. 基地台根據接收到使用者的訊號來估測其功率和時脈需不需要調整及調整的幅度, 其調整的幅度為固定的步階值, 再利用 RNG-RSP 把調整的資料回傳給使用者。
3. 使用者接收到 RNG-RSP 來調整本身的功率和時脈。
4. 此流程會不斷的重覆, 直到基地台量測到的使用者上傳的訊號品質符合本身的要求, 便會在 RNG-RSP 中回覆一個 state=Success 的資訊, 告訴使用者已調整成功, 可以建立連線, 開始傳送資料。

當使用者和基地台已建立好連線並有資料的交換, 但由於使用者有移動性而造成訊號品質的變化, 使用者必須周期性的和提供服務的基地台作 periodic ranging, 以維持連線品質, 其流程和 Initial Ranging 的流程相似, 只是不需和其他使用者重新競爭 ranging 的機會。

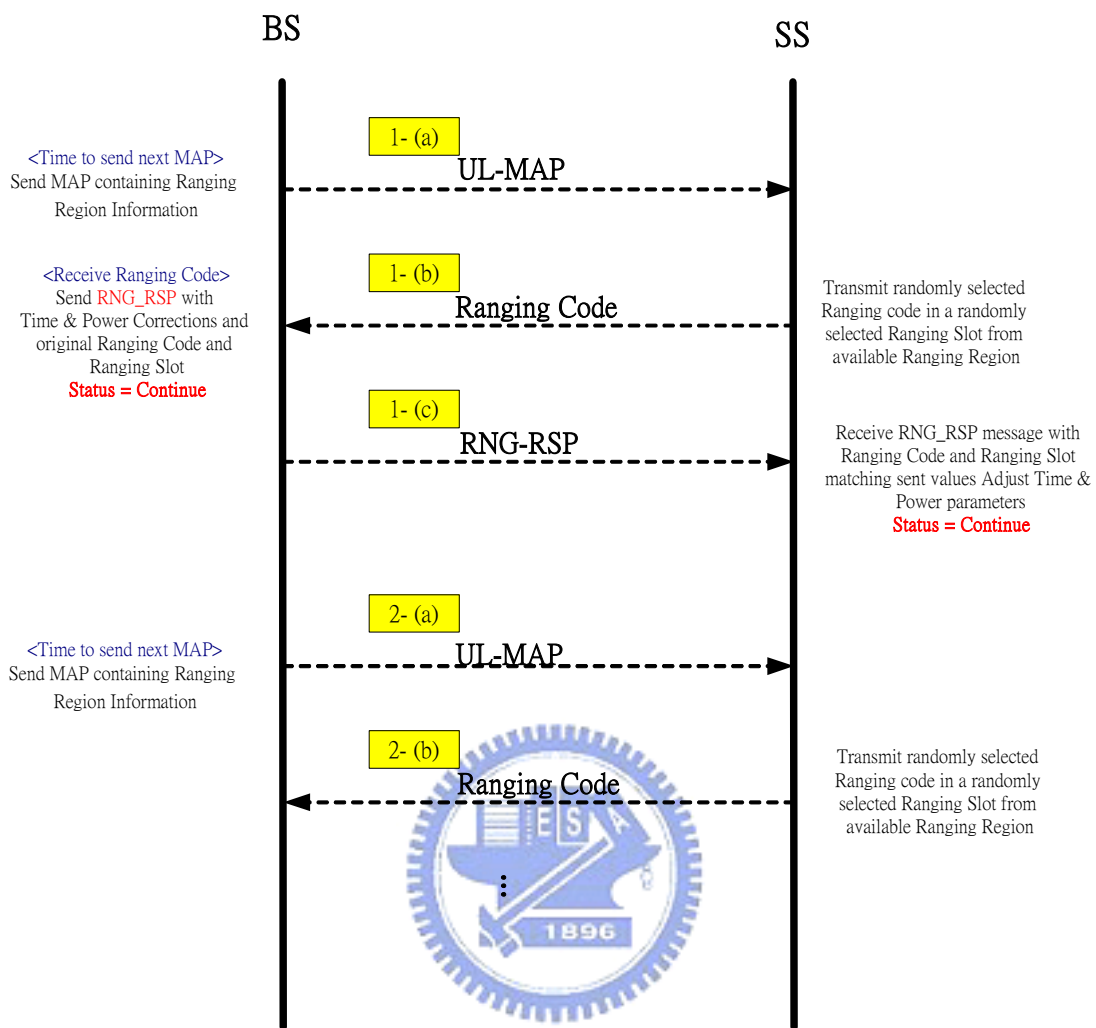


圖 4-1.4 Ranging Process in IEEE 802.16e standard

由上述可知，使用者在步驟 7 中斷和原來 Anchor BS 的連線後，有兩個造成服務中斷過久的原因：

1. 鏈路層：使用者耗費在競爭 ranging 通道和利用固定步階來調整時脈和功率的時間，會造成鏈結層切換時間過長而無法預估
2. 網路層：DHCP 和 SIP reINVITE 的動作，將使服務中斷的時間大幅提升而無法滿足即時性服務的要求。

接下來將分別從鏈結層和網路層來探討其動作流程和改進方法，以實現支援即時性服務之前置式基地台切換。

4-2 適用於 IEEE 802.16e 系統之前置式基地台切換控制訊息與交換流程設計

程設計

由 IEEE 802.16e 提出的是一套硬式換手技術的方法，在換手過程中造成服務中斷時間過久，無法滿足即時性服務的要求。圖 4-2.1 為我們所提出的前置式基地台切換流程，最主要的特點在於我們把一部分網路層的換手動作提前在鏈路層的換手之前，我們把這部分的動作稱為預先註冊 (pre-registration)，其特點如下：

1. 在步驟 3 中，Anchor BS 就把 MS 一些相關的網路層的註冊資料，傳送給 target BS, target BS 不需要再重頭執行一次註冊的動作。
2. 將 DHCP 的動作提前在 Fast ranging 之前，此時 NCMS 就必透過 DHCP 的機置分配一個 IP 位址給 target BS 來辨認 MS, MS 已佔據一份網路層的資源。
3. SIP reINVITE 動作仍然留在 Fast Ranging 之後執行，因為執行 1,2,3 的動作，只是為了把合適的基地台預先加入 Active set，並不代表會真正執行鏈結層換手的動作，若在鏈結層換手之前就執行 SIP reINVITE, 雖然可以大幅減少換手所造成服務中斷的時間，但若之後沒有真正執行鏈結層換手，又必須重新執行一次 SIP reINVITE, 把資料導回原來的 Anchor BS, 更增加了網路層的負擔。

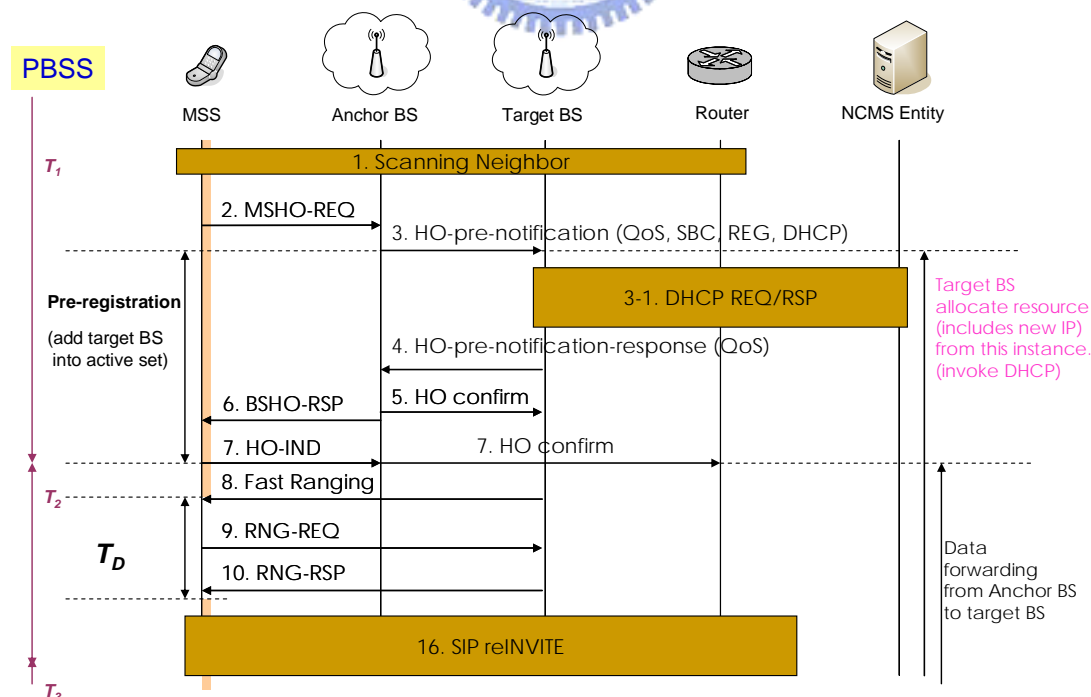


圖 4-2.1 前置式基地台切換流程

但為了減少 SIP reINVITE 所造成服務中斷的時間，且在執行 ranging 之前，已透過 DHCP 動作的提前，取得新的 IP 位址，因此我們採用 Data forwarding 的動作，透過 Anchor BS 把 MS 的資料封包複製一份送到 target BS，等到 target BS 真正執行了鏈結層換手，就能透過資料轉遞(Data forwarding)的動作，取得 MS 的封包，並傳送到 MS 所在之新的 IP 位址。因此，就算 SIP reINVITE 執行時間很長，也不會對服務品質造成影響，如圖 4-2.2 所示。

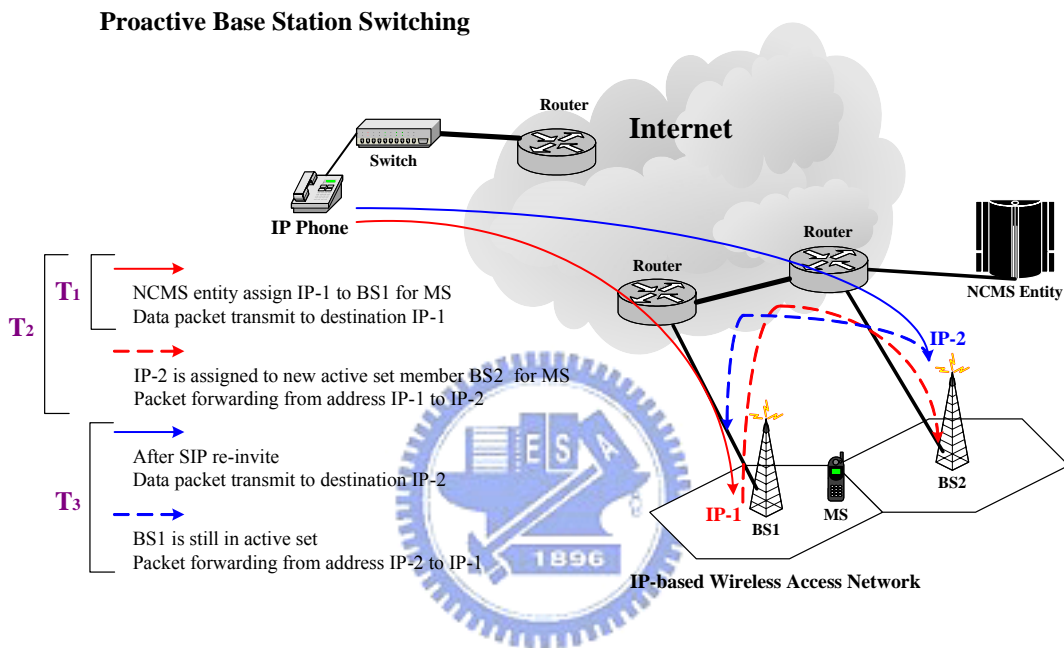


圖 4-2.2 改進後的 SIP reINVITE 示意圖

在 T1 時間點,遠端的 IP Phone 將 MS 的資料封包透過紅色的路徑導向 IP1 的位址，在 T2 時間點，當 MS 從 BS1 切換到 BS2，先透過 DHCP 的機置拿到新的 IP2 位址，MS 就會發出 SIP reINVITE 的要求給遠端的 IP Phone，要求將資料封包導向 IP2 的位址，在 SIP reINVITE 未完成之前，會先透過近端的 BS1 直接從 IP1 的位址把資料封包傳送到 IP2 的位址，這時 MS 不須等待 SIP reINVITE 完成，就能由 IP2 取得資料封包。等到 T3 時間點，SIP reINVITE 完成，資料封包就由藍色路徑直接導向 IP2 的位址，此時 BS1 仍在 MS 的 active set 內，Data forwarding 的動作會由 IP2 傳送到 IP1，如此，便可將 SIP reINVITE 造成服務中斷的影響消除。

為了縮短鏈路層中 Ranging 對服務中斷所造成的影響，於是提出了一套 Fast_Ranging 的流程。

在 IEEE 802.16e 中，提到 Association 的功能，Association 的動作，是在 MS 定期去掃描(scanning) 周圍基地台的訊號強度時執行，我們假設在 Association 的過程中，MS 已對周圍基地台作了以下的動作：

1. 對周圍的基地台來說，使用者的時脈和頻率，經由 Association，已事先調整好，Ranging 只需要作功率調整的動作。
2. 經由 Association，有可能成為換手對象的基地台都預先在特定時間保留了一個 Fast Ranging IE 及 Ranging Code 給使用者，使用者無需為了作 Ranging 還需要跟其他使用者作競爭(contention)的動作。

在功率(power)調整方面，我們作了以下假設：

1. 使用者在第一次上傳 Ranging Code 時，所使用的是最大功率(Maximum power)。
2. 當基地台接受到使用者的 Ranging Code，經過估測，會一次回傳使用者所需調整的幅度，用標準中所定義的 TLV(Type/Length/Value)附加在 UL_MAP_Fast_Tracking_IE，用 8bits, 0.25dB 的步階一次表示所要調整的幅度(-32dB~32dB),而不是根據步階(step size)幅度來作回覆。
3. 功率放大器(Power Amplifier)的調整速度非常快，約在 5us 內可調整好所需調整的功率幅度。

我們更進一步將圖 4-1.4 中，1-(c) 步驟所需回傳的資訊，合併到下一次 2-(a) 動作才一次回報，如此可更加縮短 Ranging 所需花費的時間。

修改過後的 Ranging 流程圖如圖 4-2.3(a)所示，因為功率放大器能一次調整到定位，因此使用者在 2-(b)上鏈的功率強度已經滿足基地台的要求，接下來基地台便可以馬上下鏈資料封包給使用者，由圖 4-2.3(b)可以很清楚的看出使用者只需要花二個碼框的時間，就可以完成 Ranging 的動作。

在我們提出的流程中，pre-registration 已提前作完，MS 已可從新的位址取得資料封包，因此，鏈結層 Ranging 的時間成為造成服務中斷的主要因素。在 IEEE 802.16 標準中，所定義的碼框長度為 2ms~20ms，因此在換手過程中，Ranging 所造成的服務中斷時間最長大約 $2 \text{ frame} * 20\text{ms} = 40\text{ms}$ ，可滿足即時性服務對中斷時間的要求。

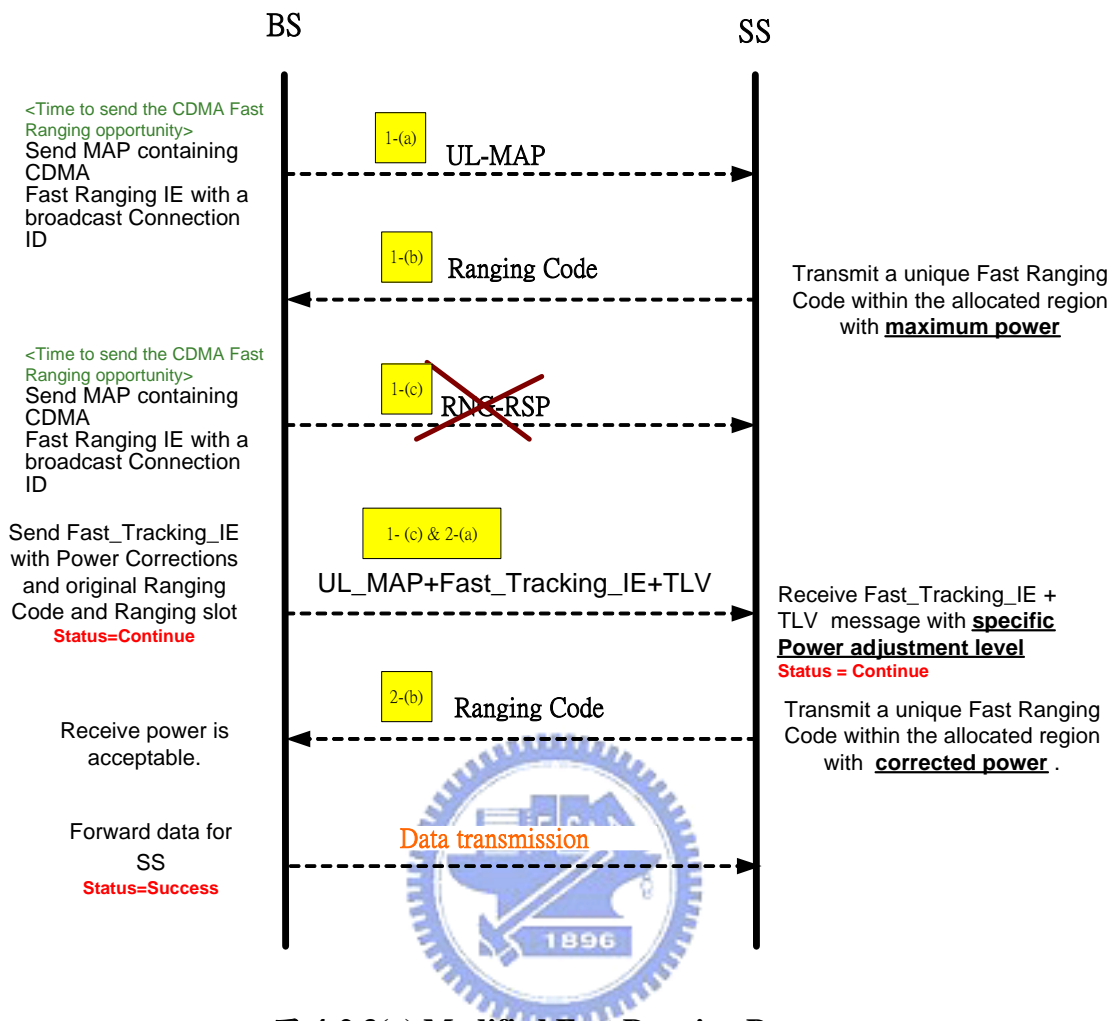


圖 4-2.3(a) Modified Fast Ranging Process

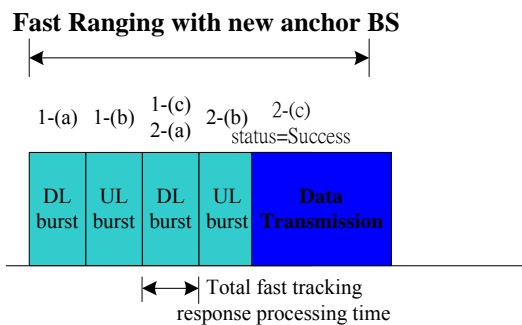


圖 4-2.3(b) Modified Fast Ranging Process

相較於 IEEE802.16e 所提出的換手執行流程，我們所修改後的方法，可有效的縮短換手執行過程中，服務中斷的時間。其啟動條件的演算法，將在下一章作介紹。

第五章 前置式基地台切換之啟動演算法

本章將介紹在 IP 為基礎之 OFDMA 系統中，本論文所提出適用於即時性服務之前置式基地台切換技術啟動演算法的設計。

5-1 前置式基地台切換之啟動演算法設計

前置式基地台切換啟動演算法

為了實現前置式基地台切換演算法，我們參考過去硬式換手技術和軟式換手技術[4,5,20]及 IEEE 802.16e 標準之研究[16],重新定義了本論文提出之演算法中的參數:

1. Candidate Set: preamble 可被 MS 接收到之鄰近基地台所形成的集合
2. Active Set: 在網路層已分配特定的 IP 位址給 MS，可接受 Anchor BS 傳送複製的 MS 資料封包之基地台所形成的集合
3. Anchor BS: 在鏈路層真正和 MS 有資料收送的基地台
4. Target BS: MS 執行換手動作的對象
5. Active Set Size: 網路層最大可容許同時建立連線之基地台數目。

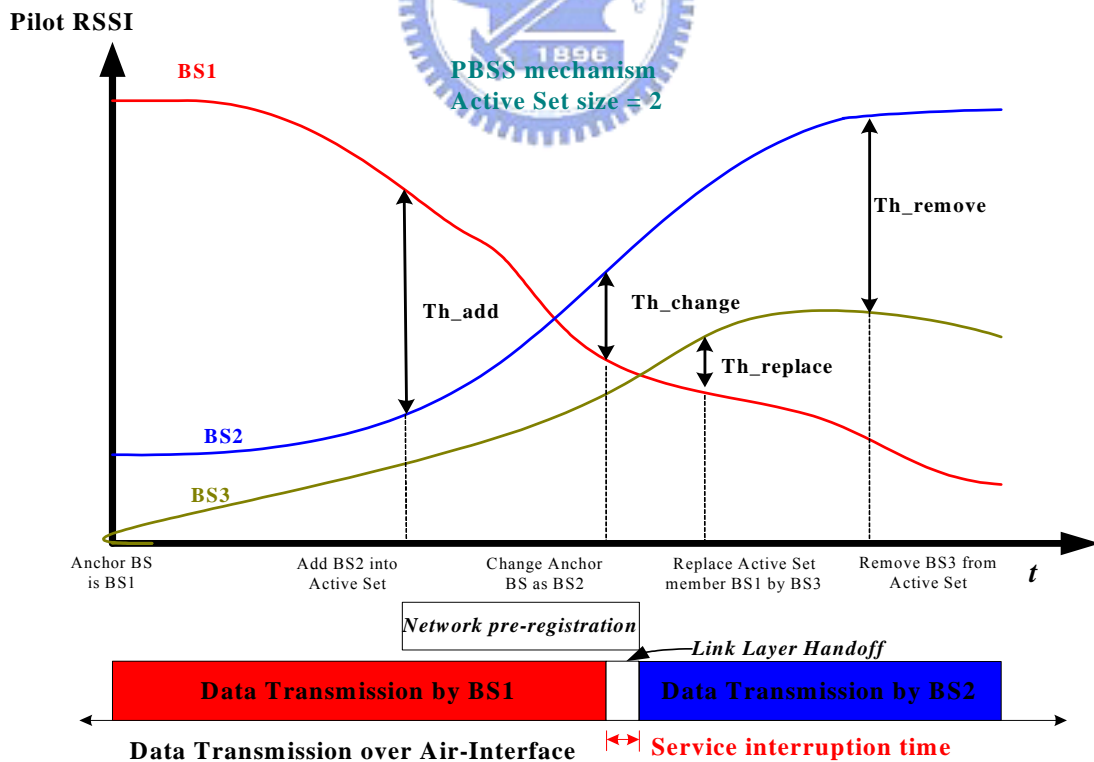


圖 5-1.1 前置式基地台切換演算法

圖 5-1.1 為前置式基地台切換演算法的流程，在實現演算法中，我們需要定義以下的變數，並根據 pilot 的 RSSI(received signal strength indicator)來決定是否啟動以下的動作：

1. $Th_add: (RSSI \text{ of Anchor BS}) - (RSSI \text{ of Best Candidate Set BS}) < Th_add$, 就啟動 Network Pre-registration 的動作，把 Candidate BS 加到 Active Set 中，並透過 DHCP 機置分配 IP 位址給此基地台。
2. $Th_change: (RSSI \text{ of Best Active Set BS}) - (RSSI \text{ of Anchor BS}) > Th_change$, 就啟動鏈結層的換手，把此 Best Active Set BS 變成新的 Anchor BS.
3. $Th_replace$: 若此時 Active Set Size 已達上限，且 $(RSSI \text{ of Best Candidate BS}) - (RSSI \text{ of Worst Active Set BS}) > Th_replace$, Best Candidate BS 就把 Worst Active Set BS 取代掉，成為 Active Set 的一分子。
4. $Th_remove: (RSSI \text{ of Anchor BS}) - (RSSI \text{ of Worst Active Set BS}) > Th_remove$, 就把 Worst Active Set BS 移出 Active Set。

其中 Th_add 即為啟動 Network pre-registration 動作的條件， Th_change 為啟動 Link Layer Handoff 的條件。在第四章中提過，Network pre-registration 中，因為需要透過 DAD 來確認 IP 位址沒有被其他 MS 所使用，NCMS 才能透過 DHCP 把位址分配給 BS，此過程需要花費約 1.5 秒的時間，因此，必須適當的選擇 Th_add 的啟動條件，使得 Network pre-registration 的動作能夠在 Link Layer Handoff 啟動之前完成，否則將造成服務中斷時間的增加。不過，當 Th_add 定的愈大，Best Candidate Set BS 愈早被加入 active set，雖然可以確保 Network pre-registration 的提前完成，但此時 Best Candidate Set BS 也愈早就佔據了一分網路端資源，造成資源的浪費。

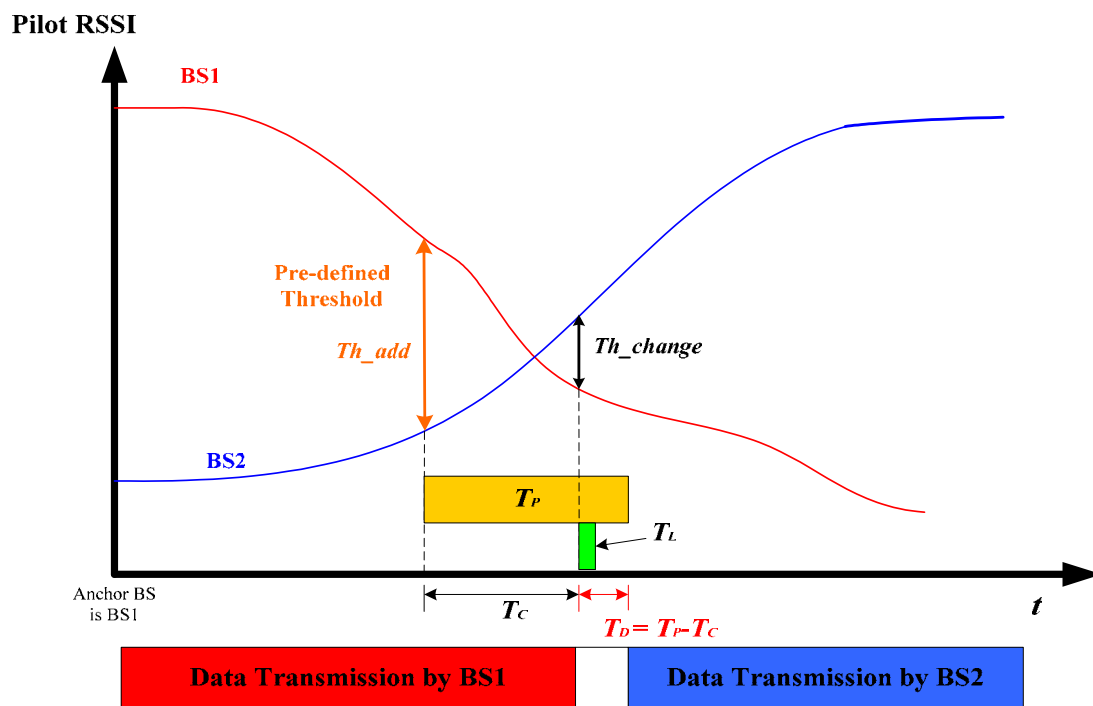


圖 5-1.2 Network pre-registration 提前執行示意圖

如圖 5-1.2 所示，我們將 Anchor BS 和 Best Candidate Set BS 之間 RSSI 的差從 Th_add 變成 Th_change 的時間定義為 T_c ，此 T_c 會受到使用者移動性和遮蔽效應(shadow fading)的影響，而呈現一個隨機的分佈，因此，我們無法保證 Network pre-registration 的動作一定能夠提前在 Link Layer Handoff 啟動之前完成。 T_D 為服務中斷時間(Service Disruption Time)，當 Network pre-registration 沒有提前完成時， $T_D = T_P$ (Network pre-registration time) - T_L (Link Layer Handoff)，造成 T_D 的增加，若 T_D 增加超過一個延遲的臨界值(Delay threshold)，就會開始把使用者的封包丟掉，由此可知，Network pre-registration 動作若沒有適時的完成，將會造成使用者封包嚴重的遺失(loss)。

Network pre-registration 提前的動作一方面提早佔據住網路端的資源，一方面又因為 T_c 的隨機性而無法保證動作能夠如預期的完成，因此我們所提出的”前置式基地台切換啟動演算法”，其主要精神在於：當 Link Layer Handoff 被啟動時，不管此時 Network pre-registration 的動作完成與否，都必須等待 Network pre-registration 作完後，才執行 Link Layer Handoff 的動作，如圖 5-1.3 所示。

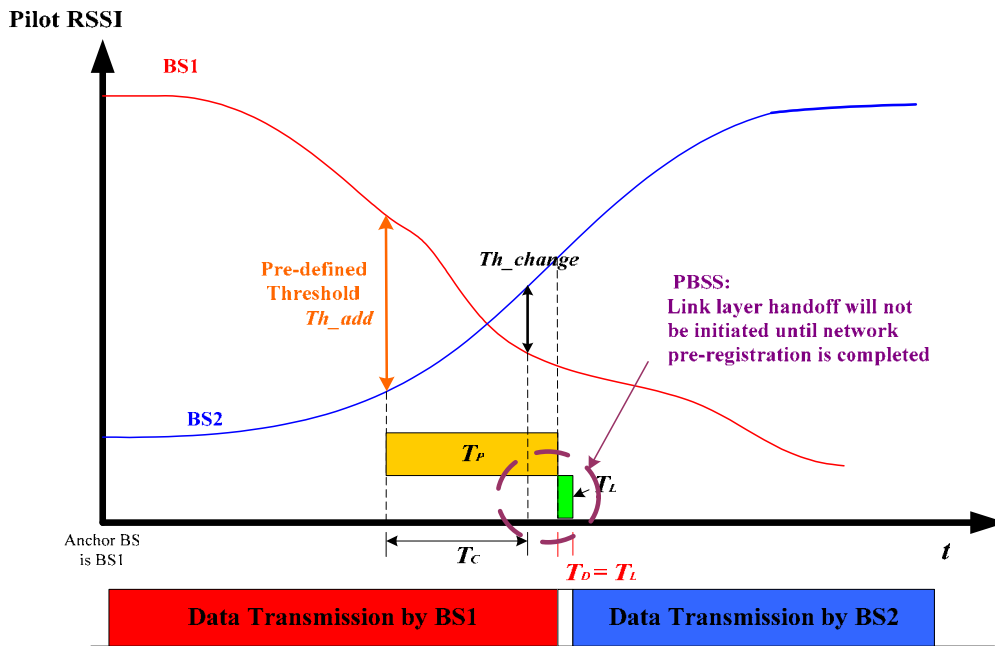


圖 5-1.3 前置式基地台切換啟動演算法

由圖 5-1.3 可以看到，在 Th_change 條件滿足時，Network pre-registration 的動作還未完成，因此，Link Layer Handoff 的動作必須等待，直到 Network pre-registration 完成時才能啟動，如此，便可減少 Network pre-registration 沒有提前完成時， T_D 增加，造成使用者封包嚴重的遺失(loss)的情形。在等待的過程中，Anchor BS 訊號強度會隨之衰減，有可能會造成封包錯誤率(packet error rate)的上升，雖然錯誤率上升，但使用者仍有可能接受的到正確的封包，因此，我們預期其影響不會如封包遺失來的嚴重。

由前置式基地台切換啟動演算法來看，適當的設計 Th_add ，才能減少封包遺漏和封包錯誤的情形，因此，在下一節中，我們將提出預測式啟動演算法，以適當的決定 Th_add 。

5-2 預測式啟動演算法

Th_add 的啟動是根據 Anchor BS 和 Best Candidate Set BS 之間 RSSI 的差來決定。因此，我們定期的去對 Anchor BS 和 Best Candidate Set BS 的 RSSI 作取樣，利用兩個 sample 點間的斜率預期兩者之間 RSSI 的差在 T_p 時間之後，會不會滿足 Th_change 的條件，來決定此時是否要啟動 T_add 的動作，如圖 5-2.1 所示。

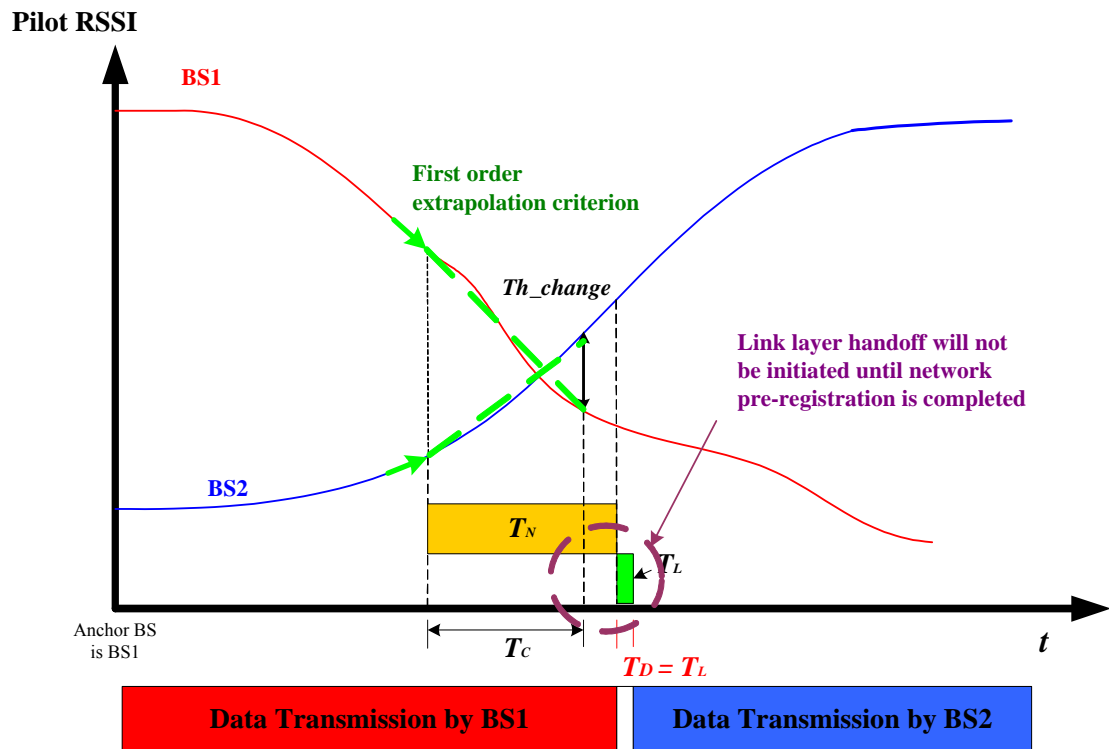


圖 5-2.1 預測式啟動演算法

若預測的結果很準確，在啟動 Th_add 之後，經過 T_p 時間完成了 Network pre-registration，接著便會馬上進行 Link Layer Handoff，由上一章我們對 Ranging 所提出的改進方法可知，只要 2 個碼框的時間，就可以完成 Link Layer Handoff 的動作，因此，我們預期預測式啟動演算法可以在不增加額外的封包錯誤率及封包遺失的情況下，達到滿足支援即時性服務的目的。

在下一章中，我們將對本章所提出的方法作模擬，並提供模擬及分析的結果。

第六章 模擬結果

建立一個符合實際情形的模擬環境才能正確的模擬系統的運作情形。在本論文中我們模擬的是一個使用者有移動性的封巢式無線通訊的系統。因此在 6-1 節中將會先介紹模擬環境的設定及模擬時所使用的技巧，在 6-2 節中則介紹模擬結果。

6-1 模擬環境的設定

在進行系統效能模擬時，我們通常會試著將環境變數簡化，但同時又希望兼顧準確性。因此考慮系統所處的真實環境，並使用適合的通道模型，是建立系統模擬環境時非常重要的一個步驟。我們參考 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)規格書所提供的參考資料[21]，依使用者的特性將系統運作環境歸類成三種典型：

室內/辦公室(Indoor Office Test Environment)

-此環境的特色在於基地台涵蓋範圍小，且訊號傳輸功率低。基地台與使用者幾乎是在室內固定不動的。路徑損失的主要原因來自於牆壁、樓板與金屬結構如隔板或儲櫃等，這些物體亦會造成遮蔽衰落的變化。根據量測的結果，室內的遮蔽衰落變化程度會是 Log-normal 的分佈，而標準差約為 12dB。

室內與室外間移動的行人(Outdoor to Indoor and Pedestrian Test Environment)

-在此環境之中，基地台的涵蓋範圍與訊號傳輸功率亦不大。基地台被設置於室外但樓層不高的位置，使用者則是位在建築物內、街上或是住宅中。當使用者與基地台間有訊號直線傳輸路徑(Line Of Sight, LOS)時，路徑損失大致上會與兩者間距離的平方成反比。但當使用者離基地台更遠一點以致兩者間沒有訊號直線傳輸路徑(Non-LOS)時，且考慮建築物的轉角可能造成訊號的散射，此時路徑損失大致會與兩者間距離的四次方成反比。此環境中的遮蔽衰落變化經統計是以 Log-normal 分佈，且標準差約為 8dB。

在交通工具上(Vehicular Test Environment)

-此環境的特色在於基地台涵蓋範圍大且訊號傳輸功率高。在都會區與市郊的環境中，路徑損失大約會與使用者和基地台間距離的四次方成反比，且遮蔽衰落變化幅度的標準差約為 10 dB。在鄉間(Rural)的環境，由於地形

變化較平緩，使相同間距時的路徑損失相較於都會或市郊都要來得低。若是在山區，若將基地台佈放於適當的制高點可使路徑損失降至與距離的平方成反比。

在此環境中，由於多種無線通道(Wireless Channels)的效應[22][23]，依照其衰減的程度和形式可區分為以下三種：路徑損失(Path Loss)，遮蔽衰落(Shadow Fading)，多路徑衰落(Multi-path Fading)，接下來將分別介紹其模型。

1. 路徑損失模型(Path Loss Model)

路徑損失模型是用來表現訊號於空間中傳播時，其強度會隨兩點間距離的增加而衰減。針對前一節所提到三種典型的系統環境，這裡提供了三種相對應的路徑損失模型給系統模擬時使用，分別如下所述[21]：

A. 供室內/辦公室環境使用之路徑損失模型：

$$L = 37 + 30 \text{Log}_{10}(R) + 18.3 n^{((n+2)/(n+1)-0.46)}$$

其中 R 為訊號發射端與接收端兩點間的距離(公尺)

n 為訊號在兩端間傳送時所穿過的樓層數

在此環境中所對應的遮蔽衰落變化之標準差約為12dB

B. 考慮行走於室內外行人之環境使用之路徑損失模型：

$$L = 40 \text{Log}_{10}(R) + 30 \text{Log}_{10}(f) + 49$$

其中 R 為訊號發射端與接收端兩點間的距離(公里)

f 為訊號載波頻率(依各電信業者而有所不同,MHz)

此路徑損失模型適合在訊號沒有直線傳播路徑(Non Line-Of-Sight, NLOS)時使用。當使用者位在室內時，遮蔽衰落變化的標準差約為12dB，而在室外時所對應的遮蔽衰落變化之標準差則為10dB。

C. 考慮使用者乘坐交通工具時的路徑損失模型：

$$L = 40(1 - 4 \times 10^{-3} D_{hb}) \text{Log}_{10}(R) - 18 \text{Log}_{10}(D_{hb}) + 21 \text{Log}_{10}(f) + 80 \text{ dB}$$

其中 R 為訊號發射端與接收端兩點間的距離(公里)

f 為訊號載波頻率(依各電信業者而有所不同,MHz)

Δhb 為基地天的天線高度(相對於平均建築物高度,公尺)

一般而言，基地台天線位置的高度大約比平均周遭建築物高度超出15公尺，這是因為基地台普遍都是設於較高建築物的頂層所致。

2. 遮蔽衰落模型(slow fading)

遮蔽衰落是因為在基地台與使用者間有較大阻隔，但隨著使用者之移動，會漸漸離阻隔遠去，而不再對訊號造成遮蔽。

根據在真實的無線傳播環境中量測得到的結果，我們知道遮蔽衰落的變化程度統計起來是呈現 Log-normal 的分佈。因此在進行系統模擬且沒有考慮特定地形地物的情況時，我們會用一個呈現 Log-normal 分佈的隨機變數，來產生遮蔽衰落所造成的影響。此隨機變數的標準差則隨著所考慮的模擬環境而有所不同。

遮蔽衰落的自相關模型，其中最常被參考使用的便是 Gudmundson 所提出的模型[24]

Gudmundson 根據量測的結果提出的自相關模型如下：

$$R(k) = \sigma^2 a^{|k|}$$
$$a = \varepsilon_D^{vT/D}$$

- 其中 $R(k)$ 為兩取樣值之間的相關性
 σ 為系統中統計遮蔽衰落變化得到的標準差
 k 為兩取樣點所間隔的取樣次數
 a 為兩取樣值間之相關常數(correlation coefficient)
 v 為使用者移動速度
 T 為每次取樣的間隔時間
 D 為經量測得知該環境之非相關距離(De-correlation Distance)
 ε_D 為兩取樣點相距為 D 時之自相關常數值

若將非相關距離定義成兩取樣點之相關性降至 1/2 時之距離，則 Gudmundson 的自相關模型可以修改成：

$$\rho(\Delta x) = e^{-\frac{|\Delta x|}{D} \ln 2}$$

- 其中 ρ 為兩取樣點之間的自相關常數
 Δx 為兩取樣點所對應的距離($k \cdot T \cdot v$)
 D 為經量測得知該環境之非相關距離

3. 多路徑衰落模型

訊號在傳播時常是經過多次反射後才被接收到，因此會產生多路徑(Multi-path)傳播的效果，這些從不同路徑而來的信號，彼此有著不同的到達角、不同的到達時間、不同的振幅大小、不同的相位，並相互獨立。我們稱這些信號為多重路徑成份(multipath components)，它們以相位相加的方式合成使用者的接收信號。

為了模擬出多路徑衰落的效果，除了藉由通道脈衝響應(Impulse Response)來模擬多路徑傳播的效果，最重要的就是模擬散射(Scattering)的效果。最常在系統模擬使用的便是 Jakes 模型，它假設了使用者鄰近的反射物在二維的平面上是數量有限且均勻分佈。如此一來，當使用者朝某個方向移動時，來自每個反射物的訊號所遭受的都卜勒頻率偏移(Doppler Frequency Offset)便可得知。由於使用者手機上的天線幾乎都是無指向性(Omni-directional)天線，因此所收到的訊號便是來自每一個反射物的訊號加總的結果。Jakes 所考慮的訊號散射環境如下圖所示：

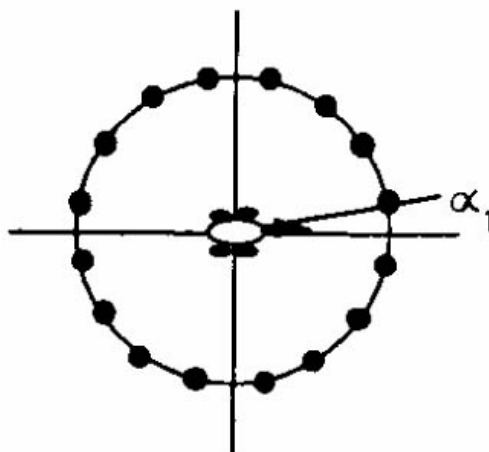


圖 6-1.1 Jakes 模型所考慮之訊號入射角度[25]

Jakes 模型數學式子如下[22]

$$r(t) = \sum_{n=1}^N e^{-j(\hat{\phi}_n + 2\pi f_m t \cos \theta_n)}$$

$$\text{where } \hat{\phi}_n = 2\pi(f_c + f_m)\tau_n$$

$$\theta_n = \frac{2\pi n}{N}, \quad n = 1, 2, \dots, N$$

$r(t)$ 為收到的訊號，經過推導之後，可得

$$r_I(t) = 2 \sum_{n=1}^M \cos \beta_n \cos 2\pi f_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos 2\pi f_m t$$

$$r_\theta(t) = 2 \sum_{n=1}^M \sin \beta_n \cos 2\pi f_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos 2\pi f_m t$$

$$\alpha = \frac{\phi_N - \phi_{-N}}{2}$$

$$r_I(t) : I - Part$$

$$r_Q(t) : Q - Part$$

在本論文的模擬中，我們參考[21]，選用 Vehicular mode 中，120km/hr 的情形，假定使用者是在高速公路上移動，因此方向的變換很隨機；Outdoor to Indoor & Pedestrian 中，50km/hr 和 3km/hr 的情形，假設 user 是在市區內移動，3km/hr 代表使用者處於行走狀態，50km/hr 則代表使用者是坐車(ex.公車)，其轉彎都是呈現直角，以模擬十字路口的情形，

接下來將介紹在模擬中，細胞架構設計技巧。

1. 摺疊(Wrap Around) 技術

同頻帶干擾(Co-Channel Interference)是影響整個通訊系統的重要因素之一，在模擬的時候勢必要將其他同頻帶的細胞干擾的考慮進去。但隨著考慮的細胞數量越多，模擬所需耗用的時間與資源會越高，尤其在傳統窄頻系統，有重複使用係數，所需要模擬的細胞數更為多，此時便須要做個取捨。根據 Miller 和 Lee 的分析[26]，當考慮兩個干擾層(Tiers)的同頻帶細胞干擾時，就已經相當接近考慮無限個干擾層的情況。因此在兼顧模擬的準確性以及所需消耗的運算量，我們決定考慮模擬兩個干擾層細胞。我們假設重複使用係數(Reuse factor)為 4，所以每一個細胞群組共有 4 個不同頻帶的細胞，所以考慮兩個干擾層需要模擬 19 個細胞組(Cluster)，共 76 個細胞。至於每個細胞所涵蓋的範圍則是以鏈路預算(Link Budget)規劃的結果為參考的依據，但由於對於某個細胞來說，它的同頻帶細胞只有 19 個，其實我們並不需要模擬到 76 個細胞，我們將用新的折疊技術來簡化。

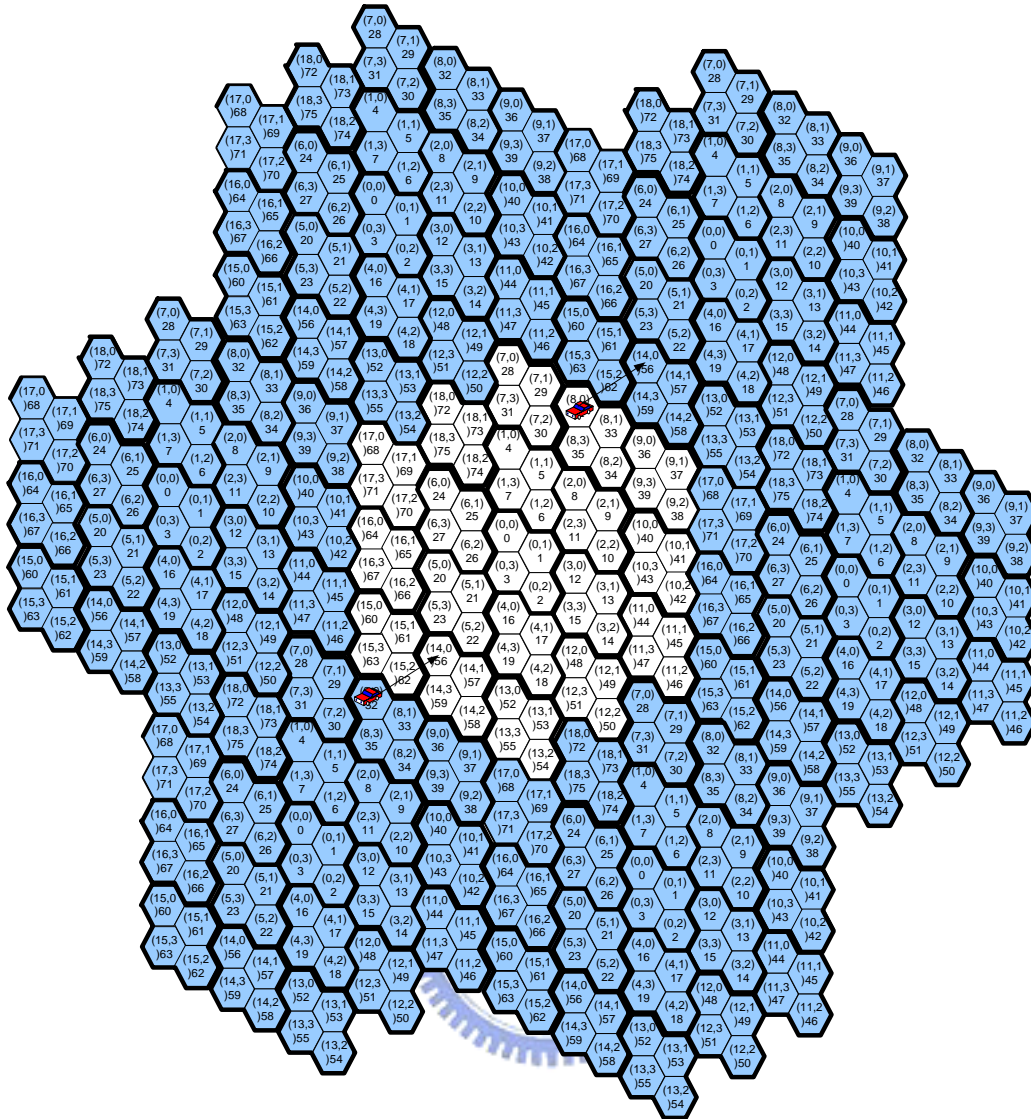


圖 6-1.2 折疊技術全圖

圖 6-1.2 中的(0,0)代表編號 0 號的細胞組，頻帶為 0，因為了正確模擬兩層同頻干擾，由圖 6-1.2 可知，中間白色的細胞群是以編號為 0 號的細胞組(Cluster)為中心，往外看出去，正是 19 個細胞組:1~18，因此若只單單模擬細胞組編號為 1 的細胞，可以正確的得到 19 的同頻干擾源，但問題是，程式是中還模擬了其他細胞組，以這些細胞組為中心，往外看出去，並不會得到 19 個同頻干擾源，因此造成模擬的浪費，因除了編號為 0 的細胞組之外，其餘的細胞組所得到的統計值，並不可以採用。且若使用者到達圖 6-1.2 白色的邊緣時，當使用者移動出白色的範圍，該如何延伸，都可以經由折疊技術解決。

為了模擬的效率與正確，採用折疊技術，以圖 6.1.3 可知，底色為深色的細胞，即為折疊技術衍生出來的，舉例來說，以細胞組 1 號為中心來看，他衍生出

去 19 個同頻細胞組，圖中用黑色粗線圍出來的 19 個細胞組，可以清楚看到必定會超過白色範圍，而超過的部分，即為底色為深色的細胞組，編號分別為 11,12,13,14,15，這些即為超過沒模擬到的部分，因此這部分，就找其他細胞組代替，而這部分的細胞就用底色為白色的細胞組之下半部的 11,12,13,14,15 來代替，如此一來，即可延綿不絕的不管那個細胞組，都可以看到 19 的同頻干擾源細胞。

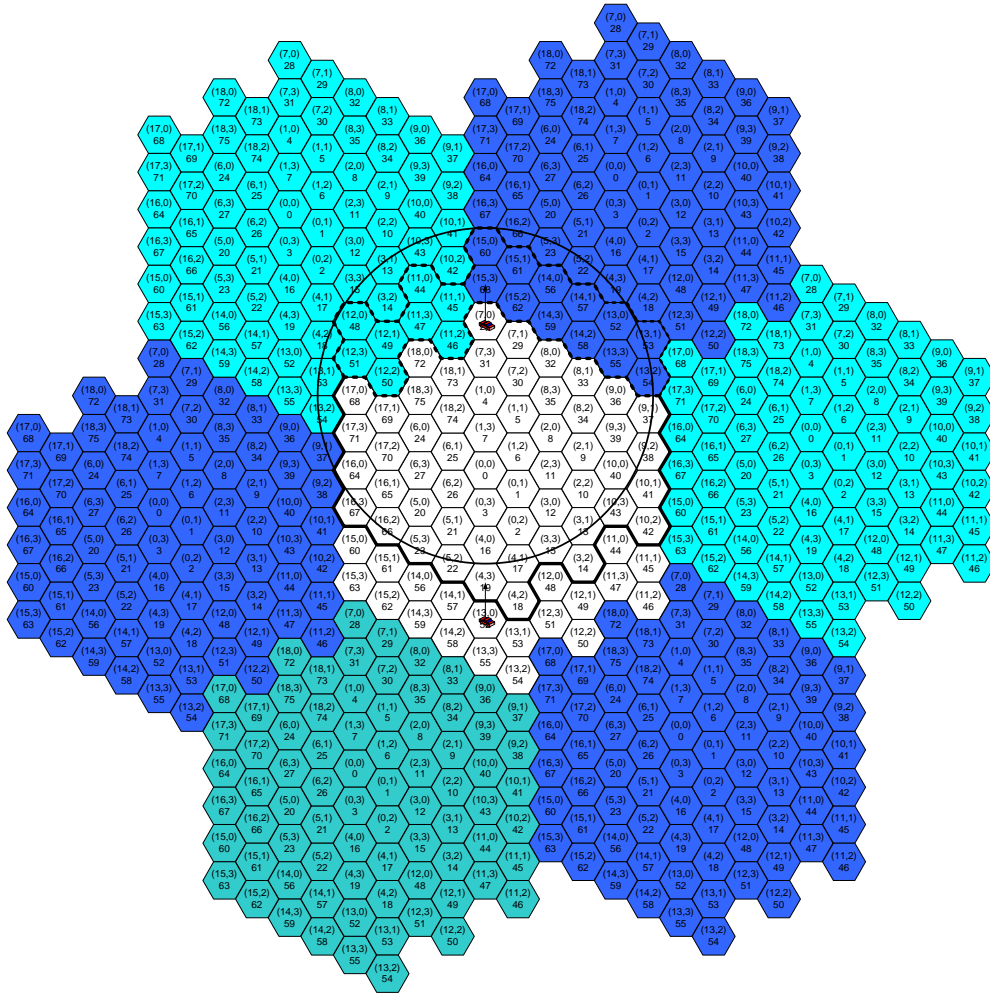


圖 6-1.3 折疊技術

且由圖 6-1.3 可以看到，若使用者在白色細胞組的邊緣時，當使用者移出這範圍，相對的就好像在底下會有使用者移入，就很像把這細胞組對折，從另一端移出，相當從另一端移入，如此一來，細胞即可延綿不絕，無止盡延伸，且都可以看到 19 個同題帶干擾源，因此只要模擬 19 個細胞組，就可以正確有效率的得到模擬解果。

2. 鏈路預算(Link Budget)

下表為本模擬系統所規劃之鏈路預算參數，在考慮接收機頻寬= 6MHz, 環境溫度: =293K(20°C), 頻率重覆使用系數=1, Sector Size= 6 的情況。

Modulation Scheme	QPSK	
Coding Rate	1/2	
Transmitter(BS)		
Max. Transmit Power for each Base Station [dBm]	47 (≈ 50 W)	
Max. Transmit Power for each SCH [dBm]	44	a
BS Antenna Gain [dBi]	18	b
Back Off [dB]	5	c
EIRP [dBm]	57	d=a+b-c
Receiver (BS)		
Thermal Noise Density [dB/Hz]=KT	-173.93	e
Noise Figure [dB]	4	f
Receiver Noise Density [dBm/Hz]	-169.93	g=e+f
Receiver Noise Power[dBm]	-102.148	h
Received Interference Power at Cell Boundary [dBm]	-95.12	i
Total Received Noise and Interference Power	-94.32	
Required Eb/ (No+Io) [dB]	6	j
Processing Gain [dB]	15	k
Mobile Antenna Gain [dBi]	0	l
Required Received Signal Power[dBm]	-103.32	m
Max. Allowable Propagation Loss [dB]	160.32	n=d-m+l
Coverage Prob. [%]	90	
Log Normal Fading Constant [dB]	8	o
Log Normal Fading Margin [dB]	9	p
Allowed Path Loss for Cell Range [dB]	151.32	r=n-p
Corresponding Cell Radius [km]	3	

表 6-1.1 鏈路預算

6-2 模擬結果與分析

在本章節中，我們將提供模擬結果，以本論文所提出的方法和硬式及軟式換手技術作一個比較，來驗證所提出之前置式基地台切換之啟動演算法，確實能支援使用者在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中，執行基地台切換時，其連線中斷時間能達到滿足支援使用者對於即時性服務之要求。

選用 VoIP 封包以 20ms 的周期到達，碼框長度為 20ms, 封包延遲超過 150ms，就判定此封包為遺漏(loss)。

圖 6-2.1 為因執行換手而造成之服務中斷時間(Service Disruption Time)分布圖。軟式換手技術因為同時和兩個以上的基地台建立連線，因此在換手過程中其服務中斷時間為 0; 而本論文所提出之前置式基地台切換之啟動演算法因為網路層已經作了預先註冊的動作，因此只需要考慮鏈結層作快速調距的時間，其服務中斷時間為 2 個碼框的時間:40ms; 而硬式換手技術至少必須考慮網路層作 DAD 的時間，因此服務中斷時間為 1500ms，會造成嚴重封包遺漏的問題。

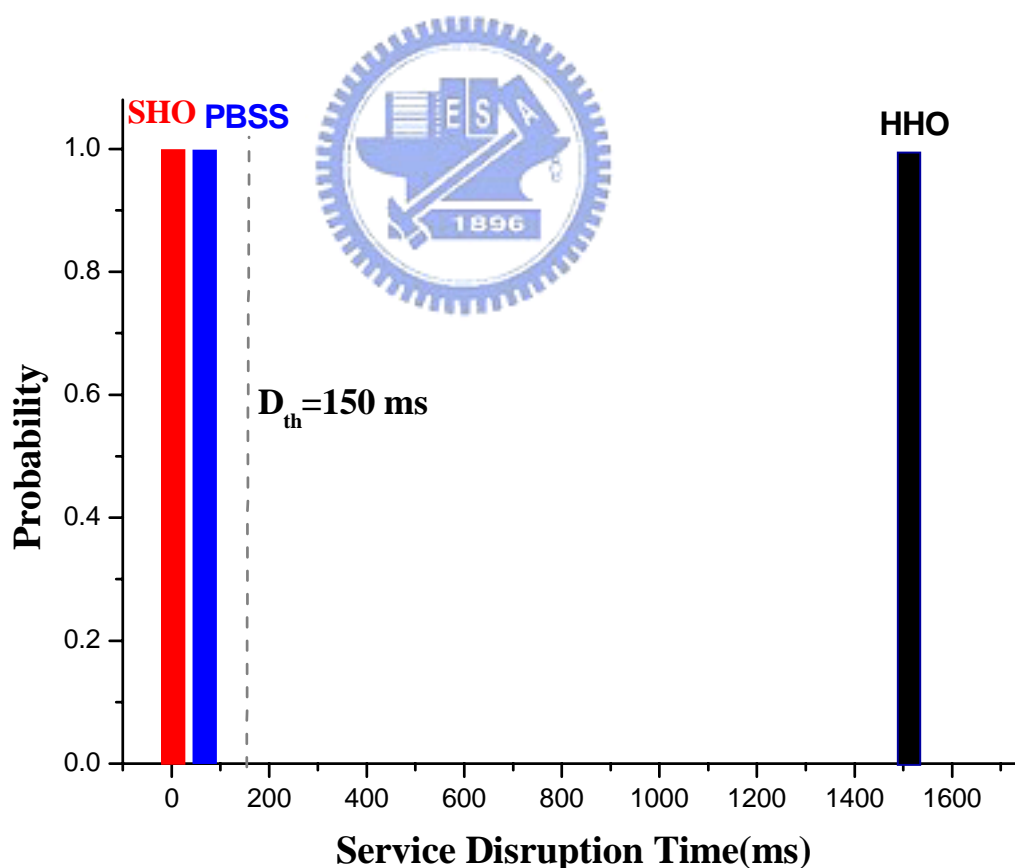


圖 6-2.1 各類換手技術服務中斷時間分布

在此，我們定義 $\Delta = Th_add + Th_change$ 參數，在固定 Th_change 的情況下， Δ 愈大，代表 Th_add 愈早被啟動，因此預先註冊的動作在鏈結層換手被啟動之前完成的機率愈大，由圖 6-2.2 可看出，本論文所提出的方法，對低速移動的使用者有較低的平均封包移漏率，且隨著 Δ 愈大，改善效果愈好；其平均封包移漏率雖不如軟式換手技術，但在滿足使用者對即時性服務中斷時間的要求下，明顯改善了傳統硬式換手技術平均封包移漏率嚴重的缺點。

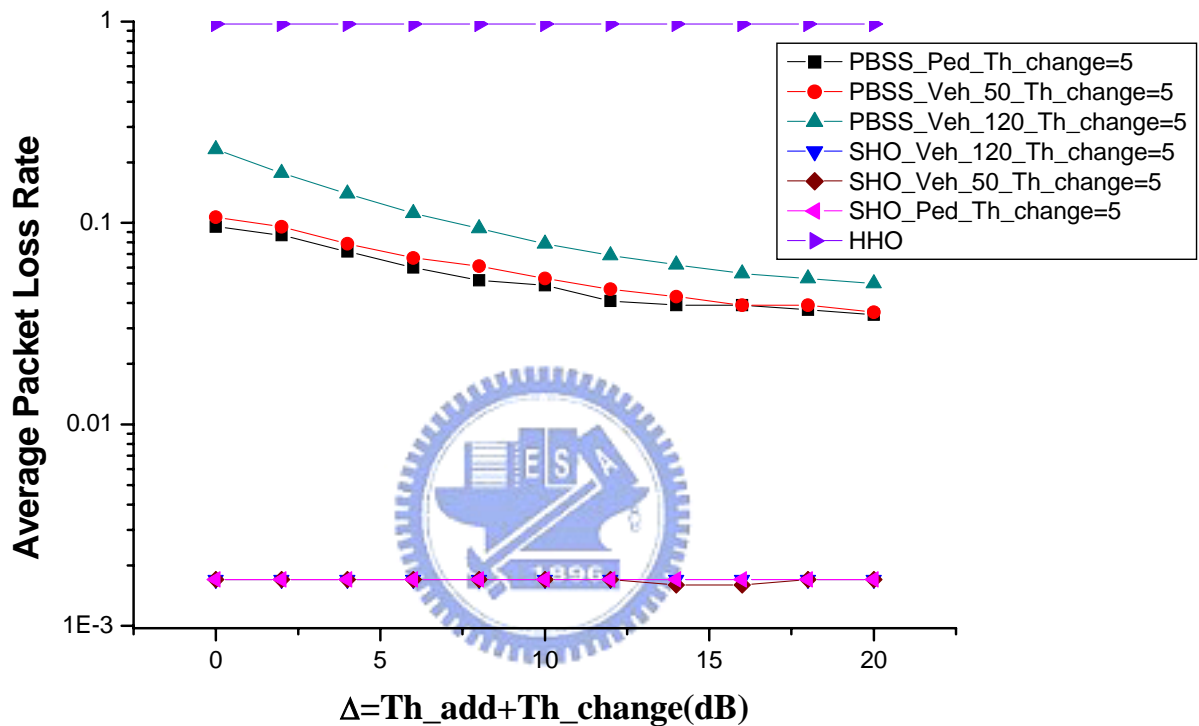


圖 6-2.2 不同換手技術之平均封包移漏率

在傳統硬式換手技術中，為了避免”乒乓效應”，必須選擇適當的 Th_change 值來啟動鏈結層的換手，在圖 6-2.3 中，我們以使用者以 3km/hr 移動為例子，比較在不同 Th_change 下之平均封包移漏率，由圖中可以看出，當 Th_change 愈小，平均封包移漏率愈低，代表使用者愈能快速切換至連線品質較好的基地台。在圖 6-2.4 中，我們比較了在不同 Th_change 下，使用者平均遭受乒乓效應的次數，並定義

$$R_{ping-pong} = \frac{\text{number of link layer handoff events with ping pong effect}}{\text{total number of link layer handoff event}}$$

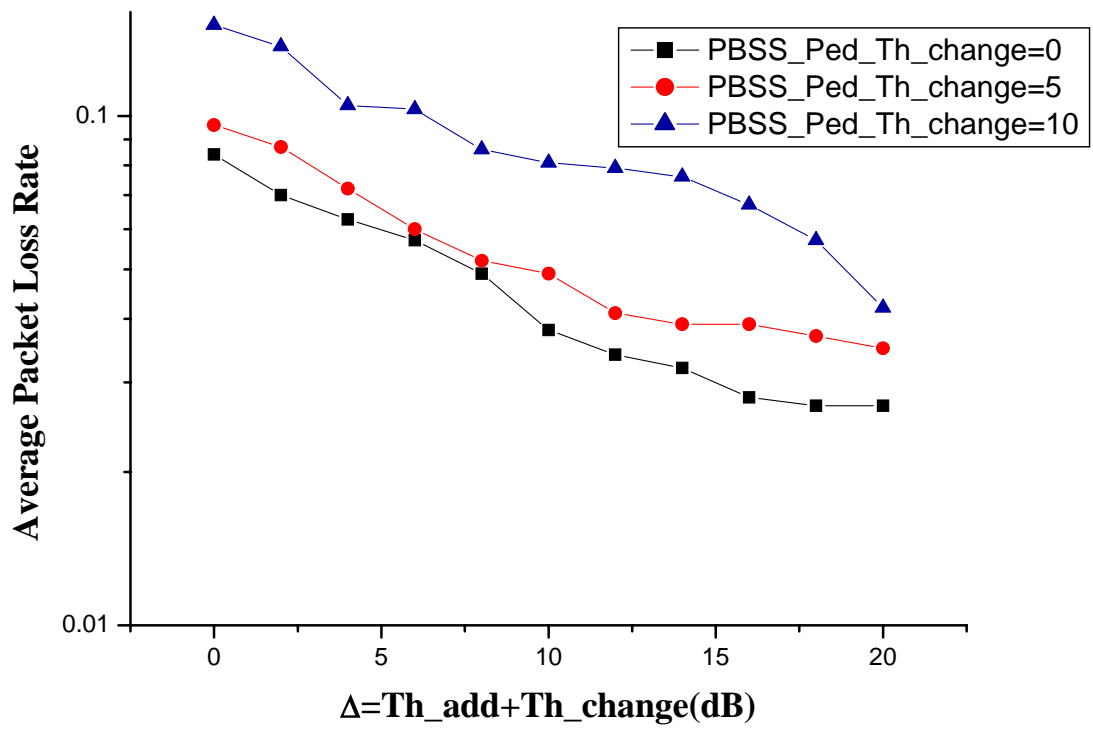


圖 6-2.3 不同 Th_change 下使用者之平均封包移漏率

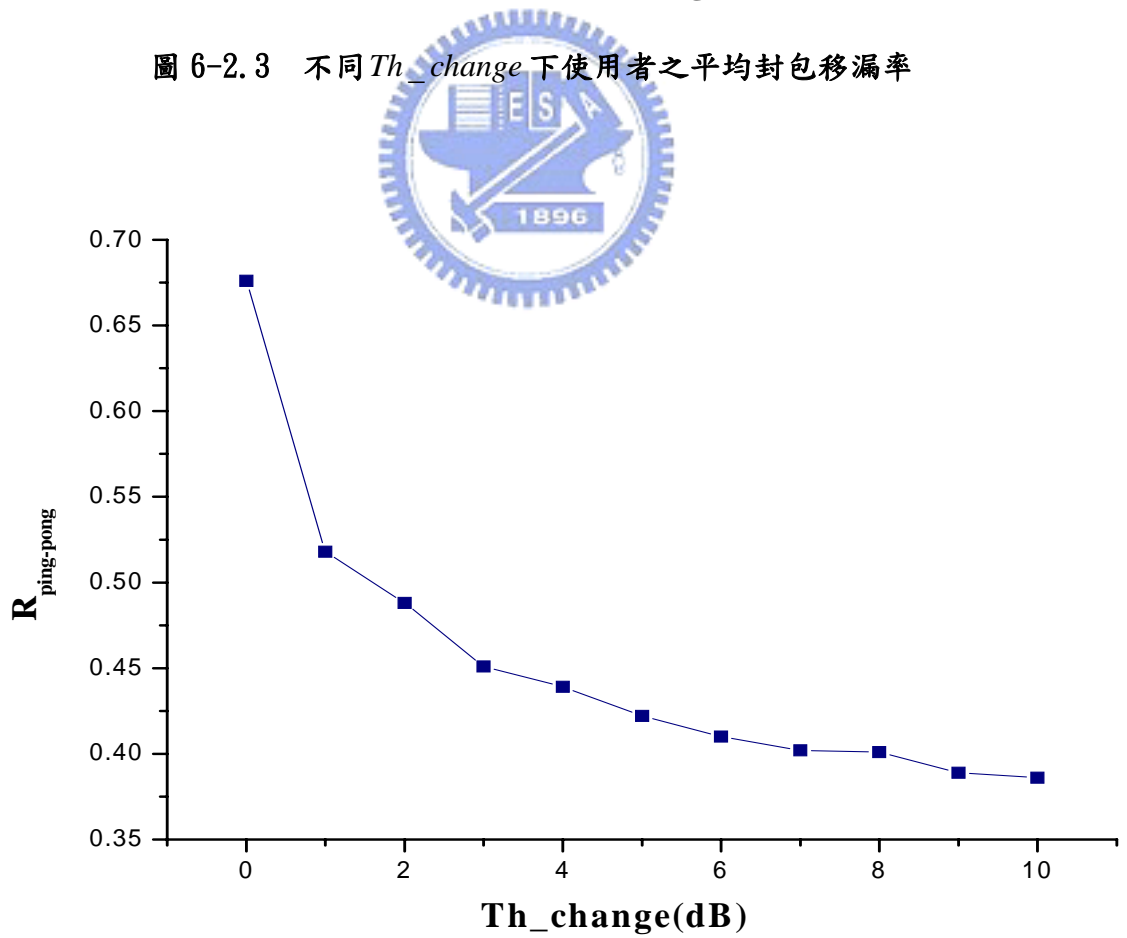


圖 6-2.4 使用者平均遭受乒乓效應的次數

第三章曾經提過，前置式基地台切換演算法在網路層的行為類似軟式換手技術，由圖 6-2.5 可以看出，在最大 Active Set Size=3 的情況下，高速移動的使用者平均所佔據的 Active Set Size 會比低速移動使用者來得高，但前置式基地台切換技術及軟式換手技術平均所佔據的 Active Set Size 是一樣的，由此可驗證此兩者在網路層佔據同樣多的資源。

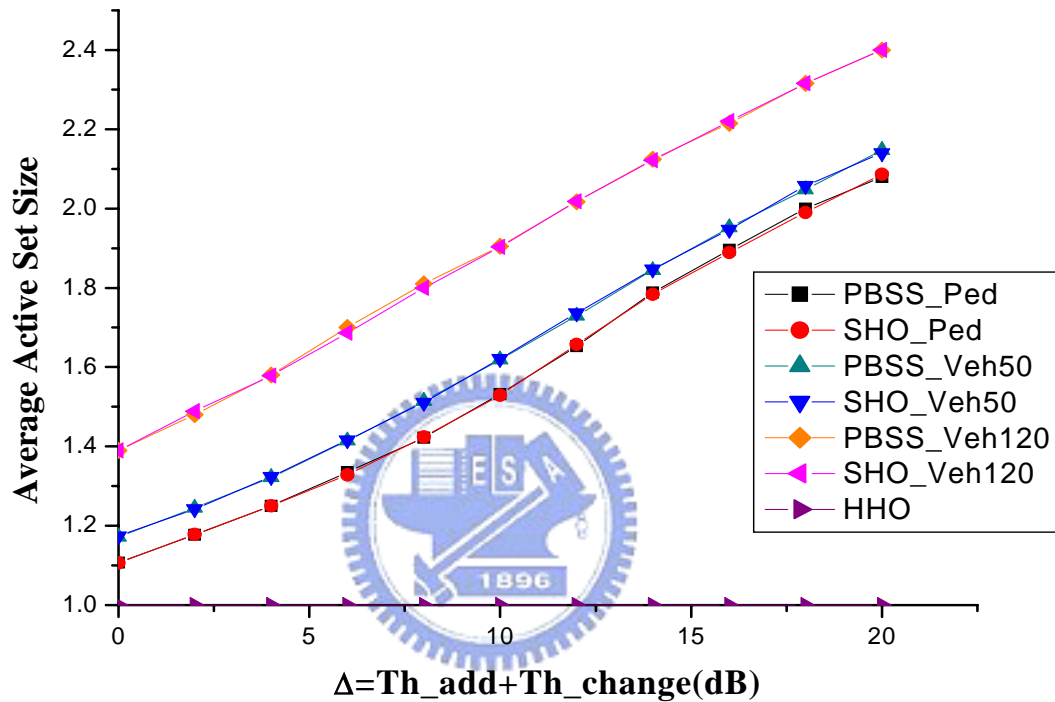
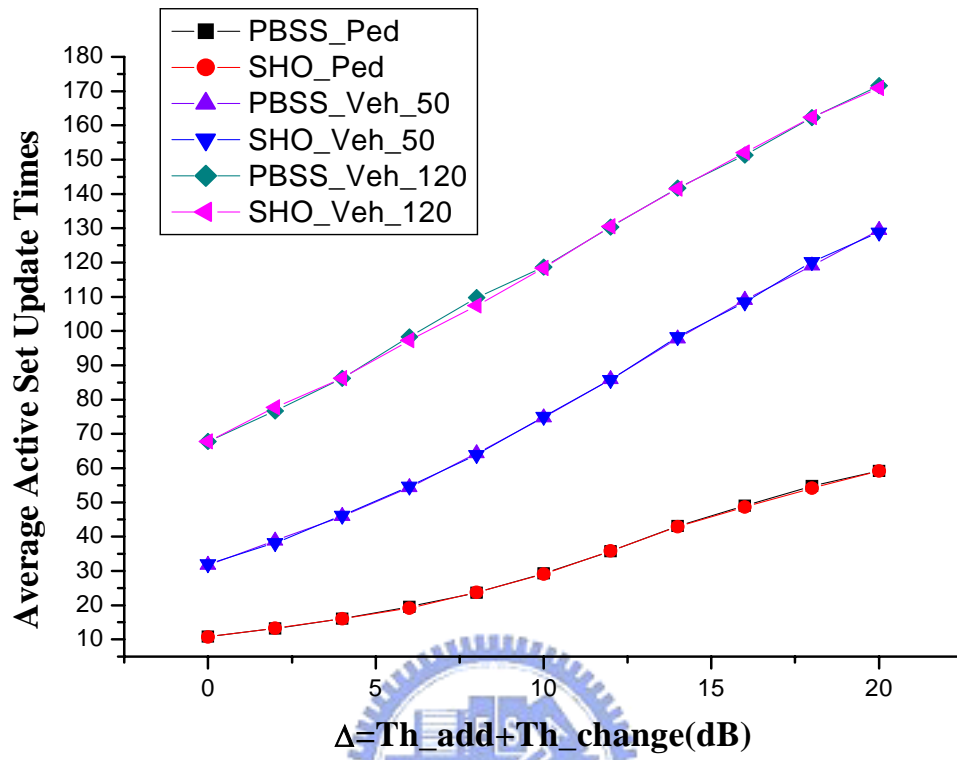


圖 6-2.5 不同換手技術之平均 Active Set Size 之比較

圖 6-2.6 為網路層平均 Active Set 更新的次數，由於更新 Active Set，等於是重作預先註冊的動作，同樣是佔據了網路層的資源，因此由圖 6-2.6 可看出其趨勢和圖 6-2.5 相似，且前置式基地台切換啟動演算法和軟式換手技術在同樣的速度下幾乎是重合的。



6-2.6 不同換手技術網路層平均 Active Set 更新的次數

第七章 結論與展望

本論文中，我們首先介紹 OFDM 傳輸技術，接著對於以 IP 為基礎之無線網路架構作一個描述，並且分析此種以 IP 為基礎之無線網路和過去 WCDMA 網路架構之不同，並比較各類換手技術在此架構下之適用性。

在以 IP 為基礎之 OFDMA 系統中，若不增加硬體複雜度，軟式換手技術的實現有其困難性，因此，我們在鏈結層只維持一條連線的前提下，提出了一套前置式基地台切換啟動演算法，並根據 IEEE 802.16e 標準之信號交換流程作一些改善及加入新的想法，縮短執行換手所造成之網路層及鏈結層信號交換流程，透過訊號流程之設計及啟動演算法之模擬，可看出前置式基地台切換啟動演算法其服務中斷時間 $< 40\text{ms}$ ，確實可滿足即時性服務之要求；且隨著 Δ 值的增加，其平均封包移漏率最大可改善 78%；隨著 Th_change 的減少，平均封包移漏率最大可改善 57%。

前置式基地台切換演算法經由 Δ 值的增大，其平均封包移漏率能有效的降低，因此若能準確的預估鏈結層換手被啟動的時間點，使得預先註冊的動作完成時，鏈結層換手剛好要啟動，一方面能夠縮短網路層被提前占據資源的時間，一方面又能減少在鏈結層訊號強度不夠，但又無法啟行基地台切換時所造成的封包錯誤，因此，根據訊號強度來預測預先註冊被啟動的時間點可作為未來研究之參考方向。

參考文獻

- [1] <http://taiwan.cnet.com/news/comms/0,2000062978,20088371,00.htm>
- [2] <http://www.tenwhere.com/DOC/WiMax%20%E5%B8%83%E5%B1%80.doc>
- [3] Wong, D.; Teng Joon Lim; Wong, D.; Teng Joon Lim; “Soft Handoff in CDMA Mobile Systems”, IEEE Wireless Communications, pp. 6 – 17, Vol.4, Issue: 6, Dec. 1997.
- [4] Y. Chen, “Soft Handover Issues in Radio Resource Management for 3G WCDMA Networks”, Dissertation of Doctor of Philosophy, Department of Electronic Engineering Queen Mary, University of London, September 2003.
- [5] T. B. Zahariadis, K. G. Vaxevanakis, C. P. Tsantilas, N. A. Zervos and N. A. Nikolaou, “Global Roaming in Next-Generation Networks”, IEEE Communications Magazine, pp.145-151, Vol.40, Issue: 2, February 2002.
- [6] N. Nakajima et al., “Handoff Delay Analysis and Measurement for SIP Based Mobility in IPv6 ”, IEEE ICC, pp.1085-1089, Vol. 2, May 2003,
- [7] F. Feng and D. S. Reeves, “Explicit Proactive Handoff with Motion Prediction for Mobile IP”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp.855-860, Vol. 2, March 2004
- [8] A. J. Viterbi, “CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication”, Addison-Wesley, ISBN:0-201-63374-4, 1995.
- [9] Richard van Nee , Ramjee Prasad. “ OFDM for Wireless Multimedia Communications”.
- [10] R. W. Chang. “Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission”, *Bell System Tech. J.*, 45:1775-1796. Dec. 1966.
- [11] L. J. Cimini. “Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency-division multiplexing” ,*IEEE Trans. Commun.*, COM-33970:665-675, July 1985
- [12] J. A. C. Bingham. “Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come” , *IEEE Commun. Mag.* , 28(5):5-14, May 1990.
- [13] <http://www.cs.nthu.edu.tw/~jcchen/book.html>
- [14] 802.16g-04/03r2, “Draft Amendment to IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment to IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Management Plane Procedures and Services”, April 2005

- [15] 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System."
- [16] IEEE P802.16e/D9, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands", June 2005
- [17] <http://www.itri.org.tw/chi/services/ieknews/e00000807-B10-4-D726-0.doc>
- [18] S. Pack and Y. Choi, "Fast Handoff Scheme Based on Mobility Prediction in Public Wireless LAN Systems", *IEEE Communications Proceedings*, pp.489-495, Vol.151, Issue 5, October 2004.
- [19] Dutta, A.; Madhani, S.; Chen, W.; Altintas, O.; Schulzrinne, H., "Fast-handoff schemes for application layer mobility management", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2004. PIMRC 2004. 15th IEEE International Symposium on, pp.1527 – 1532, Vol.3, Sept. 2004
- [20] Zhang, N., Holtzman, J.M., "Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements" ,*Vehicular Technology*, IEEE Transactions on Volume 45, pp.174 – 179, Issue: 1, Feb. 1996
- [21] "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS : Annex B", TR 101 112 V3.2.0(1998-04), UMTS 30.03 version 3.2.0..
- [22] Gordon L .Stuber "Mobile Communication"
- [23] Theodore S. Rappaport "Wireless Communication Principle & Practice"
- [24] Gudmundson, M., "Correlation for Shadow Fading in Mobile Radio Systems" ,*Electronics Letters*, pp.2145-2146, Vol.27, November 7, 1991.
- [25] Jakes, W. C., JUN. (Ed.) , "Microwave mobile communications", Wiley, NewYork, 1974.
- [26] Jhong Sam Lee ,and Leonard E. Miller "CDMA Systems Engineering Handbook", Artech House , pp1012 –1017, 1998.
- [27] Duo Zhang; Guo Wei; Jinkang Zhu, "Performance of hard and soft handover for CDMA system", *Vehicular Technology Conference*, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th, pp. 1143 – 1147, Vol.2, 24-28 Sept. 2002