

國立臺灣大學電機資訊學院電信工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Communication Engineering

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Master Thesis

WiMAX 與 LTE 間異質無線網路共構研究與效能提升

Heterogeneous Wireless Network Integration And

Performance

Improvement Between WiMAX And LTE

陳柏任

Po-Jen Chen

指導教授：張進福 博士

Advisor: Jin-Fu Chang, Ph.D.

中華民國 98 年 7 月

July, 2009

國立臺灣大學（碩）博士學位論文
口試委員會審定書

WiMAX 與 LTE 間異質網路共構研究與效能提升
Heterogeneous wireless network integration and
Performance Improvement between WiMAX and
LTE

本論文係陳柏任（R96942107）在國立臺灣大學電信工程
研究所、所完成之碩士學位論文，於民國 98 年 7 月 18 日承
下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

傅達福

（簽名）

（指導教授）

魏學文

金力鵬

系主任、所長

王暉

（簽名）

誌 謝

在論文的一開始，有很多的感謝。首先要感謝老師 張進福教授，學生不會忘記當初老師在暨南大學校長室內的叮嚀與期盼。對學生而言，老師不只是學生的指導教授，更是永遠的校長，同時也為學生樹立一個清風傲骨的人生典範。平日所訓勉的人生教誨與對學生的關心，學生將永遠銘記在心。

再來特別感謝魏學文教授與金力鵬教授對於本論文之閱讀，並撥冗擔任學生之口試委員，更感謝兩位教授對研究與學術上之貢獻。

以及感謝蔡志宏教授，若沒有了計算機模擬與排隊理論，本論文將只剩下一半不到的分量。同時也感謝所有從小到大教導過我的老師，也感謝所有唸過的學校，在此特別感謝桃園，埔里，以及台北，與我生長的這塊土地。

感謝所有的實驗室學長，梁耀仁學長、郭冀學長、浩軒、慶哲、和鵬、義堯、伯泓、靖群、家慶，與所有的學弟，峻嘉，俊儀，智焜，展碩，岱瑋，更重要的是是一群一起唸書一起 meeting 一起共甘苦的夥伴，建綸，銘成，宇承，達濤，健瑋，世佳，兩含，三哥，威宇，小亮。兩年來沒有周休二日的感覺，因為禮拜六都要 meeting，但我知道我一定會懷念這種沒有周休二日的日子。

大學的同學們，當初一起唸書的朋友，葉縉銘，阿搞，阿邊，穎千，柱子，永裕，伯泰，TAB，你上，凱子，倍榕，賤死，家怡。沒有你們我不會在這裡。還有死黨們，阿呆，小文，子軒。

以及來台北以後所遇到的所有人，房東，Aaron，阿鳥，小黃，韻璇，倩愉，侑靜。還有許許多多族繁不及備載的人們。

最後，我要感謝我的家人。爸，媽，還有柏霖。多謝你們長久以來的照顧，讓我能夠衣食無缺，不用費心在生活之上。以及固定的噓寒問暖、關心。在學業上能夠沒有後顧之憂。或許再多的感謝也說不出我內心的感動，僅以此篇論文獻給你們，我的家人。

摘 要

本論文主要討論在 LTE(Long Term Evolution)與 WiMAX 之間異質網路的共構問題，在未來 4G 系統營運的時候必然會遇到使用者同時擁有不同系統的帳戶，而異質網路系統間互相漫遊(Roaming)將可以解決使用者在使用上的不方便，最主要的目標就是能夠讓使用者察覺不到系統的切換。首先將會探討整個跨系統間換手(Inter-RAT handover)的流程，之中包含著實體層，MAC 層以及 IP 層，並使用 PMIPv6 來整合兩異質系統間多重 IP 問題。探討整個流程之後，發現到之中存在著許多的效能瓶頸將會提升跨系統換手的延遲時間，所以我們提出了一個增進效能的網路架構，在兩系統的中間建立一台快取伺服器，此伺服器在我們假定的功能之下，希望可以達到預先連接並把所需要的對應參數存入快取伺服器，當執行跨系統換手時即可馬上讀取此參數節省延遲時間。

本論文之研究為：

- 一，在不改動 WiMAX 標準規範的前提之下，建立 LTE 與 WiMAX 共構以及 Inter-RAT handover 之機制。
- 二，由於跨系統之換手牽涉到實體層往上到 IP 層，於是提出數學計算與 Queueing Network 結合之分析方法。
- 三，加入快取伺服器以期縮短換手時間並提升成功率。

關鍵字：

LTE，WiMAX，PMIP，跨網路換手，異質網路

Abstract

This thesis is about heterogeneous wireless network integration, we consider LTE(Long Term Evolution) with WiMAX 's case. When next generation technique is start to use, user may have different account in different wireless network system in the future. It's convenient for user that each heterogeneous system can roaming to another. And the main objective is user will not notice that they are roaming to another system. First we will discuss the whole procedure about inter-RAT (Radio Access Technique) which across physical layer, MAC layer and IP layer. And we will use Proxy MIPv6 to solve multi-IP problem in heterogeneous network. After discuss the procedure, we will find that there exist some bottleneck which will cause unnecessary delay. Based on the analysis result, we bring out a new element to improve the performance about inter-RAT handover. We add a cache server between LTE and WiMAX. We expect to decrease inter-RAT handover delay by user "pre-connect". Pre-connect will store the information we need into cache server.

Our main contributions are as follow:

1. We build up a Inter-RAT handover procedure in LTE integrate WiMAX scenario without changing WiMAX 's standard.
2. Inter-RAT handover procedure across three different layer from physical to IP. So we analysis this procedure in meth way and queueing network model.
3. Decrease inter-RAT handover delay time by adding a cache server.

Keywords:

LTE, WiMAX, Proxy MIP, Inter-RAT, heterogeneous network

目 錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 近代無線通訊發展概述.....	2
1.2.1 3GPP 旗下的技術演進.....	2
1.2.2 LTE 系統簡介.....	4
1.2.3 IEEE 旗下 802 家族之概述.....	7
1.2.4 802.16 系統簡介.....	10
1.3 異質網路間共構與換手.....	12
1.3.1 異質網路之情境.....	12
1.3.2 IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH)	13
1.4 研究動機.....	15
1.5 論文架構.....	16
第二章 LTE 與 WiMAX 共構及 Inter-RAT handover.....	18
2.1 Mobile IP.....	18
2.1.1 Mobile IP 之運作機制.....	19
2.1.2 Proxy Mobile IP.....	20
2.2 LTE 與 WiMAX 共構之網路架構.....	24
2.2.1 LTE 網路架構.....	24
2.2.2 WiMAX 網路架構.....	32
2.3 Inter-RAT handover.....	35
2.3.1 網路架構.....	35
2.3.2 網路之探索與選擇.....	37
2.3.3 LTE 與 WiMAX 使用 ANDSF 之機制.....	37
2.3.3 Inter-RAT handover 程序.....	39

2.4 本章小結.....	40
第三章 LTE 與 WiMAX 間 Inter-RAT handover 之延遲分析.....	42
3.1 Inter-RAT handover 延遲描述.....	42
3.1.1 同步延遲 T_{syn}	43
3.1.2 測距延遲 T_{Rng}	43
3.1.3 授權與金鑰交換 T_{auth}	45
3.1.4 註冊延遲 T_{Reg}	46
3.1.5 PMIP 延遲 T_{PMIP}	46
3.2 Queueing Network	46
3.3 分析結果.....	49
3.4 本章小結.....	54
第四章 加入快取伺服器(cache server)之 Inter-RAT handover	56
4.1 研究目的.....	56
4.2 快取伺服器(cache server)	57
4.3 WiMAX 底下之快速基地台轉換 FBSS.....	58
4.4 Cache server 輔助之預先連接 pre-connect.....	59
4.4.1 WiMAX 之 pre-connect	60
4.4.2 LTE 之 pre-connect.....	61
4.5 在 cache server 輔助之下的 Inter-RAT handover	63
4.5.1 LTE 藉由 cache server 幫助換手到 WiMAX	63
4.5.2 WiMAX 藉由 cache server 幫助換手到 LTE.....	64
4.6 分析結果.....	65
4.7 本章小結.....	72
第五章 全文總結與未來展望.....	74
5.1 各章節回顧.....	74
5.2 未來展望.....	76
參考文獻.....	77

圖目錄

圖一	無線通訊系統演進歷程.....	4
圖二	各式行動通訊系統比較.....	6
圖三	各層級網路.....	7
圖四	IEEE 802.21 系統架構.....	15
圖五	Mobile IP 架構圖示.....	20
圖六	Proxy MIPv6 架構圖.....	21
圖七	Proxy MIPv6 訊息流程.....	22
圖八	LTE 架構圖.....	23
圖九	Bearer 示意圖.....	26
圖十	Gateway control 流程.....	27
圖十一	IP-CAN 建立程序.....	28
圖十二	網路依附程序三之一.....	29
圖十三	網路依附程序三之二.....	30
圖十四	網路依附程序三之三.....	31
圖十五	WiMAX 網路架構示意圖.....	32
圖十六	WiMAX 網路進入程序.....	33
圖十七	LTE 與非 3GPP 系統共構架構.....	35
圖十八	S-GW 與 PDN-GW 間協定堆疊.....	36
圖十九	ANDSF 架構.....	37
圖二十	LTE 與 WiMAX 運用 ANDSF.....	38
圖二十一	ANDSF 流程.....	38
圖二十二	Inter-RAT handover 程序.....	39
圖二十三	EAP 架構.....	45
圖二十四	Inter-RAT handover 排隊模型.....	46
圖二十五	Inter-RAT handover 排隊模型(二).....	47
圖二十六	M/M/C 圖示.....	49
圖二十七	參數設定(一).....	49
圖二十八	M/M/1 與 M/M/3 換手延遲.....	50
圖二十九	AAA 用戶增多之影響.....	51
圖三十	Inter-RAT handover 累積分配函數.....	51
圖三十一	換手失敗率.....	52
圖三十二	M/M/1 模擬結果比較.....	52
圖三十三	M/M/3 模擬結果比較.....	53
圖三十四	模擬流程圖.....	54
圖三十五	cache server 架構.....	57
圖三十六	IEEE 802.16 MAC Layer 分層協定.....	59

圖三十七 WiMAX pre-connect 流程.....	60
圖三十八 LTE pre-connect 流程.....	62
圖三十九 LTE to WiMAX with cache.....	63
圖四十 WiMAX to LTE with cache.....	64
圖四十一 cache server 輔助下之 Queueing network.....	66
圖四十二 cache mean service time=100ms.....	67
圖四十三 AAA arrival=2.5/s.....	67
圖四十四 M/M/3 之 AAA server.....	68
圖四十五 LTE to WiMAX with cache 模擬結果.....	68
圖四十六 WiMAX to LTE with cache 模擬結果.....	69
圖四十七 LTE to WiMAX with cache M/M/3.....	69
圖四十八 WiMAX to LTE with cache M/M/3.....	70
圖四十九 LTE to WiMAX 累積分配函數.....	70
圖五十 WiMAX to LTE 累積分配函數.....	71
圖五十一 time out=2sec 之換手失敗率.....	71
圖五十二 cache mean service time=500ms.....	72



表 目 錄

表一	Proxy MIP 與 MIP 之比較.....	24
表二	參數設定(一)	50
表三	cache server 對應表.....	60
表四	參數設定(二)	66



第一章

緒論

1.1 前言

自從電磁波的發現以來，經由許許多多科學家的研究，曾經只出現在實驗室裡的技術如今已經是街頭巷子裡隨意可見的生活必需品了。無線通訊在現今社會中成為了一個不可或缺的生活習慣，不論是通訊產業所帶來的經濟效益，或是社會大眾所得到的便利，在不知不覺當中，「通訊」已經如同吃早餐般的重要。

無線通訊的普及，只是在這短短數十年間的事情，而過去數年中的發展更是非常快速，自從蜂巢式行動通訊系統推出後，短短幾年間使用普及率的增加，遠超過以往數十年的累積成果，已經深深的融入生活當中。原因除了技術發展之外，全球電信自由化的潮流與趨勢也造就了經濟市場，以及更新更好的產品。以臺灣為例，行動電話用戶數正快速向上攀升。一九九八年底臺灣行動電話服務的普及率僅 21.6%，至一九九九年底，行動電話用戶數已超過市話用戶，二〇〇二年中，普及率已超過 100%，平均超過人手一機。到二〇〇三年中，普及率更高達 112%，居全球領先地位，在 2007 年的統計當中，行動通話用戶數共有 24.3 百萬戶，之中 2G 達到 15.9 百萬戶，3G 亦有 6.9 百萬戶[1]。

在最近幾年當中，無線通訊的使用型態已經不同於以往單純的語音話務，技術上從電路交換進化為分封交換，於是資料的傳送在無線通訊當中已經逐漸抬頭，用戶對於網際網路的使用有著越來越重的依賴性，為了迎合使用者的需求，更多的研究與更多的廠商與設備發展出現今複雜與多樣化的無線通訊服務，讓使

用者可以撥打影像電話，上網觀看影片，互動的遠距教學與會議，上線收聽音樂等等。新一帶的通訊系統將會追求著更高的資料傳輸速率，有著更大的訊號涵蓋範圍，支援更高的移動速率，提供用戶更完善的服務。

1.2 近代無線通訊發展概述

在無線通訊的範疇底下，可以再更詳細的分為兩個演進路線，行動(mobile)與無線(wireless)，兩者都是藉由空氣中的電磁波傳遞訊號，但這之中還是有著一些差異，「行動」的本質是從行動電話技術開始演進，而更遠始的起源則可追溯到無線對講機甚至軍方互相聯絡的電報。而「無線」則是由乙太網路演變而來，從一開始的固定式網路線，到無線區域網路，演化至現在更大範圍，支援移動的無線網路，之中分別的代表機構為 3GPP 與 IEEE，旗下更分別擁有許多的無線通訊技術。

1.2.1 3GPP 旗下的技術演進

(1)GSM (Global System for Mobile Communication 全球行動通訊系統)：

在 90 年代早期由歐洲所提出主導的行動電話通訊標準，採用蜂巢式概念建構，在之中利用 SIM 卡來儲存用戶資料以及加密金鑰(Key)產生用戶所需之資料，可提供更高的安全性。亦導入漫遊(Roaming)的機制使用戶可在不同營運商之間獲得服務，目前為全球普及率最高之系統。

(2)GPRS (General Packet Radio Service 通用封包無線服務)：

是 GSM 行動電話用戶可以使用的一種移動數據業務，他經常被描述為 2.5G，介於第二代與第三代通訊系統之間的過渡技術，利用 GSM 網路中未使用的 TDMA 通道，提供中速的數據傳遞，額外提供 GSM 的數據服務性能：

- 點到點 (P2P) 服務: 連接 (IP protocols)IP 網路 and X.25網路。
- 簡訊服務 (SMS): 發送 SMS。

- 多媒體短訊(MMS): 發送攜帶語音和圖像資訊的短消息。
- 網際網路服務提供商服務: 提供網際網路內容服務。
- 郵件服務通過POP3或者IMAP協議檢查閱讀發送電子郵件

在之後的時間點上，為了解決用戶在多媒體使用上的需求，行動通訊必須有著更高的傳輸速度，ITU (International Telecommunication Union 國際電信聯盟)的ITU-R (Radio communication sector 射頻通信部門)著手規劃出 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication – 2000 國際行動通訊系統 2000)，為 ITU 第三代行動通信之通稱，泛指傳輸速率在 384kbps 以上之技術，並訂定使用頻寬，技術標準，網路互連規範，及全球通行的系統標準。

直到 1998 年 8 月底，提交至 ITU 的第三代行動技術以 CDMA, TDMA, FDMA 為三大技術來發展，其中 CDMA 的通訊品質與高容量的用戶數優於其他技術，在第三代行動通訊無線傳輸技術的提案當中幾乎皆以 CDMA 為主要技術，其中包含著 3GPP 的 WCDMA，3GPP2 的 CDMA-2000，以及中國大陸自行研發推廣的 TD-SCDMA 等三種系統。

(3)W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access 寬頻分碼多工接取)：

WCDMA 除了編碼採用 CDMA 技術之外，核心網路當中還是沿用 GSM 系統，可視為 3GPP 在 GPRS 後的第三代行動通訊系統升級，同時擁有電路交換與分封交換的服務，使用者可以在利用電路交換接聽電話的同時，使用分封交換的方式存取網際網路。而最大的優勢在於提供 GSM 業者升級為 3G 的相容平台，以 GSM 目前的市場占有率超過六成的情況下，WCDMA 的普及只是時間的問題。

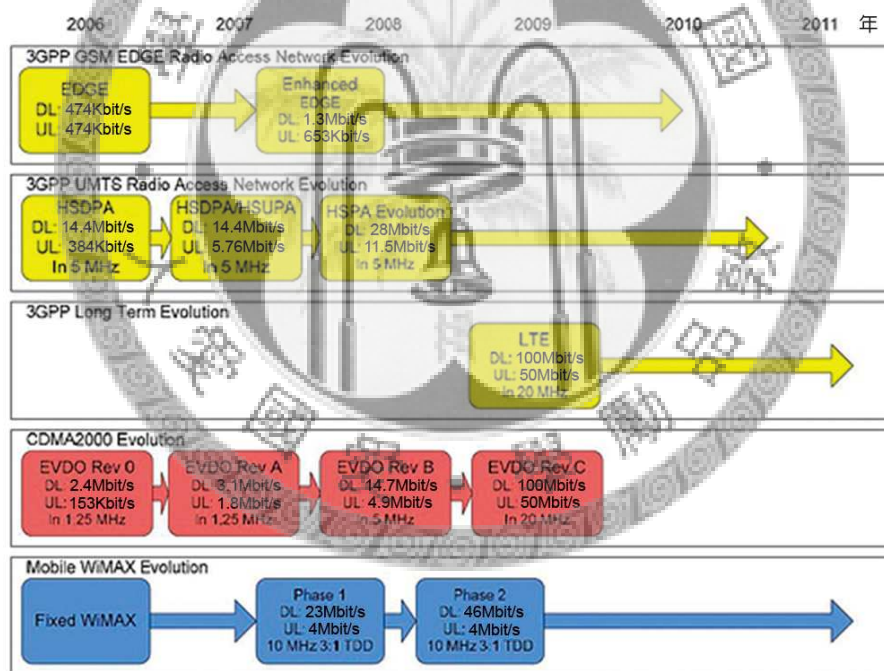
(4)HSDPA (High Speed Downlink Packet Access 高速下行封包接入)：

是接在 WCDMA 之後所推出的進階技術，提升在下行鍊路的傳輸速率，最大的改進就是加入可適性編碼調變(adaptive modulation)以及混合 ARQ (Hybrid-Automatic Repeat reQuest)，可以視為 3.5G，也就是第 3.5 代行動通訊系統。

(5)HSDPA (High Speed Uplink Packet Access 高速上行封包接入)：

為了彌補 HSDPA 中對上行鏈路的傳輸速度不足而提出的，亦稱 3.75G，由於上傳速度的增加，使的需要大量上傳頻寬的功能如雙向視訊直播或 VOIP 得以順利實現，具體上皆比 3.5G 來的好。

時代不斷的進步，使用者的需求只會越來越高，更加的難以滿足，更多更新的技術持續的提出，在 2009 的今天，3GPP 正在發展中的最新協議為 3GPP 長期演進計畫(3GPP Long term Evolution，簡稱 LTE)，正是 GSM 超越 3G 與 HSPA 邁向 4G 的進階版本，一般對他的認定為 3.9G 或是 4G，以下將會介紹 LTE 之中的主要技術。



圖一：無線通訊系統演進歷程。[2]

1.2.2 LTE 系統簡介

經過長期下來的發展進化，3GPP 旗下的系統從 GSM 到 WCDMA 當中，始終保持著從前行動電話的本質，在 WCDMA 也是同時存在有電路交換與分封交換的

兩個線路，而這特色在發展中的 LTE 技術當中即將被捨棄，在 LTE 系統當中採用全 IP 網路(All IP network)，面對通訊產業的大幅進步，以及電信自由化的強大競爭，各式各樣的不同協定持續提出，將原有的電路交換與分封交換共存改為現在單一的全 IP 網路以支援所有網路應用服務，所帶來的優勢不只是對使用者在使用網際網路上的便利，對於系統供應商而言，電話線路的維護成本相對於網路線路是相對較高的，營運成本可以隨之降低。另一方面，以往製造商設備不能完全互通也是一件麻煩的問題，全 IP 網路當中採用全球通用的標準，而 IP 正是目前主流的網際網路協定，最後提到另外一點，全 IP 網路也是 ITU 對於下一代行動通訊所要求的一個門檻，若想擠身全球共通的標準，則全 IP 網路將是必要條件。

另一個 LTE 新穎的改變就是在於改變空中接取的傳輸技術，長期採用的 CDMA 對於頻寬使用的效益不如最新流行的 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access，正交分頻多工技術)，於是在 LTE 裡下行鍊路是採用 OFDMA，而上行鍊路中採用 SC-FDMA (Single carrier – Frequency Division Multiple Access)。

OFDM 具備高速率資料傳輸的能力，加上能夠對抗頻率選擇性衰減通道而漸漸的獲得各方研究的重視與採用，在 OFDM 當中使用大量相鄰正交的子載波 (Orthogonal subcarrier)，每個子載波上採用傳統的調變，整個 OFDM 便是多工技術與調變技術上的結合。除了上述優點之外，另外還能夠有效的減少多路徑干擾 (multipath)，並且接收端利用簡單的 one-tap equalization 補償通道傳輸的失真。

但 OFDM 並非完美無缺，對於正交子載波間的正交關係要求非常嚴格，於是在高速移動的環境之下，載波受到都普勒效應頻率飄移的影響將會影響正交性，對於傳輸訊號並不理想，有無數的研究正在處理高速環境下的問題。在另一方面還存在著峰值對平均功率(PAPR)比例較高的問題，這是由於 OFDM 訊號是由多個調變過的子載波線性相加而成，可能在某一時間某一頻率出現極高的峰值，導致在數位類比轉換的過程當中，經過量化後產生的量化雜訊會隨著訊號變大的同時隨之變大，進而失真，並且在射頻功率放大器中的放大訊號有一定範圍，超越此範圍在飽和區內的信號則會有非線性大失真的問題。OFDMA 則是 OFDM 的多用戶版本。

3GPP 在上行鍊路中所採用的 SC-FDMA 是單載波，與 OFDM 相比較之下擁有較低的發送功率，亦有較低的 PAPR，對於移動終端設備來說可以節省更多的發送

功率，則可擁有更長的電池使用時間，而 LTE 是目前新採用此項技術的規格之一。

另外加上前幾代既有的技術，如 H-ARQ，MIMO，可適性調變技術，在下行鍊路當中目標是大於 100Mbps，而在上行鍊路當中則希望能夠達到 50Mbps 的速度，利用 MIMO 可達到高通道容量和 OFDM 可提高頻譜使用率，這對於每個基地台所能支援的用戶有著顯著的增益。

表3 各式行動通訊系統比較

製表者：侯敬宇

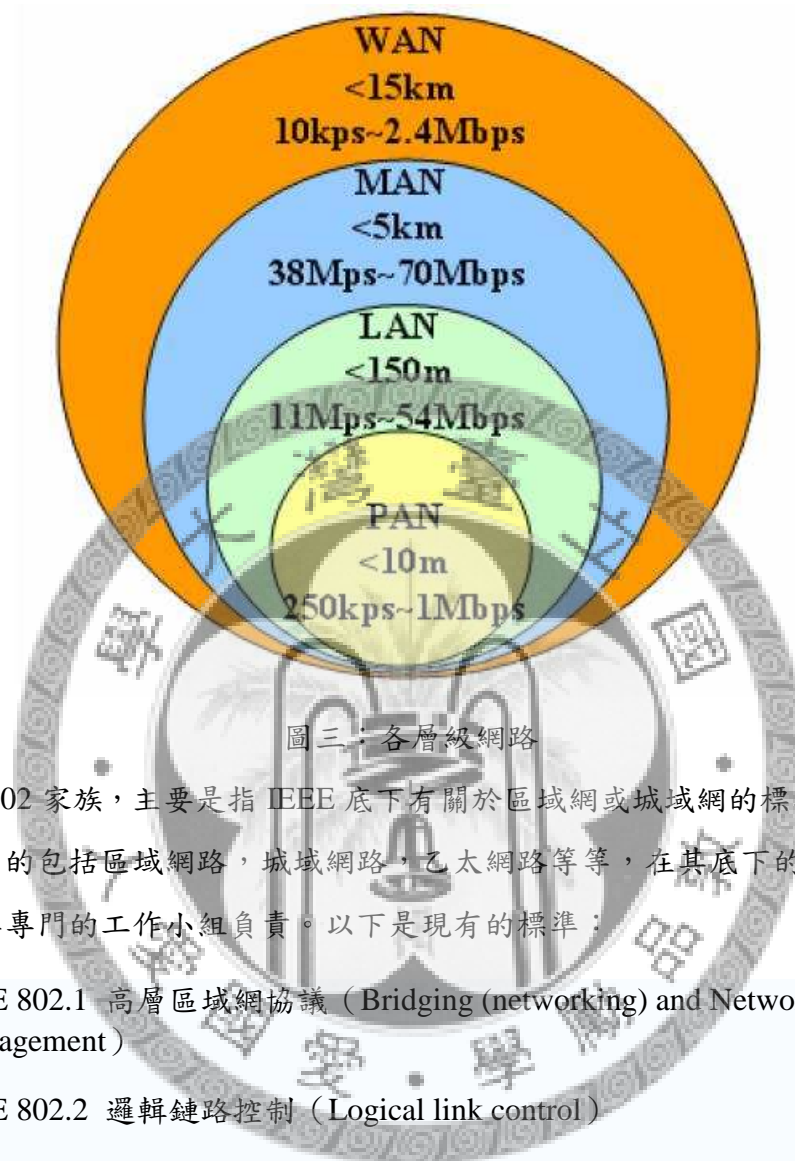
技術標準	演進路徑	應用範圍	無線技術	下行速率 (Mbit/s)	上行速率 (Mbit/s)	備註
LTE	UMTS/4GSM	Mobile Internet	OFDMA/MIMO/SC-FDMA	326.4	86.4	下一階段為LTE-Advanced 傳輸速率達1 Gbit/s
IEEE 802.16e	WiMAX	Mobile Internet	MIMO-SOFDMA	70	70	短距內較有優勢 10公里時約 10Mbit/s
WiBro	WiBro	Mobile Internet	OFDMA	50	50	距離約900公尺
EDGE Evolution	GSM	Mobile Internet	TDMA/FDD	1.9	0.9	3GPP Release 2
UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA HSPA+	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/FDD CDMA/FDD/MIMO	0.384 14.4 42	0.384 5.76 11.5	今日以HSDPA 最高常見HSPA+ 下行達42 Mbit/s.
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/TDD	18	15	modulation similar to HSDPA+HSUPA
1xRTT	CDMA2000	Mobile phone	CDMA	0.144	0.144	Succeeded by EV-DO
EV-DO 1x Rev.0 EV-DO 1x Rev.A EV-DO Rev.B	CDMA2000	Mobile Internet	CDMA/FDD	2.45 3.1 4.9xN	0.15 1.8 1.8xN	Rev. B note: N is the number of 1.25 MHz chunks of spectrum used. 未定義

資料來源：各單位

圖二：各式行動通訊系統比較[2]

在未來 4G 產業的發展當中，其中一塊受到注目的地方是在於不同系統當中的共構與合作，LTE 也對這方面的研究提出一些解決方式，不僅僅是對於 3GPP 過去所推出的各代系統，另外也對於其他系統如 WiMAX 或 Wi-Fi 也在正式規範當中保留這部分的章節，目前 LTE 的明確規範還未發展完全，但也可以看出系統間的整合會是重點之一，詳細內容將在後面章節有所討論。

1.2.3 IEEE 旗下 802 家族之概述



圖三：各層級網路

IEEE 802 家族，主要是指 IEEE 底下有關於區域網或城域網的標準規範，其中最廣泛使用的包括區域網路，城域網路，乙太網路等等，在其底下的每一個系列標準皆有其專門的工作小組負責。以下是現有的標準：

- IEEE 802.1 高層區域網協議 (Bridging (networking) and Network Management)
- IEEE 802.2 邏輯鏈路控制 (Logical link control)
- IEEE 802.3 乙太網 (Ethernet)
- IEEE 802.4 令牌匯流排 (Token bus)
- IEEE 802.5 令牌環 (Token-Ring)
- IEEE 802.6 城域網 (Metropolitan Area Network, MAN)
- IEEE 802.7 寬頻 TAG (Broadband LAN using Coaxial Cable)
- IEEE 802.8 FDDI (Fiber Optic TAG)
- IEEE 802.9 同步區域網 (Integrated Services LAN)
- IEEE 802.10 區域網網路安全 (Interoperable LAN Security)

- IEEE 802.11 無線區域網 (Wireless LAN & Mesh)
- IEEE 802.12 需求優先順序 (Demand priority)
- IEEE 802.13 (未使用)
- IEEE 802.14 電纜數據機 (Cable modems)
- IEEE 802.15 無線個人網 (Wireless PAN)
- IEEE 802.16 寬頻無線接入 (Broadband Wireless Access)
- IEEE 802.17 彈性封包環傳輸技術 (Resilient packet ring)
- IEEE 802.18 無線電管制技術 (Radio Regulatory TAG)
- IEEE 802.19 共存標籤 (Coexistence TAG)
- IEEE 802.20 移動寬頻無線接入 (Mobile Broadband Wireless Access)
- IEEE 802.21 (Media Independent Handoff)
- IEEE 802.22 (Wireless Regional Area Network)

隨著科技的進步，各式各樣不同的電子產品陸續問世，其中不乏需要通訊能力的產品，從個人電腦，筆電，PDA 直到手機甚至掌上型的遊樂器，在無線通訊系統還尚未普及的時候，人們習慣使用網路線來連接網際網路，無線通訊的成熟之後的「網路」才慢慢發展成現今的樣子。不同的電子產品對於通訊距離有著不同的需求，於是漸漸便有著所謂無線區域網路，無線個人網路，另外還有類似行動通訊系統的寬頻無線接入。底下將概述一些主流無線網路技術：

(1)IEEE 802.15.3a：超寬頻 UWB (Ultra Wide Band)

UWB 為一種無載波通信技術，利用非正弦波窄脈衝傳送數據，擁有較低的耗電量以及高傳輸速率，最高可提供達到 100Mbps 的驚人表現，另外也有精確的定位能力，但傳輸距離短，限制在十公尺之內，目前應用在影像系統包括監視系統，醫療影像系統，或是車用防撞雷達系統等等。

(2)IEEE 802.15.4：Zigbee

Zigbee 主要由 Zigbee Alliance 所制定，強調低成本，低耗電，雙向傳輸，感應網路功能等特色，主要朝向開放標準的方向發展，IEEE 也將其納入成為 802.15.4

之標準，可以支援 Star，Tree，Mesh 等的網路拓撲。

(3)IEEE 802.15.1：藍芽 Bluetooth

「Bluetooth」的緣由為 10 世紀當時的丹麥國王哈拉爾德(Harald Gormsson)，出身海盜的哈拉爾德整合了北歐國家，成為維京王國的國王。私底下他喜歡吃藍莓，牙齒常常被染成藍色，而有了「藍牙」的綽號。藍芽技術始於易利信公司，主要研究在行動電話和其他配件間進行低功率、低成本的無線通訊連接。目的為在建立設備間的一套標準規範，以解決用戶間互不相容的移動電子設備。1997 年前易利信公司此概念接觸了移動設備製造商，討論其項目合作發展，結果獲得支持。1998 年項目正式啟動。

藍芽協議工作在免證照的 ISM(Industrial Scientific Medical)頻段的 2.45GHz。最高速度可達 723.1kb/s。為了避免干擾可能使用 2.45GHz 的其它協議，藍牙協議將該頻段劃分成 79 頻道，(頻寬為 1MHz)每秒的頻道轉換可達 1600 次。目前較新的電子產品當中皆會有這系統包含在內。

(4)IEEE 802.11：無線區域網路

目前最主流的無線通訊系統，理所當然的會是 802.11 無線區域網路，在生活中隨處可見到他的身影，在咖啡店中，學校，或是在家中只要購買簡單的設備即可享受無線區域網路的服務，尤其是在許多的筆電族群中更是不可或缺的方便技術，甚至是當你身處在台北市的時候，更有 Wi-Fly 布建在你所需要的地方，建構出全台北市的公眾無線網路，推動市民無線上網以及便民配套應用服務，全面提升台北市的網路具體建設成果，以其成為全世界第一個的無線城市。

關於無線區域網路最值得一提的就是 Wi-Fi，很多人以為 802.11 等同於 Wi-Fi，但其實不然，Wi-Fi 是無線網路通訊技術的一個品牌，由 Wi-Fi 聯盟所持有，目的是改善基於 802.11 標準的無線網路產品之間的互通性。

1997 年 IEEE 為無線區域網路制定了第一個版本的 IEEE 802.11，其中定義工作在 2.4GHz 無須認證的 ISM 頻段上的兩種展頻調頻方式和一種紅外線傳輸的方式，總數據傳輸速率設計為 2Mbit/s，兩個設備間的通信可以使用 ad hoc，也可使用基地台(Base Station，BS)或訪問點(Access Point，AP)的協調下進行，並為了擁有良好的通訊品質同時加入 CSMA/CA(Carrier Sense Multi Access/Collision Avoidance)。

802.11a 是原始標準的修訂版本，於 1999 年獲得批准，工作頻率為 5GHz，使用 52 個 OFDM 子載波，最大傳輸速率可達 54Mb/s，然而在高頻的環境下 802.11a 幾乎限制在直線範圍內使用，縮短涵蓋範圍。而 802.11b 並不是 802.11a 的後繼者，802.11b 載波頻率為 2.4GHz，最高傳送速度達到 11Mbit/s，由於 802.11a 中的 5GHz 組件研製成功太慢，造成 802.11b 產品比較早上市銷售，並被廣泛的採用，在之後的設備廠商對技術進行改進，現有的無線區域網路設備大多同時支持 a 和 b，以及後續演進的技術。802.11g 在 2003 年通過，為 802.11b 的後續發展，載波頻率與 b 相同，但原始傳送速度提升至 54Mbit/s，而市場上目前最新發展的為 802.11n，為 2004 年提出，加入了 MIMO 的技術，傳輸速度理論值為 300Mbit/s，並有更遠的傳輸距離。無線區域網路能夠在無線通訊技術當中有現在如此地位，高傳輸速率以及設備便宜易得絕對是主要的原因。對於非移動性的用戶有非常足夠的理由掏出錢包購買無線區域網路的服務。

1.2.4 802.16 系統簡介

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access，全球互通微波存取)，這是一個目前火紅的無線通訊技術之一，也同時是 802.16 的另一個代名詞，在 2001 年初步成型，而在 2003 年提出修正的 802.16a，可以支援 2GHz-11GHz 的頻帶範圍並增加了 OFDM 技術至實體層當中，在 2004 年所修改提出的版本 IEEE Std 802.16-2004 於六月通過，使之前舊有版本 802.16-2001 與 802.16a、802.16c 失效，在 802.16-2004 當中描述有關於固定式系統的標準，而在之後一年提出的 IEEE 802.16-2005，或稱 802.16e、Mobile WiMAX 為針對前一版固定式系統所做的改良，也就是 Mobile WiMAX 與 WiMAX 的差異，特別是調變的部分，經由 OFDMA 允許固定式與移動式的 Non Line of Sight (NLOS) 應用，另外還有目前 2009 年尚在發展當中的 802.16m。

當初最一開始所提出來的用途在於長距離的無線傳輸以及較寬的頻帶，協助電信業者與 ISP 業者建置無線網路的最後一哩，提供傳統數位用戶迴路(Digital Subscriber Line，DSL)或是光纖的另一種選擇，由於有線的建構及維護成本相較於無線是來得高的，同時在某些偏僻的地區將會不符合經濟效益，所以在當初的構

思當中，固定式 WiMAX 便是一項成本較低，應用範圍更廣的替代方案，在地廣人稀網路布建尚未成熟如澳洲或中國內陸地區，將會有很大的發展。

在使用 20MHz 的頻寬時，預估可以達到 74Mbps 的最大速率，另外在 WiMAX 之中還有著其他的特點，以 OFDM 為基礎的實體層，OFDMA 的用戶分配增加系統容量，可適性調變編碼(AMC)，同時支援分時多工 TDD (Time Division Duplex) 以及分頻多工 FDD (Frequency Division Duplex)，彈性動態的資源分配，以及先進的天線系統(AAS，Advanced Antenna System)，之中包括有束波成型(Beamforming)，空時碼(Space-time coding)和空間分集(Spatial multiplexing)。

在全 IP 網路的架構之中，每個使用者根據不同的應用程式，會有不同等級的 QoS (Quality of Service)需求，而在目前大多數的無線通訊技術當中都會針對這點加入分級的機制，同樣的在 WiMAX 當中不免俗的也有著五個層級的 QoS：

(1) Unsolicited grant services (UGS)非請求的頻寬分配：

支援的情況為當封包是以固定傳輸速率(Constant Bit Rate, CBR)傳送，必須定義之參數為封包傳輸速率，最大延遲時間，可容許抖動和要求/傳輸方法等。

(2)Real-time polling services (rtPS)即時輪巡服務：

當所要求服務為即時通訊的應用程式如 MPEG 影像串流，即屬於此 QoS 層級，所需定義參數為最小保留比率，最大持續傳輸速率，最大延遲時間，可容許抖動和要求/傳輸方法等。

(3)Non-real time polling services (nrtPS)非即時輪巡服務：

此層級支援之服務為容許延遲的通訊服務，如 FTP。需要之參數為最小保留比率，最大持續傳送速率，通訊優先順序和要求/傳輸方法。

(4)Best-effort (BE) services 實際可傳之最大速率：

主要支援不需要服務保證之封包，Best effort 所代表的就是 no QoS，服務如網頁瀏覽等的應用程式，參數為最大的持續傳輸速率，通訊優先順序和要求/傳輸方法。

(5)Extended real-time variable rate (ERT-VR)延伸即時可變速率服務：

此層級是為了支援即時性上的應用延伸，如 VOIP，具有不規則之封包傳送速率，同時也必須保證傳輸速率和延遲時間，亦稱延伸即時輪詢服務(Extended real-time Polling Service，ErtPS)。

1.3 異質網路間共構與換手

經由上述介紹可知目前可供使用的無線通訊技術總類繁多，暫且先不提不同組織間所提出來的技術，光是同一組織之中所推出的不同世代系統間能否並存已經是件很複雜的問題。如何整合這些通訊系統是件非常有趣之題目，同時也是下一代行動通訊系統的一項重要功能，IMT-advanced 為針對未來無線頻譜應用進行規劃之國際官方組織，其之中已經明確提出未來新一代無線通訊系統必須能夠在不同系統間進行跨網路之換手以及共構共存(coexistence)之能力。

1.3.1 異質網路之情境

在說明異質網路共構與跨系統間換手 Inter-RAT (Radio Access Tech) handover 前，首先總結一下上述無線通訊技術，第一大類為行動通訊，由手機系統進階到現在在可以使用手機行動上網，第二大類為無線網路，之中又分為個人無線網路，無線區域網路，還有 WiMAX 的全球互通微波存取系統，可提供更大範圍的無線網路。假設現在某天，小明是個對新科技很有興趣的年輕人，身上的行頭走在科技的尖端，標準配備為一隻多模手機，小筆電搭配 3.5G 的網卡。再更精確的描述小明的這隻多模手機，它擁有藍芽傳輸，可用 2G 打電話，3G 上網，另一方面也可以使用無線區域網路 WLAN。

於是小明的一天就這樣開始了，早上出門搭公車的時候，在車上看到一位很漂亮的女生，滿懷緊張的心情偷偷的用手機拍了下來，然後在公司裡將照片使用藍芽傳送到筆電當中，跟同事分享著今天早上的開心事。愛現的小明對此還並不滿意，想起 MSN 上的死黨小華，於是他將 3.5G 網卡插上筆電，準備連線上 MSN

與小華分享。

打混摸魚了半晌，小明的手機響起，他馬上將藍芽耳機塞入耳朵，經過一段談話後原來是與客戶相約在捷運站附近的咖啡廳裡談下公事，這時他馬上把筆電與手機帶著出發往咖啡廳去，在捷運上他想起了剛辦的 WiMAX，便把筆電打開連上 WiMAX 觀看今日的重大新聞。再步出捷運站門口的當下，小明想起了剛剛看到的財經新聞會不會對他買的股票有所影響，所幸時間還充裕，於是他拿出了手機搜尋附近 WLAN 的訊號，但結果讓他很失望，於是選擇了 3G 系統連線上網路看盤。

到了咖啡廳中，小明點了杯咖啡坐了下來，又拿出了筆電連線上咖啡廳所提供的 WLAN，將準備對客戶說明的資料從 FTP 中下載下來，在會談之中客戶注意到了小明對於資訊的掌握非常獨特，對他留下了很深的印象，於是小明又成功的談成一筆訂單，並且在股票當中也小賺了一些。

從上述之故事當中，我們可以看到一連串複雜無線通訊系統的使用，隨著科技的發展與進步，得到了方便與容易的網路服務，但對於種類繁多的系統，有時候你所獲得的不是之中的方便與容易，而是自找麻煩。於是“跨網路系統間的換手”就隨之提出，也就是 Inter-RAT handover，試想一個情境，當你在外面使用手機上網的時候，你不需要知道你現在是使用何種系統，一切都交由系統去負責，由核心網路管理你的連線，你所做的，只是做一些簡單的設定後即可隨心所欲上網，這樣會是否更加的簡易方便？

1.3.2 IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH)

ESTI(歐洲電信標準協會)之中，對於兩系統間的整合規範了兩種方式，軟結合(loose coupling)與硬結合(tight coupling)，軟結合強調在網路後端上的整合，利用 Mobile IP 等技術以 routing 的方式達到網際網路的整合效果。另一方面，硬結合則為強調在媒體接取控制層(MAC)上的整合功能，透過 router 的連結以及一些異質換手的機制達成兩系統間之切換，前者可以達到不更改現有系統的條件下運作，但無法達到最佳化的效果，而後者必須改動現有設備的規定，但可換來更佳的整合效果。

這邊所要介紹的是 IEEE 802.21 Media Independent Handover，顧名思義就是無

論是由何種系統為媒介進入網路，802.21 可以輔助達到不同系統間的換手，在目前正在制定當中的 IEEE 協定如 802.16m 以及 802.11VHT(very high throughput)都將會加入 802.21 的協定，802.21 自 2003 年成立之後，主要目的為開發一個共通的溝通介面給 IEEE 系列之各系統，藉由此介面不同系統間可以有效的溝通幫助換手的進行。802.21 主要提供三項服務：

(1) Media Independent Information Service，MIIS 媒體獨立資訊服務

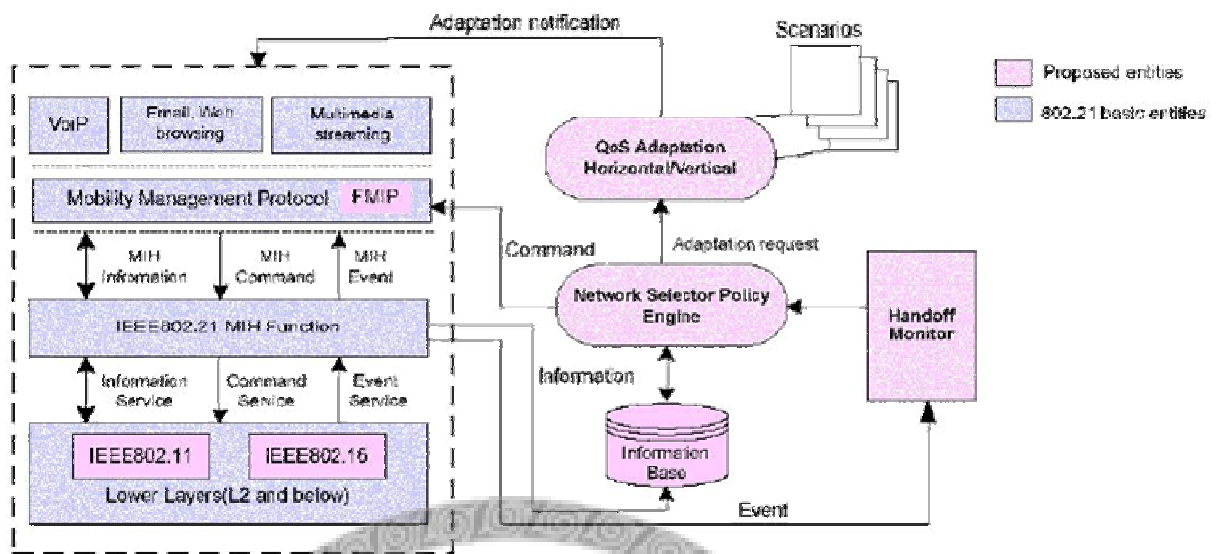
此項服務幫助所有連線到 802.21 之系統能夠透過網路取得其他系統的資訊，如傳送頻率，系統種類，架設之業者等等，幫助基地台讓用戶了解在附近有哪些其他的系統可供使用，各系統必須架設位於網路上的伺服器來提供此項服務。

(2)Media Independent Event Services，MIES 媒體獨立事件服務

此項服務為網路上層提供一些關於底層相關的監測條件來幫助換手機制的啟動，802.21 對底層的狀況制定了各種事件以及所對應的訊息，上層經過安排好的規則利用這些訊息來運作，例如當鄰近系統之訊號強度高於服務中之系統，經由此項服務將此訊息傳達到鄰近系統，以達到 Inter-RAT handover 的啟動。

(3)Media Independent Command Services，MICS 媒體獨立控制服務

此服務提供兩換手中系統的協調工作，主要內容為告知目前進行換手之使用者為何，以及原本相關的參數與資料，而換手對象的系統可以運用這些訊息對資源進行保留或其他機制，搭配此服務的轉譯可以達到進似同質換手的程度。



圖四 IEEE 802.21 系統架構[4]

802.21 整個系統主要運作於 L2 與 L3 之間，介於 MAC 層之上以及 IP 層之下，如此一來才能夠整合 IEEE 底下的各個無線通訊系統，各個系統間將會傳送資訊到 802.21 伺服器中的資料庫(Information Base)，當需要進行 Inter-RAT handover 之前，將會由 Handoff Monitor (HM)隨時偵測目前的連線狀態並將情況轉達給 Network Selector Policy Engine (NSPE)透過資料庫裡的資訊進行判斷。

1.4 研究動機

IEEE 802.21 的提出看似對於 Inter-RAT handover 有了一個解決之道，目前的趨勢看來 802.16m 與 802.11VHT 使用 802.21 是勢在必行，在 802.21 的未來如此光明的情況下，其實還有著廠商與廠商之間角力的問題存在著，影響 802.21 之中有個重點因素在於各個系統之間必須建立起 802.21 伺服器，也就是說如果現在要讓 3G 系統與 WLAN 之間換手，3G 的業者要額外支出一筆伺服器設備費用，而這項設備的費用專利掌握在 IEEE 的 802.21 研發團隊底下，對於 3G 業者而言，看似沒有多大的吸引力。

在另一方面，WiMAX 與 3G 或是之後的 LTE 系統之間有著很微妙的關係，WiMAX 所能提供的服務是大範圍的無線網路，並且支援移動性，就算在公車或捷

運上也能夠隨意的使用網路，同樣的服務，3G 與 LTE 皆能夠提供，並且以 LTE 來說，在物理層同樣的使用 OFDM 當作傳輸技術，也同樣的加入可適性編碼與 MIMO 的技術，市場重疊機率將會很高，兩者是處於競爭對手的關係，如此一來，對 3GPP 組織底下的技術，是否有使用 802.21 的必要性?於是在 3GPP 底下有著對於 Inter-RAT handover 的自己一套做法。

雖然 LTE 與 WiMAX 為競爭對手的關係，但這之中還是有著共構環境的必要性，並不會當你為 LTE 的使用者則 WiMAX 毫無用武之地，或是 WiMAX 的使用者同時使用 LTE 只是多繳錢的冤大頭。以傳輸速度而論，兩者都有著可適性調變系統，越接近基地台信號越強，則可獲得越快的傳輸速率，會造成一個現象為每個地區裡兩者的傳輸速率並不相同，此時用戶即可挑選傳輸速度適合的系統連接。另一方面以資費而論，目前各家業者都有提供各種不同的費率可供選擇，於是同時為兩用戶的使用者，在不同的情況下可以挑選適合的方案使用來節省資費。

由於 GSM 系統的努力，目前市面上的手機通訊說是以 3GPP 組織為龍頭也不為過，LTE 規範雖然未完全制訂完成，但對於現在的 3G 業者勢必是以 LTE 為升級目標，於是本篇的研究將會偏重在 LTE 規範所提出的方向來進行 Inter-RAT handover 的實現方式。

1.5 論文架構

基於上述之論點，對於今日多樣化的無線通訊系統之間，提出一個整合架構是必要的，並且不只是能夠達到不同系統之間的換手，還必須考慮到使用者的感受，當進行 Inter-RAT handover 時的延遲時間必須要在合理的時間內完成，甚至讓使用者對於跨系統的換手無法感覺到，追求達到“無縫換手(seam less handover)”的程度。在第一章裡面對於目前發展的各種無線通訊系統演進以及優點規格做了個簡單的介紹，並且討論系統與系統間的合作與共構之必要性，其中對於本篇論文之重點 LTE 與 WiMAX 做了比較深入之探討。

第二章中，將會先討論目前發展未完全之 LTE 規範當中對於 Inter-RAT 所做

的保留以及研究方向，之後將介紹 Proxy Mobile IP(PMIP)與舊有的 Mobile IP 之差異，並使用 PMIP 來輔助 LTE 與 WiMAX 間之換手。對於 LTE 與 WiMAX 間的網路進入流程也會有著詳細的探討，這將會牽涉到換手的必要程序。最後達成 LTE 與 WiMAX 間進行 Inter-RAT handover 之完整機制。

在第三章當中，本篇論文將會詳細分析第二章中所提出之 Inter-RAT handover 機制，在之中使用排隊理論的觀點出發，經由數學推導之後所得到的延遲時間分析結果，觀察 Inter-RAT handover 機制之可行性，預期希望能夠找出此機制之延遲瓶頸，在此章結尾討論延遲瓶頸的發生原因與造成的後果。

而本篇論文的第四章內，我們提出一個快取伺服器(cache server)來試圖解決第二章中 Inter-RAT handover 機制的延遲瓶頸，為此整理出了加入快取伺服器後的換手機制，並同樣的以排隊理論之觀點對所提出的新換手機制進行分析，期望能夠表現加入快取伺服器後的增進以嚴謹的方法驗證出來，並與原本沒加入快取伺服器之機制做各種不同情況下之比較。

最後在第五章將對整篇論文所提到之問題進行統整並做出結論，並對異質網路間共構與換手的研究提出未來發展，以及我們所能繼續努力之方向。

第二章

LTE 與 WiMAX 共構及 Inter-RAT handover

對於目前所發展的各式無線通訊技術，在本篇論文當中以 LTE 與 WiMAX 為主軸貫穿全文。LTE 與 WiMAX 之發展有著許多奇妙之處，對於使用者的觀感而言，兩者同樣都能夠提供大範圍的網際網路服務，在此方面而言兩者是競爭對手之關係。WiMAX 對應到行動通訊系統上之同等級服務大概是介於 3G 與 4G 之間，而 LTE 之定位是在 3.9G，雖然以此角度而言 LTE 之效能比 WiMAX 要佳是合乎預期的，但以資費之考量並不保證擁有 LTE 則可丟棄 WiMAX。

目前許多網路供應商如中華電信，台灣大哥大，遠傳等公司已經宣布未來將以 LTE 為後續發展，大眾電信與大同電信等已取得 WiMAX 執照，開台營運只缺一個日期而已。由於目前對於 LTE 以及 Inter-RAT 之標準制定還未成熟，於是目前我們並未看到 WiMAX 與 LTE 之間之結合。但我們設想一下，在未來 LTE 營運商與 WiMAX 營運商簽定漫遊(Roaming)協議的那天是否會到來，就如同目前同質系統間漫遊那般簡易。另外在一個悲觀點的看法，當營運 WiMAX 之公司無法支撐下去時，其他營運商是否有將 WiMAX 購入之計畫，在執照競標當初出手之業者或許可以考慮便宜買進 WiMAX 之設備，在此情境底下 WiMAX 與 LTE 之共構將能夠提供業者間決策的一個考慮。

下面篇幅首先將介紹 Mobile IP 之機制，LTE 與 WiMAX 間網路進入流程，LTE 當中雖然對異質網路之結合有提出一些研究方向，但目前只停留在規劃功能需求之階段，本篇後段章節將提出一個運用 LTE 提出之方向，使用 Proxy Mobile 以及網路進入程序將 Inter-RAT handover 實現之方式。

2.1 Mobile IP

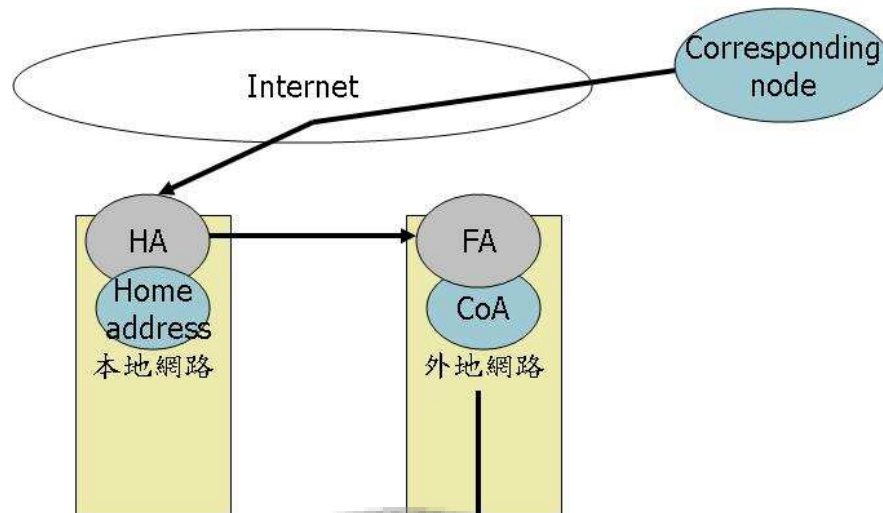
當用戶在基地台與基地台之間移動的同時，用戶的行動台(mobile station，MS)

將會與基地台間啟動換手機制達成不中斷之服務。但除此之外，為了保持一次通話連線期間能夠不中斷，行動台之 IP 位址必須在通話連線期間保持相同不能更變，若是行動台在單一網域當中進行服務的情況下，IP 位址將不會受到更變，但這在網路的佈建上是比較困難的，在 IP 架構當中基地台將會扮演著 IP 路由器之角色，不同的基地台由於地緣關係可能會隸屬於不同的 IP 網域當中，而在行動台跨 IP 網域移動時，勢必會遇到 IP 位址更變的問題，於是目前就有著 Mobile IP 來提供在不同 IP 網域下移動時的解決辦法。

2.1.1 Mobile IP 之運作機制

為了解決用戶移動所造成的 IP 位址變更，Mobile IP 為此提供了用戶至少兩個 IP 位址，一個為母網(home network)所配給的本地位址(home address, HoA)，此位址為固定的，而另一個為看護位址(care-of address, CoA)，這個位址將會隨著用戶行動台來往不同的子網路下而改變，是一個暫時性的 IP 位址，而通常兩機通訊的時候，在母網底下的行動台會被稱為“行動節點”(Mobile Node, MN)，與 MN 進行通訊的稱為“通信節點”(Correspondent Nodes, CN)，另外還必須存在著兩個代理 (Agent)，在母網當中的為“本地代理”(Home Agent, HA)，與其他客網路底下會有著的“外地代理”(Foreign Agent, FA)，兩者共同合作完成 MIP 之機制。

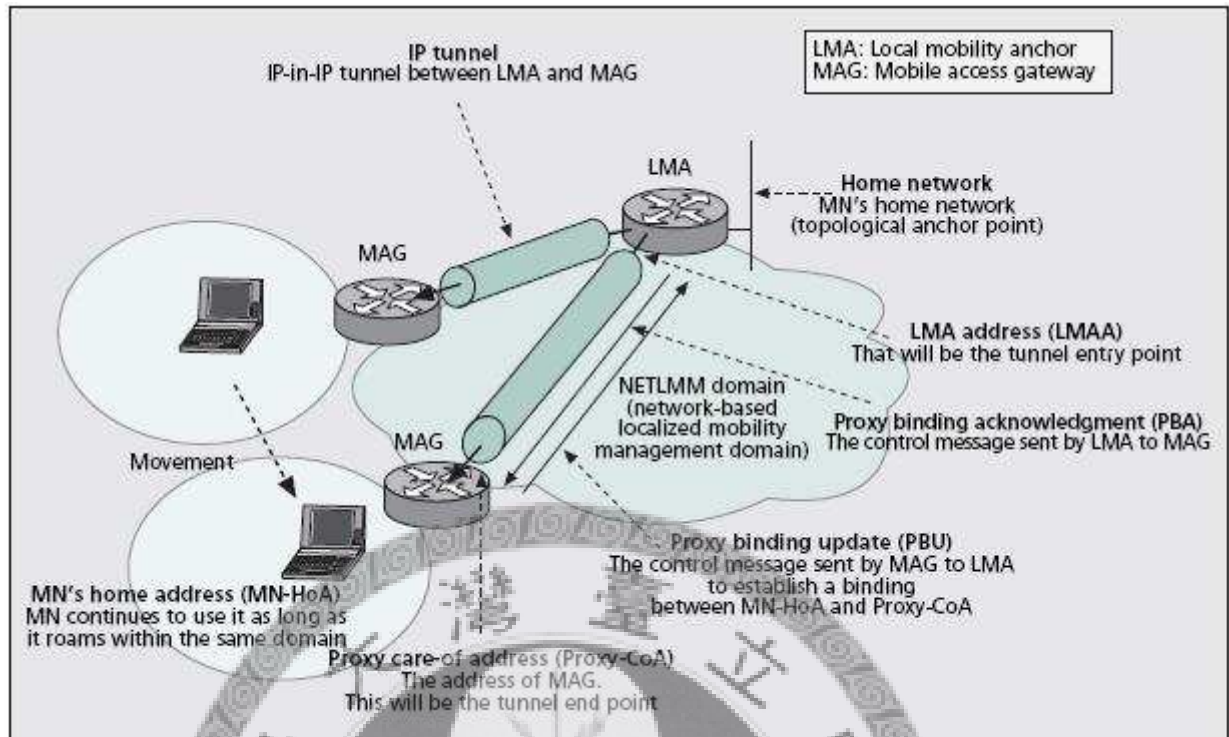
在 MIPv4 當中，IP 位址的對應是由 HA 所負責，當 CN 必須傳送封包到行動節點時，首先傳送到位於母網的本地位址，然後再經由 HA 的處理經由穿隧協議 (tunneled) 進行封裝，傳送給適當 FA 的 CoA 位址，定義在 RFC2003 中的「IP-in-IP」封裝則為此穿隧協議的實做。而在 MIPv6 當中，由於 IPv6 設計當初即把 Mobile IP 考慮在內，每個 CN 可以擁有自己的“binding cache”，裡面有著本地位址與看護位址的資訊，內建著路由優化(route optimization)可以使用，相較於 MIPv4 中所會遇到的三角繞路問題，在 MIPv6 中只要事前在 binding cache 中擁有 MN 之資訊，CN 允許直接傳送封包到 MN 不須經由 HA 轉送，若在 binding cache 當中找不到 MN 之資訊，才需要如 MIPv4 當中先傳送至 HA 再轉送到 CoA，並且在 MIPv6 當中，原本外地代理 FA 將被接取路由 (Access router, AR) 所取代。



圖五 Mobile IP 架構圖示

2.1.2 Proxy Mobile IP

如果要讓使用者能夠獲得 Mobile IP 的服務，客戶的行動端必須有著支援 MIP 的功能，也就是客戶的設備能夠運作 Mobile IP 當中 MN 的功能，但現實的情況中，大多的 IP 主機和作業系統尚未能夠支援，於是後續 Mobile IP 有許多的進化型態來暫時解決此項問題，讓用戶的裝置當中可以不需要改變。為了解決這樣子的問題，可以在網路中擴充一個節點，使之成為 Mobile IP 的代理，稱為行動代理(Mobile Proxy Agent, MPA)，目的為代替 MN 來進行註冊以及其他 MIP 訊號的處理，與「客戶端行動 IP」(Client-Based Mobile IP, CMIP)當中相同，MPA 可以把 FA 的功能包括在內，這種網路型(network based)的行動方法稱為 Proxy Mobile IP (PMIP)，將運作在 MN 與網路之間，從中段部分開始掌控使用者的移動性。



圖六 Proxy MIPv6 架構圖[5]

由於 PMIP 運作在網路的中段部分，於是在空中介面當中不需要額外傳送 MIP 相關之訊令，對於空中資源能夠有所節省，所以整理有關 PMIP 預期所能達到的目標有：

- 支援未經修改之移動節點
- 支援 IPv4 與 IPv6 之相容
- 支援各種通訊系統
- 更有效率的使用無線資源
- 換手效能之提升

接下來將探討 PMIPv6 之運作機制，PMIPv6 是基於 MIPv6 架構上所做的延伸，差異

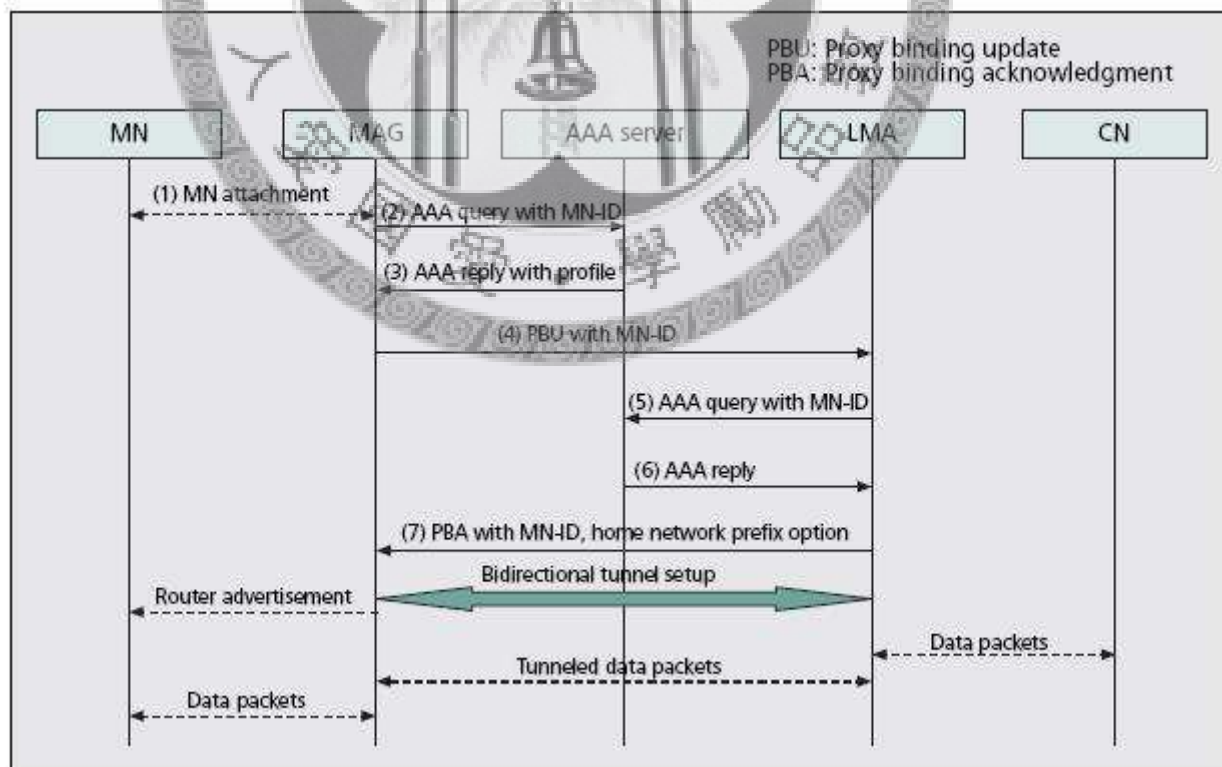
在於 PMIP 之行動代理將在 MN 與網路之間，MN 不直接運行 MIP 機制，當移動節點 MN 進入 PMIP 網域時，經過認證後 MN 即可獲得一個本地位址 HoA，此 IP 位址的產生為服務網路提供一個獨特 64 位元的網路前綴(IP prefix)給每個不同的用戶，用戶再自行產生後面 64 位元形成 IPv6 之位址，在整個 PMIP 網域當中此位址

不再改變，不同於 MIP 內在另一個子網域底下將得到另外的 CoA。

PMIP 當中提出兩個新的原件：”本地行動錨點”(Local mobility anchor, LMA) 與”行動接取閘道”(Mobile Access Gateway, MAG)，原本在 MIPv6 內接取路由器 (Access Router)，或是 MIPv4 內之 FA 的功能由行動接取閘道 MAG 所取代，LMA 則是負責 MIP 本地代理 HA 之功能。

MAG 負責偵測 MN 之移動性以及 MN 與 LMA 之間的訊令傳輸，也就是之前所提到的在網路中段處理有關 MIP 的訊令，如此一來 MN 即不需支援 MIP 協定亦可進行 MIP 之服務。另外 MAG 必須有著一樣額外功能，MAG 必須為每個在其服務範圍內之 MN 建立起與 LMA 之間之訊息隧道(tunnel)。

LMA 所負責之工作項目為原本 HA 的功能，另外同時必須處理當 MN 在 PMIP 網域內移動時的連線，並且包含著每個在其之下 MN 的 binding cache，在其內部所包含的訊息包括 MN-ID(identifier)，MN 的網路前綴，MAG 與 LMA 間雙向隧道之介面 ID (interface identifier)，之間的資料由 MN，MAG 與 LMA 共同維護。



圖七 Proxy MIP 之訊息流程[5]

步驟一與二：當 MN 透過無線網路的连接，進入到 PMIP 之網域時，首先將會與 MAG 連線，之後將透過網域中所設定的安全協議以及 MN ID，開始進行認證(authentication)程序。

步驟三：在完成認證程序之後 MAG 可以獲得到有關於 MN 之使用者資料，其中包含有 MN-ID，LMA 位址，所支援之位址組成模式，以及在 AAA (Authentication, Authorization, Accounting)內其他相關資料。

步驟四：MAG 代理 MN 傳送 proxy binding update (PBU)訊息到 LMA，其中包含有 MN 之 MN-ID。

步驟五與六：當 LMA 接收到來自 MAG 的 PBU 訊息後，LMA 向 AAA 內去確認此 MN 是否有授權(authorized)傳送 PBU，如果此 MAG 是確定通過授權的，LMA 即接受此項要求。

步驟七：之後 LMA 傳送 proxy binding acknowledgment (PBA)，在之中包含著要給 MN 之本地網路前綴，並且 LMA 開始設立通過 MAG 之間的隧道到達 MN 之路由。

當 MN 收到 MAG 所傳送的 router advertisement (RA)，MN 即可由 RA 內所包含著的每個 MN 專屬的網路前綴組織起自己的 IPv6 位址，而當移動到另一個 MAG 底下時，所獲取的網路前綴並不會改變。當 LMA 與 MAG 間之雙向隧道建立完成之後，所有 MN 要傳送出去之流量將經過此隧道到達 LMA，而外部 CN 所要傳給 MN 之流量也先到達 LMA，通過隧道到達 MN。

對於 PMIP 與 MIP 之間我們做一個比較，除了上面提到在 PMIP 當中由 MAG 處理移動性的管理，另一個不同的點在於 PMIP 當中只會給一個獨特的網路前綴，相較於 MIP 當中的網路前綴為廣播的形式，在其服務範圍底下之 MN 都使用此網路前綴來組織其 IP 位址，這會造成兩項差異，也就是 PMIP 所能服務之用戶將無法與 MIP 相比，只能在區域性的範圍中使用。另一點為重複位址偵測(Duplicate address detection, DAD)，PMIP 中每個使用者有其獨特的網路前綴於是省去這項步驟。

在下面整理出一個表來比較兩者之差異：

	MIPv6	PMIPv6
行動管理	Host-based	Network-based
行動範圍	全球性	區域性
行動端設備修改	需要	不需要
MN 位址	HoA 或 CoA	只有 HoA
空中介面隧道	需要建立	不需建立
RA 類型	廣播	一對一
IP 位址分配	共享網路前綴	獨特網路前綴
重複位址偵測	需要	不需要

表一 Proxy MIP 與 MIP 之比較

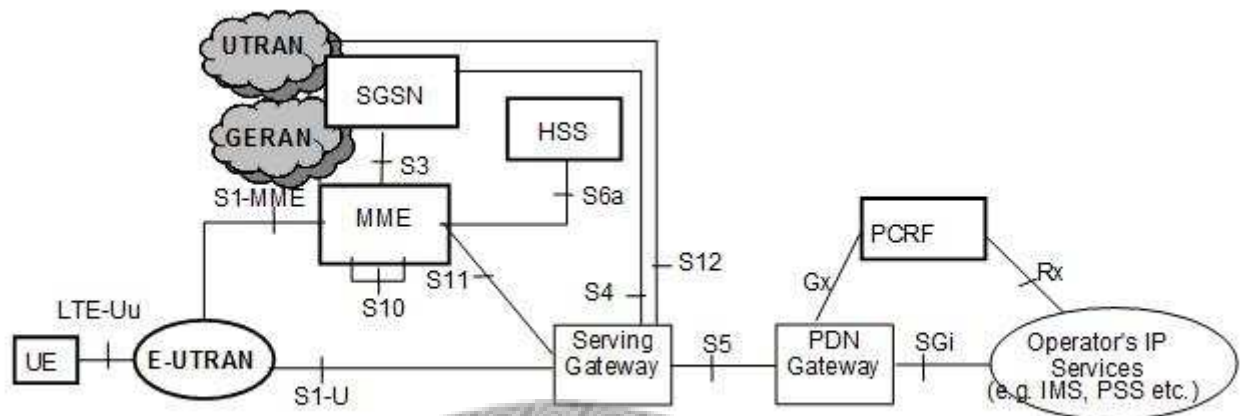
2.2 LTE 與 WiMAX 共構之網路架構

在 3GPP 組織當中，對於長期演進計畫 LTE 有著特別的小組來推動標準之制定，而之中又針對不同之部分有詳細分出各種不同的文件編號，其中 TS 23.402 即為 LTE 與其他非 3GPP 系統之共構之說明[6]，時至 2009 年 LTE 之標準發展尚未被凍結，在其中還有許多尚未定義與解決之部分，在本篇論文接下去之段落將研究 LTE 與 WiMAX 共構與跨網路換手機制。

2.2.1 LTE 網路架構

LTE 系統在網路架構上將以往 3G 以及 GPRS 系統做了一個很大的改變，新提出之網路架構稱之為 EPS (Evolved Packet System)，而核心網路稱為 EPC (Evolved Packet Core)。在以往的系統當中，其網路架構可分為 Node B，RNC，SGSN，GGSN 等四層，但是在新提出之系統架構當中只剩下 eNode B (eNB)，Serving-Gateway 與 PDN (Public Data Network)-Gateway，舊有之功能分別整合到新的原件底下，尤其是 Node B 與 eNode B 之差異性更大，新的 eNode B 相較於舊有系統除了與用戶移動終端連線之外，還必須有著與其他 eNode B 相互協調溝通的工作，不再由更後端整合。這種簡化在內部有著一個專有名詞稱為扁平化(flatter)。下面將介紹 LTE

網路架構之組成：



圖八 LTE 網路架構圖[7]

UTRAN：全名為 UMTS Terrestrial Radio Access Network，為第三代行動通訊 UMTS 之無線接入網，之中包含著 Node B 與 RNC (Radio Network Controllers)，允許使用者設備 UE (User equipment) 與核心網路間的彼此溝通。

GERAN：全名為 GSM EDGE Radio Access Network，GSM 與 EDGE 無線接入網之縮寫，同樣的包括基地台 (Base station) 和基地控制器 (base station controllers)。這兩者皆為 LTE 與舊有系統之間的共存關係。

E-UTRAN：Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network，U 原本是指 UMTS，但後來改為 Universal，與上兩者功能大致相同，為進化的無線接入網。

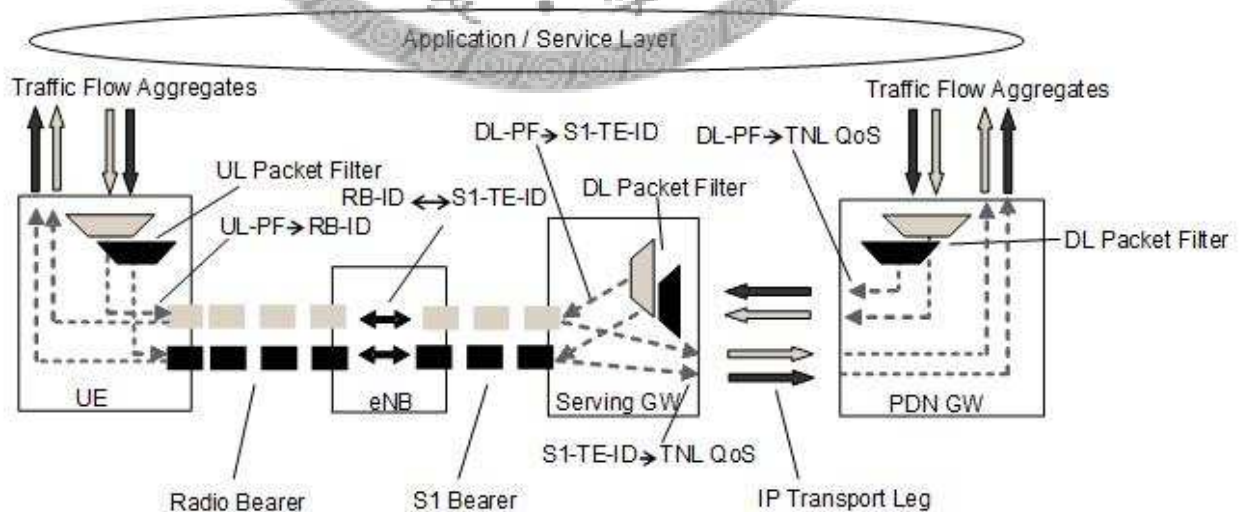
MME：行動管理實體，Mobile Management entity，主要功能為代理 UE 處理移動性的管理。在 LTE 之中為了提升效能，將許多需要空中資源的傳送節省下來，UE 對於移動性的訊息改由 MME 代為管理，如換手指令在 LTE 當中是交由系統後端所開始啟動的。另外 MME 還必須負責 tracking area list 之設立管理。以及 UE 在連線上 eNode B 還未登入 LTE 時的 Non Access Stratum (NAS) 訊令處理與安全性。

PCRF：Policy and Charging Control Element，負責處理決策與計費控制，主要管理牽涉到使用者之資料流量與 QoS 相關之管理。

Serving-Gateway：可使用 S-GW 代稱，主要功能為 3GPP 底下系統漫遊時之錨點 (anchor)，也是無線接入網(RAN)進入核心網路的介面終端，負責封包的路由與轉送。另外在使用 PMIP 為上端協定時，S-GW 必須運作 Mobile Access Gateway (MAG)之功能，傳送接收 PBU 與 PBA 之指令，以及 DHCPv4 與 DHCPv6 之代理。

PDN-Gateway：在進入公眾數據網路(PDN)前之閘道，不論是 GERAN/UTRAN 或是 E-UTRAN 之使用者，皆提供網路服務給連接到 PDN-GW 的用戶，主要負責用戶封包之轉送，以及 UE IP 位址的提供，在使用 PMIP 時則成為 LMA 之角色，建立與 S-GW 間的隧道(tunnel)，另外運行著 DHCPv4 與 DHCPv6 的伺服器(server)與客戶(client)。

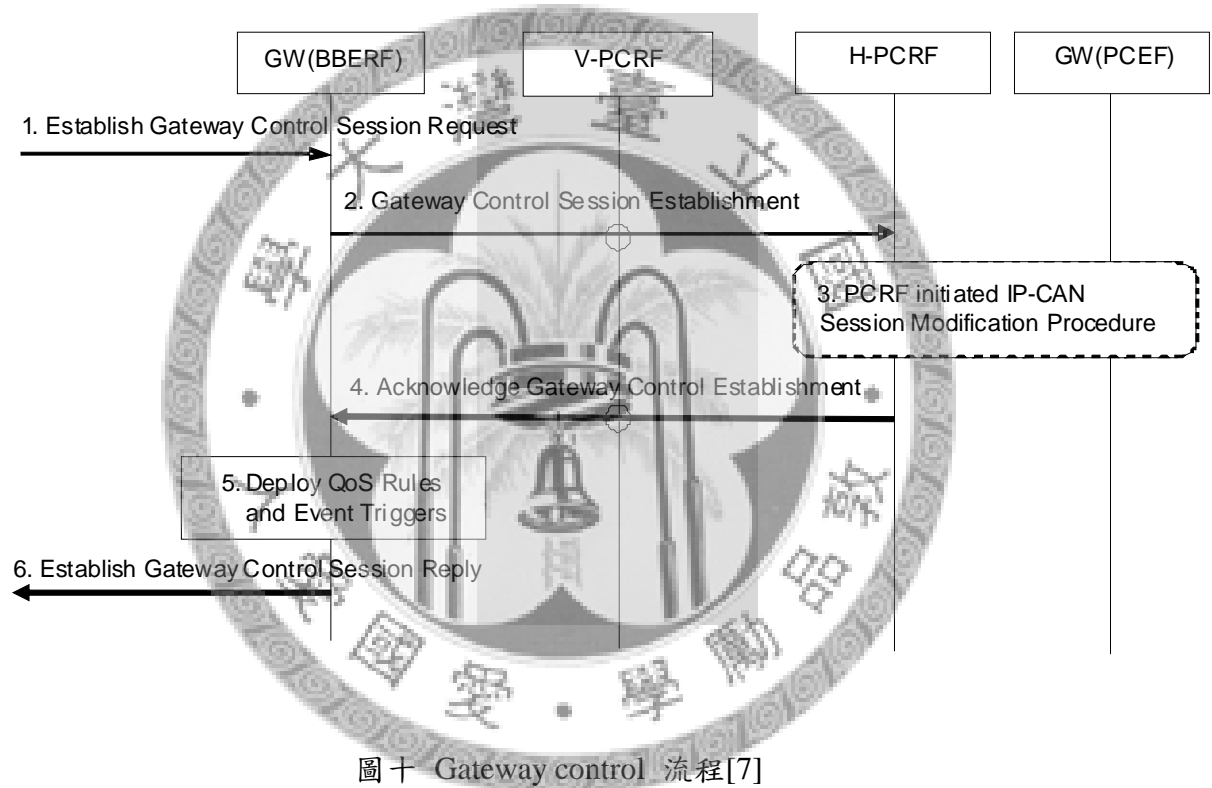
在 PDN-Gateway 當中還有著兩個較細的工作區塊，BBERF (Bearer Binding and Event Reporting Function)與 PCEF (Policy and Charging Enforcement Function)，BBERF 之功能顧名思義即為 Bearer binding 與事件回報，而 bearer 為一條虛擬的封包傳送路徑，圖九[6]為 Bearer 之示意圖，從 UE 經過 eNB，S-GW 和 PDN-GW 到網路之間建立一條虛擬的通道，在各個元件當中根據不同的 ID 傳達到所對應的方向。PCEF 為 PDN-Gateway 端支援 PCRF 之功能，PCRF 需要之資料可向 PCEF 取得。



圖九 Bearer 示意圖[6]

接下來之篇幅，將介紹在 LTE 當中，UE 進入網路所需之流程，將會分為三個部分。第一個為 Gateway control 之建立程序，第二個為 IP-CAN (IP connectivity access network)建立程序，目的為建立以 IP 為主的網路連線並能夠向 UE 收取服務費用，最後為 UE 連線到 eNB 後直到獲取進入網際網路能力之流程。

一，Gateway control 流程：

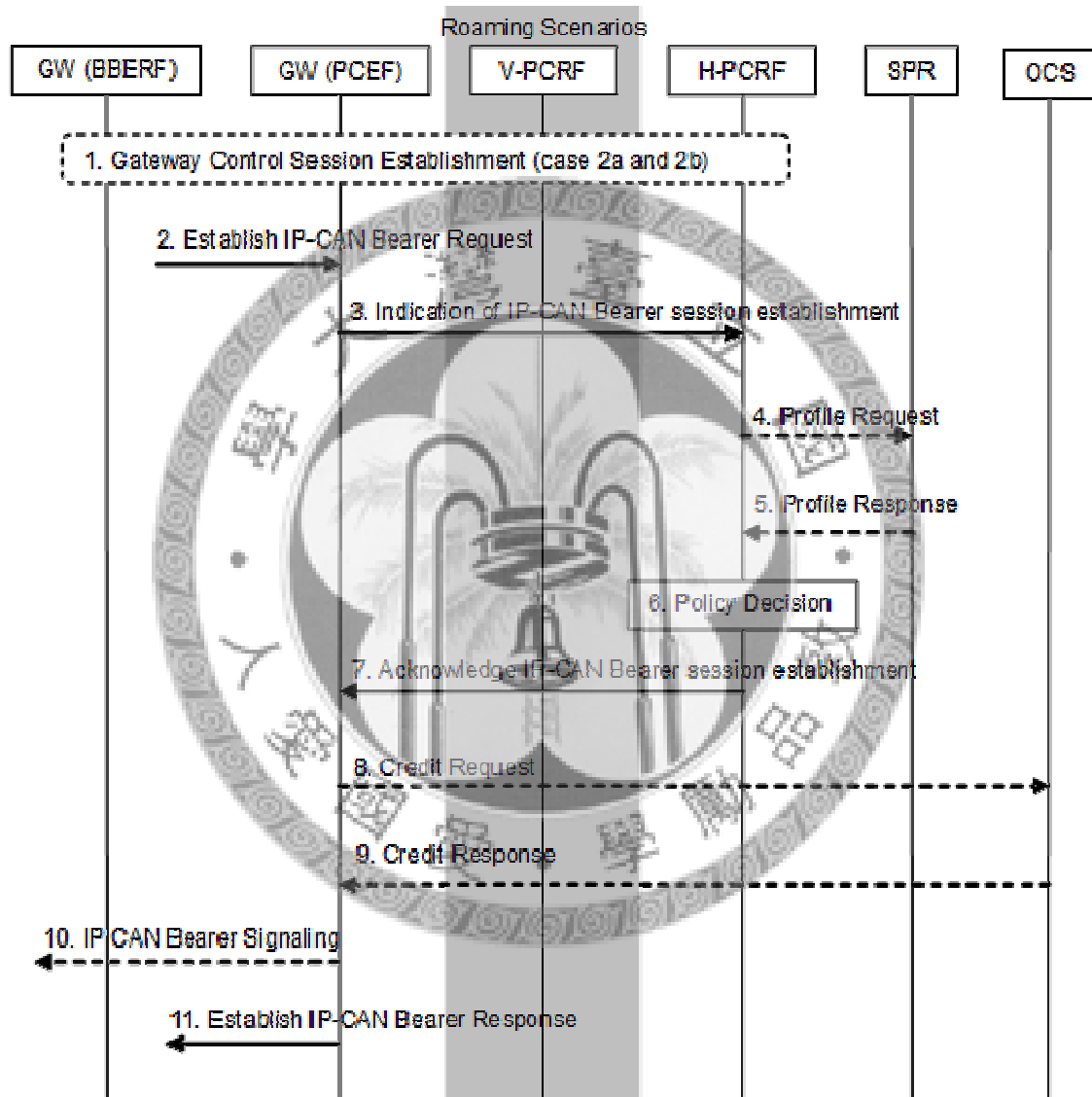


圖十 Gateway control 流程[7]

1. 在 PDN-GW 內的 BBERF 收到要求建立閘道控制(Gateway control)之訊息。
2. 收到訊息後，BBERF 將要求建立之訊息傳送至 PCRF，此訊息當中包含著要求建立之 UE ID。
3. 若 PCRF 需要與 PDN-GW 中的 PCEF 互相溝通運作，則進行此項步驟，PCRF 向 PCEF 獲取關於 QoS 之參數以及流量映射(traffic mapping)之資訊。
4. 之後 PCRF 傳送確認給 BBERF，之中有著 QoS 參數與”事件啟動(event triggers)”。
5. 收到”事件啟動”將會使 IP-CAN 承載之建立程序開始啟動。
6. 開始啟動 IP-CAN 承載建立。

在 IP-CAN 之建立程序當中，將會牽涉到計費之部分，底下提到關於計費的功能實體，線上計費系統（Online Charging System，OCS），根據服務封包流(Service Data Flow)為計費依據。以及用戶資料庫（Subscription Profile Repository，SPR）。

二，IP-CAN 承載建立



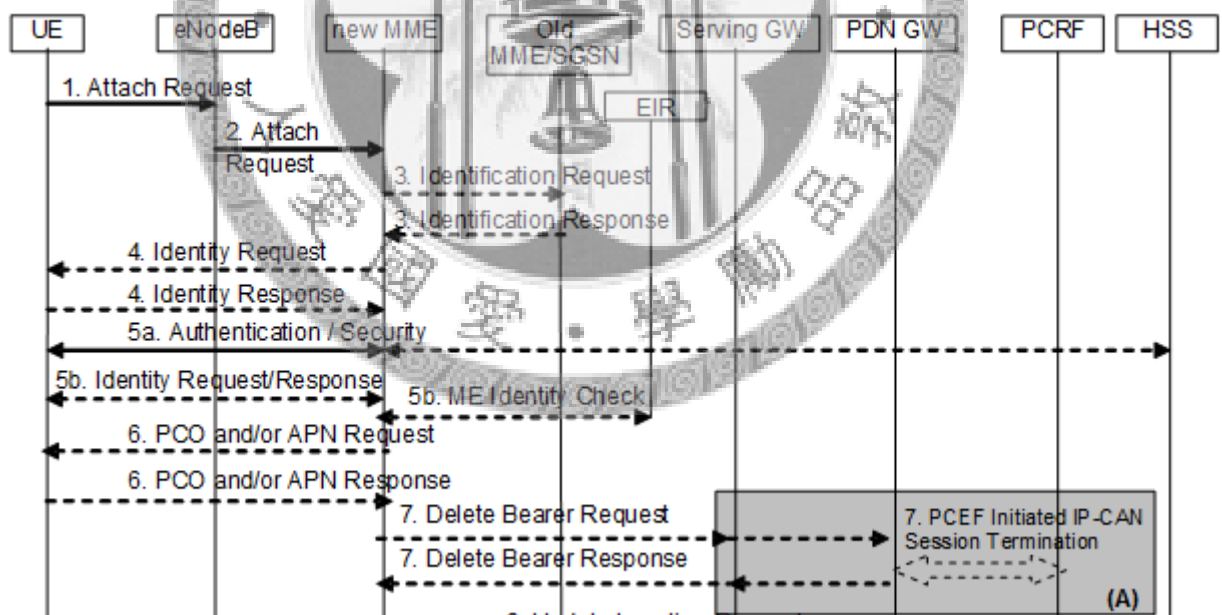
圖十一 IP-CAN 建立程序[7]

1. 首先必須先啟動 Gateway control 流程。
2. PCEF 接收到 IP-CAN 承載建立要求後根據內部之設定提供一個 IP 位址給使用者。
3. PCEF 要求進行授權(authorization)以及政策與計費控制規則(Policy and

Charging Control rule)的資訊。

4. 如果在 PCRF 當中沒有使用者的用戶相關資料時，向用戶資料庫提取相關文件。
5. PCRF 獲得用戶資料以及關於允許之服務，政策與計費控制規則等相關資訊。
6. PCRF 進行授權並為用戶決定使用政策(policy decision)。
7. PCRF 傳送所決定之政策以及預設計費模式。
8. 如果線上計費系統可供使用，並有一組政策與計費控制(PCC)正在運作，PCEF 必須啟動線上計費。
9. 線上計費系統提供可能的記帳資訊給 PCEF。
10. 如果需要進行其他 IP-CAN 承載之設立進行此步驟。
11. 當有一組 PCC 能夠運作，並且在線上計費系統當中並未被拒絕，則傳送確認訊息，完成 IP-CAN 承載之建立。

三，網路依附程序

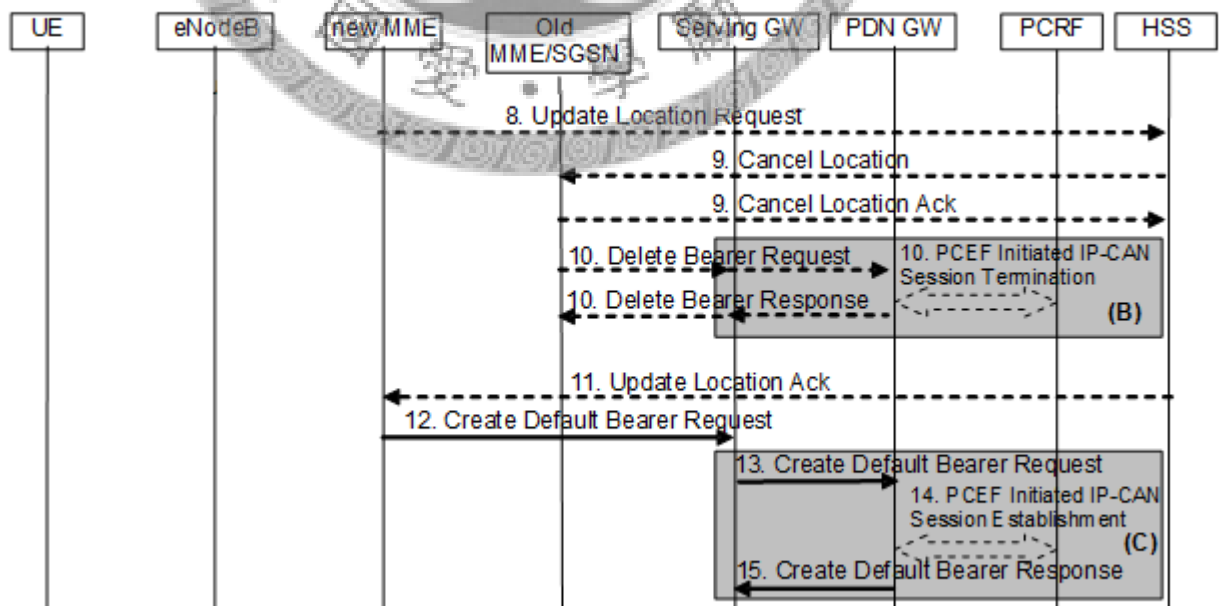


圖十二 網路依附程序三之一[7]

1. 當 UE 與 eNB 連線完成後，傳送網路依附要求，其中包含使用者國際移動用戶識別碼 IMSI(International Mobile Subscriber Identity)，或者舊有的全球唯一臨時標識 GUTI (Globally Unique Temporary Identity)，最後訪問的跟蹤區域標識 TAI (Tracking Area Identity)，UE 網路容量、PDN 類型、協議配置選項

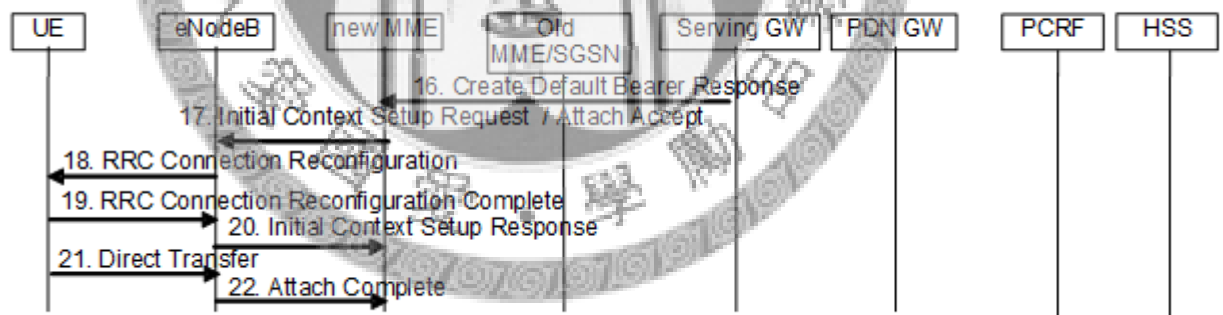
(protocol configuration option, PCO)/APN (access point name), 以及連接類型。不管 UE 是否有可用的有效 GUTI, IMSI 均將被包含在請求訊息中。如果最後訪問的 TAI 可用, 在請求訊息中也包含此 TAI, 這樣作的目的是為了協助 MME 過程形成一個完整的 TAI 列表, 供一些連接的子過程接收有關消息使用。

2. eNB 給新的 MME 轉發自己收到的所有來自 UE 的請求消息。
3. 如果帶有 GUTI 和 MME 信息的 UE 標識, 與最後一次離開網路時的相比已經改變, 新的 MME 就要發出一個標示請求(舊 GUTI)到舊 MME。
4. 如果舊 MME/SGSN 和新 MME 都不知道 UE, 新 MME 向 UE 要求取得 IMSI。
- 5a. 進行認證(Authentication)程序以及 NAS 安全性之建立。
- 5b. MME 向使用者要求 ME (mobile equipment) ID 並送至 Equipment Identity Register, EIR 確認。
6. 若在一開始 UE 有傳送協議配置選項 PCO 或 APN 的要求, 在此步驟當中做額外的設定。
7. 如果發現在此之前已經存在舊有之承載被啟用(比如 UE 重新連接上同一個 MME, 之前嘗試連接卻失敗), 新的 MME 必須傳送承載刪除之請求, 釋放網路資源。



圖十三 網路依附程序三之二[7]

8. 當 MME 改變或沒有 UE 的使用者資料時，MME 必須送出更新位置之請求，之中包含 MME 標識，IMSI 與 ME 標識。
9. HSS 發送取消位置之訊息(IMSI 與取消類型)給舊 MME，舊 MME 確認後取消移動性管理
10. 若當初舊的 MME 當中存在著當初所建立之承載，此承載必須刪除釋放資源。
11. HSS 發送用戶資料到新的 MME 當中，之中包含著所有訪問點名稱(Access Point Name，APN)列表。新的 MME 同時必須確認 UE 在跟蹤區域(Tracking Area，TA)中存在與否。
12. 新 MME 選擇一個適當的 S-GW，並允許傳送建立默認承載請求。
13. S-GW 在承載表中建立一個新的紀錄，並且發送默認承載建立請求之訊息到 P-GW，包括 IMSI，APN，S-GW 位址，RAT 類型，默認承載之 QoS 等等。
14. P-GW 執行 IP-CAN 承載之建立程序。
15. P-GW 給 S-GW 回傳默認承載建立之確認訊息，同時包含著要給 UE 之 IP 位址，P-GW 位址，承載標識。

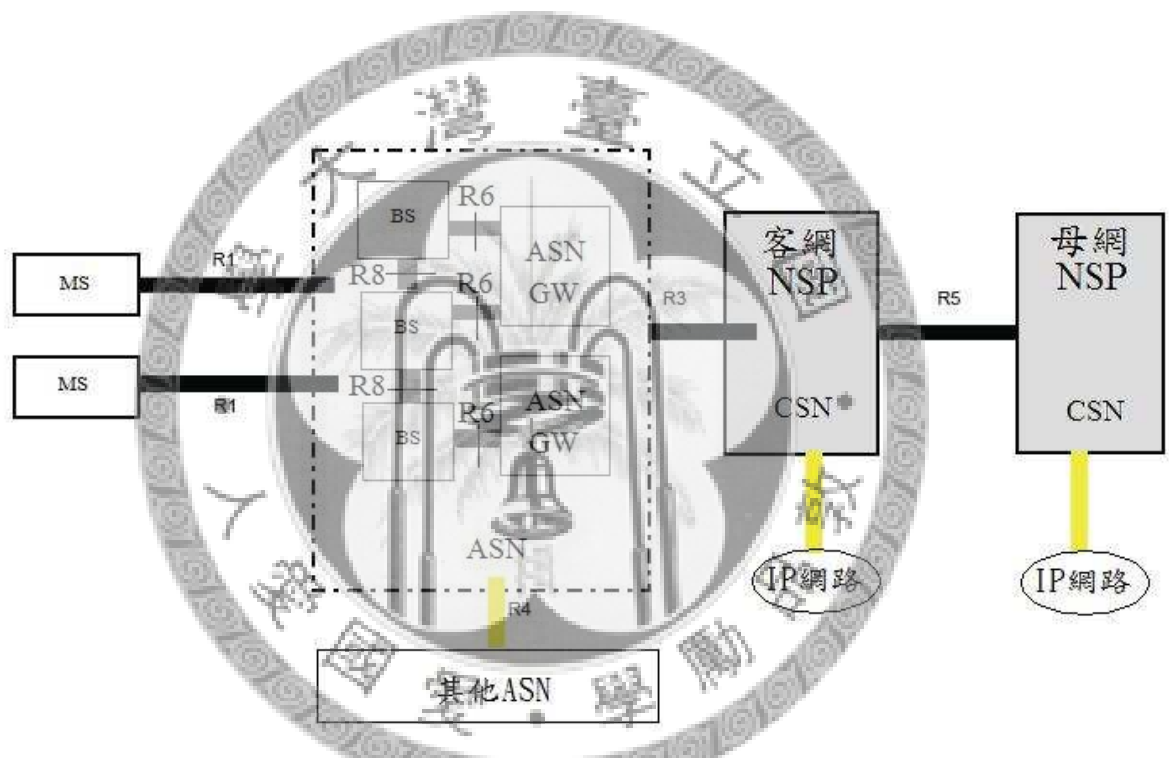


圖十四 網路依附程序三之三[7]

16. S-GW 給新的 MME 回宋一個默認承載建立之確認訊息，之中包括給 UE 之 IP 位址，S-GW 位址，承載標識。
17. 新 MME 給 eNB 發送接受連接之訊息，包含 APN，IP 位址，TAI 列表，承載標識，若新 MME 分配了新的 GUTI，則將被包含在內。
18. eNB 發給 UE 無線承載之建立請求，之中包含無線承載標識，同時轉送接受連接之訊息。

19. UE 發送無線承載建立之確認訊息。
20. eNB 必須將無線承載建立之確認訊息傳至 MME。
21. 在接受連接訊息和 UE 得到了 IP 位址訊息之後，UE 將給 eNB 發送上行數據，這些數據將經由承載到達 S-GW 與 P-GW。
22. eNB 之後傳送依附完成之確認給 MME 後，網路依附程序完成。

2.2.2 WiMAX 網路架構



圖十五 WiMAX 網路架構示意圖

NSP：Network Service Provider，網路服務業者，主要提供使用者的網路服務以及設備維護。

ASN：Access Service Network，由網路存取業者所提供經營，由一個或多個基地台組成，以及一個或多個 ASN gateway，功能為 AAA 之代理，在 CSN 與 MS 之中建立 IP 連線之轉送功能，並依照 QoS 政策進行無線資源管理(Radio Resource Management，RRM)。另外在 PMIP 當中執行 MAG 之功能。

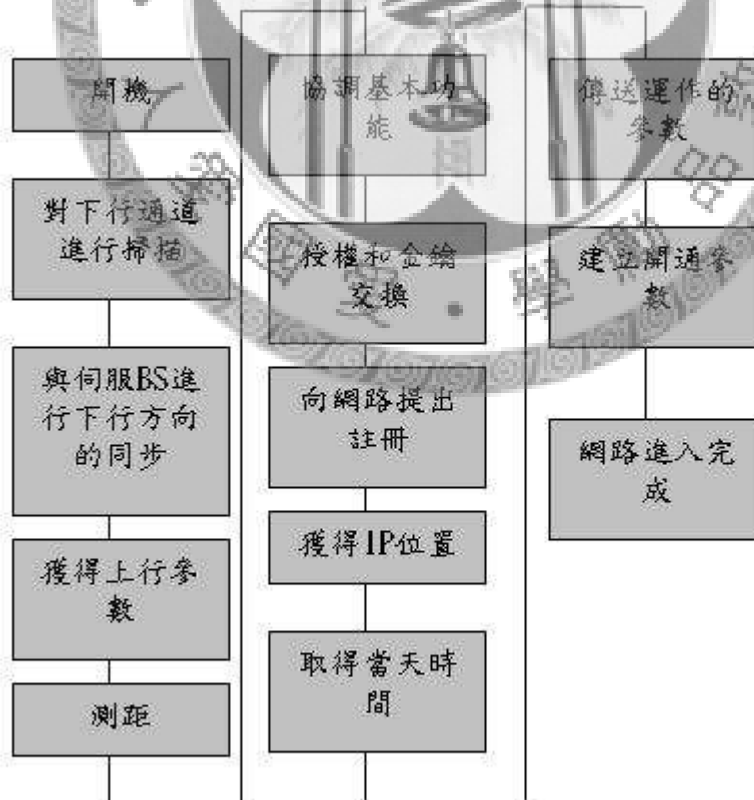
CSN：Connectivity Service Network，主要由 NSP 所經營，提供了 IP 連線和整個 IP 核心網路的功能，用戶在客網時是由客網 NSP 提供網路服務，用戶之 IP 位

址將由 CSN 所配給，並擔任 AAA 的伺服器端進行認證授權與計費之功能。

不管是在同網路系統內之換手，或是跨網路系統之換手，網路進入程序是不可避免的，這也之所以花費那麼多篇幅介紹在各系統內之網路進入程序的原因，接下來將介紹 WiMAX 下之網路進入程序[10]：

1. 掃描以及下行通道的同步：

在 MS 開機開始運行之後，首先將掃描允許的下行頻率，當 MS 掃描過後沒有發現夠強之訊號，或是掃描失敗則將持續進行掃描，直到掃描到基地台之下行通道。向基地台取得服務之前必須與下行通道同步，MS 傾聽下行訊框之前置碼(Preamble)，MS 在接收到之後即進行與基地台之實體層同步(Physical Synchronization)。同步之後 FCH 之資訊才能正確解讀，獲取各種下行上行傳輸有關之 PHY 與 MAC 參數，了解關於各個 Burst 該用何種編碼調變，另一點為讓 MS 知道測距通道(Ranging channel)的資訊。



圖十六 WiMAX 網路進入程序

2. 取得上下行通道參數(Downlink and Uplink parameters)：

在下行通道同步之後 MS 開始解讀各種不同的控制訊息，如 DCD，UCD，DL-MAP，與 UL-MAP 等等，DL-MAP 可以之到在接下來之 Burst 順序分別是供給哪些使用者，DCD 中包含著每個 Burst 之編碼調變讓 MS 正確解讀各個 Burst。UL-MAP 則是讓所有使用者知道在何時與多少頻寬為他們可使用的，UCD 參數之中含有初始測距(Initial ranging)與頻寬要求到退參數(Bandwidth request backoff parameters)，在測距步驟當中，MS 將會依照此參數傳達要求測距之訊息(Ranging request message，RNG-REQ)。

3. 測距(Ranging)

測距主要是調整 MS 與 BS 之間的傳輸功率與時間偏移之校正，當 MS 與 BS 連線之期間皆必須固定進行此步驟。測距請求(Ranging request)會在初始測距區間(Initial ranging interval)送出，若送出之請求並未獲得回應，MS 將提高功率再次送出直到獲得回應，藉此調整傳送功率。另外在測距區間內所有使用者將共同享有此區間，在這之間 MS 必須競爭(Contention)，若是與其他 MS 發生碰撞則需要重新傳送。

初始測距為一開始所進行之測距程序，MS 進行此步驟時，首先讀取 UCD 與 UL-MAP，取得初始測距區間，並藉由初始測距 CID 來傳輸它的測距要求，在測距失敗(為接收到回應)時便以二進位指數後退演算法(Binary Exponential Backoff Algorithm)來取得一隨機變數為根據決定下次傳送測距要求之時機。

若測距完成，基地台將分配 MS 基本與主要管理訊息，以及一些實體層的變數以 RNG-RSP 回傳給 MS，之後 MS 得到專屬於它的 CID，在初始測距之後的測距將有著專屬的配置不再需要競爭。

4. 協調基本功能(Basic capability)：

MS 在此步驟將告之基地台所支援之功能，藉由傳送 SBC-REQ (SS Basic Capability Request)和 SBC-RSP 的交換來達成。

5. 授權(Authorization)與金鑰交換(Key exchange)：

此步驟主要進行行動台之授權與安全金鑰交換(Secure key exchange)，在 WiMAX 規範當中定義了經由 PKM 協定達成金鑰交換，MS 送出 PKM-REQ (Privacy Key Management Request)到基地台，基地台將此結果以 PKM-RSP 回傳。

6.向網路提出註冊(Register)

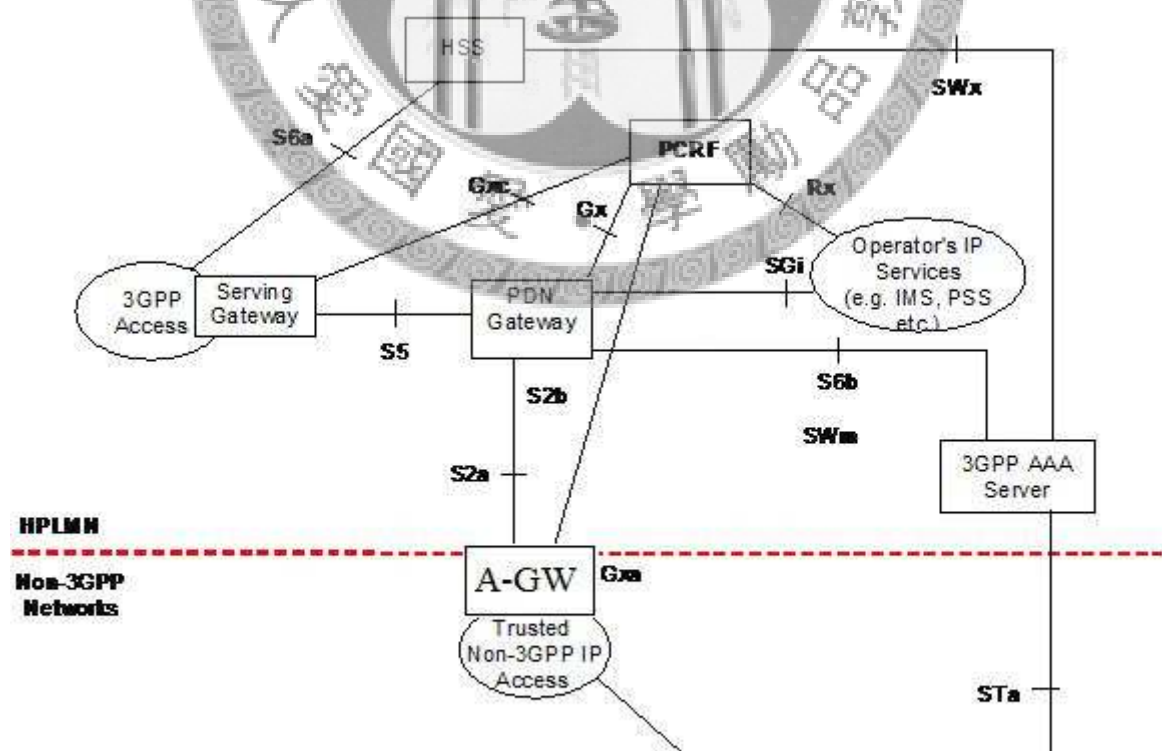
註冊為基地台是否讓 MS 進入此網路所需之步驟，MS 傳送 REQ-REQ (Register Request)訊息，之中提供了管理 CID 之訊息以及次要功能告知基地台。

7.建立 IP 連線，時間日期以及轉換操作所需參數

MS 在這步驟當中依據 DHCP 或其他機制取得 IP 位址，並從時間伺服器 and TFTP (Trivial file transfer protocol)伺服器取得時間和轉換操作參數，MS 在結束之後將送 TFTP-CPLT 通知基地台。

2.3 Inter-RAT handover

2.3.1 網路架構

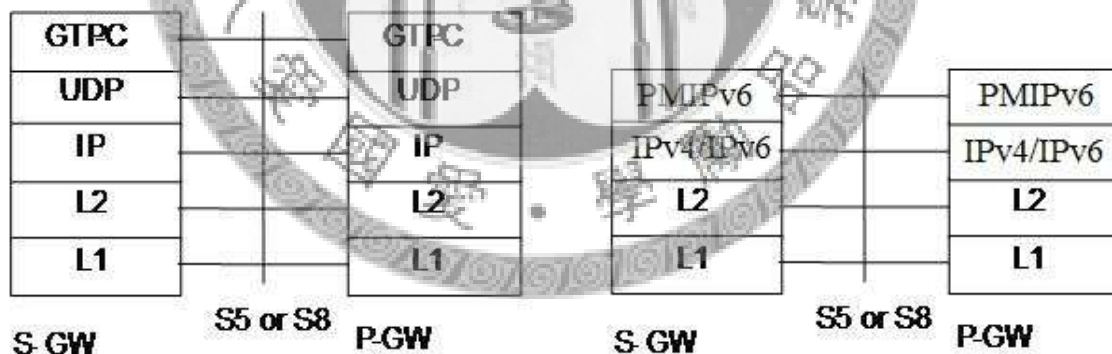


圖十七 LTE 與非 3GPP 系統共構架構

在 3GPP TS23.402 規範當中有對於 LTE 與其它非 3GPP 系統共構之描述做了一些描述，當要將 WiMAX 與 LTE 共構時，其中 Trusted Non-3GPP IP Access 即為 WiMAX，A-GW 為 WiMAX ASN (Access Service Network) 當中之 ASN-Gateway。在此篇論文當中之角度為 LTE 整合 WiMAX，所以核心網路將保留 LTE 之部分，並且網路服務將由 LTE 業者所提供，認證與計費等等之程序將由 LTE 業者所處理，也就是 3GPP AAA 伺服器，在此伺服器當中必須對各系統使用者有明確資料。3GPP Access 底下由 MME 與 eNB (LTE 之基地台) 所組成，WiMAX 底下由 BS (WiMAX 之基地台) 組成。另外在 LTE 習慣稱使用者為使用者設備 UE，WiMAX 中稱為移動台 MS 或 SS (Subscriber station)。

另外我們必須將 Proxy Mobile IPv6 套入系統當中成為上層協定，為此我們必須做一些設定：

1. PDN-GW 將執行 PMIP 當中 LMA 之功能。
2. Serving-GW 與 ASN-GW 將執行 MAG 之功能。



圖十八 S-GW 與 PDN-GW 之協定堆疊[6][7]

圖十八為經過更改後之協定堆疊(Protocol Stacks)，左邊為原本使用 GTP-C (GPRS Tunneling Protocol for the control plane)，右圖為使用 PMIPv6 之協定堆疊，之所以必須改動這部分是由於 PDN-GW 與 Serving-GW 當中原本會由 GTP 之協定建立隧道(tunnel)，而使用 PMIP 之後 LMA 與 MAG 也必須建立隧道進行資料之轉送與控制訊息之傳遞，當 S-GW 與 PDN-GW 分別運作 LMA 與 MAG 之機制，自

然將改變原本之協定。同時在 WiMAX 當中之 ASN-GW 也必須與 PDN-GW 建立起相當之隧道，一樣運行 PMIPv6。

2.3.2 網路之探索與選擇

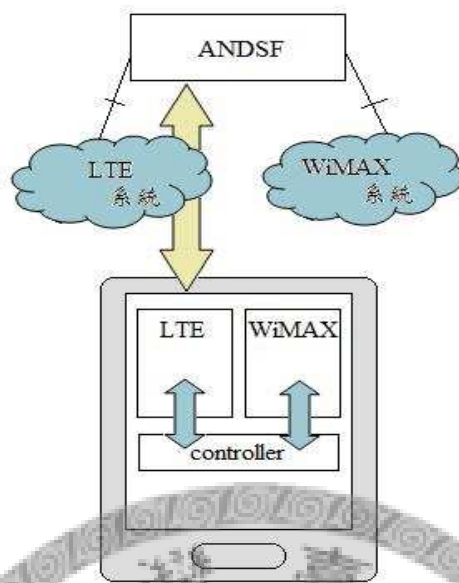


圖十九 ANDSF 架構[6]

在 LTE 當中另外對於多個接取網路(Access Network)系統間之共構額外提出一個輔助功能，ANDSF (Access Network Discovery Support Functions)接取網路探索支援功能，當用戶在多個接取網路系統當中，如何選擇一個適當的系統在 LTE 當中提出了一個解決方法，就是 ANDSF。ANDSF 之中必須能夠獲取其他網路系統之資訊，包括 3GPP 與非 3GPP 之系統。並提供 UE 兩種資訊：系統間行動政策(Inter-system mobility policy)，接取網路探索資訊(Access network discovery information)。

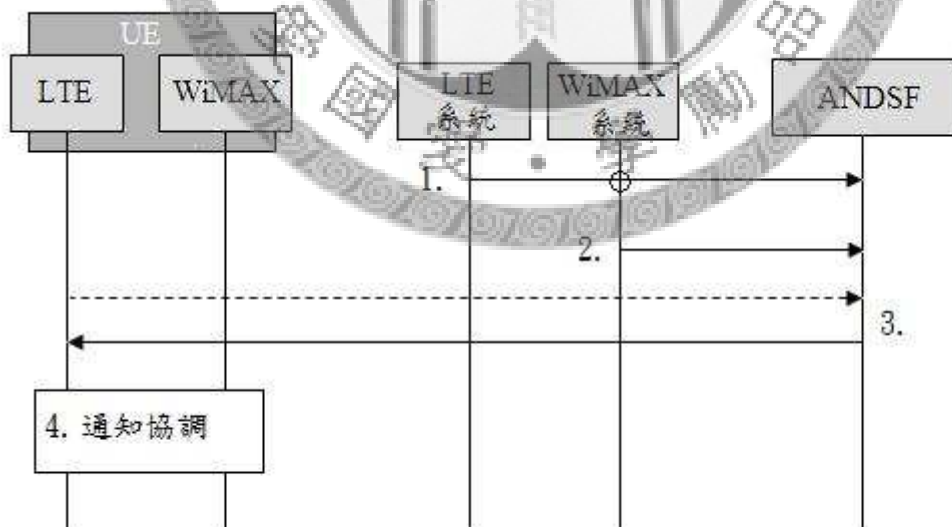
當 UE 向 ANDSF 要求其它接取網路之資訊時，ANDSF 將提供附近可使用之接取網路列表，其中包含著接取網路之類型(例如 WLAN 或 WiMAX)，以及各系統內詳細資訊(如載波頻率)。另外 ANDSF 還提供系統間之行動政策，並能夠將此政策傳送至 UE，此政策為營運商所定義之規則，提供 UE 做選擇系統時的參考。例如當目前使用中之系統為 WiMAX，可使用之接取網路中有著 Wi-Fi 與 LTE 等等的許多系統，而行動政策內所定義的規則中若有定義 WiMAX 跨系統換手以 Wi-Fi 為優先，則 UE 將照著 ANDSF 所提供之資訊 Inter-RAT handover 到 Wi-Fi 系統當中。

2.3.3 WiMAX 與 LTE 使用 ANDSF 之機制



圖二十 LTE 與 WiMAX 使用 ANDSF

在 LTE 當中只對 ANDSF 提出概念與想法，因此在本篇論文當中提出在 LTE 與 WiMAX 共構環境下之使用方法，首先我們定義在異質網路雙模手機當中必須具備之功能如上圖，當中有著 LTE 與 WiMAX 系統，由控制功能之區塊整合兩者，LTE 與 WiMAX 當中並無連繫。



圖二十一 ANDSF 流程

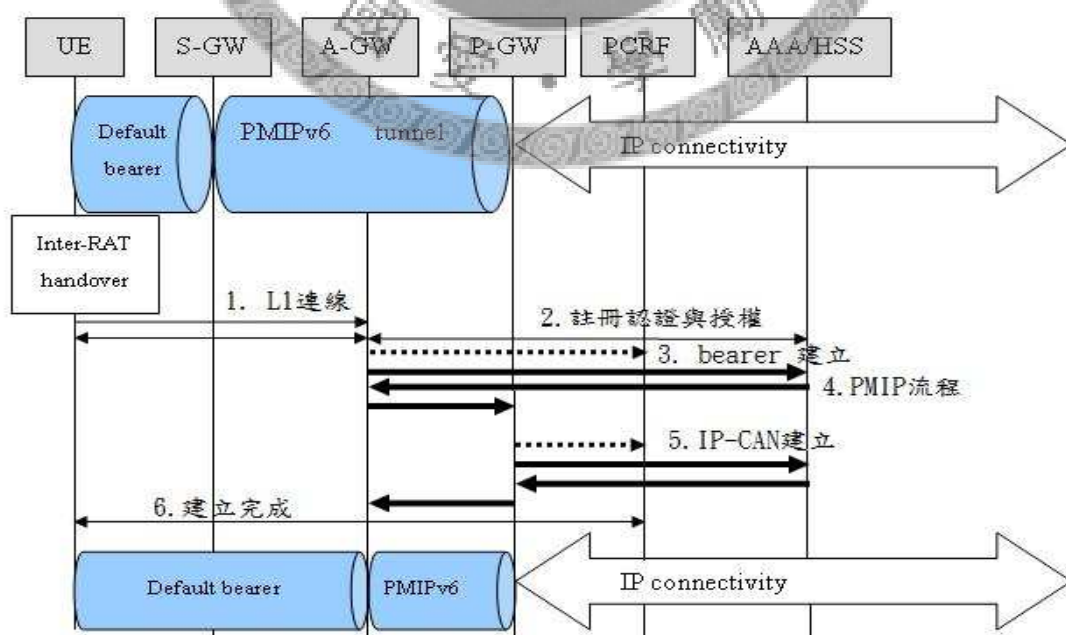
1.與 2. 在 LTE 與 WiMAX 系統後端，固定傳送資訊給 ANDSF，或由 ANDSF 主動索取，在資訊當中包含著使用者在各網路當中之用戶資料與政策，如果可能便

將基地台資源之訊息傳入。ANDSF 將根據此資訊為使用者決策，或是單純提供使用者取用。

3. 在環境設定的情況中，我們不希望 WiMAX 之標準被修改，於是在之中將只允許 LTE 與 ANDSF 溝通連線。UE 之 LTE 部分可選擇虛線流程主動向 ANDSF 要求附近網域之資訊，藉此判斷是否進行 handover，抑或是由網路後端通知進行決策。
4. 這部分為手機設計者必須負責之功能，主要功能為收到 ANDSF 所回傳之資訊該如何處理，在 Handover 時如何開啟 WiMAX 部分。

ANDSF 在 Inter-RAT handover 中所扮演著啟動的角色，當使用者有著進行 Inter-RAT handover 之需求時，ANDSF 將提供 UE 資訊，但在此必須要注意到之重點為 ANDSF 為一項可選之功能，使用者設備是否支援將會影響到 Inter-RAT handover 之進行。在此我們做個假設為 WiMAX 之標準規範當中並不會加入 ANDSF 之功能，於是在 WiMAX 當中運行時，並不會有 Inter-RAT handover 到 LTE 之發生。在本篇論文當中將討論為 Inter-RAT handover 之流程，將不會探討何時該啟動 Inter-RAT handover，此部分將交由設備商與營運商根據資費與基地台資源狀況做決策。

2.3.3 Inter-RAT handover 程序



圖二十二 Inter-RAT handover 程序

圖二十為 Inter-RAT handover 之建立程序，由於前面段落所敘述之假設，WiMAX 並未更改標準於是在 WiMAX 當中並無機制通知 UE 進行 handover，在 LTE 與 WiMAX 共構之環境下只允許 LTE 換手至 WiMAX 當中。同時在 WiMAX 原始規範當中並不允許 UE 事先連線上系統而不取得 IP 位址，當 Inter-RAT handover 啟動時必須重新開始連線。

假設目前使用者經過 LTE 網路依附程序(2.2.1 節)之後，成功進入 LTE 網路並獲得服務。當 ANDSF 與 UE 協調必須啟動 Inter-RAT handover 後，UE 的 LTE 部分才通知 WiMAX 部分開始啟動：

1. 如同在 2.2.2 節當中所敘述之 WiMAX 網路進入流程，UE 開始掃描以及下行通道的同步，取得上下行通道參數，進行測距與協調基本功能。
2. 執行認證授權與金鑰交換，WiMAX 部分必須進入業者所架設之 AAA/HSS 伺服器運作，此伺服器有可能必須同時負責 LTE 與 WiMAX 之業務。
3. 在此 WiMAX 之 ASN-GW 必須向 PDN-GW 請求建立承載，其中包含著必須給 PCRF 之參數以建立線上計費機制與確認。
4. 同時 ASN-GW 運作 Proxy MIPv6 中的 Proxy Binding Update 如 2.1.2 當中所描述。
5. 之後 PDN-GW 向 PCRF 要求建立 IP-CAN 承載如 2.2.1 當中所描述。
6. 由於先前 UE 在使用 LTE 時已經由 PMIP 程序獲得一個 IP 位址，在此步驟 PDN-GW 在 AAA 當中得之此 LTE 帳戶與 WiMAX 帳戶屬於同一 UE，便將同一個 IP 位址傳送給 UE 的 WiMAX 部分，並將 PMIPv6 隧道導向 ASN-GW，完成換手。

2.4 本章小結

本章介紹出 LTE 與 WiMAX 系統，並也介紹了 PMIP 之機制，目的是為了將這三者之間打散重整，利用在標準當中所定義之流程分開使用達到我們所需要之結果，同時對於 LTE 當中並未詳加描述之部分提出看法。

在 Inter-RAT handover 當中，為保持連線不中斷，IP 位址必須在通話期間保持一致，在本章節當中介紹了 Proxy Mobile IPv6 來維持 IP 位址的一致性，能夠讓 UE 在不同的子網路底下移動而不改變。但套用在 LTE 與 WiMAX 共構的環境當

中必須做些更改，主要差異在於 LTE 與 WiMAX 之間的換手不一定是由於移動性之需求，有可能是資費與無線資源之考量，將會造成一隻雙模的 UE 可以同時接收兩個網路之訊號。若在不變更既有存在之標準規範的前提之下，兩者同時連線上網路將會取得兩個不同之 IP，則無法進行換手。於是在此情況之下同一時間內只能使用單獨一種系統。

既然使用 PMIP 時只能使用單一系統，在 Inter-RAT handover 時必須經過完整的開機直到登入取得服務之程序，所造成之換手延遲將在下一章節當中進行分析評估，探討換手過程當中將會產生多少程度之延遲。



第三章

LTE 與 WiMAX 間 Inter-RAT handover 之延遲分析

在異質網路共構之環境下，本篇論文在上一章提出了整合架構以及換手流程，在本篇將分析換手流程之延遲分析。首先在此探討，所謂換手成功之條件為何？以及 Inter-RAT handover 與一般換手有何種差異，在過往文獻當中我們可以獲得何種啟發。

一個換手必須成功，除了系統內能夠解讀此機制內之訊息並成功運作之外，另一個考慮的重點便在於“時間”。在換手的過程當中使用者將會停止與網路間之訊息傳遞，直到換手成功，不僅僅是使用者之感覺，另外還有造成連線中斷之產生。第一種斷線之情況為移動速度過快，在換手期間 UE 離基地台越來越遠，接收到之訊號越來越低，而在換手完成之前 UE 完全收不到基地台所傳送之訊號，則連線將會中斷。另一種情況根據使用者之程式影響，目前有許多應用程式對於即時性有非常嚴謹之要求，比如 VOIP 或是流行之線上遊戲，會根據程式之不同有著不同之 time out，此種應用程式在以秒為單位之短時間內沒接收到 UE 之訊息，將會連線中斷，所以換手延遲超越此時間，我們的換手將會失敗。

Inter-RAT handover 與一般系統內之換手不太相同，另外還多了許多步驟，等於是重新進入網域，以及 IP 之轉移。在 WiMAX 當中已經存在有許多文獻討論一般之換手所造成之延遲[11][12][13][14]，在當中我們參考了一般換手與 Inter-RAT handover 之相同之處。而另外還剩下 PMIP 之轉移延遲，在文獻[5]當中可以得到一些參考。縱觀而言，在接下來之篇幅將會討論 Layer1 到 Layer3 之延遲，本篇論文整合兩派研究者所研究之結果並提出以 Queuing Network 分析之模型。

3.1 Inter-RAT handover 延遲描述

在 2.3.3 小節章當中所敘述之 Inter-RAT handover 程序，在確定執行換手後之

延遲可分為幾個步驟：同步延遲(Synchronization delay)，測距延遲(Ranging delay)，金鑰交換與授權延遲(Authorization and Key exchange delay)，註冊延遲(Registration delay)，以及 PMIPv6 Proxy binding update 之延遲。在本篇論文當中將 UE 與基地台連線之過程定義為與基地台連線之延遲，其中包含有同步延遲以及測距延遲。而其餘之延遲主要發生在於網路後端之連線，與基地台到 UE 之延遲獨立，在後面之篇幅當中將以排隊網路(Queueing Network)分析之。

$$T_{handover} = T_{syn} + T_{Rng} + T_{auth} + T_{Reg} + T_{PMIP}$$

3.1.1 同步延遲 T_{syn}

同步為 UE 進入新的網路以及換手所必須做之第一步驟，偵測基地台所發送下行訊框之前置碼(Preamble)，得到進一步之資訊與基地台溝通，當 UE 偵測到前置碼之後才開始讀取 DL Subframe 中 DCD，UCD，DL-MAP，UL-MAP 之資訊，根據文獻所探討之結果[11]，平均同步延遲將等於一個訊框之長度，在 LTE 當中為 10ms，WiMAX 當中為 5ms。

$$T_{syn} = 1 \text{ Frame duration}$$

3.1.2 測距延遲 T_{Rng}

由於連線到基地台之每個用戶必須固定執行測距之步驟，並且對於新進入網路之 UE，測距為競爭性的，在此參照[12]當中的分析方法將此延遲結果做個探討。

在每個訊框當中分為上行訊框與下行訊框，而競爭時槽位於上行訊框之前端供使用者進行測距，在測距過程當中有一競爭視窗長度(Contention windows size)，使用者隨機選擇一個變數，傳送測距要求便以此為依據。若使用者競爭失敗，也就是在 time out 前沒有收到測距回應(RNG-RSP)，則競爭視窗長度必須加倍，使用者再次從中選擇一數值傳送，若再傳送失敗，競爭視窗再加倍成為一開始之四倍，以此類推，稱之為二進位指數後退演算法(Binary Exponential Backoff Algorithm)。

$$T_{Rng} = \sum_{Num_rng} T \times (N_{waiting} + 1) + \sum_{Num_rng-1} T_{Rng_timeout} + T_{RSP}$$

此式[12]表示測距失敗 Num_rng 次之後所需之延遲時間，T 表示一個競爭時槽之時間，N_waiting 指每次傳輸必須等待之後退時槽數。測距所包含之延遲分為三部分，一項為競爭解析延遲(Contention resolution delay) $\sum_{Num_rng} T \times (N_{waiting} + 1)$ ，第二項為每次等待失敗所需之 time out，以及等待 RSP 回傳所需之時間。

接下來討論使用者傳送碰撞之機率[12]，在之中假設共有 Nho 個使用者進行測距，並假設每個使用者有同樣之競爭視窗長度：

$$\begin{aligned} P_{collision} &= C_1^{Nho-1} \left(\frac{1}{N_{slot_number}} \right) \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-2} + C_2^{Nho-1} \left(\frac{1}{N_{slot_number}} \right)^2 \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-3} \\ &+ C_3^{Nho-1} \left(\frac{1}{N_{slot_number}} \right)^3 \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-4} + \dots + C_{Nho-1}^{Nho-1} \left(\frac{1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-1} \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^0 \\ &= 1 - C_0^{Nho-1} \left(\frac{1}{N_{slot_number}} \right)^0 \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-1} \\ &= 1 - \left(\frac{N_{slot_number}-1}{N_{slot_number}} \right)^{Nho-1} \end{aligned}$$

而在不同競爭視窗長度則可參考[11]，當 $P_{success} > 0.5$ 時的競爭解析延遲可表示為：

$$T_{Resolution} = \frac{T}{2} \times \left(\frac{3}{P_{success}} + \frac{cw \times P_{success}}{1 - 2(1 - P_{success})} - cw \right)$$

另外還有個必須計算之變數為平均所需要傳送之次數：

$$\begin{aligned} Num_rng &= P_{success} + 2P_{success}(1 - P_{success}) + 3P_{success}(1 - P_{success})^2 + 4P_{success}(1 - P_{success})^3 + \dots \\ &= \frac{1}{P_{success}} \\ &= \left(\frac{N_{slot_number}}{N_{slot_number} - 1} \right)^{Nho-1} \end{aligned}$$

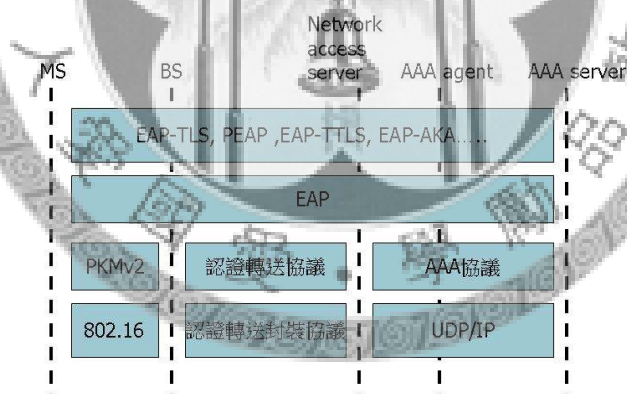
在 WiMAX 當中之換手程序並不一定需要經過此競爭延遲，若在掃描階段時選用了不同關聯等級可經由與基地台之間之協調配給一專屬之競爭時槽，則此步驟將被省略。而在我們 Inter-RAT handover 程序當中，UE 必須重新進入 WiMAX

網路，並無法選擇關連等級，則此競爭延遲是無可避免的。

另外經由上述數學式可以發現，測距延遲將與競爭時槽之數目，使用者數量，以及系統內所設定之 time out 相關。由於本篇論文之重點並未著重在 UE 與基地台之連線，經由[12]之研究結果，我們假定 UE 與基地台連線完成之延遲時間為 300ms，並且以 Layer1 之延遲簡稱包含掃描與測距之延遲。

3.1.3 授權與金鑰交換 T_{auth}

此延遲為 UE 與基地台間進行授權與金鑰交換程序所導致，在 WiMAX 當中原本只支援兩種認證方法，「密碼認證協議」(Password Authentication Protocol, PAP) 與「質問交握認證協議」(Challenge Handshake Authentication Protocol, CHAP)，但兩種方法之安全性在無線通訊系統上表現並不夠好，之後又引進另一種「延伸認證協議」(Extensible Authentication Protocol, EAP)，允許請求者與認證伺服器間採用任意何複雜的認證協議，目前已有相當多之 EAP 方法使用不同的認證形式，例如 EAP-SIM 即定義了以 SIM 卡為主之認證方法。



圖二十三 EAP 架構

在 WiMAX 系統當中，EAP 為運行在 UE 與基地台間私密金鑰管理(Privacy key Management, PKMv2)安全協定上，另外認證者到認證伺服器之間使用遠端撥接用戶服務(Remote Dial-In User Service, RADIUS)協定。RADIUS 為認證伺服器所最廣泛採用之標準，定義了伺服器之功能與存取之協定，另外也支援計費之功能，在我們的架構當中可視為 AAA 伺服器之主要架構。由於此步驟牽涉到主機之運算效能，主機必須處理編碼解碼之運算，在參考文獻[13]後我們選擇平均認證延遲為 170ms。

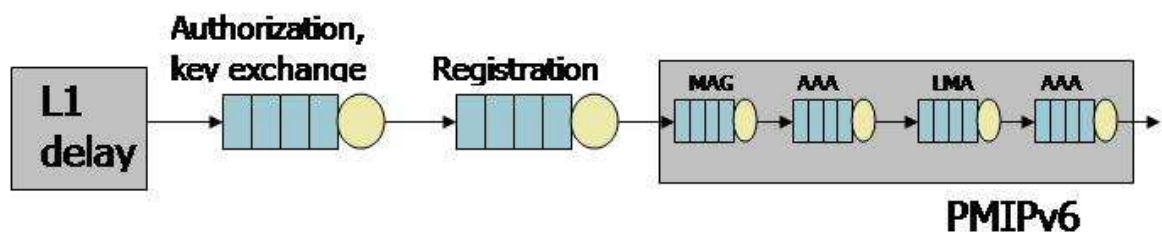
3.1.4 註冊延遲 T_{Reg}

UE 傳送 REG-REQ 來開始此註冊程序，註冊完成之後 UE 才被 WiMAX 系統允許進入網路，UE 將傳送一雜湊訊息認證碼(Hashed Message Authentication code, HMAC)，當基地台執行驗證過後回傳 UE REG-RSP。在[12][14]當中之研究，在此步驟之平均延遲為 230ms。

3.1.5 PMIP 延遲 T_{PMIP}

由[5]當中已經有著 Proxy MIP 之轉移流程，在 UE 連線到 MAG 之後，MAG 向 AAA server 要求使用者之資料，等待 AAA server 處理資料庫搜尋之後，回傳給 MAG。再接下來 MAG 傳達至 LMA，同樣的 LMA 向 AAA server 要求確認，之後才允許執行 IP 轉移。在整個過程當中，我們討論的是以秒為單位之延遲，於是在此忽略信號傳遞所造成之延遲。整體而言，執行 PMIP 之過程將會遇到一次 MAG 延遲，一次 LMA 延遲，以及兩次 AAA server 內之延遲。在之中尤其以 AAA server 當中資料庫搜尋將佔較大量之時間。在此當中延遲時間將會與主機設備等級相關，參考文獻過後我們設定在 MAG 內平均延遲為 10ms，LMA 延遲為 10ms，而 AAA 當中將遇到 100ms 之延遲。

3.2 Queueing Network

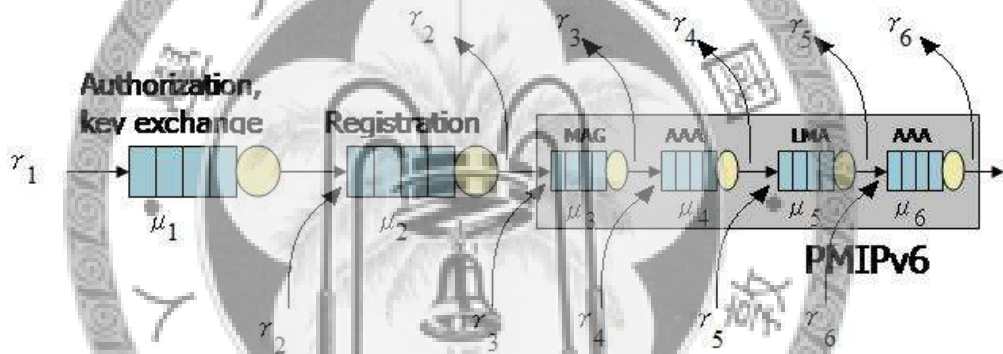


圖二十四 Inter-RAT handover 排隊模型

排隊理論為一門發展深遠之數學工具，尤其在電信產業當中之應用可以算是非常廣大，甚至在最一開始之發展便由電話系統中所啟發，在[15]當中有著非常深入之介紹。在接下來之篇幅將以此為工具分析。

在上一小節當中整理出各個階段之平均延遲，但這樣是不夠的，在網路系統當中必須考慮使用者多寡，當人數越多，處理速度將會隨之下降，這是一項合乎常理之論述，於是在此當終必須針對使用者多寡來表現延遲與使用者之關係。

在此將參考[15]當中之介紹，使用 Open Jackson Networks 來套入 Inter-RAT handover 之模型。在上面的圖示當中，我們發現這是一個有六個節點之排隊模型，另外提出一個在排隊理論中常使用之假設，我們假設使用者進入之機率模型為 Poisson，而每個點之處理時間為指數機率分佈。



圖二十五 Inter-RAT handover 排隊模型(二)

在我們的架構當中所表示的為每個 Inter-RAT handover 之要求者所需經過之步驟，但事實上在每個點當中所會遇到之使用者，並不一定是 Inter-RAT handover 之使用者，於是有著外來之流量 γ_i ，並在服務完成之後離開。在[15]當中推導出下列式子：

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \gamma_i + \sum_{j=1}^k \lambda_j r_{ji} & \rho_i &= \lambda_i / \mu_i \\ \lambda &= \gamma + \lambda R & L_i &= \rho_i / (1 - \rho_i) \\ \lambda &= \gamma (\mathbf{I} - \mathbf{R})^{-1} & W_i &= L_i / \lambda_i \end{aligned}$$

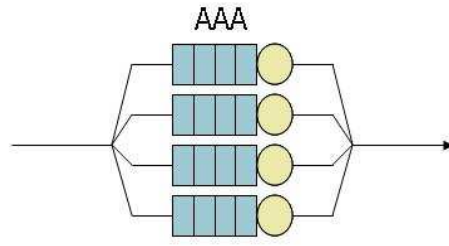
其中 W 即為我們所要求之延遲， λ 為總共的到達率(arrival rate)， r_{ij} 為 i 點出來之使用者進入 j 點之機率。於是在此排隊模型中我們寫下我們的轉移機率矩陣 R ：

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\lambda_2 - \gamma_2}{\lambda_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_3 - \gamma_3}{\lambda_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_4 - \gamma_4}{\lambda_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\lambda_5 - \gamma_5}{\lambda_5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \gamma_4 \\ \gamma_5 \\ \gamma_6 \end{bmatrix}^T + \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \end{bmatrix}^T R = \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 + \lambda_1 \\ \gamma_3 + \lambda_2 - \gamma_2 \\ \gamma_4 + \lambda_3 - \gamma_3 \\ \gamma_5 + \lambda_4 - \gamma_4 \\ \gamma_6 + \lambda_5 - \gamma_5 \end{bmatrix}^T$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 + \gamma_1 \\ \gamma_3 + \gamma_1 \\ \gamma_4 + \gamma_1 \\ \gamma_5 + \gamma_1 \\ \gamma_6 + \gamma_1 \end{bmatrix}^T$$

於是運用此式帶入先前之公式我們便可求出在此狀態下之換手延遲。另外為了做個比較，在此也從[15]當中參考多個 server 之情況，也就是 M/M/C queue：



圖二十六 M/M/C 圖示

$$P_0 = \left(\frac{r^c}{c!(1-\rho)} + \sum_{n=0}^{c-1} \frac{r^n}{n!} \right)^{-1}$$

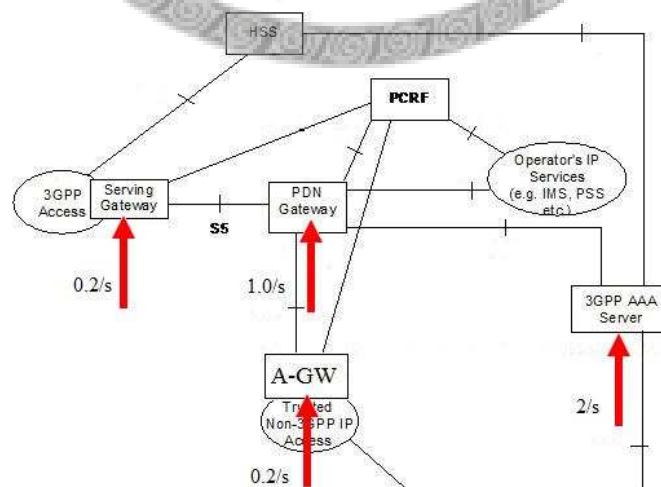
$$\text{其中 } r = \frac{\lambda}{\mu}, \rho = \frac{\lambda}{c\mu}$$

$$L = r + \left(\frac{r^c \rho}{c!(1-\rho)^2} \right) P_0$$

$$W = \frac{1}{\mu} + \left(\frac{r^c}{c!(c\mu)(1-\rho)^2} \right) P_0$$

C 為 server 之個數，我們將在 AAA server 當中假設另一個多伺服器之狀況，預期將可得到較少之延遲，也比較趨近現實情況，於是提出當作一個參考。

3.3 分析結果

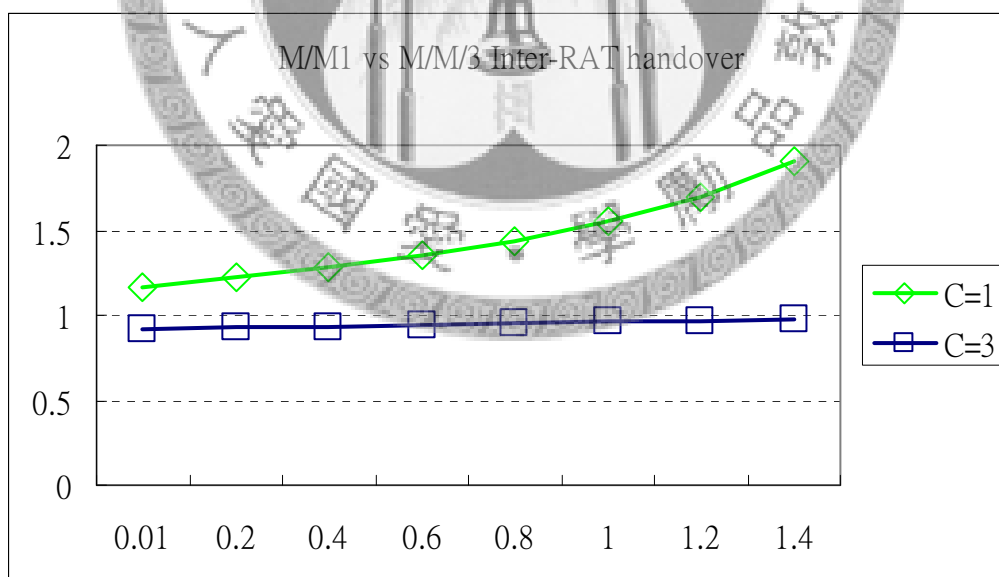


圖二十七 參數設定(一)

μ_{auth}	170ms
μ_{Reg}	230ms
μ_{MAG}	10ms
μ_{AAA}	100ms
μ_{LMA}	10ms
γ_{MAG}	0.2/s
γ_{AAA}	2.0/s
γ_{LMA}	1.0/s
L1 delay	300ms
M/M/C	C=3

表二 參數設定(一)

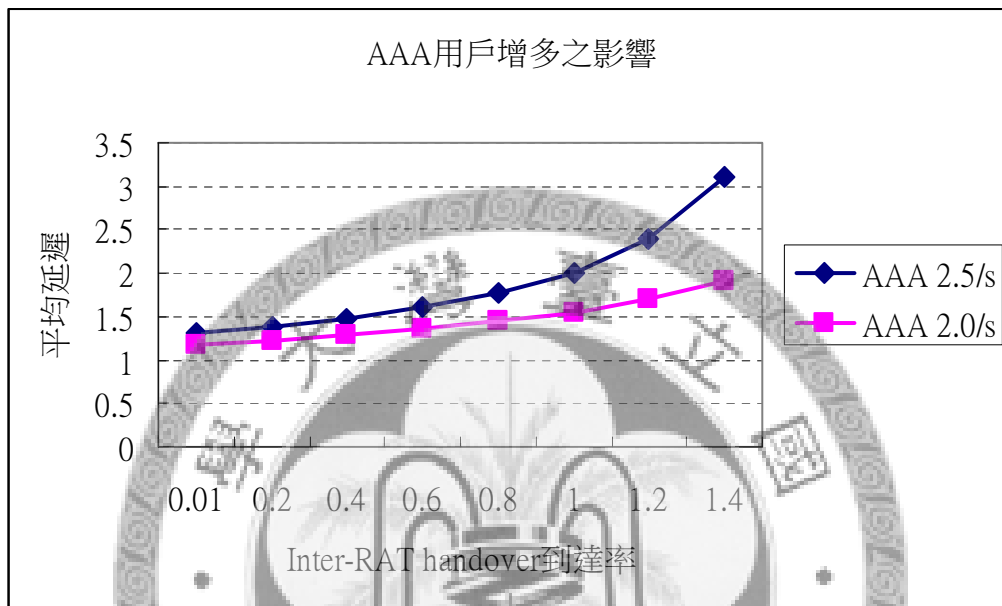
在參數設定當中，參考了先前所提到之文獻[5][11][12][13][14]，除此之外對於在系統當中之用戶行為，我們必須做出一個假設。在 AAA Server 當中，以著每秒兩位的平均速率要求服務，在 A-GW 與 S-GW 之部分皆行使 MAG 之功能，在此假設每秒 0.2 個客戶要求服務。而 PND-GW 連接著許多的 A-GW 與 S-GW，在此假設客戶到達率將以每秒 1 個之速率到達。



圖二十八 M/M/1 與 M/M/3 換手延遲

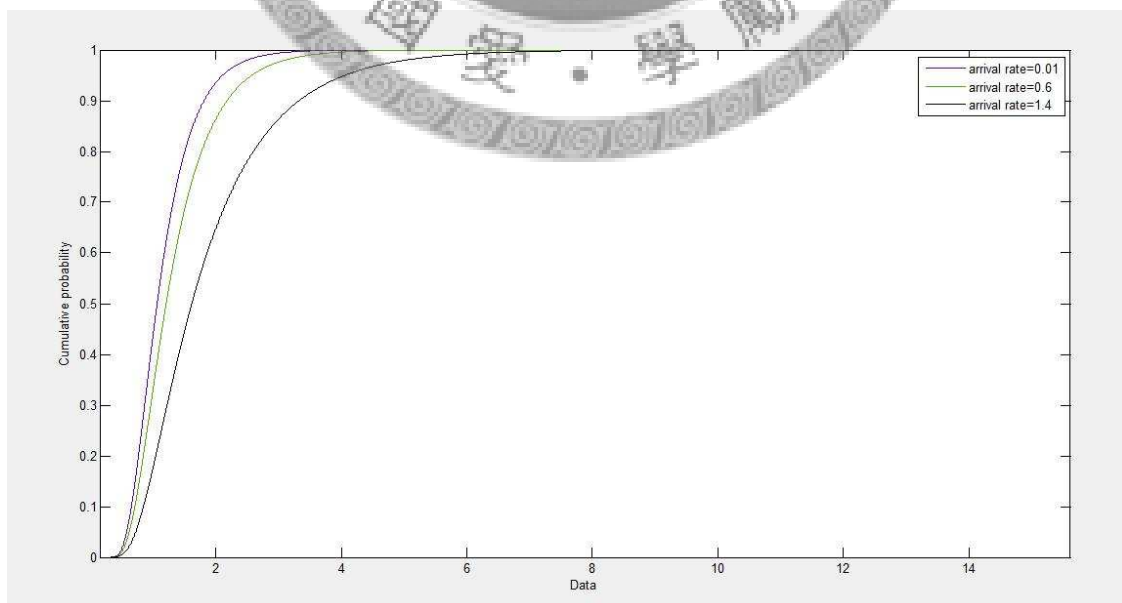
在上圖中之橫軸代表 Inter-RAT handover 之使用者，從每秒 0.01 個到每秒 1.4 個，縱軸表式所對應之平均總延遲時間，在圖內分別有著 AAA server M/M/1 與 M/M/3 之結果，很合理的來說當 AAA server 越多，總延遲時間將會下降，並且對

於使用者量之增多有著比較好的對抗性，能夠容納更多的使用者。再來我們關注在平均延遲時間之部分，當使用者量少時大概介於一秒附近，隨著使用者提升，平均延遲將漸漸的往兩秒靠進，在下面一張圖中我們將 AAA 的到達率提高到每秒 2.5 人，比較一下在人數更多時的表現，將可發現甚至平均總延遲將提高到三秒以上。



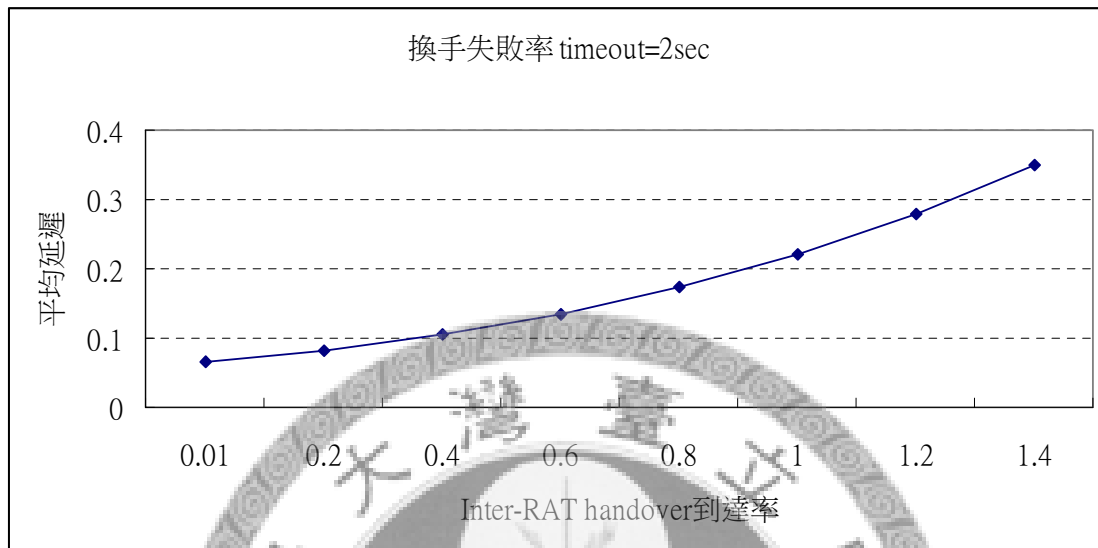
圖二十九 AAA 用戶增多之影響

在平均總延遲之外，事實上一個換手機制能否成功主要取決於當次換手所需之時間，為此在下圖將表示總延遲時間之累積分配函數。



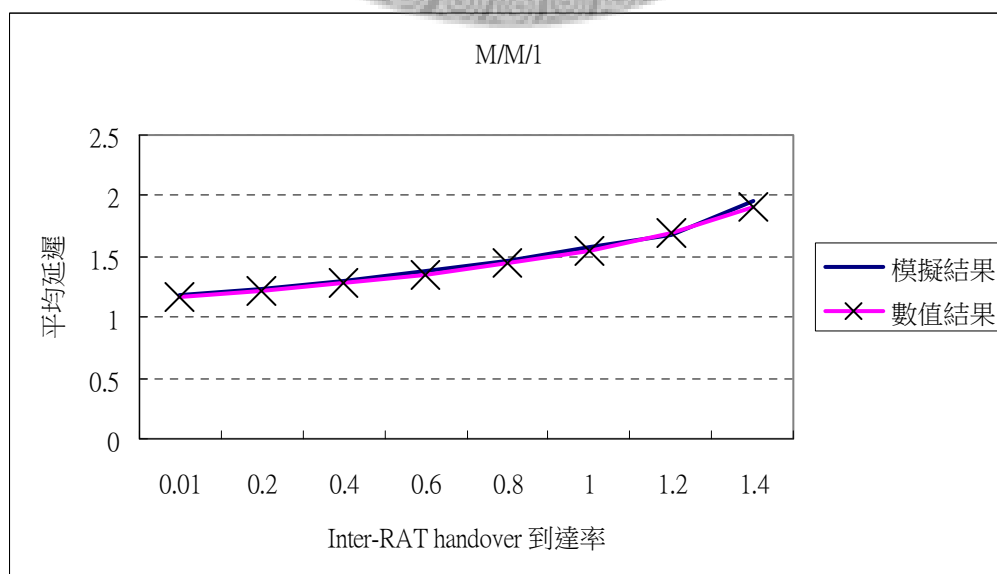
圖三十 Inter-RAT handover 累積分配函數

圖中三條曲線從左到右分別代表 Inter-RAT handover 到達率從 0.01，0.6 到 1.4。表示著在不同到達率底下之累積分配函數，在到達率越高之情況下曲線將越往右偏，代表有越大的機率存在於越高數值的總延遲上。

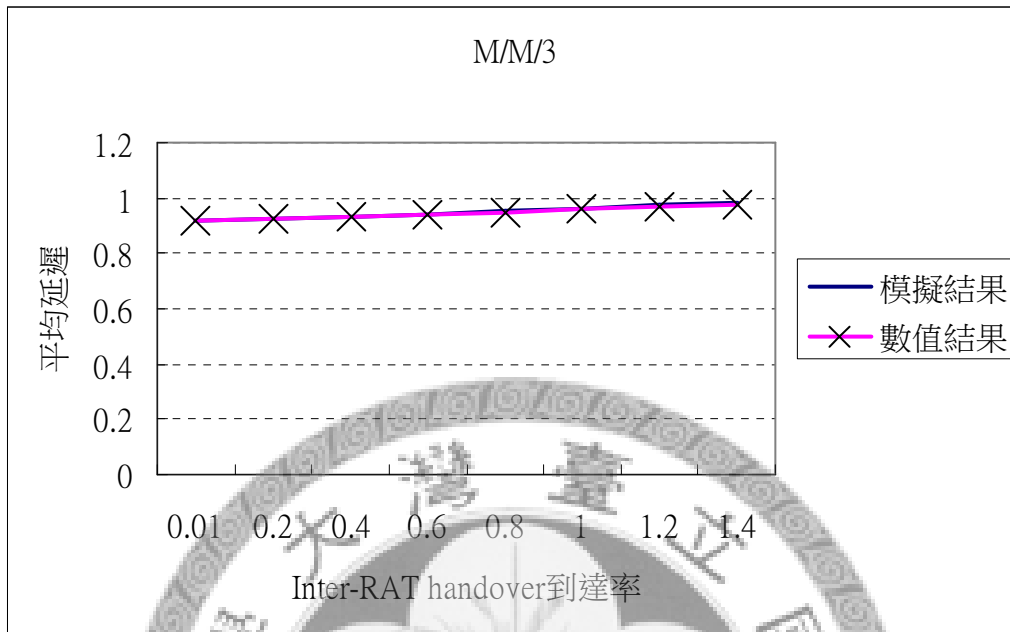


圖三十一 換手失敗率

上圖為根據累積分配函數所換算出來之失敗率，在此我們設定換手過程超過 2sec 時通訊將會中斷必須重新連接。在我們所設定之情境之下，最高可介於三成與四成中間，也就是說在每一百次換手時，將有三十到四十次會是失敗的，在實際運行上並不能算是一個可用之方法。事實上若不考慮用戶數量，基本上就是直接以 920ms 起跳，加入再多個 server 也無法避免此延遲，唯一解決此機制下之辦法為硬體上之升級提高運算效能。



圖三十二 M/M/1 模擬結果比較



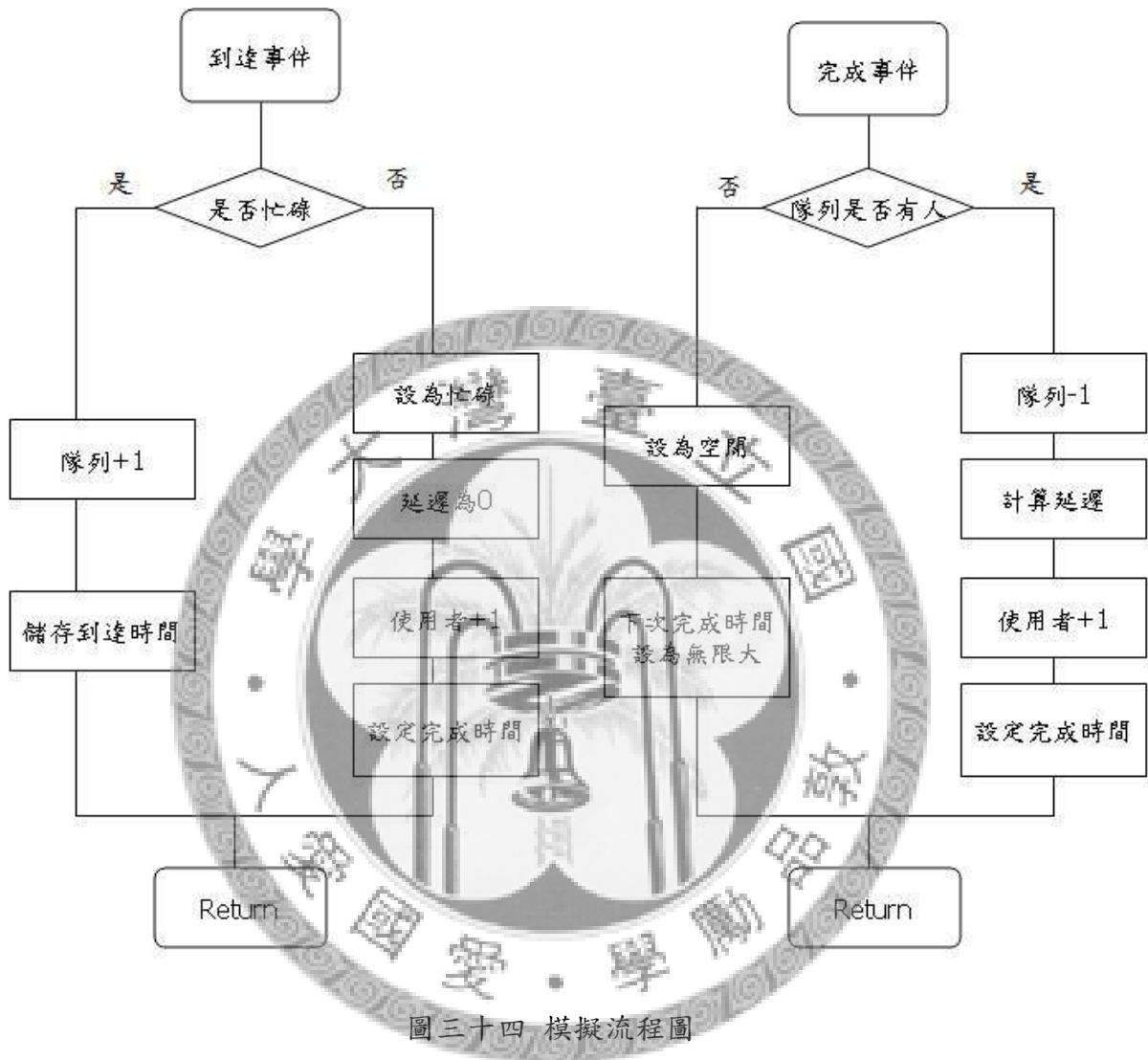
圖三十三 M/M/3 模擬結果

另外為了驗證數學推導並未產生錯誤，我們嘗試著使用模擬之方式從兩種不同之方面互相對照我們所得之結果。很明顯可以看到在上面兩張圖中皆為我們所預期，不論是由數學推導或是模擬，兩者求出之數值並未有明顯之差別，於是可更進一步使我們所研究之數據更加嚴謹。

在此我們所用之模擬方法為[16]當中所提之方式，以事件與時間軸之概念完成。我們以單一個系統來說明，對於單一系統當中之事件分為兩類：「使用者到達」與「服務完成離開」，另外有個事件列表，當中排定每個事件的發生時間，根據此時間執行事件。

時間軸從零開始，首先我們先用指數分佈之亂數產生一個使用者到達時間，服務完成時間設為無限大。排定之後發現下一個將發生之事件為「使用者到達」，於是將時間軸更新為到達時間，執行到達之子程式如下圖。若前面無人服務，便可直接進入服務，並隨機產生指數分佈之亂數為完成時間，反之則進入隊列。之後重新決定下個發生之事件，若為「服務完成離開」之事件，隊列中已無其他使用者時將系統狀態設為空閒。若有人時便由儲存的到達時間計算出延遲，排定下一次完成事件的發生時間。

最後由每個使用者所累計的延遲時間除以服務人數便可得到平均的排隊延遲，而平均延遲加上平均處理時間我們便得出在整個系統內從進去到出來的平均總延遲。



3.4 本章小結

在本章當中，首先介紹由於換手之延遲將深切影響到此機制是否成功，針對換手之延遲進行分析。並且透過文獻之研究得到我們在後面章節所需要之分析參數，並做了簡單之介紹以及數學表示。在之後的部分，考慮到在網路後端系統之延遲，並不能單純考慮使用者再每個步驟所造成之延遲，而必須將網路內其他使用者所造成之影響一併考慮，於是我們以排隊理論為工具分析在網路內因排隊所

需耗費的總延遲時間。

Inter-RAT handover 之機制與傳統換手不同，等於是從頭開始進入網路，影響之層級從 Layer 1 實體層跨越到 Layer 3 IP 層，基於傳統之計算方法是無法直接套用進入的，在本章節中特別提出了結合數學計算與 Queueing Network 之分析方法，將跨越 Layer1~Layer3 之程序能夠有個計算之依據。

由於我們並不希望改變 WiMAX 既有之系統與標準規範，跨系統時等同於重新進入網路，重新經過同步，測距，授權，金鑰交換，註冊，以及 IP 之取得。事實上在本章內之分析過後，即使不考慮網路中其他人所造成之延遲，在最理想狀況下還是需要 920ms 來完成整個流程，在本章中根據累積分配函數所換算出之失敗率可能高達三成五，這在運行收費之系統內不只使客戶有著不良的使用經驗，更會讓營運商面對挑戰。

經過本章之分析過後，我們意識到若是不將系統做些改變，要讓 Inter-RAT handover 能夠成功必須投入經費升級硬體，提高處理效能。抑或是考慮在 WiMAX 的規範當中，更改一些小細節使得 Inter-RAT handover 不再只是被動的等候 LTE 通知才開始進行網路進入程序。在本篇論文下一章節當中將會針對此研究結果進行改進。

第四章

加入快取伺服器(cache server)之 Inter-RAT handover

4.1 研究目的

在上一章節當中我們分析了在不改變 WiMAX 標準下的 Inter-RAT handover 延遲時間，可以在結果當中看到失敗率是一個頗高之數字，為此我們開始思考，是否能夠以簡單之修改來提升換手成功率。

對於雙模手機之使用者，我們假設只能使用一種網路，意思為今天我有一隻雙模手機，當我在 WiMAX 上使用 VoIP 或其他服務時，封包只會經由 WiMAX 之網路到達，並不能同時由兩個以上網路系統進行服務。在此種情況之下，手機內其他系統之部分可以停止運作，延長電池使用時間與節省空中無線資源。

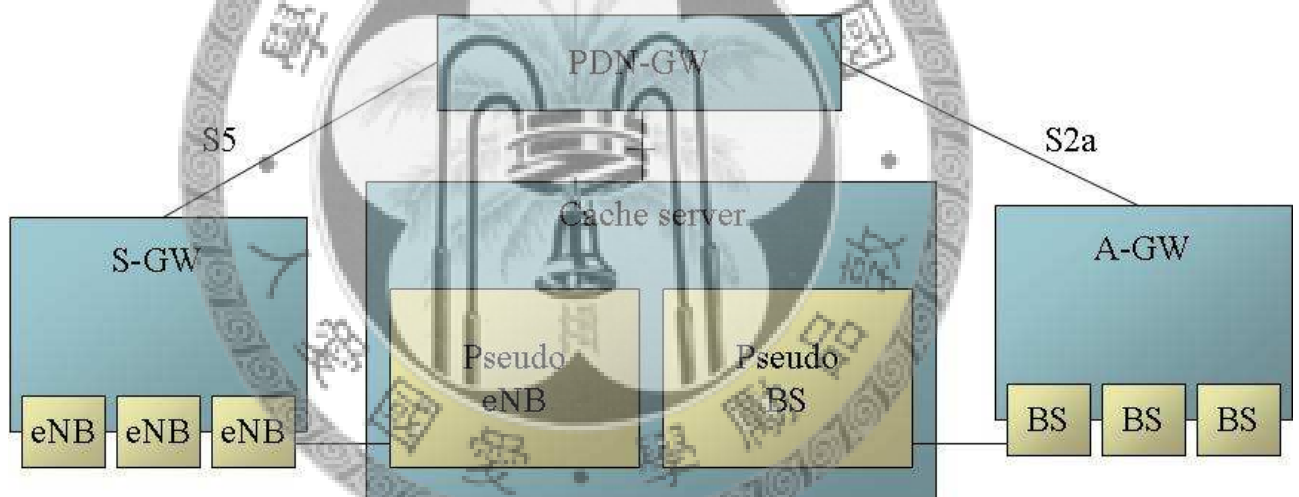
既然 Inter-RAT handover 之表現並不理想，是否能夠運用雙模手機之特點，假設在 LTE 網路底下運行時，WiMAX 系統可以先開啟，由手機內之 WiMAX 部分先把一些連線之部分完成，在 WiMAX 部分先經過掃描與測距，連線到基地台後，在執行網路之授權與認證，等到需要啟動 Inter-RAT handover 時才進行 PMIPv6 Proxy Binding Update 之程序。

上述之程序其實是過於理想的，Inter-RAT handover 最基本之要求為 IP 位址必須保持一致，假若我們不改變 WiMAX 之內部標準，我們並不能控制系統將 UE 之網路進入程序停止在某一個階段，更甚至對於參照 WiMAX 標準所規劃出之產品，當初制定之時尚未保留共構環境所延伸之功能，於是並不了解異質網路共構與 Inter-RAT handover，從手機端也不能要求網路進入程序停止。在第二章所提出之換手機制是在 ASN-GW 連線到 PDN-GW 這段當中根據 AAA 使用者資訊處理資料轉發，當然的在網路後端也必須升級，但並不需要考慮已經出產之產品，在此我們所質疑的點在於，為了達到理想之情況所付出之代價是否合乎效益。

總結以上之理由，我們需要尋找一個方法能夠讓手機進入網路之時能夠停止在”申請 IP 位址”之前，並且不需要改動已推出之產品中 WiMAX 部分，在這邊必須再強調一點為雙模手機系統當中之模組控制部分為交由手機開發廠商自行設計，對於此改動並無限制。

4.2 快取伺服器(cache server)

快取(cache)之概念提出已久，將有可能會使用到之資料先提取出來儲存在某個地方，當需要使用之時後馬上讀取可以加快速度。同樣的在這邊我們也提出了類似的概念，讓使用者先行連線，要進行 Inter-RAT handover 時能夠減少延遲。在下面將介紹此架構：



圖三十五 cache server 架構

快取伺服器介於 ASN-GW 與 Serving-GW 當中，主要目的為協調這兩者之間之訊息交換與轉譯，並且連線到 PDN-GW 以取得與交換網路資訊，要進行 Inter-RAT handover 之使用者透過 cache serve 與 PDN-GW 連線，或是 PDN-GW 將 cache server 之功能包含在內。在 cache server 當中除了控制部分，還有兩個重要的構成原件：

1. 虛擬 eNB(Pseudo eNB)
2. 虛擬 BS (Pseudo BS)

這兩者之功能為虛擬之基地台，分別可以與 eNB 與 BS 通訊，而其他之基地台並不知道快取伺服器內之虛擬基地台為虛擬的，在各系統底下基地台與基地台

間互相傳送之訊息在虛擬基地台內皆必須能夠了解以及發送。但虛擬之基地台並不發送空中訊號，並不直接在空中介面與 UE 溝通也不透過空中介面傳送封包給 UE。即使不在空中介面，虛擬基地台並不處理 UE 與網路另一端通訊時所傳送之資料。意即假設當 UE 使用 VoIP 與遠端通話，封包還是必須經由一般基地台透過空中介面傳送至 UE。

在此提出一個概念，當 UE 連線上 WiMAX 時，LTE 之 eNB 將認為目前服務之基地台為虛擬 eNB。反之在 LTE 接受服務時，WiMAX 內之基地台將虛擬 BS 視為現正服務之 BS。

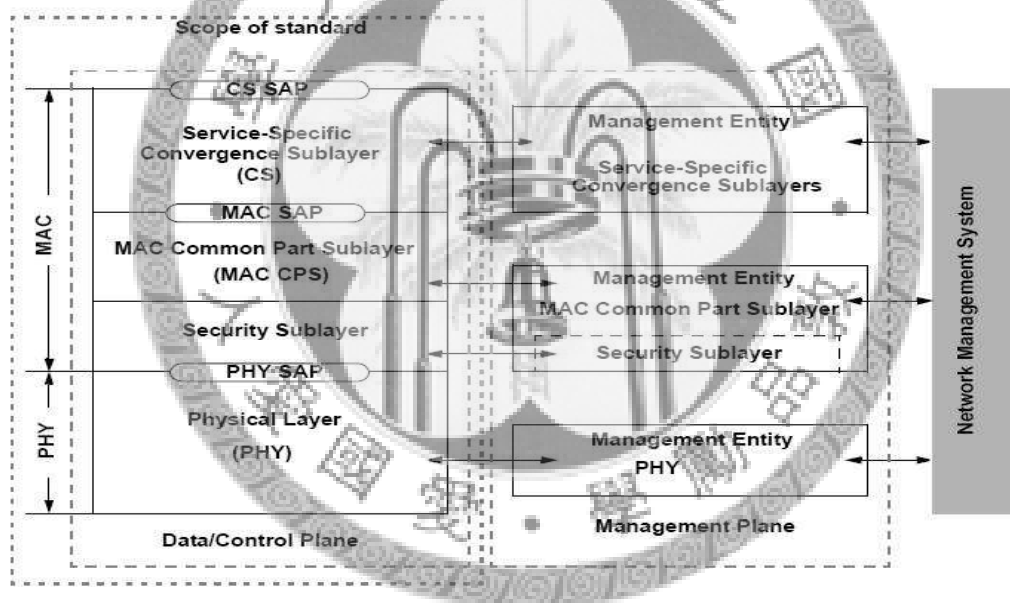
4.3 WiMAX 底下之快速基地台轉換 FBSS

802.16e 當中有提到兩種可選擇的接近軟式換手(soft handover)之機制，巨分集換手(MDHO, Macro Diversity)與快速基地台轉換(FBSS, Fast Base Station Switch)。在 MDHO 當中會維持一個分集集合(Diversity set)，UE 可同時與分集集合中的多個基地台維持通訊，通常會選擇一個主要基地台為定錨基地台(Anchor BS)，定錨基地台主管上行與下行傳輸的分配與管理。在 FBSS 當中一樣需要維持分集集合，分集集合內之基地台定期與移動台具有連繫，也會週期性的執行測距之程序。MDHO 模式當中 UE 可能由多個基地台進行上下行資料之傳輸，但在 FBSS 當中只與他所屬於的定錨基地台傳輸。

快速基地台轉換 FBSS 中，UE 可以主動進行或基地台透過後端網路讓分集集合中的所有基地台做好資訊交換，UE 雖然只與定錨基地台進行上下行資料傳輸，但分集集合中之基地台已經為 UE 建立起 CID，並交換包括授權、認證、安全金鑰交換與註冊之相關資訊，當 UE 轉換定錨基地台時，這些資訊皆已分享並不需要重新進行。當分集集合中的基地台需要改變時，UE 會發出 MOB_MSHO-REQ 或是 BS 送出 MOB_BSHO-REQ 之訊息來刪減或增加新的鄰近基地台到分集集合當中，支援 FBSS 功能之基地台將廣播增加與刪減的 SNR 門檻標準，包括 H_Add 與 H_Delete 的加入與刪除門檻。當某些特別情況或是需要之考量，在定錨基地台之轉換當中，不論是 UE 或是基地台皆可發送通知訊號改變定錨基地台，等同於傳統

之換手。同樣的改變定錨基地台也是藉由 UE 的 MOB_MSHO-REQ 與基地台的 MOB_BSHO-REQ 訊息達成。

在 WiMAX 當中程載之概念是由 CID 所主導的，上圖為 802.16 的 MAC 分層協定，在 Service – Specific Convergence Sublayer (CS)特定服務收斂子層中，負責對較高層的 SDU (Service data unit)位址進行配對，另外也在 UE 與基地台之間的邏輯連線建立一個連線辨識碼(Connection Identifier，CID)，所有服務根據此 CID 辨識傳輸方向，將網路上層傳遞下來之封包能夠傳達到需要之使用者。CID 當中會附帶另一個辨識碼 SFID，在當中包含著此 CID 連線所應具備之 QoS 參數，依據此不同的 QoS 給予不同等級之資源。必須要注意的是，一個 UE 可以允許多個 CID，之間的分配便必須經由 CS 層之對應處理。



圖三十六 IEEE 802.16 MAC Layer 分層協定[8]

當執行 FBSS 也就是分集集合當中之定錨基地台轉移，CS 層必須將上層之 IP 封包重新分配到對應之 CID 上，目標基地台必須取得 CID 與 IP 之配對之資訊。而在我們所提出之快取伺服器中，我們將運用此種換手機制與分集集合之功能，達到預先連接之效果。

4.4 Cache server 輔助之預先連接 pre-connect

在此節當中，將介紹 WiMAX 與 LTE 如何預先連接上網路，提升 Inter-RAT

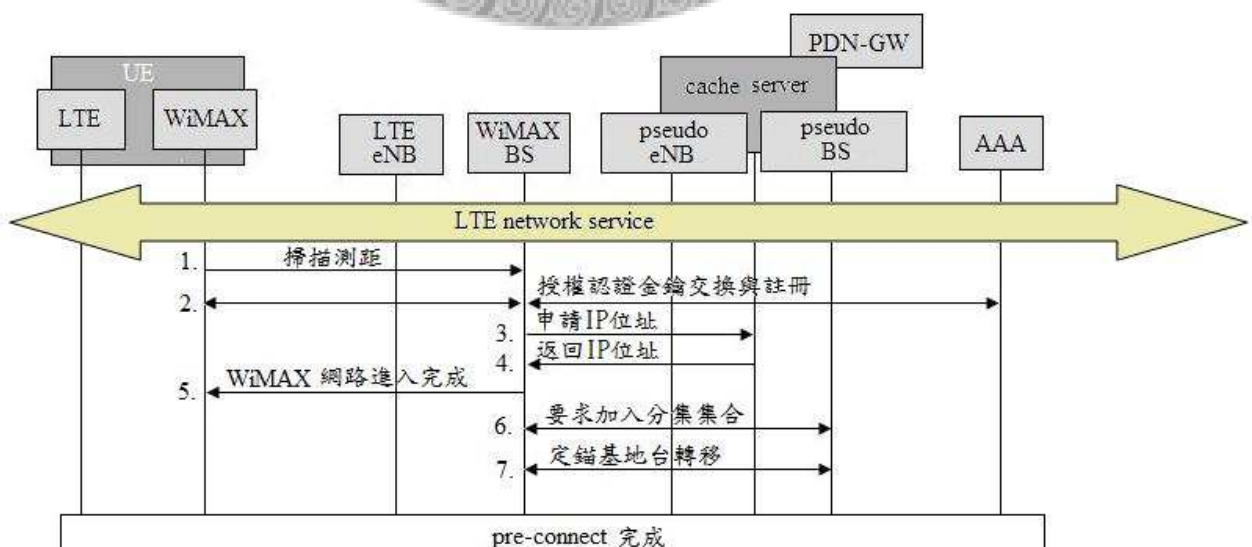
handover 之成功率。最主要之目標，我們要讓 UE 進行預先連接時能夠停留在“取得 IP 位址”之前，不讓 UE 在不同系統當中有著兩個不同的 IP 位址，造成 PMIP handover 時之錯誤。在這邊先重新描述 PMIP 之 IP 轉移要解決之問題為 UE 移動在各個網域時，會在進入新的網域時得到別的 IP 造成連線錯誤，使用 PMIP 後進入新的網域時 UE 維持原本之 IP 位址，在 MAG 與 LMA 間執行 Proxy binding update。於是在 Inter-RAT handover 時我們不希望目的系統已經存在另一個 IP 位址。但我們同時又不希望改變 UE 之行為，進入網路後會自動執行直到網路進入完成包括取得 IP 位址，於是在此提出一替代方案。

UE 進入系統之後，將會在網路後端進入 cache server，cache server 將先從 AAA 伺服器當中搜尋使用者的帳戶資料，若發現使用者為多系統的用戶(異質網路內 AAA 伺服器必須有此能力)，便留在 cache server 中持續觀察，並經由 cache server 連線到 PDN-GW，反之則丟棄不進行服務直接與 PDN-GW 連線。多系統之用戶將會在 cache server 當中建立起一筆資料，其中包含著在不同系統當中的 ID 對應，以及正在使用中的 IP 位址，當進行 pre-connect 時，給與 pre-connect 之系統此 IP 並封鎖對外連線，在下面將詳述 pre-connect 之機制。

帳戶編號	LTE ID	WiMAX ID	IP address
------	--------	----------	------------

表三 cache server 對應表

4.4.1 WiMAX 之 pre-connect



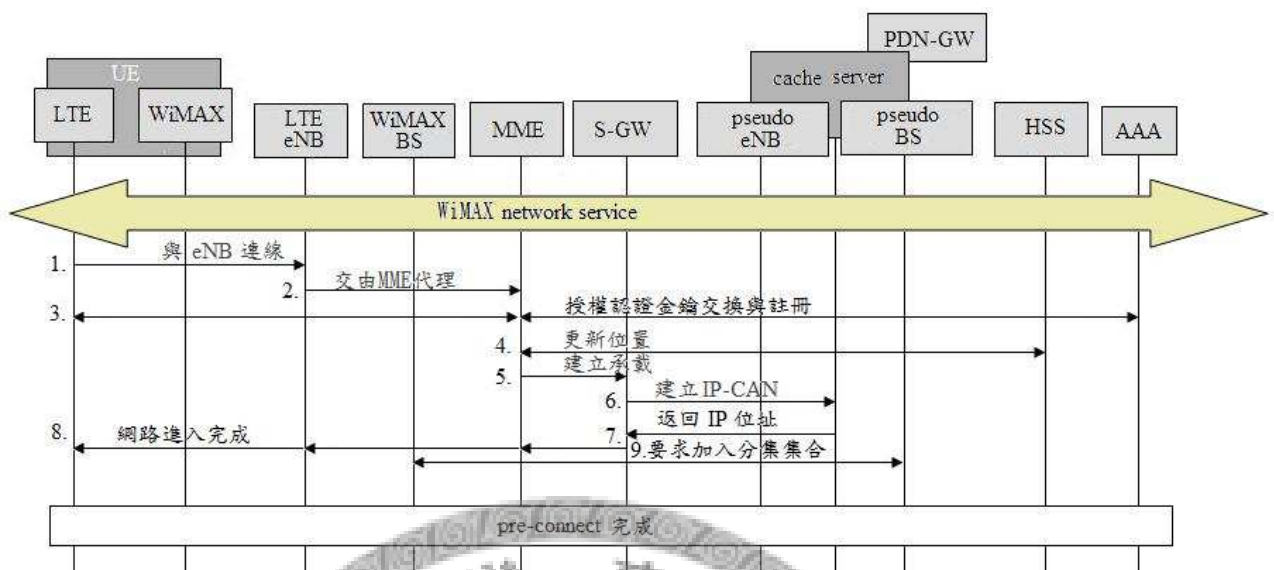
圖三十七 WiMAX pre-connect 流程

上圖為 WiMAX 預先連接之流程，在一開始手機開機時根據使用者設定之偏好或是接收到之訊號強度，選擇 LTE 網路透過 cache server 轉送登入並取得服務，在 LTE 登入期間 AAA server 不允許用戶帳號底下之其它系統以此帳戶登入。稍後由手機之控制部分或是在 WiMAX 部分不斷登入失敗後由 cache server 主控，啟用 pre-connect 機制：

1. 執行掃描與測距步驟。
2. 執行授權認證金鑰交換與註冊，若此時 LTE 還未登入完成，此步驟將被拒絕，WiMAX 部分將重新回到最初步驟。
3. 身分確認後向網路後端申請 IP 位址，進入 PND-GW 前會先經過 cache server，此時 cache server 將 LTE 底下之 IP 位址重複給 WiMAX 部分，並封鎖經過 WiMAX 系統到達此 IP 之封包，執接送往 LTE 底下之路徑。
4. 將此 IP 位址返回給 UE。
5. WiMAX 部分進入網路完成，但 UE 之 WiMAX part 並不知道自己被封鎖。
6. Pseudo BS 發送 MOB_BSHO-REQ 要求現正服務之基地台將它加入分集集合。
7. Pseudo BS 發送 MOB_BSHO-REQ 將定錨基地台轉移到此，pre-connect 完成。

由於 WiMAX 當中對於分集集合內之資訊為共享，並且給予基地台自行組織之能力，我們提出使用 FBSS 之方法讓 WiMAX 底下之基地台認為 cache server 為現正服務之基地台，但實際上是由 LTE 為 UE 服務。由於 UE 之 WiMAX 網路被封鎖，虛擬 BS 並不需要為 UE 傳送資料，UE 便也不知道何者為自己之定錨基地台。在此點必須強烈限制所有 UE 之網路服務接靠 LTE 傳送。如此一來便能達到我們要求之預先連接，但 IP 位址並不會影響後來之換手。

4.4.2 LTE 之 pre-connect



圖三十八 LTE pre-connect 流程

再來要討論關於 LTE 底下之預先連接流程，同樣的在一開始我們已經連線上 WiMAX 之系統並取得服務。

1. 進行掃描測距之後與 eNB 連線。
2. 與 MME 連線將行動管理交由 MME 代理。
3. 進行授權認證金鑰交換與註冊等確認流程。
4. MME 向 HSS 更新 UE 位置資訊。
5. 向 S-GW 提出建立承載之要求。
6. S-GW 向 PDN-GW 要求建立 IP-CAN 並要求 IP 位址，此步驟將被 cache server 代理並給予在 WiMAX 底下相同之 IP 位址，並封鎖經過 LTE 通往此 IP 位址之封包，轉至 WiMAX 底下之路徑。
7. 返回所給予之 IP 位址。
8. LTE 網路進入完成，同樣的 UE 並不知道自己並無網路能力。
9. cache server 底下之虛擬 BS 要求加入分集集合，並從網路後端取得註冊認證與金鑰等等之資訊，WiMAX 底下之基地台只將虛擬 BS 視為普通之基地台，pre-connect 完成。

達成上述步驟之後，由於在 LTE 裡下之 eNB 本身就有分享資訊之能力，不需要使用 FBSS 來達成，只把虛擬 eNB 視為現正為 UE 服務之基地台。在 WiMAX

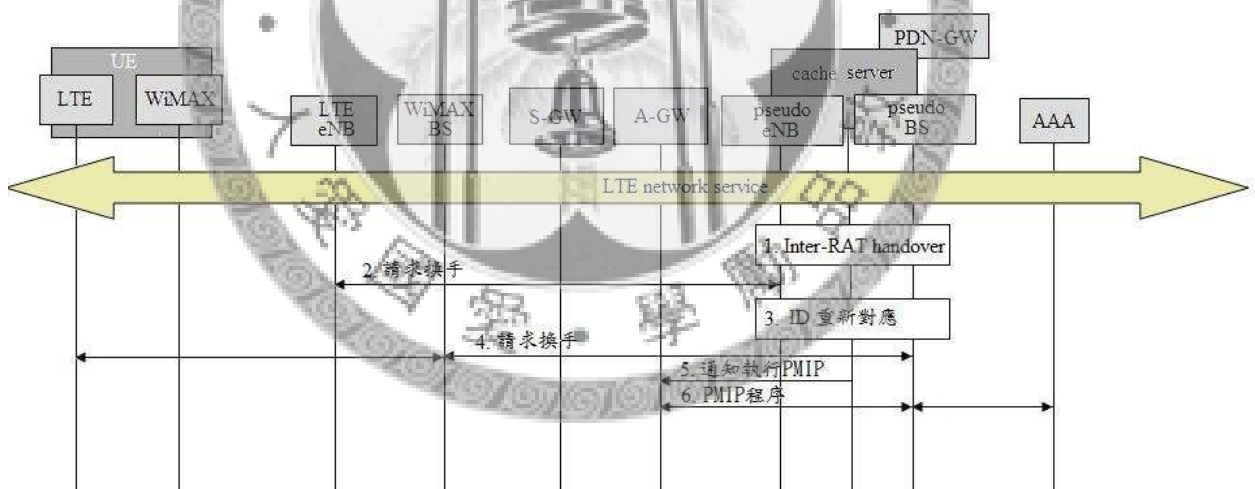
當中還是由原本之定錨基地台傳送 UE 之封包，只有將進入網路所需之資料與虛擬 BS 分享。同樣的與 WiMAX pre-connect 相同，UE 只能使用 WiMAX 之部分，完全不能要求 LTE 傳送資料。

4.5 在 cache server 輔助之下的 Inter-RAT handover

在我們提出的 cache server 當中，同時必須扮演著 Inter-RAT handover 之啟動角色，藉由 ANDSF 之輔助以及自身所偵測到的情況當做決策，為使用者提供從系統端起動的換手服務。

4.5.1 LTE 藉由 cache server 幫助換手到 WiMAX

在 UE 在 LTE 當中取得服務時，並且 WiMAX 部分已經預先連接完成，cache server 便能夠追蹤 UE 的情況，判斷是否要進行 Inter-RAT handover



圖三十九 LTE to WiMAX with cache

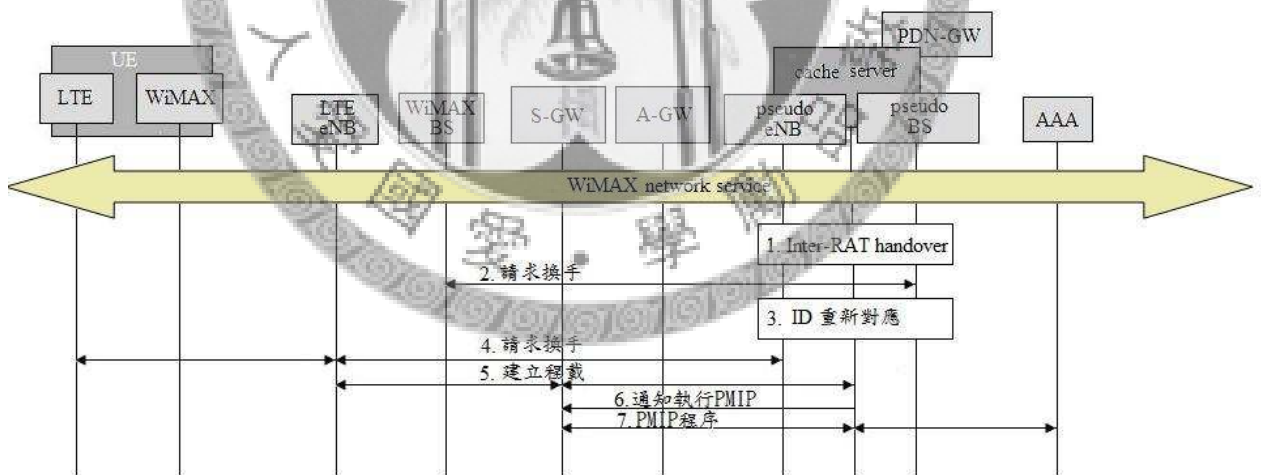
1. cache server 決定要進行 Inter-RAT handover。
2. 虛擬 eNB 向 LTE 底下的服務基地台要求換手，並獲取目前 UE 之承載對應關係。
3. cache server 參考 LTE 之承載資訊另外建立 WiMAX 形式之對應，也就是將 LTE 時所建立之承載，在 WiMAX 當中也建立相當之承載接收 LTE 轉移過來之封包。另一方面 UE 的 LTE 部分無法接收到虛擬 eNB 之換手成功訊息，

在 LTE 之部分一段時間之後將會斷線，但我們已經得到所要之資訊，這點並不影響。

- 藉由之前由後端網路所獲得之資訊，與選定之目標基地台要求定錨基地台轉移，由 CS 層負責 IP 與 CID 之鍊結。
- 雖然換手完成，但在 Proxy binding update 前 A-GW 是收不到封包的，cache server 通知 A-GW 執行 PMIPv6 之 IP 位址轉移。
- PMIPv6 轉移程序。

在這流程當中比較需要注意的是 LTE 之基地台換手到虛擬 eNB 時，虛擬 eNB 獲得所要之資料時，便無法繼續為 UE 完成換手，UE 之 LTE 部分一段時間沒接收到封包之後便會斷線。在此情境當中我們不考慮如何將 LTE 收到之封包與 WiMAX 收到之封包在上端結合，此部分交由上端協定或是控制系統所設計，另外在換手過程當中所遺失之封包可由上層之協定要求重傳。

4.5.2 WiMAX 藉由 cache server 幫助換手到 LTE



圖四十 WiMAX to LTE with cache

- cache server 決定要進行 Inter-RAT handover。
- 虛擬 BS 向 WiMAX 底下的服務基地台要定錨基地台轉移，並獲取目前 UE 之承載對應關係。
- cache server 參考 WiMAX 之承載資訊另外建立 LTE 形式之對應。
- 虛擬 eNB 與系統間其他基地台協調後選定一目標基地台要求換手。

5. 在 LTE 當中並無 CS 層與分集集合之概念，必須重新向 PDN-GW 建立承載，確定在各層當中之配對方式。
6. 雖然換手完成，但在 Proxy binding update 前 A-GW 是收不到封包的，cache server 通知 A-GW 執行 PMIPv6 之 IP 位址轉移。
7. PMIPv6 轉移程序。

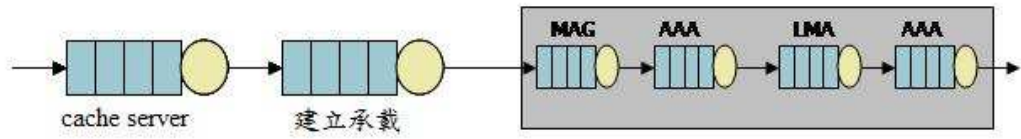
同樣對於 UE 之要求與 LTE 換手到 WiMAX 相同，UE 對於兩種不同路徑到達之封包必須設計上端協定之整合功能。另外對於 WiMAX 底下進行轉移定錨基地台過後此機制是否成功不在我們所注重之重點，cache server 只取得所對應之資料後，任由 WiMAX 底下之通訊中斷。

總結以上兩種換手機制，在此以一個簡單的概念描述之。UE 一開始在某個系統內取得服務，另一個系統先預先連接，由 cache server 主導 Inter-RAT handover，換手時先由服務系統換手至 cache server，同時 cache server 左手接過馬上轉到右手傳達到另一個系統當中。

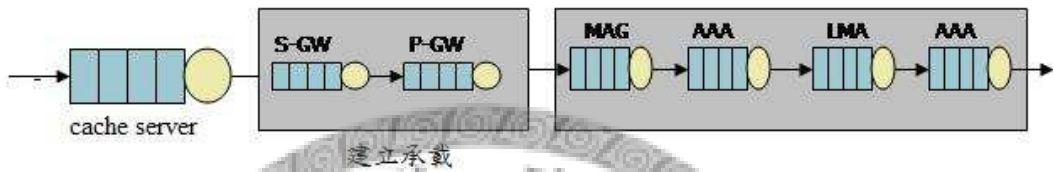
4.6 分析結果

在本節當中使用同樣的 Queuing network 之方式去分析換手延遲，由於在預先連接時已經將掃描測距與授權認證金鑰交換等等的手續運作完成，我們可以將步驟簡化為下面的模型。

LTE to WiMAX



WiMAX to LTE



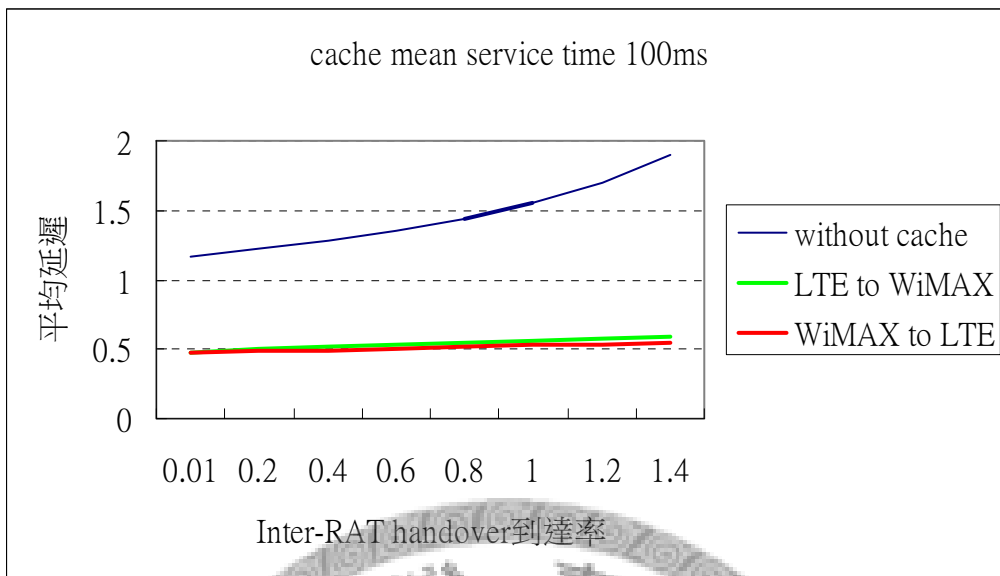
圖四十一 cache server 輔助下之 Queueing network

在之中包括 cache server 要求換手與處理資料對應之延遲時間，以及在 WiMAX 當中靠 FBSS 與 CS 層 (μ_{bearer})、在 LTE 中靠 S-GW 與 PDN-GW 所建立承載之延遲時間，最後還有 PMIPv6 之 PBU 所會遇到之延遲。下面列表為參數之設定，其於參數將參照表二以求比較上之公平性，在之中由於 cache server 為假想之設備，參數為我們所假設之變數。

μ_{bearer}	100ms
μ_{S-GW}	50ms
μ_{P-GW}	50ms
μ_{cache}	100ms
γ_{bearer}	0.2/s
γ_{S-GW}	0.2/s
γ_{P-GW}	1.0/s
M/M/C	C=3

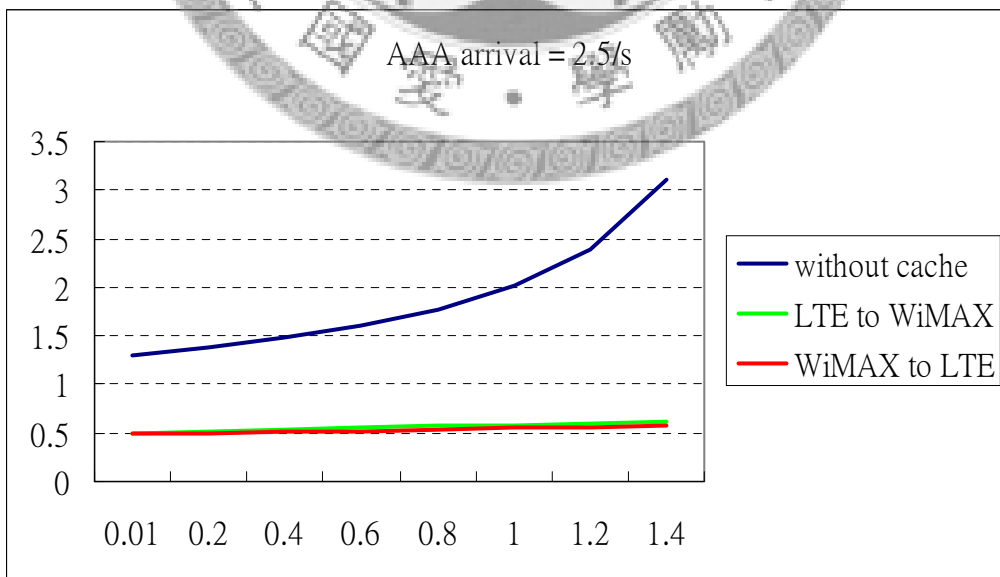
表四 參數設定(二)

分析結果：

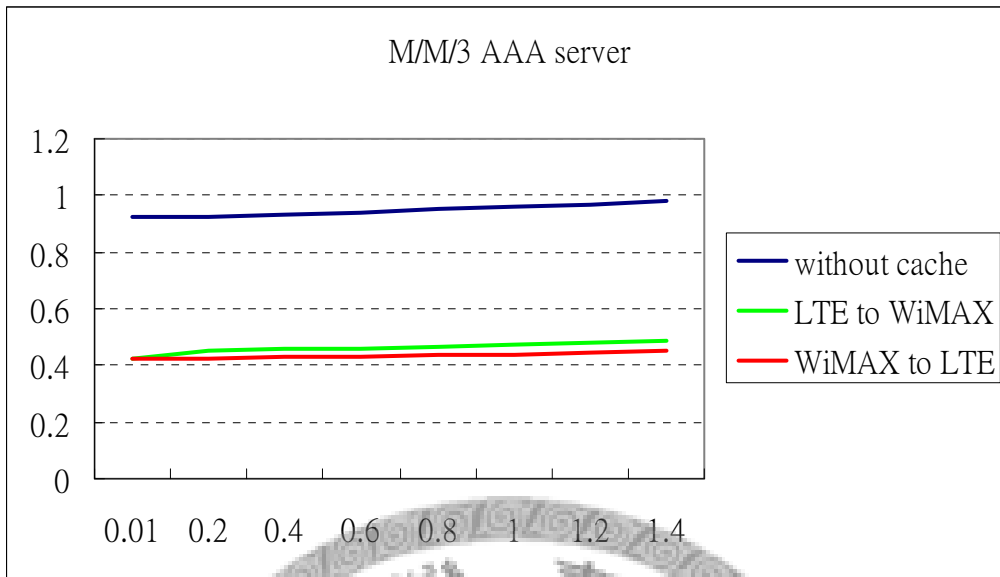


圖四十二 cache mean service time=100ms

由於讓系統預先連接之方式，在圖中可以看到換手之延遲能夠減少許多，沒有加入 cache server 的換手甚至是有加入之兩倍以上。在預先連接之步驟當中，省略了掃描，測距，授權與金鑰交換，以及註冊之程序，在原本之設定當中總共為 $300\text{ms} + 170\text{ms} + 230\text{ms} = 700\text{ms}$ ，於是達到如此效果是可以預期的，並且這是在沒有其他使用者之情況。當平均延遲時間越高，人數一多時將會讓平均處理時間的差距越拉越大，在下圖為 AAA 使用者量較多時之情況可驗證我們的想法。



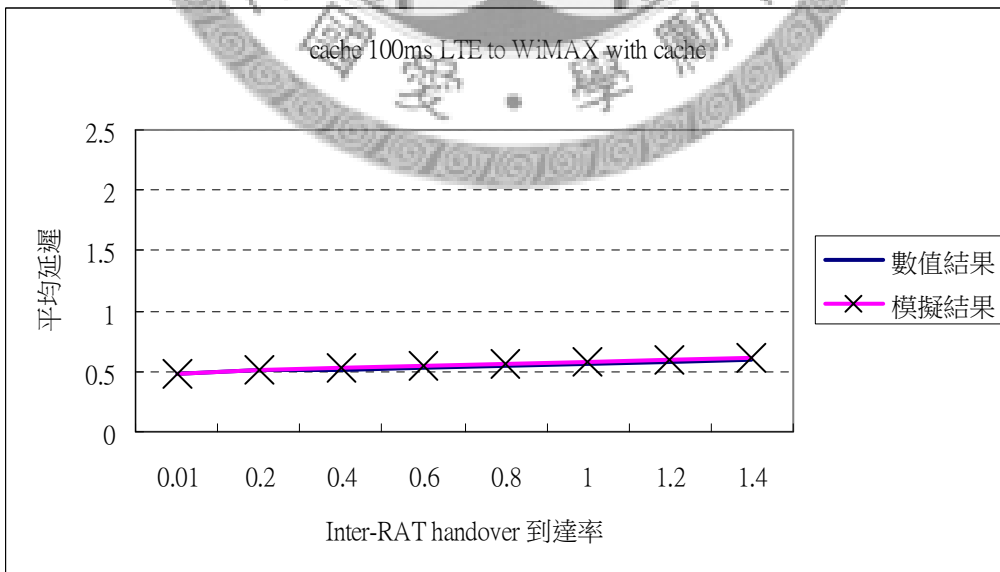
圖四十三 AAA arrival=2.5/s



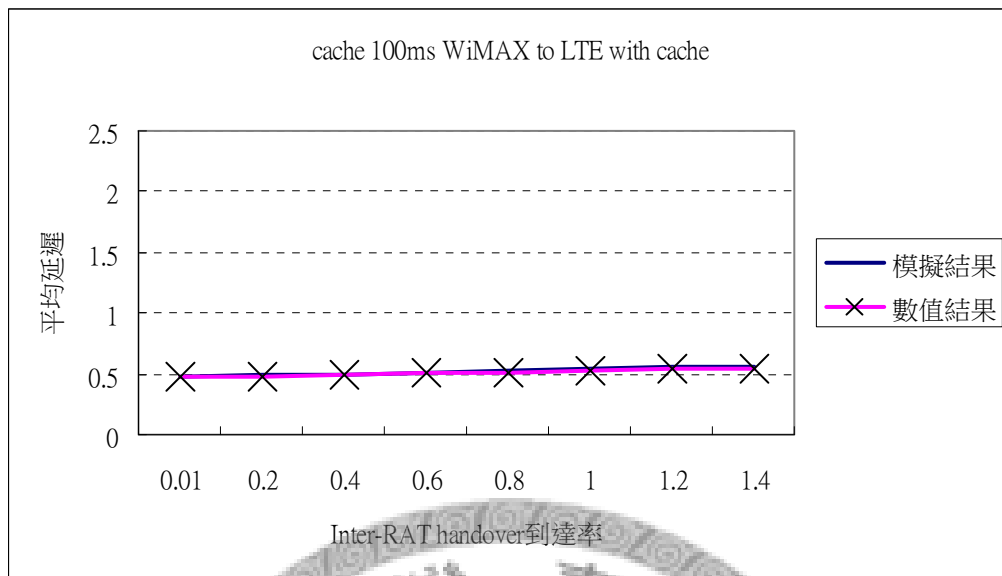
圖四十四 M/M/3 之 AAA server

在上圖中表示著 AAA server 為 M/M/3 之情況，通常在 AAA 中會是處理量最大之點，我們考慮在處理器越多的情況之下，還是可以看到加入 cache server 之表現明顯好於未加入之延遲，原因還是回到前面所提的，在沒有其他使用者時能夠減少原先 700ms 之程序，增加 AAA 伺服器並不能拉近此段差距。

同樣的在下面做了模擬與計算之結果比較，結果也合乎我們我預期。

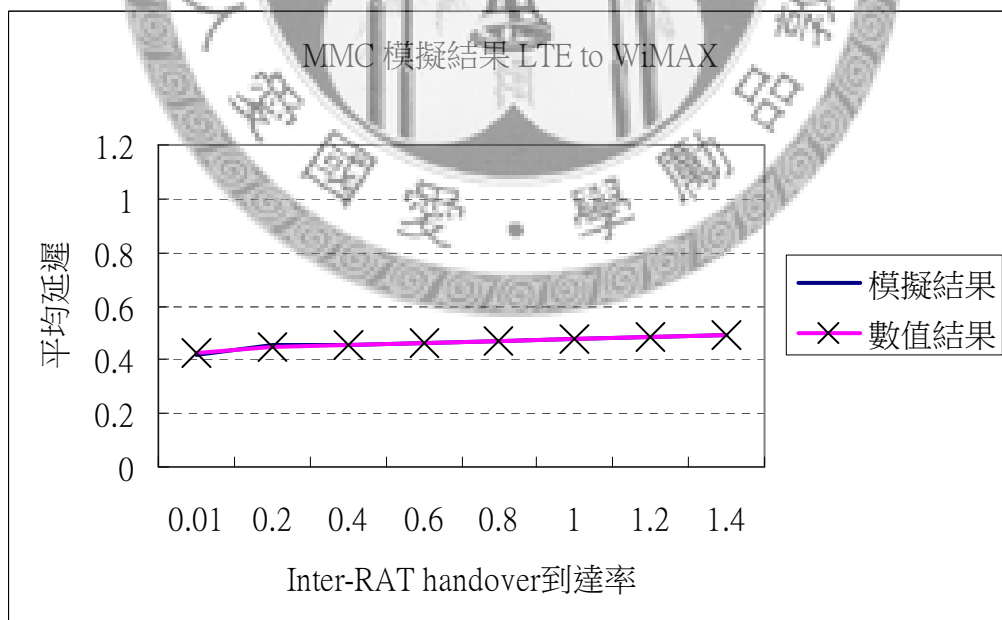


圖四十五 LTE to WiMAX with cache 模擬結果

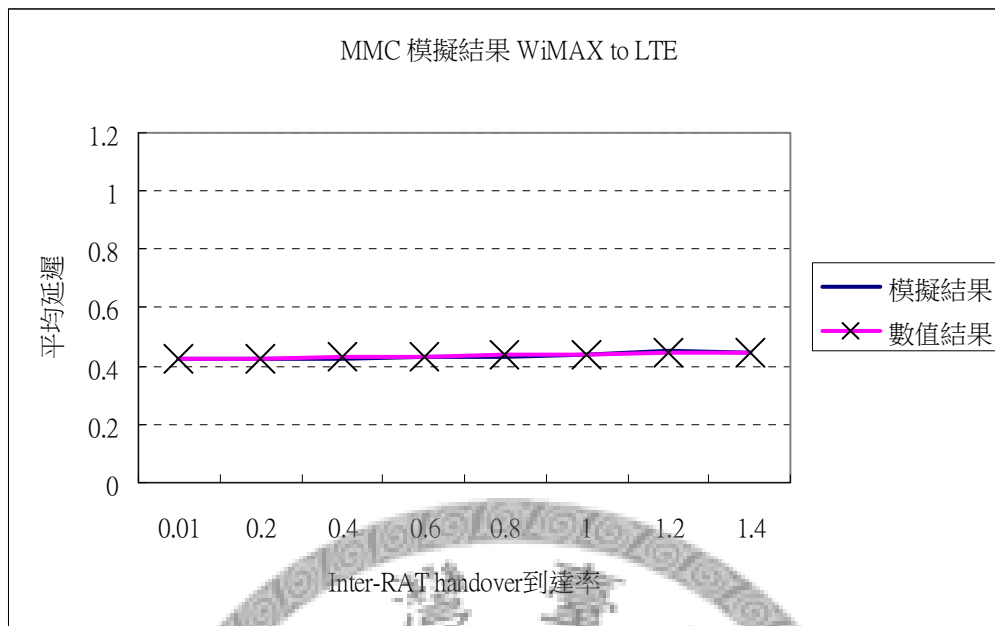


圖四十六 WiMAX to LTE with cache 模擬結果

以及在 AAA server 中採用多處理器之架構時，Inter-RAT handover 所耗費的總平均延遲，模擬結果依然是與數學計算之結果相符合，雖然有著一些小誤差，但在座標軸拉大的情況下並分不出差異。

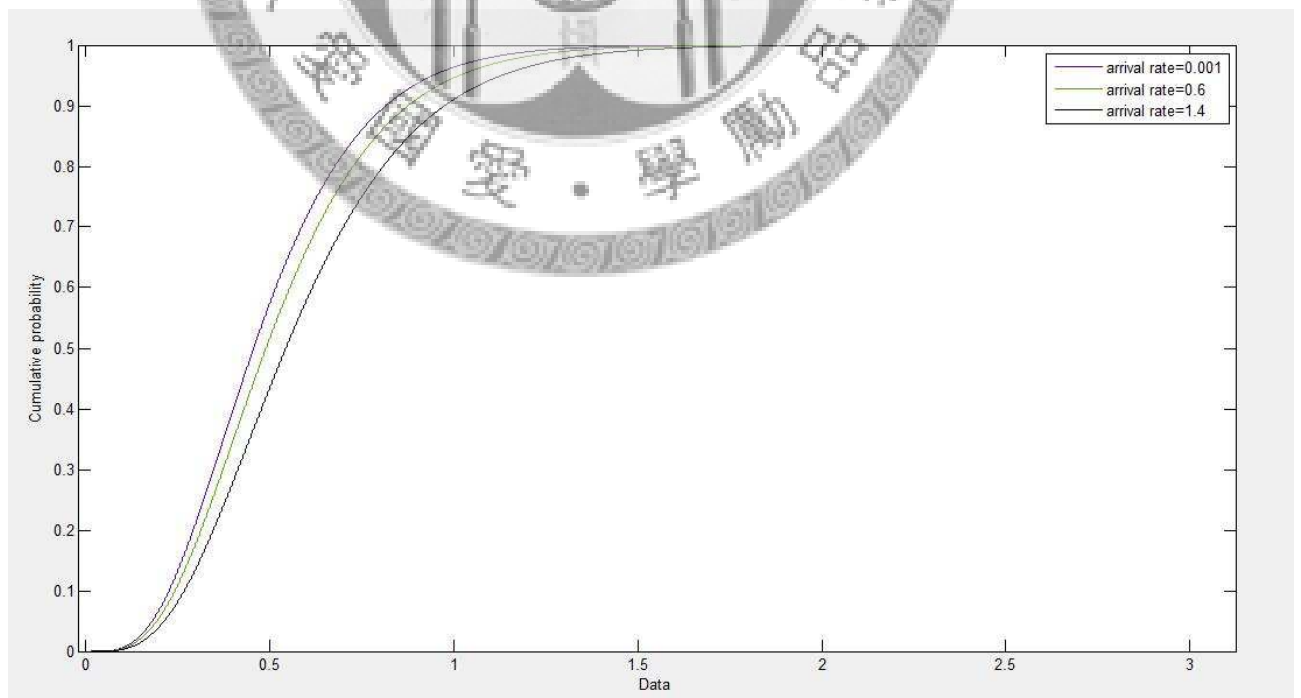


圖四十七 LTE to WiMAX with cache M/M/3

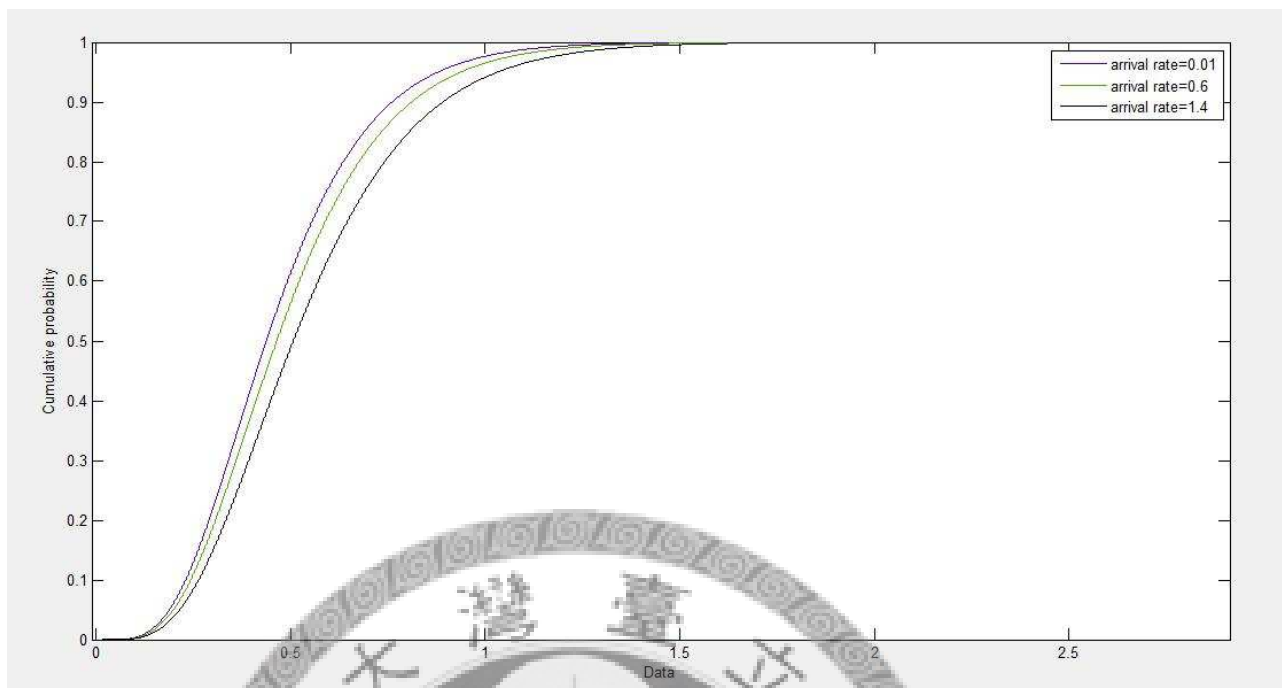


圖四十八 WiMAX to LTE with cache M/M/3

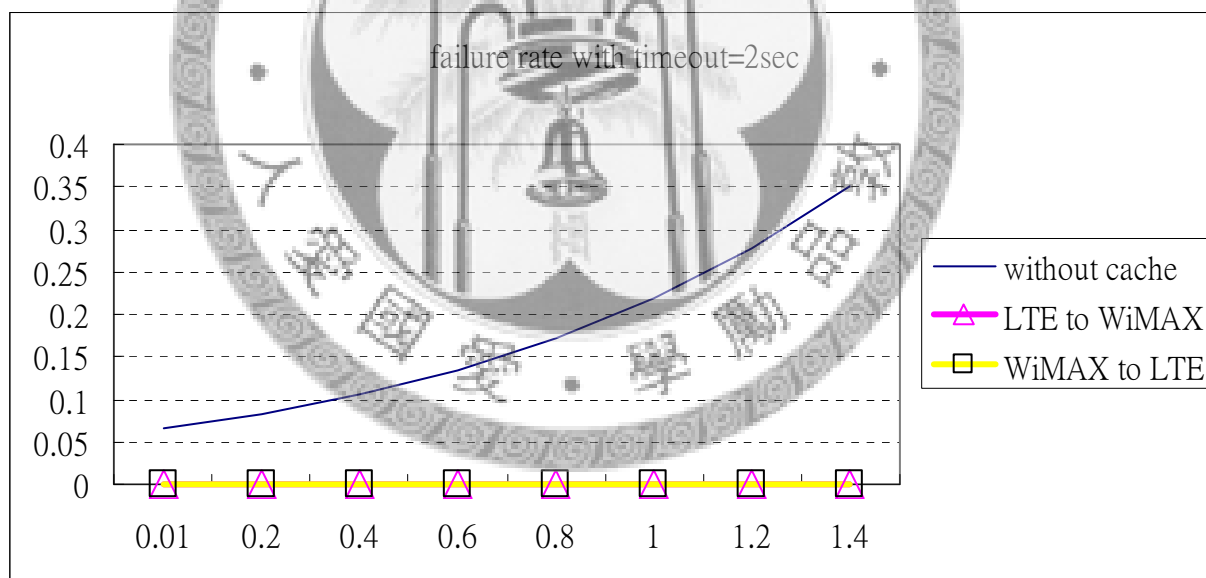
當我們分析完平均總延遲時間後，在下一步我們要進一步的分析在此種延遲機率分佈之下，所造成的換手失敗率之比較，首先下面兩張圖為 cache server 輔助之下的 Inter-RAT handover 延遲時間累積分配函數 CDF。



圖四十九 LTE to WiMAX 累積分配函數



圖五十 WiMAX to LTE 累積分配函數

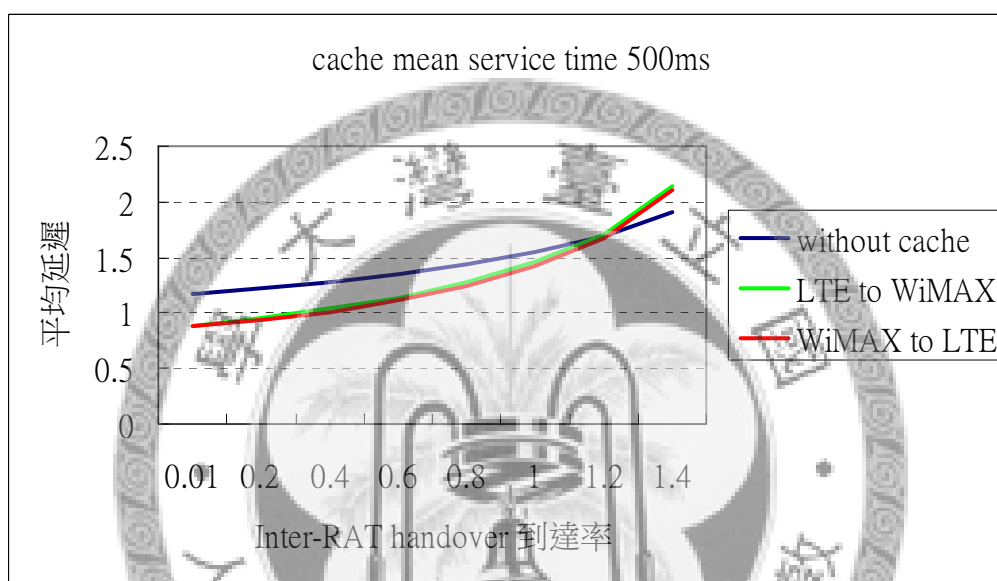


圖五十一 timeout=2sec 之換手失敗率

從以上結果很明顯可以看出在各方面之表現使用 cache server 都有著比較好的表現。由其是在換手失敗率上可以看出非常明顯之差距。在首先購買配置 cache server 等系統以及網路設備之升級上必須付出代價，另外在允許 UE 預先連接雖然可以達到很好的效果，甚至接近 soft handover 之形式，但同樣也會有著與 soft handover 相同之問題在於資源的浪費上。當預先連接後必須由 cache server 負責監

測，若持續不進行 Inter-RAT handover，預先連接就是一項無謂之機制。

在上面所描述之結果，皆顯示出加入 cache server 後的換手延遲是明顯較小的，但我們回想一下當初參數所設定之時，我們設定了 UE 在 cache server 此點當中的平均處理時間，理由是在於此設備我們無法正確估算大約之延遲，雖然延遲時間與設備等級有正相關，於是我們對於 cache server 之延遲也做了些比較：



圖五十二 cache mean service time=500ms

在圖中我們看到當 cache server 處理之時間並不理想時，反而加入 cache server 並不會獲得更好之效益。同時還要犧牲掉上面所提到之付出。所以我們在此點上可以做出一個結論，當所加入之 cache server 處理速度沒有達到一個程度下，不如保持原來的架構。

4.7 本章小結

有鑒於上一章之分析，在不改變 WiMAX 之系統之下所制定的 Inter-RAT handover 在實際運行上會有著很大之失敗率，於是我們考慮是否能夠加入一個 cache server 來輔助 Inter-RAT handover，另外對於 WiMAX 已經布建之後端網路與

產品進行上層協定之升級即可運作之方法。

在雙模手機之部分，我們在控制區塊中要求 LTE 與 WiMAX 之切換必須可以控制，並且上層協定可以將 LTE 或 WiMAX 所傳遞之封包整合。如此一來我們便可依據上面所提到運用 FBSS 所完成的”預先連接”來增進換手之表現。在預先連接完成之後之機制將會類似 soft handover 一樣有著兩條與基地台之連線，我們預期可以達到類似之效能。

在套入 Queueing Network 之概念分析之後，得到加入 cache server 確實較好之結果，這是由於預先連接時先將掃描，測距，授權與金鑰交換，註冊等等之步驟先完成，這些步驟若不計其他人之影響總共 700ms 之延遲將會被節省下來。

但為達到此效果必須有著兩點的付出，一項為建立 cache server 與後端網路升級所需要之支出，投入越高之代價可以換回越快之處理效能。另一項與 soft handover 有著一樣的缺點，也就是資源之浪費，當預先連接完成後 cache server 必須監測控管，另外若是持續沒有進行 Inter-RAT handover 之情況下，預先連接之機制為純粹浪費資源之行為。

另外對於 cache server 之硬體設備我們也必須有著門檻限制，當 cache server 之處理效能並不是太好的情況時，cache server 反而會變成網路之瓶頸，在這種情況之下當然無謂多添麻煩的維持原樣即可，若沒有足夠的犧牲，到不如一點都不要付出。

第五章

全文總結與未來展望

5.1 各章節回顧

在第一章當中，我們介紹了許多無線通訊系統，包括行動電話方面之發展以及無線通訊的各種技術，並且介紹了異質網路環境下的使用者情境，以及 Inter-RAT handover 的目的。因此延伸出以下之討論。

第二章介紹出 LTE 與 WiMAX 系統，並也介紹了 PMIP 之機制，目的是為了將這三者之間打散重整，利用在標準當中所定義之流程分開使用達到我們所需要之結果，同時對於 LTE 當中並未詳加描述之部分提出看法。

在 Inter-RAT handover 當中，為保持連線不中斷，IP 位址必須在通話期間保持一致，在本章節當中介紹了 Proxy Mobile IPv6 來維持 IP 位址的一致性，能夠讓 UE 在不同的子網路底下移動而不改變。但套用在 LTE 與 WiMAX 共構的環境當中必須做些更改，主要差異在於 LTE 與 WiMAX 之間的換手不一定是由於移動性之需求，有可能是資費與無線資源之考量，將會造成一隻雙模的 UE 可以同時接收兩個網路之訊號。若在不變更既有存在之標準規範的前提之下，兩者同時連線上網路將會取得兩個不同之 IP，則無法進行換手。於是在此情況之下同一時間內只能使用單獨一種系統。

而在第三章當中當中，首先介紹由於換手之延遲將深切影響到此機制是否成功，針對換手之延遲進行分析。並且透過文獻之研究得到我們所需要之分析參數，

並做了簡單之介紹以及數學表示。在之後的部分，考慮到在網路後端系統之延遲，並不能單純考慮使用者再每個步驟所造成之延遲，而必須將網路內其他使用者所造成之影響一併考慮，於是我們以排隊理論為工具分析在網路內因排隊所需耗費的總延遲時間。

在第二章所提出之 Inter-RAT handover 機制不同於一般系統內之 handover，由於我們並不希望改變 WiMAX 既有之系統與標準規範，跨系統時等同於重新進入網路，重新經過同步，測距，授權，金鑰交換，註冊，以及 IP 之取得。事實上在本章內之分析過後，即使不考慮網路中其他人所造成之延遲，在最理想狀況下還是需要 920ms 來完成整個流程，根據累積分配函數所換算出之失敗率可能高達三成五，這在運行收費之系統內不只使客戶有著不良的使用經驗，更會讓營運商面對挑戰。

基於上述理由，第四章裡我們考慮是否能夠加入一個 cache server 來輔助 Inter-RAT handover，另外對於 WiMAX 已經布建之後端網路與產品進行上層協定之升級即可運作之方法。

在雙模手機之部分，我們在控制區塊中要求 LTE 與 WiMAX 之切換必須可以控制，並且上層協定可以將 LTE 或 WiMAX 所傳遞之封包整合。如此一來我們便可依據上面所提到運用 FBSS 所完成的“預先連接”來增進換手之表現。在預先連接完成之後之機制將會類似 soft handover 一樣有著兩條與基地台之連線，我們預期可以達到類似之效能。

在套入 Queueing Network 之概念分析之後，得到加入 cache server 確實較好之結果，這是由於預先連接時先將掃描，測距，授權與金鑰交換，註冊等等之步驟先完成，這些步驟若不計其他人之影響總共 700ms 之延遲將會被節省下來。

但為達到此效果必須有著兩點的付出，一項為建立 cache server 與後端網路升級所需要之支出，投入越高之代價可以換回越快之處理效能。另一項與 soft handover 有著一樣的缺點，也就是資源之浪費，當預先連接完成後 cache server 必須監測控管，另外若是持續沒有進行 Inter-RAT handover 之情況下，預先連接之機制為純粹浪費資源之行為。

另外對於 cache server 之硬體設備我們也必須有著一些限制，我們不希望加入 cache server 後反而會變成網路之瓶頸，於是在設備處理速度不夠時，維持原

本之架構是唯一選擇。

5.2 未來展望

本篇論文當中對於換手之機制有著大篇幅之描述，不過在換手機制啟動之時機並未多做解釋，這是由於使用者之行為模式包括移動性與資費之問題，將影響起動之時機，而這部分必須在另外探討研究，如何能夠決斷出一個正確之時機要求啟動換手。如此一來對於 Inter-RAT handover 才算一個完整之研究。為何換手，何時換手，如何換手之 Why, When, and How。

另外對於所提出之 cache server 並未找出一可靠之方法分析它之處理效能，若能夠將這部分之延遲分析出來，對於營運商是否採用此機制會是一個很好的考慮因素。

最後在下一世代之行動通訊技術尚未發展完成，在這之中還有許多能夠發展之空間尚待努力，對於異質網路之間的共構會是一項發展重點，如何在各家所提出來之方法當中取得一個平衡點或許也會是個有趣之議題。

參考文獻

- [1] 何瑞光，【科學簡訊】無線科技島的推手-無線通訊，2003 年 11 月，371 期，20~27 頁
- [2] 侯俊宇，【新通訊】春燕銜回橄欖枝，LTE 再掀 4G 熱潮，2009 年 5 月，99 期
- [3] 周建銘，【技術專欄】於 802.16m 異質接取網路之換手機制與架構
- [4] Tara Ali-Yahiya, Kouthar Sethom, Guy Pujolle : A Case Study : IEEE 802.21 Framework Design for Service Continuity across WLAN and WMAN, *WOCN'07.IFIP International Conference*, July 2007
- [5] Ki-Sik Kong, Wonjun Lee, Youn-Hee Han, Myung-Ki Shin, HeungRyeol You : Mobility Management for All-IP Mobile Networks : Mobile IPv6 vs. Proxy Mobile IP6, *IEEE Wireless Communications*, April 2008
- [6] 3GPP TS23.402 v8.4.1 : Architecture enhancements for non-3GPP accesses, 2009-01
- [7] 3GPP TS23.401 v8.3.0 : General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access, 2008-09
- [8] IEEE 802.16-2004, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System, Oct 2004
- [9] IEEE 802.16e, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Amendment2 : Physical and Licensed Bands and Corrigendum1, February 2006 (Approved : 7 December 2005)
- [10] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed. Fundamentals of WiMAX : Understanding Broadband Wireless Networking
- [11] Y. Yang and T.-S.P. Yum. Delay Distribution of Slotted ALOHA and CSMA. *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, (11), November 2003
- [12] 陳緯航，802.16 換手機制之實現與效能評估(Implementation, Evaluation and Comparisons of 802.16 MAC Layer Handover Mechanisms)，國立台灣大學電機資訊學院電信工程學研究所，碩士論文，2007 年七月
- [13] Jenui Chen, Chih-Chieh Wang and Jiann-Der LEE, Pre-Coordination Mechanism

for Fast Handover in WiMAX Network , *The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications* , AusWireless 2007

[14]何慶哲，802.16 網狀基地台換手機制之研究(A Study of Handover on 802.16 Wireless Networks with Mesh Base Stations)，國立台灣大學電機資訊學院電信工程學研究所，碩士論文，2008 年七月

[15]Donald Gross , John F.Shortle , James M.Thompson , Carl M.Harris , Queueing Theory 4th edition

[16]Averill M. Law , Simulation Modeling and Analysis 4th edition

