

# 負載平衡於 WiMAX 換手之應用

## Applying the Concept of Load Balancing to the Handover Process in WiMAX Network

吳建昇, 陳雲金

元智大學電機系

[kevin1212\\_chen@yahoo.com.tw](mailto:kevin1212_chen@yahoo.com.tw)

賴薇如

元智大學通訊系

[wrlai@saturn.yzu.edu.tw](mailto:wrlai@saturn.yzu.edu.tw)

**摘要**—為了讓 WiMAX 網路支援行動通訊的功能，IEEE 802.16 定義了行動通訊台 (Mobile Station, MS) 跨越基地台 (Base Station, BS) 訊號範圍時的換手程序 (Handover Process)。藉由加入負載平衡 (Load Balancing) 的概念，我們提出三種換手演算法，將鄰近基地台的服務品質資訊 (QoS Information of Neighbor BS) 當作行動通訊台選擇目標基地台的參考。我們提出的換手演算法，比傳統只使用行動通訊台與基地台之間的訊號強度做為目標基地台的選擇方式，更能達到基地台間資源的平均分配與基地台工作量的均等。透過設計的模擬程式，我們比較各種演算法，並證實加入負載平衡的概念可以有效地去除行動通訊台對缺乏資源的鄰近基地台做不必要的掃描動作，減少掃描時間並且分散基地台的負擔。

**Abstract** — To support mobility in WiMAX networks, IEEE 802.16 defines the handover process when Mobile Stations (MSs) move across the boundary of the coverage area of Base Station (BS). By adding the concept of load balancing, we proposed three handover algorithms which use the QoS Information of neighbor BSs as references for choosing the target BS. Compared with the traditional algorithm which only considers the signal strength in the handover process, our

proposed algorithms can average the radio resource usage and the loading of BSs. We used the simulation program to evaluate these algorithms. We found that the concept of load balancing can prune off unnecessary scanning to BSs without radio resource, reduce the scanning time and distribute the resource loading efficiently.

**關鍵詞**—IEEE 802.16-2009、換手演算法 (Handover Algorithm)、服務品質 (Service of Quality, QoS)、負載平衡 (Load Balance)

### 一、簡介

現今人們對於無線網路的服務品質要求越來越高，希望無線網路能如同有線網路般擁有高速的傳輸速率，提供用戶高速的移動能力而不會中斷通訊。各種寬頻無線接取 (Broadband Wireless Access, BWA) 技術快速地發展，例如已在營運的行動電話系統 3GPP UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) 與 3GPP2 CDMA 2000、採用 IEEE 802.11 標準的 WiFi (Wireless Fidelity)，和採用 IEEE 802.16 標準的 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)。其中 WiMAX 被視為我國無線通訊領域的重點發展技術，希望這項新興的

無線網路標準，能讓台灣建立起自己的技術，帶動硬體製造商與服務供應商的榮景。

從 1999 年起，IEEE 發表一系列 802.16 的標準。在 2006 年發佈的 802.16e 標準[7]，增加行動通訊台 (Mobile Station, MS) 跨越基地台 (Base Station, BS) 訊號範圍時的換手程序 (Handover Process)，並建議數種行動通訊台的省電模式，把 802.16 從固接式 (Fixed) 網路提升為移動式 (Mobile) 網路。2009 年時 IEEE 更整合了 802.16d[3]、802.16e、802.16f 和 802.16g 等標準，更新為 802.16-2009 標準[4]，提供 WiMAX 廠商統一且完整的 BWA 系統的空中介面 (Air Interface) 規範。

目前關於 IEEE 802.16 換手的相關研究，大多是在討論如何減少因換手導致通訊中斷時間的方法[1][5][8]，以及如何減少對不必要的鄰近基地台的掃描動作 (Scanning) [2][6]。傳統上行動通訊台只使用行動通訊台與基地台之間的訊號強度做為目標基地台 (Target BS) 的選擇方式，因此也有相關研究討論如何訂定訊號強度門檻值，以做為觸發換手的條件[9]。然而這些研究鮮少討論到行動通訊台只使用行動通訊台與基地台之間的訊號品質做為目標基地台的選擇方式，是否就是最佳的換手演算法。由於換手時沒有先考慮基地台的頻寬狀況，若選擇的目標基地台已沒有足夠的頻寬，必須再嘗試下一目標基地台。因此一旦當地網路負載沉重，多個基地台都已無法負荷，行動通訊台可能會在多次失敗、導致換手時間拖太久，最後已遠離服務行動通訊台的服務基地台 (Serving BS) 而換手失敗。

另外基地台間負載不平衡也是導致換手失敗的原因，這是目前相關研究採用同質性 (Homogeneous) 網路來模擬換手演算法效能時所看不出的問題。由於基地台的興建受限於地形地物、法律規範、社會氛圍與人群分佈等影響，因此基地台的落點事實上是不規則。因此某些地

區內的基地台可能因為服務較廣的區域而需面對大量的流量需求 (Heavy Traffic)，或者當地的通訊服務量特別多，使得當地雖然有數個基地台，卻同時面臨缺乏頻寬的問題。這樣的情況對於提供數據傳輸的 WiMAX 更容易發生。因為數據傳輸有叢集 (Burst) 的特性，瞬間可能有多個連線要求，某些基地台可能會突然擁入大量頻寬需求，瞬間消耗了無線電頻寬，而無法提供服務給像 Video 這樣需要大量頻寬的連線。因為行動通訊台附近的基地台缺乏無線電資源而產生無法服務使用者，使得拒絕新連線的壅塞率 (Blocking Probability) 與拒絕換手要求的強迫中斷連線的機率 (Force-terminated Probability) 上升。這些統計數值代表用戶對於系統的滿意度，是系統平均使用率所無法取代的。這是只觀察系統平均使用率 (Utilization) 所看不出來的。

因此我們認為若是行動通訊台可以介入基地台頻寬的分配，在行動通訊台可接收服務的範圍進行區域性的負載平衡，可以減少行動通訊台得不到服務的機會。針對 IEEE 802.16-2009 的換手應用，我們提出加入了負載平衡概念的換手演算法，利用鄰近基地台的服務品質資訊 (QoS Information of Neighbor BS) 做為行動通訊台選擇基地台的參考。行動通訊台在選擇換手的目標基地台時，將考量鄰近基地台的資源使用狀況和訊號強度，在兩者之間盡可能取得平衡。我們所提的三種換手演算法，主要是以基地台之間的負載平衡觀點來設計，分別再以不同的選擇方法決定出合適的目標基地台。這些演算法可以讓基地台的資源平均分配，以達到各基地台的工作量均等，同時也可以減少行動通訊台與鄰近基地台之間不必要的掃描動作，降低單次換手所需要的時間。我們並設計模擬程式以模擬行動通訊台移動與使用無線電頻寬的方式，對於換手機制加入負載平衡概念後所能得到的效應進行探討。

本論文其他各章節說明如下：第二節簡介

802.16-2009 的換手機制；第三節提出我們的負載平衡換手演算法；第四節是陳述系統效能模擬方式，以及各演算法效能的分析及探討；最後為本論文的結論。

## 二、802.16-2009 換手機制

當通訊中的行動通訊台從目前的服務基地台訊號範圍漸漸移動到其他鄰近基地台的訊號範圍時，一旦發現通訊的訊號強度低於某門檻值，便會啟動換手的機制，選出目標基地台並將目前的服務流 (Service Flow) 轉到目標基地台。802.16-2009 標準所提供的硬式換手機制分為兩大程序，分別為換手前的網路拓模取得 (Network Topology Acquisition) 和換手程序 (Handover Process) 兩大程序。圖 1 為 802.16-2009 標準的換手流程圖。

換手前的網路拓模取得程序中，行動通訊台會定期接收服務基地台廣播的 MOB\_NBR-ADV 訊息。此訊息包含鄰近基地台通道資訊 (Channel Information)，這是服務基地台透過 802.16 骨幹網路取得的資訊。當行動通訊台取得鄰近基地台的相關資訊後，會送出一個 MOB\_SCN-REQ 訊息，行服務基地台要求一掃描區間 (Scanning Interval)。在 MOB\_SCN-REQ 訊息裡，會有行動通訊台想進行掃描之各鄰近基地台的編號 (BS Index)，並標示出掃描動作是否或包含協商步驟 (Association Procedure) 的程序。服務基地台回傳 MOB\_SCN-RSP，告知行動通訊台掃描區間後，行動通訊台會暫時中斷與服務基地台的通訊，離開原通道到鄰近基地台進行通道掃描，取得鄰近基地台更完整的實體層通道品質資訊，並判斷是否繼續進行協商步驟的動作。

上述提到的協商步驟是選擇性的訊號量測程序。當行動通訊台對鄰近基地台進行通道掃描後，若發現實體層通道品質適合做換手，便會繼

續執行這個協商步驟。行動通訊台送出 RNG-REQ 訊息，而鄰近基地台回覆 RNG-RSP，傳回調整 Timing 與 Power 參數。在 RNG-RSP 訊息中可以包含一個稱為服務等級預測 (Service Level Prediction) 的參數值，表一為服務等級預測參數值的說明。藉由服務等級預測參數值的使用，鄰近基地台可以告知行動通訊台自己是否有足夠的無線電資源可以建立起行動通訊台所需的服務流。但此參數並非強制傳送，另外鄰近基地台也可以選擇 3 表示不支援服務品質的預測。

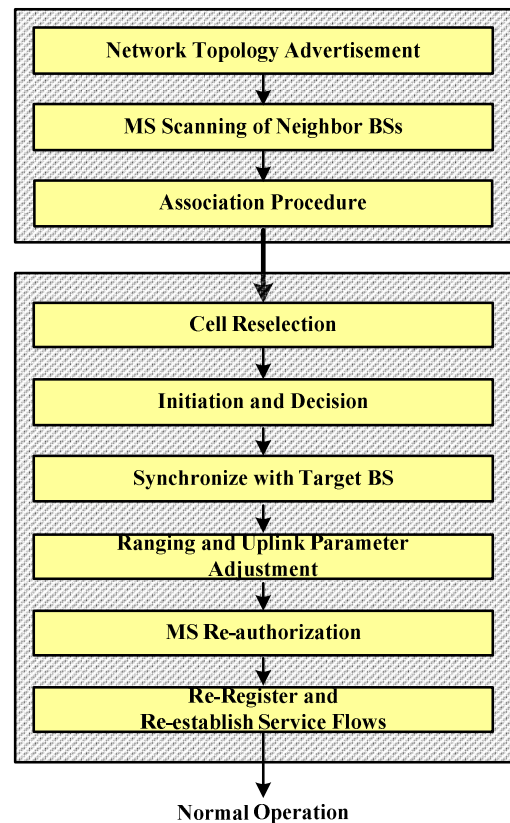


圖 1 換手流程圖

當行動通訊台從上述網路拓模取得程序中獲得鄰近基地台資訊後，便依據換手演算法選出目標基地台，進行換手程序轉移到此目標基地台的控制之下。換手程序可由行動通訊台傳送 MOB\_MSHO-REQ 訊息通知服務基地台開始，或由服務基地台傳送 MOB\_BSHO-RSP 訊息以啟動換手的動作，最後並經由行動通訊台傳回

MOB\_HO-IDE 訊息告知服務基地台決定的目標基地台。接著，行動通訊台便開始與新的服務基地台（即目標基地台）進行下行同步，並取得下行與上行的通道參數以進行初始訊號量測動作，取得例如 DCD、UCD、DL-MAP 與 UL-MAP 等參數。最後行動通訊台會對新的服務基地台進行重新認證與註冊的動作，重新建立新的連線服務，恢復正常的運作。

表一 服務等級預測的參數值

0 = 無法提供服務給此 MS。
1 = 對於此 MS 擁有之 service flows，僅可提供部份的服務。
2 = 對於 MS 每一個 service flows，都可以建立 MAC 連結，提供滿足 AuthorizedQoSParamSet 此 QoS 參數所訂定的服務。
3 = 不支援服務品質的預測。

### 三、負載平衡換手演算法

在一般換手機制中，如果只依據基地台的訊號強度來選出目標基地台，雖然當目標基地台已經超過負荷時（無法提供足夠的無線電資源以建立服務流），行動通訊台可以退而求其次選擇訊號最佳的基地台。倘若訊號最佳的基地台仍無法滿足行動通訊台的要求，行動通訊台可以一直選到最後訊號最差但仍能提供足夠頻寬的基地台進行換手的動作。然而若是行動通訊台可以早先得知基地台頻寬使用的狀況，就可以免去許多不需要的連線動作，並且在選擇目標基地台時，加入對整體系統效能有利的考量。因此，在我們的換手演算法中，行動通訊台會從服務基地台取得鄰近基地台頻寬使用的狀況，做為換手的依據。我們盡可能以最少的修改，在 IEEE 802.16-2009 的換手程序中加入取得鄰近基地台頻寬使用狀況的功能，以下說明有三種方式可讓行動通訊台

取得資訊。

#### （一）取得鄰近基地台頻寬資訊的方式

在第一種與第二種方式中，服務基地台必須定期與鄰近基地台交換自己頻寬使用的狀況。如此服務基地台可收集到的鄰近基地台頻寬使用狀況，並在 MOB\_NBR-ADV 廣播訊息告知行動通訊台鄰近基地台的服務品質資訊（第一種方式，請參考圖 2），或是在啟動換手機制時服務基地台以 MOB\_SCN-RSP 訊息告知行動通訊台（第二種方式，請參考圖 3）。

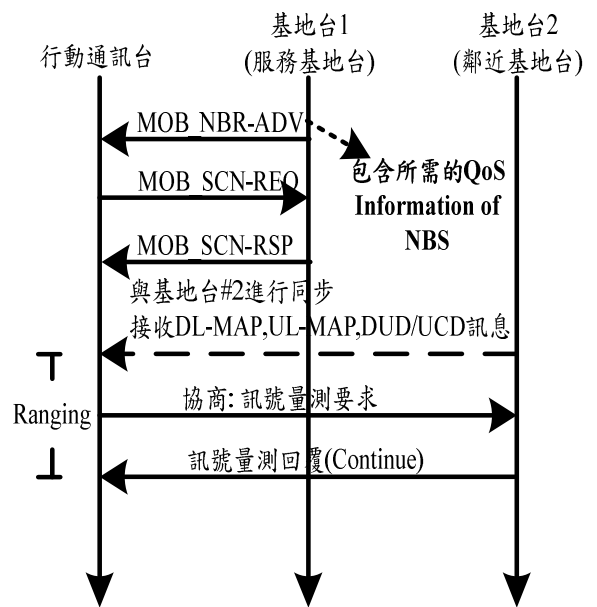


圖 2 取得 QoS 資訊的方法一

在第二種方式中，基地台若發現某一鄰近基地台頻寬不足以服務行動通訊台，可以在 MOB\_SCN-RSP 訊息中表明不建議行動通訊台掃描此基地台，便可減少行動通訊台掃描鄰近基地台的時間。

第三種方式是在掃描過程中使用 Association Level 2，鄰近基地台把服務品質資訊經由有線網路傳送給服務基地台，而不直接回覆 RNG-RSP。服務基地台匯集這些訊息後，以 MOB\_ASC\_REPORT 告知給行動通訊台，如圖 4

所示。第三種方式服務基地台不需與鄰近基地台交換自己頻寬使用的狀況，然而必須修改原本為固定長度 MOB\_ASC\_REPORT 訊息的格式。

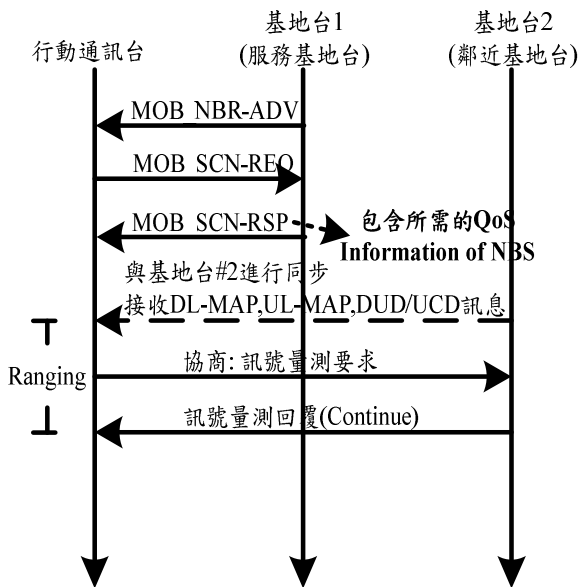


圖 3 取得 QoS 資訊的方法二

不管是那一種方式，行動通訊台都可取得鄰近基地台的服務品質資訊，加上所量測到的鄰近基地台訊號強度，選出最合適的目標基地台。

## (二) 鄰近基地台頻寬資訊的定義

為了確保多媒體資料的傳送能滿足行動通訊台對於服務品質的要求，IEEE 802.16-2009 標準的 MAC (Medium Access Control, MAC) 層封包的排程器 (Scheduler) 定義了數種型態的排程服務 (Scheduling Service)。這些排程服務型態分別為主動授予服務 (Unsolicited Grant Service, UGS)、即時輪詢服務 (Real-Time Polling Service, rtPS)、非即時輪詢服務 (Non Real-Time Polling Service, nrtPS) 與盡力式服務 (Best Effort, BE)。為增加 UGS 與 rtPS 的效能，又延伸出另一種稱為延展即時輪詢服務 (Extended Real-Time Polling Service, Extended rtPS)。各

服務型態的說明請參看 IEEE 802.16-2009 標準。

行動通訊台與基地台之間的各個連線都會對應到單一的排程服務，而每一個排程服務都是由 QoS 參數形成的集合所定義的。在行動通訊台進行換手之際，利用與 QoS 相關的參數 (如 Global Service Class Name)，鄰近基地台便可知自己是否有足夠的無線電資源服務此行動通訊台。只是基地台在分配頻寬時是針對行動通訊台，而不是各別的連線，因此若行動通訊台得到的頻寬少於預期，也無從得知是哪些連線被接受或是被拒絕。

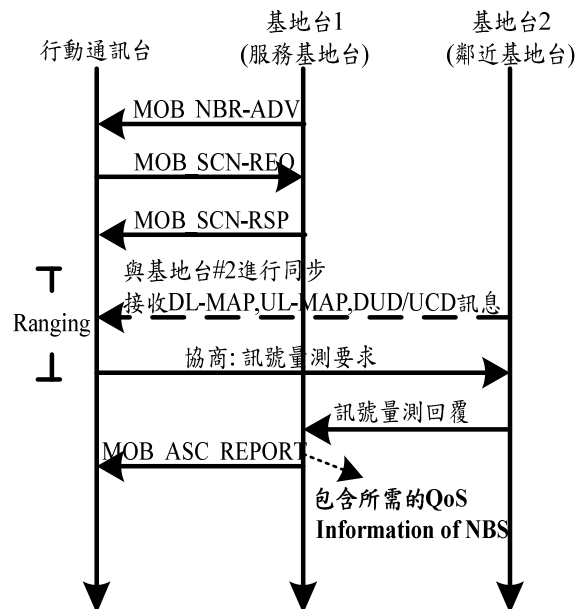


圖 4 取得 QoS 資訊的方法三

基地台服務行動通訊台的全部的連線個數、全部的使用頻寬，與各種排程服務的使用狀況，都會影響到此基地台 MAC 層封包排程器的運作。在此我們不考慮 BE，只考慮其他四種服務型態。行動通訊台決定目標基地台時會使用到的參數說明如下：

### 服務品質參數 (1)

為基地台該服務類型使用的頻寬。是基地台的四種服務類型的頻寬使用狀況，稱為

ST\_UGS\_bw、ST\_ERT\_bw、ST\_RT\_bw、ST\_nRT\_bw，分別對應 UGS、Extended rtPS、rtPS 和 nrtPS 四種服務類型。

### 服務品質參數 (2)

為基地台全部使用頻寬，表示基地台頻寬的使用狀況，所使用的參數稱為 NBS\_bw。

### 服務品質參數 (3)

為基地台該服務類型連線數。是基地台四種服務類型使用中的連線個數，稱為 ST\_UGS\_count、ST\_ERT\_count、ST\_RT\_count、ST\_nRT\_count，分別對應 UGS、Extended rtPS、rtPS 和 nrtPS 四種服務類型。

### 服務品質參數 (4)

為基地台全部連線數。是基地台服務的行動通訊台的連線個數，所使用的參數稱為 NBS\_count。

我們的換手演算法會讓行動通訊台利用上述的資訊，選出最合適的目標基地台來進行換手程序。以下說明這些演算法的概念與流程。

### (三) 負載平衡演算法介紹

我們演算法是在傳統的換手方法上增加對鄰近基地台服務品質資訊的考量。基本上城市中行動通訊台收到的鄰近基地台訊號強度會隨著距離呈三或四次方衰減，若能滿足一個基本的門檻值 (Minimum Signal Level, MSL) 就可以被此鄰近基地台服務。以圖 5 為例，行動通訊台接收八角形實線內基地台的訊號，強度會大於 MSL。因此行動通訊台可以得到基地台 1 至 5 的服務。

當行動通訊台取得鄰近基地台的服務品質資訊後，會先依據自己連線的服務品質要求去除頻寬不足的基地台，也刪除訊號強度不足 (小於

MSL 者) 的基地台。如果已經沒有任何的鄰近基地台可以提供服務，則換手失敗。接著行動通訊台會對於剩下的鄰近基地台，建立起訊號強度排序、服務品質參數 (1) 到 (4) 的 5 種排序，以進行下列的演算法。

### 訊號強度排序

鄰近基地台訊號品質的排序，訊號品質越好者排序越前面。

### 服務品質排序 (1)

鄰近基地台該服務類型使用頻寬的排序。只針對行動通訊台所要求的服務類型 (例如即時服務類型，ST\_RT\_bw) 使用的頻寬多寡來排序，使用該服務類型頻寬較少的基地台排序在前面。

### 服務品質排序 (2)

鄰近基地台全部使用頻寬 (NBS\_bw) 的排序。有較多可用頻寬的基地台排序較前面。

### 服務品質排序 (3)

鄰近基地台該服務類型連線數的排序。只針對行動通訊台所要求的服務類型 (例如即時服務類型，ST\_RT\_count) 的連線數排序，有較少該服務類型連線數的基地台排序較前面。

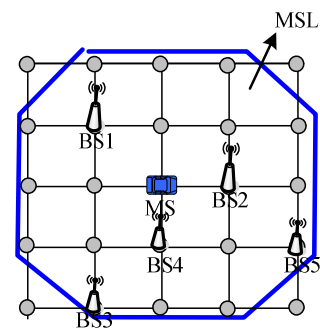


圖 5 MSL 訊號範圍示意圖

### 服務品質排序 (4)

建立鄰近基地台全部連線數 (NBS\_count) 的排序。有較少連線數的基地台排序較前面。

**演算法 (1) : Best Signal and QoS Information HO**，簡稱為 BSQHO。

BSQHO 在傳統的換手方法上增加對鄰近基地台服務品質資訊的考量，但仍以有最佳的訊號品質的基地台優先，並根據各服務品質參數依序開始做選擇。若**訊號強度排序**中排序第一和**服務品質排序 (1)**中排序第一和**服務品質排序 (3)**中排序第一的鄰近基地台為相同的基地台，則選擇此鄰近基地台當作目標基地台。若不符合，則看**訊號強度排序**中排序第一、**服務品質排序 (2)**排序第一和**服務品質排序 (4)**排序第一是否為相同的基地台，是則選擇此鄰近基地台當作目標基地台。圖 6 為 BSQHO 的流程圖。

**演算法(2): Signal Threshold and QoS Information HO**，簡稱為 STQHO。

在演算法 (2) 和演算法 (3) 中，我們將鄰近基地台區分成兩個集合。我們定義一個訊號門檻值  $\delta_1$  ( $\delta_1 > MSL$ )，依據鄰近基地台的訊號強度分成兩個集合：

**集合 1:** 滿足訊號強度  $\delta_1$  的鄰近基地台所形成的集合。

**集合 2:** 滿足訊號強度 MSL 的鄰近基地台所形成的集合。

基本上滿足  $\delta_1$  的鄰近基地台會比較接近行動通訊台。以圖 7 為例，虛線內的鄰近基地台形成在集合 1，在八角形實線內所有的鄰近基地台形成集合 2。集合 1 包括 BS1、BS2 與 BS4 三個基地台，集合 2 則包括 BS1 至 BS5 五個基地台。

在演算法 (2) STQHO 中，我們優先考慮**集合 1**內的基地台，搭配服務品質的排序作為選擇目標基地台的參考。若找不到，則選擇**集合 2**中**服務品質排序 (2)**中排序第一的基地台當作目標基地台。圖 8 為 STQHO 流程圖。

**演算法 (3) : Threshold and QoS Information HO**，簡稱為 NSTQHO

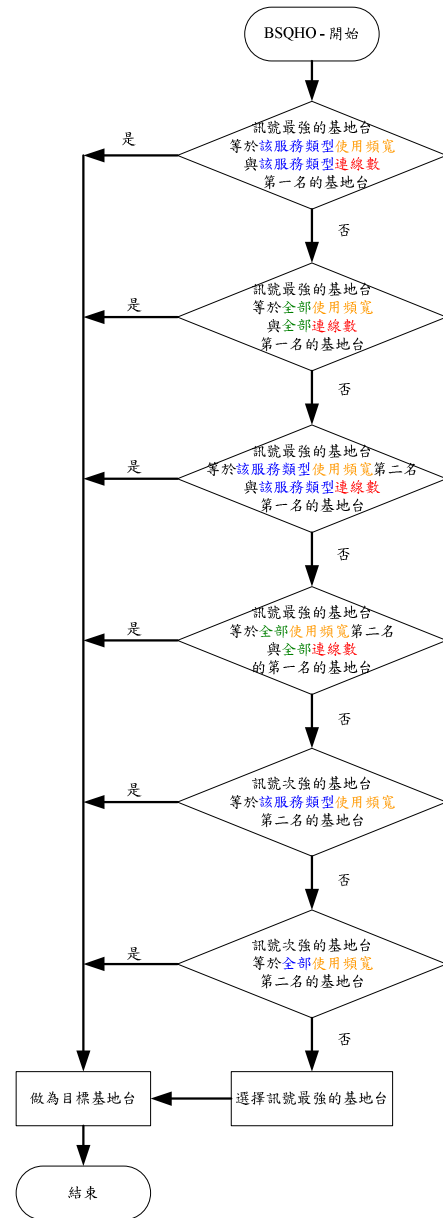


圖 6 BSQHO 流程圖

在 NSTQHO 中，我們將演算法 STQHO 中的**"集合 1"**改為**"集合 2"**。換言之，演算法 (3) 是以基地台的負載做為最主要的考量。圖 9 為 NSTQHO 流程圖。

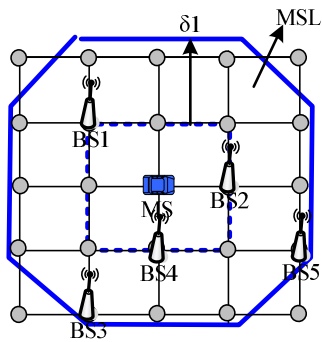


圖 7 MSL 與  $\delta I$  訊號範圍示意圖

#### 四、模擬與效能分析

我們使用模擬程式來驗證這三種負載平衡演算法的系統效能，並與傳統上只使用訊號強度做為換手依據的演算法進行比較。在模擬程式中，系統對於新進連線的處理方式與換手連線的處理方式是一樣的，沒有為換手的連線特別保留頻寬。

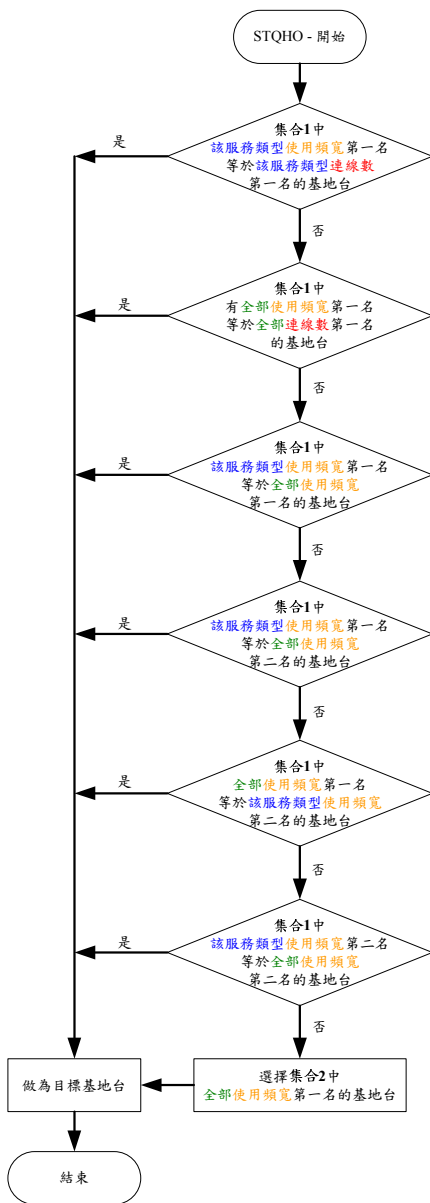


圖 8 STQHO 流程圖

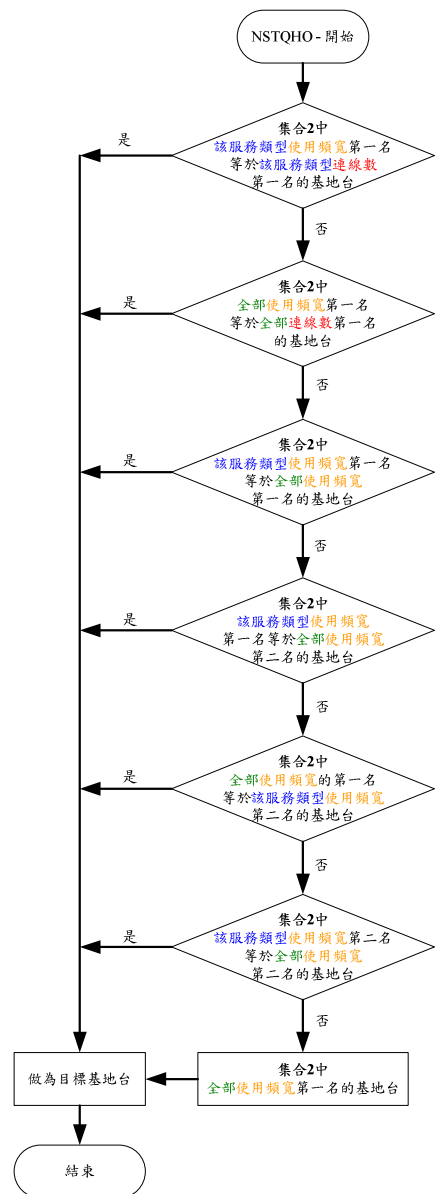


圖 9 NSTQHO 流程圖



(一) 模擬參數與環境拓樸的設定

我們設計 9×9 網格的網路拓樸，並假設 25 個 WiMAX 基地台不規則地排列在網路拓樸上，如同圖 10 所示。每個方格的長寬均為  $d$  單位長度，我們假設行動通訊台能收到基地台訊號的範圍 ( $\geq MSL$ ) 為距離基地台小於  $d$  乘以根號 5 所形成的訊號範圍，如同圖 5 所示。當行動通訊台離開服務基地台的訊號範圍時，就會執行換手的程序，在數個可接收其訊號的鄰近基地台間尋找目標基地台。另外在演算法 2 STQHO 的訊號門檻值  $\delta > 1$  則設為距離基地台小於  $d$  乘以根號 2 所形成的訊號範圍，就如同圖 7 所示。注意基地台的訊號範圍是互相重疊的。

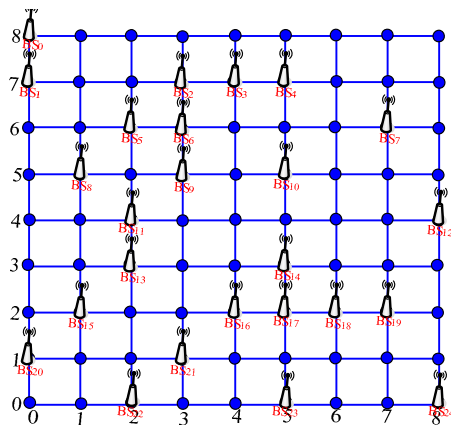


圖 10 9×9 網路拓樸

模擬程式模擬行動通訊台進入此網路中，在不同方格間移動與使用基地台資源的狀況。行動通訊台在各方格內的停留時間 (Residence Time) 假設為 Exponential 分佈 (Distribution)，其平均值 (mean，以  $1/\eta$  表示) 設定為 3 分鐘。行動通訊台有上下左右四個移動方向，發生的機率均為四分之一。

假設每一個建立連線的行動通訊台都只有一個服務流，UGS、ertPS、rtPS 與 nrtPS 四種服務類型發生的機率均為四分之一。其中 rtPS 服務類型又分為 Video 與 YouTube 兩種服務類型，各

占 rtPS 發生次數的二分之一。

我們根據所收集的影片、歌曲和 YouTube 影片的統計資料進行分析，結果均呈現 Gamma 分佈這樣的分佈狀況。因此使用統計的資料，假設使用這些服務型態的行動通訊台占用基地台無線電資訊的服務時間為 Gamma，平均值 (以  $1/\mu$  表示) 與標準差 (variance) 如表 2 所列。至於 UGS 和 Extended rtPS 服務連線 則直接使用 Exponential 分佈來產生其服務時間，平均值設定為三分鐘，如表 2 所示。

表 2 各種服務類型的服務時間的設定

Service Type	Service Time	Distribution
UGS	Mean=3 min	Exponential
Extended rtPS	Mean=3 min	Exponential
rtPS-video	Mean=103.5 min Variance=310min <sup>2</sup>	Gamma
rtPS-YouTube	Mean=4.5 min Variance=17min <sup>2</sup>	Gamma
nrtPS	Mean=4.1 min Variance=1.59min <sup>2</sup>	Gamma

另外我們假設在同一個方格中兩個相鄰的連線要求的間隔時間 (Inter-arrival Time) 為 Exponential 分佈，而間隔時間的平均值 (以  $1/\lambda$  表示) 則依據服務時間的間隔時間設定的，如表 3 所示。

表 3 各種服務類型的間隔時間的設定

Service Type	Inter-arrival Time	Distribution
UGS	Mean=3 min	Exponential
Extended rtPS	Mean=3 min	Exponential
rtPS-video	Mean=103.5 min	Exponential
rtPS-YouTube	Mean=4.5 min	Exponential
nrtPS	Mean=4.1 min	Exponential

每一個基地台的頻寬設為 2Mbps，為所有服務類型共用。各服務類型所需占用的傳輸頻寬，如表 4 所示。

表 4 各種服務類型的占用的頻寬

Service Type	Bandwidth
UGS	64 kbps (G.711)
Extended rtPS	8 kbps (G.729)
rtPS-video	768 kbps
rtPS-YouTube	384 kbps
nrtPS	192 kbps

(二) 系統效能分析

關於 WiMAX 的系統效能，我們以基地台拒絕新連線的壅塞率 (Blocking Probability, 以 Po 表示)、拒絕換手要求的強迫中斷連線的機率 (Force-terminated Probability, 以 Pf 表示) 作為判斷標準，另外也統計行動通訊台無法完成資料傳輸的機率 (Incompletion Probability, 以 Pnc 表示)。我們總共模擬一百萬次行動通訊台建立連線並進行資料傳輸的狀況 (以  $N=10^6$  表示)，統計整個網路新連線被拒絕的次數 (稱為 No)、換手的次數 (稱為 Nh) 與換手失敗的個數 (稱為 Nf)，最後計算得到 Po、Pf 與 Pnc。計算的公式如下：

$$Po = No/N, Pf = Nf/Nh, Pnc = (No+Nf)/N \quad (1)$$

圖 11 與圖 12 說明網路負載 ( $\lambda/\mu$ ) 增加時，所有的演算法 Po、Pf 和 Pnc 也隨之增加。然而論文提出的三種演算法較傳統演算法好，尤其演算法 (3) NSTQHO 的 Po 與 Pf 是各種演算法中最好的。因為基地台的負載能分散至周圍的鄰近基地台，故對於單一的換手要求，鄰近基地台能提供服務的機會增加，使 Po 和 Pf 均下降。在圖 12 中的 Pnc，雖然三種新演算法仍比傳統演算法來得好，但卻沒有非常明顯的改善，我們可用圖 13 來說明。

圖 13 說明說明網路負載增加時，新演算法的換手的次數 (Nh)，會大於傳統演算法的次數。其原因是因為所選擇的不是訊號最強的鄰近基地台，而目標基地台可能在較遠之處，因此可能

很快就導致另一次的換手。但因為各演算法換手失敗的次數 (Nf) 差不多，因此 Pnc 也相近。

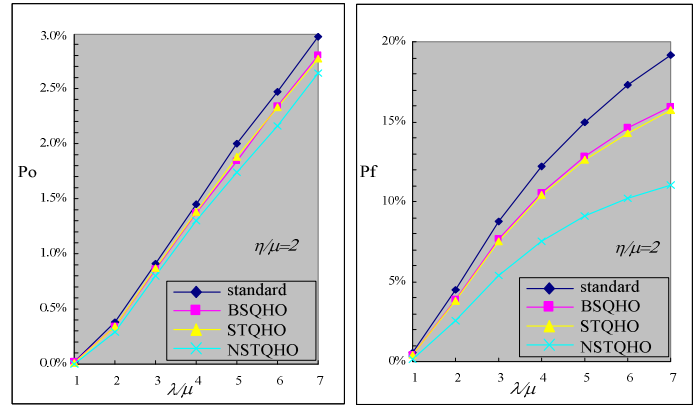


圖 11 網路負載與 Po 和 Pf 的關係圖

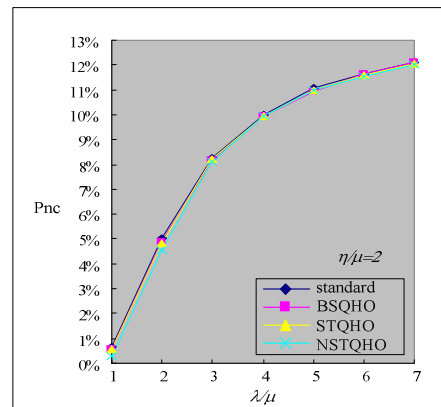


圖 12 網路負載與 Pnc 的關係圖

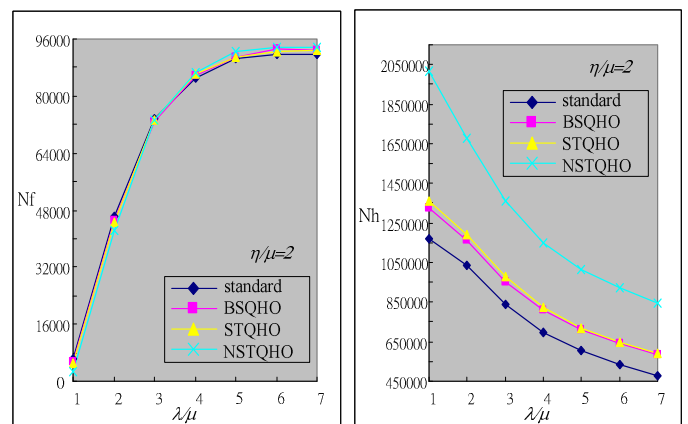


圖 13 網路負載與 Nf 和 Nh 的關係圖

圖 14 與圖 15 說明行動通訊台移動速率 ( $\eta/\mu$ ) 增加時，Po、Pf 和 Pnc 隨之減少。當  $\eta/\mu$

漸增時，行動通訊台在各方格內停留的時間會減少，占用基地台資源的時間也會遞減，促使基地台快速地釋放資源，因此 Po 和 Pf 會跟著降低。三種演算法的 Po、Pf 和 Pnc 都比傳統演算法好，尤其演算法 (3) NSTQHO 表現最佳。同樣是因為基地台的負載能分散至周圍的鄰近基地台，故對於單一的換手要求，鄰近基地台能提供服務的機會增加，使 Po 和 Pf 表現優於傳統演算法。

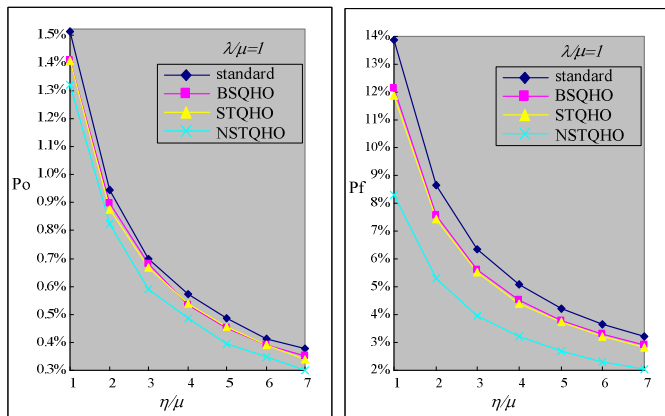


圖 14 行動通訊台移動速率與 Po 和 Pf 的關係圖

圖 16 說明改變行動通訊台移動速率所對應之 Nf 和 Nh。當  $\eta/\mu$  越大，表示換手的次數快速增加，行動通訊台會在短時間跨過多個基地台。因此基地台負載越平衡的系統，被強迫斷訊的機會越小，所以新演算法的 Nf 才會低於傳統演算法，因此 Pnc 也較傳統演算法低。

圖 17 只針對換手成功的案例，說明當行動通訊台進行換手時，平均一個行動通訊台要做幾次挑選目標基地台的動作才會成功 (稱為 Ns)。我們假設在傳統演算法方法中鄰近基地台沒有提供服務等級預測的功能，因此行動通訊台在選擇目標基地台時，都是選取訊號最強的基地台，並且在事後才知基地台頻寬不足而被拒絕，我們統計的便是平均每次成功換手所需選擇目標基地台的動作的次數。對於新的演算法，因事前已擁有鄰近基地台的服务品質資訊，可直接把資源不足的鄰近基地台過濾掉，直接選定目標基地台，所以只要一次就能成功，而且掃描鄰近基地

台的時間也會減少。圖 17 說明即使在網路負載輕微的情況下 ( $\lambda/\mu=1$  且  $\eta/\mu=2$ )，傳統演算法平均需要 2.5 次才能成功的換手。

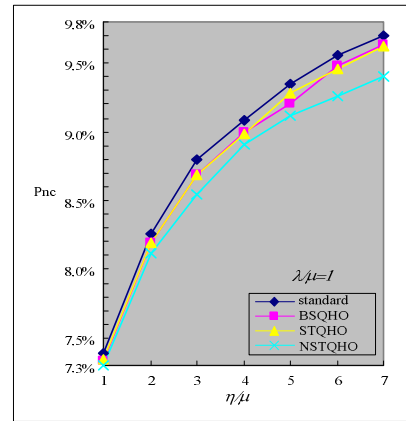


圖 15 行動通訊台移動速率與 Pnc 的關係圖

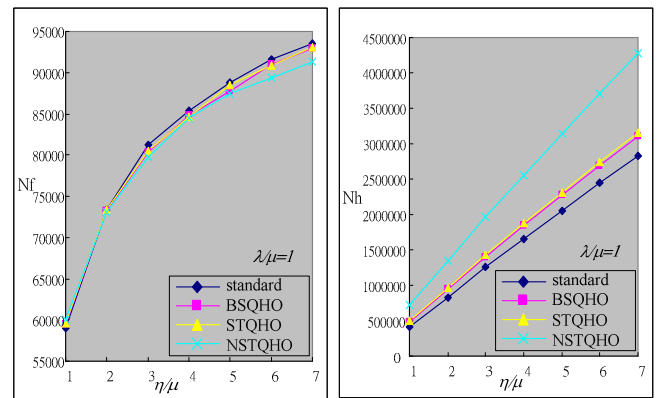


圖 16 行動通訊台移動速率與 Nf 和 Nh 的關係圖

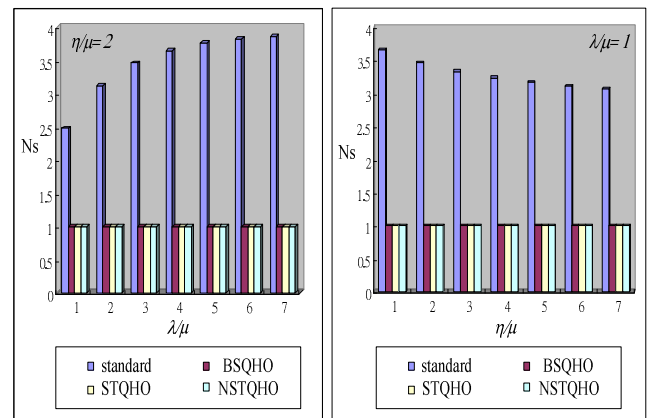


圖 17 平均成功換手選擇目標基地台動作的次數

## 五、結論

由於 IEEE 802.16-2009 的換手程序只考慮 PHY 層的訊號強度，並沒有強迫要求考慮基地台是否有足夠的無線電資源，所以當行動通訊台進行換手時，可能會因無法快速地找到足夠頻寬的基地台，而導致換手失敗。因此在本論文中我們修改 IEEE 802.16-2009 標準的換手程序，提出了三種換手演算法（BSQHO、STQHO 與 NSTQHO），將負載平衡概念加入傳統換手演算法，讓行動通訊台及早就知道鄰近基地台的服務品質的狀況，減少掃描鄰近基地台的個數與嘗試換手失敗的次數。另外，行動通訊台對目標基地台的選擇，能使基地台的資源能平均分配，讓各基地台的工作量均等。

我們並透過模擬程式分析系統的效能。模擬程式顯示，我們提出的三種演算法不論在網路負載增加或行動通訊台移動速率增加的情況下，基地台拒絕新連線的壅塞率換手失敗的機率（ $P_o$ 、 $P_f$  與  $P_{nc}$ ）皆比傳統方法好，尤其演算法 NSTQHO 與傳統演算法差異最明顯。我們證實換手程序加入負載平衡的概念可以有效地減少掃描時間並且平衡基地台的連線數，可以避免瞬間的大量資料流要求而導致換手失敗。

## 六、參考文獻

- [1] BWA system, Sik Choi, Gyung-Ho Hwang, Taesoo Kwon, Ae-Ri Lim, Dong-Ho Cho. "Fast handover scheme for real-time downlink services in IEEE 802.16e BWA system," Vehicular Technology Conference, pp. 2028 – 2032, May 2005.
- [2] Doo Hwan Lee, Kyamakya, K Umondi, J.P. "Fast handover algorithm for IEEE 802.16e broadband wireless access system," 2006 1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing, pp. 1-6, Jan 2006.
- [3] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", IEEE Standard 802.16-2004, IEEE, October 2004.
- [4] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems", IEEE Standard 802.16-2009, IEEE, May 2009.
- [5] Jenhui Chen, Chih-Chieh Wang, Jiann-Der Lee. "Pre-Coordination Mechanism for Fast Handover in WiMAX Networks," The 2<sup>nd</sup> International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications, pp. 15-21, Aug 2007
- [6] Lung-Sheng Lee, Kuochen Wang. "A Network Assisted Fast Handover Scheme for IEEE 802.16E Networks," IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1 – 5, 2007.
- [7] "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1", IEEE Standard 802.16e-2005, IEEE, February 2006.
- [8] Sang Hoon Lee, Youngnam Han. "A Novel Inter-FA Handover Scheme for Load Balancing In IEEE 802.16e System," Vehicular Technology Conference, pp. 763-767, April 2007.
- [9] Sunghyun Cho, Kwun J, Chihyun Park, Jung-Hoon Cheon, Ok-Seon Lee, Kiho Kim. "Hard Handoff Scheme Exploiting Uplink and Downlink Signals in IEEE 802.16e Systems," Vehicular Technology Conference, vo. 3, pp. 1236 – 1240, 2006.