

動態調整換手機制邊際值因應蜂巢式網路之熱點問題

A Dynamic Adjust Handover Margin Mechanism for Hotspot Cell Problem in Cellular Networks

胡文宗 黃文祥

Wen-Tsung Hu and Wen-Shyang Hwang

國立高雄應用科技大學電機工程系

Department of Electrical Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences

E-mail : huwt@wshlab2.ee.kuas.edu.tw

摘要

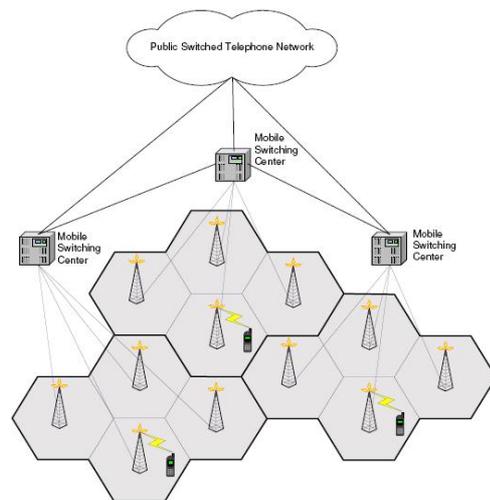
對無線蜂巢式網路 (cellular networks) 來說, hotspot (熱點) cell 的問題一直是各方所關注的問題。Hotspot cell 問題的產生是因為 cellular networks 中的某些 cell 之可用資源已無法滿足目前使用者的需求, 可能會造成無法再提供服務給新的使用者 (mobile node) 及由別的 cell 透過換手機制 (handover scheme) 轉移過來的使用者。本文提出一個動態管理 hotspot cell 問題的機制 (Dynamic Adjust Handover Margin Mechanism - DHM Mechanism), Base Station 會通知周圍的 Base Stations 自己目前的負載狀況, 並依據負載狀況動態調整換手機制中的信號強度邊際值, 同時周圍的 Base Stations 收到通知後會將結果記錄下來並依據對方的負載狀況也做換手動作中的信號強度邊界值的調整。模擬結果顯示, DHM 機制可以在 cellular networks 中提供較好的服務品質。

關鍵字：無線蜂巢式網路、熱點、換手、負載狀況、信號強度邊際值

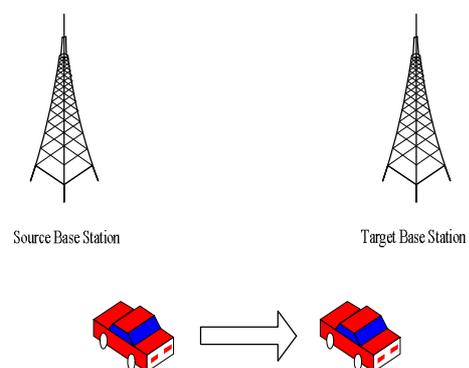
1. 前言

對生活在二十一世紀的人們來說, 網路所帶給人們的方便性可以說是深深地影響了人類的生活。網路一夕之間讓人與人的距離拉近了, 也讓世界的鴻溝變小, 因為人們可以藉由網路坐在電腦前卻仍可以獲知世界各地的訊息。由於這樣的方便性, 人們對於網路的需求及依賴也越來越深, 對網路的需求日益增大, 而網路科技也日新月異。其中, 無線網路所帶來的便利性更是令人感到印象深刻。在無線蜂巢式網路 (cellular networks) 中 (圖一), 為了避免干擾到其他 cell 中的使用者的運作, 每台 Base Station 都有其固定的涵蓋範圍。如果 cell 裡的一個使用者 (mobile node) 正與 Base Station 在進行連線, 但因為移動的關係而即將離開這個 cell 的覆蓋範圍並進入另一個 cell 的覆蓋範圍時, 使用者便會進行換手動作 (handover) 來繼續使用網路服務。因此, 換手機制 (handover scheme) 在 cellular networks 的運作中一直佔有重要的地位, 因此要清楚 cellular networks 的運作, 瞭解換手動作是不可或缺的。換手一般會經過三個程序[28]: 1. 信號偵測 (handover detection) 2. 頻道選擇 (channel assignment) 3. 連結轉換 (link

transfer)。換手動作一般可以分為兩類, 硬換手 (hard handover) 及軟換手 (soft handover)。硬換手 (hard handover) 與軟換手 (soft handover) 間最主要的差別是 hard handover 在與新的 Base Station 建立連線的過程中是會先與舊的 Base Station 斷開連線, 再與新的 Base Station 重新建立連線。無論採用哪一種換手方式, 目的都是希望能夠讓無線網路的使用者能夠不會因為網路服務的中斷而無法再繼續使用網路資源, 因此換手機制在無線通訊中扮演著相當重要的角色, 換手機制的示意圖可以表示如圖二。



圖一、 Cellular networks 架構圖



圖二、換手動作示意圖

要啟動換手機制，表示必須要達到一定條件機制才會啟動。換手動作啟動的方式一般可以分為下列幾種方式[17]：1. 相對信號強度 (Relative signal strength) 2. 相對信號強度加上門檻值 (Relative signal strength with threshold) 3. 相對信號強度加上邊際值 (Relative signal strength with hysteresis) 4. 相對信號強度加上門檻值及邊際值 (Relative signal strength with threshold and (Relative signal strength with hysteresis))。整理上述方法如下表 1：

表一、換手機制說明表

方式	判斷規則
相對信號強度	如使用者接收到 Target BS 的訊號比 Serving BS 強，換手動作便啟動。易有乒乓效應產生，造成許多不必要的換手動作。
相對信號強度加上門檻值	如果使用者接收到 Serving BS 的訊號低於門檻值且 Target BS 的訊號比 Serving BS 強，換手動作便會啟動。
相對信號強度加上邊際值	如果使用者接收 Target BS 的訊號比 Serving BS 強過一定的邊際值時，換手動作便會啟動。利用邊際值避免乒乓效應產生，可以減少不必要的換手動作。
相對信號強度加上門檻值及邊際值	如果使用者接收到 Serving BS 的訊號低於門檻值且 Target BS 的訊號比 Serving BS 強過一定的邊際值，換手動作便會啟動。利用邊際值避免乒乓效應產生，可以減少不必要的換手動作。

在 cellular networks 中，使用者在 cell 間透過換手機制不斷的移動，自然也會造成 cell 間負載狀態的改變，當然也很有可能會有 cell 的資源不足以應付使用者需求的情形，接下來的章節中，本論文將一一討論這個問題。本論文第二章將介紹什麼是 hotspot cell problem 以及近年相關研究，第三章將介紹本論文提出的 DHM 機制，第四章利用 SIMSCRIPT II.5 模擬器來驗證本論文機制，第五章結論及未來工作。

2. 相關研究

在上一章中我們已經簡單的介紹了無線蜂巢式網路 (cellular networks)，cellular networks 是由許多個蜂巢 (cell) 所組成，使用者 (mobile node) 在 cellular

networks 中是自由地移動的，所以極有可能會跨 cell 來不斷移動。如果使用者要從一個 cell 轉換到另一個 cell 時，便會透過換手機制 (handover scheme) 來獲得較佳的信號品質以繼續維持原有的服務。因此在 cellular networks 中，如果要讓使用者在高速移動中也可以保持網路連線品質在一定的程度，這將會是 cellular networks 的一個重要的課題。例如，多媒體服務通常都會比較佔據頻寬，在使用者任意移動的情形下，每個 cell 的資源所被使用的程度都不盡相同。如此可能面臨到一個問題，在某一個 cell 中的資源已經無法滿足使用者的需求，但是周圍的 cells 卻可能還有多餘的資源可以使用，這種現象叫做 hotspot cell problem[1]。在 hotspot cell 中的使用者將沒有辦法再獲得足夠品質的服務，這個沒有足夠資源再繼續提供服務的 cell，我們稱它叫做 hotspot cell。hotspot (熱點) cell 一般而言會造成兩個問題：

1. 網路的服務品質下降：由於 hotspot cell 中可以使用的資源已經少到某一個程度，代表這個 cell 很有可能無法再滿足新的使用者來加入或者是從別的 cell 所移動過來的使用者所要求提供的服務。

2. cellular networks 的整體資源利用率下降：這是因為當一個 cell 進入 hotspot cell 的狀態時，周圍的 cell 卻很有可能仍然有資源可以利用，但 hotspot cell 中的使用者卻因為資源不足而沒辦法得到服務。就整個無線蜂巢式網路 (cellular networks) 的資源利用率而言，當 hotspot cell 問題產生時，整個網路的資源利用率反而下降。

由此可知，既然網路最重要的就是能夠滿足使用者所需要的連線品質，那麼在 cellular networks 中，hotspot cell 的問題是需要去妥善處理的。如果把成為 hotspot cell 想像成這個 cell 已經沒有資源再提供服務，那麼我們要如何讓這個已經無法再提供資源 cell 還能夠再提供服務呢？目前有許多學者專家提出許多不同的方法，大致上可以分為兩類：資源分配機制 (Resource allocation scheme) [8,9] 及負載分配機制 (Load distribution scheme) [1,7,10]。資源分配機制所採用的其中一種方法是頻道借用法 (channel-borrowing)，希望能夠增加 hotspot cell 更多可以利用的資源。而負載分配機制有兩種主要方法，分別是控制基地台的傳輸功率 (control transmitting power of base station) 及變動換手時間點 (adaptive handover time)。這兩種方法的主要目的都是要讓 hotspot cell 的負載降低，然後讓輕載的 cell 可以承接 hotspot cell 的部分使用者。

3. 動態調整換手機制邊際值機制

DHM (Dynamic Handover Margin) 機制是當使用者 (mobile node) 需要進行換手動作 (handover) 時，無線基地台 (Base station) 將會依據 cell 間的負載狀態 (traffic load status) 來動態調整換手機制 (handover scheme) 中的信號強度邊際值 (hysteresis margin) 以達到 cell 間負載分配 (load distribution)。

同時 DHM 機制也希望盡量減輕每個 cell 中的 Base Stations 間的溝通次數來降低整個 cellular networks 的額外負擔，所以會讓每個 cell 中的 Base Station 可以依據本身的負載狀態發佈一個負載狀態訊息 (traffic load message)，並且在狀態改變時再發一個負載狀態訊息來讓周圍的 cell 更新目前的負載狀態，並且 Base Station 可以依據負載狀態計算出一個權值 (weight of handover margin)，並依據此權值來動態調整換手機制中的信號強度邊際值，如此可以使即將要進行換手動作的無線網路使用者延後或加速進行換手動作的動作，藉此達到多個 cell 之間的負載調節，並且減少 Base station 之間的溝通次數以提高 cellular networks 的服務品質及網路資源使用率。

在 DHM 機制中，Base Station 是依據自己及周圍 cell 的負載狀態來調整換手機制(handover scheme) 中信號強度邊際值 (hysteresis margin) 並發佈負載狀態訊息。因此正確計算 cell 負載是一個重要課題，在 [7] 中，提出一個可以適用於 packet-based cellular networks 的一種負載計算方法。

$$L = N_{on} + \beta N_{HOLD} \quad (1)$$

其中，L 代表的是 cell 的負載， N_{on} 則是代表目前 cell 中 MAC 狀態屬於 ON 狀態的使用者， N_{HOLD} 是指目前 cell 中 MAC 狀態是屬於 HOLD 狀態的使用者。 β 指的是一個會去影響 HOLD 狀態所佔有 cell 負載的變動因素。在本文所介紹的 DHM 機制中，cell 的負載將會依照上述的計算方式來計算。DHM 機制將 cell 的負載狀態分為三個部分，分別為 hotspot traffic (重載)、normal traffic (正常負載)、low traffic (輕載)，如表二。當 cell 狀態改變時，Base Station 將依據這三類的負載狀態發佈負載狀態訊息 (表三) 通知周圍的 Base Stations 目前的負載狀態並進行信號強度邊際值的調整。如何算出 cell 是屬於何種負載狀態，可以利用下列公式計算：

$$\text{負載狀態} = \frac{\text{cell 剩餘可用資源}}{\text{cell 資源總數}} \quad (2)$$

負載狀態	發出訊息
Hotspot traffic	Hotspot_alarm_message
Normal traffic	Normal_traffic_message
Low traffic	Low_traffic_message

表二、負載狀態訊息表

負載狀態	可用資源佔總資源之比例
Hotspot traffic (重載)	< 0.2
Normal traffic (正常負載)	0.4 ~ 0.8
Low traffic (輕載)	> 0.6

表三、負載分類表

在 DHM 機制中，為了要讓 Base Station 可以更精準地依照目前 cell 的負載狀態來調整換手機制信號強度邊際值，而不是以一個固定值來作為每個不同負載狀態的邊際值，當每個 cell 處於 Normal traffic 時，控制使用者移出的信號強度邊際值會介 3~6dB 之間而控制使用者移入的信號強度邊際值則是介於 0~3 之間。於是 Base Station 會計算出一個權值來作為調整換手機制 (handover scheme) 中的信號強度邊際值 (hysteresis margin) 的參數，使 cell 間的負載分配可以更合理。權值 W 的計算方式如下：

$$W = \frac{L - 0.4}{0.8 - 0.4}, \quad L = \text{處於正常負載狀態下的 cell 之實際負載。}$$

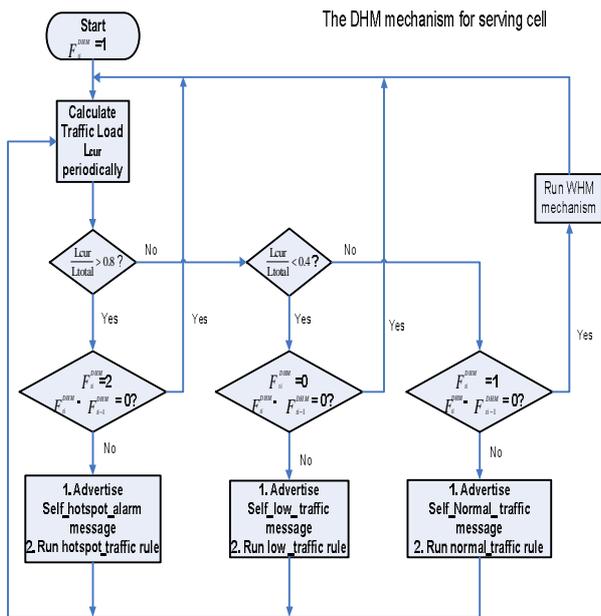
當 cell 的負載狀態是 L 時，其 Base Station 應調整其換手機制中要讓使用者移出的信號強度邊際值為 $\{[(1 - W) + 1] * \text{hysteresis margin} (h)\}$ ，要讓使用者移入的信號強度邊際值為 $3 - [1 - W] * \text{hysteresis margin} (h)$ 。介紹完 DHM 機制中的負載計算方式、負載狀態分類及權值計算方式後，接下來要說明的是 DHM 機制的運作方式。分別從 Serving BS (圖四) 及 Adjacent BS (圖五) 兩個部分來說明。首先是 Serving BS，Serving BS 會執行下列步驟：

1. 週期性進行一次 cell 的負載計算
2. 判斷負載狀態的分類，並檢核是否於上一次所處的負載分類相同
3. 如果相同，等待下一次的計算及判斷結果，如果不相同則向周遭的 Base Stations 發出一個自我負載狀態訊息 (Self traffic load message) 更新目前的負載狀態。
4. Base Station 依據自身的負載狀態調整換手機制中的信號強度邊際值。如果 Base Station 處於 Normal traffic 的負載狀態，則 Base Station 會計算出一個負載狀態權值 (weight of traffic load)，再依據計算所得的權值來調整換手機制中的信號強度邊際值。

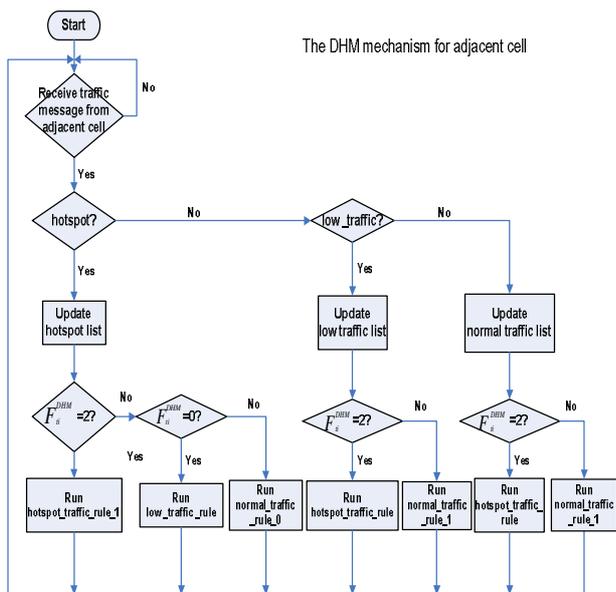
而 Adjacent BS 則會執行下列步驟：

1. 接收到來自周圍 BS 所發出之自我負載狀態訊息 (Self traffic load message) 後將 Base Station 的狀態記錄在負載狀態記錄表 (Traffic load list) 上。每個 Base station 都會有三個負載狀態記錄表 (hotspot traffic list、normal traffic list、low traffic list) 來記錄。
2. 依據負載狀態記錄表 (Traffic load list) 及自身目前所處的負載狀態來決定如何來調整進行使用者換手動作的信號強度邊際值。

在 DHM 機制中，由於 Base Station 在負載狀態改變時才會發出自我負載狀態訊息來通知周圍的 Base Station，如此可以減少 Base Station 間的溝通次數，並減輕 cellular networks 的額外負擔。



圖四、DHM 機制 Serving Cell 流程圖



圖五、DHM 機制 Adjacent cell 流程圖

4. 模擬與成果

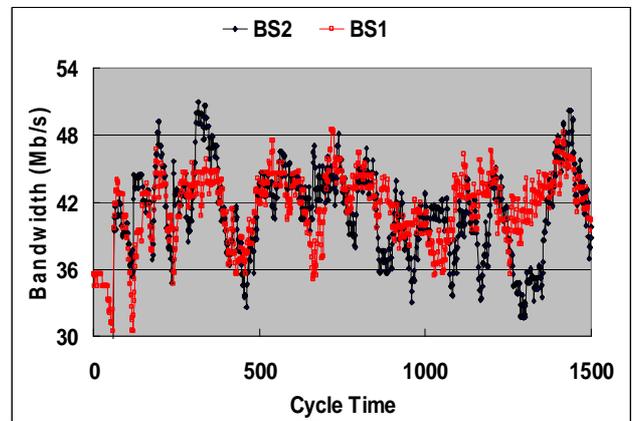
本章將說明 DHM 機制的模擬環境並以圖示來說明其結果，模擬軟體是使用 CACI 公司所出版的『SIMSCRIPT II.5』軟體來進行模擬。模擬參數說明如表五：

表五、模擬相關參數

模組與參數	數值
Radio Propagation Model	Free space model RSS = n - mlog(d) + u(d) n = 0 m = 30 u(d) = N(0,8)
Mobility Model	Random waypoint model 0-120KM/h, 0-150s

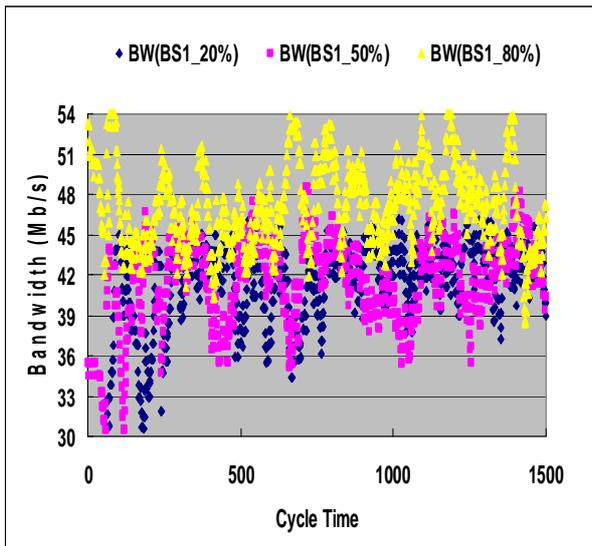
Traffic Model	ON-OFF model ON=120s, OFF=30s
Sampling time	0.48s
Cell radius	0.4 - 0.5KM
Simulation time	7200s
Parameters	HYS_Acceptable = 6db HYS_min = 0db HYS_normal = 3db

在本論文的模擬過程中，假設場景為兩個 cell，其中每個 cell 各有一台 Base Station 來提供服務，分別為 BS1 及 BS2。本文將從變化使用者數、cell 間的使用者分佈情形來觀察系統使用頻寬狀況，並藉此討論 DHM 機制。此外，DHM 機制希望能夠降低 Base Station 間的溝通次數讓 cellular network 的額外負擔降低，因此最後也會與[1]中的 AHT 機制來比較 BS1 與 BS2 間溝通的次數，證明 DHM 機制能夠有效降低 Base Station 間的溝通次數提升 cellular network 效能。



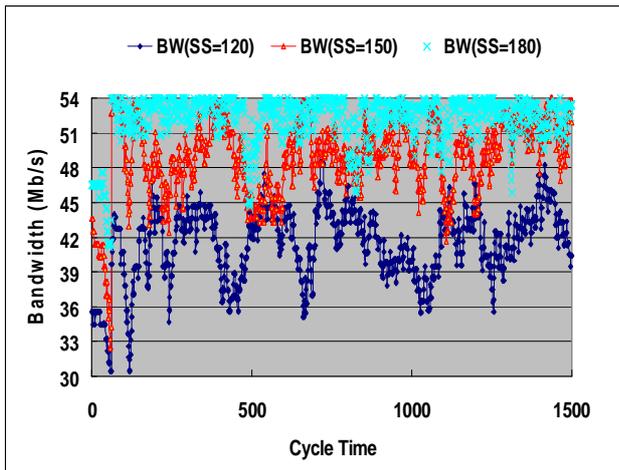
圖六、Base Station 頻寬使用比較

由圖六可以看出在 Base Station 1 及 Base Station 2 在利用 DHM 機制調整各自的信號強度邊際值後，處於輕載狀態或是正常負載狀態的 Base Station 會因為調整信號強度邊際值的關係，能夠服務更多的使用者，而處於重載的 Base Station 則會減少服務的使用者數，兩台 Base Station 的頻寬使用會處於互補的情形，這是因為 DHM 機制會隨著 cell 間負載的變化而作邊際值的調整，讓 cell 間的負載不要差異太大，減少 hotspot cell 問題的發生。如果將系統初始時兩個 cell 間所設定的使用者數處於不平衡的狀態下，則 Base Station 的頻寬使用情形將會如圖七。圖七中，系統設定的使用者數為 120，分別模擬 Base Station 1 使用者數為總使用者數的 20%、50%、80% 時，Base Station 1 的頻寬使用變化。當 Base Station 1 在系統初始化擁有 20% 的使用者時，由圖七中可以看到接下來頻寬的利用是急速增加的，這是因為如果 Base Station 1 的使用者數只有 20% 的話，代表負載相對較輕，在 DHM 機制下，Base Station 1 將會進行換手機制邊際值的調整，而此時負載較重的 Base Station 2 也會做出相對應的調整，兩個 cell 間會因為改變換手條件的情形下進行的負載進行分配動作，這樣的動作會讓 Base Station 的頻寬利用更有效率。



圖七、不平衡負載狀態比較表

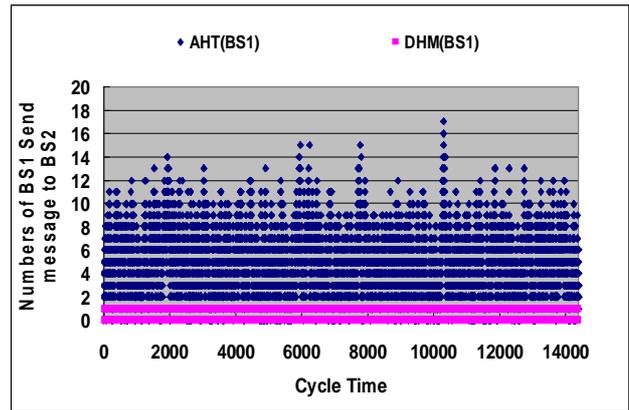
圖八是設定在系統初始化時，一開始分別給系統 120、150、180 個使用者的情況下，觀察 Base Station 的頻寬使用變化，由圖中可以得知，當系統的使用者數為 120 時，如果 cell 的負載進入 hotspot cell 的狀態時，在 DHM 機制的幫助下，使用者會加速移出，頻寬的利用會下降，避免頻寬的使用情形繼續攀升使 Base Station 無法再繼續提供服務。只是頻寬的使用率較高。然而，當使用者數來到 150 時，cell 幾乎都處於 hotspot cell 的狀態，但系統仍然可以提供服務，無法滿足使用者的需求之機率也會慢慢提高。到了系統使用者數為 180 時，系統的頻寬幾乎都被使用光了，也就是 cell 幾乎都是在滿載的狀態，在這種情況下，網路資源的利用率很高，但如果系統的使用者繼續增加則此時的使用者慢慢地可能有無法繼續接受 Base Station 服務的機率的形態。



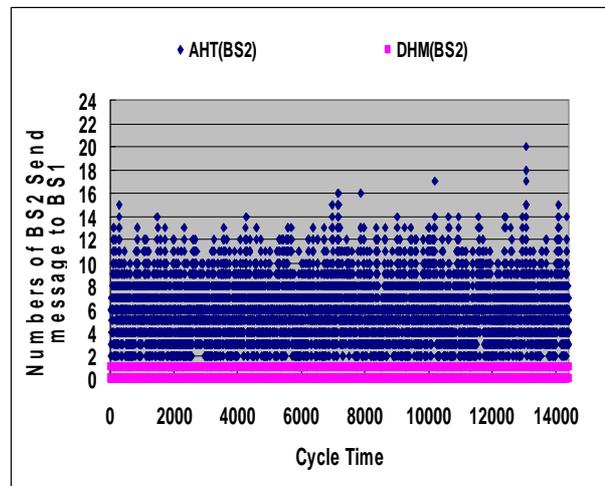
圖八、不同使用者數負載狀態比較表

接下來，我們將針對 DHM 機制及[1]中的機制作比較。證明 DHM 機制可以減少 Base Station 1 與 Base Station 2 間的溝通次數，以減輕 cellular networks 的額外負擔。在[1]中所提到的 AHT (Adaptive Handover Time) 機制中，每個使用者要進行換手動作

時都會向提供服務的 Base Station 報告，此時提供服務的 Base Station 就會發出請求負載的訊息給使用者要移動過去的目標 Base Station 並且目標 Base Station 會回覆負載訊息給目前提供服務的 Base Station，如果有十個使用者要進行換手動作，這樣的動作便要進行十次。DHM 機制希望能夠降低 Base Station 與 Base Station 間的溝通次數，讓整個 cellular network 的額外負擔 (overhead) 能夠降低。因此在圖九、圖十中，將針對兩個 cell 共有 120 個使用者時，採用[1]中 AHT 機制及本論文的 DHM 機制時，Base Station 間的溝通次數進行比較。



圖九、BS1 通訊次數比較表



圖十、BS2 通訊次數比較表

在圖九及圖十中，可以看出由於 AHT 機制是每一個使用者要進行換手動作時，Base Station 與 Base Station 間都要發出訊息並進行溝通，如果要進行換手動作的使用者很多的話，Base Station 間的溝通次數將會大增。而 DHM 機制是將 cell 的負載狀態分為三類 (重載、正常負載、輕載)，當負載狀態改變時才發佈訊息給周圍 cell 的 Base Station，並各自調整換手機制的信號強度邊際值，如此可以大幅降低 Base Station 間的溝通次數。由上述模擬結果可以得知，DHM 機制因為可以動態調整換手機制中的信號強度邊際值，所以當 Base Station 處於 hotspot cell 的狀態而周圍有 Base Station 處於正常負載或是輕載狀態時，透

過 DHM 機制可以作負載分配的動作，可以降低進行換手動作的使用者因 cell 資源不足而無法得到足夠的服務品質，同時也可以降低 Base Station 與 Base Station 間的溝通次數。

五、結論及未來工作

在無線蜂窩式網路 (cellular networks) 中，基於使用者會有著不斷移動且速度不一的特性，每個 cell 間的負載也不盡相同。如果其中某個 cell 間的負載超過 cell 所能負荷，但周圍的 cell 卻還有資源可以利用，這就會產生 hotspot cell 的問題。Hotspot cell 會使得使用者所接收到的服務品質降低甚至造成連線中斷，對整個 cellular networks 來說，整體的網路資源使用率也不好。本文提出一個依據 cell 的負載狀態來動態調整換手機制中信號強度邊際值 (hysteresis margin) 的機制，用來處理 hotspot cell 問題。機制中將 cell 的負載狀態分為重載狀態 (hotspot traffic)、正常負載 (normal traffic)、輕載狀態 (low traffic) 三大類，cell 依據不同的負載狀態並藉助於負載權值計算來進行換手機制信號強度邊際值的調整，藉此適當地作 cell 間負載的分配來降低使用者連線中斷的情形。同時，cell 中的 Base Station 在負載狀態改變時才會發佈負載狀態訊息並利用清單記錄周圍 Base Station 的負載狀態可以減少 Base Station 間的溝通次數，降低 cellular networks 的額外負擔 (overhead)。

模擬結果中說明，由於 DHM 機制主要就是藉由動態調整換手機制中的信號強度邊際值，來調整 cell 間的負載狀況。可以避免進行換手動作的使用者因 cell 資源不足而無法得到足夠的服務品質，同時也可以降低 Base Station 與 Base Station 間的溝通次數。在未來，DHM 機制可以試著找出一個門檻值 (threshold) 作為處於正常負載狀態的 cell 調整換手機制中的信號強度邊際值的依據，例如當 cell 處於正常負載狀態且大於門檻值時，調整邊際值為一個定值，如果小於這個門檻就調整邊際值為另一個定值，而不是每次當負載有變動時就要去計算權值並調整換手機制中的信號邊際值，這樣容易使 Base Station 的執行效率受到影響。如果可以找出一個門檻值，就可以減輕 Base Station 的計算負擔，提升 Base Station 的效率。

誌謝

本文對國科會提供計畫(NSC 97-2221-E-151-014) 以使得本研究得以順利完成，於此表達非常的謝意。

參考文獻

[1] Dongwook Kim, Mrinalini Sawhney, Hyunsoo Yoon." An effective traffic management scheme using adaptive handover time in next-generation cellular networks." In INTERNATIONAL JOURNAL OF NETWORK MANAGEMENT Int. J. Network Mgmt 2007; 17: 139-154.
[2] Kim N, Choi H, Yoon H. "Seamless handoff scheme for 4G mobile systems based on IP and OFDM." In IEEE Vehicular Technology Conference 2004—Fall, September

2004; 3315-8.
[3] Nee R, Prasad R. "OFDM for Wireless Multimedia Communications." Artech House: London 2000.
[4] IEEE 802.16e Task Group. <http://www.ieee802.org/16/tge> [27 November 2006].
[5] IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access. <http://www.ieee802.org/20> [27 November 2006].
[6] Jobin J, Faloutsos M, Tripathi SK, Krishnamurthy SV. "Understanding the effects of hotspots in wireless cellular networks." In 23rd Conference of the IEEE Communications Society (INFOCOM 2004), March 2004; 660-71
[7] Kim D, Kim N, Yoon H. "Adaptive handoff algorithms for dynamic traffic load distribution in 4G mobile networks." In IEEE 7th International Conference on Advanced Communication Technology, February 2005; 1269-74.
[8] Das S, Sen S, Jayaram R. "A dynamic load balancing strategy for channel assignment using selective borrowing in cellular mobile environment." In Proceedings of IEEE/ACM Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom96), November 1996; 73-84.
[9] Das S, Sen S, Agrawal P, Jayaram R. "A distributed load balancing algorithm for the hot cell problem in cellular mobile networks." In Proceedings of 6th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, August 1997; 254-63.
[10] Chen XH. "Adaptive traffic load shedding and its capacity gain in CDMA cellular systems." In IEEE Proceedings—Communications, Vol. 142(3), June 1995; 186-92.
[11] Jeon H, Hwang S, Kwon S. "A channel assignment scheme for reducing call blocking rate in a DS-CDMA cellular system." In Proceedings of 6th IEEE International Conference on Personal Communication, Vol. 2, October 1997; 637-41.
[12] Kapoor S, Li J. "Initial contribution on a system meeting MBWA characteristics." IEEE Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), IEEE C802.20-03/16, March 2003.
[13] Marichamy P, Chakrabarti S, Maskara SL. "Performance evaluation of handoff detection schemes". IEEE Region 10 Conference on Convergent Technologies for the Asia-Pacific, October 2003; 643-6.
[14] Verdone R, Zanella A. "Performance of received power and traffic-driven handover algorithms in urban cellular networks." IEEE Wireless Communications 2002; February: 60-71.
[15] Senarath G, Abu-Dayya A, Matyas R. "Adaptive handoff algorithms using absolute and relative thresholds for cellular mobile communication systems." In IEEE Vehicular Technology Conference, May 1998; 1603-7.
[16] 李松晃, 「簡述無線通訊技術」, 國家實體研究院, 第五期, 第40-44 頁, 民國 94年1月
[17] P. Marichamy, S. Chakra.barti and S. L. Maskara "Overview of Handoff Schemes in Cellular Mobile Networks and their Comparative Performance Evaluation"
[18] http://140.138.137.171/~wrlai1/content/pes-pdf/Handoff_management.pdf
[19] 侯政佑, "我國行動通訊產業現況與未來發展趨勢之分析," 2008 數位科技與創新管理研討會, 論文編號: 27 數位科技組
[20] <http://bcr2.uwaterloo.ca/~rboutaba/Papers/Journals/WCMC-04.pdf>