

一個在 LTE 中具即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制

蕭中一¹ 高勝助²

中興大學資訊科學與工程學系

¹g100056016@mail.nchu.edu.tw ²sjkao@cs.nchu.edu.tw

摘要

長程演進網路(Long Term Evolution, LTE)是由 3GPP 所制定的高速無線網路的標準，以提供高速率及低延遲的無線網路為目標。當使用者設備逐漸遠離服務基地台的訊號範圍時，會導致所接收的訊號強度減弱，甚至中斷連線。此時就必須執行換手(handover)的程序。當執行換手時，會造成短暫的連線中斷及訊號延遲，導致傳送封包遺失或通訊斷續的問題。為解決此問題，本論文提出一個結合即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制，以使用者設備的位置資訊為基礎，搜尋在使用者行進方向上，最合適的目標基地台。藉由有效率地換手選擇，減少換手次數，進而提升通訊的品質。我們以固定速度及隨機方向(random direction)的情境進行模擬與分析。實驗數據顯示，與 LTE 標準的換手機制相比，可降低約 52%的每分鐘平均換手率；與先前具行進方向預測及觸發時間調適的研究相比，可降低約 25%的每分鐘平均換手率。

關鍵詞：方向預測，動態權重調整，長程演進網路。

Abstract

3GPP Long Term Evolution (LTE) defines a wireless network standard for high packet transmission rate and low packet latency provisions. Since when a user equipment (UE) moves between eNBs, the handover process may result in disconnection or packet loss, how to reduce handover latency becomes a crucial task in LTE networks. In this paper, we propose both the direction prediction and dynamic weight adjustment in triggering a handover. Based upon the information of UE's position, we determinate the best candidate target eNB to effectively reduce the number of handovers to enhance the communication quality. We proceed with fixed speed and random direction in the simulation. Simulation results show that our mechanism can achieve lower handover latency and avoid the unnecessary handovers. As compared with the standard handover procedure, an average handover rate per minute is about 52%. And, 25% of handover rate reduction as compared with the previous study which adopted the moving direction prediction as well as adaptive time-to-trigger in handover decision.

Keywords: direction prediction, dynamic weight adjustment, LTE.

1. 前言

近年來，網際網路的蓬勃發展，改變了人們許多的生活習慣，網路可謂與人們日常生活中的食、衣、住、行、育、樂息息相關。筆記型電腦及平板電腦隨處可見，而智慧型手機更是人手一台，這些行動裝置比起從前不僅更為普及且功能也更加多元，人們能夠簡單且迅速的連線上網來取得各式各樣的服務及需求，電信業者更推出網路吃到飽的促銷方案。因此，人們對於無線網路的品質和覆蓋率也更加重視，需求量也隨著大幅增加。網路技術隨著時間的推移，也隨之進步與成長，3rd Generation Partnership Project (3GPP)於西元 2008 年提出了長程演進網路(Long Term Evolution, LTE)，簡稱為 LTE，主要目的是發展出 3GPP 無線接取技術的框架，以達到高速率、低延遲及封包最佳化的三大目標[3]。

LTE 利用正交多工分頻 (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM)及多重輸入輸出(Multiple-Input Multiple-Output, MIMO)兩項重要技術，讓網路可以簡化成為扁平化的全 IP 架構，即所謂的系統發展架構(System Architecture Evolution, SAE)，可達到上行 50Mbps 及下行 100Mbps 的峰值速率，並支援最高移動速率 350 km/hr[1][2][3]。

一般而言，使用者設備(User Equipment, UE)與基地台(Evolved NodeB, eNB)進行通訊時，當使用者設備逐漸遠離服務基地台(Serving eNB)的訊號範圍，會導致所接收的訊號強度隨之減弱，甚至於中斷。為了保持網路的連線品質，此時就必須執行換手(handover)以轉換至目標基地台(Target eNB)下繼續接受服務。在 LTE 中的換手方式僅支援硬式換手(Break-Before-Make)[2]，當有換手需求時，服務基地台會替使用者設備決定出目標基地台，接著開始同步資料及訊號傳送，之後使用者設備會先中斷與服務基地台的連線，再重新連接至目標基地台，並更新資料傳輸路徑。所以，使用者設備因為移動所執行的每一次換手，必然會發生連線中斷而造成短暫的連線中斷時間，並且也消耗時間在同步、更新及訊號傳送等工作上而產生短暫的換手延遲時間(handover delay time)。連線中斷及換手延遲皆會導致傳輸資料封包的遺失或是語音通訊的短暫中斷，欲降低執行換手所付出的代價，直接且有效的方法是精準的預測出最合適目標基地台以減少換手次數以及非必要換手次數，其中，非必要換手

表示使用者設備在換手完成後的極短暫時間內又再次換手回原先的服務基地台[4]。

當使用者設備需要執行換手時，服務基地台會替使用者設備來選擇適合的目標基地台，而使用者設備則負責收集測量資訊並回傳給服務基地台作為未來選擇目標基地台的依據。首先，使用者設備會測量鄰近基地台的訊號強度以及相關資訊[6]，並彙整成「測量報告(measurement report)」，之後回傳給服務基地台作為未來選擇目標基地台的依據，而回傳測量報告可以分為兩種方式，第一種是定期回傳，即每隔一段固定時間便會回傳測量報告給服務基地台；第二種是觸發事件回傳，當滿足某種設定的條件時才會回傳測量報告給服務基地台，通常以訊號強度作為滿足條件的依據[4]。

當目標基地台的訊號強度大於服務基地台時，便會觸發事件(event)，此時使用者設備會回傳測量報告給服務基地台，服務基地台會開始計算觸發時間(Time-to-Trigger, TTT)，TTT 就如同一台計數器(timer)，當 TTT 超過預訂的門檻值後，換手才會開始進行[5]。反之，則分為兩種情形，第一種為滿足條件但未達門檻值，則 TTT 繼續累加，第二種為不滿足條件且未達門檻值，表示目標基地台的訊號強度小於服務基地台，此時則將 TTT 歸零。舉例來說，一位假釋出獄的囚犯，若在假釋期內犯罪，則假釋期將被歸零，因此，可將 TTT 比擬為假釋期或觀察期來理解其較為抽象的涵義。使用 TTT 來觀察訊號強度的變化，可減少非必要換手的發生。

在執行換手之前，使用者設備會測量服務基地台與目標基地台的訊號強度，並以訊號強度作為評估的主要準則，判斷是否滿足執行換手的條件，當目標基地台的訊號強度大於服務基地台時，便會執行換手；標準的換手機制是單純以訊號強度來做出換手決定，容易造成三種問題，第一種是與使用者設備行進方向相反的目標基地台進行換手，第二種是換手回先前的服務基地台，第三種是依然要持續測量與使用者設備行進方向相反或距離過大的基地台，前兩種常會造成非必要的換手，第三種則是既耗費時間又耗損電力。本論文提出結合即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制，可劃分為兩部分，第一部分是即時行進方向預測機制，以使用者設備的位置資訊為計算基礎，判定是否屬於相同行進方向，並運用向量、角度及距離來預測出位於使用者設備行進方向上所有的目標基地台；第二部分是動態權重調整機制，以距離資訊來更新權重值，進而選出最適合的換手目標基地台。本篇論文提出的換手機制充分運用位置、向量、角度及距離的簡易運算與判斷來取代標準的換手機制，可達成減少換手次數及減輕使用者設備測量訊號強度的負擔之雙重目標。為了後續討論上的便利，將本論文所提出結合即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制，以「具方向預測及動態權重的換手機制」代稱之。

在後續的論文中，第二章介紹 LTE 標準中的換

手流程及相關研究方法；第三章說明具方向預測及動態權重的換手機制；第四章說明模擬實驗及分析實驗數據；最後，第五章提出結論。

2. 相關背景與研究

在本章節中，會介紹本論文的相關背景與研究，並對 LTE 標準中的換手流程進行簡單說明及介紹相關的研究方法。

2.1 LTE 的換手流程

使用者設備從服務基地台轉換到目標基地台，此過程就稱作換手(handover)，而換手又可分成二種型態，第一種是硬式換手(hard handover)，先切斷與服務基地台的連線，再重新連線至目標基地台，又稱作 break-before-make。第二種是軟式換手，流程與硬式換手恰恰相反，又稱為 make-before-break，先完成與目標基地台連線後，再切斷與服務基地台的連線。在 LTE 中僅支援硬式換手[4][9]。

根據[10]的定義，換手流程可分為三個階段：依序為換手準備階段(handover preparation)、換手執行階段(handover execution)及換手完成階段(handover completion)，詳細的換手流程如圖 1。

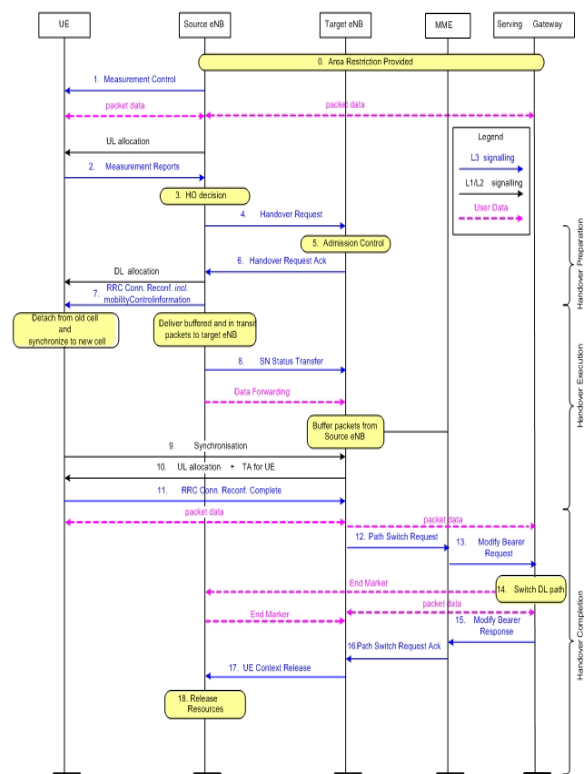


圖 1 換手流程[10]

一開始使用者設備進入 LTE 網路系統時，服務基地台會從後端閒道取得使用者設備的相關資

訊，接著使用者設備便會開始測量鄰近的基地台的訊號強度，其中也包含服務基地台的訊號強度，並將測量報告(measurement report)回傳給服務基地台作為未來選擇換手目標基地台的依據。服務基地台收到測量報告後，便根據測量報告的內容決定是否需要執行換手，若決定要執行換手，就會進入換手準備階段。

進入換手準備階段後，服務基地台會向目標基地台傳送「handover request」訊息來請求換手，若目標基地台接受換手，便會回傳「handover request ACK」訊息給服務基地台，當服務基地台接收到回傳訊息後，就會進入換手執行階段。

進入換手執行階段後，使用者設備會切斷與服務基地台的連線，並重新連線至目標基地台。服務基地台先與目標基地台進行同步化，當目標基地台能夠與使用者設備進行溝通時，使用者設備會傳送訊息告知目標基地台換手動作已經完成，接著會進入換手完成階段。

進入換手完成階段後，目標基地台會與後端管理設備進行溝通，更新資料傳輸路徑，當目標基地台收到後端管理設備的確認訊息後，便通知服務基地台換手流程已全部完成，接著會清除使用者設備的相關資訊並釋放系統資源[4]。

2.2 預測換手目標基地台

欲達成有效且合理的減少換手次數之目標，有些論文中提出預測換手目標基地台的方法，其中包括利用資料庫中的歷史紀錄來分析出使用者設備的移動習慣，找出未來可能的換手目標基地台[11]；而另一種是以使用者設備的位置資訊為計算基礎，對預測出使用者設備行進方向上可能換手目標基地台，在[4]的研究中，是以使用者設備過去兩個座標位置及目前的座標位置來計算並預測出位於使用者設備行進方向上適合的換手目標基地台，但其論文中的行進方向預測機制缺乏即時性，會導致隨著預測時間的增加，反而預測的準確度卻不增反降；且預測出的換手目標基地台亦無法保證唯一性，換句話說，可能會同時存在多個可能換手的目標基地台，如此一來，就無法達成有效且合理的減少換手次數及避免非必要換手的目標。

3. 研究方法

一般而言，絕大部分的使用者設備皆具有移動性，當使用者設備移動時，其所接收的訊號強度也會隨之改變，為了保持網路的連線品質，當服務基地台的訊號強度低於鄰近的目標基地台時，就必須執行換手，由於訊號強度受環境因素的影響甚巨，例如：遮蔽物屏障、地勢起伏及其他行動設備與基地台之間的相互干擾，可能會造成換手存在一定的失敗風險，導致連線中斷及資料封包的遺失。

在論文中先提出即時方向預測機制是以使用

者設備的位置資訊為計算基礎，判定是否屬於相同行進方向，並運用向量、角度及距離來預測出位於使用者設備行進方向上所有的目標基地台，再提出動態權重調整機制，以距離資訊來更新權重值，進而選出最適合的換手目標基地台

論文中所提出具方向預測及動態權重的換手機制被應用在測量報告之前的部分，當預測出最適合的換手目標基地台時，使用者設備才須執行測量報告的動作，且一次只需要測量一個目標基地台的訊號強度。如此一來，不僅減少換手次數亦能減輕使用者設備的測量訊號強度上的負擔，可謂省時又省電，其中，圖2中的綠色斜紋方格是即時行進方向預測機制；紅色斜紋方格是動態權重調整機制；白色長條形方塊分別表示不同的換手階段，而每個白色長條形方塊與直線的交集部分則代表在此階段中參與的元件。

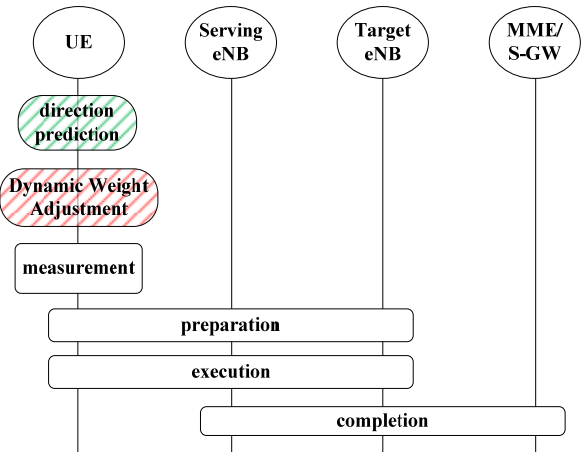


圖 2 換手步驟及其參與元件之示意圖

3.1 即時行進方向預測機制

即時方向預測機制是以使用者設備的位置資訊為計算基礎，判定是否屬於相同行進方向，並運用向量、角度及距離來預測出位於使用者設備行進方向上所有的目標基地台，進而減少可能的換手目標基地台數量，達成減少換手次數及避免非必要換手與換手失敗。

目前的行動裝置大多皆有配置全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，可藉由 GPS 取得使用者設備過去與目前的座標位置，因此，本論文所提出的即時路徑方向預測機制。是以座標位置作為計算基礎。

在即時方向預測機制中，是以使用者設備目前的座標位置以及先前的兩個座標位置，共三個座標位置計算出兩個向量，再計算出兩個向量的夾角，以夾角的大小來判別使用者設備是否朝相同方向行進，再以鄰近基地台的座標位置與使用者設備目前的座標位置，計算出向量、夾角及距離，預測出與位於使用者設備行進方向上所有的換手目標基地台，其中，所有的基地台的座標位置於起始佈署

時就已經取得，為固定值；使用者設備的座標位置，則透過 GPS 設備來取得，為變動值。

當使用者設備開始移動時，使用者設備會記錄前兩個時間點和現在的座標位置 $\{P_1, P_2, P_3\}$ 。 P_1 、 P_2 、 P_3 分別代表同一個使用者設備在不同時間點的座標位置，先以 P_1 和 P_2 算出前一次的行進方向，以向量 V_1 來表示，再以 P_2 和 P_3 算出目前的行進方向，以向量 V_2 來表示，接著使用反三角函數與內積公式算出 V_1 與 V_2 的夾角 θ ，如同下列算式，以夾角的大小來判別 V_1 與 V_2 是否朝相同方向行進，如圖 3。

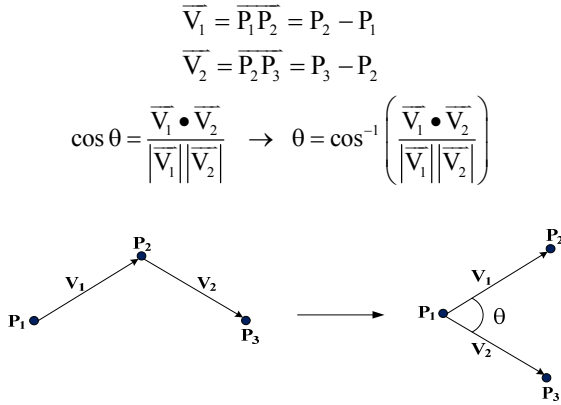


圖 3 行進方向預測示意圖

接著每隔一段預定時間就會重新抓取使用者設備目前的座標位置 P_{new} ，即時更新使用者設備的座標位置及向量，先將 P_3 取代 P_2 以及 P_2 取代 P_1 並更新 V_1 向量，再將 P_{new} 取代 P_3 並更新 V_2 向量，接著使用反三角函數與內積公式算出 V_1 與 V_2 的夾角 θ ，如圖 4，藉由不斷的比對角度 θ 的大小來判別使用者設備是否持續朝著相同行進方向移動。

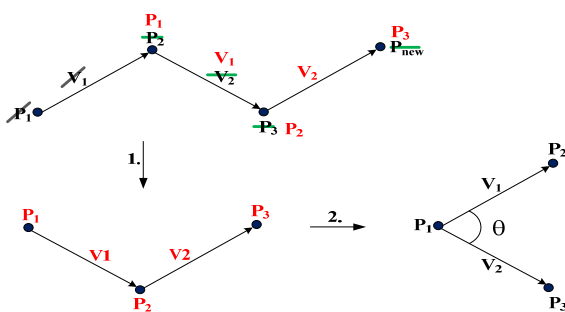


圖 4 行進方向預測示意圖

若是使用者設備未更改行進方向，則預測出位於使用者設備行進方向上全部的鄰近基地台。在蜂巢式網路中有許多種類的基地台，其中一種是由三組發射角度為 120 度的方向型天線來組成一個基地台[4]。在論文中將預測換手目標基地台的角度定義為使用者設備行進方向上兩側各 60 度，即 $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ ，共 120 度，故表示位於使用者行進方向上兩側各 60 度的鄰近目標基地台都會被預設

為可能的換手目標基地台，如圖 5。

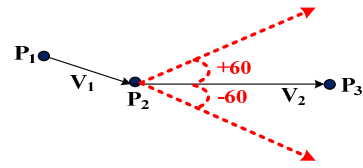


圖 5 換手目標基地台預測示意圖

3.2 動態權重調整機制

當即時行進方向預測機制執行完畢後，便可以預測出位於使用者設備行進方向上兩側各 60 度的全部的鄰近目標基地台。通常，被預測出的鄰近目標基地台不只一個，而多個換手目標基地台會導致執行換手時換手次數增加、非必要換手率上升及增加使用者設備測量訊號強度的負擔，為了解決上述問題，因此提出動態權重調整機制，並以 DWAM 簡稱之，可以從多個鄰近目標基地台中挑選出唯一且最適合的換手目標基地台。

動態權重調整機制是將被預測出的鄰近目標基地台各自的權重值加上使用者設備與鄰近目標基地台間距離的倒數，公式如下，若使用者設備持續朝相同行進方向前進，則持續累加並更新權重值，反之，當使用者設備突然出現過大幅度的轉向，超過了夾角 θ 時，則先將所有基地台的權重值歸零後，再執行動態權重調整機制。

$$\text{Weight}_{eNB} = \text{Weight}_{eNB} + \frac{1}{\text{dis}(eNB, UE)}$$

動態權重調整機制充分運用即時行進方向預測機制中所取得座標位置與向量，進而計算出角度及距離來挑選出最合適的換手目標基地台，不僅減少了換手次數也減輕了使用者設備測量訊號強度的負擔。結合即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制，完整演算法如圖 6。

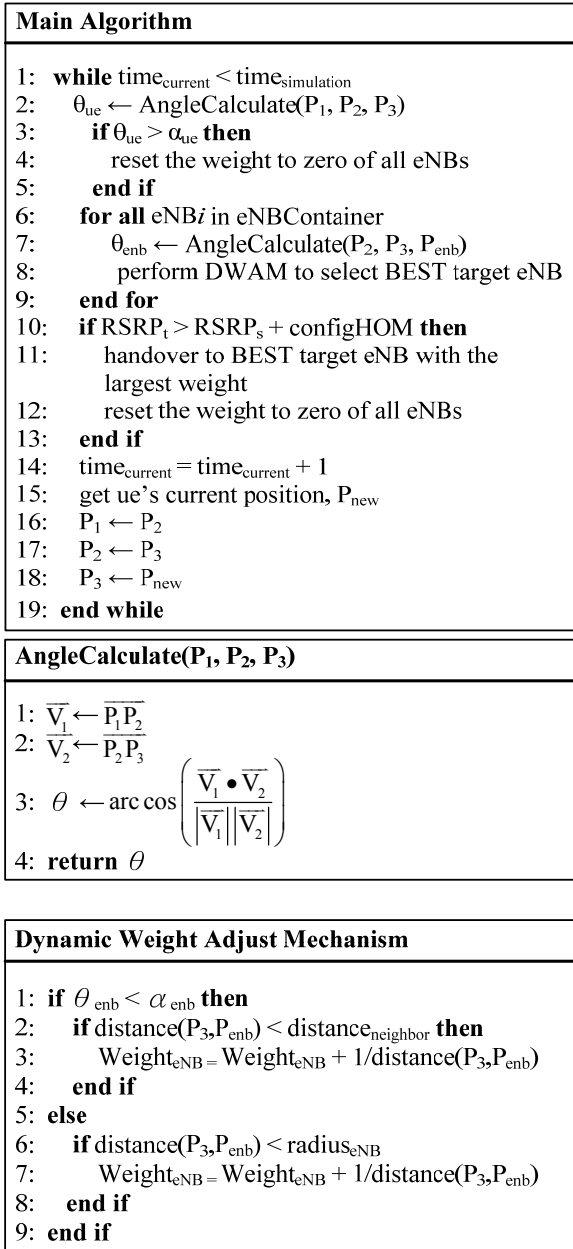


圖 6 具方向預測及動態權重的換手機制

最後，將具方向預測及動態權重的換手機制之完整演算法用流程圖來表示，如圖 7。

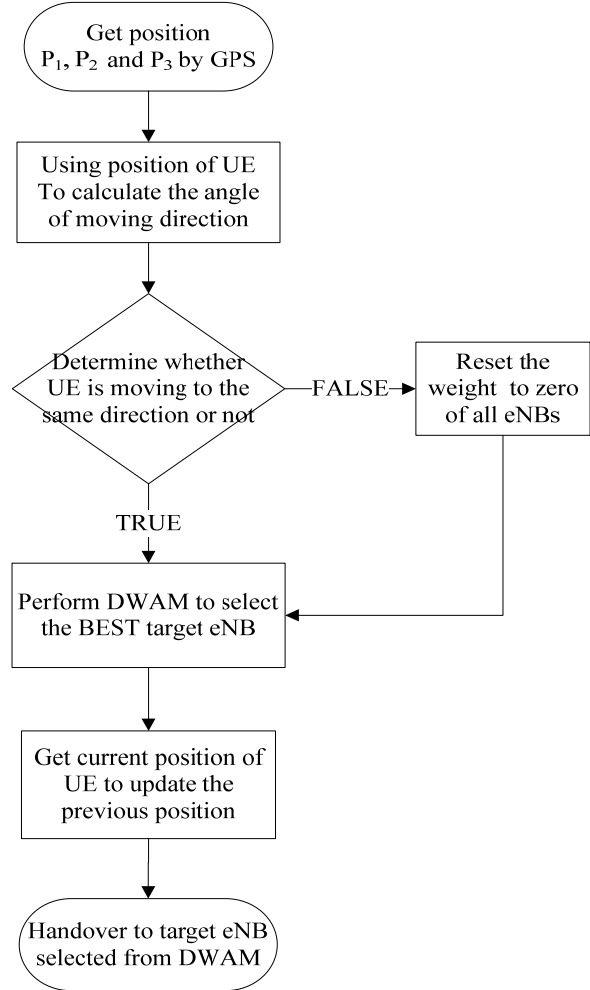


圖 7 具方向預測及動態權重的換手機制

4. 模擬實驗與效能評估

本章節中，針對具方向預測及動態權重的換手機制進行模擬實驗，評估使用者設備在三組不同的移動速度下，於降低換手次數上的效能表現，比較對象為三種不同的換手機制，分別為標準的換手機制、具行進方向預測的換手機制與具行進方向預測及觸發時間調適的換手機制。

4.1 模擬環境與實驗參數

為了驗證本論文提出的具方向預測及動態權重的換手機制之可行性與效能，使用 LTE-Sim-r5 版本的模擬器[7]，LTE-Sim 為開放原始碼的軟體，模擬使用者設備在不同移動速度下，對換手次數所造成的影響。為了準確的評估換手次數，因此，採用使用者設備的每分鐘平均換手次數為評估指標，用下列算式來計算[8]

$$\text{每分鐘平均換手次數} = \frac{H_{SUC}}{N * T}$$

- H_{SUC} ：成功完成換手的次數
- N ：總使用者設備的個數
- T ：模擬時間，單位為分鐘

在實驗環境中，共 19 個基地台，兩兩基地台間的距離為 500 公尺，每個基地台由 3 個 sector 所組成，每個 sector 各自隨機佈署 1 個使用者設備，共 57 個使用者設備。各個使用者設備採用隨機方向(random direction)的方式來移動，當移動至地圖邊界時，則立即改變移動方向，讓使用者設備在地圖中連續的移動[4]，實驗拓樸如圖 8。相關系統參數的設定如表 1。

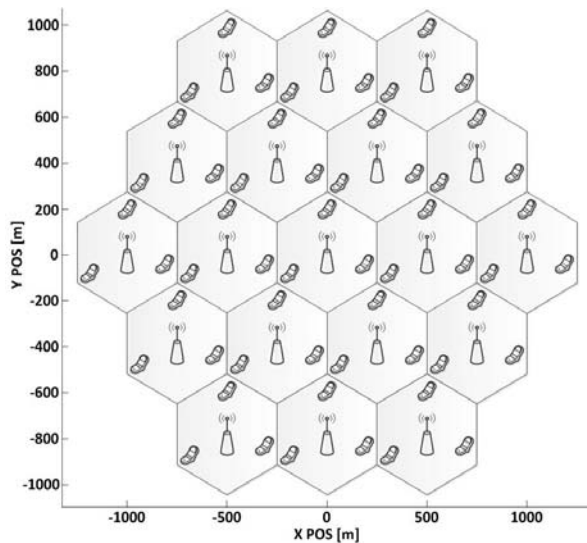


圖 8 實驗拓樸圖[4]

表 1 系統參數[4][12]

Parameter	Value
Cell layout	19 sites
Number of UE	57
Distance between eNBs	500 meter
Frequency	2 GHz
Bandwidth	5 MHz
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
Receiver noise value	9 dB
eNB's transmission power	20 Watts
Number of RB	100
Bandwidth per RB	180 KHz
TTI(Subframe duration)	1 ms
Simulation time	60 s
UE speed	3, 30, 120 km/hr
Mobility model	random direction
UE moving direction	$0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$
Handover margin	3 dB

4.2 實驗數據與結果分析

在模擬實驗中，針對論文所提出的方向預測及動態權重的換手機制進行實驗，以三組具不同移動速度的使用者設備進行模擬，並以平均每分鐘換手率作為評估的標準，實驗結果如圖 9，X 軸表示使

用者設備的移動速度，分別為 3、30 與 120，單位為每小時公里(km/hr)；Y 軸為每個使用者設備的每分鐘平均換手次數，紫色區塊是標準的換手機制，藍色區塊是具行進方向預測的換手機制，綠色區塊是結合行進方向預測及觸發時間調適的換手機制[4]，而紅色區塊則是本論文所提出的方向預測及動態權重的換手機制。根據實驗結果，可以觀察到本論文所提出的換手機制確實達成了降低換手次數的目標，相較於紫色區塊大約可減少 51.76%的平均換手率；相較於藍色區塊大約可減少 26.15%的平均換手率；相較於綠色區塊大約可減少 24.77%的平均換手率。

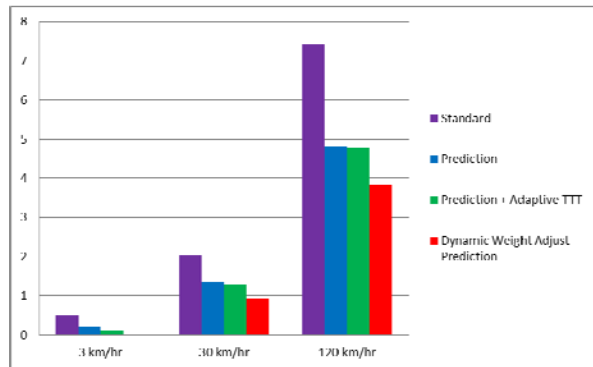


圖 9 每個 UE 的每分鐘平均換手率

5. 結論

在本論文中，提出了具方向預測及動態權重的換手機制，以使用者設備與基地台的座標位置作為計算基礎，進而利用向量、角度及距離來做出預測，達成有效且合理降低換手次數的目標。最後也透過模擬實驗以及數據分析來驗證具方向預測及動態權重的換手機制之可行性。根據模擬實驗的結果，具方向預測及動態權重的換手機制可明顯的達到降低換手次數的目標，與標準的換手機制相比，可減少約 52%的平均換手率，與具行進方向預測的換手機制相比，可減少約 26%的平均換手率，與具行進方向預測及觸發時間調適的換手機制相比，仍然可減少約 25%的平均換手率。

參考文獻

- [1] M. J. Chang, Z. Abichar, and C.-Y. Hsu, "WiMAX or LTE: Who will Lead the Broadband Mobile Internet?," IT Professional, vol. 12, pp. 26-32, 2010.
- [2] K. Dimou, W. Min, Y. Yu, M. Kazmi, A. Larmo, J. Pettersson, W. Muller, and Y. Timmer, "Handover within 3GPP LTE: Design Principles and Performance," in IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall), Anchorage, Alaska USA, 2009, pp. 1-5. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.
- [3] Nortel(2008)。從 GSM 到 LTE 技術的長期演進。上網日期：2011/4/2。檢自：

http://www.eettaiwan.com/STATIC/PDF/200804/20080402_OE_Nortel_TA_02.pdf?SOURCES=DOWNLOAD

- [4] 胡似英，一個在 LTE 中具有行進方向預測及觸發時間調適的換手機制(An Efficient Handover Mechanism by Adopting Direction Prediction and Adaptive Time-to-Trigger in LTE Networks)，國立中興大學資訊科學與工程學系所，碩士論文，2012 年六月
- [5] 3rd Generation Partnership Project, "3GPP specification: TS 36.331; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);Radio Resource Control (RRC);Protocol specification" 2011.
- [6] Chia-Wei Chang; Yu-Hsiang Lin; Rong-Hong Jan; Chien Chen, "Efficient measurement procedure for handover in LTE femtocell networks," *Mobile and Wireless Networking (iCOST), 2012 International Conference on Selected Topics in* , vol., no., pp.119,123, 2-4 July 2012
- [7] Piro, G.; Grieco, L.A.; Boggia, G.; Capozzi, F.; Camarda, P., "Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework,"*Vehicular Technology, IEEE Transactions on* , vol.60, no.2, pp.498,513, Feb. 2011
- [8] Anas, M.; Calabrese, F.D.; Mogensen, P.E.; Rosa, C.; Pedersen, K.I., "Performance Evaluation of Received Signal Strength Based Hard Handover for UTRAN LTE," *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th* , vol., no., pp.1046,1050, 22-25 April 2007
- [9] Che-Sheng Chiu; Chia-Chi Huang, "Combined Partial Reuse and Soft Handover in OFDMA Downlink Transmission," *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE* , vol., no., pp.1707,1711, 11-14 May 2008
- [10] 3rd Generation Partnership Project, "3GPP specification: TS 36.300: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN);Overall description;Stage 2," 2010.
- [11] Huaining Ge; Xiangming Wen; Wei Zheng; Zhaoming Lu; Bo Wang, "A History-Based Handover Prediction for LTE Systems," *Computer Network and Multimedia Technology, 2009. CNMT 2009. International Symposium on* , vol., no., pp.1,4, 18-20 Jan. 2009
- [12] 3rd Generation Partnership Project, "3GPP specification: TS 36.942; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);Radio Frequency (RF) system scenarios," 2010.