

基於換手決策之路徑選擇於毫微微蜂巢式網路之研究

鄧靜容*、吳介騫、林澤聰
國立高雄第一科技大學電腦與通訊工程系

摘要 — 在毫微微蜂巢式網路中，使用者設備在道路上移動的時候，並不會考慮到基地台的分布情形。然而，不一樣的基地台分布卻會導致不一樣的換手發生。如果我們以區域性特徵為導向的換手策略，應用於廣域性的路徑選擇上，例如選擇行進在換手次數較少之路徑，則可減少無線電資源的浪費，也可以提供使用者較佳的服務品質。我們的模擬結果顯示，選擇路徑的策略比隨機移動路徑的策略，可以減少非必要換手次數達百分之八十。

一、簡介

隨著智慧型手機的普及，用戶對於行動上網服務品質的要求也不斷提高，為了滿足使用者的需求，第三代行動通訊組織(3rd Generation Partnership Project, 簡稱 3GPP)提出長期演進技術(Long Term Evolution, 簡稱 LTE)以提高傳輸速率且支援使用者設備(User Equipment, 簡稱 UE)最高移動速率達 350 km/hr。LTE 標準的換手方式屬於硬式換手，UE 會先切斷與原先服務基地台之間的通訊資源，然後再與目標基地台建立連線，此過程稱作「先切斷後建立」(Break before Make)，因此在換手的過程中，會有一小段通訊中斷的情形發生，而過多且不必要的換手情形發生的話，則會有浪費系統資源、封包遺失或服務延遲等情形產生，而導致降低使用者服務品質。

而業者也為了改善目前電信網路的整體效能，提供更高的資料傳輸速率，同時兼具高容量，因此發展出在現有的大型蜂巢式基地台(Macrocell, LTE 標準中稱為 eNB)涵蓋範圍內架設毫微微蜂巢式基地台(Femtocell, LTE 標準中稱為 HeNB)，它是一種小型化、低功率的無線基地台，其後端接取(Backhaul)網路的固接線路取自個人、家庭用戶的固接寬頻，如 ADSL、Cable Modem、光纖等。後端接取用於與無線服務系統業者的核心網路(Core Network, CN)連接。HeNB 是以 IP 封包為基礎的網際網路接取裝置，經由網路來傳送即時的語音或資料封包。

在支援高速移動的 LTE 系統中，建置 eNB 與 HeNB 共存的環境下，由於 HeNB 涵蓋範圍小的特性，使得 UE 在移動的過程，容易發生非必要換手的情況，而導致換手次數的增加。在加上使用者在道路上移動時，其所感受到的服務品質好壞，也會隨著換手次數多寡有所改變，所以，我們考慮到基地台的分布會影響換手的發生，於是把換手這種區域性質的動作，擴大考量到廣域性質的路徑選擇上。我們假設 UE 配備 GPS 以及處於感知網路的系統中，可以基於換手決策來選擇出換手次數

較少的路徑。相較於隨機移動的路徑，選擇的路徑可以有效降低換手次數，令使用者享受較佳的服務品質。

二、相關研究

2.1 Femtocell 存取模式

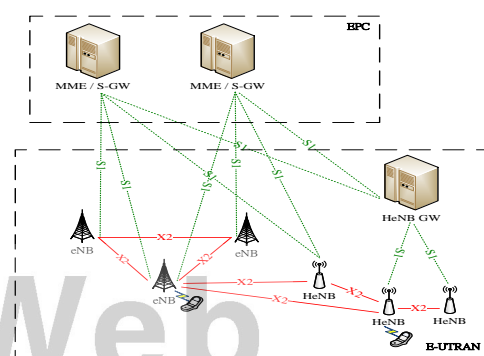
HeNB 主要可分成三種模式供使用者存取：(1)OSG(Open Subscriber Group)可供一般用戶連線，未對用戶存取權做任何限制；(2)CSG-Close(Close Subscriber Group-Close)只提供給部分已經向 HeNB 註冊的用戶連線；(3)CSG-Open(Close Subscriber Group-Open)為前述兩種模式的混合模式，優先服務已經註冊的使用者使其能以較高的優先權存取，並在不影響特定用戶服務品質的情況下，才提供給未註冊用戶使用。

2.2 換手情境

本研究主要討論在 eNB 和 HeNB 共存環境下的換手，以下分別整理出三種換手情境進行討論，第一種情境，是從 eNB 換至 HeNB，稱為 Hand-in；第二種情境，從 HeNB 換至 eNB 稱為 Hand-out；第三種情境，是 HeNB 之間的切換，稱為 Inter HeNB-HO。

2.3 Femtocell 於 LTE 的基本架構

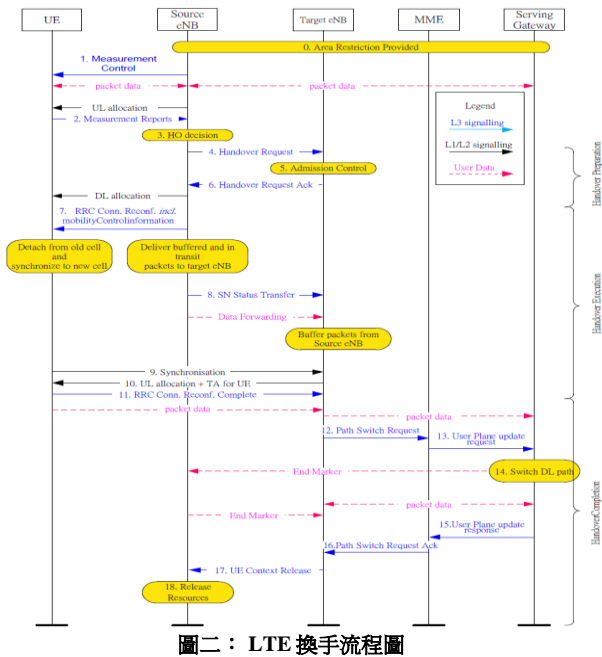
LTE 主架構分別由 EPC (Evolved Packet Core)與 E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)[1]所構成。EPC 是一種基於 IP 網路協定架構的多重存取核心網路，其主要的組成部份包含 MME (Mobility Management Entity)、S-GW (Serving Gateway)。而 E-UTRAN 則是包含 eNB、HeNB 和 UE。而各個元件之間的傳輸介面也有所不同，其中 eNB 或 HeNB 之間是經由 X2 介面進行溝通，而 eNB 或 HeNB 與 EPC 進行溝通則是經由 S1 傳輸介面，如圖一的 Femtocell 系統架構圖。



圖一：Femtocell 系統架構圖

2.4 LTE 換手流程

目前在 3GPP LTE 所規範的換手流程[1]是屬於硬式換手，如圖二所示，共可分為三個階段，分別是換手準備階段(Handover Preparation)、換手執行階段(Handover Execution)以及換手完成階段(Handover Completion)。



圖二：LTE 換手流程圖

UE 斷開與原服務的基地台(Source eNB)的連結(Step 8)，一直到目標基地台(Target eNB)收到 Handover Confirm 訊息為止(Step 11)的這段時間，是 UE 資料的傳輸中斷時間。

2.5 適用於 LTE 之換手決策

LTE 標準的換手決策中，決定換手的參數為參考信號接收強度(Reference Signal Received Power, RSRP)，它指的是 LTE 系統中的信號強度。當系統滿足 (1)及(2)時，換手動作就會被觸發[2]。

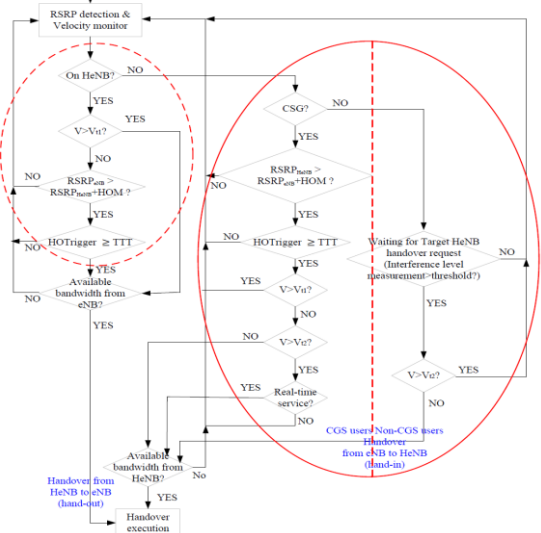
$$RSRP_T > RSRP_S + HOM \tag{1}$$

$$HOTrigger > TTT \tag{2}$$

其中 $RSRP_T$ 和 $RSRP_S$ 分別代表 UE 從 Target eNB 及 Source eNB 所接收到的參考訊號接收強度； HOM (Handover Margin)是一個常數，它代表的是 Target eNB 和 Source eNB 之間 $RSRP$ 的差值； TTT (Time to Trigger)則代表系統滿足 HOM 條件之後的一個時間區隔，它是用來限制系統在特定的時間區間內換手的動作；而 $HOTrigger$ 代表計算開始滿足(1)之後的時間。

我們提出換手決策[3]考量 HeNB 存取模式、UE 移動速度、Real-time Service 類別及使用者類型，圖三為其換手決策。在 UE 移動速度的決策上，分別訂定速度門檻值一： V_{t1} 和速度門檻值二： V_{t2} ，其中 V_{t1} 大於 V_{t2} ，而且 V_{t1} 的設定須在 30km/hr 以內[4]。在 Hand-in 方面，分成 CSG 使用者及 Non-CSG 使用者。若為 CSG 使用者，首

先是判斷不等式(1)、(2)及 UE 移動速度： V ，若 V 大於 V_{t1} ，則不換手；若 V 小於 V_{t1} 且 V 大於 V_{t2} ，則判斷 Real-time Service 類別：屬於 Real-time Service 類別時，且當目標 HeNB 有足夠資源時進行換手；若為 Non-CSG 使用者，通常不進行換手，除非 UE 對 HeNB 的干擾過大。而 Hand-out 方面，首先是判斷 V ，若 V 大於 V_{t1} 時，當 eNB 有足夠資源，則進行換手；若 V 小於 V_{t1} ，則是當不等式(1)、(2)同時滿足時，才會進行換手。



圖三：換手決策[3]

三、基於換手決策之路徑選擇

3.1 系統假設

一平面區域 A 由 1 個 eNB 完整地涵蓋，並在 eNB 涵蓋範圍內部署 m 個 HeNB，且此區域內的道路轉折點有 u 個； H 為 m 個 HeNB 編號之集合， N 為 u 個轉折點編號之集合，設編號從 1 開始遞增，即 $H = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ ， $N = \{1, 2, 3, \dots, u\}$ 。假設系統為感知網路，UE 是 CSG 使用者且配備 GPS 可得知：

- (a). 集合 N 中，道路轉折點之座標向量 \mathbf{n}_i ($i = 1, 2, 3, \dots, u$)。其中 \mathbf{n}_1 為起點， \mathbf{n}_u 為終點。
- (b). eNB 之座標向量，在往後的敘述中，eNB 也被當作此座標向量。
- (c). 集合 H 中，HeNB 之座標向量 \mathbf{h}_j ($j = 1, 2, 3, \dots, m$)。在往後的敘述中， \mathbf{h}_j 也當第 j 個 HeNB 的名稱。
- (d). eNB 之傳送功率為：

$$P_{Tx,eNB} \text{ (dBm)} \tag{1}$$

- (e). \mathbf{h}_j 之傳送功率：

$$P_{Tx,h_j} \text{ (dBm)}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \tag{2}$$

- (f). eNB 之路徑衰減模型 (視涵蓋範圍環境而定)：

$$PL_{eNB}(D) = k_1 + k_2 \log_{10}(D) \text{ (dB)} \tag{3}$$

其中 D 為 UE 與 eNB 間的距離， k_1 與 k_2 為路徑衰減之模型參數。

(g). h_j 之路徑衰減模型：

$$PL_{h_j}(d_j) = k_3 + k_4 \log_{10}(d_j) + qW + L_{ow} \text{ (dB)} \quad (4)$$

其中 d_j 為 UE 與 h_j 之間的距離， k_3 與 k_4 為路徑衰減模型之參數， q 為 UE 與 h_j 之間的牆壁數目， W 為信號穿透建築物內牆之衰減，而 L_{ow} 為信號穿透建築物外牆之衰減。

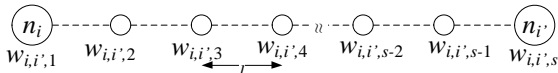
從(1)與(3)式，我們可以藉由 UE 與 eNB 之間的距離 D ，計算 UE 接收 eNB 之信號強度：

$$P_{R_{x,eNB}}(D) = P_{T_{x,eNB}} - PL_{eNB}(D) \text{ (dBm)} \quad (5)$$

從(2)與(4)式，我們可以藉由 UE 與 h_j 之間的距離 d_j ，計算 UE 接收 h_j 之信號強度：

$$P_{R_{x,h_j}}(d_j) = P_{T_{x,h_j}} - PL_{h_j}(d_j) \text{ (dBm)} \quad (6)$$

另外我們假設街道模型為棋盤式格子道路，並且考量路徑不會繞遠路。還有，我們以等距離 l 內插的方式，在轉折點(n_i)與其相鄰轉折點($n_{i'}$)之間的路段上作取樣，我們可以得到路段取樣編號集合 $W = \{1, 2, 3, \dots, s\}$ ，以及每個取樣點的座標向量 $w_{i',k}$ ($k = 1, 2, 3, \dots, s$)，而 $w_{i',1}$ 即為 $n_{i'}$ ，且 $w_{i',s}$ 即為 n_i ，如圖四。

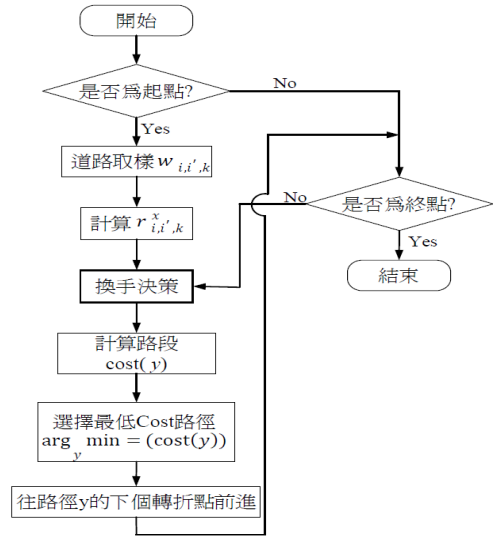


圖四：道路取樣座標向量示意圖

3.2 路徑選擇之流程

一開始 UE 在起點時，我們透過道路取樣得到取樣點 $w_{i',k}$ ，並根據(1)到(6)，UE 藉由計算得知在取樣點 $w_{i',k}$ 位置上，分別接收來自 eNB 的信號強度 $P_{R_{x,eNB}}$ 與 h_j 的信號強度 $P_{R_{x,h_j}}$ ，以下用 $r_{i',k}^x$ ($x = 0, 1, 2, 3, \dots, m$) 作為表示， x 為 0 代表接收 eNB 的信號強度，1 至 m 代表接收 h_j 的信號強度，其集合為 $R_{i',k}$ 。

蒐集完成取樣點上的信號強度資訊後，經由換手決策此步驟，來預測在取樣點 $w_{i',k}$ 位置時，是否會發生換手，並計算出相鄰轉折點 n_i 到 $n_{i'}$ 路段之間的換手次數，將其定義為此路段的 Cost。接下來 UE 計算路徑 y ($y = 1, 2, 3, \dots, z$) 的 Cost，表示為 $\text{cost}(y)$ ，並選擇最低 Cost 之路徑 y ，以 $\arg_y \min(\text{cost}(y))$ 表示，且往路徑 y 的下一個轉折點移動。接下來，UE 在轉折點上再次依據當時自身的狀態，重複換手決策之後的流程，並朝著重新選擇的路徑方向前行，直到到達終點才結束，圖五為路徑選擇流程圖。下一個小節將分別詳述在傳統以及提出的換手決策[3]中的 Cost 計算方法。



圖五：路徑選擇流程圖

3.3 Cost 計算方法

我們將分別針對傳統及提出的換手決策[3]兩種方法，以虛擬程式碼 (Pseudo Code) 作 Cost 計算方法的說明。以下分別為在傳統換手決策與提出換手決策[3]中，Cost 計算方法的虛擬程式碼，如圖六與圖七。

```

傳統換手決策下 Cost 計算虛擬程式碼
1. S = arg max_x r_{i',1}^x #初始 S 為服務基地台, x = 0, 1, 2, 3, ..., m
   #0代表 eNB 的編號, 1-m 代表 h_j 的編號
2. ho = 0 #換手次數 ho 初始為零
3. for k = 1:s-1
4.   T = arg max_x r_{i',k+1}^x #T 為目標基地台
5.   if S=0 #服務基地台為 eNB
6.     if (T ≠ S) && (r_{i',k+1}^S + HOM < r_{i',k+1}^T)
7.       ho = ho + 1 #Hand-in 換手次數累加
8.       S = T #目標基地台變為服務基地台
9.     end if
10.  else #服務基地台為 HeNB
11.    if (r_{i',k+1}^S + HOM < r_{i',k+1}^T)
12.      ho = ho + 1 #Hand-out 換手次數累加
13.      S = T
14.    end if
15.  end if
16. end for
    
```

圖六：傳統換手決策下 Cost 計算虛擬程式碼

```

提出的決策下 Cost 計算虛擬程式碼
1.  S = arg max_x r_{i,i',1}^x      #初始 S 為服務基地台, x = 0, 1, 2, 3, ..., m
                                     #0代表 eNB 的編號, 1~m 代表 h_j 的編號
2.  ho = 0                          #換手次數 ho 初始為零
3.  for k = 1:s-1
4.      T = arg max_x r_{i,i',k+1}^x  #T 為目標基地台
5.      if S=0                        #服務基地台為 eNB
6.          if (T ≠ S) && (r_{i,i',k+1}^S + HOM < r_{i,i',k+1}^T)
7.              if (v < v_{t2} || (v < v_{t1}) && (Real-time service)))
8.                  ho = ho + 1        #Hand-in 換手次數累加
9.                  S = T             #目標基地台變為服務基地台
10.             end if
11.          end if
12.      else                          #服務基地台為 HeNB
13.          if (v > v_{t1} || (r_{i,i',k+1}^S + HOM < r_{i,i',k+1}^T))
14.              ho = ho + 1          #Hand-out 換手次數累加
15.              S = T
16.          end if
17.      end if
18. end for
    
```

圖七：提出的換手決策下 Cost 計算虛擬程式碼

四、 模擬實驗與效能分析

4.1 模擬環境與參數設定

在一個涵蓋半徑為 1200 公尺的 eNB 內，有棋盤式格子狀道路，共有 16 個轉折點。當 UE 在每個轉折點上時，隨機配置 UE 的移動速度以及 Real time Service 類別，使得模擬更貼近動態的環境。表 I 為模擬實驗參數。

表 I: 模擬實驗參數

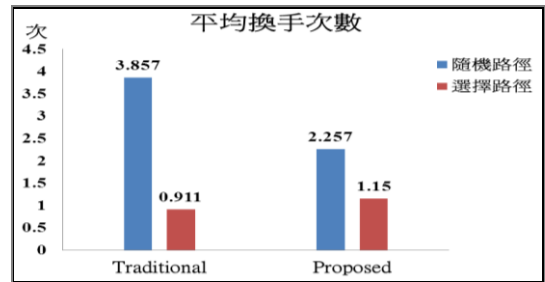
| Parameter | Value |
|--------------------------|--|
| eNB transmit power | 46dBm |
| HeNB transmit power | 10dBm |
| Number of HeNB | 60 |
| Path loss model for eNB | 128.1+37.6log10(D) for D(km) |
| Path loss model for HeNB | Max(15.3+37.6log10d, 37+20log10(d)) + qW + Low |
| Velocity of UE | Random , range[1,10m/s] |
| Service State of UE | Random [real time , non-real time] |
| Simulation time | 1000(次) |
| HOM | 3 dB |
| TTT | 0 ms [5] |

4.2 模擬結果與分析

我們分析採用傳統與提出的換手決策，其隨機路徑與選擇路徑的換手次數與非必要換手次數，並模擬一千次取平均。

(a). 平均換手次數：

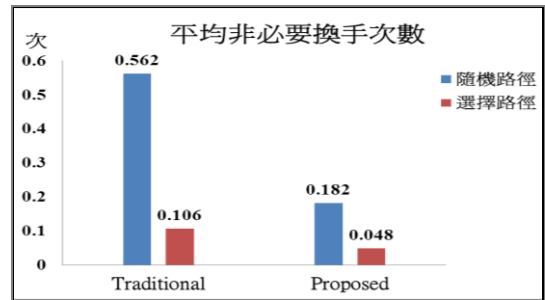
如圖八所示，在相同的換手決策下，隨機路徑的平均換手次數比選擇路徑來的多。傳統與提出的決策，其選擇路徑大幅度地分別減少了 76% 及 49% 的平均換手次數。



圖八：平均換手次數比較

(b). 平均非必要換手次數：

如圖九所示，在相同的換手決策下，隨機路徑的平均非必要換手次數比選擇路徑來的多。傳統與提出的決策，其選擇路徑大幅度地分別減少了 80% 及 72% 的平均非必要換手次數。



圖九：平均非必要換手次數比較

結論

基於換手決策之路徑選擇，藉著選擇路徑上的換手次數及非必要換手次數較低的優勢，令使用者可以選擇行進在換手次數較少的路徑上，相較於隨機的路徑，使用者可以享受較高的服務品質。

參考文獻

- [1] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network; Overall description; Stage 2," TS 36.300, v11.6.0, Jul. 2013.
- [2] C. C. Lin, K. Sandrasegaran, H. A. M. Ramli and R. Basukala, "Optimized Performance Evaluation Of LTE Hard Handover Algorithm With Average RSRP Constraint," *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, pp.1-16, Apr. 2011.
- [3] 鄧靜容, "適用於毫微微蜂巢式網路之換手決策之設計", 碩士論文, 國立高雄第一科技大學, 2013.
- [4] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and TDD Home eNodeB(HeNB) Radio Frequency(RF) requirements analysis," TR 36.922, v10.0.0, Apr. 2011.
- [5] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC)," TS 36.331, v9.6.0, Mar. 2011.