

A Green Handoff Method for 4G OFDMA Macrocell-femtocell Heterogeneous Networks

Jen-Jee Chen¹, Chung-Hua Hu^{1,*}, and Tzung-Shi Chen²

¹ Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, Taiwan

² Department of Computer Science and Information Engineering, National University of Tainan, Taiwan

Abstract — *With the increased demand of broadband wireless communication networks, users have an increasing need of the wireless broadband service coverage and the wireless access quality. To solve this problem, several novel technologies are proposed. One of these technologies is femtocells. A femtocell can be used to increase the coverage of wireless broadband service indoors or at hotspots and raise both data transmission rate and access quality. Although the use of femtocells can greatly benefit, deploying large number of femtocells consumes tremendous energy. In order to respond to the problem of global climate change, energy saving is always an important issue. This paper discusses how to minimize the energy consumption of femtocells, optimize the energy efficiency of femtocells, but still provide both the same data transmission rate and wireless broadband service coverage. In this paper, we propose a green handover and dynamic femtocell wake up approach. In default, femtocells are stay in idle mode when no one connecting to it. They transit to active mode only when detecting User Equipments (UEs) and the power efficiency of using the femtocell to transmit data is better than the macrocell. By this way, not only users can benefit from the femtocells but also femtocells can reduce unnecessary power consumption. Simulation results show that, in bot 3G/4G wireless communication networks, our method performs better than the previous methods in power consumption, power efficiency and throughput.*

Index Terms — *femtocell 、 green handoff 、 OFDMA 、 LTE/LTE-A 、 energy efficiency 、 heterogeneous networks*



*Corresponding author: m10026004@gm2.nutn.edu.tw

DOI : 10.6159/IJSE.2013.(3-2).07

在第四代行動通訊具正交分頻多工的 macrocell-femtocell 異質網路之綠能換手方法

陳建志、胡崇華*

國立台南大學電機工程學系

陳宗禧

國立台南大學資訊工程學系

摘要

隨著無線通訊網路的存取需求量增加,用戶對於無線寬頻服務的覆蓋率與存取品質的需要越來越高,為了解決這個問題,多項新技術被提出來,而 femtocell 就是其中一項, femtocell 可以增加無線寬頻服務在室內或熱點的覆蓋率並且提高數據傳輸的速率與品質。雖然使用 femtocell 可以帶來很大的好處,但是大量 femtocell 的佈署也意味耗電能量增加,為了響應全球氣候變遷問題,達到節能減碳的目的,如何盡量減少 femtocell 的耗電能量,最佳化 femtocell 的用電效率並且仍然提供一樣的數據傳輸速率和無線存取服務覆蓋率,是本文所要探討的議題;為了達到上述目標,本文提出一個綠能換手動態喚醒 femtocell 的方法,平時 femtocell 沒有在使用時則切換至閒置(idle)模式,只有當系統判斷使用者使用 femtocell 傳輸數據的用電效率較使用 macrocell 為佳的時候,才喚醒 femtocell,這麼一來既能讓使用者充分利用 femtocell 的好處,也能避免和減少 femtocell 不必要的耗電能量;本文的模擬顯示不管在 3G 或 4G 通訊網路下,我們的方法在耗電能量,用電效率和吞吐量均優於以往的方法。

關鍵字: femtocell、green handoff、OFDMA、LTE/LTE-A、energy efficiency、heterogeneous networks

壹、簡介

隨著無線通訊網路與智慧型裝置的普及,越來越多用戶使用手持裝置設備來存取網路上的服務,他們對於數據傳輸速率的需求量也愈益提高,一旦在一個熱點同時有很多使用者無線上網,會造成數據流量負載過大,也讓各個使用者傳輸數據速率變

慢近來有一些新興技術可以幫助基地台消化其愈益龐大的負載量,其中一種技術是 femtocell,部署 femtocell 可以在熱點增加訊號品質,提高數據傳輸速率且分擔基地台的流量負載, femtocell 也常被佈建在家裡或辦公室,增進整個區域的吞吐量。這樣異質網路的架構(同時使用 macrocell 與 femtocell 來提供無線寬頻服務)可提供使用者更理想的無線寬頻服務,但是相對的基地台的總耗電能量也就更多,所以如何節省耗電能量並且提供手機用戶理想的無線寬頻服務是一重要議題。

在無線通訊網路,手機用戶透過基地台來連到互聯網或是行動網路供應商,所以在基地台的耗電能量比手機的耗電量還要更多,為了響應近年來節能減碳的目的,來節省基地台的能源消耗,在文獻[1][2]有探討無線網路節能的議題,為了節省基地台的能源消耗,提出一個“Green Radio”的解決方案,當基地台沒有手機用戶在存取數據的時候,可以關閉基地台收發器,來節省基地台耗電能量,但是這些文獻並沒有考慮到 femtocell 的存在。當大量佈署 femtocell,若沒有良好的節省耗能機制, femtocell 的總體耗電量將更加驚人。目前已有有一些相關的研究議題是討論 macrocell-femtocell 基地台節能的議題[8][9][10], Ashraf 等人[8][9]提出一個“femtocell 在閒置模式狀態動態喚醒”解決方法,在此方法中, femtocell 沒有使用時處於閒置模式,當使用者經過 femtocell 訊號覆蓋範圍,即喚醒 femtocell 來服務使用者,這個設計的缺點是每次只要有使用者一經過 femtocell 訊號覆蓋範圍,就會喚醒 femtocell,使得 femtocell 頻繁的在主動與閒置模式間切換,仍然無法真正減少 femtocell 的耗電能量。Chen[10]則提出一個“在具正交分頻多工的雙層 macrocell-femtocell 網路之綠能換手協定”解決

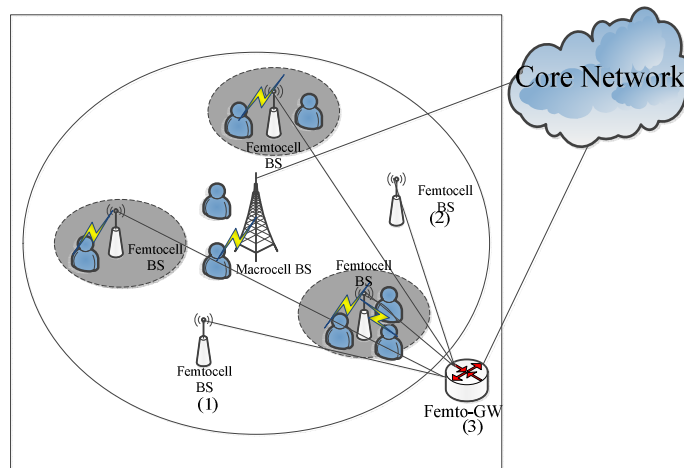
方法，此方法會預測手機用戶待在某一 femtocell 訊號涵蓋範圍裡是否能夠傳完此次所需傳輸的資料量，若是就喚醒 femtocell 來使用，否則繼續使用 macrocell 基地台。缺點是當使用者經過 femtocell 時，即使使用者所要傳送的資料量很少，仍會喚醒 femtocell 來使用，將造成無謂的 femtocell 耗電量提高及不必要的換手發生。為了解決以上相關文獻的缺點，本文設計一個在第四代行動通訊具正交分頻多工的 macrocell-femtocell 異質網路之綠能換手方法。

考慮到 macrocell 的能量消耗為固定花費 macrocell 必須一直保持在主動(active)模式，手持裝置連結到 femtocell 雖然較連結到 macrocell 節省耗電，但是讓 femtocell 由閒置模式切換到主動模式卻會增加其額外耗電量，所以要最佳化總體系統耗能並非手持裝置盲目連結到 femtocell 即會最好；為了有效節省耗電能量，而且用戶的吞吐量仍是必須保證。本文提出綠能換手方法，在用戶移動的過程中，我們會判斷比較使用 macrocell 及 femtocell 兩種基地台用電效率，當使用 macrocell 基地台比 femtocell 基地台佳的話，就繼續使用 macrocell 基地台來傳遞資料，反之若使用 femtocell 基地台可得到較佳的用電效率，則從原本服務的 macrocell 基地台換手到 femtocell 基地台來傳遞資料，這個判斷同時必須考量 femtocell 的原始狀況(主動模式或閒置模式)，手持裝置的數目系統類別(3G 或 4G)以及行動裝置和 macrocell 間的通道品質...等，一但決定連到 femtocell，若使用者經過的 femtocell 基地台是在閒置(idle)模式，就喚醒 femtocell 基地台來傳遞資料，如果經過的 femtocell 本身就是主動(active)模式下，就直接使用 femtocell 基地台來傳遞資料，來節省 macrocell 及 femtocell 之間基地台的耗電能量。

本文文章架構如下，第二節描述背景知識、系統架構和定義問題；第三節則提出我們的綠能換手演算法；第四節是模擬與比較的結果；第五節則總結我們的研究所。

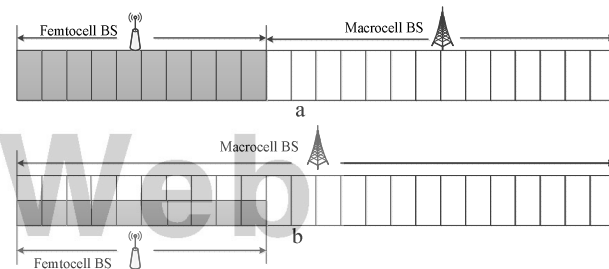
貳、系統模型和問題定義

一、系統模型



圖一. femtocell-macrocell 異質網路架構圖

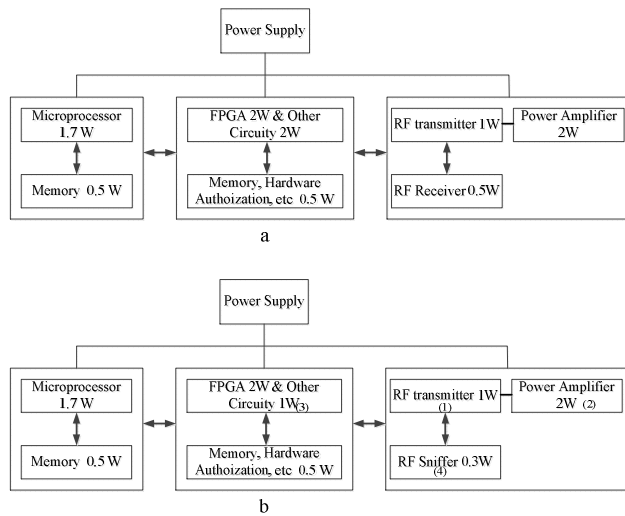
Femtocell又稱為家庭基站[3]，優點是低功耗、低成本，使用者可自己在室內環境佈署，訊號涵蓋範圍比macrocell小很多(30~40公尺)，但是與手持裝置距離近，訊號品質好，部署femtocell可以在熱點增加訊號涵蓋，提高數據傳輸速率且可以分擔基地台macrocell的流量負載。系統架構上，femtocell操作在授權頻段上，透過數位用戶端的寬頻骨幹網路連接到營運商。圖一顯示由macrocell和femtocell所組成的兩層式異質無線接取網路的網路架構：Femtocell基地台都佈署在macrocell基地台訊號涵蓋區域內，灰色區域是指femtocell的訊號涵蓋範圍並且它在主動(active)模式，femtocell(圖一.(1)(2))在閒置(idle)模式，所以並無訊號涵蓋範圍所有的femtocell基地台都是透過femtocell閘道器(femto-GW圖一.(3))接取到核心網路(core network)。



圖二.異層網路的通道分配 (a)專用通道分配 (b)共同通道分配

Femtocell有兩種通道頻譜分配模式[4][10]：專用通道分配模式和共同通道分配模式。在專用通道

分配模式圖二(a)，通道頻段分成兩部分；一部分專門配置給femtocell基地台使用，另一部分則配置給macrocell基地台使用。專用通道分配模式的好處是macrocell及femtocell之間基地台潛在的干擾可以盡量避免和減少，但是這樣會使頻段資源使用效率降低。在共同通道分配模式圖二(b)，所有頻段是macrocell和femtocell基地台所共享的(不過仍會保留部份頻段專門給macrocell使用)，此模式頻段資源使用效率會增加，也導致潛在的femtocell及macrocell的干擾會提高。本文在我們設計方法中是假設共同通道分配模式。



圖三.femtocell硬體架構與耗電 (a)主動(active)模式 (b)閒置(idle)模式

圖三.是主動(active)模式femtocell及閒置(idle)模式femtocell的硬體架構與耗電圖[10]。所有的硬體模組成三部分，第一部分是連接微處理器的隨機存取記憶體和微處理器，用來處理數據。第二部分是可程式邏輯閘陣列(FPGA)及其他的積體電路，用來實現資料加密、硬體認證及網路時間協定。第三部分是射頻(RF)收發器，包括分開的傳送(transmitter)及接收(receiver)射頻元件和射頻功率放大器(Power Amplifier)。由圖三(a).可知當femtocell在主動(active)模式的總耗電量是10.2W。圖三(b).則顯示當femtocell切換到閒置(idle)模式，femtocell會關閉功率放大器(Power Amplifier 圖三(b).(2))和射頻收發器(RF transceiver 圖三(b).(1))及雜項硬體元件等非必要的功能(圖三(b).(3))，例如：資料加密、硬體認證等，另外當femtocell是在閒置(idle)模

式時，會開啓一個低功率sniffer(圖三(b).(4))， $P_{sniffer} = 0.3W$ 其耗電功率，來偵測接收使用者手持裝置(User Equipment, UE)及macrocell基地台的訊號強度。總和femtocell在閒置(idle)模式所需的耗電量是6W，所以femtocell從主動(active)模式切換到閒置(idle)模式可以節省4.2W的耗電量。

表一.femtocell與UE耗電

	Active	Idle	Power saving
femtocell	10.2 W	6 W	4.2 W
	Connect to macrocell	Connect to femtocell	Power saving
LTE UE	0.2 W	0.0001 mW	≈ 0.2 W
3G UE	1 W	≈3.2 mW	≈1 W
GSM UE	2 W	3.2 mW	1.9968 W

表一.提供使用者(UE)與macrocell或femtocell之間傳遞資料所需耗電量[10]。LTE UE、3G UE和GSM UE連到macrocell基地台的大約花費耗電量分別是0.2W、1W和2W，而LTE UE、3G UE和GSM UE連到femtocell基地台的大約花費耗電量分別是0.0001mW、3.2mW和3.2mW；所以LTE UE、3G UE及GSM UE從使用macrocell較移到使用femtocell所節省的耗電量是大約0.2W、1W和1W。反之femtocell在主動(active)模式所需的耗電量10.2W，在閒置(idle)模式則是6W，所以將femtocell保持在閒置(idle)模式，與主動模式來比較，能節省4.2W的耗電量。

表二.MCS 和需要的接收端 SINR 值

MCS	SINR (dB)
QPSK 1/2	2 dB
QPSK 3/4	5.5 dB
16 QAM 1/2	7.9 dB
16 QAM 3/4	12.2 dB
64 QAM 2/3	15.3 dB
64 QAM 3/4	17.5 dB

表二.是顯示各MCS(Modulation and Coding

Scheme) 技術所需要的接收端的 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)值[5][6][7]。假定傳送端的發射功率為 P_i ，接收端 j 所收到接收能量功率 $\tilde{P}(i,j)$ 可以寫成

$$\tilde{P}(i,j) = \frac{G_i \times G_j \times P_i}{L(i,j)}, \quad (1)$$

G_i 及 G_j 分別是 i 和 j 的天線增益， $L(i,j)$ 是 i 到 j 的路徑損失，而接收端 j 的 SINR 可以寫成如下式：

$$\text{SINR} = 10 \log_{10} \left(\frac{\tilde{P}(i,j)}{B \times N_0 + I(i,j)} \right), \quad (2)$$

B 為有效頻寬， N_0 為熱雜訊， $I(i,j)$ 為其它傳送端對所造成的干擾，所以 $I(i,j)$ 可計算如下

$$I(i,j) = \sum_{i \neq j} \tilde{P}(i,j).$$

用上述的模型能協助我們評估通道品質和建立模擬系統。

二、研究動機

Ashraf 等人 [8][9] 提出一個動態節能減少 femtocell 耗電的解決方法，初始狀態時每一個 femtocell 都是成閒置(idle)模式，當任一 femtocell 偵測到手機用戶訊號強度超過一定的門檻值，femtocell 就從閒置(idle)模式轉換到主動(active)模式，喚醒 femtocell 來協助手機用戶傳輸資料。我們觀察到這個方法使得手機用戶只要一經過 femtocell 的訊號涵蓋區域，即使手機用戶此時連結 macrocell 基地台的用電效率較 femtocell 為佳，手機用戶也會換手到 femtocell 來服務，這樣不但會增加額外的耗電量也會造成不必要的換手。另一篇文獻中，Chen 等人 [10] 提出一個在具正交分頻多工兩層網路的綠能換手協定方法來改善 femtocell 的耗電量，當移動的使用者經過閒置(idle)的 femtocell，femtocell 會先預估能否服務該使用者的時間內(即使用者將在 femtocell 內待的時間)傳遞完所需的資料量，若是，femtocell 就從閒置(idle)模式轉換到主動(active)模式，並且使用者換手到 femtocell 來使用服務；若否，表示不能在時間內傳遞完資料，就不喚醒 femtocell 並且不換手到 femtocell 來服務。雖然這個方法相較於 Ashraf 等人 [8][9] 提出的方法有所改善(減少整體系統的總耗電量及省去不必要換手)，但是在能量使

用效率和使用者所能達到的吞吐量兩方面能未作到最好。為了解決上述文獻所提出的解決方法的缺點，本文提出一個兼顧省電節能和使用者吞吐量的綠能換手程序。

三、問題定義

本文設計一能運用在第四代行動通訊具正交分頻多工的 macrocell-femtocell 異質網路之綠能換手方法欲解決的問題定義如下：(1) 使用者在無線通訊網路中移動，移動過程中會通過很多 femtocells；這些 femtocells 有的在閒置(idle)模式下(無人使用)，有的則在主動(active)模式下，當正在移動的使用者進入一 femtocell 的 femtocell 的涵蓋區域，閒置(idle)狀態的 femtocell 會判斷它是否應該從閒置(idle)模式轉換到主動(active)模式或仍然待在閒置(idle)模式以避免不必要的喚醒及換手的程序。(2) 如果閒置(idle)狀態 femtocell 一偵測到 UE 接近即決定喚醒，不做任何智能判斷，會導致 UE 無謂換手增加總耗電量。我們的綠能換手方法是考慮到(1) 行動裝置與基地台間的通道品質(2) 系統類別(3G 或 4G)，(3) 吞吐量和(4) 行動裝置的數目等參數，判斷是否開啓閒置(idle)的 femtocell，比較 femtocell 和 macrocell 的用電效率(energy efficiency)，femtocell 的用電效率若比 macrocell 佳，則閒置(idle)狀態 femtocell 即轉換到主動(active)狀態，若否，閒置(idle)狀態的 femtocell 即保持閒置(idle)而 UE 則繼續待在 macrocell 基地台，最終我們的綠能換手方法要讓能量使用效率最高避免不必要的浪費並達到高吞吐量。

參、綠能換手方法

本節介紹我們所提出的綠能換手演算法，假設同行的使用者所使用行動上網的裝置數量共為 N ，移動的過程中這些行動裝置一直都會被 macrocell 所覆蓋，並且通過許多 femtocell，當這些行動裝置經過某個 femtocell 時，必須選擇保持現有與 macrocell 的連線或換手到 femtocell，這個 femtocell 的狀態可以是主動(active)模式或閒置(idle)模式，femtocell 在閒置(idle)模式時耗電功率為 p_{idle}^{femto} ，在主動(active)模式時耗電功率則為 p_{active}^{femto} ，而 UE 透

過 macrocell 使用無線寬頻服務所花的耗電功率為 P_{macro}^{UE} ，透過 femtocell 則為 P_{femto}^{UE} ，另假設目前 UE 與 macrocell 的通道品質可得的資料傳送速率為 R_{macro} (單位為 bit/s)，使用 femtocell 則速率為 R_{femto} ， R_{macro} 可由下式求得：

$$R_{macro} = H \times 12 \times 7 \times F(MCS_k), \quad (3)$$

H 是平均每個 UE 每秒可得的 physical resource block (PRB)，每個 PRB 是由 12 subcarrier \times 7 symbols 所構成，令 MCS_k 為限在 UE 所可以使用的調變編碼機制， $F(MCS_k)$ 表示使用 MCS_k 可得的每個 symbol 資料傳輸量，UE 使用的 MCS_k 可由下式求得：

$$\delta(MCS_{k+1}) > SINR(i,j) \geq \delta(MCS_k), \quad (4)$$

$SINR(i,j)$ 表示 UE 與 macrocell 之間的 SINR， $SINR(i,j)$ 可由式(2)求得，當 $SINR(i,j)$ 大於等於 MCS_k 所需要的最低 SINR (用 $\delta(MCS_k)$ 來表示) 而且小於 MCS_{k+1} 所需的最低 SINR 時 (MCS_{k+1} 用來表示比 MCS_k 高一級的調變編碼機制，可得到更好的 symbol 使用效率)，那麼 MCS_k 就是 UE 與 macrocell 基地台此時可使用的調變編碼機制。一但 UE 換手到 femtocell，我們令 UE 可使用的資源仍然是 H，雖然這樣顯然不是最有效率的頻譜使用方式，但是這些不是本研究的重點，所以在此並不討論 4G 無線通訊網路的資源分配，回到 R_{femto} ， R_{femto} 可計算如下：

$$R_{femto} = H \times 12 \times 7 \times F(MCS_{64QAM_4}^E), \quad (5)$$

因為 UE 與 femtocell 間訊號狀況佳，故使用 $64QAM_{\frac{3}{4}}$ 。

當 UE 經過 femtocell，femtocell 會依能量使用效率來判斷是否由閒置(idle)切換到主動(active)模式(如果 femtocell 在閒置(idle)模式，並決定是否讓 UE 換手到 femtocell；UE 使用 macrocell 的能量使用效率可以用下式來評估：

$$E_{macro} = \frac{N \times R_{macro} - R_{macro}}{N \times P_{macro} - P_{macro}}, \quad (6)$$

而使用 femtocell 的能量使用效率則可以用下式來評估：

$$E_{femto} =$$

$$\begin{cases} \frac{N \times R_{femto}}{(P_{active}^{femto} - P_{idle}^{femto}) + N \times P_{femto}^{UE}}, & \text{when initially idle} \\ \frac{N \times R_{femto}}{N \times P_{femto}^{UE}} = \frac{R_{femto}}{P_{femto}^{UE}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$(P_{active}^{femto} - P_{idle}^{femto})$ 為 femtocell 由閒置(idle)模式轉為主動(active)模式後所要額外消耗的功率。若 $E_{femto} > E_{macro}$ ，表示 UE 換手到 femtocell 是能量效率上較好選擇，每消耗單位能量所能傳的資料量較多(bit/J)，反之若 $E_{femto} \leq E_{macro}$ 則表示換手到 femtocell 反而能量效率較差，並不合適，基於這樣的原則，我們設計的綠能換手演算法如下。

Step1. UE 進入 femtocell 的涵蓋範圍，若 femtocell 為閒置(idle)，進入 Step2.；若否，進入 Step3.。

Step2. 若 $E_{femto} > E_{macro}$ ，即 $\frac{N \times R_{femto}}{R_{macro}} > \frac{(P_{active}^{femto} - P_{idle}^{femto}) + N \times P_{femto}^{UE}}{P_{macro}^{UE}}$ ，

femtocell 切換進入主動(active)模式，等待 UE 發出換手請求，進入 Step4.；
 $E_{femto} < E_{macro}$ ，則 femtocell 保持閒置(idle)模式，並結束此演算法。

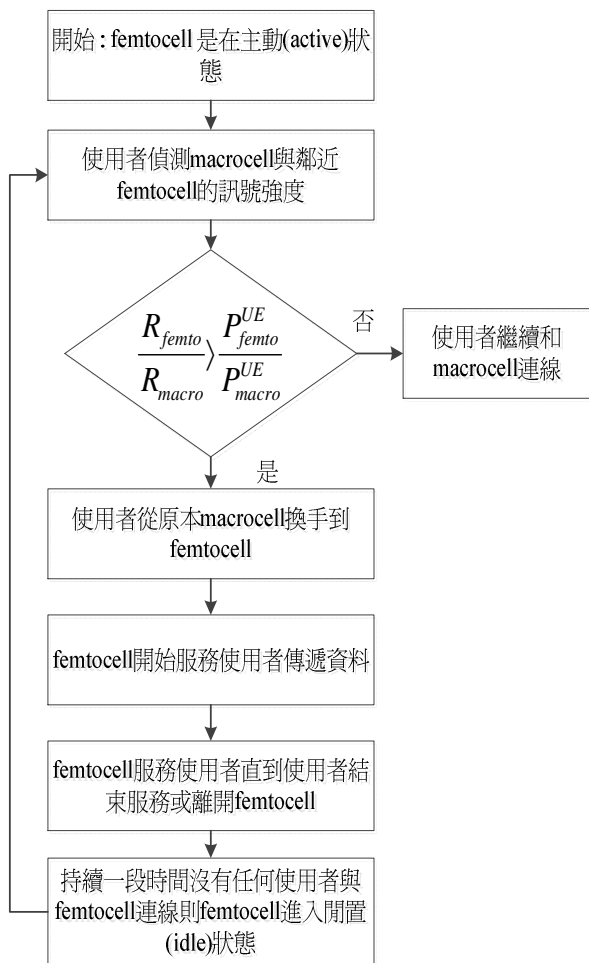
Step3. 若 $E_{femto} > E_{macro}$ ，即 $\frac{R_{femto}}{R_{macro}} > \frac{P_{femto}^{UE}}{P_{macro}^{UE}}$ ，femtocell 即等待 UE 發出換手請求，準備讓 UEs 執行換手程序連結 femtocell，進入 Step4.；若 $E_{femto} < E_{macro}$ ，則 femtocell 會拒絕讓 UEs 換手連結 femtocell，令 UEs 繼續與 macrocell 連線，並結束此演算法。

Step4. femtocell 收到 UEs 的換手請求後，即接收 UEs 的請求，讓 UEs 換手到 femtocell 來。

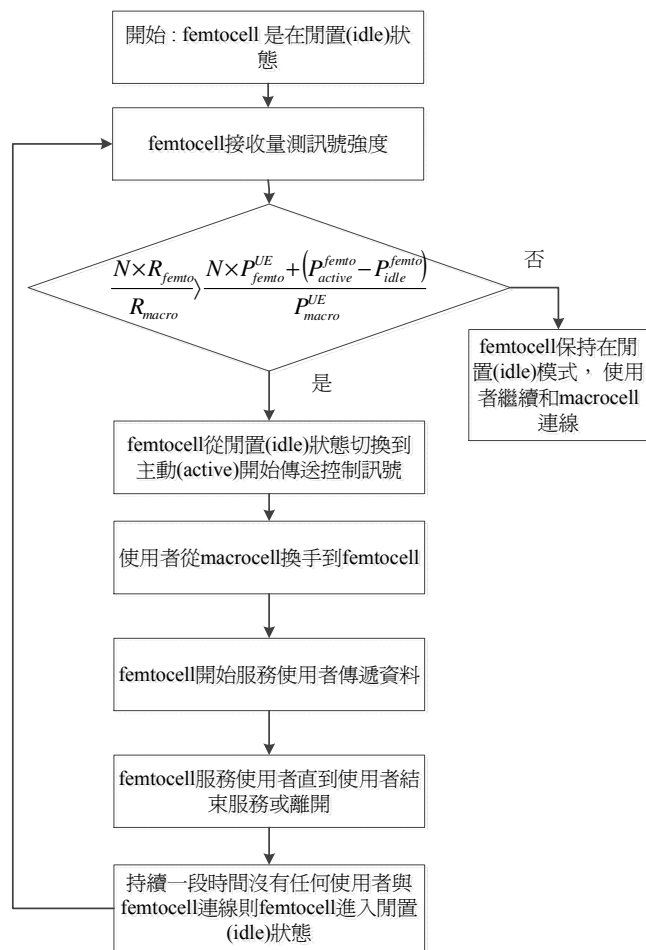
Step5. femtocell 服務 UEs 無線寬頻存取的需求。

Step6. femtocell 一但發現其下的 UEs 均離開了，便設定一 OFF timer，timeout 前都沒有 UE 連上即切換至閒置(idle)模式。

圖四與圖五分別即是主動(active)模式 femtocell 與閒置(idle)模式 femtocell 的綠能換手方法流程圖，此兩圖將主動(active)與閒置(idle)模式 femtocell 如何執行我們提出的演算法，分開描述。



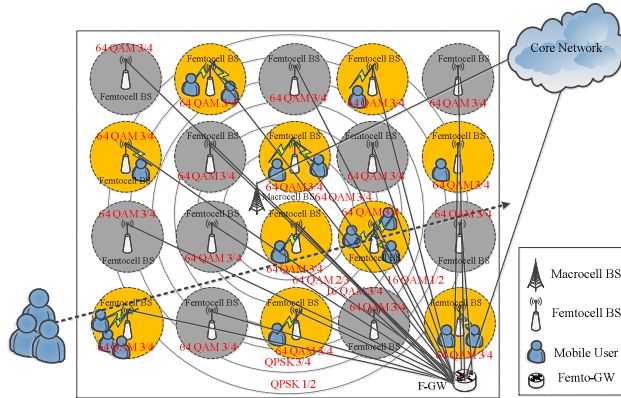
圖四 femtocell 主動(active)狀態的綠能換手方法流程图



圖五 femtocell 閒置(idle)狀態的綠能換手方法流程图



肆、模擬結果



圖六. macrocell-femtocell 異質網路模擬情況

表三. 模擬參數

系統模擬參數	
網路大小	$1300\sqrt{2}$ 公尺 \times $1300\sqrt{2}$ 公尺
Macrocell 可支援的 MCS	(6 個 MCS QPSK $\frac{1}{2}$ (1388 公尺)、QPSK $\frac{3}{4}$ (1120 公尺)、16QAM $\frac{1}{2}$ (967 公尺)、16QAM $\frac{3}{4}$ (743 公尺)、64QAM $\frac{2}{3}$ (615 公尺)、64QAM $\frac{3}{4}$ (537 公尺))
Femtocell 涵蓋範圍	55.78 公尺
一同移動的使用者數目	1~10 人
使用者(UE)移動速率	1m/s~10m/s
Femtocell 佈署的量	$n_f \times n_f$ ($n_f=1\sim15$)
熱雜訊	$-174dB_m/H_z$
路徑損失	
Macrocell-macroUE	$PL_{dB} = 15.3 + 37.6 \log_{10} R$
Femtocell-femtoUE 不同建築物	
	$PL_{dB} = \max(38.46 + 20 \log_{10} R,$

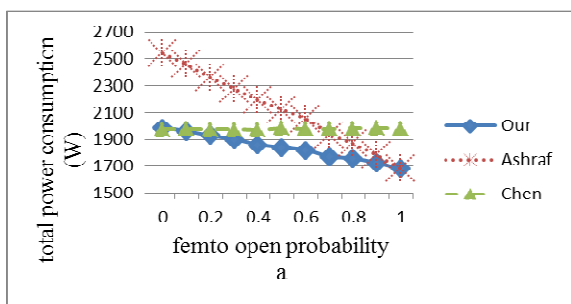
$15.3 + 37.6 \log_{10} R + 0.7 d_{2D, indoor}$	
R 是 m 公尺， $0.7 d_{2D, indoor}$ 在建築物潛在衰減損失量	
衰減損失	20dB
Macrocell 參數	
最大發射功率	$46dB_m$
最大天線增益	$14dB_i$
雜訊係數	5dB
Femtocell 參數	
最大發射功率	$20dB_m$
最大天線增益	$0dB_i$
雜訊係數	7dB
使用者(UE) 參數	
最大發射功率	$23dB_m$
最大天線增益	$0dB_i$
雜訊係數	9dB

為了評估我們的綠能換手方法，Ashraf 等[8][9]動態 idle 模式的方法，Chen 等[10]智慧決定綠能換手方法，所有這些方法是主要是使用 C 程式語言來實現。系統的參數是給定在表三.[5][6][7]。圖六.是 macrocell-femtocell 異質網路模擬情況，為了討論模擬結果影響，我們模擬的網路大小是 $1300\sqrt{2} m^2$ 及隨機均勻佈署 $n_f \times n_f$ 個 femtocells 在一個 macrocell 基地台覆蓋區域裡，依表二.所算出的使用者與基地台之間通訊的距離，femtocell 覆蓋範圍是 55.78 公尺及 macrocell 可支援 MCS 6 個 MCS(QPSK $\frac{1}{2}$ 、QPSK $\frac{3}{4}$ 、16QAM $\frac{1}{2}$ 、16QAM $\frac{3}{4}$ 、64QAM $\frac{2}{3}$ 、64QAM $\frac{3}{4}$) 分別是 1388 公尺、1120 公尺、967 公尺、743 公尺、615 公尺、537 公尺。主動(active)狀態 femtocell 假設耗電量是 10.2W 及閒置(idle)狀態的 femtocell 假設是 6W。3G 及 LTE 使用者的耗電量是根據表一。模擬情況是一個或 N 個使用者依據所計算出區域的起始點及離開點座標位置值，從左邊移動到右邊。在這情況下，使用者通過 $n_f \times n_f$ 個

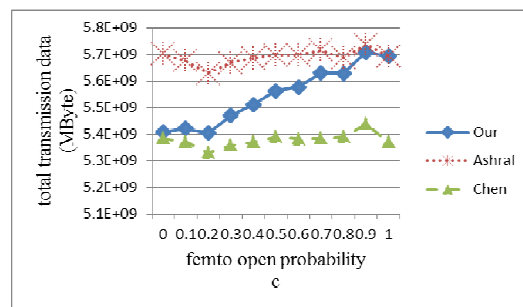
femtocells。當使用者通過閒置(idle)模式(灰色)femtocell 和主動(active)模式(黃色)femtocell 時，閒置(idle)模式 femtocell 作一個喚醒決定讓使用者來執行換手程序，或繼續待在閒置(idle)及不執行換手程序和主動(active)模式 femtocell 作一個決定執行換手程序，或繼續使用 macrocell，所有的 femtocell 都是透過 femtocell 閘道器(femto-GW)連接到核心網路(core network)，我們假設無線通訊網路端一直都有要傳送給使用者的資料。以下是效能指標的觀察：

- (1) 接取基地台的耗電量：使用者接取 macrocell 及所有 femtocell 的總耗電量。
- (2) 使用者接取基地台所傳送的資料量：使用者走完路徑，使用者接取 macrocell 及所有 femtocell 總共所傳送的總共資料量。
- (3) 能源效益：使用者移動路徑過程中，比較接取 macrocell 及 femtocell 用電效率，使用者路徑走完所接取的基地台省電評估。
- (4) 換手的頻率：使用者在移動過程所經過的 femtocell 及 macrocell，決定要從 macrocell 換手到 femtocell 來連線或繼續使用 macrocell，使用者平均換手基地台的頻率多寡。

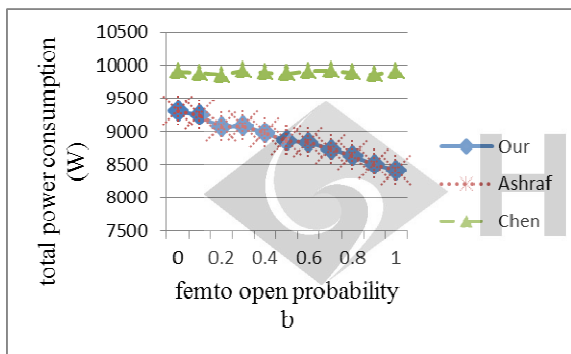
模擬參數是使用者 5 人、使用者移動速度 1m/s、佈署 femtocell 數量 10×10、3G 網路 femtocell 發射功率是 3.2mW、macrocell 發射功率 1W、4G 網路 femtocell 發射功率是 0.0001mW、macrocell 發射功率 0.2W。表示不同的 femtocell 打開機率值(範圍是 0~1)下，模擬耗電結果。在圖七(a).4G 由模擬結果表示我們的方法比 Ashraf 等[8][9]及 Chen 等[10]來得省電。因為我們的方法提供智慧綠能換手方法，連上 femtocell 的耗電效率比 macrocell 不佳，則繼續使用 macrocell。反之，femtocell 耗電效率比 macrocell 佳，則選擇連上 femtocell 來使用。Chen 等[10]是都接取 macrocell 所以耗電都是固定，Ashraf 等[8][9]是只要有使用者靠近 femtocell 就會作換手，所以耗電量也就會很高。圖七(b).3G 網路本文綠能換手方法及 Ashraf 等[8][9]的方法，比 Chen 等[10]更顯著省電。當使用者換手到主動(active)模式 femtocell 來連線，femtocell 耗電效率比使用 macrocell 佳我們就選擇連上主動(active)模式 femtocell。整體耗電量我們的方法比較偏向 Ashraf 等[8][9]，那 Chen 等[10]是一直接取 macrocell 傳資料，即使遇到 femtocell 也不會作換手，所以整體耗電量比較固定。



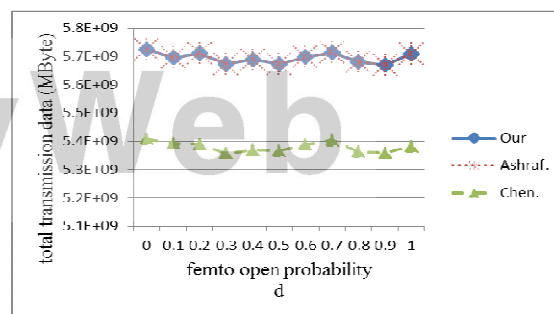
圖七(a).總和耗電量 V.S. femtocell 打開的機率 (4G)



圖七(c).總和傳輸資料 V.S. femtocell 打開的機率 (4G)



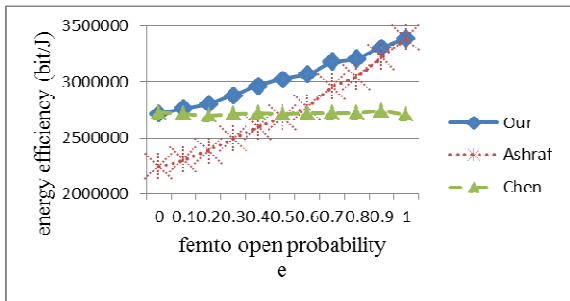
圖七(b).總和耗電量 V.S. femtocell 打開的機率(3G)



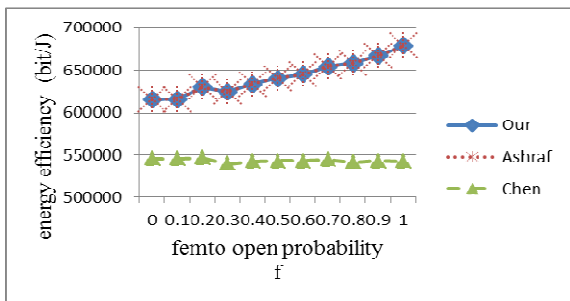
圖七(d).總和傳輸資料 V.S. femtocell 打開的機率 (3G)

圖七(a).和圖七(b).在 4G 和 3G 系統網路差別，

圖七(c).4G 網路系統, Ashraf 等[8][9]的方法所傳送的資料是最多只要使用者經過 femtocell, femtocell 便會讓使用者接受換手請求, 來連線 femtocell。Chen 等[10]的方法是只與 macrocell 連線所傳送的資料量很固定。我們的方法是如果使用者連線主動(active)模式 femtocell 用電效率較 macrocell 耗電效率不佳, 就繼續使用 macrocell。使用者連上閒置(idle)模式 femtocell 耗電效率比 macrocell 佳, 則連 femtocell, 傳送的資料也就相對增加。圖七(d).在 3G 網路, 我們的方法和 Ashraf 等[8][9]的方法傳的資料量比較多是因為 UE 有換手到 femtocell 來連線, 所有 UE 會有多額外的資料量。Chen 等[10]是 UE 只跟 macrocell 連線傳送的資料量和耗地量都是固定花費。



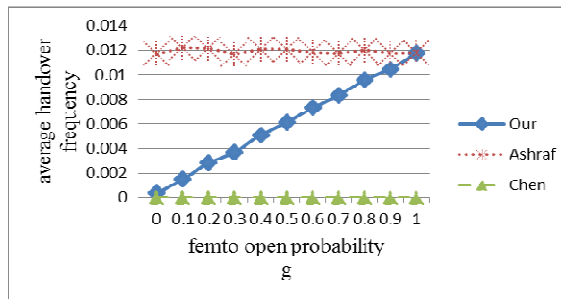
圖七(e).能源效益 V.S. femtocell 打開的機率(4G)



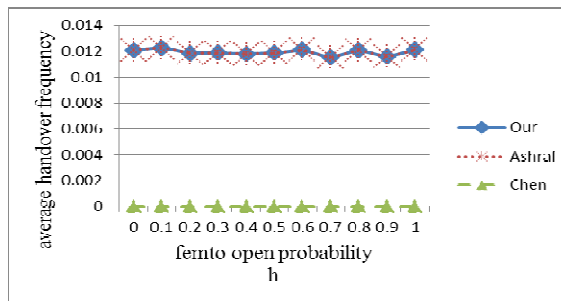
圖七(f).能源效益 V.S. femtocell 打開的機率(3G)

由圖七(e).模擬結果顯示, 我們經由綠能換手的方法節省耗電能量是比 Ashraf 等[8][9]及 Chen 等[10]佳。Chen 等[10]是都與 macrocell 連線所花費的耗電量是固定, 所以並不會提升省電效率。Ashraf 等[3]是只要使用者接近 femtocell, 就會從 macrocell 換手到 femtocell 來連線, 一但使用者離開 femtocell 涵蓋區域或是不連上 femtocell 時, 又切換到閒置(idle)模式, 造成 femtocell 主動(active)與閒置(idle)模式間不斷切換, 耗電能量比較多。圖七(f).顯示在 3G 網路系統我們方法與 Ashraf 等[8][9]方法幾乎一樣是

只要連上 femtocell 耗電效率比使用 macrocell 佳, 就選擇連線 femtocell。Chen 等[10]是都與 macrocell 連線所以比沒有連線到 femtocell 耗電效率來得低。

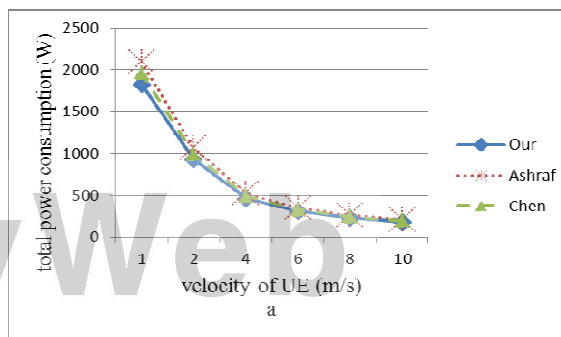


圖七(g).換手的頻率 V.S. femtocell 打開的機率(4G)

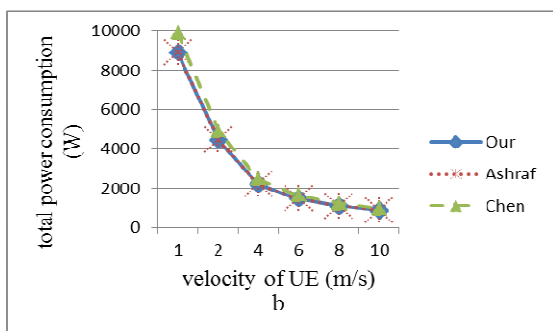


圖七(h).換手的頻率 V.S. femtocell 打開的機率(3G)

圖七(g).和圖七(h).分別是4G與3G網路系統的換手頻率, 圖七(g).4G網路, 我們的方法當使用 macrocell耗電效率沒有比使用femtocell佳, 就繼續和macrocell連線。反之, femtocell較佳就選擇連線到femtocell, 造成換手的情況隨之上升。圖七(h).在3G網路, 我們方法與Ashraf等[8][9]的方法一樣, 是只要使用者連線到femtocell較macrocell耗電效率高, 就選擇連線到femtocell, 也造成換手的情況會相對增加許多。

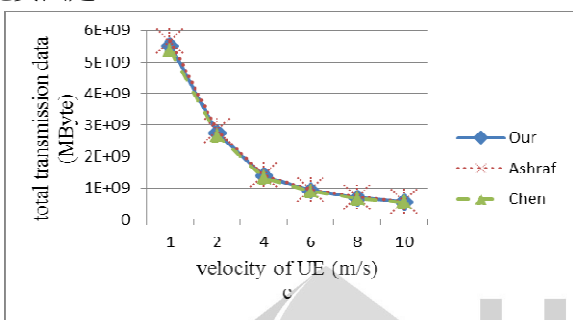


圖八(a).總和耗電量 V.S. UE 移動速率(4G)

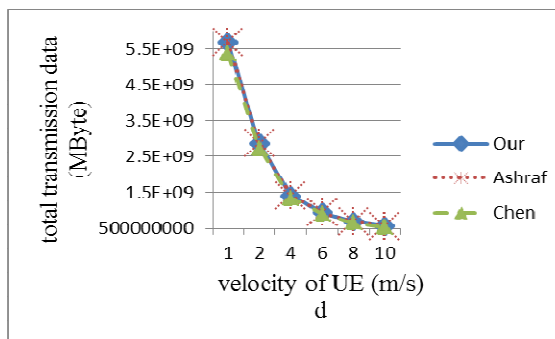


圖八(b).總和耗電量 V.S. UE 移動速率(3G)

圖八是模擬參數是使用者5人、佈署femtocell數量 10×10 、femtocell打開的機率是 ≤ 0.5 、3G網路femtocell發射功率是3.2mW、macrocell發射功率1W、4G網路femtocell發射功率是0.0001mW、macrocell發射功率0.2W。圖八(a).我們的方法有比Ashraf等[8][9]與Chen等[10]的方法稍佳，即使使用者移動速率增加(1~10 m/s)，我們的方法作一個綠能決定換手，使用femtocell用電效率沒有來得比macrocell佳就換手到femtocell來接取，反之，繼續使用macrocell。Ashraf等[8][9]的方法是使用者只要經過femtocell就會作換手動作，造成耗電能量就會增加。Chen等[10]的方法是都接取macrocell總和耗電能量花費固定。圖八(b). 我們的方法與Ashraf等[8][9]是連線到femtocell耗電效率較macrocell佳，選擇連上femtocell則耗電效率來得比macrocell佳。Chen等[10]是沒有連線到femtocell，所以耗電效率花費固定。

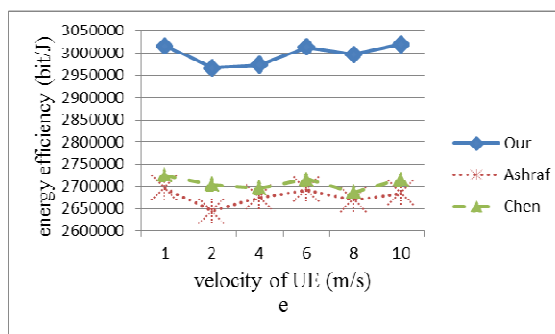


圖八(c).總和傳送的資料 V.S. UE 移動速率(4G)

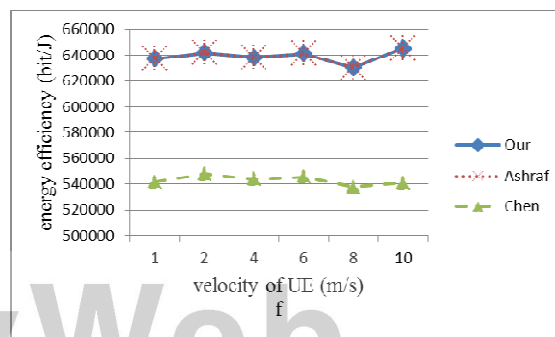


圖八(d).總和傳送的資料 V.S. UE 移動速率(3G)

圖八(c).和圖八(d). 在4G和3G系統網路，我們的方法和 Ashraf 等[8][9]的方法一樣，使用者有連線到 femtocell 來使用，即使 UE 移動速率(1~10m/s)也會連線到 femtocell，所以會有額外的資料量。Chen 等[10]的方法，都是和 macrocell 連線，使用者沒有連線到 femtocell，所以就沒有多的額外資料量。



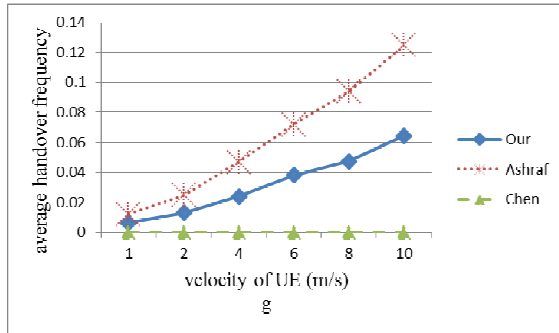
圖八(e).能源效益 V.S. UE 移動速率(4G)



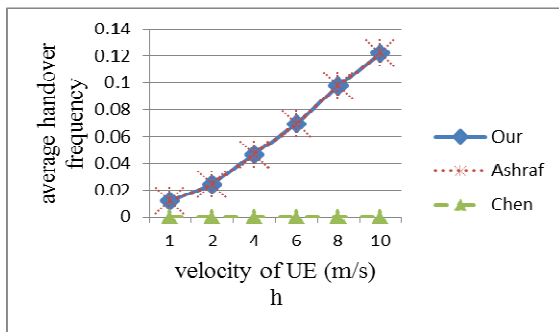
圖八(f).能源效益 V.S. UE 移動速率(3G)

圖八(e).在4G網路，我們的方法節省耗電效率較 Ashraf 等[8][9]與 Chen 等[10]的方法佳，Ashraf 等[8][9]方法是即使 UE 移動速率變快，經過 femtocell 也還是會連線到 femtocell，造成不必要的

換手及耗電能量。Chen 等[10]方法比 Ashraf 等[8][9]佳，是都保持與 macrocell 連線，沒有發生換手，也就沒有額外耗電量增加。圖八(f).我們方法與 Ashraf 等[8][9]方法是只要連線到 femtocell 耗電效率較使用 macrocell 佳就連線到 femtocell 使用。Chen 等[10]方法是都保持和 macrocell 連線，所以花費耗電效率固定。

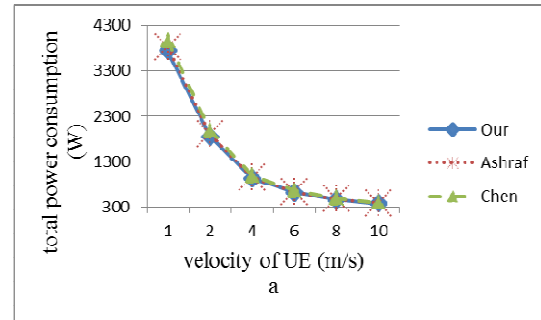


圖八(g).換手頻率 V.S. UE 移動速率(4G)

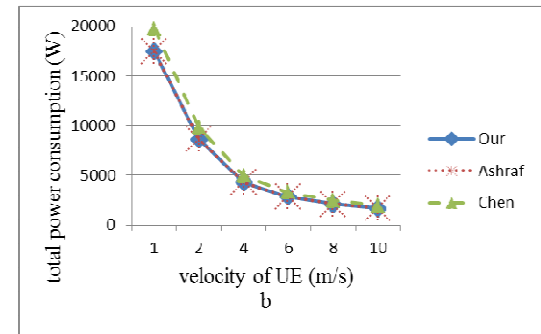


圖八(h).換手頻率 V.S. UE 移動速率(3G)

圖八(g).即使使用者移動速率增加，我們方法與換手情況也會隨之增加。Ashraf 等[8][9]方法是只要 UE 經過 femtocell 就會連線到 femtocell，UE 離開或不在連線，femtocell 就關閉造成不必要換手情況發生。Chen 等[10]的方法是都接取 macrocell。圖八(h).我們方法與 Ashraf 等[8][9]方法是連線到 femtocell 耗電效率較使用 macrocell 佳，就換手到 femtocell 來連線，所以 UE 速率增加，發生換手機會就隨之增加。

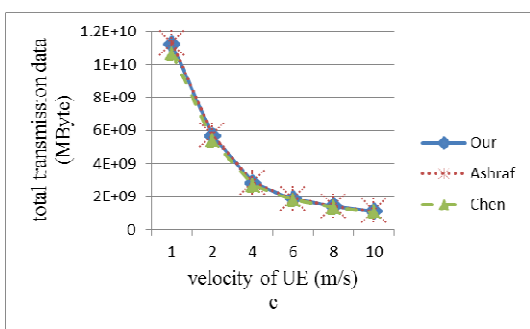


圖九(a).總和耗電量 V.S. UE 移動速率(4G)

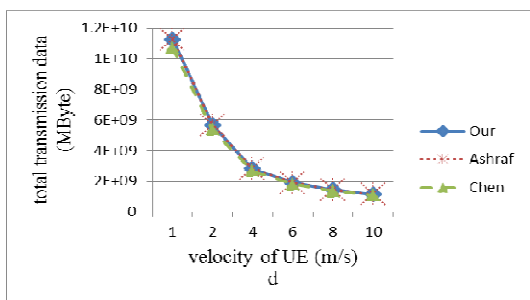


圖九(b).總和耗電量 V.S. UE 移動速率(3G)

圖九是模擬參數是使用者 10 人、佈署 femtocell 數量 10×10 、femtocell 打開的機率是 ≤ 0.5 、3G 網路 femtocell 發射功率是 3.2mW、macrocell 發射功率 1W、4G 網路 femtocell 發射功率是 0.0001mW、macrocell 發射功率 0.2W。當 UE 人數增加到 10 人圖九(a).我們的方法有比 Ashraf 等[8][9]與 Chen 等[10]的方法稍佳與 UE 人數 5 人時比較沒有明顯的變化，即使使用者移動速率增加(1~10 m/s)，我們的方法作一個綠能決定換手，使用 femtocell 用電效率沒有來得比 macrocell 佳就換手到 femtocell 來接取，反之，繼續使用 macrocell。Chen 等[10]的方法是連線 macrocell 耗電能量花費固定。圖九(b). 我們的方法與 Ashraf 等[8][9]是連線到 femtocell 耗電效率較 macrocell 佳，選擇連上 femtocell 則耗電能量來得比 macrocell 佳。Chen 等[10]是沒有連線到 femtocell，所以耗電效率花費固定。

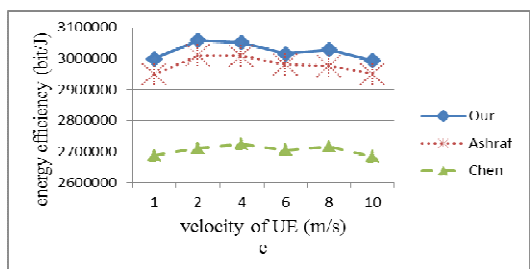


圖九(c).總和傳送的資料 V.S. UE 移動速率(4G)

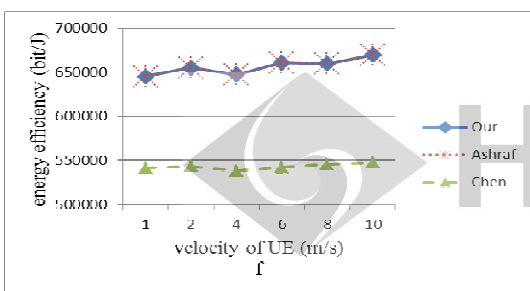


圖九(d).總和傳送的資料 V.S. UE 移動速率(3G)

圖九(c).和圖九(d).我們的方法和 Ashraf 等[8][9]的方法一樣，使用者連線到 femtocell，即使 UE 移動速率(1~10m/s)也會連線到 femtocell，所以會有額外的資料量。Chen 等[10]的方法，都是和 macrocell 連線，沒有連線到 femtocell，所以就沒有多的額外資料量。



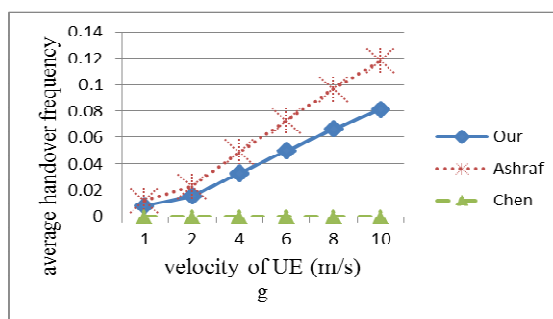
圖九(e).能源效益 V.S. UE 移動速率(4G)



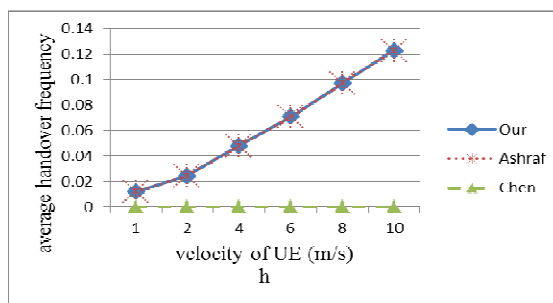
圖九(f).能源效益 V.S. UE 移動速率(3G)

圖九(e).在 4G 網路，我們的方法節省耗電效率較 Ashraf 等[8][9]與 Chen 等[10]的方法佳，Ashraf

等[8][9]方法是即使 UE 移動速率變快，經過 femtocell 也會連線到 femtocell，UE10 人與 5 人耗電效率相較 10 人經過要連線 femtocell 與使用 macrocell 耗電效率比較，10 人選擇連上使用 femtocell 較連上 macrocell 佳，所以 10 人選擇連上 femtocell 機會相較 macrocell 多。Chen 等[10]方法保持與 macrocell 連線，沒有發生換手，也就沒有額外耗電量增加。圖九(f).我們方法與 Ashraf 等[8][9]方法是只要連線到 femtocell 耗電效率較使用 macrocell 佳就連線到 femtocell 使用。Chen 等[10]方法是都保持和 macrocell 連線，所以花費耗電效率固定。



圖九(g).換手頻率 V.S. UE 移動速率(4G)



圖九(h).換手頻率 V.S. UE 移動速率(3G)

圖九(g).使用者移動速率增加，我們方法與換手情況也增加。Ashraf 等[8][9]方法是只要 UE 經過 femtocell 就會連線到 femtocell，UE 離開或不在連線，femtocell 就切換到閒置(idle)模式，造成不必要換手情況發生。Chen 等[10]的方法是都連線 macrocell。圖九(h).我們方法與 Ashraf 等[8][9]方法是連線到 femtocell 耗電效率較使用 macrocell 佳，就換手到 femtocell 來連線，隨著 UE 速率增加，發生換手機會就會增加。

伍、結論

本文設計一個在第四代行動通訊具正交分頻多工的 macrocell-femtocell 異質網路之綠能換手方法。當 femtocell 無人在使用時，它們切換到閒置(idle)模式節省耗電，如果 femtocell 偵測到使用者經過，綠能換手方法會決定是否喚醒閒置(idle)模式 femtocell 轉到主動(active)模式並接受 UE 從 macrocell 換手到 femtocell (主動(active)模式的 femtocell 亦會決定是否接受 UE 換手到 femtocell 來)一段時間不再接取 femtocell 時，femtocell 就回到閒置(idle)模式節省耗電。爲了提高 macrocell-femtocell 異質網路省電效率並且維持使用者的高吞吐量，綠能換手方法考慮移動群體的大小、設備種類、通道品質與吞吐量來比較 femtocell 和 macrocell 的用電效率，決定存取 macrocell 或 femtocell，而模擬結果也顯示我們的方法在耗電效率、總和耗電量和吞吐量均有很好的表現，無論是 3G/4G 系統，或任何 femtocell 開起機率的情況，未來，本研究會繼續針對換手頻率作優化，並且建立數學模型分析效能。

致謝

陳建志博士的研究由國科會所贊助，計畫編號 NSC 100-2218-E-024-001-MY3。

參考文獻

- [1] Chen, Tao, et al. "Network energy saving technologies for green wireless access networks." *Wireless Communications, IEEE* 18.5 (2011): 30-38. Doi: 10.1109/MWC.2011.6056690
- [2] Han, Congzheng, et al. "Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks." *Communications Magazine, IEEE* 49.6 (2011): 46-54. Doi: 10.1109/MCOM.2011.5783984
- [3] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, A. Gath-erer, "Femtocell Networks: A Survey," in *IEEE Communications Magazine*, Vol. 46, Issue9 pp. 59-67, 2008. Doi: 10.1109/MCOM.2008.4623708
- [4] Y. Shi, A. B. MacKenzie, L. A. DaSilva, "On Resource Reuse for Cellular Networks with Femto- and Macrocell Coexistence," in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010)*, Miami, American, pp. 1-6, Dec.2010. Doi: 10.1109/GLOCOM.2010.5683443
- [5] Sesia, Stefania, Issam Toufik, and Matthew Baker. "LTE-The UMTS Long Term Evolution." *From Theory to Practice*, published in 66 (2009).
- [6] 3GPP TR 36.814 V9.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," March 2010.
- [7] Zheng, Zhong, J. Hamalainen, and Ying Yang. "On Uplink Power Control Optimization and Distributed Resource Allocation in Femtocell Networks." *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2011 IEEE 73rd. IEEE, 2011. Doi: 10.1109/VETECS.2011.5956388
- [8] I. Ashraf, L.T.W. Ho, H. Claussen, "Improving Energy Efficiency of Femtocell Base Stations via User Activity Detection," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2010)*,

Sydney, Australia, pp.1-5, April. 2010. Doi: 10.1109/WCNC.2010.5506757

- [9] H. Claussen, I. Ashraf, Lester T.W. Ho "Dynamic idle mode procedures for femtocells", *Bell Labs Technical Journal* 15 (2) (2010) 95-116. Doi: 10.1002/bltj.20443
- [10] Y. S. Chen and C. Y. Wu, "A Green Handover Protocol in Two-Tier OFDMA Macrocell-Femtocell Network," *Mathematical and Computer Modeling*, (Elsevier),2012. Doi: 10.1016/j.mcm.2012.04.002

BIOGRAPHIES



Chung-Hua Hu received the B.S. degree in Electronic Engineering from the Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan, Taiwan in 2011. He is currently working towards the M.S. degree in Electrical Engineering, National University of Tainan, Tainan, Taiwan.



Jen-Jee Chen received the B.S. and M.S. degrees in computer science and information engineering from National Chiao Tung University, Hsin chu, Taiwan, in 2001 and 2003, respectively, and the Ph.D. degree in computer science from National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, in 2009. He was Visiting Scholar at the University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, USA, during the 2007-2008 academic year and Postdoctoral Research Fellow at the Department of Electrical Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan, during 2010-2011. Since 2011, he has joined the Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, Taiwan, where he is currently an Assistant Professor. His research interests include wireless communications and networks, mobile computing, cross-layer design, and Internet of Things. Dr. Chen is a member of the IEEE and the ACM Society.



Tzung-Shi Chen received the B.S. degree in Computer Science and Information Engineering from Tamkang University, Taiwan, in June 1989 and the Ph.D. degree in Computer Science and Information Engineering from National Central University, Taiwan, in June 1994. He was a visiting scholar at the Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, from June to September 2001. He was a Full Professor at the Department of Information and Learning Technology, National University of Tainan, Tainan, Taiwan, from August 2004 to January 2008. Since February 2008, he has become a Full Professor at the Department of Computer Science and Information Engineering, National University of Tainan, Tainan, Taiwan. He has served as Guest Editors of international journals. He has also served as PC members on many international conferences. His current research interests include mobile computing and wireless networks, ubiquitous computing, cloud computing, and data mining. Dr. Chen is a member of the IEEE Communications Society.