

Dynamic Cooperating Set Planning for Coordinated Multi-Point(CoMP)in LTE/LTE-Advanced Systems

Jen-Jee Chen and Po-Min Hsu*

Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, Taiwan

Abstract — Coordinated Multi-Point (CoMP) is considered as one of the most important technique in 3GPP LTE/LTE-Advanced. In CoMP, several base stations can be grouped together to form the cooperating set, where the cooperating set is used to improve the system throughput as well as the throughput of cell edge users. Most of the studies discuss static cooperating set, i.e., the size of the cooperating set is fixed, such as 3 or 7. However, when big activities occur with gathered crowds, such as gala parades and New Year's Eve, the amount of wireless communication demands in such areas is over the capacity of serving base stations. In this case, the static cooperating set can bring only limited help and fails to adapt to the actual conditions. Moreover, additional communication overhead among cells is introduced but futile. In this paper, we propose the dynamic cooperating set to solve above problem. The proposed method takes the actual traffic requirement and geographical area into consideration to form dynamic cooperating set to offload the wireless communication demand. Dynamic cooperating set can not only enhance the system and cell edge throughput but also utilize the radio resource in an efficient way. The latter avoids unlimited expansion of the cooperating set. Simulation results show that the throughput of our method is 1.19 and 1.27 times of the static CoMP scheme and no CoMP scheme, respectively.

Index Terms — CoMP, LTE,FFR, resource management ,OFDMA,DCS

*Corresponding author: m10026002@gm2.nutn.edu.tw

DOI : 10.6159/IJSE.2013.(3-2).08



運用在 LTE/LTE-Advanced 第四代通訊多點協作技術下的動態協作集合組成方法

陳建志

國立台南大學電機工程學系

許博閔*

國立台南大學電機工程學系

摘要

Coordinated Multi-Point(CoMP)是 3GPP 長期演進技術的主要技術之一，基地台與基地台可以組成協作集合，用來改善系統整體吞吐量以及基地台邊緣處使用者吞吐量，多數的研究都以靜態式的協作集合做討論，協作集合的大小為三個或者七個，然而面對大型活動聚集的人潮，所帶來的資料量暴增，往往使得負責該區服務的該基地台無法負荷，而靜態式的協作集合所帶來的幫助有限，且未依實際需求組成協作集合，將造成系統額外資源上的浪費，所以我們提出動態式協作集合，解決這個問題，提出的方法考慮實際的需求，動態組成協作集合來分擔過載區域的流量，不但可提升系統和基地台邊緣處吞吐量，還可以更有效利用無線資源避免協作集合無限制擴大，從我們的模擬結果可以看出，我們的方法所得到的吞吐量是靜態式 CoMP 的 1.19 倍，跟不做 CoMP 的基地台比起來則是 1.27 倍。

關鍵字：多點協作、長期演進技術、頻率復用、資源管理、正交頻分多址、動態細胞選擇

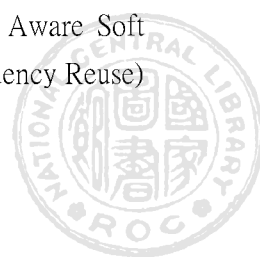
壹、前言

隨著智慧型裝置的出現，雲端運算、M2M communication、Smart meter、車載網路、smart home...等多元性應用需求因此產生，3G 網路已經不足以支撐所有裝置同時上網，對高速頻寬的需求加速 4G 網路的到來，以讓這些智慧型裝置可以使用寬頻無線上網，4G 在有限的頻寬中[1]，為了支撐許多的無線網路應用，提供最大的數據容量，並且滿足每個數據串流和使用者(包括位於細胞邊緣的用戶)的需要，許多與 4G 網路搭配各種新技術和研究正在迅速發展中，例如:CoMP

(Coordinated Multi-Point)[2][3]、relay networks、femtocells 等，用來增加系統吞吐量，提高使用者的服務滿意度，本篇文章著重於 4G 網路 LTE-A 中的 CoMP，CoMP 可用來提升系統整體和/或基地台邊緣處的吞吐量。

CoMP 是 LTE-Advanced 的主要技術之一，CoMP 又分為兩種: 1. 協調排程/協調波束形成(Coordinated scheduling and/or beamforming, CS/CB)[4]: 傳輸給使用者的資料儲存在服務基地台之內，但資源與波束形成的排程和安排是由整個 CoMP 協作集合(Cooperating Set)來決定; 2. 多聯合處理(Joint Processing): 傳輸給使用者的資料分布在協作集合內的每一個基地台內，由協作集合來做進一步的處理，而聯合處理又以傳輸的方式可進一步分成聯合傳輸(Joint Transmission)[5]和動態細胞選擇(Dynamic cell Selection)[6]，前者傳輸給使用者的資料是由數個基地台同時傳送給行動裝置，此方式可增進用戶端的接收訊號品質，後者傳輸給行動裝置的資料則是由協作集合中的某一個基地台來傳送，但是這個基地台不一定要是該用戶的服務基地台。在本篇文章我們研究的方向為動態細胞選擇，動態細胞選擇可動態地分派傳輸基地台(transmission cell)給用戶，藉此機制，協作集合可利用仍有閒置資源的基地台，來分擔過載基地台的資料傳輸，進而提升整體系統的吞吐量，利用這樣的特性，我們提出動態協作集合的概念，當某個細胞下因舉行大型活動，人潮湧進，該基地台不堪負荷，使得許多用戶均無法通訊，此時系統透過動態組織周圍基地台成協作集合的方式，可以滿足更多人通訊的需求，提升系統效率與吞吐量。

在[7]，LDA-SFR(Load Distribution Aware Soft Frequency Reuse)以傳統 SFR(Soft Frequency Reuse)



為架構，將每七個基地台組成一個 group，每個基地台的中心使用相同頻率，發射功率也比較小，而七個基地台的基地台邊緣處則使用不同的頻率，頻率重用係數為 1/7，發射功率較中心大，但 LDA-SFR 為了避免 ICI(Inter Channel Interference) 干擾，相同的 PRB 在群組中，只能給某一個基地台使用，頻譜使用效率低。[8]只考慮靜態式的協作集合，每個基地台有三個扇區，這些扇區選擇鄰近最適合的扇區以三個為一個協作集合。

相對於前述靜態式的協作集合，對大型活動聚集的人潮，所帶來的資料量暴增，往往使得負責該區服務的該基地台無法負荷，而靜態式的協作集合所帶來的幫助有限，且未依實際需求組成協作集合，將造成系統額外資源上的浪費，所以本篇文章提出動態協作集合的概念，當系統中出現過載的基地台，以該過載的基地台作為協作集合的中心，邀請鄰近仍有閒置資源的基地台(1-hop 鄰居)加入並形成協作集合，以減輕過載基地台的負載，滿足使用者的需求，當鄰近的基地台都加入協作集合仍無法解決過載的問題，則繼續擴大邀請週邊基地台(2-hop 鄰居)加入協作集合；考慮到協作集合的大小會影響資源分配與排程的複雜度，而且距離協作集合中心越遠的基地台對整體協作集合的效率和吞吐量的提升有限，故我們的方法會針對鄰近的基地台定一優先序，作為加入協作集合次序的參考，並且設立停止點，停止條件一但成立，即停止遴選基地台加入，如此可避免系統複雜度過度成長，即使再加入更多的基地台，對系統沒有幫助。

考慮到 ICI(inter cell interference) 的問題，頻譜的分配我們採用的是傳統的 FFR[9][10]，基地台中心均使用相同的頻率，發送功率較小，基地台邊緣處則使用不同頻率，頻率重用係數為 1/3，其他頻譜分配方式亦可與我們所提的方法結合，但並不在本文討論範圍之內。

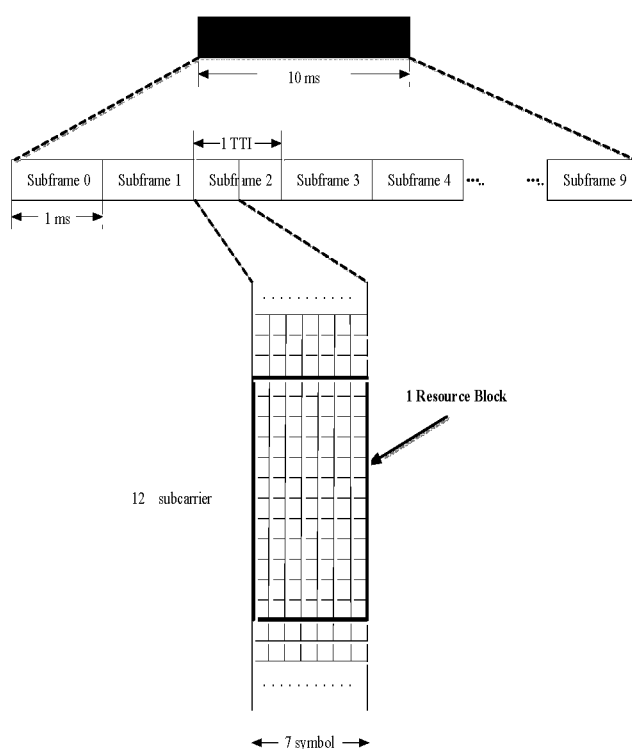
本篇文章大綱如下所示：在第二節描述我們的系統模型，第三節提出我們的動態協作集合組成演算法，第四節是模擬結果，證明我們提出的方法確實能提升系統吞吐量，最後，在第五節

是我們本文章的結論。

貳、系統模型

LTE-A(Long Term Evolution-Advanced)下行採用的是 OFDMA 技術(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)，OFDMA 是一種結合頻域和時域多路存取運用頻譜資源的技術，用戶可以選擇對他而言信道條件較好的子通道(subchannel)進行數據傳輸，提升頻譜使用效率，且 OFDMA 使用大量的正交窄帶子載波(subcarrier)來承載資料更能對抗多徑效應。

LTE-A 分頻多工訊框架構如圖一所示，頻



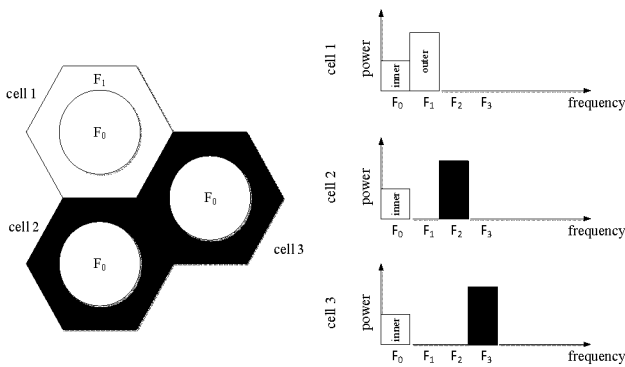
圖一 分頻多工訊框架構

譜資源在時域上被分為一個個訊框，每個訊框由 10 個子訊框(subframe)所組成，每個子訊框的長度為 0.1s，在 LTE-A 裡最小資源傳輸單位為一個 RB(Resource Block)，1 個子訊框在時域上由 2 個 RBs 所組成，一個 RB 在時域上包含 7 個符號，頻域上則包含 12 個子載波，共 84 個符號，LTE-A 最小的資源分配傳輸單位為一個 TTI(Transmission Time Interval)，一個 TTI 包含兩個 RBs，所以一個 TTI 有 168 個符號，可依據所使用的 MCS(modulation and coding scheme)決定每個符號的承載量，e.g.，若使用 16QAM 每個符號可承載 4 個



bits，則每個 64QAM 符號可承載 6bits，本文中我們所考慮的頻寬為 10MHz，所以每個子訊框在頻域上有 50RBs，故每 0.1s 可提供 50 個 TTI 的資源分配傳輸單位。

在 OFDMA 系統中，同一時間使用相同頻率，傳輸資料的使用者彼此會造成干擾，為減小干擾問題，本文採用 FFR model，有效減少干擾和 ICIs(inter channel interference) [11][12]，並且增加頻譜效率，FFR 模型如圖二所示，FFR 模型以三個基地台

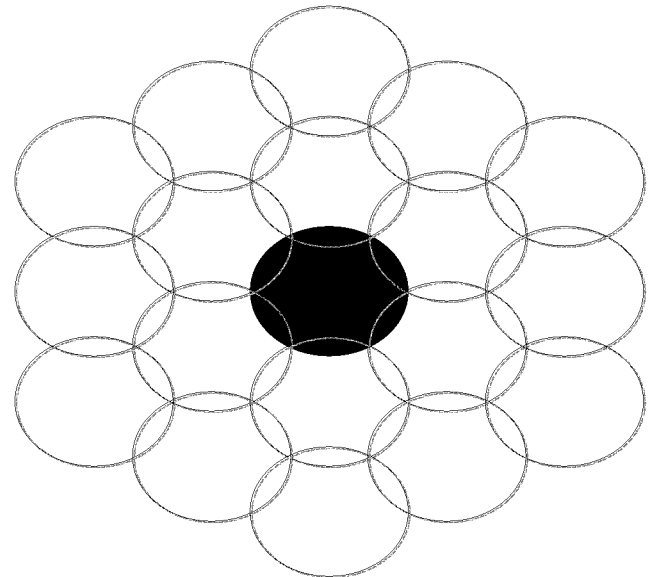


圖二 FFR 模型

為一個頻率重用單位，每個基地台分為基地台中心和基地台邊緣處兩個區域，並將頻帶分割為四個子頻帶(subbands)，F0、F1、F2 和 F3，所有基地台的中心區域均使用子頻帶 F0，三個基地台的基地台邊緣處區域則分別使用不同的頻率，F1、F2 和 F3，(請參考圖二)為了有效減少 ICI，中心使用的 F0 頻率被分配的發射功率比較小，基地台邊緣處的使用的 F1、F2 或 F3 頻率則被分配較大的發射功率，所以藉由 FFR 模型可減輕干擾問題。

觀察到基地台邊緣處區域同時被多個基地台所覆蓋，當某個基地台的頻寬不足時，透過動態細胞選擇可以選擇讓基地台邊緣處的使用者，由協作集合鄰近中其他基地台來服務，以達到卸載的目的，先期工作與研究往往使用固定的協作集合或者靜態式協作集合[4][5]，這樣的安排雖然簡化了網路運作的複雜度，卻使得整體的系統資源排程和利用失去彈性，無法依據實際狀況作動態調整，為了解決這個問題，我們提出動態協作集合的概念，搭配 DCS 機制，可以更有效利用無線資源，動態協作集合由有需要組織協作集合的基地台，根據實際狀況邀請鄰近基地台加入，根據

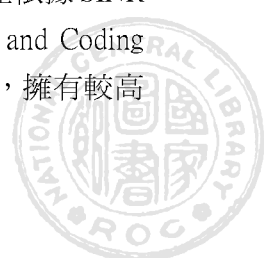
實際需求組成的協作集合，能夠有效的使用系統資源服務使用者，滿足更多用戶的服務質量，在這篇文章中，我們所需要解決的問題如下，每個基地台均使用單一全向性天線，基地台邊緣處所佔的面積為全部面積的 1/3，基地台佈建如圖三，初始情況下，每個基地台僅負責區域內的使用者，滿足 QoS，一旦某個基地台或某個區域的基地台過載，以這個基地台或這群基地台為中



圖三 基地台佈建(cluster head)

，會發出請求要求鄰近的基地台與其合組多個基地台的群集(協作集合)共同分擔協作集合區域內的數據需求，協作集合的大小不是固定，依據協作集合區域內的負載，以及過載的數據量會動態調整，當過載量越大或過載基地台越多，被邀請加入群集的基地台數會增加，以分擔數據需求，系統基地台數也會增加，這邊我們要的是如何找到適合加入群集的基地台來一同組成協作集合，組成的協作集合越多，資源能夠有效應用，但是群集越大，overhead 越大，而且我們也發現並不是加入更多基地台進群集就可解決中心基地台過載問題，系統會越來越複雜，而且當多個基地台過載，我們認為這種情況即使加入更多基地台進群集也沒有辦法解決問題，甚至沒辦法解決問題。

為了評估通道狀況，我們使用的是 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)，並依據 SINR 值選擇適合使用者的 MCS (Modulation and Coding Scheme)，表一為 MCS 與 SINR 對應表，擁有較高



SINR 的使用者能使用較高的 MCS，較低的 SINR 只能使用較低的 MCS。

假定傳送者的傳送功率為 P_i ，接收者為 j ，接收者所收到的接收功率 $\tilde{P}(i, j)$ 可以寫成：

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

G_i 和 G_j 分別為傳送者 i 與接收者 j 的天線增益， $L(i, j)$

表一 MCS 與 SINR 對應表

Modulation	Code rate	SINR(dB)
16QAM	1/2	7.9
	2/3	11.3
	3/4	12.2
	4/5	12.8
64QAM	2/3	15.3
	3/4	17.5
	4/5	18.6

為傳送者 i 到接收者 j 的路徑衰弱，而接收者 j 的 SINR 可以表達如下式：

$$SINR = 10 \log_{10} \left(\frac{(G_i \cdot G_j \cdot P_i) / L(i, j)}{B \cdot N_0 + I(i, j)} \right) \quad (2)$$

B 為有效頻寬， N_0 為 thermal noise level， $I(i, j)$ 為其他傳送者對接收者 j 的干擾，可表達如下：

$$I(i, j) = \sum_{l \neq i} \tilde{P}(l, j) \quad (3)$$

參、演算法

假設每個基地台一開始均為獨立運作，系統中沒有基地台數目大於或等於 2 的協作集合存在，考慮到某個區域(或基地台)可能因為特別的活動或事件而聚集大量的人潮，traffic demand 因此上升，造成許多人因此無法通訊的問題，為了解決這個問題，我們提出根據實際 traffic demand 分

佈情況，動態組織周圍基地台成為協作集合的方法，以有效分散過載的資料傳輸需求，提升頻譜資源利用率，方法分成兩個部分，第一部分我們考慮直接與過載基地台(Ch)相鄰的基地台即 Ch 的 1-hop 鄰居，i.e. $\Psi^1 Ch = \{N_{li}, i=1 \dots 6\}$ ， N_{li} 為 Ch 的 i th 直接相鄰的基地台， $\Psi^1 Ch$ 則是這些基地台所成的集合，將原本被 Ch 服務同時與鄰近基地台 $N_{li}, i=1 \dots 6$ 覆蓋範圍重疊的使用者，利用動態細胞選擇技術轉移給這些鄰近的基地台 $N_{li}, i=1 \dots 6$ 服務，分享 N_{li} 的資源，如果所有 $N_{li} \in \Psi^1 Ch$ 加入協作集合仍無法滿足，則進入第二部分，考慮此時與協作集合相鄰，但並非與 Ch 直接相鄰的基地台，繼續選擇適當的基地台加入協作集合，此時是透過資源 relay 的方式來增加 $N_{li}, i=1 \dots 6$ ，可分享給 Ch 區域使用者的資源，過載基地台能滿足更多人通訊的需求，提升系統效率與吞吐量。

A Including One-hop Neighbors(Ψ^1_{ch}):

第一部分選擇適當的直接相鄰基地台加入協作集合(在此之後我們以群集稱呼協作集合，並以符號 G 表示)，挑選基地台加入 G 考量以下 3 個參數 $\alpha_{m,n}$ 、 $\beta_{u,v}$ 和 $F(N_{li}, G)$ ， $\alpha_{m,n}$ 是指被基地台 m 所服務但是也同時被基地台 n 所覆蓋的使用者的 traffic demand 總額， $\beta_{u,v}$ 則是基地台 v 基地台邊緣處部分能提供給基地台 u 的空閒資源， $F(N_{li}, G)$ 是基地台 N_{li} 與群集 G 相鄰的基地台邊緣處數目，依據 $\alpha_{Ch,i}$ 、 $\beta_{Ch,i}$ 和 $F(N_{li}, G)$ 計算基地台 N_{li} 的權重值 W_i ， W_i 值大的基地台加入 cluster G ， W_i 定義如下：

$$W_i = X * \alpha_{Ch,i} + Y * \beta_{Ch,i} + (1-X-Y) * F(N_{li}, G) \quad (4)$$

$\alpha_{Ch,i}$ 值越高表示 Ch 下可轉移至基地台 N_{li} 使用無線資源的潛在用戶越多， $\beta_{Ch,i}$ 值越高則表示基地台 N_{li} 的基地台邊緣處空閒的資源越多， $F(N_{li}, G)$ 則衡量基地台 N_{li} 與群集 G 重疊區域大小，重疊區域越大，表示潛在可彈性應用的基地台邊緣處資源可能越多，仔細觀察 $\alpha_{Ch,i}$ 、 $\beta_{Ch,i}$ 與 π (π 為基地台 Ch 過載的 traffic demand 總額) 三者之間的關係，可以發現以下三點特性，I. 當 $\pi < \alpha_{Ch,i}$ 和 $\beta_{Ch,i}$ ，表示基地台 N_{li} 有足夠的資源 $\beta_{Ch,i}$ 可解決過載現象，且 Ch 也有足夠的人在與



N_{li} 重疊的區域 $\alpha_{Ch,i}$, Ch 將部分用戶轉移給基地台 N_{li} 即可解決過載現象。II. 當 $\beta_{Ch,i} < \alpha_{Ch,i}$ 和 π , 表示基地台 N_{li} 沒有足夠的資源可解決過載現象, 但 N_{li} 有機會自更外層的基地台 relay 資源以增加 $\beta_{Ch,i}$ 幫忙解決過載現象。III. $\alpha_{Ch,i} < \beta_{Ch,i}$ 和 π , 表示 Ch 沒有足夠的人在與 N_{li} 重疊的區域, 即便基地台 N_{li} 有足夠的空閒資源, 過載基地台 Ch 也沒那麼多人可以被轉移到鄰近基地台 N_{li} (即使再向外擴展也沒有用)。以下我們一步一步說明選擇直接相鄰基地台 Ψ_{1Ch} 加入 G 的方法。

步驟一：當某個基地台 Ch 發生過載現象, 我們的流程就開始執行。

步驟二： $G=\{Ch\}$, $A=\emptyset, S=\emptyset$, 計算 π 值, 優先考慮將 Ch 周圍直接相鄰的基地台 (即 1-hop 鄰居) 加入協作集合, Ch 周圍共有六個基地台, $N_{li}, i=1\cdots 6$, 將它們放入集合 S 中, i.e., $S=\{N_{li}, i=1\cdots 6\}$, 並且計算每個 N_{li} 的 $\alpha_{Ch,i}$, $\beta_{Ch,i}$ 和 W_i 。

步驟三：選擇集合 S 中具有最大的權重值 W_i 的基地台 N_{li} , 加入群集 G 中, $G=G+\{N_{li}\}$, 並且更新 $S=S-\{N_{li}\}$ 。

步驟四：若 π 、 $\alpha_{Ch,i}$ 和 $\beta_{Ch,i}$ 關係符合第 I 種情況, 則整個動態協作集合組成演算法結束, G 為最後的協作集合, 其他情況則前往 step 5。

步驟五：若 π 、 $\alpha_{Ch,i}$ 和 $\beta_{Ch,i}$ 關係符合第 II 種情況, 表示 N_{li} 所能提供的 RB 有限, 但仍有機會 relay 更外層基地台的資源增加 $\beta_{Ch,i}$ 解決過載現象, 此時更新 $A=A+\{N_{li}\}$; 若 π 、 $\alpha_{Ch,i}$ 和 $\beta_{Ch,i}$ 關係符合第三種情況, 表示此 N_{li} 即使向更外層基地台分程轉遞資源進來亦對過載問題無幫助, 故不做任何動作。

步驟六：更新集合 S 內基地台的 $\alpha_{Ch,i}$ 、 $\beta_{Ch,i}$ 和 W_i , 並更新 π 值。

步驟七：集合 S 是否為空集合, 若否則回到 Step 3, 其他情況則進入 Step 8。

步驟八：若 $\pi \neq 0$ 而且 $A \neq \emptyset$, 進入 relaying External Resources of Two-hop neighbors 步驟, 尋求第三層基地台加入 G 以解決過載問題; 否則動

態協作集合組成演算法結束, 輸出最終群集 G 。

B. relaying External Resources of Two-hop Neighbors (Ψ_{2Ch})

這個部份我們考慮加入 Ch 的 2-hop 鄰居, Ψ_{2Ch} , 到群集 G , 以分程轉遞 2-hop 鄰居的資源給基地台 $N_{li} \in A$ 來增加 $\beta_{Ch,i}$, 此數透過 N_{li} 轉移部分使用者讓 $N_{2j} \in \Psi_{2Ch}$ 基地台來服務, N_{li} 的基地台邊緣處空閒資源 $\beta_{Ch,i}$ 會增加, 進而提升 N_{li} 卸載 Ch 過載流量的能力, 我們稱此為: 資源分程轉遞, 注意 N_{2j} 可轉遞的資源受 $\alpha_{i,j}$ 所限制, 而 N_{li} 所能卸載的 traffic demand 量則受 $\alpha_{Ch,i}$ 的限制。以下說明加入與群集 G 相鄰基地台的步驟。

步驟一：針對集合 A , 優先選擇 $\alpha_{Ch,i}$ 值最大的 $N_{li} \in A$ 向外擴展, 考慮與它相鄰且為 Ch 2-hop 鄰居 s 的基地台, $N_{2j} \in \Psi_{2Ch} \cap \Psi_{1i}, j=1\cdots |\Psi_{2Ch} \cap \Psi_{1i}|$, $S=\{N_{2j} | N_{2j} \in \Psi_{2Ch} \cap \Psi_{1i}\}$, $A=A-N_{li}$, 同時計算 $\alpha_{i,j}$ 、 $\beta_{i,j}$ 和 W_j , W_j 定義如下：

$$W_j = X * \alpha_{i,j} + Y * \beta_{i,j} + (1-X-Y) * F(N_{2j}, G)。$$

步驟二：計算 π 值。 S 中具有最大的權重值 W_j 的 N_{2j} 加入群集 G 中, i.e., $G=G+\{N_{2j}\}$, 並且更新 $S=S-\{N_{2j}\}$ 。

步驟三：若 $\pi \leq \alpha_{i,j}$ 和 $\beta_{i,j}$ (否則前往 Step 4), 表示 N_{2j} 可分程轉遞給 N_{li} 充足的閒置資源解決過載問題, 此時若 $\pi \leq \alpha_{Ch,i}$, 設定 $\pi=0$, 則整個動態協作集合組成演算法結束, G 為最終的協作集合; 否則 $\pi > \alpha_{Ch,i}$, 更新 $\pi = \pi - \alpha_{Ch,i}$, $S=\emptyset$, 如果 $A \neq \emptyset$, 前往 Step 1, 如果 $A=\emptyset$, 則演算法結束, 輸出 G 。

步驟四： $\beta_{i,j} < \alpha_{i,j}$ 和 π (否則前往 Step 5), 表示 N_{2j} 僅能分程轉遞給 N_{li} 有限的資源, 此時若 $\beta_{i,j} \geq \alpha_{Ch,i}$, 更新 $\pi = \pi - \alpha_{Ch,i}$, $S=\emptyset$, 如果 $A \neq \emptyset$, 前往 Step 1, 如果 $A=\emptyset$, 則演算法結束, 輸出 G , 反之若 $\beta_{i,j} < \alpha_{Ch,i}$, 更新 $\pi = \pi - \beta_{i,j}$, 同時對於每一個 $N_{2j} \in S$, 更新 $\alpha_{i,j}$ 、 $\beta_{i,j}$ 和 W_j 、 $\alpha_{Ch,i}$ 和 $S=S-\{N_{2j}\}$, 如果 $S \neq \emptyset$, 前往 Step 2, 如果 $S=\emptyset$ 且 $A \neq \emptyset$, 前往 Step 1, 如果 $S=\emptyset$ 且 $A=\emptyset$, 則演算法結束, 輸出 G 。

步驟五：若 $\alpha_{i,j} < \beta_{i,j}$ 和 π , 此時若 $\alpha_{i,j}$



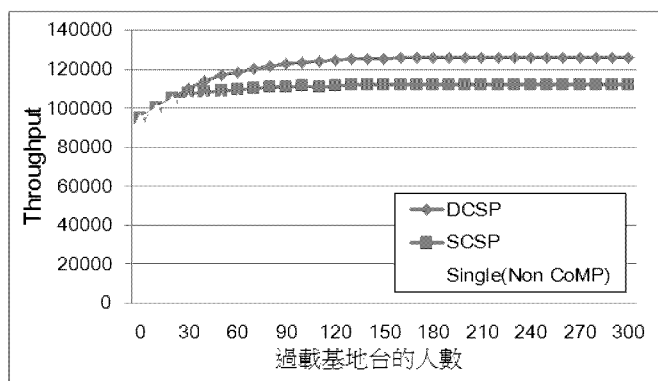
$\geq \alpha Ch,i$, 更新 $\pi = \pi - \alpha Ch,i$, $S=\emptyset$, 如果 $A \neq \emptyset$, 前往 Step 1, 如果 $A=\emptyset$, 則演算法結束, 輸出 G; 反之若 $\alpha i,j < \alpha Ch,i$, 更新 $\pi = \pi - \alpha i,j$, 更新 $\alpha i,j$, 更新 $\alpha Ch,i$, 同時對每一個 $N2j \in S$, 更新 $\alpha i,j'$, $\beta i,j'$, Wj' 和 $S=S-\{N2j\}$, 如果 $S \neq \emptyset$, 前往 Step 2, 如果 $S=\emptyset$ 且 $A \neq \emptyset$, 前往 Step 1, 如果 $S=\emptyset$ 且 $A=\emptyset$, 則演算法結束, 輸出 G。

肆、實驗結果

在這節中, 我們將評估在 LTE/LTE-A 架構中我們提出的方法吞吐量, 我們考慮 19 個基地台, 頻寬每個基地台 10MHz, 基地台覆蓋為 500 公尺, 基地台的 power 為 46dBm, 手機的功率為 23dBm, 天線高度 32 公尺, 人數總共 190 人, 每個人使用的資料量為 500bit/s, 在基地台邊緣處的地方, MCS 使用了 16QAM 和 64QAM, 所以每個人皆使用一個 TTI, 即使使用者轉移到鄰近的基地台, 使用較低的 MCS, 一個 TTI 也能夠承載每個使用者的資料量, 為了使 Ch 基地台過載, 額外 Ch 基地台產生 300 人, 所有人都是均勻亂數分布。模擬參數請參考表二。

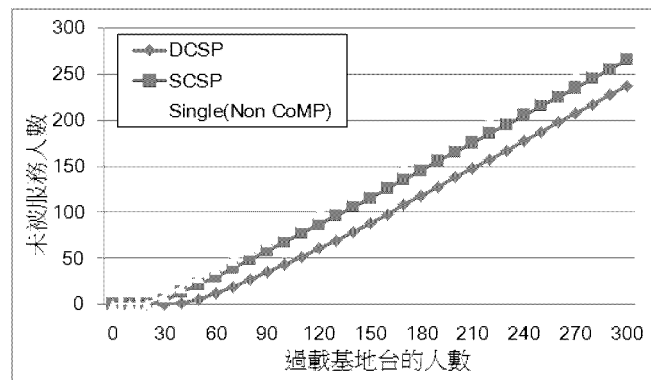
表二 模擬參數表

Parameters	Values
Carrier Frequency	2GHz
Bandwidth	10MHz
Cell radius	500m
UE distribution	Uniform random distribution
eNodeB/UE Tx power	46 dBm/23 dBm
eNodeB/UE Tx gain	14 dBi/0 dBi
Distance-dependent distance	$128.1+37.6\log_{10}(d)$, din km
Antenna height	32m
Thermal noise	-174 dBm/Hz
UE speed	3 km/h
System Person	190
Overload Person	300



圖四(a) 吞吐量 V.S. 基地台過載輕緩

圖四(a) 顯示我們所提出的方法, 逐漸增加某個基地台的負載, 我們從圖形可以看到增加某個基地台人數從 0 到 20, 我們的方法與其他方法得到的吞吐量相同, 原因是系統人數 190 人, 平均每個基地台裡有 10 個人, 而每個基地台最多可容納 30 個人, 所以此時基地台尚未過載, 當增加人數達到 30 人時, 基地台開始過載, 我們方法開始執行, 系統吞吐量開始增加, 當人數增加到 140 人時, 是我們的方法吞吐量最大的時候, 而後因受限於 $\beta u,v$, 而無法再提升吞吐量, 靜態式的群集, 當人數增加到 90 人時, 是吞吐量最大的時候, 而後也因受限於 $\beta u,v$, 無法再提升吞吐量, 然 single 是當基地台過載時, 就無法在服務其他人, 所以增加基地台人數到達 20 人時, 便無法再提升吞吐量。

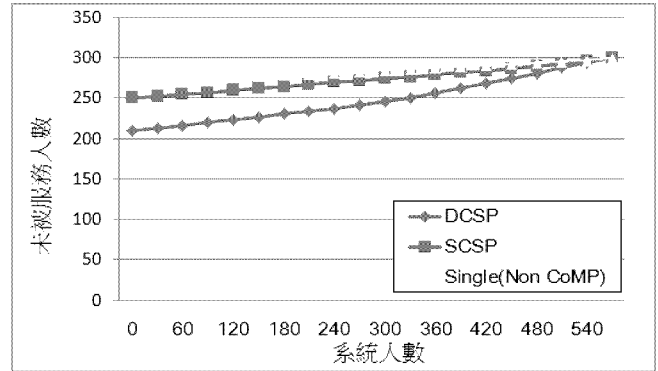


圖四(b) 未被服務人數 V.S. 基地台過載輕緩

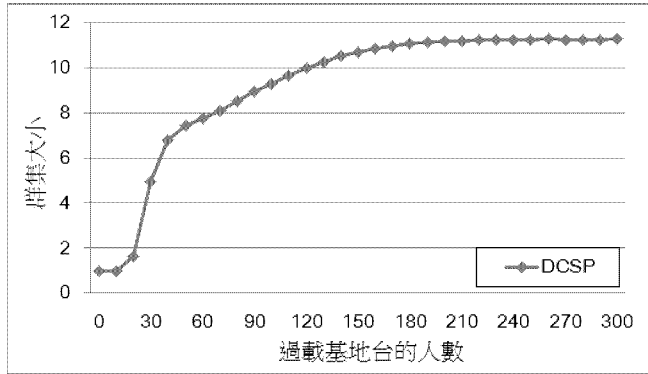
圖四(b) 顯示當增加某個基地台負載, 系統未被服務的人數, 從 0 到 20 系統尚未過載, 所以都每個人都可被服務, 我們的方法當人數增加到 50 個人時, 此時未被服務人數開始增加, 但這不是因為我們的方法沒辦法服務這麼多人, 而是增加基地台負載過程中, 由於我們是均勻亂數分布, 所以並不是每個人都會位於重疊區域, 所以當人數增加到 50 人時, 所有 $\alpha h,i$ 都被轉移給鄰近基地台, 此時所有的 $\alpha h,i$ 幾乎為 0, 然中心人數超過 30 人, 使基地台過載, 所以增加基地台的負載人數漸增, 位在重疊區域的人數也微微增加, 我們的方法依然可降低未被服務人數, 但位在中心的人, 我們就沒辦法協助, 我們的方法從增加人數 50 到 140 持續有人被轉移給鄰近基地台服務, 但在 140 之後, 系統吞吐量達到最大, 受限於



$\beta_{u,v}$ ，沒辦法在服務任何人，所以每增加 10 人，未被服務人數也增加 10 人，後半段呈線性增長，而 static 群集則是人數增加至 30 人，未被服務人數也開始增加，一直到 90 人，後半段也呈線性增長，30 到 90 中間，也持續有人被轉移，而未使用 CoMP 則在增加人數超過 20 人之後，就呈線性增長。



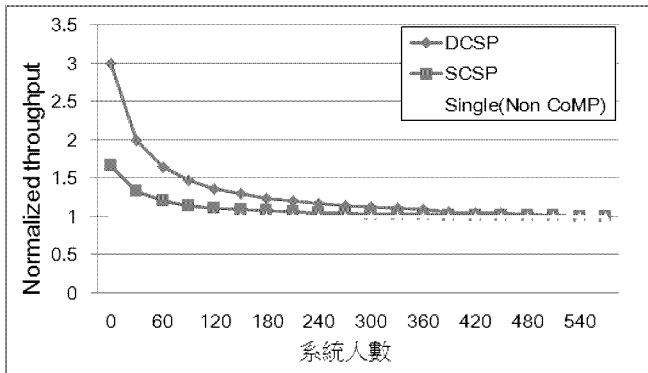
圖五(b) 未被服務人數 V.S. 系統負載



圖四(c) 群集大小 V.S. 基地台過載輕緩

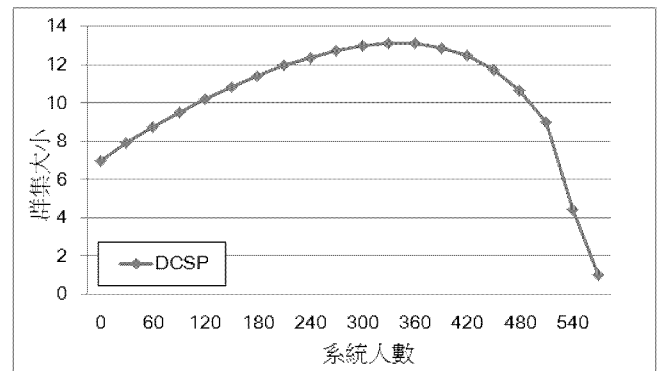
圖四(c)從圖中我們可以看出隨著基地台負載增加，使用的基地台數也跟著增加，因為隨著增加負載，鄰近基地台所能幫助越來越小，只能求助 2-hop 鄰居，最高使用了約 12 個基地台，沒有使用全部的基地台，我們觀察實驗結果，並非每個 $\alpha_{i,j}$ 都有人，受限於 $\alpha_{i,j}$ ，所以群集最大為 12。

圖五(b)當我們沒有去均勻亂數分布產生人的時候，只有為了讓某個基地台過載的 300 人，所以未使用 CoMP 的過載基地台本身可負責 30 人，所以未被服務人數為 270 人，而 static 除了過載基地負責 30 人以外，由於周圍兩個鄰近基地台 $\beta_{h,i}$ 均為 10，且 $\alpha_{h,i}$ 幾乎為 10，所以未被服務人數約為 250 人，而我們的方法，除了跟 static 周圍兩個基地台以外，還有其他四個，所以未被服務人數為約為 210 人，隨著基地台人數增加， $\beta_{u,v}$ 降低，未被服務的人數也漸漸增加，最後過載的 300 人，無論是哪種方法，均無法再負擔，未被服務人數等於過載的 300 人。



圖五(a) 吞吐量 V.S. 系統負載

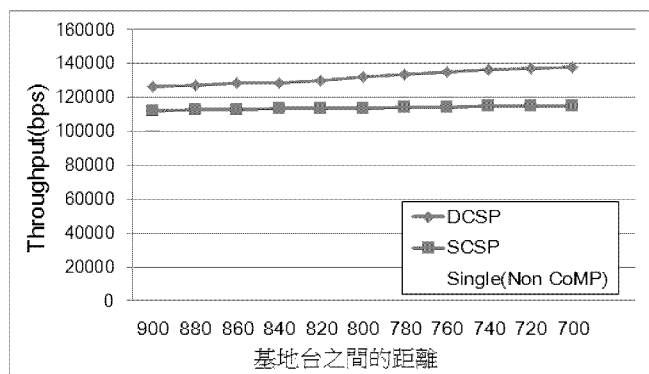
從圖五(a)圖形可以看出我們所提出的方法，隨著周圍基地台人數不斷增加，鄰近基地台 $\beta_{u,v}$ 提供的 TTI 越來越少，即使是這樣，當系統人數為 190 人時，我們提出的方法吞吐量是未使用 CoMP 的 1.27 倍，是靜態式的 1.119 倍，最終當每個基地台人數都為 30 人時，無法再提供任何 TTI，系統最多服務 570 人。



圖五(c) 群集大小 V.S. 系統負載

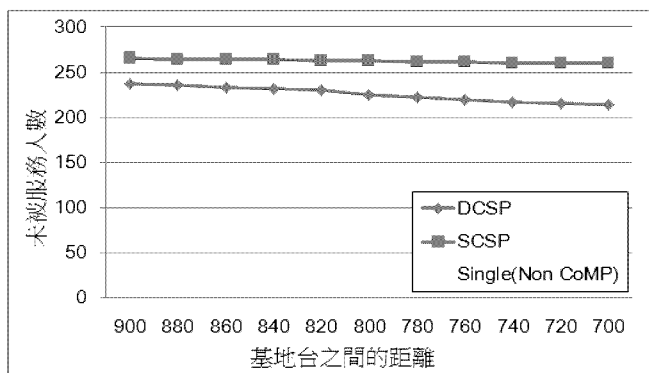
圖五(c)隨著周圍系統人數增加， $\alpha_{i,j}$ 也漸漸增加，使得可加入的基地台也越來越多，但受到 $\alpha_{h,i}$ 的關係，使部分基地台無法向外擴展，且也有些 2-hop 鄰居也無法提供 TTI ($\beta_{i,j}=0$)，或者本身已經服務 30 個人，無法為群集帶來幫助，並沒有將他加入群集，所以群集最大約為 13。





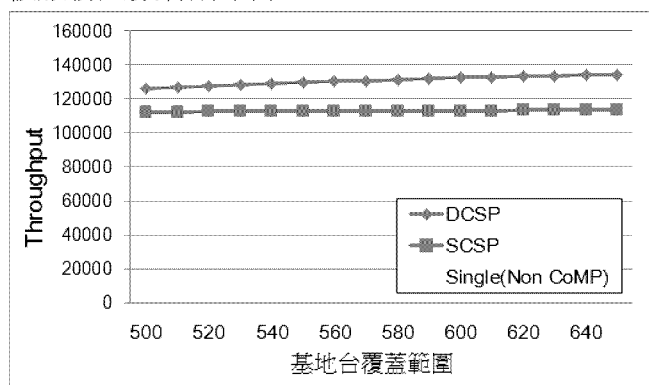
圖六(a) 吞吐量 V.S. 基地台之間距離

圖六(a)基地台與基地台距離從 866 公尺拉近至 693 公尺，我們方法吞吐量有些微提升，原因是當基地台與基地台越來越靠近時，重疊區域面積上升，使得 $\alpha_{i,j}$ 上升，所以我們的方法吞吐量能夠提高。



圖六(b) 未被服務人數 V.S. 基地台之間距離

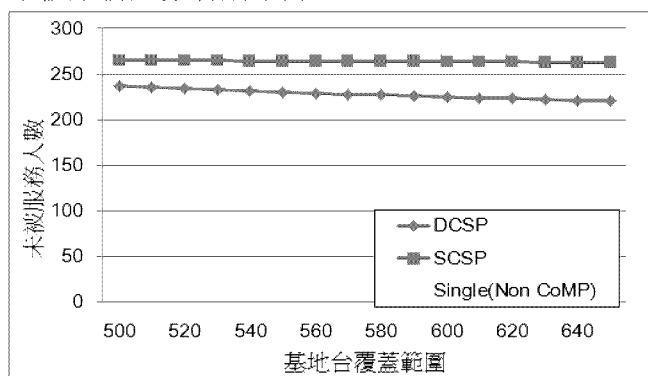
圖六(b)從圖形可以看到隨著基地台與基地台越來越靠近， $\alpha_{i,j}$ 上升，所能服務人數上升，未被服務人數有所下降。



圖七(a) 吞吐量 V.S. 覆蓋範圍

圖七(a)當我們增加基地台覆蓋範圍從 500 公尺到 650 公尺，基地台覆蓋範圍變大時，重疊區域面積上升，使得 $\alpha_{i,j}$ 上升，使我們的方法吞吐量提高。圖七(b) 從圖形可以看到隨著基地台覆

蓋範圍越來越大， $\alpha_{i,j}$ 上升，所能服務人數上升，未被服務人數有所下降。



圖七(b) 未被服務人數 V.S. 覆蓋範圍

伍、結論

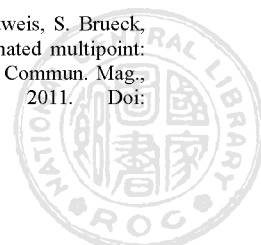
在這篇文章中，我們研究在 LTE/LTE-A 下行 CoMP 的動態協作集合，提出這個方法目的是在改善系統中過載基地台的過載狀況，而藉由動態式尋找適合的基地台加入協作集合中，可有效提升系統吞吐量和資源使用效率，根據模擬的結果，當鄰近基地台負載都不重的時候，我們能夠有效地提升系統吞吐量，但若過載太嚴重，我們的方法能夠提升的吞吐量仍然有限，然而比起靜態式的協作集合和完全不做 CoMP 的方法，動態式的協作集合明顯表現得比前述兩種方法好，且我們可以從縮短基地台間距離和增加基地台覆蓋範圍的模擬實驗看出，隨著過載基地台與它 1-hop 鄰居共同覆蓋區域上升，且位在 1-hop 和 2-hop 的重疊區域的人變多，所能提升的系統吞吐量能更多，無線資源利用效率更好。

致謝

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

參考文獻

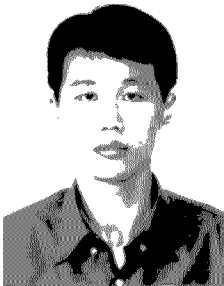
- [1] D. Astely et al., "LTE: The Evolution of Mobile Broadband," IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 4, Apr. 2009, pp. 44–51. Doi: 10.1109/MCOM.2009.4907406
- [2] M. Sawahashi, Y. Kishiyama, A. Morimoto, D. Nishikawa, and M. Tanno, "Coordinated multipoint transmission/reception techniques for LTE-advanced," IEEE Wireless Communications, Vol. 17, Issue 3, pp 26–34, 2010. Doi: 10.1109/MWC.2010.5490976
- [3] R. Irmer, H. Droste, P. Marsch, M. Grieger, G. Fettweis, S. Brueck, H.-P. Mayer, L. Thiele, and V. Jungnickel, "Coordinated multipoint: Concepts, performance, and field trial results," IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 2, pp. 102–111, Feb. 2011. Doi:



- 10.1109/MCOM.2011.5706317
- [4] L. Qiang, Y. Yang, F. Shu, and W. Gang, "Coordinated beamforming in downlink CoMP transmission system," in Proc. of ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), Aug. 2010. Doi: 10.4108/chinacom.2010.151
- [5] S. Brueck, L. Zhao, J. Giese, and M. Amin, "Centralized scheduling for joint transmission coordinated multi-point in LTE-Advanced," in Proc. of ITG Workshop on Smart Antennas (WSA) 2010, Feb. 2010, pp. 177–184. Doi: 10.1109/WSA.2010.5456455
- [6] M. Feng, X. She, L. Chen, and Y. Kishiyama, "Enhanced Dynamic Cell Selection with Muting Scheme for DL CoMP in LTE-A," in Proc. of VTC 2010-Spring, May 2010. Doi: 10.1109/VETECS.2010.5493809
- [7] Y. Yu, E. Dutkiewicz, X. Huang, and M. Mueck, "Load distribution aware soft frequency reuse for inter-cell interference mitigation and throughput maximization in LTE networks," in Proc. of IEEE International Conference on Communications, 2011, pp. 1–6. Doi: 10.1109/icc.2011.5962679
- [8] P. Marsch and G. Fettweis, "Static clustering for cooperative multi-point CoMP in mobile communications," in Proc. of IEEE International Conference of Communications (ICC), Jun. 2011, pp. 1–6. Doi: 10.1109/icc.2011.5963458
- [9] 3GPP R1-050507, Soft frequency reuse scheme for UTRAN LTE, May 2005.
- [10] W. Fu, Z. Tao, J. Zhang, and D. Agrawal, "Differentiable spectrum partition for fractional frequency reuse in multi-cell OFDMA networks," in Proc. WCNC 2010, 2010. Doi: 10.1109/WCNC.2010.5506508
- [11] J. Li, H. Zhang, X. Xu, X. Tao, T. Svensson, C. Botella, and B. Liu, "A novel frequency reuse scheme for coordinated multi-point transmission," in Proc. IEEE of VTC'10, 2010.
- [12] M. Qian, W. Hardjawana, Y. Li, V. Branka, J. Shi, and X. Yang, "Inter-cell Interference Coordination Through Adaptive Soft Frequency Reuse in LTE Networks," in Proc. of IEEE Communications and Networking Conference (WCNC'12), Paris, France, pp.1618-1623. Apr. 2012. Doi: 10.1109/WCNC.2012.6214041

IEEE and the ACM Society.

BIOGRAPHIES



Po-Min Hsu received the B.S. degree in Electrical Engineering from the Tamkang University, Taipei, Taiwan in 2011. He is currently working towards the M.S. degree in Electrical Engineering, National University of Tainan, Tainan, Taiwan. His research interests include CoMP and resource management.



Jen-Jee Chen received the B.S. and M.S. degrees in computer science and information engineering from National Chiao Tung University, Hsinchu, 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

