

適用於毫微微蜂巢式網路之最佳下鏈功率控制

林澤聰*、吳介騫、鄧靜容
國立高雄第一科技大學電腦與通訊工程系

摘要 — 毫微微基地台是安裝在室內的小型基地台，其主要設置的目的為增強室內信號的涵蓋範圍。但隨著毫微微基地台的佈設，基地台間可能會產生同頻干擾，導致服務品質降低。本論文著重於調整毫微微基地台的功率來降低干擾；針對毫微微基地台的下鏈功率控制，本論文將提出一個最佳化命題，此命題的主旨是在使用者都不會斷話的前提下，令毫微微基地台網路的下鏈通道容量最大化。本論文將評估此最佳化命題，在都會區環境下的效能，並與固定式功率設定的結果做比較。

一、簡介

毫微微基地台(Femtocell base station, FBS) [1]是架設在室內的一種低功率無線存取基地台，主要用來改善系統的涵蓋範圍、增加使用者的傳輸速率、降低傳統大細胞基地台(Macrocell base station, MBS)的負載及增加系統容量。如圖 1，傳統大細胞基地台的使用者裝置(Macrocell User Equipment, MUE)與傳統大細胞基地台連接後，主要是透過傳統大細胞基地台與核心網路(core network)之間的專線，連接到電信業者的核心網路；而毫微微基地台所服務的使用者裝置(Femtocell User Equipment, FUE)連接到毫微微基地台後，毫微微基地台再透過家用網路，如：ADSL、Cable...等，連接到網際網路，再由網際網路連接到電信業者的核心網路。

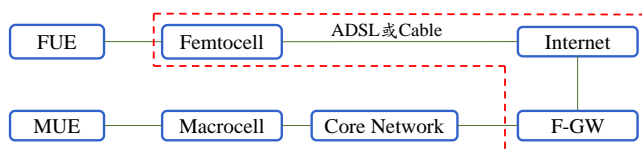


圖 1：Femtocell 架構

但隨著毫微微基地台隨著毫微微基地台的佈設，傳統大細胞基地台與毫微微基地台間、毫微微基地台與毫微微基地台間可能會產生同頻干擾，導致服務品質的降低[2-4]。

在本論文中，我們針對毫微微基地台的下鏈功率控制提出一個最佳化命題，此最佳化命題的主旨為在保證毫微微基地台使用者與傳統大細胞基地台使用者都不會斷話的前提下，令毫微微基地台網路的下鏈通道容量最大化。

本論文組織如下：第二節為本文章所採用的系統模組，第三節主要描述提出的最佳化命題，第四節為模擬分析，並且與固定式功率設定(Fixed Power Setting)的結果作比較，第五節為結論。

二、系統模組

本論文考慮是正交分頻多重存取系統的下鏈環境，如圖 2 所示，整體頻寬 B 被均分為 N 個資源區塊(resource block, RB)，在每一個 OFDM 符元(symbol)中每一個資源區塊由 m 個連續的子載波(subcarrier, SC)所組成，基地台以資源區塊為單位將資源分配給使用者。

RB : resource block SC : subcarrier

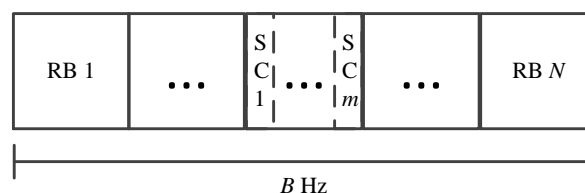


圖 2：OFDMA 頻寬分割示意圖

2.1 系統假設

以下我們針對此 OFDMA 毫微微蜂巢式網路提出以下假設：

- 假設基地台對於使用者的下鏈通道分配為隨機，但須遵守下列規則：
 - 任意一個使用者在同一時間所示使用的下鏈通道只有一個。
 - 任意一個基地台分配下鏈通道給使用者時，一個下鏈通道在同一時間只會被一個使用者所使用。
- 毫微微基地台的接取模式為 CSG-Close。
- 假設毫微微基地台和傳統大細胞基地台所使用的頻段是相同的，即頻率重複使用因子為 1。

2.2 環境架構

環境考慮的是 Femto-Macro 的階層式網路環境，包含有一主要的傳統大細胞基地台，傳統大細胞基地台被分為三個扇形(sectors)。MUE 則分佈在傳統大細胞基地台的涵蓋範圍中。參照文獻[5]所提出的雙區模型(dual stripe model)環境，此雙區模型為都會區毫微微基地台環境佈置，在每一個 sector 涵蓋範圍中隨機放置一個 Femto-block，如圖 3 所示，每個 Femto-block 的大小為 $120\text{m} \times 70\text{m}$ ，且包含 2 棟建築物，每一個建築物由 2×10 個房間所組成，每一個房間的長與寬均為 10 公尺。毫微微基地台則隨機布置在房間中，並且每一個毫微微基地台都有其服務的使用者。

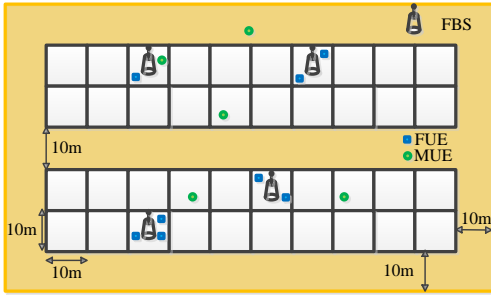


圖 3：Femto-block 示意圖

路徑衰減的計算所採用的是基於慢速衰減的 IMT-A 的路徑衰減模組[5]，此路徑衰減模組主要可分為六種狀況：傳統大細胞基地台到室外的使用者、傳統大細胞基地台到室內的使用者、毫微微基地台到室外且在 Femto-block 內的使用者、毫微微基地台到室外且在 Femto-block 外的使用者、毫微微基地台到相同建築物內的使用者、毫微微基地台到不同建築物內的使用者，以上所述說的六種案例，路徑衰減、牆壁的穿透衰減均被詳細考慮。

三、毫微微基地台下鏈功率控制之最佳化命題

我們以文獻[6]的最佳化命題為基礎，推廣其應用於：適用於毫微微基地台能服務多用戶的情況(文獻[6]只考慮：毫微微基地台服務單一用戶)。首先定義此 Femto-Macro OFDMA 階層式網路環境的相關集合：

- FBS 的集合： $F = \{FBS 1, \dots, FBS i, \dots, FBS F\}$
- 下鏈通道集合： $C = \{1, \dots, c, \dots, C\}$
- FUE 的集合： $U^F = \{FUE 1, \dots, FUE n, \dots, FUE U^F\}$
- MUE 的集合： $U^M = \{MUE 1, \dots, MUE k, \dots, MUE U^M\}$

在 FBS 與 MBS 對於其所服務的使用者的下鏈通道分配結果，可知使用者的對於下鏈通道的使用狀態，定義如下之(1)、(2)：

$$\theta_{i,n,c}^F = \begin{cases} 1 & \text{FBS } i \text{ 的下鏈通道 } c \text{ 是由 FUE } n \text{ 使用} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta_{k,c}^M = \begin{cases} 1 & \text{MBS 的下鏈通道 } c \text{ 是由 MUE } k \text{ 使用} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

再由上述定義(1)、(2)可知 FBS 與 MBS 對於通道的使用狀況，定義如下之(3)、(4)：

$$\theta_{i,c}^F = \sum_{n \in U^F} \theta_{i,n,c}^F = \begin{cases} 0 & \text{FBS } i \text{ 未使用下鏈通道 } c \\ 1 & \text{FBS } i \text{ 使用下鏈通道 } c \end{cases} \quad (3)$$

$$\theta_c^M = \sum_{k \in U^M} \theta_{k,c}^M = \begin{cases} 0 & \text{MBS 未使用下鏈通道 } c \\ 1 & \text{MBS 使用下鏈通道 } c \end{cases} \quad (4)$$

MUE k 在下鏈通道 c 上所接收到的訊號干擾雜訊比 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR) 可表示成如下之(5)：

$$\gamma_{k,c}^M = \frac{p_{M,c} h_{k,c}^M}{\sum_{i \in F} \theta_{i,c}^F p_{i,c} h_{i,k,c}^F + N_0} \quad (5)$$

(5)中， $p_{M,c}$ 和 $p_{i,c}$ 分別表示著 MBS 和 FBS i 在下鏈通道 c 上的傳輸功率， $h_{k,c}^M$ 和 $h_{i,k,c}^F$ 則代表著 MBS 與 FBS i 到 MUE k 在下鏈通道 c 的通道增益。

同樣的，FUE n 在 FBS i 下鏈通道 c 上所接收到的 SINR 可表示如下之(6)：

$$\gamma_{i,n,c}^F = \frac{p_{i,c} h_{i,n,c}^F}{\theta_c^M p_{M,c} h_{n,c}^M + \sum_{j \in F, j \neq i} \theta_{j,n,c}^F p_{j,c} h_{j,n,c}^F + N_0} \quad (6)$$

(6)中， $p_{i,c}$ 和 $p_{j,c}$ 分別表示，服務 FUE n 的 FBS i 和對 FUE n 造成干擾的 FBS j 在下鏈通道 c 的傳輸功率， $h_{i,n,c}^F$ 、 $h_{j,n,c}^F$ 和 $h_{n,c}^M$ 表示 FUE n 到 FBS i 、FBS j 和 MBS 在下鏈通道 c 的通道增益。

當下鏈通道分配狀態不變時，由 *Shannon Theorem* 可得理論上 FBS i 之最大可達的傳輸速率，表示如下之(7)式。所以毫微微基地台網路理論上最大可達的傳輸速率，可表示如下之(8)式。

$$R_i = \sum_{c \in C} \sum_{n \in U^F} \frac{B}{N} \log_2(1 + \theta_{i,n,c}^F \gamma_{i,n,c}^F) \quad (7)$$

$$R = \sum_{i \in F} R_i = \sum_{i \in F} \sum_{c \in C} \sum_{n \in U^F} \frac{B}{N} \log_2(1 + \theta_{i,n,c}^F \gamma_{i,n,c}^F) \quad (8)$$

本論文中毫微微基地台下鏈功率控制的主旨為保證使用者都有足夠的訊號干擾雜訊比、與滿足功率傳輸限制的前提下，令毫微微基地台網路的通道容量最大化。根據上述，可以制定最佳化命題如下：

$$\max R \quad (9a)$$

$$s.t. \quad p_{i,c} \geq 0, \forall i \in F, \forall c \in C \quad (9b)$$

$$\sum_{c \in C} \theta_{i,c}^F p_{i,c} \leq P_F^{max}, \forall i \in F \quad (9c)$$

$$\gamma_{i,n,c}^F \geq \theta_{i,n,c}^F \gamma_0^F, \forall i \in F, \forall n \in U^F, \forall c \in C \quad (9d)$$

$$\gamma_{k,c}^M \geq \theta_{k,c}^M \gamma_0^M, \forall k \in U^M, \forall c \in C \quad (9e)$$

上述中，(9b)表示 FBS 在每一個下鏈通道的傳輸功率為非負數；而(9c)表示 FBS 在每一個下鏈通道的傳輸功率總和小於等於某門檻值，其中 P_F^{max} 為 FBS 最大傳輸功率。(9d)表示 FUE n 接收 FBS i 的下鏈通道 c 的訊號干擾雜訊比須滿足一定的門檻值，其中， γ_0^F 為 FUE 訊號干擾雜訊比的門檻值；而(9e)表示 MUE k 接收 MBS 下鏈通道 c 的訊號干擾雜訊比須滿足一定的門檻值，其中， γ_0^M 為 MUE 訊號干擾雜訊比的門檻值。

四、模擬結果分析

本節將針對上一節所提出的毫微微基地台下鏈功率控制的最佳化命題，考慮都會區的環境假設，利用 Matlab 做模擬的分析探討，並與固定式功率設定(Fixed Power Setting)策略的結果比較。所謂固定式功率設定策略，即是將毫微微基地台最大可發送功率，平均分配給所使用的通道之策略

4.1 最佳化命題實作

本次的模擬實驗利用 Matlab 來撰寫，並且用 Matlab 所提供的最佳化工具(Optimization Toolbox)來實作上一

節所描述的最佳化命題，所使用的函式為“*fmincon*”，“*fmincon*”主要是用來解決多變數非線性最佳化的問題，其描述如下之(10)：

$$\min_{\mathbf{x}} f(\mathbf{x}) \text{ such that } \begin{cases} c(\mathbf{x}) \leq 0 \\ ceq(\mathbf{x}) = 0 \\ A \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{b} \\ Aeq \cdot \mathbf{x} = beq \\ lb \leq \mathbf{x} \leq ub \end{cases} \quad (10)$$

其中 $c(\mathbf{x}) \leq 0$ 與 $ceq(\mathbf{x}) = 0$ 分別代表非線性不等式與等式約束； $A \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{b}$ 與 $Aeq \cdot \mathbf{x} = beq$ 分別代表線性不等式與等式約束，而 A 與 Aeq 都是以矩陣表示， \mathbf{b} 與 beq 則是以向量表示； lb 和 ub 則代表著 \mathbf{x} 的下限與上限。

4.2 最佳化命題分析

由上一節所敘述的最佳化命題，我們可以察覺限制條件三與限制條件四是有可能無法同時滿足的，以下用一個較為單純的例子說明，如圖 4：

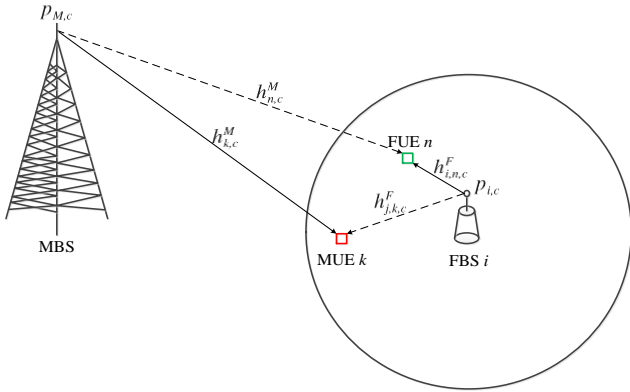


圖 4：最佳化命題分析說明圖

此例子中，假設有一 MUE k 與 FUE n ，MUE k 是由傳統大細胞基地台所服務，而 FUE n 是由 FBS i 所服務，並且所使用的通道都是下鏈通道 c ，其訊號干擾雜訊比可分別計算如下之(11)、(12)：

$$\gamma_{k,c}^M = \frac{p_{M,c} h_{k,c}^M}{p_{i,c} h_{i,k,c}^F + N_0} \quad (11)$$

$$\gamma_{i,n,c}^F = \frac{p_{i,c} h_{i,n,c}^F}{p_{M,c} h_{n,c}^M + N_0} \quad (12)$$

由上式(11)，由於 FBS i 在下鏈通道 c 的傳輸的功率，必須避免對 MUE k 造成過大的干擾，所以 FBS i 在下鏈通道 c 的傳輸的功率將會有上限值如下之(13)：

$$p_{i,c} \leq \frac{1}{h_{i,k,c}^F} \left(\frac{p_{M,c} h_{k,c}^M}{\gamma_0^M} - N_0 \right) \quad (13)$$

同樣的，由(12)式，FBS i 在下鏈通道 c 的傳輸的功率，必須令 FUE n 有足夠的服務品質，所以 FBS i 在下鏈通道 c 的傳輸的功率將會有下限值如下之(14)：

$$p_{i,c} \geq \frac{\gamma_0^F}{h_{i,n,c}^F} (p_{M,c} h_{n,c}^M + N_0) \quad (14)$$

由(13)、(14)可知，隨著 MUE k 與 FUE n 的地理環境變動， $p_{i,c}$ 可能會有上限值小於下限制的狀況發生，此時最佳化命題則無解。

由上述例子，可知此最佳化命題可能無解，在後續的分析中若命題有解，則分析毫微微基地台的平均通道容量及傳統大細胞基地台的平均通道容量，若無解則分析其斷話(outage)機率。

4.3 模擬參數

以下模擬參數我們參考 3GPP 對於模擬都會區環境建議使用的參數設定[5]，傳統大細胞基地台與毫微微基地台的參數如表 1 與表 2 所示。其中我們所考慮的系統通道數量為 10 個，MUE、FUE 的訊號干擾雜訊比門檻值皆為 3dB，一個資源區塊的頻寬為 100kHz，MUE 在室內的機率為 20%。

表 1：傳統大細胞基地台系統模擬參數

Parameter	Assumption
Cellular Layout	Hexagonal grid, 3 sectors / site, reuse 1
Carrier Frequency	2000 MHz
Traffic model	Full buffer
Shadowing standard deviation	8 dB
Total MBS TX power	46 dBm
Minimum distance between UE and MBS	≥ 35 m
Noise power	-110 dBm

表 2：毫微微基地台系統模擬參數

Parameter	Assumption
Antenna pattern	Omn-directional
Carrier Frequency	2000 MHz
Traffic model	Full buffer
Shadowing standard deviation	4 dB
Max Tx power FBS	10 dBm
Minimum separation UE to FBS	20 cm
Noise power	-110 dBm

4.4 模擬結果

在這一節，我們根據不同的毫微微基地台佈置率 (Femtocell Deployment Ratio)，分析其對於經過最佳化命題功率設定的系統效能，並且與固定式功率設定 (Fixed Power Setting) 的結果比較。

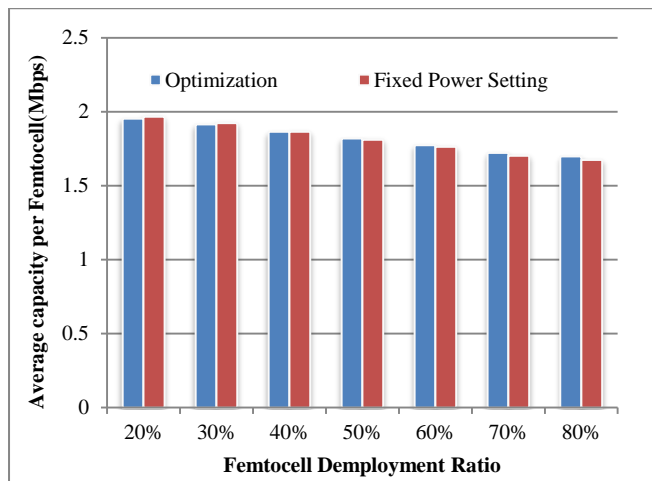


圖 5：Average capacity per Femtocell in term of Femtocell Deployment Ratio

如圖 5，比較固定式功率設定、與最佳化命題優化後的毫微微基地台平均通道容量。可以看出：隨著毫微微基地台佈置率的提高，干擾來源的增多，不管是固定式功率設定或優化後，毫微微基地台平均通道容量都會有所下降；當毫微微基地台佈置率的小於 50%時，由於優化後的功率設定，為了不對鄰近的 MUE 與 FUE 造成過大的干擾，造成優化過的毫微微基地台平均通道容量略低於固定式功率設定的毫微微基地台平均通道容量；而毫微微基地台佈置率的大於等於 50%時，優化過的毫微微基地台平均通道容量則優於固定式功率設定的毫微微基地台平均通道容量，最多可提升 2%。

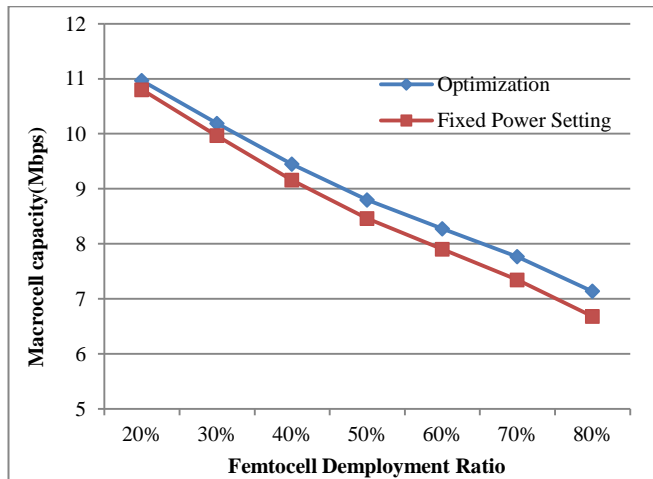


圖 6：Macrocell capacity in term of Femtocell Deployment Ratio

如圖 6，比較固定式功率設定、與最佳化命題優化後的傳統大細胞基地台平均通道容量。同樣的可以看出：隨著毫微微基地台佈置率的提高，干擾來源的增多，不論是固定式功率設定或優化後，傳統大細胞基地台平均通道容量都會有所下降；不過經過優化後的傳統大細胞基地台平均通道容量相較於固定式功率設定的結果則有

明顯的改善，傳統大細胞基地台平均通道容量最多可有 7% 的上升。

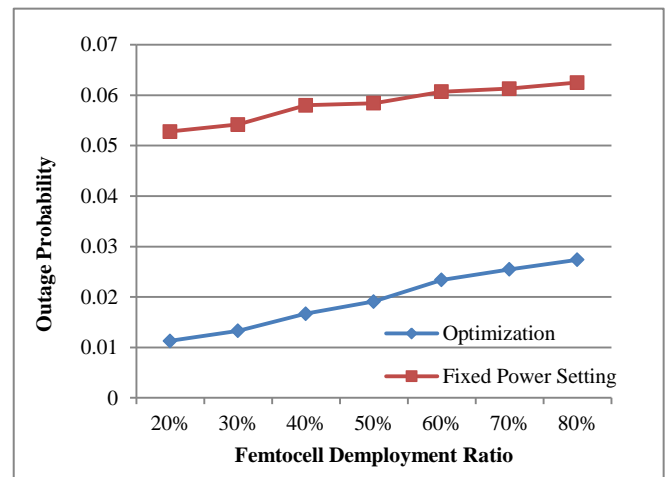


圖 7：Outage Probability in term of Femtocell Deployment Ratio

如圖 7，我們比較固定式功率設定、與最佳化命題優化後的斷話(outage)機率。由圖 7 我們可以明顯的看出：經最佳化命題優化後的功率設定所造成斷話(outage)機率低於固定式功率設定，相差至少 3%，從模擬的結果來看，斷話(outage)機率的下降最多可達 79%。

五、 模擬結果分析

在本論文中，針對毫微微基地台的下鏈功率控制，我們定義了一個最佳化命題，目的是在保證毫微微基地台使用者與傳統大細胞基地台使用者都不會斷話(outage)的前提下，令毫微微基地台網路的下鏈通道容量最大化。我們在模擬結果驗證，相較於固定式功率設定，平均通道容量沒有太大變化的情況下，傳統大細胞基地台的通道容量最多可有 7% 的提升，而斷話(outage)機率經過優化後的最多有 79% 的下降。

參考文獻

- [1] V. Chandrasekhar, J. Andrews, A. Gatherer, "Femtocell Networks: A Survey," *IEEE Communications Magazine* vol. 46, No. 9, September 2009.
- [2] H. Claussen "Performance of Macro- and Co-channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure", *Proc. IEEE PIMRC*, pp.1-5 2007.
- [3] K. Youngju, L. Sungeun, and H. Daesik, "Performance Analysis of Two-Tier Femtocell Networks with Outage Constraints," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, Vol. 8, No. 9, Sept. 2010, pp. 5314-5327.
- [4] C. Androne, T. Palade, E. Puschita, A. Moldovan, I. Vermesan, and R. Colda, "Study of Co-channel Cross-layer Interference for the Downlink Communication in Femtocell Networks," in *2011 10th International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, June 30-July 1 2011.
- [5] Alcatel-Lucent, picoChip Designs, and Vodafone, "Simulation Assumptions and Parameters for FDD HeNB RF Requirements," 3GPP TSG-RAN WG4 R4-092042.
- [6] Daolong Sun, Xinning Zhu, Zhimin Zeng, and Shaohua Wan, "Downlink Power Control in Cognitive Femtocell Networks," 2011 International Conference on Wireless Communication and signal Processing, pp. 1-5, Nov. 2011.