

國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

用於雙層毫微微細胞網路之適應性上鏈

資源配置



Adaptive Uplink Resource Allocation in Two-Tier
Femtocell Networks

研 究 生：陳宇超

Student: Yu-Chao Chen

指導教授：李大嵩 博士

Advisor: Dr. Ta-Sung Lee

中 華 民 國 一 百 年 九 月

用於雙層毫微微細胞網路之適應性上鏈資源配置

Adaptive Uplink Resource Allocation in Two-Tier
Femtocell Networks

研 究 生：陳宇超

Student: Yu-Chao Chen

指導教授：李大嵩 博士

Advisor: Dr. Ta-Sung Lee

國立交通大學
電信工程研究所
碩士論文

The logo of National Chiao Tung University is a circular seal. It features a gear-like outer ring with the university's name in Chinese and English. Inside the ring, there is a shield-like emblem with a book and a torch, and the year '1896' at the bottom.

A Thesis
Submitted to Institute of Communication Engineering
College of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Communication Engineering
September 2011
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 百 年 九 月

用於雙層毫微微細胞網路之適應性上鏈 資源配置

學生：陳宇超

指導教授：李大嵩 博士

國立交通大學電信工程研究所碩士班



摘要

毫微微細胞基地台被視為是有效改善室內無線通訊容量的解決辦法。然而由於毫微微細胞網路覆蓋在現存之巨細胞網路之上，會讓使用者遭遇到複雜的跨層干擾，因此資源配置是解決干擾的必要方法。在實際系統(例如: HSDPA 與 LTE)中，適應性調變可根據不同之通道環境選擇適合的調變方式。在本論文中，吾人針對分碼多重接取(CDMA)及正交分頻多重接取(OFDMA)系統，提出適應性功率配置以增強毫微微細胞之吞吐量。於 CDMA 系統中，除適應性功率配置法之外，吾人亦提出了另一個嗅探功能與適應性功率配置法，藉以改善巨細胞之吞吐量。於 OFDMA 系統中，資源配置分成兩個步驟: 1. 利用測量報告或嗅探功能進行頻譜配置； 2. 根據適應性調變結果進行功率配置。電腦模擬結果顯示吾人提出方法能有效提升巨細胞內整體上鏈吞吐量。

Adaptive Uplink Resource Allocation in Two-Tier Femtocell Networks

Student: Yu-Chao Chen

Advisor: Dr. Ta-Sung Lee

Institute of Communication Engineering

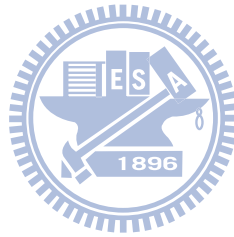
National Chiao Tung University

Abstract

Femtocell has been recognized as an effective solution to improving indoor wireless communication capacity. However, since the femtocell networks overlay on the macrocell networks, users suffer from the complicated cross-tier interference. Therefore, resource allocation is necessary for alleviating the interference. Adaptive modulation which is used in practical systems (e.g. HSDPA or LTE) can be adopted to select appropriate modulation according to different channel environments. In this thesis, we propose an adaptive power allocation scheme to enhance the throughput of femtocells in CDMA and OFDMA systems. In CDMA systems, in addition to the adaptive power allocation scheme, we further propose a sniffer function and adaptive power allocation scheme in order to improve the throughput of macrocells. As for OFDMA systems, the proposed resource allocation consists of two stages: 1. allocating spectrum by the measurement report or the sniffer function. 2. allocating power by adaptive modulation. Simulation results show that the proposed approaches effectively improve the total uplink throughput in macrocell networks.

誌謝

首先我要感謝指導教授李大嵩教授，在論文研究與求學態度上給予詳盡的指導，再來要感謝賴偉勝學長在研究上的協助，還有要感謝通訊系統設計與訊號處理實驗室的學長、同學與學弟妹們的幫忙，最後我要感謝我的家人，給我最大的精神鼓勵與支持，讓我可以順利完成研究所學位。



目錄

中文摘要		II
英文摘要		III
誌謝		IV
目錄		V
圖目錄		VII
表目錄		VIII
略縮語		IX
符號說明		X
第一章	緒論.....	1
第二章	系統模型與問題描述.....	4
2.1	系統模型.....	4
2.2	吞吐量.....	6
2.3	分碼多工接取系統.....	7
2.4	正交分頻多工接取系統.....	13
2.5	測量報告與嗅探功能.....	15
2.6	小結.....	18
第三章	新提出之分碼多重接取功率配置法.....	19
3.1	動機.....	19
3.2	新提出之適應性功率配置法.....	20
3.3	新提出之嗅探功能與適應性功率配置法.....	22

3.4	電腦模擬.....	23
3.5	小結.....	30
第四章	新提出之正交頻率多重接取頻譜與功率聯合配置法.....	31
4.1	動機.....	31
4.2	新提出之測量報告與適應性功率聯合配置法.....	31
4.3	新提出之嗅探功能與適應性功率聯合配置法.....	33
4.4	電腦模擬.....	36
4.5	小結.....	41
第五章	結論與未來工作.....	42



圖目錄

圖 2.1	六角形巨細胞環境.....	5
圖 2.2	CDMA 最大上鏈吞吐量之 FUE 平均吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50.....	12
圖 2.3	CDMA 最大上鏈吞吐量之 MUE 平均吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50.....	12
圖 2.4	CDMA 最大上鏈吞吐量之全部 UE 吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50.....	13
圖 2.5	LTE 資源區塊.....	15
圖 3.1	新提出之適應性功率配置法流程圖.....	21
圖 3.2	新提出之嗅探功能適應性功率配置法流程圖.....	24
圖 3.3	未使用適應性調變時 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	26
圖 3.4	未使用適應性調變時 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	26
圖 3.5	未使用適應性調變時全部 UE 的吞吐量，MUE 個數=50.....	27
圖 3.6	考慮適應性調變時 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	28
圖 3.7	考慮適應性調變時 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	29
圖 3.8	考慮適應性調變時全部 UE 的吞吐量，MUE 個數=50.....	29
圖 3.9	FUE 平均發射功率，MUE 個數=50.....	30
圖 4.1	新提出之測量報告與適應性功率聯合配置法流程圖.....	34
圖 4.2	新提出之嗅探函數與適應性功率聯合配置法流程圖.....	36
圖 4.3	OFDMA 系統 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	39
圖 4.4	OFDMA 系統 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50.....	39
圖 4.5	OFDMA 系統全部 UE 吞吐量，MUE 個數=50.....	40
圖 4.6	OFDMA 系統 FUE 平均發射功率，MUE 個數=50.....	40

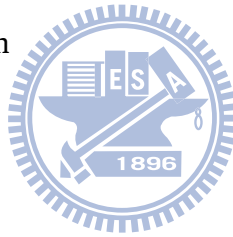
表目錄

表 2.1	不同 SINR 目標對應之傳送位元及調變方式·····	6
表 2.2	測量報告形式·····	16
表 2.3	增益表(假設鄰近有 N_i 個 FBS) ·····	17
表 3.1	一定區域內按增益大小比例分配 SINR 目標值·····	22
表 3.2	毫微微細胞 CDMA 系統電腦模擬參數·····	23
表 3.3	CDMA 模擬圖圖例說明中英對照·····	25
表 3.4	嗅探功能適應性功率配置法 FUE 之 SINR 目標分配·····	27
表 4.1	毫微微細胞 OFDMA 系統電腦模擬參數·····	37
表 4.2	OFDMA 模擬圖圖例說明中英對照·····	37



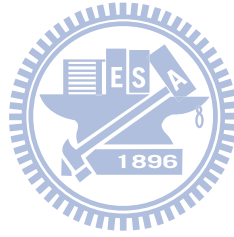
略縮語

FBS	femtocell base station
xDSL	x Digital Subscriber Line
MUE	macrocell user equipment
MBS	macrocell base station
CDMA	code division multiple access
OFDMA	orthogonal frequency division multiple access
FUE	femtocell user equipment
MR	measurement report
SINR	signal to interference plus noise ratio
KKT	Karush-Kuhn-Tucker
RA	randomly assign



符號說明

M	巨細胞內有 MUE 個數
N	巨細胞內有 FUE 個數
P_{cm}	第 m 個 MUE 所傳送的功率
P_{fn}	第 n 個 FUE 所傳送的功率
$h_{i,j}$	第 j 個 FUE 到第 i 個基地台之間的通道增益
$g_{i,j}$	第 j 個 MUE 到第 i 個基地台之間的通道增益
α	戶外路徑損耗常數
β	室內路徑損耗常數
ω	穿透損耗
f	載波
b	傳送位元數
Γ	SINR
g	薛能差距
G	展頻增益
gain_i	第 i 個 FBS 的增益大小
$P_{\max}$	最大發射功率
P_{budget}	每一個 FUE 對 MBS 最大能忍受的干擾量
κ	使用同樣資源區塊的集合
F	FUE 集合
S	天線靈敏度
K	資源區塊個數



第一章

介紹

爲能有效增加室內通訊之傳輸速率，就有人提出毫微微細胞(femtocell)之構想[1], [2]。毫微微細胞基地台(femtocell base station, FBS)爲一種低成本、低功率、小範圍之小型基地台，它可藉由消費者安裝在室內，以增加室內通訊之傳輸速率。安裝好毫微微細胞基地台後，再連到後端網路(backhaul network)如 xDSL(x Digital Subscriber Line)，即可開始進行通訊。近來由於智慧型手機的崛起，經營者就更加重視毫微微細胞所帶來之經濟效益，故毫微微細胞是有效幫助經營者解決隨指數增加的資料傳輸量問題。而在目前系統中，毫微微細胞將使用在現有的第三代行動通訊如 HSDPA 與未來的第四代行動通訊如 LTE、WiMAX 之中。

儘管 FBS 能夠確實地提升傳輸速率，但尚有傳統網路之巨細胞(macrocell)存在，若直接將 FBS 安裝在巨細胞中而不予理會，勢必會對傳統網路之巨細胞用戶設備(macrocell user equipment, MUE)造成影響，若因此造成 MUE 收訊中斷，這種情況無論對經營者或使用者而言皆是不允許的，故適當地作資源配置是必須的工作。由於 FBS 爲用戶拿回家後可裝在任何地方，故 FBS 的準確位置是無法掌握的，若資源配置是交給巨細胞基地台(macrocell base station, MBS)來作中央控制，對後端網路將會是沉重的負擔，恐怕會有實行上的困難，故 FBS 之自組織(self-organization)能力是必須的，自組織能力允許 FBS 可根據自身環境(例如：鄰近的 FBS、干擾量等)來進行資源配置。在第三代行動通訊中，主要是以分碼多重接取(code division multiple access, CDMA)系統爲主，其唯一資源配置方式爲功率配置；而第四代行動通訊主要是以正交分頻多重接取(orthogonal frequency division

multiple access, OFDMA)系統為主，其資源配置方式可為頻譜與功率聯合配置。

在 CDMA 系統中，所有使用者皆用同一頻率，但不同使用者使用不同展頻碼來作區別，故存在有所謂遠近效應(near-far effect)之問題，若再加入毫微微細胞後，就會形成更加複雜的跨層(cross-tier)干擾問題，唯一可解決此二問題之方法只有使用功率配置，[3]、[4]皆為在 CDMA 系統中利用功率配置來解決毫微微細胞與巨細胞間之雙層干擾問題，然而於此二論文中皆未探討讓不同毫微微細胞用戶設備(femtocell user equipment, FUE)使用適應性調變方案，適應性調變為讓手機與基地台根據當下環境而選擇不同之調變方式，在現有系統中，此為相當常見之調變方式。

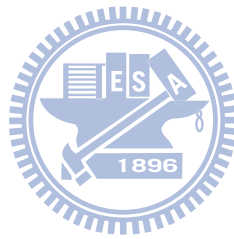
在 OFDMA 系統中，除了可用功率配置方案解決雙層干擾問題外，由於不同使用者使用不同頻率，故亦可用頻譜配置來解決。頻譜配置方案可分為正交調度(orthogonal deployment)與同頻道調度(co-channel deployment)[5]，正交調度[6]意思為將頻譜分為兩部份，一部份給巨細胞使用，另一部份則給毫微微細胞使用，這樣做的好處為可完全避免跨層干擾，但缺點則是頻譜利用效率較低，故並不實用；同頻道調度[7-11]為所有頻譜皆可為巨細胞與毫微微細胞來共同使用，這樣做的好處為頻譜利用效率較高，但無可避免地會造成跨層干擾，其中[7]提出了測量報告(measurement report, MR)與嗅探功能(sniffer function)兩種不同之頻譜配置方案，[8]則是探討利用不同測量報告的結果，但這兩篇論文皆未利用功率配置，[9-11]是利用最佳化方法來同時進行頻譜與功率聯合配置。

[12]是在上鏈環境中，對 OFDMA 與 CDMA 系統作開放存取(open access)與封閉存取(closed access)之比較，開放存取表示可讓未註冊之使用者一起共用毫微微細胞基地台，封閉存取表示只有已註冊之使用者才可用此毫微微細胞基地台，但這篇論文是假設在功率配置為完美的情況下做探討；[13]則是在下鏈環境中，對 OFDMA 與 CDMA 系統作開放存取與封閉存取之比較。

在本論文中，吾人為了更能實際地運用在現存系統之中，故利用了適應性功率配置方案[14]於 CDMA 與 OFDMA 系統，不論是 HSDPA、WiMAX 或 LTE 等系

統，皆有使用適應性調變，而在以上所提及之論文中，則都未使用此機制，故吾人提出此適應性功率配置方案，並參考上述論文，將頻譜配置方案與適應性功率配置方案結合，並藉此讓巨細胞之全部吞吐量達到最佳之結果。

本論文其餘章節之組織架構如下，第二章將說明所使用之系統模型，CDMA 與 OFDMA 系統之最大上鏈吞吐量，測量報告與嗅探功能之簡介；第三章將提出可應用在 CDMA 系統之適應性功率配置方案，以及利用嗅探功能之適應性功率配置方案；應用在 OFDMA 系統之測量報告與嗅探功能頻譜配置方案，再搭配適應性功率配置方案將在第四章提出；最後在第五章會總結本論文所得到之成果，並提出未來尚可研究之方向。



第二章

系統模型及問題描述

毫微微細胞是未來的無線通訊中，能有效改善室內無線通訊品質的方案之一，但在改善的同時，亦不可對傳統網路使用者有所影響。在這一章，吾人將說明在本論文中，所用到的分析工具與毫微微細胞的問題描述，2.1 節主要介紹系統模型與模擬環境；2.2 節描述吞吐量，用以評估系統效能；分碼多重接取系統與正交分頻多重接取系統會分別在 2.3 節與 2.4 節作介紹；2.5 節說明資源配置的方法：測量報告與嗅探功能；2.6 節會作一個小結。



2.1 系統模型

吾人考慮一個上傳環境如圖 2.1 所示，是一個半徑為 250 公尺的六角形巨細胞，並假設是在封閉存取(closed access)(即只有登記的使用者才可使用，其他無註冊者無法使用)的環境中，一個毫微微細胞基地台(femtocell base station, FBS)只服務一個毫微微細胞用戶設備(femtocell user equipment, FUE)。在此假設在巨細胞內一共有 M 個巨細胞用戶設備(macrocell user equipment, MUE)與 N 個 FUE，而每一個 MUE 所傳送的功率分別用 P_{c1} 、 P_{c2} 、.....、 P_{cM} 來表示，每一個 FUE 所傳送的功率分別用 P_{f1} 、 P_{f2} 、.....、 P_{fN} 來表示。而 $h_{i,j}$ 表示第 j 個 FUE 到第 i 個基地台之間的通道增益(channel gain)， $g_{i,j}$ 表示第 j 個 MUE 到第 i 個基地台之間的通道增益，其中 $i = 0$ 表示為巨細胞基地台(macrocell base station, MBS)， $i = 1 \sim N$ 分別表示 1, 2,, N 個 FBS。

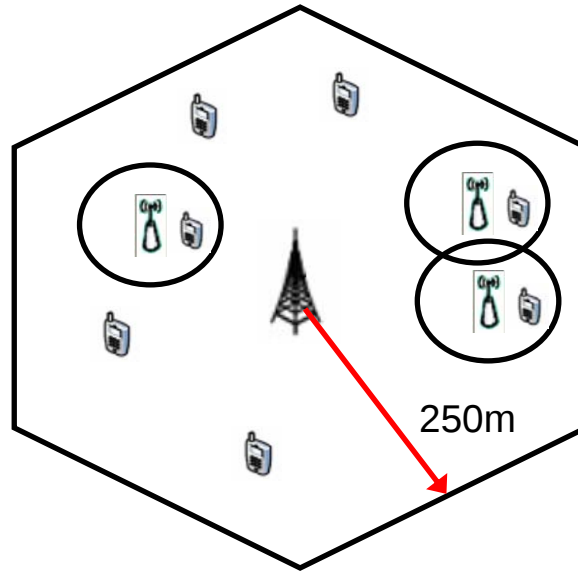


圖 2.1 六角形巨細胞環境

至於不同的路徑損耗(path loss)模型，可分為五種不同的情況來表示[15]：

(1) MBS 與 MUE 之間的路徑損耗：

$$\begin{aligned} PL(\text{dB}) &= \alpha \cdot 10 \log_{10}(d/1000) + 30 \log_{10}(f) + 49 \\ &= 40 \log_{10}(d/1000) + 30 \log_{10}(f) + 49 \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2) MBS 與 FUE 之間的路徑損耗：

$$PL(\text{dB}) = 40 \log_{10}(d/1000) + 30 \log_{10}(f) + 49 + \omega \quad (2.2)$$

(3) FBS 與所服務的 FUE 之間的路徑損耗：

$$\begin{aligned} PL(\text{dB}) &= \beta \cdot 10 \log_{10}(d) + 37 \\ &= 30 \log_{10}(d) + 37 \end{aligned} \quad (2.3)$$

(4) FBS 與 MUE 之間的路徑損耗：

$$PL(\text{dB}) = 30 \log_{10}(d) + 37 + \omega \quad (2.4)$$

(5) FBS 與其他的 FUE 之間的路徑損耗：

$$PL(\text{dB}) = 30 \log_{10}(d) + 37 + 2\omega \quad (2.5)$$

其中 α 為戶外路徑損耗常數，其值設為 4； β 為室內路徑損耗常數，其值設為 3；

d 為基地台和用戶設備之間的距離，單位為公尺； f 為使用的頻率，單位為 MHz；

ω 為穿透損耗(penetration loss)，即每穿過一道牆壁所受到的信號衰減。

2.2 吞吐量

在上鏈環境中，吾人假設基地台和用戶設備之間的距離是固定的，並且每個基地台都能正確地量測到每個子通道(subchannel)的信號干擾雜訊比(signal to interference plus noise ratio, SINR)，再根據這個 SINR 正確無誤地回傳給用戶設備，以告知該選擇何種調變方式，而根據不同的 SINR 選用不同調變方式的技術，即稱之為適應性調變(adaptive modulation)。適應性調變的目的是讓通道好的用戶，可以使用較高的傳輸速率，而通道比較差的用戶，為了還能夠保有一定的通話品質，只好退而求其次使用比較低的傳輸速率。而在實際的系統中，諸如 UMTS、WiMAX、LTE 等，都有利用到適應性調變的技術，由此可知，此技術的重要性與實用性。在本論文中，使用了五種不同的調變方式，每秒每 Hz 可以分別傳送 1、2、4、6、8 個位元，其吞吐量的計算方式如下所示[6]：

$$b_x = \log_2(1 + \frac{\Gamma_x}{g}), \text{ 當 } \text{SINR} \in [\Gamma_x, \Gamma_{x+1}), 1 \leq x \leq 5 \quad (2.6)$$

上式的意思是表示當用戶設備量測到的 SINR 介於 Γ_1 及 Γ_2 時，可以傳送 b_1 個位元，介於 Γ_2 及 Γ_3 時，可以傳送 b_2 個位元，以此類推。其中 g 為薛能差距(Shannon gap)，在本論文中，將 g 的值設為 3dB，其代表錯誤率大約是 10^{-3} [14]。再將上述的式子整理後，即可得到以下的表 2.1：

表 2.1 不同 SINR 目標對應之傳送位元及調變方式

SINR 目標		傳送位元	調變方式
Γ_1	3dB	1	BPSK
Γ_2	7.78dB	2	QPSK
Γ_3	14.77dB	4	16-QAM
Γ_4	21dB	6	64-QAM
Γ_5	27.08dB	8	256-QAM

2.3 分碼多重接取系統

CDMA 系統是目前應用仍十分廣泛的系統，諸如 UMTS 等，而由於 CDMA 系統被提出來的時候還沒有毫微微細胞的概念，所以當毫微微細胞的方案被提出後，就勢必要對現存的系統作一個探討。CDMA 系統不同於以往的分時多重接取(TDMA)系統與分頻多重接取(FDMA)系統，TDMA 系統是利用不同的時槽(time slot)來分別不同的使用者；FDMA 則是利用不同的頻率來分別不同的使用者；而吾人目前要探討的 CDMA 系統，是所有的使用者都使用同一頻率，但不同的使用者則是使用不同的展頻碼(spreading code)來作區別，在作解展頻的時候，如果是對應到正確的展頻碼時則可以正確無誤地解出來，但是如果是對應到不同的展頻碼時，則會被當成隨機雜訊濾除掉。

在 CDMA 系統中，假設一個巨細胞裡有 N 個 FUE 與 M 個 MUE，則 FBS 所收到的 SINR 可寫成：

$$\frac{G \cdot P_{fi} \cdot h_{i,i}}{\sum_{m=1}^M P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N P_{fj} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} \quad (2.7)$$

MBS 所收到的 SINR 可寫成：

$$\frac{G \cdot P_{ci} \cdot g_{0,i}}{\sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^M P_{cm} \cdot g_{0,m} + \sum_{j=1}^N P_{fj} \cdot h_{0,j} + \sigma^2} \quad (2.8)$$

其中 G 為展頻增益(spreading gain)，利用(2.7)式與(2.8)式求得SINR之後，即可代入到(2.6)式中，就可得到該上鏈環境中，此使用者可使用的吞吐量。爲了清楚表示通道環境的好壞，可將(2.7)式寫成：

$$\text{SINR}_i = \frac{G \cdot P_{fi} \cdot h_{i,i}}{\sum_{m=1}^M P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N P_{fj} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} = G \cdot P_{fi} \cdot \text{gain}_i \quad (2.9)$$

$$\text{gain}_i = \frac{h_{i,i}}{\sum_{m=1}^M P_{c_m} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N P_{f_j} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} \quad (2.10)$$

其中 SINR_i 表示第 i 個 FBS 的 SINR 大小， gain_i 表示第 i 個 FBS 的增益大小，這個增益即可當成是通道好壞的標準。

由於使用者的信號均使用相同頻率的關係，故 CDMA 系統所遇到最嚴竣的問題就是遠近效應(near-far effect)，而要解決遠近效應，就必須要做功率配置。因此，對 CDMA 而言，功率配置就是最主要能夠改善 FUE 與 MUE 吞吐量的方法。加入毫微微細胞的目的是希望將 FUE 的吞吐量達到最大化，同時對傳統網路的 MUE 影響不能太大，因此吾人將最大上鏈吞吐量[9]的最佳化表示式及限制條件寫成：

$$\text{maximize } \sum_{i \in F} \log_2 \left(1 + \frac{G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i}{g} \right) \quad (2.11)$$

subject to

$$P_{f_i} \leq P_{\max}, \forall i \in F \quad (2.12)$$

$$G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i \geq \Gamma, \forall i \in F \quad (2.13)$$

$$P_{f_i} \cdot h_{0,i} \leq P_{\text{budget}}, \forall i \in F \quad (2.14)$$

其中 P_{budget} 表示每一個 FUE 對 MBS 最大能忍受的干擾量， F 表示所有 FBS 的集合，(2.12) 式表示每個 FUE 的發射功率不能夠大於最大發射功率 $P_{\max}$ ；(2.13) 式表示 FUE 的 SINR 要大於等於 SINR 目標 Γ ；(2.14) 式則表示 FUE 經過通道到達 MBS 的功率必須小於或等於 P_{budget} 才行。要解上述的問題，吾人使用拉格朗日

(Lagrangian) 函數來解，首先，將(2.11)~(2.14)式寫成：

$$\begin{aligned}
L(P, \lambda, v, \rho) &= \sum_{i \in F} \log_2 \left(1 + \frac{G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i}{g} \right) \\
&\quad + \sum_{i \in F} \lambda_i (P_{\max} - P_{f_i}) \\
&\quad + \sum_{i \in F} v_i (G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i - \Gamma) \\
&\quad + \sum_{i \in F} \rho_i (P_{\text{budget}} - P_{f_i} \cdot h_{0,i}) \\
&= \sum_{i \in F} L_i(P_{f_i}, \lambda_i, v_i, \rho_i)
\end{aligned} \tag{2.15}$$

其中 λ 、 v 與 ρ 爲拉格朗日乘子(Lagrangian multiplier)且皆爲非負的值

($\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots)^T$ 、 $v = (v_1, v_2, \dots)^T$ 、 $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots)^T$)， $P = (P_{f_1}, P_{f_2}, \dots)^T$ 表示

每個 FUE 的發射功率所組成的向量， $L_i(P_{f_i}, \lambda_i, v_i, \rho_i)$ 則寫成：

$$\begin{aligned}
L_i(P_{f_i}, \lambda_i, v_i, \rho_i) &= \log_2 \left(1 + \frac{G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i}{g} \right) \\
&\quad + \lambda_i (P_{\max} - P_{f_i}) \\
&\quad + v_i (G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i - \Gamma) \\
&\quad + \rho_i (P_{\text{budget}} - P_{f_i} \cdot h_{0,i})
\end{aligned} \tag{2.16}$$

若要讓(2.15)式達到最大，就相當於讓(2.16)式達到最大即可，也就是說只要每個 FBS和所服務的FUE做自組織(self-organization)達到最大值即可。

根據Karush-Kuhn-Tucker (KKT)條件，利用(2.16)式可列出以下的條件式：

$$\frac{\partial L_i(P_{f_i}, \lambda_i, v_i, \rho_i)}{\partial P_{f_i}} = 0 \tag{2.17}$$

$$\lambda_i (P_{\max} - P_{f_i}) = 0 \tag{2.18}$$

$$v_i (G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i - \Gamma) = 0 \tag{2.19}$$

$$\rho_i (P_{\text{budget}} - P_{f_i} \cdot h_{0,i}) = 0 \tag{2.20}$$

其中(2.18)式表示如果 $P_{f_i} \neq P_{\max}$ 時，則 λ_i 應爲 0，同樣地(2.19)、(2.20)式以此類

推。由(2.17)式可得到：

$$\frac{G \cdot \text{gain}_i}{(g + G \cdot P_{f_i} \cdot \text{gain}_i) \ln 2} - \lambda_i + v_i \cdot G \cdot \text{gain}_i - \rho_i \cdot h_{0,i} = 0 \quad (2.21)$$

再由(2.21)式即可求得 P_{f_i} :

$$P_{f_i} = \left[\frac{1}{\ln 2 \cdot (\lambda_i - v_i \cdot G \cdot \text{gain}_i + \rho_i \cdot h_{0,i})} - \frac{g}{G \cdot \text{gain}_i} \right]_{P_{f_i, \min}(\Gamma_5)}^{\min(P_{\max}, \frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}})} \quad (2.22)$$

其中 $[\cdot]_a^b$ 表示其值在 $[a, b]$ 區間之內, $P_{f_i, \min}(\Gamma) = \frac{\Gamma}{\text{gain}_i}$ 代表要達到 SINR 目標 Γ 所

需的最小發射功率。爲了要決定 P_{f_i} 的值應用多少, 將分成兩種情況來探討:

①若 $P_{\max} < \frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}}$, 則表示 $P_{\text{budget}} \neq P_{f_i} \cdot h_{0,i}$, 故由(2.22)式可知, $\rho_i = 0$

在此情況下, (2.22)式即可寫成:

$$\begin{aligned} P_{f_i} &= \left[\frac{1}{\ln 2 \cdot (\lambda_i - v_i \cdot G \cdot \text{gain}_i)} - \frac{g}{G \cdot \text{gain}_i} \right]_{P_{f_i, \min}(\Gamma_5)}^{P_{\max}} \\ &= \frac{1}{\lambda_i'} - \frac{g}{G \cdot \text{gain}_i} \end{aligned} \quad (2.23)$$

其中 $\lambda_i' = \ln 2 \cdot (\lambda_i - v_i \cdot G \cdot \text{gain}_i)$, 將(2.23)式代入到(2.18)式, 可得到:

$$\frac{1}{\lambda_i'} = P_{\max} + \frac{g}{G \cdot \text{gain}_i} \quad (2.24)$$

再將(2.24)式代入(2.23)式可得到:

$$P_{f_i} = P_{\max} \quad (2.25)$$

②若 $\frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}} < P_{\max}$, 則表示 $P_{f_i} \neq P_{\max}$, 故由(2.18)式可知, $\lambda_i = 0$

經由和情況①同樣的計算過程之後可得到:

$$P_{f_i} = \frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}} \quad (2.26)$$

所以將情況①與②結合後，最終可以寫成一個封閉解：

$$P_{fi} = \min(P_{\max}, \frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}}) \quad (2.27)$$

仔細觀察(2.27)可以發現，吾人所要探討的問題(2.11)式是一個凹函數(concave function)，故 P_{fi} 越大越好，因此最大會等於 $P_{\max}$ ，但如果只用最大發射功率來傳送的話，很有可能就會對外面的MUE造成影響，故吾人另外加了一個限制條件 P_{budget} 進來，最後就是比較 $P_{\max}$ 與 $\frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}}$ 哪個比較小，就是適合FUE使用的發射功率。

電腦模擬：

在如圖 2.1 的環境中隨機擺放 80 個FUE與 50 個MUE的情況底下，圖 2.2 是模擬CDMA系統次佳化方法的吞吐量，大致上可以發現當 P_{budget} 越大時，FUE 的吞吐量就越大，這是因為 P_{budget} 越大表示MBS允許的干擾比較大，因此在圖 2.3 的地方就會發現，MUE的吞吐量就會因為 P_{budget} 越大而越來越小，爲了要在此環境中找出一個最大值，吾人將FUE與MUE的吞吐量全部加起來如圖 2.4 所示，可發現大約在 P_{budget} 等於 6×10^{-12} 瓦時，即達到一個飽合點，故之後的模擬中，最大上鏈吞吐量的方法都會將 P_{budget} 等於 6×10^{-12} 瓦來使用。

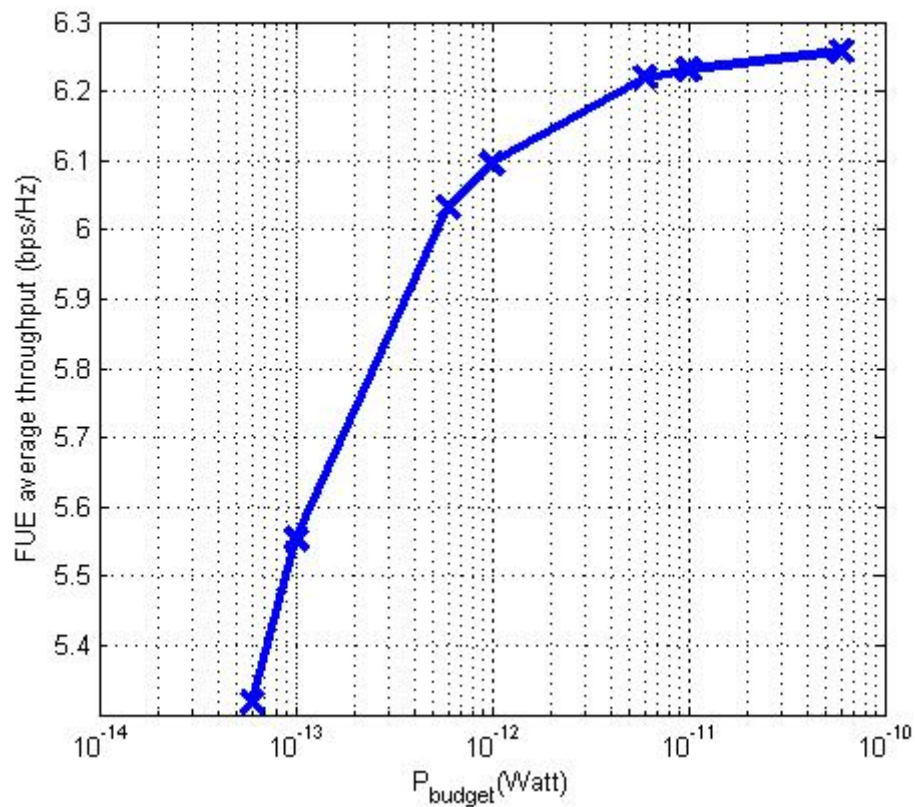


圖 2.2 CDMA 最大上鏈吞吐量之 FUE 平均吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50

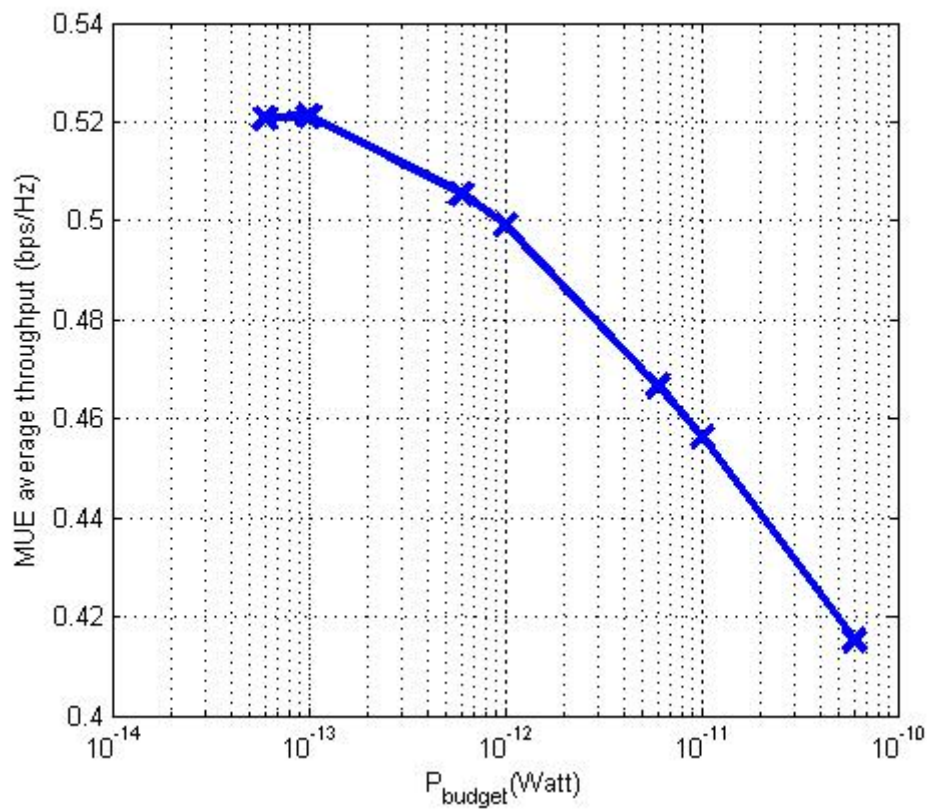


圖 2.3 CDMA 最大上鏈吞吐量之 MUE 平均吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50

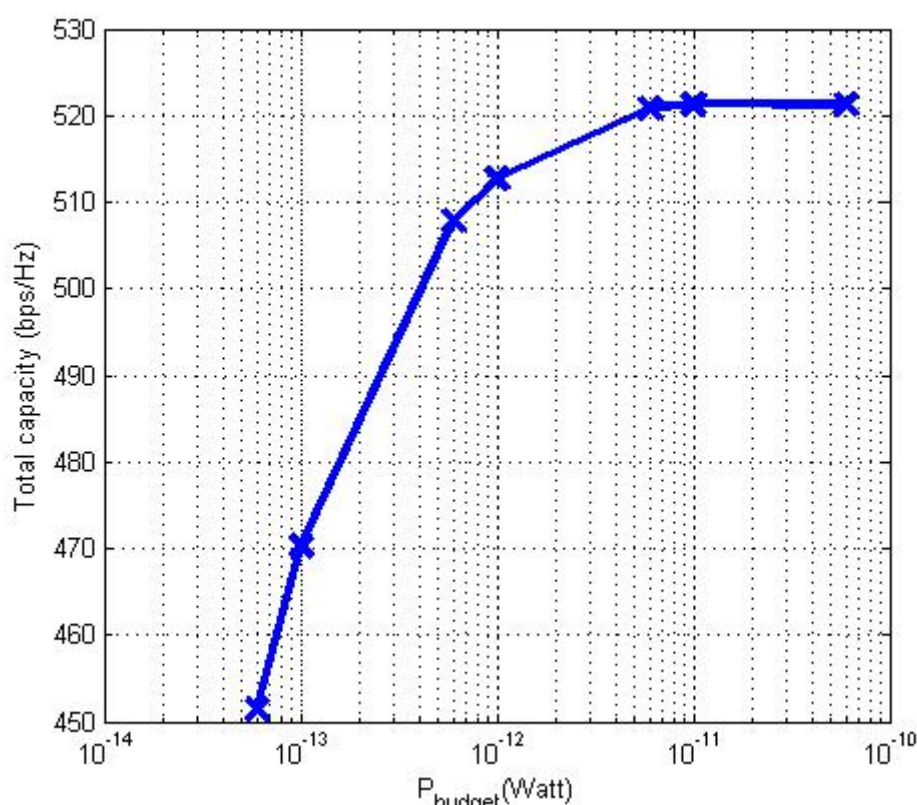


圖 2.4 CDMA 最大上鏈吞吐量之全部 UE 吞吐量，FUE 個數=80，MUE 個數=50

2.4 正交分頻多重接取系統

正交分頻多重接取(OFDMA)系統是正交分頻多重(OFDM)系統的演變。

OFDM 是由大量正交子載波(Orthogonal sub-carrier)所構成的，每個子載波則進行一般的調變方式，諸如：BPSK、QPSK 等。而用 OFDM 的好處是能夠有效對抗由於多路徑問題所造成的頻率選擇性衰減(frequency selective fading)。至於 OFDMA 和 OFDM 不同的地方在於，OFDMA 可以讓使用者根據當時的情況選擇通道狀況比較好的子載波，所以相對來說反而是更加利用通道頻率選擇的特性。在實際的系統當中，會把數個子載波合在一起稱為一個資源區塊(resource block)，例如：在 LTE 中，一個資源區塊是由十二個子載波與七個符元(symbol)所組成[16]、[17]，如圖 2.5 所示。

在本論文中，吾人假設一個 FUE 只使用一個資源區塊，而一個巨細胞中，

共有五十個資源區塊，故在 OFDMA 系統中，FBS 所收到的 SINR 可寫成：

$$\frac{P_{fi} \cdot h_{i,i}}{P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{m \in \kappa \\ j \in \kappa \\ j \neq i}} P_{fj} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} \quad (2.28)$$

MBS 所收到的 SINR 可寫成：

$$\frac{P_{ci} \cdot g_{0,i}}{\sum_{j \in \kappa} P_{fj} \cdot h_{0,j} + \sigma^2} \quad (2.29)$$

其中 κ 為使用同樣資源區塊的集合。利用(2.28)式與(2.29)式求得SINR之後，即可代入到(2.6)式中，就可得到該上鏈環境中，此使用者可使用的吞吐量。爲了清楚表示通道環境的好壞，可將(2.28)式寫成：

$$\text{SINR}_i(k) = \frac{P_{fi} \cdot h_{i,i}}{P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{m \in \kappa \\ j \in \kappa \\ j \neq i}} P_{fj} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} = P_{fi} \cdot \text{gain}(i, k) \quad (2.30)$$

$$\text{gain}(i, k) = \frac{h_{i,i}}{P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{m \in \kappa \\ j \in \kappa \\ j \neq i}} P_{fj} \cdot h_{i,j} + \sigma^2} \quad (2.31)$$

其中 $\text{SINR}_i(k)$ 表示第 i 個 FBS 利用第 k 個資源區塊時的 SINR 大小， $\text{gain}(i, k)$ 表示第 i 個 FBS 利用第 k 個資源區塊時的增益大小，這個增益即可當成是通道好壞的標準。

OFDMA 系統跟 CDMA 系統不同的是，除了功率配置之外，OFDMA 還可以做頻譜配置，所以可根據當下的環境，讓 FUE 來選擇適合的資源區塊，再回傳給 FBS，即完成了頻譜資源配置，故 OFDMA 跟 CDMA 比起來，比較不會有遠近效應的問題。跟前一節 CDMA 的部份類似，爲了要讓 FUE 的吞吐量最大，且不影響 MUE 的情況下，最佳化的式子可寫成：

$$\text{maximize} \sum_{i \in F} \log_2 \left(1 + \frac{P_{fi} \cdot \text{gain}(i, k)}{g} \right) \quad (2.32)$$

subject to

$$P_{f_i} \leq P_{\max}, \forall i \in F \quad (2.33)$$

$$P_{f_i} \cdot \text{gain}(i, k) \geq \Gamma, \forall i \in F \quad (2.34)$$

$$P_{f_i} \cdot h_{0,i} \leq P_{\text{budget}}, \forall i \in F \quad (2.35)$$

上述問題的解法和前一節 CDMA 的部份極為相似，故在此省略。最後得到的結果為：

$$P_{f_i} = \min(P_{\max}, \frac{P_{\text{budget}}}{h_{0,i}}) \quad (2.36)$$

在這個地方值得注意的是，上式僅表示當已經做好頻譜配置之後，該用多少的功率才可使吞吐量達到最大，尚未提及 OFDMA 的頻譜該如何選擇，故頻譜配置的方案，將在下一節作說明。

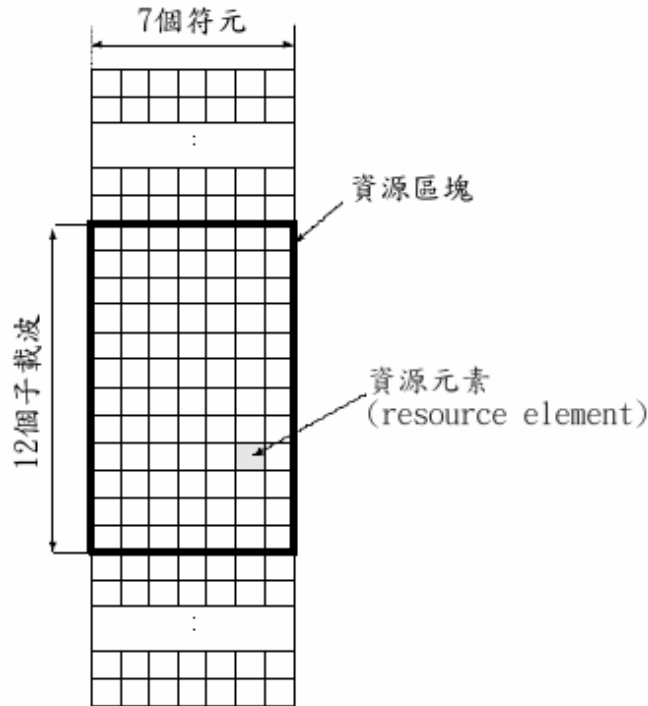


圖 2.5 LTE 資源區塊

2.5 測量報告與嗅探功能

爲了讓 FUE 的吞吐量變大，同時又不影響到 MUE，故仔細地作資源配置是

必須的。由於 FBS 是每個用戶拿回家之後，可以任意地放在任何的地方，如果資源配置是由 MBS 作中央控制的話，對 MBS 來說將是非常複雜的工作，因此比較可行的方式是 FBS 必須要有自組織的能力，而在這個部分，吾人參考了一些自組織的方案：測量報告(measurement report)與嗅探功能(sniffer function)[7]，說明如下：

測量報告：

測量報告的方法主要是 FBS 告訴 FUE 應使用哪個最佳的資源區塊，所以是一種頻譜配置的方式，僅適用於 OFDMA 系統。首先，FBS 會先感測一下四周資源區塊使用的情況，然後根據所感測到的結果做成一份測量報告，這個測量報告記載了每一個資源區塊的干擾量，接著 FBS 就從這份測量報告中，挑選出干擾量最少的那一個資源區塊，告訴 FUE 使用這個資源區塊，如此即完成了頻譜配置。故測量報告可以寫成表 2.2，其中 $I_i(k)$ 表示第 i 個 FBS 感測到第 k 個資源區塊的干擾量大小。

表 2.2 測量報告形式

資源區塊	1	2	...	50
FBS i	$I_i(1)$	$I_i(2)$	...	$I_i(50)$

其最佳化的表示形式可寫成：

$$\begin{aligned}
 & \max_{k \in \kappa} \log_2 \left(1 + \frac{P_{fi} \cdot \text{gain}(i, k)}{g} \right) \\
 & \cong \max_{k \in \kappa} \text{gain}(i, k) \\
 & \cong \min_{k \in \kappa} I_i(k)
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

$$I_i(k) = P_{cm} \cdot g_{i,m} + \sum_{\substack{j \in \kappa \\ j \neq i}} P_{fj} \cdot h_{i,j} \tag{2.38}$$

由於每個 FBS 皆感測了所有的資源區塊，然後挑選干擾量最小的資源區塊，如此就相當於每個 FBS 都選擇了最有利的通道環境來使用，使得吞吐量可以達到

最大。

嗅探功能：

嗅探功能的方法主要是利用了 FBS 與鄰近的 FBS 之間的合作關係，FBS 會傳送訊息給鄰近的 FBS，傳送的訊息包括 SINR 訊息、FUE 的傳送功率、資源區塊的使用情況等，利用這些訊息來做功率或頻譜配置。在[4]這篇論文中，僅探討在 OFDMA 系統下，利用嗅探功能來做頻譜配置的方案，而在本論文中，吾人提出了在 CDMA 系統下，利用嗅探功能來做功率配置的方案，此方案將放在 3.3 節作介紹。在 OFDMA 系統下，FBS 會先去感測四周資源區塊，然後將 SINR 訊息、FUE 傳送功率以及資源區塊的使用情況等資訊傳給鄰近的 FBS，根據這些資訊，FBS 就可以製作一個增益表(gain table)，如表 2.3 所示，利用此增益表就可以避免鄰近的 FBS 使用同一個資源區塊的情況發生。

表 2.3 增益表(假設鄰近有 N_i 個 FBS)

資源區塊 FBS	1	2	...	50
1	gain(1,1)	gain(1,2)	...	gain(1,50)
2	gain(2,1)	gain(2,2)	...	gain(2,50)
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
N_i	gain(N_i ,1)	gain(N_i ,2)	...	gain(N_i ,50)

其最佳化的表示形式可寫成：

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{i \in N_i} \sum_{k \in \kappa} \log_2 \left(1 + \frac{P_{f_i} \cdot \text{gain}(i, k) \cdot P_{usage}(i, k)}{g} \right) \\
 & \cong \max \sum_{i \in N_i} \sum_{k \in \kappa} \text{gain}(i, k) \cdot P_{usage}(i, k)
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{N_i} P_{\text{usage}}(i, k) = 1 \quad \forall k \quad (2.40)$$

$$P_{\text{usage}} \in \{0, 1\}$$

其中 $P_{\text{usage}}(i, k)$ 等於 1 表示第 i 個 FUE 使用第 k 個資源區塊，0 表示未使用。故 P_{usage} 加總起來等於 1 就表示在這 N_i 個 FUE 中，一個資源區塊只能有一個 FUE 使用。

2.6 小結

於此章，吾人介紹了毫微微細胞所用的環境，並說明了 CDMA 系統與 OFDMA 系統的基本架構、SINR 表示方式以及功率配置，然後基地台即可根據所收到的 SINR，通知用戶設備適合的調變方式。而爲了要讓毫微微細胞的吞吐量最大，卻不對巨細胞的吞吐量影響太大，故吾人介紹了測量報告與嗅探功能的資源配置方案，測量報告是完全去感測四周資源區塊的干擾量大小，然後選擇干擾量最小的資源區塊來決定；而嗅探功能則主要是避開與相鄰近的 FUE 使用同一個資源區塊的情況。

第三章

新提出之分碼多重接取功率配置法

於此章，吾人將提出兩種可應用在 CDMA 系統的演算法，希望藉由功率配置的方法，在不干擾到傳統網路 MUE 之情況下，使 FUE 有更好的效能，於電腦模擬驗證吾人所提出之方法，可達到與最大上鏈吞吐量相近之結果。3.1 節將說明此方法之動機；吾人提出之適應性功率配置法與嗅探功能適應性功率配置法則分別在 3.2 節與 3.3 節說明；3.4 節將以電腦模擬呈現吾人所提出之方法的結果；最後將在 3.5 節作一個小結。



3.1 動機

於 2.3 節中，吾人推導出 CDMA 系統功率配置方法之最大上鏈吞吐量結果為 $\min(P_{\max}, P_{\text{budget}}/h_{0,i})$ ，用此最大上鏈吞吐量方法的確可讓 FUE 的吞吐量到達最大，但卻無法應用在實際系統中。誠如 2.2 節所提到的，實際系統必定是傳送整數個位元的資料，故如果使用最大上鏈吞吐量方法的話，則可能使多餘的功率對其他使用者造成干擾，舉例來說：假設現在量測到的 SINR 可以傳送 9.2 個位元，然而在本論文中，最多就只能傳送 8 個位元而已，故多出來的功率事實上將形成浪費，並且造成 FBS 或 MBS 的干擾。針對此現象，吾人將控制 FUE 之發射功率，使其剛好使用適量之功率傳送即可，如此可減少功率的浪費，並進而減少多餘的干擾產生。

3.2 新提出之適應性功率配置法

當 FBS 已確定與特定的 FUE 做連結後，爲了讓 FUE 使用適量之功率傳送，吾人因此作了以下假設：

(1) 假設 FBS 知道所服務的 FUE 使用的發射功率。

(2) FUE 使用上述假設的發射功率之後，FBS 可準確地量測到 SINR

有了上述的假設，即可利用(2.9)式得到 FBS 與所服務的 FUE 之間的增益：

$$\text{gain}_i = \frac{\text{SINR}_i}{G \cdot P_{fi}} \quad (3.1)$$

由於 FBS 與 FUE 之間含有路徑損耗及其他使用者的干擾，故均可用「增益」來方便表示，有了此項增益後，就可算出 FUE 該用多少的功率才可達到足夠的 SINR 目標來傳送位元：

$$P'_{fi} = \frac{\Gamma}{G \cdot \text{gain}_i} \leq P_{\max} \quad (3.2)$$

其中 $\Gamma \in \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_5\}$ 分別表示適應性調變中不同 SINR 目標。接著，FBS 再把 P'_{fi} 的值傳給 FUE 即可。

吾人將上述適應性功率配置法演算步驟寫成如下表示：

步驟 1：先求得增益

當 FUE 已確定與 FBS 建立連線之後，FUE 就先用 P_{fi} 的功率傳送

給 FBS，FBS 收到之後即可量出當下的 SINR，再利用(3.1)式求得增益。

步驟 2：降低 FUE 功率

如果 $\text{SINR} > \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(3.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率降低

成 P'_{fi} ，然後直接跳到步驟 5。

步驟 3：提升 FUE 功率

如果 $\text{SINR} < \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(3.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率提升

，若 P'_{fi} 小於等於 $P_{\max}$ 則跳到步驟 5，若大於 $P_{\max}$ ，則到步驟 4。

步驟 4：改變 SINR 目標值

將 SINR 目標從 Γ_5 依序分別改成 Γ_4 、 Γ_3 、 Γ_2 、 Γ_1 ，然後重複

步驟 2~步驟 3。

步驟 5：連接通話

正式連接 FUE 與 FBS 的通話，由於在通話的過程中，環境可能隨

時改變，故經過一段時間 T 之後，再重新進行步驟 1~步驟 4。

利用上述的演算法，即可讓每個 FUE 根據適合的環境來選擇最有利於自己的傳輸速率，若將上述演算法的步驟寫成流程圖，則如圖 3.1 所示。

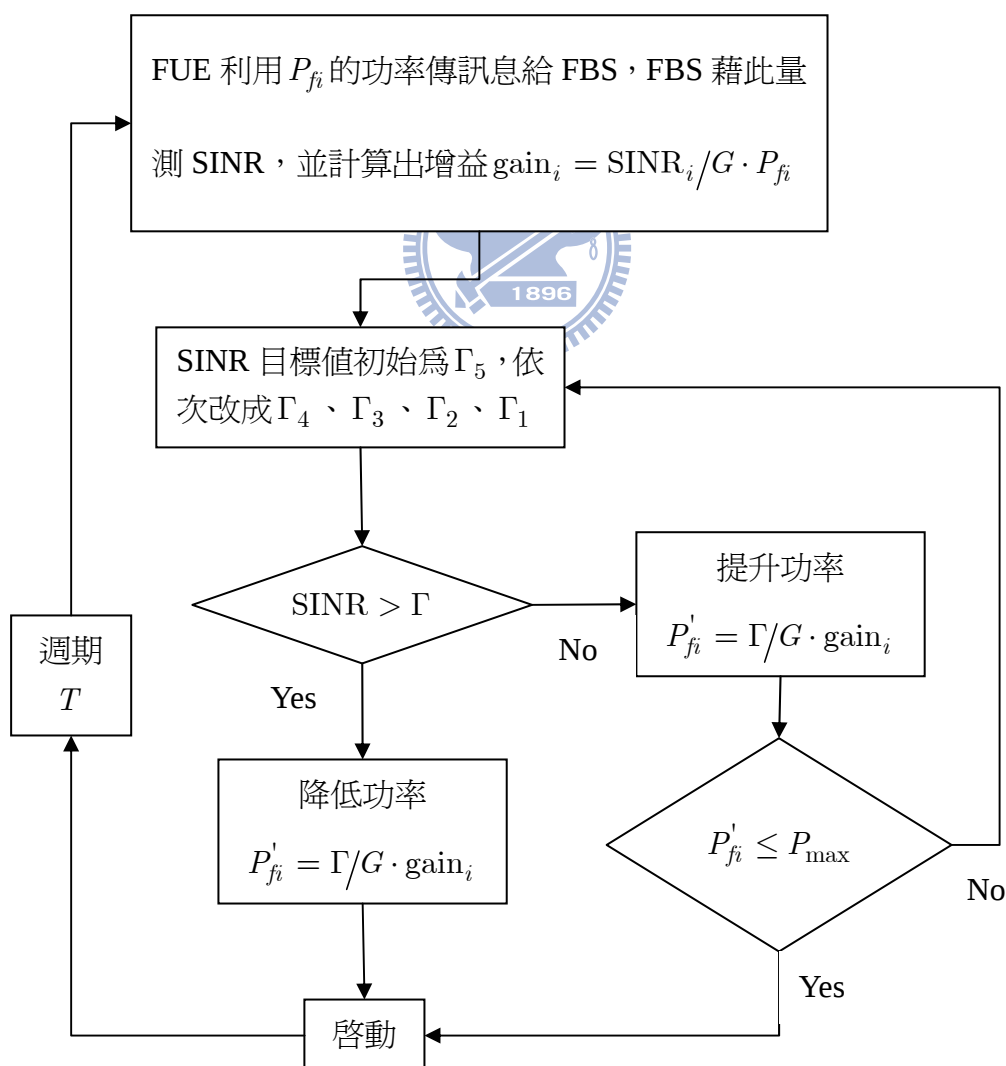


圖 3.1 新提出之適應性功率配置法流程圖

3.3 新提出之嗅探功能適應性功率配置法

上一節所用之配置法是讓每個 FUE 均使用最有利於自己的傳輸速率，但卻沒有考慮對傳統網路 MUE 之影響，故此節，為了使傳統網路的 MUE 能有較好的吞吐量，於是吾人提出了基於嗅探功能之適應性功率配置法。嗅探功能主要是利用 FBS 與鄰近 FBS 的合作關係，藉由相互傳送訊息，進而了解鄰近 FBS 的通道好壞，再利用這些訊息，進而避免同層(co-tier)干擾與跨層(cross-tier)干擾，最大化整體網路的吞吐量。詳細的演算步驟可寫成如下表示：

步驟 1：先求得增益

當 FUE 已確定與 FBS 建立連線之後，FUE 就先用 P_{fi} 的功率傳送給

FBS，FBS 收到之後即可量出當下的 SINR，再利用(3.1)式求得增益。

步驟 2：FBS 將求得的增益傳送給鄰近的 FBS。

步驟 3：事先分配 SINR 目標值以調整 FUE 發射功率

有了鄰近 FBS 的增益之後，就可將增益由大排到小，並根據此排名，按照比例來事先分配 FBS 應使用之 SINR 目標值，如表 3.1 所示，其中 $W_5 + W_4 + W_3 + W_2 + W_1 \leq 1$ ，並由此 SINR 目標值，利用(3.2)式來提升或降低 FUE 的發射功率。

表 3.1 一定區域內按增益大小比例分配 SINR 目標值

SINR 目標	Γ_5	Γ_4	Γ_3	Γ_2	Γ_1
比例	W_5	W_4	W_3	W_2	W_1

步驟 4：改變 SINR 目標值

若發現 SINR 目標過高(亦即由(3.2)式算出來的 $P'_{fi} > P_{\max}$)時，則依

Γ_4 、 Γ_3 、 Γ_2 、 Γ_1 的順序降低 SINR 目標，再用(3.2)式來改變 FUE 的發射功率。

步驟 5：連接通話

正式連接通話 FUE 與 FBS 的通話，由於在通話的過程中，環境可能隨時改變，故經過一段時間 T 之後，再重新進行步驟 1~步驟 4。

於步驟 3，將一定區域的 FBS 依照比例來分配 SINR 目標，故可讓原本對 MUE 干擾較大(即增益較小)的 FUE，用較低之速率來傳送，藉此來保護 MUE 的系統效能。至於比例的分配方式則如表 3.3 所示，這個數據是根據 3.2 節之適應性功率配置法跑出電腦模擬之後，依照相同的比例應用在這個地方來作比較。若將上述演算法的步驟寫成流程圖，則如圖 3.2 所示。

3.4 電腦模擬

於此節，吾人會分成兩個模擬情況來探討，情況一是完全沒有做適應性調變時，最大上鏈吞吐量方法與吾人新提出之演算法來做比較；情況二則是做了適應性調變之後，最大上鏈吞吐量方法與吾人新提出之演算法來做比較。表 3.2 列出了在模擬時會使用到的參數；表 3.3 列出模擬時，圖例說明(legend)的中英對照：

表 3.2 毫微微細胞 CDMA 系統電腦模擬參數

符號	描述	值
α	戶外路徑損耗常數	4
β	室內路徑損耗常數	3
ω	穿透損耗	5dB
f	載波	2000MHz
g	薛能差距	3dB
G	展頻增益	256
$P_{\max}$	最大發射功率	0.2Watt(23dBm)
S	天線靈敏度	-100dBm
P_{budget}	FUE 對 MBS 最大忍受之干擾量	6×10^{-12} Watt

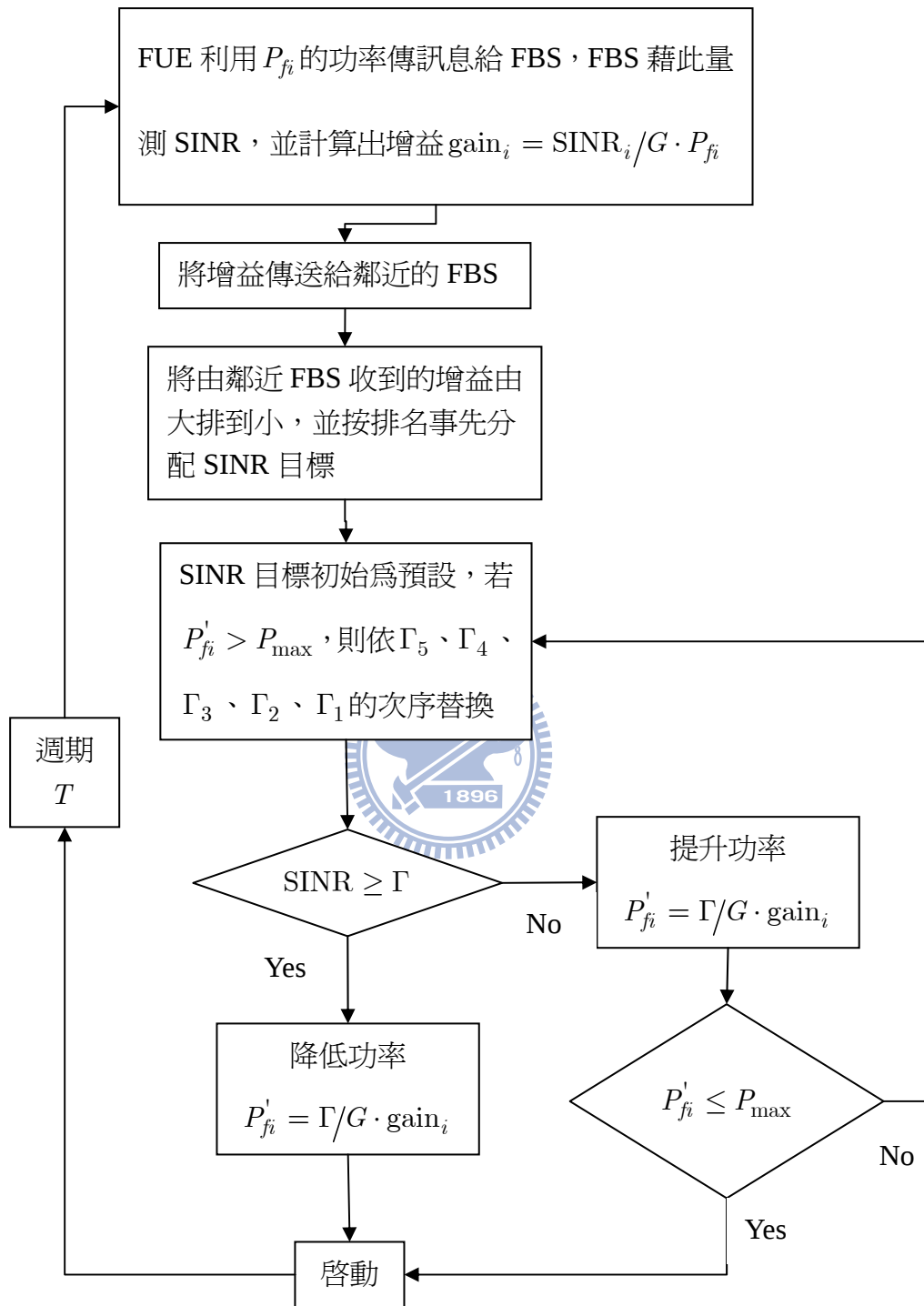


圖 3.2 新提出之嗅探功能適應性功率配置法流程圖

表 3.3 CDMA 模擬圖圖例說明中英對照

英文 Legend	中文圖例說明
Maximize Uplink Capacity of FUE	最大上鏈吞吐量
Adaptive Power Allocation	適應性功率配置法
Sniffer Function and Adaptive Power Allocation	嗅探功能與適應性功率配置法

情況一：未使用適應性調變

於此，先觀察未使用適應性調變之結果，情況一的吞吐量計算方式是假設在理想的情況下能夠達到最大的容量，意即利用薛能容量(Shannon capacity)公式算出，如下式：

$$C = \log_2(1 + \text{SINR}) \quad (3.3)$$

從圖 3.3 中可知，最大上鏈吞吐量的方法得到的結果是最好的，而吾人所提之方法由於是限制在 8bits/Hz 的傳送速率之下，故必定無法超過 8bits/Hz。而嗅探功能適應性功率配置法的 SINR 目標分配，是依照適應性功率配置法中 FUE 使用的 SINR 目標比例來分配的，其分配的權重依表 3.4 所示。圖 3.4 為未使用適應性調變時 MUE 平均吞吐量，可看出由於最大上鏈吞吐量的方法與嗅探功能適應性功率配置法都有針對 MUE 而有所保護，故會比適應性功率配置法好；圖 3.5 為未使用適應性調變時全部 UE 的吞吐量。

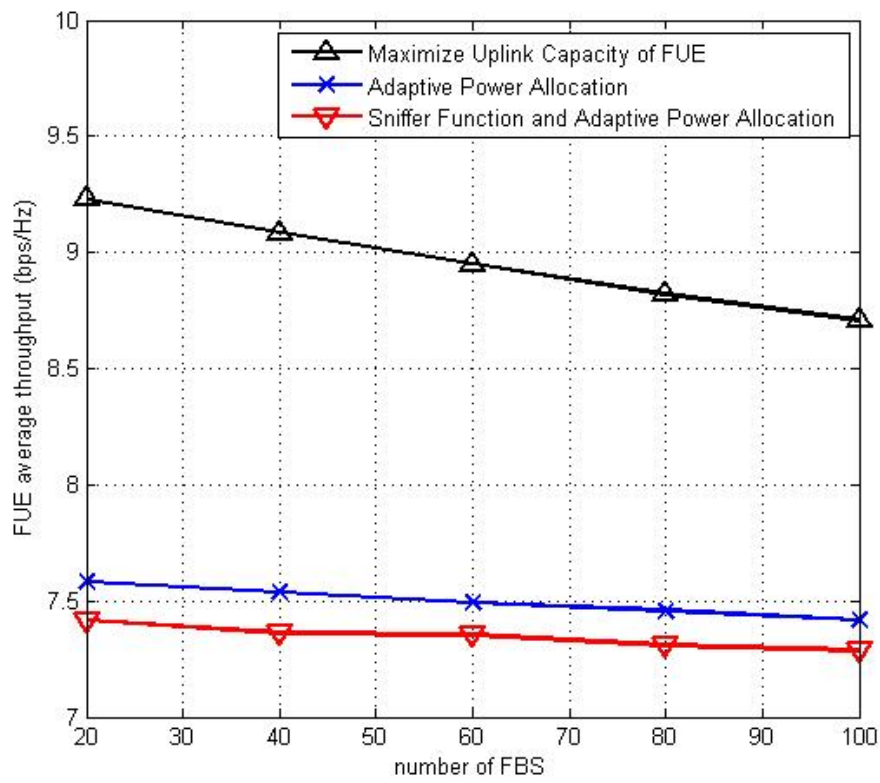


圖 3.3 未使用適應性調變時 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

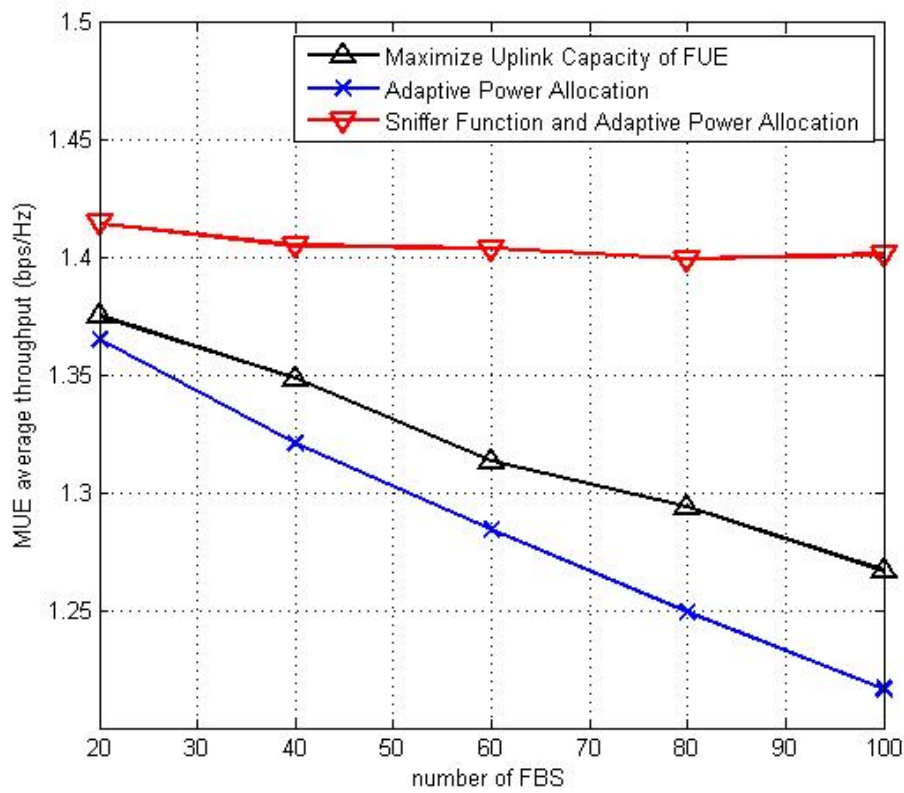


圖 3.4 未使用適應性調變時 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

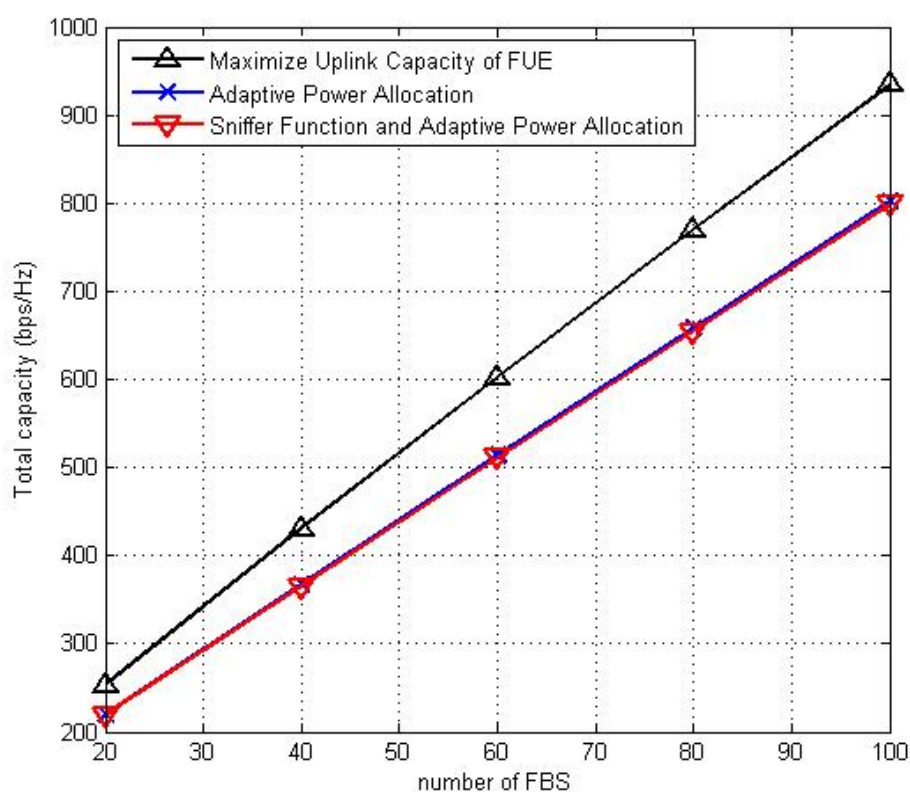


圖 3.5 未使用適應性調變時全部 UE 的吞吐量，MUE 個數=50

表 3.4 嗅探功能適應性功率配置法 FUE 之 SINR 目標分配

SINR 目標	Γ_5	Γ_4	Γ_3	Γ_2	Γ_1
比例	W_5	W_4	W_3	W_2	W_1
FUE 個數					
20	54.3%	25.88%	12.81%	5.08%	1.93%
40	52.5%	26.99%	13.26%	5.31%	1.94%
60	50.75%	27.84%	14.06%	5.38%	1.97%
80	49.12%	28.55%	14.78%	5.6%	1.95%
100	47.36%	29.38%	15.53%	5.76%	1.97%

情況二：使用適應性調變

於此部分，吾人考慮在實際系統中會應用適應性調變的機制，故吞吐量的計

算方式就如同 2.2 節的方式，針對不同的 SINR 使用不同的調變方式來傳送整數個位元，圖 3.6 為考慮適應性調變時 FUE 平均吞吐量，若和圖 3.3 做比較可以發現，吾人所提之適應性功率配置法反而比最大上鏈吞吐量的方法要來得好一些，因此足可證明吾人方法之實用性，最下面的虛線為 FUE 皆使用相同功率來傳送(即未作功率配置)時的表現，而每個 FUE 的功率是根據適應性功率配置法中 FUE 的平均傳送功率來作比較；圖 3.7 為考慮適應性調變時 MUE 平均吞吐量，可看出由於最大上鏈吞吐量的方法與嗅探功能適應性功率配置法都有針對 MUE 而有所保護，故會比適應性功率配置法好；圖 3.8 為考慮適應性調變時全部 UE 的吞吐量；圖 3.9 為 FUE 平均發射功率，在這裡可發現，吾人提出之方法用了較小的功率即可達到與最大上鏈吞吐量的方法差不多的結果。

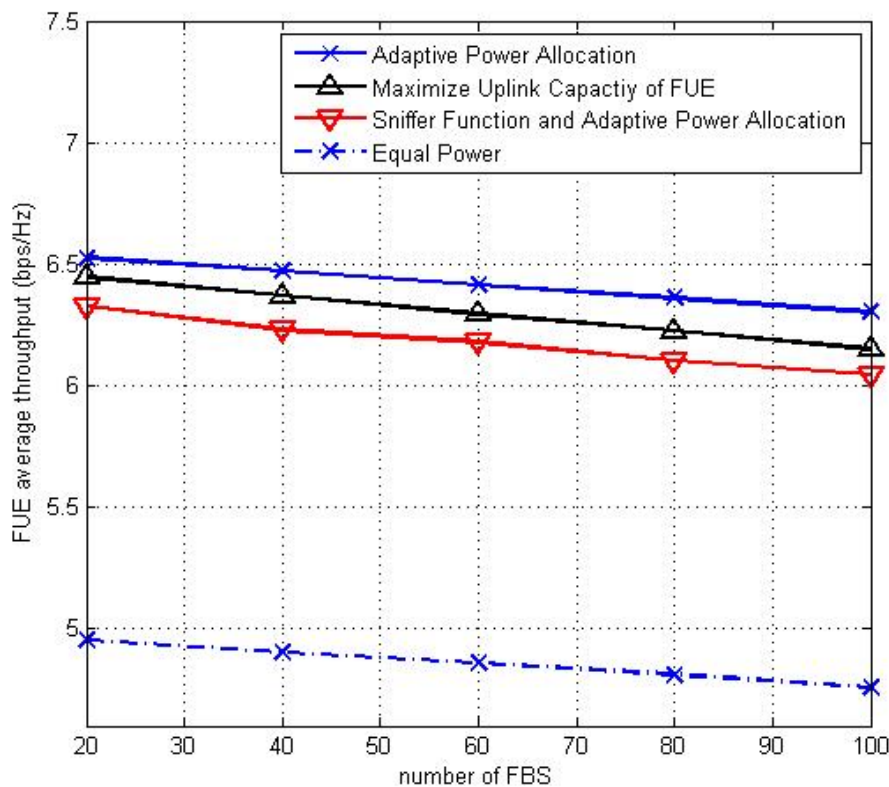


圖 3.6 考慮適應性調變時 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

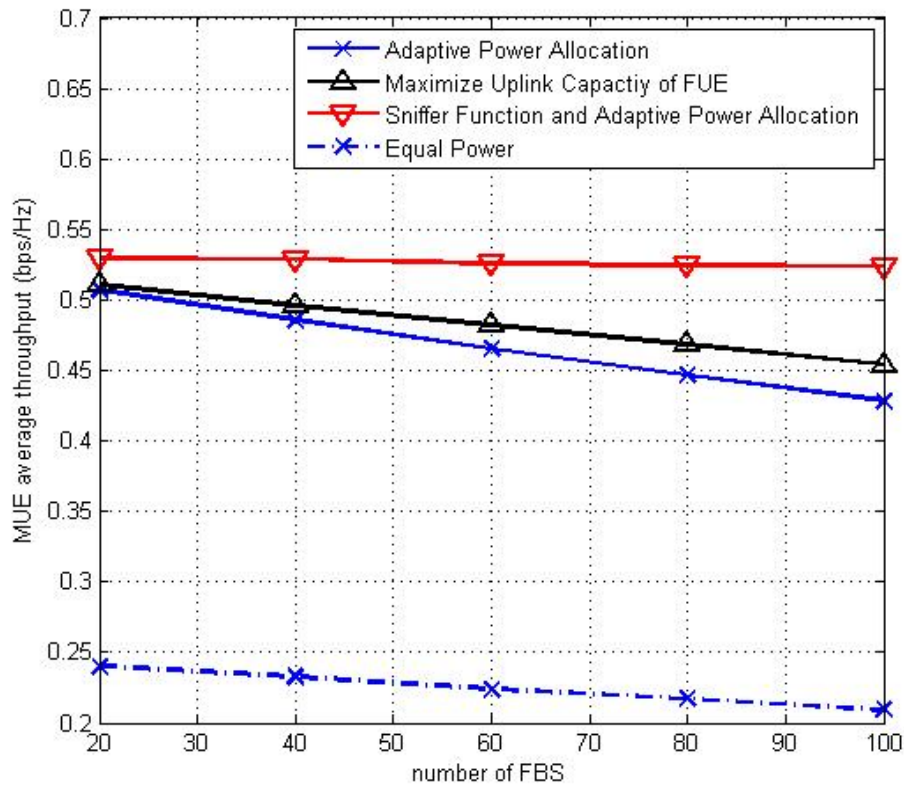


圖 3.7 考慮適應性調變時 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

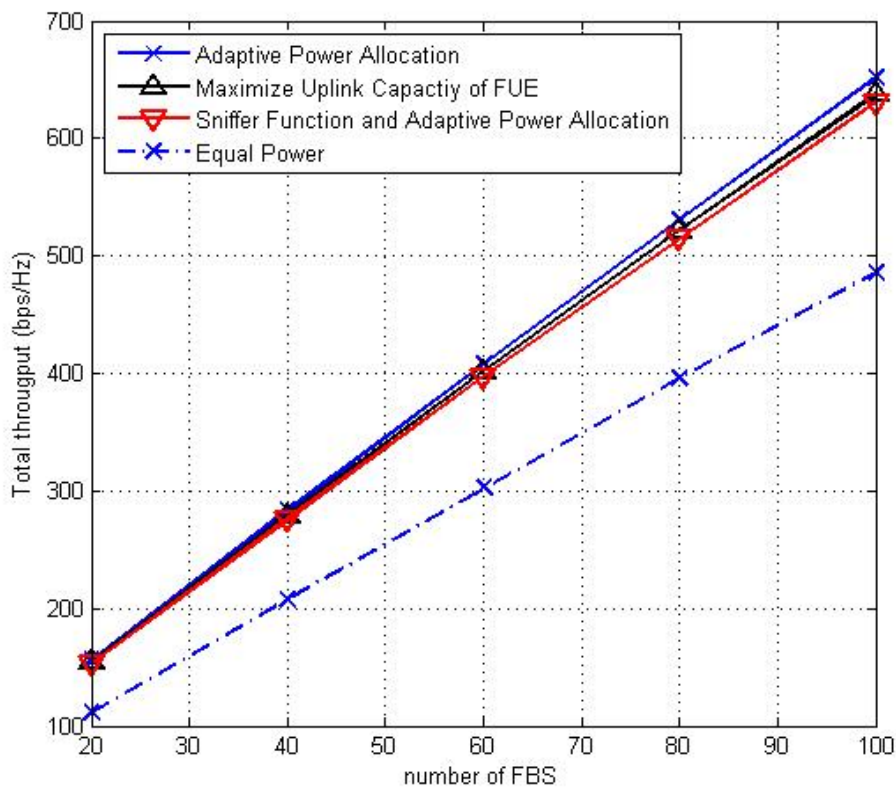


圖 3.8 考慮適應性調變時全部 UE 的吞吐量，MUE 個數=50

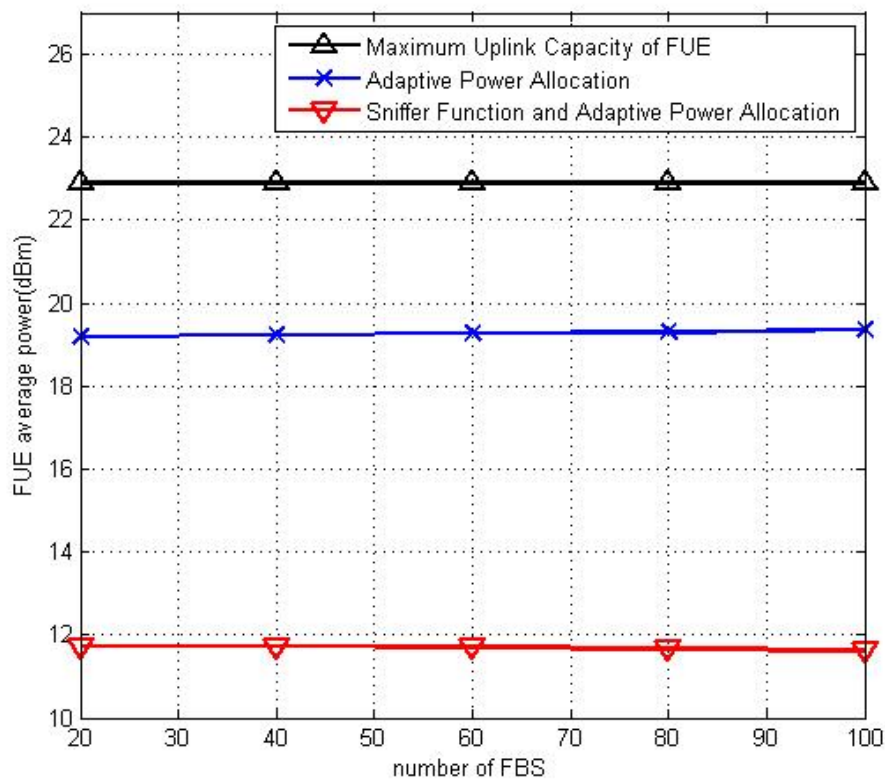


圖 3.9 FUE 平均發射功率，MUE 個數=50

3.5 小結

於此章，吾人分別提出了可應用在 CDMA 系統的適應性功率配置法與嗅探功能適應性功率配置法，並且與 2.3 節的最大上鏈吞吐量方法作比較，可發現若單純用薛能容量公式得到的理想吞吐量，最大上鏈吞吐量方法會好很多，但若考慮在實際系統中使用了適應性調變的話，即可看出吾人所提之方法與最大上鏈吞吐量方法是差不多的，而且吾人所提之方法使用的功率也較低，對於上傳環境中，節省用戶設備的電源是有幫助的。

第四章

新提出之正交頻率多重接取頻譜與功率聯合配置法

於此章，吾人將提出兩種可運用在 OFDMA 下之演算法，希望藉由適當之頻譜配置與功率配置，可讓整體巨細胞之吞吐量能有最佳之結果，而最後在電腦模擬部分，則可驗證吾人提出之方法。4.1 節將說明提出此方法之動機；吾人提出之測量報告與適應性功率聯合配置法及嗅探功能與適應性功率聯合配置法則分別在 4.2 節與 4.3 節說明；4.4 節將以電腦模擬呈現吾人所提出之方法的結果；最後將在 4.5 節作一個小結。



4.1 動機

於 2.4 節中，吾人推導出了 OFDMA 系統功率配置方法之最大上鏈吞吐量結果為 $\min(P_{\max}, P_{\text{budget}}/h_{0,i})$ ，然而用最大上鏈吞吐量方法之缺點如第三章所陳述的，FUE 發射的功率過大，會造成 FBS 與 MBS 的干擾，故吾人提出了適應性功率配置法來做功率配置，以期能降低對傳統網路 MBS 的干擾，讓 FUE 與 MUE 的吞吐量達到最大。

4.2 新提出之測量報告與適應性功率聯合配置法

測量報告之頻譜配置方案已於 2.5 節作介紹，爲了將測量報告與適應性功率配置法作結合，吾人於是作了以下假設：

(1) 假設 FBS 知道所服務的 FUE 使用的發射功率。

(2) FUE 使用上述假設的發射功率之後，FBS 可準確地量測到 SINR

有了上述之假設後，即可利用(2.30)式求出 FBS 與所服務的 FUE 之間的增益：

$$\text{gain}(i, k) = \frac{\text{SINR}_i(k)}{P_{fi}} \quad (4.1)$$

其中 $\text{SINR}_i(k)$ 表示第 i 個 FBS 利用第 k 個資源區塊時的 SINR 大小， $\text{gain}(i, k)$ 表示第 i 個 FBS 利用第 k 個資源區塊時的增益大小。一旦得知此「增益」，即可根據不同 SINR 目標，適當地調配應使用的功率：

$$P'_{fi} = \frac{\Gamma}{\text{gain}(i, k)} \leq P_{\max} \quad (4.2)$$

其中 $\Gamma \in \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_5\}$ 分別表示適應性調變中不同 SINR 目標。FBS 得到 P'_{fi} 值之後，再回傳給 FUE，讓 FUE 使用此功率即可。

吾人將測量報告與適應性功率聯合配置法之演算步驟寫成如下表示：

步驟 1：先感測四周干擾量

當 FBS 開啓之後，會先感測所有資源區塊的干擾量，在此必須假設所有感測到的干擾量都是正確無誤的。

步驟 2：製作測量報告

FBS 感測所有資源區塊的干擾量之後，即可將這些干擾量作成測量報告，其形式如表 2.2 所示。

步驟 3：選擇最小干擾量作頻譜配置

如(2.37)式所示，爲了讓吞吐量達到最大，就相當於選擇使用干擾量最小的資源區塊。

步驟 4：求得增益

當確定應使用之頻譜後，FUE 即先用 P_{fi} 的功率傳送給 FBS，FBS 收到後即可量出當下的 SINR，再利用(4.1)式求得增益。

步驟 5：降低 FUE 功率

如果 $\text{SINR} > \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(4.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率降低成

P'_{fi} ，然後直接跳到步驟 8。

步驟 6：提升 FUE 功率

如果 $\text{SINR} < \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(4.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率提升

，若 P'_{fi} 小於等於 $P_{\max}$ 則跳到步驟 8，若大於 $P_{\max}$ ，則到步驟 7。

步驟 7：改變 SINR 目標值

將 SINR 目標值從 Γ_5 依序分別改成 Γ_4 、 Γ_3 、 Γ_2 、 Γ_1 ，然後重複

步驟 5~步驟 6。

步驟 8：連接通話

正式連接 FUE 與 FBS 的通話，由於在通話的過程中，環境可能隨

時會改變，故經過一段時間 T 之後，再重新進行步驟 1~步驟 7。

上述的演算步驟中，步驟 1 到步驟 3 為測量報告頻譜配置方案，而步驟 4 到步驟 7 則為適應性功率配置方案，上述的方法可讓每個 FUE 根據環境來使用最適合自己的頻譜與功率，若將上述演算法的步驟寫成流程圖，則如圖 4.1 所示。

4.3 新提出之嗅探功能與適應性功率聯合配置法

上一節之測量報告必須假設感測資源區塊之干擾量為無誤的情況下才可，於此節，吾人提出了若不使用感測的技術，而是利用 FBS 與鄰近 FBS 之間的合作，來避免鄰近 FBS 使用同一資源區塊之方法，其詳細之演算步驟如下所示：

步驟 1：先求得每個資源區塊之增益

FUE 針對每個資源區塊都傳送同樣訊息給 FBS，FBS 則針對所傳之訊息計算出 SINR，在假設 FBS 知道 FUE 發射功率之前提下，即可由(4.1)式得出每個資源區塊之增益

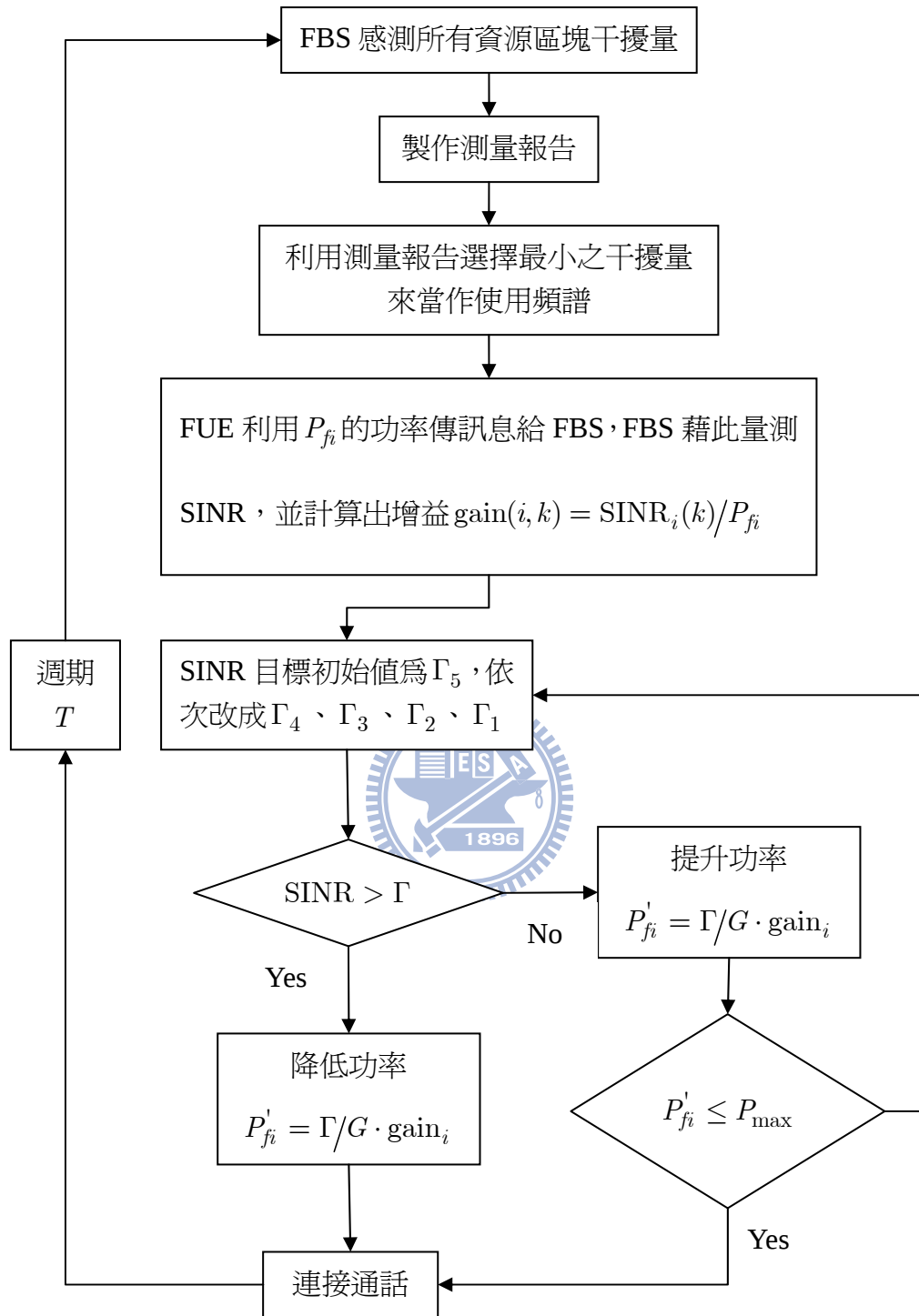


圖 4.1 新提出之測量報告與適應性功率聯合配置法流程圖

步驟 2：FBS 將增益訊息散播出去

步驟 3：製作增益表

FBS 接收到鄰近 FBS 之訊息後，即可製作成如表 2.3 之增益表，有此增益表後，即可知道鄰近 FBS 資源區塊使用情況

步驟 4：頻譜配置

每個資源區塊給增益最大的 FBS 使用，但若發現此資源區塊中，增益最大的 FBS 已使用其他資源區塊時，即可將此資源區塊分配給第二大增益的 FBS，以此類推

步驟 5：降低 FUE 功率

當確定可使用之頻譜後，即可進行適應性功率配置法，如果

$\text{SINR} > \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(4.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率降低成 P'_{fi} ，然後直接跳到步驟 8。

步驟 6：提升 FUE 功率

如果 $\text{SINR} < \Gamma_5$ ，則將 Γ_5 代入(4.2)式中，相當於將 P_{fi} 的功率提升，若 P'_{fi} 小於等於 $P_{\max}$ 則跳到步驟 8，若大於 $P_{\max}$ ，則到步驟 7。

步驟 7：改變 SINR 目標值

將 SINR 目標值從 Γ_5 依序分別改成 Γ_4 、 Γ_3 、 Γ_2 、 Γ_1 ，然後重複步驟 5~步驟 6。

步驟 8：連接通話

正式連接 FUE 與 FBS 的通話，由於在通話的過程中，環境可能隨時會改變，故經過一段時間 T 之後，再重新進行步驟 1~步驟 7。

上述之演算步驟，步驟 1 到步驟 4 為嗅探功能頻譜配置方案，步驟 5 到步驟 7 為適應性功率配置方案，利用此演算法即可不使用感測技術，而單純用 FBS 之間合作的關係來完成資源配置，若將上述演算步驟寫成流程圖則如圖 4.2 所示。

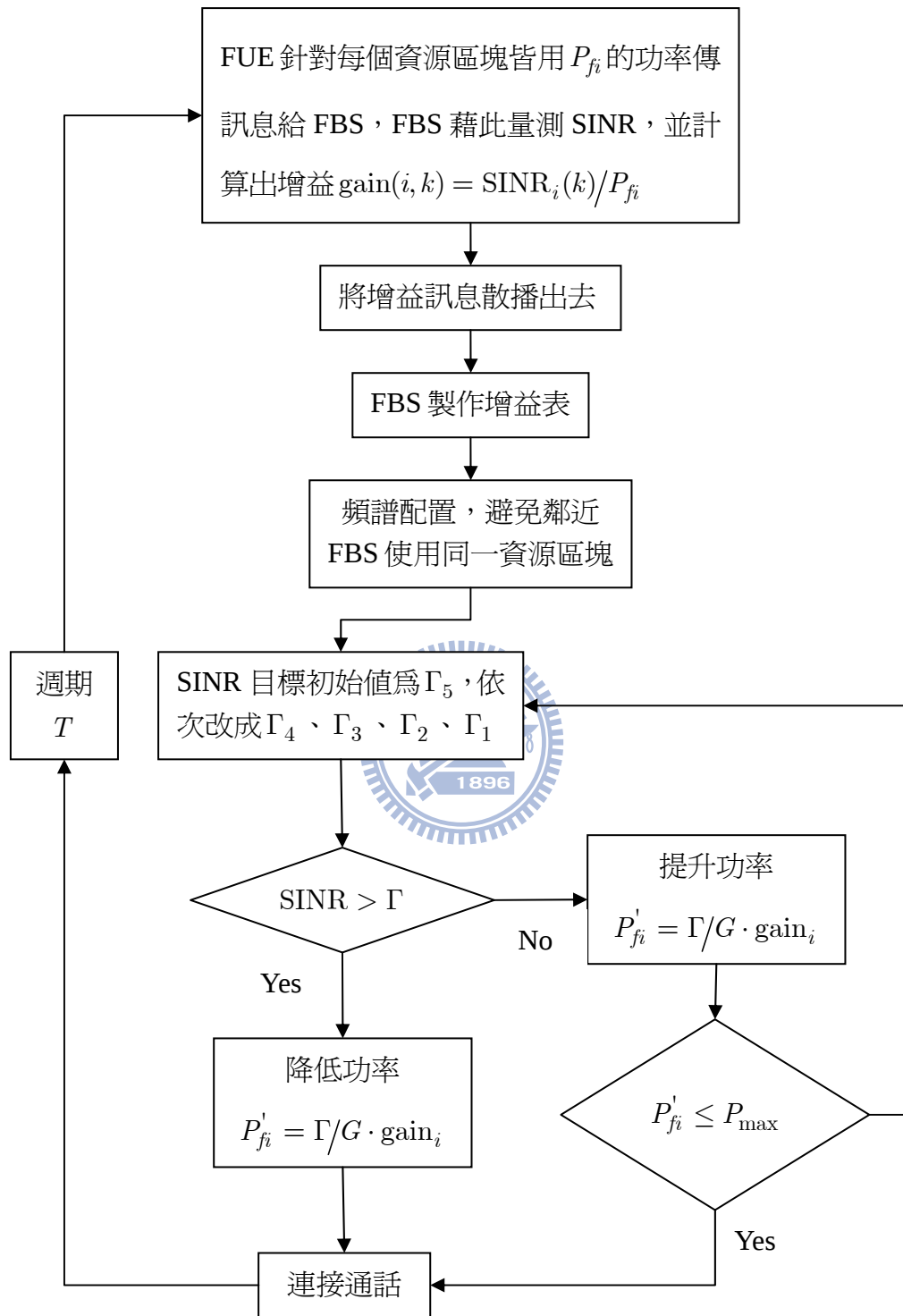


圖 4.2 新提出之嗅探函數與適應性功率聯合配置法流程圖

4.4 電腦模擬

於此節，吾人將針對 4.3 節、4.4 節提出之方法，與 2.4 節推導出之方法作一電腦模擬來比較其結果，除了上述之方法外，吾人亦將比較隨機配置(randomly assign, RA)頻譜與均等功率聯合配置(equal power)法之結果，而模擬時所使用之參數如表 4.1 所示；表 4.2 列出模擬時，圖例說明中英對照：

表 4.1 毫微微細胞 OFDMA 系統電腦模擬參數

符號	描述	值
α	戶外路徑損耗常數	4
β	室內路徑損耗常數	3
ω	穿透損耗	5dB
f	載波	2000MHz
g	薛能差距	3dB
K	資源區塊	50
$P_{\max}$	最大發射功率	0.2Watt(23dBm)
S	天線靈敏度	-100dBm
P_{budget}	FUE 對 MBS 最大忍受之干擾量	6×10^{-12} Watt

表 4.2 OFDMA 模擬圖圖例說明中英對照

英文 Legend	中文圖例說明
Maximize Uplink Capacity of FUE	最大上鏈吞吐量
Joint MR and Adaptive Power Allocation	測量報告與適應性功率聯合配置
Joint Sniffer Function and Adaptive Power Allocation	嗅探功能與適應性功率聯合配置
Joint MR and Equal Power Allocation	測量報告與均等功率聯合配置
Joint RA and Adaptive Power Allocation	隨機頻譜與適應性功率聯合配置
Joint RA and Equal Power Allocation	隨機頻譜與均等功率聯合配置

圖 4.3 為 OFDMA 系統下 FUE 之平均吞吐量，從圖中我們可以看出最大上鏈吞吐量之方案有最好的結果，而吾人所提之測量報告與適應性功率聯合配置及嗅探功能與適應性功率聯合配置之方案則略差一些，測量報告與適應性功率聯合配置比嗅探功能與適應性功率聯合配置方案好的原因為，測量報告是使用所有資源區塊中干擾最小的，故能有較好之吞吐量，當然前提必須是假設感測得到的資訊必須是完全正確才有這樣的結果，觀察圖 4.4 MUE 之平均吞吐量時可發現，最大上鏈吞吐量由於讓 FUE 使用了過大的功率，故對傳統網路 MUE 造成極大的干擾，而吾人所提之方法，FUE 使用了較小的功率來傳送資料，故對傳統網路 MUE 造成的干擾較小，為了公平起見，於是吾人將觀察巨細胞中所有吞吐量之大小，由圖 4.5 中可看出，吾人所提之方案，其結果皆比最大上鏈吞吐量之方案好，圖 4.6 則顯示所有 FUE 平均傳送功率，更能明顯地看出，最大上鏈吞吐量之方案因為讓 FUE 使用太大功率而導致整體網路吞吐量因此而下降。另一方面，比較隨機配置頻譜之方法也可看出，若能使用適當之頻譜配置方式，對於吞吐量之提升與 FUE 功率之下降皆是有幫助的。

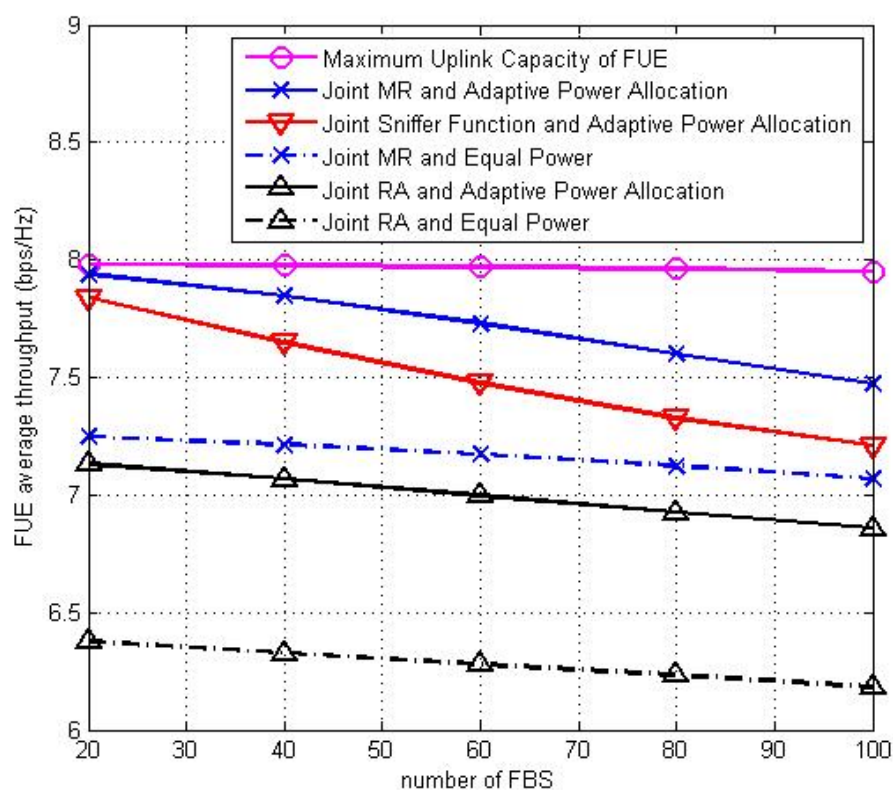


圖 4.3 OFDMA 系統 FUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

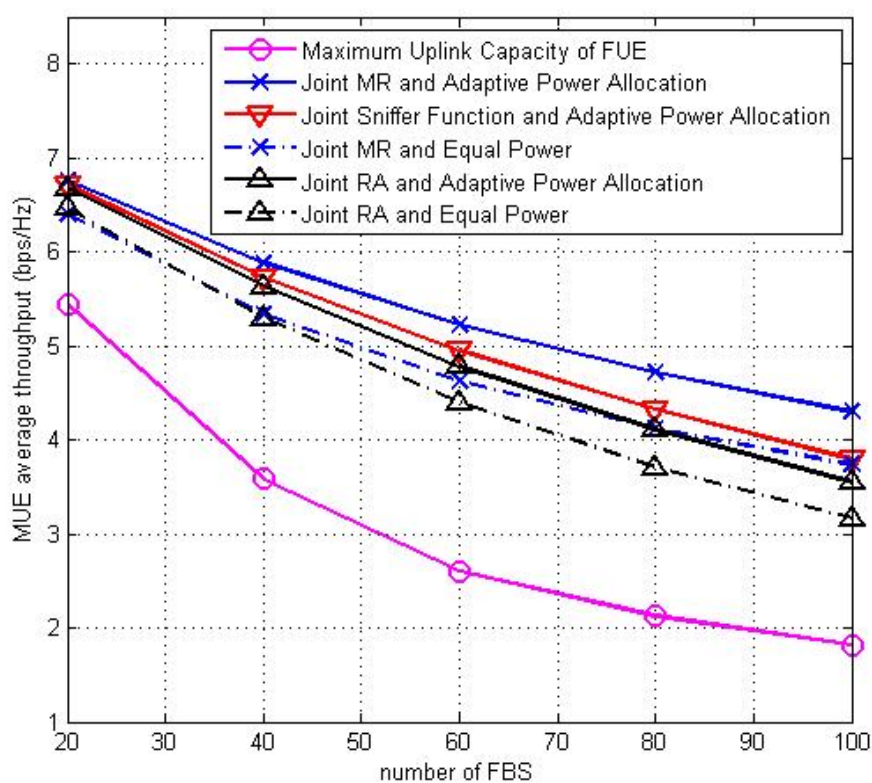


圖 4.4 OFDMA 系統 MUE 平均吞吐量，MUE 個數=50

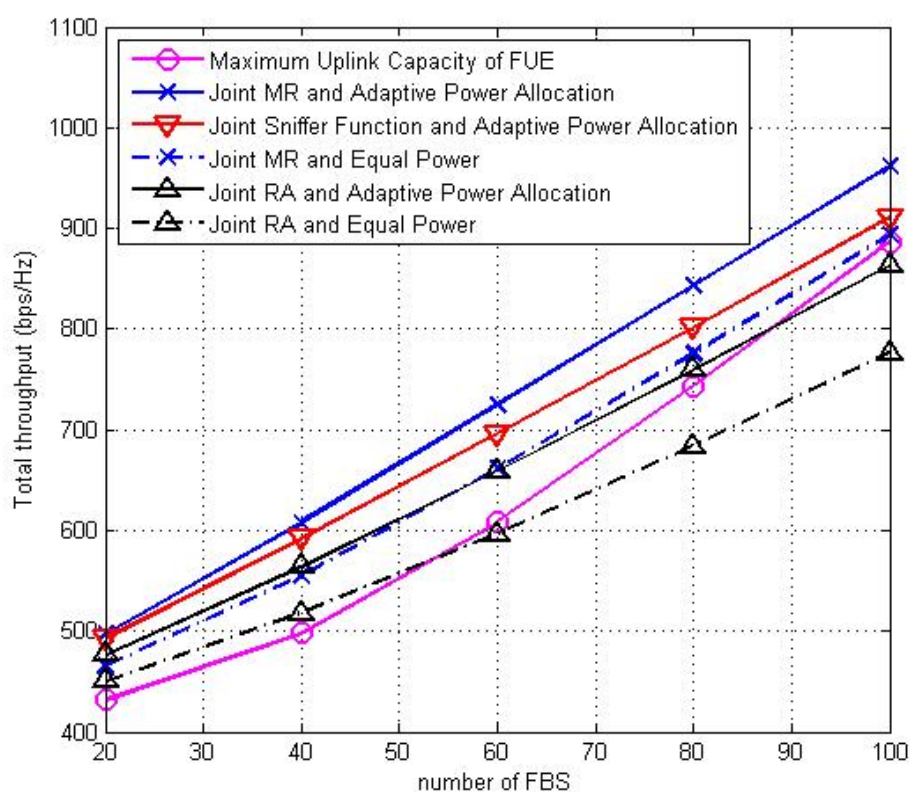


圖 4.5 OFDMA 系統全部 UE 吞吐量，MUE 個數=50

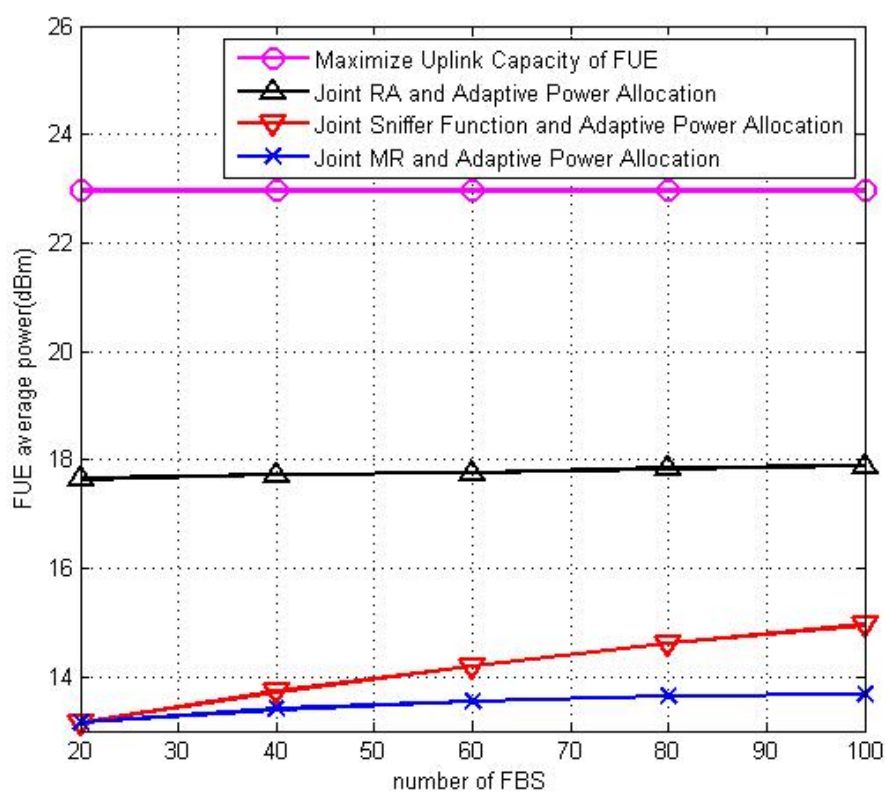


圖 4.6 OFDMA 系統 FUE 平均發射功率，MUE 個數=50

4.5 小結

於此章，吾人分別提出了可運用在 OFDMA 系統下，測量報告與適應性功率聯合配置及嗅探功能與適應性功率聯合配置之方案，並且與 2.4 節推導出之最大上鏈吞吐量方案作比較，可發現由於最大上鏈吞吐量之方案用了過大的功率而導致傳統網路 MUE 之吞吐量下降，反而拖累整個巨細胞之全部吞吐量，故吾人所提之適應性功率配置方案應有實用價值。在電腦模擬部分吾人亦比較隨機分配頻譜之結果，可看出隨機分配頻譜不但會造成吞吐量的下降，而且 FUE 使用的功率亦較大，故適當分配頻譜為必要步驟。測量報告之方案雖比嗅探功能之方案好，但必須是假設感測技術是正確無誤的情況下才可，若感測技術未必是正確時，使用嗅探功能之方案，亦可有不錯之結果。



第五章

結論與未來工作

吾人於本論文開頭處介紹毫微微細胞之優點與所遭遇之問題，在頻譜分配為同頻道調度之情況下，必定會遭遇跨層干擾之困擾，而資源配置是唯一能解決跨層干擾問題，並使 FUE 與 MUE 之吞吐量達到最大之方法。於第二章說明 CDMA 與 OFDMA 系統之基本架構以及適應性調變吞吐量計算方式，並分別推導出 FUE 最大上鏈吞吐量之功率配置方案，而為了找出 FUE 與 MUE 之全部最大吞吐量，吾人利用電腦模擬方式得到 FUE 對 MBS 最大忍受干擾量參數以用於之後的電腦模擬。然而可發現，使用最大上鏈吞吐量之方案雖可讓 FUE 有絕佳之結果，但由於使用功率過大之緣故，對傳統網路 MUE 造成極大干擾，反而無法讓巨細胞內所有 FUE 與 MUE 之吞吐量達到最大。

於第三章，為了符合實際系統之需求與降低 FUE 使用功率，吾人提出可用於 CDMA 系統之適應性功率配置法以及嗅探功能與適應性功率配置法，並對此二種演算步驟作一詳細說明，利用此二種演算步驟即可找出在不同環境下，適合於此 FUE 之 SINR 目標，讓 FUE 使用適當之功率來傳送，並減少對 MUE 之干擾，以期能使整體巨細胞有最大吞吐量。最後在電腦模擬時可分兩種情況來探討，情況一之吞吐量計算方式為薛能容量公式，可發現最大上鏈吞吐量之結果比吾人提出之方法好很多，但若考慮情況二使用 2.2 節適應性調變方式來計算吞吐量時，則最大上鏈吞吐量與吾人所提方法之吞吐量，結果是差不多的，但吾人所提之方法，FUE 使用之發射功率則小於最大上鏈吞吐量之發射功率，在上鏈環境中，減少用戶手機之發射功率對增加通話時間有確實地幫助。

在 OFDMA 系統中，使用最大上鏈吞吐量之方案無法讓巨細胞內所有使用者之吞吐量達到最大，於是在第四章吾人提出了測量報告與適應性功率聯合配置法以及嗅探功能與適應性功率聯合配置法，並對此二種演算法作一詳細說明，利用此二種演算法除了讓 FUE 使用適當之功率傳送訊息外，還可比較當感測能力完美時使用測量報告，與當感測能力不完美時使用嗅探功能之結果。最後在電腦模擬顯示出，對 FUE 而言最大上鏈吞吐量之方案可達到最大值，但對 MUE 而言卻因為干擾過大而嚴重拖累 MUE 之吞吐量，故在比較全部使用者之吞吐量後即可發現，吾人提出之兩種演算法結果皆比最大上鏈吞吐量之方法好，且 FUE 使用了較小之發射功率。若針對感測能力完美與否來做比較，可看出測量報告擁有最好的吞吐量結果，而嗅探功能則稍差一些，故若在已知感測能力為不完美之情況下，使用嗅探功能來分配頻譜亦可有不錯之效果。

本論文之貢獻在於，吾人為了能符合系統之需求，故引入適應性調變功率配置方案於 CDMA 與 OFDMA 系統中，讓 FUE 能使用適當之功率即可達到足夠大之吞吐量，並且降低對傳統網路 MUE 之干擾，最後在觀察整體巨細胞之吞吐量時，即可發現吾人提出之方法有最好之效果。在 CDMA 系統中，吾人更提出嗅探功能與適應性功率配置法，讓 FUE 使用更低功率即可達到足夠大之吞吐量，對使用者來說可有較長之通話時間。

本論文謹討論上鏈且封閉存取之環境，未來可針對下鏈之環境或開放存取之環境來做探討，並比較何種系統適合用封閉存取，何種系統適合用開放存取，亦可針對若感測能力未達完美時，可使用何種資源配置方式來讓吞吐量達到最大，更進一步也可討論，該用何種感測方式才可讓感測能力達到完美，並應用於毫微微細胞。

參考文獻

- [1] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Communications Maganization*, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, Sept. 2008.
- [2] S. R. Saunders, S. Carlaw, A. Giustina, R. R. Bhat, V. S. Rao, and R. Sieberg, *Femtocells: Opportunities and Challenges for Business and Technology*. John Wiley and Sons Ltd, 2009.
- [3] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen, and A. Gatherer, "Power control in two-tier femtocell networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 8, pp. 4316-4328, Jul. 2009.
- [4] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Uplink capacity and interference avoidance for two-tier femtocell networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 7, pp. 1536-1276, Jul. 2009.
- [5] J. Zhang, G. D.L. Roche, *Femtocells Technologies and Deployment*. John Wiley and Sons Ltd, 2010.
- [6] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Spectrum allocation in tiered cellular networks," *IEEE Transactions on Communications.*, vol. 57, no. 10, pp. 3059-3068, Oct. 2009.
- [7] D. L. Perez, A. Ladanyi, A. Juttner, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A self-organizing approach for frequency assignment," *2009 IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2202-2207, Sept. 2009.
- [8] C. Lee, J. H. Huang, and L. C. Wang, "Distributed channel selection principles for femtocells with two-tier interference," *2010 IEEE 71st on Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, May 2010.
- [9] J. Xiang, Y. Zhang, T. Skeie, and L. Xie, "Downlink spectrum sharing for cognitive radio femtocell networks," *IEEE Systems Journal*, vol. 4, no. 4, pp. 524-534, Nov. 2010.

- [10] J. Zhang, Z. Zhang, K. Wu, and A. Huang, "Optimal distributed subchannel, rate and power allocation algorithm in OFDM-based two-tier femtocell networks," *2010 IEEE 71st on Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, May 2010.
- [11] K. Han, Y. Choi, D. Kim, M. Na, S. Choi, and K. Han, "Optimization of femtocell network configuration under interference constraints," *WiOPT 2009 7th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, 2009, pp. 1-7, Jun. 2009.
- [12] P. Xia, V. Chandrasekhar, and J. G. Andrews, "Open vs. closed access femtocells in the uplink," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 9, no. 12, pp. 3798-3809, Oct. 2010.
- [13] H. S. Jo, P. Xia, and J. G. Andrews, "Downlink femtocell networks: open or closed," *2011 IEEE International Conference on Communications*, pp. 1-5, Jun 2011.
- [14] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- [15] *Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000*, ITU-R Std. Recommendation ITU-R M.1225, Feb. 1997.
- [16] LTE, "Evolved universal terrestrial radio access; physical channels and modulation," *3GPP TS 36.211 version 10.0.0*, Dec. 2010.
- [17] F. Khan, *LTE for 4G mobile broadband: air interface technologies and performance*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- [18] P. Kulkarni, W. H. Chin, and T. Farnham, "Radio resource management considerations for LTE femto cells," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 40, no. 1, pp. 26-30, 2010.
- [19] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel, "An overview of the femtocell concept," *Bell Lab. Tech. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 221-245, 2008.

- [20] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, Mar. 2004.
- [21] D. Choi, P. Monajemi, S. Kang, and J. Villaseñor, "Dealing with loud neighbors: the benefits and tradeoffs of adaptive femtocell access," in *Proc. IEEE Global Telecomm. Conference*, pp. 1-5, Nov. 2008.
- [22] I. Guvenc, M. R. Jeong, F. Watanabe, and H. Inamura, "A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 12, Dec. 2008.
- [23] M. Haenggi, J. G. Andrews, F. Baccelli, O. Dousse, and M. Franceschetti, "Stochastic geometry and random graphs for the analysis and design of wireless networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 27, no. 7, pp. 1029-1049, Sept. 2009.
- [24] H. S. Jo, J. G. Yook, C. Mun, and J. Moon, "A self-organized uplink power control for cross-tier interference management in femtocell networks," in *Proc., Military Commun. Conf.*, pp. 1-6, Nov. 2008.
- [25] D. N. Knisely, T. Yoshizawa, and F. Favichia, "Standardization of femtocells in 3GPP," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 68-75, Sept. 2009.
- [26] D. N. Knisely and F. Favichia, "Standardization of femtocells in 3GPP2," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 76-82, Sept. 2009.
- [27] H. Claussen, "Performance of Macro- and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure," in *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1-5, Sept. 2007.
- [28] L. T. W. Ho and H. Claussen, "Effects of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario," in *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1-5, Sept. 2007.
- [29] "Challenges in the deployment of UMTS/HSPA femtocell," white paper, Aricent, Feb. 2008.

- [30] Y. Kim, S. Lee, and D. Hong, "Performance analysis of two-tier femtocell networks with outage constraints," *IEEE Tran. on Wireless Comm.*, vol. 9, no. 9, pp. 2695-2700, Sept. 2010.

