

國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

LTE-A 下行蜂巢系統改善 SINR 方法之研究

A study on Methods to Improve SINR Performance in
LTE-A Downlink Cellular Systems

研究生：黃健瑋

指導教授：黃家齊 博士

中華民國一〇二年七月

LTE-A 下行蜂巢系統改善 SINR 方法之研究

A study on Methods to Improve SINR Performance in LTE-A

Downlink Cellular Systems

研究生：黃健瑋 Student：Chien-Wei Huang
指導教授：黃家齊 博士 Advisor：Chia-Chi Huang



國立交通大學
電信工程研究所
碩士論文

A Thesis

Submitted to Institute of Communications Engineering
College of Electrical Engineering and Computer Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Communication Engineering

July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一〇二年七月

LTE-A 下行蜂巢系統改善 SINR 方法之研究

研究生：黃健瑋

指導教授：黃家齊 博士

國立交通大學電信工程研究所碩士班

摘要

在未來會有愈來愈多的裝置需要共享頻譜資源，傳統上利用分割技術來分配頻譜資源的方式，漸漸的無法滿足所有的需求。在此情況之下，頻譜複用率為一的情況將無法避免；因此如何利用合作式通訊的優點來達到頻譜複用率為一的目標是近年來很重要的議題。在前瞻長期發展(LTE-A)方案中，為了提升整體服務品質而設計了許多機制，諸如：傳輸功率控制、切換波束式天線、協調式多點傳輸機制以及小細胞傳輸等等。本論文逐一的作介紹並且定環境背景模擬其成效。此外，我們將其中一些演算法作結合並模擬驗證其系統效益之提升。我們的研究結果可以作為未來如何在頻譜複用率為一的情況下進一步改善 SINR 方法之參考。

關鍵字： 頻譜複用率、傳輸功率控制、切換波束式天線、協調式多點傳輸機制、小細胞傳輸

A study on Methods to Improve SINR Performance in LTE-A Downlink Cellular Systems

Student : Chien-Wei Huang

Advisor : Prof. Chia-Chi Huang

Institute of Communications Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

In the future cellular system, more and more user equipments (UE) need to share the common frequency resources. Previous techniques for allocating different frequency bands to different cells cannot meet the ever-increasing users' demands. The requirement of frequency reuse one is inevitable. Thus, how to exploit the advantage of cooperative communication to satisfy the cell structure of reuse one is an important issue. In order to improve total QoS performance LTE-A specifies methods such as transmit power control, switched beam antenna, coordinated multi-point transmission, and small cell transmission, etc. This thesis first introduces these methods and shows the results of our computer simulations. Besides, we combine some of the methods and show how it works and its performance is verified through computer simulations. Due to the performance improvements, Our methods provide alternative solutions to the frequency reuse one scenario.

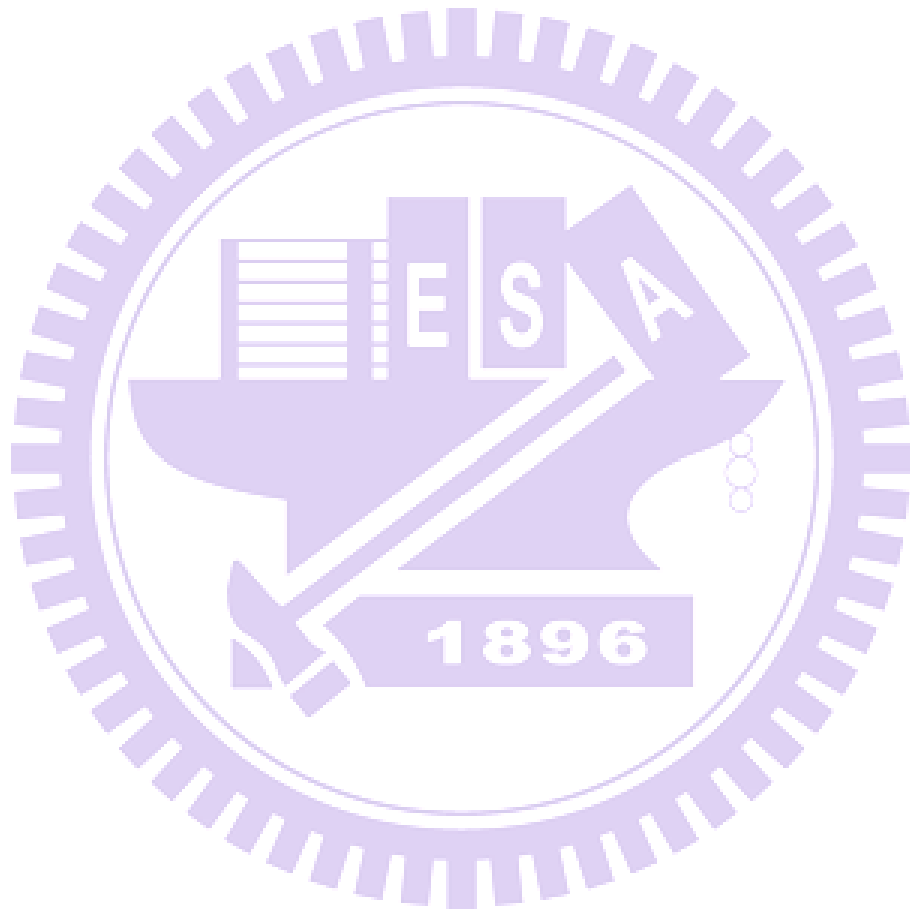
Keywords: Frequency Reuse, Power Control, Switched Beam Antenna, CoMP, Small Cell

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖 目 錄	VI
表 目 錄	IX
誌 謝	- 1 -
第 1 章 介紹	- 1 -
1.1 背景	- 1 -
1.2 系統效能評估依據	- 2 -
1.3 關於本論文	- 3 -
第 2 章 傳輸功率控制	- 5 -
2.1 傳輸功率控制介紹	- 5 -
2.2 傳統型傳輸功率控制	- 5 -
2.3 乘載率取向傳輸功率控制演算法	- 11 -
2.4 目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的影響	- 14 -
2.5 模擬環境參數設定	- 15 -
2.6 模擬數據以及結果	- 17 -

2.7	結論	- 22 -
第 3 章	切換波束式天線	- 23 -
3.1	切換波束式天線介紹	- 23 -
3.2	天線發射角度	- 24 -
3.3	動態調整天線參數	- 26 -
3.4	結合傳輸功率控制的動態天線參數調整	- 30 -
3.5	模擬環境以及參數設定	- 31 -
3.6	模擬數據以及結果	- 34 -
3.7	結論	- 35 -
第 4 章	協調式多點傳輸機制	- 37 -
4.1	協調式多點傳輸機制介紹及其分類	- 37 -
4.2	聯合處理/傳輸模式	- 39 -
4.3	協調波束形成	- 45 -
4.4	模擬環境參數設定	- 51 -
4.5	模擬數據以及結果	- 53 -
4.6	結論	- 58 -
第 5 章	小細胞傳輸	- 60 -
5.1	小細胞傳輸介紹	- 60 -
5.2	小細胞基地台傳輸架構	- 63 -

5.3	模擬參數以及環境設定	- 72 -
5.4	模擬數據以及結果	- 74 -
5.5	結論	- 83 -
第 6 章	總結	- 84 -
參考資料	- 86 -



圖目錄

圖 2-1: 使用者與基地台配對示意圖	- 9 -
圖 2-2: 傳統型傳輸功率控制演算法流程圖	- 11 -
圖 2-3: 乘載率取向傳輸功率控制演算法	- 14 -
圖 2-4: 模擬系統架構示意圖	- 15 -
圖 2-5: 最佳 SINR 使用者的 CDF 變化	- 17 -
圖 2-6: 最差 SINR 使用者的 CDF 變化	- 18 -
圖 2-7: 系統乘載率比較圖	- 22 -
圖 3-1: 切換波束式天線	- 23 -
圖 3-2: 天線場型示意圖	- 24 -
圖 3-3: 固定傳送方向示意圖	- 25 -
圖 3-4: 波束寬度比較圖 1	- 26 -
圖 3-5: 波束寬度比較圖 2	- 27 -
圖 3-6: 調整天線傳送方向示意圖	- 28 -
圖 3-7: 乘載率取向傳輸功率控制演算法結合天線參數調整流程圖 ..	- 31 -
圖 3-8: 模擬系統架構示意圖	- 32 -
圖 3-9: 調整傳送方向與波束寬度的乘載率結果圖	- 34 -
圖 3-10: 結合乘載率取向傳送功率控制演算法並 調整傳送方向以及波束 寬度的乘載率結果圖	- 35 -
圖 4-1: 下行細胞系統傳送示意圖	- 37 -
圖 4-2: 系統傳輸資料示意圖	- 39 -
圖 4-3: 聯合傳輸機制示意圖	- 40 -
圖 4-4: 多基地台服務同一個使用者示意圖	- 40 -
圖 4-5: 多輸入多輸入系統架構圖	- 43 -

圖 4-6：區塊對角化演算法流程圖.....	- 45 -
圖 4-7：協調波束形成實作示意圖.....	- 46 -
圖 4-8：協調波束形成示意圖.....	- 47 -
圖 4-9：協調波束形成演算法流程圖.....	- 50 -
圖 4-10：模擬系統架構示意圖.....	- 51 -
圖 4-11：三個基地台傳送相同資料在 1x2 SIMO 情境的效果.....	- 54 -
圖 4-12：三個基地台以 1/3 功率傳送相同資料在 1x2 SIMO 的效果...	- 55 -
圖 4-13：區塊對角化演算法在 4x1 情境下使用的效果.....	- 56 -
圖 4-14：強制干擾波束形成歸零演算法在 4x1 情境的使用效果.....	- 57 -
圖 4-15：協調式多點傳輸機制演算法在 4x1 情境的效果成效比較....	- 58 -
圖 5-1：同質性網路場域外協調式多點傳輸機制.....	- 61 -
圖 5-2：同質性網路並使用高功率遠端無線電站.....	- 61 -
圖 5-3：異質性網路使用不同識別碼的低功率遠程無線電站.....	- 61 -
圖 5-4：異質性網路使用相同識別碼的低功率遠程無線電站.....	- 62 -
圖 5-5：小細胞基地台佈建位置示意圖.....	- 63 -
圖 5-6：小細胞基地台系統示意圖.....	- 67 -
圖 5-7：結合小細胞基地台傳輸以及傳輸功率控制完成圖.....	- 68 -
圖 5-8：結合小細胞基地台傳輸以及傳輸功率控制流程圖.....	- 68 -
圖 5-9：模擬系統架構示意圖.....	- 72 -
圖 5-10：單純加入小細胞基地台效果.....	- 74 -
圖 5-11：動態開關小細胞基地台效果.....	- 75 -
圖 5-12：結合傳輸功率控制後整體使用者 SINR.....	- 76 -
圖 5-13：演算法乘載率比較.....	- 77 -
圖 5-14：小細胞基地台傳輸功率的影響.....	- 78 -
圖 5-15：小細胞基地台傳輸功率與系統乘載率關係圖.....	- 79 -

圖 5-16: 小細胞基地台服務比例與傳輸功率關係圖 1..... - 80 -
圖 5-17: 小細胞基地台服務比例與傳輸功率關係圖 2..... - 80 -
圖 5-18: 目標 SINR 值對於乘載率的影響..... - 81 -
圖 5-19: 目標 SINR 值訂於 8dB 整體 SINR..... - 82 -
圖 5-20: 目標 SINR 值訂於 6dB 整體 SINR..... - 82 -
圖 5-21: 目標 SINR 值訂於 4dB 整體 SINR..... - 83 -

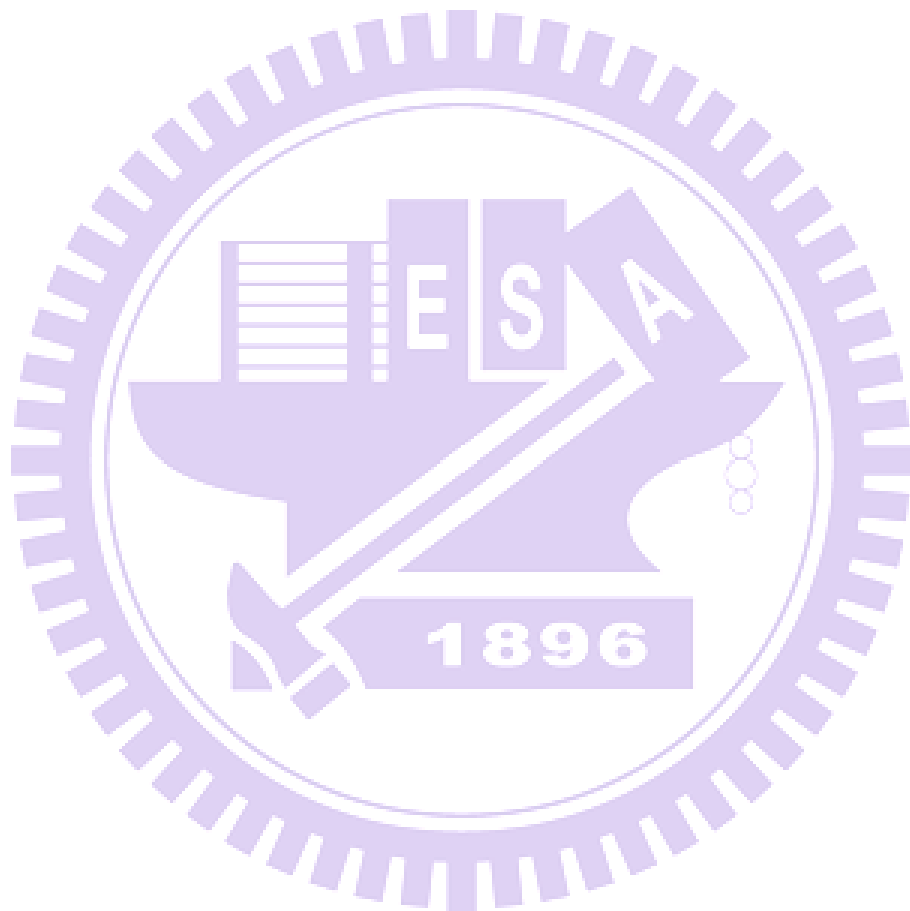


表 目 錄

表 2-1: 使用者與基地台配對演算法.....	- 7 -
表 2-2: 傳統型傳輸功率控制演算法.....	- 8 -
表 2-3: 使用者與基地台間總功率衰減範例.....	- 9 -
表 2-4: 使用者與基地台配對完成範例.....	- 10 -
表 2-5: 模擬系統參數設定.....	- 16 -
表 2-6: 使用者進行演算法前後分布情形.....	- 19 -
表 2-7: 系統進行演算法前後的乘載率.....	- 19 -
表 2-8: 進行乘載率取向傳輸功率控制使用者分布情形.....	- 20 -
表 2-9: 乘載率取向傳輸功率控制演算法成功率.....	- 21 -
表 2-10: 兩種演算法乘載率比較表.....	- 21 -
表 3-1: 使用者到基地台間總路徑衰減範例.....	- 28 -
表 3-2: 使用者與服務扇型區塊配對完成範例.....	- 29 -
表 3-3: 模擬系統參數設定.....	- 33 -
表 4-1: 聯合傳輸以及協調波束形成比較表.....	- 39 -
表 4-2: 模擬系統參數設定.....	- 52 -
表 5-1: 決策小細胞基地台的開關.....	- 66 -
表 5-2: 模擬系統參數設定.....	- 73 -

誌 謝

兩年碩士生涯說長不長，說短不短。在這兩年當中，屬不清的人事物帶給我許許多多無法用言語去描述的回憶、有歡笑、有心酸、有淚水，有大家一起開心狂歡慶祝的時刻，也有遭遇挫折互相打氣的陪伴。回想兩年前決定念研究所的那一刻，被黃家齊老師收做研究生的那一刻，如今想來十分的慶幸自己能夠遇到如此有耐心的指導教授，能遇到這麼多不嫌麻煩好好指導我的學長；更遇到了許多能讓我信賴的好夥伴。感謝 LAB717 的每一個人帶給我每天都有不同的驚喜，每天都可以帶著期待的心情走入實驗室，真是太幸福了。論文完成了，我想感謝許多在路上給我支持的人，我想感謝峻楹學長、煒翰學長、伯謙學長、紹閔學長在這一年當中給我的指導與督促。我想感謝冠銘、張雅涵、日翔，有了你們有競爭才有進步。也感謝駿逸、海喵、學璟、孟剛。更感謝我的好朋友們，景維、阿許、設施、耕含、至偉、香菇在百忙之中仍然花時間幫我解決問題。最後我想感謝我的家人、感謝我的父母不辭辛勞的撫養我讓我有良好的讀書環境、我想感謝我在天堂的爺爺、奶奶與外公，雖然不能讓你們共享我的喜悅，但是我相信你們一定時時刻刻在我身旁為我加油，你們的支持是我一路走來最大的動力。

第1章

介紹

1.1 背景

近幾年來，伴隨著資訊爆炸的影響，行動通訊對於資料傳輸速度(Data Transmission Rate)和傳輸頻寬(Transmission Bandwidth)以及服務品質(Quality of Service ,QoS)的要求大幅提升，過去既有的系統已經不敷使用，為了應運這些需求，國際電信聯盟(International Telecommunication Union ,ITU)針對此一現象制定了下個世代行動通訊的規格，稱作「前瞻國際行動電信標準」，又稱第四代行動通訊；第三代合作計畫夥伴(3rd Generation Partnership Project ,3GPP)提出一個解決方案，稱為「前瞻長期發展(Long Term Evolution-Advance ,LTE-A)」方案，以符合第四代行動通訊的要求。

ITU-R 在第四代無線通訊的需求如下，在 100 MHz 頻寬內提供下傳速率達 1 Gbps、上傳速率達 500 Mbps。所以 3GPP 在前瞻長期發展計畫當中，從 Release-10 開始，為了達成高傳輸速率的需求，皆使用了合作式通訊(Cooperative Communication)的特性來提升頻譜使用效益或增強傳輸品質來取得高傳輸速率。

所謂的「合作式通訊」其核心概念為利用許多節點作協助傳輸，可以廣泛定義為，利用一個以上的節點(Node)，在通訊期間透過其空間多樣性(Spatial Diversity)、時間多樣性(Time Diversity)、頻率多樣性(Frequency Diversity)來增強傳輸的品質 [11]，並可以根據其多樣性作搭配選取最佳的使用方式。雖然合作式通訊成效良好，但是其技術需求在過去太高，所以本益比並不符合，但是伴隨著科技的演進、IC

運算速度的增加、元件製作成本下降，對過去來說遙不可及的需求漸漸變的可以接受，加上對於頻譜使用效益的要求愈來愈高，合作式通訊更顯得重要。因此在學術界、產業界有許多研究有關於簡化其系統、降低其複雜度以及改良演算法使其符合經濟效益，在頻譜資源有限的情況下，合作式通訊將會扮演更重要的角色。

1.2 系統效能評估依據

判斷一個系統的好壞，常常都是透過訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 (Signal to Interference plus Noise Ratio ,SINR)作為評估的依據。很直覺的，訊號功率越大，雜訊和干擾的功率越小，這系統的效果就越好，傳輸品質愈好。實際上，訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不但直接影響到傳輸錯誤率(Bit Error Rate)，也會影響到消息容量。訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值如下列式子所表示：

$$\text{訊號功率跟雜訊功率加干擾功率的比值 SINR} = \frac{\text{訊號功率}}{\text{干擾功率} + \text{雜訊功率}} \quad (1.1)$$

若訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值低落，主要原因有兩個，一個是干擾功率太大，或是雜訊的功率太大，簡單來說一個是干擾導向(Interference Dominate)，另一個則是雜訊導向(Noise Dominate)。

如果是雜訊導向，情形如下：

$$\text{干擾功率} \ll \text{訊號功率} \text{ 且 } \text{訊號功率} \sim \text{雜訊功率} \quad (1.2)$$

這個部分相當好處理，只要加強傳送功率就可以解決，例如透過中繼站增強傳送功率等等，換言之加大傳送功率就可以壓低雜訊所佔之比例，進而提升訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。

但是如果是干擾功率太大，情形如下：

$$\text{雜訊功率} \ll \text{訊號功率} \text{ 且 } \text{訊號功率} \sim \text{干擾功率} \quad (1.3)$$

這部分不能單純加大傳輸功率，因為如果單純加大傳輸功率，干擾功率也會一併增強，所以單純加大傳輸功率並無效益，許多研究都基於此提出許多解決之道，如本論文所提及的傳輸功率控制(Transmit Power Control)、切換波束式天線(Switched Beam Antenna)、協調式多點傳輸機制(Coordinated Multi-Point Transmission ,CoMP)，或是 Release 11 當中提出的小細胞傳輸(Small Cell Transmissioin)的概念，以及目前正在使用的時間分割(Time Fraction)、頻率分割(Frequency Fraction)、空間分割(Spatial Fraction)等等技術來克服干擾太大的問題，每個方式各有其優缺點。

目前採用的方式都是透過時間、空間、頻率作分割降低其對其他使用者裝置的影響，但是分割時間、空間、頻率其實是會大幅降低其傳輸效益，也就是說會降低其整體的傳輸量，試想將一個時間分割成兩半服務使用者，效益只有未分割的一半，這是第一個問題；另一個問題是現今愈來愈多的裝置需要上網，不只是過去只有平板電腦、手機需要上網，未來甚至眼鏡、手錶、車輛、甚至許許多多家電都需要連接網路，而這些愈來愈多的裝置不可能期待永遠都有足夠的時間、頻寬、空間以供分割，所以如何在共享一個頻寬、時間、空間中提升其服務效能是個很重要的課題。

1.3 關於本論文

本論文試著在 LTE-A 的下行系統(Downlink System)架構下，頻譜複用率為一的情形當中提升裝置的服務效率以及訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，並

且比較各種方式的成效以及效益。

第一章是背景介紹，介紹整篇論文的架構以及初始動機、環境背景。第二章介紹使用傳輸功率控制演算法來提升裝置的服務效率以及訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，並且提出了一種新的傳輸功率控制演算法，嘗試改善目前遇到的問題，並提出使用傳輸功率控制後的效果展現。第三章介紹切換波束式天線，模擬使用的成效並且和傳輸功率控制演算法結合觀察其效益。第四章介紹協調式多點傳輸機制，屬於比較複雜的基地台合作方式，模擬其成效。第五章介紹在第三代合作夥伴版本-11 當漸漸完善的小細胞傳輸使用，模擬小細胞傳輸的效益，並且結合新提出的傳出功率控制演算法來提升整體裝置的服務效率以及訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，最後將其演算法結果作展現。最後第六章是結論，為前面四個章節中各種不同的方法以及本論文做一個總結。

第2章

傳輸功率控制

2.1 傳輸功率控制介紹

當其他基地台來的干擾過大時，會造成訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值低落，除了會讓資料傳輸速率低落，錯誤率升高之外，嚴重時甚至會無法解出想要收的訊號，整個系統無法正常運作。解決干擾過大的方法中，最基礎的想法就是調整傳送端的發送功率，找到合適的功率分配方式讓使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值能夠有效的提升，進而降低錯誤率、增加資料傳輸速率以及服務品質。

本論文當中除了使用傳統型的傳輸功率控制演算法之外，提出了一個新的可以提升訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值以及服務人數比例的演算法，來解決舊有的演算法所無法解決的問題。

2.2 傳統型傳輸功率控制

傳統的傳輸功率控制是希望藉由調整傳送端的發送功率，同時使多個使用者都可以獲得良好的服務品質，其演算法作法如下：

假設系統設定如下，共有 M 個基地台參與聯合傳輸功率控制，並且跟 M 個使用者作配對傳輸，若第 i 個使用者由第 j 個基地台服務，其訊號功率跟干擾功率加

雜訊功率的比值 $SINR_i$ 可以表示成下式：

$$SINR_i = \frac{P_j H_{j,i}}{I + N} \quad (2.1)$$

其中 P_j 表示第 j 個基地台的傳送功率， $H_{j,i}$ 表示第 j 個基地台到第 i 個使用者的總功率衰減， I 表示來自其他聯合傳輸功率控制基地台的干擾功率， N 則是雜訊跟來自非合作基地台的干擾功率。接下來設定期望達到的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ ，表示成下列式子：

$$SINR_i = \frac{P_j H_{j,i}}{I + N} \geq \gamma \quad (2.2)$$

另外基於不增加對於其他非合作基地台干擾的原則，我們設定總傳送功率的限制，希望調整後的總傳送功率要等於調整前的總傳送功率。

$$P'_1 + P'_2 + \dots + P'_M = P_1 + P_2 + \dots + P_M \quad (2.3)$$

其中 P'_j 為調整完後第 j 個基地台的傳送功率， P_j 為第 j 個基地台調整之前的傳送功率。接著找出適合的 $P'_1 \sim P'_M$ 使每一個使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值都可以達到上面所要求的條件，最後每個基地台都利用找到的傳送功率來傳送資料。 $P'_1 \sim P'_M$ 除了可以慢慢一個一個代數值進去測試之外，也可以利用一些數學工具來解這類型的問題，例如最佳化的計算工具，或是利用遞回的方式找出近似解…等，都是可以來找出分配方式的方法。本論文實際找尋分配方式的時候是利用數學程式 Matlab 的外掛工具組 CVX 工具組[13]來找出適合的傳輸功率分配。

要完成傳輸功率控制首先必須要有基地台與使用者的配對資料，在 LTE-A 中，

設計了基地台控制中心(Base Station Controller, BSC)或是無線網路控制中心(Radio Network Controller, RNC)來做這件事情。

本論文使用的配對演算法如下：

表 2-1:使用者與基地台配對演算法

UE-ENB Matching Algorithm
Step 1: eNBs measure the propagation loss of UEs from the reference signals transmitted by UEs, and eNBs send the propagation loss measurement results to BSC/RNC.
Step 2: BSC/RNC forms propagation loss table of size in number of UEs \times number of eNBs.
Step 3: BSC/RNC matches UE to an eNB with minimum propagation loss.
Step 4: BSC/RNC removes the corresponding column and row of propagation loss table (from step 3).
Step 5: BSC/RNC redoes Step2-Step4 until all the UEs are matched to eNBs successfully.

透過此基地台與使用者配對演算法可以得到所有基地台與等量的使用者一對一的配對結果，而且運算十分簡單，雖然未必是最佳的結果，但是卻是最直接的作法。

傳統型傳輸功率控制演算法如下[12]：

表 2-2:傳統型傳輸功率控制演算法

Traditional Power Control Method 1

find $P_1 P_2 P_3$

subject to

$$SINR_u = \frac{P_i H_{iu}}{\sum_{j=1, j \neq i}^3 P_j H_{ju} + I + N} \geq \gamma, i, u = 1, 2, 3$$

$$\sum_{i=1}^3 P_i = 120, P_i \geq 0$$

Assume u-th UE is served by i-th eNB.

where,

P_i : The i-th eNB Tx power.

H_{iu} : Total Propagation loss from i-th eNB to u-th UE (in linear Scale)

γ : SINR target

$SINR_u$: The u-th UE SINR

I : Interference from other cell

N : Noise

舉例說明，假設 $M = 3$ ，共有三個基地台進行聯合傳送功率控制，並且跟三個使用者作配對，如下圖：

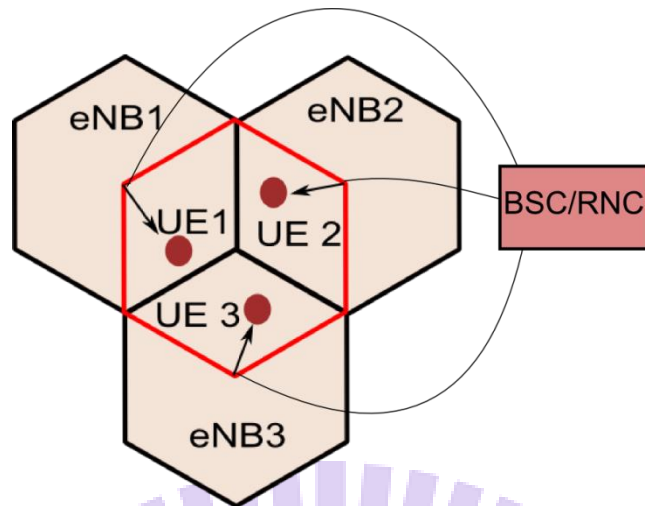


圖 2-1：使用者與基地台配對示意圖

基地台與使用者配對的方式有許多種選擇，最基本的配對方式是利用通道衰減由小至大的配對方式，舉例說明，假設下面表格中分別代表了每個基地台對不同使用者的總功率衰減。

表 2-3: 使用者與基地台間總功率衰減範例

總功率衰減(dB)			
	使用者 1	使用者 2	使用者 3
基地台 1	2	10	8
基地台 2	9	4	13
基地台 3	11	7	1

我們先選總功率衰減最少的作配對，所以將使用者 3 與基地台 3 作配對，配對完成後的基地台與使用者就不會再與其他基地台或使用者作配對。接著選擇扣掉使用者 3 以及基地台 3 的剩下表格中找衰減最小的，因此將使用者 1 以及基地

台 1 作配對，同理，最後將使用者 2 與基地台 2 作配對。得到了下面配對完成的表格。

表 2-4: 使用者與基地台配對完成範例

使用者裝置	服務基地台
使用者 1	基地台 1
使用者 2	基地台 2
使用者 3	基地台 3

上面表格的配對方式未必是最佳的，但卻是最直覺也式作法最簡潔的，配對完成之後接下來進行傳送功率的調整。假設總傳送功率設定為 120 瓦，並設定訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值目標值 γ 為 6.3 (8dB)，整理後可以得到下列四個條件：

$$1: P_1 + P_2 + P_3 = 120$$

$$2: SINR_1 = \frac{P_1 H_{1,1}}{P_2 H_{2,2} + P_3 H_{3,3} + I + N} \geq 6.3$$

$$3: SINR_2 = \frac{P_2 H_{2,2}}{P_1 H_{1,1} + P_3 H_{3,3} + I + N} \geq 6.3$$

$$4: SINR_3 = \frac{P_3 H_{3,3}}{P_1 H_{1,1} + P_2 H_{2,2} + I + N} \geq 6.3$$

(2.4)

最後再根據上面四個條件找出符合條件的 $P'_1 \sim P'_M$ 即每個基地台調整後的傳送功率。

演算法的流程圖示如下：

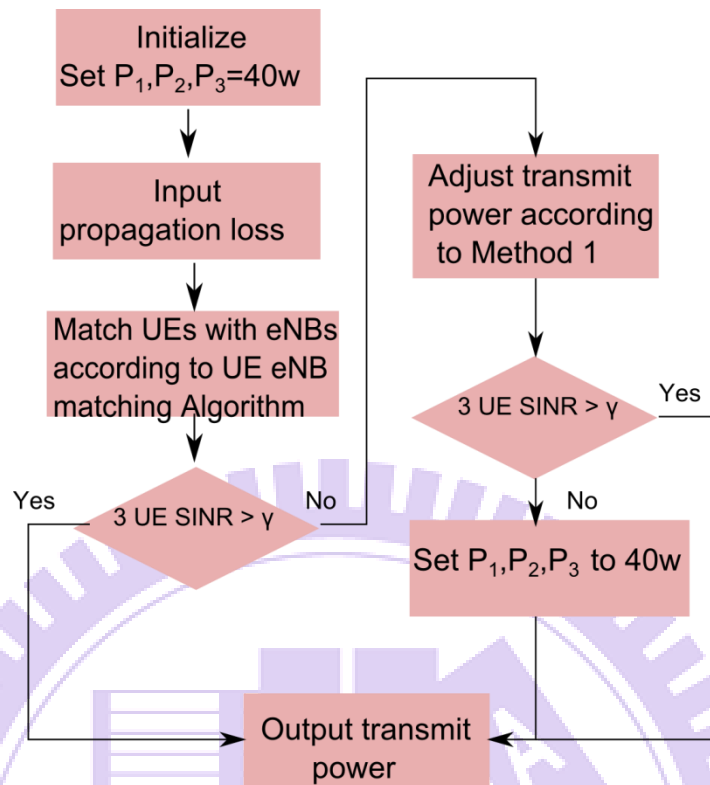


圖 2-2: 傳統型傳輸功率控制演算法流程圖

2.3 乘載率取向傳輸功率控制演算法

由於傳統型功率控制演算法在大多數時候都無法找出適合的功率，因為來自附近基地台的干擾太大，所以很難只靠調整功率達到同時服務所有使用者，因此想要頻譜複用率 1(Frequency reuse one)的目標很難達成。而現今設備愈來愈多，要不與其他人共享頻寬是不可能的事，所以我們將目標擺在不要求服務所有的使用者，而是希望能夠服務盡可能多的使用者，我們將演算法命名為「乘載率取向傳輸功率控制演算法>Loading-Rate-Oriented Transmit Power Control Algorithm)」。。

我們定義系統能夠服務使用者的情況是訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值大於某一個定值，讓使用者在接收端能夠正確的解出基地台傳輸的訊號，使其位元錯誤率不會太高，整體系統能夠正常運作。更明確的來講，就是能夠讓系統正常運作的最低訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，低於這個定值，系統無

法正常運行。所以演算法的目標是盡可能讓大多數使用者的系統能夠正常運作、傳輸，也就是讓盡可能多個使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值大於這個臨界值。

我們希望能夠透過提高超過目標 SINR 使用者的個數來提升整體系統可以服務的比例，因使我們定義系統可以服務的比例為乘載率(Loading Rate)，我們定義乘載率如下：

$$\text{乘載率} \triangleq \frac{\text{系統中超過目標SINR值的使用者個數}}{\text{系統中所有的使用者個數}} \times 100\% \quad (2.5)$$

乘載率取向傳輸功率控制演算法除了能夠在頻譜複用率為一的情況下大幅提升整體的服務比例以及服務人數之外，也可以根據一些情形作調整。例如說為了應對緊急狀況，需要讓特定使用者可以得到足夠服務品質，或是考慮迫切性原則等，都可以靠調整乘載率取向功率控制演算法來完成，實行的方式可以透過加入一個服務緊急性的權重來完成。

乘載率取向傳輸功率控制演算法的核心概念是，假設一共有 M 個使用者，先嘗試服務所有的使用者，如果無法服務所有的使用者，則希望可以透過丟棄一個使用者，服務 $M-1$ 個使用者，若仍無法服務 $M-1$ 個使用者，則再丟棄一個，嘗試服務 $M-2$ 個使用者，依此類推。換言之就是在系統條件的限制之下盡可能的服務較多數的使用者。舉例說明如下：

如圖 2-1 中所示，假設一共有三個基地台進行乘載率取向傳輸功率控制以及三個使用者，並訂定目標的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，先依照章節 2.2 的配對方式將基地台與使用者進行配對，接著進行第一輪傳統型功率控制演算法，計算是否有可能的傳輸功率分配方法，可以讓三個使用者同時受到良好的服務。如果可以讓三個使用者同時傳輸，則不需要進行乘載率取向傳輸功率控制演算法，

只需運行傳統型傳輸功率演算法及可。若無法能夠讓三個使用者訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值同時大於訂出的目標值，就需要進行乘載率取向傳輸功率演算法，乘載率取向傳輸功率演算法會選擇放棄訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最差的使用者，另一個說法是丟棄基地台到使用者間功率衰減最大的使用者，因為功率衰減最大，導致收到的功率最小，造成訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最差。接著再進行第二次的傳統型傳輸功率演算法，嘗試服務兩個使用者。這邊選擇放棄最差的原因是希望能夠藉由確保訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最好的使用者，讓第二輪傳統型傳輸功率控制演算法成功率提高，但是選擇方式可以依照不同需求做調整以及對應。若第二輪傳輸功率控制演算法仍然無法達成，則再丟棄訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值次差的使用者，讓基地台只服務訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最好的使用者，基本上基地台沒了鄰近基地台的干擾都可以達成服務單一個使用者的要求。

乘載率取向傳輸功率控制演算法是基於進可能讓多人系統同時可以運作的演算法，其成效以及和傳統傳輸功率演算法的比較將在 2.4 章節作介紹。

乘載率取向傳輸功率控制演算法詳細流程圖如下圖：

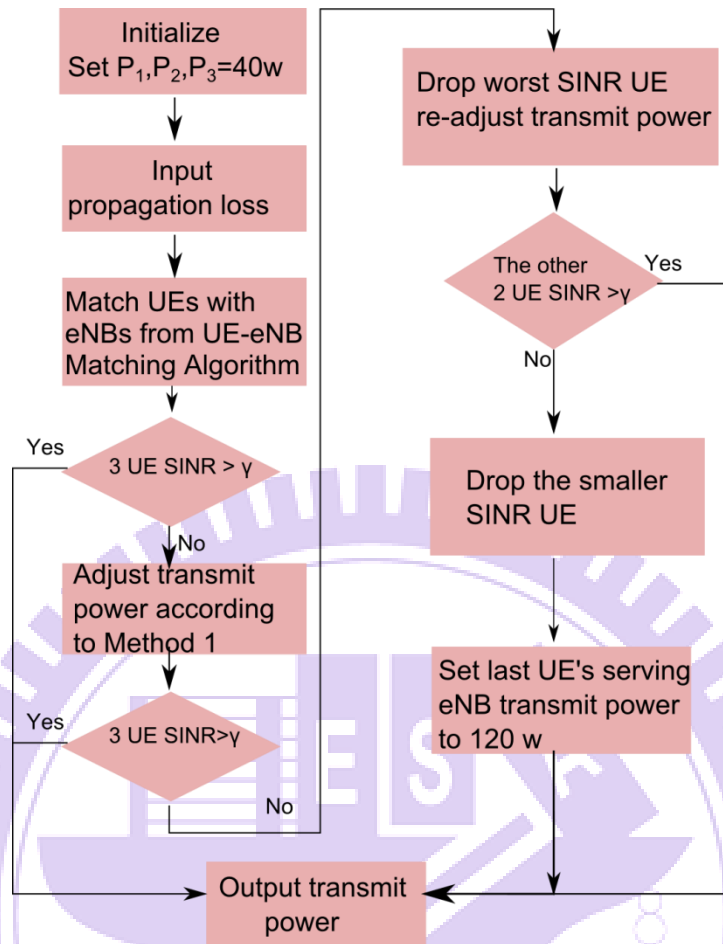


圖 2-3: 乘載率取向傳輸功率控制演算法

2.4 目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的影響

目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 的設定會影響整個演算法的運作情形。目標值訂定太高，則演算法效果不佳，很難單純透過功率分配達到目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。而當目標值訂太低的話即使演算法運作成功，但是卻沒有達到可以讓使用者裝置能正常運作的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。這一切都需要慎重的考量，也需要根據應用情境做調整，將目標訂定為多少可以讓使用者裝置能正常運作，且不會太難達成，整體演算法實行效益才高。以原本的目標值 8 dB 來說，也就是 6.3 倍。當訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值為 8dB 時，利用一根天線傳送，兩個天線接收的 SIMO (Single Input

Multiple Output)系統可以達到 10^{-2} 的錯誤率(Bit Error Rate)，在這樣的錯誤率底下大部分的系統都可以運行。

使用不同的目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ ，會讓演算法有不同的結果，這部分的模擬與結果是將會跟後面章節第五章中做結合再一併呈現。

2.5 模擬環境參數設定

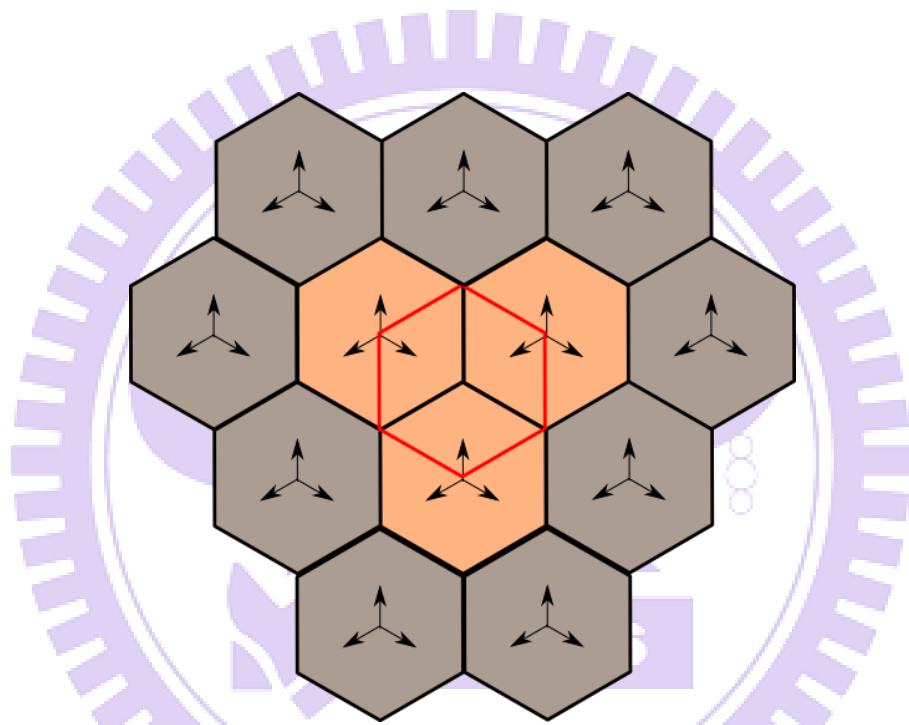


圖 2-4: 模擬系統架構示意圖

系統環境如上圖所示，一共有 12 個基地台，基地台間距(Inter-Site Distance ,ISD)為 500 公尺，其中中間 3 個橘色的基地台參與合作式傳輸，進行功率控制演算法。一共有三個使用者，分別隨機分佈在紅色區域中三個扇形區塊當中。箭頭表示基地台的天線場型方向。每個基地台傳送功率初始設定為 40 瓦，因此三個基地台總功率定為 120 瓦。訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值目標訂為 8dB，也就是 6.3 倍。當訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值為 8dB 時，利用一根天線傳送，兩個天線接收的 SIMO (Single Input Multiple Output)系統可以達到 10^{-2} 的錯誤率

(Bit Error Rate)。詳細系統參數設定如下表：

表 2-5: 模擬系統參數設定

參數名稱	設定值
基地台個數	12 個 每個基地台有 3 個扇形區塊
合作基地台個數	3
非合作基地台個數	9
使用者個數	3
目標 SINR	8 dB
雜訊功率	-174 dBm/Hz
雜訊指數	3 dB
頻寬	10 MHz
中心頻率	2 GHz
陰影	8 dB std.
天線參數	$A(\varphi) = -\min[12(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}})^2, A_m]$, $A_m = 25$, $\varphi_{3dB} = 70^\circ$
基地台間距	500 公尺
基地台與手機之間最小距離	35 公尺
路徑衰減	$128.1+37.6*\log(d)$
合作基地台總功率	120 瓦
基地台預設功率	40 瓦
使用者分布	3 個使用者隨機分布在紅色六角型細胞的 3 個扇形區塊當中，每個扇形區塊一個使用者

2.6 模擬數據以及結果

2.6.1 模擬傳統型傳輸功率控制演算法

下圖是模擬三個使用者經過傳統型傳輸功率控制演算法以及未經過任何傳輸功率控制演算法後，原本訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最大的，也就是原本服務品質最好的使用者經過演算法的比較結果。可以看出原本訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最好的使用者犧牲了一些服務品質換取訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不夠大的使用者的服務品質，使整體能夠被服務的比例提高，提升系統的整體運作的效益。

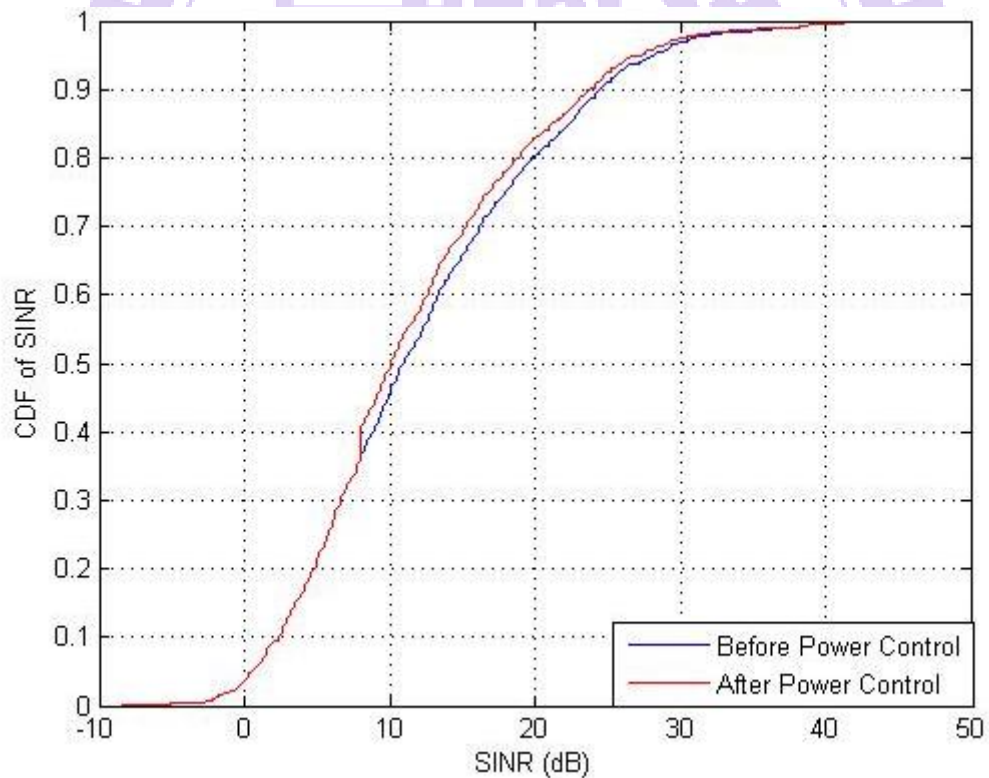


圖 2-5: 最佳 SINR 使用者的 CDF 變化

下圖是模擬三個使用者經過傳統型傳輸功率控制演算法以及未經過任何傳輸功率控制演算法後，原本訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最差的，也就是

原本服務品質最差的使用者經過演算法的比較結果。透過犧牲原本訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值最好的使用者一些服務品質，讓原本不能夠讓系統正常運行的使用者裝置能夠使用，提升整體服務的比例，但是也可以看出效果非常有限，所以光是單純的調整傳送功率是不夠的。

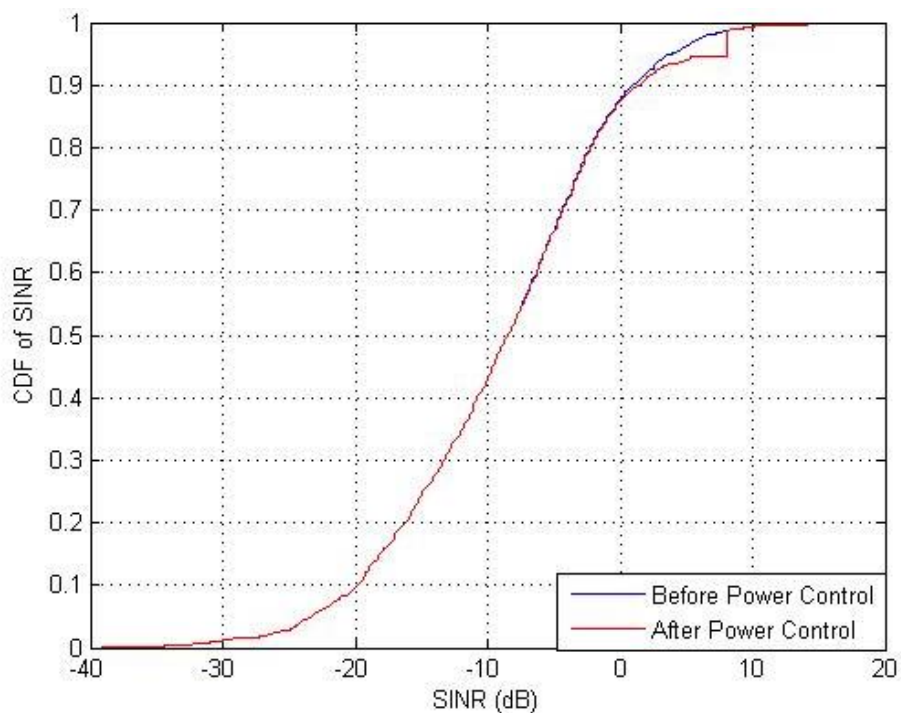


圖 2-6: 最差 SINR 使用者的 CDF 變化

下面表格是經過傳統型傳輸控制演算法後跟未經過傳輸控制演算法之前超過目標值使用者的分布比率，可以看出經過傳統型傳輸控制演算法後雖然會有改善，但是改善情形不大，特別是當原本就很差的情況下幾乎無法改善。

表 2-6: 使用者進行演算法前後分布情形

百分比	3 個使用者同時超過目標	2 個使用者同時超過目標	1 個使用者超過目標	沒有使用者超過目標
經過演算法之前的分佈	2%	16.5%	47%	34.5%
經過演算法之後成功的分佈	8%	12%	46%	34%
演算法的成功率	-	25%	1.6%	1%

演算法的成功率是指在該情況下演算法可以成功的百分比，換句話說想要把兩個使用者同時超過目標的情形調整到三個使用者都超過目標的成功機率是 25%。

下表是經過傳輸功率控制演算法之前跟經過傳輸功率控制演算法之後的系統乘載率的改變，可以看出增幅有限。

表 2-7: 系統進行演算法前後的乘載率

	經過傳輸功率控制前	經過傳輸功率控制後
乘載率	29%	31%

2.6.2 模擬乘載率取向傳輸功率控制演算法

下面表格是經過乘載率型傳輸控制演算法後各個流程的使用者的分布比例，可以看出大部分的狀況下，都可以透過乘載率取向傳輸功率控制演算法得到改善，提升整體服務比例。

表 2-8: 進行乘載率取向傳輸功率控制使用者分布情形

分布百分比	3 個使用者同時超過目標	2 個使用者同時超過目標	1 個使用者超過目標	沒有使用者超過目標
演算法之前的分布情形	2%	16.5%	47%	34.5%
傳統型功率控制演算法後的分布情形	8%	12%	46%	34%
同時服務三個使用者後調整成功比例	2%	4%	1%	<1%
無法同時服務三個的情形		12%	46%	34%
同時服務兩個使用者調整成功的比例		12%	27%	3.5%
無法同時服務兩個的情形			19%	31%
只服務單一使用者調整失敗的比例				4%
乘載率取向傳輸功率控制演算法完成後的分布	8%	42%	46%	4%

下面表格是乘載率取向各個狀況的成功比例，由表格中可以看出大多數原本訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不好的情況，其實系統仍然可以服務其中一部份的使用者，並非有看起狀況顯示的那麼糟糕的

表 2-9:乘載率取向傳輸功率控制演算法成功率

	3 個使用者同時超過目標	2 個使用者同時超過目標	1 個使用者超過目標	沒有使用者超過目標
同時服務三個使用者		25%	1.5%	<1%
只服務兩個使用者			58%	10%
只服務單一使用者				88%

下表是經過乘載率傳輸功率控制演算法之前跟經過乘載率取向傳輸功率控制演算法之後的系統乘載率的改變，可以看出有相當程度的增幅，系統可以服務到一半左右的使用者。

表 2-10:兩種演算法乘載率比較表

	經過乘載率取向 傳輸功率控制前	經過乘載率取向 傳輸功率控制後
乘載率	29%	51%

2.6.3 兩種演算法的比較

下圖是乘載率的比較，從在未使用任何傳輸功率控制演算法之前的百分之二十九左右的乘載率，經過傳統型傳輸功率控制演算法後的百分之三十一的乘載率，最後經過乘載率取向傳輸功率演算法達到百分之五十一的乘載率，整體上有一定

程度上的提升，不過百分之五十一對於許多廠商的目標來說還離很遠，還有許多地方需要改善，或是和其他演算法結合來讓整個系統可以服務更多的人，這點我們會在其他章節做嘗試。

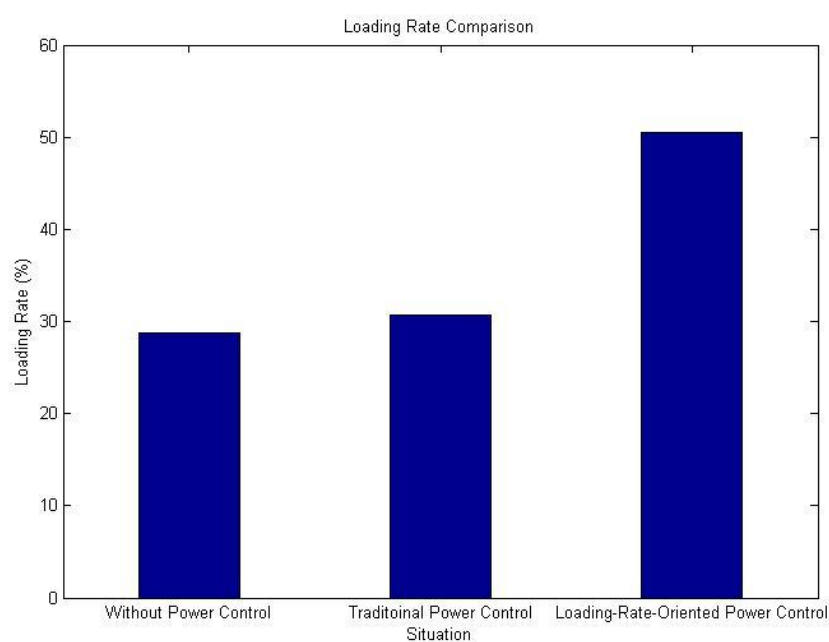


圖 2-7: 系統乘載率比較圖

2.7 結論

傳統型的功率演算法，雖然目標良好、設定明確，但是其使用起來不切實際，大部分的問題都找不到適合的傳輸功率分配方式，十分可惜。乘載率取向傳輸功率控制演算法雖然會犧牲掉訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值較差的使用者，但是卻可以提升其整體的服務比率，如果可以搭配其他演算法作結合使用效果會更好。另外尚可以加入公平性原則，或是緊急救助原則等等讓乘載率取向傳輸功率控制演算法發揮最大效益。

第3章

切換波束式天線

3.1 切換波束式天線介紹

智慧型天線概念起源自適應性天線陣列(Adaptive Antenna Array)，最早是用於聲納和軍事領域。近年來由於科技的迅速發展，IC 的運算速度提升以及價格的普及使得智慧型天線的技術漸漸的可以運用在無線通訊當中。智慧型天線可以分為切換波束式天線(Switched Beam Antenna)和適應性天線(Adaptive Antenna)兩種類型 [10]。

切換波束式天線利用多個指向不同方向的波束來覆蓋整個傳輸區域，而且不需要過於複雜的運算，所以目前正被廣泛的使用當中，示意圖如下。

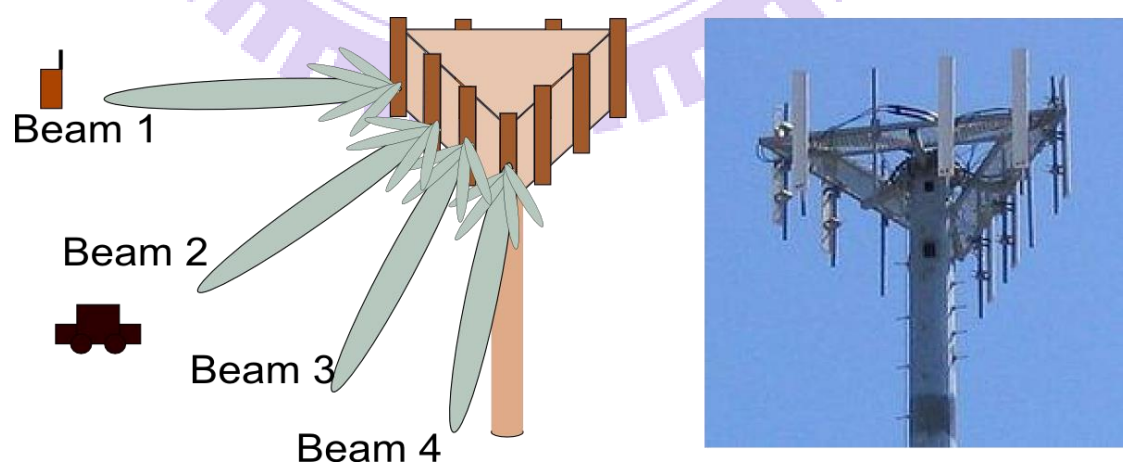


圖 3-1:切換波束式天線

在第三代合作計畫夥伴所釋出的科技報告 36.814(Technique Report 36.814 , TR 36.814)當中，定義了天線場型的參數(Antenna Pattern)如下：

$$A(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}}\right)^2, A_m\right], \text{ 功率衰減 (單位: dB)} \quad (3.1)$$

其中 φ 是跟天線瞄準的角度所夾的夾角， φ_{3dB} 是設定波束寬度(Beam-width)的常數，設定希望衰減到一半的角度， A_m 則是功率衰減的最大值。如上面數學式所見，天線衰減是個開口向下的二次曲線，在科技報告 36.814 附錄 A2.2 當中建議設定 $A_m=25$ 、 $\varphi_{3dB}=70^\circ$ 。

假設 $A_m=25$ 、 $\varphi_{3dB}=70^\circ$ 時可以得到功率衰減跟天線目標角度夾角的關係如下圖。

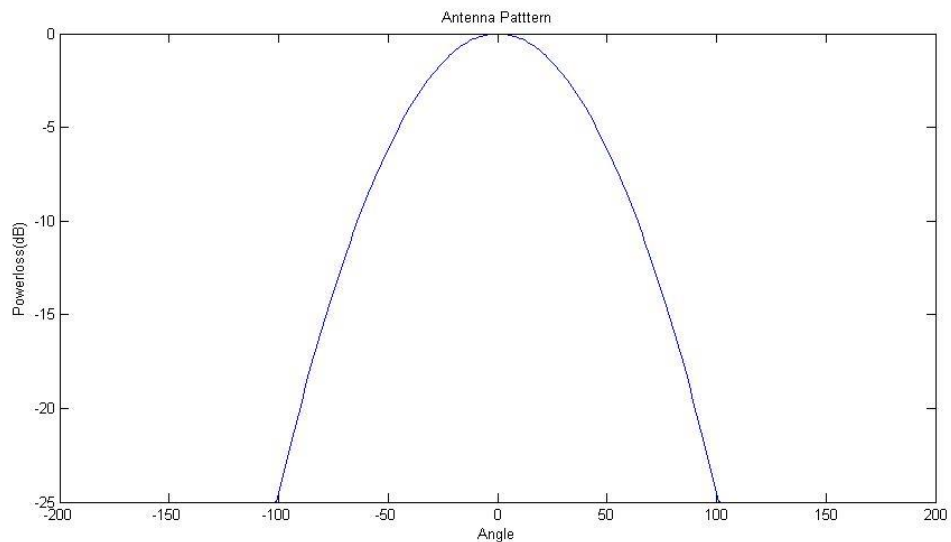


圖 3-2:天線場型示意圖

3.2 天線發射角度

過去基地台所使用的天線基於簡單性以及成本的考量，都是往固定的方向打過去，而使用較寬的波束寬度，盡量覆蓋到整個扇形區塊(Sector)，所以科技報告

36.814 中建議設定上使用 $\varphi_{3dB}=70^\circ$ 也是這個道理，如果將一個六角型基地台切割成三等份，每一個扇形區塊的角度都是 120 度，左右兩邊最大值各是 60 度，當 $\varphi_{3dB}=70^\circ$ 時可以完整覆蓋到 ± 60 度，也就是可以覆蓋到整個區塊，因此即使在左右邊界的時候，仍然有一定的功率強度，這就是傳統上定義 $\varphi_{3dB}=70^\circ$ 的原因，但是當改用切換波束式天線的時候，則可以考慮往使用者的位置作傳輸，增加其收到的訊號強度。

如下圖所式，過去的基地台並不會因為使用者的位置而改變天線傳輸的方向，所以即使使用者在邊際區域，天線方向仍然不會調整往使用者方向集中，因此使用者在邊際區域收到的訊號功率往往因為離天線傳輸角度太大而導致衰減太多導致收到的訊號功率過小，使訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值低落。另外一個方向來說，由於使用相當寬的波束寬度，造成功率集中的程度不佳，使的就算不是在目標傳輸角度附近，一樣都會收到來自基地台的訊號，當這些訊號不是我們所需要的時候，就變成干擾，因此使用大寬度的波束寬度雖然覆蓋率較好，但是對於使用者的干擾也會很大。

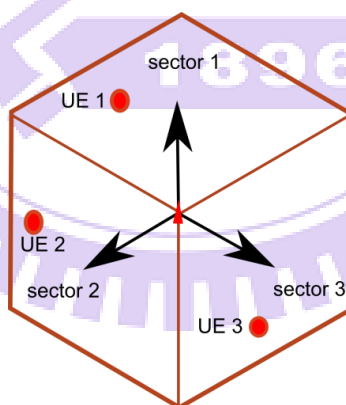


圖 3-3: 固定傳送方向示意圖

在固定天線的發射情形之中，我們可以把問題歸類為兩大類：第一類是天線發送的角度離使用者的位置夾角太大，導致收到的訊號功率太小。第二類問題則是波束邊際溢散的功率較大，導致使用者間的干擾過強。為了改善上面兩個問題，我們嘗試了調整天線參數的方式，詳細作法將在章節 3.3 當中作介紹。

3.3 動態調整天線參數

3.3.1 天線參數調整目的

為了改善天線使用固定傳送角度傳送所造成的問題，我們嘗試調整發送的角度以及波束寬度，希望能夠解決目前所遇到的問題。由於如下圖所示，當 ϕ_{3dB} 太小的時候，基地台天線所傳送出去的訊號在不增加基地台分割的情況之下，無法佈滿整個扇形區域，而且使用的波束寬度跟其可以切換的角度有一定的關係。換言之，若要只透過改變波束寬度來改善訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，則需要不同分割基地台的方式，需要分割成更多的扇形區塊、更細的區域才能讓基地台傳輸的訊號佈滿整個基地台，否則只要離基地台的傳輸角度有點距離，就會收不到訊號，這點在 ϕ_{3dB} 愈小時愈嚴重。為了使用切換波束式天線，我們重新劃分了基地台區塊讓切換波束式天線的波束可以涵蓋到整個扇形區塊。

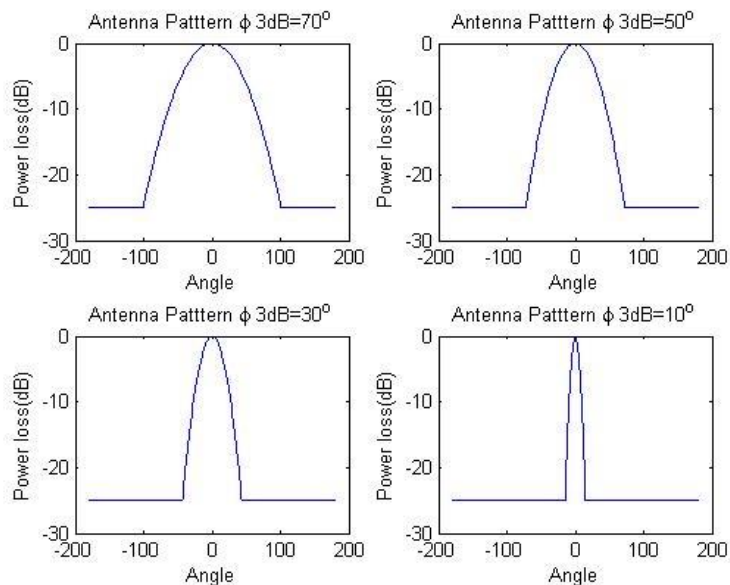
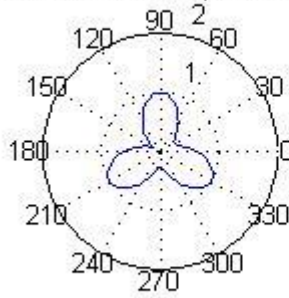
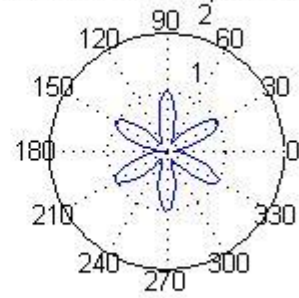


圖 3-4: 波束寬度比較圖 1

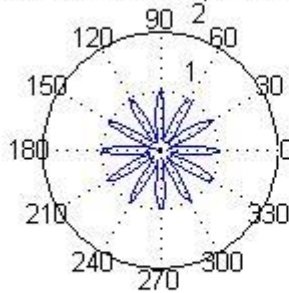
Antenna Pattern ϕ 3dB=70°



Antenna Pattern ϕ 3dB=30°



Antenna Pattern ϕ 3dB=15°



Antenna Pattern ϕ 3dB=10°

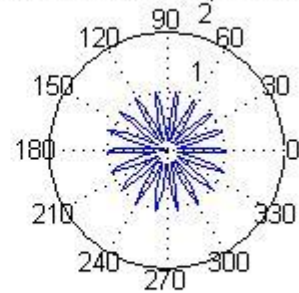


圖 3-5:波束寬度比較圖 2

以下分別對於調整調整發送角度以及波束寬度作介紹。

3.3.2 調整發送角度

我們目標是希望將基地台的訊號，藉由調整基地台天線的傳輸方向，直接往使用者的所在位置送過去，達到讓使用者收到功率最大的效果。示意圖如下圖，假設有三個使用者，每個使用者接收到直接由基地台瞄準其所在方位送出的訊號。

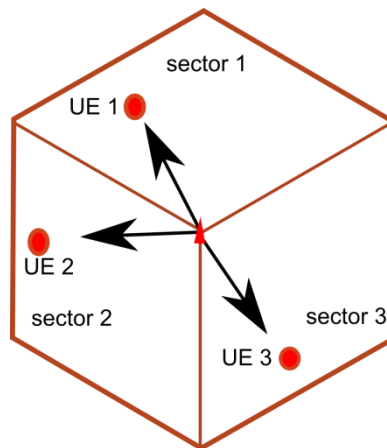


圖 3-6: 調整天線傳送方向示意圖

假設基地台每個扇形區塊皆由一組/一隻天線所服務，並且與一個使用者作配對，我們利用第二章的使用者與基地台配對的演算法來進行使用者與基地台配對。先將最使用者與基地台間路徑傳輸功率衰減最少的作配對，在將次之的作配對，最後在把剩下的進行配對，完成一對一的配對流程，舉例如下。

表 3-1: 使用者到基地台間總路徑衰減範例

總路徑衰減(dB)			
	使用者 1	使用者 2	使用者 3
扇形區塊 1	2	10	8
扇形區塊 2	9	4	13
扇形區塊 3	11	7	1

先將使用者 3 跟扇形區塊 3 進行配對，在將使用者 1 跟扇形區塊 1 作配對，最後把使用者 2 和扇形區塊 2 配對，得到以下的配對資料，配對演算法完成。完成的結果如下表格：

表 3-2: 使用者與服務扇型區塊配對完成範例

使用者裝置	服務扇形區塊
使用者 1	扇形區塊 1
使用者 2	扇形區塊 2
使用者 3	扇形區塊 3

由於基地台要往使用者所在位置送訊號，所以除了第二章節所提到的使用者與基地台配對的問題之外，還需要找尋要傳輸給使用者的方向。找尋方向最基本的想法便是估測使用者的位置，但是由於估測使用者的位置並不容易，應該說單純只利用簡單的估測方式很難達到精準的位置估測，而且在測量上很容易有誤差產生。在用細小的波束時，一點誤差就會造成很大的衰減，這是我們所不樂見的。第二個是有陰影、反射等等因素存在，導致即使估測的很精準，往使用者為至送過去的訊號未必是使用者可以接收到最大的訊號。基於以上兩點理由，所以我們改估測訊號到達角度(Angle of Arrival ,AoA)。估測訊號到達角度非常簡單，只要將天線作三百六十度掃描，讓使用者回傳哪個角度時收到的訊號功率最大，立刻就可以得到最佳傳輸的角度，並可以同時解決上面兩個所遭遇到的問題，或是利用對偶性的方式讓使用者傳輸測試訊號讓基地台決定傳輸方位。簡單來說，要讓使用者收到訊號功率最強，不需要做到精準的使用者定位，只需要簡單找出哪個角度最好即可。

另外由於現實上天線沒有辦法切換到所有的角度，所以我們設定了天線可以切換的角度與方向。實行天線旋轉的方式是架設多根指向性天線，分別指向不同角度，要使用時再依照其情況選擇那些天線傳送，那些天線關閉，可以達到改變傳送方向的效果；或者是利用陣列天線乘上適當傳輸波束形成權重，來改變傳輸角度。

我們結合了使用者配對並且調整天線傳輸角度，得到了上面(圖 3.4)示意圖的

結果，每個使用者都跟一組天線作配對，天線精準的朝使用者收到功率最強的方位送出訊號，演算法成效將在章節後半段以模擬的方式做呈現。

3.3.3 同時調整發送角度以及波束寬度

另一種減少波束邊緣干擾的方式是縮小波束寬度，但是單純縮小波束寬度的做法是不可行的，必須搭配其他技術實做出來才有。在這小節中，我們結合了同時調整發送角度跟波束寬度兩種參數。

演算法實行的步驟相當簡單，基本上跟章節 3.3.2 一樣，先選擇成本符合的情況下最小的波束寬。接著再度進行配對以及將服務天線往使用者收到訊號功率最大的方位傳送訊號，如此一來便可以同時解決波束邊緣對其他使用者的干擾問題，也可以解決固定傳送角度無法往使用者方位打出訊號的問題。但是使用愈小的波束寬度成本愈高，所以要事先衡量是否符合經濟效益。

章節 3.3.2、3.3.3 兩個演算法的效果將會在本章後半部分模擬結果中比較。

3.4 結合傳輸功率控制的動態天線參數調整

切換波束式天線使用上除了單純改變天線參數之外，還可以結合其他演算法，如傳輸功率控制的演算法。天線參數調整以及傳輸功率演算法搭配作調整可以得到非常好的效果，詳細作法如下：

首先選擇成本符合的情況下最小的波束寬度，接著同樣的再進行配對，做法與 3.3.2 相同。最後再進行傳輸功率演算法，調整傳輸的功率大小，讓所有的使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值都大於要求的目標值，使整體使用者的系統都能正常運作，如果無法服務所有使用者，則可以考慮採用乘載率取向傳

輸功率控制演算法來提升整體服務的比例。

演算法詳細流程圖如下：

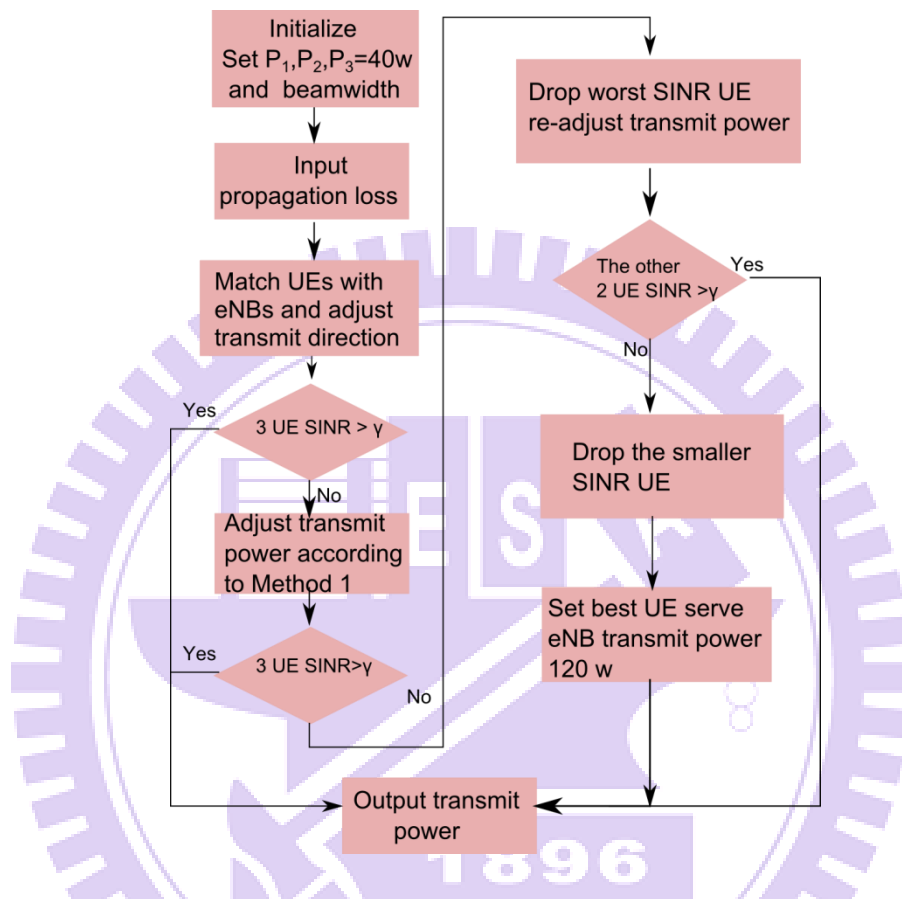


圖 3-7: 結合乘載率取向傳輸功率控制演算法與動態天線參數調整流程圖

3.5 模擬環境以及參數設定

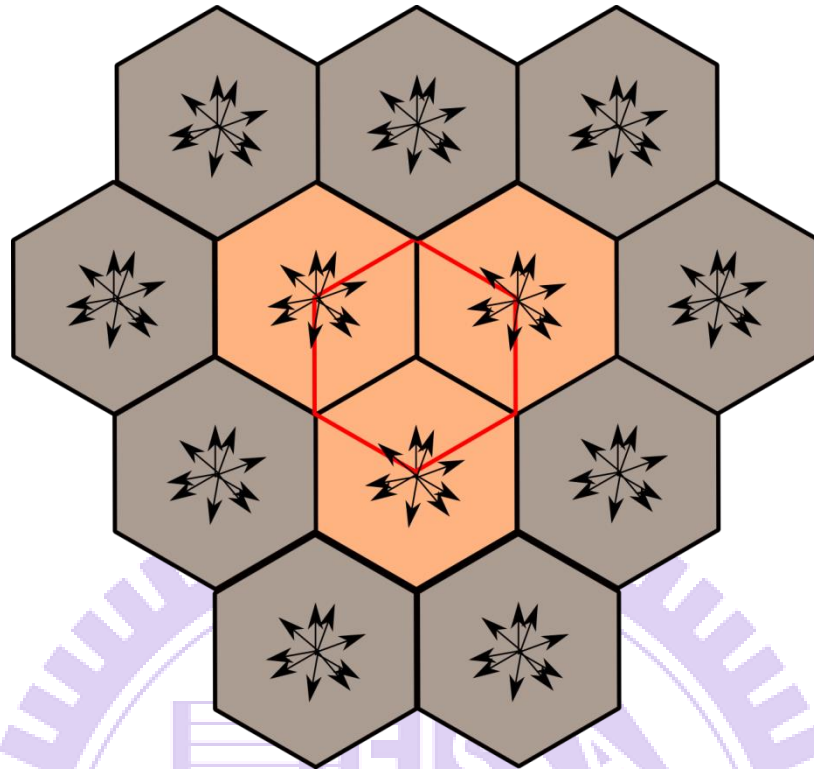


圖 3-8:模擬系統架構示意圖

系統環境如上圖所示，一共有 12 個基地台，基地台間距(Inter-Site Distance ,ISD) 為 500 公尺，其中中間 3 個橘色的基地台參與合作式傳輸，進行功率控制演算法以及波束形成參數或是天線參數調整。一共有三個使用者，分別隨機分佈在紅色區域中三個扇形區塊當中。箭頭表示基地台的天線方向，當有需要的時候可以做改變，並且設定了可以改變的波束寬度和傳輸方向。每個基地台傳送功率初始設定為 40 瓦，因此三個基地台總功率定為 120 瓦。訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值目標訂為 8dB，也就是 6.3 倍。當訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值為 8dB 時，利用一根天線傳送，兩個天線接收的 SIMO (Single Input Multiple Output) 系統可以達到 10^{-2} 的錯誤率(Bit Error Rate)。詳細系統參數設定如下表：

表 3-3: 模擬系統參數設定

參數名稱	設定值
基地台個數	12 個 每個基地台有 3 個扇形區塊
合作基地台個數	3
非合作基地台個數	9
使用者個數	3
雜訊功率	-174 dBm/Hz
雜訊指數	3 dB
頻寬	10 MHz
中心頻率	2G Hz
陰影	8 dB std.
天線參數	$A(\varphi) = -\min[12(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}})^2, A_m]$, $A_m = 25$
波束寬度	10°、15°、20°、30°
目標 SINR	8 dB
基地台間距	500 公尺
基地台與手機之間最小距離	35 公尺
路徑衰減	128.1+37.6*log(d)
基地台功率	46 dBm
合作基地台總功率	120 w
使用者分布	3 個使用者隨機分布在紅色六角型細胞的 3 個扇形區塊當中，每個扇形區塊一個使用者

3.6 模擬數據以及結果

3.6.1 調整波束寬度以及發送角度

下圖是當中央三個扇形區塊當中，每個扇形區塊都有一個使用者，基地台同時改變波束寬度以及發送的角度時的系統整體乘載率。橫座標是波束寬度，縱座標是乘載率。由圖上可以看出當波束寬度愈小的時候，使用者收到的干擾愈少，所以整體乘載率愈好。

另外還可以看出當使用愈窄的波束寬度，理論上應該會得到非常好的結果，但是因為波束寬度太窄因此傳送方向有些誤差就會造成很大的衰減，所以結果大略是指數衰減。

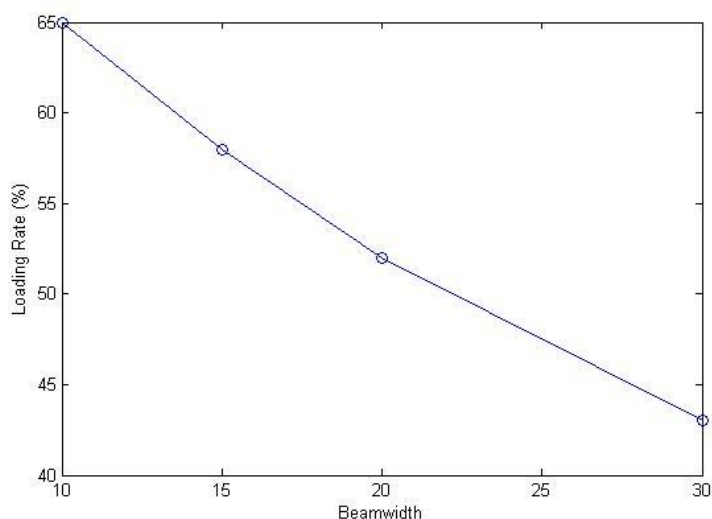


圖 3-9: 調整傳送方向與波束寬度的乘載率結果圖

3.6.2 結合傳送功率調整以及天線參數調整

下圖是當中央三個扇形區塊當中，每個扇形區塊都有一個使用者，基地台同時改變波束寬度以及發送的角度，並且執行傳輸功率控制演算法後的系統整體乘載率。橫座標是波束寬度，縱座標是乘載率，藍色曲線代表未進行傳輸功率控制演算法，紅色曲線代表的是進行傳統型傳輸功率控制演算法，綠色曲線代表的是進行乘載率取向傳輸功率控制演算法。由圖上可以看出當波束寬度愈小的時候，傳輸功率控制演算法的結果愈接近，因為當波束愈窄的時候，需要進行傳輸功率控制演算法的情況愈少，大多數情況都不需要進行傳輸功率控制便可以達到服務所有使用者，兩者皆大於沒有做任何傳輸功率控制演算法的情況。調整天線角度以及波束寬度後進行傳輸功率控制，可以大幅提升系統乘載率，效果十分卓越。

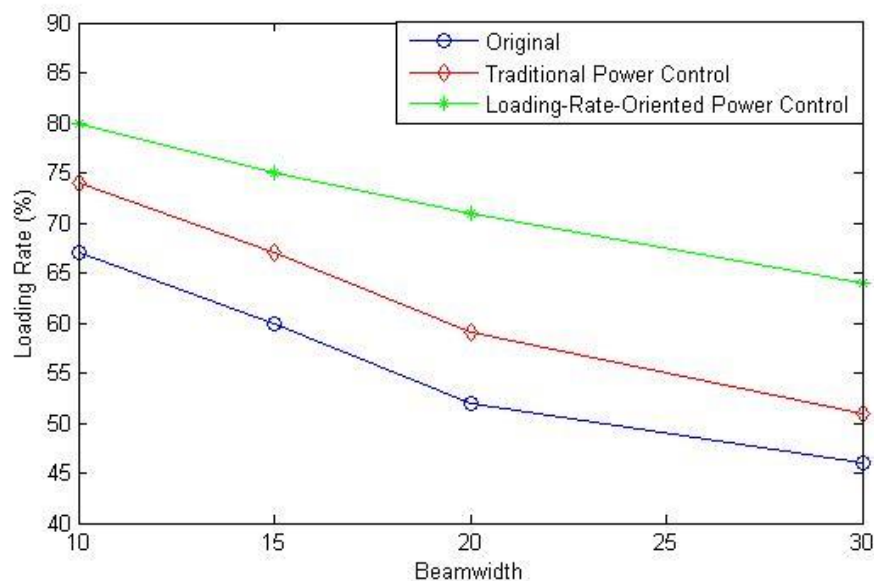


圖 3-10:結合乘載率取向傳送功率控制演算法並調整傳送方向以及波束寬度的乘載率結果圖

3.7 結論

從模擬上顯示，波束形成做得好可以從根本上解決干擾的問題，系統乘載率獲得改善的結果是本論文中其他的演算法所做不到的。只要使用者位置不要太近、或是擠在一起，甚至不太需要搭配其他演算法就能服務所有的使用者。

結合了傳輸功率控制演算法可以讓原本就十分良好的表現獲得更進一步的改善，在各種情況底下都大約有 20%左右的增益。另外我們測試過降低目標訊號功率與干擾功率加雜訊功率的比值為 4dB 時，不作任何演算法就可以服務約 85~90% 的使用者，系統乘載率非常優秀。

理論上來說，波束寬度愈窄愈好，模擬上也顯示，使用愈窄的波束寬度，效果愈好，而且成效非常顯著。但是要製作波束寬度很窄的天線，成本十分驚人，愈窄愈高。也因此現實上十分少用到波束寬度很窄的天線。換言之，使用很窄的波束雖然有利於使用者，但是其增益幅度目前卻不足以支撐廠商的付出，所以如何降低窄波束寬度的天線製作成本乃是現在很重要的問題。

第4章

協調式多點傳輸機制

4.1 協調式多點傳輸機制介紹及其分類

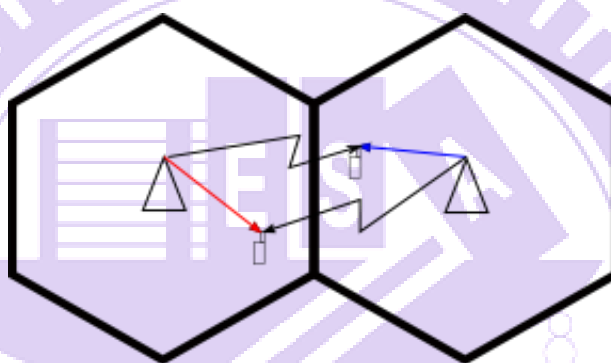


圖 4-1: 下行細胞系統傳送示意圖

在 LTE-A 下行系統(Downlink System)中，使用者會收到來自其他細胞傳輸的訊號，對使用者造成干擾，特別是當使用者在細胞邊緣(Cell-edge)時，訊號的收到功率比較小，而干擾功率往往跟訊號功率差不多大，造成其訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值低落，為了解決在細胞邊緣區域的問題，3GPP 在 LTE-A 規範中開放使用協調式多點傳輸機制(Coordinated Multi-Point Transmission, CoMP)來克服干擾過大的問題。

協調式多點傳輸機制在 LTE-A 架構中屬於合作式通訊的一種，協調式多點傳輸機制可以讓多數個傳輸節點，透過特定的協調機制在相同的頻段上進行合作傳輸，並可配合使用訊號疊加，傳輸節點選擇、編碼等方式來提升頻譜使用效率。

在 LTE-A 規劃下，協調式多點傳輸機制可以分為兩大類，分別是聯合處理(Joint Processing ,JP)以及動態細胞選擇(Dynamic Cell Selection, DCS)。聯合處理又可以依其核心技術區分為兩大類：「聯合傳輸(Joint Transmission ,JT)」以及「協調排程/協調波束形成(Coordinated Scheduling / Beamforming ,CS / CB)」。動態細胞選擇的部分則是根據通道狀況改變基地台與使用者的配對，目標使其在當下是最佳化的選擇。本章節將會針對協調式多點傳輸機制聯合處理的部份分別介紹其演算法，並模擬其使用成效。

聯合傳輸以及協調波束形成除了可以根據核心技術區分之外，另外一個很明顯的差異是基地台需要的資訊，聯合傳輸由於許多基地台要同時傳送給一個使用者，所以所有的基地台都需要傳給每個使用者的資料，這會增加相當程度的基地台系統負載。而協調波束形成則可以只利用通道特性消除掉合作基地台的影響，所以不需要額外的傳輸給使用者的資料，相對來說負載較輕，所以現今的發展狀況是以協調波束形成較為受到青睞，也是目前正熱門的開發項目。所需要的資訊舉例整理如下：

假設有下圖的系統；有兩個基地台，基地台 A 跟基地台 B 以及兩個使用者，使用者 A 跟使用者 B，當作聯合傳輸以及協調波束形成所需要的資訊整理如下表格。當作聯合傳輸的時候，基地台 A 除了需要傳給使用者 A 的資料跟整體通道資訊(Channel State Information , CSI)以外，還需要傳給使用者 B 的資料。而當作協調波束形成的時候就不需要傳給使用者 B 的資料。同理基地台 B 亦是如此，在聯合傳輸的情況之下需要傳給使用者 A 的資料，協調波束形成則不需要。兩者詳細的作法將在接下來作說明以及介紹。

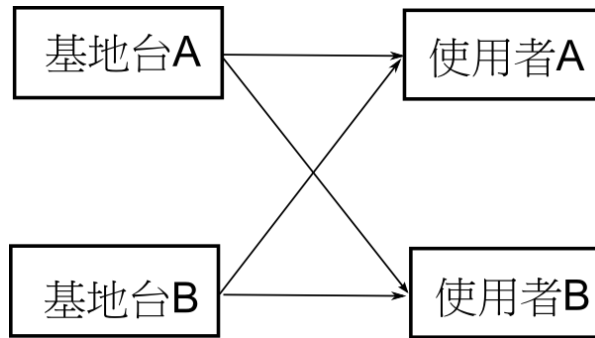


圖 4-2：系統傳輸資料示意圖

表 4-1：聯合傳輸以及協調波束形成比較表

	聯合傳輸	協調波束形成
基地台 A	傳給使用者 A 的資料 傳給使用者 B 的資料 整體傳輸通道資訊	傳給使用者 A 的資料 整體傳輸通道資訊
基地台 B	傳給使用者 A 的資料 傳給使用者 B 的資料 整體傳輸通道資訊	傳給使用者 B 的資料 整體傳輸通道資訊

協調式多點傳輸機制除了可以依照核心技術分類外，另外亦可用基地台合作的區域可分類成兩種，一個是場域間的 CoMP 技術(Inter-site CoMP)，也是本章節的主軸，另一個則是場域內的 CoMP 技術(Intra-site CoMP)，其詳細作法將在下一個章節作分析。

4.2 聯合處理/傳輸模式

在聯合傳輸(Joint Transmission ,JT)模式之下，會有多個傳輸節點同時傳送資料給單一一個使用者，並且透過一些機制協調各個基地台的傳輸訊號，來改善收到訊號的強度，或者是主動消除掉使用者間的干擾(Inter-user interference)。

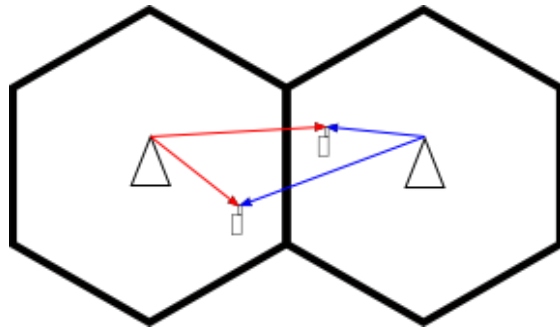


圖 4-3: 聯合傳輸機制示意圖

在聯合處理/傳輸模式中比較基礎的兩個作法是，一個是多基地台服務同一個使用者，另一個則是區塊對角化演算法(Block Diagonalization Algorithm ,BD) ，這兩種演算法都接下來都會有詳細的推導以及介紹。

4.2.1 多基地台服務同一個使用者

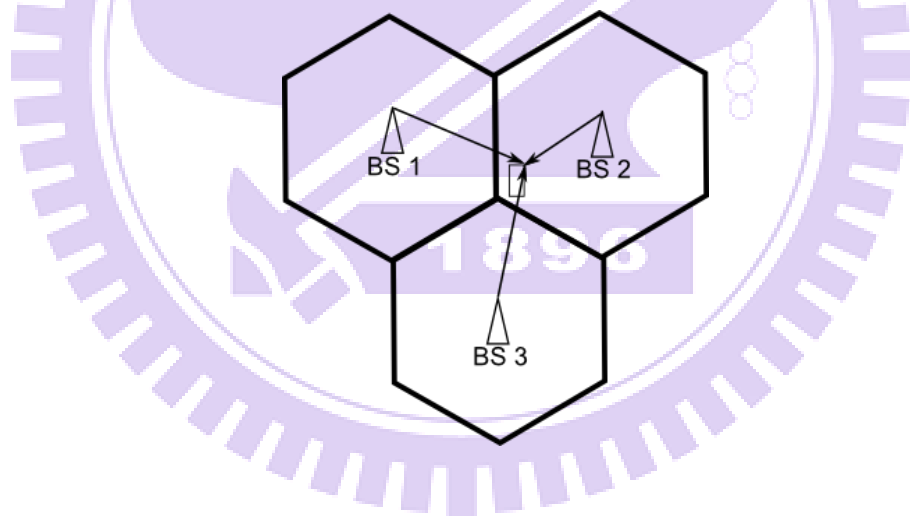


圖 4-4: 多基地台服務同一個使用者示意圖

協調式多點傳輸機制最簡單的做法是讓多個基地台，傳送相同的訊號服務單一使用者，示意圖如下，基地台一(Base Station 1 ,BS 1)、基地台二(Base Station 2 ,BS 2)以及基地台三(Base Station 3 ,BS 3)只服務單一使用者(User Equipment ,UE)。

訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值分析如下：

假設原先使用者只被基地台一服務，其訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值如下：

$$SINR = \frac{P_1 H_1}{P_2 H_2 + P_3 H_3 + I + N} \quad (4.1)$$

其中 P_i 表示第 i 個基地台的傳送功率， H_i 表示第 i 個基地台到使用者的總傳遞衰減(Total Propagation Loss)， I 表示來自非合作基地台的干擾，而 N 則是雜訊功率。所以基地台的天線傳送功率乘上總功率衰減等於使用者收到的功率。

而當傳輸模式改成三個基地台傳送相同的訊號給同一個使用者，該使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值則變成下式：

$$SINR = \frac{P_1 H_1 + P_2 H_2 + P_3 H_3}{I + N} \quad (4.2)$$

很明顯的，使用者想收的訊號功率大幅增加，而且來自鄰近基地台的干擾，也往往是最強干擾的就被消除了，分母只剩下雜訊跟非合作基地台的干擾。分子變大，分母變小所以可以大幅提升其比值，而且也可以從這邊看出愈多個基地台參與合作，演算法的成效就越好。

多基地台服務單一個使用者這個演算法一來簡單，二來可以增強訊號功率，更可以讓消去合作基地台間的干擾，效果卓越。但是由於多個基地台只服務一個使用者，其實是十分浪費資源的，頻寬效益低落，所以許多人研究是否有方法可以同時服務多個使用者並且又不會互相干擾。這些改良後的演算法將會在接下來的部分作介紹。

4.2.2 區塊對角化演算法

區塊對角化演算法(Block Diagonalization Algorithm ,BD)最早的想法是用於單一一個基地台擁有取許多跟傳輸天線，希望讓這些天線分別傳給不同的使用者，但是這些使用者收到的資料不會互相干擾所發展出來的技術，後來延伸應用到將所有合作基地台視為一個大型的虛擬基地台來做處理，讓這些基地台的使用者收到的資料不會互相干擾。

區塊對角化演算法主要是透過預先編碼(Precoding)的方式消除使用者間干擾，區塊對角化演算法可以找出滿足不會有使用者間干擾的預先編碼矩陣(Precoding Matrix)，在傳輸之前各基地台交換通道以及傳輸資訊協調後透過此演算法找出來的預先編碼權重進行聯合預先編碼(Joint Precoding)，使用者接收資料後便不會有使用者間干擾產生，所以區塊對角化演算法是一種滿足特定條件下的區域性最佳解。

區塊對角化演算法的核心概念是利用任何矩陣乘上自身的零空間(Null Space)等於零的方式來消除掉干擾項，詳細推導如下：

假設系統中每個傳輸節點有 n_t 個傳送天線，每個使用者裝置有 n_r 個接收天線，另外在下行系統中共有 M 個基地台參予合作式傳輸，並且有 M 個使用者與其接收基地台配對，故整個系統可以視為一個 $(Mn_t) \times (Mn_r)$ 的虛擬多輸入多輸出(Multiple Input Multiple Output ,MIMO)系統，如下圖所表示。

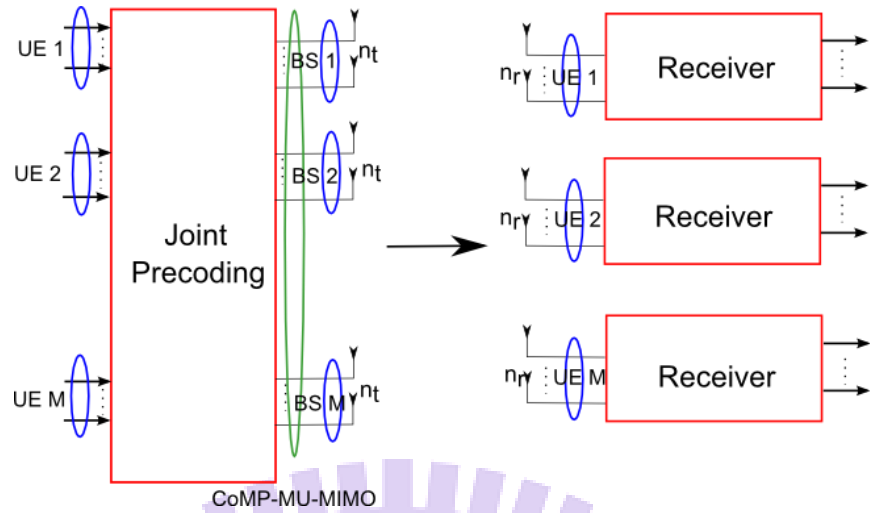


圖 4-5:多輸入多輸入系統架構圖

上圖系統中，在第 n 個子載波上，合作基地台群組到的 i 個使用者裝置通道矩陣可以表式為 $H_i[n]$ ，所以整體的通道矩陣則可以用每一個使用者的通道矩陣組合來代表，表示如下：

$$H[n] = \begin{bmatrix} H_1[n] \\ H_2[n] \\ \vdots \\ H_M[n] \end{bmatrix}_{(Mn_r) \times (Mn_t)} \quad (4.3)$$

同樣的在第 n 個子載波上要傳給第 i 個使用者的資料向量可表示為

$$D_i[n] = [D_{i,1}[n] \ D_{i,2}[n] \ \cdots \ D_{i,l}[n]]^T \quad (4.4)$$

其中 l 是資料的層數(Layer)，假設對第 i 個使用者作的預先編碼矩陣為 $W_i[n] \in (Mn_t \times l)$ ，合作式傳輸的資料向量可以表示為下式：

$$T[n] = \sum_{i=1}^M W_i[n] D_i[n] = W[n] D[n]$$

其中

$$B[n] = [W_1[n] \ W_2[n] \ \cdots \ W_M[n]] \quad (4.5)$$

$$D[n] = [D_1[n] \ D_2[n] \ \cdots \ D_M[n]]$$

第 i 個使用者接收到的資料可以被表示成

$$R_i[n] = H_i[n] \sum_{k=1}^M B_k[n] D_k[n] + N[n] \quad (4.6)$$

其中 $N[n] \in n_r \times l$ 為雜訊以及來自非合作基地台來的干擾。

區塊對角化演算法的原理是找出符合 $H_i[n] W_j[n] = 0, i \neq j$ 條件的預先編碼矩陣，因此其他使用者接收時不會收到來自其他基地台的干擾，演算法步驟如下：

假設 $\bar{H}_i[n]$ 為第 i 個使用者以外的通道矩陣，表示如下：

$$\bar{H}_i[n] = \begin{bmatrix} H_1[n] \\ \vdots \\ H_{i-1}[n] \\ H_{i+1}[n] \\ \vdots \\ H_M[n] \end{bmatrix}_{((M-1)n_r) \times (Mn_t)} \quad (4.7)$$

則預編碼權重向量可以由 $\bar{H}_i[n]$ 的零空間中找出。找出的方法是將 $\bar{H}_i[n]$ 作奇異值分解(Singular Value Decomposition, SVD)，分解後可以表示成下式：

$$\bar{H}_i[n] = \bar{U}_i[n] \begin{bmatrix} \bar{\Sigma}_i[n] & O \\ O & O \end{bmatrix} [\bar{V}_i^{(1)}[n] \ \bar{V}_i^{(0)}[n]]^H \quad (4.8)$$

其中 $\bar{V}_i^{(1)}[n]$ 是由對應到非零空間奇異值向量所組成，而 $\bar{V}_i^{(0)}[n]$ 則是由對應到零空間奇異值向量所組成，故 $\bar{V}_i^{(0)}[n]$ 是 $\bar{H}_i[n]$ 零空間的正交基底。所求的預編碼權重向量可以由 $\bar{V}_i^{(0)}[n]$ 自右邊取 l 個欄向量得到，因此預先編碼矩陣(Precoding Matrix)可以表示成下式：

$$\begin{aligned} W[n] &= [W_1[n] \ W_2[n] \ \cdots \ W_M[n]]_{(Mn_t) \times (Ml)} \\ &= [\hat{V}_1^{(0)}[n] \ \hat{V}_2^{(0)}[n] \ \cdots \ \hat{V}_M^{(0)}[n]] \end{aligned} \quad (4.9)$$

其中 $W_i[n]$ 為第 i 個使用者的預先編碼矩陣，最後做結合得到整個系統的預先編碼矩陣 $B[n]$ 。使用此預先編碼矩陣透過區塊對角化演算法可以保證收到的資料中，來自合作基地台間干擾為 0 。演算法詳細流程圖如下：

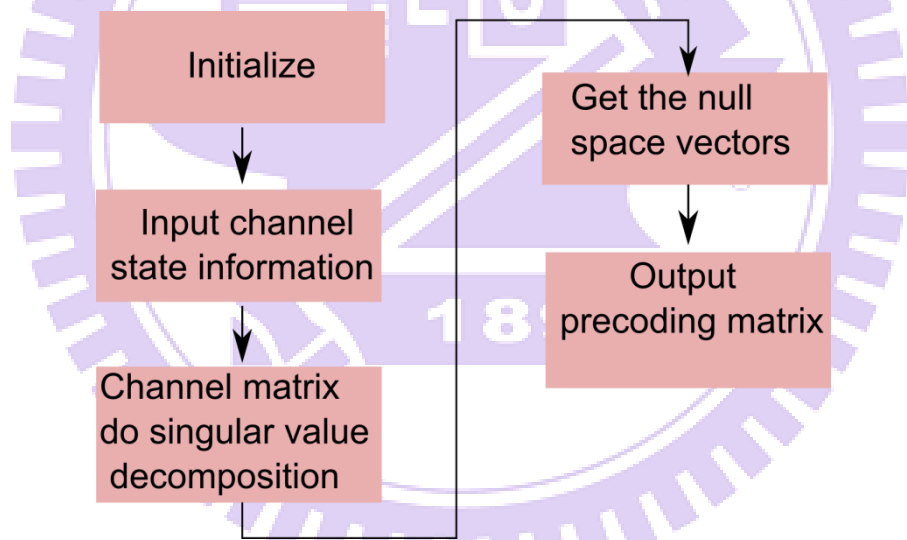


圖 4-6: 區塊對角化演算法流程圖

4.3 協調波束形成

4.3.1 廣義波束形成介紹

除了聯合傳輸模式之外，還有另一種協調式多點傳輸機制聯合處理的運作方式，稱作協調波束形成(Coordinated Beamforming, CB)或是稱作協調排程

(Coordinated Scheduling ,CS)，所謂波束形成有狹義跟廣義的解釋，第三章的切換波束式天線是使用物理性的波束，利用射頻天線或是陣列天線乘上其傳輸波束形成權重的技術實際上往特定方向傳輸一道電磁波束，也就是所謂的狹義的波束形成。而這章節指的波束形成是指廣義上的波束形成，廣義的波束形成可以解釋成空間上的濾波器(Spatial Filter)，可以消除掉特定空間上的訊號及干擾，或是在空間中某些區域增強訊號。其作法如下圖所表示，每個傳輸天線傳輸前先乘上其傳輸波束形成權重(Beamforming Weight)，利用傅立葉轉換(Fourier Transform)的特性將空間轉換成角度，得到我們想要在空間上作出的效果。

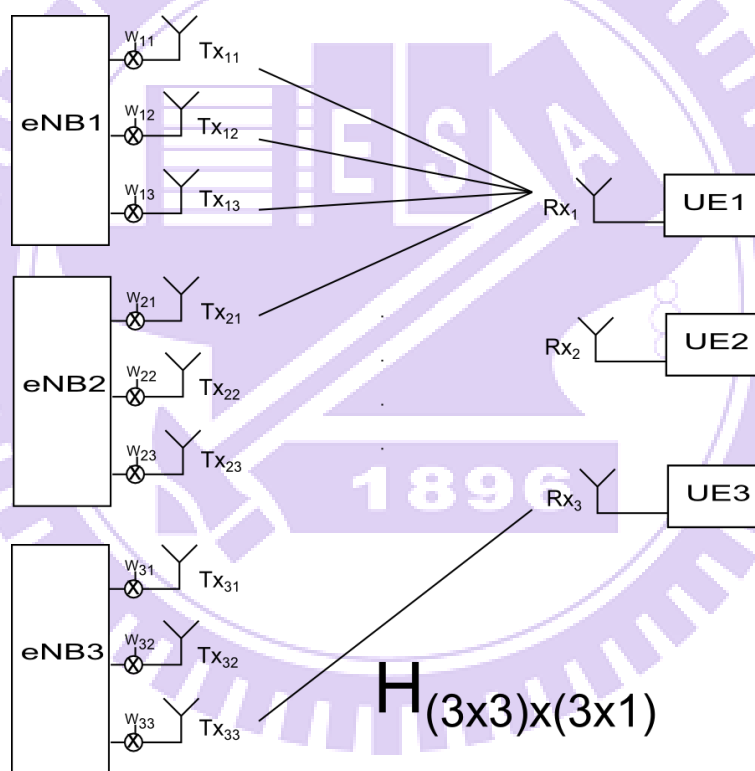


圖 4-7:協調波束形成實作示意圖

協調式波束形成希望利用空間濾波器的特性，消除調來自非服務基地台的干擾，如上圖使用者一只希望收到來自基地台一的訊號，使用者二只希望收到來自基地台二的訊號，使用者三只希望收到來自基地台三的訊號，透過協調波束形成的演算法之後，基地台一對於使用者二和三的干擾會便成零，基地台二對於使用者一和三的干擾為零，同理，基地台三對於使用者一和二造成的干擾也是零。如

下圖 4-8 表示，使用者原本除了會收到服務基地台傳送的資料訊號以外，皆會收到來自非服務基地台的干擾，如下圖中的黑色線段。協調式波束形成透過傳送前先乘上波束形成權重，使傳送後使用者不會收到不是自己要的訊號，進而提升每個使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，接下來將介紹詳細的作法。

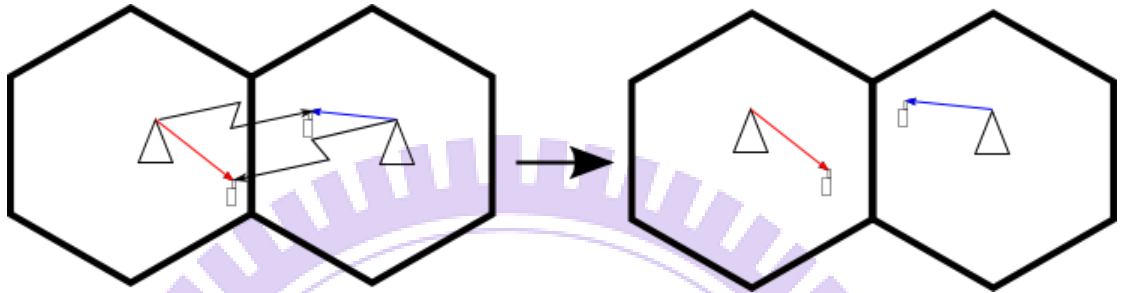


圖 4-8: 協調波束形成示意圖

4.3.2 強制波束形成歸零演算法

協調波束形成最基本的作法就是利用複數使用者干擾歸零的條件(Zero Multi-User Interference ,ZMUI)，找出適合的波束形成權重，這種演算法叫做強制波束形成歸零演算法(Zero-Forcing Beamforming Algorithm ,ZFBF)，詳細作法以及推導如下：

假設一共有 M 個使用基地台與 M 個使用者，其中第 i 個使用者接收到的訊號 $R_i[n]$ 可以表示為下式：

$$R_i[n] = \sum_{u=1}^M H_{i,u}[n]W_u[n]x_u + N[n] \quad (4.10)$$

其中 W_u 為第 u 個基地台預乘的傳輸波束形成權重(Transmit Beamforming Weight)， x_u 則是第 u 個基地台傳送的資料， $H_{i,u}$ 為第 u 個基地台到第 i 個使用者的通道矩陣， $N[n]$ 為使用者接收到的雜訊，另外為了不改變整體的傳送功率，所以

設定 $\|W\|=1$ 。

接著設定複數使用者干擾歸零的條件，表示如下式：

假設第 u 個基地台服務第 i 個使用者

$$H_{j,u}[n]W_u[n]=0, j \neq i \quad (4.11)$$

演算法目標是期望找出傳送波束形成權重 $W_u[n]$ 。一個簡單的做法是利用 $H_{i,j}$ 的零空間基底來找出適合的傳送波束形成權重，透過任何矩陣乘上其零空間等於零的性質來消除掉來自非服務基地台的干擾。詳細作法如下：

假設一共有 M 個基地台參予合作，每個基地台有 n_t 個傳送天線，服務區內一共有 M 個使用者，每個使用者皆有 n_r 個接收天線。假設第 i 個使用者被第 u 個基地台服務，在此假設下可以找出第 u 個基地台看到的通道矩陣 H_u 如下：

$$H_u[n] = \begin{bmatrix} H_{1,u}[n] \\ \vdots \\ H_{i,u}[n] \\ \vdots \\ H_{M,u}[n] \end{bmatrix}_{(Mn_r) \times (n_t)} \quad (4.12)$$

接著我們扣掉第 i 個使用者到第 u 個基地台間的通道矩陣得到下面新的通道矩陣 $\bar{H}_{i,u}[n]$ 如下：

$$\bar{H}_{i,u}[n] = \begin{bmatrix} H_{1,u}[n] \\ \vdots \\ H_{i-1,u}[n] \\ H_{i+1,u}[n] \\ \vdots \\ H_{M,u}[n] \end{bmatrix}_{((M-1)n_r) \times (n_t)} \quad (4.13)$$

接著將矩陣 $\bar{H}_{i,u}[n]$ 作奇異值分解，如下

$$\bar{H}_{i,u}[n] = \bar{U}_i[n] \begin{bmatrix} \bar{\Sigma}_i[n] & O \\ O & O \end{bmatrix} [\bar{V}_i^{(1)}[n] \bar{V}_i^{(0)}[n]]^H \quad (4.14)$$

最後從 $\bar{V}_i^{(0)}[n]$ 取出至少一個零空間基底當作傳送波束形成權重，得到 $W_i[n]$ 。透過任何矩陣乘上其零空間基底的特性消除掉對其他使用者的干擾。由於此作法需要零空間存在，也可說是透過零空間基底傳送資料，因此在矩陣的維度上有一定的限制，限制如下：

$$n_{i,u} > (M-1) \times n_r \quad (4.15)$$

也就是基地台的傳送天線要比使用者的傳送天線總和多，可以看成是一個干擾需要一根天線作抵銷，因此需要比干擾源多的天線來傳送。

演算法流程圖如下：

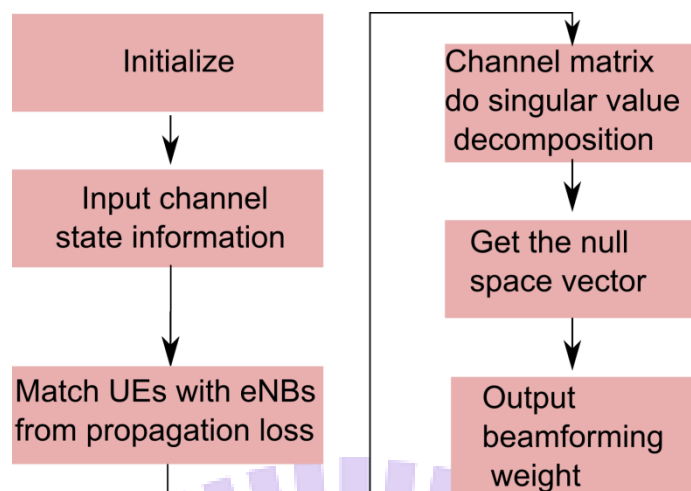


圖 4-9: 協調波束形成演算法流程圖

4.3.3 特徵值波束形成

除了單獨消除干擾之外，還可以進一步加強傳送的訊號功率，方法是利用特徵值波束形成來達成目的。

我們將(4.12)式中的通道矩陣 H_u 乘上其傳送波束形成權重 $W_u[n]$ 得到等效的通道矩陣 $\hat{H}_u[n]$ 如下：

$$\hat{H}_u[n] = H_u[n]W_u[n] \quad (4.16)$$

接著將等效通道矩陣 $\hat{H}_u[n]$ 作奇異值分解，如下

$$\begin{aligned} \hat{H}_u[n] &= H_u[n]W_u[n] \\ &= U_u[n] \begin{bmatrix} \Sigma[n] & O \\ O & O \end{bmatrix} [V^{(1)}[n] \ V^{(0)}[n]]^H \end{aligned} \quad (4.17)$$

然後從 $V^{(1)}[n]$ 中取出對應最大特徵值的特徵向量 $Q_u[n]$ ，再與原本的傳送波束形成權重 $W_u[n]$ 相乘得到最後使用的傳送波束形成權重 $\hat{W}_u[n]$ 如下：

$$\hat{W}_u[n] = W_u[n]Q_u[n] \quad (4.18)$$

根據雷氏不等式(Rayleigh Inequality)的結果可以得到這是可以得到最大結果的傳輸波束形成權重。

4.4 模擬環境參數設定

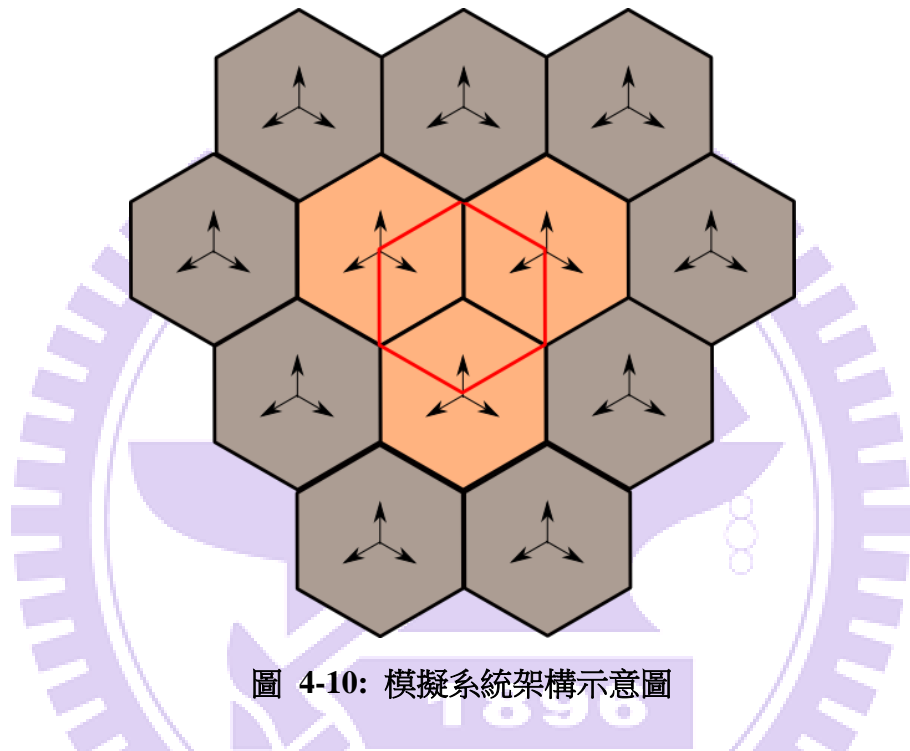


圖 4-10: 模擬系統架構示意圖

系統環境如上圖所示，一共有 12 個基地台，基地台間距(Inter-Site Distance ,ISD)為 500 公尺，其中中間 3 個橘色的基地台參與協調式多點傳輸機制，進行三個基地台服務同一個使用者、區塊對角化演算法以及協調波束形成演算法。使用者隨機分佈在紅色區域中。箭頭表示基地台的天線方向，固定指向 90° 、 210° 330° ，波束寬度參數設定為 70° 。每個基地台傳送功率設定為 40 瓦，因此三個基地台總功率定為 120 瓦。中心載波頻率為 2G 赫茲，頻寬為 10 M 赫茲並且包含了 1024 根子載波。天線數量方面使用了兩種設定，第一種是傳送天線為一根，接收天線設定為兩根的 SIMO (Single Input Multiple Output)系統。接收器用最大比率結合接收器(Maximum Ratio Combining Receiver ,MRC Receiver)；另一種是是傳送天線為四

根，接收天線設定為一根的 MISO (Multiple Input Single Output) 系統。並且利用有效指數訊雜比映射(Effective Exponential SINR Mapping ,EESM)的方式將每個子載波的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值組合對應到等效的使用者訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。

所謂的有效指數訊雜比映射的數學式如下：

$$r_{eff} = -\beta \ln\left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{-\gamma_k/\beta}\right) \text{ (in linear scale)} \quad (4.19)$$

其中 r_{eff} 是使用者等效的訊號功率與干擾功率加上雜訊功率的比值， r_k 是每個子載波訊號功率與干擾功率加上雜訊功率的比值， β 是常數和調變架構和編碼有關係。從物理意義看， $e^{-\gamma_k/\beta}$ 就是每個子載波的錯誤率，因此有效指數訊雜比映射就是利用平均錯誤率回推回來的訊號功率與干擾功率加上雜訊功率的比值。

詳細系統參數設定如下表：

表 4-2: 模擬系統參數設定

參數名稱	設定值
基地台個數	12 個 每個基地台有 3 個扇形區塊
合作基地台個數	3
非合作基地台個數	9
使用者個數	1 個 在中心六角型區域
雜訊功率	-174 dBm/Hz
子載波數	1024

頻寬	10 MHz
傳送天線數量	1,4
接收天線數量	2,1
映射 SINR 方式	EESM
中心頻率	2 GHz
陰影	8 dB std.
天線參數	$A(\varphi) = -\min[12(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}})^2, A_m]$, $A_m = 25$, $\varphi_{3dB} = 70^\circ$
使用者移動速度	3 km/hr.
基地台間距	500 公尺
基地台與手機之間最小距離	35 公尺
路徑衰減	128.1+37.6*log(d)
基地台功率	46 dBm
使用者分布	隨機分布在紅色六角型細胞中

4.5 模擬數據以及結果

4.5.1 模擬三個基地台傳送相同資訊

協調式多點傳輸機制最簡單的做法就是三個基地台同時傳送相同的資料給同一個使用者。下面模擬圖是三個基地台同時以相同的功率傳送相同的資料給單一一個使用者，該使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值所畫出的累計機率密度函數圖。從模擬圖中可以看見該使用者訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值有顯著的增加，效果當當良好，但是另一方面來看，三個基地台同時服務一個使用者，也就是說使用者花費了三倍的功率在傳送，這是相當不公平的。

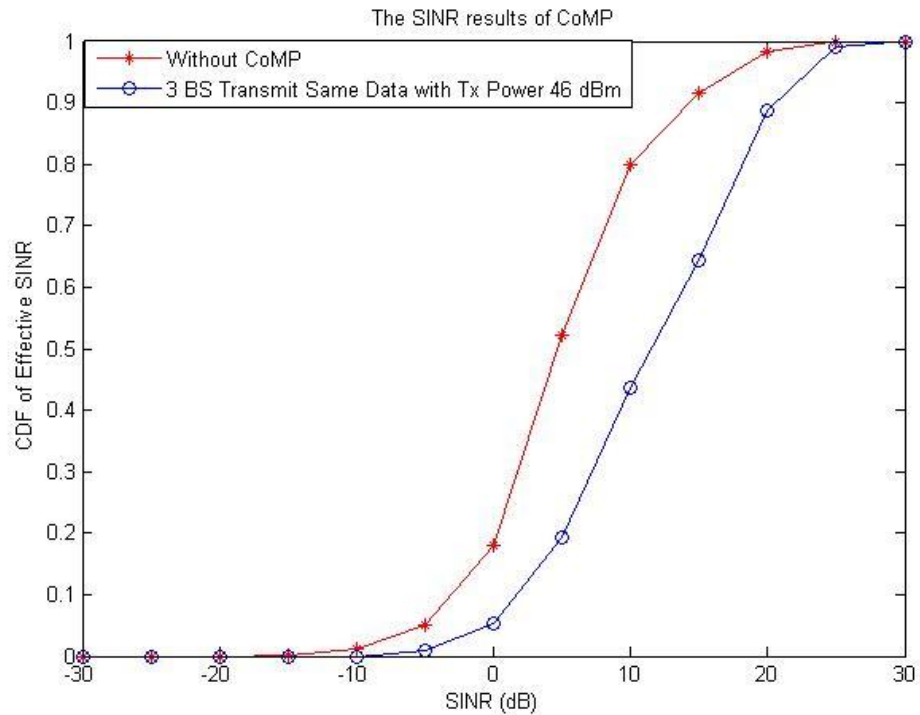


圖 4-11:三個基地台傳送相同資料在 1x2 SIMO 情境的效果

下面模擬圖中，綠色的曲線是三個基地台同時以相同的功率傳送相同的資料給單一一個使用者，該使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值所畫出的累計機率密度函數圖。而跟上圖不同的是三個基地台以原本的三分之一的功率傳送，希望不增加單一一個使用者耗費的功率，增加使用上的公平性，藍色的曲線是不減少傳送功率作為對照組。從模擬圖中可以看見該使用者訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值有一樣有增加，但是效果不如以正常功率傳送，兩者相差約 5dB，也就是傳送功率的差異。

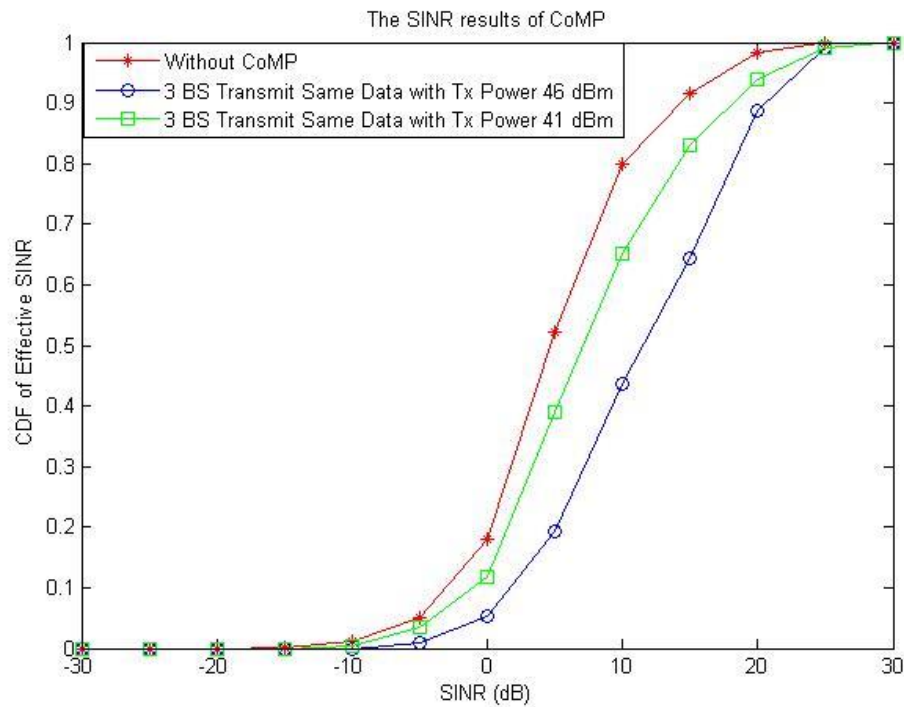


圖 4-12:三個基地台以三分之一的功率傳送相同資料在 1x2 SIMO 情境的效果

4.5.2 模擬區塊對角化演算法

下面模擬圖中，黑色的曲線是三個基地台以區塊對角化演算法的方式作協調式多點傳輸服務三個使用者，藍色的曲線是基地台間不作任何的合作傳輸，每個基地台有四根傳送天線，每個使用者用一根天線接收，並且我們假設傳輸的預編碼矩陣的範數以及傳輸資料的範數都等於一，也就是都做過正規化的步驟，保持前後功率不變。在這樣的情形下所有使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值所畫出的累計機率密度函數圖，紅色區線是沒有作協調式多點傳輸機制的對照組。如模擬圖所示，使用者的使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率會有一定程度的增加，大約增加 5dB。

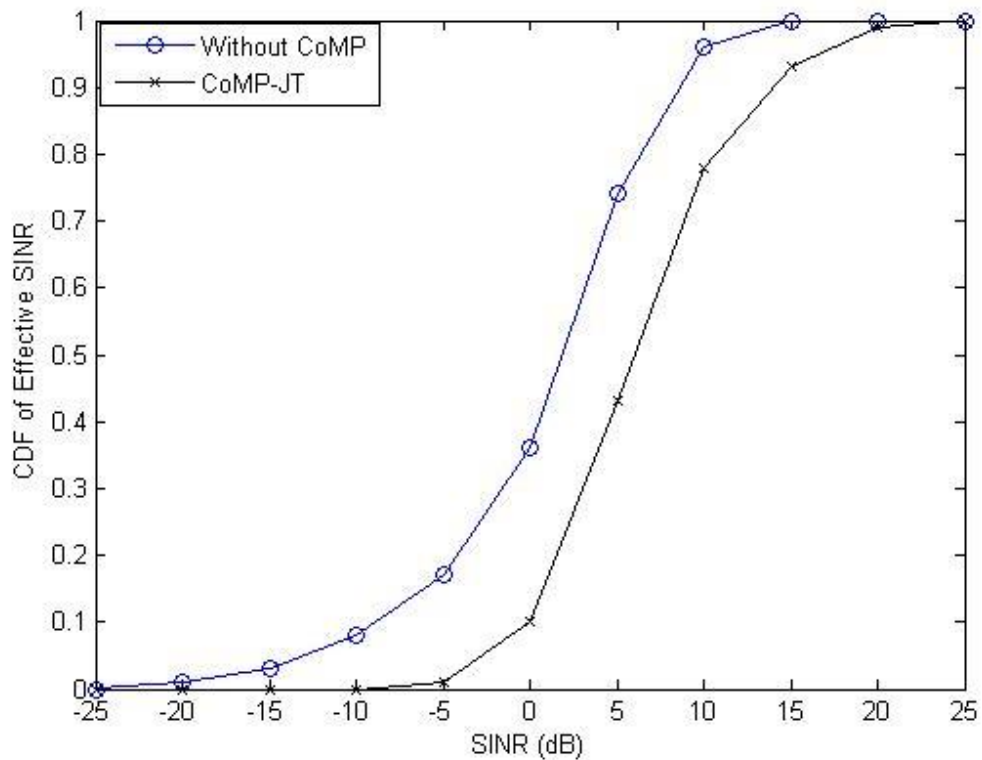


圖 4-13: 區塊對角化演算法在 4x1 情境下使用的效果

4.5.3 模擬強制干擾波束形成歸零演算法

下面模擬圖中，紅色的曲線是三個基地台以強制干擾歸零演算法的方式作協調式多點傳輸服務三個使用者，每個基地台有四根傳送天線，每個使用者用一根天線接收，所有使用者的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值所畫出的累計機率密度函數圖，藍色區線是沒有做協調式多點傳輸機制的對照組。如模擬圖所示，結果並沒有太大的增益，因為使用者在消除掉干擾之後，自身收到的訊號也會變小，這時候來自非服務基地台的干擾相對來說就變得很嚴重，因此若要使演算法有良好的效果需要讓更多的基地台參予合作消除掉彼此的干擾，降低整體的干擾效果才會好。綠色曲線是使用特徵波束形成增強後的結果，可以看出在這個架構下增益並不明顯，但是仍然比原本不做增強的要好上一些。

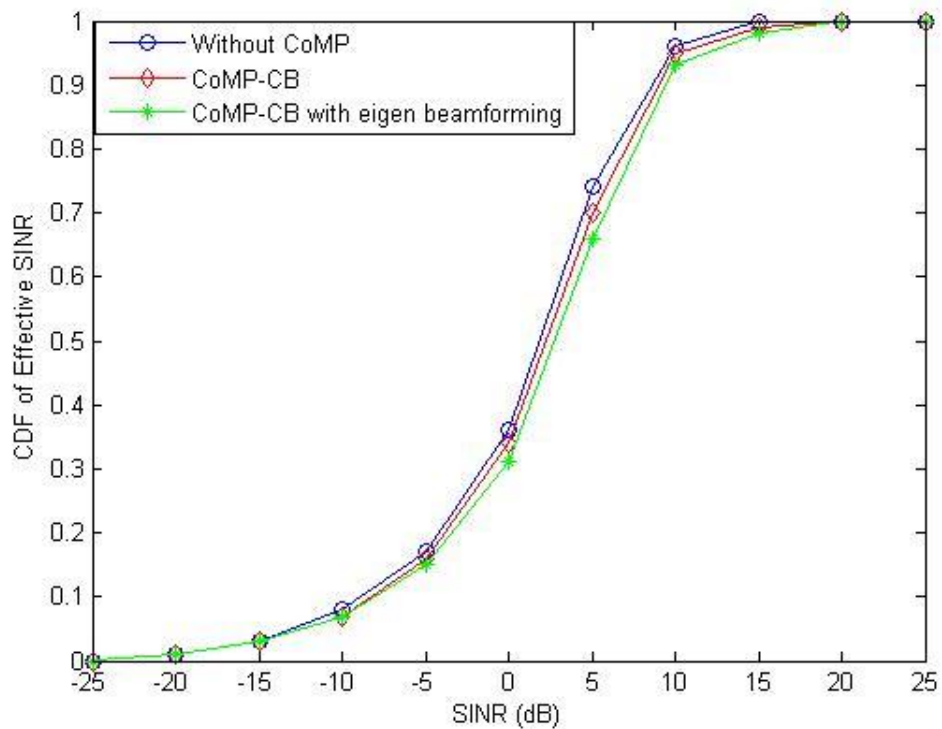


圖 4-14: 強制干擾波束形成歸零演算法在 4x1 情境的使用效果

4.5.4 模擬協調式多點傳輸機制演算法的比較

下圖是將區塊對角化演算法以及強制干擾歸零演算法的結果圖畫在一起做比較。可以看出在只有三個基地台合作的情況下，區塊對角化的效果是較好的，但是複雜度也高很多。有作協調式多點傳輸機制不管使用哪種演算法都會比原本的情況還要好。雖然在模擬上結合傳輸效果比要好，但是實際執行的難度上高很多，因此目前還是以協調波束形成較為可行。

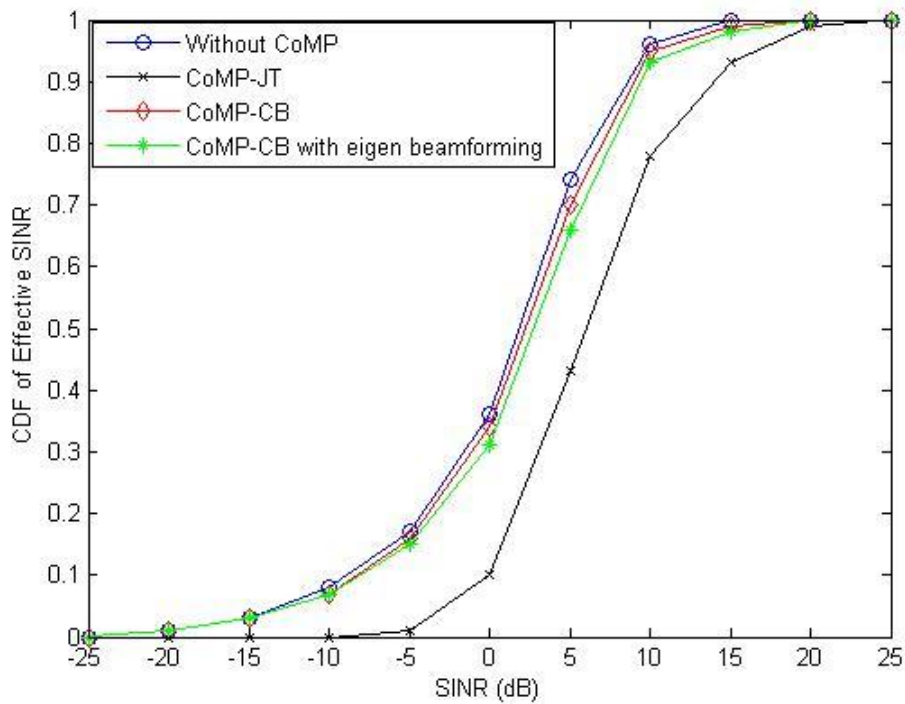


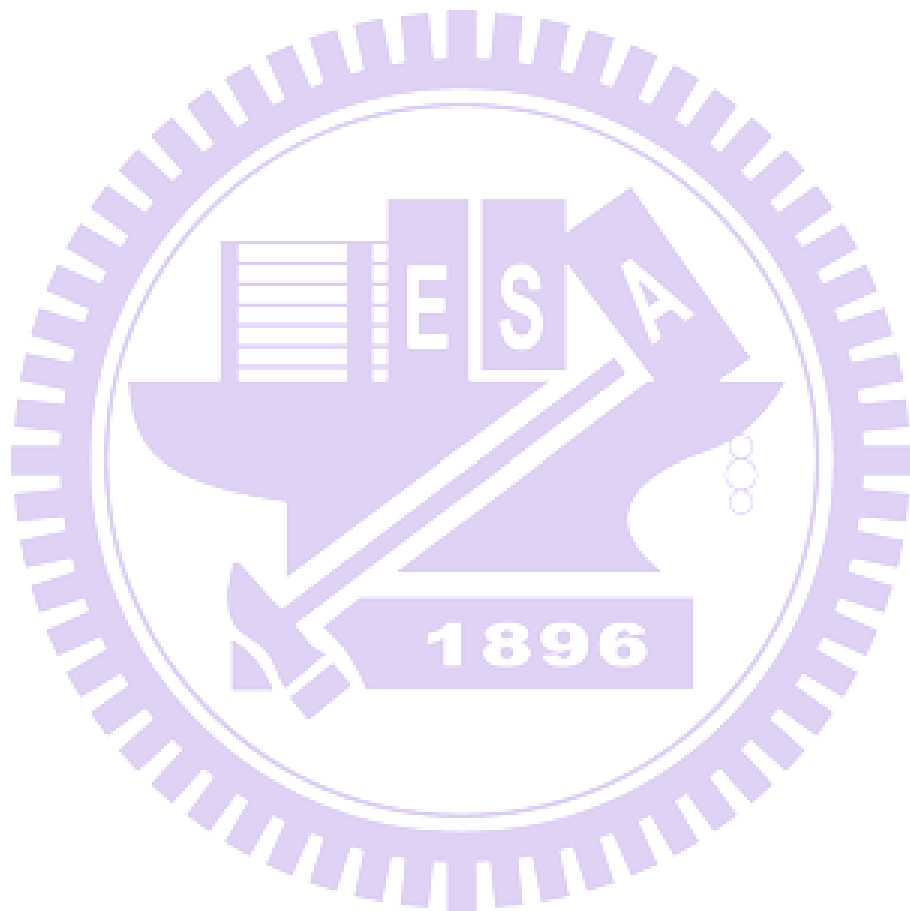
圖 4-15: 協調式多點傳輸機制演算法在 4x1 情境的效果成效比較

4.6 結論

協調式多點傳輸機制在合作個數少的時候效果較差，愈多基地台參予合作效果愈好，但是運行的成本愈高。另外三個基地台服務單一一個使用者效果雖然好，但是只能服務一個人系統運行的效率不高，要服務一個以上的使用者需要更複雜的消除干擾機制，需要仔細衡量成本以及環境狀況。

在協調式多點傳輸機制中，我們可以發現這些技術使用了太多的通道資訊，然而於實際的系統當中，通道資訊需從接收端回傳，在行動通訊中耗費了大量的頻寬，另外還有通道估計上的問題以及誤差等影響。此外協調式多點傳輸機制需要多個細胞之間的溝通、交換通道資訊以及需要傳輸的資料，這些對後端骨幹 (Backhuls) 的傳輸容量以及時間延遲 (Time Delay) 的要求很高，這些都是現今需要克服的問題。

協調式多點傳輸機制另一個問題是常常需要用到高維度的矩陣運算，並且還會有許多方程式需要遞迴運算，相當耗費基地台資源，由於通道狀況時時在改變，運算速度不夠會讓計算出來的結果失去預期的效用。換言之基地台除了需要估計通道精準、傳輸容量夠大以及時間延遲不能太高以外，還需要有相當的計算速度才能應付協調式多點傳輸機制的要求，這些會大幅提升基地台建設的成本以及消耗功率，這也是目前協調式多點傳輸機制現實上一直停滯不前的原因。



第5章

小細胞傳輸

5.1 小細胞傳輸介紹

為了因應在這個資訊爆炸的時代，愈來愈多的科技產品需要上網，無線網路有大量的服務需求。網路提供業者希望能夠盡量降低每傳輸一位元的成本來增加其效益。使用者也希望能夠得到良好的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值讓手上的裝置都能夠良好的運作。因此第三代合作夥伴在過去的版本-10 (Release-10) 中提到了除了前面章節所提及的方法之外的另一個作法-小細胞傳輸(Pico cell/Small cell transmission)。

小細胞傳輸是指在許多訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不佳的所在，例如：基地台邊緣、山洞或是在人口密集的鬧區，需要高流量網路需求的地方，加裝上簡易的小型基地台，形成小的細胞服務附近的使用者，加強該地區的服務品質。小基地台的功率不會太大，避免對造成在服務區外的干擾。小細胞傳輸是屬於協調式多點傳輸機制中的場域內協調式多點傳輸，也屬於異質性網路 (Heterogeneous Network)的一種。異質性網路一開始在版本-9 (Release-9)中被提及，接著在最新的版本-11(Release-11)中益發重要，目前有許多相關的研究正如火如荼的展開。

協調式多點傳輸機制根據其應用情境可以分為下列四種情形：

第一種：同質性網路(Homogeneous Network)場域外協調式多點傳輸機制

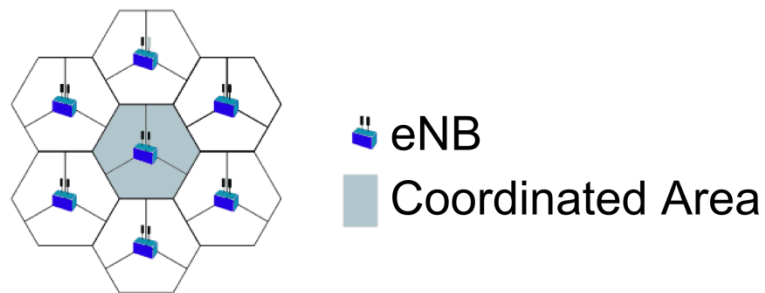


圖 5-1: 同質性網路場域外協調式多點傳輸機制

第二種：同質性網路並使用高功率遠端無線電站(Remote Radio Header ,RRH)

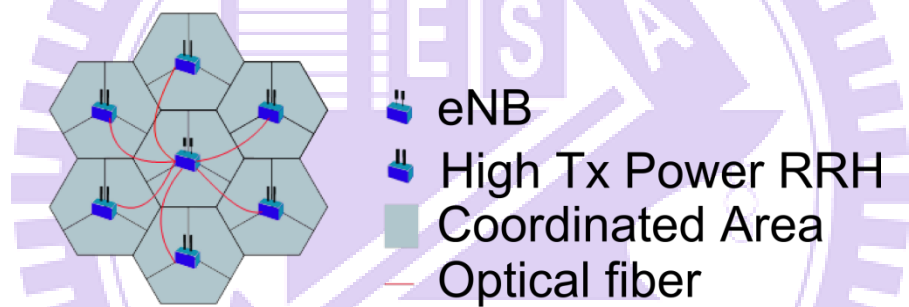


圖 5-2: 同質性網路並使用高功率遠端無線電站

第三種：異質性網路使用低功率遠程無線電站，並且遠程無線電站使用不同的基地台辨識碼

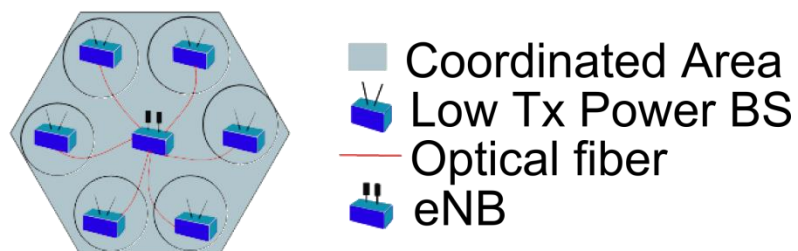


圖 5-3: 異質性網路使用不同識別碼的低功率遠程無線電站

四、異質性網路使用低功率遠程無線電站，並且遠程無線電站使用相同的基地台辨識碼

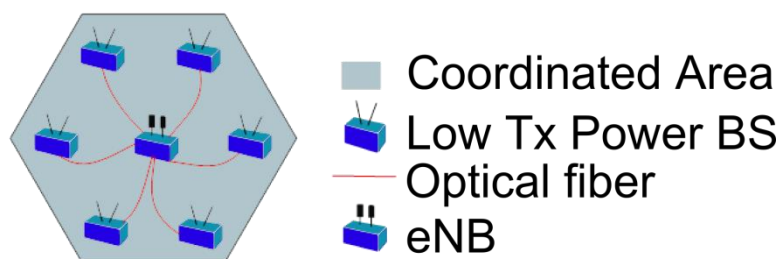


圖 5-4: 異質性網路使用相同識別碼的低功率遠程無線電站

其中第四章中所提及的協調式多點傳輸機制都屬於第一種情境或是第二種，屬於傳統型的協調式多點傳輸機制，只有基地台之間的合作，在基地台內部區域並沒有其他基地台存在。

而第三種情境、第四種情境使用異質性網路則是目前開發的重點，並且在版本-11 當中設計了許多機制，例如；基地台辨識碼的取代、或是大基地台可以根據使用情況關閉或是開啟某個小基地台…等，這些機制可以讓小細胞基地台傳輸和目前的大細胞基地台接軌。異質性網路在 LTE-A 中指佈建不同功率的基地台或是不同後端網路支援的基地台。在這邊的情況之下，異質性網路是在原本的高功率基地台的覆蓋區域中的特定區域增加低功率基地台，增加其特定區域的服務品質。這些情境運用上除了單純增加服務品質以及乘載率以外，尚有許多好處；第一個是與原本的系統相容，佈建容易，不需要更動原本大基地台，只需要在特定地方加入小基地台及可；第二個由於小基地台功率較小，所以可以提升其服務區域品質，而不會對服務區外的使用者造成太大的影響。第三是可以自由的開關小基地台，在不需要的時候可以關閉節省功率消耗，並且可以降低干擾。

小細胞傳輸所面臨的幾個基本的問題如下：小細胞基地台佈建的位置、數量、傳送功率以及開關，在接下來的部分將會分別針對各個方面進行成效的探討。

5.2 小細胞基地台傳輸架構

5.2.1 小細胞基地台佈建

一般而言，訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不佳的地區通常可以分為兩種。第一種是大細胞基地台交界，也就是所謂的邊緣地帶。另一種是因為環境有遮蔽物擋住訊號傳遞導致訊號很難傳遞到的地方，例如：山洞…等。這些地方就有加裝小細胞基地台的需求，也是我們想要改善訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的的地方。

我們嘗試在三個大細胞交接點加裝小細胞基地台，如下圖所示。其中紅色區域為小細胞基地台服務的範圍。

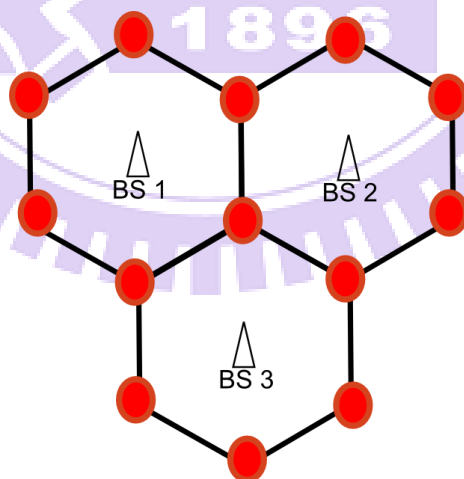


圖 5-5: 小細胞基地台佈建位置示意圖

在訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值不佳的地方加裝小細胞基地台的成效將在下面章節中呈現。

5.2.2 小細胞基地台的開啟與關閉

小細胞基地台另一個好處是靈活性，除了可以調整位置之外，還可以根據情況調整是否要開啟傳送資料。在不需要傳送時關閉小細胞基地台，不僅可以節省功率還可以降低干擾。假設有一個使用者收到來自大細胞基地台的訊號功率強度跟收到來自小細胞基地台訊號功率強度相仿，若單純選擇其中一個作接收，另一個就會變成干擾，則訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值會相當糟糕，根據 3GPP 規範新的版本當中，可以根據其需要來關閉小細胞基地台，提升其訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。何時應該選擇開啟，何時應該關閉小細胞基地台將在接下來作探討。

我們設定一個功率的比值 γ ，定義如下

$$\gamma \triangleq \frac{\text{使用者收到來自鄰近小細胞基地台訊號的功率}}{\text{使用者收到來自配對服務大細胞基地台訊號的功率}} \quad (5.1)$$

接著我們要求出 γ ，計算如下：

假設在功率比等於 γ 時，有使用小細胞基地台的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值會等於沒使用小細胞基地台的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。

數學式如下：

$$\frac{P_{\text{macro}_i}}{\text{Interference} + \text{Noise}} = \frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i} + \text{Interference} + \text{Noise}} \quad (5.2)$$

其中 P_{macro_i} 為使用者收到配對的大細胞基地台傳送的訊號功率， P_{small_i} 是使用者收到小細胞基地台傳送的訊號功率，**Interference** 為非來自服務基地台的干擾，

Noise 是雜訊功率。左式為未使用小細胞基地台的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，右式則為使用之後的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。

將上面式子化簡成我們希望的樣子，得到結果如下

$$\gamma = \frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i}} = \frac{P_{\text{macro}_i}}{\text{Interference} + \text{Noise}} + 1 \quad (5.3)$$

這就是我們希望訂出的臨界值，很合理的，當大細胞基地台干擾愈強時，越需要小細胞基地台，因此臨界值 γ 愈小。

舉例來說，我們進一步假設最糟糕的情況之下，使用者在三個基地台中間點。因此收到來自每個基地台的功率都一樣大，所以若給大細胞基地台服務的話，干擾功率等於來自服務基地台訊號功率的兩倍，如下式：

$$\text{Interference} = 2P_{\text{macro}_i} \quad (5.4)$$

並且假設雜訊功率與干擾功率相比來說很小可以忽略。從上面式子我們可以得到下式：

$$\gamma = \frac{1}{2} + 1 = 1.5 \quad (5.5)$$

得到我們想求的臨界值 γ ，接著可以訂出使用小細胞基地台的時機如下：

若

$$\frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i}} > \gamma = 1.5$$

小細胞基地台開啟，使用者由小細胞基地台服務

反之若

$$\frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i}} \leq \gamma = 1.5$$

小細胞基地台關閉，使用者由大細胞基地台服務

(5.6)

以類程式碼表示上述演算法如下：

表 5-1: 決策小細胞基地台的開關

演算法 5-1 : 決策小細胞基地台的開關

```
if
   $\frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i}} > \gamma$ 
    Turn on the nearby small cell and UE served by the nearby small cell
  else if
     $\frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i}} \leq \gamma$ 
    Turn off the nearby small cell and UE served by macro cell
```

我們將在接下來的模擬當中展現他的成效。

5.2.3 結合乘載率取向傳輸功率控制演算法與小細胞基地台

在第二章的功率控制演算法當中，雖然乘載率取向傳輸功率控制演算法會盡可能的服務盡多數的使用者，但是當無法同時服務所有使用者時，乘載率取向傳輸功率控制演算法會捨棄使用者，這些使用者在短時間內會沒有服務基地台，導

致收不到訊號，所以我們在這裡考慮當在這種情況下，除了利用排隊機制或是協調式多點傳輸機制以外，還可以利用小細胞基地台進行補強，改由小細胞基地台服務這些原本由大細胞基地台服務後效果不佳的使用者，讓整體使用者都可以提升服務品質，而不是單單捨棄訊號強度不佳的使用者而已。

詳細作法如下：

假設系統圖如下圖所示，紅色區域為小細胞基地台的所在地。

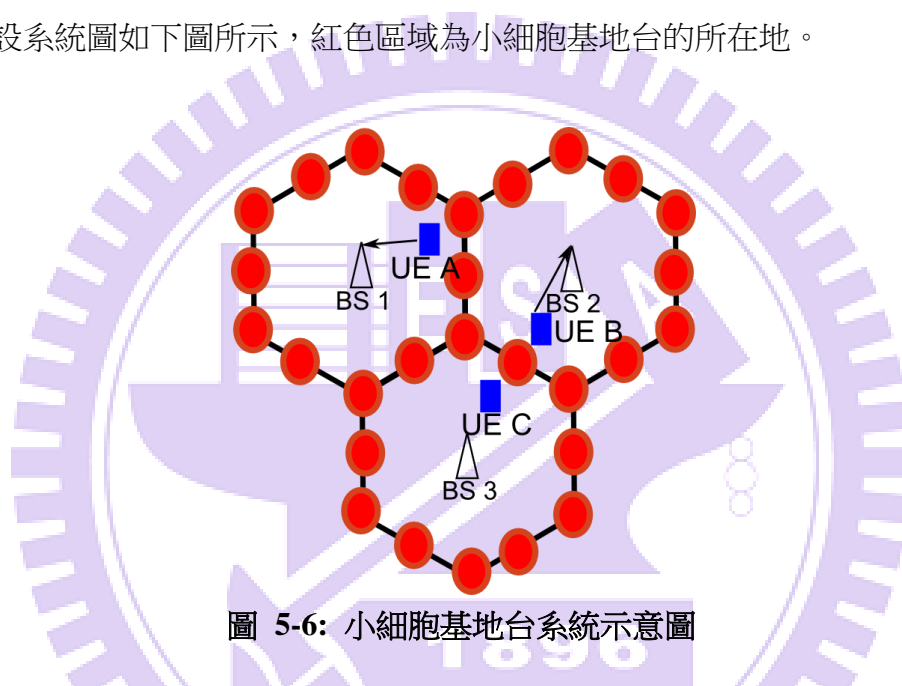


圖 5-6: 小細胞基地台系統示意圖

有三個使用者，使用者 A，使用者 B，使用者 C 分布在其中。先假設不需要開啟小基地台，經過使用者與基地台配對以及功率控制演算法後發現無法同時服務所有使用者，因此透過乘載率取向傳輸功率控制演算法後決定需要捨棄掉使用者 C，如上圖所示。

接著我們分別計算收到來自各個小細胞基地台的訊號功率，並且考慮開啟一個小基地台是否會對其他使用者造成過大的影響，如果不會便將使用者 C 交給收到訊號功率最大的小細胞基地台服務，並看看是否可以達到如功率控制演算法中的目標值，然後將不需要的小細胞基地台關閉達到節省功率以及降低干擾的目的，如下圖所示，其中淡紅色區域為關閉的小細胞基地台。

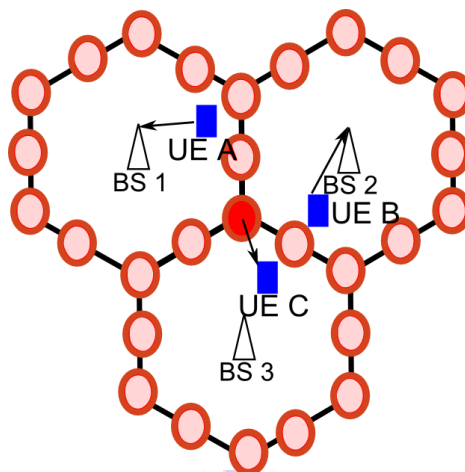


圖 5-7: 結合小細胞基地台傳輸以及傳輸功率控制完成圖

透過結合了乘載率取向傳輸功率控制演算法以及小細胞基地台傳輸後可以達到同時服務更多使用者的結果，演算法使用後的成效將在接下來作模擬展現。演算法詳細流程如下圖：

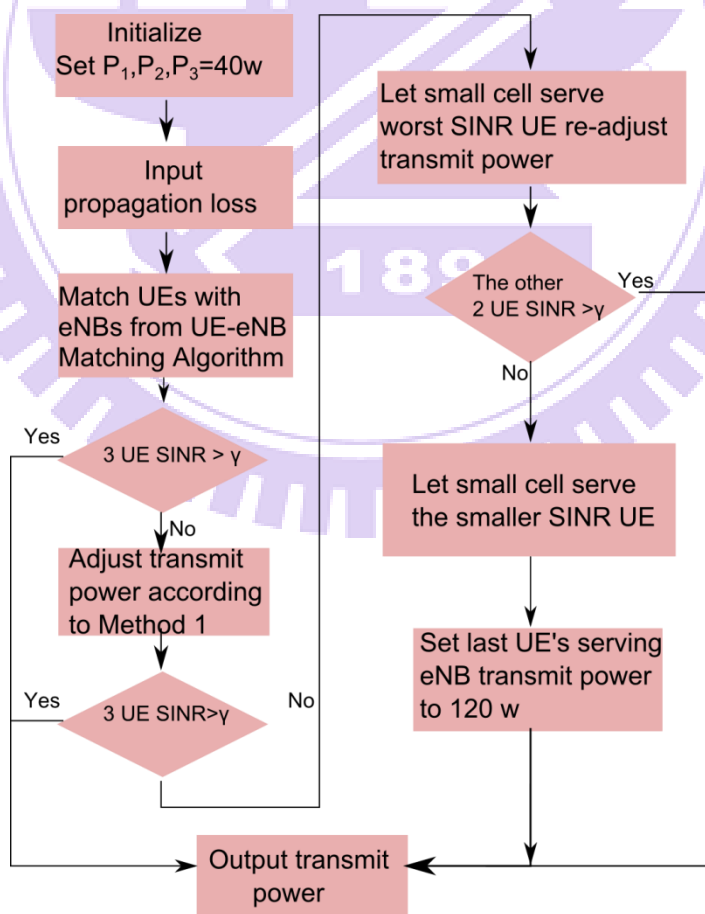


圖 5-8: 結合小細胞基地台傳輸以及傳輸功率控制流程圖

5.2.4 小細胞基地台功率設定

小細胞基地台的傳輸功率設定對於異質性網路來說是個很重要的問題，當小細胞基地台傳送功率太小，則涵蓋範圍太小整體效益不高。但是當選擇太大時則會造成多餘的干擾以及功率浪費。在小細胞傳輸如日中天的現在如何選擇適合的傳送功率將是未來探討的重點。

假設一個使用者收到的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值如下式：

$$\text{SINR} = \frac{P_{\text{small}_i}}{P_{\text{macro}_i} + I_{\text{macro}} + I_{\text{small}} + \text{Noise}} \quad (5.7)$$

其中 I_{macro} 是來自其他大細胞基地台的干擾， I_{macro} 是來自其他小細胞基地台的干擾。當小細胞傳輸功率很大，換言之當 P_{small_i} 很大時， $I_{\text{small}} \gg P_{\text{macro}_i} + I_{\text{macro}}$ ，訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值會趨近於下式：

$$\text{SINR} \sim \frac{P_{\text{small}_i}}{I_{\text{macro}}} \quad (5.8)$$

假設所有小基地台傳送的功率都一樣，並且忽略陰影效應，上式則可以進一步化簡如下：

$$\frac{P_{\text{small}_i}}{I_{\text{macro}}} = \frac{P_{\text{small}_i} \times \text{PowerLoss}_i}{\sum_{i \neq j} P_{\text{small}_j} \times \text{PowerLoss}_j} = \frac{\text{PowerLoss}_i}{\sum_{i \neq j} \text{PowerLoss}_j} \quad (5.9)$$

其中 PowerLoss_i 為第 i 個小細胞基地台到使用者的總功率衰減，根據第三代合作夥伴科技報告 36.814 當中顯示，大頻寬下總功率衰減只跟距離以及陰影效應有關係。由於上式可以將小細胞基地台傳送功率同時消掉的關係，可以看出收斂的

訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值與小細胞基地台傳送功率無關。

接著我們再進一步化簡總功率衰減

$$PowerLoss_i = 148.1 + 37.6 \log(d_i) \text{ in dB} \quad (5.10)$$

轉換為線性座標可以得到下式：

$$PowerLoss_i = 1.6 \times (d_i)^{-3.76} \times 10^{-15} \quad (5.11)$$

代回原式(5.9)，得到下面結果：

$$SINR = \frac{PowerLoss_i}{\sum_{i \neq j} PowerLoss_j} = \frac{1.6 \times 10^{-15} \times (d_i)^{-3.76}}{\sum_{i \neq j} 1.6 \times 10^{-15} \times (d_j)^{-3.76}} = \frac{d_i^{-3.76}}{\sum_{i \neq j} d_j^{-3.76}} \quad (5.12)$$

其中 d_i 是使用者到第 i 個小細胞基地台的距離，最後將訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值取平均值降低陰影效應的影響後，平均值會趨近一定值 K ，這個定值只會跟小基地台的位置分布、離使用者的距離有關，以數學表示如下：

$$\lim_{P_{small} \rightarrow \infty} E[SINR] = K \sim \text{Constant} \quad (5.13)$$

其中 P_{small} 為小基地台的傳送功率。

根據上面數學式表示，當使用太大的功率並不會對系統造成任何增益，因此如何選擇適當的傳送功率的議題還有待探討。

本論文嘗試改動小細胞基地台的功率，觀察其成效是否符合上述推論，結果將於模擬中呈現。

5.2.5 目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的影響

目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 的設定會影響整個演算法的運作情形。目標值訂定太高，則演算法效果不佳，很難達成想要達到的目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。而當目標值訂太低的話即使演算法運作成功，但是卻沒有達到可以讓使用者裝置能正常運作的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。因此訂定目標值需要仔細的考量，將目標訂定在哪裡可以讓使用者裝置能正常運作，且不會太難達成。以原本的目標值 8 dB 來說，在寬頻系統之下或許不需要如此高的目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值就可以讓系統正常運行。

本論文嘗試目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ ，分別測試 $\gamma = 4$ dB、6 dB 以及 8 dB，觀察其成效，並期望未來可以根據此成效作為選擇的依據。

5.3 模擬參數以及環境設定

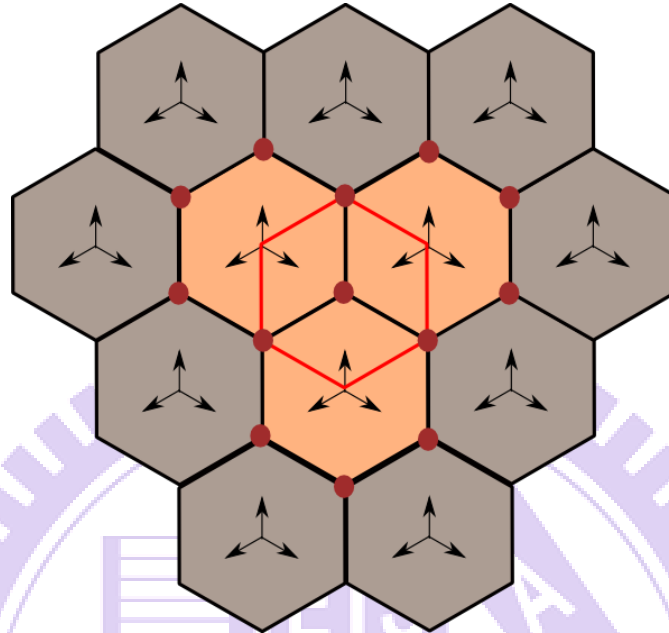


圖 5-9: 模擬系統架構示意圖

系統環境如上圖所示，一共有 12 個大細胞基地台，基地台間距(Inter-Site Distance, ISD)為 500 公尺，其中中間 3 個橘色的基地台參與合作式傳輸，進行功率控制演算法。小細胞基地台總共有 13 個，分別佈建在三個基地台的交接點。箭頭表示基地台的天線方向。每個大細胞基地台傳送功率初始設定為 40 瓦，因此三個大細胞基地台總功率定為 120 瓦。小細胞基地台功率定為 1 瓦，並且可以分別控制是否要開啟。訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值目標訂為 8dB，也就是 6.3 倍。當訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值為 8dB 時，利用一根天線傳送，兩個天線接收的 SIMO (Single Input Multiple Output) 系統可以達到 10^{-2} 的錯誤率 (Bit Error Rate)。詳細系統參數設定如下表：

表 5-2: 模擬系統參數設定

參數名稱	設定值
基地台個數	12 個 每個基地台有 3 個扇形區塊
合作基地台個數	3
非合作基地台個數	9
使用者個數	1 個以及 3 個在中間紅色六角型區域
雜訊功率	-174 dBm/Hz
雜訊指數	3 dB
頻寬	10 MHz
中心頻率	2 GHz
陰影	8 dB std.
天線參數	$A(\varphi) = -\min[12(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}})^2, A_m]$, $A_m = 25$
基地台間距	500 公尺
基地台與手機之間最小距離	35 公尺
路徑衰減	$128.1+37.6*\log(d)$
大細胞基地台功率	46 dBm
小細胞基地台功率	30 dBm
合作大細胞基地台總功率	120 w
使用者分布	1 個使用者隨機分布在紅色六角型細胞中以及 3 個使用者隨機分布在紅色六角型細胞的 3 個扇形區塊當中，每個扇形區塊一個使用者

5.4 模擬數據以及結果

5.4.1 模擬小細胞基地台的有無

下圖是模擬單一使用者，在小細胞基地台與大細胞基地台同時開啟的情況下訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的累計積率密度分布圖型。在此情況下，使用者會選擇收到最大的基地台當作服務訊號，不管是來自大細胞基地台的訊號，或是來自小細胞基地台的訊號。從模擬圖中可以看出，單純加入小細胞基地台並沒有太大的增益，在一些原本不佳時候反而會造成多餘的干擾，因此如何使用小細胞基地台的方式很重要。

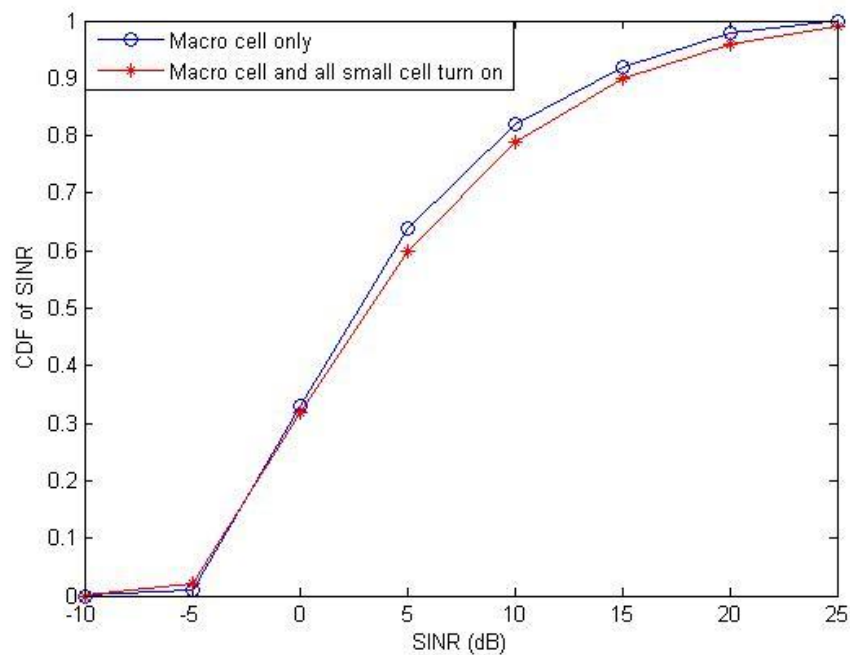


圖 5-10: 單純加入小細胞基地台效果

5.4.2 模擬動態調整小細胞基地台的開啟與關閉

下圖是模擬單一使用者，動態調整小細胞基地台的開啟與關閉的情況下訊號

功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的累計積率密度分布圖型。在此情況下，使用者會根據選擇 5.2.2 中提到的功率比例 γ 值作為決定的依據是否要使用小細胞基地台傳輸。以下分別模擬了兩種情形，第一種情形是假設其他所有小細胞基地台都保持關閉，只開啟需要傳送的小細胞基地台，模擬圖中以綠色線段表示；第二種情形是假設小細胞基地台都保持開啟，然後根據 γ 作決定是否要給小細胞基地台服務，如果不給小細胞基地台服務則關閉該小細胞基地台，這種情況這比較接近實際狀況，每個小細胞基地台都正在被使用，使用者需要決定配對的小細胞基地台是否對傳輸有幫助，沒有幫助就關閉配對的小細胞基地台，模擬圖中以黑色線段表示。模擬圖中清楚得顯示，理想狀況下其他小細胞基地台保持關閉時效果最好，關閉掉不需要的小細胞基地台效果次之，兩者皆優於固定開啟小細胞基地台的結果。

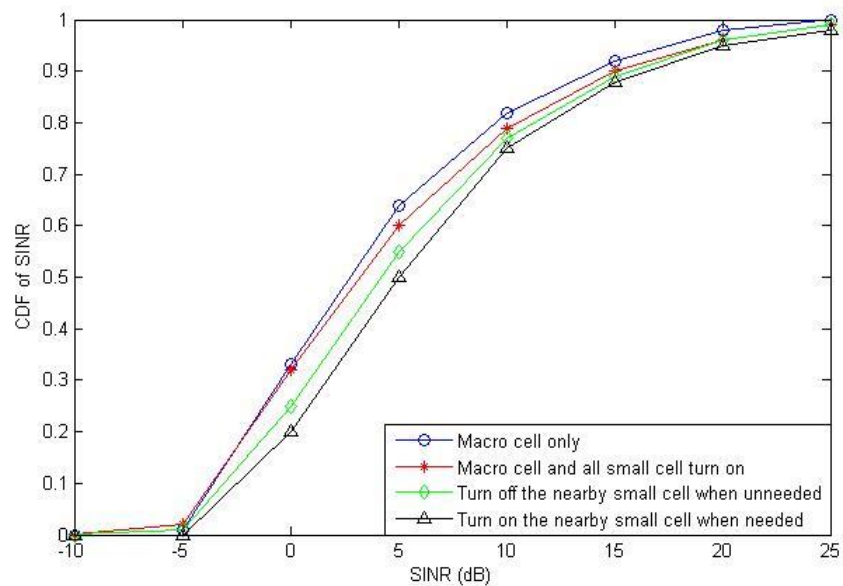


圖 5-11: 動態開關小細胞基地台效果

5.4.3 模擬小細胞基地台結合傳輸功率控制演算法

下圖是模擬中央紅色區塊中有三個使用者，每個使用者隨機分布在扇形區域當中，系統會先作乘載率取向傳輸功率控制演算法，接著把大細胞基地台無法服務的使用者改交由小細胞基地台服務。模擬圖中用紅色曲線表示做完結合小細胞傳輸的乘載率取向傳輸功率控制演算法之後的訊號功率與干擾功率加雜訊功率的比值的累計積率分布圖，藍色曲線表示沒有加入小細胞基地台與傳輸功率控制的對照組。直接交由小細胞基地台服務雖然未必可以達到想要的訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值，但是跟直接屏蔽掉使用者相比，還是有機會可以成功的讓系統運作，在此演算法中小細胞傳輸算是一種補強的機制。從模擬的結果看來，使用者超過訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值目標值 8dB 的比例有顯著的提升，也可以觀察到 8 dB 左右的機率有明顯的攀升，使用者大幅集中在門檻值 8dB。

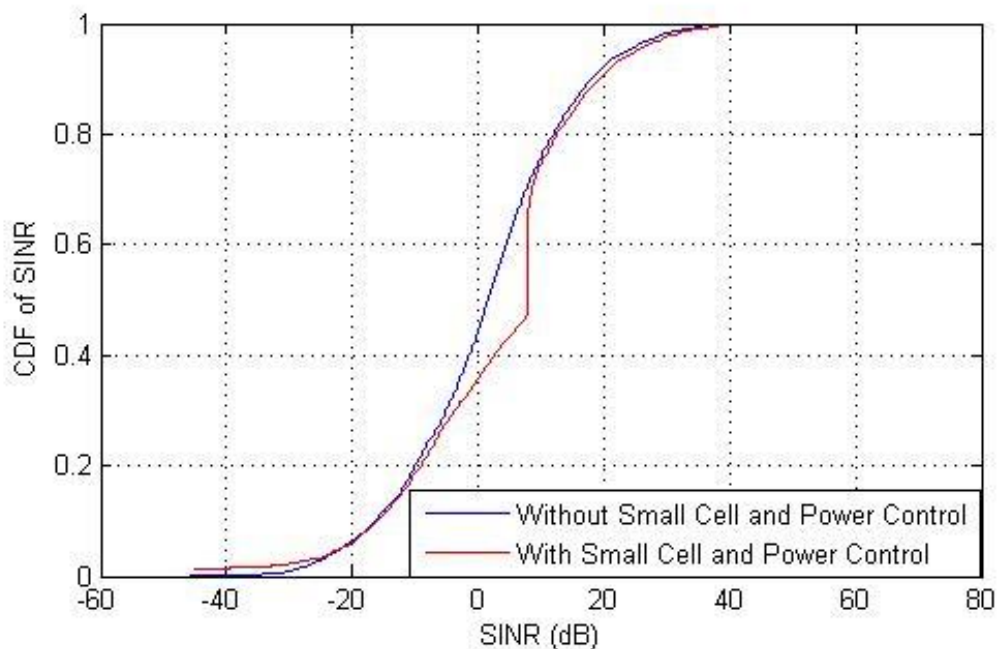


圖 5-12: 結合傳輸功率控制後整體使用者 SINR

下圖是從乘載率來看演算法成效。從整體可以被服務的比率來看，乘載率從

原本的 29%、作完乘載率取向傳輸功率演算法的 47%、加入小細胞傳輸後可以達到 51%左右的乘載率，有 4%的增益。

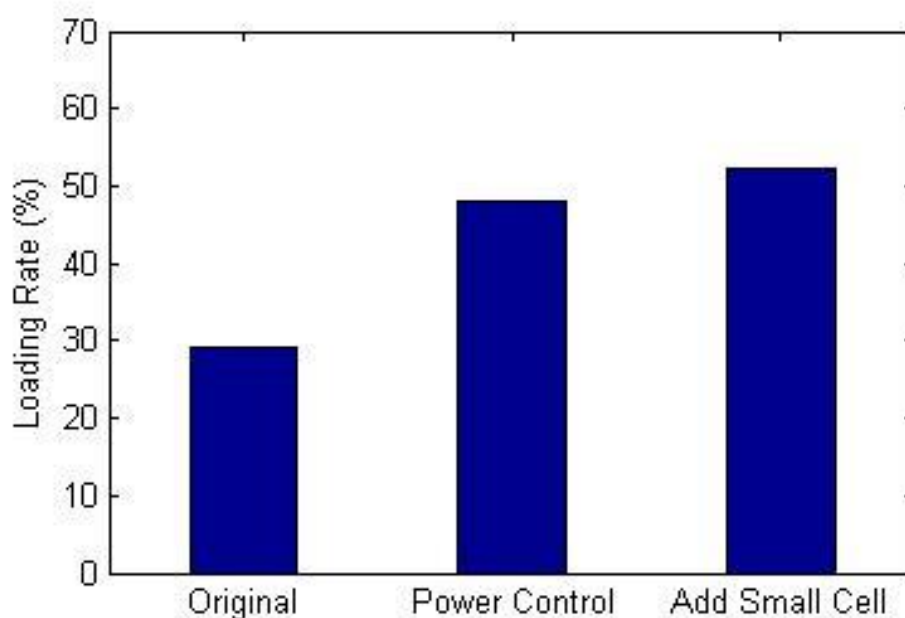


圖 5-13: 演算法乘載率比較

但是從另一方面來說，加入小細胞基地台後進行乘載率取向演算法跟單純只進行乘載率取向演算法的成效其實差異不大。因為加入小細胞基地台後多考慮了小細胞基地台造成的干擾，導致演算法需要較嚴苛的條件才能完成，讓整體的成功率下滑。所以加入小細胞基地台的情況要慎重考慮，避免造成的干擾多過於造成的增益，所以要讓小細胞基地台發會更大的效果可能需要更複雜、更精細的演算法，不能只有單純的加入。

5.4.4 模擬小細胞基地台調整傳輸功率

下圖是一個使用者情形之下，調整小細胞基地台傳輸功率之後使用者的平均訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值畫出的累計積率分布圖。可以看出到了功率增加到一定程度之後，訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值並不會繼續增加，

而是趨於穩定，這點結果跟理論相符。

訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值經過簡化後應該會趨近於下面算式

$$SINR = \frac{d_i^{-3.76}}{\sum_{i \neq j} d_j^{-3.76}} \quad (5.14)$$

經過實際計算之後，可以得到下面結果：

$$E \left[\frac{d_i^{-3.76}}{\sum_{i \neq j} d_j^{-3.76}} \right] \approx 7.5 \text{ (dB)} \quad (5.15)$$

而模擬圖中的收斂值也接近 7.5，和理論上相符。

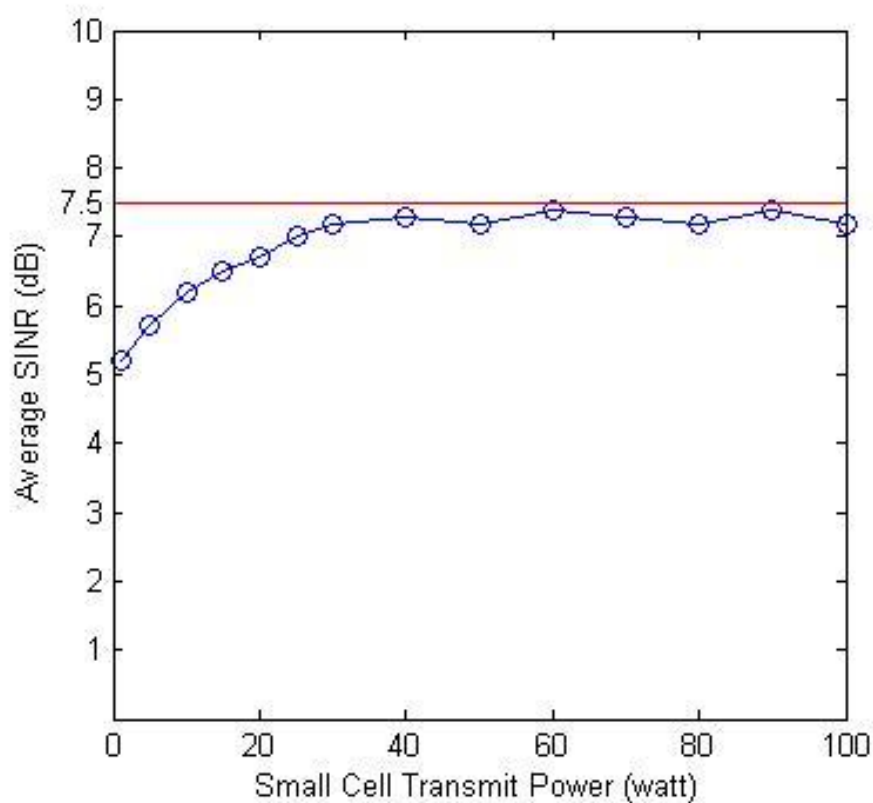


圖 5-14: 小細胞基地台傳輸功率的影響

下圖是一個使用者情形之下，調整小細胞基地台傳輸功率之後，系統平均的乘載率變化。從模擬結果顯示，增加小細胞基地台的傳送功率並沒有太大的效益，即使增加到與大細胞基地台相同的功率時，乘載率也只增加百分之三到四而已，因此可以看出小細胞基地台並不需要太大的傳送功率。

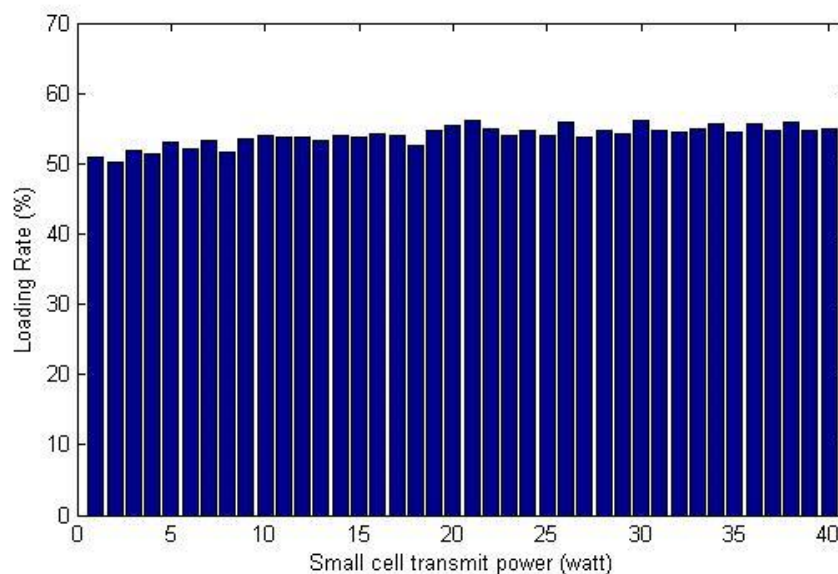


圖 5-15：小細胞基地台傳輸功率與系統乘載率關係圖

下圖是一個使用者情形之下，調整小細胞基地台傳輸功率之後，使用者會被小細胞基地台的服務比例。這張圖是選擇收到功率最大的基地台做服務基地台，不管是來自小細胞基地台或是大細胞基地台。從模擬圖上可以看出當小細胞基地台功率愈大的時候，使用者愈傾向被小細胞基地台服務，這很合理，當小細胞基地台功率愈大，使用者收到的訊號強度往往也愈強，所以比率會持續增加直到全部都給小細胞基地台服務，而且上升的曲線很類似對數區線。

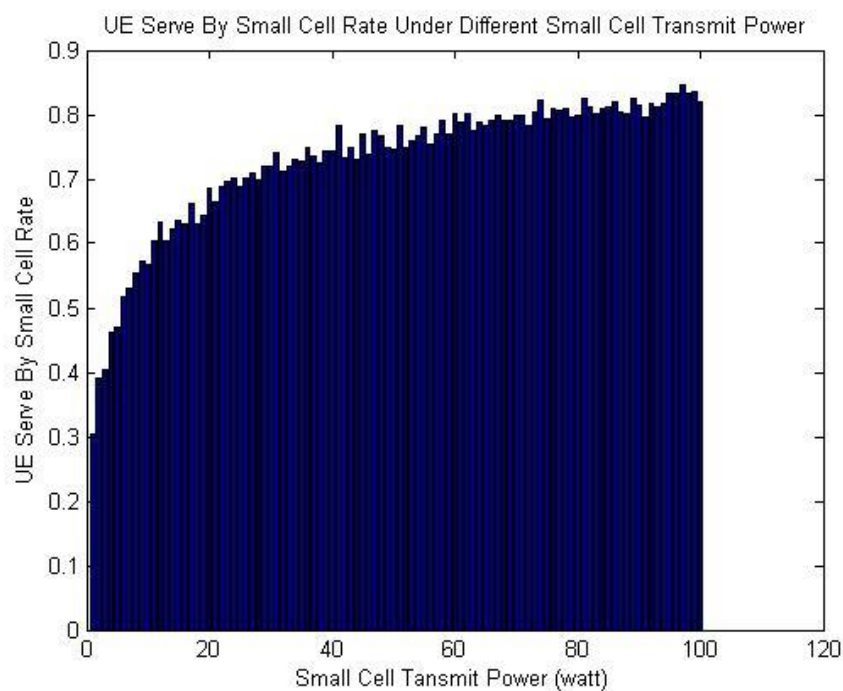


圖 5-16: 小細胞基地台服務比例與傳輸功率關係圖 1

將上圖的橫坐標轉成對數座標，得到下圖。當橫坐標以對數軸來表示的時候，結果為一條線，乘載率跟小細胞基地台傳送功率呈線性的關係。因為功率衰減跟會因為距離的關係成指數性的衰減，所以在對數座標上會呈現線性的關係。

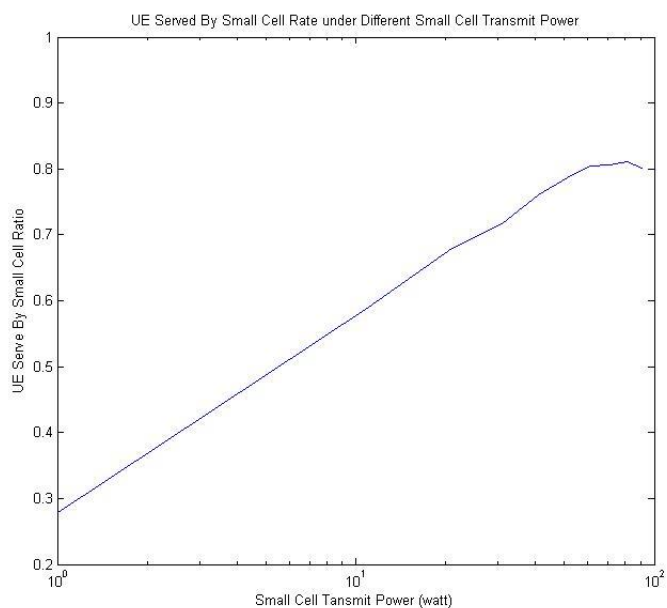


圖 5-17: 小細胞基地台服務比例與傳輸功率關係圖 2

5.4.5 模擬調整目標 SINR 值的影響

下圖是三個使用者情形之下，改變目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ ，整體乘載率的改變。下面四個橫座標由左到右分別是原始的乘載率、作完傳統傳輸控制演算法後的乘載率、做完乘載率取向傳輸功率控制演算法的乘載率以及做完結合了小細胞傳輸的乘載率取向傳輸功率演算法後的乘載率。可以看到乘載率會往上攀升，換言之在相同情形之下，可以超過目標值的比例會變多。

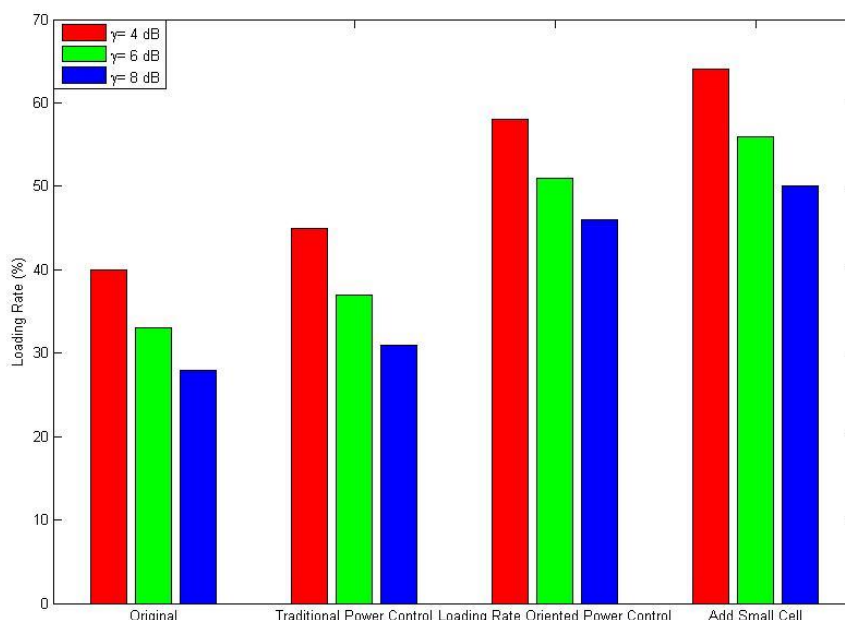


圖 5-18: 目標 SINR 值對於乘載率的影響

下面三張圖是三個使用者情形之下，改變目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的累計積率密度分佈改變。目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的 γ 分別設為 8 dB、6 dB 跟 4 dB。由模擬圖上可以看出整體機率會往目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 靠攏，亦即往可以運作的門檻值靠攏，和演算法將使用者提升到可以運作門檻值的目的相符。

下圖是將目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 設為 8 dB

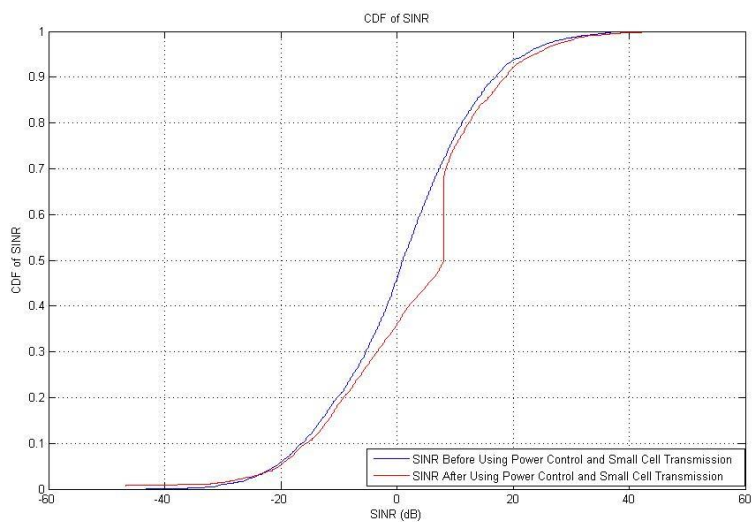


圖 5-19: 目標 SINR 值訂於 8dB 整體 SINR

下圖是將目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 設為 6 dB

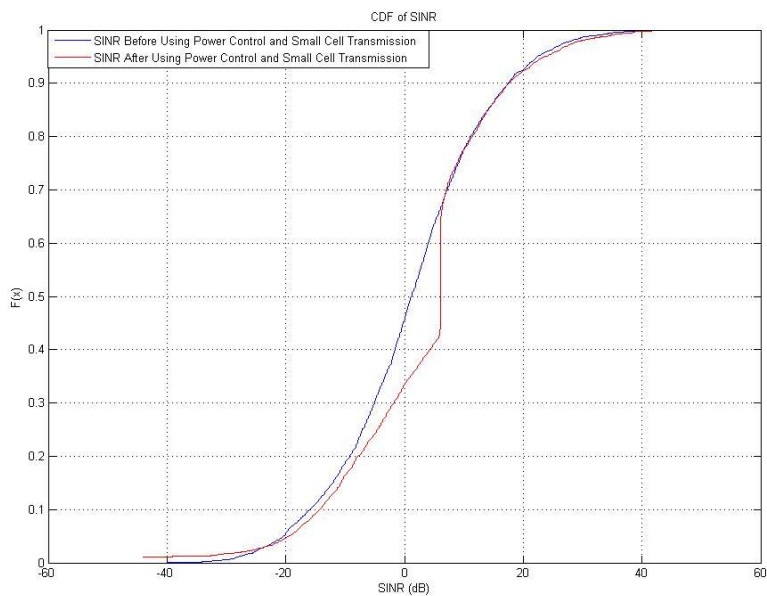


圖 5-20: 目標 SINR 值訂於 6dB 整體 SINR

下圖是將目標訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值 γ 設為 4 dB

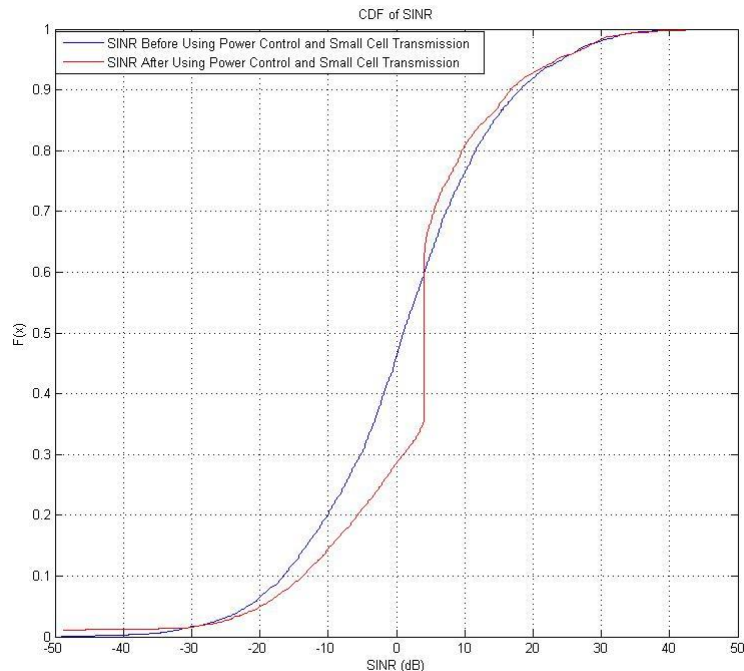


圖 5-21: 目標 SINR 值訂於 4dB 整體 SINR

5.5 結論

小細胞基地台傳輸搭配開啟正確的小細胞基地台提供服務可以顯著的提升其訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值。並可以從模擬的數據上看出只要小細胞基地台的功率不要太大，對彼此之間的影响非常的小。另外一個方面來看如果小細胞基地台的功率略微提高，效果會更顯著，因為會分割原本的大細胞基地台的範圍，服務品質變好是必然的，但是提高過多反而增益不明顯，浪費功率。

小細胞基地台另一個優點是佈建容易，不需要複雜的天線、不需要太大的傳輸功率，也不需要太強大的運算技術，卻有相當良好的效果，而且對於後端骨幹的要求相較於協調式多點傳輸機制來說少很多，對與許多廠商來

講是非常有吸引力的，也因此小細胞傳輸會變成現今熱門的研究主題之一，相信在未来一定會更加的發光發熱。

第6章

總結

在現今的蜂巢式系統架構中，存在許多改善訊號功率跟干擾功率加雜訊功率的比值的機制，如本篇論文舉例的幾種機制；傳輸功率控制、波束形成、協調式多點傳輸機制、小細胞基地台傳輸…等，而且每個機制都有許多延伸應用跟許多優點可以改善目前狀況，同時也面臨多個問題需要克服，另外每個機制都可以獨立運行，也可以彼此互相結合使用，因此如何良善運用這些機制是一個重大的議題，潛力無窮。但是天下沒有白吃的午餐，每個方式有獲得必定有需要付出。不管是增加額外的功率、頻寬、成本、複雜度或是服務比例…等，需要付出多少端看需要改善到多好的程度，這就需要營運業者實際上的運作的考量。

傳統型傳輸功率控制如果單獨運作，效果並不顯著，但是如果搭配乘載率取向傳輸功率控制演算法可以得到一定程度的提升，但是離效果良好仍有段距離。切換波束式天線效果十分優異，搭配服務率取向功率控制演算法可以大幅提升系統的服務人數。協調式多點傳輸機制理論上成效斐然，但是有許多現實上的問題需要克服，例如通道的問題…等等。小細胞傳輸單獨使用可以獲得一定的增益，但是和乘載率取向傳輸功率控制演算法結合後增益並不明顯。

本篇論文提供了針對現行許多機制的客觀的探討，並且提出了一種新的功率控制演算法，透過與其他機制結合可以大幅提升整體的服務比例，進而達到提升服務品質，本論文中也提供了詳細的模擬結果以供參考。



參考資料

- [1] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) - Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9), 3GPP TS 36.814 V9.0.0(2010-03)
- [2] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) –Physical Channels and Modulations (Release 11), 3GPP TS 36.211 V11.1.0 (2012-12)
- [3] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects(Release 11), 3GPP TR36.819 V11.1.0(2011-12)
- [4] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, Feasibility study for further Advancements for E-UTRA(LTE-Advanced) (Release 11), 3GPP TR36.912 V11.0.0(2012-09)
- [5] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, Spatial Channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 11), 3GPP TR25.996 V11.0.0(2012-09)
- [6] Qixing Wang et al., "Coordinated Multiple Points Transmission for LTE-Advanced Systems," *5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. 2009.*, vol., no., pp.1,4, 24-26 Sept. 2009
- [7] Damnjanovic, A. et al, "A survey on 3GPP heterogeneous networks,"

- IEEE Wireless Communications* , vol.18, no.3, pp.10,21, June 2011
- [8] Ki-Hong Park; Young-chai Ko; Alouini, M.-S.; Kim, J.S., "Low Complexity Coordinated Beamforming in 2-User MIMO Systems," *IEEE International Conference on Communications. 2009* , vol., no., pp.1,5, 14-18 June 2009
- [9] Juho Lee et al , "Coordinated multipoint transmission and reception in LTE-advanced systems," *IEEE Communications Magazine* , vol.50, no.11, pp.44,50, November 2012
- [10] Young-Han Nam; Lingjia Liu; Yan Wang; Zhang, C.; Joonyoung Cho; Jin-Kyu Han, "Cooperative communication technologies for LTE-advanced," *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP) 2010* , vol., no., pp.5610,5613, 14-19 March 2010
- [11] Dahrouj, H.; Wei Yu, "Coordinated beamforming for the multicell multi-antenna wireless system," *IEEE Transactions Wireless Communications*, vol.9, no.5, pp.1748,1759, May 2010
- [12] 林高洲, "智慧型天線及其在未來無線通訊系統的發展運用,"pdf: availabel at <http://www.cteccb.org.tw/pdf/IECQ-46-5.pdf>
- [13] 吳文榕 , " 合作式通訊之現況與發展 ",*NCP Newsletter*, No.31,pp.8,September 2011.
- [14] Damnjanovic, A. et al, "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wireless Communications* , vol.18, no.3, pp.10,21, June 2011
- [15] Rose, L.; Perlaza, S.M.; Debbah, M.; Le Martret, C.J., "Distributed power allocation with SINR constraints using trial and error learning," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*.

2012 , vol., no., pp.1835,1840, 1-4 April 2012

[16] CVX: Matlab Software for Disciplined Convex Programming
available at <http://cvxr.com/cvx/>

