

國 立 交 通 大 學

電信工程學系碩士班

碩 士 論 文

蜂巢式系統下的中繼站最佳佈放位置

RS Positioning in Cellular Systems



研 究 生：王政揚

指 導 教 授：沈文和 教 授

中 華 民 國 九 十 七 年 十 月

蜂巢式系統下的中繼站最佳佈放位置

RS Positioning in Cellular Systems

研究生：王政揚

Student : Cheng-Yang Wang

指導教授：沈文和 博士

Advisor : Dr. Wern-Ho Sheen

國立交通大學

電信工程學系碩士班

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department 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

October 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年十月

蜂巢式系統下的中繼站最佳佈放位置

研究生:王政揚

指導教授:沈文和 博士

國立交通大學

電信工程學系

摘要

在下一代的行動通訊中，中繼站輔助之無線通訊系統被認為是達到目標的一種可行的方案。中繼站輔助之無線通訊系統可以延伸系統涵蓋範圍、改善使用者之傳輸率並提升整體之系統容量。然而，先前的研究大都針對不同的資源分配、路徑選擇或是頻率規劃對系統效能的提升來做探討，對於中繼站的佈放位置通常是事先給定而沒有多所著墨。但是，中繼站的佈放位置卻又對整體系統效能有著相當大的關係。本篇論文提出了一套在系統頻譜效率最佳化下決定中繼站佈放位置的方法，適當的將問題轉化成一個最佳化之問題，並利用基因演算法的幫助來解此問題。經由數值分析的結果發現，所提出之方法不僅可應用在單一細胞、多細胞等不同的系統架構與不同的頻率重複使用方式下都可以為系統找出一個適當的中繼站佈放位置。

RS Positioning in Cellular Systems

Student : Cheng-Yang Wang Advisor : Dr. Wern-Ho Sheen

Institute of Communication Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Relay-assisted cellular architecture is a promising technology for the next-generation communication systems and can be used to enhance the cell coverage, per user throughput and system capacity. So far, most of the previous researches focused on the resource allocation, path selection, and frequency planning to achieve better system performance. Nevertheless, relay station (RS) positioning has a significant effect on the system performance. In this thesis, the issue of optimal RS placement is investigated to maximize the system spectrum efficiency. The problem is formulated as a optimization problem, and a genetic algorithm is employed to solve the problem. Numerical results show that the proposed method works well in the single-cell, and multi-cell environments with frequency reuse patterns.

誌謝

首先要感謝的是我的指導教授沈文和博士，老師嚴謹而周密的思考邏輯不僅在研究的過程中成為我很大的助力，精益求精的態度與細心的指導都讓我感到獲益匪淺，在老師這種嚴謹的邏輯思考與用心態度的指導和督促下，讓我學習到很多東西，而這些東西在將來一定會有很大的幫助。

除了感謝老師的指導外，還需要感謝香君學姊在觀念和數值分析方法上所提供的幫助，不僅會藉由討論釐清我模糊的概念也在數值分析的方法上提供一些好的想法來分析問題。感謝宜勳同學及丞瑋同學與我互相討論研究內容，讓我看到一些自己研究問題上的盲點。感謝實驗室其他的學長們在這兩年來所提供的各式各樣的協助。感謝這幾年來所認識的教授、學長姐、同學和朋友們所提供的幫助與支持讓我能有一段美好的校園生活時光。

最後，我要感謝我的家人總是在我背後默默的支持我、照顧我和鼓勵我，讓我能度過各種難關。



民國九十七年十月
研究生 王政揚 謹識於交通大學

目錄

第一章 研究動機.....	1
第二章 行動通訊系統技術簡介.....	3
2-1 細胞扇形區域化.....	3
2-2 中繼站輔助之無線通訊系統.....	5
2-2-1 中繼站分類.....	6
2-2-2 中繼站輔助之無線通訊系通之優點.....	7
2-2-3 中繼站輔助之無線通訊系通之優點.....	10
第三章 基因演算法簡介.....	12
3-1 染色體編碼與目標函數.....	13
3-2 初始族群.....	14
3-3 挑選.....	14
3-4 交配.....	16
3-5 突變.....	18
3-6 新族群與精英策略.....	18
3-7 終止條件.....	19
第四章 中繼站之佈放位置最佳化方法.....	20
4-1 單一細胞之佈放位置最佳化.....	20
4-1-1 基本假設與模型.....	21
4-1-2 細部設定.....	24
4-1-3 目標函數.....	30
4-2 多細胞架構下之中繼站最佳佈放.....	33
4-2-1 基本假設與模型.....	34
4-2-2 細部設定.....	34
4-2-3 目標函數.....	37
4-3 基因演算法.....	37
4-3-1 染色體編碼與目標函數.....	37
4-3-2 初始族群.....	38

4-3-3	計算.....	38
4-3-4	挑選.....	38
4-3-5	交配.....	39
4-3-6	突變.....	40
4-3-7	終止條件.....	40
第五章	數值分析結果.....	41
5-1	參數設定.....	41
5-2	單一細胞架構.....	42
5-2-1	無扇形區域化之單一細胞.....	42
5-2-2	扇形區域化之單一細胞.....	47
5-3	多細胞架構.....	52
5-3-1	單一目標細胞.....	52
5-3-2	多個目標細胞.....	57
第六章	結論與未來展望.....	60
6-1	結論.....	60
6-2	未來展望.....	60
參考文獻.....		61

圖 目 錄

圖 2-1-1 細胞分群示意圖。.....	3
圖 2-1-2 常見之細胞扇形區域化示意圖。.....	4
圖 2-1-3 細胞扇形區域化可減少同頻干擾源。.....	5
圖 2-2-1 中繼站輔助之無線通訊系統。.....	6
圖 2-2-2 中繼站可協助提升使用者的傳輸速度。.....	8
圖 2-2-3 細胞涵蓋範圍擴大示意圖。.....	8
圖 2-2-4 中繼站可使使用者的傳輸速率趨於一致。.....	9
圖 2-2-5 中繼站之頻譜重複使用示意圖。.....	9
圖 2-2-6 佈建成本示意圖。.....	10
圖 3-1 傳統的梯度搜尋法和基因演算法對初始值的敏感度。.....	12
圖 3-2 基因演算法的流程圖。.....	13
圖 3-3 輪盤法的簡單例子。.....	15
圖 3-4 輪盤法和評等法在機率選擇上的差異。.....	16
圖 3-5 (a)單點交配法 (b)多點交配法 (c)均勻交配法。.....	17
圖 3-6 簡單的突變例子。.....	18
圖 4-1-1 (a)單一細胞架構下之中繼站輔助無線通訊系統 (b)不同鏈路所使用的無線電資源。.....	21
圖 4-1-2 簡單之 3-sector 之不同 boresight direction 及使用者之夾角示意圖。.	23
圖 4-1-3 3-sector 之天線模式例子。.....	24
圖 4-1-4 中繼站之功率設定示意圖。.....	25
圖 4-1-5 將細胞切分成多個 unit area 示意圖。.....	30
圖 4-2-1 多細胞架構下之中繼站輔助無線通訊系統。.....	34
圖 4-3-1 所用之基因演算法的挑選作法。.....	39
圖 4-3-2 所用之基因演算法的交配作法。.....	39
圖 5-2-1 無細胞扇形區域化與頻率不重複使用下，根據固定頻寬準則時不同中繼站數目的頻譜效率等高線圖。.....	42
圖 5-2-2 無細胞扇形區域化與頻率不重複使用下，根據固定傳輸速度準則時不同中繼站數目的頻譜效率等高線圖。.....	44
圖 5-2-3 無細胞扇形區域化與 RS-MS 頻率重複使用下，根據固定頻寬準則時的頻譜效率等高線圖。.....	45
圖 5-2-4 無細胞扇形區域化與 RS-MS 頻率重複使用下，根據固定傳輸速度準則時的頻譜效率等高線圖。.....	46
圖 5-2-5 在 3-sector 與無頻率重複使用下，根據固定頻寬準則時的頻譜效率等高線圖。.....	48
圖 5-2-6 在 3-sector 與無頻率重複使用下，根據固定傳輸速度準則時的頻譜效率等高線圖。.....	48

圖 5-2-7 在 3-sector 與 RS-MS 頻率重複使用下，根據固定頻寬速度準則時的頻譜效率等高線圖。.....	50
圖 5-2-8 在 3-sector 與三段鏈路皆頻率重複使用下，根據固定傳輸速度準則時的頻譜效率等高線圖。.....	51
圖 5-3-1 在單一細胞架構、6-sector 且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下的頻譜效率等高線圖。.....	53
圖 5-3-2 在多細胞架構、6-sector 且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下的頻譜效率等高線圖。.....	53
圖 5-3-3 在單一細胞架構、3-sector 且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下的頻譜效率等高線圖。.....	54
圖 5-3-4 在多細胞架構、3-sector 且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下的頻譜效率等高線圖。.....	54
圖 5-3-5 在多細胞架構且 RS-MS 鏈路下頻率重覆使用為 $G_{RM} = \{\{R_1, R_3, R_5\}, \{R_2, R_4, R_6\}\}$ 下，在固定傳輸速度下之頻譜效率的等高線圖。.....	56
圖 5-3-6 不同目標細胞之頻譜效率的等高線分布圖。.....	57



表目錄

表 5-1-1 天線模式之參數列表。	41
表 5-1-2 基因演算法之參數列表。	41
表 5-2-1 固定頻寬準則下不同中繼站數目分別的系統模擬結果。	43
表 5-2-2 固定傳輸速度準則下不同中繼站數目分別的系統模擬結果。	45
表 5-2-3 固定頻寬準則下，頻率重複使用有無的系統模擬結果。	46
表 5-2-4 固定傳輸速度準則下，頻率重複使用有無的系統模擬結果。	46
表 5-2-5 在細胞扇形區域化下不同設計準則的系統模擬結果。	49
表 5-2-6 固定頻寬準則下，在 RS-MS 鏈路頻率重複使用有無的結果。	50
表 5-2-7 固定傳輸速度準則下，在各段鏈路頻率重複使用有無的結果。	51
表 5-3-1 固定傳輸速度準則下，在不同細胞架構下的結果(6-sector)。	55
表 5-3-2 固定傳輸速度準則下，在不同細胞架構下的結果(3-sector)。	55
表 5-3-3 固定傳輸速度準則下，在 RS-MS 頻率重複使用有無的結果。	56
表 5-3-4 不同目標細胞的系統模擬結果。	58



第一章 研究動機

隨著時代的進步與科技的發展，行動通訊技術已經深深的植入了我們的日常生活。人們期望行動通訊所能提供的服務也隨著時間越來越多，同時對於服務品質的要求也是日漸嚴苛。為了達到這些需求，行動通訊所要求的傳輸速度與品質也因而日漸提高。

下一代的行動通訊系統也就是第四代行動通訊系統的研發已經啟動，為了達到下一代通訊系統要求：在移動時能達到 100Mbps 以上以及在步行速度或靜止狀態下甚至需要達到 1Gbps。因此，在第四代行動通訊系統需要具備有相當高的系統頻譜效率(system spectrum efficiency)，如果要在目前的蜂巢式行動通訊系統架構下不作任何架構上的改變，而想要達到符合第四代行動通訊系統的系統頻譜效率時，則蜂巢式行動通訊系統的每個細胞(cell)的涵蓋範圍都會因為此時所要求之高傳輸速度而降低。當細胞涵蓋範圍降低時，表示在相同的地區需要更多的基地台才能提供通訊服務，而更多的基地台不僅會大大的提高系統成本，也會造成太頻繁的換手(hand-off)而導致系統品質的降低，所以在第四代行動通訊系統中，仍然希望能在保持相同的細胞涵蓋範圍下，進一步的透過其他的新技術或是架構上的變化來達成更高的頻譜效率。

在傳統的系統架構下藉由加入中繼站來作適當的改變，這種中繼站輔助之無線通訊系統的架構被認為是能夠幫助達成第四代行動通訊系統目標的可行方法之一。透過中繼站的加入，如果能夠適當的設計中繼站所擺放之位置，則不僅能縮短了傳送端與接收端之間的距離，有效的降低路徑衰減(pathloss)以及遮蔽效應(shadow effect)對接收到之訊號雜訊比的弱化情形，能有效的提升頻譜效率、維持每個細胞的涵蓋範圍，另外同時還可以節省用戶電池的消耗。此外，基地台掌握了細胞間所有使用者的資訊，所以在使用者在不同中繼站間切換時所造成之換手動作也會比起細胞間的換手動作來得更加簡易，並且由於中繼站的佈建成本遠低於基地台，所以在成本和系統品質上中繼站輔助之無線通訊系統都是非常有競爭力的。

IEEE 802.16j 是為了強化以 IEEE 802.16e 為基礎之 WiMAX 系統效能的新技術標準。在 IEEE 802.16j 也已經針對了 IEEE 802.16e 的系統所使用的中繼站訂定規格，重點著重於在不改變原有的手機規格的條件下，設定完整可行的通迅協定。但是對於在實際系統中如何決定中繼站的佈放位置、如何選擇中繼路徑以及其他許多如何應用中繼站的相關議題，仍然還是一片模糊地帶並沒有一個明確的解答或方法。

由於許多中繼站的應用問題都會與中繼站的佈放位置有緊密的關係，並且當中繼站佈放在適當位置時可以使系統享有前述的多項好處，但若中繼站所佈放的位置不適當時，則可能會對系統整體不僅不會有任何的好處甚至可能會對整體系

統效能造成下降，並且還需負擔額外的中繼站佈建成本。因此在本論文中我們主要是針對在蜂巢式系統(cellular system)的中繼站佈放位置進行研究，並提出一套在多種情況下皆可以用來決定中繼站佈放位置的方法。

本篇論文的結構如下：在第二章會對於論文中所使用到之行動通訊技術包括了細胞扇形區域化(sector)以及中繼站輔助之無線通訊系統作簡單的介紹；第三章則會介紹一下基因演算法；第四章則會呈現對於整個問題的描述以及所採用的演算法如何運作；第五章為系統模擬的結果與對於模擬結果之解釋；第六章為全文之總結與未來展望。



第二章 行動通訊系統技術簡介

本章會簡單介紹在此論文中會使用到的一些行動通訊系統之技術，主要會包含了細胞扇形區域化、中繼站輔助之無線通訊系統。

2-1 細胞扇形區域化 (Sectoring)

行動通訊系統為了服務廣大區域的使用者，一般會將所要服務的區域分成一個一個六角形的細胞(cell)。在每個細胞中佈放一個基地台來服務細胞中的使用者，由於形狀類似蜂巢所以又稱之為蜂巢式行動通訊系統。蜂巢式行動通訊系統可以避免只有單一基地台時所需的巨大傳送功率，同時也藉由允許不同的細胞間使用相同的頻帶而能提高頻率的使用效率。

由於允許細胞間使用相同的頻帶，所以使用相同頻帶的細胞們會對彼此造成干擾。因此為了降低細胞間的互相干擾，通常會將鄰近的多個細胞組成一個群(cluster)。組成群的細胞個數以群體規模(cluster size)稱之。每個群會使用完所有系統擁有的頻帶，而群中的細胞彼此會使用不同的頻率來降低同頻干擾(co-channel interference)。蜂巢式通訊系統就會以群為基礎，來作出適當的細胞規劃，將每個細胞所用的頻率事先的決定好。

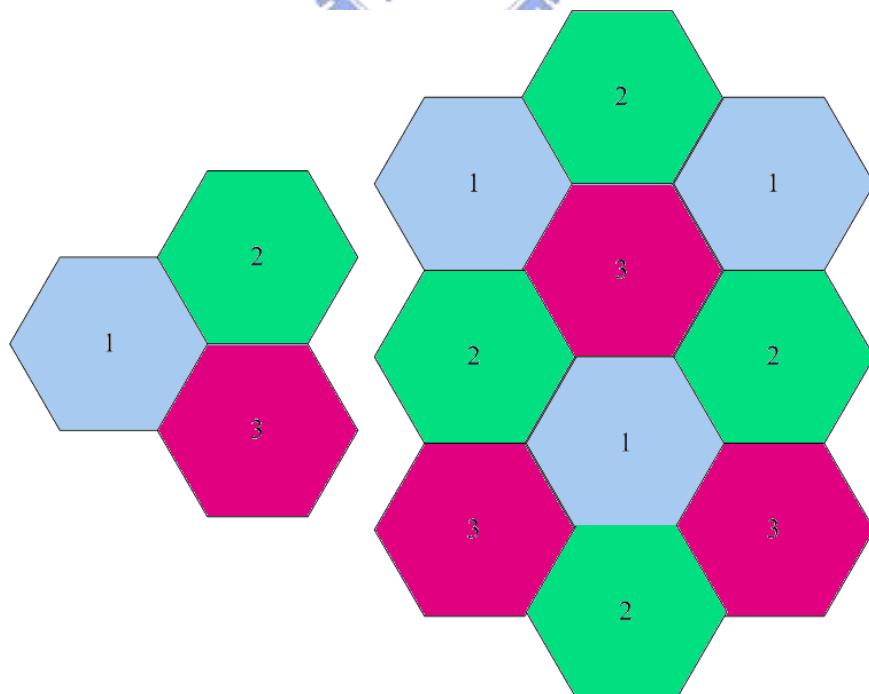


圖 2-1-1 多個細胞組成群(左)，利用群作細胞規劃(右)，不同顏色代表不同的頻率

想要提高系統容量(cell capacity)以服務更多的使用者，系統必須要更有效率的使用頻譜，所以必須讓群體規模越小越好。但是，當群體規模越小時，則使用者所感受到的同頻干擾便會提高造成鏈路品質(link quality)的下降而影響到通訊的品質。

細胞扇形區域化(sectoring)是一個利用多個指向性天線(directional antenna)取代基地台原本的全向性天線(omni-directional antenna)，每個指向性天線負責傳送信號給細胞內不同角度的區域。較常見的細胞扇形區域化有 3-sector 及 6-sector 兩種各需要 3 和 6 跟指向性天線，而每根天線分別服務 120 度及 60 度的細胞區域。

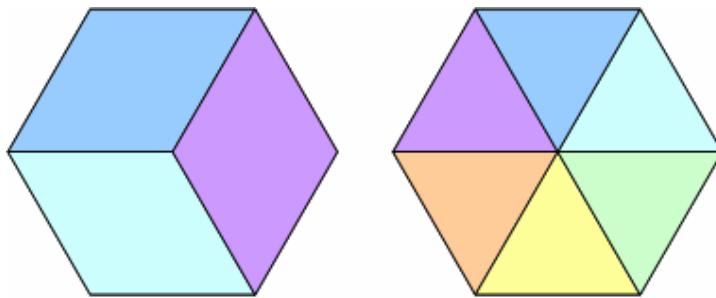


圖 2-1-2 常見之 3-sector(左) 和 6-sector(右)細胞扇形區域化，不同顏色表示使用不同頻帶

當使用了細胞扇形區域化的技術後，同頻干擾的干擾源會減少。某些在傳統使用全向性天線會造成干擾的細胞，因為每個細胞使用了多個指向性天線且每根天線只負責傳送部分角度，而使得傳送的信號不再會干擾到所觀察的細胞。如圖 2-1-3 所示，當群體規模為 7 時，原本有六個使用頻帶 5 的細胞都會對位於中央使用頻帶 5 之細胞產生同頻干擾。但經過 3-sector 之細胞扇形區域化後，只剩下兩個細胞會對中央細胞產生同頻干擾。因此，細胞扇形區域化可以在相同的群體規模下，降低同頻干擾而提升鏈路品質。

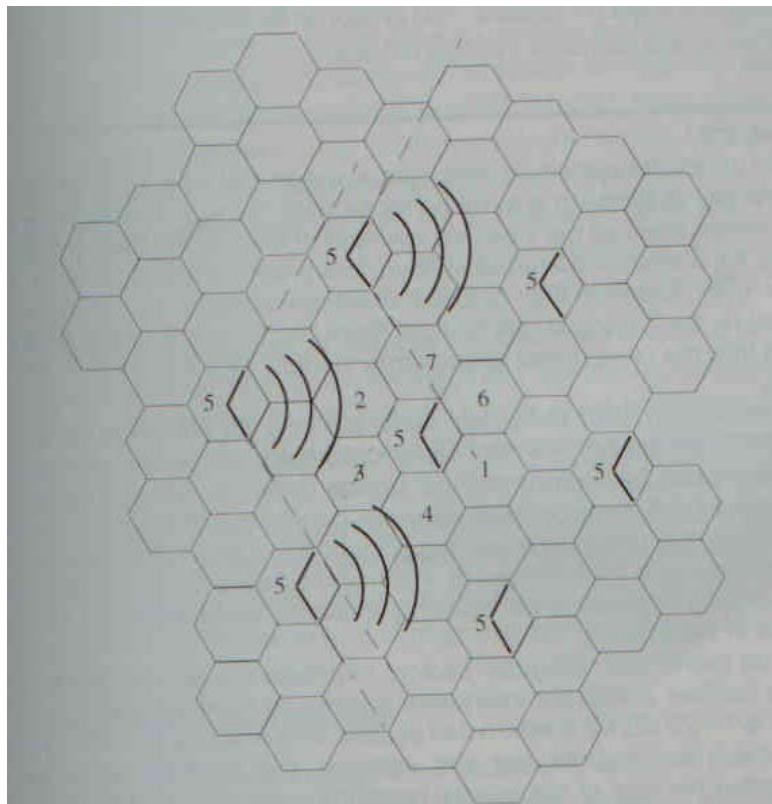


圖 2-1-3 細胞扇形區域化可減少同頻干擾源

使用細胞扇形區域化固然可以藉由指向性天線的幫助提高鏈路品質，但是，通常為了降低細胞扇形區域化後不同區域彼此之間的干擾。不同區域之間會使用不同的頻帶。所以必須將原先分配給細胞的頻帶再進一步的切割以分配給每個區域使用，會導致集群效率(trunking efficiency)的下降，使得系統容量會遭受一些損失。此外，每個基地台所使用的天線數目也會從原本的單根全向性天線變成需要多根的指向性天線，也會使得系統的佈建成本提高。

為了享受細胞扇形區域化所帶來的鏈路品質提升同樣也需要付出集群效率下降及系統佈建成本提高的代價，電信業者應該根據所要提供的服務，綜合考量細胞扇形區域化帶來的優劣，再決定是否使用。[1][2]

2-2 中繼站輔助之無線通訊系統

為了因應未來通訊系統所需提供的高速率高品質的通訊服務，傳統無線通訊系統必須要引入和搭配各種新技術來達到目的。中繼站輔助之無線通訊系統便是一個被認為可行的架構。相較於傳統的蜂巢式系統(cellular system)只有基地台(Base station, BS)可以作為伺服器(serving station)來幫助使用者作資料的傳輸。中繼站輔助之無線通訊系統除了基地台外還多了中繼站(Relay station, RS)可以扮演伺服器的角色。可以幫助那些與基地台間連線因受到地形、地物的阻礙而造成連線品質低落的使用者，藉由選擇中繼站做為伺服器利用多躍傳輸(multi-hop)來

提升與基地台和後端網路間的通訊品質。以避免這些使用者在基地台有限的傳送功率下，因無法滿足所需的通訊品質而形成傳輸死角(dead spot)，造成系統整體的效能下降。

圖 2-2-1 便是一個中繼站輔助之無線通訊系統的示意圖，在這種新的傳輸架構下，距離基地台較近或是具有較優秀的連線品質的使用者便可以不需經過中繼站的輔助直接選擇基地台作為伺服器利用單躍傳輸(single hop)來與基地台作資料的傳輸。當因距離基地台較遠或是地形、地物的遮蔽效應(shadow effect)而造成與基地台的連線品質不佳的使用者則會選擇中繼站作為伺服器利用多躍傳輸來與基地台取得聯繫。基地台會將所要傳送的資料送往中繼站，中繼站再將所收到的資料轉送給使用者，反之中繼站也可以轉送從使用者來的訊號給基地台。

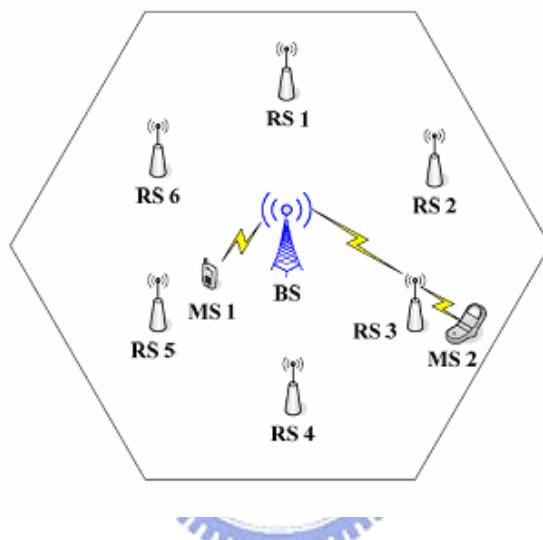


圖 2-2-1 中繼站輔助之無線通訊系統，MS 1 作單躍傳輸 MS 2 則藉由中繼站的幫助作多躍傳輸。

2-2-1 中繼站的分類

1. 解碼功能：

依照中繼站解碼功能的有無可以將中繼站區分成解碼式中繼站(decode and forward RS)及放大式中繼站(Amplify and forward RS)。解碼式中繼站會將從基地台接收到的信號進行解碼，再重新進行一次編碼才傳送給使用者，由於這種特性所以又稱之為再生中繼站(regenerative RS)。放大式中繼站則是只將從基地台所接收到的信號作放大和轉送，但是不會對所接收到的信號去作任何的解碼和處理，又稱之為非再生中繼站(non-regenerative RS)。[3]

2. 移動能力：

依照中繼站的移動能力，可將中繼站區分成固定式中繼站(fix RS)和移動式中繼站(mobile RS)。固定式中繼站通常和基地台一樣都是由通訊服務

的提供者所架設。由於固定式中繼站缺乏移動的能力所以所擺放的地點需要經過設計，通常會擺放在與基地台間連線品質較差的地區，以避免傳輸死角的形成。

移動式中繼站的概念主要是靠著周遭使用者的行動裝置(Mobile station, MS)互相幫忙的想法。周遭所有閒置(idle)的行動裝置都可以扮演中繼站的角色來幫忙傳輸。移動式中繼站在使用者密度低的時候，便不能保證可以找到合適的中繼站來幫忙傳輸，而且平均每個行動裝置所消耗的功率會上升，因為在自己本身沒有與基地台有資料傳輸的時候，仍然有可能因為要扮演中繼站的角色，而不能進入閒置模式節省功率的消耗。

3. 使用頻帶

根據中繼站與基地台所使用的頻帶是否一致，把中繼站區分為同頻中繼技術(in-band relaying)和非同頻中繼技術(out-band relaying)兩種中繼站。同頻中繼技術的中繼站所使用的頻帶會是基地台所使用的頻帶中的一部分，所以此時使用者的行動裝置只需要一組傳送和接收器即可。但是非同頻中繼技術之中繼站則使用了基地台所使用之外的頻帶，所以此時在另一組則用來跟中繼站和行動裝置都各需兩組傳送和接收器。一組用來跟基地台溝通，一組則負責中繼站和行動裝置間的聯絡。

2-2-2 中繼站輔助之無線通訊系統的優點

1. 較高的使用者傳輸速度(higher user throughput)

透過中繼站來協助傳輸可以讓使用者不需直接與距離遙遠的基地台連線，而是藉由中繼站作多躍傳輸。此時，基地台會將信號先一步傳送至中繼站，再由中繼站轉送給使用者，所以每段鏈路(link)所經過的距離都會比起原本直接與基地台溝通來的更小。而訊號的衰減程度會與距離成高度正比，所以藉由中繼站的傳輸可以減低訊號的衰減。

中繼站通常具有比行動裝置強大的傳輸功率，而且所擺放的位置是經過事先規劃的。在適當的規劃下，可以使中繼站與基地台落在彼此的可視範圍內(Line of sight, LOS)，而中繼站與所服務的使用者間的遮蔽效應也會比基地台到這些使用者的遮蔽效應來的低。藉著中繼站較大的傳輸功率以及較好的通道狀況可以改善中繼站到基地台與使用者間的鏈路品質。由於每段鏈路傳輸距離的縮短及中繼站與基地台和使用者間鏈路品質的改善，使得使用者能有更好的鏈路品質如圖 2-2-2，也因而能有更高的傳輸速度。尤其是對於細胞邊緣和高遮蔽區域的使用者，中繼站的架設可以大幅的改善使用者的傳輸速度。[4]

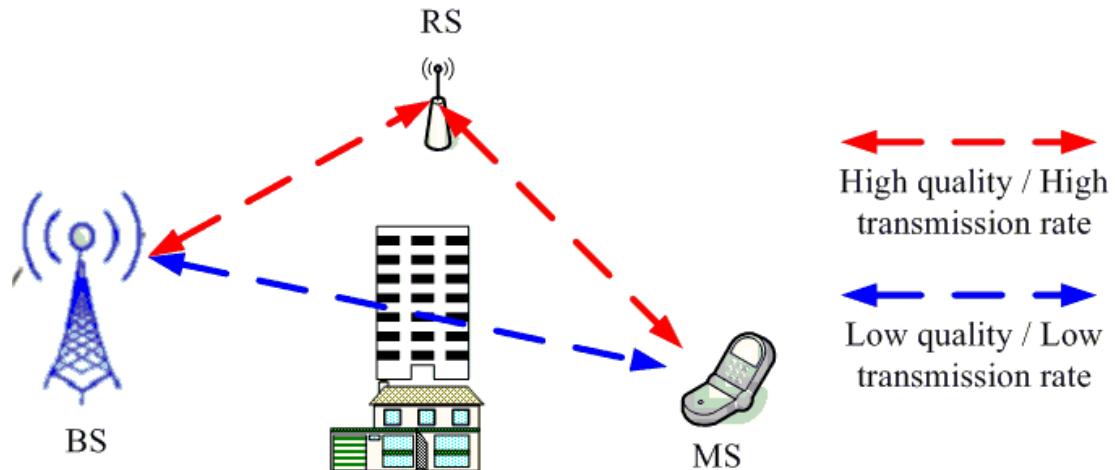


圖 2-2-2 中繼站可協助提升使用者的傳輸速度

2. 擴大細胞涵蓋範圍(extend cell coverage)

藉著將中繼站擺放在細胞邊緣上，可以讓原先無法獲得服務的使用者藉由中繼站的協助而能與基地台建立連線。此時亦可視為原先細胞的涵蓋範圍會因為中繼站的加入而擴大。[5]

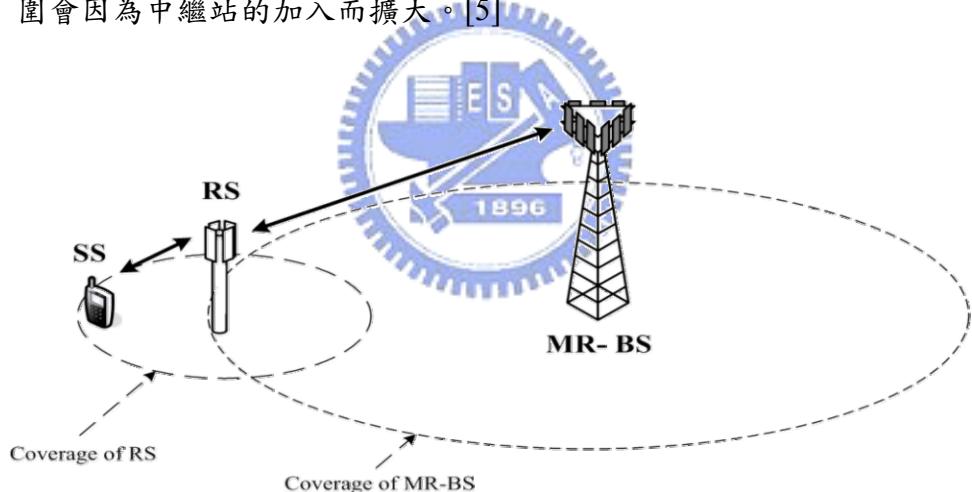


圖 2-2-3 細胞涵蓋範圍擴大示意圖

3. 均勻的傳輸速率(uniform data rate coverage)

如果將中繼站佈放在因為距離遙遠或是遮蔽效應嚴重而造成的鏈路品質低下的區域，可以改善此區域使用者的鏈路品質而增加傳輸速率。由系統的層面來看，中繼站的佈放可以有效的改善原本傳輸速率較差的使用者，而使得整個細胞中的所有不同位置的使用者所獲得之傳輸速率逐漸趨於一致。

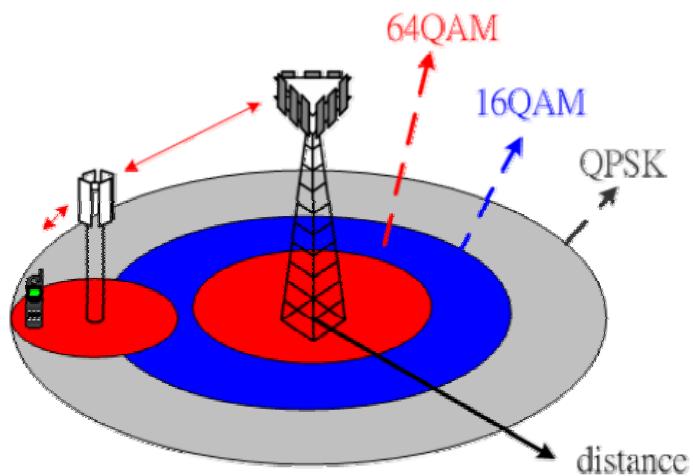


圖 2-2-4 中繼站可使使用者的傳輸速率趨於一致

4. 頻譜重複使用(frequency reuse)

在無線通訊系統中，頻譜是非常珍貴的資源，為了取得頻譜的使用權通常都得付出相當鉅額的權利金。所以在無線通訊系統中，提高頻譜的使用效率也是一個很重要的課題。

由於中繼站會以相較於基地台較低的傳送功率來服務其周遭的使用者。在訊號衰減及遮蔽效應很嚴重的環境，如：都會區，可以藉著訊號會嚴重衰減的特性，讓同一個頻帶有讓兩個以上中繼站同時使用的可能性。彼此距離較遠的中繼站間，因為較低的傳輸功率以及嚴重的訊號衰減現象，導致使用相同頻帶傳輸對彼此的干擾是在可容忍範圍時，便可以重複的使用頻譜，提高系統整體的頻譜使用效率。[6]

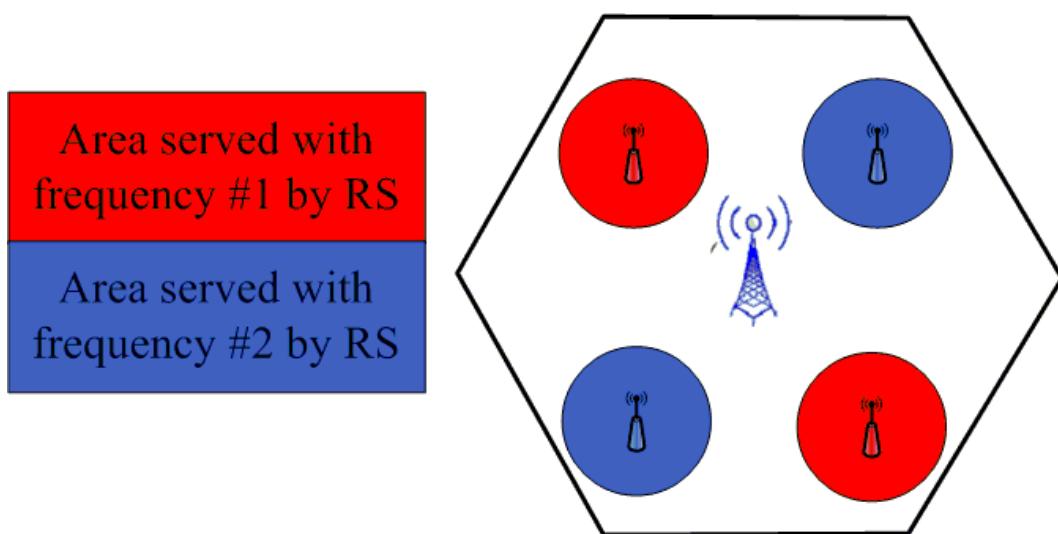


圖 2-2-5 中繼站之頻譜重複使用示意圖

5. 降低佈建成本

中繼站主要是用來協助基地台與使用者之間的通訊服務，本身並沒有能力與後端網路作聯繫(backhaul network)，所以可以大幅的節省電信業者為了建置後端網路所耗費的成本，如道路開挖及管線設置等。此外，中繼站所需的訊號處理能力及網路處理功能等都不像基地台那麼複雜。因此，佈建中繼站的複雜度和成本都遠低於基地台。藉由佈建中繼站減少基地台的佈建便可以使整體系統的佈建成本下降。

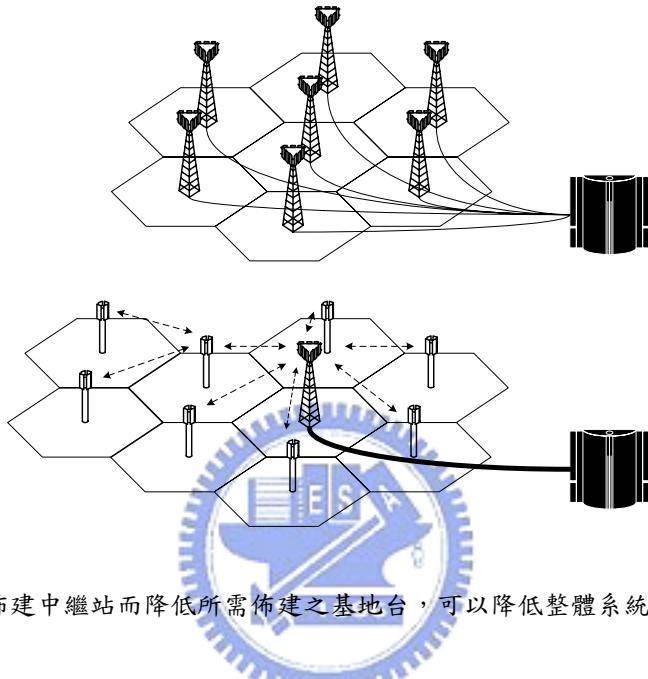


圖 2-2-6 佈建中繼站而降低所需佈建之基地台，可以降低整體系統之佈建成本

2-2-3 中繼站輔助之無線通訊系統所需之代價[7]

1. 多躍傳輸需額外的無線電資源(extra radio resource for multi-hop transmission)

進行無線傳輸時必定需要消耗無線電資源，使用中繼站作多躍傳輸時，由於不管是從基地台到中繼站、中繼站間或者是中繼站到使用者都是藉由無線傳輸來傳輸資料。相較於單躍傳輸，多躍傳輸需要消耗較多份的無線電資源。雖然多躍傳輸可以提供較好的鏈路品質，若在相同的傳輸量下可以減少每一份無線電資源的使用量。但是多躍傳輸需要較多份的無線電資源，所以並不是所有使用者都需要透過中繼站的協助，若無適當的規劃則透過中繼站協助傳輸可能會消耗更多的無線電資源，造成系統的無線電資源使用效率下降。

2. 信令冗餘(signal overhead)

為了讓接收端可以明確的知道什麼時候在什麼頻率可以接收到所要接收的資料，通常會藉由加入一些控制信號(control signal)來維持整個系統可

以正常的運作。控制訊號與所要傳輸的資料無關，但是一樣會消耗無線電資源。當藉由中繼站作多躍傳輸時，多躍傳輸中的每一段鏈路都需要控制信號來維持傳送跟接收之動作可以正常運作。因此隨著躍數的(hop count)的增多，所需之控制信號也會越多。

3. 中繼干擾(relaying interference)

中繼站在傳送信號時會對於在相同時間使用相同頻帶的使用者造成干擾。例如：中繼站可能與相鄰細胞的使用者在相同時間使用了相同頻帶作信號傳輸，而中繼站通常又都擺放於細胞邊緣，因此可能會對相鄰細胞造成較大的干擾。若細胞內中繼站間有對頻譜作重複使用，則在這些中繼站同時傳輸時，會造成彼此之間的互相干擾，而使得通訊品質下降。

4. 傳輸延遲(incurred latency)

在系統訊框(frame)的規劃下，中繼站只能在特定時間才能接收訊號。所以當透過中繼站來幫忙轉傳訊號時，會造成所謂的傳輸延遲，而且傳輸延遲會隨著躍數越多而增加。對於某些對於時間敏感度高(delay sensitive)的通訊服務如：語音和影像等，便可能會因為傳輸延遲太高而導致無法滿足使用者的需求。



第三章 基因演算法簡介

基因演算法(generic algorithm)的基本概念和想法是在 1960 末到 1970 早期由密西根大學的 John Holland 教授所提出。基因演算法是一種隨機搜尋法，相對於許多傳統的梯度(gradient)搜尋法需要設計初始值以避免落入了局部最佳(local optimum)，並且需要計算目標函數(objective function)的一次或二次導函數來決定搜尋的方向。所以此時的目標函數通常都會有所限制，當目標函數較複雜而無法求出所需要的導函數時，這時候傳統的梯度搜尋法便需要作修正甚至會因而無法使用。相反的，基因演算法是透過多個的初始值配合上物種演化的概念，所以不需要作初始值的設計，圖 3-1 可以看出基因演算法和傳統梯度演算法對初始值的敏感度，而且基因演算法是透過物種演化的概念來作下一步的搜尋，所以不需要計算目標函數的導函數來決定搜尋的方向，因此基因演算法可以應用的範圍會更加的寬廣，目前也已經廣泛的被使用在電腦程式設計和人工智慧的開發。

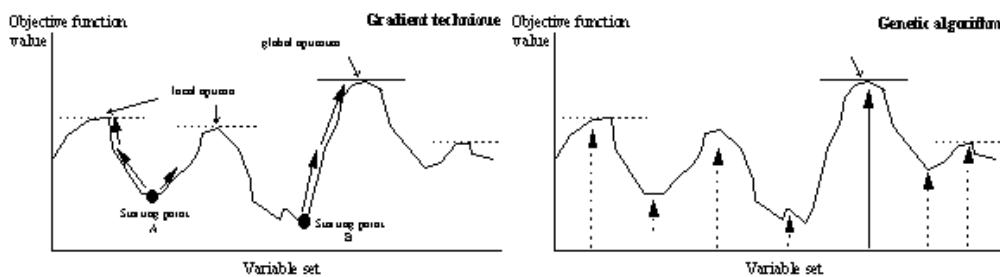


圖 3-1 傳統的梯度搜尋法和基因演算法對初始值的敏感度

基因演算法主要就是參考了物競天擇，適者生存」的概念，將問題的最佳化適當的轉化成現實世界中物種的演進，要開始基因演算法前，必須先將問題中不同的解適當的編碼成是不同的染色體(chromosomes)並且設計好目標函數。有了適當表示染色體的方法及目標函數後便可開始進行基因演算法，其流程圖如圖 3-2 所示。首先會隨機的產生多個染色體稱之為族群(population)，族群中所含的染色體個數稱之為族群規模(population size)。接著會透過目標函數來評量此染色體是否適於生存，最後再藉由挑選(selection)、交配(crossover)和突變(mutation)來產生下一代的染色體。藉著這種逐步的演進直到符合我們所設計的停止條件才結束演算法。接下來會對流程圖中的各個步驟作進一步的解釋和介紹。[9]

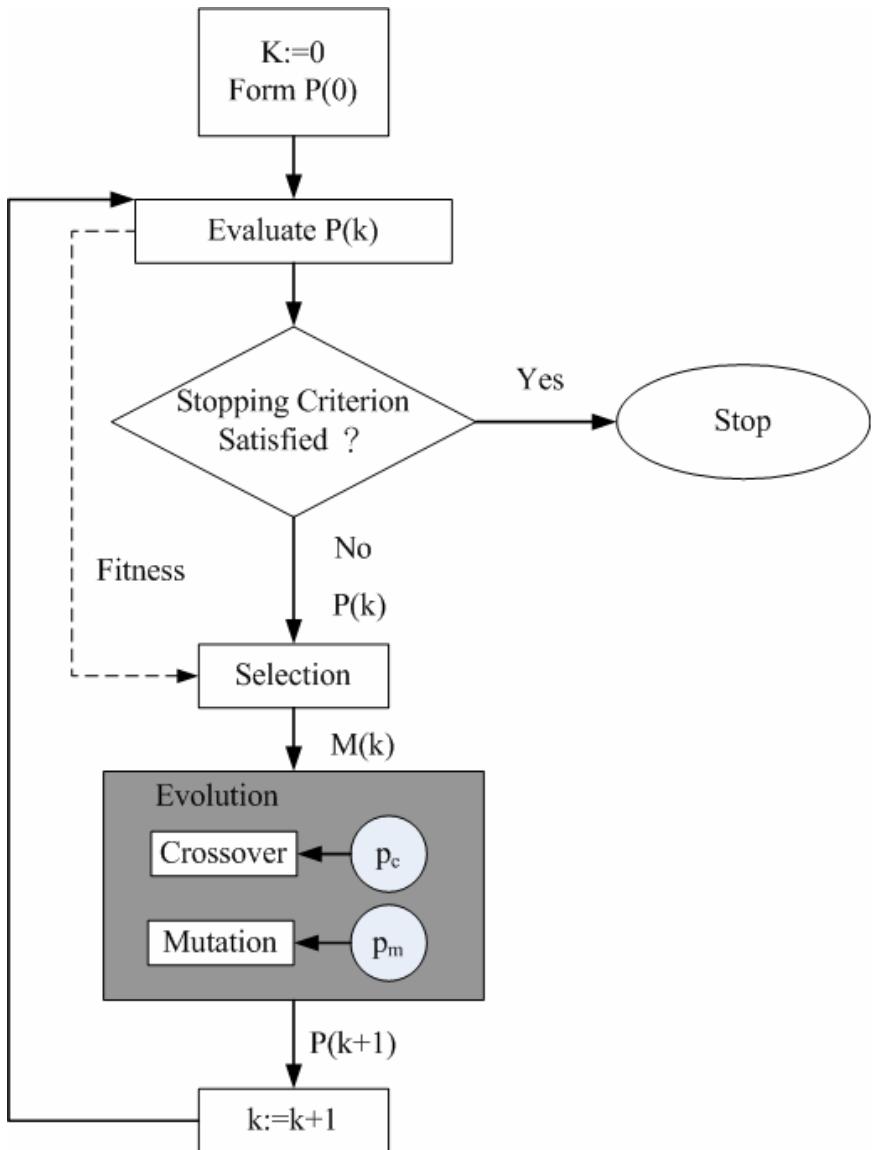


圖 3-2 基因演算法的流程圖

1. 產生初始族群 $P(0)$ 。
2. 計算出族群 $P(k)$ 中各個染色體的適應值。
3. 檢查是否滿足終止條件。
4. 從族群 $P(k)$ 挑選可以進入交配池 $M(k)$ 之染色體。
5. 針對交配池中的染色體做交配與突變的演化。
6. 產生新族群 $P(k+1)$ 並令 $k=k+1$ 回到步驟二進行下一世代的演化。

3-1 染色體編碼(chromosomes)和目標函數(objective function)

要利用基因演算法來解決最佳化的問題，首先，必須要先把所要分析的問題做出適當的編碼，讓問題能以一個多變數的目標函數及多個變數來描述。此時，這些用來描述問題的變數便是染色體內不同的基因，而變數集合而成的字串

(string)或是向量(vector)便是染色體。每個染色體都可以一對一的對應到一個問題的解，而目標函數則是一個用來計算適應值(fitness)以評量每個染色體所代表之解是否適合該問題。通常是想要求取最大化或最小化目標函數，當目標函數是想要求取最大化時，則適應值越高代表此組解愈適合所要最佳化的問題。後面的論述都以要最大化目標函數為訴求，所以適應值越高代表越適於問題，若目標函數是以最小化，則反之。

3-2 初始族群(Initial population)

基因演算法是對所要最佳化的問題同時給定了多個解，所以在演算法一開始的時候會隨機的產生符合族群規模數量的染色體，此時產生的染色體中的基因會各自符合該基因變數所應該滿足的條件。譬如：當第一個基因變數的條件是一定為正整數，那此時產生出來的多個染色體其第一個基因變數所給定的值都會是正整數。這些由隨機所產生出來的染色體又稱之為初始族群(initial population)通常用 $P(0)$ 表示。接下來就會透過這個初始母體來進行挑選、交配和突變來找出下一代的族群($P(k=1)$)，如此重複藉由類似生物演化的過程，期望最後能找出適合該問題的答案。

族群規模是一個蠻重要的參數，因為演算法的關係基因演算法雖然不需要作初始值的設計，但是當我們給定的族群規模太小時，這時候所隨機產生的初始值也會很少，造成整個演算法中基因的多樣性受到限制，而使得最後演算法的結果會落入局部最佳解而不是所期望的全體最佳解(global optimum)。但是當族群規模越大的時候，這時候基因所具備較大的多樣性，所以讓演算收斂所需的世代數較少並且比較不容易落入局部最佳解，而較容易真正找出全體最佳解。相對地，因為族群規模變大了所以演算法的複雜度也會跟著提高，雖然收斂所需的世代數減少了，但是每個世代所需要花費的計算量和時間也提高了。

3-3 挑選(selection)

在進行挑選之前，我們會先針對每一組染色體進行計算，每一組染色體 $x^{(k)}$ 會分別計算出對於目標函數的適應值 $f(x^{(k)})$ 。每一組染色體可以藉由適應值反應出此組染色體所代表的答案對於我們所要最佳化的問題是否合適。通常當所計算出的適應值越高代表此組解愈適合所要最佳化的問題。

挑選的方法可以根據問題的異同而有不同的設計，但是要能適當的反應出物种演化中適者生存的法則，對於適應優良的染色體通常會有較高的機率在交配池(mating pool)擁有較多的個數，作完挑選後交配池一樣會有母體規模數目的染色體，被挑選進交配池的染色體便有機會可以進行交配和突變，進而讓優良的基因傳承到下一個世代，下面簡單介紹幾種常見的挑選方法：

1. 輪盤法 (roulette-wheel selection) :

首先我們會根據每個染色體所計算出的適應值計算出每個染色體被挑選到的機率：

$$P_i^{(k)} = \frac{f(x_i^{(k)})}{F(k)} \quad , \text{where} \quad F(k) = \sum f(x_i^{(k)})$$

交配池中的每個染色體都是根據相對應的機率從母體中去選。

舉個例子來說圖 2-3 的表格分別表示出不同 $x_i^{(k)}$ 和他們相對應適應值及各自所算出來被挑選的機率，而圖中的圓餅圖則是機率的分佈圖。這時當我們要決定交配池中的每一個染色體時，都會去骰一個均勻分佈在 0~1 的骰子，當所骰出的值介於 0~0.5 時則 $x_1^{(k)}$ 會被挑選進入交配池，當所骰出的值介於 0.5~0.75 時則 $x_2^{(k)}$ 會被挑選進入交配池，若是介於 0.75~1 時則 $x_3^{(k)}$ 會被挑選進入交配池。

Chromosomes	$x_1^{(k)}$	$x_2^{(k)}$	$x_3^{(k)}$
Fitness	10	5	5
Probability	0.5	0.25	0.25

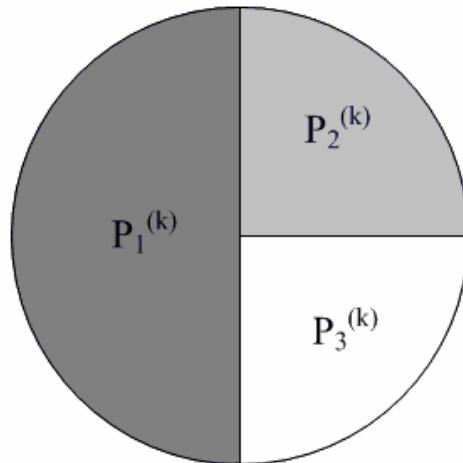


Fig 3-3 輪盤法的簡單例子

2. 比賽法 (tournament selection) :

首先從母體 $P(k)$ 中任意挑出兩個染色體，針對兩個染色體各自的適應值作比較，適應值高的染色體便被挑選進入交配池。重複此動作直到交配池的染色體數目達到母體規模數，此外被挑選過的染色體在下一次挑選時仍然可以被挑選。

3. 評等法 (rank selection) :

將各個染色體所計算出的適應值作排序，假設總共有 N 個染色體，則適應值最差的染色體所給的比重為 1，次差的比重為 2，最佳的則是給 N 。再根據各個染色體所佔的比重值採用類似輪盤法的方式去計算出各個染色體所被挑選的機率。相對於輪盤法，評等法保留適應值高的染色體會具有較高機率所被挑選的特色，但是在染色體適應值差異非常大時會適應值較差的染色體有較高的機率被選擇，可以避免被強勢染色體主導的情形。雖然當彼此的適應值差不多時會對適應值差的染色體較不利，但由於其適應值的差異不多所以影響會比較小。圖 3-4 便可以明顯的看出在相同染色體的適應值下兩種方法間的差異。

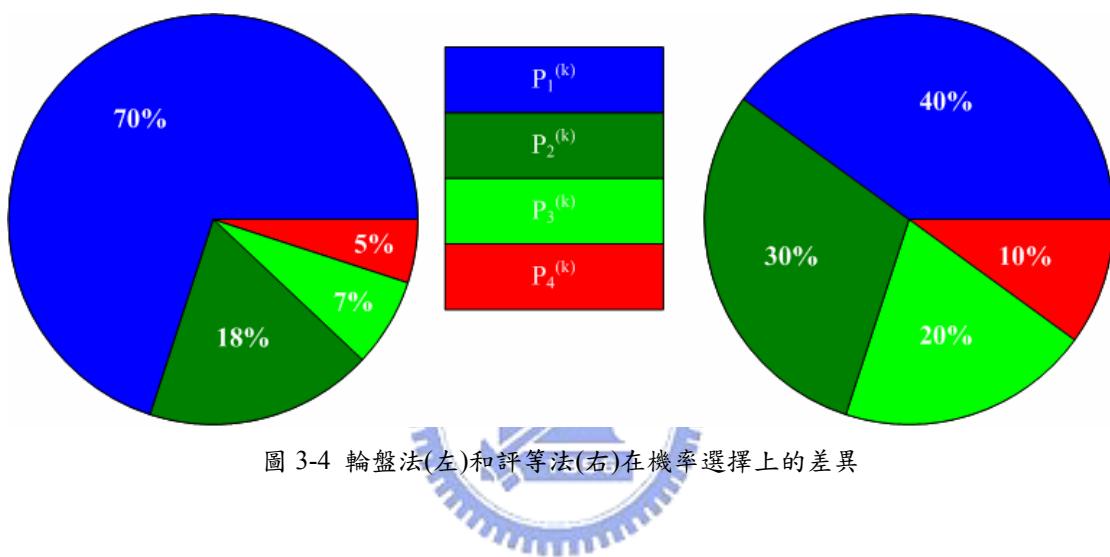


圖 3-4 輪盤法(左)和評等法(右)在機率選擇上的差異

3-4 交配(crossover)

交配是希望藉由能進入到交配池的染色體所攜帶之優良基因的重新組合來激發出有更高適應值的染色體。交配池中的每個染色體都會有相同的交配率 p_c (crossover rate) 被挑選成為父母染色體(parents)，父母染色體會隨機的兩兩配成一對來進行交配的動作。交配主要是藉著交換父母的基因可以產生兩個子女染色體(offspring)，而此兩個子女染色體會取代掉父母染色體在交配池中的位置以維持相同的族群大小。

由於可以進入交配池中的染色體都是經過挑選程序的，所以通常來說他們的基因是優秀且適於所要最佳化的問題的，因此當我們藉由重組這些優秀的基因，便會有機會讓父母染色體中的優秀基因互相結合而創造出一個有更高適應值、更強勢的染色體出來。並且如果父母染色體中有非常強勢的染色體，則在挑選進入交配池時，通常該強勢染色體在交配池中的數目都會頗多。所以也不用太擔心當子女染色體都不若父母染色體來的優秀時，當子女染色體取代了父母染色體時反而造成了染色體的競爭力一代不如一代。下面是幾種常見地交配方法。

1. 單點交配法(one point crossover)

隨機的挑選出一個交換地點(cross site)，對於兩個父母染色體在交換地點後的基因會互相的交換，圖 3-5(a)可以更清楚的描述出單點交配法的機制。

2. 多點交配法(multi-point crossover)

隨機的挑選出多個交換地點，每遇到一個交換地點就會交換一次父母染色體位於交換地點後面的基因，圖 3-5(b)是多點交配法的圖解。

3. 均勻交配法(uniform crossover)

隨機的產生一個二進位之基因遮罩，基因遮罩裡數值為 1 之相對位置基因不會作基因交換的動作，但若是基因遮罩裡之數值為 0，則相對位置之基因便需作基因交換之動作，圖 3-5(c)即是均勻交配法之圖解。

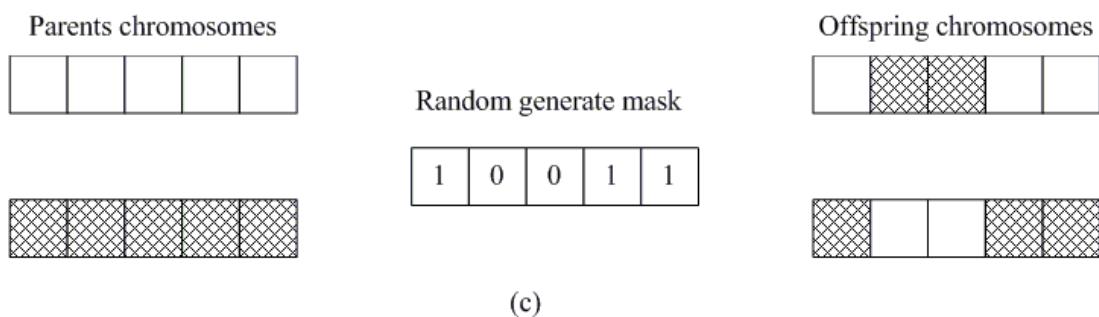
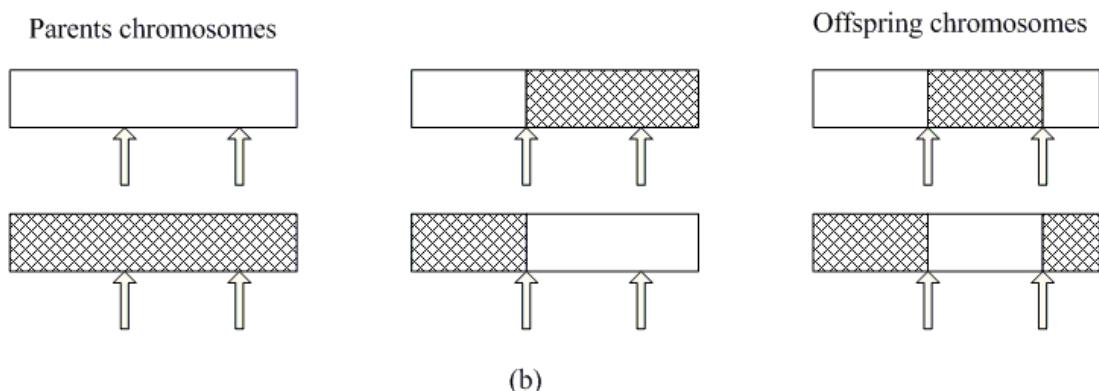
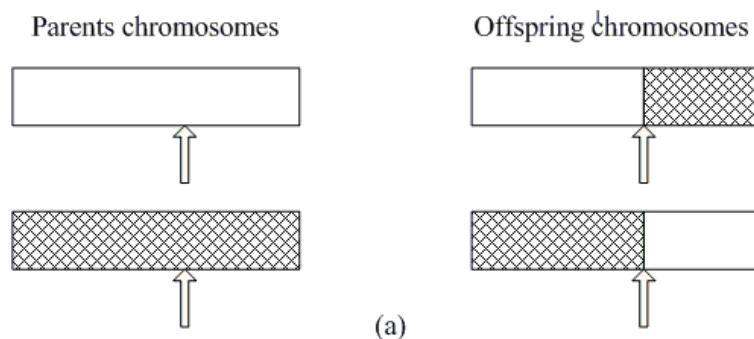


圖 3-5 (a)單點交配法 (b)多點交配法 (c)均勻交配法

3-5 突變(mutation)

當進行完了交配的動作後，交配池仍然維持相同的染色體數目。雖然所儲存的染色體已經有些變化，但是就基因的角度來說交配池裡的基因是沒有任何增減的。突變就是希望能對交配池中的基因作些許的改變，以避免由於部分強勢但並非最佳的基因主導了演化的走向，導致最後收斂到了局部最佳而非全體最佳的解。所以在池中所有染色體的每個基因都會有突變率 p_m (mutation rate) 的機率作突變的可能。圖 3-6 以一個由二位元的基因組成的染色體為例，染色體上的每個基因都會骰一個從 0~1 均勻分布的骰子，當骰出的值小於突變率時就會產生突變，假設原本染色體上的基因是 0 由於發生了突變所以此時基因會變成 1。

雖然突變可以提供基因的多樣性，但是也會提高了演化的不穩定性而可能造成需要更多的世代才能收斂，而且也不能保證會讓下一個世代更好，甚至有可能會差。所以突變可以說是一把雙面刃，必須要謹慎的選擇所需要的突變率大小，才能幫助整個基因演算法可以在效能和複雜度上能更加的平衡。一般而言突變率通常都不高，以避免整個演化的過程隨機的含量太大而造成需要更多的計算和時間來完成演化的過程。在基因演算法中所扮演的角色通常是用來輔助交配函數，讓演算法掉進局部最佳解的機率降低。



圖 3-6 簡單的突變例子

3-6 新族群(new population)與精英策略(Best-so-far strategy)

在經過了挑選、交配和突變後，這時候在交配池中的所有染色體便會形成了下一代族群(population)。並且重新的由此新族群在重複一次演化的過程來產生下一代的族群。

在傳統的基因演算中，強勢的染色體通常會具有很高的機率可以生存到下一個世代。但是卻不能保證每一個世代中最強勢的染色體的適應值會比上一個世代來的更高，所以便有精英策略的改進策略。這個策略主要就是會讓每個世代的母體中都一定會有一個位置保留給上一世代中最強勢的染色體，以避免在經過了挑選、交配和突變的演化過程中，會出現最強勢染色體有可能會不如上一世代的情況出現。保留位置的方法也是可以自由的設計，一個簡單的方法便是將此一世代

中產生出的新族群中適應值最低的染色體由上一世代的最強勢染色體取代。經過許多實際的應用和測試都說明了此策略是可以改善基因演算法的效能。

3-7 終止條件(stop criterion)

終止條件有許多的實現方法，通常都要根據不同的問題去尋找一個合適的終止條件。最簡單的終止條件便是設定一個最大的世代數目，當我們的演算法在重複作演化到此一世代數目時便會停止。另一個適用於精英策略的終止條件是當我們最強勢的染色體的適應值不在有大的變動時便可結束演算法。當演算法滿足終止條件而結束時，此時母體中最強勢的染色體可以根據染色體的編碼回推出一個問題的解，而這個解便是我們藉由基因演算法所找出最適宜該問題的解。



第四章 中繼站之佈放位置最佳化方法

中繼站輔助之無線通訊系統被認為是未來可以提供高速率、高品質通訊服務的可行架構。中繼站的使用和佈放需要經過設計才能提升整體的系統效能，否則在沒有適當的設計下，中繼站的使用不僅不能使整體系統效能有所提升，甚至會比原本的蜂巢式系統的效能來的更差。

在探討固定式中繼站之無線通訊系統多數的文獻中，大部分都是針對中繼站的使用方法來作設計，不論是針對無線電資源的分配、傳輸路徑的選擇或是頻率規劃(frequency planning)大都是在固定中繼站佈放位置的情況下，去研究或是比較不同的設計對於整體系統在細胞容量、中斷機率(outage probability)及細胞涵蓋範圍等不同的系統效能指標上的影響。[10][11][12][13]

但是，中繼站的佈放位置一樣會對於中繼站所能提供的系統效能增益有很大的關係。雖然也有部分的文獻對於中繼站相較於基地台的距離有所討論，只是在這些文獻中，中繼站會被固定在某些連線上，以一常見的六角形的細胞為例，這些文獻都會固定中繼站必須位於基地台與六角形細胞之六個頂點間的連線並在此限制下去利用簡單的模擬去尋找基地台到中繼站之較佳的距離並以此距離和中繼站的位置限制來佈放中繼站。[14]

上述的文獻對於中繼站的佈放都是以較直觀的想法來佈放，並沒有對中繼站之佈放位置對系統效能的影響作進一步的考慮和數值分析。因為在不同的中繼站佈放的情況下，系統效能會有明顯不同的差異。因此在本章中，我們會考慮在某些現有標準的中繼站型態假設下。將中繼站的佈放問題轉化成一個最佳化問題，並且利用基因演算法來找出對於擁有最佳系統效能的中繼站佈放位置。

4-1 單一細胞之中繼站佈放位置最佳化

如同圖 4-1-1 我們考慮一個半徑為 R 之細胞，基地台位於細胞之正中央，總共有 N 個中繼站各自的位置以 r_j 向量表示用來幫助增進系統效能， m 向量則是用來表示使用者之位置，使用者會以均勻分佈的方式出現在細胞中。在本章中，我們會分別探討在有無細胞扇形區域化的前向鏈路(forward link)下，所加入之中繼站的佈放位置該落在何處才能讓系統在不同的假設與效能準則下的增益可以達到最高。接下來會對我們的系統模型作更詳細的描述。

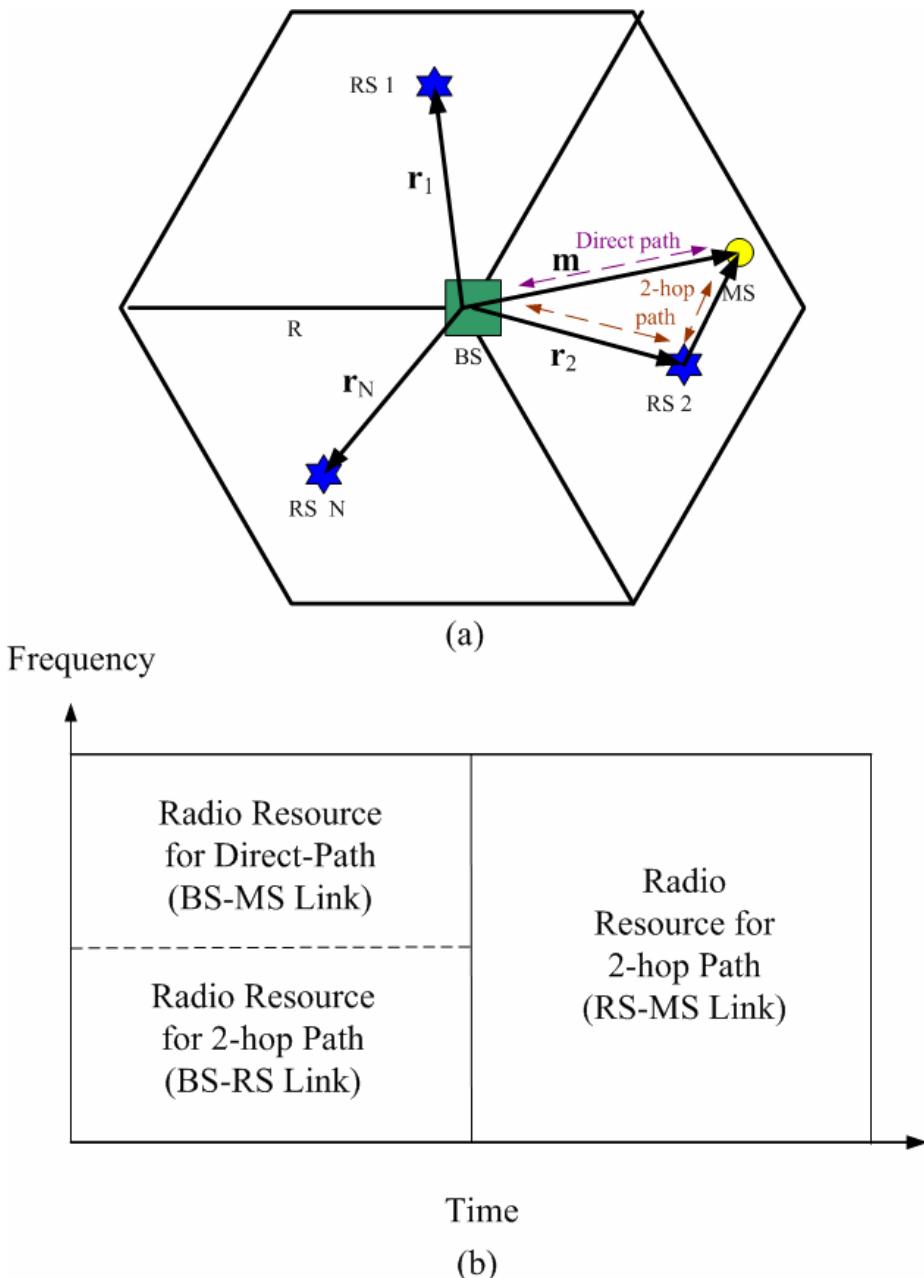


圖 4-1-1 (a)單一細胞架構下之中繼站輔助無線通訊系統 (b)不同鏈路所使用的無線電資源。

4-1-1 基本假設與模型

1. 中繼站系統類別 (Relay system) :

根據目前標準所制訂的中繼站類別，在本論文中所選用的中繼站系統為固定式、使用同頻技術的再生式中繼站，並且是半雙工系統(half duplex)。也就是所使用之中繼站，不能夠在同一時間進行接收來自基地台的訊號和轉傳信號給使用者此二動作。

2. 傳輸方式 (transmission protocol) :

使用者有兩種傳輸方式可以選擇，一種是直接由基地台透過單躍傳輸來服務使用者，又稱此種傳輸方式為選擇直接路徑(direct path)的傳輸方式；另一種傳輸方式則是基地台會先將訊息傳送至中繼站，再由中繼站轉送給使用者，藉著中繼站的輔助和多躍傳輸的方式來服務使用者。由於如第 2 章所提到的多躍傳輸會消耗額外的無線電資源，並且會隨著躍數的上升而增加，所以在此論文中所使用之多躍傳輸其躍數最多為 2，故又稱此傳輸方式為選擇二躍路徑(2-hop path)之傳輸方式。

3. 使用者的分布 (user distribution) :

由於使用者出現在不同的位置，會有不同的鏈路品質，而我們會以使用者在對不同位置所平均得到的效能，來探討使用了最佳佈建的中繼站相對於不使用中繼站之效能的增益。而使用者會以均勻分布的機率(uniform distribution)出現在細胞內的各處。

4. 通道模型(channel model)

在本論文中，我們單純的考慮路徑損失模型(pathloss model)，並且對於不同的鏈路會給予不同的路徑損失模型。主要會根據鏈路的傳送端與接收端是否在彼此的可視範圍內而決定是採用可視之路徑損失模型(LOS pathloss model)或是不可視之路徑損失模型(NLOS pathloss model)。

在論文中我們對於所有的中繼站均假設位於與基地台的彼此可視範圍內，這是因為固定式中繼站的佈放位置可以經過挑選或是人為的架高，來讓其位於在基地台之可視範圍內。因此，在基地台到各個中繼站之此段鏈路都是套用可視之路徑損失模型；而由於使用者是以均勻分佈的機率出現在細胞的各處，並沒有像固定式中繼站所擁有的特性，所以不論是從基地台到使用者或是從中繼站到使用者，都一律套用不可視之路徑損失模型(NLOS pathloss model)。

我們使用的路徑損失模式由式子 4-1-1 和 4-1-2 分別表示，其中 d 代表了傳輸端到接收端之距離。

$$PL_{LOS}(d)_{dB} = 23.8 \log_{10}(d) + 41.9 \text{ dB}$$
$$PL_{LOS}(d) = 10^{\frac{PL_{LOS}(d)_{dB}}{10}} \quad (4-1-1)$$

$$PL_{NLOS}(d)_{dB} = 40.2 \log_{10}(d) + 27.7 \text{ dB}$$
$$PL_{NLOS}(d) = 10^{\frac{PL_{NLOS}(d)_{dB}}{10}} \quad (4-1-2)$$

5. 天線模式 (antenna pattern)

當所探討的細胞若有使用細胞扇形區域化的技術將細胞分成 N_{sec} 個區域，則在基地台也會有 N_{sec} 根指向性天線以服務細胞之不同區域。基地台的每根指向性天線*i*會對不同的角度傳送訊號，以服務不同的扇形區域 S_i 。每根指向性天線*i*會有一個正對方向的單位向量 \mathbf{u}_i ，對於每個向量都可以定義出一個介於-180 度到 180 度間的主幅角 θ_i 。

$$\theta_i = \arg(\mathbf{u}_i)$$

由於指向性天線之特性，不同的角度差會有不同的天線增益，若我們有興趣的使用者之位置向量為 \mathbf{m} 其主幅角為 θ ，在根據位置向量屬於哪根指向性天線之服務區域，便可決定出角度差和進一步的決定出天線增益。

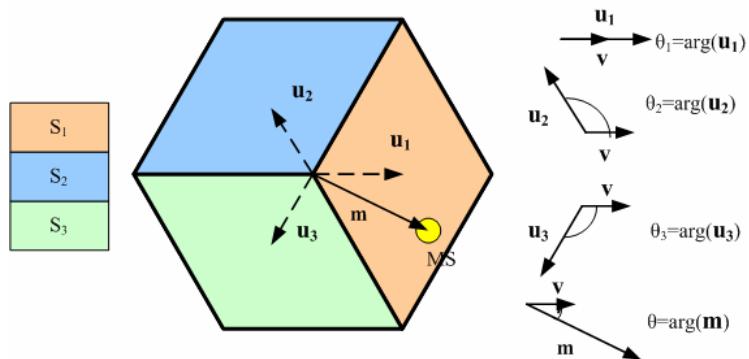


圖 4-1-2 簡單之 3-sector 之不同 boresight direction 及某個使用者之夾角示意圖，如果圖中之使用者之角度差為 $\theta - \theta_1$ ，因為圖中使用者是位在 S_1 (淡橘色區塊)。

參考目前現有的標準，我們會以式子 4-1-3 來描述我們的天線增益(antenna gain)，其所造成的效果會如圖 4-1-3 所示當所處位置與正對放向角度的角度差越大時，所得到的增益會越來越小。一般會用 θ_{3dB} 來描述增益相對於角度差的下降快慢， A_m 則是一個指向性天線用來描述當所處位置在指向性天線的作用範圍外的天線增益(front to back)。而 G 則是利用指向性天線所能得到的增益，也就是當所處位置與正對放向角度之角度差為 0 時可以得到的訊號增益。

$$\theta = \arg(\mathbf{m})$$

$$A(\theta)_{dB} = G - \min \left[12 \left(\frac{\theta - \theta_i}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad \text{if } \mathbf{m} \in S_i, \text{ where } -180 \leq \theta \leq 180 \quad (4-1-3)$$

$$A(\theta) = 10^{\frac{A(\theta)_{dB}}{10}}$$

3)

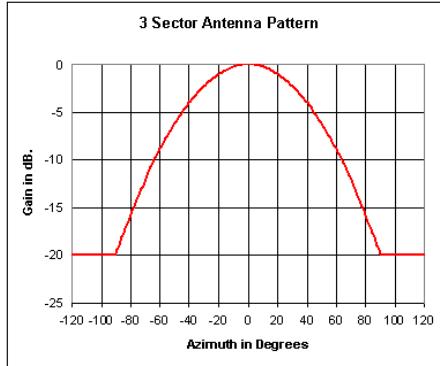


圖 4-1-3 3-sector 之天線模式，其中 G 為 15dB 而 θ_{3dB} 為 70 度，因此可以發現在角度差為 70 度時，所得到的 $A(\theta)$ 剛好為 3dB，圖中之縱軸還未加上增益 G 。

4-1-2 細部設定

1. 傳輸功率的設定 (power set up)

傳輸功率的設定可以分成對基地台的傳輸功率(BS transmit power)及中繼站的傳輸功率(RS transmit power)兩類。基本上，都是所傳送的功率要讓當使用者位於細胞任何位置時，仍然能夠維持在一個事先決定的頻譜效率(spectrum efficiency) S_{target} 之上。

就基地台的功率設定來說，由於基地台到使用者的頻譜效率可以寫成 4-1-4 式：

$$S(\mathbf{m}) = \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m})) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}\|)}{N_0} \right) \text{ bits/sec/Hz} \quad (4-1-4)$$

其中 p_T 為傳送功率頻譜密度(transmit power spectrum density)， N_0 是雜訊的功率頻譜密度，通常用一個高斯白雜訊的模型代表，若討論之情形為無扇形區域化時則天線增益 $A(\theta)$ 將會固定為 1。由於想要讓使用者位於細胞任何位置都至少能具有一定的頻譜效率 S_{target} 以上。所以此時設定的傳輸功率密度便是要使得在半徑為 R 之細胞外接圓上之位置能達到所要求之頻譜效率 S_{target} 。

若細胞有進行細胞扇形區域化，則在細胞邊緣上的使用者，會因為有不同的角度而有不一樣的天線增益，導致鏈路上的頻譜效率會有所差別。

當使用者位在細胞外接圓上的扇形區域邊緣(sector boundary)時能達到頻譜效率 S_{target} 。因為位在扇形區域邊緣會具有最大的角度差 θ_{bound} 導致有最小的天線增益，而位在細胞外接圓上則具有最大的路徑衰減。因此位在細胞外接圓上的扇形區域邊緣是整個細胞中頻譜效率最低之地方，所以這樣的設定可以確保當使用者位在細胞其他位置時至少能達到最低之頻譜效率 S_{target} 。由式子 4-1-4 便可反推出基地台所設定的傳送頻譜功率密度如(4-1-5)，其中 $A(\theta)$ 在細胞扇形區域化的情形下可以參考(4-1-3)式，若無扇形區域化則此時 $A(\theta)$ 固定為 1。

$$P_{BS} = \frac{(2^{S_{target}} - 1) \cdot N_0}{A(\theta_{bound}) \cdot PL_{NLOS}(R)} \text{ Watts/Hz} \quad (4-1-5)$$

對於中繼站之功率設定則與基地台會有一點出入，由於在中繼站我們是使用全向性天線(omni-directional antenna)，因此不需考慮天線增益。對於中繼站之功率設定的方法為針對不同的中繼站 R_j 必須能提供最靠近中繼站 R_j 之細胞外接圓上的位置達到 S_{target} 的頻譜效率，因此中繼站 R_j 所需要的傳送頻譜功率密度為：

$$P_{R_j} = \frac{(2^{S_{target}} - 1) \cdot N_0}{PL_{NLOS}(R - \|r_j\|)} \text{ Watts/Hz} \quad (4-1-6)$$

where $\|r_j\|$ denotes Euclidean norm of r_j

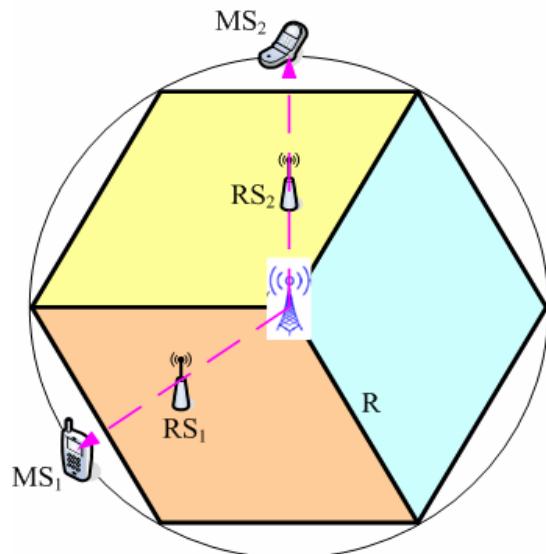


圖 4-1-4 中繼站之功率設定示意圖，中繼站 R_1 和 R_2 必須分別讓 MS_1 和 MS_2 都能達到 S_{target} 。

2. 頻譜重複使用

如同在第二章所提到之中繼站輔助無線系統的好處，中繼站們可以藉由在空間上錯開之特性，在中繼站到使用者的鏈路上重複的使用頻帶。雖然會引入了在相同頻帶上傳輸的同頻干擾而對鏈路品質有所影響，但卻可以更加積極的使用頻譜，使得系統的頻譜效率有可能可以得到提升。

此外，若有使用細胞扇形區域化技術，還可以利用基地台的多根指向性天線各自服務細胞不同區域之特性，一樣可以在基地台到中繼站和基地台到使用者的鏈路上重複的使用頻帶，若無使用細胞扇形區域化技術，則只能在中繼站到使用者此段鏈路上做頻率重複使用。

為了利用頻譜重複使用的好處，在中繼站到使用者這段鏈路中，我們會將中繼站們分成 $L_{RM} \leq N$ 個群組，每個群組會分享相同的無線電資源。則此段鏈

路之頻譜重複使用模式便可以由集合 $\mathbf{G}_{RM} = \{G_{RM,i}\}_{i=1 \sim L_{RM}}$ 來表示，其中 $G_{RM,i} = \{RS_{ji}\}$ 是第 i 個群組中所含的中繼站集合。

同樣的在基地台到使用者與基地台到中繼站也可以透過不同扇形區域間的區隔來重用頻譜。因此我們一樣事先的將扇形區域在兩段鏈路上各自分成 $L_{BM} \leq N_{sec}$ 和 $L_{BR} \leq N_{sec}$ 個群組，每個群組一樣會分享相同的無線電資源，則兩段鏈路之頻譜使用模式便可以分別由集合 $\mathbf{G}_{BM} = \{G_{BM,i}\}_{i=1 \sim L_{BM}}$ 及 $\mathbf{G}_{BR} = \{G_{BR,i}\}_{i=1 \sim L_{BR}}$ 來表示，其中 $G_{BM,i} = \{S_{ji}\}$ 和 $G_{BR,i} = \{S_{ji}\}$ 是兩段不同鏈路下第 i 個群組所含的扇形區域集合。而且三段鏈路的頻率重複使用模式會分別滿足下列三式：

$$\sum_{i=1}^{L_{RM}} |G_{RM,i}| = N, \text{ where } |G_{RM,i}| \text{ is the cardinality of } G_{RM,i}$$

$$\sum_{i=1}^{L_{BM}} |G_{BM,i}| = N_{sec}, \text{ where } |G_{BM,i}| \text{ is the cardinality of } G_{BM,i}$$

$$\sum_{i=1}^{L_{BR}} |G_{BR,i}| = N_{sec}, \text{ where } |G_{BR,i}| \text{ is the cardinality of } G_{BR,i}$$

3. 路徑選擇準則 (path selection criterion)

有了中繼站的輔助後，使用者與基地台間的通訊除了原本的直接路徑外還多了二躍路徑可以選擇。在本論文中我們使用的路徑選擇準則是以頻譜效率為基礎。使用者的路徑選擇會與基地台到使用者(BS-RS link)、基地台到中繼站(BS-RS link)和中繼站到使用者(RS-MS link)這三段鏈路的頻譜效率有密切關係，因此會先簡單介紹一下這三段鏈路之頻譜效率。

由於我們所採用的中繼站是再生式的中繼站，所以當訊號由基地台傳到中繼站時，中繼站收到訊號後會對訊號做解碼，然後再重新做編碼的動作。假設中繼站可以正確對訊號做解碼和重新編碼的動作，又我們考慮的通道模型是單純的路徑衰減模型，所以此時由中繼站到使用者此段鏈路的頻譜效率可以完全由中繼站的傳輸功率、中繼站到使用者之間的路徑衰減以及由於頻譜之重複使用所造成之細胞內之同頻干擾(intra-cell co-channel interference)決定；而基地台到中繼站及基地台到使用者，則是可以由基地台的傳輸功率、相對應的路徑衰減、天線增益與細胞內之同頻干擾所決定。需要特別注意的是，從基地台到中繼站的路徑衰減模式是可視之路徑衰減模式，和其他兩段鏈路所使用的路徑衰減模式不一樣，式子(4-1-7~4-1-9)分別表示出了在使用者位在三段鏈路的頻譜效率，一樣在沒有使用細胞扇形區域化技術時天線增益都固定為 1。而 $I_{B,M}$ 、 $I_{B,Rj}$ 和 $I_{Rj,M}$ 分別表示了三段鏈路上細胞內的同頻干擾功率密度。

$$S_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m})) PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}\|)}{N_0 + I_{B,M}} \right) \quad (4-1-7)$$

$$S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{r}_j)) \cdot PL_{LOS}(\|\mathbf{r}_j\|)}{N_0 + I_{B,R_j}} \right) \quad (4-1-8)$$

$$S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{R_j} \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{r}_j - \mathbf{m}\|)}{N_0 + I_{R_j,M}} \right) \quad (4-1-9)$$

我們的路徑選擇準則是以頻譜效率為基礎，而我們的傳輸路徑可以分為直接路徑和二躍路徑兩種。使用者會針對此兩種路徑的頻譜效率作比較，並且選擇頻譜效率較大的路徑來作為跟基地台作通訊之路徑。直接路徑的頻譜效率便如式子(4-1-7)所示，而二躍路徑因為牽涉了兩段鏈路為了傳送相同的資料需要多消耗一份的無線電資源，所以必須計算出二躍路徑的等效頻譜效率(effective spectrum efficiency)：

$$S_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \frac{1}{\frac{1}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})} + \frac{1}{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}} = \frac{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} \quad (4-1-10)$$

分母的第一項表示了傳送一個bit則在基地台到幫忙轉送的中繼站此段鏈路所需要消耗的無線電資源。而分母的第二項則是代表了傳送一個bit則在中繼站到使用者此段鏈路所需要消耗的無線電資源。所以分母可以解釋成選擇二躍路傳徑送一個bit總共消耗的無線電資源。因此 $S_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}$ 代表二躍路徑之等效頻譜效率。

在我們的路徑選擇準則下，當 $S_{B \rightarrow M} \geq S_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}$ 時使用者將會選擇直接路徑來與基地台通訊。反之，將會透過中繼站的幫忙，利用二躍路徑來與基地台通訊。

4. 使用者感受到之服務品質(Quality of end user experience)

在本論文中，我們考慮了以下兩種不同並且極端的使用者感受到之服務品質(QoE)：

I. 相同的頻寬 (equal bandwidth)

在這種分配準則下，不論使用者位在何處，經由哪種路徑來與基地台溝通，所分配到的無線電資源大小都是一樣的。由於不論經由何種路徑都只能分配到一樣大小之無線電資源w，所以當使用二躍路徑來傳輸時，必須進一步的將無線電資源分成兩份 $w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})$ 及 $w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 以提供給兩段鏈路使用。使用二躍路徑傳輸時，所能傳送之傳輸速度為二躍路徑等效之頻譜效率乘上所分配之頻寬在此以 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 表示透過中繼站 R_j 作二躍傳輸之等效的傳輸速度。由於 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \min\{T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}), T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})\}$ 並且在三者皆相等時會有最大的頻譜效率，因此我們便可以證明出二躍路徑的兩

段鏈路所需要消耗的頻寬 $w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})$ 及 $w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 為：

$$\begin{cases} w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = \frac{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} w_{\text{target}} \\ w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \frac{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} w_{\text{target}} \end{cases} \quad (4-1-11)$$

為了提供這種 QoE，系統的頻譜效率等同於使用者所經歷的等效頻譜效率之平均。為了最大化系統的頻譜效率，我們就必須最大化使用者在細胞中平均的等效頻譜效率。

Proof :

分別假設分配給 BS-RS 與 RS-MS 兩鍛鏈路頻寬為：

$$\begin{cases} w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = \left(\frac{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} + \alpha \right) w_{\text{target}} \\ w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \left(\frac{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} - \alpha \right) w_{\text{target}} \end{cases} \quad \text{where } \alpha \in \mathbb{R}, \alpha < w_{\text{target}}, \text{ and } \alpha \neq 0$$

如此一來 BS-RS 與 RS-MS 兩鍛鏈路上的傳輸速度便可計算出為：



$$\begin{aligned} T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) &= \left(\frac{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} + \alpha \right) w_{\text{target}} \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \\ &= \frac{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} w_{\text{target}} \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + \alpha \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) w_{\text{target}} \\ T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) &= \left(\frac{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} - \alpha \right) w_{\text{target}} \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \\ &= \frac{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} w_{\text{target}} \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) - \alpha \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) w_{\text{target}} \end{aligned}$$

則二躍路徑之等效傳輸速度為：

$$\begin{aligned} T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M} &= \min \left\{ \left(T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}^{(\text{opt})} + \alpha \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) w_{\text{target}} \right), \left(T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}^{(\text{opt})} - \alpha \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) w_{\text{target}} \right) \right\} \\ &< T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}^{(\text{opt})} = \frac{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} w_{\text{target}} \end{aligned}$$

由於所使用之頻寬為固定，所以當有最高的傳輸速度時即代表有最高的頻譜效率，由上述的利用反證法的證明可以發現當二躍路徑不是以 4-1-12 式的比例分配頻寬的話，則無法使得二躍路徑達到最佳的頻譜效率。

II. 均勻傳輸速度 (equal throughput)

這種QoE的訴求為不管使用者在細胞內的任意位置透過直接路徑或是二躍路徑，系統都會藉著調配頻寬的大小，來讓使用者能有固定之傳輸速度。當使用者位於細胞邊緣附近時，此時由於路徑衰減較大而造成鏈路品質和頻譜效率的低落，這時候為了維持相同的傳輸速度，則系統會需要花更多的頻寬來保證使用者能達到所規定之傳輸速度。反之，當使用者非常靠近基地台或是中繼站時，則此刻可以從直接路徑或二躍路徑上感受到非常優良的鏈路品質及頻譜效率，系統便可以分配很少的頻寬來供使用者達到需求。

因此，當我們以相同傳輸速度為訴求來分配無線電資源時，此時因為不論在任何位置透過任何路徑，使用者的傳輸速度都已經固定為一常數，所以為了最大化系統的頻譜效率，便應該最小化使用者在細胞中平均所消耗之頻寬。在二躍路徑傳輸下，若想要達到相同的傳輸速度 T_{target} 並同時消耗最低的頻寬，則兩段鏈路的頻寬分配將為：

$$w_{2-hop}^{(min)}(\mathbf{m}) = w_{B \rightarrow R_j}^{(min)}(\mathbf{m}) + w_{R_j \rightarrow M}^{(min)}(\mathbf{m}) = \frac{t_{target}}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})} + \frac{t_{target}}{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})}$$

Proof :

我們已經知道 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \min\{T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}), T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})\}$ ，為了使得 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = T_{target}$ 則

$$T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \cdot S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \geq T_{target}$$

$$T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \cdot S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \geq T_{target}$$

因此，對於頻寬的分配必須滿足下列條件：

$$\begin{cases} w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \geq \frac{t_{target}}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})} \\ w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \geq \frac{t_{target}}{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} \end{cases}$$

由於二躍路徑總共消耗的頻寬為兩段鏈路消耗頻寬之和，所以我們可以清楚的發現，當在固定傳輸速度的 T_{target} 情況下，滿足式子 4-1-12 的頻寬分配可以使二躍路徑有最低的頻寬消耗。

$$\begin{cases} w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = \frac{t_{target}}{S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})} \\ w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \frac{t_{target}}{S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})} \end{cases} \quad (4-1-12)$$

4-1-3 目標函數(Objective function)

為了讓中繼站輔助之無線通訊系統在前向鏈路的效能最大化，我們會尋找中繼站的最佳佈放位置。我們會對兩種不同的情況加以研究，一個是在給定頻寬下所能提供之平均的傳輸速率；另一個則是在給定的平均傳輸速率下所需要花費的頻寬，也就是考慮了在兩種極端的情況下，中繼站最佳佈放位置的探討。

首先，我們會將整個細胞切分成許多個 unit area 並且在各自的 unit area 上計算出所需消耗的頻寬以及所能達到的傳輸速度，最後在把整個細胞中所有 unit area 上消耗的頻寬和達到的傳輸速度總和起來以代表整個細胞的行為。

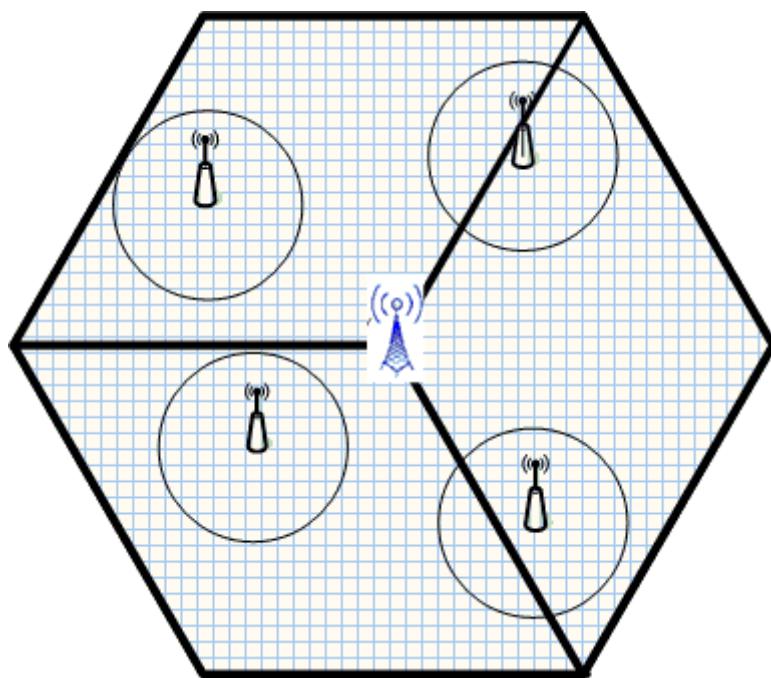


圖 4-1-5 將整個細胞切分成許多 unit area

如圖 4-1-5 把整個細胞切分成許多 unit area，讓 $w_{B \rightarrow M}(m)$ 、 $w_{B \rightarrow R_j}(m)$ 和 $w_{R_j \rightarrow M}(m)$ 分別表示當使用者之位置以 m 為中心位置從基地台到使用者、基地台到中繼站和中繼站到使用者所分配到每單位區域的頻寬($\text{bandwidth}/\text{m}^2$)，在給定 G_{BM} 、 G_{BR} 和 G_{RM} 的頻譜重複使用的模式下，則整個中繼站輔助之無線通訊系統所消耗的頻寬可以表示成：

$$W_{\text{cell}} = W_{\text{direct}} + W_{\text{2-hop}} \quad \text{Hz}$$

$$W_{\text{direct}} = \sum_{i=1}^{L_{BM}} \max_{S_i \in G_{BM,i}} \left(\int_{m \in \Omega_{B_i}} w_{B \rightarrow M}(m) \cdot dA \right)$$

$$W_{\text{2-hop}} = \sum_{i=1}^{L_{BR}} W_{B \rightarrow R,i} + \sum_{l=1}^{L_{RM}} W_{R \rightarrow M,l}$$

$$W_{B \rightarrow R_i} = \max_{S_k \in G_{BR,i}} \left(\sum_{j=1, R_j \in A_k}^N W_{B \rightarrow R_j} \right)$$

$$W_{R \rightarrow M,l} = \max_{R_j \in G_l} \{W_{R_j \rightarrow M}\}$$

$$W_{B \rightarrow R_j} = \int_{\mathbf{m} \in \Omega_{R_j}} w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \cdot dA$$

$$W_{R_j \rightarrow M} = \int_{\mathbf{m} \in \Omega_{R_j}} w_{R_j}(\mathbf{m}) \cdot dA$$

在這邊的 Ω_{R_j} 和 Ω_B 分別表示了由中繼站 R_j 所服務之區域以及在扇形區間 S_i 中由基地台所服務的區域。並且 $\{\Omega_{B1}, \dots, \Omega_{BNsec}, \Omega_{R1}, \dots, \Omega_{RN}\}$ 將會是整個細胞的一個分割(partition)。此外，在三段鏈路中理論上的傳輸速度分別為：

$$T_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) = w_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) S_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) \text{ bps/m}^2$$

$$T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) = w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) S_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) \text{ bps/m}^2$$

$$T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) S_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) \text{ bps/m}^2$$

其中三段鏈路的同頻干擾為

$$I_{B,M}(\mathbf{m}) = \begin{cases} \sum_{S_i \in G_{BM,k}} p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m}) - \theta_i) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}\|), & \text{if } S_i \neq S_j, \text{ and } S_j \in G_{BM,k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{B,R_j}(\mathbf{m}) = \begin{cases} \sum_{S_k \in G_{BR,l}} \sum_{R_i \in S_k} p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{r}_j) - \theta_k) \cdot PL_{LOS}(\|\mathbf{r}_j\|), & \text{if } R_i \neq R_j, \text{ and } R_j \in G_{BR,l} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$I_{R_j,M}(\mathbf{m}) = \begin{cases} \sum_{R_i \in G_{RM,k}} p_{R_i} \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m} - \mathbf{r}_i\|), & \text{if } R_i \neq R_j, \text{ and } R_j \in G_{RM,k} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

以 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 表示透過中繼站 R_j 作二躍傳輸之等效的傳輸速度，所以 $T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) = \min\{T_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}), T_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})\}$ 並且在三者皆相等時會有最大的頻譜效率。細胞內的傳輸速度之總和(aggregate throughput)為：

$$T_{cell} = T_{direct} + \sum_{j=1}^N T_{2-hop, R_j} \text{ bps}$$

其中

$$T_{\text{direct}} = \int_{\mathbf{m} \in \sum_i \Omega_{Bi}} T_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) dA$$

$$T_{2\text{-hop}, R_j} = \int_{\mathbf{m} \in \Omega_{R_j}} T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m}) dA \quad \text{bps}$$

對於給定固定頻寬之情況下，此時不論使用者使用直接路徑或是二躍路徑都會給定相同的頻寬 W_{target} ，因此 $W_{\text{target}} = W_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) = W_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + W_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ ，並且 $W_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})$ 和 $W_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 會以 4-1-12 之比例來分配所給定之頻寬；當情況為固定傳輸速度時，則系統將會透過分配 $W_{B \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 、 $W_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m})$ 和 $W_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 頻寬的大小來達成固定的傳輸速度 $T_{\text{target}} = T_{B \rightarrow M}(\mathbf{m}) = T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})$ 。在此兩種不同的設計準則下，我們所要追求的目標為找尋出中繼站的最佳佈放位置 \mathbf{r} ，使得系統的頻譜效率 S_{cell} 最高。

$$S_{\text{cell}} \doteq \frac{T_{\text{cell}}}{W_{\text{cell}}} \quad \text{bps/Hz}$$

由於系統的頻譜效率會與系統的路徑選擇方式有很大的關係存在，而我們所採用的路徑選擇方式為以頻譜效率為基礎之方式。所以在固定相同頻寬之準則下滿足下列情況系統將會選擇直接路徑來傳送：

$$\frac{T_{B \rightarrow M}(\mathbf{m})}{W_{\text{target}}} \geq \frac{T_{2\text{-hop}}(\mathbf{m})}{W_{\text{target}}} \quad \text{where } T_{2\text{-hop}}(\mathbf{m}) = \max_{R_j} \{T_{B \rightarrow R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})\}$$

而當在固定相同傳輸速度之準則下，選擇直接路徑傳送之條件則為：

$$\frac{T_{\text{target}}}{w_{B \rightarrow M}(\mathbf{m})} \geq \frac{T_{\text{target}}}{w_{2\text{-hop}}(\mathbf{m})} \quad \text{where } w_{2\text{-hop}} \doteq \max_{R_j} \{w_{B \rightarrow R_j}(\mathbf{m}) + w_{R_j \rightarrow M}(\mathbf{m})\}$$

根據上述之推導我們可以發現 T_{cell} 與 W_{cell} 都會是 \mathbf{r} 、 G_{BM} 、 G_{BR} 和 G_{RM} 的函數，所以系統的頻譜效率 S_{cell} 也將會是由此四項變數所決定，而我們的目標函數便可以寫成在給定 G_{BM} 、 G_{BR} 和 G_{RM} 去尋找一個最佳的佈放位置 \mathbf{r} 使得系統頻譜效率最高。

Given $\mathbf{G}_{\text{BM}}, \mathbf{G}_{\text{BR}}, \mathbf{G}_{\text{RM}}$

$$\mathbf{r} = \arg \left(\max_{\mathbf{r}} (S_{\text{cell}}(\mathbf{G}_{\text{BM}}, \mathbf{G}_{\text{BR}}, \mathbf{G}_{\text{RM}}, \mathbf{r})) \right)$$

4-2 多細胞架構下之中繼站最佳佈放

相對於 4-1 節，在本節中我們將不只考慮了單一細胞之系統架構，而是如圖 4-2-1 所示考慮了一個多細胞之系統架構，我們想要在 N_{cell} 個使用相同無線電資源且位置向量為 $\mathbf{b}_{j,target}$ 的目標細胞中分別加入多個中繼站來輔助傳輸，並且在這個情況下去尋找出各個目標細胞之中繼站的最佳佈放位置。多細胞架構與單一細胞架構最大之不同便是細胞間會有細胞間的互相干擾(inter-cell interference)，而讓整個系統的考量更貼近於現實之狀況。此外，對於每個目標細胞(target cell)，我們會考慮與目標細胞使用相同頻率之第一階層細胞們(first-tier cell)所造成的細胞間之同頻干擾，而且不論是目標細胞亦或是第一層細胞都會使用相同的扇形區域化技術。

對於目標細胞 j 的第一層細胞們內不同細胞之基地台之相對位置向量以 \mathbf{b}_{ij} 向量表示，而與 4-1 節一樣使用者會以位置向量 \mathbf{m} 均勻分佈的方式出現在細胞中，而 $\mathbf{m}_j (\mathbf{m}_j = \mathbf{m} - \mathbf{b}_{j,target})$ 向量則是用來表示使用者到目標細胞 j 基地台之位置。若我們想在目標細胞 j 中會佈建 N_j 個各自位置到目標細胞基地台的位置向量以 \mathbf{r}_{ij} 向量， $i=1 \sim N_j$ 表示在目標細胞 j 中之中繼站用來幫助增進系統效能。但是由於細胞間使用同樣頻率的關係，所以第一階層細胞會對各自的目標細胞產生細胞間的互相干擾。

為了簡化問題的複雜度，我們目前只先分別對每個目標細胞中的中繼站們最位置的最佳化，所以此時不管是哪段鏈路感受到的細胞間干擾都是由第一層細胞的基地台所產生。至於同時決定多個細胞間裡的所有中繼站位置的最佳化則細胞間的干擾可能是來自於基地台與中繼站，這種綜合性的考量是比較複雜的，所以可以在將來做進一步的探討。但在本論文中，目前仍然是各自細胞會有各自做中繼站最佳化的動作，還未進一步的探討同時決定在多個細胞間的所有中繼站位置最佳化。

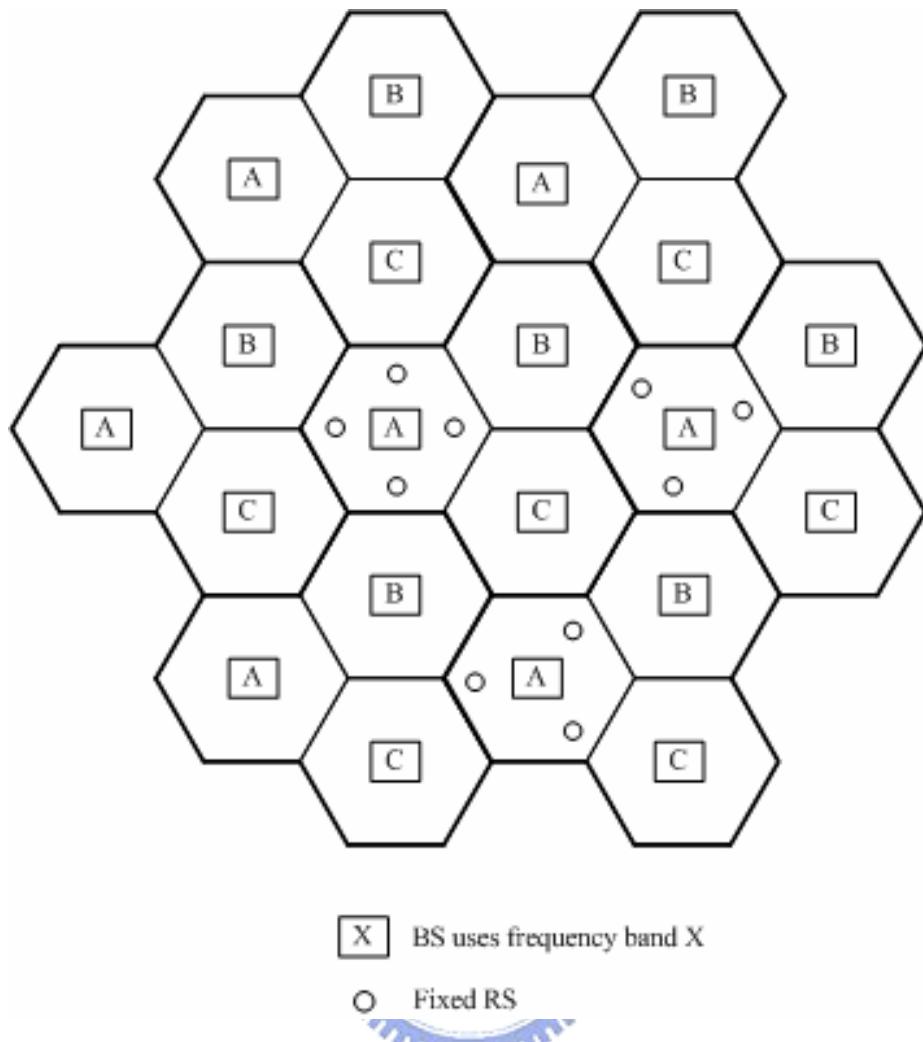


圖 4-2-1 多細胞架構下之中繼站輔助無線通訊系統

4-2-1 基本假設與模型

在多細胞之系統架構下，所使用之基本的假設與模型包括：中繼站系統類別、傳輸方式、使用者的分佈、通道模型與天線模型都與在單一細胞中一致，簡單之摘要如下，詳細的內容可以參考 4-1-1 小節

- 中繼站系統類別：固定式、使用同頻技術、半雙工之再生式中繼站。
- 傳輸路徑 ：直接路徑或二躍路徑。
- 使用者分佈 ：均勻分布。
- 通道模型 ：主要分為可視與不可視之路徑衰減模型。
- 天線模式 ：根據式子(4-1-3)決定所享受到之天線增益。

4-2-2 細部設定

細部設定一樣會根據單一細胞之設定的相同概念來實行，但是由於在多細胞架構下會引入了細胞間的同頻干擾，因此會有小幅度之修正。

1. 傳輸功率設定：

仍然是以當使用者位於細胞邊緣時，能維持在一個事先決定的頻譜效率 S_{target} 之上的概念來設定在多細胞架構下之基地台與中繼站之傳輸功率頻譜密度。在基地台之傳送功率頻譜密度之設定，考慮在透過直接路徑溝通能確保細胞中能達到最低之頻譜效率 S_{target} 之功率設定方法。

目標細胞 j 之基地台到使用者之頻譜效率在多細胞的架構下可以藉由引入細胞間之同頻干擾的功率頻譜密度 $I_{cell}(\mathbf{m}_j)$ 可以修正為

$$\theta_{identify}(\mathbf{m}_j) = \theta_i \quad \text{if } \mathbf{m}_j \in S_i \text{ in target cell } j$$

$$S(\mathbf{m}_j) = \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m}_j) - \theta_{identify}) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j\|)}{N_0 + I_{cell}(\mathbf{m}_j)} \right) \text{ bits/sec/Hz}$$

$$I_{cell}(\mathbf{m}_j) = \sum_i \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}) - \theta_{identify}) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}\|)}{N_0} \right)$$

為了確保在細胞內所有位置都能夠至少維持 S_{target} 之頻譜效率，必須在鏈路品質最差的位置能達到 S_{target} 之頻譜效率。根據觀察發現當使用者位置在在細胞邊緣上的扇形區域邊緣時，會有最小的鏈路品質並且有最大之角度差 θ_{bound} 。因此，便會以此位置來設定基地台的傳送功率密度，經由推導可知基地台之傳送功率密度為：



$$\rho = PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j\|)$$

$$P_{BS} = \frac{(2^{S_{target}} - 1) \cdot N_0}{A(\theta_{bound}) \cdot \rho - \sum_{i \neq j} (2^{S_{target}} - 1) \cdot A(\arg(\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}) - \theta_{identify}) \cdot \rho} \quad (4-2-1)$$

中繼站之傳送功率設定概念與單一細胞一致，希望能針對目標細胞 j 中不同的中繼站 R_{kj} 必須能提供最靠近中繼站 R_k 之細胞外接圓上的位置達到 S_{target} 的頻譜效率。所以我們可以知道其傳送功率密度為：

$$P_{R_{ij}} = \frac{(2^{S_{target}} - 1) \cdot (N_0 + I_{cell}(\mathbf{m}_j))}{PL_{NLOS}(R - \|\mathbf{r}_{ij}\|)} \text{ Watts/Hz} \quad (4-2-2)$$

where $\|\mathbf{r}_{ij}\|$ denotes Euclidean norm of \mathbf{r}_{ij}

2. 頻譜的重覆使用

在多細胞架構下對於頻譜重複使用之議題，在論文中將著眼於基地台到中繼站和中繼站到使用者這兩段鏈路上。因為根據單一細胞的模擬結果，可以發現到當我們在BS-MS鏈路上作頻譜使用時，會有outage probability的產生，也就是不能保證整個細胞都能維持最低的頻譜效率 S_{target} ，會與我們的系統假設互相矛盾所以在多細胞中便先不考慮。而其他兩段鏈路之頻譜共用方法則

與單一細胞中一致，並且利用 $G_{(BR)j}$ 和 $G_{(RM)j}$ 來分別表示不同目標細胞j之頻譜重複使用模式。

3. 路徑選擇方式

路徑選擇的方式仍然是以等效之頻譜效率來當作依據，此時除了頻譜共用所造成的細胞內的同頻干擾 $I_{Bj,M}$ 、 $I_{Bj,Rij}$ 和 $I_{Rij,M}$ 外，還多須考慮了細胞間的同頻干擾 $I_{cell,BM}(\mathbf{m}_j)$ ， $I_{cell,BR}(\mathbf{m}_j)$ 及 $I_{cell,RM}(\mathbf{m}_j)$ 。則使用者在三段鏈路之頻譜效率為

$$S_{B_j,M}(\mathbf{m}_j) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} \cdot A(\theta_{diff}(\mathbf{m}_j)) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j\|)}{N_0 + I_{B_j,M} + I_{cell,BM}(\mathbf{m}_j)} \right) \quad (4-2-3)$$

$$S_{B_j,R_{ij}}(\mathbf{m}_j) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{BS} \cdot A(\theta_{diff}(\mathbf{r}_{ij})) \cdot PL_{LOS}(\|\mathbf{r}_{ij}\|)}{N_0 + I_{B_j,R_{ij}} + I_{cell,BR}(\mathbf{r}_{ij})} \right) \quad (4-2-4)$$

$$S_{R_{ij},M}(\mathbf{m}_j) = \log_2 \left(1 + \frac{P_{R_{ij}} \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{m}_j\|)}{N_0 + I_{R_{ij},M} + I_{cell,RM}(\mathbf{m}_j)} \right) \quad (4-2-5)$$

根據式子(4-1-10)的類似方法便可計算出再不同目標細胞 j 中二躍路徑之等效頻譜效率，並與(4-2-3)之直接路徑的頻譜效率相比，來決定經由哪條路徑服務使用者。其中細胞間之同頻干擾在 BS-RS 鏈路中，我們依舊假設對於不同的基地台，目標細胞之中繼站都與之處於彼此的可視範圍內，因此細胞間之同頻干擾為

$$I_{cell,BM}(\mathbf{m}_j) = \sum_i \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}) - \theta_{identify}(\mathbf{m}_j)) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}\|)}{N_0} \right)$$

$$I_{cell,BR}(\mathbf{r}_{ij}) = \sum_k \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{b}_{kj}) - \theta_{identify}(\mathbf{r}_{ij})) \cdot PL_{LOS}(\|\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{b}_{kj}\|)}{N_0} \right)$$

$$I_{cell,RM}(\mathbf{m}_j) = \sum_i \log_2 \left(1 + \frac{p_{BS} \cdot A(\arg(\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}) - \theta_{identify}(\mathbf{m}_j)) \cdot PL_{NLOS}(\|\mathbf{m}_j - \mathbf{b}_{ij}\|)}{N_0} \right)$$

4. 使用者感受到之服務品質

- I. 相同的頻寬分配 (equal bandwidth allocation)
- II. 均勻傳輸速度分配 (equal throughput allocation)

4-2-3 目標函數(Objective function)

對於多細胞架構下之目標函數其實與單一細胞下大致相同，一樣是討論固定頻寬和固定傳輸速率此兩種極端之情形。此時，目標函數的變化其實跟單一細胞架構下之推導相同，一樣先把整個細胞切分多個unit area在進一步的去做推導。只是這時我們的基地台與中繼站的傳送功率密度皆有所改變，並且三段鏈路的頻譜效率 $S_{B \rightarrow M}(m)$ 、 $S_{B \rightarrow R_j}(m)$ 和 $S_{R_j \rightarrow M}(m)$ 除了要考慮細胞內的同頻干擾 $I_{B,M}$ 、 I_{B,R_j} 和 $I_{R_j,M}$ 外，在三段鏈路中都需額外的考量進細胞間之同頻干擾 $I_{cell}(m_j)$ 。所以在 4-1-3 之推導中須將基地台與中繼站之傳送功率密度與三段鏈路的頻譜效率修正為(4-2-1~4-2-5)即可，詳細的目標函數推導過程便參照 4-1-3 小節。因此我們仍然可以依照不同之兩種情況在給定了頻率重複使用模式與路徑選擇的條件下，去找出最佳的中繼站佈放位置 r 使得整體的系統效率 S_{cell} 最高。

$$\begin{aligned} & \text{Given } G_{BM}, G_{BR}, G_{RM} \\ & r = \arg \left(\max_r (S_{cell}(G_{BM}, G_{BR}, G_{RM}, r)) \right) \end{aligned} \quad (4-2-6)$$

4-3 基因演算法

根據不同細胞架構所推導出來的目標函數，我們所想要求之最大化系統頻譜效率的中繼站佈放位置通常都是一个非常複雜的非線性函數，而且也找不出此目標函數的導函數，所以我們在此會利用基因演算法來解此最佳化的問題。接下來會介紹我們如何將基因演算法運用到我們的問題上，同時為了簡化起見，我們將會把整個細胞細切成多個格點。這樣一來不僅能與我們之前目標函數之推導相互配合還可以利用累加的動作來逼近積分之動作，以簡化整個最佳化問題。

4-3-1 染色體編碼與目標函數

由於我們想對中繼站之位置作最佳化，因此我們會將每個中繼站之位置相對於x-y平面座標之位置求出來，並且x座標和y座標都相當於一個基因。以一位置向量為 r_j 為例，其主幅角為 $\theta_j = \arg(r_j)$ ，則其x座標與y座標分別為 $x_j = r_j \cos(\theta_j)$ 與 $y_j = r_j \sin(\theta_j)$ 。當我們有N個中繼站要坐位置之最佳化時，可以得到 $2N$ 個座標，將此 $2N$ 個座標所排列形成的列向量便會構成我們基因演算法中的染色體 Chromosome = { $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N$ }。

目標函數則是根據我們在不同之細胞架構下會有所差異，不過大致上都是 4-2-6 的形式，在給定頻譜重複使用模式與路徑選擇模式下去找出最大化系統頻譜效率的中繼站位置。

4-3-2 初始族群

假設所設定之族群規模為 Λ ，則每個世代都會維持有 Λ 個染色體來進行演化，我們初始族群的給定方式是由隨機產生的。每個染色體中的座標位置基因都是隨機產生，但是由於我們將整個細胞切成多個格點來簡化問題，因此所產生之座標位置將會以最靠近之格點的座標取代。

4-3-3 計算

這個步驟是要將每個染色體都根據目標函數去計算出各自的適應值，以供演化時做為此染色體是否適於生存的依據。由 4-2-6 式及之前的章節可以看出我們是以位置向量來做推導，但是我們卻是以座標來當作是染色體之基因。這主要是位了再推導時能夠比較清楚簡便的表示，所以透過向量來傳達，至於真正在利用我們的基因演算法計算適應值時，我們仍然會是把所有的向量都轉回至 $x-y$ 平面上來操作的。所以在這個步驟中，我們將以染色體所給定之所有中繼站之位置去計算出在此位置以及給定的條件下的系統效能 S_{cell} ，並以此值當作是該染色體之適應值。

4-3-4 挑選

挑選的方法與傳統會有一些差異，在進入挑選的程序後我們會將部份適應值較差的染色體給淘汰掉，淘汰掉的個數會是由交配率乘上族群規模。而且被保留下來較優秀的染色體將會確定可以進入下一個世代，可以將其看成是精英策略的一個推廣。

至於挑選我們則是將其應用在父母染色體的選擇上，我們將會從被保留下來的染色體中利用輪盤法來分別挑選出父親與母親染色體，並且規定父親與母親不能是同一個染色體，以加強交配時有更多的基因多樣性。雖然不同染色體可能具有相同之基因，但是此種方法仍可在初期時有明顯的作用。輪盤法的利用則可以讓優秀染色體有更高的機率成為父母染色體而把優良的基因留在族群中。

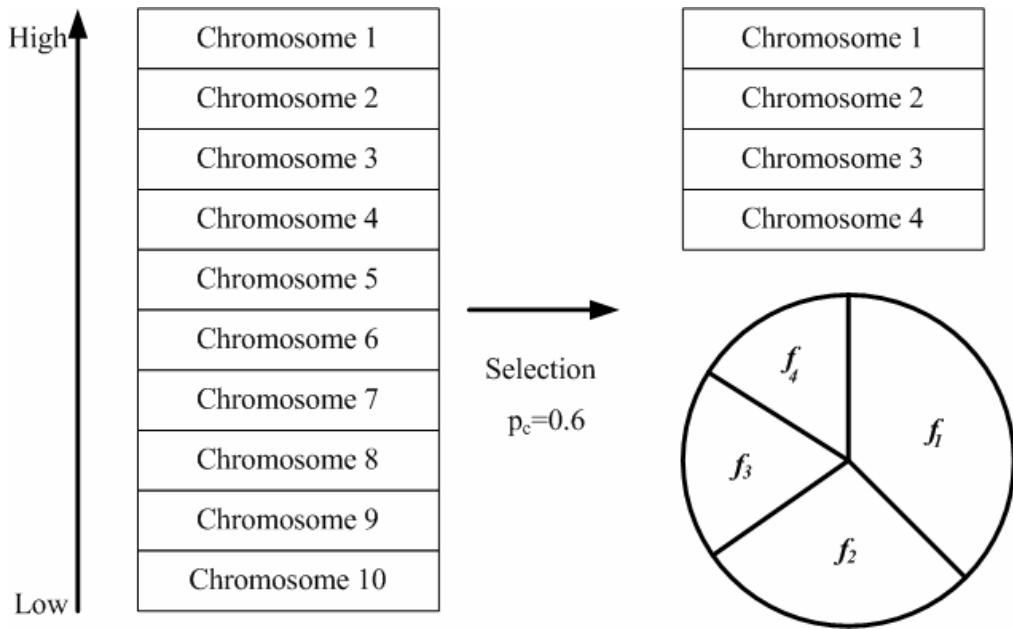


圖 4-3-1 在交配率為 0.6 時，經 selection 後保留了 4 個染色體，並利用輪盤法的概念來挑選其餘 6 個染色體的父母染色體

4-3-5 交配

在交配我們則是套用多點交配法，每兩個基因便會有一個交換地點，也就是以一個中繼站為單位作多點的交配。在我們的交配程序中，選擇出的兩個父母染色體並不會被產生的子代染色體取代。並且只交配出一個子代染色體，此產生出的子代染色體便會去填入剛剛在挑選程序所淘汰掉的染色體的位置，直到染色體的數目回復到族群規模之大小。

在染色體的編碼是以實數域來做編碼時，為了避免演化的過程被少數的基因給主導，通常在每一個基因會加入了一個平均值為 0 的隨機小擾動來提高演化過程中基因的多樣性。在我們的交配程序中我們也會引入此一概念，對於交配後所產生的子代染色體中的每個基因都會加入一個小擾動，此小擾動是呈現平均值為 0 而變異數為 1 之高斯分布。最後，在根據新產生出來之基因所攜帶之座標找出最接近的格點座標來取代。

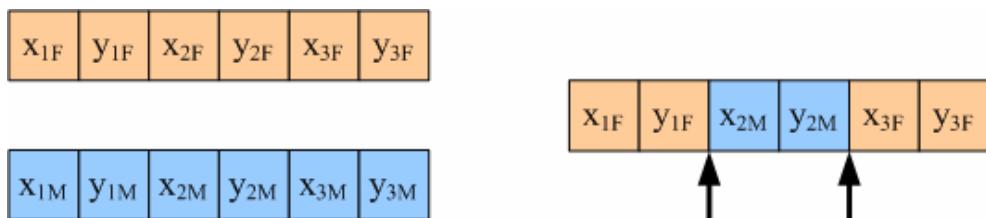


圖 4-3-2 利用兩個父母染色體產生一個子女染色體，以中繼站為單位間隔的拿取父親和母親之中繼站位置。

4-3-6 突變

突變在我們的程序中會隨著交配動作而發生，每一個經歷完交配動作的染色體會馬上進入突變程序。染色體中的基因一樣會以中繼站為單位，屬於同一個中繼站的座標基因會有突變率 p_m 的機率發生突變。當突變發生時，此時該中繼站將會重新的隨機產生，反之，則維持原本交配完之結果而不對該中繼站之基因做任何更動。突變可以讓我們引入更多原本不在族群內部的基因，因此可以避免了由少數基因主導演化而落入了局部最佳的困境。突變越多雖然越能避免落入局部最佳的可能，但也會令整個演化的收斂過程比較緩慢。

4-3-7 停止條件

在停止條件的部分我們採取最簡單的停止條件方式，便是設定一個夠大的世代數，讓基因演化的過程在達到此世代數時便會停止，而由於所選取的世代數通常都夠大，所以大部分都可以收斂。



第五章 數值分析結果

在本章中我們會利用電腦模擬分別呈現在單一細胞和多細胞架構下，利用基因演算法的幫助，在不同的傳輸功率、頻率使用模式和固定頻寬或固定傳輸速度等不同的情況下，所尋找出之可以使系統頻譜效率最高的中繼站最佳位置。

為了計算上的方便和簡化，在真正的模擬中我們會將整個細胞切成許多的格點，再套用黎曼和(Riemann sum)的概念，進一步的將目標函數中複雜並較難計算的積分以簡單的總和(summation)取代。接下來在本章中，我們會提供我們的模擬結果並對其進行分析。

5-1 參數設定

- 細胞半徑 R 為 2000m。
- $S_{target} = 0.5 \text{ bits/sec/Hz}$ 。 S_{target} 在本論文中通常定義為 0.5，這是因為在眾多的標準下，最低且最堅韌的傳輸方式大都是以BPSK二分之一code rate來傳送，而此種傳輸方式之頻譜效率剛好為 0.5。
- 路徑衰減模型參照第四章之(4-1-1)和(4-1-2)式，在基地台到中繼站為可視之路徑衰減，而基地台到使用者與中繼站到使用者則為非可視之路徑衰減。
- 由於考慮了 3-sector 和 6-sector 兩種扇形區域化之細胞，所以以表格 5-1 分別表示出其相對應之天線模式的參數。 G 為boresight direction上之增益， A_m 為front to back的增益值， θ_{3dB} 則是用來描述天線增益對於角度差之敏感程度。

Sector number	3	6
G	15dB	15dB
A_m	20dB	23dB
$\theta_{3dB}(\text{degree})$	70	35

表 5-1-1 天線模式之參數列表

- 基因演算法之參數設定，包括族群規模、交配率、突變率以及用來當終止條件之最大世代數。

Sector number	3	6
族群規模	100~700	100~700
交配率	0.5~0.6	0.5~0.6
突變率	0.01~0.2	0.01~0.2
終止條件	300~500	300~500

表 5-1-2 基因演算法之參數列表

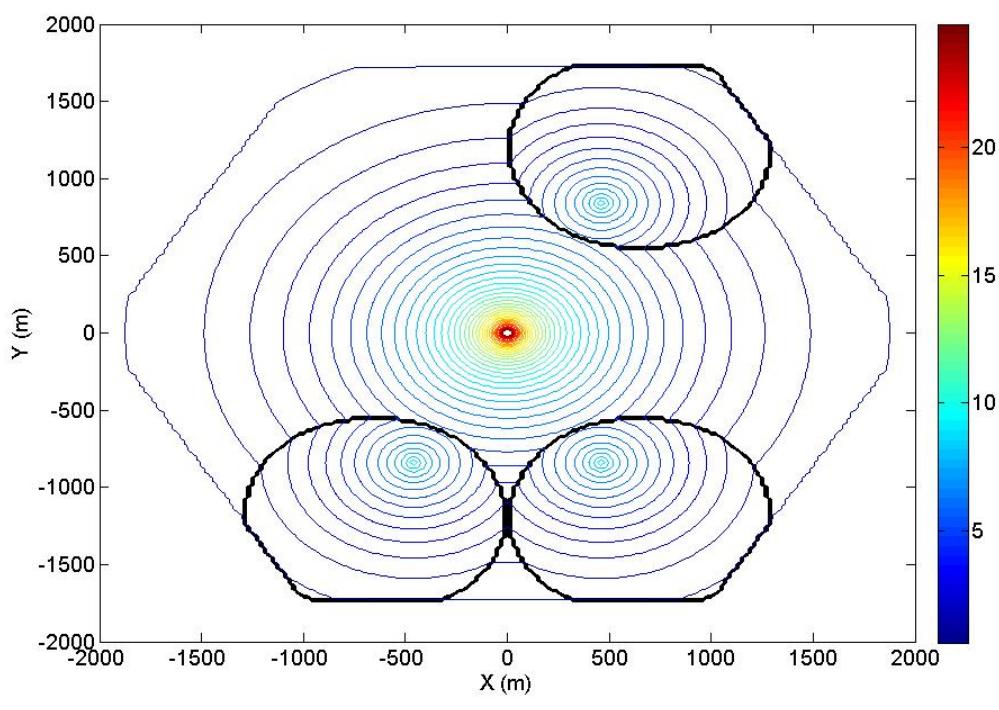
在實際的程式模擬中必須根據不同的頻率重複使用模式，適當的調整所使用的基因演算法參數，以確保演算法能夠正確的運作，而不容易落入 local optimum。一般來說，當頻率重複使用模式在中繼站到使用者此段鏈路不是全部共用或全部不共用時，較容易出現演算法會進入局部最佳的情形，所以在這種情況下要適度的去調大族群規模、突變率和終止條件的世代數，以讓演算法正常運作。

5-2 單一細胞架構

5-2-1 無扇形區域化之單一細胞

- 不同的中繼站個數

在無扇形區域化且 RS-MS 不共用頻譜的情形下，在兩種不同設計準則的情況下可以看出中繼站的位置在中繼站個數較少時，中繼站的分布位置可以有較多的選擇，但是仍然會落在基地台與細胞頂點的連線上。因為當中繼站位於該位置時，其有效的涵蓋範圍會比較大即圖中之黑線所圍繞之區域，在觀察模擬的結果時，若中繼站個數 $N < 6$ 時則此時中繼站之位置只要位在該連線上即可，所以此時及時在相同條件下重新模擬可能中繼站的位置一個會落在連線上，只是可能會是不同的連線上而造成分佈好像有差異之感覺。但當中繼站個數 $N = 6$ 時，則此時中繼站的位置便會穩定的落在 6 條基地台與頂點間的連線。



(a)

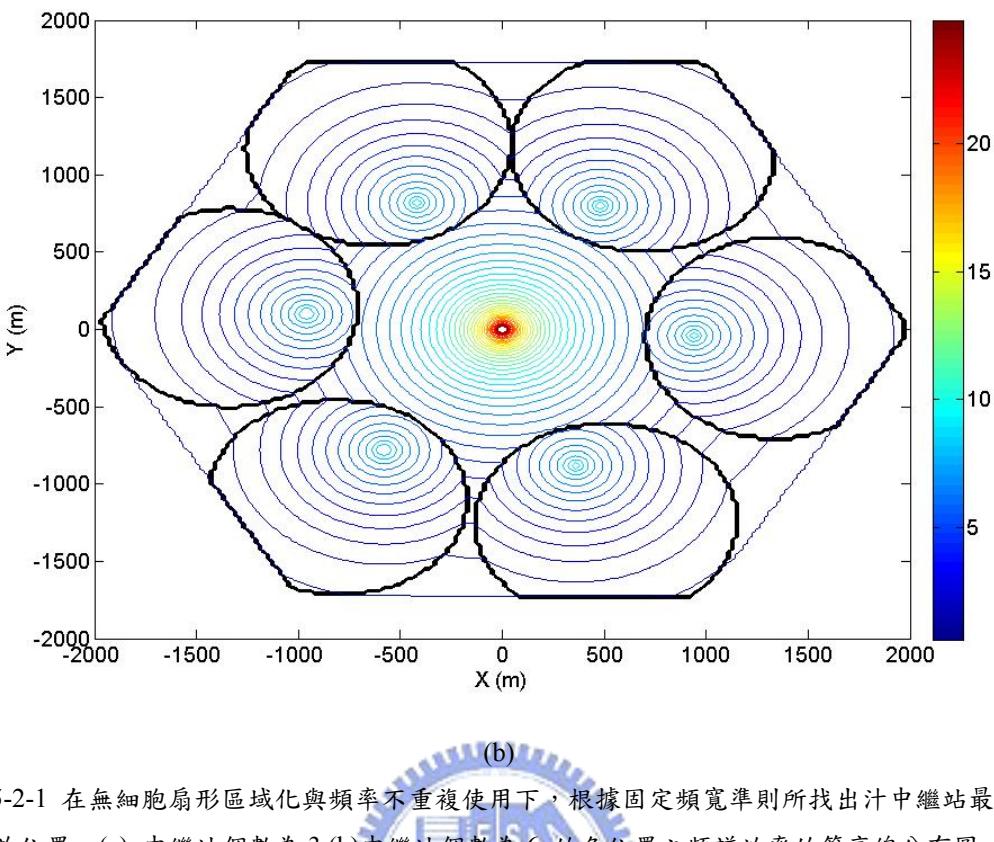


圖 5-2-1 在無細胞扇形區域化與頻率不重複使用下，根據固定頻寬準則所找出汁中繼站最佳佈放位置 (a) 中繼站個數為 3 (b) 中繼站個數為 6 的各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定頻寬	固定頻寬
中繼站個數	3	6
G_{RM}	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-17.43 (dB/Hz)	-17.43(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	2.74(bits/sec/Hz)	2.74(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	957(m)	947(m)
S_{cell}	3.10(bits/sec/Hz)	3.46(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	64.69%	29.31%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	64.68 : 6.83 : 28.49	29.31 : 13.74 : 56.95

表 5-2-1 固定頻寬準則下不同中繼站數目分別的系統模擬結果

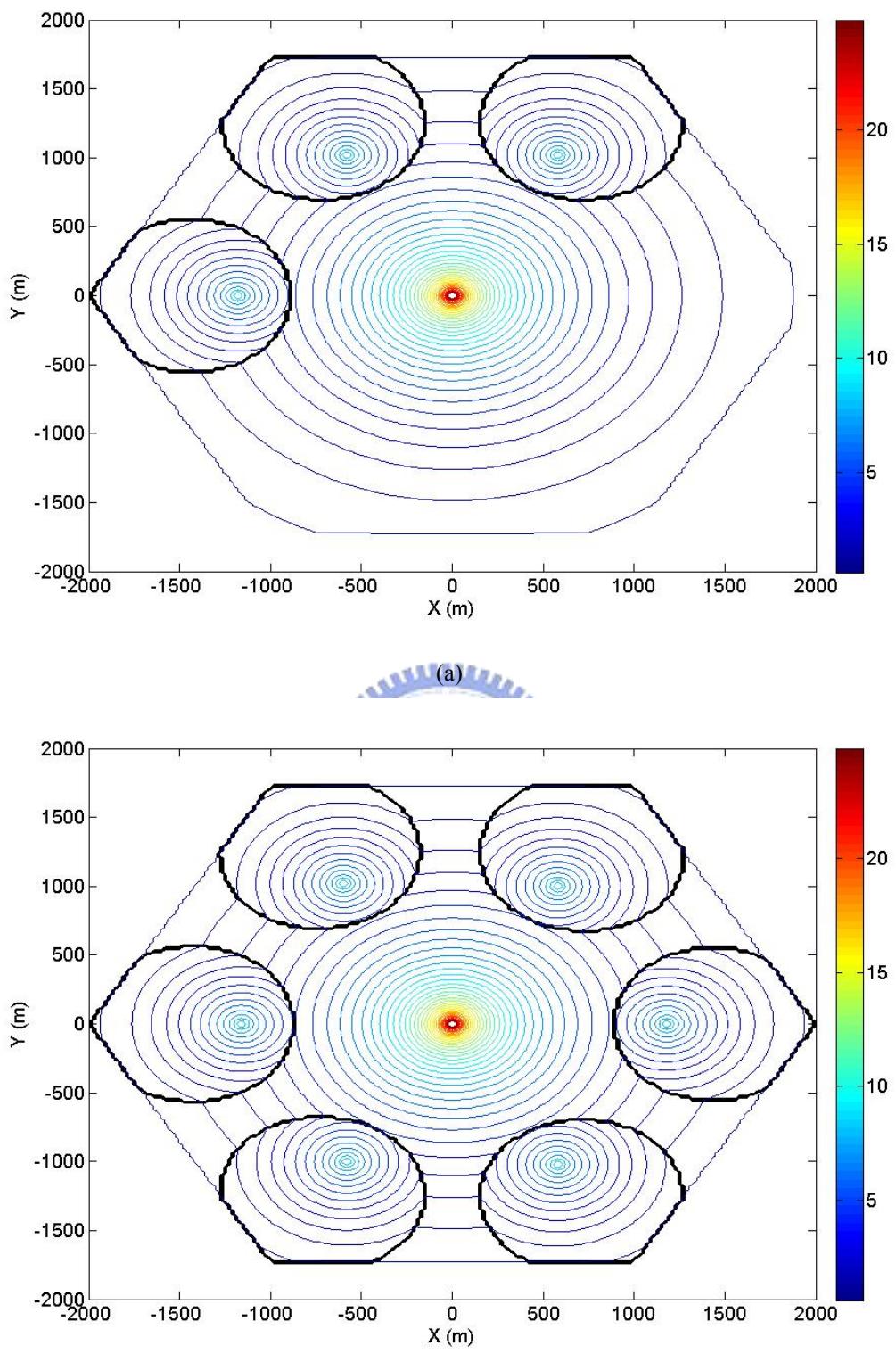


圖 5-2-2 在無細胞扇形區域化與頻率不重複使用下，根據固定傳輸速度準則所找出汁中繼站最佳佈放位置 (a) 中繼站個數為 3 (b) 中繼站個數為 6 的各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
中繼站個數	3	6
G_{RM}	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}\}$	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-17.43 (dB/Hz)	-17.43(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜 效率	1.56(bits/sec/Hz)	1.56(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1176(m)	1168(m)
S_{cell}	1.77(bits/sec/Hz)	2.06(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	73.39%	46.20%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	75.01 : 3.41 : 21.58	41.33 : 8.01 : 50.66

表 5-2-2 固定傳輸速度準則下不同中繼站數目分別的系統模擬結果

● 頻率重複使用

在頻率重複使用的情況下，此時為了避免使用相同無線電資源造成的細胞內同頻干擾，這時中繼站的位置仍會落在基地台到頂點的連線上，但是中繼站彼此間會互相拉開距離以降低細胞內同頻干擾的影響，可以從圖 5-2-1 (a)與圖 5-2-3 和圖 5-2-2 (a)與圖 5-2-4 觀察到此現象。

另外，使用了頻率共用可以讓二躍路徑在系統中變的更為強勢一點。因為此時二躍路徑有頻率重複使用，所以相對於無頻率重複使用的二躍路徑可以更有效率的使用頻率，因此可以發現在有頻率重複使用的情形下，由中繼站服務的區域百分比會上升，也就是由基地台服務的區域百分比會下降。

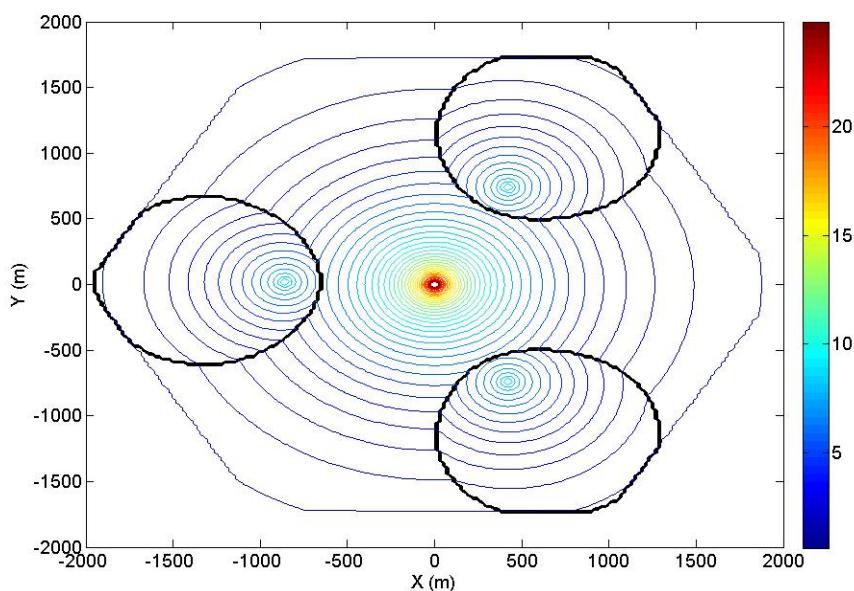


圖 5-2-3 在無細胞扇形區域化但是 RS-MS link 頻率重複使用下，根據固定頻寬準則所找出之中繼站最佳佈放位置的各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定頻寬	固定頻寬
中繼站個數	3	3
G_{RM}	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}\}$	$\{\{R_1、R_2、R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-17.43 (dB/Hz)	-17.43(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜 效率	2.74(bits/sec/Hz)	2.74(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	957(m)	853(m)
S_{cell}	3.10(bits/sec/Hz)	3.81(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	64.69%	63.46%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	64.68 : 6.83 : 28.49	79.14 : 8.43 : 12.43

表 5-2-3 固定頻寬準則下，頻率重複使用有無的系統模擬結果

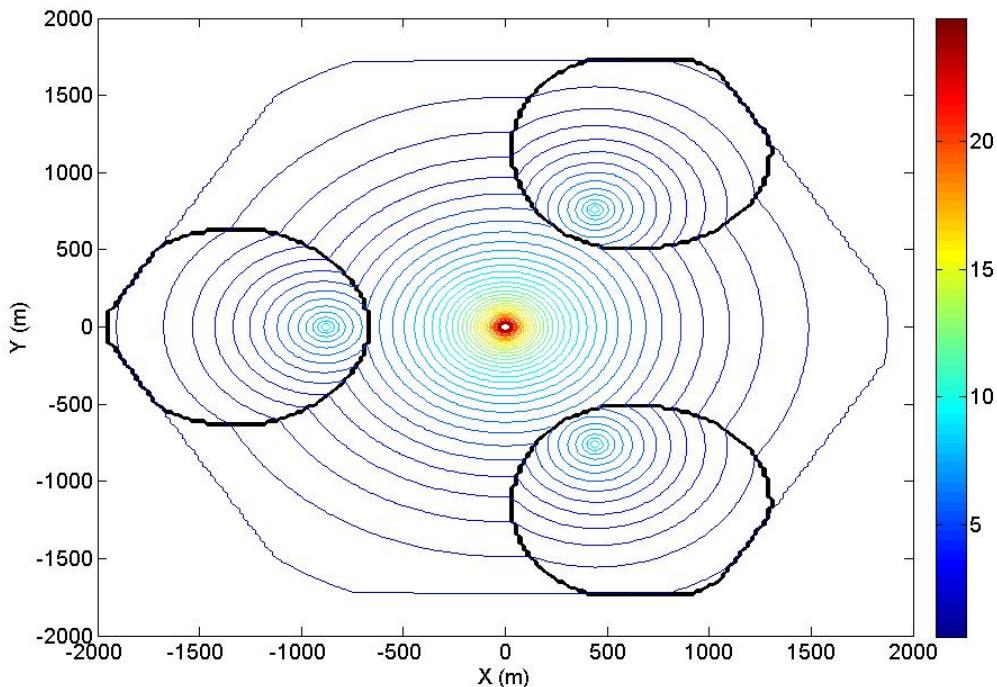


圖 5-2-4 在無細胞扇形區域化但是 RS-MS link 頻率重複使用下，根據固定傳輸速度準則所找出之中繼站最佳佈放位置之各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
中繼站個數	3	3
G_{RM}	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}\}$	$\{\{R_1、R_2、R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-17.43 (dB/Hz)	-17.43(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜 效率	1.56(bits/sec/Hz)	1.56(bits/sec/Hz)

中繼站平均距離	1176(m)	879(m)
S_{cell}	1.77(bits/sec/Hz)	2.15(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	73.39%	63.97%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	75.01 : 3.41 : 21.58	82.30 : 5.23 : 12.47

表 5-2-4 固定傳輸速度準則下，頻率重複使用有無的系統模擬結果

5-2-2 扇形區域化之單一細胞

● 不同的設計準則情形

一開始我們先對於沒有作任何頻率重複使用的情況($G_{BM} = G_{BR} = \{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$ 而 $G_{RM} = \{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$)，在此情況下不論是固定頻寬亦或是固定傳輸速度兩種不同情形，我們最後都會發現中繼站的位置會落在細胞扇形區域化的邊緣上。由於我們是根據頻譜效率來選擇要經由哪種路徑來與基地台溝通，當使用者選擇二躍路徑傳輸便表示了此時使用者由二躍路徑所能獲得之頻譜效率比直接路徑來的高。在系統沒有重複使用頻率的情況下，中繼站服務區域中二躍路徑對於直接路徑的頻譜效率增加值(spectrum efficiency gain)的總和便可以完全代表系統效能。而頻譜效率之增加值又可以由平均之頻譜效率增加值(average spectrum efficiency gain)與中繼站的服務區域大小兩者所決定。

受到細胞扇形區域化之影響，在相對於基地台同等距離下，在扇形區域的邊緣上所感受到來自基地台的訊號雜訊比會比在細胞之其他區域還來的小。這主要是因為雖然與基地台具有同等距離而有相同大小的路徑衰減，但是在扇形區域邊緣上所能獲得的天線增益卻是比細胞中的其他地方還來的小，造成了來自基地台的訊號雜訊比的下降，由於訊號雜訊比與頻譜效率呈現正比關係，所以由直接路徑來的頻譜效率在扇型區域邊緣也會比起細胞內與基地台同等距離之其他位置來的較差。

因為扇形區域邊緣的位置在直接路徑的頻譜效率相對於細胞其他位置來說是比較弱勢的，所以當中繼站佈放在這些位置時相對於中繼站擺在細胞之其他位置時，在平均之頻譜效率增加值上能夠得到較大的優勢。此外，根據觀察的結果，當中繼站位於扇形區域邊緣時會比中繼站位於其他位置有更大的服務區域。綜合以上的理由，便可以解釋為什麼在不同的設計準則情形下，中繼站的分布都會落在類似的位置上。

在下面的等高線圖中，在圖的中心會有相當高的頻譜效率，因為這些位置會相當的靠近基地台，並且也可以由等高線圖的分佈明顯的看出細胞扇形區域化效果。在此例子中細胞會分成三個扇形區域並且在細胞之扇形區域的正對方向上(例如: 0 度)，可以看出較其他方向有較高的頻譜效率。圖中黑色區域所圍起來之區域是由中繼站所服務的區域，而該區域中高度最大之地方即為中繼站所佈放的位置，可以發現模擬的結果中繼站會如預期的落在了扇形區域的邊緣。

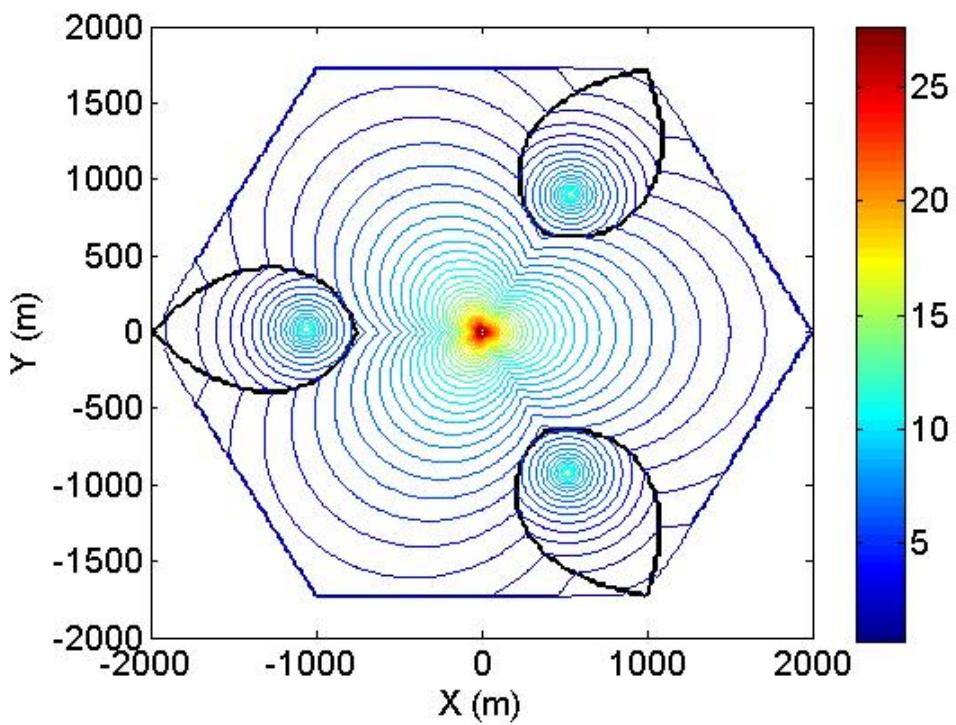


圖 5-2-5 在頻率不重覆使用下，在固定頻寬的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

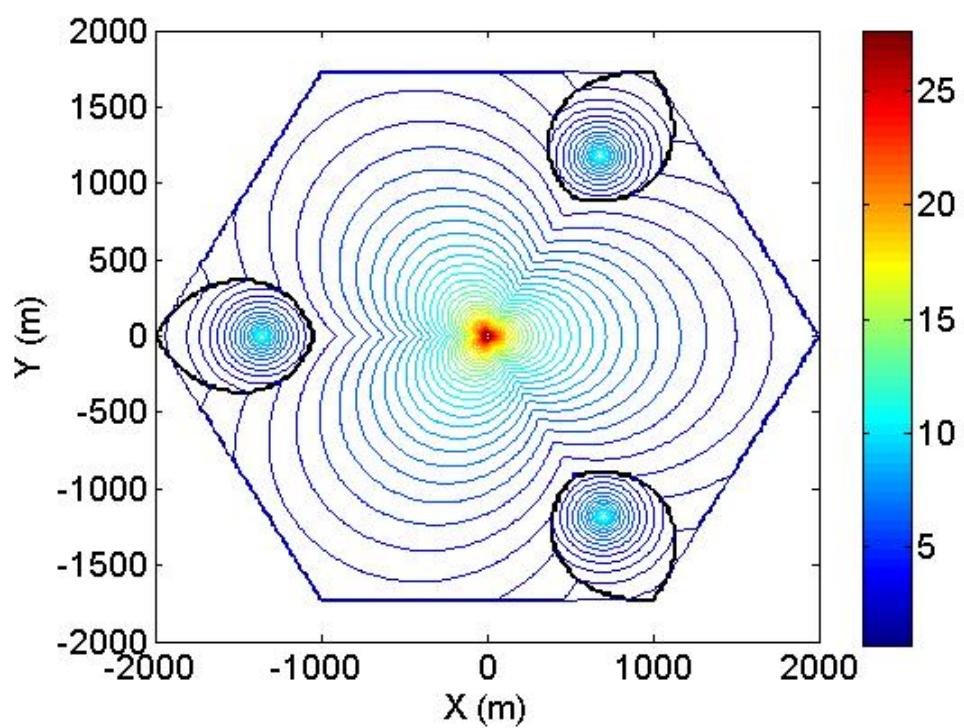


圖 5-2-6 在頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖與三維立體圖。

Criterion	固定頻寬	固定傳輸速度
G_{BM}	{ {S ₁ } 、 {S ₂ } 、 {S ₃ } }	{ {S ₁ } 、 {S ₂ } 、 {S ₃ } }
G_{BR}	{ {S ₁ } 、 {S ₂ } 、 {S ₃ } }	{ {S ₁ } 、 {S ₂ } 、 {S ₃ } }
G_{RM}	{ {R ₁ } 、 {R ₂ } 、 {R ₃ } }	{ {R ₁ } 、 {R ₂ } 、 {R ₃ } }
基地台傳輸功率密度	-23.61(dB/Hz)	-23.61(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜 效率	4.33(bits/sec/Hz)	2.92(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1055(m)	1364(m)
S _{cell}	4.67(bits/sec/Hz)	3.38(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	79.7%	85.58%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	79.70 : 2.91 : 17.39	79.42 : 1.75 : 18.83

表 5-2-5 在細胞扇形區域化下不同設計準則的系統模擬結果

兩種不同設計準則的情形在效能上會有不同的差異，而固定頻寬的系統頻譜效率會比固定傳輸速度要來的良好一些。這主要是因為在固定傳輸速度下，對於靠近細胞邊緣頻譜效率較差的使用者必須給予很大的頻寬才能達到相同的傳輸速度，頻譜效率較高的使用者反而會獲得比頻譜效率差的使用者更少的頻寬，因此，在固定傳輸速度下系統所分配給頻譜效率較差使用者的頻寬比例會變高，進而造成系統的頻譜效率下降。

● 頻率重複使用與不重複使用

當RS-MS鏈路在不同的中繼站R_j都使用相同無線電資源時，這時候透過中繼站做二躍傳輸對於系統的效能來說是非常具有吸引力的。因此，中繼站應該會儘量的靠近基地台以獲得更高的傳輸功率密度，而獲得更大的服務區域來突顯此好處以讓系統頻譜效率達到最大。但是，由於使用相同的無線電資源，在RS-MS的鏈路中便需要多考慮了細胞內的同頻干擾，所以當中繼站都盡量靠近基地台已獲得更大之傳輸功率密度的同時，也會因為中繼站間彼此的距離逐漸接近造成細胞內的同頻干擾逐漸升高，而使得RS-MS鏈路及二躍路徑之頻譜效率下降，連帶造成系統頻譜效率變差。所以最後的中繼站位置便會在此兩種因素互相拉鋸的影響下決定出佈建位置。

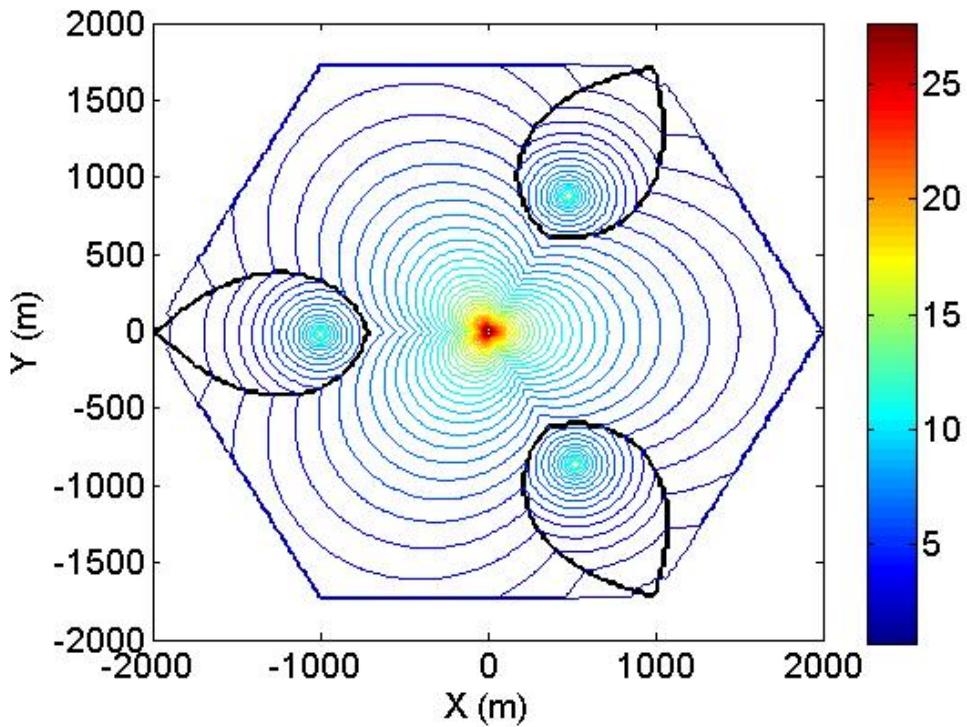


圖 5-2-7 在 RS-MS 鏈路頻率全部共用時，在固定頻寬的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定頻寬	固定頻寬
G_{BM}	$\{\{S_1\} \cup \{S_2\} \cup \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
G_{BR}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
G_{RM}	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$	$\{\{R_1, R_2, R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-23.61(dB/Hz)	-23.61(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	4.33(bits/sec/Hz)	4.33(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1055(m)	1002(m)
S_{cell}	4.67(bits/sec/Hz)	5.27 (bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	79.70%	79.69%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	79.70 : 2.91 : 17.39	90.11 : 3.34 : 6.55

表 5-2-6 固定頻寬準則下，在 RS-MS 鏈路頻率重複使用有無的系統模擬結果

從基地台的服務範圍和各段鏈路的頻寬消耗比例，可以很明顯的看出頻率重複使用對於無線電資源的節省。在有頻率重複使用的傳輸方式下，基地台所服務的區域略為下降，也代表了中繼站所服務的區域面積稍微的擴大。但是在頻寬資源的消耗比例上在 RS-MS 鏈路上卻因為頻率重複使用的關係而大幅的減少，也因而使得整體的頻譜效率可以再進一步的提高。

- 在 BS-MS 鏈路上對頻率做重複使用

當在BS-MS此段鏈路中有對無線電資源做重複使用時，此時就算沒有中繼站之輔助，系統也能達到很高的頻譜效率。但是，由於此時不同扇形區域間使用相同無線電資源的使用者會互相產生干擾，所以使用者所感受到的頻譜效率會大幅的下降，圖 5-2-8 為頻率重複使用模式為 $G_{BM} = G_{BR} = \{\{S_1, S_2, S_3\}\}$ 、 $G_{RM} = \{\{R_1, R_2, R_3\}\}$ 由圖 5-2-8 的顏色縱軸可以明顯的看出與BS-MS此段鏈路不共用無線電資源有很大的差異。此時，由基地台所服務的使用者都需要承受由其他扇形區間所造成之非常高的同頻干擾，所以即使在基地台的附近仍然在系統頻譜效率上有很大的損失。這時即便我們是以在不共用頻率下保證整個細胞都能達到 S_{target} 的頻譜效率，仍然會因為同頻干擾的影響而產生了 outage。這樣的頻率重複使用方式會破壞掉了原本我們對於系統的假設，因為此時我們對於頻率的使用太過積極造成了整個系統效能無法達到我們一開始的預定目標，而造成矛盾的現象，也因為會與我們的系統要求有互相矛盾的現象，所以我們在多細胞架構下將不再對此種方式作討論。

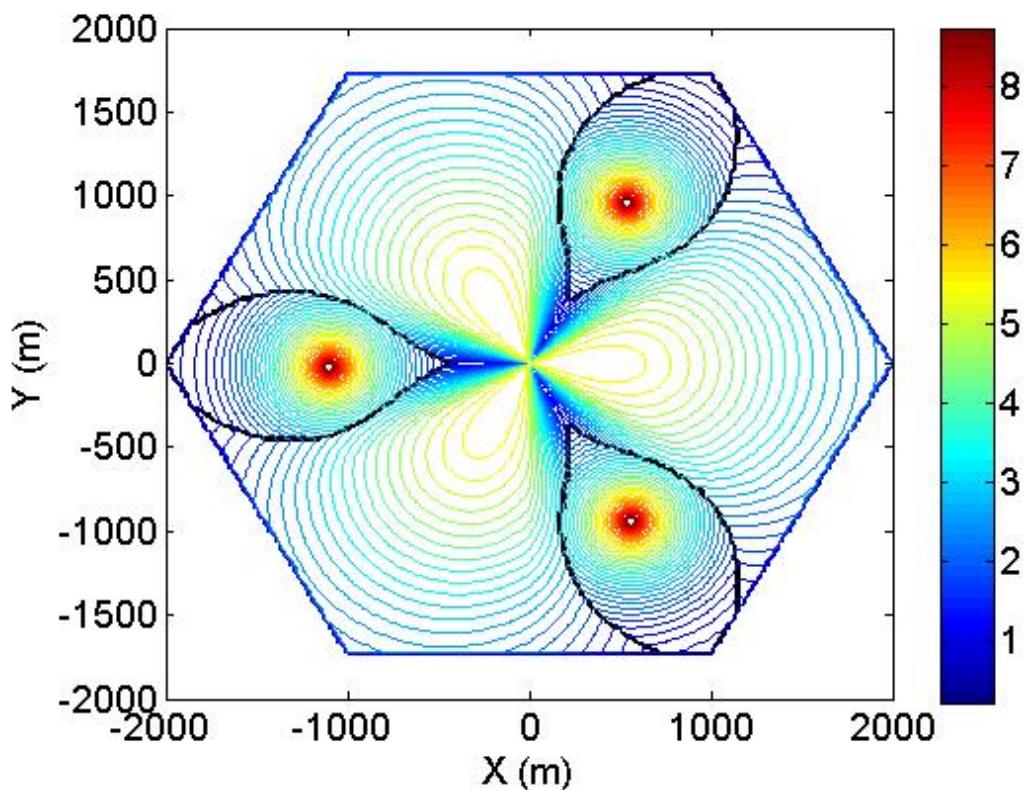


圖 5-2-8 在三段鏈路頻率全部共用時，在固定傳輸速度的條件下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
G_{BM}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1, S_2, S_3\}\}$
G_{BR}	$\{\{SB_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1, S_2, S_3\}\}$

	$\{S_3\}\}$	
G_{RM}	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}\}$	$\{\{R_1、R_2、R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-23.61(dB/Hz)	-23.61(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	2.92(bits/sec/Hz)	6.05(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1364(m)	1098(m)
S_{cell}	3.38(bits/sec/Hz)	8.15(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	85.58%	73.37%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	79.42 : 1.75 : 18.83	67.07 : 1.52 : 28.31
Outage probability no RS (頻譜效率 $< S_{target}$)	0	0.84%

表 5-2-7 固定傳輸速度準則下，在各段鏈路頻率重複使用有無的系統模擬結果

5-3 多細胞架構

在多細胞架構下，我們對於功率設定的方法是在考慮細胞間干擾的情況下，仍能夠保證細胞中所有位置都能達到最低的頻譜效率 S_{target} 。而且在多細胞架構下，目前暫不考慮在BS-MS此段鏈路做頻率的重覆使用，主要是若要在此段做頻率的重覆使用，會有outage的產生而破壞了我們對系統的要求和假設。另外，在我們目前討論的例子都是在reuse factor為 1 的情況下，其他各種不同的reuse factor數目是未來可以在探討的現象。

5-3-1 單一目標細胞

- 多細胞架構與單一細胞架構之比較

在多細胞的架構下，功率設定是對於細胞內之所有位置都能達到最低之頻譜效率 S_{target} 。相比於單一細胞架構下之功率設定，由於多考量了細胞間干擾的效應，因此在多細胞的架構下之傳輸功率會略高於在單一細胞下之傳輸功率。從表 5-3-1 與 5-3-2 可以發現在細胞有不同的扇形區域時，多細胞架構與單一細胞架構下的表現也會有所不同。如 2-1 節所介紹一樣，在細胞扇形區域化分的越多區塊時，則來自細胞間的干擾會隨之下降，所以可以明顯的從基地台功率在多細胞架構相對於單一細胞的提升程度可以看出一些端倪。在 6-sector 的細胞區域化下，由於細胞間干擾小所以基地台的功率提升很小，所以最後的模擬結果會與單一細胞非常類似。但是對於 3-sector 的細胞區域化下，在多細胞架構下基地台功率有較明顯的提升，在基地台較強勢的狀況下中繼站所服務的範圍便會較小，而與單一細胞有較顯著的不同。

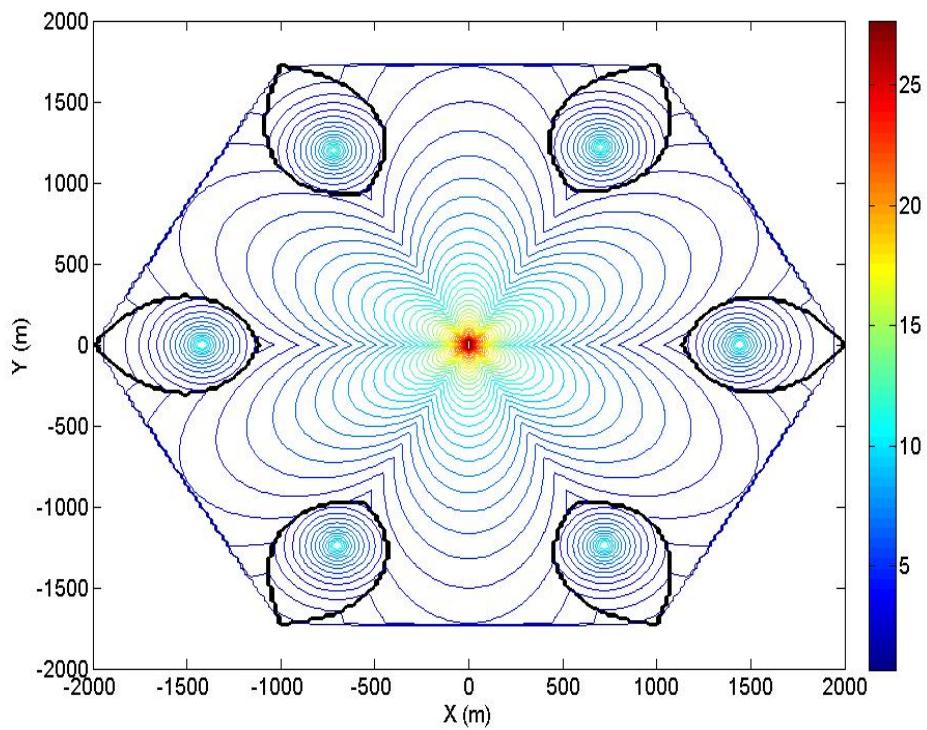


圖 5-3-1 在單一細胞架構且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

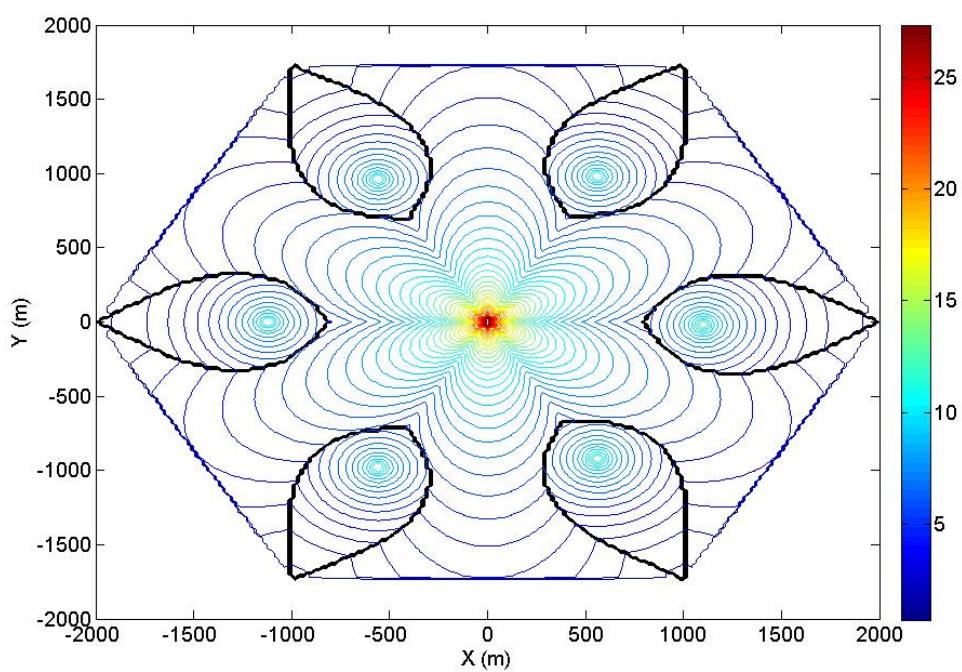


圖 5-3-2 在多細胞架構且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

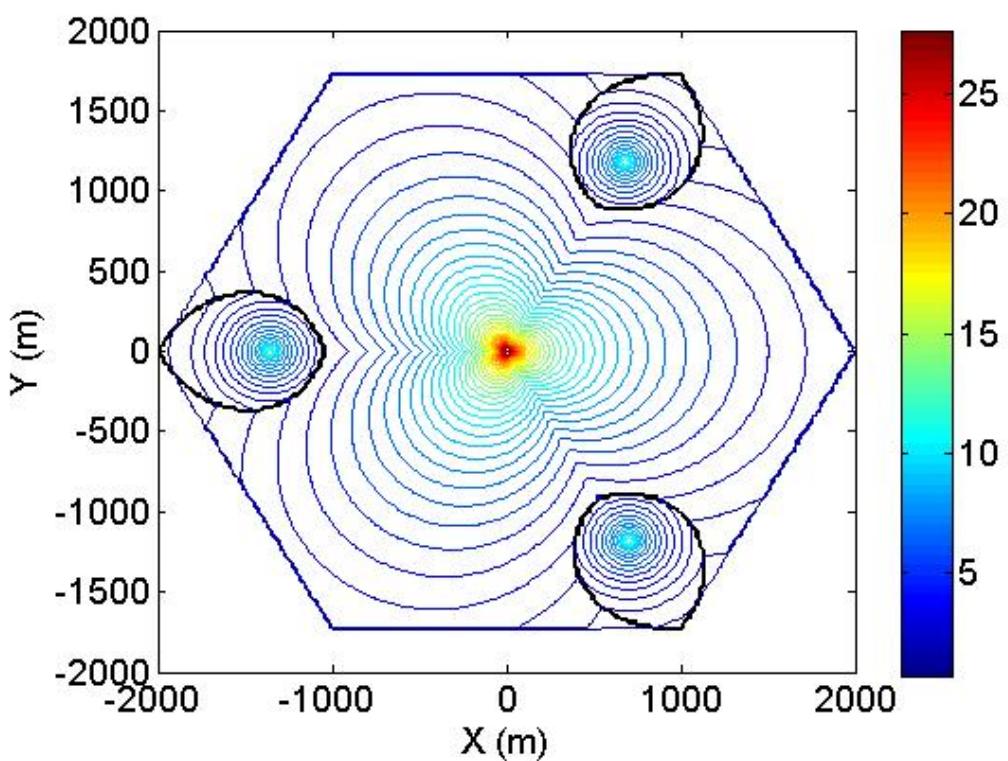


圖 5-3-3 在單一細胞架構且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

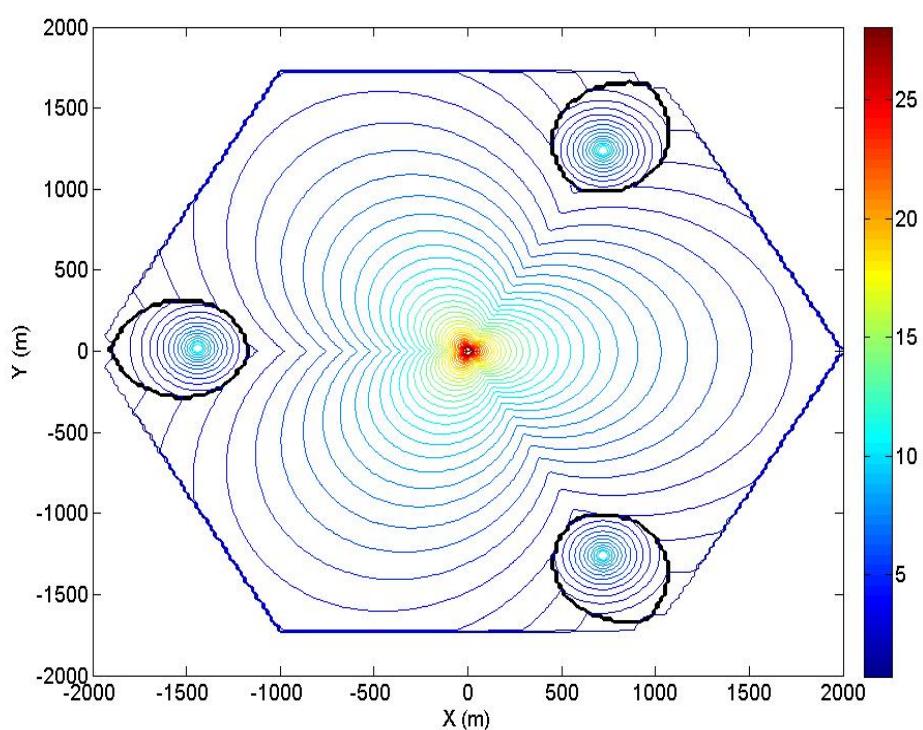


圖 5-3-4 在多細胞架構且頻率不重覆使用下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布圖。

細胞架構	單一細胞	多細胞
Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
G_{BM}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$
G_{BR}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$
G_{RM}	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}, \{R_4\}, \{R_5\}, \{R_6\}\}$	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}, \{R_4\}, \{R_5\}, \{R_6\}\}$
基地台傳輸功率密度	-23.61(dB/Hz)	-23.12(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	2.80(bits/sec/Hz)	2.80 (bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1421(m)	1424(m)
S_{cell}	3.43(bits/sec/Hz)	3.42(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	78.78%	78.97%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	72.20 : 2.62 : 25.19	72.26 : 2.93 : 24.81

表 5-3-1 固定傳輸速度準則下，在不同細胞架構下的系統模擬結果(6-sector)

細胞架構	單一細胞	多細胞
Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
G_{BM}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
G_{BR}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
G_{RM}	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-23.61(dB/Hz)	-18.81(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	2.92(bits/sec/Hz)	3.48 (bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1364(m)	1441(m)
S_{cell}	3.38(bits/sec/Hz)	3.83(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	85.58%	90.55%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	79.42 : 1.75 : 18.83	86.68 : 1.29 : 12.03

表 5-3-2 固定傳輸速度準則下，在不同細胞架構下的系統模擬結果(3-sector)

● 頻率重複使用

同樣的在RS-MS鏈路上對於無線電資源做重複使用，可以大幅的減少在此段鏈路下所需消耗的頻寬，但是額外引進的細胞內同頻干擾卻也會使得二躍傳輸的頻譜效率下降，在此兩個主要因素間同時做考量才能決定出對系統最佳的中繼站佈放位置。在此次模擬中，我們特定將RS-MS鏈路分成兩個群組來做頻率之重複

使用，也就是 $\mathbf{G}_{\text{RM}} = \{\{R_1, R_3, R_5\}, \{R_2, R_4, R_6\}\}$ 並藉此觀察模擬結果中繼站分佈與其他相關資訊。

圖 5-2-4 為我們最後利用所提出之基因演算法做出之模擬結果，其中由黑色區域所圍繞之地區為 $\mathbf{G}_{\text{RM},1}$ 所服務的範圍，而紫色區域所圍繞之地區則為 $\mathbf{G}_{\text{RM},2}$ 所服務的範圍，可以發覺共用相同頻帶的中繼站為了降低彼此間的細胞內同頻干擾，會盡量的拉開彼此之間的距離以達到較高的頻譜效率，因而最後中繼站會如圖 5-2-4 一樣的分布。而這邊需要額外注意的是，由於此時的共用並不是全部共用或全部不共用，所以在利用基因演算法求解時比較容易落入局部最佳解。因為這時的最佳解不同的中繼站間彼此有關係存在，所以最後的解集合會相較於全部共用或全部不共用的情況來的小，因而容易落入局部最佳解。為了避免此種情形發生，我們必須要適當的調整基因演算法中的族群規模、交配率、突變率與終止世代數來幫助我們可以求的較佳的解，而不是落入局部最佳解。

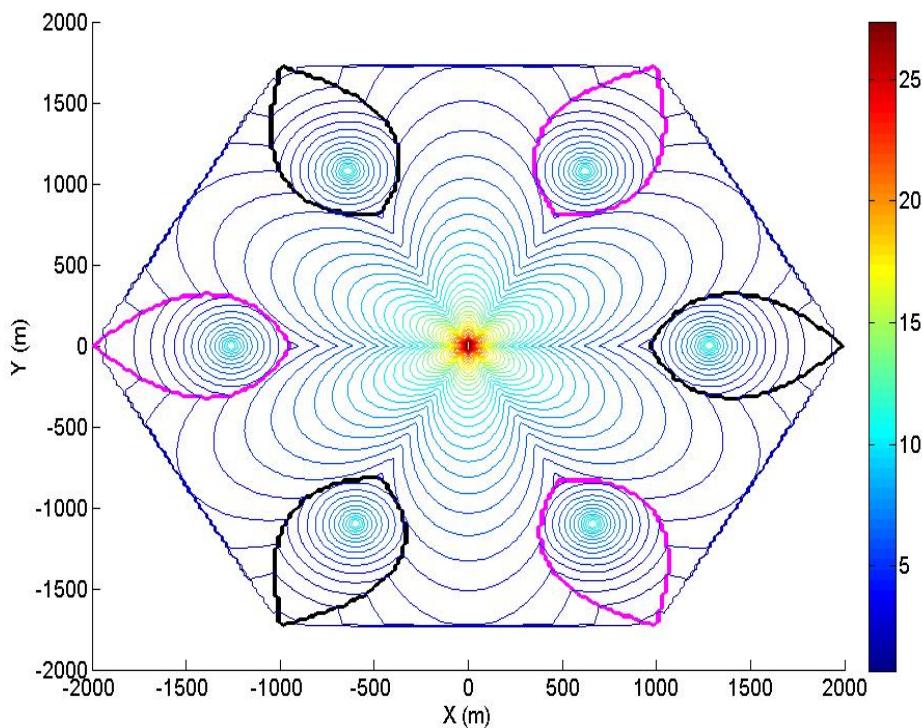


圖 5-3-5 在多細胞架構且在RS-MS鏈路下頻率重覆使用為 $\mathbf{G}_{\text{RM}} = \{\{R_1, R_3, R_5\}, \{R_2, R_4, R_6\}\}$ 下，在固定傳輸速度的準則下所找出之最佳中繼站位置及最後各位置之頻譜效率的等高線分布。

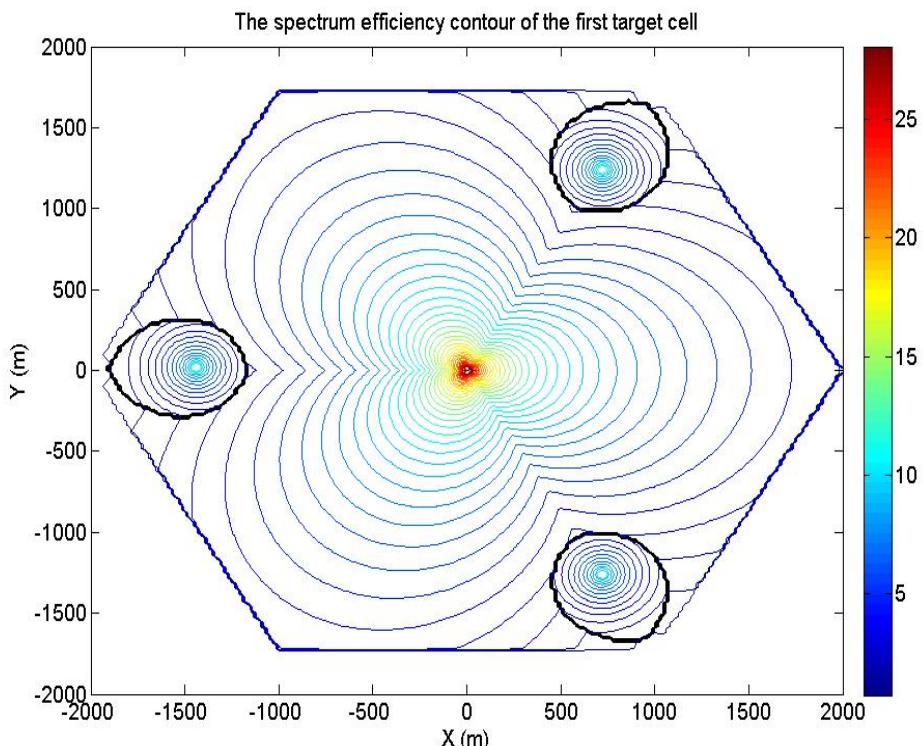
細胞架構	多細胞	多細胞
Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
\mathbf{G}_{BM}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$
\mathbf{G}_{BR}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}, \{S_4\}, \{S_5\}, \{S_6\}\}$

G_{RM}	$\{\{R_1\}、\{R_2\}、\{R_3\}、\{R_4\}、\{R_5\}、\{R_6\}\}$	$\{\{R_1、R_3、R_5\}、\{R_2、R_4、R_6\}\}$
基地台傳輸功率密度	-23.12(dB/Hz)	-23.12(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜效率	2.80(bits/sec/Hz)	2.80(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1424(m)	1263(m)
S_{cell}	3.42(bits/sec/Hz)	4.15(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	78.97%	73.76%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	72.26 : 2.93 : 24.81	83.99 : 4.55 : 11.56

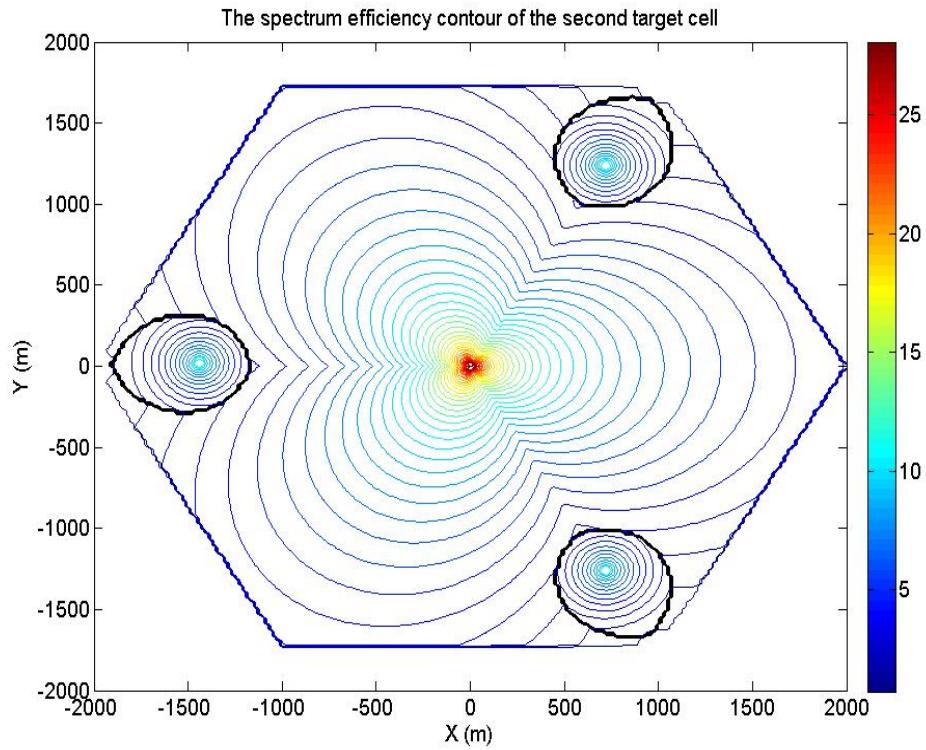
表 5-3-3 固定傳輸速度準則下，在 RS-MS 頻率重複使用有無的系統模擬結果

5-3-2 多個目標細胞

我們以一個目標細胞數為 2 的簡單例子，來看看多個目標細胞下不同的目標細胞的模擬結果



(a)



(b)
圖 5-3-6 不同目標細胞之頻譜效率的等高線分布圖。

目標細胞	1	2
Criterion	固定傳輸速度	固定傳輸速度
\mathbf{G}_{BM}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
\mathbf{G}_{BR}	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$	$\{\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_3\}\}$
\mathbf{G}_{RM}	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$	$\{\{R_1\}, \{R_2\}, \{R_3\}\}$
基地台傳輸功率密度	-18.81(dB/Hz)	-18.81(dB/Hz)
無中繼站輔助之系統頻譜 效率	3.48(bits/sec/Hz)	3.28(bits/sec/Hz)
中繼站平均距離	1424(m)	1442(m)
S_{cell}	3.83(bits/sec/Hz)	3.83(bits/sec/Hz)
基地台服務區域百分比	90.55%	90.55%
各段鏈路的頻寬消耗比例 (BS-MS:BS-RS:RS-MS)	86.68 : 1.29 : 12.03	86.68 : 1.29 : 12.03

表 5-3-4 不同目標細胞的系統模擬結果

從模擬的結果可以看出在兩個目標細胞擁有相同的中繼站數目時，會有非常相似的結果，而且與擁有相同中繼站數目的單一目標細胞的模擬結果(表 5-3-2 的多細胞架構結果)也會非常近似，這主要是因為在目前我們的多目標

細胞的中繼站位置決定方法並不是做綜合性的考量，也就是對於不同細胞間中繼站的互相影響還未考慮到，而只是以基地台的干擾來當作代表。在此種狀況下，多目標細胞的中繼站位置佈放便可以看成多次的單一細胞中繼站位置佈放，所以會造成不同目標細胞以及與單一細胞下會有非常類似的模擬結果，至於對多個目標細胞中繼站位置的綜合性考量則是未來可以進一步的研究與觀察的方向之一。



第六章 結論與未來展望

6-1 結論

在本論文中，我們先對於中繼站輔助之無線通訊系統作簡單的介紹，因為在下一代的行動通訊中，中繼站輔助之無線通訊系統已經被認為是一個可以達到目標並且可行的方法之一。然而，在目前眾多關於中繼站輔助無線通訊系統的研究中，對於中繼站的佈放位置仍沒有一個方法或程序來決定。因此在論文中我們利用基因演算法的協助提出了一套用來決定中繼站佈放位置的方法，在中繼站佈放於適當位置時可以相較於沒有中繼站輔助之系統，能夠進一步的提升系統的頻譜效率。此套方法不僅可以適用於單一細胞中，還可以應用到使用扇形區域化的細胞以及多細胞架構下。同時在本論文所提出的方法中，對於不同的頻率重複使用模式一樣可以找出最佳的中繼站佈放位置。

根據此套方法所找出之中繼站的最佳位置，可以發現中繼站通常會落在與基地台通訊品質較差的地區，譬如在有使用扇形區域化的細胞中，中繼站便會佈建在扇形區域的邊緣上以幫助整體系統效能的提升。另外，在中繼站有重覆使用頻率時，也可以發現到中繼站會更靠近基地台來獲得更大的傳輸功率以便服務更大的區域。但是，由於頻譜共用所造成的細胞內干擾卻會盡量的希望拉開中繼站彼此之間的距離，而最後中繼站便會在此兩種因素的交互作用下取得一個對系統頻譜效率最好的佈建位置。



6-2 未來展望

在論文中雖然已經對單一細胞、扇形區域化細胞及多細胞架構都有部分的探討，但在多細胞架構下，對於同時決定多個細胞中的多個中繼站位置的綜合性設計還並沒有找出其目標函數，所以仍有努力的空間。在通道模型這部份本篇文章是採用簡單的路徑衰減模式，這部份可以使用更為貼近現實而較複雜的通道模型來讓整個方法可以更實用。此外，在傳輸方式方面也可以考慮更多元的傳輸方式，比如利用中繼站與基地台做各式各樣的合作傳輸(cooperative transmission schemes)來讓整個決定中繼站最佳佈放位置的方法更加的完整，能與更多的技術接軌而能應用到更多更實際的情況。

參考文獻

- [1] Garg and Vijay Kumar, *Wireless and personal communications system*, New Jersey: Prentice Hall PTR, 1996.
- [2] Rappaport, Theodore S., *Wireless communications : principle and practice*, New Jersey: Prentice Hall PTR, 2002.
- [3] R. Pabst et al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio", *IEEE Communications Magazine*, vol. 42, no. 9, Sept. 2004, pp. 80–89.
- [4] J. Cho and Z. J. Hass, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying", *IEEE Journal on Selection Areas in Communications*, vol. 22, no. 7, pp. 1206-1219, Sept. 2004
- [5] H. Hu, H. Yanikomeroglu, D. D. Falconer, et al, "Range Extension without Capacity penalty in Cellular Networks with Digital Fixed Relays", *IEEE Globecom'04*, pp. 3053-3057, Nov. 2004.
- [6] Shiang-Jiun Lin, Wern-Ho Sheen, I-Kang Fu and Chia-Chi Huang, "Resource Scheduling with Directional Antennas for Multi-hop Relay Networks in Manhattan-like Environment", *IEEE Mobile WiMAX Symposium*, pp.108-113, March 2007.
- [7] L. Le, E. Hossain, "Multihop Cellular Networks: Potential Gains, Research Challenges, and a Resource Allocation Framework", *IEEE Communications Magazine*, vol.45, no.9, pp.66-73, September 2007
- [8] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamental of Wireless Communications*, New York: Cambridge University Press, 2004
- [9] K. P. Chong and H. Zak, *An Introduction to Optimization*, New York: Wiley, 2001.
- [10] T. Liu, M. Rong and P. Li, "Radio Resource Allocation in Two-hop Cellular Relaying Network", *Proc. of IEEE Vehicular Communications Conference*, pp.91-95, Vol. 1, May 2006
- [11] T. Liu, M. Rong, D. Yu, Y. Xue, and E. Schulz, "Reuse Partitioning in Fixed Two-hop Cellular Relaying Network", *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 177-182, Vol. 1, Apr. 2006
- [12] P. Li, M. Rong, and T. Liu, "Reuse Partitioning Based Frequency Planning for Cellular Network with Two-hop Fixed Relay Nodes", *Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1-5, Sep. 2006
- [13] Yeonwoo Lee, Seung Young Park, and Sangboh Yun, "Resource Management for Fixed Relay Based Cellular Systems with Sectorization", *IEICE Transactions letter on communications*, Vol.E89-B No.2 pp.625-628, Feb. 2006

- [14] P. Li, M. Rong, Y. Xue, D. Yan, L. Wang, and H. SHI “Spectrum Partitioning and Relay Positioning for Cellular System Enhanced with Two-Hop Fixed Relay Nodes”, *IEICE Transactions on communications*, Vol.E90-B No.11 pp.3181-3188, Nov. 2007
- [15] H. Hu, Performance Analysis of Cellular Networks with Digital Fixed Relays, M.A.Sc. thesis, Carleton University, Sept. 2003

