

國立交通大學

電信工程學系碩士班

碩士論文

適用於 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統之

新型頻率規劃方法

A Novel Frequency Planning Technique for

IEEE 802.16j Multi-hop Relay Systems

研究生：曾友亮

指導教授：沈文和 博士

中華民國九十六年十月

適用於 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統之 新型頻率規劃方法

研究生:曾友亮

指導教授:沈文和 博士

國立交通大學

電信工程學系

摘要

IEEE 802.16j 為 IEEE 802.16 無線寬頻接取標準的之增修版本，其定義了可支援多重躍進之中繼站，此技術標準的目標為延伸系統涵蓋範圍、改善使用者之傳輸率並提升整體之系統容量。然而，先前的研究顯示 RS 的佈放可能會導致整體系統容量的損失，其原因在於為支援 relay link 所產生大量的 overhead 將消耗過多的無線資源，致使傳輸速率的提升無法彌補其所造成容量上的損失。另一方面，先前的研究亦顯示較積極的重複使用頻率資源可有效的改善多重躍進系統之容量。本篇論文提出了一套有效之頻率規劃方法，可在確保涵蓋範圍之前提下大幅提升頻率資源重複使用之程度。在 RS 均勻佈放於網路之情形下，本文提出了以”Sub-cell”為基礎之新型頻率規劃方法。經由模擬結果證實，所提出之方法可較傳統之方法大幅提升 137.75%之系統容量，且依然能確保系統之涵蓋範圍。

A Novel Frequency Planning Technique for IEEE 802.16j Multi-hop Relay Systems

Student : You-Liang Tseng

Advisor : Dr. Wern-Ho Sheen

Institute of Communication Engineering
National Chiao Tung University



Abstract

IEEE 802.16j is an amendment to the IEEE 802.16 broadband wireless access standard to enable the operation of multi-hop relay stations (RS). It aims to enhance the coverage, per user throughput and system capacity of IEEE 802.16e. However, previous researches show that deploying RS may result in worse system capacity due to the overhead in relay links. Fortunately, it also shows that aggressive frequency reuse can be the key to improve the capacity of multi-hop relay (MR) networks. In this thesis, novel frequency planning techniques are proposed for aggressive frequency reuse in IEEE 802.16j MR network. For the MR network with uniformly deployed RS, a novel frequency planning technique based on “sub-cell” concept is proposed. Simulation results show that up to 137.75% capacity improvement with guaranteed coverage can be achieved with respect to the traditional techniques.

誌謝

本論文得以順利完成首先要感謝指導老師沈文和教授，沈老師在我兩年的碩士生涯裡不僅提供研究上的指導，在生活上也能給予適時的關心，而沈老師在研究上專注且嚴謹的態度更是讓我不敢懈怠的原因。另外，還要感謝口試委員台灣科技大學電子系鄭瑞光老師以及清華大學電機系蔡育仁老師給予寶貴的意見以及研究上的指正使得本篇論文更加完整。

還要感謝全體無線寬頻接取系統實驗室的學長、姐以及學弟和今年一起畢業的同學楚硯、文傑和鎮綱，大家總是能夠無私的互相幫助，並且讓實驗室隨時充滿和諧的氣氛；尤其特別感謝今年從博士班畢業的學長傅宜康，學長不僅擁有豐富的專業知識還保有謙和的態度，堪為本實驗室的典範，而在研究期間，宜康學長不僅僅提供專業上的建議和指導還分享其研究的方法及經驗，真的讓我獲益良多。

最重要的，感謝我的家人，謝謝你們在生活上給予我無限制的支持以及最後幾個月連環催討畢業證書的激勵下，讓我能在學校專心且拼命的完成本篇論文；還得感謝我的女朋友，願意聽我說一些抱怨和洩氣的話還能給我精神上的鼓勵和支持，讓我馬上感覺充滿了希望。

最後，感謝一切和本篇論文完成有關的人事物。

民國九十六年十月
研究生曾友亮謹識於交通大學

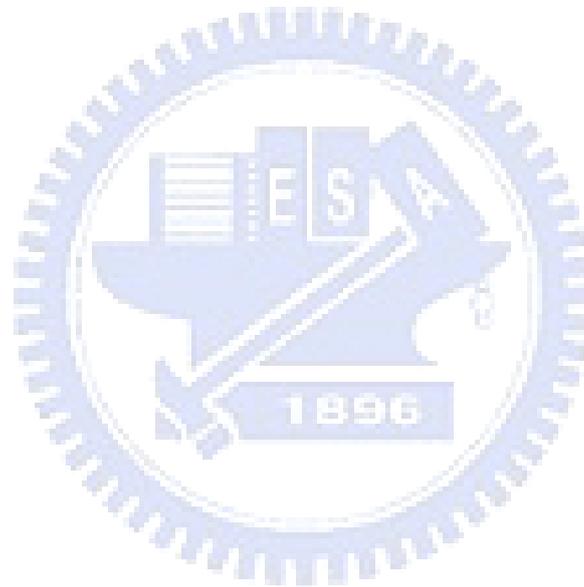
目錄

第一章	研究動機	1
第二章	IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統簡介	3
2-1	OFDMA 多重接取技術	3
2-2	IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統	9
第三章	適用於 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統之涵蓋區規劃方法	17
3-1	控制訊號涵蓋區之規劃方法	18
3-2	Relay Link 涵蓋區之規劃方法	23
3-3	Access Link 涵蓋區之規劃方法	25
第四章	適用於 Uniformly Deployed RS 之頻率規劃方法	28
4-1	具 Channel Borrowing 概念之頻率規劃方法	30
4-2	具 Reuse Partitioning 概念之頻率規劃方法	34
4-3	以 Sub-cell 為基礎之新型頻率規劃方法	39
第五章	系統模擬	45
5-1	模擬環境	45
5-2	模擬結果	52
第六章	結論	59
	參考文獻	

圖目錄

圖 2-1.1	OFDM 技術示意圖.....	4
圖 2-1.2	傳統(a)FDM 與(b)OFDM 的頻譜使用示意圖.....	4
圖 2-1.3	OFDM 之保護區段.....	6
圖 2-1.4	子通道組成方法示意圖.....	7
圖 2-1.5	adjacent sub-carrier 子通道組成方式.....	8
圖 2-2.1	Multi-hop Relay 網路架構.....	9
圖 2-2.2	增加信號強度示意圖.....	10
圖 2-2.3	延伸涵蓋區域示意圖.....	11
圖 2-2.4	無線資源重用示意圖.....	11
圖 2-2.5	Uniform data rate coverage 示意圖.....	12
圖 2-2.6	佈建成本示意圖.....	13
圖 2-2.7	Non-transparent Relay frame structure.....	15
圖 2-2.8	Transparent Relay frame structure.....	16
圖 3-1.1	Coverage of control signal.....	18
圖 3-2.1	Coverage of Relay Link.....	23
圖 3-3.1	Coverage of Access Link.....	25
圖 4.1	Uniformly deployed RS.....	29
圖 4-1.1	Channel borrowing-based frequency planning_1.....	30
圖 4-1.2	Channel borrowing-based frequency planning_2.....	30
圖 4-1.3	Implementation of channel borrowing based frequency planning_1.....	32
圖 4-1.4	Implementation of channel borrowing based frequency planning_2.....	33
圖 4-2.1	Frequency reuse partitioning-based frequency planning_1.....	34
圖 4-2.2	Frequency reuse partitioning-based frequency planning_2.....	35
圖 4-2.3	Implementation of Frequency reuse partitioning-based frequency planning_1.....	37
圖 4-2.4	Implementation of Frequency reuse partitioning-based frequency planning_2.....	37
圖 4-3.1	Channel borrowing-based frequency planning concept.....	39
圖 4-3.2	frequency reuse partitioning-based frequency planning concept.....	41
圖 4-3.3	sub-cell-based frequency planning concept.....	42
圖 4-3.4	Implementation of sub-cell-based frequency planning_1.....	43
圖 4-3.5	Implementation of sub-cell-based frequency planning_2.....	43
圖 5-1.1	模擬系統環境.....	45
圖 5-1.2	Pathloss model for BS-to-MS link.....	46
圖 5-1.3	Pathloss model for RS-to-MS link.....	47
圖 5-1.4	Pathloss model for BS-to-RS link.....	48

圖 5-1.5	Two-tier cell structure_1.....	50
圖 5-1.6	Two-tier cell structure_2.....	50
圖 5-1.7	Two-tier cell structure_3.....	50
圖 5-1.8	Wrap around concept.....	51
圖 5-2.1	System capacity with different access zone ratio (different frequency planning methods).....	53
圖 5-2.2	System capacity under different frequency planning methods.....	54
圖 5-2.3	CDF of the received signal quality (different frequency planning methods).....	55
圖 5-2.4	MCS distribution.....	56
圖 5-2.5	System capacity with different access zone ratio (different reuse factors).....	53
圖 5-2.6	CDF of the received signal quality (different reuse factors).....	55



表目錄

表 3-1.1	鏈路預算範例(1).....	22
表 3-2.1	鏈路預算範例(2).....	24
表 3-3.1	鏈路預算範例(3).....	26
表 3-3.2	涵蓋區範圍整.....	27

第一章 研究動機

IEEE 802.16 無線寬頻接取(Broadband Wireless Access, BWA)標準近期正積極發展可支援多重躍進之中繼器(Mobile Multi-hop Relay)技術，被視為提升既有 WiMAX 網路傳輸覆蓋效能的 802.16j 標準，已經在 2007 年 8 月 8 日正式通過第一版標準草案(Draft 1.0)。相較於 IEEE 802.16-2004 或是 IEEE 802.16e 等 WiMAX 關鍵性技術標準，IEEE 802.16j 較屬於輔助配套提升 WiMAX 網路效能的應用技術，就實際的商業應用來看，主要仍是提供給 WiMAX 營運商在進行網路建置時有更大彈性空間或是不同的網路技術建置方案。而適當的網路規劃正是該系統是否能有效率的使用無線資源的關鍵。

系統中的基地台以及中繼器在不同時刻皆有不同的涵蓋範圍，因此必須有恰當的涵蓋區規劃方法來有效使用發射功率。且由於該系統支援使用者透過多重躍進(multi-hop)來傳輸資料，和直接躍進(direct-hop)比較下勢必會浪費部分頻譜資源，因此必須有完善的頻率規劃方法做最有效率使用頻譜資源。

因此，若使用者透過 RS 和基地台建立連線來傳輸資料，勢必得消耗一份頻譜資源於在基地台與 RS 的連線上，因此在 Multi-hop Relay 系統運作前必須做好頻率規劃以避免上述提及的頻譜資源消耗

過大而傷害了整體的系統容量。因此，在本篇論文中，我們提出了一個適用於系統初始之頻率規劃方法，並以 IEEE 802.16j 系統作為實現此概念的範例，最後以模擬結果驗證此方法的確能有效率的使用頻譜資源。

本篇論文結構如下：第二章將對於 Multi-hop Relay 系統做一個簡單的介紹；第三章將以 IEEE 802.16j 系統為例子提供一套涵蓋區規劃方法；第四章將介紹目前已提出適用於系統初始之頻率規劃方法以及本篇論所提出一套以 sub-cell 為觀點之新型頻率規劃方法並以 IEEE 802.16j 作為例子來說明實現的方法；第五章為系統模擬結果；第六章為全文總結並提出未來的研究展望。

第二章 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統簡介

本章將介紹 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統所採用的傳輸技術，接著介紹 Multi-hop Relay 的基本網路架構。

2-1 OFDMA 多重接取技術

正交分頻多工技術[1,2,3]-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)採用不連續多音調技術，將被稱為載波的不同頻率中的大量訊號合併成單一訊號並將完成訊號傳送。此種多載波(Multicarrier)的傳送方式是將原有的資料傳輸序列從單一載波(Carrier)分配到多個不同的子載波(Subcarrier)上平行傳送，因此每個子載波上的傳輸間隔變大為原本的數倍，使得在每個子載波上的符元間隔(Symbol Duration)增加，如圖 2-1.1 所示。

OFDM 技術可以對抗頻率選擇性衰弱或窄帶干擾。在單載波系統中，單個衰弱或干擾能夠導致整個通訊鏈路失敗，但在多載波系統中，因每個載波同時受到衰弱的機率很小，因此對這些子通道可以採用錯誤更正碼(Error correction coding)來進行糾錯。

傳統的 FDM(分頻多工)理論將頻寬分成幾個子通道，子通道間用保護頻帶來降低干擾，他們同時發送數據。而 OFDM 系統比傳統的

FDM 系統要求的頻寬要少得多。由於每個子載波間具有正交性，子載波彼此之間不會產生干擾而可讓頻譜相互重疊不需保護頻帶。因此，OFDM 系統比傳統分頻多工系統具有較好的頻寬效益(bandwidth efficiency)[4]，FDM 及 OFDM 頻譜使用的比較如圖 2-1.1 所示。

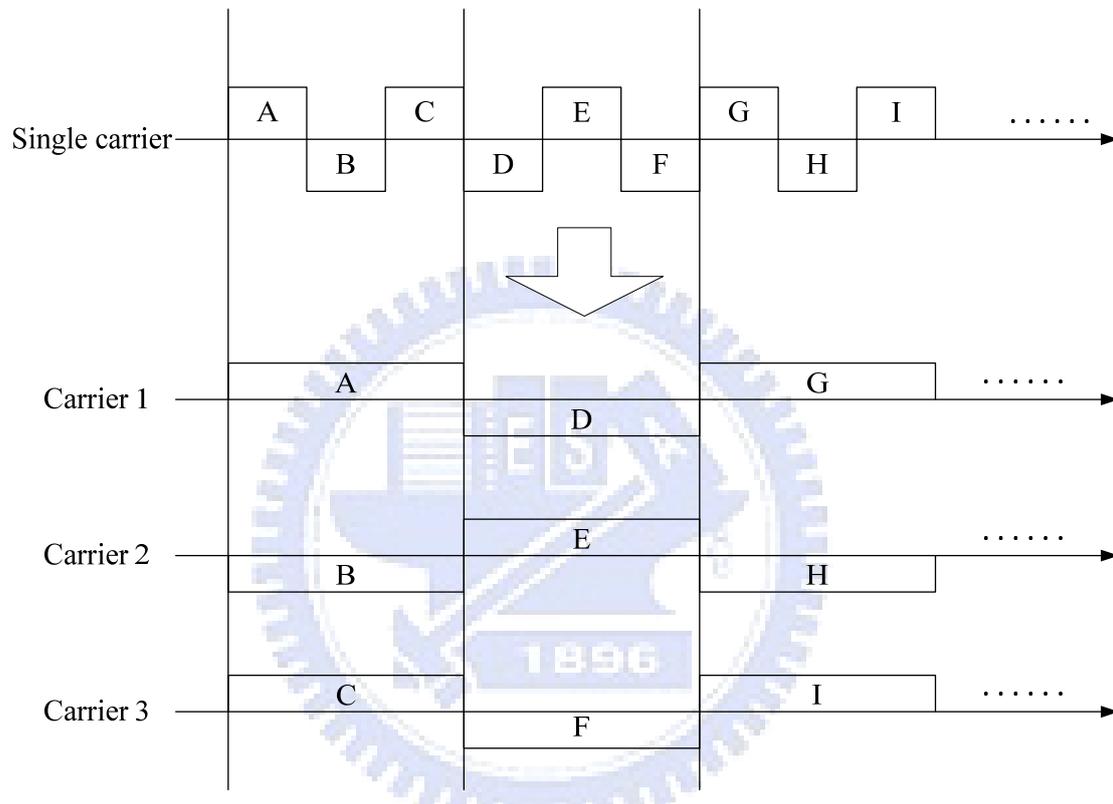


圖 2-1.1 OFDM 技術示意圖

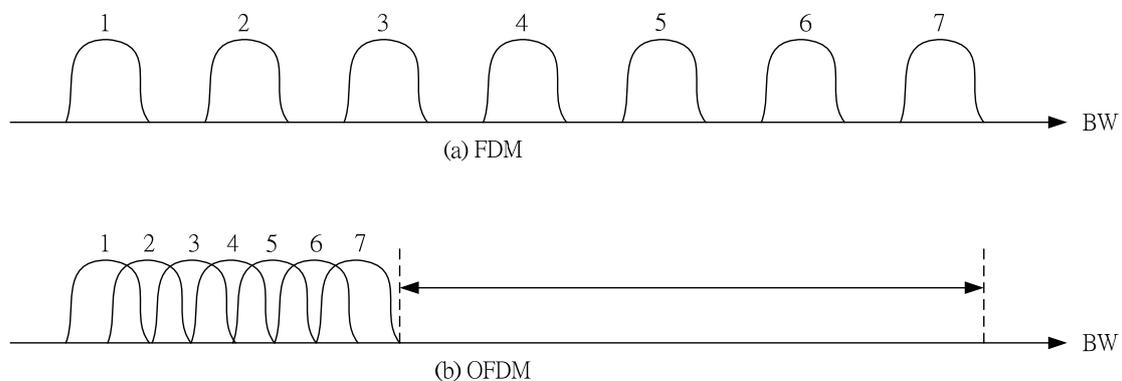


圖 2-1.2 傳統(a)FDM 與(b)OFDM 的頻譜使用示意圖

OFDM 訊號由相移鍵控 (PSK) 或正交振幅調變 (QAM) 調變的子載波構成。其數學式如下：

$$s(t) = \operatorname{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+\frac{N_s}{2}} \cdot e^{j2\pi(f_c + \frac{i+0.5}{T})(t-t_s)} \right\}, \quad t_s \leq t \leq t_s + T$$

$$s(t) = 0 \quad , \quad t < t_s \text{ 和 } t > t_s + T$$

d_i : 複數的符元，
 其中， N_s : 子載波的數目，
 T : 子載波符元區間

然而實際上若要用類比方式實現多載波系統是不實際的，因為對於所有子載波都要設計傳送機跟接受機的複雜度太高，所以最好的方式是經由 IFFT/FFT 用快速數位訊號處理來實現。我們發現經由數學式的推導，可以用 IFFT/FFT 來表示取樣後的類比 OFDM 訊號。但由於在推導的過程中我們假設子載波的個數為無限多，實際狀況並不能使用無限多的子載波，因此系統設計時便採用虛擬載波以避免產生疊頻現象。

OFDM 雖能減輕多路徑衰減帶來的 ISI 效應，但卻不能完全消除前後 OFDM 訊號間的干擾，為了能夠完全消除前後 OFDM 訊號間的干擾，我們在每一個 OFDM 方塊中置入保護區間 (Guard Interval)

或稱循環前置碼 (Cyclic Prefix) 如圖 2-1.3 所示。

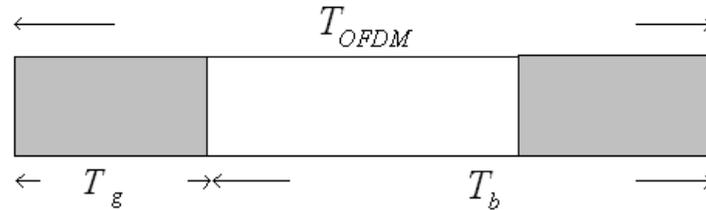


圖 2-1.3 OFDM 之保護區段

一般而言，保護區間長度的選擇要大於所預期的最大傳輸延遲擴散。但是若是保護區間留下空白則會發生載波間的互相干擾，造成互相不正交，於是我們將循環前置碼置入保護區間消除子載波間的干擾效應。

由於對每一個 OFDM 訊號接置入循環前置碼，當傳輸延遲擴散小於保護區間時，可確保每個 OFDM 訊號中被延遲的信號在一個完整的 FFT 區間中能維持整數倍週期。因此在多路徑傳輸延遲小於保護區間的情況下將不會引起子載波間的干擾。

由以上可知 OFDM 對頻譜使用的效益很高，以及對於無線通訊中最嚴重的多路徑衰減問題有不錯的抵抗能力，使得 OFDM 在未來的第四代行動通訊之中扮演著很重要的一個角色，若進一步的把 OFDM 技術配合著多重接取 (Multiple Access) [] 的技術，相信能夠增加系統

的可靠性，也同時能提高系統的效能[1][2]。

子通道組成方法

在 IEEE802.16j 系統裡，能夠被分配的資源之基本單位為子通道 (Subchannel)，而每個子通道是由子載波所組成的，因此如何選取子載波來形成子通道的方法我們稱為子通道組成方法(subchannelization process)。

子通道組成的方法有下列兩種：

1. Adjacent sub-carrier channelization
2. Distributed sub-carrier channelization

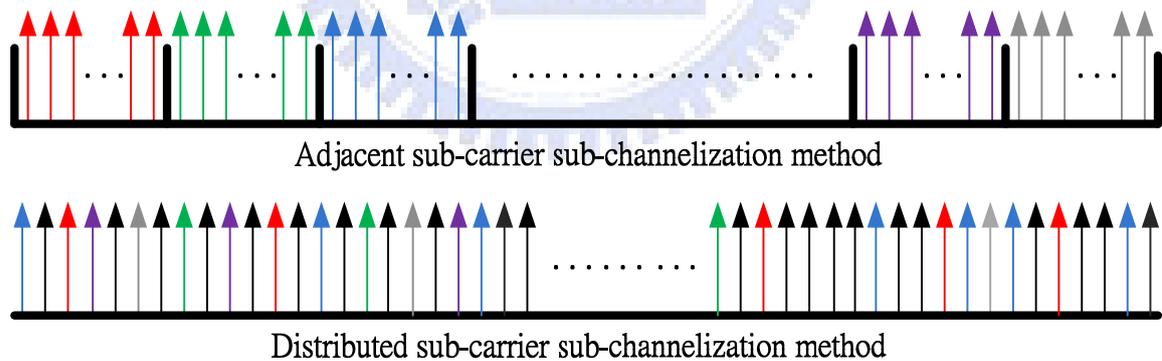


圖 2-1.4 子通道組成方法示意圖

如圖 2-1.4 所示，這兩種子通道組成方法最大的不同在於隸屬於

同一個子通道裡的子載波位置之相對關係。Adjacent sub-carrier channelization 挑選相鄰的子載波來組成子通道；而 Distributed sub-carrier channelization 則是挑選不相鄰的子載波來組通道。

本篇論文所採用的子通道組成方法為 Adjacent sub-carrier channelization，以下就以 IEEE 802.16e[5]所提出的方法說明。如圖 2-1.5 所示，首先將同一 symbol 內連續 9 個子載波組成一基本單位 -bin，其中第五個子載波為領航(Pilot)載波。接著再取連續 6 個 bin 即組成一個子通道，而這連續 6 個 bin 的組合方式有兩種選擇，如圖 2-1.5 所示。

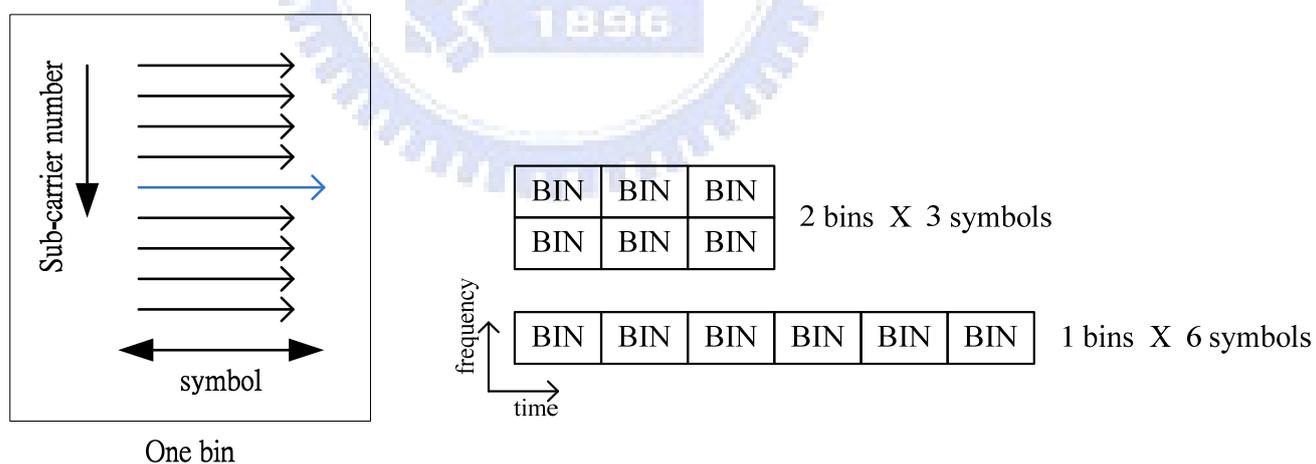


圖 2-1.5 adjacent sub-carrier 子通道組成方式

2-2 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統

現今無線接取網路(Radio Access Network)之架構主要由眾多基地台(Base Station, BS)與用戶端(Subscriber Station, SS)組成，而加入中繼器(Relay Station, RS)後成為新的 Multi-hop Relay 網路架構如圖 2-2.1。

在此網路架構 SS 可以根據連線品質做為判斷而選擇與 BS 連線或是透過 RS 與 BS 進行連線。在此架構下，IEEE 802.16j 定義了兩種連線種類：Access link 以及 Relay link。Access link 包括了 SS 與 BS 的連線以及 SS 與 RS 的連線，且由於 IEEE 802.16j 研究小組曾決議該標準必須在不修改用戶端規格之限制下亦能運作，所以 Access link 必須與 IEEE 802.16e 能夠相容；Relay link 包括了 RS 與 BS 的連線以及 RS 與 RS 之間的連線，而在 Relay link 可以在新的標準 IEEE 802.16j 定義合適的新功能。

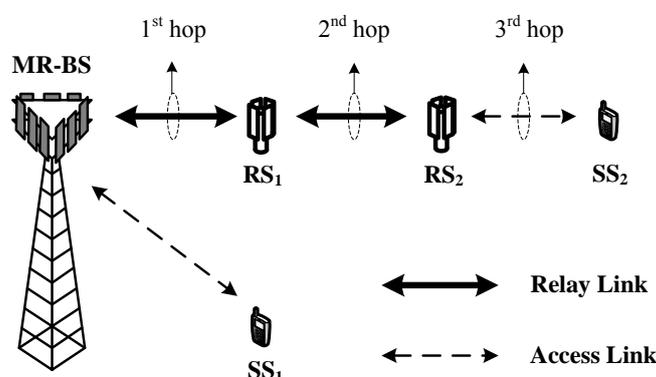


圖 2-2.1 Multi-hop Relay 網路架構

以下介紹加入 RS 能為系統帶來哪些好處：

1. Improve the received signal quality (high user throughput)：

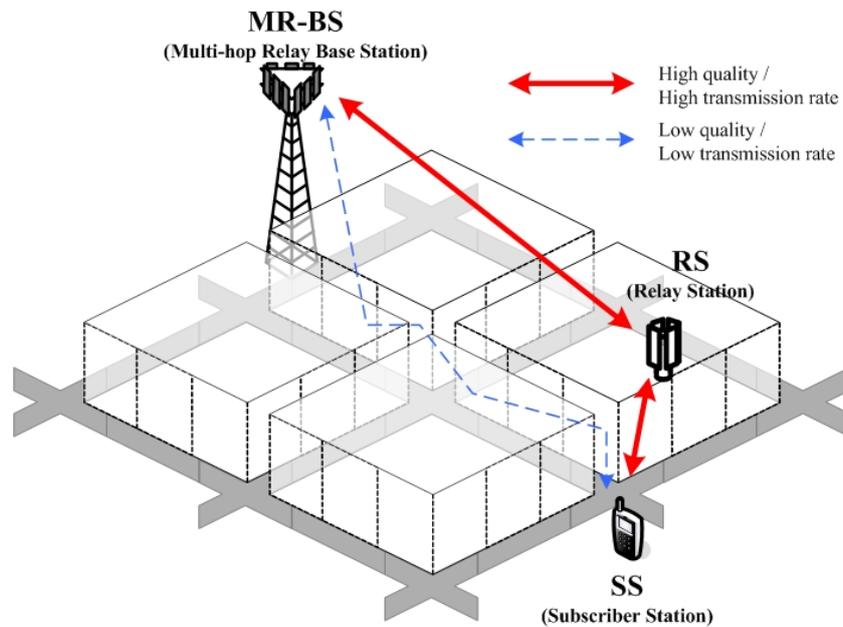


圖 2-2.2 增加信號強度示意圖

由圖 2-2.2 中可看到，RS 首先接收來自基地台發送之訊號，接著再將訊號轉送給用戶端。藉由適當的佈放 RS 可使訊號避開不理想的傳播路徑以減少衰減，同時在轉傳時可再度拉高其功率，如此雙管齊下可使用戶端所接收到的連線品質大幅改善。

2. Extend cell coverage :

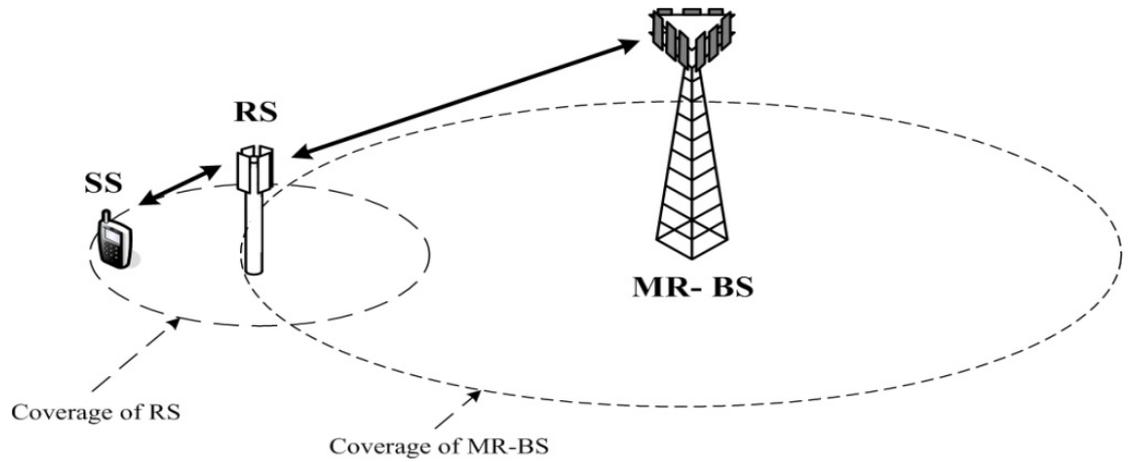


圖 2-2.3 延伸涵蓋區域示意圖

將 RS 佈放於原有基地台涵蓋區邊緣處，讓原本無法獲得服務的使用者藉由 RS 的轉傳而能與基地台建立連線，此時可視為原基地台的涵蓋範圍獲得擴大。

3. More aggressive radio resource reuse :

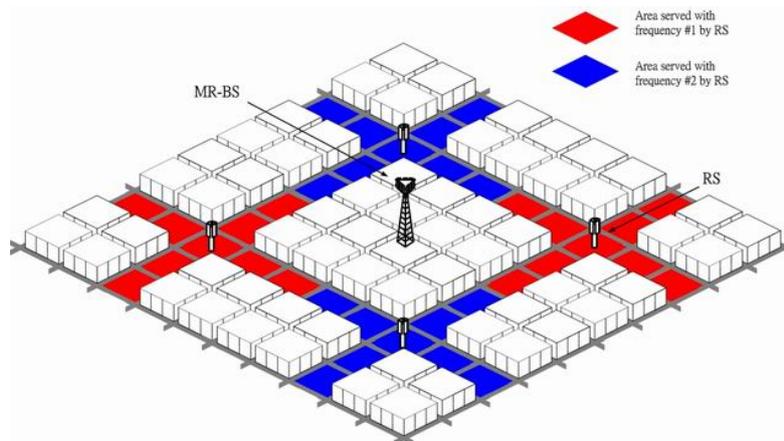


圖 2-2.4 無線資源重用示意圖

由於 RS 的涵蓋範圍只佔原基地台涵蓋範圍的一小部分，而且 RS 涵蓋範圍之間存在著程度大小不一的遮蔽效應，因此有更多的機會對同一頻帶進行重複使用而增進頻譜效益。

4. Improve data rate coverage uniformity :

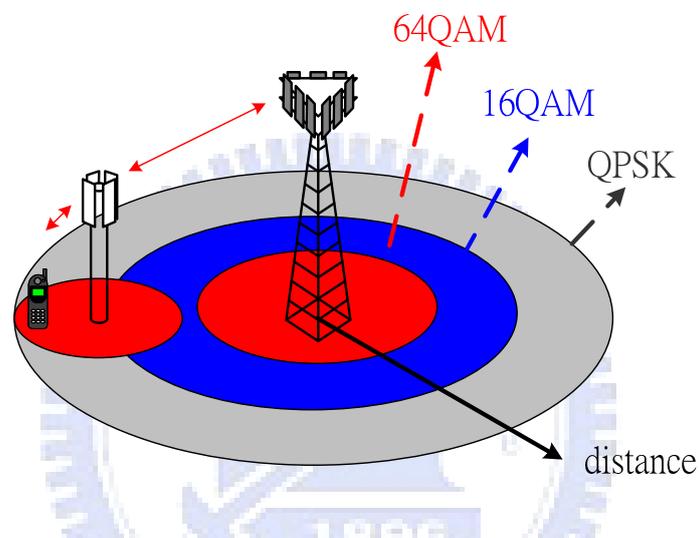


圖 2-2.5 Uniform data rate coverage 示意圖

將 RS 佈放於遮蔽效應嚴重區域使得改善訊號品質而增加資料傳輸率。由系統層面觀之，此種佈放方法可使位於不同位置使用者獲得的資料傳輸率趨於一致(uniform data rate coverage)，如圖 2-2.5 所示。

5. Reduce the network deployment cost :

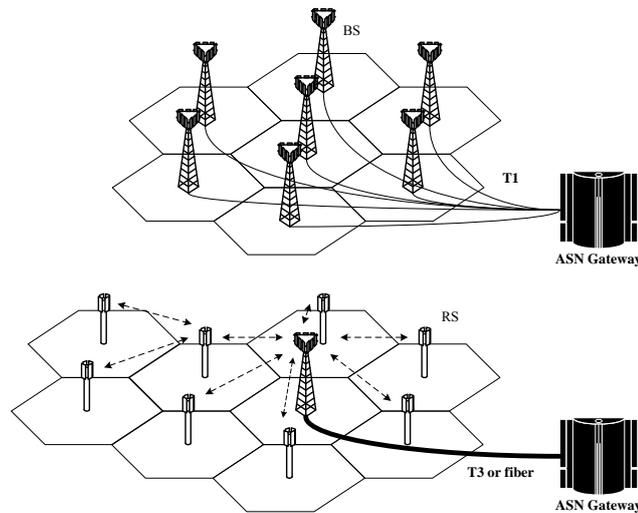


圖 2-2.6 佈建成本示意圖

RS 不須後端固接網路(wire-line backhaul)的設置，可大幅節省電信業者為建置後端網路所耗費的成本，如道路開挖和電路租用等。且 RS 不須具備網路處理功能，因此其製作複雜度及成本將甚低於基地台。

以上為佈放 RS 所能帶來的好處，簡言之，其低成本與彈性佈放的優勢對於電信業者而言是非常有吸引力的。

碼框(frame)架構

IEEE 802.16j[6]系統採用的是正交分頻多重抓取(OFDMA)技術，

其多載波及多通道的特性可同時支援多個使用者。

在 SS 規格不得更改的限制下，為了解決 SS 無法辨識 RS 存在的情形下仍能確保系統運作無虞的問題，因此 IEEE 802.16j 提出了兩種碼框架構：Non-transparent relay frame structure 以及 transparent relay frame structure。

首先我們先介紹 non-transparent relay frame structure，由圖 2-2.7 可以看出，每個 BS 的碼框可分成下鏈子碼框(DL subframe)和上鏈子碼框(UL subframe)，此兩個子碼框又再分成 Access Zone 和 Relay Zone，其中 Access Zone 為 Access link 的工作區間而 Relay Zone 則為 Relay link 的工作區間。在下鏈子碼框的 Access Zone 包含了 preamble，FCH(frame control header)，DL_MAP 和 UP_MAP 及下鏈使用者的資料區塊。DL_MAP 和 UP_MAP 最主要在提供使用者資料會被分配在下鏈子碼框和上鏈子碼框的哪一區塊內，上鏈子碼框包含了使用者上鏈的資料區間以及調距子通道(ranging subchannel)，至於下鏈子碼框的 Relay Zone 所傳送的目標只是換成 RS，BS 可藉由此時間內告知 RS 須在指定時間與指定子通道去轉傳指定的資料。

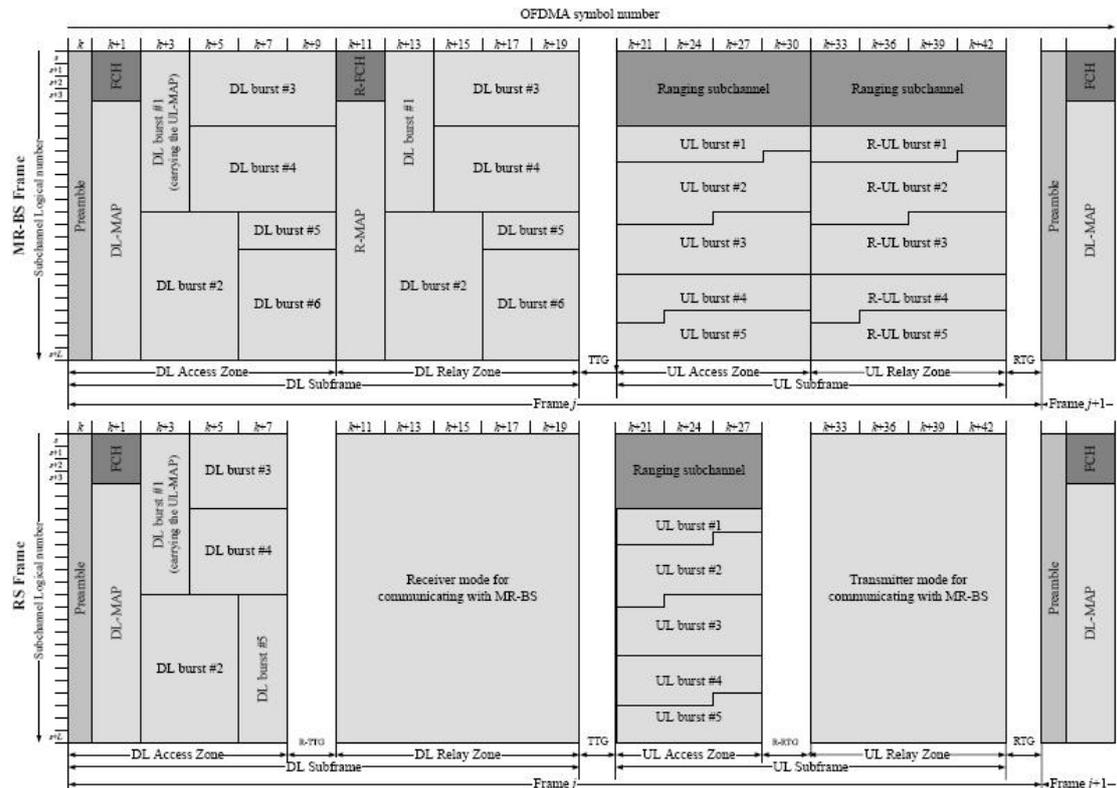


圖 2-2.7 Non-transparent Relay frame structure

而 RS 的碼框結構亦與 BS 的碼框相同，在 DL Access Zone 亦包括了 preamble，FCH(frame control header)，DL_MAP 和 UL_MAP 及下鏈使用者的資料區塊，因此使用者會在接受到其 preamble 時認為使用者本身是和 BS 連線間的，換句話說，此時的 RS 就像是 BS 的一個 sector。在 DL Relay Zone 時間內，RS 接收來自於 BS 的訊號及資料並依照指令在接下來的碼框進行轉傳的動作。

接下來介紹 transparent relay frame structure，如圖 2-2.8 所示，一

個碼框可分成下鏈子碼框和上鏈子碼框，下鏈子碼框又可分成 DL Access Zone 和 Optional Transparent Zone，在 DL Access Zone 時間內 BS 發送 preamble, FCH, DL_MAP 和 UP_MAP 及下鏈使用者的資料區塊，而 RS 在這段時間內為接收狀態並依照接收到的指令在 Optional Transparent Zone 傳輸訊號讓使用者接收，而 BS 在 Optional Transparent Zone 可以選擇性的與 RS 共同合作傳輸訊號。上鏈子碼框則與 non-transparent relay frame structure 相同。由於 transparent relay frame structure 下的 RS 並不會發送自己的 preamble，因此使用者並不會察覺到有此一 RS 的存在，這是與 non-transparent frame structure 最大不同之處。

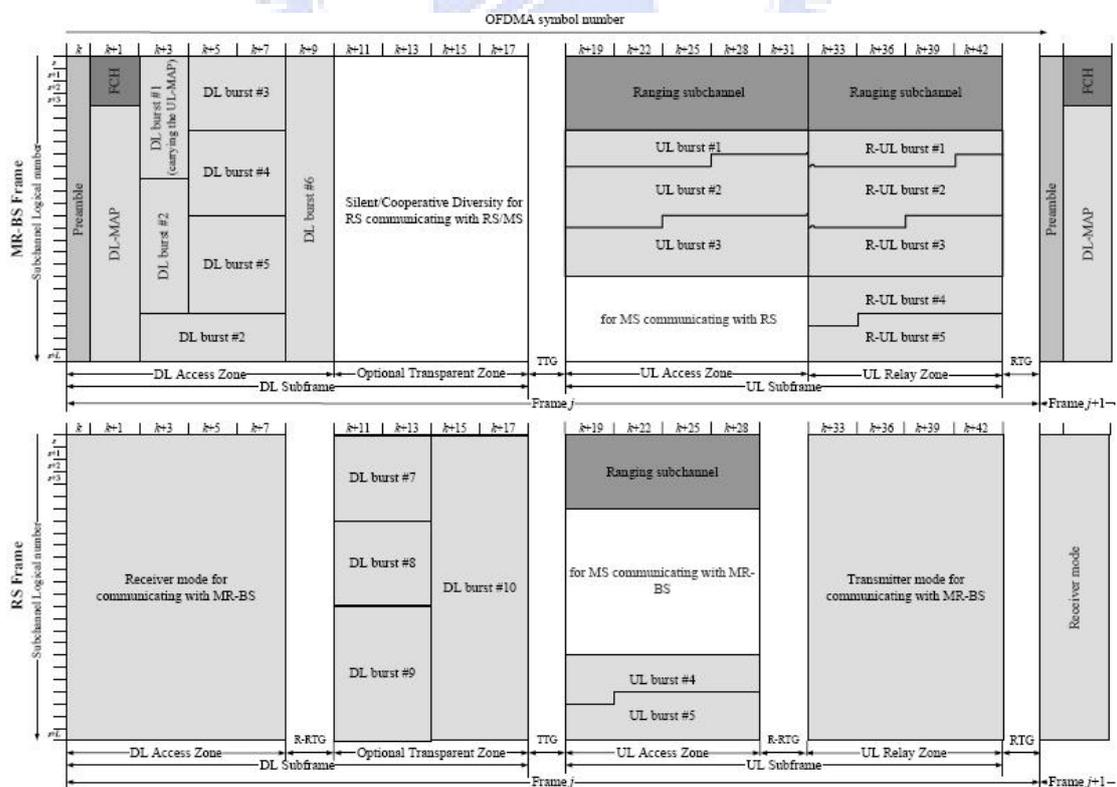


圖 2-2.8 Transparent Relay frame structure

第三章 適用於 Multi-hop Relay 之涵蓋區規劃方法

在系統運作之前，我們必須確保發射器的涵蓋區能夠覆蓋所有的服務範圍而沒有漏洞。因此，我們需要做好事前的涵蓋區規劃，讓每個訊號發射器使用適當的發射功率來達到 seamless transmission 的目標。

接下來我們將以 IEEE 802.16j 為例子。根據 IEEE 802.16j 碼框結構，系統會規劃 BS 或是 RS 去傳送信號(control signal 或 data burst) 給連結在其下鏈的接收器，而這些信號的傳送範圍會隨著不同 Relay mode 以及不同的時間而有所不同的因此在接下來的幾個小節，我們以傳送信號種類做為區別，分別為 control signal、access link 以及 relay link 來探討涵蓋區規劃方法。

並且利用鏈路預算此工具計算出適合此三種情境欲達到涵蓋範圍所需的訊號發射功率。

3-1 控制訊號之涵蓋區規劃方法

在每個碼框的起始處，BS 會送出 preamble，frame control header 以及 maps，這些即為 control messages，送出這些信號的目的是為要讓底下的 MS 知道如何解讀此碼框的內容，所以在 Transparent Relay Mode 以及 Non-transparent Relay Mode，BS 發送 control message 的範圍就有所不同。

在 Transparent Relay Mode，每個細胞(cell)只有 BS 會發送 control message，所以 BS 必須將 control message 傳送到整個細胞涵蓋區域，如圖 3-1.1 的灰色區域。

在 Non-transparent Relay Mode，每個細胞裡的 BS 和 RSs 皆會發送 control message (In two-hop case)，所以在此情境下，BS 和 RS 只要將 control message 傳送到其規劃的 MS 涵蓋區即可，如圖 3-1.1 的藍色和紅色區域。

在每個碼框的 Relay Zone 之初，BS 也會發送 control messages 包含 R-preamble，R-frame control header 以及 R-maps 給底下的 RS，目的亦和上述的 control message 相同。

無論是在 Transparent Relay Mode 或是 Non-transparent Relay Mode，BS 只要將這些 control message 傳送到全部的 RS 皆可收到的涵蓋區即可，如圖 3-1.1 的橘色區域。

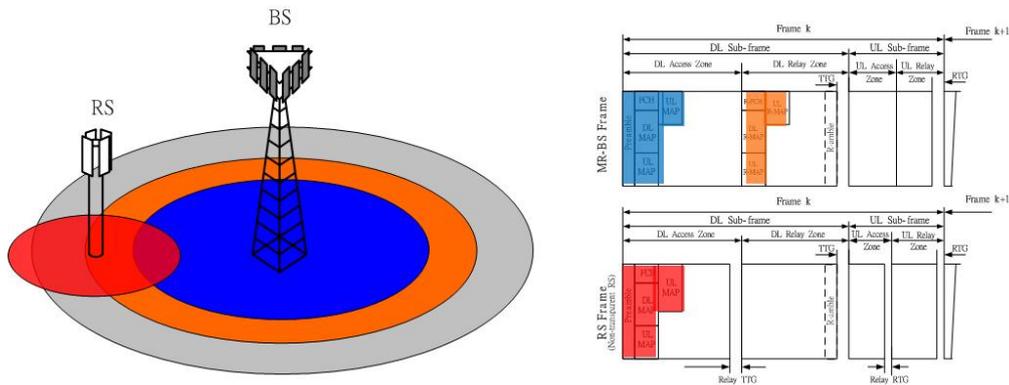


圖 3-1.1 Coverage of control signal

知道在某一特定 Relay mode 的某一段特定時間內，一個傳送端要涵蓋多大的範圍後，我們就可以利用鏈路預算此工具去估算在系統建置初期要發送多大的功率。表 3-1.1 是一個鏈路預算的範例，此範例考慮一系統頻寬為 10MHz 的 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統，採用 adjacent permutation 子通道以及環境溫度設定在 239K (20°C)。關於鏈路預算所列出的各項參數及相關設定可以在 H. Holma 的著作[7]中找到詳細的說明。

在鏈路預算理所列出的各項參數都有其物理意義，都是用來反映真實環境，因此所模擬出來的結果才有其參考價值。接下來是說明表 3-1.1 列出的各項參數之意義：

Tx power for each BS – 基地台發射訊號所能達到的最大功率，單位是 dBm。

Tx power for each sub-carrier – 基地台在每個子載波上發射訊號的最大功率，單位是 dBm。

BS Antenna gain – 基地台天線的增益，此項為零代表基地台使用無指向性(omni-directional)天線，若不為零則代表基地台使用指向性(directional)天線，單位是 dBi。

EIRP per sub-carrier – Equivalent Isotropic Radiated Power per-sub-carrier 的簡稱，為每個子載波送出天線時的發射訊號功率。

Thermal Noise Density – 背景熱雜訊的密度。此密度與溫度成正比關係，公式為 $N_0 = KT$ 。T 為考慮的環境凱氏溫度，K 為普朗克常數 1.38×10^{-23} 。單位是 dBm/Hz。

MS Noise Figure – 在經過使用者的接收機時，訊號雜訊比(SNR)會因為射頻(RF)元件的作用引進額外的雜訊，此參數代表訊號雜訊比的惡化程度，單位是 dB。

Receiver Noise Density – 在使用者接收機的 RF 接收設備輸出端所得到的等效熱雜訊密度。單位是 dBm/Hz。

Receiver Noise Power – 在已知熱雜訊密度以及濾波器是理想的情況下，所接收到的熱雜訊強度為該環境的熱雜訊密度乘上濾波器的頻寬。單位是 dBm。

Receiver interference power – 在使用者接收機的 RF 接收設備輸出端所規劃承受的最大干擾強度。單位是 dBm。

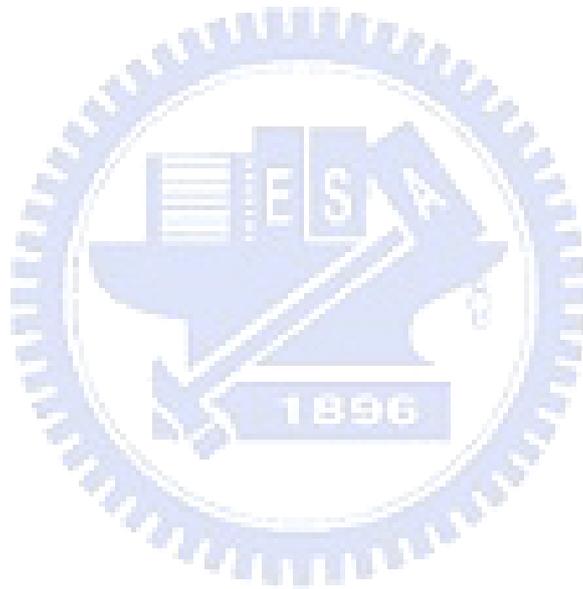
Total Thermal Noise + Interference power - 在使用者接收機的 RF 接收設備輸出端所規劃承受的最大干擾加上熱雜訊強度。單位是 dBm。

Required SINR – 使用者所使用的服務所對應到的訊號品質要求。使用不同服務型態時，對於 SINR 的要求會有所不同。

Max. Allowable Propagation Loss – 考慮系統處於所規劃的滿載情形時，訊號可以容忍的最大傳播損失(propagation loss)。單位是 dB。

Log Normal Fading Margin – 在使用者接受到的訊號會因為傳送時受到遮

蔽衰落效應而呈現一個 log-normal 的分布，因此若讓 Max. Allowable Propagation Loss 設定成路徑損失加上平均的遮蔽衰落，則位於涵蓋區邊界的使用者將只有一半的機會能滿足訊號品質的要求，所以我們必須在所規劃的最大傳播損失之外，再多預留一些空間因應遮蔽衰落所造成的變動。



Downlink control signal link budget for Cellular OFDMA System

Total bandwidth: 10MHz

Temperature: 239K (20°C)

Adjacent permutation channelization

Modulation Scheme	QPSK	
Coding Rate	1/2	
Transmitter (BS)		
Tx power for each BS (W)	28	
Tx power for each sub-carrier (dBm)	20.7918 (120mW)	a
BS Antenna gain (dBi)	15	b
Back-off (dB)	5	d
EIRP per sub-carrier (dBm)	30.7918	e=a+b-d
Receiver (MS)		
Thermal Noise Density (dBm/Hz)	-173.9325 (20°C)	c
MS Noise Figure (dB)	4	f
Receiver Noise Density (dBm/Hz)	-169.9325	g=c+f
Receiver Noise Power (dBm)	-129.5422	h
Receiver interference power (dBm)	-124.7995	j
Total Thermal Noise + Interference power (dBm)	-123.543	k
Required SINR (dB)	5	l
Required Received Signal Power (dBm)	-116.543	n=k+l
Max. Allowable Propagation Loss (dB)	147.3348	o=e-n
Log Normal Fading Margin (dB)	10	t
Allowed Path Loss for Cell Range (dB)	137.3348	v=o-t
Corresponding Cell Radius (km)	1.0 km	

表 3-1.1 鏈路預算範例(1)

3-2 Relay Link 之涵蓋區規劃方法

在每個 frame 的 relay zone 時間內，是規劃給 BS 用來發送訊號給底下的 RSs，因此在這段時間內，不論是 transparent relay mode 或 non-transparent relay mode，BS 的涵蓋區域皆必須要覆蓋底下全部的 RSs，如圖 3-2.1 的藍色區域。

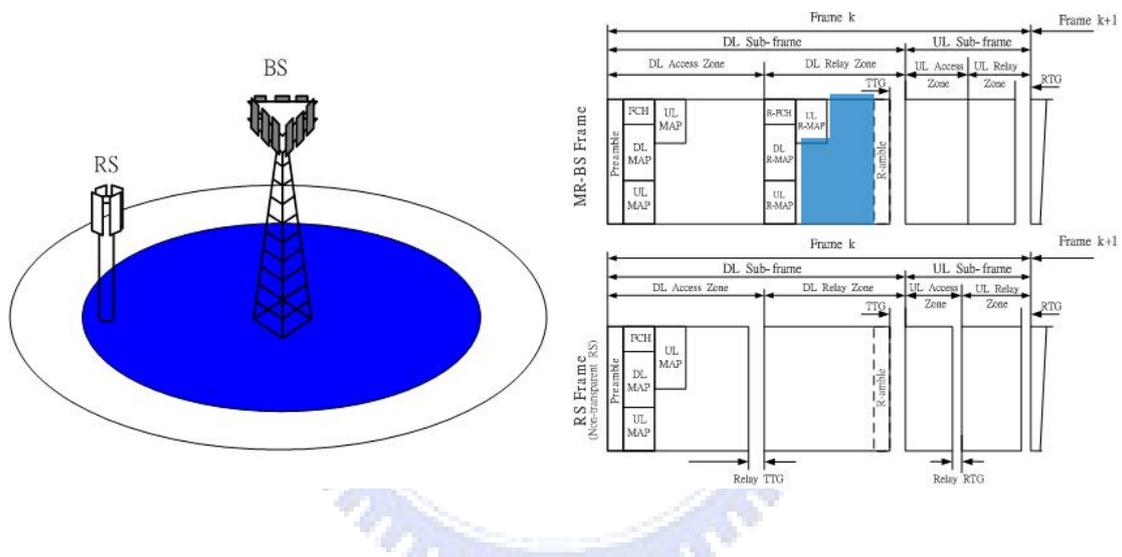


圖 3-2.1 Coverage of Relay Link

表 3-2.1 是一個 Relay link 的鏈路預算範例。

Downlink Relay-link link budget for Cellular OFDMA System

Total bandwidth: 10MHz

Temperature: 239K (20°C)

Adjacent permutation channelization

DL sub-frame Access zone		
Transmitter (BS)		
Transmit power for each BS (W)	13	
Transmit power for each sub-carrier (dBm)	13.0103 (0.020W)	a
BS Antenna gain (dBi)	15	b
Back-off (dB)	5	d
EIRP per sub-carrier (dBm)	23.0103	e=a+b-d
Receiver (MS)		
Thermal Noise Density (dBm/Hz)	-173.9325 (20°C)	c
MS Noise Figure (dB)	4	f
Receiver Noise Density (dBm/Hz)	-169.9325	g=c+f
Receiver Noise Power (dBm)	-120	h
Receiver interference power (dBm)	-154.6027	j
Total Thermal Noise + Interference power (dBm)	-100.5726	k
Required Eb/NI (dB)	17	l
Required Received Signal Power (dBm)	-83.5726	n=k+l
Max. Allowable Propagation Loss (dB)	105.5829	o=e-n
Log Normal Fading Margin (dB)	3	t
Allowed Path Loss for Cell Range (dB)	102.5829	v=o-t
Corresponding radius (km)	0.565 (km)	

表 3-2.1 鏈路預算範例(2)

3-3 Access Link 之涵蓋區規劃方法

在每個碼框的 access zone 是規劃給 BS 以及 RS 發送訊號給各自底下接受服務的使用者，因此在這段時間內，不論是 transparent relay mode 或 non-transparent relay mode，BS 和 RS 只要涵蓋各自的服務範圍即可，如圖 3-3.1 的藍色區域和紅色區域各自代表 BS 和 RS 的涵蓋區。

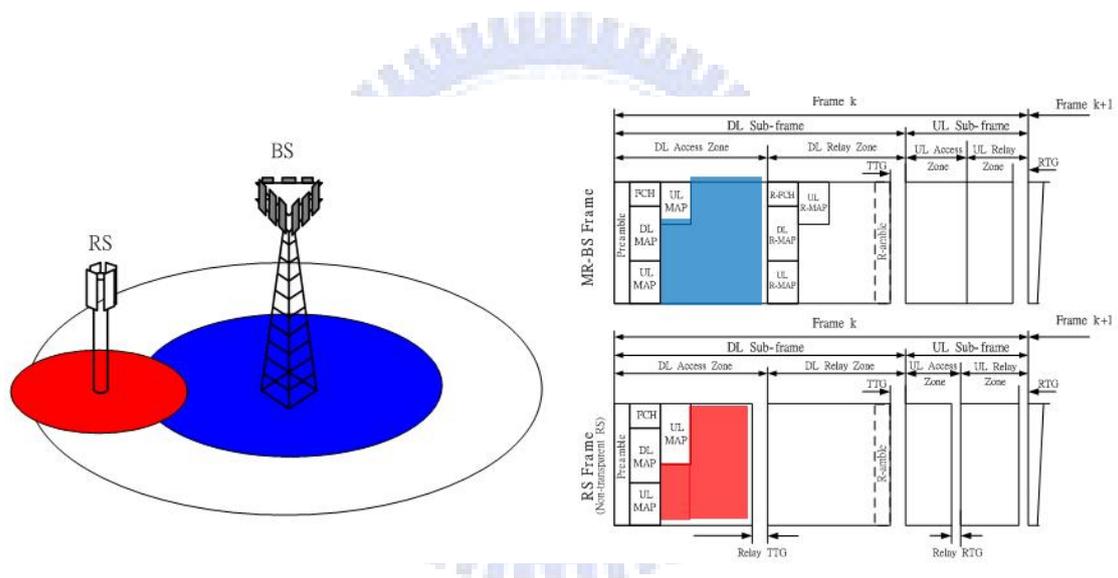


圖 3-3.1 Coverage of Access Link

表 3-3.1 為一 Relay Station 的鏈路預算範例。

Downlink Access-link link budget for Cellular OFDMA System

Total bandwidth: 10MHz

Temperature: 239K (20°C)

Adjacent permutation channelization

Modulation Coding Scheme	QPSK	
Code Rate	1/2	
Transmitter (RS)		
Transmit power for each RS (W)	43	
Transmit power for each sub-carrier (dBm)	23.0103 (200mW)	a
Back-off (dB)	5	d
EIRP per sub-carrier (dBm)	18.0103	e=a -d
Receiver (MS)		
Thermal Noise Density (dBm/Hz)	-173.9325 (20°C)	c
MS Noise Figure (dB)	4	f
Receiver Noise Density (dBm/Hz)	-169.9325	g=c+f
Receiver Noise Power (dBm)	-129.5422	h
Receiver interference power (dBm)	-118.5827	j
Total Thermal Noise + Interference power (dBm)	-118.2478	k
Required SINR (dB)	5	l
Required Received Signal Power (dBm)	-111.2478	n=k+l
Max. Allowable Propagation Loss (dB)	129.2581	o=e-n
Log Normal Fading Margin (dB)	3	t
Allowed Path Loss for Cell Range (dB)	126.2581	v=o-t
Corresponding RS radius (km)	0.356	

表 3-3.1 鏈路預算範例(3)

在第三章結束之前，我們將不同的 relay mode 的不同時段裡，不同發射器的涵蓋區以表 3-3.2 做一個整理。

<i>Transparent Relay Mode</i>			<i>Non-transparent Relay Mode</i>		
Signal Type	Link Type	Coverage	Signal Type	Link Type	Coverage
Control Message	BS -> MS	Whole cell	Control Message	BS -> MS	Sub-cell
Control Message	BS -> RS	All RSs	Control Message	BS -> RS	All RSs
Relay Link	BS -> RS	All RSs	Relay Link	BS -> RS	All RSs
Access Link	BS -> MS	Sub-cell	Access Link	BS -> MS	Sub-cell
Access Link	RS -> MS	Sub-cell	Access Link	RS -> MS	Sub-cell

表 3-3.2 涵蓋區範圍整理



第四章 適用於 Uniformly Deployed RS 之頻率規劃方法

近年來，由於多媒體通訊蓬勃發展以及使用者的需求激增，通訊系統所被期望的系統容量也隨之提升，然而無線資源仍然有限而且昂貴。因此在一通訊系統初始之際，頻率規劃必須仔細設計，因為被系統所採用的頻率規劃方法對於系統容量將有相當大的影響。

當考慮一 Multi-hop Relay 系統，由於使用者可能透過 Relay Station 而使用 two-hop 的模式來接收資料，勢必有一段 hop 是用來轉傳重複相同(redundancy)的資料，如果沒有採用好的頻率規劃方法，Multi-hop Relay System 在系統容量的表現上可能甚至比傳統蜂巢式系統來的差。因此，適當的頻率規劃方法對於一個 Multi-hop Relay System 是非常重要的。

在本章，我們將目前文獻所提出適用於 Multi-hop Relay 系統的頻率規劃方法整理而且區分成兩大類；(1)具 channel borrowing 概念之頻率規劃方法以及(2)具 reuse partitioning 概念之頻率規劃方法。另外，此研究也提出一以 Sub-cell 為觀點之新型頻率規劃方法。我們將在以下各小節分別介紹此三種頻率規劃方法並且以 IEEE 16j 實際系統實作。

在討論不同頻率規劃方法之前，我們先定義什麼是 Uniformly

deployed RS；在先前很多討論 Multi-hop Relay 系統的文獻[8-13]皆是考慮以一個典型的 RS 佈放環境如圖 4.1。以每一個 Cell 而言，在其中心位置放基地台，並在距離 cell 中心 $2/3$ 涵蓋範圍半徑處佈放 RS，且以此原則每個 cell 均勻佈放 6 個 RS。

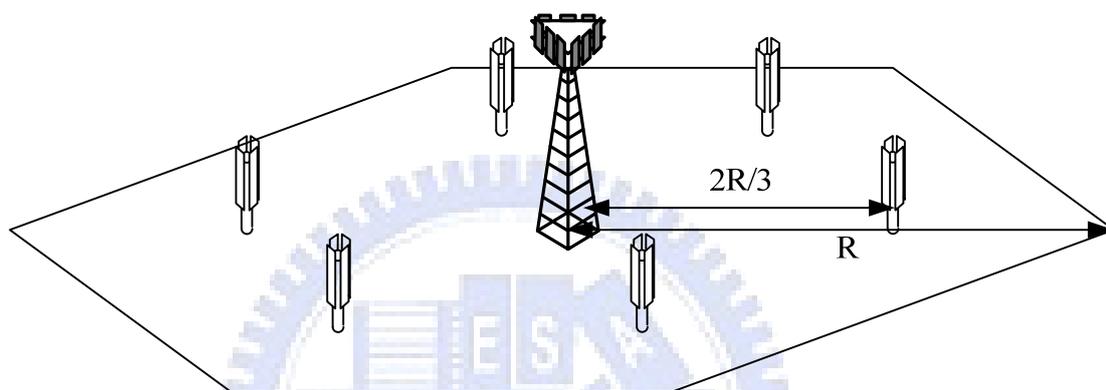


圖 4.1 Uniformly deployed RS

4-1 具 channel borrowing 概念之頻率規劃方法[8][9]

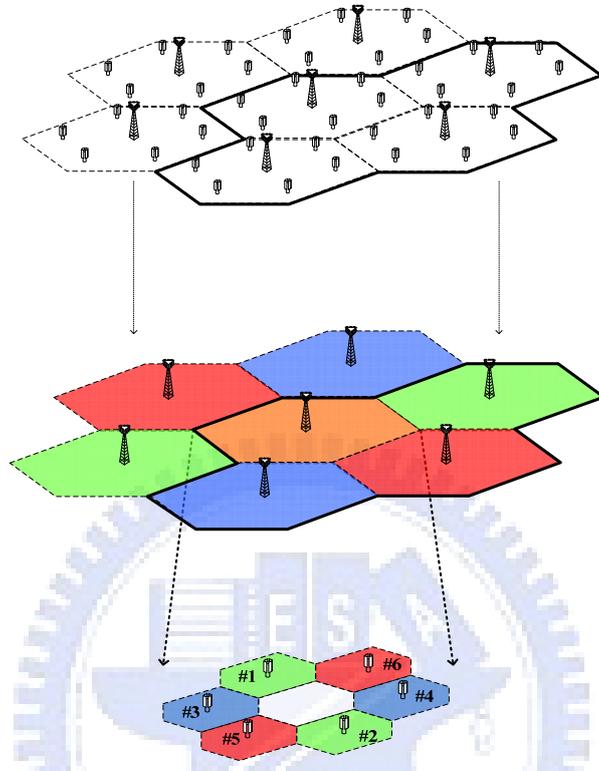


圖 4-1.1 Channel-borrowing-based frequency planning_1

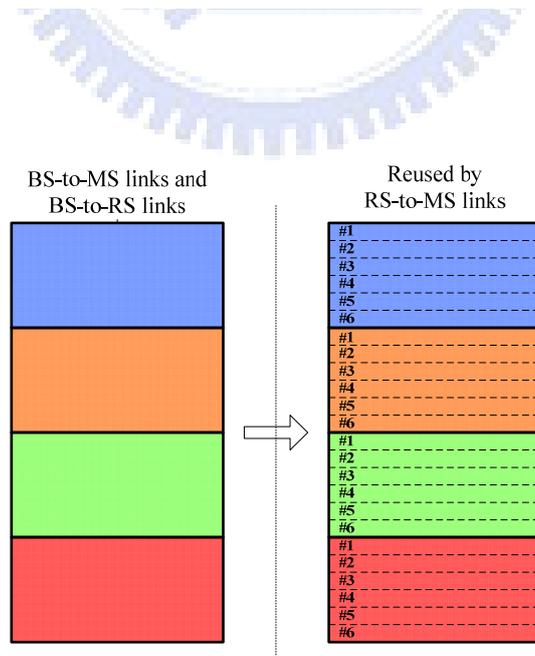


圖 4-1.2 Channel-borrowing-based frequency planning_2

此方法分成兩階段去做頻率規劃。在第一階段，系統首先將 k 個 MR-cell cluster 在一起以 reuse factor 為 k 去分享系統頻寬，也就是將所有的頻寬切成 k 個 segment，每個 segment 分配給同一個 cluster 裡不同的 MR-cell。這個階段所分配好的頻寬，全權交由 BS 使用，即使用在 BS-to-MS links 以及 BS-to-RS links。如圖 4-1.1，以 reuse factor $k=4$ 頻率規劃的範例。

在第二階段，尚未被分配頻寬的 RS 將以 channel borrowing 的概念被規劃頻率去使用在 RS-to-MS links，而原本以 reuse factor k 規劃好的 segment 再切成等份量的 group 讓 RS 作 channel borrowing 的動作，如圖 4-1.2，reuse factor $k=4$ 的情況下，每個 segment 在等分切成 6 個 group。此階段頻率規劃方法我們以圖 4-1.2 裡中央橘色的 MR-cell 舉例來說明，此 MR-cell 裡的左上和右下的 RS 分別去重用綠色 segment 裡的 group #1 和 group #2，因為這兩個 RS 重用綠色 segment 時相較於橘色，紅色，藍色 segment 有最遠的重用距離，因此有最小的同頻干擾的產生，基於相同原因，此 MR-cell 裡的左邊和右邊 RS 分別重用藍色 segment 裡的 group #3 和 group #4，以及此 MR-cell 裡的左下和右上 RS 分別重用紅色 segment 裡的 group #5 和 group #6，其餘的 MR-cell 裡的 RS 亦是以此原則來做頻率規劃。

將 segment 切成 groups 再讓指定 RS 作重用的目的可以由圖 4-1.2

來說明。我們可以看到在 cell boundary，皆有相鄰 RS 重用同 segment 的情形，所以此法讓 segment 在細切成 groups 而且分派到指定 RS 可以避免在這些地區發生嚴重的同頻干擾。

接下來，介紹如何將此概念實現在實際系統 IEEE 802.16j 上，並以圖 4-1.3 與圖 4-1.4 說明。

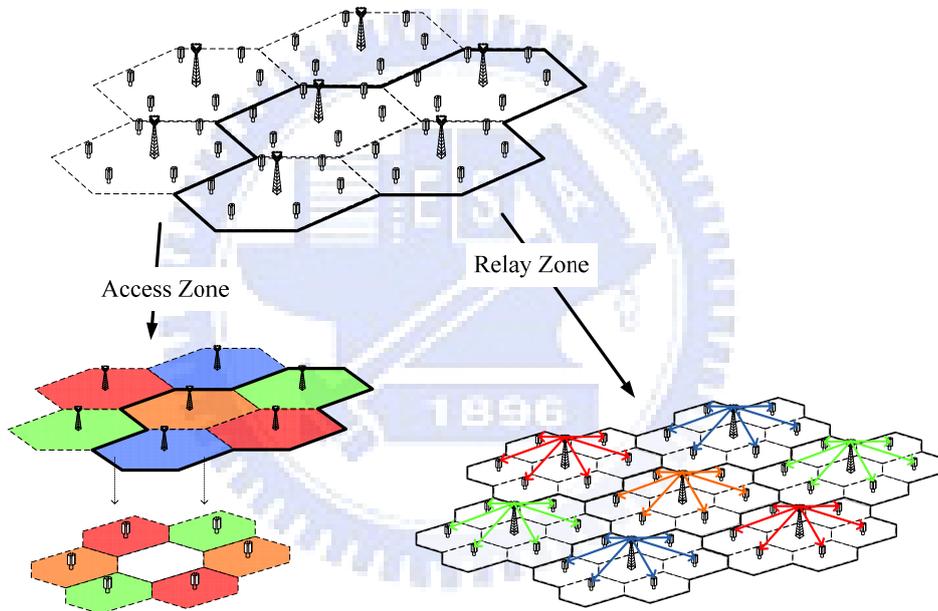


圖 4-1.3 Implementation of channel borrowing-based frequency planning_1

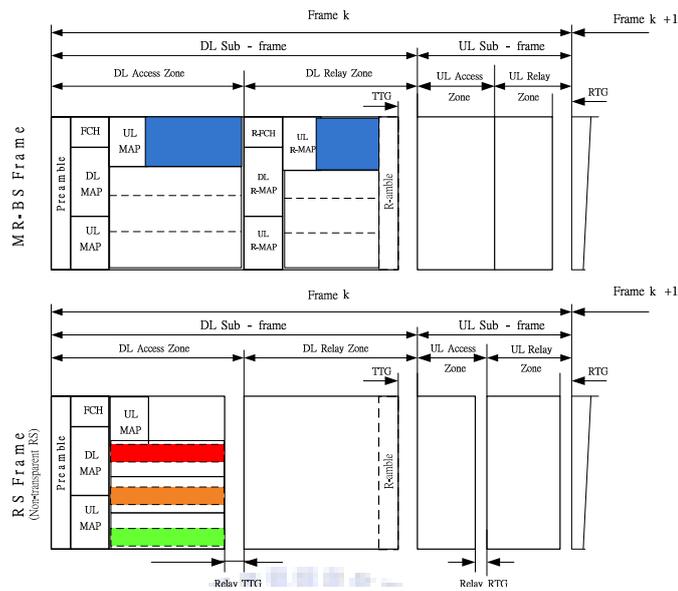


圖 4-1.4 Implementation of channel-borrowing-based frequency planning₂

圖 4-1.3 為系統頻率分配的情形，而圖中 Cell A 的 frame structure 如圖 4-1.4 所示。

系統裡的 BS 在 Access Zone 期間內以 reuse factor $k=4$ 被分配頻率使用，而每個 Cell 裡的 RS 去重用已分配給相鄰 Cell 的 frequency，重用的原則如前段所解釋的方式去執行，在圖 4-1.4 所表示 Cell A 的 frame structure 裡可以清楚的解釋此概念。至於在 Relay Zone 期間，每個 BS 以 reuse factor=4 被分配頻率去傳送信號給 RS，如圖 4-1.4 所示，每個 BS 在 relay zone 使用四分之一的頻譜資源。

4-2 具 reuse partitioning 概念之頻率規劃方法[10-13]

在一 two-hop Relay Network，存在三種 link：BS-to-MS link，RS-to-MS link 和 BS-to-RS link。此方法以這三種 link 為基礎，將 two-hop Relay 系統分成三個 sub-networks：(1) BS-to-MS link sub-network，(2) RS-to-MS link sub-network 以及(3) BS-to-RS link sub-network，如圖 4-1.5 所示。

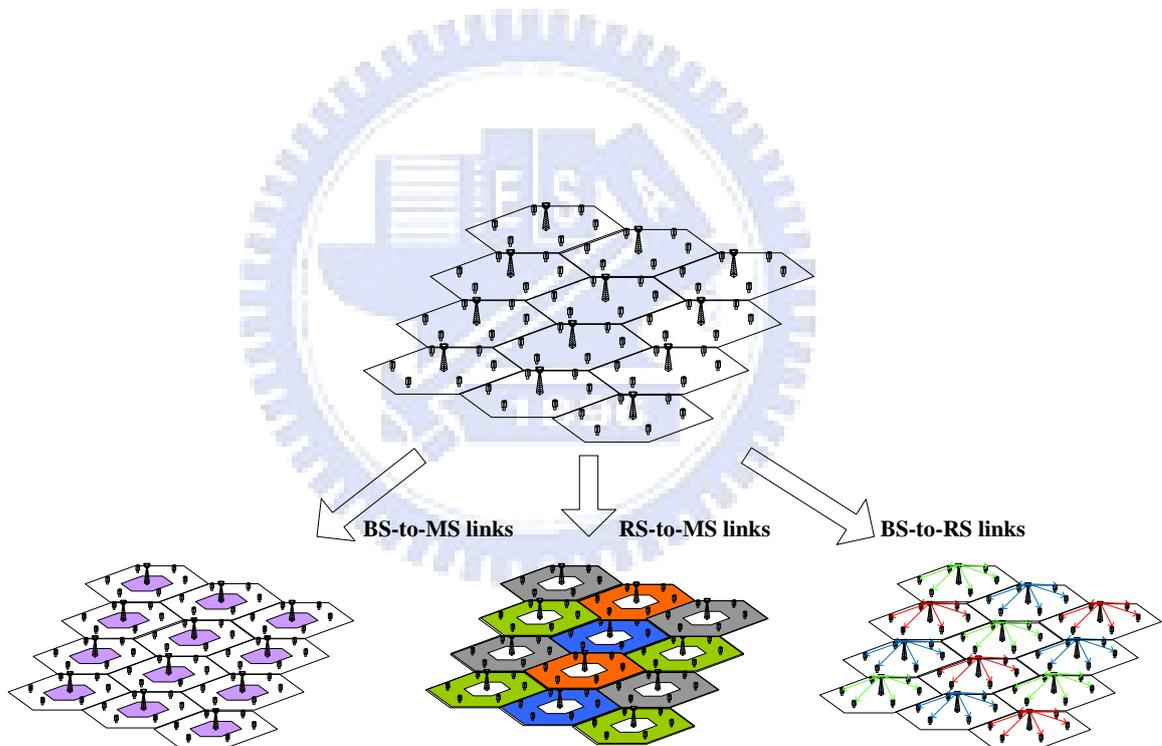


圖 4-2.1 Frequency reuse partitioning-based frequency planning_1

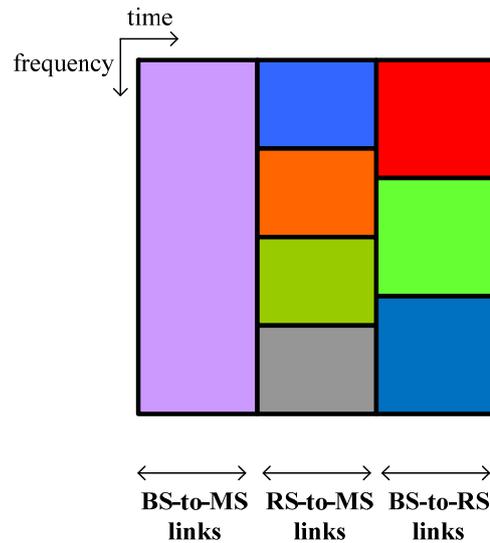


圖 4-2.2 Frequency reuse partitioning-based frequency planning_2

基於這樣的架構，此方法將頻譜資源也切成三分，分別讓這三個 sub-network 去做頻率規劃，因此這三個 sub-network 可以分別使用不同的 reuse factor 去重用頻譜資源，這樣的頻率規劃方法有 reuse partitioning[14]的概念，所以稱此方法為具 reuse partitioning 概念之頻率規劃方法。

圖 4-2.2 是此法頻譜切割的示意圖，可以搭配圖 4-2.1 來舉例說明此概念。這個範例先將頻譜資源以時間切成三份，分別給 BS-to-MS link network，RS-to-MS link network，以及 BS-to-RS network，而 BS-to-MS link network 以 reuse factor=1 去使用被分配到的頻譜資源，RS-to-MS link network 以 reuse factor=4 去使用被分配到的頻譜資源，BS-to-RS link network 以 reuse factor=3 去使用被分配到的頻譜資源，因此以此方法做頻率規劃，可以用一 reuse pattern (N_i, N_o, N_r) 去描述一

個 two-hop Relay System 的頻率規劃，其中 N_i 為 BS-to-MS link (inner cell) network 的 reuse factor， N_o 為 BS-to-MS link (outer cell) network 的 reuse factor， N_r 為 BS-to-RS link (relay link) network 的 reuse factor。其中，在 RS-to-MS link sub-network 做完頻率規劃後，以每個 cell 為單位會將被分配好的 frequency 再細切成 6 份分別給此 cell 內的 RS 去使用，而不是動態地視即時的需求去 allocate 給需要的 RS，這樣的做法是為了讓 co-channel interference 的程度最小化，因此使用 co-channel 的 RS 也是被事先決定好以達到彼此的 co-channel distance 能使得 SINR 在最低要求之上。

接下來，介紹如何將此概念而且以 reuse pattern (1,1,4) 實現在實際系統 IEEE 802.16j 上，並以圖 4-2.3 與圖 4-2.4 說明。

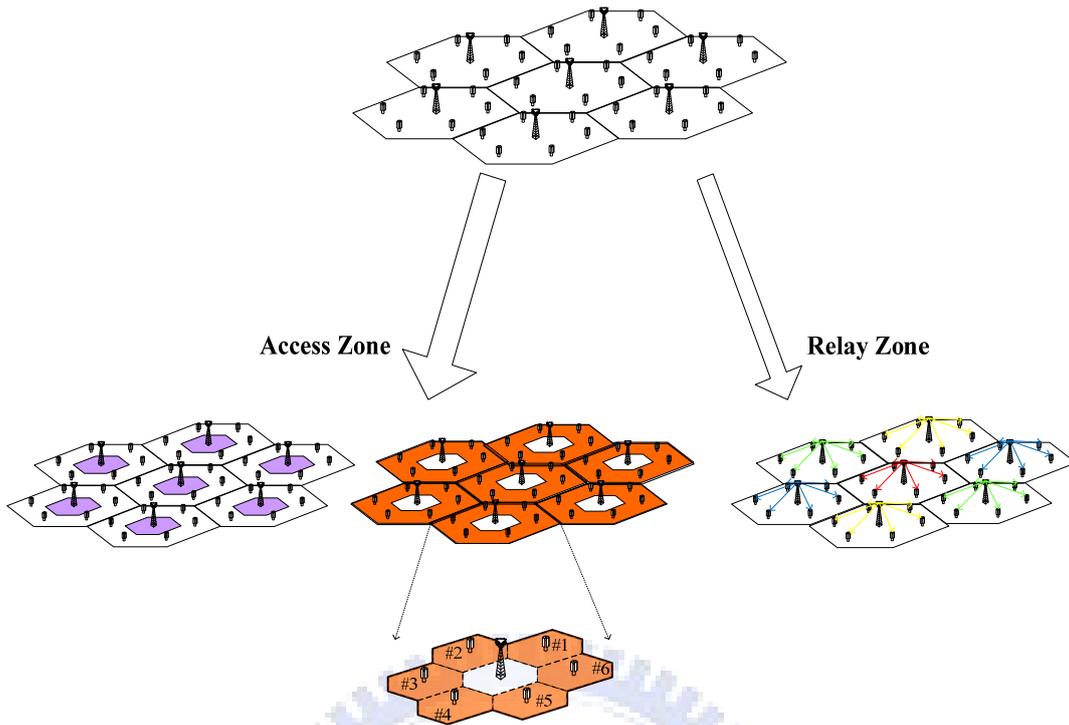


圖 4-2.3 Implementation of Frequency reuse partitioning-based frequency planning_1

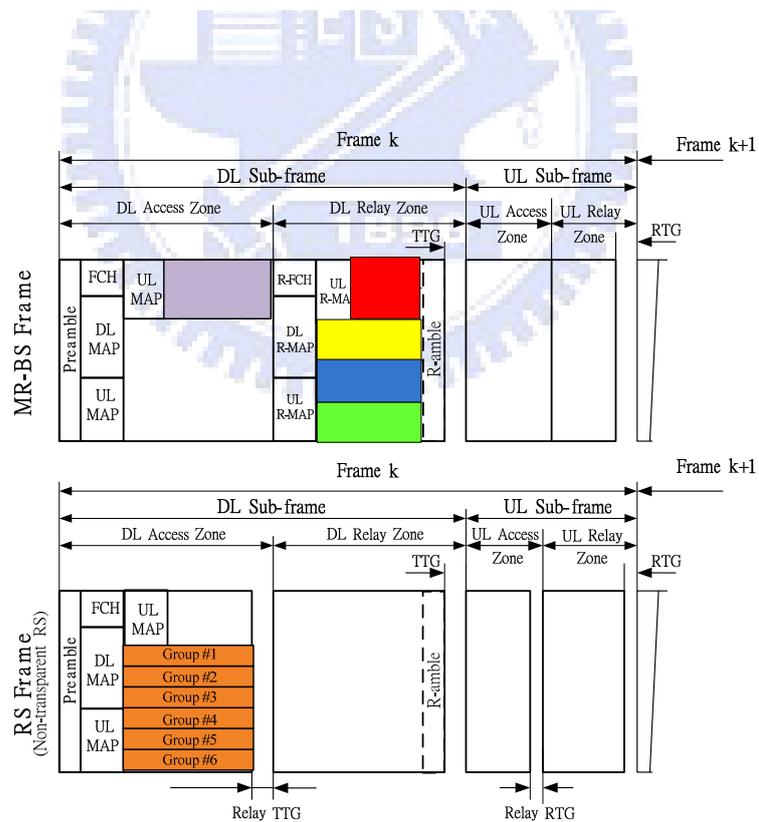


圖 4-2.4 Implementation of Frequency reuse partitioning-based frequency planning_2

圖 4-2.3 為系統頻率分配的情形，而圖中 Cell A 的 frame structure 如圖 4-2.4 所示。

系統在 Access Zone 期間內以先將頻譜資源切成兩份，其中一份佔 $1/7$ 分配給 BS-to-MS link sub-network 作 reuse factor $K=1$ 的頻率規劃，另外一份佔 $6/7$ 分配給 RS-to-MS link sub-network 作 reuse factor $K=1$ 的頻率規劃，如此規劃的原因是因為不論 BS 或是 RS 所要涵蓋的範圍都相同，所以皆規劃相同的頻譜資源讓 BS 或 RS 去使用。而分配給 RS-to-MS link sub-network 的頻譜資源將再被細切成 6 份去分給每個 Cell 的 RS 使用，如圖 4-2.3 所示，其中原因在本節第一段末有說明。至於在 Relay Zone 期間，頻譜資源以 reuse factor $K=4$ 分配給 BS-to-RS link sub-network，如圖 4-2.4 所示，每個 BS 在 relay zone 使用四分之一的頻譜資源傳送信號給 RS。

4-3 以 sub-cell 為觀點之新型頻率規劃方法

本節開頭我們先來檢視之前所提出頻率規劃方法的缺點，接著進而針對這些缺點改進而提出一個以 sub-cell 為觀點之新型頻率規劃方法，並且將此方法實現在 IEEE 802.16j 系統上。

圖 4-3.1 是一個具 channel borrowing 概念之頻率規劃方法的示意

圖

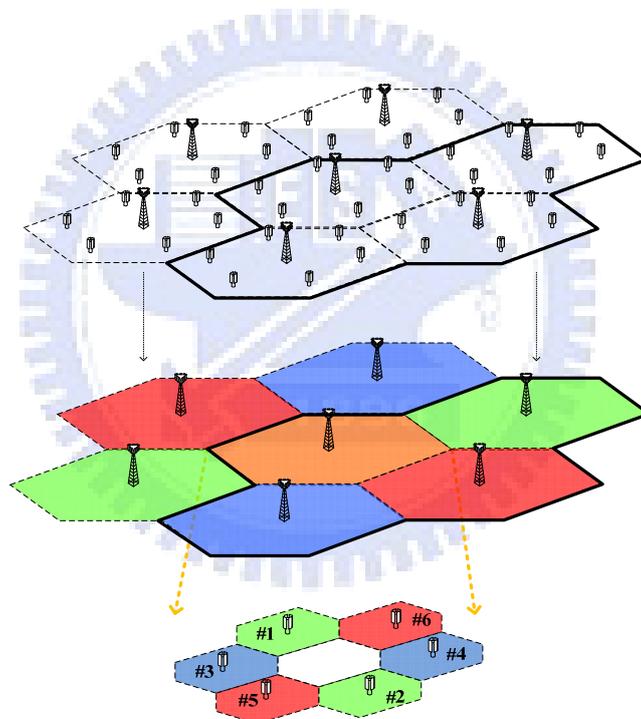


圖 4-3.1 Channel borrowing-based frequency planning concept

由圖 4-3.1 可以看到 RS 的涵蓋區與 BS 的涵蓋區是重疊的，事實上，位於此區域的使用者有很大的機率會因為與 RS 的連線品質優於與 BS 的連線品質而選擇與 RS 進行連線。因此使得原本使用此頻率規劃方法所配置給 BS 使用的頻譜資源大多使用在 MR-cell 的中心區域。所以這部分的頻譜資源應該以涵蓋 MR-cell 中心區域去作頻率規劃進而使得頻率重用的次數增加來達到增進系統容量的目的。

具 reuse partitioning 概念之頻率規劃方法與基於以上缺點去改良，因此在此方法裡 BS 不再去涵蓋整個 MR-cell，而讓 BS 與 RS 一樣皆是涵蓋 MR-cell 的部分區域。但此頻率規劃方法重用頻譜資源的原則，不論是哪種 link types (如圖 4-3.2 所示) 仍是以一個 MR-cell 為單位，因此以此法最積極的去使用頻譜資源可達到 universal reuse，即每隔一個 MR-cell 就重用一次全部的頻譜資源。但在 Multi-hop Relay 系統架構之下，是否上述所提的 universal reuse 就是重用頻譜資源的上限了呢？

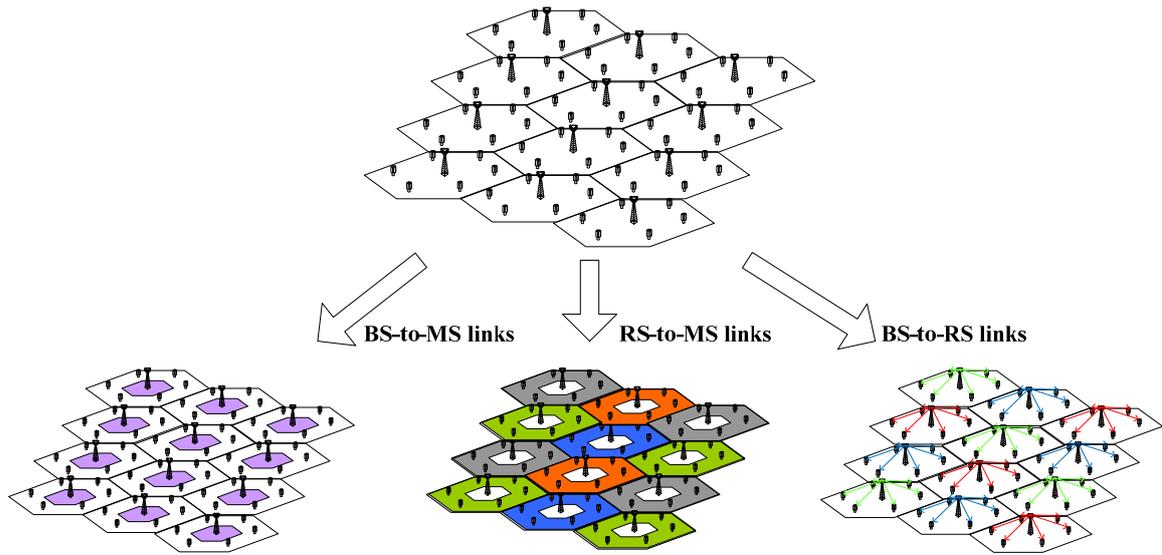


圖 4-3.2 frequency reuse partitioning-based frequency planning concept

在此動機下，我們提出了 sub-cell 的概念：考慮 Access link 時，無論 BS 或是 RS，讓其皆涵蓋 MR-cell 的部分區域，並使得隸屬於同一個 MR-cell 的 BS 和 RS 之涵蓋區域能夠完整覆蓋該 MR-cell，滿足此要求之下的 BS 之涵蓋區或是 RS 之涵蓋區皆定義成 sub-cell。MR-cell 與 sub-cell 的關係如圖 4-3.3 所示。

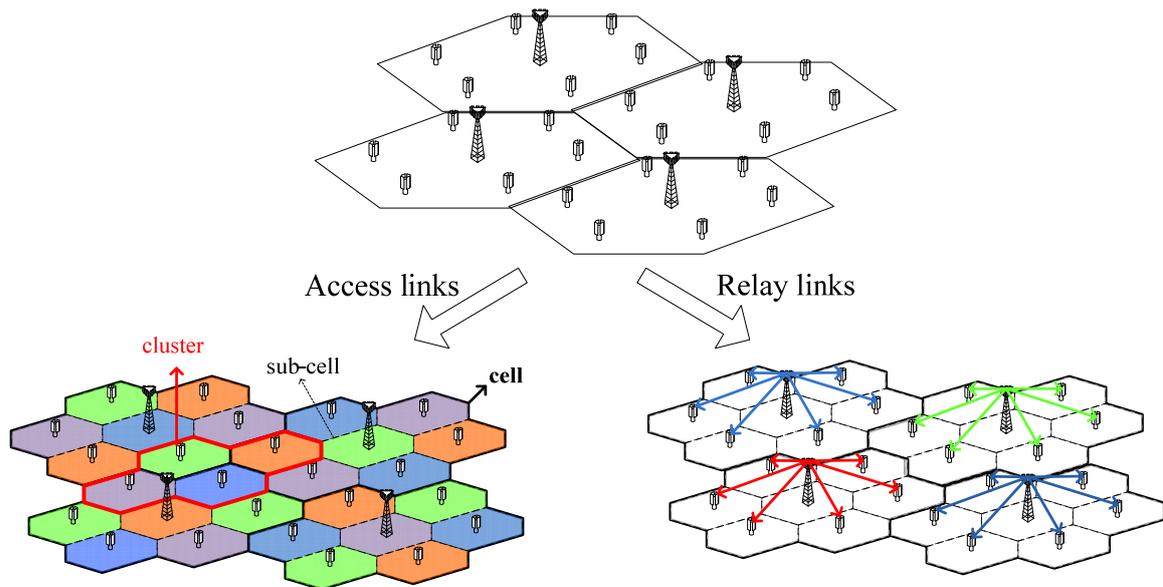


圖 4-3.3 sub-cell-based frequency planning concept

基於 sub-cell 的概念，我們提出了以 sub-cell 為觀點之新型頻率規劃方法。我們將以 MR-cell 為基礎所組成的 Multi-hop Relay 系統再去細切成以 sub-cell 為基礎之結構，如圖 4-3.3 所示，並以 sub-cell 為單位去做 frequency reuse。

以 sub-cell 的觀點去作 Access link 頻率規劃和前述所提的兩種頻率規劃方法比較起來，此種方法有更大的彈性作頻率規劃，不必受限於必須以 MR-cell 為單位作 frequency reuse，所帶來的好處當然是在系統容量預期會有顯著的提升。

圖 4-3.4 是此方法套用在 IEEE 802.16j 的一個範例。

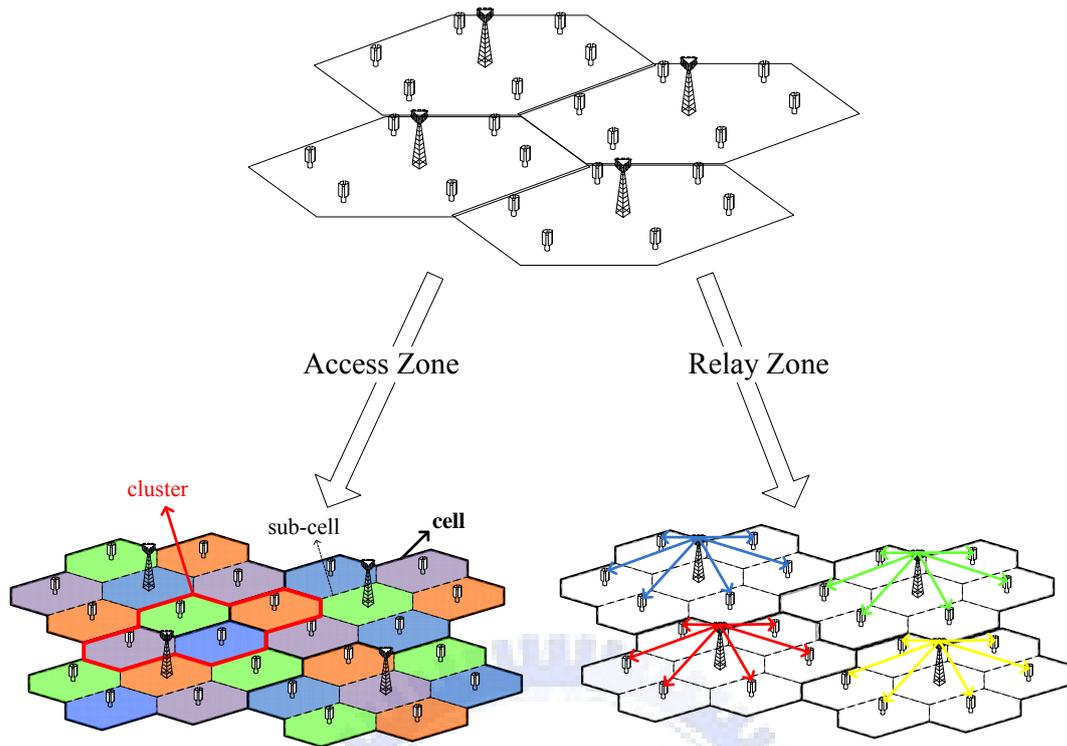


圖 4-3.4 Implementation of sub-cell-based frequency planning_1

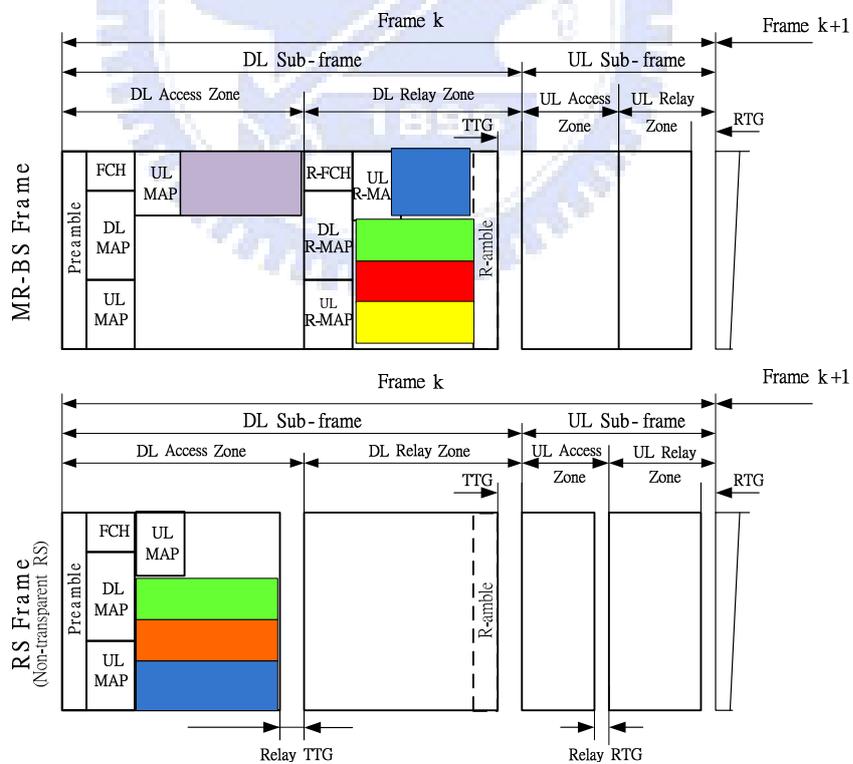


圖 4-3.5 Implementation of sub-cell-based frequency planning_2

此範例考慮 access link 以 sub-cell 為觀點作 reuse factor $k=4$ 且 relay link 以 MR-cell cell 為觀點作 reuse factor $k=4$ ，如圖 4-3.4 所示。我們以圖中右下方的 MR-cell 為例說明一個 MR-cell 內如何使用頻譜資源。在 Access Zone 時間內 BS-to-MS link 使用紫色的 frequency segment，而隸屬於同一個 MR-cell 的 RS 分別去使用綠色，橘色以及藍色的 frequency segment 在 RS-to-MS link 並允許在同個 MR-cell 內重複使用。在 Relay Zone 時間內，此 cell 的 BS 使用全部頻譜資源，也就是圖 4-3.5 所示的藍色 frequency segment 在 BS-to-RS link。



第五章 系統模擬

為了得到正確的模擬結果而使得本篇論文具有參考價值，必須先建立一個符合現實狀況的模擬環境。在 5-1 節將會先介紹模擬環境的設定以及在模擬中使用的技巧，接著在 5-2 節介紹模擬結果並對其進行分析。

5-1 模擬環境

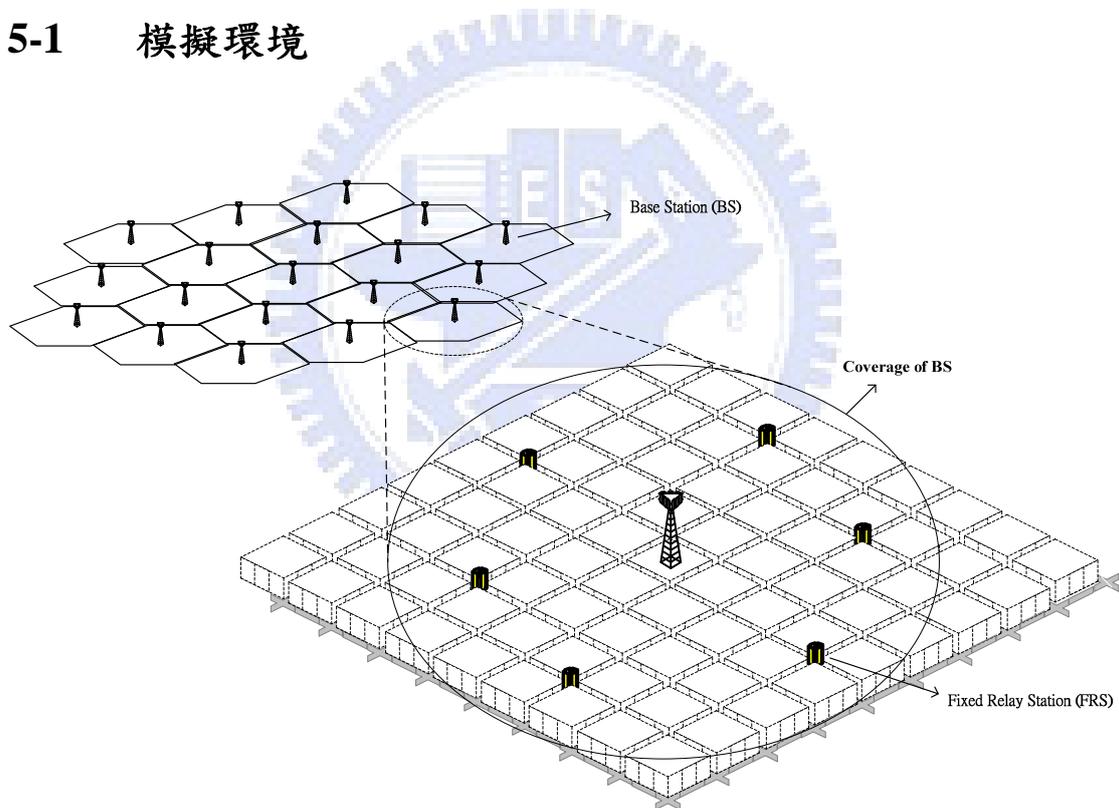


圖 5-1.1 模擬系統環境

圖 5-1.1 為模擬時所考慮的系統環境，包括由 19 個 BS with 3-sectorized antenna 組成的 multi-cell 環境。

考慮 RS 位置為均勻佈放時，在每個 BS 涵蓋範圍內皆有 6 個 RS 佈放在距 cell 中心 $2/3$ 半徑的街道上並兩兩均勻間隔 60 度，每個 cell 的 RS 對應位置皆相同。

Propagation Model

模擬所考慮的 propagation environment 為 Manhattan-like environment，此環境具有建築物密集且街道交錯的城市特徵，在模擬 BS、RS 以及 MS 互相信號傳遞衰減效應所使用的 propagation model 各有不同，因此在模擬時所考慮的 propagation model[15]如下所示；

A. Pathloss Model for BS-to-MS Link (圖 5-1.2)

$$Pathloss [dB] = 38.4 + 35 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c / 5)$$

其中 d 為 the distance between TX and RX [m]

f_c 為 carrier frequency [GHz]

在此環境中所對應的遮蔽衰落變化之標準差為 8 dB

$$Pathloss [dB] = 38.4 + 35 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c / 5)$$

d distance between BS and MS [m]

f_c carrier frequency [GHz]

Shadow Fading :

log-normal random variable
with standard deviation 8 dB

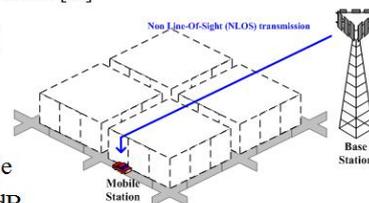


圖 5-1.2 Pathloss model for BS-to-MS link

B. Pathloss Model for RS-to-MS Link (圖 5-1.3)

$$Pathloss [dB] = \begin{cases} 41 + 22.7 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c / 5) & \text{if LOS} \\ 0.096 \cdot d_1 + (28 - 0.024 \cdot d_1) \cdot \log_{10}(d_2) + 65 + 20 \log_{10}(f_c / 5) & \text{if NLOS} \end{cases}$$

其中 d 為 the distance between TX and RX [m]

d_1 為 the distance along the main street [m]

d_2 為 the distance along the perpendicular street [m]

f_c 為 carrier frequency [GHz]

在此環境中所對應的遮蔽衰落變化之標準差為

2.3dB if LOS

3.1dB if NLOS

$$Pathloss [dB] = \begin{cases} 41 + 22.7 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c / 5) & \text{if LOS} \\ 0.096 \cdot d_1 + (28 - 0.024 \cdot d_1) \cdot \log_{10}(d_2) + 65 + 20 \log_{10}(f_c / 5) & \text{if NLOS} \end{cases}$$

d distance between RS and MS [m]
 d_1 distance along the main street [m]
 d_2 distance along perpendicular street [m]
 f_c carrier frequency [GHz]

Shadow Fading:

log-normal r.v. with standard deviation σ

$$\sigma = \begin{cases} 2.3 \text{ dB} & \text{if LOS} \\ 3.1 \text{ dB} & \text{if NLOS} \end{cases}$$

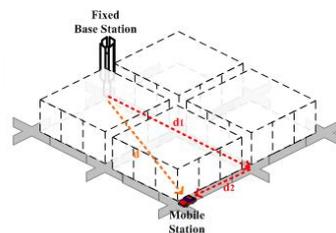


圖 5-1.3 Pathloss model for RS-to-MS link

C. Pathloss Model for BS-to-RS Link (圖 5-1.4)

$$Pathloss [dB] = 36.5 + 23.5 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c / 2.5)$$

其中 d 為 distance between TX and RX [m]

f_c 為 carrier frequency [GHz]

又 RS 可架設在高處，可得到較佳位置來接收來自 BS 的傳輸訊號，因此假設此 pathloss model 皆為 LOS，故此環境中所對應的遮蔽衰落變化之標準差為 2.3dB

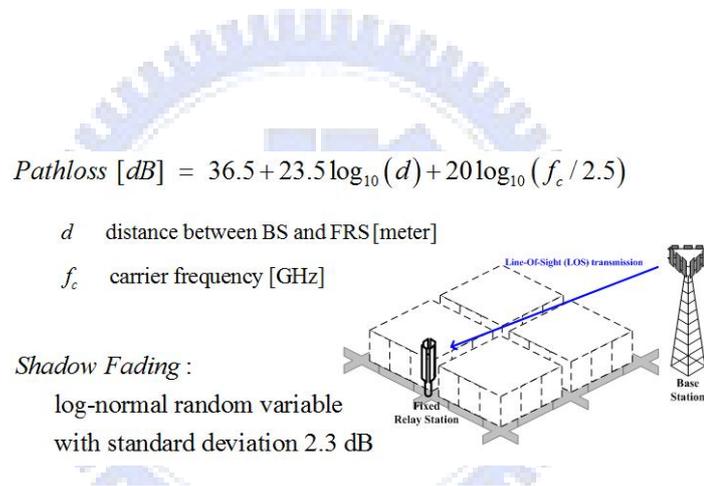


圖 5-1.4 Pathloss model for BS-to-RS link

Wrap Around

同頻干擾(co-channel interference)對於系統容量的影響是很重要的因素，因此我們在進行模擬時，必須將同頻干擾經依照實際情況去考量。根據 Miller 和 Lee 的分析[16]，當考慮兩個干擾層的同頻干擾時，幾乎就已經接近考慮無限多個干擾層的情形。因此在兼顧模擬的準確性以及運算的複雜度，我們採用考慮兩層干擾層去近似所有的同頻干擾。

但我們知道，欲模擬越多細胞(cell)的結果我們需要越多的兩個干擾層，我們以圖 5-1.5 為例來說明此情形。圖 5-1.5 為一有 19 個細胞且使用 reuse factor 為 1 的系統，我們可以看到，只有位於系統中央的 Cell #0，才看的到完整的兩個干擾層，至於其他的 cell，例如 Cell #2 和 cell #9 若要看到完整的兩個干擾層，就必須採用如圖 5-1.6 和圖 5-1.7 所示的細胞架構，才能正確模擬出受干擾的效果。因此，我們將此 19 個細胞複製並組成一個更大型的細胞架構，如圖 5-1.8 所示，我們可以看到位於中央的 19 個 cell 皆能看到完整的兩個干擾層。以 cell #9 為例，圖 5-1.8 中原本在 Cell #9 右上方第一個干擾層中未被編號的細胞就如圖 5-1.7 所示，順時針方向由 cell #14、cell #13 和 cell #17 的內容所代替；同樣的，cell #19 右上方第二個干擾層未被編號的細胞亦如圖 5-1.7 所示，順時針方向由 cell #15、cell #5、cell #4、cell #12、

cell #15、cell #18、cell #6 和 cell #16 的內容所代替。

此技術的原理就好像把有限數目的細胞架構摺疊在一起，原本在某一端的細胞和另一端的細胞相連，例如圖 5-1.8 深色的 cell #9 向右上延伸為 cell #13，也就是說當有一使用者由 cell#9 的右上邊界移動出去，相對的就好像由圖中深色的 cell#13 移動進來。

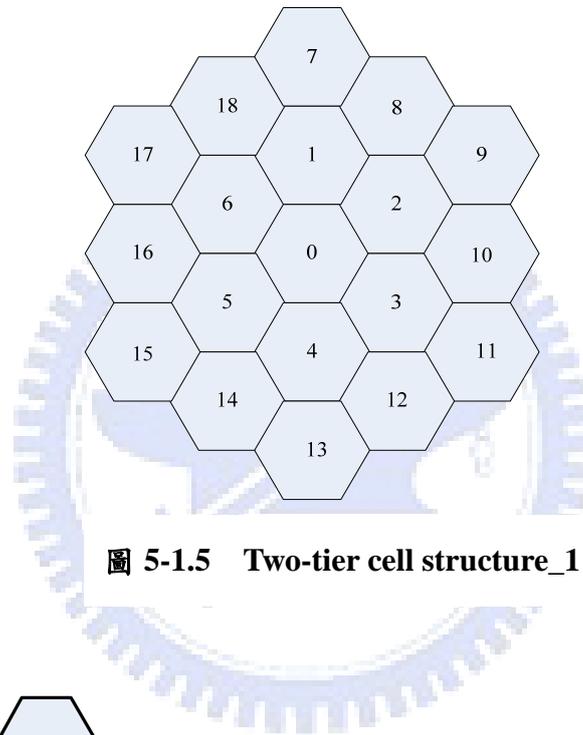


圖 5-1.5 Two-tier cell structure_1

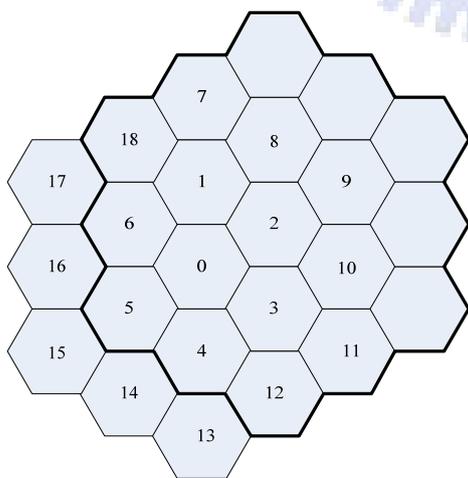


圖 5-1.6 Two-tier cell structure_2

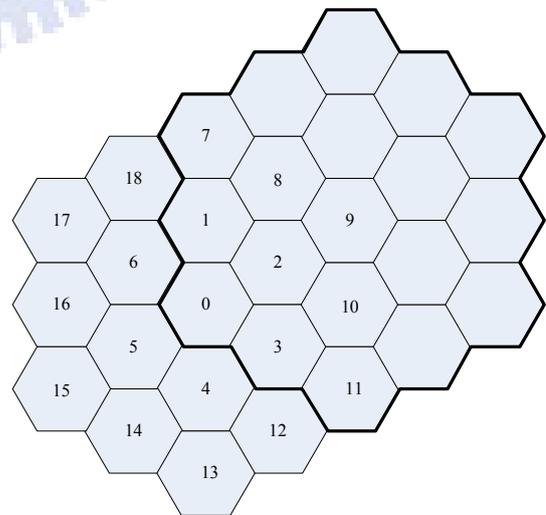


圖 5-1.7 Two-tier cell structure_3

此技術讓我們能夠以有限數目的細胞去有效率的模擬貼近真實的效果，如干擾的計算以及使用者的移動行為。

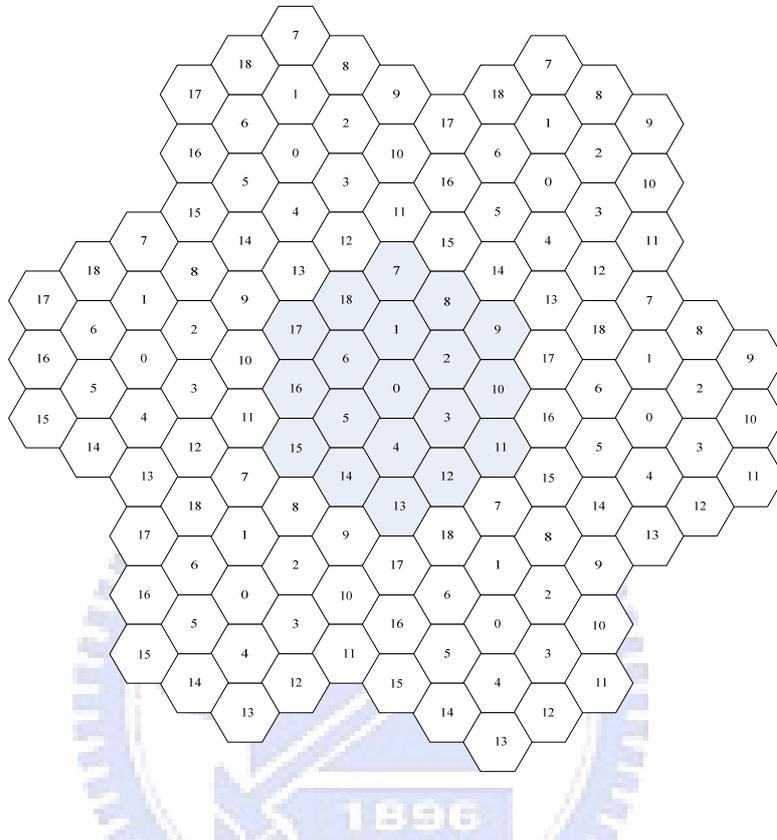


圖 5-1.8 Wrap around concept

5-2 模擬結果

在本節中，我們將提供模擬結果，以本文所提出的方法和具 channel borrowing 概念和具 reuse partitioning 概念之頻率規劃方法來做一個比較，來驗證所提出的以 sub-cell 為觀點之頻率規劃方法確實能提升系統容量(system capacity)。

為了方便表示，我們稱方法一為具 channel borrowing 概念之頻率規劃方法，方法二為具 channel borrowing 概念之頻率規劃方法，方法三為本文所提出的以 sub-cell 為觀點之頻率規劃方法確實能提升系統容量。

在每個碼框(frame)裡，被用戶端成功接收的位元(bit)將被累計去計算出系統容量，此值受到不同的頻率規劃方法以及不同的 access zone ratio η 影響而有所不同。access zone ratio η 的定義為 downlink sub-frame 規劃給 access link 使用的比例。Downlink sub-frame 中 access zone 可傳的位元數目(B_A)以及 relay zone 可傳的位元數目(B_R)會受到 η 此比例的影響而互有消長。因此，每個 frame 裡能被成功接收的位元數目為 $\min(B_A, B_R)$ 。在此模擬中，被成功接收而累積的位元去除以全部模擬所花的時間來當作系統容量。

圖 5-2.1 為各方法在不同 access zone ratio 之下的系統容量比較結果。此圖可說明無論 access zone ratio 如何規劃，方法三皆能提供最

大的系統容量。另外，此圖亦顯示不同 access zone ratio 對於不同頻率規劃方法所造成的影響。較大的 η 可提供較多的無線資源(radio resource)在 access link 讓用戶端使用，但卻犧牲了在 relay link 用來轉傳用戶端資料的無線資源。當 relay link 的累積流量(aggregate traffic)和 access link 的累積流量達到平衡時，系統容量可達到最佳點。模擬結果顯示，方法一在 $\eta=75\%$ 時可達到系統容量最佳點，而方法二和方法三在 $\eta=62.5\%$ 時可達到系統容量最佳點。

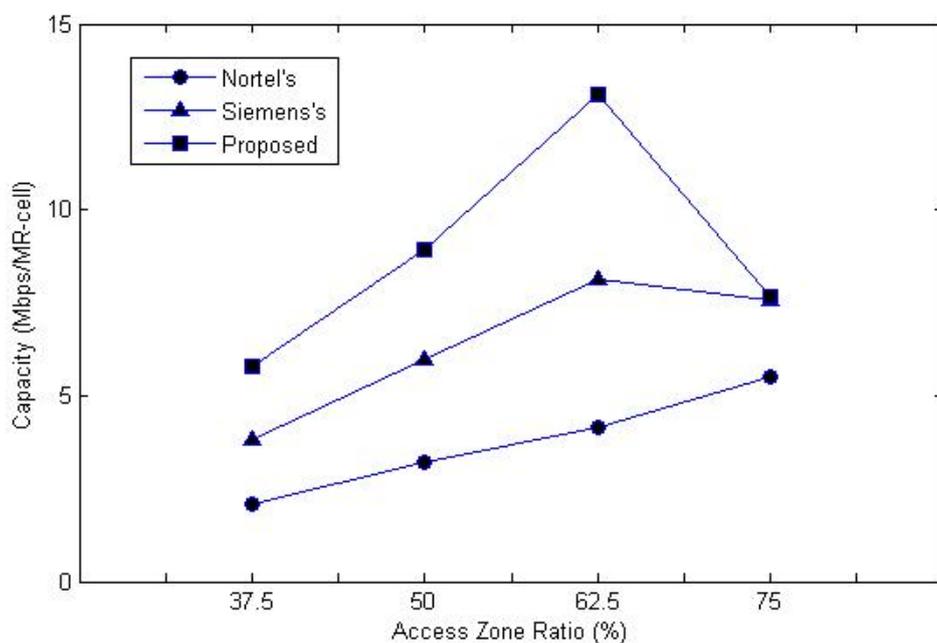


圖 5-2.1 System capacity with different access zone ratio
(different frequency planning methods)

圖 5-2.2 顯示了各方法在 η 為最佳點的系統容量比較圖，方法一可得的系統容量為 5.5158Mbps/MR-cell，方法二可得的系統容量為 8.1518Mbps/MR-cell，而方法三可得的系統容量為 13.114Mbps/MRcell。和方法一和方法二比較起來，此論文所提出的方法可大幅提升系統容量分別為 137.75%以及 60.87%。

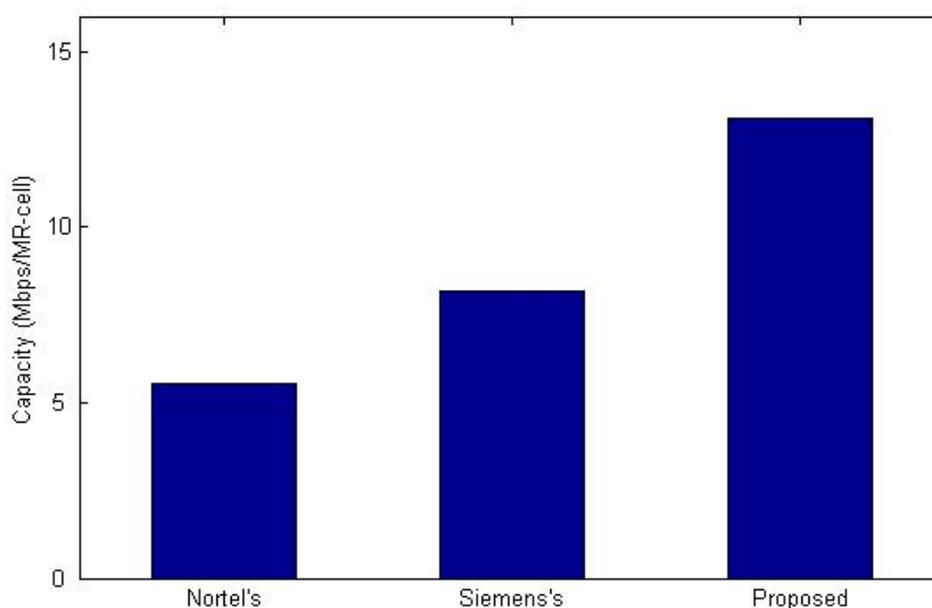
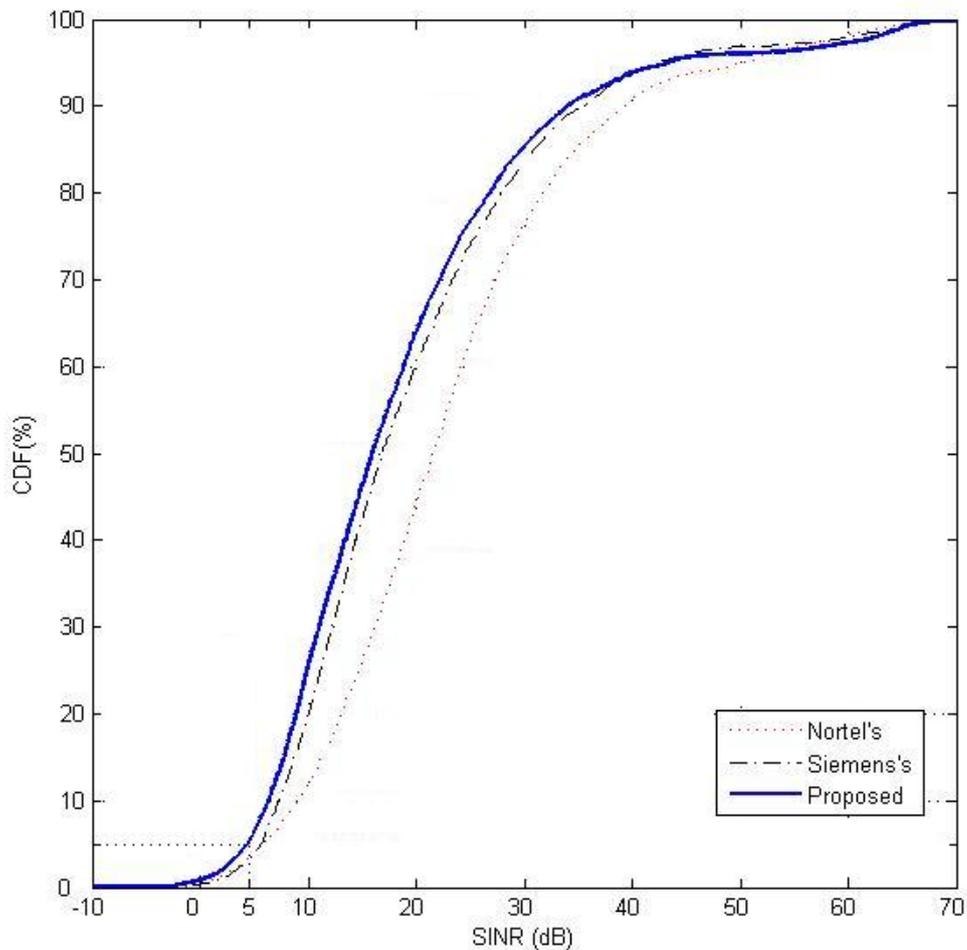


圖 5-2.2 System capacity under different frequency planning methods

另外，圖 5-2.3 顯示了各方法在最佳系統容量之下對應的 received SINR CDF。此圖可說明，本篇所提出的方法在大幅提升系統容量的情形下仍確保能提供系統 95%的覆蓋率。95%的覆蓋率定義為 $P(SINR < 5dB | MS \text{ at cell boundary}) < 5\%$ 。



**圖 5-2.3 CDF of the received signal quality
(different frequency planning methods)**

接著我們來看看要付出什麼代價使得系統容量提升。系統模擬中我們採用 adaptive modulation coding scheme，即以連線的訊號雜訊比去決定每個連線的 modulation coding scheme，本模擬中採用三種 modulation coding scheme，分別為 QPSK+1/2 code rate，16 QAM+1/2

code rate 以及 64 QAM+1/2 code rate。我們就以不同頻率規劃方法之間各種 modulation coding schemes 使用比例消長去說明提升系統容量和連線品質之間的 tradeoff。

圖 5-2.4 裡顯示不同頻率規劃方法之下的 modulation coding schemes 分布的情形。我們知道當重用頻譜資源的頻率越少，平均而言系統裡的使用者會承受比較少的干擾使得訊號雜訊比能夠提升而能使用較高階的 modulation coding scheme。所以我們可以看到圖 5-2.4 顯示，由於方法一採用較保守(無線資源重用次數較少)的頻率規劃方法，所以明顯地能提供較多的高階 modulation coding scheme 進而提升個別用戶端的傳輸量，然而卻也因為過於保守的規劃犧牲了整體系統容量。

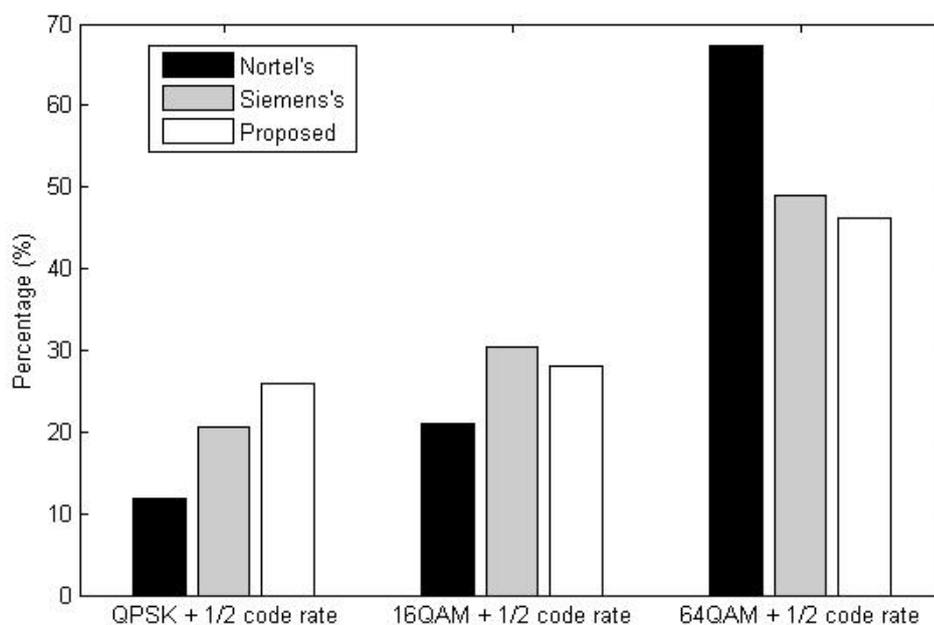


圖 5-2.4 MCS distribution

另外，本篇論文還對於 access link 以 sub-cell 為觀點作 reuse factor $k=4$ 以及 $k=3$ 進行了模擬比較。圖 5-2.5 顯示不同 reuse factor 在不同 access zone ratio 之下的系統容量比較結果。此圖顯示 reuse factor $k=3$ 和 reuse factor $k=4$ 比較之下並無法提供更高的系統容量，原因在於雖然 access zone 使用 reuse factor $k=3$ 能提供較多的無線資源讓每個 cell 使用，但 relay zone 只能提供有限的無線資源讓需要轉傳的傳輸資料使用而使得 reuse factor $k=3$ 被限制住並無法如預期順利傳輸資料至用戶端。另外，在圖 5-2.6 也說明了使用 reuse factor $k=3$ 無法保證能提供 95% 的覆蓋率，這是使用較低的 reuse factor 作頻率規劃所必須付出的代價。

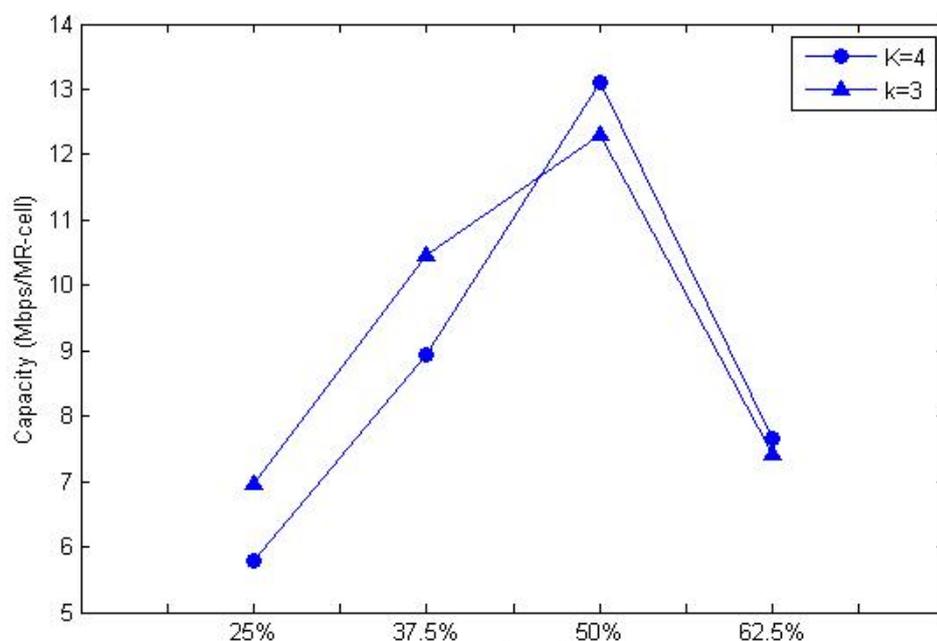
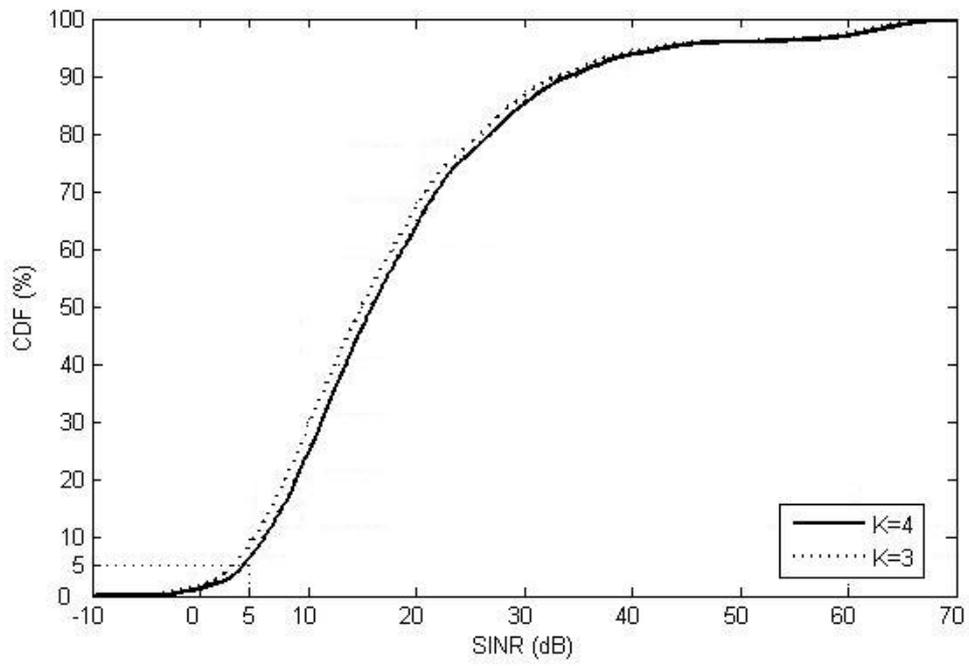


圖 5-2.5 System capacity with different access zone ratio
(different reuse factors)



**圖 5-2.6 CDF of the received signal quality
(different reuse factors)**



第六章 結論

本論文中，先對於 IEEE 802.16j Multi-hop Relay 系統做基本的介紹，接著提出一個適用於此系統的涵蓋區規劃方法以及頻率規劃方法。在頻率規劃方法中，我們整理了目前其他文獻中所提出的方法，並且本文亦提出一個以 sub-cell 新概念的方法去做頻率規劃。在最後也進行了不同頻率規劃方法的比較。

在本文中提出新的頻率規劃方法中，引出了 sub-cell 的新概念，以此概念去實作頻率規劃將會更有彈性且更有效率，並且和其他頻率規劃方法比較下，模擬結果顯示 system throughput 最多可提升 137.75%，而如此積極使用頻譜資源仍能保證系統 95% 覆蓋率。

以上的討論是以 RS 皆佈放在 MR-cell 內理想位置去執行頻率規劃，目前已經積極開始進行利用訊號量測機制去估測訊號雜訊比而動態執行頻率規劃並且考慮在 RS 佈放位置無法事先得知的環境，相信發展這樣的動態頻率規劃方法是值得作為未來研究的方向。

參考文獻

- [1] R. Van Nee, R. Prasad, “OFDM for Wireless Multimedia Communications”, ISBN: 0-89006-530-6, Artech House universal personal communications library, Jan. 2000
- [2] R. W. Chang, “Synthesis fo band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission”, *Bell System Tech. J.*, 45: 1775-1796, Dec. 1966
- [3] L. J. Cimini, “Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency-division multiplexing” , *IEEE Transaction Communication*, COM-33970: 665-675, Jul. 1985
- [4] J. A. C. Bingham, “Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has com”, *IEEE Communication Magazine*, 28(5): 5-14, May 1990.
- [5] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Feb. 2006
- [6] IEEE P802.16j/D1, “Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Multihop Relay Specification”, Aug. 2007
- [7] H. Holma and A. Toskala, “WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications”, ISBN 0-471-72051-8, John Wiley & Sons, 2000, pp.157~159
- [8] H. Hu, H. Yanikomeroğlu, D. D. Falconer and S. Periyalwar, “Range Extension without Capacity Penalty in Cellular Networks with Digital Fixed Relays”, *IEEE Global Telecommunications Conference*, pp.3053-3057, Vol. 5, Nov. 2004
- [9] L. Huang, M. Rong and H. Shi, “Comparison of Two Frequency Reuse Schemes

- in Fixed Relay System”, *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp.432-436, Vol. 1, Sep. 2005
- [10] T. Liu, M. Rong and P. Li, “Radio Resource Allocation in Two-hop Cellular Relaying Network”, *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”, *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”, *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1-5, Sep. 2006
- [13] P. Li, M. Rong, and T. Liu, “Reuse Partitioning Based Frequency Planning for Relay Enhanced Cellular System with NLOS BS-Relay Links”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.1-5, Sep. 2006
- [14] S. W. Halpern, “Reuse Partitioning in Cellular Systems”, *IEEE Vehicular Technology Transaction*, 1983, pp. 322-327
- [15] D. S. Baum, et al., “Final Report on Link Level and System Level Channel Models”, IST-WINNER, Nov. 2005
- [16] J. S. Lee and L. E. Miller, “CDMA Systems Engineering Handbook”, Artech House, pp.1012~1017, 1998