

東海大學電機工程研究所

碩士論文

應用於正交分頻多工系統群播服務之
資源分配研究

Research on Resource Allocation for Multicast
Services in OFDM Systems



研究生：蘇介清

指導教授：溫志宏 博士

中華民國九十八年七月

應用於正交分頻多工系統群播服務之
資源分配研究

Research on Resource Allocation for Multicast
Services in OFDM Systems

研究生：蘇介清

Student : Chieh-Ching Su

指導教授：溫志宏 博士

Advisor : Dr. Jyh-Horng Wen

東海大學工學院
電機工程研究所
碩士論文

A Thesis
Submitted to
Institute of Electrical Engineering
College of Engineering
Tung Hai University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Electrical Engineering

July 2009
Taichung, Taiwan, Republic of China

東海大學電機工程學系碩士學位
考試委員審定書

電機工程學系研究所 蘇介清 君所提之論文

中文：應用於正交分頻多工系統群播服務
之資源分配研究

英文：Research on Resource Allocation for
Multicast Serves in OFDM Systems

經本考試委員會審查，符合碩士資格標準。

學位考試委員會 召集人：馬杰 (簽章)

委員：溫志宏

伍台剛

李吉璽

中華民國 98 年 7 月 30 日

誌謝

我由衷感謝我的指導教授溫志宏教授，在我研究方面他不斷的指導及鼓勵，他對我的耐心教導及關懷，讓我不僅在研究上及生活上感到溫暖，並感謝他對本篇論文寫作時多次修改及校正，並感謝馬杰教授、伍台國教授及李志鵬副教授三位口試委員於口試期間，能不吝批評與指教，使論文修改能更加完整。另外感謝國立中正大學張添壽博士在本篇研究過程中不斷熱心指導及鼓勵，並感謝國立虎尾科技大學蘇暉凱助理教授、國立虎尾科技大學鄭佳炘助理教授、國立中正大學李國瑞博士及國立中正大學許西州博士曾經在研究上及生活上給予指導及鼓勵，以及感謝各位師長、學長姐、同學以及學弟妹，無論在研究上或是生活上曾經給予精神鼓勵，在此一併感謝。

此外感謝我的家人及親朋好友的支持與鼓勵，以及曾經在領域上做過貢獻的學者們，因為有你們的智慧，才能讓本篇論文得以順利完成。

應用於正交分頻多工系統群播服務之 資源分配研究

研究生：蘇介清

指導教授：溫志宏 博士

中文摘要

最近針對群播服務滿足多媒體負載的需求在資源分配上已被廣泛地研究。動態資源分配是能在保證使用者服務品質之下大幅度改善下一代無線系統效能的一個關鍵技術，然而，目前大多數的資源分配演算法被限制在單播負載上。

在本篇論文中，我們考慮在一個群播正交分頻多工系統中，分別對不同的最佳化準則，提升系統通達率(throughput)。首先，我們考慮在一個總功率的限制下，最大化系統的通達率。其次，則考慮另一個最佳化準則，為在群組間的比例公平性與總功率的限制下，最大化系統的通達率。為了解決上述最佳化問題，我們可以利用整數規劃獲得最佳解。然而，使用整數規劃求解，往往具有高的計算複雜度。因此，我們提出一個具有低計算複雜度的次佳化演算法。首先，該演算法透過所有群組中的用戶的通道品質資訊，為群組們分配子通道。緊接著，則對每一個子通道分配功率提升系統的通達率。數據分析展現針對通達率最大化和比例式公平性所提出的資源分配機制將大幅度勝過傳統群播傳輸機制，最佳化方法和啟發式方法的解之間差距小於5%。

關鍵字：正交分頻多工、資源分配、群播、位元載入演算法、通達率、低複雜度、公平性。

Research on Resource Allocation for Multicast Services in OFDM Systems

Student : Chieh-Ching Su

Advisor : Dr. Jyh-Horng Wen

Abstract

Recently, there has extensive research on resource allocation schemes for multicast services that would satisfy the requirements of multimedia traffic. Dynamic resource allocation is a key techniques that can significantly improve the performance of the next generation wireless systems under guaranteed QoS to user. Most of the current resource allocation algorithms are, however, limited to unicast traffics.

In this thesis, we consider two different resource management criteria to improve the system throughput in multicast OFDM systems. In the first criterion, we consider maximum throughput (MT) under the constraint of total power. Next, maximum throughput under the total power and proportional fairness (PF) constraints is considered. To solve the optimal problem, we can utilize the integer programming (IP) to obtain the optimal solution. However, which used the integer programming to solve, often has high computational complexity. Therefore, we propose the suboptimal algorithm that has the low-complexity to improve system throughput. First, the suboptimal algorithm allocates the sub-channels to the groups by channel state information of all users and then assigns power to all sub-channels. Numerical results show that the proposed resource allocation scheme for both maximum throughput and proportional fairness significantly outperform the conventional multicast transmission scheme. The difference optimum and heuristic solutions is less than 5%.

Key word: OFDM, resource allocation, multicast, bit-loading, throughput, low-complexity, fairness.

目錄

頁數

書名頁	I
上網授權書	II
論文口試委員審定書	III
誌謝	IV
中文摘要	V
英文摘要	VI
目錄	VII
表目錄	X
圖目錄	XI
第一章 引言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機及資源分配	3
1.3 論文架構	6
第二章 系統架構	7
2.1 介紹	7
2.1.2 資料傳輸方式	7

2.1.1 正交分頻多工技術	10
2.2 系統架構	13
2.3 最佳化問題	15
2.4 最佳化資源分配演算法	16
2.5 低複雜度資源分配演算法	18
2.6 結論	22
第三章 群組群播正交分頻多工系統之最大化資源分配	23
3.1 介紹	23
3.2 系統架構介紹	24
3.3.1 系統架構圖之簡介	25
3.3.2 最佳化問題之參數介紹	26
3.3 最大化資源分配之最佳化演算法	27
3.4 低複雜度通達率最大化資源分配演算法	29
3.5 模擬分析與結果	33
3.6 結論	40
第四章 群播正交分頻多工系統之公平性最佳化資源分配.....	41
4.1 介紹	50
4.2 公平性資源分配最佳化演算法	51

目錄	頁數
4.3 低複雜度公平性最佳資源分配演算法	53
4.4 數據分析與結果.....	58
4.5 結論	65
第五章 總結	66
參考文獻	67

表目錄

頁數

表 3-1 target BER=0.001，使用者 4 個及 8 個之數據比較36

表 3-2 target BER=0.001，使用者 16 個及 32 個之數據比較37

表 3-3 target BER=0.0001，使用者 4 個及 8 個之數據比較39

表 3-4 target BER=0.0001，使用者 16 個及 32 個之數據比較40

表 3-5 位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較42

表 3-6 位元錯誤率不同之次佳化演算法效能比較44

表 3-7 群組個數不同之效能比較46

表 3-8 固定資源分配及動態資源分配之數據分析48

表 4-1 target BER=0.0001，群組間的效能比較60

表 4-2 target BER=0.001，群組間的效能比較62

表 4-3 位元錯誤率不同的效能比較64

圖目錄

頁數

圖 1-1 TDMA 和 FDMA 表示圖	4
圖 1-2 CDMA 表示圖	4
圖 2-1 單播傳輸(Unicast)方式.....	9
圖 2-2 廣播傳輸(Broadcast)方式.....	9
圖 2-3 群播傳輸(Multicast)方式.....	10
圖 2-4 正交分頻多工系統架構	12
圖 2-5 循環字首(Cyclic Prefix)	12
圖 2-6 群播正交分頻多工系統	14
圖 3-1 群播正交分頻多工系統詳細架構圖	24
圖 3-2 最佳化及次佳化之演算法比較, target BER=0.001	35
圖 3-3 最佳化及次佳化之演算法比較, target BER=0.0001	38
圖 3-4 位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較	41
圖 3-4 位元錯誤率不同之次佳化演算法效能比較	43
圖 3-5 群組個數不同之效能比較, target BER=0.0001	45
圖 3-6 固定資源分配及動態資源分配比較	47
圖 4-1 target BER=0.0001, 每個群組間的效能比較	59
圖 4-2 target BER=0.001, 每個群組間的效能比較	61
圖 4-3 target BER=0.001 和 target BER=0.0001 的效能比較	63

第一章

引言

1.1 研究背景

近幾年來，無線通訊系統的蓬勃發展，在無線通訊技術上越來越純熟，而現今也有許多通訊技術應用在我們日常生活中[1-6]，例如：正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplex, 簡稱 OFDM) 技術[7, 10, 13-15]、超寬頻 (Ultra-Wide Band, 簡稱 UWB) 技術[22]，及無線感測器網路(Wireless Sensor Networks, 簡稱 WSR) 技術[23]。在我們生活中無所不在，而當前以正交分頻多工為系統的應用產品也有非常多，例如數位音訊廣播 (Digital Audio Broadcasting, 簡稱 DAB) 系統[8]，數位視訊廣播電視(Digital Video Broadcasting Terrestrial TV, 簡稱 DVB-T)系統[9]，非對稱式數位用戶網路(Asymmetric Digital Subscriber Line, 簡稱 ADSL)系統[10]，無線區域網路(Wireless Local Area Networks, 簡稱 WLAN)[11]，IEEE 802.16 全球互通微波存取 [12](World Interoperability for Microwave Access, 簡稱 WiMAX)。

正交分頻多工系統，以高速率資料傳輸通達率(throughput)成為

無線通訊系統更令人值得注目的焦點。正交分頻多工可視為多載波傳輸的一個特例，然而多載波系統 (Multicarrier Systems)[11, 14, 20] 在近幾年來引起廣泛討論，針對在無線通道下傳送資料的資料數據問題及大延遲傳播(Large Delay Spread)。正交分頻多工技術擁有較高的資料傳輸速度與能有效克服頻率選擇通道(Frequency Selective Fading Channel)的特性，目前已被大眾廣泛使用於當今各式無線通訊系統。

無線通訊系統的傳輸服務是需要通道的可靠性及高速率的傳輸通訊[13]，在傳輸資料的方式有單播(Unicast)[16]、群播(Multicast)[17]及廣播(Broadcast)[18-20]這幾種目前常見傳輸方式，在下章節會描述各種傳輸技術的方式及特性。

目前以單播傳輸及廣播傳輸方式運用最為廣泛，但應用於群播傳輸技術的資源服務有很多，例如：MSN Message 好友會議、線上遊戲地圖、網路聊天室及線上多媒體影音等等。但因大眾需求日益漸增，並考量於有效地分配資源之情況，而群播傳輸技術是以單點對多點的傳輸特性，能夠有效分配資源並提升通達率。在本篇論文利用群播傳輸技術之特性，作為系統傳送方式，並依其特性應用於正交分頻多工系統之上成為本篇論文之系統架構。由基地台將資料利用群播正交分頻多工系統，將資料傳送給使用者，並以子通道分配及位元載入作為

資源分配演算法，其系統架構針對兩個議題作為探討，通達率最大化資源分配及公平性(Fairness)最佳化資源分配。針對兩個議題分別各自提出降低複雜度方法。

1.2 研究動機及資源分配

在本章節，我們將描述如何在群播正交分頻多工系統內做資源分配且做有關資源分配的新研究。在群播正交分頻多工系統裡有許多資源分配的議題，像是子通道分配、功率控制、位元載入分配、適度調變和編碼等等[15, 21, 30]。在本篇論文當中，我們將以子通道分配及位元載入作為系統的調變機制。資源分配機制可分為兩類型存在[24]，那就是：(1)固定資源分配[25]；和 (2)動態資源分配[26-29]。固定資源分配機制包含有分時多工存取(Time Division Multiple Access，簡稱 TDMA)，分頻多工存取(Frequency Division Multiple Access，簡稱 FDMA)，以及分碼多工存取(Code Division Multiple Access，簡稱 CDMA)，設計一個獨立的範圍(例如：時間點、子通道或是碼)給每一個使用者[24]。圖表 1-1 及圖表 1-2 展現出這些概念固定成多工存取。不管當前的通道情況如何這個機制是固定的，固定資源分配的機制是非最佳化的。另一方面，動態資源分配機制是依據

每一個使用者的通道增益來做適當的分配，由於通道情況不固定和無線通道的時間變化類別關係，動態資源分配讓所有使用者的使用多樣性而達到高效能的結果。

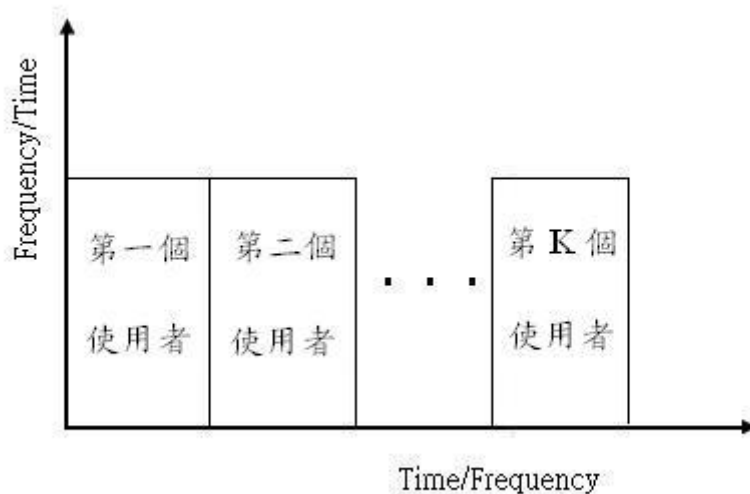


圖 1-1 為 TDMA 和 FDMA 表示圖

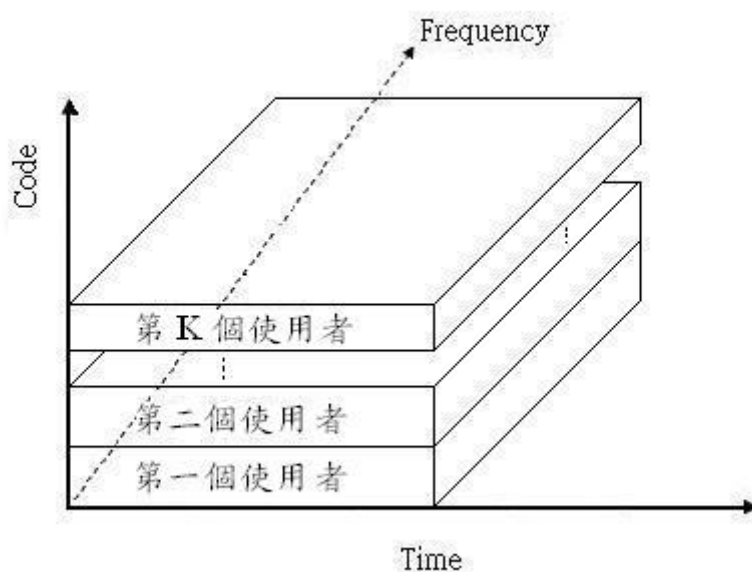


圖 1-2 為 CDMA 表示圖

當今被發表過的動態多使用者正交分頻多工之文獻當中，最佳化技術主要有兩大類：(1) 適合的極限 (Margin Adaptive, 縮寫成 MA)[26]；另一個則是(2) 適合的比例(Rate Adaptive, 縮寫成 RA)[27], [28]。目前也有許多先進發表過適合比例的最佳化問題的文章[24, 26, 29-35]。在近年來，K. B. Letaief, J. Liu, W. Chen 和 Z. Cao 在 2007 年發表過有關 RA 的最佳化問題[32]。作者是針對不考慮之下，每個子通道分配給群組之間中最好的通道增益且功率是藉由填充水法演算法(Water-filling Algorithm) [34]去調整總和通達率到最大化。

在動態資源分配機制上，[33]屬於一個最佳化問題的整數規劃，當所有考量因素都是整數化問題時，該機制成為一個非線性的最佳化問題。當求解最佳化問題過程時，問題會隨著使用者、子通道以及資料載入而變的更複雜。所以，在第三章我們將提出用子通道及位元載入的低複雜度通達率最大化資源分配演算法[33]，使計算上可降低複雜度，近而使計算複雜度可以大幅降低。在第四章中，我們藉由第三章資源分配方法探討公平性問題，亦會遇到相同問題，所以我們提出一個降低複雜度的演算法。

1.3 論文大綱

本篇文章將安排如下。將以子通道分配及位元載入演算法作為本論文動態資源分配方法，針對通達率最大化及考慮公平性的兩個議題作為研究探討。本篇論文裡，第一章介紹無線通訊技術及現今資料傳輸方式。第二章首先介紹各種傳輸方式的特性及應用、正交分頻多工技術的介紹，其次介紹群播正交分頻多工系統架構，在不考慮公平性的情況之下，以子通道分配及功率控制作為動態資源分配方法，並且提出次佳化降低複雜度演算法改善最佳化複雜度的問題。第三章介紹以群組群播正交分頻多工系統下，考慮子通道分配及位元載入分配的議題來做最佳化目標函數，不考慮公平性問題情況下將總和通達率提升到最大化，並提出降低複雜度之演算法。第四章將考慮比例式公平性的問題，同樣以子通道分配及位元載入來做最佳化目標函數，並提出降低複雜度演算法，將在第三章第五節及第四章第四節展現出模擬數據。於在第五章裡做總結論。

第二章

系統架構

2.1 介紹

在此章節中，將以 K.B. Letaief, J. Liu, W. Chen 和 Z. Cao 於 2007 年在北京發表過 “Dynamic Power and Sub-carrier Allocation for OFDMA-based Wireless Multicast Systems” [32] 作為本篇論文參考依據。首先介紹目前常見傳輸方式以及其特性，其次介紹正交分頻多工技術，並且描述其特性。在正交分頻多工系統之下，利用群播傳輸的方式。此時系統架構為群播分頻多工系統，以子通道分配及功率控制的方式作為資源分配去做最佳化問題，且這篇文章提出降低複雜度演算法，在將最佳化問題及降低複雜度演算法做數據模擬。

2.1.1 資料傳輸方式

目前常見的資料傳送方式有單播(Unicast)、群播(multicast)及廣播(Broadcast)。以單播及廣播之應用較多[16, 18-20]，例如：一

般網路有關單播及廣播傳輸應用之研究。但也有不少研究著重於群播傳輸方式[17, 32, 33]，例如：應用 IP 實現多媒體流傳輸、RTP/RTCP 流媒體服務器技術研究、傳播媒體研究及廣播聽眾收聽動機與情境關聯性之研究等等著重於群播傳輸技術之研究。單播，如圖 2-1，是指封包在計算機網路的傳輸中，目的地址為單一目標的傳輸方式，為現今網路應用最為廣泛，其特性為每次只有兩個實體相互通信，且傳送端與接收端都是確定的且唯一性；廣播，如圖 2-2，以基地台針對範圍內所有目的地址傳送資料，無論通道情況如何。目前這種傳輸方式廣泛的被運用在大眾媒體傳播上，例如：電視台、收音機廣播電台、商場、車站、巴士車箱內即隨選視訊等等都是廣播應用的範例；群播，如圖 2-3，基地台針對範圍內某一組群使用者傳送資料，例如：視訊會議、線上遊戲及線上視訊等等。

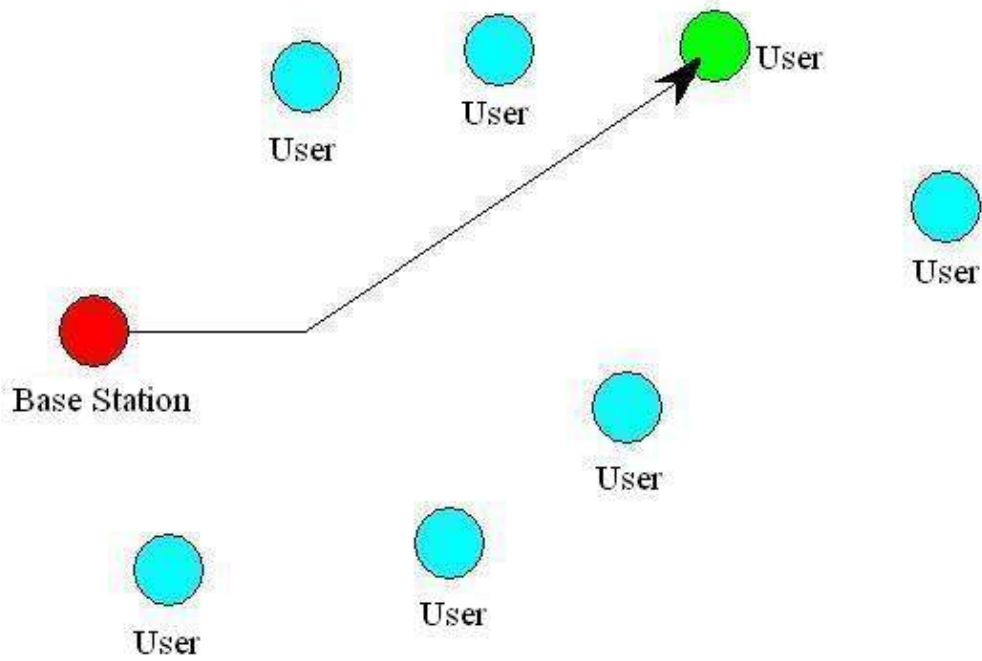


圖 2-1 為單播傳輸(Unicast)方式，屬於單點對單點傳輸

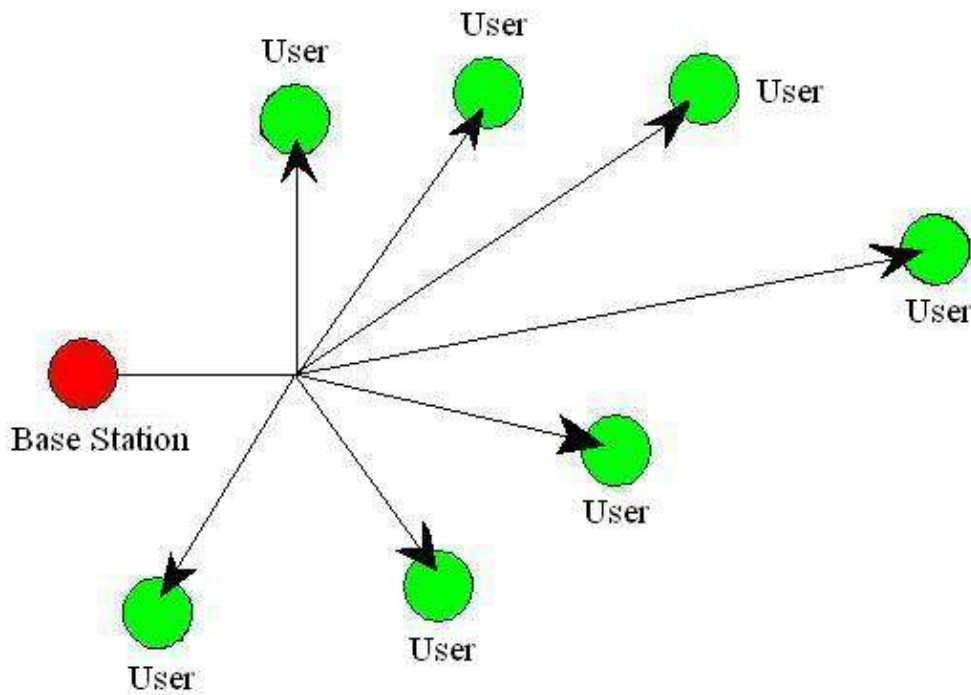


圖 2-2 為廣播傳輸(Broadcast)方式，屬於單點對所有點傳輸

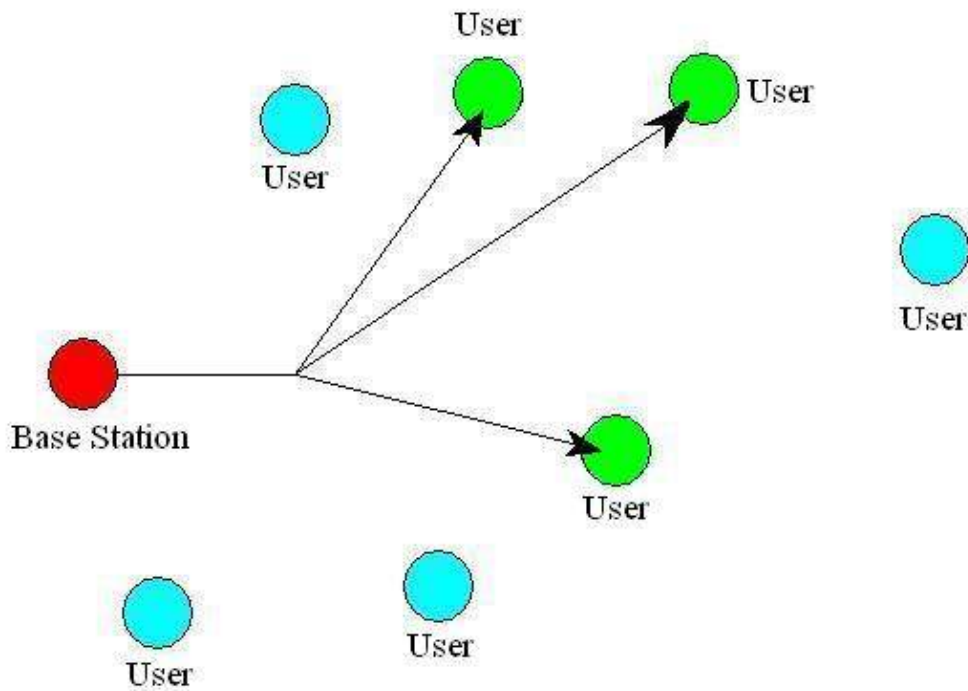


圖 2-3 為群播傳輸(Multicast)方式，屬於單點對多點傳輸

2.1.2 正交分頻多工技術

正交分頻多工技術之架構如圖 2-4，它擁有較高的資料傳輸速度與有效克服選擇性衰減通道(frequency selective fading channel)的特性[4, 6, 11]，目前已經被廣泛使用於現今各式無線通訊系統。它的基本原理在於將較高傳輸速度的資料串流分成數個較低傳輸速度的資料串流，並運用數個彼此間正交的子載波傳送。

從正交分頻多工技術之輸入訊號與輸出訊號之觀點來看，輸出訊號是輸入訊號經過正交分頻多工技術將訊號調變制所需要的頻帶

上，故可視為一種調變技術。從此傳送訊號的角度來看，傳送訊號為各個子載波訊號的線性加成，屬於一種多工技術。

傳統上，多載波調變訊號的產生需使用數個弦波產生器與各個輸入訊號進行混頻。在正交分頻多工系統中，採用離散富立葉轉換代替上述作法，也可大幅度降低時現正交分頻多工傳輸接收的硬體複雜度；同時，接收端要達到頻率同步較為簡易。當系統的子載波頻率間隔(Δf)恰為符元週期(T_s)之倒數時， $\Delta f = \frac{1}{T_s}$ ，則系統的調變訊號可利用離散富立葉轉換來實現。藉由每一個符元之間加入一段保護區間(guard interval)，在傳輸上幾乎可以完全避免符元間干擾的問題，一般正交分頻多工系統利用將每一個符元的尾端 1/4 的部份取出(此部分訊號稱為循環字首(Cyclic Prefix))，並將循環字首作為保護區間，如圖 2-5[14]。

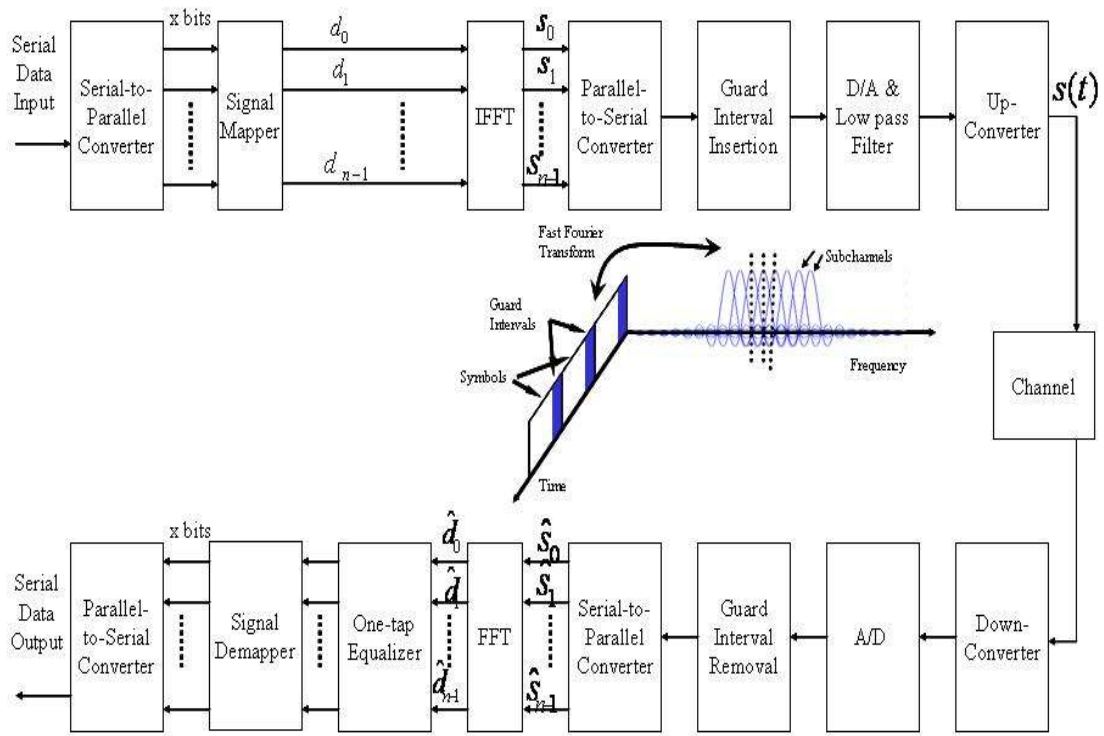


圖 2-4 為正交分頻多工系統架構

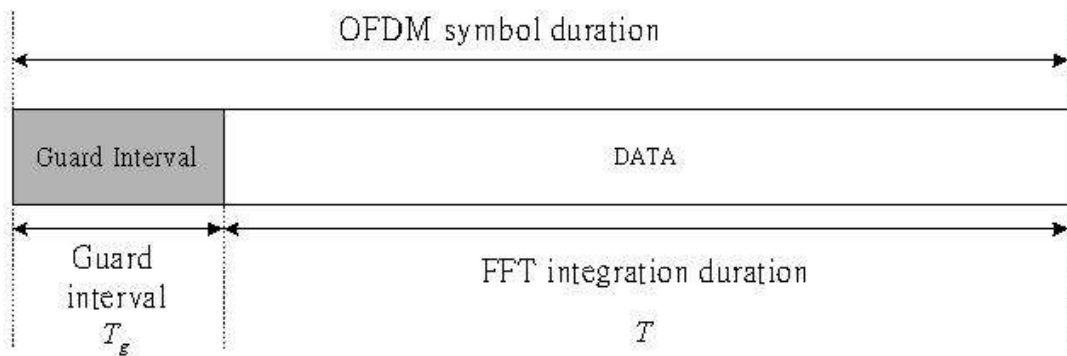


圖 2-5 為循環字首(Cyclic Prefix)

2.2 系統架構

群播正交分頻多工系統的圖展現在圖 2-6，假設基地台擁有所有使用者完整的通道狀態資訊(Channel State Information)，將以集中方式完成功率及子通道分配。在這個系統模型中，有 G 個下鏈負載流量在 M 個通道上被傳送到 K 個使用者。在這個系統中，這些使用者排入在 G 個群播群組中，每一個群組都是獨立。令 $K_i (i=1,2,\dots,G)$ 為第 i 個群播群組的使用者集合，相當於第 i 個負載流量。 $|K_g|$ 為在第 g 個群播群組中使用使用者個數，假如 $|K_g| > 1$ 的話，第 g 個群組可視為群播群組，否則 $|K_g| = 1$ 為單播群組。每個子通道假設都有相同的頻寬表示成 $B_0 = B/M$ ，且 B 為整個系統頻寬， M 為系統上所以子通道個數， B_0 為每個子通道上的頻寬。

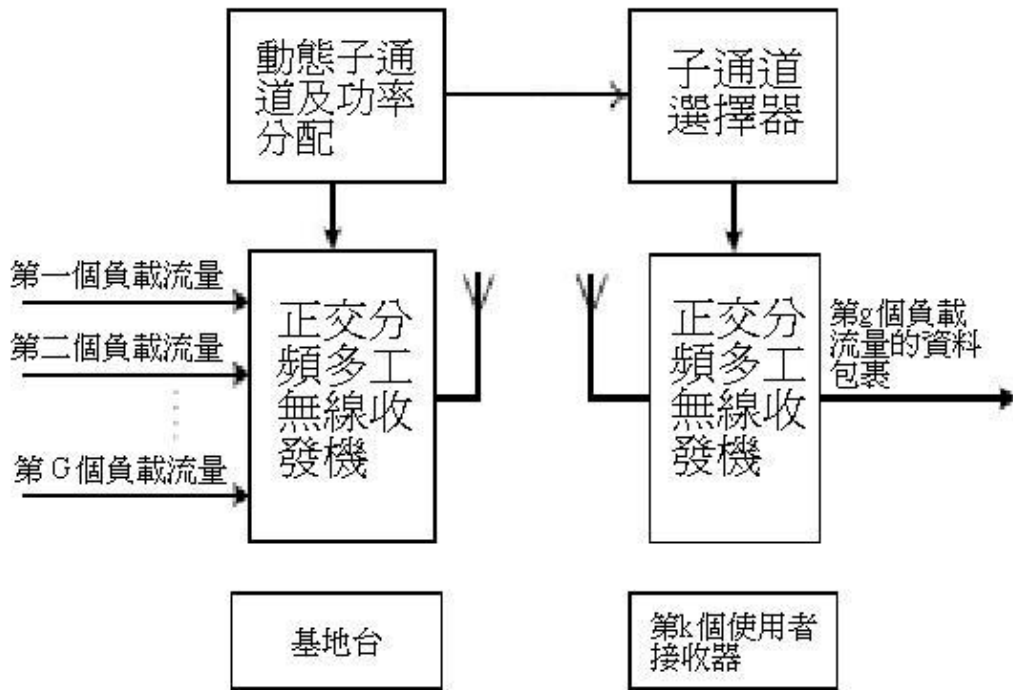


圖 2-6 為群播正交分頻多工系統

假設在第 m 個子通道上第 k 個使用者接收到最大資料率可表示成

$$c_{k,m} = B_0 \log_2 \left(1 + \frac{|h_{k,m}|^2 p_m}{N_0 B_0} \right) / B \quad \forall k \in K_g \quad (2-1)$$

N_0 代表白雜訊的單邊功率頻譜密度， B 為系統的頻寬， B_0 為每個子通道上的頻寬， $|h_{k,m}|^2$ 視為在第 m 個子通道上第 k 個使用的通道增益， p_m 代表在第 m 個子通道上被傳送的功率大小。 $r_{g,m} = \min_{k \in K_g} (c_{k,m})$ 表示為在第 m 個子通道上取第 g 個群組內最小的資料率， $\alpha_{g,m} = \min_{k \in K_g} |h_{k,m}|^2$ 表示為在為在第 m 個子通道上取第 g 個群組內最小的使用者通道增益，此時我們假設在第 m 個子通道上第 g 個群組內有同樣的資料率。如下：

$$r_{g,m} = B_0 \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_{g,m} p_m}{N_0 B_0} \right) / B, \quad \forall k \in K_g \quad (2-2)$$

定義當所有資料率的總和在第 m 個子通道上第 g 個負載流量的聚集資料率 $R_{g,m} = \sum_{k \in K_g} r_{g,m} = |K_g| \cdot r_{g,m}$ 。定義子通道分配指標為 $\rho_{g,m}$ ，如果第 g 個子通道被分到第 m 個負載流量時， $\rho_{g,m} = 1$ ，否則為 $\rho_{g,m} = 0$ 。

第 g 個負載流量通達率可藉由 $R_g = \sum_{m=1}^M R_{g,m} \rho_{g,m}$ 被定義成所有子通道的總和，且定義系統通達率 C 為所有負載流量的總和 $C = \sum_{g=1}^G R_g$ 。

2.3 最佳化問題

我們的目標是藉由最佳化子通道分配 $\rho_{g,m}$ 和功率分配 p_m 來將系統通達率最大化 C ，最佳化問題表示成

$$\max_{\rho_{g,m}, p_m} C = \max_{\rho_{g,m}, p_m} \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \frac{|K_g| B_0}{B} \rho_{g,m} \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_{g,m} p_m}{N_0 B_0} \right) \quad (2-3.a)$$

$$\sum_{m=1}^M p_m \leq p_{\max}, p_m \geq 0 \quad (2-3.b)$$

$$\sum_{g=1}^G \rho_{g,m} = 1, m = 1, 2, \dots, M \quad (2-3.c)$$

$$\rho_{g,m} \in \{0, 1\} \quad (2-3.d)$$

(2-3. b)的限制相當於傳送功率的限制。(2-3. c)的限制意指每子通道都只有分配給一個群組使用。(2-3. d)的限制秀出無子通道可藉由多群組被分享。

2.4 最佳化資源分配

本章節內，研究及導出最佳化子通道及功率分配演算法，(2-3)式是一個 NP-hard 問題。由於實行應用完全搜尋演算法可能相當困難。為了解決這個問題將式藉由(2-3)式內刪除針對這個變化 $\rho_{g,m}$ 的整數限制轉成凸面最佳化問題，表示如下：

$$\begin{aligned} \min_{\rho_{g,m}, p_m} & - \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \frac{|K_g|}{M} \rho_{g,m} \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_{g,m} p_m}{N_0 B_0} \right) \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \sum_{m=1}^M p_m \leq p_{\max}, p_m \geq 0 \\ \sum_{g=1}^G \rho_{g,m} = 1, m = 1, \dots, M \\ \rho_{g,m} \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2-4)$$

針對所有的 g 和 m ， $\rho_{g,m} \in [0,1]$ 是實數。

輔助定理(2-1)：最佳化問題是凸面的且至少有一個最佳解。

證明：現在改善一個凸面最佳化問題，線性等式及不等式的限制。目標函數的凸面體展現如下。首先考慮到

$$f(\rho_{g,m}, p_m) = \rho_{g,m} \log_2(1 + H_{g,m} p_m) \quad (2-5)$$

(2-5)式的 $H_{g,m} = \frac{\alpha_{g,m}}{N_0 B_0}$ 。 $f(\rho_{g,m}, p_m)$ 的梯度微分計算成

$$\nabla f(\rho_{g,m}, p_m) = \begin{bmatrix} \log_2(1 + H_{g,m} p_m) \\ \rho_{g,m} \frac{H_{g,m}}{\log_2(1 + H_{g,m} p_m)} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

藉由 $\frac{H_{g,m}}{1 + H_{g,m} p_m}$ 代替成 $u_g(p_m)$ ，然後給一個 $f(\rho_{g,m}, p_m)$ 赫斯矩陣

$$\nabla^2 f(\rho_{g,m}, p_m) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{u_g(p_m)}{\log 2} \\ \frac{u_g(p_m)}{\log 2} & -\frac{\rho_{g,m}(u_g(p_m))^2}{\log 2} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

當 $\rho_{g,m}$ 和 $u_g(p_m)$ 是非負數時， $f(\rho_{g,m}, p_m)$ 赫斯矩陣有兩種情況， $f(\rho_{g,m}, p_m)$ 是凹面的和 $-f(\rho_{g,m}, p_m)$ 凸面的。所以目標函數是一個凸面函數的集合總和。因此，(2-4) 式的問題是凸面的。由於這邊已經至少存在一個最佳解。

輔助定理(2-2)：針對(2-4)式滿足 $\rho_{g,m} \in \{1,0\}$ 的情況下，這裡已經至少存在一個最佳解 x_2^* ($\rho_{g,m}^*$ 和 p_m^*)。

證明：假如一個最佳解 x 的所有子通道分配指標 $\rho_{g,m}$ 屬於位元集合 $\{1,0\}$ ，將輔助定理(2-2)修改成 $x_2^* = x$ 。除此之外，多個 $\rho_{g_i,m} \in (0,1)$ ($i=1,\dots,L$) 必須滿足(2-3.c)。第 m 個子通道藉由多個流量 (g_1,\dots,g_L) 被分享。假如所有流量的通達率都能準確在第 m 個子通道上，隨機分配其中一個流量到子通道不影響到所有系統的通達率。然後提出另一個最佳解來滿足輔助定理(2-2)，除此之外，這些流量的通達率必須比其他好。比如說，第 g_1 個流量的通達率在這個子通道上假設是最大的，分配在第 m 個子通道上只有第 g_1 個流量可以使用。將(2-4)式改寫成

$$\begin{aligned} R_m = R_{g_1,m} &\geq \rho_{g_1,m} R_{g_1,m} + (1 - \rho_{g_1,m}) \max_{i=2,\dots,L} R_{g_i,m} \\ &> \rho_{g_1,m} R_{g_1,m} + \sum_{i=2}^L \rho_{g_i,m} R_{g_i,m} \end{aligned} \quad (2-8)$$

由於所有系統通達率可以被改善較多。否定假設在(2-4)式 x 是一個最佳解。

定理(2-1)：在輔助定理(2-2)中 x_2^* 是(2-3)式最佳解表示成 x_1^* 。

證明：將(2-3)和(2-4)式的可用集合各自表示成 S_1 和 S_2 。(2-3)式最佳解和(2-4)的式最佳解分別代表為 f_1^* 和 f_2^* 。可以將 S_1 視為 S_2 的子集合表示成 $S_1 \subseteq S_2$ 。這邊必須有 $f_2^* \leq f_1^*$ 。從輔助定理(2-2)中， $x_2^* \in S_1$ 。(2-4)的式的整體最佳解是藉由降低梯度(Reduced Gradient)方法。然而，這樣仍然有計算上的複雜，尤其當系統有上百個使用者及子通道使用時。為了求解這個問題，將在下一節提出降低複雜度演算法。

2.5 低複雜度資源分配演算法

在該章節裡，作者將提出一個方法，方法裡有三個低複雜度分配演算法。演算法被分成兩步驟如下面兩步驟：動態子通道分配基於在同等功率分配情況下是首先做如下藉由在事先決定最好的子通道分配找出最佳功率分配。

A. 第一步驟

在這子章節內，首先提出動態子通道分配演算法，兩個子通道分配演算法找尋最大的事件。在這演算法中，所有功率都是相同的分配給每一個子通道。這個背景，在第 m 個子通道上第 g 個流量的匯集資料率可表示成

$$\begin{aligned} R_{g,m} &= |K_g| \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_{g,m} P_{\max}}{N_0 B_0 M} \right) \\ &= \log_2 \left(1 + \frac{\alpha_{g,m} P_{\max}}{N_0 B_0 M} \right)^{|K_g|} \end{aligned} \quad (2-9)$$

讓 γ 成為訊號雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio) $\frac{P_{\max}/M}{N_0 B_0}$ ，把 (2-9)

式結果展開成

$$\begin{aligned} \eta_{g,m} &= (1 + \gamma \alpha_{g,m})^{|K_g|} \\ &= 1 + |K_g| \gamma \alpha_{g,m} + \dots + (\gamma \alpha_{g,m})^{|K_g|} \end{aligned} \quad (2-10)$$

將動態子通道分配演算法描述如下。將演算法考慮在相同功率為主的子通道分配 (Equal Power-based Subcarrier Allocation，以下簡稱為 EPSA)。針對第個子通道來看，EPSA 將針對所有流量 ($g=1, \dots, G$) 及分配子通道給最大匯集資料率的流量與 $R_{g,m}$ 做比較。因為比較結果是相等的，EPSA 將比較以 $\eta_{g,m}$ 而不是 $R_{g,m}$ 。

EPSA 演算法表示如下：

(一) 初始設定

1. 針對所有的 g, m ，令 $\Omega_g = \emptyset$ 和 $\rho_{g,m} = 0$ 。

(二) 針對到去找適合的子通道

2. 選擇最大的 $\eta_{g,m}$ ，並決定第 m 個子通道上給第 g 個群組。
3. 將 $\Omega_{g_m^*} = \Omega_{g_m^*} \cup \{m\}$ 。
4. 令 $\rho_{g_m^*,m} = 1$ ，且 $\rho_{g \neq g_m^*,m} = 0$ 。

下一步考慮兩種極大局面，那就是低的訊號雜訊比和高的訊號雜訊比兩種局面。在(2-10)式中，針對非常低的訊號雜訊比是很接近零以至於高階項次可以被忽略。(2-10)可以被表示成

$$\eta_{g,m} = 1 + \eta_{g,m}^L = 1 + \gamma |K_g| \alpha_{g,m} \quad (2-11)$$

將此類的 ESPA 視為 LEPSA。在這類事件中，將比較在(11)式中的 $\eta_{g,m}^L$ 而不是在(2-10)式中的 $\eta_{g,m}$ 。在高的訊號雜訊比中，當 γ 是大的且足夠與 $\alpha_{g,m}$ 的期望值做比較時，高階項決定結果。針對高的訊號雜訊比，(2-10)式也可以表示成

$$\eta_{g,m} = 1 + \eta_{g,m}^H = 1 + (\gamma \alpha_{g,m})^{|K_g|} \quad (2-12)$$

將此類的 ESPA 視為 HESPA。在這個演算法中，在(12)的 $\eta_{g,m}^H$ 被比較。針對所有流量如果 $|K_g| = 1$ ，群播正交分頻多工系統在這裡補償傳統單播正交分頻多工系統。這個事件，針對(2-10)到(2-12)式的 $\eta_{g,m}$ 等於 $1 + \gamma \alpha_{g,m}$ 。因此，在單播多使用者系統上這三個演算法都是相等的，且計算複雜度上是非常低的。

B. 第二步驟

從第一步驟給定的 $\rho_{g,m}^*$ ，(2-3)和(2-4)式的最佳化問題被傳送成

$$\begin{aligned} \max_{p_m} \quad & \sum_{m=1}^M \frac{|K_{g_m}^*|}{M} \log 2 \left(1 + \frac{p_m \alpha_{g_m,m}^*}{N_0 B_0} \right) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{m=1}^M p_m \leq P_{\max}, p_m \geq 0 \end{aligned} \quad (2-13)$$

(2-13)式的功率分配問題的解可藉由 Lagrange 多工技術被找到，作者將 Lagrangian 函數定義成

$$L = \sum_{m=1}^M \frac{|K_{g_m}^*|}{M} \log 2 \left(1 + \frac{p_m \alpha_{g_m,m}^*}{N_0 B_0} \right) + \lambda \left(\sum_{m=1}^M p_m - P_{\max} \right) \quad (2-14)$$

λ 是 Lagrange 多工器且問題的解可藉由求解 $\partial L / \partial p_m = 0$ 被提出。

因此，針對每一個子通道的傳送功率應該滿足

$$\frac{\partial L}{\partial p_m} = \frac{|K_{g_m}^*|}{M \log 2} \frac{\alpha_{g_m,m}^*}{N_0 B_0 + p_m \alpha_{g_m,m}^*} + \lambda = 0, \quad \forall m \quad (2-15)$$

功率總和 p_m 分配到子通道時可被表示成

$$p_m = \max \left\{ \frac{|K_{g_m}^*|}{\lambda_0} - \frac{N_0 B_0}{\alpha_{g_m,m}}, 0 \right\} \quad (2-16)$$

功率分配機制類似傳統水法原則[36]，從 $\frac{\partial L}{\partial P_m} = \sum_{m=1}^M p_m - P_{\max} = 0$ ，

在(2-13)式裡最佳化功率分配滿足在(2-16)式中 $\sum_{m=1}^M p_m = P_{\max} \cdot \lambda_0$ 決定代替所有 p_m 成限制等式。

(2-13)式的問題也是一個凸面最佳化問題且可被修改成與章節 2.4 相似，將這兩步驟結合在一起，成為三個低複雜度且功率分配演

算法，可將他們各自表示成 LcSPA，L-LcSPA 和 H-LcSPA。針對三個演算法的其中一個，其複雜度比原先最佳化問題之複雜度，降低許多且為線性操作的子通道分配。

2.6 結論

針對群播正交分頻多工系統下以動態子通道和功率分配的問題作為資源分配方法，其特性是屬於一個線性問題，功率分配方法可藉由填充水法的方式調整。如果我們在這邊針對非線性的問題作為探討的議題，將藉由[33]之方法作為參考。

在下一章節，將以子通道分配及位元載入作為演算法，使用者個數、子通道個數及位元載入個數皆為整數，此為非線性問題的整數規劃，並依其特性探討最佳化資源分配的方式是否能達到相同效果，並提出低複雜度的演算法。

第三章

群組群播正交分頻多工系統之最大化資源分配

3.1 介紹

群播正交分頻多工系統上，有很多資源分配的方法已經被發表。像是，在[32]的文章裡，利用相同功率情況下子通道分配及類似水法演算法[34]的功率分配，作為整個系統上的資源分配方法；或是在[33]的文章裡，利用子通道分配及位元載入方法，作為資源分配的方法；亦有文章[35]，利用位元載入方法及功率分配，作為資源分配的方法。而在本章裡，以上一章節的系統架構圖作為本章之系統架構，並將系統架構圖詳細表現出來，如圖 3-1。此外，將考慮利用[33]之方法，作為整個系統的資源分配方法。

在本章中，我們將以子通道分配及位元載入演算法的方法，作為資源分配的最佳化問題，並加以探討，且與前一章的資源分配做比較。最佳化資源分配演算法會有計算上複雜度高的問題，所以我們將提出降低複雜度的演算法，並與最佳化問題做比較。

3.2 系統架構介紹

在本節中，首先介紹系統架構圖，如圖 3-1，並對圖上每一個功能方塊圖做簡單介紹用途。其次利用子通道分配及位元載入之資源分配法，且對每一個參數做介紹。

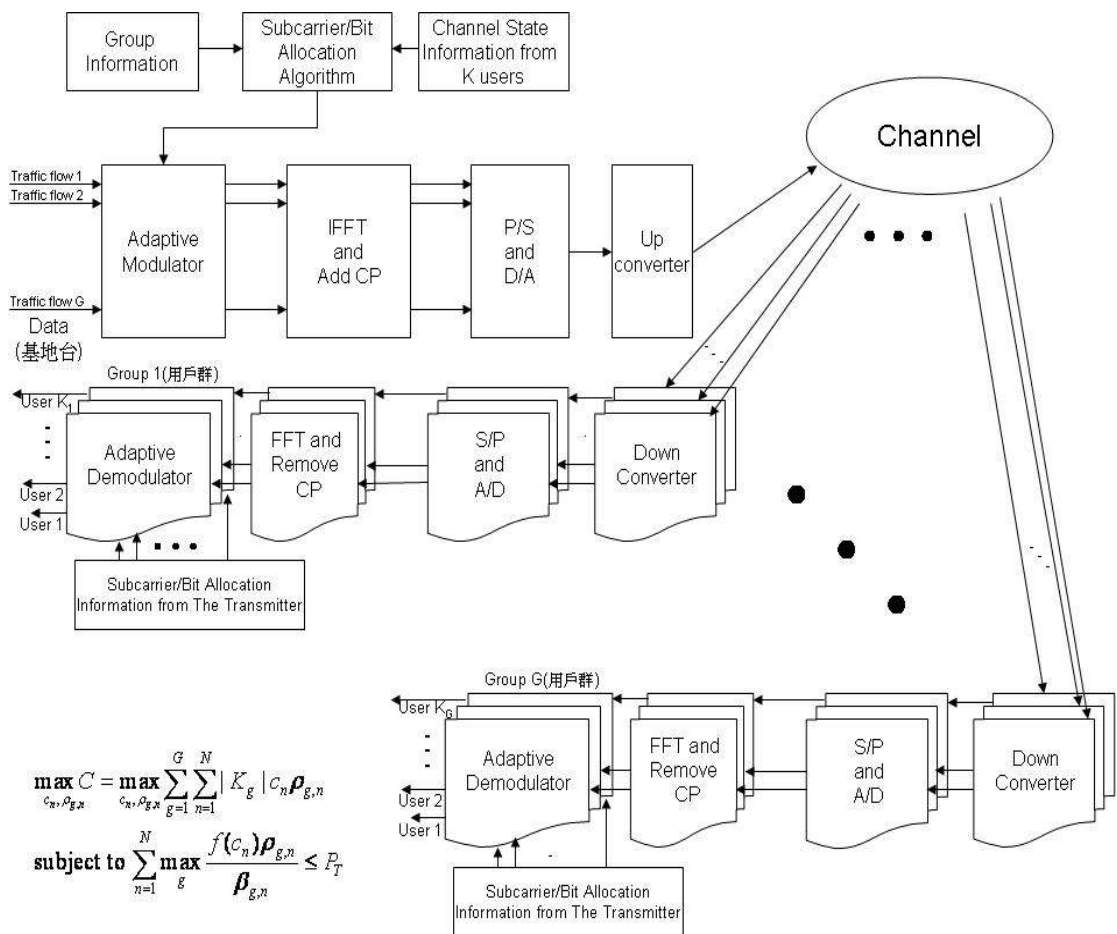


圖 3-1 為群播正交分頻多工系統詳細架構圖

3.2.1 系統架構圖(如圖 3-1)之簡介：

- Channel State Information from K users 是每個使用者回傳給基地台告知使用者在各個通道上的通道情況，有 K 個使用者且有 N 個子通道就會有 $K*N$ 個組合，且這個條件必須是已知的。
- Group Information 是將使用者分成群組且這個條件必須是已知的。
- Subcarrier/Bit Allocation Algorithm 是根據使用者通道情況及群組資訊分配子通道及載在子通道上的位元數給使用者的演算法。
- Traffic Flow 為負載流量，欲傳送資料到每一個使用者的資料。
- Adaptive Modulator 為適當調變器，在這為整個系統組要架構之一，將最佳化分配好的方法及載入的資料做分配後，傳送給該群組中每一個使用者所使用。
- IFFT 為反快速傅立列轉換，主要將訊號由頻域轉為時域。
- Add CP 為保護區間，主要防止 ISI 的問題受到干擾而資料產生失真。
- P/S 及 D/A 分別為並列至串行轉換器，及數位至類比轉換器。
- Up Converter 為升頻器，傳送端將資料上傳。
- Channel 為通道。
- Down Converter 為降頻器，經由通道接收傳送端所傳送的資料。
- S/P 及 A/D 分別為串列至並行轉換器，及類比至數位轉換器。

- Remove CP 為移除保護區間。
- FFT 為快速傅立列轉換，主要將訊號由時域轉成頻域。
- Adaptive Demodulator 為適當解調變器，藉由傳送端給的最佳化之分配，把資料分給每個使用者。

3.2.2 最佳化問題之參數介紹：

- c_n 為被分配到第 n 個子通道上所載入的位元數。
 $c_n \in D = \{0, 1, \dots, M\}$
- M 為在每個子通道上被傳送的位元數最大值(單位：位元數/符元)。
- $\rho_{g,n}$ 為第 g 個群組是否使用到第 n 個子通道上的資料，它的值是一個位元值。

$$\rho_{g,n} = \begin{cases} 1, & \text{if } n\text{-th subcarrier is used for } g\text{-th group} \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

$$\sum_{g=1}^G \rho_{g,n} = 1, \quad \text{for } \forall_n$$

- $\alpha_{k,n}^2$ 為第 k 個使用者在第 n 個子通道上所產生的通道增益。
- $\beta_{g,n}$ 為第 g 個群組在第 n 個子通道上的通道增益。

$$\beta_{g,n} = \min_{k \in K_g} \alpha_{k,n}^2$$
- P_n 為第 n 個子通道上的傳送功率。
- P_e 為每一個群組上每一個使用者的位元錯誤率。

- P_T 為假設可用的且被限制傳送功率總和。
- C 為整體系統的通達率。

當在 M -ary 的系統底下， c_n 在該章中可表示成 $c_n = \left\lfloor \log_2 \left(1 - \frac{1.6SNR}{\ln\left(\frac{P_e}{0.2}\right)} \right) \right\rfloor$ ，

且 $c_n = 0, 1, 2, \dots$ ；在 M -ary 系統中，位元錯誤率應該表示成 $p_e = 0.2e^{-\frac{1.6SNR}{2^{c_n}-1}}$ ；

同樣的系統中，訊號雜訊比及位元錯誤率的關係式可以表示成：

$$SNR = \frac{(-\ln 5p_e)}{1.6} (2^{c_n} - 1) \approx \frac{P_n(c_n)\beta_{g,n}}{\sigma^2} = \frac{f(c_n)}{\sigma^2}$$
，而在訊號雜訊比當中，在第 n 個

子通道上的傳送功率應該為 $P_n(c_n) = \frac{\sigma^2(-\ln 5p_e)}{1.6\beta_{g,n}} (2^{c_n} - 1)$ ，而群組接收到的

功率應該為 $f(c_n) = \frac{\sigma^2(-\ln 5p_e)}{1.6} (2^{c_n} - 1)$ ，與[37]的方法相似。

3.3 最大化資源分配之最佳化演算法

在該節內，首先在正交分頻多工系統內，有 K 個使用者分配到 G 個群組中，讓 $K_g (g=1, \dots, G)$ 表示為群播群組的使用者集合相當於第 g 個負載流量，每一個群組皆獨立且群組相互之間不會有共同使用者，如同 $K_g \cap K_i = \emptyset$ for all $i \neq g$ ，並令 $|K_g|$ 代表在群播群組內的使用者個數，至少要大於 1， $|K_g| > 1$ 。

利用章節 3.2.2 之參數介紹，並將上圖系統架構利用數學式表示當每個群組的通達率表示式應該如下：

$$R_g = \sum_{n=1}^N |K_g| c_n \rho_{g,n} \quad (3-1)$$

在(3-1)式中，表示在第 g 個群組的通達率，而每一個群組的通達率計算方式都一樣。整體系統的通達率之最佳化問題表示如下：

$$\begin{aligned} \max_{c_n, \rho_{g,n}} C &= \max_{c_n, \rho_{g,n}} \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N |K_g| c_n \rho_{g,n} \\ \text{subject to} & \sum_{n=1}^N \left(\frac{f(c_n) \rho_{g,n}}{\beta_{g,n}} \right) \leq P_T, \quad g = 1, 2, \dots, G \\ & \sum_{g=1}^G \rho_{g,n} = 1, \quad n = 1, 2, \dots, N \\ & \rho_{g,n} \in \{0, 1\}, \quad \text{for } n = 1, 2, \dots, N, \text{ and } g = 1, 2, \dots, G \\ \text{where } \beta_{g,n} &\in \min_{k \in K_g} \alpha_{k,n}^2. \end{aligned} \quad (3-2)$$

(3-2)式中，欲將整體系統通達率最大化時，必須要在功率限制及群組限制之下達到最大化。由(3-2)式來看，通達率最大化求解是在兩個主要限制條件下，同時求解 c_n 和 $\rho_{g,n}$ 兩個值。由於 c_n 和 $\rho_{g,n}$ 這兩個調變參數所帶入的值為整數變化。當所帶入的值做計算時，既成為非線性最佳化問題中的整數規劃，特別的是，如果有 G 個群組使用 N 個子通道時候，此時分配的可能為 $(G+1)^N$ 種變化。若是再加入載入位元數 M 到 N 個子通道上，則會有 $(M+1)^N$ 種可能性。所以說有 G 個群組使用 N 個子通時候且子通道上載入資料 M 在上面時候，複雜度變化就會有 $(G+1)^N (M+1)^N$ 個可能性變化。在這麼多種變化情況下，找出一組最佳解(c_n 和 $\rho_{g,n}$) 計算是相當困難的非線性運算，所以這種情況的問題稱為 NP-hard 問題。

此外，整數規劃問題也是屬於 NP-hard 的問題之一，而它的複雜

度會因為限制及變化的個數增加而導致複雜度成以指數方式增加，複雜度一旦增加就會造成整個系統在求解最佳解的困難性。這個問題會導致整個運算上的影響，所以緊接在下個子章節提出降低複雜度的演算法，希望在一個啟發式的方法中，可以藉由減少降低複雜度的問題，減少系統在運算時所消耗的時間。

3.4 低複雜度最大化資源分配演算法

在該章節中，我們提出一個降低複雜度演算法，考慮兩個步驟之分配，其結果將會接近最佳化問題的結果。首先在相同功率的情況下，先找出每一個子通道上最合適的群組，將通道分配給群組使用；第二步驟接著在這個通道上傳送的功率，做位元載入的方法。

第一步驟：子通道分配

針對所有的子通道來看，每一個子通道上的傳送功率都是一樣的，且需在群組及功率的限制下，達到系統通達率最大化可表示如下

$$\begin{aligned}
\max_{c_n, \rho_{g,n}} C &= \max_{c_n, \rho_{g,n}} \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N |K_g| c_n \rho_{g,n} \\
\text{subject to } \max_k \left(\frac{f(c_n) \rho_{g,n}}{\beta_{g,n}} \right) &\leq \frac{P_T}{N} \quad \text{for all } n. \\
\sum_{g=1}^G \rho_{g,n} &\leq 1, \quad n=1,2,\dots,N \\
\text{where } \beta_{g,n} &= \min_{k \in K_g} \alpha_{k,n}^2
\end{aligned} \tag{3-3}$$

在(3-2)的限制裡，每一個群組接收到多少資料可藉由目前群組有利用子通道的情況來決定。假如在 $\rho_{g,n} = 1$ 的情況下，讓 $c_{g,n}$ 表示為第 g 個群組在第 n 個子通道上所接收到位元數。

$$c_{g,n} = \min \left[f^{-1} \left(\frac{\beta_{g,n} P_T}{N} \right), M \right] \quad \text{for } \forall g, n \tag{3-4}$$

$f(c_n)$ 藉由章節 3-1 最佳化問題參數介紹可以了解到 $f(c_n)$ 與 c_n 的關係，且假設位元數載入最大值為 M 。在這個子章節中，每個子通道以群組的通達率大小來決定子通道是否分配給群組使用。

(1) 針對第 n 個子通道，當第 n 個子通道選擇分配給第 g 個群組時，此時最大通達率可用 $C_{g,n}$ 來代替，且表示如下

$$C_{g,n} = |K_g| c_{g,n} \tag{3-5}$$

(2) 針對第 n 個子通道來看，群組索引 g_n^* 將選擇最大的通達率

$$g_n^* = \arg \max_g C_{g,n} \tag{3-6}$$

當第 g_n^* 個群組之通達率為最大時，第 n 個子通道將以第 g_n^* 個為目標，且將第 n 個子通道上的資料分配給第 g_n^* 個群組表示如下

$$\rho_{g,n} = \begin{cases} 1, & g = g_n^* \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-7)$$

在子通道分配方法當中，可以找到子通道分配給群組之最佳解。

第二步驟：位元載入

在這子章節當中，假設在上一子章節之子通道分配是正確的，再考慮位元載入演算法。在這邊我們將使用貪婪演算法(greed algorithm)的其中一種，稱為 Levin-Campello 演算法。在群播正交分頻多工系統裡使用演算法，每次分配位元數載入到子通道上，會額外增加一個位元數，每一次分配到子通道時需要選擇最小的額外增加功率。

假設 $\Delta p_n(c_n)$ 為額外增加功率的符號， $\Delta p_n(c_n)$ 是針對在第 n 個子通道上額外增加一個位元數所需增加傳送的功率。當在第 n 個子通道上所載入的位元數為 c_n ，將 $\Delta p_n(c_n)$ 假定如下

$$\Delta p_n(c_n) = \frac{f(c_n+1) - f(c_n)}{\beta_{g_n^*,n}^* |K_{g_n^*}^*|} \quad (3-8)$$

(3-8)式子中的 $|K_{g_n^*}^*|$ 為第 n 個子通道所分配給第 g_n^* 個目標群組。

由(3-8)式子將所有子通道總和起來

(一) 初始設定

- (1) 令 $c_n = 0$ 且針對所有的子通道計算 $\Delta p_n(0)$ 。
- (2) 令 P_T^* 為當前可能傳送的功率且假設 $P_T^* = 0$ 。

(二) 位元載入過程

- (3) 判斷 P_T^* ，假如 $P_T^* \geq P_T$ 就停止做下面位元載入演算法過程，則繼續下面計算。
- (4) 從 $\Delta P_n(c_n)$ 找出最小額外增加功率者，並令在此通道上為目標子通道 n^* ， $n^* = \arg \min_n \Delta P_n(c_n)$ 。
- (5) 將原來初始設定加上額外增加功率在做更新，
$$P_T^* = P_T^* + \Delta P_{n^*}(c_{n^*}) |K_{g_{n^*}}|。$$
- (6) 在已計算過的子通道上需加上一個位元數，表示已經做過位元載入的動作， $c_{n^*} = c_{n^*} + 1$ 。
- (7) 如果在第 n^* 個子通道上的位元數已經達到位元數最大值 M 時候，假設額外增加功率到無窮大 $\Delta P_{n^*}(c_{n^*}) = \infty$ ，否則就繼續到第(3)步驟繼續計算 $\Delta P_{n^*}(c_{n^*})$ 。

這個演算法可提供出位元載入之最佳解。

我們可以藉由上述兩個步驟分配，近而達到降低運算複雜度，且減低求解的時間。

3.5 數據分析與結果

在群播正交分頻多工系統裡，我們比較最佳化演算法及降低複雜度演算法的通達率最大化效能比較。完成模擬結果需要以下幾個假設條件：

- (1) 通道將使用頻道選擇瑞利衰減通道(frequency selective Rayleigh fading channel)。
- (2) 假設每一個使用者的 target bit error rate 都一樣，令 P_e 分別為 0.001 及 0.0001 兩種情況。
- (3) 假設使用者至少 4 位最多到 32 位使用者，群組劃分最少兩個群組到八個群組之間。
- (4) 假設一個群播正交分頻多工系統的系統通道將劃分成 10 個子通道及 64 個子通道兩種情況。
- (5) 子通道載入位元數最大值 M 為 6 bits。

針對整數問題去求得最佳解，其計算上的複雜度應該為 $O(M^N)$ ，因此我們所提出的演算法的複雜度為 $O(MN^2)$ 。圖 3-2 為展現當同樣四個群組，最佳化演算法及降低複雜度演算法之比較，使用者分別為 4 個、8 個、16 個和 32 個之四種情況在 10 個子通道情況之下做運算，

表 3-1 及表 3-2 為當位元錯誤率是 $1e-3$ ，固定四個群組之四種情況的數據結果。圖 3-3 亦為同樣四個群組，表 3-3 和表 3-4 為位元錯誤率是 0.0001，四個群組在四種情況所產生的模擬數據。圖 3-4 為固定四個群組及 16 個使用者，依位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較，分別為 0.001 和 0.0001 各半、0.0001 及 0.001 三種情況，表 3-5 表示位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較。圖 3-5 為固定四個群組及 16 個使用者，依位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較，分別為 0.001 和 0.0001 各半、0.0001 及 0.001 三種情況，表 3-6 表示位元錯誤率不同之次佳化演算法效能比較。圖 3-6 為固定使用者個數在 16 個，分成 2 個、4 個、8 個及 16 個群組，次佳化演算法之效能比較，表 3-7 為當位元錯誤率是 0.0001，分成四種情況的數據結果。圖 3-7 為固定資源分配及動態資源分配比較，固定資源分配將採用 16 個使用者分成四個群組，且每個群組固定使用 16 個子通道，表 3-8 為固定資源分配及動態資源分配之數據分析。

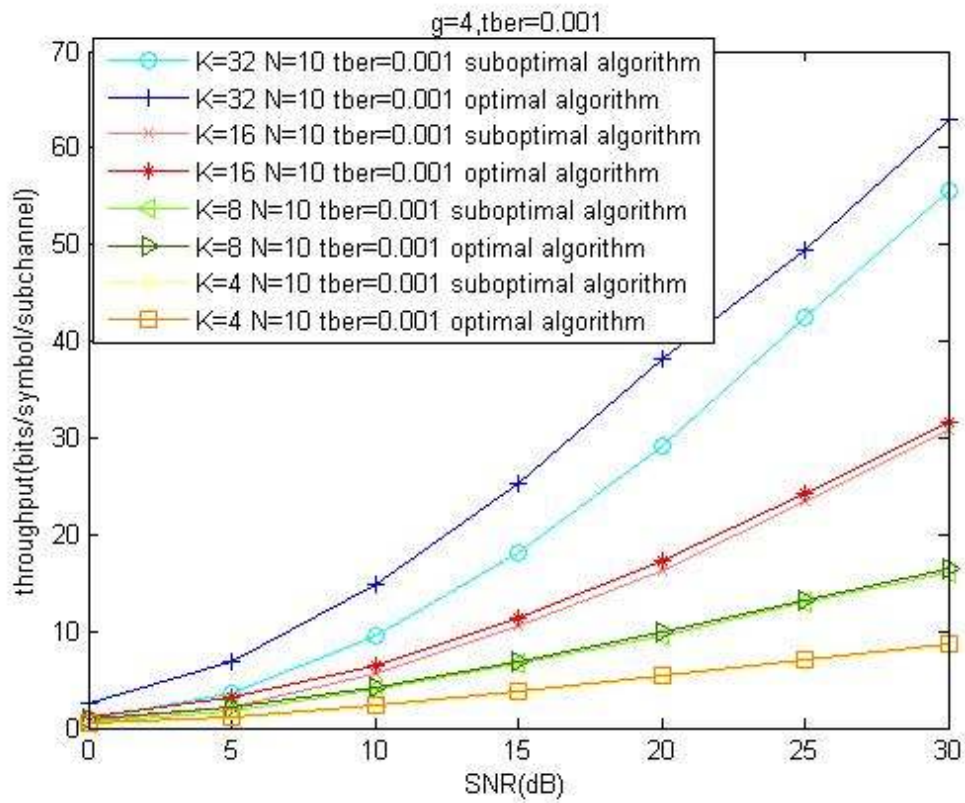


圖 3-2 target BER=0.001 之效能比較

表 3-1 target BER=0.001，使用者 4 個及 8 個之效能比較

群組個數	4 個群組			
使用者個數	4 個使用者		8 個使用者	
演算法方法	最佳化演算法	次佳化演算法	最佳化演算法	次佳化演算法
子通道個數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10 dB	10 dB	10 dB
位元錯誤率	0.001	0.001	0.001	0.001
SNR=0dB	0.5289(bits/symbol/subchannel)	0.3692(bits/symbol/subchannel)	0.8269(bits/symbol/subchannel)	0.5076(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	1.16(bits/symbol/subchannel)	1.022(bits/symbol/subchannel)	2.054(bits/symbol/subchannel)	1.794(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	2.319(bits/symbol/subchannel)	2.183(bits/symbol/subchannel)	4.211(bits/symbol/subchannel)	3.929(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	3.813(bits/symbol/subchannel)	3.549(bits/symbol/subchannel)	6.956(bits/symbol/subchannel)	6.556(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	5.412(bits/symbol/subchannel)	5.207(bits/symbol/subchannel)	9.892(bits/symbol/subchannel)	9.543(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	7.006(bits/symbol/subchannel)	6.8(bits/symbol/subchannel)	13.28(bits/symbol/subchannel)	12.93(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	8.635(bits/symbol/subchannel)	8.495(bits/symbol/subchannel)	16.4(bits/symbol/subchannel)	16.04(bits/symbol/subchannel)
複雜度	60466176	600	60466176	600

表 3-2 target BER=0.001，使用者 16 個及 32 個之效能比較

群組個數	4 個群組			
使用者個數	16 個使用者		32 個使用者	
演算法方法	最佳化演算法	次佳化演算法	最佳化演算法	次佳化演算法
子通道個數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10 dB	10 dB	10 dB
位元錯誤率	0.001	0.001	0.001	0.001
SNR=0dB	1.193(bits/symbol/subchannel)	0.666(bits/symbol/subchannel)	2.536(bits/symbol/subchannel)	0.9248(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	3.109(bits/symbol/subchannel)	2.236(bits/symbol/subchannel)	6.837(bits/symbol/subchannel)	3.629(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	6.487(bits/symbol/subchannel)	5.673(bits/symbol/subchannel)	14.92(bits/symbol/subchannel)	9.606(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	11.28(bits/symbol/subchannel)	10.51(bits/symbol/subchannel)	25.37(bits/symbol/subchannel)	18.21(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	17.2(bits/symbol/subchannel)	16.33(bits/symbol/subchannel)	38.19(bits/symbol/subchannel)	29.16(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	24.35(bits/symbol/subchannel)	23.38(bits/symbol/subchannel)	49.49(bits/symbol/subchannel)	42.55(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	31.64(bits/symbol/subchannel)	30.89(bits/symbol/subchannel)	62.86(bits/symbol/subchannel)	55.62(bits/symbol/subchannel)
複雜度	60466176	600	60466176	600

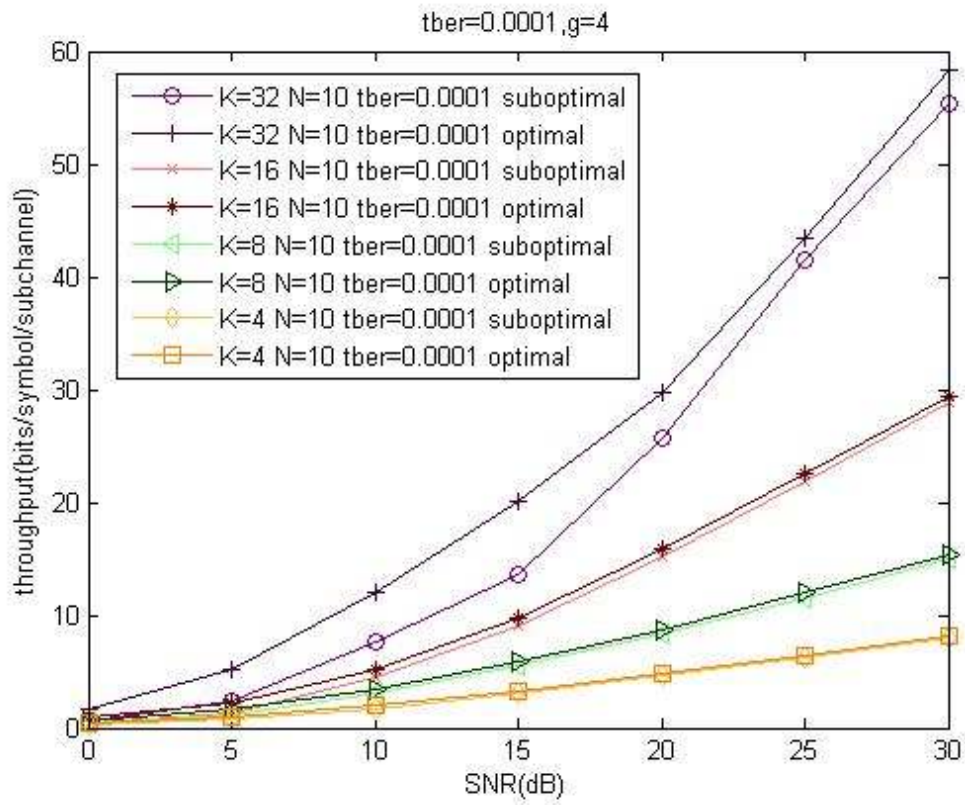


圖 3-3 target BER=0.0001 之效能比較

表 3-3 target BER=0.0001，使用者 4 個及 8 個之效能比較

群組個數	4 個群組			
	4 個使用者		8 個使用者	
演算法方法	最佳化演算法	次佳化演算法	最佳化演算法	次佳化演算法
子通道個數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10 dB	10 dB	10 dB
位元錯誤率	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
SNR=0dB	0.3755(bits/symbol/subchannel)	0.2169(bits/symbol/subchannel)	0.5924(bits/symbol/subchannel)	0.3566(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	0.9334(bits/symbol/subchannel)	0.7426(bits/symbol/subchannel)	1.662(bits/symbol/subchannel)	1.147(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	1.932(bits/symbol/subchannel)	1.674(bits/symbol/subchannel)	3.503(bits/symbol/subchannel)	3.02(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	3.273(bits/symbol/subchannel)	3.132(bits/symbol/subchannel)	5.932(bits/symbol/subchannel)	5.443(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	4.818(bits/symbol/subchannel)	4.662(bits/symbol/subchannel)	8.73(bits/symbol/subchannel)	8.377(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	6.432(bits/symbol/subchannel)	6.215(bits/symbol/subchannel)	11.99(bits/symbol/subchannel)	11.47(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	8.136(bits/symbol/subchannel)	7.981(bits/symbol/subchannel)	15.37(bits/symbol/subchannel)	14.96(bits/symbol/subchannel)
複雜度	60466176	600	60466176	600

表 3-4 target BER=0.0001，使用者 16 個及 32 個之效能比較

群組個數	4 個群組			
使用者個數	16 個使用者		32 個使用者	
演算法方法	最佳化演算法	次佳化演算法	最佳化演算法	次佳化演算法
子通道個數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10 dB	10 dB	10 dB
位元錯誤率	0.001	0.001	0.001	0.001
SNR=0dB	0.8894(bits/symbol/subchannel)	0.458(bits/symbol/subchannel)	1.583(bits/symbol/subchannel)	0.532(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	2.265(bits/symbol/subchannel)	1.373(bits/symbol/subchannel)	5.101(bits/symbol/subchannel)	2.307(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	5.138(bits/symbol/subchannel)	4.532(bits/symbol/subchannel)	12.06(bits/symbol/subchannel)	7.603(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	9.79(bits/symbol/subchannel)	9.086(bits/symbol/subchannel)	20(bits/symbol/subchannel)	13.57(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	15.93(bits/symbol/subchannel)	15.23(bits/symbol/subchannel)	29.68(bits/symbol/subchannel)	25.75(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	22.53(bits/symbol/subchannel)	21.9(bits/symbol/subchannel)	43.5(bits/symbol/subchannel)	41.54(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	29.39(bits/symbol/subchannel)	28.81(bits/symbol/subchannel)	58.25(bits/symbol/subchannel)	55.42(bits/symbol/subchannel)
複雜度	60466176	600	60466176	600



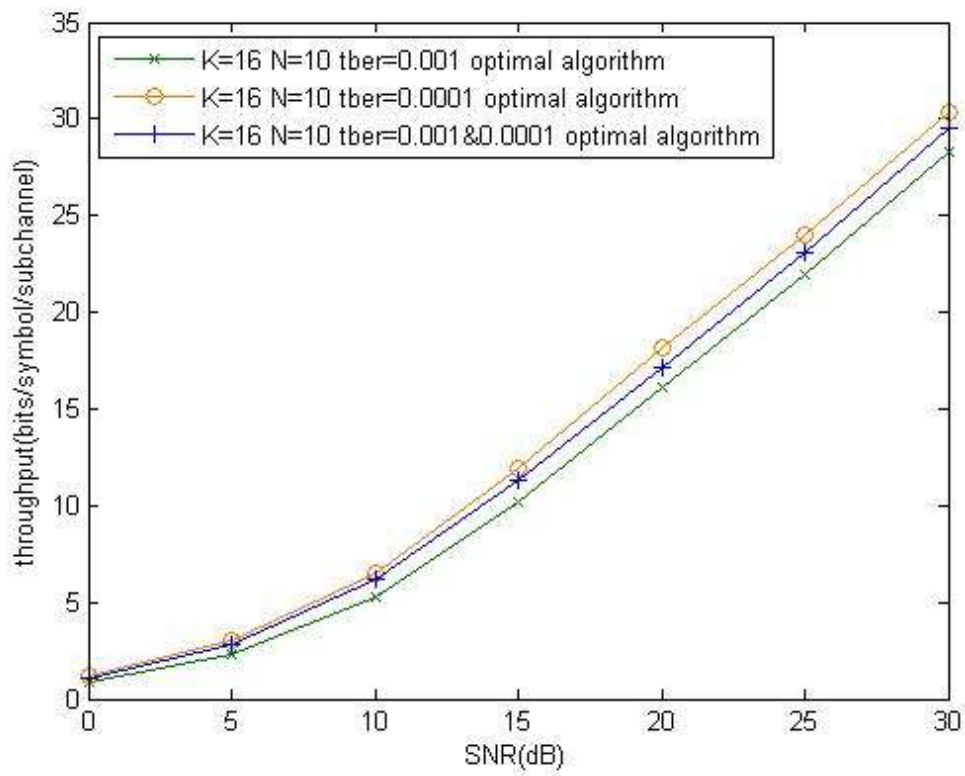


圖 3-4 位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較

表 3-5 位元錯誤率不同之最佳化演算法效能比較

使用者個數	16 使用者		
群組個數	4 個群組		
演算法方法	最佳化演算法		
複雜度	60466176		
子通道參數	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB	10dB
位元錯誤率	0.001	0.001&0.0001	0.0001
SNR=0dB	1.147(bits/symbol/subchannel)	1.075(bits/symbol/subchannel)	0.8422(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	3.062(bits/symbol/subchannel)	2.809(bits/symbol/subchannel)	2.323(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	6.53(bits/symbol/subchannel)	6.214(bits/symbol/subchannel)	5.223(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	11.92(bits/symbol/subchannel)	11.34(bits/symbol/subchannel)	10.14(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	18.13(bits/symbol/subchannel)	17.17(bits/symbol/subchannel)	16.16(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	24.02(bits/symbol/subchannel)	23.08(bits/symbol/subchannel)	21.98(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	30.33(bits/symbol/subchannel)	29.57(bits/symbol/subchannel)	28.27(bits/symbol/subchannel)

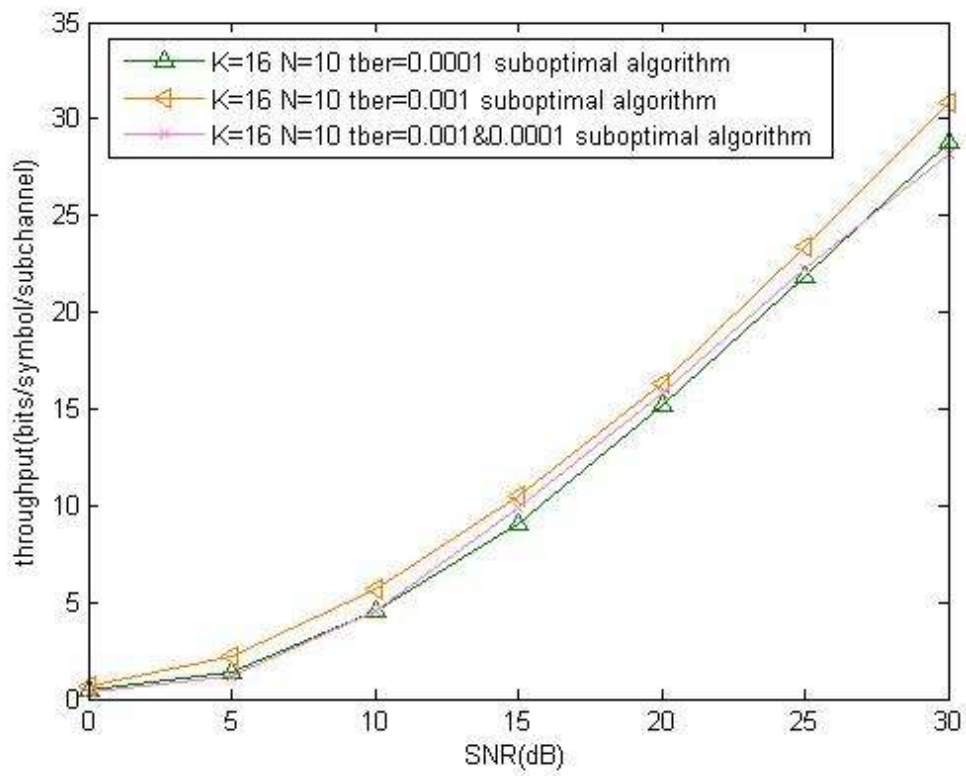


圖 3-5 位元錯誤率不同之次佳化演算法效能比較

表 3-6 位元錯誤率不同之低複雜度演算法效能比較

使用者個數	16 使用者		
群組個數	4 個群組		
演算法方法	次佳化演算法		
複雜度	600		
子通道參數	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB	10dB
位元錯誤率	0.001	0.001&0.0001	0.0001
SNR=0dB	0.666(bits/symbol/subchannel)	0.3988(bits/symbol/subchannel)	0.458(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	2.236(bits/symbol/subchannel)	1.221(bits/symbol/subchannel)	1.373(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	5.673(bits/symbol/subchannel)	4.604(bits/symbol/subchannel)	4.532(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	10.51(bits/symbol/subchannel)	9.841(bits/symbol/subchannel)	9.086(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	16.33(bits/symbol/subchannel)	15.81(bits/symbol/subchannel)	15.23(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	23.48(bits/symbol/subchannel)	22.3(bits/symbol/subchannel)	21.9(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	30.89(bits/symbol/subchannel)	28.17(bits/symbol/subchannel)	28.81(bits/symbol/subchannel)

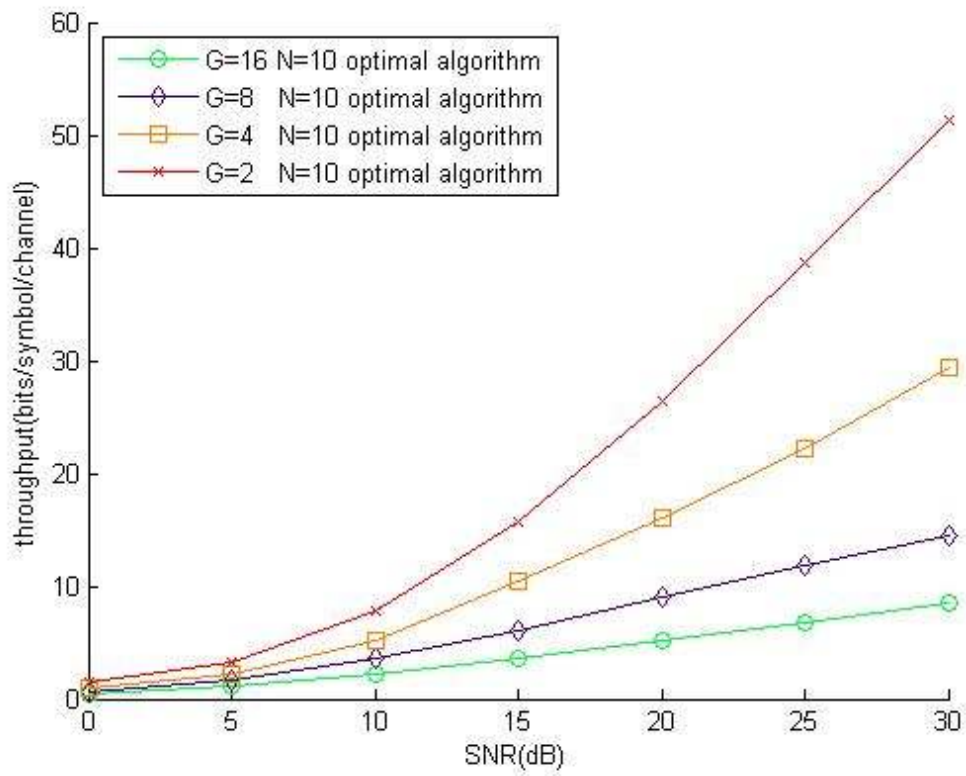


圖 3-6 群組個數不同之最佳化比較

表 3-7 群組個數不同之效能比較

使用者個數	16 個使用者			
演算法方法	最佳化演算法			
複雜度	60466176			
群組分配	2 個群組	4 個群組	8 個群組	16 個群組
子通道參數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB	10dB	10dB
位元錯誤率	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
SNR=0dB	1.437(bits/symbol/subchannel)	0.9962(bits/symbol/subchannel)	0.6336(bits/symbol/subchannel)	0.4227(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	3.158(bits/symbol/subchannel)	2.239(bits/symbol/subchannel)	1.708(bits/symbol/subchannel)	1.098(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	7.735(bits/symbol/subchannel)	5.238(bits/symbol/subchannel)	3.639(bits/symbol/subchannel)	2.161(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	15.71(bits/symbol/subchannel)	10.49(bits/symbol/subchannel)	6.059(bits/symbol/subchannel)	3.528(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	26.45(bits/symbol/subchannel)	16.08(bits/symbol/subchannel)	9.019(bits/symbol/subchannel)	5.156(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	38.73(bits/symbol/subchannel)	22.15(bits/symbol/subchannel)	11.92(bits/symbol/subchannel)	6.758(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	51.25(bits/symbol/subchannel)	29.4(bits/symbol/subchannel)	14.48(bits/symbol/subchannel)	8.444(bits/symbol/subchannel)

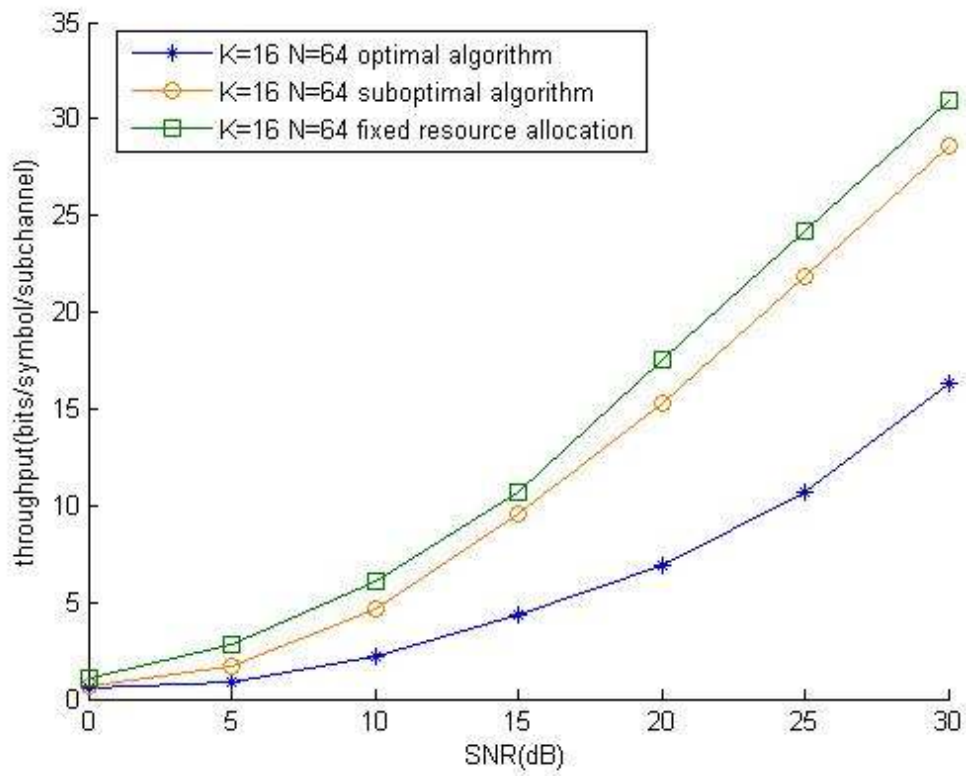


圖 3-7 固定資源分配及動態資源分配之效能比較

表 3-8 固定資源分配及動態資源分配之數據分析

資源分配方法	固定資源分配	動態資源分配	動態資源分配
演算法方法	最佳化演算法	次佳化演算法	最佳化演算法
群組分配	4 個群組	4 個群組	4 個群組
子通道參數	64 個	64 個	64 個
傳送功率限制	64dB	64dB	64dB
位元錯誤率	0.0001	0.0001	0.0001
SNR=0dB	0.5296(bits/symbol/subchannel)	0.6769(bits/symbol/subchannel)	1.085(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	0.9067(bits/symbol/subchannel)	1.722(bits/symbol/subchannel)	2.804(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	2.157(bits/symbol/subchannel)	4.7(bits/symbol/subchannel)	6.102(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	4.353(bits/symbol/subchannel)	9.533(bits/symbol/subchannel)	10.7(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	6.91(bits/symbol/subchannel)	15.27(bits/symbol/subchannel)	17.51(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	10.73(bits/symbol/subchannel)	21.86(bits/symbol/subchannel)	24.18(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	16.37(bits/symbol/subchannel)	28.57(bits/symbol/subchannel)	30.91(bits/symbol/subchannel)
複雜度	1	24576	6.3340e+049

3.6 結論

第三章裡，以子通道分配及位元載入作為系統之資源分配方法，並作為研究探討。從模擬數據來看，群組中的使用者越多，系統通達率最大化亦較高。在 target BER 的比較來看，target BER 的值越低，通達率也會下降，因為要求的準確性提高的關係。動態資源分配及固定資源分配比較，很明顯看出動態資源分配遠比固定資源分配來的好。同樣不考慮公平性的資源分配方式，所提出的次佳化降低複雜度演算法與最佳化演算法稍差一些。在下一章，將考慮公平性的議題在資源分配上，利用比例式公平性之方法，是否亦有顯著之效果。

第四章

群播正交分頻多工系統下之公平性最佳化資源分配

4.1 介紹

在群播正交分頻多工系統裡，上一章節針對通達率最大化的議題探討在不考慮公平性問題情況之下，利用[33]方法分配子通道及位元載入兩種方法作為資源分配演算法，並在功率限制之下，提升整體通達率到最大化。而現在針對公平性議題考量當子通道不足分配的情況下，且在比例公平性限制及功率限制之下達到通達率最大化，與前一章議題比較，在本章節具有公平性資源分配的特性。

在本章節當中，我們藉由[31]的方法提出一個公平性的演算法考慮在群播正交分頻多工系統裡。子通道分配及位元載入作為資源分配方法，並加入公平性問題之限制，利用整數問題去解決最佳化問題，我們發現與前一章節同樣高複雜度的問題。因此，我們提出一個具有兩步驟的低複雜度公平性演算法，並與最佳化演算法比較。在比例公平性的限制下，每個群組的目標通達率是一樣的情況，為公平性最佳化資源分配事件。

4.2 公平性資源分配最佳化演算法

藉由[31]之方法為參考方法，且考慮到群組的分配、子通道之分配及位元載入之問題作為系統資源分配之方法。然而最佳化問題的公式可以如同前一章節相似，並額外增加一個限制條件，使其所有群組能均勻分配到相同資源，如同(4-2)式表示。

R_g 為第 g 個群組的通達率表示如下

$$R_g = \sum_{n=1}^N c_n \rho_{g,n} \quad (4-1)$$

由(4-1)式子來看，整個系統的最佳化問題可以用公式表示如下：

$$\begin{aligned} & \max_{c_n, \rho_{g,n}} \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N |K_g| c_n \rho_{g,n} \\ & \text{subject to } \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N \frac{f(c_n) \rho_{g,n}}{\beta_{g,n}} \leq P_T \\ & \sum_{n=1}^G \rho_{g,n} = 1, \quad n = 1, 2, \dots, N \\ & \rho_{g,n} = \{0, 1\}, \quad \text{for } n = 1, 2, \dots, N \text{ \& } g = 1, 2, \dots, G \\ & R_1 : R_2 : \dots : R_G = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_G \end{aligned} \quad (4-2)$$

最佳化問題參數介紹：

- ◆ $|K_g|$ 為群組使用者個數。
- ◆ $\rho_{g,n}$ 為判定第 n 個子通道是否給予第 g 個群組使用。

$$\begin{aligned} \rho_{g,n} &= \begin{cases} 1, & \text{if } n\text{-th subcarrier is used for } g\text{-th group} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \\ \sum_{g=1}^G \rho_{g,n} &= 1, \quad \text{for } \forall_n \end{aligned} \quad (4-3)$$

- ◆ c_n 為在第 n 個子通道上所載入多少位元數，其與位元錯誤率及訊號雜訊比有關，如下式：

$$c_n \in D = \{0, 1, 2, \dots, M\}$$

- ◆ P_e 為群組中使用者的位元錯誤率。
- ◆ $\alpha_{k,n}^2$ 為第 k 個使用者在第 n 個子通道上所產生的通道增益。
- ◆ $\beta_{g,n}$ 為在第 n 個子通道上第 g 個群組中挑選出最小的使用者通道增益，如： $\beta_{g,n} = \min_{k \in K_g} \alpha_{k,n}^2$ 。
- ◆ P_T 為傳送功率最大限制值。
- ◆ $f(c_n)$ 為接收端接收到的功率。 P_e 與 c_n 關係如下

$$f(c_n) = \frac{\sigma^2 (-\ln 5 p_e)}{1.6} (2^{c_n} - 1) \quad (4-5)$$

在(4-2)式的問題是在滿足目標通達率的限制下針對每個通道版本謹慎地分配資源。我們定義一個量滿足目標通達率的限制，令 $R_{g,i}$ 為針對第 i 個通道版本的第 g 個群組通達率， $\tilde{R}_{g,i} = \frac{R_{g,i}}{\sum_{g=1}^G R_{g,i}}$ 為針對第 i 個通

道版本的第 g 個群組的正規化通達率， γ_g 為事先給定的目標通達率的限制，且 $\tilde{\gamma}_g = \frac{\gamma_g}{\sum_{g=1}^G \gamma_g}$ 為事先給定的正規化目標通達率的限制，誤差值索

引 D_i 是針對第 i 個通道版本正規化的目標通達率限制定義如下：

$$D_i = \frac{\sum_{g=1}^G |\tilde{R}_{g,i} - \tilde{\gamma}_g|}{\max_{\tilde{R}_{g,i}} \sum_{g=1}^G |\tilde{R}_{g,i} - \tilde{\gamma}_g|} \quad (4-6)$$

在(4-6)式的分母為最大差值定義如下[31]

$$\max_{\tilde{R}_{g,i}} \sum_{g=1}^G |\tilde{R}_{g,i} - \tilde{\gamma}_g| = 2 - 2 \min_g \tilde{\gamma}_g \quad (4-7)$$

4.3 低複雜度公平性資源分配演算法

理論上，在(4-2)式中完成最佳解需要是子通道及位元載入共同被分配。而在基地台，達到最佳化分配的動作是一個計算上複雜的主題。因此，基地台當無線通道改變時，必須立即計算最佳子通道和位元載入分配。由此得知，低複雜度公平性最佳資源分配演算法是針對估計影響和因延遲而受影響的結果而被選擇的。分開子通道和功率分配是一種降低複雜度的方法，因為在目標函數中變數個數幾乎被降低到一半。低複雜度公平性最佳資源分配演算法將分成兩步驟[31]，第一步驟討論子通道分配。第二步驟藉由給定的子通道分配，呈現最佳化功率分配。

第一步驟：子通道分配

在該子章節中，基於[28]方法，討論一個子通道分配演算法。假設群組使用者個數是事先給定，並令每個子通道上傳送功率皆相等。

我們定義為在第 n 個子通道上針對第 g 個群組中最差使用者的通道增益， c_n 為第 n 個子通道上所載入的位元數， $\rho_{g,n}$ 為第 n 個子通道是否分配給第 g 個群組使用， Ω_g 為分配給第 g 個群組的所有子通道所成的集合， K_g 為針對第 g 個群組的使用者集合， A 為子通道所有集合，藉由幾個條件的假設，子通道分配演算法可描述如下：

(1) 初始設定

- (a) 令 $R_g = 0$ 、 $\Omega_g = \emptyset$ 、 $\rho_{g,n} = 0$ 、 $g = 1, 2, \dots, G$ 、 $n = 1, 2, \dots, N$ ，且 $A = \{1, 2, \dots, N\}$ 。

(2) 針對 $g = 1$ 到 G

- (a) 找尋 n 滿足 $|\beta_{g,n}| \geq |\beta_{g,j}|$ ，針對所有 j 屬於 A 的元素。
- (b) 令 $\Omega_g = \Omega_g \cup \{n\}$ ， $A = A - \{n\}$ 且更新 $\rho_{g,n} = 1$ 。
- (c) 計算 c_n 並更新 $R_g = R_g + c_n$ 。

(3) 當 $A \neq \emptyset$ 的情況下，繼續以下步驟

- (a) 找尋 g' 滿足 $\frac{R_{g'}}{\gamma_{g'}} \leq \frac{R_i}{\gamma_i}$ ，針對所有 i ， $1 \leq i \leq G$ 。
- (b) 針對已找到第 g' 個群組，尋找 n 滿足 $|\beta_{g',n}| \geq |\beta_{g',j}|$ ，針對所有 j 屬於 A 的元素。
- (c) 針對已找到的 g' 與 n ，令 $\Omega_{g'} = \Omega_{g'} \cup \{n\}$ ， $A = A - \{n\}$ ，且更新 $\rho_{g',n} = 1$ 。
- (d) 計算 c_n 並更新 $R_{g'} = R_{g'} + c_n$ 。

$$c_n = \min\left(\left\lceil f^{-1}\left(\frac{\beta_{g,n} P_T}{N}\right) \right\rceil, M\right) \quad n=1,2,\dots,N$$

在所有子通道假設相同功率分配中，子通道分配演算法是次佳化演算法，而子通道演算法的原則是針對每一個群組以通道較高者作為群組選定的子通道。每次重複演算法動作，群組以最低的比例式通達率比 $\left(\frac{R_g}{\gamma_g}\right)$ 來選擇哪個子通道使用，子通道分配之後，僅達到表面性的比例式公平。為了達到最大化通達率的目標，在第二步驟可藉由功率分配來完成次佳化比例式公平性的問題。

第二步驟：針對固定子通道之最佳的功率分配

在本子章節中，假設上一步驟在相同功率下的子通道分配是準確的情況下考慮功率分配演算法，最佳化問題以公式表示如下

$$\begin{aligned} & \max_{c_n, \rho_{g,n}} \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N |K_g| c_n \rho_{g,n} \\ & \text{subject to } \sum_{g=1}^G \sum_{n=1}^N \frac{f(c_n) \rho_{g,n}}{\beta_{g,n}} \leq P_T \quad (4-8) \\ & \quad \Omega_g \text{ are disjoint for all } g \\ & \quad \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_G \subseteq \{1, 2, \dots, N\} \\ & \quad R_1 : R_2 : \dots : R_G = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_G \\ & \quad \text{where } \Omega_g \text{ is the set of subchannels for group } g \end{aligned}$$

在(4-8)式的最佳化問題與找出下列函數的最大值相等

$$\begin{aligned}
L = & \sum_{g=1}^G \sum_{n \in \Omega_g} \frac{1}{N} \log_2(1 + p_{g,n} \beta_{g,n}) \\
& + \lambda_1 \left(\sum_{g=1}^G \sum_{n \in \Omega_g} p_{g,n} - P_{\text{total}} \right) \\
& + \sum_{g=2}^G \lambda_g \left(\sum_{n \in \Omega_1} \frac{1}{N} \log_2(1 + p_{1,n} \beta_{1,n}) \right. \\
& \left. - \frac{\gamma_1}{\gamma_g} \sum_{n \in \Omega_g} \log_2(1 + p_{1,n} \beta_{1,n}) \right)
\end{aligned} \tag{4-9}$$

where $\{\lambda_i\}_{i=1}^G$ are the Lagrangian multipliers

針對功率做微分並將(4-9)式改寫成

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial p_{1,n}} = & \frac{1}{N \ln 2} \frac{\beta_{1,n}}{1 + \beta_{1,n} p_{1,n}} \\
& + \lambda_1 + \sum_{g=1}^G \lambda_g \frac{1}{N \ln 2} \frac{\beta_{1,n}}{1 + \beta_{1,n} p_{1,n}} = 0
\end{aligned} \tag{4-10}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial p_{g,n}} = & \frac{1}{N \ln 2} \frac{\beta_{g,n}}{1 + \beta_{g,n} p_{g,n}} \\
& + \lambda_1 - \lambda_g \frac{\gamma_1}{\gamma_g} \frac{1}{N \ln 2} \frac{\beta_{1,n}}{1 + \beta_{g,n} p_{g,n}} = 0
\end{aligned} \tag{4-11}$$

for $g = 2, 3, \dots, G$ and $n \in \Omega_g$.

(一) 針對單一群組的功率分配：在本子章節中，針對第 g 個群組的最佳化功率策略推知

$$\frac{\beta_{g,m}}{1 + \beta_{g,m} p_{g,m}} = \frac{\beta_{g,n}}{1 + \beta_{g,n} p_{g,n}} \tag{4-12}$$

令 $m, n \in \Omega_g$ 且 $g = 1, 2, \dots, G$ 。我們針對 $g = 1, 2, \dots, G$ 且 N_g 是在 Ω_g 的子通

道個數假設 $\beta_{g,1} \leq \beta_{g,2} \leq \dots \leq \beta_{g,N_g}$ ，並將(4-12)式改寫成

$$p_{g,n} = p_{g,1} + \frac{\beta_{g,n} - \beta_{g,1}}{\beta_{g,n} \beta_{g,1}} \tag{4-13}$$

for $n = 1, 2, \dots, N_g$ and $g = 1, 2, \dots, G$.

(4-13)式是展現在第 n 個子通道上針對單一個群組的功率分配，

且在(4-13)式針對第 g 個群組定義 $P_{g,total}$ 為所有功率分配改寫成

$$P_{g,total} = \sum_{n=1}^{N_g} p_{g,n} = N_g p_{g,1} + \sum_{n=2}^{N_g} \frac{\beta_{g,n} - \beta_{g,1}}{\beta_{g,n} \beta_{g,1}} \quad (4-14)$$

for $g = 1, 2, \dots, G$.

(二) 功率分配在用戶中： $\{P_{g,total}\}_{g=1}^G$ 是已知的，可藉由(4-13)式和(4-14)

式事先決定功率分配。在(4-8)式使用所有功率限制和容量率限制得

知 $\{P_{g,total}\}_{g=1}^G$ 。在(4-12)式和(4-14)式，容量率限制可表示成

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\gamma_1} \frac{N_1}{N} (\log_2(1 + \beta_{1,1} \frac{P_{1,total} - V_1}{N_1}) + \log_2 W_1) \quad (4-15) \\ & = \frac{1}{\gamma_g} \frac{N_g}{N} (\log_2(1 + \beta_{g,1} \frac{P_{g,total} - V_g}{N_g}) + \log_2 W_g) \quad \text{for } g = 2, 3, \dots, G. \end{aligned}$$

將 V_g 和 W_g 定義為

$$V_g = \sum_{n=2}^{N_g} \frac{\beta_{g,n} - \beta_{g,1}}{\beta_{g,n} \beta_{g,1}} \quad \text{for } g = 1, 2, \dots, G. \quad (4-16)$$

$$W_g = \left(\prod_{n=2}^{N_g} \frac{\beta_{g,n}}{\beta_{g,1}} \right)^{\frac{1}{N_g}} \quad \text{for } g = 1, 2, \dots, G. \quad (4-17)$$

增加所有功率總和的限制

$$\sum_{g=1}^G P_{g,total} = P_{total} \quad (4-18)$$

這個函數的集合提供最佳化功率分配的解決方法。

4.4 數據分析與結果

在群播正交分頻多工系統裡，我們比較最佳化演算法及降低複雜度演算法的通達率最大化效能比較。完成模擬結果需要以下幾個假設條件：

- (1) 通道將使用頻道選擇瑞利衰減通道(frequency selective Rayleigh fading channel)。
- (2) 假設每一個使用者的 target bit error rate 都一樣，令 P_e 分別為 0.001 及 0.0001 兩種情況。
- (3) 假設使用者 16 個，群組 4 個。
- (4) 假設一個群播正交分頻多工系統的系統通道將劃分成 10 個子通道。
- (5) 子通道載入位元數最大值 M 為 6 bits。

在子章節中，我們固定使用者 16 位藉由不同的位元錯誤率比較每一個群組之間通達率的效能差異。圖 4-1 為 target BER=0.0001，群組間的效能比較，表 4-1 為群組間的效能比較。圖 4-2 為 target BER=0.001，群組間的效能比較，表 4-2 為群組間的效能比較。圖 4-3 為 target BER=0.001 和 target BER=0.0001 的效能比較，表 4-3 為位元錯誤率不同的效能比較。

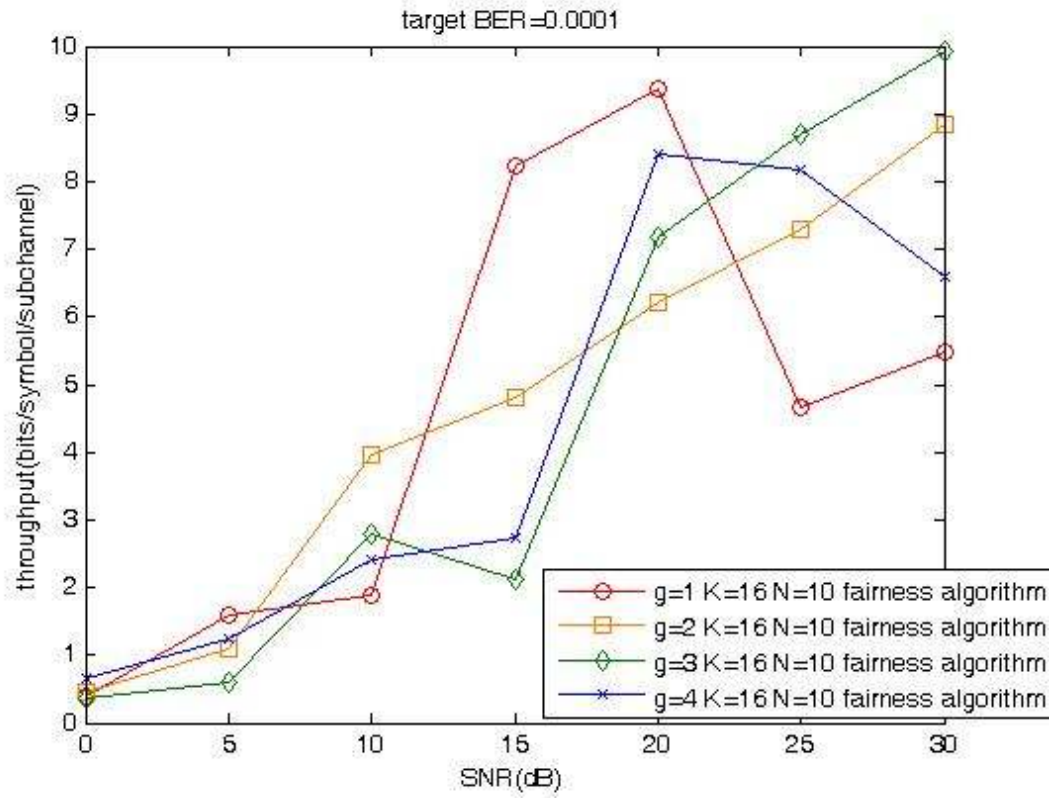


圖 4-1 target BER=0.0001，群組間的效能比較

表 4-1 target BER=0.0001，群組間的效能比較

群組	16 個使用者			
	第 1 個群組	第 2 個群組	第 3 個群組	第 4 個群組
子通道參數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB	10dB	10dB
位元錯誤率	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
SNR=0dB	0.3967(bits/symbol/subchannel)	0.4552(bits/symbol/subchannel)	0.3535(bits/symbol/subchannel)	0.6554(bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	1.5878(bits/symbol/subchannel)	1.1058(bits/symbol/subchannel)	0.5955(bits/symbol/subchannel)	1.2341(bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	1.8998(bits/symbol/subchannel)	3.9601(bits/symbol/subchannel)	2.8048(bits/symbol/subchannel)	2.402(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	8.2378(bits/symbol/subchannel)	4.8153(bits/symbol/subchannel)	2.1311(bits/symbol/subchannel)	2.7481(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	9.3652(bits/symbol/subchannel)	6.2214(bits/symbol/subchannel)	7.1714(bits/symbol/subchannel)	8.4113(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	4.6566(bits/symbol/subchannel)	7.3099(bits/symbol/subchannel)	8.6849(bits/symbol/subchannel)	8.175(bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	5.474(bits/symbol/subchannel)	8.8503(bits/symbol/subchannel)	9.9333(bits/symbol/subchannel)	6.5882(bits/symbol/subchannel)

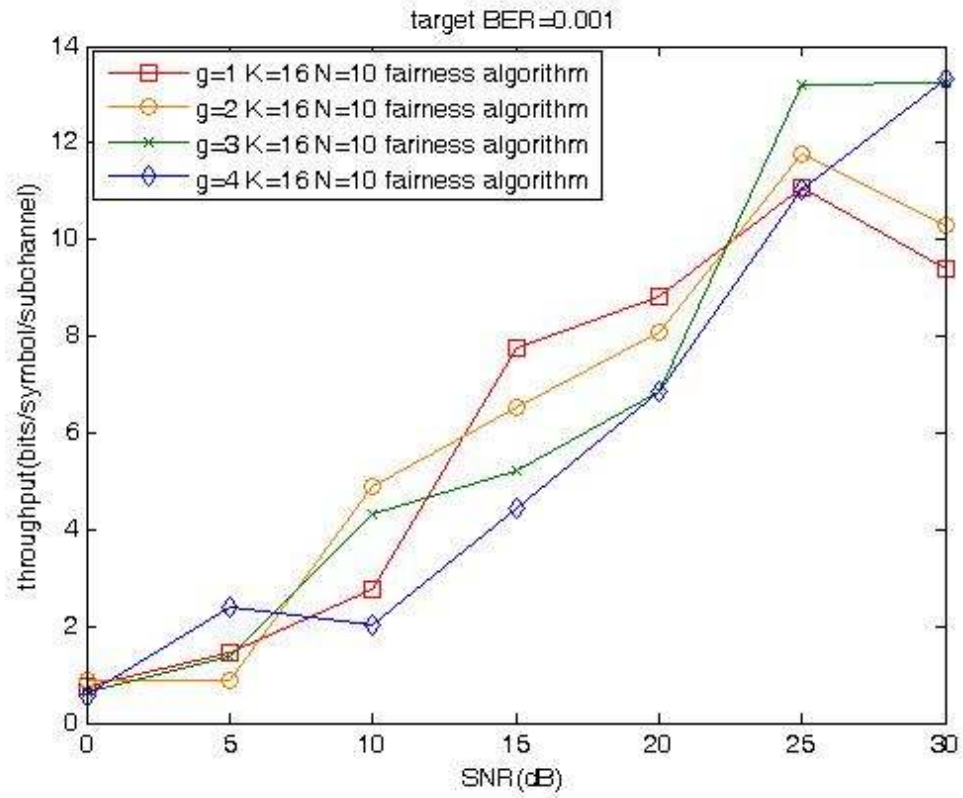


圖 4-2 target BER=0.001，群組間的效能比較

target BER=0.001，群組間的效能比較

群組	16 個使用者			
	第 1 個群組	第 2 個群組	第 3 個群組	第 4 個群組
子通道參數	10 個	10 個	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB	10dB	10dB
位元錯誤率	0.001	0.001	0.001	0.001
SNR=0dB	0.4786(bits/symbol/subchannel)	0.8829(bits/symbol/subchannel)	0.643 (bits/symbol/subchannel)	0.572 (bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	1.4568(bits/symbol/subchannel)	0.8704(bits/symbol/subchannel)	1.384 (bits/symbol/subchannel)	2.393 (bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	2.7786(bits/symbol/subchannel)	4.8952(bits/symbol/subchannel)	4.336 (bits/symbol/subchannel)	2.044(bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	7.7691(bits/symbol/subchannel)	6.534(bits/symbol/subchannel)	5.216 (bits/symbol/subchannel)	4.433(bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	8.804(bits/symbol/subchannel)	8.095(bits/symbol/subchannel)	6.839(bits/symbol/subchannel)	6.86(bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	11.063(bits/symbol/subchannel)	11.758 (bits/symbol/subchannel)	13.19(bits/symbol/subchannel)	11.05 (bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	9.3987(bits/symbol/subchannel)	10.299(bits/symbol/subchannel)	13.23 (bits/symbol/subchannel)	13.34 (bits/symbol/subchannel)

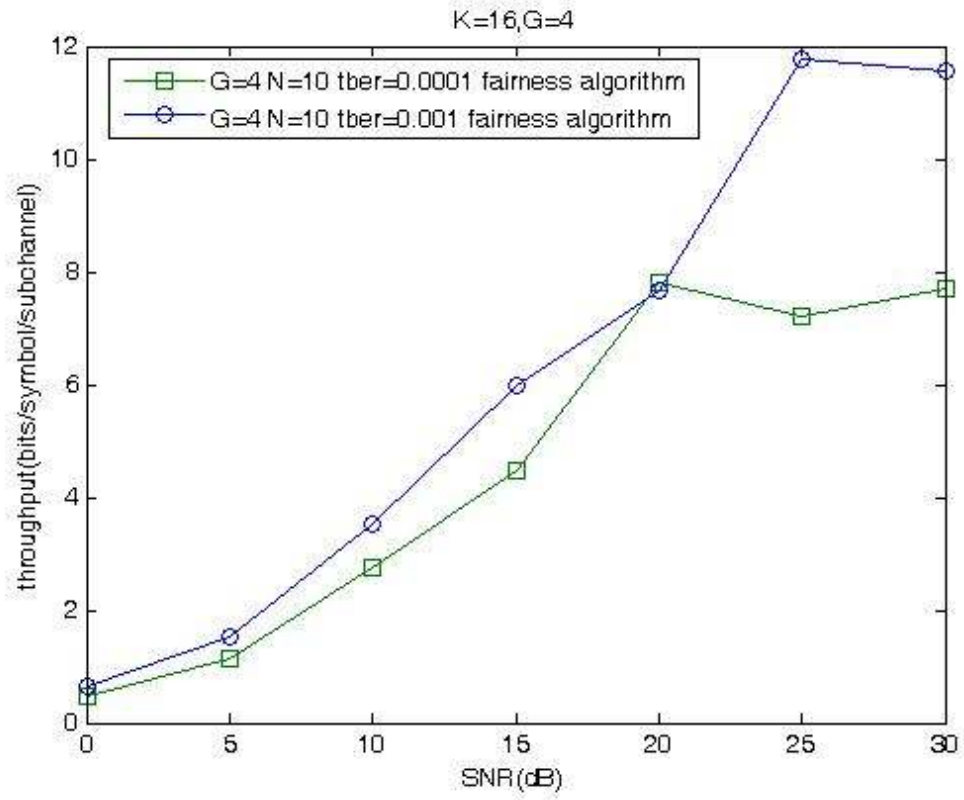


圖 4-3 為 target BER=0.001 和 target BER=0.0001 的效能比較

表 4-3 位元錯誤率不同的效能比較

位元錯誤率	0.001	0.0001
群組分配	4 個群組	4 個群組
子通道參數	10 個	10 個
傳送功率限制	10dB	10dB
SNR=0dB	0.64395 (bits/symbol/subchannel)	0.4652 (bits/symbol/subchannel)
SNR=5dB	1.5261 (bits/symbol/subchannel)	1.1308 (bits/symbol/subchannel)
SNR=10dB	3.5134 (bits/symbol/subchannel)	2.7667 (bits/symbol/subchannel)
SNR=15dB	5.9879 (bits/symbol/subchannel)	4.4831 (bits/symbol/subchannel)
SNR=20dB	7.6495 (bits/symbol/subchannel)	7.7923 (bits/symbol/subchannel)
SNR=25dB	11.7654 (bits/symbol/subchannel)	7.2066 (bits/symbol/subchannel)
SNR=30dB	11.5664 (bits/symbol/subchannel)	7.7115 (bits/symbol/subchannel)

4.5 結論

針對公平性資源分配的議題探討，由於子通道分配不足，且在比例公平分配資源的限制及功率限制的情況下，達到通達率最大化。主要目的利用比例式公平性的方法，使每個群組都能保證得到資源，與通達率最大化的數據結果做比較，要求公平性的結果比通達率最大化低。

第五章

總結

在第三章節中，我們利用子通道分配及位元載入的方法作為資源分配的方法，與固定資源分配的方法比較，卻有很明顯改善。並在第三章所模擬通達率的結果中發現，最佳化演算法與次佳化降低複雜度演算法的差距大約 5%左右。藉由第三章模擬結果來看，依據最佳化演算法的方式，群組中的使用者個數越多，總和通達率也會越大；在位元錯誤率的比較來看，位元錯誤率的值越小整體通達率越低，由於需達到的準確度提高關係而造成。

雖然在我們提出的方法中，在整體通達率最大化來看，亦有提升最大化的幫助。不過，最佳化演算法會因為子通道個數及位元載入個數的變化決定計算複雜度的大小，雖可以將系統通達率提升，但在求解最佳解確有計算上的複雜度。

針對公平性資源分配，為了確保每個群組都得到資源情況，且在比例公平性的限制及功率的限制下，達到通達率最大化。由第四章模擬結果，公平性資源分配的效能比通達率資源分配低，因此達到群組公平性，將會降低系統整體通達率。

參考文獻

- [1] S.Y. Hui and K.H. Yeung, “Challenges in the migration to 4g mobile systems,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, pp. 54–56, Dec. 2003.
- [2] M. Zeng, A. Annamali, and V.K. Bhargava, “Recent Advances in Cellular Wireless Communications,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 37, pp. 128-138, Sept. 1999.
- [3] P. Zhang and L. Li, “Research on Beyond 3G Mobile Communications,” *Proceedings of International Conference on Commun. Tech.*, vol. 1, pp. 28-31, Apr. 2003.
- [4] M. Engels, *Wireless OFDM Systems: How to Make Them Work?* 1st edition, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [5] L. Hanzo, C.H. Wong, and M.S. Yee, *Adaptive Wireless Transceivers: Turbo-Coded, Turbo-Equalized and Space-Time Coded TDMA, CDMA and OFDM Systems*, Wiley-IEEE Press, 2002.
- [6] R.D.J. Van Nee, *OFDM Wireless Multimedia Communication*, Artech House, 2000.
- [7] Y. Li and G.L. Stuber, *Orthogonal Frequency Division*

- Multiplexing for Wireless Communications (Signals and Communication Technology)*, 1st edition, Springer, 2006.
- [8] M. Velez, D. de la Vega, P. Angueira, D. Guerra, G. Prieto, and A. Arrinda, "Field measurement based performance analysis of digital audio broadcasting (DAB) reception in mobile channels," *IEEE Veh. Tech. Conference*, Vol. 1, pp. 247-251, June 2005.
- [9] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television," EVS-EN 300-744 V1.4.1, Nov. 2004.
- [10] P.S. Chow, J.M. Cioffi, and J.A.C. Bingham, "DMT-based ADSL: Concept, Architecture, and Performance," *IEE Colloquium High speed Access Tech. and Services, Including Video-on-Demand (Digest No. 1994/192)*. Oct. 1994 Page(s):3/1 - 3/6.
- [11] L. Hanzo, W. Webb, and T. Keller, *Single- and Multi-Carrier Quadrature Amplitude Modulation – Principles and Applications for Personal Communication, WLANs and Broadcasting*, John Wiley, 2000.
- [12] M.N. Khan and S. Ghauri, "The WiMAX 802.16e Physical Layer Model," *IET International Conference on In Wireless, Mobile and*

Multimedia Networks , pp.117 – 120, Jan. 2008.

- [13] 李國瑞,“正交分頻多工系統中使用訊號空間擴展降低峰值對均值功率比之研究,” 國立中正大學博士論文, 七月, 2008.
- [14] 溫志宏、劉宗憲、邱茂清、林仁勇、連振凱、林進豐及李國瑞著,“正交分頻多重進接技術,”滄海書局, 七月, 2007.
- [15] L.J. Cimini and N.R. Sollenberger, “OFDM with Diversity and Coding for Advanced Cellular Internet Services,” *IEEE in Proc. Globe.*, pp. 305–309, Nov. 1997.
- [16] T.J. Kwon, W. Chen, R. Onishi, and T. Hikita, “Unicast Routing among Local Peer Group (LPG)-Based VANETs,” *IEEE Globe. Work.*, Nov. 30, pp.1-5, Dec. 2008.
- [17] U. Varshney, “Multicast over Wireless Networks,” *Commun. of the ACM*, vol. 45, pp. 31–37, Dec. 2002.
- [18] T.M. Cover, “Broadcast channels,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-18, no. 1, pp. 2–14, Jan. 1972.
- [19] F. Hartung, U. Horn, J. Huschke, M. Kampmann, T. Lohmar, and M. Lundevall, “Delivery of Broadcast Services in 3G Networks,” *IEEE TRANS. ON BROADCASTING*, vol.53, no.1, mar. 2007
- [20] D. Kim, F. Khan, C.V. Rensburg, and Z. Pi, “Superposition of

- Broadcast and Unicast in Wireless Cellular Systems,” *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 46, pp. 110-117, July 2008.
- [21] J. Campello, “*Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation Systems*,” Ph. D dissertations, Stanford, 1997.
- [22] P.Y. Kong and M. R. Shajan, “A medium Access Control Protocol for Ultra-Wideband Wireless Ad Hoc Networks,” *IEEE Veh. Tech. Conference*, Vol. 3, pp. 1993-1997, June 2005.
- [23] R.S. Manzoor, W. Majavu, V. Jeoti, N. Kamel, and M. Asif, “Front-end estimation of Noise Power and SNR in OFDM systems,” *International Conference on Intelligent and Advanced Systems 2007*, pp. 435-439, Nov. 2007
- [24] 徐文壕, “在多使用者正交分頻多工系統之公平限制下最大化傳送容量,” 國立中正大學碩士論文, 七月, 2007.
- [25] E. Lawrey, “Multiuser OFDM,” *ISSPA '99. Proceedings of the Fifth International Symposium on Signal and Its Applications*, vol. 2, pp. 761–764, Brisbane, Australia, 1999.
- [26] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaief, and R.D. Murch, “Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.17, no. 10, pp. 1747-1758, Oct.

1999.

- [27] J. Jang and K.B. Lee, "Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 21, no. 2, pp. 171–178, Feb. 2003.
- [28] W. Rhee and J.M. Cioffi, "Increasing in Capacity of Multiuser OFDM System Using Dynamic Subchannel Allocation," *IEEE Int. Veh. Tech. Conference*, vol. 2, pp. 1085–1089, Tokyo, Japan, May 2000.
- [29] I. Kim, H.L. Lee, B. Kim, and Y.H. Lee, "On The Use of Linear Programming for Dynamic Subchannel and Bit Allocation in Multiuser OFDM," *IEEE Global Commun. Conference*, vol. 6, pp. 3648–3652, San Antonio, TX, 2001.
- [30] J. Lee, R.V. Sonalkar, and J.M. Cioffi, "Multiuser Bit Loading for Multicarrier Systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 54, no. 7, July 2006.
- [31] Z. Shen, J.G. Andrews, and B.L. Evans, "Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems with Proportional Rate Constraints," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 4, no. 6, pp. 2726–2737, Nov. 2005.

- [32] J. Liu, W. Chen, Z. Cao, and K.B. Letaief, "Dynamic Power and Subcarrier Allocation for OFDMA-based Wireless Multicast Systems," *ICC proceedings*, 2008.
- [33] C. Suh and C.-S. Hwang, "Dynamic subchannel and bit allocation for multicast OFDM systems," *Proc. IEEE PIMRC*, pp.2102–2106, 2004.
- [34] F. Wang and Z. Liu, "Adaptive Water-Filling Power Control for Wireless Communications Networks," *IEEE Commun. Letters*, Vol. 12, Issue 10, pp. 737-739, Oct. 2008.
- [35] A. Demarez , D. Boulinguez, and Y. Delignon, "Adaptive Bit And Power - Loading For Multicast OFDM Transmissions In Rayleigh Fading Channels," *ISWCS Wireless Commun. Systems*, pp. 378-382, Sept. 2006.
- [36] T.M. Cover and J.A. Thomas, *Elements of Information Theory*. New York: Wiley, 1991.
- [37] S. S. Das, E. D. Carvalho, and R. Prasad, "Performance Analysis of OFDM Sysmtems with Adaptive Sub Carrier Bandwith," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, Vol. 7, No. 4, Apr. 2008.