

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫三：B3G OFDM 多重接收系統設計及無線資源管理

(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2219-E-009-027-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系

計畫主持人：沈文和

計畫參與人員：傅宜康，黃聖富，蔡政龍，林愷昕

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 28 日

# 目錄

子計劃簡介.....	3
------------	---

## Part I

<b>第一章 緒論.....</b>	<b>6</b>
1-1 無線資源管理.....	7
1-2 動機與研究.....	9
<b>第二章 系統規劃.....</b>	<b>10</b>
2-1 系統規劃.....	10
2-1-1 細胞架構.....	10
2-1-1 折疊技術.....	11
2-1-3 鍊路預算.....	12
2-1-4 模擬模型.....	14
<b>第三章 模擬程序.....</b>	<b>15</b>
3-1 模擬流程.....	15
3-2 無線資源管理演算法.....	16
3-2-1 功率控制.....	16
3-2-2 換手轉換.....	19
<b>第四章 系統資源估算.....</b>	<b>22</b>
4-1 單一服務型態.....	22
4-2 多重服務型態.....	27
<b>第五章 允入控制.....</b>	<b>34</b>
5-1 簡介.....	34
5-2 允入控制演算法.....	36
5-3 模擬結果.....	39
<b>第六章 封包排程.....</b>	<b>42</b>
6-1 簡介.....	42

6-2 排程程序.....	45
6-2-1 服務品質.....	45
6-2-2 優先權.....	47
6-2-3 分配限制.....	48
6-3 封包排程演算法.....	50
6-4 模擬結果.....	58
<b>第七章 結論.....</b>	<b>67</b>

## Part II

<b>第一章 簡介.....</b>	<b>68</b>
<b>第二章 系統架構.....</b>	<b>70</b>
2-1 涵蓋區規劃.....	70
2-2 通道模型.....	73
2-3 傳送接收機架構.....	78
<b>第三章 無線資源管理演算法.....</b>	<b>80</b>
3-1 允入控制.....	80
3-2 封包排程.....	82
3-3 適應性子載波選擇.....	86
3-3-1 回傳訊號設計.....	86
3-3-2 適應性子載波選擇.....	88
<b>第四章 適應性資源分配演算法.....</b>	<b>89</b>
4-1 問題分析.....	89
4-2 適應性資源分配演算法.....	91
<b>第五章 初步結論.....</b>	<b>94</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>95</b>

# 子計劃簡介

隨著網際網路席捲全世界，越來越多使用者的生活已經離不開電子郵件與即時通訊軟體等網際網路所提供的服務，無可避免的，網路已成為許多人生活中的一部份了。然而固接式網路限制了使用者能夠上網的地點，這與人類基本的行為模式：移動，是相違背的。因此近年來，當電腦網路的頻寬以及所提供的服務越來越能滿足使用者的需求之後，使用者對於網路最渴望的便是：移動性。移動性的意涵包括了兩個層面，其一是接取網路的地點不被限制，另一則在於當使用者處在移動狀態時仍可進行網路接取的行為。此兩者不論在於服務提供的型態或是技術上所面臨的挑戰，都是截然不同的。

近年來，無線通訊無論是在技術發現或是市場需求上都處在歷史上前所未有的熱烈階段。然而細分之，可將技術發展的趨勢概分為兩大方向：高移動性為優先考量或高傳輸頻寬為優先考量。其中前者的演變是由過去已相當普及的行動通訊網路發展而來，強調支援使用者的移動性並具有廣闊的系統涵蓋範圍。但大涵蓋範圍在傳輸通道與功率的限制下所導致的結果便是受限制的資料傳輸速率，目前已即將商業運轉的 WCDMA HSDPA [1]與 CDMA2000 1xEVDO[2]系統所能達到的最高資料傳輸率已可達到 10Mbps，但這與目前使用者在有線網路的使用經驗仍有一段距離，且其成本亦遠高於有線網路。而另一個技術走向最具代表性的便是這兩年當紅的無線區域網路(Wireless LAN)，其訴求在於高資料傳輸率(可達 54Mbps)，基本上可視為有線區域網路的進階版本。但高資料傳輸率僅能在較短的距離(約百餘公尺)以及較佳的通道環境(多路徑衰落不嚴重)中達到，且其無線通道為眾多使用者所共享，網路品質不易控制。但大部份使用者對於此種無線網路歡迎程度的熱烈是遠超過技術人員的預期，其主因在於與有線電腦網路相同的使用平台與經驗，以及免費的接取費用。選擇免費的頻帶(ISM band)進行資料傳輸是其特色與優點，但這也同時成為技術上的一項挑戰，因為非專屬的頻率通道伴隨的是大量且無法預知的干擾，並導致網路品質的不穩定。這在家庭或辦公室中單純被期待用來取代惱人的網路線時是可以被接受的，但若是被期待成為可靠的商業網路時便可能會造成維運上很大的困擾。但無論如何，無線區域網路快速且廣泛的被使用者接受已充份的反映出對無線寬頻接取的渴望，這對於無線通訊技術進一步的發展是很大的推動力量。

由前所述可知，要同時達到高傳輸速率、大系統涵蓋範圍並支持使用者高移動性，以目前的技術與無線網路架構是有相當困難的。系統涵蓋範圍大時，通道效應會造成經由不同路徑所抵達的訊號之延遲擴散(delay spread)增加，使得相鄰的訊號符元所遭受之符際干擾(Inter-Symbol-Interference, ISI)趨於嚴重。由頻域的角度觀之，代表通道的同調頻寬(coherence bandwidth)縮小，造成訊號經過通道後更易產生變形，也就是所謂具頻率選擇性之衰落(frequency selective fading)。可知在長距離訊號傳輸時，通道的頻寬將會較短距離通訊時更窄，此時若增加訊

號頻寬，將會使所收到的訊號變形的程度更形嚴重，也更加難以恢復回原貌，進而導致傳輸錯誤的機率大增。在目前第三代行動通訊系統中所採用的核心技術：分碼接取多工(Code Division Multiple Access, CDMA)中，傳送的訊號在頻域會被展開，而利用時域的等化器：耙狀接收機(RAKE receiver)來將通道的效應克服，以正確的還原所傳送的資料。但此方法在訊號頻寬更大時，經展頻後的訊號勢必更寬且受通道效應的影響更嚴重。且更大頻寬的訊號代表在時域的符元長度(symbol length)勢必更短，代表接收端的硬體需要在更為短暫的時間內處理大量的運算，這些都使頻寬增加所需耗費的代價居高不下。

正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技術近年來被世界各地的研究人員熱烈的討論並研究著，並被認為是在無線通訊中達成寬頻傳輸最適合的解決方法。其關鍵處在於該技術得以將寬頻訊號順利地傳輸經過複雜的多路徑通道，並使接收端較容易將正確的訊號解出。其觀念上的特殊之處在於避免傳送單一寬頻的訊號進入通道，改以多個窄頻的訊號化整为零地送出通道，在接收端再將多個窄頻的訊號重新組合成原本高速的資料流(data stream)。其中每個窄頻的訊號頻寬皆小於通道的同調頻寬，因此訊號可順利通過通道而未遭受嚴重的變形，故接收端不需再費精神去克服通道的效應，僅需將散於各子載波(sub-carriers)上的訊號透過快速傅利葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)還原回來便可。由於通道效應涉及大自然的地形地物，不是人們可輕易改變的，因此在訊號設計時選擇避開可預見的通道衰落確實為一明知的抉擇。藉由 OFDM 技術可透過子載波數量的增加達成傳輸速率的上升，而不需面對更嚴重的通道衰落現象，故此技術被視為是達成無線寬頻傳輸最適合的技術。

然而，對於大涵蓋範圍的通訊系統而言，多重接取技術的選擇將會影響到系統整體效能的表現。此原因在於自然界的頻譜資源是非常有限且昂貴的，如何讓有限的頻譜資源能提供更多使用者以及更高的資料傳輸流量(throughput)，對於系統營運業者而言將會是直接衝擊營收的重要關鍵。一般人僅注意到某項技術所能達到的最高傳輸速率(peak rate)，但往往卻忽略掉當眾多使用者同時使用無線網路時，平均的使用流量才是反映使用者所獲得資訊量高低的指標。由此觀之，如 802.11 系統所使用以競爭為基礎(contention based)的多重接取技術必然會造成資源的浪費，並不適合廣域無線網路使用。而前所述 CDMA 系統中所使用的展頻技術雖然不利於高傳輸速率的達成，但是以 CDMA 為基礎的系統具備多項非常吸引人的優點：單一的頻率使用(universal frequency reuse)、系統容量僅受限於干擾強度(interference limited capacity)、具備消除干擾訊號的能力(interference rejection capability)以及軟式換手(soft handoff feature)。因此將 OFDM 與 CDMA 技術相互結合並各取其優點，便可透過 OFDM 技術達成高傳輸速率，透過 CDMA 技術達成優異的無線網路管理效能，以充分發揮無線資源(radio resource)的使用效率。而同時結合 OFDM 與 CDMA 的 OFDM/CDMA 系統亦被視為是未來廣域無線寬頻網路最有潛力的技術候選。

雖然 OFDM 技術有許多的好處，但不可諱言的，其亦有缺點以及限制。其

中最重要的便是 PAPR(Peak to Average Power Ration)過高的問題，若是在訊號處理時未針對此點進行考慮，便須將傳收接收端之功率放大器(power amplifier)的工作點(operation point)向後退縮(back off)，否則放大器飽和(saturate)可能造成訊號被截斷，且對 OFDM 極為重要的線性度(linearity)亦會受影響[3]。此現象在子載波數量越高時便會越嚴重，需透過一些方法來降低訊號的 PAPR，這將會使電路設計較為複雜。從另一個角度來看，使用者對於資料下載(downlink)傳輸速率的要求是高於上傳(uplink)速率的要求，因此目前已有研究所考慮的系統架構將基地台所使用的子載波數量提高以支援較高速的資料傳輸，同時配合較複雜且昂貴的訊號處理技術以克服 PAPR 上升的問題。而由於對上傳資料傳輸速率要求並不那麼高，因此便可直接使用單載波的技术以避免 PAPR 上升的問題，以期降低手機的複雜度以及成本[4]。由此觀之，單載波的 CDMA 技術在資料上傳時所能提供的傳輸速率以足夠，便不需再額外採用 OFDM 技術造成複雜度上升，而僅需根據現有的 CDMA 技術進行改善便足以因應未來的需求。

本篇報告分為兩個部份，第一部份針對 CDMA Uplink 的傳輸進行改善，提出一套新式的封包排程演算法可大幅的增進系統整體流量，同時達成服務品質(Quality of Service)保證的目標。此部份亦為 3GPP[1]與 3GPP2[2]等標準制定組織正熱烈討論的議題，目標在不修改 CDMA Uplink 實體層設計的前題下，僅藉由通訊協定(protocol)的修改來達成系統效能提升的目的。第二部份則針對 OFDM/CDMA Downlink 系統傳輸提出一套適應性資源分配(resource allocation)演算法，以達成系統流量的最佳化(optimization)。並結合允入控制(admission)與封包排程(packet scheduling)，提出一套適用於 OFDM/CDMA 系統的運作架構。本研究第一部份的成果乃是藉由總計劃第一年度所完成的系統模擬平台完成演算法效能驗證，並已於 2004 年 3 月份于國際會議中發表[5]，屬於第一年度研究成果的延續。而第二部份屬於前瞻性之研究，目前國內外皆無相同的研究成果被發表，而此研究過程所開發的理論根據除了做為總計劃在本年度與下年度平台開發的參考之外，亦將成為下年度本計劃開發 OFDM/CDMA 系統完整運作機制的重要依據，屬於系統開發的先期研究。

# Part I

## 適用於 CDMA Uplink 之創新負載 式封包排程演算法

### 第一章 簡介

在行動通訊系統的演進上，第一代行動通訊系統為類比蜂巢式系統( Analog Cellular Systems )，而目前使用中的數位 ( Digital ) 系統，如：GSM, cdmaOne ( IS-95 ) 和 US-TDMA 為第二代行動通訊系統。這些系統主要提供語音( Voice ) 通訊的功能，但隨著影像傳輸與資料擷取技術的成熟，加上使用者對於其他服務的需求如：多媒體簡訊服務 ( Multimedia Message Service, MMS )，視訊 ( Video ) 和網路資料的擷取等，加速下一代行動通訊系統的發展。

有別於之前的行動通訊系統，第三代行動通訊系統 ( 3G Mobile Communication Systems ) 在應用服務層面之特色在於可以提供傳輸資料速率 ( Data Rate ) 高達 2Mbps 的數據服務，且可以動態 ( Dynamic ) 根據使用者的需求調整資料傳輸速率。此外，3G 系統可支援多種不同服務型態，包括了傳統的語音服務、數據資料與串流式影音傳送等。為了同時支援系統中各種不同型態的服務，需採用更為先進的無線資源管理 ( Radio Resource Management ) 技術，在確保各項服務品質 ( Quality of Service, QoS ) 的前提下，將有限的系統資源做最有效率的運用[6]。此外，系統允許同一連線之上鍊與下鍊資料流量不對稱，此現象在使用數據傳輸服務時格外的明顯，因此系統需透過有效的無線資源管理技術才能避免資源使用效率在此種情況下惡化。3G 系統可同時支援電路交換 ( Circuit-Switched ) 與封包交換 ( Packet-Switched ) 兩種模式，電路交換模式主要提供語音以及串流式動態影像，可充分獲得系統資源的保證；而封包交換模式則運用在非即時性的數據資料傳送，系統可根據負載狀態與服務品質需求動態安排這些封包資料的傳送時程[7]。本研究之主題著重在，一、如何評估提供多重服務 ( Multiple Service ) 下的系統資源；二、設計有效的封包排程 ( Packet Scheduling ) 演算法。本研究是架構在第一年度總計劃所完成之 WCDMA 無線資源管理模擬平台上與整體資源管理演算法結合進行研究。本文在各章節說明為：第二章將說明系統初步建構的規劃與模擬時各種通道模型及使用者行為模

式，第三章將分別描述平台整體模擬的流程與平台中已建構的無線資源管理演算法，第四章則理論推導 WCDMA 系統從單一服務型態至多重服務型態，系統資源與負載的估算，第五章將說明允入控制的整理與演算法，第六章則會提出我們所設計的封包排程演算法，最後在第七章將對全文作總結。

本章接著將針對無線資源管理在 WCDMA 系統中的重要性與探討封包排程之動機及研究方向，做進一步的說明與介紹。

## 1-1 無線資源管理

首先，我們的研究是建構在 WCDMA 規格中 Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) 之 FDD 模式系統下，其重要的特徵為：

- λ 多重接取技術為直接序列分碼多工接取 (Direct-Sequence Code Division Multiple Access) 技術
- λ 提供可變動資料傳輸速率 (Variable Bit Rate, VBR)
- λ 展頻碼產生率 (Chip Rate) 為 3.84Mcps，載波空間 (Frequency Space) 5MHz
- λ 訊框長度為 10ms
- λ 雙工模式為分頻雙工 (Frequency Division Duplex)
- λ 提供不同服務品質要求的多重型態服務 (Multiple Service)
- λ 利用無線資源管理來控制服務品質
- λ 提供上鍊傳輸 (Uplink) 與下鍊傳輸 (Downlink)，本研究著重於上鍊傳輸

WCDMA 系統在時間-頻率-編碼空間的頻寬分佈如圖 1.1.1。

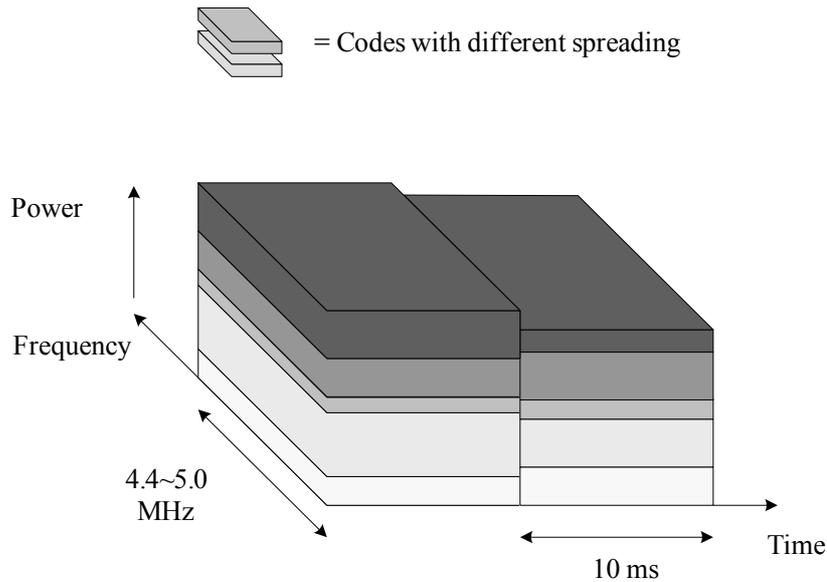


圖 1.1.1 WCDMA 系統在時間-頻率-編碼空間的頻寬分佈

在 WCDMA-FDD 系統中，採用分碼多工的傳輸技術，這種技術允許系統可以在同一個頻帶上，讓多位不同使用者的資料同時傳送，因此，每位使用者的訊號功率皆是構成其他使用者干擾的因素。換言之，系統的容量會受限於系統所能承受的最大干擾（Interference）功率，當干擾功率高到會影響現有使用者服務品質時，系統便需要做出適當的控制以維持服務品質。系統容量取決於系統所能承受的最大干擾功率是 CDMA 系統之一大特色，隨著系統中使用者的行為模式與所處環境的不同，所消耗的系統資源亦不相同。因此如何有效的利用系統中珍貴的無線資源以提供更大的系統容量，一直是非常重要的研究方向。

在行動通訊系統中，無線資源管理所提供的主要功能在於提高系統資源的使用效率，在保證系統服務品質的前提下，透過各種演算法有效利用系統資源。在 Universal Mobile Telecommunication System（UMTS）系統規格[8]中對無線資源管理演算法的分類有：換手轉換（Handover）目的在於確保使用者在移動過程中的服務品質，並藉由選擇品質較佳的連線來降低使用者平均的訊號發射功率來增進系統容量。而功率控制（Power Control）則負責維持使用者發射訊號的功率恰好能滿足接收端要求的訊號品質，如此可避免系統中的遠近效應（Near-Far Effect），並有效降低系統中的干擾功率。當系統的資源不足時，會透過允入控制（Admission Control）來限制新使用者進入系統以免影響既有使用者的服務品質，另外，系統也會藉由封包排程（Packet Scheduling）依系統當時資源負載的狀況，動態安排封包資料服務使用者適當的傳送時間與傳送時所使用的資料傳輸速率。藉由完善地設計無線資源管理演算法，並依據系統不同的情況進行參數的最佳化，將可有效的增進系統資源的使用效率、達到服務品質與增加系統運輸量（Throughput）。

事實上，在未來以封包交換模式為主的網路中，需確保服務品質的相關資

訊，所以在這個前提下，提供對封包資料選擇或排程的方法對未來系統而言亦是一個重要的議題[9]，也是本篇研究研究的重點。在無線環境中，有關資源管理的文章有：Nafshineh and Acampora[10][11]介紹在不同服務型態與不同服務品質要求下，分享系統資源的方案；Das *et al.*[12] 對允入控制與頻寬保留做相關的介紹；Nokia Research Center[13]則針對第三代無線系統在資源管理與服務品質上做整體性的介紹，還有其他對資源管理在未來通訊系統與 3G 系統的說明[47-49]等。

## 1-2 動機與研究

在無線資源管理方法中允入控制可以藉由同意新使用者進入系統與否，達到對 WCDMA 系統有限資源的控制。但是針對使用可變動性傳輸資料速率的封包資料而言，當使用者需要較高的資料傳輸速率時，若未即時評估系統負載並進行控制而傳輸資料，可能會因為系統資源過載（Overload）而使資料遺失，或因高傳輸資料速率需要高傳輸功率而造成其他使用者的干擾功率上升，使得其他使用者的資料遺失，兩者皆會增加訊框遺失率（Frame Loss Rate）。當錯誤產生時，無線連結控制（Radio Link Control, RLC）會啟動偵測與重傳（Retransmission）的機制，將會造成封包延遲（Packet Delay）的問題。另外，因為封包資料的流量型態統計上會有脈衝性流量（Bursty Traffic）的特性，即一段時間就會有大量的封包資料需要傳送，若不控制，會造成許多資料的遺失與傳送延遲的問題，並且因為有時大量傳送資料，有時不傳送資料的情況下會使系統資源的利用率下降，且降低系統運輸量。因此在封包資料傳輸中，如何依當時系統負載狀況與使用者本身的需求，安排其傳送資料的時間與傳送資料時所需的傳輸速率，以降低訊框遺失率、封包延遲及增加系統運輸量，將是管理無線資源一項重要的技術，這項技術稱為封包排程，所以本研究將針對這個領域提出研究結果。

本研究著重於設計演算法時與實際系統的規劃結合，並考慮其他無線資源管理演算法的效應如功率控制的敏感度等，在達到最佳的資源分配流程下減低演算法的複雜度；並利用無線資源管理模擬平台所架構接近實際的無線環境及與其他無線資源管理演算法一起運作的前提下進行模擬並探討演算法的效能（Performance）。最後我們設計了得以降低訊框遺失率與平均封包延遲，並增加系統運輸量的封包排程演算法，詳細內容將逐章說明。

## 第二章 系統規劃與模擬模型

本研究所參考的系統是基於 UMTS 規格書之 WCDMA 系統，並在 WCDMA 無線資源管理模擬平台上進行研究。因此本章將會對系統規劃時的環境架構以及建構時的各項環境參數，與進行模擬時的環境模型與使用者行為模型做進一步的說明[3]。

### 2-1 系統規劃

依據規格書與相關的研究，我們對系統環境做出合理的規劃，並利用摺疊（Wrap Around）技術使環境符合實際狀況，取得有效的統計資料。本節接下來將就主要的規劃資訊提出說明。

#### 2-1-1 細胞架構

首先，在本小節我們將說明細胞架構的組成。依據 WCDMA 的特性每位使用者使用相同的頻帶（Frequency Band），系統的頻率重複使用因數（Frequency Reuse Factor）等於 1，所以每個人的信號功率對其他人而言都是構成干擾（Interference）的成分，再根據 Miller 和 Lee 的分析[14]，在 CDMA 系統中考慮每個細胞的大小以及負載（Loading）都相同時，對於某個細胞中的使用者而言，來自於其他細胞的干擾功率可達到來自相同細胞干擾功率的 33%。由此可知，在模擬的時候必須將其他細胞干擾的效果考慮進去。Miller 和 Lee 同時也提到，當考慮兩個干擾層（Tiers）的其他細胞干擾時，便已經相當接近考慮無限個干擾層的情況，因此在兼顧模擬的準確性以及所需消耗的運算量，我們決定考慮兩個干擾層細胞。而每個細胞的涵蓋範圍（Coverage）都用一個六角形來近似，我們總共考慮 19 個細胞的模擬環境，其配置如圖 2.1.1 所示。至於每個細胞所涵蓋的範圍則是以鏈路預算（Link Budget）規劃的結果為參考依據，在下一小節的內容中將會詳細說明鏈路預算的使用方式。

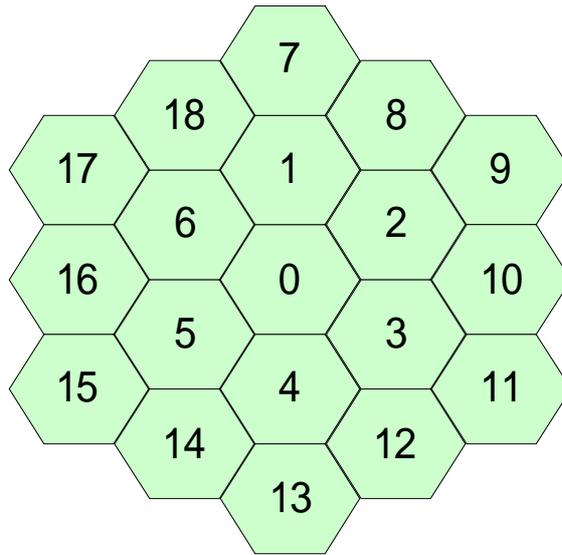


圖 2.1.1 細胞架構與細胞間相對位置關係

## 2-1-2 摺疊 ( Wrap Around ) 技術

由前小節所示的細胞架構中，可看到只有正中間的細胞是完整被兩個干擾層的其他細胞所包圍，其他任一個細胞向外看皆無法看到對稱的兩個干擾層。也因此造成程式總共模擬了 19 個細胞，卻只有正中間細胞的統計值可以被參考。因此我們將採用產生摺疊效果的技術，使得從任一個細胞向外看，皆可以看到完整的兩個干擾層。此技術的關鍵在於將已模擬但卻在參考細胞兩個干擾層之外的細胞，複製其所有的內容至參考細胞向外兩個干擾層空缺的部份。又因每個細胞只考慮兩個干擾層的其他細胞干擾，在經過妥善的排列後，即可產生每個細胞向外都可以看到兩個干擾層的細胞，而且沒有一個細胞的內容是重複的。如此一來，所有 19 個細胞中的每個使用者在計算其他細胞干擾時都能完整的計算到兩個干擾層所造成干擾，如此 19 個細胞的統計值都可以被參考。此效果的實現方法可參考[3]。經過摺疊技術以後所呈現各細胞排列的效果如圖 2.1.2 所示，其中加黑粗框的範圍是未使用摺疊技術時等效之系統模擬範圍，而六角形中的數字代表基地台的編號：

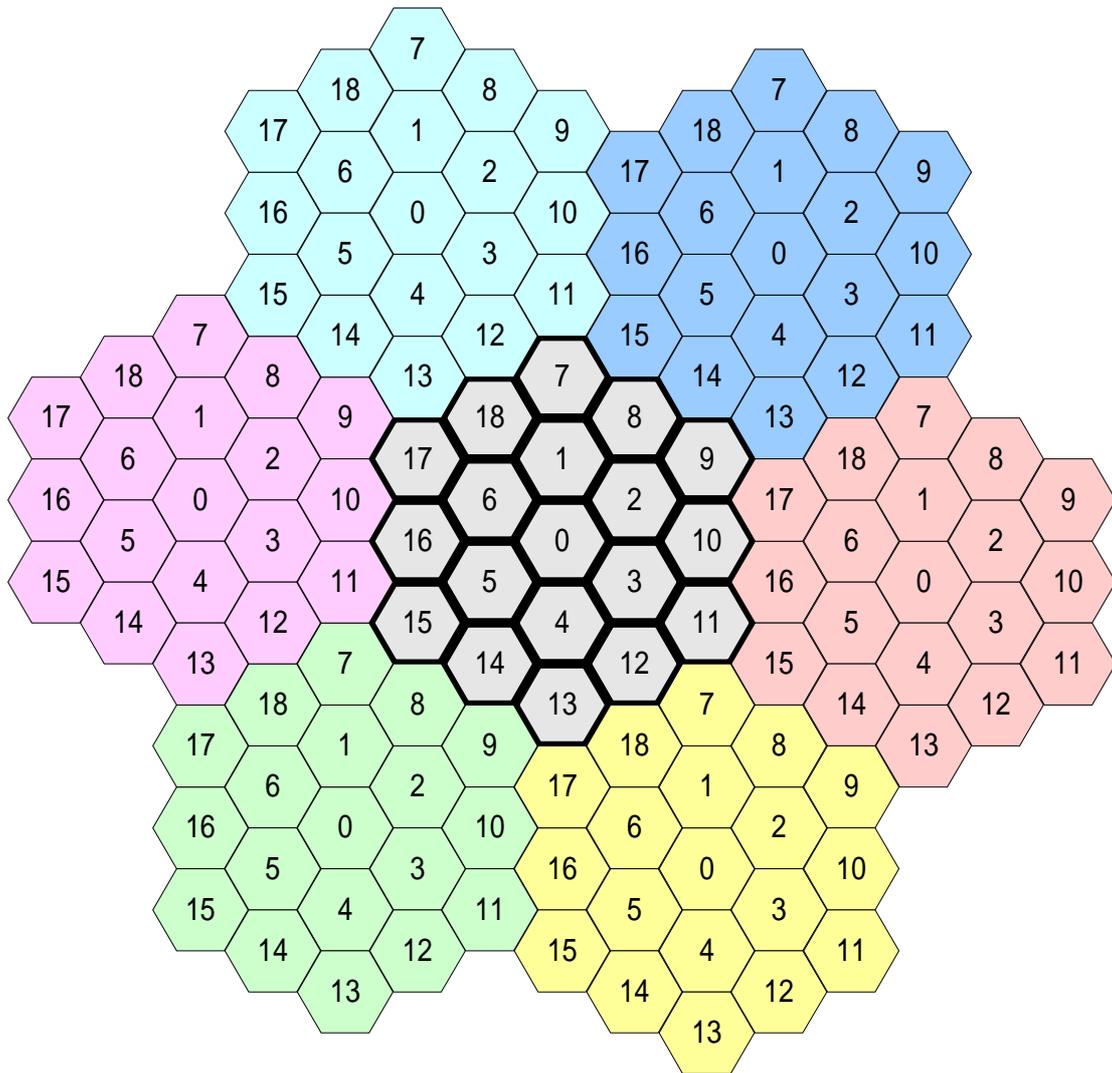


圖 2.1.2 使用摺疊技術後等效的系統模擬環境

### 2-1-3 鍊路預算 ( Link Budget )

在初步建構系統時，我們必須規劃每個細胞所涵蓋範圍，而這個工作可以透過鍊路預算 ( Link Budget ) 來進行。從鍊路預算中我們可以知道通訊局部端 ( Communication Terminals ) 的物理限制與系統容量的上限等現象，可作為設計無線資源管理演算法時的重要依據。表 2.1.1 是一個鍊路預算的範例。

表 2.1.1 所列的鍊路預算範例，其考慮的情況是使用者在移動速度為 3 km/hr 且使用數據服務 ( Data Service )，資料傳輸速率為 384 kbps，並考慮接收機 ( Receiver ) 的頻寬為 5MHz，且環境溫度在 293K ( 20°C )。此鍊路預算所列出的各種參數與建議的設定值可以在 H. Holma 的著作[15]中找到更進一步的說明。

在鍊路預算中的每一個參數都具有其物理意義，也反映出實際系統中的環境

變因。而各項參數的意義可參閱第一年度總計劃之報告書[3]。

<i>Transmitter(mobile)</i>		
<i>Max. mobile transmission[dBm]</i>	24	a
<i>Mobile antenna gain[dBi]</i>	2	b
<i>Body loss[dB]</i>	0	c
<i>Equivalent Isotropic Radiated Power[dBm]</i>	26	d=a+b-c
<i>Receiver(base station)</i>		
<i>Thermal noise density[dBm/Hz]</i>	-174	e
<i>Base station receiver noise figure[dB]</i>	5	f
<i>Receiver noise density[dBm/Hz]</i>	-169	g=e+f
<i>Receiver noise power[dBm]</i>	-103.2	h=g+10*log <sub>10</sub> (3840000)
<i>Interference margin[dB]</i>	3	i=max. planned noise rise
<i>Total thermal noise+ interference power[dBm]</i>	-100.2	j=h+i
<i>Processing gain[dB]</i>	10	k=10*log <sub>10</sub> (3840/384)
<i>Required Eb/No[dB]</i>	1.0	l
<i>Receiver sensitivity[dBm]</i>	-109.2	m=l-k+j
<i>Base station antenna gain[dBi]</i>		
<i>Cable loss in the base station[dB]</i>	18	n
<i>Fast fading margin[dB]</i>	2	o
<i>Fast fading margin[dB]</i>	4	p
<i>Max. allowable propagation loss[dB]</i>	147.2	q=d-m+n-o-p
<i>Coverage probability[%]</i>		
<i>Log normal fading margin[dB]</i>	95	r
<i>Soft handover gain[dB],multi-cell</i>	7.3	s
<i>In-door loss[dB]</i>	0	t
<i>Allowed path loss for cell range[dB]</i>		
	139.9	u=q-r+s-t

表 2.1.1 鍊路預算範例

最後獲得的最大路徑損失值主要與使用者和基地台間的距離有關，因此透過該值並配合適當的路徑損失模型，我們便可規劃出這個基地台在滿足各種條件情況下的有效涵蓋半徑。整體系統規劃的流程如圖 2.1.3。

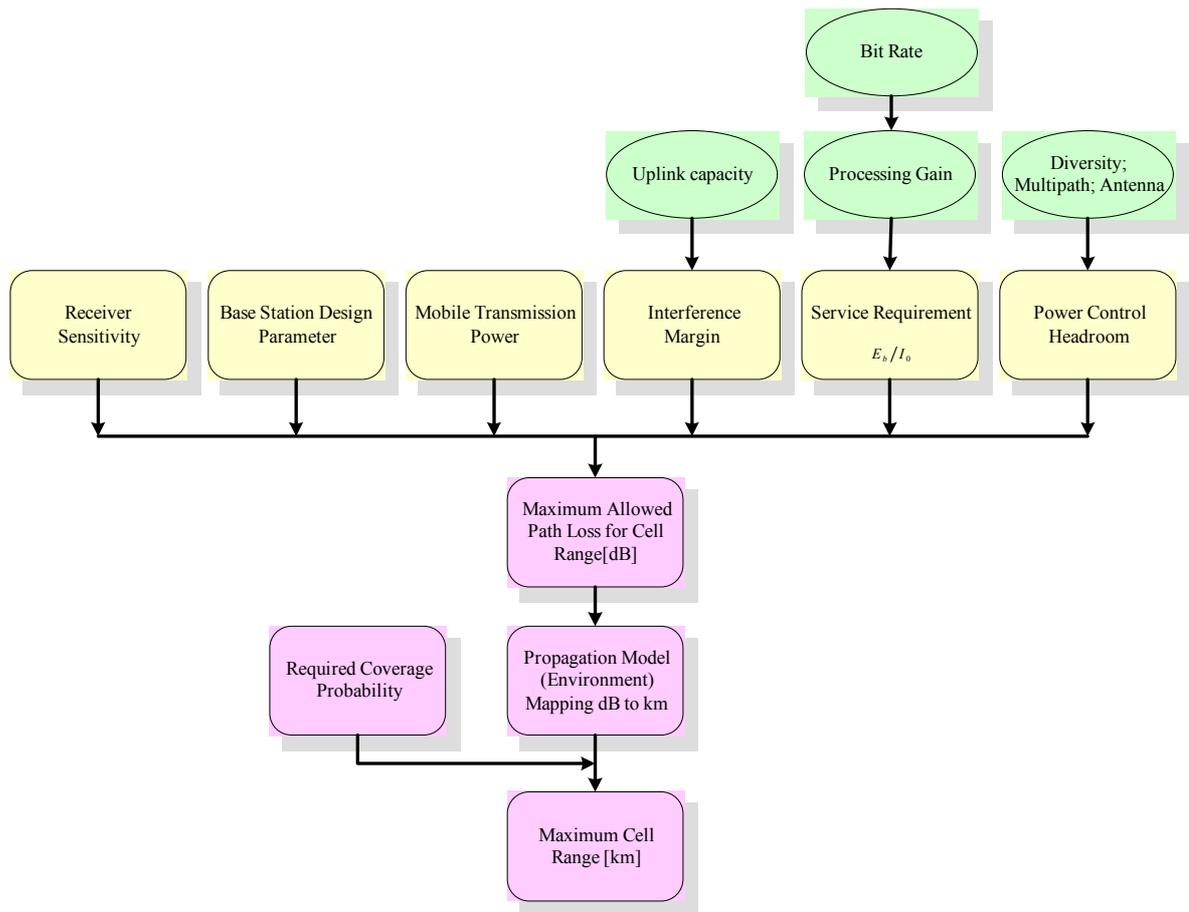


圖 2.1.3 整體系統規劃的流程

## 2-1-4 模擬模型

本研究所採行之系統模型皆依據第一年度總計劃所提模擬平台之設計[3]，故在此便不再贅述。

# 第三章 模擬程序

本章節第一部份將說明模擬平台上進行模擬時的流程與各個運作方程式的功能及原理，第二部份則說明模擬平台中已建立之無線資源管理演算法中的功率控制與換手轉換。

## 3-1 模擬流程

在模擬進行時，驅動的程序採用了兩種方式。第一種是事件驅動 (Event Driven)，第二種則是時間驅動 (Time Driven) [23]。以事件驅動的方式來進行系統模擬者為所需要模擬的變數並無週期性的變化，僅在事件發生時處理的功能才會啟動，可節省系統模擬耗費的時間。而以時間驅動的方式進行系統模擬者，主要是針對系統中週期性變化的變數。透過時間驅動方式以定期去執行某些功能或是調整系統中某些變數，如環境變數相關參數的更新功能。這些功能週期性的更新跟環境相關的參數，以反應出系統隨著時間改變所相對應的環境變化。我們以圖 3.1.1 來說明整個系統模擬時流程的概念：

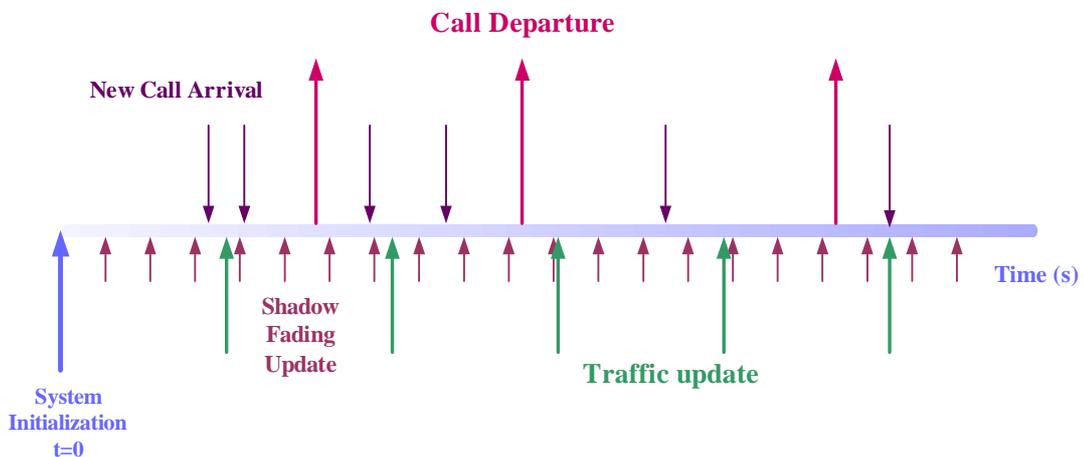


圖 3.1.1 系統模擬流程示意圖

在圖 3.1.1 中上半部所描述的是非週期性發生的事件，這些事件在程式中相對應的動作會以事件驅動(Event Driven)的方式處理。而在圖 3.1.1 下半部所描述的是週期性發生的事件，因此相對功能的運作以時間驅動(Time Driven)的方式處理。但同樣是時間驅動的事件，根據其特性的不同，每個事件都有其各自發生的

週期，以增加系統運作的效率。

## 3-2 無線資源管理演算法

回顧第一章所提 WCDMA 系統的資源主要受限於干擾功率，因此系統必須透過一些有效的無線資源管理演算法使得系統能將有限的資源做最佳的運用，同時仍確保各使用者的連線品質。該 WCDMA 無線資源管理平台建構了基本的無線資源管理演算法，包含功率控制，換手轉換與允入控制，使得欲探討其他新演算法的優劣時，得以將這些演算法的效應呈現出來，使研究的結果更具參考價值，亦是本研究特點之一。本章將針對模擬平台所採用之無線資源管理演算法中的功率控制與換手轉換進行介紹與說明，允入控制將於第五章再做詳細說明。

### 3-2-1 功率控制

此機制的功能是在滿足使用者訊號品質的前提下，將使用者發射的訊號功率降至最低，以減輕每位使用者造成其他使用者干擾的影響並克服遠近效應 (Near-Far Effect)[24]。換言之，由於分碼多工接取 (CDMA) 的系統其系統容量會受限於干擾功率，若在滿足訊號品質的前提下能有效降低使用者的傳輸功率，將使系統所受的干擾減少，整體而言會使系統資源的使用效率增加，因此功率控制對於 WCDMA 系統是非常重要的演算法。相關原因在 Viterbi 的著作[25]中有詳細的說明。另一個使用功率控制所帶來的好處是由於使用者在滿足服務品質要求下僅需以最小的傳送功率傳送資料，所以可以有效的延長電池的電力。有關功率控制的分類與研究可參考 Novakovic 發表的文章[26] 中有詳盡的說明。

在本研究中以實際用的功率控制演算法進行模擬，該演算法是以訊號干擾比 (SIR) 為基礎的功率控制。對於上鍊通道 (Uplink) 而言其原理為基地台根據收到每位使用者的信號功率估算出訊號干擾比，將其與系統所要求的服務品質比較，如果量測到的訊號干擾比高於服務品質的要求時，基地台就下指令要求使用者降低傳輸功率，反之則升高傳輸功率，如圖 3.2.1。

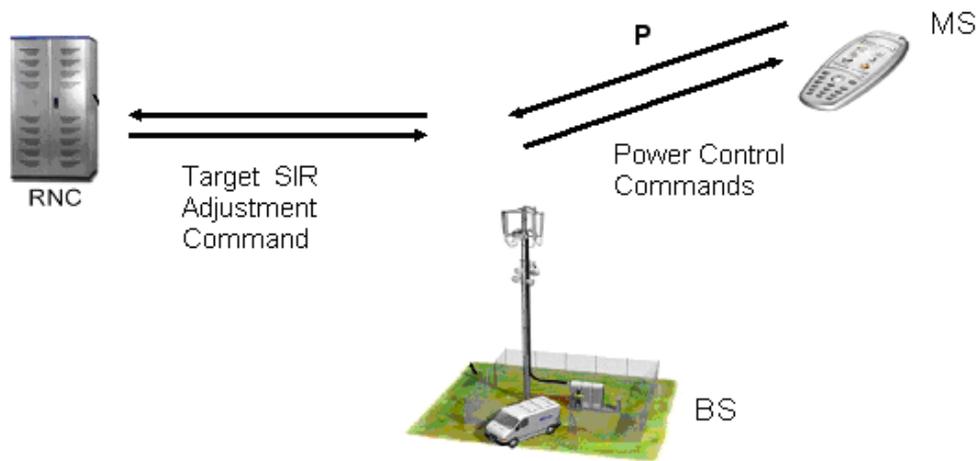


圖 3.2.1 以訊號干擾比為基礎之功率控制系統示意圖

圖 3.2.2 所示為模擬平台所提供之功率控制演算法的流程圖 [27]，在 UMTS 系統中的規格是每 0.667ms 便執行一次功率控制，詳細的說明可參考文獻[3]。

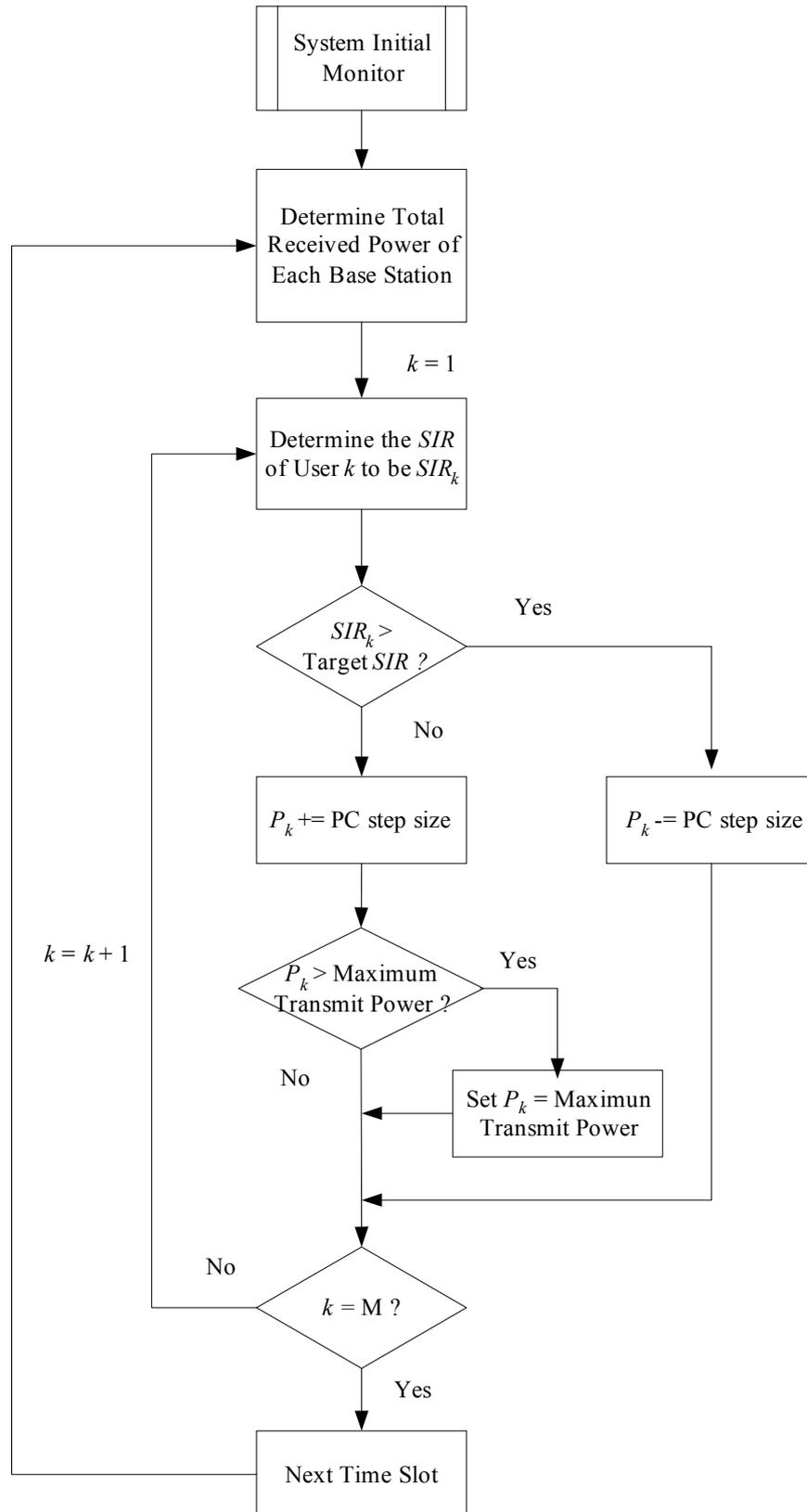


圖 3.2.2 系統執行功率控制演算法流程圖

### 3-2-2 換手轉換

換手轉換在行動通訊系統中是為了使用者在不同基地台所涵蓋之區域間移動時，得以將使用者的服務適當地轉移到訊號品質較佳的基地台，如此可以降低使用者所需傳送的訊號功率以及維持使用者在行進間有一定的訊號品質。模擬平台上支援的是軟式(Soft)換手轉換，所謂軟式換手轉換是允許使用者在邊界範圍時，得以同時與一個以上的基地台建立連線，使用者的連線訊號在切換過程中是先選擇訊號品質較佳的連線維持通話後，再中斷訊號品質較差的連線，這會讓使用者在通話過程中不會有中斷的感覺。系統運作如圖 3.2.3。

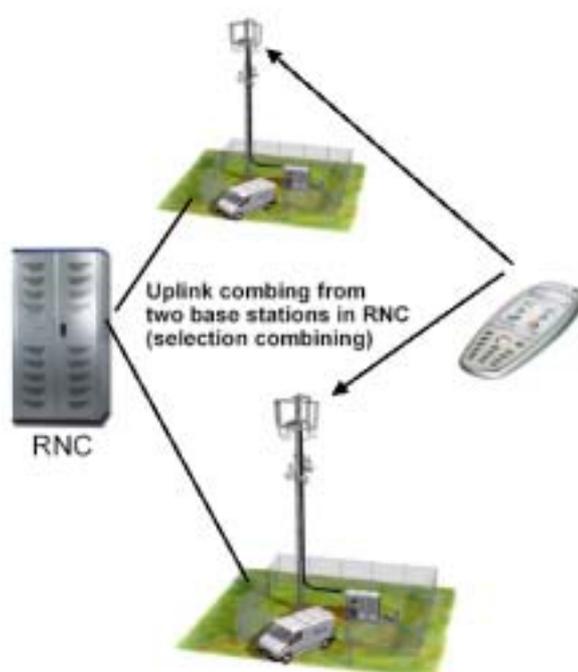


圖 3.2.3 軟式換手轉換系統示意圖

軟式換手轉換的優點一則在於不需中斷使用者通話而完成轉換，二則不增加射頻設備的情況之下實現軟式換手的技術，因為在 WCDMA 系統中每位使用者都使用相同的頻帶，三則藉由適當的轉換可降低使用者的傳輸功率，增加系統資源的效率。不過軟式換手轉換在系統設計切換的門檻時需增加一個遲滯值 (Hysteresis) 來避免乒乓效應 (Ping-Pong Effect)。有關換手轉換演算法的介紹與原理說明在 Wong 所發表的文章[28]中有詳盡的說明。而模擬平台中所提供的換手演算法參考 3GPP 的規格書[27]所設計。其中有一些設計軟式換手技術時重要的參數[3]:

- λ **Handoff Rate**  
系統偵測訊號連線品質的頻率。該參數與系統中使用者移動速度有關。
- λ **Active Set Size**  
同時與使用者建立連線的基地台數量。
- λ **Add Threshold**  
建立與新基地台連線之門檻值。
- λ **Drop Threshold**  
中斷原本已建立的連線之門檻值。
- λ **Replace Threshold**  
將已建立之連線中品質最差者與還沒建立之連線中品質最佳者替換之門檻值。

模擬平台所提供的軟式換手的流程如圖 3.2.4 所示。

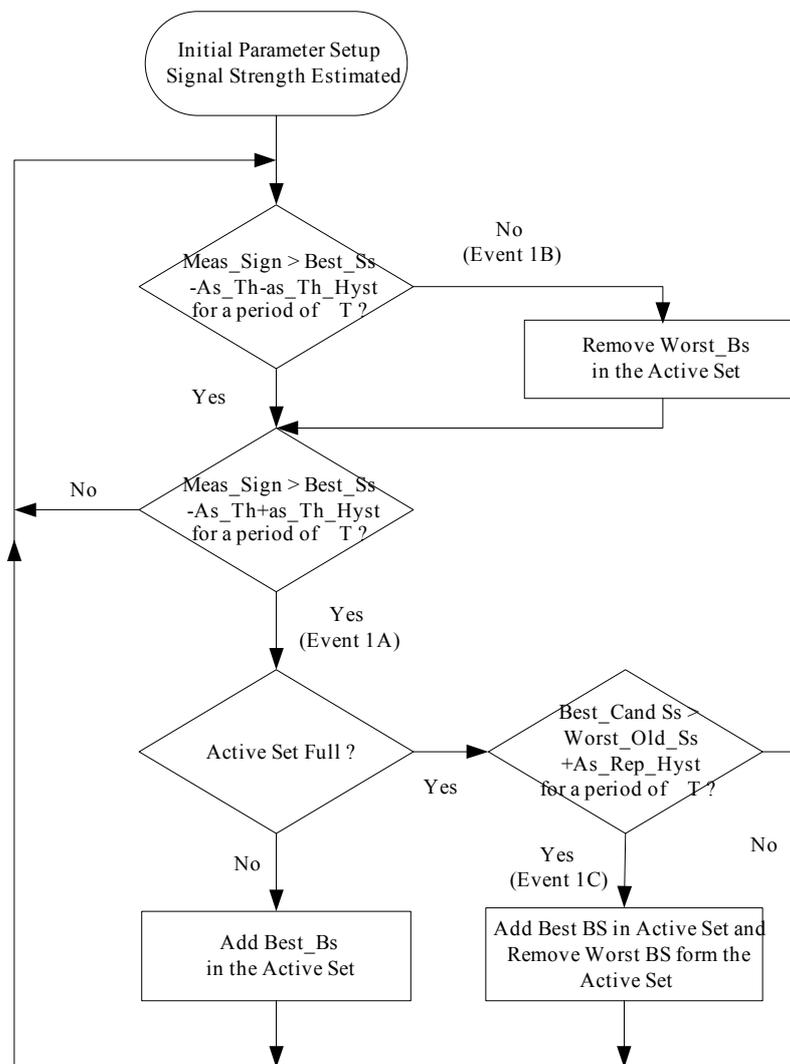


圖 3.2.4 軟式換手轉換演算法流程圖

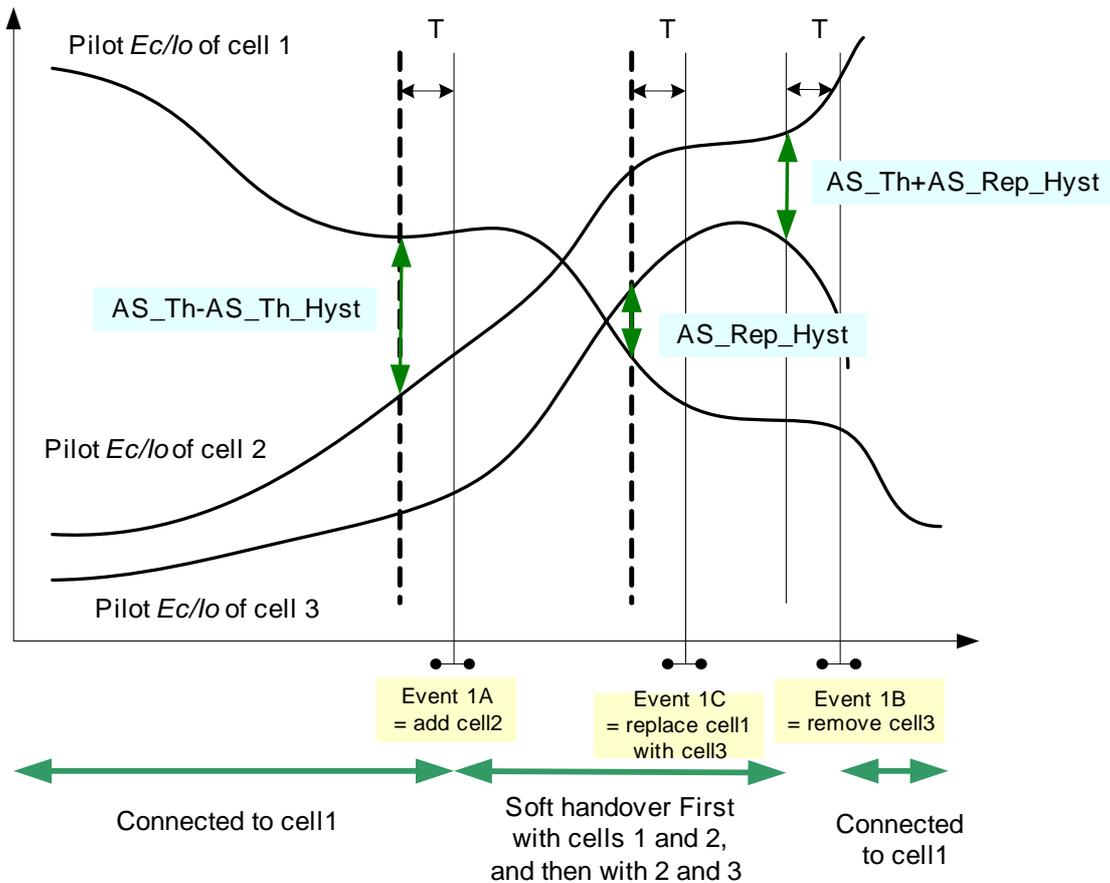


圖 3.2.5 軟式換手轉換演算法運作範例

圖 3.2.5 為相對應之發生事件及條件對照關係圖，如此可更明白演算法的運作。其中的相關參數說明如下：

- AS\_Th*** : *Threshold for macro diversity*
- AS\_Th\_Hyst*** : *Hysteresis for the above threshold*
- AS\_Rep\_Hyst*** : *Replacement Hysteresis*
- T*** : *Time to Trigger*
- AS\_Max\_Size*** : *Maximum size of Active Set*

## 第四章 系統資源估算

通訊系統的系統資源可區分為兩大類，一為窄頻通訊系統（Narrowband Communication Systems）如分頻多工接取(FDMA)與分時多工接取(TDMA)系統等，其系統資源受限於最大可利用的通道個數如頻帶（Frequency Band）或時槽（Time Slot），每位使用者都會使用特定的頻帶或時槽，一旦同一區域的使用者人數超過所能提供的頻帶或時槽數目，就會造成系統無法提供服務，代表使用者的人數受限於目前可用的通道個數；二為寬頻通訊系統（Wideband Communication Systems）如分碼多工接取（CDMA）系統，該系統使用展頻碼（Spreading Codes）的傳輸技術，這種技術允許系統可以在同一個頻帶上，讓多位不同使用者的資料同時傳送，所以通道個數不再是評估該系統資源的依據，而是系統所能承受的干擾功率。換言之，以分碼多工接取（CDMA）做為接取技術的系統其特色為系統容量並非固定，而是受限於整體系統所遭受之干擾功率。在承受相同干擾功率的情況之下，系統所承載的資料流量隨著系統狀態不同亦會有所不同，一般稱此為 WCDMA 系統的軟式容量（Soft Capacity）特性。由此可知 WCDMA 系統中的資源耗用程度並不單與使用者數量成正比，而是依據當時系統所遭受的干擾功率而定。因此，如何正確的估算系統資源，以使允入控制及封包排程等資源管理演算法能正確地運作，是進行相關研究時的首要課題。在 4-1 節中我們推演了 WCDMA 系統在提供單一服務（Single Service）型態下系統資源與負載估算的依據，藉由理論推導的結果，做為系統模擬時對於系統資源估算的依據。

有別於傳統的行動通訊系統只提供語音服務，WCDMA 系統提供了多重層級（Multi-class）與不同資料傳輸速率的服務，包括即時性（Real-Time）資料傳輸，如語音與即時影像與非即時性（Non-Real-Time）資料傳輸，如網路瀏覽（Web browsing）與電子郵件（E-mail）等服務。有別於以往單一服務型態，在多重服務（Multiple Service）型態下如何去估算系統資源，是一件困難的事情。在 4-2 節中，我們由理論推導出在系統同時提供多重服務型態時，系統負載所呈現的形式，並證明仍可藉相同的表示方法來呈現多重服務型態時的系統資源。

### 4-1 單一服務型態

下面的推導是考慮系統中只有一種服務型態，如語音服務，因此每位使用者所要求服務品質-訊號干擾比（Signal to Interference Ratio, SIR）相同，並假設在理想功率控制（Perfect Power Control）的情況下，所以每位使用者貢獻至連結基

地台的訊號功率亦相同。在這樣的條件下，系統資源使用的情況可以這時候使用者的人數來表示，而系統資源的上限即為該系統同時可服務人數的最大值，所以我們將系統的負載定義為：

$$LF = \frac{M}{M_{\max}} \quad (4.1)$$

$LF$  : 細胞負載

$M$  : 使用中的使用者數目

$M_{\max}$  : 允許使用的最大使用者數目

在 WCDMA 系統中，使用者人數與系統中的干擾功率呈現某種關聯性。在理想功率控制的情況下，我們可由訊號干擾比推導出系統中使用者的數目與其上限，並進而推算出細胞負載與干擾功率間的關係。

首先，在上述的假設下，每位使用者到其提供服務之基地台的功率， $S$ ，而使用者訊號在基地台所呈現的訊號干擾比為， $\rho_v$ ：

$$\begin{aligned} \rho_v &= \left( \frac{E_b}{I_o} \right)_v \cdot \frac{1}{SF_v} \\ &= \frac{S}{I_{total} - S} \\ &= \frac{S}{\sigma^2 + M \cdot S + \sum_{z=1, z \neq n}^C I_z - S} \end{aligned} \quad (4.2)$$

相關參數定義：

其中

- $\rho_v$  : 使用語音服務所需之訊號干擾比值
- $(E_b/I_o)_v$  : 位元能量與干擾密度比值 ( Bit Energy to Interference Density Ratio )，下標  $v$  代表使用語音服務
- $SF_v$  : 語音服務所需的展頻係數 ( Spreading Factor )，而展頻係數與展頻碼產生率 ( Chip Rate ,  $W$  ) 及資料傳輸速率 ( Data Rate,  $R$  ) 的關係為  $SF = W/R$ ，語音服務的資料傳輸速率為 12.2 kbps
- $S$  : 基地台收到每位其提供服務之使用者的訊號功率

- $I_z$  : 其他第  $z$  個細胞 ( Other Cell ) 造成的干擾功率
- $I_{total}$  : 系統所受總功率(包含熱雜訊)
- $\sigma^2$  : 熱雜訊功率 ( 平均值 )
- $M$  : 該基地台使用中的使用者數目
- $C$  : 所考慮的基地台數目

另外,我們先探討本身細胞中使用者訊號功率與其他細胞中使用者所造成之干擾功率的關係,將兩者的比值定義為其他細胞干擾因數( Other-Cell-Interference Factor ),  $i$  :

$$i = \frac{\text{其他細胞造成的干擾功率}}{\text{本身細胞收到的使用者功率}}$$

由(4.2)可知

$$i = \frac{\sum_{z=1, z \neq n}^C I_z}{M \cdot S} \quad (4.3)$$

依據(4.2)、(4.3)我們可推導出本身細胞使用中的使用者人數,  $M$ , 如下:

$$\rho_v = \frac{S}{\sigma^2 + (1+i) \cdot M \cdot S - S}$$

$$M = \frac{1}{1+i} \left( 1 + \frac{1}{\rho_v} - \frac{\sigma^2}{S} \right) \quad (4.4)$$

其中(4.4)式代表系統中可同時服務的使用者數目與訊號及干擾功率之間的關係。由(4.4)式中可看出當熱雜訊功率降至零或者是先不考慮傳送端對於訊號功率的限制,即當訊號功率,  $S$ , 增加到無限大,系統容量終將趨近於一極限值,此即 WCDMA 系統的最大容量 ( Pole Capacity )。由此亦可印證 WCDMA 系統的確是一個受限於干擾功率 ( Interference Limited ) 的系統。換言之,在系統實際運作時,熱雜訊的功率越高將會使系統的有效容量降低;系統可容許的訊號功率越高,代表系統的有效容量越高。由上推論,系統同時所能服務的使用者數目上限,  $M_{max}$ , 為:

$$M_{\max} = M \Big|_{\substack{\sigma \rightarrow 0 \\ \text{or } S \rightarrow \infty}} = \frac{1}{1+i} \left( 1 + \frac{1}{\rho_v} \right) \quad (4.5)$$

再由(4.1)式對於負載的定義，配合(4.4)及(4.5)式可得到下列結果：

$$\begin{aligned} LF &= \frac{M}{M_{\max}} \\ &= \frac{\frac{1}{1+i} \left( 1 + \frac{1}{\rho_v} - \frac{\sigma^2}{S} \right)}{\frac{1}{1+i} \left( 1 + \frac{1}{\rho_v} \right)} \\ &= \frac{M}{M + \frac{\sigma^2}{S} \cdot \frac{1}{1+i}} \\ &= \frac{M(1+i) \cdot S}{\sigma^2 + M(1+i) \cdot S} \\ &= \frac{I_{total} - \sigma^2}{I_{total}} \end{aligned}$$

因此負載係數（Loading Factor）可被定義為：

$$LF = \frac{I_{total} - \sigma^2}{I_{total}} \quad (4.6)$$

從(4.6)式中可觀察到因為  $I_{total}$  為基地台收到所有使用者訊號功率（本身細胞與其他細胞）加上熱雜訊功率，所以當基地台收到所有使用者訊號功率遠大於熱雜訊功率時，負載係數將趨近於 1；反之，當當基地台收到所有使用者訊號功率很小時，負載係數將趨近於 0，即負載係數介於 0 1 之間。其意義為當負載係數越接近 1 時，表示系統將接近滿載，達到可容許的干擾功率上限，無法再容許過多的使用者進入系統否則將影響現有使用者的服務品質，甚至造成斷線

( Dropping ) 的情況，反之，系統有多餘的容量可提供服務。

由另一角度觀察時，當系統使用者增加時會造成干擾功率上升，等效上如同總雜訊功率上升一般，故定義一參數為  $NR$  值 ( Noise Rise Value )，如下：

$$NR = \frac{I_{total}}{\sigma^2} \quad (4.7)$$

其中  $\sigma^2$  : 熱雜訊功率  
 $I_{total}$  : 系統所受總功率(包含熱雜訊)

將(4.6)式代入(4.7)式可推導  $NR$  值與負載係數的關係，參數關係如圖 4.1.1：

$$\begin{aligned} NR &= \frac{I_{total}}{I_{total} - (I_{total} - \sigma^2)} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{I_{total} - \sigma^2}{I_{total}}} \\ &= \frac{1}{1 - LF} \end{aligned}$$

結合系統規劃的角度我們可以觀察到，2-1-3 節中提出規劃系統時所用的鍊路預算 ( Link Budget ) 其目的在於規劃系統所欲涵蓋範圍內，使用者欲達到所需的服務品質下可容許的最大傳遞損失，其中有一參數為 Interference Margin 是用來規劃在該條件下系統所容許最大的干擾功率，其關係為基地台收到總功率 ( 所有使用者訊號功率加上熱雜訊功率 ) 與熱雜訊功率的比值，亦視為系統規劃最大的  $NR$  值，我們將以  $NR_{max}$  來代表該值。

所以，我們以  $NR$  值作為系統資源評估的依據，而其表達的意義在於當  $NR$  值上升時表示系統所受干擾功率增加，在原來系統涵蓋範圍內邊緣部分的使用者在使用最大功率傳送下亦不能達到基本的服務要求，等同於系統可提供服務的區域範圍減少，所以，我們可藉由每隔一段時間偵測系統的  $NR$  值，利用該參數動態調整系統資源使用的狀況來滿足系統原先的規劃及使用者行為的安排。

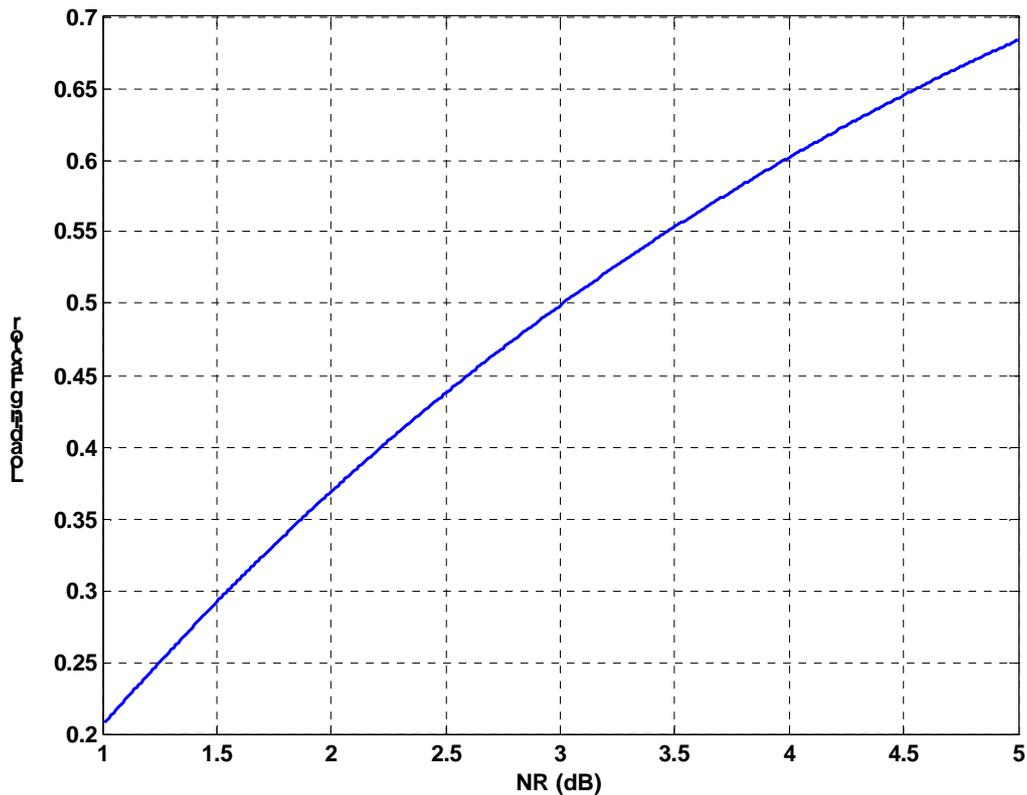


圖 4.1.1 負載係數(%)與雜訊上升指數(dB)關係

## 4-2 多重服務型態

WCDMA 系統中提供了多種不同的資料傳輸型態以滿足不同服務的需求，包含了語音服務與即時/非即時性的數據傳輸，而每種服務所產生的資料流量特性以及對於服務品質 (QoS, Quality of Service) 的要求亦不相同。藉由無線資源管理演算法以滿足各種不同的服務品質需求之前，我們必須先瞭解在多重服務型態同時存在的情況下，該如何去衡量系統的資源。本節將說明我們推導的結果。

所謂多重型態服務即系統提供不同資料傳輸速率 (Data Rate) 與不同服務種類 (Service Class) 的服務。當傳輸資料速率不同時會造成傳送訊號時所使用的展頻增益 (Process Gain) 不同；當服務種類不同或相同服務種類使用不同資料傳輸速率時，所需要的連線訊號品質往往不同，而此訊號品質的依據便是在接收端所收到的每個資料位元中的  $E_b/I_0$ 。基於不同的資料傳輸速率與不同的  $E_b/I_0$ ，在理想功率控制下，使用者於接收端所貢獻的功率亦不相同，所以系統資源不能如同提供單一服務型態時一樣以使用者人數來衡量系統資源，因此，我

們以類似於前一節分析的基礎，但不同的觀點進行當系統提供多重服務型態時系統資源的估算。首先，我們從各級資料傳輸速率與服務種類所組成的多重服務型態中，選擇一種服務型態如語音服務（資料傳輸速率：12.2kbps； $E_b/I_0$ ：5dB）當成參考用的基本服務（Basic Service），並在考慮理想功率控制的情況下，將其滿足訊號在接收端所需的訊號干擾比（SIR）時，貢獻於接收端的功率定義為基本功率單位（Power Unit），我們利用該功率單位去量化不同服務型態下使用者貢獻於基地台的訊號功率。換言之，由於不同的服務型態所需的訊號品質不同，在滿足不同服務型態所需的訊號干擾比下量化該服務所造成的訊號功率等於幾份基本服務所造成的訊號功率，即將在單一服務型態時以使用者人數作為相對系統資源消耗的基礎，轉化為在多重服務型態下以基本功率倍數衡量不同服務所造成之訊號功率為相對系統資源消耗的依據。在推導的過程中我們先定義基本功率單位和其與其他服務所造成訊號功率的關係如下：

$$\frac{s}{I_{total} - s} = \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} = \rho_0 \quad (4.8)$$

其中

- $s$  : 基本功率單位
- $E_b/I_0$  : 基本服務( Basic Service )所需位元能量與干擾密度比值( Bit Energy to Interference Density Ratio )
- $SF$  : 基本服務所需的展頻係數 ( Spreading Factor )。展頻係數與展頻碼產生率 ( Chip Rate ,  $W$  ) 與資料傳輸速率 ( Data Rate,  $R$  ) 的關係為  $SF = W/R$ 。
- $\rho_0$  : 基本服務所需的訊號干擾比，因為是在理想功率控制的條件下，相同的服務型態所需的訊號干擾比亦相同
- $I_{total}$  : 系統所受總功率（包含熱雜訊）

$$\frac{s_{m,l}}{I_{total} - s_{m,l}} = \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} = \rho_{m,l} \quad (4.9)$$

- 其中  $s_{m,l}$  : 第  $m$  種服務種類使用第  $l$  種資料傳輸速率時於基地台所需的功率
- $(E_b/I_0)_{m,l}$  : 第  $m$  種服務種類使用第  $l$  種資料傳輸速率時所需的位元能量與干擾密度比值
- $SF_l$  : 使用第  $l$  種資料傳輸速率時相對應的展頻係數
- $\rho_{m,l}$  : 第  $m$  種服務種類使用第  $l$  種資料傳輸速率時所需的訊號干

擾比，因為是在理想功率控制的條件下，相同的服務型態所需的訊號干擾比亦相同

由(4.8)與(4.9)式可知基本功率單位與其他服務所造成訊號功率間的關係：

$$\begin{aligned} \frac{S_{m,l}}{S} &= \frac{(I_{total}) \cdot \left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} \right) / \left( 1 + \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} \right)}{(I_{total}) \cdot \left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right) / \left( 1 + \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right)} \\ &= \frac{\left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} \right) / \left( 1 + \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} \right)}{\left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right) / \left( 1 + \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right)} = k_{m,l} \end{aligned} \quad (4.10)$$

其中  $k_{m,l}$ ：第  $m$  種服務種類使用第  $l$  種資料傳輸速率時所需之功率與基本功率單位的比值

藉由  $k_{m,l}$  這個參數分別將不同服務型態對於連線品質要求的不同以及不同資料傳輸速率造成展頻增益不同的效果反映出來，以求得在理想功率控制下不同使用者在基地台所貢獻出的訊號功率。

接著將進行系統資源與其上限值的推導。我們將利用使用者在基地台的訊號干擾比進行分析；使用第  $m$  種服務種類與第  $l$  種傳輸資料速率時在接收端所需的訊號干擾比， $\rho_{m,l}$ ：

$$\rho_{m,l} = \frac{k_{m,l} \cdot s}{\left\{ \begin{array}{l} \sigma^2 + \left[ \sum_{z=1}^C I_z \right] + \\ \left[ M_v \cdot k_{v,v} \cdot s + \sum \sum M_{p,t,q} \cdot k_{t,q} \cdot s \right] - k_{m,l} \cdot s \end{array} \right\}} \quad (4.11)$$

other cell interference

home cell interference

其中參數定義為：

- $\rho_{m,l}$  : 第  $m$  種服務種類使用第  $l$  種資料傳輸速率時所需的訊號干擾比
- $M_v$  : 本身細胞中使用電路交換模式服務（如語音服務）的使用者人數，假設該服務的資料傳輸速率為一定值，其中下標  $v$  代表是使用語音服務的意思
- $M_{p,t,q}$  : 本身細胞中使用第  $t$  種服務種類，第  $q$  種資料傳輸速率之封包交換模式服務（如網頁瀏覽）的使用者人數，其中下標  $p$  代表是使用封包交換模式服務的意思
- $\sigma^2$  : 熱雜訊功率
- $C$  : 系統中細胞的個數
- $I_z$  : 其他第  $z$  個細胞（Other Cell）造成的干擾功率

接著我們將推論系統資源，我們先定義本身細胞中使用者訊號功率與基本功率單位所呈的功率倍數比率， $M$ ，即代表目前所有使用者總共消耗的功率資源相對基本功率單位而言：

$$M = M_v \cdot k_{v,v} + \sum_t \sum_q M_{p,t,q} \cdot k_{t,q} \quad (4.12)$$

而其他細胞干擾因數（Other-Cell-Interference Factor）， $i$  則為：

$$i = \frac{\text{其他細胞造成的干擾功率}}{\text{本身細胞收到的使用者功率}}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{z=1}^C I_z \\
&= \frac{\sum_{z=1}^C I_z}{M \cdot s} \tag{4.13}
\end{aligned}$$

將(4.12)、(4.13)帶入(4.11)可得：

$$\rho_{m,l} = \frac{k_{m,l} \cdot s}{\sigma^2 + [(1+i) \cdot s] \cdot M - k_{m,l} \cdot s} \tag{4.14}$$

從(4.14)式，可推論目前系統所受的干擾功率倍數， $M$ ，(相對於基本功率單位而言)

$$\rho_{m,l} \cdot (1+i) \cdot s \cdot M = k_{m,l} \cdot s + \rho_{m,l} \cdot k_{m,l} \cdot s - \rho_{m,l} \cdot \sigma^2$$

$$\begin{aligned}
M &= \frac{k_{m,l} \cdot s + \rho_{m,l} \cdot k_{m,l} \cdot s - \rho_{m,l} \cdot \sigma^2}{\rho_{m,l} \cdot (1+i) \cdot s} \\
&= \frac{1}{1+i} \cdot \left( k_{m,l} + \frac{k_{m,l}}{\rho_{m,l}} - \frac{\sigma^2}{s} \right) \\
&= \frac{k_{m,l}}{1+i} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\rho_{m,l}} \right) - \frac{1}{1+i} \cdot \left( \frac{\sigma^2}{s} \right) \\
&= \frac{1}{1+i} \cdot \left( \frac{\left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l} \right)}{\left( \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right)} \right) / \left( 1 + \frac{\left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l}}{\left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF}} \right) \\
&\quad \cdot \left( \frac{\left( 1 + \frac{\left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l}}{\left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF}} \right)}{\left( \frac{E_b}{I_0} \right)_{m,l} \cdot \frac{1}{SF_l}} \right) - \frac{1}{1+i} \cdot \left( \frac{\sigma^2}{s} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{1+i} \cdot \left( \frac{\left( 1 + \left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF} \right)}{\left( \frac{E_b}{I_0} \right) \cdot \frac{1}{SF}} \right) - \frac{1}{1+i} \cdot \left( \frac{\sigma^2}{s} \right) \\
&= \frac{1}{1+i} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\rho_0} - \frac{\sigma^2}{s} \right) \tag{4.15}
\end{aligned}$$

基於前一節所說的理由，我們可推導出系統所能承受之干擾功率倍數（相對於基本功率單位而言）的上限值， $M_{\max}$ ：

$$\begin{aligned}
M_{\max} &= M \Big|_{\substack{\sigma \rightarrow 0 \\ \text{or } S \rightarrow \infty}} \\
&= \frac{1}{1+i} \left( 1 + \frac{1}{\rho_0} \right) \tag{4.16}
\end{aligned}$$

再根據系統負載的定義可分析出系統在多重服務型態下的負載係數(Loading Factor)：

$$\begin{aligned}
LF &= \frac{\text{目前使用者之相對於基本功率的功率比值}}{\text{系統最大之相對於基本功率的功率比值}} \\
&= \frac{M \cdot s}{M_{\max} \cdot s} \\
&= \frac{\frac{1}{1+i} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\rho_0} - \frac{\sigma^2}{s} \right)}{\frac{1}{1+i} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\rho_0} \right)} \\
&= \frac{M(1+i) \cdot s}{M(1+i) \cdot s + \sigma^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \left[ M_v \cdot k_{v,v} \cdot s + \sum_t \sum_q M_{p,t,q} \cdot k_{t,q} \cdot s \right] + \left[ \sum_{\substack{z=1 \\ z \neq n}}^C I_z \right] \right\} \\
= & \frac{\left\{ \left[ M_v \cdot k_{v,v} \cdot s + \sum_t \sum_q M_{p,t,q} \cdot k_{t,q} \cdot s \right] + \left[ \sum_{\substack{z=1 \\ z \neq n}}^C I_z \right] \right\}}{\left\{ \sigma^2 + \left[ M_v \cdot k_{v,v} \cdot s + \sum_t \sum_q M_{p,t,q} \cdot k_{t,q} \cdot s \right] + \left[ \sum_{\substack{z=1 \\ z \neq n}}^C I_z \right] \right\}} \\
= & \frac{I_{total} - \sigma^2}{I_{total}} \tag{4.17}
\end{aligned}$$

由(4.17)式可看到，在系統同時提供多重服務型態時，系統負載所呈現的形式最後仍會與(4.6)式一致。這代表我們仍然可藉由對系統干擾功率的量測結果來估算系統的負載程度，由理論分析所推導出的這項結果非常的重要，此結果提供我們衡量系統負載時的依據，而相關的演算法亦將依此運作。

在得知系統的負載係數，我們可藉由(4.7)式所定義的  $NR$  值，以另一個角度來呈現系統負載的情況：

$$\begin{aligned}
NR &= \frac{I_{total}}{\sigma^2} \\
&= \frac{1}{1-LF}
\end{aligned}$$

# 第五章 允入控制

在第三章中我們提到 WCDMA 系統中有關無線資源管理的演算法，其中功率控制（Power Control）與換手轉換（Handover）雖有減少使用者干擾與增加系統資源使用效率的功能，但主要功能仍在維持使用者本身的連線品質。而有關系統資源的管理與分配，主要透過允入控制（Admission Control）與封包排程（Packet Scheduling）等演算法進行控制。本節將說明允入控制。

## 5-1 簡介

經由第四章的分析可知當系統中的干擾功率高至一定程度時，代表系統已逼近所規劃能夠承受的負載上限，亦代表可使用的無線資源幾乎都已被既有的使用者所佔用。若此時有新的使用者想要進入系統，系統必須預先估算該使用者加入對系統所造成的干擾程度。若是在可容忍的範圍內才接受該使用者的要求，建立連線，否則便拒絕該使用者進入系統，以免影響既有使用者的連線品質。總而言之，系統考慮是否允許新使用者進入系統時，需根據可能對既有使用者連線品質造成的影響與系統負載的限制來判斷應該允許或拒絕該使用者進入系統。此種演算法稱為允入控制（Admission Control）演算法。實現允入控制的主要目的與影響有：

- λ **確保訊號的傳輸服務品質（QoS），如訊號干擾功率比（SIR）、位元能量與干擾密度比值（ $E_b/I_0$ ）或位元錯誤率（Bit Error Rate, BER）。**  
因為使用者不斷增加時，干擾功率將不斷上升，則傳輸訊號的功率相對減弱而無法維持在使用者所要求的品質，所以需要控制新使用者進入系統的機制。
- λ **控制使用者的優先權（Priority）。**  
不同程度或不同型態的使用者，如換手轉換（Handover）過來的使用者等，擁有不同的使用優先程序，可由允入控制來管理。
- λ **確保新使用者被拒絕（Blocking）進入系統的機率在容許值中。**  
若將進入系統的門檻值設的過低，雖然可使系統中的使用者不被斷線，但會造成新使用者無法進入系統，換言之，系統保留過多的資源而浪費。
- λ **無線資源的分配。**  
當使用某一類服務的使用者造成系統負載的比例超過一定程度時便阻止該

類使用者的進入，以保留資源給其他類型的服務使用。

基於上述目的，允入控制的演算法必須在不同考量之間做出互相取捨(Trade Off)，整理過去的文獻可將允入控制的演算法分為下列數類：

λ **以頻寬 (Bandwidth) 為資源利用依據：**

當新使用者或換手轉換使用者要求進入系統時，系統根據當時所剩下的頻寬作為資源分配的根據，並對新使用者與高速度傳輸者做適當的頻寬保留，以確保新舊使用者的服務品質[29]。

λ **以使用者數目為依據：**

利用不同服務型態使用者所消耗的資源如功率或頻寬，規劃系統資源可容許各種服務型態的使用者人數，當規劃人數數目超出系統容許範圍時，就拒絕新使用者進入[30][31]。

λ **以傳送或接收功率為依據：**

根據使用者傳輸功率的上限值為依據，其方法為要達到目標訊號干擾比 (Target SIR) 時使用者所需要的傳送功率若超出規範的上限值，就拒絕其進入[32]。

λ **以接收到的訊號干擾比(SIR-based)為基礎：**

根據新使用者的訊號品質能否滿足服務品質的要求來判斷是否允許該使用者進入系統。此方法將可確保新加入使用者訊號的品質符合服務品質的要求，此種演算法所需克服的問題在於系統如何正確的分別估算訊號與干擾的功率，以及在不同的環境之下該如何設定相對應的門檻參數。相關的內容在 Liu[33]與 Kim[34]的文章中有更詳細的說明。

λ **以接收到的干擾功率 (Interference-based) 為基礎：**

根據當時系統所承受的干擾功率來決定是否允許新使用者進入系統。這裡所稱干擾功率，其實包括了系統中既有使用者發射訊號對新使用者訊號造成的干擾(Interference)功率，以及背景熱雜訊 (Thermal Noise) 的功率。當系統中的干擾功率在加入新使用者後仍不會超過上限時，則允許新使用者進入系統。在此種演算法運作時相關的議題在 Zhuge[35]與 Shin[36]的文章中有更進一步的探討

## 5-2 允入控制演算法

根據上述各演算法與 WCDMA 系統的特性發現頻寬並不是評量系統現有資源的根據，但資源保留 (Resource Reservation) 的觀點可推演至特殊使用者優先進入系統的設計；而以人數為判斷條件更無法表達系統受限於信號干擾功率的特性與反應當系統提供多重服務型態時無線資源的消耗，且不切實際因為當使用者造成干擾越少，系統可接受的使用者人數用高，反之，可接受人數越少，因此對 WCDMA 系統而言，使用者人數並非固定值。以傳輸功率及訊號干擾強比值為衡量的依據，主要是從使用者本身的角度去探討，未考慮系統可用資源的限制。因此，以干擾功率為依據的觀點而言，是較適當且將系統真正資源限制的依據考慮進來，我們根據此觀點與第四章中所推導估算 WCDMA 系統資源的方程式，設計了以系統負載為依據的允入控制演算法 (System Loading-based Call Admission Control)。

首先，當有新使用者要求提供服務與建立連線時，系統會依使用者需要的服務要求決定其傳輸時所使用的展頻增益，即決定資料傳輸速率，如語音服務為 12.2 kbps，接著再決定使用該服務所需的位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$ ，以滿足該服務的服務品質 (QoS)，瞭解新使用者欲建立連線所需的各種資訊後，系統將對新使用者若加入時所會造成的負載與系統本身是否有多餘的資源空間給予該新使用者進行評估。我們由滿足服務品質所需的  $E_b/I_0$  及上一章所推論對系統資源的評估方式，推導出新使用者欲進入系統時會造成的干擾影響如(5.4)式，與系統判斷是否允許新使用者進入系統的方程式如(5.5)式，該式中所設定的門檻值可依據系統當時的考量做適當的修正以符合實際系統的需求。在新使用者欲加入時，若滿足(5.5)式代表使用者可以在滿足服務品質下建立連線，再者亦表示在不造成其他使用者過大干擾的情況下，系統有足夠的資源提供給該使用者使用。

演算法的判斷條件推導如下，由第四章中所推演的負載結果可轉換為：

$$\begin{aligned}
 LF &= \frac{I_{total} - \sigma^2}{I_{total}} \\
 &= \frac{M \cdot s \cdot (1+i)}{I_{total}} = \frac{M \cdot s}{I_{total}} + \frac{i \cdot M \cdot s}{I_{total}} \\
 &= \frac{\sum_{k=1}^K P_k}{I_{total}} + \frac{\sum_{z=1, z \neq n}^C I_z}{I_{total}} = LF_{home} + LF_{other} \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

其中：

- $LK_{home}$  : 本身細胞所造成的系統負載  
 $LK_{other}$  : 其他細胞所造成的系統負載  
 $P_k$  : 第  $k$  個使用者於接收端所需的功率

若第  $k$  個使用者使用某種服務種類與某種資料傳輸速率時所需的位元能量與干擾密度比， $(E_b/I_o)_k$ ，則所需的功率， $P_k$ ，為(5.2)式：

$$\left(\frac{E_b}{I_o}\right)_k = \frac{P_k \times SF_k}{I_{total} - P_k}$$

$$P_k = \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} \cdot I_{total} \quad (5.2)$$

將(5.2)式帶入(5.1)式可得：

$$LF_{home} = \frac{\sum_{k=1}^K P_k}{I_{total}}$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^K \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} \cdot I_{total}}{I_{total}}$$

$$= \sum_{k=1}^K \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1}$$

因此第  $k$  個使用者對系統所造成的負載成分可表示為：

$$LF_k = \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} \quad (5.3)$$

由(5.3)式我們可由新使用者所需的服務種類與所需的傳輸資料速率，定義其所需的位元能量與密度干擾比， $(E_b/I_o)_{new}$ ，及展頻增益， $SF_{new}$ ，推知其對系統造成的新負載成分為：

$$\Delta LF_{new} = \frac{1}{\frac{SF_{new}}{(E_b/I_o)_{new}} + 1}$$

藉由判斷新負載成分加入時是否仍在系統所規劃的範圍內決定新使用者進入系統的權力，如(5.4)式，

$$LF = LF_{current} + \Delta LF_{new}$$

$$NR = \frac{1}{1 - LF} < NR_{threshold} \quad (5.4)$$

其中

- $SF_{new}$  : 新使用者進入系統時所使用的展頻係數
- $SF_k$  : 第  $k$  個使用者所需的展頻係數
- $P_{new}$  : 新使用者於接收端所需的功率
- $(E_b/I_o)_{new}$  : 新使用者所需的位元能量與干擾密度比
- $(E_b/I_o)_k$  : 第  $k$  個使用者所需的位元能量與干擾密度比
- $\Delta LK_{new}$  : 新使用者所造成的系統負載
- $LK_{current}$  : 目前所有使用者所造成的系統負載
- $I_{total}$  : 系統所受總功率(包含熱雜訊)
- $NR_{threshold}$  : 系統可容許的  $NR$  門檻值

當使用者被允許進入系統之後，系統將決定使用者連線時所需的重要參數，如傳輸資料速率與傳輸時所需的服務品質要求，如語音使用者將以 12.2kbps 的速率與相對的  $E_b/I_o$  要求下進行通話，而數據服務使用者伴隨封包排程 (Packet Scheduling) 進行動態的調整，此主題將於下一章節作詳細說明。整個以負載為基礎的允入控制演算法的流程如圖 5.2.1 所示。

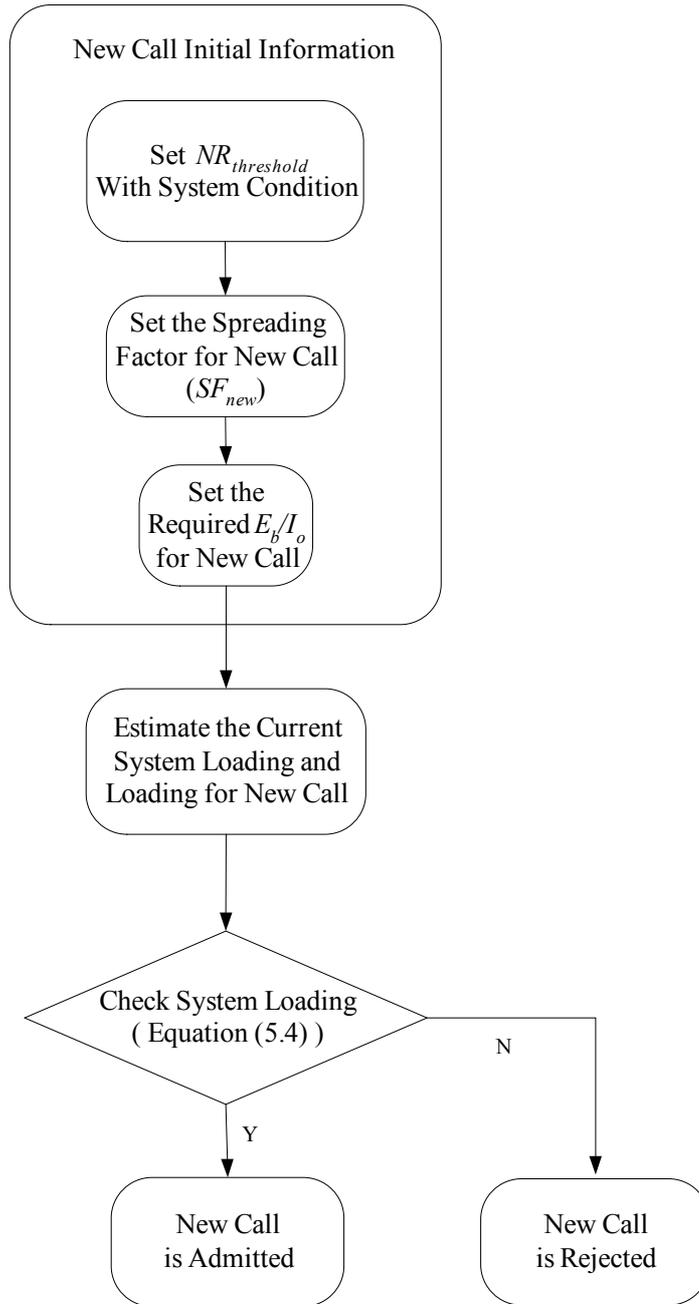


圖 5.2.1 以負載為基礎之允入控制演算法

### 5-3 模擬結果

衡量允入控制演算法最主要的效能指標為阻塞率 ( Blocking Probability ), 這代表新使用者要求進入系統時被拒絕的機率。允入控制演算法的設計出發點在於維持一定服務品質前提之下希望能盡量增加系統容量, 但在系統提供多種服務的

情形之下，對於容量的定義並不只一種，除了傳統上透過使用者人數來定義之外，也有使用系統所承受的資料運輸量（Throughput）來定義容量。在圖 5.3.1 中所顯示的是在不同的使用者到達速率與不同門檻值下，系統中新使用者的阻塞率（Blocking Probability）。而在圖 5.3.2 中我們藉由此系統模擬平台模擬在不同的使用者到達速率（User Arrival Rate）與不同門檻值（ $NR_{threshold}$ ）的情形下，即  $NR_{threshold}$  為  $NR_{max}$ 、 $NR_{max}-0.5\text{dB}$  及  $NR_{max}+0.5\text{dB}$ ，使用允入控制演算法時系統所能承受的資料流量。

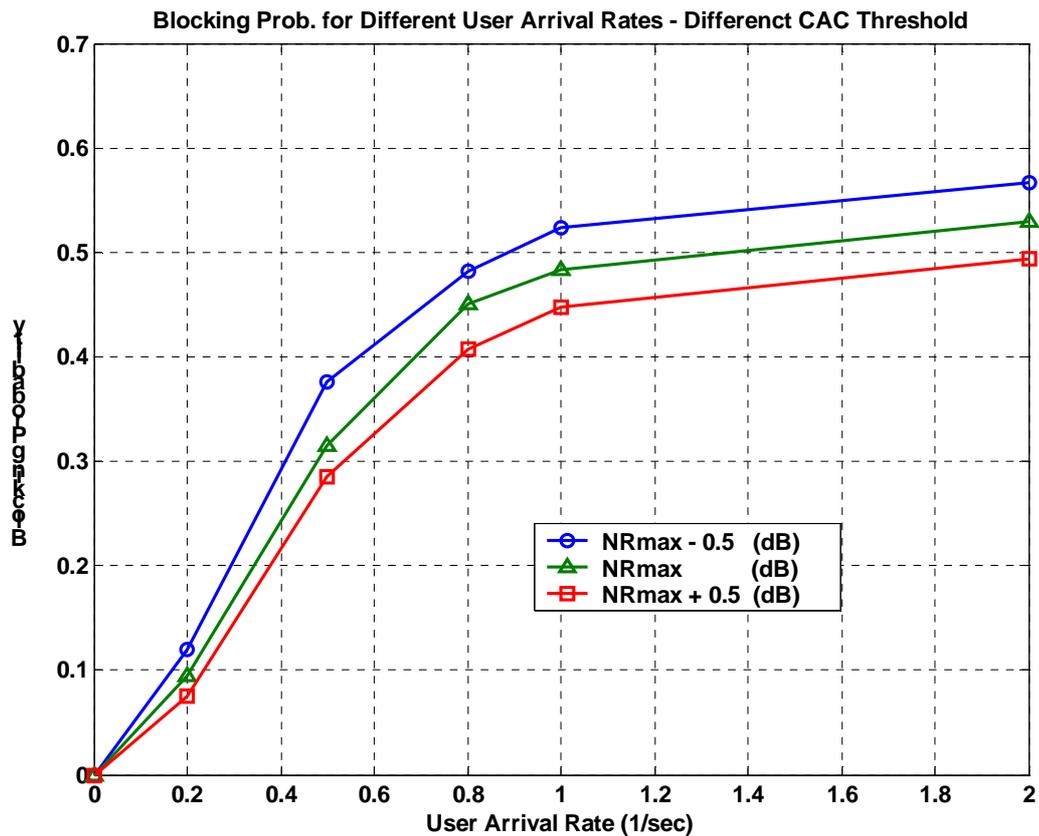


圖 5.3.1 不同門檻值下的新使用者阻塞率

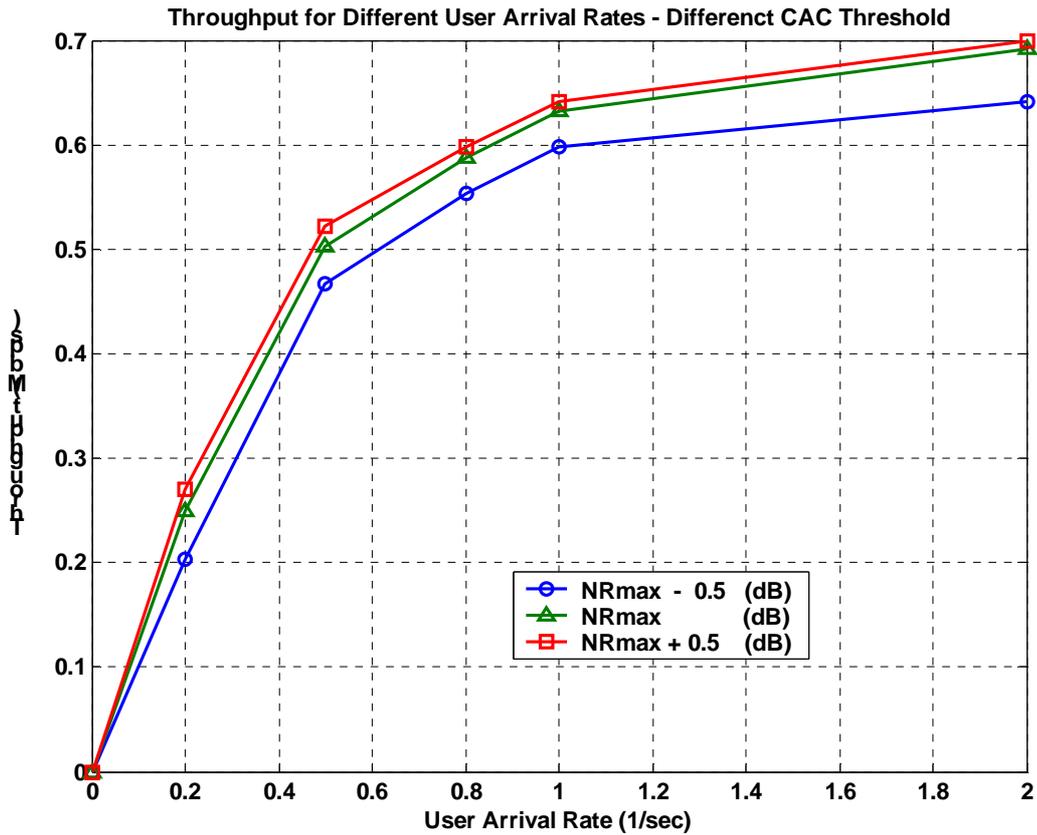


圖 5.3.2 不同門檻值下的系統運輸量

由模擬結果可觀察到，允入控制的門檻值會影響系統運輸量與新使用者阻塞率。依據系統實際狀況動態調整允入控制演算法的門檻值將使系統資源的利用更有效率，即當目前系統資源已接近滿載時，應降低門檻值，減少進入系統之新使用者人數，以避免滿載與使系統其他機制如封包排程得以先處理現有的資料；否之，則提高門檻值，增加進入系統之新使用者人數，以增加系統資源的使用效率。

# 第六章 封包排程

確保系統資源不發生過載 (Overload) 並維持穩定是無線資源管理領域中重要的議題，其中允入控制 (Admission Control) 會依據系統目前負載的狀況決定新使用者使用系統的權力，可以達到部分控制系統資源的功能，但在使用者進入系統後，系統負載可能因為某些資料流量型態 (如封包交換模式) 特性，或使用者傳輸行為 (如改變資料傳輸速率) 等隨時間不斷變化，因此定期偵測系統負載並進行控制，以避免過載與系統資源利用效率低落，在無線資源管理中我們稱為負載控制 (Load Control)。在這個範疇內，我們針對以封包交換模式之流量型態的資料傳輸進行其負載的控制，此機制我們稱為封包排程 (Packet Scheduling)。

## 6-1 簡介

封包排程的重要性，一則 達到負載控制的目的。在系統規劃的資源上限下，妥善將提供給即時性服務使用者後的系統資源安排給封包資料使用，以避免過載與提高系統效率 (Efficiency)，意義如圖 6.1.1 所示。

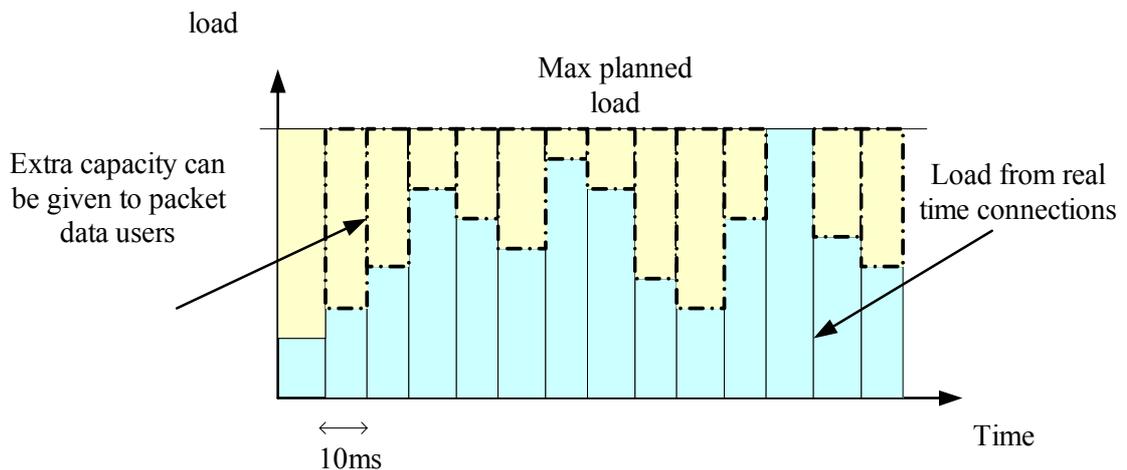


圖 6.1.1 負載控制示意圖

貳則、回顧本研究第三章關於數據資料流量特性的部份，如圖 6.1.2 所示，可知支援封包交換技術的數據資料產生時會以封包為單位，當該封包的資料傳送

完畢便等待下一個封包的資料被產生時才需再度傳送，而在沒有資料傳送的時候，該使用者在數據通道（Data Channel）中便不發送訊號，因此對其他使用者的干擾亦不存在。系統中此類型的使用者越多時，系統的負載越容易有脈衝（Bursty）的現象出現，亦即系統負載的起伏變化越劇烈。若不對每位使用者傳送資料的時間加以安排，會造成某段時間有許多使用者同時傳送資料，造成系統負載大增，進而影響到某些使用者的連線品質；而另外一段時間可能都沒有使用者在傳送資料，系統負載很低，卻造成資源浪費的情況。

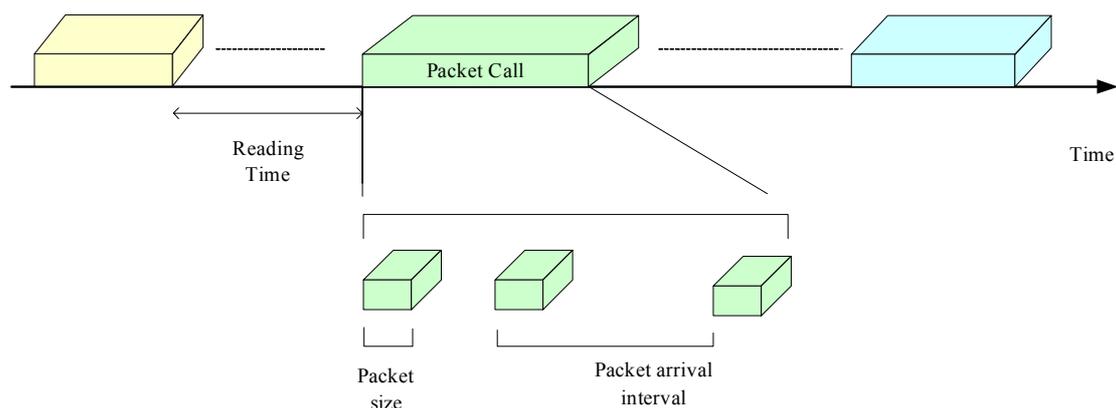


圖 6.1.2 支援封包交換技術的數據資料流量模型示意圖

三則、在於維持使用者的服務品質（Quality of Service, QoS），當系統對於使用者的服務品質有不同等級時，會透過資料傳送優先權（Priority）的不同來保障高服務品質需求的使用者可以充分得到所需要的資源，亦會評估系統負載的狀況選擇對使用者而言最好的傳輸狀態以滿足對服務品質的要求。綜合以上所述，我們可歸納封包排程的功能在於：

- λ 偵測系統負載與封包安排的狀況
- λ 依據每位使用者對於服務品質的要求決定其傳送的優先權
- λ 決定封包資料使用者可利用的系統資源
- λ 依據每位使用者的通道條件決定傳輸通道是否被其使用與決定其適當的傳輸模式（適當的資料傳輸速率）

由封包排程的功能我們瞭解必須週期性的觀察系統負載與使用者最新的狀況，重新安排使用者的傳輸狀態，其接收端點間的控制如圖 6.1.3。對封包流量模型而言，根據 WCDMA 系統訊框架構（Frame Structure）的定義[37]，每個訊框（Frame）的長度為 10ms，且展頻增益在同一個訊框內是相同的，而且在 DPDCH（Dedicated Physical Data Channel）中實際資料傳送是以訊框為單位，可知以訊框為單位進行封包排程是合理且可行的。

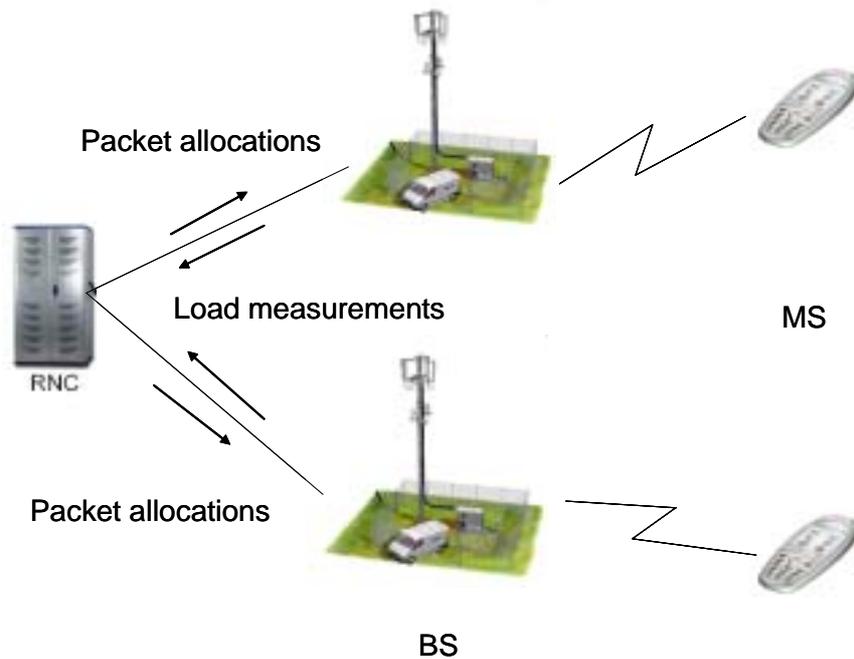


圖 6.1.3 封包排程系統示意圖

近幾年有許多探討無線環境中提供多媒體流量服務品質保證的文章，因為伴隨 2.5G (如 GPRS)，3G (如 UMTS, cdma2000) 系統的發展，這個問題也逐漸被重視。像 Naghshineh and Acampora [10][11]介紹不同服務種類在確保其服務品質下資源分享的觀念與數學模型，還有 Honig et al.[38][39]說明 DS-CDMA 系統中數據傳輸的資源分配。上述文章間接從傳送與接收端的角度去詮釋有關封包數據資料對系統資源影響的理論分析，而從無線資源管理角度來探討封包數據資料傳輸的影響較少，有些如 Abrardo et al.[40]提出平均分享系統資源的封包排程演算法，Riccardo. et al.[41]說明系統對於即時性資料做預先保留的說法，即給予較高的優先權還有 Oriol Sallent et al.[42]提供保持服務品質下在 WCDMA 系統之無線資源管理的架構，本研究以其為主要參考文獻研究演算法的設計。

分析各文獻我們觀察一些現象，一、平均分享資源雖有較高的資源分配公平性但未針對使用者個別情況的不同給予不同資源的分配，會造成通道條件好者使用較少的系統資源，而使整體系統使用效率下降；二、觀察演算法對系統與使用者造成的效應時，需將其他演算法如功率控制、允入控制及換手轉換等一起作用考慮，否則如功率控制的敏感度 (Sensitivity) 未考慮，會影響功率分配的成效；三、使用者有不同的服務品質要求，為達到要求須決定使用者傳輸的優先權；四、必須將系統實際規劃，如系統負載上限與準確的系統資源估算 (負載係數或  $NR$  值) 等參數作為演算法判斷的依據；五、降低演算法流程的複雜度 (Complexity)，我們將根據上述分析進行演算法的設計並從平均封包延遲 (Average Packet

Delay)、系統運輸量 (System Throughput) 與訊框錯誤率 (Frame Error Rate) 等效能指標 (Performance Index) 探討其對系統與使用者的影響與效能。在 6.2 節我們將對服務品質、優先權與資源分配限制的理論與參數提出說明, 6.3 節將提出我們設計的封包排程演算法, 最後一節將呈現相關的效能指標與結果。

## 6-2 排程程序 (Scheduling Procedure)

在進行演算法設計之前, 我們先根據前一節中對封包排程目的與功能的分析, 進一步說明系統中服務品質的分類與參數、使用者傳輸優先權的定義, 最後說明演算法設計時系統與使用者本身的限制條件。

### 6-2-1 服務品質 (QoS)

根據 UMTS 規格書[14]與 Harri Holma et al.[15]的論述, UMTS 系統提供了包括傳送語音為主的電路交換模式服務 (Circuit-Switched Service), 和傳送數據為主的封包交換模式服務 (Packet-Switched Service)並區分為四種種類:

- (1) 對話層級 (Conversational Class):  
以即時資訊 (Real-time)反應為導向, 無傳輸延誤秒差, 如語音、遠距醫療和即時監測等, 需要最高的服務品質。
- (2) 串流層級 (Streaming Class):  
可控制的傳輸品質和延誤狀況, 應用在視訊相關服務範圍, 如網路資訊廣播、隨選視訊 (Video On Demand, VOD) 和球賽轉播等。
- (3) 互動層級 (Interactive Class):  
位元錯誤率 (Bit Error Rate, BER) 較低, 並且保證傳輸時間, 如上網瀏覽 (Web Browsing) 服務等。
- (4) 基礎層級 (Background Class):  
位元錯誤率較低, 但無保證傳輸時間, 如收發電子郵件 (E-mail) 等。

四種層級的服務其所需的服務品質各不相同, 對於確保資料傳輸速率與否、排程機制的必須性、資料流失率的要求與時間延遲的敏感度等我們整理於表 6.2.1 中。從 WCDMA 空中介面 (Air Interface) 觀察使用者服務品質, 其實現的重點是將上述需求量化及尋求參考指標; 例如可藉由滿足訊號的位元能量與干擾密度比,  $E_b/I_0$ , 達到確保每層級服務所要求的位元錯誤率; 資料傳輸速率可

由系統提供的種類來規範，其他相關的參數列於表 6.2.2。於本研究中針對語音服務與網際瀏覽兩個服務種類作探討，所以於表 6.2.2 詳細舉列該服務品質的相對參數。接著將說明軟式服務品質 (Soft QoS) 的觀點，本研究是在藉由封包排程的功能來保障非即時性服務使用者的服務品質，在此前提下不但瞭解規格書中對於服務品質的定義並引用 Oriol Sallent et al.[41]提到對軟式服務品質說法，即封包於無線網路上是來自許多不同的來源加上傳輸路徑的時變性使得某些服務品質在無線行動通訊中並不容易達到保證 (Guaranteed) 的程度，如延遲 (Delay, 包括佇列延遲 (Queue Delay) 與傳輸延遲 (Transport Delay)) 指標，即系統無法要求資料在何時一定要傳到，而是使使用者在可容許的延遲範圍內盡量達成傳輸的工作。所以對於封包模式的服務，所要探討的是在預期的延遲範圍內有多少百分比的封包傳送到與有多少百分比的封包延遲了。

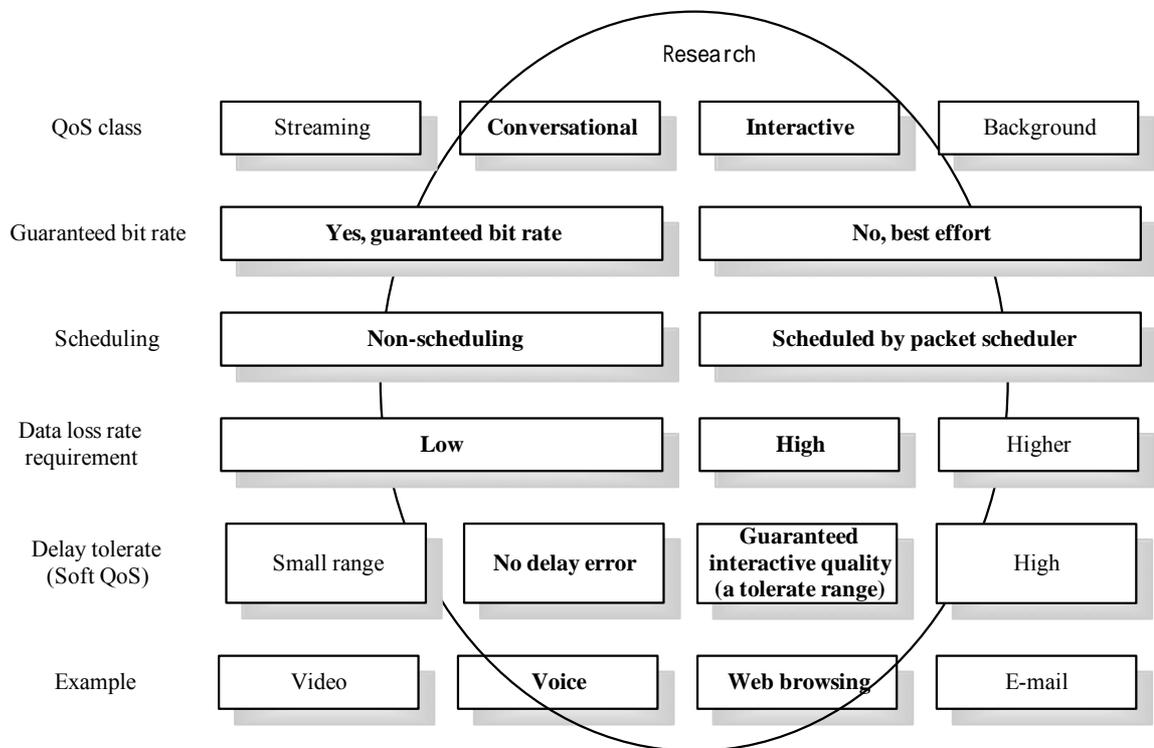


表 6.2.1 服務品質分類表

Traffic Class \ QoS	Bit Rate (kbps)	BER	$E_b/I_0$ (dB) (120 km/h)	Delay (s)
<b>Conversational (Voice)</b>	<b>12.2</b>	<b><math>10^{-3}</math></b>	<b>5</b>	<b>&lt; 100ms</b>
<b>Interactive (Web browsing)</b>	<b>32</b>	<b><math>10^{-6}</math>  FER = 10%</b>	<b>4.5</b>	<b>(Soft QoS) Typical Delay = 0.5 s Max Delay = 1.5 s</b>
	<b>64</b>		<b>2.9</b>	
	<b>144</b>		<b>2.4</b>	
	<b>384</b>		<b>2.9</b>	
Streaming	< 2000	$10^{-5}$	Depend on Bit Rate Used	< 250ms
Background	< 2000	$10^{-8}$		Tolerable

表 6.2.2 服務品質參數表

## 6-2-2 優先權 ( Priority )

設定使用者的優先權是排程程序中重要的一環，可依不同服務種類與不同使用者對於服務品質的要求、使用資源的公平性或使用者的成本 ( Cost ) 安排傳輸的先後順序，再依序調整每位使用者可利用的系統資源與傳輸狀況。相關文獻如[50]以隨時間輪流傳送的模式決定使用者的傳輸順序，而[51]是以使用者所處通道條件優劣為排序依據，[52]則以使用者所處之平均通道條件與瞬時通道條件的比值為依據以增加公平性；除此之外，有關使用者的延遲效應於[53]中將其加入決定優先權的考量並以指數函數 ( Exponential ) 權重強調其重要性。而有關使用者成本的問題，則是系統供應者應依據使用者付出的成本與申請服務的等級給予適當的使用權利。決定優先權的方法隨著不同的考量點，如公平性或滿足服務品質，而有所變化；本文中在考量服務品質的前提下採用[41][53]對優先權的決定方法。進一步說明，以延遲 ( Delay ) 指標而言，語音服務有即時性服務特性，所以對於傳輸延誤秒差有較小的容忍度因此相對於非即性服務而言其有較高的傳輸優先權，而相同服務層級的使用者如互動式服務 ( 網際瀏覽 )，必須盡量使其平均封包延遲在某個範圍之內，所以需依使用者目前的狀況來決定其優先權以縮短延遲現象，考慮的狀況其一為使用者目前已造成的延遲時間與參考延遲上限的差值，該值越小者，表示使用者所受的延遲時間接近參考值，所以應使其先行傳送，以降低延遲，該值超過設定範圍者，應有更高的優先權；其二為使用者欲傳送的資料量，資料量越大者相對反應其於系統之緩衝器 ( Buffer ) 中所需的佇列長度 ( Queue Length ) 越長，所以應給於較多的系統資源以使傳輸時間縮短而降低延遲。因此，目前我們主要探討服務層級、延遲時間與傳輸資料量來決定使用者的傳輸優先權。對服務層級而言為**對話層級**->**串流層級**->**互動層級**->**基礎**

層級，一個層級安排完再安排下一個層級；而屬於同一層級的使用者則以延遲時間與傳輸資料量為參數定義優先權的方程式，如下：

$$\phi_k = \begin{cases} \frac{L_k}{TO_k} & TO_k > 0 \\ L_k \cdot (2 - TO_k)^n & TO_k \leq 0 \end{cases}$$

- $\phi_k$  : 第  $k$  個使用者的優先權比重  
 $L_k$  : 第  $k$  個使用者欲傳送的資料量大小  
 $TO_k$  : 第  $k$  個使用者已造成的延遲時間與參考延遲時間上限的差值  
 $n$  : 次方值，為整數，本研究設定  $n$  等於 2 以加重延遲效應之權重

### 6-2-3 分配限制 ( Allocation Constraint )

本節將說明資源分配的依據。當欲決定使用者可利用的系統資源時，必須觀察系統負載與使用者本身效能是否得以滿足。首先，回顧第二章中的鍊路預算 ( Link Budget )，已對系統可容許的最大干擾功率， $NR_{max}$ ，與使用者最大傳輸功率，Equivalent Isotropic Radiated Power 提出定義。換言之，當使用者欲在某種服務種類下使用其中一種資料傳輸速率進行傳輸時，在滿足所需的位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$  下，根據第四章與第五章的推導，可推論該本身細胞中使用封包交換模式使用者所需利用的系統資源(6.1)式及對系統的負載(6.2)式，若共有  $K_p$  個封包交換模式使用者，其中第  $k$  個封包交換模式使用者所造成的系統負載為：

$$\left( \frac{E_b}{I_0} \right)_k = \frac{P_k \times SF_k}{I_{total} - P_k} \quad k = 1 \cdots K_p$$

$$I_{total} = \sum_{z=1, z \neq n}^C I_z + P_R + \sigma^2$$

$$P_k = \frac{\sigma^2 + \sum_{z=1, z \neq n}^C I_z + P_R}{1 + \frac{SF_k}{(E_b/I_0)_k}} = \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_0)_k} + 1} \cdot I_{total} \quad (6.1)$$

$$LF_k = \frac{P_k}{I_{total}} = \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} \quad (6.2)$$

其中

$(E_b/I_o)_k$  : 第  $k$  個封包交換模式服務使用者所需的位元能量與干擾密度比值

$P_k$  : 第  $k$  個封包交換模式服務使用者於接收端所需的功率

$P_R$  : 基地台接收到本身細胞內使用者的總訊號功率

$LK_k$  : 第  $k$  個封包交換模式服務使用者造成的系統負載

$I_{total}$  : 系統所受總功率(包含熱雜訊)

而需滿足系統規劃的條件為: 已分配之使用者與目前分配之使用者對系統貢獻的總負載, 以 Noise Rise 的觀點需在系統規劃之系統可容許的干擾功率之門檻值內, 即  $NR_{threshold}$  除了封包交換模式使用者對系統造成的負載之外, 需考慮當時語音服務使用者所造成的成分,  $LF_v$ , 與其他細胞所造成的成分,  $LF_{other}$ , 方能確實評估系統狀況。對 WCDMA 系統而言即是滿足系統可容許的最大容量 (Capacity) 如(6.3)式:

$$\begin{aligned} LF_p &= \sum_{k=1}^{K_p} \frac{1}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} = \sum_{k=1}^{K_p} \frac{P_k}{I_{total}} \\ NR &= \frac{1}{1 - (LF_p + LF_{other} + LF_v)} \\ &= \frac{1}{1 - (LF_{home} + LF_{other})} \\ &= \frac{1}{1 - LF} < NR_{threshold} \end{aligned} \quad (6.3)$$

其中

$NR_{threshold}$  : 系統可容許的  $NR$  門檻值

$LF_p$  : 本身細胞內封包交換模式服務使用者所造成的系統負載

$LF_v$  : 本身細胞內電路交換模式服務使用者所造成的系統負載

$LF_{home}$  : 本身細胞內使用者所造成的系統負載

$LF_{other}$  : 其他細胞內使用者所造成的系統負載

再者，需符合使用者本身的效能，即使手機端可傳輸的功率上限，可由(6.1)式知道使用者在滿足服務要求下基地台端所需接收到的功率，再由導頻通道 (Pilot Channel) 對使用者的通道條件做出評估，則可知道使用者所需傳送的功率大小，此值不能超過手機端本身的物理限制如(6.4)式：

$$P_k = \frac{I_{total}}{\frac{SF_k}{(E_b/I_o)_k} + 1} \leq P_{t,max} \cdot G_k \quad k = 1 \cdots K_p \quad (6.4)$$

其中

$P_{t,max}$  : 接收端 (手機) 可傳送的最大功率

$G_k$  : 通道增益 (Channel Gain)

上述兩個方程式是演算法中分配使用者可利用資源時重要的依據，整個演算法的流程將於下一節做進一步的說明。

## 6-3 封包排程演算法

在 6-1 節與 6-2 節中說明了設計該演算法的考量與目的及設計時所需的程序，本節將說明設計的流程。整體演算法是利用根據使用者的通道條件動態 (Dynamic) 改變使用者的資料傳輸速率 (Data Rate) 以達到對於服務品質 (QoS) 的要求。在 DS-CDMA 系統中資料傳輸速率的選擇可藉由展頻增益 (Processing Gain) [43]、展頻碼產生率 (Chip Rate) [44]、編碼個數 [45] 與調變型式 (Modulation Format) [46] 的改變來決定，但在假設展頻碼產生率、編碼個數與調變型式對每位使用者而言是固定的情況下，我們利用調整展頻增益來選擇資料傳輸速率，較高的展頻增益代表可用的資料傳輸速率較低，反之亦然。動態調整的模式是依使用者的狀況選擇最適當的傳輸速率進而減少使用者本身資料延遲的問題與增加系統資源的使用效率，並展現非即時性封包交換模式服務其「盡其所能」(best effort) 的通訊機制與達到其對服務品質要求。演算法的另一個重點是如何分配使用者所需的資源，由於是逐一對使用者進行分配的工作，所以在分配某一個使用者的資源時並不知道之後有多少使用者得以使用系統資源亦不知每位使用者所使用的資料傳輸速率，導致上一節所述(6.1)式中的本身細胞內使用者的訊號功率， $P_R$ ，不易被估算。該影響為當有使用者被同意時，先前分配的使用者其根

據的  $P_R$  已經增加，即系統所受的干擾功率增加，欲維持相同的服務品質---位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$ ，則每位使用者所需的訊號功率需加強，若忽略此現象會導致使用者功率分配的評估錯誤，造成使用者進行傳輸時因為實際干擾功率大於分配使用者功率時所估算的值，如此會使使用者無法滿足服務品質的要求而造成傳送資料錯誤，且需進行重傳（Retransmission）的機制，將造成封包延遲的現象。Sallent et.al [42]利用重新計算的方式來估計  $P_R$  與每位使用者的訊號功率  $P_k$ ，即利用(6.1)式的轉換先求得當目前欲分配使用者加入時，在之前被分配使用者確保其已決定服務品質下，估計  $P_R$ ，再根據該值重新計算每位使用者在此時應該被分配的功率，每加入一位使用者或在選擇一個層次的資料傳輸速率時，所有的分配過程都必須重來一次，雖然準確卻頗具複雜度。另外分配功率時應將通道時變性與實際功率控制程序考慮進來，如上述文獻中雖將使用者功率估計的十分準確亦達到使用者在滿足服務品質下使用最小傳輸功率的目標，但因為排程是以事先估計的方式，無論是其他細胞的干擾或通道條件，所以當每位使用者都以預估的最小功率傳送時，若通道變化太快，會造成無法滿足原先位元能量與干擾密度比的要求，雖然功率控制會補償此缺失，但可能因為實際功率控制的敏感度問題及當其中一人因功率控制提高傳輸功率時其他人亦會隨之更動，如此循環下將造成較大的資料遺失現象，所以應該考慮到實際傳輸的狀況，為抵抗這些效應留下功率空間（Power Margin）。依據這樣的考量我們提出了兩個新的演算法，一為以最大負載為基礎的封包排程演算法（Maximum Loading-based Packet Scheduling Algorithm, MLBPS），二為以實際負載為基礎的封包排程演算法（Real Loading -based Packet Scheduling Algorithm, RLBPS）。

#### λ 以最大負載為基礎的封包排程演算法（MLBPS）

該演算法的流程如圖 6.3.1。首先依據我們對優先權的定義，將請求( Request ) 於下一個訊框時間( Frame Time ) 傳輸的使用者依其優先權比重依序排列與進行資源分配。該演算法是在假設系統資源以達系統規劃時的上限值條件下進行運作，即  $NR_{max}$  等於鍊路運算中的 *Interference Margin*。接著選擇使用者適當的資料傳輸速率，即決定其傳輸時的展頻增益，流程中使每位使用者由最高的資料傳輸速率進行選擇，其目的一為優先權高者有使用較高資源的權力，二則表現封包服務下「盡其所能」( Best Effort ) 的通訊機制。在初步選定其所欲傳輸資料速率後，依據服務品質的設定決定使用者應該滿足的位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$ ，再依據(6.1)式估算使用者在此滿載環境與該傳輸速率下所需的訊號功率， $P_k$ 。知道使用者於基地台所需的訊號功率後，其必需估計傳輸端所需傳送的訊號功率，該值需滿足使用者手機的物理上限即（6.4）式所示及其對系統造成的負載須滿足（6.3）式，在兩個限制都能滿足的情況下該使用者得以使用該種服務於下一個訊框時間進行傳輸，反之，則需調降一個層級的資料傳輸速率，若至最小等級的傳輸速率都不能滿足，換言之，該情況下系統資源不足以再分配給使用者使用或使用者本身的

通道條件較差，所以該使用者於下次時再進行排程。如此依序完成在優先權名單中的每一位使用者。此演算法的優點在於無須進行對  $P_R$  的估算，因為是以資源上限為已使用資源的假設，而在該環境下估計每位使用者所造成的系統負載，所以無須在分配下一個使用者時重新計算該功率總和與每位使用者已分配過的功率，因此大大的減低排程的複雜度 (Complexity)，且當系統的流量負載 (Traffic Load) -- 一段時間 (秒) 中欲進入系統的人數越高，該假設與估計結果是合理的。再者，進行系統負載容許判斷時，根據(6.3)式我們考慮了實際系統的規劃 語音服務使用者所造成的負載且初估其他細胞使用者所造成的負載影響，得以更確實的分配資源與避免過載，有別於文獻[42]中的考慮。有關保留功率空間的問題，因為是以系統資源消耗最差狀況 (Worst Cast) 進行評估，所以可預期每位使用者所分配的使用功率比實際的值要大一點相對的保留了補償用的功率空間，因此有了改善使用者本身資料遺失的增益 但該方法有需要修正的地方，一、在流量負載 (Traffic Load) 較小時，因為實際分配的資源未達資源上限即未達系統資源最差狀況，有些使用者可使用更多的系統資源即利用較高的資料傳輸速率進行傳輸，但因為在假設前提下而受限了，造成系統資源的浪費。二、因為以最差狀況下估算使用者消耗的資源，雖預留功率空間，但有預留過多的可能，會造成使用者傳輸初期功率較大即造成他人的干擾較大使得傳輸資料遺失，還會有資源分配過份保守即有些使用者不能被安排而造成延遲問題，所以我們提出第二種排程演算法。但相對於文獻中的問題，其對系統造成的影響較小。因為是在最大資源消耗的假設下進行排程，我們成之為以最大負載為基礎的封包排程演算法。

#### λ 以實際負載為基礎的封包排程演算法 (RLBPS)

此演算法流程與上述方法相同但修正其功率分配的缺點，其整體流程如圖 6.3.2。首先，仍假設系統資源已達系統規劃時的上限值條件下進行運作，即初始門檻值， $NR_{ini}$ ，等於鍊路運算中的  $NR_{max}$ 。整個流程依使用者優先順序依次進行，其中有使用者欲以最小傳輸資料速率傳輸，但未能滿足(6.4)式，即使用最大傳輸功率仍無法滿足使用最小資料傳輸速率時所需的服務品質，我們認為其通道條件可能較差所以不安排其在這個訊框時間傳輸以免造成其他使用者太大的干擾。在這個演算法中設定一個參數---系統資源空間 (Resource Margin),  $F$ ，該參數是為保留使用者功率空間 (Power Margin) 所設定，解決功率估計保守所造成的問題。整個流程進行結束後，我們會比較實際分配的系統資源所相對的  $NR$  值， $NR_{allocated}$ ，與當初設定的系統資源  $NR_{ini}$ ，若實際值小於假設值且差值大於資源空間，代表資源浪費現象產生，所以會調降假設值  $NR_{ini}$  一個層次， $\Delta NR$ ，並重新分配每位使用者的資源，修正了上述第一點的缺失；另外，當出現有使用者在使用最小傳輸資料速率下，系統負載不能滿足其限制，即不能滿足(6.3)式，亦進行相同的回溯修正，

以達到降低使用者傳輸功率及允許較多人使用服務。這個演算法，其複雜度較 MLBPS 高，但重新分配的機制是在系統資源估計值與實際分配值差距超過資源空間方會被啟動，在使用者選擇資料傳輸速率與分配新使用者時都不會啟動且亦無須反覆估計  $P_r$ ，相較文獻而言 RLBPS 仍減低運作的複雜度。在功率分配上，此演算在容許資源空間條件下，亦達到使用者在滿足服務品質下盡量使用最小傳輸功率的目標，更利用資源空間參數的設定為每位使用者預留補償用的功率空間，加上使用小幅度修正分配功率的迴路程序使分配時造成的資源浪費降至最低，使資源消耗的假設值與實際分配的系統資源趨近，使假設值更具合理性。而在分配時每位使用者亦滿足(6.3)式與(6.4)式等系統與接收端的限制規範，所以我們預期該演算法得以對封包交換資料作較佳的資源分配，以提升系統資源利用效率與系統運輸量，且避免過高的訊框遺失率與降低封包延遲，結果將於下一節中呈現。因為該演算法利用迴路修正使系統負載估計值趨近於實際值，而使排程演算法有較佳的表現，所以我們稱之為以實際負載為基礎的封包排程演算法。

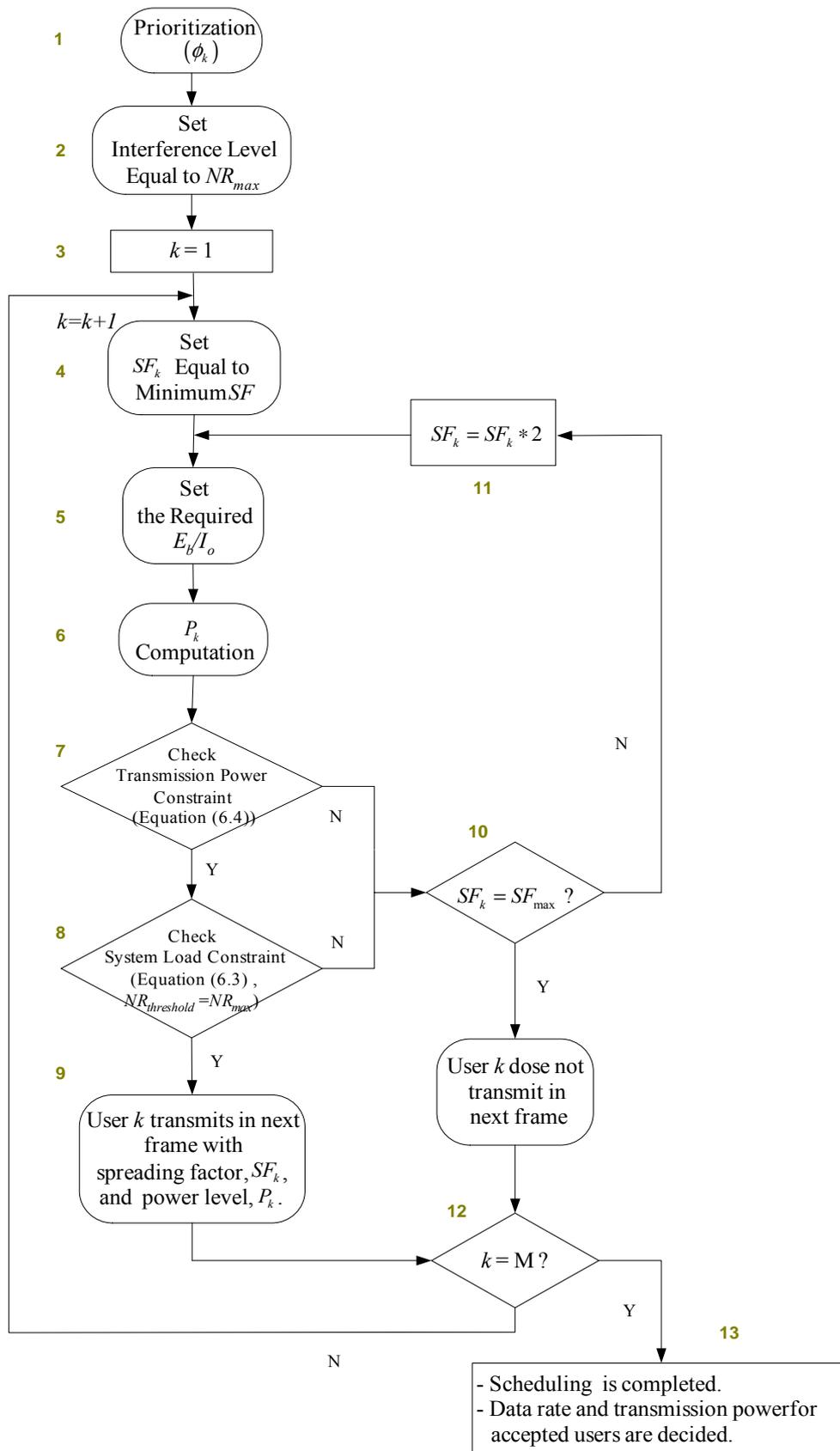


圖 6.3.1 以最大負載為基礎之封包排程演算法流程圖  
(Maximum Loading-based Packet Scheduling Algorithm)

以最大負載為基礎的封包排程演算法之步驟說明：

- 步驟 1. 決定使用者的優先順序。
- 步驟 2. 設定系統資源消耗處於最差狀況 ( Worst Case )，即其所受干擾功率以  $NR_{max}$  來表示。
- 步驟 3. 從優先順序中第一順位者開始安排其可用資源， $k$  代表優先順序。
- 步驟 4. 設定第  $k$  順位使用者可使用的資料傳輸速率，亦設定其展頻係數，每位用者皆從最高資料傳輸速率開始選擇。
- 步驟 5. 設定若第  $k$  順位使用者使用某種資料傳輸速率時所需的位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$ 。
- 步驟 6. 利用(6.1)估算第  $k$  順位使用者於基地台所需的功率。
- 步驟 7. 判斷使用者傳輸功率是否滿足(6.4)式，若滿足進入步驟 8 進行系統負載判斷，若不滿足則調降使用者可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- 步驟 8. 判斷使用者使用該服務時對系統造成的負載是否滿足(6.3)式所規範，若滿足進入步驟 9 進行相關參數的設定，若不滿足則調降使用者可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- 步驟 9. 決定第  $k$  順位使用者於下一個訊框時間傳輸時所需的展頻係數與所需的傳輸功率。
- 步驟 10. 判斷使用者可用的資料傳輸速率是否以達系統所提供的最低資料傳輸速率，若是即代表使用者使用最低資料傳輸速率仍無法因應系統負載與本身功率的限制，則該使用者於下一個訊框時間不進行傳輸，若否則進行調降資料傳輸速率的步驟。
- 步驟 11. 調降資料傳輸速率，即升高展頻係數的功能。
- 步驟 12. 判斷是否還有使用者需要進行分配， $M$  為優先權列表中的總人數。
- 步驟 13. 完成排程工作與決定每位使用者所需的系統資源。

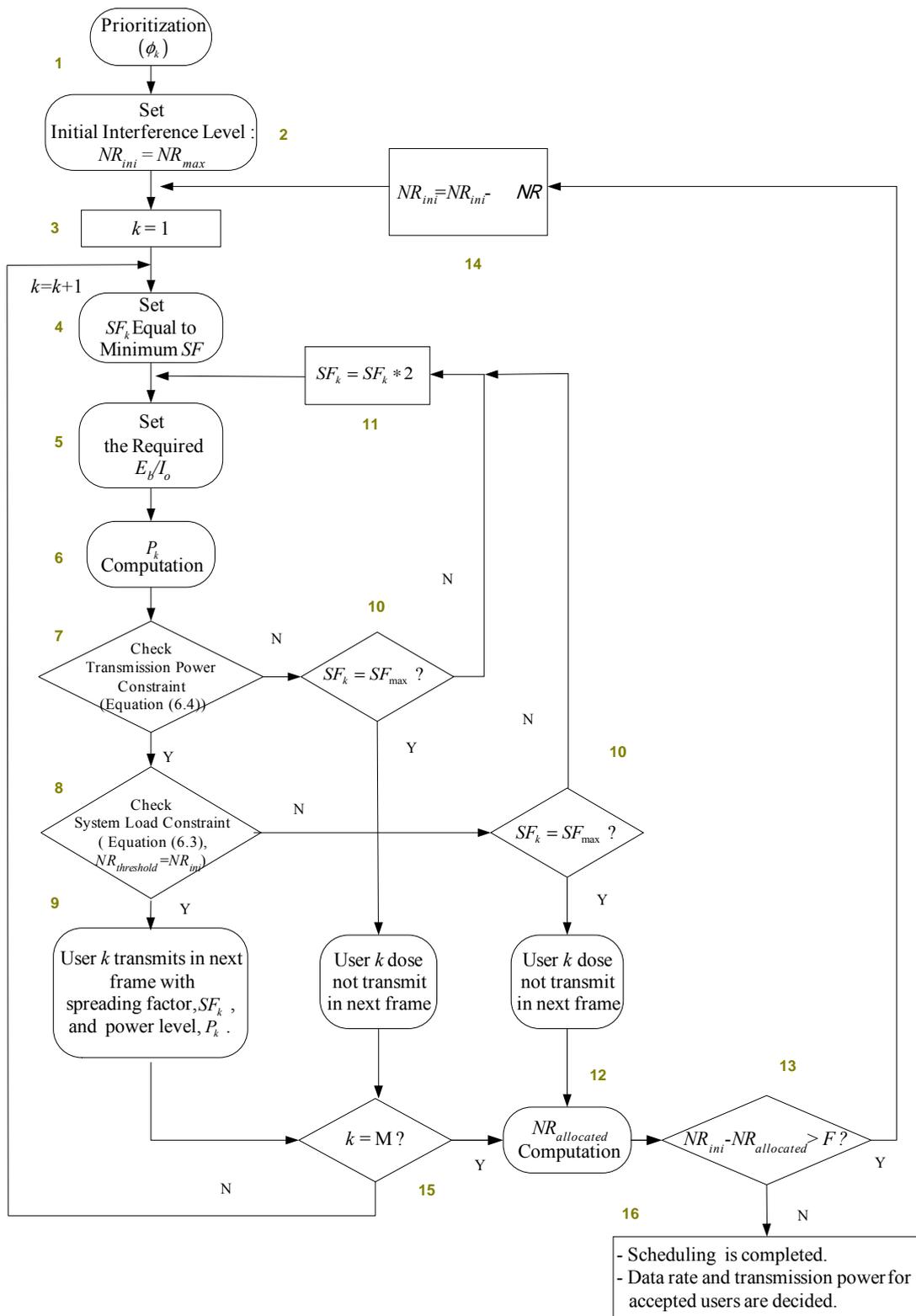


圖 6.3.1 以實際負載為基礎之封包排程演算法流程圖  
( Real Loading-based Packet Scheduling Algorithm )

以實際負載為基礎的封包排程演算法之步驟說明：

- 步驟 1. 決定使用者的優先順序。
- 步驟 2. 設定最初系統資源消耗處於最差狀況 (Worst Case)，即其所受干擾功率為  $NR_{ini} = NR_{max}$  來表示。
- 步驟 3. 從優先順序中第一順位者開始安排其可用資源， $k$  代表優先順序。
- 步驟 4. 設定第  $k$  順位使用者可使用的資料傳輸速率，亦設定其展頻係數，每位用者皆從最高資料傳輸速率開始選擇。
- 步驟 5. 設定若第  $k$  順位使用者使用某種資料傳輸速率時所需的位元能量與干擾密度比， $E_b/I_0$ 。
- 步驟 6. 利用(6.1)估算第  $k$  順位使用者於基地台所需的功率。
- 步驟 7. 判斷使用者傳輸功率是否滿足(6.4)式，若滿足進入步驟 8 進行系統負載判斷，若不滿足則調降使用者可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- 步驟 8. 判斷使用者使用該服務時對系統造成的負載是否滿足(6.3)式所規範，若滿足進入步驟 9 進行相關參數的設定，若不滿足則調降使用者可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- 步驟 9. 決定第  $k$  順位使用者於下一個訊框時間傳輸時所需的展頻係數與所需的傳輸功率。
- 步驟 10. 判斷使用者可用的資料傳輸速率是否以達系統所提供的最低資料傳輸速率，若是即代表使用者使用最低資料傳輸速率仍無法因應系統負載與本身功率的限制，則該使用者於下一個訊框時間不進行傳輸，若否則進行調降資料傳輸速率的步驟。
- 步驟 11. 調降資料傳輸速率的功能。
- 步驟 12. 估算已分配使用者所造成的系統干擾功率， $NR_{allocated}$ 。
- 步驟 13. 當該使用者使用最低資料傳輸速率而系統無多餘資源提供服務或系統對所有使用者皆進行資源分配後時，將進行預估之系統所受干擾功率， $NR_{ini}$ ，與實際分配後所造成的系統干擾功率， $NR_{allocated}$ ，的比較，判斷  $NR_{ini} - NR_{allocated}$  的差值是否大於資源空間， $F$ ，若是則調降干擾功率預估值，並重新分配使用者資源，若否則完成排程工作。
- 步驟 14. 調降干擾功率預估值為  $NR_{ini} - \Delta NR$ 。
- 步驟 15. 判斷是否還有使用者需要分配， $M$  為優先權列表中的總人數。
- 步驟 16. 完成排程工作與決定每位使用者所需的系統資源。

## 6-4 模擬結果

封包排程主要的目的是在滿足使用者服務品質 (QoS) 下，有效的使用系統資源，所以衡量封包排程演算法的優劣可從使用者服務品質的達成度與系統資源的使用效率來觀察。首先，從服務品質的角度來看，演算法是在滿足各種服務所需的位元能量與干擾密度比下進行資源分配與傳輸，所以我們需探討使用者在如此的安排下進行資料傳輸，其資料延遲與資料遺失的情況來評估演算法的優劣。資料傳輸是以訊框的架構包裝傳遞[37]，而許多的訊框方能組成一個封包，這裡封包的意義為一個完整的資料以一個網頁而言為其其中的一筆檔案，所以整個封包內的各個資訊送達方能完成，所以探討延遲的問題重要的效能指標為平均封包延遲 (Average Packet Delay)，造成延遲的原因有傳輸資料重傳情況、排程的效率與系統資源的利用效率等，相對的延遲現象越趨嚴重，相形之下會降低系統資源使用效率與使用者服務品質。圖 6.4.1 比較我們設計的 RLBPS 與 MLBPS 演算法、參考文獻中[42]的演算法及沒有封包排程時系統在不同使用者到達率 (Users Arrival Rate) 下的延遲現象。

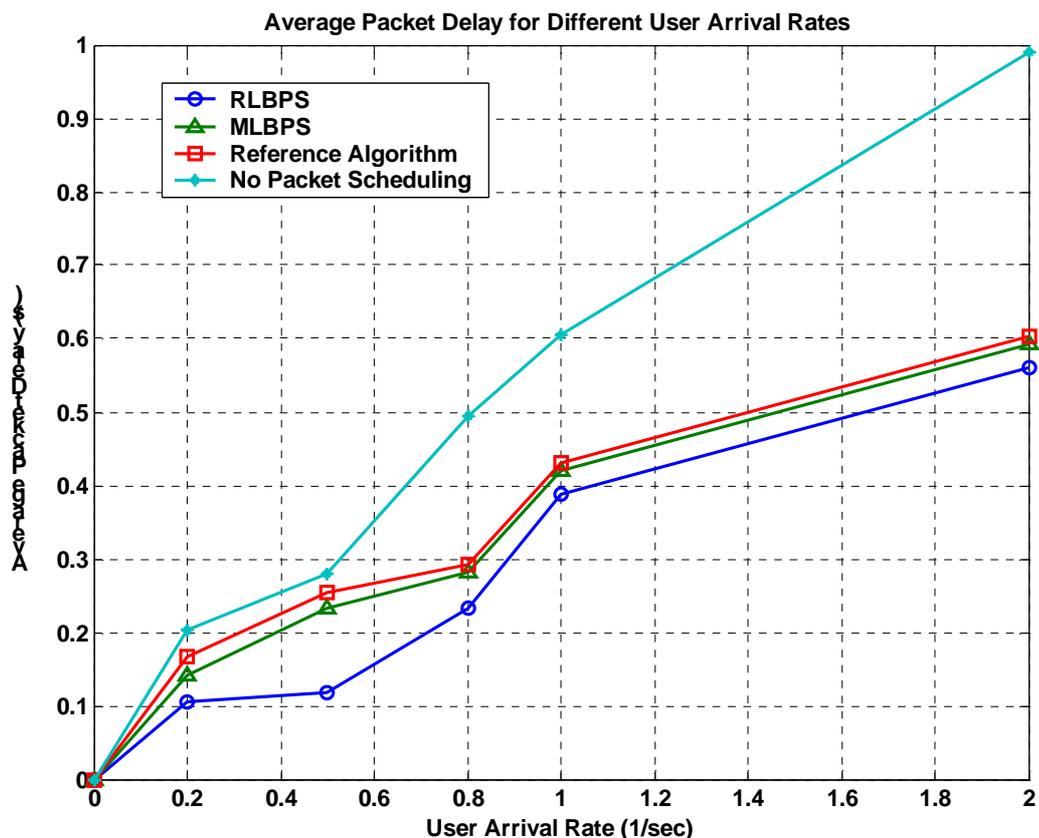


圖 6.4.1 比較使用不同封包排程演算法時的平均封包延遲

另外需觀察資料遺失的情況。封包排程演算法中的功率分配影響資料在傳遞中過程是否依然能夠補償傳遞遺失 ( Propagation Loss ) 以滿足資料傳輸時所需的位元能量與干擾密度比，而不使資料遺失與錯誤，所以資料遺失的情況是衡量演算法的重要指標，且該現象直接影響資料重傳與資料延遲的問題，而效能指標以訊框遺失率 ( Frame Loss Rate ) 來表現。圖 6.4.2 比較我們設計的 RLBPS 與 MLBPS 演算法、參考文獻中的演算法及沒有封包排程時系統在不同使用者到達率 ( Users Arrival Rate ) 下的訊框遺失率，圖 6.4.3 則細部觀察三個演算法使其中的差別度更明顯。

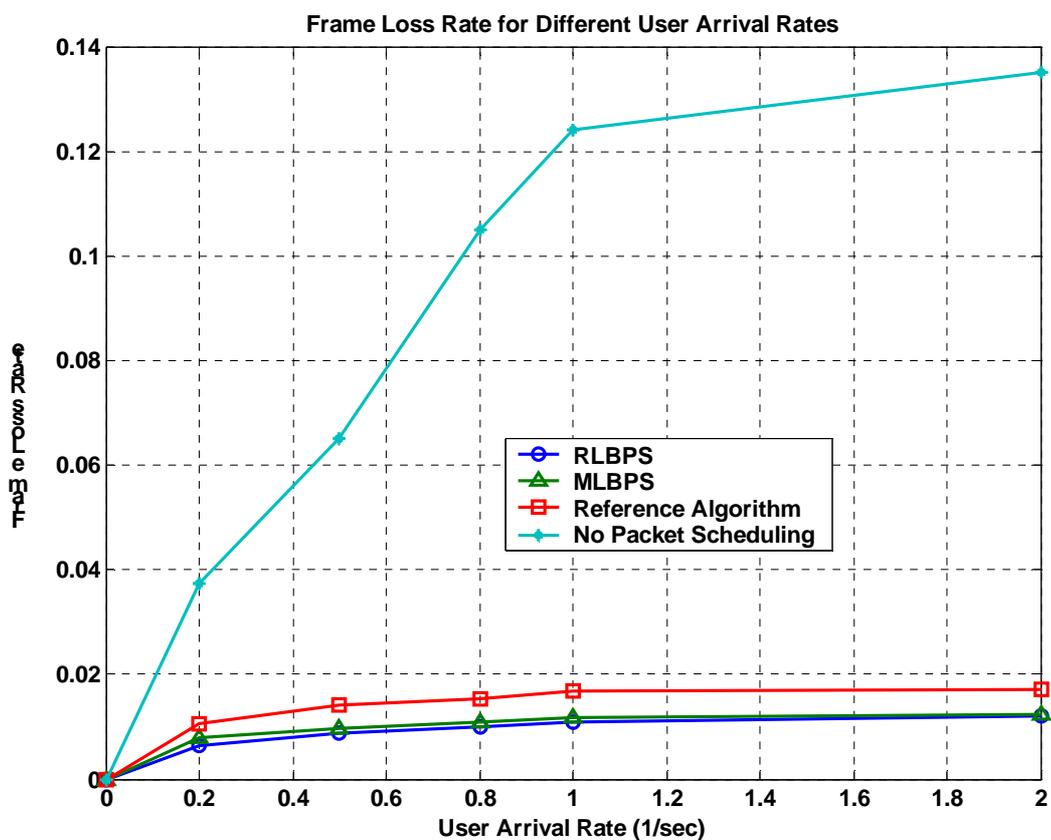


圖 6.4.2 比較使用不同封包排程演算法時的訊框遺失率

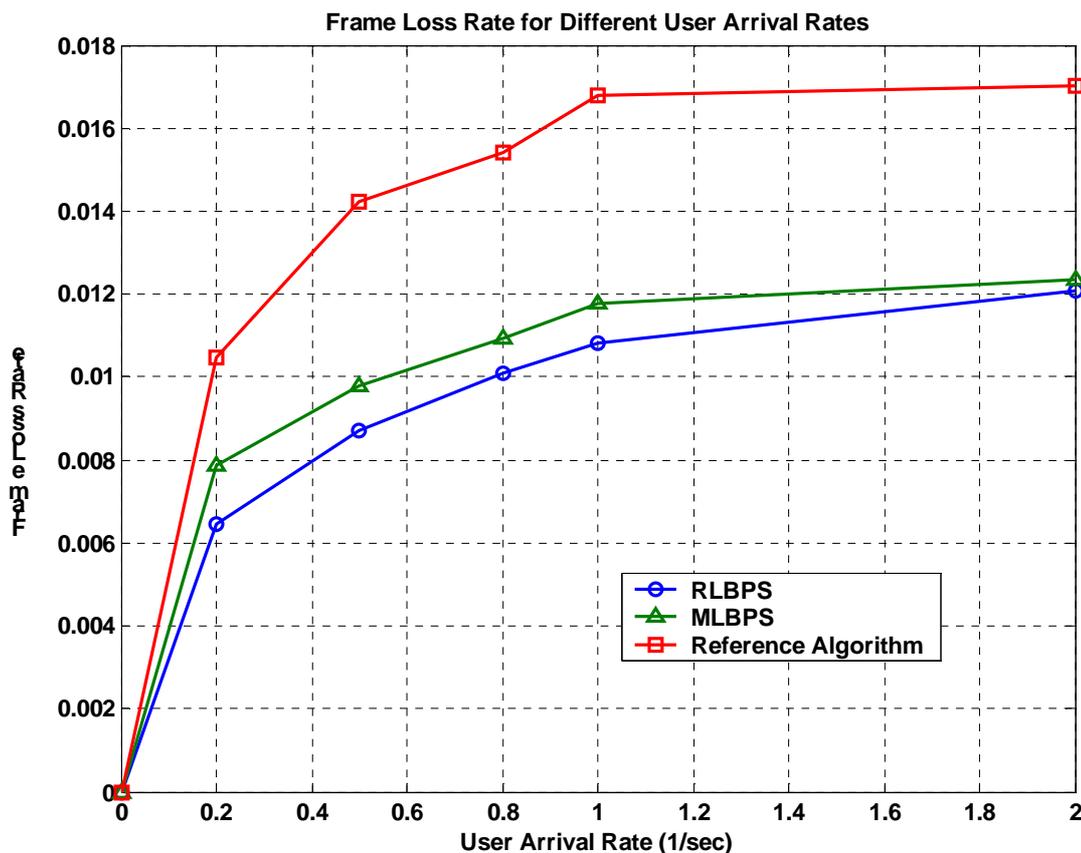


圖 6.4.3 比較使用不同封包排程演算法時的訊框遺失率

再者，於前小節中介紹過使用者服務品質的分類與定義，其中提到資料延遲這個參數屬於軟性服務品質，所以探討不同的封包排程演算法時，需觀察有多少比例的使用者得以滿意系統所提供的服務。評量的標準如表 6.2.2 所示，即典型封包延遲 ( Typical Packet Delay = 0.5s ) 與最大封包延遲 ( Maximum Packet Delay = 1.5s ) 這兩個觀察點。使用者在傳輸過程中受到的封包延遲，越高比例的使用者得以在觀察的延遲時間範圍內完成傳輸資料，代表越多使用者滿意系統所提供的服務，也表示演算法分配資源的效果越佳。在圖 6.4.4、6.4.5、6.4.6、6.4.6 與 6.4.7 中，分別表示在一種使用者到達率下，系統使用不同封包排程演算法，使用者對於服務品質的滿意程度，即利用使用者封包延遲的累計分佈函數 ( Cumulative Distribution Function ) 來表達。其中亦可觀察到隨著使用者到達率的提升，由於系統資源本身的限制，使得越多使用者需等待被安排傳輸，導致越多使用者不能在觀察的時間內完成工作，所以滿意程度亦愈低。

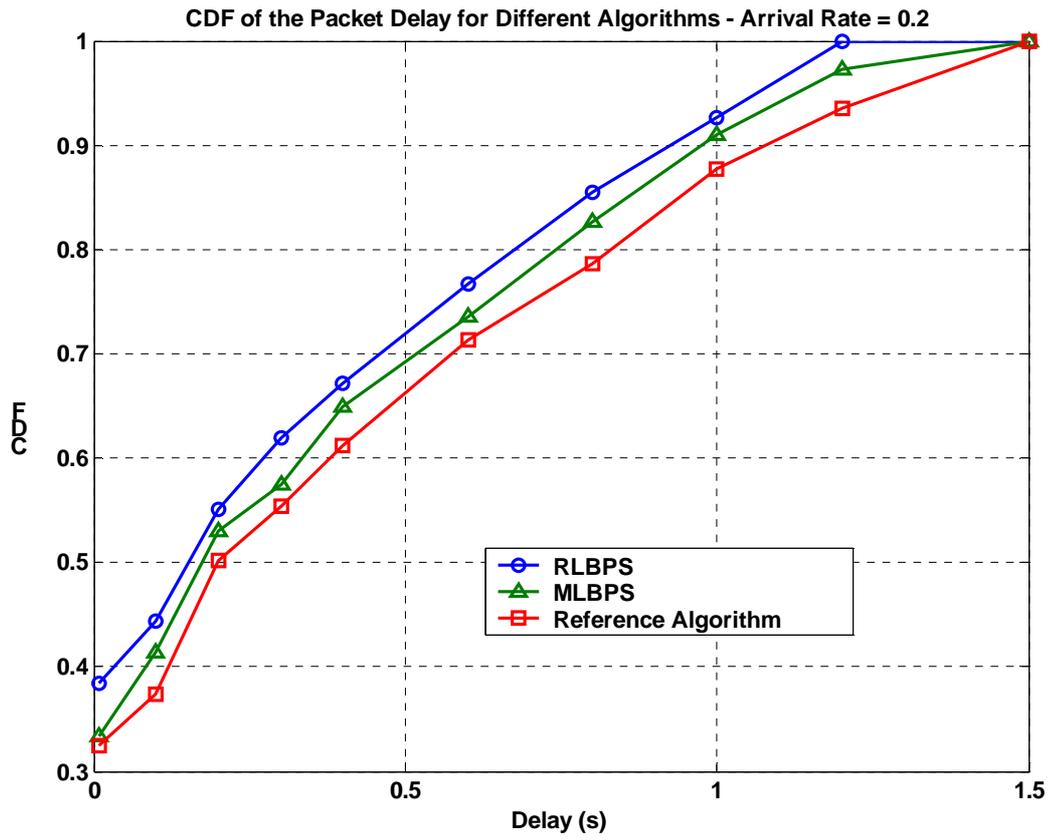


圖 6.4.4 比較使用不同封包排程演算法與在使用者到達率為 0.2 時，使用者封包延遲的累計分佈函數 (Cumulative Distribution Function)

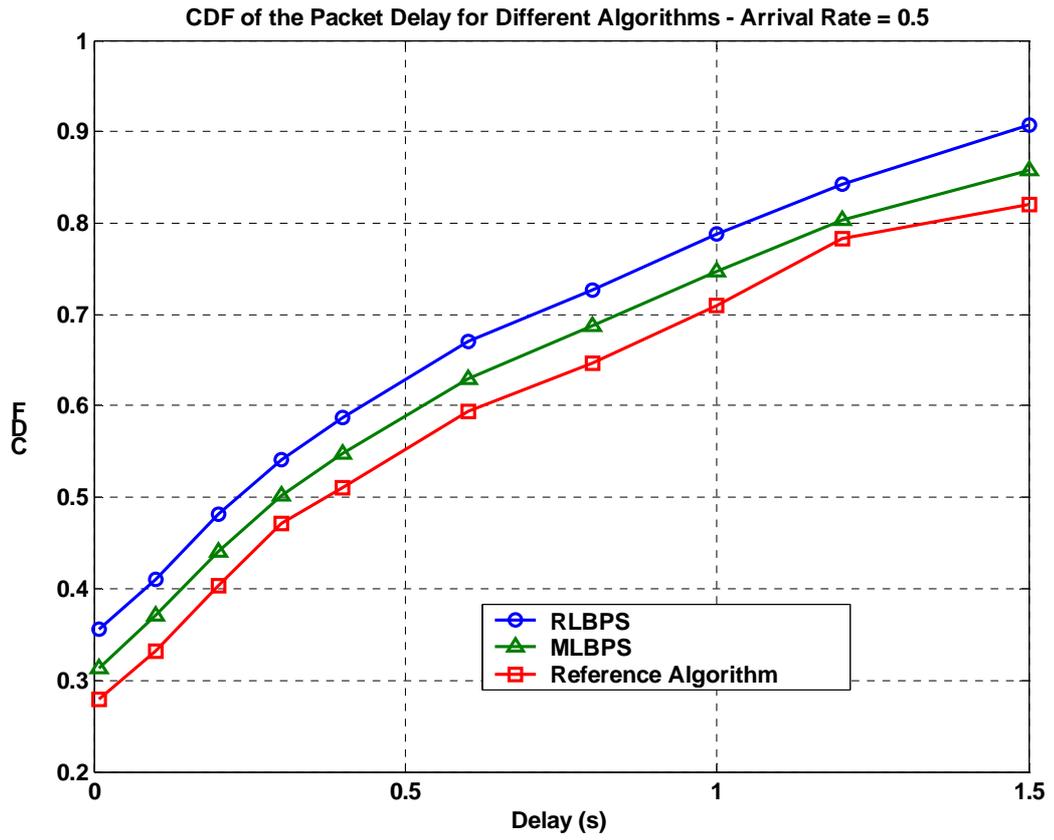


圖 6.4.5 比較使用不同封包排程演算法與在使用者到達率為 0.5 時，使用者封包延遲的累計分佈函數 (Cumulative Distribution Function)

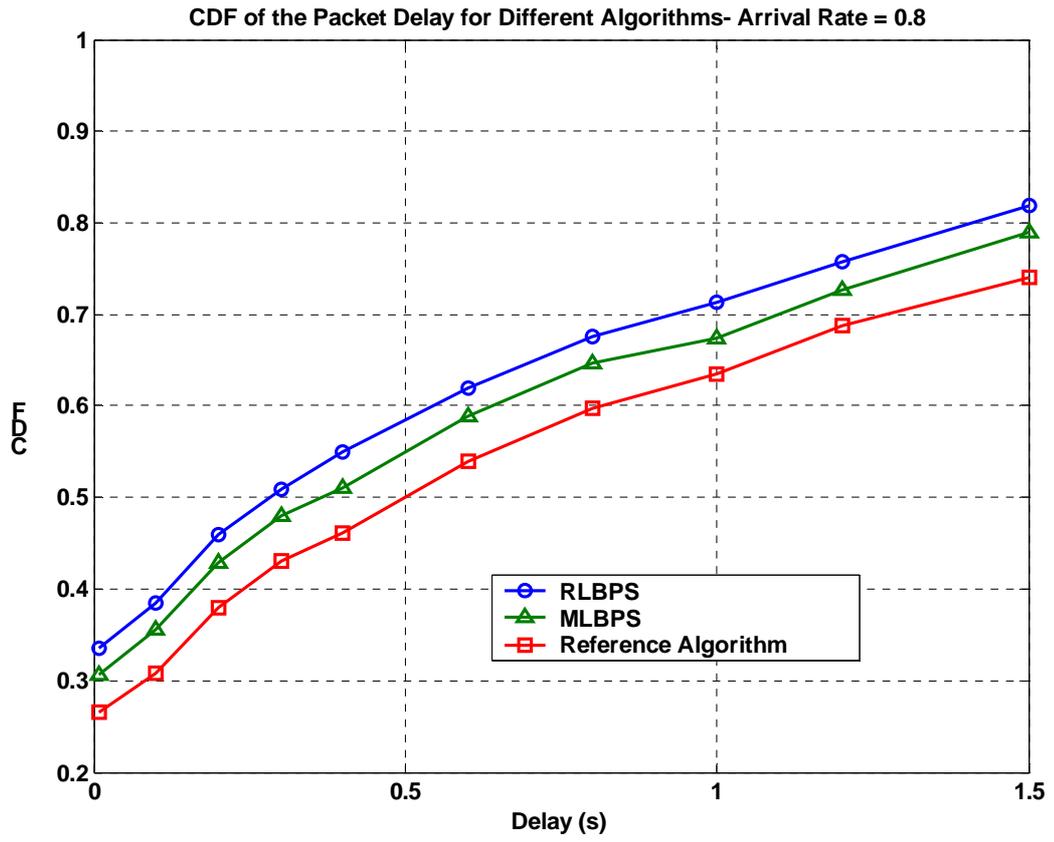


圖 6.4.6 比較使用不同封包排程演算法與在使用者到達率為 0.8 時，使用者封包延遲的累計分佈函數 (Cumulative Distribution Function)

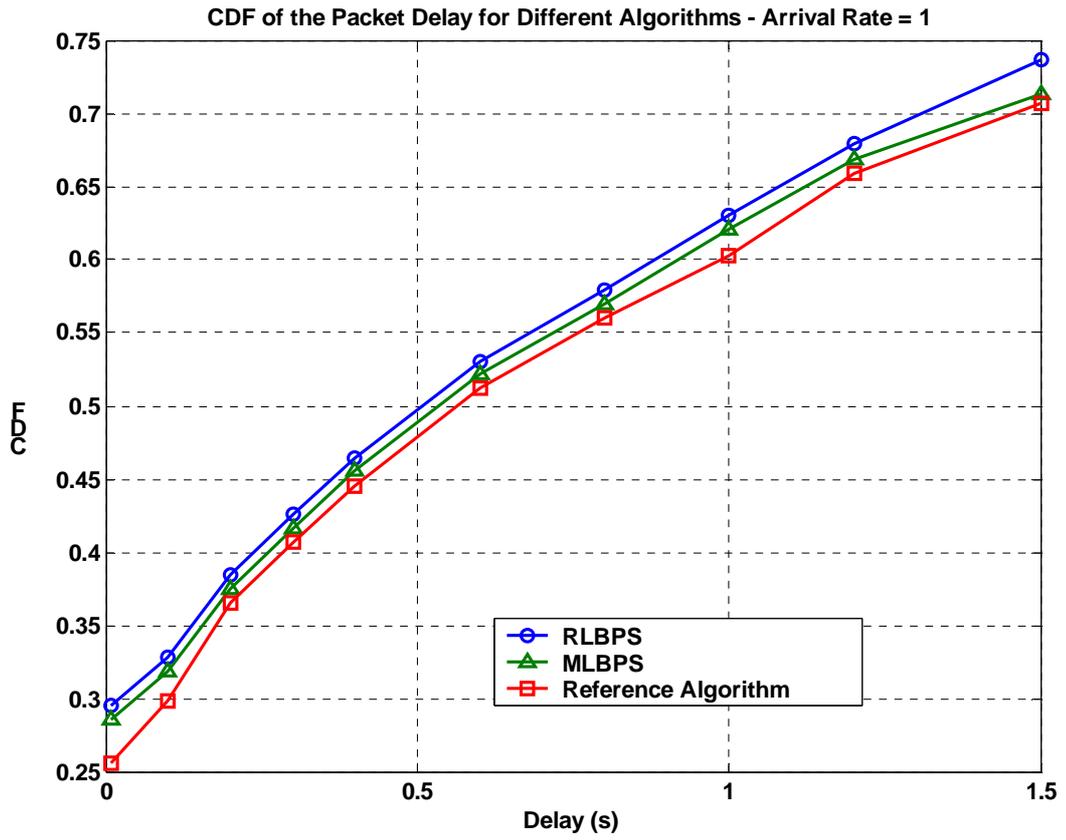


圖 6.4.7 比較使用不同封包排程演算法與在使用者到達率為 1 時，使用者封包延遲的累計分佈函數 (Cumulative Distribution Function)

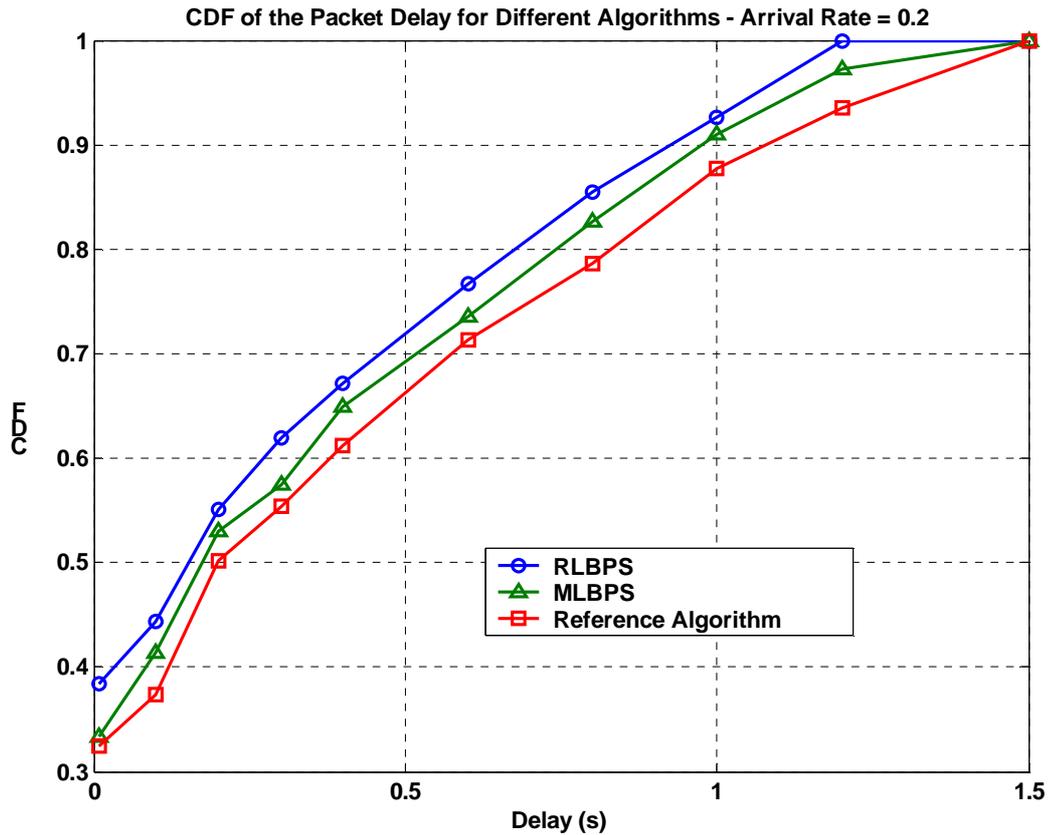


圖 6.4.8 比較使用不同封包排程演算法與在使用者到達率為 2 時，使用者封包延遲的累計分佈函數 (Cumulative Distribution Function)

接著針對系統資源的使用效率而言，封包排程演算法越妥善分配每位數據服務使用者可利用的系統資源，將會使傳輸時的資料遺失率下降，同時降低資料重傳的次數，而使傳輸延遲下降，進而在較快與安全的傳輸下，使得系統越快完成使用者所需傳送的資料，降低使用者在排程過程中的佇列延遲，使更多的使用者得以進行傳輸，此情況下可增加系統在一段時間內成功傳送的資料量，即系統運算量 (Throughput)，亦表示系統的容量。圖 6.4.9 比較我們設計的 RLBPS 與 MLBPS 演算法、參考文獻中的演算法及沒有封包排程時系統在不同使用者到達率 (Users Arrival Rate) 下的系統運算量。

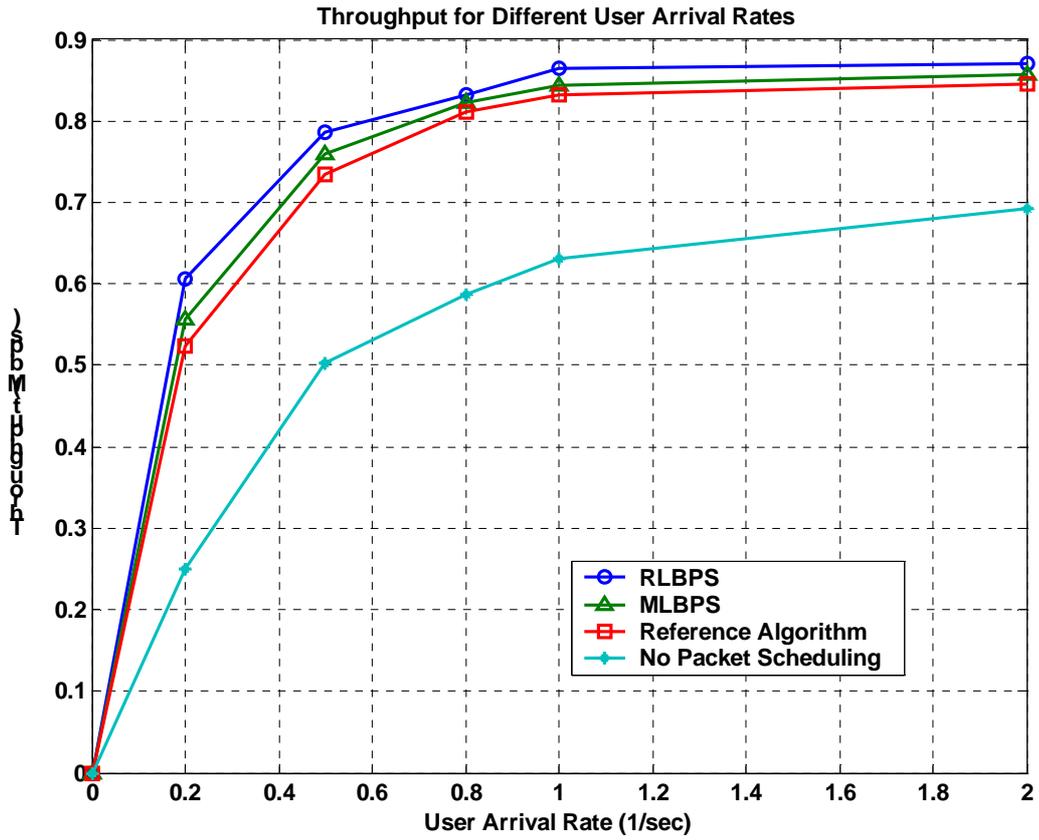


圖 6.4.9 比較使用不同封包排程演算法時的系統運輸量

從模擬結果顯示在設計演算法時我們對各演算法提出的問題與效能的預測與實際結果相符合，亦代表前面所述設計時的考量是封包排程演算法重要的依據。

## 第七章 結論

強調多媒體服務是未來通訊系統的趨勢，第三代行動通訊系統在多媒體服務的前提下提供使用者不同資料傳輸速率與品質要求的多重服務型態 ( Multiple Service )，而確保服務品質 ( QoS ) 並妥善分配其空中介面之系統資源以增加系統運輸量是一項重要的議題，因此無線資源管理的領域將備受重視。本研究針對 WCDMA 系統在上鍊傳輸中無線資源管理提供相關的解決方案。本研究除推導 WCDMA 系統在多重服務型態下系統資源評估的準則與依據及說明無線資源管理演算法中新使用者連結程序的允入控制外，主要著重於當資料以封包交換模式進行傳輸並在系統提供服務品質的環境下所考慮無線資源管理的問題，而發展出兩種新的封包排程演算法，促使系統資源有效被利用，以滿足使用者本身對於服務品質的要求與增加系統運輸量。接著，本研究的特色與結果總結如下：

- λ 整體研究的推論與演算法的設計是從實際系統規劃的角度為出發點，使得結果具備實際性與合理性。
- λ 本研究是在整體相關之無線資源管理演算法如軟式換手轉換，實際功率控制與允入控制等一起運作下去探討封包排程演算法的效能，使得相關演算法的效應得以被考慮，使演算法更具完備性。
- λ 推論 WCDMA 系統之無線資源評估的依據。基於 WCDMA 系統軟式容量 ( Soft Capacity ) 的特性與滿足傳輸時所需的服務品質下，推論系統從提供單一服務型態到多重服務型態時，可利用負載的觀點來衡量系統資源的現況，並配合系統規劃的角度衍生出以雜訊上升指數 ( Noise Rise ) 作為評估與管理資源的根據。
- λ 根據允入控制與封包排程為直接分配與管理無線資源的特性，再依據對於 WCDMA 系統資源評估的推導，我們將兩者演算法的準則設計成一體且與雜訊上升指數相關，使得未來系統資源的控制具有整體性。
- λ 以最大負載為依據的封包排程演算法，在合理的負載假設下，尤其是當使用者到達率高時，大幅度的降低演算法的複雜度，並考慮了優先權、使用者服務品質、其他演算法的效應與通道時變性等問題，做出資源分配時的遺失補償，所以提高封包排程的效能。
- λ 以實際負載為依據的封包排程演算法，修正上述演算法的缺失，以達在考慮補償問題與滿足使用者服務品質下，使用者以最小傳輸功率進行傳輸，並使資料遺失率、封包延遲等效能降低，且提高系統的運輸量。

## Part II

# 適用於 OFDM/CDMA 系統之適應性資源分配演算法

## 第一章 簡介

在目前所發展的 WCDMA HSDPA 以及 CDMA2000 1xEVDO 系統中，皆引入了適應性調變技術以動態地根據通道狀態以調整最佳的系統參數，藉以獲取通道變化的好處。在行動通訊系統中，時變通道(time variant channel)一直是訊號傳輸時所必須克服的困難點，且其難度隨著傳輸速度上升而更形加大。單一使用者的資料傳輸率上升可藉由 OFDM 技術克服伴隨而來的訊號被破壞問題，但對於系統整體而言，若在控制機制上未針對通道變動性進行考量，將迫使系統在參數決定時做出較保守的決定以確保訊號傳輸的品質，但這將導致系統資源的浪費，進而使得系統可支援的使用者數量或資料流量下降。目前廣泛被討論的適應性調變技術其精神在於根據即時的通道變化，以修正調變模式(modulation scheme)、編碼比率(coding rate)以及展頻係數(spreading factor)來配合當時的通道條件。

然而在 OFDM 系統中，由於系統可選用的子載波數量眾多，且由於各子載波位在頻譜上不同的位置，導致其通道狀況各不相同。這使得傳統的適應性調變技術無法直接適用於 OFDM 系統，而整個適應性參數調整的問題亦應該被延伸為適應性資源分配(resource allocation)問題，並不僅僅是在調變模式上的改變，尚額外包含了子載波的選擇問題。此外，由於目前關於 OFDM/CDMA 系統運作的相關研究甚少[4][55,56]，且或許由於商業考量，該類資料對於系統細節之描述甚為模糊。為了建立起系統運作的準則，首先必須先探討以及定義的便是在 OFDM/CDMA 系統中的資源是以何種形式存在。確立了系統資源的形態後，方可研究與推論資源應該如何分配，此時允入控制(admission control)才得以確立判斷是否有足夠資源以服務新進使用者的依據為何。綜而言之，資源分配的準則是建立起系統運作機制時的核心考量，其它無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)演算法的開發都將以此為基準。且適應性資源分配演算法的核心，亦可推衍成適應性參數調整的形式。

為了達成適應性的參數調整，每個使用者與基地台間的連線勢必需要不斷地交換資訊，並由基地台根據最即時的資訊來做出最適合的參數決定。如何讓手機

端將完整的通道資訊回傳給基地台是整個問題能否解決的關鍵，特別在 OFDM 系統往往有上千根子載波可使用的情況下，如何設計回傳訊號既能充分將通道資訊傳回，同時又不致於將上傳通道的資源消耗待盡是本研究所面臨的巨大挑戰。除此之外，周期性的由基地台調整連線參數勢必應與現有周期性控制的機制整合以減輕系統負擔，而封包排程(packet scheduling)便是最佳的整合對象。

本研究第二部份針對 OFDM/CDMA Downlink 系統的運作進行了先期的研究，目標在確立資源分配的準則以及系統運作初步的規範以供第三年度研究之用。一套以可承載系統流量(throughput)最佳化為目標之資源分配演算法將在本篇報告中被提出，同時將該演算法與系統准入控制及封包排程演算法進行整合，確保其可行性。在資源分配時最大的困難點便是如何讓手機估測到的通道狀態完整的回傳給基地台作為決策之用，此問題在子載波數量極為龐大的 OFDM 系統中是一個非常嚴峻的問題。本研究報告亦提出一套可行之回傳訊號設計，以大幅壓縮回傳的資訊量，進而避免消耗過多的上傳通道資源，且能將完整的通道資訊回傳。此部份為 OFDM/CDMA 系統之先期研究，其成果將成為下年度研究進行時之設計基礎。

## 第二章 系統架構

本部份的研究成果是透過本年度總計劃所開發之系統模擬平台進行電腦模擬所得，故電腦模擬進行時所採用之基本模型將不會在本章重覆，內容將著重於 OFDM/CDMA 系統設計時較特殊之處。由於目前並未有任何的商用的系統已導入 OFDM/CDMA 技術，對於該類系統中換手機制的設計亦無可參考的資料，且本年度的研究進度亦尚未涵蓋該項目，因此目前系統設計時仍以單一基地台 (single cell) 為考量，俟下年度的研究進行時方會針對多細胞 (multiple cell) 環境進行考慮。

### 2-1 涵蓋區規劃

一般在進行無線通訊系統下鍊 (downlink) 傳輸研究時，較少談論涵蓋範圍的規劃，而僅給定基地台功率資源的限制來進行研究。由於本研究牽涉到全新的通訊系統之設計，現有商用系統之參數不見得適用，故須透過鍊路預算 (link budget) 來估算合理之功率限制以為系統運作之用。在本計劃報告書之簡介中已提及在新一代通訊系統之上鍊 (uplink) 傳輸中，以單載波為基礎之系統架構有助於降低手機端之硬體複雜度，且較易自現有 CDMA 系統加以延伸，故本計劃所考慮在上鍊傳輸之設計依然以單載波之 CDMA 技術為考量的基礎。之所以須先釐清上鍊傳輸架構之原因在於，系統涵蓋範圍往往較受限於上鍊的傳輸，其原因在於手機端之最大傳輸功率往往小於基地台甚多，而基地台受惠於固定電源的支援，可具有較高的功率上限。因此整個規劃流程乃先藉由上鍊通道的涵蓋區與容量規劃訂出基地台的涵蓋範圍，再透過下鍊通道的鍊路預算反向估算出基地台欲支援該涵蓋範圍所須提供訊號功率下限，以為最大功率限制參數決定之依據。

表 2.1.1 為 CDMA 上鍊之鍊路預算規劃，可觀察到所規劃的基地台涵蓋範圍為 2.95 公里，爾後電腦模擬進行時便以該值為運作的基礎。而如表 2.1.2 所示，將所規劃出的涵蓋範圍代入鍊路預算可反推出基地台至少需具備 65.46W 的傳輸功率才足以支援如此的涵蓋範圍，在訂定基地台最大傳輸功率時便不可低於該值，以確保基地台對該涵蓋範圍內的使用者皆具有服務能力。目前的行動通訊系統合理之最大額定功率最高約可至 100~150W 左右，本研究並不針對該部份進行討論，僅選擇合理的假設以進行研究的進行，以確保研究成果之實用價值。而鍊路預算中之各參數所代表之物理意義與其計算方法可參閱本年度總計劃之報告書。

Uplink Link Budget			
Item	Units	Values	Comments
<b>Transmitter (mobile station)</b>			
(a) Max. mobile transmission power	dBm	21	
(b) Mobile antenna gain	dBi	0	
(c) Body loss	dB	3	
(d) Equivalent Isotropic Radiated Power	dBm	18	$d=a+b-c$
<b>Receiver (base station)</b>			
(e) Thermal noise density	dBm/Hz	-173.93	$N_0=KT$ ; $K=1.38*10^{-23}$ , $T=293$
(f) Base station receiver noise figure	dB	5	
(g) Receiver noise density	dBm/Hz	-168.93	$g=e+f$
(h) Receiver noise power	dBm	-101.94	$h=g+10*\log_{10}(5000000)$ ; Rx bandwidth = 5MHz
(i) Interference margin	dB	3	max. planned noise rise
(j) Receiver interference power	dBm	-101.94	$j=10*\log_{10}(10^{(h+i)/10}-10^{h/10})$
(k) Total thermal noise+interference power	dBm	-98.94	$k=10*\log_{10}(10^{h/10}+10^{j/10})$
(l) Processing gain	dB	26.81	$l=10*\log_{10}(10^{3840/8})$
(m) Required Eb/No	dB	5	
(n) Receiver sensitivity	dBm	-120.75	$n=m-l+k$
(o) Base station antenna gain	dBi	0	consider omni-directional antenna
(p) Cable loss in the base station	dB	2	
(q) Fast fading margin	dB	0	when high speed, no fast fading margin
(r) Max. allowable propagation loss	dB	136.75	$r=d-n+o-p-q$
Coverage probability	%	95	
Log normal fading constant	dB	8	
Propagation model exponent		3.52	
(s) Log normal fading margin	dB	9	if no cell selection, need 13.2
(t) Soft handover gain, multi-cell	dB	3	
(u) In-car loss	dB	6	
(v) Allowed path loss for cell range	dB	124.75	$v=r-s+t-u$
Corresponds to 2.95 km cell radius by Vehicular path loss model			

表 2.1.1 上鍊鍊路預算

Forwardlink Link Budget			
Item	Units	Values	Comments
<b>Transmitter (base station)</b>			
(a) Max. base station transmission power	dBm	<b>P</b>	
(b) Base station antenna gain	dBi	0	
(c) Avg number of users by UL planning		53.43	
(d) Equivalent Isotropic Radiated Power	dBm	p	$d=a+b-10*\log_{10}(c)$
<b>Receiver (mobile station)</b>			
(e) Thermal noise density	dBm/Hz	-173.93	$N_0=KT$ ; $K=1.38*10^{-23}$ , $T=293$
(f) Base station receiver noise figure	dB	5	
(g) Receiver noise density	dBm/Hz	-168.93	$g=e+f$
Number of subcarriers		1024	
Frequency spacing	KHz	80	
(h) Receiver noise power	dBm	-89.79	$h=g+10*\log_{10}(81920000)$ ; Rx BW= 81.92MHz
(i) Processing gain	dB	24.08	$i=10*\log_{10}(256)$
(j) Required Eb/No	dB	5	
(k) Receiver sensitivity	dBm	-108.87	$k=j-i+h$
(l) Mobile station antenna gain	dBi	0	consider omni-directional antenna
(m) Body loss	dB	3	
(n) Fast fading margin	dB	0	when high speed, no fast fading margin
(o) Max. allowable propagation loss	dB	$p+105.87$	$o=d-k+l-m-n$
Coverage probability	%	95	
Log normal fading constant	dB	8	
Propagation model exponent		3.52	
(p) Log normal fading margin	dB	9	if no cell selection, need 13.2
(q) Soft handover gain, multi-cell	dB	3	
(r) In-car loss	dB	6	
(s) Allowed path loss for cell range	dB	$p+93.87$	$s=o-p+q-r$
For allowed path loss equal to UL, we can find $p+93.87=124.75$ $\Rightarrow p= 30.88 \Rightarrow P= p+10*\log_{10}(53.43)= 48.16$ (dBm) = 18.16 (dBW) = 65.46 (W)			

表 2.1.2 下鍊鍊路預算

## 2-2 通道模型

在多載波系統中，和傳統單載波系統最大的不同便來自於通道形態的差異，故本節將針對多載波系統所面臨的通道加以說明。而通道效應可分為三個部份：路徑損失(path loss)、遮蔽衰落(shadow fading)以及多路徑衰落(multipath fading)，但路徑損失與遮蔽衰落在單載波與多載波系統中並無差別，故本節將直接針對多路徑衰落在多載波系統中的形態加以介紹與討論。

訊號在傳播通常是經過多次反射後才被接收到，因此會產生多路徑(multipath)傳播的效果，而電磁波在到達接收機的過程中，會因為通道環境中種種障礙物使得電磁波會歷經反射、繞射、散射等作用後，由不同方向抵達接收端，此種現象稱為多路徑現象。而這些從不同路徑抵達的訊號，彼此有著不同的入射角度、抵達時間、振幅大小、相位，並相互獨立。我們稱這些信號為多重路徑成份(multipath components)，這些訊號在接收端相加成之後才是天線真正收到的訊號。

而當使用者移動時，由物理學的理论可知接收到的訊號載波頻率將會遭受都卜勒(Doppler)效應而偏移，再加上因為多路徑傳播造成訊號在使用者周圍環境有散射效應(scattering)，導致來自不同方向的訊號所遭受到的都卜勒偏移程度皆不相同。由於來自各方向的訊號遭受頻率偏移程度不一，因此這些訊號到達接收端時的相位都不盡相同。相位相加的方式有兩種：建設性及破壞性，為了簡化說明多重路徑現象對於接收信號的影響，假設只有兩個路徑到達接收端。若路徑 A 代表第一個到達接收端的成份，B 代表第二個到達接收端的成份，假設我們發現路徑 B 幾乎與 A 同相，所以合成的信號為建設性相加；相反的，將造成破壞性相加，使得合成的接收信號變得微小，因此造成訊號的起伏。此散射所造成的訊號強度起伏，再配合上多路徑傳播造成相同訊號抵達接收端會有時間差，便構成了一般無線通道中的多路徑衰落。由於此種衰落變化速度較遮蔽衰落快很多，又稱此為快衰落(fast fading)，而稱遮蔽衰落為慢衰落(slow fading)。藉由圖 2.2.1 所描繪的傳播空間可以清楚的看出多路徑與散射效應的成因。另一個重要的參數則是延遲擴散(delay spread)，延遲擴散是由於在電波傳播在多重路徑情況下接收機所接收的訊號會在不同時間點抵達之現象。其成因在於訊號經不同路徑所經歷的傳播距離並不相等，在電磁波傳播速度相同的情況下，導致同一時間發出的訊號會在不同的時間點抵達。再加上經各路徑抵達之相同訊號在相位(phase)上所遭受的影響皆不相同，因此在接收端可能有相互加成或抵消的現象，進而產生的衰落的結果。在 OFDM 系統中，為了消除多路徑傳播所造成的影響，保護區間(guard interval)的長度需大於通道延遲擴散的長度，以確保訊號不會受到具頻率選擇性的衰落(frequency selective fading)效應。

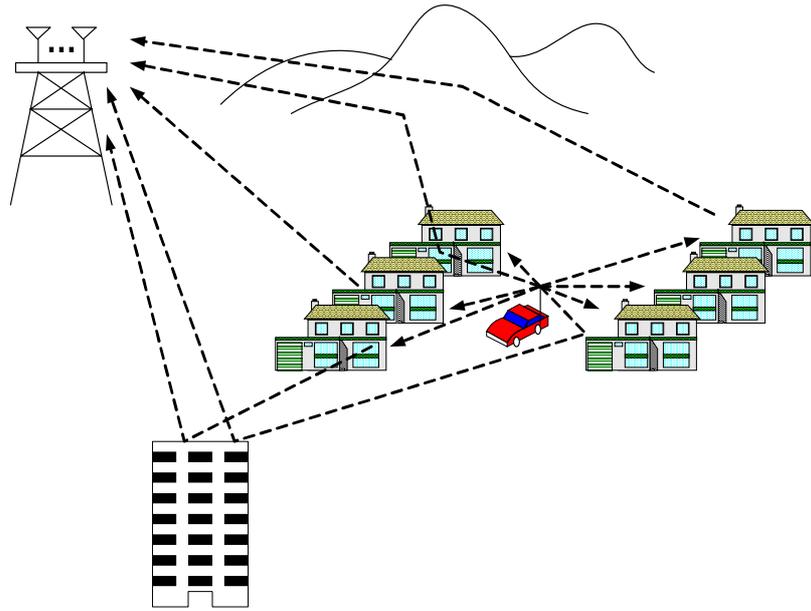


圖 2.2.1 多路徑傳播模型

在圖 2.2.1 中，使用者與基地台間訊號傳播時會有兩條主要的路徑，相較於沒有經過反射的情況，訊號經此兩條傳播路徑到達接收端時分別延遲的時間也不同秒。其中延遲  $\tau$  代表經由山所反射傳播的訊號，也代表訊號在傳播空間中是經由某大型的障礙物反射至接收端的。由於訊號被大型障礙物反射時會有漫射 (diffraction) 的效果，因此訊號反射至使用者接收端附近時還會再被附近的小障礙物反射或折射，造成使用者所收到經某一路徑到達的訊號，事實上是從四面八方來的。此種情況在市區中或傳播環境很混亂的情況下特別明顯，也因此造成了散射效應。同理，經由路徑二所傳播的訊號到達使用者附近時，亦會因接收端周圍傳播環境的變化(在此為大樓)造成使用者接受到從該路徑到達的訊號，事實上是從四面八方而非特定方向到達的。

在描述通道環境之多路徑特性時，通常皆以通道之脈衝響應 (impulse response) 呈現。其物理意義在於藉由發射在時間軸上極短的脈衝，其經過通道中不同的路徑會在不同的時間點抵達接收端，而在接收端只要觀察所收到多個脈衝相對的時間點便可得知訊號經過該通道會經過何種多路徑效應。本研究進行時皆以 802.20 規格制定中所採用之技術文件 [57] 做為參考依據，不同的模擬環境將反映在時域通道脈衝響應 (impulse response) 之傳播路徑數目與相對延遲擴散之中。圖 2.2.2 通道脈衝響應所代表之模擬環境適用於使用者處於戶外並搭乘交通工具移動之情況 (Channel A)<sup>†</sup>，包括了六條主要反射路徑組成，且通道的最大延遲擴散為  $2510\text{ ns}$ 。模擬平台在設計時 OFDM 符元間距為  $15.625\text{ }\mu\text{s}$ ，保護區間長度為  $3.125\text{ }\mu\text{s}$ ，便是為了確保就算在此種較惡劣的通道環境中，訊號傳輸時所遭受的延遲必會落在保護區間之長度內，以進一步確保 OFDM 各子載波彼此間沒有干擾，並維持住 OFDM 符元的正交性。

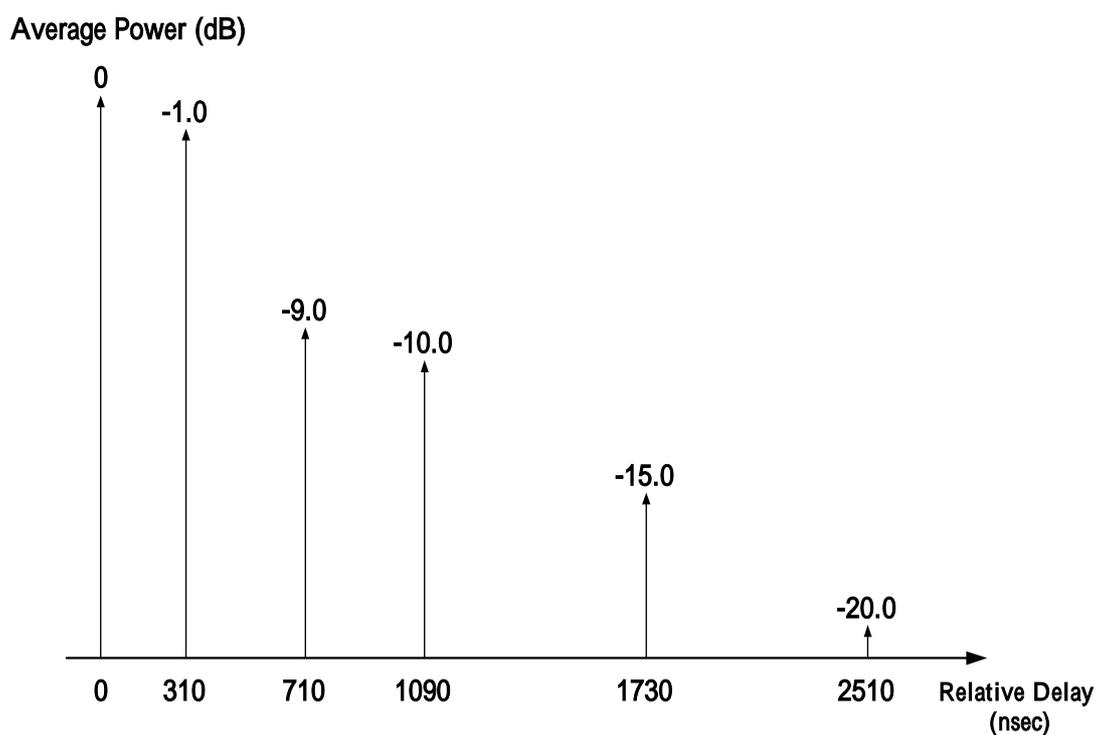


圖 2.2.2 電腦模擬時所引用之通道脈衝響應(Channel A)[57]

為了模擬出多路徑衰落的效果，除了藉由時域通道脈衝響應來模擬多路徑傳播的效果，最重要的就是模擬散射(scattering)的效果。最常在系統模擬使用的便是 Jakes 模型，其考慮之訊號散射環境如圖 2.2.3 所示。

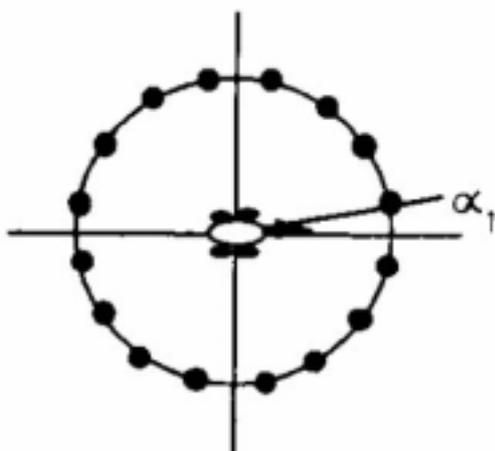


圖 2.2.3 Jakes 模型所考慮之訊號入射角度

此模型假設使用者鄰近的反射物在二維的平面上是數量有限且均勻分佈。如此一來，當使用者朝某個方向移動時，來自每個反射物的訊號所遭受的都卜勒頻

率偏移(Doppler frequency offset)便可得知。由於使用者手機上的天線幾乎都是無指向性(omni-directional)天線，因此所收到的訊號便是來自每一個反射物的訊號加總的結果。經由 Jakes 模型配合所考慮之通道脈衝響應模型便可在電腦中模擬出多路徑衰落通道之效果，如圖 2.2.4 所示。

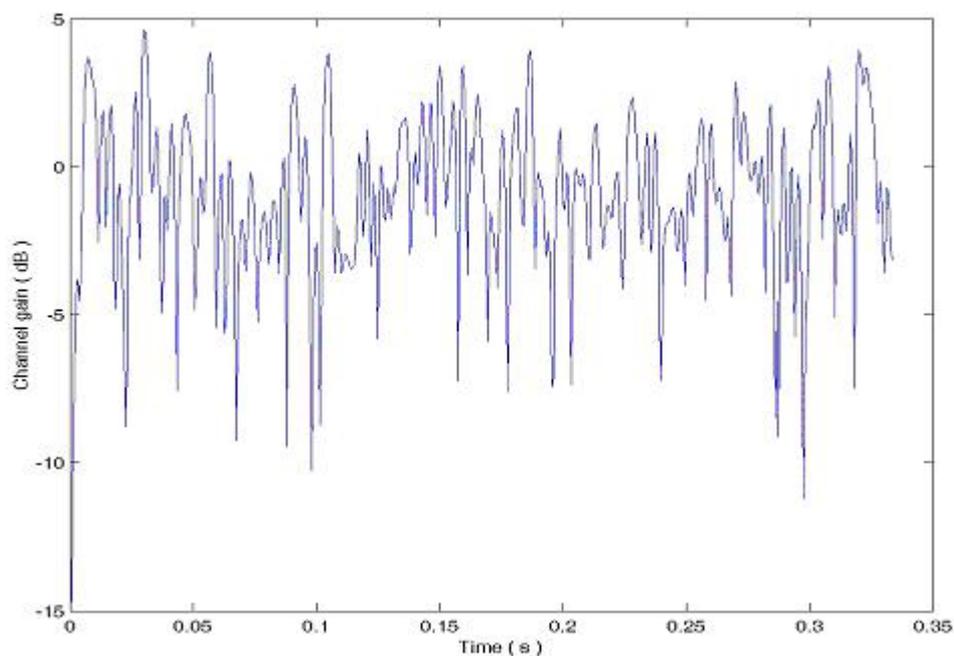


圖 2.2.4 多路徑衰落通道

然而在圖 2.2.4 中所顯示的是在特定載波上所觀察到通道隨時間的變化，但並無法反映出同時在多根載波上所觀察到的通道響應。為了觀察此效果，可將所產生的多路徑衰落響應進行傅利葉轉換(Fourier transform)，便可得到通道在頻域的響應。本研究所設計的系統共有 1024 根子載波，因此前述產生的通道響應再進行 1024 點之傅立葉轉換，便可觀察到通道在時域以及頻域上之響應，如圖 2.4.5 所示。

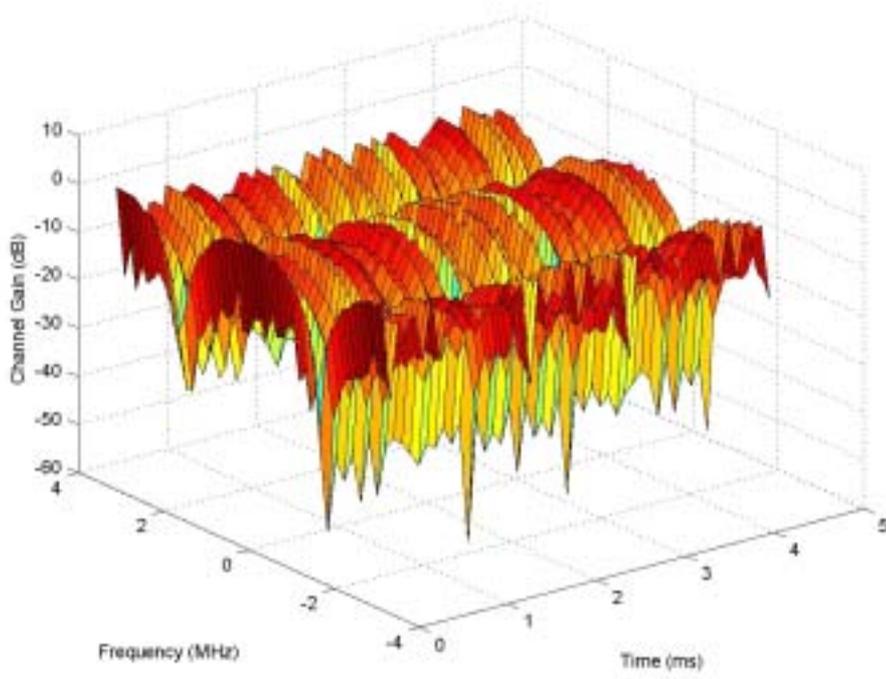


圖 2.4.5 多路徑衰落在時域及頻域之效應

## 2-3 傳送接收機架構

本研究所設計的資源分配演算法是提供給 OFDM/CDMA 系統所使用，然而目前有多種 OFDM/CDMA 的架構不斷的被提出，也正被研究人員們熱烈的討論著。目前已被提出的架構包括了：multi-carrier CDMA (MC/CDMA)、multi-carrier direct-sequence CDMA (MC DS/CDMA)、及具多維展頻之 CDMA [58-60]。本研究所考慮的架構為 MC DS/CDMA 之一種延伸，配合適應性子載波選擇的特性，每個子載波上所載之資料皆不相同。其傳送接收機之架構如圖 2.3.1 所示。

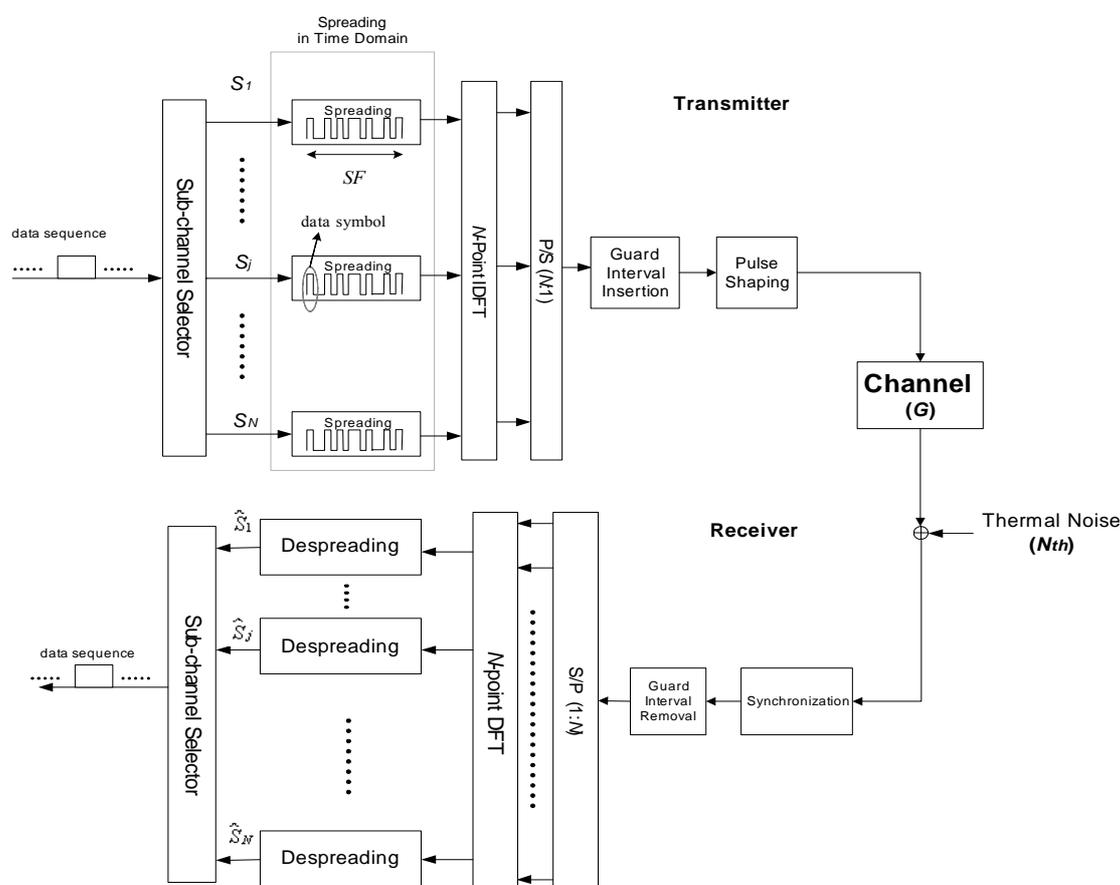


圖 2.3.1 OFDM/CDMA 傳送接收機架構圖

由圖中可知，資料串流(data stream)經過子通道選擇器(sub-channel selector)後將會根據資源分配演算法的決定被分送至對應的子通道中，而在本研究中每個子通道僅對應一個子載波，故不同的子資料流將會被分送至指定的子載波上。各子載波中的每個資料符元(data symbol)將會先經過時域展頻(time domain spreading)後，再被一起送至離散傅利葉轉換器(Discrete Fourier Transform, DFT)中並加上保護區間(guard interval)後成為一個 OFDM 符元。在經過通道時會遭受通道損失  $G$  的影響，並且在接收端引入熱雜訊  $N_{th}$ 。其中  $G$  及  $N_{th}$  各為一  $N$  維向

量，代表通道損失以及熱雜訊在每一根子載波上的影響。由於目前所考慮的環境為單一基地台，故不會有來自其他基地台之干擾(other cell interference)，且由於展頻係數的長度將會被設計成小於通道之同調時間(coherence time)的長度，故來自相同基地台其他使用者的干擾(intra cell interference)在解展頻後亦會完全被消除掉。如此一來，會影響到每根子載波上訊號品質的變因便集中在通道損失以及熱雜訊之上，而這也將成為下一章資源分配問題定義時之根據所在。

# 第三章 無線資源管理演算法

本章將介紹兩種適用於 OFDM/CDMA 之無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)演算法，分別是允入控制(admission control)、封包排程(packet scheduling)演算法以及適應性子載波選擇(adaptive sub-carrier selection)。此這些演算法皆將是適應性資源分配演算法設計之基礎所在，將在下一章介紹之。

## 3-1 允入控制

允入控制的目的是在於使用者提出新的服務請求(request)時，系統預先根據當時的負載來衡量允許該使用者加入後對系統所會造成的影響，並據以決定是否應同意該使用者的服務請求。設計不當的允入控制演算法可能會導致新加入的使用者衝擊到既有使用者的服務品質(Quality of Service, QoS)，抑或是最終並無法滿足新使用者對於服務品質的要求。因此在設計時須特別釐清的重點在於：系統資源之定義為何以及使用者對於服務品質的要求為何，其內容隨著使用者之特性不同亦有所不同，因此在設計演算法之前便應先定義出系統中之使用者分為哪些類型。

在本研究中，使用者之服務型態被區分為兩種不同的典型：即時性(Real-Time, RT)服務與非即時性(Non Real-Time, NRT)服務。其特性列於表 3.1.1 之中。

	即時性服務	非即時性服務
例	語音通話、串流式影音	網頁瀏覽、資料下載
資料傳輸率要求	固定	非固定
資料延遲容忍	不允許	允許(有上限)

表 3.1.1 即時性與非即時性服務特性

由表 3.1.1 中可看出兩種服務型態有非常不同的品質要求，這將直接影響允入控制對於不同類型使用者決策之考量。當使用者要求使用即時性服務時，系統必須確定有足夠的資源可立即提供給使用者，否則便不應該允許使用者進入。而對於非即時性服務的要求，就算當時沒有足夠的資源亦可先允許使用者進入，俟之後系統中有空閒資源時再提供該使用者使用。由於在無線通訊系統中，最大的資

源限制便在於傳輸功率的上限，因此當系統評估當時剩餘的功率資源不足以支援該使用者的服務需求時，便會拒絕該使用者的進入。

然而非即時性使用者對於傳輸延遲的容忍能力並非無限制的，當延遲超過一定程度很可能會導致更上層(upper layer)的通訊協定無法正常工作而導致傳輸失敗。因此對於非即時性使用者要求進入系統時，允入控制演算法所觀察的指標將是系統內當時所有使用者的平均資料傳輸延遲，以避免新使用者的加入造成系統內非即時性服務之傳輸延遲更加惡化至無法接受的程度。整個允入控制演算法的流程如圖 3.1.1 所示。

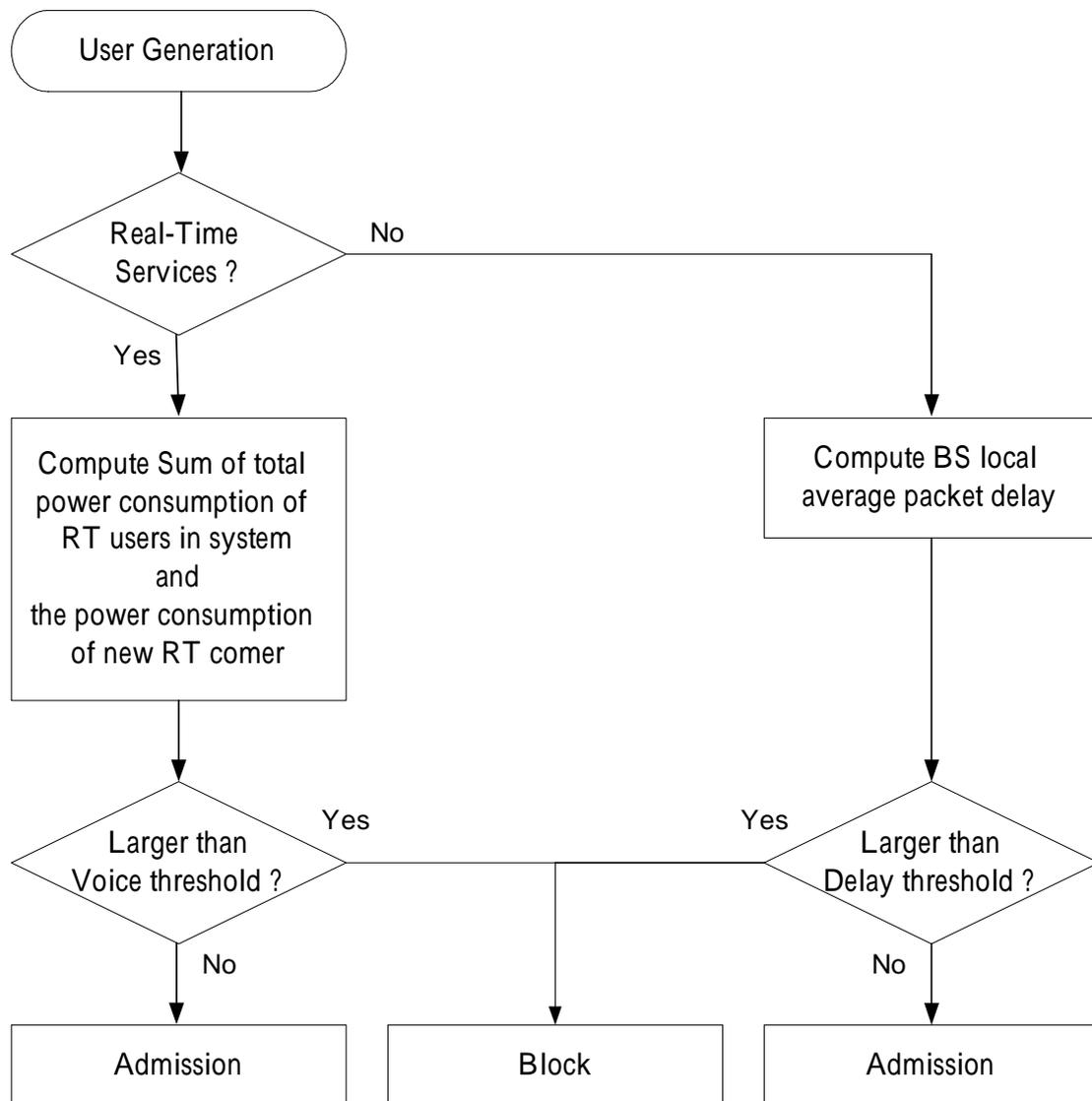


圖 3.1.1 允入控制演算法流程圖

簡而言之，系統考慮是否允許新使用者進入系統時，需根據可能對既有使用

者連線品質造成的影響與系統當時的狀態來判斷應該允許或拒絕該使用者進入系統。此種演算法稱為允入控制(Admission Control)演算法。實現允入控制的主要目的與影響有：

λ **無線功率資源的分配。**

當使用某一類服務的使用者造成系統的狀態超過一定程度時便阻止該類使用者的進入，以保留資源給其他類型的服務使用。

λ **確保新使用者被拒絕(Blocking)進入系統的機率在容許值中。**

若將進入系統的門檻值設的過低，雖然可使系統中的使用者不被斷線，但會造成新使用者無法進入系統，換言之，系統保留過多的資源而浪費。

λ **確保訊號的傳輸服務品質(QoS)，如訊號干擾功率比(SIR)、位元能量與干擾密度比值( $E_b / N_0$ )或位元錯誤率(Bit Error Rate, BER)。**

因為使用者不斷增加時，干擾功率將不斷上升，則傳輸訊號的功率相對減弱而無法維持在使用者所要求的品質，所以需要有控制新使用者進入系統的機制。

## 3-2 封包排程

封包排程(packet scheduling)的概念其實是延用自電腦網路中路由器(router)所使用的功能，其主要目的在於避免資料發生碰撞(collision)，並藉由傳送優先權的安排來實現不同等級的服務品質(QoS)。在無線網路中要支援封包(packet)資料時，此功能將扮演非常重要的角色，其主要原因在於無線網路中的頻寬資源更為昂貴但卻更稀少，若不妥善安排訊號傳送將很容易導致資料在空中發生碰撞，浪費珍貴的無線頻寬資源，並進而影響服務品質。在本研究的第一部份已針對上鍊傳輸時之封包排程演算法進行設計，本節將介紹下鍊傳輸時的演算法設計。

當使用者進入系統後，系統資源的分配可能在滿足傳輸服務品質的前提下，由於使用者傳輸行為(如改變資料傳輸速率)、資料流量型態(如封包交換模式)與通道環境的改變等隨時間而不斷地變化，因此定期偵測系統環境的變化並加以控制，以避免過載與系統資源利用效率低落，在無線資源管理中，針對以封包交換模式之流量型態的資料傳輸進行資源分配的控制，此機制我們稱為封包排程。封包排程的重要性可以從三個方面來說明：

### 一、達到資源分配的高效率

在系統規劃的資源上限下，妥善將提供給即時性服務使用者後的系統功率資源安排給封包資料使用，以避免過載與提高系統效率(Efficiency)，如圖 3.2.1 所示。

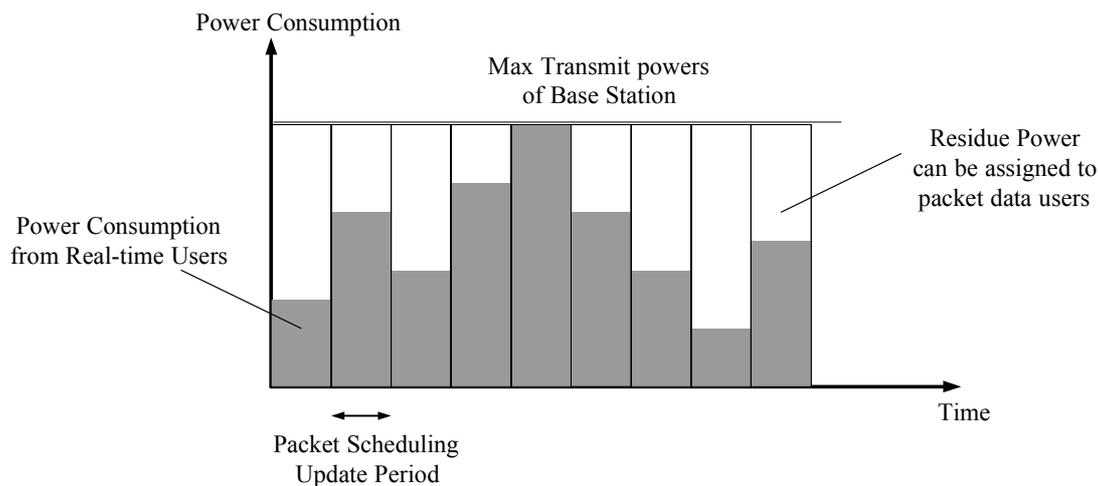


圖 3.2.1 負載控制示意圖

## 二、避免資料脈衝發生

封包交換技術的數據資料產生時會以封包為單位，產生的時間依照數據資料流量模型，與先前產生的封包是否獲得資源足以傳送無關，當被分配的資源無法將資料位元傳送時，剩下的資料位元將暫存於緩衝器中等待下次獲得資源以便傳送。在沒有任何資料傳送的時候，該使用者便不發送訊號。

系統中數據服務類型的使用者越多時，系統容易有脈衝( burst )的現象出現，亦即系統負載的起伏變化越劇烈。若不對每位使用者傳送資料的時間加以安排，會造成某段時間有許多使用者打算同時傳送資料，造成系統功率資源嚴重不足，進而影響到某些使用者的連線品質；而另外一段時間可能都沒有使用者在傳送資料，系統功率資源消耗很低，造成資源浪費的情況。

## 三、維持使用者的傳送服務品質 (Quality of Service, QoS)

當系統對於使用者的服務品質有不同等級時，會透過資料傳送優先權 (Priority) 的不同來保障高服務品質需求的使用者可以充分得到所需要的資源，亦會評估系統負載的狀況選擇對使用者而言最好的傳輸狀態以滿足對服務品質的要求。綜合以上所述，我們可歸納封包排程的功能在於：

- λ 偵測系統負載與封包安排的狀況
- λ 依據每位使用者對於服務品質的要求決定其傳送的優先權
- λ 決定封包資料使用者可利用的系統資源
- λ 依據每位使用者的通道條件決定傳輸通道是否被其使用與決定其適當的傳輸模式（適當的資料傳輸速率）

封包排程演算法的設計主要可區分為兩部分。一為針對使用者的服務型態、

服務品質設定分配資源的優先權(priority)。其次為在滿足服務品質的前提下，依據優先順序，進行功率資源分配(resource allocation)，直到基地台的可用傳送功率全部分配完為止。由於資源分配演算法為本研究之重點，故將另闢專門章節介紹之，在此僅先略做說明其與封包排程之關係。

優先權的設定是封包排程中重要的一環。依照不同服務種類、對服務品質的不同要求、使用資源的公平性及每位使用者的通道狀況好壞來安排傳輸的先後順序。一般而言，即時性服務的資源分配優先權高於非即時性服務，換句話說，當系統功率資源無法滿足現存系統中語音服務使用者的需求，將無剩餘功率可供數據服務使用。在數據服務層級中，優先權的決定方法將隨著不同的考量點，如公平性或滿足服務品質而有所變化。相關研究文獻如[61]以隨時間輪流傳送的模式決定使用者的傳輸順序，[62]是以使用者所處通道條件優劣為排序依據，[63]則以使用者所處之平均通道條件與瞬時通道條件的比值為依據以增加公平性；除此之外，有關數據服務使用者的延遲效應於[64]中將其加入決定優先權的考量並以指數權重(exponential weight)強調其重要性。

資源分配演算法是當使用者欲在某種服務種類下使用其中一種資料傳輸速率進行傳輸時，在滿足所需的位元能量與熱雜訊密度比( $E_b/N_0$ )下，選擇適當的參數組合，來完成系統設定的分配目標(object)。一般而言，研究文獻的分配目標主要為兩個類別，一是在基地台的最大可傳送功率限制下，最大化系統容量(capacity)；另一類別則同樣在基地台的最大可傳送功率限制下，最小化每個使用者的功率消耗。圖 4.4 為封包排程演算法流程圖。

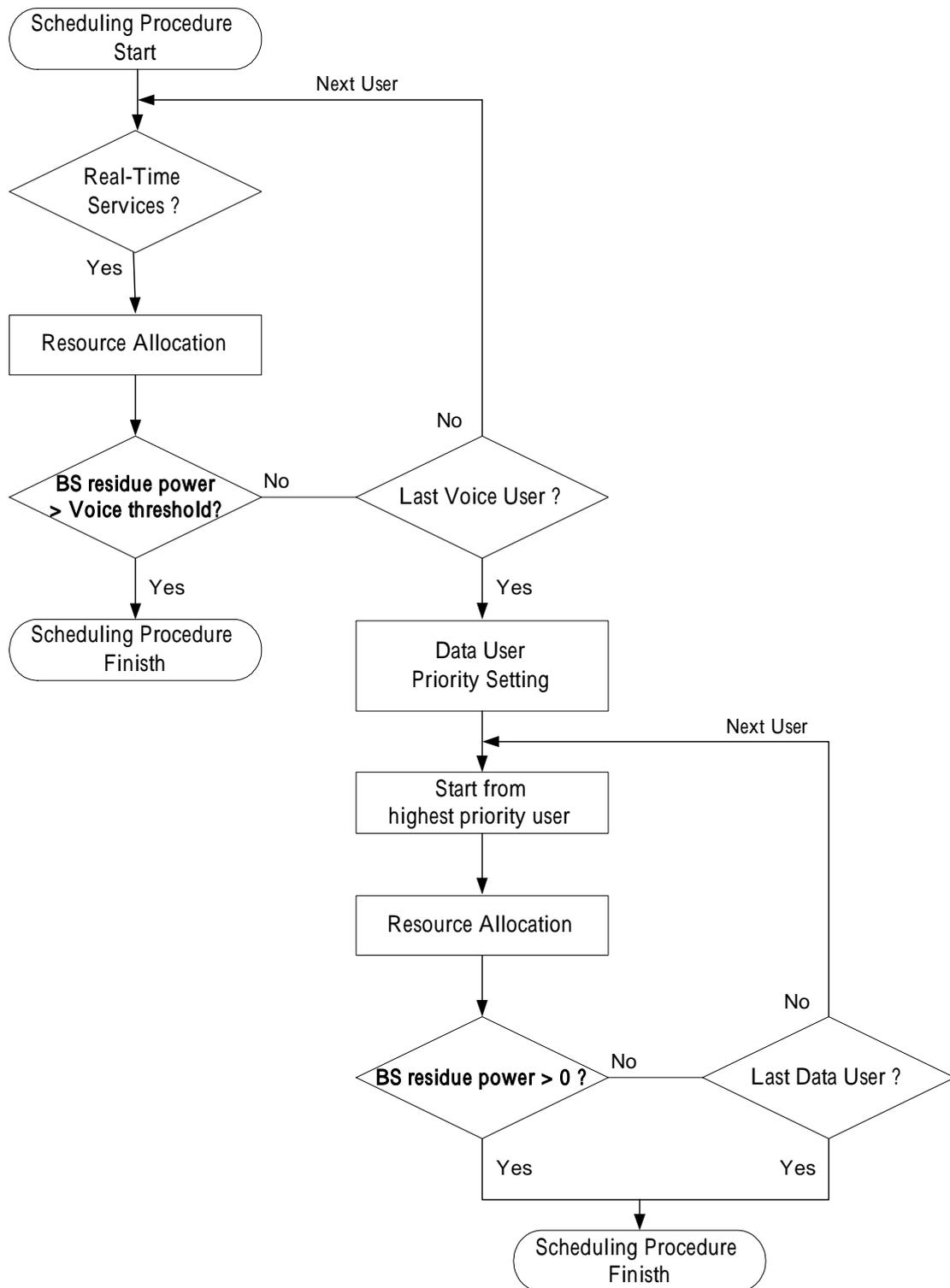


圖 3.2.2 封包排程演算法流程圖

### 3-3 適應性子載波選擇

在 OFDM 系統中，傳送端龐大的資料流將會被分成眾多小資料流後再分別透過許多子載波在通道中傳送，藉由每個子載波上訊號較不易被通道效應破壞之特性，使得高資料傳輸率可以輕易的藉由子載波數量的增加而達成。在本研究中所考慮的系統架構中採用了 1024 根子載波進行傳輸，然而各使用者不必然會使用所有的子載波，再加上各子載波所遭受到通道效應的影響不一，因此選擇較佳的子載波進行資料傳送可預期的必然能改善傳輸的品質，進而提升系統整體的效能。在下一章介紹適應性資源分配演算法時將會說明選擇通道狀況較佳的子載波何以提升系統整體的效能，本節僅針對如何選擇子載波，以及如何設計回傳的通道資訊使基地台得以做出選擇進行說明。

#### 3-3-1 回傳訊號設計

在基地台做出最適合的參數選擇以進行資料傳輸之前，首先必須確立的前提便是基地台必須要知道通道的狀態，才得以做出適當的決定。若沒有任何通道的資訊，則基地台只能夠做出最保守的參數選擇以確保資料能夠正確的被接收到。由於目前所考慮的系統架構是採用分頻雙工(Frequency Division Duplex, FDD)的模式，藉由對上傳訊號的量測並不足以充分代表下鍊通道的狀態，故仍需藉由手機端回報所量測到的通道訊號給基地台，才能使傳送端得知完整的通道狀態，並做出資源分配和子載波選擇的決定。

然而，在 OFDM 系統中所使用的子載波數量龐大，若要將每根子載波的通道狀態都回傳，所需耗費的資料量將相當驚人。且通道變化快速，若要讓系統參數調整跟的上通道的變化便需以較高的頻率回傳通道資料以供基地台做決定。這樣大量又經常性的回傳通道資料，很可能會對上鍊通道的容量造成過度的消耗，造成下鍊傳輸容量的提升是以上鍊傳輸容量損失的代價換得。這樣的取捨(tradeoff)必須在儘可能減少上鍊傳輸的容損失的前提下，讓下鍊傳輸的效能提升才有可能提供足夠的誘因趨勢系統做出這樣的設計。因此首要的工作便在於如何有效的壓縮回傳的資訊量(report information compression)。

單純的資料壓縮技巧在此能提供的幫助有限，真正根本的改善必須建立在對通訊系統的瞭解上才可能達成。通道效應的組成可細分為三種因素：路徑衰落(pathloss)、遮蔽衰落(shadow fading)以及多路徑衰落(multipath fading)。其中第一階段的資料壓縮可藉由省去回報路徑衰落與遮蔽衰落之資訊而達成，因為該兩種通道效應對於上鍊與下鍊的通道影響幾乎是相同的，因此藉由對上鍊訊號的估測便可得知該兩項效應的影響程度，並不需要特別回傳。

第二階段的壓縮則是透過對多路徑衰落回傳的資料進行有效的減量達成。在本報告第 2-2 節曾經說明過欲觀察多載波所各自面臨的通道，其實是可以透過對單載波所觀察到的通道狀態再進行傅利葉轉換(Fourier Transform)後得到。而單一載波所觀察到的通道增益之所以會隨時間變化其實是導因於訊號經過多路徑傳播才抵達接收端所產生的現象。而每一條路徑中的訊號隨時間亦會有所起伏，這是由於使用者移動致使都卜勒效應使不同方向抵達的訊號所遭受頻率偏移不一所致，而各路徑在每個時間點的訊號起伏可以透過連續觀察通道的脈衝響應(impulse response)得知。追根究底，其實只要知道某個時間點通道的脈衝響應，便可重建出當時各子載波所觀察到的通道效應。這提供了我們一個極為重要的結論，就是：只要回傳接收端所觀察到的通道脈衝響應，便可讓傳送端完整的重建每一根子載波所面臨的通道狀態。在目前所考慮的典型通道環境中具六條主要的反射路徑，因此接收端只需要回傳六條傳送路徑中的增益以及彼此間相對延遲(relative delay)的時間差，而直接非回傳 1024 個子載波所觀察到的通道增益，便足以讓基地台完整的重建整個多載波通道的狀態。再者，由於不同路徑彼此相對延遲之時間差隨時間變化的速度很緩慢，因為其反應的是使用者在移動後所看到的反射環境變化，因此該值並不需要經常回傳，如此便可再進一步的壓縮回傳的資訊量。

整個通道資訊回傳的設計架構如表 3.3.1.1 所示。其中需回傳通道資訊之週期是根據不同通道效應的自相關性(auto-correlation)變化程度而定。

Report Information Type	Multipath Fading		Pathloss + Shadow Fading
	Channel Delay Spread Profile	Channel Gain of Each Path	
Information Volume	Five positive real values	Six complex values	One real value
Required Report Interval	1.26 ms	0.6 sec	0.6 sec

表 3.3.1.1 回傳資訊架構設計

### 3-3-2 適應性子載波選擇

使用者的移動導致了通道狀態的變化，連帶使各子載波的通道狀態有所改變，且由於各子載波所對應之通道狀態變化不一，若是能在各時間點皆選擇當時狀態較佳的子載波，必然有助於訊號傳輸品質的提升。

在前一小節已說明如何讓接收端回傳所量測到的通道資訊，讓傳送端得以完整重建當時的通道狀態，並據以作為參數決定之依據。在資源分配演算法決定使用者需選用的子載波數量  $K$  之後，系統便依據各子載波的通道狀態選出  $K$  根條件最佳的子載波供使用者傳送資料用。其流程如圖 3.3.2.1 所示。

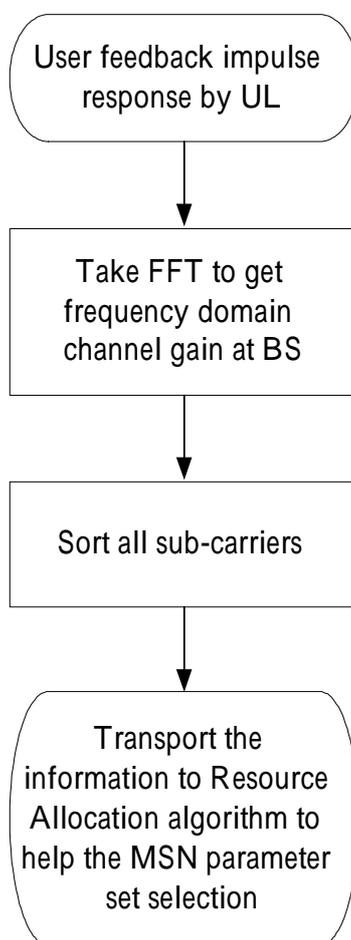


圖 3.3.2.1 子載波選擇流程圖

## 第四章 適應性資源分配演算法

本研究之重要成果在於提出一套適用於 OFDM/CDMA 系統之適應性資源分配(resource allocation)演算法，其運作之核心目標是在基地台傳輸功率受限的情形下，達成系統容量的最大化。本章首先將針對資源分配的問題進行分析，而後介紹所研究出之演算法與其運作之準則，並在期末報告中提供完整的電腦模擬結果。

### 4-1 問題分析

在進行資源分配之前，首先要釐清的是：何謂資源？本研究所探討的資源限制乃針對基地台最大傳輸功率進行考量，在 CDMA 系統中展頻碼的數量亦可能是分配時的瓶頸，在本研究中並不針對該項目進行探討，但會藉由合理的設計使該問題不致發生。因此，本章所探討的問題，其核心是基地台的功率分配問題。

在將問題定義成基地台功率分配的形式之前，需先瞭解接收端對於訊號品質的要求。透過實體層對於傳送接收機行為的模擬，可以得到位元錯誤率(Bit Error Rate, BER)與訊號雜訊比(Eb/No)間的對應關係，進一步可知在特定的位元錯誤率之求之下，接收端所需要的訊號雜訊比。位元錯誤率的高低將會影響更上層應用程式的效能，如高錯誤率可能導致使用者 TCP/IP 封包的錯誤率上升，進而導致傳送延遲的急遽增加，並造成使用者所點選的網頁久久無法下載成功。因此通常不同類型的服務在使用時，會有其能容忍位元錯誤率之上限，進而對應至接收訊號之訊號雜訊比要求。可知為了確保服務品質(QoS)，接收端的訊號雜訊比必須被控制在指定的水準，而不同類型的服務所要求之訊號品質可能並不相同。

藉由所回傳的通道資訊，基地台可推算出當選擇了特定的調變方式(modulation)、展頻係數(spreading factor)以及子載波數目(number of sub-carriers)給使用者  $k$  之後，在傳送端將耗費的功率資源  $P_k$  將如方程式 4-1 所示。

The power consumption of user  $k$  at base station :

$$P_k = \sum_{n=0}^{N_k} \frac{\rho_k(M_k) \cdot L_k(n) \cdot (I_k(n) + \sigma^2)}{SF_k} \quad eq.(4-1-1)$$

and the power constraint at base station is :

$$\sum_k^K P_k \leq P_{\max} \quad eq.(4-1-2)$$

- $P_k$  required transmit power at base station for user  $k$
- $\rho_k(M_k)$  required  $E_b / N_0$  for service type of user  $k$  with  $M_k$
- $L_k(n)$  propagation loss on sub-carrier  $n$  between base station and user  $k$   
(include path loss, shadow fading and multipath fading)
- $I_k(n)$  multiple access interference to user  $k$  on sub-carrier  $n$
- $\sigma^2$  thermal noise power on each sub-carrier
- $P_{\max}$  maximum transmit power at base station
- $K$  total number of users in the cell

由上式可知，在維持接收端訊號品質之理想功率控制的前提下，當基地台與使用者  $k$  之間的連線選擇不同的參數(調變模式、展頻增益以及子載波數目)時，所對應在傳送端將消耗的功率亦有所不同。而所有使用者所消耗的功率總和之上限即為基地台所能傳送之最大功率，如公式 4-1-2 所示。然而，不同的參數組合將直接影響所對應的資料傳輸率，其關係式可由公式 4-1-3 表示之。

The link parameters of user  $k$  corresponds to data rate :

$$R_k = \frac{M_k \cdot N_k \cdot C_k}{SF_k \cdot T_{OFDM}} = M_k \cdot S_k \cdot N_k \cdot R_{BU} \quad eq.(4-1-3)$$

- $R_k$  data rate assigned to user  $k$
- $M_k$  modulation order ( $M_k = 1 \Rightarrow BPSK, M_k = 2 \Rightarrow QPSK..$ )
- $N_k$  number of sub-carriers used by user  $k$
- $SF_k$  time domain spreading factor
- $S_k$  spreading coefficient ( $= SF_{\max} / SF_k$ )
- $C_k$  code rate (in this study,  $C_k = 1/2$ )
- $T_{OFDM}$  OFDM symbol duration
- $R_{BU}$  basic unit of data rate ( $M_k = 1, N_k = 1, SF_k = SF_{\max}$ )

不同類型的服務型態對於資料傳輸率的要求亦不相同，如 3-1-1 節所述，使用即時性資料傳輸的服務往往對資料傳輸率有一定的要求，一旦該使用者被同意

進入系統中，在分配資源時就應該確保該類使用者可以得到足夠的資料傳輸率。而整個資源分配的問題在考慮時，其實同時需兼顧使用者對服務品質的需求以及系統環境對於資源分配時的限制，如圖 4.1.1 所示。

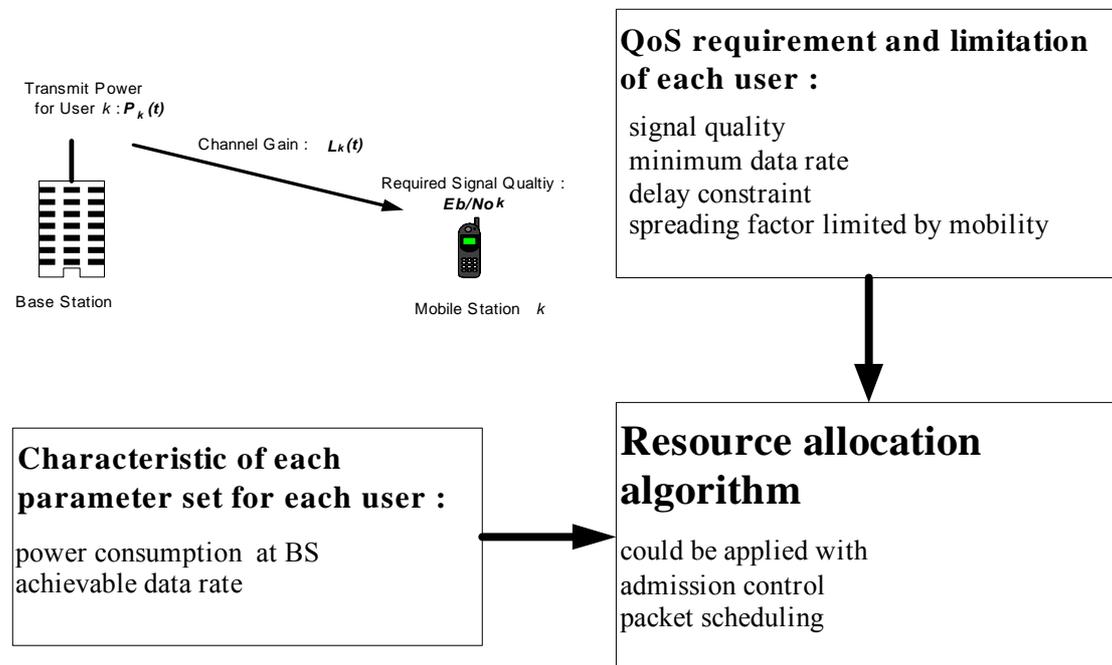


圖 4.1.1 資源分配演算法設計時之考量

## 4-2 適應性資源分配演算法

在設計演算法時往往必須先確立目標為何，而本節所介紹之資源分配演算法是以達到系統容量最大化為設計的首要目標，並同時加入了多項系統實際運作時需考量的限制。為了達到隨著通道變化而有適應性的調整，資源分配的演算法被與封包排程演算法整合在一起，如此將可簡化系統處理流程，並確保服務品質亦可同時兼顧。

在 4-1 節中已分析過不同的參數組合將會讓使用者得到不同的資料傳輸率，同時也會對應到不同的功率消耗。由於演算法運作的基礎是建立在具有充分通道資訊使功率控制(power control)可以很理想的將傳送功率調整至恰好可使接收端的訊號品質達到要求。因此可透過公式 4-1-1 及公式 4-1-3 將參數組合與功率消耗及資料傳輸率之間的關係建立起來，而資源分配的問題便轉化成參數選擇的問題。在本研究中所考慮的參數包括了調變模式( $M$ )、展頻參數( $S$ )以及子載波數量( $N$ )，因此參數組合將被簡稱為  $MSN$  set。此演算法可以很輕易的將編碼係數(code

rate)加入考量，只需在搜尋時多加入一個面向(dimension)，惟目前三維的搜尋在概念上已經很複雜，且系統在編碼係數上之自由度對於效能的影響不若另三者顯著，故在此尚未納入考量。事實上在進行資源分配時，若欲達到系統整體容量最大化，會等效於讓每個使用者在資料傳輸率滿足要求的前提下，將功率消耗最小化，如公式 4-2-1 表示之。

Assume all user have same data rate requirement.

Then optimization on throughput will turn out to be :

$$\max \left\{ \sum_{k=1}^K R_k \right\} \equiv \max \{K\}$$

$$\text{for } \sum_{k=1}^K R_k = K \cdot R_{\text{required}} \text{ and } R_{\text{required}} \text{ is constant}$$

Since the constraint on total transmit power is

$$\sum_k P_k \leq P_{\text{max}}$$

The maximization of  $K$  will be equivalent to minimize  $P_k$

$$\max \{K\} \equiv \min_{M_k, N_k, S_k} \{P_k\} \quad \text{eq.}(4-2-1)$$

找出一組可使功率消耗最小的  $MSN$  set 為參數搜尋的目標，但其前提是資料傳輸率要滿足使用者的目標傳輸率(target rate)。對於即時性與非即時性的使用者而言，其目標傳輸率隨著對服務品質的要求而有所不同，歸納如表 4-2-1 所示。

	Real Time Service	Non Real Time Service
Target Rate	Fixed Required Rate	$\frac{\text{Residue Bits in Buffer}}{\text{Scheduling Interval}}$

表 4-2-1 不同服務型態對目標傳輸率之定義

因此整個最佳化參數的搜尋方法將會是在能滿足目標傳輸率的 *MSN sets* 中，去尋找一組能使功率消耗最小的解。而藉由將此種最佳化資源分配的方法與封包排程的功能結合在一起，便可以達到適應性資源分配的功能，其演算法運作之流程如圖 4-2-1 所示。

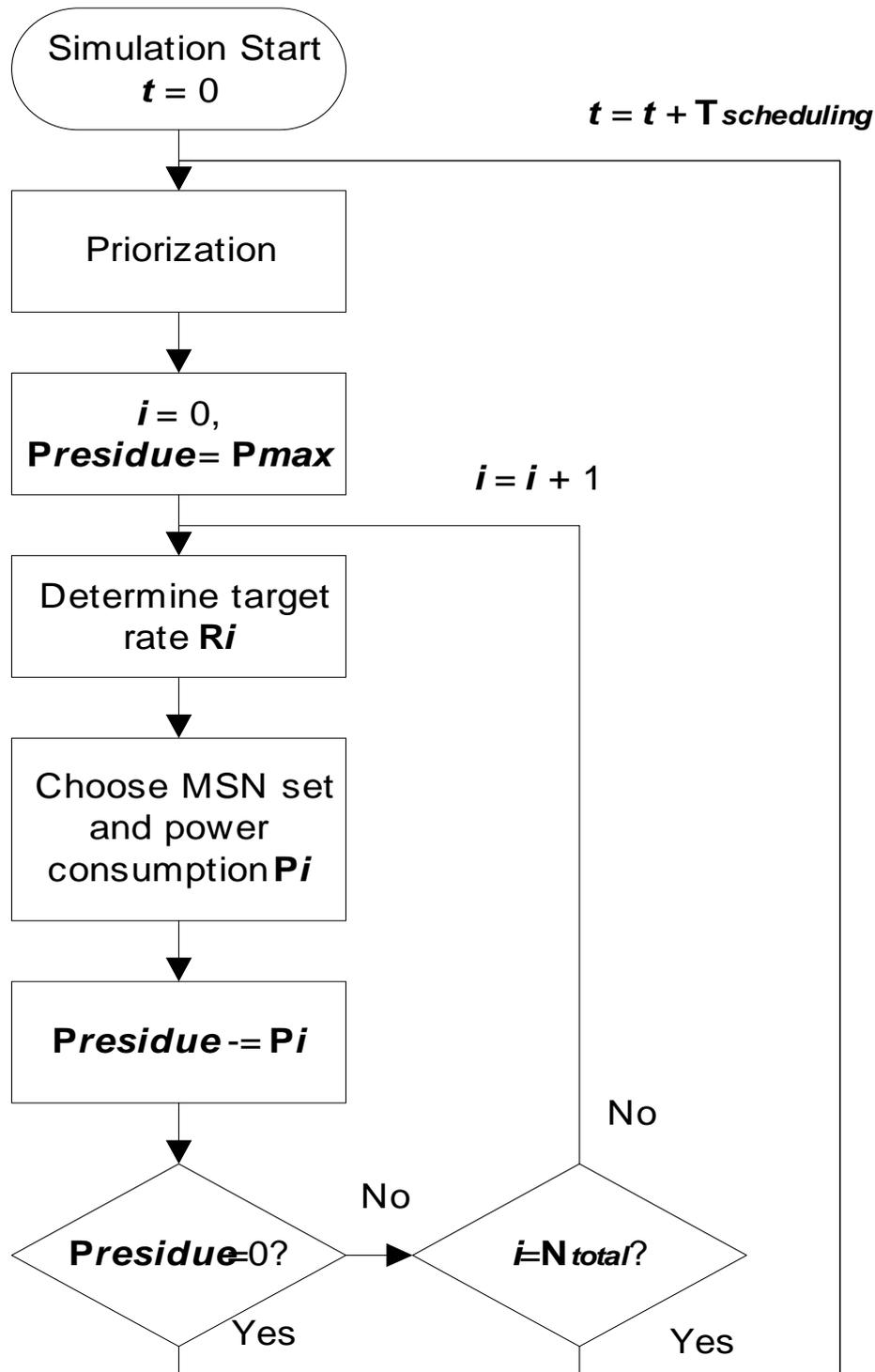


圖 4-2-1 適應性資源分配演算法流程圖

## 第五章 初步結論

本研究藉由對 OFDM/CDMA 系統實體層運作的探討，在尚未有文獻可供參考之困難環境下，成功推衍出了一套適用於 OFDM/CDMA 系統之資源分配機制。且藉由參數搜尋的最佳化流程以及與封包排程功能之整合，使得研究成果進一步地達到可讓所分配之資源適應性跟隨通道狀態調整之境界，我們稱之為適應性資源分配演算法。該演算法為本研究團隊所首創，目前尚有部份細節與電腦模擬成果待整理與分析，完整的研究成果與結論將會於本研究之期末報告中呈現。

## 參考文獻

- [1] <http://www.3gpp.org/>
- [2] <http://www.3gpp2.org/>
- [3] Yao Chun Yu, “A study on Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) Reduction in OFDM Systems”, Thesis of Master Degree, *National Chung Cheng University*, 2002.
- [4] S. Abeta, H. Atarashi, M. Sawahashi, “Broadband Packet Wireless Access Incorporating High-Speed IP Packet Transmission”, *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 2, pp844-848, Sept. 2002.
- [5] W. H. Sheen, I. K. Fu, K. Y. Lin, “New Load-based Resource Allocation Algorithms for Packet Scheduling in CDMA Uplink”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Atlanta, March 2004.
- [6] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. ISBN 0-470-84467-1, West Sussex: Wiley, pp. 213-248, 2002.
- [7] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. ISBN 0-470-84467-1, West Sussex: Wiley, pp. 249-260, 2002.
- [8] 3GPP TR25.922 v.5.00. “Radio Resource Management Strategies,” March 2002.
- [9] H. Zhang, “Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switched Networks,” *Proceedings IEEE*, vol. 83, pp. 1374-1396, Oct. 1995.
- [10] M. Naghshineh and A. S. Acampora, “QoS Provisioning in Micro-Cellular Networks Supporting Multiple Classes of Traffic,” *Wireless Networks*, vol. 2, pp. 195-203, 1996.
- [11] M. Naghshineh and A. S. Acampora, “Design and Control of Microcellular Networks with QoS Provisioning for Data Traffic,” *Wireless Networks*, vol. 3, pp. 249-256, 1997.
- [12] S. K. Das et al., “A Call Admission and Control Scheme for QoS Provisioning in Next Generation Wireless Networks,” *Wireless Networks*, vol.6, pp. 17-30, 2000.
- [13] S. Dixit, Y. Guo and Z. Autonion, “Resource Management and Quality of Service in 3G Wireless Network,” *IEEE Communication Magazine*, pp. 125-133, Fed. 2001.
- [14] J. S. Lee, and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*. Artech House, 1998.
- [15] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. ISBN 0-470-84467-1, West Sussex: Wiley, pp. 169-174, 2002.
- [16] UMTS, TR 101 112 v3.2.0 “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS: Annex B,” April 1998.
- [17] M. Gudmundson, “Correlation for Shadow Fading in Mobile Radio Systems,” *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2145-2146, November 1991.
- [18] T. Kligenbrunn and P. Mogensen, “Modeling Cross-Correlated Shadowing in Network Simulations,” *IEEE VTC*, vol. 3, pp. 1407-1411, 1999.

- [19] A. Mawira, "Models for the Spatial Correlation Functions of the Log-Normal Component of the Variability of VHF/UHF Field Strength in Urban Environment," *PIMRC*, pp. 436-440, 1992.
- [20] T. B. Sorensen, "Correlation Model for Slow Fading in a Small Urban Macro Cell," *PIMRC*, pp. 1161-1165, 1998.
- [21] F. Graziosi, M. Pratesi, M. Ruggieri, and F. Santucci, "A Multicell Model of Handover Initiation in Mobile Cellular Network," *IEEE Transactions on Vehicular*, vol. 48, pp. 802-814, May 1999.
- [22] A. Reik and F. Zander, "A Traffic Model for Non-Real-Time Data Users in a Wireless Radio Network," *IEEE Communication Letters*, vol. 1, pp. 37-39, March 1997.
- [23] M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*. Second Edition, Kluwer Academic/Plenum, 2000.
- [24] A. Ghosh and K. Rohani, "Effect of Mobile Power Control Saturation in DS-CDMA," *IEEE International Conference*, vol. 1, pp. 360-364, Oct. 1996.
- [25] A. J. Viterbi, *CDMA-Principle of Spread Spectrum Communication*. Wesley, 1995.
- [26] D. M. Novakovic and M. L. Dukic, "Evolution on the Power Control Techniques for DS-CDMA Toward 3G Wireless Communication Systems." *IEEE Communication Surveys*, <http://www.comsoc.org/livepubs/surveys/>, fourth Quarter 2000.
- [27] 3GPP TR25.922 v.5.00. "Radio Resource Management Strategies - Soft Handover," March 2002.
- [28] D. Wong and T. J. Lim, "Soft Handoffs in CDMA Mobile Systems," *IEEE Personal Communications*, vol. 4, pp. 6-7, December 1997.
- [29] C. Oliveira, J. Kim, and T. Suda, "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol. 16, pp. 858-873, Aug. 1998.
- [30] A. Zhu, J. Ding, and J. Hu, "Adaptive Call Admission Control for Multi-Class CDMA Cellular Systems," *APCC/OECC*, pp. 533-536, 1999.
- [31] Y. Ishikawa and N. Umeda, "System Capacity Design based on Communication Quality for Cellular CDMA Systems," *Mobile Multimedia Communications*, pp. 43-50, 1998.
- [32] J. Kuri and P. Mermelstein, "Call Admission on the Uplink of a CDMA System based on Total Received Power," *IEEE ICC*, pp. 1431-1436, 1999.
- [33] Z. Liu and M. E. Zarki, "SIR-based Call Admission Control for DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12 I, pp. 638-644, May 1994.
- [34] I. M. Kim, B. C. Shin, and D. J. Lee, "SIR-based Call Admission Control by Intercell Interference Prediction for DS-CDMA Systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 4, pp. 29-31, Jan. 2000.
- [35] L. Zhuge and Li, "Interference Estimation for Admission Control in Multi-Service DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 3, pp. 1509-1514, 2000.
- [36] S. M. Shin, C. H. Cho and D. K. Sung, "Interference-based Channel Assignment for DS-CDMA Cellular Systems," *IEEE Transactions on Vehicular*, vol. 48, pp. 233-239, Jan. 1999.
- [37] 3GPP TS 25.101 V5.4.0 "UE Radio Transmission and Reception (FDD): Annex A" Sept. 2002.
- [38] J. B. Kim and M. L. Honig, "Resource Allocation for Multiple Classed of DS-CDMA Traffic,"

- IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, pp. 506-519, March 2000.
- [39] P. Liu, M. L. Honig, and S. Jordan, "Forward-link CDMA Resource Allocation based on Pricing," *IEEE WCNC*, vol. 3, pp. 1410-1414, Sept. 2000.
- [40] A. Abrardo, G. Benelli, G. Giambene and D. Sennati, "Performance Analysis of a Packet Scheduling Policy for a DS-CDMA Cellular System," *IEEE VTC*, vol. 3, pp. 2214 -2218, Spring 2001.
- [41] R. Bernardi, D. Imbeni, L. Vignali, and M. Karlsson, "Load Control Strategies for Mixed Services in WCDMA," *IEEE VTC*, vol. 2, pp. 825-829, May 2000.
- [42] O. Sallent, J. P. Romero, F. J. Casadevall, and R. Agusti, "An Emulator Framework for a New Radio Resource Management for QoS Guaranteed Services in W-CDMA Systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 19, pp. 1893-1904, Oct. 2001.
- [43] C. L. I and K. K. Sabnani, "Variable Spreading Gain CDMA with Adaptive Control for Integrated Traffic in Wireless Networks," *IEEE VTC*, vol. 2, pp. 794-798, July 1999.
- [44] T. H. Wu and E. Geraniotis, "CDMA with Multiple Chip Rates for Multi-media Communications," *ISSP*, pp. 992-997, 1994.
- [45] C. L. I, G. P. Pollini, L. Ozarow, and R. D. Gitlin, "Performance of Multi-code CDMA Wireless Personal Communications Networks," *IEEE VTC*, vol. 2, pp. 907-911, July 1995.
- [46] T. Ottosson and A. Svensson, "Multi-rate Schemes in DS/CDMA Systems," *IEEE VTC*, vol. 2, pp. 1006-1010, July 1995.
- [47] V. Huang and W. Zhuang, "Optimal Resource Management in Packet-Switching TDD CDMA Systems," *IEEE Communication Magazine*, pp. 26-31, Dec. 2000.
- [48] V. Huang and W. Zhuang, "QoS-Oriented Access Control for 4G Mobile Multimedia CDMA Communications," *IEEE Communication Magazine*, pp. 118-125, March 2002.
- [49] L. Jorguseki and E. Fledderus, "Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems," *IEEE Communication Magazine*, vol. 39, pp. 117-123, February 2001.
- [50] Y. Ofuji, A. Morimoto, S. Abeta, and M. Sawahashi, "Comparison of Packet Scheduling Algorithms Focusing on User Throughput in High Speed Downlink Packet Access," *The 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 1462-1466, Sep. 2002.
- [51] 3GPP TR25.848 V4.0.0, Physical layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access, Release 4, Mar. 2001.
- [52] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR: A High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," *IEEE VCT*, Tokyo, Japan, pp. 1854-1858, May. 2000.
- [53] A. Eksim and M. O. Sunay, "On Scheduling for Delay Tolerant Traffic in HDR," *IEEE International Symposium on Advances in Wireless Communications*, pp. 189-190, September 2002.

- [54] H. Choi and J. Limb, "A Behavioral Model of Web Traffic," *ICNP*, pp. 1-8, September 1999.
- [55] Y. H. Kim, I. Song, S. Yoon, S. R. Park, "A Multicarrier CDMA System with Adaptive Subchannel Allocation for Forward Links", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 48, NO. 5, pp1428-1436., September 1999.
- [56] A. Harada, S. Abeta, M. Sawahashi, "Adaptive Radio Parameter Control Considering QoS for Forward Link OFCDM Wireless Access", *IEICE Trans. Commun.* Vol.E86-B, NO.1, pp314-324, January 2003.
- [57] "Channel Models for IEEE 802.20 MBWA System Simulations" IEEE C802.20-30/70
- [58] L. L Yang, L. Hanzo, "Multicarrier DS-CDMA: A Multiple Access Scheme for Ubiquitous Broadband Wireless Communications", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 41, Issue: 10, pp116-124, October 2003.
- [59] J. Zhu, W. C. Wong, L.C. Desilva, "Study of Performance of OFDM-CDMA System with Various Processing Gains", *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E84-B, NO.3, pp678-681, March 2001.
- [60] T. Sao, F. Adachi, "Comparative Study of Various Frequency Equalization Techniques for Downlink of a Wireless OFDM-CDMA System", *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E86-B, NO.1, pp352-364, January 2003.
- [61] Y. Ofuji, A. Morimoto, S. Abeta, and M. Sawahashi, "Comparison of Packet Scheduling Algorithms Focusing on User Throughput in High Speed Downlink Packet Access," *The 13<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp. 1462-1466, Sep. 2002
- [62] 3GPP TR25.848 V4.0.0, Physical layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access, Release 4, Mar. 2001.
- [63] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR: A High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System," *IEEE VCT*, Tokyo, Japan, pp. 1854-1858, May. 2000
- [64] A. Eksim and M. O. Sunay, "On Scheduling for Delay Tolerant Traffic in HDR," *IEEE International Symposium on Advances in Wireless Communications*, pp. 189-190, September 2002