

第一章 導言

1-1 簡介

無線通信產業在過往的數十年間有著極為快速的演進，並且漸漸對人們的日常生活行為產生根本上的轉變。根據調查資料發現，台灣在 2002 年底行動電話用戶的普及率已經位居世界第一。隨著第三代行動通訊業務執照於 2002 年 2 月拍賣結束，台灣正式踏入了第三代(3rd Generation, 3G)行動通訊時代，業者亞太行動寬頻電信公司已於 2003 年 7 月完成 CDMA2000 規格的 3G 系統建構，開始提供第三代行動通信服務。其他業者亦將於 2004 年下半年陸續提供 WCDMA 規格的 3G 行動通信服務。

聯合國下轄之國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)在 1992 年決議將 2 GHz 附近的頻帶保留給第三代行動通訊系統使用[1]。由於當時預期第三代行動通訊系統將於西元兩千年普及，因此 ITU 又將第三代系統稱為 "International Mobile Telephony 2000(IMT-2000)"。目前經過 ITU 認可的第三代行動通訊系統目前已有三種規格，第一種是由歐洲及日本所主導的 "Wideband CDMA, WCDMA" [2]，第二種則是美國主導的 "CDMA2000" [3]，最後則為中國大陸主導之 "TDS-CDMA" [4]。

未來通訊市場的主流，應為結合寬頻(Broadband)、全球性(Globalization)、即時性(Immediacy)與移動性(Mobility)特性的通訊服務。因此儘管第三代行動通訊系統才剛推出服務，並且有著連接網際網路、支援行動通訊用戶、比第二代更高的資料傳輸率等優點，但專家學者們仍持續關注如何能有更高的資料傳輸速率，又可以支援使用者移動的系統。目前有一派別的專家學者提出多重碼(Multi-Code)的概念，藉由指派多組展頻碼(Spread Code)以提高資料傳輸速率，然而展頻碼個數有限，因此系統效能改善的效果將受限制；另一派學者結合多載波與分碼多工存取(Code Division Multiple Access, CDMA)技術，希望藉由多載波的使用增加資料傳輸速率，但由於典型多載波系統需耗費相對應的多套射頻(RF)元件，將會大幅提高系統硬體實現時的複雜度。而政府積極推行「M 台灣」計畫下的子項目「雙網計畫」，則是為目前提供未來行動通訊的另一種可能。其概念是目前一般以手機上網的速度太慢，阻礙行動商務的發展，解決的方法之一即整合行動電話網路與無線區域網路(WLAN)，讓手機享受 WLAN 上網的速度，因此雙網合一大有凌駕第三代行動電話(3G)的氣勢。儘管各方對未來通訊系統提出有不同的可行性，但更深入的後第三代行動通訊系統(Beyond 3G, B3G)的無線通訊系統研究[5] [6] [7]從未稍歇。

3G 之後的無線行動通訊，需要有資料傳輸率以克服高資料量的數據傳輸，還要有克服使用者高速移動的特質，來滿足行動通訊的最基本要求，因此正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技術是目前廣為期盼成為後 3G 行動通訊系統的主流調變方式。如 IEEE Standard 802.16a[8]是一項第二代無線都會型區域網路(Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)的寬頻無線通訊標準，同樣是以 OFDM 為基礎，OFDM 技術的重要性可見一般。在蜂巢(Cellular)系統下的寬頻接取技術，以分碼多工接取技術最廣為採用，除了具單一頻率重覆使用(Universal Frequency Reuse)的優點外，更有干擾抑制容量(Interference Rejection Capacity)與軟式換手增益(Soft Handover Gain)等優點。因此本研究將以 OFDM 技術為基礎，引入蜂巢架構的概念，建置正交分頻分碼多工接取(Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Code Division Multiple Access, OFDM-CDMA)行動通訊系統模擬平台，並支援使用者的移動行為與高資料傳輸率的需求，期望研究的成果將可以提供未來在下一代行動通訊系統研究之參考。

1-2 動機與研究

在通訊系統中，無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)層掌管手機與基地台間連線的維護、通訊頻道的建立與釋放，並負責任何與電波發射(Radio)有關的任何管理，例如功率控制(Power Control)、資源分配(Resource Allocation)。即使系統內手機用戶在通話時移動位置，因為遠離基地台而使接收到的訊號發生衰減，通訊系統也將維持該通話使不至於中斷，這就是有賴於無線資源管理層內的換手機制(Handover)功能的執行。

然而，以往進行行動通訊系統無線資源管理相關的研究主題時，由於牽連的議題廣泛及過去運算資源有限的情況下，經常只能針對其中特定議題來設計系統模擬(Simulation)的程式，其他 RRM 演算法對議題的影響，則需藉由假設或忽略來處理。但事實上，在 RRM 相關議題中的各項演算法，彼此間常有多項互動與交互影響，因此單獨討論特定演算法卻完全忽視其他演算法是不適當的作法。此外，運算資源成本的降低，亦提供了在系統模擬時同時處理多個 RRM 演算法更大的可行性。

本論文將會說明如何建置出一個整合型的系統模擬平台(Simulation Platform)，其中同時包含數個 RRM 研究中的重要主題，並且針對 OFDM-CDMA 系統中，與傳統通訊系統中可選用參數的異同進行說明。並將資源量化，提供適應性資源分配演算法的流程與解決方案。

未來藉由此系統模擬平台進行 RRM 相關研究主題時，只需要修改程式中相

對應的部分便可進行各種不同演算法的模擬。此外，此系統模擬平台可以很容易地調整不同環境參數變化的速度或系統環境架構，以符合各種模擬環境的需求。換句話說，這是一個具有彈性(Flexibility)的系統模擬平台。

系統模擬平台中所模擬的行動通訊系統是假設實體層(Physical Layer)為正交分頻分碼多工接取(OFDM-CDMA)當作系統設計之技術基礎。第二章的內容在於介紹 OFDM 技術傳輸原理與 OFDM-CDMA 實體層系統架構。第三章的內容主要探討系統的無線資源管理，首先介紹規劃本行動通訊系統時的考量，以及如何透過鍊路預算的運用來協助施行系統的佈放。其次，說明模擬系統中使用者的移動行為模式及使用不同服務時的資料流量變化。接著再詳述如何去模擬訊號在真實環境中所遭受到的衰落，並使用相關性模型使遮蔽衰落效應更貼近真實的通道效果。最後說明本系統模擬平台所採用的系統模擬方法與整合系統模擬的運作流程，並介紹下一代行動通訊系統所應納入考慮的無線資源管理演算法。第四章將闡述 OFDM-CDMA 系統中資源分配的最佳化問題，並提出以功率效益為基礎的演算法降低資源分配程序中尋找適當參數的複雜度。第五章則描述通道品質回傳在 OFDM-CDMA 系統的重要性與影響，並提出合理的通道狀況回傳方式，以減小對上鍊通道容量(Capacity)的傷害。最後將對本研究進行總結，並提出未來的可能研究方向。



第二章 系統簡介

歐洲以及日本所主導的第三代行動通訊系統，已經將 CDMA 核心技術納入考量，並制訂為 UMTS (Universal Mobile Telecommunication Services) 規格。此外，OFDM 技術更廣泛為歐洲應用於無線區域網路 (WLAN)、高清晰度數位電視 (HDTV) 和數位音頻廣播 (DAB) 等。此外，因為其具備較高的頻譜使用效率和良好的抗多路徑干擾能力，亦被視為下一代行動通訊的核心技術之一。

在本章中，首先將簡述 CDMA 技術應用於蜂巢系統下的特點。其次，將介紹 OFDM 技術的相關傳輸基本原理，包含多載波調變原理、快速傅立葉轉換的實現和 OFDM 傳送技術中特有的循環前置碼特性。最後，將對本論文所提出之正交分頻多工結合時域分碼多工接取 (OFDM-CDMA) 系統的實體層參數做詳盡的設計原理介紹。

2-1 CDMA 技術簡介[†]

蜂巢 (Cellular) 系統下的寬頻接取技術，以分碼多工接取技術最廣為採用，在典型 CDMA-FDD 系統中，這種技術允許系統可以在同一個頻帶 (Frequency Band) 上，讓多位不同使用者的資料同時傳送，具單一頻率重覆使用 (Universal Frequency Reuse) 的特性，因此，每位使用者的訊號功率皆是構成其他使用者干擾 (Interference) 的因素。多工接取干擾 (Multiple Access Interference, MAI) 主要是由相同頻帶中其他使用者的信號所造成的干擾響應。隨著系統中使用者的增加，由於每個使用者的訊號皆會造成其他使用者的多工接取干擾，因此系統中的干擾強度會隨之增加。當干擾功率高到會影響現有使用者服務品質時，便會造成系統中既有使用者的訊號品質無法滿足要求，此時系統便需要做出適當的控制以維持服務品質；換言之，系統所能承受的干擾強度有其限制。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。由此可知採用分碼多工存取技術的系統容量會受限於最大可承受的干擾強度，或稱此系統是一個受干擾強度限制 (Interference Limited) 的系統。

軟式換手技術允許使用者同時與一個以上的基地台建立連線，如此讓使用者訊號在兩基地台間切換時不會有話務間斷的現象發生。此外，由於與使用者建立連線的基地台分別位在不同的方位，因此使用者與不同基地台間的連線同時遭受到很嚴重的遮蔽衰落的机会小了很多，使得平均起來使用者訊號的品質提高，亦間接改善了系統的效能，稱為軟式換手增益。採用分碼多工接取 (CDMA) 技術的系統，使得每位使用者的傳送訊號都位在相同的頻帶之中，因此可以在不增加

射頻設備的情況之下實現軟式換手的技術，故實現此技術的可行性較在其它系統中都要來得高。典型 CDMA 系統在時間-頻率-編碼空間的頻寬分佈如圖 2.1。

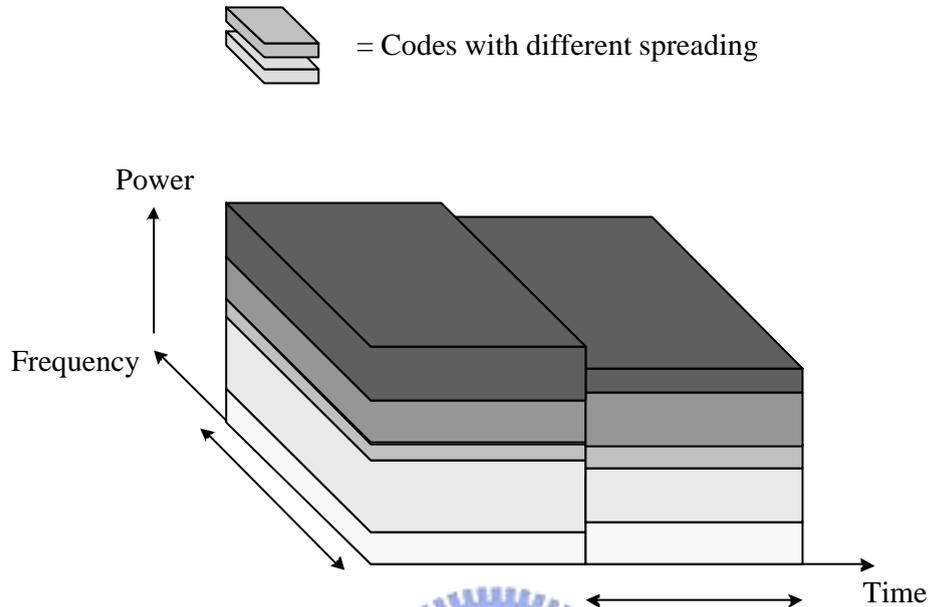


圖 2.1 典型 CDMA 系統在時間-頻率-編碼空間的頻寬分佈

†：關於 CDMA 通訊系統的架構與傳輸技術可以參考[37-40]。

2-2 OFDM 技術傳輸原理

OFDM 技術可視為一種調變技術，亦可看成為一種多工技術。多載波調變的主要觀念是將欲傳送的高速率資料串列(High Speed Data Stream)分散在 N 個彼此正交(Orthogonal)的子載波(Sub-Carrier)，且作平行(Parallel)傳送，如圖 2.2 所示。當 N 個低速率資料串列傳送時，個別資料串列之符元間距(Symbol Duration)將變大為 N 倍，在頻域中等效意義為子載波信號頻寬變小，多載波調變可容忍多路徑衰落通道較小之同調頻寬(Coherence Bandwidth)，因此對於多路徑延遲擴散(Multi-path Delay Spread)在時域所造成之訊號強度衰落效應容忍度亦隨之提高。

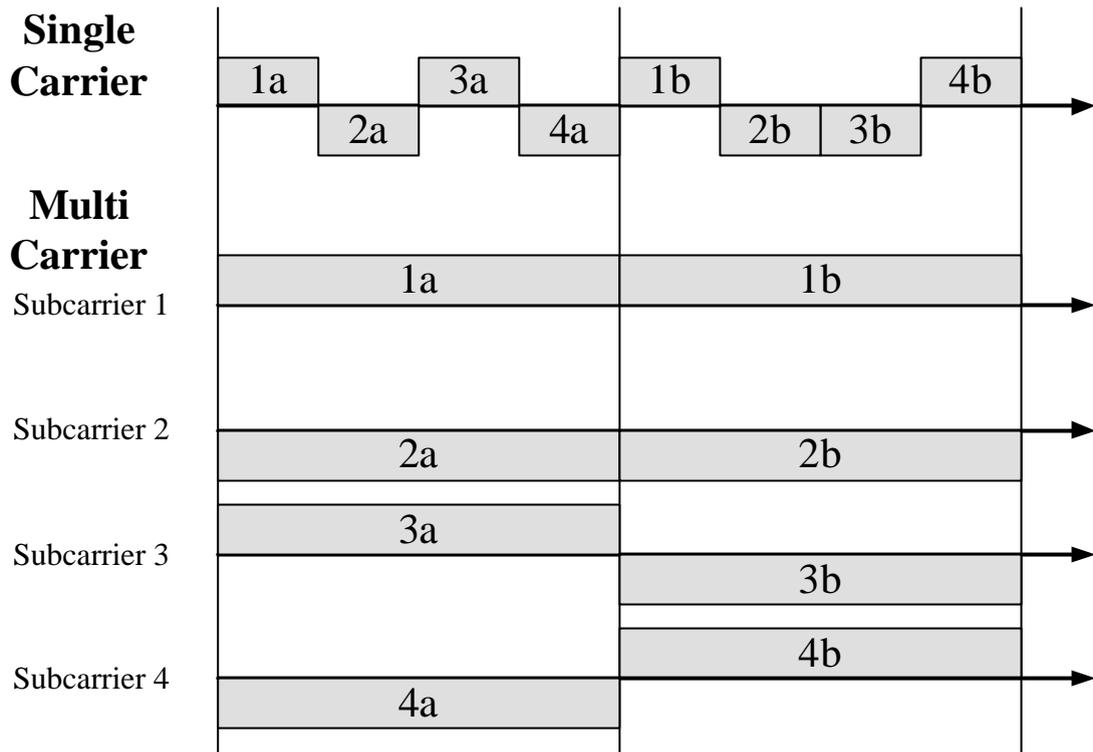


圖 2.2 單載波與多載波平行傳送技術

傳統的頻率多工系統(Frequency Division Multiplexing, FDM)中，將全部頻帶切割為 N 個不重疊的載波，避免載波間產生干擾，卻造成了頻譜使用上的效率低落問題。倘若將各載波間距作適當之調整，以維持載波彼此間之正交性。即使互相有所重疊，仍不會產生子載波干擾(Inter-Carrier Interference, ICI)。理論上，當子載波數趨近於無窮大時，使用子載波頻譜重疊的頻譜效益為傳統方式的二倍 [9]，如圖 2.3 所示。

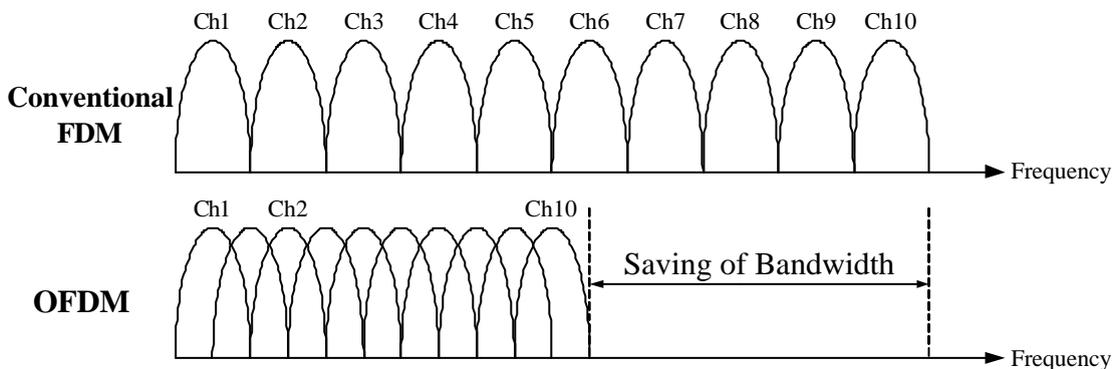


圖 2.3 OFDM 與單載波 FDM 頻譜效益

OFDM 訊號由子載波上之相位偏移鍵控 (Phase Shift Keying, PSK) 或正交振幅調變 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM) 符元所構成。假設 d_i 表示為複數的訊號符元， N_s 為子載波的數目， T 為符元區間及 f_c 為載波頻率，則 OFDM 訊號之基頻數學式 (2.1) 與類比 OFDM 調變器如圖 2.4 所示：

$$s(t) = \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp\left(j2\pi \frac{i}{N_s T_s} (t-t_s)\right), t_s \leq t \leq t_s + T$$

$$s(t) = 0, t_s \leq t \leq t_s + T \quad (2.1)$$

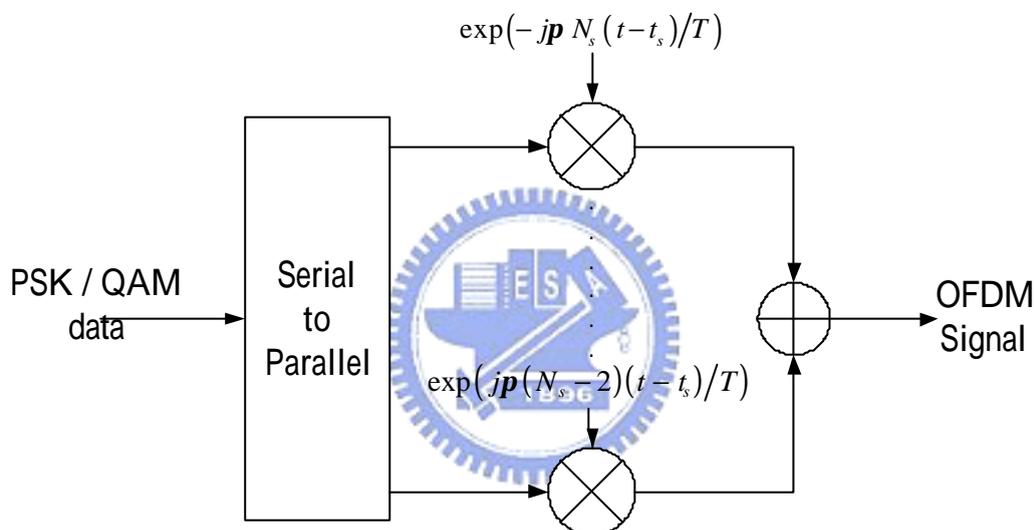


圖 2.4 類比 OFDM 調變器

實際上，以類比方式來實現上述 OFDM 多載波調變系統為一個不實際之作法，因為需要針對各子載波設計類比傳收機 (Transceiver)，具高複雜度，因此實做上藉由快速傅立葉轉換 (FFT/IFFT) 來實現正交多頻分工調變技術。則 (2.1) 式可改寫為：

$$T = N_s T_s$$

$$s(k) = \frac{1}{N_s} s(kT_s) = \frac{1}{N_s} \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp\left(j2\pi \frac{ik}{N_s}\right), k = 0, 1, \dots, N_s - 1 \quad (2.2)$$

$$s(k) = IFFT \left\{ d_{i+\frac{N_s}{2}} \right\} \quad (2.3)$$

以數位信號處理技術所實現的 OFDM 系統，OFDM 信號為時域的波形取樣點，符元則為頻域上每個子載波的信號，彼此間為對偶之離散複立葉轉換。為了以快速傅立葉轉換來實現系統，因此信號取樣率必須滿足奈奎斯特取樣定理 (Nyquist Sampling Theorem)，即取樣頻率必須大於兩倍信號頻寬。意即為真正可用於載送訊號之子載波數目為 $2k+1$ 須小於設計之 OFDM 系統子載波數目 N_s ，則可避免系統之頻譜產生頻疊效應 (Aliasing Effect) [10]。

隨著子載波個數 N_s 增加，OFDM 訊號頻譜旁波瓣 (Sidelobe) 無超出二分之一取樣頻率的現象，但是唯有 N_s 趨近無窮大時，頻寬才會等於 0.5 而不產生頻疊現象。然而實際系統並無法使用無限多的子載波傳送，因此系統設計時欲用於載送信號之子載波個數必須小於 N_s 以避免頻疊現象的產生。而這些未使用於載送信號的子載波稱為虛擬載波 (Virtual Carriers)。

OFDM 傳輸技術之所以能成為未來通訊的核心技術之一是由於它具有高度對抗多路徑延遲擴散效應的能力。高速率資料串列分散為 N_s 個低速率資料串列，在彼此正交的子載波上作平行傳送，故個別資料串列之符元間距隨之變大為原來的 N_s 倍，使得傳輸延遲擴散相對上遠小於符元間距，可以減少傳輸延遲擴散造成不同 OFDM 區塊間的碼際干擾 (Inter-Symbol Interference, ISI)。在 OFDM 系統中，於每一個 OFDM 區塊中加入保護區間 (Guard Interval, GI) 或稱為循環前置碼 (Cyclic Prefix)。保護區間長度的選擇，必須大於預期的最大傳輸延遲擴散，使得前一個 OFDM 符元的傳輸延遲擴散部分，不會干擾到後一個 OFDM 符元。雖然保護區間不傳送任何訊號，可以避免相鄰的 OFDM 符元干擾，但將會產生載波間干擾 (Inter-Carrier Interference, ICI) 問題，使得子載波間不再具有正交性，如圖 2.5 所示。

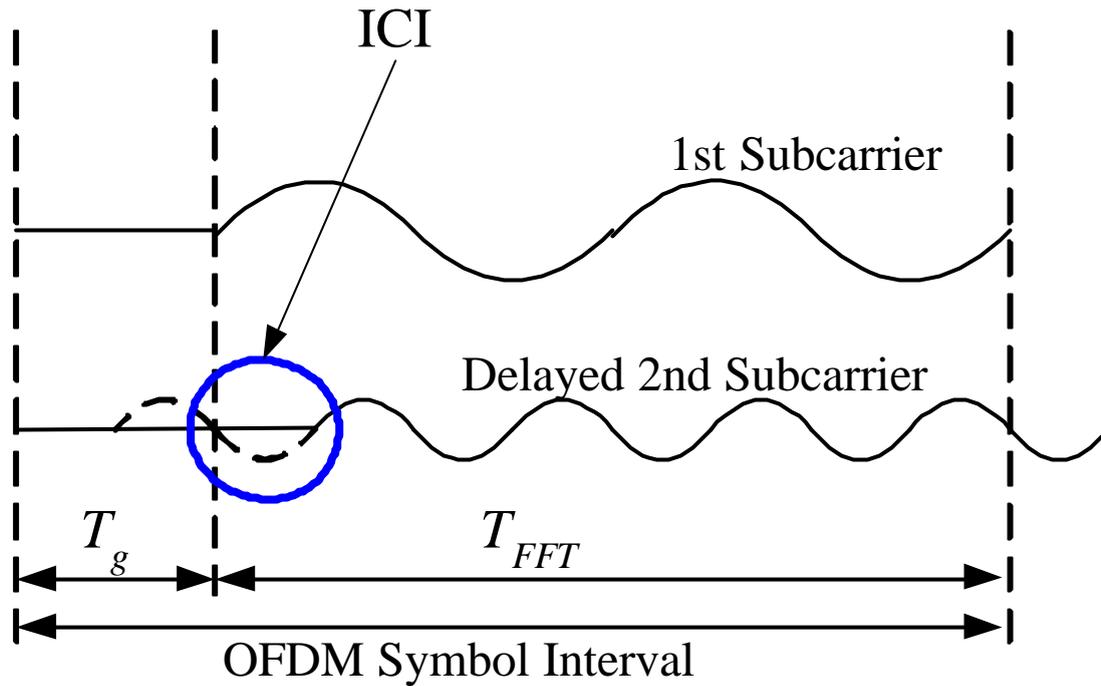


圖 2.5 子載波干擾效應

因此，為了消除子載波干擾效應，於保護區間內置入 OFDM 區塊之部分複製循環展延訊號，如圖 2.6 所示。



圖 2.6 循環前置碼產生方式

圖 2.7 所示，以三個子載波受二個路徑延遲傳輸為例。實線部分為未受延遲效應影響，虛線則為被延遲的訊號。觀察三個 OFDM 區塊，經 BPSK 調變後的 OFDM 訊號，在區塊交界處會出現 180 度的相位跳躍(Phase Jump)。在此例中，

多路徑傳輸延遲小於保護區間，使得保護區間內的信號出現相位偏轉的變化，但在完整的 FFT 區間中不會有相位偏差的改變，因此不影響在接收端所觀察完整 FFT 區間之子載波正交特性，得以正確的解調變。反之，若多路徑傳輸延遲大於保護區間，則會破壞載波間的正交性，造成錯誤的解調變。

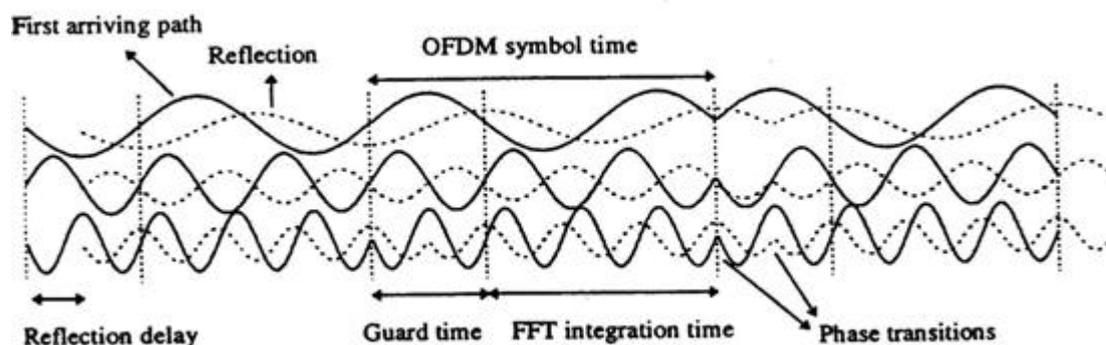


圖 2.7 OFDM 信號多路徑傳輸效應

保護區間的長度 N_g 取決於系統所處之多路徑衰減通道環境的延遲擴散，一般設計為通道均方根延遲擴散的四至五倍。然而因為循環前置碼的置入，造成所傳送之 OFDM 信號損失 $(N_g / N_g + N_s)$ 的傳輸功率，因為 FFT 區間長度設計通常選擇為使得傳輸功率損耗小於 1dB 之長度[9]。

2-3 OFDM-CDMA 系統介紹

後 3G 通訊系統在高數據傳輸速率與高移動速率的需求下，目前在文獻上 [11][12]，結合正交分頻多工與分碼多工接取技術的實體層系統已被廣泛討論研究，如多載波分碼多工接取系統 (Multi-carrier Code Division Multiple Access, MC-CDMA)、多載波直接序列分碼多工接取系統 (Multi-carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access, MC DS-CDMA) 或透過最高比結合 (Maximum Ratio Combining, MRC) 或最小均方誤差結合 (Minimum mean square error combining, MMSEC) 方法，在多載波頻域上進行多維度的展頻。

目前並無已商業運轉的行動通訊系統規格採用 OFDM-CDMA 技術，因此本系統的設計選擇由論文中尋找可供參考的資料 [13][14]，衍生設計出之

OFDM-CDMA 系統。參考之系統採用 OFDM 技術為基礎，提供高資料傳輸速率的能力，並能支援使用者之移動行為，符合下一代行動通訊系統之特性，因此我們據此設計一相關研究平台。

在本系統平台之實體層為正交分頻多工結合時域上分碼多工接取 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Code Division Multiple Access) 當作系統設計之技術基礎。在單一細胞 (Cell) 環境下，指定重覆使用係數 (Reuse Factor) 為 1，模擬採用分頻多工 (Frequency-Duplex Division, FDD) 的下鍊通道 (Downlink)；上傳資料則採用 UMTS 制定的規格 [15]。研究重點將著墨在 OFDM-CDMA 系統的適應性資源分配演算法設計，並引入准入控制 (Call Admission Control)、封包排程 (Packet Scheduling) 等無線資源管理函式的效應，觀察適應性資源分配演算法的效果。

2-3-1 實體層傳收機架構與參數

正交分頻多工結合多維度分碼多工接取技術的實體層下傳通道通用傳收機架構如圖 2.8 所示。 S_i 為第 k 位使用者在第 i 根子載波上的低速率資料串列，先經過展頻碼 $S_{F_{i,i}}$ 做時域展頻，後在頻域上得展頻增益 S_{F_f} ，經由快速傅立葉轉換後的輸出結果，置入保護區間組成一個完整的 OFDM 符元，最後將訊號經天線送入通道。接收端的架構為傳送端的依序反向動作，包含保護區間的移除、頻域與時域的反展頻，求得最初傳送的資料串列訊號。在本篇論文中，模擬平台的 S_{F_f} 設定為 1，換句話說，目前是在 OFDM 技術支援的多載波系統上，採用時域分碼多工接取技術對無線資源管理主題進行研究。頻域展頻的效應，則留待未來在本論文研究的基礎上作進一步的延伸。

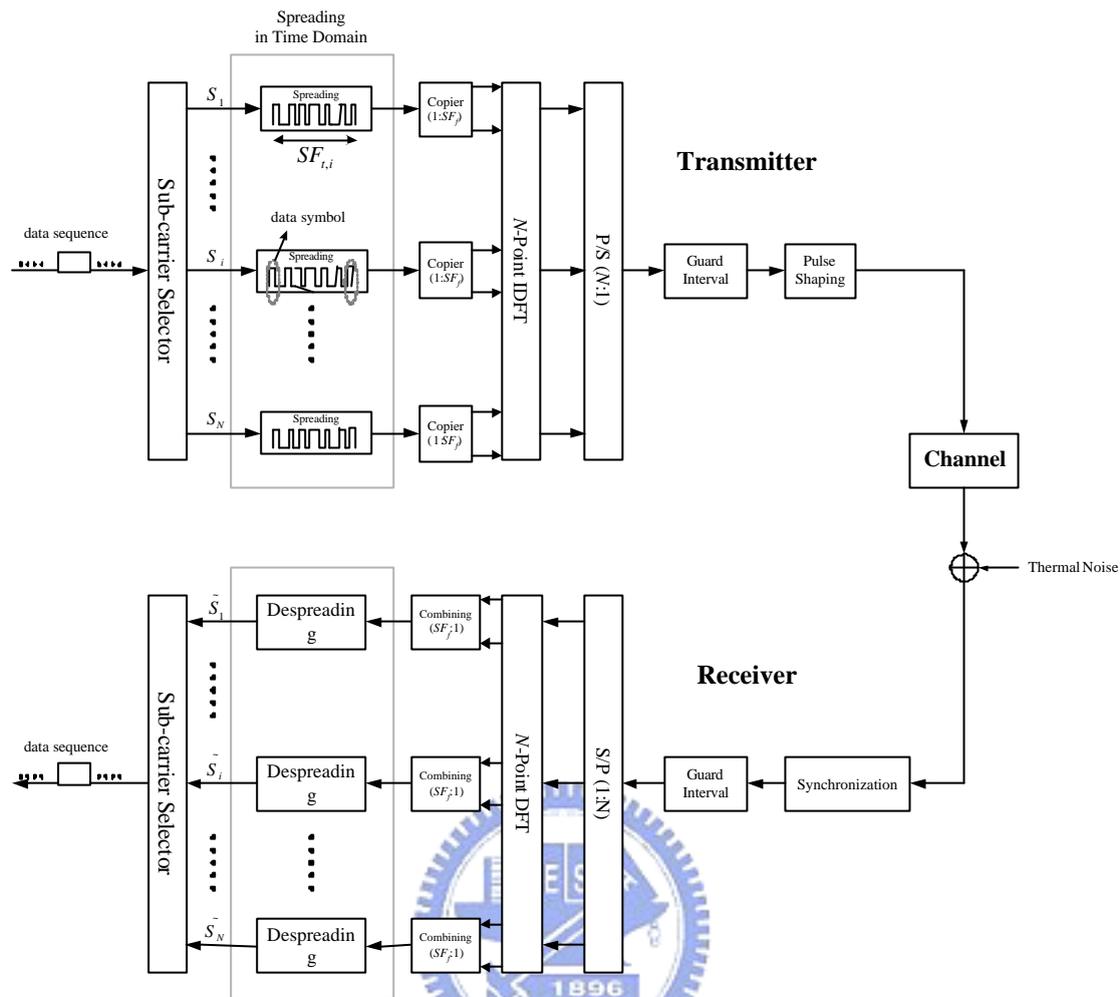


圖 2.8 多維度正交分頻分碼多工接收技術通用傳收機架構

2-3-2 實體層系統參數設定

表 2.1 列出系統碼框架構相關時間參數。選擇小於通道同調頻寬的頻帶間格 (Frequency Spacing) 為 80 KHz ，使得頻域上的訊號在每個子載波的頻帶間格內承受通道的水平衰落 (Flat Fading)，換言之，同一子載波頻帶間格內的頻域訊號將受等量的通道效應影響，避免出現非頻率選取性衰落 (Frequency Non-Selective Fading) 現象而破壞正交性。

保護區間長度的選擇，必須大於預期的最大傳輸延遲擴散，使得前一個 OFDM 符元的傳輸延遲擴散部分，不會形成碼際干擾 (ISI)，影響到後一個 OFDM 符元。本模擬平台參考 IEEE 802.20 所規範之通道模型 [16]，當使用者搭乘交通工具移動時，所遭遇之多路徑衰落時域通道脈衝響應 (Channel A)²，有六根路徑組成，且通道的最大延遲擴散為 2510 ns 。設計保護區間長度為 3.125 ms ，並在等效信號功率損失 (Effective Signal Power Loss) 為 1 dB 的定義下，訂定保護區

間長度為1/5倍的 OFDM 信號符元長度。

系統之下傳子載波共 1024 個，因此，一個細胞所佔的總頻寬約為 82 MHz。

System Parameter	Values
Δ_F : Subcarrier frequency spacing	80 KHz
N_{ST} : Number of subcarriers, total	1024
T_{FFT} : IFFT/FFT period	12.5 ms
T_{GI} : Guard Interval period	3.125 ms
T_{OFDM} : Symbol interval	15.625ms
BW : Total Occupied Bandwidth	81.92MHz

表 2.1 碼框架構相關時間參數

本模擬平台假定採用的載波中心頻率(Carrier Central Frequency)為 2 GHz，定義同調時間(Coherence Time)為通道自相關係數值(Autocorrelation)大於 95% 的時間間隔。根據 Stuber 著作[17]的理論並加以模擬得通道自相關係數值與時間延遲關係圖，如圖 2.6 所示。換算使用者之不同移動速度環境下所能使用之最大時域展頻係數(Time-domain Spreading Factor)，得出移動速度模型相關參數表 2.2。

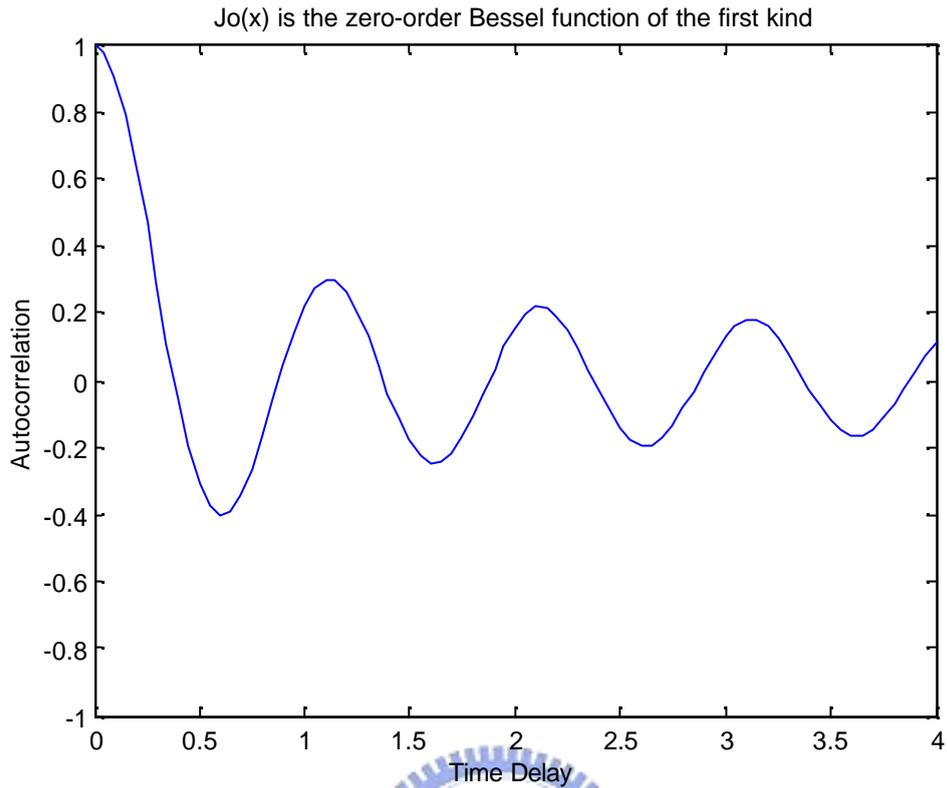


圖 2.9 通道自相關係數值與時間延遲關係圖

Mobility Model Parameter	Indoor	Pedestrian	Vehicular	Vehicular
v : velocity (<i>km/hr</i>)	3	30	120	250
$f_{d,max}$: Max. Doppler Shift (<i>Hz</i>)	5.56	55.56	222.22	462.96
Δt_c : Coherence Time (<i>ms</i>)	50.4	5.04	1.26	0.605
$SF_{t,max}$: Max. Available Time-domain Spreading Factor	$\gg 256$	256	64	32

表 2.2 移動速度模型相關參數

在本系統中，最大容許時域展頻增益的選擇被限制在通道的同調時間內，以確保經過時域展頻後的訊號受到等量的通道效應，維持展頻碼的正交性，因此相同頻帶中其他使用者的下傳訊號經過傳輸通道，在個別使用者接收端將不形成多工接取干擾(MAI)影響。

表 2.3 列出在實體層可調整的傳收機參數，同時也是模擬平台在無線資源管理演算法設計中仰賴調整的參數，以符合當時使用者資料速率的需求。在本系統的架構下，有四種調變機制、兩種編碼速率可供選擇。展頻碼的長度愈大，可同時使用的展頻碼數(Spreading Code Number)愈多，但較長的展頻碼會導致等效資

料傳輸速率下降，因此長度的選擇需有所取捨。系統設定的最小展頻碼長度為 16，以保證能提供一定數量的碼數供使用者選用。

Adaptive Parameter	Values
M : Modulation Scheme	BPSK、 QPSK、 16QAM、 64QAM ($M=1$, $M=2$, $M=4$, $M=6$)
C : Coding Rate	1/2, 2/3, 3/4
S : Spreading Fator	16, 32, 64, 128, 256
N : Number of subcarriers	1024
Error Correcting Code	$K=7$ (64 states) convolutional code

表 2.3 OFDM-CDMA 系統可調整參數表

由於可調整之相關參數較諸以往已存之系統為多，故資料傳輸速率的種類與組成相對具多樣性。在系統仍有可使用功率資源的前提下，第 k 位使用者的資料傳輸速率由選定的實體層參數組合² - 調變機制 (Modulation Scheme, M)、編碼速率 (Coding Rate, C)、展頻係數 (Spreading Factor, SF) 及子載波個數 (Number of Sub-carrier, N) - 透過(2.4)式共同決定。在最大化系統流量的目標下，儘量滿足使用者對於服務品質 (Quality of Service, QoS) 的要求，提供軟式服務品質 (Soft QoS)，完成系統資源的分配。

$$R_k = \frac{M_k \cdot C_k \cdot N_k}{SF_k \cdot T_{OFDM}} \quad (2.4)$$

其中

- R_k : 第 k 位使用者的資料傳輸速率
- M_k : 第 k 位使用者的調變機制
- C_k : 第 k 位使用者的編碼速率
- SF_k : 第 k 位使用者的展頻係數
- N_k : 第 k 位使用者子載波個數
- T_{OFDM} : OFDM 符元間距

當使用者的參數組合選擇調變機制為 1，編碼速率為 1，展頻係數為 256，且選擇子載波個數為 1，將其傳輸速率定義為基本單位資料傳輸速率 (Basic Unit Data Rate, R_{BU}) 等於 0.25 Kbps。

$$R_{BU} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{256 \cdot (15.625)} = 0.25 \text{ Kbps} \quad (2.5)$$

由 (2.4) 與 (2.5) 式可知基本單位資料傳輸速率與第 k 位資料傳輸速率 (Information Data rate, R) 之速率換算方式如 (2.6) 式, 將有助於從系統所分配之資源直接對應到所選擇的 MCSN 參數組合, 並得出當時使用者的真實傳輸速率。至於對個別使用者尋找適當 MCSN 參數組合的方法, 將經由無線資源管理中封包排程演算法的資源分配程序作適當設計。

$$R_k = (M_k \cdot C_k \cdot S_k \cdot N_k) \cdot R_{BU} \quad (2.6)$$

$$S_k \triangleq SF_{\max} / SF_k$$

其中

SF_{\max} : 系統最大可使用的展頻係數長度

† : 實體層參數組合主要利用調變機制、編碼速率、展頻係數及子載波個數的變化搭配, 以獲取個別使用者的資料傳輸速率, 實體層參數組合又簡稱為 MCSN 參數組合。

依據本系統的架構, 在此訂立一些規則, 這些規則是根據模擬環境設定或參考其他適當文獻所訂出, 都是將來值得研究的參數讓系統能進一步優化、最佳化。目前模擬環境乃考慮使用者以人行速度 30 Km/hr 移動, 若用戶端欲完整追? 多路徑通道衰落的變化適時地調整 MCSN 參數組合, 則需在同調時間內重新量測通道狀況, 並執行資源重新分配程序。在最大容許時域展頻增益選擇的限制與展頻碼數的取舍下, 定義每 256 個 OFDM 符元區間為資源重分配週期 (Resource Reallocation Period), 使用者在這段時間內, 將可精確獲得通道衰落值的變化, 並據此選擇適合的 MCSN 參數組合, 提供使用者軟式服務品質, 追求最大化系統流量的目標。

在本系統平台中, 同時模擬即時性 (Real-Time Service, RT) 資料傳輸, 如語音與即時影像等服務, 和非即時性 (Non-Real Time Service, NRT) 資料傳輸, 如網路瀏覽 (Web browsing) 與電子郵件 (E-mail) 等服務。使用者所需要的功

率資源除了依據通道狀況有所增減，更因不同形式的服務而有差異。在每一次資源重分配程序執行時，由於即時性服務對延遲 (Delay) 容忍度較差的緣故，將比非即時性服務優先被分配系統資源；換句話說，等到即時性服務全部被分配後，倘若系統資源仍有剩餘，才進行非即時性服務的分配程序。但不論何種服務，在資源重分配週期內均可完全掌握住被分配到的資源，直到下一次的資源重新分配程序執行，如圖 2.10 所示。更深入的資源分配程序與細部流程將於稍後的章節介紹。

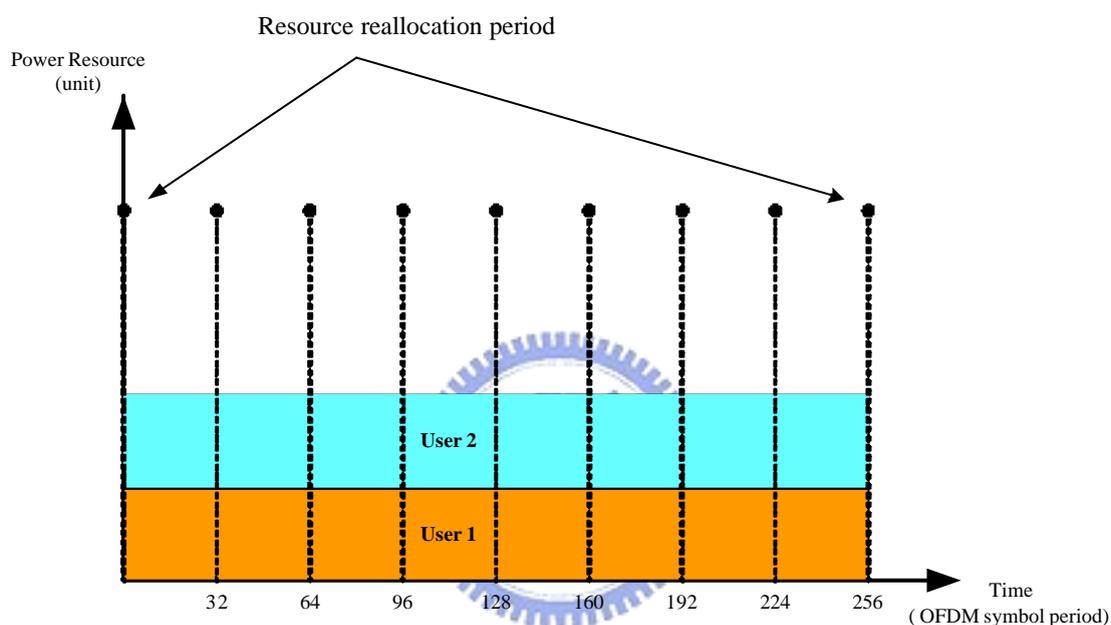


圖 2.10 資源重分配週期示意圖

許多學者專家已經開始針對下一代行動通訊的系統技術進行研究，目前的研究方向大致可以分成兩個方向，第一種是研究新的傳輸技術，目得是要能提供高傳輸速率、高移動能力與低功率的系統；另一個研究方向是多系統的整合技術，其目的是希望能提供隨時隨地上網且高傳輸速率的服務，如蜂巢式網路(如 GSM, GPRS, 3G)與無線區域網路(如 IEEE 802.11 Wireless LAN)的技術整合。在第一種方向來說，許多學者認為：因為 3G 之將引進全新的無線介面，以大幅突破現有 UMTS 384 Kbps 的速率，可能達到數十至上百 Mbps，以提供更高頻寬之即時多媒體服務，預期它不僅將採用如 OFDM 之新一代調變技術，勢必也將要使用全新的頻譜。

3G 之後的系統包含了眾多可能性，但我們針對 OFDM 為基礎的系統，先對 3G 之後的系統伸入觸角，為此類系統做初步規劃與介紹，可以先提供 3G 之後

系統規劃一個初步藍圖和建議，且藉由此規劃可以在配合後面章節所述之無線資源管理演算法，做各項不同演算法之研究，觀察各項系統的參數彼此牽連的關係。此系統之可行性與是否有更好的演算法與參數的設定等，這同時是本篇論文的期望，能對 3G 之後的系統做個釐清與介紹，讓更多的研究能藉由此平台，使系統更完整與周詳。



第三章 無線資源管理

在進行一個完整的系統模擬時，考量的環境及系統相關係數的設定是否合理與正確，均將直接影響研究成果是否具有高度的參考價值。因此本章將會針對所規劃的 OFDM-CDMA 模擬平台建構時的各項系統參數與背景，與模擬進行時的通道環境模型及使用者行為模型做進一步的說明。緊接著會敘述平台之模擬流程，並說明如何依據前述章節之理論，透過電腦程式完整模擬出真實系統運作下的環境變化。另一方面，也將闡述無線資源管理演算法的功能與背後意義，使後進的研究者能更加體會出無線資源管理在行動通訊上扮演的角色，而針對不同議題作更深入的探索。

3-1 系統規劃

3-1-1 細胞架構



在本節中，我們將說明細胞架構的原因與組成。本系統的下鍊鏈路(Downlink)採 OFDM-CDMA 系統，因為適當地選擇保護區間長度，維持子載波間的正交性，避免了子載波間干擾，並且在下鍊鏈路中，假定傳送端與接收端能正確地展頻(Spread)與反展頻(De-spread)，將沒有多重接取干擾(MAI)影響。多重接取干擾主要是在基地台(Base Station)的發射訊號中，相同頻帶中其他使用者的傳送信號經過傳輸通道(Channel)所造成的干擾效應。

但本系統的上鍊鏈路(Uplink)採第三代行通訊系統規格 UMTS，具有同樣的單一頻率重複使用特性，換言之，每位使用者使用相同的頻帶，系統的頻率重複使用係數等於 1，所以每個人的上傳發射信號對其他人而言都會造成同頻帶干擾(Co-Channel Interference, CCI)。

儘管根據 Miller 和 Lee 的分析[19]，在 CDMA 的系統中，考慮兩個干擾層(Tiers)的其他細胞(Other Cell)干擾時，便可以相當接近於考慮無窮多個干擾層的效果。但原本每個細胞需模擬的使用者個數，在總共考慮兩個干擾層 19 個細胞的情況下，統計使用者數量將增加 19 倍，以獲得足夠的統計量。其次本 OFDM-CDMA 模擬平台為多載波通訊系統，當時間到達資源重分配週期時，計算每個使用者的資源分配狀況均需考慮 1024 根子載波上的通道增益。因此在考量所需消耗的運算量的前提下，兼系統預計採用的換手轉換(Handover)機制未定，目前本系統中針對單一細胞層(Single Cell)進行模擬，並且細胞的涵蓋範圍

(Coverage)用一個六角形來近似。

縱然目前僅考慮單一細胞層的細胞架構,但是在假設使用者移動速率不會快速到時常接近細胞邊界(Cell Boundary)的前提下,目前所採用的系統架構、通道環境、使用者行為與無線管理演算法仍可正確運作,僅多細胞(Multiple Cell)的干擾效應考量的不完整。未來模擬系統平台的目標,將充份模擬兩個干擾層產生的干擾效果,朝完整模擬細胞架構的方向邁進,以求更真實地反應出無線資源管理演算法在實際細胞架構下的運作情形。未來兩個干擾層的細胞架構如圖 3.1 所示。

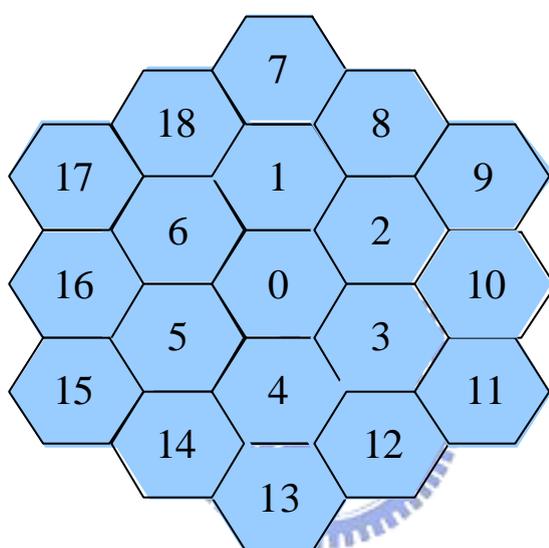


圖 3.1 兩個干擾層細胞架構

3-1-2 鍊路預算

在建構系統之初,須透過鍊路預算(Link Budget)來估算每個細胞的涵蓋範圍。但值得注意的是,鍊路預算裡的參數值多為參考一段時間的平均值,因此所計算出的結果僅能供作系統建置初期的參考;然而,經由此參考數值,方能在規劃初期有所依據,實際情況則需要透過進一步模擬才能清楚。

表 3.1 是一個上鍊鍊路預算的範例。範例中所考慮的情況是使用者在移動速度 $30(km/hr)$, 服務型態有即時性或非即時性服務可供選擇,考慮接收機的頻寬為 $5MHz$, 且環境溫度在 $293K(20^{\circ}C)$ 。本鍊路預算範例所列出之各項參數與建議值可參考 H. Holma[20]的著作獲得進一步的說明。鍊路預算中的每一項參數本身都具有重要的物理意義,並反映出真實系統中的環境變因。底下將詳細解

說參數意義。

Uplink Link Budget			
Item	Units	Values	Comments
Transmitter (mobile station)			
(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	$d=a+b-c$
Receiver (base station)			
(e) Thermal noise density	dBm/Hz	-173.93	$N_o=KT$; $K=1.38*10^{-23}$, $T=293$
(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 3.1 上鍊鍊路預算範例

◎ 環境參數說明：

Max. mobile transmission：手機發射訊號所能達到的最大功率，單位是 dBm。

Mobile antenna gain：手機天線的增益，若值為零則代表使用無指向性 (Omni Directional) 天線，若不為零則代表使用指向性 (directional) 天線。單位為 dBi。

Body loss : 手機發射訊號經過人體時所衰減的程度。若值不為零則代表使用者將手機貼著耳朵使用,若為零通常代表使用數據服務時使用者將手機遠離身體以閱讀資訊。單位為 dB 。

Thermal noise density : 背景熱雜訊的密度。與溫度呈正比關係,公式為 $N_0 = KT$ 。 T 為所考慮環境的凱氏溫度, K 為蒲朗克常數,值為 1.38×10^{-23} 。單位為 dBm/Hz 。

Base station receiver noise figure : 訊號經過基地台接收機時,訊號雜訊比會因為射頻(RF)元件的作用而產生額外的雜訊,此項代表訊號雜訊比(SNR)惡化的程度。單位為 dB 。

Receiver noise density : 在基地台射頻接收設備的輸出端,等效的熱雜訊密度。單位為 dBm/Hz 。

Receiver noise power : 在已知熱雜訊密度的情況下,考慮系統使用理想的濾波器,則所收到的熱雜訊功率等於熱雜訊密度乘上濾波器的頻寬。單位為 dBm 。

Interference margin : 系統當初規劃所準備承受的最大干擾(Interference)功率。此強度是以熱雜訊的強度為比較基準,故單位為 dB 。由於 CDMA 系統的干擾強度與使用者數量有某種程度的正比關係,故此項的值會直接影響到系統的容量。以熱雜訊強度為比較基準,是因為當系統硬體設備規格決定後,接收機在濾波器之後所收到的熱雜訊強度便會固定,不隨其他參數或演算法而有所改變,故以此為比較的基準。

Receiver interference power : 在基地台射頻接收設備的輸出端,所規劃承受的最大干擾功率,單位為 dBm 。

Total thermal noise + interference power : 在基地台射頻接收設備的輸出端,所規劃承受的最大干擾功率加上熱雜訊功率,單位為 dBm 。

Processing gain : 在 CDMA 系統中,訊號在傳送端經過展頻,在接收端又經過解展頻,因此在通道中所引入的干擾與熱雜訊將會被抑制,故訊號雜訊比會因此而得到增益,稱為展頻增益。其值為 $(\text{Chip Rate} / \text{Bit Rate})$, Bit Rate 為訊號的位元傳輸速率, Chip Rate 則為展頻碼產生率。此項的單位為 dB 。

Required E_b/N_0 : 使用者選用的服務所需的訊號品質。 E_b 為訊號中每個位元內所含的能量(Energy per Bit),而 N_0 則為熱雜訊的密度(Noise Density)。事實上這

裡的 N_o 並不單指熱雜訊的影響，而需同時考慮同頻干擾(Co-Channel Interference) 密度。實際上 E_b/N_o 是一個功率的比值，故單位為 dB 。

Receiver sensitivity：定義為 Required E_b/N_o - Processing gain + Total thermal noise + interference power。其中 Required E_b/N_o - Processing gain 即為 Required SIR，表示為滿足某一定值 BER(Bit Error Rate)時所需的訊號品質。Required SIR + Total thermal noise + interference power 為所需要的訊號強度，由於這邊考慮的 interference power 是我們所規劃系統準備承受的最大干擾強度。故可知 Receiver sensitivity 所代表的意義為，當系統處在最惡劣的情況時，在基地台射頻設備的輸出端所要求訊號須滿足的最低功率，其單位為 dBm 。

Base station antenna gain：基地台端所使用天線的增益。值為零代表使用無指向性天線，若不為零時則代表使用指向性天線。一般而言，指向性天線常伴隨著細胞分隔(Sectorize)技術的使用，若使用無指向性天線時則否。單位為 dBi 。

Cable loss in the base station：考慮訊號從基地台經由同軸電纜傳送至機房所遭受到的損耗。單位為 dB 。

Fast fading margin：預留一段空間確保傳送端有足夠的功率，讓功率控制機制在快衰落(Fast Fading)突然變化之際，能試著克服通道衰落的影響以期接收訊號維持在欲鎖定的目標訊雜比(Target SIR)。單位為 dB 。

Max. allowable propagation loss：當使用者手機發射功率最高時，考慮系統處於近乎所規劃的滿載的情況時，訊號可以容忍的最大傳播損失(Propagation Loss)。單位為 dB 。

Coverage probability：當使用者位在所規劃的涵蓋範圍邊界上，在系統中干擾強度達到所規劃的上限時，使用者傳送到基地台的訊號品質能滿足系統要求的機率。

Log-normal fading constant：遮蔽衰落(Shadow Fading)在統計上會呈現 Log-normal 的分佈，而此項則是指這個 Log-normal 分佈的均方差(Standard Deviation)值。此為一量測值，根據環境不同會有所改變。

Propagation model exponent：在很簡單的路徑損失(Path Loss)模型中可將路徑損失的量近似成與距離的某次方成反比，而此項便代表在該環境中，適合此路徑損失模型的次方數。此值亦會隨所考慮的環境而有所不同。

Log-normal fading margin：若將可容許最大傳播損失的門檻(Threshold)訂為平均的遮蔽衰落加上路徑損失，則當使用者位在涵蓋區邊界時，只有 50% 的機會能滿足訊號品質的要求。為達到 Coverage probability 的要求，必須在所規劃的最大傳播損失中，預留一些空間因應遮蔽衰落的變動。在已知 Log-normal fading constant 時，我們便可算出所需要的 Log-normal fading margin。此項的單位為 dB。

Soft-handover gain：當系統有使用軟式換手技術(Soft Handover)時，使用者的訊號可能會由一個以上的基地台接收，於網路端再將同一個使用者來自不同基地台的訊號做結合或是選擇性分散(Selective Diversity)。如此能增進訊號的品質。單位為 dB。

In-car loss：當考慮使用者高速移動時，因此訊號在穿透車輛時所受到額外的損失必須要考慮進來。單位為 dB。

Allowed path loss for cell range：在考慮所有系統效能限制與所規劃的系統資源分配後，每個使用者所能夠允許承受的最大路徑損失。單位為 dB。

經由上鍊鍊路預算推估出的最大路徑損失值主要與使用者和基地台間的距離有關，因此透過這個值並配合適當的路徑損失模型，便可規劃出此基地台在滿足各種條件情況下的有效涵蓋半徑。

在下鍊鍊路中，系統資源的定義為基地台的最大可傳送功率。此未知數的解法為透過上鍊鍊路預算推估出基地台有效涵蓋半徑後，建立上下鍊鍊路預算的連結關係，以求得基地台的最大可傳送功率。由於上下鍊鍊路均是設計在同樣大小的細胞有效涵蓋半徑，推得上下鍊鍊路預算的共同解為最大路徑損失值，因此將可下鍊鍊路預算來反求基地台的最大可傳送功率。在下鍊鍊路預算中，多項參數的意義與求值，跟在上鍊鍊路預算中並無不同。唯一特別注意的是，因為本模擬平台下鍊採用 OFDM-CDMA 多載波系統(共 1024 根子載波)，手機端的接收頻寬較大，對應的背景熱雜訊功率相對地大為增加。並且下鍊之最大展頻係數為 256，讓展頻增益略有下降。因此從下鍊鍊路預算反推出基地台端的等效全向輻射功率(Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP)，再考慮基地台天線增益，與假設系統平均可允許同時上傳之使用者數目，計算而得基地台之最大可傳送功率。表 3.2 為下鍊鍊路預算表，相關參數意義可參考前面篇幅所述。

Forwardlink Link Budget			
Item	Units	Values	Comments
Transmitter (base station)			
(a) Max. base station transmission power	dBm	P	
(b) Base station antenna gain	dBi	0	
(c) Avg number of users by UL planning		53.43	
(d) Equivalent Isotropic Radiated Power	dBm	p	$d=a+b-10*\log_{10}(c)$
Receiver (mobile station)			
(e) Thermal noise density	dBm/Hz	-173.93	$N_o=KT$; $K=1.38*10^{-23}$, $T=293$
(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 3.2 下鍊鍊路預算範例

此鍊路預算對於系統建置時的初步規畫有非常大的幫助，但更精確的基地台涵蓋半徑仍需透過完整的系統模擬才有辦法得知。

3-2 使用者行為模擬模型

使用者的行為模式會影響其本身通道環境的變化、對系統資源的需求等等，所以針對實際情況下使用者之行為並加以模擬，將使研究結果更貼近於真實環境。一般而言，會造成影響的事件有移動行為與不同服務的資料流量(Traffic)。

3-2-1 使用者移動模型

首先介紹使用者的移動模型，使用者的移動行為對系統造成的最主要影響在於換手技術(Handover)。在考慮不同的使用者移動環境中，換手技術所需採用的演算法或參數可能不盡相同，也間接地影響到系統的干擾強度水平(Interference Level)。接下來將針對系統的幾個主要環境來說明使用者在其中的移動模式，與該環境的空間模型，模擬的方法可參考[16][18]。

④ 室內/辦公室(*Indoor Office Test Environment*)

此環境是針對一個有空曠樓面的大樓建築，辦公室的座位被可移動的隔板分隔著，而這些隔板會造成訊號大幅度的變動，且有著 Log-normal 的分佈。此處所考慮的模型中，並不考慮電梯和樓梯間的使用者，但這些情況實際上是存在的。此外基地台是使用無指向性天線，且考慮系統所蒐集到的統計特性是在中間樓層所進行。

④ 室內與室外間移動的行人 (*Outdoor to Indoor and Pedestrian Test Environment*)

在市區的使用者移動模型和街道結構有高度的相關性，因此利用類似曼哈頓地區的道路結構來定義室外到室內和行人的環境，使用者沿著街道移動，並在路口街角處才會轉彎。此種道路結構普遍存在於世界各大城市之中，可視為是市區內典型的道路結構。

④ 在交通工具上(*Vehicular Test Environment*)

此環境中，使用者位於車輛或其他的載具之內以高速於大範圍的區域中移動。車輛的移動模型需考慮高速移動且方向改變的量並非特定的值，系統模擬時使用的座標更新是以非相關距離為準，且在每次更新位置時都有一定的機率會改變前進的方向。為了在此環境有效地提供服務，基地台天線的高度必須比平均屋頂高度高上 15 公尺。這裡的基地台使用了指向性天線以增加有效的涵蓋範圍。

3-2-2 使用者資料流量模型

在無線通訊系統中，使用者所使用的服務不同時，對於系統的無線資源(Radio Resource)的耗用亦不相同。為了能真實模擬出系統的效能，在此針對行動系統中提供的服務來介紹其資料模型，包括即時性服務(如語音服務)與非即時性服務(如數據服務)。

④ 語音服務流量模型 (Voice Service Traffic Model)

根據統計的結果，即時性服務使用者進入系統的時間點會呈現波松(Poisson)分佈，而每位使用者進入系統時間點の間距是呈現指數(Exponential)分佈。在系統中，每位使用者平均的通話時間亦呈現指數分佈，並且若使用者在通話過程中沒有講話時，手機將會暫時停止發送訊號，此時將不會造成其他使用者的同頻干擾。

圖 3.5 所示為使用語音服務時所造成的資料流量模型。其中”Active (On)”的時候代表使用者有講話(有訊號發出)。而在”Active (Off)”的時候，則代表當時使用者並沒有講話(沒有訊號需要傳送)，即發射端不會發送訊號。因此，語音服務的資料流量模型被稱為「On-Off Model」。根據統計結果，當使用語音服務時，其特色在於”On”會持續一段時間，其後接著一段的”OFF”，隨後彼此交替出現，直到使用者結束語音服務。將整個使用者通話期間的時間平均起來，得到的比值稱為活動因素(Activity Factor, r)，此參數反應出對於通道的使用率。所以在模擬時，當系統中使用語音服務的使用者很多時，推估使用語音服務之使用者所造成的干擾功率定義為他們所造成的總干擾功率再乘上 r 。利用此方式來反應出使用者使用該服務時的資料流量特性，並真實呈現系統中干擾功率的變化。

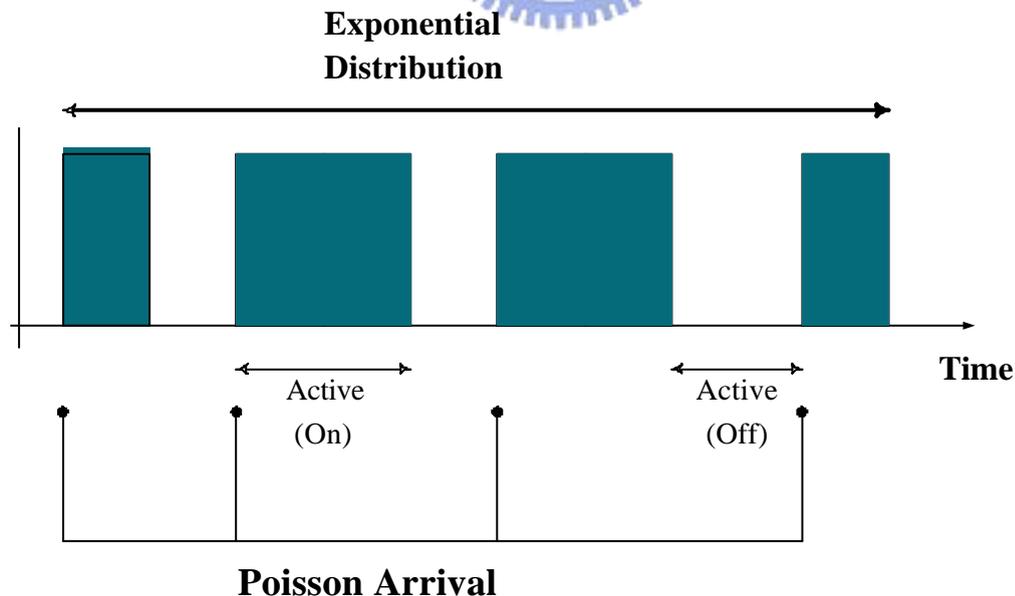


圖 3.5 語音服務流量模型

④ 數據服務流量模型 (Data Service Traffic Model)

除了提供語音服務外，下一代行動通訊系統將提供大量的數據服務，包括影像、視訊與網際網路(World Wide Web, WWW)等。雖然上網的平台是透過行動通訊網路，但根據相關的研究[21]顯示，其數據資料流量的特性與有線網路中以 IP(Internet Protocol)封包 (Packet) 傳送網際網路資料時的特性相同。因此我們採用 UMTS 規格書[41]中所推薦的數據服務流量模型，此模型是根據使用者瀏覽網際網路時所造成的資料流量所建構而成，如圖 3.6 所示。

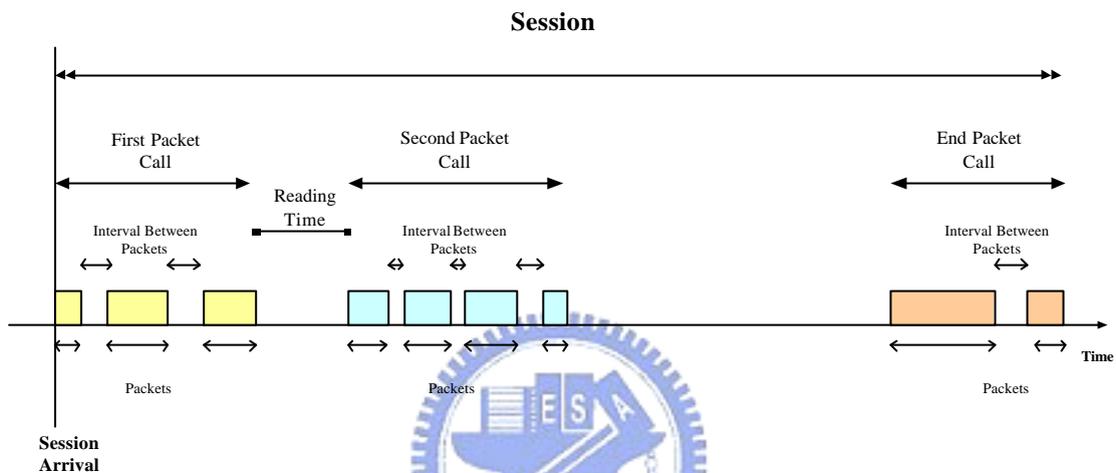


圖 3.6 數據資料流量模型

此模型中有數個重要的參數，以下分別說明這些參數所代表的意義：

Session arrival time :

使用者開始使用數據服務的時間點。與語音服務一樣，這些時間點的產生是依據波松流程。

Number of packet calls per session N_{PC} :

使用者瀏覽資料的過程中所閱讀的網頁數目。這個值的產生是透過一個幾何 (Geometric) 隨機變數產生。

Reading time between two consecutive packet calls D_{PC} :

使用者在閱讀一個網頁所需耗費的時間。經由統計結果，此參數呈現指數分佈。

Number of packets in a packet call N_d :

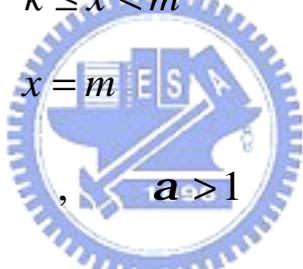
一個網頁內所包含的檔案數目。一個網頁是由許多小檔案組合而成，須分別將這些小檔案下載，最後才會呈現出一個完整的網頁。此值亦由一個幾何隨機變數產生。

Time interval between two consecutive packets in a packet call D_d :

下載每個小檔案時，彼此間隔的時間。亦透過幾何隨機變數產生而得。

Packet size S_d :

每個小檔案的資料大小，單位為 Bytes。此參數經統計是呈帕列托(Pareto)分佈。帕列托隨機變數的機率分佈如下所示：

$$f_n(x) = \begin{cases} \frac{a \cdot k^a}{x^{a+1}} & , \quad k \leq x < m \\ b & , \quad x = m \end{cases}$$
$$b = \int_m^{\infty} f_x(x) dx = \left(\frac{k}{m}\right)^a$$
$$m_n = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f_n(x) dx = \int_k^{m^-} x \frac{a \cdot k^a}{x^{a+1}} dx + m \left(\frac{k}{m}\right)^a = \frac{ak - m \left(\frac{k}{m}\right)^a}{a - 1} \quad (3.2)$$


在使用不同資料傳輸速率時，下載網頁的時間也有所不同，但其影響只會在於傳送每一個檔案時所需消耗的時間不同；至於使用者的閱讀時間與一個網頁需要下載的小檔案數目均不受改變。表 3.3 所列出的是當使用不同資料傳輸速率時，數據資料流量模型所對應的參數平均值：

Packet based information types	Average number of packet calls within a session	Average reading time between packet calls [29]	Average amount of packets within a packet call	Average inter-arrival time between packets	Parameters for packet size distribution
WWW surfing UDD 8 kbit/s	5	39.5	25	0.5	$k=81.5$ $= 1.1$
WWW surfing UDD 32 kbit/s	5	39.5	25	0.125	$k=81.5$ $= 1.1$
WWW surfing UDD 64 kbit/s	5	39.5	25	0.0625	$k=81.5$ $= 1.1$
WWW surfing UDD 144 kbit/s	5	39.5	25	0.0277	$k=81.5$ $= 1.1$
WWW surfing UDD 384 kbit/s	5	39.5	25	0.0104	$k=81.5$ $= 1.1$
WWW surfing UDD 2048 kbit/s	5	39.5	25	0.00195	$k=81.5$ $= 1.1$

表 3.3 不同資料傳輸速率所對應之數據資料流量模型參數

3-3 通道模擬模型

在無線通訊環境中，多種無線通道的效應彼此錯綜在一起，如路徑損失(Path Loss)、遮蔽衰落(Shadow Fading)、多路徑衰落(Multi-Path Fading)、接收天線上之損耗及接收機上產生的熱效應(Thermal Noise)等，因此建立一個真實的模擬環境，將能確保無誤地模擬出系統運作情形[16][18]。圖 3.7 描繪出行動通訊系統中，訊號傳播所經過的環境及主要造成訊號衰落的幾個原因。

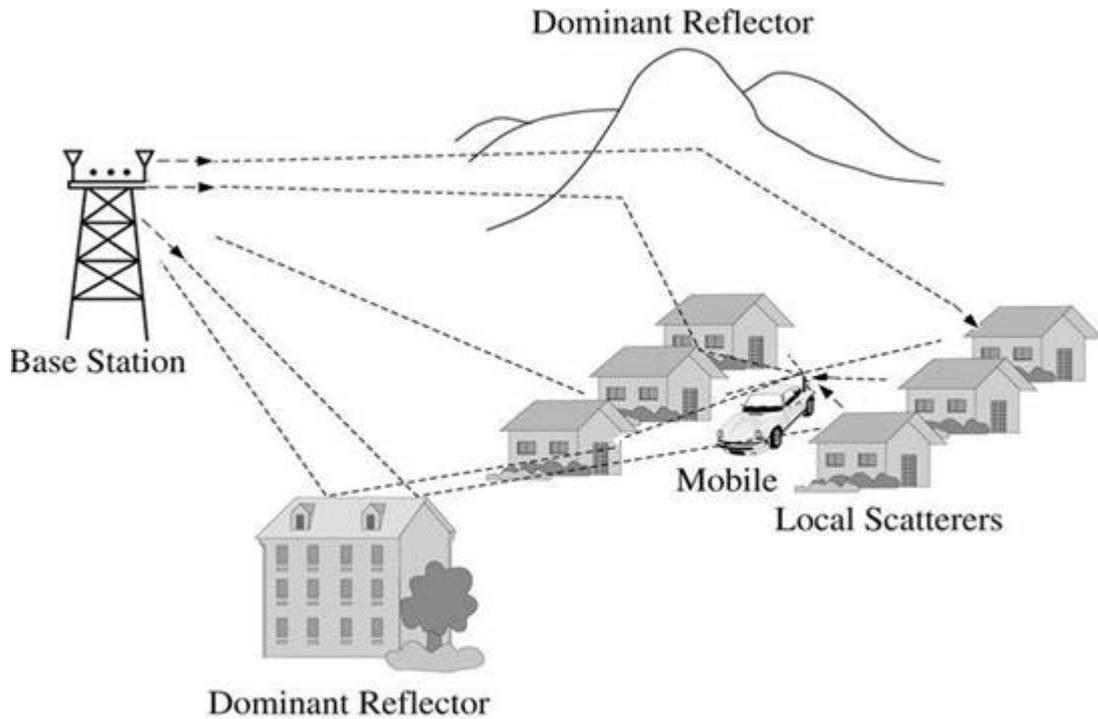


圖 3.7 無線傳播環境示意圖



3-3-1 路徑損失模型

電磁波傳播的越遠，訊號損失越嚴重，因此路徑損失的主要因素為傳播距離。在 IEEE 802.20 規格書所提供的參考資料[16]中，提供了三種路徑損失模型，茲說明如下：

④ 室內/辦公室(Indoor Office Test Environment)

此路徑損失模型是根據 COST 231² 所提供的量測結果。

$$L = 37 + 30 \text{Log}_{10}(R) + 18.3n^{((n+2)/(n+1)-0.46)}$$

其中 R ：訊號發射端與接收端兩點間的距離 (m)

n ：訊號在兩端間傳送時所穿過的樓層數

在此環境中所對應的遮蔽衰落變化之標準差約為 $12dB$ 。

④ 室內與室外間移動的行人 (*Outdoor to Indoor and Pedestrian Test Environment*)

$$L = 40 \text{Log}_{10}(R) + 30 \text{Log}_{10}(f) + 49$$

其中 R : 訊號發射端與接收端兩點間的距離 (Km)
 f : 訊號載波頻率 (MHz)

當使用者位在室內時遮蔽衰落變化的標準差約為 12dB，而在室外時所對應的遮蔽衰落變化之標準差則為 10dB。

④ 在交通工具上 (*Vehicular Test Environment*)

$$L = 40(1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta h_b) \text{Log}_{10}(R) - 18 \text{Log}_{10}(\Delta h_b) + 21 \text{Log}_{10}(f) + 80$$

其中 Δh_b : 基地台的天線高度 (m)

† : 關於 COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) 的詳細資料可以在該組織的網站中查調。

<http://www.cordis.lu/cost/src/tisthome.htm>

3-3-2 遮蔽衰落模型

根據在真實的無線傳播環境中量測得到的結果，得知遮蔽衰落的變化程度統計結果是呈現 Log-normal 的分佈。因此在進行系統模擬且沒有考慮特定地形地物的情況時，採用 Log-normal 分佈的隨機變數，產生遮蔽衰落所造成的影響。此隨機變數的標準差則隨著所考慮的模擬環境而有所差異。但隨著更進一步的研究，發現遮蔽衰落變化具有相關性的特性。總結諸多研究可以歸納出兩種遮蔽衰落的相關性類型：自相關(Auto-Correlation)特性與交相關(Cross-Correlation)特性。

④ 遮蔽效應的自相關模型

遮蔽效應(Shadow Fading)又稱為慢衰落(Slow Fading)，其主要成因來自於訊號傳播的路徑上有遮蔽物的阻擋，如大廈、山丘等。透過圖 3.8 可以說明遮蔽效應的成因：

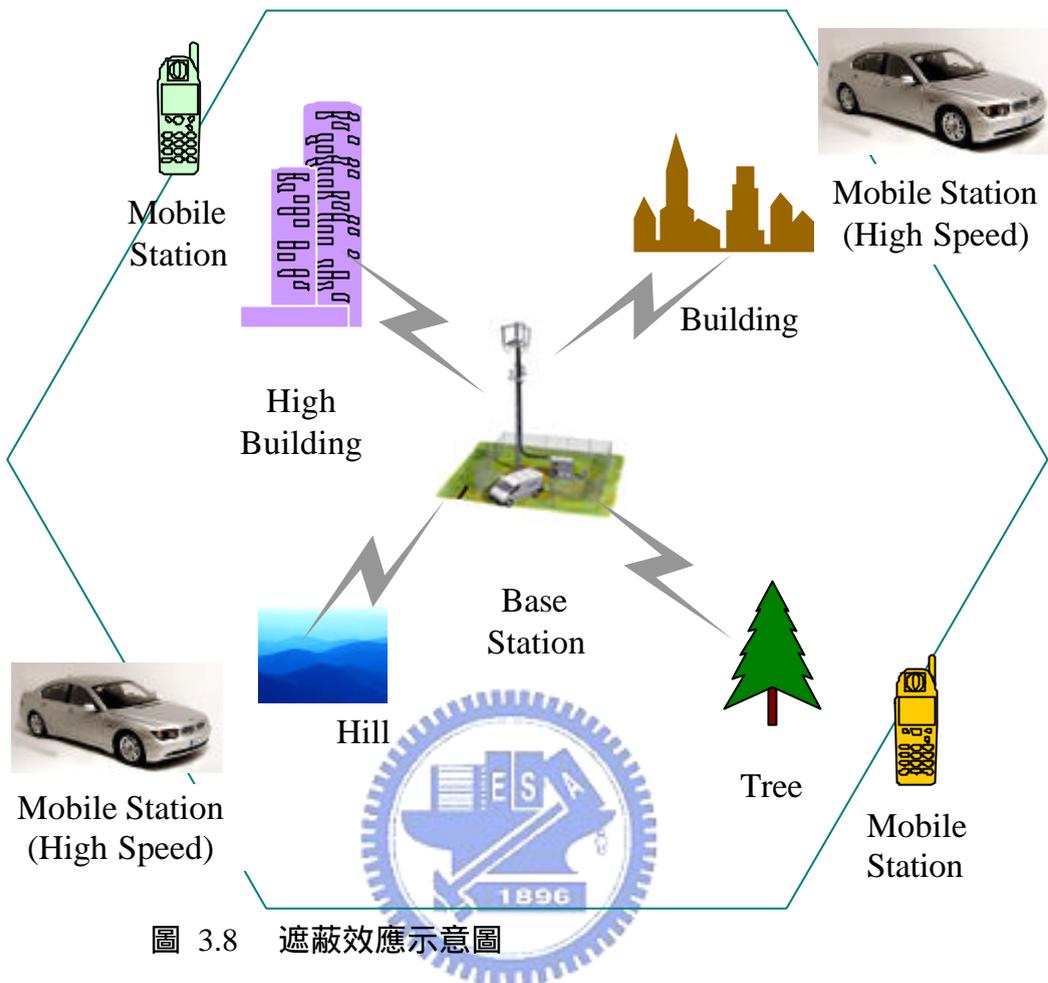


圖 3.8 遮蔽效應示意圖

遮蔽效應的影響會隨著使用者所處在的位置而有所不同，因此當使用者沒有移動時，該使用者所遭受遮蔽效應的影響是不會改變的。反過來說，當使用者移動時，遮蔽效應便會隨著使用者所處的位置改變而有所變化。但由於使用者的移動速度有限，因此可推知系統在相鄰兩次取樣時間點時，使用者的位置變動並不會太大。換言之，在實際空間中，使用者所看到的遮蔽物並不會在這麼短的時間而有太大的變化，推論得該使用者的訊號強度所遭受到的遮蔽衰落並不應該有太大的變化。此觀點由實際系統中的訊號量測結果亦得到證實。

由數學的觀點，我們可能稱遮蔽衰落的變化是與相鄰兩取樣點的距離而有相關性的。由於在短時間內可以將使用者移動的速度視為定值，因此可以將遮蔽衰落與距離的相關性轉變成為與時間的相關性。由於這種相關性指的是同一組使用者與基地台之間的連線，在不同的時間點所遭受到的遮蔽衰落彼此之間具有相關性，因此我們又稱此種相關性為遮蔽衰落的自相關性(Auto-correlation on Shadow Fading)。

有許多學者或研究人員根據他們的量測結果建立起一些描述此種遮蔽衰落的自相關模型，其中最常被參考使用的便是 Gudmundson 所提出的模型[22]，在 UMTS 規格書中對於系統模擬時所建議的遮蔽衰落自相關模型亦為此模型。

④ 遮蔽效應的交相關模型

在前一個小節中說明遮蔽衰落的自相關效應是由於使用移動速度有限，使得使用者在鄰近的位置所遭受到遮蔽衰落影響程度彼此間有相關性。另一方面，真實環境中的遮蔽物在空間上具有連續性，因此不同的訊號若是從相同的方向收到時，這些訊號所經過的傳播空間在某種程度上是相重疊的，使得這些訊號在傳送時因為遮蔽物而遭受到的遮蔽衰落在某種程度上會將具有相關性。

由於這種相關性存在於某個時間點，某個使用者與不同基地台間傳送的訊號所各自遭受到的遮蔽衰落彼此間會有相關性。換句話說，這是在某個時間點中，不同的連線所遭受遮蔽衰落彼此間的相關性，因此我們稱此為遮蔽衰落的交相關性(Cross-correlation on Shadow Fading)。

Klingenbrunn[23]發展出一套方法，將接收訊號的入射角與遮蔽衰落的交相關程度建立起關聯。此種方法考慮到入射角越接近的訊號，所經過的傳播空間相似性越高，因此兩者所遭受到的遮蔽衰落彼此間的相關性便越高。此種方法更仔細的考慮了傳播空間中不同方向的遮蔽物所造成的不同效果，這可使系統模擬出的結果更具有參考價值。其它文獻[24][25]對於遮蔽衰落交相關效應亦有值得參考的研究成果。

④ 結合遮蔽衰落的自相關與交相關特性

在以往的研究當中，系統模擬時很少同時考慮遮蔽衰落的兩種相關特性，這裡我們考慮了一個特別的方法來結合這兩種遮蔽衰落的相關特性，並且在文獻[23][26]中找到了相關的理論推導來印證正確性。本模擬平台所依據之相關性數學模型與系統模擬時的實現方法在[18]中有進一步解說。

3-3-3 多路徑衰落模型

多路徑衰落(Multi-Path Fading)是訊號在傳播時經過多次反射後才被接收到因而產生的效果。當使用者在移動時，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。把來自各方向遭受頻率偏移程度不一的這些訊號相加在一起，會使訊號強度的波形(Envelop)因為散射而隨著時間有快速的起伏變化。配合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傳播衰落(Multi-path Fading)，又稱此為快衰落(Fast Fading)。

另一方面，在多路徑訊號傳送下，不同的反射路徑使得每個訊號到達接收機的長度各不相同，形成同一傳送信號，在不同時間下，接收端接收到不同振幅的情況，此為延遲擴散(Delay Spread)。OFDM 系統的保護區間長度設計，就是為了克服延遲擴散的影響。

多路徑衰落模型根據 IEEE 802.20 規格書[16]當做參考依據，不同的使用者移動行為模型，將反應在時域通道脈衝響應(Time-Domain Impulse Response)的傳播路徑數目與對應之延遲擴散。圖 3.9 為使用者搭乘交通工具之多路徑衰落時域通道脈衝響應(Channel A)[†]，有六根路徑組成，且通道的最大延遲擴散為 2510 ns。由第二章所述，本模擬平台設計之 OFDM 符元間距為 15.625 ms，保護區間長度為 3.125 ms。因此可以確定即使使用者以系統規劃之最高速度移動，所有的訊號延遲保證落入保護區間範圍內，故 OFDM 子載波彼此間沒有干擾的假設誠屬合理，致使維持住 OFDM 符元的正交性。

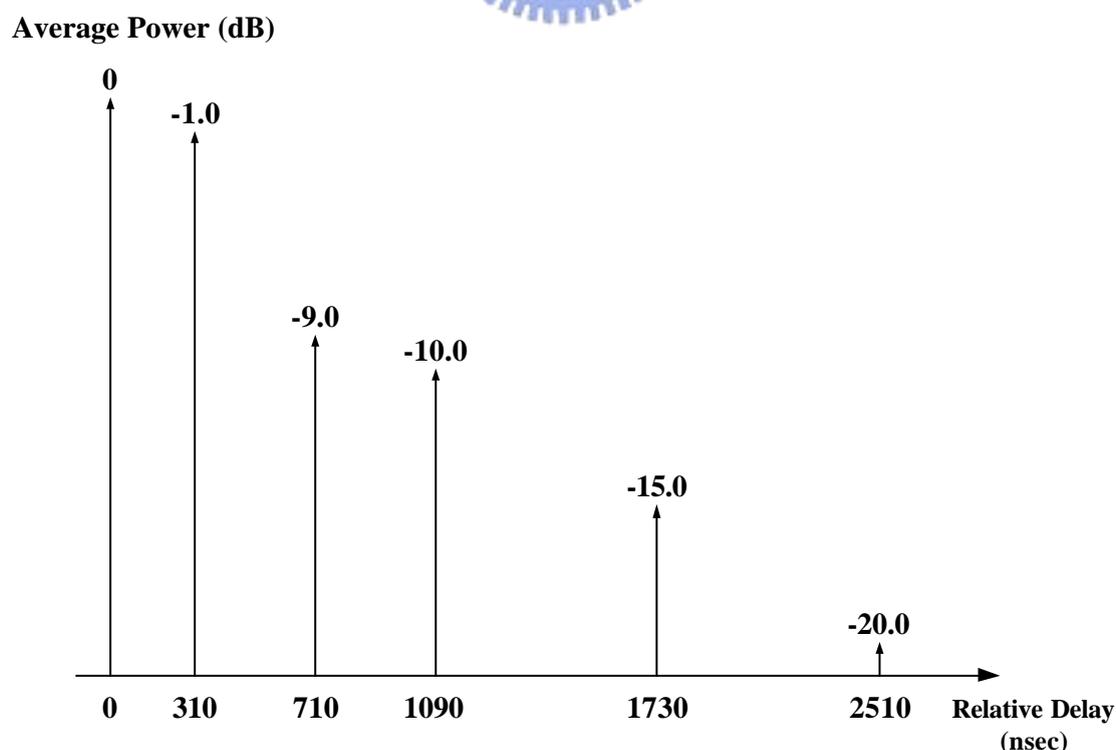


圖 3.9 使用者在交通工具上之多路徑衰落時域通道脈衝響應 (Channel A)

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[27]，Jakes 所考慮的訊號散射環境如圖 3.10 所示。

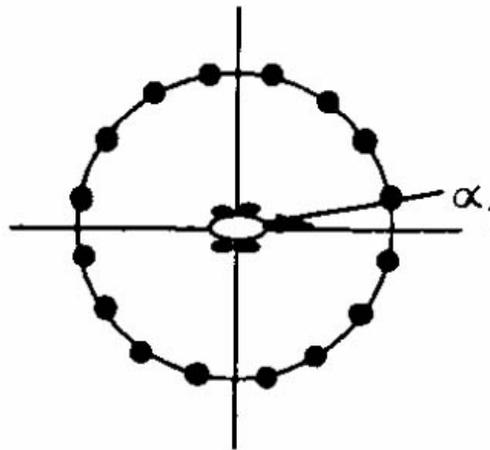


圖 3.10 Jakes 模型所考慮之訊號入射角度[28]

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。

由於 OFDM-CDMA 模擬平台為多載波通訊系統，因此 Jakes 模型產生的多路徑衰落時域效果，與將時域通道脈衝響應透過快速傅立葉轉換，在子載波上觀察之通道增益結果，如圖 3.13 所示。

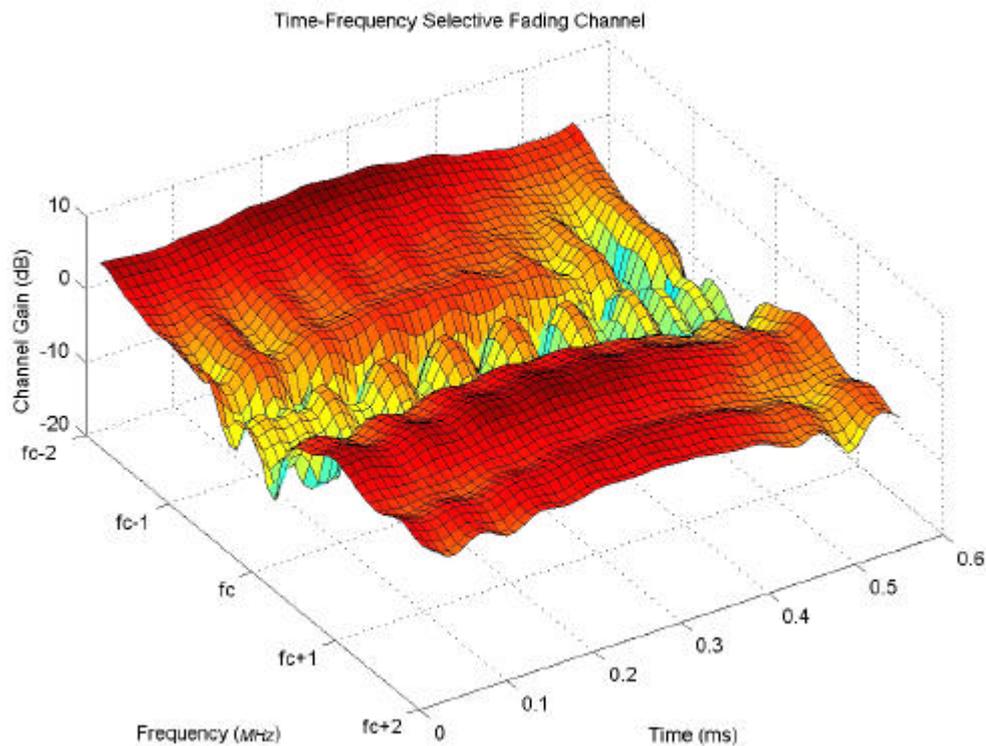


圖 3.13 多路徑衰落在時域及頻域之效應

†：本模擬平台系統參數僅考慮規格書[16]中的多路徑衰落模型通道類別 A 作設計。

3-4 系統模擬程序

行動通訊系統中的事件，由於本身特性的不同，因此模擬的方法亦有差異。一般來說可以分成兩類：事件驅動(Event Driven)，與時間驅動(Time Driven)[30]。以事件驅動的方式來進行系統模擬者，適合所需要模擬的變數無週期性的變化，因此時間點可以直接跳躍至事件發生的時刻，以節省系統模擬耗費的時間。以時間驅動的方式進行系統模擬，主要是針對系統中週期性變化的變數。透過時間驅動的方式定期去執行特定功能或是更新系統中特定變數，以反應出系統隨時間變化而有相對應的環境參數。環境參數的變化機制完全是依據真實環境中所統計出來的模型所設計，因此未來在本系統模擬平台上建構不同理念的無線資源管理演算法，均能忠實地反應出演算法在實際環境下的效果。

本系統模擬平台之中，整合多項無線資源管理的演算法，個別有適合事件驅動或時間驅動的特性，因此同時結合這兩種系統模擬的概念來設計本模擬平台，

並將各種不同的演算法依特性分類再加以結合，如此可同時取兩種方法的長處。圖 3.14 為系統模擬邏輯示意圖，解說系統模擬不同事件的模擬流程：

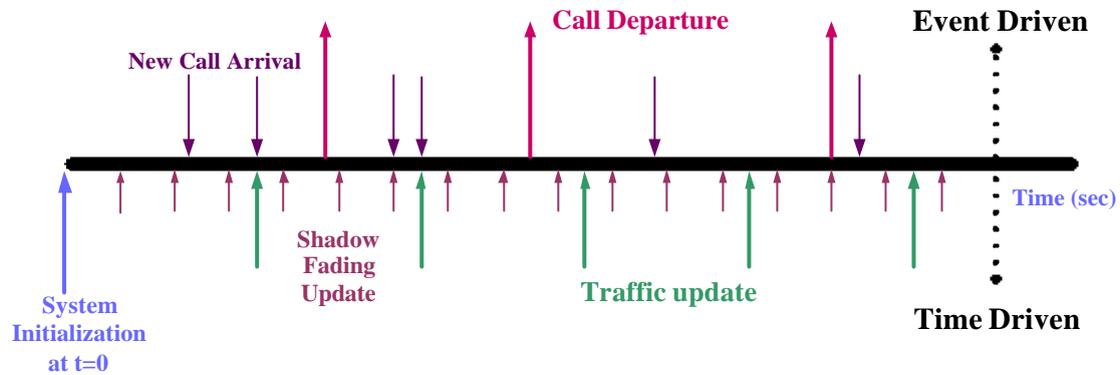


圖 3.14 系統模擬邏輯示意圖

圖 3.14 舉例列出了模擬平台中其中幾個具代表性且具不同驅動特性的事件。圖的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關的動作會以事件驅動(Event Driven)的方式處理。另一方面，在圖的下半部所描述的是週期性發生的事件，這些事件相對應的動作會以時間驅動(Time Driven)的方式處理。儘管同是時間驅動的事件，依據特性的不同，設計使每個事件有其各自的更新週期，以增加系統運作的效率。以下將說明在模擬平台中所有的事件，與每個事件中所對應的功能與相關的設計：

⊙ 事件驅動之事件

New Call Arrival

產生一個新的使用者進入系統，同時將該使用者相關的資訊初始化，包含位置座標、服務形態、移動速度、移動方向、與每個基地台間連線所遭受到的遮蔽衰落。此事件發生的時間點是由一個波松分佈所決定。伴隨著新使用者的產生，細胞搜尋(Cell Search)與允入控制(Admission Control)的機制將會被啟動。

Call Departure

系統中語音服務使用者結束通話服務並離開系統。數據服務使用者待在系統的時間並不是一個單純的機率分佈，並且會受到封包排程(Packet Scheduling)機制決定可分得的功率資源，進而影響數據封包傳送完成的時間。

⊙ 時間驅動之事件

Traffic Update

針對使用數據服務的使用者來更新其資料流量狀態，因為使用數據服務時使用者資料流量的變化比較頻繁，需藉由經常性的更新其流量狀態以反映出流量變化的效果。而語音服務之使用者流量變化很緩慢，可直接在統計時考慮活動因素 (Activity Factor, r) 以反映流量變化的效果。

數據服務使用者的封包不斷依照數據資料流量模型產生，當使用者無法經由封包排程來獲得足夠的功率資源將緩衝區 (Buffer) 暫存的封包全部傳送，基地台本機端平均封包延遲 (Packet Delay) 會有所增加；一旦超越系統設計之延遲臨界值 (Delay Threshold)，將驅動允入控制機制，反應在系統的阻塞率 (Blocking Probability)，進一步影響到系統其它功能與演算法運作的結果。

Channel Update

更新通訊環境的通道變化狀況。隨著使用者位置的改變，所遭受的通道衰落亦隨之改變，包括路徑損失、遮蔽衰落與多路徑衰落。依據各自的相關性模型，會有不同的更新週期。

假設當使用者移動距離不超過非相關距離 (De-correlation Distance) 時，遮蔽衰落的參數並不需要更新，如此才能在兼顧準確性的前提下節省運算時間。由於路徑損失相對於遮蔽衰落為更緩慢的變動，故假設在遮蔽衰落更新週期內，路徑損失的變化可以忽略。當使用者移動速度為 30 Km/hr 時，此時程式更新遮蔽衰落參數的週期便是 45 ms ，可同時追？路徑損失與遮蔽衰落的變化。使用者移動速率引起都卜勒頻率偏移現象，造成通道狀況同調時間長短不一。由於多路徑衰落效應在同調時間內視為不改變。因此在使用者移動速度為 30 Km/hr 時，多路徑衰落的更新週期為 4 ms 。

Mobility Update

更新系統內與使用者移動行為相關之參數。需要更新的參數為使用者的座標位置以及使用者移動的速度與方向。新的座標是由前一次的座標加上這段期間使用者在 X 軸與 Y 軸移動的距離，而移動速度與方向的更新則是根據使用者移動模型來決定。根據規格書的建議，當使用者移動距離等於非相關距離時再更新這些參數便可 [18]。

Outage Update

系統每隔一段時間便確認各使用者連線的品質是否滿足最低要求，否則便將使用者的服務強迫中斷。主要的目的在切斷品質不佳的連線以免影響其他使用者

的服務。對於語音服務的使用者，一旦品質連續低過目標訊號干擾比臨界值 (Target SIR Threshold) 便會被強迫中斷服務，但對於使用數據服務的使用者，也許只是暫時將原本欲傳送的資料暫時延遲。

Capacity Measurement

統計系統容量。系統容量分為兩種方式來統計，一是系統中的使用者人數 (Number of Users)，一是系統所承受的資料流量 (Throughput)。封包排程與功率控制機制的好壞會影響成功傳送的資料量，將系統正確傳送的資料位元 (bits) 除以觀察的時間，便可以得到在過去這段時間內系統平均的資料傳輸率 (Data Rate)。最後系統會將整個系統模擬過程中每次統計到的容量再予以平均，如此可以得到系統在特定環境條件下的容量 (Capacity)。

3-5 無線資源管理演算法

3-5-1 允入控制演算法

當系統中的使用者達至一定程度時，代表系統已逼近所規劃能夠承受的服務上限，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影響與系統現有使用者的狀態，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，避免影響既有使用者的連線品質。

不同類別的服務型態，有著不相同的允入控制的限制條件。對即時性服務使用者而言，因為這一類的使用者進入系統後，將會持續地使用系統資源，所以限制條件為系統保留功率。系統保留功率的訂定，是由於即時性的資源需求，所以系統將優先分配資源給語音服務使用者，倘若無限制的允許語音使用者進入系統，基地台端的發射功率資源將完全被分配給即時性服務的使用者，如此一來，將導致非即時性需求的數據服務使用者，無法獲得資源來傳送資料。模擬平台的系統保留功率定義為基地台端等效全向輻射功率的 80%。若一個新的語音服務使用者欲進入系統，基地台端將會預先為該使用者執行資源分配 (Resource Allocation) 演算法，一旦其所需的傳送功率與現存系統中的語音服務使用者的傳送功率總合超過系統保留功率，則不被允許進入系統，成為阻塞 (Block) 事件。

數據服務的允入控制限制條件為基地台端平均封包延遲臨界值。數據服務使用者的封包持續依照數據資料流量模型產生，一旦封包排程無法提供的功率資源，將造成使用者的欲傳送封包，全數在緩衝區等待傳送而產生封包延遲。當新

的數據服務使用者欲進入系統時，基地台會統計現存系統中的數據服務使用者的總待傳送封包個數與總封包延遲，若超過平均封包延遲臨界值，則該新進的數據使用者將被禁止進入系統，同樣成為阻塞事件。圖 3.15 描述新使用者產生後，提出進入系統的要求，系統啟動允入控制演算法判斷新使用者是否受准進入的流程圖。

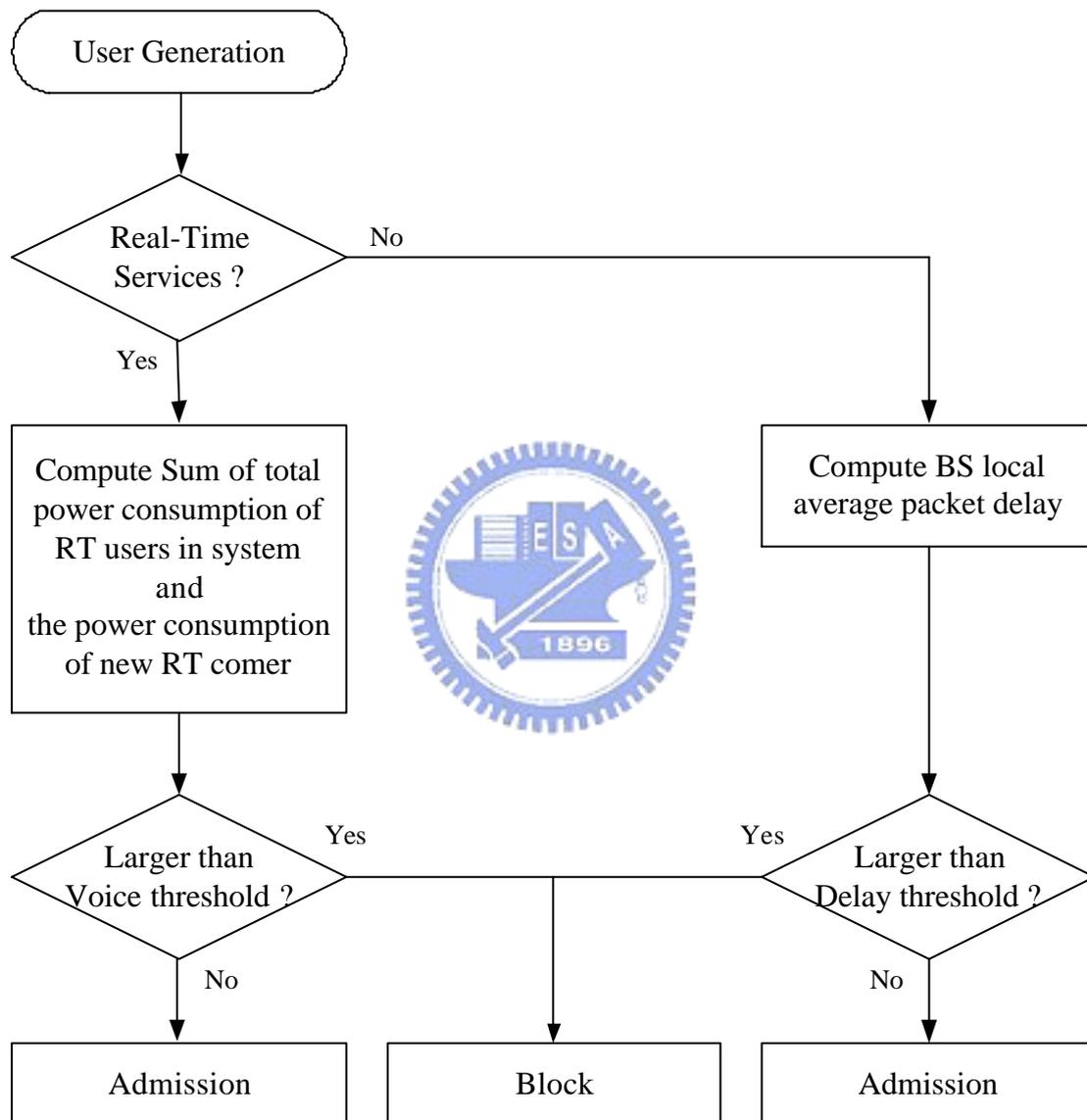


圖 3.15 允入控制演算法流程圖

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：

☀ 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。

☀ 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，系統有可能保留過多的資源而浪費。

☀ 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，消耗的功率將不斷上升，則傳輸訊號時所需的功率相對不足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。

3-5-2 封包排程演算法

確保系統功率資源不發生過載(Overload)並維持有效率地使用是無線資源管理領域中重要的議題，其中允入控制(Admission Control)會依據系統現存使用者的狀態決定新使用者使用系統的權利，可以達到部分控制系統資源的功能。儘管如此，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(Packet Scheduling)。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)，意義如圖 3.16 所示。

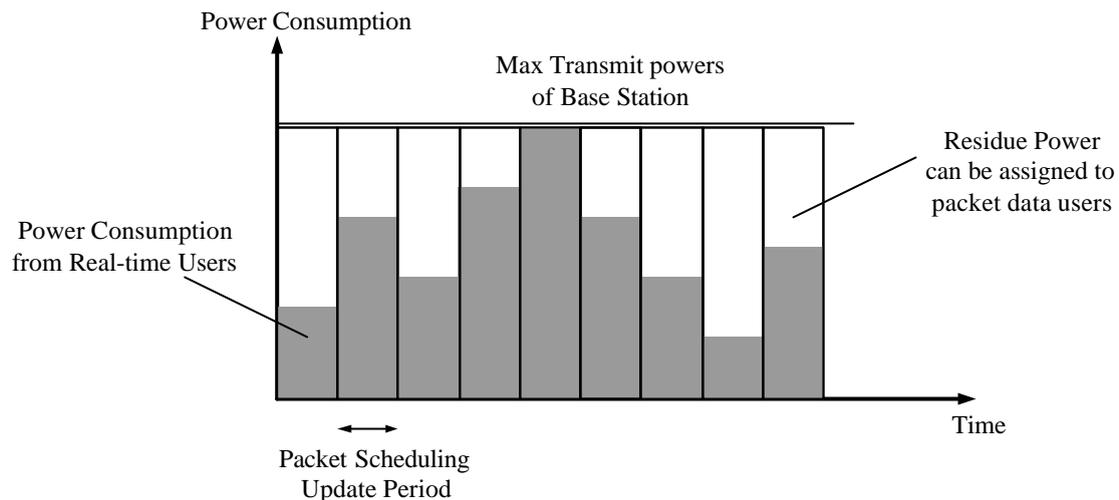


圖 3.16 負載控制示意圖

二、避免資料脈衝發生

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(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：

- ✿ 偵測系統負載與封包安排的狀況
- ✿ 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
- ✿ 決定封包資料使用者可利用的系統資源
- ✿ 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。

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[31]以隨時間輪流傳送的模式決定使用者的傳輸順序，[32]是以使用者所處通道條件優劣為排序依據，[33]則以使用者所處之瞬時通道條件與平均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[34]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適當的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，分配理想的 MCSN 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 3.17 為封包排程演算法流程圖。

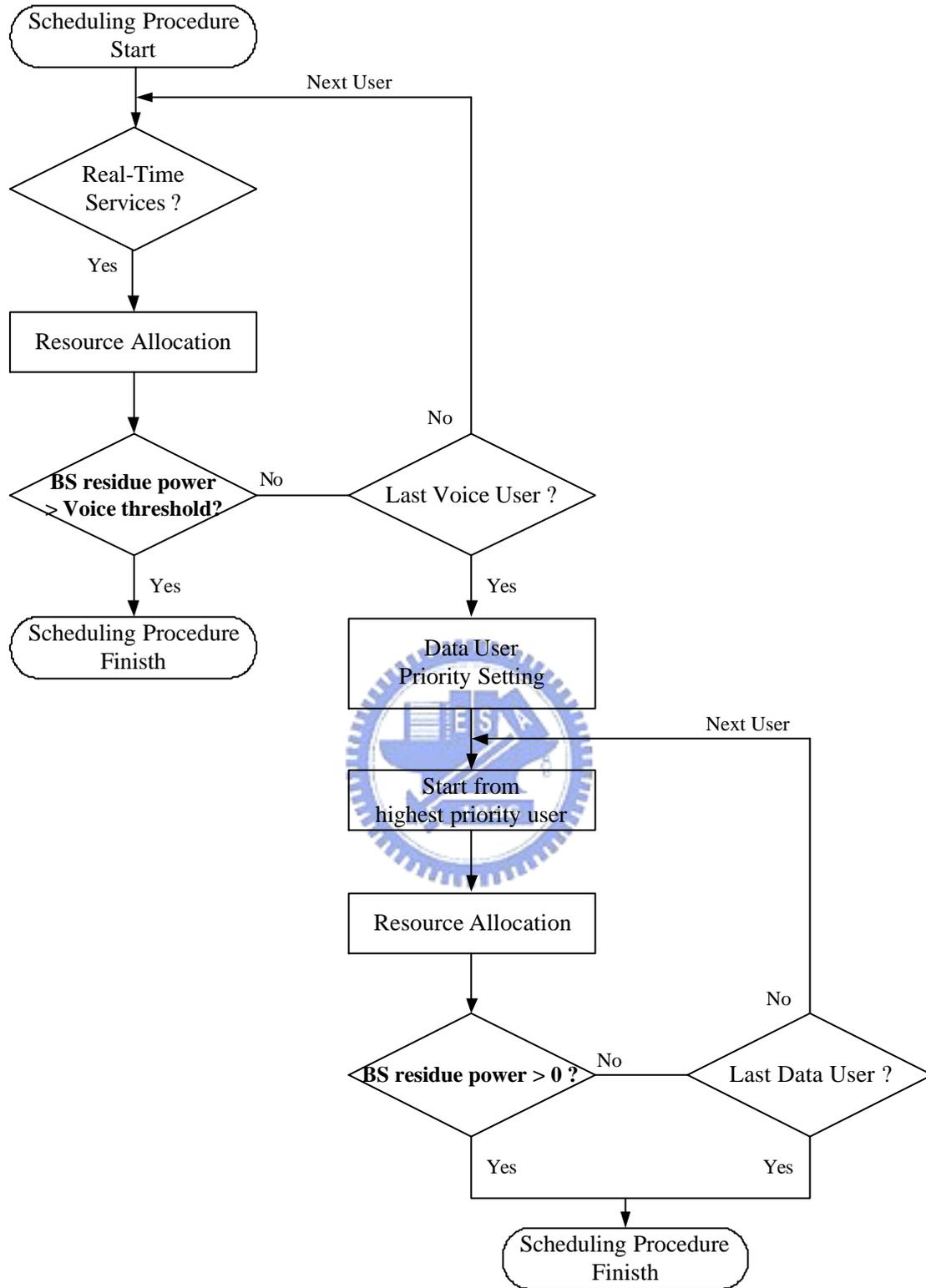


圖 3.17 封包排程演算法流程圖

3-5-3 子載波選擇演算法

由於本系統為 OFDM-CDMA 多載波系統模擬平台，當基地台要啟動封包排程中資源分配程序時，因使用者的移動行為會使子載波的通道狀況有所變化，若子載波遭受較大的衰落，選用該子載波傳送資料將必須浪費更多的傳送功率，造成功率資源的使用無效率。當基地台在進行封包排程時，若此時能根據優先權決定執行資源分配程序與子載波選擇演算法(Sub-carriers Selection)的順序，不只不會浪費基地台的可用傳輸功率，並且有助於資源分配演算法找尋出較好的 MCSN 參數組合。

當基地台在進行封包排程時，在優先權設定後享有高優先權的使用者，透過上鍊回傳通道脈衝響應，基地台將接收到的脈衝響應，經過快速傅立葉轉換獲得 1024 根子載波的頻域通道增益(Channel Gain)，完全知悉使用者的通道環境。依照通道增益值排序執行子載波選擇演算法，將排序結果通知資源分配演算法，使得使用者能在滿足服務品質與傳輸速率的前提下，獲得較有效率的 MCSN 參數組合。在模擬平台中，因使用者的最高速度為 30 km/hr ，換算出此速度下的同調時間為 5.04 ms ，因此每次執行封包排程時，資源分配程序選到的子載波的多路徑衰落，在到下一次封包排程時，可以假設通道是不會因多路徑衰落而變動。

由於執行子載波選擇演算法的緣故，即便使用者在資源分配程序中選擇了相同的 MCSN 參數組合，真正選取的子載波標號將因為通道增益值的改變而有所差異，稱之為軟式跳頻(Soft Frequency Hopping)。圖 3.18 為子載波選擇演算法流程圖。

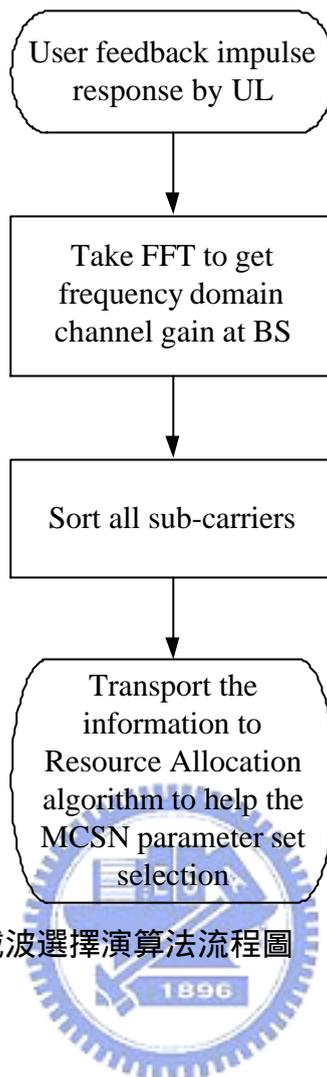


圖 3.18 子載波選擇演算法流程圖

3-5-4 功率控制演算法

由於典型分碼多工接取(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，透過功率控制機制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)[42]，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 CDMA 系統是非常重要的演算法。

但 OFDM-CDMA 系統最大容許時域展頻增益的選擇被限制在通道的同調時間內，使得經過時域展頻後的訊號可以維持正交性，因此將不形成多工接取干擾(MAI)影響。並且資源分配演算法是在基地台下鍊最大傳送功率限制裡，根據使用者面臨的子載波通道增益與要求的資料傳輸速率，滿足使用者訊號品質的前提下，進行 MCSN 參數組合的挑選，反推得基地台端應分配給該使用者的發射訊號功率，減少基地台可用功率資源的消耗。

對於下鍊通道而言，資源分配的週期若小於快衰落變化的同調時間，基地台

在資源分配程序中，依使用者所要求的服務品質、訊號干擾比，輔以其本身的多路徑通道環境變化，適當調整使用者所選用的 MCSN 參數組合，換算得基地台端應分配給該使用者的傳送功率。如果新估算到的傳送功率高於前次封包排程程序中的功率分配值時，基地台就會提高該使用者的傳輸功率，反之則降低傳輸功率。當使用者移動速度為 30 Km/hr 時，多路徑衰落的更新週期為 4 ms ，由於多路徑衰落效應在同調時間內視為不改變。模擬平台每 4 ms (256 個 OFDM 符元區間)便執行一次封包排程程序，等效上同時進行封閉式完全功率控制演算法(Close Loop Perfect Power Control)；若通道品質的回傳不正確，使得基地台無法精確掌握衰落變化，在資源分配程序中，調整使用者所選用的 MCSN 參數組合來改變應分配給該使用者的傳送功率，則為封閉式不完全功率控制演算法(Non-Perfect Close Loop Power Control)。



第四章 適應性鍊路資源分配

相較於有線通訊，無線通訊系統在效能上最大的限制便在於可傳輸的資料量較小，這是主要由於無線頻譜資源非常的有限，單位頻寬的成本遠高於有線通訊系統。為了在有限的頻譜資源中傳輸中傳輸更多的資料量，除了採用更新的無線接取(Radio Access)技術之外，最重要的便是使系統能非常有效的管理珍貴的無線資源(Radio Resource)，以發揮最大的效益。未來的行動通訊系統中將會提供高頻寬需求的數據影音服務，這對於系統有限的資源會是一個非常大的負擔。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得以將有限的資源做最佳的運用，同時仍確保每一個使用者的連線品質。對於系統業者而言，藉由採用適當的無線資源管理演算法，將可在增加系統容量與維持服務品質間取得平衡點，且透過適當的參數調整，更可增進整個系統的效能。

本章將對 OFDM-CDMA 系統資源分配最佳化問題進行討論與數學描述，並為基於降低運算量所設計的以功率效益為基礎的適應性鍊路資源分配演算法來介紹與說明。



4-1 簡介

在 OFDM-CDMA 系統中，下鍊鍊路資源限制主要來自於基地台端的最大傳輸功率。由於系統內的使用者，可選用的 MCSN 參數組合眾多，在滿足服務品質 (Quality of Service, QoS) 的前提下，若基地台沒有依循一定的準則，任意選取 MCSN 參數組合，將會導致系統資源的使用無效率。並且考量使用者面臨的通道環境隨著移動而改變，因此必須透過資源重分配程序對使用者進行適應性資源分配，以滿足該人的品質需求。

在做適應性鍊路資源分配前，我們先定義 MCSN 參數組合所需消耗的傳輸功率，以利資源重分配程序中，基地台端剩餘可使用功率資源的估算。功率資源重分配時，第 k 個使用者在接收端滿足使用某種服務時所需訊號品質 E_b/N_0 的前提下，選擇第 i 根子載波所對應之 MCS 參數組合在基地台端之發射功率成分，可利用(4.1)式換算得出第 k 位使用者選擇第 i 根子載波傳送訊號的功率消耗；累積加總子載波使用個數 N ，得該使用者傳送訊號的總功率消耗，如(4.2)式。計算每位使用者在不同的子載波選擇下，相對應 MSN 參數組合所需的發射信號功率之流程，可參考圖 4.1。

$$P_{k,i} = \frac{r_k(M_k, C_k) \cdot G_k(i) \cdot (I_k(i) + s^2) \cdot S_k}{SF_{\max}} \quad (4.1)$$

$$P_k = \sum_{i=0}^{N_k} P_{k,i} \quad (4.2)$$

其中

$P_{k,i}$: 第 k 位使用者選擇第 i 根子載波傳送訊號的功率消耗

$r_k(M_k, C_k)$: 第 k 位使用者選擇調變機制 M_k 、編碼速率 C_k 所需的訊號品質

$G_k(i)$: 第 k 位使用者感受第 i 根子載波的通道傳播衰落效應，包含路徑損失、遮蔽衰落與多路徑衰落

$I_k(i)$: 第 k 位使用者在第 i 根子載波上受到的多重接取干擾

s^2 : 子載波上的熱雜訊功率強度

SF_k : 第 k 位使用者在第 i 根子載波上使用的展頻碼長度

SF_{\max} : 子載波上可使用的最大展頻碼長度

N_k : 第 k 位使用者的總子載波使用個數

P_k : 第 k 位使用者傳送訊號的總功率消耗

目前系統的環境是模擬在單一細胞架構下，因此忽略其他細胞帶來的干擾影響。未來將模擬平台延伸為多細胞(Multi-Cell)環境架構時，適當於(4.1)式中引入額外的變數，將可充份反應其他細胞干擾(Other-Cell-Interference)的現象；此外，由於最大容許時域展頻增益被限制在通道的同調時間內，維持住展頻碼的正交性，使得個別使用者在接收端的接收信號品質將不受多重接取干擾影響。

由於使用者的總功率消耗 P_k 均在基地台端進行計算，所以基地台與使用者之間必須有一些相關參數的傳遞，以幫助基地台使用者最新連線狀況資訊的更新。首先，當使用者進入系統，開始與基地台建立連線之初，需通報本身的服務型態(Service type)及要求的訊號品質。其次，使用者在連線期間，倘若移動速度有所改變，需回報造成的都卜勒頻率偏移，提供基地台同調時間的資訊，適當調整該使用者可用的功率消耗矩陣大小。最後，在資源重分配程序中，使用者需定期回傳通道狀況，使得基地台得以掌握每位使用者所有子載波通道品質。當基地台確實掌握用戶端的相關參數後，直接計算出功率消耗值，供稍後的適應性鍊路

資源分配演算法使用。

4-2 資源分配問題的最佳化

OFDM-CDMA 行動通訊系統，希望透過系統資源的分配，保證全體多重傳輸服務使用者的軟式服務品質，在基地台端最大可使用功率的前提下，達成最大化系統流量的目標，如(4.3)式所示。

$$\begin{aligned} \text{Object : } & \max_{\{M, C, S, N\}} \{R_{RT} + R_{NRT}\} \\ \text{Subject to : } & P_{RT} + P_{NRT} \leq P_{BS_{total}} \\ \text{Constraint : } & \text{Soft QoS guaranteed} \end{aligned} \quad (4.3)$$

其中

- R_{RT} : 即時性資料傳輸總流量
- R_{NRT} : 非即時性資料傳輸總流量
- \tilde{M} : 所有使用者調變機制集合
- \tilde{C} : 所有使用者編碼速率集合
- \tilde{S} : 所有使用者展頻係數集合
- \tilde{N} : 所有使用者子載波個數集合
- P_{RT} : 即時性資料傳輸總消耗功率
- P_{NRT} : 非即時性資料傳輸總消耗功率
- $P_{BS_{total}}$: 基地台端最大可使用功率

系統同時考慮兩種不同型態的資料傳輸 – 即時性與非即時性，服務型態特徵表列如表 4.1。由於即時性傳輸服務，無法容忍傳輸延遲，因此在系統資源重分配程序進行時，享有較高的優先權。當系統內的即時性服務使用者均已被分配完畢，倘若仍有剩餘的功率資源，將依優先權設定，依序分配功率資源予非即時性服務使用者，直至用盡功率資源。

Service Type	Real-Time	Non Real-Time
Rate Requirement	Fixed	Variable
Delay Requirement	Non Tolerable	Tolerable

表 4.1 服務型態特徵表

如前述章節所述，當第 k 位使用者選定某一組 MCSN 參數組合時，利用(2.6)式直接對應得出真實傳輸速率 R_k ，並且藉由(4.1)(4.2)式，可得知個別用戶傳送訊號所需消耗的功率資源大小 P_k 。因此在系統最大可使用功率的限制條件下，資源分配最佳化問題將等效於對系統內不同服務型態的使用者，選擇適當的 MCSN 參數組合，以減小使用者功率資源大小 P_k 的浪費。由於服務型態特徵的不同，導致即時性服務的優先權高於非即時性服務，因此可進一步將最佳化公式推衍為兩層(Stage)的最佳化問題，如(4.4)(4.5)式。

$$\begin{aligned} \text{Object : } & \min_{\{M_k, C_k, S_k, N_k\}} \{P_k\} \\ \text{Subject to : } & \sum_{k=1}^{K_{RT}} P_k \leq P_{BS_{total}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\text{Constraint : } R_k = R_k^{required}$$



$$\begin{aligned} \text{Object : } & \min_{\{M_k, C_k, S_k, N_k\}} \{P_k\} \\ \text{Subject to : } & \sum_{k=1}^{K_{NRT}} P_k \leq P_{residue}, \quad \text{where } P_{residue} = P_{BS, total} - \sum_{k=1}^{K_{RT}} P_k \\ \text{Constraint : } & R_k \leq R_k^{Effective} \end{aligned} \quad (4.5)$$

其中

K_{RT} : 系統內的即時性服務使用者總人數

K_{NRT} : 封包排程執行後的非即時性服務使用者總人數

$P_{residue}$: 全體即時性服務使用者執行資源分配後，剩餘的基地台端可使用功率

$R_k^{required}$: 即時性服務使用者要求的資料傳輸流量

$R_k^{Effective}$: 非即時性服務使用者希望獲得的資料傳輸流量

即時性服務使用者對系統資源有持續性的需求，並且其服務特徵為無法忍受傳輸延遲與固定的傳輸速率要求，因此(4.3)式的系統資源最佳化分配問題首先針對系統內現存的全體即時性服務使用者進行資源分配。(4.5)式的問題描述為在滿足使用者固定傳輸速率的需求，與全體使用者的功率消耗不得大於基地台端的最大可使用功率下，針對每位使用者找尋各自最小功率消耗的 MCSN 參數組合以降低對系統功率資源的浪費。

第一層分配最佳化程序進行後，即時性服務型態分配時所節省未浪費的系統功率，將成為基地台端的剩餘可使用功率留待成為第二層非即時性服務型態類別使用者資源分配最佳化問題中的功率限制條件。如(4.5)式所示，由於數據服務使用者的資料傳輸速率需求會隨時間變動，在儘可能滿足使用者當時傳輸速率的需求下，依優先權順序對每位使用者找尋各自最小功率消耗的 MCSN 參數組合，且受剩餘可使用功率的條件限制。

MCSN 參數組合尋求最佳解的問題中，有四個維度(dimension)的參數可供選取，分別是調變機制、編碼速率、展頻係數、子載波個數。然而，最佳解集的背後，同時受到參數本身的諸多限制，影響求解的難度。調變機制、編碼速率與子載波個數兩項參數在系統平台建立之初，已經限制了最大的可用值；展頻係數的長度除了因為保持展頻碼彼此間的正交性而限制最大長度須小於同調時間外，更為了提供足量的展頻碼予使用者選用，故而同時亦有最小長度的限制。此外，在下鍊路中，基地台的最大可傳送功率是最根本的系統資源限制，致使系統內全部使用者的可用功率將受到此影響。

除了參數本身特性的限制外，參數互相間亦互相影響，致使在參數組合求解的過程中，須從更宏觀的角度來考量整體效應。在提供軟式服務品質的限制下，想要輕易找到參數組合來達到系統最佳化的目的是有所困難的。原因之一來是每根子載波彼此間都有不同的通道增益(Channel Gain)，並且同一根子載波對不同的使用者而言，也有不同的通道增益。第二個原因是很難用一個簡單的成本函數(Cost Function)同時涵蓋調變機制、編碼速率、展頻係數、子載波個數所造成的影響，因為調變機制、編碼速率和子載波個數值的改變，會形成大小不同的功率消耗；展頻係數長度的改變，對應的速率 R_k 與消耗的功率 P_k ，呈現等比例的增減，但是卻對可選用的展頻碼數(Spreading Code Number)有所增減。由於展頻碼數的多寡關係到同一個子載波可以同時有多少位使用者傳送資料，因此採取儘可能選取較大的展頻係數原則，並且對於系統之展頻碼集個數設定某一最小容許值，以保證提供一定數量的展頻碼。

另外，調變機制與子載波個數兩項參數有著互為取捨的關係。當調變機制從二象限相位偏移鍵控(BPSK)往上調升為更高階的調變機制，每單位位元傳輸所

需的傳送功率將提高，致使功率效益下降；另一方面，當選用的子載波個數增加時，子載波的通道狀況將逐漸惡化，因此將必須耗費更多的功率在該狀況差的子載波上。同樣的功率效益不彰情況下，如何選擇參數作適度地改變，是一項艱難的問題。

在系統的諸多限制條件下，依據不同的服務型態類別安排優先權順序，再徹底作全面性地計算每個 MCSN 參數組合的功率消耗值，從中選取最小功率消耗值，即為系統資源分配的最佳解法(Optimal Solution)。儘管透過每個 MCSN 參數組合的計算可找出滿足軟式服務品質下最小的功率消耗組合，但這樣的方法在複雜度的考量下，過於耗時耗運算量，因此在此發展出另一個以功率效益為基礎的功率資源演算法，在下一小節作進一步詳述。

4-3 以功率效益為基礎的演算法

在前一小節說明了適應性鍊路資源分配演算法使用時的前置考量，與設計時所需的程序，並針對系統資源分配最佳化的問題進行探究。由於下鍊連結時，系統資源的最大限制為基地台端的最大可傳送功率，依據這樣的限制與全面性計算 MCSN 參數組合之複雜度考量，我們提出以功率效益為基礎的演算法(Power Efficient Based Searching Algorithm, PEBS)。本演算法是在每個資源重分配週期，根據當時使用者的通道條件動態(Dynamic)改變分配給使用者的系統資源及 MCSN 參數組合，以達到對於服務品質的要求。

首先定義速功效率(Rate-Power Consumption Efficiency) E_k^j ，如(4.6)式，表示第 k 位使用者在調變機制、編碼速率、展頻係數與子載波個數所組成的四維空間中，從原點出發經過 j 次跳躍後，所處的位置相對之 MCSN 參數組合換算之真實傳輸速度 R_k^j 與所需消耗的功率資源大小 P_k^j 之比值。基於功率效益的原則，每位使用者進行層級跳躍時，均由現在的位置，往 MCSN 四維空間做最大速功效率的選擇。由於資源分配是為了達成使用者服務品質的要求，因此每次層級的跳躍必須往更高速率的方向移動，一旦 MCSN 參數組合換算之真實傳輸速度超過使用者資料傳輸速率的要求，演算法將中止跳躍，並指定當時的 MCSN 參數組合給使用者，如(4.7)式。

$$E_k^j \triangleq \frac{R_k^j}{P_k^j} \quad (4.6)$$

其中

R_k^j : 從原點出發經過 j 次跳躍後，MCSN 參數組合換算之傳輸速率

P_k^j : 從原點出發經過 j 次跳躍後，MCSN 參數組合換算之消耗功率

Object : $\max_{\{M,C,S,N\}} \{E_k^{j+1} | E_k^j\}$

Subject to : $R_k^j < R_k^{j+1} < R_k^{\text{target}}$ (4.7)

其中

R_k^{target} : 對即時性服務使用者而言，為所要求的資料傳輸流量 R_k^{required}

: 對非即時性服務使用者而言，為希望獲得的資料傳輸流量 $R_k^{\text{Effective}}$

當時間在每個資源重分配週期時，我們遵循優先權的定義，將請求(Request) 於下一個資源重分配週期傳輸的使用者依其優先權比重排列，再依序挑選使用者進行資源重分配程序。每位使用者均從四維空間的原點出發，首先應依據服務品質中資料傳輸速率的設定決定是否已經能提供所需要的傳輸速率，若無法滿足時，則從現在所處位置，在四維空間中，往調變機制、編碼速率、展頻係數與子載波個數四個方向，計算新位置的速功效率值 $E_k^{j+1}(M)$ 、 $E_k^{j+1}(C)$ 、 $E_k^{j+1}(S)$ 、

$E_k^{j+1}(N)$ ，依功率效益的原則，選擇最大速功效率的組合做層級調整，再判斷是否滿足服務品質中資料傳輸速率的要求。等到所挑選的 MCSN 參數組合換算的真實速率 R_k^j 超過使用者的需求時，再依據應該滿足的位元能量與熱雜訊密度比 E_b/N_0 ，與挑選的 MCSN 參數組合，從(4.1)(4.2)式估算使用者在此時的通道環境與該傳輸速率下於基地台所需的訊號功率 P_k ，該值需滿足系統資源的物理上限即(4.4)(4.5)式所示。在兩個限制都能滿足的情況下，該使用者選用該最大功率效益的 MCSN 參數組合，以該種服務與傳輸速率於下一個資源重分配週期期間進行傳輸。

反之，若系統剩餘的功率資源無法符合資料傳輸速率的要求，則依照服務類

別而有所差異。即時性服務使用者將被記錄無法滿足連線服務品質的次數，倘若該現象超過連線強制中斷門檻(Outage Threshold)時，則系統將強制中斷(Outage)該使用者的連線；對非即時性服務使用者而言，既然系統的剩餘功率不足以滿足其希望獲得的資料傳輸流量，因此將重回四維空間的原點，在系統資源容許範圍內，啟動最大化資料傳輸流量程序，表現數據服務下「盡其所能」(Best Effort)的通訊特色。秉持功率效益的原則逐步做層級的調整，以選擇適當 MCSN 參數組合，進行可選用的最大傳輸速率，務必將剩餘功率做最有效的使用。若系統剩餘功率連最初層級的傳輸速率都不能滿足，換言之，該情況下使用者本身的通道條件較差，導致系統資源不足以再分配給該使用者傳送資料。如此依序完成在優先權名單中的每一位使用者，直至系統資源耗盡或不足以分配給任何系統內使用者進行較低速傳輸。

圖 4.1 為該演算法的求解範例²。演算法是在系統資源以當時基地台端的可傳送功率為上限值條件下進行運作，依優先權比重設定輪流分配給獲得資源權利的使用者，假設此時該使用者進行數據服務，並且希望獲得的資料傳輸速率 39 Kbps。演算法的執行程序從三維空間的原點出發，即最低的資料傳輸速率開始進行選擇，由於該位置換算之真實傳輸速率僅有 250 bps，因此使用者依(4.6)式往調變機制、展頻係數與子載波個數三個維度，計算新位置的速功率率值 $E_k^{j+1}(M)$ 、 $E_k^{j+1}(S)$ 、 $E_i^{j+1}(N)$ ，由於縮減展頻係數為原來的一半，對應之傳輸速率與消耗功率均提高為原來的兩倍，使得展頻係數的速功率率值 $E_k^{j+1}(S)$ 為 1，大於調變機制與子載波個數方向的速功率率值 $E_k^{j+1}(M)$ 、 $E_i^{j+1}(N)$ 。因此依(4.7)式功率效益的原則，在持續無法滿足使用者的傳輸速率需進行層級跳躍時，會一路往縮短展頻係數的方向調整，直到抵達系統限定的最小展頻係數長度值 16。此時 MSN 參數組合的對應速率僅達 4 Kbps，因此仍然需要繼續進行層級的跳躍，但展頻係數已用屆，原本 MSN 的三維空間將壓縮為 MN 的二維平面繼續供使用者依功率效益的原則進行滿足 39 Kbps 傳送速率要求的參數組合。在本例中，使用者依(4.7)式選擇最有效率的 MSN 參數組合為 QPSK, SF=16, N=5。若系統分配該使用者後仍有剩餘的功率資源，將依優先權順序選擇下一位使用者，依據所要求的資料傳輸速率，決定其傳輸時所應挑選的 MSN 參數組合，以增加資源的使用效率。

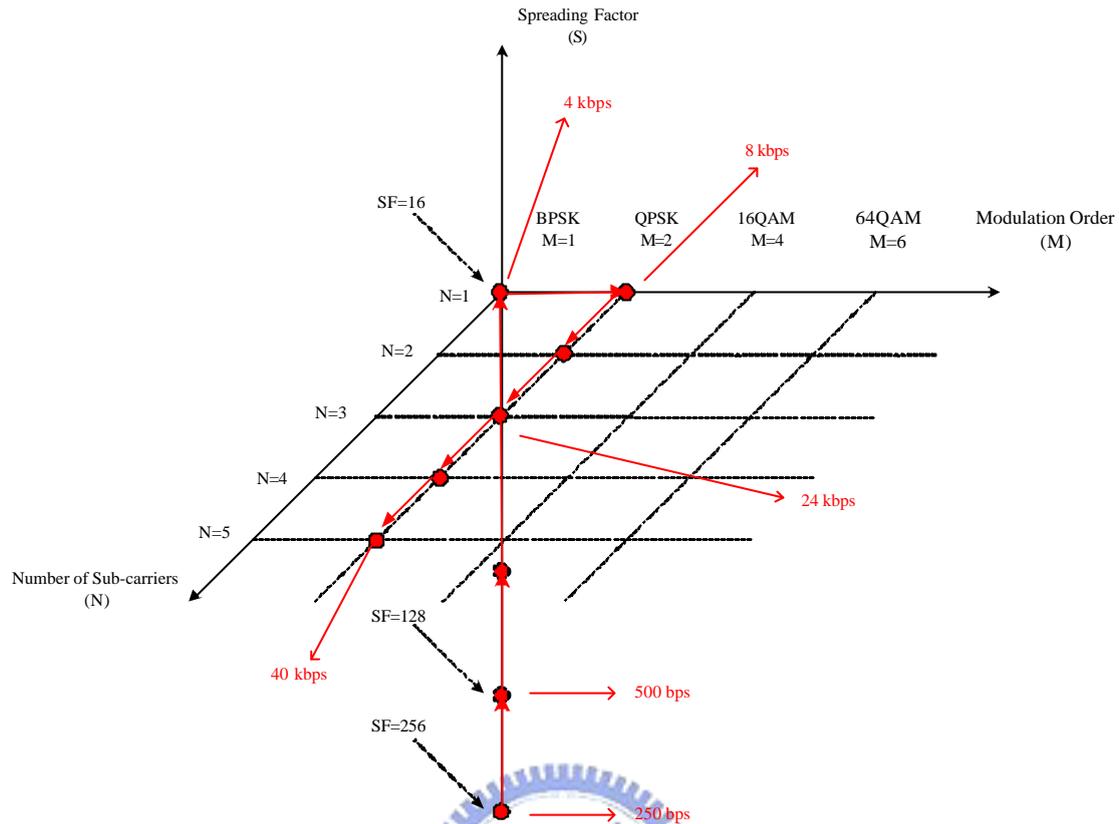


圖 4.1 以功率效益為基礎的演算法求解範例

†：在範例中的演算法說明，目前僅考慮調變機制、展頻係數與子載波個數等三項系統參數，暫時不考慮編碼速率的調整引進，因為 MCSN 參數組合的層級調整，是一個四維空間的跳躍，無法將範例做圖示化的說明。然而額外引進編碼速率參數，同樣可由(2.6)(4.1)(4.2)換算得知傳輸速率與消耗功率，因此本演算法可輕易延伸至包含編碼速率的四項系統參數作功率效益為基礎的適當 MCSN 參數組合的尋找。

此演算法的特點在於使用者進行 MCSN 參數層級的調整時，是從現居 MCSN 參數組合位置，同時以速率增加與功率效益的原則，在四維空間中進行層級跳躍，如此一來，將可快速逼近使用者欲傳輸速率，大幅縮減各種 MCSN 參數組合的嘗試，避免如同最佳解法須針對全體可選用參數組合作全面性的計算，以減少系統運算量。其次，每次層級的調整均是依照功率效益的精神所進行，故不易造成大幅度的功率浪費，將可以保留更多的功率給其他需要傳輸的使用者。此外，由於是以基地台端最大可傳送功率為系統資源的限制條件，無須在分配下一個使用者時重新計算每位使用者已分配過的功率即可知道系統的剩餘可使用功率，所以本演算法可大幅地降低系統運算量與資源分配的複雜度(Complexity)。

但由於並非嘗試所有可能的組合，而是以速率增加的狀況下估算使用者消耗的資源，因此仍有預留過多功率空間的可能，形成實際提供的傳輸速率高於使用者的目標傳輸速率 (Target Rate, R_k^{target}) 造成資源的浪費。

如前面章節所述，封包排程演算法的設計主要可區分為兩部分 – 分配資源的優先權設定與功率資源分配程序。本系統平台的特色之一為同時模擬即時性與非即時性兩種異質服務型態，以下將依照服務類別的不同，分別細究適應性鍊路資源分配演算法輔助封包排程序完成系統內全體使用者的詳細流程。



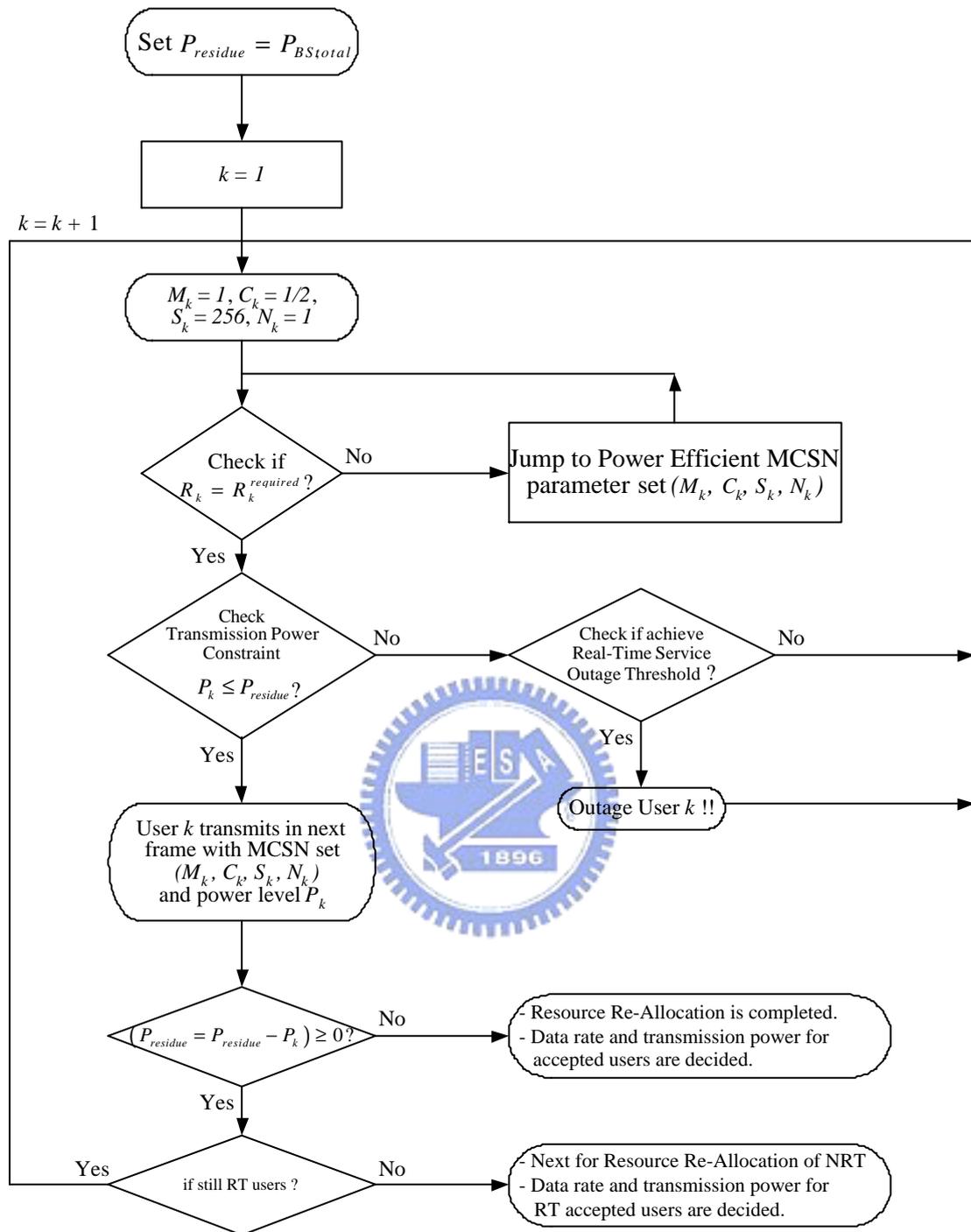


圖 4.2 即時性服務採用以功率效益為基礎的演算法流程圖

即時性服務以功率效益為基礎之演算法之步驟說明：

- Step 1. 設定系統剩餘功率資源處於最佳狀況，即其以基地台端最大可使用功率 $P_{BS, total}$ 來表示。
- Step 2. 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。
- Step 3. 設定第 k 順位使用者初始可使用的資料傳輸速率，即設定其 MCSN 參

數組合，每位使用者皆從最低資料傳輸速率開始選擇。

- Step 4. 判斷使用者傳輸速率是否滿足(4.4)式，若滿足進入 step 6 進行於基地台所需的功率判斷，若不滿足則計算速率增加的參數組合，取耗費最小功率的解集以調整一個層級的 MCSN 參數組合供使用者換算可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- Step 5. 利用(4.1)(4.2)估算第 k 順位使用者於基地台所需的功率。
- Step 6. 判斷使用者所需的傳輸功率是否滿足(4.4)式，若不滿足則進入 step 8 進行連線強制中斷(Outage)處理程序。
- Step 7. 當訊號品質降到一定程度使系統無法滿足連線服務品質的現象超過連線強制中斷門檻時，系統將中斷該使用者的連線。
- Step 8. 決定第 k 順位使用者於下一個資源重分配週期傳輸時所需的 MCSN 參數組合與所需的傳輸功率。
- Step 9. 判斷系統是否仍有剩餘功率資源，若滿足則進行下一位使用者資源分配，否則即結束資源重分配程序。
- Step 10. 若系統仍有剩餘功率資源，但已完成所有即時性服務使用者的資源重分配，則進入非即時性服務使用者的封包排程與資源重分配工作。



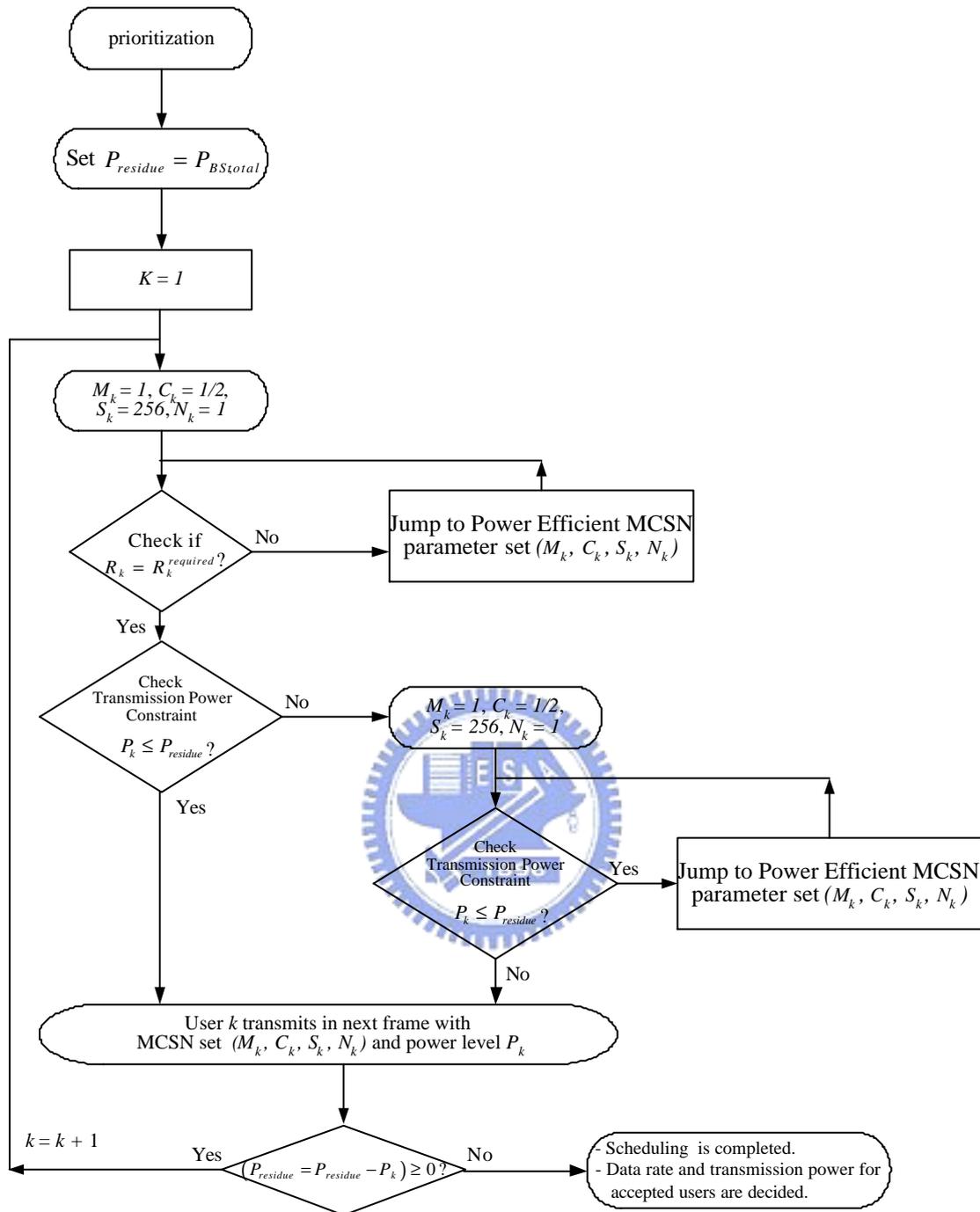


圖 4.3 非即時性服務採用以功率效益為基礎的演算法流程圖

非即時性服務以功率效益為基礎之演算法之步驟說明：

- Step 1. 決定使用者的優先順序。
- Step 2. 設定系統剩餘功率資源處於最佳狀況，即其以基地台端最大可使用功率 $P_{BS, total}$ 來表示。
- Step 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。
- Step 4. 設定第 k 順位使用者初始可使用的資料傳輸速率，即設定其 MCSN 參

- 數組合，每位使用者皆從最低資料傳輸速率開始選擇。
- Step 5. 判斷使用者傳輸速率是否滿足(4.5)式，若滿足進入 step 6 進行於基地台所需的功率判斷，若不滿足則計算速率增加的參數組合，取耗費最小功率的解集以調整一個層級的 MCSN 參數組合供使用者換算可使用的資料傳輸速率，重新判斷。
- Step 6. 利用(4.1)(4.2)估算第 k 順位使用者於基地台所需的功率。
- Step 7. 判斷使用者傳輸功率是否滿足(4.5)式，若不滿足則進入 step 8 進行使用者最大可使用的資料傳輸速率搜尋程序。
- Step 8. 從最低資料傳輸速率開始選擇，依速率增加的參數組合，取耗費最小功率的解集以逐步調整一個層級的 MCSN 參數組合供使用者換算可使用的資料傳輸速率，直到所需的傳輸功率超過系統剩餘功率資源。
- Step 9. 決定第 k 順位使用者於下一個資源重分配週期傳輸時所需的 MCSN 參數組合與所需的傳輸功率。
- Step 10. 判斷系統是否仍有剩餘功率資源，若滿足則進行下一位使用者資源分配。
- Step 11. 完成資源重分配與封包排程工作並決定每位使用者所需的系統資源。使用者即使使用最低資料傳輸速率仍無法因應系統最大可傳送功率的限制，則該使用者於下一個資源重分配週期不進行傳輸。

4-4 模擬結果



資源分配演算法的設計出發點在於維持一定服務品質的前提下，妥善的分配系統可使用功率資源，希望能儘量增加容量，但在系統可能提供多種服務的情形之下，對於容量的定義並不止一種，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流量(Throughput)來定義容量。在圖 4.4 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)的情形下，比較最佳解法與 PEBS 兩種不同資源分配演算法時，系統所能承受的資料流量。

由模擬結果可以發現，因為 PEBS 資源分配演算法，在每個 MCSN 參數組合的層級選擇過程，遵循(4.7)式功率效益的精神進行層級的調整，因此在滿足系統內使用者的軟式服務品質的前提下，當使用者到達速率為 1.6 時，所能達到系統的資料流量與最佳解法的結果約莫有 4 個百分比的差距。推測流量差距的原因是因為 PEBS 演算法並沒有嘗試所有可能的 MCSN 參數組合，而是從當時所處的四維空間座標點，往速率增加的方向做最大速功效率的選擇，因此仍有預留過多功率空間的可能，造成資源的浪費。

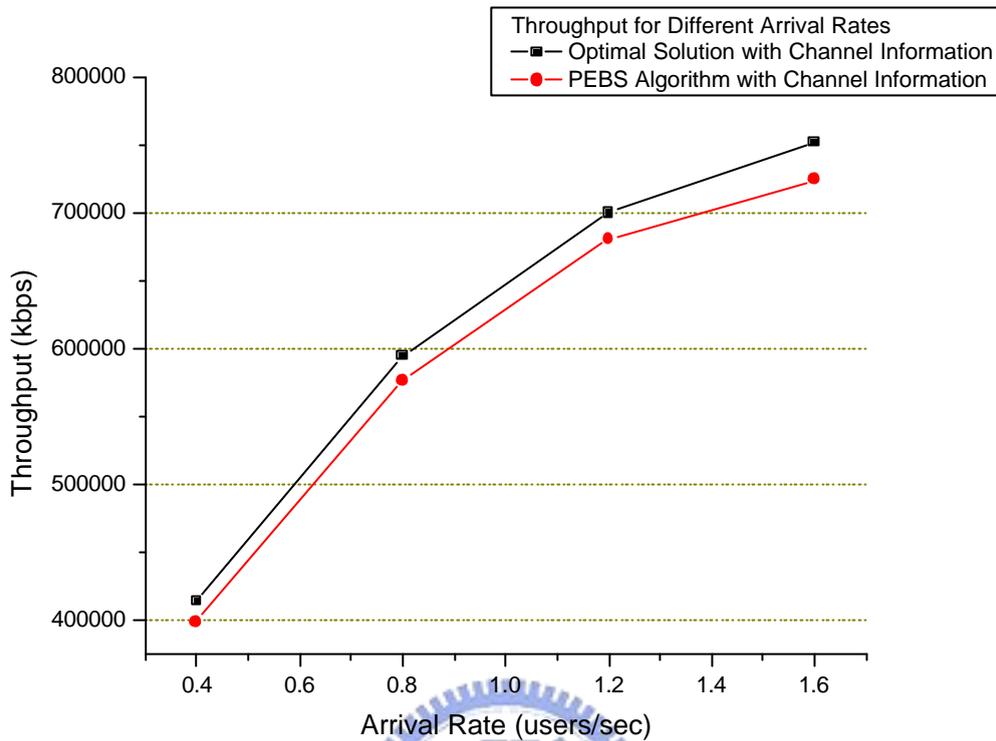


圖 4.4 比較不同資源分配演算法時的資料流量

因為 PEBS 資源分配演算法有預留功率空間的可能，造成資源的浪費，相較於最佳解法仍有功率效益較差的現象。因此系統在相同的使用者分佈下，PEBS 演算法對於系統總功率的消耗仍大於最佳解法，此時當新的即時性服務使用者請求進入系統接受服務時，基地台端預先為該使用者執行資源分配，將有更高的機率出現其所需的傳送功率與現存系統中的語音服務使用者的傳送功率總合超過系統保留功率，則不被允許進入系統，成為阻塞(Block)事件，相對地增加阻塞率。圖 4.5 顯示比較最佳解法與 PEBS 兩種不同資源分配演算法時，新即時服務使用者要求進入系統時被拒絕的機率。

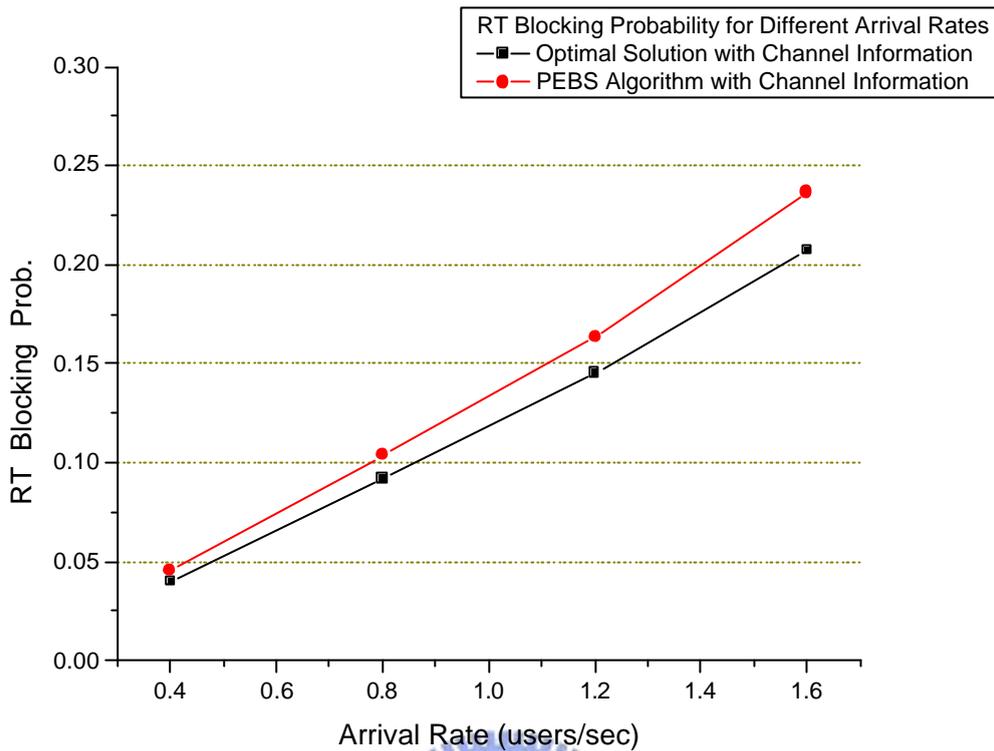


圖 4.5 比較不同資源分配演算法時的新即時服務使用者阻塞率

本論文基於降低系統複雜度的考量，提出的以功率效益為基礎(PEBS)的演算法，兼顧速率增加與功率效益的精神，在四維空間中進行層級跳躍，快速逼近使用者欲傳輸速率，以滿足使用者的服務品質要求。大幅縮減各種 MCSN 參數組合的嘗試，避免如同最佳解法須針對全體可選用參數組合作全面性的計算，以減少系統運算量。在同樣完全得知通道品質的條件下進行 MCSN 參數組合的挑選與資源分配程序，依據模擬結果顯示，我們所設計的 PEBS 演算法在資料流量效能(Throughput Performance)相較於最佳解法約有 4 個百分比的損失，然而在演算法的執行方面，卻節省下高達 20 倍的運算量，如表 4.2。

Performance Comparison	Computation Saving	Throughput
Optimal Solution	1	1
Power Efficient Based Searching Algorithm	1/26	96%

表 4.2 PEBS 演算法與最佳解法效能比較



第五章 OFDM-CDMA 系統之通道估測

前述的章節均假設是在完整得知通道衰落下，利用全面性計算或依功率效益為基礎的演算法，尋求適合的 MCSN 參數組合，以滿足使用者資料傳輸速率的要求與系統可用功率的限制。本章將探索在 OFDM-CDMA 系統中，通道狀況回報的不完整對系統效能(Performance) 的影響程度，並提出合理的回傳方法，以改善對系統的傷害。

5-1 OFDM-CDMA 系統之通道估測問題介紹

在無線通訊環境中，多種無線通道的效應彼此錯綜在一起，如路徑損失、遮蔽衰落、多路徑衰落。當具有速度的使用者進入系統開始進行傳輸時，因為移動造成位置的改變，將使通道環境隨之變化，導致通道品質的起伏。本系統模擬平台為分頻多工的系統，意即為上下鍊通道採用不同的頻帶傳送，但上下鍊頻帶的間距是固定的，因此基地台毋須上鍊通道額外回傳通道狀況資訊，可以直接藉由接收信號估測得知下鍊通道的路徑損失與遮蔽衰落。然而由於上下鍊通道利用不同頻帶傳送，形成獨立的快衰落變化，因此在基地台端無法藉由上鍊通道信號品質的估測來獲知下鍊通道快衰落狀況。

前述的適應性鍊路資源分配演算法，是在假設完全已知系統通道的狀況，經由(4.1)(4.2)式換算得知個別用戶傳送訊號所需消耗的功率資源大小 P_k ，然而實際上，若基地台無法充份了解通道狀況來進行資源分配，則將必須預留一段空間確保接收端有足夠的空間調整功率以因應快衰落的變化，保障使用者的接收信號品質，然而如此將導致功率資源分配的無效率。合理的改善方法是在用戶端量測下鍊通道品質，並在適當的時間間隔經由上鍊通道回報，以確保適應性鍊路資源分配演算法的正確性。

儘管使用者透過上鍊通道回報下鍊通道快衰落變化是個合理的想法，但由於 OFDM-CDMA 系統為多載波通訊平台，倘若每根子載波的通道狀況均需要回報，將嚴重造成上傳流量的額外負擔(Overhead)，因此延長通道品質回報週期似乎是個明顯降低流量負擔的方法。不幸的是，功率消耗矩陣的建立極為依賴完整通道狀況的資訊，通道品質回報週期的延長使得系統無法追蹤快衰落的變化，如此將造成基地台必須做額外的資源分配，以保障使用者的接收信號品質，卻帶來功率分配無效率的惡果。故系統通道品質的回報週期必須限制在可以追蹤快衰落變化的範圍內，並且壓縮回傳的通道流量，降低對系統負載的傷害。基於

OFDM-CDMA 系統頻域的子載波特性，在此提出一個想法是使用者經由上鍊通道回報下鍊通道的時域通道脈衝響應，基地台端接收後利用快速傅立葉轉換為頻域子載波上的快衰落效應供功率消耗矩陣建立之使用。

經由前面章節的描述可知，多路徑衰落是訊號在傳播時經過多次反射後才被接收到因而產生的效果，並且每個延遲路徑的通道變化均呈現獨立的雷萊衰落 (Rayleigh Fading) 效應。不同反射路徑的延遲擴散與衰落值隨使用者的移動在時間軸上變化，但是延遲的成因主要受到主體反射物與使用者間的相對位置影響，故推論得該使用者的路徑延遲擴散變化應該與該環境所遭受的遮蔽衰落知之非相關距離 (De-correlation Distance) 有高度的相關性，因此設計多路徑延遲擴散的回報週期與遮蔽衰落更新週期相同。典型的多路徑通道效應約有 6~12 個路徑組成，換句話說，多路徑衰落值的回傳最少可以被壓縮到僅需六個值，而不用回傳每根子載波的通道狀況。以本 OFDM-CDMA 模擬平台為例，下傳的子載波總共 1024 個，利用上鍊通道回報下鍊通道的時域通道脈衝響應將可壓縮回傳的通道流量達 170 倍。通道品質回報設計的相關參數如表 5.1 所示。

Channel Effect	Multi-path Fading		Path Loss + Shadow Fading
	Multi-path Delay Profile	Rayleigh fading of each path	
Uplink Capacity Consumption	Yes	Yes	No
Report Duration	45ms	4ms	45ms
Information Volume	12~24 positive real values	6~12 complex values	1 complex value

表 5.1 通道品質回報設計相關參數表

5-2 OFDM-CDMA 系統之通道估測影響之比較

若 OFDM-CDMA 系統中的使用者，無法透過上鍊通道回報下鍊通道的通道品質，使得系統無法追蹤快衰落的變化。因為快衰落的變化在 dB 的單位表示中，統計上呈現高斯分佈，意謂著若系統在不清楚快衰落變化值的情況下，只針對路徑損失與遮蔽衰落調整傳送端發射信號的資源功率分配，理論上將會有一半的機率導致使用者在接收端無法達到選用的服務所需的訊號品質，形成信號傳遞錯誤。因此，基地台必須保留快衰落空間 (Fast Fading Margin)，以保障使用者的接

收信號品質。再者，系統不能完全清楚通道的衰落變化，將無法依照子載波通道增益值排序，失去自多載波系統中獲得通道變化有好有壞的環境中，經由子載波選擇演算法優先選擇於快衰落值較小的子載波上傳送的機會。

模擬結果比較中的對照組，是假設基地台僅能透過上鍊通道的接收信號知悉下鍊通道的路徑損失與遮蔽衰落，對於快衰落效應則無法追其變化。因此在資源分配的最佳化問題中，無法掌握完整的 MCSN 資訊在四維空間中作適當的參數選擇，因此參數組合中的調變機制固定為四象限相位偏移鍵控(QPSK)，編碼速率為 1/2，展頻係數則選定為 16。使用者傳輸速率的滿足將依賴子載波個數分配的多寡，將個數的分配結果通知子載波選擇演算法，於全部可使用的子載波上作等距交錯(Equally Interleave)地跳躍取出，如圖 5.1。使用同一子載波的不同使用者，將使用不同的展頻碼，以避免彼此間的干擾問題。

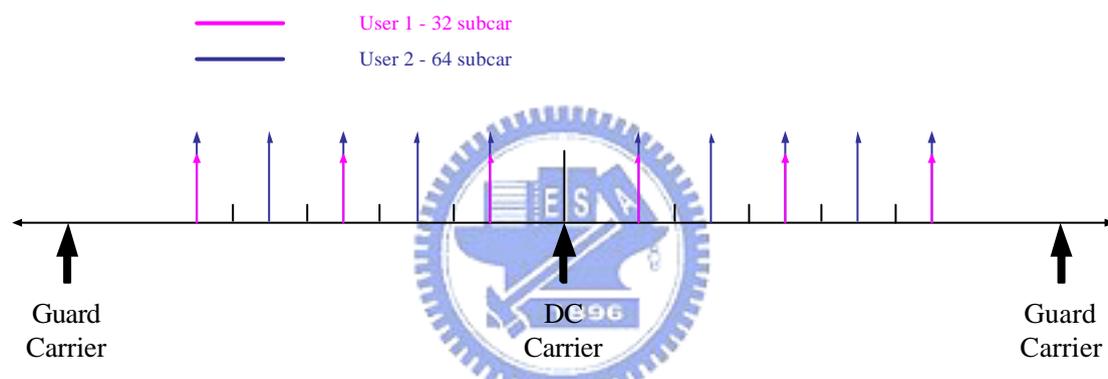


圖 5.1 等距交錯的子載波選擇示意圖

通道品質回報主要的目的是在滿足使用者服務品質(QoS)下，有效地使用系統資源，所以衡量通道品質回報與否可從系統目標的達成度與系統狀況來觀察。首先，從服務品質的角度來看，資源分配演算法是在系統的最大可使用功率限制條件中，滿足各種服務所需的位元能量與干擾密度比與資料傳輸速率的要求，希望能最大化系統整體資料流量。所以我們需探討使用者在如此的安排下，針對系統整體資料流量(Throughput)的變化來評估通道品質的回報的影響，系統整體資料流量定義為單位時間內成功傳送的位元數。

圖 5.2 顯示在完整獲知通道品質的情況下，子載波系統的整體資料流量比較於沒有通道品質回傳的情況超過 400 Mbps，達到約 200%的改善幅度。儘管快衰落空間保留值愈小，系統將可減小額外功率資源的分配，換句話說，系統將可以有更多的資源分配給其他使用者進行資料傳輸；然而較小快衰落空間保留值讓使用者會有更高的機率在接收端無法達到選用的服務所需的訊號品質，形成信號傳

遞錯誤，反而獲得較差的整體資料流量。

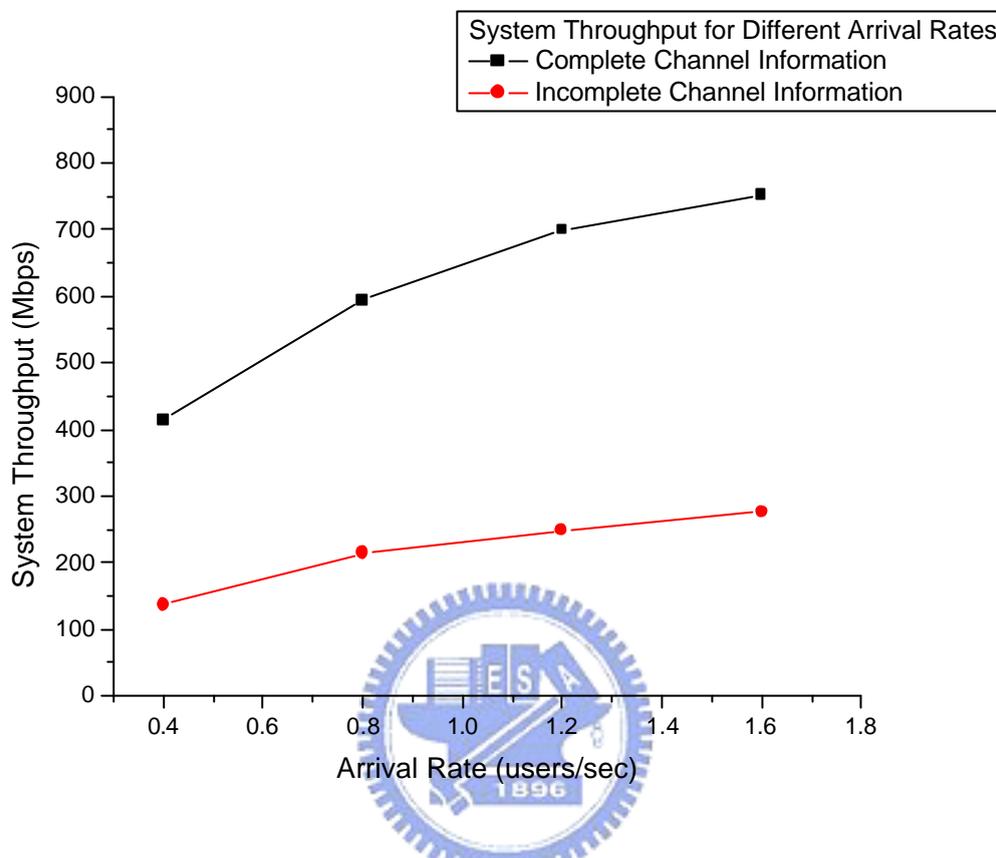


圖 5.2 比較有無回報通道品質時的資料流量

資料傳輸是以訊框的架構包裝傳遞，而許多的訊框方能組成一個封包。一筆完整的資料是指一個網頁而言，這裡封包的意義為其中的一筆檔案，所以整個封包內的各個資訊均送達方能完成，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、優先權的設定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 5.3 顯示在完整獲知通道品質的情況裡，由於子載波系統的整體資料流量較諸於沒有通道品質回傳的情況為大，因此數據服務使用者的平均封包延遲亦相對有較好的表現；且快衰落空間保留值較小的情況，由於有較高的機率讓使用者在接收端無法達到選用的服務所需的訊號品質，出現信號傳遞錯誤，導致資料重傳的情況增加，使其延遲現象越趨嚴重。

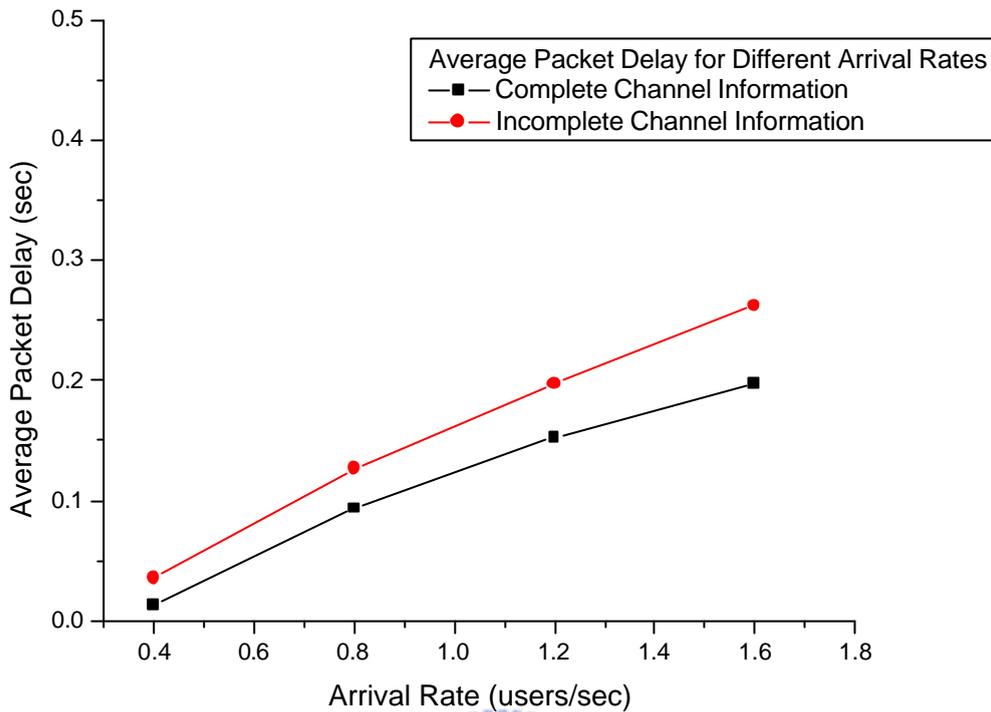


圖 5.3 比較有無回報通道品質時的平均封包延遲

圖 5.4 顯示當系統無法得知通道的快衰落變化時，由於快衰落空間保留值的採用，將使系統內每位使用者在傳送端所需要的功率消耗為固定調變機制與展頻係數時，利用調整子載波個數以滿足資料傳輸速度的功率消耗加上快衰落空間保留值，如此將造成功率分配的浪費，使得系統內使用者的總消耗功率增加。此時，當一位新的即時性服務使用者請求進入系統時，允入控制程序累加系統當時的總消耗功率與為該使用者預先做資源分配所需的消耗功率值，將因為快衰落空間的保留，而更容易超過系統保留功率的設定，使得該用戶不被允許進入系統，成為阻塞事件。

儘管系統若不為使用者預留快衰落空間，將不會出現功率資源的過度分配；然而當系統可以完整獲知通道品質時，可以透過子載波選擇演算法優先選擇通道增益較高的子載波傳送信號，因此系統內每位使用者在傳送端所需要的功率消耗 P_k 均為滿足資料傳輸速度 R_k 的最小功率消耗。反觀不做任何預留快衰落空間的情況，因為僅能針對子載波作等距交錯地跳躍取出，統計上僅有一半的機率可選取到具通道增益的子載波，故所需的功率消耗將大於可回報通道品質的情況。當一位新的使用者希望進入系統時，整體功率消耗出現大於系統保留功率的機會因而增高，使得即時性服務的阻塞率(Block Probability)隨之增加。

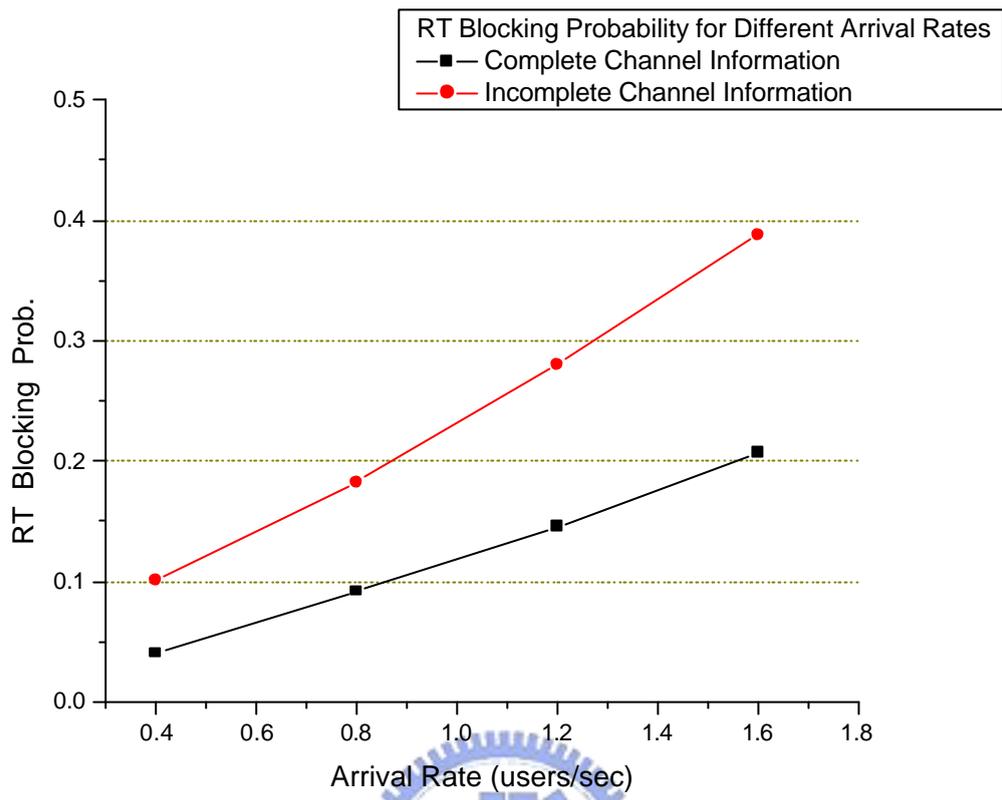


圖 5.4 比較有無回報通道品質時的新即時性服務使用者阻塞率

第六章 結論與未來展望

6-1 結論

寬頻多媒體服務已是未來通訊系統的必然趨勢，在提供多重服務(Multiple Service)的前提下提供使用者不同資料傳輸速率與品質要求，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資料流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。

本研究首先針對下一世代的通訊規格提出合理的 OFDM-CDMA 傳收機系統架構，並在下鍊傳輸中無線資源管理提供相關的解決方案。本論文除定義系統資源分配的準則與依據，主要著重於調變機制、編碼速率、展頻係數與子載波個數等系統可選用參數的選擇方法，以解決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。此外更針對多載波系統通道品質的回報作進一步的探究，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最大化系統資料流量的目標。

本論文研究的特色與結果總結如下：

- 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。
- 本論文是同時考慮如允入控制、子載波選擇、資源重分配等整體相關之無線資源管理演算法使結果更具完備性。
- 在兼於功率分配與滿足速率的要求下，探究 OFDM-CDMA 系統參數選擇時的考量與彼此間的關聯。
- 根據上鍊通道回報的通道品質，再依 OFDM-CDMA 系統資源量化分配式子，在系統最大可使用功率限制與滿足個別使用者軟式服務品質的前提下，達成最佳化系統資料流量的目標。
- 以功率效益為基礎的資源分配演算法，在適當的功率速率效率定義下，大幅減少尋找適當 MCSN 參數組合的時間與運算量。
- 針對通道品質的通知，提出一個合理的回傳方法，大幅度降低多載波系統中通道回報造成的系統流量負擔(Overhead)。

6-2 未來研究方向與展望

在 OFDM-CDMA 通訊系統中，因為系統在頻域上較諸於傳統的通訊系統多出子載波的使用上自由度，因此早期設計的無線資源管理演算法可以經由子載波選擇演算法選擇通道增益較大的子載波，修正原來的設計以增進演算法表現

(Performance)。以換手技術(Handover)為例，傳統單載波的 CDMA 系統，當使用者移動至細胞邊界(Cell Boundary)時，使用者同時接收兩個基地台的訊號，在適當的時候進行軟式換手(Soft Handover)；在 OFDM-CDMA 系統中，使用者可針對不同的基地台選擇通道增益較高的子載波來接收訊號。

在個別無線資源演算法趨於完備後，未來可針對二維度的資源的分配量化進行設計。在 OFDM-CDMA 的傳收機架構下，若將相同的時域展頻資料串內容經頻域展頻後，利用數個子載波同時作傳送，則形成二維展頻。在二維度的資源分配中，定義某一段時間長度與可選用子載波個數的組成為資源區塊(Resource Block)，如圖 6.1 所示。在資源重分配程序進行時，該如何在資源區塊中，對每位使用者的服務品質要求給予資源，並且同時考量適當的展頻碼長度設計，以避免可使用展頻碼個數過少，將是極富潛力的研究主題。

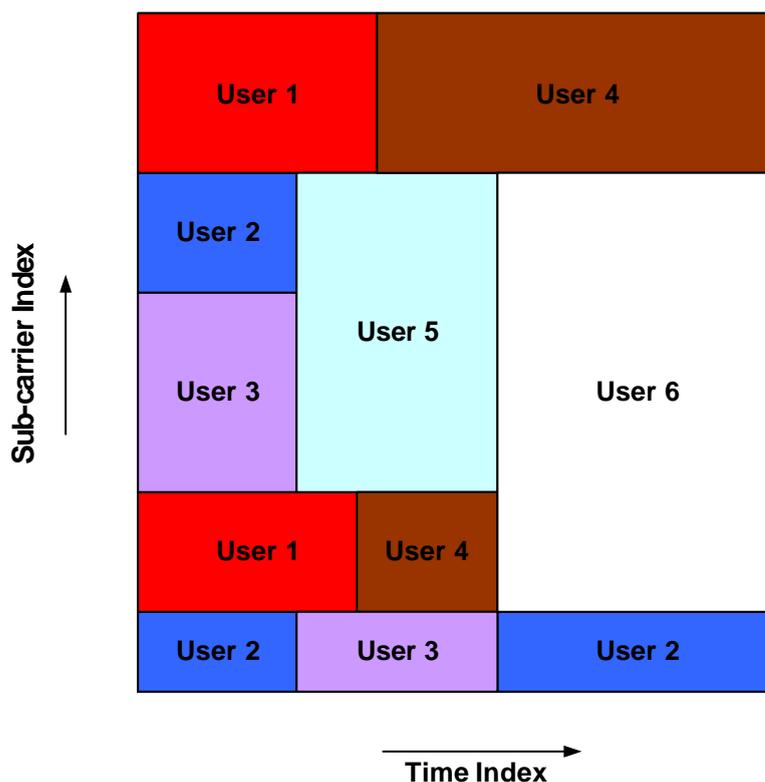


圖 6.1 二維展頻資源區塊分配示意圖

另外，目前本模擬平台採用使用者經由上鍊通道回報下鍊通道的時域通道脈衝響應，供基地台端接收後利用快速傅立葉轉換得知頻域子載波上快衰落效應的作法。為了進一步壓縮通道回傳的流量，通道估測(Channel Estimation)程序可引進通道預測(Channel Prediction)機制，以增加上鍊通道的資料傳輸量；然而由於通道品質掌握程度的不精確，將傷害下鍊通道的整體資料傳輸流量。通道回傳造

成上鍊通道容量的減小與預測通道降低下鍊通道的整體資料傳輸流量之間的取捨，亦為日後值得投注更多心力進行深入研究的主题。



參考文獻

- [1] N. Dimitriou, G. Sfikas and R. Tafazolli, "Call admission policies for UMTS," *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, vol. 2, pp.1420-1424, 15-18 May 2000.
- [2] J. Muckenheim and U. Bernhard, "A framework for load control in 3rd generation CDMA networks," *IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 6, pp.3738-3742, 25-29 Nov 2001.
- [3] C.Oliveira, B.K. Jaime and T. Suda, "An adaptive bandwidth reservation scheme for high-speed multimedia wireless networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.16, no.6, pp.858-874, Aug 1998.
- [4] Dongmei Zhao, Xuemin Shen and J.W. Mark, "Efficient call admission control for heterogeneous services in wireless mobile ATM networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 38, no. 10, pp.72-78, Oct 2000.
- [5] <http://www.cqinc.com.tw/grandsoft/home.htm>
- [6] P. Demestichas, L. Papadopoulou, V. Stavroulaki, M. Theologou, G. Vivier, G. Martinez, F. Galliano, "Wireless beyond 3G: managing services and network resources," *Computer*, vol.35, no. 8, pp.80-82, Aug 2002.
- [7] R. Steele, "Beyond 3G," *International Zurich Seminar on Broadband Communications Proceedings*, pp.1-7, 15-17 Feb 2000.
- [8] IEEE802.16-2002, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks –Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," 2002-03-25
- [9] Richard Van Nee and Ranjee Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [10] A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, *Discrete-Time Signal Processing*, 2nd ed. NJ: Prentice-Hall, 1999
- [11] Lie-Liang Yang, L. Hanzo, "Multicarrier DS-CDMA: a multiple access scheme for ubiquitous broadband wireless communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 10, pp.116-124, Oct 2003.
- [12] S. Hara, R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 35, no. 12, pp.126-133, Dec 1997.
- [13] S. Abeta, H. Atarashi and M. Sawahashi, "Forward link capacity of coherent DS-CDMA and MC-CDMA broadband packet wireless access in a multi-cell environment," *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 5, pp.2213-2218, 24-28 Sep 2000.
- [14] S. Abeta, H. Atarashi and M. Sawahashi, "Broadband packet wireless access

- incorporating high-speed IP packet transmission,” *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, vol. 2, pp.844-848, 24-28 Sep 2002.
- [15] 3GPP TR25.922 v.5.00. “Radio Resource Management Strategies,” March 2002.
- [16] “Channel Models for IEEE 802.20 MBWA System Simulations” *IEEE C802.20-30/70*.
- [17] Gordon L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*, Kluwer Academic Publishers, Fourth printing, 2000.
- [18] I. K. Fu, “A Dynamic Simulation Platform for Heterogeneous Multiple Access Systems,” Thesis of Master Degree, *National Chung Cheng University*, 2002.
- [19] J. S. Lee, and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House, 1998.
- [20] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS – Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 2002
- [21] E. Anderlind and J. Zander, “A traffic model for non-real-time data users in a wireless radio network, ” *IEEE Communication Letters*, vol. 1, no. 2, pp.37-39, March 1997.
- [22] M. Gudmundson, “Correlation for shadow fading in mobile radio systems,” *Electronics Letters*, vol. 27, no. 23, pp.2145-2146, Nov 1991.
- [23] T. Klingenbrunn and P. Mogensen, “Modelling cross-correlated shadowing in network simulations,” *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp.1407-1411, 19-22 Sep 1999
- [24] A. Mawira, “Models for the spatial correlation functions of the log-normal component of the variability of VHF/UHF field strength in urban environment,” *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings*, pp.436-440, 19-21 Oct 1992
- [25] T. B. Sorensen, “Correlation model for slow fading in a small urban macro cell,” *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, vol. 3, pp.1161-1165, 8-11 Sep 1998
- [26] F. Graziosi, M. Pratesi, M. Ruggieri and F. Santucci, “A multicell model of handover initiation in mobile cellular networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 3, pp.802-814, May 1999
- [27] P. Dent, G. E. Bottomley and T. Croft, “Jakes fading model revisited”, *IEEE Electronic Letters*, vol. 29, no.13, pp.1162 - 1163, 24 June 1993
- [28] W. C. Jakes, *Microwave mobile communications*, 2nd ed., Wiley, 1994.
- [29] Hyoung-Kee Choi and J. O. Limb, “A behavioral model of web traffic,” *IEEE International Conference on Network Protocols Proceedings*, pp. 327 – 334, 31 Oct.-3 Nov. 1999
- [30] M. C. Jeruchim, P. Balaban and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication*

Systems, 2nd ed., Kluwer Academic/Plenum, 2000.

- [31] 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 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 3, pp.1462-1466, Sep 2002.
- [32] 3GPP TR25.848 V4.0.0, "Physical layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access," Release 4, Mar 2001.
- [33] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system," *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, vol.3, pp.1854-1858, 15-18 May 2000
- [34] 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, Sep 2002
- [35] S. Abeta, H. Atarashi, M. Sawahashi and F. Adachi, "Performance of coherent multi-carrier/DS-CDMA and MC-CDMA for broadband packet wireless access" *IEICE Transaction on Communication*, vol. E84-B, no. 3, pp.406-414, Mar 2001.
- [36] Lie-Liang Yang, L. Hanzo, "Multicarrier DS-CDMA: a multiple access scheme for ubiquitous broadband wireless communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 10, pp.116-124, Oct 2003
- [37] T. Ojanperä and R. Prasad, *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*. Artech House, 1998.
- [38] A. Viterbi, *Principles of Spread Spectrum Communication*. Addison-Wesley, 1997.
- [39] G. Cooper and C. McGillem, *Modern Communications and Spread Spectrum*. McGraw-Hill, 1998.
- [40] R. Dixon, *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*. Wiley, 1994
- [41] 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.
- [42] A. Ghosh and K. Rohani, "Effect of mobile power control saturation in DS-CDMA," *IEEE International Conference on Universal Personal Communications* , vol. 1, pp.360-364, 29 Sep-2 Oct 1996.

個人簡歷

基本資料

姓名：黃聖富

性別：男

生日：西元 1980 年 11 月 27 日

出生地：台灣省台南市

學歷



2002.9~2004.6	國立交通大學電信工程學系碩士班	畢業
1998.9~2002.6	國立交通大學電信工程學系	畢業
1995.9~1998.6	省立台南第一高級中學	畢業
1992.9~1995.6	台南市立復興國民中學	畢業
1986.9~1992.6	高雄縣立路竹國民小學	畢業