

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2219-E-009-024-

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：張仲儒

共同主持人：沈文和，廖維國，王蒞君

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 27 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2219-E-009-024

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：張仲儒

共同主持人：廖維國，沈文和，王蒞君

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 27 日

中文摘要

建構B3G (Beyond 3rd Generation) 無線多接取網路目前最可行做法是採用異質多接取網路架構：各個已在單一傳播環境最佳化的現有或未來(如4G)接取網路，透過一接取整合機制作互連並提供在任何時間、地點的無縫式接取服務。此一接取整合機制除提供各個接取網路間的互連，作有效的無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)。本計畫之研究方向是：第一、建立實用且具高變通性的B3G資源管理模擬平台。第二、結合交大教授之研究團隊，針對B3G異質多接取網路架構之無線資源管理技術進行深入研究。

總計劃第二年度之目標在於根據第一年度總計劃中所開發出之WCDMA系統模擬技術，加以延伸並應用至先進行動通訊系統之下鍊(downlink)傳輸模擬之用。除此之外，所開發之模擬平台亦特別針對全新的實體層(physical layer)架構進行設計，並成功開發出適用於OFDM/CDMA Downlink系統之模擬平台雛型，完整的系統模擬平台預期將於第三年度開發完成。此模擬之特點在於，為求真實性，舉凡多路徑衰落，相關性遮蔽衰落，手機移動及實用流量模型都納入設計考慮在內，並在鍊路預算設計上，考量多總設計傳輸參數。

在無線資源管理技術方面，分別由各子計畫負責：異質多接取網路之資源管理技術(子計畫一)、無線封包網路之資源管理技術(子計畫二)、B3G OFDM多重接取系統設計及無線資源管理(子計畫三)。在第二年度研究規劃中，子計畫一致力於發展結合WCDMA/WLAN之B3G系統之RRM技術，其中包括WCDMA系統之排程演算法和封包接取管理技術，以及WLAN之新型輪詢機制。子計畫二的研究方向在於探討HSDPA系統之停滯防止機制，及其效能分析。子計畫三的研究重點則是著重於利用第一年計畫之WCDMA平台來開發允諾接取控制和封包排程演算法，並且搭配總計畫之研發人力，共同發展OFDM/CDMA Downlink系統之模擬平台。此外，各子計畫所開發之技術除了作學理分析外，也將在此模擬平台上驗證其效能。

Abstract

The most popular network architecture for future B3G wireless access network is “heterogeneous access network”. For the heterogeneous access network, future wireless access network (such as: 4G system) and many current wireless access networks that are well-suited for some transmission environments are comprised into an integrated network platform, which can provide anywhere and anytime seamless wireless services. This integrated platform can be an internetworking platform in which the functionalities of radio resource management, mobile management, and quality of service are coordinately provisioned. The key issue for the future heterogeneous access network is efficient radio resource management (RRM) technologies that are performed in an integrated platform. Therefore, the research directions of this project are: first, building a practical and flexible B3G RRM simulation platform; second, study on the RRM technologies for the B3G wireless access network.

In the first-year research of the general project, the system simulation techniques for the WCDMA system were proposed. Based on the results, the research goal for the second-year is to apply these proposed techniques to the downlink simulation platform of advanced mobile communication systems. Moreover, the design of the downlink simulation platform is focused on the development of novel physical layer architecture. We are intended to develop a simulation platform for a prototype OFDM/CDMA downlink system and the detail design is expected to be completed in the third year. For the development of the real simulation platform, the multi-path fading, correlated fading, mobility, and real traffic flow model are taken into consideration. Also, many real system parameters are carefully handled in the design of link budget.

Also, the developments of advanced RRM techniques come from the collaboration and synergy of the three sub-projects, including: RRM techniques for heterogeneous access networks (sub-project 1), RRM techniques for wireless packet access network (sub-project2), and design and RRM techniques for B3G OFDM multiple access systems (sub-project 3). In the second-year research, the goal of sub-project 1 is to develop novel

RRM techniques for WCDMA/WLAN B3G systems, which includes: a scheduling algorithm and a data access control scheme for WCDMA systems and a novel polling scheme for WLAN 802.11e. The goal of sub-project 2 is to study the “stall avoidance” mechanism in the HSDPA system. Also, a novel analytic framework is proposed. For the sub-project 3, the goal is two-folded: firstly, design of a novel call admission control (CAC) and packet scheduling algorithms for the WCDMA simulation platform developed in the first year; secondly, design the simulation platform of an OFDM/CDMA downlink system. It is noted that all the proposed RRM techniques from the three sub-projects will be evaluated on the common simulation platform.

目 錄

目錄	1
圖目錄	3
表目錄	4
第一章 導言	5
1-1 簡介	5
1-2 研究動機	6
第二章 系統簡介	7
2-1 OFDM 技術傳輸原理	7
2-2 OFDM/CDMA 系統介紹	12
第三章 系統規劃與模擬環境	18
3-1 系統規劃	18
3-1-1 細胞架構	18
3-1-2 鍊路預算	19
3-2 模擬模型	25
3-2-1 使用者行為模型	26
3-2-1.1 使用者移動模型	26
3-2-1.2 用者資料流量模型	29
3-2-2 通道模型	33
3-2-1.1 路徑損失模型	33
3-2-1.2 遮蔽衰落模型	34
3-2-1.3 多路徑衰落模型	36
第四章 系統模擬方法	39

4-1 系統模擬程序	39
第五章 模擬平台與各子計畫研究成果	41
5-1 模擬平台發展成果驗證	41
5-2 子計畫一研究成果	44
5-3 子計畫二研究成果	45
5-4 子計畫三研究成果	46
5-5 未來研究方向與展望	48
參考文獻	51

圖目錄

- 圖 2.1 單載波與多載波平行傳送技術
- 圖 2.2 類比 OFDM 調變器
- 圖 2.3 子載波干擾效應
- 圖 2.4 循環前置碼產生方式
- 圖 2.5 OFDM 信號多路徑傳輸效應
- 圖 2.6 通道自相關係數值與時間延遲關係圖
- 圖 2.7 資源重分配週期示意圖
- 圖 3.1 兩個干擾層細胞架構
- 圖 3.2 使用者狀態轉移機率表示圖
- 圖 3.3 使用者方向改變機率分佈
- 圖 3.4 語音服務流量模型
- 圖 3.5 數據資料流量模型
- 圖 3.6 無線傳播環境示意圖
- 圖 3.7 遮蔽效應示意圖
- 圖 3.8 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)
- 圖 3.9 Jakes 模型所考慮之訊號入射角度
- 圖 4.1 系統模擬邏輯示意圖
- 圖 4.2 允入控制演算法流程圖
- 圖 4.3 負載控制示意圖
- 圖 4.4 封包排程演算法流程圖
- 圖 4.5 子載波選擇演算法流程圖
- 圖 4.6 功率控制演算法流程圖
- 圖 5.1 使用者感受之路徑損失與遮蔽衰落效應代表圖
- 圖 5.2 多路徑衰落快速起伏變化
- 圖 5.3 多路徑衰落在時域及頻域之效應

表目錄

- 表 2.1 碼框架構相關時間參數
- 表 2.2 移動速度模型相關參數
- 表 2.3 OFDM/CDMA 系統實體層主要參數
- 表 3.1 上鍊路預算範例
- 表 3.2 下鍊路預算範例
- 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

第一章 導言

1-1 簡介

聯合國下轄之國際電信聯盟(International Telecommunication Union, ITU)在 1992 年決議將 2GHz 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]。

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 下半年陸續提供 WCDMA 規格的 3G 行動通信服務。

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率，又可以支援使用者移動的系統，因此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[1-8]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。因此本研究同樣以 OFDM 技術為基礎，引入蜂巢(Cellular)架構的概念，建置 OFDM/CDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Code Division Multiple Access)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 研究動機

以往在進行行動通訊系統無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)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。

本年度總計劃之目標在於根據第一年度總計劃中所開發出之 WCDMA 系統模擬技術，加以延伸並應用至先進行動通訊系統之下鍊(downlink)傳輸模擬之用。除此之外，所開發之模擬平台亦特別針對全新的實體層(physical layer)架構進行設計，並成功開發出適用於 OFDM/CDMA Downlink 系統之模擬平台雛型，完整的系統模擬平台預期將於第三年度開發完成。OFDM/CDMA 技術是目前世界各地研究人員正熱烈探討的第四代行動通訊技術，而目前在公開的學術期刊以及研究資料中甚少對以該技術為基礎之系統運作架構及方法進行介紹，以致此模擬平台開發時所面臨的挑戰性遠勝以往。本研究團隊藉由對行動通訊的理論分析以及對訊號在實體層傳輸架構的研究，方得以突破目前世界各地研究人員正遭逢的瓶頸，初步開發出系統運作架構之雛型，並據以做為模擬平台開發之根據。此模擬平台延續過去的彈性設計，並同時整合了允入控制(admission control)、封包排程(packet scheduling)以及資源分配(resource allocation)等無線資源管理演算法，以提供一個兼具彈性與完整性之系統模擬環境。

本篇報告之內容安排如下：第二章的內容在於介紹 OFDM 技術傳輸原理與 OFDM/CDMA 系統架構。第三章的內容主要分成兩個部分，前半部的內容在於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。後半部分則先說明在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。再細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。第四章將會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。最後將對本研究進行總結，並說明未來的尚待達成之研究目標。

第二章 系統簡介

OFDM 技術已經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。接著，將對本論文所提出之正交分頻多工結合時域分碼多重接取(OFDM/CDMA)系統的實體層參數做詳盡的設計原理介紹。

2-1 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 2.1 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。

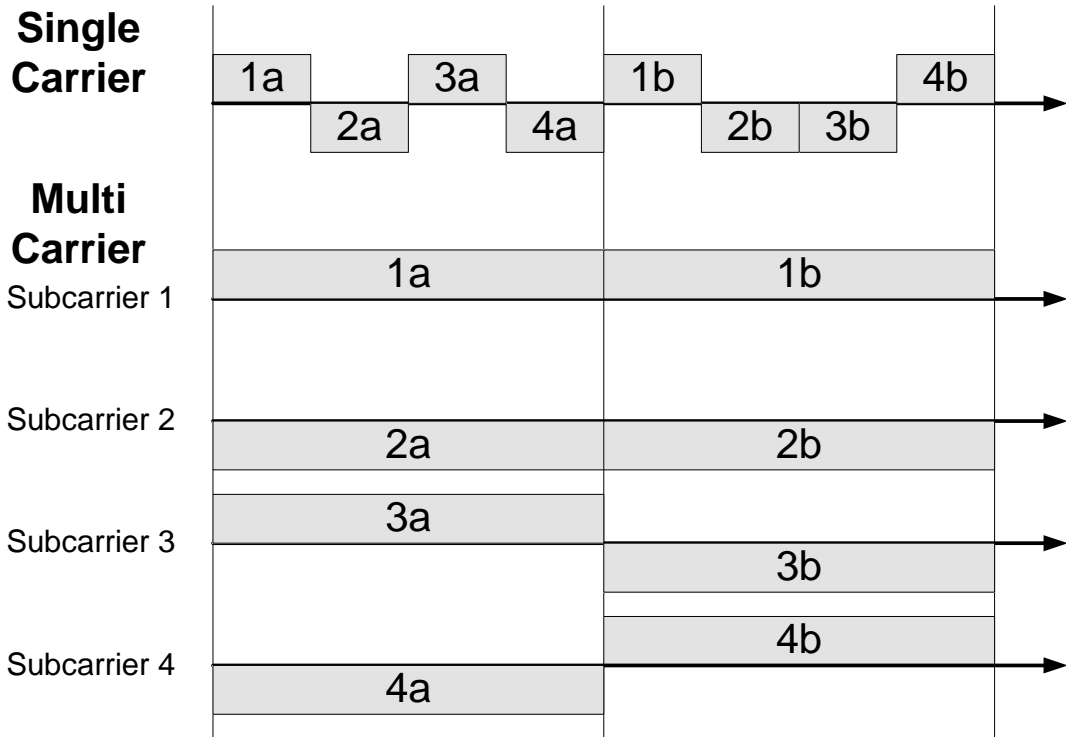
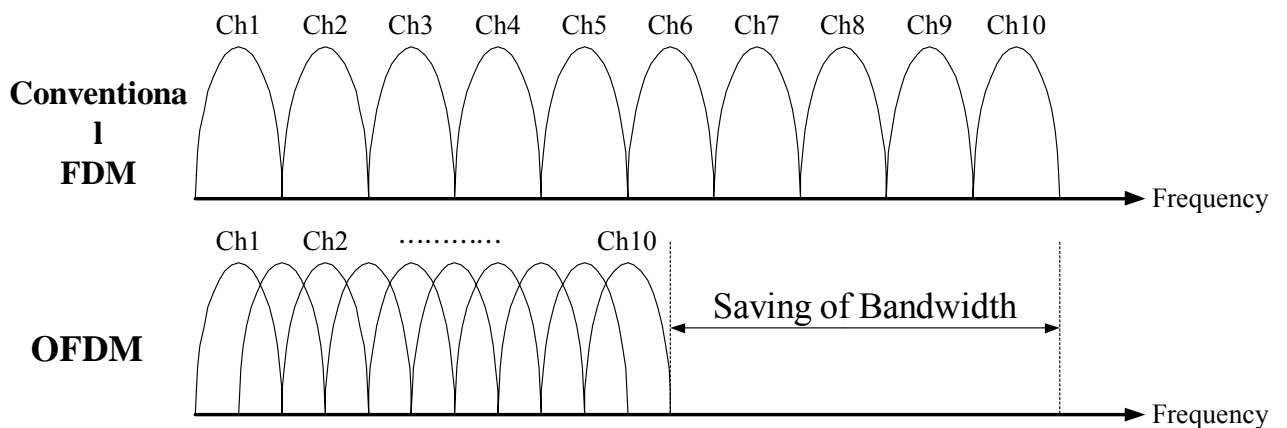


圖 2.1 單載波與多載波平行傳送技術

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 [8]。



OFDM 訊號由子載波上之相移鍵控(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 2.2 所示：

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

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

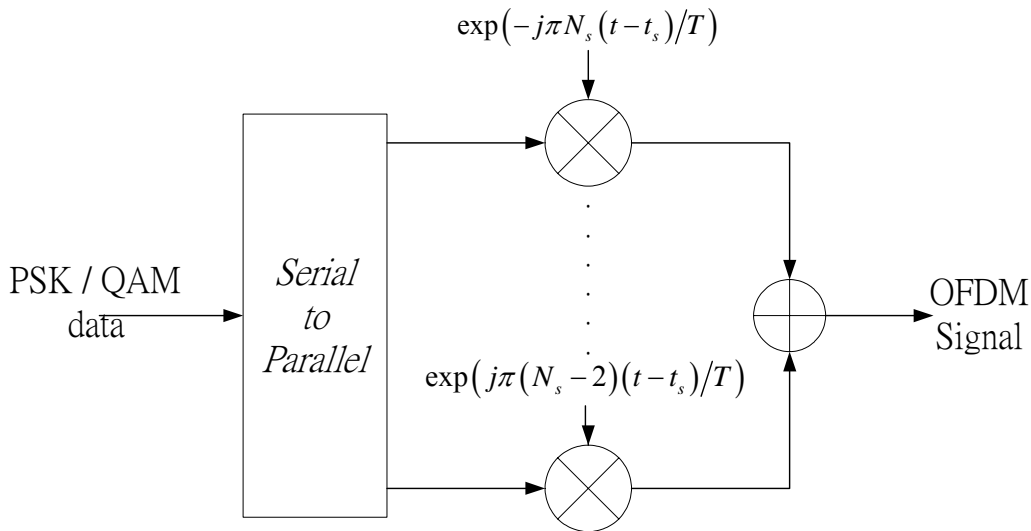


圖 2.2 類比 OFDM 調變器

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，因此實際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：

$$T = N_s T_s$$

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

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

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) [9]

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 2.3 所示。

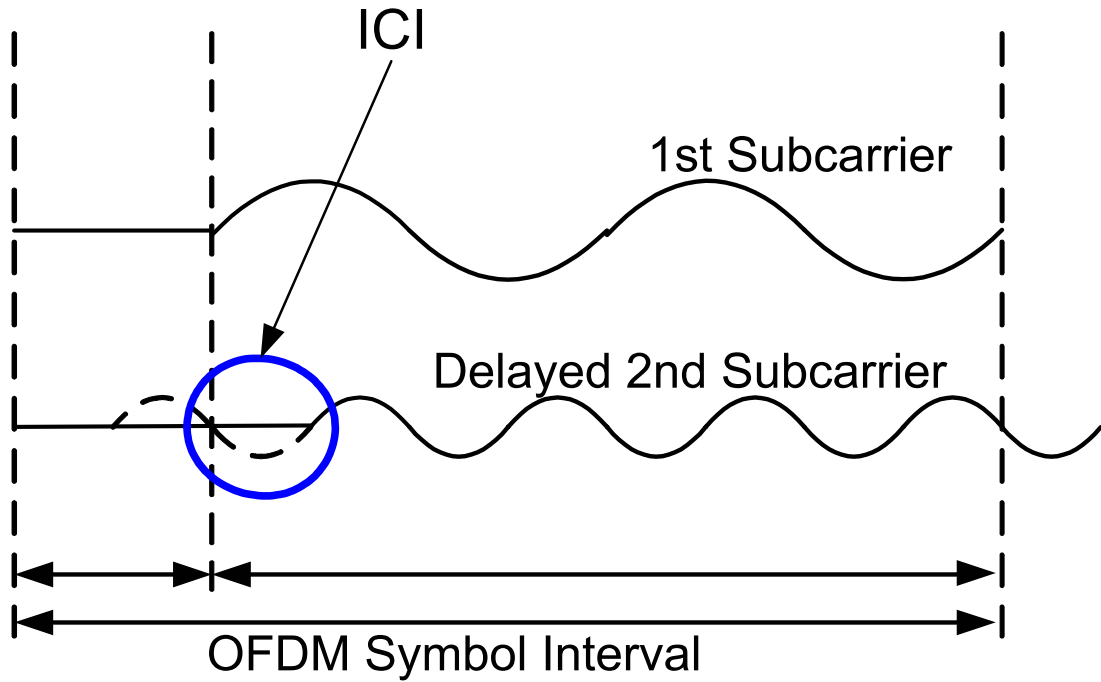


圖 2.3 子載波干擾效應

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 2.4 所示。

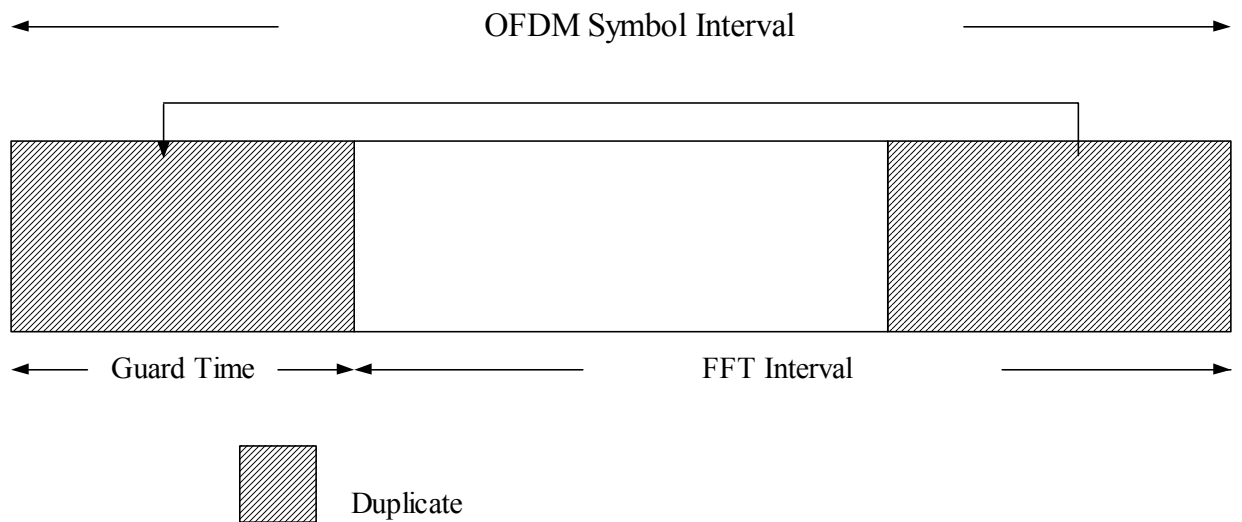


圖 2.4 循環前置碼產生方式

圖 2.5 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。

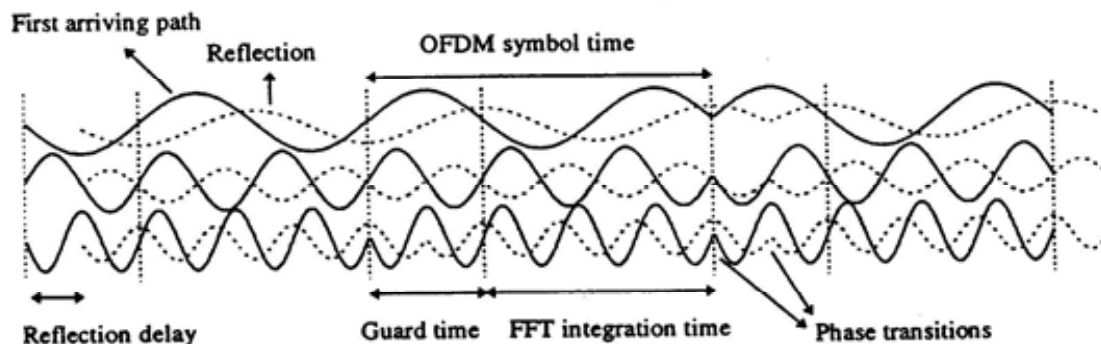


圖 2.5 OFDM 信號多路徑傳輸效應

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四~五倍。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[2-1-1]。

2-2 OFDM/CDMA 系統介紹

目前並無已商業運轉的行動通訊規格採用 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[10][11][12][13]，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重接取 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Code Division Multiple Access) 當作

系統設計之技術基礎。採用 1024 點的快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)，下傳資料採用 OFDM / Time Domain-CDMA，上傳資料則採用第三代行動通訊系統 UMTS(Universal Mobile Telecommunication Services)的制定的規格[14]。

在此，先對本研究平台模擬的範圍和參數，做個介紹：

1. 模擬的系統：OFDM/CDMA，採用分頻多工(Frequency-Duplex Division, FDD)，只模擬下傳通道(Downlink)。
2. 蜂巢(Cellular)結構，重複使用係數(Reuse Factor)為 1。
3. 無線資源管理(Radio Resource Management, RRM)相關研究。
4. 由表 2.1 看出，採取的頻帶間格(Frequency Spacing)為 80 KHz，保護區間為 1/5 倍的 OFDM 信號長度，因此，一個細胞所佔的總頻寬約為 8 MHz。系統之下傳子載波共 1024 個，真正會使用到的子載波是 768 個，不會使用到的子載波左右各為 128 個，作虛擬載波之用。

System Parameter	Value
N_{ST} : Number of subcarriers, total	1024
N_{SD} : Number of data subcarriers	768
Δ_F : Subcarrier frequency spacing	80 KHz
T_{FFT} : IFFT/FFT period	$12.5 \mu s (1/\Delta_F)$
T_{GI} : Guard Interval period	$3.125 \mu s$
T_{OFDM} : Symbol interval	$15.625 \mu s (T_{FFT} + T_{GI})$

表 2.1 碼框架構相關時間參數

5. 本模擬平台參考 UMTS 所規範之使用者移動模型[15]。採用的載波中心頻率(Carrier Frequency)為 2 GHz，定義同調時間(Coherence Time)為通道自相關係數值(Autocorrelation)大於 98% 的時間間隔。根據 Stuber 著作[16]的理論並加以模擬得圖 2.6。此時同調時間與最大都卜勒偏移(Maximum Doppler Shift)的關係為 $\Delta t_c = 0.28 / f_d$ ，換算出不同使用者之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。

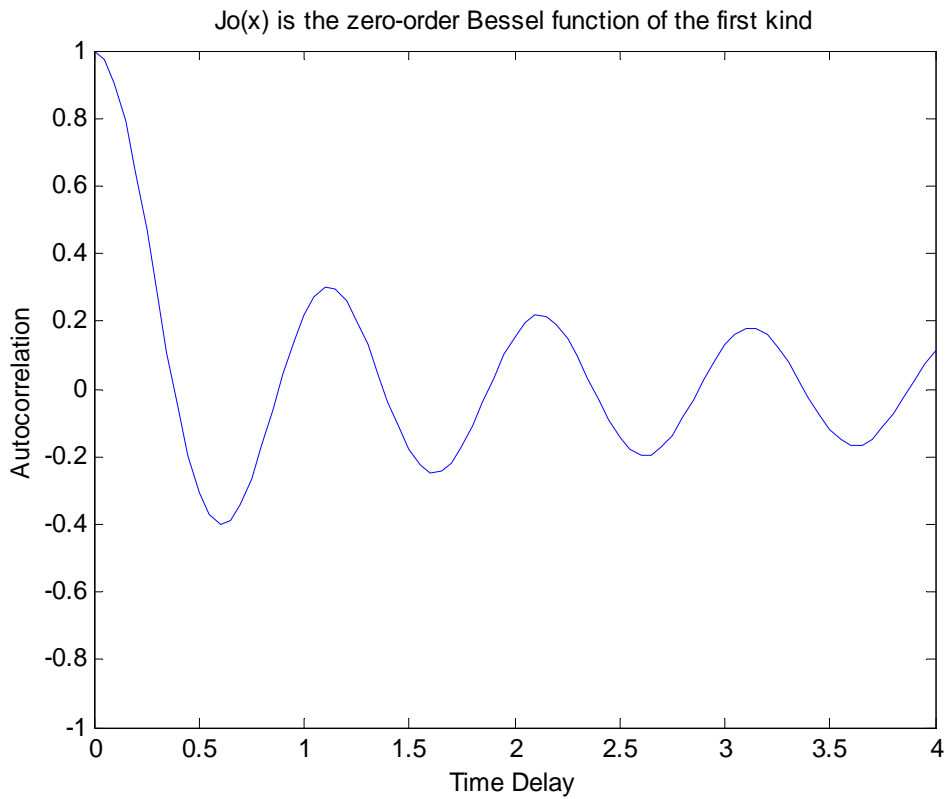


圖 2.6 通道自相關係數值與時間延遲關係圖

Mobility Model	Indoor	Pedestrian	Vehicular	Vehicular
v : velocity (<i>km/hr</i>)	3	30	120	250
f_d : 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
$G_{r,max}$: Max. Available	$\gg 256$	256	64	32
Tme-domain Spreading Factor				

表 2.2 移動速度模型相關參數

6. 由表 2.3 可知，在本系統的架構下，可用之相關參數較諸以往的已存之系統為多，故資料傳輸速率的種類相對具多樣性，完全與當時使用者的需求，和系統資源的分配習習相關。當時系統仍有可使用功率資源的前提下，使用者的資料傳輸速率由選定的實體層參數組合[†]—調變機制(Modulation Scheme, M)、編碼速率(Coding Rate, C)、時域展頻係數(Time-Domain Spreading Factor, SF_t)及子載波個數(Number of Sub-carrier, N)—透過(2.4)式共同決定以滿足使用者對於服務品質(Quality of Service, QoS)的要求。

M : Modulation Scheme	BPSK OFDM ($M=1$) QPSK OFDM ($M=2$) 16-QAM OFDM ($M=4$) 64-QAM OFDM ($M=6$)
Error Correcting Code	$K=7(64 \text{ states})$ convolutional code
C : Coding Rate	1/2, 3/4
SF_t : Spreading Fator	1、2、4、8、16、32、64、128、256
N : Number of subcarriers	768
T_{OFDM} : OFDM symbol duration	15.625 μs
T_{GI} : Guard Interval	3.125 μs
BW : Occupied Bandwidth	81.92 MHz

表 2.3 OFDM/CDMA 系統實體層主要參數

$$R = \frac{M \cdot C}{SF_t} \cdot \frac{1}{T_{OFDM}} \cdot N \quad (2.4)$$

其中

- R : 資料傳輸速率
- M : 調變機制
- C : 編碼速率
- SF_t : 時域展頻係數
- T_{OFDM} : OFDM 符元間距
- N : 子載波個數

當使用者的參數組合選擇調變機制為 1，編碼速率為 1/2，時域展頻係數為 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 0.125 Kbps。

$$R_{BU} = \frac{1 \cdot \frac{1}{2}}{256 \cdot 15.625 \mu s} \cdot 1 = 0.125 \text{ Kbps} \quad (2.5)$$

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 MSN 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 MSN 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。

$$R = \frac{M \cdot \frac{1}{2}}{\left(\frac{S}{256}\right) 256} \cdot N = R_{BU} \cdot \left[M \cdot N \cdot \left(\frac{256}{S}\right) \right] \text{ Kbps} \quad (2.6)$$

†：在本模擬平台中，目前暫時固定編碼速率為 1/2，因此實體層參數組合主要利用調變機制、時域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 MSN 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。定義每三十二個 OFDM 符元為一個區塊(Block)，每八個 OFDM 區塊做一次資源重新分配。在本系統平台中，同時模擬即時性服務(Real-Time Service, RTS)，如語音服務等，和非即時性服務(Non-Real Time Service, NRT)，如數據傳輸等。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，在每一次資源重新分配時間內，即時性服務將比非即時性服務優先被分配資源，換句話說，等到即時性服務全部被分配後，若系統資源仍有剩餘，才進行非即時性服務的分配。但不論何種服務，在每一次資源重新分配時間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，如圖 2.7：

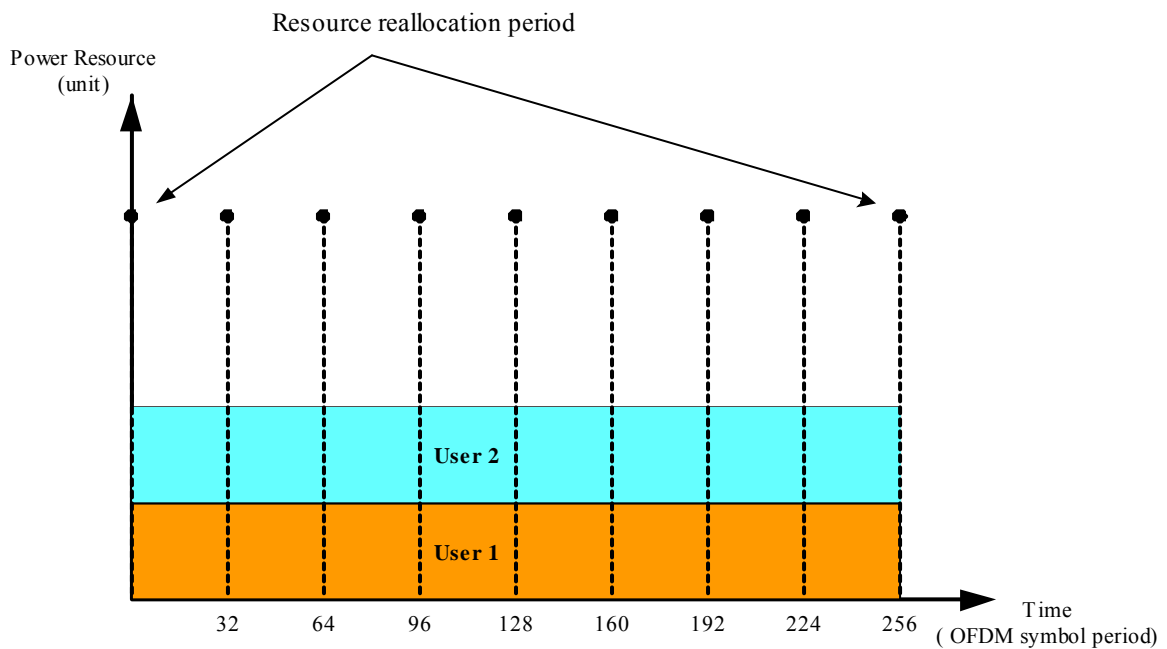


圖 2.7 資源重分配週期示意圖

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第七章做無線資源管理的演算法，做各項不同演算法之研究，看出各項系統的參數彼此牽連的關係，與此系統之可行性，和是否有更好的演算法與參數的設定，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 系統規劃與模擬環境

在進行一個完整的系統模擬時，考量的環境及系統相關系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，與模擬進行時的環境模型及使用者行為模型做進一步的說明。[17]

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(Multiple Access Interference, 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(Universal Mobile Telecommunication System)，具有同樣的單一頻率重複使用(Universal Frequency Reuse)特性，換言之，每位使用者使用相同的頻帶(Frequency Band)，系統的頻率重複使用係數(Frequency Reuse Factor)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[18]，在 CDMA 的系統中，需考慮兩個干擾層(Tiers)，才可以相當接近於考慮無窮多個干擾層的效果。但首先假設為了獲得足夠的統計量，每個細胞需模擬 N 個使用者，總共考慮兩個干擾層 19 個細胞的統計使用者數量將增加 19 倍，其次本 OFDM/CDMA 模擬平台為一多載波系統，每個使用者的通道狀況計算均需求考慮 1024 根子載波上的通道增益。最後本系統預計採用的換手轉換(Handover)機制未定，因此在考量所需消耗的運算量的前提下，在本系統中考慮單一細胞層(Single Cell)，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。來年度的計畫執行目標，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。

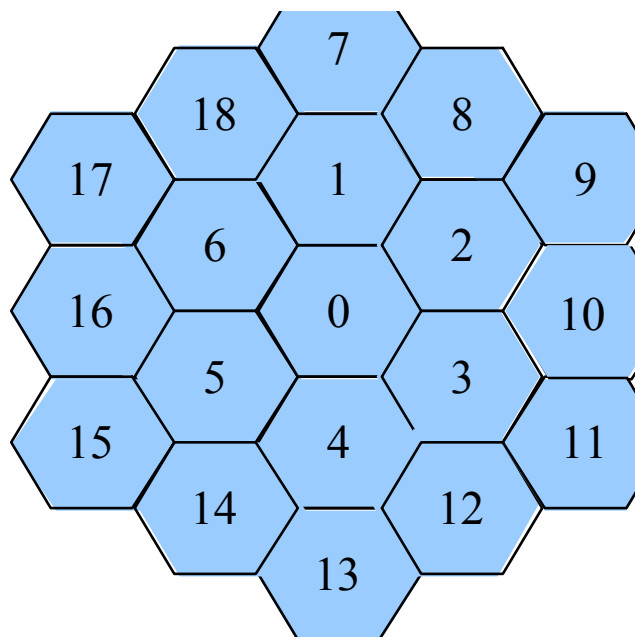


圖 3.1 兩個干擾層細胞架構

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[19]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(direction)天線。單位為 dB_i 。

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_o : 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_o 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(Omni-Directional)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)，再考慮基地天天線增益，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 模擬模型

本節將介紹 OFDM/CDMA 無線資源管理模擬平台在考量實際環境下，對於使用者行為與無線通道環境模擬所採用之模型

3-2-1 使用者行為模型

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)。

3-2-1.1 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[15][17]

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(Omni-directional)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[17]。

為了推導使用者從靜止狀態到移動狀態的轉移機率,必須設定以下的參數：使用者者在辦公室的機率 (r)、待在辦公室的平均時間(m_r)、座標位置更新時間間隔(Δt)，有了這些參數便可以推算出在每個時間點($1-\Delta t/m_r$, $1-\Delta t/m_c$)的轉移機率和平均在走道的時間(m_c)。此外，進入辦公室的流量須等於離開辦公室的流

量，因此可以寫出(3.1)式：

$$r \frac{\Delta t}{mr} = (1-r) \frac{\Delta t}{mc} \quad (3.1)$$

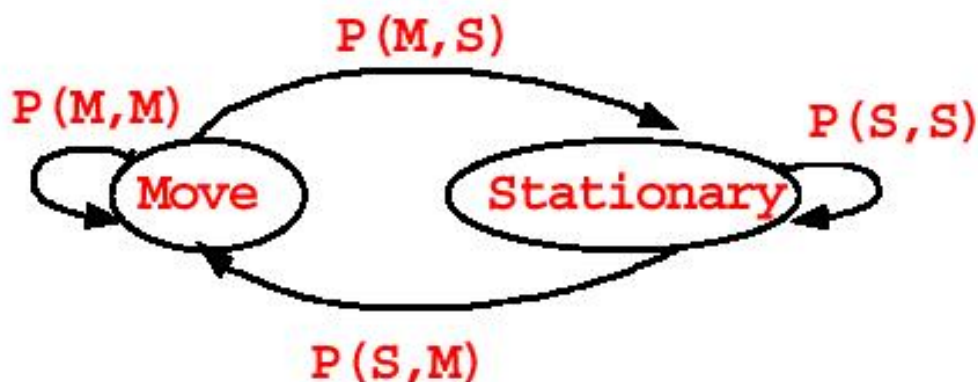


圖 3.3 使用者狀態轉移機率表示圖

藉由預設的參數值，圖中的狀態變換機率可以求得：

$$P(S,S) = 1 - 0.005/30 = 0.999833$$

$$P(S,M) = 0.005/30 = 0.0001667$$

$$P(M,M) = 1 - 0.0009444 = 0.9990556$$

$$P(M,S) = 0.005 * 85 / (30 * 15) = 0.0009444$$

在走道平均靜止的時間為 $\Delta t / P(S,M) = 5.294$ 秒

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

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

在市區的使用者移動模型和街道結構有高度的相關性。在這結構中使用者沿著街道移動且在十字路口有著一定的機率會轉彎。在模擬系統中所儲存使用者的座標每 5 公尺更新一次，且在每次更新位置時，速度有一定的機率會產生變化。此環境的使用者移動模型相關參數如下：

- 平均速度： 3km/h
- 最低速度： 0 km/h
- 速度的標準差（常態分佈）： 0.3km/h
- 每個更新位置點時速度改變的機率： 20%
- 在十字路口轉彎的機率： 50%

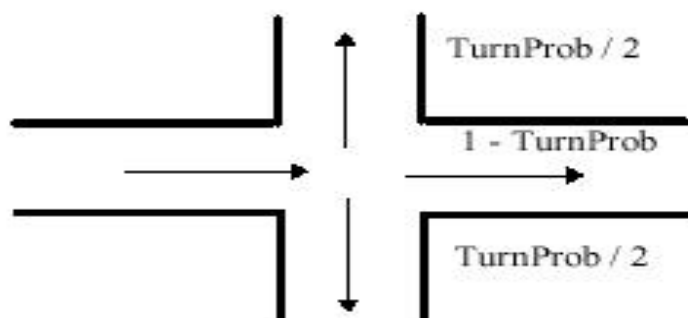


圖 3.4 使用者方向改變機率分佈

使用者在街道上的初始座標位置是均勻分佈的，而起始的移動方向亦是隨機決定。

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。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。下圖使用六角型的細胞來代表每個基地台的涵蓋範圍，而基地台間的距離約為 6 公里，這裡的基地台並使用了指向性天線以增加有效的涵蓋範圍。

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。

假設車輛以等速移動，且相關的參數設定如下：

- 速度： 120km/h
- 在座標更新點變換方向的機率： 20 %
- 每次方向最大變化角度： 45 度
- 非相關距離： 20 公尺

使用者的初始座標位置是在地圖上均勻(Uniform)產生，而初始移動方向亦

是隨機產生。

3-2-1.2 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可能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)。

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

系統中使用的語音傳輸為電路交換(Circuit-Switched)模式的服務。根據統計的結果，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的間距是呈現指數(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, ρ)，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 ρ 。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。

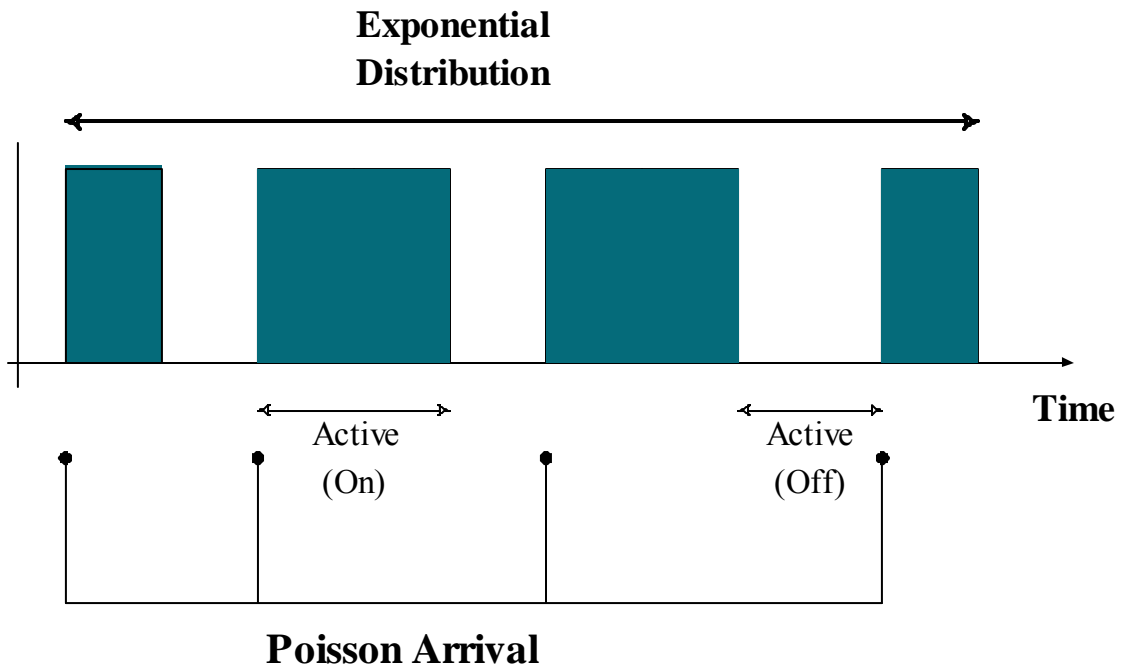


圖 3.5 語音服務流量模型

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[20]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[15]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。

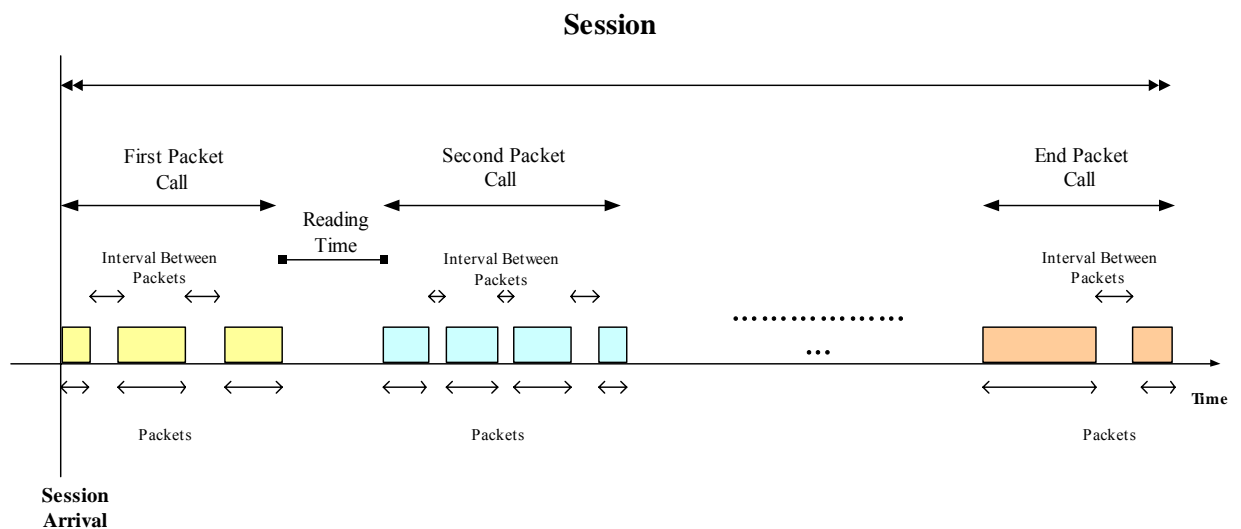


圖 3.6 數據資料流量模型

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(3.2)式所示：

$$f_n(x) = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot k^\alpha}{x^{\alpha+1}} & , \quad k \leq x < m \\ \beta & , \quad x = m \end{cases}$$

$$\beta = \int_m^\infty f_n(x) dx = \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha, \quad \alpha > 1$$

$$\mu_n = \int_{-\infty}^\infty x \cdot f_n(x) dx = \int_k^{m^-} x \frac{\alpha \cdot k^\alpha}{x^{\alpha+1}} dx + m \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha = \frac{\alpha k - m \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha}{\alpha - 1} \quad (3.2)$$

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 [28]	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 α = 1.1
WWW surfing UDD 32 kbit/s	5	39.5	25	0.125	k=81.5 α = 1.1
WWW surfing UDD 64 kbit/s	5	39.5	25	0.0625	k=81.5 α = 1.1
WWW surfing UDD 144 kbit/s	5	39.5	25	0.0277	k=81.5 α = 1.1
WWW surfing UDD 384 kbit/s	5	39.5	25	0.0104	k=81.5 α = 1.1
WWW surfing UDD 2048 kbit/s	5	39.5	25	0.00195	k=81.5 α = 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

3-2-2 通道模型

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...etc)，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][17]。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。

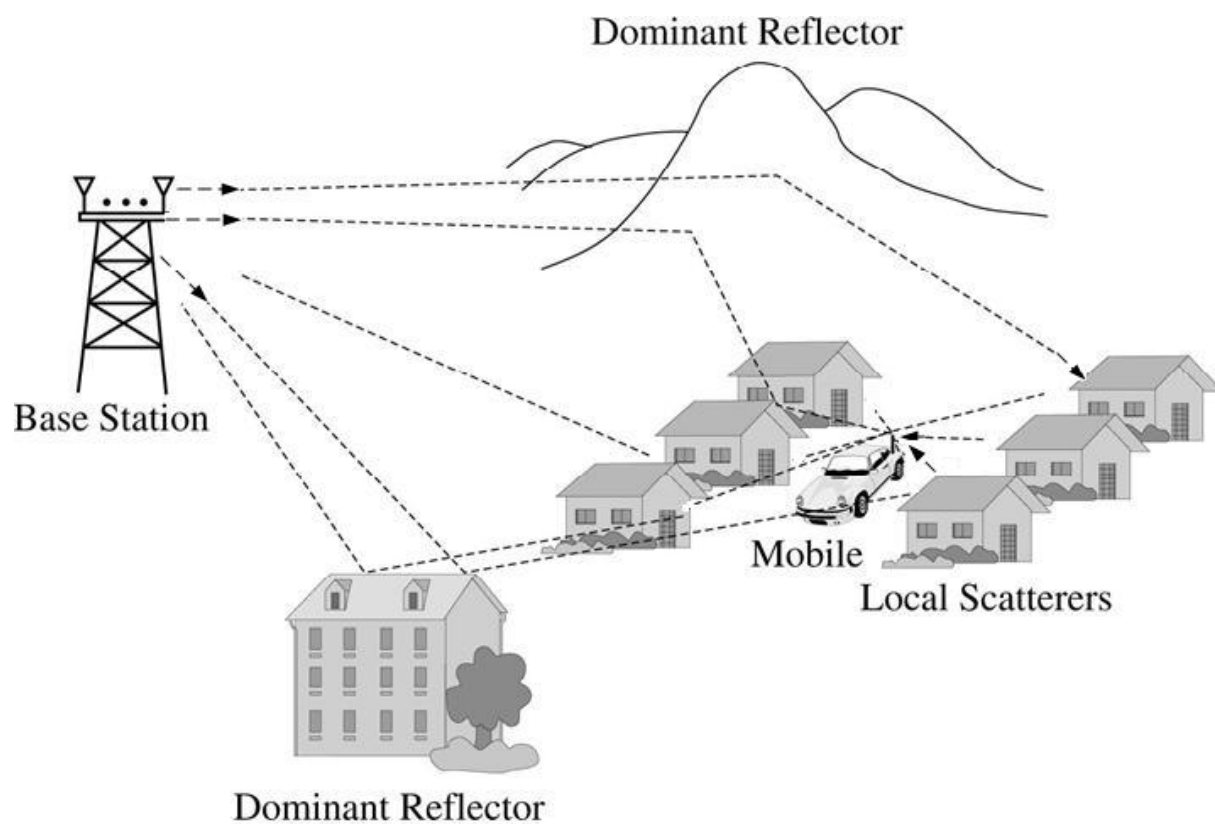


圖 3.7 無線傳播環境示意圖

3-2-2.1 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 UMTS 規格書所提供的參考資料[15]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 231[†] 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 12 dB。

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 12 dB，而在室外時所對應的遮蔽衰落變化之標準差則為 10 dB。

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>

3-2-2.2 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关性類型：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：

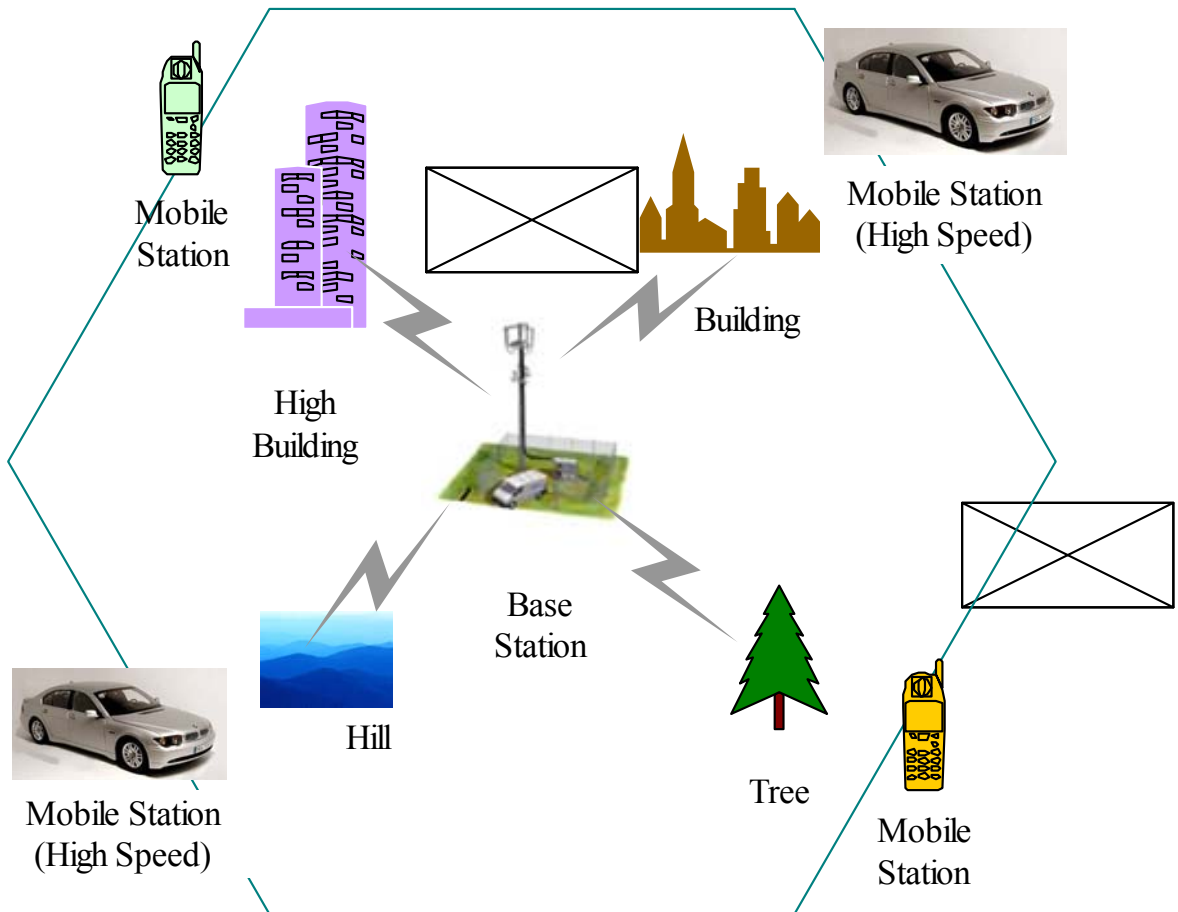


圖 3.8 遮蔽效應示意圖

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[21]，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[22]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[23][24]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[22][25]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[17]中有進一步解說。

3-2-2.3 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(Envelope)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 UMTS 規格書[15]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 μ s，保護區間長度為 3.125 μ s。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。

Average Power (dB)

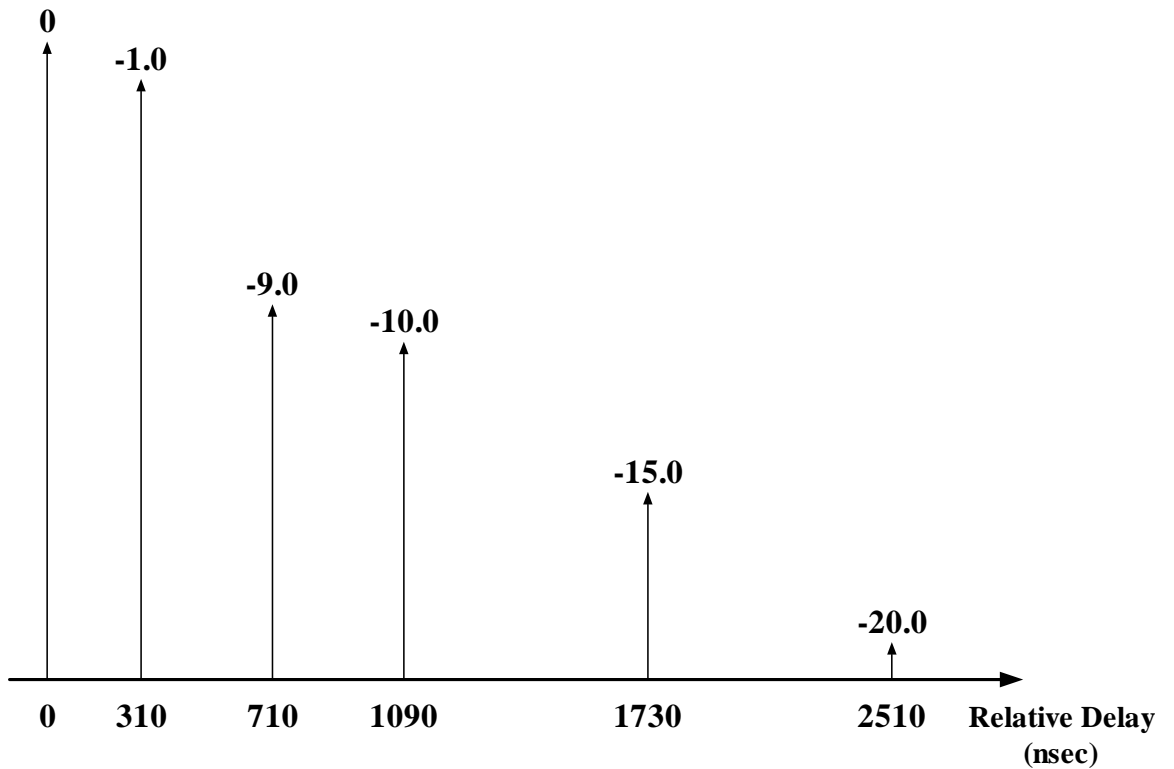


圖 3.9 使用者在交通工具上之多路徑衰落時域通道脈衝響應 (Channel A)

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[26]，Jakes 所考慮的訊號散射環境如圖 3.10 所示。

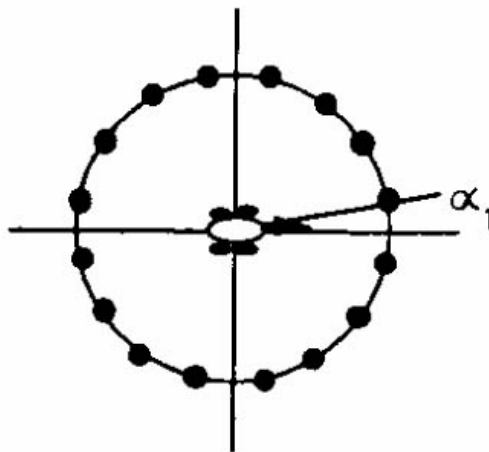


圖 3.10 Jakes 模型所考慮之訊號入射角度[27]

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。

†：本模擬平台系統參數僅考慮規格書[15]中的多路徑衰落模型通道類別 A 作設計。

第四章 系統模擬方法

本章將說明模擬平台之模擬流程，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。

4-1 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)[29]。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 4.1 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：

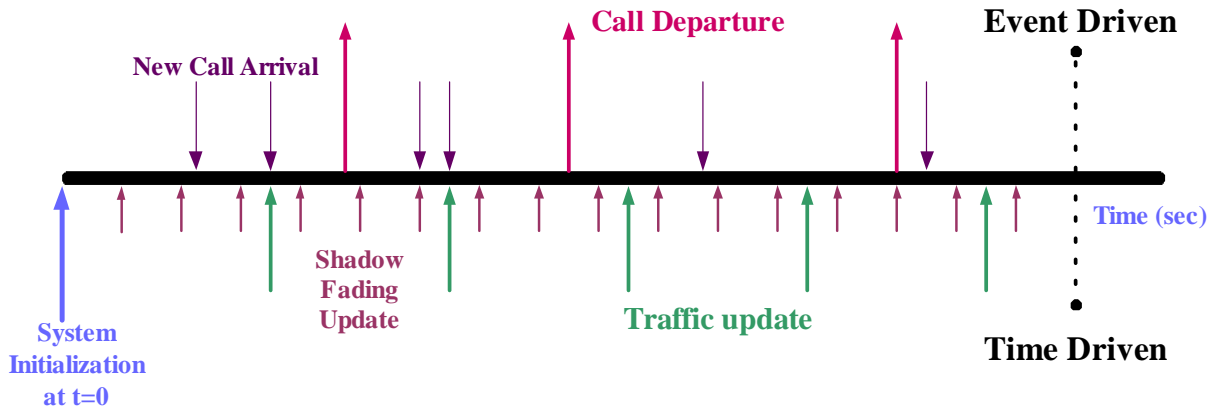


圖 4.1 系統模擬邏輯示意圖

圖 4.1 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, ρ)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。舉例而言，在第三章中曾提及所參考的遮蔽衰落自相關模型為：

$$\rho(\Delta x) = e^{-\frac{|\Delta x|}{D} \ln 2} \quad (4.1)$$

當非相關距離(De-correlation Distance)為 20 公尺時，我們可以透過此公式反算出當兩點間遮蔽衰落之自相關常數降至 0.95 時所需間隔的距離 Δx 為：

$$0.95 = e^{-\frac{|\Delta x|}{20} \ln 2} \Rightarrow |\Delta x| = -20 \frac{\ln(0.95)}{\ln 2} \approx 1.48(m) \quad (4.2)$$

因此可以假設當使用者移動距離不超過 1.48 公尺時，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。當使用者移動速度為

30 Km/hr 時，需花費 0.1776 秒才會移動 1.48 公尺。故此時程式更新遮蔽衰落參數的週期便是 0.1776 秒。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 5.04 ms，其他移動速度的週期對應值可參考第二章之移動速度模型相關參數表。

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 UMTS 的建議[15]，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[17]。若考慮該環境非相關距離為 20 公尺且使用者移動速度為 30 Km/hr 時，使用者需花費 2.4 秒才能移動 20 公尺，因此程式此時便以 2.4 秒作為更新使用者移動性相關參數之週期。

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。

此事件的更新週期通常較短，在模擬平台中，是每 32 個 OFDM 符元區間發生一次，原因是當使用者的移動速度為系統設定的最高速率 250 Km/hr 時，此時使用者面臨的通道環境之同調時間約為 32 個 OFDM 符元區間，故通道將會有所變化，選定為更新週期以確認各使用者連線的品質在新的通道中是否滿足最低要求誠屬合理。

Power Control

根據功率控制演算法來調整使用者發射訊號之功率強度，目的在調整訊號發射功率強度。此事件主要的精神在於滿足連線品質的前提下，維持發射訊號功率強度在最低的水準，以降低基地台端功率的消耗。每 32 個 OFDM 符元區間執行本事件一次，週期的意義與選定如前所述。

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)。

第五章 模擬平台與各子計畫研究成果

5-1 模擬平台發展成果驗證

圖 5.1 為依據前述通道模型，使用者從距離基地台 100 公尺到 800 公尺的觀察到的路徑損失與遮蔽衰落。驗證了「路徑損失模型是用來表現訊號於空間中傳播時，其強度會隨兩點間距離的增加而衰減」、「有加入相關性模型產生出的遮蔽衰落，在短距離之內的變化比較平順」。

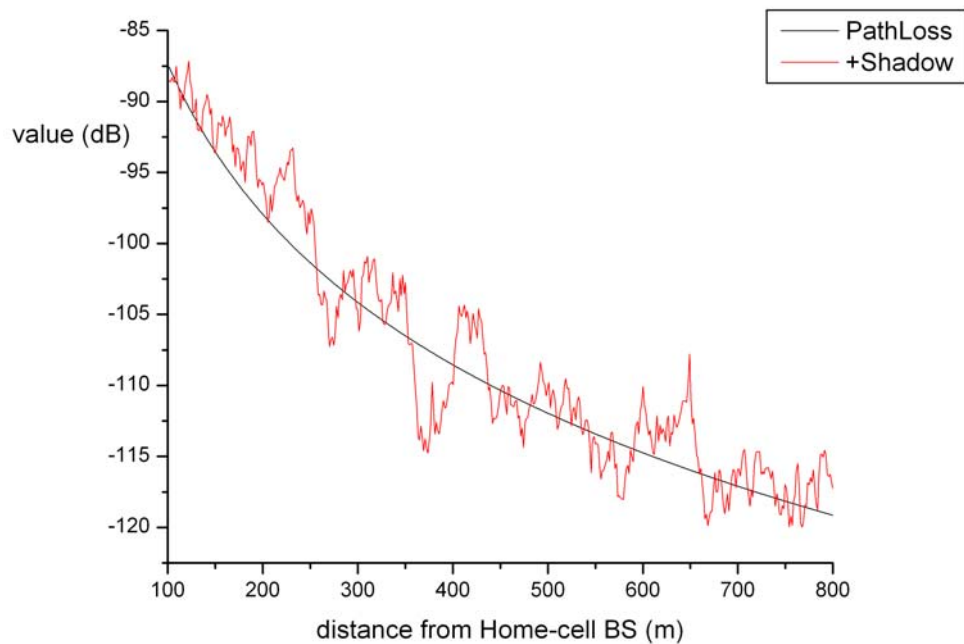


圖 5.1 使用者感受之路徑損失與遮蔽衰落效應代表圖

圖 5.2 為觀察一小段時間，同時顯現路徑損失、遮蔽衰落與多路徑衰落效應。可以明顯發現，路徑損失幾乎沒有改變，遮蔽衰落略有起伏，而多路徑衰落卻很急劇地快速起伏變化。

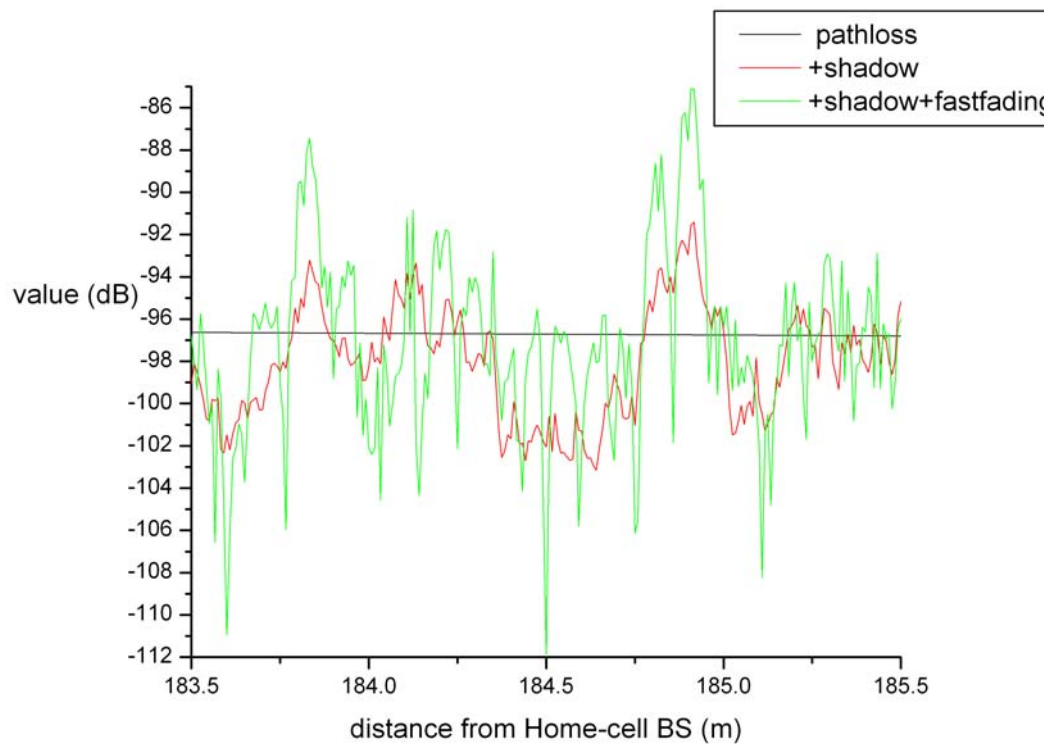


圖 5.2 多路徑衰落快速起伏變化

因為 OFDM/CDMA 模擬平台為一多載波系統，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 1024 點快速傅立葉轉換，在頻域上所有子載波觀察之通道增益結果，如圖 5.3 所示。

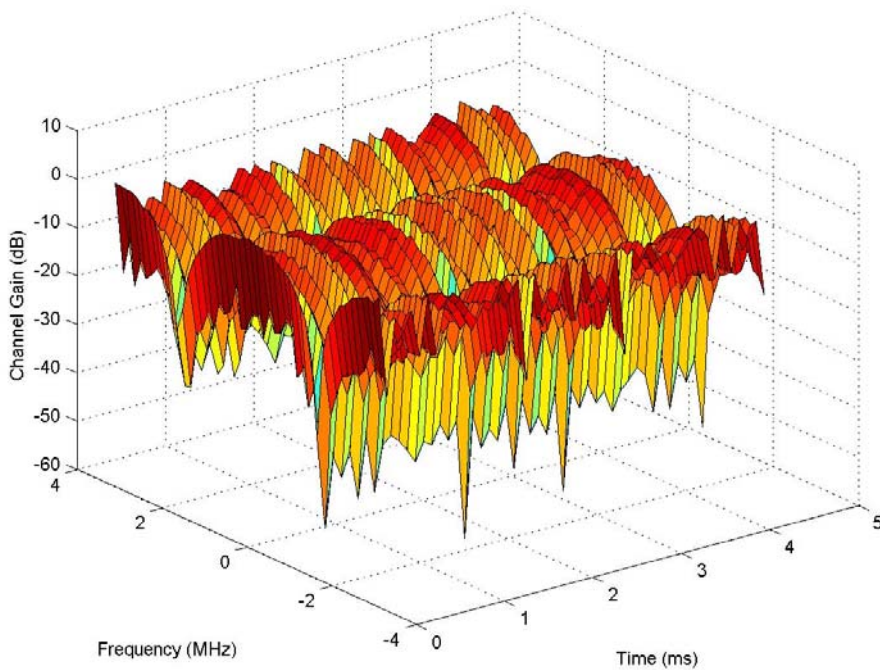


圖 5.3 多路徑衰落在時域及頻域之效應

5-2 子計畫一研究成果

隨著資訊化社會的出現，未來異質性接取網路將結合個人區域網路、無線區域網路，以及蜂巢式行動網路，並且提供行動多媒體服務，依據使用者的位置、移動性、傳輸需求，和服務品質等級。因為無線頻帶具稀少性，因此需要一套可有效管理系統資源的技術，包括：傳輸功率、接取控制等。在本計畫中，我們將致力於發展新型無線資源管理技術，應用於 B3G 異質多接取網路。

本子計畫於第二年度的計畫執行上，延續第一年度之研究成果，繼續探討 WCDMA 和 WLAN 平台上之先進 RRM 技術，目前我們主要著重於發展排程演算法、封包接取管理機制，以及輪詢機制，並且利用總計畫所發展之模擬平台來驗證實際之效能。

1. 效用函數式 (utility-based) 排程演算法：此演算法應用於多媒體 CDMA 網路中，考慮了三項因素：無線資源使用效率、服務品質需求達成率，以及加權式公平性。此外，此演算法也可支援特定通道與分享式通道傳輸模式。利用求取系統整體之效用函數之最大化，此排程演算法可安排系統資源之使用權，並且確保加權式公平性和服務品質的服務需求。同時，此效用函數具備了 polymatroid 數學結構，所以可利用推導連線之資源配置向量來計算出最佳排程解。
2. 新型封包接取管理機制 FQ-SDAM：我們利用『模糊 Q-learning』技術，設

計了一新型封包接取管理機制，可應用於多細胞 WCDMA 系統，稱為 FQ-SDAM。FQ-SDAM 包含了一清晰 Q-learning 式剩餘資源預估器 (FQ-RCE)，以及一封包傳輸排程器 (DRS)。FQ-RCE 可準確估計系統剩餘資源，而 DRS 採用改良式指數排程原則 (modified exponential rule)，考慮了用戶位置的傳輸因素，可有效的為非及時性用戶配置傳輸資源。模擬結果顯示，因為 FQ-SDAM 具備了『環境感知狀態』的功能，所以此機制可確實有效降低多細胞環境下的封包錯誤率。

3. 新型 WLAN 輪詢機制：我們也針對 802.11e HCF 傳輸模式提出一新型輪詢機制，稱為 ODP 輪詢機制，藉以提供整合式語音/數據服務。在 HCF 的通道接取上，ODP 輪詢機制結合了輪詢機制和競爭機制。當有一語音用戶處於通話狀態時，ODP 輪詢機制會將其列入輪詢表單中；當該用戶進入通話暫停狀態時，就會被移出該表單，進入睡眠狀態，進以節省功率消耗。同時，當該用戶由暫停狀態回復一般正常通話狀態時，可採用競爭機制來加入輪詢表單的行列。也就是說，ODP 輪詢機制充分利用了雙向語音通話的特性，可以節省具 ON/OFF 特性之語音服務的功率消耗。模擬結果顯示，ODP 輪詢機制可減少語音用戶的功率消耗，並且增加數據用戶的資料傳輸量。

5-3 子計畫二研究成果

本子計畫於第二年度的計畫執行上，我們研究停滯防止機制(stall avoidance mechanism)，該機制的目的在於減少傳輸延遲並保持媒體存取控制(MAC: medium access control)層的序列資料順暢的傳送的上層。這份報告內容包含了三個主要貢獻。第一：我們推導出寬頻分碼多重存取(WCDMA: wide band code division multiple access)系統中高速向下連結封包存取(HSDPA: high speed downlink packet access)現有的三種停滯防止機制之平均間空處理時間公式。三種機制分別為以時間基準停滯防止機制(timer-based stall avoidance mechanism)，視窗基準停滯防止機制(window-based stall avoidance mechanism)以及指示器基準停滯防止機制(indicator-based stall avoidance mechanism)。第二：我們建議了一個簡易的方式以加強指示器基準停滯防止機制的性能。透過分析與模擬，指示器基準停滯防止機制在平均間空處理時間上的性能表現優於其它二者停滯防止機制。再者，我們發現指示器基準停滯防止機制的加強版能有效的提高短期流通量(short-term throughput)。最後透過跨層級的模擬(cross-layer simulation)，我們發現了多通道暫時並等待(multi-channel SAW: multi-channel stop-and-wait)混合自動重傳要求(HARQ: hybrid auto-retransmission request)的通道數目設計準則。我們建議的準則是：多通道暫時並等待混合自動重傳要求的週期必須比瑞里衰減通道(Rayleigh fading channel)的同調時間(coherent time)長。

5-4 子計畫三研究成果

本子計畫於第二年度的計畫執行上，可區分為兩個部份，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 與 3GPP2 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，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，屬於新系統開發之先期研究。

以下簡述本子計畫在 RRM 技術之研究成果：

4. 系統負載為依據的允入控制演算法 (System Loading-based Call Admission Control)：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 及本子計畫所提出之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，與系統判斷是否允許新使用者進入系統。在新使用者欲加入時，若判斷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。
5. 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)。
 - 以最大負載為基礎的封包排程演算法 (Maximum Loading-based Packet Scheduling Algorithm, MLBPS)：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 NRmax 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及其對系統造成的負載，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。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。

- 以實際負載為基礎的封包排程演算法 (Real Loading -based Packet Scheduling Algorithm, 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。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，NRini，等於鍊路運算中的 NRmax。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，但未能判斷式時，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，NRallocated，與當初設定的系統資源 NRini，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， ΔNR ，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，即不能滿足判斷式，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。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。

5-5 未來研究方向與展望

在第二年度研究中，我們在總計畫和子計畫的研究上，已有豐碩成果，詳見上文以及各項子計畫之期中完整報告。以下，我們將敘述第二年度未來之研究規劃：

1 總計畫之模擬平台部分：

在進行無線資源管理相關的研究主題時，需要透過一個完善的系統模擬環境才能提供可靠的研究數據，以忠實的反映出各種設計的效能表現。在發展此 OFDM/CDMA 系統模擬平台的過程中，特別投注相當大的心力在研究如何建構一個接近真實情況的模擬環境，在前述的章節中亦花費相當多的篇幅描述如何設計模擬程式以達到此目標。

目前本模擬系統在前期成果中呈現了精確的通道效果模擬，實際反應使用者在行動通訊系統中面臨的通道環境變化。在本年度接下來的研究發展中，將完成多細胞架構蜂巢系統的模擬，並適時加入各項子計畫所發展的先進無線資源管理技術，如：允入控制演算法、封包排程演算法、子載波選擇演算法、功率控制演算法、換手技術演算法等，充份展現使用者在本模擬平台中，各式無線資源管理演算法互動關係，以進一步提供一個兼顧可靠性與高效率的系統模擬平台，作為未來在此領域更深入研究時良好的基礎；更希望屆時此系統模擬平台能夠有進一

步的發展，以增加其應用層面，如結合具有地區特性的通道模型，此平台便可以提供行動通訊業者在後 3G 時代，決定採用新技術前評估的依據。

2 先進 RRM 技術研究開發部分：

● 子計畫一：

本子計畫在計畫執行上，延續第一年度之研究成果，繼續探討 B3G 系統中 WCDMA 和 WLAN 平台上之先進 RRM 技術，目前我們主要著重於發展排程演算法、封包接取管理機制，以及輪詢機制，並且利用總計畫所發展之模擬平台來驗證實際之效能。

在效用函數式 (utility-based) 排程演算法方面，我們考慮了三項因素：無線資源使用效率、服務品質需求達成率，以及加權式公平性，並且支援特定通道與分享式通道傳輸模式。利用求取系統整體之效用函數之最大化，此排程演算法可安排系統資源之使用權，並且確保加權式公平性和服務品質的服務需求。在第二年度接續研究規劃中，我們將在模擬平台上考慮更複雜、多樣化的無線多媒體服務，藉以驗證此效用函數式排程演算法之效能。

另外，在新型封包接取管理機制 FQ-SDAM 方面，我們利用『乏晰 Q-learning』技術，設計了一新型封包接取管理機制，可應用於多細胞 WCDMA 系統。初步模擬結果顯示，因為 FQ-SDAM 具備了『環境感知狀態』的功能，所以此機制可確實有效降低多細胞環境下的封包錯誤率。在接續研究中，我們將探討此機制之封包傳輸流通量。同時，我們也將利用模擬平台來評估此機制於非均質 (non-homogeneous) 多細胞環境下之效能。

新型 WLAN 輪詢機制方面，目前我們以針對 802.11e HCF 傳輸模式提出一『ODP 輪詢機制』，該新型輪詢機制，結合了輪詢機制和競爭機制，可提供整合式語音/數據服務。ODP 輪詢機制最大特色是充分利用了雙向語音通話的特性，可以節省具 ON/OFF 特性之語音服務的功率消耗。模擬結果顯示，ODP 輪詢機制可減少語音用戶的功率消耗，並且增加數據用戶的資料傳輸量。在接續研究規劃中，我們更將結合 WLAN 實體層運作機制，藉以增進此 ODP 輪詢機制之省電特性。

● 子計畫二：

於第二年度之未來研究規劃中，我們將探討 HSDPA 系統中，多用戶 (multi-user) 於多通道暫停/等待機制在 Rayleigh 衰減通道之效能分析，尤其是側重於處理間距 (gap-processing time) 時間。我們將設計一新型效能量度標準 (performance metric)，納入：封包流通量、公平性、佇列長度和平均處理間距時間等因子，並且為 HSDPA 系統提出一新型排程機制。

● 子計畫三：

本子計畫於第二年度研究中，利用第一年度研究所提出之模擬平台，提出了新型允諾控制機制和排程演算法，目前正配合總計畫之 OFDM/CDMA 模擬平台之開發，繼續本子計畫於 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，我們成功推行出了一套適用於 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] Dimitriou, N., Sfikas, G. and Tafazolli, R. "Call admission policies for UMTS," *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, Vol. 2, pp.1420-1424, 2000
- [2] Muckenheim, J. and Bernhard, U., "A framework for load control in 3rd generation CDMA networks," *IEEE Global Telecommunications Conference*, 2001., Vol. 6, 2001, pp.3738-3742 vol.6
- [3] C.Oliveira, J. Kim, and T. Suda, "An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol.16, no.6, Aug.1998, pp.858-873
- [4] Dongmei Zhao, Xuemin Shen, and Mark, J.W, "Efficient call admission control for heterogeneous services in wireless mobile ATM networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.38, no.10, Oct.2000, pp.72-78
- [5] <http://www.cqinc.com.tw/grandsoft/cm/097>
- [6] Demestichas, P.; Papadopoulou, L.; Stavroulaki, V.; Theologou, M.; Vivier, G; Martinez, G and Galliano, F. "Wireless beyond 3G: managing services and network resources" *Computer*, Vol.35 Issue:8, pp.80-82, Aug, 2002
- [7] Steele, R "Beyond 3G," *Broadband Communications*, 2000. *Proceedings. 2000 International Zurich Seminar* on 15-17, pp.1-7, Feb, 2000
- [8] Richard Van Nee and Ranjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications," Artech House, 2000
- [9] A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing," 2nd ed. NJ: Prentice-Hall, 1999
- [10] A. Morimoto, S. Abeta and M. Sawahashi, "Cell Selection Based on Shadowing Variation for Forward Link Broadband OFCDM Packet Wireless Access", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp2071-2075, Sept, 2002.
- [11] S. Abeta, H. Atarashi and M. Sawahashi, "Forward Link Capacity of Coherent DS-SS and MC-SS Broadband Packet Wireless Access in a Multi-cell Environment", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 5, pp2213-2218, Sept., 2000.
- [12] H. Atarashi, S. Abeta and M. Sawahashi, "Broadband Packet Wireless Access Appropriate for High-speed and High-capacity Throughput", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 1, pp566-570, May, 2001.
- [13] S. Abeta, H. Atarashi and M. Sawahashi, "Broadband Packet Wireless Access Incorporating High-Speed IP Packet Transmission", *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 2, pp844-848, Sept, 2002.
- [14] 3GPP TR25.922 v.5.00. "Radio Resource Management Strategies," March 2002.
- [15] 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.
- [16] Gordon L. Stuber , “Principles of Mobile Communication”, Kluwer Academic Publishers, Fourth printing, 2000.
 - [17] I. K. Fu, “A Dynamic Simulation Platform for Heterogeneous Multiple Access Systems,” Thesis of Master Degree, *National Chung Cheng University*, 2002.
 - [18] J. S. Lee, and L. E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*. Artech House, 1998.
 - [19] 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
 - [20] 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
 - [21] M. Gudmundson, “Correlation for Shadow Fading in Mobile Radio Systems,” *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2145-2146, November 1991
 - [22] T. Klingenbrunn and P. Mogensen, “Modeling Cross-Correlated Shadowing in Network Simulations,” *IEEE VTC*, vol. 3, pp. 1407-1411, 1999
 - [23] 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
 - [24] T. B. Sorensen, “Correlation Model for Slow Fading in a Small Urban Macro Cell,” *PIMRC*, pp. 1161-1165, 1998
 - [25] 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
 - [26] P. Dent, G. E. Bottomley and T. Croft, “Jakes Fading Model Revisited”, *IEEE Electronic Letters*, 24th June 1993, Vol.29 No.13
 - [27] Jakes, W. C., JUN. (Ed.) , “Microwave mobile communications”, Wiley, New York, 1974
 - [28] H. Choi and J. Limb, “A Behavioral Model of Web Traffic,” *ICNP*, pp. 1-8, September 1999
 - [29] M. C. Jeruchim, P. Balaban, and K. S. Shanmugan, *Simulation of Communication Systems*. Second Edition, Kluwer Academic/Plenum, 2000.
 - [30] 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
 - [31] 3GPP TR25.848 V4.0.0, Physical layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access, Release 4, Mar. 2001.
 - [32] 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
 - [33] 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

- [34] 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.