

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

赴法國 Alcatel 及 Nortel 實習
『第三代行動通信網路及服務技術』報告

服務機關	職稱	姓名
中華電信公司	助工	高泉源
中華電信訓練所	講師	黃通文
中華電信研究所	研究員	楊文豪

出國地點：法國

出國期間：民國 90 年 12 月 2 日至民國 90 年 12 月 16 日

報告日期：民國 91 年 8 月 30 日

摘 要

國內於91年2月完成3G執照發放工作，得標業者預計自今年下半年起開始網路建設工作，於92年中起將陸續開放服務。由於3G行動通信網路可提供用戶高品質的語音服務、寬頻分封數據服務及行動多媒體服務，其網路建設規劃面臨的議題相對複雜許多，此次奉派赴法國實習寬頻行動通信系統之無線網路規劃技術，希望能藉由此次實習增進對於3G無線網路規劃技術的了解，以期對本公司第三代行動通信網路的規劃與建設有所助益。

目 錄

1. 目的.....	1
2. 行程.....	2
3. WCDMA 技術簡介.....	3
3.1 WCDMA 系統特性.....	4
3.2 WCDMA 技術.....	7
3.2.1 劃碼多重接取(CDMA)技術.....	8
3.2.2 WCDMA 系統的通道碼與攪拌碼.....	12
3.3 WCDMA 系統的功率控制.....	17
3.3.1 開迴路(Open Loop)功率控制.....	18
3.3.2 閉迴路(Closed Loop)功率控制.....	18
3.4 3GPP RAN 標準概況.....	21
3.5 小結.....	22
4. WCDMA 無線網路規劃技術.....	24
4.1 WCDMA 與 GSM 網路基地台共站.....	24
4.1.1 WCDMA-GSM 共站干擾機制與評估.....	25
4.1.2 天線系統解決方案.....	27
4.2 WCDMA 基地台規劃.....	29
4.2.1 基地台涵蓋範圍估算.....	31
4.2.2 基地台佈建策略.....	33
4.2.3 大細胞與微細胞佈放策略.....	37
5. 心得與建議.....	40
6. 參考資料.....	42

1. 目的

對於原來就擁有第二代行動電話系統(GSM、IS-95或IS-136等)的經營者而言，在規劃將來演進到第三代（簡稱3G）系統的方案時，必定要考慮到如何確保現有第二代網路建設上的投資以及如何提供現有的眾多第二代系統用戶也能升級以接取第三代系統服務等因素。目前本公司雖然已經建構完成綿密的GSM/GPRS網路，但為考量將來無線寬頻的需求與發展，本公司亦已標得3G執照，取得IMT-2000頻段，正進行規劃建設歐規的UMTS系統，由於建設之時效性及實務考量，其與GSM系統基地台共站之議題有必要深入探討。

第三代行動通信網路可同時提供用戶高品質語音及寬頻數據服務。由於數據服務的訊務模式具有猝發（Bursty）特性，不同於語音服務的訊務模式，同時3G網路又須支援服務品質(QoS)的要求，此種語音和數據混合的特性也使得3G無線網路的規劃更為複雜。因此，本實習案赴法國巴黎的Alcatel公司與Nortel公司即擬針對3G行動通信無線網路規劃技術進行研究，期望藉此建立相關技術，以協助本公司3G行動通信網路之建設。

本次實習內容主要共包含三個方向：(1)WCDMA空中介面技術，(2)WCDMA無線網路規劃技術，(3)3GPP RAN標準趨勢。由於本公司目前正進行3G網路建設的準備階段，因此本報告特別著重於WCDMA技術與無線網路規劃技術之實習成果報告，分別於第3章及第4章說明，第5章則說明本次實習心得與建議。

2. 行程

本次實習自民國90年12月2日由桃園中正機場出發，至民國90年12月16日返國，含行程共計十五日。實習之地點及單位分別為法國巴黎之Alcatel公司及Nortel公司，實習行程說明如下：

日期	行程概要
12月02日(日) 12月03日(一)	由桃園中正機場搭機抵達法國巴黎戴高樂機場
12月03日(一) ↓ 12月07日(五)	參加 Alcatel 訓練課程
12月08日(六) 12月09日(日)	整理實習資料
12月10日(一) ↓ 12月14日(五)	參加 Nortel 訓練課程
12月15日(六) 12月16日(日)	由法國巴黎戴高樂機場搭機返回桃園中正機場

3. WCDMA 技術簡介

第二代系統(包括GSM或IS-95 CDMA系統)的設計考量，主要是為提供語音通話及低速數據傳輸服務。欲了解第三代系統WCDMA空中介面技術的特性與設計考量，首先應審視第三代行動通信所須具備的新需求。未來第三代行動通信系統所須具備的新需求主要有：

1. 第三代系統的無線電載波頻道須要較寬的頻寬，以支持較高的數據傳輸速率(第三代系統須能提供384 kbps或甚至2 Mbps以上的傳輸速率)。
2. 第三代系統須能針對不同的服務提供彈性的傳輸速率，亦即隨選頻寬(Bandwidth on demand)。
3. 第三代系統在單一接續(Connection)內須能提供多種不同等級服務品質需求的多重服務(Multiple Services)。因為，3G用戶在單一接續內可能要求同時傳送語音、影像及分封數據服務，而且不同服務類型的品質需求(譬如，時間延遲需求、誤碼率需求等)亦不盡相同。第三代系統服務的類型與特徵顯示：從對時間延遲敏感的即時性訊務(Real-time traffic)到只須盡力傳送(Best effort)的分封訊務(如傳真、電子郵件等)，不同類型的服務對時間延遲需求(Delay requirement)的差異性相當大；此外，不同服務類型的可靠度(Reliability)需求亦有不同，可能從10%的誤框率(Frame Error Rate, FER)到 $10E-6$ 的誤碼率(Bit Error Rate, BER)不等。
4. 由於第三代系統佈建初期的電波覆蓋必定不盡理想，為能利用第二代系統既有的覆蓋，第三代系統必須能與既有的第二代系統共存(Co-existence)，二者間亦須能提供跨系統交遞(Inter-system handover)的功能。此外，為能平衡兩種不同系統的訊務負載(Traffic load)，第三代系統亦須具備非常先進的無線電資源管理技術。

5. 第三代系統須能支援非對稱性(Asymmetric)上、下鏈訊務，因為諸如手機上網瀏覽、視訊廣播等服務，均可能造成下鏈訊務負載遠大於上鏈訊務負載的情形。
6. 第三代系統須具備高頻譜使用效率，以提供較高的系統容量，才能應付將來無線網際網路時代暴增的行動通訊訊務需求。

由於第三代系統必須具備上述這些新的需求，因此即反應到第三代系統空中介面亦須做一些改變。譬如，第三代系統的無線電載波頻道須要較寬的頻寬(WCDMA的頻寬為 5 MHz)來支持較高的數據傳輸速率(384 kbps或甚至2 Mbps)；又譬如，第三代WCDMA系統除了採用下鏈快速閉迴路功率控制技術外，還可以在基地台利用發射分集(Transmit diversity)技術或利用劃時雙工(Time Division Duplex, TDD)模式技術，來提高下鏈訊務容量，以便能支援第三代系統的非對稱性上、下鏈訊務容量需求。此外，第三代系統的訊務可能包含有不同類型的服務、不同的傳輸速率以及不同的品質需求，這種混合不同服務型態、傳輸速率及品質需求的訊務，須要有非常先進的無線電資源管理演算法(Radio resource management algorithms)來保證提供用戶所需要的頻寬及服務品質，並進而極大化第三代系統的疏通量(Throughput)。

3.1 WCDMA 系統特性

WCDMA 技術是歐規 UMTS 系統及國際電信聯合會(ITU) IMT-2000 系統所採認的無線電介面技術標準，也是目前市場支持度最高的第三代(3G)行動通信系統空中介面技術標準。WCDMA 技術所以能獲得如此高的市場支持度，主要是因為它具備下列重要特性：

1. 支援高速傳輸：在廣域覆蓋(Wide area coverage)環境，WCDMA 系統可提供 384 Kbps 以上的傳輸速率；在區域覆蓋

(Local area coverage)環境，則甚至可提供 2 Mbps 以上的傳輸速率。

2. 提供高度的服務靈活性(Service flexibility)：WCDMA 系統在單一接續可以支援多載體(Multiple bearers)及可變傳輸速率(Variable bit rates)的多重服務。亦即每個 WCDMA 用戶均可同時接取可變傳輸速率的多重服務，譬如，一用戶可以一邊通話一邊同時傳送數據(如收發 email、傳真、及接收影像視訊等)，而且系統亦能滿足各種服務類型的不同服務品質(QoS)需求。
3. 提供高效率的雙向功率控制機制：WCDMA 系統在上、下鏈雙向均採用快速閉迴路功率控制(Fast Closed-loop Power Control)技術(不同於美規 IS-95 CDMA 系統只在上鏈採用快速閉迴路功率控制技術)。此高效率的雙向功率控制機制，除了能大幅降低手機及基地台雙方的發射機輻射功率，以降低系統整體干擾量，進而提高系統容量外，又可延長手機電池通信時間。尤其 WCDMA 系統獨特的下鏈快速閉迴路功率控制技術，尚可改善下鏈的接收性能，使能提高系統的下鏈通信容量，以支援將來第三代系統的非對稱性上、下鏈訊務需求。
4. 支援快速且有效的分封接取：WCDMA 系統滿足 3G 需求，可以同時支援隨選頻寬的電路交換(Circuit switched)及分封交換(Packet switched)服務。此外，WCDMA 系統亦能依數據封包的特性，更有效率的提供支援非即時性分封數據(Non-real time packet data)服務。
5. 支援非同步式基地台(Asynchronous Base Stations)：美規 IS-95 CDMA 系統及 cdma2000 系統的基地台皆須要同步，而此同步基本上是利用接收 GPS 衛星的同步信號來獲得。由於 IS-95 CDMA 系統原始設計的考量，主要是針對行動電話大細胞

(Macro Cell)環境的應用，而大細胞基地台的天線系統通常是裝設在大樓的屋頂或較高的鐵塔上，所以，要接收到 GPS 衛星的同步信號通常較無困難。但是要接收到 GPS 衛星的同步信號，對於微細胞(Micro Cell)或室內覆蓋細胞(Indoor Cell)的建置則較為困難，因為都會區內的微細胞或室內覆蓋細胞的天線位置通常較低或甚至在隧道或地下室內，欲與 GPS 衛星做視線接收(Line-of-sight reception)實務上是比較困難。所以，WCDMA 系統一開始的設計考量，就是要做到非同步式基地台運作，也就是說，WCDMA 系統的基地台可以不須要藉由接收 GPS 衛星的同步信號來獲得同步，所以架設大都會區內的微細胞基地台及室內覆蓋基地台實務上都比較容易。

6. 能實現階層式細胞結構(Hierarchical Cell Structures, HCS)：為能在高訊務量地區(High traffic area)提高系統容量，第三代系統必須能支援階層式細胞結構，所以，在 WCDMA 系統規格內已經明訂：必須支援跨頻道交遞(Inter-frequency Handover)及支援此跨頻道交遞所需的量測方法。由於能支援跨頻道交遞，WCDMA 系統才能實現階層式細胞結構，以提高局部地區的系統容量。
7. 支援 FDD 及 TDD 兩種雙工模式：由於全球無線電會議(WRC)對於 3G 系統的頻譜指配已有規劃非成對(Unpaired)的 TDD 頻段，且由於 3G 服務的非對稱性上、下鏈訊務需求，故從頻譜使用效率的觀點來考量，在局部地區使用 TDD 模式亦是有必要的。故 WCDMA 系統規格亦能支援 FDD 及 TDD 兩種雙工模式，且將來甚至亦須能提供跨模式交遞(Inter-mode Handover)的功能。
8. 能與既有的第二代 GSM 系統共存：WCDMA 系統規格亦能支援 3G 與 2G 間的跨系統交遞，亦即 WCDMA 無線電頻道與 GSM 無線電頻道間之交遞。將來，WCDMA 系統甚至亦須能

支援與美規 cdma2000 系統之間的交遞。

9. 能支援非對稱性的上、下鏈訊務：WCDMA 系統規格除了能支援 TDD 模式以提高下鏈訊務容量外，亦可以在基地台發送端採用發射分集技術，來提高下鏈訊務容量，以便能支持 3G 系統的非對稱性上、下鏈訊務容量需求。
10. 具備高頻譜使用效率，可以提供較高的系統容量，並能支援多種未來的容量提升技術：WCDMA 系統能支援的容量提升技術，包括：適應性天線(Adaptive Antennas)、發射分集及多用戶偵測(Multi-User Detection)接收等。

3.2 WCDMA 技術

劃碼多重接取(Code Division Multiple Access, CDMA)技術的概念是：許多個用戶可以佔用相同頻道且能同時通信，彼此之間不會造成干擾。這是因為各用戶發送的訊號是以不同的序碼(Code)來區分的。當用戶欲通信時，系統即會指配一特定的序碼給該用戶做展頻(Spread Spectrum)作用，而欲接收該用戶發送的展頻訊號時，亦須使用該相同的特定序碼做解展頻(De-spread)才能接收。只要這些不同用戶使用的展頻序碼彼此間是正交的(Orthogonal)或互相關性(Cross-correlation)很低，則這些使用相同頻道但不同展頻序碼的用戶彼此間的干擾就可以被控制。CDMA 亦可與 FDMA 混合使用，即是系統先將整個可用的無線電頻譜資源劃分為若干無線電頻道(但由於使用展頻技術之故，每個無線電頻道所佔的頻寬遠比傳統 FDMA 及 TDMA 系統頻道所佔的頻寬更寬)，每個無線電頻道再利用不同的展頻序碼區分為不同的碼通道(Code Channels)。當用戶欲通信時，系統再指配一特定無線電頻道的特定碼通道給該用戶通信使用。第二代 IS-95 系統、第三代 cdma2000 系統及 UMTS 系統的無線電介面都是採用 CDMA/FDMA 混合的技術，頻譜使用效率比傳統第一、二代系

統所使用的 FDMA 及 TDMA 技術更高，可以提供更高的系統容量及數據傳輸吞吐量(Throughput)。

3.2.1 劃碼多重接取(CDMA)技術

CDMA系統必須使用展頻技術，而展頻技術又可分為直序(Direct Sequence, DS)展頻與躍頻(Frequency Hopping, FH)展頻兩大類。UMTS系統的無線電介面是採用直序展頻劃碼多重接取(Direct Sequence Code Division Multiple Access, DS-CDMA)技術，美規第二代 IS-95系統也同樣是採用DS-CDMA技術，但是UMTS系統所使用的展頻碼速率(Chip rate)較高，展頻後的頻寬也就比較寬(5 MHz，約為 IS-95系統頻寬的四倍)，因此，UMTS系統無線電介面所採用的DS-CDMA技術又常被稱為「寬頻劃碼多重接取」(Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA)技術，以別於IS-95系統的窄頻CDMA技術。

3.2.1.1 展頻(Spread Spectrum)通訊

所謂展頻通訊，即是指一個通訊系統，以某種特殊方式或訊號來「擴展」(Spread)其所欲傳送訊息的頻譜，使其所傳送訊息的「系統頻寬」(System BW)遠大於傳送此訊息所需的「基頻頻寬」(Baseband BW)。訊息在發送端經展頻作用後，在接收端再經過解展頻(即聚頻)程序，即可還原為原來的訊息。發送端在作展頻時，須使用展頻碼(Spreading Code)；接收端在作解展頻時，亦須使用解展頻碼(De-spreading Code)。

實用上，解展頻碼與展頻碼必須完全相同，即 $P_T(t) = P_R(t) = P_C(t)$ 。解展頻程序可將欲接收的展頻信號功率頻譜聚合起來，並將其其他信號源送出的不想要的展頻或干擾信號(Unwanted power from other sources)擴展為更寬廣的頻譜，使其影響在通過接收機的匹配濾波器(Matched filter)後大為降低。因此，解展頻程序的作用，相當於

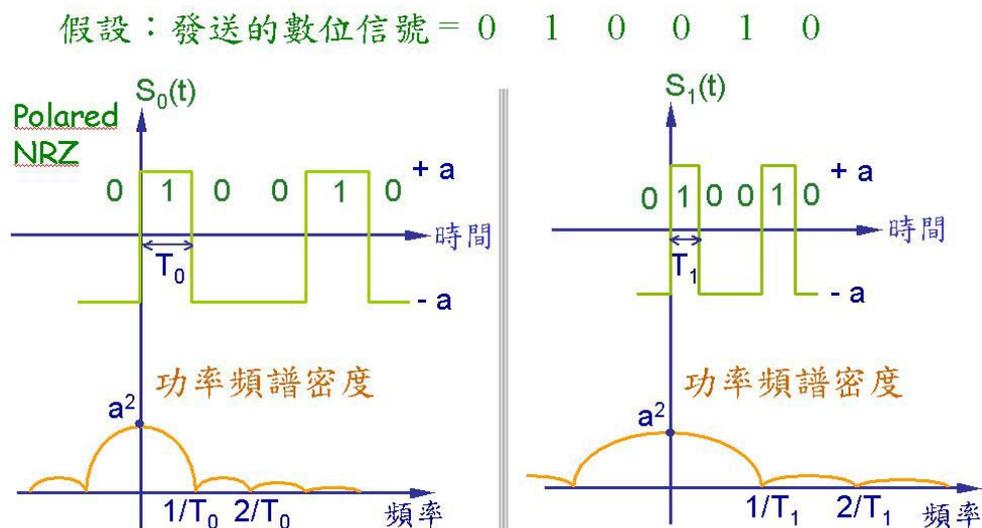
在提高欲接收展頻信號的信號雜訊比(S/N)，展頻系統解展頻程序的程序增益(Process Gain, GP)可以下式估算

$$GP = \text{系統頻寬(System BW)} / \text{訊息基頻頻寬(Baseband BW)}$$

展頻系統的程序增益愈大，則系統性能愈佳，即可以使得傳輸距離愈遠或系統容量愈大(每個頻道可收容愈多用戶數或數據傳輸的疏通量愈大)。

3.2.1.2 直序(Direct Sequence)展頻通訊

所謂直序展頻通訊，即是指一個展頻通訊系統，利用一個速率遠較所欲傳送訊息速率為高的二進位雙極不歸零(Polared NRZ)模擬隨機碼(Pseudo-random sequence, PN sequence)為展頻碼，並以振幅調變的方式來擴展其所欲傳送訊息之頻譜。由於數位信號的傳輸速率愈快，其功率頻譜密度愈寬(如圖1所示)，故利用一個較高速率的展頻碼來與所欲傳送訊息相乘，即可擴展此訊息之頻譜。展頻碼速率(R_c)與傳送訊息速率(R_b)的比，即稱為展頻因子(Spreading Factor, SF)。



⇒ 數位信號的傳輸速率愈快，其功率頻譜密度愈寬

圖1. 數位信號之功率頻譜密度

發送端執行直序展頻及接收端執行解直序展頻(聚頻)的示意圖，如圖2、圖3所示。其中，發送端執行直序展頻程序所使用的展頻碼與接收端執行解展頻程序所使用的解展頻碼必須完全相同而且同步。第三代WCDMA系統所使用的展頻碼速率為3.84 Mcps，為一定值。但第三代系統必須能支援多重服務，而語音、數據及影像等不同服務類型所需傳送的訊息速率並不相同，因此WCDMA系統針對不同服務所使用的展頻因子亦不相同，故稱為可變展頻因子(Variable Spreading Factor)。

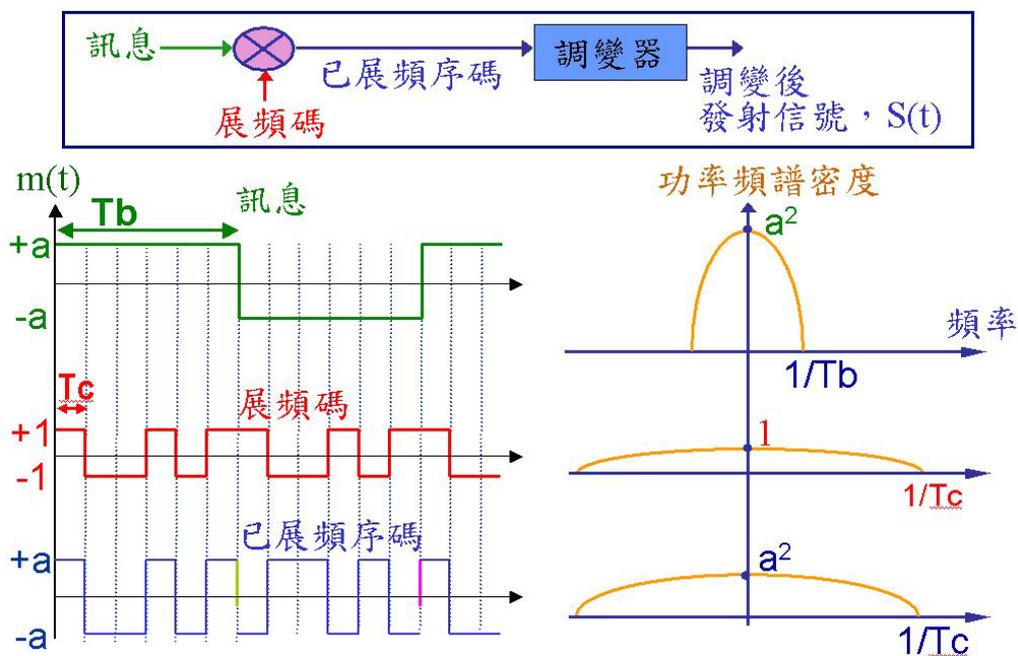


圖2. 發送端執行直序展頻程序

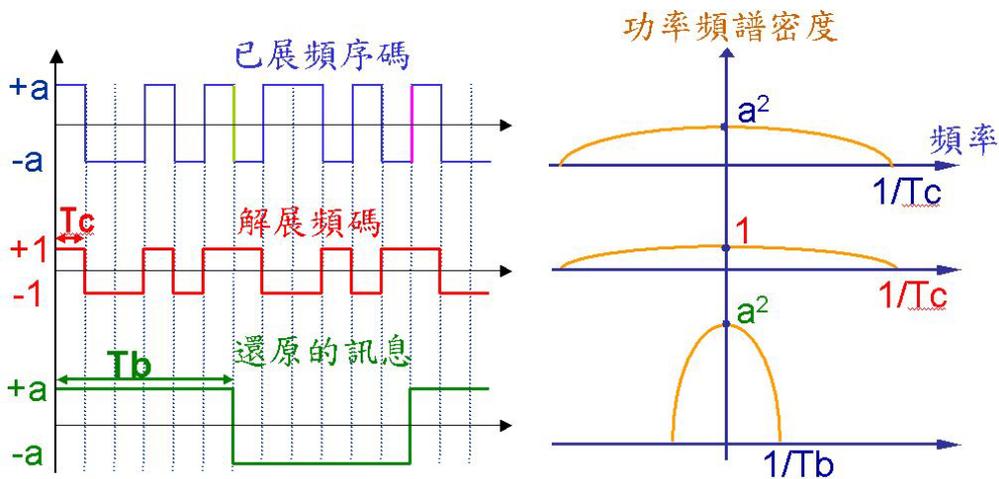


圖3. 接收端執行解展頻程序

3.2.1.3 直序展頻劃碼多重接取(DS-SSMA)技術原理

第三代WCDMA系統使用直序展頻劃碼多重接取(DS-SSMA)技術，不同用戶傳送的訊息可以使用相同的無線電頻道同時送出，但須佔用不同的碼通道，亦即必須使用不同的展頻碼做直序展頻。接收端欲接收特定用戶所傳送的訊息，亦須使用該特定用戶相同的展頻碼才能執行解直序展頻程序。為使接收機能區分出這些佔用相同頻道、相同時段的信號起見，不同用戶所使用的展頻碼除須具備唯一性(Uniqueness)外，尚需具有非常好的相關(Correlation)特性，即需滿足下列二式：

$$\int P_i^2(t) dt = 1 \quad ; \quad 1 \leq i \leq N$$

$$\int P_i^*(t) \cdot P_j(t) dt = 0 \quad ; \quad i \neq j, \quad 1 \leq i, j \leq N$$

也就是說，不同用戶所使用的展頻碼彼此間必須是正交的(Orthogonal)。由於不同用戶被指配的展頻碼彼此間具有正交性，故在接收端，利用特定用戶的展頻碼 $P_i(t)$ 即可抽取出該特定用戶所傳送的訊息 $m_i(t)$ ；至於其他不同用戶的信號成分，由於解展頻時不同

用戶的展頻碼彼此間的互相關(Cross-correlation)值幾乎為零，故造成的干擾也幾乎為零。DS-CDMA通訊技術的原理說明如下：假設兩個用戶同時同頻送出直序展頻信號，用戶1 欲傳送的訊息 $m_1 = 1$ ，其被指配的展頻碼 $P_1 = 1111$ ；用戶2 欲傳送的訊息 $m_2 = -1$ ，其被指配的展頻碼 $P_2 = 11-1-1$ 。此例展頻碼速率是訊息速率的四倍，故其展頻因子 $SF = 4$ 。在發送端，兩個用戶分別執行直序展頻程序(訊息分別與各自的展頻碼相乘)，其合成信號經調變後同時同頻送出；在接收端，若欲抽取出用戶1的訊息，則須以該用戶1的展頻碼 P_1 與接收到的合成信號相乘，再經積分器積分一訊息比次週期(此例為 4 chips)，若積分結果大於0，則接收機判定訊息 $m_1 = 1$ ，反之，若積分結果小於0，則接收機判定訊息 $m_1 = -1$ 。由此例亦可看出：DS-CDMA系統的接收機必須知道且能產生出與發送端完全相同且同步的展頻碼才能抽取出特定用戶傳送的訊息，所以，DS-CDMA系統先天地就具有相當高的安全性。

3.2.2 WCDMA 系統的通道碼與攪拌碼

WCDMA系統使用直序展頻劃碼多重接取(DS-SS)技術，其工作原理如前節所述。DS-SS系統展頻碼的選取，以接近真正隨機碼(Pure random sequence)為最佳，然而因接收端亦須知道此展頻碼，否則無法加以解展頻，且因發射與接收雙方無法同時產生兩個完全相同且同步的真正隨機碼，因此展頻碼不可能使用真正隨機碼，而須採用仍有一定產生規則的模擬隨機碼(PN sequence)。WCDMA系統所使用的展頻碼在上、下鏈的作用不盡相同，故分別說明如下。

3.2.2.1 下鏈傳輸

WCDMA系統直序展頻所使用的展頻碼係採用「正交可變展頻因子碼」(Orthogonal Variable Spreading Factor Codes, OVFSF碼)，主要因

為OVSF碼彼此間具有正交性。由於OVSF碼是用來區別一細胞內同一無線電載波的不同下鏈通道，故又稱為「通道碼」(Channelization Codes)。由於OVSF碼彼此間是正交的，所以同一細胞內同一無線電載波的不同用戶被指配使用的下鏈通道彼此間的干擾也幾乎為零(若不考慮多路徑傳輸效應，亦不考慮其他鄰近基地台發射之干擾)。OVSF碼的產生，可參考圖4的OVSF碼樹(Code Tree)結構。OVSF碼樹的原始根源(Parent) $C_{1,0} = \{1\}$ 。每當展頻因子倍增時，OVSF碼樹的每個支幹(Branch)即會再分裂出兩個分支，其中一分支的值為其根源值再附帶其根源值，即 $C_{2,0} = \{1, 1\}$ ；另一分支的值則為其根源值再附帶其根源值的反值，即 $C_{2,1} = \{1, -1\}$ ，.....以此類推。其中，OVSF碼 $C_{X,Y}$ 的第一個下標數字，即代表該OVSF碼的層級。OVSF碼樹的每一層級即對應一展頻因子(Spreading Factor；SF)值，展頻因子值愈大，OVSF碼的長度則愈長，譬如， $C_{4,Y}$ 的長度即為4 Chips， $C_{8,Y}$ 的長度即為8 Chips；而每一層級OVSF碼的數量則與其展頻因子值相同，譬如， $C_{4,Y}$ 的數量有 $C_{4,0} \sim C_{4,3}$ 共 4個OVSF碼，而 $C_{256,Y}$ 的數量則有 $C_{256,0} \sim C_{256,255}$ 共 256個OVSF碼。

在WCDMA系統中展頻因子值是依用戶傳送訊息的速率(Bit Rate)決定。譬如，用戶傳送訊息的速率為 960 kbps時，其展頻因子值 $SF = \text{Chip Rate} / \text{Bit Rate} = 3840 / 960 = 4$ (因WCDMA系統中 Chip Rate = 3.84 Mcps為定值)，故此層級的OVSF碼數量亦只有 4個(即 $C_{4,0} \sim C_{4,3}$)，即表示一個 WCDMA載波在一細胞內最多只能同時指配 4個 960 kbps的下鏈通道(即一WCDMA載波最多只能同時支持 4個 960 kbps的用戶需求)。但若用戶傳送訊息的速率為 30 kbps時，則其展頻因子值 $SF = 3840 / 30 = 128$ ，故此層級的OVSF碼數量即有128個 ($C_{128,0} \sim C_{128,127}$)，即表示一WCDMA載波在一細胞內最多能同時指配 128個 30 kbps的下鏈通道。

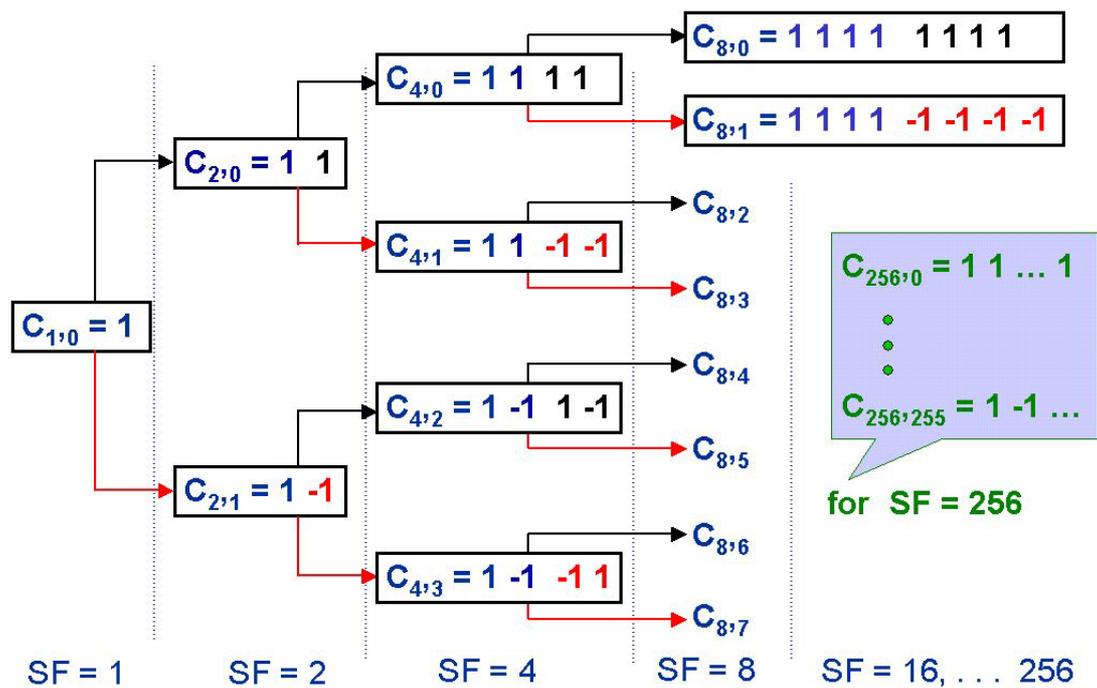


圖4. OVSF通道碼之碼樹(Code Tree)結構

由於WCDMA系統的頻率重用因子(Frequency Reuse Factor)為1，也就是WCDMA系統的每個細胞都可以使用所有的載波頻率。為避免相鄰細胞使用相同載波、相同OVSF碼造成的相互干擾，WCDMA系統藉由在每個相鄰細胞指配不同的「攪拌碼」(Scrambling Codes)來降低此干擾，如圖5所示。由於WCDMA系統的攪拌碼係用來辨別不同細胞發射機送出的信號，所以鄰近細胞發射機應使用不同的攪拌碼，而且這些不同的攪拌碼彼此間也必須是近乎正交的才行。

WCDMA系統的攪拌碼是使用金碼(Gold Codes)。金碼產生器是由兩個最長線性碼(Maximal Linear Sequences，簡稱m-碼)產生器組成，將兩個相等長度的m-碼產生器的輸出比次逐一做模二相加(Modulus-2 Addition)，即得到金碼。金碼雖是由兩組 m-碼建構而成，但其結果並非最長線性碼，其自相關(Auto-correlation)與互相關(Cross-correlation)特性也略遜於m-碼；但其優點是：只須較少級數的線性回授移位蓄錄器(Linear feedback shift registers)，即可建造出相當大數量的金碼，而且這些金碼彼此間的互相關也相當低，故適宜做為

大容量WCDMA系統的攪拌碼。

金碼彼此間的互相關雖然相當低，但並非為零，因此，不同的攪拌碼彼此間並非完全正交(只是近乎正交)，所以WCDMA系統下鏈的鄰近細胞發射機彼此間亦會造成一些干擾，稱為細胞外干擾(Out of Cell Interference)。

因WCDMA系統的下鏈(DL)是利用不同的OVSF通道碼來區別同一細胞內同一載波頻率的不同用戶的實體通道(Physical Channel)，再利用不同的攪拌碼來區別不同的細胞，故WCDMA系統的下鏈實體通道可表示為：1 實體通道(DL) = 1 OVSF通道碼 + 1 攪拌碼 + 1 載波頻率。

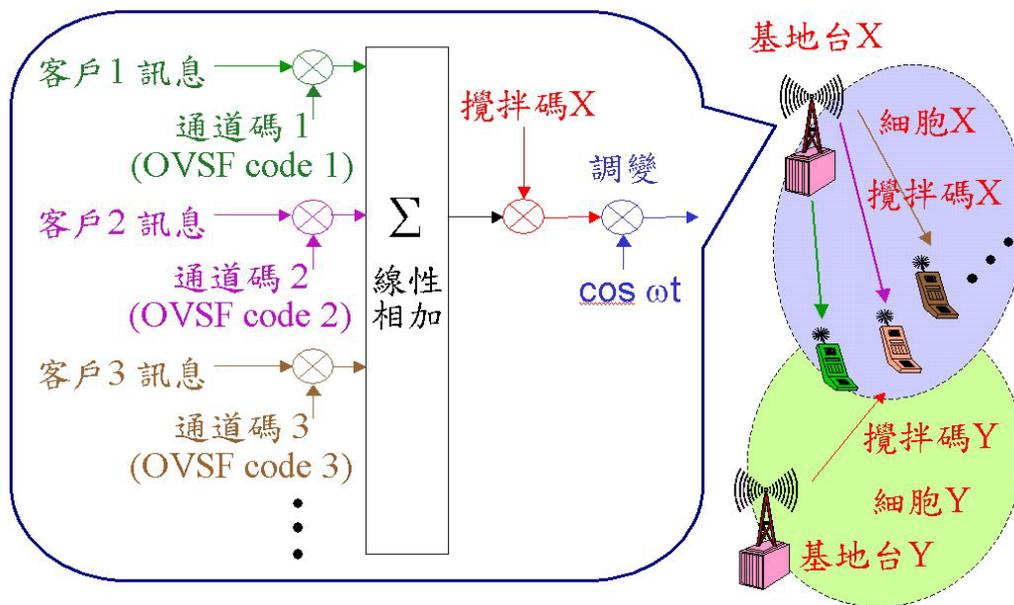


圖5. 下鏈路通道碼及攪拌碼

3.2.2.2 上鏈傳輸

WCDMA系統上鏈的展頻碼仍是採用OVSF通道碼。但因不同的OVSF碼只有在彼此互相同步的情況下才具有正交性；若在彼此不同步(有時間延遲)的情況下，不同的OVSF碼彼此間的正交性極差(即彼

此間的互相關值極高)，而WCDMA系統並無法保證同一細胞內使用同一載波的所有用戶的上鏈OVSF碼皆能同步抵達基地台，因此，利用不同的OVSF通道碼來區別一細胞內不同用戶的上鏈實體通道是不可靠的。所以，WCDMA系統的上鏈是利用不同的攪拌碼來區別不同用戶的實體通道，如圖6所示。事實上，根據WCDMA系統規格，在同一個無線網路控制器(Radio Network Controller, RNC)服務區內，上鏈使用同一載波頻率的不同用戶均須被指配不同的攪拌碼，所以WCDMA系統須要相當大數量的攪拌碼，這也是WCDMA系統的攪拌碼會選用金碼的主要原因。但因不同用戶的金碼攪拌碼彼此間的互相關並非為零(只是近乎正交)，所以WCDMA系統不同用戶終端設備(User Equipment, UE)的上鏈發射訊號彼此間亦會造成一些干擾。

既然WCDMA系統的上鏈並不利用OVSF通道碼來辨別不同用戶的實體通道，所以WCDMA系統內不同用戶傳送的上鏈訊息當然也可以使用相同的OVSF碼，因此上鏈OVSF通道碼的作用只是做為單純的展頻(Spreading)用途。事實上，當用戶只需要一個上鏈實體通道時，系統永遠指配一個特定的OVSF通道碼 $C_{SF, SF/4}$ 。因此，相同服務類型的所有用戶都使用一個相同的OVSF通道碼，譬如，當用戶欲傳送 30 kbps 的語音訊息時， $SF = 128$ ，此用戶被指配的OVSF通道碼即為 $C_{128, 32}$ ；若用戶欲傳送 960 kbps 的數據訊息時，則 $SF = 4$ ，此時用戶被指配的OVSF通道碼即為 $C_{4, 1}$ 。但是，因WCDMA系統亦支援一用戶可以同時接取多載體(multiple bearers)及多重服務，故上鏈OVSF通道碼亦可被用來區別同一用戶的不同載體及不同服務的信號，亦即同一用戶可能同時獲指配多個(最多6個)上鏈OVSF通道碼，來區別多個不同的上鏈實體通道。因WCDMA系統的上鏈(UL)是利用不同的攪拌碼(金碼)來識別使用同一載波頻率的不同上鏈用戶，再利用不同的通道碼(OVSF碼)來區別同一上鏈用戶的不同實體通道，故WCDMA系統的上鏈實體通道亦可定義為：1 實體通道(UL) = 1 OVSF通道碼 + 1 攪拌碼 + 1 載波頻率。

不論是上鏈或下鏈，這些通道碼、攪拌碼及載波頻率等無線電實體通道資源的管理與指配都是由系統的無線網路控制器(RNC)來負責。

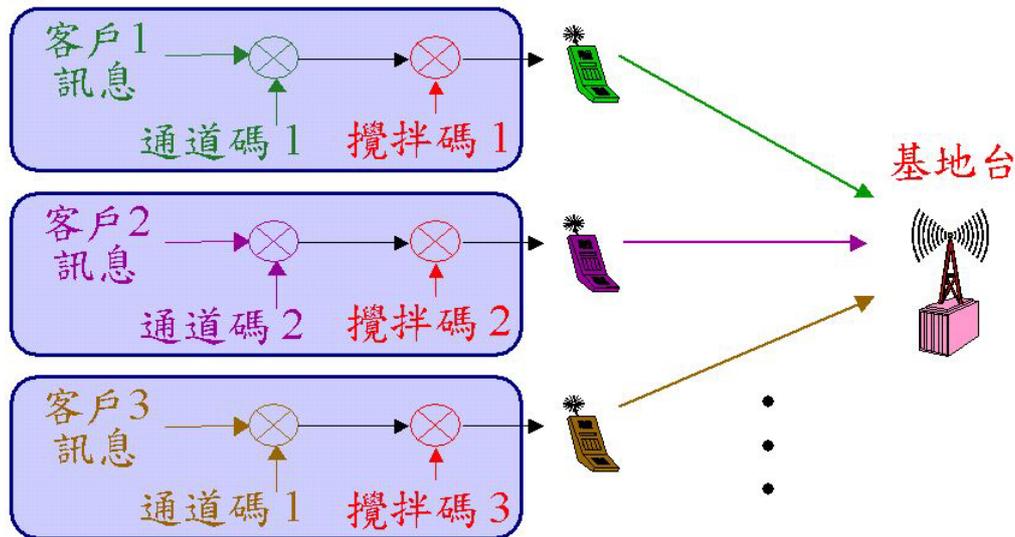


圖 6. 上鏈路通道碼及攪拌碼

3.3 WCDMA 系統的功率控制

WCDMA 系統在上、下鏈雙向均使用功率控制機制。功率控制在 WCDMA 系統內是非常重要的而且必需的機制，因為功率控制可以解決 CDMA 系統特有的遠-近問題(Near-Far Problem)。由於同一細胞內的許多用戶都使用相同頻率而且同時在通信，但他們間隔基地台的距離不等，傳播損失也大不相同，假設沒有功率控制，則基地台接收到較近行動用戶(用戶 1)的功率可能遠超過較遠行動用戶(用戶 2)的功率，可能造成較遠行動用戶的訊號無法檢測的情況，此即稱為遠-近問題。反之，若有功率控制，則系統會命令較近的行動用戶(用戶 1)降低其發射功率，使所有行動用戶的訊號在到達基地台時都能維持幾乎相同的功率(若所有用戶的服務類型皆相同)或維持幾乎相同的訊號品質。功率控制的目的，除了必須解決前述的遠-近問題外，還希望

將行動台與基地台雙方的發射功率均控制在維持一指定的服務品質所需的最低電平。降低雙方發射機的輸出功率，除了可以降低系統總體干擾量，以提高上、下鏈雙向的系統容量外，尚可延長手機電池的通信時間。

WCDMA 系統的功率控制機制包括：開迴路(Open Loop)功率控制及閉迴路(Closed Loop)功率控制兩種。其中，閉迴路功率控制又設計成內迴路(Inner Loop)及外迴路(Outer Loop)兩個控制迴路。開迴路、閉迴路(包括內迴路及外迴路)功率控制的原理，分別敘述如下。

3.3.1 開迴路(Open Loop)功率控制

開迴路功率控制只在起始階段使用，而且僅使用於上鏈功率控制。用戶手機剛開始欲接取(Access)系統時，即是使用開迴路功率控制。開迴路功率控制的原理說明如下：

1. 首先 UE 根據其接收到基地台(Node B)廣播的導引(Pilot)信號功率電平，來粗估其路徑損失。
2. UE 依其粗估的路徑損失來計算其應發射功率電平，並送出第一個接取(Access)訊息。
3. 若等一段時間仍未收到基地台的回應訊息，UE 會以一較高的發射功率重送第二個接取訊息。
4. UE 重複步驟 3，會再以一更高的發射功率重送其接取訊息，直到 UE 收到基地台送出的回應訊息。基地台送出的回應訊息內應該包含有功率控制訊息，此時即進入閉迴路功率控制程序。

3.3.2 閉迴路(Closed Loop)功率控制

當通信建立後，系統與 UE 雙方隨時在執行閉迴路功率控制程

序。上鏈閉迴路功率控制的原理，如圖 7 所示，說明如下：

1. 首先由 RNC 針對特定的服務類型設定其 BLER(Block Error Rate)服務品質目標。(通常不同的服務類型會有不同的服務品質目標，譬如，語音的 BLER 目標約為 1~2%)。RNC 並依據此 BLER 品質目標推算出其對應的 SIR(Signal to Interference Ratio)目標，然後再將此 SIR 目標值送出給基地台。
2. 基地台接收 UE 送出的上鏈訊號，並測量此上鏈訊號的 SIR 值，再將此上鏈的 SIR 值跟 RNC 送來的 SIR 目標值相比較，以決定應提高或降低 UE 的發射功率。若基地台接收上鏈信號的 SIR 值大(小)於目標值，則基地台送出 TPC(Transmit Power Control)比次來控制 UE 調降(或調高)其發射功率。此內迴路功率控制程序每隔 0.667 msec 更新一次(即每秒執行 1500 次)，如此快速的閉迴路功率控制程序，使 UE 的發射功率均能被控制在維持一指定的 SIR 目標所需的最低功率電平。
3. RNC 內的數位信號處理器每隔 10 ms(依不同的服務而有不同間隔)進行一次 BLER 測量，並將此 BLER 測量結果與依據該特定服務類型設定的 BLER 目標值相比較，以決定是否應提高或降低基地台的 SIR 目標值。此即為外迴路功率控制程序。

WCDMA 系統的下鏈傳輸與上鏈有一點不同，下鏈傳輸因為是點對多點的傳輸方式，所以不會有遠-近問題。但是，在細胞覆蓋邊陲地區的行動用戶，會遭受到較高的細胞外干擾(Inter-cell Interference)，所以這些用戶也需要較高的下鏈功率，因此，WCDMA 系統亦須支援下鏈功率控制。WCDMA 系統下鏈快速閉迴路功率控制的原理，與前述之上鏈快速閉迴路功率控制程序極為相似，只是其中內迴路及外迴路的功率控制主要都在 UE 裡面執行，茲說明如下：

1. 首先仍然是由 RNC 針對特定的服務類型設定其 BLER 目標，並依此 BLER 目標推算出其對應的 SIR 目標，再將此 SIR 目

標值送出給 UE。

2. UE 接收基地台送出的下鏈訊號，測量此下鏈訊號的 SIR，再將此測量結果(下鏈 SIR 值)跟 RNC 送來的 SIR 目標值相比較，以決定基地台應提高或降低其發射功率。若 UE 接收下鏈信號的 SIR 值大(小)於目標值，則 UE 送出 TPC 比次來動態控制基地台調降(或調高)其發射功率。此內迴路功率控制程序同樣每秒執行 1500 次，如此快速的下鏈閉迴路功率控制程序，亦使基地台的發射功率均能被控制在維持一指定的 SIR 目標所需的最低功率電平。
3. UE 內的數位信號處理器同樣每隔 10 ms(依不同的服務而有不同的間隔)進行一次 BLER 測量，並將此 BLER 測量結果回報給 RNC。RNC 再將此 BLER 測量結果與該特定服務類型設定的 BLER 目標值相比較，以決定是否應提高或降低 UE 接收的下鏈 SIR 目標值。此即為下鏈外迴路功率控制程序。

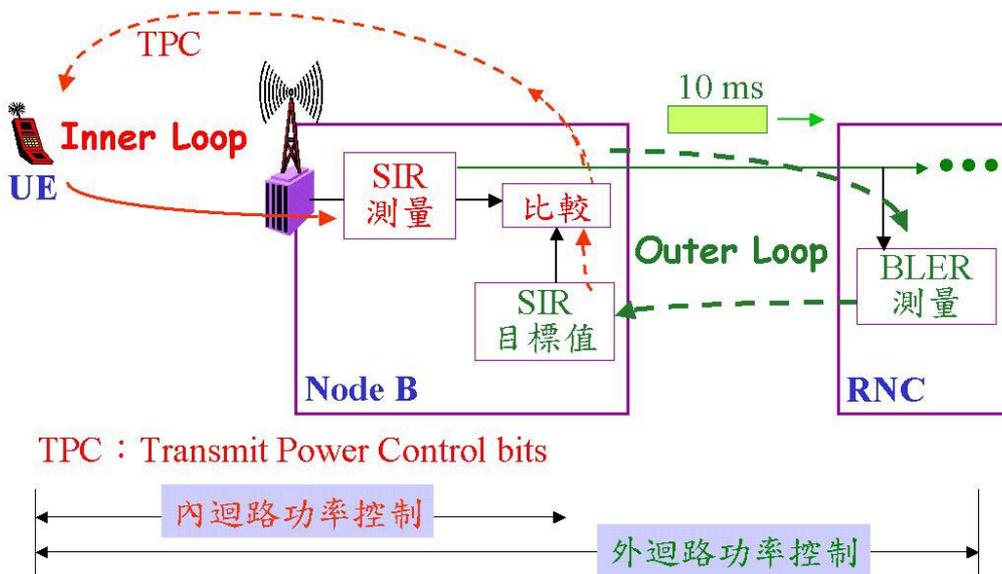


圖 7. WCDMA 系統的閉迴路功率控制

3.4 3GPP RAN 標準概況

3GPP 之規範目前已完成 R99、R4 及 R5 版本的制訂，其中 R99 版本與 GSM Rel. 98 最主要的差異除了空中介面採用全新的 WCDMA 技術並支援劃時雙工(TDD)模式外，尚包含同時提供語音及數據服務、具服務品質(QoS)之數據服務、AMR codec 移至核心網路及基站控制器間提供標準介面支援軟性交遞等功能。R4 版本最主要的演進是支援窄頻劃時雙工(Narrowband TDD)模式、Repeater 與分封化的核心網路。R5 版本加入的新功能除了 All-IP 核心網路外，尚包含 UMTS 1800、UMTS 1900、手機定位(Positioning)及高速下鏈路分封接取(High Speed Downlink Packet Access, HSDPA)技術等。其中 HSDPA 技術藉由可適性的調變及編碼技術(QPSK, 8PSK, 16QAM, 64QAM)、H-ARQ (Hybrid automatic repeat request)、STTD (Space time transmit diversity)、MIMO (Multiple input multiple output)等技術可提供最高 10Mbps 之下鏈路分封數據。其他與無線接取網路相關的重要議題如下：

1. 目前 RAN 工作小組的共識為相鄰頻率的 FDD 與 TDD 大細胞基地台不能共站(其隔離度估計約需 95dB)，若要共站則需間隔 10MHz 且需審慎的工程設計
2. FDD 與 TDD 模式由於頻率相鄰近，其基地台間、基地台與手機間、手機與手機間的干擾議題目前仍是主要討論的項目
3. WRC2000 於 2000 年會議訂定 IMT2000 的延伸頻段，分別是 2500~2690MHz(其中 2500~2520MHz 及 2670~2690MHz 為 Mobile satellite 頻段)、806~960MHz 及 1710~1880MHz，目前正進行頻率規劃可行性評估

除了 HSDPA 技術外，3GPP 規劃於 R6 版本引進 Node-S，其構想為將下鏈路分享通道(Downlink Shared Channel, DSCH)置於獨立的(Standalone)下鏈路載波的方式支援下鏈路高速分封數據，用戶仍藉由 Node B 接取網路，可藉由 Iub 介面介接至 RNC 或 Node B。另外，3GPP

亦規劃於 R6 版本引進 Node-W，其構想為將 WLAN 技術引進至 UTRAN，Node-W 可藉由 Iub+ 介面介接至 RNC。

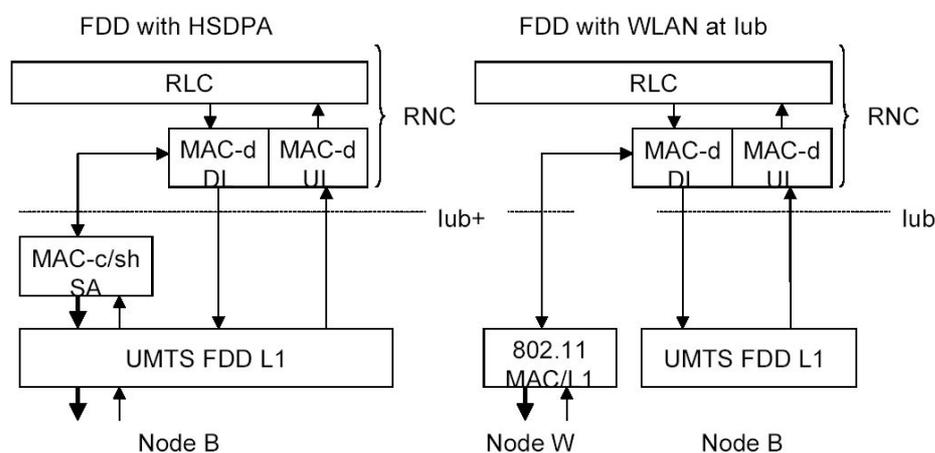


圖 8. FDD 模式提供 HSDPA 與 WLAN 之架構圖(資料來源：Nortel)

3.5 小結

WCDMA 技術是歐規 UMTS 系統及國際電信聯合會 (ITU) IMT-2000 系統所採認的空中介面技術標準，也是目前市場支持度最高的第三代行動通信接取技術標準。WCDMA 技術具備以下主要優勢及特性：

1. 支援 2 Mbps 以上的高速分封數據傳輸
2. 提供高度的服務靈活性(Service flexibility)
3. 具備高頻譜使用效率，可以提供較高的系統容量
4. 能支援非對稱性(Asymmetric)的上、下鏈訊務
5. 能與既有的第二代 GSM 系統共存

由於行動通信服務將朝向寬頻、高速及多媒體無線通信發展，既有的第二代系統已無法滿足未來的行動通信訊務需求。對於既有的 GSM 系統業者，不論是從系統性能、國際漫遊的普遍性，或是手機

價格的經濟性來考量，UMTS 系統應該是最優先的選擇。為儘量利用 UMTS 系統的能力及優勢，實有必要更深入瞭解 WCDMA 無線電介面技術及特性，包括 WCDMA 技術的實體層、無線電介面通信協定、無線電資源管理、無線網路規劃設計及網路優化等技術。

4. WCDMA 無線網路規劃技術

無線網路的建設規劃需配合市場預測或整體業務計畫，以適時提供足夠的網路容量與便利的服務，協助公司業務的順利開展，其內容應包含用戶訊務模式預測、使用頻段/頻寬及涵蓋區電波傳播特性等資訊的蒐集、細胞涵蓋範圍分析、網路規劃軟體模擬、網路建設與持續調整優化等步驟。本次實習 WCDMA 無線網路規劃技術主要有下列幾個議題：

1. 與 GSM 網路基地台共站之干擾分析與解決方案
2. 基地台涵蓋範圍與建設數量估算
3. 基地台後續佈建策略規劃

以下章節將分別針對上述議題進行討論與說明，由於其實際內容牽涉複雜之計算及規劃軟體，本報告將只針對上述議題的探討提供觀念說明。

4.1 WCDMA 與 GSM 網路基地台共站

由於適當的基地台位置有限，且基於位置的取得、相關配合工程及設備的建置等實務因素的考量，既有的 GSM 業者基本上會儘可能選擇重複使用現有之基地台位置建設 3G 網路，因此 3G 與 GSM 基地台共站之議題將是一個非常重要的課題。

3G 與 GSM 基地台共站主要的議題是系統間射頻干擾的議題，其主要成因在於 GSM900 及 GSM1800 在制訂規格時並未考慮到避免與 3G 基地台共站時可能產生干擾的防護，因此在共站設計時必須予以適當考慮天線的選用、擺置及加裝濾波器的必要性，以期不致降低 3G 系統與既有 GSM 系統的效能。

4.1.1 WCDMA-GSM 共站干擾機制與評估

共站干擾來源及其機制可區分為下列三種

1. 發射機的混附波(Spurious emission)：發射機的混附波輻射信號落在接收機之接收頻段，以致對於接收機造成干擾
2. 接收機閉鎖(Blocking)：接收機因接收到過強的發射機發射信號以致產生閉鎖現象，降低靈敏度
3. 互調變(Intermodulation)：由於兩個以上較強的發射信號饋入非線性電路元件(如功率放大器、接頭等)，導致其產生接收頻段之互調變信號而對於接收機造成干擾

由於各種干擾成因產生機制的差異，其發生干擾的可能性與避免方式討論與評估如下。

4.1.1.1 發射機的混附波

一般而言，混附波之位準隨著遠離發射頻率而降低，因此就 GSM 與 WCDMA 系統共站而言，GSM1800 對 WCDMA 的干擾將遠較 GSM900 嚴重。依據 ETSI GSM 05.05 的規範，GSM 基地台發射之混附波於 3G 接收頻段之位準須低於-30dBm (3MHz 頻寬)，因此對於 WCDMA 接收機而言，所需之 GSM1800 混附波信號衰減約為 85dB。

由於混附波對於受干擾的接收機而言為頻段內信號，因此發射機的混附波干擾必須經由干擾源發射端設備加強混附波衰減或天線系統之隔離度來處理。

4.1.1.2 接收機閉鎖

依據 3GPP TS 25.104 規範，對於 3G 接收設備而言，避免其閉鎖效應之頻段外信號位準須小於-15dBm。而依據 ETSI GSM 05.05 規範，對於 GSM900 及 GSM1800 的接收設備而言，避免其閉鎖效應之

頻段外信號位準分別須小於 8 dBm 及 0 dBm。因此對於 GSM 系統而言，3G 發射機造成其接收機閉鎖之可能性不大，但 GSM 系統之發射機則有可能對 3G 系統接收機造成閉鎖干擾，尤其是 GSM1800 系統。不過由於 3G 系統研發在 GSM 系統之後，因此，3G 設備廠商應會於 3G 基地台接收設備前級使用加強濾除 GSM1800 發射信號之濾波器。

4.1.1.3 互調變

互調變干擾可再分為發射機互調變、接收機互調變及天線/濾波器接頭互調變等，前二者為主動性互調變，後者為被動性互調變 (Passive Intermodulation, PIM)。

1. 發射機互調變

起因於系統 A 之發射信號經由系統 B 之天線、饋線而反向饋入系統 B 之功率放大器而產生系統 A 及/或系統 B 接收頻段之互調變干擾信號。由於一般而言系統間至少具有 30dB 的隔離度，因此產生此種干擾的機會並不高，惟若仍有不足，則可考慮採用以下方式解決：

- (1) 頻率調整以避免產生低階之互調變(如 3, 5, 7, ...階之互調變)
- (2) 調整天線距離、擺置方式或指向以增加隔離度
- (3) 增加系統 B 之發射濾波器於系統 A 發射及接收頻段之衰減量以增加隔離度

2. 接收機互調變

起因於系統 A 之發射信號經由系統 B 之天線、饋線而與系統 B 之發射信號一起饋入系統 B 之低雜訊放大器而產生系統 B 接收頻段之互調變干擾信號。由於一般而言系統間至少具有 30dB 的隔離度，且系統本身之發射機及接收機間已有足夠的隔

離度，因此產生此種干擾的機會並不高，惟若仍有不足，則可考慮採用類似於發射機互調變的方式解決。

3. 天線/濾波器接頭互調變

起因於系統之發射信號一起饋入天線/濾波器而於接頭端產生系統接收頻段之互調變干擾信號。要避免此種干擾除頻率調整外，於天線/濾波器採購規格上須特別要求其可能產生之低階互調變之電氣特性。

4.1.2 天線系統解決方案

由於避免發生共站干擾的解決方法為提高干擾源與受干擾的接收機間之射頻信號路徑衰減量，參考 4.1.1 節所述之干擾機制，其可能方式如下：

1. 增加發射天線與接收天線間之隔離度(Isolation)
2. 加裝濾波器以增加對於干擾信號之衰減量

天線隔離度主要取決於天線型式、天線場型、天線間之距離與天線擺置方式等因素。對於寬頻天線而言，其於系統使用的頻段間並無法提供隔離度，而且由於所有發射信號均由同一點饋入天線，其產生互調變干擾之可能性甚高，需留意頻率規劃及加裝高規格的 Diplexer，一般而言並不是好的選擇。對於多頻段天線而言，一般其於各頻段間(不同的天線接頭)可提供約 30dB 的隔離度。

對於個別天線而言，天線擺置主要分為水平(Horizontal)隔離、垂直(Vertical)隔離與斜向(Slant)隔離等方式。由於基地台天線為雙極線性陣列(Dipole Linear Array)天線型式，一般而言垂直隔離可在較小的距離得到最佳的隔離度，而水平隔離則需較大的距離。對於 Sector 天線而言，在合理的天線距離下，不同的天線擺置可提供之天線隔離度在 40~70dB 之間。

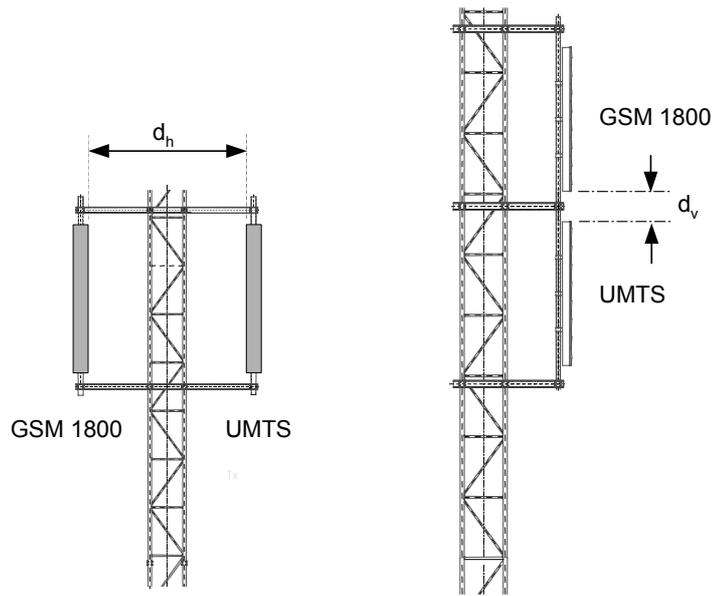


圖 9. 天線的擺置方式：水平隔離(左)、垂直隔離(右)

於 GSM1800 發射端加裝濾波器可降低其發射機混附波於 3G 系統接收頻段之信號位準，因此也較容易避免共站干擾的產生。若以合乎 ETSI GSM 05.05 規範之 GSM1800 混附波干擾信號須低於 3G 接收機雜訊位準 13dB (靈敏度約劣化 0.2dB) 為設計參考值，在天線隔離度為 40dB 時 GSM1800 發射濾波器所需提供的衰減值約在 40dB 左右，不過實際 GSM1800 設備的混附波輻射量一般而言均遠低於規範值需求，因此濾波器所需之衰減值可經由實測後決定。另外，濾波器的加入將引進約 0.5dB 的發射功率損失，必須在 GSM1800 設備發射功率輸出端予以適度補償。

圖 10 為 Alcatel 公司對於天線系統解決方案的選定流程，其中 Diplexer 的應用是在於共站且共用天線饋線(Feeder cable)時可藉由 Diplexer 的加入而增加混附波干擾路徑之衰減量。

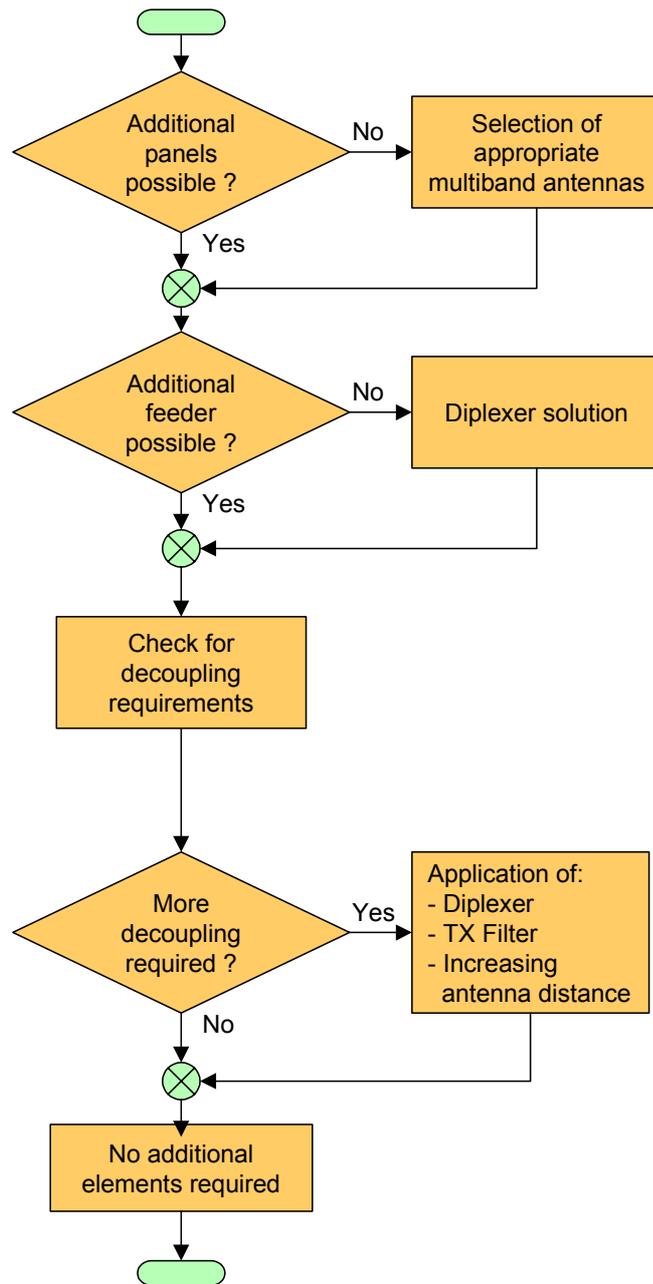


圖 10. 天線系統解決方案選定流程(資料來源：Alcatel)

4.2 WCDMA 基地台規劃

WCDMA 無線接取技術對於 GSM 業者而言是全新的接取技術，如第 3 章所說明，其具有以下幾項特點：

1. 頻率重複使用因子(Frequency Re-use Factor)為 1，亦即每個細胞使用相同的頻率。對於下鏈路而言，使用通道碼區別用戶

而使用攪拌碼區別細胞

2. WCDMA 技術為干擾限制(Interference limited)技術，系統容量由干擾量所決定，其干擾來源為同細胞內之同頻用戶及相鄰細胞之同頻用戶
3. WCDMA 技術具有軟性交遞(Soft Handover)功能，可同時與 2 個以上細胞建立通信鏈路，對下鏈路具有鏈路增益
4. 細胞涵蓋範圍與承載的訊務量>Loading)密切相關，會動態隨著 Loading 的增加而縮小，稱為細胞呼吸(Cell breathing)效應
5. 需有快速而準確的功率控制機制以消除遠近效應(Near-Far effect)及克服信號快速衰褪(Fast fading)

除此之外，WCDMA 無線網路需能滿足多重服務(Multi-service)的需求，如

1. 12.2Kbps AMR 語音服務、64Kbps 電路交換數據(Circuit-switched data, CSD)服務、64Kbps~384Kbps 的分封交換數據(Packet-switched data, PSD)服務
2. 各種服務等級(Grade of Service, GoS)與服務品質(QoS)的要求(如阻塞率、傳送延遲、Throughput、BLER 等)
3. 各種即時與非即時之語音及數據服務接續類型的的要求
4. 上下鏈路非對稱與猝發性(Bursty)的訊務需求

因此，其實質的設計與各需求相互間的影響較 GSM 系統而言是複雜許多而且部分影響因素目前尚無較準確的模式可評估，以下僅就基地台涵蓋範圍估算與佈建策略進行說明。

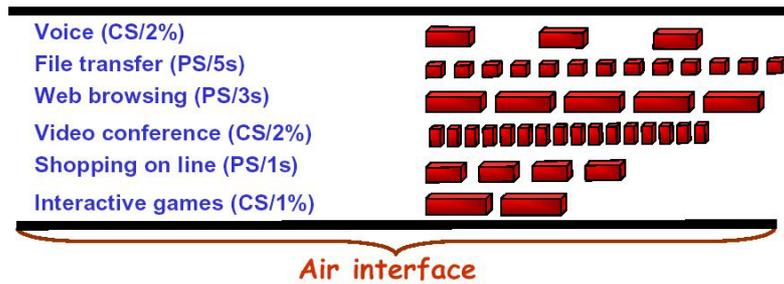


圖 11. 多重服務的訊務特性(資料來源：Alcatel)

4.2.1 基地台涵蓋範圍估算

不同的數據速率及接續類型會有不同的涵蓋範圍，一般而言速率越高或屬即時性話/訊務者涵蓋較小，而涵蓋範圍又受細胞當時的負載量影響。因此，當設計基地台涵蓋範圍時需先選定提供連續涵蓋的服務種類。由於細胞涵蓋範圍會影響所能承載的訊務，而此訊務又是隨著時間而變動，而此種訊務變動又將影響細胞涵蓋範圍改變，因此，細胞涵蓋範圍的估算需是反覆的程序(Iterative process)，直到結果收斂至合理範圍。

4.2.1.1 主要參數

與細胞涵蓋範圍估算相關之主要參數分述如下：

1. 涵蓋需求：涵蓋區域及其環境屬性分類、用戶分佈密度
2. 訊務需求：擬提供的服務種類(含 bit rate)、訊務模式、用戶訊務需求
3. 服務品質(QoS)與服務等級(GoS)需求：阻塞率、傳送延遲、流量、BER、BLER 等
4. WCDMA 系統參數： E_b/N_0 、手機基地台之發射功率與接收靈敏度、下鏈路信號正交因子(Orthogonality factor)、鄰細胞干擾因子(Interference factor)、細胞負載上限、共用通道之發射功

率、軟性交遞增益、功率控制餘裕等

5. 射頻信號參數：遮蔽餘裕(Shadowing margin)、快速衰褪餘裕、傳播模式、通道特性、涵蓋品質機率(90% or 95%)、建物穿透損失(Penetration loss)等

4.2.1.2 估算程序

WCDMA 系統涵蓋與容量之限制來源及上下鏈路之特質 (Behavior)說明如下：

1. 涵蓋區的限制一般在於上鏈路，其主要原因為手機的功率較低，但對於重載細胞或負載不對稱集中於下鏈路之細胞其涵蓋區限制則可能來自於下鏈路
2. 容量的限制一般來自於下鏈路，其主要原因是有限的下鏈路功率由所有的用戶分享，且下鏈路信號因多重路徑以致信號失去正交性，其極容量(Pole capacity)較上鏈路為低

細胞涵蓋範圍的估算程序分別說明如下[9]：

1. 傳統估算方法

- (1) 假設涵蓋限制來自於上鏈路
- (2) 設定上鏈路之干擾量與細胞負載量(如 cell loading=50%，Interference margin=3dB)
- (3) 依據鏈路預算分析(Link budget analysis, LBA)估算細胞涵蓋範圍

2. Alcatel 的估算方法

- (1) 假設用戶接取多重服務的訊務模式，反覆在上下鏈路進行干擾量分析估算以取得上、下鏈路一致之細胞涵蓋範圍
- (2) 需輸入之資料同 4.2.1.2 節

(3) 輸出資料為細胞範圍、細胞負載、載波數、總基地台數

以下簡單說明上、下鏈路分析之內容：

1. 上鏈路分析：主要是分析位於細胞邊緣(Edge)的單一用戶接取單一服務時之涵蓋狀況，因此其鏈路預算分析為最大可容許之路徑損失(Maximum available path loss, MAPL)分析。其干擾來源包含本身細胞其他用戶及相鄰細胞之用戶，且由於假設有工作正常之功率控制，因此，干擾量與用戶位置無關
2. 下鏈路分析：主要是分析所有細胞內用戶接取服務時功率的分配狀況，因此其鏈路預算分析為功率分析。其干擾來源包含本身細胞其他用戶及相鄰細胞之用戶，且由於每個用戶所需分配的功率與其所在位置及所接取的服務有關，功率分析為所有用戶位置與服務種類的函數

細胞涵蓋範圍的決定必須同時滿足上鏈路及下鏈路的分析，並經由反覆估算(Iterative process)以得到最後結果，如下圖所示。

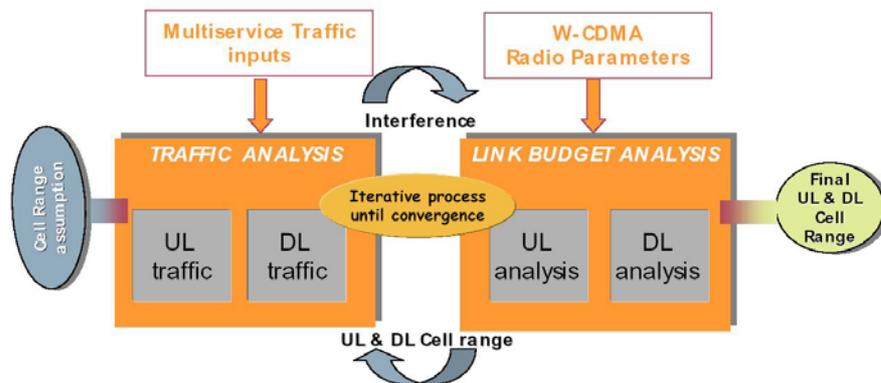


圖 12. 細胞範圍估算程序(資料來源：Alcatel)

4.2.2 基地台佈建策略

隨著 3G 服務的逐年開展，訊務密度亦將逐年提升，尤其是大都會區，因此預先規劃訊務的成長所帶來的細胞呼吸效應是無線網路規

劃的重要課題。其最主要的思考是分期擴增網路容量(如增加載波或引進新技術功能)以滿足訊務成長需求時仍能確保原涵蓋品質，因此開始規劃無線網路時應選定策略性的細胞範圍做為基地台設站依據，如此可使得網路涵蓋範圍隨著新載波的加入時不致有很大的變動。

4.2.2.1 細胞範圍選定策略

選擇細胞範圍時需依據下列原則：

1. 依據不同的服務、不同的載波數、分期的訊務需求找出可能的細胞範圍
2. 加入各個服務涵蓋面的需求及引進新功能帶來的容量效益等考慮因素修訂可能的細胞範圍
3. 於(1)及(2)等考慮因素下選擇最適合業務計畫(Business plan)需求的細胞範圍
4. 以訊務需求變動(約 20%)做敏感度分析以優化細胞範圍

由於上述選擇細胞範圍原則所得到的優化結果並非唯一，其最後結果仍有賴業務計畫及建設實務所做的策略決定，因此將選定的細胞範圍稱為策略細胞範圍(Strategic cell range)。好的細胞範圍選擇可節省基地台的建置量，但其有賴較精準的業務計畫及分期訊務模式預測。由於建設實務上是儘可能以重複使用 GSM 基地台位置為考量，我們可先以 GSM 網路之細胞範圍做為設計參考，再進行容量需求與涵蓋分析，檢驗其可行性。而依據鏈路預算分析，GSM1800 之語音服務涵蓋範圍約與 3G 之 144 Kbps 分封數據服務的涵蓋範圍相當，因此 GSM1800 基地台的涵蓋範圍可初步做為 3G 網路提供 144Kbps 服務之策略細胞範圍的參考。

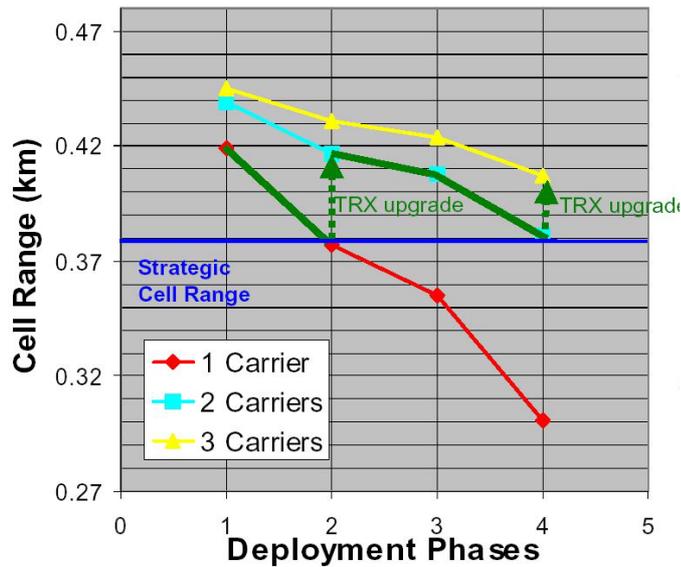


圖 13. 策略細胞範圍選擇示意圖(資料來源：Alcatel)

4.2.2.2 提升容量與涵蓋的技術

當細胞涵蓋範圍因訊務成長而可能產生上鏈路及/或下鏈路涵蓋不足時，必須考慮引進新技術功能以提升網路容量及涵蓋。其主要考量點為在不增加基地台的條件下，求取以最小的維運與投資成本來獲得最佳的涵蓋與容量增益，其可能的方式有以下幾類：

1. 上/下鏈路適用：增加載波數、細胞扇區化(Sectorization)、智慧型天線(Smart antenna)等
2. 上鏈路適用：於基地台接收端引進天線端信號放大器(Tower mounted amplifier, TMA)、4路接收分集(Rx diversity)、多用戶偵測器(Multi-user detection, MUD)等功能
3. 下鏈路適用：於基地台發送端引進發射分集(Tx diversity)功能或加大功率放大器之輸出功率

就 TMA 技術而言，其主要可改善接收路徑之雜訊指數，一般而言約在 4dB 左右，對於上鏈路涵蓋議題而言，由模擬結果其可節省 30%左右的基地台建置。此外，TMA 之接收濾波器可協助濾除頻帶外之閉鎖信號，增強接收路徑防閉鎖的能力。但是，TMA 將於下鏈

路引進 0.5dB 左右的信號損失，同時亦降低接收設備之動態範圍，必須配合調降原 Node B 之信號放大增益。整體而言，TMA 增加可用之路徑損失(MAPL)亦即延伸涵蓋，但因將頻段內所有信號放大，並未改善干擾亦即未提升容量。

就 4 路接收分集技術而言，其除了提供延伸涵蓋的效益外，因可提供更多的接收分集增益而降低所需之 E_b/N_0 值(約 2~3dB)，所以亦提供容量增益，由模擬結果其增益約 65%，但須新增接收天線與接收機等設備。

就發射分集技術而言，其可降低個別發射路徑上之發射功率需求及手機端 E_b/N_0 值之需求(open loop 約改善 0.5dB，closed loop 約改善 2~3dB)，因此下鏈路容量增益模擬結果約在 10%~60%間，但須新增發射天線與發射機等設備。

對於加大功率放大器之輸出功率而言，其主要應用於郊區之基地台，因其涵蓋範圍大，下鏈路功率增加有較顯著的容量增益，對於都會區基地台則幾乎沒有效益。

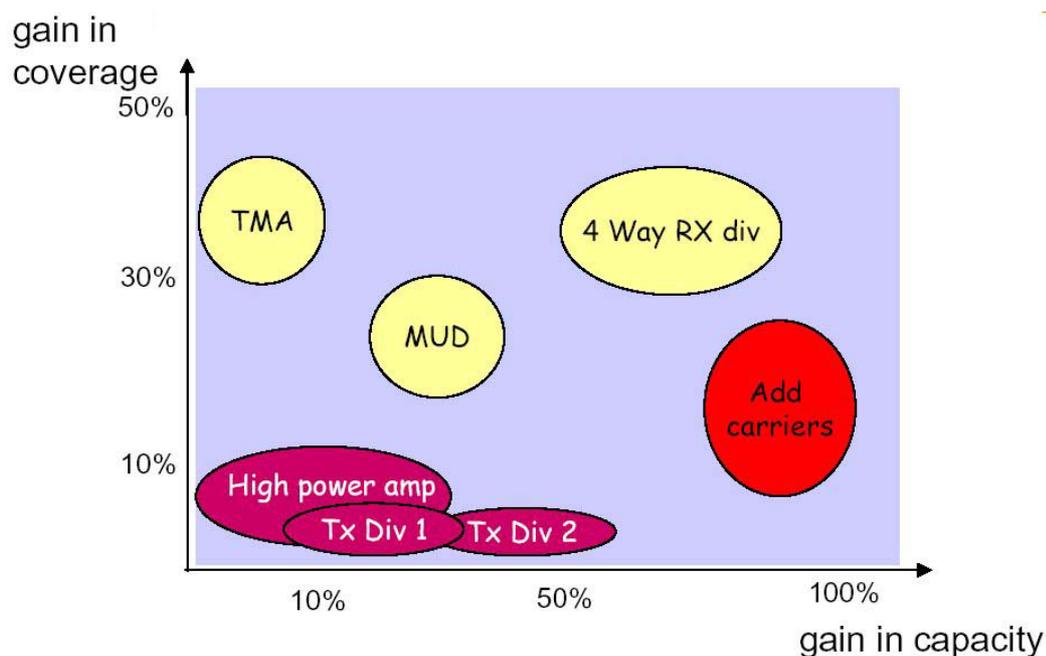


圖 14. 提升容量與涵蓋之技術與增益(資料來源：Alcatel)

圖中所示之”Add carriers”乃指使用原功率放大器但新增載波。

4.2.3 大細胞與微細胞佈放策略

第三代行動通信系統的設計目標為提供語音、數據及多媒體等多種服務，為達成無縫隙(Seamless)的服務覆蓋及滿足各種營運環境的需求，階層式的細胞架構乃被提出，以求針對不同應用環境的需求與特質提供適切的服務品質。雖然 WCDMA 系統之設計即為用戶同時使用同一載波來發射或接收信號，亦即透過處理增益的機制抑制來自於其他用戶的同頻干擾，因此可有較大的抗干擾能力，但較大的干擾信號需要用戶或基地台發射更大的功率來維持所需的通信品質，故干擾信號可能導致細胞涵蓋區的縮減或容量的降低，因此，在 Macrocell 與 Microcell 的佈放策略上須有較妥善的考量。

4.2.3.1 Macrocell 及 Microcell 使用相同頻率

由於 Macrocell 與 Microcell 使用相同的頻率，雖然同一細胞內用戶間的多重接取干擾可由功率控制機制來適當控制，但對於來自其他細胞的同頻干擾則須藉助空間的隔離度來增加信號傳送的路徑損失，以降低其干擾強度，因此，二者間須具備足夠的空間隔離度以避免細胞間的干擾，降低系統容量。應用方式如下：

1. Macrocell 與 Microcell 為階層設計：Macrocell 提供全區域的覆蓋，Microcell 提供特定的高話務地區更高的容量。因此，Microcell 之天線裝置於較低的位置，以涵蓋特定的高話務地區，並於規劃的細胞涵蓋區外快速衰減。惟此種設計當用戶位於 Microcell 時，基本上均同時與 Macrocell 存有鏈路，因此將增加 Macrocell 的軟性交遞(Soft handover)負載，亦即降低系統容量，除非系統的無線資源管理與控制可依用戶特性及鏈路品質等因素動態控制 Handover 的必要性。
2. 將 Microcell 裝置於隔離度較高的室內地區，僅提供室內環境

通信：此種設計可降低 Macrocell 因使用相同頻率所需的軟性交遞負載，惟 Macrocell/Microcell 交界處須有足夠的交接涵蓋。

4.2.3.2 Macrocell 及 Microcell 使用不同頻率

由於 Macrocell 與 Microcell 使用不同的頻率，因此，二者間干擾的可能性較低，主要的設計議題為控制來自於不同細胞間相鄰頻道溢射(Spill-over)的干擾源，故這二種細胞所使用的載波的頻率間隔宜較大(> 5 MHz)，且儘可能共站或於鄰近區域。此外，此種設計的缺點是須具備較多的頻譜以提供足夠的系統容量。

Macrocell 與 Microcell 使用不同頻率的應用方式可採 Macrocell 與 Microcell 為不同階層的設計：Macrocell 提供全區域的覆蓋，Microcell 使用 1 個載波提供特定的高話務地區更高的容量。惟此種設計的系統須提供 Microcell 與 Macrocell 間因使用不同的載波所需的細胞間跨頻交遞的能力，且 Macrocell/Microcell 交界處須有足夠的交接涵蓋及交遞的過程須夠快，否則可能導致通信的中斷。

4.2.3.3 佈放策略

微細胞的佈放對於容量的增加有明顯的助益，尤其是網路建置逐漸進入成熟期後細胞間的距離縮小至數百公尺以內時，微細胞的佈放將是必要的選擇。惟佈放時仍須注意下列因素：

1. 微細胞之應用環境一般而言較單純(主要為行人形式之通道模型)，因此下鏈路信號之正交性較佳，但分集增益降低。此外，佈放時尚需注意其與大細胞在應用環境、傳播模式及涵蓋範圍之差異
2. 其與大細胞最好是使用不同的載波，主要用以吸收小區域性低移動率的高話/訊務需求(Hot spot)
3. 若為補充小區域的涵蓋不足，理論上可採用相同載波規劃，惟需注意與大細胞間之干擾議題

4. 若為提供連續的涵蓋面，則應採用與鄰近大細胞相同載波，但須考慮足夠的軟性交遞區域的設計

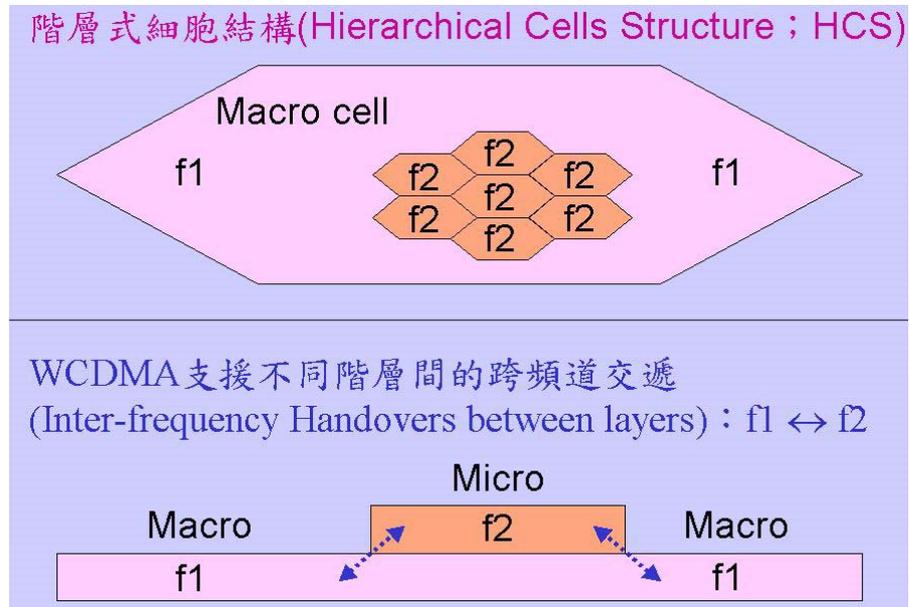


圖 15. 階層式細胞架構示意圖

5. 心得與建議

3G具備即時性、個人化、地域性、高速寬頻及高容量的特性，而且由於行動上網的世界潮流、行動多媒體的魅力無窮及行動電子商務的商機無限，一度造成行動通信業界普遍看好3G的商機及潛力。3G服務雖是美好的夢想，但是在行動數據與多媒體服務的真正需求還沒顯現以前，3G服務仍然不容易全面推廣。因為現階段以用戶的角度來看，3G服務的內涵和GPRS並無太大區別，主要差別是在傳輸速率及容量，GPRS是10~40 Kbps，3G則可達384 Kbps。而目前想像得到的3G服務與應用多數只需要GPRS即可實現，但是現階段GPRS的成長仍然遲緩，還停留在學習曲線上。因此，行動通信業者有必要再開發出更多樣化、且更吸引用戶的增值服務，並配合更人性化與容易操作的終端設備，才能提高用戶使用的興趣，來熟悉無線上網、個人化資訊、傳輸文字及影像等非語音的增值服務。

國內3G執照競標的激烈程度遠超乎預期，這固然顯示我國行動通信業者對3G前景抱持充分的信心，但卻也不免令人憂心3G業者將如何吸收高昂的競標成本。而且，以台灣的市場規模，五張3G執照實在太多(相較於鄰近的日韓兩國，其3G執照僅發出三張)，台灣的3G業者必須面臨高昂的競標成本和激烈的業務競爭，其經營的困難度勢必相當高，也相當考驗業者經營的智慧。

在導入3G服務時，3G系統必須有相當的覆蓋範圍，才能提供有意義的服務。既有的2G/2.5G業者在建置3G網路初期，應該都會由三大都會區及主要連接道路開始做起，用戶一旦離開這些地區，即由既有的GSM/GPRS系統來提供服務，所以業者也必須要求手機設備廠商提供GSM/GPRS和UMTS雙模手機，以便3G服務的推廣與節省系統初期建設的投資成本。而且分屬不同製造廠商的UMTS系統與GSM/GPRS系統也必須具備網接(Interworking)功能，才能讓使用雙模手機的用戶可以真正無縫隙的(Seamless)漫遊於2G與3G系統之間。但

是，即使UMTS/GSM雙模手機及系統間的網接機制技術上都已經完全成熟，3G服務的完整覆蓋也是相當困難，因為3G在空中介面必須支援的傳輸速率遠高於目前的2G系統，所以3G高速服務的基地台電波覆蓋範圍將遠小於目前的GSM基地台，也就是說，要達到一定的電波覆蓋目標，3G所須的基地台數量將遠多於目前的GSM基地台。以現在國內GSM業者在基地台方面所面臨的民眾抗爭，可以想像在2G升級到3G的過程中所遭遇的最大阻力一定也是來自於民眾的抗爭所造成的基地台建設困難，所以3G基地台建置所須的時程一定會延後許多。以目前國內民眾對電磁波方面的認知情況，基地台建置一定是所有3G業者的最大夢靨。

此外，近年來無線區域網路(Wireless Local Area Network, WLAN)因為技術成熟，成本大幅降低，而且又具有網路建設簡單迅速的優點，使得WLAN近年來在歐、美及亞洲(包括日本、南韓及台灣)等地區蓬勃發展。目前WLAN的應用領域主要包括：醫療院所、製造業、學術界、機場、車站、大飯店、餐廳及網咖連鎖店等公共場所。由於其數據傳輸速率(IEEE 802.11b最高可達11 Mbps)遠高於3G，且通信費用低廉，因此深受各界好評。目前歐美日等國的3G業者、製造廠商及相關標準制定組織(包括3GPP及3GPP2)也已經正視此WLAN之市場競爭，並開始發展3G與WLAN的整合方案。將來行動通信用戶在室內及一些 Hot Spot 場所可以經由WLAN無線上網，移動到室外開闊地區即可自動切換到3G系統(WCDMA或cdma2000)。由此趨勢看來，3G與WLAN之間，除了彼此競爭以外，未來亦有可能是彼此相輔相成的夥伴關係。儘管諾基亞、易利信等廠商認為3G在2002年有機會看到電信業者導入市場，且在2003年可看到大量的商用市場出現，然而一般網路經營者對3G發展普遍多所保留，認為以日本NTT DoCoMo發展3G為例，及3G網路建構及內容提供均仍未成熟的情況下，3G最快須2004年以後才有機會開始大量流行。

6. 參考資料

- [1] Nortel Networks, Training Document: “UMTS System Description”
- [2] Nortel Networks, Training Document: “Advanced UMTS Radio Interface”
- [3] Ericsson Radio Systems AB, Training Document: “Ericsson WCDMA/UMTS System Overview”
- [4] Agilent Technologies, Inc. White Paper: “Introduction to UMTS-FDD (W-CDMA)”
- [5] Harri Holma and Antti Toskala: “WCDMA for UMTS” , JOHN WILEY & SONS, LTD, 2000
- [6] <http://www.itu.int/imt>, IMT-2000網站
- [7] <http://www.3gpp.org/>, 3GPP網站
- [8] http://www.Siemens-mobile.de/pages/umtscap/index_.htm, Siemens 網站
- [9] Alcatel, Training document: “UMTS Radio Access Network Dimensioning and Planning”
- [10] 3GPP TS 05.05, “Radio transmission and reception (Release 1999)”, 2000
- [11] 3GPP TS 25.104, “UTRA (BS) FDD; Radio transmission and Reception (Release 1999)”, 2000