

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

寬頻 CDMA 無線通訊收發機之功率控制技術

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2213 - E - 009 - 246

執行期間： 89 年 8 月 1 日 至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：王蒞君副教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：交通大學電信工程系

中 華 民 國 90 年 8 月 10 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

寬頻 CDMA 無線通訊收發機之功率控制技術

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-246

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：王蒞君副教授 交通大學電信工程系

計劃參與人員：張志文博士班學生等 交通大學電信工程系

一、中文摘要

本篇報告嘗試從功率控制的角度去觀察長擾亂碼(Long Scrambling Code)和短展頻碼(Walsh Code)並用時，在自關連(Auto-correlation)性能改善的效果，及其對整體功率控制機制的表現。本文發現除了明顯改善了訊號干擾雜訊比在多路徑衰減環境中的量測誤差外，上傳資料錯誤率及功率控制命令錯誤率也都得到助益。此外，我們從模擬分析結果發現功率控制命令的錯誤為擴散因子(Spreading Factor)，目標 E_b/N_o (Target E_b/N_o)，及都普勒頻率(Doppler Frequency)的函數，而其特性可接近一個白努力分佈(Bernoulli Distribution)。

關鍵詞：封閉迴路功率控制，Walsh 碼，擾亂碼，功率控制錯誤。

Abstract

In this paper, we demonstrate the effects of combination of long scrambling code and short Walsh code on the close-loop power control scheme. Besides the obvious improvements on SINR measurement over frequency-selective fading environment, using the combination of long scrambling code and short Walsh code improves the up-link data error rate, and power control command error. The computer simulation results show that the power control error is a function of spreading factor, target E_b/N_o and Doppler frequency. Furthermore, the power control command error can be characterized by a Bernoulli distribution, with a parameter provided by our results.

Keywords: Close-Loop Power Control, Walsh code, Scrambling Code, Power Control Error.

二、緣由與目的

寬頻分碼多工存取處理(W-CDMA)在第三代數位蜂巢式行動通訊的標準中，展示出它在無線電接取的優勢及未來發展的強大潛力。這一代訊的行動通時間的共用，使得干擾(Interference)成為系統容量的最大影響因素，顯而易見的例子，就是所謂的遠近效應(Near-Far Effect)，在這個問題上，功率控制(Power Control)的技術扮演了舉足輕重的角色，因為有效率的功率控制(Power Control)是第三代數位蜂巢式行動通訊中增加系統容量重要而不可缺少的技術之一。

對於一個以訊號干擾雜訊比(SINR Ratio)為基礎的功率控制演算法而言，量測訊號干擾雜訊比的準確性著實影響了功率控制的表現。我們曉得第三代行動通訊標準中所使用的展頻碼為 Walsh 碼(Walsh code)，然而，因為 Walsh 碼的自關連(Auto-correlation)性質在多路徑環境下並不良好，因此會在多路徑衰減(Multipath Fading Channel)通道環境中，造成量測訊號干擾雜訊比的誤差，對於這個問題，本計劃探討藉由長擾亂碼和 Walsh 碼(短碼)的結合，來改善多路徑對 Walsh 碼的不良影響。我們認為結合長擾亂碼和 Walsh 碼，雖然輕微的減損了 Walsh 互關連的性質，卻可以明顯改善 Walsh 碼自關連性質表

現，這麼一來，在多路徑衰減環境中的訊號干擾雜訊比量測準確性便可以大大的提高，如此，更進一步的減少了功率控制命令的錯誤機率。

來自於訊號干擾雜訊比量測誤差而產生的功率控制誤差通常趨近於對數常態分佈(Log Normal Distribution)[1]。然而這樣的趨近方式，雖然可以說明功率控制誤差在環境中的統計特性，卻不能實際表現出真正的功率控制“命令”的錯誤，也就是說，功率控制誤差並不能單純明顯的說明功率控制命令的錯誤。因為在訊號干擾雜訊量測值的誤差影響下，功率控制命令仍可能是正確的。反之，即使有很正確的 SINR 量測，不當的目標 E_b/N_o 設定也可能造成功率控制命令的錯誤。因此，我們認為，功率控制的錯誤不能單純的以訊號干擾雜訊比量測誤差所趨近的對數常態分佈(Log Normal Distribution)來模擬。根據我們的電腦模擬所觀察到的結果顯示，除了量測誤差，功率控制錯誤還是目標訊號能量雜訊密度比(Target Eb/No)，擴散因子(Spreading Factor)，都普卜頻率(Doppler Frequency)的函數。

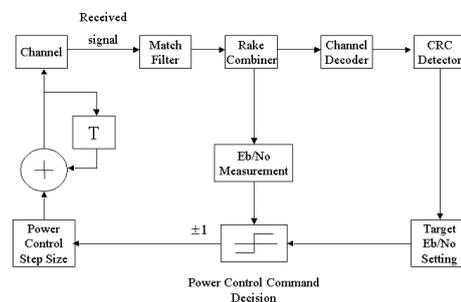
本次計劃，以電腦模擬分析的方式來顯示結合長擾亂碼和短展頻碼(Walsh code)在多路徑傳輸的好處，以及它在功率控制表現上的影響，並且也找出功率控制命令錯誤的統計特性。

三、系統模型

(一)功率控制模型

功率控制模型大致可分為開放式迴路功率控制(Open Loop Power Control, OLPC)，及封閉式迴路功率控制(Closed Loop Power Control, CLPC)。以上傳為例，前者是依據移動終端(Mobile Terminal)所量測到來自於基地台(Base Station)的訊號干擾雜訊比，自行決定發送功率的大小。這種機制只能克服大規模衰減(Large Scale Fading)；後者則是基地台(Base Station)依據所量測到來自於移動終端

(Mobile Terminal)的訊號干擾雜訊比與目標值相比，再來決定手機發送功率的大小，這樣的方法可以根據通道環境的時變性來適當的調整功率發送，因此封閉迴路功率控制能夠克服大規模衰減及小規模衰減(Small Scale Fading)。計劃中所使用的是屬於封閉式迴路功率控制，如圖一。



圖一 封閉迴路功率控制。

(二)通道環境模型

多路徑通道環境的數學模型可以表示成

$$h(t) = \sum_l r_l u(t - \tau_l) e^{j\phi_l} \quad (1)$$

其中 $h(t)$ 是通道的脈衝響應 (Impulse Response)， r_l 是各路徑的強度為瑞雷分佈 (Rayleigh Distribution)。路徑延遲， τ_l 為均勻分佈 [4]。另外相位移 ϕ_l 也是在 $[-\pi, \pi]$ 間之均勻分佈。

計劃中，路徑強度和相位移的乘積 $r_l e^{j\phi_l}$ 由 Jake's 模型 (Jake's Model) 產生，路徑延遲則依照 COST259 的簡化模型 (Reduced Complexity COST259 Model) 來產生 [4]。

(三)訊號干擾雜訊比(SINR)的估測

訊號功率的估測數學表示法如下：

$$\begin{aligned} P_{S_i} &= \frac{1}{T} \sum_l \int_0^T |r(t)g(t - \tau_l)|^2 dt \\ &= \sum_l r_l^2 \frac{E_b}{T} \\ &= \frac{E_b}{T} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 P_{S_i} 指的是第 i 個用戶在基地台所量測的功率， $r(t)$ 是基地台接收到來自於移動終端的訊號， $g(t)$ 則是展頻碼的波型函數 (Waveform Function)， E_b 則是訊號能量， T 是符號週期。有了訊號功率的量測值

後，訊號干擾雜訊比即可表示成

$$SINR = \frac{P_{S_i}}{\sum_{j \neq i} P_{S_j} + P_N} \quad (3)$$

其中 P_N 是雜訊功率。

四、結果與討論

為了觀察長擾亂碼對短碼(Walsh Code)自關連性質的影響，我們將問題簡化成單一細胞單一用戶的多路徑衰減通道環境。且設計當用戶在細胞邊緣時之 E_b/N_o 為 5dB，模擬的參數如表一。

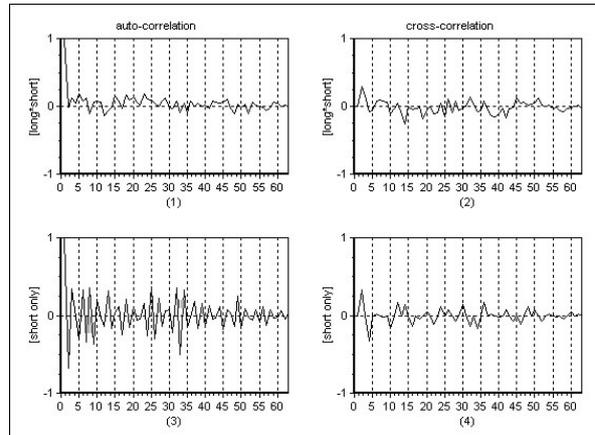
Chip Rate	3.84Mcps
Data Rate	1.5Kbps or 6Kbps
Modulation	BPSK
Delay Diversity Order	2
Power control period	0.667msec
Carrier Frequency	1.8GHz
Power Control Step	1dB
Number of Multipaths	5

表一. 模擬參數.

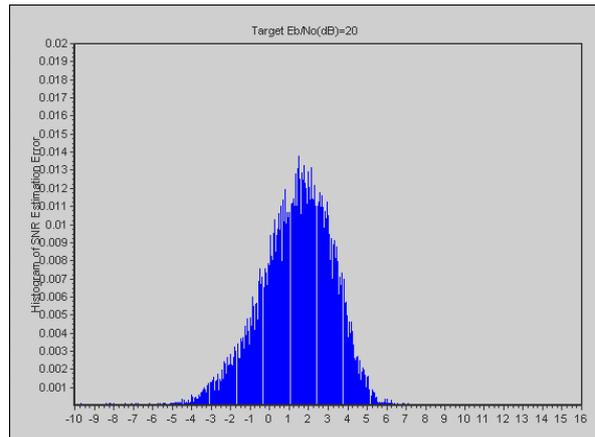
為了表現長擾亂碼對短碼 Walsh 碼在自關連性質扮演的重要角色，圖二很清楚的說明了在長碼和短碼並用時可以在自關連特性上得到良好的改善，在圖二(3)可看出 Walsh 碼的自關連在多路徑環徑環境下無法趨近於零，但其互關連較不受多路徑的影響仍能趨近於零。結合長擾亂碼和短 Walsh 碼之後圖二(1)及圖二(2)顯示在多路徑干擾之情況下，其自關連和互關連皆能趨近於零。這樣的改善情形在功率控制誤差上也能一窺究竟，圖三為在功率控制下沒有長碼時的訊號干擾雜訊比量測誤差，而圖四則是長碼和短碼並用時的量測誤差情形。由圖三及圖四可以清楚出在長碼的幫助之下，訊號干擾雜訊比的量測差可以適度的下降。

另外一方面，從功率控制命令錯誤的表現，也能夠看到長碼和短碼並用時的優勢。我們定義功率控制命令錯誤(Power Control Command Error, PCCE)為

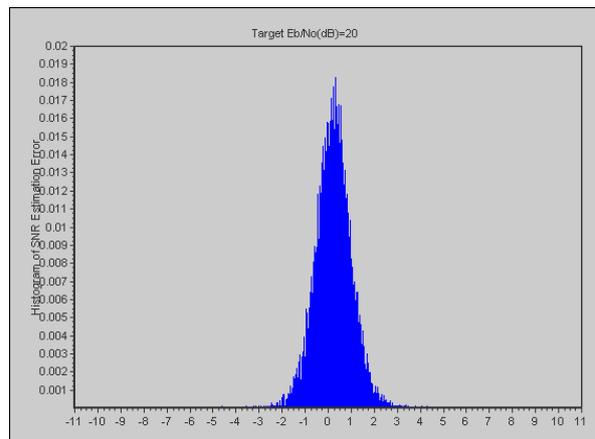
$$PCCE \equiv \left\{ \begin{array}{l} \text{sgn}(SINR_{measure} - SINR_{target}) \neq \\ \text{sgn}(SINR_{actual} - SINR_{target}) \end{array} \right\} \quad (4)$$



圖二 長碼和短碼在自關連特性的改善。

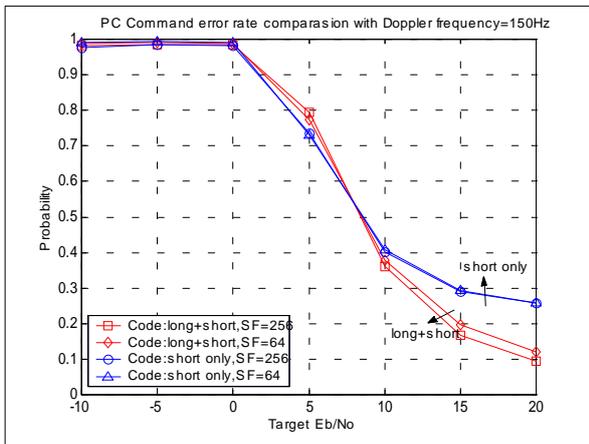


圖三 只有短碼時在功率控制下的訊號干擾雜訊比的量測誤差。擴散因子為 256，目標 E_b/N_o 為 20dB，都普勒頻率為 150Hz。

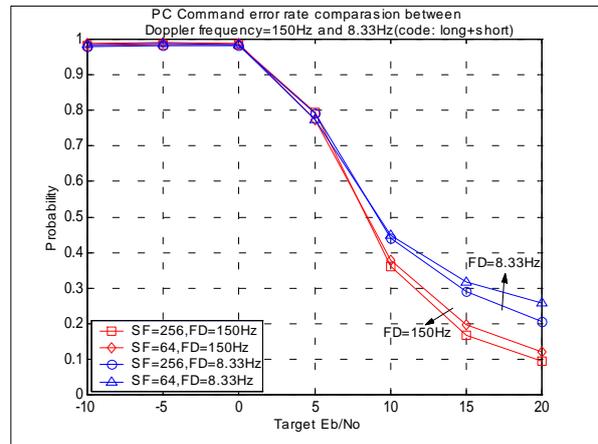


圖四 長碼和短碼並用時在功率控制下的訊號干擾雜訊比的量測誤差。擴散因子為 256，目標 E_b/N_o 為 20dB，都普勒頻率為 150Hz。

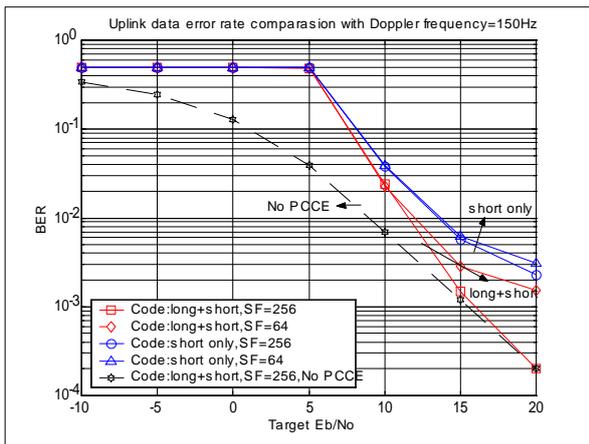
其中 sgn 為符號函數， $SINR_{measure}$ 為量測值， $SINR_{actual}$ 為真實值。如圖五所示，無論是擴散因子為 256 或 64 的情況下結合長



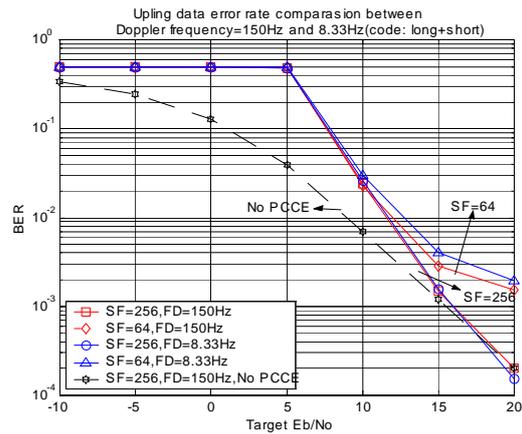
圖五 功率控制命令錯誤機率對目標 E_b / N_o 的變化情形。



圖七 都普勒頻率為 150Hz 及 8.33Hz 在相同的環境中，功率控制命令錯誤機率的比較。



圖六 功率控制下之上傳資料錯誤率。



圖八 都普勒頻率為 150Hz 及 8.33Hz 在相同的環境中，上傳資料錯誤率的比較。

碼和短碼都可以得到較低的錯誤率。從圖五中，我們也可以看到在功率控制的機制下，較高的目標 E_b / N_o 的錯誤率較小，那是因為當我們的訊號強度較強時，因雜訊而產生的訊號干擾雜訊比的量測誤差相對的比較小，如此使得功率控制錯誤發生機率下降。圖六為圖五的環境下所得到的上傳資料錯誤率，可以看到功率控制命令的錯誤在目標 E_b / N_o 為 5dB 時，使得上傳資料錯誤率從 3.94×10^{-2} 增加到 0.49 時，同時也可以看到長碼對於短碼的幫助，在目標 E_b / N_o 為 15dB 時，可讓上傳資料錯誤率從 5.8×10^{-3} 降到 1.5×10^{-3} 。

圖七是同樣的環境下都普勒頻率分別為 150Hz，及 8.33Hz 的機率錯誤情形。從圖中我們可以看到在通道變化較慢時，也就是較低的都普勒頻率下功率控制命令錯

誤的機率較大。因為在變化較慢的通道環境中，功率控制目標較 E_b / N_o ，因此一點點的量測誤差都可能造成功率控制命令的錯誤。這樣的誤差可以表示成

$$\begin{aligned} & \text{sgn}(SINR_{actual} + \nu - SINR_{target}) \\ & \neq \text{sgn}(SINR_{actual} - SINR_{target}) \end{aligned} \quad (5)$$

其中 ν 為量測誤差。圖八同樣也能看到在低都普勒頻率時因為功率命令錯誤所造成的影響，使得在擴散因子為 64，比較 $F_d = 8.33Hz$ 和 $F_d = 150Hz$ ，上傳資料錯誤率為 1.5×10^{-3} 時 $F_d = 150Hz$ 之目標 E_b / N_o 為 17.5dB 比 $F_d = 8.33Hz$ 之目標 E_b / N_o 減少了將近 2.5dB。

五、結論

綜合上述的結果和討論我們可以發現長碼的使用可以明顯的改善系統表現，特別是在有功率機制下，不論是上傳資料錯誤率或者是功率控制命令誤差及訊號干擾雜訊比的量測誤差都有較佳的表現。除此之外，我們發現功率控制命令的錯誤機率應是擴散因子，都普勒頻率，及目標 E_b/N_o 的函數，並且是一個白努力分佈 (Bernoulli Distribution.)，其參數可由本計劃中所提供之結果(如圖五及圖七)來決定。

六、計劃成果自評

本計劃在研究的過程中，由電腦模擬所觀察到的結果發現長碼和短碼的並用對於功率控制機制的重要性，並且對於功率控制命令錯誤也有顯著的影響。我們也用模擬證實功率控制誤差的方式應修正為(4)式，常見的是用對數正規來逼近，不能完全代表功率控制命令的錯誤。因此本計劃對於找出功率控制錯誤機率模型可說是跨出重要的一步。

七、參考資料

- [1] Ning Kong, Laurence B.Milstein “Error Probability of Multicell CDMA Over Frequency Selective Fading Channels with Power Control Error”, IEEE TRANS. On ommunication. Vol.47, No.4, April 1999.
- [2] Ayman F. Naguib, “Power Control in Wireless CDMA: Performance with Cell Site Antenna Arrayš. IEEE 0-7803-2509-5/95.
- [3] Andrea Abrardo and David Sennati, “On the Analytical Evaluation of Closed-Loop Power Control Error Statistics in DS-CDMA Cellular Systems’ IEEE TRANS. On VT, Vol.49, No.6, Nov2000, pp2071.
- [4] 3G TS 25.101 V3.2.2(2000-04), Release 1999.