

# 運用部份子載波群組結合壓伸技術以降低 WiMAX-OFDM 訊號峰對均值功率比

## PAPR Reduction by Using Partial Subcarrier Groups Incorporate Companding Technique in The WiMAX-OFDM System

李金椿、蔡哲瑋

大葉大學電機工程研究所

彰化縣彰化縣大村鄉山腳路 112 號

cclee42@mail.dyu.edu.tw R9703063@mail.dyu.edu.tw

### 摘要

本文針對WiMAX-OFDM訊號高峰對均值功率比(Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)的問題，探討以部份子載波群組(Partial Subcarrier Groups)傳輸結合壓伸(Companding)技術降低峰對均值功率比，並以模擬方式評估其效能，其中評估標準根據 PAPR 超過門檻值的機率，即互補累積分佈函數(Complementary cumulative distribution function, CCDF)為基礎。本文考慮部份子載波群組傳輸的相位因子 (weighting factors)、子區塊(subblocks)三種訊號擾動方式分別為Interleaved、Adjacent、Pseudo-random及壓縮轉換函數( $\mu$ -law)壓縮參數，評估其降低WiMAX-OFDM系統PAPR的效能。根據系統模擬，我們發現當WiMAX-OFDM系統子載波數分別為72、360、720時，所考慮的部份子載波群組傳輸子區塊三種訊號擾動方式，對不同的子載波數所模擬的結果顯示，子區塊Pseudo-random訊號擾動方式性能最佳，至少可降低峰對均值比分別為2.4dB、4 dB、5.6 dB。接著我們提出在部份子載波群組傳輸之後結合壓縮轉換函數( $\mu$ -law)分別以5、50、100參數進行模擬實驗，結果顯示以子區塊Pseudo-random訊號擾動方式結合壓縮轉換函數的WiMAX-OFDM系統PAPR值至少可以分別再降低0.5 dB並優於其它兩種子區塊訊號擾動結合壓縮轉換函數。在訊號接收端能量效益(位元錯誤率)評估以位元錯誤率為 $10^{-3}$ 為標準時，考慮三種不同數量的子載波、部份子載波群組傳輸參數、壓縮轉換函數，模擬結果顯示能量效益造成的損失在0.1dB到3dB之間。綜合所有模擬結果驗證了我們所提出的方法確實可以有效降低WiMAX-OFDM系統高峰對均值功率比的問題。

**關鍵詞：**峰對均值功率比、部份序列傳輸、壓伸技術、互補累積分佈函數

### 1.前言

在WiMAX無線系統中，傳輸頻帶增大易受衰變通道影響，隨之產生頻率選擇性衰落與符號間干擾[1]。正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是現今常用的一種高速傳輸技術，此技術有別於一般無線通訊只使用單一載波傳送訊息資料，而是使用多個相互正交子載波來傳輸訊息資料[2]，對於衰變通道來說，因為符號傳輸率較低具有降低符號間干擾及高頻寬使用效率等優點。目前OFDM傳輸技術已成為許多無線傳輸的規範，例如IEEE 802.16eWiMAX系統、IEEE 802.11a Wireless Local Area Networks (WLAN)等[3]。

#### 1.1 研究目的

對於WiMAX-OFDM系統中一個具有高尖峰功率的波形則必須在高功率擴大器的線性區域中，降低到以平均功率來傳送訊號，為了避免高功率放大器的非線性效應，可利用「輸入後退」(Input Backoff; IBO)與「輸出後退」(Output Backoff)技術，但是一個高後退值降低了高功率放大器效率，和限制了行

動應用中的電池壽命，其訊號覆蓋的範圍也縮小了。因此提出部份子載波群組(Partial Subcarrier Groups)傳輸結合壓伸(Companding)技術，經文獻[4]探討後，發現其系統效能優於利用「輸入後退」(Input Backoff; IBO)與「輸出後退」(Outout Backoff)之效能。然而，WiMAX 無線系統屬多載波系統，多載波系統訊號由多個子載波通道訊號加成而得，其子載波通道訊號可視為隨機變數，因此可能出現比平均訊號準位(level)要高出許多的瞬間峰值(peak)，造成峰值因素(Crest factor)或 Peak-to-Average Power Ratio(PAPR)情況出現，其中峰對均值功率比為發射訊號峰值功率對平均功率的比值[5]。

因為 WiMAX-OFDM 系統主要缺點為具有高峰對均值功率比特性，當訊號傳輸至通道時，系統功率放大器(Power Amplifier)必須操作在一極大的線性區間內，一但超出線性區間範圍時，訊號就會引起失真現象，干擾鄰近通道進而降低系統效能[6]。近來學者們研究提出許多降低 OFDM 系統的高峰對均值功率比技術，例如：削減法(clipping)[8]、編碼法(block coding)[7,8]、部分序列傳輸法(partial transmit sequences, PTS)[9,10]、選擇映射法(selective mapping, SLM)[11,12]、非線性壓伸傳輸(nonlinear companding transform)[13,14,15]等。其中削減法雖是最簡單的技術，唯此方法會造成訊號頻寬擴散，產生溢頻效應(Out-of-Band)，在接收端無法回復原始訊號。編碼法雖然具有錯誤更正能力以及執行簡便的優點，但會造成碼率下降且受系統子載波大小限制。至於部份序列傳輸法與選擇映射法的缺點是增加了系統 IFFT 轉換方塊數，且碼率也略顯下降。本文提出部份子載波群組(Partial Subcarrier Groups)傳輸、壓伸(Companding)技術具有不受子載波大小限制、計算複雜度低、碼率不變等優點，因此利用部份子載波群組傳輸結合壓伸技術來改善 WiMAX-OFDM 系統峰對均值功率比的方法，藉此技術用來降低 WiMAX-OFDM 多載波系統所存在的主要缺點。

## 1.2 研究方法

本文首先探討 WiMAX-OFDM 系統的訊號統計分佈，其中當載波數大於等於 64 時，同向(In-phase)及正交(Quadrature)訊號分量均呈現高斯分佈，而訊號的振幅則呈現瑞雷(Rayleigh)分佈。其次，當載波數越大，訊號振幅分佈的範圍就越寬，意謂著小訊號振幅與大訊號振幅相差越大，造成所謂的高峰對均值功率比的問題。部份序列傳輸的目的就是在傳送端將子載波數劃分成 4 個子區塊來降低每個子區塊，子載波數的總和使 PAPR 值能夠降低。

接著將探討包括部份子載波群組(Partial Subcarrier Groups)傳輸、壓縮轉換函數  $\mu$ -law 這二種對於降低 WiMAX-OFDM 系統峰對均值功率比的改善效能。首先在傳送端利用部份子載波群組傳輸三種子區塊訊號擾動方式來降低高峰對均值比再使用壓縮轉換函數將小訊號振幅放大、大訊號振幅縮小後，縮短經由部份子載波群組傳輸訊號振幅分佈範圍以達到降低峰對均值功率比目的。當訊號傳送至通道，受通道雜訊影響，在接收端加入冗餘資訊 (Side Information) 及做伸展動作以還原被壓縮的振幅動態範圍時，因提高在接收端受到壓抑的大訊號振幅外，也會將其附帶的雜訊放大，造成系統效能下降。因此本文將以系統模擬方式，探討部份子載波群組傳輸結合壓縮轉換函數對於降低峰對均值功率比效能，與其所造成的系統能量效益影響，以供將來系統研發時參考之依據。

本文共分為五部份，第一為前言，說明本文的由來與動機；第二為 WiMAX-OFDM 訊號模型與互補累積分佈函數；第三為部份子載波群組傳輸結合壓伸訊號與雜訊影響；第四為系統效能模擬；第五為結論。

## 2. WiMAX-OFDM 訊號模型與互補累積分佈函數

本節首先探討 WiMAX -OFDM 系統的訊號統計分佈，其次定義峰對均值功率比與互補累積分佈函數 (CCDF)。

### 2.1 WiMAX-OFDM 系統訊號

WiMAX-OFDM系統傳輸端，假設其輸入位元 $[b_1, b_2, \dots, b_N]$ 經phase-shift-keying (QPSK)調變方式後，再藉由串/並轉換器劃分成U路互相平行之次切片流，如圖 1，此時U個子載波表示為

$$S_N = [S_1^r + jS_1^i, S_2^r + jS_2^i, \dots, S_U^r + jS_U^i]^T \quad (1)$$

從時域來看，WiMAX-OFDM 訊號是可視為 U 個子載波加總而成，其振幅的相位由傳送在各子載波上的資料符元所決定，對於一個子載波數為 U 之 WiMAX-OFDM 訊號，其複數型態基頻訊號可表示為

$$s_u = x_u + jy_u = \frac{1}{\sqrt{U}} \sum_{k=0}^{U-1} S_k e^{j2\pi(\frac{k}{T_s})t}, u \in [1, 2, \dots, U] \quad (2)$$

其中 $x_u$ 和 $y_u$ 為訊號之同向(In-phase)與正交(Quadrature)分量， $S_k$ 為第k個子載波所傳送的複數資料， $T_s$ 為符元區間。而極座標(polar coordinates)訊號表示如下

$$s_u = x_u + jy_u = \rho_u e^{j\phi_u} \quad (3)$$

其中

$$\rho_u \equiv |s_u| = \sqrt{x_u^2 + y_u^2}$$

為WiMAX-OFDM複數基頻訊號第u個取樣之振幅， $\phi_u = \tan^{-1}(y_u/x_u)$ 為相位。其WiMAX-OFDM帶通訊號可表示為

$$\tilde{s}(t) = \Re\{\rho(t)e^{j(2\pi f_c t + \phi(t))}\} \quad (4)$$

$f_c$ 為載波中心頻率， $\rho(t)$ 和 $\phi(t)$ 分別代表合成訊號之振幅與相位。

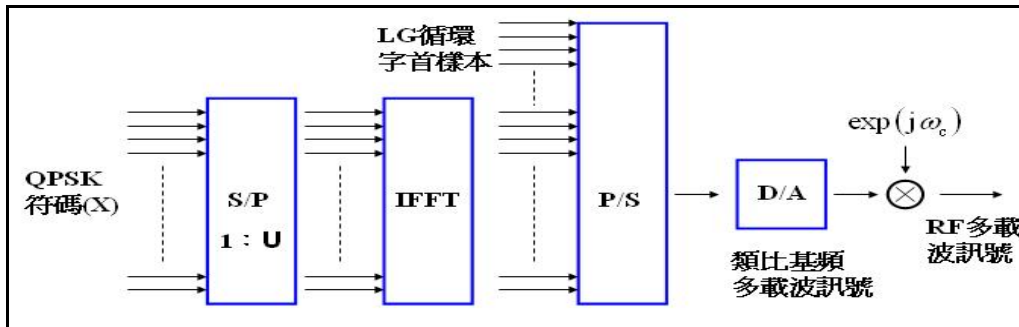


圖 1 WiMAX-OFDM 傳送端架構

假設傳輸的資料符號為獨立同分佈(i.i.d)，經過串/並轉換器劃分到共U個子載波上，訊號 $s_u$ 之同向(In-phase) $x_u$ 與正交(Quadrature) $y_u$ 為不相關且獨立，當子載波數目U夠大時，根據中央極限定理(central limit theorem)，其訊號 $x_u$ 與 $y_u$ 分量之機率密度函數(pdf)近似為 $N(0, \sigma_s^2)$ 之高斯分佈，而整個WiMAX-OFDM訊號振幅 $\rho_u$ 之機率密度函數則呈現瑞雷(Rayleigh)分佈。

峰值功率之定義為當弦波訊號振幅最大時的功率，均值功率則為在一符元區間內之平均功率大小。WiMAX-OFDM 基頻訊號峰值對均值功率比( $\lambda$ )定義為基頻訊號之峰值功率大小與均值功率大小的比值，其定義如下：

$$\lambda = 10 \log_{10} \frac{\max_{0 \leq t \leq T_s} |\tilde{s}(t)|^2}{P_{av}} \text{ dB} \quad (5)$$

## 2.2 互補累積分佈函數(CCDF)

WiMAX-OFDM 峰值對均值功率比(PAPR)為一 Rayleigh 分佈之隨機變數，PAPR 低於某一門檻值， $z$ ，的機率為累積分佈函數(cumulative distribution function)簡稱為 CDF

$$P(\text{PAPR} \leq z) = (F(z))^U = (1 - \exp(-z))^U. \quad (6)$$

為了估測降低峰對均值功率比技術之性能指標，我們將採用 PAPR 超過某一門檻值， $z$ ，的機率，定義互補累積分佈函數(Complementary cumulative distribution function)，做為評估 WiMAX-OFDM 訊號 PAPR 之標準

$$\Pr\{\text{PAPR} \geq \text{PAPR}_0\} = 1 - (1 - \exp(-\text{PAPR}_0))^U \quad (7)$$

## 3. 部份子載波群組傳輸結合壓伸訊號與雜訊影響

### 3.1 部份子載波群組傳輸

部份子載波群組傳輸是將輸入的信號切割成數個獨立子區塊(Sub-block)並依訊號擾動的方式分成三種 (a) Interleaved (b) Adjacent (c) Pseudo-random 如圖 2。每個子區塊都是原始輸入信號的一部份，然後將這些子區塊乘上不同的相位因子，最後能產生最小峰均值功率比的信號，而這些子區塊做完 IFFT 後相加的結果可以還原輸入訊號並傳送出去，因為每個獨立子區塊有部份為零，只需要較短的 IFFT，這樣可以降低計算複雜度，圖 3 為部份傳送序列的系統架構圖。

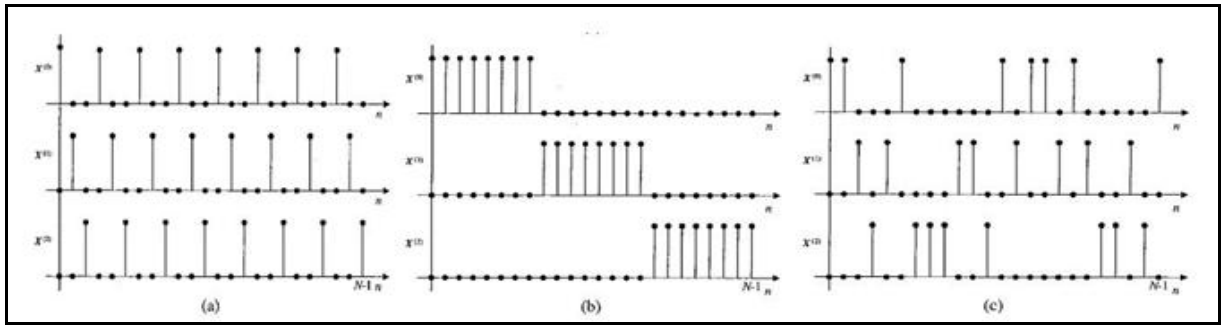


圖 2 三種不同子區塊訊號擾動 (a) Interleaved (b) Adjacent (c) Pseudo-random

依圖3所示我們利用部份子載波群組傳輸技術將原本的輸入資料區塊分成數個相同長度的次區塊 (subblocks)的組合來最小化PAPR。可以由圖3得知，我們將輸入的資料區塊為  $\mathbf{X} = [\mathbf{X}_0 \mathbf{X}_1 \dots \mathbf{X}_{N-1}]^T$ ，然後將 $\mathbf{X}$ 分成 $M$ 個次區塊  $\mathbf{X}_m = [\mathbf{X}_0^m \mathbf{X}_1^m \dots \mathbf{X}_{N-1}^m]^T$ ，其中  $m = 1, 2, \dots, M$ ，並且滿足下面方程式

$$\mathbf{X} = \sum_{m=1}^M \mathbf{X}_m \quad (8)$$

其中當  $l \neq k$  時， $\mathbf{X}_l^l \mathbf{X}_k^k = 0$ 。則最佳的  $M$  區塊則可表示為

$$\mathbf{X}' = \sum_{m=1}^M w_f \mathbf{X}_m \quad (9)$$

其中  $\{w_f\}$  為相位因子，為了簡單不使用乘法，則可令  $w \in \{\pm 1, \pm j\}$ 。

在時域上則可表示為

$$\chi' = \text{IFFT}\{X'\} = \text{IFFT}\left\{\sum_{m=1}^M w_f X_m\right\} = \sum_{m=1}^M b_m \text{IFFT}\{X_m\} = \sum_{m=1}^M w_f \chi_m \quad (10)$$

其中  $\chi_m$  為  $X_m$  的反傅立葉轉換，稱為分部傳送序列。最後選擇相位因子  $\{w_f\}$  來最小化  $\chi'$  的峰均值功率比，如圖 4 所示。

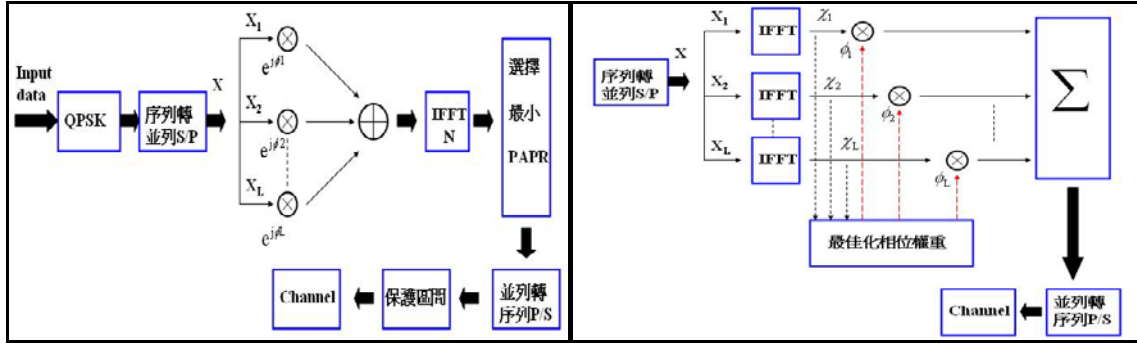


圖 3 部份子載波群組傳輸架構圖

圖 4 部份子載波群組傳輸相位權重最佳化架構圖

### 3.2 壓縮轉換函數

$\mu$ -law function，其最初用來語音壓縮技術，在話音通信中，因放大器的線性限制，在發送時對語音音量域進行壓縮，在接送時又擴展其音量域的一種方法。 $\mu$ -law 方法主要觀念為在 OFDM 系統中，在時域上將較大信號壓縮或保持不變，將較小的信號加以放大，取得降低 PAPR 的效果。其  $\mu$ -law 特性曲線如圖 5 所示。由此特性曲線顯示  $\mu$  值越大信號動態範圍越大壓縮及放大比例越大。

根據 WiMAX-OFDM 系統訊號振幅呈現分佈，選擇一特定的函數  $f(x)$  稱之為壓縮轉換函數 (Compress transfer function) 來壓縮訊號振幅動態範圍，將大訊號振幅縮小而小訊號振幅放大，進而有效地降低 PAPR。在接收端接收到訊號時，必須乘上一反壓縮函數即為伸展函數  $f^{-1}(x)$ ，伸展還原被壓縮的振幅動態範圍。在訊號的壓縮與伸展過程中，通道雜訊對於壓伸後訊號會產生不利的影響，將在本節中一一加以說明。

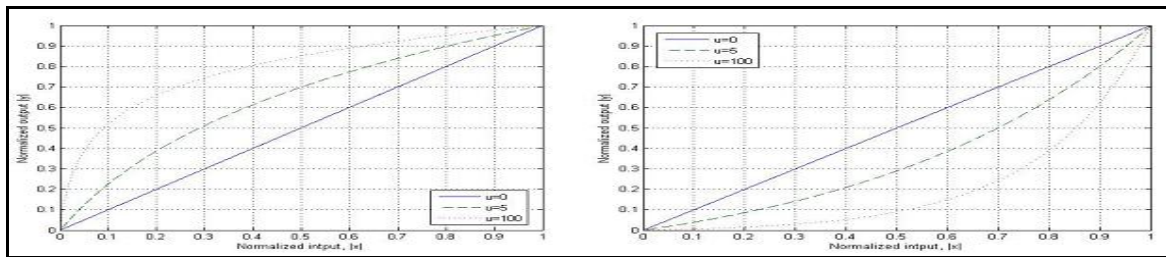


圖 5 不同  $\mu$  值壓縮係數與伸展係數

首先定義  $A_{\max}^{\rho}$  表示在每次傳送出去的 WiMAX-OFDM 系統訊號振幅中最大的振幅。 $A_{\text{av}}^{\rho}$  表示為每次送出的 WiMAX-OFDM 系統振幅的振幅平均值。 $A_{\max}^{\text{PA}}$  則代表功率放大器不操作在非線性區間所能容忍的最大輸入振幅值。振幅  $\rho_u$  經由壓縮轉換函數運算後產生之新振幅值  $\beta_u$  及系統參數間關係特性表示如下

$$\beta_u = f(\sqrt{x_u^2 + y_u^2}) \geq 0 \quad (11)$$

$$s'_u = x'_u + jy'_u = \beta_u e^{j\theta_u} = f(\sqrt{x_u^2 + y_u^2}) * [(x_u + jy_u) / \sqrt{x_u^2 + y_u^2}]$$

其中限制條件為

$$\begin{cases} \max(\sqrt{x_u^2 + y_u^2}) = A_{\max}^{\rho} \\ \max(\beta_u) \in (0, A_{\max}^{PA}] \end{cases} \quad (12)$$

在訊號接收端必須進行伸展(Expanding)動作以還原訊號振幅動態範圍，那就是必須乘上壓縮轉換函數之反函數，其運算數學式表示如下

$$\begin{aligned} \hat{\rho}_u &= f^{-1}(\hat{\beta}_u) = f^{-1}(\sqrt{\hat{x}_u'^2 + \hat{y}_u'^2}) \\ \hat{s}_u &= \hat{x}_u + j\hat{y}_u = \hat{\rho}_u [\cos(\hat{\phi}_u) + j\sin(\hat{\phi}_u)] \\ &= f^{-1}(\sqrt{\hat{x}_u'^2 + \hat{y}_u'^2}) * [(\hat{x}_u' + j\hat{y}_u') / \sqrt{\hat{x}_u'^2 + \hat{y}_u'^2}] \end{aligned} \quad (13)$$

由於整個壓伸(Companding)技術的核心為利用壓縮轉換函數壓縮訊號振幅動態範圍，因此接下來針對壓縮轉換函數及其伸展函數加以說明。 $f_1(\rho)$ 代表 $\mu$ -law的壓縮轉換函數，其函數表示如下

$$\beta = f_1(\rho) = [A_{\max}^{PA} \ln(1 + \mu \frac{\rho}{A_{\max}^{\rho}})] / \ln(1 + \mu) \quad (14)$$

此函數為壓伸技術降低峰對均值功率比最常用的方式，其中 $\mu$ 是壓縮比例(compressing ratio)，其伸展函數則表示如下

$$\hat{\rho} = f_1^{-1}(\hat{\beta}) = (\frac{A_{\max}^{\rho}}{\mu}) * (\exp(\beta \log(1 + \mu) / A_{\max}^{PA}) - 1) \quad (15)$$

### 3.3 雜訊影響

當訊號發射經高斯(AWGN)通道時，在接收端接收到的訊息除了經壓縮轉換函數計算後的訊號外，還有來自通道的雜訊，以(14)式表示

$$r_u = t_u + w_u \quad (16)$$

其中 $t_u$ 為傳輸訊號、 $w_u$ 為雜訊。當接收端做伸展動作還原訊號振幅時，可以表示為

$$\tilde{s} = f^{-1}(r_u) = \hat{s}_u + f^{-1}(w_u) \quad (17)$$

其中 $f^{-1}(w_u)$ 將會對系統能量效能造成影響。如圖 6 來表示，當傳輸端使用的壓縮轉換函數為了減少大訊號振幅與小訊號振幅之間的差距，縮短訊號振幅動態範圍以降低峰對均值功率比，其中大訊號振幅被大幅抑制，但在接收端接收訊號時，被大幅抑制的訊號加上了通道雜訊，乘上反函數做伸展振幅範圍後，除了將原本抑制住的訊號還原外，也把雜訊放大，造成系統能量效能的下降。

所以使用壓伸技術降低峰對均值功率比，必須要同時考量具有較佳的 CCDF 性能指標與對系統能量效益影響較小的壓縮方法。最後，本文將進行針對 WiMAX-OFDM 系統在不同的子載波數目下，模擬部份序列傳輸結合壓縮轉換函數的 CCDF 性能指標與系統能量效益。

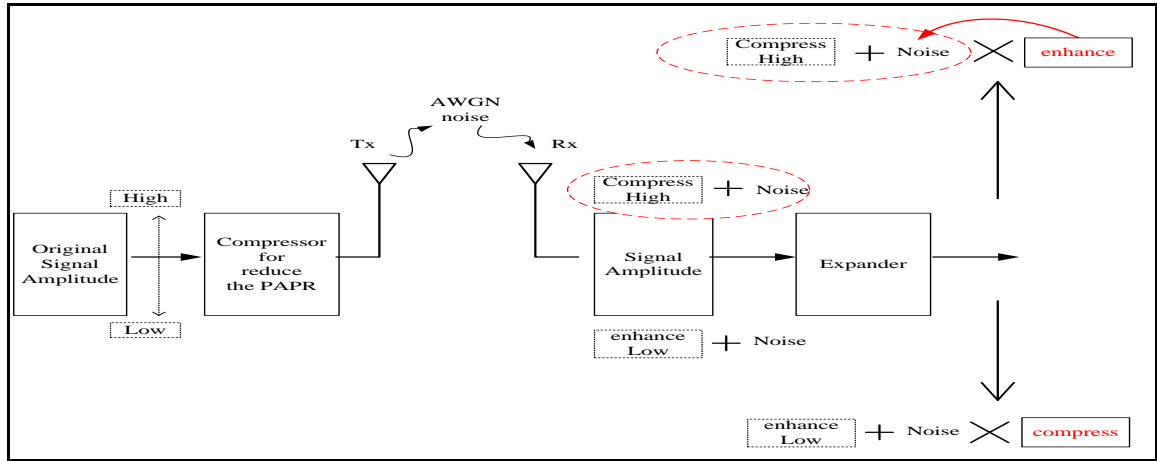


圖 6 通道雜訊影響系統效能示意圖

#### 4.系統效能模擬

為了驗證部份子載波群組傳輸子區塊的三種擾動方式結合壓縮轉換函數所得到的 CCDF 性能指標與系統能量效益，本文使用 Matlab 模擬軟體，其模擬流程、系統參數與結果分別說明如下。

##### 4.1 系統模擬架構與系統參數

WiMAX-OFDM 系統輸入資料位元經部份子載波群組傳輸三種不同的子區塊擾動方式、相位因子 (weighting factors)  $WF=4$ ，計算出不同子載波峰對均值比再將其訊號乘上壓縮轉換函數後，並計算所得到的整體 CCDF 性能指標，其模擬流程顯示於圖 7。

設定 WiMAX-OFDM 系統參數如表 1，接下來模擬不同子載波數在不使用任何技術情況之下的 CCDF 性能，與模擬在不同子載波數下，使用部份子載波群組傳輸三種不同的子區塊擾動方式所達到的 CCDF 性能。

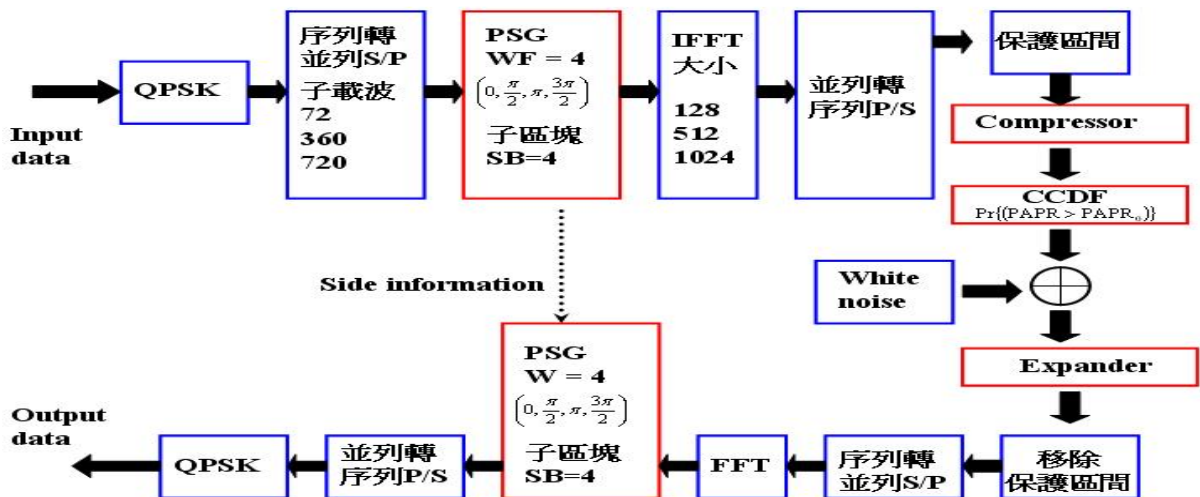


圖 7 WiMAX-OFDM 系統之 CCDF 性能模擬流程

表 1 WiMAX-OFDM 系統模擬參數

調變技術	QPSK 調變
通道環境	AWGN
位元傳輸率 ( $R_b$ )	100 bp <sub>s</sub>
子載波數 ( $U$ )	72、360、720
保護頻帶	44、92、184
相位因子 $WF = 4$	$\left(0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}\right)$
子區塊 (SB)	4
子區塊擾動方式	a. Interleaved b. Adjacent c. Pseudo-random
壓縮函數 ( $\mu$ )	5、50、100
IFFT 大小	128、512、1024

#### 4.2 WiMAX-OFDM 系統之 CCDF 模擬

首先模擬無部份子載波群組傳輸與壓伸技術前的系統，在不同子載波數下，其 CCDF 顯示於圖 8。從圖中可以發現出，當子載波數越大時，PAPR 就越大。達到 CCDF=10<sup>-3</sup> 時，系統子載波數為 72、360 與 720 之 PAPR 分別約為 6.9dB、9.5dB 及 12.1dB，所以當子載波數越低，PAPR 越低。

我們先選擇子載波數為 72 之 WiMAX-OFDM 系統，分別使用部份子載波群組傳輸中的子區塊三種擾動方式來降低峰對均值功率比，所計算出來的 CCDF 性能指標模擬，其模擬結果顯示於圖 9。當 CCDF 性能指標達到 10<sup>-3</sup> 時，原始訊號 PAPR 為 6.9dB；子區塊 Interleaved 擾動方法之 PAPR 為 5.9dB；子區塊 Adjacent 擾動方法之 PAPR 為 5.6dB；子區塊 Pseudo-random 擾動方法之 PAPR 為 4.5dB。

接著我們利用壓伸技術結合部份子載波群組傳輸，選擇子載波數為 72 之系統，進行應用部份子載波群組傳輸子區塊的三種擾動方式及壓縮轉換函數 ( $\mu$ ) 等於 5，模擬其 CCDF 性能指標。模擬結果顯示於圖 10，當達到 CCDF 性能指標為 10<sup>-3</sup> 之下，原始訊號 PAPR 為 6.9dB；子區塊 Interleaved 擾動結合壓縮轉換函數之峰對均值比為 5.5dB；子區塊 Adjacent 擾動結合壓縮轉換函數之峰對均值比為 5.2 dB；子區塊 Pseudo-random 擾動結合壓縮轉換函數之峰對均值比為 4dB；其中 Pseudo-random 擾動結合壓縮轉換函數具有最低的 PAPR；而子區塊 Interleaved 擾動結合壓縮轉換函數則具有最高的 PAPR。最後分別模擬子載波數 360 及 720 所得到的結果顯示 Pseudo-random 擾動結合壓縮轉換函數具有最低的 PAPR，我們將模擬的數值整理在表 2。

從表 2 發現我們所提出的部份子載波群組傳輸子區塊 Pseudo-random 訊號擾動結合壓縮轉換函數模擬結果與原始 WiMAX-OFDM 訊號的 PAPR 值做比較，依壓縮轉換函數係數的增加，降低了 PAPR 值 0.5dB 到 1.5dB，驗證了我們所提出的部份子載波群組傳輸子區塊 Pseudo-random 訊號擾動結合壓縮轉換函數大大的提升 WiMAX-OFDM 系統的傳輸性能。

本論文將焦點放在部份子載波群組傳輸結合壓伸技術上，從模擬部份子載波群組傳輸三種子區塊擾動方式並結合壓縮轉換函數所得到的 CCDF 性能指標，同時也必須注意在接收端伸展還原振幅動態範圍時，通道雜訊對於系統效能影響的程度，所以接下來將模擬部份子載波群組傳輸子區塊 Pseudo-random 訊號擾動結合壓縮轉換函數，分別在壓縮轉換函數為 5、50、100 在高斯通道下之能量效益。



表 2 WiMAX-OFDM 系統之 CCDF 模擬結果

子載波數	72	360	720							
原始訊號 PAPR (dB)	6.9	9.5	12.1							
部份子載波群組傳輸子區塊擾動方式 (dB)	a. Interleaved	5.9	8.5	11						
	b. Adjacent	5.6	8.3	10.7						
	c.Pseudo-random	4.5	5.5	6.5						
部份子載波群組傳輸結合壓縮轉換函數 (dB)	壓縮轉換函數 $\mu$	5	50	100	5	50	100	5	50	100
	a. Interleaved	5.5	5	4.5	8	7.5	7	10.5	10	9.5
	b. Adjacent	5.2	4.7	4.2	7.8	7.3	6.5	10.2	9.7	9.2
	c.Pseudo-random	4	3.5	3	5	4.5	4	6	5.5	5
Pseudo-random 降低 PAPR 值 (比較未壓縮訊號 PAPR)	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	

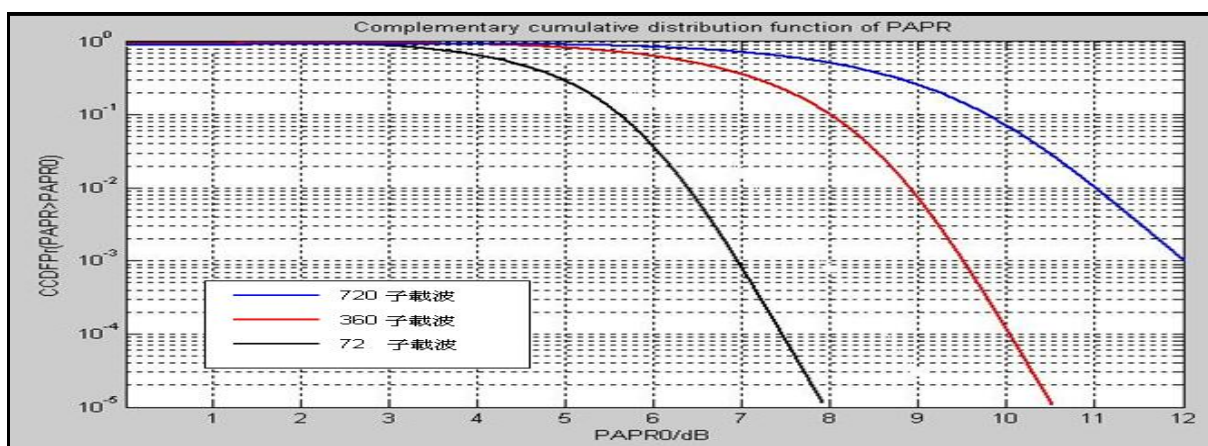


圖 8 子載波數 72、360、720 之 CCDF 模擬

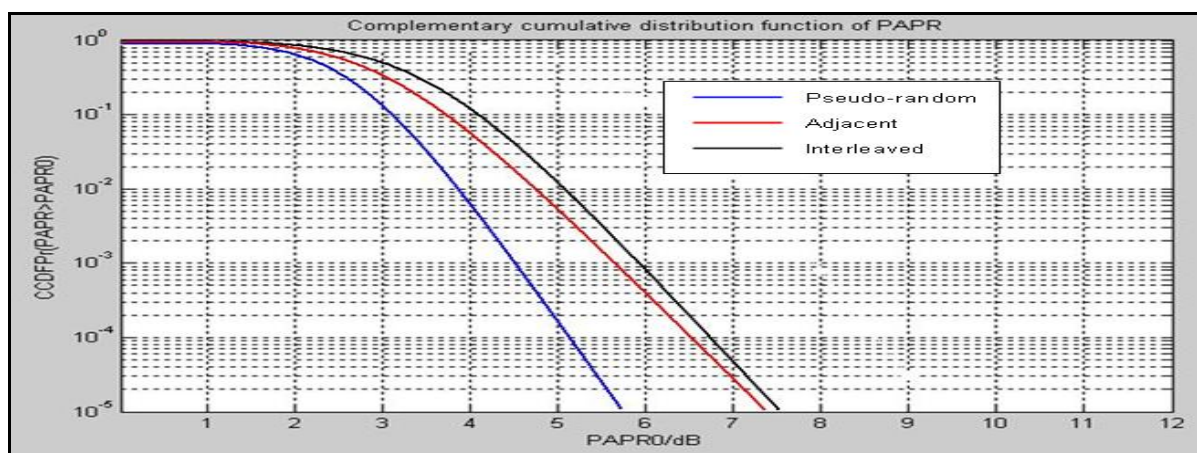


圖 9 子載波數為 72 使用部份子載波群組傳輸之 CCDF 模擬

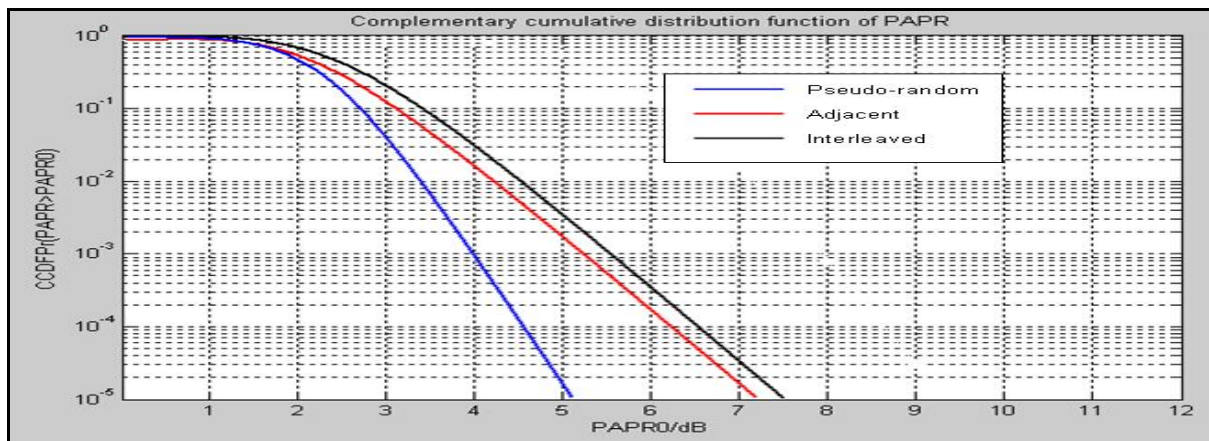


圖 10 子載波數為 72 使用部份子載波群組傳輸結合壓縮轉換函數 ( $\mu$ ) 等於 5 之 CCDF 模擬

#### 4.3 部份子載波群組傳輸結合壓縮轉換函數能量效益模擬

首先，選擇表一子載波數為 720 的 WiMAX-OFDM 系統，資料位元經部份子載波群組傳輸以子區塊 Pseudo-random 擾動後，再通過壓縮轉換函數將其訊號傳送到高斯通道中。到達接收端時，接收訊息除了來自發射端所傳送而來的資料外，還有來自通道的高斯雜訊。接下來分別模擬各壓縮轉換函數 5、50、100 在接收端做伸展後，訊號進行解 QPSK 調變，將還原資料位元與原始位元進行資料比對，計算出位元錯誤率，模擬流程表示於圖 11。

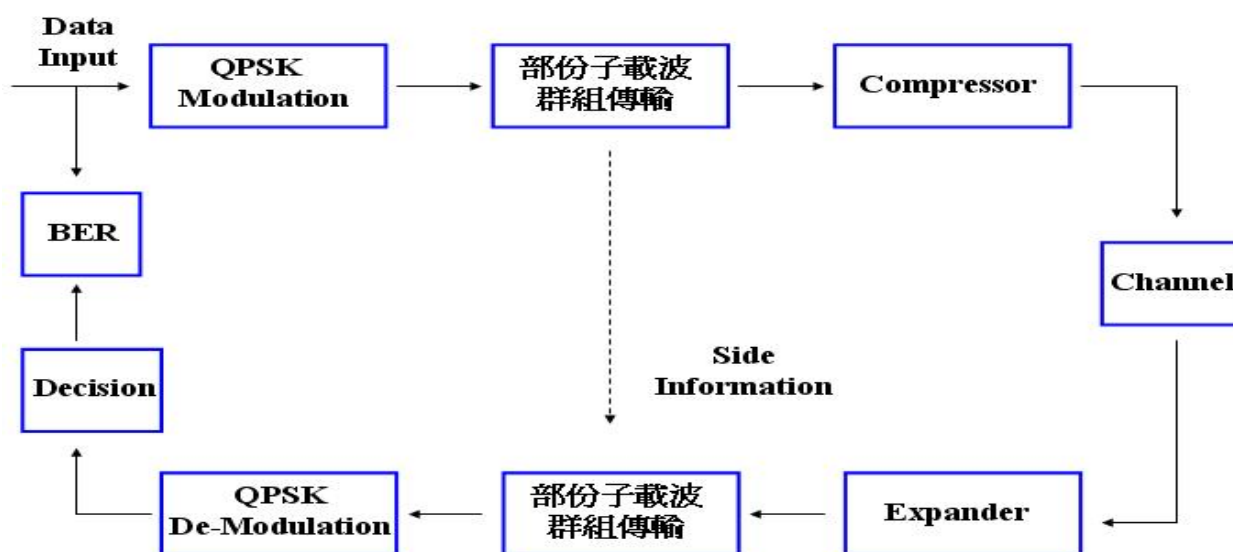


圖 11 壓縮轉換函數能量效益模擬流程

為了評估各壓縮轉換函數之系統能量效益，經過系統模擬後將結果顯示於圖 12。當達到 BER 為 10<sup>-3</sup> 時，原始訊號能量效益為 7dB；壓縮函數  $\mu$  等於 5 能量效益約為 8.1dB；壓縮函數  $\mu$  等於 50 能量效益為 8.4dB；而壓縮函數  $\mu$  等於 100 能量效益為 10dB。

根據模擬圖 10、圖 12、表 3 結果發現，部份子載波群組傳輸子區塊 Interleaved 與 Adjacent 訊號擾動結合壓縮函數兩個的峰對均值比與系統能量效益兩者相當接近；子區塊 Pseudo-random 擾動結合壓縮函數具有最低峰對均值比，即具有最佳的 CCDF 性能，但其系統能量效益最差。最後我們將所有模擬的結

果整理於表 3。從表 3 我們可以發現當壓縮轉換函數  $\mu$  值越大，WiMAX-OFDM 系統的能量效益(系統錯誤率)會大幅降低，因此在選擇壓縮轉換函數必須要考慮到系統的需求，避免過度壓縮訊號造成系統能量效益不穩定。

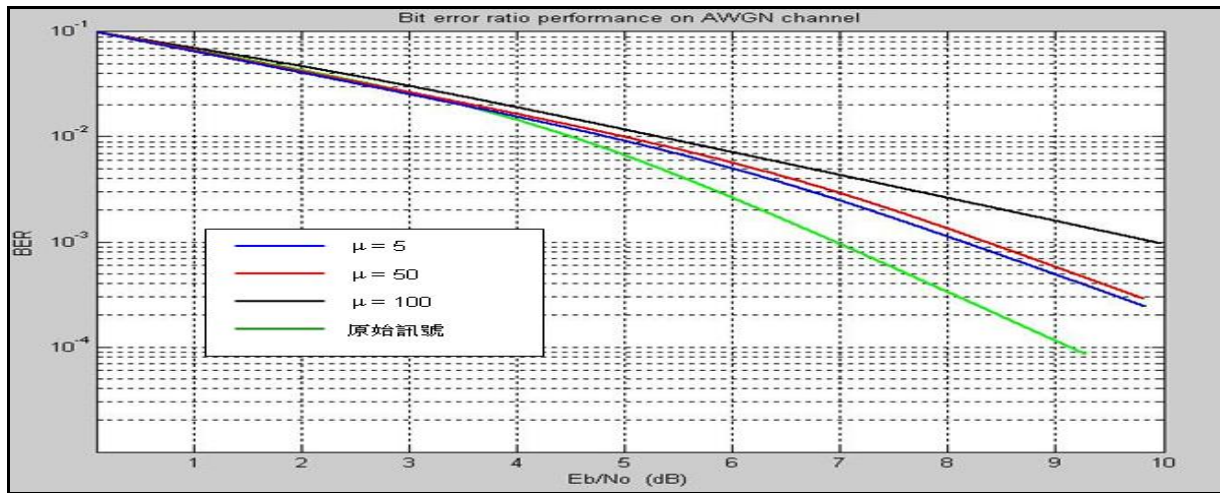


圖 12 子載波數 720、子區塊 Pseudo-random、壓縮轉換函數  $\mu=5$ 、50、100 之能量效益模擬

表 3 能量效益(系統錯誤率)模擬所有結果

子載波數	72			360			720			
原始訊號 BER (dB)	5.5			6.3			7			
壓縮轉換函數 $\mu$	5	50	100	5	50	100	5	50	100	
子區塊訊號擾動方式 (dB)	a. Interleaved	5.6	5.9	6.4	6.4	6.7	7.2	7.1	7.4	7.9
	b. Adjacent	5.6	5.9	6.5	6.4	6.7	7.3	7.1	7.4	8
	c. Pseudo-random	6.1	7.1	8	6.9	7.2	8.8	8.1	8.4	10
Pseudo-random (dB) (比較原始訊號 BER)	0.6	1.6	2.5	0.6	0.9	2.5	1.1	1.4	3	

## 5. 結論

本論文針對部份子載波群組傳輸結合壓縮轉換函數降低 WiMAX-OFDM 多載波系統的高峰對均值功率比問題，以模擬方式統計 PAPR 的 CCDF 分佈與對系統能量效益的影響。並以 PAPR 超過門檻值的機率為  $10^{-3}$ ，即  $CCDF=10^{-3}$ ，為基礎驗證其降低 WiMAX-OFDM 系統 PAPR 的效能。

從模擬結果發現，當載波數越大時，達到相同 CCDF 指標之峰對均值比就越大。而當 WiMAX-OFDM 子載波數分別為 72、360、720 系統之下，經過部份子載波群組傳輸的模擬結果與結合壓縮轉換函數模擬的結果在 CCDF 性能指標為  $10^{-3}$  之下以部份子載波群組傳輸子區塊 Pseudo-random 擾動可以分析出，未壓縮與結合壓的結果相差 0.5dB；與原始訊號 PAPR 比較，結合壓縮後整體的 PAPR 則降低 2.9dB。由結果可以得知部份子載波群組傳輸以子區塊 Pseudo-random 訊號擾動方式結合壓縮轉換函數優於其它兩種子區塊擾動方式，並且擁有最佳的 PAPR 值。

在能量效率 (系統錯誤率) 模擬方面, 當子載波數為 720 之 WiMAX-OFDM 系統, 以部份子載波群組傳輸子區塊 Pseudo-random 訊號擾動方式結合壓縮轉換函數  $\mu$  分別為 5、50、100, 當 BER 為 10<sup>-3</sup> 標準下, 我們發現壓縮轉換函數  $\mu$  值越大能量效益損失越大, 能量效益損失介於 1.1dB 到 3dB。

其次, 我們也觀察到一壓縮轉換函數  $\mu$  若可大量降低峰對均值功率比, 則代表其壓伸程度相當強烈, 雖然能得到較佳的 CCDF 性能指標, 但是在接收端接收訊號時, 將訊號振幅伸展還原時, 也會將大訊號中的雜訊大幅放大, 造成系統能量效益的降低。反之, 若壓縮轉換函數壓伸程度較平緩, 則雜訊放大幅度亦小, 系統能量效益損失較低。整體而言, 各壓縮轉換函數對於能量效益的影響小於 3dB, 但均可大大的降低峰對均值功率比, 避免造成操作在功率放大器之非線性區間而引起失真, 達到解決 WiMAX-OFDM 等多載波系統所存在之高峰對均值功率比目的。

### 參考文獻

- [1]藍得誌, “Reduction the Peak-to-Average Power Ratio in CDMA-OFDM Systems”, 大葉大學, 2006
- [2]鄭宜馨, “On Using Convolution Codes to Reduce the Crest Factor of OFDM Signal”, 大葉大學, 2009.
- [3]J.Armstrong. Peak-to –average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequencydomain filtering.Electronics Letters,38(8):246-247,February2002.
- [4] R. Baxley and G. Zhou. Power savings analysis of peak-to-average power ratio in OFDM.IEEE Transactions on Consumer Electronics,50(3):792-798,2004.
- [5] [4] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed, Fundamentals of WiMAX , Prentice Hall, 2007, Chapter 4.
- [6] R. Van Nee and R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, Ch2, Ch3, 2000.
- [7] R. O. 'Neill and L. B. Lopes, “Envelope Variat and Spectral Splatter in Clipped Multicarrier Signals,” Proc. IEEE PIMRC'95. Toronto, Canada, pp. 71-75, Sept. 1995.
- [8] Tao Jiang and Guangxi Zhu, “Complement Block Coding for Reduction in Peak-to-Average Power Ratio of OFDM Signals,” IEEE Radio Communications, pp. 17-22, Spet. 2005.
- [9] J.van de Beek, M.Sandell,and P. Borjesson.ML estimation of time and frequency offset in OFDM system. IEEE Transactions on singnal Processing,45:1800-1805, July 1997.
- [10] Seog Geun kang, Jeong Goo Kim and Eon Kyeong Joo, “A Novel Subblock Partition Scheme for Partial Transformit Sequence OFDM,” IEEE Transactions on Bradcasting, vol. 45, no. 3, pp. 333-338, Sept. 1999.
- [11] S.C.Cripps.RF Power Amplifiers for Wireless Communications.Artech House,1999.
- [12] R. W. Bami, R. F. H. Fischer and J. B. Hber, “Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping,” IEEE Electronics Letters, vol. 32, pp. 2056-2057, Oct. 1996.
- [13] S. H. Han and J. H. Lee, “Modified selected mapping technique for papr reduction of coded ofdm signal,” IEEE Transactions Broadcast, vol. 50, pp. 335-341, Sep. 2004.
- [14] Tao Jiang, Yang Yang and Yong-Hua Song, “Exponential Companding Technique for PAPR Reduction in OFDM Systems,” IEEE Transactions on Bradcasting, vol. 51, no. 2, pp. 244-248, June 2005.
- [15] Tao Jiang and Guangxi Zhu, “Nonlinear Companding Transform for Reducing Peak-to-Average Power Ratio of OFDM Signals,” IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 50, no. 3, Sept. 2004.
- [16] R.van Nee and A.de Wild. Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM.In Vehicular Technology Conference,1998.VTC98.48<sup>th</sup> IEEE,3:2072-2076,1998