

結合單性基因演算法與部分傳輸序列改善正交分頻 多工系統之峰均功率比值

梁新穎
朝陽科技大學 資訊與通訊系
助理教授
e-mail : hyliang@cyut.edu.tw

楊政穎
台北市立教育大學資訊科學系
副教授
e-mail : cyang@tmue.edu.tw

陳彥儒
朝陽科技大學 資訊與通訊系
研究生
e-mail : k0926149611@yaho.com.tw

黃永發
朝陽科技大學 資訊與通訊系
副教授
e-mail : yfahuang@cyut.edu.tw

摘要

本文提出一種新型降低正交分頻多工系統之峰均功率比值方法，其中該方法是藉由結合單性生殖交配器與部分傳輸序列二種技術，並稱為PCGA-PTS。目前基於基因演算法的部分傳輸序列技術，已被推薦用於改善部分傳輸序列的高計算量，並屬於次佳化的改善峰均功率比值方法。雖然基於基因演算法的部分傳輸序列技術已擁有較低的計算量，但如何更進一步地改善該方法的計算量，仍然是一個相當熱門的研究主題。本推薦方法主要使用一個二階段的交配器及一個突變器來產生子代，並從該子代中挑選出適合的候選者來做為下一代的個體。在模擬結果中，若基於相同的計算複雜度與隨機劃分方式時，本推薦方法將比基於基因演算法的部分傳輸序列技術更擁有較佳的峰均功率比值性能。

關鍵詞：正交分頻多工、峰均功率比值、部分傳輸序列、基於基因演算法的部分傳輸序列技術、單性生殖交配器。

Abstract

This paper proposes a novel peak-to-average power ratio (PAPR) reduction method for an orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system, which combines the improved genetic algorithm used the partheno-crossover operator (PCGA)

with partial transmit sequence (PTS) scheme, called PCGA-PTS. The genetic algorithm based PTS scheme (GA-PTS) technique has been proposed for improving the computational load of the PTS technique, which is a suboptimal PAPR reduction method. Although the GA-PTS technique has lower computational load than the PTS technique, how to further improve the computational load of GA-PTS technique is still an active research topic. Our proposed method uses a two-step crossover operator and a mutation operator to generate the offspring, and then selects the proper candidates from the offspring to be the individuals of new population. In simulation results, our proposed method with random partition has better PAPR performance than the GA-PTS technique based on the same computational complexity.

Keywords: OFDM, PAPR, PTS, GA-PTS, PCGA.

1. 前言

由於正交分頻多工(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)系統具有較高的頻譜使用效率和低複雜度的接收器等優點，使得OFDM系統被廣泛地應用在3GPP長期演進(3GPP long term evolution, 3GPP LTE)技術、未來無線寬頻存取標準HIPERMAN、以及IEEE 802.16x之中[1][2]。有關OFDM系統的原理，主要是劃分一個高速率的資訊位元串成數個並行且低資料率的子串，其中這些子串是利用傅立葉轉換(Fourier transform)技術來調變成彼此正交的子載波(subcarriers)。然而，OFDM技

術有一個主要的缺點：當各個子載波的相位一致時，傳送的訊號就會產生高峰均功率比值 (peak-to-average power ratio, PAPR) 的問題。高 PAPR 的問題不只會造成高功率放大器 (high power amplifier) 的效率降低，更會限制 OFDM 系統的應用。因此，如何改善 OFDM 系統的高 PAPR 問題，為目前學者們積極研究和廣泛探討的熱門主題之一[3][4]。

近年來，有各種改善高 PAPR 問題的方法被提出，諸如有選擇性映射(selective mapping, SLM)[5][6]、部分傳輸序列 (partial transmit sequence, PTS)[7][8][9]、壓縮和擴展轉換(companding transform)[10][11]、以及星座圖延伸 (active constellation extension, ACE)[12][13] 等方法。其中，PTS 技術的原理是將來源的資料區塊劃分成數個子區塊後，再利用反快速傅立葉轉換 (inverse fast Fourier transform, IFFT) 技術來各別進行轉換；接著，再將這些轉換後的時域訊號與多組相位因子做相乘運算後而合成，並從這些合成序列中挑選出一個擁有最小 PAPR 的訊號來做為傳輸訊號。不過，PTS 技術為了獲得最佳的 PAPR 效能，必需搜尋所有可能的相位因子組合，以來找出最佳的相位因子。因此，當子區塊或相位因子的數量增加時，其相對也會造成系統的計算量增加。故如何去改善 PTS 技術所造成的高計算量，仍是目前相當熱門的研究主題之一[14][15][16]。

在[14]中，作者們提出一種結合基因演算法與部分傳輸序列 (genetic algorithm PTS, GA-PTS) 的技術，且該技術要比 Iterative flipping 和 GD-PTS (gradient descent based PTS) 擁有更好的 PAPR 效能，其中 GA-PTS 的計算量也比 PTS 和 GD-PTS 低。不過，如何更進一步地改善 GA-PTS 技術的 PAPR 效能，仍然是目前相當熱門的研究主題。因此，本篇論文將利用一種結合單性生殖交配器與改良型基因演算法 (the improved genetic algorithm used the partheno-crossover operator, PCGA) 的技術，來將其結合 PTS 技術以改善 GA-PTS 的 PAPR 性能，並稱為 PCGA-PTS。PCGA-PTS 主要是利用兩階段交配程序和一組突變程序來產生相位因子組合，並從這些相位因子組合中挑選出適合的相位因子來改善 PTS 技術中的 PAPR 效能。此外，本篇論文將基於相同計算量的情況下，來嘗試改善 GA-PTS 系統的 PAPR 性能。在模擬結果中，PCGA-PTS 在基於相同計算量且採用隨機劃分方式時，確實要比 GA-PTS 擁有較佳的 PAPR 效能。

2. PAPR和OFDM系統

在 OFDM 系統中，假設 $\mathbf{X} = (X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$ 為一個擁有 N 個符元 (Symbol) 的輸入區塊，並定義 $\{\phi_n(t) = e^{j2\pi nt/T}, n = 0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 是用來調變的連續正弦波，其中 $1/T$ 為每個子載波的頻寬。對於一 OFDM 系統傳送訊號 $x(t)$ 的數學表示式可表示如下：

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \phi_n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

其中， $x(t)$ 的 PAPR 定義為

$$\text{PAPR}(x(t)) = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} |x(t)|^2}{P_{av}} \quad (2)$$

在上式數學式中， P_{av} 是表示為 $x(t)$ 的平均功率。一般而言，為了取連續 $x(t)$ 的 PAPR 近似值，OFDM 訊號取樣是利用離散 LN 點取樣 $x(iT/LN)$ ， $i = 0, 1, \dots, LN-1$ ，來近似連續 $x(t)$ 訊號，其中 LN 點取樣是利用 $\{X_0, X_1, \dots, X_{N-1}\}$ 與 $(N-1)L$ 點補零 (zero-padding) 做 IFFT 運算而得來。在本篇論文中，我們使用 $L=4$ 來進行數值模擬。一般而言，評估改善 PAPR 的效能都是使用互補累積分佈函數 (complementary cumulative distribution function, CCDF) 來做為量測。假設 PAPR 的位準參考值為 PAPR_0 ，則 $\text{CCDF}(\text{PAPR})$ 為傳送訊號的 PAPR 大於 PAPR_0 之機率，並可表示為

$$\text{CCDF}(\text{PAPR}) = P_r(\text{PAPR} > \text{PAPR}_0)$$

3. 部分傳輸序列

如圖 1 所示，PTS 技術首先是將一個長度為 N 的來源資料區塊 \mathbf{X} 分割成 M 個長度為 N 的子區塊 \mathbf{X}_i ， $i = 1, 2, \dots, M$ ，其數學表示式可表示為

$$\mathbf{X} = \sum_{i=1}^M \mathbf{X}_i \text{ 且 } \mathbf{X}_i \cap \mathbf{X}_j = \emptyset, i \neq j$$

對於子區塊的劃分方式，目前最常用的方法有三種，其分別為：鄰近劃分 (adjacent partition)、交錯劃分 (interleaved partition)、以及隨機劃分 (pseudo-random partition) 等三種，其中 PTS 技術使用隨機劃分方式的 PAPR 效能會優於其他兩種劃分方式的效能。接下來，PTS 技術使用 IFFT 轉換來將這些子區塊轉換為時域訊號，其數學表示式為

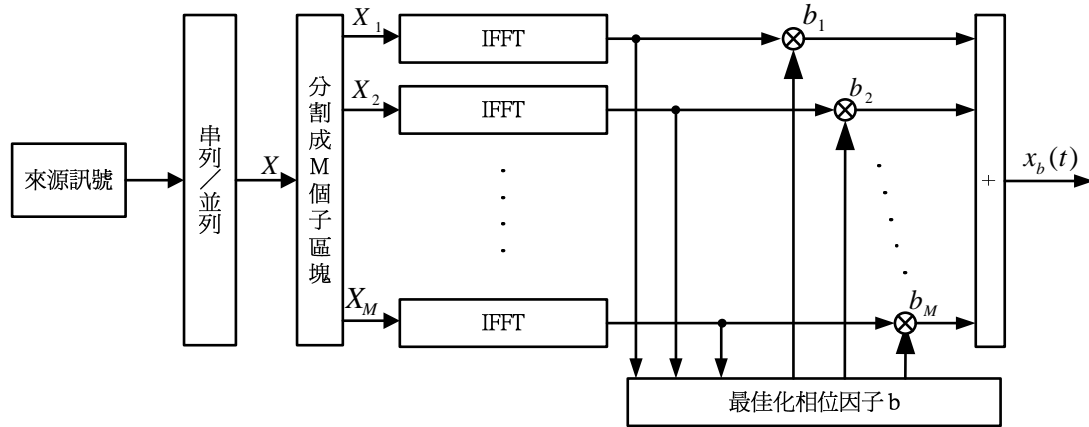


圖 1 PTS 系統架構圖

$$x_{X_i}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} \mathbf{X}_{i,k} \phi_k(t), \quad i=1,2,\dots,M \quad (3)$$

然後，再將這些部分傳輸序列乘上一組相位因子 $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_M)$ ，以產生 W^M 個不同的 OFDM 訊號；換言之，OFDM 訊號的數學表示式可寫成

$$x_b(t) = \sum_{i=1}^M b_i x_{X_i}(t) \quad (4)$$

其中， $b_i = e^{j(2\pi\omega/W)}$ ， $\omega = 0, 1, \dots, W-1$ ，且 W 為允許的相位變化數量。最後，再從 W^M 個 OFDM 訊號中選出一個最擁有最小 PAPR 的訊號來做為傳送訊號，並用來表示來源資料區塊 \mathbf{X} 。當子區塊數 M 或相位變化數量 W 增加時，為了能夠找尋降低傳送訊號之 PAPR 的最佳相位因子，PTS 技術將會擁有較高的計算複雜度。因此如何快速搜尋最佳的相位因子來產生擁有最小 PAPR 的傳送訊號，為目前 PTS 技術的改善方向之一。一般在沒有損失的情況下，可令 $b_1 = 1$ ，以使 W^M 個做為選擇傳送訊號的 OFDM 訊號，減少為 W^{M-1} 個 OFDM 訊號。為了能在接收端復原原始輸入資料區塊，傳送端需傳送 $\lfloor (M-1)\log_2 W \rfloor$ 位元來表示如何從 W^{M-1} 個 OFDM 訊號中挑選出擁有最小 PAPR 的訊號來做為傳送訊號，其中 $\lfloor s \rfloor$ 是指不超過 s 的最小整數。

4. 基因演算法結合部分傳輸序列

GA-PTS 是利用基因演算法 (genetic algorithm) 來做為 PTS 的挑選機制，以找尋最佳相位因子來最小化傳送訊號的 PAPR [14]。相較於 PTS 技術，GA-PTS 具有低計算量，並為次佳化降低 PAPR 的方法。接下來，我們將介

紹 GA-PTS 技術中的挑選機制如下：

GA-PTS 是使用二位元向量來描述染色體，且相位因子 b_i 是藉由利用二位元表示法來表示 ω 成一擁有 $\log_2 W$ 個位元之染色體。首先，GA-PTS 是採用隨機方式來產生最初的染色體群體，並利用染色體所對應的相位因子與 PTS 做相乘運算，以求出該染色體的 PAPR；接著，再將各染色體所求出的 PAPR 代入適應值函數 (fitness function) 中，以求出該染色體的適應值，其中適應值函數可表示如下：

$$f(x_b(t)) = \frac{1}{10 \log_{10} \mathbf{PAPR}(x_b(t))} \quad (5)$$

對於 GA-PTS 的挑選機制，主要是使用輪盤式選擇演算法 (roulette wheel algorithm) 來做為挑選機制。輪盤式選擇演算法是根據群體中每一個染色體的適應值來挑選適合的染色體，以做為產生下一世代的群體，如圖 2 所示。在圖 2 中，適應值大的染色體所佔的面積也會越大，且被挑選的機率也隨之相對成長，其中 f_1, f_2, \dots, f_n 為各染色體所對應的適應值。挑選後的染色體在經過交配和突變程序來產生下一世代的群體。假設整個程序所產生的基因世代數量為 G ，且每一個群體所產生染色體的最大數量為 P 。在使用 GA-PTS 技術的 OFDM 系統中，該系統的傳送訊號主要是從 $G \times P$ 個染色體中挑選出擁有對應於最小 PAPR 的染色體。

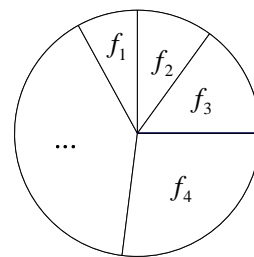


圖 2 輪盤式選擇演算法

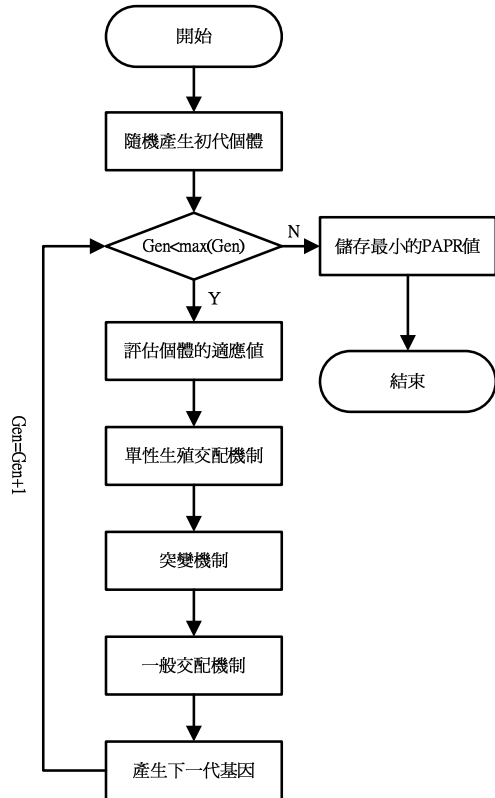


圖 3 PCGA-PTS 系統流程圖

然而，如何能更進一步地去改善使用 GA-PTS 技術之 OFDM 系統的 PAPR 效能，一直是相當熱門的研究主題。因此，在本論文中將推薦另一技術來改善 GA-PTS 系統的 PAPR 性能。

5. 推薦方法

如圖 3 所示，PCGA-PTS 是使用兩個交配程序和一個突變程序所構成，其中該二個交配程序分別為單性交配和一般交配兩種程序所組成的[17]。在本篇論文中，染色體是使用二位元表示法，如：001100....11。在單性交配程序的過程中，群體所選擇的交配個體是與該選擇個體完全不同的個體，例如：假設選擇的個體為 00110011，則另一欲交配的個體即為其完全相反的個體，即 11001100；假定交配點的選擇為 2th 和 6th，則此二者所產生的後代分別為 00001011 和 11110100。一般交配程序是先決定交配位置後，再將群體中被選擇的二個個體進行部分個體相互交配的動作，以產生下一世代的個體。例如，假設兩個欲交配的個體分別為 11001100 和 11110000，且交配發生的位置是選擇在 4th，則該二個體所產生的兩個子代分別為 11000000 和 11111100。

在 PCGA-PTS 中，最初群體的染色體是採用隨機的方式而得來，其中每一個染色體皆可藉由 $\log_2 W$ 個位元來表示，且該位元組即可視

為是相位因子中 ω 的二位元描述，並可轉換成為相位因子 $b_i = e^{j\frac{2\pi\omega}{W}}$ ， $\omega=0,1,\dots,W-1$ 。舉例來說，若 $W=4$ 、 $M=4$ 、並假定染色體為 00100111，則相位因子 $\mathbf{b} = (b_1, b_2, b_3, b_4) = (1, i, -1, -i)$ ，即

$$\underline{00} \Leftrightarrow b_1 = e^{j\frac{2\pi\omega}{W}} \Big|_{\omega=0, W=4} = 1$$

$$\underline{10} \Leftrightarrow b_2 = e^{j\frac{2\pi\omega}{W}} \Big|_{\omega=1, W=4} = j$$

$$\underline{01} \Leftrightarrow b_3 = e^{j\frac{2\pi\omega}{W}} \Big|_{\omega=2, W=4} = -1$$

$$\underline{11} \Leftrightarrow b_4 = e^{j\frac{2\pi\omega}{W}} \Big|_{\omega=3, W=4} = -j$$

此外，本論文也是採用(6)式的適應值函數來計算每個染色體的適應值。單性交配程序是利用相對應的染色體適應值，來選擇 $M/2$ 個較高適應值的染色體做為雙親。如圖 4 所示，假設有 $M=8$ 個染色體，單性交配程序是將每個染色體的適應值做排序後，再從中選擇 $M/2$ 個適應值較佳的染色體，並利用 1's 補數來產生剩下的 $M/2$ 個染色體。經由單性交配程序後，我們可以獲得 M 個新的染色體，再利用使用者設定的突變機率將這 M 個染色體進行適當的突變程序。接下來，我們將這些突變後的染色體做為交配程序的雙親，並選擇這些子代染色體做一般交配程序，以產生下一基因世代的群體之個體。最後，PCGA-PTS 是從 $G \times P$ 的相位因子中，選擇擁有最佳 PAPR 效能的相位因子來做為傳送訊號的相位因子。

6. 模擬結果

本篇論文是基於正交相位鍵移(quadrature phase-shift keying, QPSK)調變的 OFDM 系統來進行模擬，並選用 128 與 256 個子載波數來進行觀察，其中相位因子是選用四種相位變化數 $\{\pm 1, \pm j\}$ 來做為每個子區塊的相位擾亂，以及子區塊個數是設定為 8 和 16。有關輸入的來源資料區塊產生方式，主要是藉由隨機的方式來產生，而其產生的數量為 10,000 筆資料。在劃分區塊的方式，則是選用鄰近劃分和隨機劃分

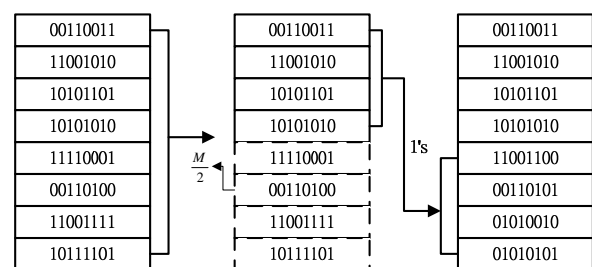


圖 4 單性生殖交配演算法之流程

表 1 PCGA 參數設定

產生基因世代數量(G)	20,30,40,50
群體產生染色體的數量(P)	100
單性生殖交配點數	2
交配點數	1
交配機率(CR)	1.0
突變機率(MR)	0.05

的方式來分割子區塊。表 1 為基因演算法的單性交配程序的參數設定，其中兩個交配程序分別為雙點的單性交配程序和單點的一般交配程序所組成。

圖 5 和圖 6 所示為 N=128 個子載波數的 QPSK-OFDM 系統，並分別採用隨機和鄰近劃分的 PTS 技術之 CCDF 曲線圖，且子區塊分割數設定為 M=16，其中該二種技術分別為 GA-PTS 和 PCGA-PTS 二種。在圖 5 和圖 6 中，主要是基於相同計算量的情況下，且模擬結果顯示採用隨機劃分方式時，PCGA-PTS 技術的 PAPR 效能優於 GA-PTS 技術的 PAPR 效能。圖 7 和圖 8 所示為 N=256 個子載波的 QPSK-OFDM 系統，並分別採用隨機和鄰近劃分的 PTS 技術之 CCDF 曲線圖，且子區塊分割數設定為 M=16，其中該二種技術分別為傳統 GA-PTS 和 PCGA-PTS 二種。在圖 7 和圖 8 中，可以發現採用隨機劃分方式時，PCGA-PTS 的 PAPR 的效能優於 GA-PTS 技術，且二者是基於在相同的計算量。

表 2 與 3 分別所示為在 N=128 及 N=256 個子載波數的 QPSK-OFDM 系統中，其分別採用隨機和鄰近劃分的 GA-PTS 和 PCGA-PTS 的 PAPR 值，其中該 PAPR 值為其 CCDF 曲線在機率在 10^{-3} 時的值，且子區塊分割數設定為 M=8。由表 2 與 3 中的數值結果得知，當使用隨機劃分方式時，PCGA-PTS 降低 PAPR 的性能將隨 $G \times P$ 相位因子數量增加而提升，並且大幅優於採用鄰近劃分的方式。總結來說，根據模擬數值結果可得知，隨機劃分的 PAPR 效能優於鄰近劃分的 PAPR 效能，且若基於相同計算量的情況下，PCGA-PTS 技術的 PAPR 效能是優 GA-PTS 技術，且該計算量要比傳統的 PTS 技術來得低。

7. 結論

本篇論文提出一種利用基因演算法的單性生殖交配程序來結合部分傳輸序列技術，並應用於 OFDM 系統中來改善高 PAPR 的現象。整體來說，PCGA-PTS 是使用兩階段交配程序

和一組突變程序來改善 GA-PTS 的 PAPR 效能。在模擬結果中，PCGA-PTS 技術不論採用鄰近劃分或隨機劃分方式時，其 PAPR 效能皆優於 GA-PTS 的 PAPR 效能。有關本文的未來研究方向，則可朝向如何不需傳送消息位元，或將 PCGA-PTS 應用於更高階調變的 OFDM 系統中。

參考文獻

- [1] ETSI HIPERMAN (TR 101 856), *High performance metropolitan area network, requirements MAC and physical layer below 11 GHz band*, Sophia Antipolis, France, 2004.
- [2] IEEE 802.16d, *Air interface for fixed broadband wireless access systems*, IEEE 802.16, May 2004.
- [3] S. H. Han and J. H. Lee, "An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 12, pp. 56–65, Apr. 2005.
- [4] T. Jiang and Y. Y. Wu, "An Overview: Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for OFDM Signals," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 2, pp. 257–268, June 2008.
- [5] M. Breiling, S. H. Muller-Weinfurter, and J. B. Huber, "SLM peak power reduction without explicit side information," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, pp. 239–241, June 2001.
- [6] H. H. Seung and H. L. Jae, "Modified selected mapping technique for PAPR reduction of coded OFDM signal," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 50, no. 3, pp. 335–341, Sep. 2004.
- [7] L. J. Cimini Jr. and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 86–88, Mar. 2000.
- [8] C. Tellambura, "Improved phase factor computation for the PAPR reduction of an OFDM signal using PTS," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 5, pp. 135–137, Apr. 2001.
- [9] S. H. Wong, A. S. Madhukumar, and F. Chin, "Peak-to-average power reduction using partial transmit sequences: a suboptimal approach based on dual layered phase sequencing," *IEEE Trans. Broadcast.*,

- vol. 49, no. 2, pp. 225–231, Jun. 2003.
- [10] J. Tao and Z. Guangxi, "Nonlinear companding transform for reducing peak-to-average power ratio of OFDM signals," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 50, no. 3, pp. 342–346, Sep. 2004.
- [11] H. Xiao, L. Jianhua, Z. Junli, J. Chuang, and G. Jun, "Reduction of peak-to-average power ratio of OFDM signals with companding transform," *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 8, pp. 506–507, Apr. 2001.
- [12] B. S. Krongold and D. L. Jones, "PAPR reduction in OFDM via active constellation extension," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 49, no. 3, pp. 258–268, Sep. 2003.
- [13] Andreas Saul., "Generalized Active Constellation Extension for Peak Reduction in OFDM Systems," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, 2005, vol. 3, pp. 1974–1979, May 2005.
- [14] S. S. Kim, M. J. Kim, and T. A. Gulliver, "PAPR Reduction of OFDM Signals Using Genetic Algorithm PTS Technique," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E91–B, no.4, pp. 1194–1197, Apr. 2008.
- [15] J. H. Wen, S. H. Lee, Y. F. Huang, and H. L. Hung, "A Suboptimal PTS Algorithm Based on Particle Swarm Optimization Technique for PAPR Reduction in OFDM Systems," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2008, Article in Press, ID 601346, May 2008.
- [16] Y. Zhang, Q. Ni, H. H. Chen, and Y. Song, "An Intelligent Genetic Algorithm for PAPR Reduction in a Multi-Carrier CDMA Wireless System," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 2008, pp. 1052–1057, Aug. 2008.
- [17] D. J. Jin and J. Y. Zhang, "A New Crossover Operator for Improving Ability of Global Searching," in *Proc. IEEE Machine Learning and Cybernetics*, 2007, vol. 4, pp. 2328 - 2332, Aug. 2007.

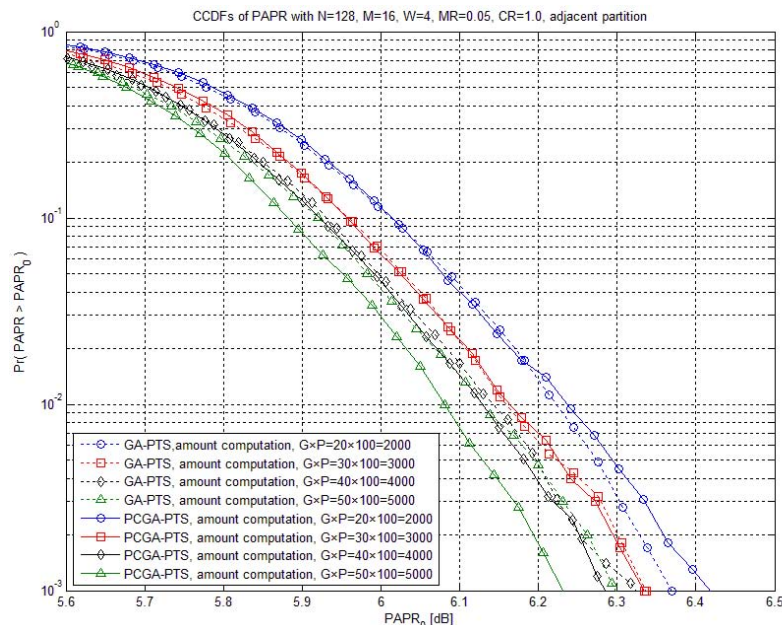


圖 5：長度為 128 之 QPSK-OFDM 系統且採用基於鄰近劃分方式之 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 CCDF 曲線圖

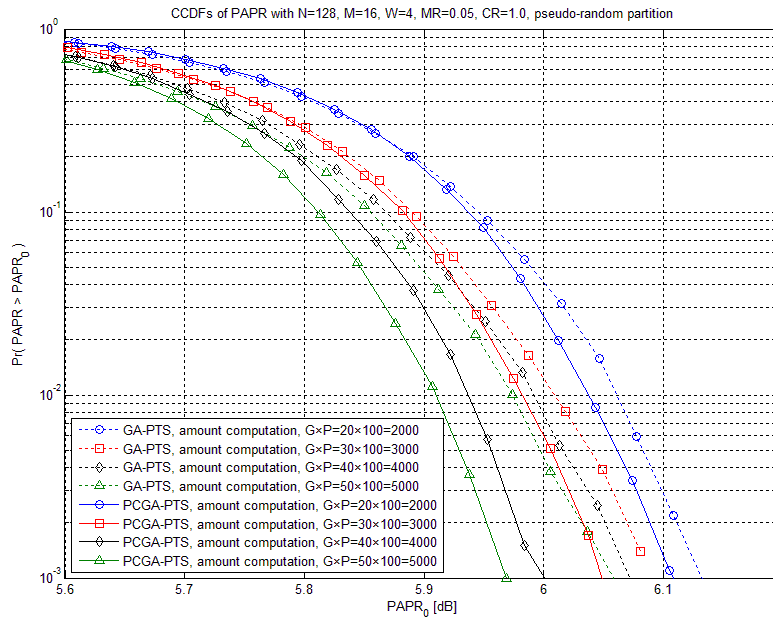


圖 6：長度為 128 之 QPSK-OFDM 系統且採用基於隨機劃分方式之 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 CCDF 曲線圖

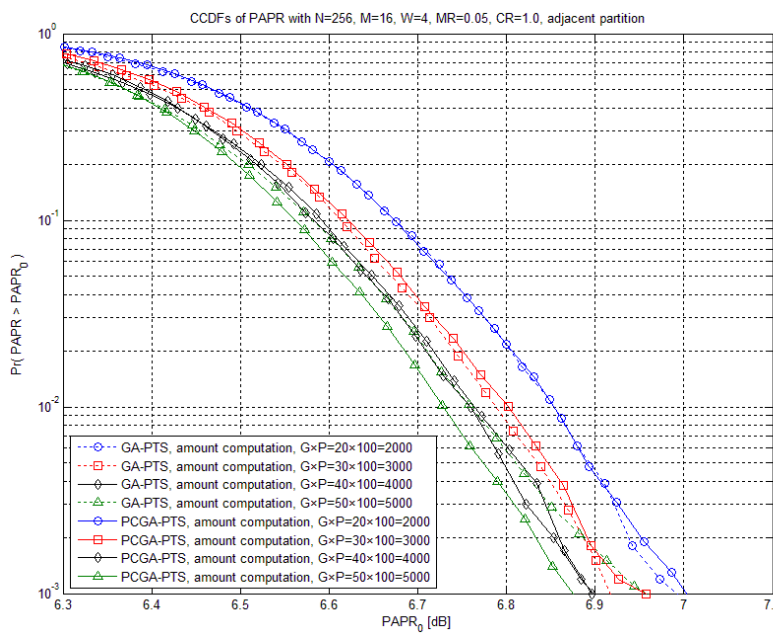


圖 7 長度為 256 之 QPSK-OFDM 系統且採用基於鄰近劃分方式之 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 CCDF 曲線圖

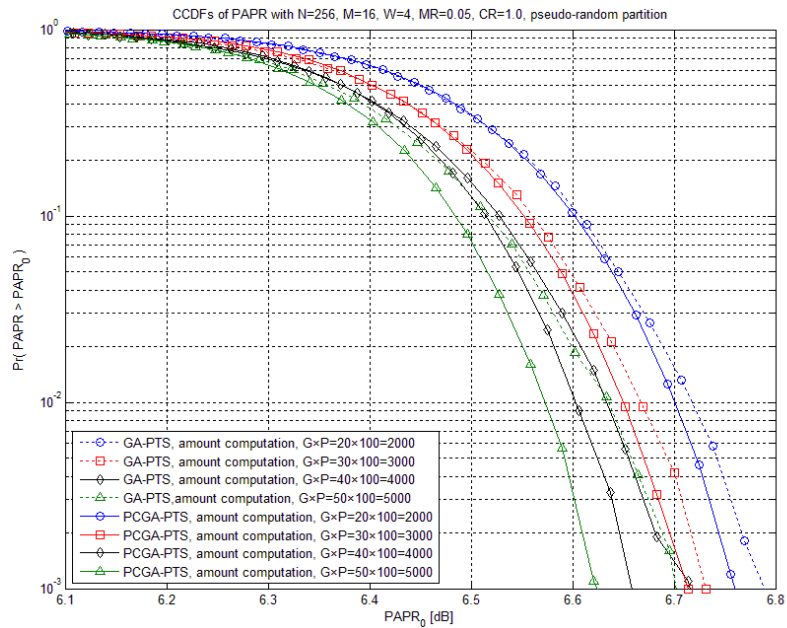


圖 8 長度為 256 之 QPSK-OFDM 系統且採用基於隨機劃分方式之 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 CCDF 曲線圖

表 2 長度為 128 之 QPSK-OFDM 系統且基於 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 PAPR 性能比較表

N=128, M=8	Pseudo-random partition		Adjacent partition	
	PCGA-PTS	GA-PTS	PCGA-PTS	GA-PTS
Amount computation				
GxP=50x100	6.06 dB	6.18 dB	6.61 dB	6.71 dB
GxP=40x100	6.09 dB	6.19 dB	6.63 dB	6.72 dB
GxP=30x100	6.11 dB	6.21 dB	6.65 dB	6.73 dB
GxP=20x100	6.17 dB	6.22 dB	6.69 dB	6.75 dB

表 3 長度為 256 之 QPSK-OFDM 系統且基於 PCGA-PTS 與 GA-PTS 的 PAPR 性能比較表

N=256, M=8	Pseudo-random partition		Adjacent partition	
	PCGA-PTS	GA-PTS	PCGA-PTS	GA-PTS
Amount computation				
GxP=50x100	6.71 dB	6.81 dB	7.13 dB	7.21 dB
GxP=40x100	6.74 dB	6.82 dB	7.21 dB	7.22 dB
GxP=30x100	6.77 dB	6.83 dB	7.22 dB	7.23 dB
GxP=20x100	6.82 dB	6.87 dB	7.24 dB	7.31 dB