

基於傅立葉轉換對偶性降低 OFDM 系統峰均功率比 比之改善架構

李樹鴻
建國科技大學電子工程系
助理教授
lee@cc.ctu.edu.tw

陳光仁
建國科技大學電子所
研究生
cck880711@yahoo.com.tw

江國璋
建國科技大學電子所
研究生
wi5566@yahoo.com.tw

摘要

正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 是現在無線通訊最常使用的一種技術，因為它具有高資料傳輸速率以及抵抗多重路徑通道衰減的優點。但正交分頻多工的訊號會產生高峰均功率比值 (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR) 的問題，這個問題會讓訊號在功率放大器操作在非線性區，使輸出產生非線性失真，造成帶內失真與帶外干擾，並且會增加位元錯誤率，使 OFDM 整體的系統性能降低。本論文主要提出一種基於傅立葉轉換的對偶性 (Duality) 降低正交分頻多工系統 PAPR 值的效能改善架構。由傅立葉轉換的對偶性發現，時域及頻域信號的波形陡峭程度具有相反趨勢，只要比較 IFFT 前後信號的峰均功率比值，選擇其中峰均功率比值較小的信號進行傳送，可達到降低傳送信號峰均功率比之目的，但為提高其降低 PAPR 值效能，我們增加一個 IFFT 並對其輸入信號先進行相位調整，再將具有較小 PAPR 值的信號進行傳送。經電腦模擬結果發現，所提出的改善架構在效能上較使用相同 IFFT 數量的部份傳送序列 (PTS) 法有較佳的表現。

關鍵詞：正交分頻多工，峰均功率比值，傅立葉轉換，對偶性，部份傳送序列。

Abstract

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is most commonly used in the wireless communications technology, because it has a high data transmission rate and the advantage of resisting to multi-path channel attenuation. OFDM signals have high peak to average power ratio (PAPR) problem. This problem will make the signal power amplifier operating in the nonlinear region, resulting in

nonlinear distortion output caused by the band distortion and band interference, and will increase the bit error rate, thus it degrades the OFDM system performance. This paper proposed two performance improvement schemes based on Fourier transform Duality to reduce orthogonal frequency division multiplexing system PAPR value. From the duality we can find that the steepness of signal waveform in both time domain and frequency domain having an opposite trend. Thus just compare the signal peak to average power ratios between before and after IFFT, and choosing the signal of the smaller peak to average power ratio to be transmitted can achieve the purpose of reducing the transmission signal peak to average power ratio. However, to improve its PAPR performance, we add an IFFT and adjust its input signal's phase, then having a small PAPR value of the signal transmitted. According the results of computer simulation, the proposed architectures outperform the partial transmitted sequence method using the same amount of IFFTs.

Keywords: OFDM, PAPR, Fourier transform, Duality, Partial transmitted sequence.

1. 前言

正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 在近年來成為一項熱門的話題，並且在各類通訊系統上廣泛的被應用中，例如在無線區域網路 (Wireless Local Network; WLAN) 上目前也有三種標準採用正交分頻多工技術，其中包含有歐規 HiperLAN 2 以及美規的 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11g [1]。目前在網路上已經被廣泛使用的非對稱數位用戶迴路 (Asymmetric Digital Subscriber Line; ADSL) 也是採用這項技術。目

前這項技術已經被採用為歐洲新的數位視頻訊號廣播標準(Digital Video Broadcasting; DVB)和高畫質電視標準(High Definition Television, HDTV)[1]。

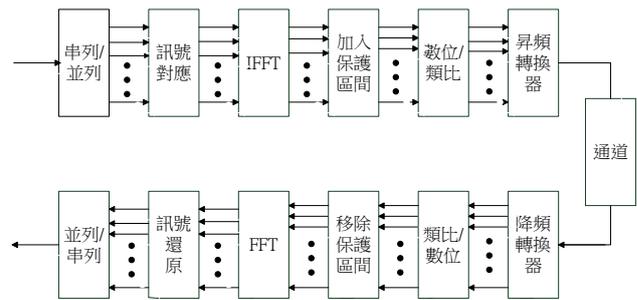
但由於 OFDM 信號是由多個子載波同時傳輸，所以會有高的峰均功率比值(Average Power Ratio)的問題存在，高的峰均功率比值會使信號在進入一般功率放大器的時候，使信號產生非線性失真，雖然可以利用昂貴的較大功率放大器來增加線性區的範圍，但為了偶發性的高功率值而使用高線性區的放大器，會使放大器的效率低落，而且也不合乎成本；對於傳送端的類比轉數位器(Digital to Analog Converter, D/A)與接收端的類比轉數位轉換器(Analog to Digital Converter, A/D)而言，不但複雜度增加，成本也大幅度的提高。故如何降低 OFDM 信號的 PAPR，是很重要的一項問題[2]。在正交分頻多工系統中，降低峰均功率比值是一項重要的問題，目前眾多的相關論文中所探討的解決方法大致上有：削減法(clipping)、編碼(coding)、選擇性映射(selected mapping, SLM)、部分傳輸序列(partial transmit sequence, PTS)、延伸星座圖方案(constellation extended scheme, CES)等降低峰均功率比值的方法[2-17]。

本論文提出一個基於傅立葉轉換的對偶性降低正交分頻多工系統 PAPR 值的效能改善架構，同時在進行電腦效能模擬分析及討論時，將以部份傳送序列(PTS)法作為比較對象。

2. OFDM 系統

OFDM 系統的基本架構如圖一所示。資料先經串並轉換後，執行訊號對應程序，以產生相對應的基頻信號，亦即為基頻數位調變；接著將信號送入 IFFT，對信號進行離散傅立葉轉換，將信號由頻域轉換成時域信號，接著加入保護區間，以提高 OFDM 信號抵抗傳輸通道中多重路徑的影響。最後將信號經由數位類比轉換，轉換成類比信號，以其調變載波後送出至傳輸通道。接收端收到信號後。進行與傳送端相反的對應還原程序，直至將資料取出[4]。

OFDM 訊號具有高的峰均功率比值(Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)的特性；OFDM 訊號的振幅變動範圍很大，在系統中某些元件的轉換特性會限制輸出訊號的振幅，因此訊號就容易受到這些元件的影響，使振幅及相位失真，造成 OFDM 訊號的位元錯誤率(Bit



圖一 OFDM 基本架構圖

Error Rate, BER) 性能變差及帶外頻譜干擾[1]。對於一個具有 N 子載波的 OFDM 系統其時域的基頻信號可寫成以下數學方程式：

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp(j2\pi n \Delta f t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

其中 X_n 表示第 n 個子載波的信號， Δf 為子載波間的頻率間隔，而 T 表 OFDM 訊號的長度。

由於正交分頻多工系統的訊號是由多個調變過的子載波訊號的累加而成，如每個子載波所帶的相位相同時，因此可能會造成比平均訊號準位過高的瞬間峰值訊號，進而產生高峰均功率比值效應。

OFDM 系統的峰均功率比值之數學表示式定義如下所示[17]：

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

上式中 P_{peak} 表示 $x(t)$ 的瞬間最大功率(maximum instantaneous power)， P_{av} 是表示為 $x(t)$ 的平均功率(average power)。

部份傳送序列的系統架構如圖二所示。部份傳送序列(PTS)是改變時域信號的相位來達到降低峰均值功率比的目的。部分傳送序列是利用傅立葉轉換的線性特性，將輸入的訊號利用補零的方式分成數個獨立子區塊[6]，每個子區塊都含有部份的輸入信號，而這些子區塊相加的結果可以還原輸入訊號。該法是将這些子區塊乘上不同的參數以改變子區塊輸出值的相位，最後挑選能產生最小峰均功率比值的信號相加傳送出去[1]。若原始輸入信號為 $X = [X_1, X_2, \dots, X_{N+1}]$ ，將其分成 V 個獨立區塊， $X_v = [X_1(v), X_2(v), \dots, X_{N+1}(v)]$ ， $v=1, 2, \dots, V$ ，其中每個獨立子區塊有部分輸入信號為零。假設每個分組中所包括的子載波數量是一樣，然後在將這些 V 個分組中相加起來：

$$X' = \sum_{v=1}^V b_v X_v \quad (3)$$

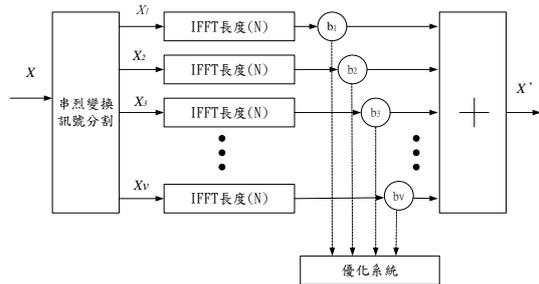
其中 $\{b_v, v=1, 2, \dots, V\}$ 是相位優化係數。通過選擇優化過後的係數，使 PAPR 值達到降低的效果。部分傳送序列的子區塊的劃分方式有三種，分別為鄰近、交錯、隨機。鄰近是將輸入信號分成 V 等分依序放在子區塊中；交錯是將輸入資料依序平均分配在每個子區塊中；隨機是將輸入資料隨機分配在每個子區塊中[6]。該三種劃分方法如圖 3 所示。不同的子區塊劃分法會造成不同降低峰均功率比值的效能，隨機的方式比較可以將信號打亂，所以降低峰均功率比值的效能最好[7]，而用交錯的方法來降低峰均功率比值的效能是最差的。

3. 基於傅立葉轉換對偶性降低 PAPR 之改善架構

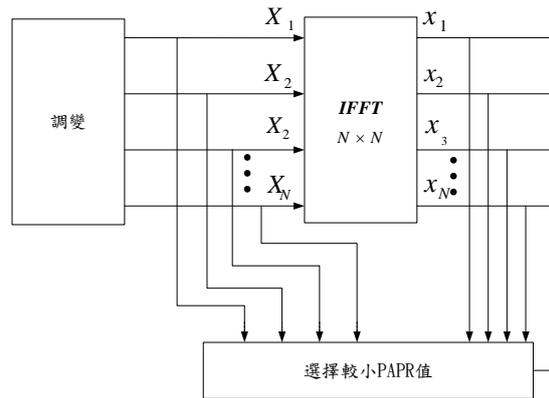
由傅立葉轉換的對偶性(Duality)發現，時域及頻域信號的波形陡峭程度具有相反趨勢，故我們比較 IFFT 前後信號的峰均功率比值，選擇其中峰均功率比值較小的信號進行傳送，以達到降低傳送信號峰均功率比值之目的，其方法架構如圖三所示。

但是使用傅立葉轉換對偶性降低 PAPR 的基本架構時，發現其改善峰均功率比值的效能表現不佳，其原因為有些信號模組不管在 IFFT 前或 IFFT 後其 PAPR 值都很高。為了能改善傅氏轉換對偶性架構降低 PAPR 的效能，我們提出一個改善架構，藉由增加一組 IFFT 希望能大幅提高其降低 PAPR 的效能。基於傅氏對偶性降低 PAPR 的改善架構如圖四所示。新架構由兩組 IFFT 組成，其中一組 IFFT 的輸入信號為將原來的信號模組先經過相位改變的處理，相位改變的方式可分為隨機相位及固定相位兩種。隨機相位為所有子載波信號的相位改變量是隨機產生的；而固定相位則為各子載波的相位改變量是固定的，其第 i 個子載波的相位改變量 $\theta_i = \frac{2\pi(i-1)}{N}$ ， $1 \leq i \leq N$ ， N 表 OFDM 系

統子載波的個數。為了解相位改變方式對基於傅氏對偶性降低 PAPR 改善架構在降低 PAPR 效能方面的影響，將分別針對隨機相位及固定相位兩種不同相位改變方式進行電腦模擬。電腦模擬時，假設 OFDM 系統的子通道個數 $N=128$ ；用戶個數 $R=4$ ，每位用戶佔有 32 子通道，且每位用戶的訊號映射型式不同，即不同用戶使用不同的數位調變方式；各用戶的功率控制係數的值皆為 0.8 ~ 1.2。

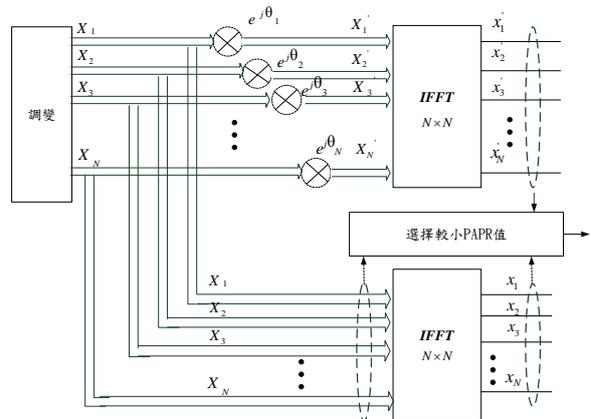


圖二 PTS 原理表示圖

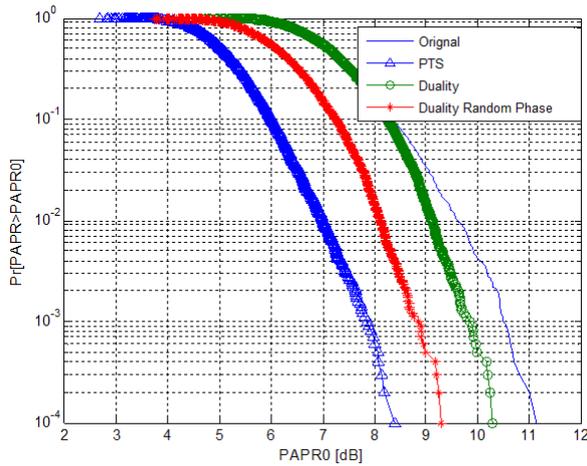


圖三 傅氏轉換對偶性降低 PAPR 基本架構圖

相位改變使用隨機相位，且各用戶映射訊號型式分別為 BPSK、QPSK、32QAM、64QAM 調變組合的模擬結果如圖五所示。模擬結果顯示，基於傅氏對偶性降低 PAPR 改善架構使用隨機相位，在降低 PAPR 值上，比只使用一個 IFFT 的傅氏對偶性基本架有明顯的改善，但和對照方法 PTS 架構相比，降低峰均功率比值的效能，仍有改善空間。



圖四 基於傅氏轉換對偶性降低 PAPR 改善架構圖



圖五 基於傅氏轉換對偶性的改善架構使用隨機相位，用戶調變為 BPSK、QPSK、32QAM、64QAM 之 PAPR 效能比較

基於傅氏轉換對偶性的改善架構，使用固定相位改變方式，即在信號進入 IFFT 前，先對第 i 個子載波上的信號旋轉一個固定相位值 $\frac{2\pi(i-1)}{128}$ $1 \leq i \leq N$ ，選擇旋轉該固定相位值的

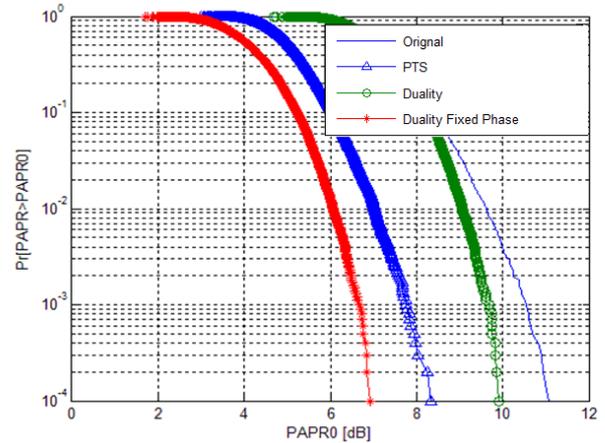
目的為將進入到 IFFT 的信號模組儘量平均分布在相量圖上，以將 IFFT 後信號的 PAPR 值降低。

圖六為基於傅氏對偶性降低 PAPR 改善架構使用固定相位，且各用戶使用的基頻數位調變方式別為 BPSK、QPSK、16QAM、32QAM 的電腦模擬結果。而用戶的調變為 16QAM、QPSK、32QAM、64QAM 的固定相位改善架構的 PAPR 效能模擬結果如圖七所示。

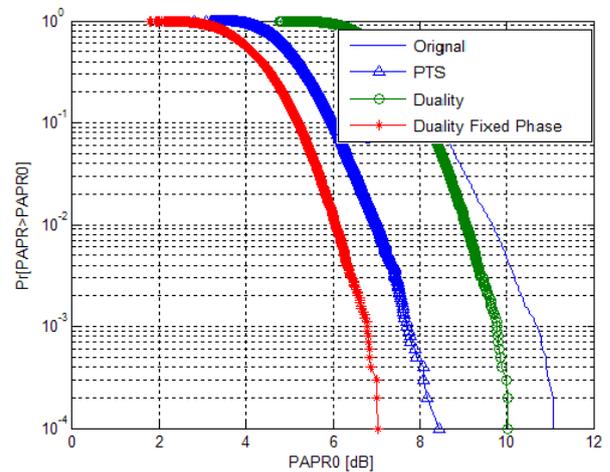
由圖六及圖七的結果可以發現，不論用戶的調變組合為何，採用固定相位改變值 $\theta_i = \frac{2\pi(i-1)}{N}$ ， $1 \leq i \leq N$ ，在降低 PAPR 的效能方面，不但如預期的比只使用單一 IFFT 的傅氏轉換對偶性基本法佳，同時也比對照的 PTS 法有較好的表現。很明顯的，在基於傅氏轉換對偶性的改善架構上採用所建議的固定相位改變值，較採用隨機相位改變值，有較好的 PAPR 改善效能表現。

4. 結論

本論文探討在多用戶多頻段的正交分頻多工系統中，使用傅立葉轉換對偶性方法來降低峰均功率比值的效能，模擬時我們將系統針對各用戶的信號品質所進行的功率控制一併加以考量；此外各用戶的基頻信號映射型式，



圖六 基於傅氏轉換對偶性的改善架構使用固定相位，用戶調變為 BPSK、QPSK、16QAM、32QAM 之 PAPR 效能比較



圖七 基於傅氏轉換對偶性的改善架構使用固定相位，用戶調變為 16QAM、QPSK、32QAM、64QAM 之 PAPR 效能比較

如 BPSK、QPSK、16QAM、64QAM 等，可根據用戶本身的需求及通道品質進行動態調整。由於傅氏轉換對偶性降低 PAPR 的基本架構法，對在 IFFT 前後的 PAPR 值都高的傳送訊號模組就無法有效降低其 PAPR，所以本論文提出基於傅氏轉換對偶性的改善架構，目的就是針對上述基本架構的缺失，以達到改善 PAPR 效能的目標。由模擬結果發現，相較於部分傳送序列

(PTS)法，傅氏轉換對偶性降低 PAPR 的基本方法在降低峰均功率比值效能上的表現較差；但是採用基於傅氏轉換對偶性的改善架構後，明顯的提升降低峰均功率比值的效能。尤其當基於傅氏轉換對偶性的改善架構配合採用本文所建議的固定相位改變值時，其在降低

峰均功率比值的效能表現上，較 PTS 方法優越。當然，使用傅氏轉換對偶性架構來降低 PAPR 值時，在接收端除了原有的 FFT 電路外，會增加一組 IFFT 電路。因為在傳送端，當 IFFT 前的信號被選擇傳送時，就如同所謂的單載波 OFDM 系統架構一樣。雖如此，但因傅氏轉換對偶性架構和 PTS 法相比，可在降低 PAPR 效能一樣的情況下，大幅減少傳送端的電路複雜度。因此，如何提高使用傅立葉轉換對偶性降低 PAPR 低效能，應值得進一步的探討，可以結合現有已知的降低 PAPR 的各種方法或朝新的架構思考，預期能設計出效能佳且複雜度低的架構，以有效改善多用戶多頻段之正交分頻多工系統的 PAPR 問題。

參考文獻

- [1] 梁新穎，陳彥儒，改良形基因演算法-部分傳輸序列技術降低正交多頻分工系統峰均功率比值，2010。
- [2] 林育均，許超雲，在正交分頻多工系統上透過預先編碼的方法來降低峰均值功率比之研究，2009。
- [3] 許超雲，曲志蕃，運用峰值削弱及線性組合降低峰均功率比，2009。
- [4] Chau-Yun Hsu and Hsin-Chieh Chao, "Peak Power Reduction Scheme Base on Transform Kernel," *Wireless Personal Communications*, Vol. 43, pp. 1499 -1509, December 2007.
- [5] S.G. Kang, J.G. Kim and E.K. Joo, "A Novel Subblock Partition Scheme for Partial Transmit Sequence OFDM," *Broadcasting, IEEE Transactions on* 33 Volume 45, Issue 3, pp.333 – 338, Sept. 1999.
- [6] A.Ghassemi and T.A. Gulliver, "PTS Peak Power Reduction of OFDM Signals with Low Complexity IFFTs," *Communication Networks and Services Research, Fifth Annual Conference*, pp.85 – 92, May. 2007.
- [7] C. Pradabpet, S.Yoshizawa, Y. Miyanaga and K. Dejhan, "A New PAPR Reduction in OFDM-WLAN Systems by Hybrid Algorithm of PTS and APPR Methods," *Asia-Pacific Conference on Communications*, pp.145 – 148, Oct. 2007.
- [8] F. J. MacWilliams and N. J. A. Sloane, *The Theory of Error-Correcting Codes*. Amsterdam, The Netherlands: North-Holland, 1986.
- [9] 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.
- [10] Nee, R van, "OFDM for high speed wireless network," *IEEE802.11*, pp.123, Nov. 1997.
- [11] S. B.Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform," *Communication Technology, IEEE Transactions on*, Vol. 19, Issue.5, pp.628-634, Oct. 1971.
- [12] Yiyan Wu and William Y. Zou, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing: A Multi-Carrier Modulation Scheme," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, Vol. 41, No. 3, pp.392-399, August 1995.49
- [13] Heung-Gyoon Ryu, Byong-Ii Jin and In-Bae Kim, "PAPR reduction using soft clipping and ACI rejection in OFDM system," *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, Volume: 18 Issue: 1, pp.17-22, Feb. 2002.
- [14] S. Andreoli, P. Banelli, F. Marrocolo and C. Massini, "HPA non-linear distortions in DVB-T systems simulation and measurement," *Signals, Systems, and Electronics, 1998. ISSSE 98.1998 URSI International Symposium on*, pp. 124-127, 29 Sep-2 Oct 1998
- [15] P. Banelli, G. Baruffa and S. Cacopardi, "Effects of HPA nonlinearity on frequency multiplexed OFDM signals," *Broadcasting IEEE Transactions on*, Volume: 47 Issue: 2, pp.123-136, June 2001.
- [16] Imran Ali Tasadduq and Raveendra K. Rao, "Weighted OFDM with Block Codes for Wireless Communication," in *IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Victoria BC, Canada*, pp.441-444 Aug. 26-28, 2001.
- [17] R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping" *Electronics Letters.*, vol. 32, no. 22, pp. 2056-2057, Oct.1996.50