

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 使用錯誤更正碼以降低 OFDM 的峰均值功率比及錯誤率之研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-002-075-

執行期間：92年08月01日至93年10月31日

執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：林茂昭

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 17 日



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫進度報告

## 使用錯誤更正碼以降低 OFDM 的峰均比率及錯誤率的研究(1/3)

計畫編號：NSC 91-2213-E-002-101

執行期間：92 年 8 月 01 日至 95 年 7 月 31 日

主持人：林茂昭 國立臺灣大學電信所

### 一、中文摘要

正交分頻多工調變系統近年來被廣泛的使用。但此系統有一個主要的缺點是高峰均值比的發生機率較大。我們提出二個渦輪碼的正交分頻多工調變系統並且在選擇性映射的方法下來降低峰均值功率比。我們的方法是利用最大長度碼作為測試序列來增加降低峰均值比的能力。以造成數個擁有不同的峰均值傳送符號後，選擇最小峰均值的符號傳送。在選擇性映射中所需要的附帶消息位元直接附加在資料訊號的尾端，與資料位元同時受到渦輪碼的保護，因此不需要額外的更正能力給予附帶消息位元保護。此外我們在渦輪編碼中使用數個不同的錯開器可以不需要附帶消息位元以得到更佳之錯誤率。另外我們考慮將其相異的檢查位元部份規則性的打散於碼句中以增加選擇性，可得到峰均值的壓制及外頻雜訊的控制。

關鍵詞：正交分頻多工調變、渦輪碼、峰均值比、最大長度碼。

### 英文摘要

OFDM system has been popularly applied to the many communication systems. Its major disadvantage is the high probability of large peak-to-average power ratio. We propose a turbo coded OFDM system with PAPR reduction by using selective mapping based method. For the first design we apply several maximum length sequences to the message bits to increase the PAPR reduction capability. We then have several OFDM symbols with the same information and different PAPR values. Then, we choose the one with the smallest PAPR for transmission. The side information is attached at the back of data frame and protected by the turbo coding. There is no need of extra protection to the side information. We can get the satisfactory bit error rate performance at high SNR. For the second design, we use several distinct interleavers in the turbo encoder.

In this way, the necessity of side information is eliminated. For both the first and the second designs we consider the effect of arranging the parity bits of turbo codewords.

Keywords: OFDM, turbo code, peak-to-average power ratio, maximum length sequence.

### 二、Goals (計畫的緣由與目的)

正交分頻多工調變是一種多載波系統。其基本原理是將多個高速的資料流(datastream)分成數個較低速率的資料流，同時使用不同的載波傳送。因為是低速平行設計，所以符號時序間隔增加可避免由於多重路徑延遲擴張所造成在時域上的符號散佈(dispersion)之影響。正交分頻多工調變系統被廣泛的應用在寬頻的數據通訊在行動無線電 FM 頻道或是數位用戶迴路(Digital subscriber loops, DSL)、數位廣播如數位電視廣播(DTV)、數位影像廣播(DVB)、無線區網如 IEEE 802.11a, b, g 等。不過，此傳輸技術具有個嚴重的缺點就是具有較高的峰均值 (Peak-to-Average Power Ratio, PAPR)，當傳輸的訊號具有相同的相角使其振幅發生加成性的累積導致較大的機會出現極高瞬時功率。這一個缺陷使得正交分頻多工調變系統必須有一個極佳的放大器擁有寬廣的線性放大區間，否則訊號將受到額外的衰減。此外峰值過高問題也讓射頻放大器的功率效率不佳，同時較高的峰均比值也會提高 OFDM 調變系統內部裝置如數位至類比轉換器(D/A converter)，類比至數位轉換器(A/D converter)的實作複雜度。

在本計畫中，將針對 OFDM 傳輸系統的峰均值問題著手，結合錯誤更正碼和減除器(Clipper)，先利用錯誤更正碼之冗餘特性以同時提供位元保護

能力及降低峰均值。所產生的非線性失真我們也將探討其頻譜特性如外頻雜訊、位元錯誤率的增減。以期達到一個同時降低峰均值並伴隨高錯誤更正能力的正交分頻多工調變系統。下節將說明在本三年期計畫中第一年採用的方法及成果。

### 三、Methods and Results (研究方法與成果)

OFDM 調變傳送符號是由 N 個獨立調變信號所調變組成,其數學式可以被表示成:

$$s_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_{n,m} \exp(j2\pi nt / T_s) \quad (1)$$

下標 m 表示第 m 個傳送的 OFDM 調變區塊符號,  $X_{n,m}$  表示為在第 m 個傳送區塊符號第 n 個次載波(sub-carrier)所調變的信號。N 為整個次載波的個數。 $T_s$  為符號時序間隔, 而傳送符號其均峰值定義成傳送符號 ( $s_m(t)$ ) 的最大瞬時功率比上平均功率的比值

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t < T_s} P_m(t)}{P_{ave}} \quad (2)$$

其中其瞬時功率  $P_m(t)$  可以被表示成

$$P_m(t) = s_m(t) s_m^*(t) \quad (3)$$

當 N 值夠大時,由中央極限定理我們可以得知 OFDM 傳送符號( $s_m(t)$ )的大小分佈為瑞雷分佈(Rayleigh distribution),也就是說其傳送符號有較高的峰均值(PAPR)。OFDM 調變系統傳送符號的峰值大小為瑞雷分佈,則理論上其傳送符號的峰值大於一個平均值  $PAP_0$  (threshold)的機率為:

$$P_r(PAP > PAP_0) = 1 - (1 - \exp(-PAP_0))^N \quad (4)$$

過去的研究中,許多方法以被提出來降低峰均值發生在正交分頻多工調變系統中。選擇性映射[1]的主要原理是建立數個不同峰均值的 OFDM 符號但帶有相同的訊息,選擇一個具有最小峰均值的符號來傳送。在這個篩選最小的過程中可以改變傳送時峰均值的機率分布。假設所建立的 m 個峰均值之間皆為獨立且同分布,經由推導選擇最小峰均值的互補累積分佈函數(complementary cumulative distribution function)可改寫為:

$$P_r(PAP_{Low} > PAP_0) = \{1 - (1 - \exp(-PAP_0))^N\}^M \quad (3)$$

其結果如圖一所示。我們可了解,當所提供的選擇增加時的高峰均值發生機率的削減能力也隨之增加。在原始傳送型態只有一個選擇度開始增加到十六個選擇度時有較大的增進。若增加到 128 個選擇度時改善之幅度有限而付出之代價相當大。因此,我們將採用十六個選擇度在後續的系統設計中,以達最有效率的降低均峰值。上述對峰均值之分析符合 OFDM 訊號的最大取樣峰值而非真實有限頻寬 OFDM 訊號之最大峰值。為了使離散傳送符號轉換至連續時間傳送符號的失真度較少,這裡必須增加 OFDM 傳輸系統的離散取樣速率,使用超取樣(oversampling)[2]來修正離散傳送符號轉換至連續時間傳送符號的峰值失真。在本報告的模擬中,超取樣率(oversampling factor,L)值為 4。

選擇性映射是一個非常具有彈性的設計方法。所使用測試序列(test sequence)的數量等效於所外加的附帶消息位元數來彈性的調整峰均值。附帶消息位元被加在傳送資料中用來使接收端可根據附帶消息位元得知傳送端所選擇的符號再加以還原。

我們目前之研究成果包括有兩種系統(系統 A 和系統 B 以及其兩種檢查位元分部方式之探討)。圖二所示為(系統 A)之傳送端,訊號資料加上 16 個不同的最大長度碼作為不同的擾亂機制(scrambling)。最後的四個位元由 0000 至 1111 代表 16 個不同的附帶消息位元。在經由碼率為二分之一的渦輪碼進行編碼同時保護訊息及附帶消息位元。如此可以建立 16 個帶有相同訊息的渦輪碼句由二位元相移鍵映射至訊號星雲圖,經過 IFFT 的運算作為 OFDM 的調變器,我們可以得到 16 種不同的峰均值後選擇最小峰均值的 OFDM 符號傳送。系統中將 124bits 訊號資料  $\bar{v}$  加上 16 種不同之測試序列  $\bar{t}_i$ , ( $1 \leq i \leq 16$ )。這十六種不同之測試序列為(127, 7, 64)最大長度序列[3],將所得之 124bits 位元附帶上 4bits 的附帶消息位元[4],用二分之一碼率的渦輪碼編碼成為 256bits 的渦

輪碼碼句後以二位元相移鍵映射在 256 載波的 OFDM 系統中。此作法類似[4]中所採用之設計但是我們另考慮檢查位元分部之影響。Case I 中將 128 位元  $\bar{A}_i$  編碼為 256 位元之碼句  $(\bar{A}_i, \bar{P}_{i1}, \bar{P}_{i2})$ ，其中  $\bar{P}_{i1}$  及  $\bar{P}_{i2}$  分別為渦輪碼之第一個成分碼及第二個成分碼所造成之檢查位元部份。Case II 是將 Case I 所編碼而呈的渦輪碼句再加以從新排列，將檢查位元均勻的打散在整個碼句中。也就是將  $\bar{A}_i$  之 128 位元放在第 0, 2, ..., 254 位置，而  $\bar{P}_{i1}$   $\bar{P}_{i2}$  放在第 1, 3, ..., 255 位置。由圖三我們可以得知，Case I PAPR 削減能力略遜於 Case II 之 PAPR 削減能力。若將檢查位元分散而非均勻方式可進一步提高峰均值的衰減量。若額外使用從新排列渦輪碼碼句，將檢查位元分散以打亂之間的相關度來提高峰均值的衰減量。圖四為系統 A 之接收端，接收到之訊號先經由渦輪碼解碼後讀取其附帶訊息位元再選擇適當的最大長度碼加以還原傳送之原訊息。我們也須探討系統 A 的功率頻譜密度函數如圖五，系統 A 的設計可以有效的降低外頻雜訊以及在使用 6dB 的減除器情形下而造成非線性失真。此外，探討錯誤性能中，本系統的位元錯誤率表現不如原系統(未加任何降低峰均值之設計)。圖五圖六之數據是根據 Case I 所得。渦輪碼編碼提供相同的保護於 124bits 的消息位元以及 4bits 附帶消息位元。圖六之差異性來自於附帶消息位元造成之訊雜比降低。

為了避免附帶消息位元造成之訊雜比降低現象，我們設計的不需使用附帶消息位元之系統 B。圖七所示為系統 B 之設計。我們在渦輪編碼器中由錯開器(Interleaver)來整合兩個平行的迴旋碼之特性，使用數個不相同的錯開器將輸入資料編碼成為數個擁有不同檢查位元的渦輪碼句，這些渦輪碼句映射至正交分頻多工調變系統的每一個附載波後經 IFFT 調變之，發生不同的峰均值。在選擇最小峰均值者傳送。其接收端設計如圖八。

在圖九中顯示的模擬結果為，在相同 256 載波的正交分頻多工調變系統情形下，分別以碼率為 1/3, 1/2, 2/3 的條件下配合 16 個不同的錯開器，在 16 個不同峰均值而相同訊息的符號中最小峰均值傳送。這些系統式碼句只有 1/4 部分，也就是一半檢查位元是相異的情形所得到峰均值功率比的互補累積分佈函數。本篇報告所使用的錯開器設計參考文獻[5]之結果。其位置指標映射函數  $\Omega: i \rightarrow j$  可表示為：

$$j = \Omega(i) = \frac{k}{2} + i + \frac{\sqrt{k^2 + 8ki}}{2} \pmod{n} \quad (5)$$

其中 n 為錯開器長度(interleaver size)，k 為奇數。根據上述使用  $k=\{35, 37, 39, 41, 45, 49, 57, 59, 71, 81, 87, 89, 103, 107, 121\}$ ，在 256 載波二位元相移鍵並且以超取樣率值為 4 的環境下模擬其功率頻譜密度函數(圖十)。在減除器減除比值為 3dB 與 6dB 的情況下皆有改善其外頻訊的大小，尤其是 6dB 減除比下。(圖十一)為其錯誤表現性能，在各種碼率的情形下皆可得到優於系統 A 及原系統(即原系統及不加降低 PAPR 措施者)令人滿意的錯誤表現。在接收端我們必須對 16 種不同的錯開器作渦輪解碼，在解碼的過程中，認定最佳可靠度的錯開器為傳送端所使用的錯開器。若我們仿照系統 A Case II 之方法，檢查位元規則性的置入整個碼句中將使系統式字碼(Systematic form)相異的檢查位元平均分散於整個碼句中以提高峰均值的壓制能力。圖十二所示為此系統之峰均值的互補累積分佈函數。

#### 四、Concluding Remarks and Future Work (結論與未來工作)

在上述系統中，我們以找出結合渦輪編碼及正交分頻多工調變系統時，有效的同時降低峰均值及位元錯誤率的方法。

在未來的研究中我們將首先設計數個非規則性的從新安插檢查位元之方式，以期有更好的降低

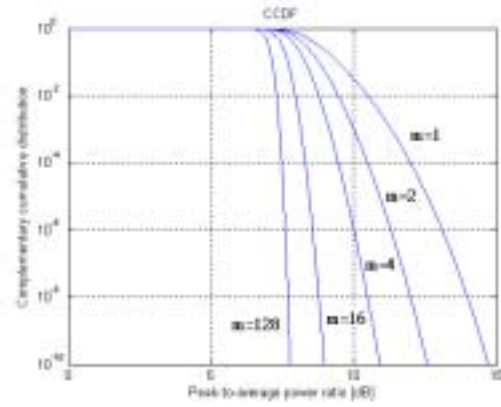
峰均值之能力。此方法亦可結合不同的最大長度碼或是不同的渦輪編碼之錯開器來更進一步加大選擇性映射中帶有相同訊息的數個 OFDM 符號峰均值的差異性。接下來可以研究降低直接使用附帶消息位元(最大長度碼的使用數目)以結合其他的方式加以擴增峰均值的削減能力或是結合渦輪碼的疊代解碼特性,設計不需使用附帶消息位元的選擇性映射之方法。更進一步的設計在提供峰均值衰減能力的同時保有較好的錯誤更正能力。

除了渦輪碼運用之外,我們也將考慮廣義低密度查核碼(GLD)結合正交分頻多工調變系統以降低峰均值。利用多個錯開器及遞迴式解碼方式以增進解碼能力。

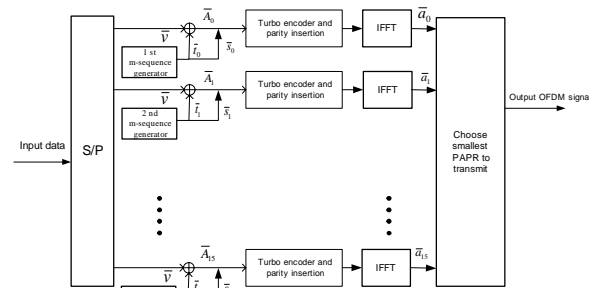
### 五、參考文獻(References)

- [1] R.W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "Reducing the peak-to-average power ratio of multicarrier modulation by selective mapping," Electron. Letters., vol. 22, pp. 2056-2057, Oct. 1996
- [2] J. Tellado, "Multicarrier Modulation with Low PAR: Applications to DSL and Wireless", Kluwer Academic Publishers, January 2000
- [3] Shu Lin, Daniel J. Costello, JR., "Error Control Coding: Fundamentals and Applications," 1983.
- [4] M. Breiling, T.A., S.H. Muller-Weinfurtner, J.B. Huber, "SLM Peak-Power Reduction without Explicit Side Information," IEEE Communication Letters, vol. 5, no. 6, pp.239-241, June 2001.
- [5] O.Y. Takeshita, D.J. Costello Jr., "New deterministic interleaver designs for turbo codes," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 46, no. 6, pp. 1988-2006, September 2000.

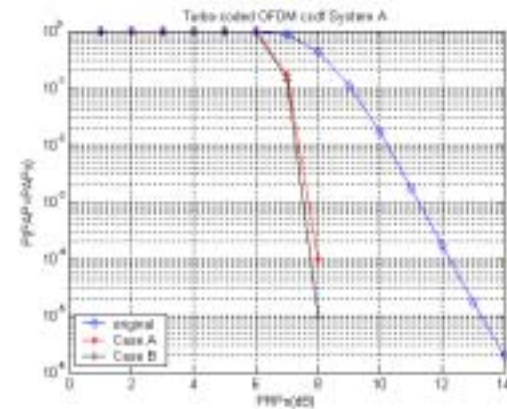
### 六、圖表 (Figures and Tables)



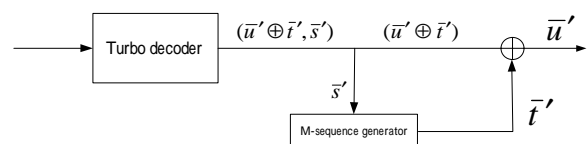
(圖一): 選擇性映射方式下使用不同數目選擇度所得之互補累積分布函數



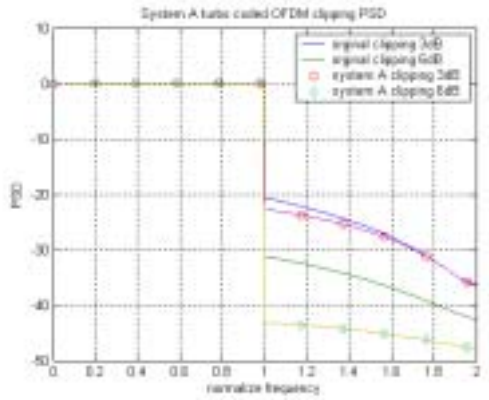
(圖二): 系統A之傳送端系統架構



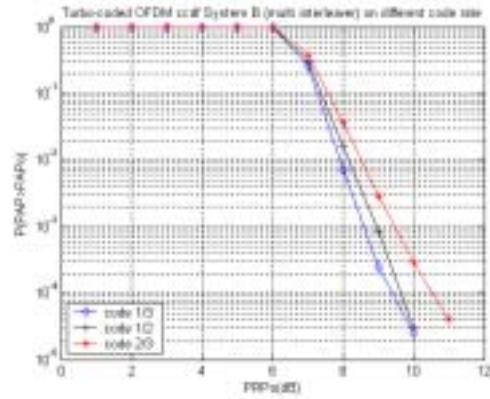
(圖三): 系統A之互補累積分布函數



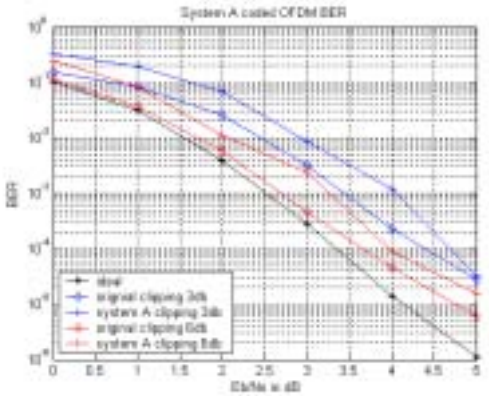
(圖四): 系統A之接收端架構



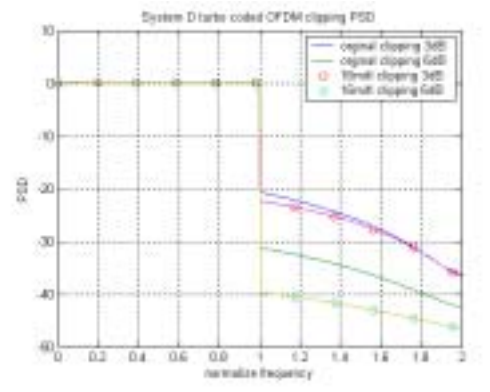
(圖五): 功率頻譜密度函數, 在減除比例 3dB 與 6dB 下模擬結果



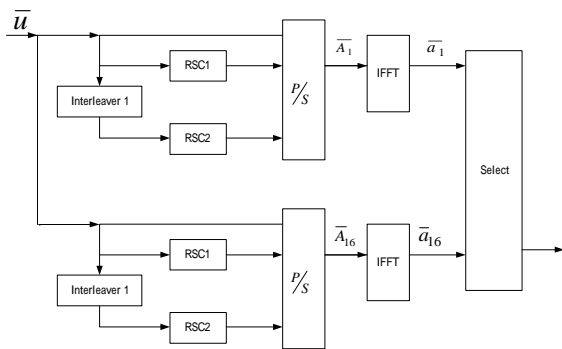
(圖九): 系統 B 不同碼率下互補累積分佈函數



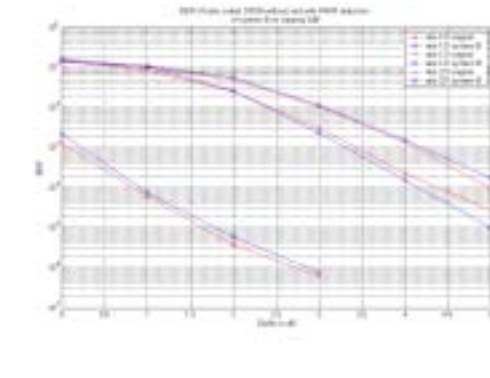
(圖六): 位元錯誤率在減除比例 3dB 與 6dB 情形下



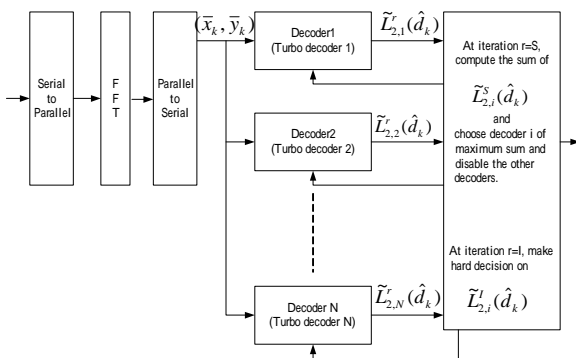
(圖十): 系統 B 之功率頻譜密度函數



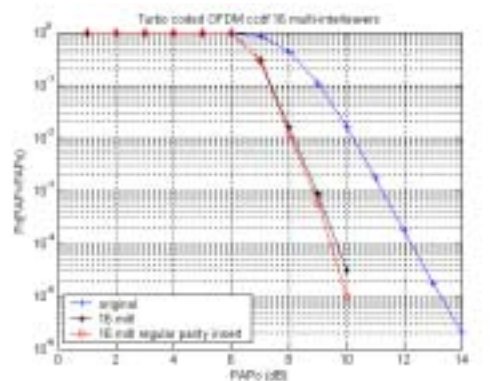
(圖七): 系統 B 傳送端



(圖十一): 系統 B 之不同率下錯誤表現



(圖八): 系統 B 接收端



(圖十二): 系統 B (1/2 碼率) 之互補累積分佈函數