

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

OFDM 多重接收系統之高品質傳收機設計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2213-E-009-087-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系

計畫主持人：沈文和

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 11 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

OFDM 多重接收系統之高品質傳收機設計

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2213 - E - 009 - 087

執行期間：2003 年 08 月 01 日至 2004 年 07 月 31 日

計畫主持人：沈文和

共同主持人：

計畫參與人員：陳長新、許正欣、楊雁雯

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學電信工程學系

中 華 民 國 九 十 三 年 十 月 七 日

一 中、英文摘要及關鍵詞(keywords)

中文摘要

正交分頻多工(Orthogonal Frequency Division Multiplexing , OFDM)已被認為是實現未來高速資料傳輸的重要技術；並且，它也成功地被廣泛使用在多種應用領域。本計畫在 IEEE 802.16a 無線都會網路 OFDM Mode 的標準下，設計一高品質之 OFDM 多重接收系統的傳收機。其中，我們發展 DL Preamble 能量偵測、碼框同步、保護區間長度估測、通道估測、載波頻率偏移估算以及取樣頻率偏移估算等的演算法。此外，我們也建立了一包含上述所有演算法的 IEEE 802.16a 無線都會網路 OFDM Mode 之接收機模擬平台。根據電腦的模擬結果，我們驗證了所提出演算法的可行性。最後，為了符合 IEEE 802.16a 無線都會網路 OFDM Mode 系統的規範，在不損失系統效能的前提下，我們進一步提出降低演算法實現成本的方法。

Abstract

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) is a promising transmission technology for future high data rate communications. It has been successfully used in wide varieties of applications. In this project, based on the standard of IEEE 802.16a OFDM Mode, we develop a high-quality OFDM multi-access transceiver. Our designs include the algorithms for the detection of DL Preamble energy, frame synchronization, CP estimation, channel estimation, frequency offset estimation and clock offset estimation. In addition, a complete simulation platform, involving all the algorithms mentioned above, is developed for the transceiver that complies with the IEEE 802.16a system specification. According to the simulation results, it is found that all our proposed algorithms are feasible. Finally, in order to satisfy the requirements of specification, we further propose methods to lower the implementation cost without losing the system performance.

二 報告內容

(一) 前言與研究目的

多媒體之個人行動通訊系統的發展將使得數百 Mbps 以上的高傳輸速率成為必需的。這也使得無線通訊都會網路 (Wireless LAN) 產業蓬勃發展；它可將有線網路 (Wired LAN) 做無遠弗界的延伸。無線都會網路已被認為是下一代通訊產業發展的最大推動力之一，全球通訊業者與學術研究機構也都極積地投入相關技術的研究與開發。其中又以正交分頻多工 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技術最引人注目，它具有高傳輸速率與抗多重路徑通道 (Multipath Channel) 的特性 [1]-[4]。所以，它是最被看好的次世代無線通訊之調變技術，且也已經為多個通訊標準協定所採用。在未來無線技術發展中扮演舉足輕重的角色。

本計畫主要以 IEEE802.16a 無線都會網路[5]之 OFDM 系統為研究架構。我們將探討接收機解調資料時所遭遇到的問題，並尋求其解決之道。問題包含了：DL Preamble 能量偵測、碼框同步、頻率偏移估計及補償、取樣頻率偏移估計及補償、保護區間長度估測與通道估測演算法設計。藉由電腦模擬來驗證所提出方法的可行性。

(二) 研究方法

我們在 IEEE802.16a OFDM Mode 無線都會網路(Wireless-MAN)下，發展 OFDM 多重接收系統的傳收機的演算法。無線都會網路的前導信號(Preamble)是由兩個符元組成。其中第一個符元是 Short Preamble，另一個符元則是 Long Preamble。Short Preamble 是由 4 個相同的成份所組成，每隔 64 點的值是相同的。而 Long Preamble 是由 2 個相同的成份所構成，每隔 128 點的值是相同的。

利用 N 點 FFT 運算將接收到的時域訊號做解調後，可得到第 l 個 OFDM 符元的第 k 個子載波的頻域訊號如下：

$$Y(k, l) = X_{k,l} H_k e^{-\frac{j2\pi k l N_{OFDM} \xi}{N}} e^{-j2\pi \Delta f_r l N_{OFDM} T_s} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j2\pi \Delta f_r n T_s} \right) + \left(\sum_{\substack{k'=0 \\ k' \neq k}}^{N-1} X_{k',l} H_{k'} \exp\left(\frac{-j2\pi k' l N_{OFDM} \xi}{N}\right) \exp(-j2\pi \Delta f_r l N_{OFDM} T_s) \right) \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \exp\left(j\left(\frac{2\pi(k'-k)n}{N} - 2\pi \Delta f_r n T_s\right)\right) \right) \quad (1)$$

$ICI(k,l)$

其中， $X_{k,l}$ 為傳送訊號、 H_k 為通道增益、 ξ 為傳送端與接收端之間的頻偏比例、 $T_s^{\%}$ 為相對於 ξ 的取樣週期、 Δf_r 為殘餘載波頻偏。根據中央極限定理， $ICI(k,l)$ 能夠以高斯分佈來近似；所以，我們將 $ICI(k,l)$ 與高斯雜訊 $Z_{k,l}$ 之合可定義為高斯分佈變數 $N_{k,l}$ 。此外，由於 ξ 與 Δf_r 都是遠小於一的值；因此，我們可以得到以下的式子：

$$R_{k,l} \approx \sum_{S_{k,l}} X_{k,l} H_{k,l}^{\%} + N_{k,l} \text{ where } H_{k,l}^{\%} = H_{k,l} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j2\pi\Delta f_r n T_s^{\%}} \right) \quad (2)$$

接著，我們根據 L 個解調後的 OFDM 符元 $\{R_{k,1}, R_{k,2}, \dots, R_{k,L}\}$, $k=0,1,\dots,N-1$ ，藉由利用 ML(Maximum Likelihood)法則做通道估測，可得到以下的通道估測向量

$$\hat{\mathbf{H}}_k^{\%} = \left[\frac{R_{k,1}}{X_{k,1}}, \frac{R_{k,2}}{X_{k,2}}, \dots, \frac{R_{k,L}}{X_{k,L}} \right] \quad (3)$$

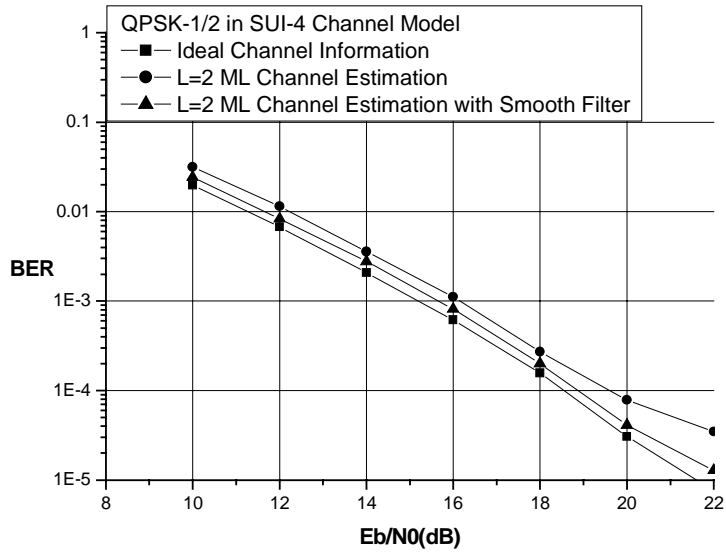
其中，傳送訊號 $\{X_{k,1}, X_{k,2}, \dots, X_{k,L}\}$ 可由已知的 Preamble 得到。由於 IEEE802.16a 無線都會網路的基地台及用戶端之相對位置均是固定的情況之下，所以在一個封包時間內，傳送通道幾乎不會有太大改變。最後，利用不同 OFDM 符元的通道相似性來達到壓抑雜訊的效果，第 k 個子載波的通道估測值如下：

$$\hat{H}_k^{\%} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \frac{R_{k,l}}{X_{k,l}} \quad (4)$$

從電腦的模擬結果發現：在使用 ML 通道估測下所得到的 BER，比起 Perfect 通道估測約有 1dB 的效能損失。我們能夠使用平滑濾波器改善此效能差異，也就是將 ML 通道估測係數做權重平均，得到另一組更精確的通道係數，如下：

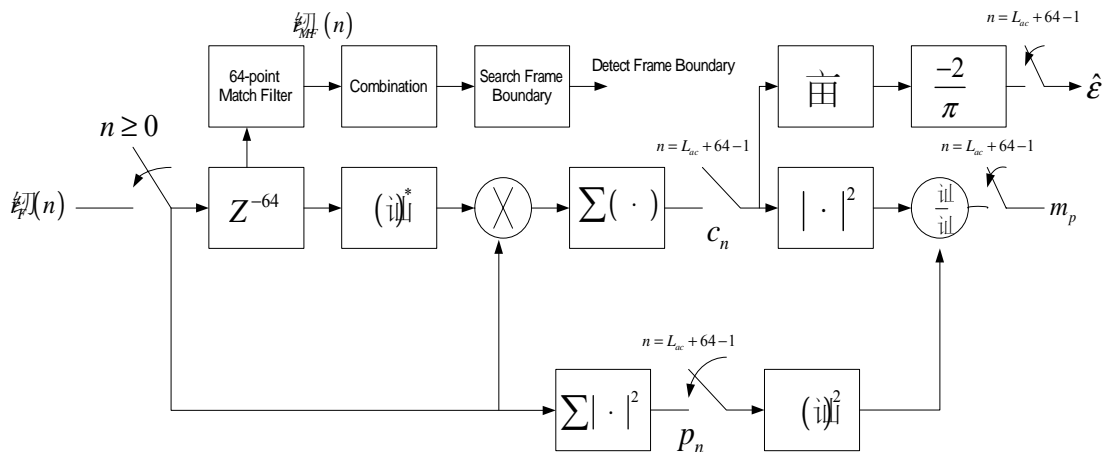
$$\hat{\mathbf{H}} = \mathbf{F}_{uh} \left(\mathbf{F}_{uh}^H \mathbf{F}_{uh} \right)^{-1} \mathbf{F}_{uh}^H \hat{\mathbf{H}}^{\%} \quad (5)$$

\mathbf{F}_{uh} 為 DFT 矩陣切割後的其中一部分。圖(一)是在 QPSK-1/2 條件下，加入平滑濾波器前後的效能比較。平滑濾波器的使用使得 BER 為 10^{-4} (QPSK-1/2) 情況下，改善了 0.6dB。



圖(一) QPSK-1/2 條件下，加入平滑濾波器前後的效能比較

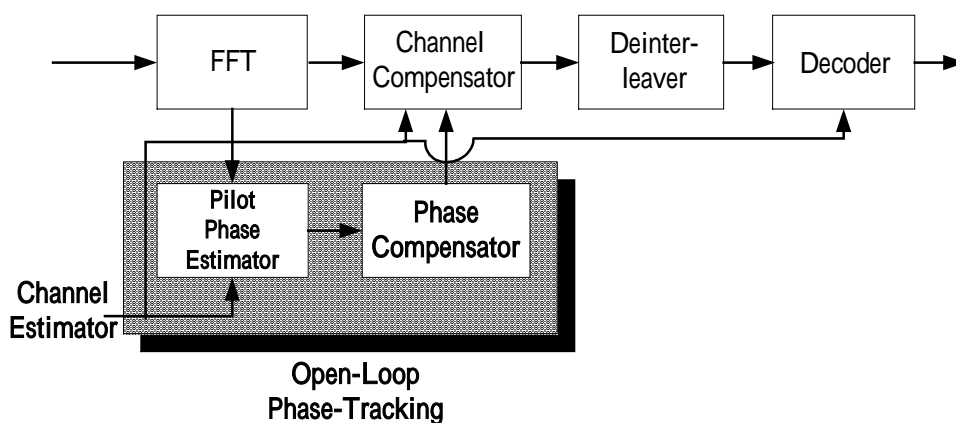
接下來，我們要來解決 OFDM 多重接收系統的同步問題，包含了：DL Preamble 能量偵測、載波頻率偏移估算、碼框邊界同步以及執行保護區間長度估算。其中前三項可由圖(二)的電路（使用 4 個長度為 64 的 Short Preambles）來執行，位於圖(二)下方的電路是用來偵測 DL Preamble 能量，左上方的電路是用以碼框同步，以及右上方的電路是用作估算載波頻率偏移。



圖(二) DL Preamble 能量偵測/碼框同步/載波頻率偏移估算電路

找到碼框的邊界後，我們就可以確定 Short Preamble 的終點位置。接著，我們用一個 128 點的匹配濾波器來找出 Long Preamble 保護區間信號的終點位置，我們藉著找出匹配

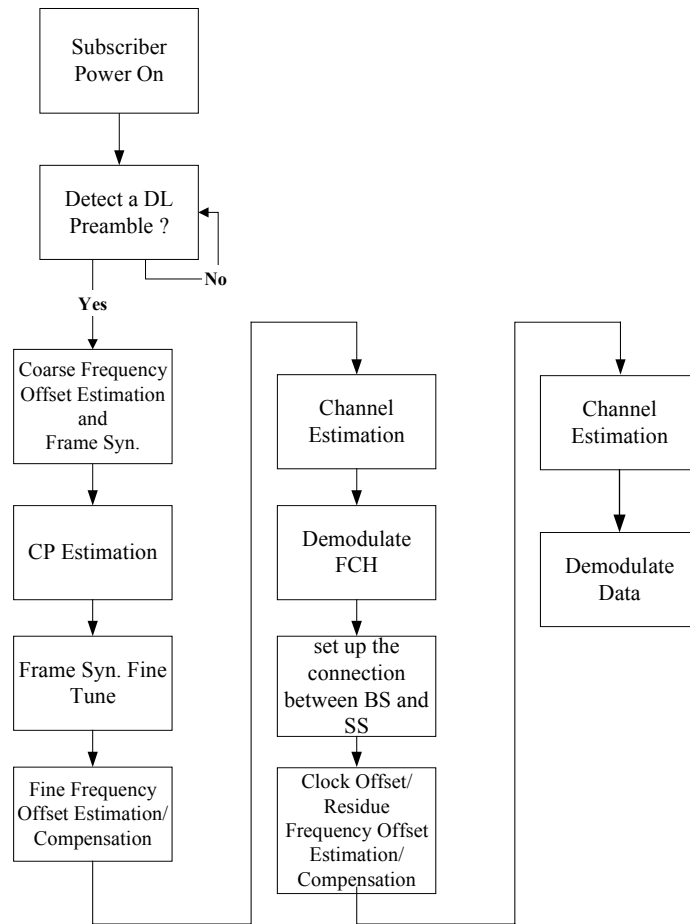
濾波器的峰值，算出此峰值與 Short Preamble 終點位置的距離即為 CP 的長度。然而，在多重路徑的通道影響之下，只利用一個峰值來與 Short Preamble 的終點位置做比較會有很大的風險，因此，我們必須多找出幾點來與 Short Preamble 的終點位置做比較才會有較佳的結果。當我們找出保護區間的長度之後，可以利用這個資訊來做時間上的微調。最後，由於載波頻率偏移估算無法精確地執行，因此取樣頻率偏移往往伴隨著殘餘載波頻率偏移影響，所以兩者要一起考慮。圖(三)是在頻域進行估測以及補償取樣頻率偏移和殘餘載波頻率偏的移開放式相位追蹤迴路(Open-Loop Phase-Tracking)。相位補償的好處是用頻域 200 個載波的相位補償取代時域 256 點取樣點的內插及載波頻偏補償，所以就耗用的硬體成本而言似乎會比較低，而且同時處理載波頻率偏移與取樣頻率偏移使問題變得比較容易，理論上也可以實現。



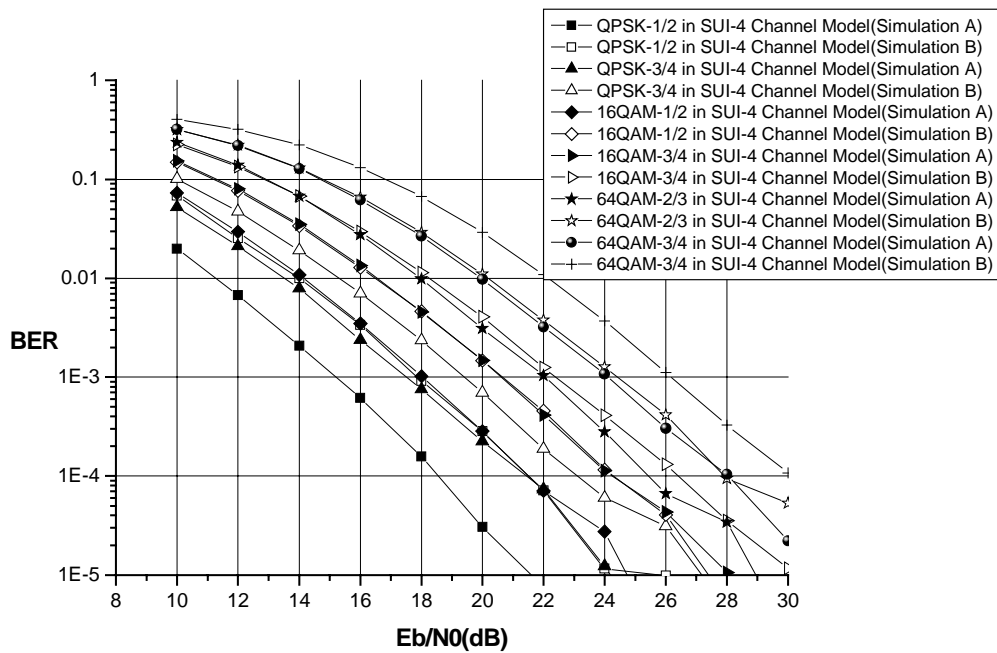
圖(三) 開放式相位追蹤迴路運作方塊圖

(三) 結果與討論

根據圖(四)的演算法執行流程圖，我們從電腦模擬發現：在沒有載波頻率偏移及取樣頻率偏移情況下，保護區間長度估算沒有造成任何效能損失，但是，碼框同步在低 SNR 時會有明顯的效能損失。圖(五)是整體效能的模擬結果，其中 Channel A 表示碼框同步、保護區間長度估測、載波頻率偏移及取樣頻率偏移估測與通道估測都是完美的，沒有誤差。而 Channel B 表示非完美，有誤差的情況。在 Channel B 下，整個系統設計約有 2 至 3 dB 的效能損失，這效主要是由於載波頻率偏移及取樣頻率偏移所導致碼框同步的誤差所造成。因此，我們將繼續針對碼框同步及取樣頻率偏移估算進行研究發展更好的演算法，使得整個效能損失降低。



圖(四) 演算法執行流程圖



圖(五) 所有演算法合併之模擬結果

三 參考文獻

- [1] Technology-Telecommunications and information exchange between systems- LAN/MAN Specific requirements-Part 11: Wireless LAN MAC and PHY specifications: High-speed Physical Layer in the 5GHz Band,” September 1999.
- [2] J. A. C. Bingham, “Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
- [3] ETSI, “Radio broadcasting systems: Digital Audio Broadcasting to mobile, portable and fixed receivers,” *European Telecommunication Standard 300 401, 2nd ed.*, European Telecommunication Standard Institute, Valbonne, France, 1997.
- [4] R. W. Chang, “Synthesis of band-limited orthogonal signals for multi-channel data transmission,” in *Bell System Tech. J.*, vol. 45, pp. 1775-1796, December 1966.
- [5] IEEE, “Std 802.16a-2003, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems- Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz,” April 2003.