

用於多載波分碼多重進接系統之空時多用戶接收器

Space-Time Multi-user Receiver for MC-CDMA Systems

計畫編號：NSC 90-2213-E-009-071

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：李大嵩 教授 交通大學電信系

計畫參與人員：鄧俊宏 林高洲 陳慶鴻 吳智聖

一、中文摘要

在本報告中，吾人提出一種基於空時遞迴處理之多載波分碼多重進接接收器，具有可以消除多用戶干擾與抑制重疊系統窄頻帶干擾等能力。其架構概分為三階段：首先，藉由一組適應性匹配濾波器構成之空-時訊號處理器消除強干擾，並有效接收不同延遲之多路徑訊號。其次，將經空-時訊號處理後的資料，藉由訓練訊號與訊號之特徵碼等，達成建設性多路徑訊號之收集與目標訊號之重建。最後，藉由訊號之重建及消去技巧，重新啟動空時訊號處理器，如此將能更有效去除干擾源，而能達到接近最大化訊號雜訊比接收器之性能。

關鍵詞：多載波分碼多重進接系統、陣列天線、干擾消除

In this report, we proposed an iterative space-time (ST) receiver for multiple access interference (MAI) and narrowband interference (NBI) suppression and multipath diversity reception in wireless multi-carrier CDMA communications incorporating antenna arrays. The scheme involves three stages. First, a set of adaptive space-time diversity processors, in the form of adaptive matched filter pairs, is constructed which provides effective suppression of unwanted interference and reception of multipath signals with different time delays. Second, with the output data obtained by these processors, signal reconstruction and channel estimation are accomplished by exploiting pilot symbols, decision-directed symbols and the signal's signature. Finally, a decision-directed RAKE receiver gives the estimate of the signal, which is then subtracted from the data sent to the next stage. The proposed receiver can achieve nearly the same performance of the optimal maximum SINR (MSINR) receiver.

Keywords: Multi-carrier CDMA, Antenna array, Interference cancellation

Abstract

二、計畫緣由與目的

在無線通訊的環境中，多用戶干擾

(MAI)、重疊系統之窄頻帶干擾(NBI)、多重路徑衰減和雜訊等常會影響通訊品質並降低系統的容量。為此，許多先進訊號處理技巧已被發展出來應付這些問題。吾人引用多載波分碼多重進接系統，可以有效克制多路徑效應所伴隨的符際干擾，且在配合陣列天線的使用後，接收器即成為二維的空-時結構，對多路徑訊號具有空間及時間的鑑別能力，同時對所有干擾源有更佳的壓抑效果，可進而有效地提高系統效能。

傳統接收器中常用的干擾消除法為序列干擾消除法(SIC)或平行干擾消除法(PIC)。前者之主要概念為：接收機利用匹配濾波器先偵測出訊號最強的使用者，然後將之偵測出來，再進行次強使用者的偵測。如此接續下去，便能將所有使用者的訊號有效地偵測出來。而平行干擾消除法則是同時對所有使用者作偵測，藉由將其他使用者的干擾訊號除去，而得到目標使用者訊號的最佳估計。上述兩種方式簡單易實現，但並未充分利用現有的自由度有效對抗窄頻帶之強干擾源。為了提昇接收器之效能，吾人提出遞迴干擾消除架構以得到較佳之干擾消除。並利用一組適應性匹配濾波器，同時對取樣訊號解展頻和做干擾消除工作。常見的適應性濾波器有最小輸出能量接收器(LCMV)，源自陣列訊號處理之旁波瓣消除(GSC)架構如(圖一)，藉鎖定訊號固定輸出功率，使總輸出功率達到最小，來達到干擾消除目的。但此接收器常會因訊號不匹配，導致訊號自我消除而影響性能。為此，吾人引入訊號扣除法，可明顯改善上述問題，並有效提昇系統效能。

三、研究方法

吾人所提出之空時遞迴處理多載波分

碼多重進接接收器，其研究方法如下：

1. 首先，在多載波分碼多重進接系統，發射端第 k 個用戶發射之第 i 個訊號為：

$$s_{k,i}(t) = \frac{1}{\sqrt{T_b}} \sum_{m=0}^{M-1} c_k(m) d_k(i) \exp\{j2\pi \frac{m}{T_b} t\}$$

2. 發射訊號經過多路徑衰減與多用戶干擾與窄頻帶干擾之後，吾人可得到去除 Guard 區間後之數位接收資料：

$$\bar{\mathbf{x}}_i(n) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sim_{k,l} \mathbf{a}_{k,l}^-(n) s_{k,i}(t - \tau_{k,l}) \Big|_{t=nT_c} + \bar{\mathbf{i}}_{NB}(n) + \bar{\mathbf{n}}(n)$$

3. 接著，在接收端執行 FFT，可得空時接收資料為：

$$\mathbf{x}_i(m) = FFT\{\bar{\mathbf{x}}_i(n)\} = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L_k} \sim_{k,l} \mathbf{a}_{k,l}^-(m) c_{k,l}(m) d_k(i) + \mathbf{n}(m) + \mathbf{i}_{NB}(m)$$

此時，將 post-FFT 接收資料(M 個載波與 Q 個天線)以矩陣表示為：

$$\mathbf{X}(i) = [\mathbf{x}_i(0), \mathbf{x}_i(1), \dots, \mathbf{x}_i(M-1)] = \sum_{l=1}^{L_i} \sim_{1,l} \mathbf{a}_{1,l}^-(i) \mathbf{c}_{1,l}^T d_1(i) + \mathbf{I}(i) + \mathbf{N}(i)$$

4. 之後，經由一組適應性匹配濾波器組成之空時訊號處理器處理空時聯結向量訊號：

$$\tilde{\mathbf{x}}(i) = \text{vec}\{\mathbf{X}(i)\}_{Q \times 1} = \tilde{\mathbf{h}}_1 d_1(i) + \tilde{\mathbf{i}}(i) + \tilde{\mathbf{n}}(i) = \left\{ \sum_{l=1}^{L_1} \sum_{q=1}^Q \tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q} \right\} d_1(i) + \tilde{\mathbf{i}}(i) + \tilde{\mathbf{n}}(i)$$

其中，等效空時特徵向量為：

$$\mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_{11} & \mathbf{c}_{12} & \dots & \mathbf{c}_{1L_1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{c}_{11} & \mathbf{c}_{12} & \dots & \mathbf{c}_{1L_1} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & & & & \vdots & & & & & \vdots & & & \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{c}_{11} & \mathbf{c}_{12} & \dots & \mathbf{c}_{1L_1} \end{bmatrix}$$

而等效空時通道增益為：

$$\tilde{\mathbf{h}}_1 = \mathbf{C}_1^T \mathbf{h}_1$$

此時，匹配濾波器即利用其空時自由

度，來消除所有強干擾，並且有效收集空時多路徑訊號。其中匹配濾波器參數藉由 LCMV 法則決定以有效抑制多重進接干擾。而 LCMV 匹配濾波器之架構由廣義旁波瓣消除器來實現，如(圖一)所示利用 MMSE 準則：

$$\min_{\mathbf{u}_{1,l,q}^{(j)}} [\tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q} - \mathbf{B}\mathbf{u}_{1,l,q}^{(j)}]^H \mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}}^{(j)} [\tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q} - \mathbf{B}\mathbf{u}_{1,l,q}^{(j)}]$$

如此可得一組匹配濾波器之加權向量：

$$\mathbf{w}_{1,l,q}^{(j)} = [\mathbf{I} - \mathbf{B}(\mathbf{B}^H \mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}}^{(j)} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^H \mathbf{R}_{\tilde{\mathbf{x}}}^{(j)}] \tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q}$$

其中包含有 $L_1 \times Q$ 個空時匹配濾波器。

5. 其次，匹配濾波器濾除強干擾後，再藉由訓練訊號來進行通道估計 $\hat{\mathbf{x}}_{1,l,q}^{(j)}$ ：

$$\hat{\mathbf{x}}_{1,l,q}^{(j)} = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \mathbf{w}_{1,l,q}^{(j)H} \tilde{\mathbf{x}}(i)$$

並利用耙狀接收機(RAKE Receiver)結合多重路徑之能量，來獲得訊號的決策值：

$$\hat{d}_1^{(j)}(i) = \text{dec} \left\{ \sum_{l=1}^{L_1} \sum_{q=1}^Q \hat{\mathbf{x}}_{1,l,q}^{(j)*} \tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q}^H \tilde{\mathbf{x}}(i) \right\}$$

接著，再利用決策訊號 $\hat{d}_1^{(j)}(i)$ 以及訊號的特徵碼作訊號重建，如(圖二)所示：

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}}_1^{(j)}(i) &= \sum_{l=1}^{L_1} \sum_{q=1}^Q \tilde{\mathbf{c}}_{1,l,q}^{(j)} \hat{d}_1^{(j)}(i) \\ &= \hat{\mathbf{h}}_1^{(j)} \hat{d}_1^{(j)}(i) \end{aligned}$$

6. 最後，建立遞迴處理架構，如(圖二)。將重建的訊號由接收到的資料中扣除：

$$\tilde{\mathbf{x}}^{(j+1)}(i) = \tilde{\mathbf{x}}(i) - \hat{\mathbf{s}}_1^{(j)}(i)$$

送往下一個迴路進行處理，如此即可避免 LCMV 之訊號消除效應。值得強調的是，此時是去除使用者自身訊號來提昇性能，完全不同於傳統序列干擾消除法或是平行干擾消除法。接下來，經由遞

迴處理後，吾人可在最終輸出端得到最大的 SINR 值。

四、成果與結論

本報告中，吾人使用不同的模擬結果來呈現所提出的空時多載波分碼多重進接系統的效能與特性。在模擬中，NFR 定義為 MAI 功率相對於使用者訊號功率比值，NSR 定義為 NBI 功率相對於使用者訊號功率比值，Output SINR 定義為輸出之訊號功率相對於干擾雜訊訊號功率比值。模擬結果如下：(圖三)為系統容量模擬，(圖四)為近遠效應模擬，皆證明本接收器在多用戶、時變的窄頻強干擾的環境下，經過遞迴使用者訊號消除後，能很明顯收斂至最佳 MSINR 接收器性能。最後是(圖五)遞迴次數收斂模擬，如圖所示本接收器在約 6 次遞迴下，明顯可以收斂至 MSINR 結果。(圖六)為接收資料量收斂模擬，如圖所示本接收器在約 300 個取樣資料下，明顯可以收斂至 MSINR 結果。

總結本接收器為一個空時遞迴多載波分碼多重進接之接收器，採用空時旁波瓣消除架構，配合很少的訓練訊號，可達成遞迴多用戶干擾及時變窄頻帶干擾之消除。由模擬結果顯示，本接收器可在很少的資料量下，有效對抗干擾，進而提昇系統容量。

五、參考文獻

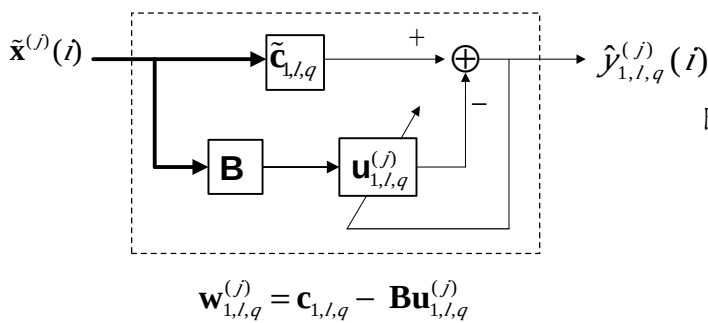
- [1] S. Hara and R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, pp. 126-133, Dec. 1997.
- [2] B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: a versatile approach to spatial filtering," *IEEE ASSP Magazine*, vol.

5, pp. 4-24, Apr. 1988.

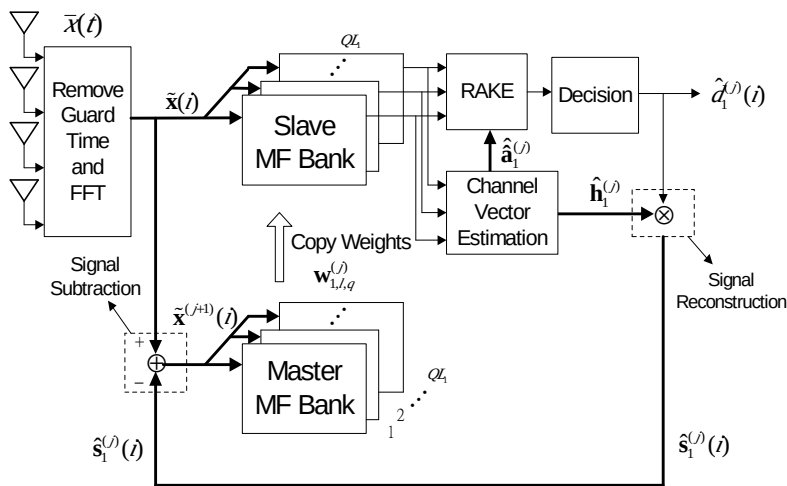
- [3] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, pp. 124-135, Oct. 1996.

- [4] X. Bernstein and A. M. Haimovich, "Space-time optimum combining for CDMA communications," *Wireless Personal Communications*, vol. 3, pp. 73-89, 1996.

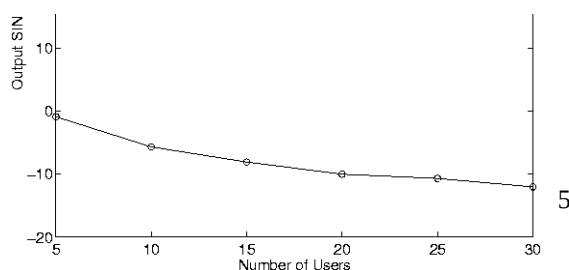
六、圖表



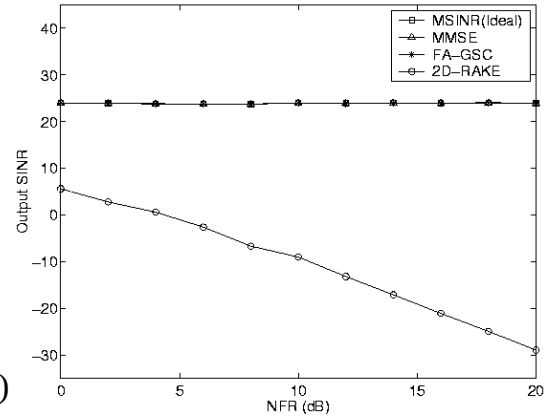
圖一：旁波瓣消除架構



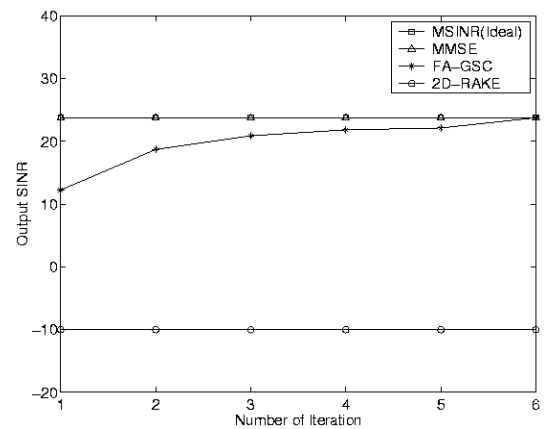
圖二：空時遞迴處理之多載波分碼多工接收器



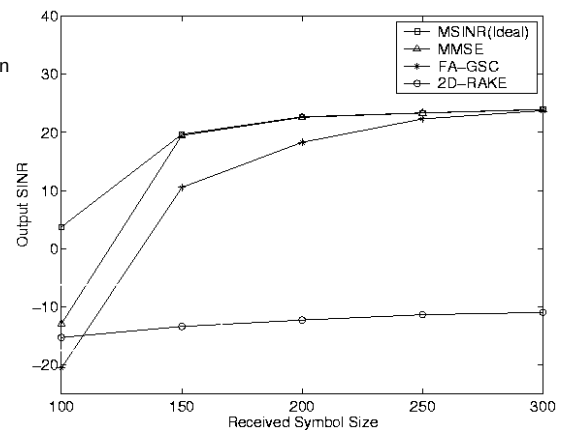
圖三：在 NFR=10dB 及 NSR=10dB 下之系統容量評估圖



圖四：在 10 MAI 及 1 NBI 下之近遠效應評估圖



圖五：遞迴次數收斂評估圖



圖六：接收資料量收斂評估圖