

用於 MIMO OFDM 系統中不須搜尋機制之載波頻率偏移估計演算法

林垂彩*、蔡峻嘉

國立聯合大學電子工程學系

摘要 — 本論文提出一個用於多輸入多輸出正交分頻多工系統中低複雜度載波頻率偏移估計機制。所提架構能在大幅降低系統複雜度的情況下，提供與傳統演算法相仿之效能。¹

研究背景

結合多輸入多輸出(multiple-input multiple-output, MIMO)技術之正交分頻多工(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)系統能有效地改善 OFDM 系統在高速傳輸時所需頻寬的問題，且同時擁有 OFDM 的優點，因此 MIMO-OFDM 系統成為未來通訊系統之重要標準規範[1]。當傳輸信號經過通道時，會有時間延遲及相位變動。分散的通道會在時域造成時間延遲，而產生符際間干擾。此外，傳輸端與接收端震盪器之間不匹配及都普勒效應則會引起載波頻率偏移(carrier frequency offset, CFO)，其將造成載波間干擾。OFDM 系統對於 CFO 非常敏感，僅能容許子載波間極小的偏移，否則將嚴重影響系統效能[2]。本論文將針對 MIMO OFDM 系統提出應一個具有高效能低複雜度 CFO 估計演算法，可大幅增強系統對 CFO 之強韌性，並明顯地提高通訊效能。

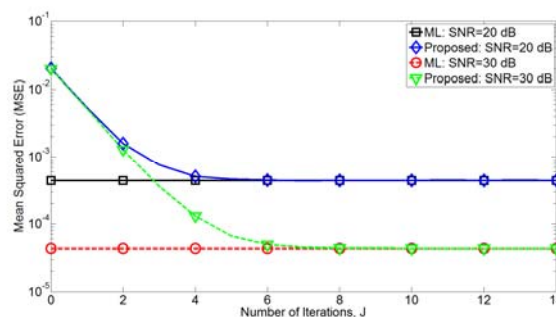
所提不需搜尋機制之載波頻率偏移估計演算法

在無線通訊系統中，最常使用最大似然法則(maximum likelihood, ML) [3]聯合估計通道響應及 CFO。在適當的訊雜比(signal-to-noise ratio, SNR)情況下，ML 演算法能提供不錯的估計效能。然而，其卻需執行高複雜度的反矩陣運算及頻譜波峰搜尋機制，使得應用大大受到侷限。若採用均勻畫分正規化載波頻率搜尋，需執行 $Q+1$ 次 ML 頻譜計算步驟(內含反矩陣運算)才可以得到 CFO 估計，其誤差為 $1/2Q$ 。Q 值越大，CFO 估計效能越好，但卻也付出高運算量的代價，特別是在系統子載波個數非常大時更為嚴重。為了避免耗時的搜尋機制及頻率相關反矩陣的運算，本論文提出一個新穎 CFO 估計演算法，其只需判斷數個定義之成本函數正負號，即可達到與傳統演算法相仿之效能。首先，利用接收資料架構特性，定義一個新穎成本函數，其只需計算一次與頻率無關之反矩陣運算，藉以大幅降低系統複雜度。此外，吾人設計出一種新式判斷決策機制，以成本函數之正負號來決定存活區塊。重複(iteration)執行決策機制，進而逐漸逼近所要估測 CFO 正確值。所提演算法僅需使用數次判斷決策便可達到與高複雜度搜尋依據傳統演算法相仿之效能。

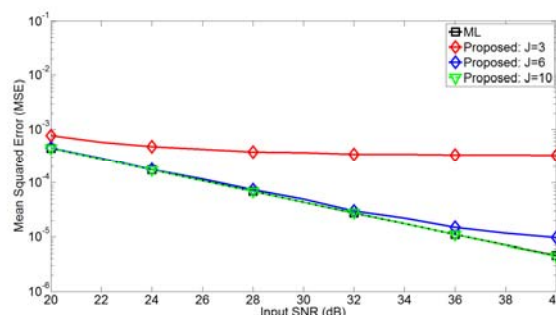
實驗結果

在這一節中，吾人利用電腦模擬探討所提不需搜尋機制之 CFO 演算法效能。在模擬的環境中，考慮具有 128 個子載波之 OFDM 系統，假設傳送與接收天線各兩根；多路徑個數為 5，每個路徑的增益和延遲分別為獨立、相等分佈之單一變異複雜高斯隨機變數。為了系統效能比較，在模擬中加入傳統

ML 演算法之結果，其中搜尋機制將正規畫頻率均勻畫分 1000 等份。所有模擬結果皆為經過 500 次獨立試驗平均所得。首先，探討當 SNR=20 和 30 dB 時，重複次數(J)對系統效能之影響，相關結果如圖一所示。從圖中可看出當重數次數增加時，能有效地降低均方誤差(mean squared error, MSE)。此外，經過 6 次重複($J \geq 6$)後所提演算法便可達到與高複雜度 ML 演算法相仿之效能。圖二探討輸入 SNR 與 MSE 之關係圖。當 $J=6$ 或 10 時，MSE 值隨輸入 SNR 遞增而遞減。當 $J=3$ 時因準確度不夠，無法利用增加輸入 SNR 改善估計效能。同樣地，在較低 SNR(<30 dB)時，6 次重複運算便可達到 ML 架構相仿效能。然而，當 SNR=40 dB 時，則需較多重複次數以提升準確度，進而提高演算法估計效能。



圖一：重複次數(J)與 MSE 之關係圖



圖二：輸入 SNR 與 MSE 之關係圖

參考資料

- [1] H. Sampath, S. J. Talwar, V. Tellado, and A. Paulraj, "A fourth generation MIMO-OFDM: Broadband wireless system: Design, performance, and field trial results," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 9, pp. 143-149, Sept. 2002.
- [2] H. Minn, Al-Dhahi, and Y. Li, "Optimal training signals for MIMO OFDM channel estimation in the presence of frequency offset and phase noise systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 54, no. 10, pp. 1754-1759, Oct. 2006.
- [3] S. Salari, M. Heydarzadeh, and J. P. Cances, "Joint maximum-likelihood frequency synchronization and channel estimation in MIMO-OFDM systems with timing ambiguity," in *Proc. ISWCS 2012*, pp. 954-958, Aug. 2012.

¹ 本研究由國科會贊助，計畫編號 NSC 102-2221-E-239-018。

