

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

OFDM無線網路之合作通訊

Cooperative communication for OFDM-based wireless networks

計畫編號：NSC 95-2219-E-009-013

執行計畫：96年08月01日至97年12月31日

主持人：吳文榕教授 國立交通大學電信系教授

Email:wrwu@faculty.nctu.edu.tw

一·摘要

本計畫旨在探討下個世代寬頻無線之前瞻性通訊技術，在傳輸上結合了OFDM 及合作式通訊之概念，由於合作式通訊具有較有效之空間多樣性(spatial diversity)，藉由多使用者與基地台之間交互合作，系統的效能及表現可以大幅超越非合作系統。本計畫為“OFDM 無線網路之合作通訊”三年計畫之總計畫，在上年度中我們已經採購一FPGA/DSP 驗證平台，包含一向量訊號產生器(含多通道模擬器)以及一高容量之FPGA/DSP 法展平台，在本年度裡我們則整合了此驗證平台，並以此平台快速實現一個使用space-time code之傳送端與接收端的基本架構，並利用訊號產生器模擬MIMO 衰減通道。透過以上的實作，我們日後可以快速地模擬實現其他進階演算法。

二·簡介

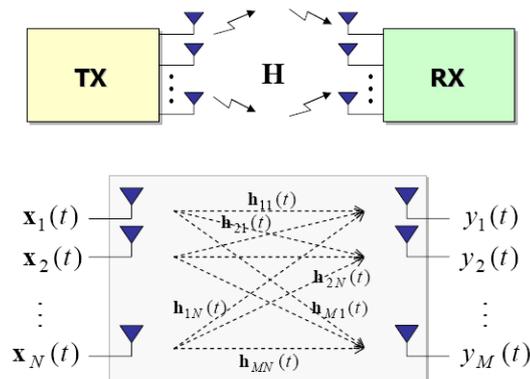
在現今無線通訊技術中，MIMO 系統可以降低運行中斷機率(outage probability)、服務品質(quality of service)、增加資料速率、降低使用者所需之功率以及對於通道變化之敏感程度[1],[2]。因此，如何有效且合理地建立一個 MIMO 通道的模型顯得格外重要，而我們將根據現有之理論，利用上年度建置之訊號產生器，快速實現 MIMO 通道之訊號。如此往後我們便可以利用此平台所模擬出之通道進行其他有關於合作式通訊計畫之演

算法模擬以及驗證。而 space-time code(Alamouti code)則是可以有效利用 MIMO 通道所提供之多樣性，提高無線傳輸之可靠性(reliability)，值得注意的，Alamouti code 由於傳送端特殊之訊號排列，使其在接收端僅需要乘上通道之共軛矩陣，即可輕易地將一個 MIMO 通道拆成數個平行的通道，如此可以大幅簡化接收端實施最大相似性估測之複雜度。在此報告中，接下來我們將概略介紹 MIMO 通道的特性以及 Alamouti code 的演算法，然後我們將針對如何使用 FPGA/DSP 儀器以及訊號產生器快速實現與驗證我們的演算法。

三·MIMO 通道與 Alamouti code

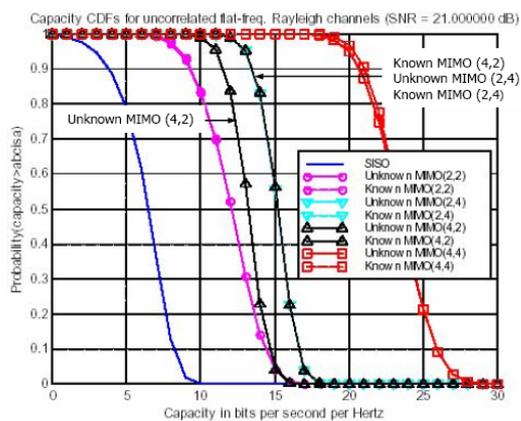
(一) MIMO 通道之特性

圖一為 MIMO 環境架構示意圖，傳送端為 N 根天線，接收端假設有 M 根天線，假設每個



圖一 MIMO 通道架構示意圖

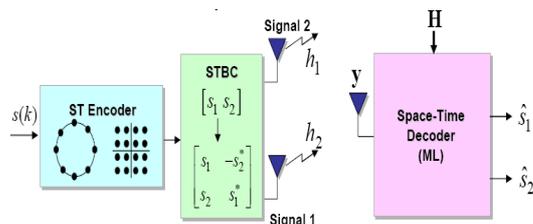
彼此不具有相關性(uncorrelated)，則此系統之容量將會隨著訊雜比 (SNR) 之遞增而線性上升，其斜率則是 $\min\{N, M\}$ [3]。MIMO 通道之所以在容量上會有著如此優良的表現主要在於傳送端以及接收端均設置了多根天線的原因，多根傳送天線提供了多工(multiplexing)上的自由度(degree of freedom)，而多根接收天線則提供了接收訊號的功率增益(power gain)，這兩者必須同時成立才能夠提供隨 SNR 線性增加之系統容量。透過電腦數值模擬，我們可以發現 MIMO 通道相對於單天線系統的確提供了線性增益。此外值得一提的，在 MIMO 環境中，我們還可以有效利用各通道之間不具相關性的特性，而得到多樣性的使用價值，多樣性的豐富與否在 MIMO 無線通訊中是相當重要的，因為此特性可以有效避免因為訊號落入通道嚴重衰減 (deep fading) 所造成的嚴重失真，大幅降低系統之錯誤率。



圖二 MIMO 通道容量

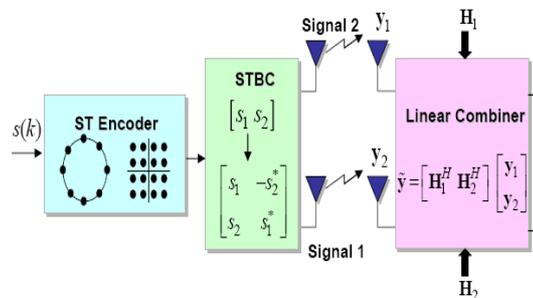
(二) Alamouti space-time code

首先我們考慮一個 2×1 的 MIMO 系統，Alamouti code [4] 之基本架構可以由圖三說明。



圖三 Alamouti code 2×1 架構圖

原本欲傳送之訊號，在第一個時間以一般 spatial multiplexing 之方式傳送，而在下一個時間則經過特殊安排與處理然後傳送出去。接著我們觀察接收端，接收訊號乘上通道之共軛矩陣之後，我們可以發現原本混在一起的兩個傳送符元被拆開(decouple)成為不相關之獨立訊號，並且每個接收符元的所享有之增益為兩個通道之絕對值的平方，換言之，每個傳送之符元都利用了通道所以給予之最大多樣性，且由於 decouple 的結果，我們僅需作 scalar 的最大相似性估測，可以大幅降低運算複雜度。Alamouti scheme 也可以用於多根接收天線的架構中，圖四為傳送端與接收端各為兩根天線之架構，我們可以發現由於 Alamouti scheme 在時間上相當於是重複送了兩次同一組符元向量(symbol vector)，因此相較於 V-BLAST 的傳輸方式，Alamouti scheme 相對損失了一半的資料率。



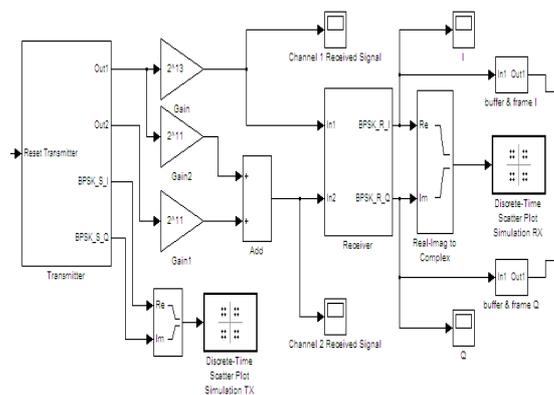
圖四 Alamouti code 2×2 架構圖

四．FPGA/DSP 平台與訊號產生器

我們欲利用 Signal Master Quad Virtex-4 快速實現一個在 2×2 MIMO 系統中之 Alamouti space-time code 的平台。此儀器主要有兩張板子，一為 DAC (負責傳送端) 另一為 ADC (負責接收端)。圖五顯示平台上我們所建立之傳送接收之基本架構圖。假設每根天線均傳送一個 BPSK 訊號，而在傳送出去之前，第一根天線會與第二根天線上的訊號相加，並取代原本第二根天線之訊號然後傳送

去。接收端則有通道估測以及線性組合器 (linear combiner)，而估測出來的理論上應為兩組 BPSK 實數訊號，我們將兩組分別掛載於實數軸以及虛數軸上透過 Matlab 繪圖表示出來，因此看到的接收訊號星狀圖會是一個 QPSK 的分佈。當我們將 FPGA/DSP 上面 ADC 與 DAC 利用傳輸線相互連接之後，便可以按照下列步驟來操作此平台 [5]。

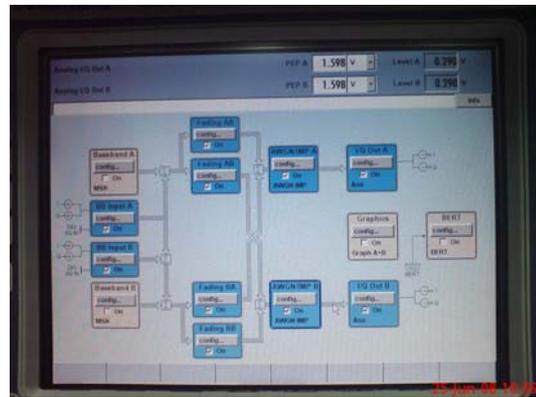
1. 將已產生好的程式碼下載至 ADC 與 DAC 兩張板子上面。而透過『vhs-interface』軟體介面我們可以程式化(programming) FPGA 的時脈以及我們要下載之程式碼。
2. 接著我們必須設定 ADC 與 DAC 的控制單元參數，例如所需要 enable 的內部通道個數以及其所搭配之增益。
3. 在 ADC 中必須注意 frame size 的設定 (2048*16)，並且將最後所得到的資料儲存至某個 bin 檔。通常這個檔案我們會建立在 Matlab 的資料夾底下。
4. 執行 ADC 與 DAC，主要是透過 Matlab 中一個附檔名為 prf 的檔案執行之。



圖五 FPGA 中 2*2 Alamouti code 實現架構圖

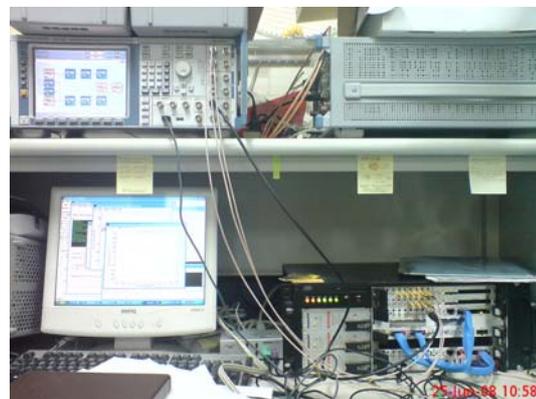
透過以上四個主要步驟，我們就可以開始初步地驗證我們所產生的演算法程式。另外，我們應注意在圖五中，嚴格來說並沒有加入通道的效應。為了有效模擬 MIMO 通道，我們引入 AMU200 通道訊號產生器，其操作介面如圖

六所示。訊號產生器可以產生單天線系統 (SISO)、單-多天線系統 (SIMO)、多-單天線系統 (MISO) 或是多天線系統 (MIMO)。我們可以自由設定我們的天線系統、通道之衰減參數、訊雜比 (Signal-to-Noise Ratio : SNR)



圖六 MIMO 通道訊號產生器介面

以及計算錯誤率或是繪圖。然後將所產生之通道訊號匯入 FPGA/DSP 板子中，如此便可以有效地導入 MIMO 通道至平台之中。而整個模擬過程則與前述是相同的。圖七展示了透過排線將 FPGA/DSP 與通道訊號產生器 AMU200 連接之實際情況。



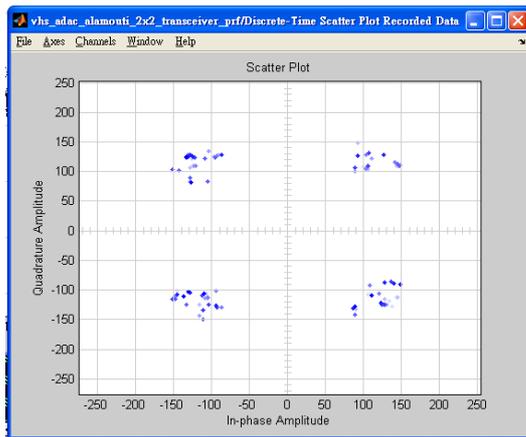
圖七 MIMO 通道訊號產生器與 FPGA 連接

五 · FPGA 平台模擬結果

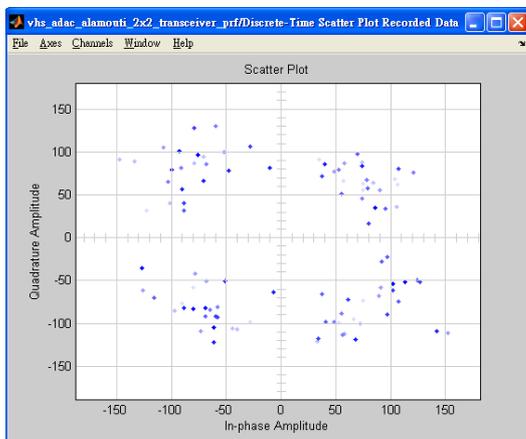
我們考慮一個 2*2 MIMO 之系統，傳送端使用 Alamouti space-time code，接收端則為最大相似性接收機。通道矩陣中每一個元素均為互相獨立且同為 $CN \sim (0, N_0)$ 分佈之隨機變

數。我們設定傳送端使用BPSK調變，SNR設定為20dB。

首先我們考慮圖五架構之模擬環境(或者可等效視為兩個SISO通道)，亦即沒有考慮引入衰減通道的因素。圖八為其接收訊號之星狀圖，可以發現很清楚地呈現QPSK之分佈。接著我們將訊號產生器連接至FPGA機版上並觀看結果。當我們將環境設定為2*2之MIMO通道時，可以觀察到通道估測所需的時間較久，也就是星狀圖呈現雜亂旋轉的時間會比較長，一旦當通道估測完成後，星狀圖又會呈現QPSK之分佈，但因為受到通道衰減的影響，如同圖九所示，點與點的分佈還是會比沒有通道衰減時較為鬆散。而整個平台操作過程的介面則呈現於圖十。



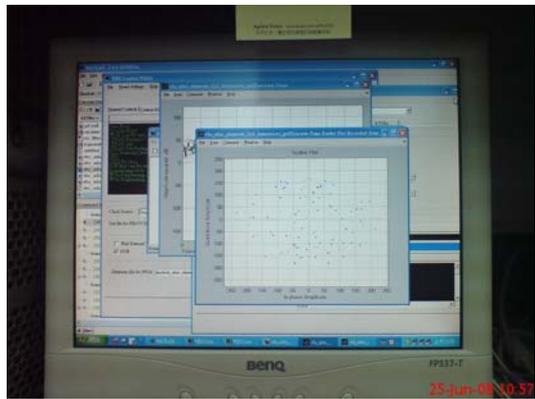
圖八 無通道訊號產生器之接收星狀圖



圖九 考慮衰減通道之接收訊號星狀圖

六·結論

FPGA (Signal Master Quad Virtex-4) 平台提供我們一個可以快速驗證演算法的途徑。透過 Virtex-4 以及 Matlab 之間的支援性，更可以大幅縮短以往在硬體上驗證演算法的時間。而我們透過上述之 FPGA/DSP 與訊號產生器已初步建置一個具有 MIMO 通道下之傳送與接收機的快速驗證平台，而初步之模擬結果顯示我們建構的平台可以正確實現一個簡單之雙天線系統之 Alamouti space-time code。往後我們希望可以繼續將各項子計畫所開發之演算法納入並整合在此平台上加以實現。



圖十 模擬進行中之顯示畫面

七·參考文獻

- [1] A Sendonaris et al, "user cooperation diversity - Part I: system description," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 51, np. 11, pp.1927-1938, Nov. 2003
- [2] A Sendonaris et al, "user cooperation diversity - Part I: system description," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 51, np. 11, pp.1927-1938, Nov. 2003
- [3] G. J Foschini et al, "on limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas" *Wireless Personal Commun.* vol. 6, no. 3, pp.311-355, Oct. 1998
- [4] S.M Alamouti, " a simple transmit diversity techniques for wireless

communications” *IEEE JSAC*. vol.19, no.1,
pp.48-60, Jun. 2001

[5] “Quick start guide” by LYRTECH