

應用空時編碼技術在 MIMO SC-FDMA 的 LTE-A 上行系統之研究

林岳德*、賴宥均、江松茶
國立雲林科技大學電機工程學系
國立雲林科技大學電機工程學系
國立雲林科技大學電機工程學系

摘要—多輸入多輸出(MIMO)與單載波分頻多工存取(SC-FDMA)技術是目前用於長期演進技術(Long Term Evolution-Advanced, LTE-A)上行存取的主要技術。在本論文中我們將利用空時編碼技術(Space-Time Block Coding, STBC)於多輸入多輸出的單載波分頻多重存取技術之 LTE-A 上行系統。我們應用空時編碼技術於貪婪映射的分頻多工(Greedy-FDMA)、區域映射的分頻多工(Localized-FDMA)及交錯映射的分頻多工(Interleave-FDMA)子載波映射。我們指出應用空時編碼技術於 2 乘 1 的天線與 1 乘 1 的天線去做比較, 可以得到 2 乘 1 的天線有較低的符元錯誤率(SER), 最後再比較三種子載波映射效能。

一、前言

移動通訊技術現在已經普及到人們的日常生活中。LTE-A 目前已經成為最新通訊技術, LTE 和 LTE-A 為相同技術, Advanced 的添加主要是為了突顯出 LTE 的第 10 版(LTE-Advanced)與 ITU/IMT-Advanced 之間的關係, 這並沒有使 LTE-Advanced 成為與 LTE 不同的系統, 並且也不會是 LTE 的最終進化步驟, 目前 LTE-A 在可支援最高使用頻寬達 100MHz; 並且對於低移動性的用戶提供高達 1Gbit/s 的資料傳輸速率、對於高速移動的用戶則可以提供高達 100Mbit/s 的傳輸速率, 隨著高鐵等大眾運輸的興起, 在高速下亦能保持一定的上網品質也是目前的趨勢, 未來產品希望在高速移動中也能有穩定傳輸品質。

在這篇論文, 我們研究 MIMO SC-FDMA。SC-FDMA 是 OFDMA 修改後的形式, 且它是一種很有開發性的高速率數據傳輸技術[1]。SC-FDMA 主要優點是採用 SC-FDMA 調變和頻域等化。單載波發射端結構, 可以降低峰值平均功率比(PAPR), 而多輸入多輸出(MIMO)合併 SC-FDMA 的系統以及空時編碼的特性則大幅提升了系統的傳輸效能和可靠性。

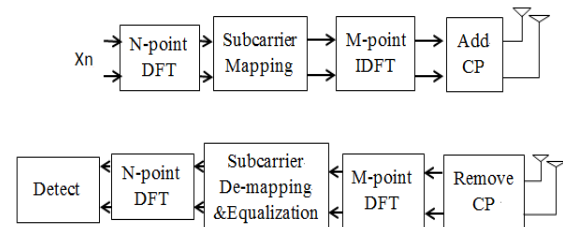
本論文研究不同的 MIMO SC-FDMA 上行系統, 並比較不同的子載波映射結構例如: I-mapping, L-mapping 和 G-mapping, 並加入空時編碼技術(Space-Time Block Coding)來模擬其產生的符元錯誤率(symbol error rate), 以及通道容量(channel capacity)加上循環字首(CP)的來優化 LTE-A 上行傳輸系統效能。

二、系統分析

2.1 SC-FDMA 系統架構

單載波分頻多工存取技術(Single carrier FDMA, SC-FDMA), 是從正交分頻多工存取技術(OFDMA)演變而來

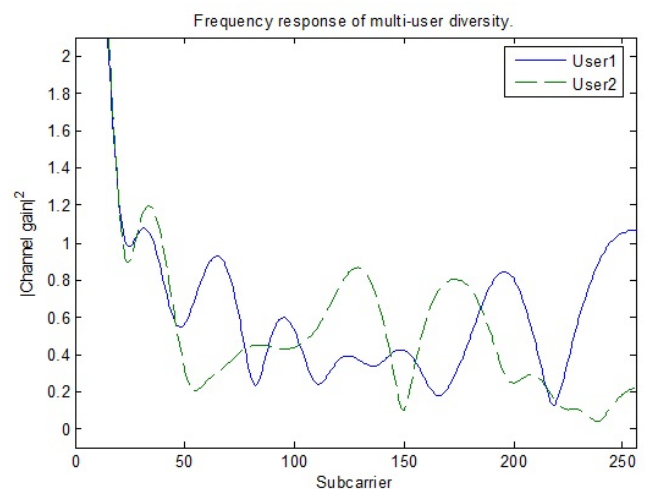
的。單載波分頻多工存取(SC-FDMA), 它是採用單載波調變和頻域等化技術, 也有類似於正交分頻多工存取(OFDMA)的系統效能和相同的整體複雜性。SC-FDMA 是一個單載波調變與頻域等化(SC/FDE)的延伸, 用以適應多用戶存取。一個 SC-FDMA 明顯優於 OFDMA 的優點是 SC-FDMA 信號具有較低的峰值平均功率比(PAPR), 由於其固有的單載波結構[2]。而其特性使 SC-FDMA 在上傳通訊方面大大降低 PAPR 的移動終端上的功率效率, 而 SC-FDMA 也為 4G 通訊上行系統的主要架構, OFDMA 則為下行系統的主要架構, 圖一為 SC-FDMA 的架構圖。



圖一：SC-FDMA 的傳送端與接收端架構圖

2.2 通道品質相關排程(Channel Dependent scheduling, CDS)

分頻技術最初是被提出於寬頻無線傳輸系統, 用來避免出現在分時或分碼傳輸時嚴重的符號間干擾。此章節提出其他分頻傳輸的優點: 運用通道品質相關排程在子載波映射和使用差異性而得到更佳表現的過程。通道品質相關排程的優點是頻率選擇性寬頻通道傳送函數。當終端是分散空間時, 每個通道都會有不同的通道傳送函數, 圖二為脈衝響應圖。

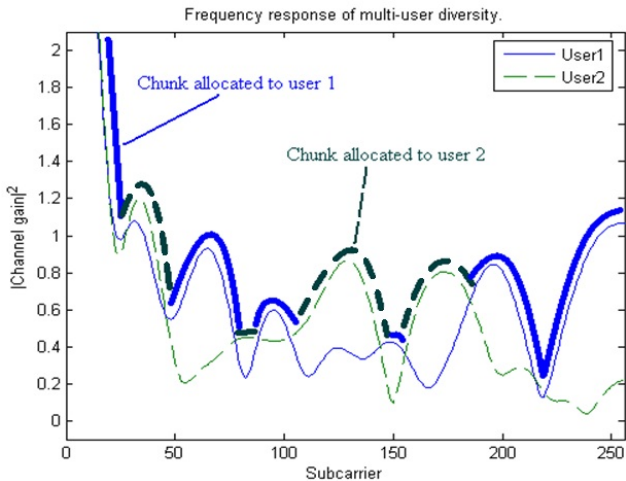


圖二：兩個不同終端的通道脈衝響應

2.3 SC-FDMA 應用 CDS

通道品質相關排程是子載波可被映射在 SC-FDMA 和 OFDMA 系統。通道品質相關排程的理念是將每個終端的傳輸映射到一組特定子載波的傳輸特性。在實際情況，需要在基地台來測量通道特性和學習每終端的傳輸需求。

圖三顯示使用兩個通道響應的調度演算法的結果。在此演算法，唯一的時間限制是子載波必須在“chunks”而不是各別被分配。每個 chunk 是一組 16 個相鄰子載波組成。演算法指派每個大區塊給終端超過 16 個子載波的高平均通道增益。這兩個頻率響應，該算法具有分配給用戶 1 的 9 個 chunks 和 7 個 chunks 到用戶 2。



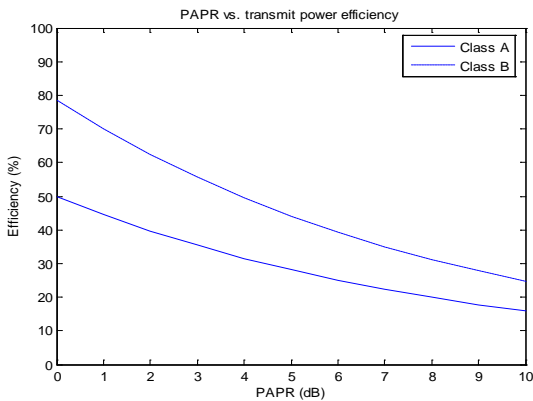
圖三：兩個通道響應的調度演算法的結果

2.4 PAPR 峰均值比

峰均值比(PAPR)象徵發射端功率效率的效能衡量。在理想的線性功率放大器的情況下直到飽和點前都可獲得線性的增益，當放大器操作在飽和點時可達到最大功率。在 dB 的表示中，一個好的 PAPR 值在功率放大器裡需要減低功率去操作在線性區域。我們可表示 PAPR(dB) 和發射功率效率的關係理論如下[3]：

$$\eta = \eta_{max} 10^{-\frac{PAPR}{20}} \quad (1)$$

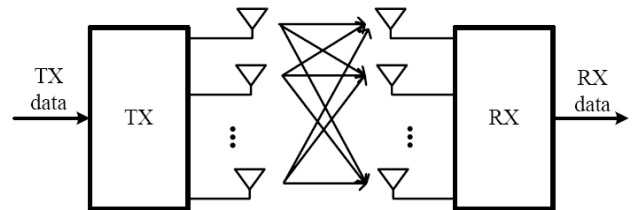
此處 η 為功率效率以及 η_{max} 為最大功率效率。對於 A 類放大器 η_{max} 為 50%，B 類為 78.5%。圖四裡可以明顯的發現高 PAPR 值降低發射功率效率的關係。



圖四：PAPR 的關係理論和理想的發射功率效率 A 類放大器和 B 類放大器

三、多輸入多輸出

多重輸入多重輸出 (multiple-input, multiple-output; MIMO) 是分別使用多根天線傳送和多根天線接收的方式，將原本視為有害的多路徑效應轉變成有利因素。傳統的通訊系統是單輸入單輸出 (Single Input Single Output, SISO)，基於傳送分集和接收分集的多輸入單輸出 (Multiple Input Single Output, MISO) 方式、單輸入多輸出 (Single Input Multiple Output, SIMO) 方式就是 MIMO 的一部分，如圖五。



圖五：MIMO 系統基本架構

消息理論的研究已經證明當使用多根天線時，在散射充斥 (rich-scattering) 的無線環境中，可以提供系統非常巨大的通道容量 (capacity)，即非常高的頻譜效率[4]。此容量主要來自於兩種效益，第一種效益為空間多功增益，只有當傳送端與接收端都使用兩根天線以上才可獲得，因為每根傳送出去的資料是各自獨立，所以接收天線數目不能小於傳送天線數目，V-BLAST (vertical-Bell laboratories layered space-time) 就是典型的技術。第二種效益為空間分集增益，它不會增加通道的平均容量，而是增加達到某一容量的機率，換句話說就是提高通道的可靠性來降低錯誤機率，其中所代表的技術為 STBC。

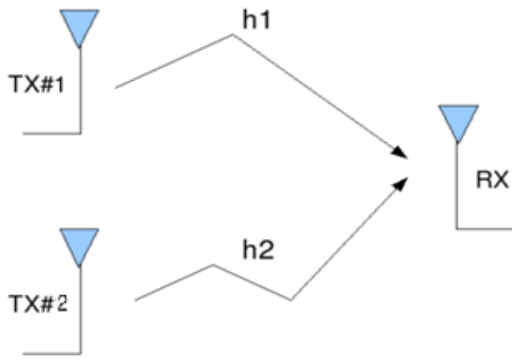
3.1 空間多工增益

空間多工可提供更高容量，但訊號品質並無改善。V-BLAST 是採用重複的方法來減少互相干擾，一開始先必須找出一個正確的向量 S_x ，在從接收端減去 S_x 以最後求出所有的接收信號。

3.2 空間分集增益

分集原理依賴於結構化冗餘的傳輸。這種冗餘可以在任何時間，從任何天線、透過任何頻率，或以任何方式傳輸[5]。1. Tx 分集，一個訊號的訊息從另外一個天線發送(例如 2x1)；2. Rx 分集，接收到的訊號進行多次評估(例如 1x2) [6]。

空時編碼是一種用在無線通訊傳輸中，他可以跨越多個天線傳輸數據而得到資訊，並利用接收到的資訊的數據以提高傳輸數據的可靠性。空時分組碼通常是由一個矩陣表示。如矩陣 $C = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 \\ -X_2^* & X_1^* \end{bmatrix}$



圖六：空時編碼示意圖(2 傳送 1 接收)

空時編碼步驟如下[7]：

- 步驟 1. 假設我們有一個傳輸序列， $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ 。
 步驟 2. 在傳輸時，我們分為兩組符號，在第一時隙，發送 X_1 和 X_2 ，在第二時隙，發送 $-X_2^*$ 和 X_1^* 等等。
 步驟 3. 在第一時隙接收到的訊號

$$y_1 = h_1 X_1 + h_2 X_2 + n_1 = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + n_1 \quad (2)$$

在第二時隙接收到的訊號

$$y_2 = -h_1 X_2^* + h_2 X_1^* + n_2 = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -X_2^* \\ X_1^* \end{bmatrix} + n_2 \quad (3)$$

其中 y_1 、 y_2 是接收到的信號

h_1 、 h_2 是傳送端到接收端之間的通道

n_1 、 n_2 是雜訊

四、 模擬

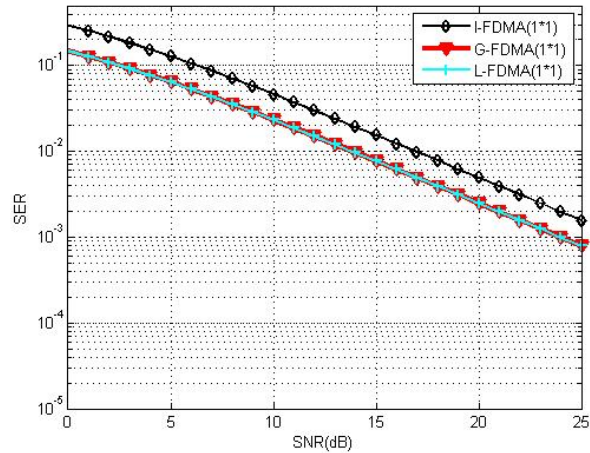
表 I
模擬假設參數

系統頻寬(System bandwidth)	5 MHz
取樣率(Sampling rate)	5mega-samples per second
資料調變格式(Data modulation format)	QPSK
循環字首(Cyclic prefix)	30 samples (6 μ s)
Transmission IFFT size	512
子載波間隔(Subcarrier (tone) spacing)	9.765625kHz(=5MHz/512)
SC-FDMA input block size	16 symbols
SC-FDMA input FFT size	16
通道估測與同步(Channel Estimation & Synchronization)	Perfect
通道模型(channel model)	Rayleigh 衰落通道
等化器(Equalization)	MMSE
通道編碼(Channel coding)	None
決策(Detection)	Hard decision
迭帶次數(Number of iterations)	> 10 ⁴
MIMO	Space Time Block Coding

4.1 應用空時編碼於 SC-FDMA

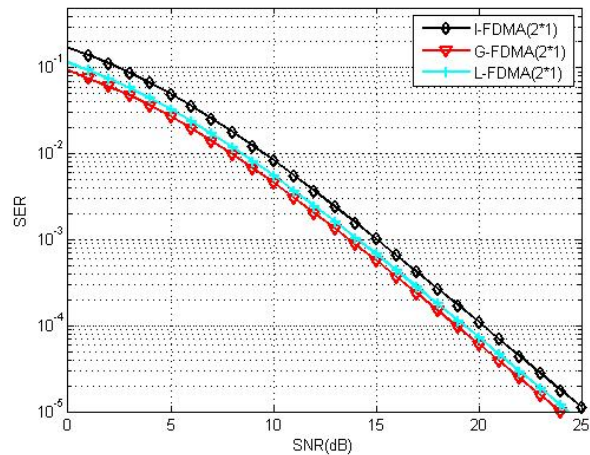
圖七表示 I-FDMA、G-FDMA 與 L-FDMA 在天線數量為 1 乘 1 空時編碼下的 SER(symbol error rate)，圖八表示 I-FDMA、G-FDMA 與 L-FDMA 在天線數量為 2 乘 1 空時編碼下的 SER。從圖七、圖八可以看出在空時編碼下傳輸天線為 2 乘 1 的 SER 的效能會比較 1 乘 1 的還要好，而 G-FDMA 的 SER 與 L-FDMA 較為相近而略優於 I-FDMA，因此 G-FDMA 在天線數量為 2 乘 1 時傳輸準確率最高。

SER of I-FDMA G-FDMA L-FDMA with 1*1 antenna in Rayleigh channel with STBC



圖七：I-FDMA、G-FDMA、L-FDMA 在空時編碼下傳送端 1x1 的 SER 比較

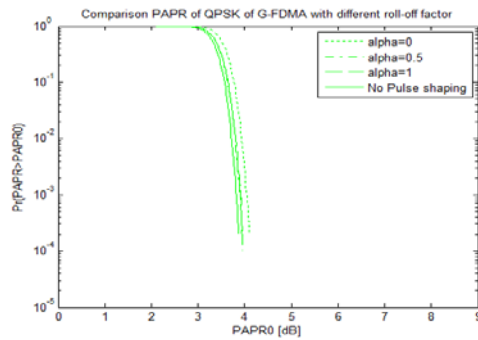
SER of I-FDMA G-FDMA L-FDMA with 2*1 antenna in Rayleigh channel with STBC



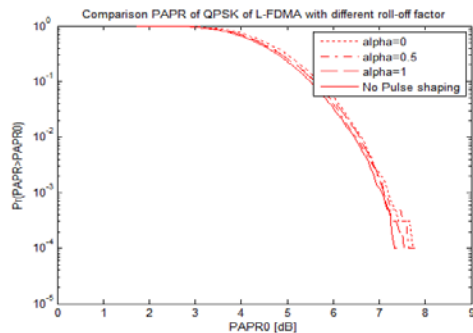
圖八：I-FDMA、G-FDMA、L-FDMA 在空時編碼下傳送端 2x1 的 SER 比較

4.2 MIMO SC-FDMA 峰均值(PAPR)模擬

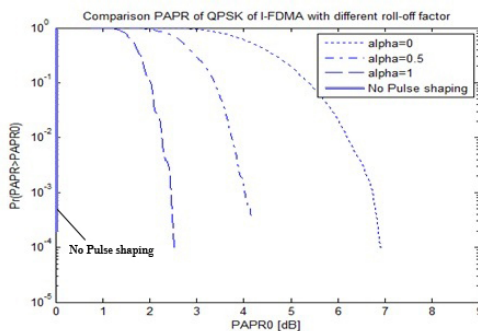
接下來分別模擬 G-FDMA、I-FDMA 與 L-FDMA 在使用不同的 α 滾降係數(roll-off factor)所呈現的 PAPR 效能，最後再將三種不同映射的效能一起比較。



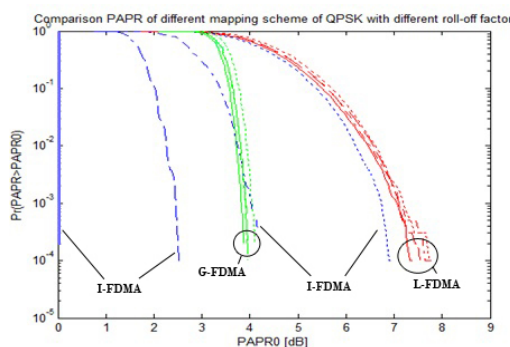
圖九：G-FDMA 的 QPSK 在 2x1 SC-FDMA 使用 STBC 以不同 roll-off factor 比較 PAPR



圖十：L-FDMA 的 QPSK 在 2x1 SC-FDMA 使用 STBC 以不同 roll-off factor 比較 PAPR



圖十一：I-FDMA 的 QPSK 在 2x1 SC-FDMA 使用 STBC 以不同 roll-off factor 比較 PAPR



圖十二：G-FDMA、L-FDMA、I-FDMA 的 QPSK 在 2x1 SC-FDMA 使用 STBC 以不同 roll-off factor 比較 PAPR

由圖十二可以看出當 α 滾降係數值越高的時候 I-FDMA 的 PAPR 越好，而 G-FDMA 與 L-FDMA 則是差別

不大。而當 α 值為 1 的時候 I-FDMA 的 PAPR 會優於 G-FDMA，而 L-FDMA 的 PAPR 則是相對較差的。

結論

本篇論文研究了空時編碼技術(Space-Time Block Coding)應用在 MIMO SC-FDMA 上不同映射方法，並做各種映射方式的效能比較。我們發現，在使用空時編碼的技術下，天線數量 2 乘 1 的符元錯誤率會比 1 乘 1 的效能還要好，顯示出使用空時編碼技術在多天線下可以提高系統效能，而 G-FDMA 與 L-FDMA 的 SER 效能都是較優於 I-FDMA，其原因是我們可以從 G-FDMA 與 L-FDMA 在映射的時候，資訊區塊前後都有插入少量的 0 值，令其符號的重疊性較低，所以符元錯誤率會較 I-FDMA 低。

本論文中，我們使用空時編碼技術在 MIMO SC-FDMA，結合滾降係數脈衝整形濾波器，模擬結果中雖然 I-FDMA 的 SER 較差，但在我們模擬 PAPR 的結果中，當 α 滾降係數大於 0.5 時，I-FDMA 有較低 PAPR 的優勢，所以 I-FDMA 可以被 SC-FDMA 的子載波映射技術所認同，而 G-FDMA 的 PAPR 稍微比 I-FDMA 高，最後為 L-FDMA。

由上述可以知道 G-FDMA 的 SER 較低，且 PAPR 介於 L-FDMA 與 I-FDMA 之間，所以 G-FDMA 結合空時編碼後在多天線傳輸下對於 4G LTE-A 上行系統效能會有所提升。

參考文獻

- [1] Hyung G. Myung, 2007, "Single Carrier Orthogonal Multiple Access Technique for Broadband Wireless Communication", Polytechnic University.
- [2] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman, 2006. "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission," IEEE Vehicular Technology Mag., vol. 1, no. 3, Sep.
- [3] Miller, S.L. and O'Dea, R.J., 1998, "Peak Power and Bandwidth Efficient Linear Modulation," IEEE Trans. Commun., vol. 46, no. 12, Dec. pp. 1639-1648.
- [4] A.G. Burr, 2000. "Space-time coding in the third generation and beyond," IEEE colloquium on Capacity and Range Enhancement Techniques for the Third Generation Mobile Communications and Beyond, pp. 7/1-7/8, Feb.
- [5] GE Quan, JIN Yan-liang, SHI Zhi-dong, "MIAO Hui-jun, PAPR Analysis for Single-Carrier FDMA MIMO Systems with Space-Time/Frequency Block Codes" 2010 Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing Page(s) : 126-129.
- [6] <http://wshnt.kuas.edu.tw/network/n1/MIMO%20OFDM.htm>
- [7] John R. Barry, Edward A. Lee, David G. Messerschmitt, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication Siavash M Alamouti" IEEE Journal on selected areas in Communication, Vol 16, No. 8, October 1998.