

# Final Project MIMO-OFDM

第六組 電機三 B03901055 王君璇  
電機三 B03901059 朱文瑄

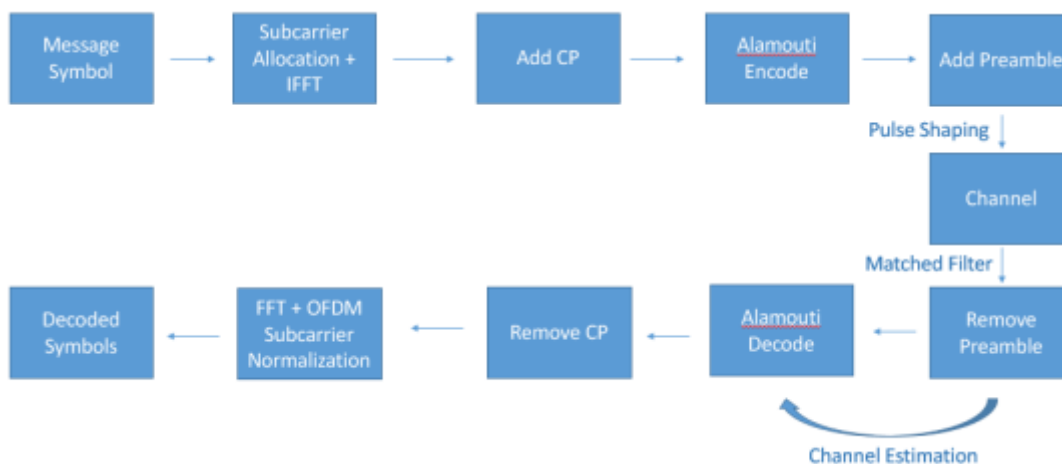
## I. Introduction

OFDM 將一整段頻段分割成數個子載波(sub-carrier),而且讓每個子載波相互正交,使得他們在頻譜上並不互相重疊,可以降低干擾,其運作方式在傳輸端將訊號擺置在頻域(frequency domain)上,透過反傅利葉轉換(IDFT)轉換至時域(time domain)上,並透過增加循環前綴(cyclic prefix)之後傳送出去,而接收端則是將訊號去除循環前綴,再將時域訊號透過傅利葉轉換(DFT)將訊息轉回頻域,解出原傳遞訊號。

Alamouti's code 是一個兩個傳輸端對一個接收端的編碼系統,透過 space-time diversity,在不同時間以不同的天線傳遞副本,透過相互正交的訊號使得接收端可以解出原傳遞訊號。

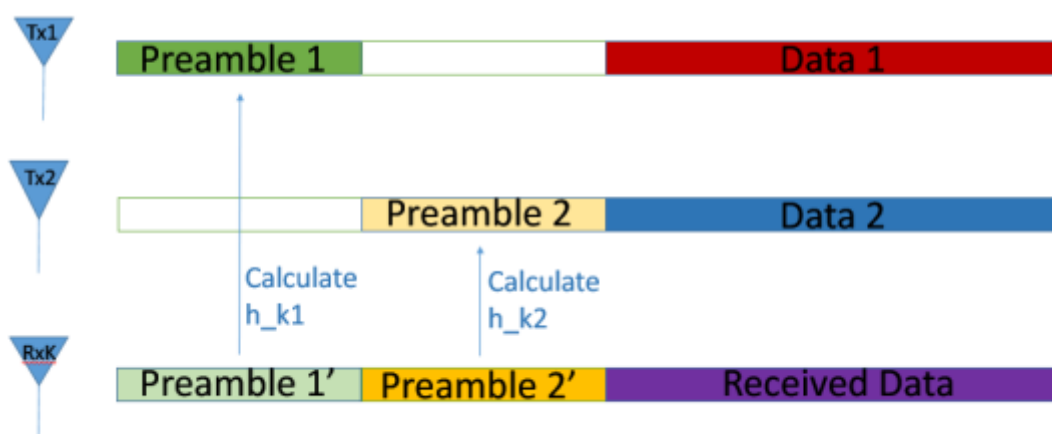
本實驗是透過 OFDM 和 Alamouti's code 的結合,組一個 2x2 的架構,將一個 OFDM symbol 透過 Alamouti's code 編碼,以 2x1 架構透過 space-time diversity 將重複的訊息以兩個不同的天線傳送,透過 Alamouti's decode 將兩個天線收到的訊息分別算出來,最後在透過 maximal ratio combining 將兩個天線收到的結果組合求出最適當的結果。

## II. System Implementation Setup



上圖是我們 System Implementation 的 Block Diagram。首先,我們先講要傳輸的資料以及 message subcarrier 依照特定的方式填入 Subcarrier 中 (message subcarrier 在正負  $5n$  的位置),並在使用 IFFT 將訊號轉至 Time Domain 後,加上 CP,並依照 Alamouti 2x1 STBC 的方式 encode。我們將奇數的 time symbol 當做 Alamouti's block code 第一個 time slot 要傳的內容,而偶數的 time symbol 當作 Alamouti's block code 第二個 time slot 要傳的內容,以此去做 Alamouti's block code 兩天線的編碼。再做完 Alamouti's code 編碼之後我們在兩個天線要傳輸

的內容之前都加入 **Preamble**，加入的方法如下圖所示，第一根天線的 **Preamble** 後面接著一串的零，而第二根天線則是把 **Preamble** 接在一串零後面，形成一個 **OFDM Packet**。之後，我們在我們的 **OFDM Packet** 後面加入一些零，避免接下來的 **Pulse Shaping Filter** 影響到我們的封包，再把這個結果傳送出去。在解碼時，我們將這個步驟反過來，首先用 **Matched Filter** 還原出原本的 **OFDM Packet**，再用原本的 **Preamble** 對收到的信號做 **correlation**，找出兩個 **Preamble** 的位置，確保說兩個 **Preamble** 的位置差異是正確的之後，將傳輸端收到的 **Preamble** 跟原本的 **Preamble** 做比較，算出 **Channel Gain** (如下圖)。



之後，我們可以用下列的方式 **decode** 出經過 **Alamouti Encoding** 之前的訊號，並將 **CP** 移除。

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{|h_1|^2 + |h_2|^2} \begin{bmatrix} h_1^* & h_2 \\ h_2^* & -h_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix}$$

接下來，我們對 **decode** 出的訊號進行 **FFT**，將訊號轉回原本的 **frequency domain**，並利用前後 **message subcarrier** 的變化，加上 **interpolation**，算出每個 **subcarrier** 的 **gain**，並進行 **normalization**。此時，因為我們是使用 **2x2** 的架構，所以有兩個傳輸端的資料，我們就對這兩筆資料進行 **MRC**，解出原本的訊息。

除了在 **frequency domain** 進行 **MRC** 之外，我們也有嘗試直接在 **time domain** 直接進行 **MRC**，但效果並沒有那麼好，會於下面實驗數據和討論作解釋。

### III. Main Achievements

1. 對於 **LabVIEW simulation**，我們做了 **OFDM 1x1, 2x1, 2x2** 的比較系統
2. 透過 **LabVIEW simulation**，我們對 **2x2 OFDM system** 做了 **frequency MRC** 和 **time MRC** 的比較
3. 對於 **USRP** 系統我們可以傳輸 **2x1** 和 **2x2** 的系統實作

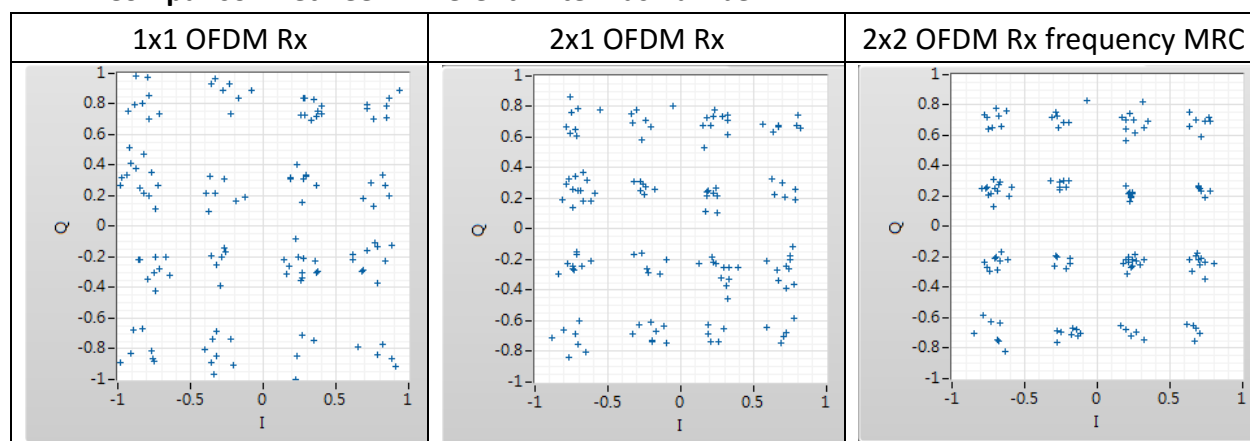
## IV. Experimental Results and Discussion

### 1. LabVIEW Simulation

我們模擬的參數為：16-QAM, Q Rate = 1M, FFT size=256, CP Length = 32, Message Carrier = 128, pulse shaping filter = Root Raised Cosine, samples per symbol = 4。

觀察其 constellation map：圖片為  $E_b/N_0 = 12$  dB 的情形

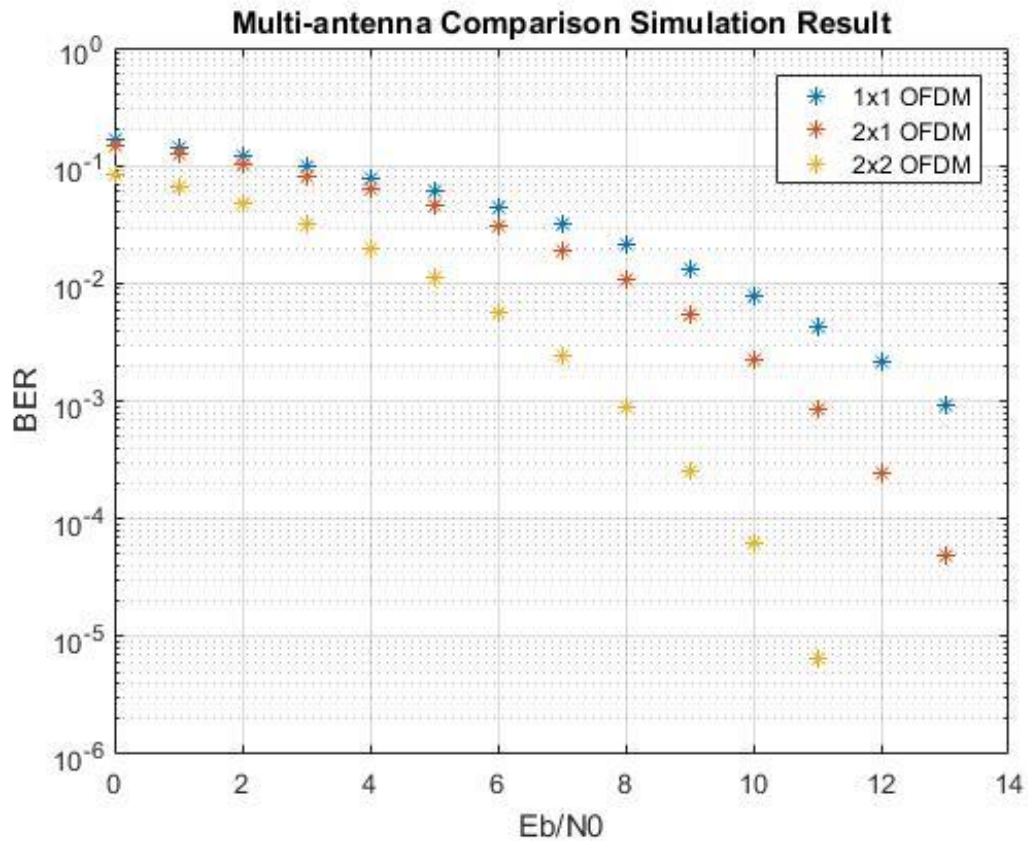
#### i. Comparison Between Different Antennas number



當我們將 BER 對  $E_b/N_0$  作觀察

$E_b/N_0$	1x1 OFDM	2x1 OFDM	2x2 OFDM
0	0.1645780	0.1483070	0.0855432
1	0.1414780	0.1254065	0.0653491
2	0.1190290	0.1029910	0.0471632
3	0.0980388	0.0822642	0.0317761
4	0.0783622	0.0625177	0.0196876
5	0.0604017	0.0455743	0.0111312
6	0.0449411	0.0309021	0.0057272
7	0.0318057	0.0192645	0.0024187
8	0.0213028	0.0107856	0.0008771
9	0.0133322	0.0053830	0.0002587
10	0.0079508	0.0022603	0.0000625
11	0.0043149	0.0008355	0.0000066
12	0.0021362	0.0002338	0.0000000
13	0.0009154	0.0000456	0.0000000

對其作圖可得：

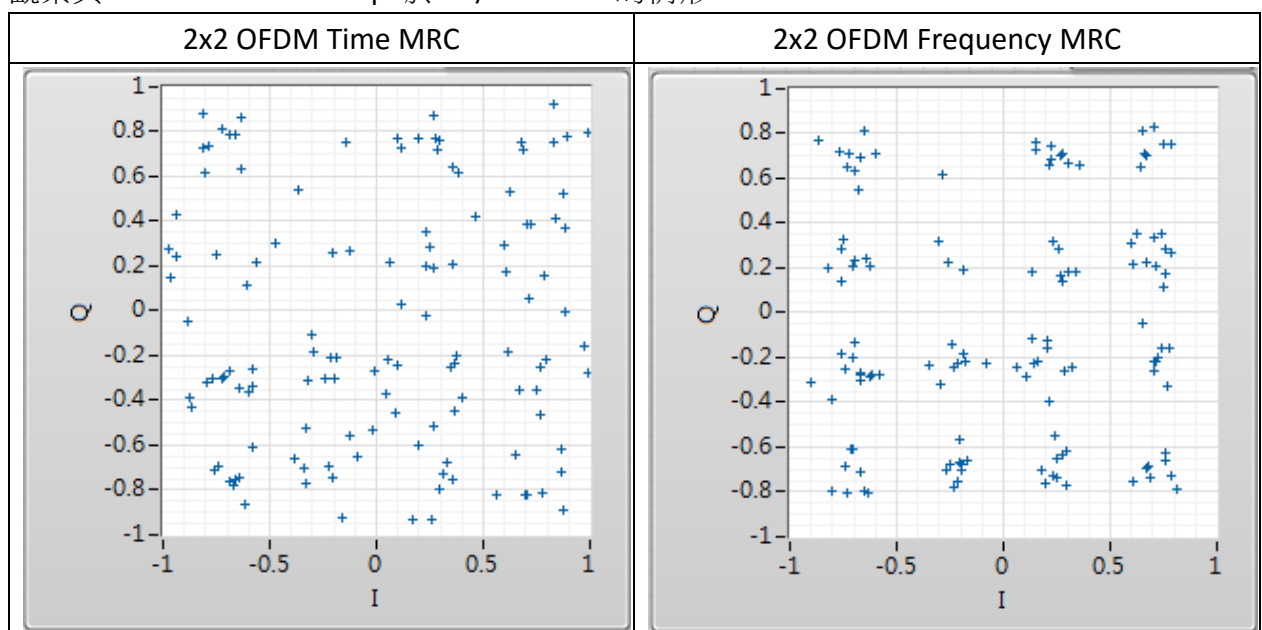


討論：

1. 2x1 OFDM 的 BER 會比 1x1 OFDM 的 BER 好，再多一個空間維度的可信度，使得最後結果更好。
2. 2x2 OFDM 經過 MRC 之後，對於較可靠的通道選擇較大，所以 BER 也會比 2x1 OFDM 來的有用。

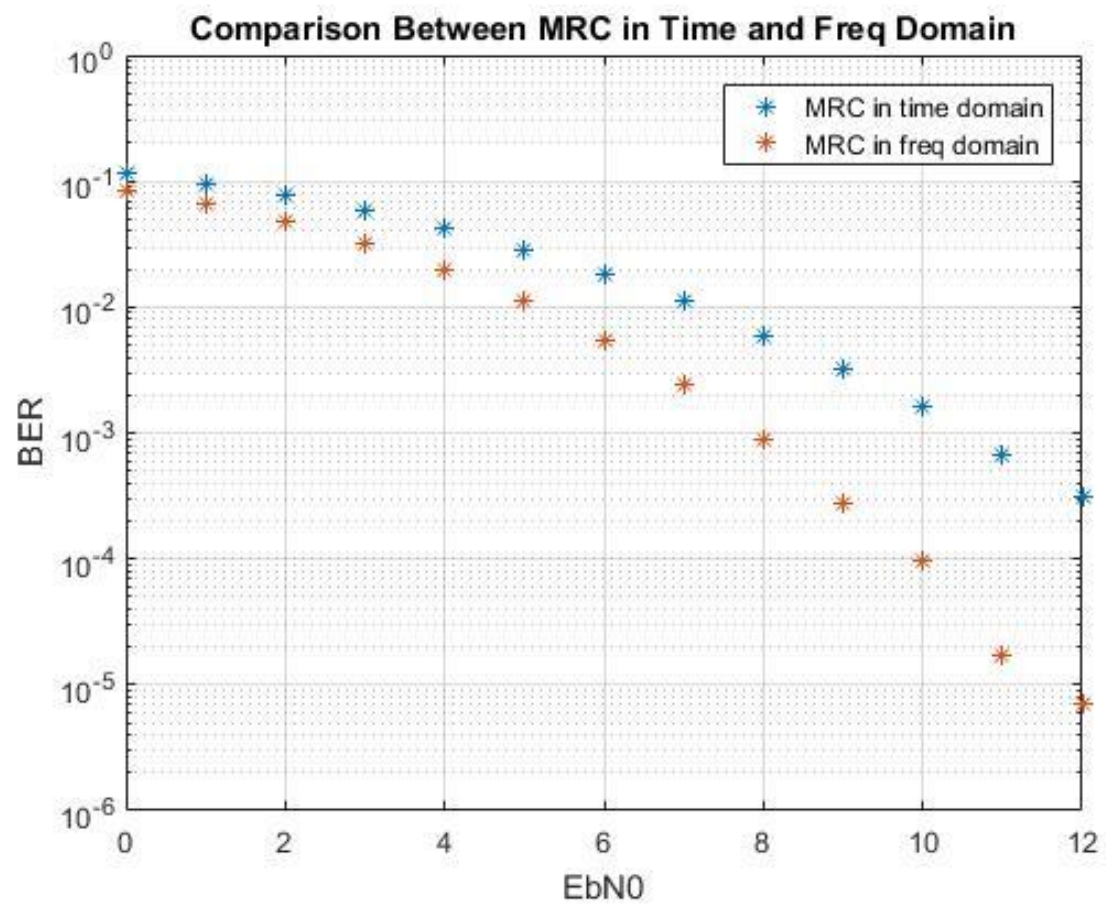
**ii. Comparison between time and frequency MRC:**

觀察其 Rx Constellation Map 於  $E_b/N_0 = 8\text{dB}$  的情形：



<b>Eb/N0</b>	<b>time domain</b>	<b>frequency domain</b>
0	0.1179220	0.0856880
1	0.0953496	0.0650531
2	0.0762421	0.0469153
3	0.0575539	0.0318512
4	0.0419611	0.0199307
5	0.0285932	0.0111494
6	0.0183068	0.0055232
7	0.0111114	0.0024373
8	0.0058684	0.0008700
9	0.0032052	0.0002753
10	0.0016471	0.0000978
11	0.0006790	0.0000173
12	0.0003170	0.0000070

對其作圖：

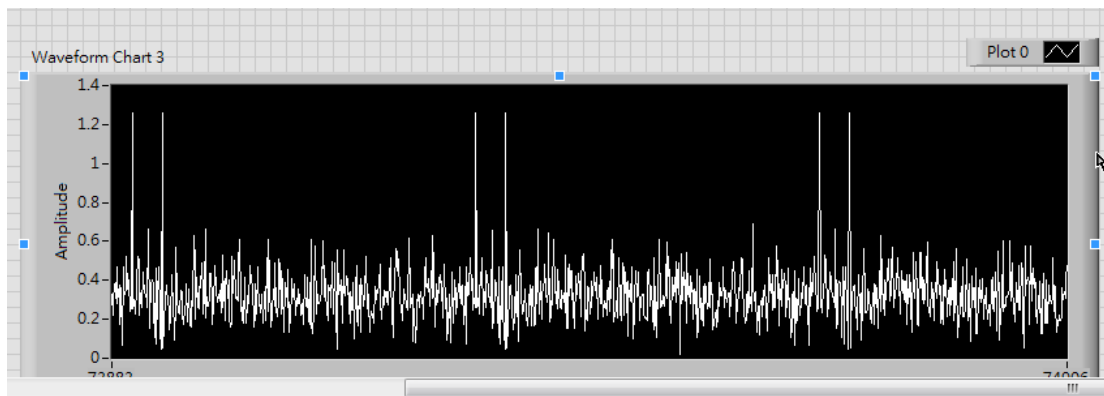


討論：

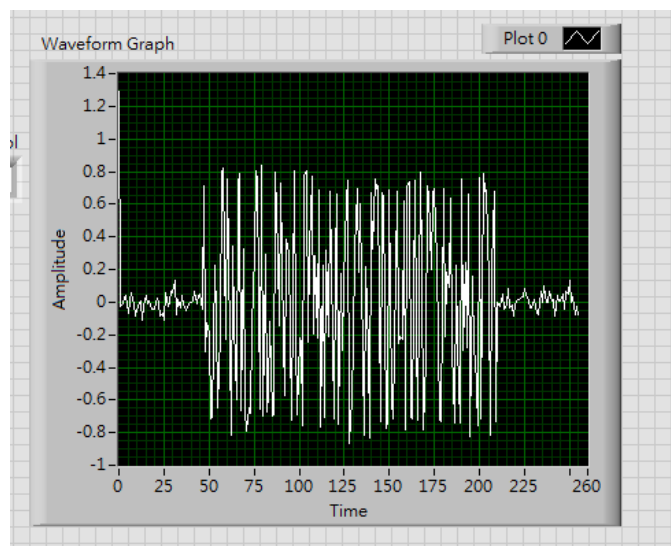
MRC in frequency domain 效果比 MRC in time domain 好，這是因為我們原本就將資訊放置在 frequency domain，此外，也與我們整個系統架構有關係，因為我們所傳輸的內容是一個 time domain OFDM symbol，然後對其做 Alamouti's block code，對於奇偶數 time symbol 一一做 Alamouti's block code，所以重組回來 time symbol，是經過 frequency selective 的結果，故如果對 frequency domain 做 MRC，可以對較可靠 frequency gain 較高的通道去取得資料，所得到的結果也更為可信。

## 2. USRP Implementation

首先，我們可以先觀察在接收端收到的訊號的狀況。下圖是接收端分別對兩個 Preamble 做 correlation 之後的訊號疊加。我們可以明顯的看到每個一段時間就會有兩個峰值，代表了 OFDM Packet 裡面的兩段 Preamble。

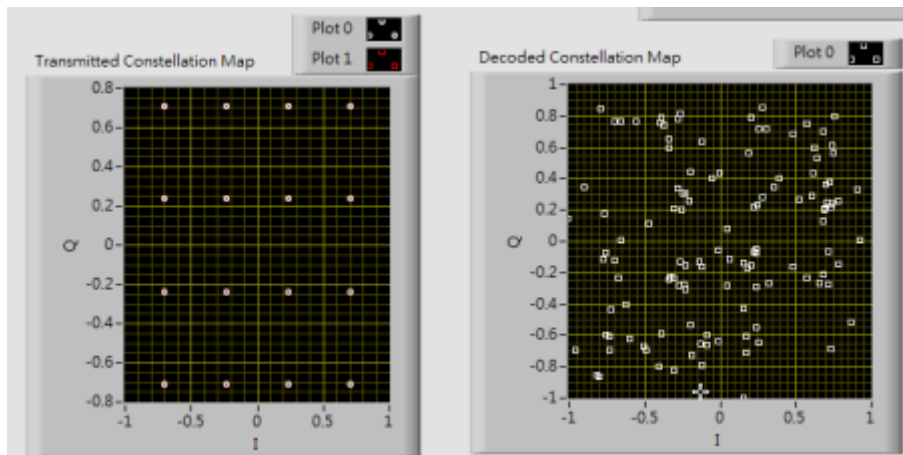
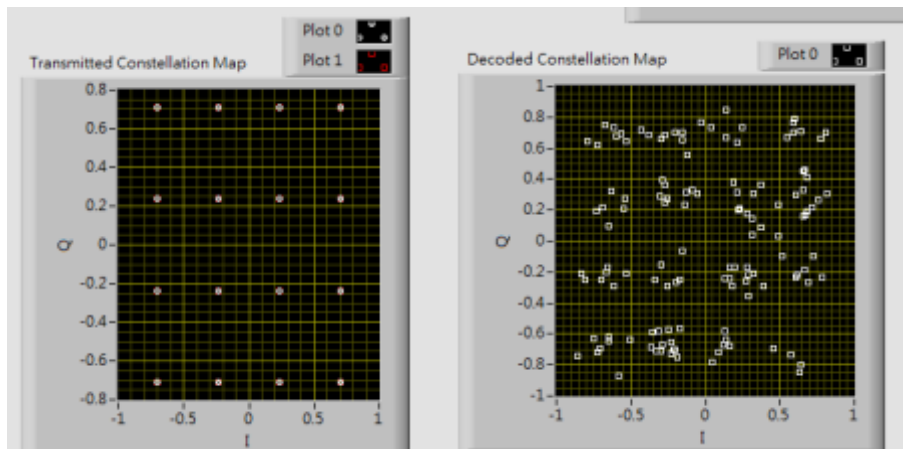
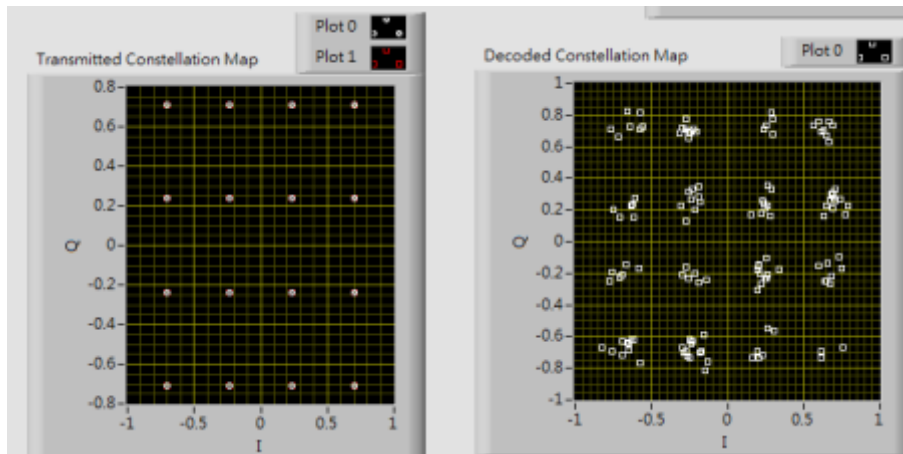


在進行 FFT 之後，雖然說不免有一些雜訊的影響，但我們也仍然能夠還原出一個 OFDM Symbol 的波形。

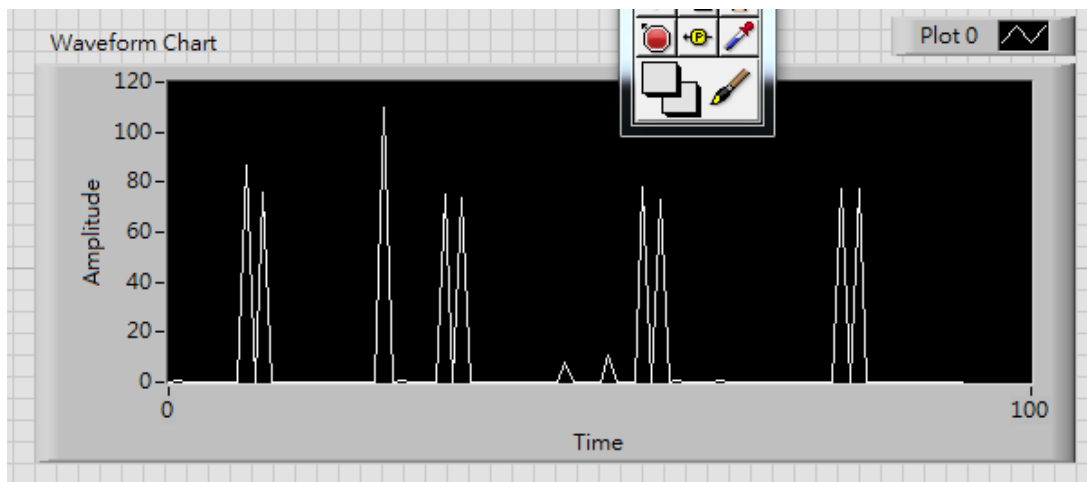


接下來，我們先討論一下 2x1 的情況。下面三張圖分別為 bit error = 0，6，跟 80 的 Constellation Map 的狀況。Bit Error = 80 的情況似乎是跟 USRP 有關，這個現象我們在 LabVIEW 的 simulation 中並沒有觀察到。

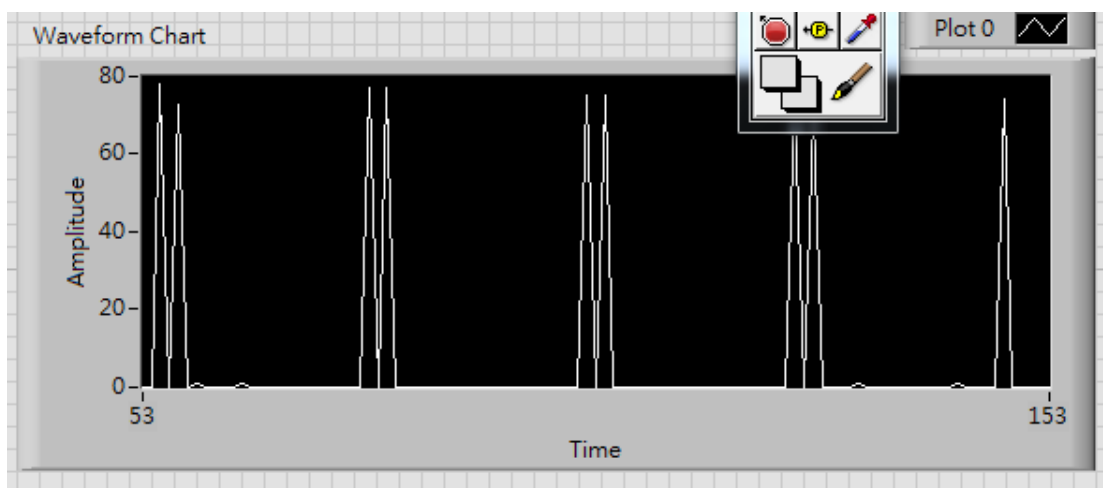




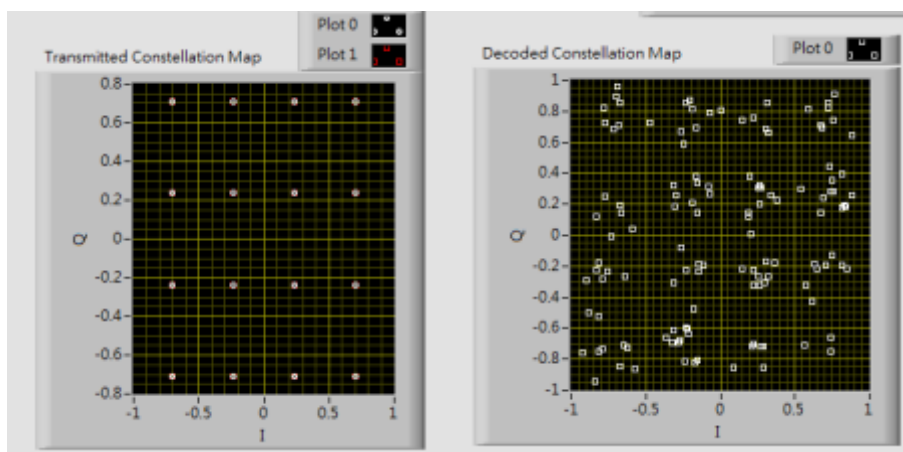
下圖是  $T_x \text{ gain} = 0$  的情況，我們將 Bit error 對時間作圖，可以發現他在固定的 Interval 會出現兩個 bit error = 80 的 spike，還有一些偶爾會出現的 bit error。如前面所述，這些 spike 在 Labview simulation 中並不會出現，我們也不確定它的來源為何。



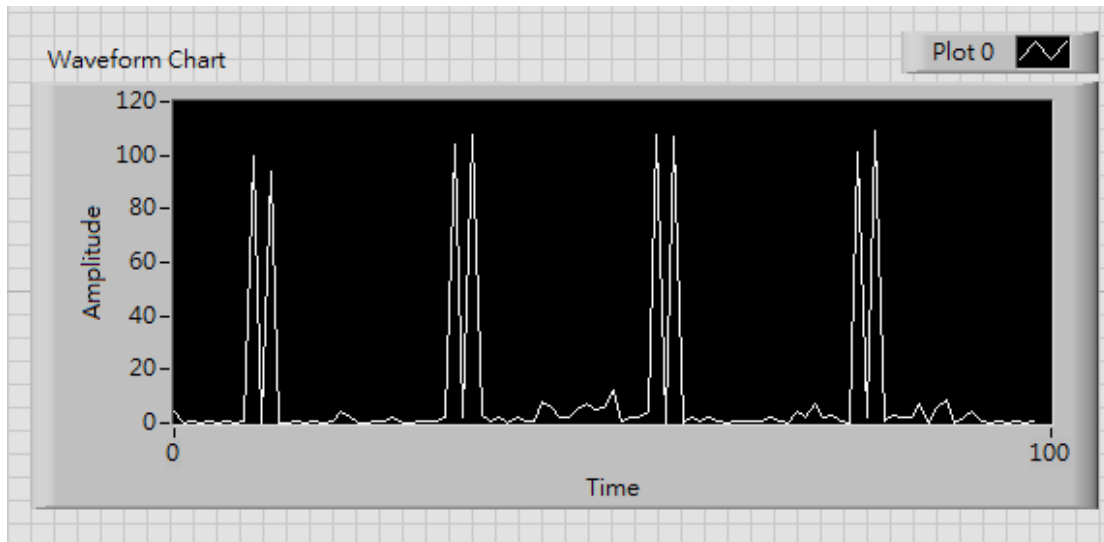
當我們把 Tx gain 調高 (此時為 5)，我們發現那些 bit error 數量更少了 (偶爾會解錯一個 bit)，但是，那個成對出現的 bit error spike 的現象仍然還在，而且似乎不受影響。在 Tx gain = 10 時情況亦然。



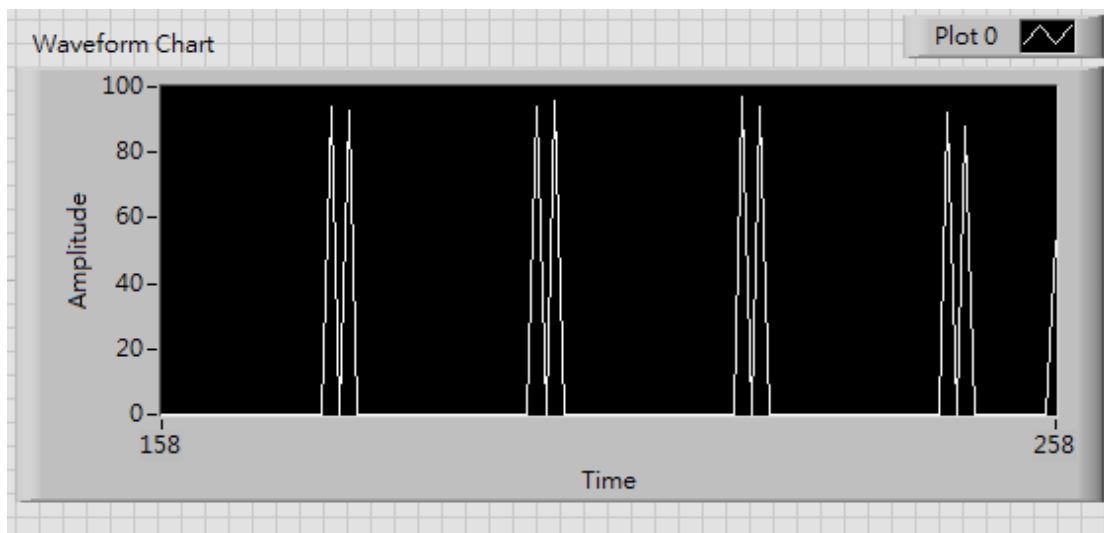
接下來，我們先討論一下直接在 time domain 做 MRC 的情況。下兩張圖是 Tx gain = 0 時的 Constellation Map 跟 bit error。我們可以發現 Constellation Map 比較紊亂，而這個現象也可以由 bit error 對時間的圖中觀察到。值得注意的是，此時那兩個 spike 的錯誤值來到了 100 左右。



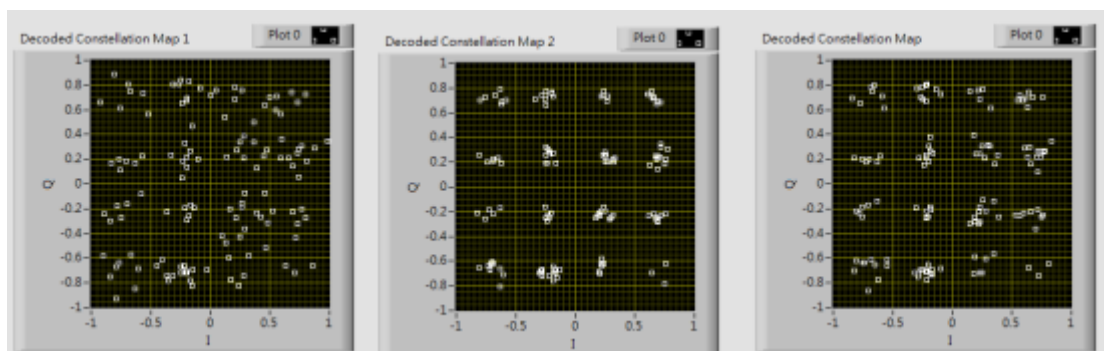


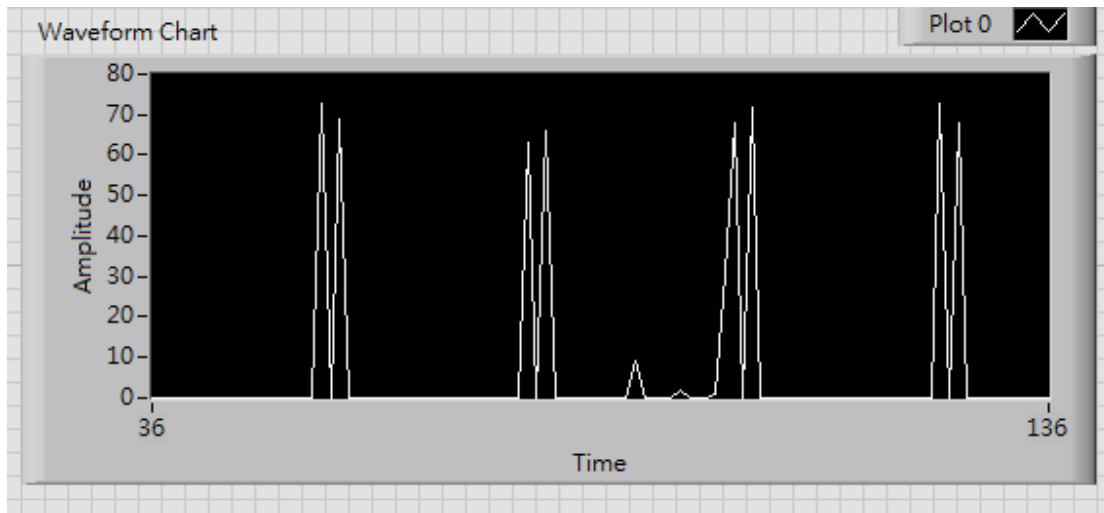


下面這張圖是  $Tx\ gain = 5$  的情形，跟 2x1 的情形一樣，除了那兩個 spike 之外，bit error 穩定很多，基本上為零。



最後，我們來討論一下在 frequency domain 做 MRC 的情況。如下圖所示，就算其中的一個 Constellation Map 出現了不穩定的現象，在做完 MRC 後，基本上還是能夠還原出正確的 Constellation Map。而對時間畫出 bit error 的變化後我們可以觀察到，就算在  $Tx\ gain = 0$  的狀況整個 bit error 的變化也很穩定，雖然那兩個 spike 還是存在，但是降到了跟 2x1 一樣的 80 左右。





## V. Course Feedback

### 1. 王君璇：

這門課學到相當多對於數位通信系統的相關知識，不過 loading 大約有 10 出頭學分，loading 比當初想的還要重蠻多的，我覺得 loading 主要來自於所有的東西都要自己摸索。

舉例而言，對於每次 lab 的內容，雖然我們要寫的內容並不是非常多，不過，對於整個系統的架構是需要相當多的時間，但我覺得是還可以接受的，也許可以在實驗 handout 多敘述一下每個子檔案在系統中的用途。我覺得實驗設計可能還需琢磨一下，尤其是畫 SNR vs BER 的圖片，對於 LabVIEW 而言，你必須要對於每個 SNR 去手動跑值，再對他做探討，我覺得相當耗費時間，而且重複性的事會讓人覺得意義不大，說不定未來可以考慮使用 Matlab 做相關的實驗，再對結果做探討即可，可以降低重複性機械似的操作。

建議以後 Midterm survey 的時間可以提早一點，不要積在靠近 final project 的時間，因為 Midterm survey 要花的時間相當多。Final project proposal 是一個不錯的主意。

整體而言，這門課的收穫相當多，感謝老師一學期的教導。

### 2. 朱文瑄：

這門課其實還滿重的，每周除了要寫 code 跟去實驗室跑 USRP 之外，還要上三堂課，不過，在過程中，也學習到了很多跟數位通訊有關的資訊，對 LabVIEW 也慢慢地開始感到熟悉。但我覺得每次的 lab 其實有很多東西重複性都很高，像是畫 BER Curve，每次都要手動去調幾十個值，然後有時候有別人在做的時候還會收到別人的訊號，又要一直去跑，直到出現正確的數值。我想，可能可以考慮一下改變一下實驗內容之類的，看有沒有辦法減少這種機械性的操作，或是讓同學練習寫寫看自動記錄數據的 subVI 之類的。除此之外，可能助教在寫 VI 時也可以多加一些註解，有時候想去看一下助教的 VI 或去另外接東西出來時，發現線都黏在一起，比較不容易看懂。畢竟練習寫 code 有很大一部分也是從先看懂別人的 code 開始。最後感謝教授跟助教，這一學期下來真的是收穫良多。