

以SDR實現基於QPSK傳收架構之8PSK調變實現與AWGN通道效能分析

指導教授:劉宗憲老師

專題生:蔡承儒、郭施揚、李祥維、翁躍銘

組別:通訊系統組

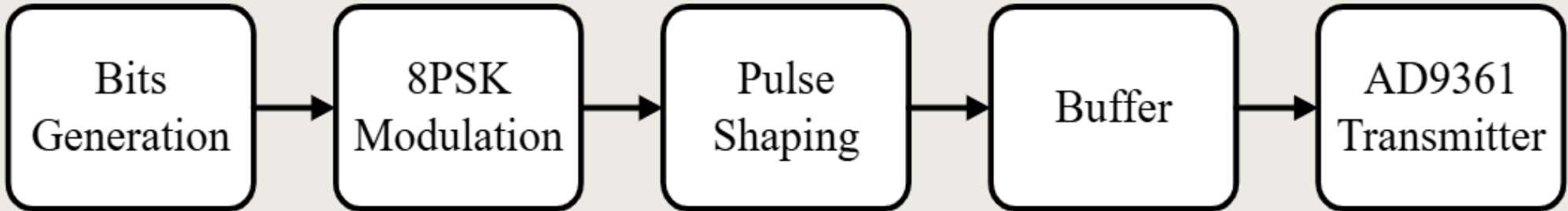
專題簡介

本實驗以SDR(軟體定義無線電)平台進行調變方式試驗及系統效能分析。實驗重點包含兩個主題:一、以Matlab/Simulink中提供的QPSK收發機模型為基礎，將調變方式改為8PSK調變，並且加入CRC-16(Cyclic Redundancy Check)檢查碼；二、在QPSK收發機模型基礎上，並使用SDR傳輸情況下，對通道、SNR、SER進行分析。

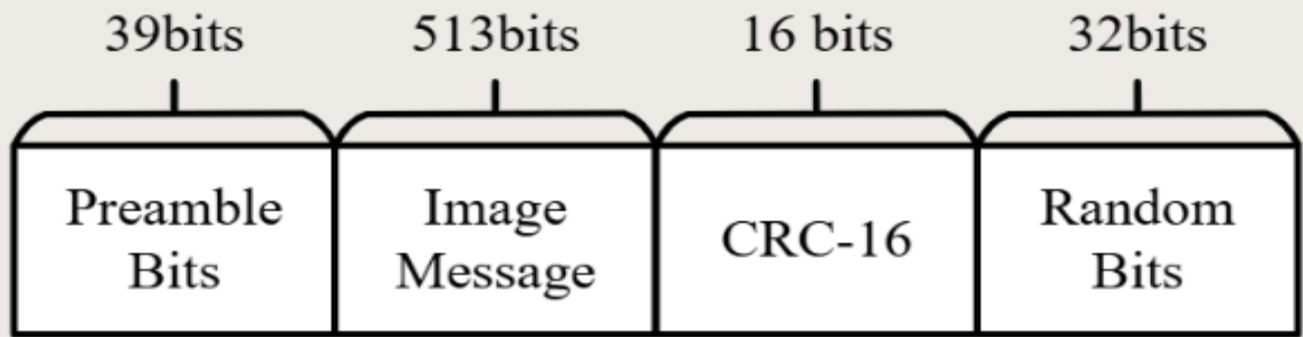
以數位通訊理論中QPSK及8PSK調變為核心，搭配SDR進行，選用SDR在於其優勢相較於傳統無線電能夠以軟體修改硬體的功能，提升開發效率及節省成本。

硬體設備由Zedboard Xilinx Zynq-700 FPGA及射頻模組AD9361組成，並完成Communications Toolbox Support Package for Xilinx Zynq-Based Radio設定及QPSK收發機模組下載。

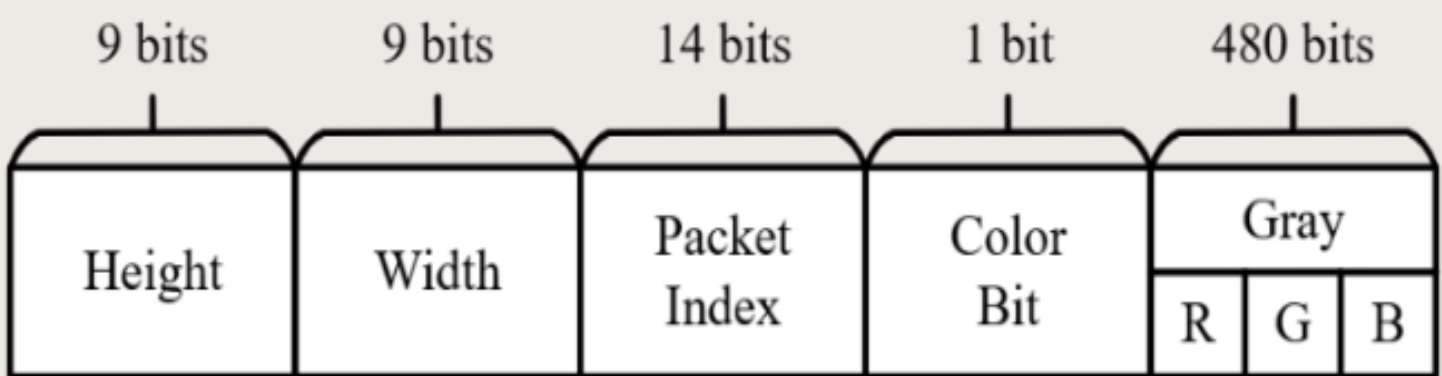
傳送端架構



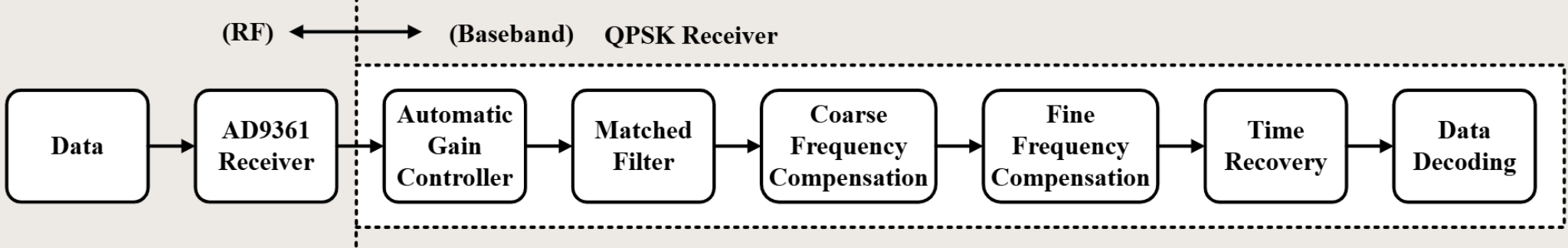
- 在Bit Generation中，會產生Barker code，為 $[+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1]$ ，由於自相關的特性，可用於封包同步。此外還會產生random bit，補足封包不足的長度，進行調變。
- 8PSK Modulation將資料位元序列每3個bit組成1個symbol，計算時為複數形式。
- Pulse Shaping採用Square Root Raised Cosine(SRRC)，用於限制訊號頻寬。
- AD9361 Transmitter用於將基頻訊號轉為射頻訊號。
- 封包由Preamble、Image Message、CRC-16、Random bit組成，共計600 bits



其中Image Message的組成為:



接收端架構



- AD9361 Receiver:將接收之射頻訊號，轉為基頻訊號。
- Automatic Gain Controller(AGC):基頻訊號受到通道、雜訊等影響，振幅隨時間變化，可能導致訊號還原失敗，因此需要透過AGC將輸出訊號振幅穩定至一定範圍。
- Matched Filter:為得到最大SNR，故同樣使用SRRC filter。
- Coarse Frequency Compensation:傳送端和接收端的本地振盪器存在載波頻率偏移，透過此區塊進行校正。
- Fine Frequency Compensation:使用相鎖迴路(PLL)消除訊號殘留相位誤差。
- Timing Recovery:最佳取樣時刻有所偏差，透過相鎖迴路(PLL)調整，以達到減少ISI影響的目的。
- Data Decoding:將校正後的訊號進行8PSK解調，進行封包解碼。

CRC-16檢查碼

訊號受到通道及雜訊影響，即使經過校正及補償，仍會有錯誤，而CRC檢查碼讓接收端能夠檢測封包是否有誤。其中使用的是CRC-16檢查碼，多項式為 $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$ 。使用到的計算公式如下:

$$R(x) = [M(x) \cdot x^n] \bmod G(x)$$

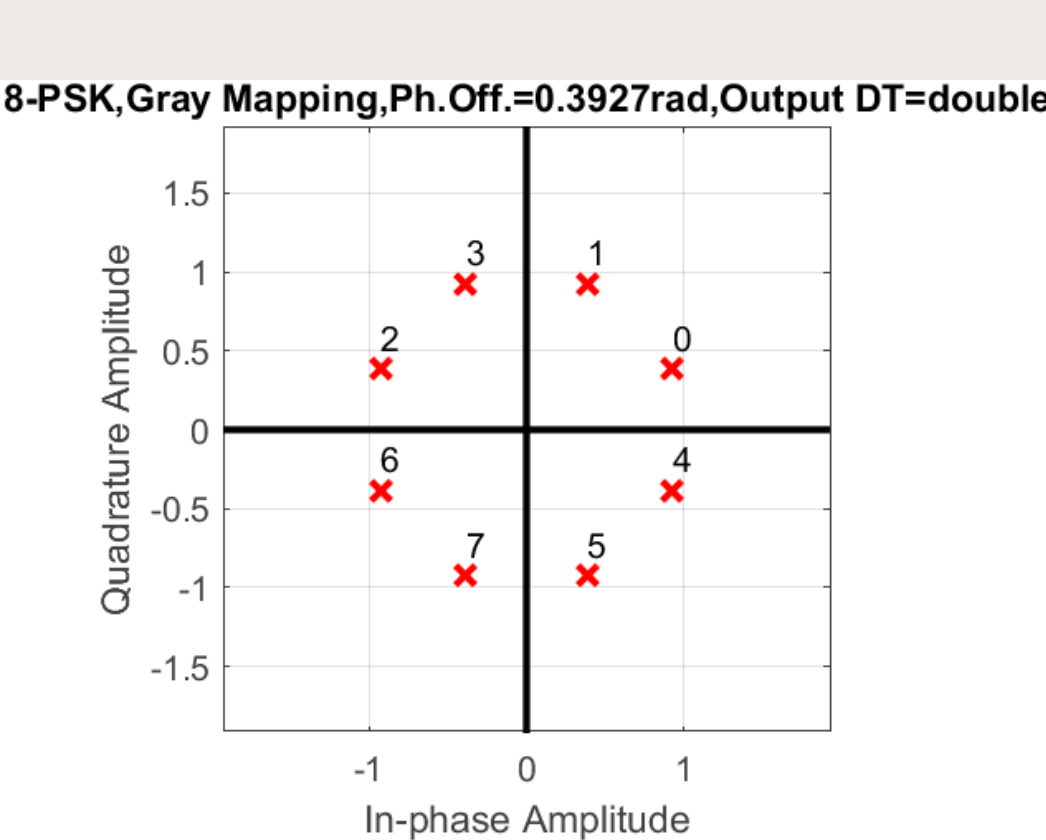
$$T(x) \bmod G(x)$$

其中，

$R(x)$:餘式、 $M(x)$:原始資料、 $G(x)$:生成多項式、 $T(x)$:傳送端資料

8PSK調變解調

8PSK中1個symbol是由3個bits所組成，在傳送端的星座圖因此共有8點，且均勻分布於圓上；在接收端則是利用ML detector在星座圖上找到最適配的星座點，其星座圖及ML detector的數學表示如下所示:



$$\hat{s} = \begin{cases} s_0, 0 \leq \angle r < \frac{\pi}{4} \\ s_1, \frac{\pi}{4} \leq \angle r < \frac{\pi}{2} \\ s_3, \frac{\pi}{2} \leq \angle r < \frac{3\pi}{4} \\ s_2, \frac{3\pi}{4} \leq \angle r < \pi \\ s_6, \pi \leq \angle r < \frac{5\pi}{4} \\ s_7, \frac{5\pi}{4} \leq \angle r < \frac{3\pi}{2} \\ s_5, \frac{3\pi}{2} \leq \angle r < \frac{7\pi}{4} \\ s_4, \frac{7\pi}{4} \leq \angle r < 2\pi \end{cases}, r = hs + w$$

QPSK系統效能分析

因通道以及雜訊的影響，資料在傳送過程中有位元錯誤，使還原失敗，因此對通道估計、SNR(Signal-to-Noise Ratio)以SER(Symbol Error Rate)量測與分析。通道估計採用pilot bit(00)，並使用Least Square Algorithm，公式如下:

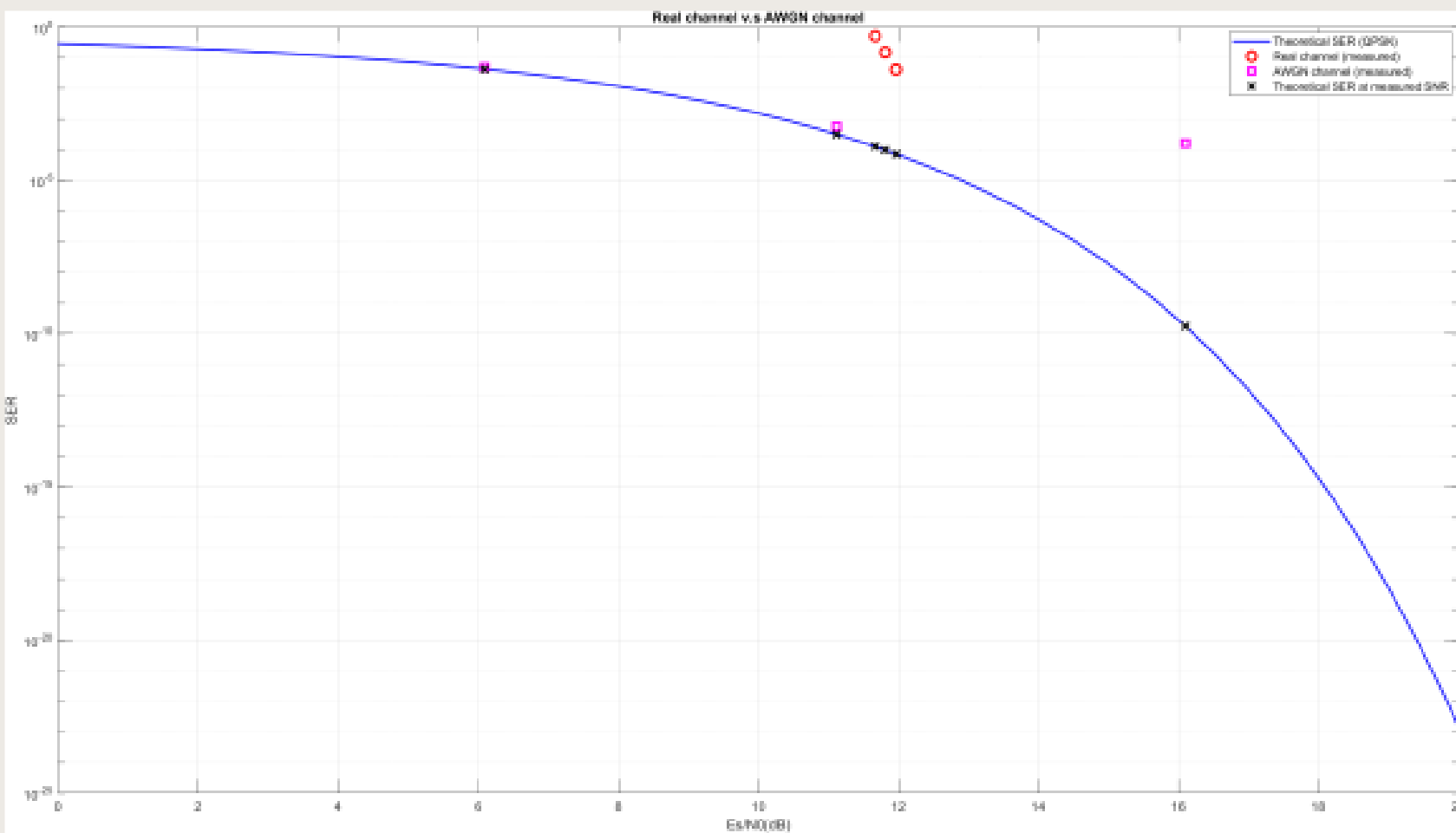
$$r[n] = h \cdot \frac{1+j}{\sqrt{2}} + w[n], w[n] \sim CN(0, N_0) \quad \hat{h} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{r[n]}{1+j/\sqrt{2}}$$

SNR計算同樣採用pilot bit(00)做計算，公式如下:

$$SNR = \frac{|E\{r[n]\}|^2}{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |r[n]|^2 - \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |r[k]|^2}$$

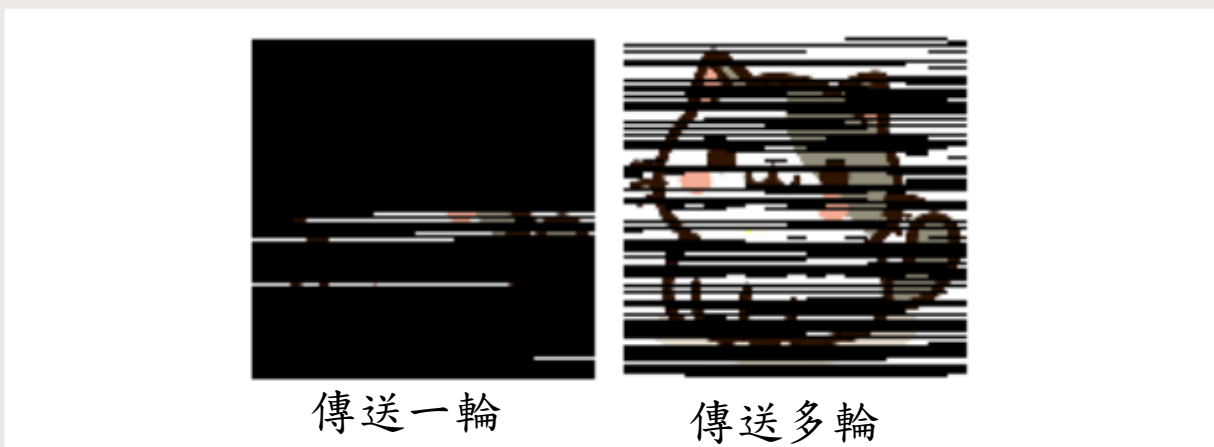
理論SER計算，則透過前述所得SNR值進行計算，公式如下:

$$P_{M=4} = 2Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right) \cdot \left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}}\right)\right]$$



最終結果圖中，能發現使用AWGN通道模擬相較於實際通道(紫色vs紅色)，實際值與理論值的差距較小。而實際通道差距大的主因為，實際通道受到環境因素影響，使通道並不如假設為AWGN通道。而當SNR值越大，即使用AWGN通道模擬，與理論值差距仍然很大，主因為樣本數不足，推測說將接收時間延長，有望可使實際SER接近理論SER。

成果



討論

本專題模擬QPSK與8PSK端到端傳輸流程，完成影像封包化、調變解調與還原，同時在原架構中導入CRC並依調變特性調整同步與解映射模組，並進行效能評估。後續將檢視AWGN之外的通道影響，並透過延長觀測時間與提升樣本量以降低估計偏差與變異，使量測更貼近理論。