



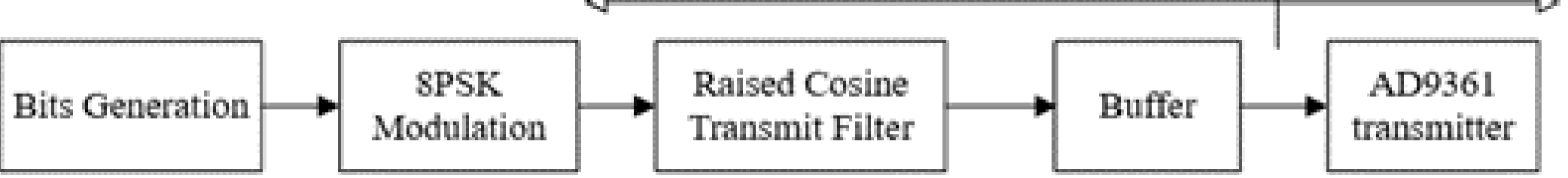
# 基於 SDR 之 8PSK 基頻傳收機設計與系統效能分析與封包檢測

組員:黃啟盛、歐柏霆、林昱宏 指導教授: 劉宗憲 教授

## 專題簡介

本專題主要探討通訊基頻傳收機之模組架構，並以軟體定義無線電（Software-Defined Radio, SDR）進行實作。實驗中以Simulink提供之QPSK傳收機模型為基礎，進行修改與擴充，將 QPSK 調變改為 8PSK，並成功實現圖片資料的傳收。同時，本研究亦針對系統效能進行分析，涵蓋通道衰減、訊雜比（SNR）與符號錯誤率（SER）之評估。硬體部分則採用 Zedboard 與搭載 AD9361 之單天線收發模組完成訊號的傳送與接收。除此之外，會單純利用MATLAB + Simulink 針對封包檢測做進一步的設計與模擬。

## 發射端架構



發射端由四個主要模組組成:

1. Bits Generation:用於產生封包，格式如下:

Preamble (39 bits)	IMAGE Message (540 bits)	CRC code (16 bits)	Random bits (5 bits)
-----------------------	--------------------------------	-----------------------	-------------------------

其中Preamble為Barker Code重複三次產生，具備良好的自相關特性，同步訊框邊界所用；圖片像素資訊則包含圖片高度(Height)、圖片寬度(Width)、圖片種類(color)、每次傳送的封包編號(part)；CRC-16 檢查碼則由以下公式產生:

$$R(x)=\left[M(x)\bullet x^n\right]\bmod G(x)$$

其中有檢查碼R(x)、圖片資料串M(x)、CRC多項式 G(x)、G(x)的最高幂次n。Random bits則是隨機產生的0、1無意義訊息。

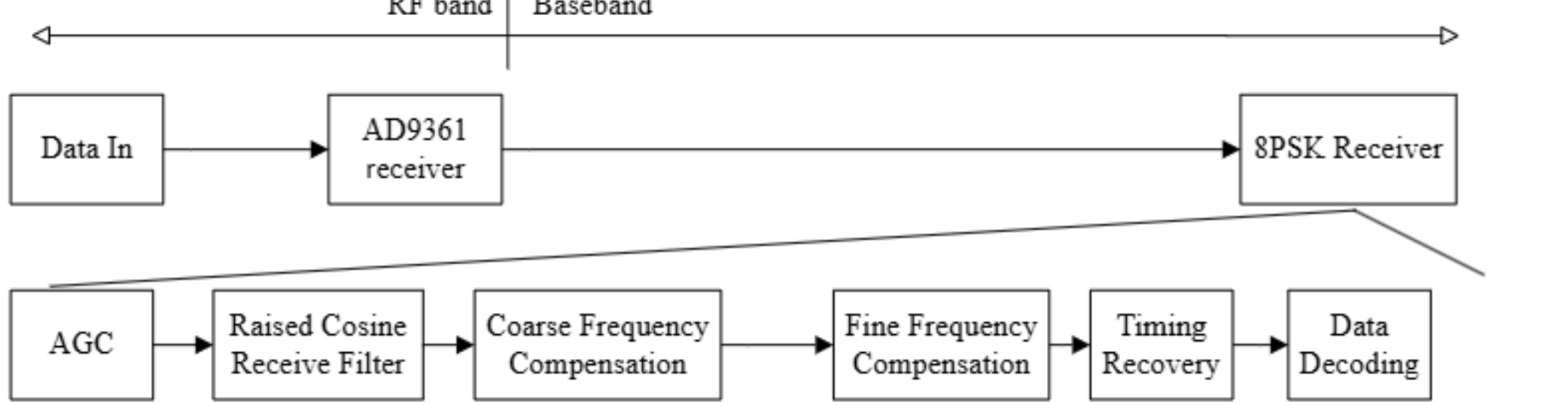
2. 8PSK Modulation:將Bit Generation 輸出的資料改成每三個位元一組，產生 8PSK 符號，每一個 8PSK 符號對應對應一個複數數值（I/Q sample）。

3. Raised Cosine Transmit Filter:使用SRRC(Square Root Raised Cosine) filter來限制頻寬並上取樣4倍。

4. AD9361 transmitter:使用正交調變(Quadrature Modulation)

將基頻訊號轉換為射頻訊號由天線發射出去

## 接收端架構



接收端由七個主要模組組成:

1. AD9361 reiceiver:由天線接收射頻訊號，並將射頻訊號解調為基頻訊號。

2. AGC:自動調整放大器的增益，使輸出信號的振幅維持在穩定範圍內。

3. Raised Cosine Receive Filter:和發射端一樣的SRRC，兩者卷積即為Raised Cosine，用以消除 ISI。此外，此處也會下取樣2倍。

4. Coarse Frequency Compensation:估計粗略的頻率偏移並且修正。

5. Fine Frequency Compensation:利用PLL補償殘餘的相位及頻率的偏移。

6. Timing Recovery:利用PLL找出取樣時間誤差，確保訊號在最佳取樣點進行判決，並輸出重取樣後的資料。

7. Data Decoding:利用同步訊框邊界、通道效應相位估計、相位模糊更正與 8PSK解調、圖片訊息解碼，將圖片還原。而圖片訊息解碼時會有以下公式，若結果非0，則代表資料錯誤。 $\hat{T}(x)$  為接收到的資料串、E(x)為錯誤資料串。

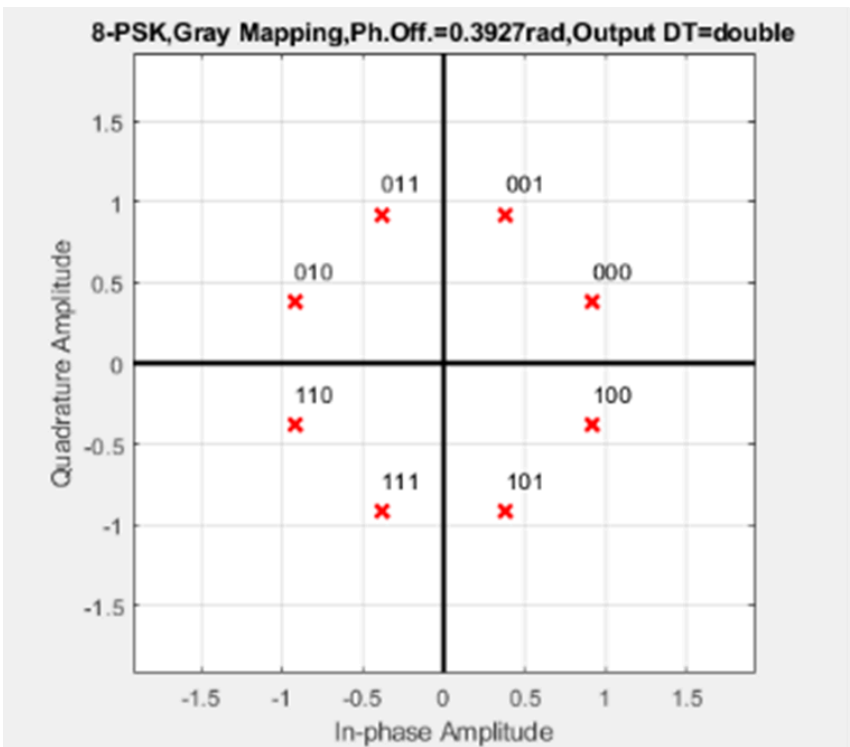
$$\hat{T}(x)\bmod G(x)=\left[M(x)\bullet x^n+R(x)+E(x)\right]\bmod G(x)$$

## 8PSK系統

在8PSK調變中，1 symbol可以傳送3 bits，在此系統中，對8PSK調變做了 $\pi/8$ 的相位偏移，其等效複數基頻訊號為:

$$s_m=e^{j(\frac{\pi}{8}+\frac{\pi}{4}m)},m=0,1,2,...,7$$

解調部分使用的是ML Detection，其星座圖以及ML Detection Rule如下: 假設輸入 $r'=s_m+w$ ，輸出 $\hat{x}$ 。



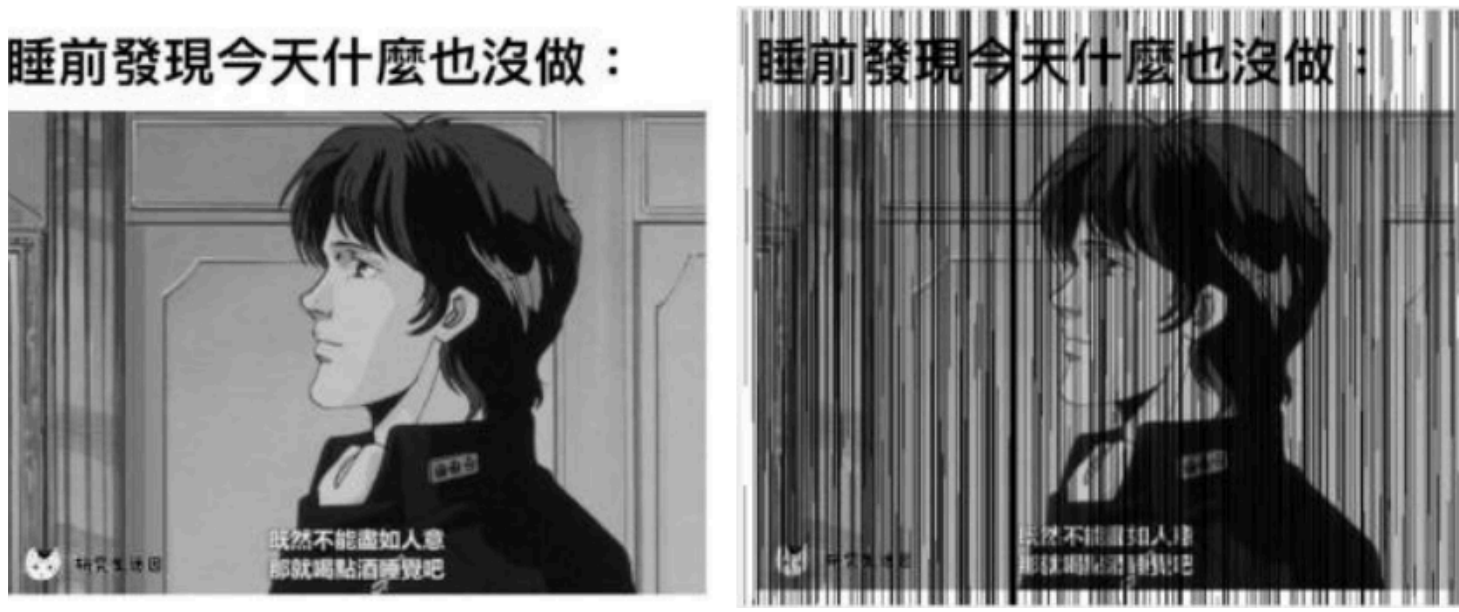
圖一:8PSK調變之constellation

$$\hat{x}=\begin{cases} s_0, 0 < \angle r' < \frac{\pi}{4} \\ s_1, \frac{\pi}{4} < \angle r' < \frac{\pi}{2} \\ \vdots \\ s_7, -\frac{\pi}{4} < \angle r' < 0 \end{cases}$$

8PSK ML Detection Rule

## 實際傳收結果

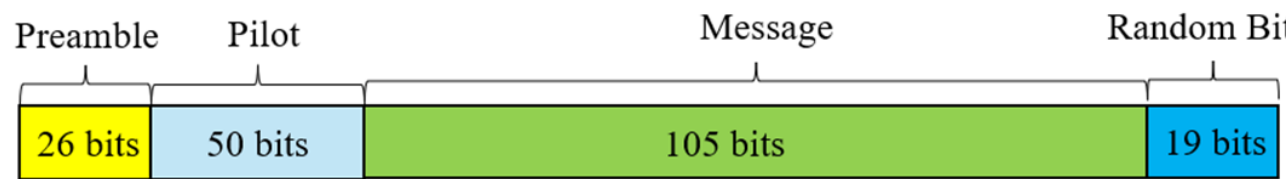
在圖二中，左圖為傳送端原始圖片，右圖為接收端圖片還原，可以發現還原後仍有些黑色的部分，此為封包偵測錯誤所產生的結果。



圖二:圖片還原結果

## SDR系統效能分析

在此分析中，將進行SDR系統效能分析，包括通道效應、訊雜比（SNR）與符號錯誤率（SER），其使用的物理通道模型為AWGN Channel，在分析系統效能時，以Simulink提供之QPSK傳收機進行分析，並改變封包格式:



其中在Message前會多傳一段皆為0的Pilot bits，此取中間的50個Pilot bits來進行通道估計，計算方法如下:

$$r[n]=hx[n]+w[n],n=14,...38,x[n]=\frac{1+j}{\sqrt{2}}\quad \hat{h}=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\frac{r[n]}{(1+j)/\sqrt{2}}$$

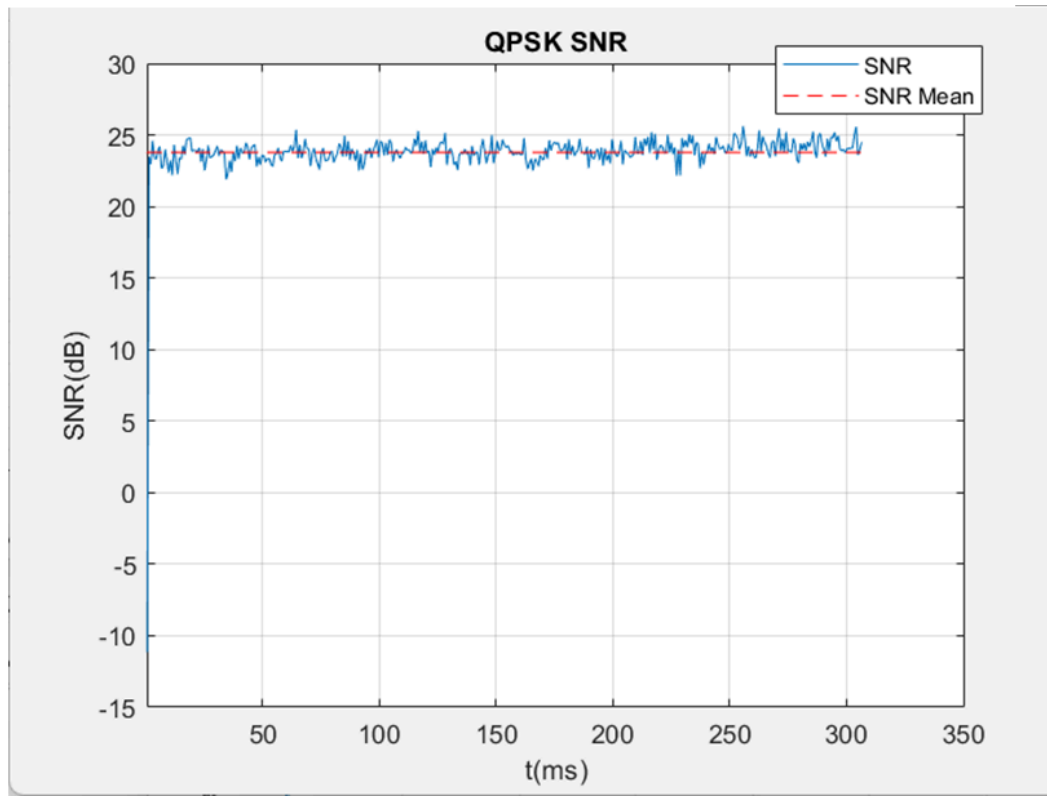
SNR同樣使用Pilot bits來進行測量，可表示為:

$$SNR=\frac{E\left[h\cdot x[n]\right]^2}{E\left[w[n]^2\right]}=\frac{\left|\hat{A}\right|^2}{\hat{\sigma}^2}\quad \hat{A}\approx\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}r[n]\quad \hat{\sigma}^2=\frac{1}{N-1}\sum_{n=0}^{N-1}\left|r[n]-\hat{A}\right|^2$$

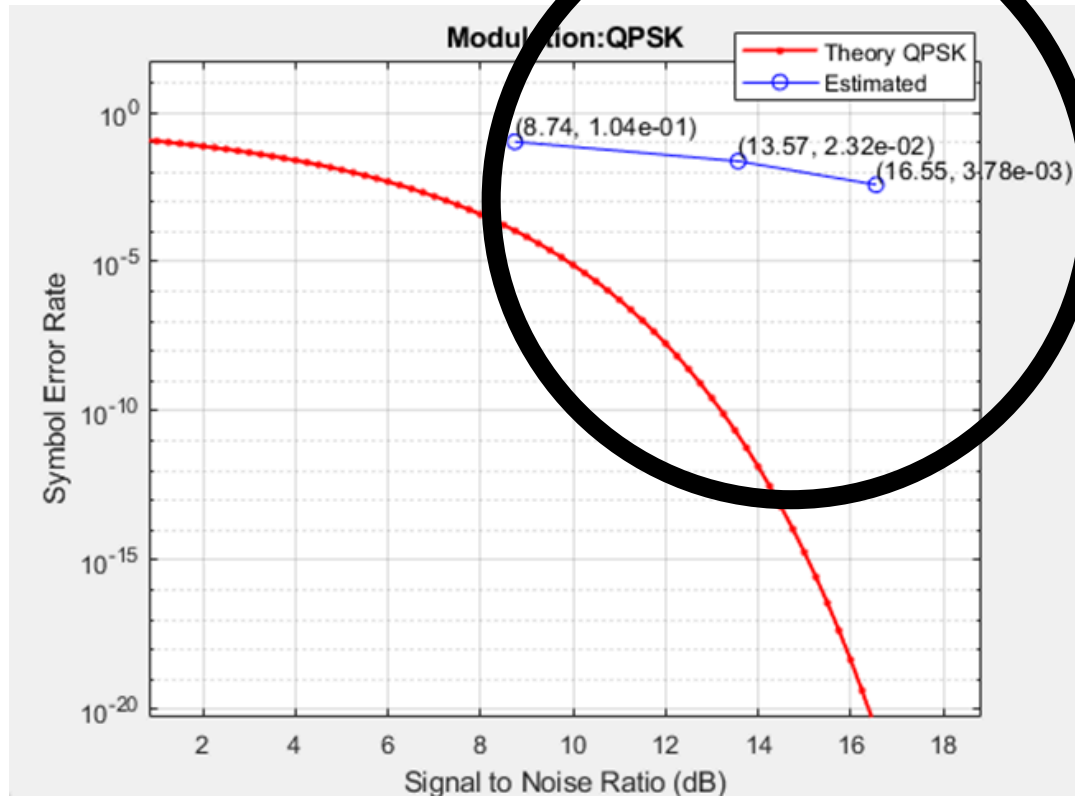
SER藉由平均SNR並將單位轉為dB來表示:

$$SER=2Q\left(\sqrt{10^{\frac{SNR_{mean}}{10}}}\right)\cdot\left[1-\frac{1}{2}Q\left(\sqrt{10^{\frac{SNR_{mean}}{10}}}\right)\right]$$

量測不同SNR下的SER，圖四顯示離理論有些距離，我們認為是因為沒有使用足夠多的symbol去量測，在16.55dB時要達到理論值資料是非常龐大的，以及我們認為物理通道模型不是非常理想，可能存在多路徑效應。



圖三:無遮蔽下之SNR測量



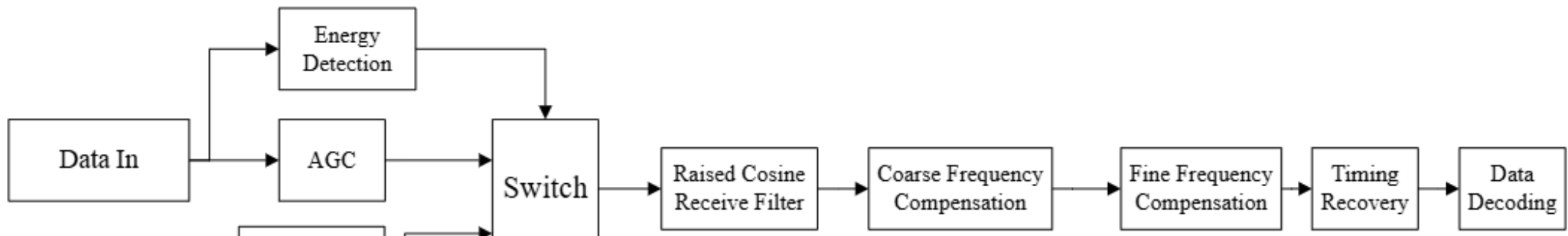
圖四:SNR實際測量結果與理論比較

## 封包檢測

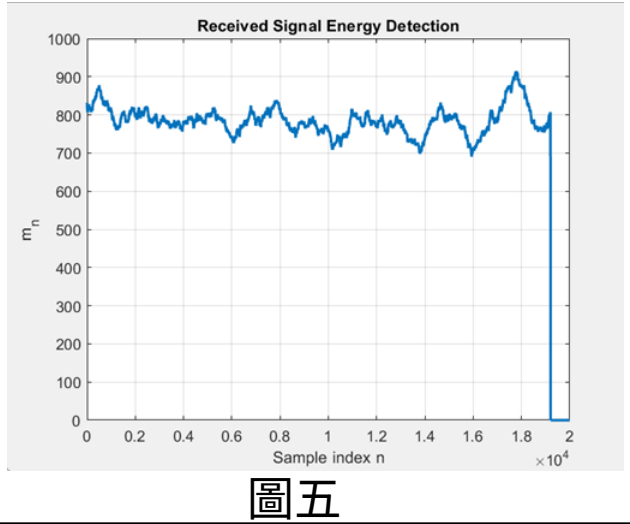
此處新增封包檢測系統來讓8PSK Receiver一開始就能判斷接收到的20000個 samples內是否有封包存在，若封包不存在則產生20000個0進入下游模組。而本實驗會在AWGN Channel進行基頻訊號傳收模擬，而非實際傳收。採用的封包檢測方式為能量檢測，其計算長度為L的時間窗口(window)內累積的接收訊號 $r_n$ 的能量如下:

$$m_n=\sum_{k=0}^{L-1}r_{n+k}r_{n+k}^*=\sum_{k=0}^{L-1}\left|r_{n+k}\right|^2$$

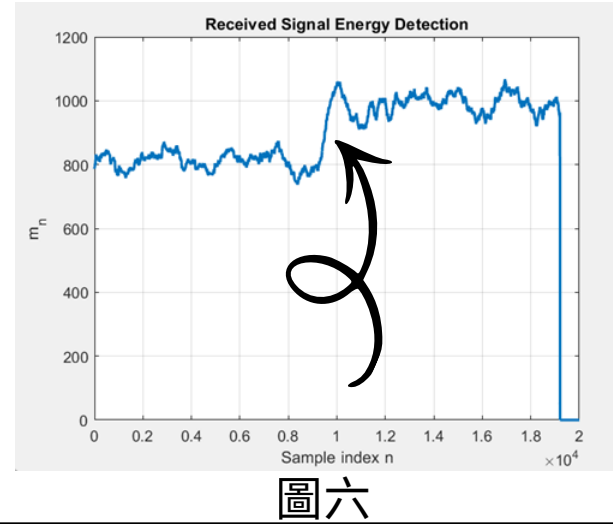
新的8PSK Receiver架構為:



而以下分別為samples中均為雜訊(圖五)和samples中大概前半為雜訊後半有封包的情況(圖六)。可以發現圖五的 $m_n$ 大多分布在700~910之間，而圖六的 $m_n$ 在n到10000左右時開始往上提高至920以上，故可以發現封包存在。



圖五



圖六

**討論:**未來的研究可延伸至硬體層級的最佳化與晶片實現，亦可探索支援更高階調變、多天線技術（MIMO）與先進通道編碼的晶片架構設計，使系統更符合未來高速無線通訊的需求。

### 參考文獻:

- [1] J. G. Proakis and M. Salehi, Communication system engineering, 2nd ed. NJ: Prentice-Hall, 2002.
- [2] Michael Rice, Digital Communication: a discrete time approach. Prentice Hall, 2009.
- [3] 劉宗憲老師,正交分頻多重連接技術上課講義,2024.