

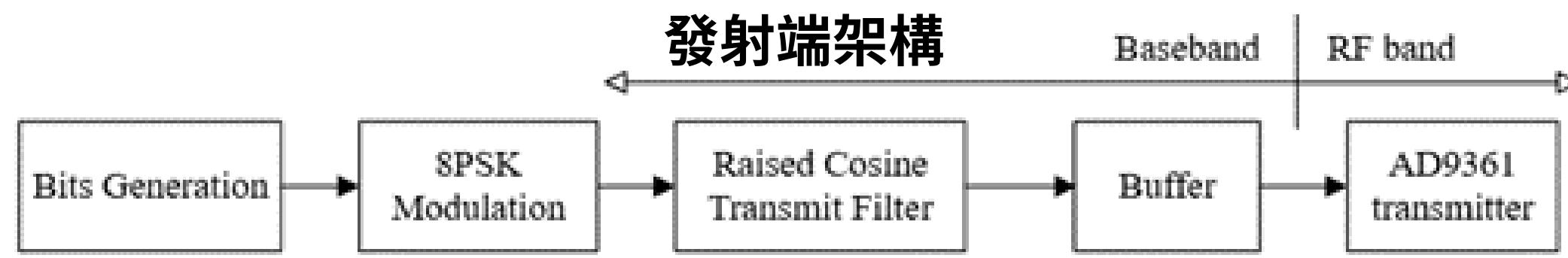


基於 SDR 之 8PSK 基頻傳收機設計與系統效能分析與封包檢測

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：

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

其中有檢查碼R(x)、圖片資料串M(x)、CRC多項式 G(x)、G(x)的最高幕次n。

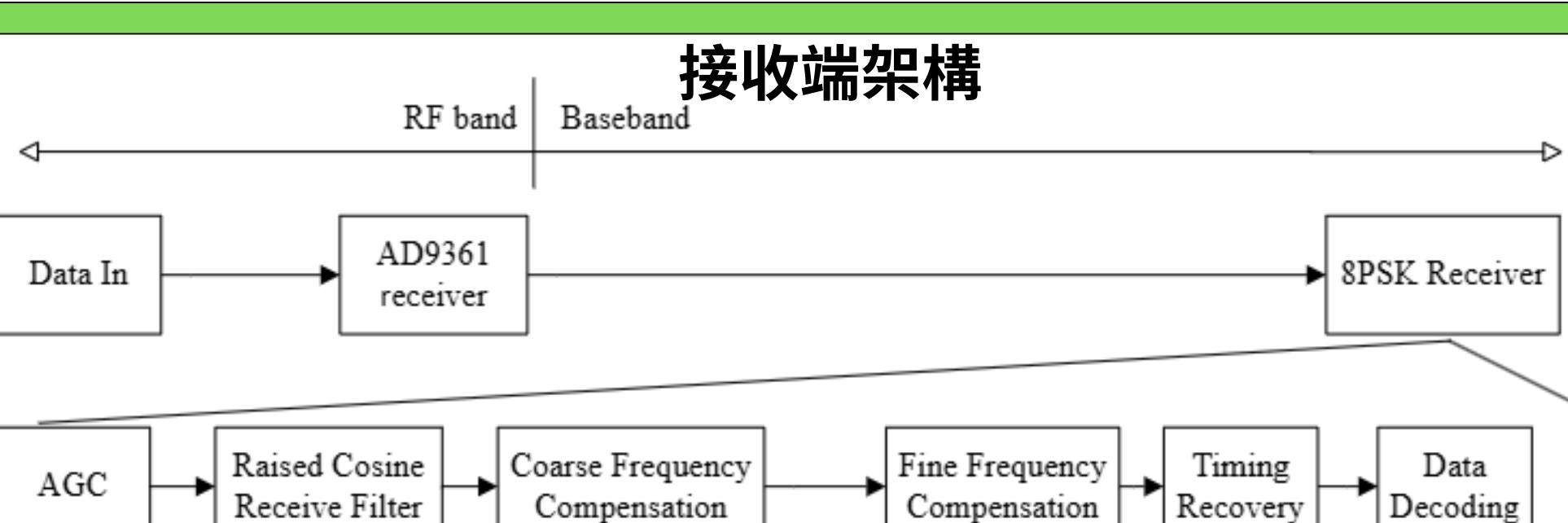
Random bits則是隨機產生的0、1無意義訊息。

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



接收端由七個主要模組組成:

1. AD9361 receiver: 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。

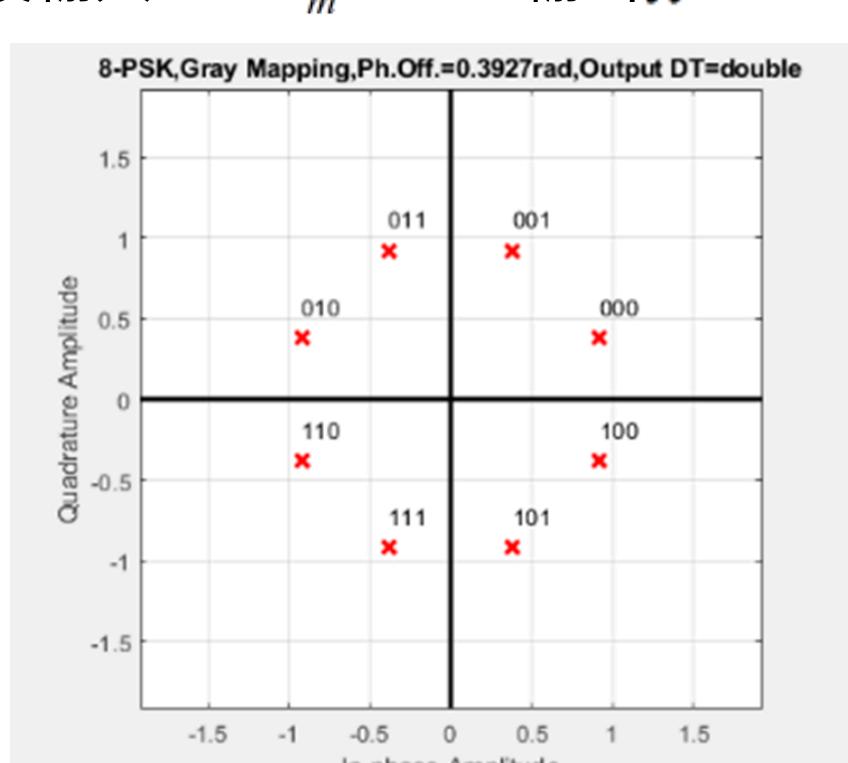
$$\hat{T}(x) \bmod G(x) = [M(x) \cdot x^n + R(x) + E(x)] \bmod G(x)$$

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：

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

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

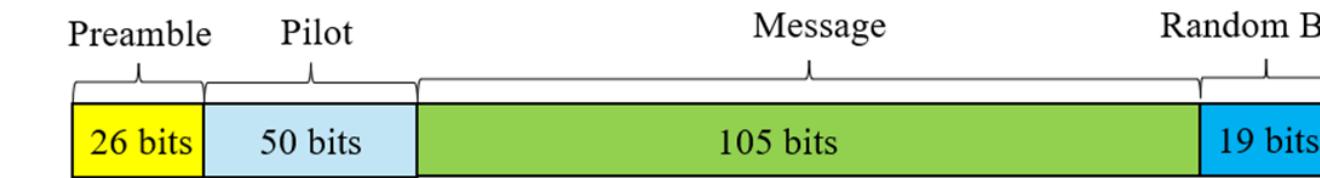
在圖二中，左圖為傳送端原始圖片，右圖為接收端圖片還原，可以發現還原後仍有些黑色的部分，此為封包偵測錯誤所產生的結果。



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：

$$r[n] = h x[n] + w[n], n = 14, \dots, 38, x[n] = \frac{1+j}{\sqrt{2}}$$

$$\hat{h} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{r[n]}{(1+j)/\sqrt{2}}$$

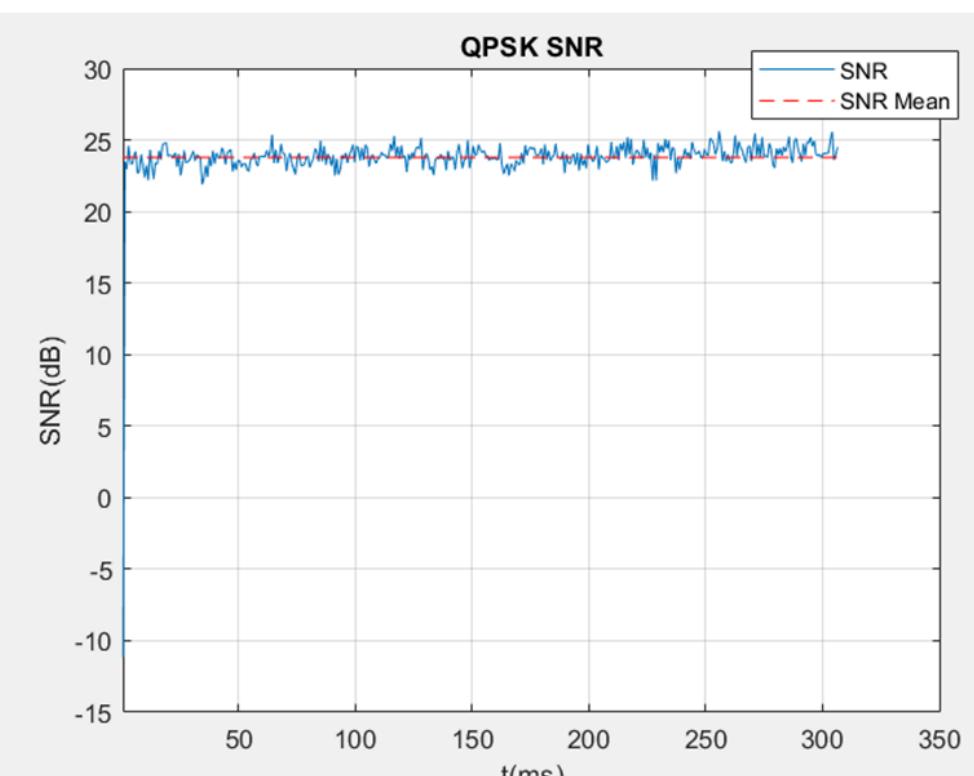
SNR同樣使用Pilot bits來進行測量，可表示為：

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

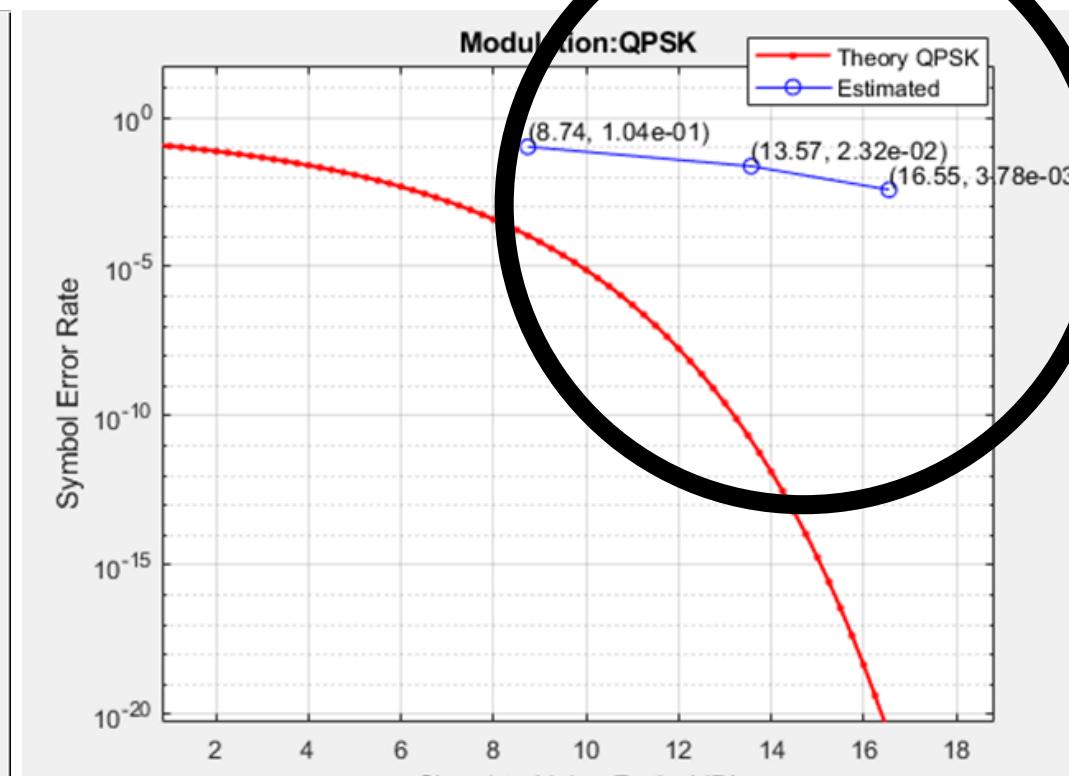
SER藉由平均SNR並將單位轉為dB來表示：

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

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



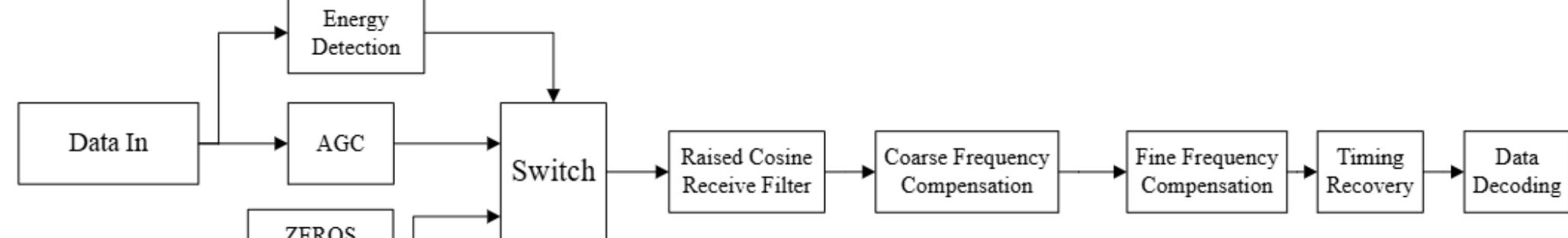
圖四:SNR實際測量結果與理論比較

封包檢測

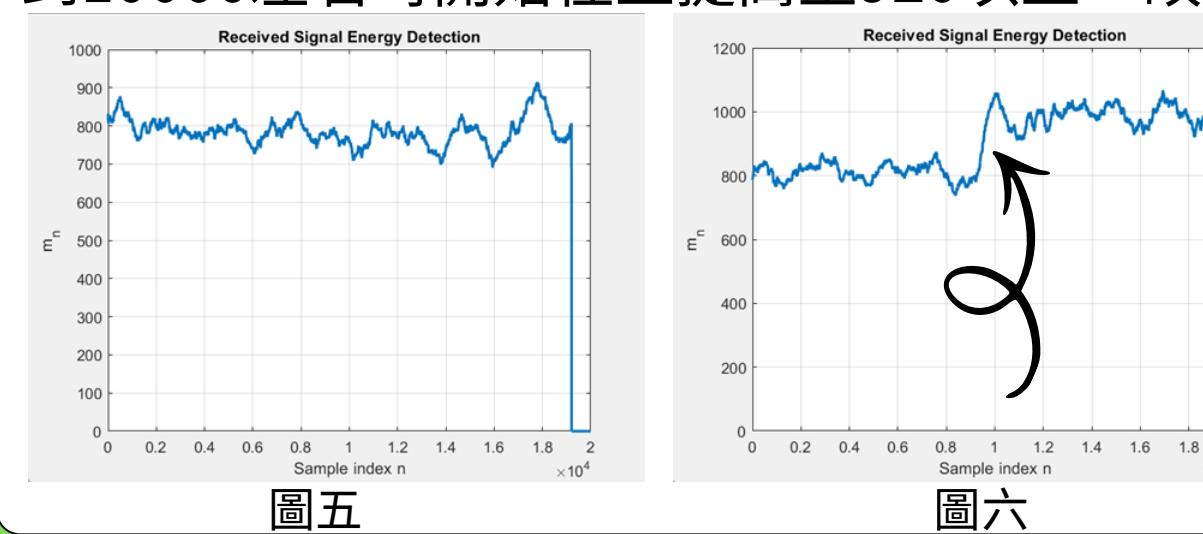
此處新增封包檢測系統來讓8PSK Receiver一開始就能判斷接收到的20000個samples內是否有封包存在，若封包不存在則產生20000個0進入下游模組。而本實驗會在AWGN Channel進行基頻訊號傳收模擬，而非實際傳收。採用的封包檢測方式為能量檢測，其計算長度為L的時間窗口(window)內累積的接收訊號 r_n 的能量如下：

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

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

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,正交分頻多重進接技術上課講義,2024.