

以SDR實現8PSK訊號之傳收及系統效能分析

組員: 林彥甫、郭竺諭 指導教授: 劉宗憲 教授

專題內容簡介

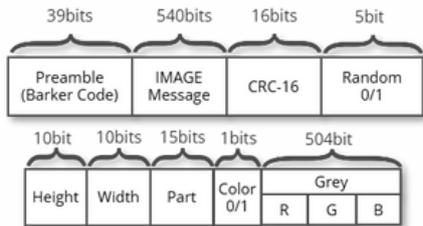
本實驗將QPSK、8PSK經由軟體定義無線電 Software Defined Radio (SDR)進行實作並驗證,其優勢在於可透過修改軟體來解決硬體無法修改的缺點,具靈活性、成本低、開發高效率的特性。軟體使用 Matlab提供的QPSK收發機模型修改成8PSK調變進行圖片傳輸,加入CRC-16,比較兩調變間之差異。估計傳輸下的通道、SNR、SER測量。硬體使用Zedboard Xilinx Zynq開發版搭配AD9361射頻模組單天線系統進行傳輸與接收。

發射機架構



發射端分成四個階段:

1. 訊號封包生成: 這個階段生成包含Barker Code、圖片資料、CRC-16檢查碼以及隨機填充之位元,封包格式(含圖片封包)如下:

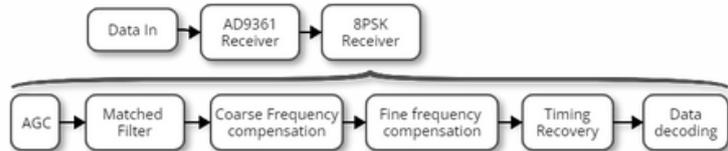


Barker Code: [+1 +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 -1 +1], 計算自相關用於同步

CRC-16 多項式: $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$, 用於偵測接收資料正確性

2. 8PSK調變: 將生成的位元依序轉換為8PSK訊號,訊號被分為實部、虛部兩路,以便進行無線傳輸
3. SRRF Filter: 塑造傳送訊號的脈波,使訊號功率集中在設計的頻寬中
4. AD9361 Transmitter: 將基頻數位訊號轉射頻類比訊號,透過天線發送

接收機架構



接收端分成七個階段:

1. AD9361 Receiver: 將天線收到的射頻類比訊號轉為基頻數位訊號,並將訊號送至ZedBoard處理
2. AGC: 自動調整接收機增益,將接收訊號振幅控制在一定範圍
3. Matched Filter: 與傳送端相同的SRRF Filter,可以將接收到訊號的信雜比(SNR)最大化,並降低符號間干擾(ISI)的影響
4. 粗略頻率補償: 利用快速傅立葉轉換去分析頻率偏移,並補償至與發射端相同的載波頻率
5. 精確頻率補償: 利用鎖相迴路(PLL),細微調整接收訊號之相位
6. 時序恢復: 提取正確的符元時間使接收端能夠在適時地取樣接收訊號
7. 資料解碼: 將接收到的資料從8PSK訊號解調回Bits flow,並解碼封包

8PSK調變與解調

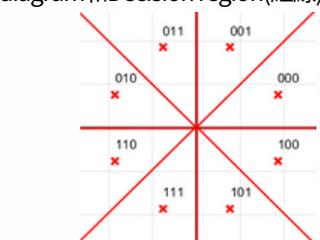
8PSK的星座點位於同心圓上,1個Symbol可以代表3個Bits,解調使用ML偵測,假設其接收訊號數學模型如下:

$$r = s + w \quad s \in \{s_m : s_m = e^{j(\frac{\pi}{4}m + \frac{\pi}{8})}, m = 0, 1, \dots, 7\}$$

其Decision Rule及Constellation diagram和Decision region(紅線)如下:

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

ML Detection



圖一: 8PSK Constellation及Decision region

CRC-16

在封包產生加入CRC-16於資料尾,讓接收端檢測資料的正確性,CRC碼經由二進制資料與CRC多項式進行Modulo 2運算產生。

R(x): CRC碼 G(x): CRC多項式 M(x): 二進制資料 T(x): 接收端資料

$$R(x) = [M(x) \cdot x^n] \text{ mod } G(x)$$

$$T(x) \text{ mod } G(x) = [M(x) \cdot x^n + R(x)] \text{ mod } G(x)$$

SDR系統效能分析

加入CRC檢查碼發現系統受到通道干擾,就算經過了各種補償及校正後仍有誤,因此決定進行通道估計、SNR(Signal to Noise Ratio)、SER(Symbol Error Rate)量測。通道估計使用單一星座點,以QPSK為例使用(00)作為pilot bit,計算方法如下:

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

SNR計算同樣將pilot bits取出,計算方法如下:

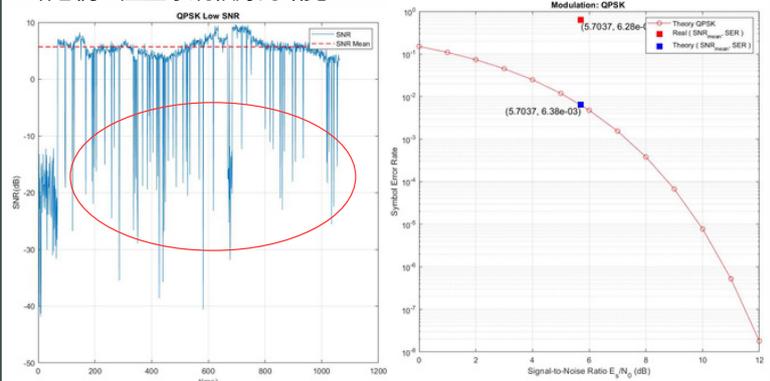
$$\hat{SNR} = \frac{|\hat{A}|^2}{\hat{\sigma}^2}$$

$$x[n] = hA[n] + w[n], n = 0, \dots, 49 \quad \hat{A} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n] - \hat{A}|^2$$

計算SER的作法為將一段時間之SNR平均,轉為dB代入公式計算:

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

在量測後得出系統最佳狀態下的SNR在20dB左右,根據理論推算SER會極小因此很難比較理論與實際SER,所以我們將收發端遮蔽可以使SNR降至5.7dB,接著量測該次的SER並與理論SER比較發現實際的錯誤率高了許多(圖三紅藍點)。我們發現通道估計中單一封包極短的時間內會有不穩定的時候(圖二中紅色圈起處),使得瞬時SNR較小,而我們計算平均SNR會忽略它們,產生系統較好的錯覺。

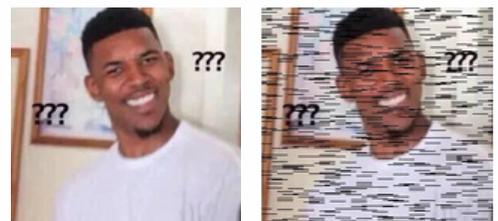


圖二: 遮蔽下之SNR變化

圖三: SER-SNR曲線及實際理論SER比較

結果

下圖為傳送的原始圖片(左)及接收到的圖片(右),可以發現有許多黑色部分,單一線段即為透過CRC碼所偵測出收到錯誤資料而不顯示的封包。



圖四: 傳送圖片結果

討論

此實驗成功使用8PSK系統完成資料收發,在通道估計的部分需要再進一步探討該如何解決估計方式不夠精確的問題。由於此次實驗環境相對單純,希望之後可以考慮到fading channel的問題。另外期望可以學習使用其他例如QAM、APSK調變方式來完成。

Reference: [1] John G Proakis and Masoud Salehi, Digital Communication, 5th edition. McGraw-Hill, 2008.

[2] Michael Rice, Digital Communication: a discrete time approach. Prentice Hall, 2009.

[3] James F. Kurose and Keith W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th edition. Pearson Education, 2017.