

通訊原理與實驗 LAB 06：匹配濾波器

1. 實驗目的：MATLAB 程序實現匹配濾波器(matched filter) 與其相關設計。

2. 實驗內容：

參照維基百科解釋，訊號處理過程中，**匹配濾波器**用以解調基頻帶脈波訊號，基頻帶脈波訊號意指訊號內容為同一波形訊號乘上一個常數，在每個周期中出現，並代表原訊息的資訊量，匹配濾波器解調結果其 SNR (Signal Noise Ratio)為最大值 $2E_b/N_0$ ，其中 E_b 與 $N_0/2$ 分別表位元傳送能量與雜訊功率，以下案例說明。 假設 $\text{bits} = \{0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\}$ ，傳送訊號 $s(t) = 0, s(t) = 1, 0 \leq t \leq T_b$

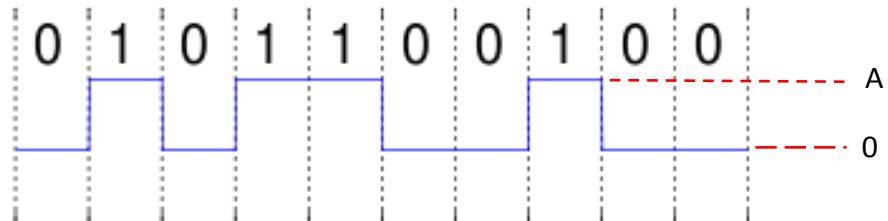


圖 6-1 傳送訊號 $s(t)$

$n(t)$ ：可加性高斯白雜訊，接收訊號為 $y(t) = s(t) + n(t)$ ，

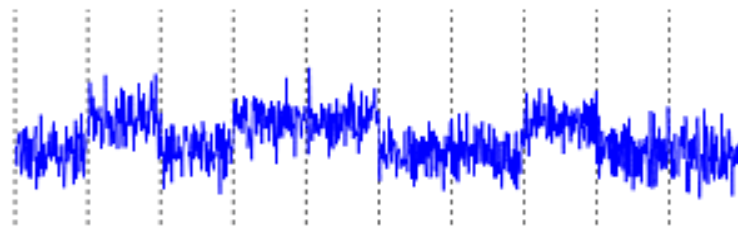


圖 6-2 傳送訊號 $y(t) = s(t) + n(t)$

訊息 0：訊號 $s(t) = 0$ 表示， 訊息 1：訊號 $s(t) = A$ 表示。

匹配濾波器 $h(t) = s(T_b - t) = A$ ，其中 T_b ：位元週期（傳送一個位元所發的時間），

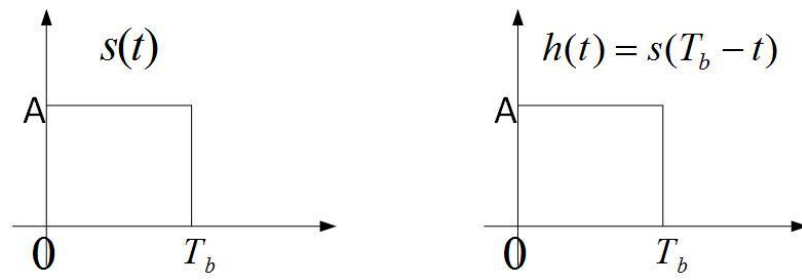


圖 6-3 訊號與匹配濾波器之波形圖

解調結果 $v_b(t) = h(t) * y(t)$ ，其中 $*$ 表 Convolution。接收機正確的取樣時刻為 T_b ，並與適當的門檻值 (threshold) 比較，從而獲取訊息。

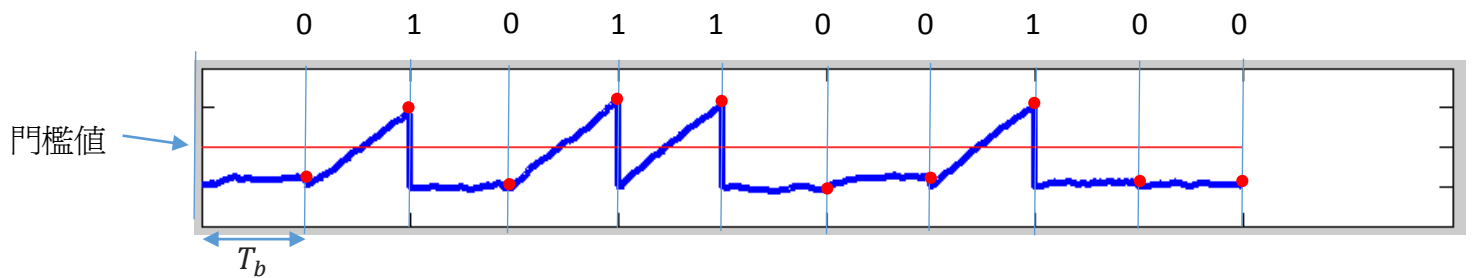


圖 6-4 解調結果 $v_b(t) = h(t) * y(t)$ (取前半段 convolution 的結果)，取樣與 threshold 比較後，獲取重建訊息 bits={0 1 0 1 1 0 0 1 0 0}

整個簡易運作過程如下圖所示。

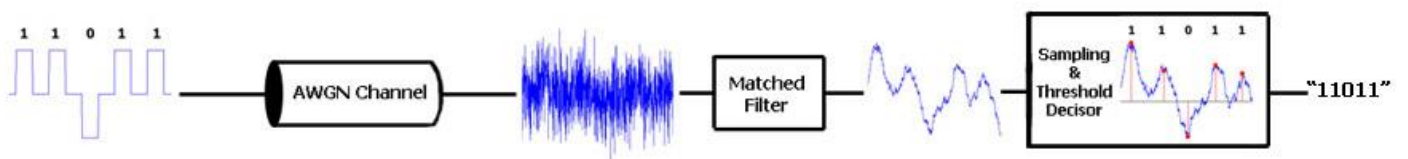


圖 6-5 基頻發收機之簡易運作過程

程式：

```

1 % 本實驗用於體現 匹配濾波器
2 % 訊號波形 Unipolar NRZ s(t) : bit = 1 and s1(t) = 1, bit = 0 and s2(t) = 0; 訊號時間長度 Tb = 1 sec
3 % 匹配濾波器 h(t) = s1(Tb - t)
4
5 clf;
6 n = 200; % 每一秒產生200個點
7 bits = [ 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0]; % 訊息
8 bitrate = 1; % 位元率 = 1 bit per second
9 [t,s] = unrz(bits,bitrate); % 產生訊號波形 Unipolar NRZ s(t), 訊號時間長度 Tb = 1 sec
10 [t2,s1]= unrz(1, bitrate); % s1(t) = 1, 訊號時間長度 Tb = 1 sec,
11 h = fliplr(s1); % 匹配濾波器 h(t) = s1(Tb - t)
12
13 subplot(5,1,1);
14 plot(t,s,'LineWidth',3);
15 axis([0 t(end)+2 -0.1 1.1]);
16 title('Transmitted bits = [ 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0], 0<=t<=1 s1(t)=1 as bit = 1 and s2(t)=0 as bit = 0 ');
17 grid on;
18
19 subplot(5,1,2);
20 plot(t2,h,'LineWidth',3);
21 axis([0 t(end)+2 -0.1 1.1]);
22 title('Matched filter h(t) = s1(Tb-t), Tb =1 sec');
23 grid on;
24
25 noise = wgn(1, length(s), 0); %相加性白色高斯雜訊，例如 10dBW = 10*log10, 0dBW = 10*log10^0, -10dBW = 10*log10^-1
26 v = s + noise; %此處 log 以10為底
27 subplot(5,1,3);
28 plot(t,v,'LineWidth',1);
29 title('Received signal y(t) = s(t)+ noise, as noise power spectrum density with 10 dBW');
30 axis([0 t(end)+2 -1.5 1.5]);
31
32 for i=1:length(bits)
33     integral = conv(h, y((i-1)*n+1 : i*n)); % 匹配濾波器作用：積分(累加訊號能量)與除去雜訊
34     if( i == 1 ) v = integral(1:n); %為配合後級的判決，僅取匹配濾波器輸出結果的一半波形
35     else v = [v integral(1:n)]; %結合前次的輸出結果一半波形，產生新的輸出波形
36     end
37 end

```

可修改參數，如-10, 0, 10 等

圖 6-6-1 matched filter 程式

```

38
39 - t3 = 0:1/n:length(bits)-1/n;
40 - vq = v/n; %正規化
41 - subplot(5,1,4);
42 - plot(t3,vq,'LineWidth',3);
43 - title('Output of matched filter, threshold = 0.5');
44 - axis([0 t(end)+2 -0.5 1.5]);
45 - hold on
46 - threshold_line = 0.5*ones(1, length(vq)); %畫門檻值之線
47 - plot(t3,threshold_line,'r');
48 - hold off
49
50 - threshold = 0.5; % 門檻值
51 - vb = zeros(1,length(bits)+1);
52 - for i = 2:length(bits)+1;
53 -     if(vq((i-1)*n) > threshold) vb(i) = 1; %經與門檻值比較後，重建訊息
54 -     else vb(i) = 0;
55 -     end
56 - end
57 - subplot(5,1,5);
58 - [t4,s4] = unrz(vb,bitrate); %為與原訊號 s 比較，重建訊號為 s4
59 - plot(t4,s4,'red','LineWidth',3);
60 - title('Received bits');
61 - axis([0 t4(end)+1 -0.1 1.1]);
62

```

圖 6-6-2 matched filter 程式 (續)

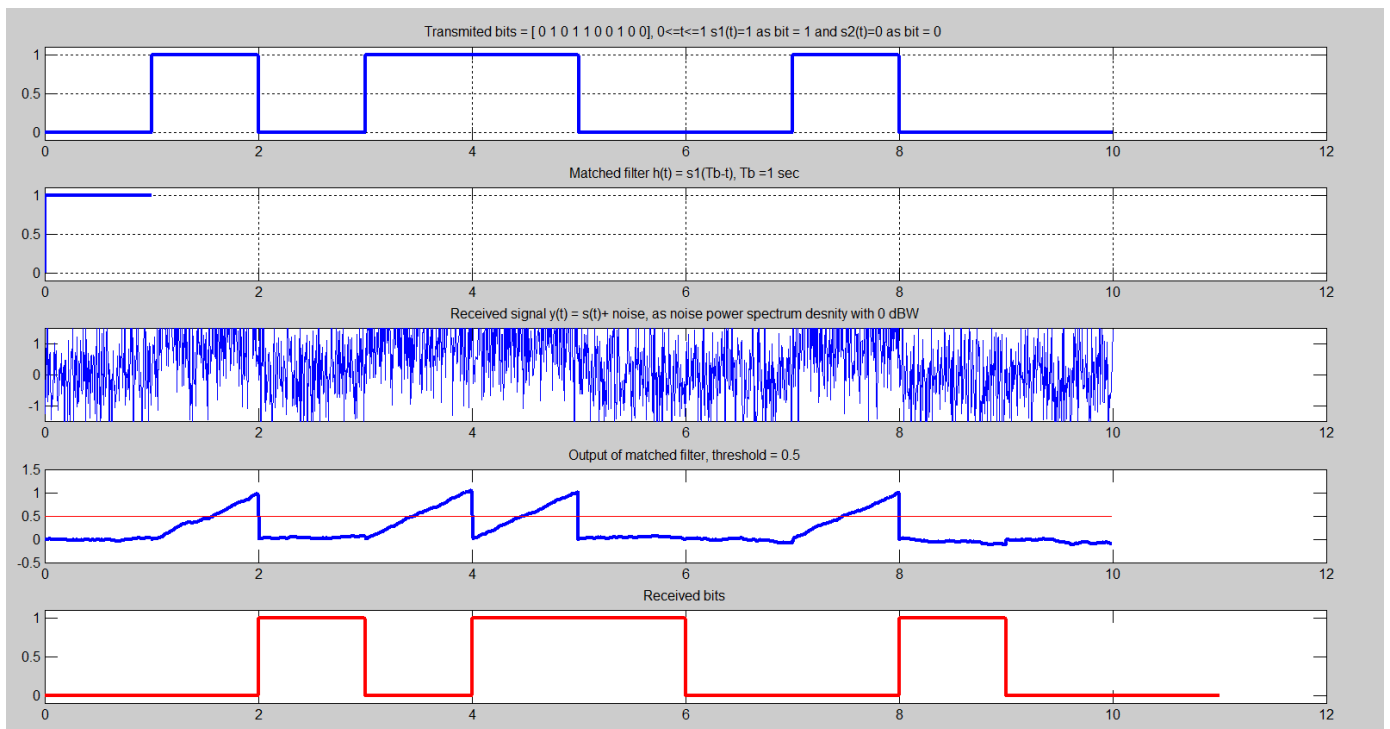


圖 6-7-1 輸出圖形 (noise power spectrum density = 0dBW = 1 W/Hz)

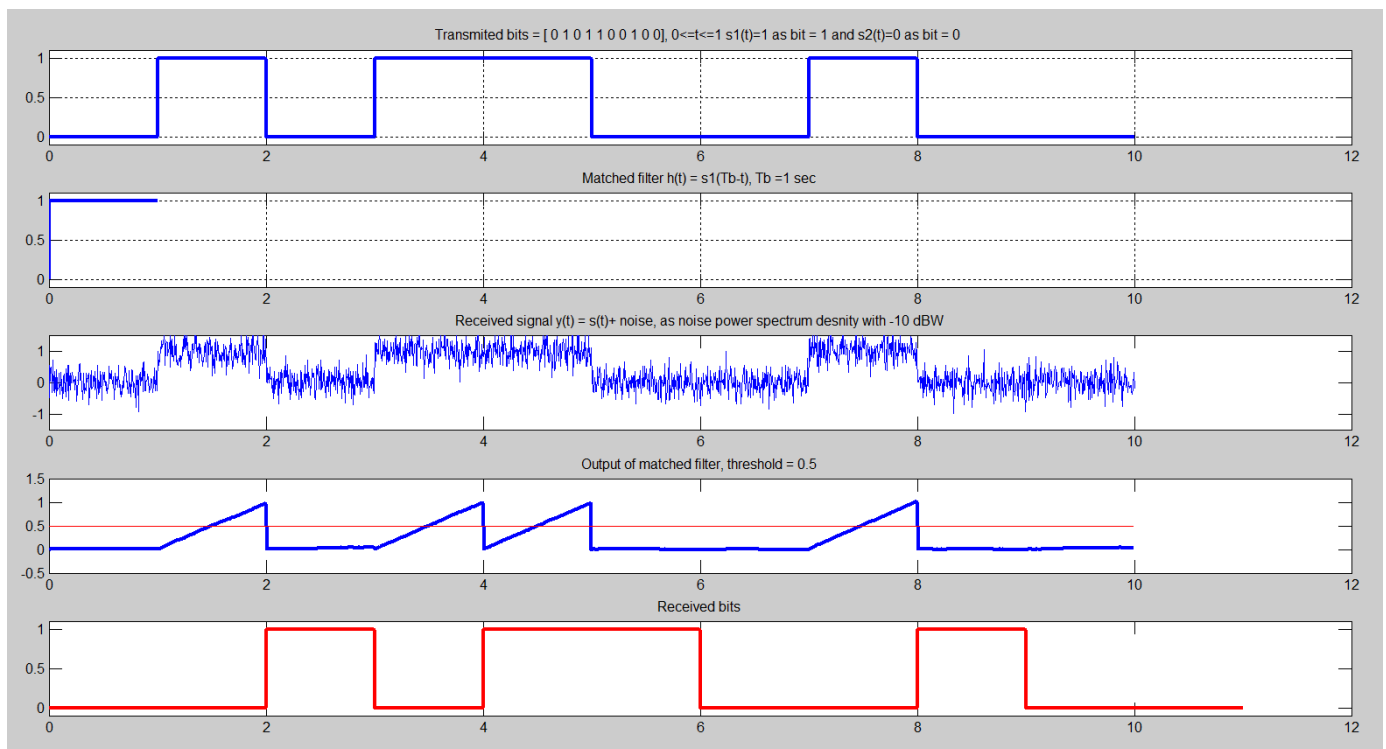


圖 6-7-2 輸出圖形 (noise power spectrum density = -10dBW = 0.1 W/Hz)

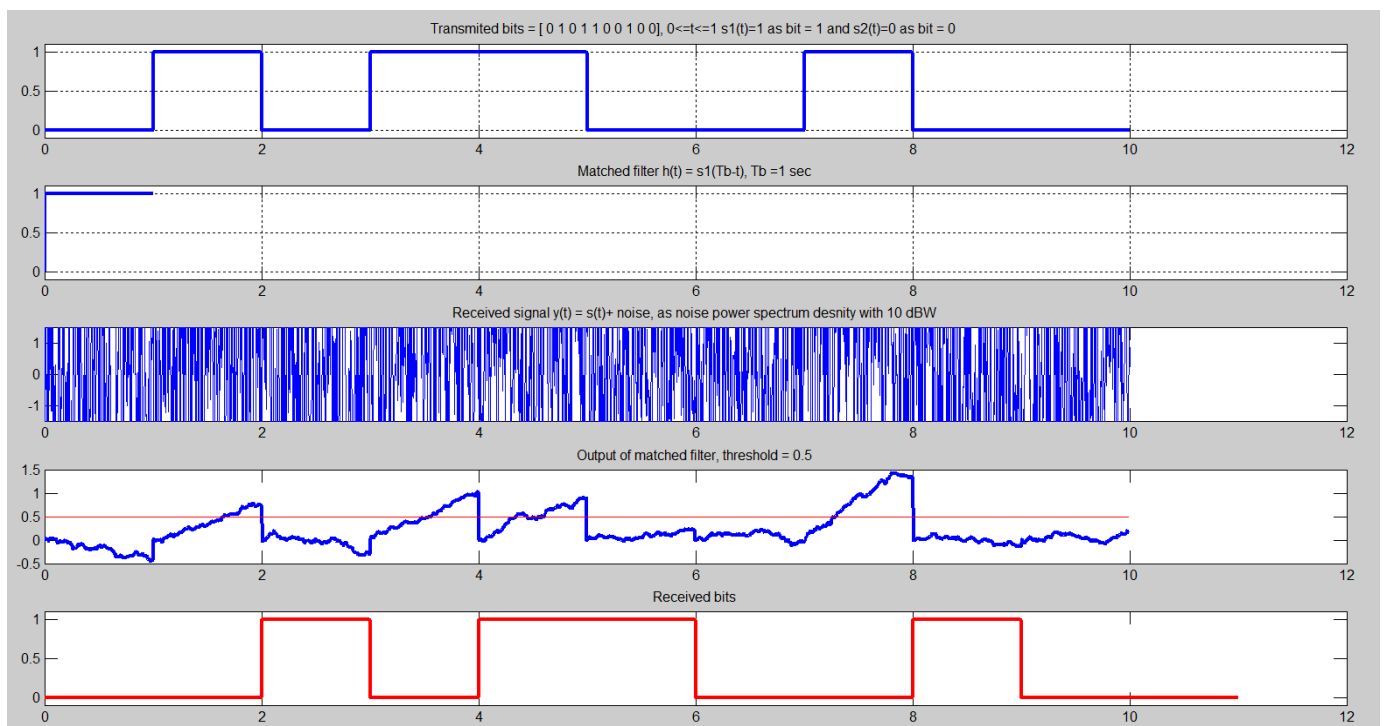


圖 6-7-3 輸出圖形 (noise power spectrum density = 10dBW = 10 W/Hz)

指令學習

- `[t, s] = unrz(bits, bitrate);` % Unipolar NRZ

實驗五中已提到 Unipolar NRZ 線碼，其中輸入參數

`bits`：輸入訊息之位元向量

`bitrate`：位元率 (bits/second)

`t`：每個位元產生 200 個時間向量。

`s`：每個位元產生 200 個訊號向量，每個訊號向量內的數值皆相同。

- `fliplr(x)`：向量 `x` 的元素序列做反向，例如：`x=[1,2,3,4]`, `x=fliplr(x)`, `x=[4,3,2,1]`
- `wgn(m, n, p)`：產生一組 `m` 列 `n` 欄的高斯雜訊矩陣，該高斯雜訊方差 (variance) = $p \text{ dBW} = 10^{(p/10)} \text{ W}$ ，例如 $10\text{dBW} = 10\text{W}$, $0\text{dBW} = 10^0 = 1\text{W}$, $-10\text{dBW} = 10^{-1} = 0.1\text{W}$ 。方差：將各個雜訊平方，相加後再除以總數。

3. 作業

- (1) 請增修原程式 `matched filter`，計算發射與接收信息之間的錯誤率。
- (2) **反思題**：請參閱圖 6-7-1 ~ 6-7-3，何種圖形發射與接收信息之位元錯誤率最高與最低，為什麼？請說明原因。
- (3) **反思題**：請說明本實驗的門檻值為 0.5 (圖 6-6-2 第 54 行)，為什麼？請說明原因。
- (4) **挑戰題**：請以 `matlab` 程式自行設計雙極性不歸零(Bi-Polar NRZ, 如實驗五圖 5-1 (b)或教課書第 354 頁 圖 6-5 (b))之發射與接收系統，發射信息 `bits = [1 0 1 0 1 0]`，產生所有與本實驗相關圖形，其中包括信息 `bits` 之訊號(雙極性不歸零)、匹配濾波器設計、受雜訊干擾、匹配濾波器輸出與接收重建訊號圖等。