

# Trabalho 4 (3/3)

Vignon Fidele Adanvo

September 12, 2022

## 1 Relatório

Este documento mostra os cálculos realizados no exercício 3 além dos scripts gerados para simular as três técnicas de diversidade no receptor (MRC, PS, EGC). A Figura 1 mostra a curva de probabilidade de erro média observada por cada usuário no três cenário de diversidade. Pode-se observar que a técnica de MRC e EGC apresentam melhores resultado comparando com a técnica PS. No entanto, obtém-se melhor resultado usando a técnica PS em comparação a técnica sem diversidade. Pode-se concluir que uma escolha adequada da técnica de diversidade no receptor pode incrementa o desempenho do sistema ao custo de incrementa a complexidade do sistema.

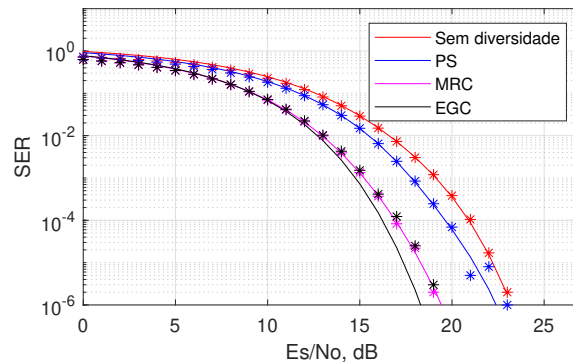


Figure 1: SER vs Es/No.

## 2 Expressão analítica

3) Cada usuario

\* Pure selection (PS)



$$PDF_r = \begin{cases} 0,15 & r = 1/\sqrt{2} \\ 0,7 & r = 1 \\ 0,15 & r = \sqrt{2} \end{cases}$$

$$PDF_{r^2} = \begin{cases} 0,15 & r^2 = 0,5 \\ 0,7 & r^2 = 1 \\ 0,15 & r^2 = 2 \end{cases}$$

\* Principio de PS: O receptor pega sempre a sinal (sem) maior SNR, isso implica otimizar a sinal mas forme (maior  $r^2$ )

Tabela de visualiza

$r_1, r_2$	$1/\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
1	1	1	$\sqrt{2}$
$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$

$\Rightarrow$  retorna o  $\max(r_1, r_2)$

$\delta \max(r_1^2, r_2^2)$

Probabilidade conjunta

	0,15	0,7	0,15
0,15	0,0225	0,107	0,0225
0,7	0,105	0,47	0,105
0,15	0,0225	0,105	0,0225

$r_1^2, r_2^2$	1/2	1	2
1/2	1/2	1	2
1	1	2	2
2	2	2	2

$$\tilde{P}_e = \sum p(r) p(e/r) \quad p(e/r) = M Q\left(\sqrt{r^2 \frac{E}{N_0}}\right)$$

(6-QAM)

Para o caso de pure selection,  $r^2 = \max(r_1^2, r_2^2)$ ,  $M=3 \Rightarrow 0,02$

$$\frac{E}{N_0} = 10^{\frac{23}{10}} = 10^{2,3} \approx 199,52 \text{ m} \quad \left\{ \frac{E}{N_0} \approx 39,9 \right.$$

$$P_e = 0,025 \cdot 3 Q\left(\sqrt{0,5 \cdot 39,9}\right) + 0,107 \cdot 3 Q\left(\sqrt{39,9}\right)$$

Para

$$\begin{cases} r_{ij}^2 = 0,5 & Q(\sqrt{0,5 \cdot 39,9}) = 3,9747 \cdot 10^{-6} \\ r_{ij}^2 = 1 & Q(\sqrt{39,2}) = 1,33 \cdot 10^{-10} \\ r_{ij}^2 = 2 & Q(\sqrt{2 \cdot 39,2}) = 2,07 \cdot 10^{-19} \end{cases}$$

$$\bar{P}_e = 3 \left[ 0,0225 \cdot 3,97 \cdot 10^{-6} + 0,107 \cdot 1,33 \cdot 10^{-10} + 0,0225 \cdot 2,07 \cdot 10^{-19} + 0,105 \cdot 1,33 \cdot 10^{-10} + 0,47 \cdot 1,33 \cdot 10^{-10} + 0,105 \cdot 2,07 \cdot 10^{-19} + 0,0225 \cdot 2,07 \cdot 10^{-19} + 0,105 \cdot 2,07 \cdot 10^{-19} + 0,0225 \cdot 2,07 \cdot 10^{-19} \right]$$

$$\bar{P}_e \approx 2,6856 \cdot 10^{-7}$$

\* MRC

$$\bar{P}_e = \sum p(r) \cdot P_e(r)$$

$P(r_i, r_j)$  - é Continua igual

$r_i^2 \backslash r_j^2$	1/2	1	2
1/2	1	1,5	2,5
1	1,5	2	3
2	2,5	3	4

$$P_e(r) = M Q\left(\sqrt{\text{Sum}(r_i^2 + r_j^2)} \cdot \sqrt{\frac{10}{110}}\right)$$

$$\left\{ \frac{E}{110} = 39,9 \right.$$

Para

$$\begin{cases} r_{ii}^2 = 2 & Q(\sqrt{39,2}) = 1,33 \cdot 10^{-10} \\ r_{ij}^2 = 1,5 & Q(\sqrt{1,5 \cdot 39,9}) = 5,118 \cdot 10^{-15} \\ r_{ij}^2 = 2,5 & Q(\sqrt{2,5 \cdot 39,9}) = 8,64 \cdot 10^{-24} \\ r_{ii}^2 = 2 & Q(\sqrt{2 \cdot 39,9}) = 2,07 \cdot 10^{-19} \\ r_{ij}^2 = 3 & Q(\sqrt{3 \cdot 39,9}) = 3,67 \cdot 10^{-28} \\ r_{ii}^2 = 4 & Q(\sqrt{4 \cdot 39,9}) = 6,91 \cdot 10^{-37} \end{cases}$$

$\Rightarrow$  Pode ser aproximado a 0

Portanto

STBC v STC

$$P_e = 3.00225.10^{-10} = 8.97.10^{-10}$$

\* EGC

\* Dado que o canal envolvido é real as análises de MRC e EGC são iguais. Ou seja, sendo um canal real o conjugado é o mesmo elemento e fase é 0  $\Rightarrow e^{j0} = 1$

Portanto  $P(r_i, r_j) = r_i + r_j$

- tabela da  $r_i, r_j$

$r_i \backslash r_j$	$0/\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$
$1/\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	1,707	2,12
1	1,707	2	2,41
$\sqrt{2}$	2,12	2,41	2,82

Observando a  $Q(x)$ , quanto maior é  $x$ ,  $Q(x) \rightarrow 0$  ou seja

- para  $x = \sqrt{2} \sim Q(x) \approx 2,91.10^{-14}$
- para  $x = 1,707 \sim Q(x) \approx 7,7.10^{-17}$

$\Rightarrow$  o primeiro elemento predomina, portanto  $p(e) \approx Q(\sqrt{2})$

$$P_e = 3.00225. Q(\sqrt{2}.39.9)$$

$$P_e = 1,96.10^{-15}$$

EGC

NB: O resultado esperado é que o EGC apresente por desempenho mais acontecer que para esta pdf, EGC apresentou melhor probabilidade de erro que o caso de MRC.



### 3 Scrip PS

```

function [ BER_A_PS, BER_N_PS ]=SER_Ex3a(SNR_dB, M,L )

%% Parametro
N=1000000; %Numero de amostra
SNR=10.^(SNR_dB./10);
mi=(4*(sqrt(M)-1))/(sqrt(M));
sita=3/(M-1);
%% Analitico
pr=[0.0225, 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.47 , 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.0225]
;
r1 = [ 0.5 , 1 , 2 1, 1 , 2 , 2, 2 , 2 ] ;
BER_A_PS=0;
for i=1:length(pr)
    Fun=pr(i)*(mi*qfunc( sqrt(r1(i)*sita.*SNR )));
    BER_A_PS=BER_A_PS + Fun;
end
%% Simulado
pr3=[0.15, 0.7, 0.15] ;
r3 = [1/sqrt(2), 1, sqrt(2)] ;
BER_N_PS = zeros(1,[]);
tx = randi([0,M-1],1,N); % Genar N sinal para analisar (1 M-1)
tx_mod = qammod(tx, M); % Modular os N sinal
E= sum(abs(tx_mod).^2)/N; % Energia media
for j = 1:length(SNR_dB)
    r=zeros(1,[]);
    for ii=1:L
        h=zeros(1,[]);
        Var=rand(1,N);
        for i=1:N
            A=Var(i);
            if A<=pr3(1)
                h(i)= r3(1);
            elseif A<=(pr3(1)+pr3(2))
                h(i)= r3(2);
            elseif A<=(pr3(1)+pr3(2)+pr3(3))
                h(i)= r3(3);
            end
        end
        r=[r; h];
    end
    SNR_Max= max(r);
    Stx=tx_mod.*SNR_Max; %Simbolo enviado com influencia do canal
    N0=E/SNR(j);
end

```

```

n = sqrt(N0/2)*(randn(1,N)+1i*randn(1,N));%computed noise
Sr = Stx + n ; %Sinal+ ruido
Se = Sr./SNR_Max; %Equalizar o sinal
C_dem=qamdemod(Se,M);
%Demodulacao do sinal
BER_NPS(j) = sum(C_dem~=tx)/N; %Calculo de error
end
end

```

### 3.1 Script MCR

```

function [ BER_AMRC, BER_NMRC ]=SER_Ex3b(SNR_dB, M,L )

%% Parametro
N=1000000; %Numero de amostra
SNR=10.^(SNR_dB./10);
mi=(4*(sqrt(M)-1))/(sqrt(M));
sita=3/(M-1);
%% Analitico
pr=[0.0225, 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.47 , 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.0225]
;
r1 = [ 1 , 1.5 , 2.5 1.5, 2 , 3 , 2.5, 3 , 4 ] ;
BER_AMRC=0;
for i=1:length(pr)
    Fun=pr(i)*(mi*qfunc( sqrt(r1(i)*sita.*SNR )));
    BER_AMRC=BER_AMRC + Fun;
end
%% Simulado
pr3=[0.15, 0.7, 0.15] ;
r3 = [1/sqrt(2), 1, sqrt(2)] ;
BER_NMRC = zeros(1,[]);
tx = randi([0,M-1],1,N); % Genar N sinal para analisar (1 M-1)
tx_mod = qammod(tx, M); % Modular os N sinal
E= sum(abs(tx_mod).^2)/N; % Energia media
for k = 1:L
    for i = 1:length(SNR_dB)
        r=zeros(1,[]);
        for ii=1:1:L
            h=zeros(1,[]);
            Var=rand(1,N);
            for j=1:1:N
                A=Var(j);
                if A<=pr3(1)
                    h(j)= r3(1);
                elseif A<=(pr3(1)+pr3(2))

```

```

        h(j)= r3(2);
    elseif A<=(pr3(1)+pr3(2)+pr3(3))
        h(j)= r3(3);
    end
end
r=[r; h];
end
%h=((sigma)*randn(L,N) + 1i*(sigma)*randn(L,N));
%Gerar uma canal Rayleigh
N0=E/SNR(i);
n = sqrt(N0/2)*(randn(L,N)+1i*randn(L,N));%computed noise
Stx=tx_mod.*r;
Sr = Stx + n ;    % Sinal+ ruido
S_eq= sum(conj(r).*Sr,1)./sum(r.*conj(r),1); % maximal ratio combin
C_dem =qamdemod(S_eq,M);    %Demodulacao do sinal
BER_NMRC(i) = sum(C_dem~=tx)/N;    %Calculo de error
end
end
end

```

### 3.2 Script EGC

```

function [ BER_A_EGC, BER_N_EGC ]=SER_Ex3c(SNR_dB, M,L )

%% Parametro
format long
N=1e6; %Numero de amostra
SNR=10.^(SNR_dB./10);
mi=(4*(sqrt(M)-1))/(sqrt(M));
sita=3/(M-1);
%% Analitico
pr=[0.0225, 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.47 , 0.105, 0.0225, 0.105 , 0.0225]
;
r1 = [ sqrt(2) , 1+1/sqrt(2) , sqrt(2)+1/sqrt(2) , 1+1/sqrt(2) ,
2 , 1+sqrt(2) , sqrt(2)+1/sqrt(2) , sqrt(2)+1 , sqrt(2)+sqrt(2) ] ;
BER_A_EGC=0;
for i=1:length(pr)
    Fun=pr(i)*(mi*qfunc( sqrt(r1(i)*sita.*SNR )));
    BER_A_EGC=BER_A_EGC + Fun;
end
%% Simulado
pr3=[0.15, 0.7, 0.15] ;
r3 = [1/sqrt(2), 1, sqrt(2)] ;
BER_N_EGC = zeros(1,[]);
tx = randi([0,M-1],1,N); % Genar N sinal para analisar (1 M-1)

```

```

tx_mod = gammod(tx, M);    % Modular os N sinal
E= sum(abs(tx_mod).^2)/N;  % Energia media
for k = 1:L
    for i = 1:length(SNR_dB)
        r=zeros(1,[]);
        for ii=1:1:L
            h=zeros(1,[]);
            Var=rand(1,N);
            for j=1:1:N
                A=Var(j);
                if A<=pr3(1)
                    h(j)= r3(1);
                elseif A<=(pr3(1)+pr3(2))
                    h(j)= r3(2);
                elseif A<=(pr3(1)+pr3(2)+pr3(3))
                    h(j)= r3(3);
                end
            end
            r=[r; h];
        end
        N0=E/SNR(i);
        n = sqrt(N0/2)*(randn(L,N)+1i*randn(L,N));%computed noise
        Stx=r.*tx_mod;
        Sr = Stx + n ;    % Sinal+ ruido
        %Sfa=Sr.*exp(-1i*angle(r)); %Remover fase
        S_eq=sum(Sr,1)./sum(r,1) ;    %equalizar
        C_dem =qamdemod(S_eq,M);    %Demodulacao do sinal
        BER_NEGC(i) = sum(C_dem~=tx)/N;    %Calculo de error
    end
end
end
end

```