

## Cálculo de Desempenho Médio de um sistema DS/CDMA Síncrono em canal AWGN utilizando método de simulação Monte Carlo

Utilizando o software matemático MatLab, simular o desempenho de um sistema DS/CDMA da figura 1 e 2 utilizando a técnica de Monte Carlo. Adote as seguintes simplificações e/ou hipóteses iniciais:

1. Descreva sempre que possível os sinais na forma de matrizes
2. Adote códigos curtos, isto é o ganho de processamento,  $N = \frac{T_b}{T_c}$ , sendo o conjunto destes códigos puramente randômicos ou de Gold. Para facilitar os cálculos adote sistema perfeitamente síncrono  $\tau_i = 0, \forall i$  e inicialmente faça  $N = 7$ . Será fornecido uma matriz contendo o conjunto de códigos de Gold7 e Gold31, dimensão  $K \times N$ , onde cada linha identifica um código,  $c_i[n]$  (associado ao  $i$ -ésimo usuário), com  $k = 1, 2, \dots, K$  e o número de colunas identifica os chips das seqs; para código curto ter-se-á número de colunas =  $N$ , ganho de processamento.
3. Assuma modulação BPSK e dados transmitidos equiprováveis,  $b_i = \{\pm 1\}$ .
4. Adicionalmente, escreva o algoritmo admitindo sinais em banda base, isto é, faça  $(\omega_c t + \theta_i) = 0, \forall i$ .
5. O detector empregado é do tipo convencional (correlador seguido de integrador e amostrador a cada período de bit,  $T_b$ ).
6. Admita inicialmente canal AWGN, com amostras de ruído sendo gerado pelo gerador de números randômicos do MatLab. Pode-se obter as amostras de ruído com média zero e variância normalizada. Ou pode-se alterar a variância de tal forma a simular a mudança de  $E_b/N_0$  no cálculo do desempenho.
7. Obtenha as seguintes figuras de desempenho do sistema para diferentes carregamentos  $L = K/N$  e conjuntos de seqs (Rndz e Gold): nas condições de **controle perfeito de potência** e com **desajuste de potência**.
  - a.  $\overline{BER} \times E_b/N_0$  (faça a média do desempenho sobre todos os us)
  - b.  $\overline{BER} \times K$  (pop.crescente de usuários)
  - c. Controle Imperfeito de Potência de tal forma a obter a degradação de desempenho do sistema quando houver desajuste crescente das potências dos usuários interferentes sobre o usuário de interesse. (veja figura à pag. 105 das notas de aula "Sistemas de Comunicação SS e CDMA").

Em anexo, arquivo **Seqs.mat** contendo os conjuntos de seqs de espalhamento de Gold e Kasami bipolarizadas definidas pelas matrizes  $\text{Gold7}_{(5 \times 7)}$ ,  $\text{Gold31}_{(33 \times 31)}$  e  $\text{Kasami15}_{(4 \times 15)}$ , onde índices indicam dimensão ( $K \times N$ ). Para efeito de comparação, as figuras mostram vários desempenhos para sistemas DS/CDMA síncronos com seqs. aleatórias e de Gold com detecção Convencional e multiusuário (Decorrelator e MMSE).

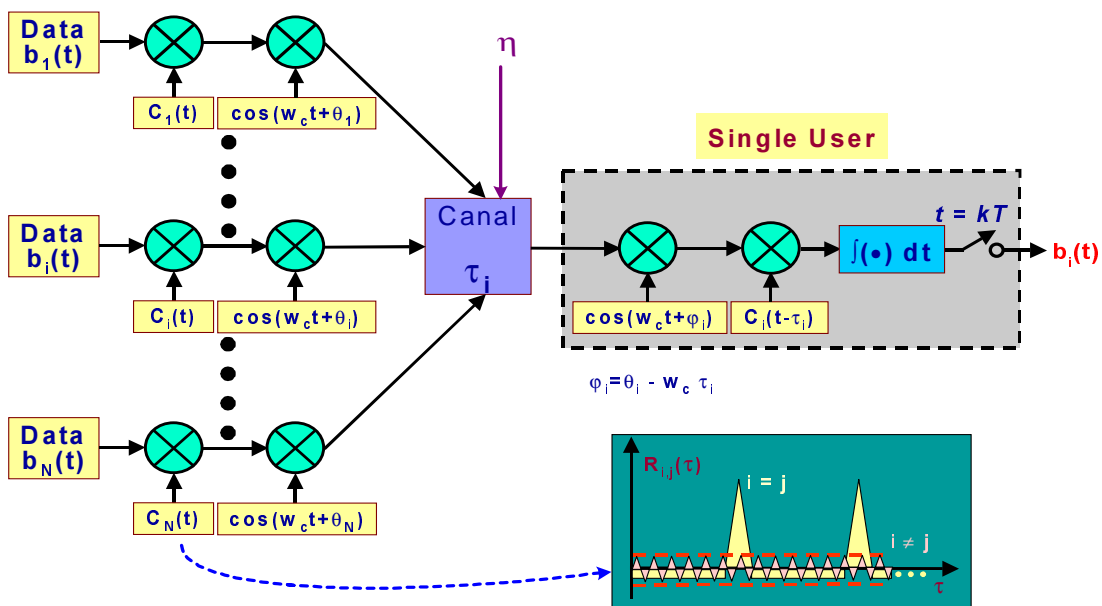


Fig.1. Sistema DS/CDMA Convencional

**Rejeição de Interferência em Sistemas DS-SS**

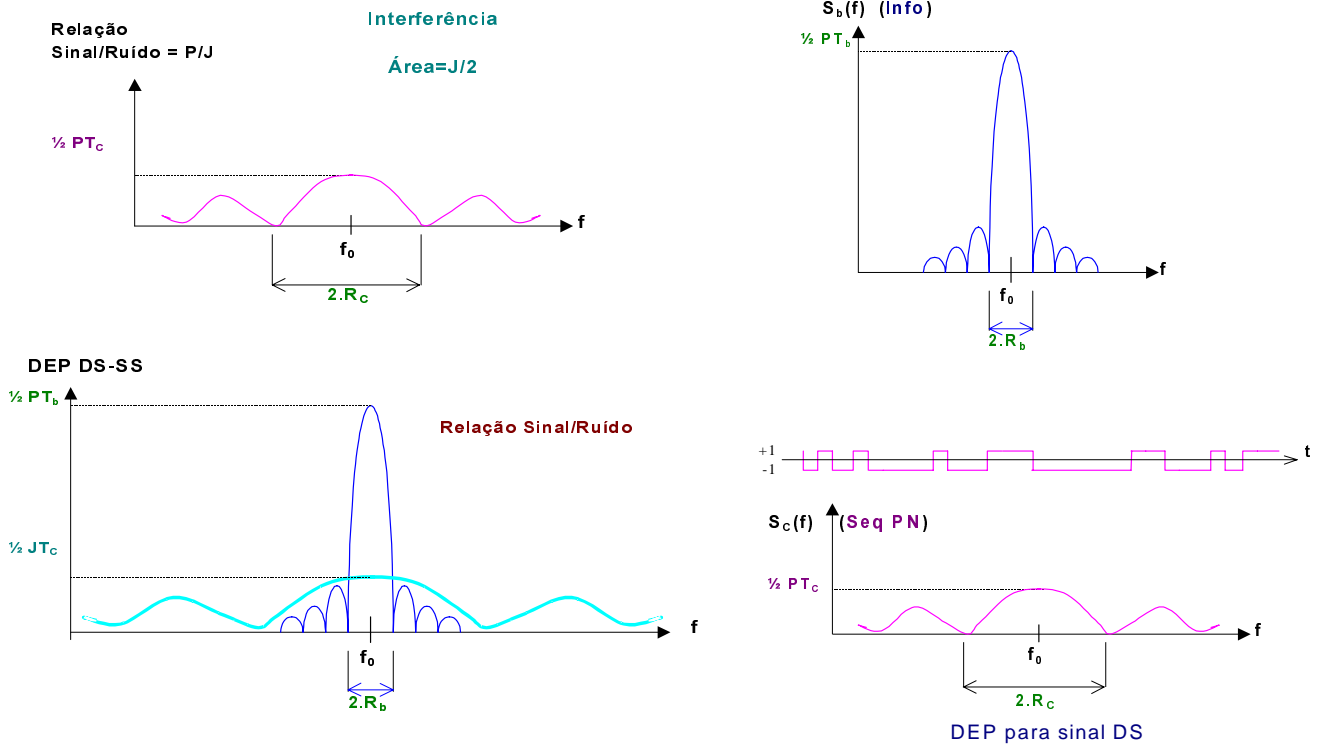


Fig.2. Rejeição de interferência de banda estreita em um sistema DS/CDMA

A figura 4 mostra a probabilidade de erro de bit média para o sistema Convencional, Descorrelacionador e MMSE nos casos de 28 e 11 usuários síncronos com e sem controle perfeito de potência e seqüências de Gold de comprimento igual a 31 (Gold31). Os desempenhos do Descorrelacionador e do MMSE são muito próximos para a maioria dos casos práticos de interesse e superiores ao Convencional. O MMSE terá desempenho levemente superior ao Descorrelacionador nos casos de sistemas altamente carregados, figura 4.a, ou quando os interferentes forem fracos.

Na figura 3 e 5 são apresentados alguns resultados comparativos de desempenho médio para os receptores Convencional, Descorrelacionador e MMSE com seqüências de Gold e aleatórias. Independente da família de seqüências utilizadas, há uma sensível redução na taxa de erro de bit quando se emprega MUD linear MMSE ou Descorrelacionador em relação ao receptor Convencional, embora um melhor desempenho seja alcançado com as seqüências de Gold, devido à otimização dos valores das autocorrelações e cruzadas.

Na figura 3 obteve-se a  $\overline{Pe}$  sobre usuários síncronos considerando Gold31,  $\frac{E_b}{N_0} = 10 \text{ dB}$  e população de usuários crescente. A imunidade do Descorrelacionador e do MMSE na condição de forte *near-far* é mostrada na figura 3.a; obteve-se o desempenho médio sobre a metade da população de usuários fracos interferentes. Perceba que o efeito do desajuste de potência é devastador para o desempenho do receptor Convencional. Já a figura 3.b apresenta o comportamento dos detectores na condição de controle perfeito de potência. Observe ainda que não há diferença significativa entre os desempenhos do Descorrelacionador e MMSE nas condições de controle perfeito de potência ( $NFR = 0 \text{ dB}$ ) e quando há forte efeito *near-far* ( $NFR = +9 \text{ dB}$ ).

Desempenho levemente melhorado do MMSE em relação ao Descorrelacionador pode ser comprovado na figura 5. Foram consideradas seqüências aleatórias Rndz32 e 11 usuários perfeitamente sincronizados, sendo cinco usuários interferentes ( $u_7, u_8, \dots, u_{11}$ ) com mesma potência recebida e constituindo três situações de interferência:  $NFR = -20$  ou  $0$  ou  $+5 \text{ dB}$ . Demais usuários interferentes ( $u_2, u_3, \dots, u_6$ ) apresentam a mesma condição de  $\frac{E_b}{N_0}$  do usuário de interesse ( $u_1$ ). Note-se que o desempenho do Descorrelacionador na condição síncrona independe das amplitudes recebidas, enquanto que o MMSE terá seu desempenho levemente melhorando quando os interferentes forem fracos ( $NFR = -20 \text{ dB}$ ). Para qualquer situação de  $NFR$ , ter-se-á  $\overline{Pe}^{MMSE} \leq \overline{Pe}^{Decor}$ .

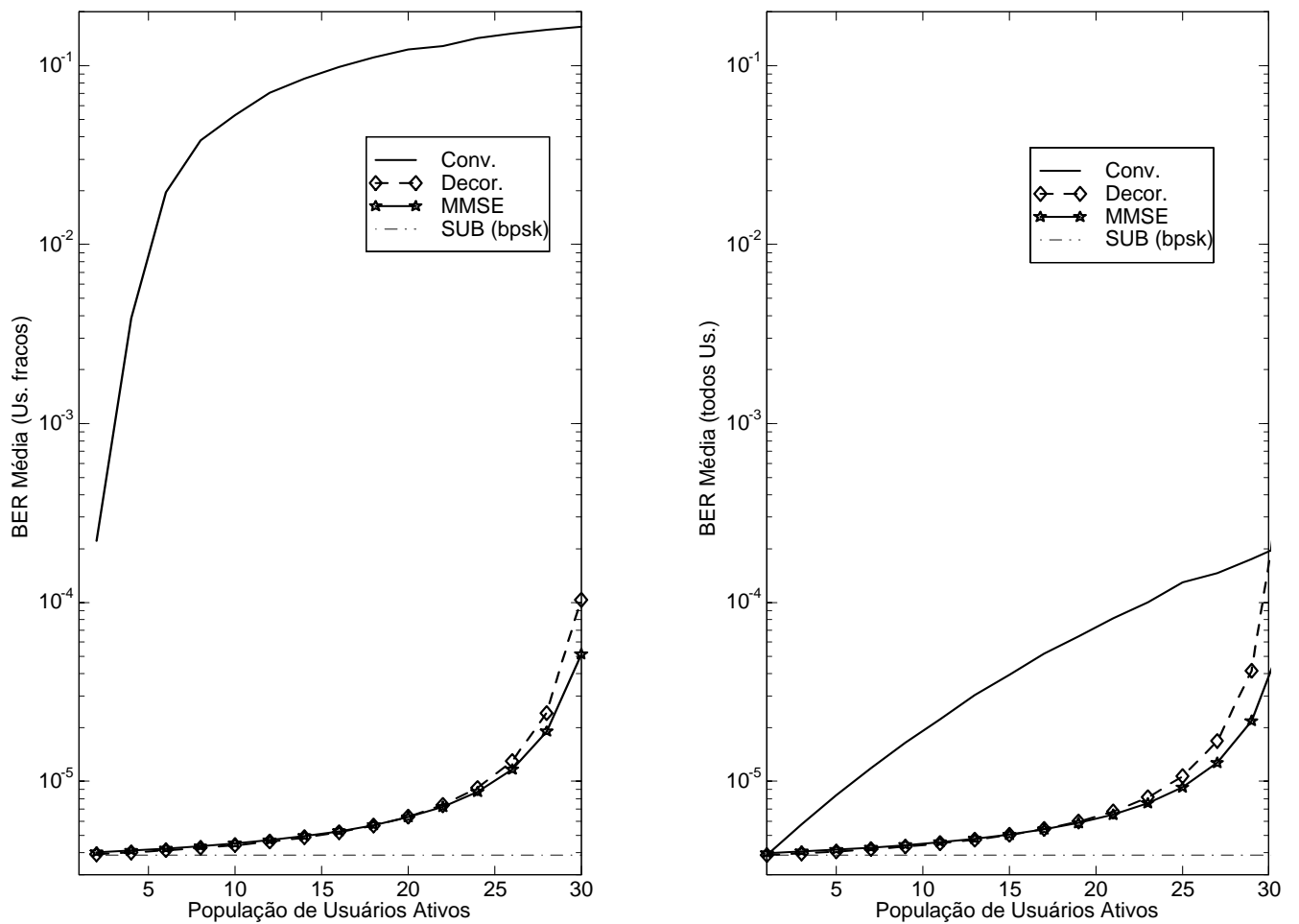


Fig.3. Desempenho médio para os receptores Convencional, Descorrelacionador e MMSE síncronos em função da população crescente de usuários. (esq.) metade dos usuários com  $NFR = 9dB$ ; (dir.) controle perfeito de potência recebida.  $\frac{E_b}{N_0} = 10$  dB e Gold31.

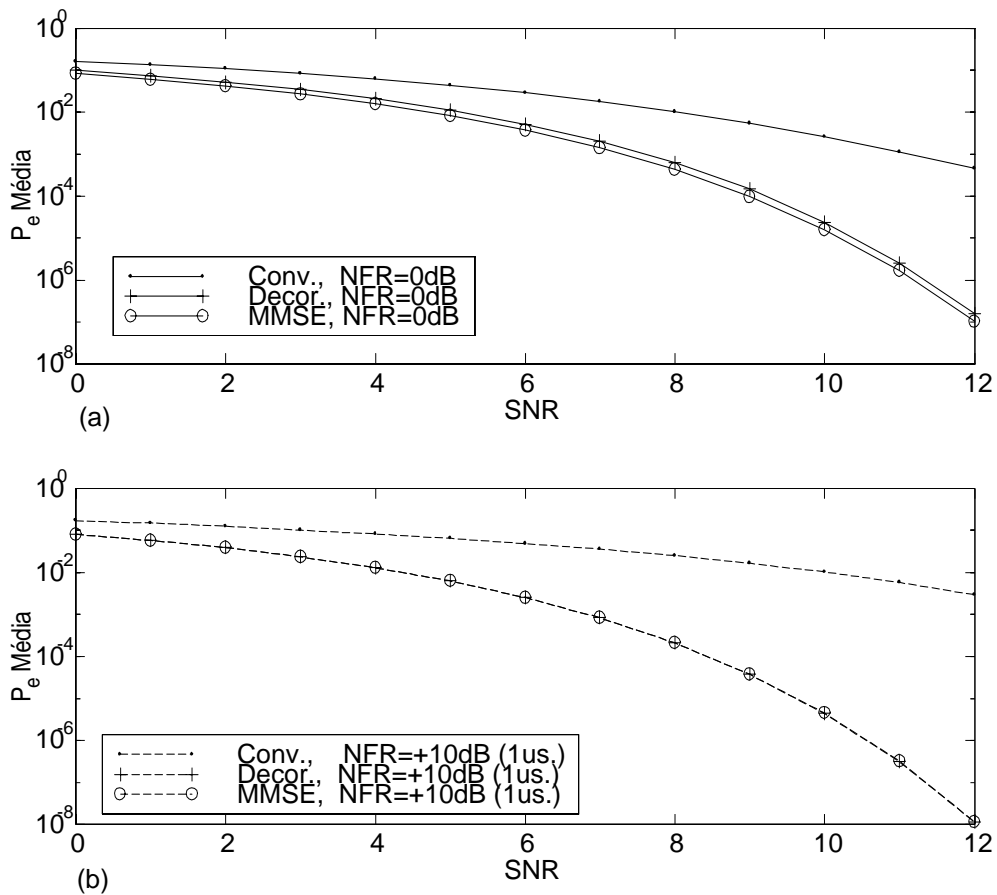


Fig.4.  $\overline{BER}$  para detectores Convencional, Descorrelacionador e MMSE Síncronos; seqüências de Gold31 a)  $K = 28$  usuários, controle perfeito de potência; b)  $K = 11$  usuários, todos usuários de mesma potência, exceto o último, com  $10dB$  acima dos demais.

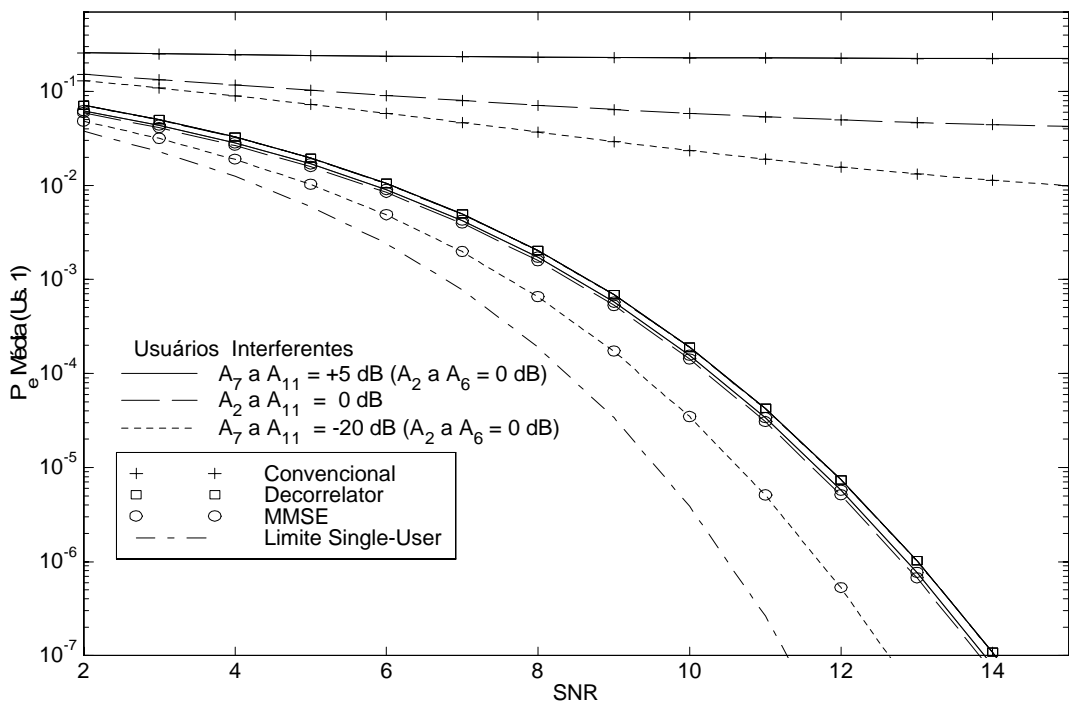


Fig.5.  $\overline{BER}_1 \times SNR$  para receptores Convencional, Descorrelacionador e MMSE. 11 usuários síncronos considerando seqüências aleatórias (35 realizações) e  $N = 32$ . Metade dos usuários interferentes (cinco) com  $NFR = +5$  ou  $0$  ou  $-20$  dB.