



# ELE32

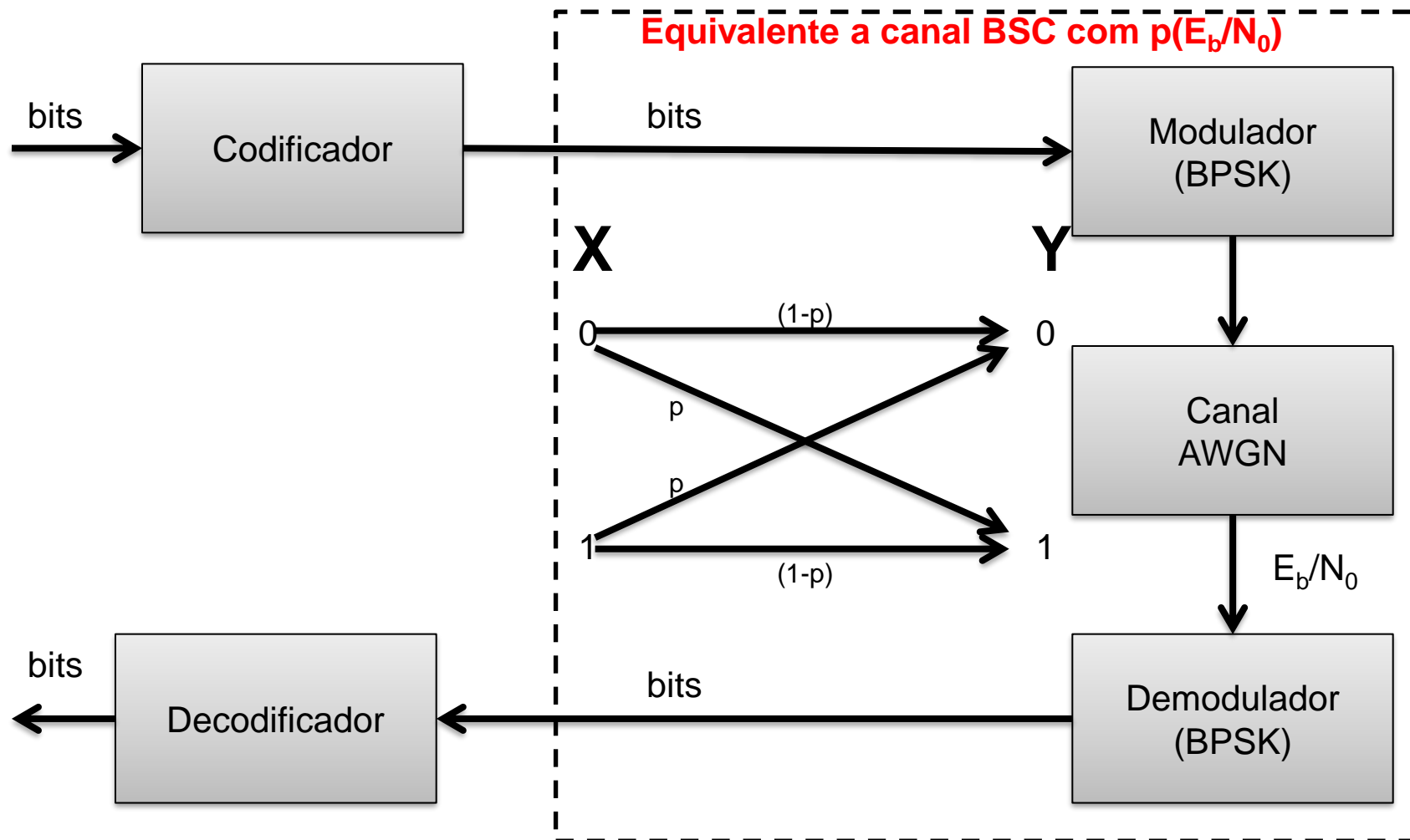
## Introdução a Comunicações

### LAB 4 – Canal Gaussiano

ITA

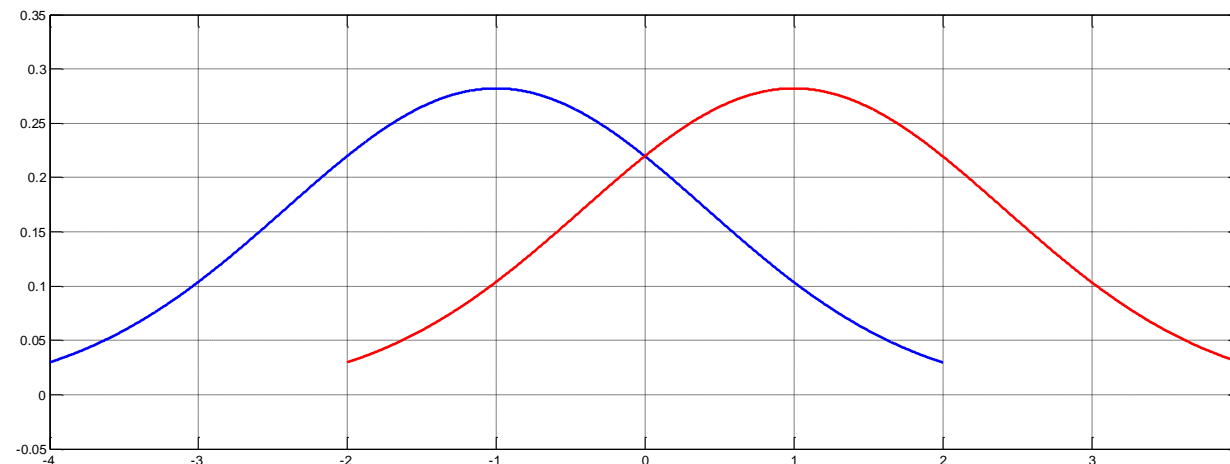
[manish@ita.br](mailto:manish@ita.br)

# Comparando canais BSC com valores diferentes de $E_b/N_0$



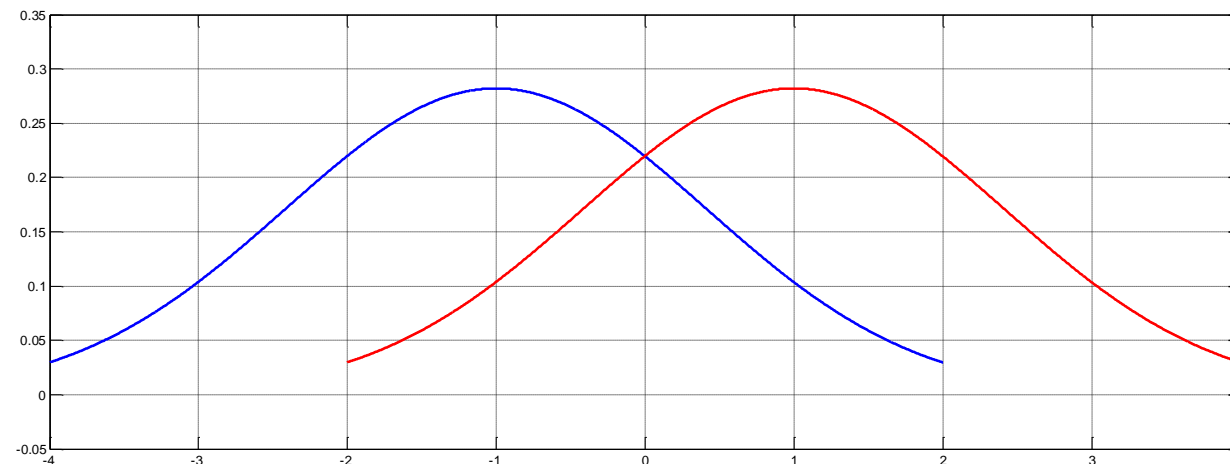
# Canal vetorial Gaussiano: distância Euclidiana

- Para o canal Gaussiano, o valor de  $\mathbf{s}_i$  que maximiza  $P(\mathbf{s}_i|\mathbf{r})$  quando  $\mathbf{s}_i$  são equiprováveis é o valor de  $\mathbf{s}_i$  que minimiza  $\|\mathbf{s}_i - \mathbf{r}\|^2$
- Conceito: quanto mais longe da origem, mais confiável é a nossa estimativa do valor transmitido
- Efetivamente posterga a decisão para um momento em que temos mais dados para tomar a decisão



# Canal vetorial Gaussiano: relação sinal ruído

- A energia por símbolo transmitido é  $E_s$ , calculado pela média dos valores quadráticos dos símbolos da modulação
- A energia por bit é a energia por símbolo normalizada pelo número de bits, isto é,  $E_b = E_s/K$ , onde  $K = \log_2[M]$  e  $M$  é o número de símbolos
  - Para modulação BPSK,  $E_b = E_s$
- A energia do ruído é a variância do canal,  $\sigma^2$ . Esta, por sua vez, tem relação com a densidade espectral de potência constante do ruído AWGN,  $N_0/2$
- Para comparar sistemas com diferentes larguras de banda e diferentes modulações, utilizamos o parâmetro de relação sinal ruído  $\text{SNR} = E_b/N_0$ , ou semelhante



# Métrica suficiente: LLR

- Log Likelihood Ratio

- $$L = \ln \left[ \frac{P_{S|R}(s = +A|r)}{P_{S|R}(s = -A|r)} \right]$$

- Valor real

- Quanto mais positivo, maior a probabilidade de  $s = +A$

- Quanto mais negativo, maior a probabilidade de  $s = -A$

- Modulo indica intensidade de confiança

- Sinal indica atribuição de confiança

- Probabilidade pode ser obtida pois  $P(s = +A) + P(s = -A) = 1$

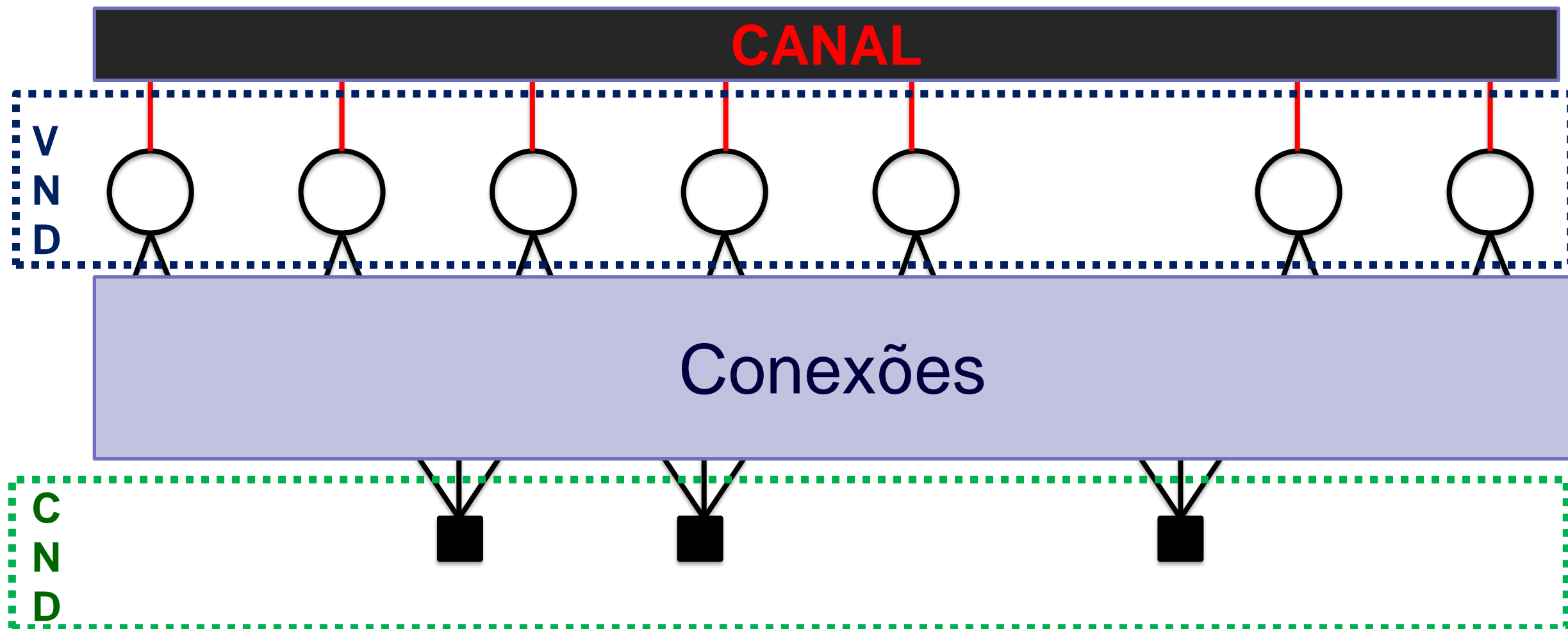
# Métrica do **canal**

- Para modulação BPSK no canal vetorial Gaussiano,

$$L = \frac{2r}{\sigma^2} \text{ (tente encontrar este valor)}$$

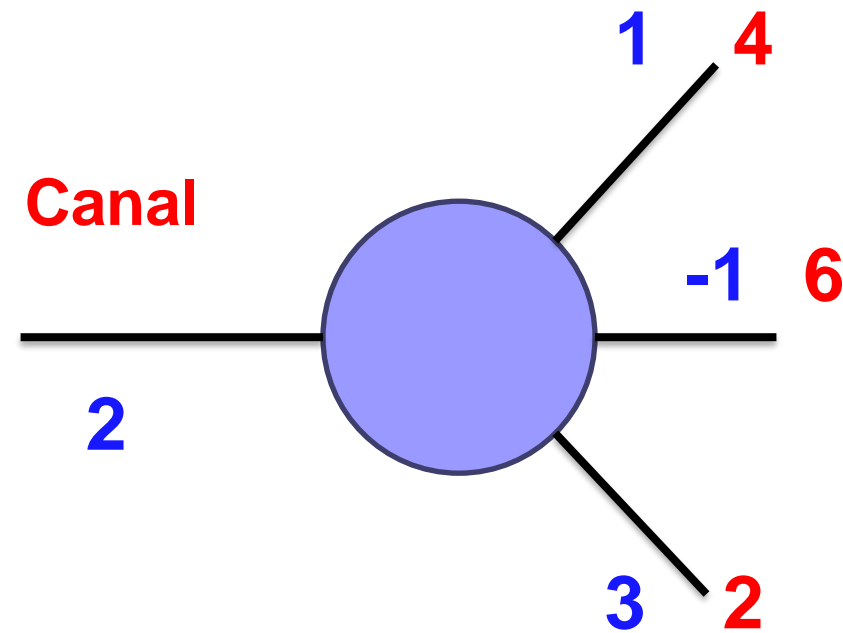
- Atenção na determinação de  $\sigma^2$  para o valor de  $E_b/N_0$  desejado. Utilizar valor errado prejudica desempenho

# Código LDPC



# Cálculo nos **v-nodes**

- Propagação de consenso
- Grau  $dv$  (exceto canal)
- Usando LLRs, mensagem de saída de um ramo vale a soma das LLRs de entrada nos outros ramos





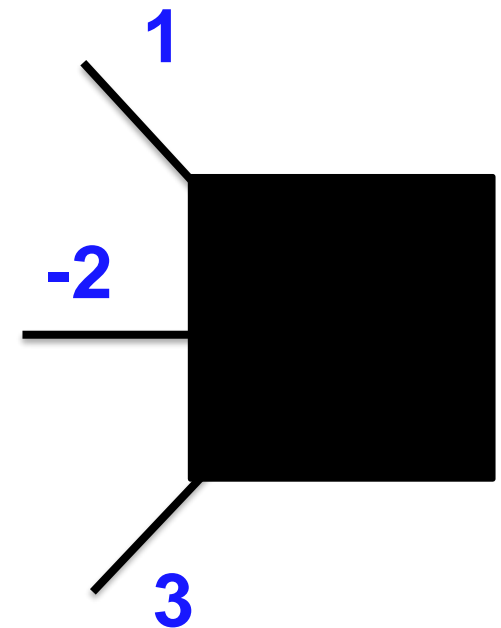
# Cálculo nos **c-nodes**

- Propagação de discórdia
- Grau *dc*
- Mensagem de saída vale, aproximadamente:
  - Em módulo, menor dos outros módulos
  - Em sinal, produto dos outros sinais

$$2(-1)(+1) = -2$$

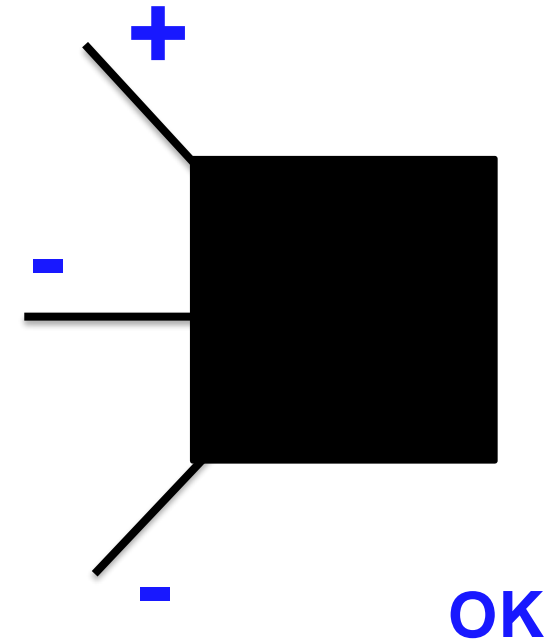
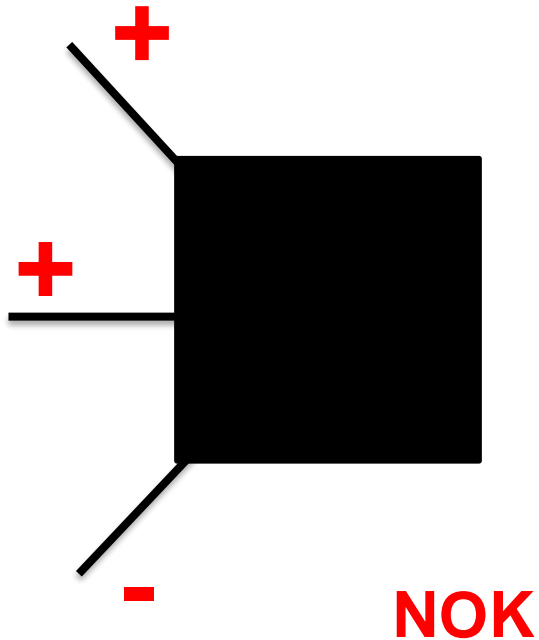
$$1(+1)(+1) = +1$$

$$1(+1)(-1) = -1$$

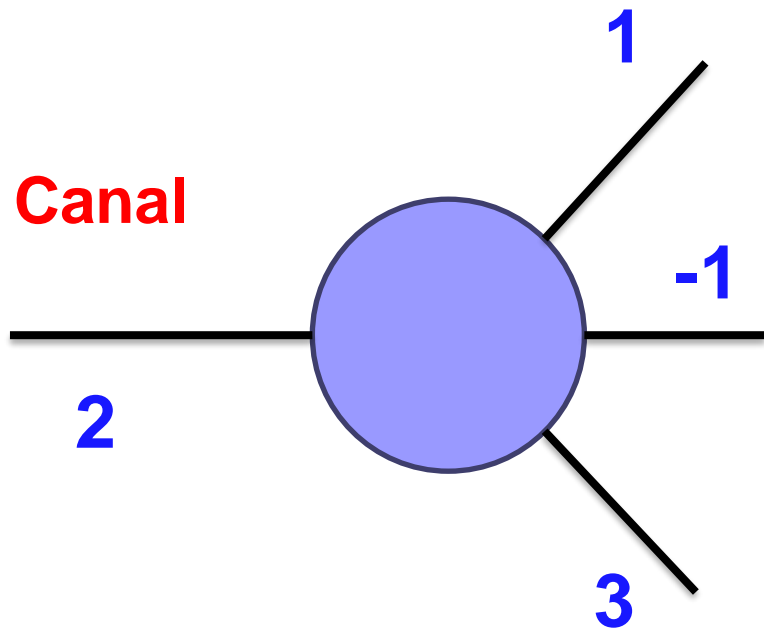


# Critério de parada

- Número máximo de iterações internas ou
- Palavra Código válida encontrada nos **c-nodes**



# Decisão



- Feita nos **v-nodes**
- Somatório  $S = 1 + (-1) + (3) + 2 = 5$
- $S > 0$ , logo decisão é  $\hat{A} = +1$ , isto é, o bit provavelmente vale 0
- Além disso,  $p(b = 0) = 0,9933$

# Algoritmo

1. Receba o vetor  $\mathbf{r}$  proveniente do **canal** Gaussiano
2. Sabendo o valor de  $N_0/2$ , calcule os  $N$  valores LLRs. Inicie o contador de iterações.
3. Para todos os  $N$  **v-nodes**, calcule todas as mensagens de saída destes nodes, totalizando  $N \cdot dv$  mensagens no total.
4. Teste se o **critério de parada** foi atingido. Caso positivo, pule para o passo final
5. Para todos os  $(N-K)$  **c-nodes**, calcule todas as mensagens de saída, totalizando  $(N-K) \cdot dc$  mensagens no total.
6. Incremente o contador de iterações e retorne ao passo 3
7. **Decida** sobre os bits transmitidos.

# Atividades

1. Implemente um sistema que gera os valores LLR provenientes do canal quando transmitimos símbolos de uma modulação BPSK através de um canal Gaussiano. Os parâmetros do ruído devem ser selecionáveis para permitir a sua utilização para qualquer valor de  $E_b/N_0$  desejado.
2. Implemente o algoritmo de decodificação para códigos LDPC utilizando os valores LLR conforme descrito acima.
3. Utilize as suas duas implementações acima para estimar o desempenho do código LDPC projetados no laboratório anterior quando utilizamos a modulação BPSK, variando o valor de  $E_b/N_0$  de 0 a 5dB com intervalo de 0.5dB, através de seu correspondente valor de  $E_b/N_0$ . É suficiente fazê-lo para os códigos com comprimento  $N \approx 1000$ , mas é recomendável testá-lo antes para o código com comprimento  $N \approx 100$  por ser mais rápido. As simplificações adotadas nos laboratórios anteriores podem ser utilizadas; nominalmente: o fato do código ser linear, e a desigualdade de Chebyshev
4. Obtenha um gráfico da probabilidade de erro em função de  $E_b/N_0$  para o sistema desenvolvido no laboratório anterior.

# Entregáveis

- O gráfico do item 4 da seção anterior
- O menor valor de  $E_i/N_0$  dentre os valores investigados tal que a probabilidade de erro de bit de informação seja menor do que  $10^{-4}$  para o código com  $N \approx 1000$ .
- Um arquivo .csv contendo  $N \approx 1000$  linhas descrevendo seu grafo. Cada linha corresponde a um v-node. A linha  $i$  deve conter os inteiros  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{dc}$ , onde  $i=1, \dots, N$  é o índice do v-node e  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{dc}$  é o índice dos c-nodes conectados ao v-node  $i$ . Exemplo:

1,2,3
4,5,6
...
213,17,9

v-node 1 conectado aos c-nodes 1,2 e 3

v-node 2 conectado aos c-nodes 4,5 e 6

...

v-node N conectado aos c-nodes 213,17,9

# Exemplo: CCSDS 130x1g3

- Recomendação para uso espacial

