

UM SIMULADOR DE CÓDIGOS DE UNGERBOECK EM CANAIS AWGN

Adriano Gouveia de Souza
Amanda Maria Silva Cavalcante
Késia Cristiane dos Santos
Luiz Guedes Caldeira
Regivaldo Frazão de Medeiros Filho
Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba
E-mail: radiolocalização@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo mostrar os resultados obtidos pela implementação de uma ferramenta para simulação de um sistema de transmissão digital em um canal com ruído aditivo gaussiano branco – AWGN (do inglês Additive White Gaussian Noise). A técnica empregada é denominada modulação codificada em treliça – TCM (do inglês Trellis Coded Modulation)– em que codificador e modulador são tratados como uma única entidade. Este estudo se concentrou na simulação, através de software, dos codificadores de Ungerboeck.

Palavras-chave: Modulação codificada em treliça. Códigos convolucionais.

1. Introdução

Em um sistema de comunicações, normalmente, são empregadas diversas técnicas com o objetivo de mitigar o efeito interferente do ruído. Podem-se enumerar vários tipos de técnicas de diversidade tais como: temporal, espacial, freqüencial, polarização, entre outros. Uma técnica muito utilizada, e bastante eficiente, em sistemas de comunicações, é a modulação codificada em treliça (TCM) [1]. Dois importantes parâmetros técnicos em projetos de sistemas de comunicações digitais são a largura de banda e a restrição de potência do canal. Sistemas de codificação empregando códigos de blocos lineares têm-se mostrado muito eficiente na correção de erros introduzidos pelo canal [2], porém, tais códigos não são eficientes em canais com severas restrições em largura de banda. Uma solução muito utilizada é empregar sistemas híbridos, concatenados, em que se tem a codificação em bloco clássica seguida de um código convolucional empregando TCM.

Pensando em otimizar a eficiência da transmissão em um canal de comunicações, em que o modulador e codificador são vistos como uma única entidade, Ungerboeck [1] criou uma regra para rotular ramos da treliça, conhecida como técnica de partição de conjuntos.

Neste trabalho é feita uma introdução teórica da modulação codificada, bem como a descrição do modelo do sistema AWGN empregado. Foram simulados códigos de Ungerboeck [1] de 2, 4 e 8 estados empregando modulação 8-PSK, em comparação com a transmissão QPSK não codificada.

2. Modelo do canal de comunicações

O canal de comunicações considerado é descrito pelo diagrama na Figura 1. No modelo do canal de comunicações da Figura 1, considera-se transmissão em banda básica,

cujo sinal de saída é dado por: $r(t) = s(t) + n(t)$ (1), onde $s(t)$ é o sinal modulado MPSK, cuja energia média da constelação é $\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E_i = 1$, onde E_i , $i=1, i=2, \dots, i=M$, é a energia de cada símbolo da constelação. O sinal $n(t)$ é o ruído branco, Gaussiano, com média zero e densidade espectral bilateral igual a $N_0/2$ por dimensão e $r(t)$ é o sinal corrompido recebido. As constelações QPSK e 8-PSK, com energia média unitária, são ilustradas na Figura 2.

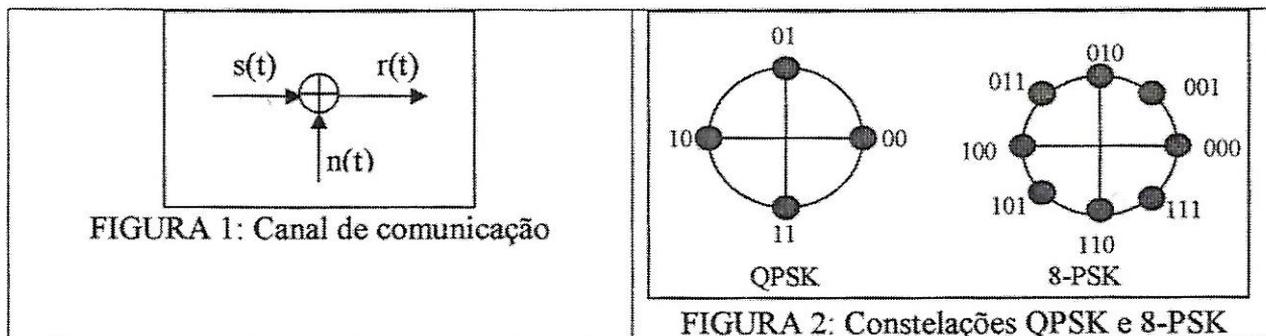


FIGURA 1: Canal de comunicação

FIGURA 2: Constelações QPSK e 8-PSK

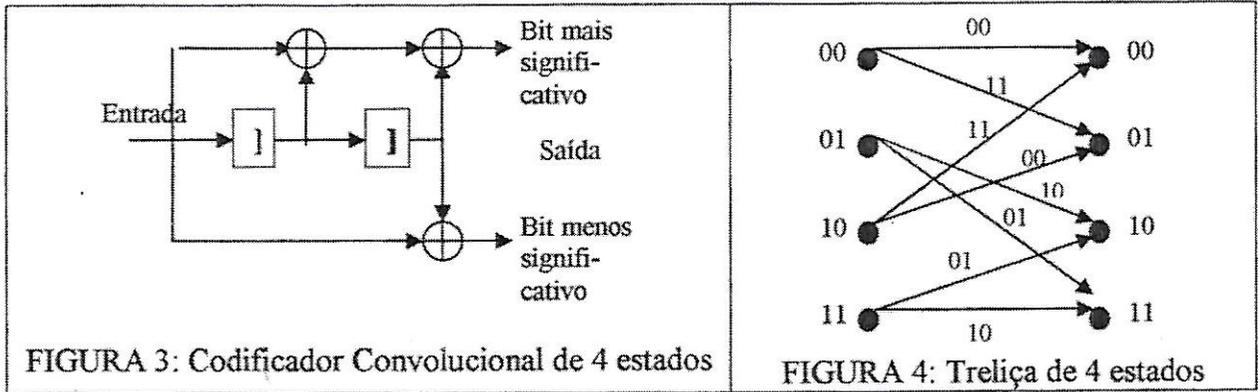
3. Modulação Codificada em Treliça

A Modulação Codificada em Treliça – TCM (Trellis Code Modulation) – tem sido uma técnica bastante implementada em sistemas de comunicação digital, como ADSL, HDSL, DSP, entre outros. Esta utilidade deve-se ao fato de possibilitar um controle eficiente na taxa de erro, sem contudo, exigir expansão de largura de banda nem diminuição da taxa de transmissão de bits.

Considerando a treliça da figura 4, observa-se que, quando o registrador possui duas unidades de memória, têm-se quatro estados possíveis – 00, 01, 10 e 11. Logo conclui-se que deve-se fazer uso da constelação QPSK para realizar a modulação. A constelação QPSK está indicada na Figura 2. A seqüência de bits de saída é modulado pela função $s(t) = s_I(t)\cos(2\pi ft) + s_Q(t)\sin(2\pi ft)$. Em que, $s_I(t)$ é a componente em fase do sinal modulado, $s_Q(t)$ é a componente em quadratura e f é a frequência da portadora.

Como um exemplo, a treliça representada na Figura 4 mostra que, os registradores encontrando-se no estado zero, temos duas transições possíveis, para bit de informação I igual a 0 ou igual a 1. Para $I=0$, tem-se na saída os bits codificados 00 e o codificador migra para o estado 00, para $I=1$, tem-se na saída 11 e o codificador migra para o estado 01. Os demais ramos da treliça seguem a mesma lógica.

Codificadores convolucionais são máquinas de estados finitos compostas por registradores deslocamento e funções lógicas[3]. Os codificadores convolucionais “protegem” a informação pela adição de bits de redundância, codificando k bits de informação em n bits, gerando uma taxa k/n . Associado a um código convolucional, temos um diagrama denominado treliça. A treliça representa um diagrama temporal das transições possíveis entre estados do codificador, gerando um gráfico das seqüências codificadas transmitidas. A Figura 3 mostra exemplo de um codificador convolucional de 4 estados, taxa 1/2, com mapeamento em uma constelação QPSK. A Figura 4 ilustra o correspondente diagrama de estados.



Os codificadores de Ungerboeck são um tipo especial de codificador convolutacional. Nestes codificadores, há uma regra para rotular os sinais da treliça, conhecida como regra de *particionamento de conjuntos* que segue o critério da máxima distância Euclidiana entre as seqüências transmitidas. A Figura 5 ilustra a regra de particionamento de conjuntos,

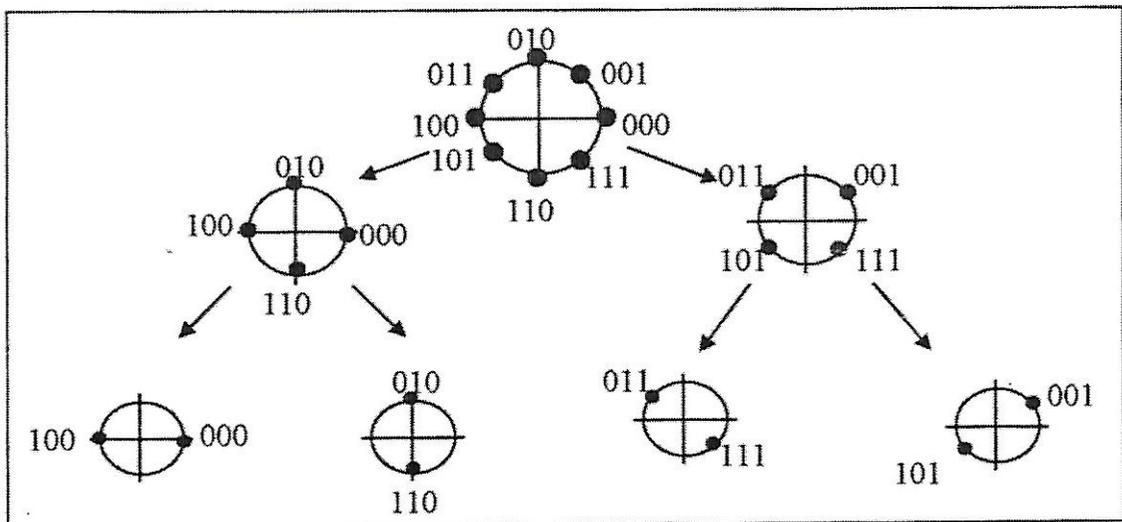


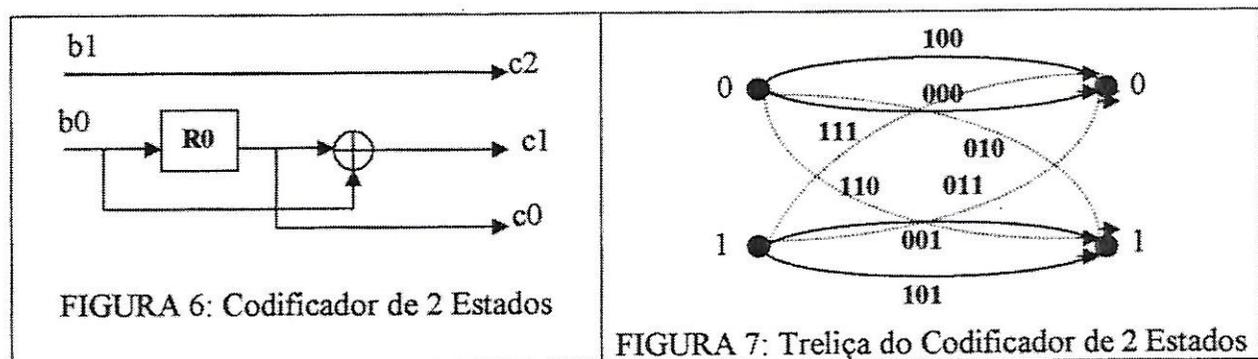
FIGURA 5: Regra de Particionamento de Conjuntos

em que, para as transições paralelas são atribuídos sinais dos subconjuntos no mesmo nível de partição. Para as transições adjacentes são atribuídos sinais dos subconjuntos da partição de nível maior. Todos os sinais ocorrem com igual freqüência.

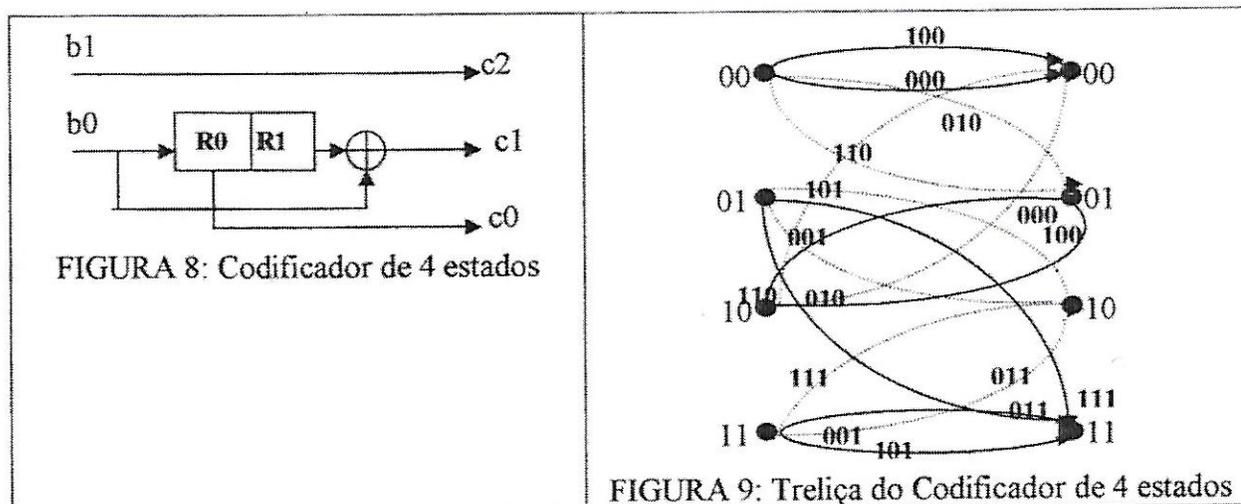
Além disso, os códigos de Ungerboeck apresentam sempre a taxa $(k/(k+1))$. Ou seja, a redundância é de apenas um bit.

Observando estes conceitos apresentam-se abaixo os codificadores de Ungerboeck implementados e suas respectivas treliças.

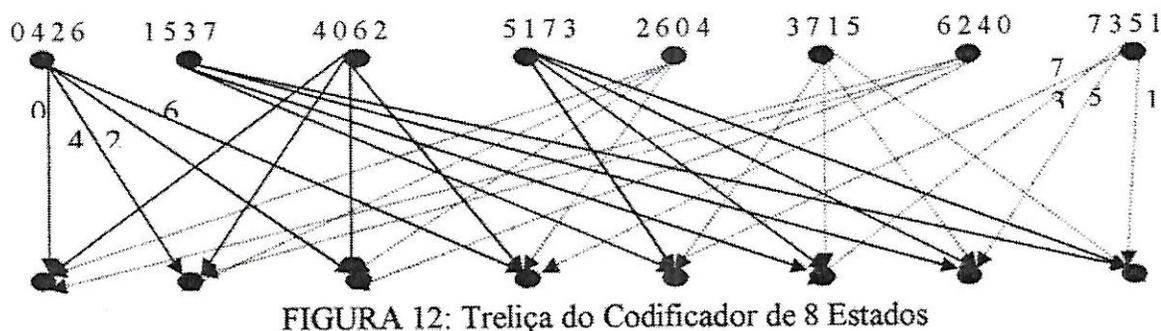
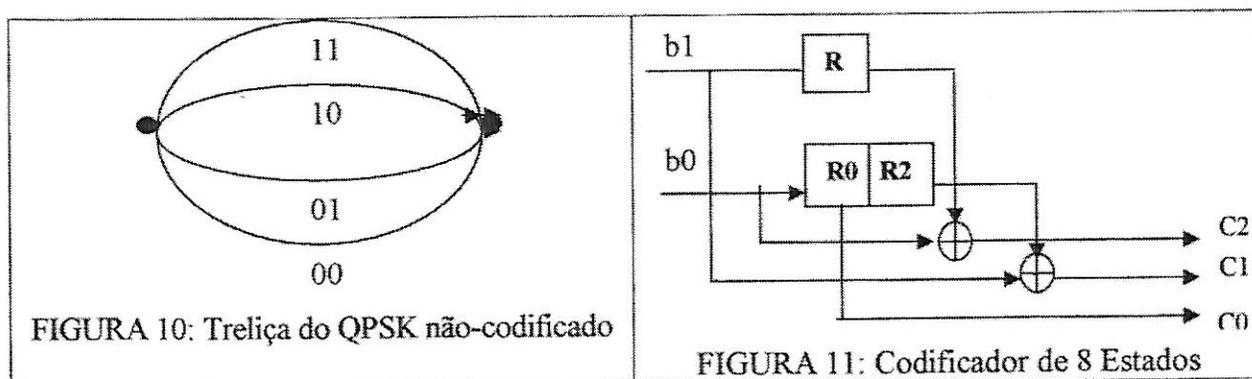
3.1. Codificador de Ungerboeck 8-PSK com 2 estados



3.2. Codificador de Ungerboeck 8-PSK com 4 estados



3.3. Codificador de Ungerboeck 8-PSK com 8 estados



4. Algoritmo de Decodificação de Máxima Verossimilhança

O algoritmo de decodificação de máxima verossimilhança utilizado é o algoritmo de Viterbi [3], que segue os seguintes passos: 1) Inicialmente, atribui ao estado zero métrica zero e infinita aos demais estados; 2) Cria um contador de símbolos transmitidos setado, inicialmente, em zero; 3) Calcula a métrica parcial, diferença de distâncias Euclidianas, entre o sinal recebido e o possível sinal transmitido – entre o símbolo recebido e o símbolo que

rotula cada ramo da treliça; 4) Soma as métricas parciais calculadas no tempo t com as métricas acumuladas calculadas no tempo anterior, $t-1$, assim, obtém-se uma nova métrica acumulada, relacionada ao tempo t ; 5) Compara as métricas dos ramos estendidos e descartar as que apresentarem maiores métricas acumuladas; 6) Conferi se o contador de símbolos chegou ao tamanho limite.

7) Se o contador chegou ao tamanho w da janela estima o w -ésimo símbolo anterior transmitido pelo percurso sobrevivente de menor métrica.

5. Resultados

O Gráfico 1 demonstra a taxa de erro de bits com a relação sinal/ruído de codificadores de Ungerboeck para cada esquema de modulação empregado.

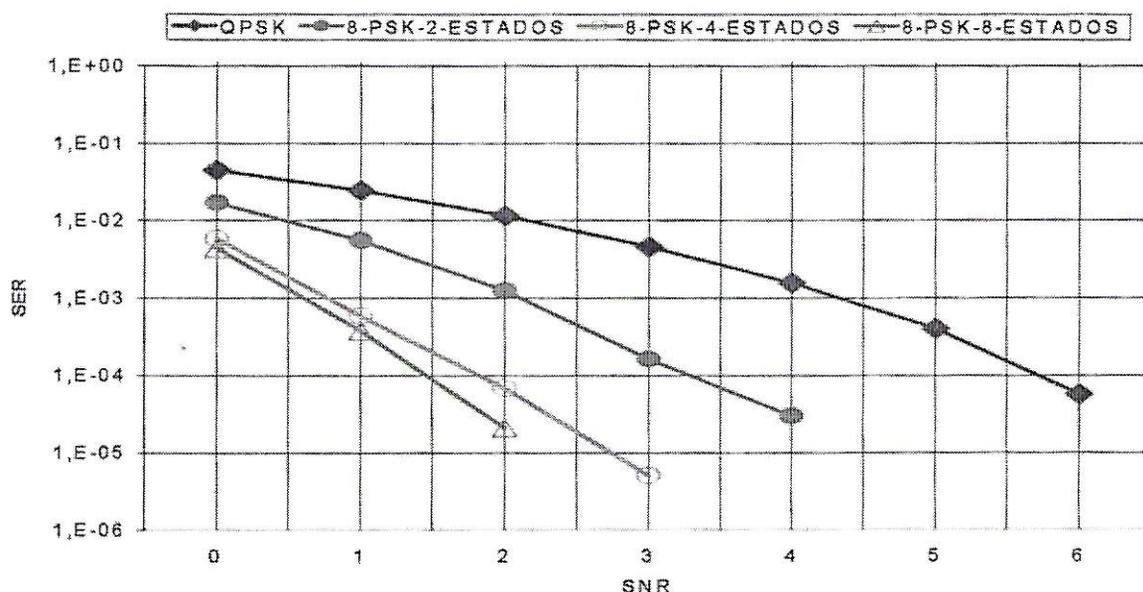


GRÁFICO 1: Comparação entre os esquemas codificados e o não-codificado

Observa-se que, para uma taxa de erro da ordem 10^{-4} , tem-se um ganho, em relação ao esquema QPSK (4-PSK) não codificado, de mais ou menos 2 dB para o esquema 8PSK- 2 estados, em torno de 3,5 dB, para o esquema 8PSK-4estados e de 4 dB para o esquema 8PSK - 8 estados.

Esses resultados foram obtidos pela simulação através de software dos codificadores explicitados na seção 4. O simulador desenvolvido considera sincronismo perfeito entre o transmissor e o receptor.

6. Conclusão

Os resultados obtidos permitem concluir que o sistema de modulação codificado em treliça de taxa $2/3$, usando o algoritmo de decodificação de máxima verossimilhança é realmente eficiente quando comparado ao sistema não codificado QPSK. Conforme o exposto nos resultados, à medida que se aumenta o número de estados nos codificadores são obtidos melhores desempenhos. Isto é devido ao fato de que quando se tem mais estados, diminui-se a possibilidade de uma seqüência transmitida ser confundida, devido à ação ruidosa do canal, com outras seqüências possíveis. A esse fato dá-se o nome de maximização da distância Euclidiana, que é obtida seguindo-se a regra de particionamento de conjuntos de Ungerboeck.

7. Referências bibliográficas

Ungerl (paper clássico). **Channel coding with multilevel/pulse signals**, IEEE Trans. Inf. Theory, v. IT-28, p. 56-67, 1982.

ref2. **Error control coding: Fundamentals and applications**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1983.

BIBLIERI, Ezio; et al. **Introduction to Trellis: Coded Modulation with Applications**. New York, USA: Macmilan Publishing Company, 1991.