

CODIFICAÇÃO DE CANAL ALTERNATIVA PARA O SISTEMA MÓVEL TDMA

Carlos Henrique R. Oliveira e Renato Baldini Filho

Departamento de Comunicações – FEEC – Unicamp
 Caixa Postal 6101 - CEP 13083-970 - Campinas - SP
carloshe@decom.fee.unicamp.br, baldini@decom.fee.unicamp.br

RESUMO

A codificação de canal, descrita na Recomendação TDMA IS-136, faz uso de um codificador convolucional binário de taxa $\frac{1}{2}$ para proteger os bits de Classe 1 provenientes do codificador de fala. Este trabalho analisa um esquema alternativo de codificação de bloco que realiza a mesma função do codificador convolucional.

1. INTRODUÇÃO

O controle de erro de canal para os dados do codec de fala visto na figura 1, emprega 3 mecanismos para combater os erros de canal. O primeiro utiliza um código convolucional de taxa $\frac{1}{2}$ para proteger os bits mais vulneráveis na seqüência de dados do codificador de fala (codec). O segundo entrelaça os dados transmitidos para cada quadro do codec sobre dois *slots* de tempo para mitigar os efeitos do desvanecimento Rayleigh. O terceiro emprega o uso de uma verificação de redundância cíclica sobre os bits perceptualmente mais significativos da saída do codec. No receptor, estes bits de redundância cíclica são utilizados para verificar se os bits perceptualmente mais significativos foram recebidos apropriadamente. O código convolucional é substituído por um conjunto de códigos de bloco com o intuito de oferecer uma proteção adicional aos bits perceptualmente mais significativos responsáveis pela qualidade do sinal de voz recebida pelo usuário.

2. CODIFICAÇÃO DE CANAL

2.1 Classes de Dados de Fala

O processo de correção de erro separa a informação de quadro de fala de 159 bits codificada em duas classes de bits:

- **Classe 1.** Composta de 77 bits e representa a porção da seqüência de dados de fala na qual a codificação convolucional é aplicada. Para oferecer uma proteção extra aos 12 bits perceptualmente mais significativos dos bits da Classe 1 um CRC de 7 bits é usado para propósito de detecção de erro e é calculado tomando os 12 bits perceptualmente mais significativos para cada quadro.
- **Classe 2.** Composta de 82 bits que são transmitidos sem qualquer proteção contra erro.

2.2 Verificação de Redundância Cíclica

Os 7 bits de verificação de redundância cíclica (CRC) são calculados sobre os 12 bits perceptualmente mais significativos do quadro. O polinômio gerador é dado por:

$$g_{CRC}(X) = X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1 \quad (1)$$

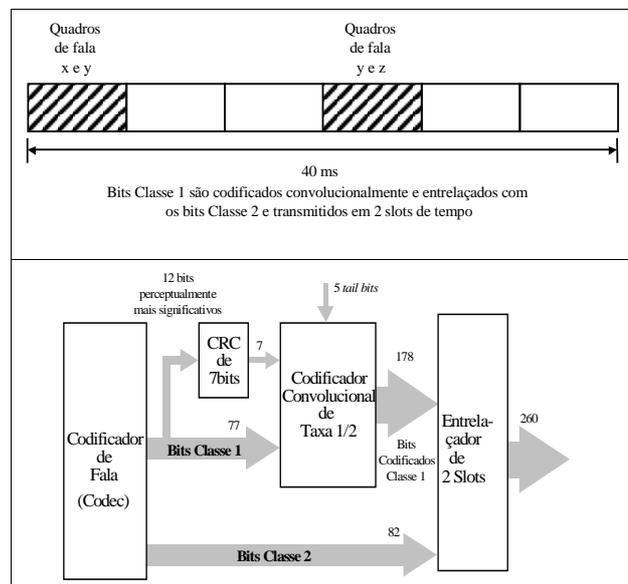


Figura 1. Correção de erro para o codificador de fala.

2.3 Codificação Convolucional

A entrada do codificador convolucional é uma seqüência de 89 bits:

- 77 bits pertencem a Classe 1 do codec de fala.
- 7 bits pertencem a saída do codificador CRC.
- 5 bits zeros (*tail bits*) são adicionados para a decodificação por algoritmo de Viterbi.

O código convolucional utilizado é de taxa (R) igual a $\frac{1}{2}$ e memória (m) igual a 5. Existem portanto $2^m = 2^5 = 32$ estados neste código. Os polinômios geradores do código são:

$$g_0(D) = 1 + D + D^3 + D^5 \quad (2)$$

$$g_1(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^5 \quad (3)$$

A saída do codificador convolucional da figura 2 alterna entre estes 2 polinômios começando por $g_0(D)$ em cada *slot* de tempo.

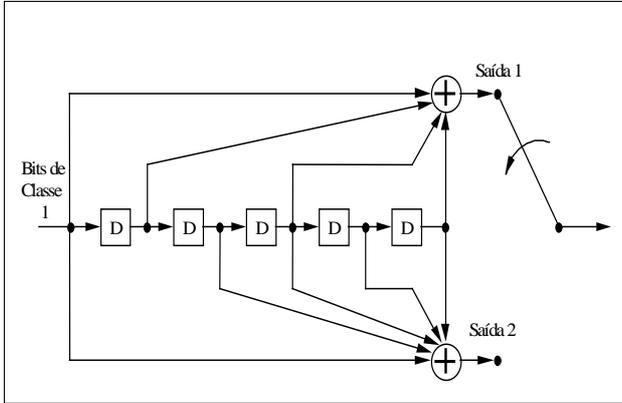


Figura 2. Codificador convolucional de taxa 1/2 e m=5.

3.3 Entrelaçamento

Antes de ser transmitido, os dados de fala codificados são entrelaçados em dois *slots* de tempo com os dados de fala de quadros adjacentes. Ou seja, cada *slot* de tempo contém informação de 2 quadros do codec de fala. Os dados de fala são entrelaçados segundo a figura 3.

0x	26x	52x	78x	104x	130x	156x	182x	208x	234x
1y	27y	53y	79y	105y	131y	157y	183y	209y	234y
2x	28x	54x	80x	106x	132x	158x	184x	210x	235x
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12x	38x	64x	90x	116x	142x	168x	194x	220x	246x
13y	39y	65y	91y	117y	142y	169y	195y	221y	246y
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24x	50x	76x	102x	128x	154x	180x	206x	232x	258x
25y	51y	77y	103y	129y	155y	181y	207y	233y	259y

Figura 3. Arranjo de entrelaçamento.

Os dados são escritos linha a linha e são lidos (transmitidos) coluna a coluna. Os dois quadros de fala são referenciados por x e y, onde x é o quadro de fala anterior e y é o quadro mais recente. Os dados são colocados no arranjo de entrelaçamento de modo a haver uma mistura entre os bits de Classe 2 do codec de fala com os bits da Classe 1 codificados convolucionalmente. Os bits da Classe 2 são seqüencialmente colocados no arranjo e ocupam as seguintes localizações:

- 0, 26, 52, 78
- 93 a 129
- 130, 156, 182, 208
- 223 a 259

3. MODELO PROPOSTO

De um modo geral, um código de bloco binário (n, k, d_{\min}) transforma k bits de informação em n bits, tendo portanto uma taxa de codificação $R = k/n$. A distância mínima d_{\min} de um código é a menor distância de Hamming entre duas palavras código válidas. A substituição do codificador convolucional por um banco de sete codificadores em paralelo usando código de bloco de Golay (24,12,8) estendido na versão GAC (Código Array Generalizado) [2] mantendo a mesma taxa total do código convolucional, pode ser vista na figura 4. A escolha do uso de código de bloco se justifica pela não necessidade do uso dos cinco *tail bits* responsáveis em zerar a máquina geradora de estados do código convolucional, de forma que se possa aproveitá-los para proporcionar uma proteção extra aos doze bits perceptualmente mais significativos da saída do codificador de fala.

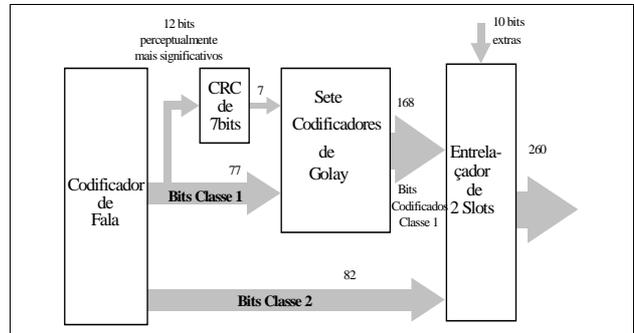


Figura 4. Correção de erro para o codificador de fala com o modelo proposto.

4. DESEMPENHO DO SISTEMA

As curvas apresentadas na figura 8 são comparativas entre o sistema TDMA [1] atual com código convolucional e o modelo proposto com código de Golay, ambos em canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) com densidade espectral bilateral de potência de ruído $N_0/2$ modelado como Gaussiano e desvanecimento Rayleigh [3] por múltiplos percursos a partir do diagrama em blocos da figura 5.

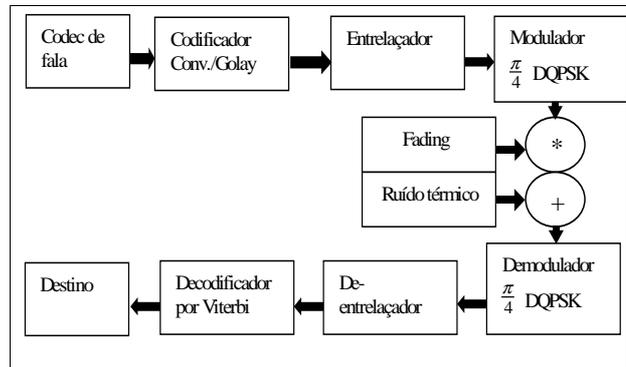


Figura 5. Diagrama em bloco para simulação de desempenho do sistema móvel TDMA.

O método de modulação é o $\pi/4$ QPSK codificado diferencialmente [5].

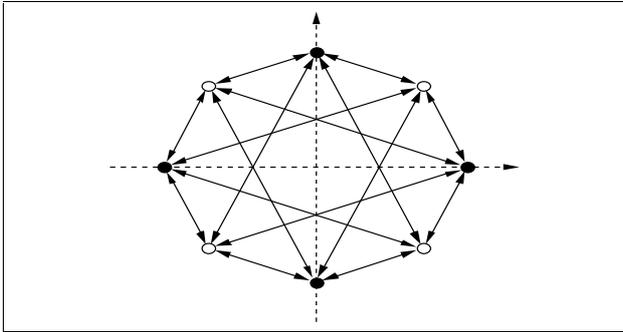


Figura 6. Constelação da modulação $\pi/4$ DQPSK.

O código de Gray é usado no mapeamento dos símbolos a serem transmitidos. A cada mudança de fase são associados dois bits.

Note que há rotação de $\pi/4$ da constelação básica QPSK para símbolos denotados por bolas brancas, na figura 6, em relação aos símbolos denotados por bolas pretas da outra constelação.

A informação é codificada diferencialmente, os símbolos são transmitidos como mudanças de fase ao invés de fases absolutas.

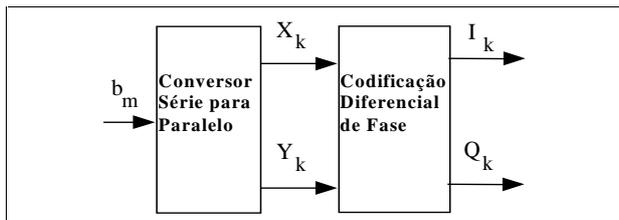


Figura 7. Diagrama de bloco do codificador diferencial.

Uma seqüência binária b_m é convertida em 2 seqüências binárias X_k e Y_k de acordo com a figura 7. Estas duas seqüências são então codificadas em I_k e Q_k de acordo com as equações:

$$I_k = I_{k-1} \cos[\Delta\Phi(X_k, Y_k)] - Q_{k-1} \sin[\Delta\Phi(X_k, Y_k)] \quad (4)$$

$$Q_k = I_{k-1} \sin[\Delta\Phi(X_k, Y_k)] + Q_{k-1} \cos[\Delta\Phi(X_k, Y_k)] \quad (5)$$

onde I_{k-1} e Q_{k-1} são amplitudes do pulso anterior. A mudança de fase $\Delta\Phi$ é determinada de acordo com a tabela 1.

Tabela 1

Valores de $\Delta\Phi$ em função das 2 seqüências binárias

X_k	Y_k	$\Delta\Phi$
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$3\pi/4$
0	0	$\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

I_k e Q_k estão compreendidos entre $\{0, \pm 1, \pm(1/\sqrt{2})\}$.

O demodulador recupera o sinal recebido do canal calculando a distância mínima [7] entre o sinal recebido e o conjunto de sinais transmitidos. O de-entrelaçador utiliza método inverso ao

entrelaçador descrito e o decodificador foi implementado usando diagrama de treliça pelo algoritmo de Viterbi com decisão suave [2,4] em ambos os casos, para o sistema atual usando código convolucional e para o modelo proposto.

4.1 Resultados

A figura 8 apresenta os resultados gráficos comparativos obtidos na simulação do desempenho de sistema (curva de probabilidade de erro de bit pela relação sinal - ruído dada por E_b/N_0) do sistema atual com código convolucional e do sistema proposto com código de Golay, ambos simulados a partir da figura 5.

Note que o sistema que utiliza o conjunto de codificadores de Golay apresenta um desempenho 1.5 dB pior que codificador convolucional para $P_{\text{erro}} = 10^{-4}$. Entretanto é possível utilizar os bits extras da figura 4 para uma melhor proteção aos bits perceptualmente mais significativos da saída do codec.

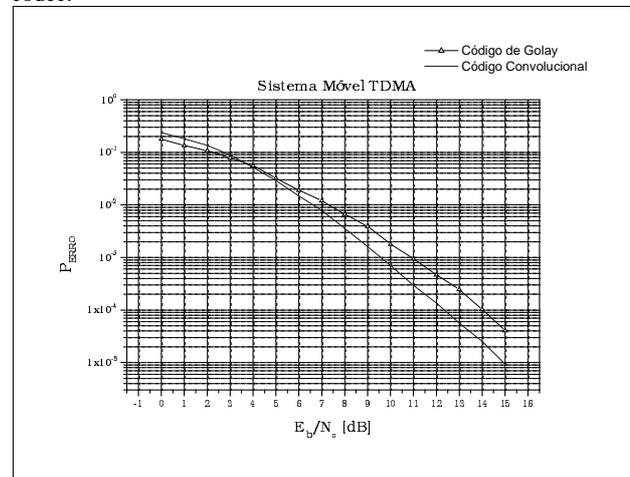


Figura 8. Curva de probabilidade de erro de bit pela relação sinal ruído dada por E_b/N_0 em canal AWGN com desvanecimento Rayleigh.

5. CONCLUSÕES

A possibilidade de usar os cinco *tail bits* da codificação convolucional para uma proteção extra aos bits mais significativos do codificador de fala e com isso oferecer uma melhoria na qualidade de voz recebida pelo usuário (destino) justifica a pequena perda de desempenho do sistema proposto em relação ao atual. Com a substituição do banco de sete codificadores com código de Golay estendido (24,12,8) por outro banco de seis codificadores com código de Golay (23,12,7) e um código BCH (63,36,11) "puncionado" [6] para (40,12,12), a taxa de codificação continua sendo igual ao a do código convolucional. Como este código (40,12,12) resulta em uma potencialidade de corrigir todos os padrões de até cinco erros e alguns de seis erros, ele oferecerá uma proteção maior aos bits perceptualmente mais significativos a ele encaminhados resultando finalmente na melhoria da qualidade do sinal de voz recebida pelo usuário cumprindo assim o objetivo do modelo proposto.

6. REFERÊNCIAS

- [1] TIA/EIA Interim Standard IS-136.2: 800 MHz Cellular – Radio Interface – Mobile Station Compatibility – Traffic Channels and FSK Control Channel, December 1994.
- [2] Honary, B., Markarian G., *Trellis Decoding of Block Codes*, 1997.
- [3] Proakis, John G., *Digital Communications*, 1995.
- [4] Shu, L. & Costello Jr., D. J., *Error Control Coding Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, 1983.
- [5] Yacoub, Michel Daoud., *Foundations of Mobile Radio Engineerring*, 1993.
- [6] Clark, George C., Cain J.B., *Error-Correction for Digital Communications*, 1981.
- [7] Lee, Edward A., Messerschmitt, David G., *Digital Communications - Second Edition -*, 1994.