

# Quantização Preditiva Codificada em Treliça com Preservação de Bordas

Marcus Vinicius Fonseca de Araújo Silva e Abraham Alcaim

CETUC/PUC-Rio, 22453-900 Rio de Janeiro – RJ, Brazil

Emails: marcusvfs@telemar-rj.com.br e alcaim@cetuc.puc-rio.br

**Resumo** – O DPCM com preservação de bordas é uma técnica que tem se mostrado dentre as mais vantajosas para codificação da subbanda baixa em codificadores de imagem baseados em decomposição espectral. Neste artigo é proposta uma outra técnica de quantização escalar, denominada quantização preditiva codificada em treliça com preservação de bordas, que fornece resultados ainda melhores que os obtidos com o DPCM com preservação de bordas.

## I. INTRODUÇÃO

Em codificação de imagens baseada em decomposição espectral, a maior parte da energia se concentra na subbanda de mais baixas frequências. Por esse motivo, e tendo em vista a importância dessa subbanda para a qualidade global da imagem decodificada, ela é normalmente codificada com taxas de bits relativamente altas. Isto torna praticamente proibitiva a utilização de sistemas de codificação eficientes baseados em quantizadores vetoriais, devido à alta complexidade desses esquemas a essas taxas [1]. Neste artigo é proposta uma técnica eficiente, baseada em quantização escalar, para codificação desta subbanda. A técnica proposta é denominada quantização preditiva codificada em treliça (PTCQ - Predictive Trellis Coded Quantization) com preservação de bordas.

Uma das características das imagens é que as transições (bordas) são muito relevantes sob o ponto de vista subjetivo para o observador humano. Portanto, é fundamental que essas transições sejam codificadas de forma eficiente. No entanto, em sistemas de quantização escalar preditivos como o DPCM (Differential Pulse Code Modulation), essas transições levam normalmente a altos valores do erro de predição e, conseqüentemente, a uma degradação perceptível na qualidade da imagem reconstruída. Com o objetivo de resolver este problema quando se utiliza a técnica DPCM, Rost e Sayood [2] propuseram um método de eliminação do ruído de sobrecarga, garantindo, com isso, a preservação das bordas. Uma análise comparativa recente [3] mostrou que o método DPCM de Rost e Sayood é o que melhor se adequa à codificação da subbanda baixa das imagens decompostas através de transformada wavelet. Com base neste método, é desenvolvido neste trabalho um esquema similar aplicado à estrutura de codificação PTCQ. Resultados apresentados por Marcellin e Fischer

em [4] e [5], mostram o melhor desempenho do PTCQ em relação ao DPCM para codificação de fontes com memória. Isto motivou a utilização desta técnica para codificação da banda de baixas frequências.

A Seção II deste artigo faz uma breve descrição da técnica de codificação preditiva codificada em treliça. O DPCM de Rost e Sayood e o esquema proposto são apresentados na Seção III. Os resultados de simulação são fornecidos e discutidos na Seção IV e as conclusões principais são resumidas na Seção V.

## II. QUANTIZAÇÃO PREDITIVA CODIFICADA EM TRELIÇA

Na estrutura de codificação DPCM, para cada amostra a ser codificada é obtida uma predição desta amostra a partir das amostras quantizadas anteriormente. A diferença entre a amostra atual e sua predição (erro ou resíduo de predição) é então quantizada e transmitida ao decodificador. No codificador e decodificador o valor quantizado da amostra é obtido adicionando-se ao valor predito o erro de predição quantizado.

Num sistema de quantização codificada em treliça (TCQ) cada caminho sobrevivente através da treliça determina uma seqüência de amostras quantizadas. Desse modo, na quantização preditiva codificada em treliça (PTCQ), a predição para cada estado da treliça é obtida com base nas amostras quantizadas especificadas pelo caminho sobrevivente. O erro de predição a cada estado é dado pela diferença entre a amostra atual e a predição associada a este estado. A cada ramo, derivado de um determinado estado da treliça, é realizada uma quantização escalar do erro de predição, utilizando-se o subconjunto de palavras-código correspondente. Em seguida, a distorção decorrente desta quantização a cada ramo é adicionada à distorção do caminho sobrevivente. O novo caminho sobrevivente a cada próximo estado da treliça é determinado escolhendo-se o caminho de menor distorção dentre aqueles que convergem para este estado. O valor quantizado da amostra a cada estado é dado pela soma do valor predito da amostra com o erro de predição quantizado. O processo de codificação é resumido a seguir:

1. Considere uma seqüência a ser codificada  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , um determinado instante de tempo  $i$  e  $C^k$  um caminho sobrevivente terminando num estado  $s_k$  num tempo  $i-1$ .
2. Para cada estado da treliça determine  $\hat{x}_{i|i-1}^k$ , o valor predito da amostra  $x_i$  a partir dos valores quantizados das amostras anteriores  $\hat{x}_{i-j}^k, j = 1, 2, 3, \dots$  associadas ao caminho  $C^k$ , e calcule o erro de predição dado por  $e_i^k = x_i - \hat{x}_{i|i-1}^k$ .
3. Considere  $\rho_{i-1}(x, \hat{x}^k)$  a distorção associada ao caminho  $C^k$  e denote  $S_l^k$  os subconjuntos correspondentes aos ramos saindo de um estado  $k$  e convergindo para um estado  $l$ . Para cada subconjunto  $S_l^k$ , o erro de predição  $e_i^k$  é quantizado obtendo-se  $e_{q_l}^k$ , correspondendo ao valor quantizado do erro de predição  $e_i^k$ , utilizando-se dos níveis dos quantizadores definidos pelo subconjunto  $S_l^k$ .
4. Finalmente, considere  $e_{q_l}^{k1}$  e  $e_{q_l}^{k2}$  os erros de predição quantizados de dois ramos saindo dos estados  $k_1$  e  $k_2$  e convergindo para o estado  $l$ . Então determine para cada estado  $s_l$ :

$$\rho_i(x, \hat{x}^l) = \min_{k \in \{k_1, k_2\}} (\rho_{i-1}(x, \hat{x}^k) + (e_i^k - e_{q_l}^k)^2) \quad (1)$$

e

$$\hat{x}_i^l = \hat{x}_{i|i-1}^{k'} + e_{q_l}^{k'}$$

onde  $k'$  é o valor de  $k$  que minimiza (1), e  $\hat{x}_i^l$  o valor quantizado da amostra  $x_i$  para um estado  $l$ .

Este procedimento é executado recursivamente até o término da seqüência de entrada.

Da taxa de codificação total  $R$  do sistema PTCQ, 1 bit por amostra é utilizado para especificar o caminho pela treliça, e  $R-1$  bits por amostra determinam o símbolo correspondente ao erro de predição quantizado em cada subconjunto. O decodificador utiliza esta seqüência de bits para determinar o erro de predição quantizado correspondente ao caminho com menor distorção final através da treliça. Esta seqüência de erros de predição quantizados é passada através da estrutura

de um decodificador DPCM para se obter a seqüência quantizada  $\hat{x}_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

### III. QUANTIZAÇÃO PREDITIVA CODIFICADA EM TRELIÇA COM PRESERVAÇÃO DE BORDAS

Com a finalidade de contornar o problema do ruído de sobrecarga quando se utiliza a técnica DPCM, Rost e Sayood [2] propuseram uma estratégia de codificação que consiste em aumentar a taxa de saída do codificador momentaneamente toda vez que ocorrer sobrecarga. Com base nesta idéia, é descrito nesta seção, um novo sistema de codificação, que incorpora as vantagens da técnica PTCQ com a estratégia de preservação de bordas.

#### III.1. DPCM DE ROST E SAYOOD

Considere um quantizador escalar uniforme, o qual possui  $N$  níveis ( $N$  ímpar), contendo o nível zero. A característica entrada versus saída deste esquema de quantização é mostrado na Fig. 1.

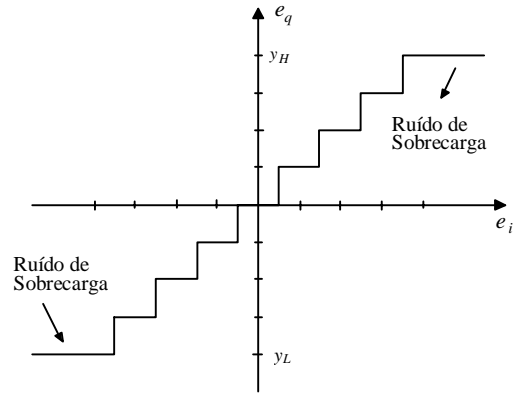


Fig. 1. Quantizador DPCM

O método DPCM de Rost e Sayood [2] para eliminação do ruído de sobrecarga, considera que o quantizador do erro de predição  $e_i$  é prolongado indefinidamente. Sejam  $y_H$  e  $y_L$ , respectivamente, o maior e o menor nível de saída do quantizador. Quando  $e_q$  pertence ao intervalo  $[y_L, y_H]$  é emitido uma das  $N$  palavras código do quantizador. No caso de  $e_q > y_H$ , o codificador emite  $n$  símbolos correspondentes a  $y_H$ , e um símbolo correspondente a  $e_{qn}$ , onde:

$$n = \left\lfloor \frac{e_q}{y_H} \right\rfloor \quad \text{e} \quad e_{qn} = e_q \pmod{y_H} \quad (2)$$

O mesmo procedimento é executado no caso de  $e_q < y_L$ , substituindo-se  $y_H$  por  $y_L$  em (2). Um

codificador de entropia é utilizado na saída do quantizador contendo os  $N$  símbolos referentes às palavras-código do quantizador mais os símbolos correspondentes às corridas de  $y_H$  e  $y_L$ .

Rost e Sayood [2], através de testes de desempenho, concluíram que na escolha dos níveis de saída do quantizador, o mesmo deve sempre possuir o nível zero. Portanto, no caso de  $N$  ímpar o quantizador é simétrico, e no caso de  $N$  par o mesmo é deslocado para o lado positivo. Neste trabalho, implementou-se o esquema DPCM com  $N$  ímpar.

### III.2. PTCQ PROPOSTO

Considerando que no esquema PTCQ cada subconjunto  $S$  representa um quantizador escalar de  $N$  níveis, é proposto um método similar ao de [2], porém levando-se em conta as particularidades dos níveis de cada quantizador. Sendo os mesmos obtidos a partir de um dicionário expandido, esses níveis não são valores múltiplos de um determinado passo de quantização em relação à origem. Assim, no método proposto, ao invés de se prolongar o quantizador, procede-se a divisão de  $e_i$  por  $y_H$ , e quantiza-se o resto. Deste modo:

$$n = \left\lfloor \frac{e_i}{y_H} \right\rfloor \quad \text{e} \quad e_{qm|S} = Q(e_i \pmod{y_H}) \quad (3)$$

onde  $Q$  define o quantizador.

Este método aplicado no esquema DPCM, naturalmente converge para os resultados obtidos através do método de Rost e Sayood. Da mesma maneira, é utilizado um codificador de entropia na saída de cada quantizador. Na Fig. 2 é mostrado o diagrama em blocos do codificador PTCQ proposto, onde  $c_T$  representa o bit que indica o caminho pela treliça e  $c_S$  o símbolo liberado pelo codificador de entropia correspondente a um dado quantizador cujos níveis de saída pertencem a um determinado subconjunto  $S$ .

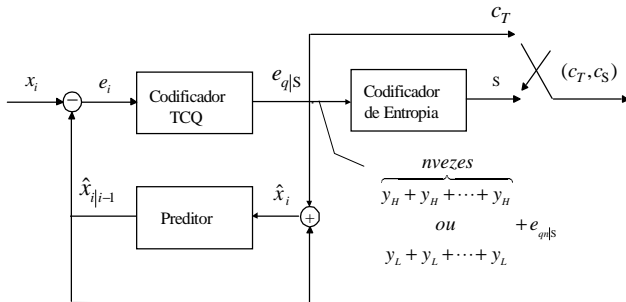


Fig. 2. Codificador PTCQ proposto.

O esquema da Fig. 2 representa uma estrutura PTCQ modificada, onde às  $N$  palavras-códigos referentes a cada quantizador são adicionados  $N^+$  e  $N^-$  símbolos referentes ao ruído de sobrecarga positivo e negativo, respectivamente. Considerando que as variações máximas do erro de predição são  $E^+$  e  $E^-$ , resulta que:

$$N^+ = \left\lfloor \frac{E^+}{y_H} \right\rfloor \quad (4)$$

e

$$N^- = \left\lfloor \frac{E^-}{y_L} \right\rfloor \quad (5)$$

e o número total de símbolos de cada codificador de entropia é dado por  $N_{total} = N + N^+ + N^-$ .

No codificador PTCQ proposto é utilizado um preditor linear com coeficientes fixos descrito em [6], cujo valor predito é definido por:

$$\hat{x}_{i|i-1}^k = \frac{2}{3}\hat{x}_{i-1}^k + \frac{2}{3}\hat{x}_{i-nc}^k - \frac{1}{3}\hat{x}_{i-nc-1}^k \quad (6)$$

onde  $\hat{x}_{i|i-1}^k$  é o valor predito de  $x_i$ , obtido a partir dos valores quantizados das amostras anteriores associadas ao caminho  $C^k$  e  $nc$  expressa o número de colunas da banda a ser codificada.

### IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados comparativos entre o esquema DPCM com preservação de bordas e o método PTCQ proposto neste trabalho. Todos os resultados são apresentados para a subbanda de baixas frequências obtida após uma decomposição espectral piramidal em 10 subbandas. Inicialmente, serão discutidos alguns aspectos importantes referentes à implementação do esquema PTCQ com preservação de bordas.

No projeto dos quantizadores utilizado no esquema PTCQ, um alfabeto de saída expandido uniforme de  $M$  níveis ( $M$  ímpar), é particionado em 4 subconjuntos, de acordo com as idéias de Ungerboeck [4] aplicadas ao esquema TCQ. Devido ao fato do erro de predição possuir uma distribuição Laplaciana com média próxima de zero, os níveis do alfabeto de saída foram escolhidos de modo que contenha o nível zero. Nota-se que uma vez que  $M$  é ímpar, um dos subconjuntos possuirá um nível a mais que os outros subconjuntos, que contêm  $N$  níveis ( $N$  o menor inteiro de  $M/4$ ). A Fig. 3 ilustra o particionamento para um

alfabeto de saída de 17 níveis, com  $\Delta = 1,0$  definindo o espaçamento entre os níveis do alfabeto.

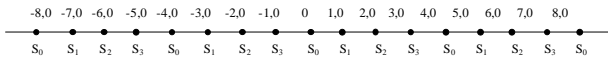


Fig. 3. Particionamento de um alfabeto de 16 níveis em 4 subconjuntos.

Na implementação do codificador PTCQ optamos pelo esquema de liberação de símbolos em “bloco a bloco”, devido à alta complexidade em se optar pelo esquema de liberação “um a um”, visto que no esquema PTCQ o erro de predição a ser quantizado depende do caminho que se percorre através da treliça. Inicialmente a profundidade (ou atraso de codificação) da treliça foi baseado na fórmula empírica  $6 \log_2 K$ , onde  $K$  designa o número de estados da treliça [7]. A profundidade da treliça define o tamanho do bloco utilizado. Para a treliça de 4 estados utilizada neste trabalho, a profundidade da treliça foi fixada inicialmente em 12.

No projeto dos codificadores de entropia utilizados na saída de cada quantizador, as probabilidades dos símbolos são determinadas a partir do processamento de 16 imagens diversas de dimensões 512 x 512.

Considerando que a distorção do esquema PTCQ modificado varia pouco em relação ao número de níveis dos quantizadores  $N$ , procurou-se determinar o número de níveis que melhor equilibra o aumento na taxa devido ao esquema de eliminação do ruído de sobrecarga. Deste modo, fixou-se  $\Delta = 1,0$ , e variou-se o número de níveis do alfabeto de saída expandido  $M$ , conforme mostrado na Tabela 1.

$M/N$	Taxa de Codificação em bits/pixel					
	Baboon	Barby	Goldy	Hotel	Lena	Peppers
33 / 8	5,61	5,41	4,97	5,43	5,27	5,19
49 / 12	5,28	5,16	4,78	5,20	5,09	5,05
65 / 16	5,20	5,07	4,73	5,09	4,99	4,96
89 / 22	5,17	5,00	4,71	5,00	4,91	4,86

Tabela 1. Taxas de codificação em bits/pixel da subbanda de baixa frequência variando-se os níveis dos quantizadores.

Podemos notar que a taxa de codificação diminui de maneira razoável para todas as imagens com o aumento do número de níveis do alfabeto de saída. Observando os resultados mostrados na Tabela 1, podemos concluir que a redução da taxa de bits com o aumento do número de níveis dos quantizadores será muito pequena para um número de níveis maior que  $N = 22$ . Por esse motivo, ao longo deste trabalho todos os codificadores PTCQ

foram projetados a partir de alfabeto de saída expandido com 89 níveis.

Em seguida procurou-se determinar a profundidade da treliça que propicia o melhor desempenho do esquema PTCQ modificado. Desta forma fixou-se  $\Delta = 1,0$  e  $M = 89$ , e variou-se a profundidade da treliça conforme mostrado na Tabela 2.

Obtém-se, em geral, um desempenho melhor para uma profundidade da treliça igual a 32, a qual foi utilizada neste trabalho.

Prof.	Erro Médio Quadrático					
	Baboon	Barby	Goldy	Hotel	Lena	Peppers
12	0,311	0,314	0,317	0,319	0,315	0,317
20	0,306	0,309	0,303	0,310	0,307	0,314
32	0,298	0,302	0,295	0,310	0,305	0,306

Tabela 2. Tabela comparativa em termos de desempenho do esquema de codificação PTCQ variando-se a profundidade da treliça.

Determinados todos os parâmetros do esquema de codificação PTCQ, variou-se o valor de  $\Delta$ , obtendo-se, com isso, diferentes taxas de codificação para a banda de baixas frequências. Os resultados são mostrados na Tabela 3 para três imagens de teste.

		Baboon	Lena	Peppers
$\Delta = 1,0$	Taxa	5,17	4,92	4,86
	RSR	47,84	47,61	47,23
$\Delta = 2,0$	Taxa	4,18	3,88	3,82
	RSR	41,81	41,59	41,30
$\Delta = 3,0$	Taxa	3,53	3,34	3,29
	RSR	38,29	38,05	37,83
$\Delta = 4,0$	Taxa	3,11	3,02	2,98
	RSR	35,73	35,63	35,43

Tabela 3. Razão sinal-ruído em dB e taxas em bits/pixel obtidas para a estrutura PTCQ modificada variando-se  $\Delta$ .

Com objetivo de avaliar o ganho em se utilizar o esquema de quantização preditiva codificada em treliça proposto em relação ao DPCM, foi implementado o esquema DPCM utilizando o mesmo método de eliminação do ruído de sobrecarga. O número de níveis do quantizador também foi determinado fixando  $\Delta$  e variando-se  $N$ . A Tabela 4 mostra os resultados de razão sinal-ruído para o esquema DPCM obtidos para os diferentes valores de  $\Delta$  e  $N = 21$ . As imagens são as mesmas utilizadas anteriormente no esquema de codificação PTCQ, inclusive as utilizadas no projeto dos codificadores de entropia.

Comparando as Tabelas 3 e 4, verifica-se que o esquema proposto fornece desempenhos melhores e a taxas mais baixas. Em um trabalho recente [3], foram investigadas diversas técnicas de quantização vetorial, dentre as quais a quantização vetorial preditiva (QVP), para codificação da subbanda de baixas frequências. Estas técnicas não apresentaram desempenho superior ao obtido pelo esquema DPCM com preservação de bordas, às taxas de interesse para codificação da subbanda baixa. Entretanto, o esquema PTCQ proposto neste artigo supera os resultados obtidos pelo DPCM com preservação de bordas.

		Baboon	Lena	Peppers
$\Delta=2,0$	Taxa	5,34	5,11	5,06
	RSR	47,35	47,11	46,82
$\Delta=4,0$	Taxa	4,17	3,94	3,87
	RSR	41,30	41,16	40,91
$\Delta=6,0$	Taxa	3,52	3,39	3,33
	RSR	37,68	37,73	37,33
$\Delta=8,0$	Taxa	3,13	3,08	3,04
	RSR	35,14	35,14	34,88

Tabela 4. Razão sinal-ruído em dB e taxas em bits/pixel obtidas para a estrutura DPCM modificada variando-se  $\Delta$ .

## V. CONCLUSÕES

Este artigo descreveu uma nova estratégia de codificação da subbanda de baixas frequências em codificadores de imagens por decomposição espectral: o esquema PTCQ com preservação de bordas. Neste esquema, o ruído de sobrecarga foi eliminado dividindo-se o valor do erro de predição pelo nível de sobrecarga do quantizador, emitindo-se um símbolo referente ao valor do menor inteiro dessa divisão e quantizando-se o resto. Os símbolos associados ao esquema de quantização são codificados por um codificador de Huffman. Os resultados obtidos foram superiores aos obtidos pela técnica DPCM com preservação de bordas e a taxas mais baixas, sendo portanto uma estratégia atraente para codificação da subbanda de baixas frequências em codificadores de imagens baseados em decomposição espectral.

## REFERÊNCIAS

- [1] Robert M. Gray, "Vector quantization", IEEE ASSP Magazine, pp. 4-29, April 1984.
- [2] M. C. Rost and K. Sayood, "An edge preserving differential image coding scheme", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 1, pp. 250-256, April 1992.

- [3] D. B. Castro, "Quantização vetorial da subbanda baixa de imagens decompostas através de transformada wavelet", Tese de Mestrado, DEE, Universidade Federal do Pará, Novembro 1997.
- [4] M. W. Marcellin and T. R. Fischer, "Trellis coded quantization of memoryless and Gauss-Markov sources", IEEE Transactions on Communications, vol. 38, pp. 82-93, January 1990.
- [5] M. W. Marcellin. "Trellis coded quantization: an efficient technique for data compression", Ph.D. Thesis, Texas A&M University, December 1987.
- [6] C. W. Harrison, "Experiments with linear prediction in television", Bell Syst. Tech. J., vol. 31, pp. 764-783, July 1952.
- [7] T.R.Fischer and M. Wang, "Entropy-constrained trellis-coded quantization, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 38, pp. 415-425, March 1992.