

# Compressão sem Perda de Imagens através de Predição Não Causal com Informação Lateral de Posição

Milton Simas Gonçalves Torres  
Paulo Roberto Rosa Lopes Nunes

Departamento de Engenharia Elétrica – Instituto Militar de Engenharia – IME  
Praça Gen. Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha CEP: 22290-270, Rio de Janeiro RJ-Brasil  
Tel: 021-5467133, Fax: 021-5420999, prnunes@aquarius.ime.eb.br , mtorres@cefet-rj.br

*Abstract – Presented in this paper are some variations of a new, DPCM based, non-causal and non-linear prediction technique for lossless digital image compression. The prediction scheme is based on first-order non-causal prediction using one of the neighborhood pixels as the predicted value. The information of which one of these pixels was used as the predicted value is saved as side position information. Same variations of the scheme were developed in order to improve results. The method was applied to the Y-components of five JPEG test images. Comparative results are presented.*

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal da codificação de imagens é representar uma imagem usando o menor número de bits possível mas preservando o nível de qualidade necessário para uma dada aplicação. A codificação de imagens possui duas aplicações principais: A redução da banda passante requerida por sistemas de transmissão de imagens digitais (por exemplo em televisão digital, vídeo conferências, fac-símile, etc.), e/ou a redução de requisitos de armazenamento de imagens digitais (por exemplo no armazenamento de dados de imagens usadas em vídeos digitais).

Os níveis de qualidade de imagens digitais necessários variam bastante, dependendo da área de aplicação. Em aplicações onde é primordial a preservação da informação da imagem original (como por exemplo, em imagens médicas, imagens para aplicações militares, etc.), devem ser utilizadas técnicas de codificação que não desprezem nenhuma informação da imagem original e permitam uma reconstrução exata desta imagem. Estas técnicas de codificação de imagem são chamadas de *técnicas de compressão sem perdas*. Já em aplicações onde informações menos relevantes, que não comprometam a qualidade de imagem requerida, possam ser desprezadas, utilizam-se as técnicas de codificação conhecidas como *técnicas de compressão com perdas*.

As técnicas utilizadas para *compressão sem perdas* de dados genéricos, via de regra não compactam eficientemente dados de imagens digitais, uma vez que estas apresentam características particulares que não são bem exploradas pelas mencionadas técnicas, como a alta correlação entre pixels adjacentes. Técnicas específicas para a compressão sem perdas de imagens digitais exploram esta característica

utilizando codificação preditiva, em geral com predição linear. Neste trabalho é apresentada uma técnica não linear e não-causal de predição, onde o valor de um dos pixels ao redor do que está sendo codificado é utilizado como predição. A posição do pixel preditor é informada ao decodificador como informação lateral, sendo esta a característica que torna o processo não linear. Método semelhante, porém causal, foi proposto em [1].

## 2. CODIFICAÇÃO PREDITIVA

Em dados de imagens digitais os pixels próximos apresentam grande correlação, o que torna a codificação preditiva uma forma muito utilizada de compressão, especialmente quando perdas não são admitidas. Na Codificação Preditiva, também conhecida como DPCM (“Differential pulse Code Modulation”), é feita uma predição do elemento de imagem (pixel) a ser codificado. A predição é efetuada utilizando-se os valores codificados dos elementos previamente transmitidos ou codificados, e somente o erro de predição (diferença resultante entre o valor real do pixel e o valor da predição) é quantizado. Estes níveis são então representados por palavras binárias, geralmente codificadas por entropia. É importante observar que para se decodificar a imagem os parâmetros utilizados pelo preditor também devem ser transmitidos ou armazenados, caso sejam função dos dados. O diagrama básico de um codificador preditivo unidimensional está representado na fig. 1:

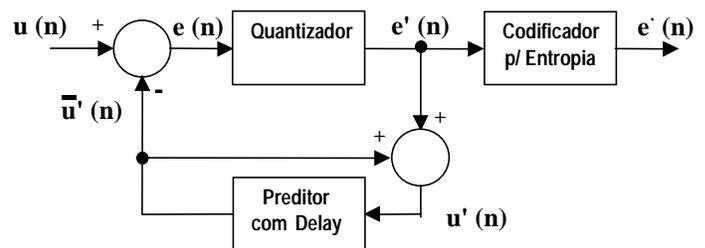


Fig. 1 – Diagrama em Blocos do Codificador por Predição

- $u(n)$  é a amostra que está sendo codificada;
- $\bar{u}'(n)$  é o valor obtido pelo preditor com os valores anteriores a  $n$  ( $n-1, n-2, \dots$ );
- $e(n)$  é o valor do erro de predição e  $e'(n)$  o seu valor quantizado;
- $u'(n)$  é o valor reconstruído de  $u(n)$ .

No caso de uma imagem, todos os pixels na vizinhança do pixel sendo codificado são relevantes para a predição. Admitindo-se o sistema de “raster” convencional na codificação de uma imagem, no meio do processo teremos a situação representada na fig. 2.



Fig. 2 – Processo de Varredura Convencional – “Raster”

Na grande maioria dos preditores apenas os pixels já varridos (ou transmitidos) são utilizados na determinação do valor ótimo. Este é um processo causal, visto que somente valores conhecidos são utilizados. Neste trabalho será proposta a utilização de pixels ainda não codificados, armazenando-se a informação da posição do mesmo.

Após o processo de codificação o valor de  $e(n)$  é armazenado ou transmitido com a utilização de codificação de entropia. No processo de decodificação, após o decodificador de entropia utiliza-se um preditor idêntico ao existente no codificador, na saída do qual obtemos  $u'(n)$ , conforme a figura 3, para o caso do codificador unidimensional.

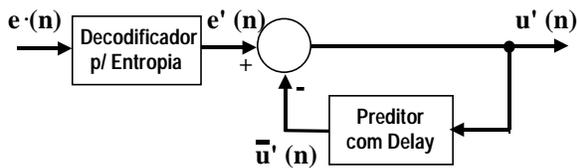


Fig.3 – Diagrama em Blocos do Decodificador por Predição

O desempenho da codificação preditiva pode ser otimizado através da adaptação das características do quantizador e do preditor as estatísticas locais da imagem digital, através de processos adaptativos, como os propostos em [3], por exemplo .

### 3. O MÉTODO PROPOSTO

O método proposto utiliza para predição apenas um pixel, escolhido entre um conjunto de pixels adjacentes ao pixel sendo codificado. No presente trabalho este conjunto foi limitado a quatro pixels, conforme ilustrado na fig. 4. Além do erro de predição, a posição do pixel preditor também tem que ser armazenada. Os pixels são varridos da esquerda para a direita e de baixo para cima, sendo determinado, para cada um deles, a posição de seu pixel preditor e o erro de predição (utilizando-se diferença modulo 256). Deste modo, ao final do processo todo pixel “aponta” para outro, estabelecendo uma **ligação** entre eles, e determinado **caminhos**. Dois pixels pertencem ao mesmo caminho se de um deles consegue-se chegar ao outro através das ligações. O pixel preditor é o que proporciona a melhor predição (no presente trabalho assumida igual

ao valor do pixel preditor), desde que não esteja impedido. Os pixels impedidos são aqueles que pertencem ao mesmo caminho do pixel sendo codificado. Sua utilização implicaria na geração de caminhos fechados, que além de possuírem informação redundante podem impedir a reconstrução da imagem. Caso o melhor pixel preditor esteja impedido, passa-se ao 2º melhor, e assim sucessivamente.

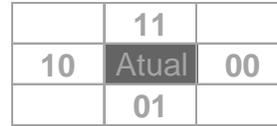


Fig. 4 – Codificação dos pixels no entorno

Não é difícil verificar que o esquema proposto leva sempre à ultima linha da imagem, pois em qualquer linha intermediária há sempre a possibilidade de apontar para baixo, se todos os outros pixels estiverem impedidos. Na última linha pode-se mostrar que também não existe a possibilidade de um pixel estar cercado por pixels impedidos, de forma que o processo acaba sempre no pixel inferior esquerdo da imagem, cujo valor deve ser armazenado.

O método descrito gera então, a partir dos nós finais, uma árvore onde o pixel inferior esquerdo é a raiz e cada pixel apontado por dois ou mais pixels é um nó. O processo de reconstrução, portanto, pode ser realizado a partir da raiz, utilizando-se as informações de diferença e de ligação. Na fig. 5 o método é exemplificado com uma imagem 5x4. Na fig. 6 está representada a árvore que permite a reconstrução desta imagem.

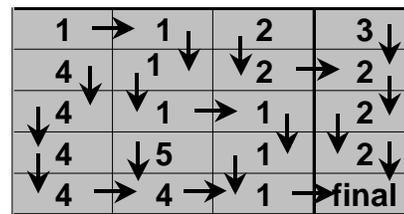


Fig 5 – Exemplo de codificação com o método proposto

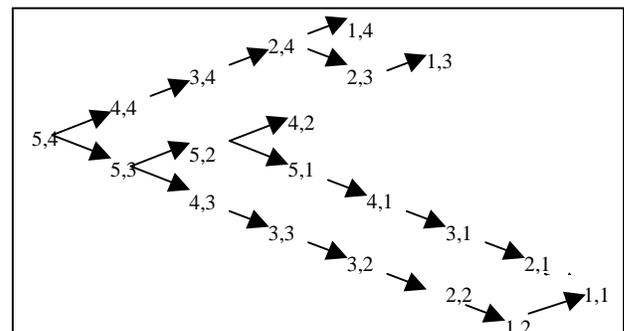


Fig 6 – Árvore para decodificação do exemplo da fig. 5.

O método pode ser ligeiramente incrementado se a imagem for “cercada” com pixels de valor igual à metade do valor máximo que os pixels podem

assumir. Neste caso, os pixels do entorno não são processados, mas podem ser pixels finais no processo de codificação. No processo de reconstrução, os pixels finais do entorno são utilizados como raízes.

Para a decodificação da imagem tanto a informação de diferença quanto a informação de direção têm que ser armazenadas. No caso em que quatro direções são admitidas, dois bits são suficientes para armazenar a direção, valor este que pode ser reduzido pela utilização de métodos de compressão sem perdas, como codificação de Huffman ou codificação aritmética. Como nem todos os pixels podem ser utilizados como preditores, o número médio de bits necessários para indicar a direção é certamente menor que 2.

É interessante observar que este método de codificação preditiva potencialmente pode também ser utilizado para segmentação de imagens. Como a tendência é procurar sempre o pixel adjacente de valor mais próximo, as transições entre regiões, nas bordas, tende a se realizar em poucos pontos, desta forma, a ocorrência de erros maiores indica transições entre regiões, podendo esta característica ser utilizada para segmentar imagens. Este aspecto não é explorado neste trabalho.

#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Implementado o processo de codificação proposto, foram medidas as Entropias de 1ª Ordem dos **Arquivos Diferença** (que armazenam os erros de predição) e dos **Arquivos Posição** (que armazenam as informações sobre os pixels preditores), para as imagens abaixo, que fazem parte do conjunto de imagens de teste do algoritmo JPEG [4] (Fig. 7):

<b>Ibarb</b>	<b>Iboard</b>
<b>Iboats</b>	<b>Izelda</b>
<b>Jbaloon</b>	

Os valores das entropias de 1ª ordem após o processamento pelo preditor são indicadores confiáveis do índice de compressão que pode ser obtido com codificadores de entropia [2]. Por este motivo foram utilizados para avaliação do método.

Obtidas as Entropias de 1ª ordem dos arquivos mencionados, a entropia total para cada imagem é dada pela soma das entropias das diferenças e dos indicadores de posição. Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos, que mostram-se excessivamente altos devido a alta entropia apresentada pelos dados de posição. Em vista disto, procurou-se uma solução similar a desenvolvida em [1], onde uma direção é associada a um bloco de pixels, e não a pixels individuais. Esta abordagem, quando apenas quatro direções são utilizadas, permite uma extensão direta do método desenvolvido para pixels individuais, considerando-se agora vetores de pixels e utilizando-se o erro médio como métrica. A extensão não é direta quando direções diagonais são também utilizadas. Os

resultados desta abordagem são mostrados nas tabelas 2, 3 e 4. Na Tabela 5 os valores obtidos são comparados com resultados obtidos em [1] com dois esquemas: i) utilização de um método semelhante causal e ii) utilização de estimadores lineares causais otimizados para a imagem.

Os ganhos obtidos até o momento são modestos, porém ainda existe espaço para a redução da entropia da informação de posição explorando a correlação espacial desta informação. A utilização de 8 direções ao invés de quatro também está sendo explorada.

Imagem	Entropia Original	Entropia da Dif.	Entropia da Dir.	Entropia Total
Ibarb	7,5544	4,6374	1,4864	6,1238
Iboard	6,8192	3,3227	1,4757	4,7984
Iboats	7,0892	3,7625	1,4802	5,2427
Izelda	7,3340	3,4569	1,5148	4,9717
Jbaloon	7,3470	2,6102	1,4056	4,0158

Tabela 1 – Entropias de 1ª Ordem – Sem Blocagem

Imagem	Entropia Original	Entropia da Dif.	Entropia da Dir.	Entropia Total
Ibarb	7,5544	4,8173	0,4617	5,2790
Iboard	6,8192	3,5683	0,4836	4,0519
Iboats	7,0892	4,0299	0,4781	4,5080
Izelda	7,3340	3,7276	0,4697	4,1973
Jbaloon	7,3470	2,8688	0,4783	3,3472

Tabela 2 – Entropias de 1ª Ordem – Blocos 2x2

Imagem	Entropia Original	Entropia da Dif.	Entropia da Dir.	Entropia Total
Ibarb	7,5544	5,1064	0,1589	5,2653
Iboard	6,8192	3,8169	0,1776	3,9945
Iboats	7,0892	4,2560	0,1788	4,4348
Izelda	7,3340	3,9933	0,1548	4,1481
Jbaloon	7,3470	3,1264	0,1831	3,3095

Tabela 3 – Entropias de 1ª Ordem – Blocos 3x3

Imagem	Entropia Original	Entropia da Dif.	Entropia da Dir.	Entropia Total
Ibarb	7,5544	5,1559	0,0816	5,2375
Iboard	6,8192	3,8699	0,0953	3,9652
Iboats	7,0892	4,3122	0,0980	4,4103
Izelda	7,3340	4,0382	0,0761	4,1143
Jbaloon	7,3470	3,1837	0,1026	3,2863

Tabela 4 – Entropias de 1ª Ordem – Blocos 4x4

Imagem	Sem blocos	Blocos 2x2	blocos 3x3	blocos 4x4	Linear ótimo causal [1]	Não-linear causal [1]
Ibarb	6,12	5,28	5,27	5,24	5,13	5,35
Iboard	4,80	4,05	3,99	3,97	4,13	4,14
Iboats	5,24	4,51	4,43	4,41	4,38	4,56
Izelda	4,97	4,20	4,15	4,11	4,13	4,30
Jbaloon	4,02	3,35	3,31	3,29	3,32	3,43

Tabela 5 – Quadro Comparativo

## 5. CONCLUSÕES

Foi apresentado um método de codificação de imagens sem perda que permite predição não causal com o uso de informação lateral sobre o preditor. Os resultados obtidos, apesar de apresentarem ganhos modestos quando comparados com outros métodos, indicam que a técnica proposta possui bom potencial de aplicação, visto que ainda há espaço para redução da entropia de primeira ordem da informação lateral.

O algoritmo proposto mostra-se também apropriado para aplicações que envolvam segmentação de imagens. Esta possibilidade deverá ser explorada em trabalhos futuros.

O método pode ser incrementado com o aproveitamento da redundância existente entre os pixels na direção diagonal, incluindo os mesmos como opção para escolha do pixel preditor. Isso certamente acarretará um aumento da entropia da informação de posição, porém com conseqüente redução na entropia da informação de diferença. Métodos mais sofisticados para a redução da entropia da informação de direção também estão sendo considerados.

### REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, ABEL F. – Compactação de Imagens – Uma Técnica Preditiva com Informação Lateral, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, IME, Rio de Janeiro, RJ, 1993.
- [2] NUNES, P.R.R.L. - Optimal Linear Estimation in Lossless Coding, IBM Technical Report CCR – 147, Rio de Janeiro, RJ, 1993
- [3] SLAVEN MARUSIC e GUANG DENG - A Study of Two New Adaptive Predictors for Lossless Image Compression - ICIP'97
- [4] PENNEBAKER, W. B. e MITCHEL, J. L. - JPEG – Still Image Data Compression Standard, Van Nostrand Reinhold – New York, 1993



*Fig. 7 – Imagens de teste utilizadas*