

Codificação de Imagens em Sub-Bandas com Quantização Vetorial Inter-Bandas Particionada

LUCIANO RILA
ABRAHAM ALCAIM

IBM Brasil - Centro Científico Rio
Av. Pres. Vargas, 844, VB22
20071-001 - Rio de Janeiro - RJ
Telefone: 021-271-2209
Fax: 021-271-2797
e-mail: alcaim@riosc.bitnet

Abstract. Subband coding has proven to be an efficient method for coding images at low bit rates. In this paper we consider an algorithm to compress still images which is based on subband coding and inter-band vector quantization. The image spectrum is decomposed into 16 uniform bands using 2-D separable quadrature mirror filters. These 16 bands are used to create 16-dimensional vectors, which are coded using vector quantization. Our approach is to split these vectors in order to reduce complexity and exploit spectral properties of the image data. We examine the effects of the bit allocation at rates of 0.50 bit/pixel and 0.63 bit/pixel. Simulation results show that the performance is comparable to the basic coding structure, while complexity is significantly reduced.

1 Introdução

A codificação de imagens em sub-bandas foi introduzida por Woods e O'Neil [Woods-O'Neil (1986)] em 1986. A idéia da codificação em sub-bandas (SBC) é decompor o espectro de frequências da imagem e codificar as diferentes bandas de frequência separadamente. Em geral, são utilizados quantizadores escalares para codificar cada sub-banda, sendo a taxa de bits de cada sub-banda escolhida de acordo com as suas características estatísticas. De acordo com a alocação de bits entre as diferentes sub-bandas, pode-se obter uma forma do espectro de ruído introduzido pela quantização que explore a percepção subjetiva do sistema visual humano. Graças a essa flexibilidade, SBC tem atingido alta qualidade para baixas taxas de bits. Ao contrário da quantização escalar, a quantização vetorial (QV) oferece a possibilidade de explorar não só a correlação intra-banda, mas também a correlação existente entre bandas distintas. Esta característica tem sido explorada com vantagem e SBC com QV tem obtido ótimos resultados.

Em SBC, a decomposição do espectro de frequências é feita através de um banco de filtros. O uso de filtros espelhados em quadratura (QMF) tem a vantagem de eliminar erros de superposição na reconstrução do sinal. Vetterli [Vetterli (1983)] apresentou uma extensão da técnica de filtros QMF para o caso multidimensional usando filtros separáveis e não-separáveis. No caso bi-dimensional, a utilização

de filtros separáveis reduz a filtragem a operações uni-dimensionais.

Neste trabalho nós examinamos a codificação de imagens em sub-bandas aliada a técnica de quantização vetorial inter-bandas. Na Seção 2 é apresentada a técnica de codificação em sub-bandas com QV inter-bandas proposta por Westerink *et al.* [Westerink *et al.* (1988)]. Uma versão simplificada desta técnica, que usa QV inter-bandas particionada, é proposta na Seção 3. Nesta seção são apresentados os resultados de simulações, a partir dos quais são analisados os efeitos de diferentes alocações de bits para duas partições dos vetores. São ainda discutidas as principais vantagens deste esquema em relação ao método original. Finalmente, a Seção 4 é dedicada às conclusões mais relevantes do trabalho.

2 Codificação em Sub-Bandas com Quantização Vetorial Inter-Bandas

Nesta seção será apresentado e analisado o esquema SBC com QV inter-bandas proposto por Westerink *et al.* [Westerink *et al.* (1988)].

O primeiro ponto a ser considerado é a decomposição do espectro de frequências. Neste trabalho optou-se por uma divisão uniforme em 16 sub-bandas. Inicialmente o sinal é dividido em 4 sub-bandas através de um banco de filtros e então é decimado por um fator 2 em cada dimensão. As 4 sub-bandas obtidas são sinais em banda básica com uma taxa de amostragem 2 vezes menor em cada dimensão. As

taxa (bits/pixel)	PRSR (dB)						
	Lena	Baboon	Barby	Lake	Tucuruí	Gold	Boats
0,44	27,12	22,80	25,62	25,90	28,21	30,53	30,75
0,50	27,85	23,20	26,09	26,39	29,18	31,17	31,76
0,57	28,34	23,54	26,55	26,91	29,76	31,84	32,61
0,63	28,79	23,91	27,01	27,40	30,42	32,47	33,42
0,69	29,30	24,30	27,53	27,81	30,79	33,13	34,22
0,75	29,68	24,66	27,98	28,18	31,25	33,82	35,06

Tabela 1: Desempenho do esquema SBC com QV inter-bandas.

16 sub-bandas são obtidas repetindo-se este procedimento para os 4 sinais obtidos após a decimação. Na reconstrução do sinal, o processo de filtragem é realizado de maneira inversa. Cada sub-banda é interpolada com fator 2 em cada dimensão e filtrada pelo filtro passa-faixa adequado. As sub-bandas são, então, somadas para a obtenção da imagem reconstruída. A Fig. 1 apresenta a decomposição inicial do espectro de freqüências em 4 sub-bandas uniformes.

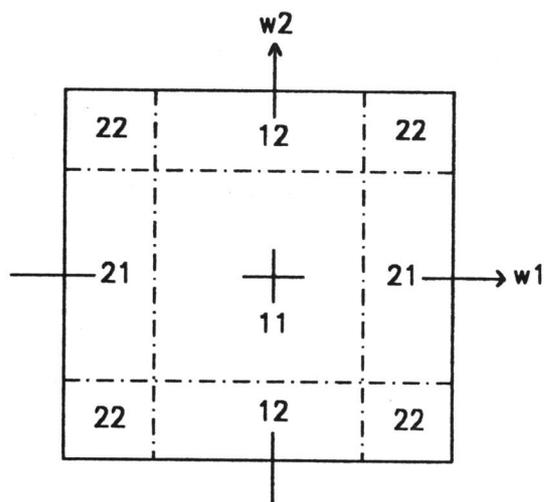


Fig. 1: Decomposição do espectro de freqüências em 4 sub-bandas.

A utilização de filtros não-ideais leva a erros devido à superposição espectral na reconstrução. Este efeito tem se mostrado inaceitável na codificação de imagens. A fim de eliminar esse efeito, foi utilizada a técnica de filtros QMF, estendida para o caso multi-dimensional por Vetterli [Vetterli (1984)]. Usando filtros separáveis, a filtragem bi-dimensional é reduzida a operações uni-dimensionais. A filtragem bi-dimensional pode ser realizada com filtragens uni-dimensionais filtrando-se primeiro as linhas, depois as colunas da imagem.

Em nossas simulações, a convolução foi realizada no domínio da freqüência utilizando o

método "overlap-add". Foram utilizados filtros uni-dimensionais de 32 coeficientes identificados como 32D em [Johnston (1980)].

Uma amostra de cada uma das bandas geradas pela filtragem é usada para compor vetores de dimensão 16, que posteriormente são codificados por um quantizador vetorial. Aqui é importante notar que apesar deste método explorar a correlação existente entre as diferentes sub-bandas, as propriedades espectrais são pouco exploradas, já que nenhum tipo de alocação de bits é realizado para levar em conta essas propriedades. A Fig. 2 apresenta um diagrama de blocos do esquema de codificação em sub-bandas com quantização vetorial inter-bandas.

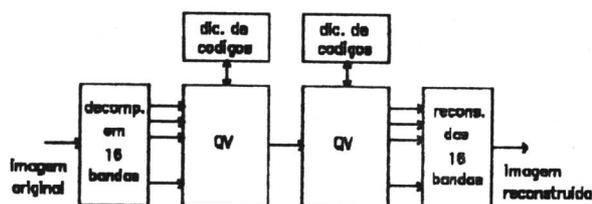


Fig. 2: Esquema SBC com QV inter-bandas.

Os dicionários de códigos foram gerados usando o algoritmo LBG [Linde *et al.* (1980)] a partir de 5 imagens de treinamento (Zelda, Barra, Hotel, Gold e Boats). Para avaliação de desempenho foram utilizadas sete imagens testes (Lena, Baboon, Barby, Lake, Tucuruí, Gold, Boats), sendo duas pertencentes ao conjunto de treinamento. Foi empregada como medida objetiva de desempenho a razão sinal de pico-ruído (PRSR) definida por

$$PRSR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (s_i - \hat{s}_i)^2}$$

onde L é o número total de pixels e s_i e \hat{s}_i são os valores dos pixels das imagens original e reconstruída respectivamente.

Os resultados são apresentados na Tabela 1. Em termos de qualidade subjetiva observou-se que para

Partição das Sub-bandas	Alocação de bits	PRSR (dB)						
		Lena	Baboon	Barby	Lake	Tucuruí	Gold	Boats
8/8	6-2	26,97	22,60	25,84	25,53	27,64	30,21	30,32
	7-1	27,32	22,93	25,77	26,06	28,44	30,72	31,05
	8-0	27,63	23,18	25,78	26,46	29,34	31,12	31,48
4/12	6-2	26,82	22,69	25,75	25,54	27,63	30,15	30,22
	7-1	27,27	22,88	26,07	26,08	28,48	30,68	30,70
	8-0	27,51	22,98	26,78	26,40	29,92	31,05	31,02

Tabela 2: Desempenho do esquema SBC com QV inter-bandas particionada a taxa de 0,50 bit/pixel.

Partição das Sub-bandas	Alocação de bits	PRSR (dB)						
		Lena	Baboon	Barby	Lake	Tucuruí	Gold	Boats
8/8	8-2	28,28	23,43	26,54	26,78	29,61	31,63	32,57
	9-1	28,34	23,68	26,30	27,15	30,19	31,95	32,52
	10-0	28,46	23,95	26,31	27,41	30,62	32,19	32,48
4/12	8-2	28,11	23,32	26,46	26,71	30,21	31,52	31,95
	9-1	28,15	23,37	26,29	26,99	30,42	31,72	31,81
	10-0	28,31	23,48	26,35	27,21	30,76	31,87	31,81

Tabela 3: Desempenho do esquema SBC com QV inter-bandas particionada a taxa de 0,63 bit/pixel.

taxas superiores a 0,56 bit/pixel as imagens reconstruídas apresentam apenas uma pequena degradação em relação às imagens originais e que para a taxa de 0,44 bit/pixel essa degradação é bastante acentuada.

É importante ainda lembrar que, conforme verificado por Westerink *et al.* [Westerink *et al.* (1988)], esse esquema apresenta um desempenho comparável às técnicas SBC com DPCM adaptativo [Woods-O'Neil (1986)], DCT adaptativa [Chen-Smith (1977)], QV espacial e QV diferencial [Baker-Gray (1982)] para taxas entre 0,50 e 0,70 bit/pixel. Além disso, como no método SBC com QV inter-bandas o quantizador é projetado através das sub-bandas, ele não apresenta os efeitos de blocagem que são bastante desagradáveis para o observador. Já estes efeitos podem ser visíveis quando a imagem é codificada por transformada ou QV espacial.

3 Codificação em Sub-bandas com Quantização Vetorial Inter-Bandas Particionada

O grande inconveniente da quantização vetorial é o tempo gasto na busca no dicionário de códigos. O tamanho do vetor e o número de níveis do quantizador são os fatores determinantes do tempo de busca. A fim de reduzir a complexidade do codificador apresentado na Seção 2, nós dividimos o vetor a

ser codificado em dois vetores: um contendo componentes de baixas frequências e outro contendo componentes de altas frequências. Usando este procedimento, reduzimos a busca no dicionário de códigos de um vetor de 16 componentes na busca em dois dicionários de códigos menores de vetores também menores. À taxa de 0,50 bit/pixel um dicionário de 256 níveis com vetores de dimensão 16 pode ser transformado, por exemplo, em dois dicionários com vetores de dimensão 8 - um de 128 níveis e outro de 2 níveis - o que reduz de forma significativa a complexidade do processo de busca. Além da redução de complexidade, esse esquema possibilita explorar a contribuição das bandas de frequências na formação da imagem. É sabido que usualmente as componentes de baixas frequências carregam mais informação que as de altas frequências. Portanto, é razoável alocar mais bits para as sub-bandas de baixas frequências.

Foram examinadas duas partições do vetor composto pelas 16 amostras extraídas das 16 sub-bandas espectrais. Uma delas associa as amostras das 8 sub-bandas de menor frequência a um vetor de dimensão 8 e as amostras das 8 sub-bandas de maior frequência a outro vetor de dimensão 8. Na outra partição, um vetor de dimensão 4 é associado às 4 sub-bandas de frequências mais baixas e um de dimensão 12 às 12 sub-bandas de frequências mais altas. Essas con-

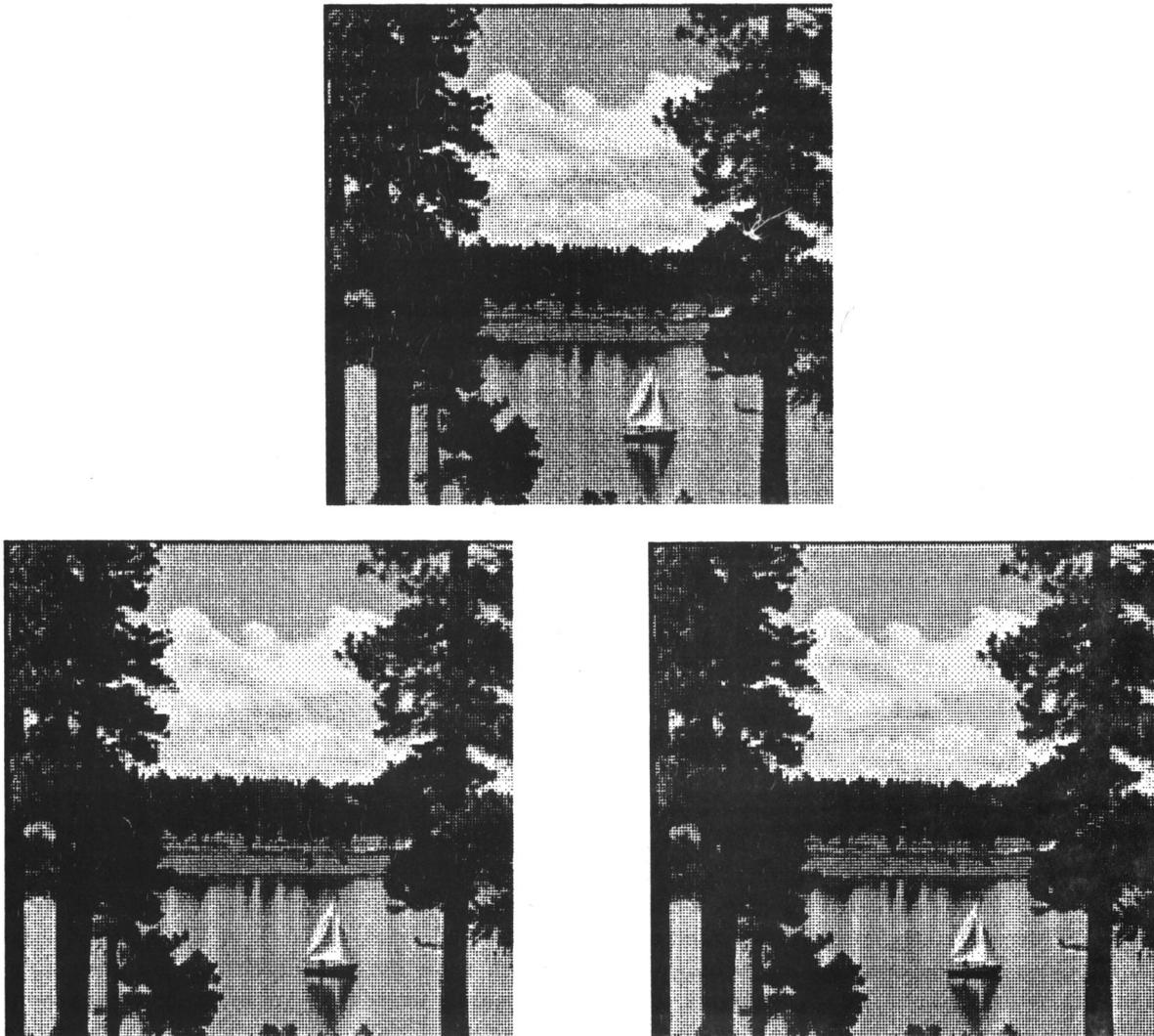


Fig. 3: Resultados do esquema SBC com QV inter-bandas particionada à taxa de 0,63 bit/pixel: no alto, imagem original; abaixo à esquerda, imagem obtida com a partição 8/8, abaixo à direita, imagem obtida com a partição 4/12. A alocação de bits utilizada foi 8-2.

figurações foram analisadas para as taxas de 0,50 bit/pixel e 0,63 bit/pixel. A 0,50 bit/pixel, cada conjunto de 16 amostras extraídas das 16 sub-bandas deve ser codificado com 8 bits. Para essa taxa, as seguintes alocações de bits foram consideradas para os conjuntos de sub-bandas inferiores e superiores, respectivamente: 6 bits e 2 bits, 7 bits e 1 bit e, finalmente, 8 bits e 0 bit. A 0,63 bit/pixel, ou seja, 10 bits para cada conjunto de 16 componentes, as alocações de bits investigadas para os conjuntos de sub-bandas inferiores e superiores, respectivamente, foram 8-2, 9-1 e 10-0.

Os resultados das simulações para o codificador SBC com QV inter-bandas particionada são apresentados nas Tabelas 2 e 3 para as taxas de 0,50 e

0,63 bit/pixel, respectivamente. Comparando os esquemas SBC com QV inter-bandas e com QV inter-bandas particionada, observou-se que para todas as imagens utilizadas para teste, o desempenho, tanto objetivo quanto subjetivo, foi semelhante para os dois esquemas de codificação.

Com relação às partições das sub-bandas verifica-se que, à exceção de imagens com alto conteúdo de informação em baixas frequências, a partição 8/8 fornece resultados um pouco superiores, embora subjetivamente imperceptível como ilustra a Fig. 3. Nessa figura são mostradas a imagem Lake e suas respectivas reconstruções utilizando as partições 8/8 e 4/12 para uma alocação de bits 8-2.

As diferentes alocações de bits fornecem desêm-

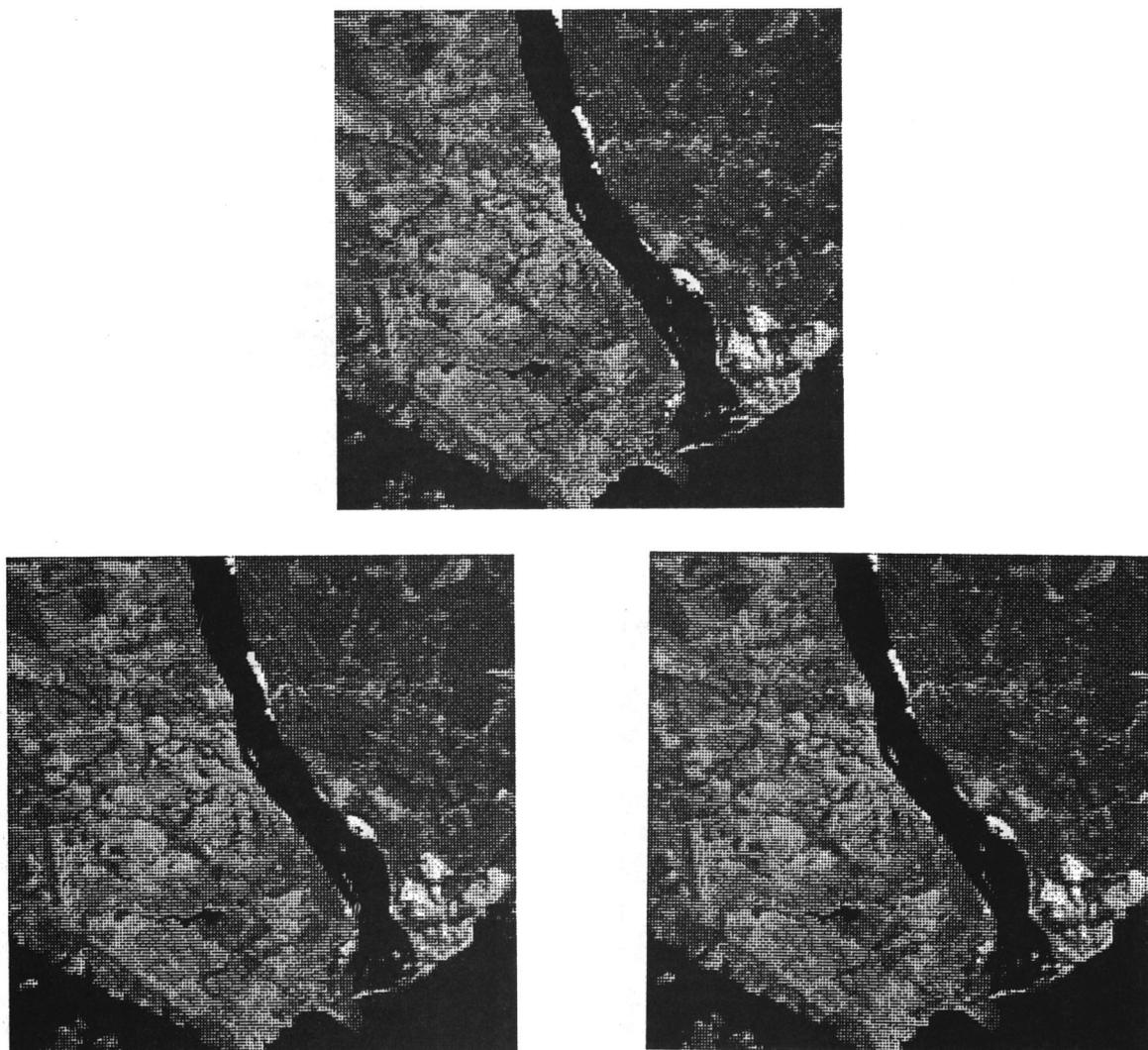


Fig. 4: Imagem Tucuruí e as correspondentes reconstruções à taxa de 0,50 bit/pixel: no alto imagem original; abaixo à esquerda imagem obtida usando SBC com QV inter-bandas e abaixo à direita imagem obtida usando SBC com QV inter-bandas particionada.

penhos que são, obviamente, dependentes do tipo de imagem. Na maioria dos casos as alocações 10-0 para a taxa de 0,63 bit/pixel e 8-0 para a taxa de 0,50 bit/pixel apresentam um desempenho que é levemente superior ao obtido com as outras alocações.

Em imagens com altas componentes nas baixas frequências, como Tucuruí, SBC com QV inter-bandas particionada obteve resultados um pouco melhores por codificar mais eficientemente as baixas frequências. Porém, a diferença de qualidade subjetiva é pouco perceptível. A Fig. 4 mostra a imagem Tucuruí e as correspondentes reconstruções pelos dois esquemas. É importante ressaltar que reproduções ampliadas dessas imagens permitem detectar mais facilmente a melhor qualidade obtida

com esquema proposto, principalmente em regiões de baixas frequências como, por exemplo, as regiões de água.

Por outro lado, em imagens com altas componentes nas frequências mais elevadas, como Baboon, SBC com QV inter-bandas apresentou melhor desempenho em termos de razão sinal-ruído. Entretanto a diferença subjetiva é praticamente imperceptível como ilustra a Fig. 5. A razão para isso é que o esquema com QV particionada, embora codifique mais grosseiramente nas altas frequências, de certa forma consegue superar subjetivamente esse efeito através de uma melhor codificação das componentes de frequências mais baixas.

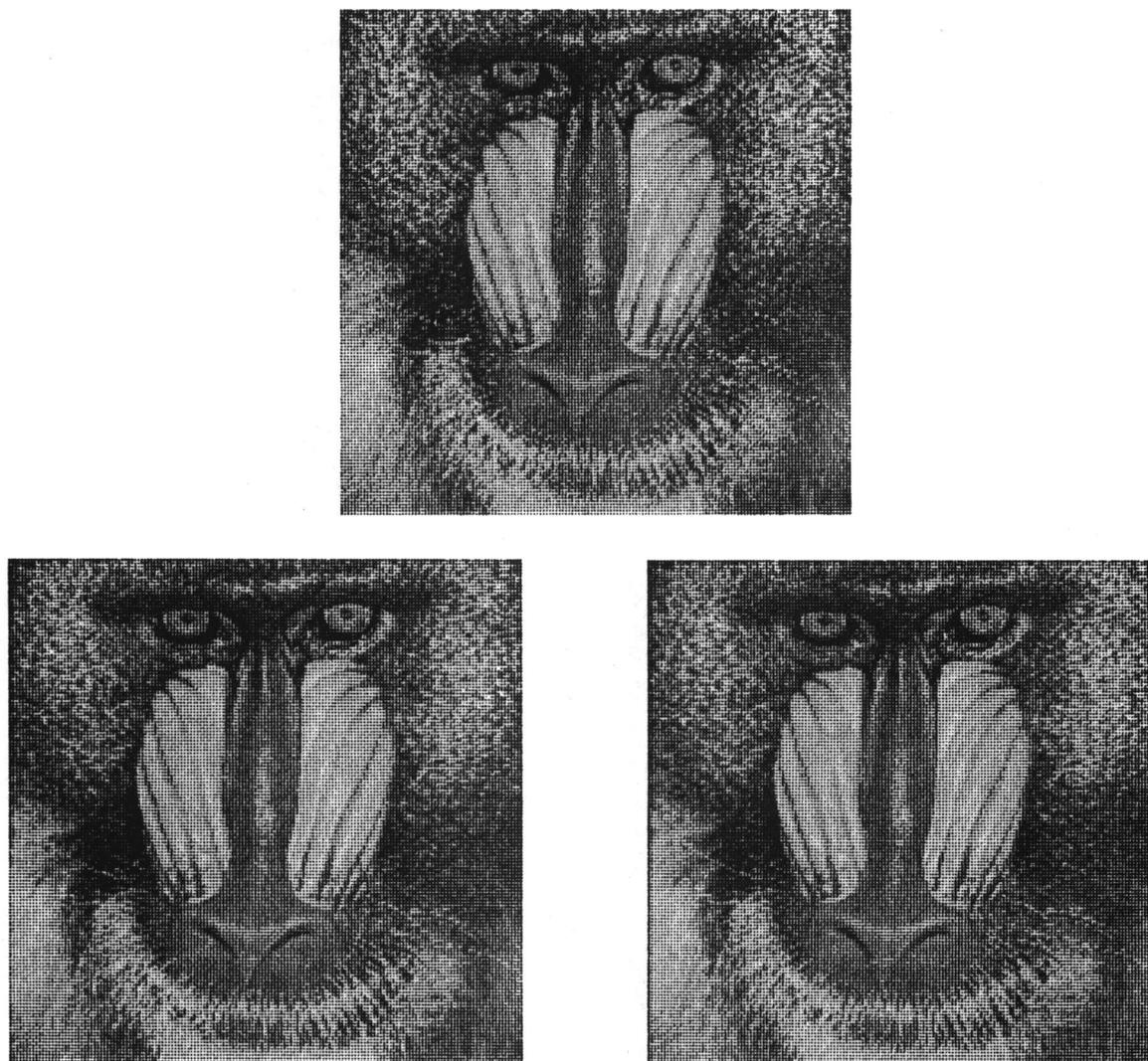


Fig. 5: Imagem Baboon e as correspondentes reconstruções à taxa de 0,63 bit/pixel: no alto imagem original; abaixo à esquerda imagem obtida usando SBC com QV inter-bandas e abaixo à direita imagem obtida usando SBC com QV inter-bandas particionada.

4 Conclusões

Neste trabalho nós analisamos uma técnica bastante promissora para codificação digital de imagens, que não apresenta os desagradáveis efeitos de blocagem usualmente presentes em imagens codificadas por transformada ou quantização vetorial (QV) espacial. A técnica examinada neste trabalho emprega codificação em sub-bandas (SBC) aliada à quantização vetorial inter-bandas, ou seja, o vetor a ser quantizado é formado por amostras extraídas das sub-bandas espectrais.

Com o objetivo de reduzir a complexidade computacional e, ao mesmo tempo, explorar as contribuições das sub-bandas na formação da imagem,

nós propusemos um esquema alternativo que particiona o vetor em dois outros - um contendo informação de baixas frequências e outro contendo informação de altas frequências. Esses vetores são codificados por quantizadores vetoriais distintos e com tamanhos de dicionários de códigos também distintos. Isso possibilita alocar mais bits às componentes associadas às sub-bandas inferiores, que apresentam um maior conteúdo de informação.

Foram analisadas duas partições dos vetores e três alocações de bits para cada par de vetores, a taxas de 0,50 e 0,63 bit/pixel. De uma forma geral o esquema proposto apresenta um desempenho, tanto objetivo como subjetivo, comparável à estrutura SBC que utiliza apenas um quantizador vetorial

inter-bandas, tendo a vantagem de reduzir de forma significativa a complexidade computacional. Para imagens com componentes de baixas frequências acentuadas, como a imagem de sensoriamento remoto da região de Tucuruí, examinada neste trabalho, SBC com QV inter-bandas particionada, além de ser mais simples, apresenta um desempenho objetivo um pouco superior ao esquema sem partição. Subjetivamente pode-se notar também uma pequena melhoria de qualidade.

A partição 8/8 fornece um desempenho melhor que a partição 4/12, em termos de razão sinal-ruído, porém isso é imperceptível subjetivamente. No que diz respeito às alocações de bits, as diferenças entre elas é muito pequena na maioria dos casos. Entretanto, vale ressaltar que seu desempenho é função do tipo de imagem. Uma extensão natural deste trabalho, que estamos atualmente dando continuidade, consiste exatamente em pesquisar técnicas adaptativas de alocação de bits de modo a aumentar o desempenho do sistema SBC com QV inter-bandas particionada, sem introduzir complexidade computacional significativa.

5 Referências

- R. L. Baker and R. M. Gray, Image Compression using Non-Adaptive Spacial Vector Quantization, *Proc. 16th Asimolar Conf.* (Nov. 1982).
- W. H. Chen and C. H. Smith, Adaptive Coding of Monochrome and Color Images, *IEEE Trans. Commun. COM-25* (Nov. 1977) 1285-1292.
- J. D. Johnston, A Filter Family Designed for Use in Quadrature Mirror Filter Banks, *Proc. ICASSP* (Apr. 1980) 291-294.
- Y. Linde, A. Buzo, R. M. Gray, An Algorithm for Vector Quantizer Design, *IEEE Trans. Commun. COM-28* (Jan. 1980) 84-95.
- M. Vetterli, Multi-Dimensional Sub-band Coding: Some Theory and Algorithms, *Signal Processing* 6 (Apr. 1984) 97-112.
- P. H. Westerink, D. E. Boekee, J. Biemond, J. W. Woods, Subband Coding of Images Using Vector Quantization, *IEEE Trans. Commun. COM-36* (June 1988) 713-719.
- J. W. Woods and S. D. O'Neil, Subband Coding of Images, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing ASSP-34* (Oct. 1986) 1278-1288.