

Equalização de Histograma para Melhoria de Contraste de Imagens Digitais Codificadas pela Técnica de Quantização Vetorial

Marcelo Portela Sousa* e Marcelo S. Alencar (Orientador)
Instituto de Estudos Avançados em Comunicações
Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande, PB, Brasil
{marporsou,malencar}@iecom.org.br

Carlos Antônio Vieira Vasconcelos Júnior
Laboratório de Controle
Universidade Federal da Bahia
Salvador, BA, Brasil
carlosvasconcelos@ufba.br

Waslon Terllizzie A. Lopes (Orientador)
Faculdade ÁREA1FTE
Faculdade de Ciência e Tecnologia
Salvador, BA, Brasil
waslon.lopes@area1fte.edu.br

Resumo

Este trabalho apresenta resultados da compressão de imagens por meio da utilização da técnica de quantização vetorial (QV). No entanto, como a QV é uma técnica com perdas e que introduz uma distorção na imagem original, foi implementado um algoritmo em linguagem C para equalização de histograma das imagens digitais com a finalidade de minimizar os efeitos dessa distorção. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é avaliar os efeitos de imagens comprimidas com o uso da técnica de quantização vetorial e como a equalização pode melhorar a aparência desta imagem. Para o projeto de quantizadores vetoriais utilizou-se o algoritmo K-Means que tem boa eficiência. Os resultados são apresentados por meio de simulações que mostram os efeitos da combinação das técnicas de quantização e equalização.

1. Introdução

Uma das técnicas mais utilizadas para compressão de imagens é a quantização vetorial (QV) [1], pois possui um bom desempenho na redução do número de *bits* necessários para representar imagens.

* Os autores gostariam de expressar os seus agradecimentos ao CNPq e à Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – Coelba (P&D 0047-013/2005 “Supervisão Remota por Imagem de Subestações Automatizadas e Dessassistidas”) pelo apoio financeiro e ao Eng. José Caetano Pugliese Guimarães pelas discussões e comentários que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

O erro inserido pela QV pode ser avaliado por medidas de distorção subjetivas ou objetivas. Apesar dos dois tipos serem amplamente utilizados, as medidas objetivas possuem a vantagem de indicar pequenas diferenças que provavelmente não seriam perceptíveis com as medidas subjetivas. Uma medida objetiva muito utilizada na avaliação de desempenho de sistemas de compressão de imagens é a relação sinal-ruído de pico (PSNR – *Peak-Signal-to-Noise-Ratio*) que será utilizada neste trabalho para medir o desempenho da quantização [2].

Considerando a escala de níveis de cinza e uma quantidade de 8 *bits*, os *pixels* podem assumir um valor entre zero e 255, em que zero representa a cor preta e 255 representa a cor branca. É desejável para a visualização da riqueza de detalhes da imagem, que esta não seja nem predominantemente escura, nem predominantemente clara, em que o seu histograma seja bem distribuído em toda a escala. Uma das técnicas mais utilizadas para melhoria de contraste de imagens digitais é a equalização de histograma [2].

Em [3] a técnica de equalização de histograma é utilizada sobre o dicionário de um quantizador vetorial estruturado em árvore.

No intuito de diminuir os efeitos do processo de quantização na visualização da imagem, o presente trabalho propõe um novo método utilizando a técnica de equalização de histograma para diminuir a distorção originada no processo da QV e, portanto, aumentar a qualidade das imagens digitais de saídas processadas.

2. Quantização Vetorial

A quantização vetorial [4, 5] tem sido utilizada para processamento digital de sinais em diversos sistemas de codificação, permitindo a obtenção de elevadas taxas de compressão [6]. A QV é definida como sendo o mapeamento \mathcal{Q} de um vetor de entrada x pertencente ao espaço Euclidiano K -dimensional, \mathbb{R}^K , em um vetor pertencente a um subconjunto finito \mathcal{W} de \mathbb{R}^K , ou seja

$$\mathcal{Q} : \mathbb{R}^K \rightarrow \mathcal{W}. \quad (1)$$

O conjunto $\mathcal{W} = \{w_i; i = 1, 2, \dots, N\}$ é chamado de dicionário e consiste no conjunto de vetores chamados de vetores-código; K é a dimensão do quantizador vetorial e N é o tamanho do dicionário, isto é, o número de vetores-código. O mapeamento \mathcal{Q} introduz um particionamento de \mathbb{R}^K em N células (denominadas regiões de Voronoi) $\{S_i; i = 1, 2, \dots, N\}$, [7] tais que

$$\bigcup_{i=1}^N S_i = \mathbb{R}^K \text{ e } S_i \cap S_j = \phi \text{ para } i \neq j, \quad (2)$$

em que cada célula S_i é definida por

$$S_i = \{x : \mathcal{Q}(x) = w_i\}, \quad (3)$$

sobre o mapeamento dos vetores de entrada no i -ésimo vetor de reprodução [8]. Mais precisamente,

$$S_i = \{x : d(x, w_i) < d(x, w_j), \forall j \neq i\}, \quad (4)$$

onde $d(\cdot, \cdot)$ denota uma medida de distorção.

A seleção ótima dos vetores minimiza o valor do erro de reconstrução de imagens de acordo com o critério de distorção esperado [8]. Em um processo de codificação de um sinal da fonte, geralmente utiliza-se uma seqüência de vetores, usando um dicionário. O processo de codificação é realizado substituindo cada vetor de entrada com o índice ao vetor do dicionário que o representa melhor. Para reconstruir o sinal, cada índice codificado é substituído com o vetor apropriado do dicionário. Como cada vetor no sinal reconstruído não é uma réplica exata do vetor original de entrada, a quantização vetorial pode introduzir algum erro (ou distorção) no sinal [6, 9]. A taxa de codificação, que fornece o número de *bits* por componente do vetor é dada por

$$R = \frac{1}{k} \log_2 N. \quad (5)$$

Em se tratando de codificação de imagens, R é a quantidade de *bits* por *pixel*.

Neste trabalho foram implementados algoritmos em linguagem C para a codificação dos índices dos vetores de entrada. Para o projeto de dicionários foi utilizado o algoritmo *K-means* [10, 11].

3. Equalização de Histograma

Os níveis de cinza em uma imagem podem ser vistos como quantidades aleatórias no intervalo $[0, 1]$. Considerando r como a variável aleatória contínua associada à ocorrência desses níveis, então $p_r(r)$ é a função densidade de probabilidade de r [12].

A equalização de histograma para melhoria de contraste é baseada na uniformização da função densidade de probabilidade dos níveis de cinza da imagem, representados pela variável r . A função transformadora, $s = T(r)$, que possibilita essa modificação corresponde à função cumulativa de probabilidade (FCP) de r , em que as seguintes condições devem ser satisfeitas:

- (a) $T(r)$ é uma função injetora e monotonicamente crescente no intervalo $0 \leq r \leq 1$ e
- (b) $0 \leq T(r) \leq 1$ para $0 \leq r \leq 1$.

Em se tratando de processamento digital de imagens, os conceitos apresentados devem ser formulados no domínio discreto. Desta forma, valores de cinza com níveis discretos estão associados com as probabilidades [1]:

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad 0 \leq r_k \leq 1 \text{ e } k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (6)$$

em que L é o número de níveis de cinza, $p_r(r_k)$ é a probabilidade do k -ésimo nível de cinza, n_k é o número de vezes que esse nível de cinza aparece na imagem e n é o número total de *pixels* da imagem. O gráfico de $p_r(r_k)$ em função de r_k é chamado de *histograma* e a técnica usada para obter um histograma uniforme é conhecida como *equalização* ou *linearização* de histograma [2].

A forma discreta da função de transformação é dada pela relação

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad 0 \leq r_k \leq 1 \text{ e } k = 0, 1, \dots, L-1. \quad (7)$$

A transformação inversa é denotada por [1]

$$r_k = T^{-1}(s_k) \quad 0 \leq s_k \leq 1, \quad (8)$$

em que $T(r_k)$ e $T^{-1}(s_k)$ satisfazem as Condições (a) e (b) apresentadas anteriormente. A função de transformação $T(r_k)$ pode ser calculada diretamente da imagem usando a Equação 7.

4. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos de simulações referentes a quantização e equalização de histograma da imagem de teste Lena. A imagem foi codificada

no formato PPM com 256×256 pixels e cada componente de cor foi codificada a 8 bits. As três componentes de cor (RGB), no formato PPM, podem ser facilmente acessadas devido ao fato de serem apresentadas de forma alternada no arquivo ASCII. A decomposição das componentes RGB e a equalização de histograma foi implementada em linguagem C, em que a equalização foi aplicada em cada componente separadamente. As Figuras 1(b) e 2 mostram os resultados da equalização da imagem Lena e das suas componentes RGB, respectivamente.

A QV foi considerada com a dimensão do quantizador $K = 16$ (blocos 4×4 pixels) e o tamanho do dicionário $N = 512$ vetores-código. A taxa de codificação correspondente, portanto, foi de $R = 0,5625$ bpp. O algoritmo utilizado para o projeto dos dicionários foi o *K-Means*, usando seis imagens de treino com 256×256 pixels. Os algoritmos foram executados até que a modificação na distorção introduzida ao se representar os vetores de treino pelo dicionário fosse inferior a 0,1% ($\epsilon = 0,001$). A Figura 3(b) mostra os resultados da quantização da imagem Lena. Para avaliação dessa imagem processada utilizou-se a PSNR. O cálculo da PSNR para a imagem Lena reconstruída após a QV resultou em um valor de 41,94 dB.

Após a aplicação das técnicas de QV e equalização separadamente, as duas técnicas foram combinadas. Inicialmente, a equalização foi aplicada na imagem Lena original e em seguida a imagem processada foi comprimida utilizando a técnica de QV. Na Figura 4 é possível observar os efeitos desta aplicação, em que foi obtido um valor de $PSNR = 28,50$. Comparando com o resultado obtido anteriormente percebe-se que a equalização diminuiu a PSNR da imagem reconstruída. Esse fato ocorre devido a equalização de histograma inserir uma distorção na imagem. Analisando subjetivamente, percebe-se que a equalização provoca uma melhoria no contraste da imagem. Para uma avaliação objetiva da equalização é recomendado utilizar o desvio padrão global ou em janelas na imagem.

A Figura 5 mostra os efeitos da aplicação da equalização à imagem quantizada. A equalização melhora o contraste da imagem, porém quando comparada com a equalização da imagem antes da aplicação da QV, apresenta uma maior distorção. Este resultado é esperado pois a imagem, equalizada e quantizada, é submetida a dois processamentos consecutivos o que provoca um aumento na distorção da imagem.

5. Conclusão

Este artigo apresentou duas técnicas para processamento digital de imagens: A QV utilizada para compressão e a equalização de histograma utilizada para melhoria de contraste. As imagens de saída processadas após a QV apresentaram níveis de distorção aceitáveis, o que implica em



Figura 1. Equalização da Imagem Lena.

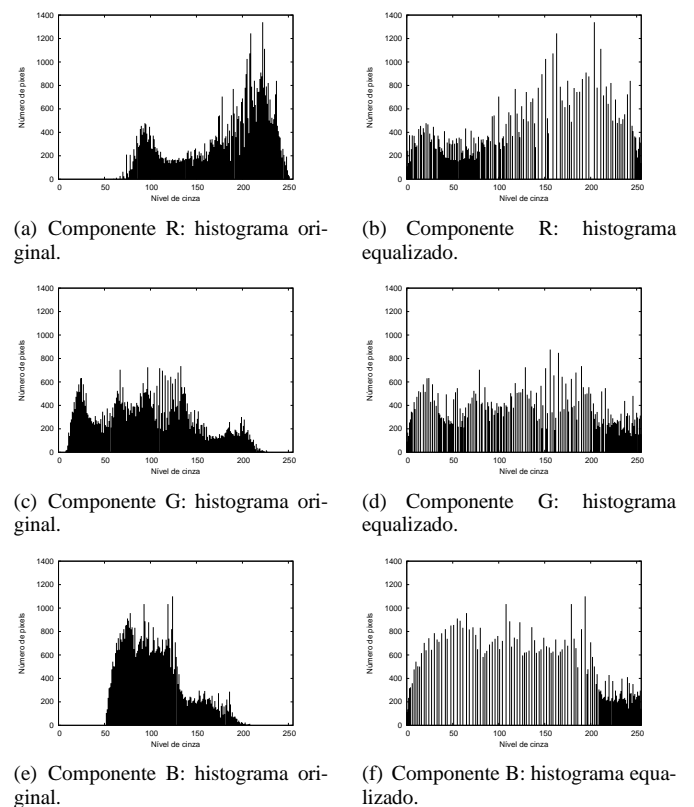
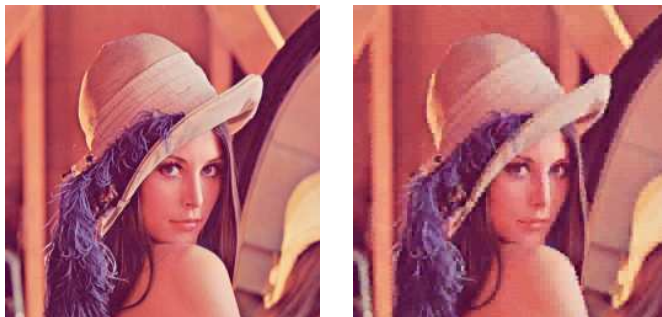


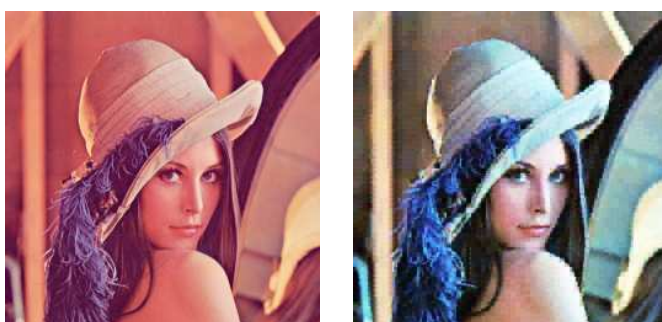
Figura 2. Equalização da Imagem Lena.



(a) Imagem Original.

(b) Imagem Quantizada.

Figura 3. Quantização da Imagem Lena.



(a) Imagem Original.

(b) Imagem Equalizada e Quantizada.

Figura 4. Equalização e Quantização da imagem Lena.



(a) Imagem Original.

(b) Imagem Quantizada e Equalizada.

Figura 5. Quantização e Equalização da imagem Lena.

uma boa taxa de compressão. Para a equalização de histograma, as imagens processadas tiveram sua aparência melhorada, de modo que é possível observar que a equalização torna os histogramas bem distribuídos na escala de cinza.

Os resultados das simulações mostram que a aplicação da técnica de equalização de histograma diminui a PSNR quando aplicada em conjunto com a QV, entretanto, o efeito da melhoria do contraste das imagens continua sendo observado. Contudo, a aplicação da equalização antes da QV apresentou uma menor distorção. Como trabalhos futuros, os autores pretendem investigar e elaborar um método ainda mais eficiente para compressão de imagens, com a combinação do método proposto e outros métodos de quantização vetorial.

Referências

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1 edition, 1992.
- [2] W. T. A. Lopes, *Diversidade em Modulação Aplicada à Transmissão de Imagens em Canais com Desvanecimento*, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, Junho 2003.
- [3] P. C. Cosman, R. M. Gray, and E. A. Riskin, "Combining vector quantization and histogram equalization," in *Proceeding of the Data Compression Conference (DCC'91)*, April 1991, pp. 113–118.
- [4] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compression*, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1992.
- [5] R. M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 4–29, April 1984.
- [6] F. J. A. Oliveira, J. P. F. C. Freire, A. L. O. Cavalcanti Jr., E. N. Arcoverde Neto, P. C. M. L. Albuquerque, W. T. A. Lopes, and F. Madeiro, "Aceleração do algoritmo k -means," in *Anais do XV Congresso Brasileiro de Automática (CBA'2004)*, Gramado, RS, Brasil, Setembro 2004.
- [7] A. Gersho, "On the structure of vector quantizers," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 28, pp. 157–166, March 1982.
- [8] J. Makhoul, S. Roucos, and H. Gish, "Vector quantization in speech coding," *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, pp. 1551–1558, November 1985.
- [9] M. A. L. Perna, "Compactação de imagens digitais," in *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia (XVII SBC)*, Salvador, BA, 1995.
- [10] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 1, pp. 84–95, January 1980.
- [11] Yih. C. Lin and S. C. Tai, "A fast Linde-Buzo-Gray algorithm in image vector quantization," *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 45, pp. 432–435, March 1998.
- [12] S. Carrato, "Image vector quantization using ordered codebooks: Properties and applications," *Signal Processing*, vol. 40, pp. 87–103, 1994.