

Compressão Auto-Adaptativas de Imagens Coloridas

José Alfredo Ferreira Costa, Adrião Duarte Dória Neto.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN
Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova
CEP 59072-970 Natal - RN - Brasil E-mail: alfredo@dee.ufrn.br,
adriao@dca.ufrn.br

Gustavo Fontoura de Souza

UnP – Universidade Potiguar
Av. Sen. Salgado Filho , 1610
59.056-000, Natal , RN
E-mail: profgustavo@unp.br

Resumo – Propõe-se um método de compressão de imagens coloridas com o uso da transformada Cosseno, na qual os planos iniciais de uma imagem colorida (RGB) sofrem uma transformação linear, sendo levados assim a um novo subespaço (P_1, P_2 e P_3) através da PCA (análise de componentes principais). Estes planos são comprimidos com taxas diferentes, promovendo assim, um ganho no erro médio da imagem recomposta. O método, denominado de Compressão Auto-Adaptativa, é comparado aos métodos convencionais de compressão como o JPEG e a métodos que utilizam transformações lineares, como o YIQ. Os resultados apresentados são bons tanto no aspecto numérico (quantitativo, i.e., erro médio quadrático e taxa de compressão), superando, em alguns casos os resultados com a técnica JPEG e YIQ, quanto qualitativos (subjetivos, i.e., análise visual).

1. Introdução

A importância de compressão de sinais e imagens em sistemas computacionais e de comunicações é crescente. Comprimir uma imagem consiste em representá-la através de uma menor quantidade de dados, sem comprometer muito sua qualidade. Basicamente os ganhos são no armazenamento e na transmissão de imagens. As aplicações são inúmeras, desde uso na internet a sistemas de comunicação via satélite, de sistemas biológicos a aplicações geoespaciais e de segurança.

As técnicas de compressão de imagens tradicionais contam com recursos das mais diversas áreas da computação, desde técnicas tradicionais como as utilizadas no processo da JPEG até lógica fuzzy, wavelet's, dentre outros [4].

Este trabalho apresenta um método para a compressão de imagens coloridas e multi-espectrais baseado na quantidade de informação contida em cada banda, ou planos da imagem. Neste método, ou Compressão Auto-Adaptativa (CAA), cada banda da imagem é comprimida com uma taxa de compressão diferente, buscando um melhor resultado de forma a manter a maior parte da informação. Basicamente

aplica-se uma compressão maior na banda com maior redundância.

O CAA utiliza duas transformadas de imagens como elementos ativos da compressão: a Transformada Co-seno Discreta (DCT) e a Análise de Componentes Principais (PCA). Aplica-se a transformada PCA na imagem original (espaço RGB) levando-a para novo espaço, no qual as informações estão descorrelacionadas. A DCT é aplicada individualmente em cada um destes planos. A compressão ocorre através do descarte de coeficientes das matrizes gerada pela DCT, utilizando-se um limiar calculado em função do resultado da PCA e de um parâmetro fornecido pelo usuário. Por fim realizam-se, respectivamente, a DCT e PCA inversas, reconstruindo a imagem.

O restante do artigo é organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta as transformadas utilizadas (DCT e PCA), e o método CAA é descrito na seção 3. Resultados são apresentados na seção 4 e a seção 5 conclui o artigo apresentando os comentários finais.

2. Compressão de Imagens Coloridas por transformadas

Uma imagem colorida é uma composição de três imagens ou três planos de imagem na qual cada plano define uma determinada informação ou característica da mesma. O sistema RGB, por exemplo, cada um dos planos contém informações sobre uma das cores primárias (vermelho, verde e azul).

2.1 A transformada co-seno discreta (DCT)

Os processos de compressão de imagens baseados em transformadas consistem em uma compressão com perdas, na qual depois de efetuado o cálculo da referida transformada, um conjunto de índices é mantido ou

conservado e outro grupo é descartado, gerando, assim uma aproximação da imagem original [4].

A qualidade dessa aproximação é medida pela quantidade de informação que é perdida e/ou pela quantidade de redundância que é mantida.

A transformada co-seno (DCT – transformada Co-seno Discreta) é uma das principais transformadas utilizadas para a compressão de imagens, pois apresenta uma série de vantagens quando comparadas a outras transformadas. Por exemplo, a DCT concentra a ‘energia’ da informação no canto superior esquerdo.

A DCT em duas dimensões é definida como:

$$C(u, v) = a(u) a(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right]$$

para $u, v = 1, 2, 3, \dots, N-1$. Sua transformada inversa é definida como:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} a(u) a(v) C(u, v) \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right] \cdot \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right]$$

para $x, y = 1, 2, 3, \dots, N-1$, e

$$a(u), a(v) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & \text{para } u, v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & \text{para } u, v = 1, 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

Dessa forma a imagem original, $f(x, y)$, $N \times N$ pode ser mapeada em um novo espaço $(C(u, v))$, $N \times N$, no qual a compressão irá ocorrer. Em boa parte dos métodos de compressão com a DCT se dá desprezando uma certa quantidade de coeficientes e conservando somente àqueles com maior quantidade de informações, ou seja, os coeficientes mais significativos. Existem muitos processos que são empregados para a seleção desses coeficientes. Nesse trabalho utilizaremos a escolha de um *threshold* para selecionar os coeficientes a serem desprezados. E esse valor limiar será calculado baseado na taxa de compressão que queremos obter com a imagem, similarmente com o que acontece com o padrão JPEG.

A figura 1 mostra a DCT aplicada a imagem Lena, podemos perceber claramente a concentração de energia nos coeficientes de baixos índices. Além disso, o baixo custo computacional quando comparada a outras transformadas como a KLT, faz

da DCT uma das mais empregadas ferramentas para compressão de imagens [4].

2.2 Compressão de dados JPEG

Um dos padrões de imagens mais difundidos no mundo é o famoso JPEG (*Joint Photographic Experts Group*). Que se utiliza a DCT para realizar a sua compressão. Basicamente, podemos realizar a compressão JPEG apenas com três passos:

- Cálculo da DCT;
- Arredondamento dos coeficientes;
- Codificação estatística.

No cálculo da DCT, a imagem é dividida em blocos de 8 x 8 elementos. Caso as dimensões não sejam múltiplas de 8, estas são ajustadas internamente para o serem. A DCT bidimensional de cada bloco é então calculada.

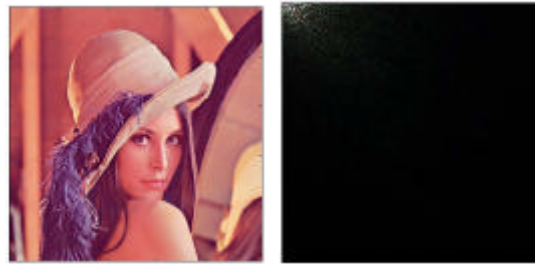


Figura 1. Imagem Original e sua respectiva transformada co-seno.

Em seguida, é feito o arredondamento dos coeficientes. É nesse passo que acontece efetivamente a compressão com perdas, na qual os coeficientes de valores baixos são aproximados para zero, ou seja, somente alguns coeficientes são guardados. Por fim, uma codificação estatística é aplicada, visando uma última compressão, desta vez sem perdas, normalmente é utilizado o código de *Huffman* [6].

2.3 Análise de Componentes Principais

A PCA consiste em promover uma transformação linear nos dados de modo que os dados resultantes desta transformação tenham suas componentes mais relevantes nas primeiras dimensões, em eixos denominados eixos principais [2]. A figura 2 ilustra um conjunto bidimensional e o mesmo conjunto após a aplicação da PCA.

A matriz de transformação utilizada para o cálculo da PCA consiste em uma matriz cujas colunas são os autovetores da matriz de covariância estimada dos dados.

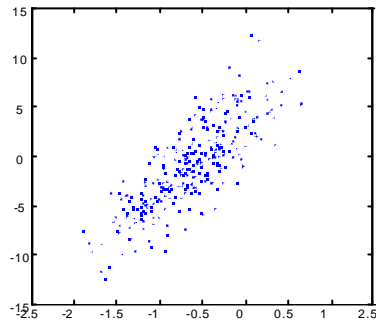


Figura 2-a: Conjunto de dados

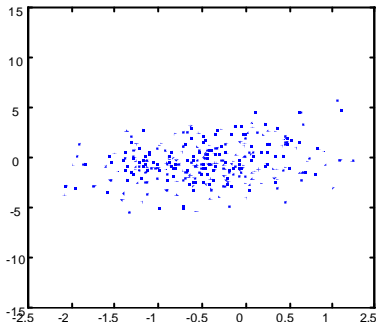


Figura 2-b: Conjunto de dados após a PCA.

A matriz de covariância Σ , é uma matriz simétrica e definida positiva que possui informação sobre as variâncias em todos os eixos onde os dados estão distribuídos. Esta pode ser estimada como:

$$\Sigma \approx \frac{1}{N-1} \sum_i (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}) (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu})^t \quad (1)$$

onde N é o número de amostras de dados \mathbf{x}_i , e $\boldsymbol{\mu}$ é a média do conjunto. Os autovetores desta matriz de fato formam uma nova base que "segue" a variação dos dados. A PCA, portanto consiste em uma mudança de base. Na verdade, a PCA e a decomposição por autovalor de uma matriz são basicamente a mesma coisa, apenas vêm o problema de modos diferentes [5].

3. O Método CAA

Como já foi mencionada, uma imagem colorida pode ser compreendida como um conjunto de três imagens "monocromáticas", na qual cada uma delas traz a informações sobre uma característica específica da imagem. No processo de imagens baseadas em fótons (como a Televisão e o monitor de vídeo, por exemplo), cada banda traz a informação de uma das cores primárias da luz.

Damos a esse modo o nome de sistema RGB (*Red, Green e Blue*).

A proposta desse trabalho é comprimir uma imagem colorida utilizando os planos separadamente, porém a perda de informações é um fator que dificulta o processo [3].

Assim, uma opção bastante razoável é a de não trabalhar com a imagem no sistema RGB, mas num outro subespaço, no qual cada plano contenha informações similares no que diz respeito às cores, quer dizer que cada plano contém os mesmos tipos de informações, porém em quantidades diferentes. A ferramenta que utilizamos para realizar a mudança de base foi a PCA, que nos gerará um novo conjunto de dados que chamaremos de planos P 's (P_1, P_2 e P_3). O processo aplicado à imagem está ilustrado na figura 3.

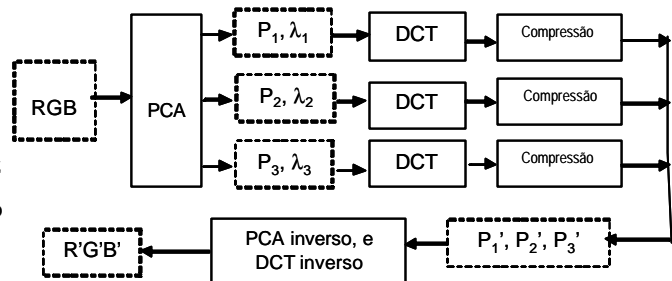


Figura 3: diagrama geral do processo utilizado na CAA

Um fator fundamental que foi observado quando realizamos a compressão de imagens coloridas é que, a priori, não sabemos (nos planos RGB) como a informação está distribuída. Já quando utilizamos a PCA, obtemos três novos planos (P_1, P_2 e P_3), na qual sabemos que necessariamente um deles tem mais informação do que os demais, já que um deles representa a componente principal da imagem. Juntamente com os planos gerados pela PCA, uma matriz de diagonal de autovalores é gerada, e são esses autovalores que indicam estatisticamente a quantidade de informação contida em cada plano. Assim, podemos definir taxas de compressão diferentes para cada um dos planos, de modo que o plano com mais redundância terá uma taxa de compressão maior, e o de maior informação a menor.

4. Resultados

A fim de validar o resultado do trabalho, realizaram-se comparações do método desenvolvido com outros métodos de compressão de imagens, forma utilizados o JPEG e a compressão com a DCT nos planos YIQ.

Utilizamos como imagens de testes as imagens da “Lena” e a das “Frutas”, muito comum nos processamentos de imagens.

A tabela 1 mostra os resultados obtidos com a compressão, em termos de EMQ (Erro Médio Quadrático) e da Taxa de Compressão que representa, em valor percentual, o tamanho da imagem comprimida, quando comparado com imagem original. Ou seja, a taxa de compressão é calculada de acordo com a equação 2.

$$Taxa = \frac{\text{Bytes da Imagem Comprimida}}{\text{Bytes da Imagem Original}} \quad (2)$$

A primeira comparação demonstra uma aplicação direta nos planos, que é mostrada na tabela 1, quando comprimidos de uma única vez, ou seja, aplicando a DCT sobre cada plano da imagem. Observamos que em todas os testes feitos a compressão utilizando a CAA apresentou melhores resultados, mesmo quando foi utilizada a matriz de *threshold* inerente à própria técnica do JPEG. A Matriz é apresentada na tabela 1, e foi utilizada segundo a equação 3 [1].

$$\text{Imagem Comprimida} = \text{round}\left(\frac{DCT(\text{Subimg } 8 \times 8)}{\text{Mat_jpg}}\right) \quad (3)$$

As figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados da compressão das imagens com cada uma das compressões citadas na tabela 1 (coluna 1). Observamos que a perda de informação é visualmente mais acentuada, quando se utiliza o padrão RGB, já a compressão utilizando a CAA ou o YIQ conservam melhor a característica da imagem. No caso da CAA e YIQ as taxas de compressão para os planos foram diferentes. A tabela 4 mostra os valores utilizados.

As tabelas 2 a 5 mostram os resultados quando aplicamos três métodos de compressão diferentes nas duas imagens (lena e frutas). O método descrito como “Compressão direta (DCT)” é aplicado a DCT em toda a imagem e mantido alguns coeficientes, segundo a taxa de compressão apresentada em cada um deles.

Uma diferença importante a ser observada é que a taxa de compressão de cada um dos planos YIQ e P₁P₂P₃ são diferentes e os valores apresentados na

tabela consistem em taxas de compressão total. Isto é, foram definidas três taxas de compressão diferentes, uma para cada plano da imagem, isso só é possível no YIQ e P₁P₂P₃, pois sabemos a priori, como se concentra a informação, de acordo com os autovalores associados, para o CAA e no plano Y, no caso do YIQ.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Tabela 1. Matriz utilizada como *limiar* da compressão do JPEG.

Planos Utilizados	Compressão direta (DCT)		CAA com blocos (8x8)	
	MSE	Taxa	MSE	Taxa
RGB	218.6385	0.0095367	22.9225	0.11343
YIQ	155.9224	0.0097275	27.3323	0.11344
PCA	152.1936	0.0094096	21.4869	0.11344

Tabela 2. Comparação das Compressões para a imagem *Lena*.

Planos Utilizados (Continuação)	Compressão dos planos YIQ aplico à blocos (8x8)	
	MSE	Taxa
RGB	51.0438	0.25
YIQ	33.5376	0.26042
PCA	32.8952	0.26042

Tabela 3. Comparação das Compressões para a imagem *Lena*.

Planos Utilizados	Compressão direta (DCT)		CAA com blocos (8x8)	
	MSE	Taxa	MSE	Taxa
RGB	269.0895	0.0095367	20.0936	0.11806
YIQ	235.1272	0.0097275	24.4221	0.11808
PCA	260.9974	0.0094096	16.7597	0.11808

Tabela 4. Comparação das Compressões para a imagem *fruits*.

Planos Utilizados	Compressão dos planos YIQ aplico à blocos (8x8)	
	MSE	Taxa
RGB	68.1191	0.25
YIQ	40.6171	0.26042
PCA	38.2518	0.26042

Tabela 5. Comparação das Compressões para a imagem *fruits*.

Observamos que em quase todas as situações, os resultados com técnica CAA foram melhores ou

equivalentes às demais técnicas, apesar de apresentar um custo computacional um pouco maior em função do cálculo dos autovalores e autovetores.



Figura 4. Imagem Original da Lena.



Figura 5. Imagem restaurada utilizando RGB.

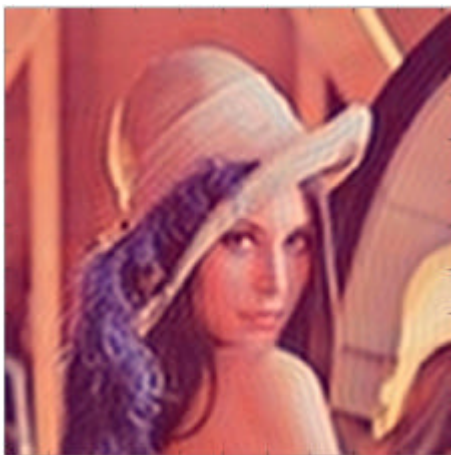


Figura 6. Imagem restaurada utilizando YIQ.

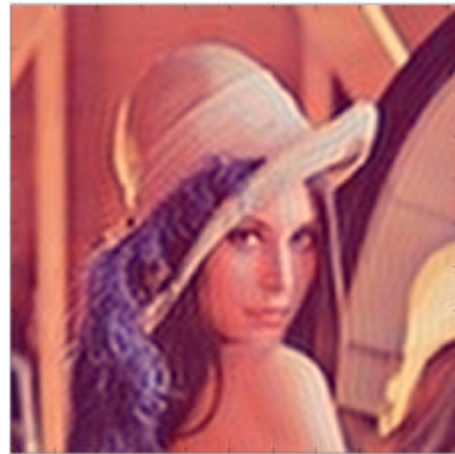


Figura 7. Imagem Restaurada utilizando CAA.

5. Conclusões

Este artigo apresentou um método de compressão de imagens coloridas baseada em duas transformadas de imagens como elementos ativos da compressão: a transformada co-seno discreta (DCT) e a análise de componentes principais (PCA). Aplica-se a transformada PCA na imagem original (espaço RGB) levando-a para novo espaço, no qual as informações estão descorrelacionadas. A DCT foi aplicada individualmente em cada um destes planos. A compressão ocorreu através do descarte de coeficientes das matrizes gerada pela DCT, utilizando-se um limiar calculado em função do resultado da PCA e de um parâmetro fornecido pelo usuário. Por fim realizam-se, respectivamente, a DCT e PCA inversas, reconstruindo a imagem.

Quando comparada com a compressão realizada pela tradicional JPEG, a CAA apresenta resultados significativamente melhores no que diz respeito a MSE (Erro médio Quadrático) e a taxa de compressão. Além disso, o método é adaptativo, sendo sensível ao tipo de imagem, e apresentando bons resultados em diversos tipos de imagens (sintética, paisagens, fotos de pessoas, etc.). A outra vantagem é que requer apenas um único parâmetro de compressão fornecido pelo usuário, relacionado a taxa de compressão desejada.

É possível ainda, como trabalho futuro, buscar um formalismo matemático que apresente as taxas de compressão “ótimas”, no que diz respeito ao menor erro médio quadrático.

Referências Bibliográficas

- [1] Anthony, D. Hines, E. Barham, J. Taylor, D. (1990). A comparison of image compression by

neural networks and principal component analysis. In: Proc. of the IJCNN Intl. Joint Conference on neural networks, vol. 1, pp.339-344.

- [2] Duda, R. O., Hart, P. E, & Stork, E. (1998). *Pattern Classification*. John Wiley & Sons, New York.
- [3] Goffman-Vinopal, L.; Porat, M. (2002). Color image compression using inter-color correlation. In: *Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 353-356.
- [4] Gonzalez, Rafael C., e Woods, Richard E. (2000). *Processamento de Imagens Digitais*, Editora Edgar Blücher Ltda, São Paulo – SP.
- [5] Haykin, S. (2001). *Redes Neurais: Principios e Práticas*. Bookman. Porto Alegre – RS.
- [6] Oliveira, P.R.; Romero, R.F. (1996). A comparison between PCA neural networks and the JPEG standard for performing image compression. In: *Proc. of the Second Workshop on Cybernetic Vision*, pp. 112-116. São Carlos, SP.