

MÉTODO REVERSÍVEL PARA EMBARCAR CORES EM IMAGENS MONOCROMÁTICAS BASEADO EM TRANSFORMADAS SENOIDAIS

Karen F. De Oliveira^{1*}, Ricardo L. De Queiroz¹, Francisco A. de O.
Nascimento¹, Pedro de A. Berger²

1: Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil, 70910-900
e-mail: karen@image.unb.br, queiroz@image.unb.br, assis@unb.br web:
<http://www.ene.unb.br/gpds>

2: Departamento de Ciência da Computação
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil, 70910-900
e-mail: berger@cic.unb.br web: <http://www.cic.unb.br>

Palavras chave: Transformadas senoidais, imagens coloridas, DCT, texturas, difusão de erros

Resumo. *Neste trabalho, desenvolveu-se um novo método reversível de converter imagens coloridas para escala de cinza a partir do mapeamento de cores em texturas. O objetivo é realizar a impressão de imagens coloridas em impressoras preto-e-branco, possibilitando posterior recuperação de cor. Para tal, o emissor deve submeter a imagem original a um processo de texturização, aplicando a transformada de cosseno discreto (DCT) na informação de luminância e, a seguir, inserindo informações de crominância subamostradas em subbandas. Após essa substituição, realiza-se a transformada inversa (IDCT), obtendo-se uma imagem monocromática com texturas, que será submetida a processos de impressão e escaneamento simulados.*¹

¹O presente trabalho foi realizado com o apoio da HP do Brasil, do CNPq e da Finatec.

1 INTRODUÇÃO

Frequentemente, documentos coloridos são digitalmente preparados, armazenados e disponibilizados em formato eletrônico. Porém, igualmente comum é a necessidade de imprimí-los e, até mesmo, transmití-los. Em escritórios, usualmente, esses documentos são impressos em preto-e-branco ou transmitidos via fax, por exemplo. O propósito do método desenvolvido é permitir a recuperação da informação de cor de um documento originalmente colorido, porém impresso em dispositivos preto-e-branco [1]. Para tal, primeiramente o documento colorido deve ser convertido para escala de cinza, e então para preto-e-branco antes de ser enviado (impresso ou transmitido via fax). Posteriormente, o usuário deve receber (escanear) o documento em preto-e-branco, convertê-lo para escala de cinza, realizando processamento para recuperar as cores. A idéia por trás deste método é a de mapear suavemente cores em texturas de alta frequência, que tendem a ser ignoradas pelo sistema visual humano [2]. A Figura 1 ilustra duas imagens monocromáticas com texturas resultantes da inserção de informações de cor nas bandas. Nela, pode-se notar que as texturas interagem naturalmente com os objetos e é isso que viabiliza o método, diferentemente de técnicas de *watermarking* [3], por exemplo.



(a)



(b)

Figura 1: Zoom de dois exemplos de imagens monocromáticas com textura. Pode-se observar que os padrões de alta frequência interagem naturalmente com os objetos.

Será feita uma descrição objetiva dos métodos de conversão de imagens coloridas em monocromáticas texturizadas (método direto) e de posterior recuperação (método inverso), e os respectivos procedimentos serão explicitados. Especificamente, a Sessão II descreverá o método direto e a Sessão III, o método inverso. A Sessão IV descreverá os experimentos e seus resultados. Por fim, a Sessão V mostra as conclusões.

2 MÉTODO PARA CONVERTER IMAGENS COLORIDAS EM MONOCROMÁTICAS PELA INTRODUÇÃO DE TEXTURA (MÉTODO DIRETO)

O método mais trivial de converter uma imagem colorida em monocromática é representá-la em função de sua luminância. O problema com essa técnica é que cores diferentes com mesmo componente de luminância serão igualmente representados. Uma alternativa é associar cada cor a uma das texturas disponíveis em uma palheta. No entanto, essa abordagem não é prática para documentos complexos. Diferentemente, o método adotado se baseia na Transformada de Cossenos Discretos (DCT)[4], produzindo um continuum de texturas que não causam efeitos visuais desagradáveis. Objetivamente, para que se possa inserir a informação de cor nas bandas (método direto), deve-se:

1. Converter a imagem colorida, representada no espaço de cores RGB, para algum espaço de luminância e crominâncias, como, por exemplo, o YCbCr;
2. Aplicar a DCT bidimensional à componente de luminância para obter uma matriz de M bandas;
3. Subamostrar os componentes de crominância (por um fator de M em cada direção);
4. Substituir bandas de alta-frequência pelos dois planos de crominância;
5. Aplicar a DCT inversa, obtendo então uma imagem monocromática com texturas;
6. Escalonar, aplicar a técnica de difusão de erros (*halftone*) [5] e imprimir (ou transmitir) a imagem de interesse.

Estes procedimentos relacionados ao método direto estão ilustrados na Figura 2.

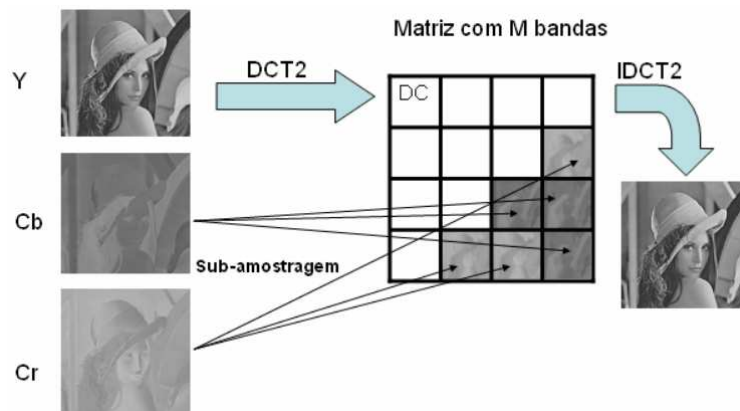


Figura 2: Método direto. Conversão de uma imagem colorida para monocromática com texturas, a partir da inserção da informação de crominância (CbCr) nas subbandas da transformada da luminância (Y).

De forma sucinta, o método desenvolvido mapeia cores em texturas. Assim, caso a imagem texturizada apenas fosse ampliada e transmitida, ações essas que não alterariam o padrão das texturas, o método funcionaria muito bem, possibilitando a recuperação das cores intensas. Porém, deve-se observar que a imagem será, por exemplo, impressa, inserindo ruído decorrente da própria manipulação e da física dos processos de impressão e escaneamento. Este ruído pode, inclusive, inviabilizar o método. Então, para se proteger melhor a informação de cor, propõe-se a adoção de redundâncias, ou seja, substituir-se Nc das M bandas com o mesmo plano de cromaticidade, tendo-se ao total $N = 2Nc$ bandas substituídas. Em contrapartida, deve-se notar que quanto maior for Nc , maior será a perda de informação de luminância. Deve-se também observar que, quanto maior M , melhor será a qualidade da luminância, porém pior será a das cromaticidades que terão de ser subamostradas por um fator ainda maior. Torna-se então pertinente discutir a variação da qualidade da imagem recuperada em função de Nc e do ruído considerado, para um dado M . Conjecturas mais aprofundadas sobre as questões sugeridas serão feitas na sessão concernente aos resultados.

3 MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DE COR (MÉTODO INVERSO)

Ao receber a imagem monocromática texturizada, deve-se processá-la para recuperação de suas cores. Mais especificamente, deve-se:

1. Escanear (receber) a imagem e convertê-la para escala de cinza;
2. Aplicar a DCT na imagem recebida;
3. Recuperar a informação das bandas de alta frequência, atribuindo-as aos planos de cromaticidades;
4. Inserir zeros nas bandas utilizadas para inserção da informação de cor;
5. Aplicar a DCT inversa na matriz de bandas resultante, obtendo-se então o plano de luminância;
6. Interpolar (sobreamostrar) os planos de cromaticidade por um fator M em cada direção;
7. Converter os planos de luminância e os de cromaticidades de volta ao espaço RGB, obtendo-se então a imagem colorida recuperada.

Estes procedimentos relacionados ao método inverso estão ilustrados na Figura 3.

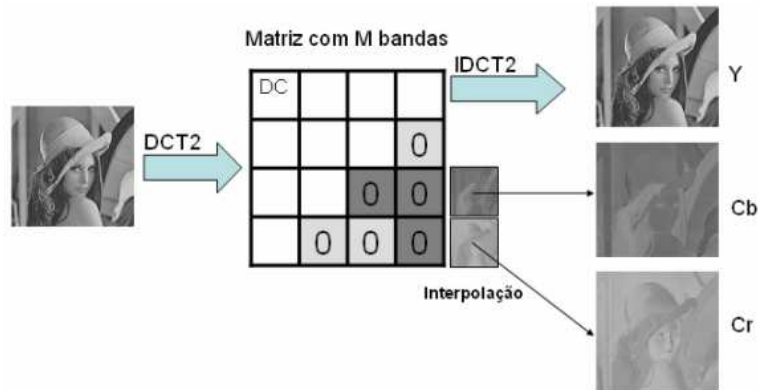


Figura 3: Método Inverso. Recuperação das informações de luminância (Y) e de crominância (CbCr) a partir da imagem monocromática com texturas.

4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

O método desenvolvido tem por finalidade a conversão de imagens digitais coloridas em monocromáticas com textura que serão então impressas e, posteriormente, escaneadas. Deve-se então permitir a recuperação da informação de cor deste novo documento digital monocromático. Para assegurar a viabilidade do método, fez-se necessário simular esses processos potencialmente capazes de destruir o padrão de texturas e, por consequência, a informação de cor.

Torna-se pertinente então retomar as questões sugeridas na Sessão II, e analisar a variação da qualidade da imagem recuperada em função de N_c e do ruído considerado, para um dado M . Para tal, diversas imagens coloridas foram submetidas aos métodos direto e inverso. Foram utilizadas duas transformadas: a DCT 4×4 ($M = 16$) e a DCT 8×8 ($M = 64$). Os planos de crominância subamostrados substituíram N bandas de alta frequência seguindo o caminho em zigzag mostrado na Figura 4. Adicionou-se então ruído com diferentes valores de desvio padrão (σ_n).

As Tabelas 1 e 2 mostram os resultados obtidos, para dois exemplos de imagens, que confirmam as hipóteses levantadas na Sessão II. Nela, observa-se, por exemplo, que, para baixos níveis de ruído, ao aumentarmos N a qualidade da imagem recuperada piora significativamente (PSNR diminui). Nesta situação, a deterioração da luminância resultante da substituição de mais bandas por crominâncias é mais significativa do que o próprio ruído adicionado. No entanto, para valores elevados de ruído, os valores de PSNR até mesmo aumentam com o aumento do nível de ruído. Nesta outra situação, o elevado nível de ruído torna-se a principal fonte de deterioração da luminância. Assim, como o aumento da replicação melhora a qualidade da informação de crominância recuperada, verifica-se um aumento na qualidade total.

É interessante também notar que, para altos níveis de ruído e grande replicação de crominâncias ($N > 6$, por exemplo), a qualidade para $M = 16$ é melhor que a de $M = 64$. Isso acontece pois, como observado anteriormente, a melhora na qualidade

Tabela 1: Resultados de PSNR (no espaço RGB) da inserção de crominâncias nas subbandas da DCT para diferentes níveis de ruído σ_n e número de bandas N, utilizando-se a imagem Wine.

4X4 DCT (M=16) – Imagem “Wine”						
N	σ_n					
	0	5	10	20	40	80
2	29.279	27.583	24.643	20.223	15.051	10.382
4	28.053	26.805	24.407	20.313	15.261	10.564
6	26.653	25.774	23.913	20.242	15.485	10.752
8	24.932	24.357	23.032	20.082	15.640	11.008
10	23.994	23.578	22.520	19.932	15.837	11.348
8X8 DCT (M=64) – Imagem “Wine”						
N	σ_n					
	0	5	10	20	40	80
2	27.383	26.244	23.848	19.792	14.686	10.227
4	27.277	26.088	23.848	19.732	14.844	10.250
6	27.149	26.043	23.823	19.772	14.887	10.294
8	26.970	25.893	23.787	19.842	15.008	10.206
10	26.822	25.783	23.708	19.807	15.020	10.291
16	26.243	25.380	23.532	19.850	15.068	10.500

das crominâncias tem maior peso na qualidade total. Assim, como para $M = 16$ tem-se menor perda de informação de crominância por subamostragem do que para $M = 64$, tem-se também, no primeiro caso, melhor qualidade.

Nos experimentos relatados, o ruído inserido pelos processos de impressão e escaneamento foi tratado como descorrelacionado e aditivo. Porém, os níveis de ruídos utilizados foram superestimados, buscando validar o método para uma ampla faixa. Para melhor simular os dois processos, pode-se seguir os seguintes passos:

1. Escalonar, interpolando a imagem monocromática com texturas por um fator K em cada direção;
2. Aplicar a técnica de difusão de erros (*halftone*) na imagem resultante;
3. Filtrar a imagem binária com um filtro Gaussiano para suavizar as bordas dos pontos;
4. Adicionar ruído de média nula e desvio padrão (σ_n);
5. Fazer a média dos pixels de blocos de tamanho $K \times K$ da imagem com *halftone*, filtrada e com ruído adicionado.

Tabela 2: Resultados de PSNR (no espaço RGB) da inserção de crominâncias nas subbandas da DCT para diferentes níveis de ruído σ_n e número de bandas N, utilizando-se a imagem Lena.

4X4 DCT (M=16) – Imagem “Lena”						
N	σ_n					
	0	5	10	20	40	80
2	34.596	29.984	25.269	19.816	14.433	10.116
4	34.251	30.029	25.493	20.127	14.689	10.338
6	33.924	30.145	25.779	20.363	15.019	10.559
8	33.466	30.119	26.010	20.724	15.316	10.821
10	32.666	29.971	26.189	21.079	15.726	11.118
8X8 DCT (M=64) – Imagem “Lena”						
N	σ_n					
	0	5	10	20	40	80
2	32.305	28.919	24.746	19.526	14.225	10.021
4	32.285	29.000	24.813	19.580	14.294	10.026
6	32.262	29.004	24.880	19.718	14.360	10.065
8	32.233	28.969	24.947	19.661	14.515	10.142
10	32.212	29.051	24.989	19.840	14.523	10.169
16	32.117	29.122	25.206	19.966	14.698	10.341

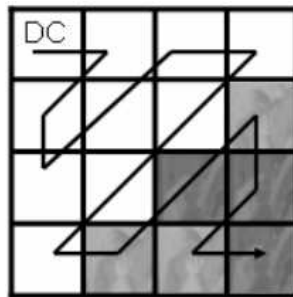


Figura 4: Ilustração da sistemática utilizada para a disposição das réplicas dos planos de crominância em *zigzag*, mostrando um exemplo de DCT 4x4 ($M = 16$) com três (3) réplicas de cada plano de crominância inseridas nas subbandas de alta frequência. A subbanda passa-baixas está indicada por DC.

Os resultados obtidos estão explicitados na Tabela 3. Nesta, podemos ver que, para qualquer um dos níveis de ruído, verifica-se um aumento de PSNR com o aumento de N. Isso ocorre devido a grande quantidade de ruído inserido pelo próprio processo de *halftoning*. Porém, é importante ressaltar que existe um limite, pois se aumentarmos muito N esgotar-se-ão as bandas de alta frequência e a informação de luminância será seriamente deteriorada.

Tabela 3: Resultados de PSNR (no espaço RGB) da inserção de crominância em múltiplas subbandas e posterior submissão ao processo simulado de impressão e escaneamento, utilizando-se a imagem Wine.

4X4 DCT (M=16) – Imagem “Wine”				
N	σ_p			
	0	10	25	50
K = 2				
2	15.748	15.671	15.242	14.053
4	16.068	15.968	15.53	14.363
6	16.662	16.554	16.143	14.836
8	16.898	16.788	16.355	15.172
K = 4				
2	17.359	17.32	17.156	16.608
4	17.591	17.554	17.376	16.87
6	18.061	18.016	17.852	17.274
8	18.235	18.199	18.024	17.498
K = 6				
2	17.59	17.577	17.479	17.205
4	17.791	17.782	17.699	17.403
6	18.239	18.224	18.129	17.865
8	18.394	18.377	18.317	18.013

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, propôs-se um método reversível para converter imagens coloridas em monocromáticas mediante inserção redundante de informação crominância nas subbandas de uma transformada senoidal (DCT) de M bandas. É desejado que as imagens submetidas ao método sejam impressas e escaneadas, sendo posteriormente recuperadas com qualidade. Para análise de viabilidade do método, foram realizados experimentos com pura adição de ruído gaussiano com média nula e, em seguida, foram realizados outros testes submetendo as imagens a processos de impressão e escaneamento simulados de maneira mais completa. Em primeira análise, pôde-se verificar que, em baixos níveis de ruído, a replicação das crominâncias (aumento de N) provoca queda na qualidade da imagem recuperada, em contraposição ao que é observado em altos níveis. Assim, na presença de muito ruído torna-se eficiente distribuir réplicas das crominâncias, desde que não se preencha uma quantidade de bandas suficiente para chegar às bandas de baixa frequência, deteriorando seriamente a informação de luminância. Simulando-se os processos de impressão e escaneamento, observou-se que a situação ilustrada caracteriza bem o processo, já que apenas a etapa de *halftoning* já insere muito ruído na imagem.

Os resultados mostram-se adequados às conjecturas e o método é eficaz para elevados níveis de ruído. Além disso, é também importante observar que, em geral, o receptor da imagem dispõe de softwares editores de imagem capazes de melhorar significativamente a qualidade da imagem recuperada.

Como continuação do trabalho, sugere-se a utilização de outras transformadas de subbandas, como, por exemplo, transformadas com sobreposição. Além disso, sugere-se modelagem mais acurada dos processos de impressão e escaneamento, e posterior teste real de viabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] R. L. de Queiroz and K. Braun, “Color to gray and back: color embedding into textured gray images”, *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 15, No 6, pp. 1464-1470, (2006).
- [2] Y. Bai, S. J. Harrington, and J. Taber, “Improved algorithmic mapping of color to texture”, *Proc. SPIE*, Vol. 4300, pp. 444-451, (2000).
- [3] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Academic Press, 2002.
- [4] J. N. Ahmed, T. Natarajan, and K. R. Rao, “Discrete Cosine Transform”, *IEEE Trans. Computers*, pp. 90-93, (1974).
- [5] P. G. Roetling and R. P. Loce, “Digital halftoning”, *Chapter 10 in Digital Image Processing Methods*, E. Dougherty, Ed. New York: Marcel Dekker, 1994.