

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN
Engenharia Elétrica
Disciplina: ELTD2 – Processamento de Imagens
Semestre: 2024.2
Prof: Gustavo Borba

RELATÓRIO

Transferência de cores por *color matching*

Aluno:
Mateus Yamada Müller / 1987623

20 de fevereiro de 2025

1 Objetivo

Este trabalho propõe a implementação do algoritmo de *color matching* para transferência de cores em imagens escala de cinza. O método apresentado em [1] opera com a correspondência da luminância entre a imagem objetivo (escala de cinza) e uma imagem de referência colorida. A solução consiste em transferir a cromaticidade, sem alterar a luminância original, por meio de estatísticas de vizinhança de pixels. Por mais que não exista uma solução “correta”, uma vez que não se conhece a coloração da imagem objetivo, o método busca reduzir o esforço humano na tarefa de coloração de imagens [1].

2 Fundamentação teórica

A transferência de cores, por essência, é uma operação de comparação entre as intensidades dos pixels de duas imagens, uma imagem escala de cinza e uma colorida. Para isso, a melhor maneira é utilizar espaços de cores em que a informação de luminância esteja dissociada da informação de cromaticidade. O método propõe a representação da imagem colorida no espaço $l\alpha\beta$, de maneira que a correspondência dos pixels seja computada apenas entre o canal l da imagem de referência e os valores escala de cinza da imagem objetivo. Em seguida, opera-se em cada pixel da imagem objetivo uma busca pela melhor correspondência nos pixels da imagem de referência. A correspondência é interpretada como o mínimo da soma ponderada da métrica L_2 para os valores de luminância e do desvio padrão na vizinhança do pixel processado. Como resultado, a imagem objetivo, originalmente composta por apenas um canal, é colorizada pela expansão da sua matriz no eixo dos canais. De maneira que a matiz e a saturação na imagem colorida são as mesmas do índice da imagem referência que minimizou a soma ponderada.

Como a comparação entre as luminâncias é um fator crucial na definição da cromaticidade, é necessário remapear a luminância da imagem referência, de maneira que resulte em uma melhor correspondência com o histograma da imagem objetivo. Ou seja, evitar que uma imagem muito clara seja colorida com base em uma imagem muito escura, e vice-versa. Portanto, define-se uma operação linear

$$l_{ref}[i, j] = \frac{\sigma_{obj}}{\sigma_{ref}}(l_{ref}[i, j] - \mu_{ref}) + \mu_{obj}, \quad (1)$$

onde $l_{ref}[i, j]$ é o pixel de luminância na imagem de referência, μ as luminâncias médias de cada imagem e σ os desvios de cada imagem [2]. O remapeamento, corresponde as médias e desvios entre as duas imagens, sem alterar a luminância da imagem objetivo [1].

A partir da imagem de referência remapeada e da imagem objetivo, são calculados os desvios padrões das vizinhanças 5x5 de cada pixel de luminância

$$l_{img}^{\sigma}[i, j] = \sigma_{\{(u,v)|u,v \in R\}} \{l[i+u, j+v]\}, \quad (2)$$

onde $l_{img}^{\sigma}[i, j]$ é o valor de cada desvio na vizinhança para img de referência ou objetivo e R o conjunto $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ [3]. Para facilitar a implementação, o tratamento de bordas é por *zero padding*. A escolha da vizinhança 5x5 foi a que resultou nos melhores resultados para a maioria das imagens [1].

Para transferir cromaticidade à imagem objetivo, cada pixel escala de cinza deve ter uma correspondência com a luminância da imagem colorida. Assumindo um pixel p da imagem objetivo, a correspondência é definida por

$$(i_{match}, j_{match}) = \underset{(i,j)}{\operatorname{argmin}} \{0.5(l_{ref}^{\sigma}[i, j] - I_{obj}[i_p, j_p])^2 + 0.5(l_{ref}^{\sigma}[i, j] - l_{obj}^{\sigma}[i_p, j_p])^2\}, \quad (3)$$

onde o pixel (i_{match}, j_{match}) de correspondência entre as imagens é tal que a soma ponderada seja mínima. A partir dos índices de correspondência, expande-se à matriz da imagem objetivo I_{obj} pela adição dos dois canais α e β de cromaticidade da imagem de referência I_{ref}

$$I'_{obj}[i_p, j_p, 2 : 3] = I_{ref}[i_{match}, j_{match}, 2 : 3], \quad (4)$$

mantendo a intensidade original no canal de luminância

$$I'_{obj}[i_p, j_p, 1] = I_{obj}[i_p, j_p, 1]. \quad (5)$$

A busca pelos índices (i_{match}, j_{match}) pode ser realizada de duas maneiras: *global* ou *jittered grid*.

2.1 Global color matching

A transferência *global* realiza a busca pelos índices (i_{match}, j_{match}) na matriz completa de luminância de I_{ref} . Portanto, em (3) a busca pelos índices engloba $\{(i, j) | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, onde M é o número de linhas e N de colunas de I_{ref} .

2.2 Jittered grid color matching

Como a maioria das variações visualmente perceptíveis entre os pixels ocorrem por conta da luminância, é possível reduzir o número de amostras existentes no intervalo de comparação e ainda sim obter uma significativa variação de cores. Para o algoritmo, a *jittered grid* é composta por aproximadamente 200 amostras aleatórias de luminância retiradas da imagem de referência. Como resultado, uma quantidade menor de comparações é realizada por imagem, o que torna a implementação mais eficiente do que pelo método global [1].

3 Implementação

O algoritmo de *color matching* foi implementado como uma biblioteca de funções. O algoritmo completo está disponível em https://github.com/yamadamuller/color_transferring. O Fluxograma da Figura 1 apresenta todos os passos necessários para o método. As marcações * representam funções nativas do MATLAB. Inicialmente, as imagens I_{ref} (RGB) e I_{obj} (escala de cinza) são passadas como entrada. Por meio da função

rgb2lab, a imagem colorida é convertida para o espaço $l\alpha\beta$. Além da conversão, a luminância da imagem de referência é remapeada por meio da função *luminance_remap*. Em seguida, a função *color_matching* inicializa a transferência de cor com base no argumento do tipo de busca. Até o momento estão disponíveis "global" e "jitter".

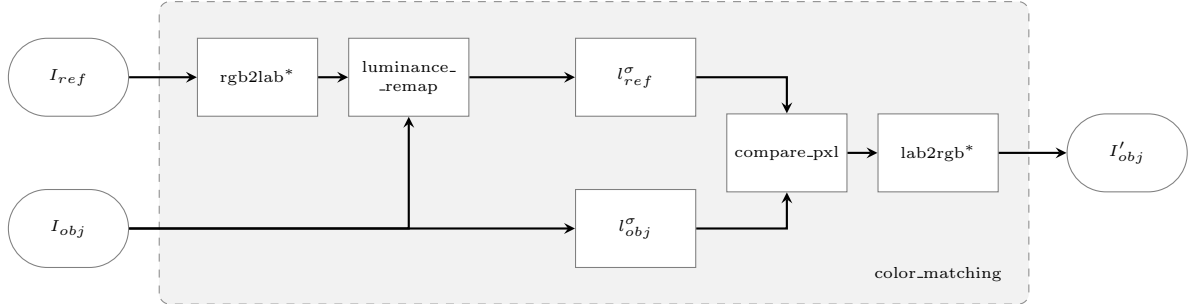


Figura 1: Etapas do método para transferência de cor por color matching.

Para definir quais valores de cromaticidade transferir à imagem objetivo, seja por *global_matching* ou *jitter_matching*, o método consiste em varrer todos os pixels de I_{obj} e comparar cada intensidade e desvio padrão da vizinhança (l_{img}^{σ}) com as respectivas matrizes de I_{ref} por (3). As funções que realizam a comparação são *compare_pxl* e *compare_jitter_pxl*. A diferença é que a função com *jittered grid* compara cada pixel da varredura com a matriz de aproximadamente 200 amostras aleatórias gerada por *generate_jitter_grid*. A partir dos índices do mínimo para cada pixel, as matrizes de I'_{obj} são montadas conforme (4) e (5). Uma vez que todos os pixels foram processados, I'_{obj} é convertida para RGB pela função *lab2rgb*.

4 Resultados e conclusões

As Figuras 2 e 3 demonstram alguns resultados, com figuras utilizadas em [1], obtidos pela implementação dos métodos abordados neste relatório. é interessante observar que o método prospera em cenários nos quais as imagens são divididas em grupos distintos de luminância. Na Figura 2, as folhagens são coloridas com facilidade, entretanto parte das nuvens na metade superior apresentam falhas de coloração. Já para Figura 3, a imagem apresenta algumas inconsistências no oceano, porém, a parte de terra segue o mesmo padrão da imagem original.

A Tabela 1 apresenta os tempos de computação para cada abordagem do método. O ganho em eficiência pelo uso do *jittered grid* é de, respectivamente, 89.27% e 97.64% para as duas imagens. O uso de uma quantidade menor de amostras é cada vez mais vantajoso à medida que se aumenta o tamanho da imagem objetivo.

Tabela 1: Desempenho dos métodos nas figuras de exemplo.

Figura	Método	Tempo (s)
Figura 2	<i>global</i>	4,222
	<i>jittered grid</i>	0,435
Figura 3	<i>global</i>	27,849
	<i>jittered grid</i>	0,657

Visualmente, a transferência de cor *global* nas figuras aparenta melhores resultados, uma vez que há mais pixels para comparar, a variação de cores resultante será maior.

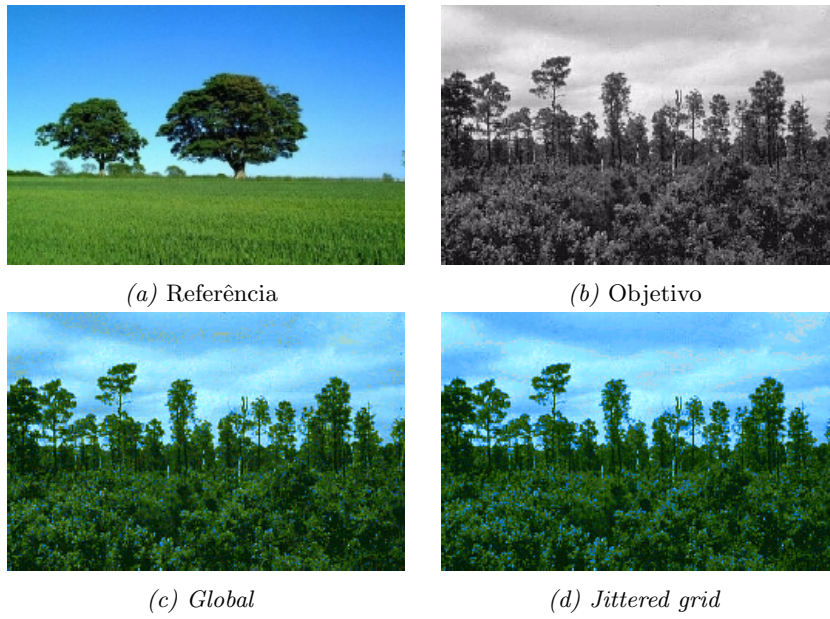


Figura 2: Color matching em folhagens. Imagem original por Ian Britton- FreeFoto.com.

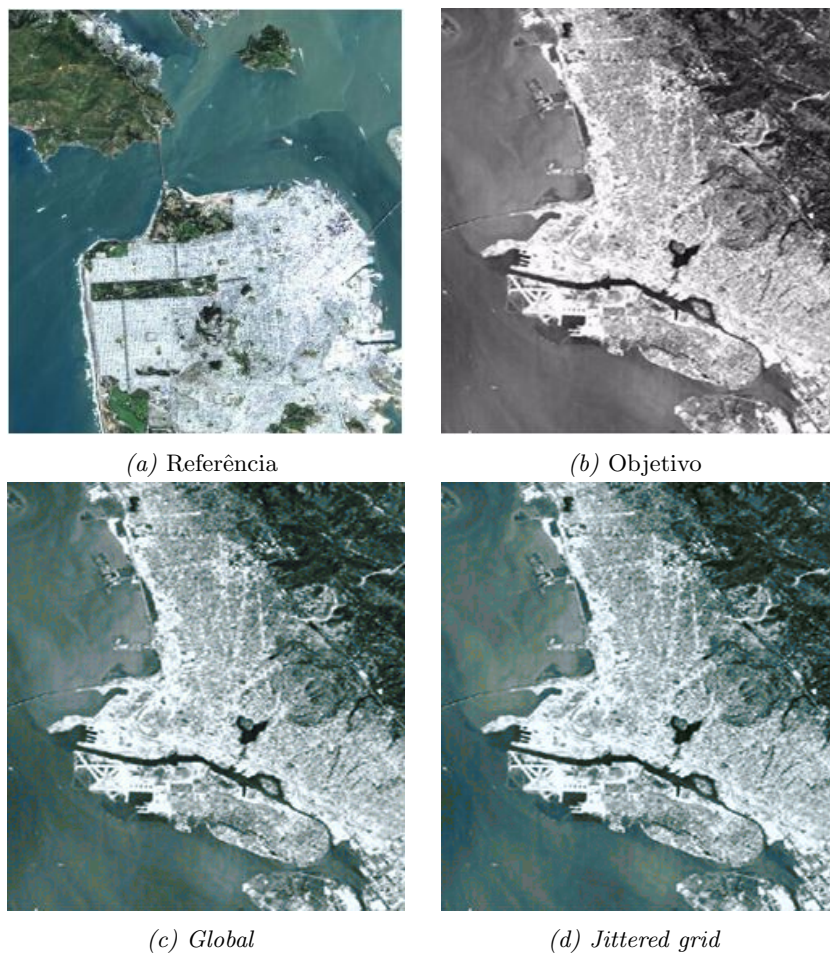


Figura 3: Color matching em imagens de satélite Landsat 7.

Entretanto, casos como a Figura 4 onde as amostras aleatórias priorizaram cromaticidades mais vibrantes, a coloração por *jittered grid* pode apresentar melhores resultados. Neste caso, o desvio padrão foi calculado para uma vizinhança 9x9 na imagem de referência. O aumento no tamanho do filtro é proposto para imagens consideradas "complicadas" ou com regiões predominantemente homogêneas [1].

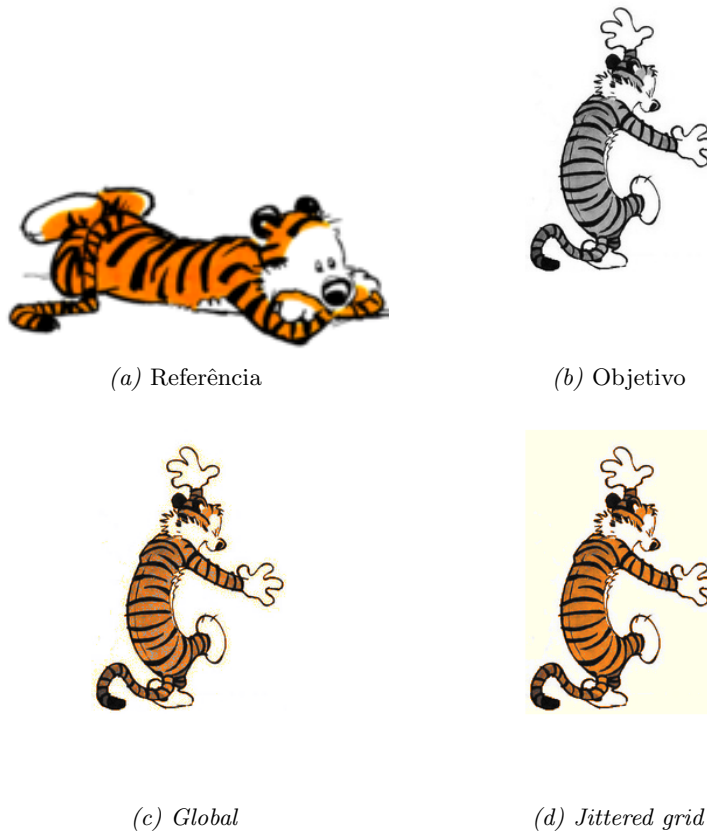


Figura 4: Color matching para o personagem Haroldo da série de tiras "Calvin e Haroldo" criada por Bill Waterson.

Por último, a Figura 5 apresenta a importância do remapeamento da luminância ao buscar por correspondências entre duas imagens. A imagem de referência é significativamente mais escura que a imagem objetivo. Caso não haja balanceamento nas intensidades, ao realizar a busca pela correspondência, a maioria dos pixels mais claros da imagem objetivo são coloridos pelos pixels mais intensos da imagem de referência, que neste exemplo em específico são tonalidades da luz emitida pelo abajur. Como resultado, a imagem resultante é totalmente amarelada, com exceção dos pixels de corpo, cabelo e barba na região de interesse. Por contra-partida, ao colorir após o remapeamento de luminância, a imagem objetivo tem a tonalidade predominantemente esverdeada, como a imagem de referência.

A Figura 6 apresenta os histogramas das imagens envolvidas no processo de remapeamento. A imagem de referência, centro, originalmente apresenta tons de cinza próximos ao início do intervalo. Ao realizar o remapeamento, nota-se que os tons de cinza se deslocam para valores mais próximos aos picos da imagem objetivo. A título de curiosidade, a intensidade média dos pixels normalizada era de 0.0989 sem remapeamento, com a operação o valor médio saltou para 0.3574, o mesmo da imagem objetivo.



Figura 5: Color matching com frames das transmissões de Aris Bakhtanians. Imagens retiradas de <https://www.twitch.tv/avoidingthepuddle>.

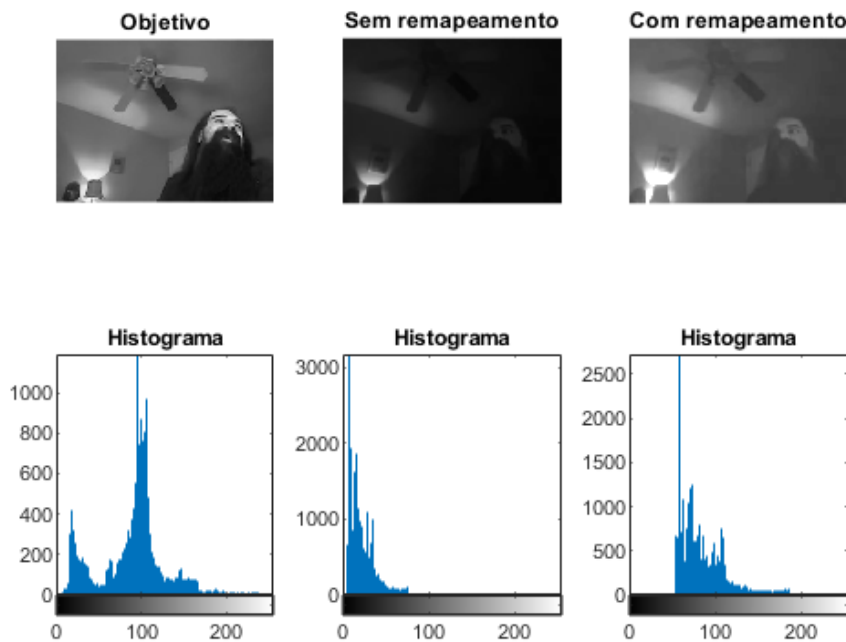


Figura 6: Efeito do remapeamento no histograma da imagem de referência.

Referências

- [1] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, “Transferring color to greyscale images,” *ACM Transactions on Graphics*, pp. 277–280, July 2002.

- [2] A. Hertzmann, C. E. Jacobs, N. Oliver, B. Curlezz, and D. H. Salesin, “Image analogies,” in *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 327–340, August 2001.
- [3] W. Burger and M. J. Burger, *Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction Using Java*, vol. 2 of *Texts in Computer Science*. London: Springer, 2016.