

## O USO DA COR NO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Luciano Emídio Neves da Fonseca  
Clésio Luiz Tozzi  
Departamento de Computação e Automação Industrial  
Faculdade de Engenharia Elétrica  
Universidade Estadual de Campinas  
Cidade Universitária Zeferino Vaz  
13083 - Campinas - SP

### RESUMO

O uso de pseudocor tem-se mostrado uma ferramenta muito útil para o melhoramento de imagens digitais. Faz-se neste artigo uma discussão da validade do uso da cor, assim como se apresenta um modelo para seu entendimento. São apresentados e discutidos alguns algoritmos de coloração implementados em laboratório.

### 1) INTRODUÇÃO

O uso da cor aumenta a capacidade de se absorver e analisar informação. O olho humano não diferencia, em média, mais do que 32 níveis de cinza. Por outro lado, o olho tem imensa capacidade de distinção de cores. O número de cores distinguíveis pode chegar a alguns milhares, dependendo do observador. Em muitas aplicações a cor pode ser usada para realçar pequenas diferenças de níveis de cinza que seriam imperceptíveis na imagem monocromática. Objetos ou detalhes importantes da cena podem ser facilmente enfatizados aumentando-se, assim, a velocidade de reconhecimento e interpretação de dados.

Ainda não é possível se definir quantitativamente, de forma única, a melhor maneira de se colorir uma imagem. A coloração de uma cena consiste em um mapeamento de luminosidade para cromaticidade, isto é, de uma função unidimensional para uma tridimensional. Desta forma, torna-se difícil o cálculo ótimo deste mapeamento, não só pelo aumento de dimensão, mas também pelo carácter subjetivo do melhoramento de imagem através de coloração.

Há inúmeras maneiras de se atribuir cores a uma imagem monocromática. Devido à arbitrariedade do mapeamento, é muito comum o uso de métodos empíricos na coloração de imagens. Pode-se atribuir cor a cada pixel (do inglês "picture element") da imagem baseado, por exemplo, em sua luminosidade. Há outras técnicas que, além da informação local (luminosidade), levam em conta relações espaciais com os pixels da vizinhança. A regra básica é que a imagem colorida deve ser, pelo menos, mais apresentável e mais fácil de ser analisada.

A princípio não há relação entre a cor atribuída e a verdadeira cor do objeto ou cena. Por este motivo, dá-se o nome a estas práticas de coloração de "Técnicas de Melhoramento por Pseudocor". Em algumas aplicações, quando se tem algum conhecimento a priori da cena a ser colorida, procura-se uma aproximação com a imagem real. O céu, na maior parte das cenas, deverá ter um tom de azul, enquanto a vegetação um tom de verde. Neste caso, nem o termo "Pseudocor" parece apropriado, e sim "Cromatização de imagens". Reproduções precisas de tonalidades e sombreamentos exigem familiarização com o princípio de formação das cores, assim como com as possibilidades do equipamento disponível. Outras aplicações importantes como cartografias, radiografias e tomografias médicas, fotos aeroespaciais entre outras, não exigem compromisso com a cor original da cena, mas sim com o objetivo abstrato de melhoramento da imagem.

## 2) UM MODELO PARA A COR

Analisando-se subjetivamente uma cor, chega-se às suas três componentes básicas: matiz, saturação e luminância. Matiz é a propriedade fundamental que permite a distinção de uma cor ou um pigmento de outro. É a partir da matiz que se diferencia, com facilidade, um objeto amarelo de um vermelho, um verde de um azul. Quando se tenta distinguir um azul pastel de um azul rei ou um vermelho vivo de um rosa, utiliza-se a noção de saturação. A saturação quantifica a pureza da cor, isto é, o quanto a cor pura está diluída em branco. Matiz e saturação determinam de forma única a cor básica. A informação contida nestas duas componentes, dá-se o nome de "Crominância". A terceira componente (luminância) carrega uma informação acromática de intensidade ou brilho da cor básica. O

lugar geométrico gerado pela variação das três componentes básicas da cor é cilíndrico, e pode ser visualizado na fig. 1.

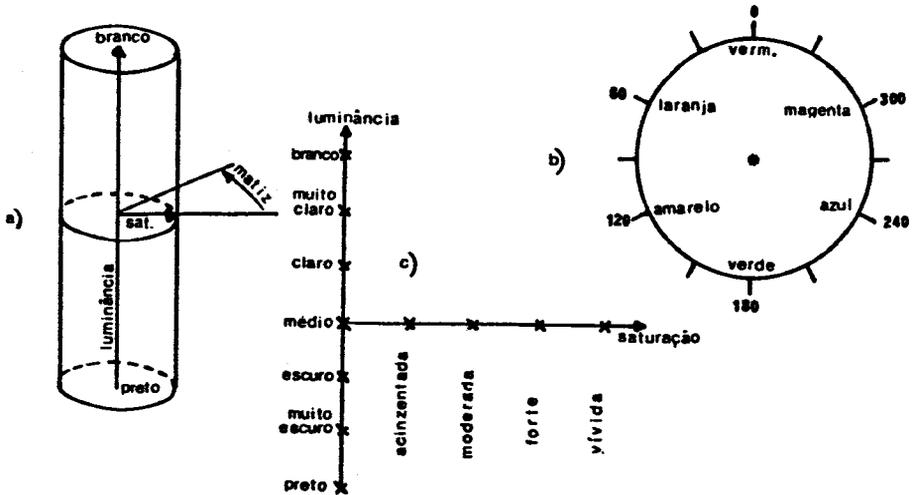


Fig. 1 - (a) Lugar geométrico das componentes fundamentais da cor. (b) detalhe da base do cilindro. (c) Um corte transversal.

Apesar da cor estar bem definida em termos de suas componentes fundamentais (matiz, saturação e luminância), encontra-se, com frequência, situações nas quais se obtém diferentes tons de cores a partir da combinação de três cores primárias. Um exemplo típico é o caso do televisor colorido. A tela é uma matriz de pontos triangulares, onde cada triângulo possui em seus vértices uma quantidade adequada de fósforo emissor de luz. Um vértice com fósforo emissor de vermelho, um de verde e um de azul. A combinação adequada da intensidade de brilho de cada um dos vértices possibilita uma enorme variedade de cores. A propriedade fundamental reside no fato de que cores primárias, produzidas pelos fósforos emissores de luz, são somadas para que se produza uma cor secundária desejada. Encontra-se outra evidência na fisiologia do olho humano. A retina contém três tipos de cones receptores de luz. Estes cones possuem picos de sensibilidade em comprimentos de onda que se aproximam do vermelho, verde e azul. A soma ponderada dos estímulos captados em cada tipo de cone causa a sensação de cor.

A definição de cores a partir da soma de três primárias (vermelho, verde e azul) parece ser orientada para o equipamento, enquanto que a partir de suas componentes fundamentais (matiz, saturação e luminância) orientada para o usuário. As parcelas vermelho, verde e azul podem ser diretamente programadas no equipamento. No entanto, as componentes fundamentais parecem coincidir com a intuição. O ideal é se trabalhar a nível de interface com o usuário com as componentes fundamentais e a nível de equipamento com a soma de três primárias. Já existem algoritmos que permitem a transformação de especificações matiz-saturação-luminância para vermelho-verde-azul. Estes algoritmos podem ser encontrados em ENC86 e FOL84.

### 3) DUAS SOLUÇÕES PARA O MESMO PROBLEMA

Para que se possa armazenar apropriadamente uma imagem digital colorida, deve-se, à princípio, utilizar três matrizes de intensidade  $I_{vr}(x,y)$ ,  $I_{vd}(x,y)$  e  $I_{az}(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  são as posições espaciais e os índices  $vr$ ,  $vd$  e  $az$  indicam as componentes primárias de soma: vermelho, verde e azul. Se cada componente primária puder assumir 256 níveis de intensidade (8 bits), cada pixel da imagem poderá assumir  $256 \times 3$  (16.777.216) cores diferentes! Este tipo de sistema permite grande flexibilidade pois é possível se atribuir, de forma independente, uma cor diferente a cada pixel da imagem. Este equipamento é muito usado para visualização de imagens multiespectrais. Pode-se escolher quaisquer três bandas espectrais da mesma imagem e armazená-las nas matrizes  $I_{vr}$ ,  $I_{vd}$  e  $I_{az}$ . Obtém-se, assim, uma imagem final colorida. O processo se denomina coloração por "Falsa Cor", que se distingue claramente da coloração por "Pseudocor" já apresentada. No entanto, o uso de três memórias de vídeo exige um equipamento sofisticado e rápido. No mais, é necessário o triplo de memória que se utilizaria para armazenar uma imagem monocromática. Qualquer mudança na coloração da imagem exige processamento de grande quantidade de dados.

Uma opção para se colorir uma imagem digital é o uso de tabela tríplice de consulta (ou LUT, do inglês Look-Up-Table). Basta que se tenha armazenado em memória a imagem monocromática. A intensidade de cada pixel serve de entrada para a LUT, que fornece um valor para o vermelho, verde e azul. Desta forma, tem-se um

mapeamento direto de intensidade de nível de cinza para uma cor específica. O processo é muito rápido, pois só é necessário que se mude o conteúdo da LUT para se obter outra coloração da imagem. A maior fragilidade deste tipo de sistema reside na baixa seletividade da coloração. Caso se queira colorir de verde um livro, que foi digitalizado com o nível de cinza N, basta que se coloque na entrada N da LUT a combinação vermelho-verde-azul necessária. Porém, não só os pixels do livro, mas todos os pixels da imagem que possuírem nível de cinza N, serão coloridos com verde. O sistema é mais eficiente quando se deseja um mapeamento direto de nível de cinza para cor, não se levando em conta considerações espaciais ou de vizinhança.

Alguma seletividade na coloração pode ser obtida, mesmo com o uso de LUT, através do processo de segmentação. Define-se como segmento uma porção da imagem que se deseja colorir de forma independente. Tem-se que garantir que os níveis de cinza dos pixels do segmento não sejam encontrados em nenhum outro pixel da imagem. Para isto, se faz necessária a compressão da imagem. Uma imagem com 256 níveis de cinza pode, por exemplo, ser comprimida para 32 níveis. Aos níveis de cinza de cada segmento, deve-se somar uma constante de forma que estes variem, por exemplo, de 33 a 64, utilizando, pois, entradas distintas na LUT. Os 224 níveis de cinza não utilizados podem servir como entradas da LUT para os segmentos gerados. O processo de segmentação é sempre acompanhado de perda de resolução. Porém desde que não se comprometa muito a qualidade da imagem, amplia-se satisfatoriamente as possibilidades de coloração.

#### 4) DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO

Um Sistema de Coloração de Imagens está sendo implementado no Laboratório de Computação Gráfica e Processamento de Imagens da Universidade Estadual de Campinas. Dispõe-se de uma máquina Homuk (Homogener Multiprozessorkern) equipada com quatro UCP's ELTEC E3-121/68K a base de microprocessador Motorola 68000, havendo possibilidade de processamento paralelo; uma placa digitalizadora de imagens ELTEC PPI1/68k com gerador de vídeo, LUT e extensa memória de vídeo (2Mbytes); monitor colorido NEC TC-1401PL3ED e uma câmera preto e branco KENTEC CCDTK204.

Desenvolveu-se um pacote básico de software para processamento digital de imagens. O pacote gerencia a aquisição de

imagens via câmera e o armazenamento delas no disco rígido, tanto quanto o acesso às 16 imagens que podem ser armazenadas simultaneamente na memória de vídeo. Uma vez que se tenha adquirido uma imagem, o software permite aplicar-lhe um algoritmo de melhoramento (Enhancement), a dizer: manipulações com o histograma de níveis de cinza (equalizações de histograma etc.), mapeamentos de níveis de cinza, convolução com máscaras etc. Como a coloração é feita por meio de LUT, faz-se necessário o processo de segmentação para que se obtenha alguma seletividade. O pacote permite crescimento de regiões por variância de nível de cinza, segmentação de regiões a partir de bordas detectadas ou mesmo a edição direta das região de interesse. Informações mais detalhadas sobre métodos de melhoramento e segmentação podem ser encontradas em GON87.

O pacote para processamento digital de imagens serve como suporte para o sistema de coloração. Primeiramente, a imagem é adquirida e melhorada para se sejam corrigidas possíveis deficiências da digitalização. Após isto, a imagem sofre um processo de segmentação, no qual são separadas regiões de interesse. Uma vez que se tenha segmentado a imagem, pode-se aplicar, a cada segmento, um algoritmo adequado para a geração de pseudocor. A seguir serão apresentados alguns dos algoritmos já implementados no equipamento.

## 5) ALGUNS MÉTODOS PARA GERAÇÃO DE PSEUDOCOR

### i) ROTAÇÃO DA LUT

Deve-se inicializar a LUT de forma que entradas vizinhas na tabela apresentem grande contraste de cores. Assim, o vermelho deverá ser armazenado próximo do verde, o azul do amarelo etc. Uma pequena rotação dos dados na LUT produzirá uma grande mudança visual na imagem colorida. Pode-se continuar o processo de rotação até que a região de interesse apresente a pseudocor desejada.

### ii) PLANOS DE CORTE

Supondo que os níveis de cinza podem assumir valores entre 0 e N, pode-se definir um plano de corte na intensidade  $N_1$  ( $0 < N_1 < N$ ). Definem-se assim duas regiões distintas: do nível de cinza 0 ao  $N_1$  e do  $N_1+1$  ao N. O método se resume em atribuir uma

cor a cada uma das regiões. Um pixel receberá uma cor de acordo com sua posição relativa ao plano de corte (acima ou abaixo). O método pode ser generalizado permitindo-se a definição de L planos de corte e, por conseguinte, L+1 regiões. Atribui-se, da mesma forma, uma cor a cada região.

### iii) INTERPOLAÇÃO

No processo de interpolação, faz-se uma correspondência linear entre nível de cinza e uma das componentes fundamentais da cor : matiz, saturação ou luminância. Escolhe-se qual componente será interpolada e fixa-se as outras duas em um valor desejado. É comum também pedir-se os valores inicial e final da componente a ser interpolada, de modo a se ter bem definidos os limites de interpolação. Na interpolação de matiz, pode-se conseguir interessantes variações espectrais como uma graduação tipo arco-íris. Ter-se-á, neste caso, os pixels escuros mapeados em vermelho, os médios em verde e os claros em azul. Esta é uma coloração muito útil para vários tipos de aplicação, pois esta escala é muito intuitiva para o usuário (vermelho/quente, azul/frio!). No caso da interpolação de saturação, a escala tenderá a ir da cor pura (nos pixels escuros) ao branco (nos pixel mais claros). Este tipo de interpolação é muito útil quando se deseja colorir um objeto onde haja, em alguns pixels, estouro de intensidade ou brilho intenso. É o caso de uma esfera metálica, capô de um automóvel refletindo uma fonte de luz ou mesmo nuvens brancas contrastando com um céu azulado. No caso da interpolação de luminância, simplesmente se escolhe uma crominância (matiz+saturação) e faz-se uma correspondência linear entre o nível de cinza do pixel e a luminância da cor. Este tipo de interpolação reproduz com boa fidelidade a noção de profundidade e sombreamento que se encontrava na cena monocromática.

Com o intuito de se obter um grau ainda maior de realismo na coloração de imagens monocromáticas, desenvolveu-se o algoritmo de interpolação cilíndrica. Neste algoritmo se faz a interpolação não só de uma, mas das três componentes fundamentais simultaneamente. Consegue-se com isto a reprodução de padrões complexos de cor, padrões estes que ocorrem na maioria das cenas reais. No exemplo de um por-do-sol, tem-se um padrão que vai do azul ao amarelo, passando pelo vermelho. O azul tem algum branco

diluído e pouca luminância, enquanto o amarelo é bem saturado e com muito brilho. Consegue-se também evitar o aparecimento de contornos em preto, que são comuns nas interpolações simples. O contorno faz com que a cena fique artificial, mais parecida com um desenho. No mais, melhora-se muito o sombreamento dos objetos da imagem, reproduzindo-se, com mais fidelidade, a noção de profundidade.

#### iv) TRANSFORMAÇÕES

Neste caso, utiliza-se três funções  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ , de forma que, para cada nível de cinza  $n$  ( $0 \leq n \leq N$ ), se tenha :

$$\text{Vermelho } (n) = F_1(n)$$

$$\text{Verde } (n) = F_2(n)$$

$$\text{Azul } (n) = F_3(n)$$

Pode-se usar uma função distinta para cada uma das primárias ou, o que é mais comum, usar a mesma função transladada. Caso se use a mesma função nos três canais, a imagem continuará monocromática. Nas figuras 2a, 2b, 2c são apresentadas as transformações mais utilizadas. A transformação de módulo de seno, como pode ser observado na figura 2a, apresenta pequena variação na vizinhança dos máximos locais e variações rápidas nos mínimos. Com a colocação adequada dos máximos e mínimos, ajustando-se para isto tanto a frequência dos senos quanto suas fases iniciais, pode-se conseguir grande variedade de resultados. A transformação da fig. 2b produzirá uma escala de cores familiar ao usuário, a dizer, os pixel escuros apresentarão um tom de azul, os médios um tom de verde e os claros um tom de vermelho. A maior vantagem da transformação da figura 2c reside no fato de que as cores obtidas estarão normalizadas em relação a intensidade, isto é :

$$\text{Vermelho} + \text{Verde} + \text{Azul} = \text{Constante.}$$

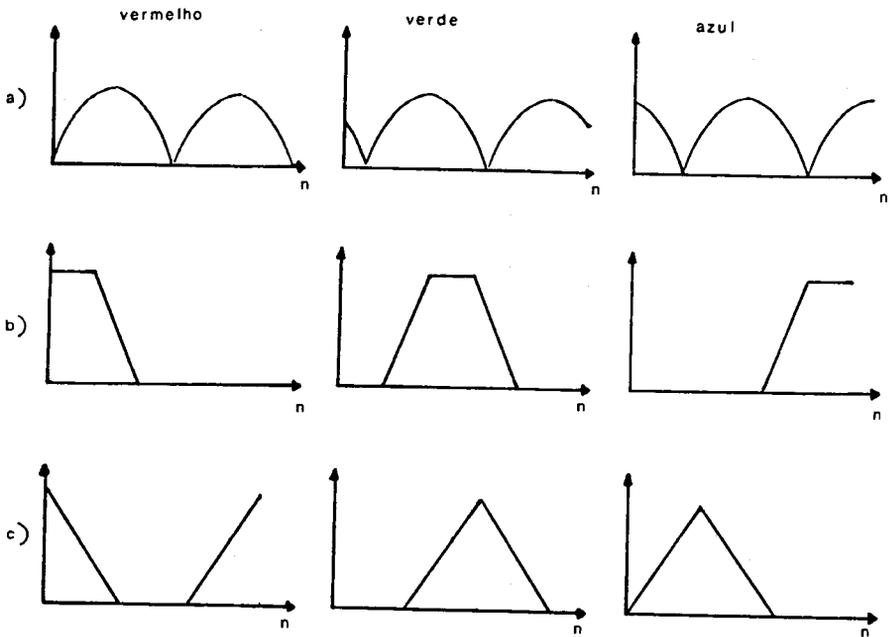


Fig. 2 - (a) Transformação módulo do seno. (b) Transformação com escala cromática. (c) Transformação com luminosidade normalizada.

#### v) Edição da LUT

É muito importante que se tenha a possibilidade de edição, linha a linha, da LUT. Com isto, pode-se realçar um detalhe em especial que esteja associado a um nível de cinza específico. Na maioria dos casos, a edição é usada em conjunto com outros métodos, para que se tenha maior controle sobre o processo de coloração.

#### 6) CONCLUSÃO

Na grande maioria das imagens nas quais se aplicou pseudocor, foi possível realçar detalhes que antes estavam mascarados ou de difícil interpretação. Além disto, as imagens se

tornaram mais fáceis de serem interpretadas, analisadas e reconhecidas. O processo pode ser aplicado com sucesso em radiografias e tomografias médicas, fotos aeroespaciais, cartografia etc. Conseguiu-se, também, alto grau de realismo, ao se cromatizar imagens preto e branco, nas quais se queria, da maneira mais próxima possível, recuperar as cores originais da cena.

#### BIBLIOGRAFIA

- AND82 H. C. Andrew, A. G. Tescher e P. P. Kruger, "Image Processing by Digital Computer", IEEE Spectrum, vol. 9, número 7, pp 20-30, julho 1982.
- BER78 Ralph Bernstein, "Digital Image Processing for Remote Sensing", IEEE Press, 1978.
- EKS84 Michael P. Ekstrom, Digital Image Processing Techniques, Academic Press Inc, 1984.
- ENC86 J. Encarnação e W. Strasser, Computer Graphics, R. Oldenbourg Verlag, Munchen Wien, 1986.
- FOL84 J. D. Foley e A. Van Dam, Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison-Wesley Publishing Company, 1984.
- GON87 C. R. Gonzalez e P. Wintz, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1987
- GRE83 Willian B. Green, Digital Image Processing - A System Approach, Van Nostrand Reinhold Electrical Computer Science and Engineering Series, 1983.
- SCH83 Robert A. Schowengerdt, Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Academic Press, 1983.