

Fundamentos de Processamento Imagens

Aula 19 Sistemas, Modelos e Espaços de Cores

Horacio E. Fortunato

Instituto de Informática
Universidade Federal de Rio Grande do Sul
Porto Alegre - RS
hfortunato@percepctrônica.com.br

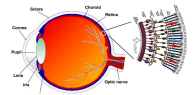
Adaptado de slides do Prof. Manuel Menezes de Oliveira Neto (INF-UFRGS)

8 de novembro de 2009



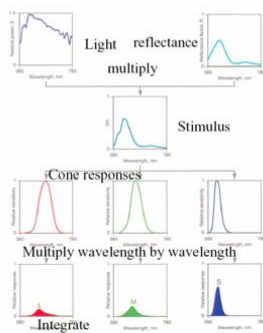
Cor

- Sensação (processo perceptual) induzida pela luz que atinge os fotorreceptores na retina
- A luz que chega à retina depende das propriedades de absorção, espalhamento (scattering) e foco das estruturas que compõem o sistema visual humano (córnea, cristalino e fluidos - humor aquoso e vítreo)
- Antes de chegar à retina, a luz pode sofrer alterações em sua distribuição espectral devido às respostas espectrais dos objetos
- $\text{Cor} = \text{fonte de luz} * \text{objeto} * \text{sensibilidade do observador}$



Cor

- Metamerismo



Classificação de Cores

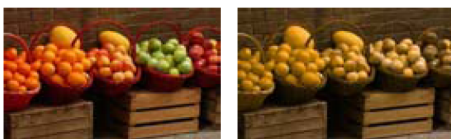
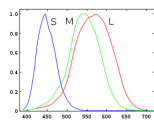
- O Experimento da Ilha Deserta
 - "Suponha que um indivíduo com visão normal, e sem qualquer experiência anterior com cores, encontrava-se em uma ilha deserta e viu-se rodeado por uma infinidade de pedrinhas com texturas semelhantes, mas com grande diversidade de cores. Para passar o tempo, resolveu ordenar as pedrinhas de acordo com suas cores".

Como você ordenaria as pedrinhas?



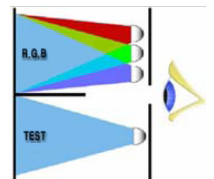
Olho Humano

- Sistema Visual Humano fundamentado pela teoria tricromática
 - Young (1801): Fotorreceptores sensíveis a 3 faixas do espectro
 - Helmholtz (1859): Qualquer cor pode ser formada por 3 cores puras
 - Hering (1878): Sinais oponentes L-(RG)-(YB)
 - Indivíduos daltônicos confundem vermelho e verde, ou azul e amarelo, de modo exclusivo



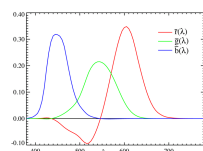
CIE-RGB (1931)

- Indivíduo deve ajustar as 3 luzes primárias para ser perceptualmente igual a luz de teste
 - Luzes primárias são monocromáticas: Vermelho (700nm), Verde (546nm), Azul (436nm)
 - Luz de teste monocromática e seu comprimento de onda ajustável
- A luz de teste é alterada para diversos comprimentos de ondas do espectro visível e os valores ajustados das luzes primárias são tabulados



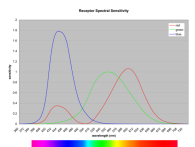
CIE-RGB (1931)

- Na função $r(\lambda)$ e $g(\lambda)$ diversos valores negativos, como?
 - Devido a linearidade do modelo de cor aditivo, o valor negativo significa que luz primária foi colocada junto com a luz de teste
- Implica que diversas cores visíveis do espectro não podem ser reproduzidas por estas 3 cores primárias
 - Existem 3 cores primárias que sejam capazes de reproduzir todas as cores visíveis do espectro?
 - Ponto de vista matemático, basta achar uma base de funções que os valores sejam sempre maiores ou iguais a zero Color matching functions



CIE-XYZ (1931)

- Comitê definiu 3 cores primárias (X, Y, Z) que permitem representar todas as cores do espectro visível
 - Adotaram estas letras por estas cores primárias serem imaginárias
- Base de cores primárias seguiu algumas propriedades
 - Valor das funções são sempre maior ou igual a zero
 - Função $y(\lambda)$ deve ser igual a função de luminância CIE-1924 $V(\lambda)$
 - Quando a energia é constante (luz acromática) $x = y = z = 1/3$
- Converter de CIE-RGB \rightarrow CIE-XYZ é uma transformação linear



Sólido de Cor CIE-XYZ (1931)

- Sólido que contém todas as cores do espectro visível
 - Representado no espaço CIE-XYZ
 - Cores espectrais ficam na fronteira deste sólido
 - Cone convexo

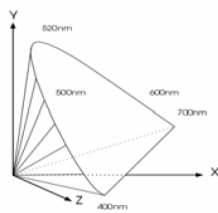
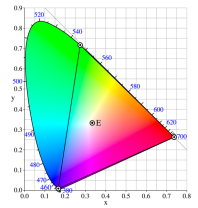


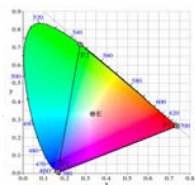
Diagrama CIE-XYZ (1931)

- Plano no sólido de cor onde $X + Y + Z = 1$
- Coordenadas de Cromaticidade
 - $x = X/(X + Y + Z)$
 - $y = Y/(X + Y + Z)$
 - $z = Z/(X + Y + Z)$
- Diagrama de Cromaticidade
 - Projeção do plano $X+Y+Z=1$ no plano XY
 - Reta púrpura une as cores espectrais azul e vermelho



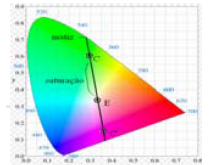
Propriedades do Diagrama

- Dada 2 cores no diagrama, as cores formadas pela mistura destas estão contidas na reta que une estas duas cores
- Dada 3 cores no diagrama, todas as cores formadas pela mistura destas 3 cores, estão contidas no triângulo formado por estas 3 cores
- Distância xy entre duas cores não representa a distância percebida entre estas duas cores. Outros espaços de cores foram desenvolvidos para isto (CIE-L*u*v* e CIE-L*a*b*)
- Contém todas as cromaticidades visíveis pelo olho humano



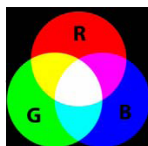
Propriedades do Diagrama

- Considere uma reta do branco padrão (E) para uma dada cor (C):
 - A interseção desta reta com a fronteira do diagrama define a matiz (hue) da cor C
 - A razão entre as distâncias da cor (C) para o branco padrão (E) e da sua matiz para o branco padrão (E) define a saturação desta cor
 - A cor (C') do lado oposto ao branco padrão (E) com distância relativa igual a cor (C) define a cor complementar



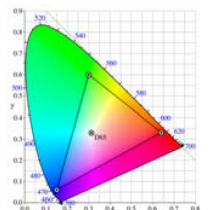
Modelo de Cores RGB

- Modelo aditivo que utiliza as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B) como primárias, que combinadas reproduzem as outras cores
- Modelo de cores mais popular, utilizado em monitores
- Existem diversos espaços de cores que utilizam este modelo: sRGB, Adobe RGB, Adobe Wide Gamut RGB
 - Espaço de cores é definido através da especificação das 3 primárias (R, G, B) e do branco padrão



Espaço de Cores sRGB

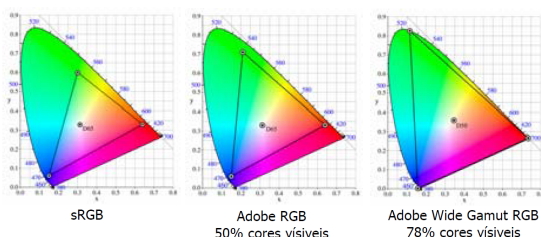
- Standard RGB (sRGB) é o espaço de cores padrão em monitores, câmeras digitais, scanners e representação de imagens em computadores
- Criado em parceria pela HP e Microsoft
- Utiliza as 3 primárias definidas na ITUR BT.709-2 e o branco padrão é D65



$$\begin{bmatrix} R_{linear} \\ G_{linear} \\ B_{linear} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2410 & -1,5374 & -0,4986 \\ -0,9692 & 1,8760 & 0,0416 \\ 0,0556 & -0,2040 & 1,0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

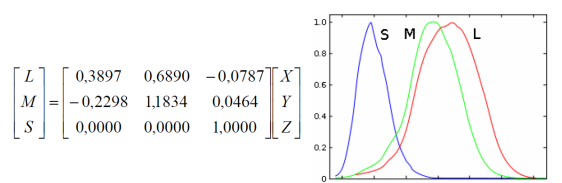
$$C_{srgb} = \begin{cases} 12,92 C_{linear}, & C_{linear} \leq 0,0031308 \\ 1,055 C_{linear}^{1/2,4} - 0,055, & C_{linear} > 0,0031308 \end{cases}$$

Comparação entre Espaços de Cores RGB



Espaço de Cores LMS

- Espaço de cores baseado na resposta espectral dos 3 tipos de cones na retina humana, sensíveis aos comprimentos de onda longos (L), médios (M) e curtos (S)



$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3897 & 0,6890 & -0,0787 \\ -0,2298 & 1,1834 & 0,0464 \\ 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Espaços de Cores YUV e YIQ

- Espaços de cores que definem uma componente de luminância (Y) e duas componentes de crominância (UV e IQ)
- Utilizado nos padrões de televisão PAL, NTSC e SECAM
 - Manter a compatibilidade com os televisores em "preto-branco"

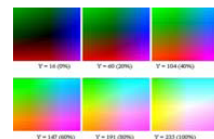
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.00001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.595716 & -0.274453 & -0.321264 \\ 0.211456 & -0.522591 & 0.311135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Espaço de Cores YCbCr

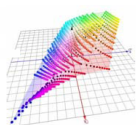
- Espaço de cores padrão para os algoritmos de compressão de imagem e vídeo (JPEG, MPEG, DVD, HDTV)
- Utiliza uma componente de luminância (Y) e duas componentes de crominância (Cb e Cr)
 - YPbPr é a versão analógica deste espaço de cores

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cr \\ Cb \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168736 & -0.331264 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418688 & -0.081312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



CIE-L*a*b* (1976)

- Utiliza um canal de luminância (L^*) e dois canais de oposição verde-vermelho (a^*) e azul-amarelo (b^*)
 - Baseado no segundo estágio do sistema visual humano
- Espaço de cores perceptualmente aprox. uniforme: distância euclidiana entre duas cores é proporcional a distância percebida entre as duas cores



$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0,008856 \\ 7,787t + 16/116 & t \leq 0,008856 \end{cases}$$

Espaço de Cores HSL

- Define uma cor através da sua matiz (H), saturação (S) e luminância (L)
- Utilizado em interfaces para o usuário escolher cores devido a similaridade com que descrevemos as cores

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & \text{max} = \text{min} \\ 60^\circ \frac{G-B}{\text{max}-\text{min}} & \text{max} = R \text{ e } G \geq B \\ 60^\circ \frac{G-B}{\text{max}-\text{min}} + 360^\circ & \text{max} = R \text{ e } G < B \\ 60^\circ \frac{B-R}{\text{max}-\text{min}} + 120^\circ & \text{max} = G \\ 60^\circ \frac{B-R}{\text{max}-\text{min}} + 240^\circ & \text{max} = B \\ 60^\circ \frac{R-G}{\text{max}-\text{min}} & \text{max} = B \end{cases}$$

$$L = 0.5(\text{max} + \text{min})$$

$$S = \begin{cases} 0 & L = 0 \text{ ou } \text{max} = \text{min} \\ \frac{\text{max}-\text{min}}{2L} & 0 < L \leq 0.5 \\ \frac{\text{max}-\text{min}}{2-2L} & L > 0.5 \end{cases}$$



Modelo de Cores CMYK

- Modelo subtrativo de cores que utiliza as primárias ciano (C), magenta (M) e amarelo (Y)
 - Preto (K) é utilizado por questões de economia, pois é formado pela mistura das 3 primárias
- Utilizado para impressões



$$C = G + B$$

$$M = R + B$$

$$Y = R + G$$

Luz branca (1,1,1)

Tinta ciano (0,1,1)

Componente vermelha é absorvida