

Aula – Computação Gráfica

Espaço de Cores

Slides para uso pessoal e exclusivo durante o período de aula. Distribuição ou qualquer uso fora do escopo da disciplina é expressamente proibido.

1

1

Visão Geral

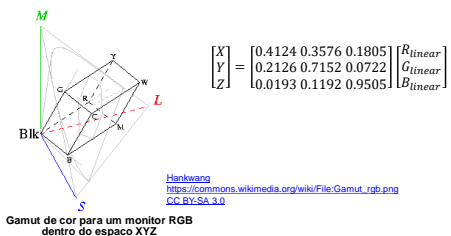
- Diagrama CIE
- Modelos de Cores
- Prós e Contras
- Interpolação

2

2

Diagrama CIE

- Notem o formato irregular do gamut no CIE
- Número de cores do monitor é bem menor do que do CIE
- Note a distorção do espaço RGB

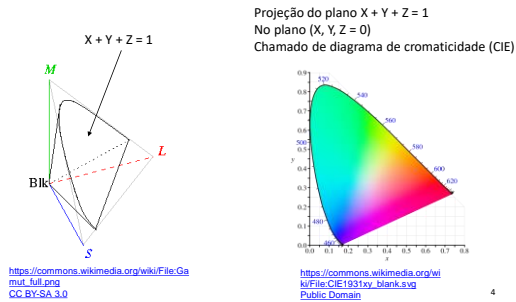


3

3

Diagrama CIE

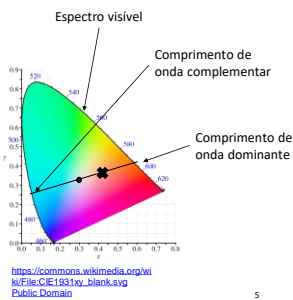
- Espaço de cores CIE (matemático)



4

Diagrama CIE

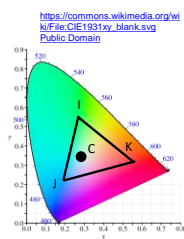
- Mostra todas as cores visíveis
- Cores com mesma cromaticidade mapeiam para um mesmo ponto independente da luminância
- Cores puras estão na curva
- Pontos na linha são misturas de duas cores
- Pontos relacionados a luminância não mostrados
 - Ex. Marrom = vermelho+laranja com baixa luminância
- O iluminante C está próximo ao $x=y=z=1/3$



5

Diagrama CIE

- Cores são somadas linearmente no CIE
 - Misturas de I e J estão em uma linha
- Portanto, todas as misturas de 3 cores
 - Estão no Gamut (Gama de cores)
- Não há combinação de 3 cores que represente todas as cores visíveis
- DEMO: http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a_chroma.html

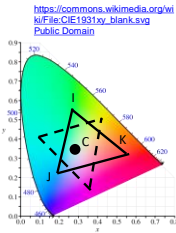


6

6

Diagrama CIE

- Cores são somadas linearmente no CIE
 - Misturas de I e J estão em uma linha
- Portanto, todas as misturas de 3 cores
 - Estão no Gamut (Gama de cores)
- Não há combinação de 3 cores que represente todas as cores visíveis
- DEMO: http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a_chroma.html



7

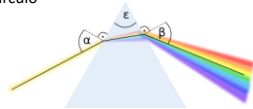
7

Espaços de Cores

- É uma maneira de ordenar cores
 - Em uma, duas, três ou mais dimensões geométricas
- De 600 BC a 1600AD
 - Cores eram ordenadas por brilho
- Newton demonstrou uma ordenação familiar com um prisma
 - Arco íris
 - Primeiro a ordenar em um círculo



donald,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farbkreis_Newton.svg
Public Domain



Subtotal and others,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-with-angles.svg
CC BY-SA 3.0

8

Modelos de Cores

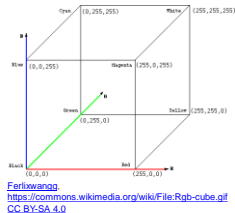
- Situações diferentes sugerem modelos diferentes
 - Padrões da indústria requerem um modelo CIE
 - Espaço CIE
 - Programar para monitores é mais fácil com monitor RGB
 - Espaço RGB
 - Impressoras usam CMY(K) (ciano, magenta, amarelo)
 - Espaço CMYK
 - User-friendly: Matiz(Hue), Saturação, Valor – HSV
 - Espaço HSV
 - Uniformidade perceptiva
 - Espaço CIELab
 - É possível criar o seu próprio espaço

9

9

Modelo RGB

- As cores primárias são aditivas
- RGB define um cubo
- Tons de cinza estão na diagonal
 - Preto é (0, 0, 0)
 - Branco é (1, 1, 1)
- Gamut de cores RGB
 - Varia de monitor para monitor
 - Varia por empresa também
 - Adobe RGB
 - Mais cores
 - sRGB (HP/Microsoft)
 - Menos cores com mais profundidade



Farlowanqa
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rgb-cube.gif>
 CC BY-SA 4.0

<https://www.kenrockwell.com/tech/adobe-rgb.htm>

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/sRGB-AdobeRGB1998.htm>

10

10

Modelo RGB

- Conversão entre espaços RGB
 - Converta um para CIE X Y Z
 - Converta de CIE X Y Z para o outro
- M é uma matriz 3x3 de coeficientes
- Onde, X_r, X_g, X_b são os pesos aplicados para achar X, e etc
- Se M_1 e M_2 são as matrizes de conversão de cada monitor
- Então $M_2^{-1} M_1$ converte do monitor 1 para o 2

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix}$$

11

11

Modelo RGB

- Conversão entre espaços RGB
 - Mas e se C_1 está no gamut do monitor 1 mas não está no 2
 - C_2 cai fora do cube e portanto não é visível
- Solução 1:
 - Truncar o RGB em 0 e 1
 - Simples, mas distorce a relação entre as cores
- Solução 2:
 - Comprimir o gamut de 1 em direção ao centro
 - Garantir que todas as cores estão no gamut de 2

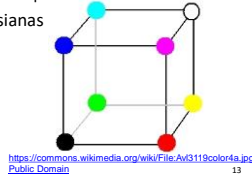
12

12

Modelo CMY(K)

- Usado em impressoras que depositam pigmento no papel
- Ciano – C, Magenta – M, Amarelo (Y)
 - São complementos de vermelho (R), verde (G) e azul (B)
- Cores primárias subtrativas
 - Cores são determinados pelo que é retirado do branco
 - Ao invés de o que é adicionado ao preto
- Sistema de coordenadas cartesianas
- É representado por um cubo
 - Branco é origem (0,0,0)
 - Preto é (1,1,1)

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



13

13

Modelo CMY(K)

- Maioria das impressoras usa CMY-K (preto)
- K é usado para evitar usar quantidades iguais de CMY
 - Menor quantidade de tinta é colocada no papel
 - Seca mais rápido
 - Chamada de undercolor
 - Preto enriquecido

$$K = \min(C, M, Y)$$

$$C' = C - K$$

$$Y' = Y - K$$

$$M' = M - K$$

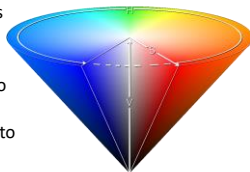
um dos C', Y', M' será 0

14

14

Modelo HSV

- Matiz (H - Hue), Saturação (S), Valor (V) – Brilho
- O espaço HSV foi inventado por Alvy Ray Smith
 - SIGGRAPH 1978
- Hexcone de coordenadas polares
- É intuitivo para humanos
 - Artistas (Tinta, sombra e tom)
- Tinta: Adicionar pigmento branco
 - Manter V e decrementar S
- Sombra: Adicionar pigmento preto
 - Manter S e decrementar V
- Tom
 - Decrementar S e V



(J Buckley) 2011
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_cone.png
 CC BY-SA 3.0

15

15

Modelo HSV

- Cores no plano $V = 1$ não são igualmente brilhosas
- Cores complementares estão a 180°
- Saturação é medida em relação ao gamut
 - Portanto não representa pureza de excitação
- Topo do HSV é uma visão
 - Ao longo da diagonal principal do RGB
- Caminho linear no RGB
 - É diferente de caminho linear no HSV

16

16

Modelo HSV

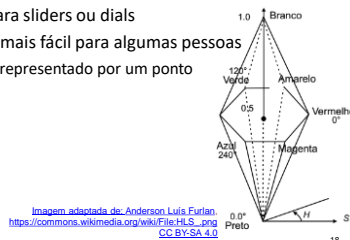
- RGB para HSV e vice versa
 - Basta seguir as fórmulas

17

17

Modelo HLS

- Matiz (H - Hue), Luminosidade (L), Saturação (S)
- Hexcone duplo
- Saturação máxima do Matiz ocorre com $S = 1$ e $L = 0.5$
- Menos atrativo para sliders ou dials
- Conceitualmente mais fácil para algumas pessoas
 - Pois o branco é representado por um ponto



18

18

Uniformidade Perceptiva

- RGB, HSV, HSL não são percebidos uniformemente
 - Mudança de $C1$ para $C1'$ de um Δ e de $C2$ para $C2'$ de um Δ
 - São matematicamente equivalentes
 - São percebidas de forma diferente

19

19

Modelo CIE Lab

- Popular na medição de objetos reflexivos e transmissivos
- Baseado nos 3 receptores do olho humano
- Três componentes
 - L^* é luminosidade
 - a^* é o eixo vermelho/verde
 - b^* é o eixo amarelo/azul
- Espaço descrito matematicamente
 - Percepção das cores é uniforme
- O espaço depende do branco
 - Branco é dado (X_n , Y_n , Z_n)

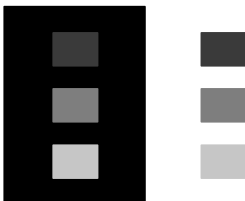
<https://www.youtube.com/watch?v=99GczKnEObw>

20

20

Modelo CIECAM02

- Modelo da aparência da cor
- Mesmo modelos com percepção uniforme
 - Não levam em conta a interação entre as cores

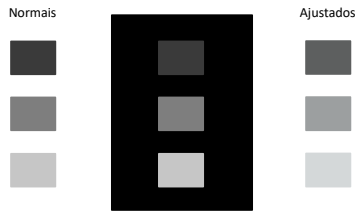


22

22

Modelo CIECAM02

- Modelo da aparência da cor
- Mesmo modelos com percepção uniforme
 - Não levam em conta a interação entre as cores

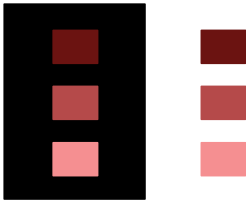


23

23

Modelo CIECAM02

- Modelo da aparência da cor
- Mesmo modelos com percepção uniforme
 - Não levam em conta a interação entre as cores

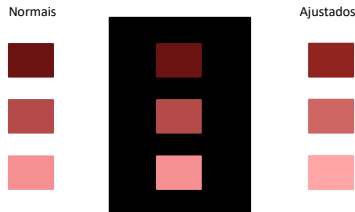


24

24

Modelo CIECAM02

- Modelo da aparência da cor
- Mesmo modelos com percepção uniforme
 - Não levam em conta a interação entre as cores



25

25

Prós e Contras do Modelos de Cores

- RGB
 - + Sistema de coordenadas cartesianas
 - + Linear
 - + Baseado em hardware (facilita conversão para vídeo)
 - + Tri-estímulo
 - - Difícil de usar para pegar e nomear cores
 - - Não cobre o gamut das cores percebidas
 - - Não uniforme:
 - Distancia geométrica igual é percebida diferente

26

26

Prós e Contras do Modelos de Cores

- HSV
 - + Intuitivo sistema de coordenadas polares
 - + Fácil de especificar cores (intuitivo)
 - + Fácil de converter para RGB
 - - Não linear
 - - Não cobre o gamut das cores percebidas
 - - Não uniforme:
 - Distancia geométrica igual é percebida diferente

27

27

Prós e Contras do Modelos de Cores

- CIE X Y Z
 - + Cobre todo gamut de cores percebidas
 - + Baseado na percepção humana
 - + Linear
 - + Contém todos os outros espaços
 - - Não mostra a luminância (no plano X Y - horseshoe)
 - - Não uniforme:
 - Distancia geométrica igual é percebida diferente

28

28

Prós e Contras dos Modelos de Cores

- CIE Lab
 - + Uniforme em percepção
 - + Baseado em cores psicológica (y-b, r-g, w-b)
 - - interface geralmente difícil de lidar
 - - Visualização do espaço é difícil
 - - Inicialmente usado para conversão entre RGB e CMYK

29

29

Interpolação de Cores

- Interpolação é necessária para
 - Gouraud shading
 - Antialiasing
 - Junção de imagens
- Resultados dependem do modelo de cores utilizado
 - RGB, CMY, YIQ, CIE estão relacionados por uma transformação afim, portanto linhas são mantidas no mapeamento
 - Isso não é válido para HSV e HLS
- Exemplo
 - Interpolando vermelho e verde

vermelho = (1, 0, 0), verde = (0, 1, 0)
 interpolado = (0.5, 0.5, 0)

vermelho = (0°, 1, 1); verde = (120°, 1, 1)
 interpolado = (60°, 1, 1)
 RGB_to_HSV = (60°, 1, 0.5)

30

30

Interpolação de Cores

- RGB, vermelho é (1, 0, 0) e ciano é (0, 1, 1) que interpola para (0.5, 0.5, 0.5), cinza
 - Em HSV, isso é (UNDEFINED, 0, 0.5)
- Em HSV, vermelho é (0°, 1, 1) e ciano é (180°, 1, 1) que interpola para (90°, 1, 1)
 - Nova matiz com máximo valor e saturação
 - Porém, o resultado esperado de combinar porções iguais de cores complementares seria um tom de cinza
- (interpolar, transformar) ≠ (transformar, interpolar)
- Para interpolar
 - Usar um modelo aditivo, como RGB

31

31

Perguntas ?????

32