



Research Institute for Future Media Computing Institute of Computer Vision
未来媒体技术与研究所 计算机视觉研究所



多媒体系统导论

Fundamentals of Multimedia System

授课教师：朱映映

Email: zhuyy@szu.edu.cn

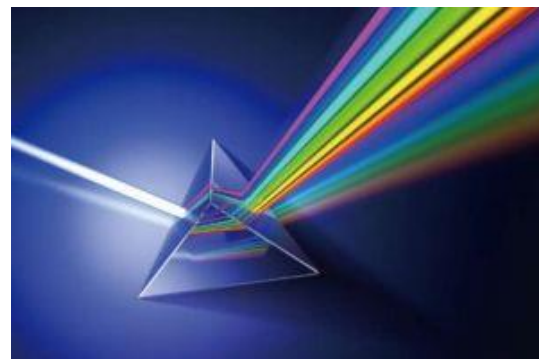
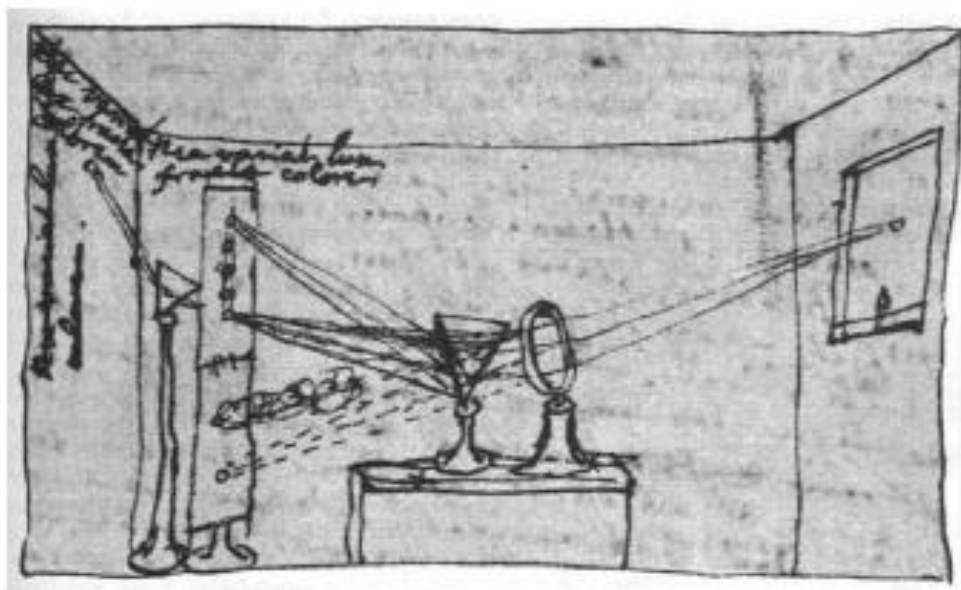
第三讲

Color in Image and video

第4章

光和光谱

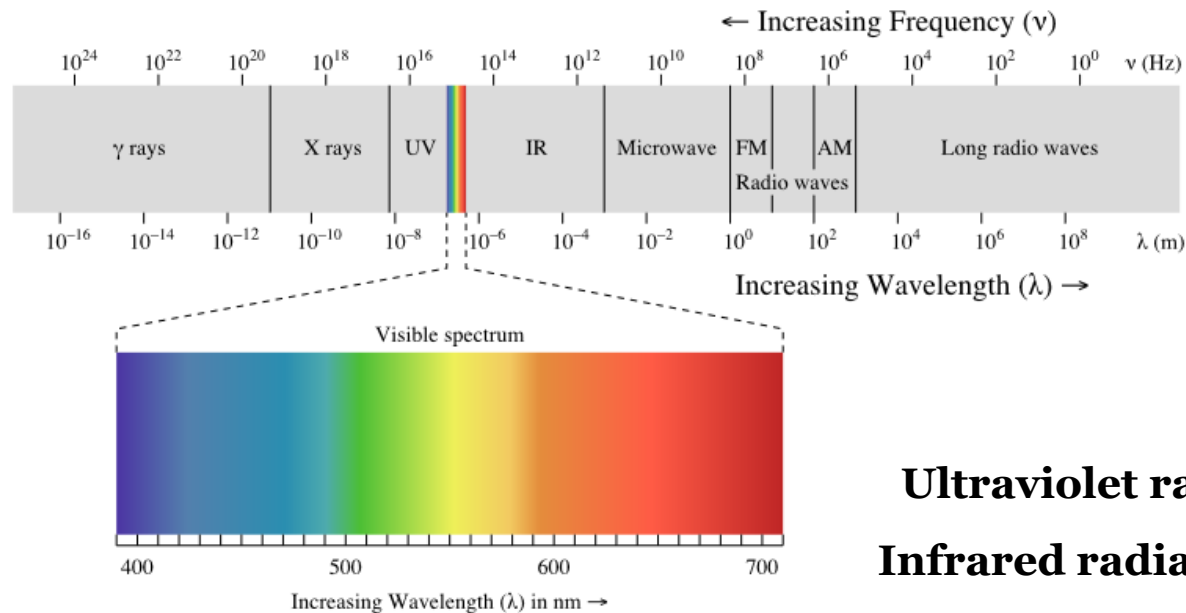
- ◆ 光是一种电磁波
- ◆ 可见光波长是波长在 380-780 nm(纳米, 10^{-9})之间的电磁波
- ◆ 颜色是视觉系统对可见光的感知结果



Sir Isaac Newton's experiment

光和光谱(续)

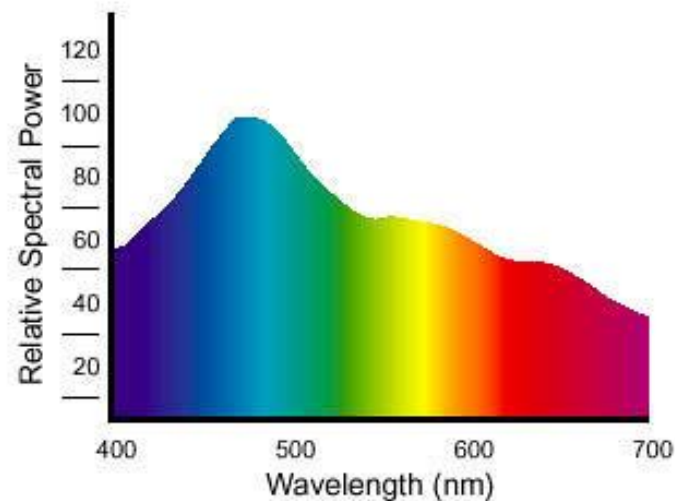
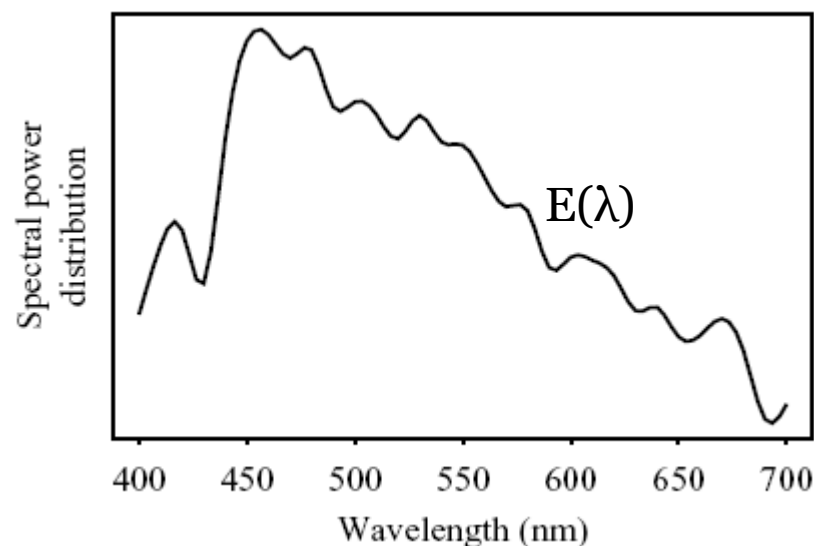
- ◆ 光的颜色由光的波长决定
- ◆ 短波产生蓝色感觉，长波产生红色感觉



Ultraviolet rays (UV): 紫外线
Infrared radiation (IR): 红外线

光和光谱(续)

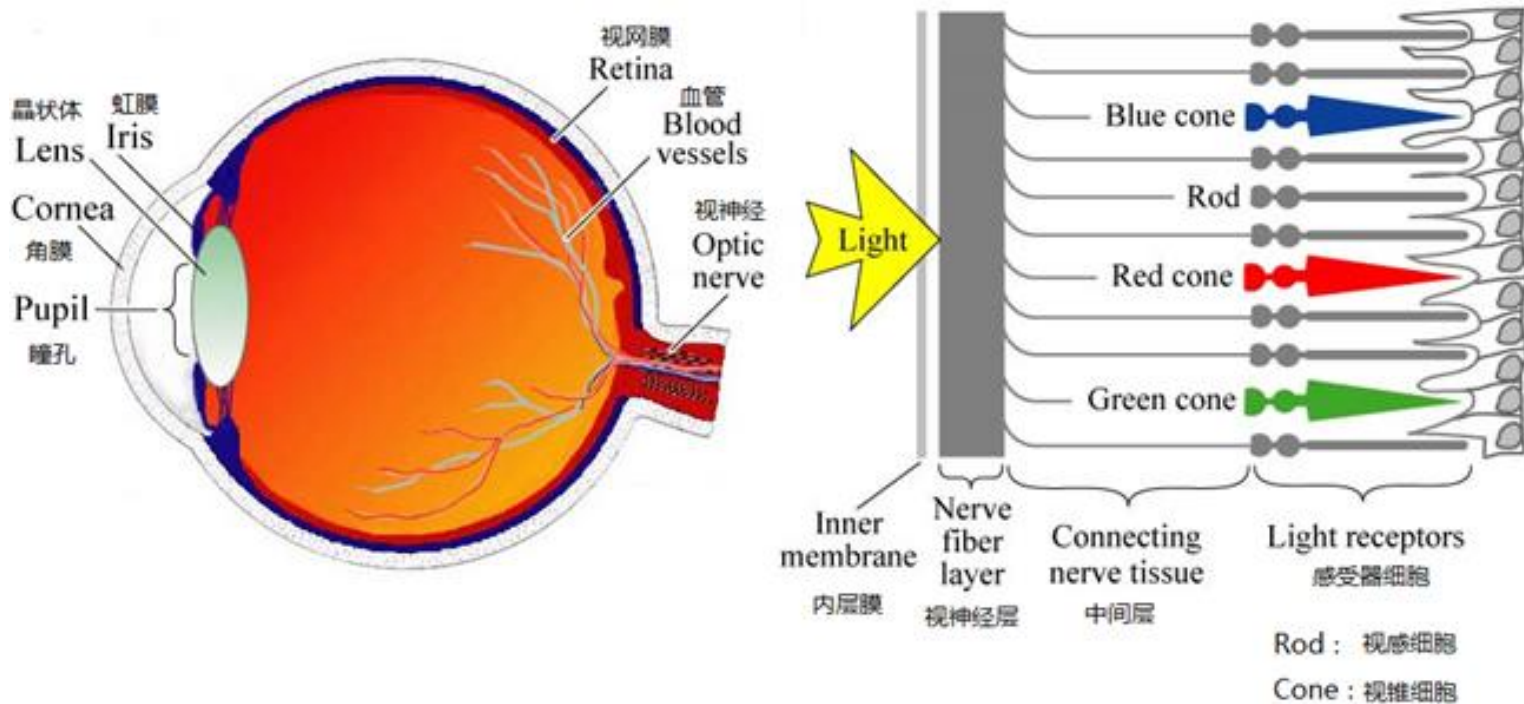
- ◆ 大多数光源由许多不同波长的光组合而成
- ◆ SPD 显示了每个波长的光的能量的相对数量



日光光谱能量分布

人类视觉

- ◆ 传感器为眼睛，处理器为大脑
- ◆ 人类视网膜由一组视杆细胞和三种视锥细胞组成
- ◆ 光线亮度低时，视杆细胞觉察灰度信息
- ◆ 光线亮度高时，三种视锥细胞对红(R)绿(G)蓝(B)光线最敏感



图像的形成

◆ 假设光是从物体表面反射得到，成像的情形如右下图所示：

具有光谱能量分布 $E(\lambda)$ 的光源发出的光照射到一个具有表面光谱反射函数 $S(\lambda)$ 的表面后被反射，然后被眼睛的视锥函数 $q(\lambda)$ 过滤，基本过程如右下图所示。

◆ 函数 $C(\lambda)$ 称为颜色信号，是光源 $E(\lambda)$ 与反射函数 $S(\lambda)$ 的乘积：

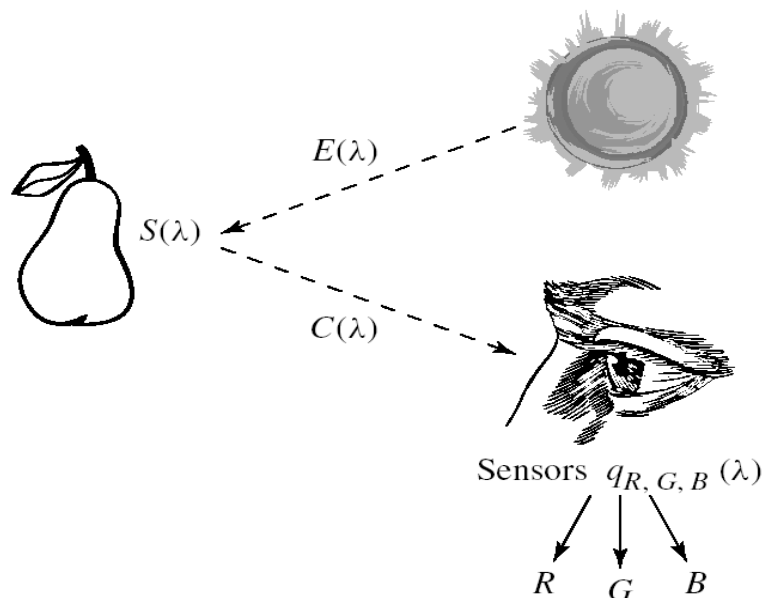
$$C(\lambda) = E(\lambda)S(\lambda)$$

$$R = \int E(\lambda)S(\lambda)q_R(\lambda) d\lambda$$

$$G = \int E(\lambda)S(\lambda)q_G(\lambda) d\lambda$$

$$B = \int E(\lambda)S(\lambda)q_B(\lambda) d\lambda$$

成像模型方程



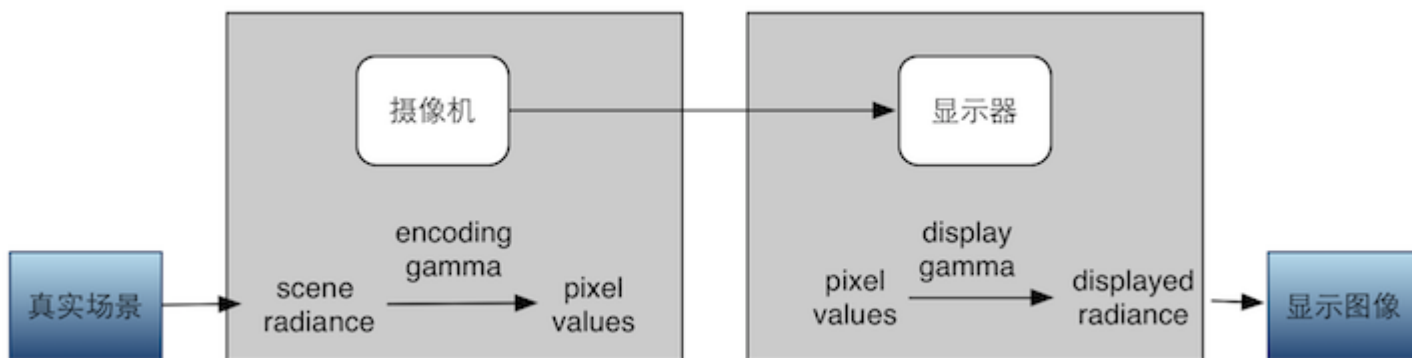
成像模型

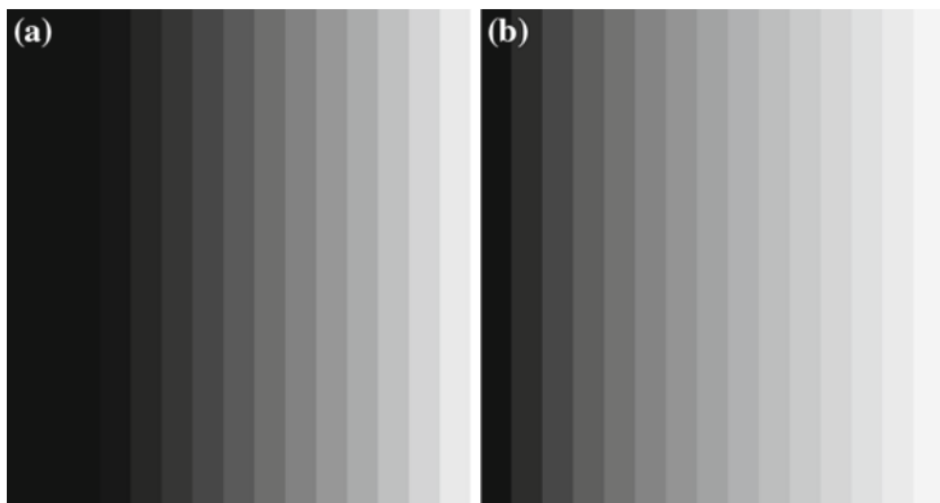
伽马(γ)校正

◆ γ 的概念

- 一般光电转换不成正比。
- 大多数光电转换特性都是非线性的，但有一个能够反映各自特性的幂函数，一般形式为

$$y = x^n \Rightarrow \text{输出} = (\text{输入})^\gamma$$





0-255的斜坡显示，没有 γ 矫正
深一点的图像显得过深

使用了 γ 矫正



原始图

$\gamma = 3$

伽马(γ)校正(续)

- γ (gamma): 衡量非线性部件的转换特性, 称为幂-律(power-law)转换特性。
- 输入和输出缩放到0 ~ 1之间, 0为黑电平, 1为颜色分量的最高电平。
- 对特定部件, 可度量它的输入与输出之间的函数关系, 从而找出 γ 值, 如投影幻灯片的 γ 值为1.5左右。
- 如果整个图像系统的 $\gamma = 1$, 可再现真实的原始场景。

◆ γ 校正

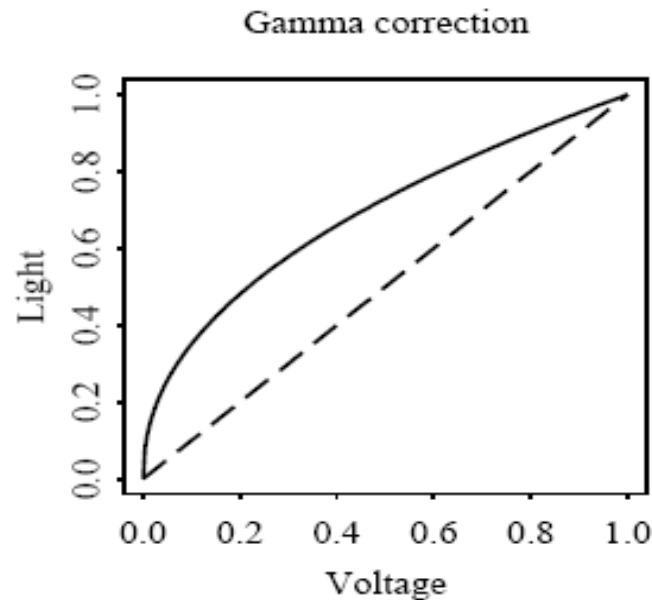
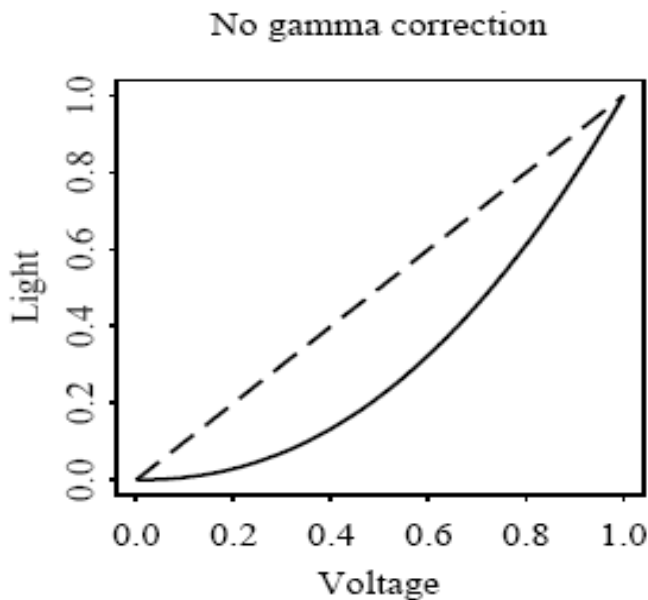
$$\bullet \quad R \rightarrow R' = R^{1/\gamma} \Rightarrow (R')^\gamma \rightarrow R$$

R : 图像的红色通道值, R' 为相机存储伽马校正值, CRT发射的光线与 R^γ 成正比

- 所有显示设备都有幂-律转换特性, 如果生产厂家不加说明, 它的 γ 值大约等于2.5。
- 使整个系统的 γ 值接近于使用要求, 需要可校正 γ 值的非线性部件, 用来校正显示设备的非线性。

伽马(γ)校正(续)

- 在所有广播电视系统中, γ 校正在摄像机中完成
 - ✓ 最初的NTSC需要摄像机的 $\gamma = 1/2.2 = 0.45$, 现在采纳 $\gamma = 0.5$ 的幂函数。
 - ✓ PAL和SECAM指定摄像机的 $\gamma = 1/2.8 = 0.36$ 的幂函数, 实际的摄像机可能设置 $\gamma = 0.45$ 或者0.5。





图像的颜色模型

- ◆ 描述颜色常用的两个互为同义的术语
 - 颜色模型(color model): 用数值指定颜色的方法
 - 颜色空间(color space): 用空间中点的集合描述颜色的方法
- ◆ RGB 和 CMYK是计算机系统广泛使用的颜色模型

图像的颜色模型(续)

◆ 显示彩色图像用RGB相加混色模型

1. 相加混色法：组合三种光波产生特定颜色的方法，也称RGB相加混色模型

- 任何一种颜色都可用三种基本颜色按不同的比例混合得到

$$C(\text{颜色}) = rR(\text{红色}) + gG(\text{绿色}) + bB(\text{蓝色})$$

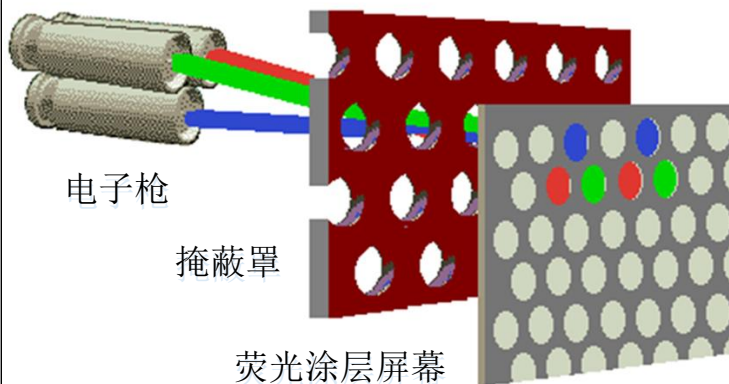
$$r + g + b = 1$$

- 三基色等量相加 => 灰色
- 等量红绿相加而蓝为0 => 黄色
- 等量红蓝相加而绿为0 => 品红色
- 等量绿蓝相加而红为0 => 青色
- 三基色相加的结果如下图图1 (b)所示

图像的颜色模型(续)

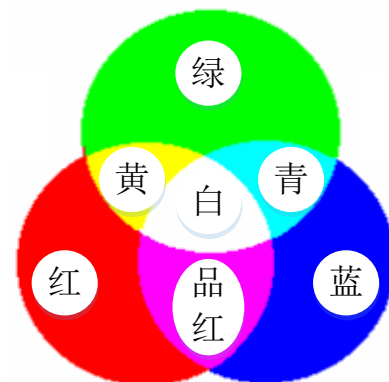
2. 显示设备：电视机和电脑显示器使用阴极射线管(CRT)

- CRT用3个电子枪，分别产生红(red)、绿(green)和蓝(blue)三种波长的光，综合起来产生颜色，如图1(a)所示



(a) 三色光生成颜色

图1(a) 颜色生成原理



(b) 相加混色

图1(b) 三基色相加

- 当今的电视机和计算机显示器使用彩色LED显示器，生成颜色的原理与阴极射线管(CRT)类似

24-bit Color image



R channel



G channel



B channel



RGB 模型

图像的颜色模型(续)

◆ 打印彩色图像用CMY相减混色模型

- 无源物体: 不发光波的物体, 颜色由该物体吸收或反射哪些光波决定, 用CMY相减混色模型
 - 用彩色墨水或颜料进行混合, 绘制的图画是无源物体
- 从理论上说, 任何一种颜色都可用三种基本颜色的颜料按一定比例混合得到
 - 青色(cyan)、品红(magenta)和黄色(yellow), 通常写成CMY, 称为CMY模型

图像的颜色模型(续)

➤ 相减混色

- 三基色等量相减 \Rightarrow 黑色
- 等量黄色(Y)和品红(M)相减而青色(C)为0时 \Rightarrow 红色(R)
- 等量青色(C)和品红(M)相减而黄色(Y)为0时 \Rightarrow 蓝色(B)
- 等量黄色(Y)和青色(C)相减而品红(M)为0时 \Rightarrow 绿色(G)

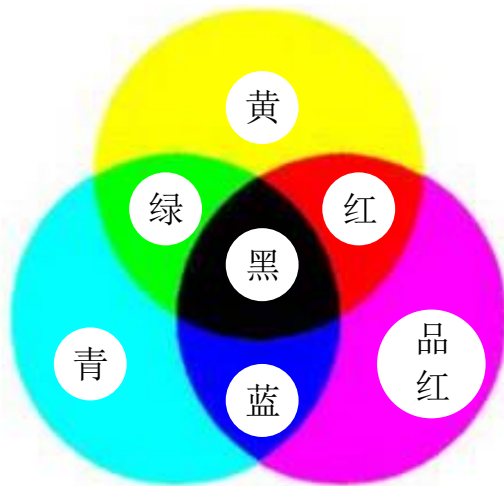


图3 相减混色

图像的颜色模型(续)

➤彩色打印机

- 彩色打印和印刷彩色图片采用相减混色模型
- 按每个像素每种颜色用1位表示，相减法产生的8种颜色见表5-3
- 由于彩色墨水和颜料的化学特性，用等量的三基色得到的黑色不是真正黑色，在印刷术中常加真正的黑色(black ink)
- CMY 写成 CMYK

图像的颜色模型(续)

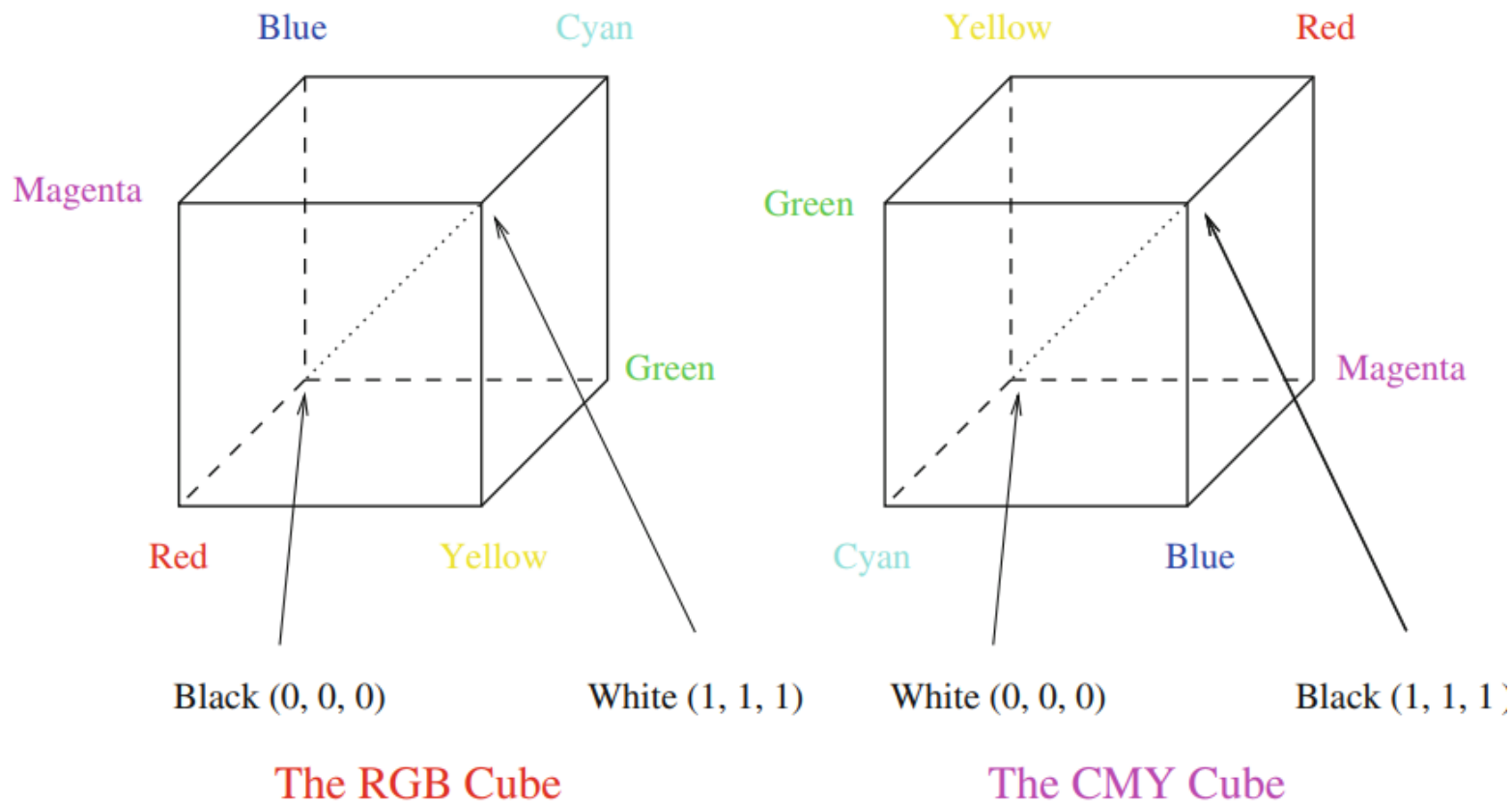
- 相加色与相减色之间的直接对应关系见表5-4
 - 用它可把显示的颜色转换成打印的颜色
 - 相加混色和相减混色之间成对出现互补色。例如，
 - 当RGB为1:1:1时，在相加混色中产生白色
 - CMY为1:1:1时，在相减混色中产生黑色
 - RGB为0:1:0，对应CMY为1:0:1

表 5-3 相减色

C (青色)	M (品红)	Y (黄色)	相减色
0	0	0	白
0	0	1	黄
0	1	0	品红
0	1	1	红
1	0	0	青
1	0	1	绿
1	1	0	蓝
1	1	1	黑

表 5-4 相加色与相减色的关系

相加混色 (RGB)	相减混色 (CMY)	生成的颜色
000	111	黑
001	110	蓝
010	101	绿
011	100	青
100	011	红
101	010	品红
110	001	黄
111	000	白



RGB 和 CMY颜色立方体

图像的颜色模型(续)

◆ HSV模型(色调-饱和度-亮度模型)

➤ HSV = hue-saturation-value

- H定义颜色的波长，称为色调
- S定义颜色的纯度，纯度越高，表现越鲜明，纯度较低，表现则较黯淡，称为饱和度
- V定义掺入的白光量，称为亮度

➤ 重要性：比较容易为画家理解

- 若把S和V值设置为1，改变H时选择不同的纯颜色
- 降低亮度时，颜色就暗，相当于掺入黑色

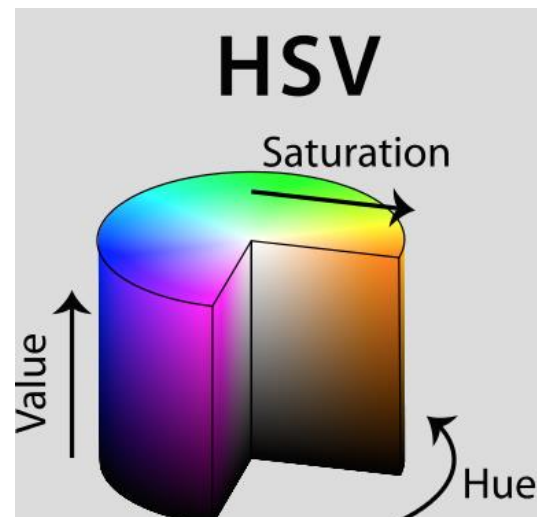
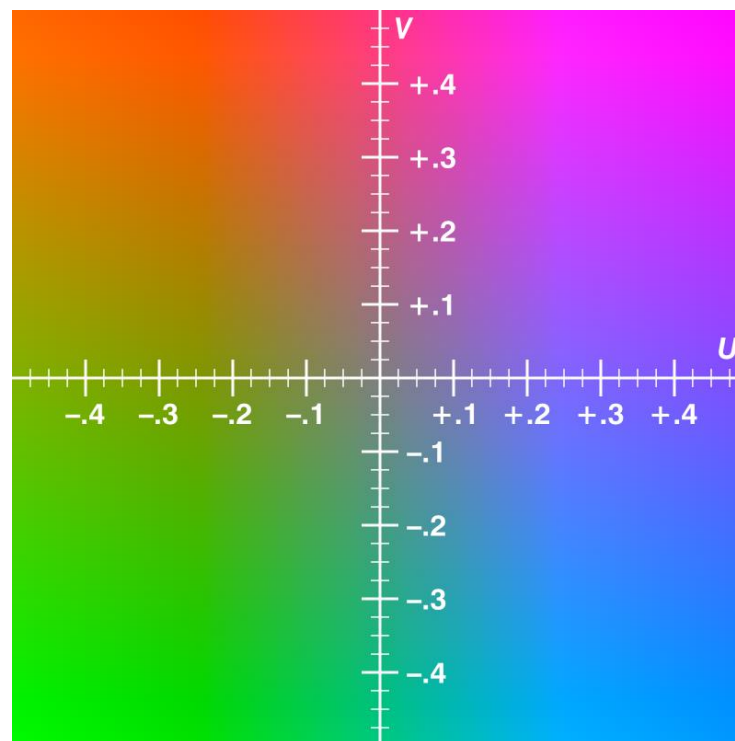


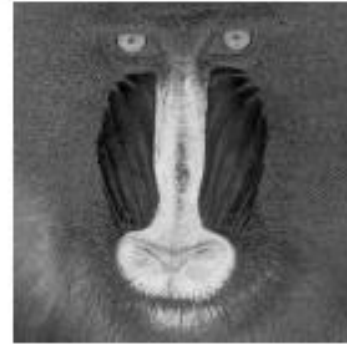
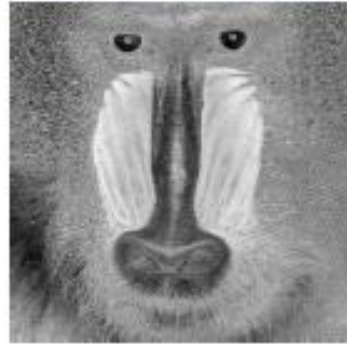
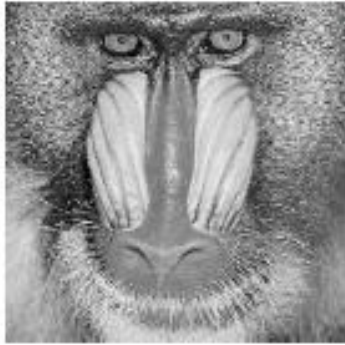
图4 HSV模型

图像的颜色模型(续)

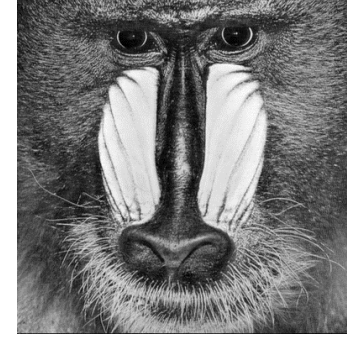
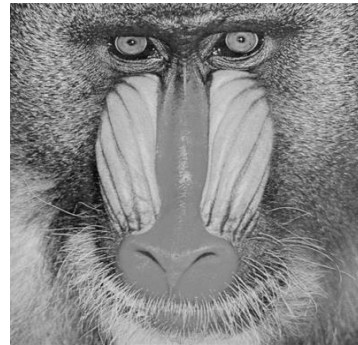
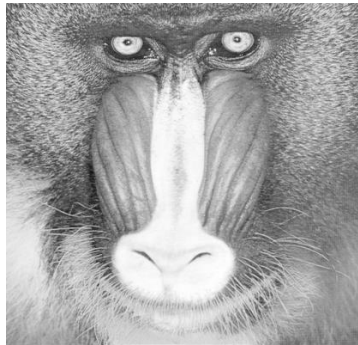
◆ YUV模型

- Y表示明亮度 (Luminance、Luma)
- U和V则是色度、浓度 (Chrominance、Chroma)
- 用于彩色电视广播，被欧洲的电视系统所采用 (属于PAL系统)
- Y分量也可提供黑白电视机的所有影像信息





YUV 模型

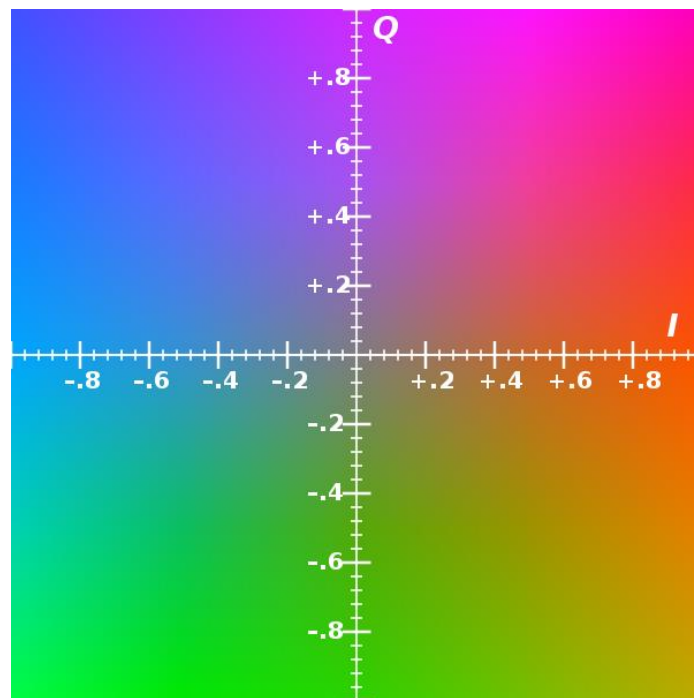


RGB 模型

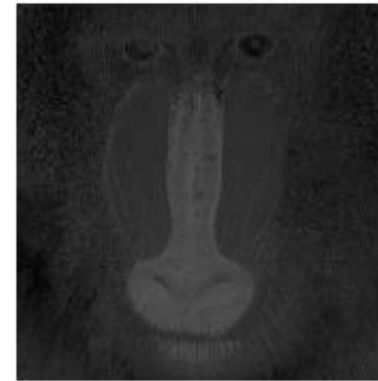
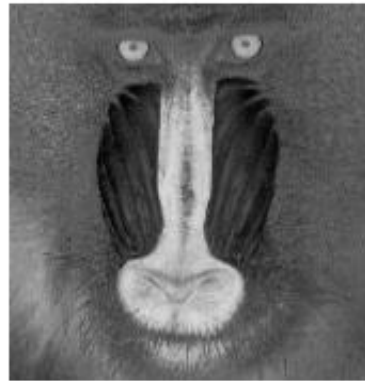
图像的颜色模型(续)

◆ YIQ模型

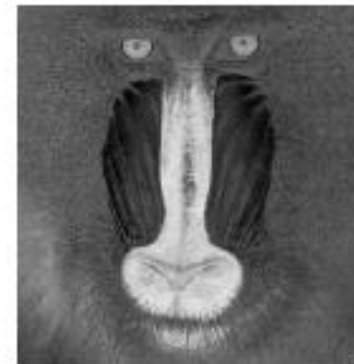
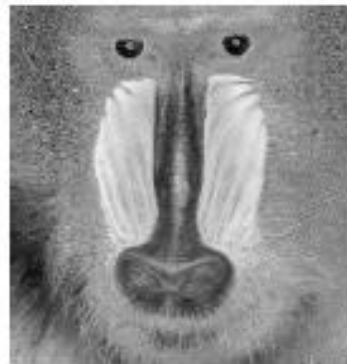
- Y 代表亮度信号 (Luminance) 指亮度, 即灰度值
- YIQ 是 YUV的另一个版本, 使用相同的Y, 但是U和 V 旋转了33度。
- I 表示同相 (In-phase) 色彩从橙色到青色
- Q 表示正交 (Quadrature-phase) 色彩从紫色到黄绿色
- 用于彩色电视广播, 被北美的电视系统所采用 (属于NTSC系统)
- Y 分量可提供黑白电视机的所有影像信息



- I and Q in YIQ model



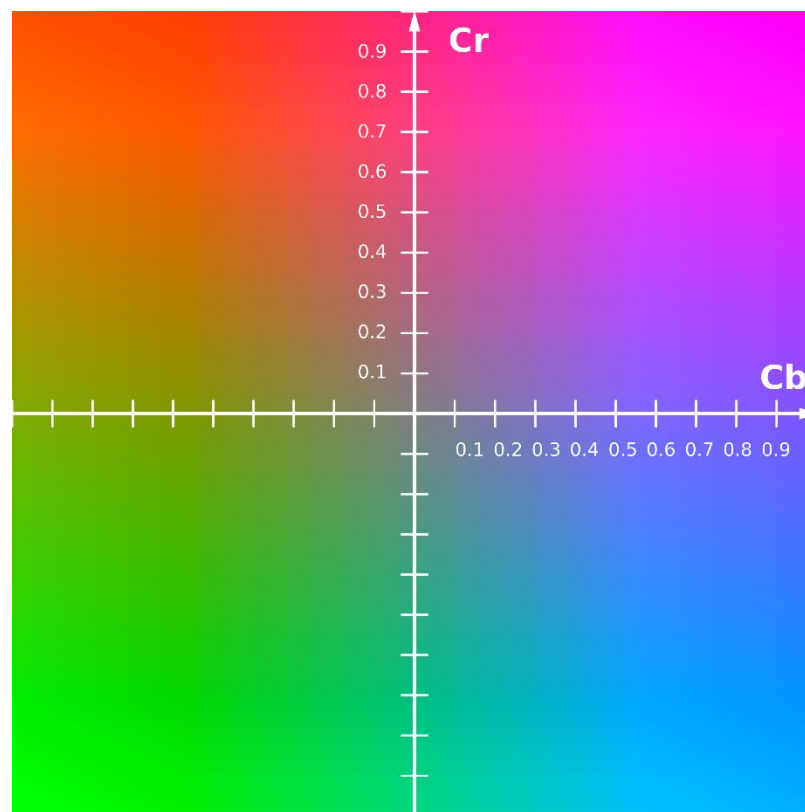
- U and V in YUV model



图像的颜色模型(续)

◆ YCbCr模型

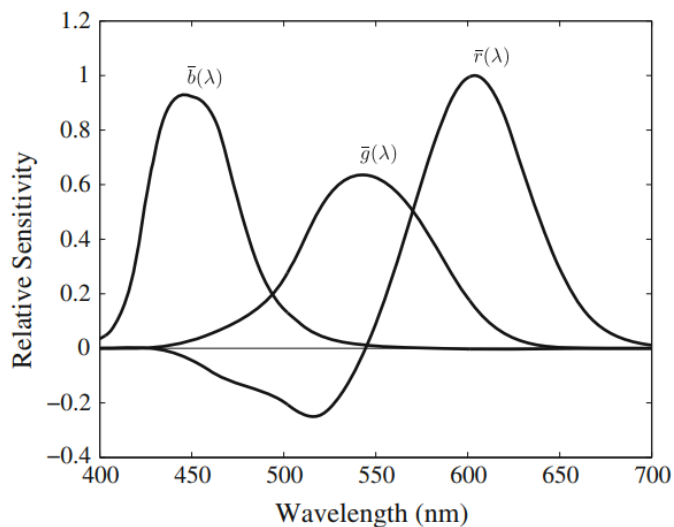
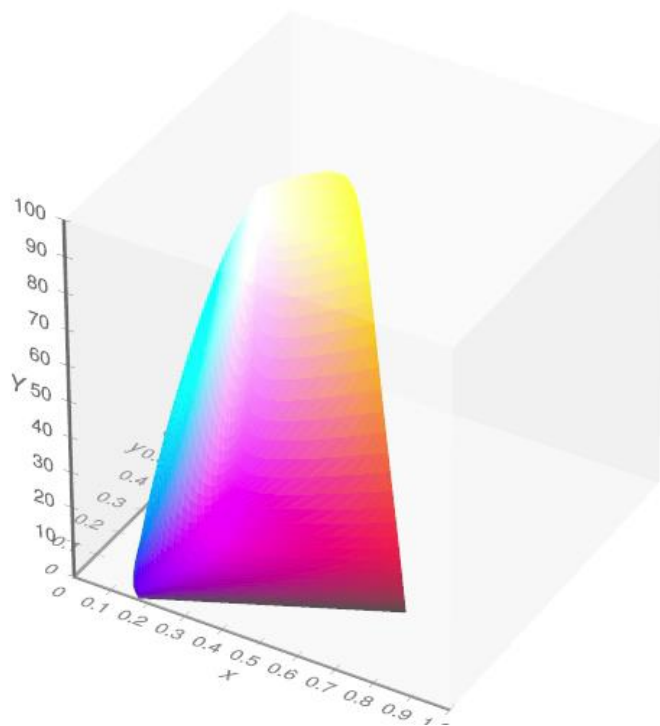
- YCbCr不是一种绝对色彩空间，是YUV压缩和偏移的版本。
- YCbCr的Y与YUV中的Y含义一致，Cb和Cr与UV同样都指色彩，Cb指蓝色色度，Cr指红色色度
- 在应用上很广泛，JPEG、MPEG、DVD、摄影机、数字电视等皆采此一格式。因此一般俗称的YUV大多是指YCbCr。



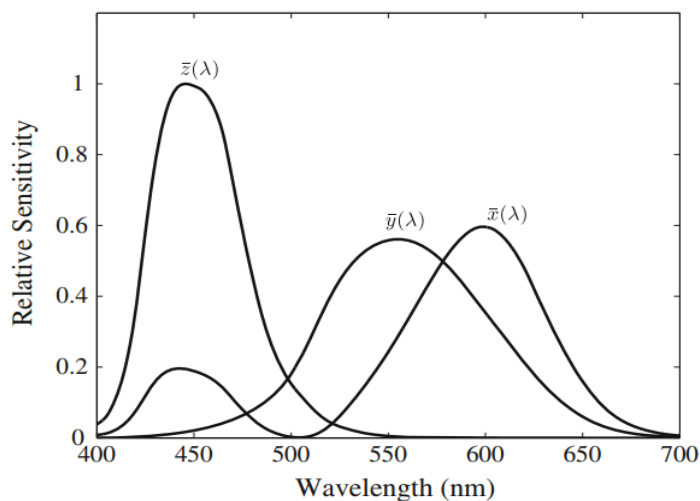
图像的颜色模型(续)

◆ CIE XYZ 模型

- 与设备无关的颜色模型，包含了人眼所能辨别的全部颜色。
- XYZ表色系统，1931CIE-XYZ系统，就是在RGB系统的基础上，用数学方法，选用三个理想的原色来代替实际的三原色，从而将CIE-RGB系统中的光谱三原色 r 、 g 、 b 的刺激值（敏感度）均变为正值。



CIE color-matching functions $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$

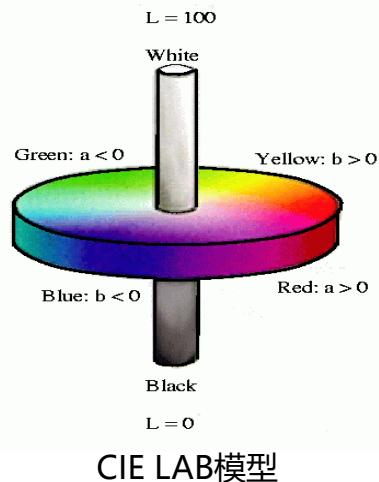
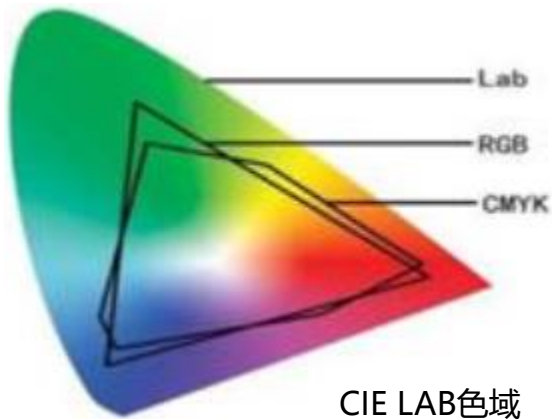


CIE standard color-matching functions $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$

图像的颜色模型(续)

◆ $L^*a^*b^*$ (CIE LAB)颜色模型

- Lab模式是由国际照明委员会于1976年公布的一种颜色模式。它不基于任何显示或输出设备原理，而是基于人眼分辨率颜色的机制而建立的一种颜色模式，包含了人眼所能辨别的全部颜色。
- 人在看物体时，首先看到的是明暗，次之是色彩，Lab模式就是这样的
- L代表明度（0--100，纯黑--纯白），a和b是颜色通道；a代表从绿色到灰到洋红色（-128—127，绿--洋红）；b代表从蓝色到灰再到黄色（-128—127，蓝--黄）；正为暖色，负为冷色。
- L明度通道：只影响图像的亮度，调整时颜色不受影响；a和b颜色通道：只影响图像的色彩。调整时可以把明度和颜色分开调整，非常方便。
- Lab模式色域最宽，它包含了RGB和CMYK模式的所有色域，还能表现出它们不能表现的色彩。弥补了RGB模式色彩分布不均的不足。



颜色模型转换

- (1) RGB----- CMY
- (2) RGB----- HSV
- (3) RGB -----YIQ
- (4) RGB -----YUV
- (5) RGB -----YCbCr

■ 彩色空间转换 RGB--CMY

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

RGB和CMY值都归一化到[0,1]

彩色空间转换 RGB--HSV

assuming R,G,B are in 0..255

RGB to HSV conversion formula

The R, G, B values are divided by 255 to change the range from 0..255 to 0..1:

$$R' = R/255$$

$$G' = G/255$$

$$B' = B/255$$

$$C_{max} = \max(R', G', B')$$

$$C_{min} = \min(R', G', B')$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}$$

Hue calculation:

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right) & , C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & , C_{max} = B' \end{cases}$$

Saturation calculation:

$$S = \begin{cases} 0 & , C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}} & , C_{max} \neq 0 \end{cases}$$

Value calculation:

$$V = C_{max}$$

彩色空间转换 RGB--HSV

assuming R,G,B are in 0..255

HSV to RGB conversion formula

When $0 \leq H < 360$, $0 \leq S \leq 1$ and $0 \leq V \leq 1$:

$$C = V \times S$$

$$X = C \times (1 - |(H / 60^\circ) \bmod 2 - 1|)$$

$$m = V - C$$

$$(R', G', B') = \begin{cases} (C, X, 0) & , 0^\circ \leq H < 60^\circ \\ (X, C, 0) & , 60^\circ \leq H < 120^\circ \\ (0, C, X) & , 120^\circ \leq H < 180^\circ \\ (0, X, C) & , 180^\circ \leq H < 240^\circ \\ (X, 0, C) & , 240^\circ \leq H < 300^\circ \\ (C, 0, X) & , 300^\circ \leq H < 360^\circ \end{cases}$$

$$(R, G, B) = ((R' + m) \times 255, (G' + m) \times 255, (B' + m) \times 255)$$



RGB - - YIQ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$



RGB - - YUV

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$



RGB - - YCbCr

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 & 0 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 & 128 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 & 128 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.40200 & 0 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.77200 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{bmatrix}$$