



第2章 数字图像处理基础

主讲教师 张涛

电院



主要内容

- 2. 1 人眼视觉系统
- 2. 2 色度学基础与颜色模型
- 2. 3 数字图像的生成与表示
- 2. 4 数字图像的数值描述
- 2. 5 综合实例



2.1 人眼视觉系统

2.1.1 人眼基本构造

2.1.2 视觉过程

2.1.3 明暗视觉

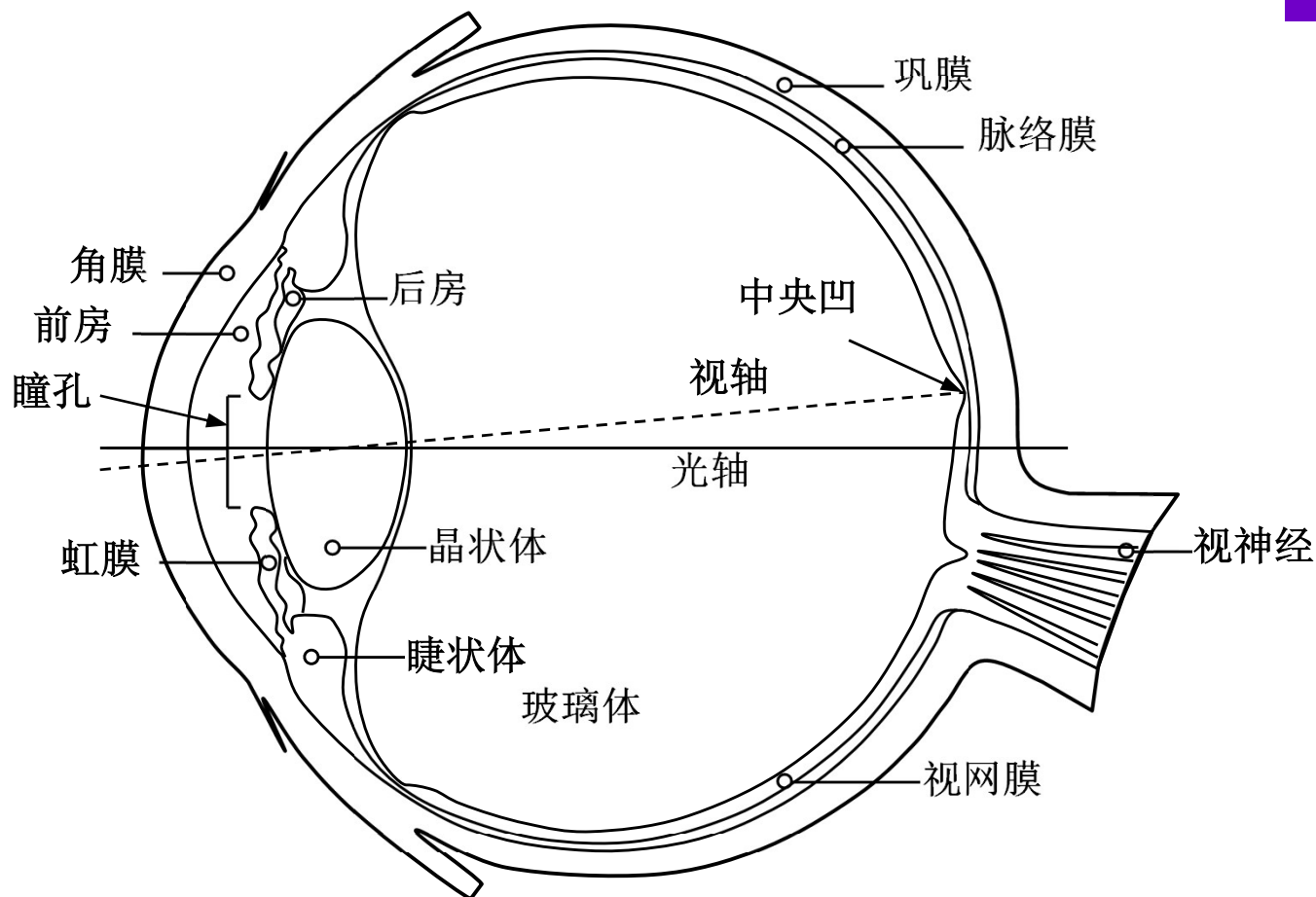
2.1.4 颜色视觉

2.1.5 立体视觉

2.1.6 视觉暂留

2.1.1 人眼基本构造

人眼视觉系统

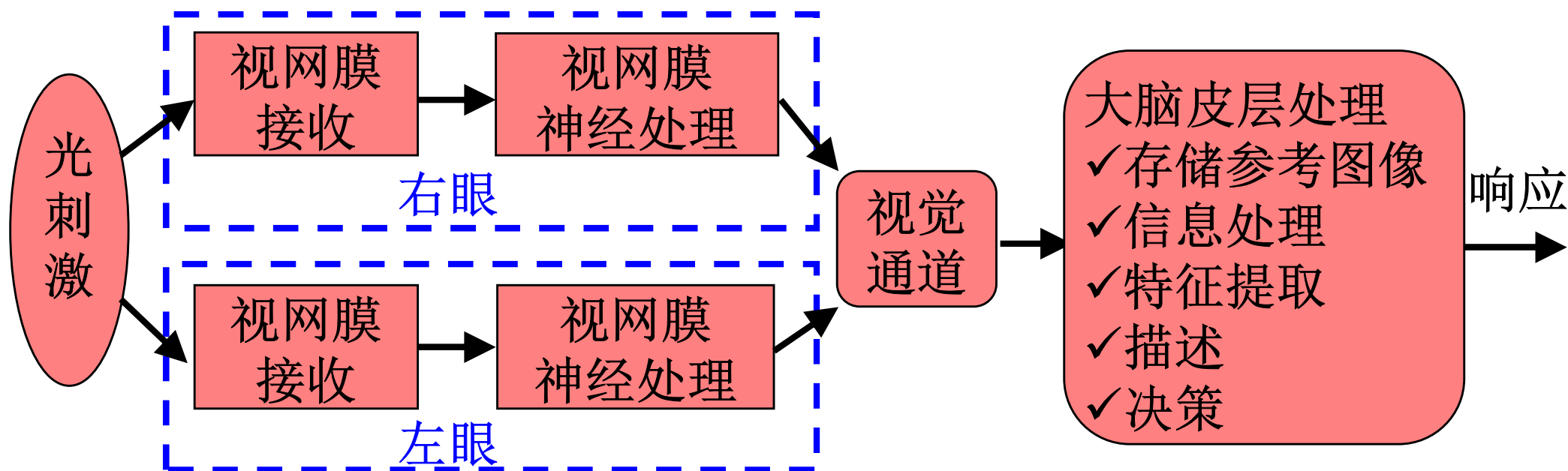


在观察景物时，从物体反射光到光信号传入大脑神经，经过屈光、感光、传输、处理等一系列过程，从而产生物体大小、形状、亮度、颜色、运动、立体等感觉

2.1.2视觉过程

人眼视觉系统

- 光学过程：由人眼实现光学成像过程，基本确定了成像的尺寸
- 化学过程：与光接受细胞有关，基本确定了成像的亮度或颜色
- 神经处理过程：在大脑神经系统里进行的转换过程





2.1.3明暗视觉

人眼视觉系统

(1) 人眼的亮度适应范围

亮度适应范围很大，从暗视觉门限到眩目极限之间的范围达 10^{10} 量级，但不能同时在这么大范围内工作，靠改变敏感度实现亮度适应。

一般的室内照明，只能同时分清约20级灰度。进入暗房，最大能分辨的灰度级别为120级。



16级灰度



32级灰度



64级灰度

2.1.3明暗视觉

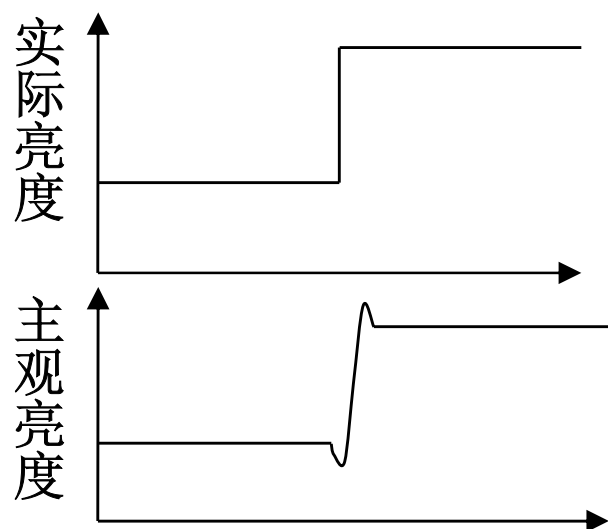
人眼视觉系统

(2) 感觉亮度与实际亮度之间呈非线性关系

■ 马赫带效应



在亮度变化的边界附近的暗区和亮区中分别存在一条更黑和更亮的条带——“Mach”带。

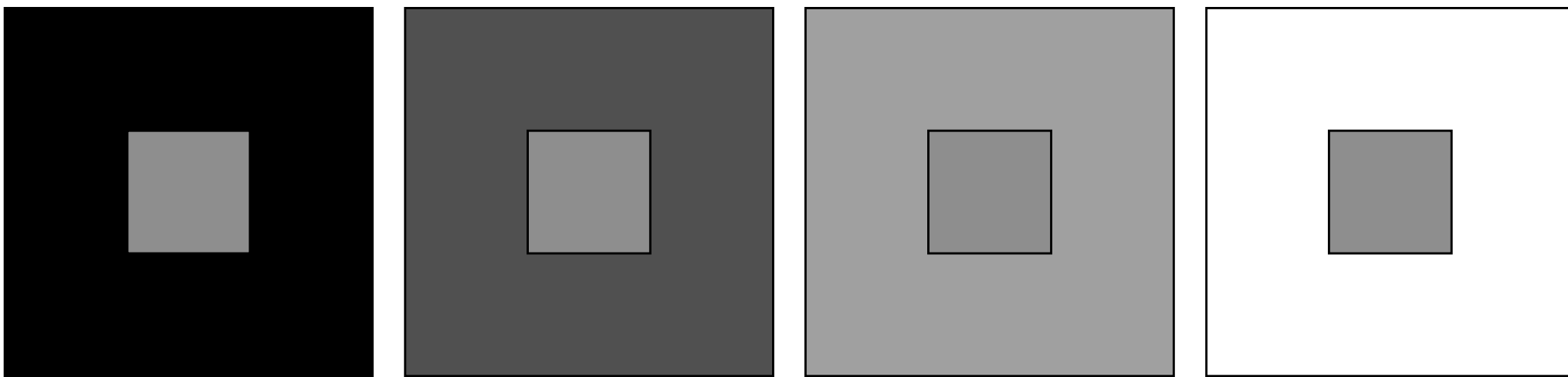


2.1.3 明暗视觉

人眼视觉系统

■ 同时对比度

人眼对某个区域感觉到的亮度并不仅仅依赖于区域本身的亮度，同时受到背景的影响



中心的小正方形亮度一致，但背景暗时看起来要亮些，背景亮时看起来要暗些



2.1.4颜色视觉

人眼视觉系统

(1) 光感受细胞与颜色

- 三种锥体细胞分别含有三种不同的视色素，光谱吸收峰值分别在440~450nm、530~540nm、560~570nm处，称为亲蓝、亲绿和亲红视色素。
- 外界光辐射进入人眼时被三种锥体细胞按它们各自的吸收特性所吸收，引起光化学反应，触发生物能，引起视神经活动。
- 暗视觉条件下只有杆体细胞起作用，仅由视紫红色素吸收光子，所以暗视觉时不能分辨颜色，只有明亮感觉。
- 杆体细胞中视紫红色素的合成需要维生素A的参与，所以缺乏维生素A的人常有夜盲症。



2.1.4颜色视觉

人眼视觉系统

(2) 颜色恒常性

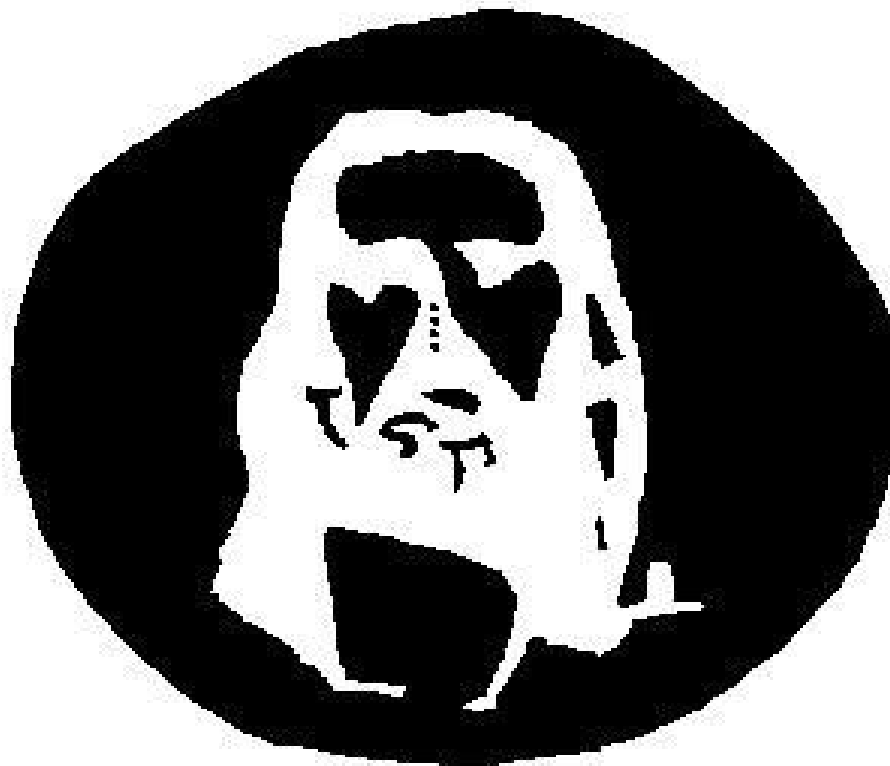
- 指当外界条件发生变化后，人们对该物体表面颜色的知觉仍然保持不变。
- 例如白天阳光下的煤块反射出来的光亮的绝对值比夜晚的白雪反射出来的还大，但仍然感觉白雪是白色的，煤块是黑色的。

2.1.4颜色视觉

人眼视觉系统

(3) 色适应

- 人眼对某一色光适应后，观察另一物体的颜色时，不能立即获得客观的颜色印象，而是带有原适应色光的补色成分，经过一段时间适应后才会获得客观的颜色感觉，这就是色适应的过程。



請以虔誠的心境，用力注視圖形中央的四個黑點30秒，然後閉上眼睛仰頭朝上，眼睛再慢慢張開看天花板，慢慢地你會看到～看到～啊！那是～天啊！



2.1.5立体视觉

人眼视觉系统

- 立体视觉即从二维视网膜像中获得3维视觉空间
- 人类并没有直接或专门感知距离的器官，对空间的感知不仅依靠视力，还借助于一些外部客观条件和自身机体内部条件来判断物体的空间位置
- 非视觉性深度线索
 - 眼睛聚焦调节：眼肌调节水晶体以在视网膜上获得清晰视像，这种调节活动传递给大脑的信号提供了有关物体距离的信息
 - 双眼视轴的辐合：观看远近不同的物体时，两眼视轴要将各自的中央凹对准物体，将物体映射到视网膜感受性最高的区域。控制视轴辐合的眼肌运动能给大脑提供关于物体距离的信息



2.1.5立体视觉

人眼视觉系统

■ 单目深度线索

- 刺激物本身的一些物理条件，通过观察者的经验和学习，在一定条件下也可以成为知觉深度和距离的线索
- 大小和距离：当物体实际大小已知，通过观察可推算物距
- 照明变化：明亮的物体显得近，灰暗或阴影中的物体显得远，一般认为远方的物体呈蓝色，近的对象呈黄色或红色，较远的物体轮廓不如较近的物体轮廓清晰
- 线性透视、物体的遮挡、运动视差等



2.1.5立体视觉

人眼视觉系统

■ 双目深度线索

- 人对空间场景的深度感知主要依靠双目视觉实现，每只眼睛的视网膜上各自形成一个独立的视像，由于双眼相距约65mm，两个视像相当于从不同角度观察，因而两眼视像不同，即双眼视差
- 双眼视差是产生立体知觉和深度知觉的原因



2.1.6视觉暂留

人眼视觉系统

- 视觉暂留是动态图像产生的原因，其具体应用是电影的拍摄和放映。



2.2 色度学基础与颜色模型

- 将颜色转变为数字量，必须解决它的**定量度量**问题，但是，颜色是光作用于人眼引起的视觉特性，不是纯物理量，涉及观察者的视觉生理、视觉心理、照明条件、观察条件等许多问题。
- 如何进行颜色的测量和定量描述是色度学的研究对象



2.2色度学基础与颜色模型

2.2.1 颜色匹配

2.2.2 CIE 1931-RGB系统

2.2.3 CIE 1931标准色度系统

2.2.4 CIE1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间

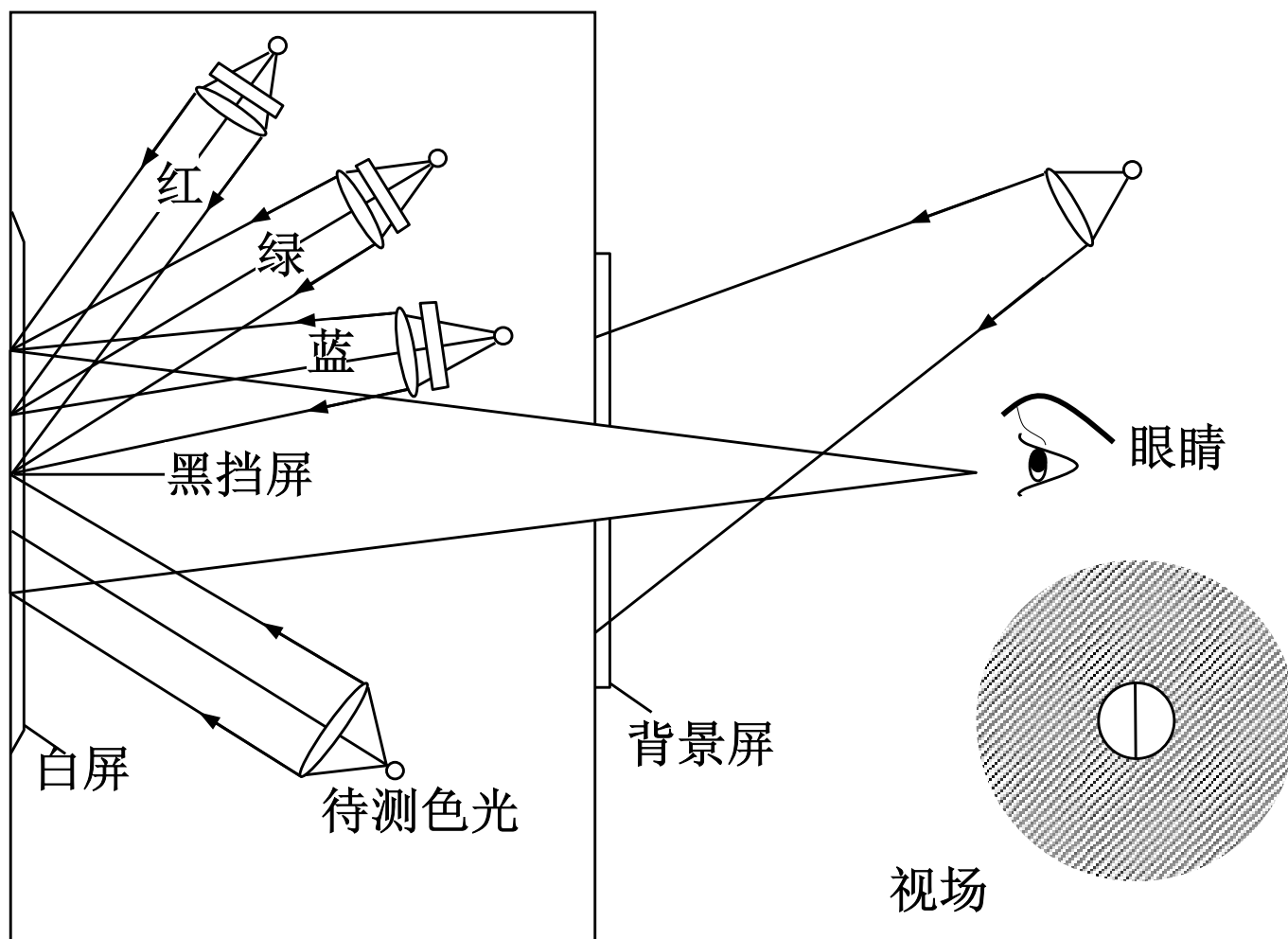
2.2.5 孟塞尔表色系统

2.2.6 常用颜色模型

2.2.1 颜色匹配

色度学基础与颜色模型

- 把两种颜色调节到视觉上相同或相等的过程，将观察者的颜色感觉数字化。





2.2.1 颜色匹配

色度学基础与颜色模型

- 三原色：在颜色匹配中，用于颜色混合以产生任意颜色的三种颜色
- 三刺激值：颜色匹配实验中，当与待测色达到色匹配时所需要的三原色的数量，记作 R 、 G 、 B
- 颜色匹配方程： $C(C) \equiv R(R) + G(G) + B(B)$
 C 代表被匹配色数量， (C) 代表被匹配颜色单位， (R) 、 (G) 、 (B) 代表产生混合色的红、绿、蓝三原色单位。
- 等能光谱：各单色光的辐射能量值都保持为相同
- 光谱三刺激值：匹配等能光谱色的三原色数量，用符号 $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ 表示。

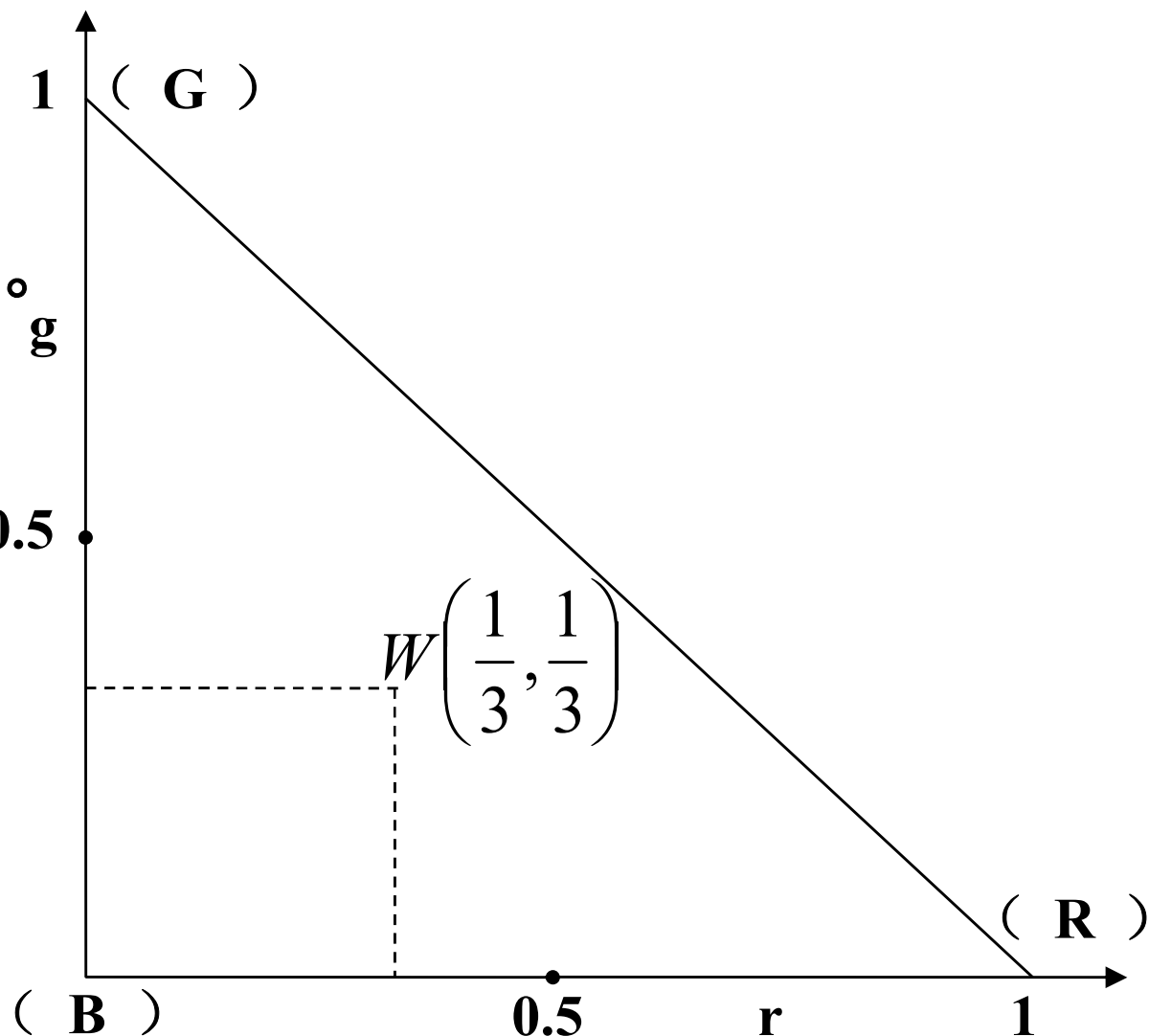
2.2.1 颜色匹配

色度学基础与颜色模型

- 色品坐标：三原色各自在 $R+G+B$ 总量中的相对比例，用符号 r , g , b 来表示。

$$\begin{cases} r = R/(R+G+B) \\ g = G/(R+G+B) \\ b = B/(R+G+B) \end{cases}$$

- 色品图：以色品坐标 r , g 表示的平面图



色品图



2.2.1 颜色匹配

色度学基础与颜色模型

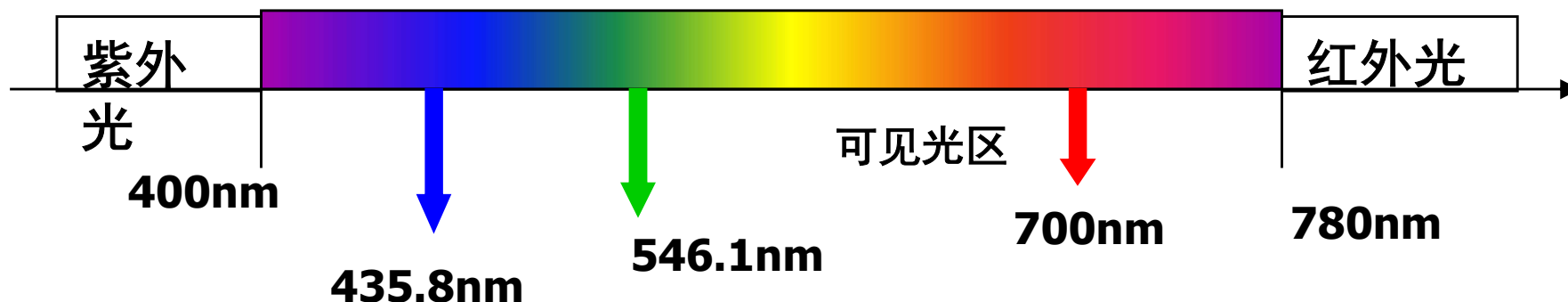
- 颜色匹配方程和计算任一颜色三刺激值必须测得人眼的光谱三刺激值，将辐射光谱与人眼颜色特性相联
- 实验证明，不同观察者视觉特性有差异，但对正常颜色视觉的人差异不大，故可根据一些观察者的颜色匹配实验，确定一组匹配等能光谱色的三原色数据 —— “标准色度观察三刺激值”
- 由于选用的三原色不同及确定三刺激值单位的方法不一致，因而数据无法统一
- CIE综合了莱特和吉尔德颜色匹配实验结果，提出了**CIE 1931-RGB色度系统**



2.2.2 CIE 1931-RGB系统

色度学基础与颜色模型

■ 选择三原色



■ 确定三原色单位

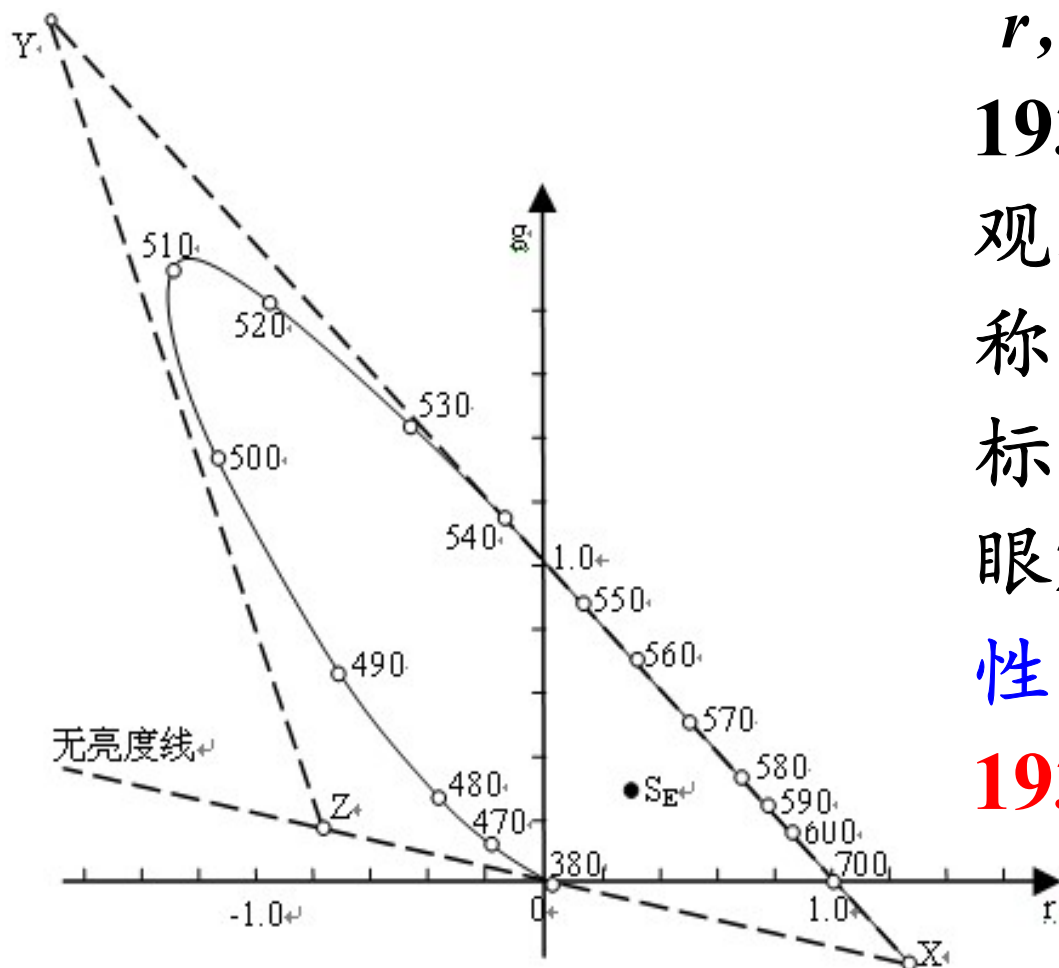
以相等数量的三原色刺激值 ($R=G=B=1$) 匹配出等能白光 (E 光源), 来确定三刺激值单位。

2.2.2 CIE 1931-RGB系统

色度学基础与颜色模型

1931年，CIE定出匹配等能光谱色的RGB三刺激值，用

$\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ 表示，称为“CIE 1931—RGB系统标准色度观察者光谱三刺激值”，简称“CIE 1931—RGB系统标准色度观察者”，代表人眼2°视场的平均颜色视觉特性，这一系统称为“CIE 1931- RGB色度系统”。





2.2.3 CIE 1931标准色度系统

色度学基础与颜色模型

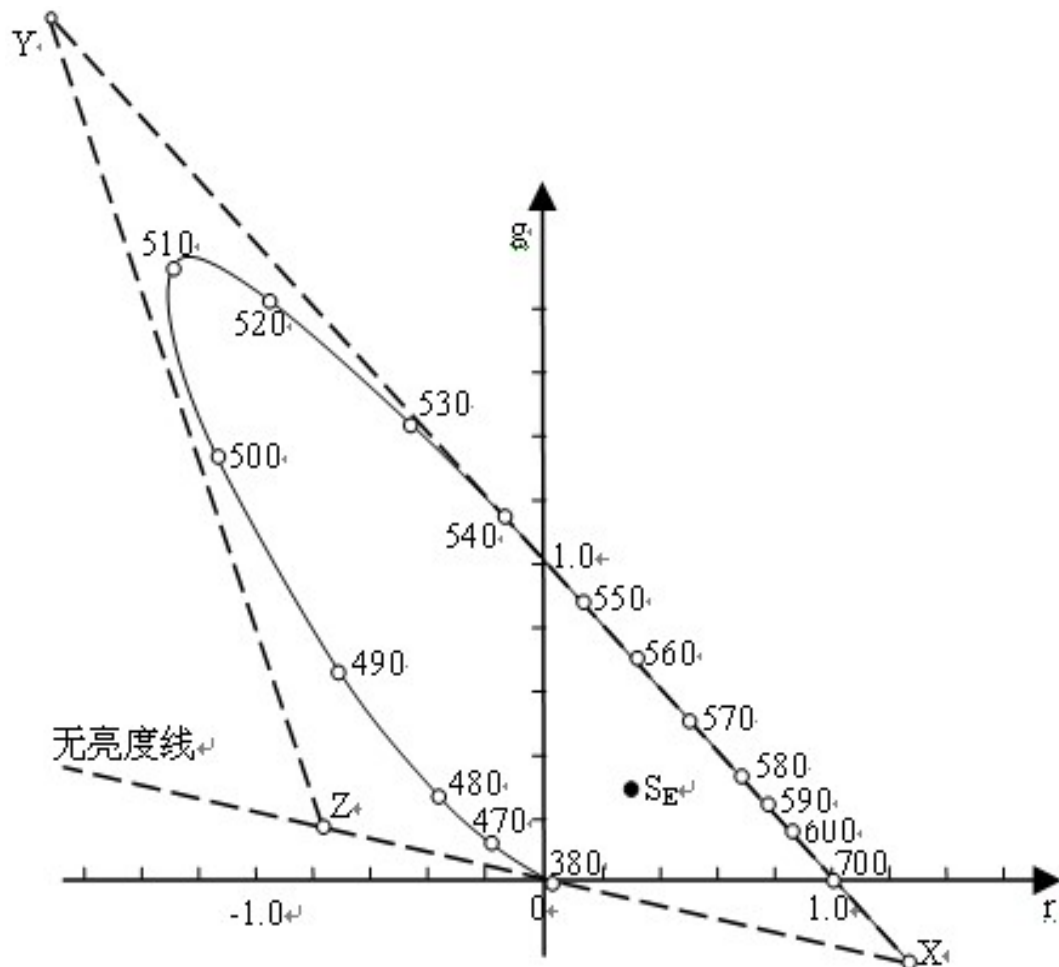
CIE1931-RGB系统的光谱三刺激值 $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ 是由实验获得的，本来可以用于色度计算，但由于光谱三刺激值与色度坐标都出现了负值，计算起来不方便，又不易理解，因此，1931年CIE讨论推荐了一个新的国际通用色度系统——CIE1931-XYZ系统。

CIE 1931-XYZ系统，由CIE 1931-RGB系统推导来，其匹配等能光谱的三刺激值定名为“CIE 1931标准色度观察者光谱三刺激值”，简称为“CIE 1931标准色度观察者”。

2.2.3 CIE 1931标准色度系统

色度学基础与颜色模型

CIE 1931-XYZ系统用三个假想的原色（ X ）、（ Y ）、（ Z ）建立了一个新的色度系统，系统中光谱三刺激值全为正值。因此选择三原色时，必须使三原色所形成的颜色三角形能包括整个光谱轨迹。即整个光谱轨迹完全落在 X ， Y ， Z 所形成的虚线三角形内。





2.2.3 CIE 1931标准色度系统

色度学基础与颜色模型

■ XYZ系统和RGB系统三刺激值间的关系

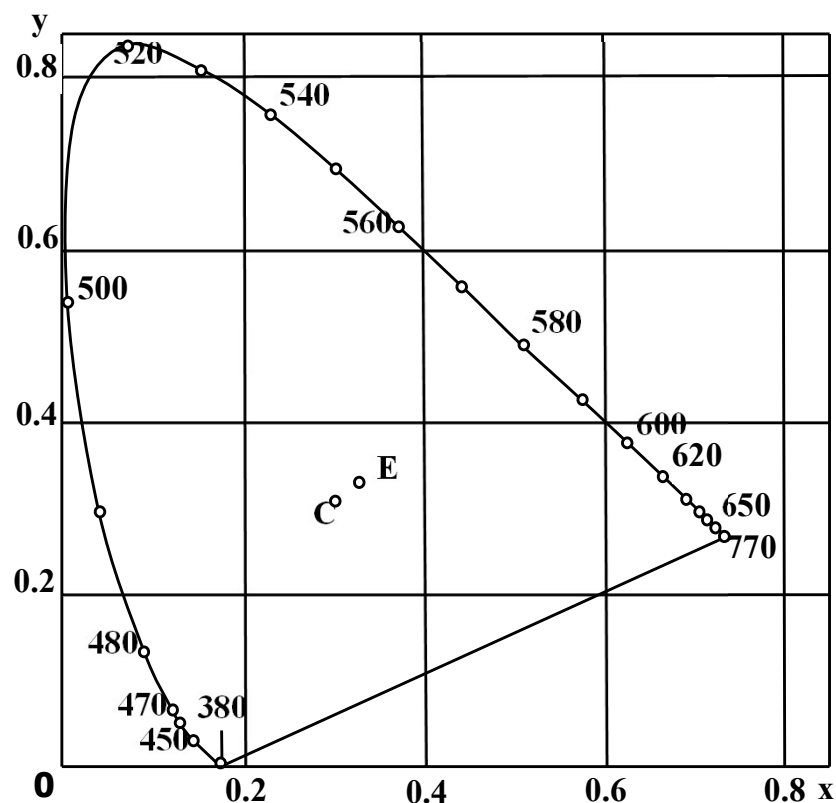
$$\begin{cases} X = 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B \\ Z = 0 + 0.0565G + 5.5943B \end{cases}$$

■ 色品坐标

$$\begin{cases} x = X/(X + Y + Z) \\ y = Y/(X + Y + Z) \\ z = Z/(X + Y + Z) \end{cases}$$

■ CIE 1931 x-y色品图

适用于2°视场的中央视觉观察条件





2.2.4 CIE 1976L*a*b*均匀颜色空间

色度学基础与颜色模型

- 标准色度系统解决了用数量来描述颜色的问题，但不能解决色差判别的问题
- 均匀颜色空间，一个三维空间，每点代表一种颜色，空间中两点之间的距离代表两种颜色的色差，相等的距离代表相同的色差。
- 1976年CIE推荐了两个色空间：**CIE 1976L*u*v*色空间**和**CIE 1976L*a*b*色空间**
- CIE LUV主要应用于照明、CRT和电视工业以及那些采用加色法混合产生色彩的行业；
- CIE LAB主要应用于颜料和图像艺术工业，近代的颜色数码成像标准和实际应用也是用CIE LAB。



2.2.4 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 均匀颜色空间

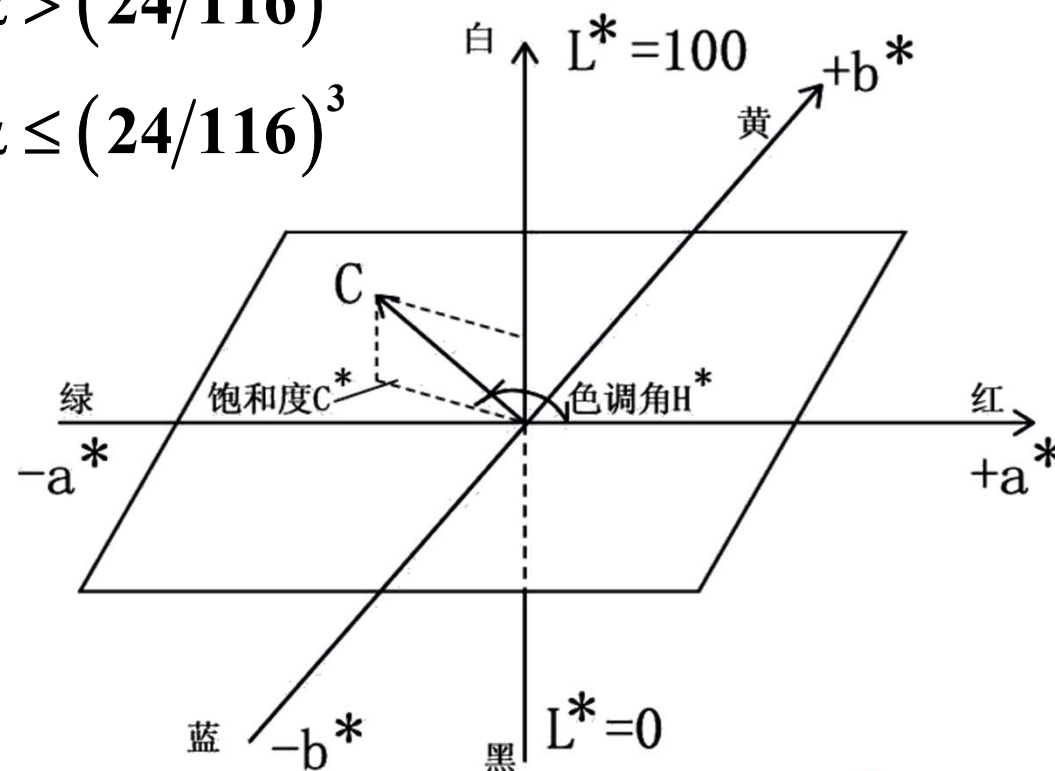
色度学基础与颜色模型

$$\begin{cases} L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \\ a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{cases} \quad \alpha = \frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n}$$

$$\begin{cases} f(\alpha) = (\alpha)^{\frac{1}{3}} & \alpha > (24/116)^3 \\ f(\alpha) = \alpha \cdot 841/108 + 16/116 & \alpha \leq (24/116)^3 \end{cases}$$

XYZ 为颜色的三刺激值;

X_n, Y_n, Z_n : CIE标准照明体照射到完全漫反射体表面的三刺激值。





2.2.5 孟塞尔表色系统

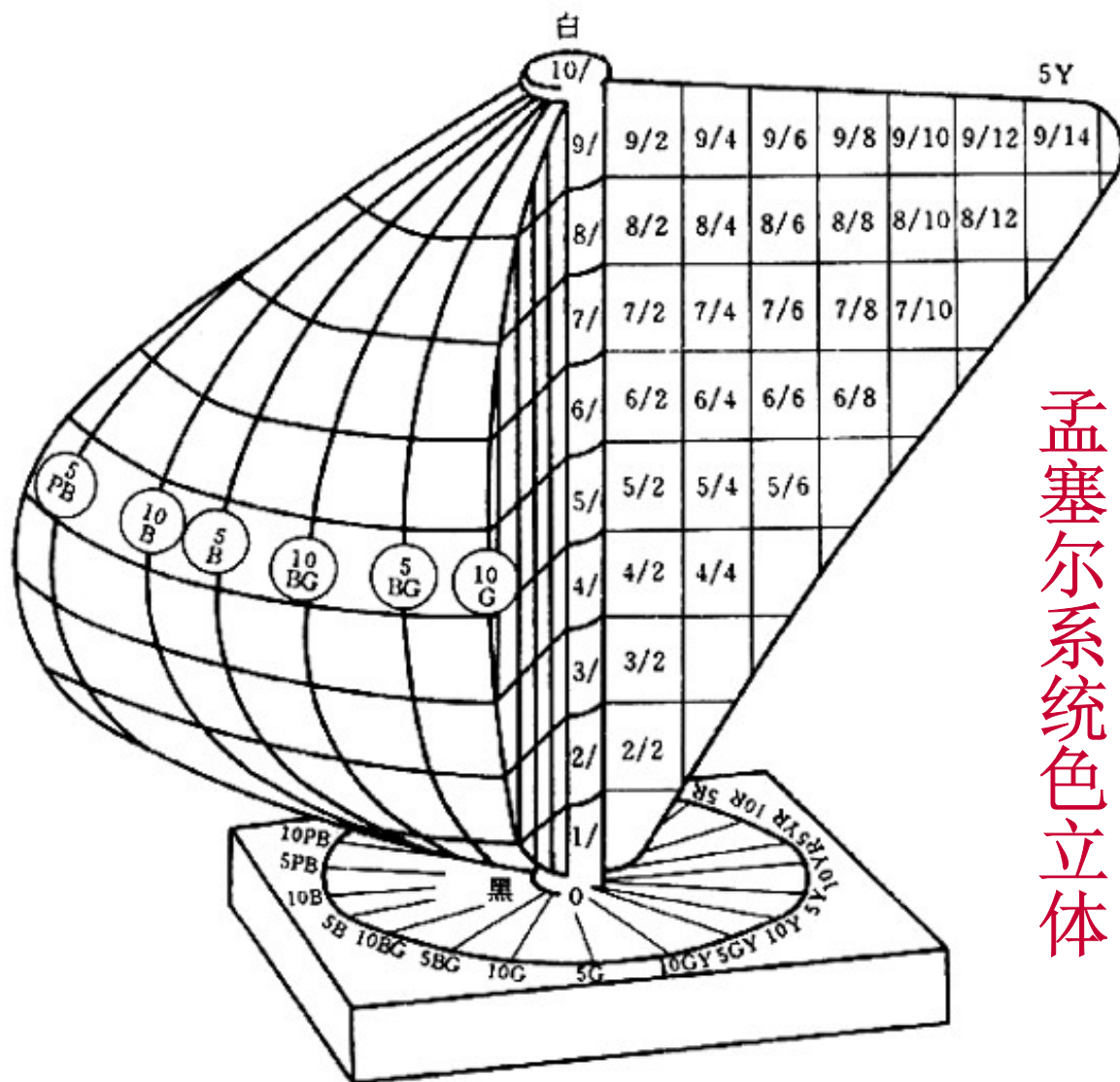
色度学基础与颜色模型

- CIE色度系统通过三刺激值来定量地描述颜色，这一表色系统称为混色系统。
- 混色系统的颜色可用数字量表示、计算和测量，是用应用心理物理学的方法表示在特定条件下的颜色量，但三刺激值和色品坐标不能与人的视觉所能感知的颜色三属性：明度、色调和饱和度直接关联。
- 人们用各种颜料混合制成许多尺寸相同的小卡片，按照一定原则依次排列，给予每个颜色卡片以相应的字符和数码，以此来传递颜色信息，这种表色系统称为颜色次序系统。

2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

由美国美术家孟塞尔在20世纪初建立的一种表色系统，美国国家标准协会和美国材料测试协会的颜色标准，目前得到世界公认的最重要表色系统之一，中国颜色体系及日本颜色标准将其作为参考。





2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

(1) 孟塞尔明度(Value, 记为V)

孟塞尔颜色立体的中心轴代表由底部的黑色到顶部白色的非彩色系列的明度值，称为**孟塞尔明度**，以符号V表示。

定义：孟塞尔明度值由0至10共分为11个在视觉上等距(等明度差)的等级。

理想黑色 $V=0$ ，理想白色 $V=10$ 。

实际应用中理想白、黑色并不存在，只用到1-9级。

2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

彩色的明度值:

在颜色立体中以离开基底平面的高度代表，即同一水平面上的所有颜色的明度值相等且等于该水平面中央轴上非彩色(灰色)的明度值。



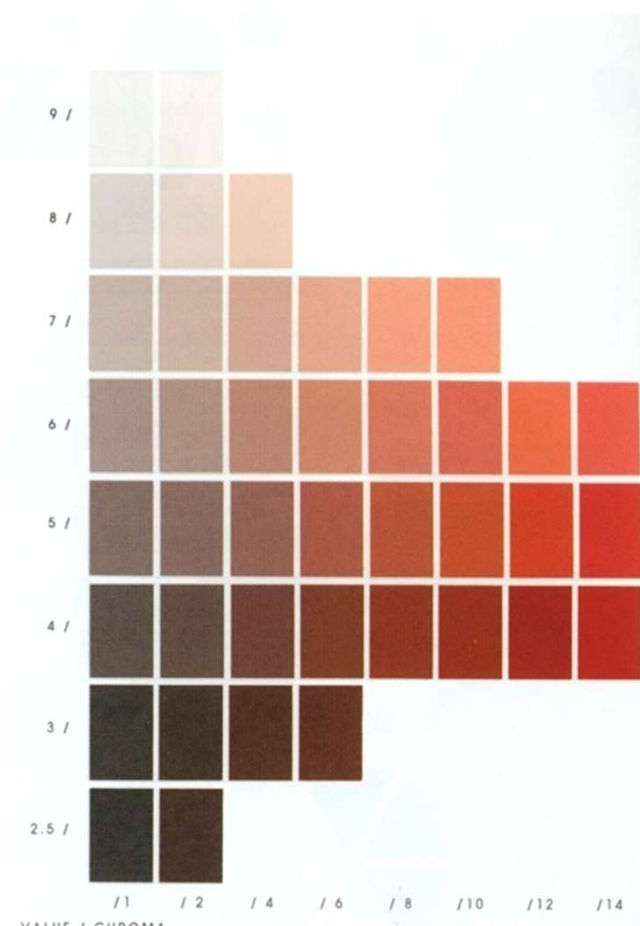
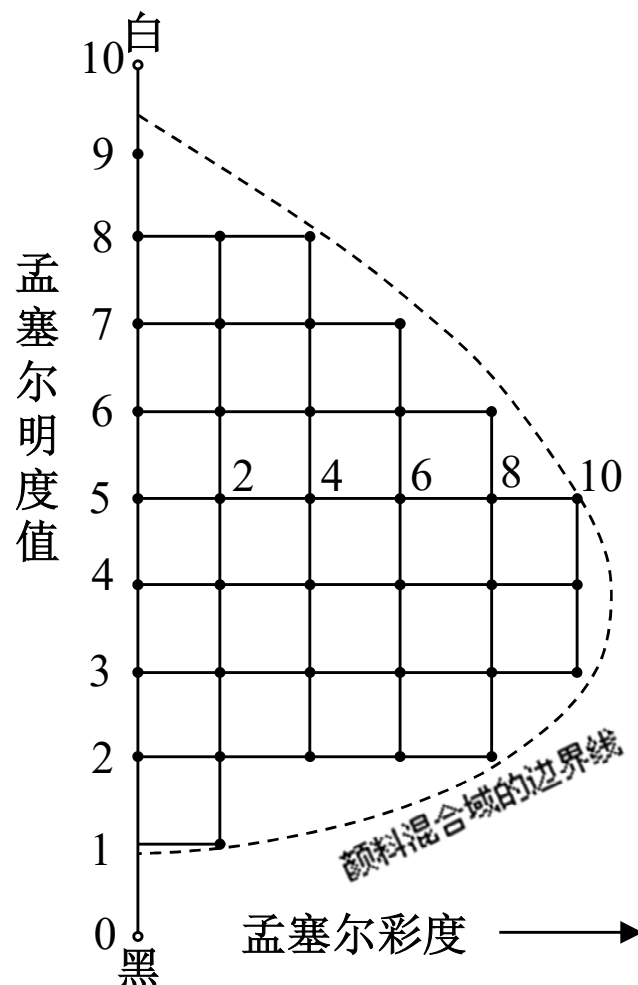
2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

(2) 孟塞尔彩度 (Chroma, 记为C)

颜色的饱和度以离开中央轴的距离来表示，称为孟塞尔彩度；

表示这一颜色与相同明度值的非彩色之间的差别程度，以符号C来表示。



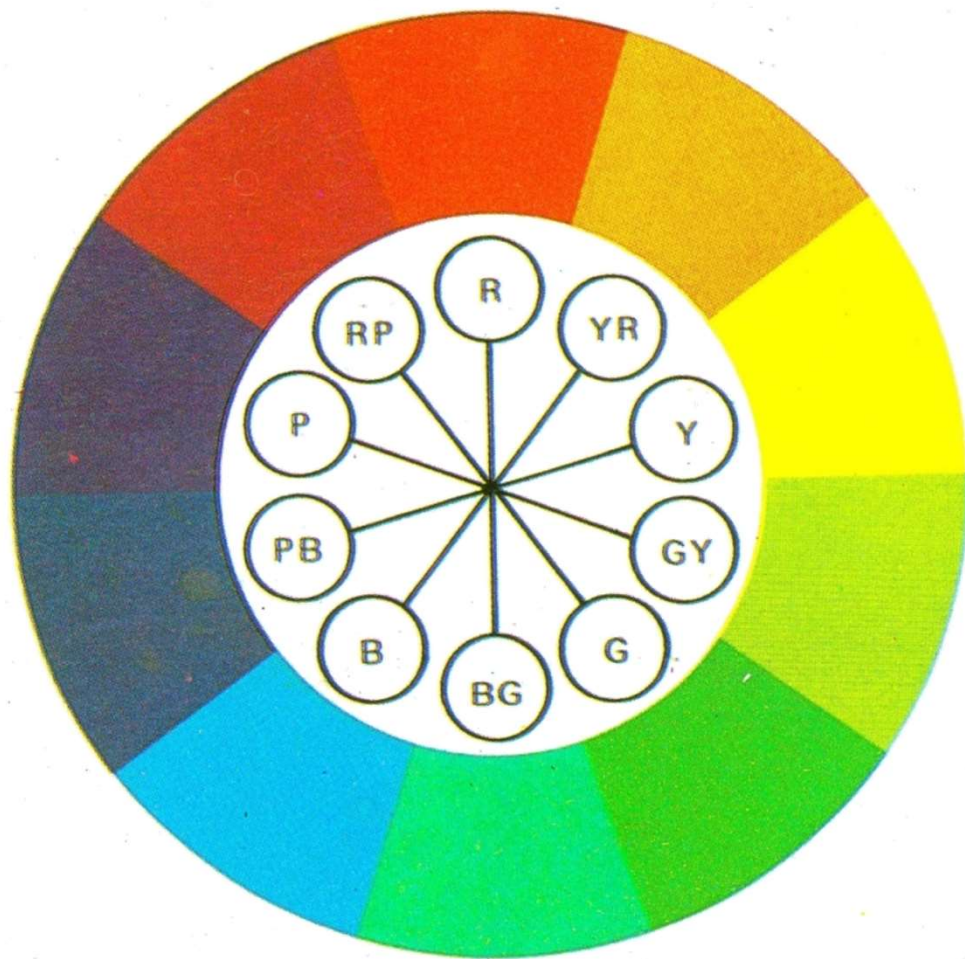
2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

(3) 孟塞尔色调 (Hue, 记为H)

孟塞尔色调是以围绕色立体中央轴的角位置来代表的，以符号H表示。

孟塞尔色立体水平剖面上以中央轴为中心，将圆周等分为10个部分，排列着10种基本色调组成色调环。

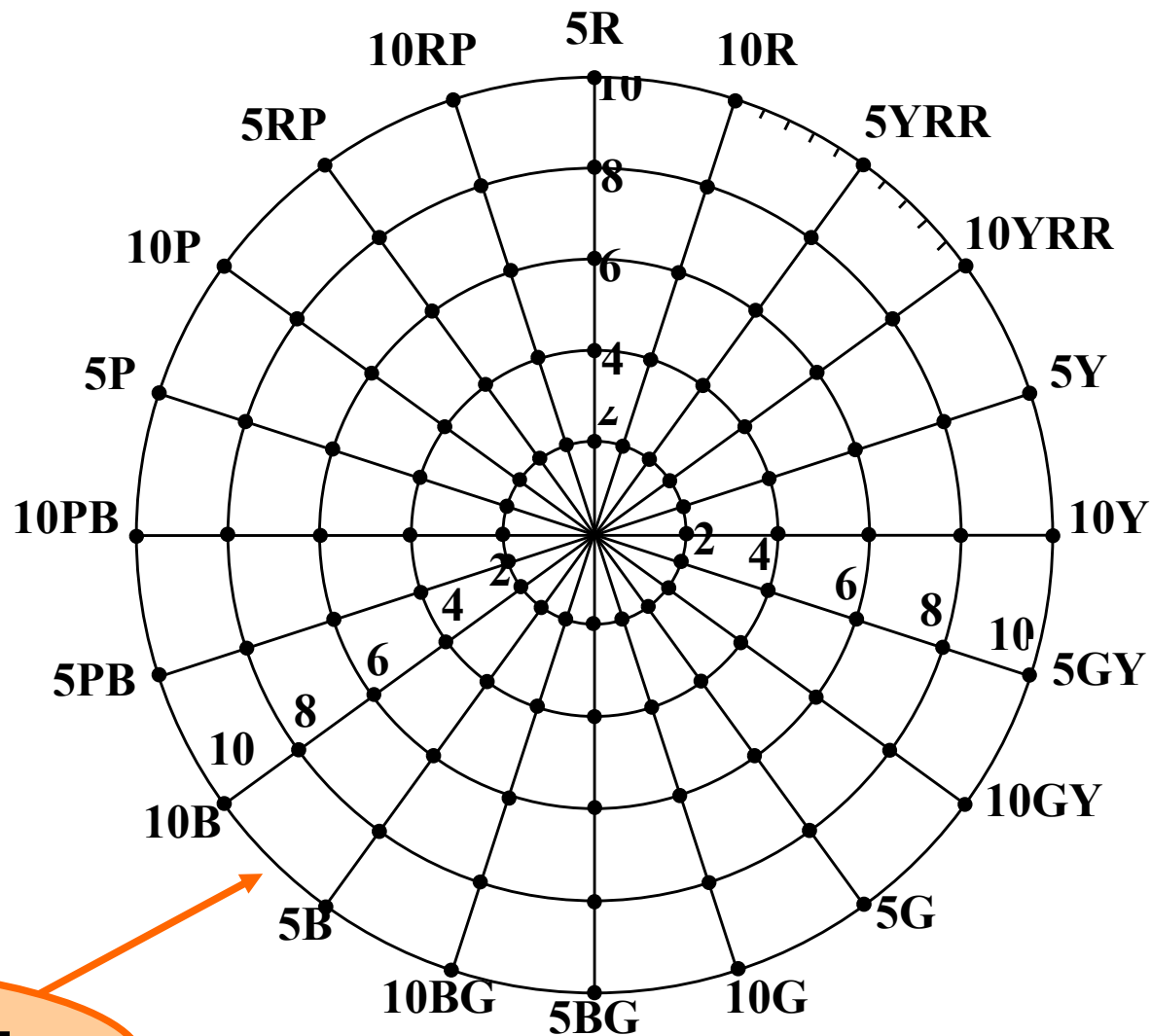


2.2.5 孟塞尔表色系统

色度学基础与颜色模型

每一种色调再细分成10个等级，从1到10，并规定每种主要色调和中间色调的标号均为5，孟塞尔色调环共有100个刻度(色调)

色调值10等于下一个色调的0



表示100个色调



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

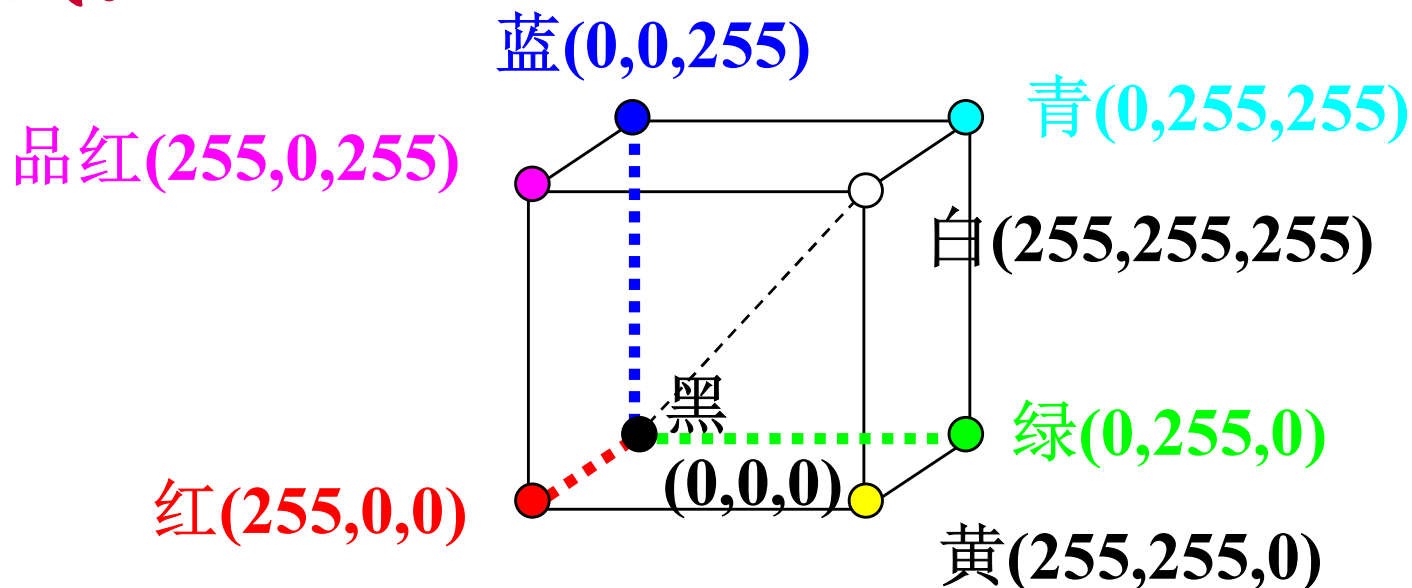
- 颜色的描述是通过建立色彩模型来实现的，不同的色彩模型对应于不同的处理目的，CIE在进行大量的色彩测试实验的基础上提出了一系列的颜色模型用于对色彩进行描述，各种不同的颜色模型之间可以通过数学方法互相转换
- 颜色模型的定义
 - 为了不同的研究目的，确立了某种标准，按这个标准用基色表示颜色。
 - 一般情况下，一种颜色模型用一个三维坐标系统和系统中的一个子空间来表示，每种颜色是这个子空间的一个单点。

2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(1) RGB颜色模型

- CIE规定以700nm(红)、546.1nm(绿)、435.8nm(蓝)三个色光为三基色，又称为物理三基色。自然界的所有颜色都可以通过选用这三基色按不同比例混合而成。



计算机、监视器采用这种颜色模型



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(2) CMY和CMYK颜色模型

- 运用在大多数在纸上沉积彩色颜料的设备，如彩色打印机和复印机。
- CMY(青、紫、黄)、CMYK(青、紫、黄、黑)
 - 等量的CMY原色产生黑色，但不纯
 - CMY基础上, 加入黑色, 形成CMYK彩色模型
- CMY和RGB之间的转换
 - RGB→CMY: 计算机内部采用RGB数据, 彩打要求CMY数据
 - CMY→RGB: 无实际意义

$$K = \min(1-R, 1-G, 1-B)$$

$$C = (1-R-K)/(1-K)$$

$$M = (1-G-K)/(1-K)$$

$$Y = (1-B-K)/(1-K)$$



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(3) YIQ颜色模型

- Y指亮度，即灰度值；I和Q指色调，描述色彩及饱和度。利用人的可视系统对亮度变化比对色调和饱和度变化更敏感而设计。
- 用于彩色电视广播，被北美的电视系统(NTSC)所采用，Y分量可提供黑白电视机的所有影像信息。
- YIQ和RGB之间的转换

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

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



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(4) YUV颜色模型

- Y指亮度，与YIQ的Y相同；U和V也指色调，不同于YIQ中的I和Q
- 用于彩色电视广播，被欧洲的电视系统(PAL)所采用，Y分量也可提供黑白电视机的所有影像信息
- YUV和RGB之间的转换

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

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



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(5) YCbCr颜色模型

- Y指亮度,与YIQ和YUV的Y相同, Cb和Cr指色彩
- YCbCr是作为ITU-R BT.601标准的一部分而制定,充分考虑了色彩组成时RGB三色的重要因素,压缩时可以充分取出冗余量。
- YCbCr和RGB之间的转换

$$\begin{cases} Y' = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B' \\ P_b = (B' - Y')/k_b = -0.1687R' - 0.3313G' + 0.500B' \\ P_r = (R' - Y')/k_r = 0.500R' - 0.4187G' - 0.0813B' \end{cases}$$

$$Y = 219 * Y' + 16$$

$$C_b = 224 * P_b + 128$$

$$C_r = 224 * P_r + 128$$

$$R', G', B' \in [0, 1] \quad Y \in [16, 235] \quad C_b, C_r \in [16, 240]$$



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(5) YCbCr颜色模型

■ YCbCr和RGB之间的转换

$$\begin{cases} R = \frac{255}{219}(Y - 16) + \frac{255}{224} \cdot k_r \cdot (C_r - 128) \\ G = \frac{255}{219}(Y - 16) - \frac{255}{224} \cdot k_b \cdot \frac{0.114}{0.587} \cdot (C_b - 128) - \frac{255}{224} \cdot k_r \cdot \frac{0.299}{0.587} \cdot (C_r - 128) \\ B = \frac{255}{219}(Y - 16) + \frac{255}{224} \cdot k_b \cdot (C_b - 128) \end{cases}$$

$$k_r = 2(1 - 0.299) \quad k_b = 2(1 - 0.114)$$

2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

- 常见的灰度化方法之一：

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$$





2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

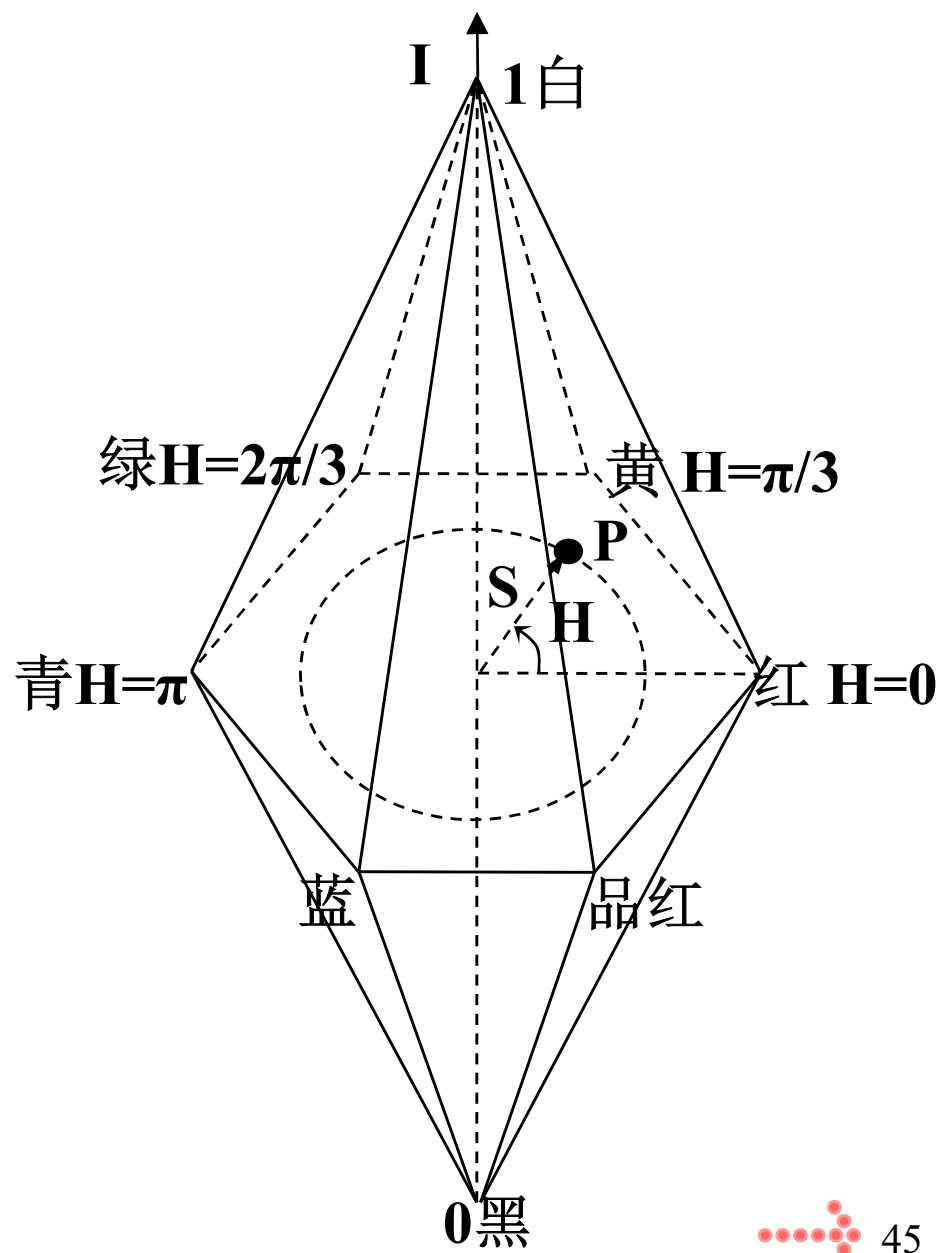
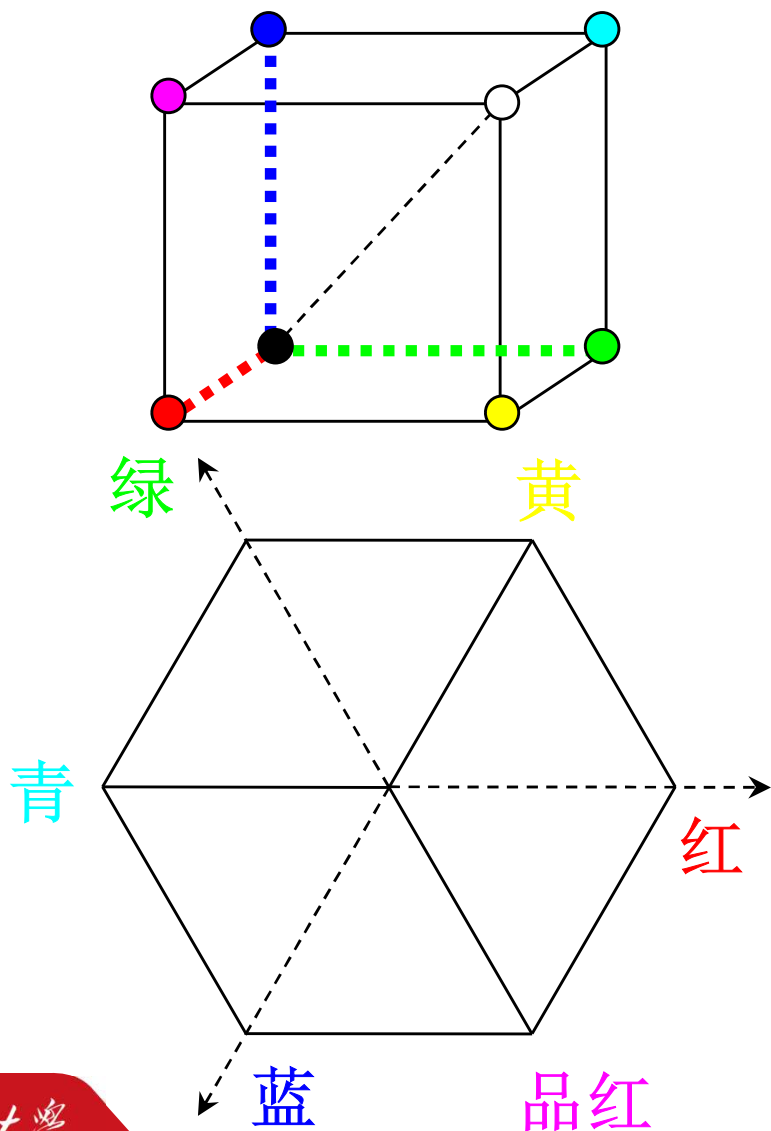
(6) HSI颜色模型

- 两个特点：
 - I分量与图像的彩色信息无关
 - H和S分量与人感受颜色的方式紧密相连
- 将亮度 (I) 与色调 (H) 和饱和度 (S) 分开，避免颜色受到光照明暗 (I) 等条件的干扰，仅仅分析反映色彩本质的色调和饱和度
- 广泛用于计算机视觉、图像检索和视频检索

2.2.6 常用颜色模型

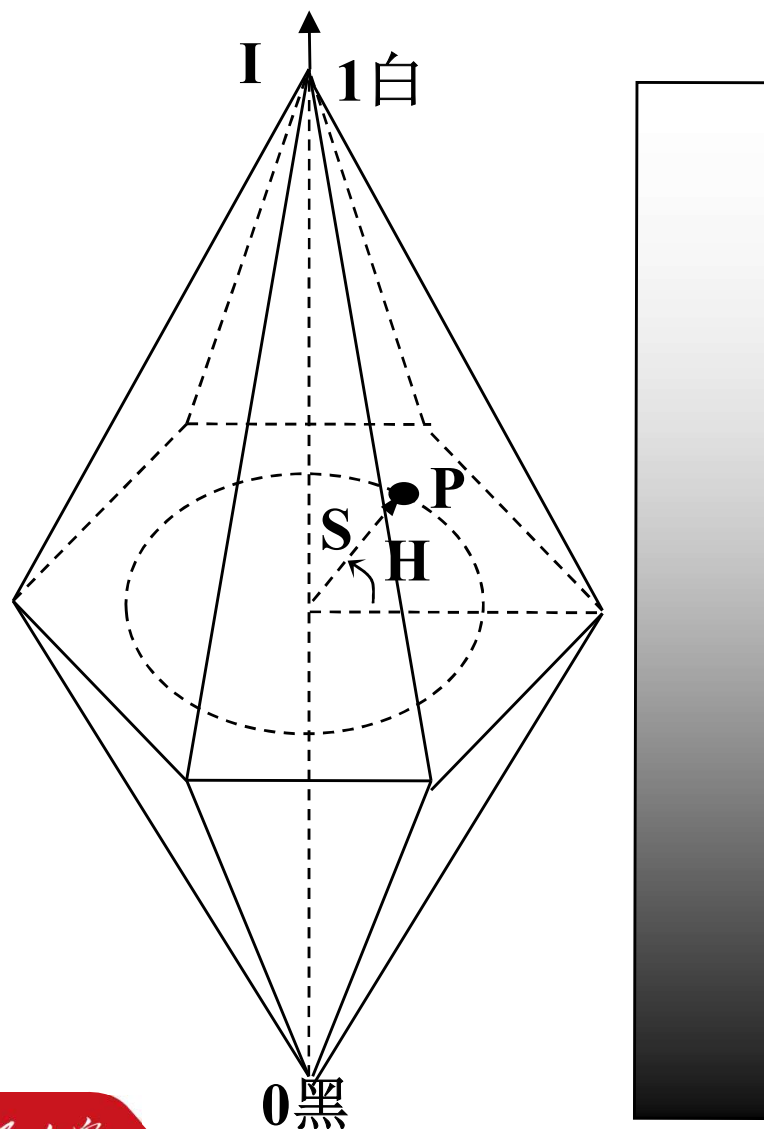
色度学基础与颜色模型

(6) HSI颜色模型



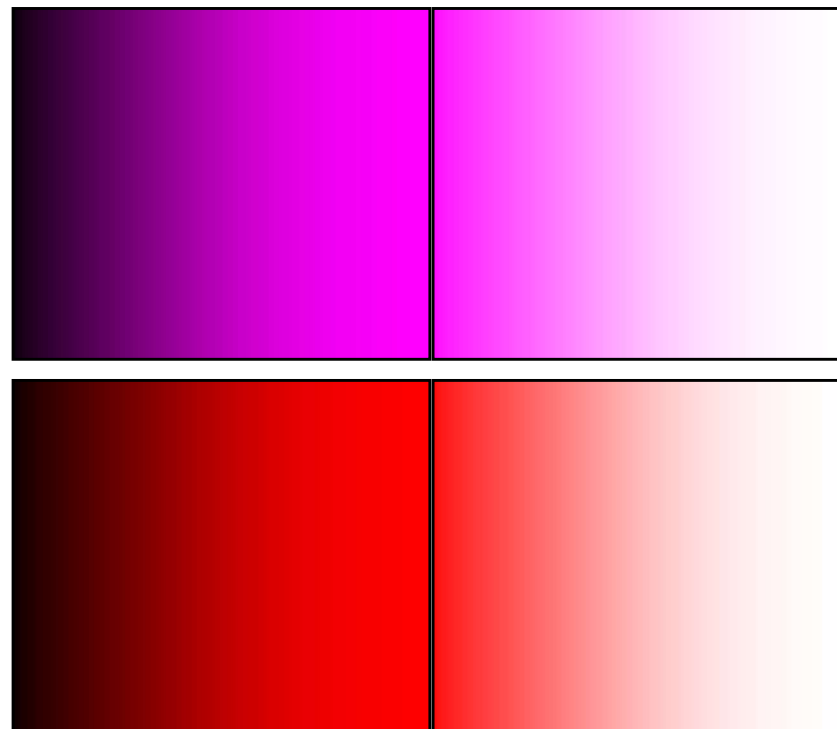
2.2.6常用颜色模型

(6) HSI颜色模型



色度学基础与颜色模型

- **I分量**：表示光照强度，确定像素的整体亮度，不管其颜色是什么。沿底面中心向上，由黑到白

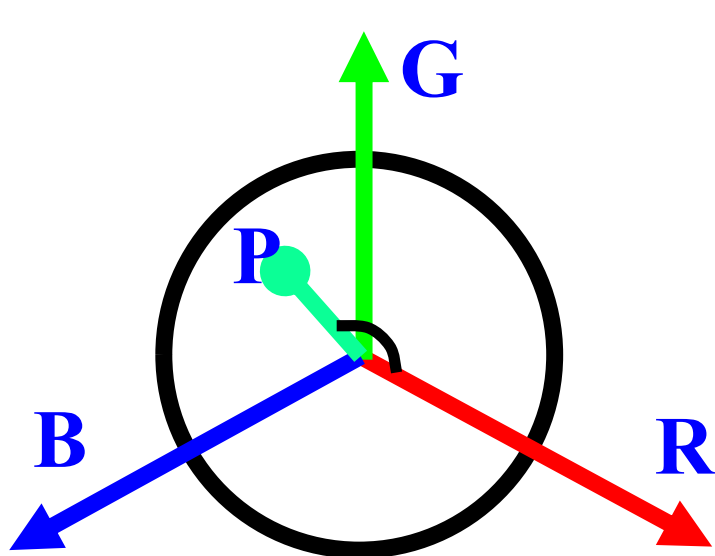


2.2.6常用颜色模型

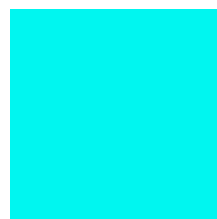
色度学基础与颜色模型

(6) HSI颜色模型

- **H: 色度**，反映了该颜色最接近什么样的光谱波长
 - 红绿蓝三条坐标轴平分 360° ， 0° 为红色， 120° 为绿色， 240° 为蓝色， 0° 到 240° 覆盖了所有可见光谱的颜色， 240° 到 300° 是人眼可见的非光谱色(紫)
 - P点的色调H是圆心到P的向量与红色轴的夹角



H=0°



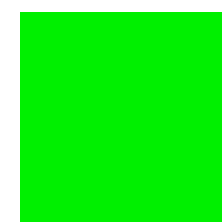
H=180°



H=60°



H=240°



H=120°



H=300°



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(6) HSI颜色模型

- S: **饱和度**，指一种颜色被白色稀释的程度
 - 与彩色点P到色环圆心的距离成正比，**距圆心越远，饱和度越大**
 - 在环的外围圆周是纯的或称饱和的颜色，其饱和度值为1。在中心是中性(灰)影调，即饱和度为0



S=0



S=1/4



S=1/2



S=1

2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(6) HSI颜色模型

■ RGB和HSI之间的转换

RGB→HSI

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

常见的灰度化方法之一

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} [\min\{R, G, B\}]$$

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G \leq B \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{[(R - G) + (R - B)]/2}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$





2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(6) HSI颜色模型

■ RGB和HSI之间的转换：HSI→RGB

当 $0^\circ \leq H < 120^\circ$ 时：

$$\begin{cases} R = I[1 + S \cos(H)/\cos(60^\circ - H)] \\ G = 3I - R - B \\ B = I(1 - S) \end{cases}$$

当 $120^\circ \leq H < 240^\circ$ 时：

$$\begin{cases} R = I(1 - S) \\ G = I[1 + S \cos(H - 120^\circ)/\cos(180^\circ - H)] \\ B = 3I - R - G \end{cases}$$

当 $240^\circ \leq H < 360^\circ$ 时：

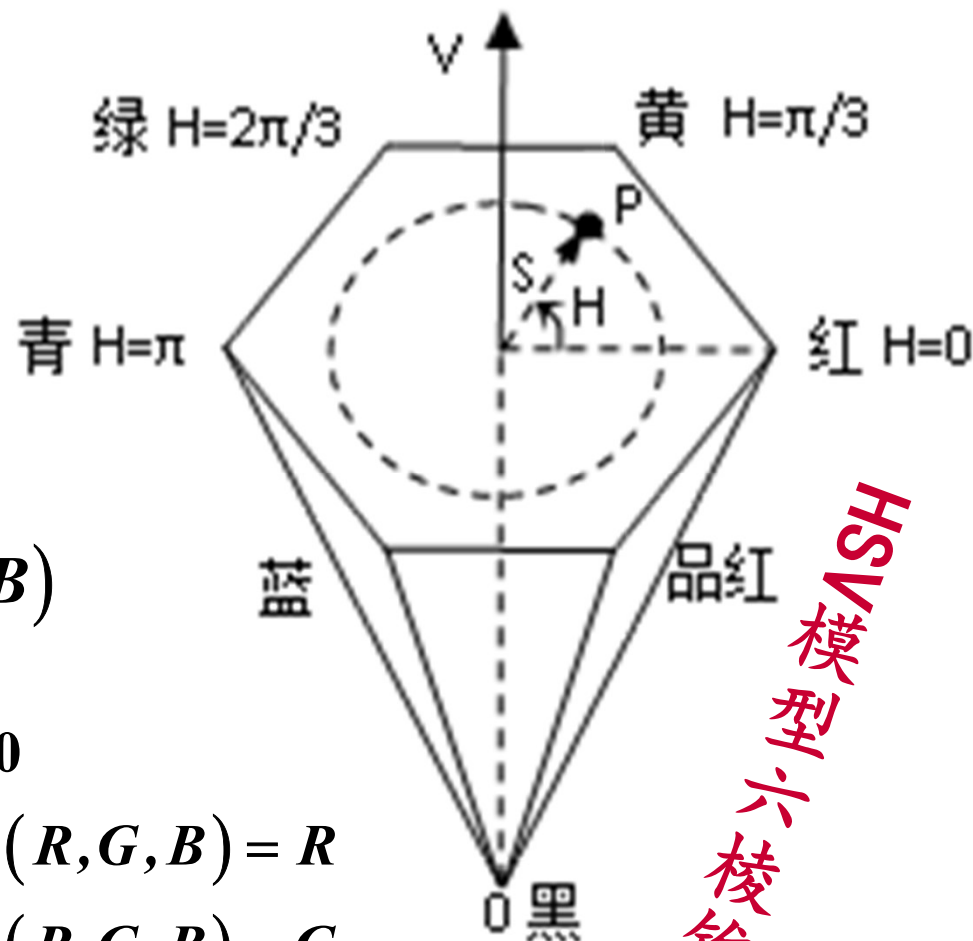
$$\begin{cases} R = 3I - G - B \\ G = I(1 - S) \\ B = I[1 + S \cos(H - 240^\circ)/\cos(300^\circ - H)] \end{cases}$$

2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(7) HSV颜色模型

类似于HSI，V是明度。用下六棱锥或下圆锥、圆柱表示，底部是黑色， $V=0$ ；顶部是纯色， $V=1$



HSV模型六棱锥表示

$$S = \begin{cases} 0 & V = 0 \\ C/V & \text{其他} \end{cases} \quad V = \max(R, G, B)$$

$$H = \begin{cases} \text{未定义} & C = 0 \\ 60^\circ \times [(G - B)/C \bmod 6] & \max(R, G, B) = R \\ 60^\circ \times [(B - R)/C + 2] & \max(R, G, B) = G \\ 60^\circ \times [(R - G)/C + 4] & \max(R, G, B) = B \end{cases}$$

$$C = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$$



2.2.6常用颜色模型

色度学基础与颜色模型

(7) HSV颜色模型

$$(R, G, B) = \begin{cases} (\alpha, \alpha, \alpha) & H \text{ 未定义} \\ (\beta, \gamma, \alpha) & 0 \leq H' \leq 1 \\ (\gamma, \beta, \alpha) & 1 \leq H' \leq 2 \\ (\alpha, \beta, \gamma) & 2 \leq H' \leq 3 \\ (\alpha, \gamma, \beta) & 3 \leq H' \leq 4 \\ (\gamma, \alpha, \beta) & 4 \leq H' \leq 5 \\ (\beta, \alpha, \gamma) & 5 \leq H' \leq 6 \end{cases}$$
$$H' = H / 60^\circ$$
$$C' = V \times S$$
$$X = C' \times (1 - |H' \bmod 2 - 1|)$$
$$\alpha = V - C'$$
$$\beta = C' + \alpha$$
$$\gamma = X + \alpha$$



2.3 数字图像的生成与表示

- 对于自然界中的物体，通过某些成像设备，将物体表面的反射光或者通过物体的透射光，转换成电压，在成像平面生成图像。
- 图像中目标的亮度取决于投影成目标的景物所受到的光照度、景物表面对光的反射程度以及成像系统的特性。



2.3 数字图像的生成与表示

2.3.1 图像信号的数字化

2.3.2 数字图像类型

2.3.1 图像信号的数字化

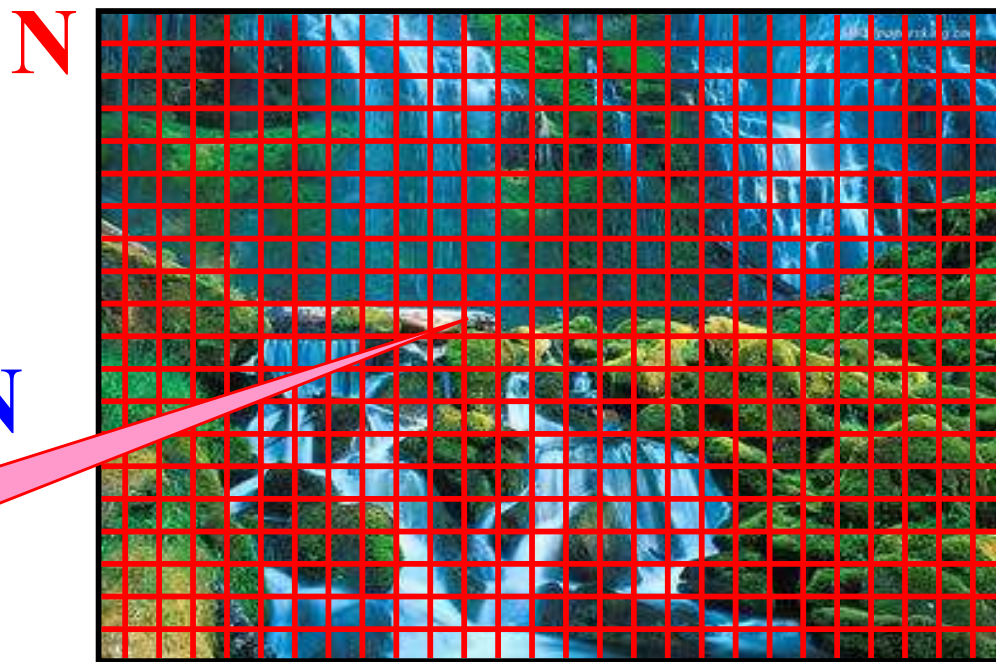
数字图像的生成与表示

- 模拟图像转换为数字图像，方能被计算机处理，这一过程称为图像信号的数字化，包括：**采样和量化**
- 采样：对空间坐标x和y离散化，即确定水平和垂直方向上的像素数

图像的分辨率

$M \times N$

像素

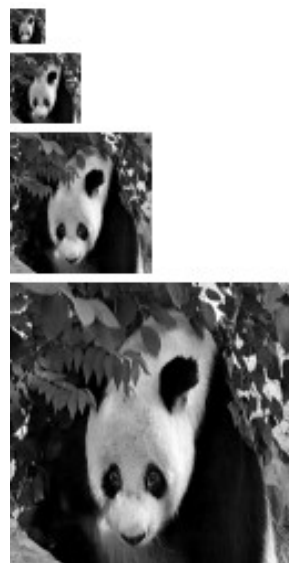


2.3.1 图像信号的数字化

数字图像的生成与表示

- 图像分辨率: 采样所获得的图像总像素的多少, 以水平和垂直像素数表示
 - 用 $M \times N$ 表示, M 列 N 行, 如 2560×1920
 - $2560 \times 1920 = 4915200$, 也称为 500 万像素分辨率

分辨率不一样, 数字图像的质量也不一样

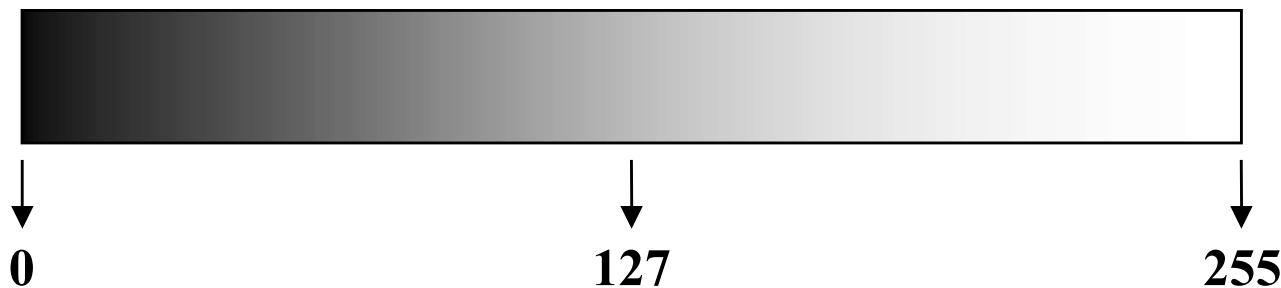




2.3.1 图像信号的数字化

数字图像的生成与表示

- 量化：将各个像素所含的明暗信息离散化
 - 一般的量化值为整数，量化层数取为2的 n 次幂
 - 8位量化：即 2^8 ，充分考虑到人眼的识别能力，非特殊用途的图像均为8bit量化，用[0 255]描述“从黑到白”，0和255分别对应亮度的最低和最高级别。



- ◆ 在3bit以下的量化，会出现伪轮廓现象。
- ◆ 如果要求更高精度，可以增大量化分层，但编码时占用位数也会增多，数据量加大。

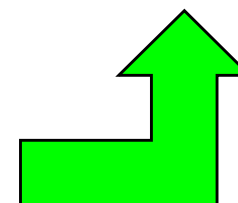
2.3.1 图像信号的数字化

数字图像的生成与表示

数字化的灰度图像



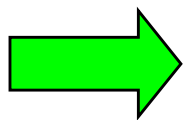
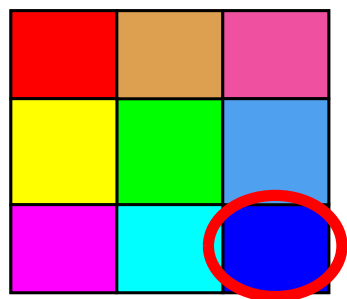
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	130	146	133	95	71	71	62	78
1	130	146	133	92	62	71	62	71
2	139	146	146	120	62	55	55	55
3	139	139	139	146	117	112	117	110
4	139	139	139	139	139	139	139	139
5	146	142	139	139	139	143	125	139
6	156	159	159	159	159	146	159	159
7	168	159	156	159	159	159	139	159



2.3.1 图像信号的数字化

数字图像的生成与表示

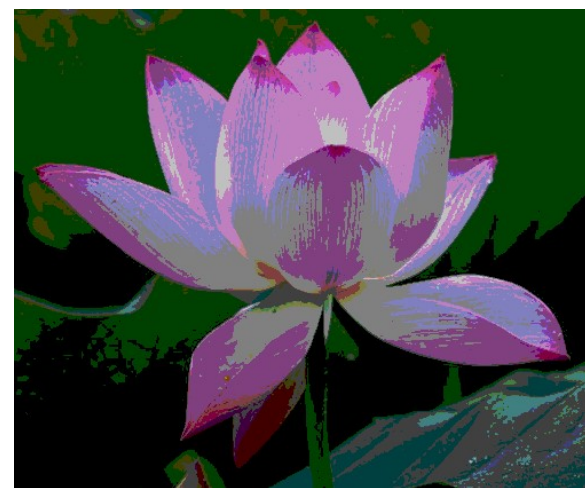
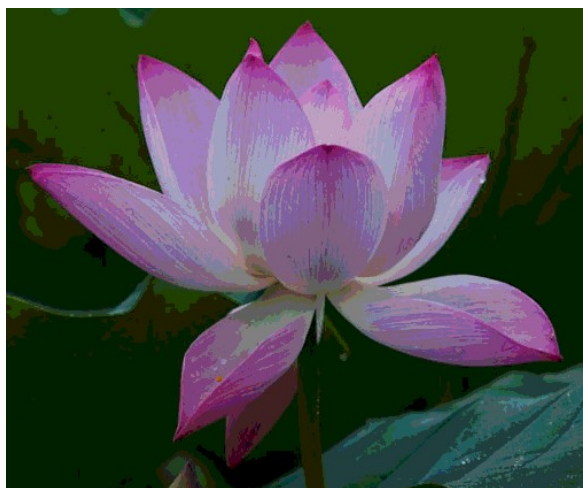
数字化的彩色图像



$$R = \begin{bmatrix} 255 & 240 & 240 \\ 255 & 0 & 80 \\ 255 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 80 \\ 255 & 255 & 160 \\ 0 & 255 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 80 & 160 \\ 0 & 0 & 240 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}$$

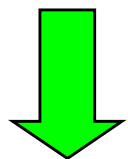


2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

■ 灰度图像

- 每个像素只有一个强度值，呈现黑、灰、白等色



$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$



2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

■ 二值图像

- 每个像素值要么为0要么为1的数字图像，一般为黑白两色



2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

■ 彩色图像

□ 每个像素值为三维向量：组成该色彩的RGB值



最下边一行的数据：

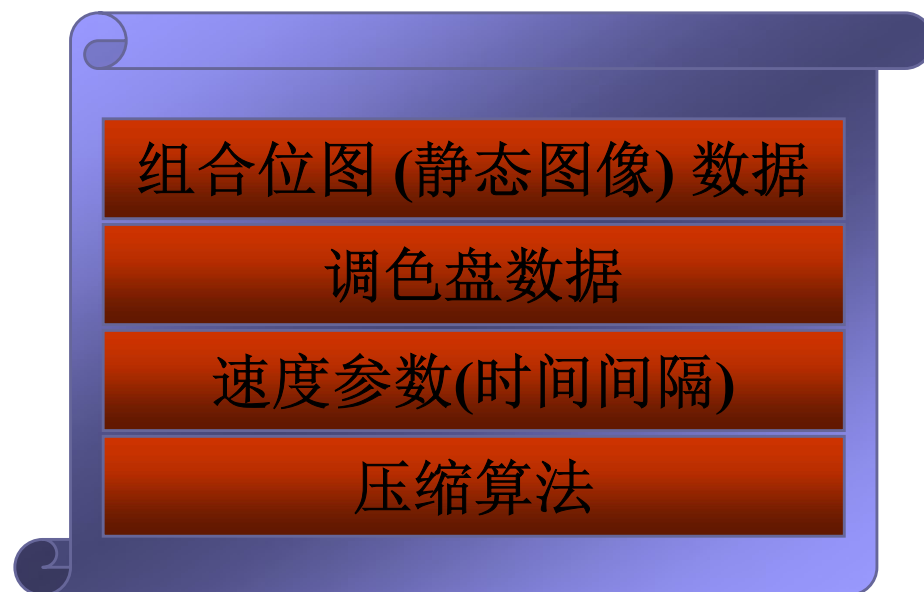
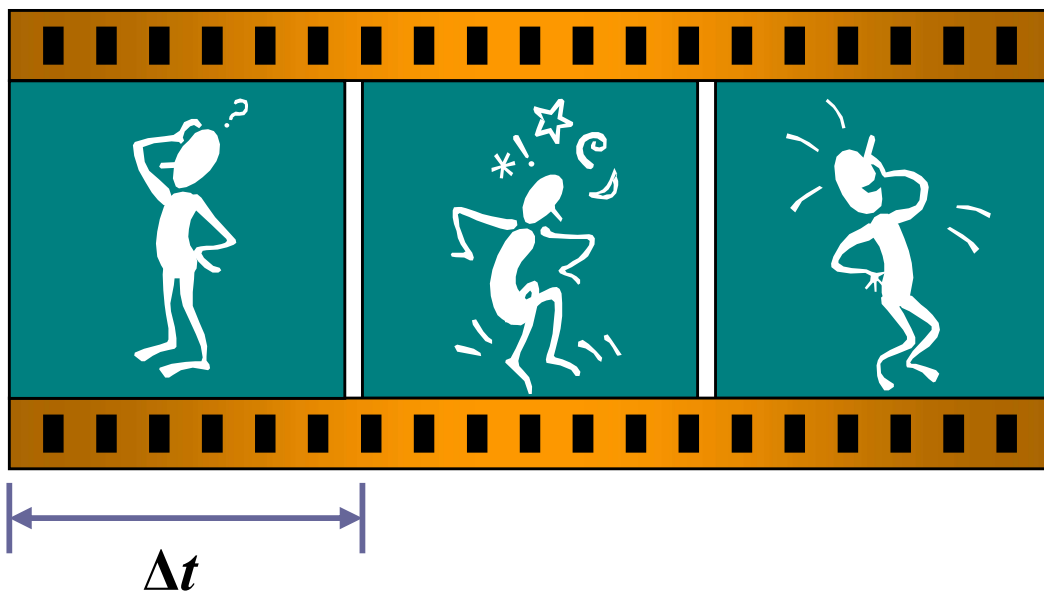
2A 2E 2F 2A 2E 2F 2A 2E 2F ...

2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

■ 动态图像

- 多帧位图的有序组合
- 动态原理: $\Delta t \leq 1/24s$ (视觉滞留时间), 产生连续活动视觉效果
- 动态图像文件





2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

■ 索引图像

- 索引图像实际上不是一种图像类型，而是图像的一种存储方式，牵涉到数据编码的问题。
- 具体的颜色数据存放在调色板中，图像数据区中存放对应每一个像素点的颜色索引值

颜色数目	表示方法	存储位数
2	0、1	1
4	00、01、10、11	2
16	0000~1111	4
256	00000000~11111111	8
真彩色24位（无调色板）	000~111（3字节）	24



2.3.2 数字图像类型

数字图像的生成与表示

- 不同类型图像间的互相转化
 - 灰度图像→二值图像
二值化，应用图像分割技术
 - 灰度图像→彩色图像
伪彩色增强
 - 彩色图像→灰度图像
灰度化



2.4 数字图像的数值描述

- 数字图像的描述是指如何用一个数值方式来表示一幅图像。
- 因为矩阵是二维的，所以可以用矩阵来描述数字图像。同时，前面我们已经提到，量化值是整数，因此描述数字图像的矩阵一定是**整数矩阵**。



2.4数字图像的数值描述

2.4.1 常用坐标系

2.4.2 数字图像的数据结构

2.4.3 常用图像格式

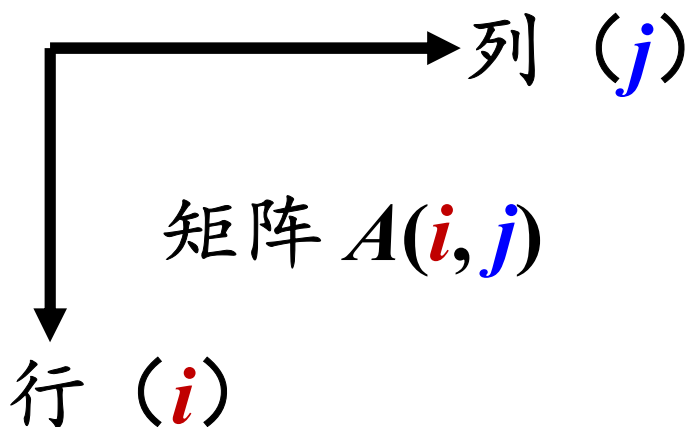
2.4.4 BMP位图文件

2.4.5 读取并显示图像

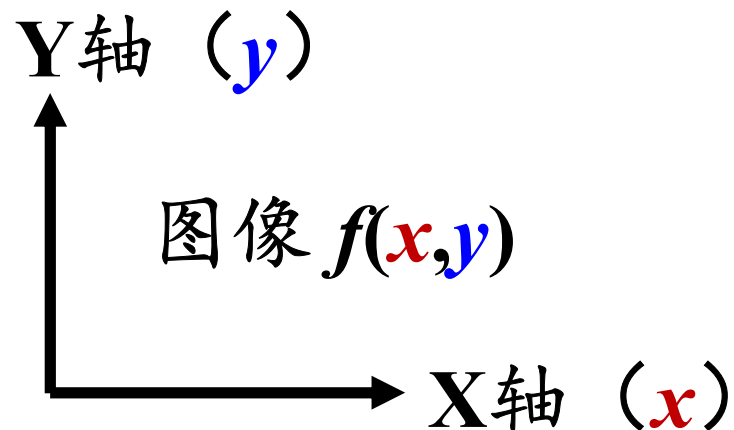


2.4.1 常用坐标

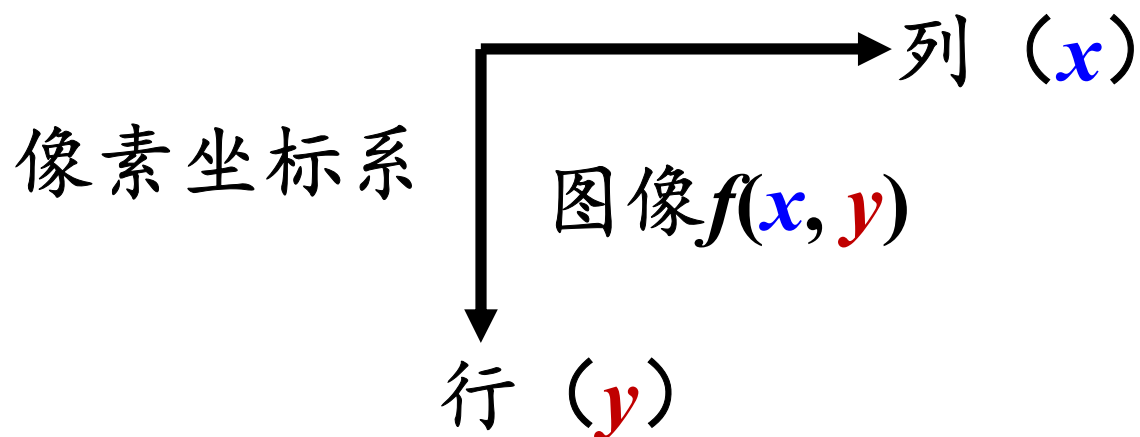
数字图像的数值描述



矩阵坐标系



直角坐标系





2.4.2 数字图像的数据结构

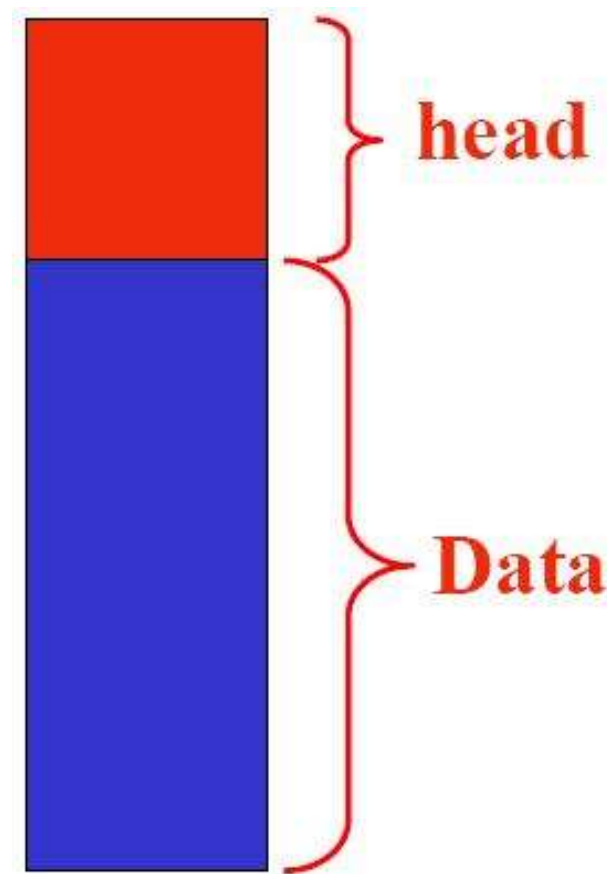
数字图像的数值描述

■ 文件头

图像的自我说明，应包含图像的维数、类型、创建日期和某类标题，也可以包含用于解释像素值的颜色表或编码表，甚至历史段（包含如何建立和处理图像的信息）

■ 图像数据

像素颜色值或压缩后的数据



2.4.3常用图像格式

数字图像的数值描述

(1) JPEG格式

Joint Photographic Experts Group,
联合图片专家组开发，用于彩色图像的存储和网络传送

经压缩的
图像数据

各类压缩算法

■ 特

■ 使



、码

像

形



2.4.3常用图像格式

数字图像的数值描述

(2) GIF格式

Graphics Interchange Format,
CompuServe公司开发, 用于屏显和网络

文件头

逻辑屏幕描述

调色板信息

图像数据

结束标志

■ 特点

- 具有87a、89a两种格式：87a描述单一静止图像；89a描述多帧图像
- 采用改进的LZW压缩算法
- 彩色模式：2⁸，分辨率96dpi

■ 使用要点

- 屏显图像和电脑动画
- 用于网络传送
- 不适于保存高质量印刷文件



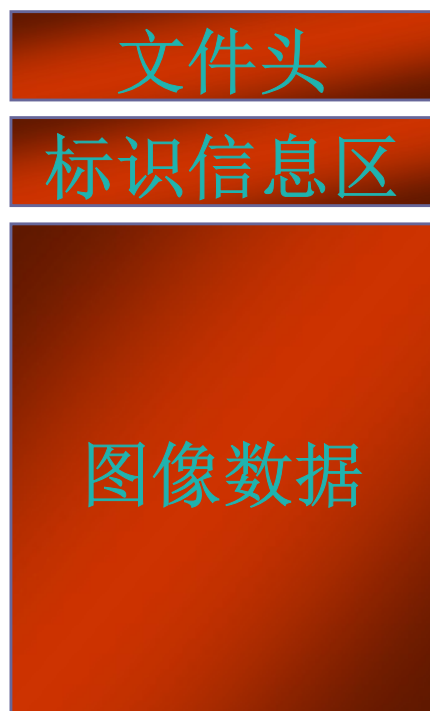


2.4.3常用图像格式

数字图像的数值描述

(3) TIFF格式

Tag Image File Format, 标记图像文件格式, Aldus公司开发, 用于精确描述图像の場合



- 特点
 - 文件描述单一(静止)图像
 - 彩色模式: 2^1 (单色) ~ 2^{32}
 - 支持多平台 (PC & Macintosh)
 - 可采用多种压缩数据格式
- 使用要点
 - 平面设计作品的最佳表现形式
 - 用于提供印刷文件
 - 不适于网络传送

2.4.3常用图像格式

数字图像的数值描述

(4) PNG格式

Portable Network Graphic Format,
便携式网络图形格式

■ 特点

- 支持索引、灰度、RGB三种颜色方案以及Alpha通道
- 灰度图像的深度可多到16位，彩色图像的深度可多到48位，可存储多到16位的 α 通道数据
- 采用无损压缩

■ 使用要点

- 用于平面设计
- 用于网络传送





2.4.3常用图像格式

数字图像的数值描述

(5) BMP格式

Bitmap, Microsoft公司开发,
用于Windows环境

■ 特点

- 文件描述单一(静止)图像
- 彩色模式: $2^4 \sim 2^{32}$
- 调色板RGB数据顺序反向排列
- 以图像左下角为起点排列数据
- 一般采用非压缩数据格式

■ 使用要点

- 用于表现打印、显示用图像
- 不适于网络传送
- 不适于提供印刷文件

文件头

调色板数据
(反向排列)

图像数据



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

DIB—Device Independent Bitmap

DDB—Device Dependent Bitmap

- 位图文件头
- 位图信息头
- 调色板
- 图像数据

BITMAPFILEHEADER
BITMAPINFOHEADER
RGBQUAD
DATA



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

(1) BITMAPFILEHEADER

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER
{
    WORD    bfType; //文件类型，必是” BM” 0x4D42
    DWORD   bfSize; //指定文件大小（单位：字节）
    WORD    bfReserved1; //保留字，不考虑
    WORD    bfReserved2; //保留字，不考虑
    DWORD   bfOffBits;
    //从文件头到位图数据的偏移字节数
    // =sizeof(fileheader)+sizeof(infoheader)
    // +sizeof(RGBQUAD)
} BITMAPFILEHEADER
```




2.4.4 BMP位图文件

数字图像的数值描述

(2) BITMAPINFOHEADER

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER
{
    DWORD biSize; //本结构的长度，40个字节
    DWORD biWidth; //图像宽，单位是像素
    DWORD biHeight; //图像高，单位是像素
    WORD biPlanes; //必须是1（位平面）
    WORD biBitCount; //颜色位数，1，4，8，24
    DWORD biCompression; //压缩类型
    DWORD biSizeImage; //实际位图数据占用的字节数
    DWORD biXPelsPerMeter; //水平分辨率
    DWORD biYPelsPerMeter; //垂直分辨率
    DWORD biClrUsed; //实际使用的颜色数
    DWORD biClrImportant; //重要的颜色数
} BITMAPINFOHEADER;
```



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

256色的图像文件头及信息头



01130068	42	4D	38	04	01	00	00	00	00
01130070	00	00	36	04	00	00	28	00	00
01130078	00	00	00	01	00	00	00	01	01
01130080	00	00	01	00	08	00	00	00	00
01130088	00	00	00	00	00	00	12	0B	0B
01130090	00	00	12	0B	00	00	00	00	00
01130098	00	00	00	00	00	00	00	00	00

2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

真彩色**24**位的图像文件头及信息头



01130068	42	4D	D6	A3	03	00	00	00
01130070	00	00	36	00	00	00	28	00
01130078	00	00	56	01	00	00	E8	00
01130080	00	00	01	00	18	00	00	00
01130088	00	00	00	00	00	00	C4	0E
01130090	00	00	C4	0E	00	00	00	00
01130098	00	00	00	00	00	00	00	00



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

(3) RGBQUAD

```
typedef struct tagRGBQUAD
{
    BYTE rgbBlue; //该颜色的蓝色分量
    BYTE rgbGreen; //该颜色的绿色分量
    BYTE rgbRed; //该颜色的红色分量
    BYTE rgbReserved; //保留值，不考虑
} RGBQUAD;
```

- RGBQUAD结构指的是一种颜色的构成，调色板中有多少种颜色就有多少种这种结构。
- 例如：图像只有纯红和纯蓝两种颜色，调色板数据为：

0	0	255	0		255	0	0	0
---	---	-----	---	--	-----	---	---	---



2.4.4 BMP位图文件

数字图像的数值描述

(4) 图像数据

- 图像中的颜色少于或等于256时，数据是颜色在调色板中的索引。
- 图像为真彩色24位或更多，没有调色板，图像数据直接是每一个像素的颜色值B、G、R。
- 位图的存储顺序：从左到右、从下到上；即图像数据中的第一个数是图像的最左下角的像素值。
- 存储图像一行所用的字节数
 - 理论上： $W = \text{biWidth} * \text{biBitCount} / 8$
 - 实际要求W是4的倍数，不足的补0



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

0113009E 00 00 00 00 01 01 01 00

011300A6 02 02 02 00 03 03 03 00

.....

01130496 FE FE FE 00 FF FF FF 00

0113049E 14 14 14 14 14 14 14 14

011304A6 14 14 14 14 14 14 14 14

.....

01910596 14 14 14 14 14 14 14 14

0191059E 14 14 14 14 14 14 14 14

.....

调色板
数据

第一行
数据

第二行
数据

灰度**Lena**图像调色板及图像数据



2.4.4BMP位图文件

数字图像的数值描述

0113009E	2A	2E	2F	2A	2E	2F	} 第一行 数据
011300A4	2A	2E	2F	29	2D	2E	
.....							
0113049A	41	3C	3E	3F	3A	3C	} 第二行 数据
011304A0	00	00		2A	2E	2F	
011304A5	2A	2E	2F	2A	2E	2F	
011304AB	29	2D	2E	29	2D	2E	
.....							

彩色Bird图像数据



2.4.5读取并显示图像

数字图像的数值描述

(1) 目前可做程序

■ 打开并显示图像

- `imread`

- `imshow`

- `imwrite`

■ 灰度化

- `rgb2gray`

■ 色彩空间变换

- `rgb2hsv`

- `rgb2ycbcr`

2.4.5读取并显示图像

数字图像的数值描述

(2) 实例

- 打开图像取反并显示、存储

```
I=imread('cameraman.jpg');
```

```
J=255-I;
```

```
subplot(1,2,1),
```

```
imshow(I),title('原始图像');
```

```
subplot(1,2,2),
```

```
imshow(J),title('反色图像');
```

```
imwrite(J,'cameramanC.jpg');
```



2.4.5读取并显示图像

数字图像的数值描述

- 打开彩色图像，灰度化、二值化

```
Image1=im2double(imread('lotus.jpg'));
```

```
r=Image1(:,:,1);
```

```
g=Image1(:,:,2);
```

```
b=Image1(:,:,3);
```

```
Y=0.299*r+0.587*g+0.114*b;
```

```
I=(r+g+b)/3;
```

```
figure,imshow(Y),
```

```
title('亮度图Y');
```

```
figure,imshow(I),
```

```
title('亮度图I');
```

```
BW=zeros(size(Y));
```

```
BW(Y>0.3)=1;
```

```
figure,imshow(BW),title('二值化图');
```





2.5综合实例

打开人脸图像，利用色彩信息进行肤色检测

(1) 分析

- 在检测人脸、手等目标时，常采用肤色检测的方法，将相关区域从图像中分割出来。
- 肤色分布的聚集性，即肤色的颜色分量一般聚集在某个范围内。
- 通过大量的肤色样本进行统计，找出肤色颜色分量的聚集范围或用特殊的分布模型去模拟肤色分布，进而实现对任意像素颜色的判别。



2.5综合实例

(2) 肤色分布

- 肤色在不同彩色空间均具有一定的聚集性
例如，据统计资料，肤色在YCbCr空间分布范围大约在： $77 \leq Cb \leq 127$ $133 \leq Cr \leq 173$
- 肤色模型
 - 根据大量样本的统计数据建立，确定肤色的分布规律，进而判断像素的色彩是否属于肤色或与肤色相似程度的模型。
 - 常用的有阈值模型、高斯模型和椭圆模型。

2.5综合实例

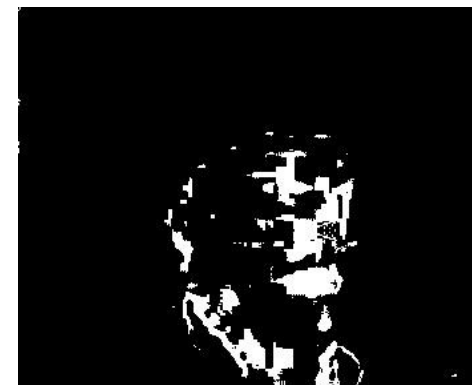
(3) 程序设计

- 大量的肤色样本进行统计，确定肤色聚集范围或肤色模型参数。
(本例略，直接应用文献数据)
- 针对图像像素值，利用肤色统计结果比较判断

RGB

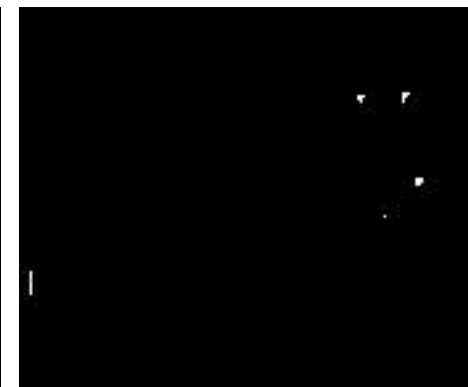


HSV



YCbCr

2.5综合实例





编程实践

- 2.11 使用编程打开一幅真彩色图像，将绿色和蓝色通道进行互换，显示通道互换后的图像，并对结果进行说明。
- 2.12 使用编程打开一幅真彩色图像，利用式(2-24)对其进行灰度化，并显示变换前后图像。
- 2.13 使用编程打开一幅真彩色图像，将其变换到HSV、YCbCr空间，观察变换后的数据，并显示变换前后图像。