

第三章 数字图像处理基础

DIGITAL IMAGE PROCESSING

主讲：杨涛 副教授

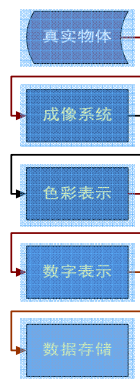
单位：西北工业大学计算机学院 陕西省语音与图像信息处理重点实验室
电话：15002919079
办公室：计算机学院215房间
Email：yangtaonwpu@163.com
主页：www.saiip-vision.org/tyang/index.html
课程主页：www.saiip-vision.org/tyang/class/class_chinese/index.html

课程回顾

- 第一章：绪论
- 第二章：常用图像采集与处理工具
- 第三章：数字图像处理基础
- 第四章：图像变换
- 第五章：图像增强
- 第六章：图像分割
- 第七章：图像特征提取
- 第八章：图像特征描述与匹配
- 第九章：图像压缩编码
- 第十章：图像复原

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★本章内容

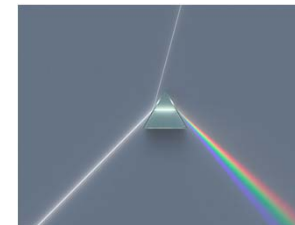


- 光度学
- 视觉模型
- 色度学
- 采样和量化
- 图像格式

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

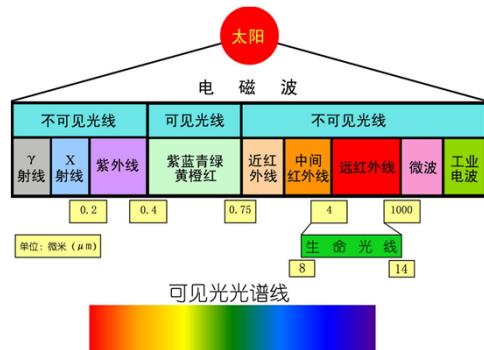
★光度学

- 世界是多彩的，白天色彩争奇斗艳，黄昏色彩被夜幕吞没，夜晚，一切色彩全部消失
- 没有光就没有色，色来源于光
- 光是色的源泉，色是光的表现



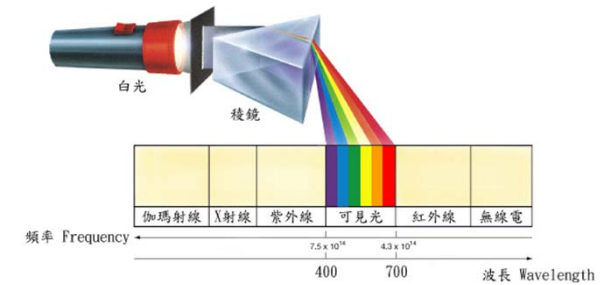
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

• 光度学 (photometry):

- 在可见光波段内，考虑到人眼的主观因素后的相应计量学科称为光度学
- 1760年 朗伯建立光度学
- 比较某个物体更亮
- 比较某个光源发光效率更高
- 对各种光源进行光度的特性测量广泛应用于光学工业、照明工业、遥感遥测、色度学和大气光学等领域。对各种光敏和热敏探测器也需要运用光度的测量技术来确定其灵敏度及响应特性。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学



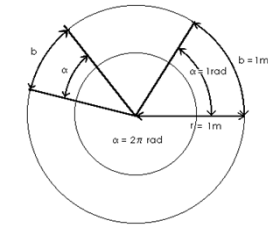
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

平面角的单位叫弧度, 1弧度是半径为1米的园上, 1米长的圆弧对圆心所张的角。

$$\alpha = \frac{l}{r}$$



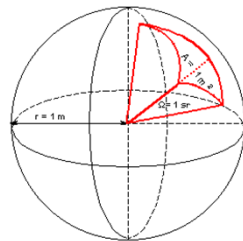
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

将弧度表示平面角度大小的定义 (弧长除以半径) 推广到三维空间中, 定义“立体角”为:

球面面积与半径平方的比值。即: $\Omega = \frac{A}{r^2}$



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

光通量 (Flux), 单位流明 (lm)

定义: 光源在单位时间内发射出的光量称为光源的光通量, 符号 Φ

解释: 描述发光总量大小, 光通量越大, 则发出的光线越多, 对于各向同性的光, 则光通量 $= 4\pi I$ 。

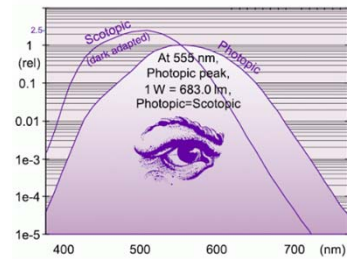
如 $I = 1\text{cd}$, 则光通量 $= 12.56\text{lm}$

光通量 (Φ) = 发光强度 $\times$ 立体角 $= I \times \Omega \text{ lm}$

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度



人眼对不同颜色光的感受不同，这种感觉决定了光通量与光功率的换算关系，对于人眼最敏感的是555nm的黄绿光， $1\text{W}=683\text{lm}$ ，也就是说1w的功率转换成波长为555nm的光。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

发光强度 (I, Intensity), 单位坎德拉 (candela, cd)
定义: 光源在给定方向的单位立体角中发射的光通量定义为光源在该方向的发光强度。1cd 就是“全辐射体”加温到铂的熔点 (2024K) 时从1平方厘米表面面积上发出的光的1/60。全辐射体就是某一物质加热到某一温度时，它发出的能量分布在可见光范围内。

$$\text{发光强度 (I)} = \text{光通量} / \text{立体角} = \Phi / \Omega \text{ cd}$$

$$1 \text{ lm} / \text{sr} = 1 \text{ candela (cd)}$$

$$1 \text{ cd} = 12.57 \text{ lm}$$

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

发光强度 (I, Intensity), 单位坎德拉 (candela, cd)
解释: 发光强度描述了光源到底有多“亮”，他可以表示光源的汇聚能力，
缺点: 仅用发光强度来表示“亮度”的缺点是，如果一样的LED，则汇聚程度好的光强高，很多I值高的LED 并非提高自身的发射效率，而是把镜头加长，照射角度变窄来实现。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度
- 光出射度

光亮度 (L, Luminance), 单位尼特 (nt)
定义: 单位光源面积在法线方向上，单位立体角内所发出的光流。
解释: 亮度是针对面光源而言，通俗的说亮度是一块比较小的面积看起来到底有多亮。另外，发光面的亮度与距离无关，但与观察者的方向有关。

$$\text{亮度 (L)} = \text{发光强度} / \text{面积} = I / A_P$$

单位: cd / m^2 (nt)

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

光亮度 (E, Illuminance), 单位勒克斯 (lx)

定义: 1流明的光通量均匀分布在1平方米表面上。

解释: 光照度是对被照射物体而言, 但又和照射物体无关。1流明的光, 均匀照射到1m²的物体上, 照度就是 1 lx。

常见照度 (勒克司):

阳光直射 (正午) 下, 110,000

阴天室外, 1000

商场内, 500

阴天有窗室内, 100

普通房间灯光下, 100

满月照射下, 0.2

$$\text{照度 (E)} = \text{光通量} / \text{面积} = F / A$$

$$\text{单位: lm} / \text{m}^2 = \text{lux (lx)}$$

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

- 立体角
- 光通量
- 发光强度
- 光亮度
- 光照度

$$\text{光通量 (Φ)} = \text{发光强度} \times \text{立体角} = I \times \Omega \text{ lm}$$

$$\text{发光强度 (I)} = \text{光通量} / \text{立体角} = \Phi / \Omega \text{ cd}$$

$$\text{亮度 (L)} = \text{发光强度} / \text{面积}$$

图3-1. 眼睛功能与相机之类比

$$\text{照度 (E)} = \text{光通量} / \text{面积}$$

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

例题1:

一个40w的白炽灯泡, 其发光效率大约是每瓦10流明, 因此可以发出____流明的光。如果假定灯泡在空间上发光均匀, 则距离灯泡1米处, 照度为____勒克司。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★光度学

例题1:

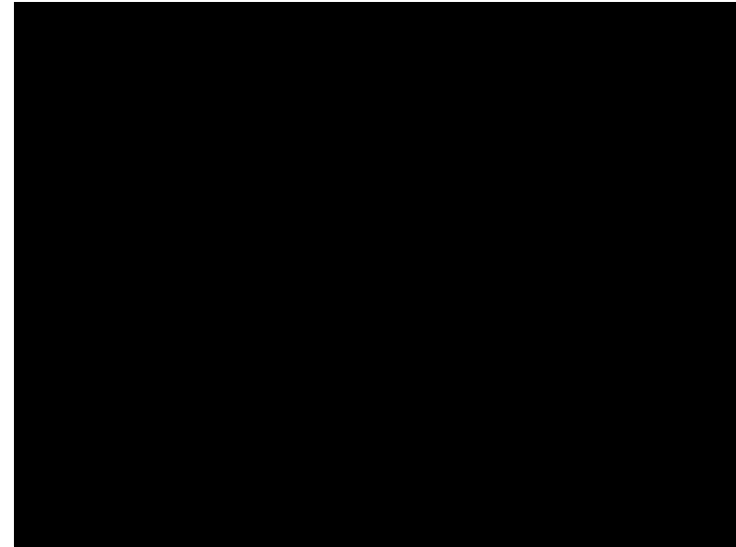
一个40w的白炽灯泡, 其发光效率大约是每瓦10流明, 因此可以发出40x10=400流明的光。如果假定灯泡在空间上发光均匀, 则距离灯泡1米处, 照度为400/(4*pi)=400/12.56=32勒克司。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

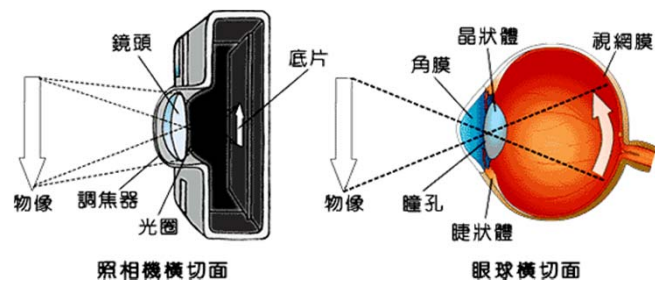
★视觉模型

- 视觉：外界光辐射到人眼中刺激视网膜所引起的知觉
- 人眼构造
 - 眼球
 - 神经系统
 - 大脑的视觉中枢

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

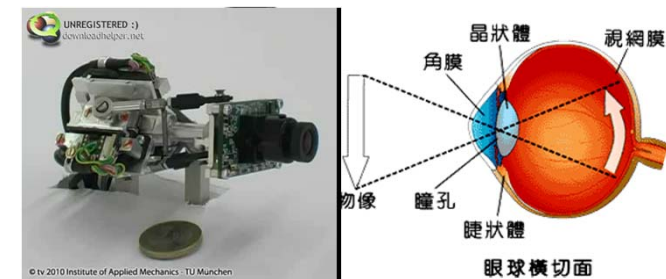


★视觉模型



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型

- 黄斑：视网膜上视觉最灵敏的区域；
- 盲点：神经纤维的出口，由于没有感光细胞，所以不能产生视觉；

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型

- 黄斑：视网膜上视觉最灵敏的区域；
- 盲点：神经纤维的出口，由于没有感光细胞，所以不能产生视觉；
- 杆状细胞：（夜晚）对入射光的强度很敏感，它能分辨亮度的差别，而对颜色的分辨本领极差；
- 锥状细胞：（白天）对亮度灵敏度不高，但能分辨颜色。
 - 红色锥状细胞
 - 绿色锥状细胞
 - 蓝色锥状细胞

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

- 视觉范围范围大（千分之几直到几百万尼特）
 - 瞳孔根据外界光的强弱调节其大小，使射到视网膜上的光通量尽可能是适中的。
 - 在强光和弱光下，分别由锥状和杆状光敏细胞作用，而后的灵敏度是前者的1万倍。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

- 明暗感觉的相对性。不同的亮度环境下，人眼对于同一实际亮度所产生的相对亮度感觉是不相同的
 - 白天环境亮度10,000尼特时，人眼能分辨的亮度范围为200~20,000尼特，低于200尼特的亮度感觉为黑色
 - 而夜间环境为30尼特时，可分辨的亮度范围为1~200尼特，这时100尼特的亮度就引起相当亮的感觉。只有低于1尼特的亮度才引起黑色感觉。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

• 影响分辨力的因素

- 与物体在视网膜上**成像的位置**有关，黄斑区锥状细胞密度最大，分辨力最高。越是偏离黄斑区，光敏细胞的分布越稀，分辨力也就低。
- 与**照明强度**有关。照度太低，仅杆状细胞起作用，分辨力大大下降，且无彩色感；照度太大，分辨力不会增加，甚至由于“眩目”现象而降低。
- 与**对比度**有关，物体亮度与背景亮度接近时分辨力要降低。
- 与被观察物体**运动速度**有关。运动速度快，分辨力将要下降。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

彩色细节分辨力

- 人眼对彩色细节的分辨力远比对黑白细节的分辨力低

背景颜色	白	红	绿
斑点颜色	黑	绿	蓝
可分辨斑点直径	1mm	2.5mm	5mm

细节色别	黑白	黑绿	黑红	黑蓝	绿红	红蓝	绿蓝
分辨力	100%	94%	90%	26%	40%	23%	19%

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 彩色色调分辨力

- 人眼对不同波长的光有不同的色调感觉。
- 人眼能分辨出色调差别的最小波长变化称为色调分辨阈，色调分辨力与色调分辨阈成反比。
- 色调分辨力随波长变化而改变，480~640nm区间色光的色调分辨力较高。
- 饱和度变小时，人眼的色调分辨力下降。
- 亮度太大或太小时，人眼的色调分辨力下降

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 彩色饱和度分辨力

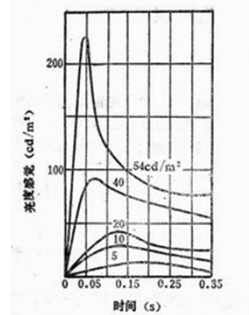
- 视觉所能分辨的色光饱和度由100到0变化的等级数称为彩色**饱和度分辨力**
- 彩色饱和度分辨力随波长变化而改变。数值在4~25之间。红色、蓝色区域饱和度分辨力较高

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 视觉惰性

- 视觉惰性是人眼重要特性之一，它描述了主观亮度与光作用时间的关系。当一定强度的光突然作用于视网膜时，人眼并不能立即产生稳定的亮度感觉，而须经过一个短暂的变化过程才能达到稳定的亮度感觉。在过渡过程中，亮度感觉先随时间变化由小到大，达到最大值后，再回降到稳定的亮度感觉值。

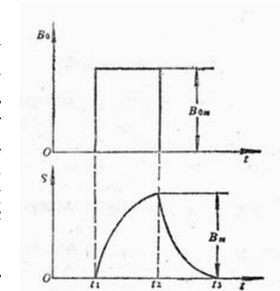


杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 视觉惰性

- 当光线消失后的视觉残留现象称为视觉暂留或视觉残留。人眼视觉暂留时间，在日间视觉时约为0.02秒，中介视觉时为0.1秒，夜间视觉时为0.2秒，中介视觉是介于日视觉与夜视觉之间的状态。人眼亮度感觉变化滞后于实际亮度变化，以及视觉暂留特性，总称为视觉惰性。



视觉暂留时间在 0.02~0.2秒

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 错觉

- 视觉系统所感觉到的物体的形状并不是简单的投影到视网膜上的原封不动的形状。
- 对形状的感觉受到物体自身形状及周围背景的影响。
- 这类影响是多种多样的，有神经系统引起的错视现象也有心理因素的作用。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

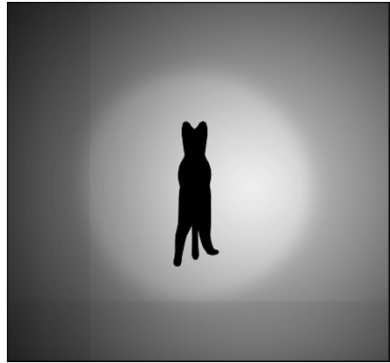
★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 错觉



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

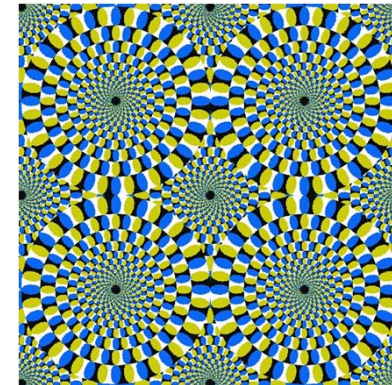
★视觉模型——人眼的视觉特性



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

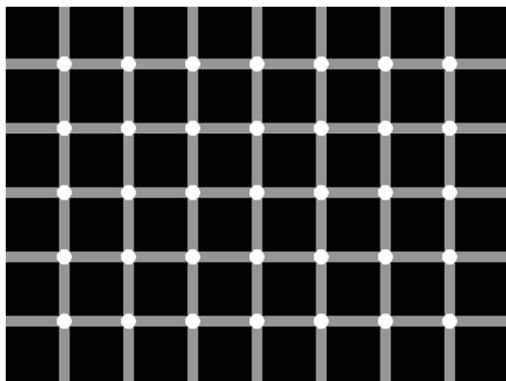
★视觉模型——人眼的视觉特性

◆ 错觉



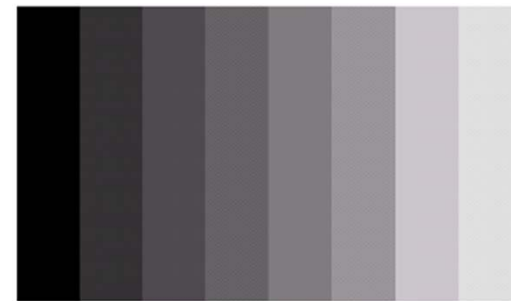
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★视觉模型——人眼的视觉特性



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

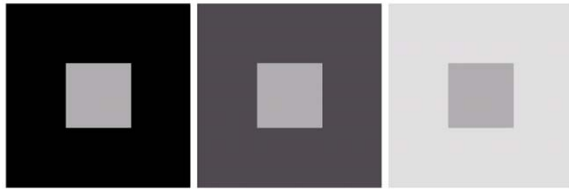
★视觉模型——人眼的视觉特性



马赫带现象是1868年由奥地利物理学家 E. 马赫发现的一种明度对比现象。生理学对马赫带效应的解释是：人类的视觉系统有增强边缘对比度的机制。简而言之，同样的物体放在暗背景里看起来亮，放在亮背景里看起来暗。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

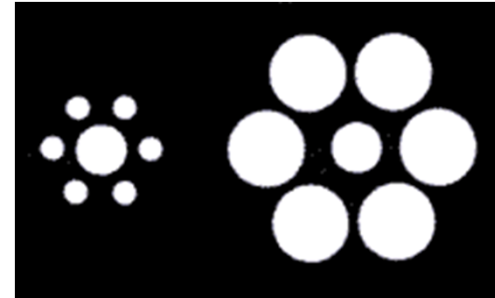
★视觉模型——人眼的视觉特性



马赫带现象是1868年由奥地利物理学家 E. 马赫发现的一种明度对比现象。生理学对马赫带效应的解释是：人类的视觉系统有增强边缘对比度的机制。简而言之，同样的物体放在暗背景里看起来亮，放在亮背景里看起来暗。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

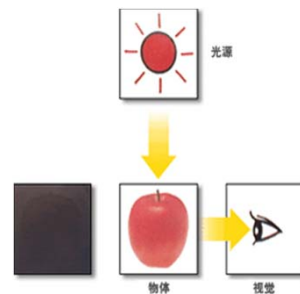
★视觉模型——人眼的视觉特性



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学

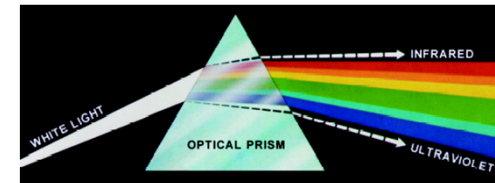
- 了解颜色的形成原理
- 了解颜色的基本属性
- 理解颜色空间



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学

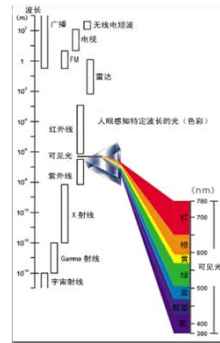
- 颜色是视觉系统对可见光的感知结果。
- 在1670年，牛顿证明了一束白光可以由所有颜色混合得来
- 当阳光穿越三棱镜，会产生一条如彩虹般的色带。这条色带就被称为色谱。这种分离光的方式称作“色散”。彩虹就是阳光穿越水汽（水滴）形成的三棱镜而产生的一个色谱。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学

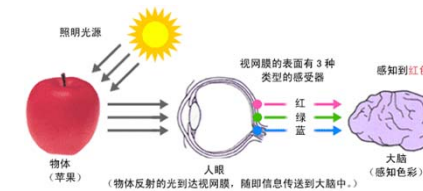
- 从物理学的角度来说，光是一种电磁波。这些波的波谷间（波峰间）的距离被称作波长。
- 色谱的顺序为红、橙、黄、绿、蓝、靛蓝、紫。这是因为每一种光的波长都是不同的。我们可感知的光是红色光的波长最长，而波长最短的是紫色光范围被称为“可见光”。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

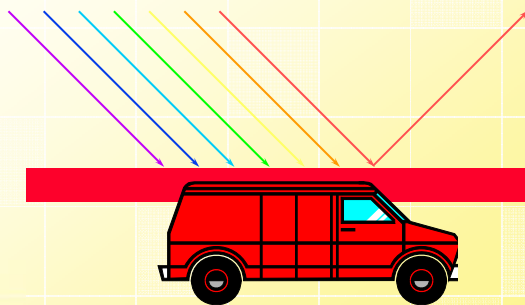
★色度学——我们怎样感知色彩

- 为什么苹果看起来是红色的？简单地说，物体将光反射到我们的眼睛中，随即相应信息传输至大脑，于是大脑感知到了色彩。苹果之所以看起来是红色的，是因为苹果表面反射了红色的光，而吸收了其它的色光。

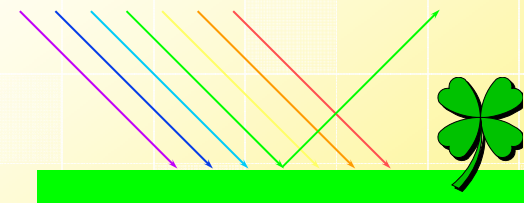


杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

红光显红色是因为...



绿光显绿色是因为...



★色度学——光与颜色

- 颜色是视觉系统对可见光的感知结果，它与光有着密切的联系。
- 一个物体的表面必须与光发生作用，才能产生颜色的感觉。
- 在光与物体表面原子相互作用时，物体吸收了一些波长的光，并反射其余波长的光。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——颜色的度量

- 可以用色调、饱和度、亮度来描述颜色，但是这种描述方式是很主观的，如何用数学方法来定量描述颜色信息呢？
- 颜色信息能否量化？
- 实验表明：一些颜色的混合可以产生几乎所有的可见颜色。
- 数学问题：在一个什么样的坐标系下，如何定义某种颜色？——颜色空间

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——彩色空间

- 面向诸如彩色监视器、彩色视频摄像机和彩色打印机的硬件设备。面向硬件设备的彩色模型主要有RGB模型、CMY（青、品红、黄）模型和CMYK（青、品红、黄、黑）模型。RGB模型主要用于彩色监视器和彩色视频摄像机；CMYK主要用于彩色打印机。
- 面向诸如彩色动画图形创作等的彩色处理应用。面向彩色处理应用的模型主要是HSI模型（hue-saturation-intensity，即色调、亮度和饱和度）。
- 面向电视信号应用的，如YUV、YIQ空间

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

现代颜色视觉理论中的三色学说认为人眼的锥状细胞是由红、绿、蓝三种感光细胞组成的。

自然界中的任何一种颜色都可以由R、G、B这三种颜色值之和来确定。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

人眼的视网膜上有三种椎体细胞



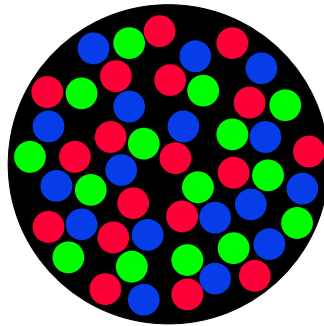
感红椎体细胞



感绿椎体细胞

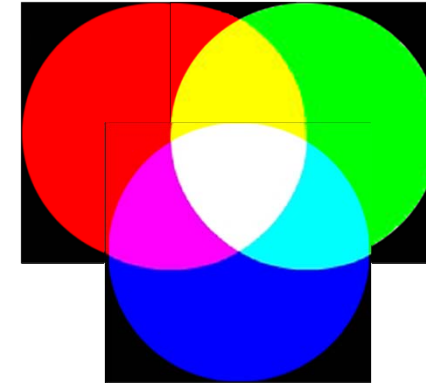


感蓝椎体细胞



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

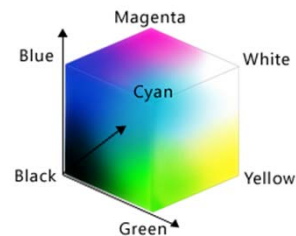


杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

- 数学描述:
- 在RGB颜色空间, 色光F都可以用R、G、B这三种颜色不同分量的相加混合而成, 即

$$F = r[R] + g[G] + b[B]$$



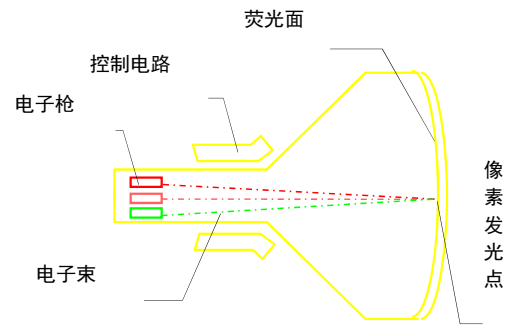
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

最常用的用途就是显示器系统, 彩色阴极射线管使用R、G、B数值来驱动R、G、B 电子枪发射电子, 并分别激发荧光屏上的R、G、B三种颜色的荧光粉发出不同亮度的光线, 并通过相加混合产生各种颜色。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

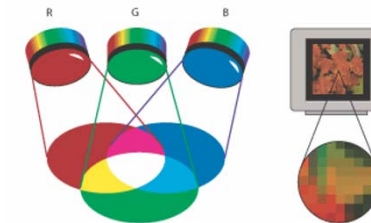


CTR结构示意图

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

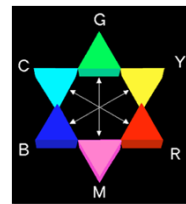
在RGB模式中，由红、绿、蓝相叠加可以产生其它颜色，因此该模式也叫加色模式。所有显示器、投影设备以及电视机等等许多设备都依赖于这种RGB加色模式来实现的。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB空间

红色 + 蓝色 = 品红色
 红色 + 绿色 = 黄色
 绿色 + 蓝色 = 青色
 红色 + 绿色 + 蓝色 = 白色



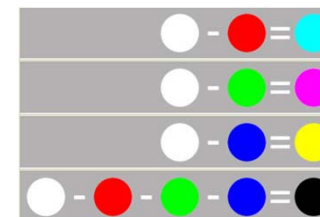
红色 + 青色 = 白色
 绿色 + 品红色 = 白色
 蓝色 + 黄色 = 白色

所以，一般把青色、品红色和黄色称为红、绿、蓝三色的补色。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMY空间

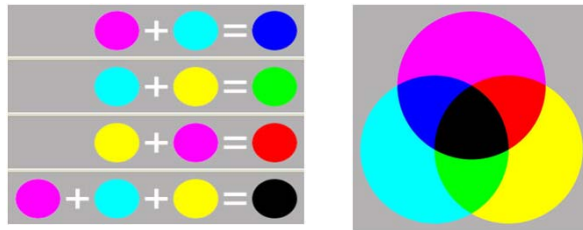
- 补色：从白色中减去颜色A所形成的颜色，称之为颜色A的补色 (complementary color)。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMY空间

- 油墨或颜料的3基色是：青（Cyan）、品红（Magenta）和黄（Yellow），简称为CMY。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMY空间(减色混合)

- 印刷三原色 CMY青(C)、品(M)、黄(Y)
- 颜料是吸收光线，而不是增强光线，因此颜料的三原色必须是可以个别吸收红、绿、蓝的颜色，那就是红绿蓝的补色

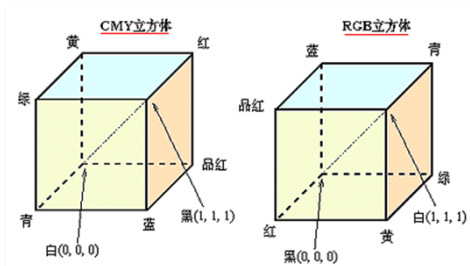
例：黄色+青色颜料

黄色颜料—吸收蓝色光，青色颜料—吸收红色光
只剩下绿色光可以反射出来，故黄色+青色=绿色

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMY空间(减色混合)

- RGB的互补空间—CMY空间



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMYK空间(减色混合)

- 这种表色系用于印刷行业。
- 是一种减色系统，将从白光中滤出三种原色之后获得的颜色作为其表色系的三原色CMY。
- K为黑色，为了印刷时对黑色可用黑色墨来印刷。

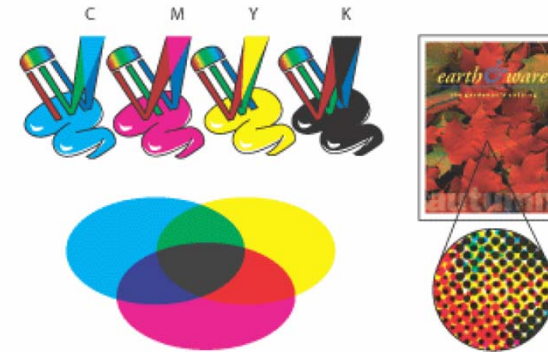
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMYK空间(减色混合)

- 理论上：印刷三原色混合，将得到黑色
- 现实中并找不到这种光线吸收、反射特性都十分完美的颜料，将三种颜色混合后还是会有些许光线反射出来，而呈现暗灰色或深褐色。
- 用颜料三原色也无法混和出许多暗色系的颜色，因此实际印刷的时候会额外**加入黑色**的颜料，以解决无法产生黑色的问题。
- CMYK的色彩模式，K表示黑色。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

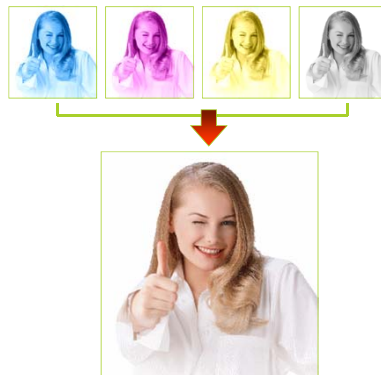
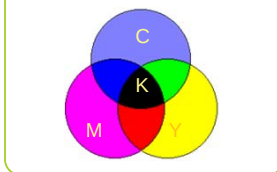
★色度学——CMYK空间(减色混合)



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——CMYK空间(减色混合)

● CMYK 青、品红、黄、黑



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

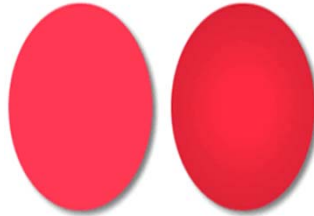
★色度学——HSI空间

- HSI (hue-saturation-intensity) 彩色模型比较适合于人用色调(H)、饱和度(S)和亮度(I)描述被观察物体颜色的解释，对于开发基于彩色描述的图像处理方法是一个理想的工具。
- HSB合乎人对彩色的认识：
 - 色彩：色调、饱和度
 - 亮度：非彩色属性，对应黑白图像的灰度。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

- 右图是2个红色圆圈。
- 首先，它们都是红色的。
- 但是左边的颜色要比右边的更亮一些。
- 而且，左圈的颜色更饱满一些，右边则显得灰暗一些。
- 因此，颜色可以从不同角度加以描述。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

- 光的物理性质：波长（光速，频率）和幅度
- 人眼对色彩的感觉：色调、饱和度和亮度
 - 色调——波长
 - 亮度——幅度
 - 饱和度——色光的纯度

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

HSI 颜色空间优势

- 更加接近于人们对颜色的直观感受。
- 彩色（色调和饱和度）+亮度（灰度），相互独立，分开处理，简化了图像分析和处理的工作量。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

● **亮度** ——彩色光作用于人眼时，视觉上引起的明暗程度，它与光的发射功率有关。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

- I 表示光照强度或称为**亮度**，它确定了像素的整体亮度，而不管其颜色是什么。



I: 小 → 大

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

- **亮度** ——彩色光作用于人眼时，视觉上引起的明暗程度，它与光的发射功率有关。



- **色调** ——描述颜色的种类，反映了观察者接收到的主要颜色。人眼感觉到物体反射或发射自然光中纯度最高的颜色光波的波长。

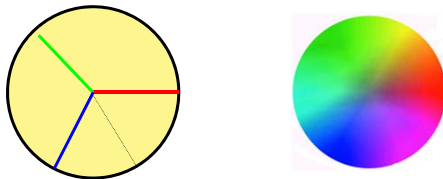


黑白灰没有色调信息

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

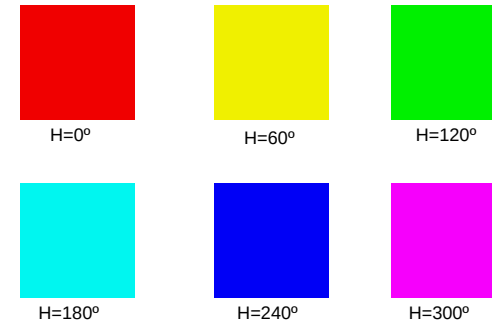
★色度学——HSI空间

- H: 表示**色度**，由角度表示。反映了该颜色最接近什么样的光谱波长。0°为红色，120°为绿色，240°为蓝色。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

● **亮度** ——彩色光作用于人眼时，视觉上引起的明暗程度，它与光的发射功率有关。



● **色调** ——描述颜色的种类，反映了观察者接收到的主要颜色。人眼感觉到物体反射或发射自然光中纯度最高的颜色光波的波长。



黑白灰没有色调信息

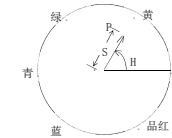
● **饱和度** ——色彩的饱和程度，亦称“鲜艳度”、“纯净度”。纯度不够时，色调区分不明显，亮度也受到影响。某一色调参入白光，色调不变但饱和度降低



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间

- S: 表示**饱和度**，饱和度参数是色环的原点到彩色点的半径长度。
- 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）色，即饱和度为0。



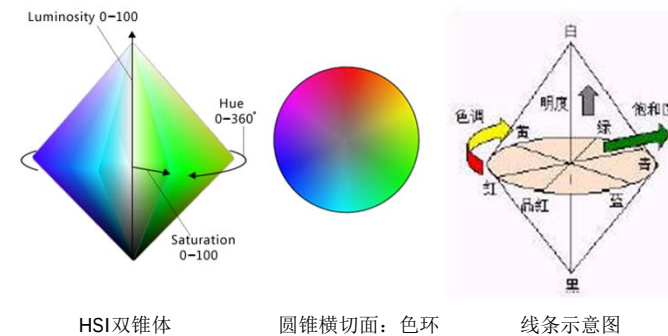
杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——HSI空间



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——YUV空间

应用需求:

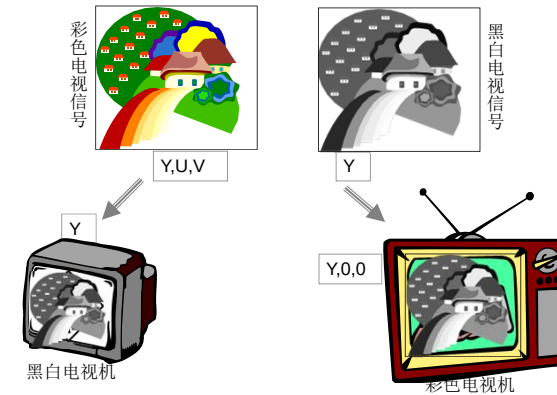
- (1) 彩色电视机与黑白电视的兼容问题。
- (2) 传输需求, 需要通过压缩色度信息, 占用较少的带宽。

解决思路:

- 亮度和彩色信号分离。
- 相互独立的彩色分量。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——YUV空间

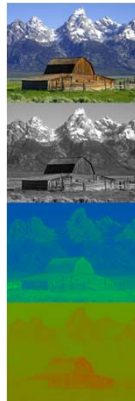


杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB—YUV

$$\begin{aligned} R &= Y + 1.402 (V-128) \\ G &= Y - 0.34414 (U-128) - 0.71414 (V-128) \\ B &= Y + 1.772 (U-128) \end{aligned}$$

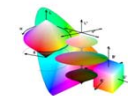
$$\begin{aligned} Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B \\ U &= -0.1687 R - 0.3313 G + 0.5 B + 128 \\ V &= 0.5 R - 0.4187 G - 0.0813 B + 128 \end{aligned}$$



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB—HSI

$$\begin{cases} I = \frac{R+G+B}{3} \\ H = \frac{1}{360} [90 - \arctan(\frac{F}{\sqrt{3}})] + \{0, G > B; 180, G < B\} \\ S = 1 - [\frac{\min(R, G, B)}{I}] \end{cases} \quad F = \frac{2R-G-B}{G-B}$$



推导可参考Smith, A.R. [1978]. "Color Gamut Transform Pairs." Proc. SIGGRAPH'78, published as Computer Graphics, Vol.12, no.3, pp.12-19

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★色度学——RGB——HSI

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ 当 } 0^\circ \leq H < 120^\circ \text{ 时, } R &= \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right], \quad B = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S), \quad G = \sqrt{3}I - R - B \\
 (2) \text{ 当 } 120^\circ \leq H < 240^\circ \text{ 时, } G &= \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right], \quad R = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S), \quad B = \sqrt{3}I - R - G \\
 (3) \text{ 当 } 240^\circ \leq H < 360^\circ \text{ 时, } B &= \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right], \quad G = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S), \quad R = \sqrt{3}I - G - B
 \end{aligned}$$

推导可参考Smith, A.R. [1978]. "Color Gamut Transform Pairs." Proc. SIGGRAPH'78, published as Computer Graphics, Vol.12, no.3, pp.12-19

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★采样和量化

- 采样
 - 一幅图像需采样多少点能达到不失真?
- 量化
 - 均匀量化
 - 非均匀量化

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★采样和量化

数字化处理的两个方面

- 空间离散化

将坐标变量(x,y)离散化, 也即将原来连续的二维图像, 离散化为点阵, 每个点称为像素(pixel), 这一过程一般称为采样;
- 幅值离散化

将灰度f离散化, 将本来可以任意取值的灰度, 取为有限的值, 这一过程称为灰度级量化。

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

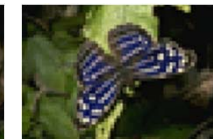
★采样和量化



265x180



133x90



66x45



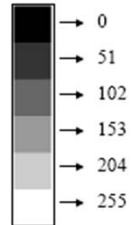
33x22

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★采样和量化

灰度级

- 表示某像素位置上亮暗程度的整数称为灰度。
- 目前，使用的灰度级一般是64(6bit)~256(8bit)，而人眼所能分辨的灰度级大约是40级。以256阶灰度为例，一般以0表示全黑，而255表示全白。
- 实际上，人眼并不能分辨256灰阶中相邻的两个灰度。



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★采样和量化



256灰度级



16灰度级



8灰度级



4灰度级

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★本章小结

- ◆ 图像本身的客观性质而言，至今尚未找到一个更加贴切的数学模型来表达图像的内在实质视觉模型
- ◆ 对视觉器官以及人的生理和心理特性的研究也远未穷尽
- ◆ 边缘学科知识的带动作用

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★作业

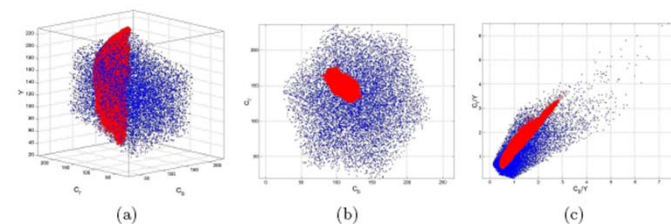


Fig. 3. The $YCbCr$ color space (blue dots represent the reproducible color on a monitor) and the skin tone model (red dots represent skin color samples): (a) the $YCbCr$ space; (b) a 2D projection in the $CbCr$ subspace; (c) a 2D projection in the $(C_b/Y)-(C_r/Y)$ subspace.

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★作业

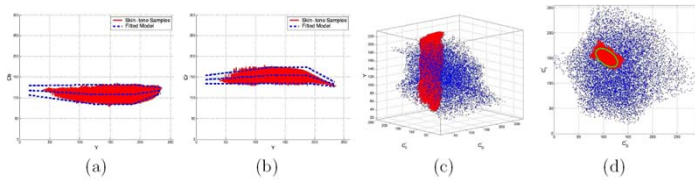


Fig. 5. Nonlinear transformation of the YC_bC_r color space: the skin tone cluster shown in (a) the YC_b subspace; (b) the YC_r subspace (c) the transformed YC_bC_r color space; (d) a 2D projection of (c) in the transformed C_bC_r subspace, in which the elliptical skin model is overlaid on the skin cluster. Red dots indicate the skin cluster. Three blue dashed curves in (a) and (b), one for cluster center and two for boundaries, indicate the fitted models.

杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★作业



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html

★作业



杨涛 西北工业大学计算机学院 Email: yangtaonwpu@163.com 主页: www.saiip-vision.org/tyang/index.html