

## 图像和视频中的颜色

- ▶ 1 颜色科学
  - ▶ 1.1 视觉系统对颜色的感知
  - ▶ 1.2 伽马校正
- ▶ 2 图像中的颜色
- ▶ 3 视频中的颜色

林福宗： c5.1~c5.3,c5.6：彩色数字图像基础

Ze-Nian Li： c4：图像和视频中的颜色

## 光与颜色

- ▶ 从物理学角度，牛顿（1642~1727）于1672年用三棱镜实验研究颜色的光学特征。
- ▶ 牛顿的主要成就



- 力学成就
- 数学成就
- 光学成就
- 热学成就
- 天文成就
- 哲学成就



## 光与颜色

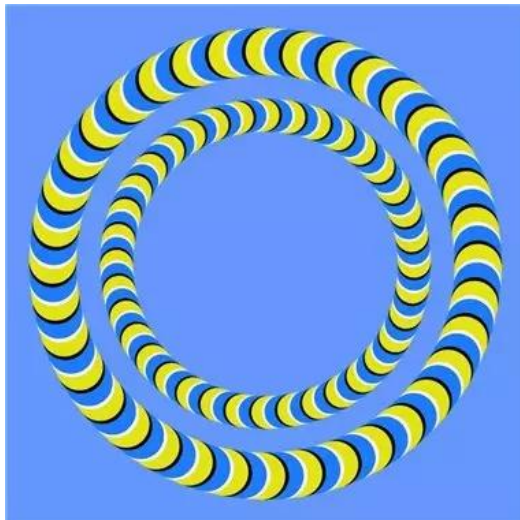
饶毅谈色

- ▶ 英国科学家胡克（1635～1703）于1665年提出：光照到视网膜的角度不同导致不同的颜色。【错误】
- ▶ 从生物学角度，色觉是神经系统对外界的反应，牛顿曾于1704年提出人如何感知颜色的想法：光振荡的比例通过视神经传到大脑，从而导致人对颜色的感觉不同。
- ▶ 眼睛是人类观察世界的重要器官，而科学家对眼睛的研究也是人类理解自身的渠道之一。科学家们研究眼睛，以期理解视觉、感觉，甚至人类的大脑。

## 视觉错觉（1）

视觉系统不是  
客观的简单影射

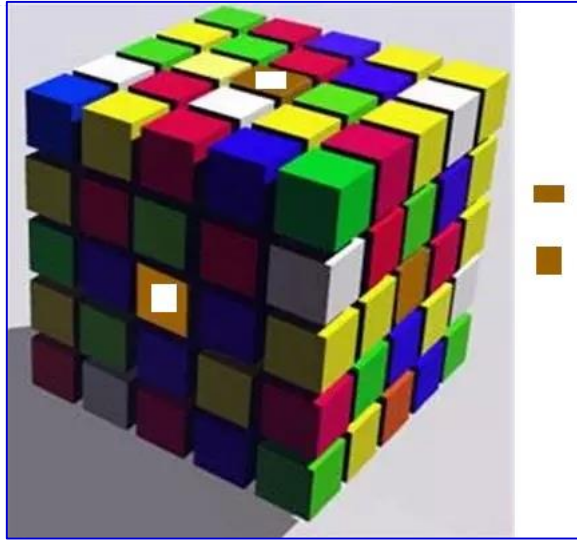
“外界没动  
是观察者的心在动”。



## 视觉错觉 (2)

视觉系统不是  
客观的简单影射

上方正中间与左侧  
正中间方块的颜色  
是一样的。



## 视觉错觉 (3)

视觉系统不是  
客观的简单影射

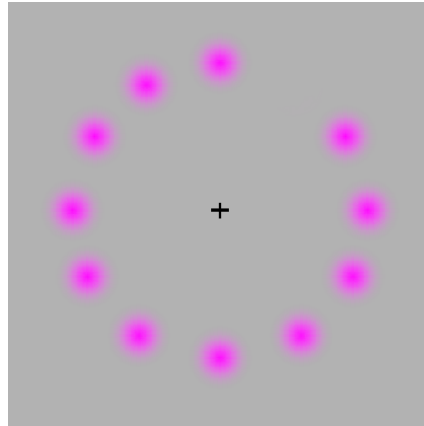
蓝色和绿色两个螺旋，  
其实在物理上是完全  
一样的颜色。



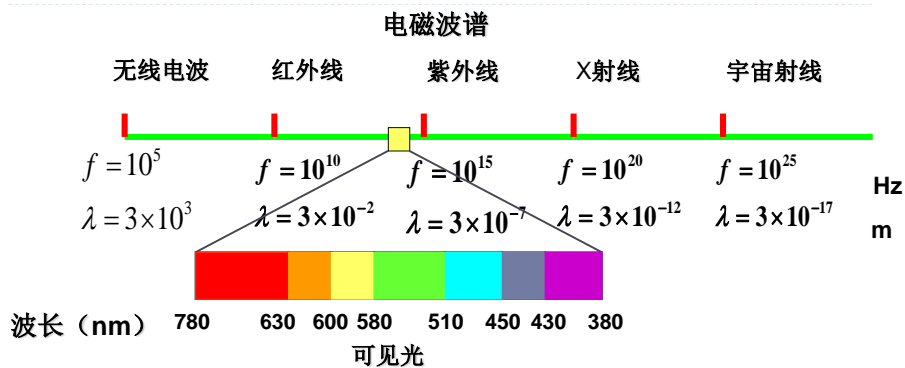
## 视觉错觉 (4)

视觉系统不是  
客观的简单影射

环绕加号的紫色圆点，  
按顺时针方向逐个消失再  
出现。但是，当你盯着中  
间的加号一段时间后，可  
以看到一个浅绿色圆点顺  
时针方向圆点绕圈运动。



### 1.1 视觉系统对可见光的感知



光是一种电磁波，颜色是视觉系统对  
可见光的感知，颜色由波的波长决定

## 颜色只存在于眼睛和大脑中

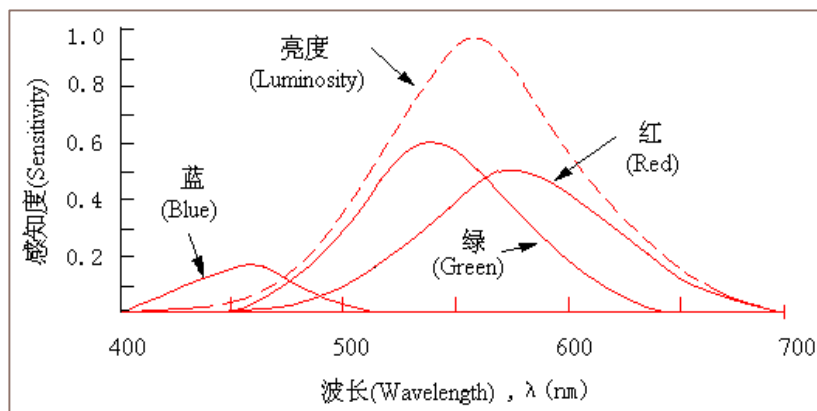
- 人的眼睛  $\Leftrightarrow$  照相机
  - 晶状体将图像聚焦在视网膜上（上下颠倒）
- 视网膜由一组柱状细胞和三种锥状细胞组成：
 

光敏细胞 {

  - 锥状细胞 (明视觉细胞) 感光灵敏度弱，能辨色
  - 柱状细胞 (暗视觉细胞) 感光灵敏度强，不能辨色
- 红、绿和蓝三种锥体细胞对**不同频率**的光的感知程度不同，对**不同亮度**的感知程度也不同，因此不同组成成分的可见光就呈现出不同的颜色

▶ 9

## 视觉系统对颜色和亮度的响应特性曲线 (视锥细胞灵敏度曲线)



光谱灵敏度函数:  $q(\lambda) = [q_r(\lambda), q_g(\lambda), q_b(\lambda)]^T$   $R = \int E(\lambda) q_r(\lambda) d\lambda$

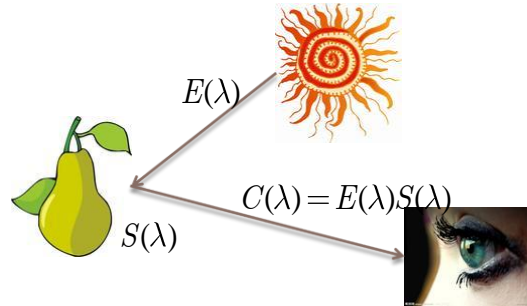
光谱能量分布:  $E(\lambda)$

$G = \int E(\lambda) q_g(\lambda) d\lambda$

$B = \int E(\lambda) q_b(\lambda) d\lambda$

▶ 10

## 视觉中图像的形成



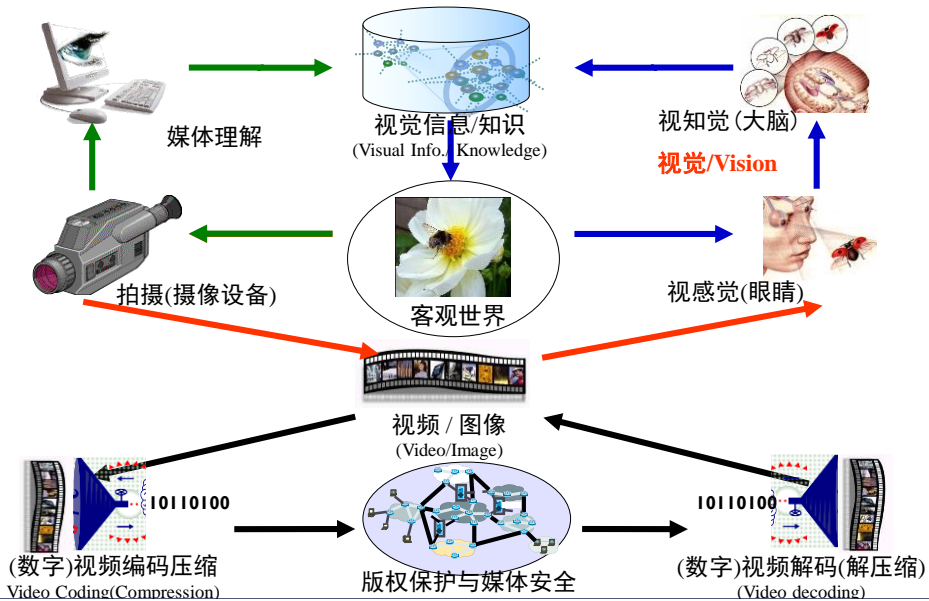
光谱反射函数:  $S(\lambda)$   
颜色信号:  $C(\lambda) = E(\lambda)S(\lambda)$

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

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

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

## 数字媒体：编码、理解、传输与安全



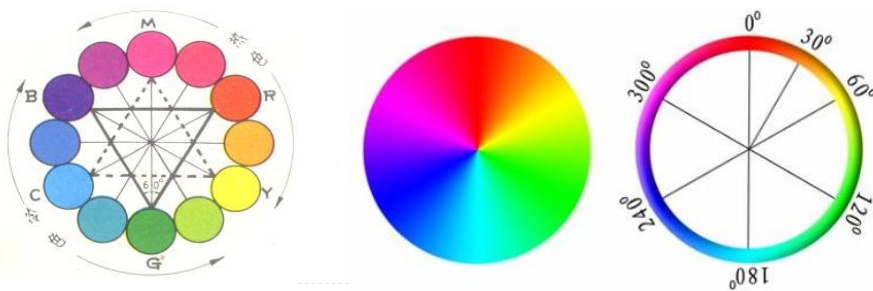
## 彩色三要素

- ▶ 从理论上说，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，它们构成一个三维的RGB矢量空间
  - ▶ 这就是说，**R**，**G**，**B**的数值不同，混合得到的颜色就不同，也就是光波的波长不同。
- ▶ 从人的主观感觉角度来看，颜色有三个要素：
  - ▶ **色调** Hue
  - ▶ **饱和度** Saturation
  - ▶ **亮度** Luminance

▶ 13

## 彩色三要素（续1）

**色调（Hue）**：色调反映颜色的类别，如红色、绿色、蓝色等。色调大致对应光谱分布中的主波长。



▶ 14

## 彩色三要素（续2）

### 饱和度（Saturation）

饱和度是指彩色光所呈现颜色的深浅或纯洁程度。对于同一色调的彩色光，其**饱和度越高，颜色就越深，或越纯**；而饱和度越小，颜色就越浅，或纯度越低。高饱和度的彩色光可因掺入白光而降低纯度或变浅，变成低饱和度的色光。100%饱和度的色光就代表完全没有混入白光的纯色光。



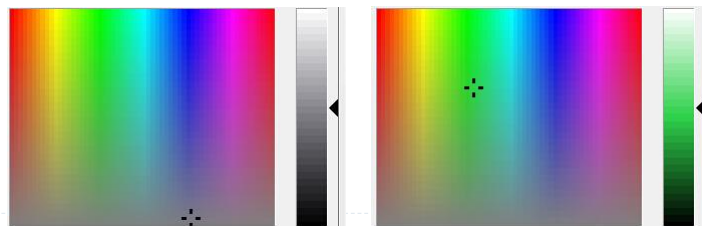
▶ 15

## 彩色三要素（续3）

### 明亮度（Luminance）

明亮度是光作用于人眼时引起的明亮程度的感觉。一般来说，彩色光能量大则显得亮，反之则暗。

大量试验表明，人的眼睛能分辨128种不同的色调，10—30种不同的饱和度，而对亮度非常敏感。人眼大约可以分辨35万种颜色。



▶ 16



## 1.2 伽马校正

- ▶ 图像文件中的RGB数值被转换回模拟信号并驱动CRT中的电子枪，电子的发射与驱动电压成正比。
  - ▶ 希望：CRT系统产生的光线和电压线性相关
  - ▶ 但实际上：与电压的指数大致成正比，这个指数称为伽马（gamma）
  - ▶ 如红色通道R：屏幕发射的光和  $R^\gamma$  成正比。
- ▶ 解决办法：
  - ▶ 在传送之前先预施 反变换，即 $\gamma$ 校正：

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

## 引入 $\gamma$ 的环节

- ▶ 获取→存储→读取→显示
  - ▶ 1、camera\_gamma：摄像机中图像传感器的 $\gamma$ （通常0.4、0.5）
  - ▶ 2、encoding\_gamma：编码器编码图像文件时引入
  - ▶ 3、decoding\_gamma：译码器读文件时引入
  - ▶ 4、LUT\_gamma：图像帧缓存查找表中引入
  - ▶ 5、CRT\_gamma：CRT中的 $\gamma$ （2.2~2.8）
- ▶ 可在适当的环节引入 $\gamma$ 校正

## 2 图像中的颜色模型

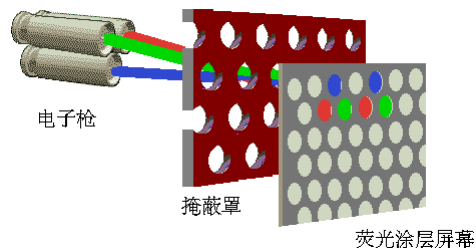
- ▶ **颜色模型 (color model)** 是用来精确标定和生成各种颜色的一套规则和定义。某种颜色模型所标定的所有颜色就构成了一个**颜色空间**。
- ▶ 颜色空间通常用三维模型表示，空间中的颜色通常使用代表三个参数的三维坐标来指定
  - ▶ 对于显示设备来说，可以用红、绿、蓝磷光体的发光量来描述颜色 (**RGB**颜色模型)；
  - ▶ 对于打印设备来说，可以使用青色 (**Cyan**)、品红 (**Magenta**)、黄色和黑色颜料的用量来指定颜色 (**CMYK**颜色模型)；
  - ▶ 对于人来说，可以通过色调、饱和度和亮度 (强度) 来定义颜色 (**HSL (HSI)** 颜色模型)。

▶ 19

## 2 图像中的颜色模型 (续)

### ▶ ①RGB：相加混色模型

- ▶ CRT使用3个电子枪分别产生红 (**red**)、绿 (**green**) 和蓝 (**blue**) 三种波长的光，并以各种不同的相对强度组合产生各种不同的颜色

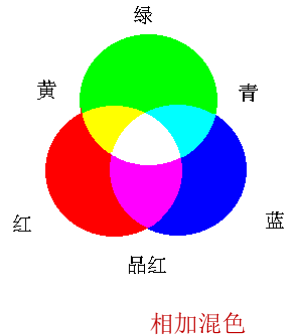


彩色显像产生颜色的原理

▶ 20

## 2 图像中的颜色模型（续）

- ▶ **相加混色法** (additive color mixture) 组合红、绿和蓝光波来产生特定颜色
  - ▶ 相加混色是计算机应用中定义颜色的基本方法。
  - ▶ 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
- 颜色 = R (红的百分比) + G (绿的百分比) + B (蓝的百分比)**



▶ 21

## 2 图像中的颜色模型(续)

- ▶ **彩色图像**
  - ▶ 一幅彩色图像可以看成是由许多的点（**像素**，pixel）组成
  - ▶ 每个像素都有一个值，称为**像素值**，表示特定颜色的强度
  - ▶ 一个像素值通常用R，G，B三个分量表示。如果每个像素的每个颜色分量用“1”和“0”表示，即每种颜色的强度是100%或0%，每个像素显示的颜色是8种颜色之一



▶ 22 一幅图像由许多像素组成

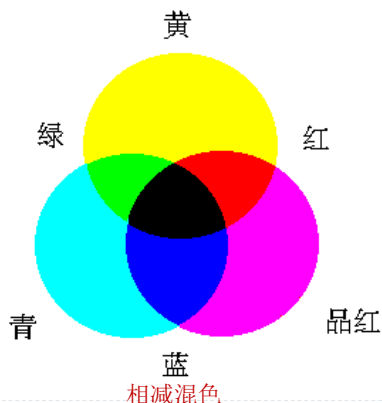
表 相加色

R	G	B	颜色
0	0	0	黑
0	0	1	蓝
0	1	0	绿
0	1	1	青
1	0	0	红
1	0	1	品红
1	1	0	黄
1	1	1	白

## 2 图像中的颜色模型(续)

### ▶ ②CMY：相减混色模型

- ▶ 用三种基本颜色即青色 (cyan)、品红 (magenta) 和黄色 (yellow) 的颜料按一定比例混合得到颜色的方法



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

▶ 23

## 2 图像中的颜色模型(续)

### ▶ 相加色与相减色是互补色

- ▶ 相加混色和相减混色之间成对出现互补色，见表
- ▶ 利用它们之间的关系，可把显示的颜色转换成打印的颜色

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

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

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

▶

## 2 图像中的颜色模型(续)

### ▶ CMYK颜色模型

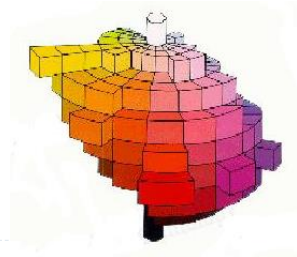
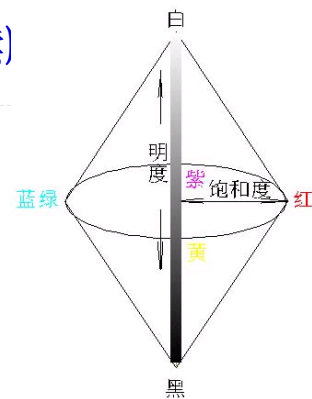
- ▶ 在理论上，绝大多数颜色都可以用三种基本颜料（青色cyan、品红magenta、和黄色yellow）按一定比例混合得到。
- ▶ 但实际上，因为所有打印油墨都会包含一些杂质，这三种油墨混合实际上产生一种土灰色，必须与黑色（K）油墨混合才能产生真正的黑色，所以再加入黑色作为基本色形成了CMYK颜色模型。

▶ 25

## 2 图像中的颜色模型(续)

### ▶ ③ 人眼主观感觉：HSL颜色模型

- ▶ H定义色调(Hue)；
- ▶ S定义颜色的深浅程度或饱和度(Saturation)；
- ▶ L定义亮度(Luminance)，(Intensity强度)
- ▶ RGB模型和CMYK模型主要是面向设备的，而HSL（HSI）模型更容易被人理解和控制。



▶ 26

代码	R	G	B	H	S	L	颜色
0	0	0	0	160	0	0	黑(Black)
1	0	0	128	160	240	60	蓝(Blue)
2	0	128	0	80	240	60	绿(Green)
3	0	128	128	120	240	60	青(Cyan)
4	128	0	0	0	240	60	红(Red)
5	128	0	128	200	240	60	品红(Magenta)
6	128	128	0	40	240	60	褐色(Dark yellow)
7	192	192	192	160	0	180	白(Light gray)
8	128	128	128	160	0	120	深灰(Dark Gray)
9	0	0	255	160	240	120	淡蓝(Light blue)
10	0	255	0	80	240	120	淡绿(Light green)
11	0	255	255	120	240	120	淡青(Light cyan)
12	255	0	0	0	240	120	淡红(Light Red)
13	255	0	255	200	240	120	淡品红(Light Magenta)
14	255	255	0	40	240	120	黄(yellow)
15	255	255	255	160	0	240	高亮白(Bright white)

16色VGA调色板的值

## HSL色彩空间和RGB色彩空间转换公式：

(参考阅读：[http://zh.wikipedia.org/zh-hans/HSL%E5%92%8CHSV%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4%E4%BB%8E\\_HSL\\_E5.88.B0\\_RGB\\_E7.9A.84.E8.BD.AC.E6.8D.A2](http://zh.wikipedia.org/zh-hans/HSL%E5%92%8CHSV%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4%E4%BB%8E_HSL_E5.88.B0_RGB_E7.9A.84.E8.BD.AC.E6.8D.A2))

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

Q1：在RGB颜色空间中，当R=G=B且为任意数值时，计算机显示器显示什么颜色？

Q2：在HSL 颜色空间中，当H 为任意值，S=L=0 时，R，G 和B 的值是多少？当H=0，S=0，L=0.5，R，G 和B 的值是多少？

### 3 视频中的颜色模型

#### ① YUV颜色空间（亮度-色度模型）

- ▶ PAL制使用的颜色空间
- ▶ Y：代表亮度
- ▶ U、V：代表颜色和部分亮度

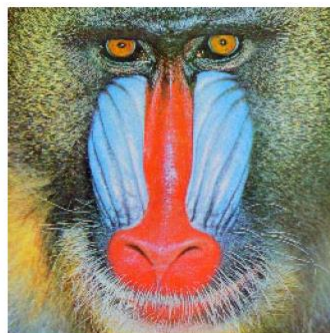
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.000 & 1.140 \\ 1 & -0.396 & -0.581 \\ 1 & 2.029 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$

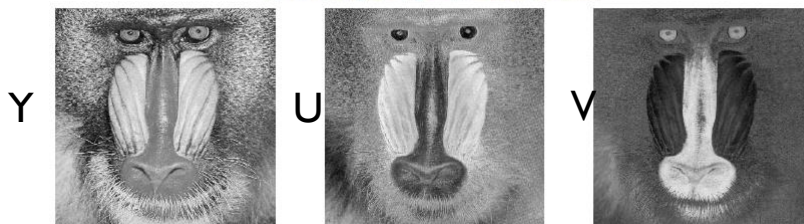
$$U = 0.492111 (B - Y)$$

$$V = 0.877283 (R - Y)$$

#### 彩色图片的YUV成分



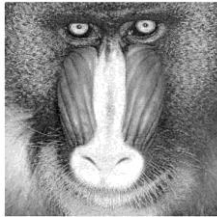
标准测试图片  
baboon



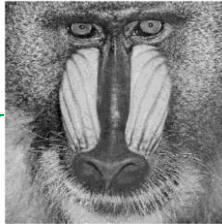
## 彩色图片的YUV与RGB成分



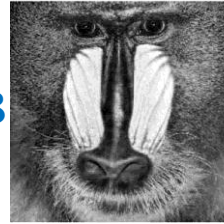
R



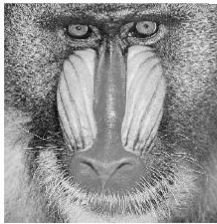
G



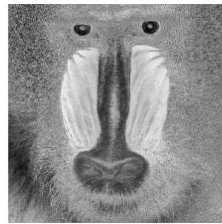
B



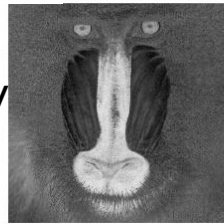
Y



U



V

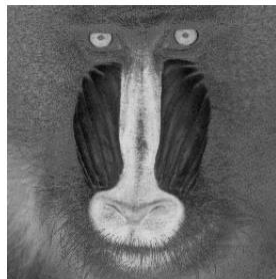


### ▶ ② YIQ颜色空间

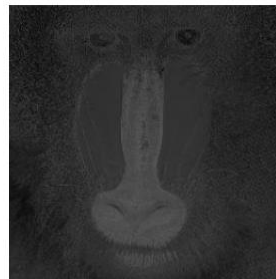
- ▶ 用于NTSC彩色电视系统中
- ▶ 与YUV使用同样的Y亮度，但U、V旋转了33°

$$\begin{bmatrix} I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin 33^\circ & \cos 33^\circ \\ \cos 33^\circ & \sin 33^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}$$

I



Q





### ③ YCbCr颜色空间

- ▶ 用于JPEG图像压缩和MPEG视频压缩

$$\begin{bmatrix} Y' \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

- ▶ 在实践中：

- ▶ 亮度分量的取值范围为[16, 235]。16表示黑电平值，235表示白电平值。数值范围可认为[0, 1]。
- ▶ 色差信号的数值范围为[16, 240]，使用128的偏移量时取值范围为[-112, 112]。数值范围应为[-0.5, 0.5]

$$\begin{bmatrix} Y' \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 65.5 & 0128.55 & 24.97 \\ -37.8 & -74.2 & 112 \\ 112 & -93.8 & -18.21 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$