



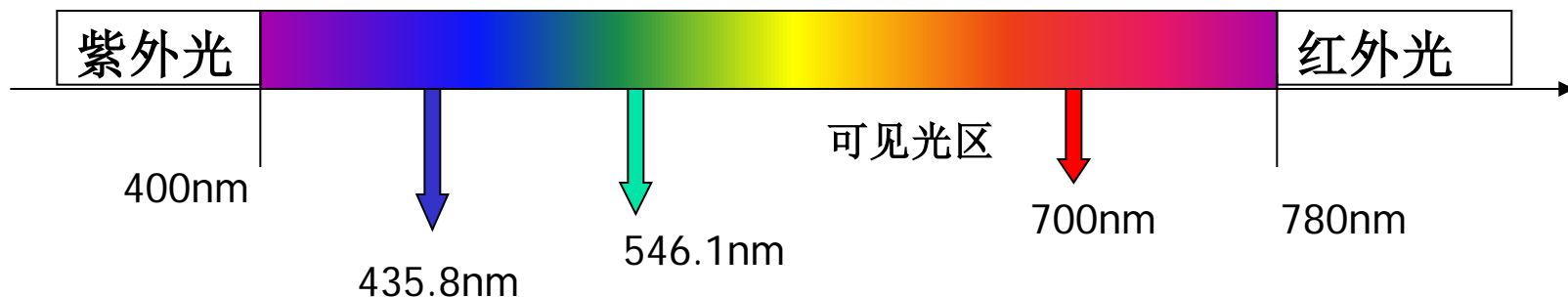
第10章 彩色图像处理

- 10.1 彩色视觉和描述
- 10.2 彩色模型
- 10.3 伪彩色增强
- 10.4 真彩色图像处理
- 10.5 彩色图像分析

10.1 彩色视觉和描述

➤ 彩色的描述原理：

可视光区的波长在400nm~780nm，当光谱采样限制到三个人类视觉系统敏感的红、绿、蓝光波段时，对这三个光谱带的光能量进行采样，就可以得到一幅彩色图像。



➤ 感兴趣的范围：

红外区、可见光区一直到紫外光区。

➤ 多光谱图像：

光谱采样不限于三个波段，即为多光谱图像。

其研究课题最多的是在遥感领域。



10.2 彩色模型

当在三基色光波段的光谱采样时，可以形成彩色图像。但是为了不同的研究目的，便产生了为其提供最方便的几种彩色描述方法。

一、RGB模型

国际照明委员会（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。

光的三基色R G B

其它颜色 $C=rR+gG+bB$

其中： $r+g+b=1$



一、RGB模型

三基色原理

- ☉ 自然界中可见颜色都可以用三种基色按一定比例混合得到；反之，任意一种颜色都可以分解为三种基色；
- ☉ 作为基色的三种颜色应该互相独立，即其中任何一种都不能用其他两种混合得到；
- ☉ 三基色之间的比例直接决定混合色调的饱和度；
- ☉ 混合色的亮度等于各基色的亮度之和。

相加混色实例：

红色 + 绿色 = 黄色

红色 + 蓝色 = 品红

绿色 + 蓝色 = 青色

红色 + 绿色 + 蓝色 = 白色

CIE用三种设想的颜色X Y Z，
以产生光谱的各种颜色，三色
系数 x 、 y 、 z

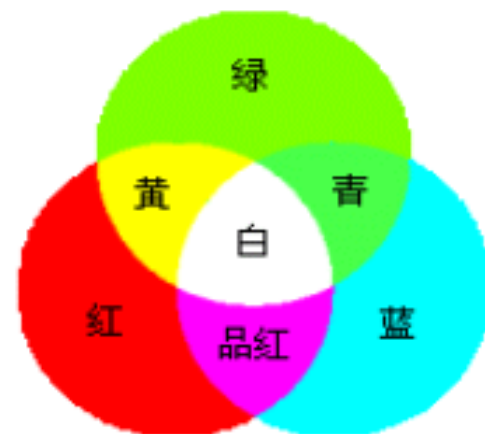
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

其中 $x+y+z=1$
某种颜色

$$C=xX+yY+zZ$$

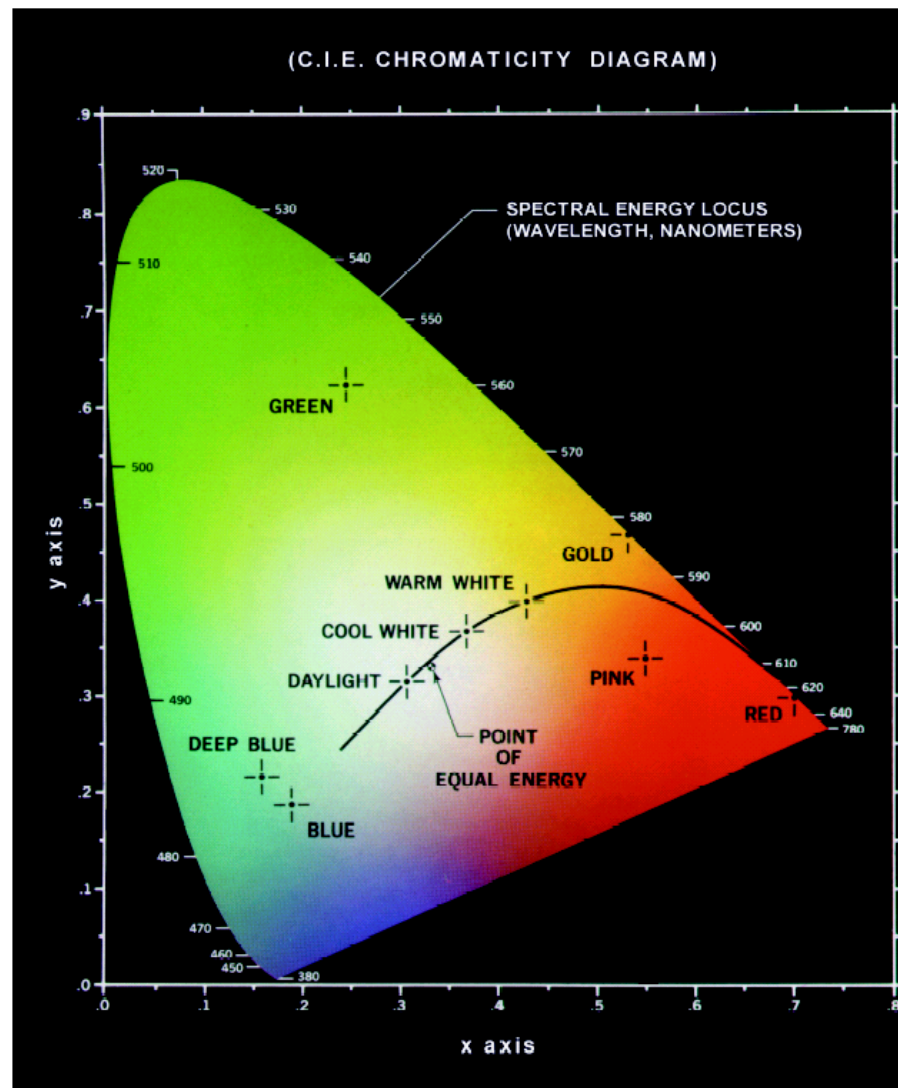


RGB混色效果图

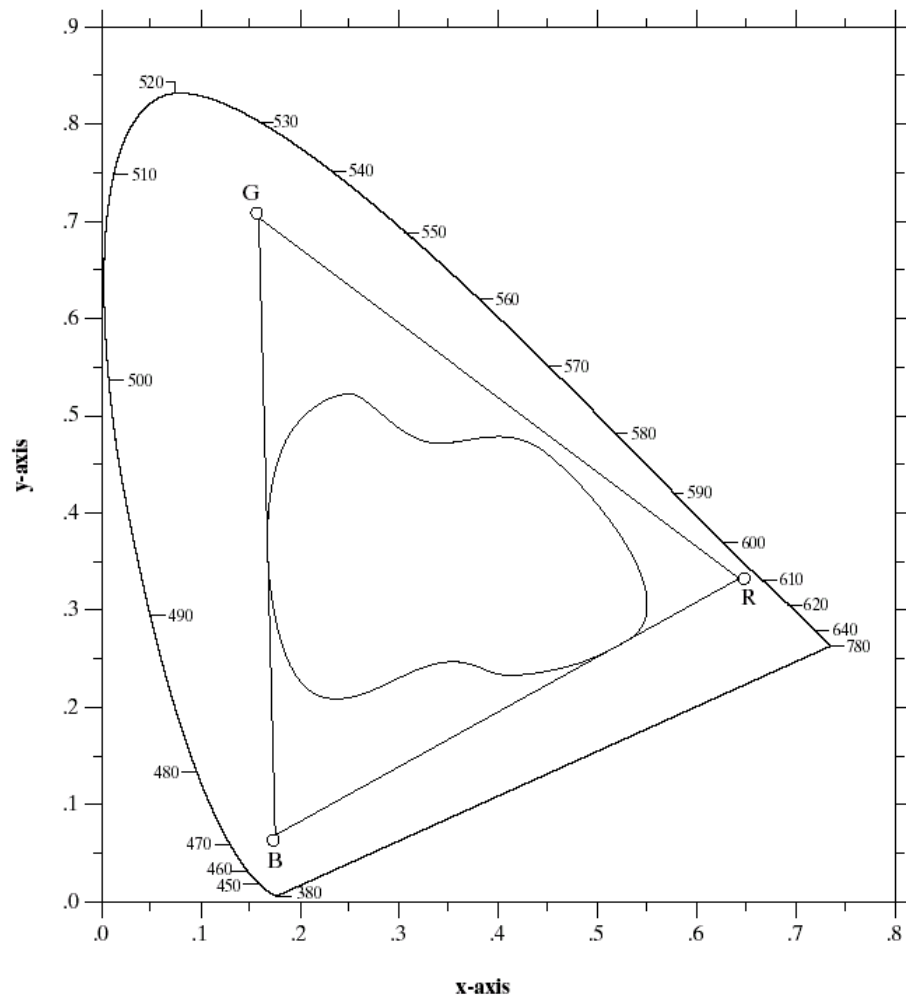
RGB模型是加色混色模型

以RGB三色光互相叠加实现混色的方法
适合于显示器等发光体的显示

Chromaticity diagram.
(Courtesy of the
General Electric
Co., Lamp
Business
Division.)



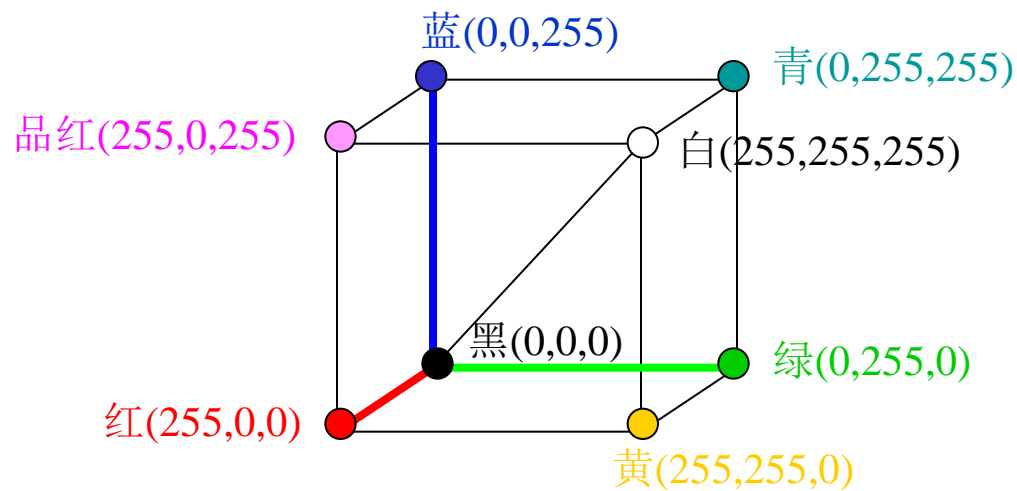
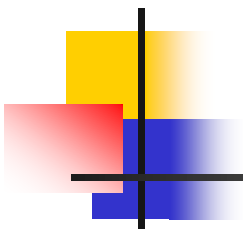
色度图



Typical color gamut of color monitors (triangle) and color printing devices (irregular region).

色度图:

- (1) 色度图中每点对应一种颜色
- (2) 色度图中边界上的点代表纯色即饱和度最大
- (3) 两个端点按比例可合成另一种颜色
- (4) 3个端点连成的三角形中的任意颜色都可由这3个色组成



RGB 24-bit color cube.

R:200
G:50
B:120



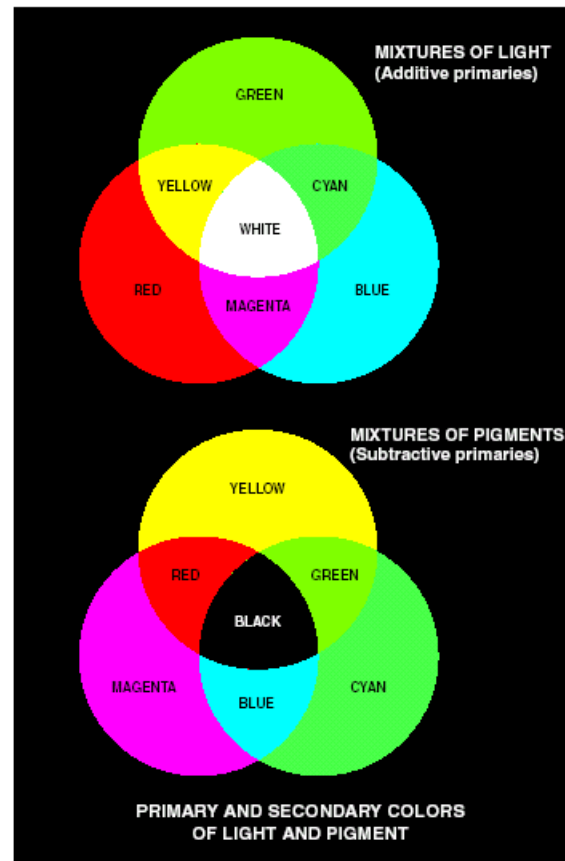
任何一种颜色在RGB颜色空间中都可以用三维空间中的一个点来表示

二、CMY模型

是减色混色模型

减色基：青（**C**yan）、品红（**M**agenta）、黄（**Y**ellow），加色基R、G、B的补色

适合于彩色打印，印刷行业等



a
b

Primary and secondary colors of light and pigments. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)

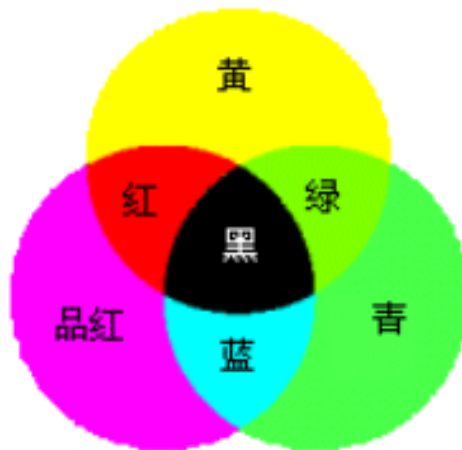


模型中的颜色是从白光中减去一定成分得到

青 (C) = 白色光 - 红色光

品红 (M) = 白色光 - 绿色光

黄 (Y) = 白色光 - 蓝色光



减色模型混色效果



印刷时**CMY**模型不可能产生真正的黑色，因此在印刷业中实际上使用的是**CMYK彩色模型**，**K**为第四种颜色，表示黑色

CMY到CMYK转换：

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

$$C = C - K$$

$$M = M - K$$

$$Y = Y - K$$

CMY模型与RGB模型转换

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

青 (C) = (红色光+绿色光+蓝色光) - 红色光=绿色+蓝色

品红 (M) = (红色光+绿色光+蓝色光) - 绿色光=红色+蓝色

黄 (Y) = (红色光+绿色光+蓝色光) - 蓝色光=红色+绿色



RGB空间的彩色图像



CMY空间的彩色图像



三、HSI模型

HSI模型用H、S、I三参数描述颜色特性

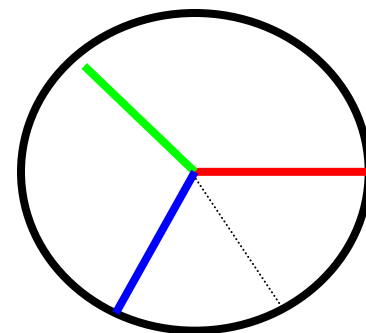
- ★ **H**定义颜色的波长，称为色调
- ★ **S**表示颜色的深浅程度，称为饱和度
- ★ **I**表示强度或亮度，与物体反射率成正比

HSI颜色模型反映了人的视觉对色彩的感觉，人类观察彩色的方式。如：红色又分为浅红和深红色等等。

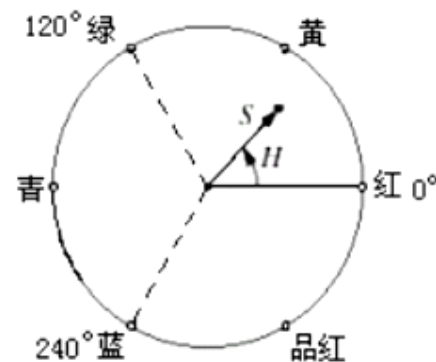
I: 表示光照强度或称为**亮度**，它确定了像素的整体亮度，而不管其颜色是什么。



H: 表示**色度(色相)**，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。



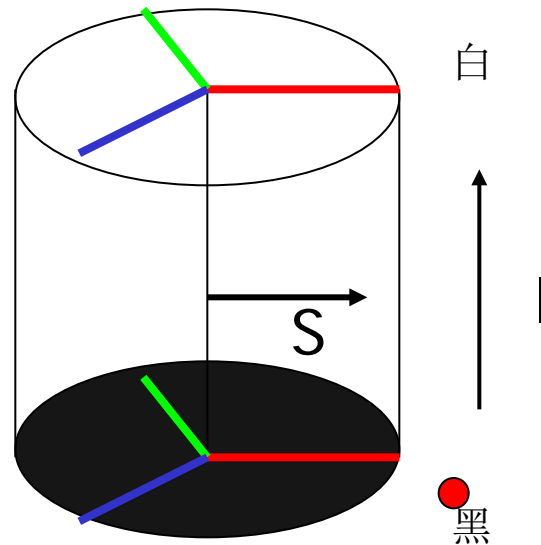
S: 表示**饱和度**，饱和度参数是色环的原点到彩色点的半径长度。在环的外围圆周是纯的或称饱和的颜色，其饱和度值为1。在中心是中性（灰）影调，即饱和度为0。



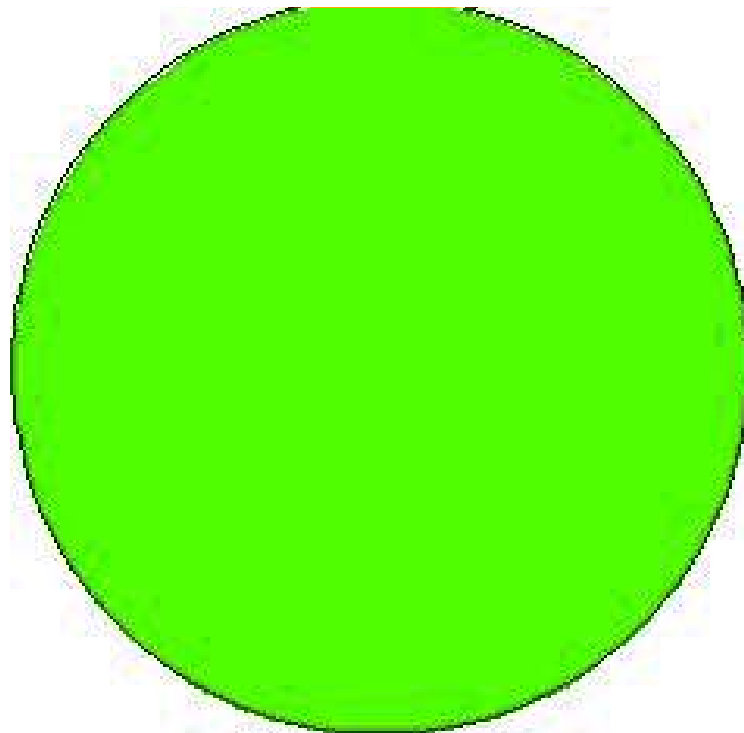
(a) 色环

I与H、S无关

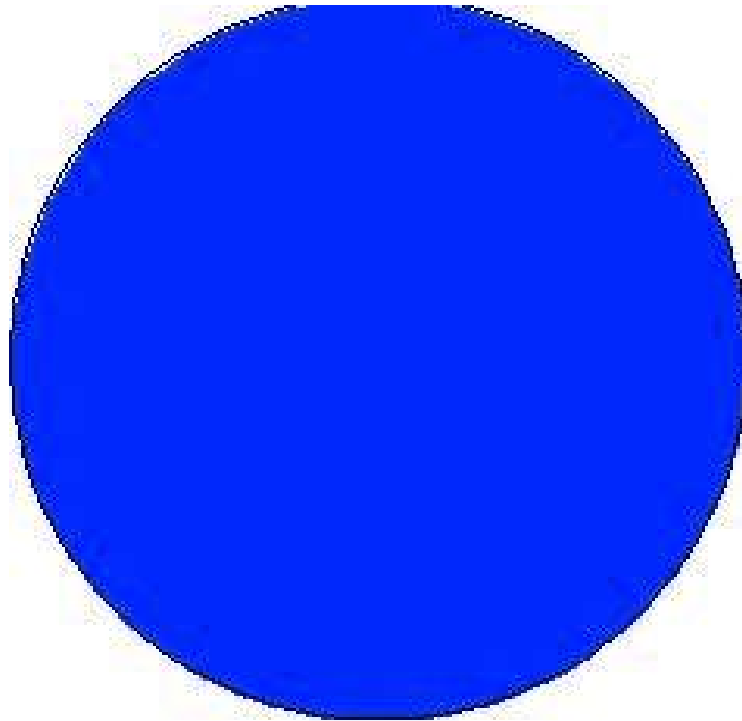
思考问题：在这个圆柱体上，红色的点顺（逆）时针旋转会变成什么样？上下移动呢？向圆心方向移动呢？



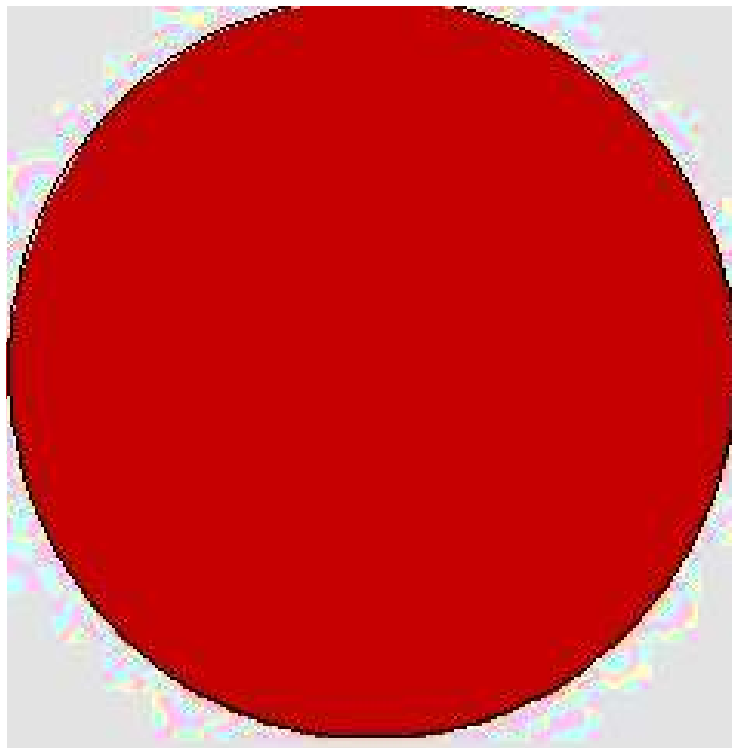
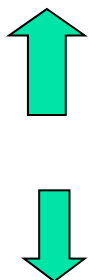
红点逆时针移动的效果



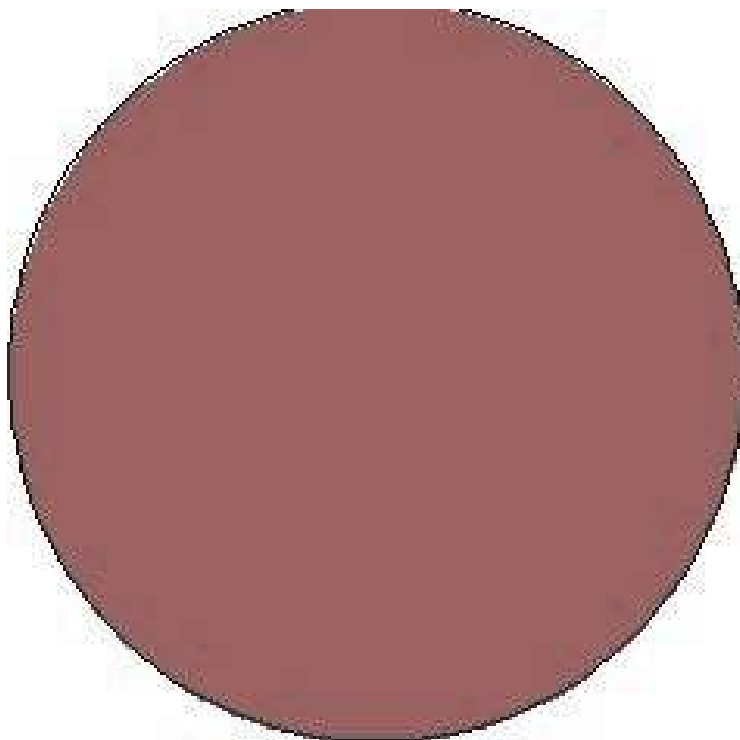
红点顺时针移动的效果



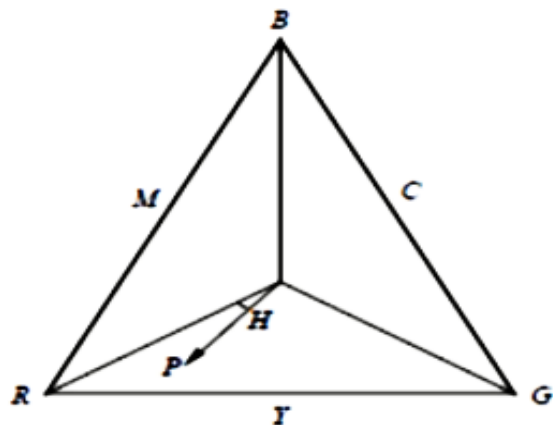
红点上、下移动的效果



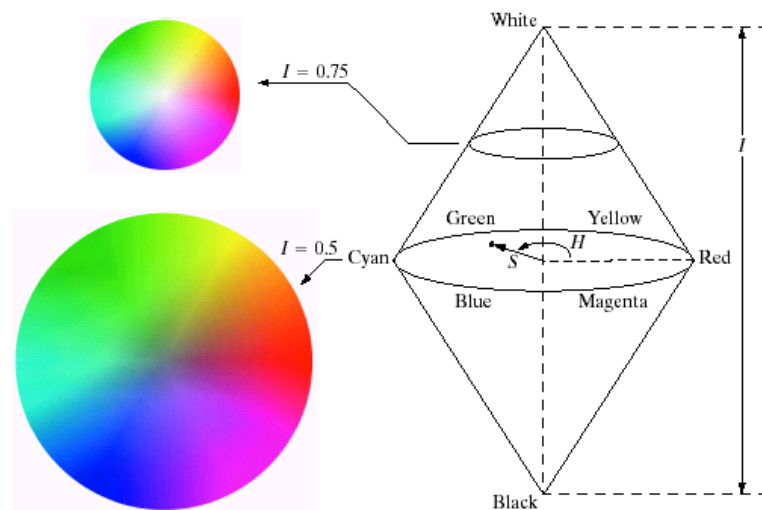
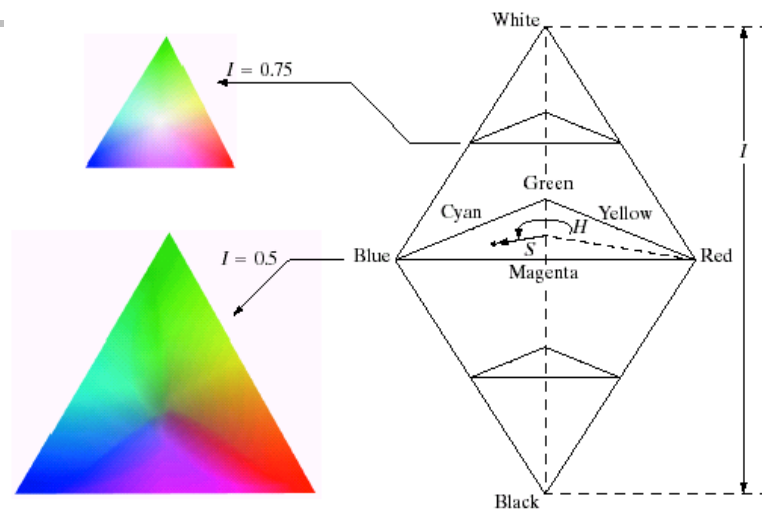
红点向圆心方向移动的效果



色度以R、G、B为顶点的三角形描述:



HSI颜色三角形



a
b



1. RGB到HSI的转换:

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

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

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

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



2. HSI到RGB的转换

1) 当 $0^\circ \leq H \leq 120^\circ$ 时

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$G = \sqrt{3}I - R - B$$

2) 当 $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ 时

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 120^\circ)}{\cos(180^\circ - H)} \right]$$

$$R = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$B = \sqrt{3}I - R - G$$



2. HSI到RGB的转换

3) 当 $240^\circ \leq H < 360^\circ$ 时

$$B = \frac{I}{\sqrt{3}} \left[1 + \frac{S \cos(H - 240^\circ)}{\cos(300^\circ - H)} \right]$$

$$G = \frac{I}{\sqrt{3}} (1 - S)$$

$$R = \sqrt{3}I - G - B$$



三基色（原图）



(b) H分量

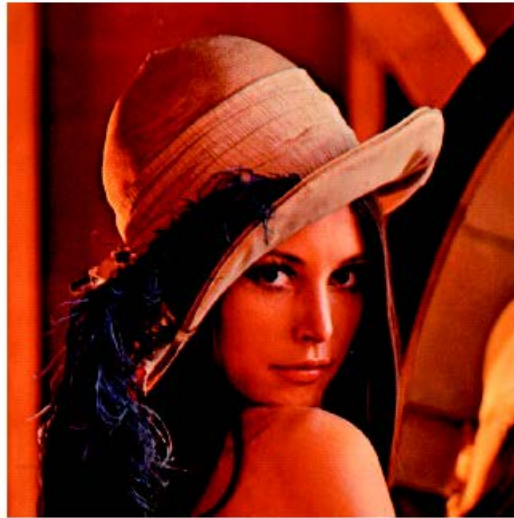


(c) S分量



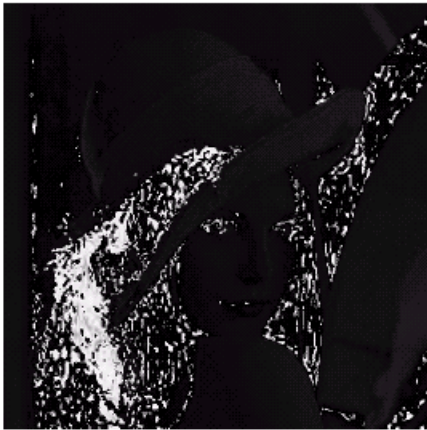
(d) I分量

三基色RGB空间及其在HSI空间的各个分量

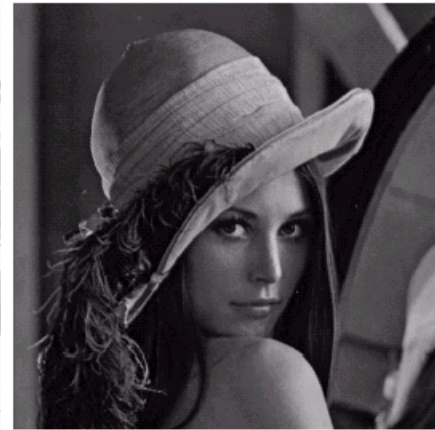


a	b
c	d

(a) RGB image.
(b) Red
component image.
(c) Green
component.
(d) Blue
component.



a b c



HSI components of the RGB color image

. (a) Hue. (b) Saturation. (c) Intensity.



四、YUV电视信号格式

在这种格式中

Y: 亮度; U, V: 色差信号。

目的是为了可以与黑白电视兼容。

电视信号在发射时，转换成YUV形式，接受时再还原成RGB三基色信号，由显像管显示。



1. RGB到YUV的转换

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

$$U = B - Y$$

$$V = R - Y$$

2. YUV到RGB的转换

$$R = Y + V$$

$$G = Y - 0.192U - 0.509V$$

$$B = Y + U$$



五、YCbCr格式

常用于彩色图像压缩时的一种色彩编码。

Y: 代表亮度;

Cb、Cr: 代表色差。

与YUV表色系统不同的是：它充分考虑了色彩组成时RGB三色的重要因素。 YUV考虑的是简单，YCbCr考虑的是压缩时可以充分取出冗余量。



1. RGB到YCbCr的转换

$$Y = 0.257 * R + 0.564 * G + 0.098 * B + 16$$

$$Cb = -0.148 * R - 0.291 * G + 0.439 * B + 128$$

$$Cr = 0.439 * R - 0.368 * G - 0.071 * B + 128$$

2. YCbCr到RGB的转换

$$R = 1.164 * (Y - 16) + 1.596 * (Cr - 128)$$

$$G = 1.164 * (Y - 16) - 0.392 * (Cb - 128) - 0.813 * (Cr - 128)$$

$$B = 1.164 * (Y - 16) + 2.017 * (Cb - 128)$$



10.3 伪彩色处理

伪彩色处理：将黑白图像转化为彩色图像，或者是将单色图像变换成给定彩色分布的图像。

主要目的：提高人眼对图像的细节分辨能力，以达到图像增强的目的。

由于人眼对彩色的分辨能力远远高于对灰度的分辨能力，所以将灰度图像转化成彩色表示，就可以提高对图像细节的辨别力。

基本原理：将黑白图像或者单色图像的各个灰度级匹配到彩色空间中的一点，从而使单色图像映射成彩色图像。黑白图像中不同的灰度级赋予不同的彩色。



灰度图像 $f(x, y)$  $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$

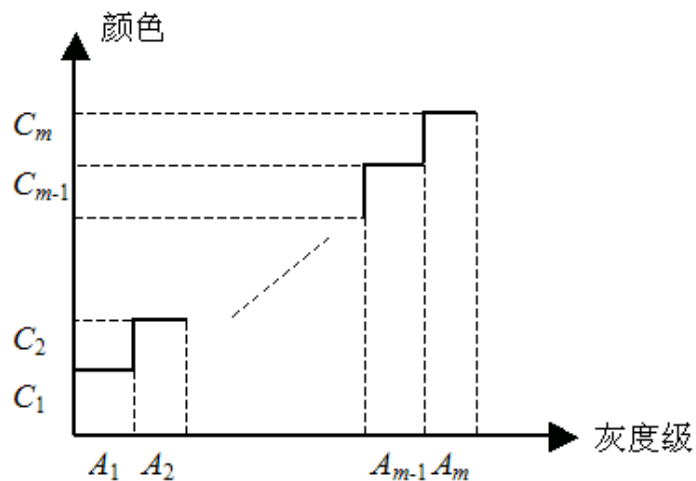
$$R(x, y) = f_R[f(x, y)]$$

$$G(x, y) = f_G[f(x, y)]$$

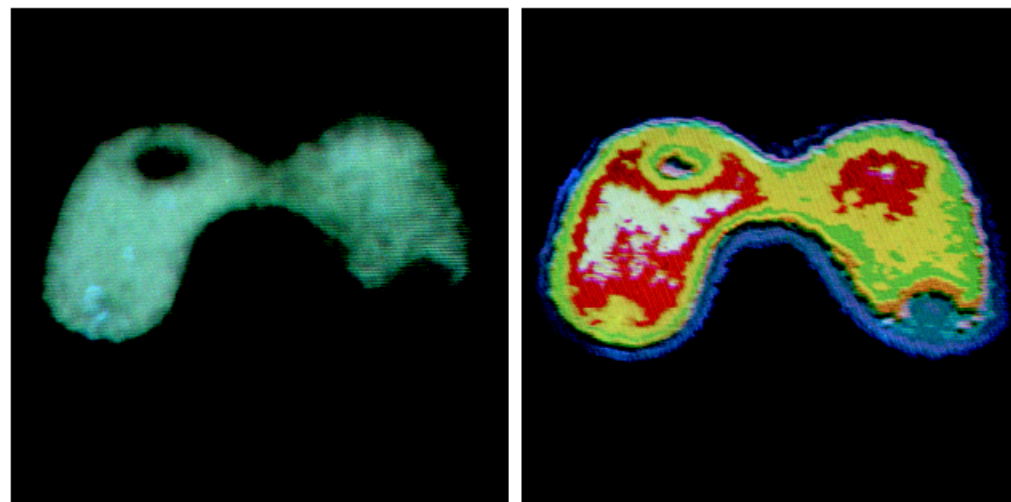
$$B(x, y) = f_B[f(x, y)]$$

不同的映射函数将灰度图像转化为不同的伪彩色图像

亮度切割法



亮度切割成 m 个区域，
每个区域用一种颜色



a b

(a) Monochrome image of the Picker Thyroid Phantom. (b) Result of density slicing into eight colors. (Courtesy of Dr. J. L. Blankenship, Instrumentation and Controls Division, Oak Ridge National Laboratory.)

亮度切割

例:

$m=8$



$m=16$

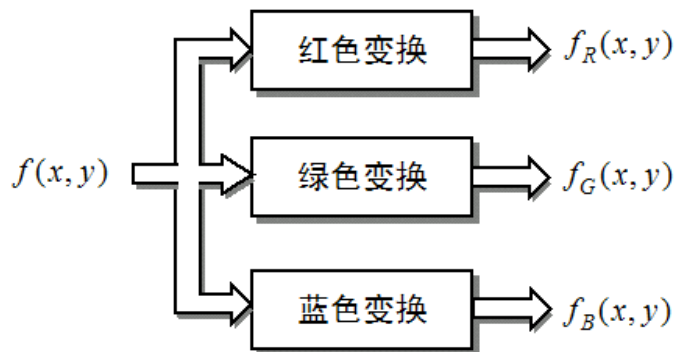


$m=64$

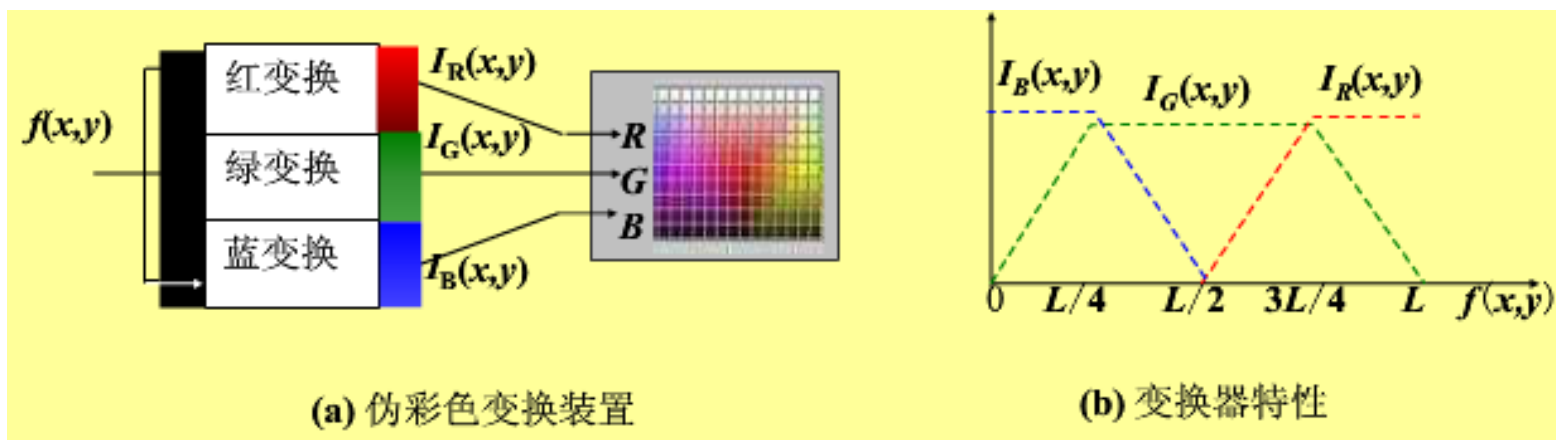


► 灰度到彩色变换法

对每个像素的灰度值用3个独立的变换来处理

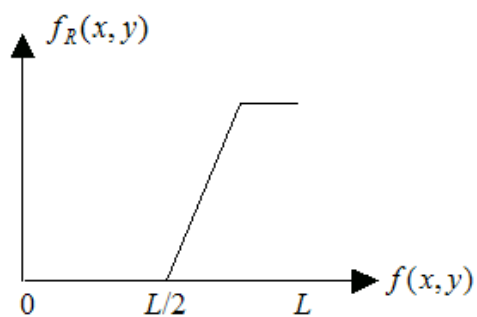


变换原理

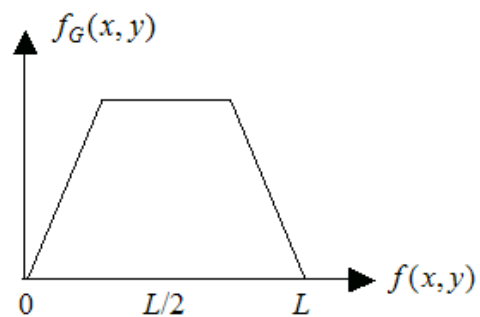


连续灰度伪彩色变换

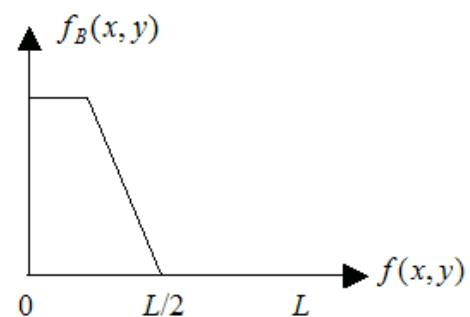
变换示例1:



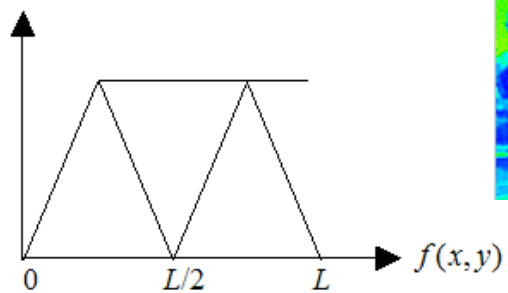
(a)



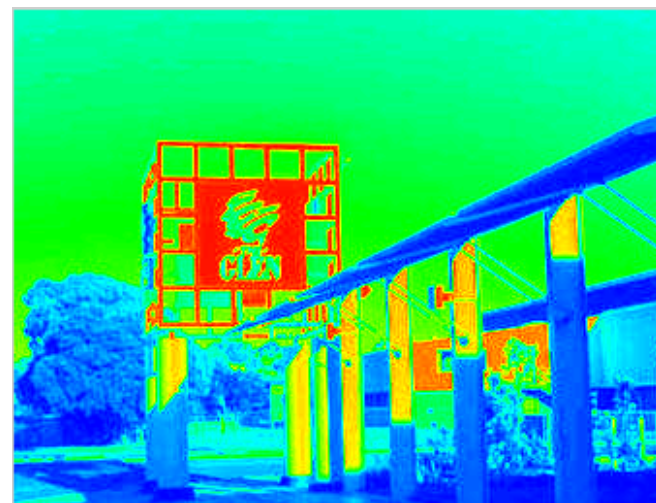
(b)



(c)

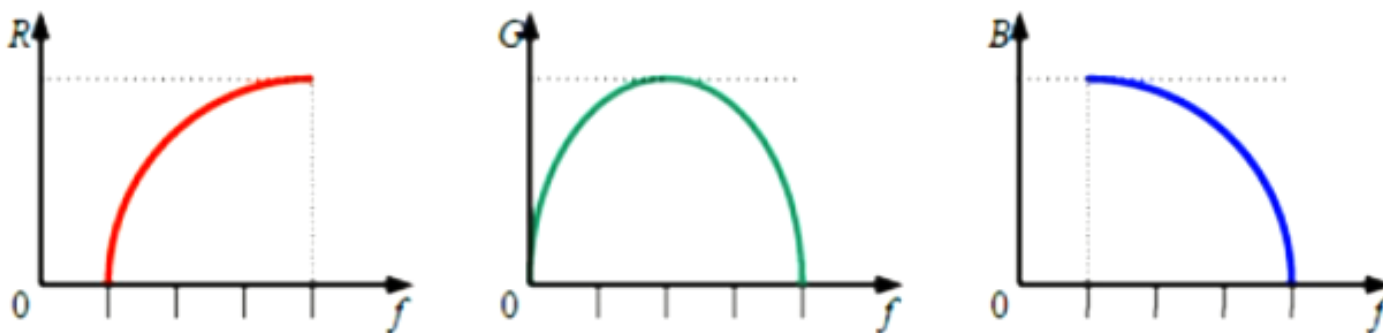


(d)



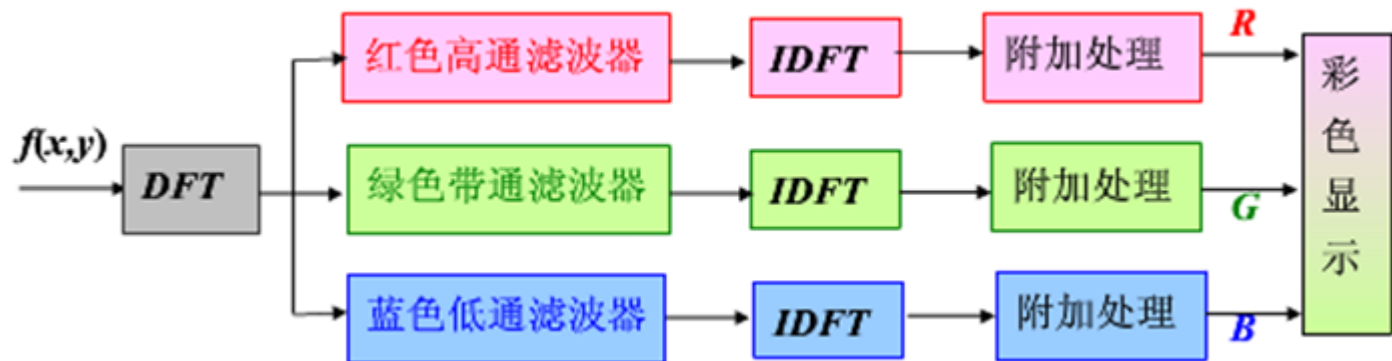
典型的变换传递函数

变换示例2:



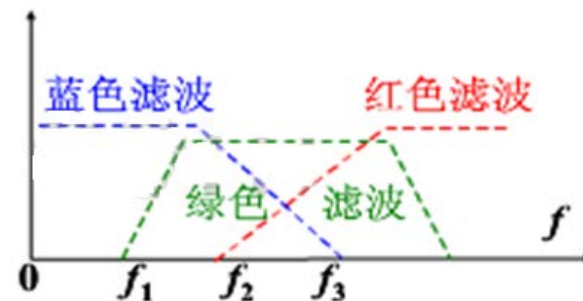
变换后原始图像中灰度值偏小的像素主要呈现绿色，
灰度值偏大的像素主要呈现红色

➤ 频域滤波法



伪彩色增强频域滤波框图

- ✧ 如果为了突出图像中高频成分（即图像的细节）而将其变为蓝色，则只需要将蓝通道滤波器设计成高通滤波器。
- ✧ 如果要抑制图像中某种频率成分，可以设计一个带阻滤波器来达到目的。



滤波器的频域特性

假彩色处理：

对原始彩色图像中一些感兴趣部分呈现与原来完全不同的假颜色，从而可以更容易得到关注

★ 输入和输出均为彩色图像

例：多波段遥感图像的彩色合成
将多波段单色影像合成为假彩色影像，如 landsat 7/ETM+有八个波段，用其中三个合成就是假彩色。

标准假彩色合成：即4、3、2波段分别赋予红、绿、蓝色，获得图像植被成红色，由于突出表现了植被的特征，应用十分的广泛，而被称为标准假彩色。



标准假彩色图像

10.4 真彩色图像处理

一、彩色平衡

1. 问题的提出:

当一幅彩色图像数字化后，在显示时颜色经常看起来有些不正常。称之为三基色不平衡。将其校正的过程就是彩色平衡。

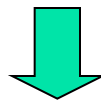
2. 彩色平衡算法:

1) 从图像中选出两点颜色为灰色的点，设为:

$$F_1 = (R_1, G_1, B_1) \quad F_2 = (R_2, G_2, B_2)$$

2) 设以G分量为基准，匹配R和B分量，则:

$$F_1 = (R_1, G_1, B_1) \quad F_2 = (R_2, G_2, B_2)$$



$$F_1^* = (G_1, G_1, G_1) \quad F_2^* = (G_2, G_2, G_2)$$



3) 由

$$R_1^* = k_1 * R_1 + k_2$$

求出: k_1 和 k_2

$$R_2^* = k_1 * R_2 + k_2$$

$$B_1^* = l_1 * B_1 + l_2$$

求出: l_1 和 l_2

$$B_2^* = l_1 * B_2 + l_2$$

4) 用

$$R(x, y)^* = k_1 * R(x, y) + k_2$$

$$B(x, y)^* = l_1 * B(x, y) + l_2$$

$$G(x, y)^* = G(x, y)$$

得到的图像就是彩色平衡后的图像。

彩色平衡效果图





二、彩色图像增强

1. 处理策略

➤ 彩色单分量增强

将一幅彩色图像看作三幅灰度图像，对每幅图像按照灰度图像增强方法处理，再将处理结果合成彩色图像。

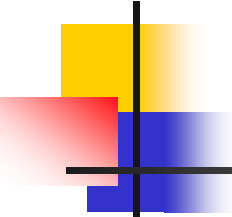
➤ 全彩色增强

将一幅彩色图像中的每个像素看成具有三个属性的矢量， $f(x, y) = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$ 利用对矢量的表达方法进行处理。

➤ 彩色单分量增强方法

$$g_i(x, y) = T_i[f_i(x, y)] \quad i=1, 2, 3$$

- (1) 将**RGB**分量转化为**HSI**分量。
- (2) 利用灰度图像增强方法对其中一个分量增强处理。
- (3) 将增强后分量与原来两个分量一起转换为**RGB**分量显示图像。

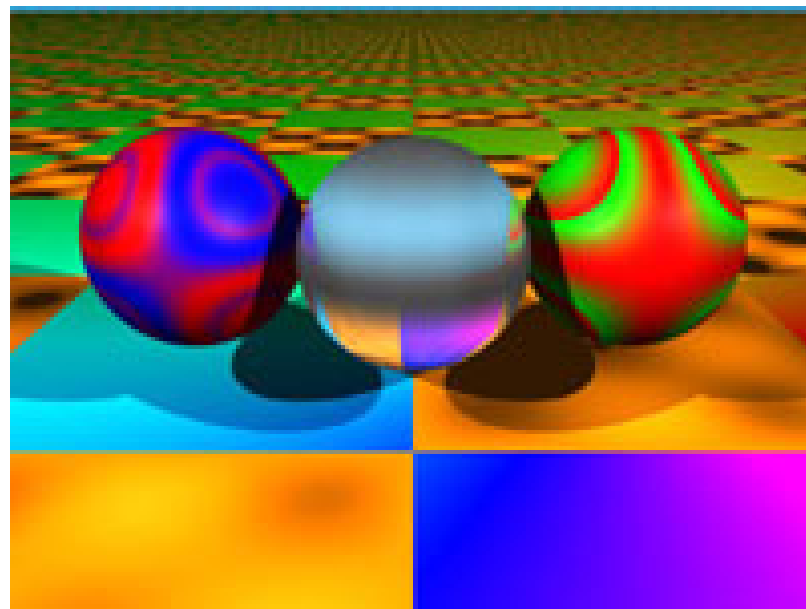
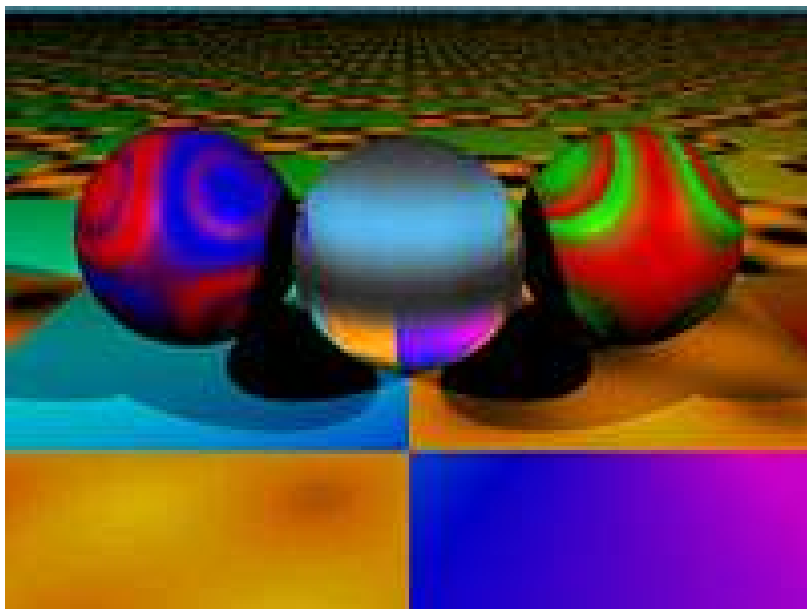


对RGB分量进行处理时，必须避免破坏彩色平衡

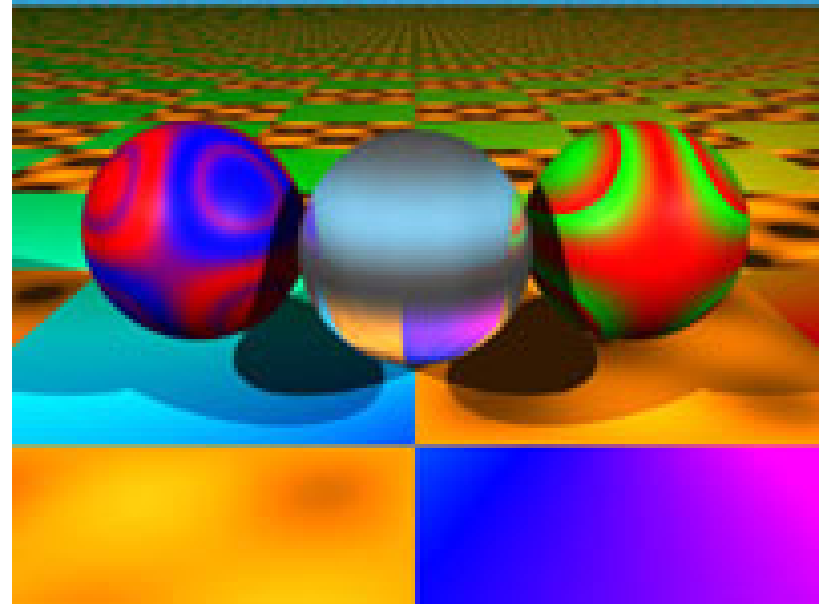
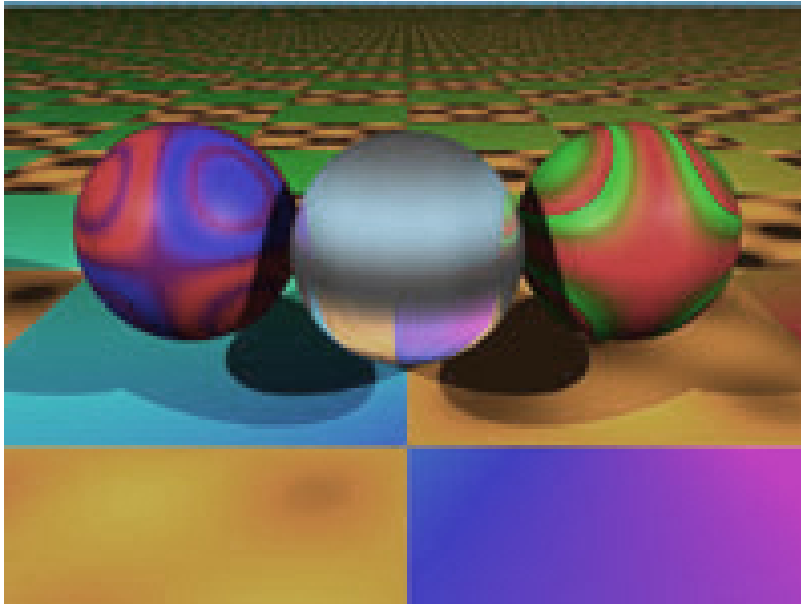
一般将 **RGB**  **HSI**

- ◆ **亮度增强：** 对**I**分量增强处理
将亮度分量看成一幅灰度图像进行处理
- ◆ **饱和度增强：** 对**S**分量增强处理，与**I**分量增强方法相似
对每个像素的饱和度乘以一个大于1的常数，图像的彩色更明显
对每个像素的饱和度乘以一个小于1的常数，图像的彩色减弱
- ◆ **色调增强：** 对**H**分量增强处理
对每个像素的色度加或减一个常数（角度值）

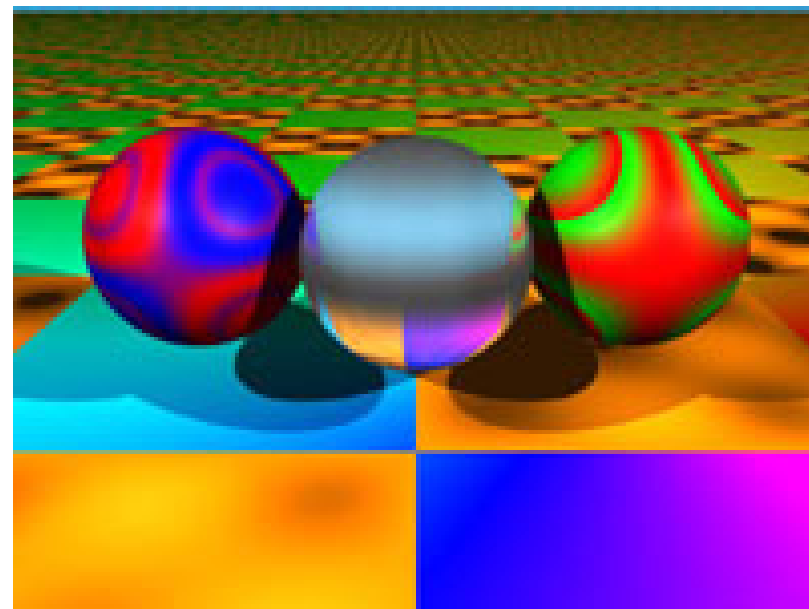
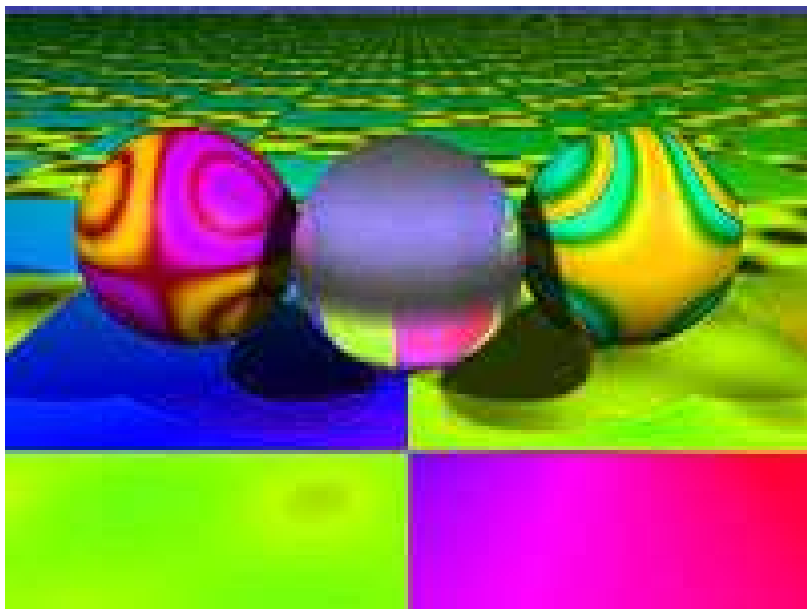
亮度增强效果示意图



饱和度效果示意图



色调增强效果示意图





三、全彩色增强-----彩色图像去噪

1. 彩色图像的噪声

如果彩色图像的RGB三个通道都受噪声影响，则合成的彩色图像噪声比单个通道噪声弱

将有噪声的RGB图像转换为HSI图像，则色调H图像和饱和度S图像中的噪声更明显，亮度I图像中的噪声更弱

2. 彩色图像平滑滤波

- ✦ 均值滤波
- ✦ 中值滤波

彩色图像均值滤波增强

$$\bar{\mathbf{c}}(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} R(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} G(s, t) \\ \frac{1}{K} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} B(s, t) \end{bmatrix}$$

对图像中的像素（三基色）进行邻域平均



原图



均值滤波结果图



彩色图像中值滤波增强

➤ 矢量排序

每个像素是RGB三分量构成的矢量: $f(x, y) = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$

◆ 条件排序:

选取其中任意一个分量进行标量排序,
像素值根据该顺序排序

◆ 简化（合计）排序:

将所有像素值（矢量）用给定的简化函数转化
为标量再进行排序

彩色图像中值滤波增强

标准中值滤波器（标量中值滤波）

采用简化排序：将三个分量相加得到一个标量值

缺点：滤波输出图像中产生彩色“渗色”



(a) 原图

(b) 中值滤波结果图

渗色现象示例

3. 彩色图像锐化滤波增强



原图



锐化结果图

Laplacian滤波模板

四、彩色图像恢复

将灰度图像的恢复方法对RGB三个分量单独进行处理时，必须避免破坏彩色平衡

一般将 RGB  HSI



原图



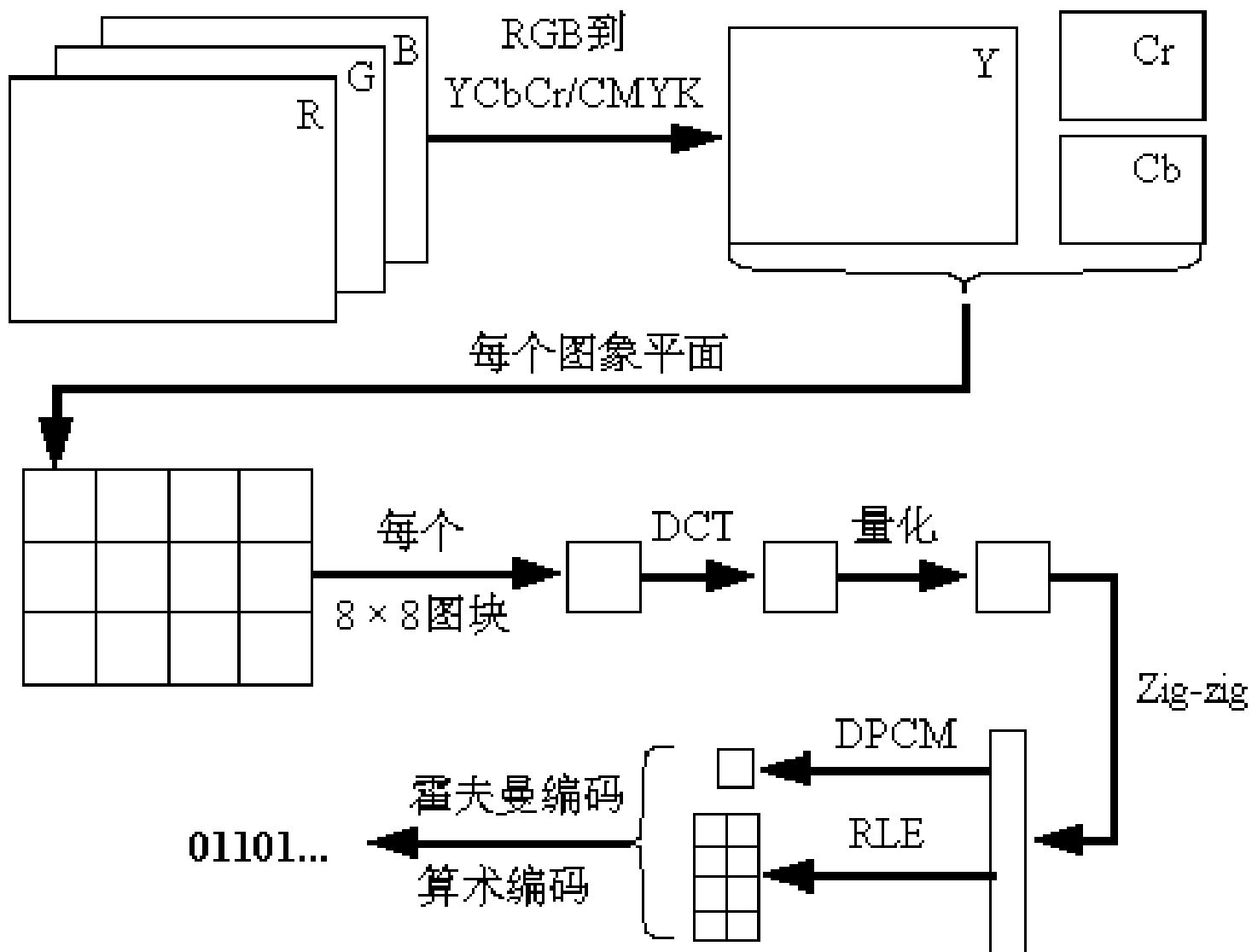
退化彩图



维纳滤波复原

运动模糊+高斯噪声

五、彩色图像压缩



基于色差压缩的效果图

原图

基于YCrCb
压缩图

基于YUV
压缩图





10.5 彩色图像分析

一、彩色补偿

1. 问题的提出:

在某些应用中，目标是分离出主要或完全是颜色不同的各种类型的物体。

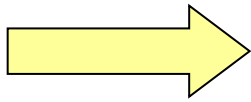
由于常用的彩色图像设备具有较宽而且相互覆盖的光谱敏感区，加上待拍摄图像的颜色是变化的，所以很难在三个分量图中将物体分离出来。这种现象称为颜色扩散。

2. 彩色补偿算法

- 1) 在图像上找到主观视觉看是纯红、绿、蓝的三个点。（如果可以
根据硬件知道频段的覆盖则无须这样做）。

$$\begin{array}{ll} p_1 = (R_1, G_1, B_1) & p_1^* = (R^*, 0, 0) \\ p_2 = (R_2, G_2, B_2) & p_2^* = (0, G^*, 0) \\ p_3 = (R_3, G_3, B_3) & p_3^* = (0, 0, B^*) \end{array}$$

它们的理想值为:



- 2) 计算 R^* , G^* , B^* 的值

考虑到彩色补偿之后图像的亮度不变, 对 R^* , G^* , B^* 的计算如下:

$$R^* = 0.30 \cdot R_1 + 0.59 \cdot G_1 + 0.11 \cdot B_1$$

$$G^* = 0.30 \cdot R_2 + 0.59 \cdot G_2 + 0.11 \cdot B_2$$

$$B^* = 0.30 \cdot R_3 + 0.59 \cdot G_3 + 0.11 \cdot B_3$$



3) 构造变换矩阵

将所取到的三个点的RGB值分别构成彩色补偿前及补偿后的两个矩阵A1和A2。

$$A_1 = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_3 \\ G_1 & G_2 & G_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} R^* & 0 & 0 \\ 0 & G^* & 0 \\ 0 & 0 & B^* \end{bmatrix}$$



4) 进行彩色补偿

设

$$S(x, y) = \begin{bmatrix} R_s(x, y) \\ G_s(x, y) \\ B_s(x, y) \end{bmatrix} \quad F(x, y) = \begin{bmatrix} R_F(x, y) \\ G_F(x, y) \\ B_F(x, y) \end{bmatrix}$$

分别为新、旧图像的像素值

■ 则：

$$S(x, y) = C^{-1} * F(x, y)$$

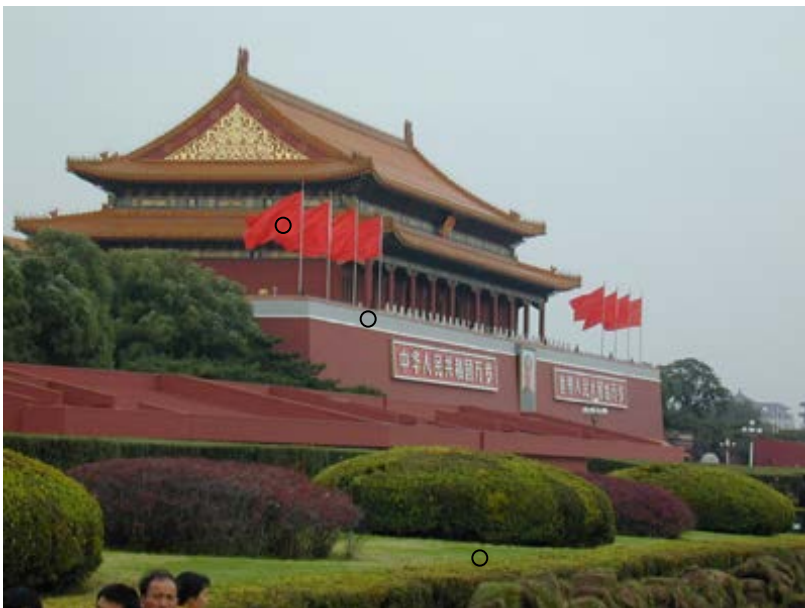
其中：

$$C = A_1 * A_2^{-1}$$

3. 彩色补偿的作用：

可以通过不同的颜色通道提取不同的目标物。

彩色补偿效果图



原图



彩色补偿后图像

彩色补偿的作用示意图



彩色补偿后图像R分量



彩色补偿后图像G分量

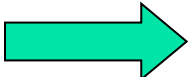


彩色补偿后图像B分量



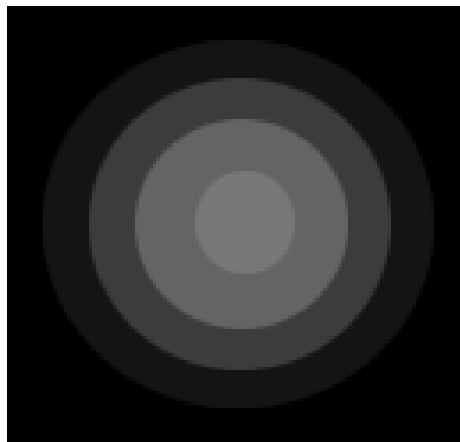
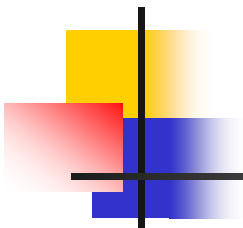
二、彩色图像分割

用阈值法分割一幅彩色图像是一个分割颜色空间的过程

RGB  HSI

由于物体的色度和饱和度通常由构成物体的原材料的光线吸收和反射特性来决定，但物体的亮度明显地受光照和视角的影响。

所以不用亮度信息，直接在色度和饱和度平面来分割图像。



对灰度图像:

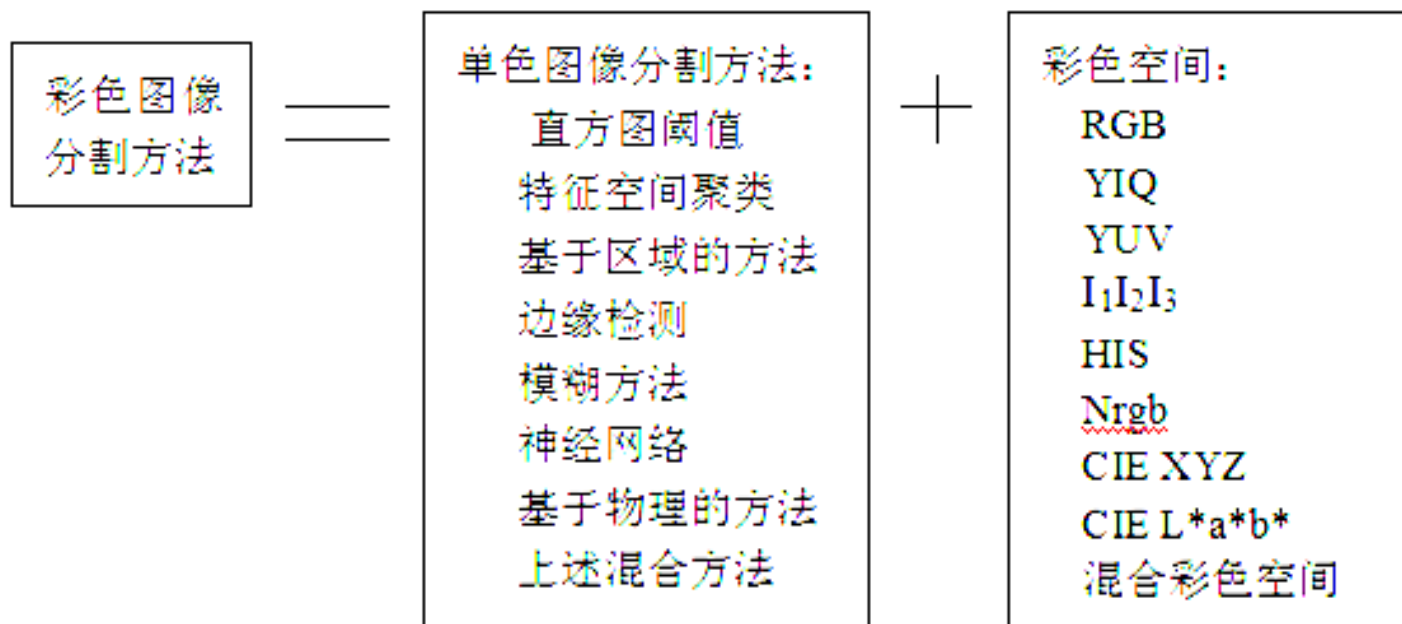
- 灰度跳变的视觉反映是边界的存在。

对彩色图像:

- 颜色跳变的视觉反映是边界的存在。



彩色图像分割方法:



常用彩色图像分割方法



梯度边缘检测分割:

RGB模型中梯度:

$$\mathbf{u} = \frac{\partial R}{\partial x} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial x} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial x} \mathbf{b}$$

$$\mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial y} \mathbf{r} + \frac{\partial G}{\partial y} \mathbf{g} + \frac{\partial B}{\partial y} \mathbf{b}$$

$$g_{xx} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} = \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial x} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial x} \right|^2$$

$$g_{xy} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \frac{\partial R}{\partial x} \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y}$$

$$g_{yy} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} = \left| \frac{\partial R}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial G}{\partial y} \right|^2 + \left| \frac{\partial B}{\partial y} \right|^2$$



梯度的方向: (x,y) 处变化率最大的方向

$$\theta(x, y) = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{2g_{xy}}{(g_{xx} - g_{yy})} \right]$$

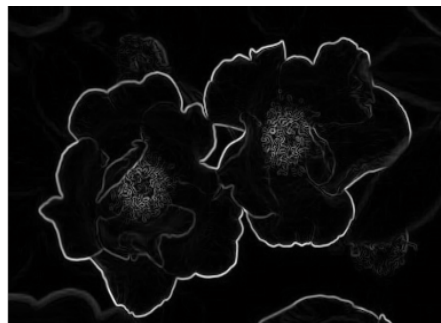
该方向上的梯度幅度:

$$F_{\theta}(x, y) = \left\{ \frac{1}{2} [(g_{xx} + g_{yy}) + (g_{xx} - g_{yy}) \cos 2\theta + 2g_{xy} \sin 2\theta] \right\}^{1/2}$$

梯度边缘检测效果



原图

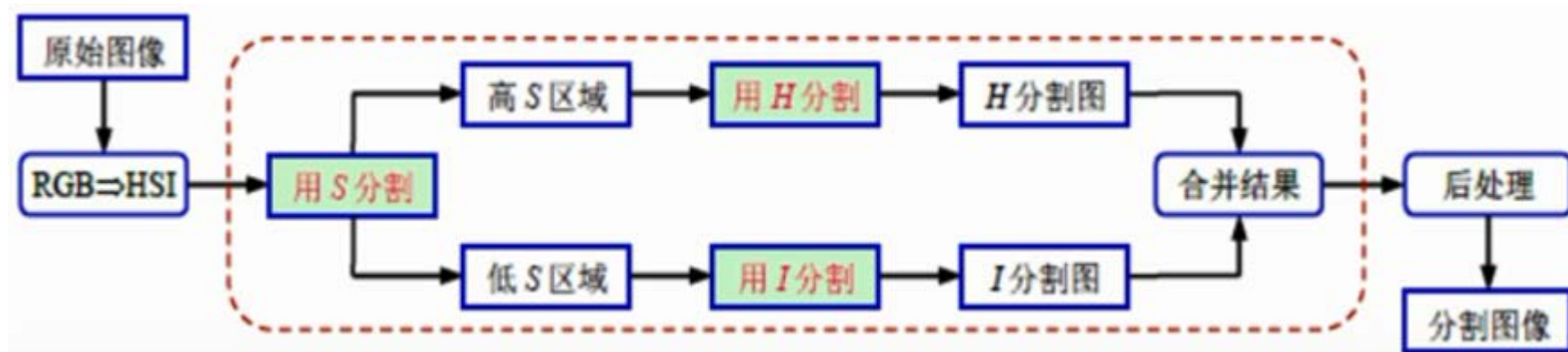


边缘检测结果

利用梯度进行边缘检测示例

常用分割策略:

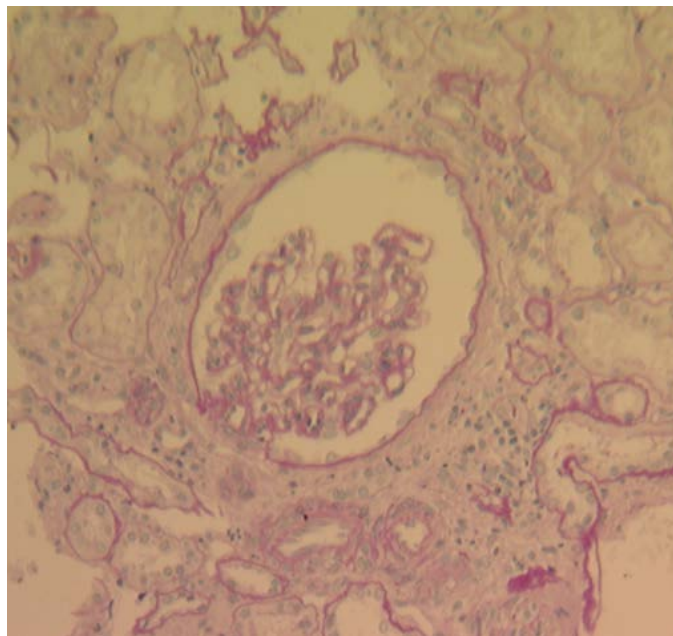
- 由于H、S、I三个分量互相独立，可以将3D搜索问题转化为三个1D搜索。

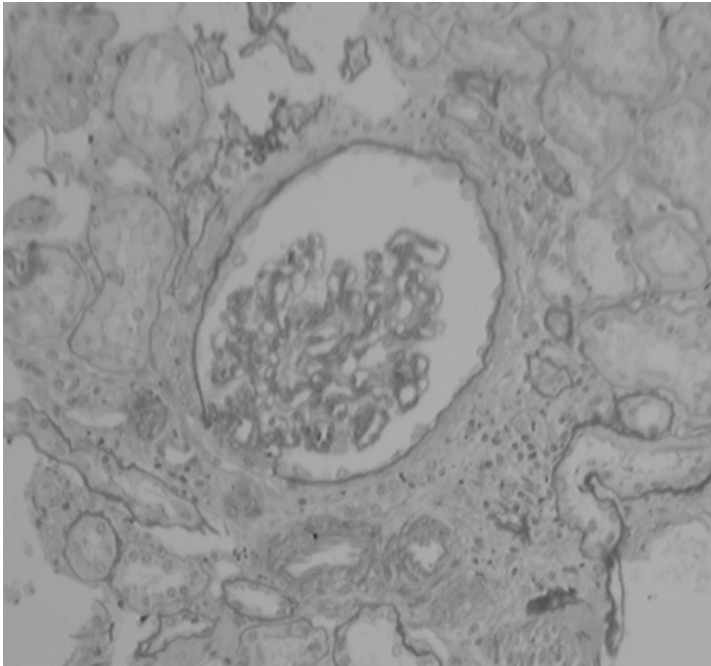


对三个分量进行序列分割的算法流程图

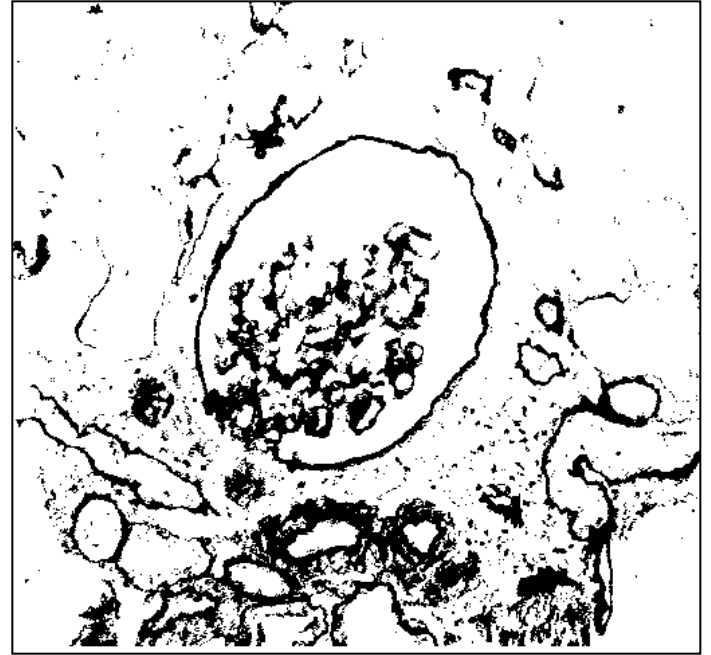
分割示例1:

对基于彩色信息的
图像识别加以讨论。

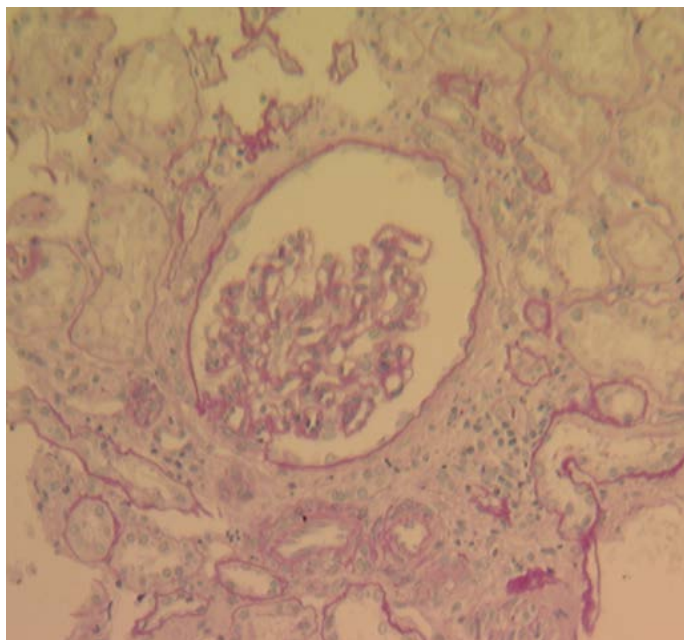




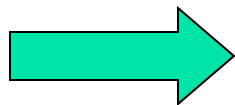
灰度图像



分割结果图像



彩色图像



分割结果图像



两种算法的效果比较

分割示例2:



(a)原图

(b)对S分量分割

(c)对高S按H分割

(d)对低S按I分割



(e)对(c)、(d)的综合

(f)对(e)后处理

(g)将分割的边界叠
加到原图的G分量

(h)对RGB进行3D分割结果