

第6章 彩色图像处理

计算机科学系



第6章 彩色图像处理

6.1 彩色基础

6.2 彩色模型

6.3 伪彩色处理

6.4 真彩色处理

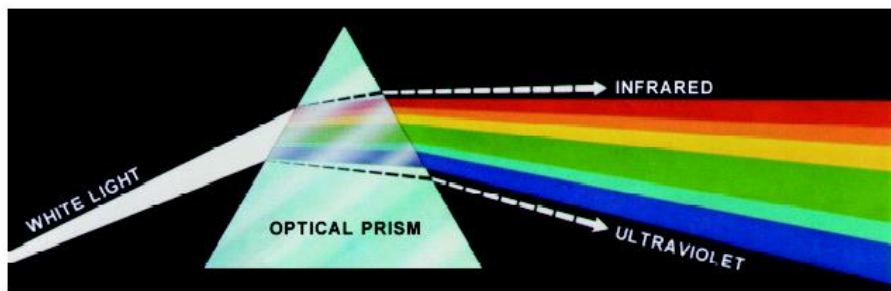




6.1 彩色基础

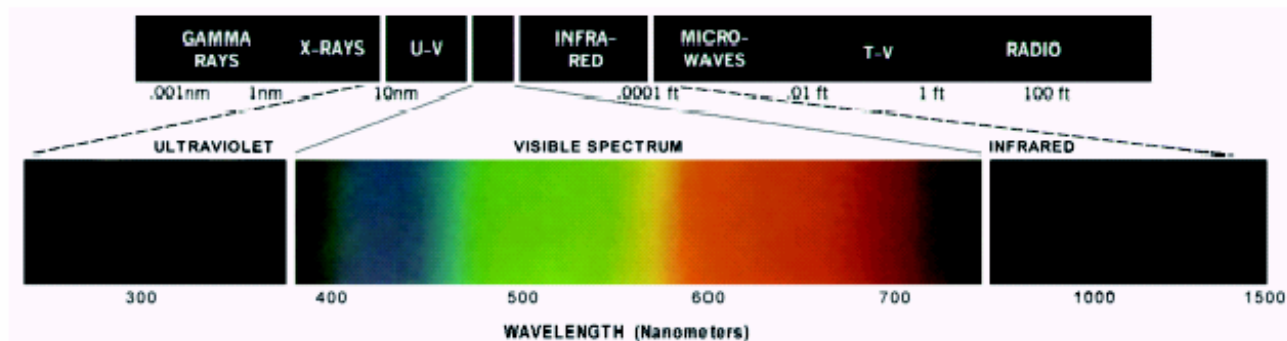
一、颜色的本质

1. 牛顿 (1666) : 三棱镜折射白光后形成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫连续光谱



2. 不同颜色的光实质是不同频率的电磁波

— 可见光谱的波长范围: 400 ~ 700nm





6.1 彩色基础

二、三基色 (三原色)

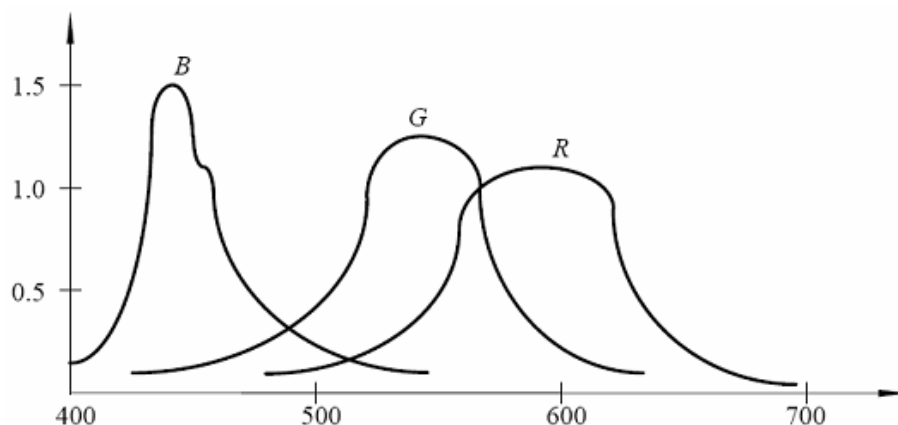
1. 人眼对红、绿、蓝最为敏感 (视网膜中对应三种不同感受彩色的锥细胞)

2. 感应曲线:

3. 大多数的颜色可以通过红、绿、蓝三色按照不同的比例合成产生

4. 三基色:

- 1) 红 (R: red) : 波长700 nm
- 2) 绿 (G: green) : 波长546.1 nm
- 3) 蓝 (B: blue) : 波长435.8 nm





6.1 彩色基础

三、色度

1. 彩色的三种基本特性量

亮度： 与物体的反射率成正比

色调： 与光谱中光的波长相联系

饱和度： 与一定色调光的纯度有关

2. 色度：色调和饱和度合称

彩色可用亮度和色度共同表示

四、确定彩色的方法

1. 三色值系数

2. 色度图





6.1 彩色基础

1. 色值系数

- 设红、绿、蓝的值分别为 X, Y, Z
- 三个色系数为
(归一化) :

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

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

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

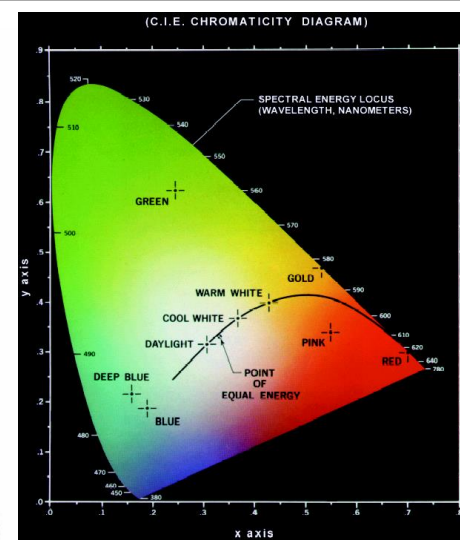
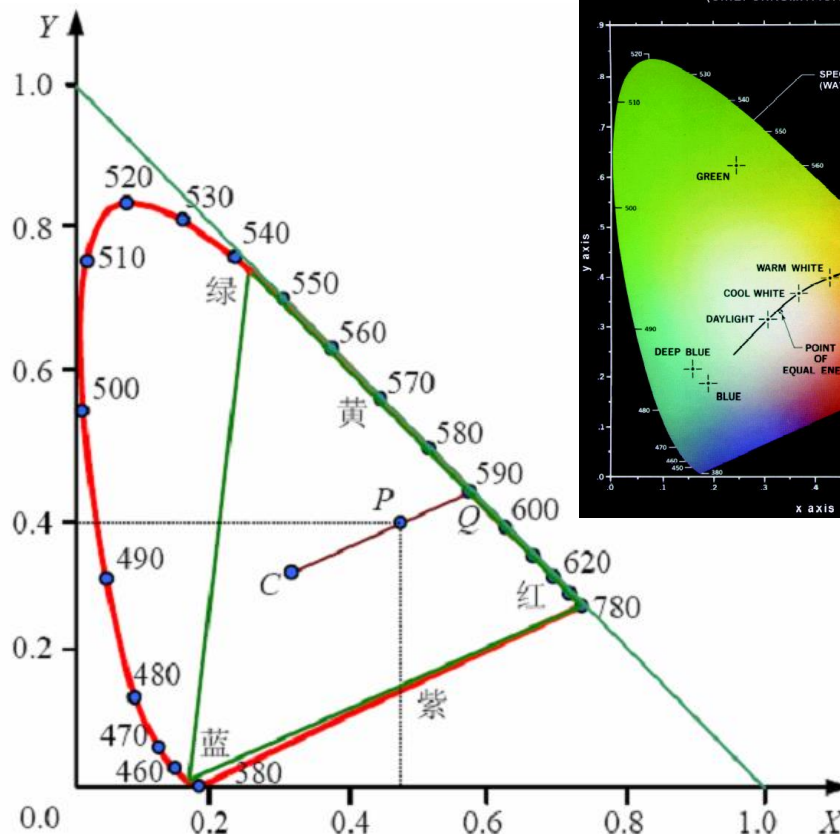
$$x + y + z = 1$$



6.1 彩色基础

2. 色度图

- CIE在1931年制定, 也称舌形色度图
- $z = 1 - (x + y)$
- 中心点C为白色
- 边界上的点为纯色, 色调不同, 但连接中心点和边界点线段上各点有相同的色调
- 三角形内的颜色由3个顶点生成 (由3种颜色不能得到所有的颜色)





6.1 彩色基础

3. 例: PAL和NTSC两种制式的色度三角形

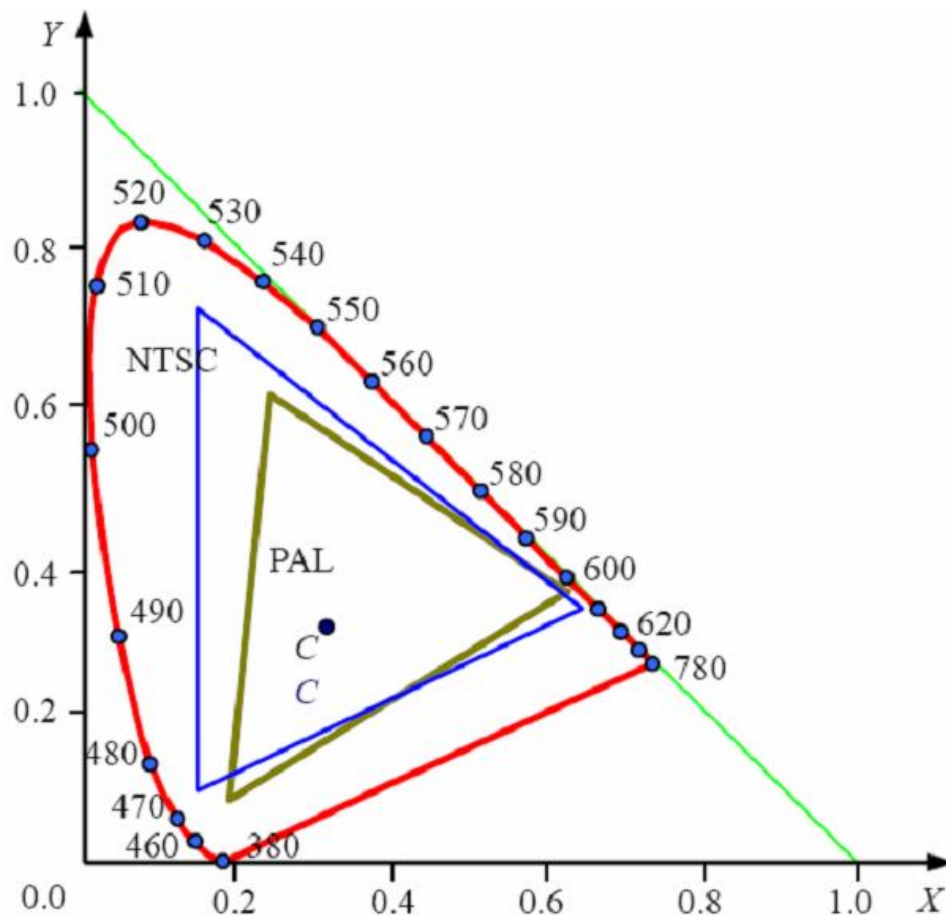
—R、G、B选择不同

(1) 高饱和度的纯色
很难生成, 基色为非
完全饱和色

(2) 三角形应较大

(3) 饱和的蓝色不常
用到。

(PAL: 中国、欧洲等)





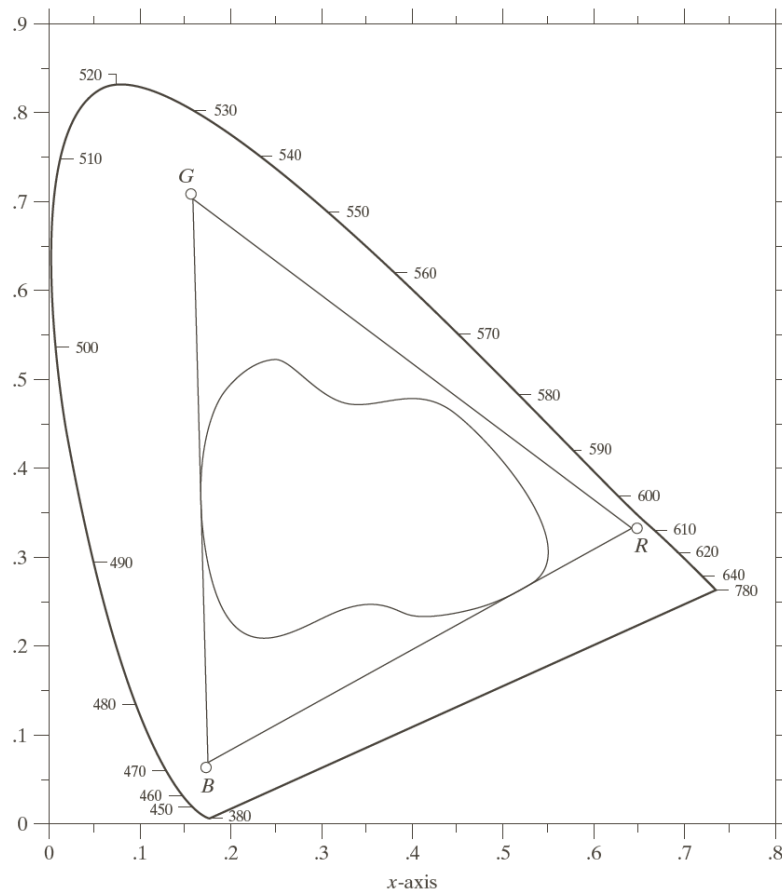
6.1 彩色基础

4. 例: 彩色显示器和彩色打印机的色度区域

(1) 图中三角形区域是由
RGB显示器 (监视器) 产生的
典型颜色范围

(2) 三角形内的不规则区
域是彩色打印机的彩色域

(3) 因为彩色打印机是相
加色彩和相减色彩的混合的
组会, 所以彩色域边界不规则





6.1 彩色基础

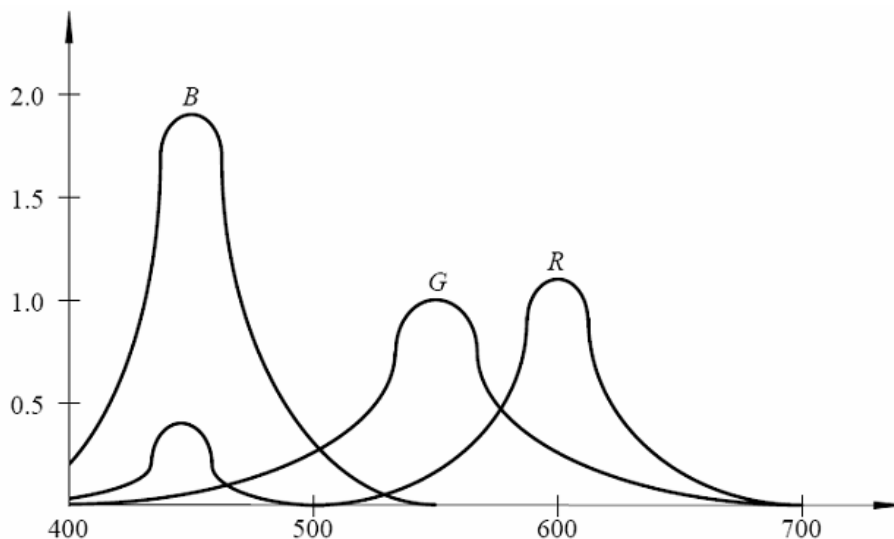
五、亮度的计算

- 彩色转化为灰度，适合显示器和摄像机

$$Y_{709} \equiv 0.2125R + 0.7154G + 0.0721B$$

(国际标准:ITU-R BT.709)

- 国际照度委员会CIE设定的R, G, B





6.1 彩色基础

6.2 彩色模型

6.3 伪彩色处理

6.4 真彩色处理





6.2 彩色模型

一、引言

1. 为了正确有效地表达彩色信息，需要建立合适的彩色表达模型
2. 分类（依据应用）
 - (1) 面向硬设备的彩色模型
诸如彩色显示器或打印机之类的硬设备
(RGB模型，CMY模型等)
 - (2) 面向视觉感知的彩色模型
以彩色处理为目的的应用
(HSI模型，HSV模型等)

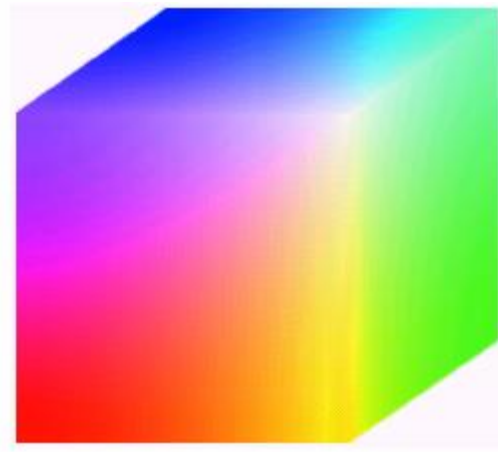
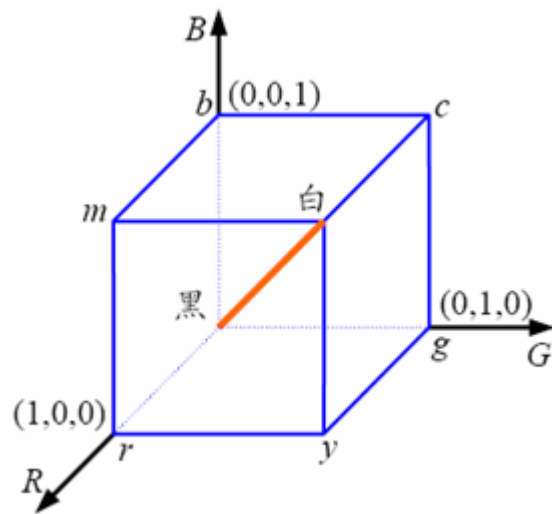




6.2 彩色模型

二、RGB模型

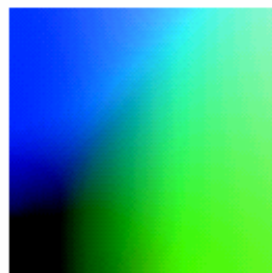
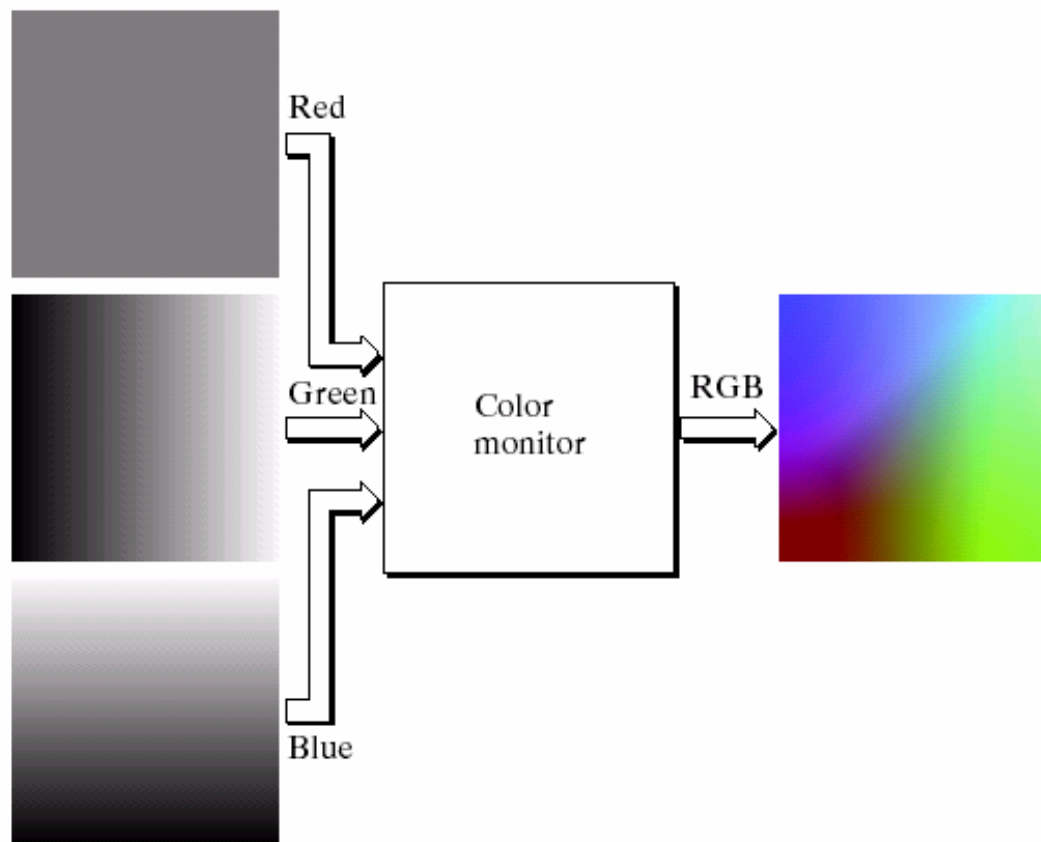
1. 建立在笛卡尔坐标系里，其中三个轴分别为R, G, B,
 - 模型的空间是正方体，原点对应黑色，离原点最远的顶点对应白色
 - 从黑到白的灰度值分布在从原点到离原点最远顶点间的连线上，而立方体内其余各点对应不同的颜色，可用从原点到该点的矢量表示



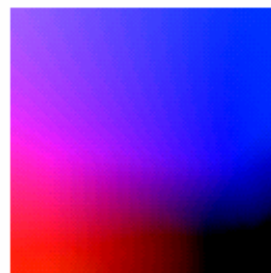


6.2 彩色模型

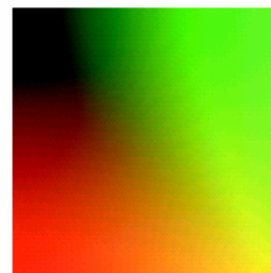
2. 面向硬件设备 (摄像机、扫描仪 和投影仪等)



($R = 0$)



($G = 0$)



($B = 0$)



6.2 彩色模型

三、CMY模型

- 三补色:

蓝绿(C, cyan), 品红(M, magenta), 黄(Y, yellow)

- 主要用于彩色打印, 这三种补色可分别由从白光中减去三种基色而得到

- 从CMY到RGB的转换为

$$R = 1 - C$$

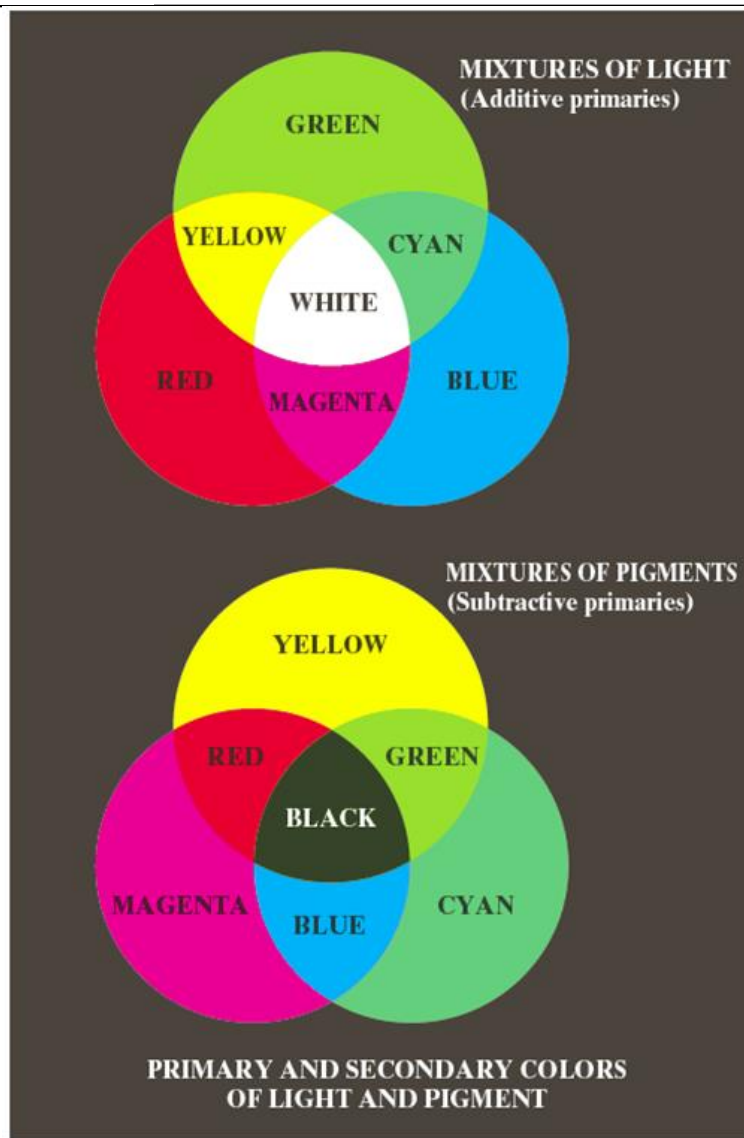
$$G = 1 - M$$

$$B = 1 - Y$$





6.2 彩色模型



a
b

FIGURE 6.4
Primary and secondary colors of light and pigments. (Courtesy of the General Electric Co., Lamp Business Division.)



四、HSI模型

0. RGB等模型的特点

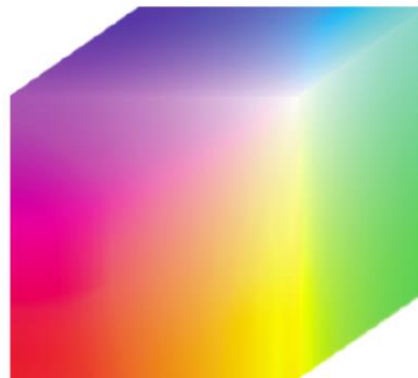
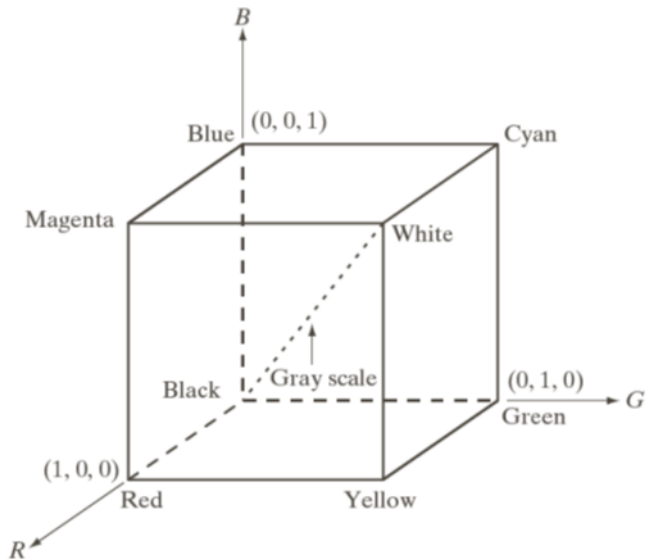
- 优点
- 缺点
- 解决思路—构建HIS模型





6.2 彩色模型

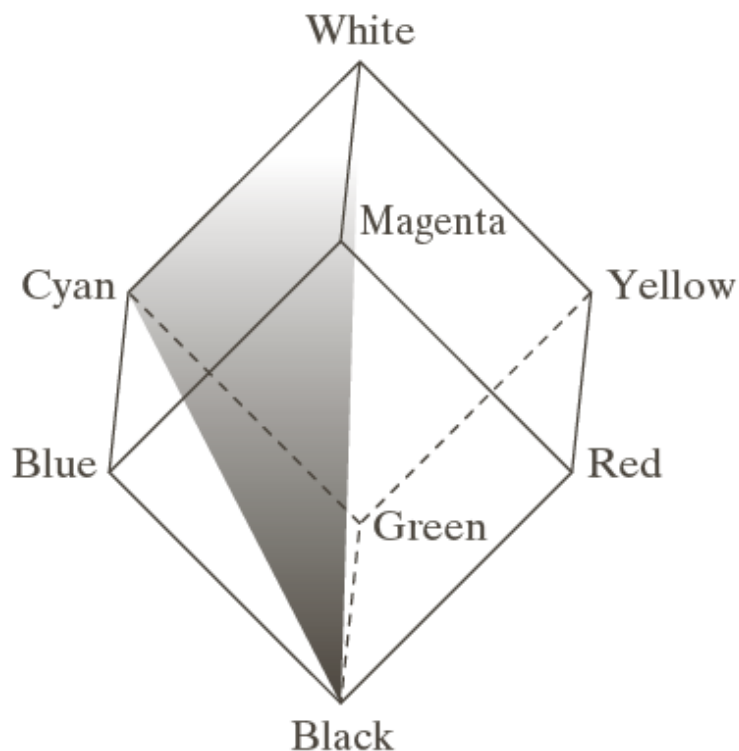
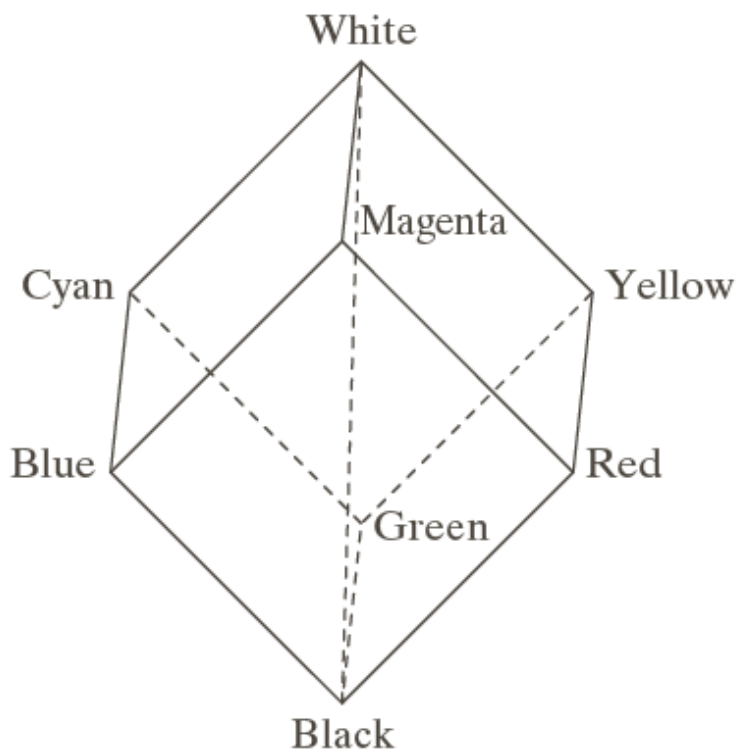
四、HSI模型





6.2 彩色模型

四、HSI模型





6.2 彩色模型

四、HSI模型

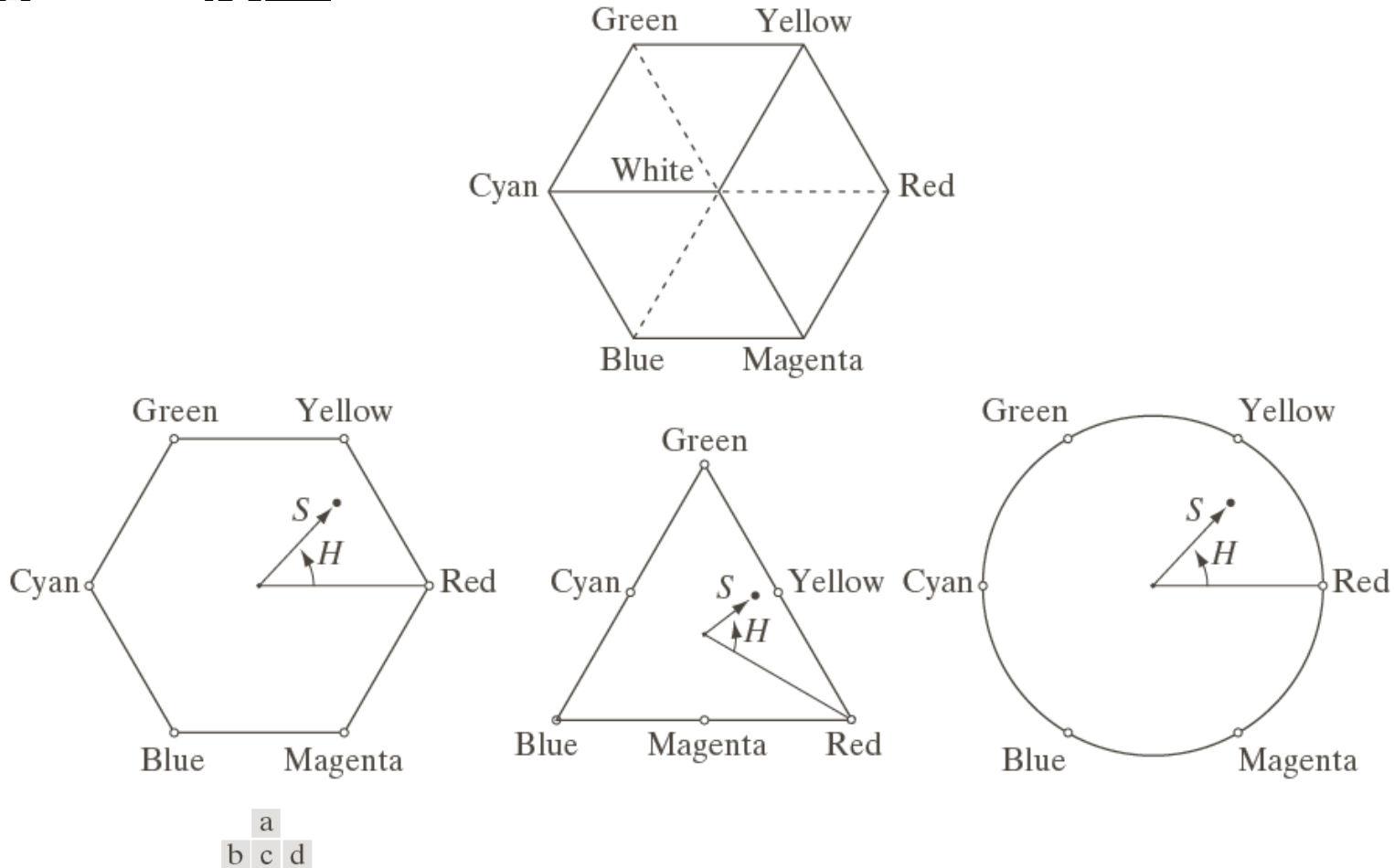


FIGURE 6.13 Hue and saturation in the HSI color model. The dot is an arbitrary color point. The angle from the red axis gives the hue, and the length of the vector is the saturation. The intensity of all colors in any of these planes is given by the position of the plane on the vertical intensity axis.



四、HSI模型

1. 含义

- H 表示色调 (hue)
- S 表示饱和度 (saturation)
- I 表示密度 (intensity, 对应成像亮度和图像灰度)
- H和S合称色度

2. 两个基本特点

- 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





6.2 彩色模型

3. 模型表示：双棱锥结构

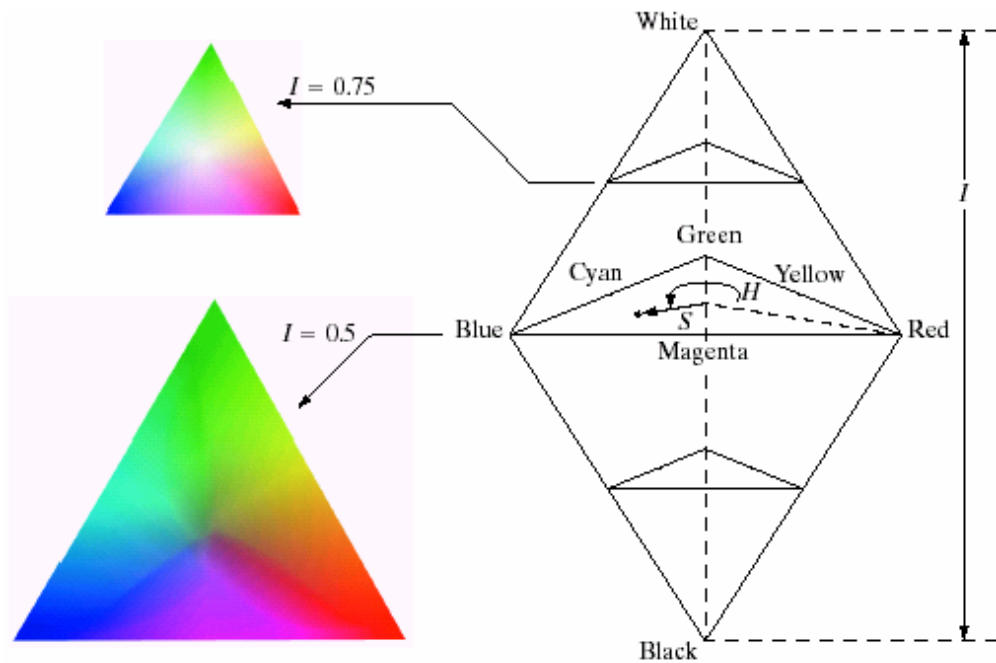
(1) 水平截面为等边三角形，三个顶点分别为R, G, B

(2) H: 点 s 的H为三角形

中心点到 s 的矢量与R轴的夹角

(3) S: 点 s 的S为三角形
形中心点到 s 的矢量长度

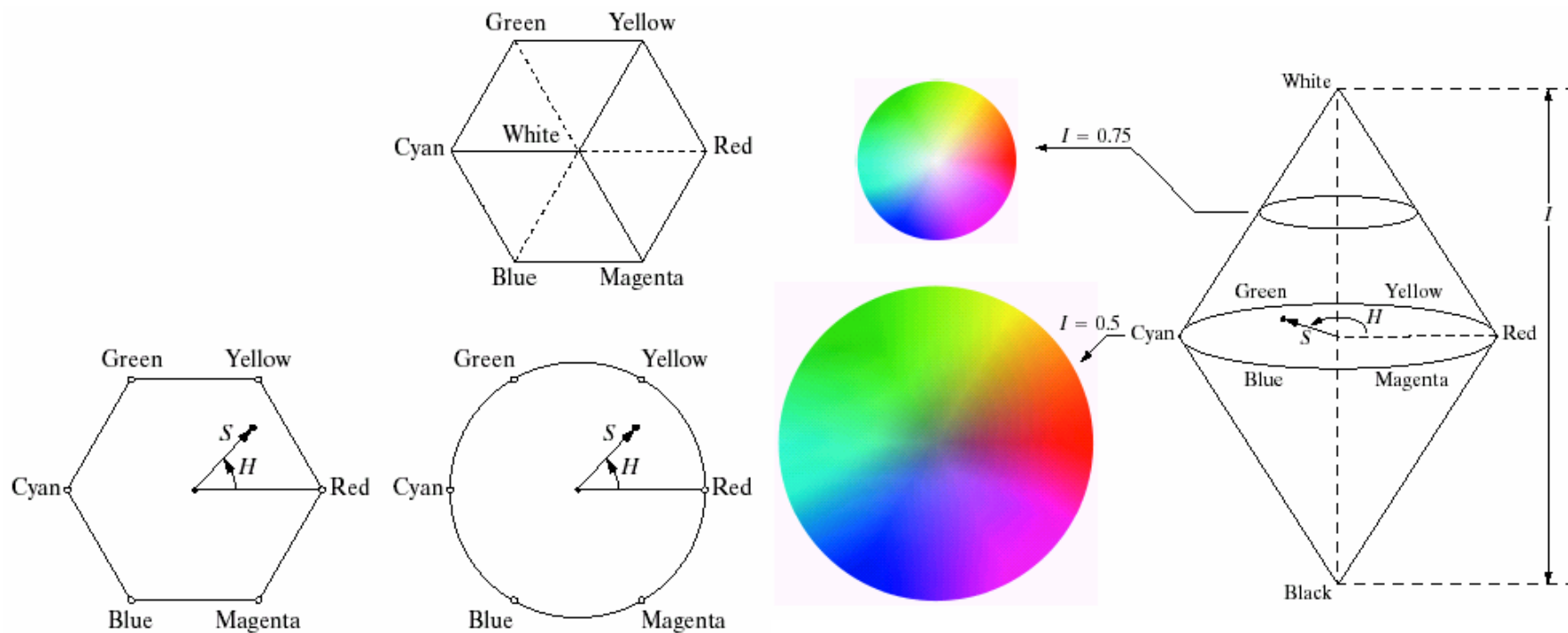
(4) I: 离开中间截面向上变白；向下变黑





6.2 彩色模型

4. 模型表示：双棱台结构 — 方法类似双棱锥





6.2 彩色模型

5. 从RGB转换到HSI

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

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

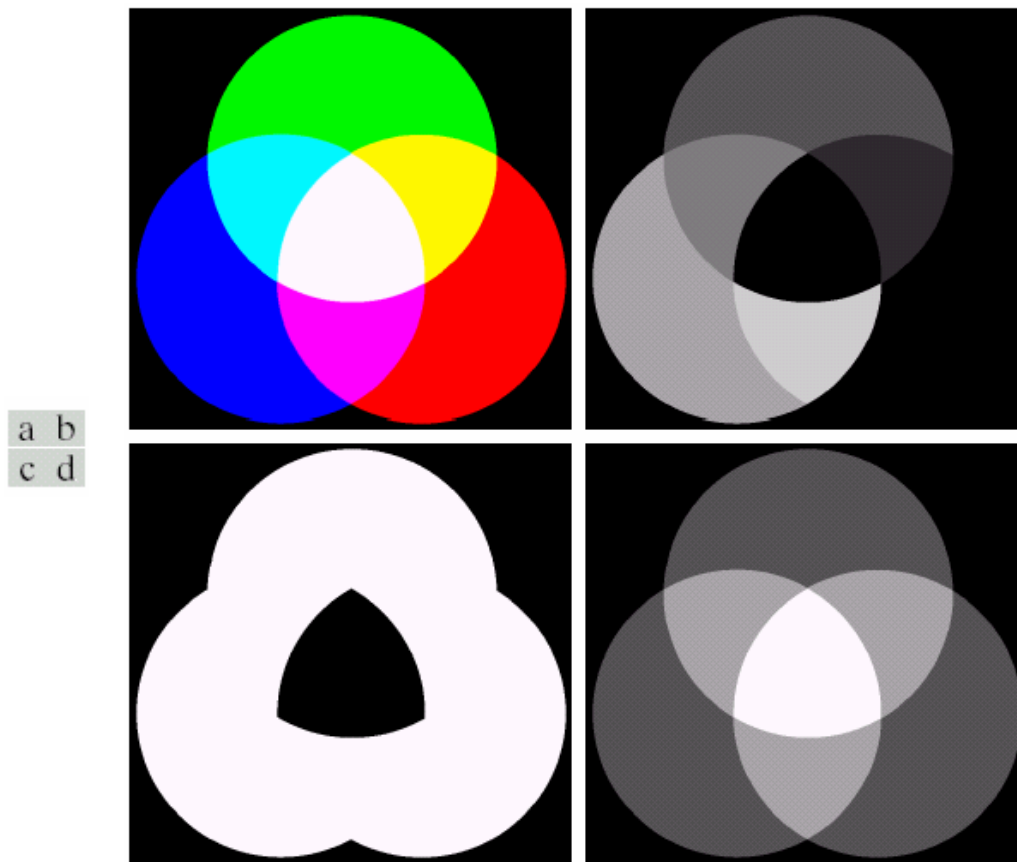
$$H = \begin{cases} \arccos \left\{ \frac{[(R - G) + (R - B)] / 2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} & R \neq G \text{ 或 } R \neq B \\ 2\pi - \arccos \left\{ \frac{[(R - G) + (R - B)] / 2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\} & B > G \end{cases}$$



6.2 彩色模型

例：彩色图像的H, S, I分量的显示

- (a)RGB图像
- (b)Hue分量
- (c)Saturation
- (d)Intensity





6.2 彩色模型

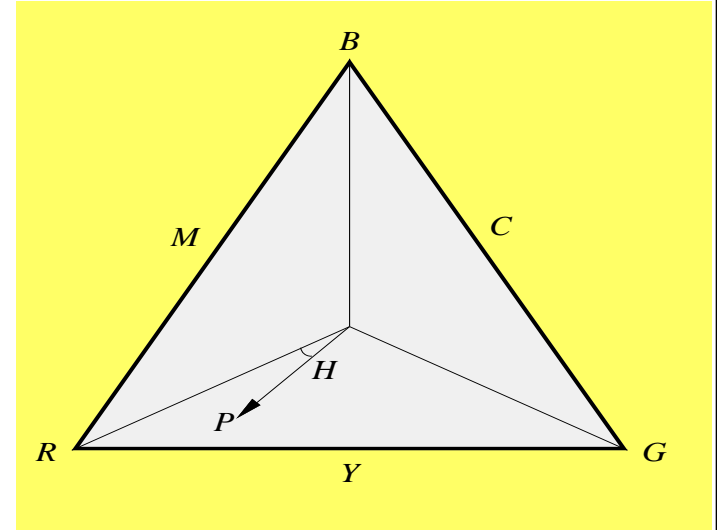
6. 从HSI转换到RGB

(1) 当H在 $[0, 120]$ 之间

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

$$G = 3I - (B + R)$$

$$B = I(1 - S)$$





6.2 彩色模型

(2) 当H在[120, 240]之间

$$R = I(1 - S)$$

$$B = 3I - (R + G)$$

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

(3) 当H在[240, 360]之间

$$R = 3I - (G + B)$$

$$G = I(1 - S)$$

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



6.2 彩色模型

例：RGB彩色立方体的HIS分布

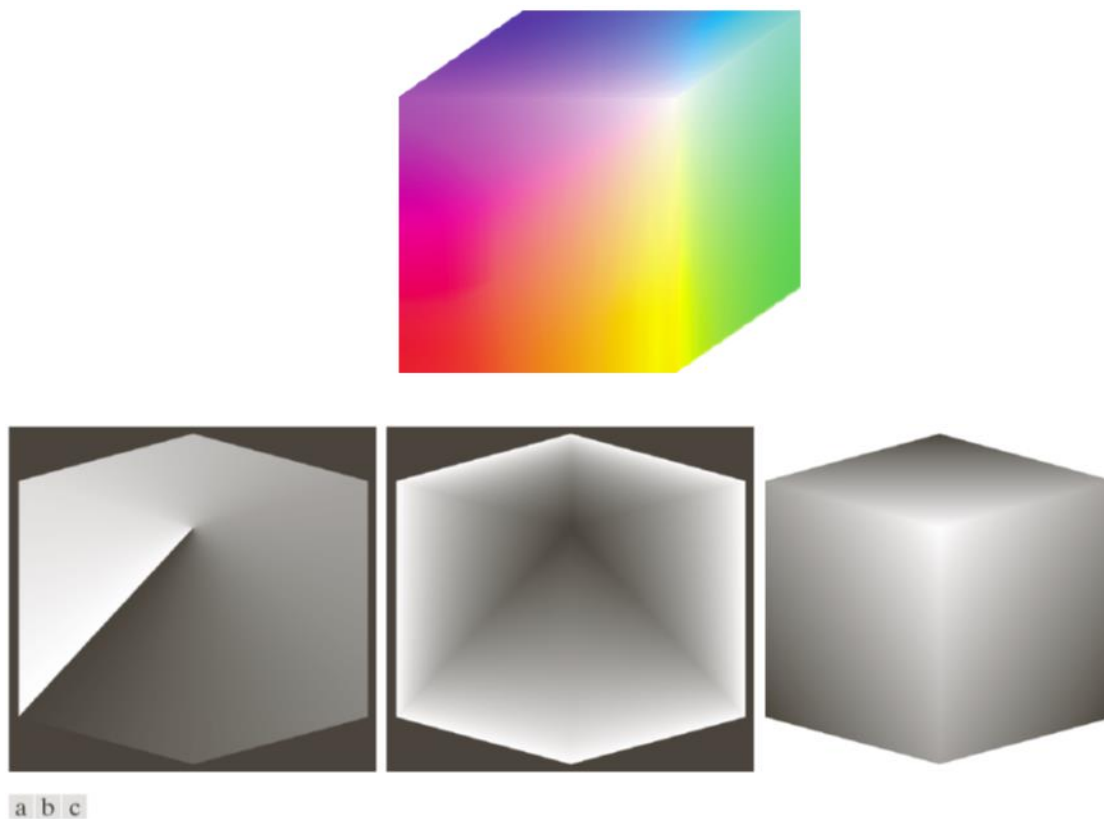
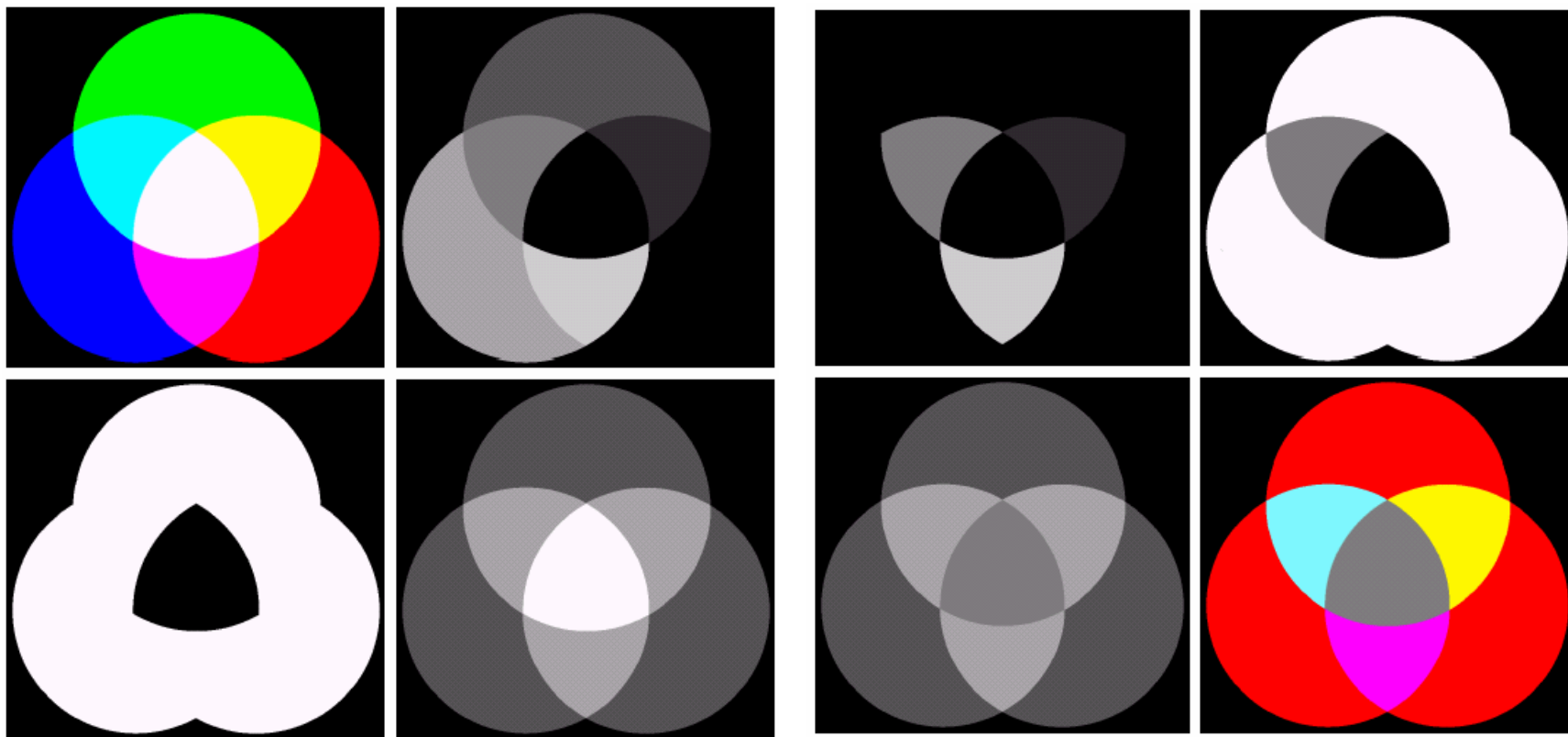


FIGURE 6.15 HSI components of the image in Fig. 6.8. (a) Hue, (b) saturation, and (c) intensity images.



6.2 彩色模型

例：修改例6.2中H, S, I分量后的彩色图像



图像
饱和度

色调
亮度 (密度)

改变色调
改变亮度

改变饱和度
改变了的图像



6.2 彩色模型

实例: RGB与HIS的分量显示



Full color



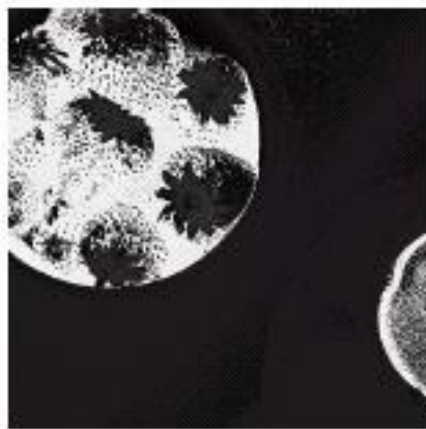
Red



Green



Blue



Hue



Saturation



Intensity



6.2 彩色模型

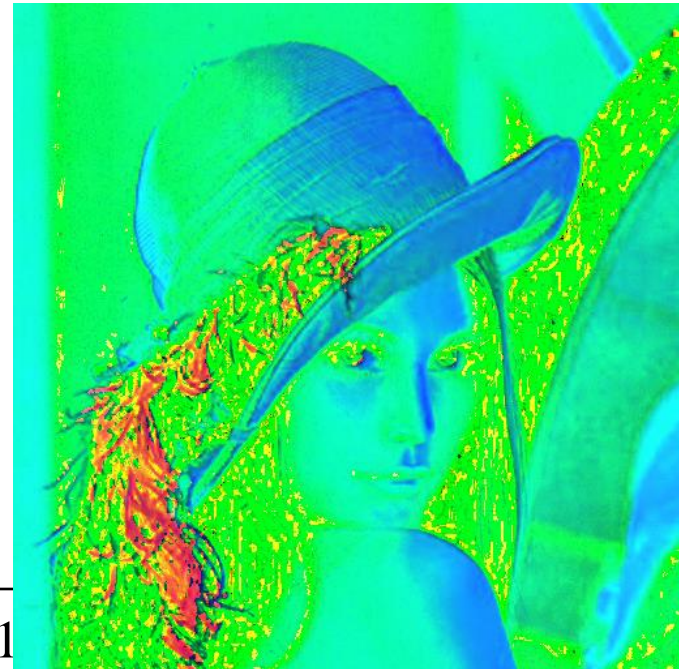
操作函数

Rgb-hsv

1.rgb2hsv

`hsv_image = rgb2hsv(rgb_image)`

2.hsv2rgb





第6章 彩色图像处理

- 6.1 彩色基础
- 6.2 彩色模型
- 6.3 伪彩色处理**
- 6.4 真彩色处理





6.3 伪彩色处理

一、彩色

人眼对彩色色比对灰度有较大的分辨能力

对灰度：几十

对彩色：几千

二、伪彩色(pseudocolor)处理

1. 对原来灰度图像中不同灰度值的区域赋予不同的颜色

2. 典型方法

(1) 亮度切割

(2) 利用变换函数

(3) 频域滤波



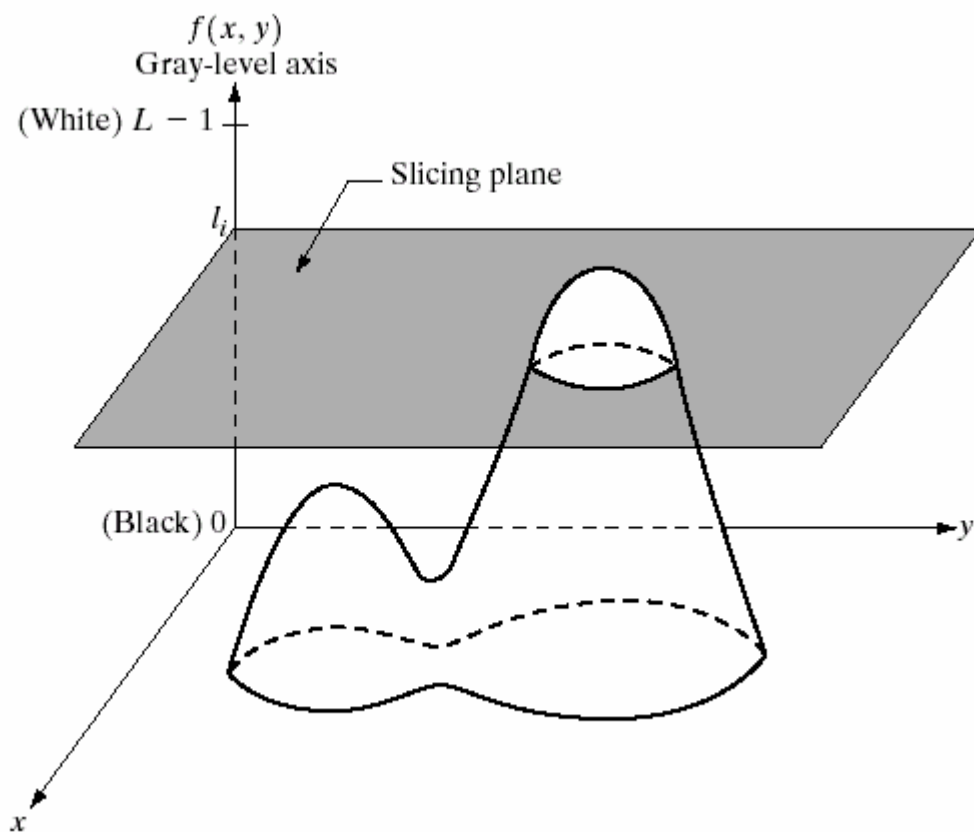
6.3 伪彩色处理

(1) 亮度切割

将图像看作2-D亮度函数

用1个平行于图像

坐标平面的平面去切割图
像亮度函数，从而把亮
度函数分成2个灰度值
区间

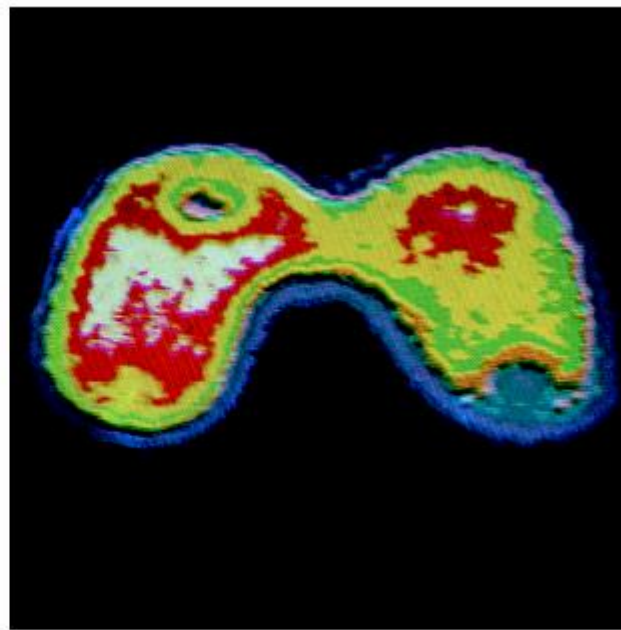
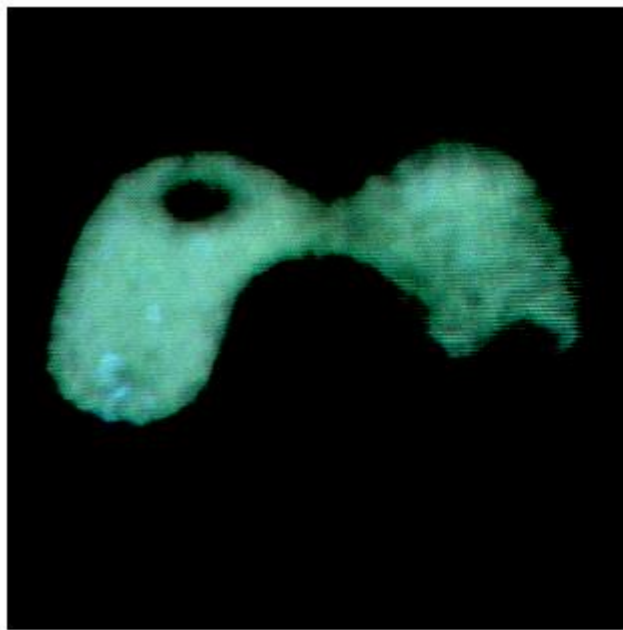




6.3 伪彩色处理

例：亮度切割

- 甲状腺的单色图像
- 图像被分成8个彩色区域

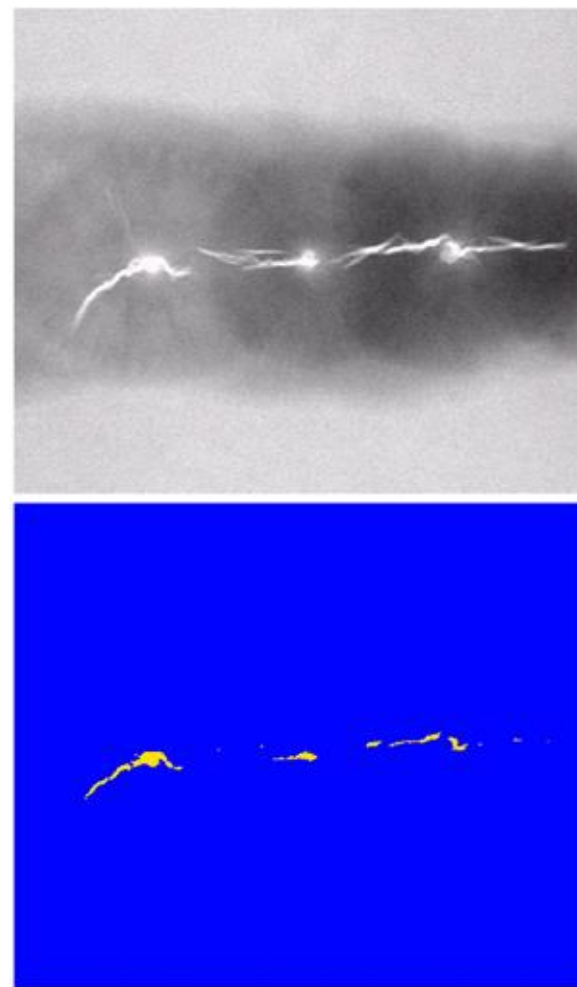




6.3 伪彩色处理

例：亮度切割

- 工业焊接-焊缝X射线图像
- 彩色区域，蓝色背景，黄色焊缝



a
b

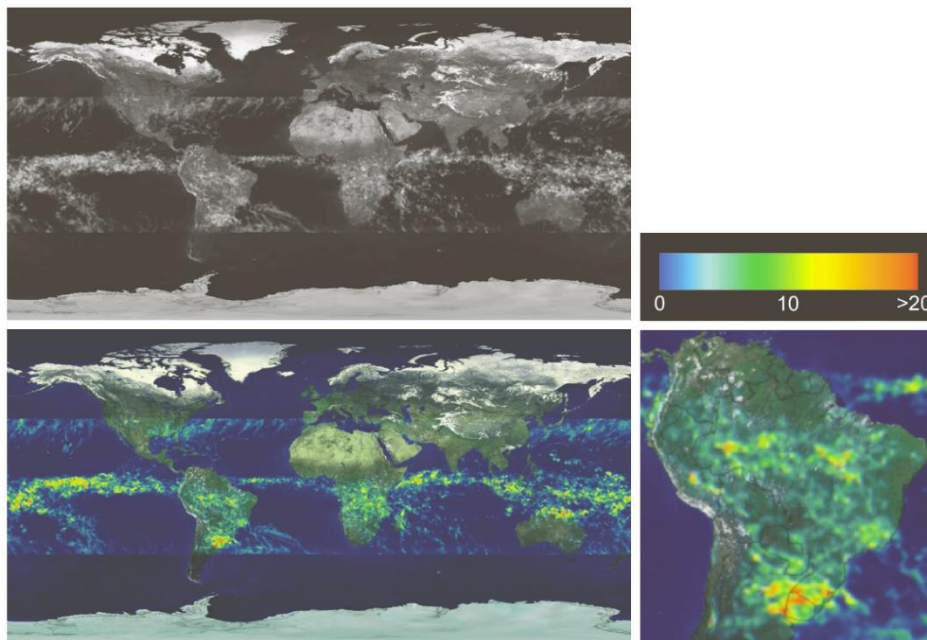
FIGURE 6.21
(a) Monochrome X-ray image of a weld. (b) Result of color coding. (Original image courtesy of X-TEK Systems, Ltd.)



6.3 伪彩色处理

例：亮度切割

- 赤道地区月降水量图像
- 建立降水量与彩色映射，得到彩色图像



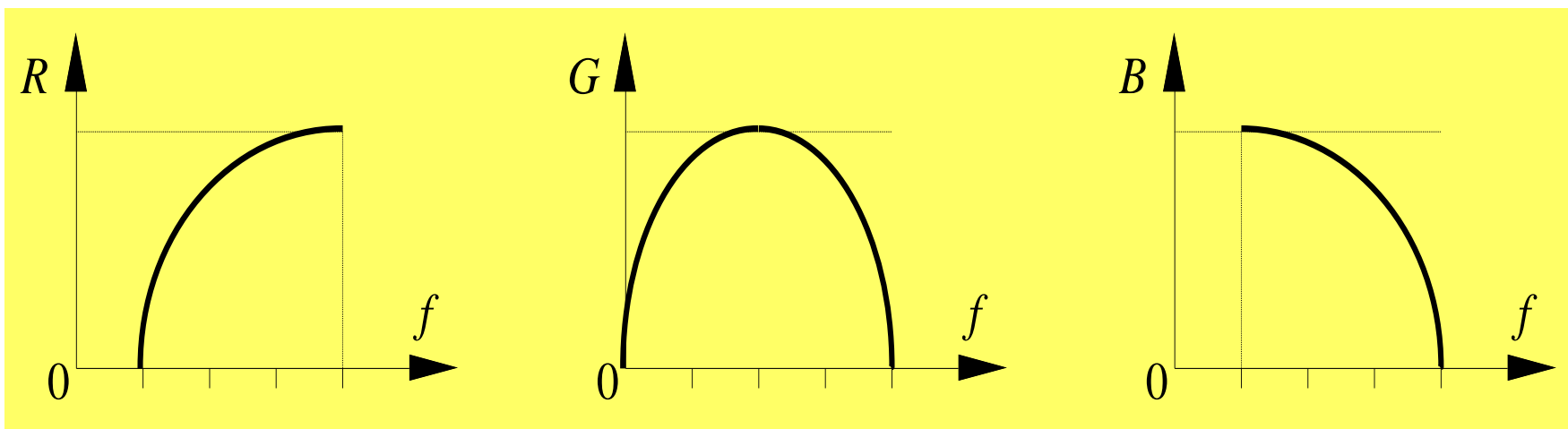
a b
c d

FIGURE 6.22 (a) Gray-scale image in which intensity (in the lighter horizontal band shown) corresponds to average monthly rainfall. (b) Colors assigned to intensity values. (c) Color-coded image. (d) Zoom of the South American region. (Courtesy of NASA.)



6.3 伪彩色处理

(2) 从灰度到彩色的变换 (映射)
利用 (点—点) 幅度变换函数
对灰度值用3个独立变换来处理
不同范围的灰度值由不同颜色增强

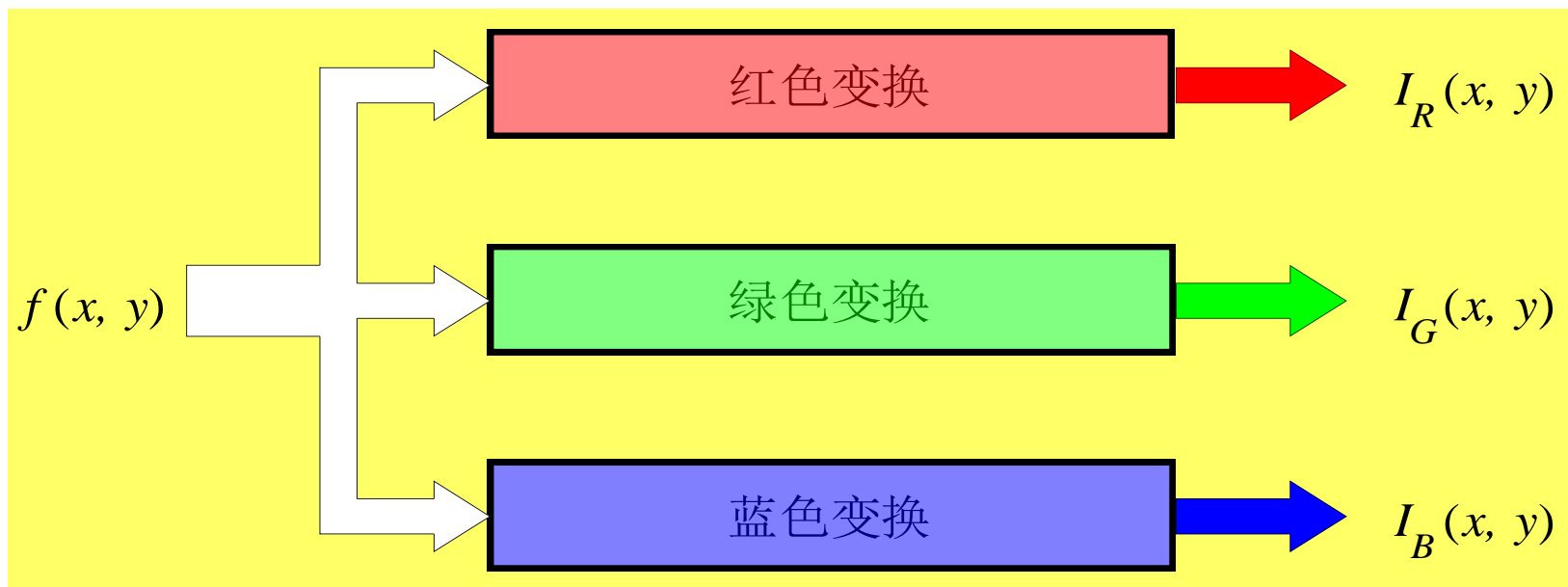




6.3 伪彩色处理

(2) 从灰度到彩色的变换 (续)

将3个变换的结果分别输入3个电子枪



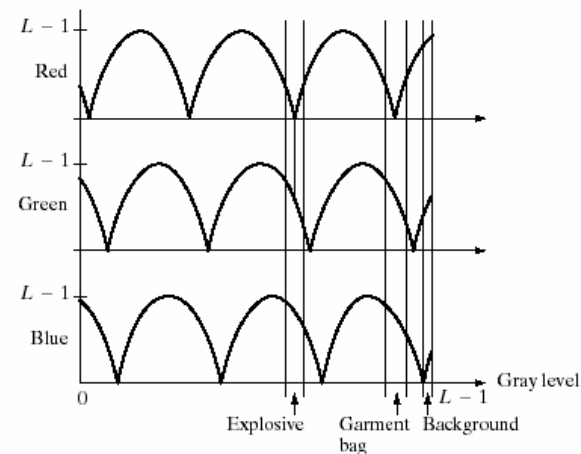
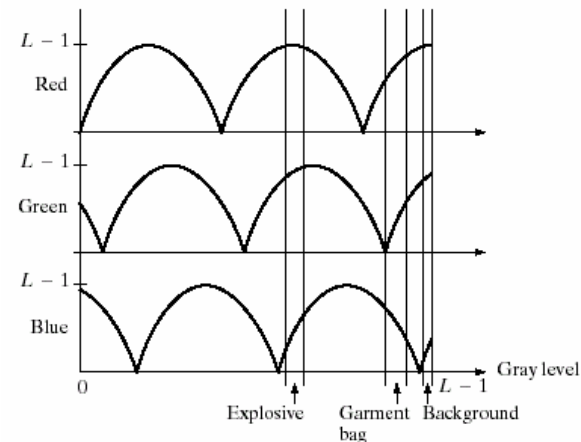
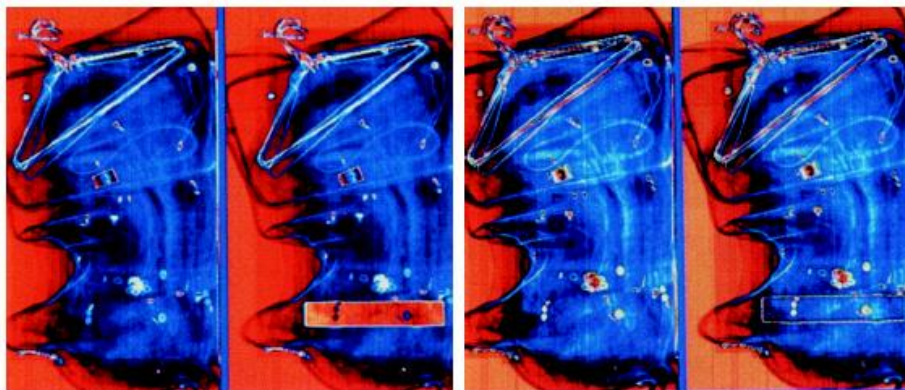
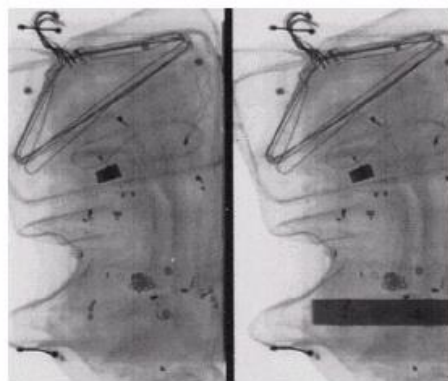
该方法可看作亮度切割的推广 (任意函数)



6.3 伪彩色处理

例：突出行礼箱内爆炸物的伪彩色处理-单幅图像伪彩色处理

- (a) X光扫描的单色图
- (b) 由正弦函数变换而来
- (c) 效果





6.3 伪彩色处理

例：多幅单色图像组合成一个彩色图像-多光谱处理

(a)到(d)是4幅华盛顿特区的光谱卫星图像，包括波托马克河一部分。前三幅是可见光红绿蓝图像，第四幅是近红外图像

(e)是把前三幅图像作为RGB分量合成密集区域全彩色图像难于判读。

(f)是用近红外图像代替红色。近红外是对生物团和海岸线有强反应。

(f)中显示了生物（红色）和场景中人造特征的明显区别。混凝土和柏油组成的路显示为蓝色。

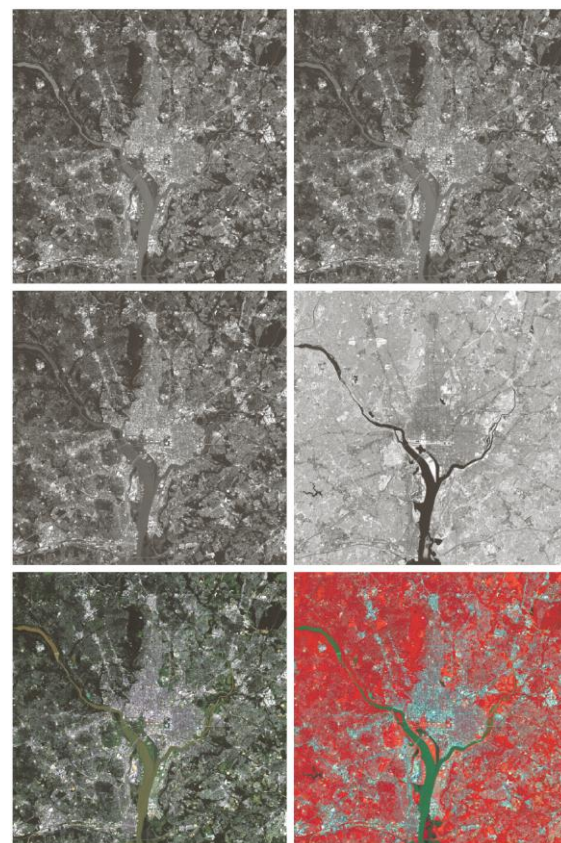


FIGURE 6.27 (a)–(d) Images in bands 1–4 in Fig. 1.10 (see Table 1.1). (e) Color composite image obtained by treating (a), (b), and (c) as the red, green, blue components of an RGB image. (f) Image obtained in the same manner, but using in the red channel the near-infrared image in (d). (Original multispectral images courtesy of NASA.)

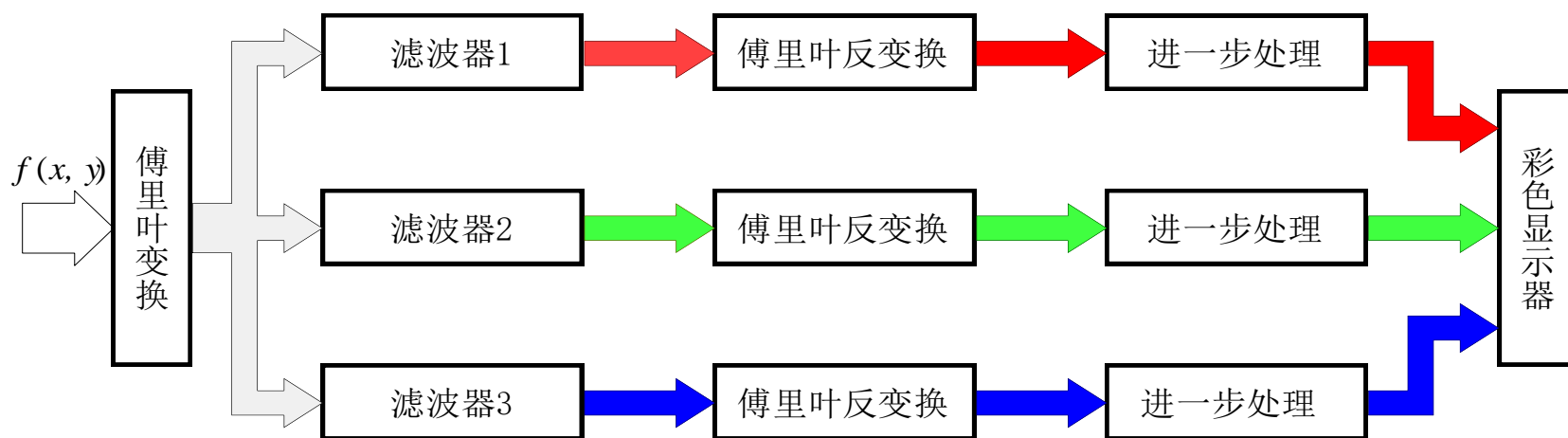
a	b
c	d
e	f



6.3 伪彩色处理

(3) 频域滤波

对原来灰度图像中的不同频率分量（可分别借助低通，带通/带阻，高通滤波器获得）赋予不同的颜色





第6章 彩色图像处理

- 6.1 彩色基础
- 6.2 彩色模型
- 6.3 伪彩色处理
- 6.4 真彩色处理**





6.4 真彩色处理

一、两类方法

- 1 将一幅彩色图像看作三幅分量图像的组合体，先分别单独处理每一幅分量图像，再将结果合成一幅处理过的合成彩色图像；
- 2 将一幅彩色图像中的每个像素看作具有三个属性值，即属性现在为一个矢量，利用对矢量的表达方法进行处理
令 c 代表RGB中任意向量：

$$c = \begin{bmatrix} c_R \\ c_G \\ c_B \end{bmatrix}$$

则彩色图像为：

$$c(x, y) = \begin{bmatrix} c_R(x, y) \\ c_G(x, y) \\ c_B(x, y) \end{bmatrix}$$



6.4 真彩色处理

二、彩色变换

$$g(x, y) = T(f(x, y))$$

其中, $f(x, y)$ 是彩色输入图像, $g(x, y)$ 是变换后的彩色图像,
 T 是在 (x, y) 的空间邻域上对 f 的一个算子

分量形式: $s_i = T_i(r_1, r_2, \dots, r_n), i = 1, 2, \dots, n$

r_i 和 s_i 是 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 在任何点处彩色分量变量, n 是彩色分量数;

T_i 是对 r_i 处理产生 s_i 的映射函数;

$n = 3$ 时候, 是RGB空间, $n = 4$ 时候, 是CMYK空间,





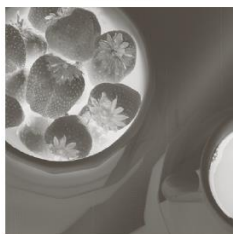
6.4 真彩色处理

不同颜色空间对比



Full color

FIGURE 6.30 A full-color image and its various color-space components. Interactive.)



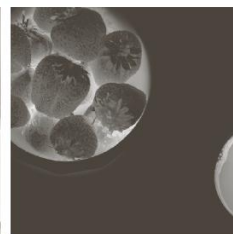
Cyan



Magenta



Yellow



Black



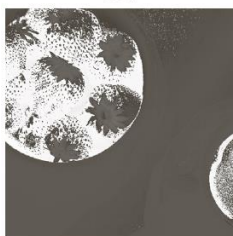
Red



Green



Blue



Hue



Saturation



Intensity



6.4 真彩色处理

三、彩色强度增强变换

1. 变换增强

对于彩色图像增强其强度值，即intensity
要判段颜色模型，然后处理

2. HSI模型，I单分量进行增强的步骤

(1) 将 R, G, B 分量图转化为 H, S, I 分量图

(2) 利用对灰度图增强的方法增强其中的 I 分量

$$s_3 = kr_3$$

(3) 再将结果转换为 R, G, B 分量图

3. RGB模型，强度增强

三个分量都变换

$$s_i = kr_i, \quad i = 1, 2, 3$$



6.4 真彩色处理

a b
c d e

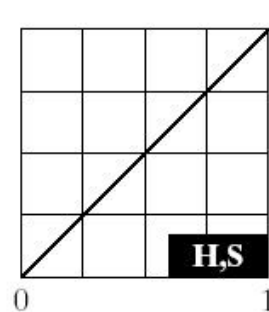
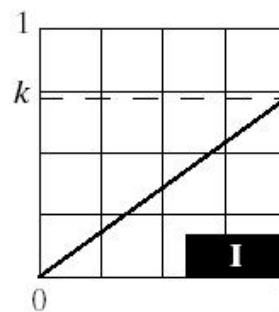
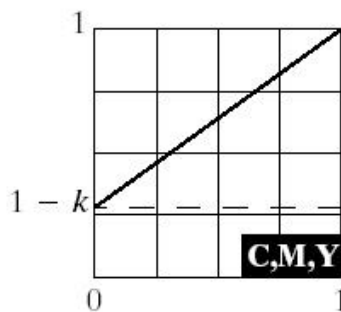
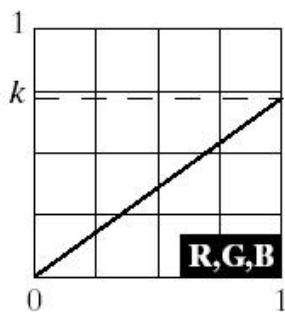
FIGURE 6.31

Adjusting the intensity of an image using color transformations.

(a) Original image. (b) Result of decreasing its intensity by 30% (i.e., letting $k = 0.7$).

(c)–(e) The required RGB, CMY, and HSI transformation functions.

(Original image courtesy of MedData Interactive.)

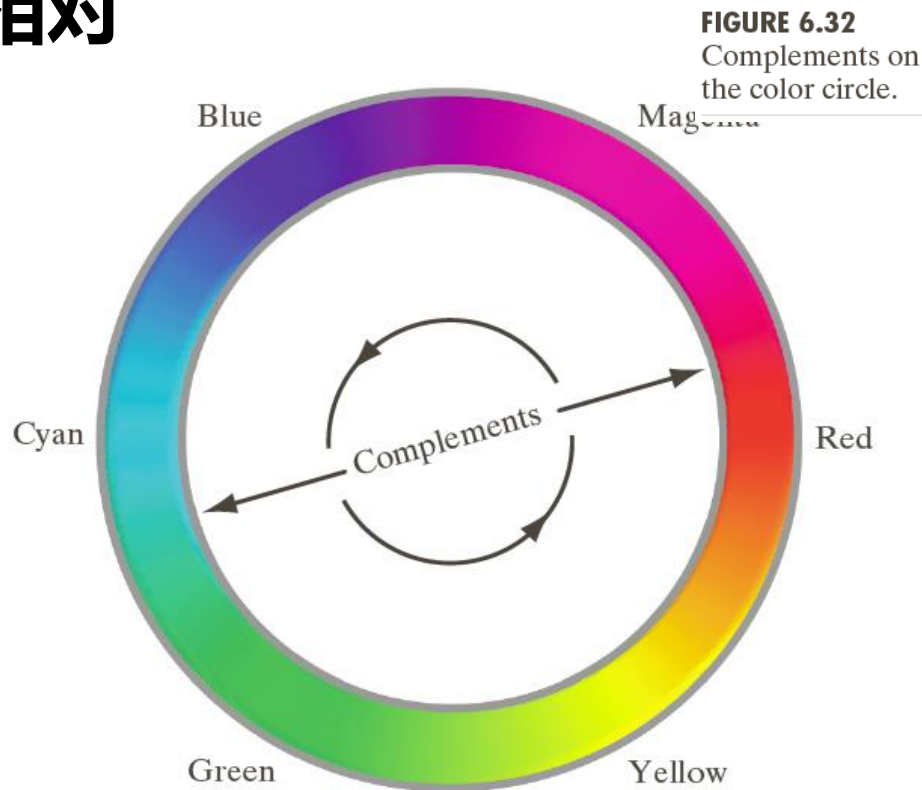




6.4 真彩色处理

四、补色

在色环上，与色调直接相对的另一端称为补色

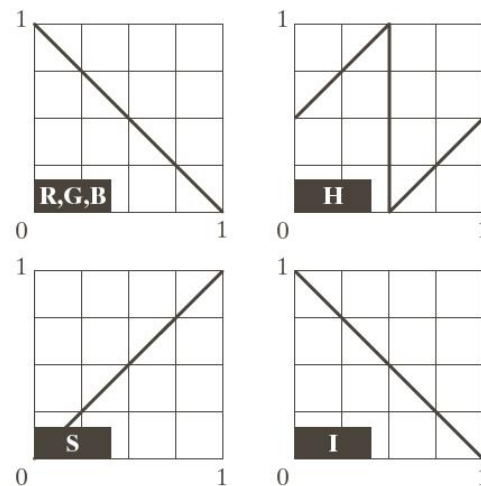
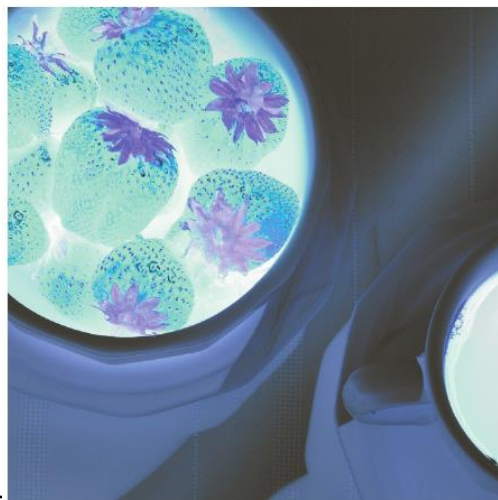




6.4 真彩色处理

四、补色：计算彩色图像补色图

- 1.在RGB空间，直接求补；
- 2.在HSI空间，没有直接方法，只能近似。



a b
c d

FIGURE 6.33

Color complement transformations. (a) Original image. (b) Complement transformation functions. (c) Complement of (a) based on the RGB mapping functions. (d) An approximation of the RGB complement using HSI transformations.



6.4 真彩色处理

六、直方图处理

1.问题:

直方图均衡化处理彩色图像-多分量问题

2.思路:

- 1) 单独对RGB彩色图像分量进行直方图均衡
 - 产生不正确颜色
- 2) 均匀地展开这种彩色灰度, 保持彩色本色 (色调) 不变
 - 在HSI中, 均衡化彩色分量I, 彩色本身 (色调) 不变





6.4 真彩色处理

六、直方图处理

3.实例：调味瓶和摇杯

1) 说明：强度分量值域 $[0,1]$

(b)原直方图：包含大量暗彩色，中值在0.36

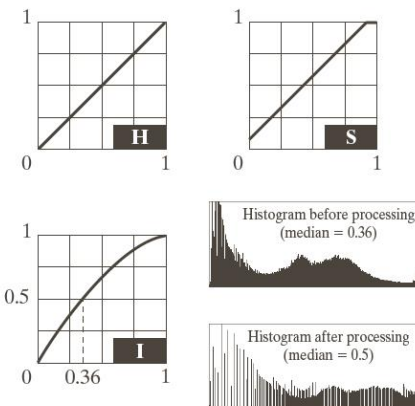
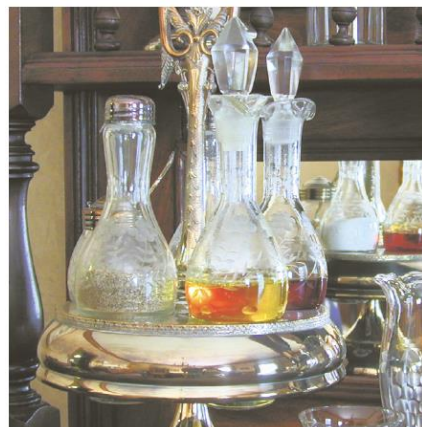
2) 方法：不改变色调饱和度，只均衡化强度分量

3) 效果：

(b)新直方图：分布均匀，中值在0.5，图像有效地加亮了。

(c)不改变饱和度，亮度分量直方图均衡的效果

(d)是增加了饱和度分量部分校正结果。



a b
c d

FIGURE 6.37
Histogram equalization (followed by saturation adjustment) in the HSI color space.



6.4 真彩色处理

七、彩色平滑 测试图像&RGB通道



a b
c d

FIGURE 6.38

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



6.4 真彩色处理

七、彩色平滑 测试图像的HSI通道



a b c

FIGURE 6.39 HSI components of the RGB color image in Fig. 6.38(a). (a) Hue. (b) Saturation. (c) Intensity.



七、彩色平滑

将灰度图像邻域平均扩展到彩色图像，使用向量平滑算子

对HIS模型中的I通道进行平滑，H和S通道不处理，颜色没有变化。

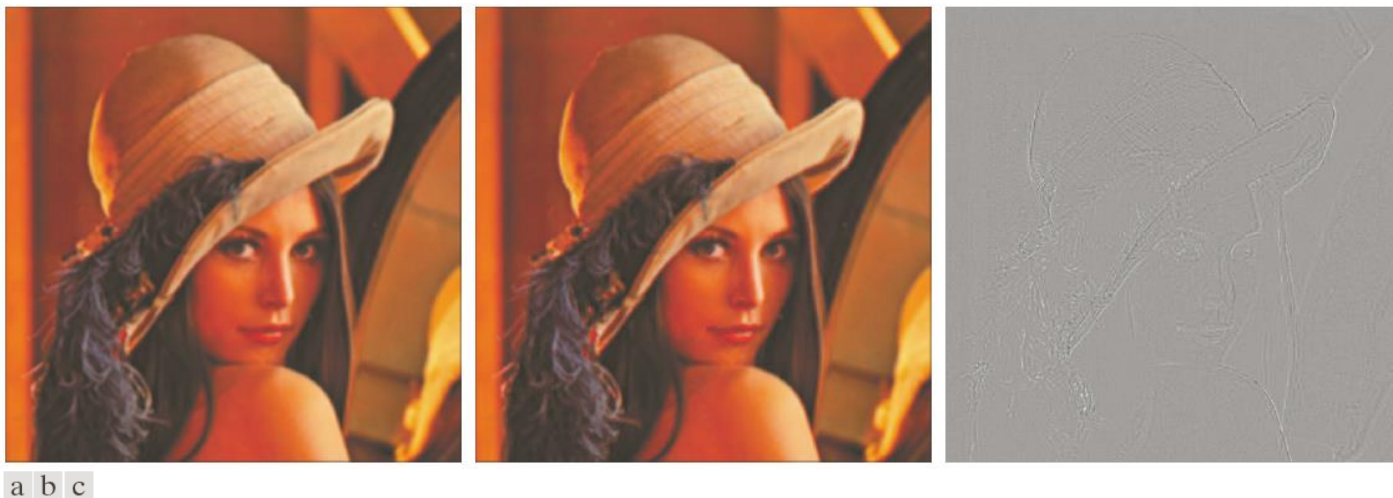


FIGURE 6.40 Image smoothing with a 5×5 averaging mask. (a) Result of processing each RGB component image. (b) Result of processing the intensity component of the HSI image and converting to RGB. (c) Difference between the two results.



八、彩色锐化

Laplacian operator

$$\nabla^2 [c(x, y)] = \begin{bmatrix} \nabla^2 R(x, y) \\ \nabla^2 G(x, y) \\ \nabla^2 B(x, y) \end{bmatrix}$$



FIGURE 6.41 Image sharpening with the Laplacian. (a) Result of processing each RGB channel. (b) Result of processing the HSI intensity component and converting to RGB. (c) Difference between the two results.



6.4 真彩色处理

十一、彩色空间边缘检测

在3分量通道中，计算每个分量的图像梯度，将结果相加形成RGB梯度值，可能导致错误；但是仅用来检测边缘，可以使用



a b c d
e f g h

FIGURE 6.45 (a)–(c) *R*, *G*, and *B* component images and (d) resulting RGB color image. (e)–(g) *R*, *G*, and *B* component images and (h) resulting RGB color image.



6.4 真彩色处理

十二、彩色图像中的噪声



FIGURE 6.49 HSI components of the noisy color image in Fig. 6.48(d). (a) Hue. (b) Saturation. (c) Intensity.



第6章 彩
FIGURE 6.39 HSI components of the RGB color image in Fig. 6.38(a). (a) Hue. (b) Saturation. (c) Intensity.



十二、彩色图像中的噪声



FIGURE 6.50 (a) RGB image with green plane corrupted by salt-and-pepper noise. (b) Hue component of HSI image. (c) Saturation component. (d) Intensity component.



6.4 真彩色处理

十三. 饱和度增强

- 方法：转到HIS颜色空间，对S通道进行增强
- 效果：
 - 增大像素饱和度会使图像色彩更鲜明
 - 减小像素饱和度会使图像色彩感减少，显得平淡



(a)



(b)



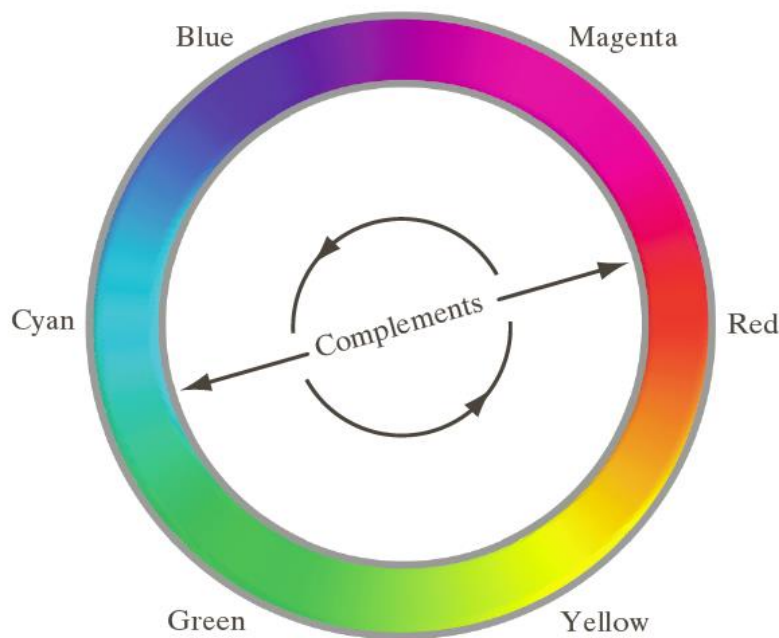
(c)



6.4 真彩色处理

十四. 色调增强

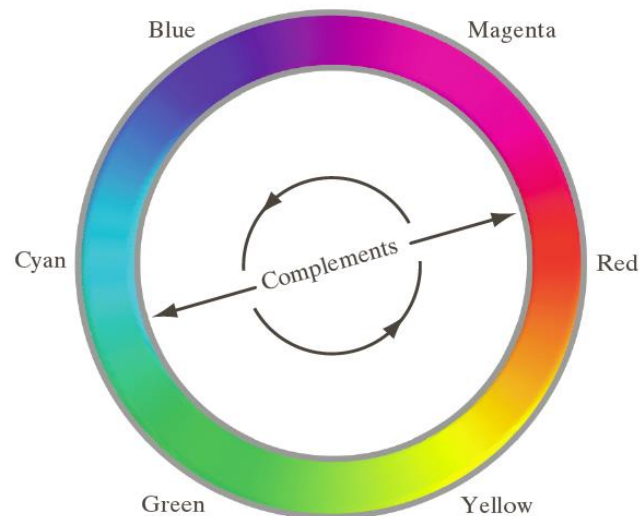
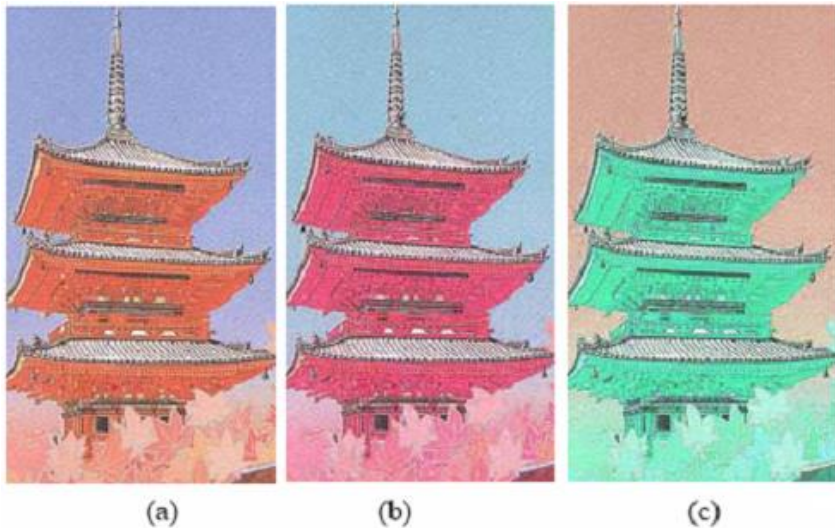
- 方法：转换到HIS颜色空间，然后对H进行增强
- 效果：因为色调对应一个角度
- 微增一个常数，会使颜色在色谱上移动。
- 常数较小时，会使色调变“暖”或变“冷”
- 常数较大时，会使彩色图像发生剧烈变换





6.4 真彩色处理

十四. 色调增强



(a)原始图像

(b)色度分量减去一个较小值

(c)色度分量增加一个较大值



三基色的表示

颜色模型

- RGB
- HIS

伪彩色处理

- 灰度转换为三基色表示的彩色

真彩色处理

- 主要是对分量处理





作业

1. 为什么用红、绿、蓝三基色的组合只能得到自然界中的绝大多数颜色，而不能得到所有颜色？
2. 简述亮度与白色和黑色的关系。
3. 简述饱和度和白光的关系。



