



武汉大学
Wuhan University

第六章 彩色图像处理

涂卫平

武汉大学计算机学院

2018年秋季学期



主要内容

Main Content

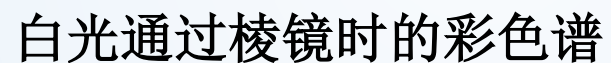
彩色基础

彩色模型

伪彩色图像处理

全彩色图像处理

彩色变换





彩色基础

- 灰度仅提供度量亮度的标量，其范围从黑到灰，最后到白
- 彩色可见光：400~700nm
- 描述彩色光源通常用3个量
 - 辐射量(Radiance)：从光源流出能量的总量，单位为瓦特（W）
 - 光通量(Luminance)：给出观察者从光源感受到的能量，单位为流明（lm）
 - 亮度(Brightness)：光感受的主观描述子，包含了无色的强度概念，是描述彩色感觉的关键参数



光的吸收率

445 nm

535 nm

575 nm

蓝

绿

红

400 450 500 550 600 650 700nm

蓝紫色 紫蓝色 蓝色 蓝绿色 绿色 黄绿色 黄色 橙色 红橙色 红色

CIE(国际照明委员会) 标准

三原色:

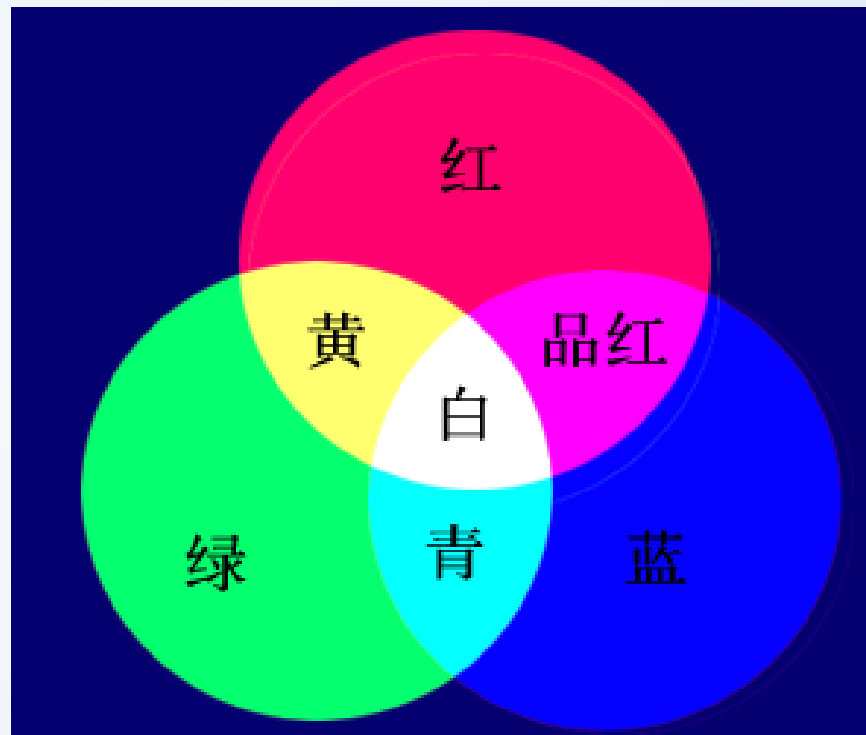
红 (R) = 700nm

绿 (G) = 546.1 nm

蓝(B) = 435.8nm



$$C = a(R) + b(G) + c(B)$$

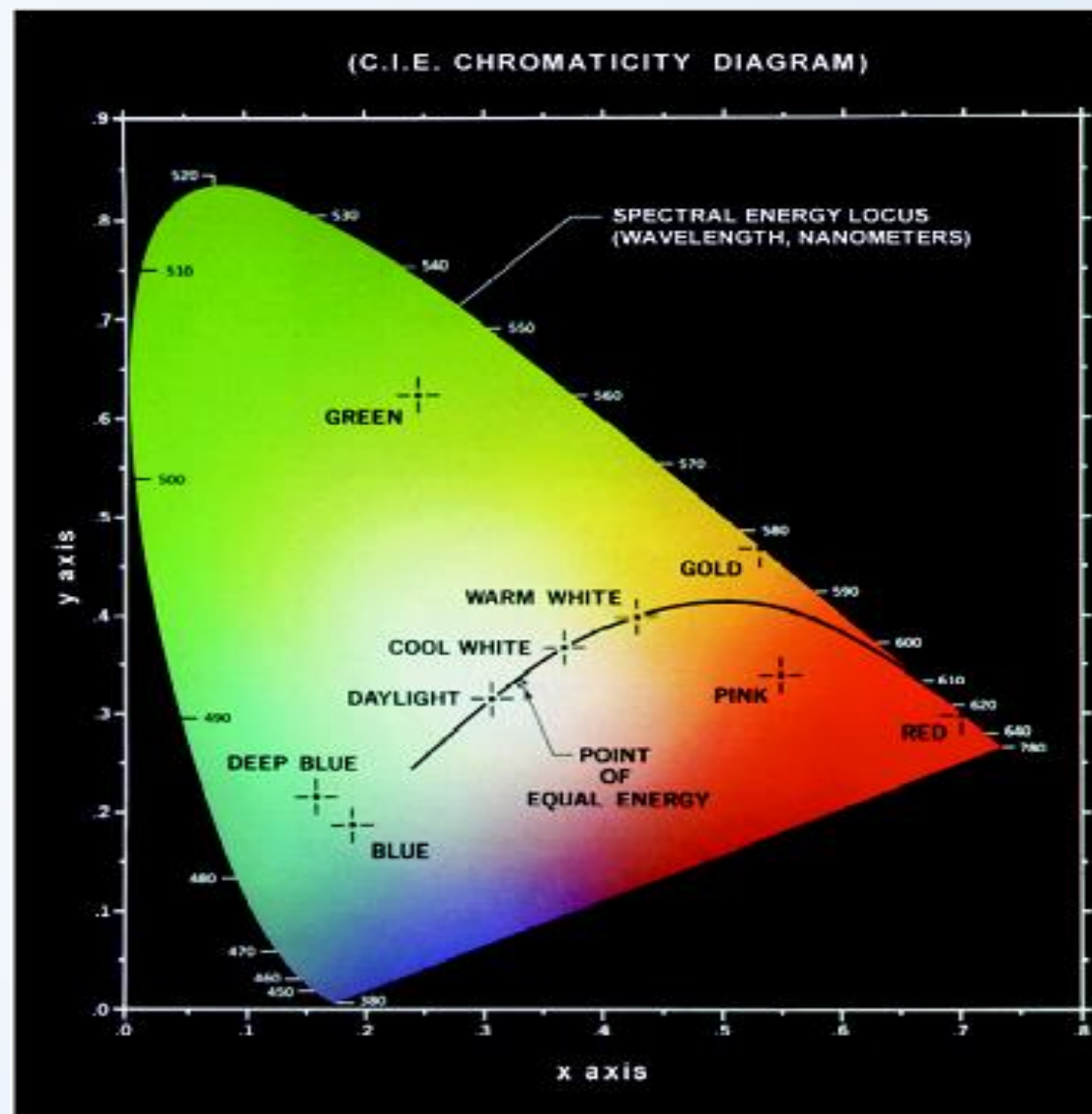




彩色基础

◆ CIE色度图

- 以x（红）和y（绿）函数表示颜色组成。
- 对于任何x（红）和y（绿）的值，相应的z（蓝）=1-(x + y)。
- 如，某颜色有大约62%的绿色和25%的红色，那么，蓝色的组成大约有13%。

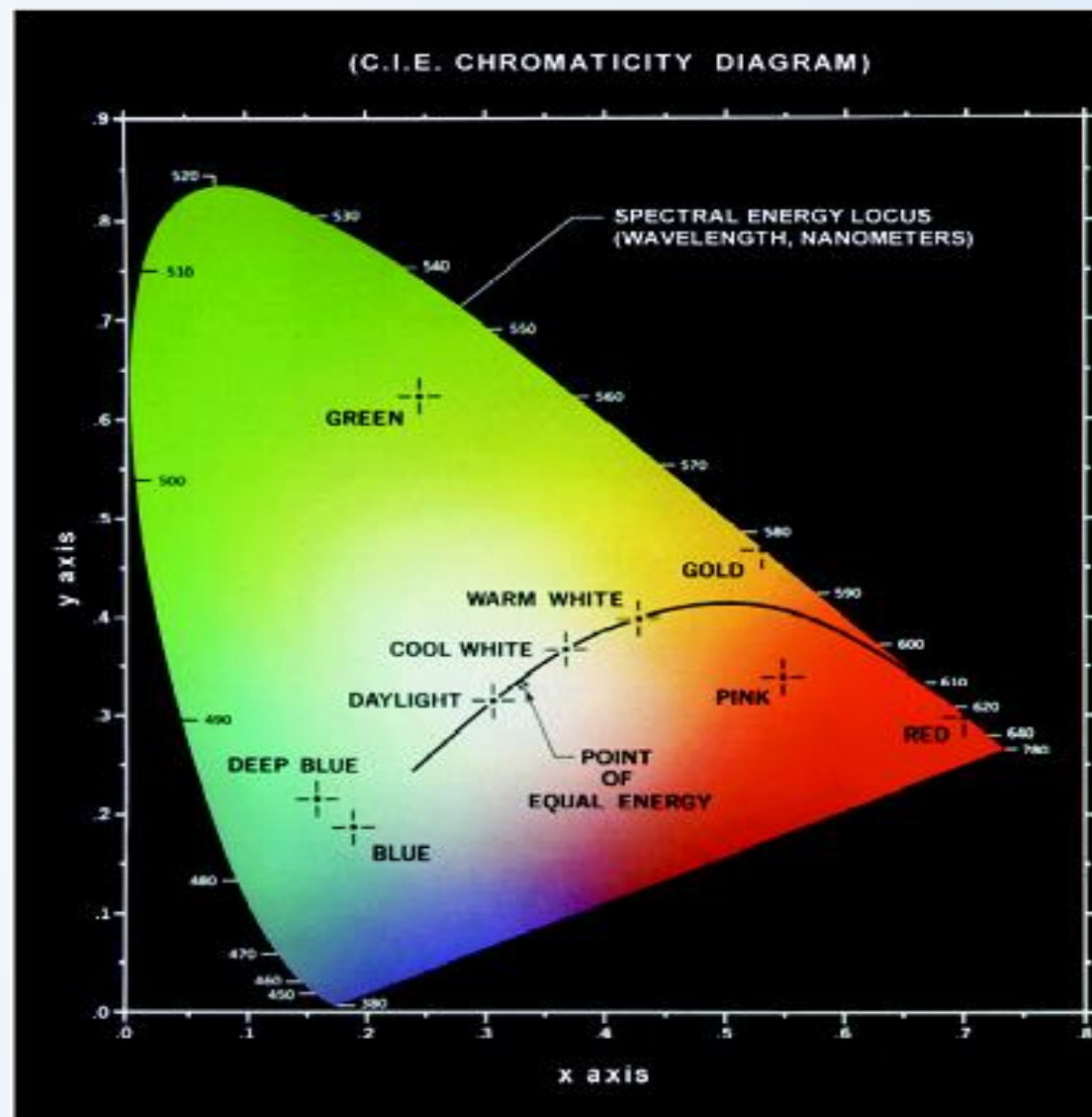




彩色基础

◆ CIE色度图

- 边界上的颜色为纯色
- 色度图边界上的任何点都是全饱和的
- 内部表示混和色
- 等能量点对应相同的三原色百分率，代表白光的CIE标准，等能量点的饱和度为0

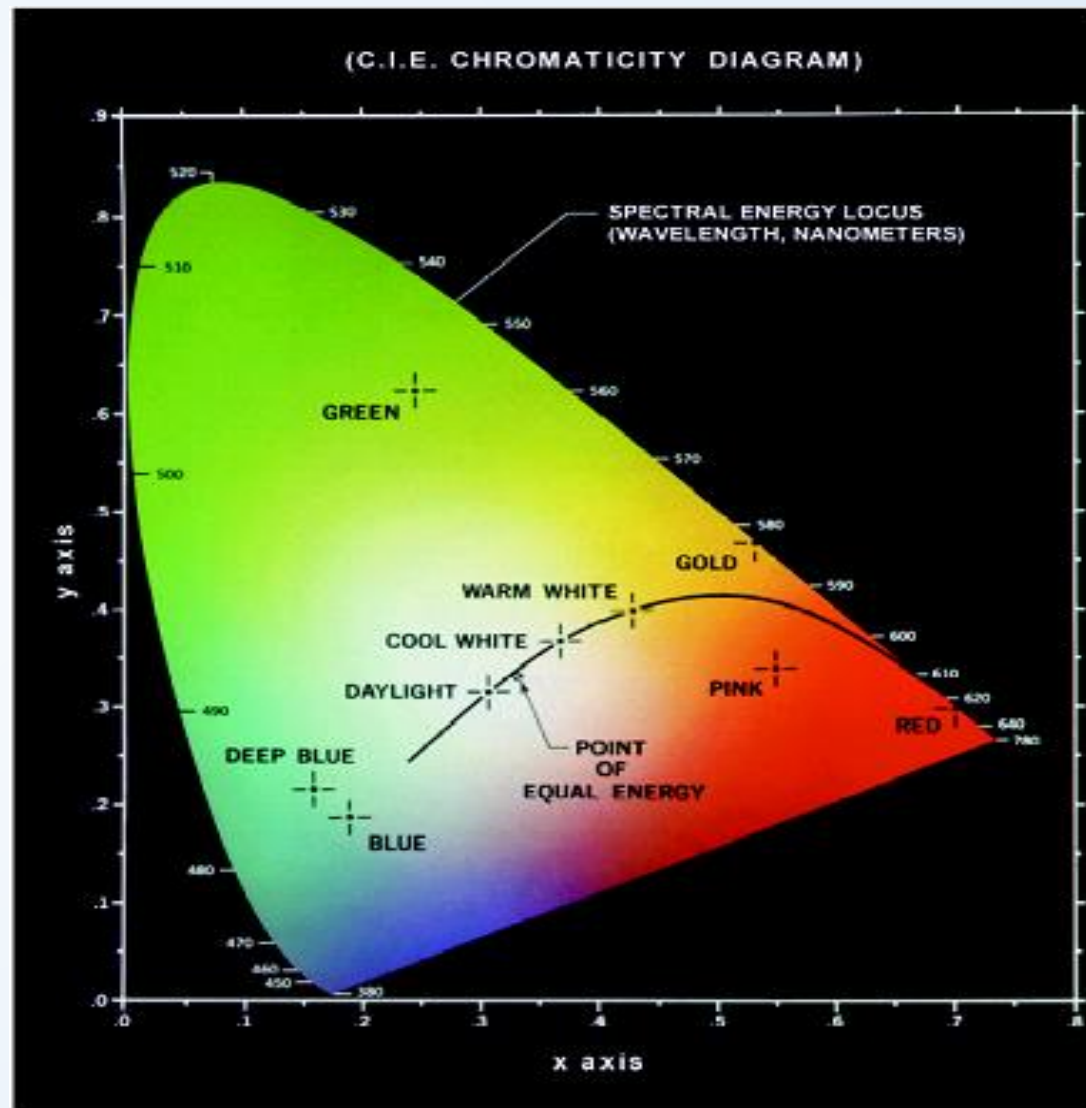




彩色基础

◆CIE色度图

- 连接任意两点的直线段，定义了的由这两类颜色相加可得到的所有不同颜色
- 从等能量点到边界上任一点的连线，可定义特定谱色的所有色调。
- 图中任何三点连成一个三角形，内部所有颜色均可用三个顶点色来混合形成
- 用三个固定的原色不能得到所有颜色





彩色基础

- 三角形是RGB监视器产生的颜色范围（彩色全域）
- 不规则区域是彩色打印机的彩色全域
- 打印机的彩色全域边界不规则，因为颜色打印比颜色显示难控制

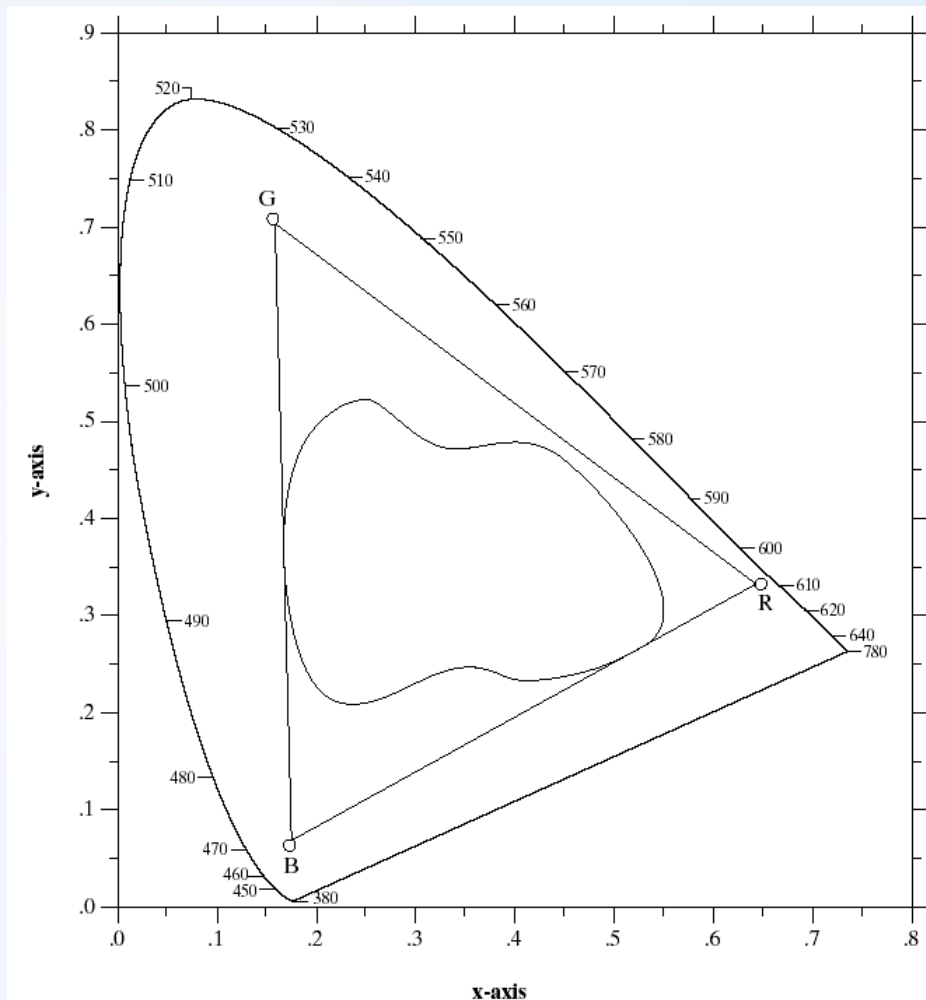


FIGURE 6.6 Typical color gamut of color monitors (triangle) and color printing devices (irregular region).

主要内容

Main Content

彩色基础

彩色模型

伪彩色图像处理

全彩色图像处理

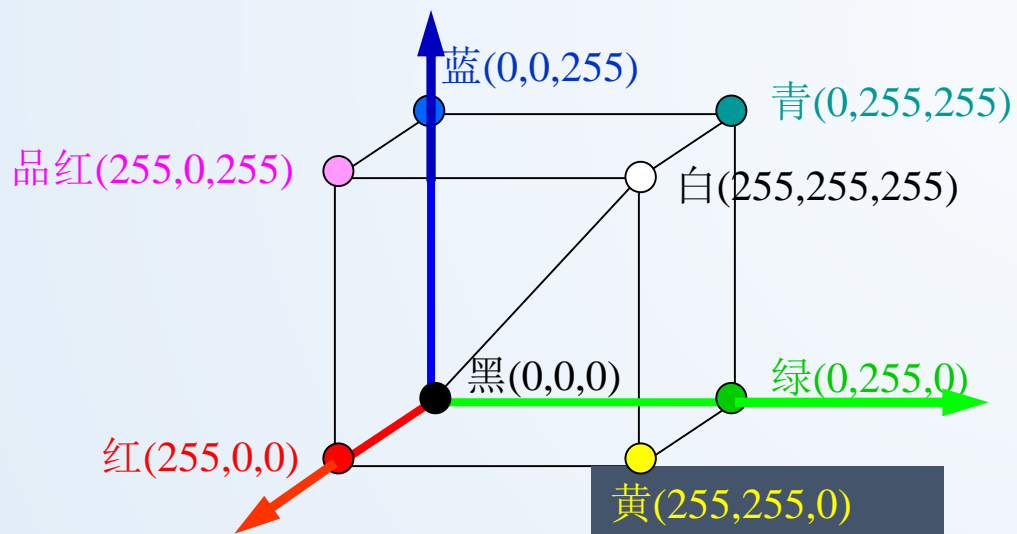
彩色变换



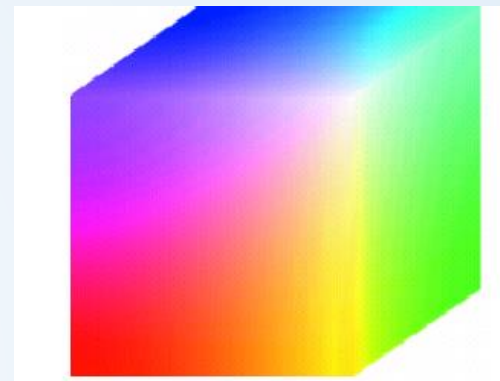
彩色模型

1. RGB彩色模型

笛卡尔坐标系中以700nm(红)、546.1nm(绿)、435.8nm(蓝)为三基色。



- 用红(R)、绿(G)、蓝(B)三种颜色表示三维坐标系的坐标轴
- 用三维空间中的一个点的坐标来表示颜色



R:200

G:50

B:120



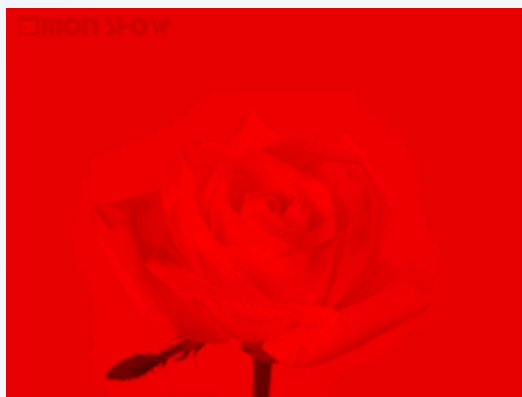


彩色模型

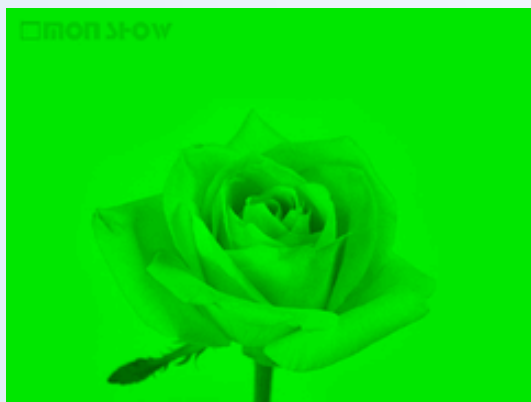
1. RGB彩色模型



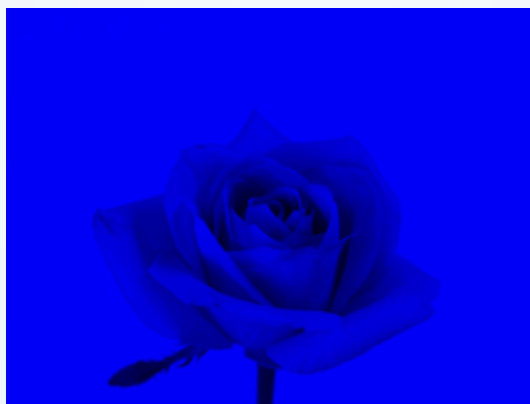
(a) 原图像



(b) R分量



(c) G分量



(d) B分量图

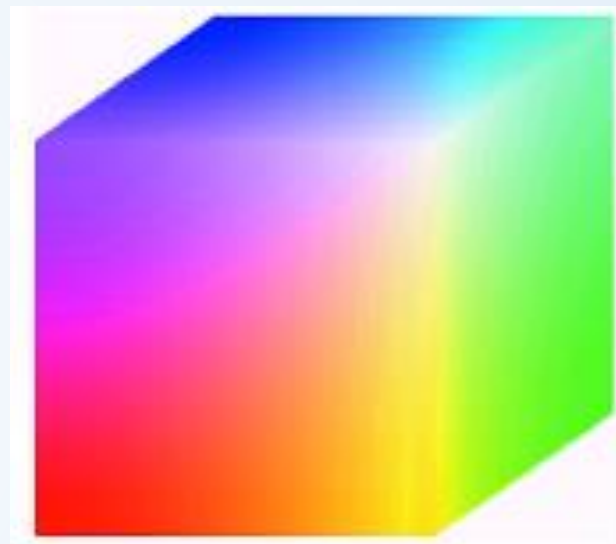
- 每个点有三个分量，分别代表该点颜色的红、绿、蓝分量
- 把每个点的三个分量拆开，得到原图像的红、绿、蓝分量图



彩色模型

1. RGB彩色模型

- 在RGB空间，每个像素所用的比特数叫做**像素深度**。
- RGB图像的每一幅红、绿、蓝图像都是一幅**8比特图像**，每个RGB彩色像素共有24比特深度。
- 24 比特 RGB 图像 的 颜色 总 数 是：
 $(2^8)^3 = 16777216$



RGB 24-bit 彩色立方体
(实心)



彩色模型

1. RGB彩色模型

- 实际所用颜色多限制在256（颜色太多, 很多都用不着）
- 216种各种系统通用颜色（稳定颜色） $(6)^3=216$
- 稳定颜色由3个RGB值组成，每个的值只能是如下表所示

Number System		Color Equivalents					
Hex	00	33	66	99	CC	FF	
Decimal	0	51	102	153	204	255	

TABLE 6.1

Valid values of each RGB component in a safe color.



彩色模型

1. RGB彩色模型

- ◆ 216种稳定的RGB色彩（以RGB的降序值组织的）

- ◆ 第一个阵列：

FFFFFF, FFFFCC, FFFF99, ...

FFCCFF, FFCCCC, FFCC99, ...

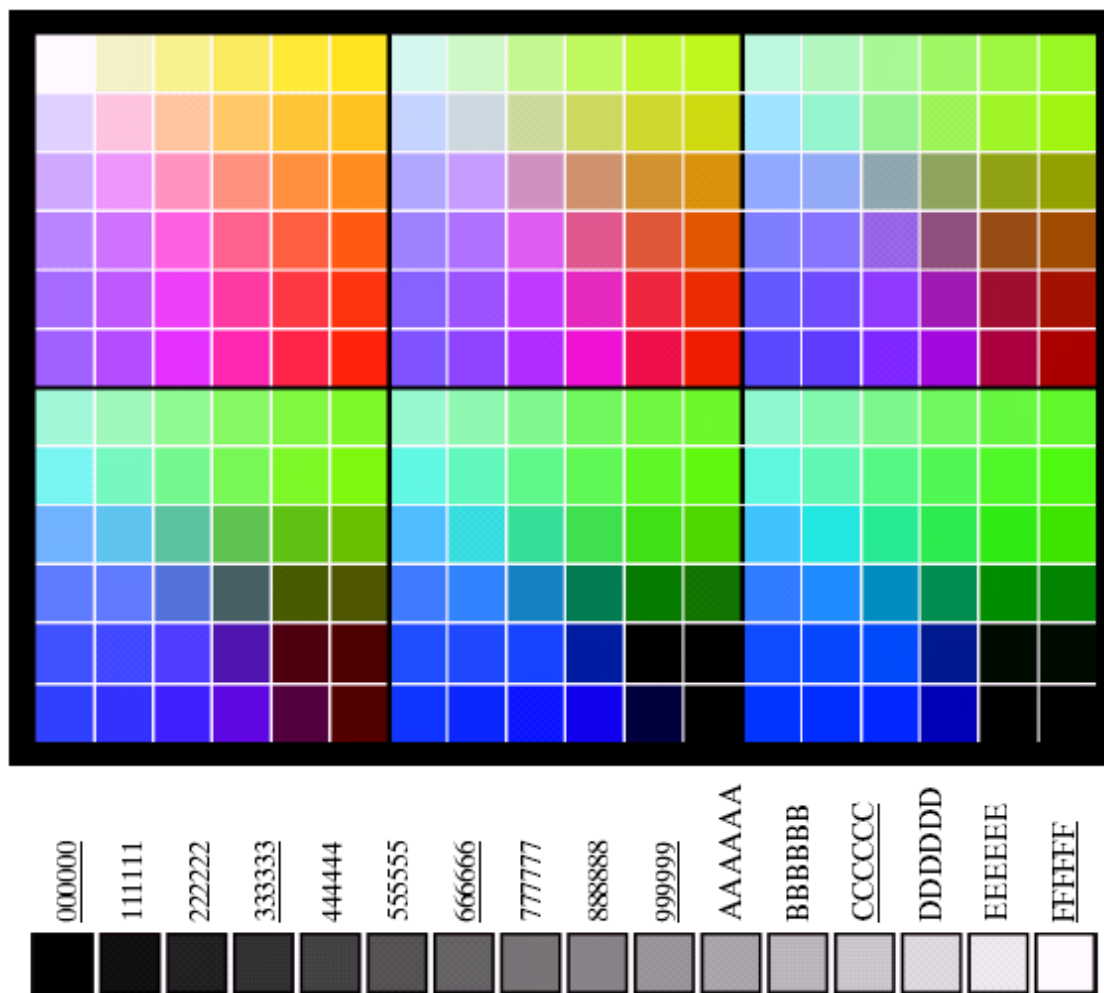
.....

- ◆ 第二个阵列：

CCFFFF, CCFFCC, CCFF99, ...

CCCCFF, CCCCCC, CCCC99, ...

.....



a
b

FIGURE 6.10

(a) The 216 safe RGB colors.
(b) All the grays in the 256-color RGB system (grays that are part of the safe color group are shown underlined).



彩色模型

2. HSI彩色模型

◆为什么要引入HIS彩色模型？

从人对色彩的感知角度，对彩色的描述使用以下度量：

- **亮度(Intensity)**: 色彩的明亮度，是主观的，无法测量
- **色调(Hue)**: 观察者接收的主要颜色（光波中与主波长有关的属性）
- **饱和度(Saturation)**: 纯色被白光稀释的程度

◆两个特点：

- H和S分量一起构成彩色信息
- I分量与图像的彩色信息无关

RGB适合图像生成，而HIS更适合图像描述



2. HSI彩色模型

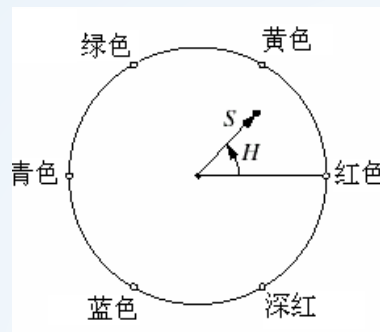
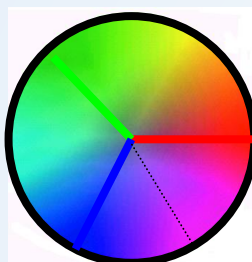
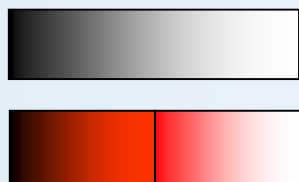
◆为什么要引入HSI彩色模型？

- ◆ 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



彩色模型

2. HSI彩色模型



I: 亮度

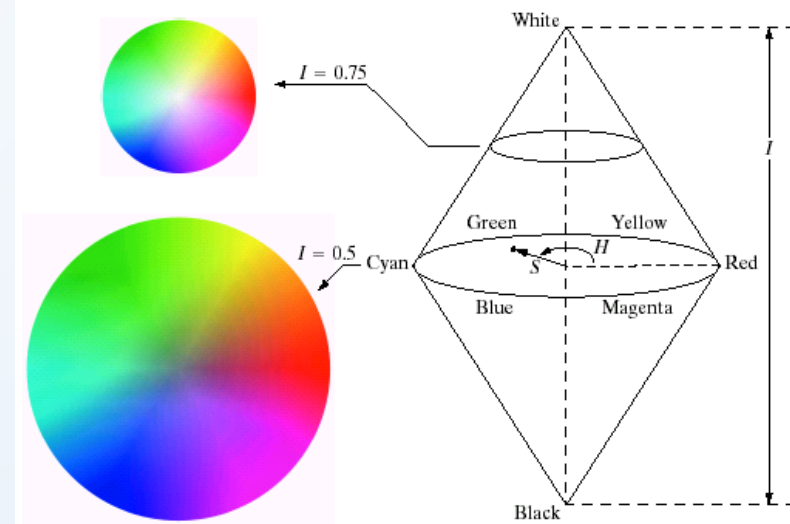
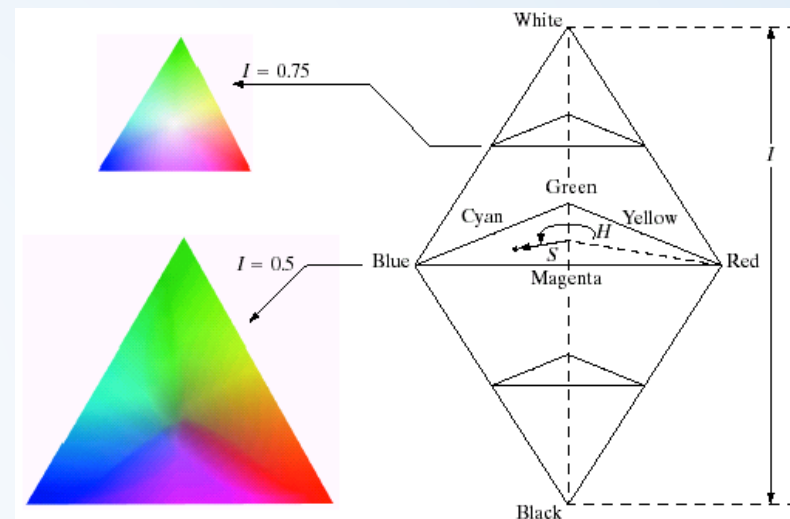
H: 色调

S: 饱和度

(圆周为1, 中心为0)

HSI彩色模型用两个对称的三角锥或者圆锥体来表示。贯穿椎体的中心线表示图像的**亮度**，椎体中的任意一点表示一个颜色。过该点做底面的平行平面，得到该点的**颜色平面**。其HSI信息如下：

- 该点到颜色平面中心点的距离就是S
- 连接该点和颜色平面的中心点，连线与红色轴之间的夹角就是H；
- 色调平面与亮度线的交点，对应于I；





2. 从RGB到HSI 的转换

假设RGB值已归一化到[0, 1]范围内， 则

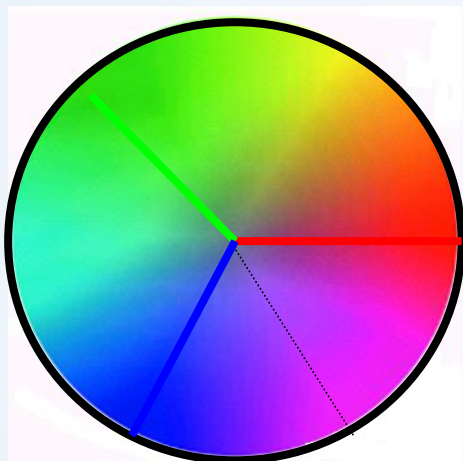
$$H = \begin{cases} \theta & \text{如果 } B \leq G \\ 360^\circ - \theta & \text{如果 } B > G \end{cases} \quad \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right\}$$

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

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



假设HSI值已归一化到[0, 1]范围内，则



当 $240^{\circ} \leq H < 360^{\circ}$ 时

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

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

$$R = 3I - G - B$$

当 $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ 时

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

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

$$B = 3I - R - G$$

注意：300~360之间为非可见光谱色，没有定义



彩色模型

RGB图像的HSI分量图像

RGB彩色立方体图像

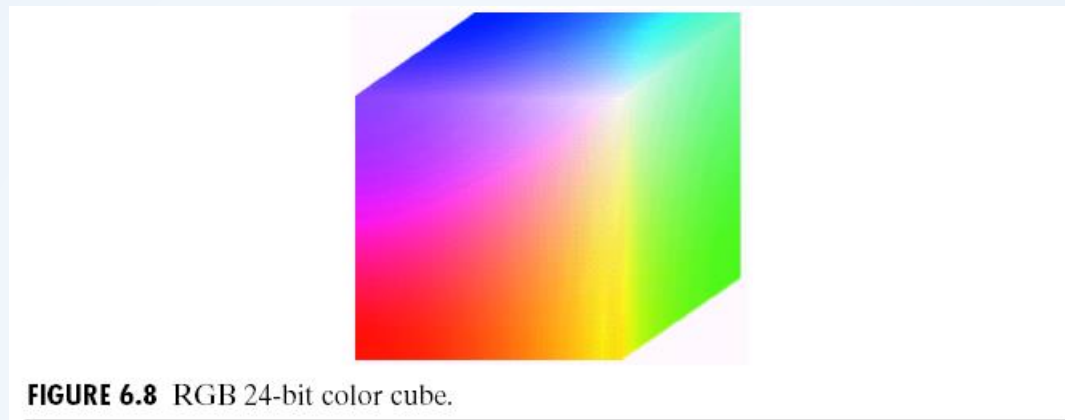
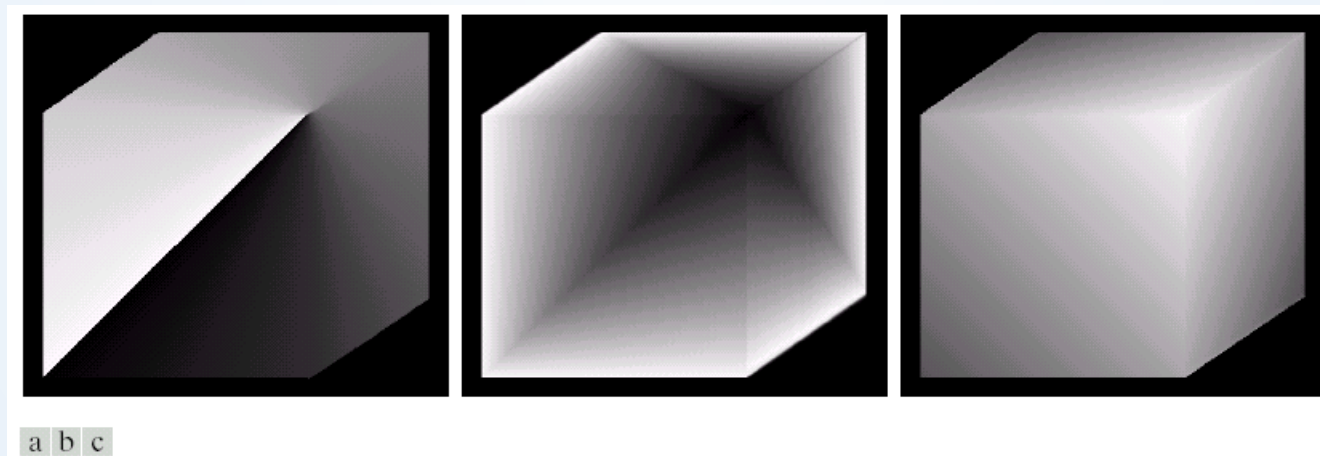
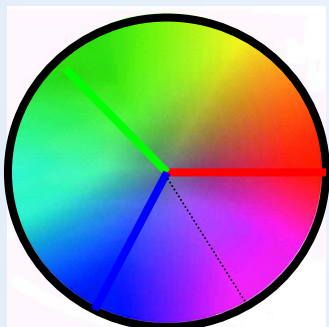


FIGURE 6.8 RGB 24-bit color cube.



a b c

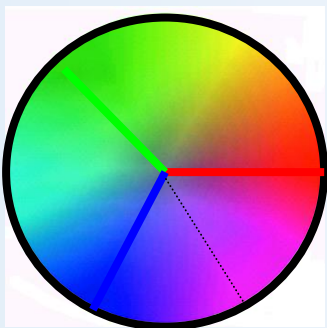
FIGURE 6.15 HSI components of the image in Fig. 6.8. (a) Hue, (b) saturation, and (c) intensity images.

RGB彩色立方体的HSI分量。(a) 色调 (b) 饱和度 (c) 强度/灰度

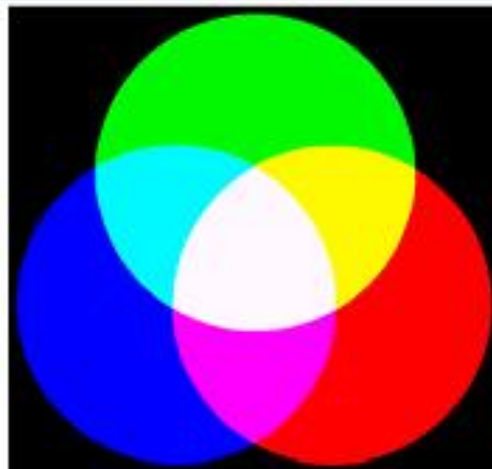


彩色模型

RGB图像的HSI分量图像



RGB 图像



色调



饱和度

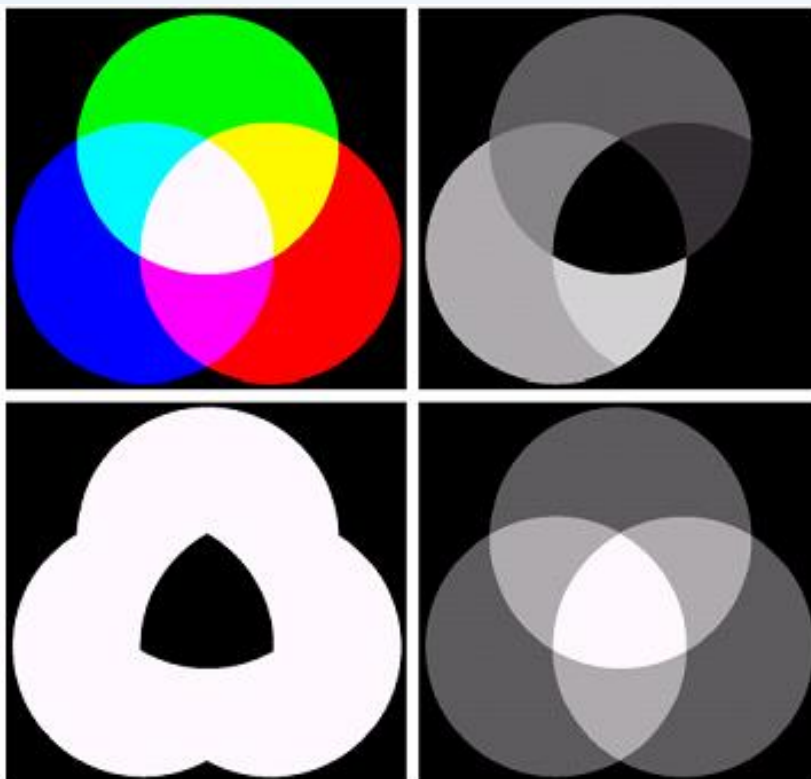


强度

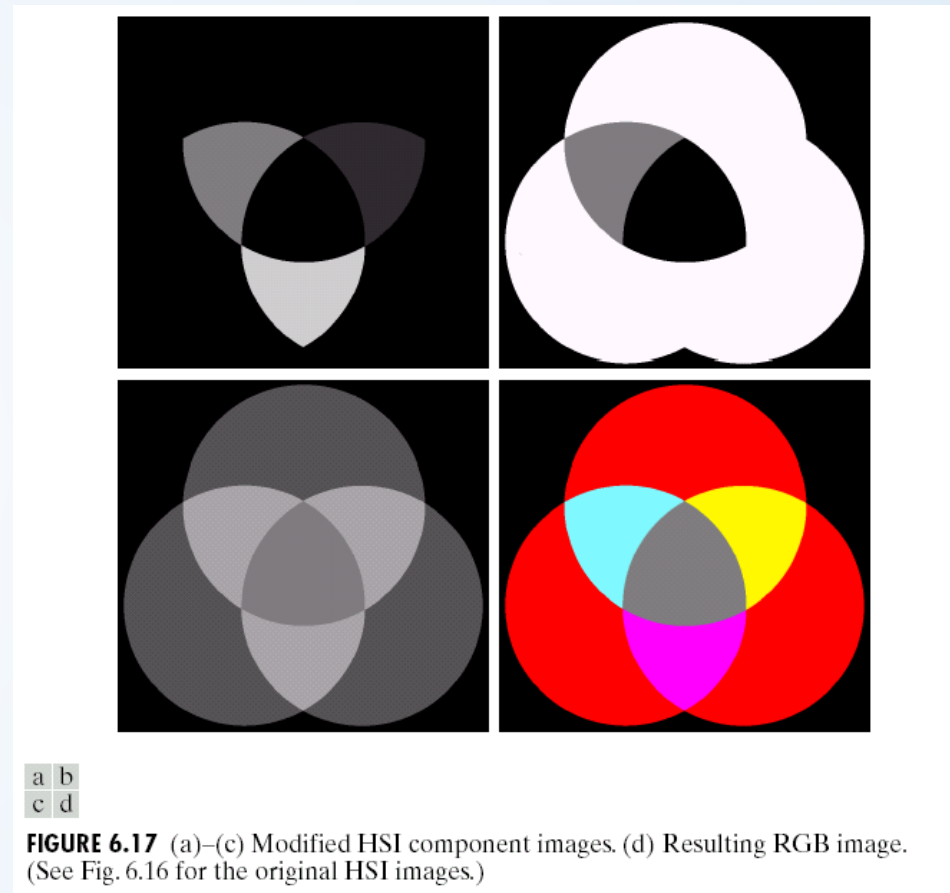


彩色模型

示例： 通过修改HSI 分量来改变 图像外观



修改前的RGB图像和对应的HSI分量图像



修改后的HSI分量图像
和最终的RGB图像

主要内容

Main Content

彩色基础

彩色模型

伪彩色图像处理

全彩色图像处理

彩色变换



伪彩色图像处理

◆ 什么叫伪彩色图像处理？

根据一定的准则对灰度值赋以彩色的处理

◆ 区分：伪彩色图像、真彩色图像、假彩色图像

- 伪彩色：对原来灰度图像中不同灰度值的区域赋予不同的颜色。
- 真彩色：自然物体的彩色，能真实反映自然界物体本来颜色的图像。
- 假彩色：把真实景物图像的像素逐个地映射为另一个颜色，使目标在原图像中更突出。

◆ 为什么需要伪彩色图像处理？

- 人类可以辨别上千种颜色和强度
- 只能辨别二十几种灰度



伪彩色图像处理

◆ 应用

用于观察和解释图像中的灰度目标

◆ 怎样进行伪彩色图像处理？

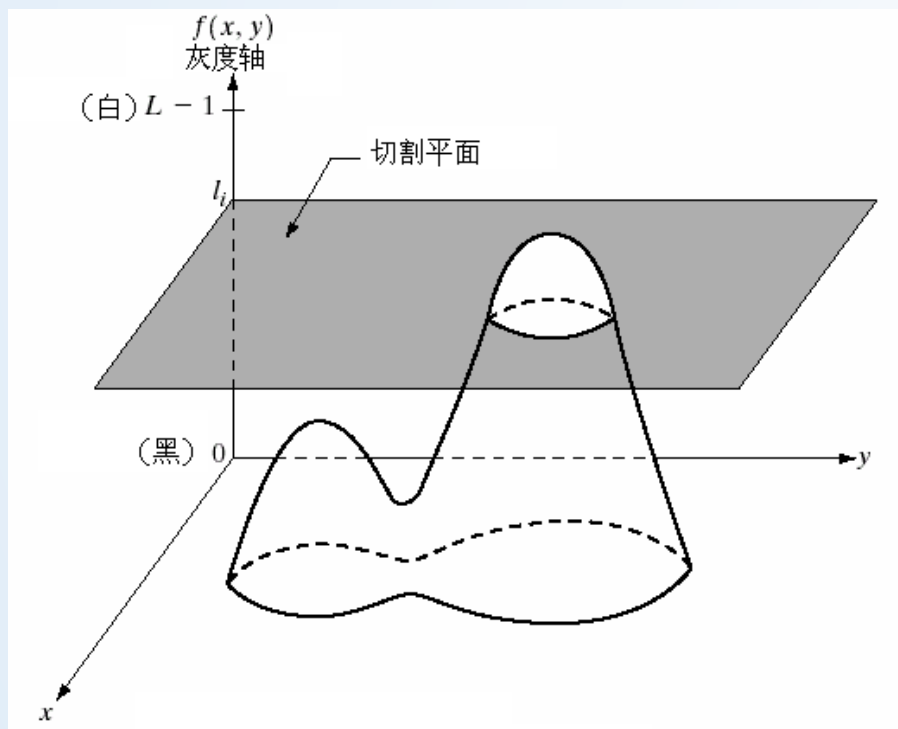
1. 强度分层技术
2. 灰度级到彩色转换技术



伪彩色图像处理

1、强度分层技术

图像的描述 $(x, y, f(x, y))$



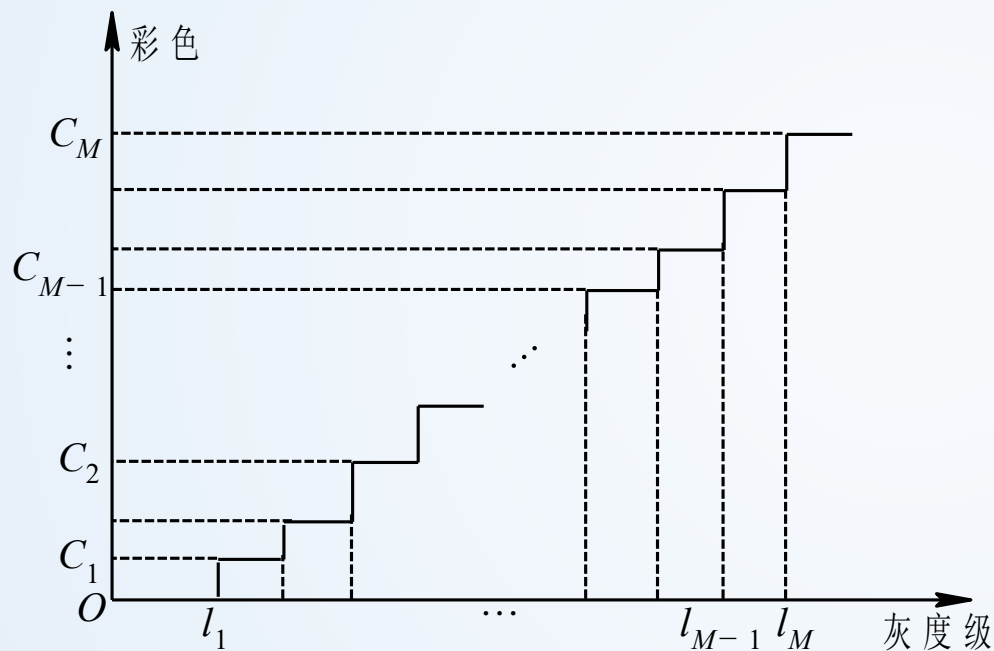
- 把一幅图像描述为三维函数 $(x, y, f(x, y))$
- 分层技术：放置平行于 (x, y) 坐标面的平面
- 每一个平面在相交区域切割图像函数

对切割平面以下部分编码为一种色彩，以上部分编码为一种色彩，获得一幅两色图像。



伪彩色图像处理

1、强度分层技术



多灰度伪彩色分割示意图

- ◆ 若将灰度图像级用M个切割平面去切割。就会得到M+1个不同灰度级的区域S1, S2, ..., SM, SM+1。
- ◆ 对这M+1个区域中的像素，人为分配M+1种不同颜色，就可以得到具有M+1种颜色的伪彩色图像。

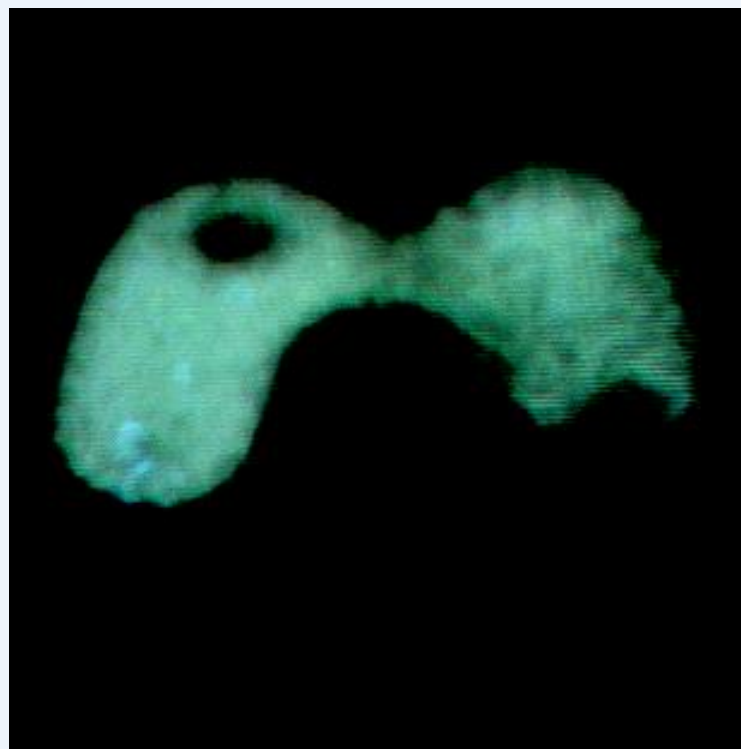


伪彩色图像处理

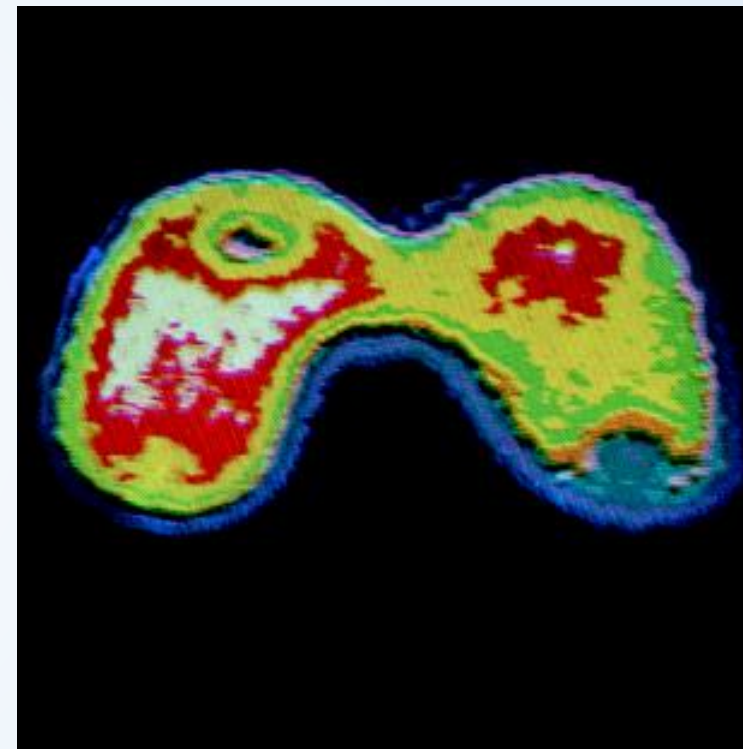
1、强度分层技术

示例1:

甲状腺模型及其
强度分层图



甲状腺模型的单色图像



强度分为8个彩色的图像

单色灰度图像很难分辨出病变，强度分层图像很容易辨别病变部位。



伪彩色图像处理

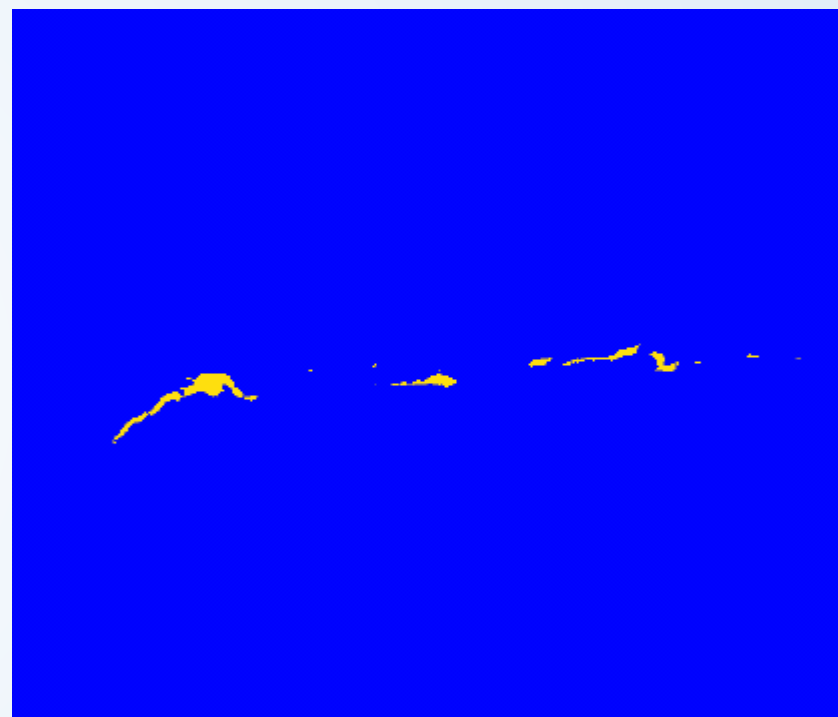
1、强度分层技术

示例2:

焊缝缺陷的检测



焊缝X光的单色图像



彩色编码的图像

在灰度级是已知的前提下，强度分层在可视化方面是简单而有力的手段。简化工作，降低失误率。



伪彩色图像处理

1、强度分层技术

示例3:

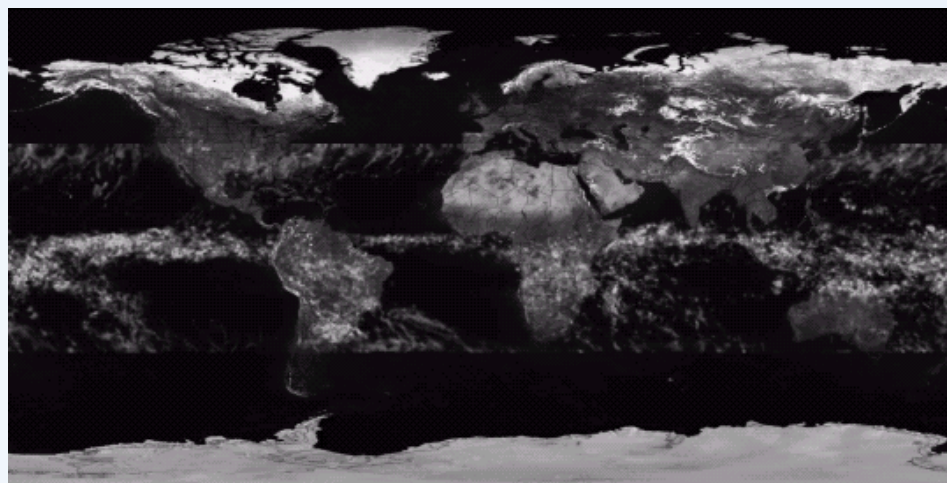
降雨量的观察

图a: 图像的灰度值直接与降雨相对应, 目测困难

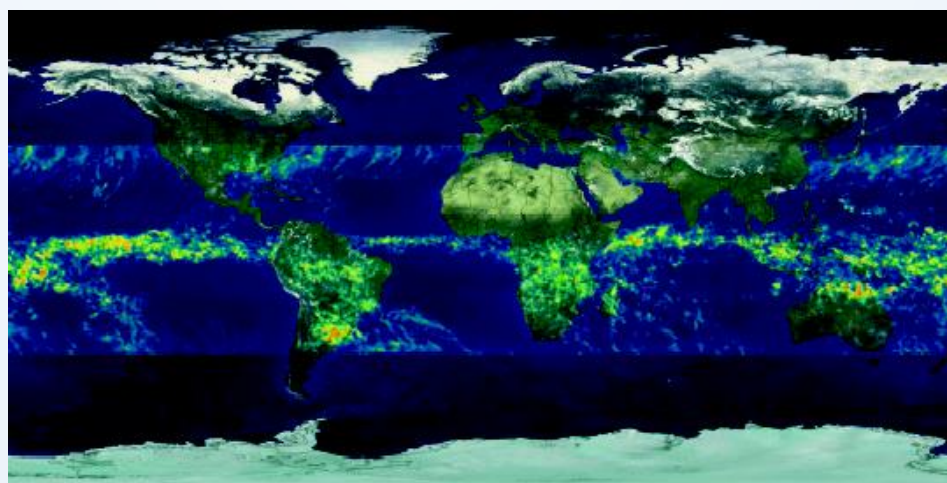
图b: 对灰度值赋予彩色, 蓝色表示低降雨量, 红色表示高降雨量

图c: 彩色编码图像; 图d: 放大区域图像

图a

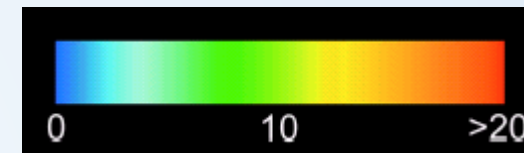


强度与月平均降雨量对应的灰度图像

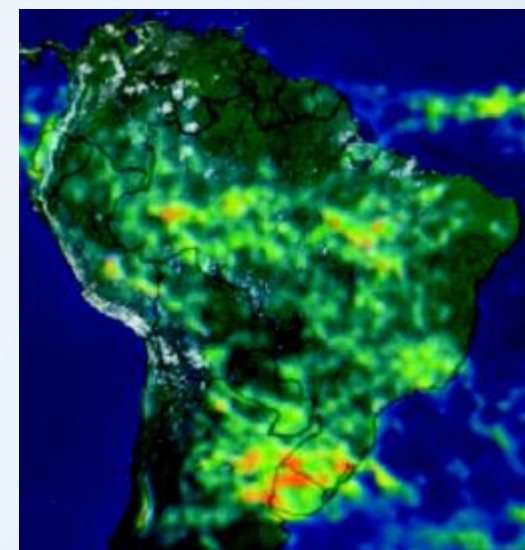


图c 彩色编码图像

图b



对强度值赋予颜色



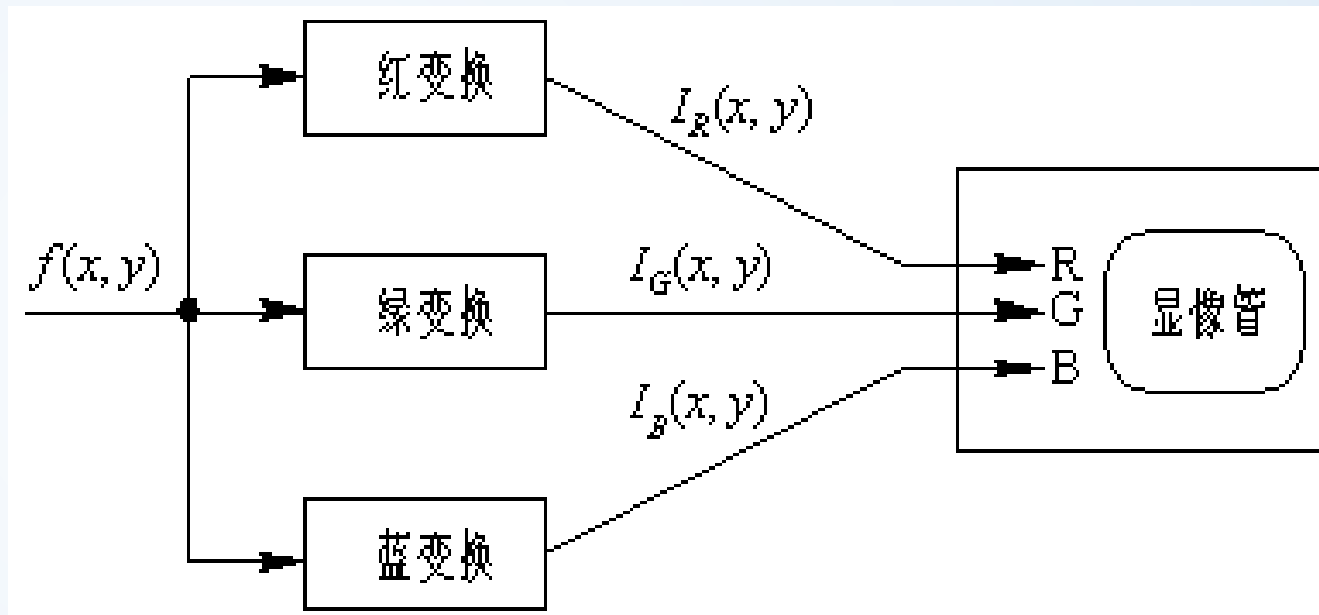
图d 南美区域放大图



伪彩色图像处理

2、灰度级到彩色的转换

- 对任何输入像素的灰度值进行三个相互独立的变换
- 将这三个变换结果分别送到彩色监视器的红、绿、蓝通道
- 产生一幅彩色合成图像, 它的颜色内容由变换函数的性质决定。



注意：这种方法是一幅图像
灰度值的变换函数

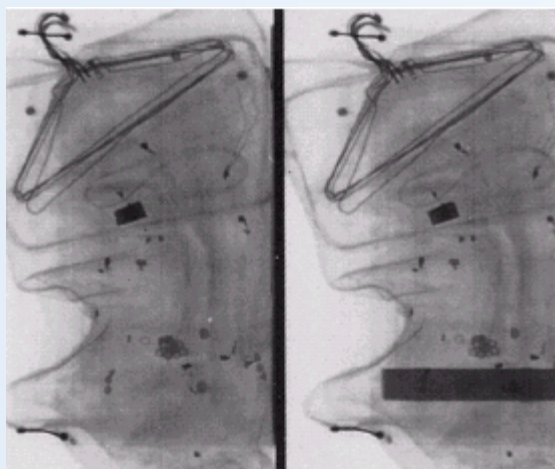


伪彩色图像处理

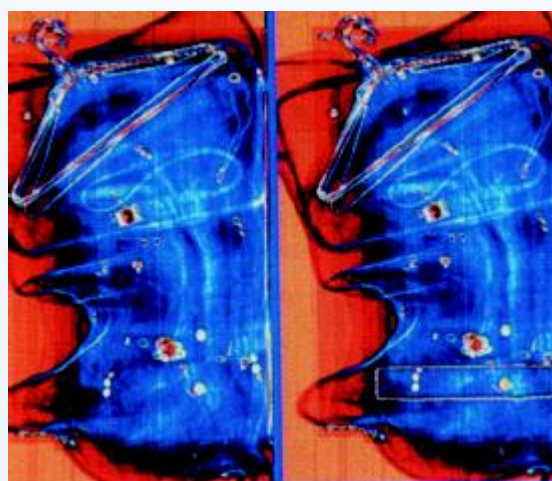
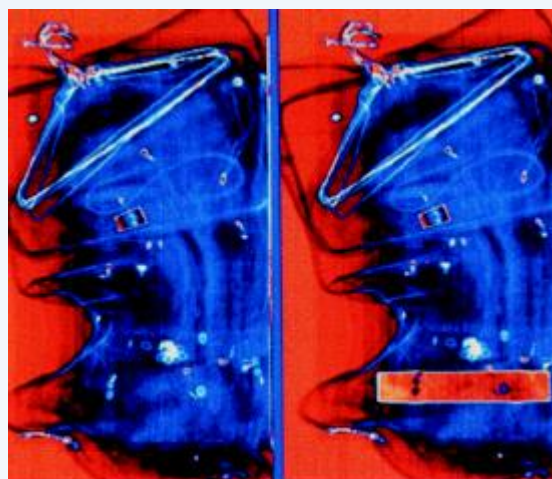
2、灰度级到彩色的转换

示例1

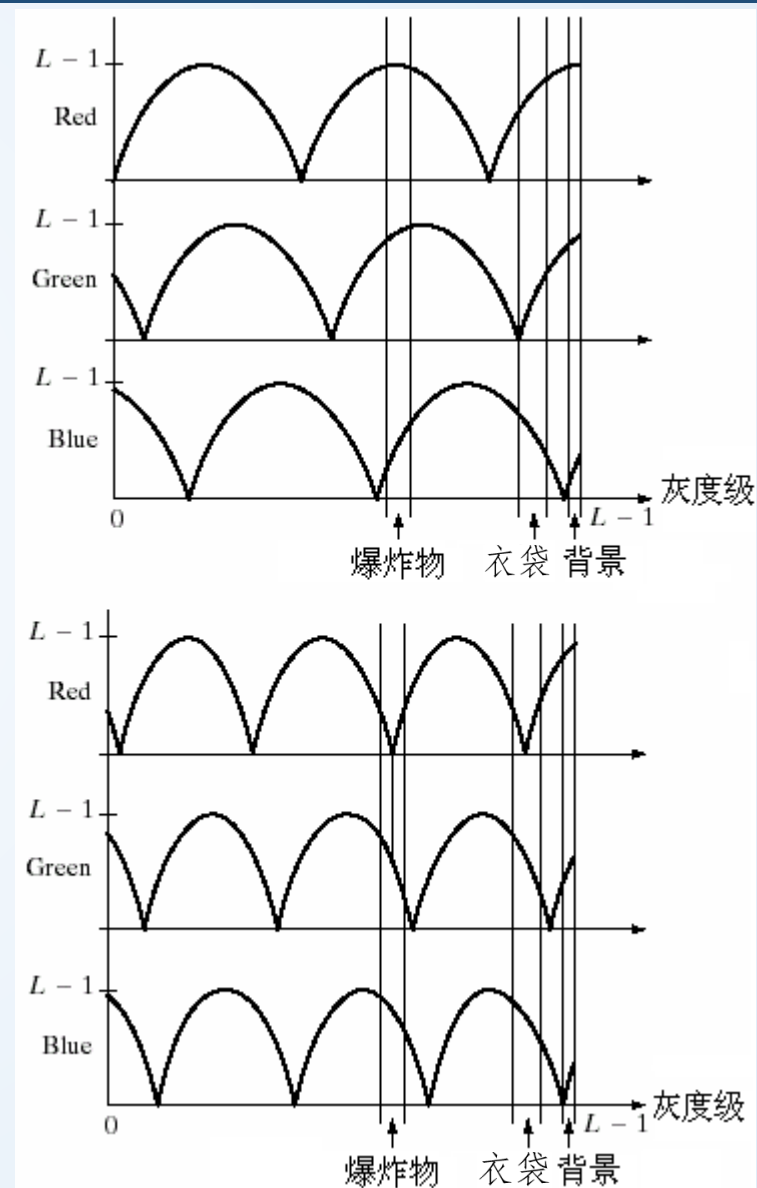
行李中爆炸物的检测



行李的X光单色图像



彩色编码图像



主要内容

Main Content

彩色基础

彩色模型

伪彩色图像处理

全彩色图像处理

彩色变换



全彩色图像处理

全彩色图像处理研究分为两大类：

- 分别处理每个分量图像，然后合成彩色图像
- 直接对彩色像素处理



- ## 能用该方法的前提:

- 该操作既可用于向量，也可用于标量
- 应用于向量时，各分量的处理结果互不相关

Gray-scale image

Spatial mask

(x, y)

RGB color image

Spatial mask

(x, y)

- **空域滤波：对模板范围内所有像素的灰度值求平均值**
- **对彩色图像而言，可以分别对每个像素的R、G、B分量进行滤波**



全彩色图像处理

➤ 直接对彩色像素处理

全彩色图像至少有3个分量，彩色像素实际上是一个向量。

如，在RGB系统中，令 C 代表RGB彩色空间中的任意向量：

$$C = \begin{bmatrix} c_R \\ c_G \\ c_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad C(x, y) = \begin{bmatrix} c_R(x, y) \\ c_G(x, y) \\ c_B(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$$

主要内容

Main Content

彩色基础

彩色模型

伪彩色图像处理

全彩色图像处理

彩色变换



彩色变换

注意：这里的彩色变换是相对第三章中的灰度变换而言的，**不是**指色彩空间的变换。

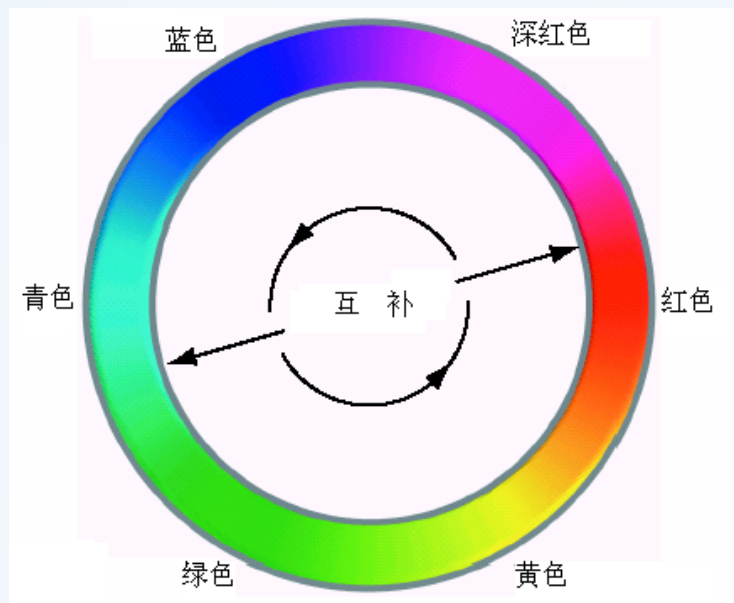
$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

与灰度变换的区别在于：此时 $f(x, y)$ 是一个向量，有三个分量。



彩色变换

1. 补色



定义：在图示彩色环上，与一种色调直接对立的另一种色调称为**补色**

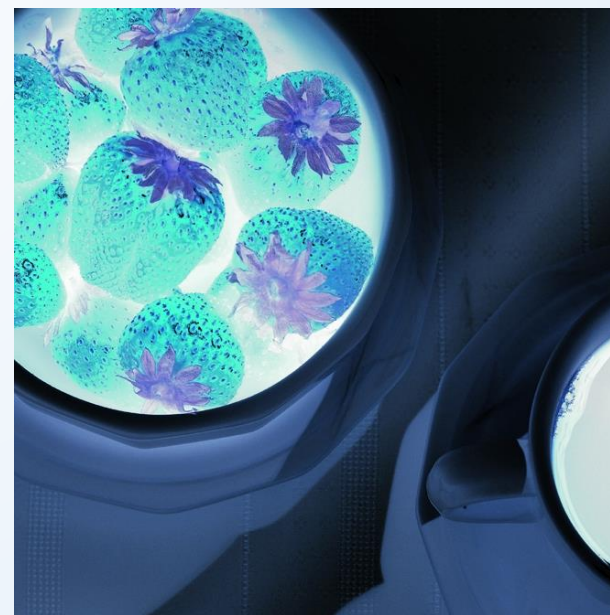
作用：增强嵌在彩色图像暗区的细节，特别是在大小上占支配地位的图像暗区。



彩色变换

1. 补色

$$g(x, y) = L - 1 - f(x, y) = \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$$





彩色变换

2. 彩色分层

目的：突出图像中特殊彩色区域，以便分离出目标物。

基本思路：

- 显示感兴趣颜色以便从背景中分离；
- 在彩色定义的区域中使用处理技术。

方法：若感兴趣颜色位于中心点在 $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、且宽度为 W 的立方体中，其变换为：

$$s_i = \begin{cases} 0.5, & \left[|r_j - a_j| > W/2 \right]_{1 \leq j \leq n} \\ r_i, & else \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

若感兴趣的颜色是半径为 R_0 的封闭球形，则其变换为：

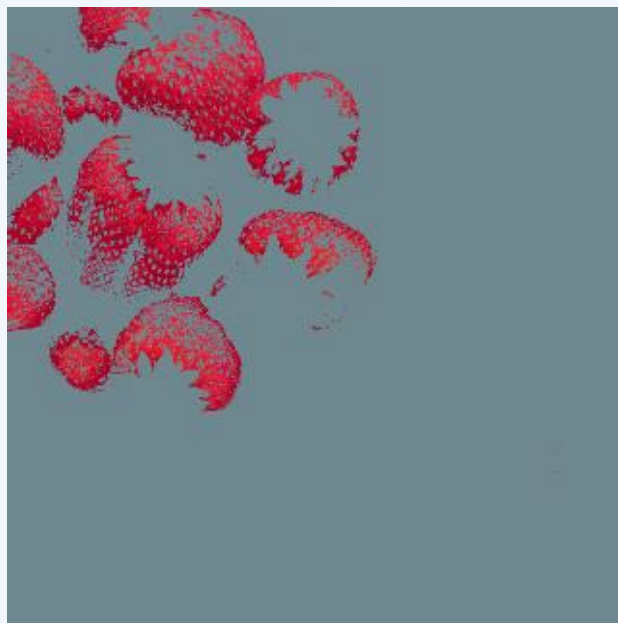
$$s_i = \begin{cases} 0.5, & \sum_{j=1}^n (r_j - a_j)^2 > R_0^2 \\ r_i, & else \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

实质：将感兴趣颜色区域之外的其它颜色映射为不突出的、无确定性质的颜色；只保留感兴趣的颜色



彩色变换

2. 彩色分层



中心点 $(0.6863, 0.1608, 0.1922)$
 $W=0.2549$ 的RGB立方体区域



中心点 $(0.6863, 0.1608, 0.1922)$
 $R_0=0.1765$ 的RGB封闭球形区域



武汉大学
Wuhan University

谢谢!

2018.10.31.

