

数字图像处理（2）



任何问题？



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化



彩色图像基础

- 为什么要研究彩色图像处理？
 - ✓ 符合人类视觉特点
 - 人类可以辨别几千种颜色色调和亮度
 - 只能辨别几十种灰度层次
 - ✓ 有用的描绘子
 - 简化目标物的区分
 - 目标识别：根据目标的颜色特征



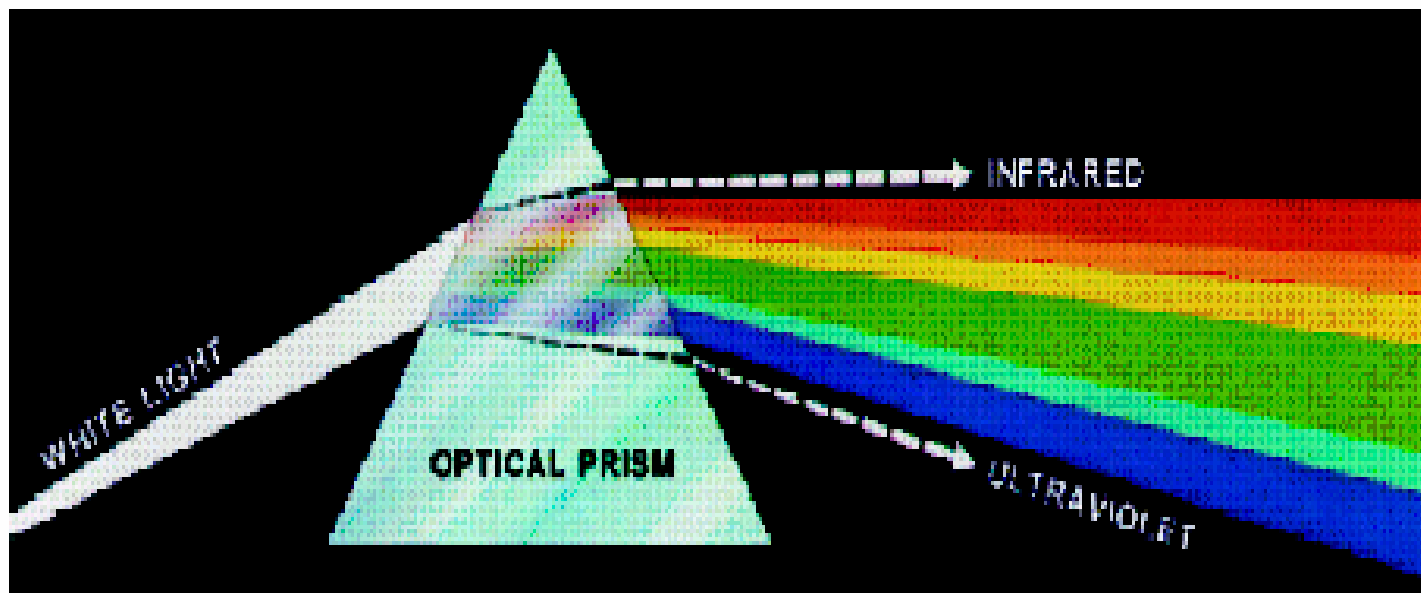
彩色图像基础

- 彩色图像处理可分为：
 - ✓ 全彩色处理
 - 数码相机
 - 数码摄像机
 - 彩色扫描仪
 - ✓ 伪彩色处理
 - 对不同的灰度或灰度范围赋予不同的颜色



彩色图像基础

当一束白光通过一个玻璃棱镜时，出现的光束不是白光，而是由一端为紫色到另一端为红色的连续彩色谱组成





彩色图像基础

- 光特性是颜色科学的核心
- 描述彩色光的3个基本量：
 - ✓ 辐射率：从光源流出能量的总量，用瓦特(W)度量
 - ✓ 光强：观察者从光源接收的能量总和
 - ✓ 亮度：主观描绘子



彩色图像基础

- 三原色

- ✓ 红色 (Red)、绿色 (Green)、蓝色 (Blue)

- 原色相加可产生二次色

- ✓ 深红色: 红 + 蓝

- ✓ 青色: 绿 + 蓝

- ✓ 黄色: 红 + 绿



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- RGB
- CMY和CMYK
- HSI
- YIQ
- YUV
- YCbCr

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- RGB
 - ✓ CCD技术直接感知R, G, B三个分量
 - ✓ 是图像成像、显示、打印等设备的基础



CMY和CMYK彩色空间

- CMY (青、深红、黄)、CMYK (青、深红、黄、黑)
 - ✓ 运用在大多数在纸上沉积彩色颜料的设备，如彩色打印机和复印机
 - ✓ CMYK
 - 打印中的主要颜色是黑色
 - 等量的CMY原色产生黑色，但不纯
 - 在CMY基础上，加入黑色，形成CMYK彩色空间

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- HSI (色调、饱和度、亮度)
 - ✓ 两个特点：
 - 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是紧密相连的
 - ✓ 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

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- YIQ

- ✓ Y指亮度(Brightness), 即灰度值
- ✓ I和Q指色调, 描述色彩及饱和度
- ✓ 用于彩色电视广播, 被北美的电视系统所采用（属于NTSC系统）
- ✓ Y分量可提供黑白电视机的所有影像信息

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- YUV
 - ✓ Y指亮度, 与YIQ的Y相同
 - ✓ U和V也指色调, 不同于YIQ的I和Q
 - ✓ 用于彩色电视广播, 被欧洲的电视系统所采用（属于PAL系统）
 - ✓ Y分量也可提供黑白电视机的所有影像信息

彩色空间（也称彩色模型或彩色系统）



- YCbCr
 - ✓ Y指亮度, 与YIQ和YUV的Y相同
 - ✓ Cb和Cr由U和V调整得到
 - ✓ JPEG采用的彩色空间



彩色空间转换

1. RGB \longleftrightarrow CMY
2. RGB \longleftrightarrow HSI
3. RGB \longleftrightarrow YIQ
4. RGB \longleftrightarrow YUV
5. RGB \longleftrightarrow YCbCr



1、RGB \longleftrightarrow CMY

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

RGB和CMY值都归一化到[0, 1]

2、RGB \longrightarrow HSI



$$H = \begin{cases} \theta & B \leq G \\ 360 - \theta & B > G \end{cases}$$

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

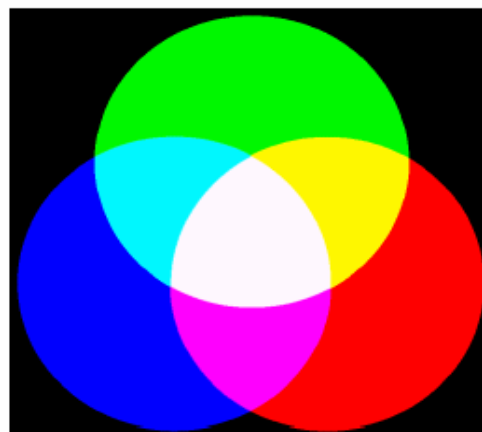
$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$

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

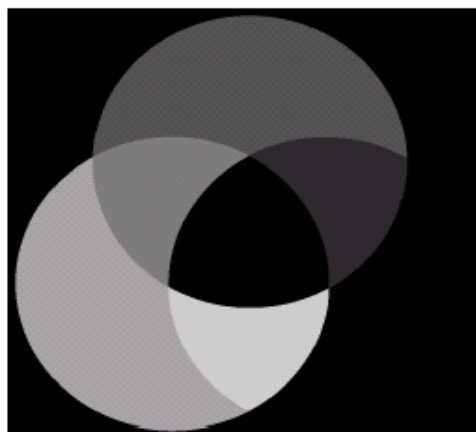


RGB图像和与之对应的HSI图像分量

RGB图像



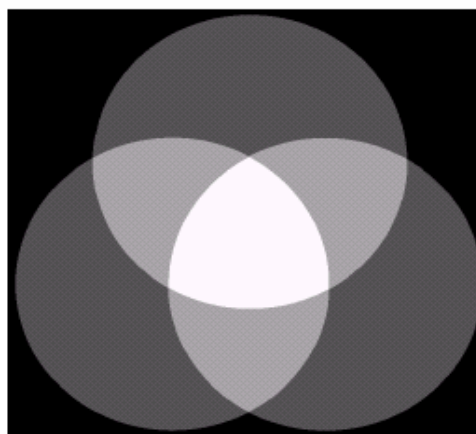
色调



饱和度



强度



a	b
c	d

FIGURE 6.16 (a) RGB image and the components of its corresponding HSI image: (b) hue, (c) saturation, and (d) intensity.



2、 HSI \longrightarrow RGB

$$0^0 \leq H < 120^0$$

$$R = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^0 - H)} \right] \quad G = 1 - (R + B) \quad B = I(1 - s)$$

$$120^0 \leq H < 240^0 \quad H = H - 120^0$$

$$G = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^0 - H)} \right] \quad B = 1 - (R + G) \quad R = I(1 - s)$$

$$240^0 \leq H < 360^0 \quad H = H - 240^0$$

$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^0 - H)} \right] \quad R = 1 - (G + B) \quad G = I(1 - s)$$



3、RGB \longleftrightarrow YIQ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & 1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$



4、RGB \longleftrightarrow YUV

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.148 & -0.289 & 0.437 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.032 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$



5、RGB \longleftrightarrow YCbCr

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 & 0 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 & 128 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 & 128 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.40200 & 0 \\ 1 & -0.34414 & -0.71414 \\ 1 & 1.77200 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{bmatrix}$$



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化



伪彩色图像处理

- 什么叫伪彩色图像处理？
 - ✓ 也叫假彩色图像处理
 - ✓ 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、单色图像
- 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
 - ✓ 为人们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



1、强度分层技术

- 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

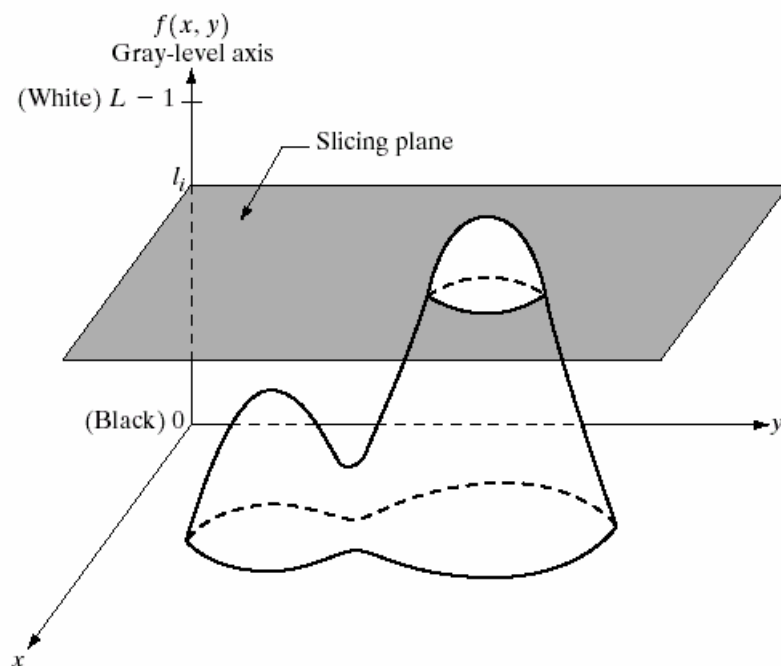


FIGURE 6.18 Geometric interpretation of the intensity-slicing technique.



1、强度分层技术——定义

令 $[0, L-1]$ 表示灰度级，使 l_0 代表黑色 ($f(x, y)=0$) ,
 l_{L-1} 代表白色 ($f(x, y)=L-1$)。假设垂直于强度轴的 P
个平面定义为量级 l_1, l_2, \dots, l_P 。 $0 < P < L-1$, P 个平面
将灰度级分为 $P+1$ 个间隔, V_1, V_2, \dots, V_{P+1} , 则灰度级
到彩色的赋值关系:

$$f(x, y) = c_k \quad f(x, y) \in V_k$$

c_k 是与强度间隔 V_k 第 k 级强度有关的颜色

V_k 是由在 $l=k-1$ 和 $l=k$ 分割平面定义的



1、强度分层技术

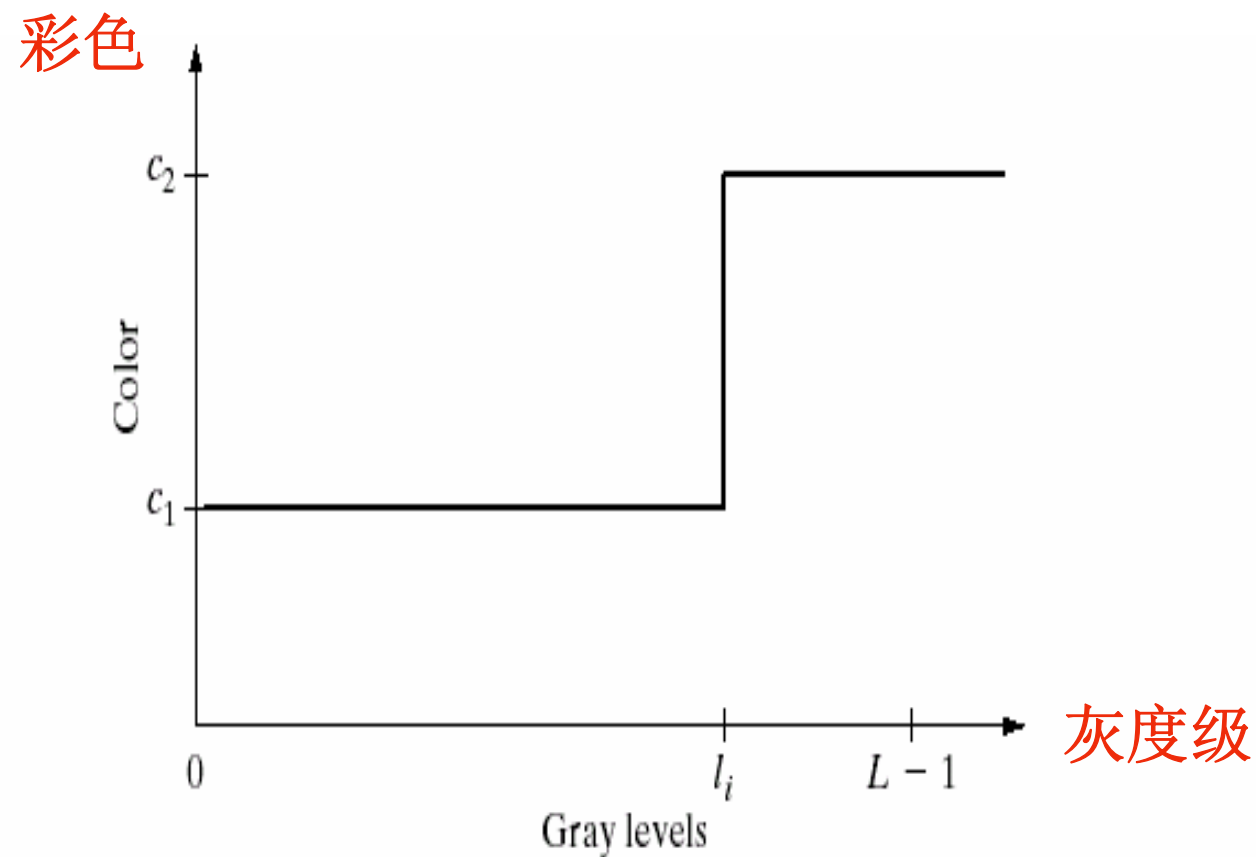
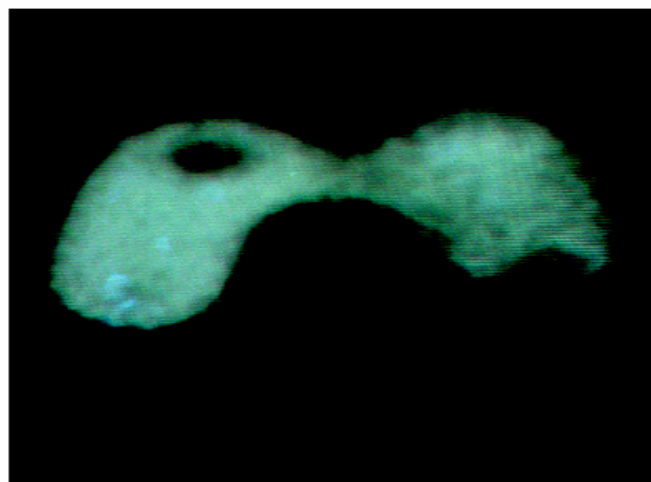


FIGURE 6.19 An alternative representation of the intensity-slicing technique.

例1：甲状腺模型



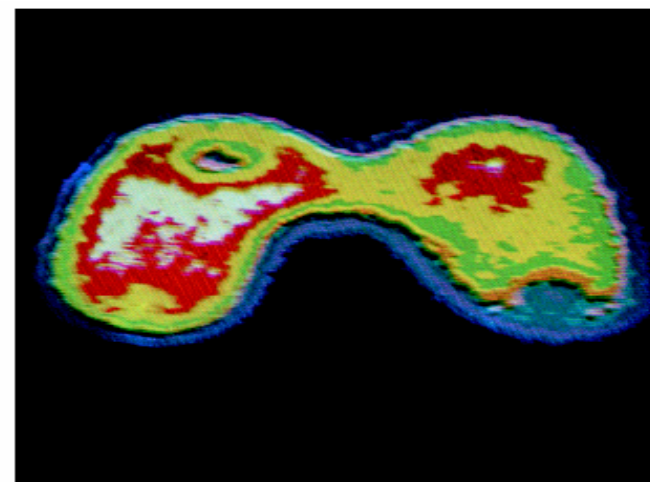
单色图像



a b

FIGURE 6.20 (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.)

强度分层结果，8个彩色区域



左图的恒定强度难以区分病变，右图强度分层结果，清楚的显示恒定强度的不同区域



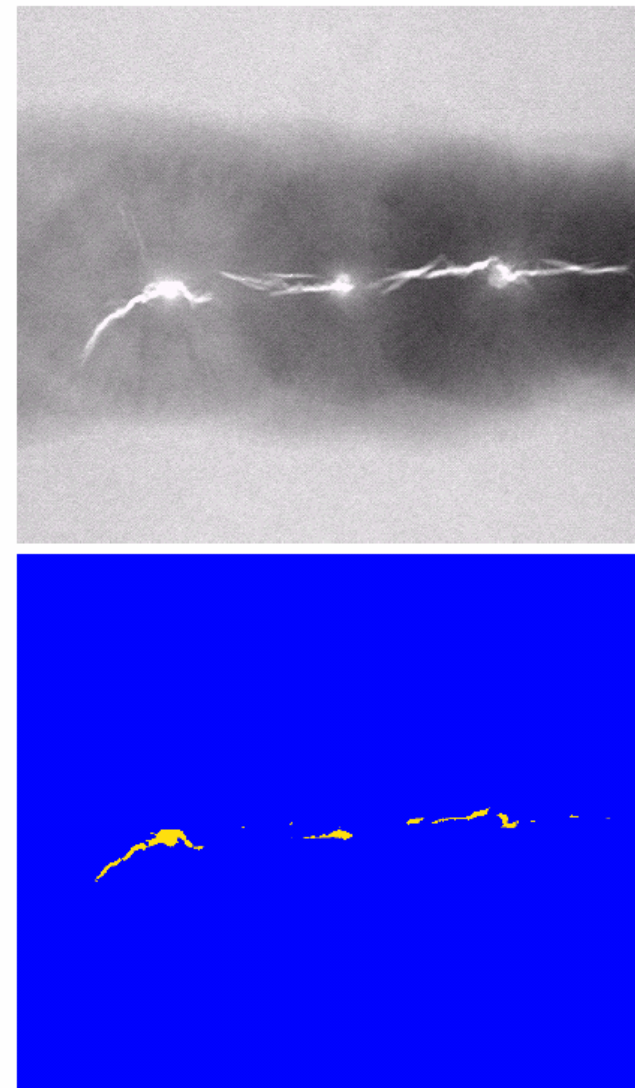
例2：焊点问题检测

- 图像灰度为255，
焊点有问题

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.)

- 给255灰度赋以一种颜色，其它为另一种颜色
- 简化工作，降低误识率

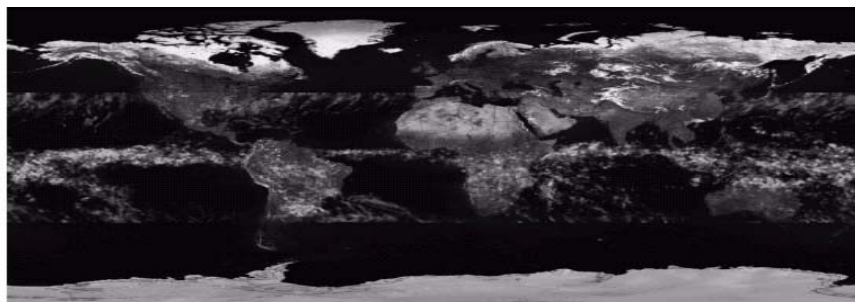




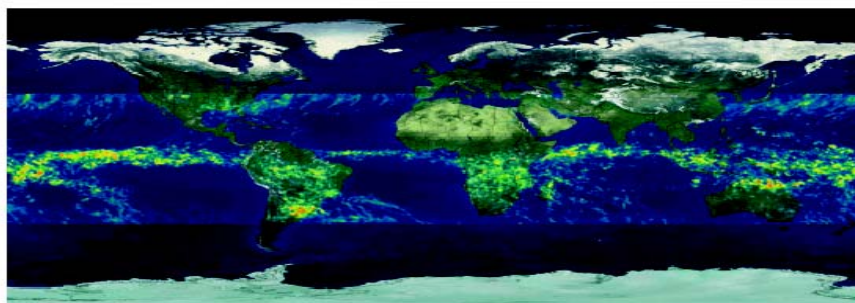
例3：用颜色突出降雨水平

- 图a：图像的强度值直接与降雨相对应，目测困难
- 图b：蓝色表示低降雨量，红色表示高降雨量
- 图c和图d更加清楚

图a



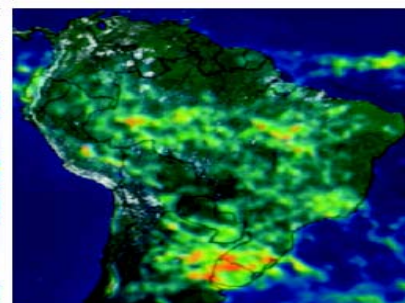
图c



图b



图d



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 America region. (Courtesy of NASA.)



2、灰度级到彩色的转换

- 对任何输入像素的灰度级执行3个独立变换
- 3个变换结果分别送入彩色监视器的红、绿、蓝三个通道
- 产生一幅合成图像

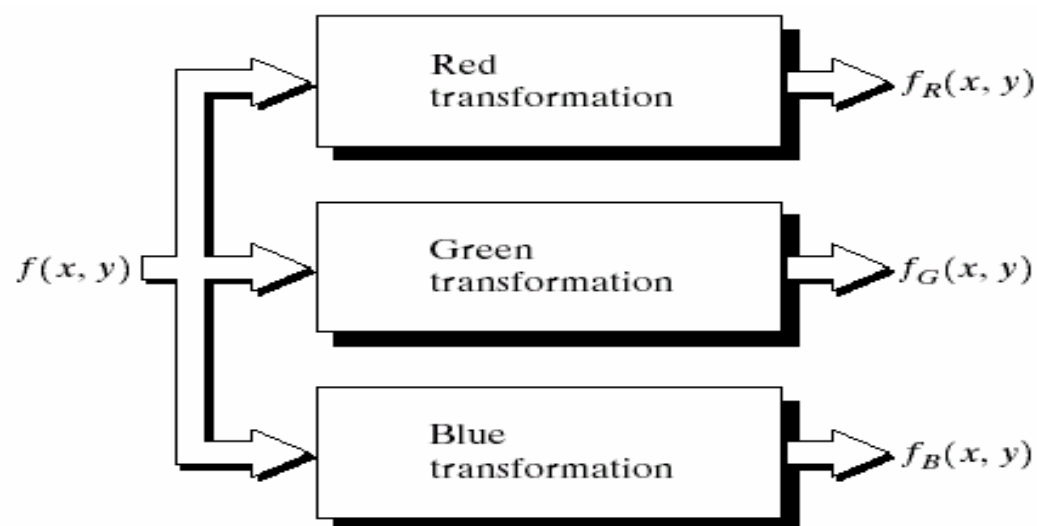


FIGURE 6.23 Functional block diagram for pseudocolor image processing. f_R , f_G , and f_B are fed into the corresponding red, green, and blue inputs of an RGB color monitor.



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化



全彩色图像处理基础

- 全彩色图像处理研究分为两大类：
 - ✓ 分别处理每一分量图像，然后，合成彩色图像
 - ✓ 直接对彩色像素处理：3个颜色分量表示像素向量。令 c 代表RGB彩色空间中的任意向量

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



全彩色图像处理基础

对大小为 $M \times N$ 的图像

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

$$x = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, N-1$$



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化



彩色变换

- 彩色变换函数

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

$f(x, y)$ 是彩色输入图像

$g(x, y)$ 是变换或处理过的彩色输出图像

T 是在空间邻域 (x, y) 上对 f 的操作



彩色变换

- 彩色变换的简单形式

$$s_i = T_i(r_1, r_2, \dots, r_n) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

r_i 和 s_i 是 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 在任何点处彩色分量的变量

$\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 是一个对 r_i 操作产生 s_i 的变换或彩色映射函数集

选择的彩色空间决定 n 的值，如RGB彩色空间， $n=3$ ， r_1, r_2 和 r_3 表示红、绿、蓝分量；CMYK，则 $n=4$



彩色变换



Full color

草莓和咖啡杯的彩色图像

深红 ✓ 黄 ✓ 黑



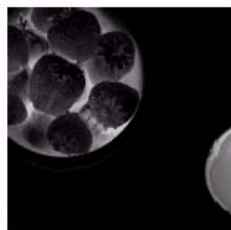
Cyan



Magenta



Yellow



Black

CMYK图像，可知草莓由深红和黄组成



Red



Green



Blue

红 ✓

RGB图像，红色多而蓝色和绿色少



Hue



Saturation



Intensity

HSI图像

补色



补色：在如图所示的彩色环上，与一种色调直接相对立的另一种色调称为补色

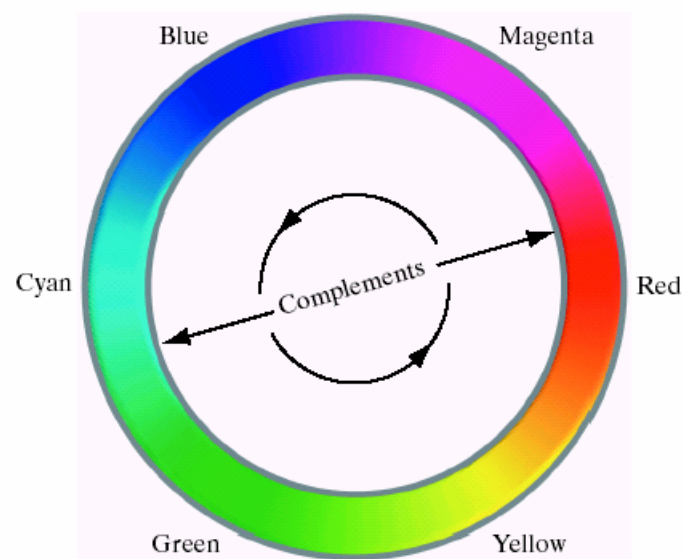


FIGURE 6.32
Complements on
the color circle.

作用：增强嵌在彩色图像暗区的细节



补色

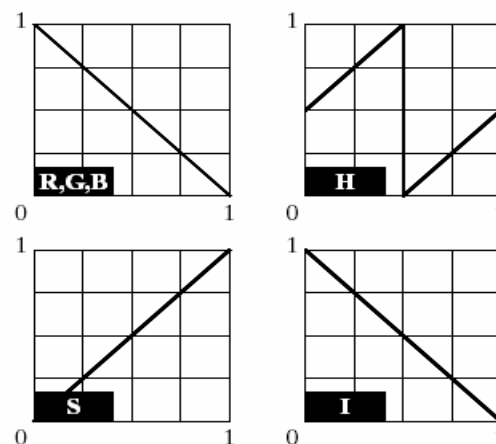
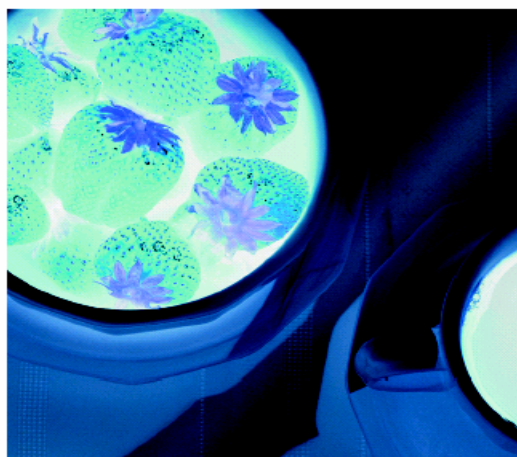
红色在补色中用青色代替，黑色在补色中用白色代替

原图



RGB

补图

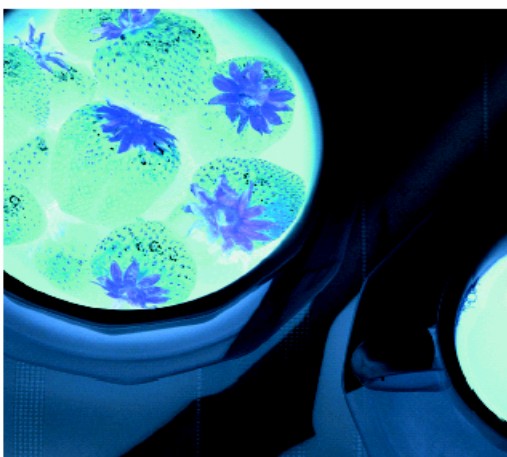


a b
c d

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.

HSI

补图



灰度变换



平淡

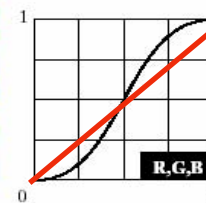


Flat



Corrected

增强对比度，
亮的更亮，暗的更暗



亮

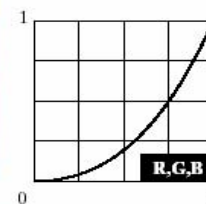


Light

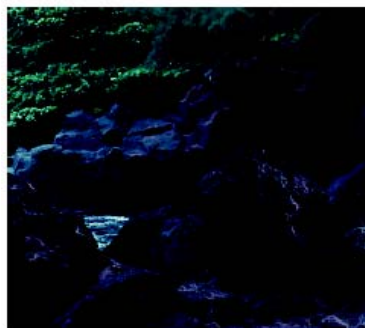


Corrected

变暗



暗

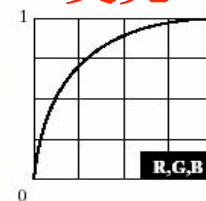


Dark



Corrected

变亮





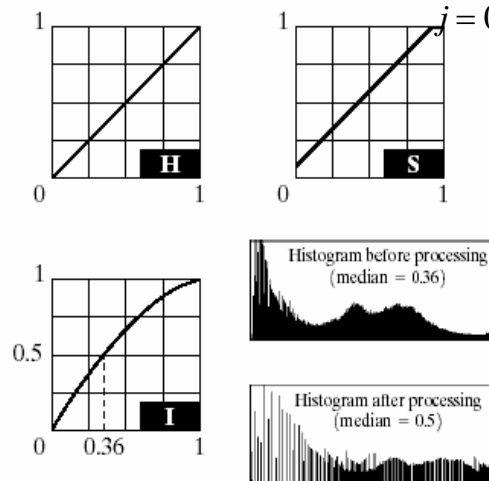
HSI颜色空间下的直方图均衡化

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$$
$$p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

a b
c d

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

原图



处理前，大量暗彩色

处理后的直方图

均衡强度
分量的结果



增加图像的饱和度
因为强度改变影响
图像的彩色状态



彩色图像处理

- 彩色基础知识
- 彩色空间
- 伪彩色处理
- 全彩色图像处理
- 彩色变换
- 彩色图像平滑和尖锐化



彩色图像平滑

令 S_{xy} 表示在RGB彩色图像中定义一个中心在 (x, y) 的邻域的坐标集，在该邻域中RGB分量的平均值为

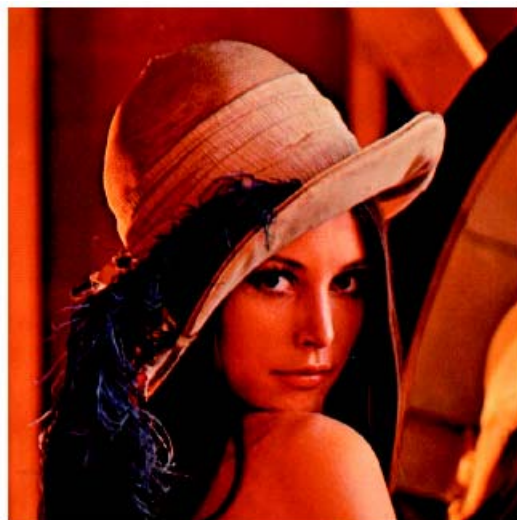
$$\bar{c}(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{(x, y) \in S_{xy}} c(x, y)$$

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



彩色图像平滑 (5×5 平均模板)

原始彩色图像



绿分量图像



红分量图像



蓝分量图像



a	b
c	d

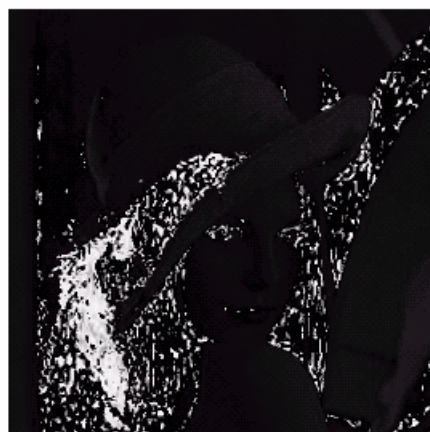
FIGURE 6.38

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

彩色图像平滑



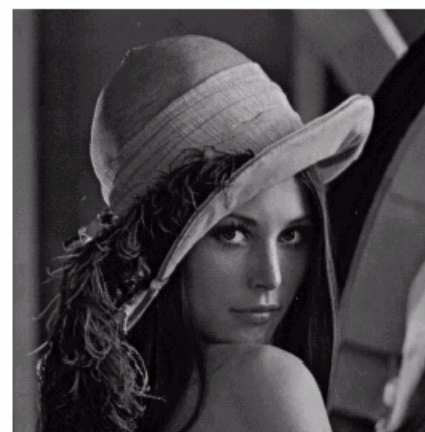
H分量图像



S分量图像



I分量图像



a b c

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

彩色图像平滑（HSI图像仅仅处理强度分量）

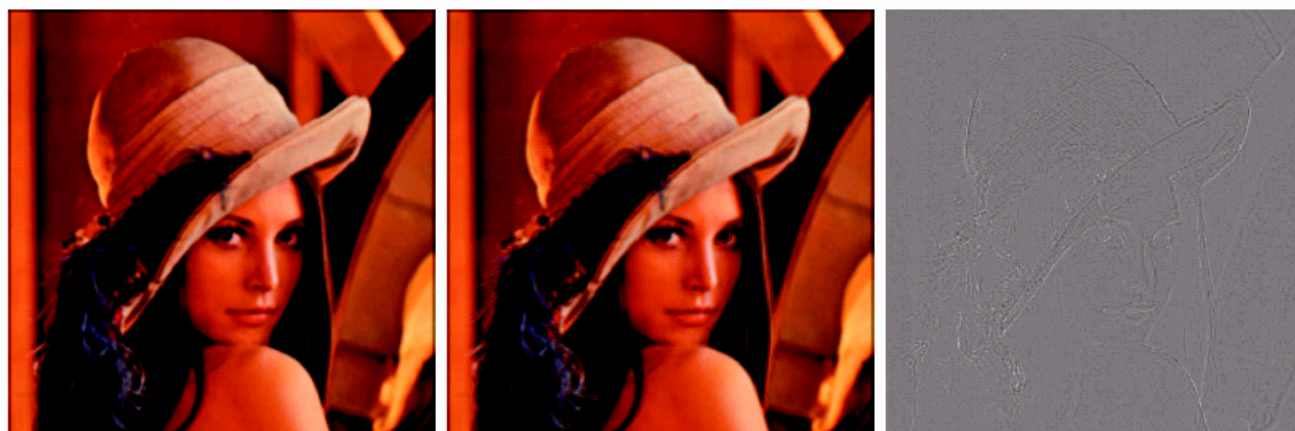


5×5的灰度平均模板平滑结果

RGB图像平滑结果

平滑强度分量，并转换到
RGB图像显示

a图像和b图像的差别图像



a b c

图a

图b

图c

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.

图c的原因：图a像素的平均是不同彩色的平均，而图b仅仅是强度的平均，原彩色（色调H和饱和度S）保持不变



彩色图像尖锐化（拉普拉斯微分）

RGB彩色空间，分别计算每一分量图像的拉普拉斯变换

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

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y)$$

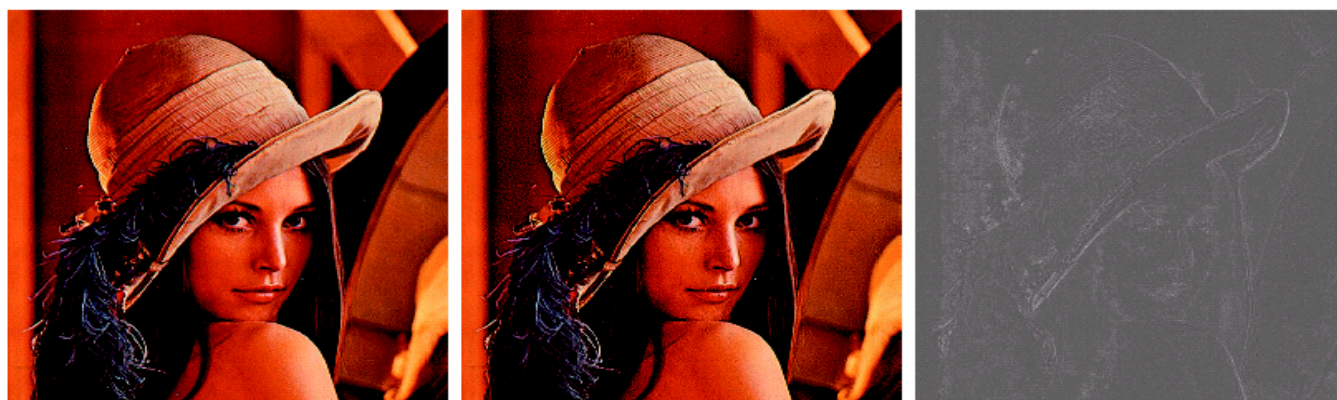
$$= f(x, y) - \{[f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y)\}$$

$$= 5f(x, y) - [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)]$$



彩色图像尖锐化（拉普拉斯微分）

图6. 38RGB图像的拉普拉斯变换 图6. 39HSI图像的强度I分量图像的拉普拉斯变换 a图像和b图像的差别图像



a b c

图a

图b

图c

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

图c的原因：图a像素的锐化是不同彩色的锐化，而图b仅仅是强度的锐化，原彩色（色调H和饱和度S）保持不变



彩色分割（把一幅图像分成区域）

- HSI彩色空间分割——直观
 - ✓ H色调图像方便描述彩色
 - ✓ S饱和度图像做模板分离感兴趣的特征区
 - ✓ I强度图像不携带彩色信息
- RGB彩色空间——直接



HSI彩色空间分割

阈值产生的二值图像：
饱和度图像中阈值等于
最大饱和度的10%，大于
阈值的像素赋1，其它赋0

阈值产生的二值图像

色调模板的直方图
0.9的像素阈值

原图

S图

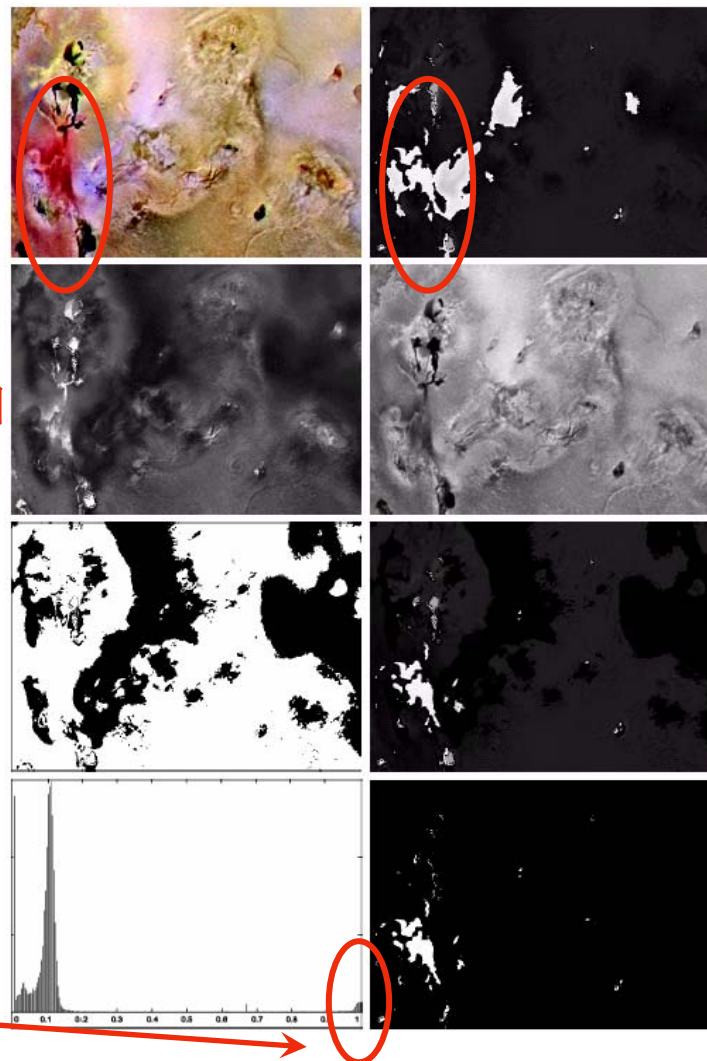
H图

I图

色调模板

H图×S图
门限

原图
分割





RGB彩色空间分割

令 z 代表RGB空间中的任意一点， a 是分割颜色样本集的平均颜色向量

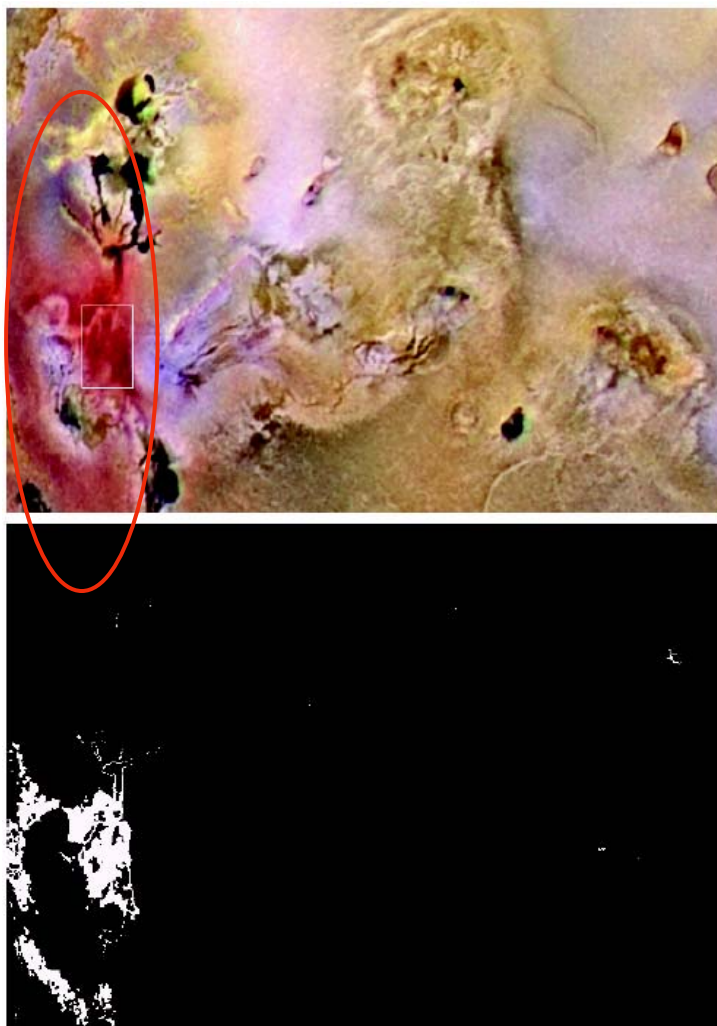
$$D(z, a) = \|z - a\| = \sqrt{(z_R - a_R)^2 + (z_G - a_G)^2 + (z_B - a_B)^2}$$

D_0 是距离阈值

如果 $D(z, a) \leq D_0$ ，则 z 和 a 相似

如果 $D(z, a) > D_0$ 则 z 和 a 不相似

RGB彩色空间分割



a
b

FIGURE 6.44
Segmentation in
RGB space.
(a) Original image
with colors of
interest shown
enclosed by a
rectangle.
(b) Result of
segmentation in
RGB vector
space. Compare
with Fig. 6.42(h).

对比：HSI分割结果

