

图象工程（上）

图 象 处 理

（第4版）

章毓晋

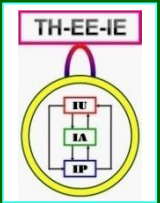
清华大学电子工程系 100084 北京



第4单元 拓展技术

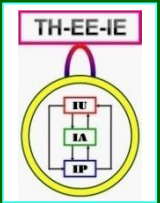
- 第12章 图象信息安全
- 第13章 彩色图象处理
- 第14章 视频图象处理
- 第15章 多尺度图象处理

对图象的研究和应用一直是一个活跃的领域，新的理论、新的方法不断涌现，新的技术、新的手段也在不断拓展。基于前三个单元介绍的图象处理技术，进一步拓展



第13章 彩色图象处理

- 13.1 彩色视觉和色度图
- 13.2 彩色模型
- 13.3 伪彩色增强
{由灰度增强而来}
- 13.4 真彩色处理



13.1 彩色视觉和色度图

{亮度视觉, 彩色视觉, 形状视觉,}

13.1.1 彩色视觉基础

13.1.2 三基色与色匹配

13.1.3 色度图



13.1.1 彩色视觉基础

彩色视觉

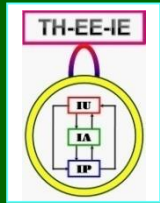
对彩色的视觉感知

人的视觉不仅能感知光的刺激，还能将不同频率的电磁波感知为不同的颜色

在物理世界中，辐射能量的分布是客观的，但彩色仅存在于人的眼睛和大脑中

牛顿说：“正确地讲，光线并不是彩色的”

"Indeed rays, properly expressed, are not colored."



13.1.1 彩色视觉基础

彩色和颜色

颜色可分为无彩色和有彩色两大类

无彩色指白色、黑色和各种深浅程度不同的灰色

能够同样吸收所有波长光的表面看起来是灰色的，反射的光多显浅灰色，反射的光少则显深灰色

以白色为一端，通过一系列从浅到深排列的各种灰色，到达另一端的黑色，这些灰色可以组成一个黑白系列

！彩色指除去上述黑白系列以外的各种颜色

！通常所说的颜色一般多指彩色

13.1.1 彩色视觉基础

彩色视觉的物理基础

人眼将客观世界成象在视网膜上
视网膜上有锥细胞和柱细胞：

- 柱细胞：多，但不感受彩色 \Rightarrow 无彩色
- 锥细胞：少，对彩色很敏感 \Rightarrow 有彩色

彩色视觉的生理基础

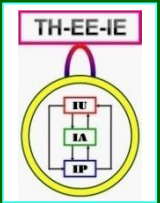
- 与化学反应过程有关（视紫红质分解 \Rightarrow 信号）
- 与神经处理过程有关（光感觉 \Rightarrow 景物知觉）



13.1.1 彩色视觉基础

彩色对比度（彩色视觉比亮度视觉更复杂）

- (1) 相对彩色对比度：指饱和度值之间的联系，可帮助区别低亮度反差的图象中的细节
- (2) 同时彩色对比度：人对一个物体表面区域的彩色观察结果（诱导色）会依赖于围绕该区域的周围区域表面的彩色
- (3) 连续彩色对比度：长时间观察一个彩色区域然后转到观察一个黑白区域时产生残留影象



13.1.2 三基色与色匹配

三种基本色:

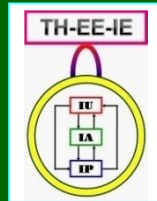
红 (R , red) :	700 nm	} CIE
绿 (G , green) :	546.1 nm	
蓝 (B , blue) :	435.8 nm	

三种补色:

黄 (Y , yellow, 即红加绿)

蓝绿 (C , cyan, 即绿加蓝, 青)

品红 (M , magenta, 即红加蓝)



13.1.2 三基色与色匹配

三色混合/匹配:

相加配对:

$$C \equiv rR + gG + bB$$

R, G, B : 三基色

r, g, b : 比例系数, $r + g + b = 1$

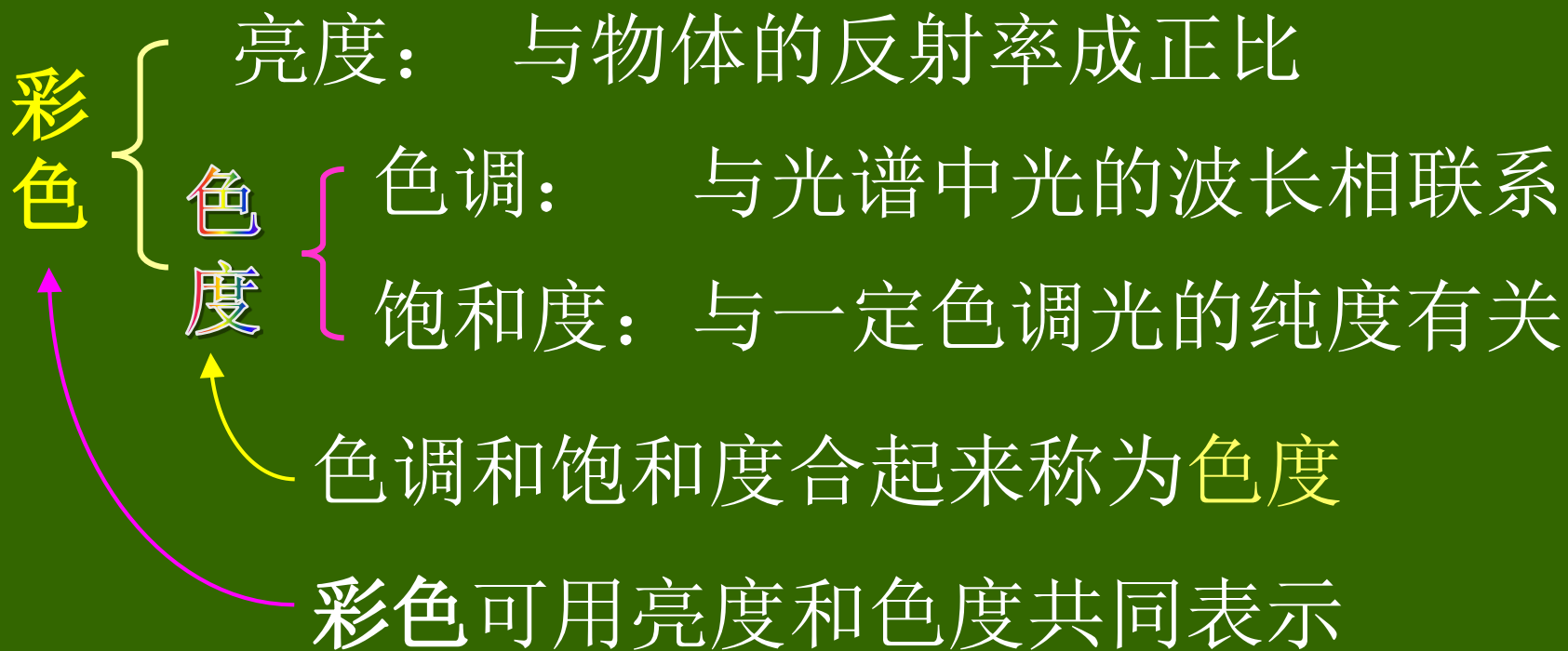
仅相加不能配对时:

$$C \equiv rR + gG - bB$$

$$bB + C \equiv rR + gG$$

13.1.3 色度图

描述彩色特性的三种（基本）感知量：



13.1.3 色度图

组成彩色 C 的三个刺激量: X , Y , Z

变换关系

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4902 & 0.3099 & 0.1999 \\ 0.1770 & 0.8123 & 0.0107 \\ 0.0000 & 0.0101 & 0.9899 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.3635 & -0.8958 & -0.4677 \\ -0.5151 & 1.4264 & 0.0887 \\ 0.0052 & -0.0145 & 1.0093 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

对白光, 有 $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 1$



13.1.3 色度图

设每种刺激量的比例系数为 x , y , z , 则有

$$C = xX + yY + zZ$$

三个色系数
(归一化):

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

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

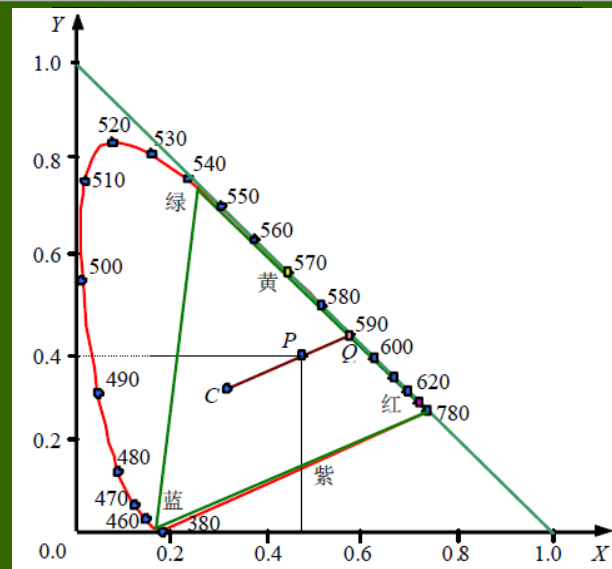
$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

13.1.3 色度图

在色度图中:

- (1) 每点都对应一种颜色
- (2) 边界上的点代表纯彩色,
中心点处纯度为零
- (3) 连接任两端点的直线上的各点表示将这两端点所代表的彩色相加可组成的一种新彩色
- (4) 过C点直线端点的两彩色为互补色
- (5) 三角形包含由三顶点可组成的所有颜色



13.1.3 色度图

色度图:

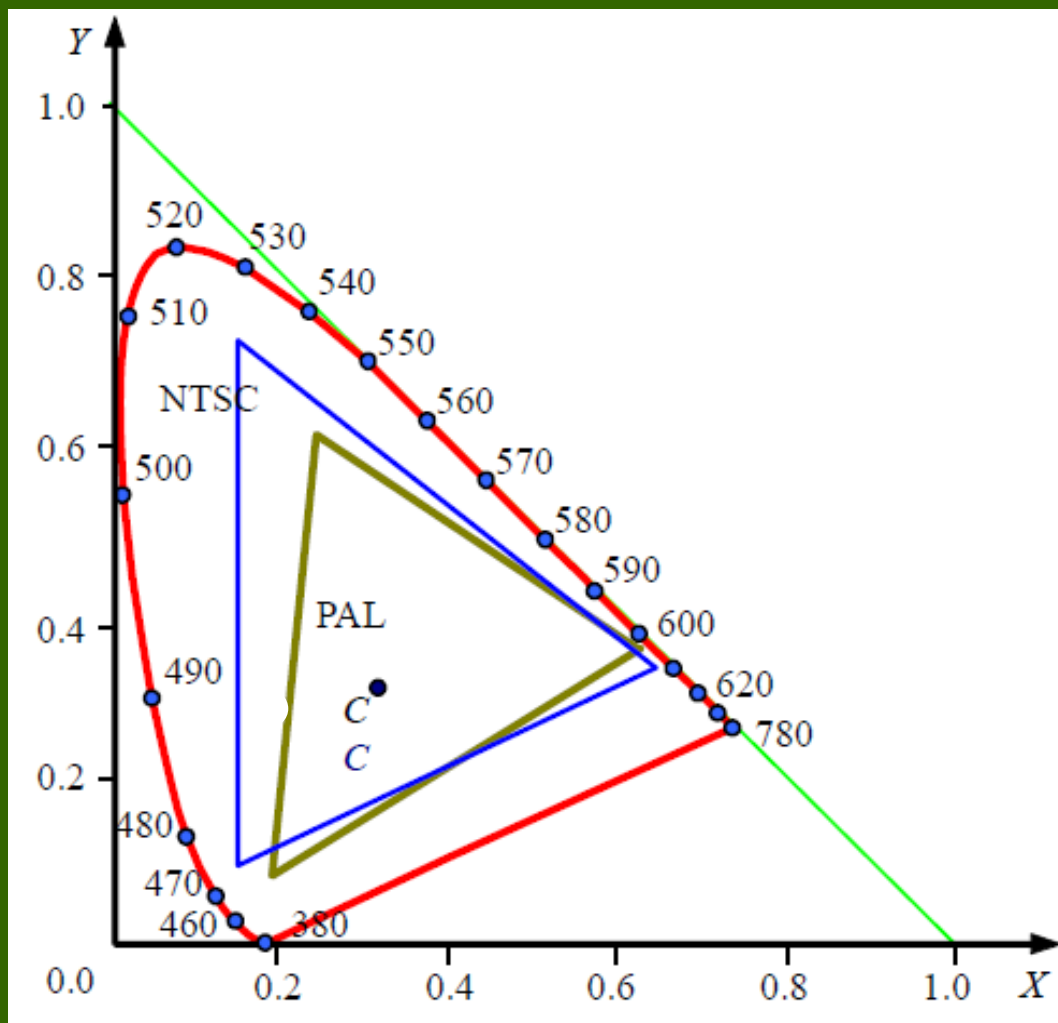
两种TV制式:

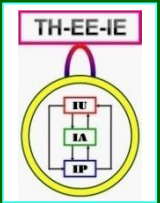
PAL

NTSC

讨论 (P.304)

例13.1.2



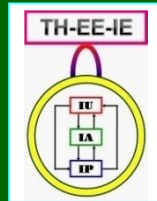


13.2 彩色模型

{彩色模型建立在彩色空间中，建立彩色模型
可看作建立一个3-D的空间坐标系统}

13.2.1 面向硬设备的彩色模型
用于如彩色显示器或打印机之类的
硬设备

13.2.2 面向视觉感知的彩色模型
用于彩色图象处理



13.2.1 面向硬设备的彩色模型

RGB模型:

建立在笛卡儿坐标系里，其中三个坐标轴分别表示 R ， G ， B

模型的空间是个正方体，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彩色，可用从原点到该点的矢量表示

13.2.1 面向硬设备的彩色模型

彩色滤波器阵（CFA）：

一种为了节约空间和费用而对彩色图象进行亚采样的器件。典型的拜尔模式（图象水平和垂直方向上的空间分辨率都减半）

每个像素的颜色只对应三基色之一，结合成 2×2 的方块（宏像素）就可给出全彩色

人眼对绿色最敏感（红和蓝单元各一个，绿单元有两个）

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	G	R	G	R	G	R	G	R
2	B	G	B	G	B	G	B	G
3	G	R	G	R	G	R	G	R
4	B	G	B	G	B	G	B	G
5	G	R	G	R	G	R	G	R
6	B	G	B	G	B	G	B	G
7	G	R	G	R	G	R	G	R
8	B	G	B	G	B	G	B	G

图 13.2.2 一个 8×8 的拜尔模式

13.2.1 面向硬设备的彩色模型

CMY模型:

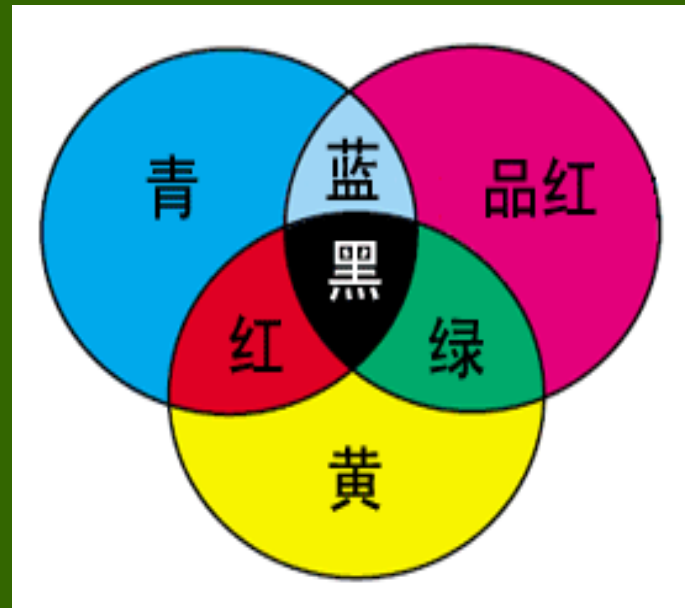
主要用于彩色打印，这三种补色可由从白色中分别减去三种基色而得到

从CMY到RGB的转换为

$$R = 1 - C \quad C = 1 - R$$

$$G = 1 - M \quad M = 1 - G$$

$$B = 1 - Y \quad Y = 1 - B$$



13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

HSI模型:

彩色 { 色度 { H 表示色调 (hue)
 S 表示饱和度 (saturation)
 I 表示强度 (intensity, 对应成象亮度和图象灰度)

两个基本特点:

- I 分量与图象的彩色信息无关
- H 和 S 分量与人感受彩色的方式紧密相连 (合称色度)



13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

从RGB转换到HSI:

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

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

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

13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

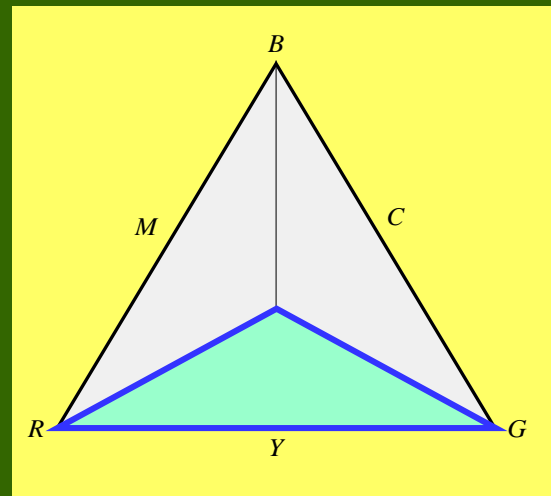
从HSI转换到RGB:

(1) 当 H 在 $[0^\circ, 120^\circ]$ 之间:

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

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

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



13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

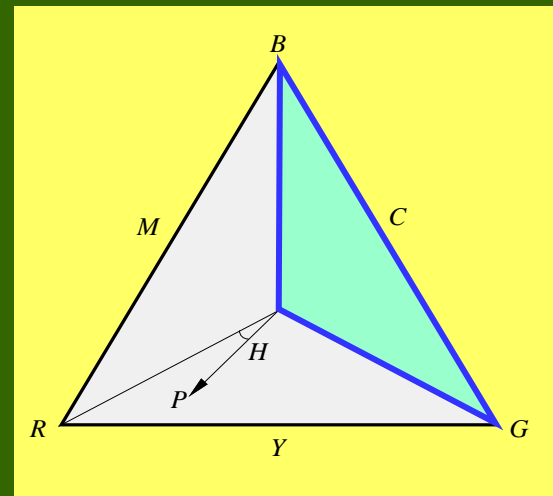
从HSI转换到RGB:

(2) 当 H 在 $[120^\circ, 240^\circ]$ 之间:

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

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

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



13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

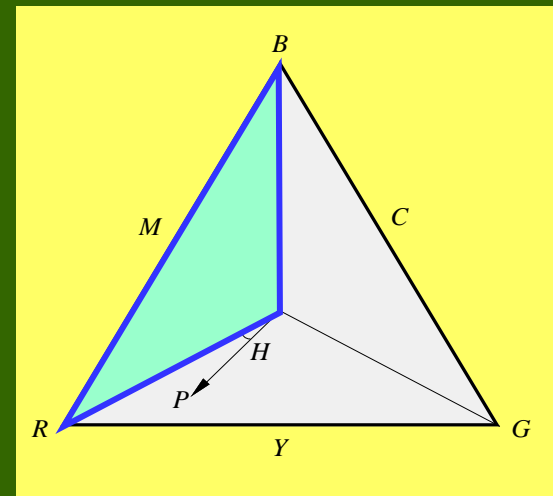
从HSI转换到RGB:

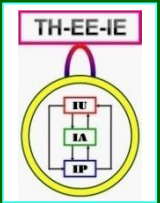
(3) 当 H 在 $[240^\circ, 360^\circ]$ 之间:

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

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

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





13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

HSB模型:

基础是对立色理论：将对立色调（红和绿，黄和蓝）的颜色叠加，则它们会互相抵消

四种基本色调（红 r 、绿 g 、黄 y 和蓝 b ）

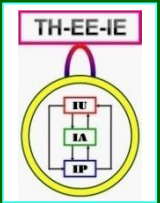
可使用变换

$$I = wb = R + G + B$$

$$rg = R - G$$

$$yb = 2B - R - G$$

来获得对立色空间的3个量，其中 I 是无色调的（ w 和 b 分别表示白和黑）， rg 和 yb 具有对立的色调



13.2.2 面向视觉感知的彩色模型

$L^*a^*b^*$ 模型:

一种均匀彩色空间模型

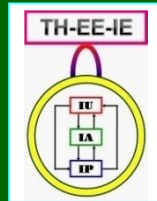
人在彩色空间中所观察到的两种彩色的区别程度与该彩色空间中两点间的欧氏距离对应

从3个刺激量 X , Y , Z 到 $L^*a^*b^*$ 模型的转换公式

$$L^* = \begin{cases} 116(Y / Y_0)^{1/3} - 16 & \text{if } Y / Y_0 > 0.008856 \\ 903.3(Y / Y_0)^{1/3} & \text{if } Y / Y_0 \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500[f(X / X_0) - f(Y / Y_0)]$$

$$b^* = 200[f(Y / Y_0) - f(Z / Z_0)]$$



13.3 伪彩色增强

彩色增强原理

人眼对彩色比对灰度有较大的分辨能力

对灰度：几十

对彩色：几千

彩色增强方法分类

(1) 伪彩色增强方法

(2) 真彩色增强方法

增加区分度



13.3 伪彩色增强

特点

对原来灰度图象中不同灰度值的区域赋予不同的彩色以更明显地区分他们

区域：不同灰度 \Rightarrow 赋彩色 \Rightarrow 不同彩色
“伪”

典型方法

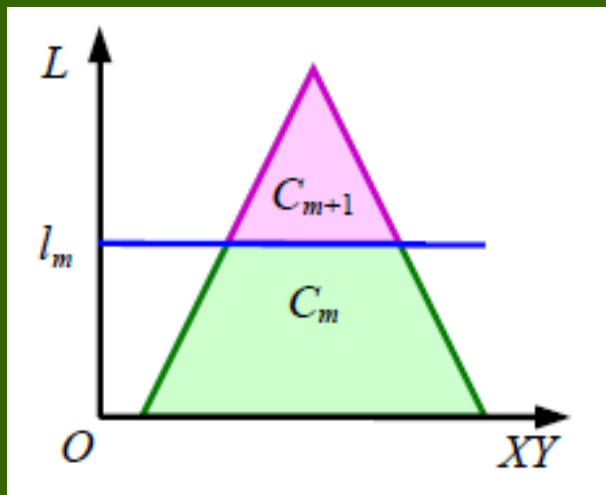
- (1) 亮度切割
- (2) 变换函数（伪彩色映射函数）
- (3) 频域滤波

13.3 伪彩色增强

(1) 亮度切割

将图象看作2-D分布的亮度函数

用1个平行于图象坐标平面的平面去切割图象亮度函数，从而把亮度函数分成2个灰度值区间



$$f(x, y) = \begin{cases} C_{m+1} & f(x, y) > l_m \\ C_m & f(x, y) < l_m \end{cases}$$

如果象素灰度值在切割灰度值 l_m 之下就被赋予某一种颜色 C_m ，如果在 l_m 之上就被赋予另一种颜色 C_{m+1}

13.3 伪彩色增强

(1) 亮度切割

赋给一定灰度范围的彩色是由3个分量所决定的，对每个分量可设计不同的映射函数
(灰度) 分区映射 (到红、绿、蓝)

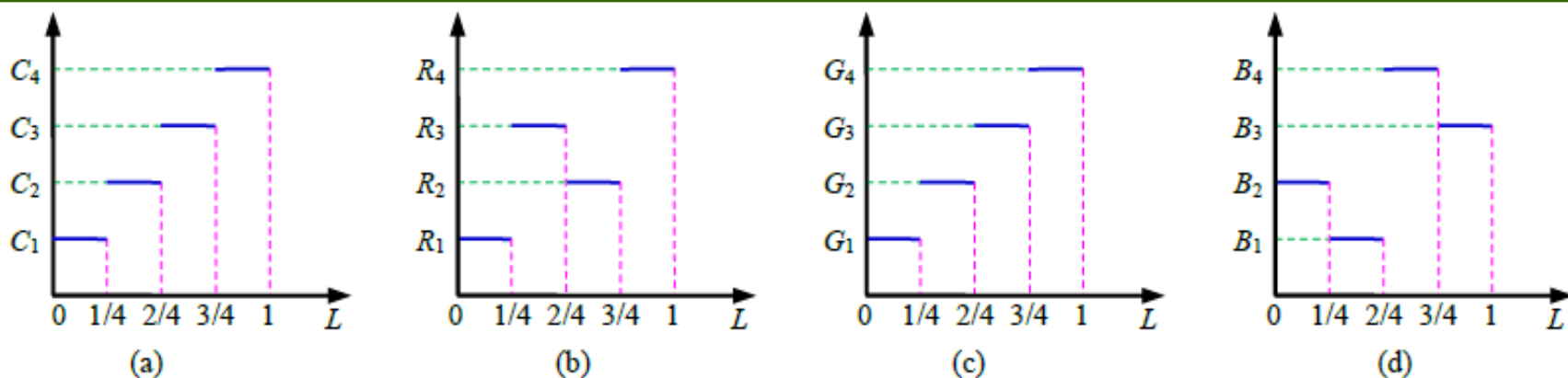


图 13.3.2 基于亮度切割的伪彩色映射

13.3 伪彩色增强

(2) 伪彩色变换映射

利用（点一点）幅度（连续）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的彩色来增强

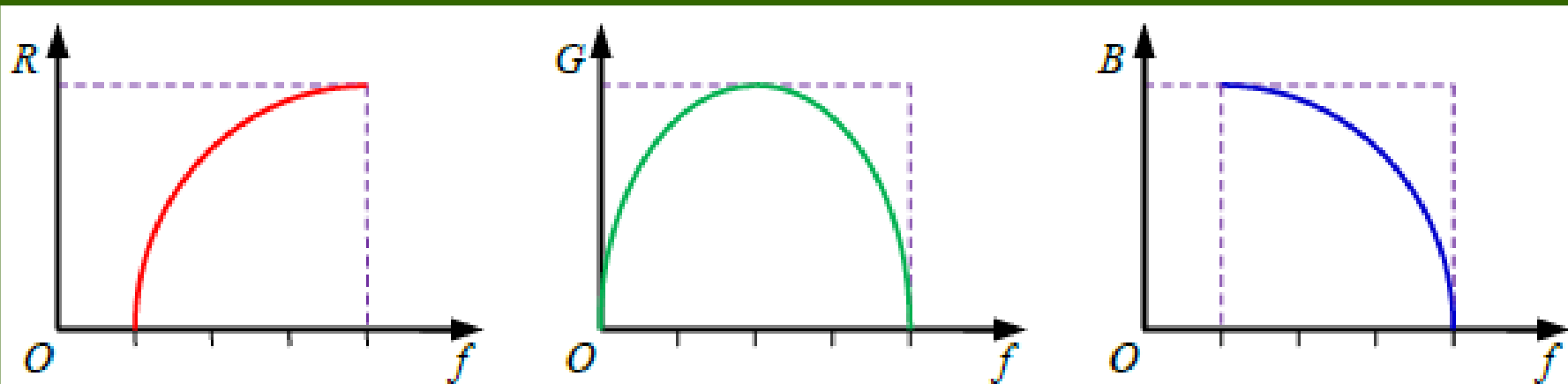


图 13.3.3 伪彩色变换函数示例

13.3 伪彩色增强

(2) 伪彩色变换映射

将3个变换的结果分别输入3个电子枪

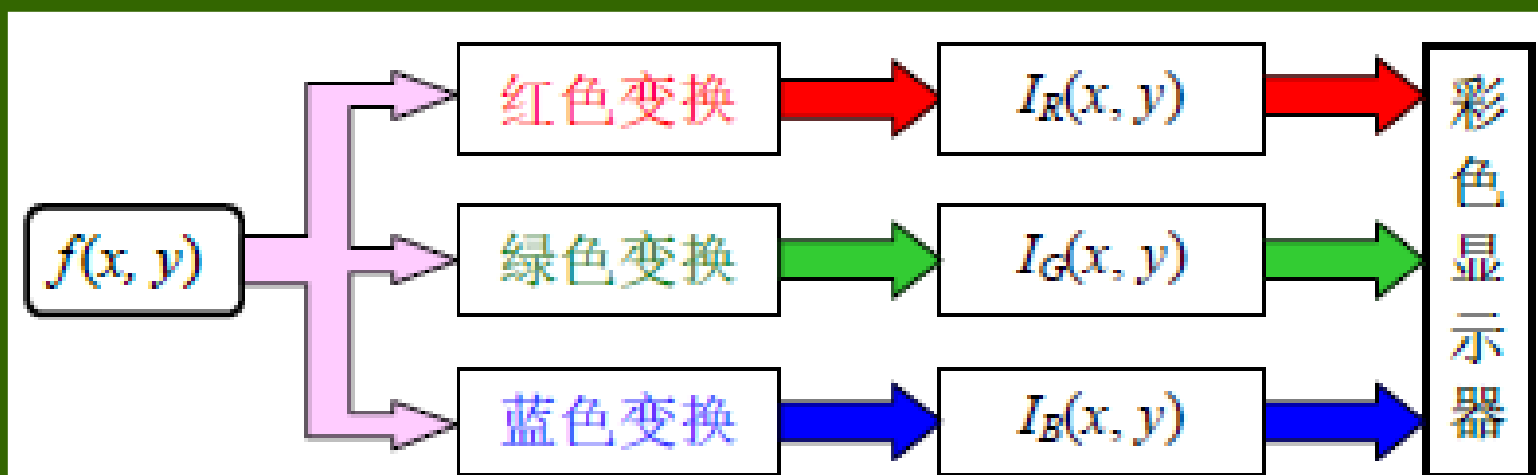


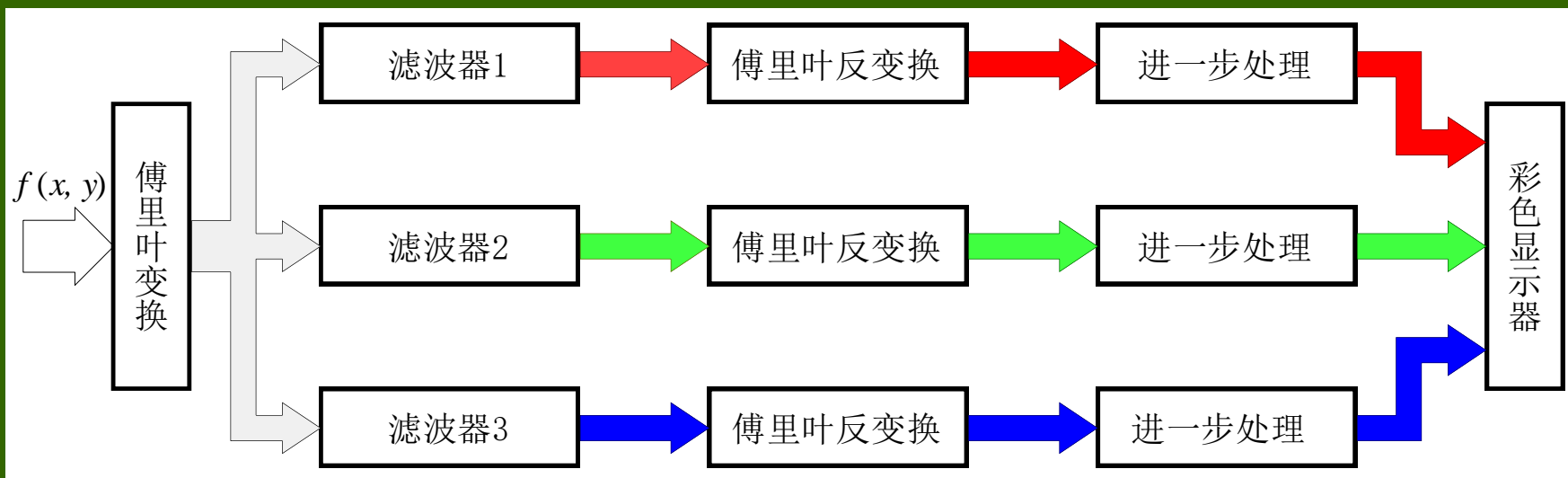
图 13.3.4 伪彩色变换流程

该方法可看作亮度切割的推广（任意函数）

13.3 伪彩色增强

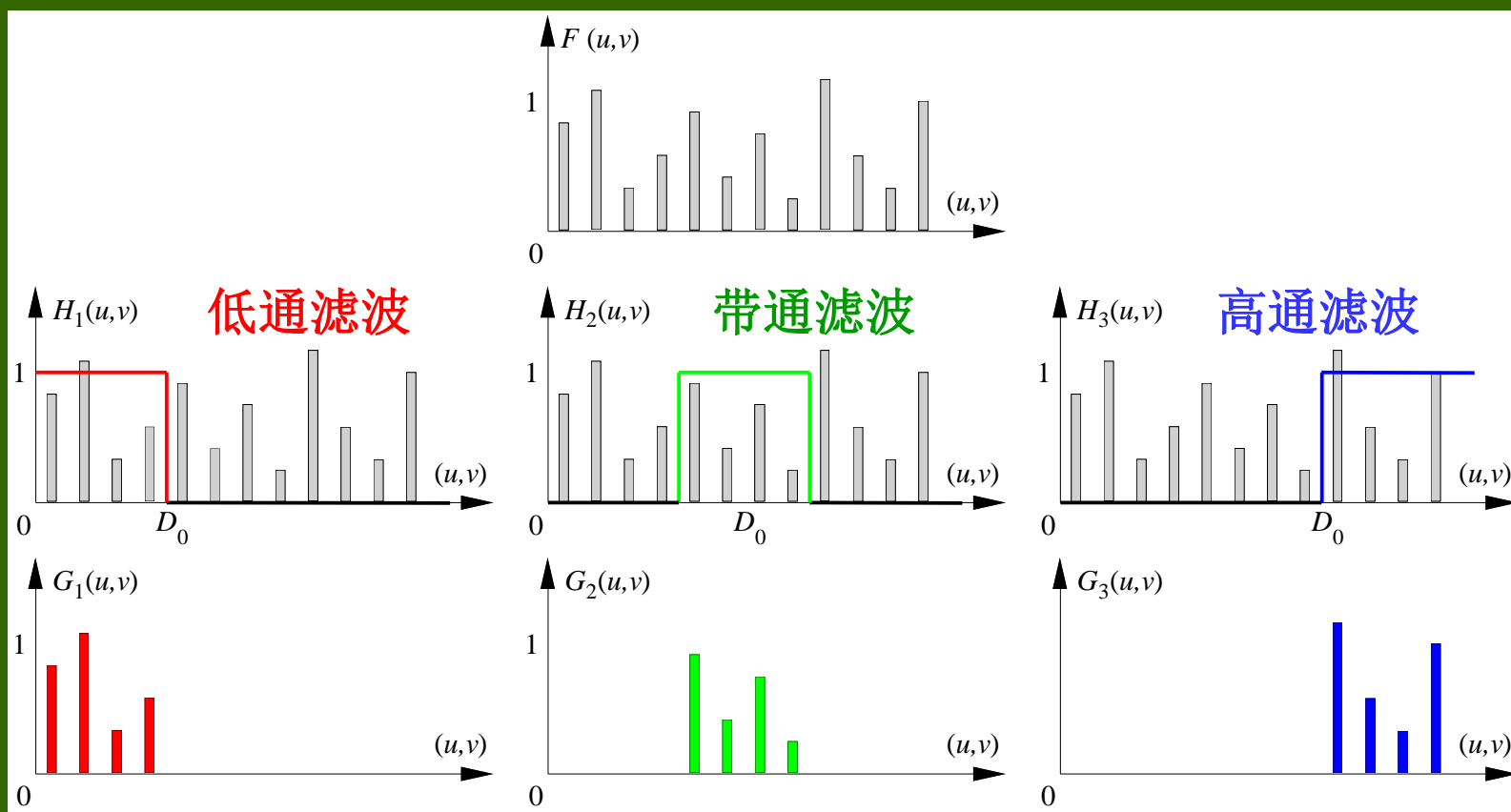
(3) 频域滤波

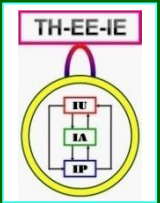
对原来灰度图象中的不同频率分量（可分别借助低通，带通/带阻，高通滤波器获得）赋予不同的彩色（区域性，非点对点）



13.3 伪彩色增强

(3) 频域滤波





13.4 真彩色处理

{输入和输出图象都是彩色的}

13.4.1 处理策略

13.4.2 单分量变换增强

13.4.3 全彩色增强

13.4.4 全彩色滤波和消噪



13.4.1 处理策略

两种处理策略

- (1) 将一幅彩色图象看作三幅分量图象的组
 $\{f_r, f_g, f_b\}$ 合体，先分别单独处理，再将结果合成
- (2) 将一幅彩色图象中的每个像素看作具有
 $f(x, y)$ 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

根据上述两种策略进行处理的结果有可能相同也有可能不同，主要取决于处理操作的特性



13.4.1 处理策略

两种处理结果相同

对处理的方法和处理的对象都有一定的要求

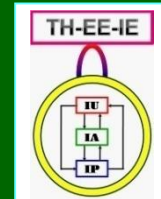
- (1) 既能用于标量又能用于矢量
- (2) 对每个分量的处理要与其他分量独立

例：邻域平均

$$C_v(x, y) = \frac{1}{n^2} \sum_{(s, t) \in N(x, y)} C(s, t)$$

线性操作

$$C_s(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{n^2} \sum_{(s, t) \in N(x, y)} R(s, t) \\ \frac{1}{n^2} \sum_{(s, t) \in N(x, y)} G(s, t) \\ \frac{1}{n^2} \sum_{(s, t) \in N(x, y)} B(s, t) \end{bmatrix}$$



13.4.2 单分量变换增强

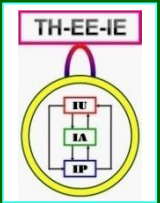
1. 基本原理和步骤

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

HSI彩色空间中各分量比较独立 (P.313)

➤ 对单分量进行增强步骤

- (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某个分量图
- (3) 再将结果转换为 R , G , B 分量图



13.4.2 单分量变换增强

2. 亮度增强

$$g_i(x, y) = k_i \bullet f_i(x, y) \quad i = 1, 2, 3$$

✓ 只需对亮度变换 $g_1(x, y) = f_1(x, y) \quad \{H\}$

$$g_2(x, y) = f_2(x, y) \quad \{S\}$$

$$g_3(x, y) = k f_3(x, y) \quad \{I\}$$

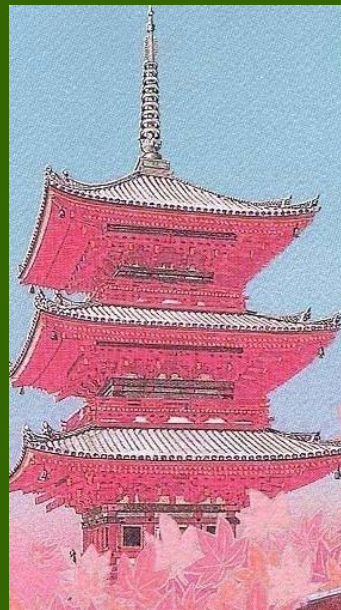
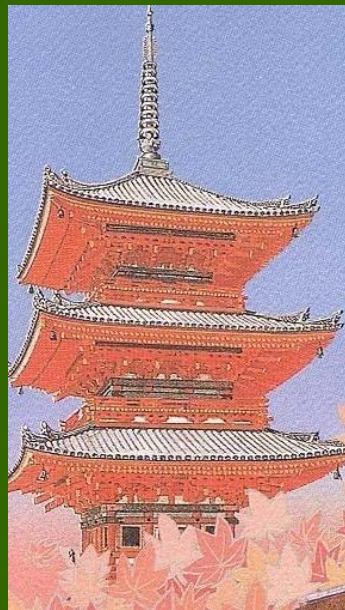
⚠ 虽然不改变原图的彩色内容，但增强后的图主观上看起来还可能会有些色感不同

13.4.2 单分量变换增强

4. 色调增强

色调 \pm 小常数: 图象变“暖”或变“冷”

色调 \pm 大常数: 对图象感受会发生比较激烈的变化





13.4.3 全彩色增强

1. 彩色切割增强

- 自然图象中对应同一个物体或物体部分的像素其彩色在彩色空间中应该是聚集在一起的
- 在彩色空间中将与需增强部分对应的聚类确定出来并进行增强

聚类中心

$$\begin{aligned}m_R &= \frac{1}{\#W} \sum_{(x,y) \in W} R_W(x,y) \\m_G &= \frac{1}{\#W} \sum_{(x,y) \in W} G_W(x,y) \\m_B &= \frac{1}{\#W} \sum_{(x,y) \in W} B_W(x,y)\end{aligned}$$

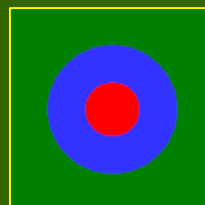
增强（包围矩形）

$$\begin{aligned}\{ &m_R - d_R/2 : m_R + d_R/2; \\ &m_G - d_G/2 : m_G + d_G/2; \\ &m_B - d_B/2 : m_B + d_B/2\}\end{aligned}$$

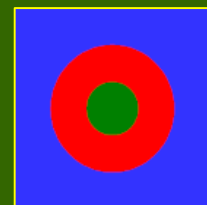
13.4.3 全彩色增强

2. 假彩色增强 (false color enhancement)

- 输入和输出均为彩色图象
- 使原始彩色图象中一些感兴趣的部分呈现与原来完全不同的、且与人们的预期也很不相同的 (非自然) 假颜色, 从而可以更容易地得到关注
- 例: 将绿色映射为红色, 将蓝色映射为绿色, 将红色映射为蓝色:



$$\begin{bmatrix} R_E \\ G_E \\ B_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_O \\ G_O \\ B_O \end{bmatrix}$$





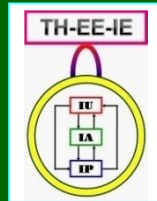
13.4.4 全彩色滤波和消噪

1. 彩色图象中的噪声

彩色图象有3个通道，所以噪声影响较为复杂

假设 R 、 G 、 B 通道都受到噪声影响，它们合成的彩色图象中的噪声看起来会比单个通道中的噪声要弱一些（叠加平均）

将有随机噪声的RGB图象转换为HSI图象，则由于余弦计算及最小值计算的非线性特性，色调图象与饱和度图象中的噪声会更明显些；而亮度图象中的噪声由于相加计算的平均作用而有所平滑



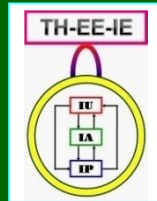
13.4.4 全彩色滤波和消噪

2. 矢量数据排序（如：中值滤波）

边缘排序中，需对每个分量都独立地排序，而最终的排序是根据所有分量的同序值构成的像素值来进行的（排序结果中可能出现新像素值）

条件排序中，选取其中任一个分量进行标量排序（如果该分量的值相同则考虑第二个分量），像素值（包括其他分量的值）根据该顺序而排序

简化/合计排序中将所有像素值（矢量值）用给定的简化函数组合转化为标量再进行排序



13.4.4 全彩色滤波和消噪

3. 其他矢量数据排序方法

在HSI空间进行条件排序，可以根据如下3个准则进行：

- (1) 先将矢量从具有最小 I 值的向具有最大 I 值的进行排列
- (2) 将具有相同 I 值的矢量从具有最大 S 值的向具有最小的 S 值的进行排列
- (3) 将具有相同 S 值的矢量从具有最小 H 值的向具有最大 H 值的进行排列

13.4.4 全彩色滤波和消噪

4. 彩色中值滤波

如使用标准中值滤波器（标量中值滤波）

- ① 有可能产生原来图象中没有的像素值
- ② 在输出图中会产生彩色“渗色”现象

- 噪声点只出现在一个彩色分量中
- 滤波器消除噪声但同时将边缘移动（ \Leftrightarrow 图3.4.2）



图 13.4.3 渗色现象示意



联系信息

- ☞ 通信地址：北京清华大学电子工程系
- ☞ 邮政编码：100084
- ☞ 办公地址：清华大学，罗姆楼，6层305室
- ☞ 办公电话：(010) 62798540
- ☞ 传真号码：(010) 62770317
- ☞ 电子邮件：zhang-yj@tsinghua.edu.cn
- ☞ 个人主页：oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/