

第四章 彩色图像处理

- ◆ 彩色基础
- ◆ 彩色模型
- ◆ 伪彩色处理
- ◆ 全彩色图像处理基础
- ◆ 彩色变换
- ◆ 平滑和尖锐化
- ◆ 彩色分割

一、彩色基础

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

彩色图像处理可以分为

全彩色处理

- ◆ 数码相机
- ◆ 数码摄像机
- ◆ 彩色扫描仪

伪彩色处理

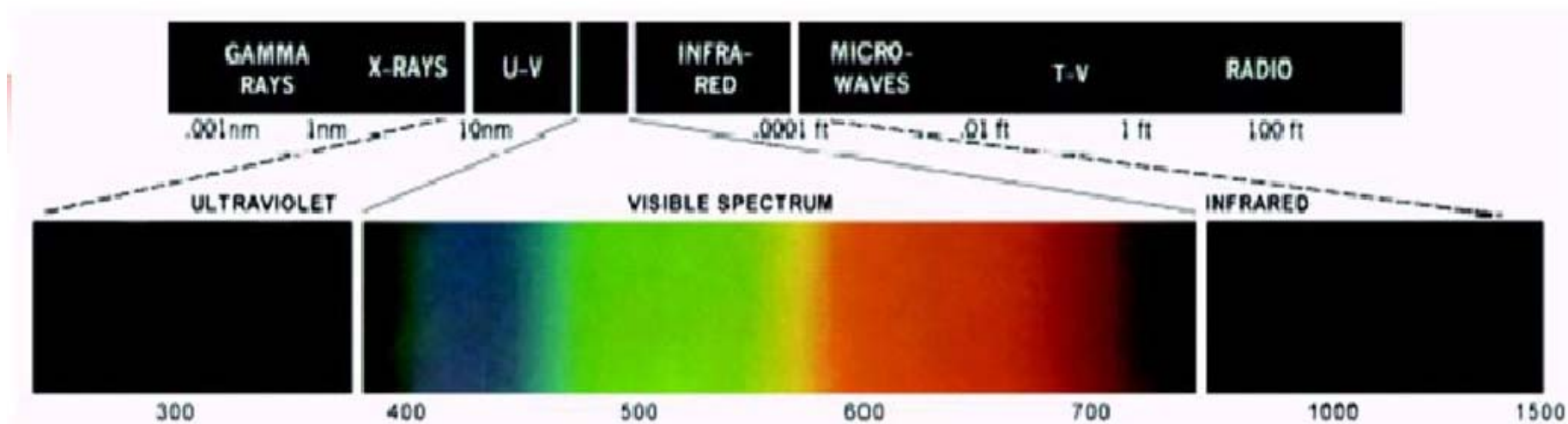
- 对不同的灰度或灰度范围赋予不同的颜色

之前各章涉及的灰度级方法可以直接用于彩色图像处理，其余的按照本章推倒的颜色空间特性加以重新阐述。

虽然人的大脑感知和理解颜色所遵循的过程是一种生理心理现象，这一现象还远没有完全了解，但是颜色的物理性质可以由试验和理论结果支持的基本形式来表示。

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。

彩色谱可以分为6个宽的区域：紫色、蓝色、绿色、黄色、橘红色和红色。



可见范围电磁波谱的波长组成

可见光是由电磁波谱中相对较窄的波段组成的。一个物体反射的光如果在所有可见光波段范围内是平衡的，对观察者来说显示白色。若一个物体对有限的可见光谱范围反射，则物体呈现某种颜色。

绿色物体反射具有500-570nm范围的光，吸收其他波长光的多数能量。

□ 光特性是颜色科学的核心

如果光是消色的(缺乏颜色)，它的属性仅仅是亮度或者数值，消色光就是观察者看到的黑白电视的光。

□ 描述彩色光的3个基本量

- 辐射率：从光源流出能量的总和，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，强化了彩色强度的概念并是描述彩色感觉的关键参数

- ◆ 在人的视觉系统中存在着两种感光细胞：
 - ◆ 杆状细胞(Rods)
 - ◆ 杆状细胞为暗视器官，主要功能是辨别亮度信息；
 - ◆ 锥状细胞(Cones)
 - ◆ 锥状细胞是明视器官，在照度足够高时起作用，其功能是分辨颜色。

在人眼中的6~7万锥状细胞中大约65%的锥状细胞对红光敏感，33%对绿光敏感，只有2%对蓝光敏感。

- CIE（国际照明委员会）设计的三原色（三基色）

红色(Red)、绿色(Green)和蓝色(Blue)

700nm

546.1nm

435.8nm

- 原色相加可产生二次色

深红色：红+蓝

青色：绿+蓝

黄色：红+绿

以正确的亮度把三原色或者一种二次色与去其相反的原色相混和可产生白光。

通常，用来区分不同颜色的特性量为：

□ 亮度（又称为强度：Intensity）

亮度是色彩明亮度的概念

□ 色调(Hue)

表示观察者接受的主要颜色（光波混合中与主波长有关的属性）

□ 饱和度(Saturation)

给出一种纯色被白光稀释的程度的度量

色调与饱和度一起称为彩色，因此，颜色用亮度和彩色表征。

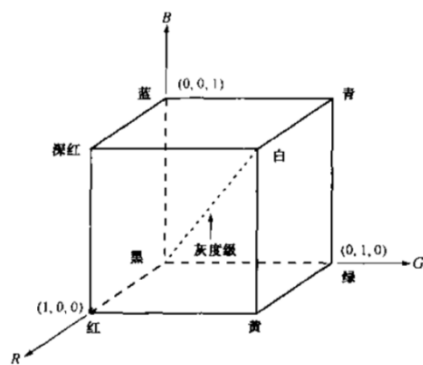
二、彩色空间（彩色模型或彩色系统）

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

彩色模型的用途是在某些标准下用通常可接收的方式简化彩色规范。
本质上，彩色模型是坐标系统的子空间的规范。

RGB

RGB模型基于笛卡尔坐标系统，所考虑的彩色子空间是立方体。



- ❑ 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

在RGB模型中，不同的颜色处在立方体上或其内部，并可用从原点分布的向量来定义。

在**RGB**彩色模型中，所表示的图像由3个图像分量组成，每一个分量图像都是其原色图像。当送入**RGB**监视器时，这三幅图像在荧光屏上混合产生一幅合成的彩色图像。

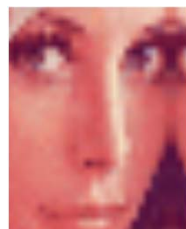
在**RGB**空间，用以表示每一像素的比特数叫做像素深度。红、绿和蓝图像都是一幅8比特图像，所以每一个**RGB**彩色像素称为有24比特深度。

在24比特**RGB**图像中颜色总数是16 777 216。

➤ 用(红、绿、蓝)三元组的三维矩阵来表示。

——三元组的每个数值也是在0到255之间。R=G=B,则(R、G、B)即为1种灰度颜色,(0,0,0)表示全黑色, (255,255,255)是全白色。

彩色图象(128x128)及其对应的数值矩阵 ((25x31))



(207,137,130)	(220,179,163)	(215,169,161)	(210,179,172)	(210,179,172)
(207,154,146)	(217,124,121)	(226,144,133)	(226,144,133)	(224,137,124)
(227,151,136)	(227,151,136)	(226,159,142)	(227,151,136)	(230,170,154)
(231,178,163)	(231,178,163)	(231,178,163)	(236,187,171)	(236,187,171)
(239,195,176)	(239,195,176)	(240,205,187)	(239,195,176)	(231,138,123)
(217,124,121)	(215,169,161)	(216,179,170)	(216,179,170)	(207,137,120)
(159, 51, 71)	(189, 89,101)	(216,111,110)	(217,124,121)	(227,151,136)
(227,151,136)	(226,159,142)	(226,159,142)	(237,159,135)	(237,159,135)
(231,178,163)	(236,187,171)	(231,178,163)	(236,187,171)	(236,187,171)
(236,187,171)	(239,195,176)	(239,195,176)	(236,187,171)	(227,133,118)
(213,142,135)	(216,179,170)	(221,184,170)	(190, 89, 89)	(204,109,113)
(204,115,118)	(189, 85, 97)	(159, 60, 78)	(136, 38, 65)	(160, 56, 75)
(204,109,113)	(227,151,136)	(226,159,142)	(237,159,135)	(227,151,136)

CMY和CMKY彩色空间

CMY（青、深红、黄）、**CMYK**（青、深红、黄、黑）

青、深红和黄色是光的二次色，他们是颜料的原色。如：当青色颜料涂覆的表面用白光照射时，从该表面反射的不是红光，而是从反射的白光中减去红色。

CMY

- 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(等量的颜料原色产生)
- 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

在彩色打印机和复印机中，要求输入CMY数据或在内部做RGB到CMY的转换。

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

HSI彩色模型

RGB系统与人很强地感觉红、绿、蓝三原色的事实能很好地匹配。但是，**RGB**、**CMY**和其他类似的彩色模型不能很好地适应实际上人解释的颜色。

当人们观察一个彩色物体时，用色调、色饱和度和亮度来描述它。色调是描述纯色的属性（纯黄色、橘黄或红色），反过来，饱和度给出一种纯色被白光稀释程度的度量。亮度是一个主观的描述子，体现了无色的强度概念。

从RGB到HIS模型的转变

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

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

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

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

从HIS到 RGB模型的转变

$$0^{\circ} < H < 120^{\circ}$$

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

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

$$G = 1 - (R + B)$$

$$120^{\circ} < H < 240^{\circ}$$

$$H = H - 120^{\circ}$$

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

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

$$B = 1 - (R + G)$$

$$240^{\circ} < H < 360^{\circ}$$

$$H = H - 240^{\circ}$$

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

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

$$R = 1 - (G + B)$$

基于IHS变换法的遥感图像融合

在遥感图像的融合中之所以使用IHS颜色空间变换法主要基于IHS变换的如下两个特点：

- (1) I 分量与图像的色彩信息无关；
- (2) H 分量和 S 分量与人感受色彩的方式是紧密相连的。

IHS变换有效地分离了RGB图像的强度(I)和光谱(H 和 S 分量)，因而可以在图像处理时保持 H 和 S 分量不变，对 I 分量进行处理，避免了对 R 、 G 和 B 分别进行处理时由于它们之间的耦合性而带来的色彩改变。



$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -\sqrt{2}/6 & -\sqrt{2}/6 & 2\sqrt{2}/6 \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

$$S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$

$$\begin{bmatrix} R_new \\ G_new \\ B_new \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_new \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

西北工业大学航天学院



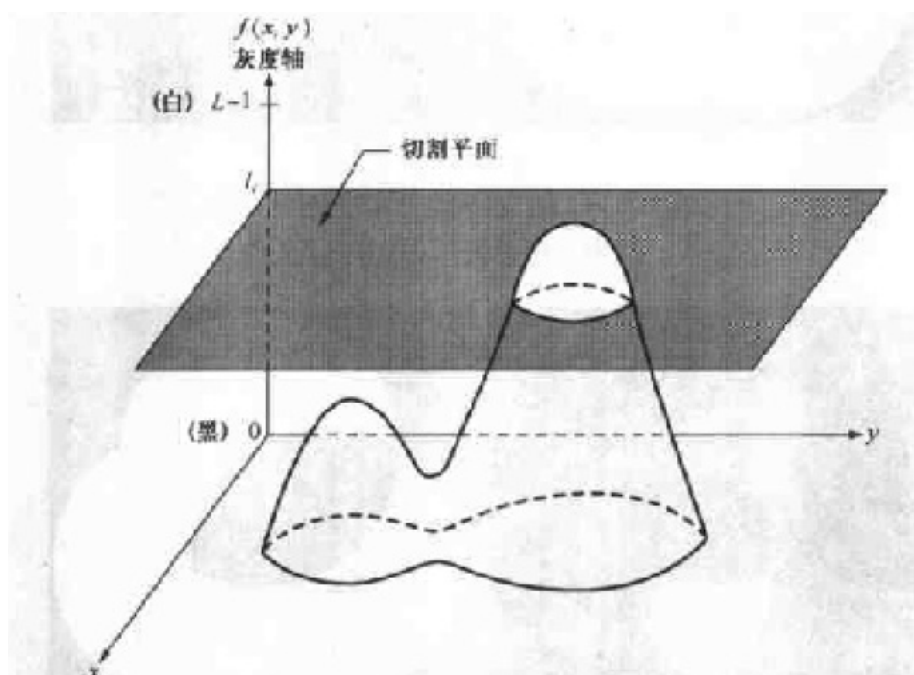
三、伪彩色处理

伪彩色图像处理（假彩色）是根据特定的准则对灰度值赋以彩色的处理。

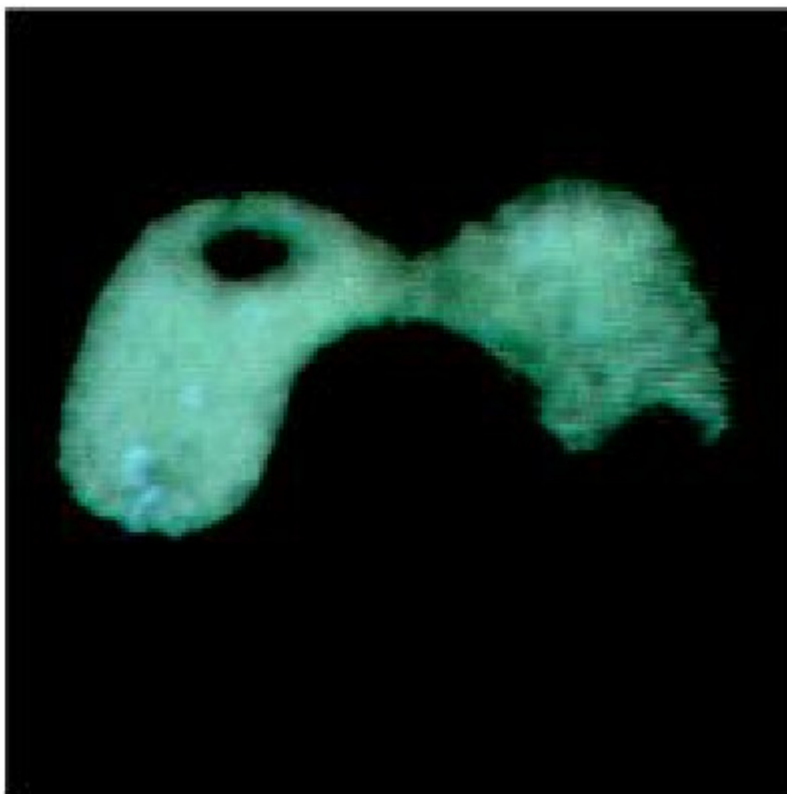
伪彩色的主要应用是为了人目视观察和解释一幅图像或序列图像中的灰度目标（人类可以辨别上千种颜色和强度）。

强度分层

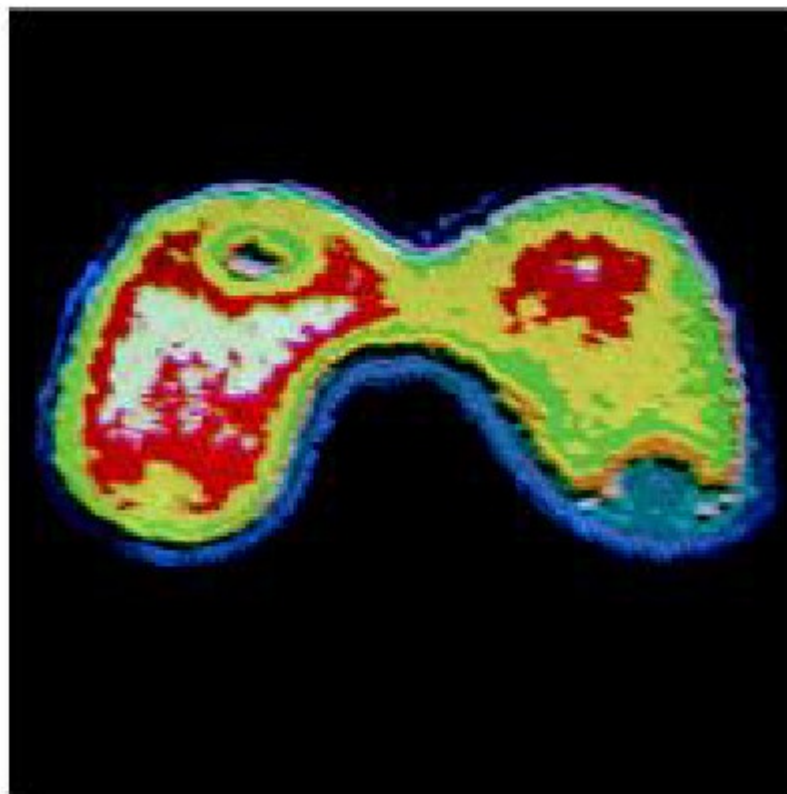
强度分层技术和彩色编码是伟彩色图像处理最简单的例子之一。



如果一幅图像被描述为三维函数，分层方法可看成是放置一些平行于图像坐标的平面，然后每一个平面在相交的区域中切割图像函数。



(a) 甲状腺模型的单色图像,



(b) 强度分层为8个彩色的结果

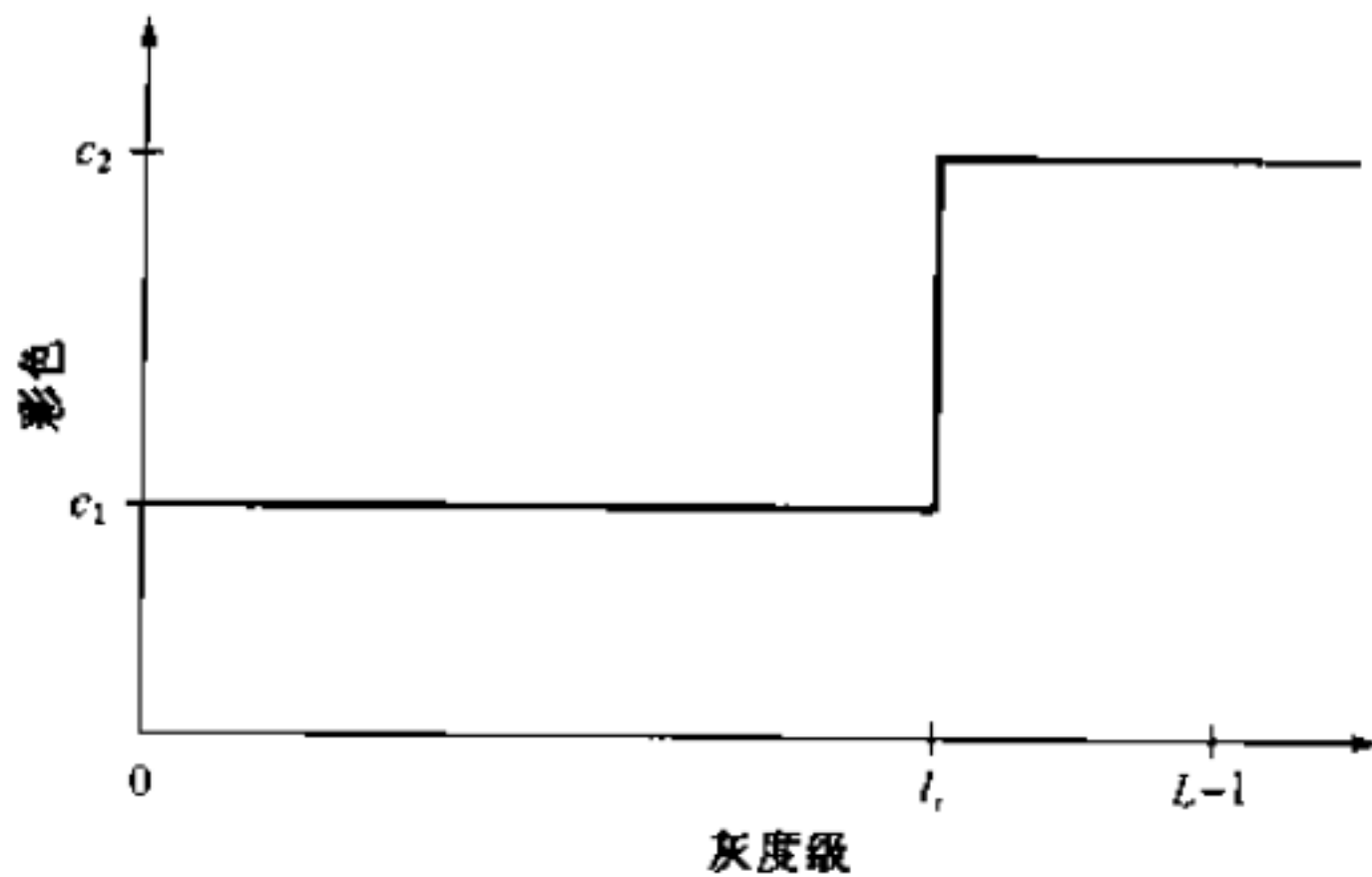
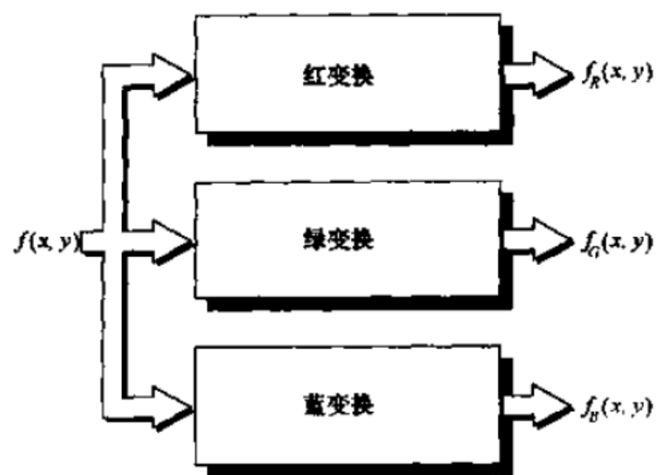


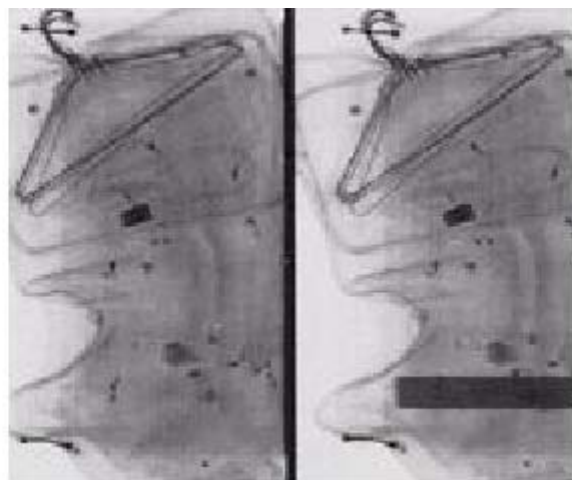
图 6.19 强度分层技术的另一种解释

灰度级到彩色转换

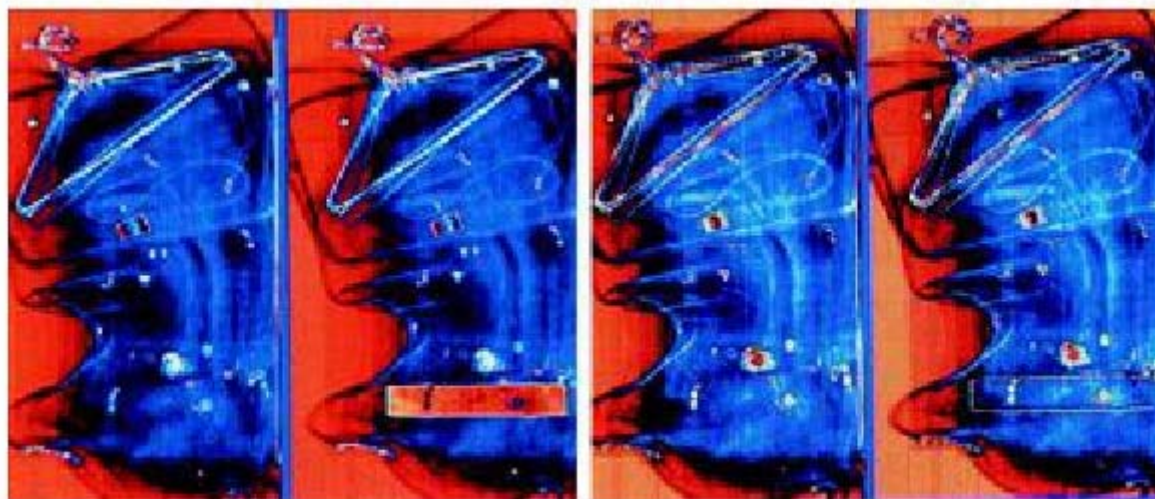
对任何输入像素的灰度级执行3个独立的变换，然后3个变换结果分别送入彩色电视监视器的红、绿、蓝通道。这种方法产生一幅合成图像，其彩色内容受变换函数特性调制。

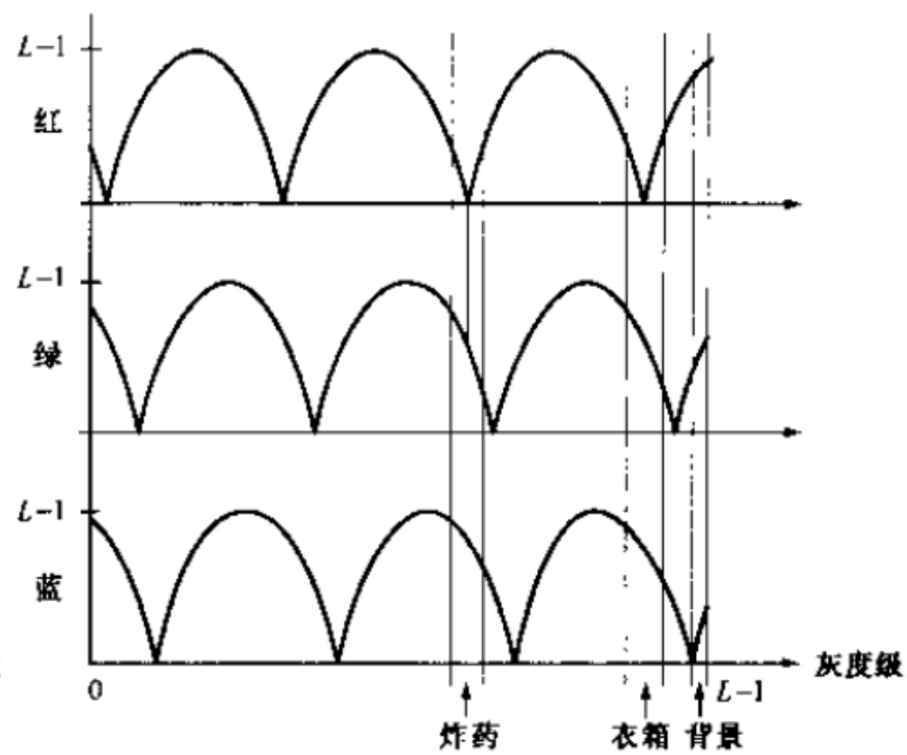
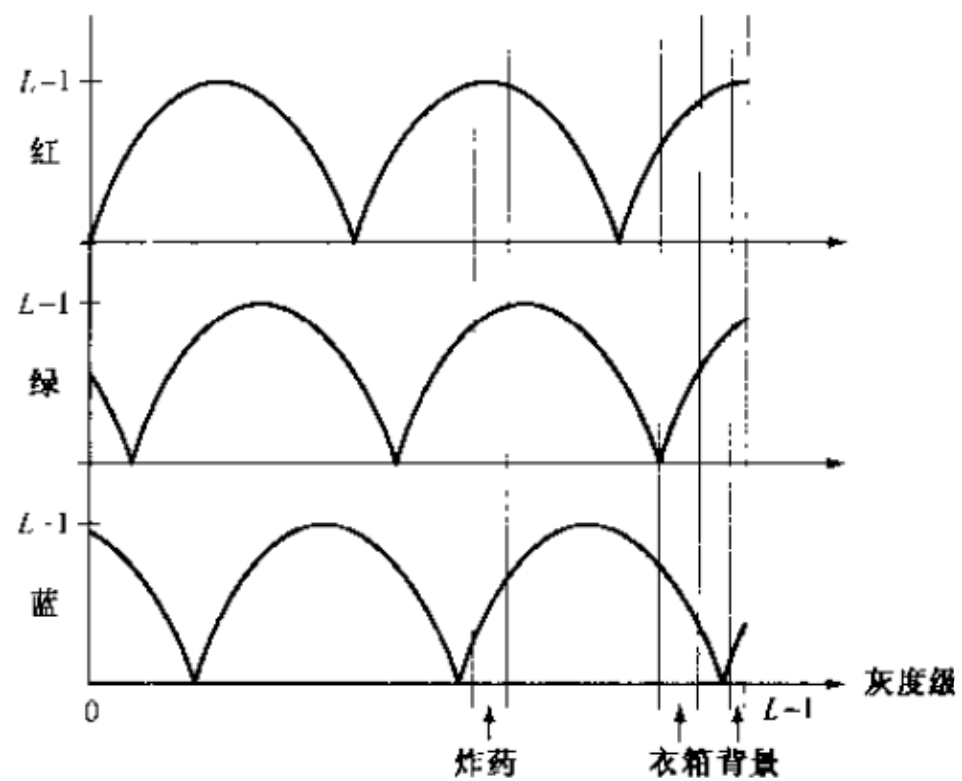


这些方法是一幅图像灰度值的变换而不是位置函数。

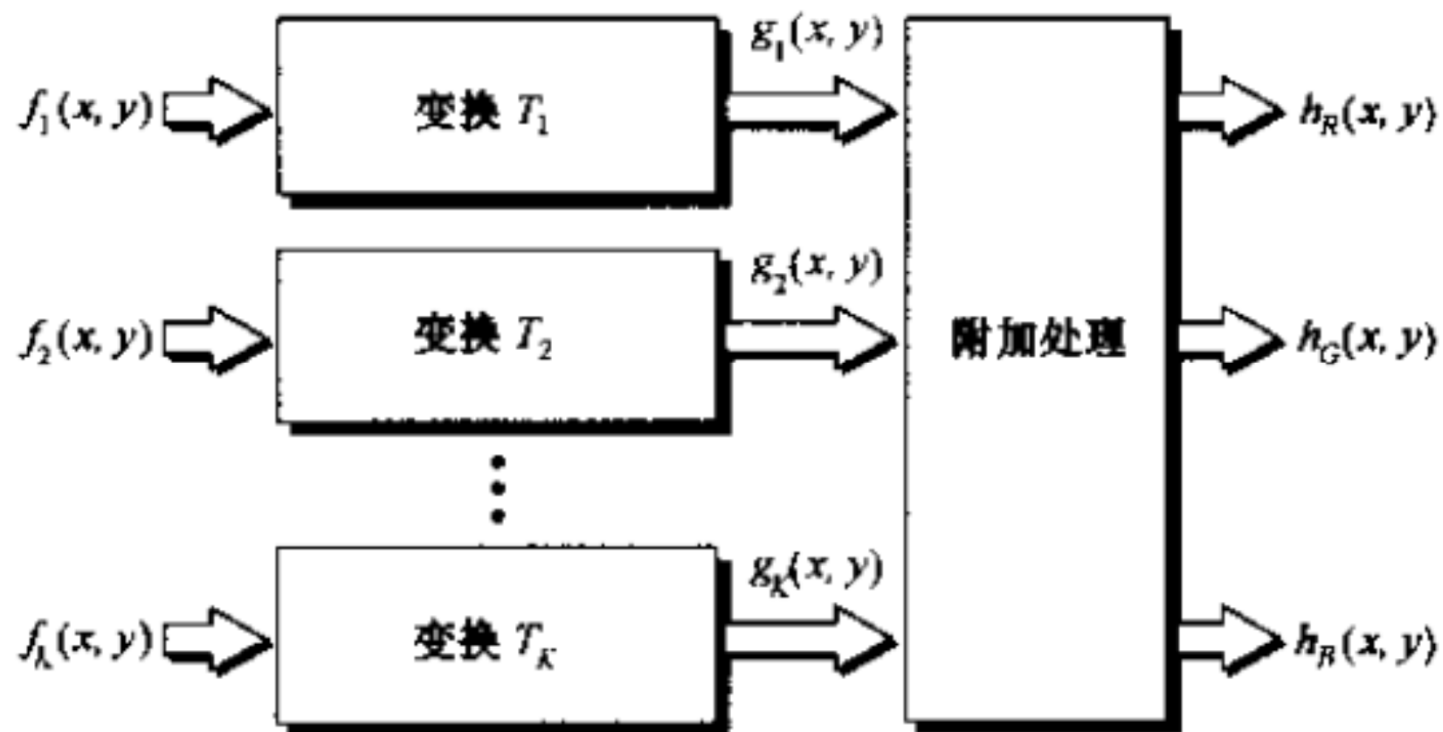


左边的图像含有普通物品
右边的图像含有形同的物品以
及一块模拟的塑料爆炸物





将多幅单色图像组合为一幅彩色组合图像是很重要的，在多光谱图像处理中使用广泛。



红



蓝



RGB



绿



近
红
外



蓝+绿+近红外



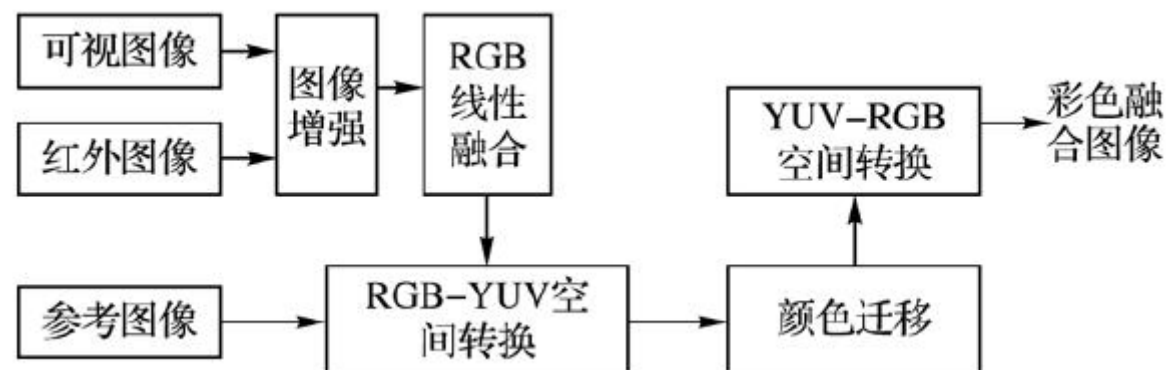
RGB—密度大的全彩色图像区域很难判读，但该图像显著的特点是波托马克河的各部分颜色不同。

伪彩色—近红外对场景的生物分量有较强反应。伪彩色图像显示生物（红色）和场景中人造目标的特性间有十分明显的差别，由混凝土和柏油组成的部分在图像中呈现浅蓝色。

伪彩色融合

微光夜视仪和红外热像仪等仪器拓展了人类的光谱响应范围和黑暗中观察景物的能力，可见光与红外图像融合可以充分利用不同传感器的优势，弥补单一传感器的不足。





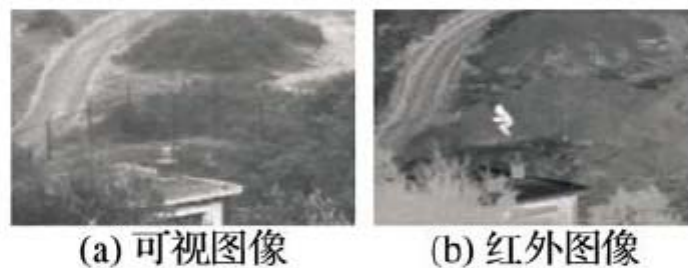
图像增强：局部直方图均衡化+中值滤波

$$\begin{cases} R = m_1 \times I_{ir} - m_2 \times I_{vis} \\ G = m_3 \times I_{vis} - m_4 \times I_{ir} \\ B = I_{vis} \end{cases}$$

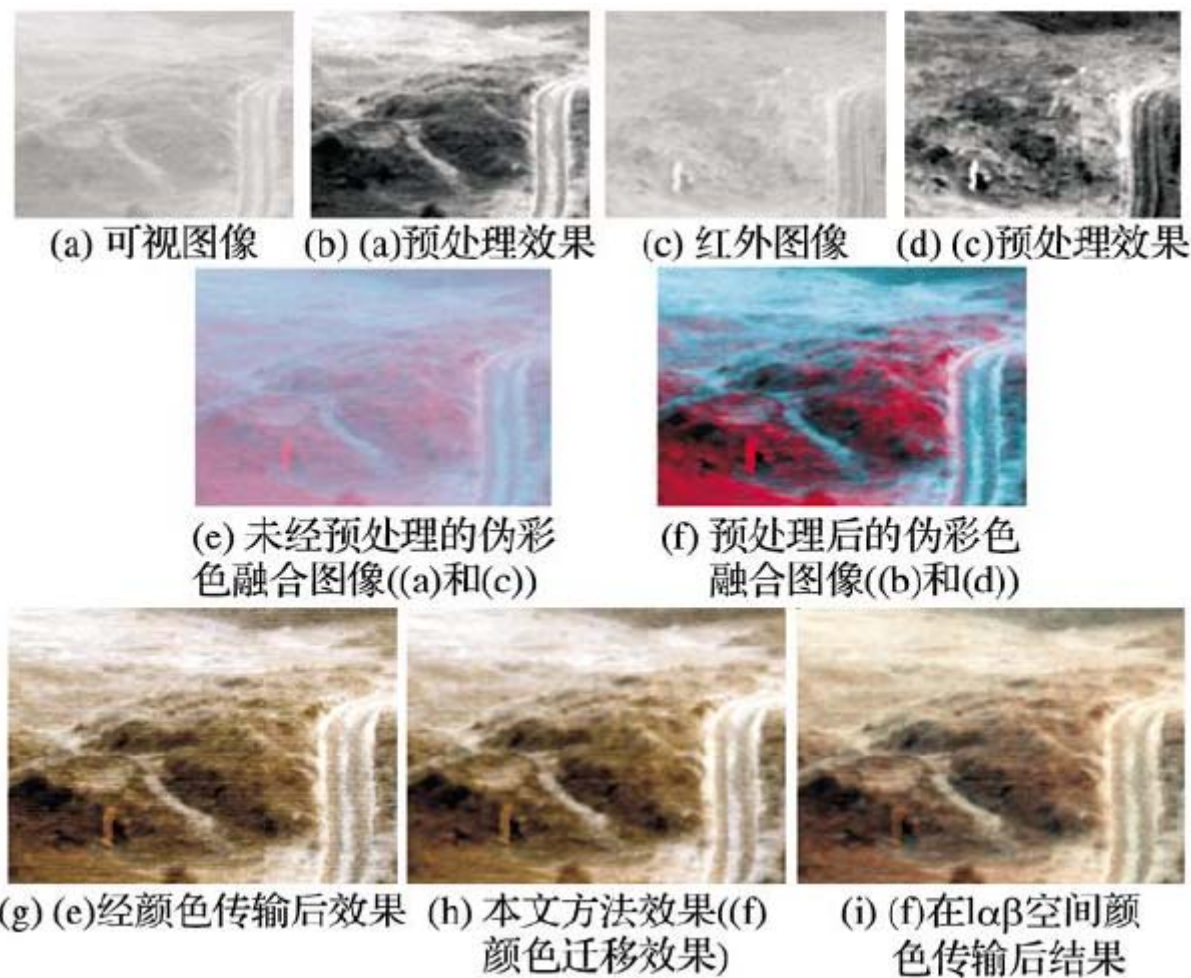
参考文献：钱小燕等. 基于YUV空间的彩色夜视融合方法，计算机应用



图 2 参考图像



参考文献：钱小燕等. 基于YUV空间的彩色夜视融合方法，计算机应用



参考文献：钱小燕等. 基于YUV空间的彩色夜视融合方法，计算机应用

TNO伪彩色融合方法：

(1) 确定红外图像与微光图像的共有成分，用局部最小算子实现。

$$\text{Vis}(i,j) \cap \text{IR}(i,j) = \text{Min}\{\text{Vis}(i,j), \text{IR}(i,j)\}$$

(2) 红外和微光图像分别减去共有的成分，得到微光图像和红外图像的独有成分；

(3) 微光图像减去红外图像的独有成分，红外图像减去微光图像的独有成分，结果会增强各自图像的特定细节，然后将它们分别送入显示器的R、G和B通道，得到目标图像。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{IR} - \text{Vis}^* \\ \text{Vis} - \text{IR}^* \\ \text{Vis} - \text{IR} \end{pmatrix}$$

四、全彩色图像处理基础

全彩色图像处理研究分为两大类。第一类是分别处理每一分量图像，从分别处理过的分量图像形成合成彩色图像；第二类是直接对彩色像素处理。

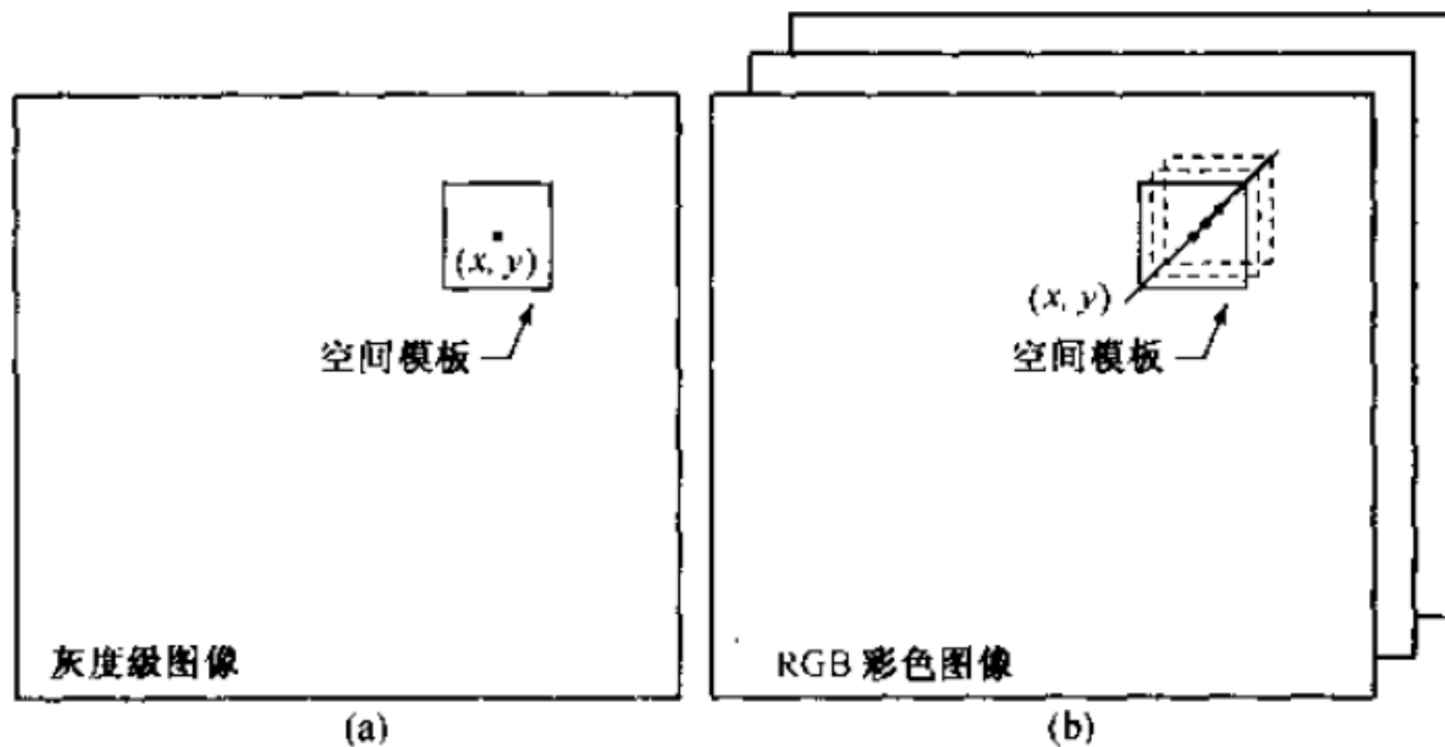
令 \mathbf{c} 代表RGB彩色空间中的任意向量：

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

可以将彩色分量认为是坐标 (x,y) 的函数，表示为

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

然而，单独的彩色分量的处理结果并不总等于在彩色向量空间的直接处理，在这种情况下，就必须采取新的公式化方法。为了使每一彩色分量处理和基于向量的处理等同，必须满足两个条件：第一，处理必须对向量和标量都可用，第二，对向量每一分量的操作对于其他分量必须是独立的。



对灰度和RGB彩色图像的空间掩膜

- (a) 将邻域内的所有像素灰度级相加然后用邻域内像素总数去除
- (b) 把邻域内所有向量相加并用邻域内向量总数去除每一个分量

五、彩色变换

单一彩色模型的范围中处理彩色图像分量

一、公式

1、变换函数

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

$g(x, y)$: 变换后的彩色输出图像

$f(x, y)$: 彩色输入图像

T : 在空间邻域 (x, y) 上对 f 的操作

若操作 T 所定义的邻域为像素 (x, y) 本身的单点集，那么输出 $g(x, y)$ 仅依赖于输入图像在 (x, y) 像素点的彩色值，与其邻域无关，此时 T 定义的操作被称为彩色变换或彩色映射函数。

2、彩色变换

$$s_i = T_i(r_1, r_2, \dots, r_n)$$

s_i 和 r_i 为 $g(x,y)$ 和 $f(x,y)$ 在图像中任意一点的彩色分量值。

$\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 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。若选择RGB模型，则 $n=3$ ； r_1 、 r_2 、 r_3 分别表示输入图像的红、绿、蓝分量；选择CMKY模型，则 $n=4$ 。

用彩色变换调整图像亮度

$$g(x,y)=kf(x,y), \quad 0 < k < 1$$

- HSI彩色空间，可以作简单变换：

$s_3 = kr_3$ ，这里 $s_1 = r_1$ ， $s_2 = r_2$ ，仅仅改变亮度分量 r_3 。

- RGB彩色空间，3个分量都必须变换：

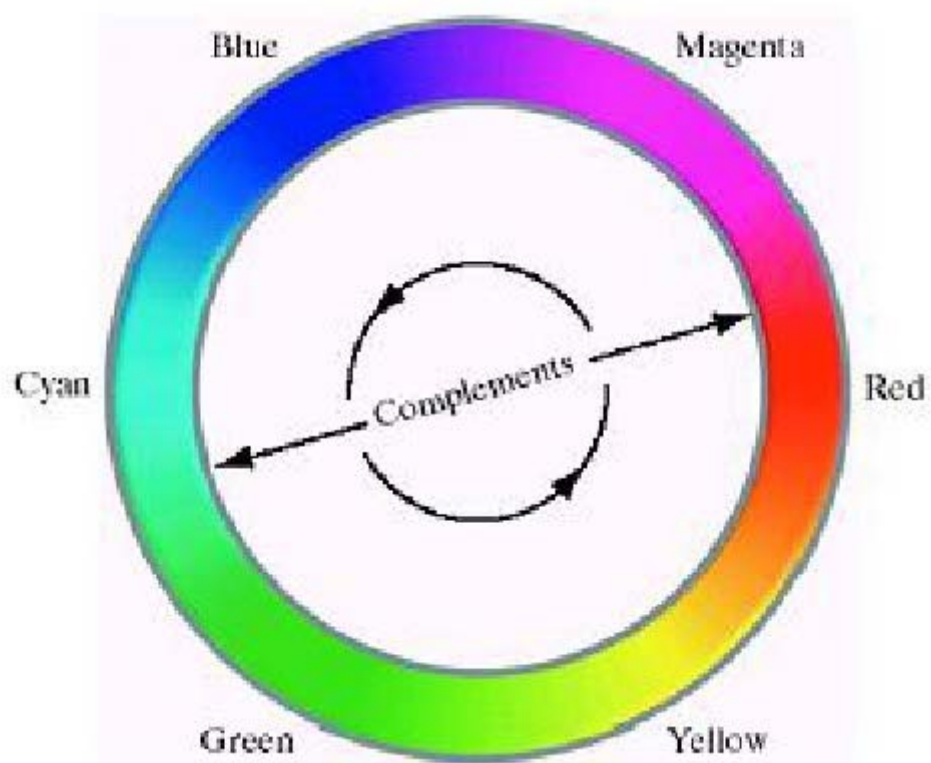
$$s_i = kr_i \quad i=1,2,3。$$

- CMY空间为一个相似的线性变换集：

$$s_i = kr_i + (1-k), \quad i=1,2,3。$$

二、补色

在下图所示的彩色环上，与一种色调直接相对立的另一种色调称为补色。



补色对于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
细节很有用。

```
void Complementary_Color(C3 *src,C3 *dst,int width,int height,int color_space_type){
switch (color_space_type) {
case COLOR_SPACE_RGB:
RGB2CMY(src, dst, width, height);
break;
case COLOR_SPACE_CMY:
CMY2RGB(src, dst, width, height);
break;
case COLOR_SPACE_HSI:{
for(int i=0;i<width*height;i++){
double h=src[i].c1;
if(h>=M_PI)
dst[i].c1=h-M_PI;
else
dst[i].c1=M_PI+h;
dst[i].c2=src[i].c2;
dst[i].c3=255.-src[i].c3;
}
break;
}
case COLOR_SPACE_HSV:{
for(int i=0;i<width*height;i++){
double h=src[i].c1;
if(h>=180.0)
dst[i].c1=h-180.0;
else
dst[i].c1=180.0+h;
dst[i].c2=src[i].c2;
dst[i].c3=1.0-src[i].c3;
}
break;
}
default:
break;
}
}
```

三、彩色分层

突出图像中特殊彩色区域，以便分离出目标物。

- 1、显示感兴趣颜色以便从背景中分离；
- 2、在彩色定义的区域中使用处理技术。

方法：若感兴趣颜色有宽度W，中心在原彩色(平均)点并具有分量 (a_1, a_2, \dots, a_n) 的立方体中，其变换集为：

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

若感兴趣的颜色是半径为R0的封闭球形，则其变换集为：

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

四、直方图处理

独立地进行彩色图像分量的直方图均衡通常是不明智的，这将产生一个不正确的色彩。一个更合乎逻辑的方法是均匀地扩展彩色强度，保留彩色本身（即色调）不变。