

第十章 彩色感知

前面几章主要讨论了二维数字图像，图像的灰度值一般表示光强，光强是两个空间变量的函数 $f(x, y)$ 。实际上，光是由不同波段的光谱组成的，一幅图像常常对应一个波段或多个波段光谱样本，因此，图像灰度值是两个空间变量和一个光谱变量的函数 $f(x, y, \lambda)$ 。我们称这样的图像为多光谱图像(multi-spectral image)，其中的每一个波段称为一个通道。比如，气象卫星获取的云图，其波段是红外波段；扇形束 B 型超声诊断仪输出的图像，其波段是超声波段。通常进入我们眼睛的光是由各种波段的光组成的混合光，很少是纯粹的单一波段的光。单色光只有在人工实验室条件下，利用单色仪或单色滤光片才能观察到。混合光中各种波长光的量的比例不同而会呈现不同的颜色，例如，短波光能量较大时呈现蓝色，长波光能量较大时则呈现红色。

场景或物体的颜色是由照射光源的光谱成分、光线在物体上反射和吸收的情况决定的。比如，一个蓝色物体在日光下观察呈现蓝色，是由于这个物体将日光中的蓝光反射出来，而吸收了光谱中的其它部分的光谱。而同样的蓝色物体，在红色的光源照射下，则呈现红紫色。对于机器视觉系统，彩色图像还与成像系统敏感器的光谱响应有关。

本章的讨论中，假设表面是不透明的，场景表面上一点 (x, y, z) 的位置由图像平面坐标 (x', y') 表示。由于我们在本章一直使用以观察者为中心的坐标系，所以图像平面坐标系中的上标撇将被省略。

10.1 三色原理

我们知道，可见光的波长分布在 380nm 到 780nm 之间，人的颜色感觉是不同波长的可见光刺激人的视觉器官的结果。在可见光的波段内，随着波长的增长，使人产生紫、蓝、青、绿、黄、橙、红等颜色的感觉。我们知道，人的视网膜上有两类细胞：杆体细胞和锥体细胞。杆体细胞灵敏度高，能感受微弱的光；锥体细胞灵敏度低，但能很好地区分颜色。为了解释视觉对颜色的感知能力，美国物理学家 T. Young 1801 年提出三色假说，后来由 Helmholtz 加以发展，形成著名的 Young-Helmholtz 三色学说。三色假说的中心内容是：假设有三种视觉(锥体)感受器，分别对红、绿、蓝三种颜色敏感；当光线同时作用在这三种感受器上时，三个感受器产生的兴奋程度不同；不同兴奋程度的组合将产生不同的颜色感觉，三种感受器处于等强度兴奋时，便产生白色的感觉。现代技术的发展充分证实了三色假说的合理性。比如，采用反射分光光度法、显微分光光度法和单细胞电生理学方法证实，人类视网膜中确实含有三种不同的光敏感性视色素。在光照射下，它们吸收某些波长的光而反射另一些波长的光，每一种锥体细胞色素对光谱不同部位的敏感性是不同的。根据 [Wald 1964] 对人类色彩视觉的研究结果，三种锥体细胞的光谱吸收的峰值分别在 430nm 、 540nm 和 570nm 左右，这三个区间分别对应红、绿和蓝波段，如图 10.1 所示。由于这个原因，这三种颜色被称为人类视觉的三基色。实践证明，光谱上的大多数颜色都可以用红(Red)、绿(Green)、蓝(Blue)三种单色加权混合产生，基于 RGB 三基色的颜色表示称为 RGB 颜色模型。

RGB 颜色模型在工业中得到了广泛的应用，如视频监视器显示用的是 RGB 颜色模型，彩色摄象机输出用的是 RGB 彩色模型。

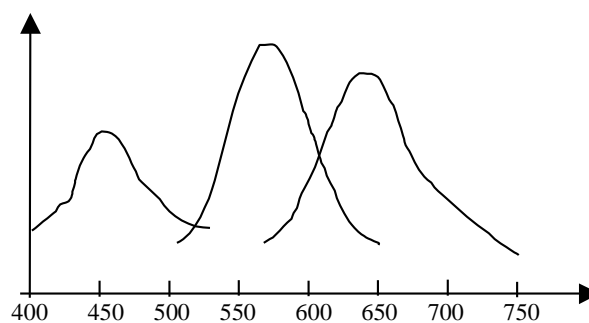


图 10.1 三种感受器的光谱敏感示意图[Wald,1964]

10. 2 颜色模型

为了使用 RGB 三基色有效地描述或混合各种颜色。人们还根据 RGB 三基色模型提出了 CMY 颜色模型, XYZ 颜色模型, YIQ 颜色模型, HSV 颜色模型, HLS 颜色模型等, 以适应不同应用的需求。下面将简要介绍这些模型的特点及其相互转换表示.

10. 2. 1 RGB 和 CMY 颜色模型

根据 RGB 三基色原理, 各种颜色的光都可以由红、绿和蓝三种基色加权混合而成, 这可以用图 10.2 所示的 RGB 直角坐标定义的单位立方体来说明. 坐标原点 $(0, 0, 0)$ 表示黑色, 坐标点 $(1,1,1)$ 表示白色, 在坐标轴上的三个顶点表示 RGB 三个基色. 因此, 彩色空间是三维的线性空间, 任意一种具有一定亮度的颜色光都可用空间中的一个点或一个向量表示. 因此我们可以选择具有确定光通量的红、绿、蓝三基色作为这三维空间的基, 这样组成的表色系统称为 RGB 表色系统. 国际公认的 RGB 表色系统的三基色光的波长为 $R = 700.0nm$, $G = 546.1nm$, $B = 435.8nm$. 在 RGB 表色系统中, 标准白光 RGB 光通量 Φ_r, Φ_g, Φ_b 按以下比例混合而成:

$$\Phi_r : \Phi_g : \Phi_b = 1 : 4.5907 : 0.0601 \quad (10.1)$$

通常把光通量为 1 流明的红光, 4.5907 流明的绿光, 0.0601 流明的蓝光作为三基色的“单位基色量”, 用 (R) 、 (G) 、 (B) 表示. 因此, 任何一种具有一定亮度的彩色光 C 的光通量为:

$$(C) = R(R) + G(G) + B(B) \quad (10.2)$$

其中 R, G, B 为每种原基色的比例系数. 例如, 对某种蓝绿色, 可以用下式表示:

$$(C) = 0.06(R) + 0.31(G) + 0.63(B) \quad (10.3)$$

上式 (C) 表示彩色光的明亮程度. 显然, 光的色度只取决于 R, G, B 之间的比例关系. 如果不考虑光的亮度, 只对色度感兴趣, 则只要知道 R, G, B 的相对值即可. 因此可以令:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{R}{R+G+B} \\
 g &= \frac{G}{R+G+B} \\
 b &= \frac{B}{R+G+B}
 \end{aligned}
 \tag{10.4}$$

r, g, b 称为色度坐标. 由于 $r + g + b = 1$, 因此只有两个色度坐标是独立的, 这也说明色度空间是二维的. 图 10.2 是一个以 $r - g$ 为色度坐标给出的 RGB 表色系统的色度图, 标准白光位于 $r = g = \frac{1}{3}$.

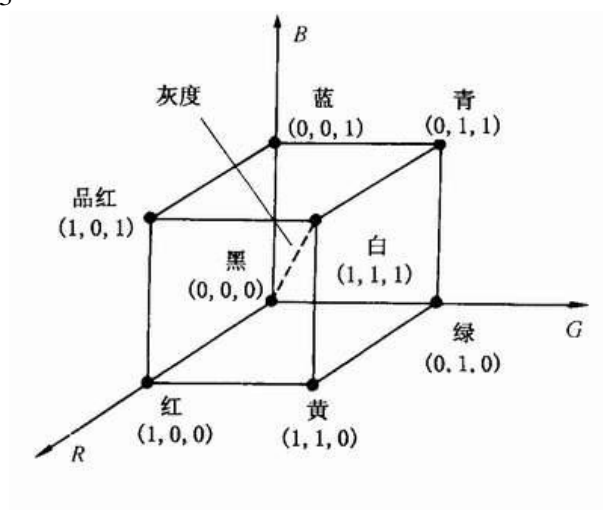


图 10.2 RGB 单位立方体

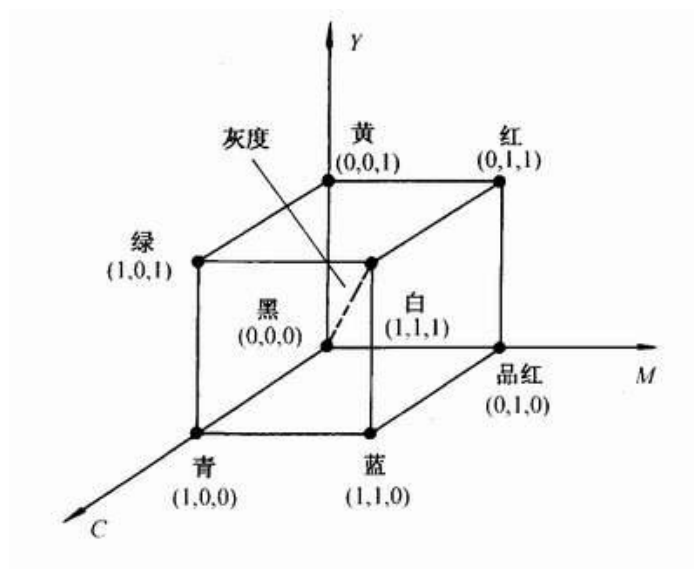


图 10.3 MCY 单位立方体

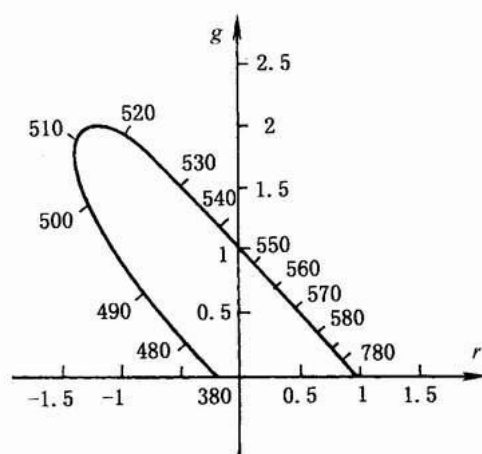


图 10.4 $r-g$ 色度图

从图 10.2 可知，在坐标轴上的三个顶点表示 RGB 三个基色，各种颜色的光都可以由红、绿和蓝三种基色加权混合而成。显然，另外三个顶点：青(Cyan)，品红(Magenta)，黄(Yellow)和 RGB 一样，也可构成一组基色，称为 CMY 颜色模型，各种颜色的光都可以由 CMY 三种基色加权混合而成。在实际应用中，RGB 颜色模型用于磷粉屏幕的颜色生成，是一个由黑到白的过程，称为增色处理。CMY 颜色模型主要用来描述绘图和打印彩色输出的颜色，因为这类彩色的形成是在白纸或其它印刷介质上生成的，是一个由白到黑过程，称之为减色过程。图 10.3 表示 CMY 模型的单位立方体。使用 CMY 的打印处理通常需要四个墨点的集合来产生颜色点，CMY 三基色各对应一个墨点，黑色对应第四个墨点。这是因为 CMY 三基色混合仅能生成深灰色，所以黑色应单独作为一个墨点。这在某种程度上与 RGB 监视器使用的三个磷粉点的集合是一样的。显然，RGB 和 CMY 之间的关系如下：

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10.5)$$

10.2.2 CIE-XYZ 颜色模型

由图 10.4 可见，使用 RGB 模型生成颜色时，用于产生颜色的原基色比例系数出现负值，使用起来十分不便。同时，不同研究者所用的三基色和标准白色不同，使得研究结果很难比较。因此，1931 年国际照明委员会 CIE (Commission Internationale del Elairage—the International Commission on Illumination)规定了一种新的颜色表示系统，定义为 CIE-XYZ 颜色模型。XYZ 颜色模型把彩色光表示为：

$$C = X(X) + Y(Y) + Z(Z) \quad (10.6)$$

其中， $(X), (Y), (Z)$ 是 XYZ 颜色模型的基色量， X, Y, Z 为三色比例系数。

XYZ 表色系统须满足如下三个条件：

1. 三色比例系数 X, Y, Z 皆大于零；
2. Y 的数值正好是彩色光的亮度；
3. 当 $X=Y=Z$ 时仍然表示标准白光。

根据以上条件，可以得到 RGB 颜色模型与 XYZ 颜色模型的关系式。

$$\begin{bmatrix} (X) \\ (Y) \\ (Z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10.7)$$

对 XYZ 颜色模型的三基色规范化，得到如下色度坐标：

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\
 z &= \frac{Z}{X+Y+Z}
 \end{aligned}
 \tag{10.8}$$

CIE $x-y$ 色度图见图 10.5. 曲线上的点是电磁光谱中的纯彩色, 按波长的顺序从光谱的红色端到紫色端方向来标明. 连接红色和紫色光谱点的直线称为紫色线, 它并不属于光谱. 色度图中内部的点表示所有可能的可见颜色组合, 其中 C 点对应于 $x = y = \frac{1}{3}$, 表示白色. 在实际中, C 点通常作为白光源或日光色度的近似值.

色度图中的颜色范围可以表示成直线段或多边形. 图 10.6 中从 C_1 和 C_2 连线上所有颜色可通过混合适量的 C_1 和 C_2 颜色而得到. 由于两点的颜色范围是一条直线, 一对互补色在色度图上一定表示成位于 C 的相反方向且用 C 连接的一直线连接的两点, 即用一定量的 C_1 和 C_2 就可得到白色. 将 C 与 C_1 的连线延伸到与色度图相交于 C_s , 颜色 C_1 就可以表示成白光 C 与光谱颜色 C_s 的加色混合. 因此, C_1 的主波段是 C_s . 对于 C_3 , 其主波段点 C_p 位于紫色线上. 由于紫色线不在可见光谱中, 因此需要将 C 与 C_3 连线向相反方向延伸, 与色度图相交于 C_{sp} , 则颜色 C_3 就可以表示成白光 C 与光谱颜色 C_p 补点 C_{sp} 的减色混合.

三点的颜色范围是由该三点连成的三角形, 图 15.7 是由 RGB 三基色构成的颜色三角形. 由图可见, 三基色只能产生三角形内部或边上的颜色, 而无法产生三角形以外的颜色. 因此, 色度图可以帮助我们理解为什么任何一种三基色组可以通过加色混合生成所有的颜色.

	R	G	B
NTSC 制式	(0.670,0.323)	(0.214,0.710)	(0.140,0.084)
PAL 制式	(0.640,0.330)	(0.290,0.600,)	(0.150,0.060)
CIE 模型	(0.735,0.265)	(0.274,0.717)	(0.167,0.009)
彩色监视器	(0.628,0.346)	(0.268,0.588)	(0.150,0.070)

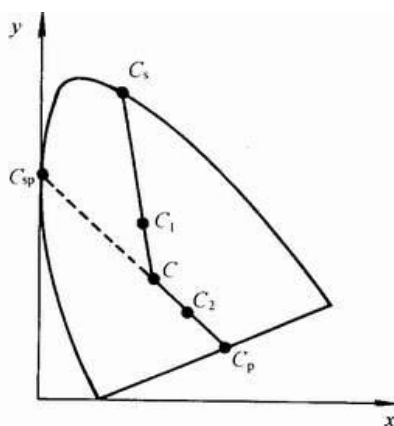


图 10.5 CIE1931 年 $x-y$ 色度图

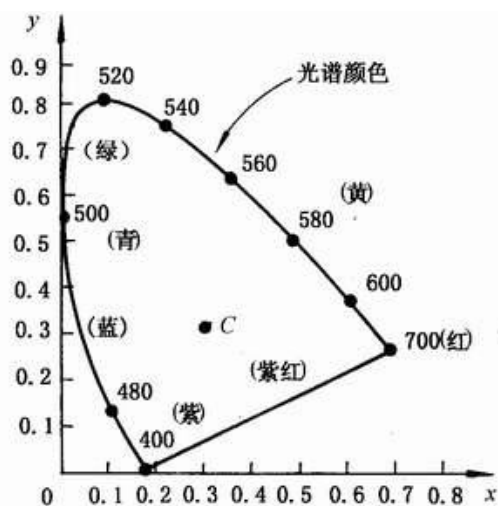
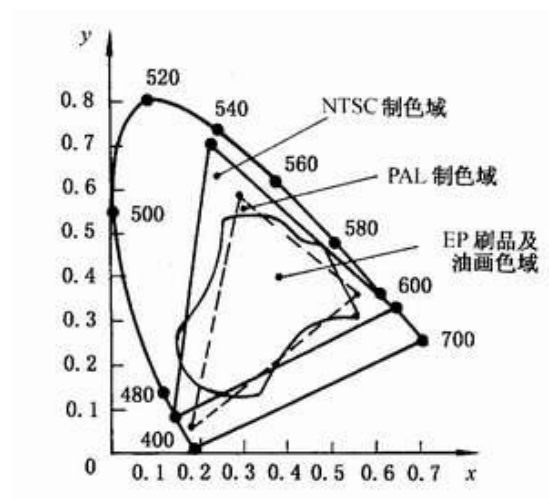


图 10.6 用 $x-y$ 色度图确定色彩示意图

10.2.3 NTSC-YIQ 表色模型

RGB 工业监视器要求一幅彩色图像由分开的 RGB 信号组成，而电视监视器需要混合信号输入。为此，美国国家电视系统委员会 (National Television System Committee, NTSC) 采用 YIQ 彩色模型，其主要的优点是可以保证彩色电视和黑白电视的兼容，即可以用彩色收看黑白电视图像。YIQ 是以 CIE 的 XYZ 颜色模型为基础，其参数 Y 与 XYZ 中的模型参数相同，是图像的亮度信息。在没有色度的情况下，Y 也就对应于黑白图像，或者说，黑白电视只接收 Y 信号。

由于人眼对颜色的相对视见度不同，所以选择三色的基色量为

$$R=0.299 \quad G=0.587 \quad B=0.114$$

因此亮度信号 Y 为

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (10.9)$$

规定如下色差信号：

$$\begin{aligned} I &= 0.74(R - Y) - 0.27(B - Y) \\ Q &= 0.48(R - Y) + 0.41(B - Y) \end{aligned} \quad (10.10)$$

由此可见，在色度图上，参数 I 包含有橙—青颜色信息，参数 Q 包含有绿—品红颜色， I 和 Q 混合可以提高颜色的色调和饱和度。

将(10.9)和(10.10)结合起来得到 YIQ 与 RGB 间的转换关系为：

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (10.11)$$

这里的 RGB 是 NTSC 制式 RGB 。

10.3 颜色的视觉处理

10.3.1 颜色的三个基本属性

从视觉的角度来讲，颜色可分为彩色和非彩色两大类。非彩色是指黑色、白色及其两者之间深浅不同的灰色，称为非彩色或无色系列(achromatic series)。彩色系列或有色系列(chromatic series)是指除了白色系列以外的各种颜色。为了定量地描述颜色对人眼的视觉作用，可以选用亮度(brightness)、色调(hue)、色饱和度(saturation)这三个与视觉特征有关的量来计算描述，这三个量称为颜色的三个基本属性。色调是由物体反射光线中占优势的波长来决定的，不同的波长产生不同的颜色感觉，如红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等。色调是彩色的最重要的属性，是决定颜色本质的基本特性。颜色的饱和度是指一个颜色的鲜明程度，饱和度越高，颜色越深，如深红，深绿。在物体反射光的组成中，白色光愈少，则其色饱和度愈大。在颜色中加上白色或灰色愈多，其饱和度就愈小。亮度是指刺激物的强度作用于感受器所发生的效应，其大小是由物体反射系数来决定，反射系数越大，物体的亮度愈大，反之愈小。

人眼大概能识别 128 不同的色调和 130 种不同的色泽（色饱和度级）。根据不同的色调，还可以识别若干种明暗，比如对于黄色，可以分辨出 23 种明暗级，对于蓝色，则可分辨出 16 种明暗级。因此，人眼可以识辨出大约 $128 \times 130 \times 16 = 266240$ 种不同的颜色，对于机器视觉来说，128 不同的色调和 8 种不同的色饱和度级，16 种明暗级基本上满足应用需求。

10.3.2 HSV 颜色感知模型

$x-y$ 色度表示彩色分量是独立于光通量的。两种彩色，比如深绿和浅绿，可能看起来不同，但实际上具有相同的波段相对分布。如果光谱分布按一个比例常数增减，彩色会变深或变浅，但光谱分布的形状不变，色调（主波段）和色饱和度（主波段的相对量）也就不变。

我们来回顾一下图 10.5，感觉意义显著的色度位于的舌形区域内。从白光点 C 画一条线，经过某一彩色点 C_1 ，再到色度图边界位置 C_s ，我们可以认为彩色 C_1 的色度是由白光 C 和纯光谱色调 C_s 相加混合而成：

$$C_1 = SC_s + (1-S)C \quad (10.12)$$

其中 S 为长度 CC_1 与 CC_s 的比值，定义为色饱和度，控制白色和色调的相对比例。

将色调、色饱和度和亮度编码成 RGB 彩色值，不利于在机器视觉算法中使用。比如，识别不同颜色物体的简单方法是使用物体的色调特征，但是，这些色调在 RGB 空间位于何处？对应于 RGB 空间不同区域的物体表面形状是什么？将色调阈值应用于图像 RGB 空间的公式是什么？这些问题在 RGB 空间中是很难回答的。但将 RGB 值转化为色调、色饱和度和亮度时，问题就变得十分简单了。按照色调 (Hue)、色饱和度(Saturation)和明度值

(Value)建立的 HSV 彩色模型就是其中的一种方法，有的书不用明度值，而用光强(Intensity)，HSV 也用 HSI 来代替。

下面讨论如何将图像的 RGB 表示转换为 HSV 彩色表示。

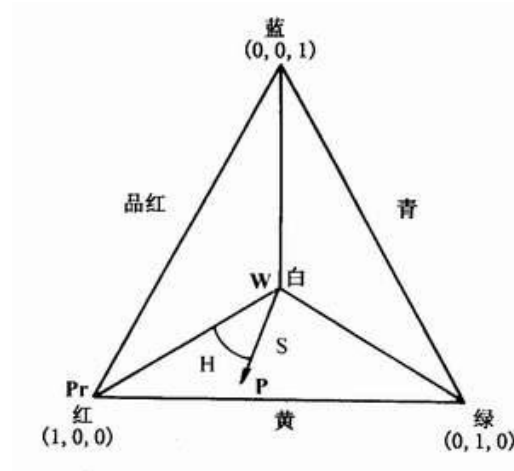


图 10.7 HSV 颜色三角形

一个图像的 RGB 成分可以转换为 HSV 彩色表示。假设 RGB 成分已经被归一化（见式 10.4），使得公式推导过程与度量单位无关。\$r, g, b\$ 的所有可能值形成的轨迹是 RGB 空间正象限的三角形，其顶点为 \$(1,0,0)\$，\$(0,1,0)\$ 和 \$(0,0,1)\$，如图 10.7。设三角形上的点 \$P\$ 表示 \$rgb\$ 空间上的某一颜色的位置，\$p = (r, g, b)\$ 是到三角形上 \$P\$ 点的向量，\$w\$ 是到表示白色的三角形中心的点的向量，\$p_r\$ 是到全色饱和和红色对应的三角形顶点的向量。色调 \$H\$ 是向量 \$p_r - w\$ 到向量 \$p - w\$ 的夹角，从三角形远离原点的一边按逆时针方向环绕三角形，这是右手法则，大拇指沿三角形法线指向远离原点的方向。

$$V = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (10.13)$$

色调的余弦值是

$$\cos H = \frac{(p - w) \cdot (p_r - w)}{\|p - w\| \cdot \|p_r - w\|} \quad (10.14)$$

到三角形中心的向量 \$w\$ 的值为 \$w = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})\$。向量 \$p_r - w\$ 的幅值为

$$\|p - w\| = \sqrt{(r - \frac{1}{3})^2 + (g - \frac{1}{3})^2 + (b - \frac{1}{3})^2} \quad (10.15)$$

因为 \$p_r = (1,0,0)\$，因此，\$p_r - w\$ 的幅值是

$$\|p_r - w\| = \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (10.16)$$

\$p - w\$ 和 \$p_r - w\$ 的点积是

$$(p - w) \cdot (p_r - w) = \frac{2(r - \frac{1}{3}) - (g - \frac{1}{3}) - (b - \frac{1}{3})}{3} \quad (10.17)$$

将上式的值除以 \$\|p_r - w\|\$ 和 \$\|p - w\|\$，并将方程 10.4 代入，可以从 \$R\$、\$G\$、\$B\$ 值得到简化的计算色调方程：

$$\cos H = \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \quad (10.18)$$

为了在 0 到 360 度的范围内得到色调值，有必要从 360 中减去 H （当 $\frac{B}{I} > \frac{G}{I}$ ）。虽然这个推导是从归一化 RGB 值开始，但是方程 10.18 可用于任何尺度的 RGB 值，这是因为分子和分母中具有相同的尺度因子，可以在计算中消除。

色饱和度是指 rgb 空间三角形到白色的距离相对于白色到具有相同色度的全色饱和色的距离而言的。全色饱和色位于三角形的边上。三角形中点 w 经过彩色点 p 与三角形边缘的交点为 p_s ，则色饱和度是一个距离比值：

$$S = \frac{\|p - w\|}{\|p_s - w\|} \quad (10.19)$$

色饱和度方程为：

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \quad (10.20)$$

这一推导是由 Gonzalez 和 Woods 提供[Gonzalez 1992]。

10.3.3 HLS 颜色感知模型

方程 10.18, 10.19 和 10.8 能用来将来自彩色图像获取系统中的 RGB 图像转化为 HSV 表示，以便于进行进一步的处理。当色饱和度值为零时，色调不需要定义，也就是指沿 HSV 立体图的轴心线上的任何彩色。当光强值 $V=0$ 时，色饱和度值无需定义。

使用 RGB 到 HSV 的变换来将彩色图像转化成适应于机器视觉的形式。灰度算法可以在 HSV 表示的 V 分量上来完成。分割可以在 H 分量上完成，以使用不同的色调区分不同物体。但是，当色饱和度值很低时，用色度来区分物体是不可靠的，所以必须修正分割算法以便将低色饱和度值的像素留下，等待进一步处理。区域生长算法可以利用色调阈值来形成核心区域，将低色饱和度值或是在阈值边界外的未定义的像素点留下。通过分配像素来进行区域增长的算法没有任何变化。

更一般的算法是使用将色调、色饱和度和光强的阈值将 HSV 立体空间分成若干区域。这些阈值用 HSV 表示比成像系统提供的 RGB 表示更容易公式化和应用。

10.4 彩色不变性

室外光线的彩色成分变化非常大，但人却能正确的感知场景中物体的颜色，并且在大部分情况下不依赖于环境照明的颜色，这种现象叫彩色不变性(color constancy)。

环境光的光谱分布 $E(\lambda)$ 描述了在每个波段上的能量。假定场景表面是不透明的，场景中的坐标值就能用图像平面对应点 (x, y) 的坐标来确定。在波段 λ 上的光从表面点 (x, y) 处反射的部分是 $S(x, y, \lambda)$ 。到达图像上每一点的光是由照在场景表面的环境光的光谱分布和光在不同波段上的反射部分来确定：

$$S(x, y, \lambda)E(\lambda) \quad (10.21)$$

假设在每个图像位置 (x, y) 上有 p 个传感器，每个传感器有不同的光谱响应函数，传感器 k 的光谱响应 $R_k(\lambda)$ 。在 (x, y) 处的每个传感器采样不同分布的光谱：

$$\rho_k(x, y) = \int_0^\infty R_k(\lambda)S(x, y, \lambda)E(\lambda)d\lambda \quad (10.22)$$

对应于图像平面点 (x, y) 的场景表面上一点的彩色（光谱反射）信息由该处 p 个传感器编码，得到 p 个编码值 $\rho_1(x, y), \rho_2(x, y), \dots, \rho_p(x, y)$ 。彩色不变性是传感器响应 $\{\rho_k(x, y), k = 1, \dots, p\}$ 恢复场景表面光谱反射 $S(x, y, \lambda)$ 的问题，而独立于环境照明 $E(\lambda)$ 的光谱分布。

原则上，彩色不变性问题可以表示为有限维线性空间中的逆问题，并可通过矩阵方法

求解。假定表面反射是基函数的线性组合，

$$S(x, y, \lambda) = \sum_{i=1}^n \sigma_i(x, y) S_i(\lambda) \quad (10.23)$$

基函数的数量 n 是表面反射自由度的数目。假定基函数 $S_i(\lambda)$ 已知，仅用三个基函数的线性模型足以表示典型的表面反射。

m 个自由度的线性模型表示环境照明如下：

$$E(\lambda) = \sum_{j=1}^m \varepsilon_j E_j(\lambda) \quad (10.24)$$

假定基本光源 (basic light) 的光谱分布 $E_j(\lambda)$ 已知，则只需三个或四个基本光源就可以建立不同气候条件和不同时间的自然光模型。

彩色确定问题可以用矩阵形式表示。 m 个 ε_j 值组成列向量 ε ， n 个 σ_i 值组成列向量 σ ，将这些列向量代入方程 10.22，得到图像中每个像素的矩阵模型：

$$\rho = \Lambda_\varepsilon \sigma \quad (10.25)$$

照明矩阵 Λ_ε 是一个 $p \times n$ 矩阵，第 (i, j) 项的值是：

$$\int_0^\infty R_i(\lambda) S_j(\lambda) E(\lambda) d\lambda \quad (10.26)$$

如果环境照明已知，那么照明矩阵 Λ_ε 也已知。如果传感器数目等于表面反射的自由度数目，即 $p = n$ ，那么可以求取照明矩阵的逆，以便得到图像上每一点的表面光谱反射特性系数 σ ，该系数表征了场景相应点的色彩。

如果环境照明未知，则需要传感器数目多于表面反射自由度数目才能求解此问题。由于假设环境照明对场景中所有点都一样，因此可以用多个场景点上的信息来计算环境照明。假定 $p = n + 1$ 。从 s 个不同的空间点上，可得到 $sp = s(n + 1)$ 个不同的测量值。这里有 sn 个表面反射未知数和 m 个环境光谱未知数。因此，必须在 $s > m$ 时取样才能得到比未知数更多的数据。这一分析意味着如果有 $n + 1$ 个敏感器，就可以在不知道环境光线的情情况下求解彩色不变性问题。

矩阵 Λ_ε 将 n 维的表面空间映射到 $n + 1$ 维的敏感器空间。例如，当 $p = 3$ ， $n = 2$ 时，子空间就是三维空间中的一个平面。这意味着下面的确定表面反射性的两步算法不依赖于环境照明：

1. 确定覆盖传感器空间数据点的平面（子空间），以恢复环境照明向量 ε 。
2. 从环境照明向量 ε 确定照明矩阵 Λ_ε ，再求 Λ_ε 的逆来得到表面反射向量 σ 。

思考题

- 10.1 如何表示图像中一点的彩色值？照明在彩色图像中起什么作用？
- 10.2 如何用图像的形式表示彩色图像？为什么选择特定频率的电磁波谱用于彩色视觉？指出用于定义一点特性的基本颜色。
- 10.3 色调、色饱和度和亮度的定义是什么？在表征图像一点颜色时，哪一个最重要，为什么？
- 10.4 如何从 RGB 特征中计算 HSV 特征？为什么人们愿意将一种数据表示形式转换为另一种形式？
- 10.5 在机器视觉中，哪一种彩色表示更实用？试证实你的观点。
- 10.6 设计一个用来检测彩色图像显著边缘的边缘检测器。你如何将不同通道的输出组合起来以便得到彩色图像的边缘？
- 10.7 什么是彩色的减性模型和加性模型？哪一种模型更适合用于显示、图片和打印场合？为什么？
- 10.8 什么是 HSV 立体空间？它用在彩色处理的什么方面，如何使用？

- 10.9 定义和解释彩色不变性. 机器视觉相同可以显示彩色不变性吗?
- 10.10 为什么彩色在机器视觉中用得不是很普遍? 你是否认为彩色机器视觉的应用在不断增加? 如果是这样, 请问它的主要应用是什么?

上机练习题

10. 1 通过彩色摄像机获取一幅人脸的彩色图像。编制一个程序实现人脸肤色匹配, 并把人脸从图像背景中分割出来。(参见文献[冷 1998, Yang 1996]) .