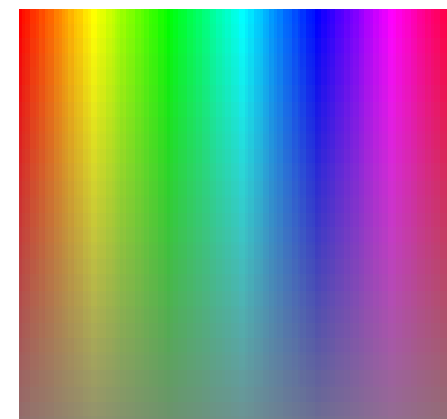


2.1.1 颜色的表示

颜色的表示：将颜色转变为数字量，是颜色的定量度量问题。

颜色是光作用于人眼引起的视觉特性，不是纯物理量，涉及观察者的视觉生理、心理、照明条件、观察条件等许多问题。



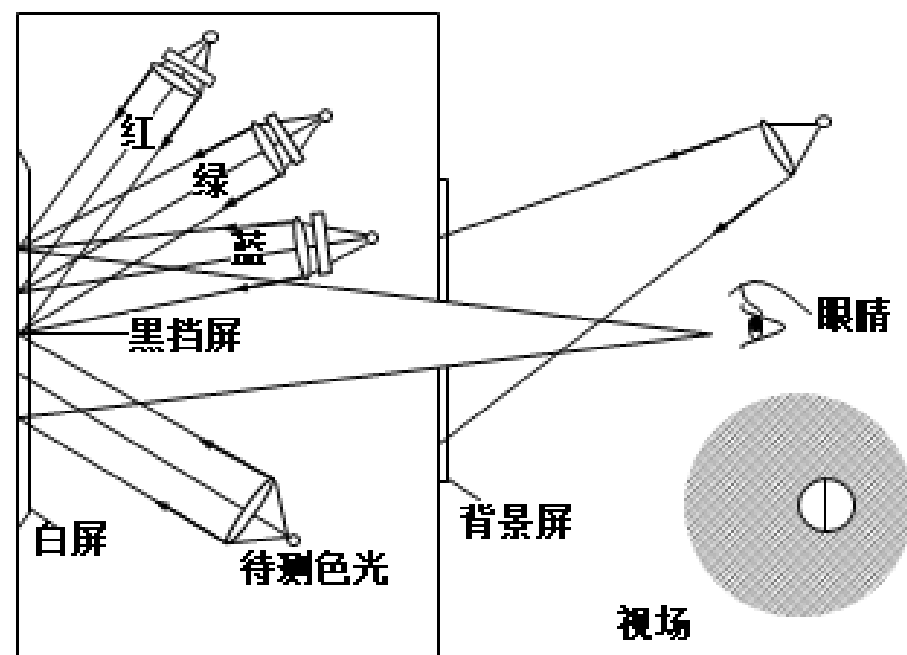
颜色是通过**颜色匹配实验**来进行测量。CIE在前期研究的基础上，制定了一**系列的标准**，用于颜色的表示。

■ 颜色匹配实验

混合基本颜色，将混合色和待测颜色调节到视觉上相同，用基本颜色数量来表示待测颜色，将观察者的颜色感觉数字化的实验。

三原色：用于颜色混合的三种基本颜色

三刺激值：当与待测色达到色匹配时所需要的三原色的数量，记作 R 、 G 、 B



■ 颜色匹配实验

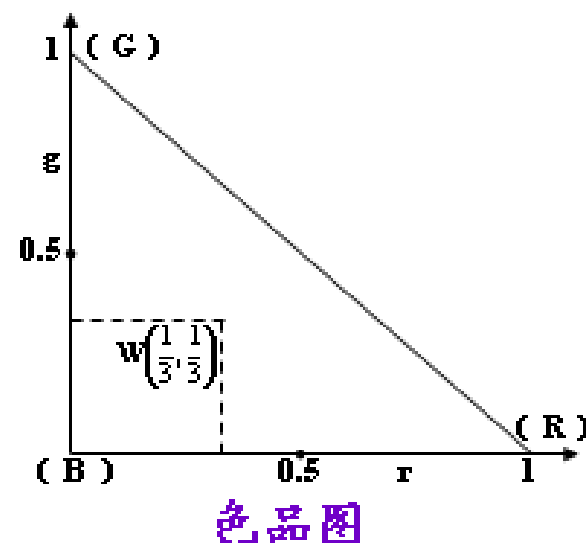
□ 颜色匹配方程 $C(C) \equiv R(R) + G(G) + B(B)$

C 代表被匹配色数量, (C) 代表被匹配颜色单位, (R) 、 (G) 、 (B) 代表产生混合色的红、绿、蓝三原色单位。

色品坐标: 三原色各自在 $R+G+B$ 总量中的相对比例, 用符号 r 、 g 、 b 来表示。

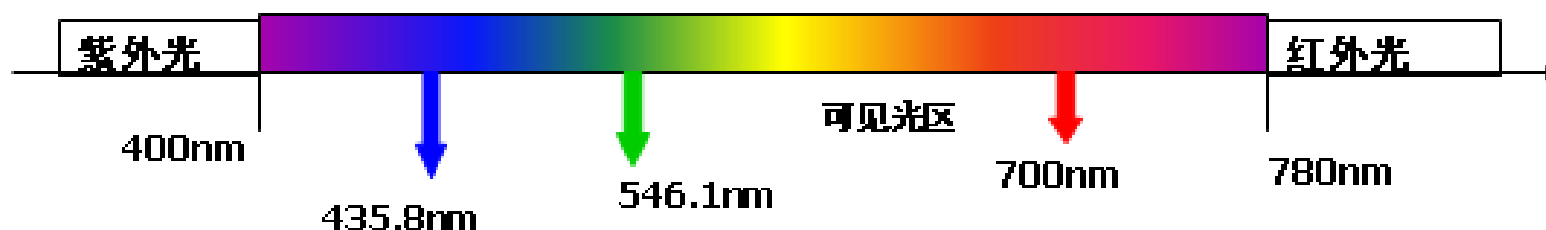
$$\begin{cases} r = R/(R+G+B) \\ g = G/(R+G+B) \\ b = B/(R+G+B) \end{cases}$$

色品图: 以色品坐标 r 、 g 表示的平面图



■ CIE 1931-RGB系统

□ 选择三原色

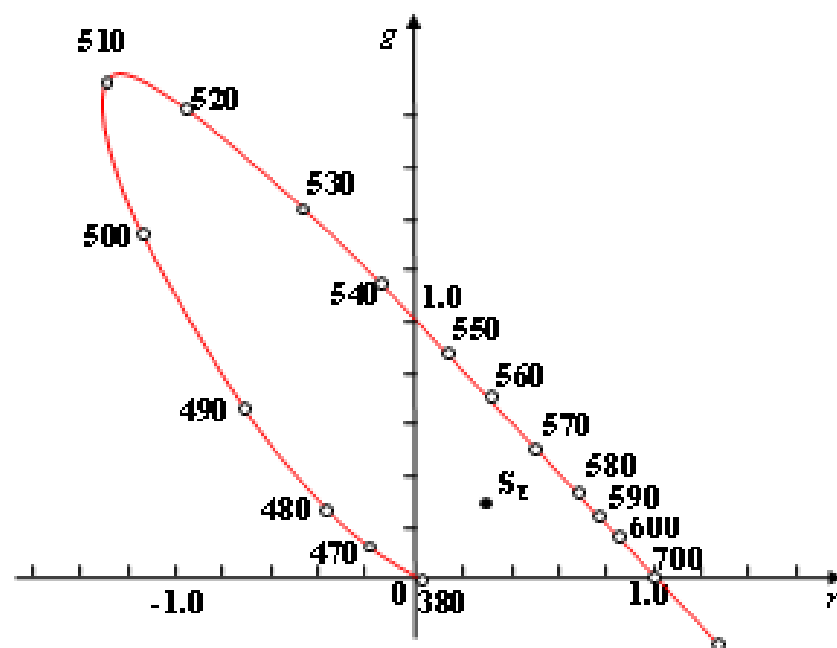


□ 确定三原色单位

以相等数量的三原色刺激值 ($R=G=B=1$) 匹配出等能白光, 来确定三刺激值单位(R)、(G)、(B)。

$$C(C) \equiv R(R) + G(G) + B(B)$$

■ CIE 1931-rgb系统

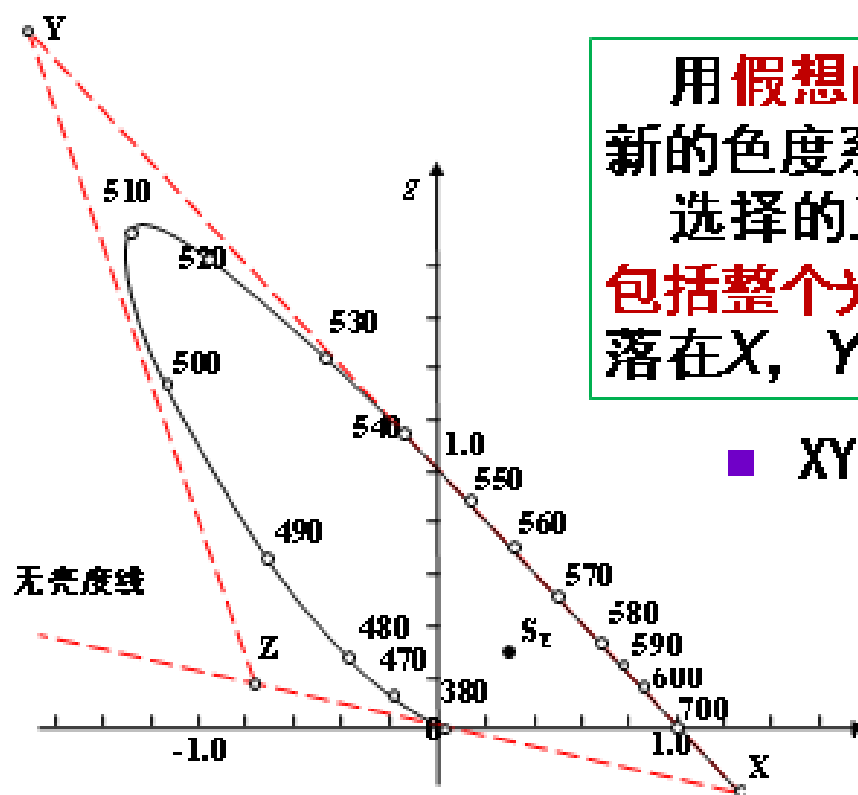


RGB系统色品图

1931年，CIE定出**匹配等能光谱色**的**RGB三刺激值**，代表人眼2°视场的**平均颜色视觉特性**，称为“**CIE 1931- RGB色度系统**”。

光谱三刺激值与色度坐标都出现了**负值**，计算不方便，又不易理解，因此，1931年CIE讨论推荐了一个新的国际通用色度系统——**CIE1931-XYZ系统**。

■ CIE 1931标准色度系统



用假想的三原色(X)、(Y)、(Z)建立一个新的色度系统，光谱三刺激值全为正值。
选择的三原色，所形成的颜色三角形能包括整个光谱轨迹。即整个光谱轨迹完全落在X, Y, Z所形成的虚线三角形内。

■ XYZ和RGB系统三刺激值间的关系

$$\begin{cases} X = 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B \\ Z = 0 + 0.0565G + 5.5943B \end{cases}$$

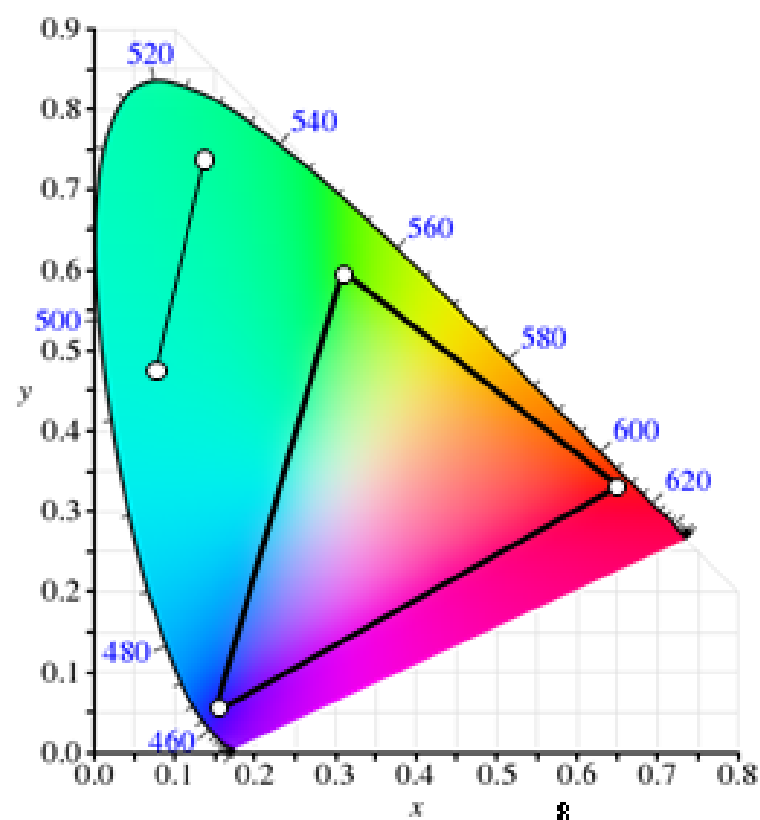
■ CIE 1931标准色度系统

□ 色品坐标
$$\begin{cases} x = X/(X+Y+Z) \\ y = Y/(X+Y+Z) \\ z = Z/(X+Y+Z) \end{cases}$$

□ CIE 1931 x-y色品图

中心为非彩色点，光谱轨迹上的点代表不同波长的光谱色，是饱和度和最高的颜色

适用于2°视场的中央视觉观察条件



■ CIE 1976L*a*b*均匀颜色空间

颜色的差别
如何衡量?

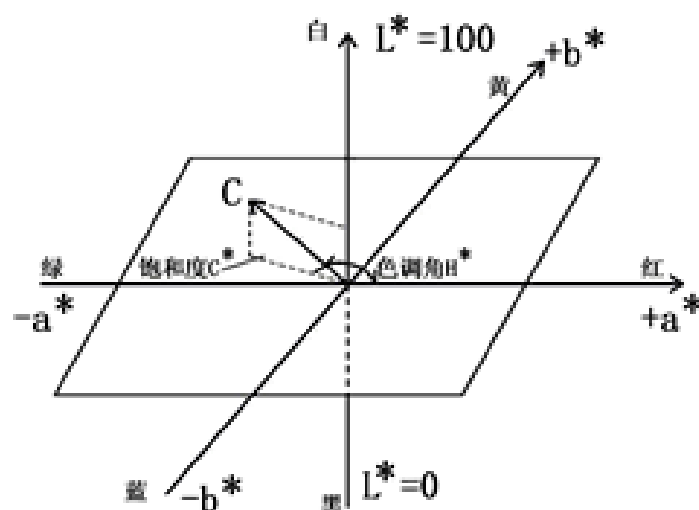
均匀颜色空间：一个三维空间，每点代表一种颜色，空间中两点之间的距离代表两种颜色的色差，相等距离代表相同的色差，以解决色差判别的问题

1976年CIE推荐了两个色空间：**CIE 1976L*u*v*色空间**和**CIE 1976L*a*b*色空间**

- CIE LUV主要应用于照明、GRT和电视工业以及那些采用加色法混合产生色彩的行业。
- CIE LAB主要应用于颜料和图像艺术工业，近代的颜色数码成像标准和实际应用也是用CIE LAB。

■ CIE 1976L*a*b*均匀颜色空间

□ LAB三维模型及坐标计算



$$\begin{cases} L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \\ a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{cases} \quad \alpha = \frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n}$$

$$\begin{cases} f(\alpha) = (\alpha)^{\frac{1}{3}} & \alpha > (24/116)^3 \\ f(\alpha) = \alpha 841/108 + 16/116 & \alpha \leq (24/116)^3 \end{cases}$$

XYZ为颜色的三刺激值;

X_n, Y_n, Z_n : CIE标准照明体照射到完全漫反射体表面的三刺激值。

■ CIE 1976L*a*b*均匀颜色空间

□ LAB色差计算

$$\Delta E_{ab}^* = \left[(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2 \right]^{1/2}$$
$$= \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2}$$

□ 改进的色差公式方案

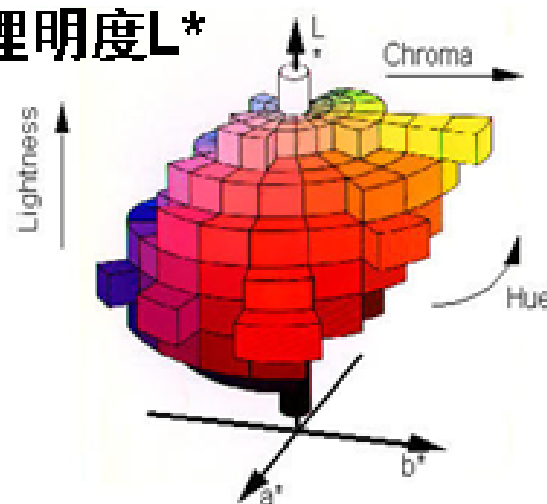
- ◆ CMC(l:c)色差公式
- ◆ BFD色差公式
- ◆ CIE DE2000色差公式

□ LCH圆柱坐标系

心理彩度C* $C_{ab}^* = \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{1/2}$

心理色相角H* $H_{ab}^* = \arctan(b^*/a^*)$

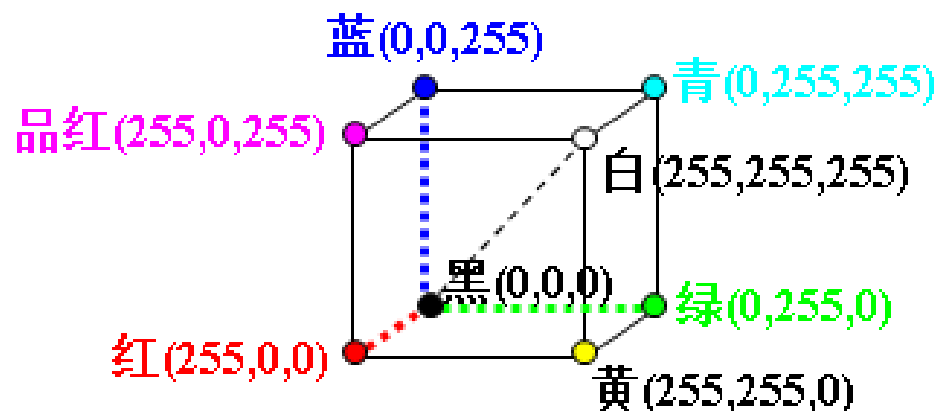
心理明度L*



■ RGB颜色模型

CIE规定以700nm(红)、546.1nm(绿)、435.8nm(蓝)三个色光为三原色。自然界的颜色可以通过选用这三原色按不同比例混合而成。

RGB模型为正立方体



计算机、监视器采用这种颜色模型

■ CMY/CMYK颜色模型

CMY(青、紫、黄)、CMYK(青、紫、黄、黑)：等量的CMY原色产生黑色，但不纯，加入黑色，形成CMYK模型

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。

□ CMY和RGB之间的转换

- ◆ RGB→CMY：计算机内部采用RGB数据，彩打要求CMY数据
- ◆ CMY→RGB：无实际意义

$$K = \min(1 - R, 1 - G, 1 - B)$$

$$C = (1 - R - K) / (1 - K)$$

$$M = (1 - G - K) / (1 - K)$$

$$Y = (1 - B - K) / (1 - K)$$

■ YIQ/YUV/YCbCr 颜色模型

Y指亮度，即灰度值；IQ、UV、CbCr指色调，描述色彩及饱和度。

特点：

亮度和色度分开表示

- 单独处理亮度或色度而不影响另一个
- 人的可视系统对亮度变化比对色调和饱和度变化更敏感，在压缩编码时，对色度信息进行下采样

应用：用于彩色电视广播，YIQ被NTSC制式采用，YUV被PAL制式采用；YCbCr是作为ITU-R BT.601标准的一部分而制定，是YUV经过缩放和偏移的版本，充分考虑了色彩组成时RGB三色的重要因素，压缩时可以充分去除冗余量。

■ YIQ/YUV/YCbCr 颜色模型

□ YIQ和RGB之间的转换

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

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

□ YUV和RGB之间的转换

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

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

■ YIQ/YUV/YCbCr 颜色模型

□ YCbCr和RGB之间的转换

$$\begin{cases} Y' = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B' \\ P_b = (B' - Y')/k_b = -0.1687R' - 0.3313G' + 0.500B' \\ P_r = (R' - Y')/k_r = 0.500R' - 0.4187G' - 0.0813B' \end{cases}$$

$$Y = 219 \times Y' + 16$$

$$C_b = 224 \times P_b + 128 \quad R', G', B' \in [0, 1]$$

$$C_r = 224 \times P_r + 128 \quad Y \in [16, 235]$$

$$\begin{cases} R = \frac{255}{219}(Y - 16) + \frac{255}{224} \cdot k_r \cdot (C_r - 128) \\ G = \frac{255}{219}(Y - 16) - \frac{255}{224} \cdot k_b \cdot \frac{0.114}{0.587} \cdot (C_b - 128) - \frac{255}{224} \cdot k_r \cdot \frac{0.299}{0.587} \cdot (C_r - 128) \\ B = \frac{255}{219}(Y - 16) + \frac{255}{224} \cdot k_b \cdot (C_b - 128) \end{cases}$$

$$C_b, C_r \in [16, 240]$$

$$k_r = 2(1 - 0.299)$$

$$k_b = 2(1 - 0.114)$$

■ YIQ/YUV/YCbCr 颜色模型

□ 常见的灰度化方法之一

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$



■ HSI/HSV颜色模型

反映人的视觉系统感知彩色方式的颜色模型：以色调、饱和度和亮度来表示颜色，广泛用于计算机视觉、图像和视频检索

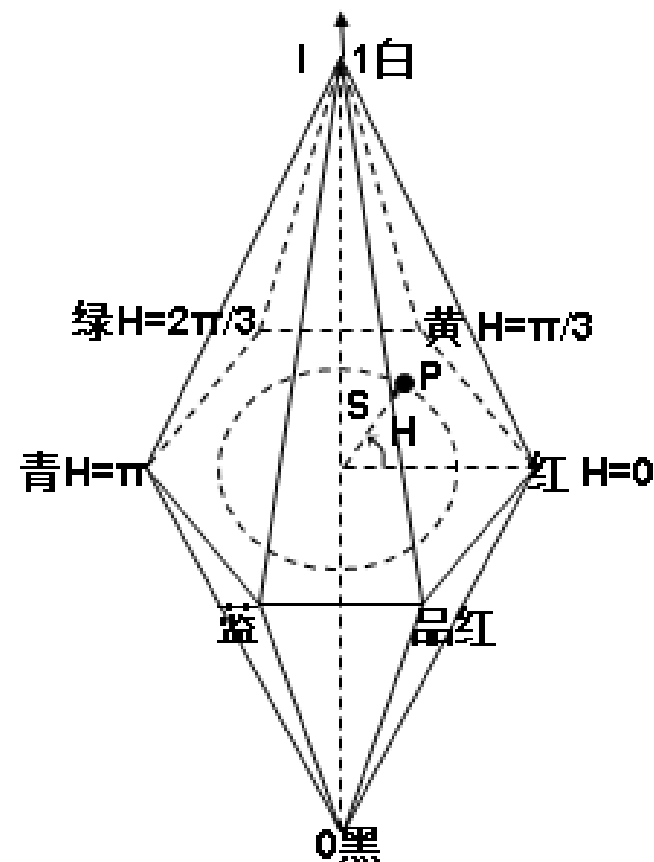
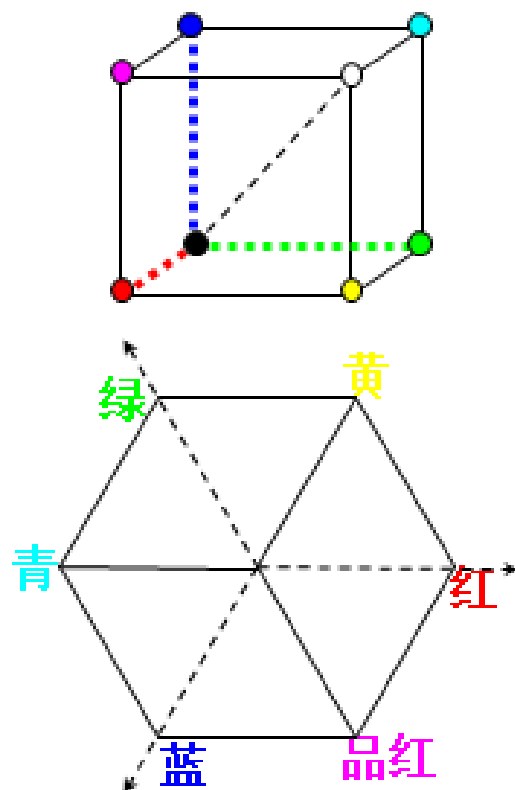
两个特点：

- 亮度分量与图像的彩色信息无关
- 色调和饱和度分量与人感受颜色的方式紧密相连

将亮度与色调和饱和度分开，避免颜色受到光照明暗等条件的干扰，仅仅分析反映色彩本质的色调和饱和度；或者单独分析亮度，而不改变色彩信息

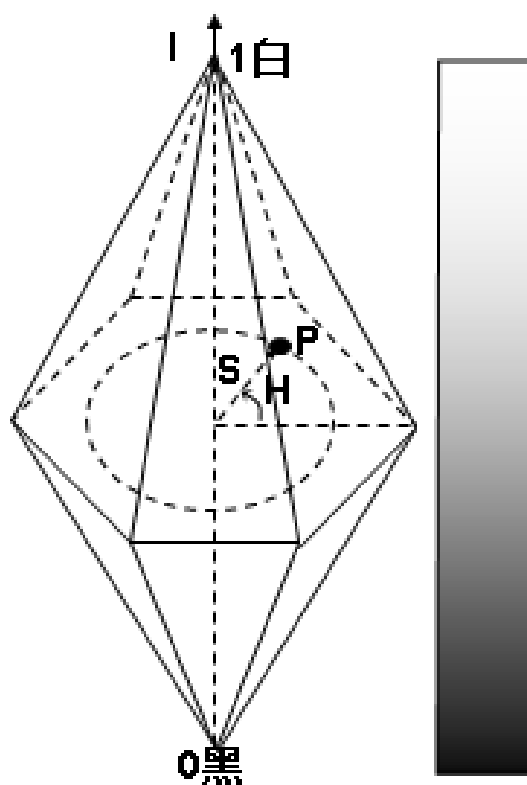
■ HSI/HSV颜色模型

沿立方体主对角线投影

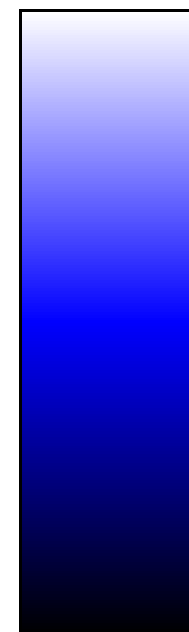
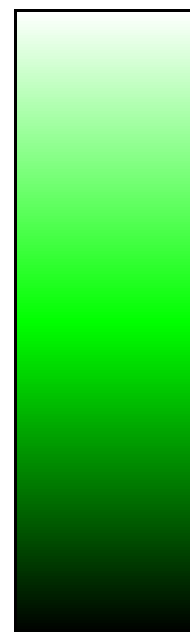
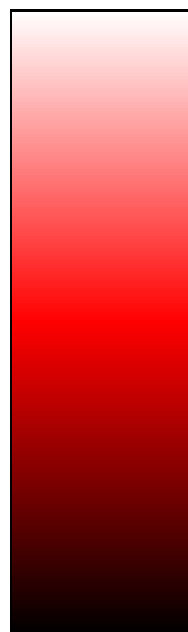


双六棱锥的 ω 维颜色表示法

■ HSI/HSV颜色模型



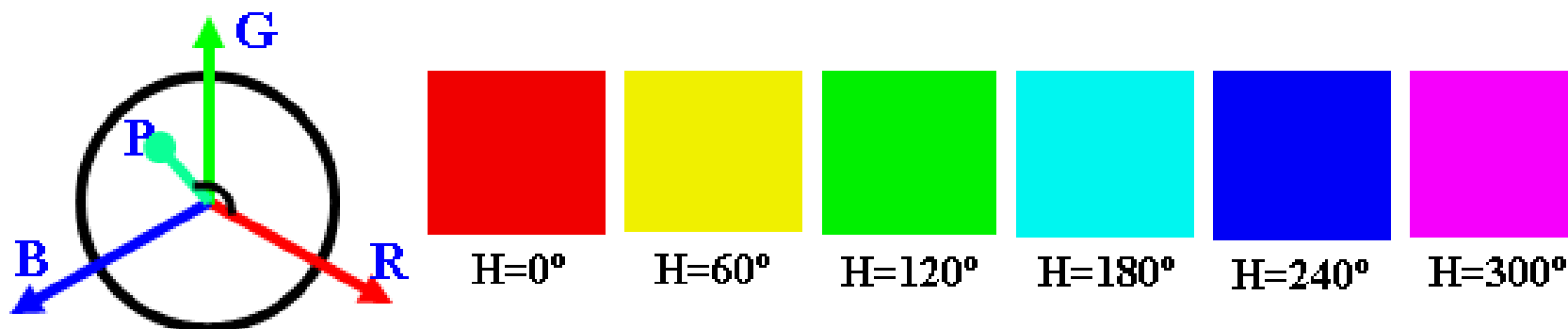
I分量: Intensity, 表示光照强度, 确定像素的整体亮度, 不管其颜色。沿底面中心向上, 由黑到白



■ HSI/HSV颜色模型

H分量：Hue，色调，反映了该颜色最接近什么样的光谱波长

- 红绿蓝三条坐标轴平分360°，0°为红色，120°为绿色，240°为蓝色，0°到240°覆盖了所有可见光谱的颜色，240°到300°是人眼可见的非光谱色(紫)
- P点的色调H是圆心到P的向量与红色轴的夹角



■ HSI/HSV颜色模型

- S分量:** Saturation, 饱和度, 指一种颜色被白色稀释的程度
- 与彩色点P到色环中心的距离成正比, 距中心越远, 饱和度越大
 - 在环的外周是纯的或称饱和的颜色, 其饱和度值为1。在中心是中性(灰)影调, 即饱和度为0



S=0



S=1/4



S=1/2



S=1

■ HSI/HSV颜色模型

□ RGB和HSI之间的转换 RGB→HSI

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

常见的灰度化
方法之一

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

$$H = \begin{cases} \theta & G \geq B \\ 2\pi - \theta & G \leq B \end{cases}$$

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



■ HSI/HSV颜色模型

□ RGB和HSI之间的转换：HSI→RGB

$$\text{当 } 0^\circ \leq H < 120^\circ \text{ 时: } \begin{cases} R = I[1 + S \cos(H) / \cos(60^\circ - H)] \\ G = 3I - R - B \\ B = I(1 - S) \end{cases}$$

$$\text{当 } 120^\circ \leq H < 240^\circ \text{ 时: } \begin{cases} R = I(1 - S) \\ G = I[1 + S \cos(H - 120^\circ) / \cos(180^\circ - H)] \\ B = 3I - R - G \end{cases}$$

$$\text{当 } 240^\circ \leq H < 360^\circ \text{ 时: } \begin{cases} R = 3I - G - B \\ G = I(1 - S) \\ B = I[1 + S \cos(H - 240^\circ) / \cos(300^\circ - H)] \end{cases}$$

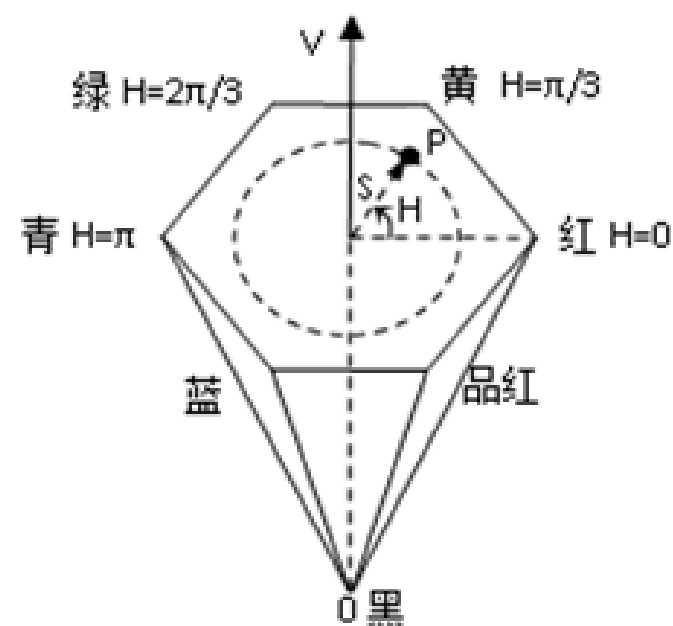
■ HSI/HSV颜色模型

类似于HSI，V是明度。用下六棱锥或下圆锥、圆柱表示，底部是黑色，V=0；顶部是纯色，V=1

$$S = \begin{cases} 0 & V = 0 \\ C/V & \text{其他} \end{cases} \quad V = \max(R, G, B)$$

$$H = \begin{cases} \text{未定义} & C = 0 \\ 60^\circ \times [(G - B)/C \bmod 6] & \max(R, G, B) = R \\ 60^\circ \times [(B - R)/C + 2] & \max(R, G, B) = G \\ 60^\circ \times [(R - G)/C + 4] & \max(R, G, B) = B \end{cases}$$

$$C = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$$



HSV模型下六棱锥表示

■ HSI/HSV颜色模型

$$(R, G, B) = \begin{cases} (\alpha, \alpha, \alpha) & H \text{ 未定义} \\ (\beta, \gamma, \alpha) & 0 \leq H' \leq 1 \\ (\gamma, \beta, \alpha) & 1 \leq H' \leq 2 \\ (\alpha, \beta, \gamma) & 2 \leq H' \leq 3 \\ (\alpha, \gamma, \beta) & 3 \leq H' \leq 4 \\ (\gamma, \alpha, \beta) & 4 \leq H' \leq 5 \\ (\beta, \alpha, \gamma) & 5 \leq H' \leq 6 \end{cases}$$

$$H' = H / 60^\circ$$

$$C' = V \times S$$

$$X = C' \times (1 - |H' \bmod 2 - 1|)$$

$$\alpha = V - C'$$

$$\beta = C' + \alpha$$

$$\gamma = X + \alpha$$

2.1.2 图像的表达

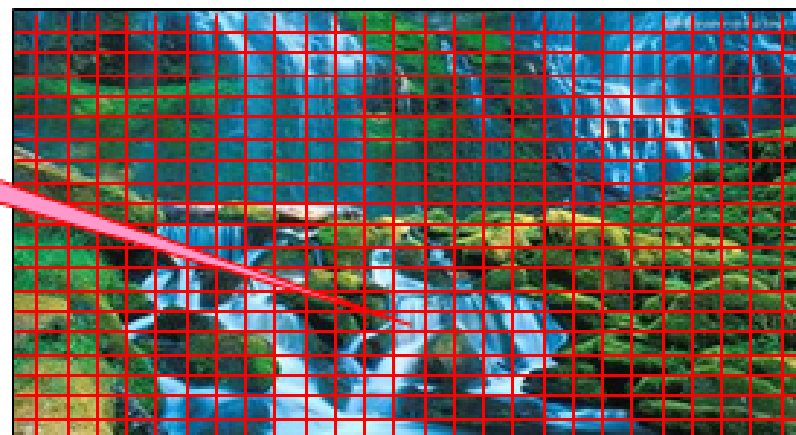
■ 图像的分辨率

像素

$M \times N$

图像的分辨率

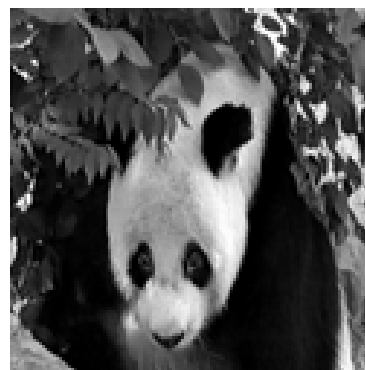
N



M

图像分辨率：采样所获得的图像总像素的多少，以水平和垂直像素数表示：
用 $M \times N$ 表示，M列N行，如
 2560×1920 ； $2560 \times 1920 = 4915200$ ，
也称为500万像素分辨率。

分辨率不一样，数字图像的质量也不一样



■ 量化层数

量化：将各个像素所含的明暗信息离散化

- 一般的量化值为整数，量化层数取为2的 n 次幂
- 8位量化：即 2^8 ，充分考虑到人眼的识别能力，非特殊用途的图像均为8bit量化，用[0 255]描述“从黑到白”，0和255分别对应亮度的最低和最高级别。

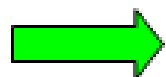
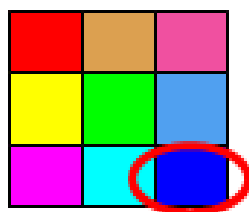


数字化的灰度图像



| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 130 | 146 | 133 | 95 | 71 | 71 | 62 | 78 |
| 1 | 130 | 146 | 133 | 92 | 62 | 71 | 62 | 71 |
| 2 | 139 | 146 | 146 | 120 | 62 | 55 | 55 | 55 |
| 3 | 139 | 139 | 139 | 146 | 117 | 112 | 117 | 110 |
| 4 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 | 139 |
| 5 | 146 | 142 | 139 | 139 | 139 | 143 | 125 | 139 |
| 6 | 156 | 159 | 159 | 159 | 159 | 146 | 159 | 159 |
| 7 | 168 | 159 | 156 | 159 | 159 | 159 | 139 | 159 |

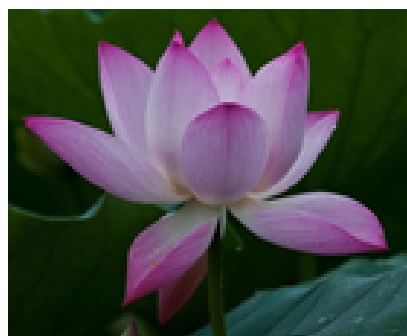
数字化的彩色图像



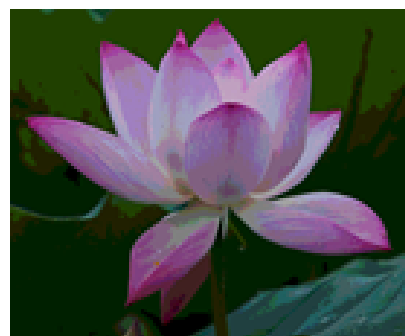
$$R = \begin{bmatrix} 255 & 240 & 240 \\ 255 & 0 & 80 \\ 255 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 80 \\ 255 & 255 & 160 \\ 0 & 255 & 0 \end{bmatrix}$$

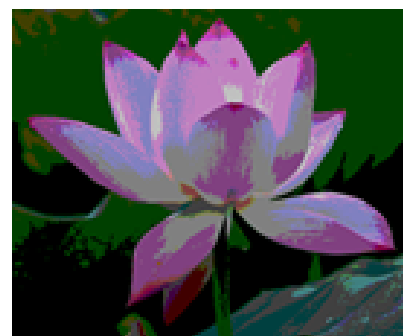
$$B = \begin{bmatrix} 0 & 80 & 160 \\ 0 & 0 & 240 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}$$



256级灰度



8级灰度



4级灰度

■ 图像类型

□ 二值图像

每个像素值要么为0要么为1的数字图像，一般为黑白两色



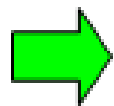
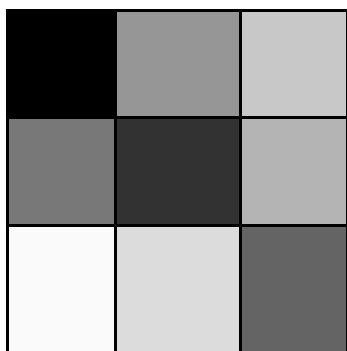
通常用来做模板



■ 图像类型

□ 灰度图像

每个像素只有一个强度值，呈现黑、灰、白等色



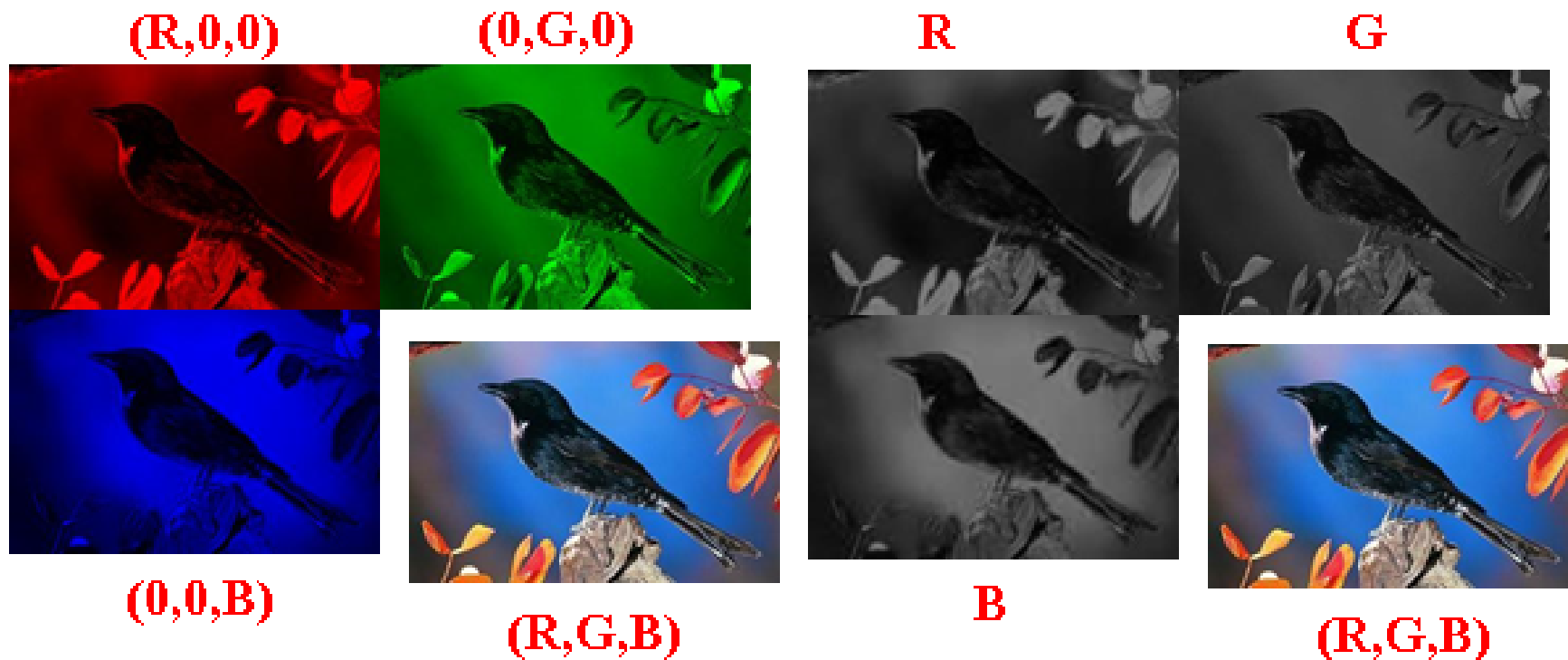
$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$



■ 图像类型

□ 彩色图像

每个像素值为三维向量：组成该色彩的RGB值



■ 图像类型 □ 索引图像

索引图像实际上不是一种图像类型，而是图像的一种**存储方式**，牵涉到数据编码的问题。



彩色图像每像素3字节，
图像数据3万字节

更换存储方式：

节省空间

| 调色板 | 颜色索引 | 颜色值 |
|-----|------|-------------------------|
| | 0 | $R_0G_0B_0$ |
| | 1 | $R_1G_1B_1$ |
| | ... | ... |
| | 255 | $R_{255}G_{255}B_{255}$ |

每像素1字节，图
像数据1万字节

| 图像数据 | ... | ... | ... |
|------|----------------|-----|-----|
| | 像素点颜色值在调色板中的索引 | | |
| | ... | ... | ... |

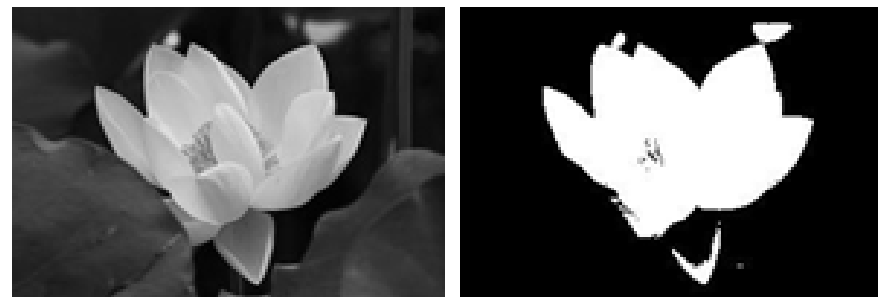
■ 图像类型

| 颜色数目 | 索引编码 | 存储索引位数 |
|--------|-------------------|--------|
| 2 | 0、1 | 1 |
| 4 | 00、01、10、11 | 2 |
| 16 | 0000~1111 | 4 |
| 256 | 00000000~11111111 | 8 |
| 真彩色24位 | 000~111 (3字节) | 24 |

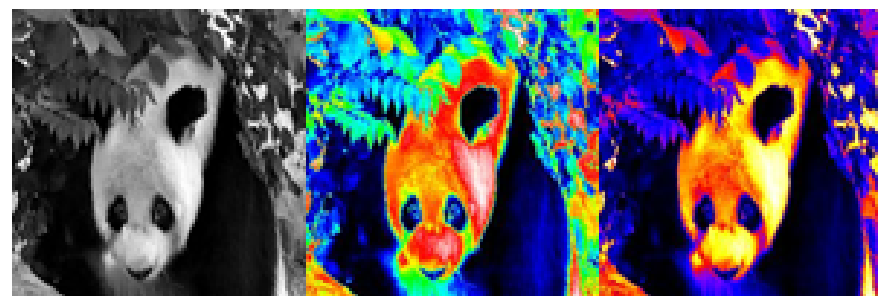
真彩色24位图像不用索引图像格式

■ 图像类型 □ 不同类型图像间的转化

灰度图像→二值图像：
二值化，应用图像分割技术



灰度图像→彩色图像：
伪彩色增强



彩色图像→灰度图像：灰度化