



Ch 6

Color Image Processing

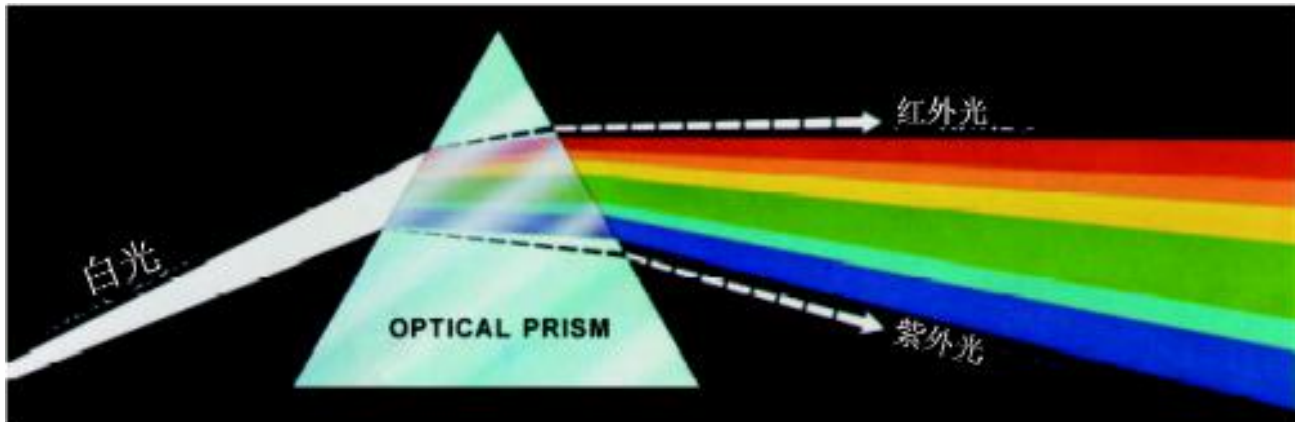
Wang Jian
SEIE-TJU
Autumn 2017



- **Fundamental**
- Color models
- Pseudocolor Processing
- Full color image processing

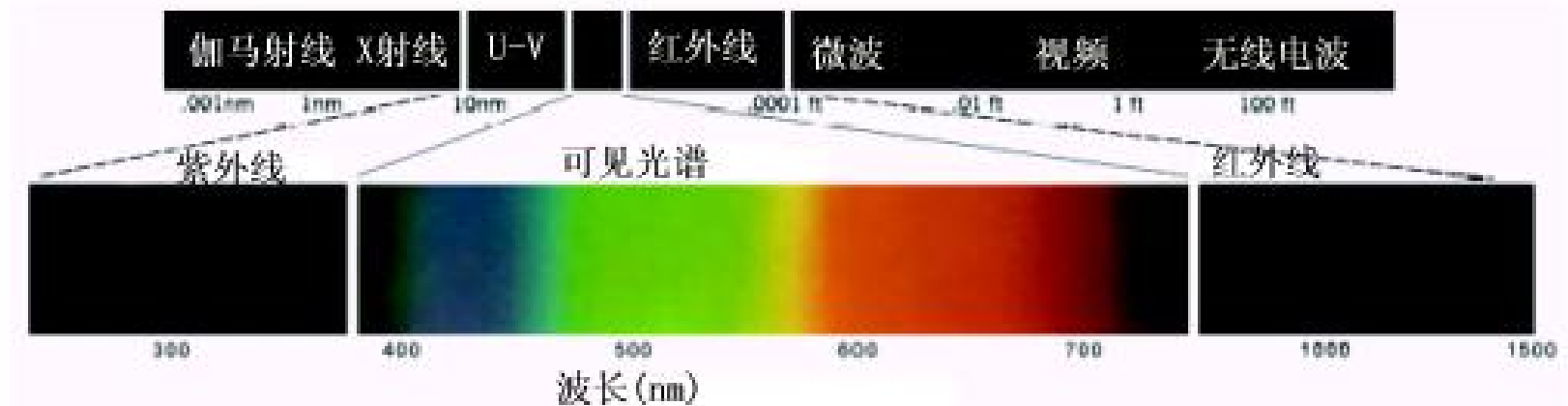
Fundamental

- 人的大脑感知和理解颜色所遵循的过程是一个生理心理想象，还没有完全被人类了解，但是颜色的物理性质可以由实验和理论结果支持的基本形式来表示。
- **1666年艾萨克.牛顿 (Isaac Newton)** 发现：当一束太阳光通过玻璃棱镜时，出现的光束不是白的，而是从紫色到红色连续彩色光谱组成。
- 彩色谱可分为六个宽的区域：紫、蓝、绿、黄、橘红、红色。



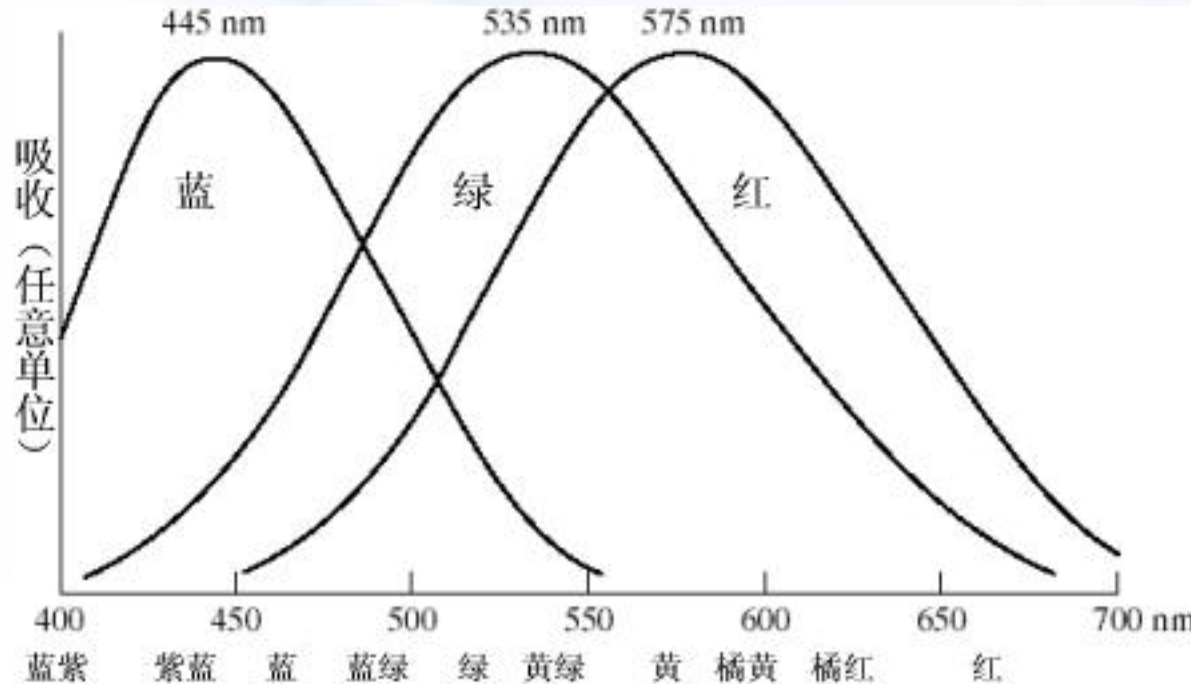
Fundamental

- 当观察全彩色时，色谱末尾的颜色不是突变的，而是由一种颜色连续平滑的过渡到下一种颜色。

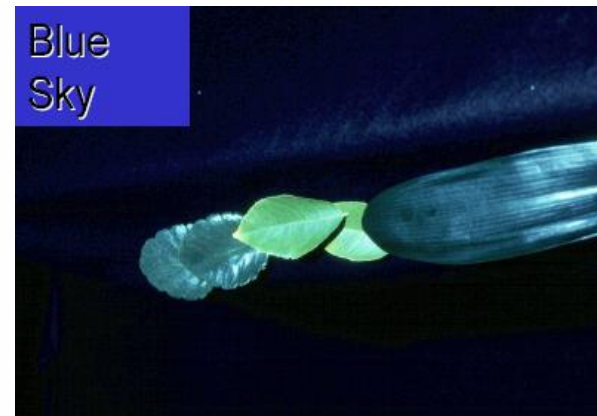


- 视觉接收物体的颜色主要由物体反射光的性质决定，还由视觉特性、光源特性决定。
- 可见光是由电磁波谱中相对较窄的波段组成
 - 一个物体反射的光如果在所有可见光波长范围内是平衡的，则呈现白色。
 - 反射某一有限范围的可见光谱，呈现某种颜色。

Fundamental



人眼中的红、绿、蓝锥状体的波长吸收函数



Fundamental

- **光特性**是色度学的核心
- 消色光 (无色光 Achromatic Light): 没有颜色, 属性仅由亮度的灰度级决定, 如黑白电视。
- 彩色光(Chromatic Light): 电磁波谱 400nm~700nm 范围, 由三个基本量描述:
 - 辐射率 (Radiance) — 从光源辐射的总能量, 用瓦特 (W) 度量
 - 光强 (Luminance) — 观察者从光源接收的能量总和, 用**流明**度量
 - 亮度 (Brightness) — 主观描述符, 它具体化了彩色强度的概念, 并是描述彩色感觉的一个关键参数。实际上不可度量。



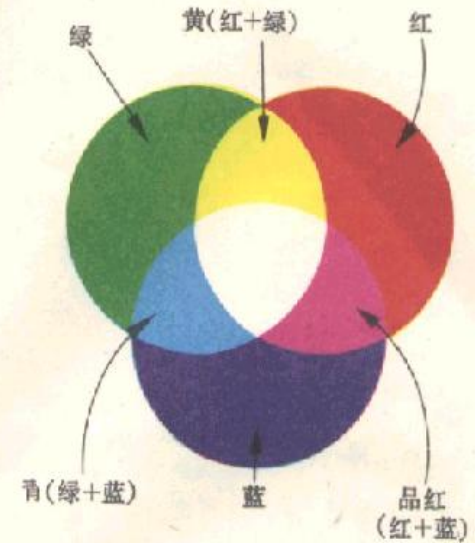
Fundamental

- 人眼的锥状细胞是负责彩色感觉的传感器，实验结果表明，人眼 6~7 百万锥状细胞中可分为三个主要的感觉类别，分别对应红、绿、蓝。
 - 65% 人眼锥状细胞对红光敏感，33% 对绿光敏感，2% 对蓝光敏感。
 - 设定基色 (原色 Primary Color) 的波长值：
 - 红 (R) = 700.0nm
 - 绿 (G) = 546.1nm
 - 蓝 (B) = 435.8nm
- 为标准化而设定的三基色波长并不意味着 RGB 分量的单独作用就能产生所有谱色，只能产生一定范围内的谱色。

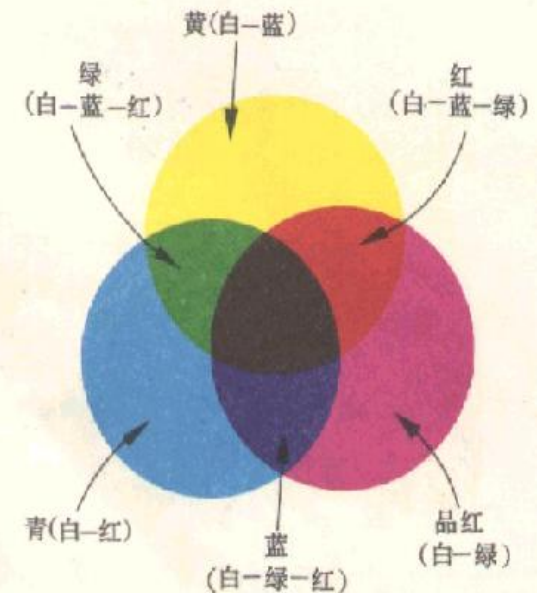
Fundamental

- 基色相加可以产生合成色
 - 紫色 (红+蓝) **Magenta**
 - 青色 (绿+蓝) **Cyan**
 - 黄色 (红+绿) **Yellow**
- 以正确的比例把三基色或者一种二次色和其相反的基色混合可以产生白光。
- 光基色与颜料着色剂基色之间的区别
 - 颜料基色
 - 紫色、青色、黄色
 - 颜料合成色
 - 红色、黄色、蓝色
 - 颜色着色混合符合相减原理

光混合
(原色相加)

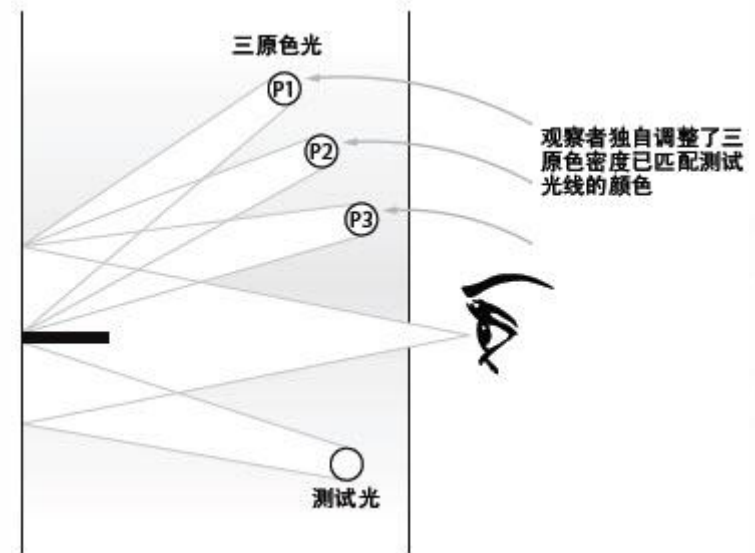


颜料混合
(原色相减)



彩色匹配 Grassman 定理

1. 任何彩色可以用至多三种彩色光所匹配；
2. 混合彩色的亮度是等于其混合分量的亮度之和；
3. 人眼不能分解彩色混色的各分量；
4. 在一个亮度水平上的彩色匹配将在很宽的亮度范围内保持；
5. 匹配的彩色相加后仍然保持匹配；
6. 匹配的彩色混合相减后仍然保持匹配；
7. 彩色匹配的传递定理；
8. 三种彩色匹配：直接的和间接的。

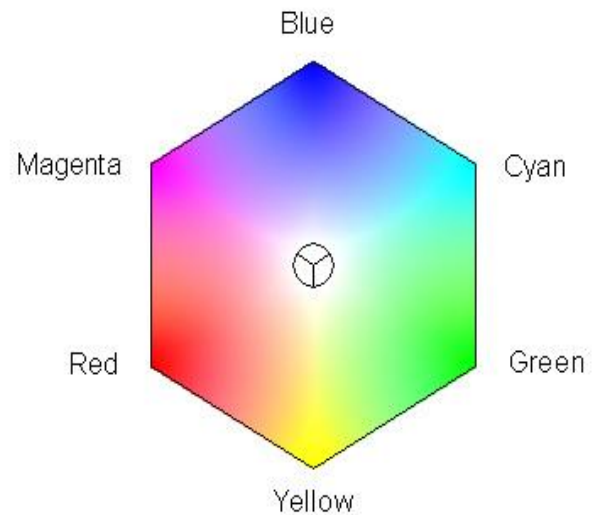
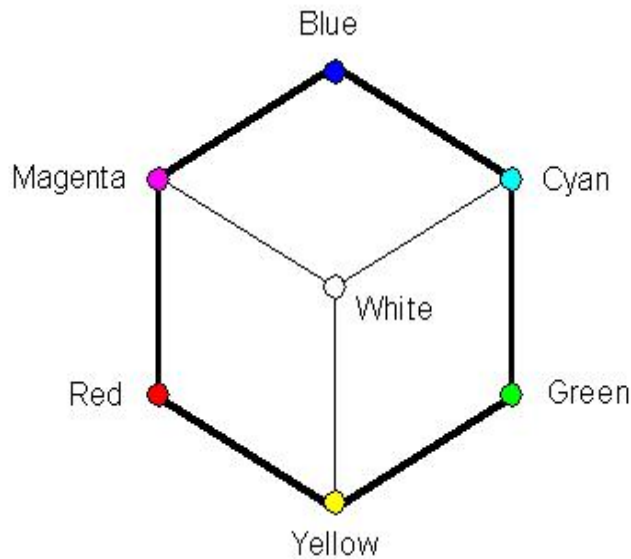


RGB制彩色表示（自学）

- 对于任意给定的彩色光 F ，其配色方程可写成

$$F = R[R] + G[G] + B[B]$$

- 如果用相互垂直的三个坐标轴分别表示三个相互独立的基色 R 、 G 、 B ，那么任意一个彩色就能用此三维空间中的一个彩色矢量来表征。后面再详细讲述。



彩色矢量空间

- # R, G, B

- $m = R + G + B$ ——称为色模**

$$\mathbf{r} = \mathbf{R}/\mathbf{m}$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{G}/m$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{B}/\mathbf{m}$$

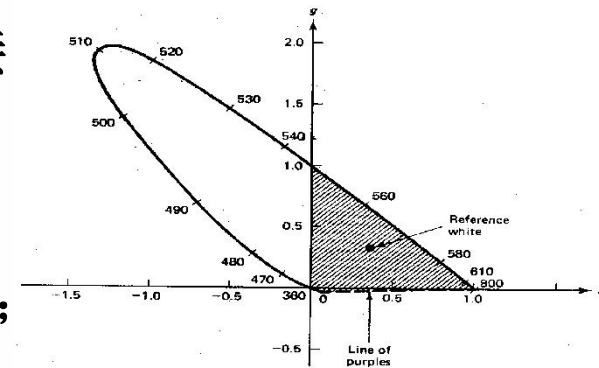


- ∴ 混合色的色度唯一地由 r、g、b 中的两个就可以明确地表示。因此各种彩色的色度可以采用二维表示法。

- **RGB 色度图**就是用 **r-g** 直角坐标系来表示各种色度所画出的平面图形。

RGB 色度图（自学）

- 由 [R]、[G]、[B] 三点连成的三角形称**彩色三角形**，其重心 E 即为等能白光 $E_{\text{白}}$ 的位置。
 - 在连接 [R] 和 [G] 的直线上， r 、 g 之和恒为 1，即 $b = 0$ 。
 - 在彩色三角形内 $r+g \leq 1$ ， r 、 g 、 b 均为正值，说明由三基色**相加**混合配出的各种彩色均在三角形内。
 - 对于某些饱和度很高的色光（例如绿、蓝色光），不论用怎样的 r 、 g 、 b 比例关系，均无法用正三基色相加配出，而必须用“负”的基色光，或者说，色系数为负值。具有这类性质的彩色的色度坐标处在彩色三角形之外。
- 谱色轨迹**：根据各谱色光的色度坐标值可绘出可见光谱在 r - g 平面上的坐标位置。由它们连接而成的一条**舌形曲线**，称为**谱色轨迹**。
 - 自然界中的彩色（也称实色）都能用整个闭合曲线及其内部的相应点的坐标表示。坐标位置越靠近谱色轨迹，所对应的彩色越纯，即饱和度越高；而越靠近 E 点，所对应的彩色的饱和度越低。





RGB 色度图（自学）

- RGB 计色制的缺点
 - 在色度图上不能直接表示出亮度，计算某色光的亮度非常复杂和不方便。
 - 混色曲线 $r(\lambda)$ 、 $g(\lambda)$ 、 $b(\lambda)$ 中有负值存在，计算和实际测量容易出差。
 - 谱色轨迹不全在坐标的第一象限内，作图也感不便。
- **XYZ 制的基本思想：**选三个基色单位 $[X]$ 、 $[Y]$ 、 $[Z]$ ，它所组成的三角形将单色光频谱全面包围在内，而且使三个色坐标中的一个恰好等于色光的亮度。
- 在 XYZ 制中，配色方程为 $F = X[X] + Y[Y] + Z[Z]$
- 三基色单位 $[X]$ 、 $[Y]$ 、 $[Z]$ 满足的三个条件：
 - ① 用它们配出实际彩色时，三个色系数 X 、 Y 、 Z 均为正值。
 - ② 为了便于计算，使合成彩色光的亮度仅由 $Y[Y]$ 确定，并规定 $1[Y]$ 的光通量为 1 光瓦。
 - ③ 当 $X = Y = Z$ 时，仍代表等能白光 $E_{\text{白}}$ 。

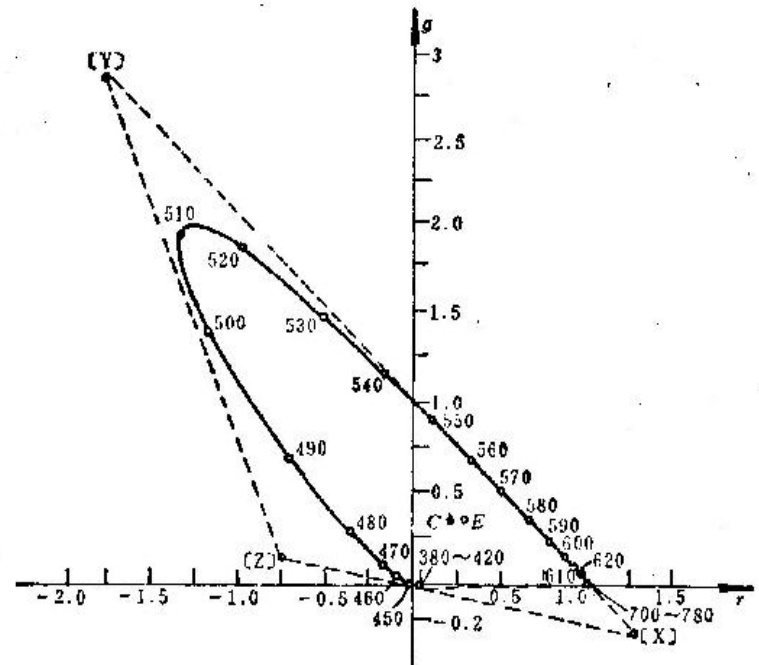
XYZ 色度图（自学）

- 从物理三基色单位 [R]、[G]、[B] 导出 [X]、[Y]、[Z]
 - XZ 连线方程：** $0.9399r + 4.5306g + 0.0601 = 0$ （零亮度条件）
 - XY 连线方程：** $r + 0.99g - 1 = 0$ （RG 直线延长线）
 - YZ 连线方程：** $1.45r + 0.55g + 1 = 0$ （切线）
- 物理 RGB 三基色到 XYZ 计算三基色的线性方程组

$$[X] = 0.4185[R] - 0.0912[G] + 0.0009[B]$$

$$[Y] = -0.1587[R] + 0.2524[G] - 0.0025[B]$$

$$[Z] = -0.0828[R] + 0.0157[G] + 0.1786[B]$$



XYZ色度图（自学）

- **XYZ 制中彩色表示式**

$$\begin{aligned}\mathbf{F} &= \mathbf{X}[\mathbf{X}] + \mathbf{Y}[\mathbf{Y}] + \mathbf{Z}[\mathbf{z}] \\ &= \mathbf{m}'\{\mathbf{x}[\mathbf{X}] + \mathbf{y}[\mathbf{Y}] + \mathbf{z}[\mathbf{Z}]\}\end{aligned}$$

— 相对三系数

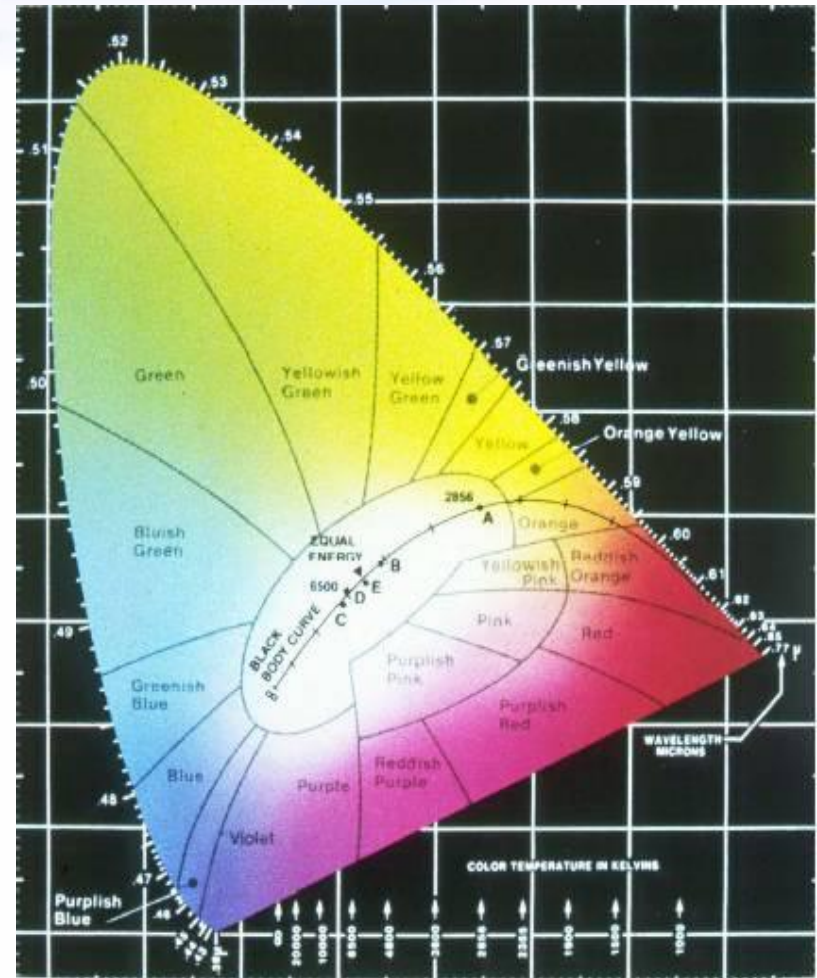
$$\mathbf{m}' = \mathbf{X} + \mathbf{Y} + \mathbf{Z}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{X}/\mathbf{m}'$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Y}/\mathbf{m}'$$

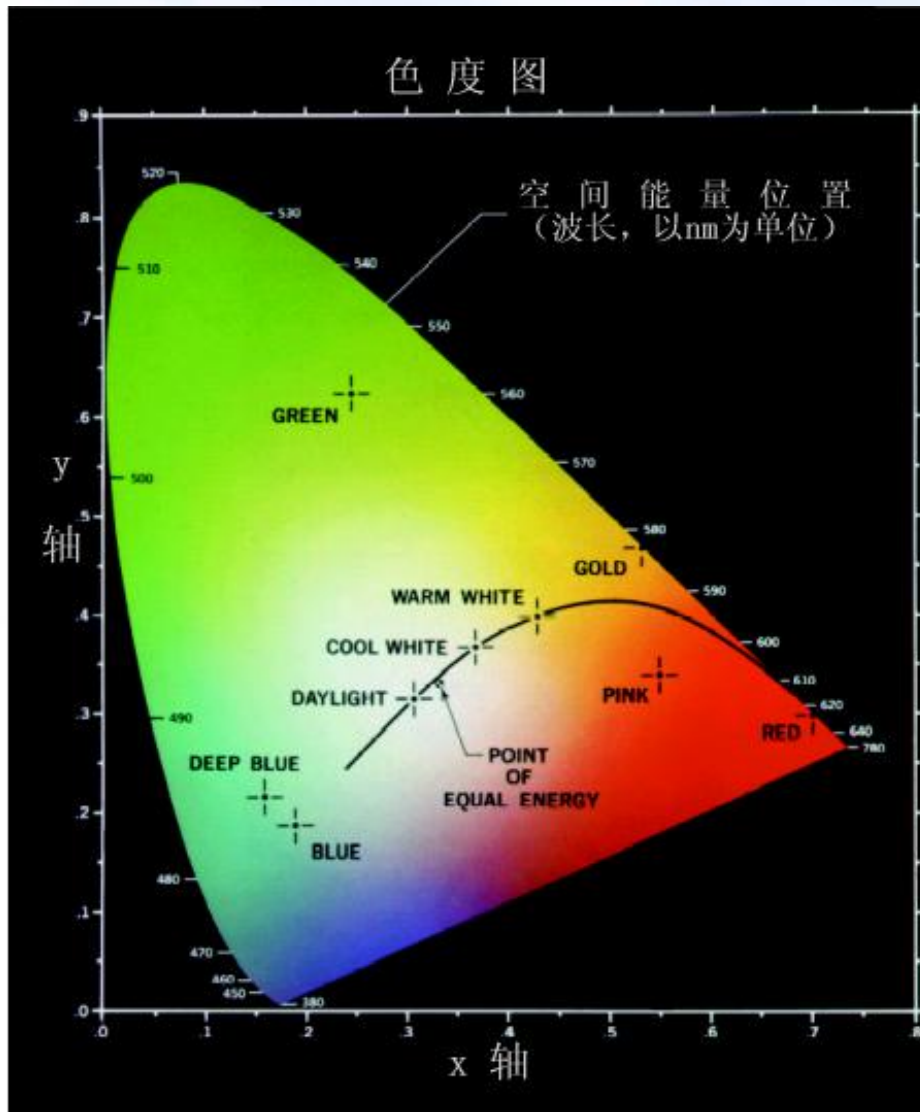
$$\mathbf{z} = \mathbf{Z}/\mathbf{m}'$$

$$\mathbf{x} + \mathbf{y} + \mathbf{z} = \mathbf{1}$$



CIE 1931 CHROMATICITY DIAGRAM
Color boundaries translated from
revised Kelly Chart

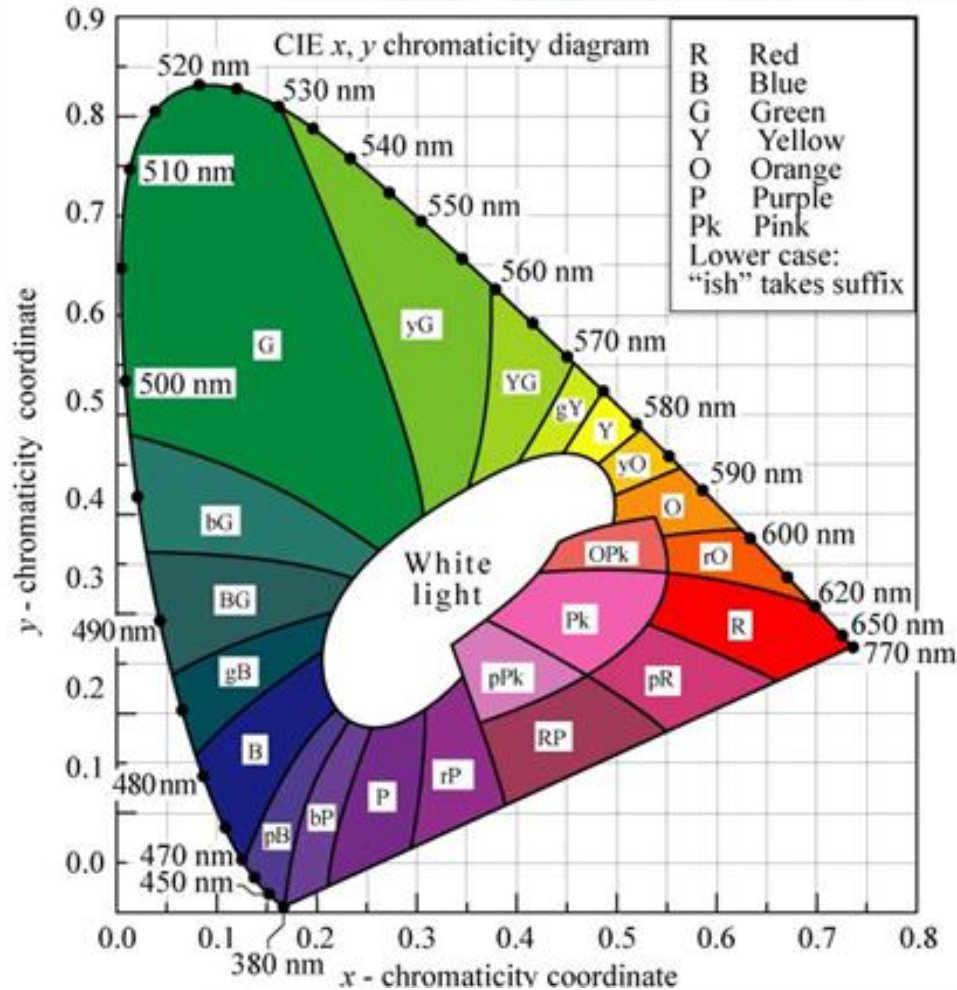
XYZ色度图（自学）



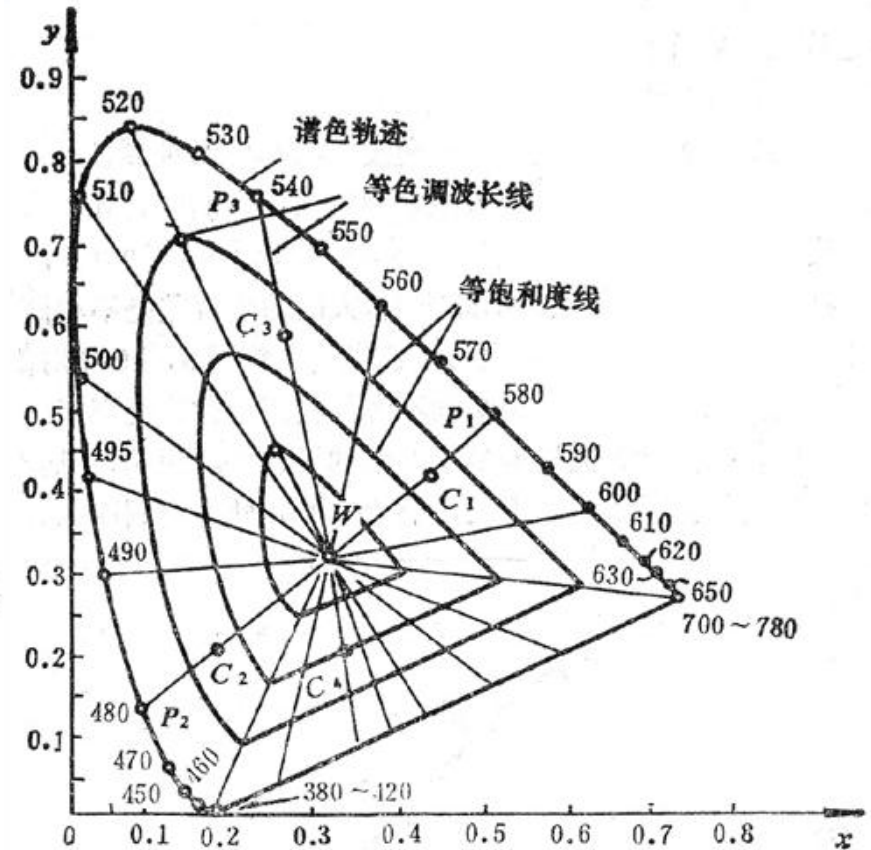
• 色度图：x 和 y 的函数

- $x=y=z$ ，能量相等位置为白光
- 舌形色度图边界位置的点为纯色 \Rightarrow 全饱和
- 远离边界、靠近等能量位置的点 \Rightarrow 饱和度 $\rightarrow 0$
- 色度图对彩色混合非常有用：
 - 色度图中用任意两点的直线段定义所有不同颜色的变化，这些颜色可以由这两点的颜色相加得到。
 - 这一过程可以推广得到三种颜色，三点连接的三角形内的任何颜色都可以由三点颜色的不同混合产生。

XYZ色度图（自学）

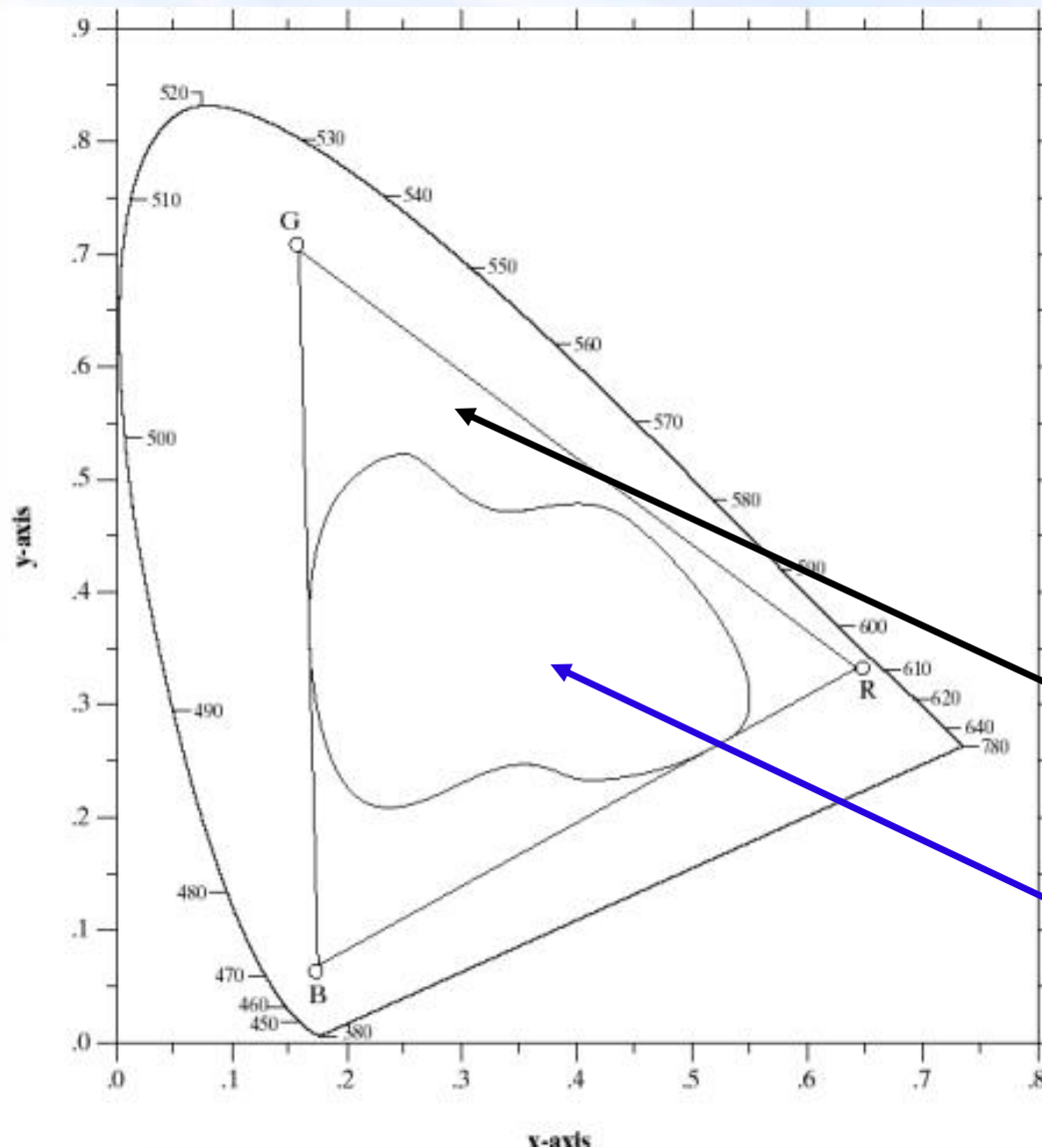


CIE 1931色域(gamut)图,23个色域



等色调波长线和等饱和度线

XYZ色度图（自学）



图为彩色监视器和彩色打印设备的典型彩色域

任意确定颜色为顶点的三角形不能包围 CIE 色度图的所有颜色范围。

•图中三角形显示了由RGB监视器产生的典型颜色范围，称为彩色全域。

•三角形内不规则区域表示高质量彩色打印设备的彩色域。



- **Fundamental**
- **Color models**
- Pseudocolor Processing
- Full color image processing

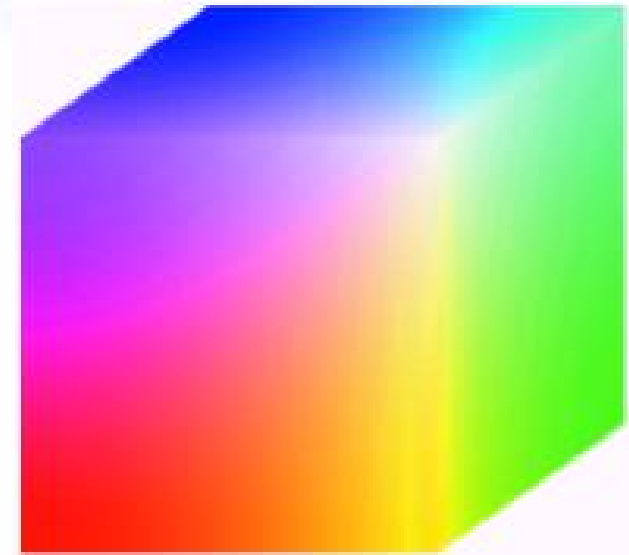
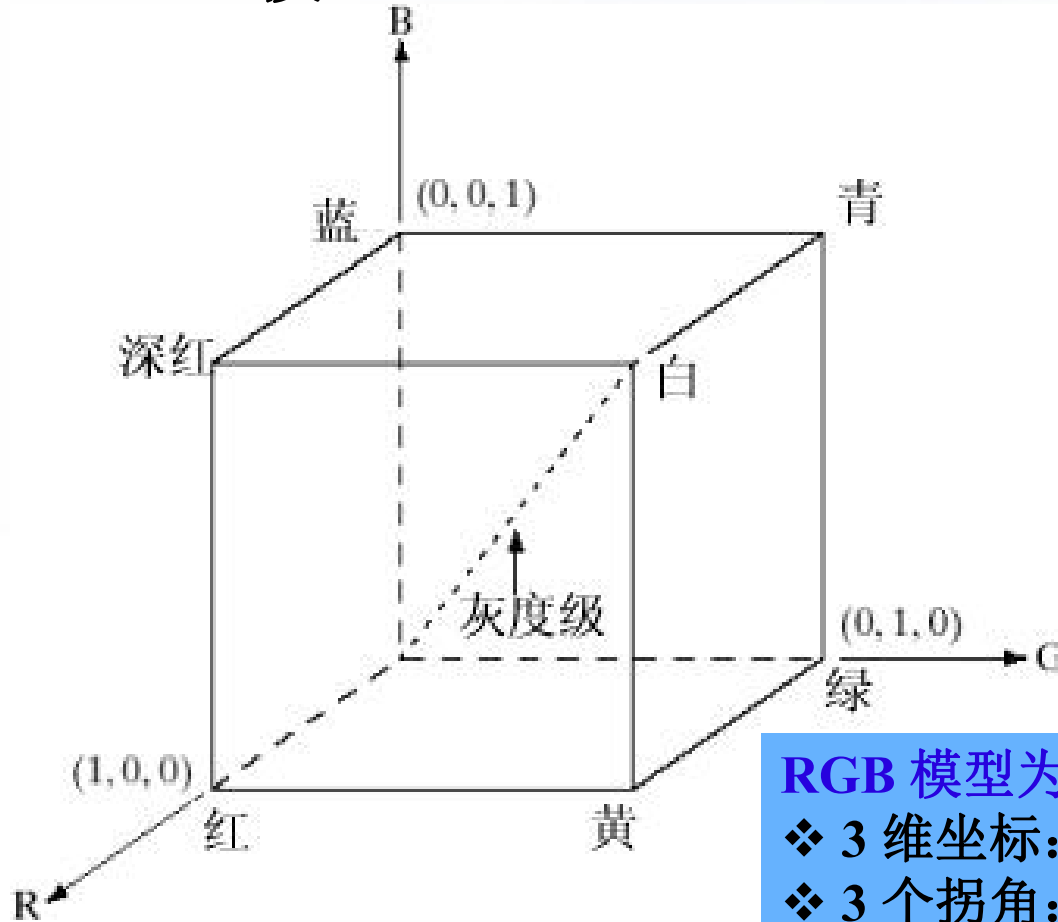


Color Models

- 彩色模型的用途是为了简化彩色说明规范
- 彩色模型通常用3D坐标系统表示
- 实际的彩色模型大多是面向硬件或者面向应用的
 - **RGB模型（红、绿、蓝）**
⇒ 彩色监视器和彩色视频摄像机
 - **CMY模型（青、深红、黄）**
⇒ 彩色打印机
 - **YIQ/YUV模型**
⇒ 彩色电视广播
 - **HSI（色调、饱和度、强度）模型**
⇒ 描述和解释颜色的方式
 - **CIE LAB/LUV模型**
⇒ 颜色测量

Color Models

• RGB模型



RGB24比特彩色立方体

RGB 模型为归一化 $[0,1]$ 的单位立方体

- ❖ 3 维坐标: R、G、B
- ❖ 3 个拐角: C、M、Y (青紫黄)
- ❖ 原 点: 黑 色
- ❖ $(1, 1, 1)$: 白 色

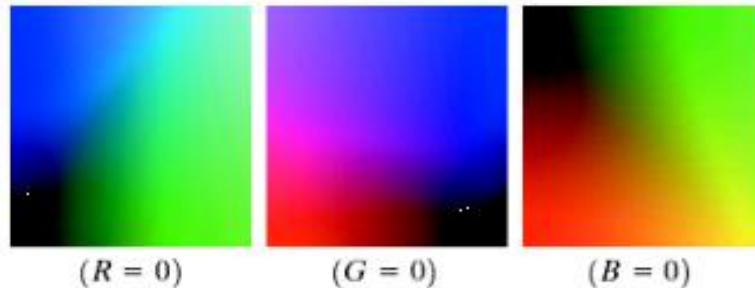
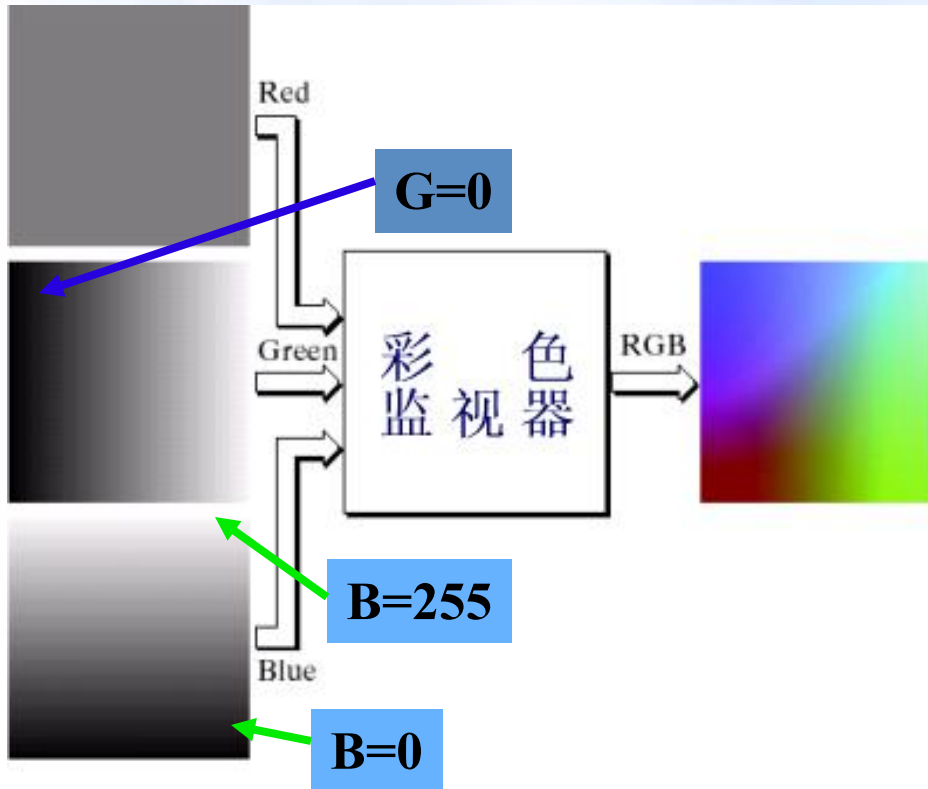


RGB Color Models

- **RGB**彩色模型中，所表示的图像由 3 个独立的图像分量（红、绿、蓝）组成，可以独立进行处理。
- **RGB**空间，用以表示每个像素的比特数叫做像素深度。
 - 如果 **RGB** 图像分量都用 8 比特图像表示，每一个彩色像素就有 **24** 比特深度。
 - 全彩色图像常定义为 24 比特的彩色图像。
 - 24 比特 **RGB** 图像中颜色总数

$$(2^8)^3 = 16,777,216$$

RGB Color Models



G-B平面 R-B平面 R-G平面

- 上图显示了一副横截面图像，把三幅独立的分量图送入彩色监视器观察到结果
 - 分量图为灰度图像
0 代表黑，255 代表白
 - 获得彩色图像是该过程的相反过程，通过滤色片获得彩色场景的RGB分量图像，单色图像的亮度和滤色片的响应成正比。
- 下图是 R、G、B 分别为 0 时彩色立方体横截面。

RGB Color Models

- CMY (Cyan青、Mauve紫、Yellow黄) 是光的合成色(二次色), 它们是颜料基色。
 - 例如: 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光。(青色=白色 - 红色)。
 - 此模型主要应用于硬拷贝设备, 彩色打印机和复印机。
 - CMYK: K (黑色)。等量的CMY产生不纯的黑色, 实际的打印过程中, 黑色是起主要作用的颜色, 为了产生真正的纯黑色, 提出了CMYK模型, 即出版商所说的“**四色打印**”。
- RGB 到 CMY的转换 (假设彩色值归一化为 [0,1] 范围内)

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

CMY Color Models



- 四色打印实例



加入K分量的目的: 产生
纯黑色, 节省彩色墨水





HSI Color Models

- **RGB和CMY模型**
 - ✓ 产生彩色，以及从一种模型到另一种模型转换是一种较简单的过程，这些彩色系统对硬件实现很理想。
 - ✗ 但不能很好地适应于描述人对颜色的理解
- **HSI 模型(色调、饱和度、强度)**
 - 色调 (Hue)：描述纯色的属性，区分不同颜色的种类；
 - 饱和度 (Saturation)：给出一种纯色光被白光稀释的程度的度量，描述颜色的纯度；
 - 强度 (Intensity)：亮度体现无色光的强度概念，是描述彩色感觉的关键参数，但是一种主观描述，实际上不可能测量，而强度(灰度级)是单色图像最有用的描述子，是可测量的，并易于解释；
- **HSI 模型是基于人类视觉彩色感觉特性的理想的彩色图像处理模型。**

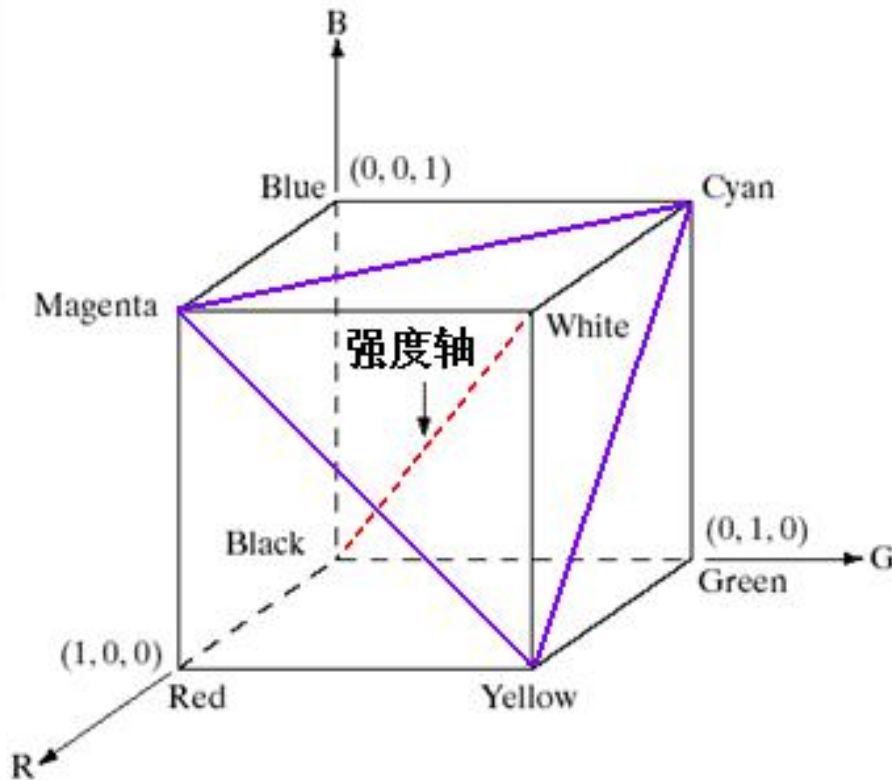


HSI Color Models

- 区别颜色特性的参数：**亮度、色调和饱和度**
 - 亮度(**Brightness**): 描述光作用于人眼所引起的明暗的感觉，不能测量，用强度来近似表示；
 - 色调 (**Hue**): 和在复合光波中占主要地位的光波波长相关的属性（观察者感知到的主要颜色的类别）
 - 例如，我们称一个物体为红色或者黄色，是由它的色调决定的。
 - 饱和度 (**Saturation**): 光波的相对纯度，所呈现彩色的深浅程度；
 - 纯谱色——赤橙黄绿青蓝紫，是全饱和的
 - 粉红、淡紫色是欠饱和的
 - 色调和饱和度合称色度，颜色由亮度和色度表征。

HSI Color Models

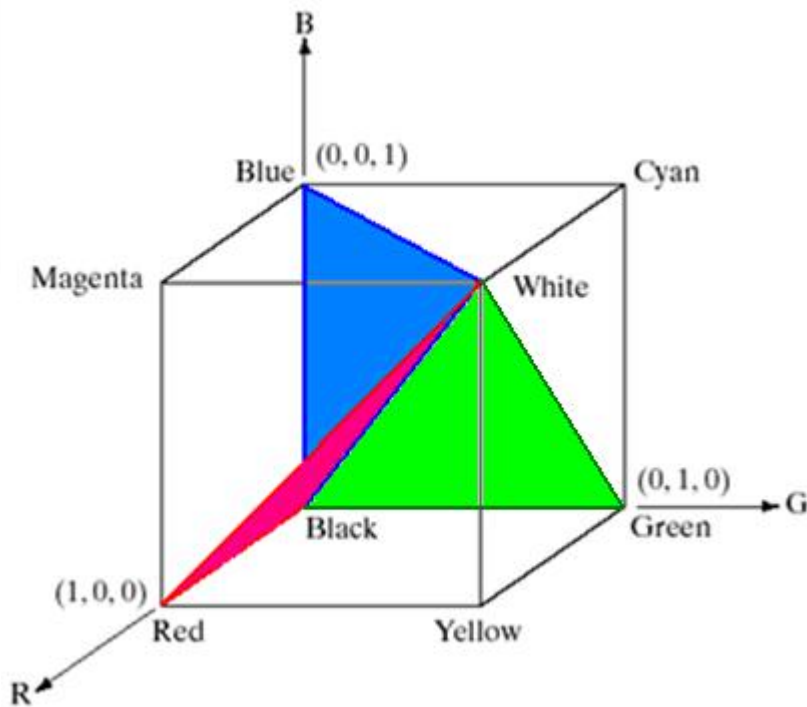
- **强度 (I)**：从顶点 (0,0,0) 黑到顶点 (1,1,1) 白之间的连线，称为强度轴，体现灰度级变化。
- 这条轴之间的所有点都表示**灰度**



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

HSI Color Models

- **色调 (H)** : 由黑、白、颜色点 **a** 确定的平面具有相同的色调
 - 沿强度轴旋转色调平面, 可获得不同色调, 用与**红色色调三角形**的顺时针方向的夹角($0^\circ \sim 360^\circ$)。



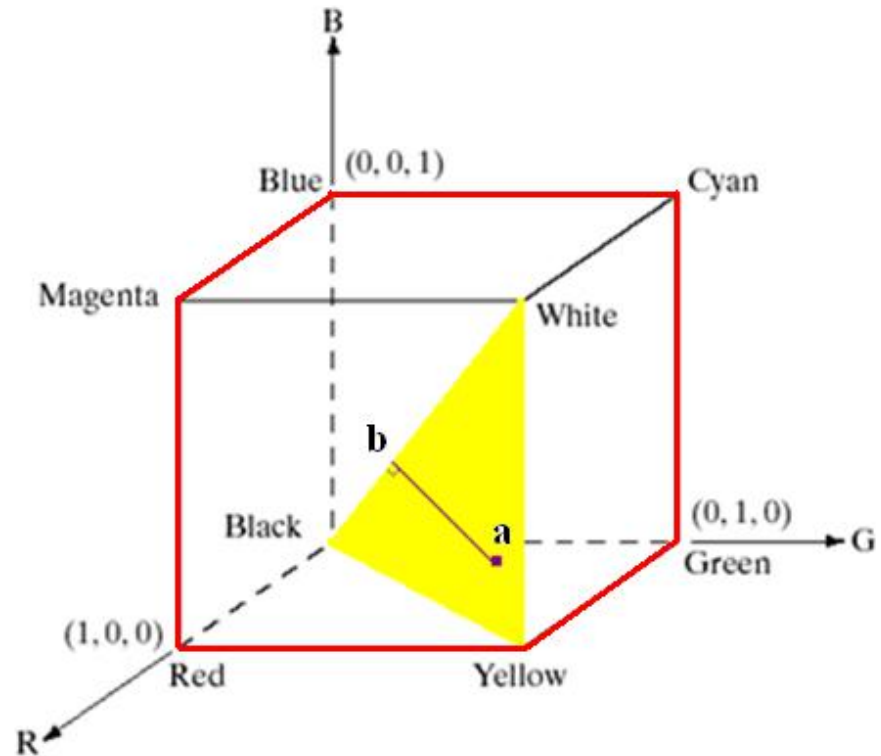
$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360^\circ - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad 0 \leq H \leq 360^\circ$$

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

R: 0°, 360° **Y: 60°** **G: 120°**
C: 180° **B: 240°** **M: 300°**

HSI Color Models

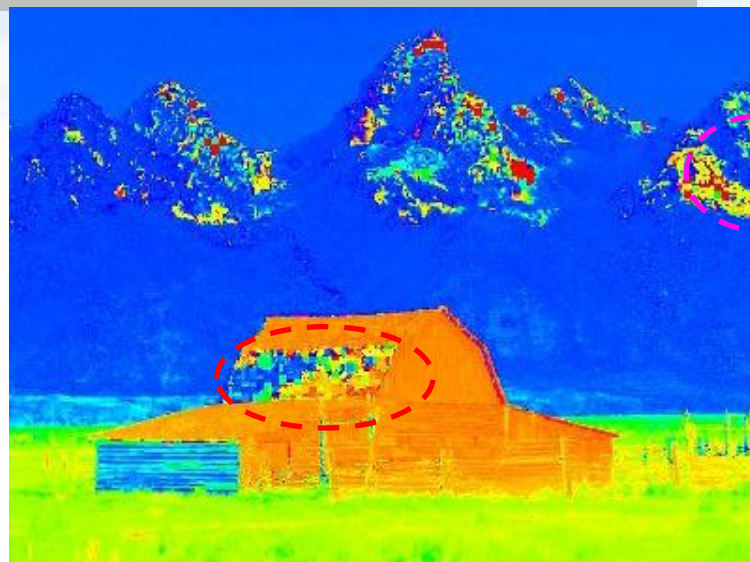
- **饱和度 (S)**：为了决定颜色 **a** 的饱和度，在颜色 **a** 的色调平面做垂至于 **I** 轴的垂线。饱和度是颜色点 **a** 和 **I** 轴之间的垂直(最短)距离。



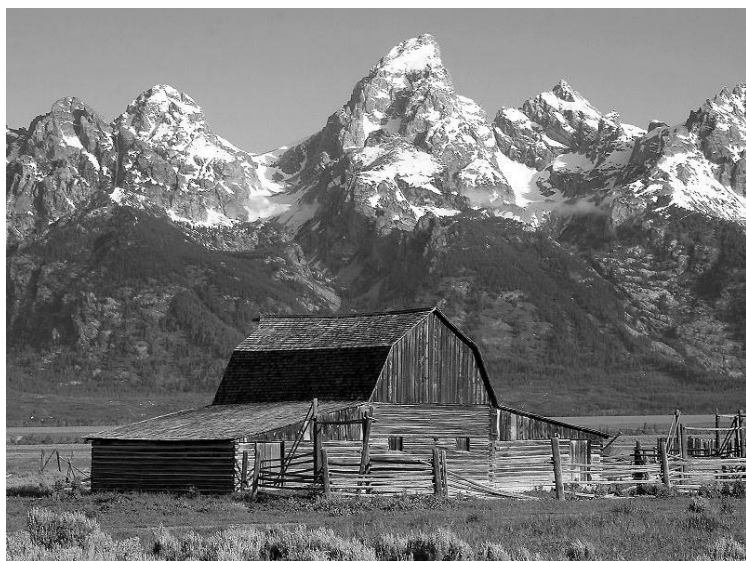
$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$

HSI Color Models

matlab code



H



S

H分量在I取值较大或较小时不稳定

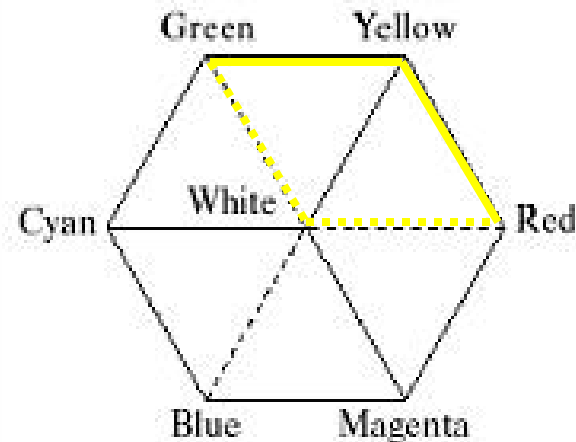
HSI Color Models

- 归一化 H 乘以 360° , 色调 H 返回 $[0^\circ, 360^\circ]$
- HSI 在原始色分割中有 3 个相隔 120° 的扇形 (如图).
 - RG 扇形 ($0^\circ \leq H < 120^\circ$): 当 H 位于这一扇区时, RGB 分量由下式给出:

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

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

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



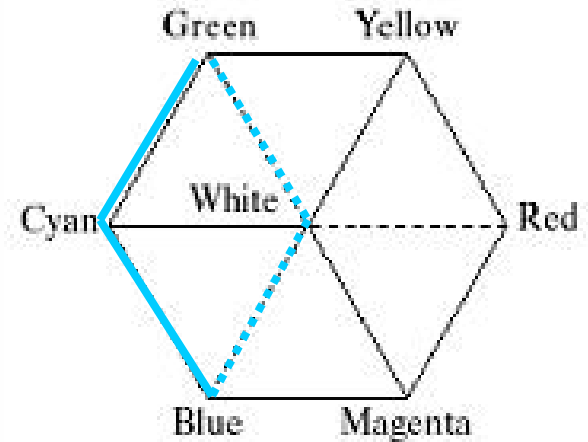
HSI Color Models

- GB 扇形 ($120^\circ \leq H < 240^\circ$): 当 H 位于这一扇区时, 首先从 H 中减去 120° , 即 $H = H - 120^\circ$, 然后计算 RGB:

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

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

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

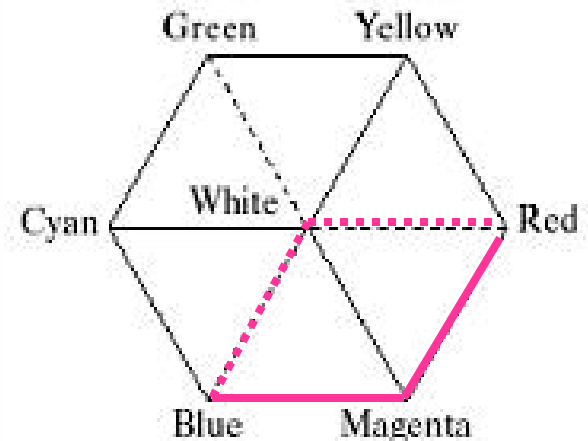


- BR 扇形 ($240^\circ \leq H < 360^\circ$): 当 H 位于这一扇区时, 首先从 H 中减去 240° , 即 $H = H - 240^\circ$, 然后计算 RGB:

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

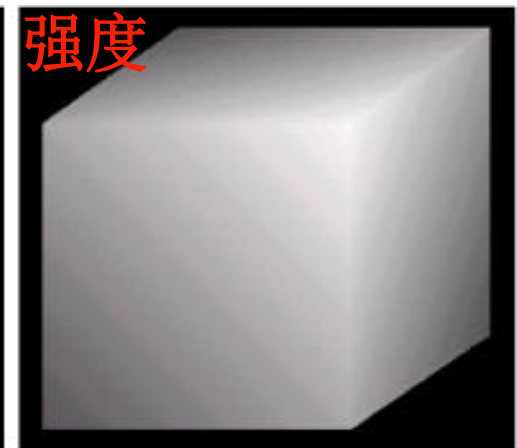
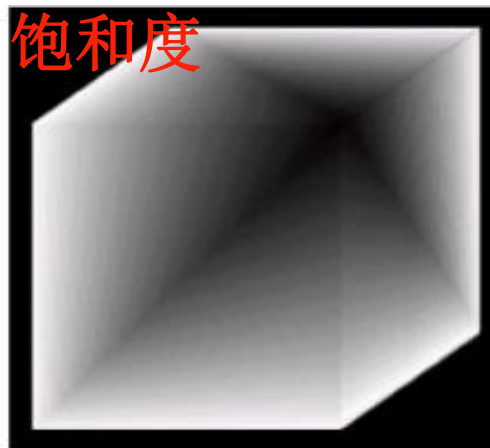
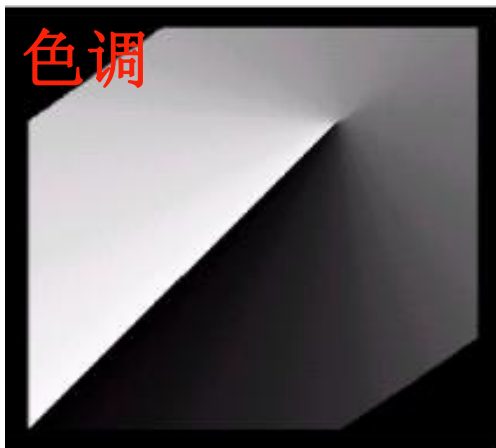
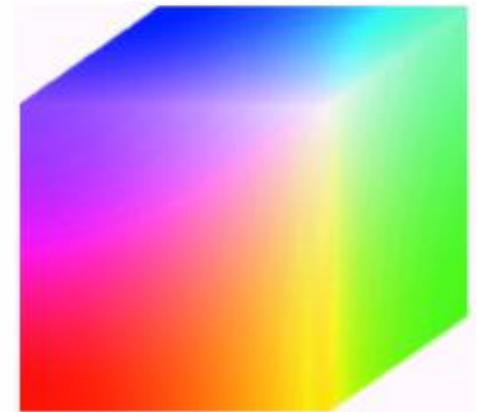
$$B = I \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

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

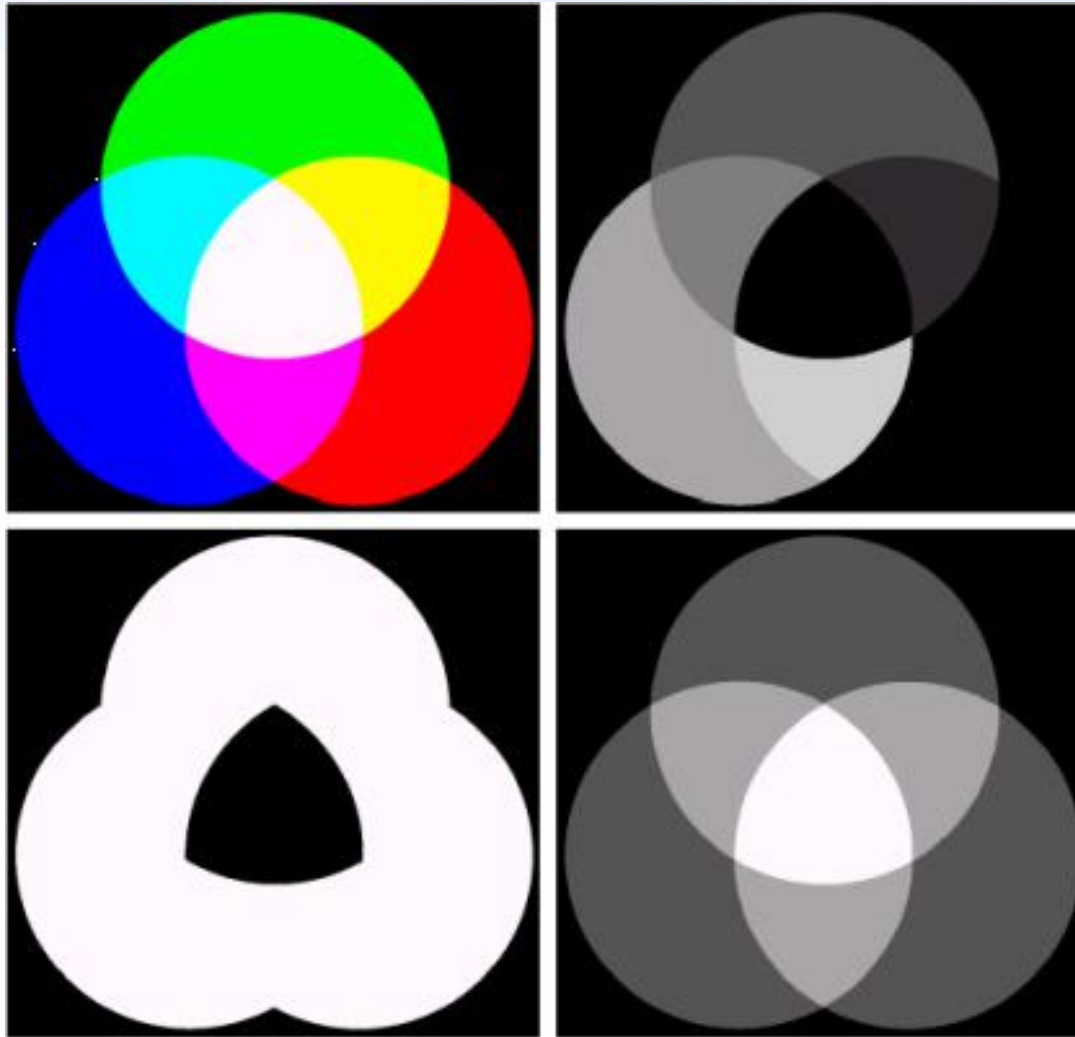


HSI Color Models

- 对应于 RGB 立方体的 HSI 值图像
 - **色调图像**：立方体前平面(红色)沿 45° 线的值是不连续的，表示了色调最高值和最低值之间的过渡，最低值代表黑，最高值代表白。
 - **饱和度图像**显示出从暗值渐进地向 RGB 立方体的白顶点过渡，表明彩色饱和度越来越小，一直逼近白色。
 - 强度图像中的每一个像素值等于RGB 立方体相应像素三通道的平均值。



HSI Color Models



RGB图像	色调
饱和度	强度

matlab code

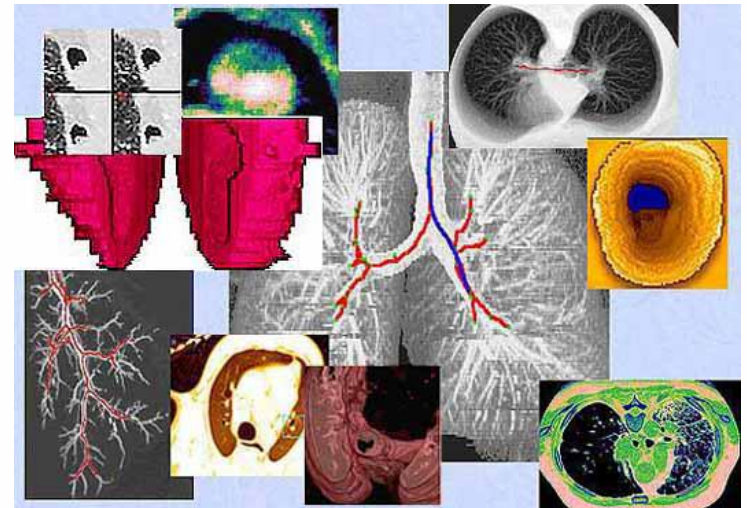
RGB图像与之相应的HSI图像分量



- **Fundamental**
- **Color models**
- **Pseudocolor Processing**
- **Full color image processing**

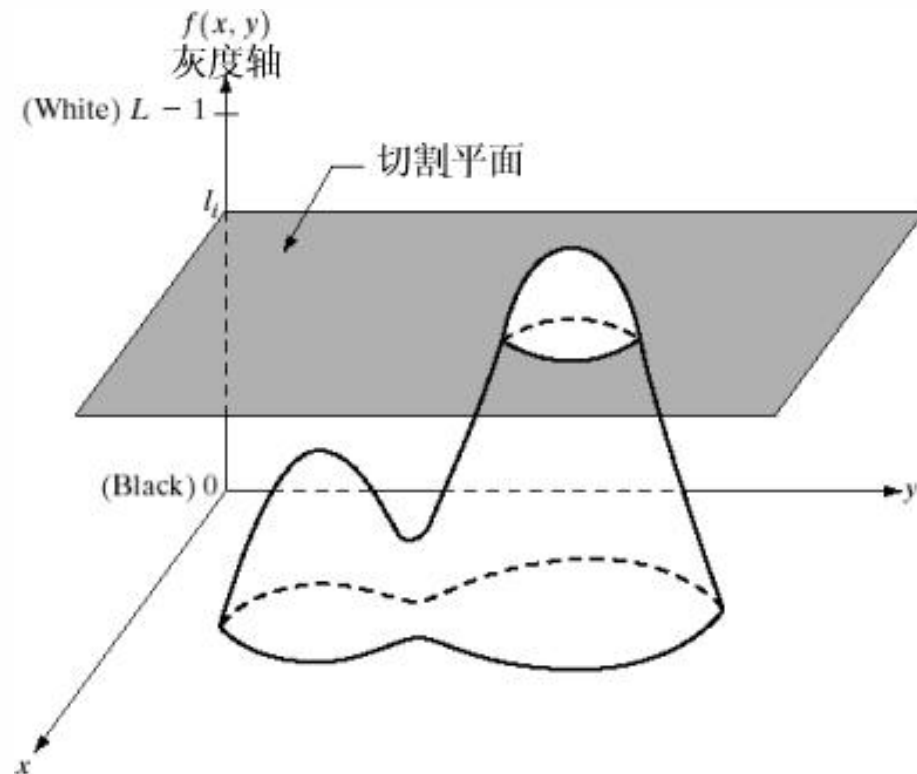
Pseudocolor Processing

- **伪彩色(Pseudocolor)**处理是根据特定的准则对灰度值覆以彩色的处理
- 主要应用：人们目视观察和解释一幅图像或者图像序列中的灰度目标。
- 利用彩色的原因是：人类可以辨别上千种颜色和强度，而能辨别的灰度只有 20 几种。
- 两种伪彩色处理
 - 强度分层 Intensity Slicing
 - 灰度级到彩色转换
Gray-level to Color Transformation

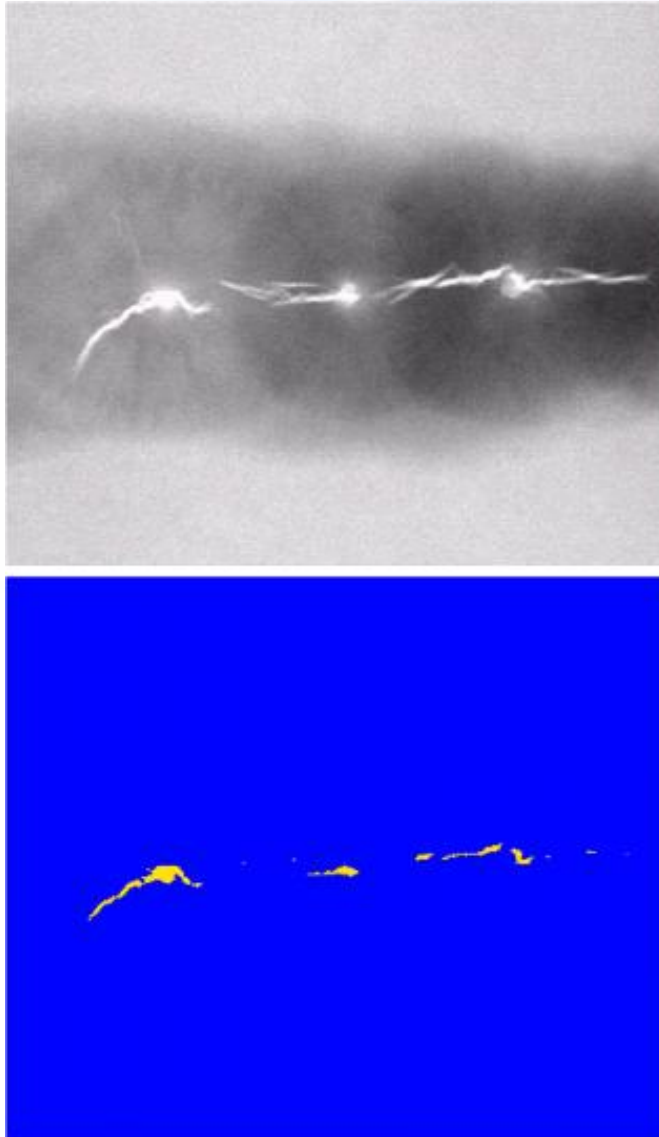


Intensity Slicing

- 强度分层技术和彩色编码是伪彩色图像处理的最简单例子之一。
- 一幅图像被描述为 **3D** 函数，作为空间坐标的强度；分层方法可以看成是放置一些平行于图像坐标面的平面；然后每一个平面在相交的区域中切割图像函数。
- 分割后的不同部分赋予不同的彩色
 - 平面之上的任何灰度级的像素将被编码成一种彩色；
 - 平面之下的像素将编码为另一种彩色；
 - 平面之中的像素随意赋予两者色彩之一。
 - 其结果是一幅两色图像，相关的彩色状态可由沿灰度轴上下移动切割平面来控制。



Intensity Slicing



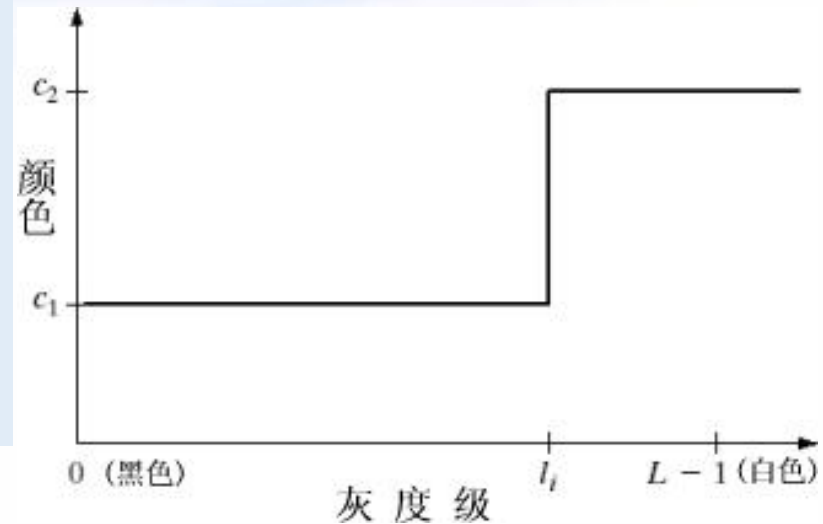
- 当基于图像的物理特征细分灰度级时，强度分层有着重要的作用。
- 图示为含有裂纹和孔隙的焊接物的 X 光图像。
- 当焊接物中有裂痕和孔隙时，X 射线的全部强度都通过物体，图像灰度为 255，则意味着焊接点有问题。
- 彩色编码时将 255 灰度值赋予一种颜色，其它灰度值赋予另一种颜色。这样极大地简化了工人的检测工作。

matlab code

Intensity Slicing

- 强度分层技术的另一种解释

- 任何输入的灰度级根据其位于 l_i 值的上面还是下面而赋予两种颜色之一。
- 当采用更多的灰度级时，映射函数采用阶梯形式。



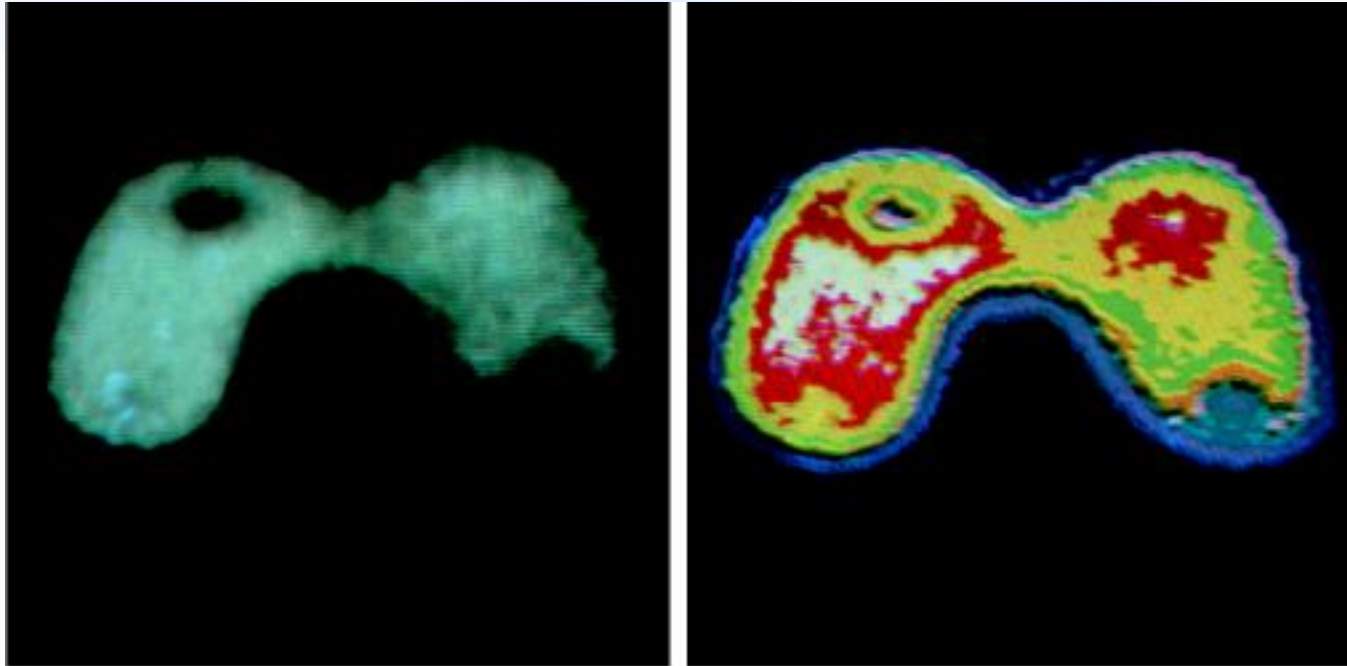
- 多层强度分层

- 令 $[0, L-1]$ 表示灰度级，假定垂直于强度轴的 P 个平面定义为量级 l_1, l_2, \dots, l_p ， P 个平面将灰度级分为 $P+1$ 个间隔： V_1, V_2, \dots, V_{P+1} 。
- 灰度级到彩色的赋值：

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

- 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。

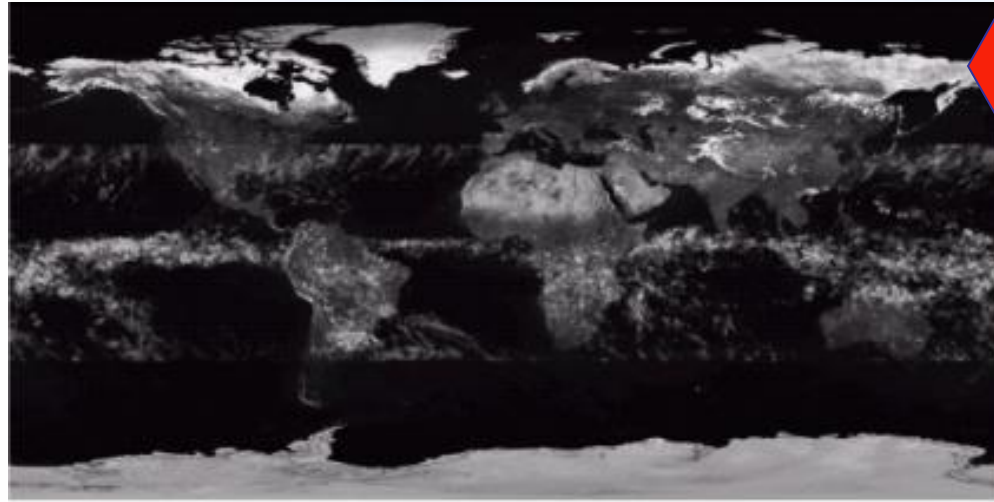
Intensity Slicing



- 左图是甲状腺模型的单色图像，右图是强度分层为 8 个彩色的结果
- 左瓣在单色图像中是暗灰度的，以强度取出病变相对很困难，彩色图像清楚的显示了恒定强度的不同区域，每个区域用一种颜色标识。

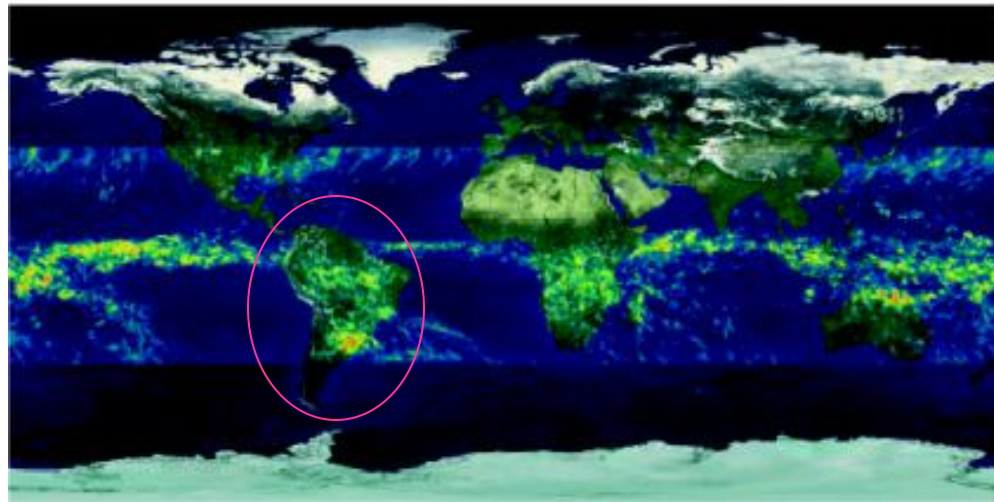
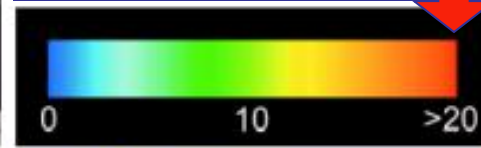
matlab code

Intensity Slicing

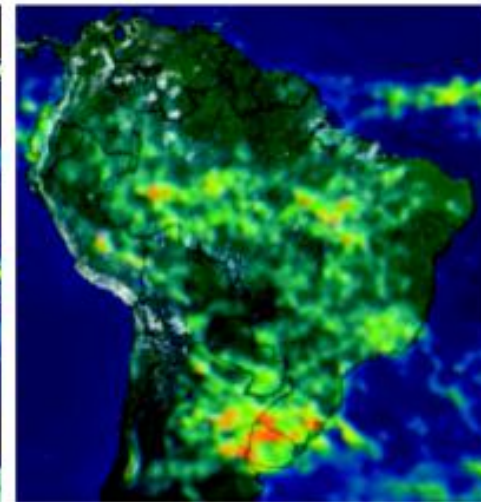


强度与月平均降雨相对应的灰度图像，中间1/3处稍亮一点的水平带就是降雨区。

对 0~255 的强度值赋予彩色，趋于蓝色值意味着低降雨量，相反则为红色



彩色编码图像

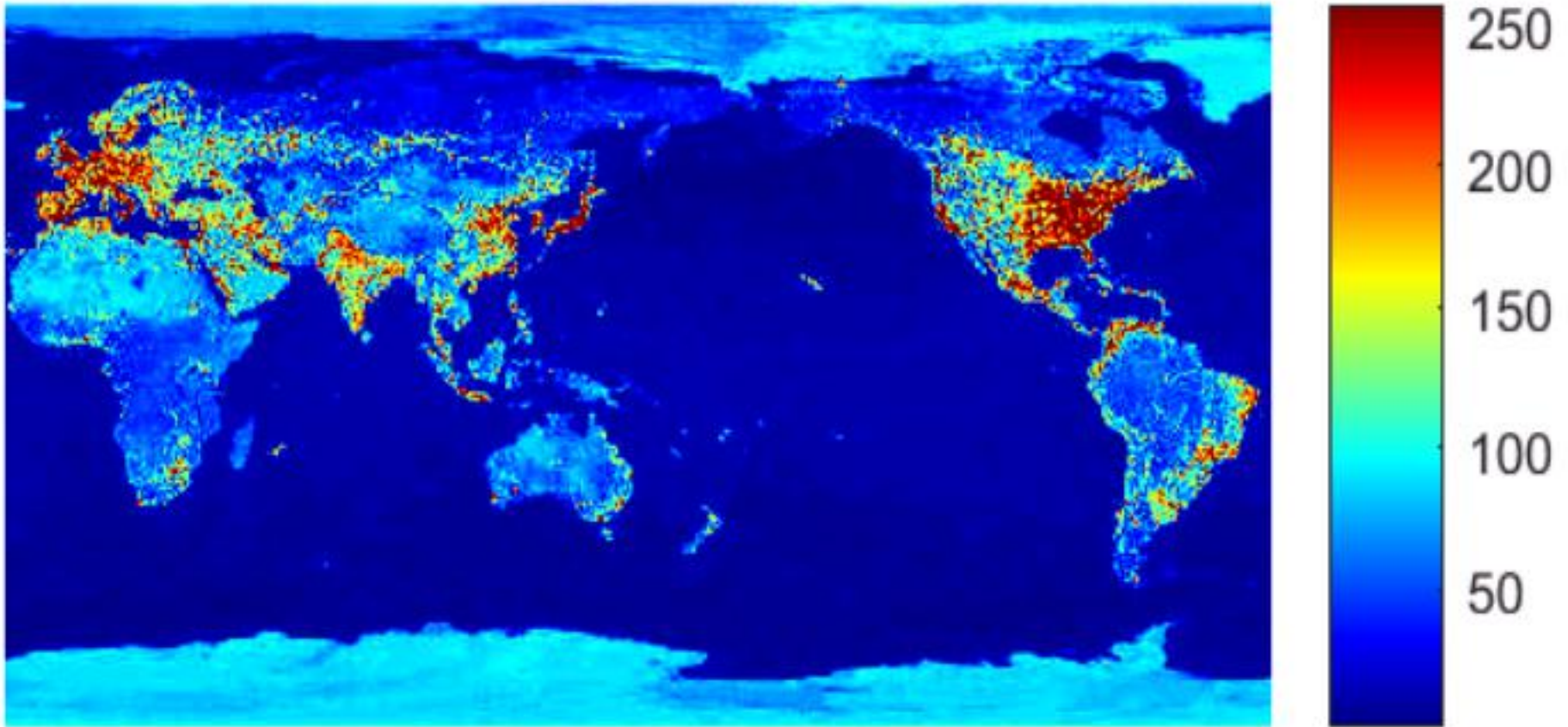


南美区域放大图像

Intensity Slicing



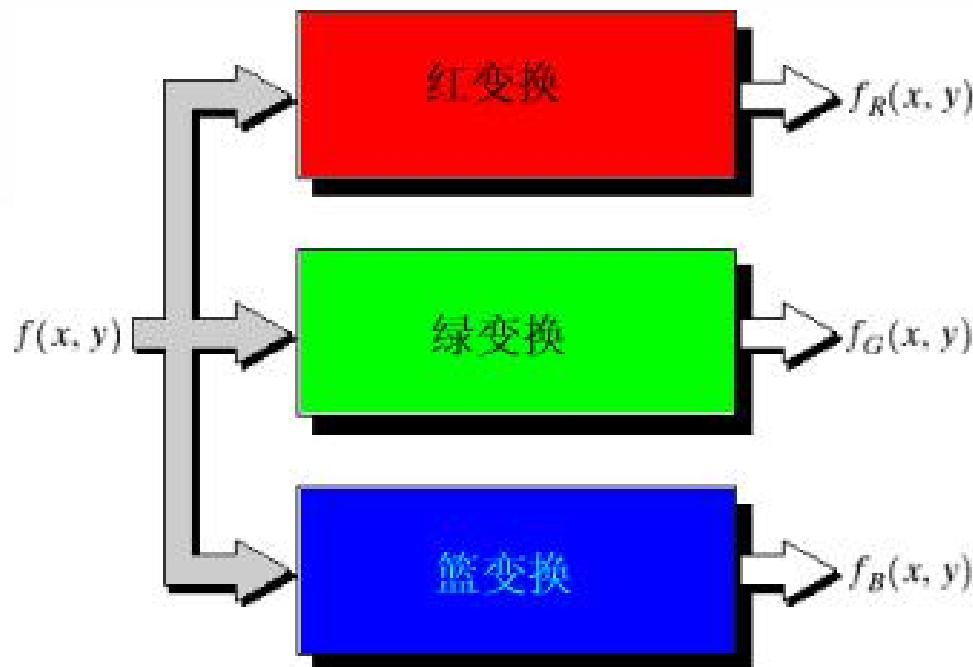
Intensity slice result



matlab code

Gray-level to Color Transformation

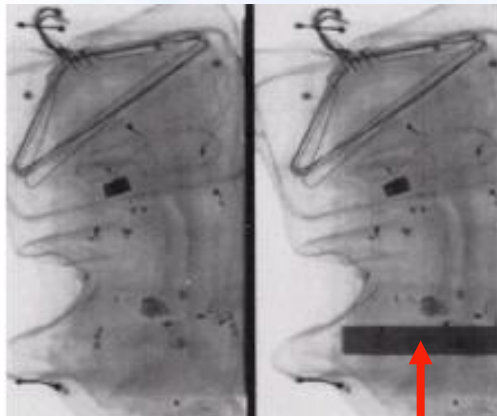
- 与简单的强度分层技术相比，其它类型的变换更通用，也更能拓展伪彩色增强结果的范围。其中之一方法为：
 - 对任何输入象素的灰度级执行 **3 个独立的变换**；
 - **3 个变换结果**分别送入彩色电视监视器的红绿蓝通道；
 - 这种方法产生一幅合成图像，其彩色内容受变换函数特性所调制。



注意：这些方法是图像灰度值的变换，而不是位置函数的变换

本节讨论的方法是基于平滑的**非线性**函数

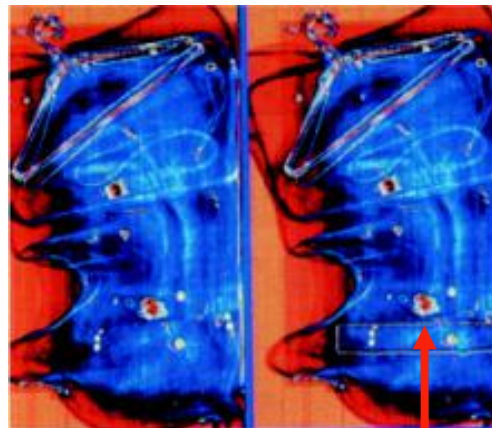
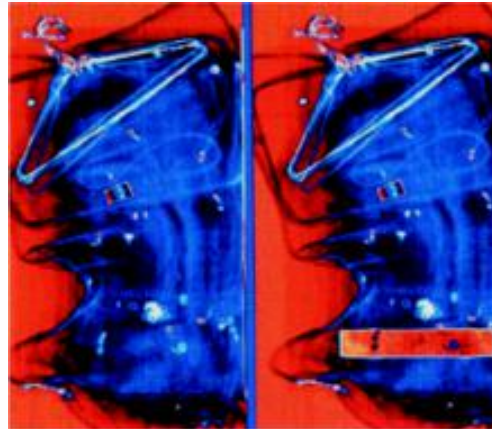
Gray-level to Color Transformation



机场 X 光扫描系统获得的行李单色图像

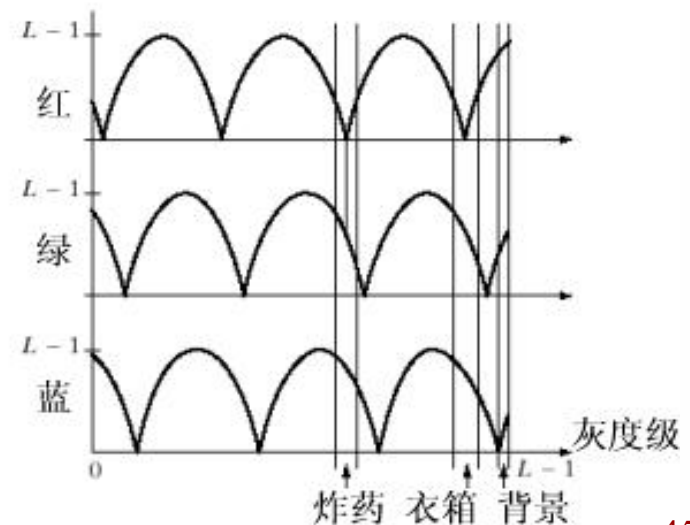
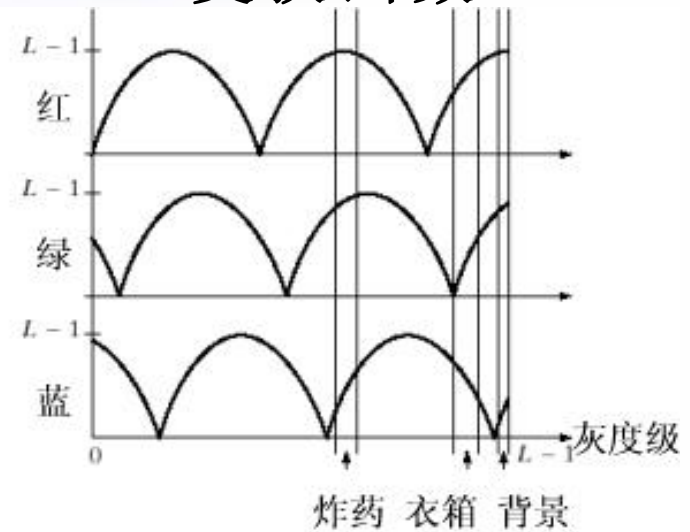
左图为普通物品，右图中有一块模拟的塑料爆炸物。

伪彩色增强图像



炸药和衣箱有相似的变换映射时，爆炸物很难被观测到

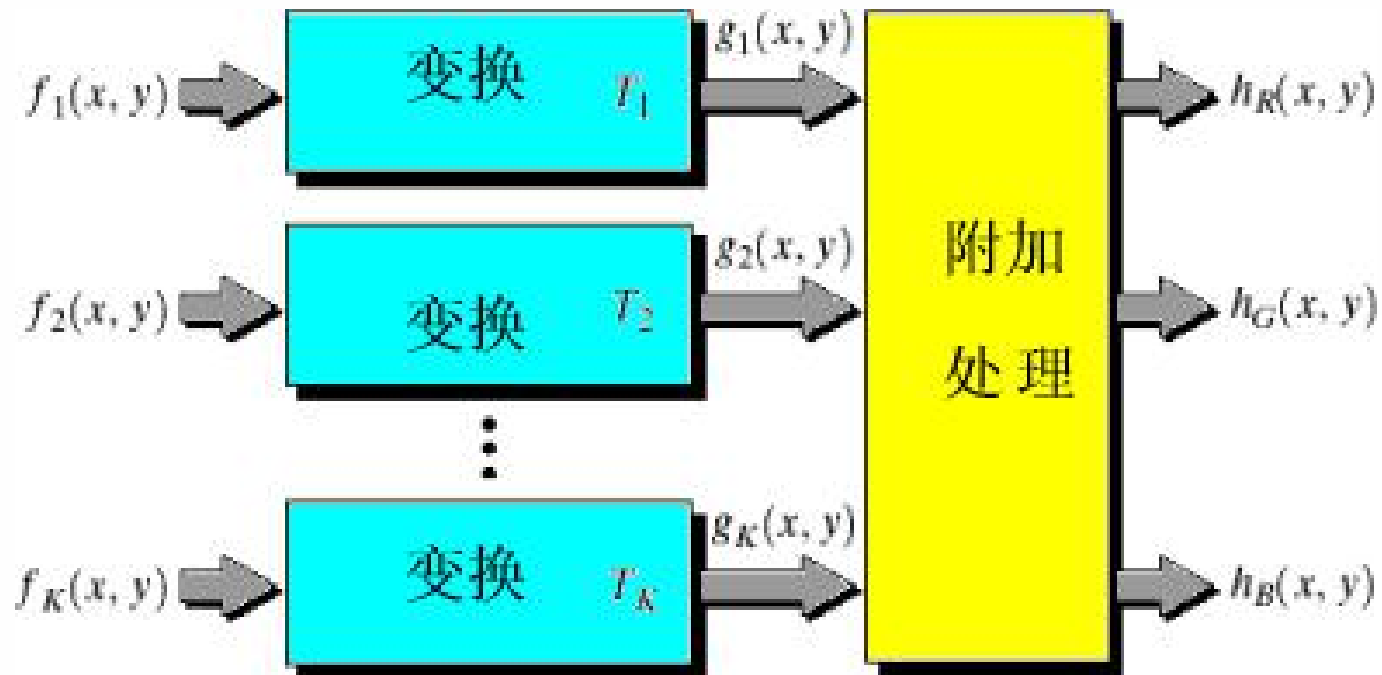
变换函数



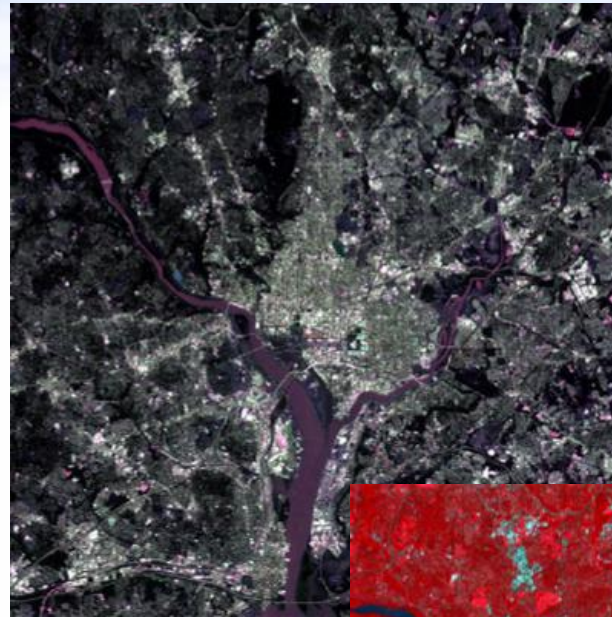
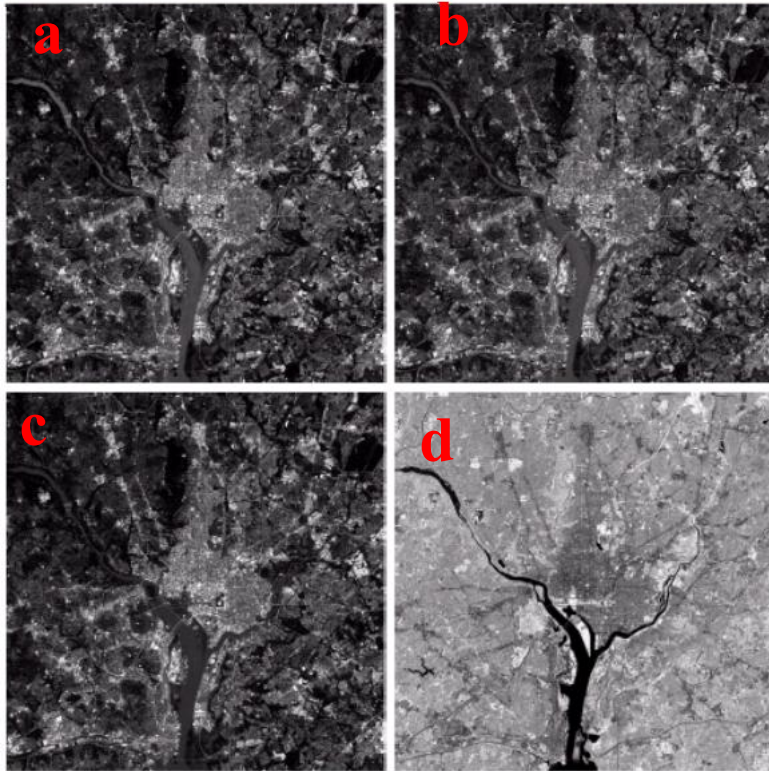
Gray-level to Color Transformation

- 将多幅单色图像组合成为一幅彩色图像所使用的伪彩色编码处理过程如下。

例如在多光谱图像处理中，不同的传感器在不同的波段产生独立的单色图像；附加处理可以是彩色平衡混合图像。

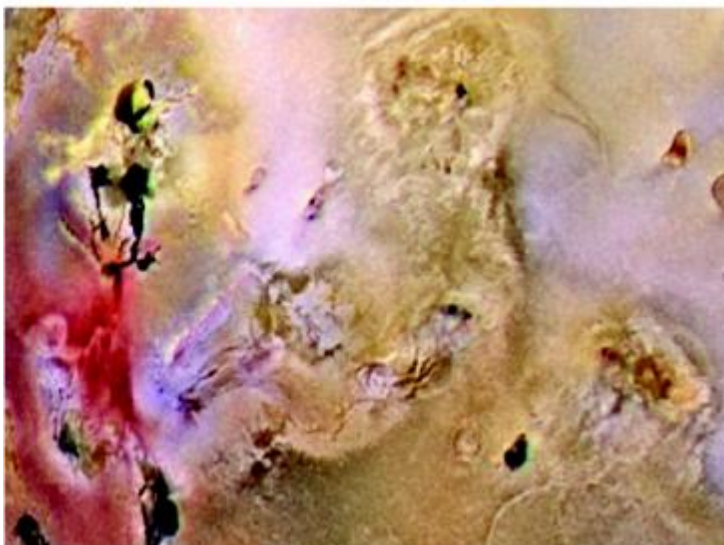


Gray-level to Color Transformation



- a~c是可见光红绿蓝图像，d为近红外图像。
- e是前3幅图像合成的RGB全彩色图像。
- f是用近红外图像代替e中的红色分量获得。

matlab code



- 该方法在复杂图像中可视化感兴趣物体时功能强大，特别是那些超出我们正常感知能力之外的事物。
 - 左图为**木卫三**图像，由 **Galileo** 宇宙飞船的几幅传感器图像合成的假彩色显示，其中一些是人眼不可见的谱范围。
- 改变传感器的物理和化学过程，有可能把感知的图像组合成为有意义的假彩色图像。
 - 下图，亮红色表示活火山喷发的物质，周围的黄色物质是陈旧的硫沉积物。



- **Fundamental**
- **Color models**
- **Pseudocolor Processing**
- **Full color image processing**

Full color image processing

- 全彩色图像处理研究分为两大类：
 1. 基于各个彩色分量处理。分别处理每一分量，然后用分别处理过的分量图像形成合成彩色图像。
 - **RGB**空间分别进行处理，再合成
 - 转换到其它颜色空间，处理完再合成
 2. 基于向量的处理。各个彩色分量的像素组成一个向量，再直接对此向量进行处理。
- 全彩色图像至少有3个分量，彩色像素实际上是一个向量。令 **c** 代表 **RGB** 彩色空间的任意向量，**c** 的分量是一幅彩色图像在一点上的 **RGB** 分量。

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

Summary



- **Fundamental of color image processing**
 - **Color space:**
 - **RGB HSI**
 - **Pseudocolor Processing**
 - **Intensity Slicing**
 - **Gray-level to Color Transformation**

Homework



1. 常用的颜色空间有哪些，各自有何特点
2. 简述HSI颜色空间各颜色通道的含义
3. 简述常见的两类伪彩色处理技术的处理过程