

光学现象计算机模拟中的波长——RGB 对应问题

宋志怀 刘钟毅

(同济大学物理系, 上海)

摘 要 根据 CIE 色度图, 解决各种波长光的计算机色彩显示问题. 该方法可广泛用于计算机模拟光的干涉、衍射实验, 用于色散和光的多普勒效应等一切涉及波长颜色关系的物理现象模拟.

关键词 CIE 色度图; 同色异谱; 波长; 颜色

光学实验的计算机模拟课件有很多, 课件在体现波长对干涉条纹的影响时, 大多不能严格按照光学规律进行计算, 并用程序作图, 主要困难是没有掌握计算机显示的 RGB 色彩与波长的对应关系. 要解决这一问题, 必须了解色度学方面的有关知识.

我们知道, 颜色是由光的波长决定的, 如果要实现单色光的波长可调节, 那么对应的干涉条纹的颜色也必然发生相应的变化. 而在计算机中, 颜色是用从 0 到 255 的三个整数分别表示红、绿、蓝三种颜色, 各种颜色是红、绿、蓝三种颜色叠加而成的. 为了实现从波长到计算机颜色的转换, 就必须先弄清楚这种三基色表示法的原理.

1 三基色现象与 RGB—波长的对应

在很早以前人们就发现, 人眼是一架不很精确的光学鉴别器, 它常常将不同光谱成分的色光看成同一种色. 例如肉眼分不出哪一种白光是由太阳光连续光谱组成的, 哪一种是由红、绿、蓝三种色光组成的, 这叫同色异谱现象. 然而人眼对色光的分辨具有三维的特性, 即任意取三个互不能由其他两个表现(线性无关)的色光, 都可以组成人眼能分辨的任意色光. 这就是三基色现象, 也叫三原色现象.

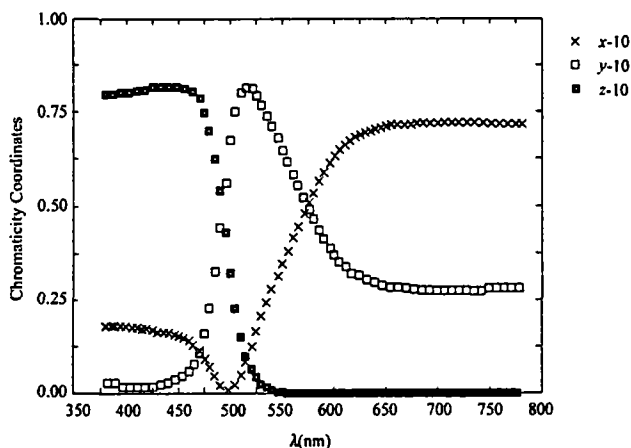


图 1 CIE 色度图

选三原色:红 = 700nm(R), 绿 = 546.1nm(G), 蓝 = 435nm(B). $r = R/(R+G+B)$, $g = G/(R+G+B)$, $b = B/(R+G+B)$. 由于 $r+g+b=1$, 所以只用给出 r 和 g 的值, 就能惟一地确定一种颜色. 图 1 是 CIE(Commission International de l'Eclairage 国际照明协会)的色度图. 横坐标为波长(λ), 纵坐标为色度坐标值(Chromaticity Coordinates), 图中三条曲线分别代表 r 、 g 、 b 在各波长下的取值. 图中曲线比较复杂, 在要求不太高的情况下, 可以用图 2 近似, 这样就能大大提高运算的速度, 减小编程的难度.

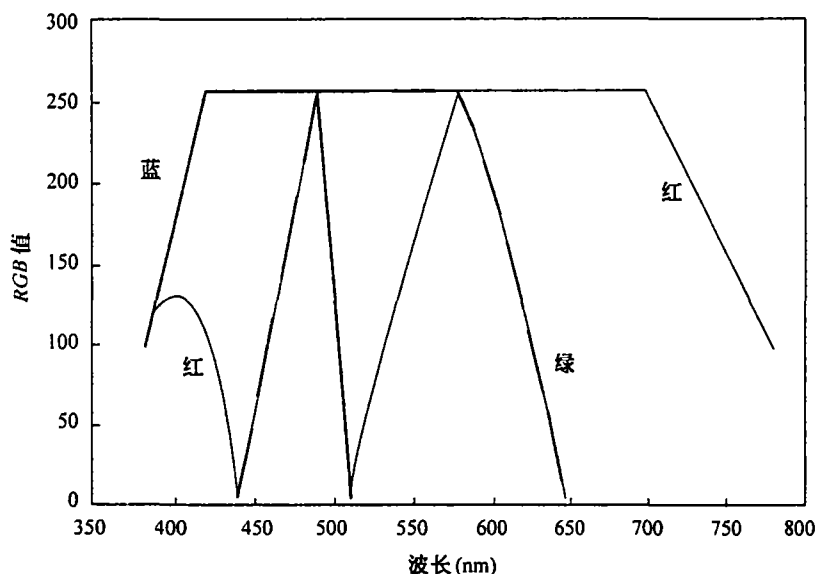


图 2 近似色度图

如图, 横坐标为波长(Wavelength), 纵坐标为计算机中表示颜色的 RGB 值(RGB Values), 与 r 、 g 、 b 不同的是它的取值范围为 0 到 255, 将 r 、 g 、 b 的值乘以 255 就可以将 rgb 值转化为 RGB 值. 图中, 只有 380nm~440nm 一段是非线性的, 我们可以将 420nm~440nm 段近似看成是斜率为 $-255/440$ 的直线段, 则波长在 420nm~720nm 范围内的可见光对应的 R、G、B 值可以通过上图分段近似求得, 各段 R、G、B 的近似值如下:

$$\lambda \in [420\text{nm}, 440\text{nm}]: R = -255 \times (\lambda - 440) / (440 - 420), G = 0, B = 255$$

$$\lambda \in (440\text{nm}, 490\text{nm}]: R = 0, G = 255 \times (\lambda - 440) / (490 - 440), B = 255$$

$$\lambda \in (490\text{nm}, 510\text{nm}]: R = 0, G = 255, B = -255 \times (\lambda - 510) / (510 - 490)$$

$$\lambda \in (510\text{nm}, 580\text{nm}]: R = 255 \times (\lambda - 510) / (580 - 510), G = 255, B = 0$$

$$\lambda \in (580\text{nm}, 645\text{nm}]: R = 255, G = -255 \times (\lambda - 645) / (645 - 580), B = 0$$

$$\lambda \in (645\text{nm}, 720\text{nm}): R = 255, G = 0, B = 0$$

2 应用实例——单缝衍射实验的模拟

在单缝衍射实验的模拟中, 操作者可以改变的参数有 2 个, 一个是缝的宽度, 一个是入射光的波长. 计算过程就可以分为以下三个步骤:

- (1) 取得缝宽值, 运用单缝衍射的理论公式计算出每点的光强与最大光强的比值(0~1);
- (2) 取得波长值, 运用前面的波长—RGB 转换规律得到最大光强的 RGB(0~255)三个值;

(3)将衍射屏条纹上每点的相对光强值(小数)乘以最大光强的 RGB 值,就可以得到衍射场中每点的 RGB 值.

(4)如前所述,就可以得到缝宽与波长同时可调节的单缝衍射实验模拟.

假设同时有三束光,分别为红绿蓝三色,从同一方向同时照射到单缝上,形成白光衍射.将三种波长在一个点上由单缝衍射所形成的 R 、 G 、 B 值分别取平均,即可得到白光的单缝衍射彩色条纹的模拟.

该方法可广泛应用于涉及颜色的物理现象计算机模拟,如色散、光的多普勒效应等.