

# 全光谱配色的匀色空间权重因子方法

王喜昌 周丰昆 禹秉熙 陈淑芳

中国科学院长春光机所应用光学国家重点实验室 长春 130022)

**摘要** 在 CIE1976L\* a\* b\* ) 匀色颜色空间中, 本文为全光谱匹配方法提供一种权重因子。这种权重因子使  $\int_j [\Delta E(\lambda)]^2 \min$ 。实验结果表明, 使用这种色差型权重因子进行计算机配色比 Schmid 和 Strockash 设计的两种权重因子效果好。

**关键词** 全光谱匹配 计算机配色

## 1 引言

全光谱匹配计算机配色方法<sup>[1,2]</sup>比较广泛地应用于计算机配色。这种方法通过直接拟合光谱曲线的方式, 以使色差达到很小。这种方法的基本思想是

$$\int_j \omega^2(\lambda) [\Delta R(\lambda)]^2 \min \quad (1)$$

这里,  $\omega(\lambda)$  是一种权重因子,  $\Delta R(\lambda)$  为  $\lambda$  波长处的目标色和匹配色的光谱反射率差异。权重因子  $\omega(\lambda)$  的建立是全光谱匹配方法一个非常重要的因素, 它直接影响全光谱匹配方法的配色精度。目前, 存在两种权重因子<sup>[3]</sup>, 这两种权重因子为

$$\omega = [(\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda))S(\lambda)]^{1/4} \quad (2)$$

和

$$\omega = [(\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda))S(\lambda)]^{1/4} [R_{std}(\lambda)]^{-2/3} \quad (3)$$

本文在全光谱配色方法的基础上, 从色度学理论出发, 考虑了不同波长的光谱变化对色差的影响, 为全光谱匹配建立了一种权重因子, 其基本的数学表达式为

$$\int_j [\Delta E(\lambda)]^2 = \kappa \int_j \omega^2(\lambda) [\Delta R(\lambda)]^2 \min \quad (4)$$

其中,  $\Delta E(\lambda)$  表示在  $\lambda$  处光谱变化  $\Delta R(\lambda)$  所产生的色差;

$\kappa$  为一常数;

权重因子  $\omega(\lambda)$  的表达式为

$$\alpha(\lambda) = S(\lambda) \{ [L(Y)\bar{y}(\lambda)]^2 + [A_x(X, Y)\bar{x}(\lambda) + A_y(X, Y)\bar{y}(\lambda)]^2 + [B_y(Y, Z)\bar{y}(\lambda) + B_z(Y, Z)\bar{z}(\lambda)]^2 \}^{1/2} \quad (5)$$

这里,  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$  和  $\bar{z}(\lambda)$  表示 CIE 标准观察者三刺激值;

$S(\lambda)$  表示光源的相对光谱功率;

$L(Y)$ 、 $A_x(X, Y)$ 、 $A_y(X, Y)$ 、 $B_y(Y, Z)$  和  $B_z(Y, Z)$  是与标准色三刺激值有关。

实验表明, 使用此权重因子进行计算机配色, 比已知的两种权重因子的配色效果好。

## 2 理论分析

不同波长处的光谱反射率变化有明显的差异。在有的波长处, 光谱变化很小, 却产生较大的颜色感差异, 显示出很强的灵敏性; 在有的波长处, 变化很大, 却感觉不到颜色感知的变化, 显示出很强的惰性。这就要求在计算机配色全光谱匹配方法中对某些波长进行重点匹配, 用较大的权重因子, 对某些波进行非重点匹配, 用较小的权重因子。这就需要建立适当的权重因子, 来满足全光谱匹配的目的。下面, 通过对色度学的分析, 在匀色空间中来建立一种权重因子。

在 CIE1931 ( $X, Y, Z$ ) 颜色空间中, 物体颜色的三刺激值为

$$\begin{aligned} X &= \kappa \int S(\lambda)\bar{x}(\lambda)R(\lambda)\Delta\lambda \\ Y &= \kappa \int S(\lambda)\bar{y}(\lambda)R(\lambda)\Delta\lambda \\ Z &= \kappa \int S(\lambda)\bar{z}(\lambda)R(\lambda)\Delta\lambda \end{aligned} \quad (6)$$

其中,  $R(\lambda)$  表示物体光谱反射率;

$\kappa$  为调整因子;

$\Delta\lambda$  为波长间隔。

为方便起见, 令  $\Delta\lambda = 1\text{nm}$ 。设在波长  $\lambda_i$  处目标色和匹配色的光谱反射率差异为  $\Delta R(\lambda_i)$ , 在可见光范围内的其它波长处没有变化, 物体颜色的三刺激值变化为  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  和  $\Delta Z$ , 分别为:

$$\begin{aligned} \Delta X &= \kappa S(\lambda)\bar{x}(\lambda)\Delta R(\lambda) \\ \Delta Y &= \kappa S(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta R(\lambda) \\ \Delta Z &= \kappa S(\lambda)\bar{z}(\lambda)\Delta R(\lambda) \end{aligned} \quad (7)$$

色差  $\Delta E$  应该作为理想的评价函数, 为使色差大小与视觉感知差异相一致, 选用具有较好均匀性的 CIE1976( $L^* a^* b^*$ ) 颜色空间。

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 = L(Y) \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] = A(X, Y) \\ b^* &= 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] = B(Y, Z) \end{aligned} \quad (8)$$

对(8)式分别微分, 则得

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L(Y)\Delta Y \\ \Delta a^* &= A_x(X, Y)\Delta X + A_y(X, Y)\Delta Y \\ \Delta b^* &= B_y(Y, Z)\Delta Y + B_z(Y, Z)\Delta Z \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$L(Y) = \frac{116}{3} \frac{1}{Y_0^{1/3} Y^{2/3}}$$

$$A_x(X, Y) = \frac{500}{3} \frac{1}{X_0^{1/3} X^{2/3}}$$

$$A_y(X, Y) = -\frac{500}{3} \frac{1}{Y_0^{1/3} Y^{2/3}}$$

$$B_y(Y, Z) = \frac{200}{3} \frac{1}{Y_0^{1/3} Y^{2/3}}$$

$$B_z(Y, Z) = -\frac{200}{3} \frac{1}{Z_0^{1/3} Z^{2/3}}$$

将(7)和(9)式代入色差公式

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (10)$$

因为光源在某一波长处的相对光谱功率分布  $S(\lambda)$  和 CIE 标准观察者三刺激值  $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$  和  $\bar{z}(\lambda)$  视为不变, 则得到

$$\Delta E(\lambda_i) = \kappa S(\lambda) \Delta R(\lambda) \{ [L^l(Y) \bar{y}(\lambda)]^2 + [A^l(X, Y) \bar{x}(\lambda) +$$

$$A^l(Y, Z) \bar{y}(\lambda)]^2 + [B^l(Y, Z) \bar{z}(\lambda) + B^l(y, z) \bar{z}(\lambda)]^2 \}^{1/2} \quad (11)$$

(11) 式可以写为

$$\Delta E(\lambda) = \kappa \alpha(\lambda) \Delta R(\lambda) \quad (12)$$

将(12)式和(1)式相比较, 发现要使

$$\omega^2(\lambda_j) [\Delta R(\lambda)]^2 \quad \min$$

也就是使

$$[\Delta E(\lambda)]^2 \quad \min \quad (13)$$

这样, 就建立一种权重因子, 这种权重因子使得某一波长点的光谱反射率变化所产生的色差为最小, 因此可以认为是一个较好的权重因子。这种权重因子的具体表达式为(5)式。由于这种权重因子使得某一波长点的光谱反射率变化所产生的色差为最小, 因而这种权重因子真正反应了不同波长的光谱反射率变化所引的颜色感知差异, 因而可以认为是一种比较好的权重因子。

### 3 实验与结论

为了验证这种权重因子配色结果, 应用它进行计算机配色, 并且与(2)式和(3)式两种权重因子配色结果进行分析比较, 用色差来判断权重因子的质量。为此, 我们进行了大量的实验, 这里选择红色样作为例。为匹配这目标色分别选择三种染料, 根据 Kubelka-Munk 理论, 按照全光谱匹配方法和不同的权重因子进行实验。为了论述方便, 把(2)式、(3)式和(5)式分别编号为权重因子 1、权重因子 2 和权重因子 3, 其实验结果如表 1 表示:

**Table 1 Recipe of matching red sample and color difference**

	weight factor 1	weight factor 2	weight factor 3
concentration of dye 1	0.7524	0.8053	0.7926
concentration of dye 2	0.0976	0.0773	0.0648
concentration of dye 3	0.1568	0.1297	0.1709
$\Delta E_A$	0.8258	0.7096	0.2467
$\Delta E_{D65}$	0.7448	0.7629	0.4989

a)  $\Delta E_A$  = color difference under illuminant A

b)  $\Delta E_{D65}$  = color difference under illuminant D65

上表结果表明, 在应用全光谱匹配方法进行计算机配色时, 使用我们的权重因子的配色效果比较理想, 通过大量的实验也证明这种权重因子是一种比较好的权重因子, 能够更好的满足计算机配色对纺织印染的要求。

### 参 考 文 献

- 1 McGinnis P H. Spectrophotometric color match with the least squares technique. *Color Eng*, 1967, 5: 22~27
- 2 Walowitz W. McCarthy C J, Berns R S. Spectrophotometric color matching based on two-constant Kubelka-Munk theory. *Color Res App*, 1988, 13: 358~362
- 3 Kuehni R. Computer color formulation. Lexington MA: Lexington Book, 1975

## Uniform Color Space Weight Factor Method About Spectrophotometric Color Matching

WANG Xi-Chang, XHOU Feng-Kun, YU Bing-Xi, CHEN Shu-Fang  
(Changchun Institute of Optics and Fien Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

In CIE1976( $L^* a^* b^*$ ) uniform color space, a kind of weight factor of spectrophotometric color matching is proposed. The weight factor makes  $\sum_j [\Delta E(\lambda)]^2$  min. Experiments show color difference produced by the weight factor is smaller than that produced by both of two factors which were designed by Schmid and Strockash.

**Key words:** Spectrophotometric color matching; Computer color matching

王喜昌 男, 1968年生, 1988年9月~1992年6月, 哈尔滨师范大学物理系读大学, 1992年7月~1994年8月, 在黑龙江省八一农垦大学任教, 1994年9月~1996年3月, 在长春光机所读硕士研究生, 1996年4月, 在长春光机所读博士研究生。