

用模糊算子法对用通俗语言描述的颜色标志的定量评价

肖 德 锋
(北京工业大学)

提 要

本文在确定颜色模糊性的基础上,用模糊算子的方法分析了用通俗语言描述的颜色标志,提出了一种颜色标志的定量方法。

关键词: 颜色, 模糊算子。

一、引 言

心理颜色视觉中,颜色通常用桃红、金黄、翠绿、天蓝、茄紫;明暗、亮不亮、浓淡、层次是否分明;鲜度、饱和度、色正不正等这些通俗的语言表达。这必然失去了色度学中颜色命名的准确性。这样不可避免地存在一定程度的模糊性。

同时由于人类思维的特点,一定程度的模糊性正是人类得天独厚的条件。首先由于生理方面的限制,在一定阈值内的光人们还不能分辨。这方面已有大量的研究成果。布格、韦伯等的光度分辨力,瑞特和皮特的波长分辨力,布里克韦德的纯度分辨力,瑞特的色品分辨力,麦克亚当的色品椭圆,布朗和麦克亚当的颜色分辨力。得到了色度空间的分辨界限标准。其次由于心理性原因,如记忆色、对比色、冷暖色等复杂的心理感情作用,人们只能对颜色有一个模糊认识。最后,适当的模糊反倒确切。在许多场合,模糊的颜色名称仍然也完全可以达到确切的目的,不会把红色称为 600 nm。

将常用的颜色名称整理后,大致可将色调、色光、色头和色彩表示的颜色归纳为一组;明度、亮度、主观亮度、深浅度、光值、光度、明暗度、层次表示人们对颜色的明暗感觉归纳为第二组;饱和度、鲜度、纯度、彩度、章度、主观纯度或色正不正、标准色等表示人们感觉颜色和中性色(非彩色)的差别程度归纳为第三组。上面的分组是符合颜色视觉的三参数特性的。

色彩图(彩色系统)侧重于在感觉上等距离地将颜色命名,并定量地将 X , Y , Z 和通常颜色名联系起来。本文亦侧重通俗语言描述的颜色标志。如通常的“红”这个颜色细分是朱红、粉红、火红、桃红、大红、深红、浅红等。而 Munsell 系统将红分为 12 种色调 10 多种彩度 9 种明度的组合。

通俗的颜色名称有其存在的必然性。我们需要适应它研究它。一切模糊的概念都是如此。我们来看科布伦森(Coblentz)和埃默森(Emerson)的 640 nm 下的 $V(\lambda)$ 与人数的记录^[1]。根据 M. Kochen 的观点^[2],模糊概念所导出的特征曲线,大致呈钟形分布。本来亮

与不亮这个概念是模糊的, 后来 OIE 对这种模糊性作了定量比而成为一个有数值定义的物理量, 规定了 OIE 标准观察者, 正是由于 $V(\lambda)$ 确定, 奠定了光度学乃至色度学的基础。推动了颜色光学的发展。

二、通俗语言描述的颜色

人们用语言名称所能描述的颜色数量是很有限的。图 1 是 OIE 1931 色度图上根据颜色命名所划分的颜色区域^[2]。

每一个颜色都是色度空间中的一模糊子集。每种颜色的“边界”都是模糊的。我们以 $\mu_{\mathcal{C}}(X)$ 来刻划颜色 \mathcal{C} 在这个色度空间的各点 X 的等级程度。记颜色模糊子集如下:

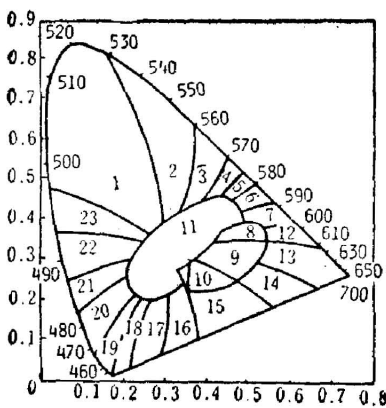


Fig. 1 Colour gamut in CIE chromaticity

1—Green; 2—Yellowish Green; 3—Yellow Green; 4—Greenish Yellow; 5—Yellow; 6—Yellowish Orange; 7—Orange; 8—Orange Pink; 9—Pink; 10—Violet Pink; 11—White; 12—Redish Pink; 13—Red; 14—Reddish Violet; 15—Red Violet; 16—Pinkish Red; 17—Violet; 18—Deep Red; 19—Deep Blue; 20—Blue; 21—Greenish Blue; 22—Blue Green; 23—Blueish Green

$$\mathcal{C} = \int_{\Omega} \mu(X)/X.$$

我们将人用语言名称所能描述的颜色分为四类。第一类是表达颜色“最小”单位的单词, 我们称为基本色。如“红”、“橙”、“黄”、“绿”等。颜色辨别椭圆是基本色模糊集的一个截集。

第二类是以“限制词+基本色”表达的颜色。如“桃红”、“金黄”、“翠绿”、“菇紫”、“深蓝”、“略粉”、“偏紫”等。为方便说明问题, 本文较多地讨论彩度和色调。

第三类是以两种颜色单词合成的词组, 它们之间隐含着“且”、“或”等逻辑连接词。如“蓝绿”、“紫偏蓝”、“粉偏紫”等。第四类说是重复使用上述组合规则合成的词组。

为讨论方便, 我们使用了上述“分类法”只是为形象地理解我们引入的算子。其中第四类颜色包括前三种颜色。读者可将上述的分类法理解为颜色的归纳法定义。

同时, 还有一点说明在色差公式中我们为讨论方便, 将权因数 W 定义为 1。这样的匀色空间也是客观存在的。如 OIE 1976 (L^* , a^* , b^*) 和 CIE 1976 (L^* , u^* , v^*) 空间。

我们将颜色辨别椭圆理解为模糊基本色空间的某一个截空间。我们定义第一类颜色是一个有“重心”的模糊空间, 它的隶属函数由下式表达:

$$\mu_{\mathcal{C}}(X) = \exp\{-(X^T X - X^T R - R^T X + R^T R)\},$$

其中 R 为颜色 \mathcal{C} 的特征向量。

三、几种模糊算子的讨论

第一类颜色上述已讨论, 我们称其为基本色。

第二类颜色是限制词加在基本色上的一个修饰。理解为对基本模糊子集的一个一元运算。下面将几种一元算子进行讨论。

语气算子 H_λ 。如“很”、“极”、“略”、“非常”、“比较”、“挺”、“微”、“特别”等。把这些词缀在一个单词前面便调整该词词义的肯定程度,把原单词变成了一个新词。集合表达形式为:

$$H_\lambda: \mathcal{F}(\Omega) \rightarrow \mathcal{F}(\Omega), \\ (H_\lambda \mathcal{C})(X) \triangleq [\mathcal{C}(X)]^\lambda (\lambda \in \mathbb{R}_+),$$

当 $\lambda > 1$, H_λ 叫集中化算子; 当 $\lambda < 1$, H_λ 叫散漫化算子。

H_4 叫“极”算子, $H_{1/2}$ 叫“略”算子

$$\begin{aligned} [\text{极红}](X) &= H_4[\text{红}](X) = [(\text{红})(X)]^4 \\ &= \exp\{-4(X^T X - X^T R - R^T X + R^T R)\}, \\ [\text{略红}](X) &= H_{1/2}[\text{红}](X) = [(\text{红})(X)]^{1/2} \\ &= \exp\left\{-\frac{1}{2}(X^T X - X^T R - R^T X + R^T R)\right\}. \end{aligned}$$

模糊化算子 E 。如“近乎”、“大约”。它缀在一个单词前面,就把该词意义模糊化。如“大约是 10.0YB5/10”。 E 如下式定义,

$$(E\mathcal{C})(X) \triangleq (E \cdot \mathcal{C})(X),$$

此处 E 是 Ω 上的一个相似关系。取

$$E(X, Y) = \begin{cases} \exp(-abs(X-Y)^2) & abs(X-Y) \leq \delta \\ 0 & abs(X-Y) > \delta \end{cases}$$

这里, δ 是参数。

例如“大约是 10.0YB5/10”的 $\mathcal{C}(X)$ 表为:

$$\mathcal{C}(X) = \begin{cases} 1 & X = R(10.0YB5/10) \\ 0 & X \neq R \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{则: } (E\mathcal{C})(X) &= \bigvee_{Y \in \Omega} (E(X, Y) \wedge \mathcal{C}(Y)) = E(X, R) \\ &= \begin{cases} \exp(-abs(X-R)^2) & abs(X-R) \leq \delta, \\ 0 & abs(X-R) > \delta. \end{cases} \end{aligned}$$

判定化算子 Pa ; 如“偏”等。它化模糊为肯定,在模糊之中给出一种粗糙的判断。其一般形式是:

$$Pa: (Pa\mathcal{C})(X) \triangleq da[\mathcal{C}(X)]$$

此处 da 是定义在 $[0, 1]$ 上的实函数。

$$da = \begin{cases} 0 & x \leq a, \\ 1/2 & a \leq x \leq 1-a, \quad (0 < a \leq 1/2) \\ 1 & x > 1-a. \end{cases}$$

形象化算子 D : 它用一个与一定的客观物质状态相联系的限制词修饰基本色。如“金(黄)”、“茄”、“翠”、“桃”等。它的算法不讨论,只记一个算子 D 。用集合表示为:

$$D: \mathcal{F}(\Omega) \rightarrow \mathcal{F}(\Omega).$$

我们只讨论了四种具体的一元算子。算子方法是将颜色理解为加在基本色上的一个运

算。可能还有许多其它类型的具体一元算子。这里只将其统一记为 O_1 。定义式如下

$$O_1: \mathcal{F}(\Omega) \rightarrow \mathcal{F}(\Omega),$$

$$(O_1\mathcal{C})(X) = O_1\mu_{\mathcal{C}}(X)。$$

第三类颜色是如下型式“ $\mathcal{C}_1 + \mathcal{C}_2$ ”。可以将“+”理解为一个二元算子。如“且”、“或”等。二元算子 O_2 定义如下:

$$O_2: \mathcal{F}(\Omega) \times \mathcal{F}(\Omega) \rightarrow \mathcal{F}(\Omega),$$

$$(O_2\mathcal{C}_1\mathcal{C}_2)(X) = O_2(\mu_{\mathcal{C}_1}(X), \mu_{\mathcal{C}_2}(X))。$$

例如“蓝绿”我们取 Zadeh 的“A”算子进行运算。

$$[\text{蓝绿}](X) = [A\text{蓝绿}](X) = \min(\mu_{\text{蓝}}(X), \mu_{\text{绿}}(X))。$$

另外,第三类颜色中还有,如“紫偏蓝”等,其可理解为: $O_2[\text{紫}, O_1(\text{蓝})]$ 。

第四类颜色可以表示任何用自然语言描述的颜色。当然包括前三类颜色。

我们可将颜色 \mathcal{C} 表示为基本色 $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_i, \dots, \mathcal{C}_n$ 的 n 元运算。定义 n 元算子 O_n :

$$O_n: (\mathcal{F}(\Omega))^n \rightarrow \mathcal{F}(\Omega),$$

$$\mathcal{C}(X) = O_n(\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_i, \dots, \mathcal{C}_n)。$$

综合上述任何颜色 \mathcal{C} 都有以下关系:

$$\mathcal{C} \in \mathcal{F}(\Omega); \Omega \text{ 为色度空间。}$$

兹定义颜色系统为 $\langle \mathcal{F}(\Omega); \mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots, \mathcal{C}_i, \dots, \mathcal{C}_n; O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_m \rangle$ 。其中 \mathcal{C}_i 为基本色, O_i 为 i 元算子。

我们来研究上述颜色系统中的格拉斯曼定律(Grassmann)。就一个具体格 $\langle \mathcal{F}(\Omega); \mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \mathcal{C}_3; O_1, O_2, O_3 \rangle$ 而言,若 $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \mathcal{C}_3$ 满足关系:

$$O_2(O_1\mathcal{C}_i, O_1\mathcal{C}_j) \neq \mathcal{C}_k,$$

$i, j, k=1, 2, 3$; 且 i, j, k 互不相等。则称其互相独立。式中“ \neq ”为非匹配的意义,我们认为模糊不等于。我们将匹配理解为图 2 所示的控制过程。

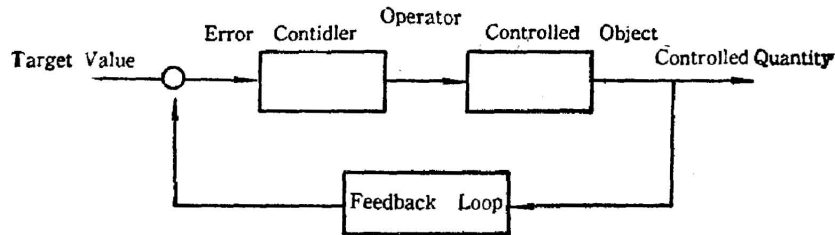


Fig. 2 Flow chart of the controlling process

Grassmann 定律: $\forall \mathcal{C} \in \mathcal{F}(\Omega), \exists O_1^{(1)}, O_1^{(2)}, O_1^{(3)}$ 使下式成立:

$$\mathcal{C}(X) = O_3(\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \mathcal{C}_3)$$

$$= O_3(O_1^{(1)}\mu_{\mathcal{C}_1}(X), O_1^{(2)}\mu_{\mathcal{C}_2}(X), O_1^{(3)}\mu_{\mathcal{C}_3}(X))$$

这样的方法来讨论颜色的匹配更符合人眼匹配的心理过程。

四、小 结

心理颜色视觉是一个复杂的高级反应过程具有很深的机理。心理颜色标志的量化是

一项有意义的工作。本文作者试图用模糊集合论的思想方法把自然语言描述的颜色标志定量化。

我们还有这样的设想,建立统一的通俗语言颜色标志的评价方法,将通俗语言色头做成数据库。

设有 n 个标准色名 C_1, C_2, \dots, C_n 。又有一被识别对象 C 。 (C, C_i) 为 C 与 C_i 之间的贴适度。若

$$(C, C_k) = \max\{(C, C_1), \dots, (C, C_n)\},$$

这时, C 与 C_k 的贴适度最大,记为 $C \approx C_k$ 。这样就很容易实现计算机与外部环境的直接联系。这时图像或景物等模式信息的处理加工都很有意义。

参 考 文 献

- [1] 束越新;《颜色光学基础理论》, (山东科学技术出版社, 1981年), 22, 289~328。
- [2] 荆其诚;《色度学》, (科学技术出版社, 1979年), 280。
- [3] L. A. Zadeh; 《The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning》, (American Elsevier Publishing Company, Inc, 1975), 18。
- [4] 汪培庄;《模糊集合论及其应用》, (上海科学技术出版社, 1983年), 205, 143~147。

Quantitative specification of colour using fuzzy operator

XIAO DEFENG

(Beijing Polytechnic University)

(Received 29 October 1984; revised 11 June 1985)

Abstract

The basic fuzzy nature of colour is examined. The conventional colour specification system is analysed by using fuzzy operator. A new method for quantitatively specifying colour is also developed on the basis of fuzzy mathematics.

Key Words: Colour, Fuzzy operator.