

模糊集理论在彩色图像检索中的应用*

梁艳梅 翟宏琛† 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

(光电子信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

(2002 年 3 月 18 日收到, 2002 年 4 月 21 日收到修改稿)

把模糊集理论中的模糊关系应用于对色彩相似性的判断,并在彩色图像的检索中进行了应用.其中仅使用了一种基于色彩空间的矢量表达的隶属函数即可分别计算出待检索图像与库图像对应特征色之间的相似性程度,并用 α 级关系来抽取其中的一些彩色图像,给出检索结果.在进行色彩相似性的计算中还采用了逐级筛选法及色彩矢量分区比较法,从而避免了大量涉及无关的色彩矢量的计算,有效地降低了红绿蓝(RGB)空间的色彩相关性,提高了检索准确性及检索速度.

关键词:模糊关系,色彩相似性,彩色图像检索,色彩矢量分区比较法

PACC: 0210, 4230

1. 引言

1965 年美国加州大学 Zadeh 教授创立了模糊集理论^[1],利用隶属函数来定量地表达事物的模糊性.它是普通的布尔代数的一种扩展,允许一个事物亦此亦彼,只不过属于不同集合的隶属程度不同而已,具有更普遍的实际意义,因而在图像识别、语言处理、自动控制、医学、生物学等许多学科和领域获得了广泛的应用.

在基于内容的彩色图像检索中,尤其是对于地理信息类的彩色图像的检索,目前主要采用基于色彩成分的检索方法^[2,3],这主要是因为该类彩色图像中包含的色彩和色彩在图像中所占的面积大小比色彩的空间位置更重要,因而可以通过判断彩色图像间色彩的相似性来获得彩色图像的检索结果.其中,一般是通过综合计算 RGB 空间中的红(R)、绿(G)、蓝(B)三个灰度直方图的街区距离^[2]或 Euclidean 距离^[3,4]判断整幅图像中的色彩相似性,以给出检索结果,因而计算量和存储量较大.

本文把模糊集理论中的模糊关系应用于色彩的相似性判断,即把色彩作为色彩空间中的矢量,这样色彩的相似性就可以仅用一种隶属函数来表示,并把它应用到彩色图像的检索中,以减小计算量,提

高检索速度.在具体的运算中,我们首先从彩色图像的彩色直方图中提取按面积大小排列的各级特征色,然后计算待检索图像与库图像对应特征色之间的相似程度,并利用 α 级关系获得相近的图像,给出最后的检索结果.此外,在进行相似性判断之前,还利用了我们提出的色彩矢量的空间分区比较法,只对同区的色彩进行比较,从而极大地提高了检索准确率和检索速度.

2. 模糊关系与色彩的相似性

普通关系描述元素之间是否存在某种关联,而模糊关系则描述元素之间关联的程度^[5].设 X 和 Y 是两个集合,笛卡儿乘积 $X \times Y$ 的任一模糊子集 \tilde{S} 称为 X 到 Y 的一个模糊关系.特别地, $X \times Y$ 的模糊子集 \tilde{R} 称为 X 上的模糊关系.这样,从 X 到 Y 的一个模糊关系 \tilde{S} 是 $X \times Y$ 到 $[0, 1]$ 的一个映射,即 \tilde{S} 的隶属函数是一个二元函数 $\mu_{\tilde{R}}(x, y)$.设两个全集定义为 $X = R^+$, $Y = R$,则模糊关系 $x\tilde{S}y$ 表示 y 靠近 x ,其隶属函数可以表示为高斯型函数^[6]:

$$\mu_{\tilde{S}} = e^{-(y-x)^2}. \quad (1)$$

把上述关系拓展到三维空间,设两个全集为三维笛卡儿空间,其中两个矢量 $r_1(x_1, y_1, z_1)$ 和

* 国家自然科学基金(批准号:A60177004)和天津市自然科学基金(批准号:023602211)资助的课题.

† 通讯联系人.

$r_2(x_2, y_2, z_2)$ 相互靠近或者说近似相等的隶属函数同样可以表示为

$$\mu_R(r_1, r_2) = \exp\{-[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2]\}. \quad (2)$$

这样我们就利用(2)式的隶属函数 $\mu_R(r_1, r_2)$ 把两个矢量的相似关系映射到[0, 1]区间. 上式中当两个矢量完全相同时, $\mu_R(r_1, r_2) = 1$, 矢量相差得越大, $\mu_R(r_1, r_2)$ 值越小.

上述方法可以用于判别色彩的相似性. 由于任一幅彩色图像中包含的所有色彩可被看成为色彩空间中的一个矢量集, 其中任一矢量都对应彩色图像中的一种色彩, 所以我们就可以用上述判断两个矢量之间相似性的方法来判断色彩间的相似性. 这样, 在 RGB 色彩空间中, 假设两个色彩矢量分别为 $c_1(r_1, g_1, b_1)$ 和 $c_2(r_2, g_2, b_2)$, 若使用色彩的空间矢量表示法, 其相似程度就可以仅用一个类似(2)式的隶属函数表示

$$\mu_R(c_1, c_2) = \exp\{-[(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]\}. \quad (3)$$

该隶属函数 $\mu_R(c_1, c_2)$ 就把这两种色彩的相似关系映射到[0, 1]区间. 当两种色彩完全相同时, $\mu_R(c_1, c_2) = 1$, 色彩相差得越大, $\mu_R(c_1, c_2)$ 值越小.

若要从一些色彩中, 例如要从色彩集合 C 中, 抽取与已知色彩 c_i 相似的某些色彩 C_{yes} , 其中 $C_{yes} \subset C$; 而去除另一些不相似的色彩, 这个过程从模糊

数学上讲就是去模糊化或称清晰化过程. 可以证明, 这种表示色彩矢量相似性的模糊关系是等价的, 所以可以采用模糊关系的 α 级关系去模糊^[7], 即可采用 α 级关系对色彩集合 C 中的每个色彩矢量进行去模糊运算

$$\mu_{R_\alpha}(c, c_i) = \begin{cases} 1 & \mu_R(c, c_i) \geq \alpha; \\ 0 & \text{其他,} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $c \in C$. 当 $\mu_R(c, c_i)$ 大于某个值 α 时, $\mu_{R_\alpha}(c, c_i)$ 取为 1, 并认为此色彩与已知色彩 c_i 相同, 把所有符合上式的色彩 $C_{yes} (C_{yes} \in C)$ 构成一个集合 C_{yes} . 而其他不满足上式的色彩即认为与已知色彩 c_i 不同, 从而将集合 C 分为 C_{yes} 和 C_{no} 两个清晰子集. 其中 α 值的确定, 可在训练阶段由实验确定, 它是判断两种色彩相同与否的阈值.

3. 模糊关系用于彩色图像的检索

为考查此种处理的可行性, 我们专门在彩色图像的检索中进行了验证. 由于图像检索过程只是一种对相似性的判断, 因此可以把上述判断色彩相似性的方法用到彩色图像检索中. 其工作流程如图 1 所示. 其中关键的一步是分别将查询图像的特征色彩矢量与特征库中任一图像对应的特征色彩矢量进行相似程度的模糊判断, 即计算对应特征色之间的相似的隶属度. 利用前述的 α 级关系, 提取具有相同特征色的图像, 给出查询结果.

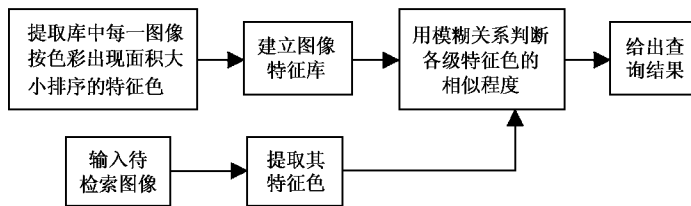


图 1 彩色图像检索的工作流程

3.1. 特征色的提取

本文以图像中某些感兴趣的色彩作为特征参数, 并定义为特征色. 为了对图像的特征色进行比较, 首先获得每个图像的彩色直方图^[8], 并按图像中色彩出现的面积大小确定各特征色的级次序号, 如图 2 中所示. 图 2 中已标出前 5 级及最后一级序号,

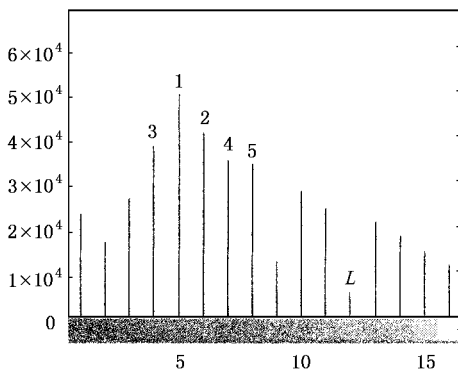
并分别记为 c_1, c_2, \dots, c_L , 其中 $c_i = \{r_i, g_i, b_i\}$. 对面积相同的色彩, 按红、绿、蓝的顺序排序(详见图 2).

3.2. 查询及模糊判断

提取图像库中每一幅图像的一组特征色存储, 作为图像库的特征库. 查询时, 同样提取待检索图像的特征色. 假设 $c_{qi}(r'_i, g'_i, b'_i)$ 是待检索图像 Q 的第 i



(a)



(b)

图2 彩色图像及其彩色直方图

级特征色 $c_i(r_i, g_i, b_i)$ 是特征库中某图像 i 的第 i 级特征色, 其中 $i = 1, 2, \dots, L$. 采用高斯型函数作为隶属函数来表示第 i 级两种特征色之间的相似程度:

$$\mu_{R_i}(c_i, c_{qi}) = \exp\{-[(r_i - r'_i)^2 + (g_i - g'_i)^2 + (b_i - b'_i)^2]\}$$

$$i = 1, 2, \dots, L, \quad (5)$$

式中 $\mu_{R_i}(c_i, c_{qi})$ 表示图像间第 i 级特征色之间色彩相似的程度.

用(4)式提取清晰集, 即将满足(4)式的库图像的特征色认为与待检索图像中的同级特征色相同, 作为候选图像. 为了提高检索速度, 在匹配时, 采用逐级筛选法, 即首先判断第一级特征色, 从图像库中选出满足上述条件的图像作为第一级候选图像, 然后再对这些第一级候选图像采用与上述相同的步骤进行第二级特征色的相似性判断, 以此类推. 一般选择 3—5 级特征色即可得到满意的效果.

4. 实 验

我们使用本文提出的上述模糊算法对 600 幅风

景图像进行了检索实验. 为了提高检索准确性和检索速度, 在进行模糊判断之前首先利用我们提出的色彩矢量分区比较法(见图 3), 判断要比较的对应色彩是否在同区中, 如果是, 就进行比较; 否则就认为其色彩不同, 取下一幅图. 使用这种方法可以大大减少对无关色彩比较的运算, 而且可以降低 RGB 色彩空间中色彩的相关性, 从而提高检索准确性和检索速度.

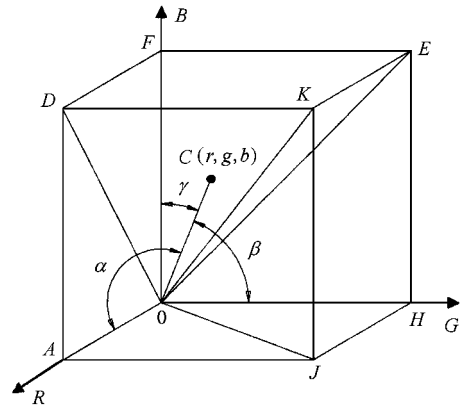


图3 RGB 色彩空间的空间分区 α 为色彩矢量 C 与 R 轴的夹角; β 为色彩矢量 OC 与 G 轴的夹角; γ 为色彩矢量 C 与 B 轴的夹角;

- 红区(多面体 OAJKD): $\min(\alpha, \beta, \gamma) = \alpha$ 或 $\alpha = \beta \leq \gamma$ 或 $\alpha = \gamma \leq \beta$;
- 绿区(多面体 OHEKJ): $\min(\alpha, \beta, \gamma) = \beta$ 或 $\beta = \gamma < \alpha$;
- 蓝区(多面体 OFDKE): $\min(\alpha, \beta, \gamma) = \gamma$

图 4 为检索结果, 其中实验中取 $\alpha = 0.95$. 图 4(a) 为待检索图像, 图 4(b)(c) 和 (d) 为采用三级特征色检索的结果; 图 4(a) 和 (b) 为采用四级特征色后检索到的结果; 当采用了五级特征色进行检索时, 即可获得与待检索图像完全相同的图像, 图 4(a). 其检索时间均小于 1s.

从以上结果可以看出, 本文提出的在彩色图像检索中进行模糊判断的方法准确可靠, 结合使用色彩矢量分区比较法降低了 RGB 空间中色彩之间的相关性, 提高了检索的准确性和检索速度.

5. 结 论

1. 本文提出了一种基于模糊集理论判断色彩相似性的方法, 把色彩相似看作是一种模糊关系, 通过抽取其 α 级关系使之清晰化.
2. 在使用该方法进行模糊计算中, 我们把色彩

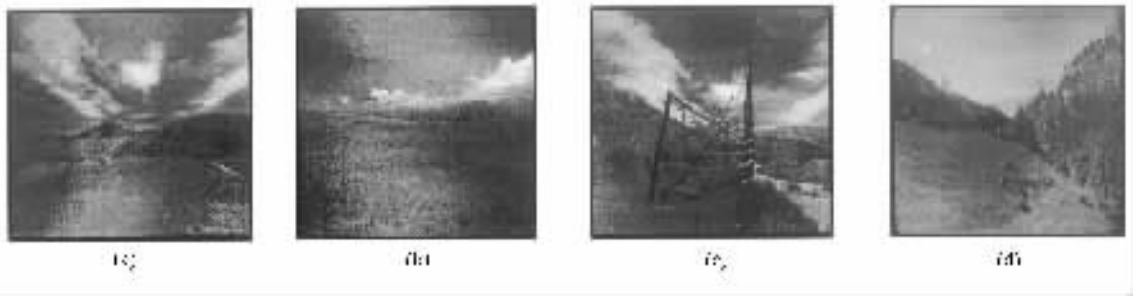


图 4 检索结果

当作色彩空间中的三维矢量,将色彩间的矢量差的模作为判断色彩相似性的依据,构造了一种隶属函数 μ_R 把色彩相似这样一个模糊关系映射到 $[0, 1]$ 区间,它表达了色彩矢量相似的程度.这种处理方法使得对多分量矢量 $\{r, g, b\}$ 的相似性比较过程化简为对单分量标量 μ_R 的比较过程.

3. 在将该方法应用于彩色图像检索的计算中,我们采用了逐级筛选法,首先从图像的彩色直方图中提取按出现面积大小排序的各级特征色作为图像

的特征,然后按级依次判断库图像与待查询图像间对应特征色的相似性,使被筛选的图像逐级递减,因而大大提高了检索速度.

4. 应用本文提出的色彩矢量分区比较法可以只需在同区中对相似的颜色进行模糊匹配运算,而避免了对无关色彩进行比较的运算,并且降低了 RGB 色彩空间中色彩的相关性,从而有效地提高了检索准确性和检索速度.

- [1] Zadeh L A 1965 *Inform. Control* **8** 338
- [2] Swain M J and Ballard D H 1991 *Int. J. Comput. Vision* **7** 11
- [3] Mehre B M Kankanhalli M S Narasimhalu A S and Man G C 1995 *Pattern Recognition Lett.* **16** 325
- [4] Anil K Jain and Aditya Vailaya 1996 *Pattern Recognition* **29** 1233
- [5] Wang Y H 2000 *Introduction to Discrete mathematics* (Harbin : Harbin Institute of Technology Press) p179 (in Chinese) [王义和 2000 离散数学引论 (哈尔滨 : 哈尔滨工业大学出版社) 第 179 页]
- [6] Fang S C and Wang D W 1997 *Fuzzy Mathematics and Fuzzy Optimization* (Beijing : Science Press) p70 (in Chinese) [方述诚、汪定伟 1997 模糊数学与模糊优化 (北京 : 科学出版社) 第 70 页]
- [7] Jia X and Lu Y 1996 *Fuzzy Information Processing* (Changsha : National University of Defence Technology Press) p204 (in Chinese) [贾鑫、卢昱 1996 模糊信息处理 (长沙 : 国防科技大学出版社) 第 204 页]
- [8] Syeda-Mahmood T and Petkovic D 2000 *Signal Processing : Image Commun.* **16** 15

Application of fuzzy set theory to color image retrieval^{*}

Liang Yan-Mei Zhai Hong-Chen[†] Mu Guo-Guang

(*Institute of Modern Optics , Nankai University , Tianjin 300071 , China*)

(*Key Laboratory of Optoelectronic Information Technical Science , Chinese Ministry of Education , Tianjin 300071 , China*)

(Received 18 March 2002 ; revised manuscript received 21 April 2002)

Abstract

We report an application of fuzzy relations in fuzzy set theory to the calculation of the similarity between colors , and apply it to the color image retrieval , where only a membership function is used as a measure of the similarity between the characteristic color vectors of a query image and of the images in the database . A match between two colors is defined as the α -cut fuzzy relation . In the comparison process , screening with decreasing by orders for comparisons and a method of regional color vector comparison are developed , which effectively reduce the color correlation in the red-green-blue (RGB) space and save from massive unnecessary calculations . Our theoretical and experimental results show clearly the advantages of our approach in both accuracy and speed of the color image retrieval .

Keywords : fuzzy relations , similarity of colors , color image retrieval , regional color vector comparison

PACC : 0210 , 4230

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. A60177004) and by the Natural Science Foundation of Tianjin , China (Grant No. 023602211) .

[†] Author to whom correspondence should be addressed .