

基于云模型和相容粒的彩色图像检索方法

徐久成 任金玉 孙林 徐天贺

(河南师范大学计算机与信息工程学院 新乡 453007)

(河南省高校计算智能与数据挖掘工程技术研究中心 新乡 453007)

摘要 针对现有相容粒度空间模型中网格点提取只考虑空间位置而忽略图像纹理特征的随机性、模糊性、关联性等不确定性的问题,提出一种基于云模型和相容粒的彩色图像检索方法。首先,在 CIELab 颜色空间上构建相容粒度空间模型的对象集;其次,用云模型提取每层的网格点,进而构建基于云模型网格点的相容粒度空间模型;然后,提出基于云模型和相容粒的彩色图像检索的相似性度量;最后,用 Corel 图像库中的图像作为测试图像库进行仿真实验。结果表明,该方法有效地提高了图像的检索效率。

关键词 云模型,相容粒,CIELab 彩色空间,网格点

中图分类号 TP18 **文献标识码** A

Color Image Retrieval Method Based on Cloud Model and Tolerance Granule

XU Jiu-cheng REN Jin-yu SUN Lin XU Tian-he

(College of Computer & Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

(Engineering Technology Research Center for Computing Intelligence & Data Mining, Henan Province, Xinxiang 453007, China)

Abstract It is very important to extract the grid points for the construction of tolerance granular space models. In the existing tolerance granular space models, establishing grid points for each layer only takes into account the space position, ignoring the uncertainties of image texture feature, such as randomness, fuzziness and relevance. To deal with that, a color image retrieval method based on cloud model and tolerance granule was proposed in this paper. Firstly, an object set of tolerance granular space model was constructed in CIELab color space. Secondly, the cloud model was applied into extracting grid points of each layer, and then the tolerance granular space model based on the extracted grid points was presented. Thirdly, a similarity measure for the color image retrieval based on cloud model and tolerance granule was established. Finally, simulation experiments were done with images of the testing image base, which are chosen from the Corel image base. Then the results show that the proposed method can improve efficiency of image retrieval effectively.

Keywords Cloud model, Tolerance granule, CIELab color space, Grid point

1 引言

纹理特征刻画了像素的邻域灰度空间分布规律,反映了物体内容上下文的联系,是图像的重要特征之一,因此,纹理特征是图像分析处理研究中的一个重要组成部分^[1-3]。纹理特征也是将人类的视觉与触觉联系起来进而形成的视觉信息,而人的视觉认知具有主观性、模糊性和随机性等不确定性,从而使得纹理特征表示和描述也具有随机性、模糊性、关联性 etc 不确定性^[3]。

粒计算本质为表示和处理信息粒,其基本思想是将“粗粒度”的较大对象细化为若干个“细粒度”的较小对象,进而在不同层次上对问题进行求解^[4-6]。在图像检索中,分析、提取纹理特征需要一定的尺度,一幅图像的纹理可能在较粗的尺度上观察不到,需要到更细的尺度上观察,这与相容粒度空间的

构建原理不谋而合^[5]。在相容粒度空间模型中,网格点表示每层相容粒中所有可能的位置或中心,而模型是在每层相容粒的网格点基础上构建的,因此,网格点提取在模型构建中举足轻重的作用。但是现有的模型构建方法大多是基于空间位置提取出网格点^[4-6],忽略了纹理特征的随机性、模糊性、关联性 etc 不确定性,不能很好地刻画图像的纹理特征。李德毅教授于 1995 年提出了处理定性定量的不确定转换的云模型,即用给定的随机样本点的随机确定度来统一刻画概念中的随机性、模糊性、关联性^[3,7,8]。因此,利用云模型提取相容粒度空间模型中每层上相容粒的网格点,能更好地刻画图像的纹理特征。

针对上述问题,本文提出了一种基于云模型和相容粒的彩色图像检索方法。为了使提取的图像特征更符合人眼视觉特征,首先,在 CIELab 颜色空间上构建相容粒度空间模型的

到稿日期:2013-05-21 返修日期:2013-07-06 本文受国家自然科学基金项目(60873104, 61040037),河南省科技攻关(重点)项目(112102210194),河南省教育厅科学技术研究(重点)项目(12A520027)资助。

徐久成(1964-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为粒计算、数据挖掘、生物信息学等,E-mail: xjc@htu. cn;任金玉(1985-),女,硕士生,主要研究方向为粒计算、图像处理、云模型。

对象集;然后,根据每层相容粒的灰度信息运用云模型提取出网格点,进而构建相容粒度空间模型;接着,以此模型为基础,对彩色图像进行多层次纹理、颜色特征的提取,提出综合纹理和颜色特征的相似度量;最后,对彩色图像进行检索,并通过对比仿真实验证明了本文方法的有效性和合理性。

2 云模型和相容粒度空间的相关概念

2.1 云模型

云模型是建立在传统的模糊集理论和概率统计学理论基础之上的一种定性概念与定量表示之间的不确定性转换的模型^[7-12]。

定义 1^[9] 设 U 是一个用数值表示的定量论域(1 维、2 维或多维), C 为 U 上的定性概念,若定量数值 $x \in U$ 是定性概念 C 的一次随机实现, x 对定性概念 C 的确定度 $\mu(x) \in [0, 1]$ 是具有稳定倾向的随机数,即

$$\mu: U \rightarrow [0, 1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu(x)$$

则 x 在论域 U 上的分布称为云模型,简称为云,记为 $C(x)$ 。每一个 x 称为云滴。

云模型用 3 个数字特征即期望 Ex 、熵 En 和超熵 He 来整体地表征一个概念,形象地描述了定性概念的不确定性^[7-12]。期望 Ex 是论域中最能够代表定性概念的点。熵 En 是定性概念的不确定性的度量,反映定性概念的模糊性和随机性。超熵 He 是熵的不确定性的度量,其大小间接地表示云的离散程度和厚度,是由熵的随机性和模糊性共同决定的。

正态云模型是最基本、最常用的云模型,是表征定性概念的有力工具之一,具有普遍适用性^[10]。图 1 给出了一个期望 $Ex=0$ 、熵 $En=2$ 、超熵 $He=0.2$ 、云滴数 $n=5000$ 的一维正态云模型。

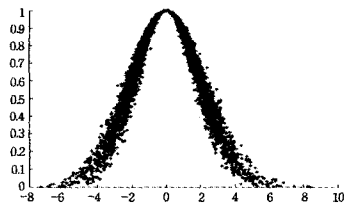


图 1 一维正态云模型

逆向云发生器通过统计方法将一定数量的精确数据有效地转换为用 3 个数字特征(Ex, En, He)表示的定性概念,并以此来描述这些精确数据所反映的云滴的整体,实现了从定量数值到其定性概念的不确定性转换^[10,11]。实际应用中,通过对输入样本点 x_i 进行统计计算,最终输出反映定性概念的 3 个数字特征,具体步骤参见文献^[10]。

2.2 相容粒度空间

本节定义主要参考文献^[4-6]中的定义。

相容粒 G 可以用一个三元组 (IG, EG, FG) 来描述,其中 IG 称为相容粒 G 的内涵; EG 称为相容粒 G 的外延; FG 为内涵和外延之间的转换函数。内涵 IG 用 R^n 中的一个向量 $(ig_1, ig_2, \dots, ig_n)$ 来表示,其中 ig_i 为 IG 的第 i 个元素且 $ig_i \in R, R$ 是实数集。外延 EG 是一个包括被这个相容粒所涵盖的对象或其他相容粒的集合,可形式化描述为

$$EG = \{\dot{\bigcup}_{i=1}^p \{O_i\}\} \cup \{\dot{\bigcup}_{j=1}^q \{G_j\}\}$$

式中, O_i 表示对象, G_j 表示其他相容粒, i 和 j 分别表示对象、其他相容粒的标号, a 和 b 表示该相容粒中对象的数量、其他

相容粒的数量。

相容粒度空间 TG 可以用一个四元组 (OS, TR, FG, NTC) 表示。其中 OS 为对象集系统, TR 为一个相容关系系统, FG 为相容粒转换函数, NTC 为一个嵌套相容覆盖系统。

定义 2 用 R^n 中的一个向量表示对象 O_0 , 其称为原始对象, 其中 R 是实数集。由原始对象构成的集合 O_1 称为一阶子集对象。一般称 O_{k+1} 为 $k+1$ 层子集对象, O_{k+1} 为 k 阶子集对象 O_k 构成的一个集合。

对象集系统 OS 可以形式化表示为

$$OS = \{\dot{\bigcup}_p \{O_p\}\} \cup \dots \cup \{\dot{\bigcup}_q \{O_q^k\}\} \cup \dots$$

式中, p 表示原始对象 O_0 的个数, O_p 表示原始对象中第 p 个原始对象, q 表示 k 阶子集对象 O_k 的个数, O_q^k 表示 k 阶子集对象中第 q 个原始对象 O_k 。

定义 3 X 为一个对象空间, 关系 $tr \subseteq X \times X$ 为相容关系, 如果关系 tr 具有自反性和对称性。

设 α, β 是 X 中的两个 n 维向量, $dis(\alpha, \beta | \omega)$ 是一个距离函数, 其中 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ 表示各个维度的权重, 且 $\omega_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n$ 。

定义 4 简单相容命题 $sp(\alpha, \beta | dis, d)$ 定义为 $sp(\alpha, \beta | dis, d) = dis(\alpha, \beta | \omega) \leq d$, 其中 d 是一个非负实数, 称为 $sp(\alpha, \beta | dis, d)$ 的半径。

定义 5 复合相容命题 $cp(\alpha, \beta | DIS, D)$ 由一组简单相容命题 $sp_i(\alpha, \beta | dis_i, d_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 通过运算符“ \cap ”和并“ \cup ”组成, 其中 $DIS = \{dis_1, dis_2, \dots, dis_n\}$ 且 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 。

定义 6 由复合相容命题 $cp(\alpha, \beta | DIS, D)$ 引导的相容关系 $tr_{cp(\alpha, \beta | DIS, D)}$ 定义为 $(\alpha, \beta) \in tr_{cp(\alpha, \beta | DIS, D)} \Leftrightarrow cp(\alpha, \beta | DIS, D)$ 。

由定义 3—定义 6 可知, 相容关系系统 TR 由一组相容关系组成, 可形式化为 $TR = \bigcup tr_{cp(\alpha, \beta | DIS, D)}$ 。复合相容命题 cp 、权重向量 ω 、距离函数向量 DIS 和半径向量 D 是相容关系系统的 4 个关键要素。

3 基于云模型提取网格点的相容粒度空间模型的建立

3.1 对象集的构建

将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 CIELab 颜色空间^[13,14], 同时求出原彩色图像的灰度图并将图像灰度值量化到一定灰度级上, 进而构建彩色图像的对象集。

定义 7 对象 $O_{xy} = (x, y, L, a, b, h)$ 是彩色图像中的一个像素, 其中 x, y 分别为彩色图像中像素的 x 和 y 坐标值, L, a, b 分别是该像素在 CIELab 颜色空间中的颜色值, h 表示该像素的灰度值。

一个彩色图像可以表示为一个对象集 O_1 , 且

$$O_1 = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1m} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ O_{n1} & O_{n2} & \dots & O_{nm} \end{bmatrix}$$

对象集中所有对象的灰度值 h 构成图像的灰度信息 H , 通过统计得到图像的灰度直方图, 进行网格点提取; 对象集中所有对象在 CIELab 空间上的 L, a, b 3 个颜色值构成图像的颜色信息 G , 用于构建相容关系系统, 进而构建基于云模型网格点的相容粒度空间模型。

3.2 网格点的提取

网格点是每层相容粒的位置或中心,由于图像的纹理具有模糊性、随机性、关联性 etc 不确定性,因此,用云模型提取网格点能更好地刻画纹理的不确定性。首先,根据每层相容粒灰度信息 H 统计灰度直方图,将其看作灰度直方图曲线 $f(x)$;其次,运用云变换^[10,15]将 $f(x)$ 分解成若干概念云的叠加,即根据灰度直方图曲线 $f(x)$,自动生成若干粒度不同的离散、定性的概念云 $C_i(E_{x_i}, E_{n_i}, H_{e_i})$ 的叠加,数学表达式为

$$f(x) \rightarrow \sum_{i=1}^n a_i * C_i(E_{x_i}, E_{n_i}, H_{e_i})$$

式中, a_i 为幅度系数, n 为生成概念云的个数;然后,根据“软或”概念提升法^[15],得到特定数目较粗粒度的概念,即对两个相邻概念云 $C_1(E_{x_1}, E_{n_1}, H_{e_1})$ 和 $C_2(E_{x_2}, E_{n_2}, H_{e_2})$,若 $E_{x_1} < E_{x_2}$,则可由公式

$$C_3 = C_1 \cup C_2 \Leftrightarrow \begin{cases} E_{x_3} = \frac{E_{x_1} + E_{x_2}}{2} + \frac{E_{n_2} - E_{n_1}}{4} \\ E_{n_3} = \frac{E_{x_2} - E_{x_1}}{2} + \frac{E_{n_1} + E_{n_2}}{4} \\ H_{e_3} = \max\{H_{e_1}, H_{e_2}\} \end{cases}$$

得到较粗粒度的概念云 $C_3(E_{x_3}, E_{n_3}, H_{e_3})$;最后,在该相容粒的对象集中,查找出灰度值与提升得到的较粗粒度概念的期望值相同的对象,即网格点。基于云模型的网格点提取算法具体步骤如下:

算法 1 基于云模型的网格点提取算法

输入:相容粒灰度信息、生成概念的个数 K

输出: K 个概念的数字特征 $A_i(E_{x_i}, E_{n_i}, H_{e_i}) (i=1, 2, \dots, K)$ 、网格点集 $Grid$

- Step1 根据相容粒灰度值信息,统计灰度直方图得到灰度直方图曲线 $f(x)$ (如图 2 中(a)所示);
- Step2 寻找灰度直方图曲线波峰所在的位置,将其峰值定义为概念云的期望 $E_{x_i} (i=1, 2, \dots, n)$,再计算以 E_{x_i} 为期望的概念云的熵 E_{n_i} ,得到概念云的分布函数 $f_1(x)$ (如图 2 中(b)所示)。
- Step3 在灰度直方图曲线 $f(x)$ 中减去概念云 $f_1(x)$ 得到新的分布 $f'(x)$ 。重复 Step2 和 Step3,将 $f(x)$ 分解为 n 个原子概念云 $C_i(E_{x_i}, E_{n_i}, H_{e_i})$ 的叠加;
- Step4 根据“软或”概念提升法,将原子概念云提升为更粗粒度的概念云 $C_j'(E_{x_j'}, E_{n_j'}, H_{e_j'})$,并统计其个数 N ;
- Step5 当 $N=K$ 时,输出粗粒度概念的数字特征 $A_i(E_{x_i}, E_{n_i}, H_{e_i}) (i=1, 2, \dots, K)$,否则转 Step4;
- Step6 在该相容粒中,查找灰度值与 K 个粗粒度概念期望值相同的对象放入网格点集 $Grid$ 中;
- Step7 输出网格点集 $Grid$;
- Step8 算法结束。

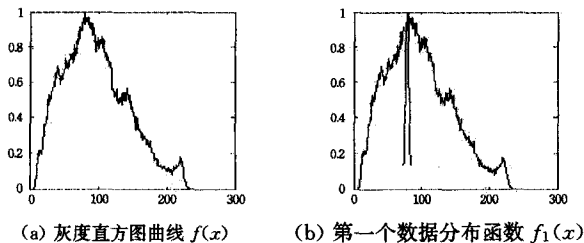


图 2 基于云变换的曲线拟合

3.3 基于云模型网格点的相容粒度空间模型的建立

定义 8 设 O_{xy}^i, O_{ij}^0 是同一层相容粒中的任意两个对象,对象 O_{xy}^i 和 O_{ij}^0 间的距离为

$$dis(O_{xy}^i, O_{ij}^0 | \omega) = Od(O_{xy}^i, O_{ij}^0) = \sqrt{\omega_1(L_{xy} - L_{ij})^2 + \omega_2(a_{xy} - a_{ij})^2 + \omega_3(b_{xy} - b_{ij})^2 + \omega_4(h_{xy} - h_{ij})^2} \quad (1)$$

式中, $O_{xy}^i = (x, y, L_{xy}, a_{xy}, b_{xy}, h_{xy})$, $O_{ij}^0 = (i, j, L_{ij}, a_{ij}, b_{ij}, h_{ij})$,权重函数 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4) = (1, 1, 1, 0)$ 。

定义 9 相容关系系统的简单相容命题为

$$sp(O_{xy}^i, O_{ij}^0 | dis, \omega) = dis(O_{xy}^i, O_{ij}^0 | \omega) \leq d$$

定义 10 相容关系系统的复合相容命题 $cp(O_{xy}^i, O_{ij}^0 | DIS, D)$ 是简单命题 $sp(O_{xy}^i, O_{ij}^0 | dis, \omega)$ 的并集,其中 $DIS = \{dis\}$, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_L\}$ 。

由定义 8—定义 10 可知,若两对象间距离在一定范围内时,即 $dis < d$,则认为它们属于同一相容粒。本文取半径向量 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_L\}$,其中 L 为构造相容粒的层次数, d_i 表示第 i 层上两个对象属于同一相容粒的距离的上限。构建的层次数 L 和每一层的距离上限 d_i 可以根据相关的资料、仿真实验的反馈信息及其检索精度和检索效果确定^[5,6]。本文构建了一个自上而下的基于云模型网格点的相容粒度空间模型,其中第 0 层相容粒的外延为所有原始对象的集合,由于内涵的求取与具体任务、背景、上下文等因素相关,因此在模型构建过程中对内涵的求取不做详细的讨论^[4-6,16]。基于云模型网格点的相容粒度空间模型构建及颜色特征的提取的具体步骤如下:

算法 2 基于云模型网格点的相容粒度空间模型构建及颜色特征提取算法(CTCA)

输入:图像的灰度信息 H 及颜色信息 G_c 、递归层数 L

输出: L 层相容粒及其颜色均值

- Step1 根据图像的灰度信息 H 及颜色信息 G_c 构建对象集 O_1 ,从而得到第 0 层粒 $G_0^1 = (IG_0^1, EG_0^1)$,其中 $EG_0^1 = \{x | x \in O_1\}$;
- Step2 根据第 0 层相容粒的灰度信息,用算法 1 提取出第 1 层相容粒的网格点集 $Grid_1^1$;
- Step3 构建第 1 层相容粒 $G_1^1 = (IG_1^1, EG_1^1(\eta_1^1 | tr_1^1))$,其外延 $EG_1^1(\eta_1^1 | tr_1^1)$ 由公式

$$EG_1^1(\eta_1^1 | tr_1^1) = \{x | (x, \eta_1^1) \in tr_1^1(\varphi_1^1, \omega_1^1, Dis_1^1, D_1^1) \wedge (x \in EG_0^1)\}$$
 生成,其中 $\eta_1^1 \in Grid_1^1$;

Step4 递归地,根据第 k 层相容粒灰度信息,用算法 1 提取第 $k+1$ 层的网格点集 $Grid_{k+1}^1$;由公式

$$EG_{k+1}^1(\eta_{k+1}^1 | tr_{k+1}^1) = \{x | (x, \eta_{k+1}^1) \in tr_{k+1}^1(\varphi_{k+1}^1, \omega_{k+1}^1, Dis_{k+1}^1, D_{k+1}^1) \wedge (x \in EG_k^1)\}$$

生成第 $k+1$ 层相容粒 G_{k+1}^1 的外延 $EG_{k+1}^1(\eta_{k+1}^1 | tr_{k+1}^1)$,其中 $\eta_{k+1}^1 \in Grid_{k+1}^1$,从而构建出第 $k+1$ 层相容粒 $G_{k+1}^1 = (IG_{k+1}^1, EG_{k+1}^1(\eta_{k+1}^1 | tr_{k+1}^1))$;

若 $i < L$,则转 Step4;否则,转 Step6;

Step5 输出 L 层上的相容粒及其颜色均值;

Step6 算法结束。

4 基于云模型和相容粒的彩色图像检索的相似性度量

在检索图像时,需要计算示例图像 Q 与数据库中图像 P 之间的相似程度。用算法 CTCA 构建相容粒度空间,可将每一幅图像划分为 L 层,从而得到 L 层上的相容粒及其颜色均值。如果同一层中的两个相容粒的灰度均值相等,则对这两

个相容粒中的对象求并集,合并成一个在该灰度值下的较粗相容粒,其颜色特征为较粗相容粒的颜色均值。

定义 11 设 P_k^i, Q_k^i 分别为图像 P 和 Q 的第 k 层上具有相同灰度均值 i 的两个相容粒,则相容粒 P_k^i 和 Q_k^i 的纹理相似度为

$$\text{sim}_t(P_k^i, Q_k^i) = \frac{|EP_k^i \cap EQ_k^i|}{|EP_k^i \cup EQ_k^i|} \quad (2)$$

式中, EP_k^i, EQ_k^i 分别为相容粒 P_k^i 和 Q_k^i 的外延。

定义 12 图像 P 和 Q 的纹理相似度为

$$\text{SIM}_t(P, Q) = \frac{\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M \text{sim}_t(P_j^i, Q_j^i)}{\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M \max\{P_j^i, Q_j^i\}} \quad (3)$$

式中, L 为图像划分的层次, M 为图像灰度值的灰度级别, P_j, Q_j 分别为图像 P 和 Q 对应的第 j 层上相容粒的个数。

定义 13 设 P_k^i, Q_k^i 分别为图像 P 和 Q 的第 k 层上具有相同灰度均值 i 的两个相容粒,则相容粒 P_k^i 和 Q_k^i 的颜色距离为

$$Dg(P_k^i, Q_k^i) = \sqrt{\omega_1(L_{a1}^i - L_{a2}^i)^2 + \omega_2(a_{b1}^i - a_{b2}^i)^2 + \omega_3(b_{b1}^i - b_{b2}^i)^2} \quad (4)$$

式中, $L_{a1}^i, a_{b1}^i, b_{b1}^i, L_{a2}^i, a_{b2}^i, b_{b2}^i$ 分别为相容粒 P_k^i, Q_k^i 分别在颜色空间 CIELab 3 个分量 L, a, b 上的颜色均值, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (1, 1, 1)$ 。

定义 14 图像 P 和 Q 颜色特征的相似度为

$$\text{SIM}_c(P, Q) = \frac{\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^M \frac{Dg_t(P_j^i, Q_j^i)}{\max_{0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq L} \{Dg_t(P_j^i, Q_j^i)\}}}{L \cdot M} \quad (5)$$

式中, L 为图像划分的层次, M 为图像灰度值的灰度级别。

由定义 11—定义 14, 可以得到图像 P 和 Q 综合颜色特征和纹理特征的相似度为:

$$\text{SIM}(P, Q) = \alpha \text{SIM}_c(P, Q) + \beta \text{SIM}_t(P, Q) \quad (6)$$

式中, α 和 β 分别为颜色、纹理相似度的权值, 且 $0 \leq \alpha \leq 1, \beta = 1 - \alpha$ 。

注: 式(6)满足图像的旋转和平移的不变性。

性质 1 $0 \leq \text{SIM}(P, Q) \leq 1$

证明: 由式(2)—式(5)可知, $\text{SIM}_t(M, G), \text{SIM}_c(M, G)$ 取值范围为 $[0, 1]$, 又 $0 \leq \alpha \leq 1, \beta = 1 - \alpha$, 由式(6)可知 $0 \leq \alpha \text{SIM}_c(P, Q) + \beta \text{SIM}_t(P, Q) \leq 1$, 从而有 $0 \leq \text{SIM}(P, Q) \leq 1$, 证毕。

由性质 1 可知, 对于任意两幅图像 P 和 Q , 若它们的 $\text{SIM}(P, Q)$ 值越大, 则这两幅图像越相似; 反之, 则越不相似。当 $\text{SIM}(P, Q) = 0$ 时, 这两幅图像完全不同, 当 $\text{SIM}(P, Q) = 1$ 时, 这两幅图像完全相同, 为同一幅图像。在检索过程中, 也可以通过调整权值 α 和 β 值的大小, 对不同类别的图像进行检索, 突显相应的特征, 如花类图像可以相应地增加颜色相似度权值, 恐龙图像则可以相应增加纹理相似度的权值, 以达到检索效率的最优。

5 实验分析

本文从 Corel 图像库中选取 1000 幅图像, 共 10 类, 每类中有 100 幅图像, 包括风景、动物、公共汽车、食物等, 作为实验的测试图像库, 进行了仿真对比实验。本文采用图像检索系统的查准率(Precision)和查全率(Recall)作为评价图像检索方法效率好坏的标准。

为了验证本文方法的有效性, 将文献[16]基于相容粒的多层次纹理特征图像检索方法和文献[17]颜色直方图检索方

法, 与本文方法进行了仿真对比实验。图 3 给出了这 3 种方法对恐龙类图像进行检索, 返回的前 20 幅图像的检索结果对比图, 每幅图左上角图像为示例图。图 3(a)为文献[16]方法的检索结果图, 图中有 19 幅图像是恐龙类的图像, 查准率为 95%; 图 3(b)为文献[17]方法的检索结果图, 图中 14 幅图像是恐龙类的图像, 查准率为 70%; 图 3(c)为本文方法的检索结果图, 图中 20 幅图像都是恐龙类的图像, 查准率为 100%。实验结果表明, 本文方法的查准率最高, 文献[16]方法的查准率次之, 文献[17]方法的查准率最低, 从而说明本文方法较文献[16]和文献[17]方法更有效。



图 3 3 种方法对恐龙图像的检索结果对比图

为了进一步说明本文方法较文献[16, 17]方法更为有效, 进行了大量图像分类检索实验, 并计算了 3 种图像检索方法的平均查准率和平均查全率, 从而得到 3 种方法的查全率和查准率对比图, 如图 4 所示。由图 4 可以看出, 本文方法与文献[16]、文献[17]方法相比, 具有较好的查准率和查全率, 因此, 本文方法的检索效果更优, 有效地提高了图像的检索效率。

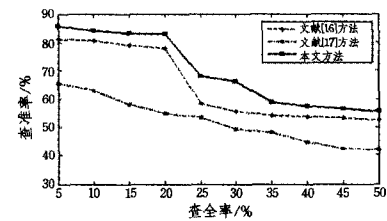


图 4 3 种方法的查全率和查准率对比图

结束语 针对现有相容粒度空间模型层网格点提取只考虑了空间位置而忽略了图像纹理的随机性、模糊性、关联性不确定性的问题, 提出了一种基于云模型和相容粒的彩色图像检索方法。该方法具有如下优点: 第一, 在均匀彩色空间 CIELab 上提取的图像特征更符合人眼的视觉特性; 第二, 云模型是一种处理随机性、模糊性、关联性不确定性的方法, 运用云模型能更有效地提取出每一层的网格点; 第三, 该方法

具有旋转、尺度不变性。需要指出的是,本文方法不具有良好的交互性,这可能影响到该算法的精确度。因此,如何将相关反馈机制与本文方法相结合,将是我们下一步要研究的工作。

参考文献

- [1] Antón-Rodríguez M, Díaz-Pernas F J, Díez-Higuera J F, et al. Recognition of coloured and textured images through a multi-scale neural architecture with orientational filtering and chromatic diffusion[J]. *Journal Neurocomputing*, 2009, 72(16-18): 3713-3725
- [2] Subrahmanyam M, Maheshwari R P, Balasubramanian R. Local maximum edge binary patterns: A new descriptor for image retrieval and object tracking[J]. *Signal Processing*, 2012, 92: 1467-1479
- [3] 吴涛,秦昆,肖启芝,等. 图像纹理特征挖掘的不确定性分析[J]. *计算机工程与设计*, 2007, 6: 2905-2908
- [4] 徐久成,李晓艳,张灵均,等. 基于粗糙粒模型的图像纹理识别和检索[J]. *模式识别与人工智能*, 2012, 25(2): 225-229
- [5] 郑征. 基于相容粒度空间模型的图像纹理识别[J]. *重庆邮电大学学报:自然科学版*, 2009, 21(4): 484-489
- [6] 李双群,徐久成,张灵均,等. 基于相容粒的彩色图像检索算法[J]. *广西师范大学:自然科学版*, 2011, 29(3): 173-178
- [7] Qin Kun, Xu Kai, Liu Fei-long, et al. Image segmentation based on histogram analysis utilizing the cloud model[J]. *Computers*

- and Mathematics with Applications, 2011, 62: 2824-2833
- [8] 徐凯,秦昆,黄伯和,等. 基于云模型的图像区域分割方法[J]. *中国图象图形学报*, 2010, 15(5): 575-563
- [9] 王国胤,李德毅,姚一豫,等. 云模型与粒计算[M]. 北京:科学出版社, 2012: 1-22
- [10] 秦昆,王佩. 基于云变换的曲线拟合新方法[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(23): 56-58
- [11] Wang Guo-yin, Xu Chang-lin, Zhang Qing-hua, et al. A Multi-step Backward Cloud Generator Algorithm[C]//RSCTC 2012, LNAI 7413. 2012: 313-322
- [12] 吴涛,秦昆. 利用云模型和数据场的图像分割方法[J]. *模式识别与人工智能*, 2012, 25(3): 397-405
- [13] 曾俊,李德华. 彩色图像 SUSAN 边缘检测方法[J]. *计算机工程与应用*, 2011, 47(15): 194-196
- [14] 叶国军,王绍隼. 基于 CIELab 颜色空间和颜色分布信息熵的图像检索[J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(29): 98-100
- [15] 蒋嵘,李德毅,范建华. 数值型数据的泛概念树的自动生成方法[J]. *计算机学报*, 2000, 23(5): 470-476
- [16] 徐久成,李晓艳,李双群,等. 基于相容粒的多层次纹理特征图像检索方法[J]. *广西师范大学学报:自然科学版*, 2011, 29(1): 186-190
- [17] Swain M J, Ballard D H. Color indexing[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1991, 7(1): 11-32

(上接第 63 页)

例中关于股票的盈利情况分析不是本文讨论的重点,我们将在以后的文章中讨论。

参考文献

- [1] 潘正华. 模糊知识的三种否定及其集合基础[J]. *计算机学报*, 2012, 35(7): 1421-1428
- [2] Pan Zheng-hua. Fuzzy Set with Three Kinds of Negations and its Applications in Fuzzy Decision Making[C]//Lecture Notes in Computer Science (LNCS 2011). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 7002: 533-542
- [3] Pan Zheng-hua. Fuzzy set with three kinds of negations in fuzzy knowledge processing[C]//Proceedings of 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC 2010). 2012, 5: 2730-2735
- [4] Yang Lei, Pan Zheng-hua. Fuzzy Degree and Similarity Measure of Fuzzy Set with Three Kinds of Negations [C]//Lecture Notes in Artificial Intelligence. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 7002: 543-550
- [5] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. *Information and Control*, 1965, 8(3): 338-353
- [6] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 21(1): 87-96
- [7] Pawlak Z. Rough sets[J]. *International Journal of Computer and Information Sciences*, 1982, 11: 341-356
- [8] Hájek P. *Metamathematics of Fuzzy Logic* [M]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998
- [9] 王国俊. 模糊命题的一种形式演绎系统[J]. *科学通报*, 1997, 42(10): 1041-1045
- [10] Pan Zheng-hua, Zhu Wu-jia. A new cognition and processing on contradictory knowledge[C]//Proceedings of the 2006 IEEE-International Conference on Machine Learning and Cybernetics.

- Qingdao, China, 2006: 1532-1537
- [11] 杨阳. 弱市也有大牛股: 11 只股票今年已翻倍[J]. *股市动态分析*, 2012(24): 60-61
- [12] 何诚颖. 中国股市市盈率分布特征及国际比较研究[J]. *经济研究*, 2003(09): 74-81, 95
- [13] 武英芝. 市盈率在股票投资价值分析中的应用[J]. *生产力研究*, 2009(21): 84-85
- [14] Hong Long, Xiao Xi-an, Zhu Wu-jia. Measure of medium scale and its application (I) [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2006, 29(12): 2186-2193
- [15] Hong Long, Xiao Xi-an, Zhu Wu-jia. Measure of medium scale and its application (II) [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2007, 30(9): 1551-1558
- [16] Zhang Li-zhen, Pan Zheng-hua. Fuzzy comprehensive evaluation based on measure of medium truth scale[C]//Proceedings of 2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI2009). Shanghai, 2009, II: 83-87
- [17] 李敬,廖洪. 市盈率投资策略: 评价与检验[J]. *经济管理*, 2007(6): 73-79
- [18] Pan Zheng-hua. Three Kinds of Negations of Fuzzy Knowledge and Applications to Decision Making in Financial Investment [C]//Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer-Verlag, 2010, 6422: 391-401
- [19] Dung P M, Mancarella P. Production systems need negation as failure[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2002, 14(2): 336-353
- [20] Chang Xiu-yan, Zhao Xin-yi, Yue Bao-ying. Analysis and Application of New Shares Based on Decision Tree[J]. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2013, 218: 537-543
- [21] 胡智伦,何世彪,张新春. 认知无线电中基于干扰温度的信道容量及中断概率[J]. *重庆理工大学学报:自然科学版*, 2010, 24(6): 83-88