

基于灰色系统理论的多特征相关反馈图像检索

江祥奎, 原思聪, 王发展

(西安建筑科技大学机电工程学院, 西安 710055)

摘要: 探讨了灰色系统理论在相关反馈图像检索中的应用, 提出了一种基于灰色系统理论的相关反馈图像检索算法, 动态地更新查询向量, 从而使图像检索结果与人的主观感知更加接近, 具有自适应性。实验结果表明, 文中的方法是很有效的。

关键词: 灰色系统; 灰数; 相关反馈; 基于内容的图像检索

Multi-feature Relevance Feedback Image Retrieval Based on Grey System Theory

JIANG Xiangkui, YUAN Sicong, WANG Fazhan

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055)

【Abstract】 The paper discusses the application of grey system theory to image retrieval using relevance feedback and proposes a kind of image retrieval algorithm using relevance feedback based on grey system theory. It dynamically updates the query vectors in order to make image retrieval results nearer to people's subjective perception, so it has the character of self-adaptation. The experiment results indicate that the method in the article is very effectual.

【Key words】 Grey system; Grey number; Relevance feedback; Content-based image retrieval

基于相关反馈的图像检索技术是近几年信息检索领域的研究热点之一。它是在基于内容的图像检索(CBIR)技术的基础上引入相关反馈, 将用户模型嵌入到图像检索系统当中, 从而增进人机之间的交互, 使图像检索结果与人的主观感知更加接近。

相关反馈是一种监督的学习方法和主动提交技术, 其基本思想是通过一种人机交互机制使得计算机能够不断了解用户对查询结果的满意程度, 并通过逐步学习把输出调整到符合用户期望的状态。一般而言, 相关反馈在图像检索中的策略是, 一方面改变相似度中的权重, 另一方面是改变检索向量。目前国内外大量的实验研究表明, 传统的图像检索主要依赖颜色、纹理、形状等单一视觉特征检索结果不够理想, 综合多特征的图像检索算法比单一视觉特征的图像检索算法更符合人们的主观感受。要综合多种视觉特征进行检索, 就需要知道各个特征, 特征的描述以及描述向量中的各个分量在检索中所占的比例, 也就是权重。要确定权重, 一方面直接由用户给出, 另一方面由系统初始化, 通过用户对初始化查询结果的反馈对权重进行动态调整。

在图像检索中, 考虑到用户的主观性, 不同用户可能具有不同的相似判别结果, 即使同一个人在不同时刻也可能给出不同的判别结果。检索结果从某种意义上说是不确定的。于是, 可以将图像检索系统视为一个“灰色系统”, 其中的图像特征的权重可视为“灰数”。这样一来, 就可以应用灰色系统理论来解决交互式 CBIR 中的学习问题, 为相关反馈技术的研究提供一种可能的途径。

1 灰色系统理论概述

灰色系统理论, 是一种研究少数据、贫信息、不确定性问题的新方法^[1]。灰色系统理论以“部分信息已知, 部分信

息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象, 主要通过对“部分”已知信息的生成、开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。灰色系统理论把一般系统论, 信息论的观点和方法应用于灰色系统, 综合运用数学方法, 发展了一套解决贫信息系统问题的理论和方法^[5]。

目前, 灰色系统理论得到了极为广泛的应用, 不仅成功地应用于工程控制、经济管理、社会系统、生态系统等领域, 而且在复杂多变的农业系统, 如在水利、气象、生物防治、农机决策、农业规划、农业经济等方面也取得了可喜的成就。灰色系统理论在管理学、决策学、战略学、预测学、未来学、生命科学、图像处理等领域展示了极为广泛的应用前景。曹奎等人首次将灰色系统理论应用到图像检索当中, 提出了一种灰色相关反馈算法^[7]。自此, 灰色系统理论在图像检索领域的应用开始增多。

2 经典的特征权重调整算法

特征权重调整算法是一种最直接、最容易被理解的方法。特征权重调整算法是对图像不同的特征赋予不同的权重, 系统根据用户的反馈信息, 把用户认为与查询图像相似的特征赋予较大的权重, 而不相似的特征赋予较小的权重, 然后根据调整后的权重计算图像间的相似度^[6]。在图像检索系统中, 这类方法应用比较广泛, 主要代表系统有多媒体分析和检索

基金项目: 陕西省教育厅专项基金资助项目(03JK117); 陕西省教育厅产业化基金资助项目(04JC21)

作者简介: 江祥奎(1979 -), 男, 博士生, 主研方向: 图像检索, 现代设计理论与方法; 原思聪, 教授、博导; 王发展, 副教授、博士后

收稿日期: 2006-02-16 **E-mail:** jxk2002@126.com

系统MARS(Multimedia Analysis and Retrieval System)、MindReader和PicToSeek等。

Rui等人^[3]在1997年提出了特征权重调整算法,试图通过调整各个特征、特征各维的权重来优化检索结果。检索过程如图1所示,其中 $F = \{f_i\}$ 是此图像对象的特征的集合,这些特征包括颜色、纹理和形状特征等; $R = \{r_{ij}\}$ 是某种给定特征 f_i 的表达形式,如颜色直方图和颜色矩等都是颜色特征的表达方式。每一种特征表达 r_{ij} 本身可能就是由许多分量组成的向量,可以写成如下形式:

$$r_{ij} = [r_{ij1}, \dots, r_{ijk}, \dots, r_{ijK}]$$

K是这个向量的维数。

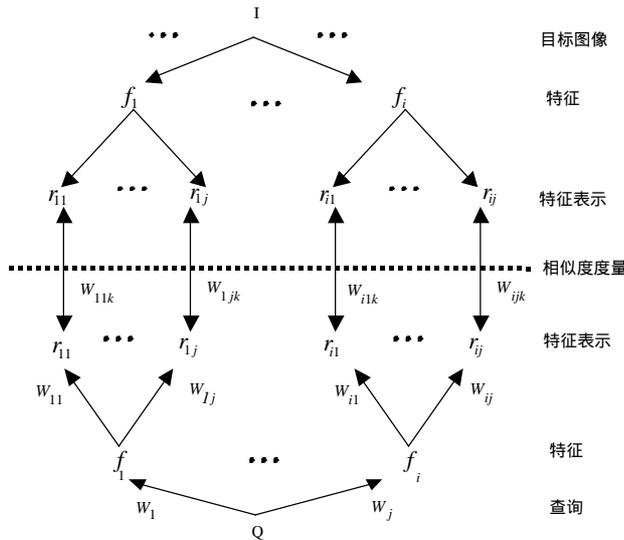


图1 检索过程示意图

3 基于灰色系统理论的多特征相关反馈算法

3.1 图像对象模型

一个图像对象I可表示为

$$I = I(D, F, R)$$

D是图像原始数据,例如JPEG格式的图像等; $F = \{f_i\}$ 是此图像对象的特征的集合,这些特征包括颜色、纹理和形状特征等; $R = \{r_{ij}\}$ 是某种给定特征 f_i 的表达形式,如颜色直方图和颜色矩等都是颜色特征的表达方式。每一种特征表达 r_{ij} 本身可能就是由许多分量组成的向量,可写成如下形式:

$$r_{ij} = [r_{ij1}, \dots, r_{ijk}, \dots, r_{ijK}]$$

其中, $i = 1, 2, \dots, p$, $j = 1, 2, \dots, q$, 对应于特征 f_i 的 q 种表示。K是特征表达 r_{ij} 的维数。

一个图像对象模型 $I = I(D, F, R)$ 同一组相似度算法 $S = \{d_{ij}\}$ 一起构成了CBIR模型 (D, F, R, S) 。相似度算法S是用来计算两个图像对象之间的相似度。 d_{ij} 为对应于特征表达 r_{ij} 的距离度量。在实际的检索系统中,由于不同的特征表达可能采用不同的距离度量,因此这些 d_{ij} 可能互不相同。

基于上述的图像检索模型,例子图像Q与图像I之间的全局距离可以定义为

$$d(Q, I) = \sum_{i=1}^p w_i d_i(f_i, \bar{f}_i) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q w_{ij} d_{ij}(r_{ij}, \bar{r}_{ij}) \quad (1)$$

w_i 为图像特征 f_i 在全局距离计算中的权重, w_{ij} 为特征表达

r_{ij} 在全局距离计算中的权重。

3.2 改进的特征权重调整算法

为了更新特征的权重 w_i ,将灰关联分析理论中的灰关联度作为特征权重的估计值,从而来估计不同特征在检索中的相对重要性。

对于第i个图像特征,首先使用距离函数 d_i 来计算例子图像与相关图像之间的距离,求出 $d_{ik} = d_i(f_i^0, f_i^k)$, $i = 1, 2, \dots, p$, $k = 1, 2, \dots, N$;然后,采用式(1)将这些距离归一化为 $[0, 1]$ 上的值,在此基础上计算相应的相似度 $s_{ik} = 1 - d'_{ik}$ (特征之间的距离越大,相似度越小),这里 d'_{ik} 为归一化的距离。将这些相似度组成一个N维向量 $l_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN})$,它描述了相关图像与例子图像第i个特征之间的相似度。

为了更好地描述用户在查询过程中的信息需求,可以将相关图像的相似度 s_{ij} 与相关度 $score_i$ 集成起来得到一个“加权相似向量”:

$$\tilde{l}_i = (score_1 \times s_{i1}, score_2 \times s_{i2}, \dots, score_N \times s_{iN})$$

考虑到人们在检索中可能会侧重于不同的特征,这种加权相似向量 \tilde{l}_i 能更好地表达用户感兴趣的特征。于是,权重调整算法改进如下:

(1)将 $l_0 = (1, 1, \dots, 1)$ 视为参考序列, $(\tilde{l}_1, \tilde{l}_2, \dots, \tilde{l}_p)$ 作为比较序列。

(2)数列初始化(预处理)

$$\hat{l}_i(j) = \tilde{l}_i(j) / \tilde{l}_i(\text{avg}), \quad \tilde{l}_i(\text{avg}) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \tilde{l}_i(t)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, p, \quad j = 1, 2, \dots, N$$

如果某个 $\tilde{l}_i(\text{avg})$ 为零,则在执行上述预处理之前将其加上一个充分小的正数 ε 。

(3)计算灰关联系数

$$\xi_i(j) = \frac{\min_j \min_t |\hat{l}_0(j) - \hat{l}_i(j)| + \zeta \max_j \max_t |\hat{l}_0(j) - \hat{l}_i(j)|}{|\hat{l}_0(j) - \hat{l}_i(j)| + \zeta \max_j \max_t |\hat{l}_0(j) - \hat{l}_i(j)|}$$

其中, $\zeta \in (0, 1)$ 为分辨系数,这里取 $\zeta = 0.5$ 。

(4)对于用户标记的那些相关图像,将它们相应的灰关联系数 $\xi_i(j)$ 组成一个 $p \times N$ 矩阵 ξ ,其中 p 为图像表示的个数, N 为相关图像的个数,即

$$\xi = \begin{pmatrix} \xi_1(1) & \xi_1(2) & \dots & \xi_1(N) \\ \xi_2(1) & \xi_2(2) & \dots & \xi_2(N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \xi_p(1) & \xi_p(2) & \dots & \xi_p(N) \end{pmatrix}$$

在此基础上,计算相应的灰关联度:

$$\gamma_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \xi_i(j)$$

对于第i个图像特征,直观上灰关联度 γ_i 反映了该图像特征在用户进行图像的相关判断中所起的作用。 γ_i 的值越大,其相对重要性越大,反之亦然。因此,灰关联度 γ_i 可作为权重 w_i 的估计值。

(5)更新权值:第i个特征的新权重 \bar{w}_i 计算如下式:

$$\bar{w}_i = \gamma_i / \sum_{j=1}^p \gamma_j, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

(6)按照权重 \bar{w}_i 把用户的查询要求分配到各个图像特征 f_i^0 上去。

(7)令初始权值 $w_{ij} = 0$, 采用下述方法对权值进行调整 :

$$W_{ij} = \begin{cases} W_{ij} + score_i & \text{若 } RT_i^{ij} \text{ 在 } RT \text{ 中} \\ W_{ij} & \text{其他} \end{cases}$$

其中, $i = 0, 1, \dots, N_{RT}$, RT 是指反馈回来的前 N_{RT} 幅图像的集合; RT^{ij} 是按相似度选取的前 N_{RT} (由用户指定)幅最相似的图像组成的集合; $score_i \in [0, 1]$ 。

(8)调整 W_{ijk} 。

$$W_{ijk} = 1/\sigma_{ijk}, \text{ 其中 } \sigma_{ijk} \text{ 为 } r_{ijk} \text{ 序列的标准方差。}$$

3.3 图像检索过程

采用基于上述算法的相关反馈技术, 如图 2 所示。

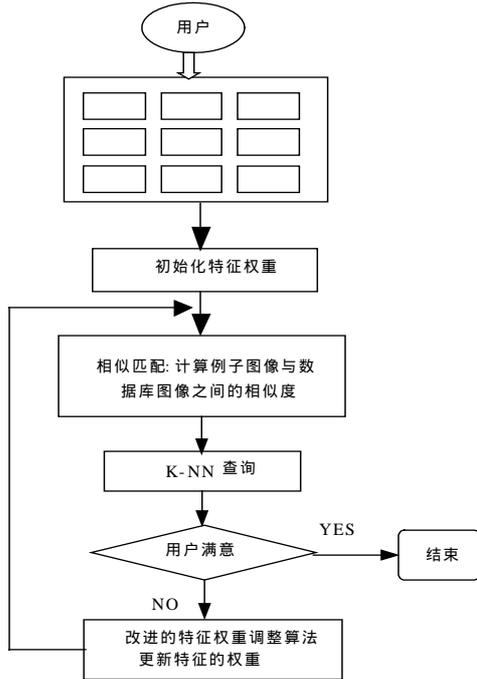


图 2 图像检索过程

相应的图像检索过程如下:

Step 1 用户浏览图像库, 寻找感兴趣的图像作为例子图像。用户也可以直接选取一个外部图像作为例子图像;

Step 2 初始化特征权重 $W = [W_1, W_2, W_3]$, 初始设定每个图像表示在检索中具有相同的重要性;

Step 3 应用公式

$$d(Q, I) = \sum_{i=1}^p W_i d_i(f_i, \bar{f}_i) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q W_{ij} d_{ij}(r_{ij}, \bar{r}_{ij})$$

计算例子图像与数据库图像之间的距离, 并且进行 k-NN 查询, 即将图像库中的图像进行排序, 将排序在前 k 位的图像作为检索结果返回给用户;

Step 4 若用户对检索结果满意, 则结束; 否则, 用户在检索结果中选取或标记相关图像, 并且指定相应的相关度;

Step 5 使用改进的特征权重调整算法计算各个图像特征的新权重;

Step 6 提交新查询, 转 Step 3 开始下一次循环; 如此循环, 直到用户得到满意的图像为止。

4 实验分析

为了对本文的相关反馈算法进行图像检索的性能进行分析和测试, 我们在一个小型的图像数据库上进行了数值实验。采用单机运行模式, 编程语言为 Matlab。

为了评价图像检索的性能, 采用了一种被称为“检索率”(Retrieval Rate)的量化方法来比较系统输出与人们期望效果

之间的一致性。检索率定义为

$$Rate = \frac{\tilde{N}}{N}$$

其中, N 表示数据库中与例子图像相似的图像个数, 所有这些图像组成一个查询集合 QS ; \tilde{N} 表示检索结果的前 N 个图像中属于集合 QS 的图像个数。

由于图像检索系统的性能与它所使用的图像特征以及特征表示密切相关, 因此实验的目的侧重于分析该相关反馈技术对图像检索结果的影响以及它在提高图像检索质量、改善检索性能方面的能力。为方便检索系统的实现, 选取图像的颜色、形状、纹理来描述图像的内容。采用 HSV 直方图来提取颜色特征, 采用共生矩阵来提取和描述图像的纹理特征, 采用边缘直方图方法来提取图像的形状特征。这样对于每一幅图像而言, 其特征表示为

$$F = \{f_i\} = \{color, texture, shape\}$$

$$R = \{r_{ij}\} = \{color\ histogram, co-occurrence\ matrix, edge\ histogram\}$$

我们选取一个包含有 500 幅图像的图像库来做测试。此库中一共包含有 10 个类别, 它们分别是每类 50 幅的 10 类普通彩色图像。为了测试改进算法对各类图像的检索性能, 本文对库中的每一类图像进行了测试, 结果如表 1 所示, “——”表示前次反馈已经达到 100% 的检索率。

表 1 改进算法对不同类图像的图像性能测试(准确率)

| 类别 | Rate(0rf) | Rate(1 rf) | Rate(2 rf) | Rate(3 rf) |
|--------|-----------|------------|------------|------------|
| 非洲人与乡村 | 66.7% | 85.0% | 90.0% | 98.3% |
| 海湾沙滩 | 60.0% | 48.3% | 55.0% | 60.0% |
| 古建筑 | 33.3% | 36.7% | 56.7% | 68.3% |
| 公交车 | 46.7% | 76.7% | 88.3% | 96.7% |
| 恐龙 | 96.7% | 100.0% | —— | —— |
| 大象 | 38.3% | 60.0% | 66.7% | 70.0% |
| 花 | 83.3% | 86.7% | 88.3% | 91.7% |
| 马 | 95.0% | 98.3% | 100.0% | —— |
| 山与冰川 | 40.0% | 51.7% | 56.7% | 58.3% |
| 食物 | 56.7% | 68.3% | 88.3% | 90.0% |

5 结论

引入基于灰色系统理论的相关反馈图像检索算法后, 由于可以动态地更新查询向量, 从而使图像检索结果与人的主观感知更加接近, 具有自适应性。实验结果表明, 经过简单的多次相关反馈操作, 使检索结果符合使用者的主观愿望, 这种相关反馈机制可明显提高系统检索准确率和相关反馈的收敛速度。

参考文献

- Julong D. Control Problems of Grey Systems[J]. Systems and Control Letters, 1982, 5(1): 288-294.
- Rui Y, Huang T S. Optimizing Learning in Image Retrieval[C]. Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, South Carolina, 2000.
- Rui Y, Huang T S, Mehtotra S. Content-based Image Retrieval with Relevance Feedback in MARS[C]. Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1997.
- Rui Y, Huang T S, Ortega M, et al. Relevance Feedback: A Power Tool for Interactive Content-based Image Retrieval[J]. IEEE Trans. on Circuits and Video Technology, 1998, 8(5): 644-655.
- 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用(第 2 版)[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- 庄越挺, 潘云鹤, 吴飞. 网上多媒体信息检索[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- 曹奎, 冯玉才. 一种图像检索中的灰色相关反馈算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(6): 18-20.