

文章编号 1004-924X(2017)增-0199-06

基于聚类 and 用户兴趣模型的个性化图像搜索

郭璐^{1,2}, 宋京^{3*}, 杜晶晶³, 许哲⁴, 黄鹤³

1. 西安爱生技术集团公司, 陕西 西安 710065;
2. 无人机系统国家工程研究中心, 陕西 西安 710072;
3. 长安大学 电子与控制工程学院, 陕西 西安 710064;
4. 中电科第二十研究所, 陕西 西安 710068)

摘要: 针对现有图像搜索方法难以完整地评价用户查询目的及图像检索质量较低的问题, 提出了一种基于聚类和用户兴趣模型的个性化图像搜索方法。该方法首先将输入的检索图像拆分成 9 个子块, 并将图像转换到 HSV 颜色空间中, 利用图像的颜色分布直方图提取颜色特征信息; 然后采用 Gabor 小波提取图像的纹理特征, 将获取到的颜色特征和纹理特征进行融合以构成图像的多特征融合相似度矩阵, 计算图像间的相似性。再以多特征融合相似度矩阵为多核的动态聚类的输入, 对数据库中图像进行聚类, 将聚类图像送入 LSSVM 网络, 确定分类面并构建个性化用户兴趣模型; 最后按照与用户兴趣模型相似度高程度进行比较, 将检索结果提供给用户自主选择。实验结果表明: 与单一的颜色和纹理特征搜索算法相比, 所提方法的平均查全率、查准率分别提升了 8.2%、11.42% 和 19.7%、26.08%, 可以有效地提升图像搜索的质量, 应用价值明显。

关键词: 图像检索; 相关性反馈; 计算机仿真; 最小二乘支持向量机

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A doi: 10.3788/OPE.20172513.0199

Personalized image searching based on clustering analysis and user interest model

GUO Lu^{1,2}, SONG Jing^{3*}, DU Jing-jing³, XU Zhe⁴, HUANG He³

1. Xi'an ASN Technology Group Company, Xi'an 710065, China;
 2. UAV System National Engineering Research Center, Xi'an 710072, China;
 3. Chang'an University Electronic and Control Engineering School, Xi'an 710064, China;
 4. The 20th Research Institute of CETC, Xi'an 710068, China)
- * Corresponding author, E-mail: 1158940754@qq.com

Abstract: Aimed at the problem that existing image searching algorithms were difficult to evaluate query purpose of users completely and the quality of image retrieval was low, a personalized image searching method based on clustering analysis and user interest model was proposed in the thesis. Input retrieval image was divided into 9 sub-blocks and transformed into HSV color space, and color distribution histogram of image was used to extract color feature information. And then, Gabor wavelet was used to extract texture features of the image, and obtained color features and texture features

收稿日期: 2017-05-24; 修订日期: 2017-06-19.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (No. 2013M542310); 国家自然科学基金资助项目 (No. 41101357)

were fused to form multi-feature fusion similarity matrix of the image to calculate similarity among images. Then multi-feature fusion similarity matrix was used as input of multi-core dynamic clustering to cluster the images in the database. The clustering image was sent to LSSVM network to determine the classification surface and construct personalized user interest model. Finally, retrieved results were provided to users for independent choice according to comparison with similarity degree of user interest model. Experimental result shows that: average recall ratio and precision ratio of method in the thesis are improved by 8.2%, 11.42% and 19.7%, 26.08% compared with search algorithm of single color and texture features. It can promote quality of image searching effectively and has obvious application value.

Key words: image retrieval; relevance feedback; computer simulation; LSSVM

1 引言

图像与生俱来具有表示直观、信息容量大的特点,随着数字图像采集设备的普及,数字图像的数量呈现指数式增长,如何从图像数据库中高效、精准地查找到所感兴趣的目标图像是一项十分具有挑战性的工作。图像搜索算法能够按照用户所提供的相应图像特征,以特定的搜索算法高效地检索图像数据库,找出相似度较高的图像以供用户使用,这在处理以互联网为代表的海量图像的检索任务时具有重大意义^[1-3]。

目前,国内外主流的图像搜索算法根据检索原理的不同,大致可以分为基于文本与图像内容的两类搜索算法。基于文本的图像搜索算法指的是图像数据库中每一张图像都对应着一个或多个关键字,搜索引擎按照用户给出图像的关键字,在图像数据库中查找出与给定关键字相似度较高的关键字所对应的图像,并按照相似度的高低排序后提供给用户选择^[4]。此类方法具有原理简单、便于实现的优点,但在本质上是对关键字文本的检索,由于关键字并不能完整地描述图像的信息,而且忽略了图像的视觉特征,即这类搜索方法并不考虑个人兴趣喜好,在针对同一个检索词的操作时,无法根据用户的主观意愿进行相应地个性化搜索^[5]。为了解决这一问题,文献[6]将最小二乘支持向量机(LSSVM)引入到检索系统中,但需要用户标记正负样本,比较繁琐,而且没有解决正例样本较少的问题;基于图像内容的搜索算法,在本质上是一种利用图像的特征信息来匹配的搜索方法。这种搜索方法通过分析、提取图像自身中内容如灰度、色彩、纹理等的特征信息^[7-10],以此

为索引检索图像数据库,从而查找到与给定图像相似的目标图像。显然,基于图像内容的搜索算法摆脱了由用户给出图像特征描述的缺陷,能够较好地结合给定图像中的内容,检索到与给定图像内容相似度较高的图像,然而准确地提取到图像中的特征信息并准确地描述图像是比较困难的。

针对以上问题,本文提出了一种新的个性化图像搜索方法,按照用户搜索图像的特点,选择图像的颜色和纹理特征集合,分别建立图像的局部颜色特征核函数和细节特征核函数,采用线性融合的方法来计算图像间的相似性,并构造图像的相似度矩阵作为多核动态聚类的输入。在对图像进行多核的动态聚类的基础上,使用相关反馈和最小二乘支持向量机来建立用户兴趣模型,并将个性化的搜索结果呈现出来返回给用户。

2 局部特征和全局特征的提取

提取图像中的关键特征是准确描述图像和提高图像搜索准确性的前提与基础。图像中包含的信息众多,不同用户根据自身关注点的不同对图像有不同的理解,即对同一幅图像也会产生多种不同的特征描述。

基于聚类 and 用户兴趣模型的个性化图像搜索方法选取了局部颜色直方图^[11]和全局纹理特征这两种底层的视觉特性进行计算,采用线性融合的方法利用图像的局部颜色特征核函数和细节特征核函数,来构造图像的相似性计算公式,计算图像间的相似性。

在提取图像局部颜色特征部分,本文将图像分割成 9 个子块,分割方法如图 1 所示,而后将图

像变换到 HSV 颜色空间中再进行相应的特征提取。

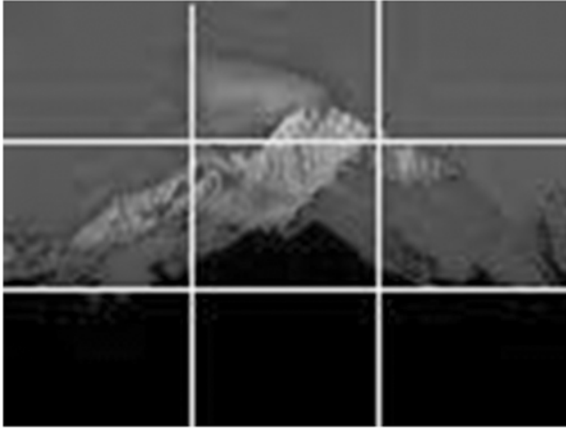


图 1 将图像划分若若干块

Fig. 1 Dividing image into nine blocks

将需要计算相似度的两幅图像分别用 x, y 表示,其对应的局部颜色直方图用 γ 和 ψ 来表示,则两幅图像间的颜色相似性可以用核函数来计算,如公式(1)所示:

$$K_1(x, y) = \exp\left\{\frac{-\chi^2(\gamma, \psi)}{\theta}\right\} = \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^m \exp\left\{\frac{-\chi_i^2(\gamma_j(i), \psi_j(i))}{\theta_i}\right\}, \quad (1)$$

其中, $\gamma_j(i)$ 和 $\psi_j(i)$ 为 x, y 的局部颜色直方图矢量, $i=1, 2, \dots, m$; $\theta=[\theta_1, \dots, \theta_m]$ 表示所有图像 χ^2 距离的平均值, χ^2 均值的计算公式为:

$$\chi^2(u, v) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(u_i - v_i)^2}{u_i + v_i}, \quad (2)$$

其中 u_i 和 v_i 是两副图像颜色直方图的分量。

在图像纹理特征提取部分,本文使用频谱法提取纹理特征,由于 Gabor 小波对于形状变化或者旋转的识别都有较好的鲁棒性,因而采用 2DGabor 小波提取图像的纹理特征,如图 2 所示。变换过程用图像卷积来表征,如公式(3)所示^[12]:

$$\Gamma_k(z) = \iint I(z') \psi_k(z - z') dz', \quad (3)$$

其中, z' 为滤波相对位置, z 为滤波框中心像素点坐标, $z=(x, y)$, $I(z)$ 代表图像数据, Gabor 滤波器定义为:

$$\psi_k(z) = \frac{k^T k}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{k^T k}{2\sigma^2} z^T z\right] \left(\exp(ik^T z) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right)\right), \quad (4)$$

其中 σ 为高斯函数的半径, k 代表波向量,满足:

$$k = (k_v \cos \varphi_\mu \quad k_v \sin \varphi_\mu)^T$$

$$k_v = 2^{-\frac{v+2}{2}} \pi, \varphi_\mu = \mu \frac{\pi}{8}, \quad (5)$$

其中, $v=0, 1, 2, 3, 4$, $\mu=0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}$, 参数 v 和 μ 分别定义了频率滤波器的方向。



(a)原始图像 (a)Original image
(b)Gabor特征图 (b)Gabor feature image

图 2 Gabor 特征提取示意图

Fig. 2 Schematic of Gabor feature extraction

通过公式(6)计算两幅图像的纹理相似性:

$$K_2(x, y) = \prod_{i=1}^m \exp\left\{\frac{-\chi^2(h_i(x), h_i(y))}{\lambda_i}\right\}, \quad (6)$$

其中, $h_i(x)$ 和 $h_i(y)$ 分别表示图像 x 和图像 y 的特征值数组, $\lambda=[\lambda_1, \dots, \lambda_m]$ 表示所有图像 χ^2 距离的平均值, χ^2 均值的计算使用公式(2)。

3 图像搜索方法设计

3.1 基于多核动态聚类的工作流程

本文算法融合多核相似性与动态聚类,引入基于核函数的聚类方法,工作流程如下:

(1) 设定参数聚类类别数 C , 以及允许误差 E_{\max} , 确定初始化聚类中心 $W_i(k)$, $i=1, \dots, C$;

(2) 采用公式(1)和公式(6)将输入空间的特征向量映射到高维特征空间中;

(3) 第 i 个子类的散度矩阵计算公式如下:

$$S_i = \sum_{X \in \chi_i} (X - \mu_i) (X - \mu_i)^T, \quad (7)$$

其中:

$$\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{y \in \Gamma_i} y. \quad (8)$$

由于使用散度矩阵的迹度量散度矩阵大小是一种有效的方法,它在最小化类内散度矩阵迹的同时,也最大化了类间散度矩阵迹,反映了聚集和

分离程度。故求出 trS_i , 并比较几个子类迹的大小, 将迹最大的子类划分, 按照相似度准则的标准进行二次聚类。直到实现预定的聚类数目, 这时得到新的聚类号。

3.2 建立用户兴趣模型的流程

建立用户兴趣模型流程如下:

(1) 对公式(1)和公式(6)加权融合后得到图像多特征融合相似度公式, 如公式(9)所示。并以此作为多核动态聚类算法的输入:

$$K(x, y) = \sum_{i=1}^m \alpha_i K_i(x, y), \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \quad (9)$$

其中, $\alpha_i \geq 0$, m 表示核函数的个数, 此处核函数的个数为 2, 则 $m=2$;

(2) 通过多核动态聚类算法完成数据库样本图像的聚类;

(3) 根据用户的搜索指标进行相关显示, 如果实验结果不达标, 则利用手动方式来人工选择感兴趣图像;

(4) 将用户选择的感兴趣图像及其聚类图像作为正例样本输送到 LSSVM 网络中进行训练, 从而确定分类面, 构建个性化用户兴趣模型;

(5) 训练完成后, 再一次查询样本库, 将用户兴趣优先级高的实验结果进行优先显示, 完成个性化搜索。

实验中选取了 Corel 图像库进行测试, Corel 图像库分成 25 个种类, 每类含有 100 幅总共 2 500 幅图像。选择的关键词, 包括典型的大象、非洲、马、恐龙、花、家具 6 组。每组关键词选取 60 幅图像, 这里选取 360 幅图像进行实验测试。



(b) LSSVM 训练后重新对数据库检索得到的结果
(b) Results of re-retrieved from database after LSSVM training

图 3 实验结果与分析

Fig. 3 Experimental results and analysis

图 3(a) 图为初次检索“花”的实验结果, 显然结果中仍然含有部分无关图片, 图 3(b) 是应用了用户兴趣模型与 LSSVM 网络动态聚类, 并按照图像与用户兴趣模型相似度的高低排序后的实验结果, 可以看出检索结果与用户给定的兴趣图像相似度性较高。实验中采用查全率与查准率进行系统评价, 公式定义如下:

$$\text{查全率} = \frac{\beta}{\beta + \eta}, \quad (10)$$

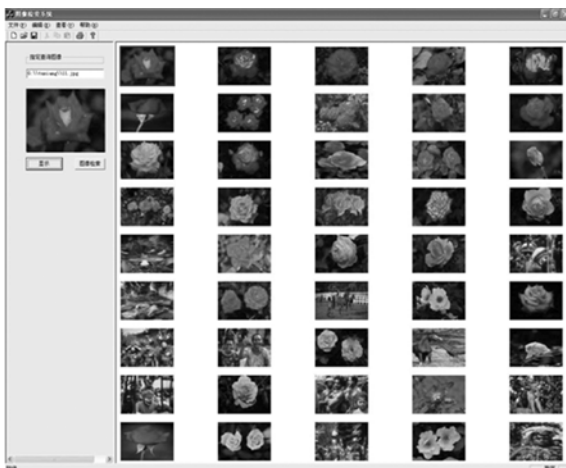
$$\text{查准率} = \frac{\beta}{\beta + \omega}, \quad (11)$$

其中: β 表示检索出的相关图片, ω 表示检索出来的不相关图片, η 表示未检索出的相关图片实验结果, 如表 1 所示。

表 1 传统基于内容的检索方法与本文算法的比较

Tab. 1 Comparison of traditional content-based retrieval and proposed algorithm (%)

检索词	单一颜色	单一纹理	文献 6 算法	本文算法
	查全率/ 查准率	查全率/ 查准率	查全率/ 查准率	查全率/ 查准率
非洲	77/70.2	54/48.4	73/71	82/81.5
恐龙	94/92	90/81.8	96/91	96/100
大象	78/79.2	81/78.5	82/83.5	86/85.3
花	66/58.4	45/41.3	76.6/77	80/77
马	72/77.6	52/46.5	79/81	80/82
家具	76/66.2	72/59.1	78/83.1	88/86



(a) 初次检索的结果
(a) Results of first searching

由表 1 可以看出,传统检索方法并未针对用户的需求建立兴趣模型,查询效果相对较差,而本文提出的检索方法建立了个性化的用户兴趣模型,使得用户的主观需求参与了检索,可以解决底层视觉特征与高层语义间的不匹配。通过对实验结果进行平均查全率和查准率的比较评估,所提出的方法比单一颜色特征的搜索算法分别提高了 8.2% 和 11.42%,比单一纹理特征方法分别提高了 19.7% 和 26.08%,比文献[6]中的方法分别提高了 4.5% 和 4.2%,改进效果明显。

参考文献:

- [1] GAO Y, PENG J, LUO H, *et al.*. An interactive approach for filtering out junk images from keyword-Based google search results[J]. *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, 2009,19(12): 1851-1865.
- [2] 方爽,殷俊杰,徐武平. 基于相似图片聚类的 Web 文本特征算法[J]. *计算机工程*, 2014(12):161-165, 171.
FANG SH, YIN J J, XU W P. Web Text Feature Algorithm based on similar image clustering [J]. *Computer Engineering*, 2014(12):161-165,171. (in Chinese)
- [3] YAN K, FENG X Y, HUANG H, *et al.*. A novel algorithm for filtering out junk images interactively from web search results[C]. *IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, 2010,8:195-199.
- [4] 段娜,王磊,等. 全局及其个性化区域特征的图像检索[J]. *计算机科学*, 2016, 43(s2):205-207.
DUAN N, WANG L, *et al.*. Image retrieval of global and personalized ROI adjustment of features [J]. *Computer Science*, 2016, 43(s2):205-207. (in Chinese)
- [5] 谷瑞军,陈圣磊,陈耿,等. 图像搜索结果的重叠层次聚类与代表点展现[J]. *计算机应用*, 2012(04): 1097-1100.
GU R J, CHEN SH L, CHEN G, *et al.*. Hierarchical overlapping clustering and exemplar visualization of images returned by search engine[J]. *Journal of Computer Applications*, 2012(04): 1097-1100. (in Chinese)
- [6] 张玉兵,宋威. 视觉特征的分块加权图像检索方法[J]. *计算机科学与探索*, 2017, 11(3):468-477.
ZHANG Y B, SONG W. Block weighted image retrieval method based on visual features[J]. *Journal of Frontiers of Computer Science & Technology*, 2017, 11(3):468-477. (in Chinese)
- [7] 吴晓雨,何彦,杨磊,等. 基于改进形状上下文特征的二值图像检索[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(1):302-309.
WU X Y, HE Y, YANG L, *et al.* Binary image retrieval based on improved shape context algorithm [J]. *Opt. precision Eng.*, 2015, 23(1):302-309. (in Chinese)
- [8] 谢莉,成运,曾接贤,等. 基于颜色和梯度方向共生直方图的图像检索[J]. *计算机工程与应用*, 2016, 52(10): 181-186.
XIE L, CHENG Y, ZENG J X, *et al.*. Image retrieval based on color and motif gradient direction co-occurrence histogram [J]. *Computer engineering and applications*, 2016, 52(10): 181-186. (in Chinese)
- [9] 翟铭喆,高玲. 基于加权颜色分层和纹理单元的图像检索算法[J]. *计算机应用*, 2016, 36(6):1668-1672.
ZHAI M H, GAO L. New image retrieval method based on weighted color stratification and texture unit[J]. *Journal of Computer Applications*, 2016, 36(6):1668-1672. (in Chinese)
- [10] FAN J, GAO Y, LUO H. Integrating concept ontology and multi-task learning to achieve more effective classifier training for multi-level image annotation[J]. *IEEE Transaction on Image Processing*,

4 结 论

针对现有的搜索引擎算法不能完整地评价用户的查询目的,同时代价较高的问题,本文提出了一种新的基于聚类 and 用户模型的个性化搜索算法,该算法改进了传统 LSSVM 需要过多用户参与的问题,将聚类结果作为正例样本送入 LSSVM 网络进行训练,不断调整分类面,将该分类面重新应用于数据库的图像检索,通过实验可以看出,构建了用户模型的搜索方式可以更加准确、全面地查找用户感兴趣的图片。

2008,17(3):407-426.

- [11] 汪华章,何小海,宰文姣. 基于局部和全局特征融合的图像检索[J]. 光学精密工程, 2008, 16(6): 1098-1104.

WANG H ZH, HE X H, ZAI W J. Image retrieval based on combining local and global features[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(6):1098-1104. (in Chinese)

- [12] 赵宏伟,谢永芳,曹斌芳,等. 基于 Gabor 小波和 LPP 的浮选过程泡沫纹理特征提取及应用[J]. 上海交通大学学报, 2014(7):942-947.

ZHAO H W, XIE Y F, CAO B F, *et al.*. Extraction and application of froth texture feature based on gabor wavelets and LPP in flotation process [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2014(7):942-947. (in Chinese)

作者简介:



郭璐(1983—),女,陕西西安人,高级工程师,2005年、2008年于西北工业大学分别获得学士、硕士学位,主要从事机器视觉及无人机测控方面的研究。
E-mail: tolovelulu@126.com



宋京(1995—),男,陕西宝鸡人,硕士研究生,2016年于长安大学获得学士学位,主要从事图像处理、深度学习的算法研究。E-mail: 1158940754@qq.com