

基于变换域中的自适应纹理图像检索

秦智康, 张衡阳

引用本文:

秦智康, 张衡阳. 基于变换域中的自适应纹理图像检索[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 281–286.

QIN Zhi-kang, ZHANG Heng-yang. Adaptive texture image retrieval based on transform domain[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 281–286.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0281>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于分块颜色直方图和GWLBP的图像检索算法

Image retrieval algorithm based on block color histogram and GWLBP

液晶与显示. 2017, 32(9): 755–763 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173209.0755>

基于小波域Curvelet变换的湍流图像去噪算法

Atmospheric turbulence image denoising algorithm based on wavelet-domain curvelet transform

液晶与显示. 2017, 32(11): 905–913 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173211.0905>

基于多重分形谱的木材高光谱图像纹理分类算法

Texture classification algorithm of wood hyper-spectral image based on multi-fractal spectra

液晶与显示. 2019, 34(12): 1182–1190 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193412.1182>

一种多尺度灰度共生矩阵的纹理特征提取算法

Multi-scale algorithm of texture feature extraction based on gray-level co-occurrence matrix

液晶与显示. 2016, 31(10): 967–972 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163110.0967>

基于谱残差和梯度纹理融合特征的舰船检测

Ship detection based on spectral residual and gradient texture fusion features

液晶与显示. 2019, 34(8): 803–815 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193408.0803>

文章编号:1007-2780(2020)03-0281-06

基于变换域中的自适应纹理图像检索

秦智康*, 张衡阳

(空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077)

摘要: 为了提升图像检索效率, 本文提出了基于变换域的自适应纹理图像检索算法。该算法首先使用二维离散小波变换来减小测试图像和训练的图像的尺寸, 并进一步在灰度共生矩阵应用 2 级分解图像的 LL 分量来进行训练和测试, 从而提取图像的纹理特征。最后结合形状特征和颜色特征通过融合不同的距离分类器来检索相似的图像。为了提升算法的自适应能力, 本文引入了交互式遗传算法来动态调整参数。实验结果表明, 在训练迭代次数为 30, 60, 100 的情况下, 本文算法的准确率达 67% 以上, 在图像检索领域有较高的应用价值, 具有性能稳定可靠、精度高等优点。

关键词: 图像纹理; 图像检索; 二维离散小波变换; 距离分类器

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203503.0281

Adaptive texture image retrieval based on transform domain

QIN Zhi-kang*, ZHANG Heng-yang

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University,
Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of image retrieval, an adaptive texture image retrieval algorithm based on transform domain is proposed. The algorithm uses two-dimensional discrete wavelet transform to reduce the size of the test image and the trained image, and further applies the LL component of the 2-level decomposition image in the gray level co-occurrence matrix to train and test to extract the texture features of the image, and finally combine shape features and color features retrieve similar images by fusing different distance classifiers. In order to improve the adaptive ability of the algorithm, an interactive genetic algorithm is introduced to dynamically adjust the parameters. The experimental results show that the accuracy of the proposed algorithm is above 67% when the number of training iterations is 30, 60, and 100. The algorithm has high application value in the field of image retrieval, and has the advantages of stable and reliable performance and high precision.

Key words: image texture; image retrieval; two-dimensional discrete wavelet transform; distance classifier

收稿日期: 2019-09-25; 修订日期: 2019-10-21.

* 通信联系人, E-mail: Qinzhi0911@163.com

1 引言

图像搜索在电子商务、医学影像、图像处理等领域都有重要地位。近年来,硬件技术的快速发展和计算机能力的增长为移动互联网爆炸式增长提供了条件,也导致互联网能获取大量图像数据。由于空间和时间的限制,图像以压缩格式表示。主流的图像检索系统分两个阶段运行:索引和搜索。在索引阶段,使用一组图像特征属性(例如颜色、形状、纹理和布局)来表示数据库的每个图像。提取的特诊存储在特征数据库中^[1]。在搜索阶段,当用户进行查询时,计算查询信息的特征向量。根据相似性标准将该向量与特征数据库中的向量进行比较,再将最相似的图像返回。学术界和工业界一直研究如何更高效地实现图片检索,孙世然等采用图像信息熵来提取图片的纹理特征,同时利用 Gabor 滤波器进一步提升了特征准确性,从而改进了检索的准确率^[2]。许喆等采用局部哈希的策略对图像特征点进行聚类操作,并利用映射链投票来降低复杂度,提升检索精度^[3]。王力采用 Hadoop 分布式系统采集图像 SURF 特征,并利用 K-Means 聚类方法将相似度高的图片进行聚合,提高了处理速度^[4]。文献^[5]采用多特征融合的图像检索算法,结合全局和局部特征来提升检索的成功率。文献^[6]利用颜色直方图和 GWLBP 结合,实现了图像的良好分类,提升了检索效率。

目前为止,对于图像搜索的研究在变换域中关于纹理特征的利用还不够充分^[7],大多采用固

定的参数实现纹理特征的提取^[8-12],本文研究工作将重点放在变换域中的特征提取,并利用自适应的方法动态调整变换域的参数,从而更加适用于更多类型的图片。

2 本文算法核心结构

图 1 显示了基于内容的图像检索系统的基本框图。

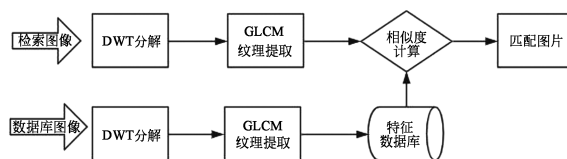


图 1 本文系统核心框架图

Fig.1 Core framework of the system

本文提出的方法比较了使用 DWT 的基于内容的图像检索与融合欧几里德距离(L2)、曼哈顿距离(L1)和标准欧几里德距离(标准 L2)的相似性匹配的性能。使用离散小波变换分解图像分量。在 DWT 之后,使用 GLCM 获取图像的低频分量(LL)用于纹理特征提取,然后将所有列车图像的最终特征向量存储在数据库中,同时对查询图像执行相同的过程。最后通过使用 L1、L2、标准 L2 的加权总和作为实际距离,检索前 5 个相似图像。

2.1 离散小波变换

用 W_φ 来表示图像变换结果,尺寸为 $N_1 \times N_2$ 的图像函数 $s(n_1, n_2)$ 的二维 DWT 可以表示为

$$W_\varphi(j_0, k_1, k_2) = \frac{1}{\sqrt{N_1 N_2}} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} s(n_1, n_2) \varphi_{j_0, k_1, k_2}(n_1, n_2), \quad (1)$$

$$W_\varphi^i(j_0, k_1, k_2) = \frac{1}{\sqrt{N_1 N_2}} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} s(n_1, n_2) \varphi_{j_0, k_1, k_2}^i(n_1, n_2), \quad (2)$$

其中: $i = \{H, V, D\}$ 表示小波函数的方向指数; j_0 表示任何起始标度,其可以被视为 $j_0 = 0$ 。

与其他变换相比,DWT^[6]的特点是同时考虑到了时间和频率特性,同时具有较强的鲁棒性,因此在很多领域得到广泛应用。从第一级到第三级的二维离散小波变换结果如图 2 所示,其中 L 为低频分量,H 为高频,数字 1 和 2 为离散小波变换的分解级别。子图像 LL 是低频分量,它是原始

图像的近似子图像;子图像 HL 是水平方向上的低频和垂直方向上的高频分量,它表示原始图像的水平边缘;子图像 LH 是水平方向上的高频和垂直方向上的低频分量,它表示原始图像的垂直边缘;子图像 HH 是高频分量,它表现出原始图像的倾斜边缘。显示原始图像的大部分能量包含在 LL2 低频区域中。并且相同尺寸的其他区域以不同角度反映图像的边缘特征。这里使用二维

离散 Haar 小波变换来分解图像。

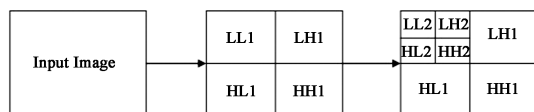


图2 二维离散小波变换结果

Fig.2 Two-dimensional discrete wavelet transform results

2.2 图像特征提取

图像的一个重要特征是纹理。为了描述区域的纹理特性,在图像处理中使用3种方法,这些方法是统计、结构和光谱的方法。统计方法通过光滑、粗糙、颗粒状、丝滑等来指定纹理的分类。常见的二阶统计方法是灰度共生矩阵。

灰度共生矩阵(Gray Level Co-occurrence Matrix, GLCM)方法基于条件概率密度函数,它包含了具有相似灰度值的像素位置的信息,包括方向和距离。在给定了方向和距离的情况下,可以计算符号灰度级像素 i, j , 如式(3)所示:

$$p(i, j | d, \theta) = \frac{p(i, j | d, \theta)}{\sum_i \sum_j p(i, j | d, \theta)}, \quad (3)$$

其中行数和列数等于图像中的灰度级别。矩阵元素 $p(i, j | d, \theta)$ 是由距离 d 分开的两个像素的相对频率, 可以看到, GLCM 是通过使用方向、距离、位置这3个属性的灰度级共现矩阵来提取纹理特征。

相似度: 它返回一个值用于衡量 GLCM 中元素分布的紧密程度。其范围为 $[0, 1]$ 。

$$H = \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2}. \quad (4)$$

图像能量: 灰度共生矩阵中的平方元素之和称为能量。其范围为 $[0, 1]$ 。恒定图像的能量为1。

$$E = \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}^2. \quad (5)$$

相关性: 返回一个像素与整个图像上领域的相似度。它的范围是 $[-1, 1]$ 。对于完全正相关或负相关的图像, 相关性为1或-1。

已经使用诸如欧几里德、曼哈顿和标准欧几里德距离的距离测量来确定特征向量的相似性。在本文实现的算法中, 欧几里德距离、标准欧几里德距离以及曼哈顿距离都用于比较图像之间的相似性。两个图像之间的距离主要用于查找、查询图像与数据库中图像之间的相似性。

欧几里得距离: 欧几里德距离的平方根与相应值之间距离的平方和。

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}. \quad (6)$$

曼哈顿距离: 它计算从一个数据点到另一个数据点距离的相应样本的差异总和。

$$d = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|. \quad (7)$$

标准欧氏距离: 将欧几里德距离根据标准化算法计算出来。标准值 = (原始值 - 平均值) / 标准偏差。

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2} (x_i - y_i)^2}. \quad (8)$$

2.3 自适应算法

相关反馈(RF)算法可以交互式地提高检索系统的有效性。传统的相关反馈算法由3个步骤组成: (a) 系统对用户提供的查询模式进行初始搜索, 返回少量图像; (b) 用户指出哪些检索到的图像是有用的(相关的); (c) 系统根据用户的相关性判断自动重新构造原始查询。此过程可以继续迭代, 直到用户满意为止。

本文提出以下算法来确定查询图像与图像数据库中图像之间的相似度:

步骤1: 输入需要查询的图像 I ;

步骤2: 将 RGB 颜色空间图像转换为 HSV 颜色空间;

步骤3: 将图像分成3个相等的非重叠水平区域;

步骤4: 计算3个区域的颜色通道, 以对应从查询图像 I 中的相似度;

步骤5: 使用公式(6)、(7)、(8)计算两个图像之间的距离 d 并存储到距离矩阵 dm 中;

步骤6: 数组 d 按升序排序, 与查询图像 I 相比, 对应于 d 的第一元素的图像是最相似的图像。

本文采用交互式遗传算法(IGA)来实现自适应^[13]。在图像检索的早期阶段, 系统的准确率较低, 返回的结果也较少, 在这种情况下先由较少的几个结果作为父代执行遗传操作, 并让用户反馈效果, 根据这些相关性反馈, 重新计算查询图像与数据库中图像之间的相似性。当用户对检索结果满意时, 系统终止。

用户输入查询图像, 最初执行所有数据库图

像的特征提取。执行每个查询图像的特征提取，完成使用交互式遗传算法的相似性测量结果显示。如果用户满意，则显示的结果是最终结果并且搜索结束。如果用户不满意，根据用户对检索结果的反馈再次使用遗传算法来搜索结果，并通过调整用户判断来计算相似度函数。如果用户仍不满意，则重复此步骤。在实际应用中，仅使用单个特征的检索结果可能是低效的，因此会导致整个遗传算法的执行次数过多，效率低下，因此为了获得更加高效的结果，本文使用颜色和纹理特征的组合。查询图像与数据库中图像之间的距离计算如下：

$$d = w_1 \times d_1 + w_2 \times d_2 \quad , \quad (9)$$

其中： w_1 是颜色特征的权重， w_2 是纹理特征的权重， d_1 和 d_2 是计算的距离。

3 实验和结果分析

本文用查准率度和召回率衡量检索系统的性能。查准率 p 等于检索到的相关图像数除以数据图像集中总的相关图像数，召回率 r 等于系统中检索到的相关图像数处于检索到的总的图像数^[14]。

本文采用 CIFAR-10 数据集进行测试，CIFAR-10 数据集有 50 000 训练图片和 10 000 测试图片^[15]，含有 10 类彩色图像，图像规格是 32×32。考虑颜色和纹理特征的组合不仅能够表达更多的图像信息，还能从不同方面描述图像以获得更详细的信息以获得更好的搜索结果。同时对于不同图片，其特征信息的权重也有所不同，本文对 CIFAR-10 中不同类型图像的权重设置如表 1 所示。

表 1 不同类型图像的权重选择

Tab.1 Weight selection for different types of images

类型	颜色	纹理	形状
飞机	0.25	0.21	0.54
汽车	0.23	0.36	0.41
鸟	0.31	0.42	0.27
青蛙	0.29	0.42	0.29
马	0.26	0.33	0.41
船	0.32	0.29	0.39

通过本文算法，经过训练之后，输入不同的图片类型，输出结果如图 3 所示。



图 3 检索结果

Fig.3 Search results

通过检索结果可以看到，本文算法搜索出的前 5 张图片准确度相对较高，都能够搜索出正确的结果。

本文的对比实验采用传统的 GA 算法、GA+传统的 DCT 变换以及本文提出算法。表 2 总结了不同训练迭代次数下的召回率和查准率对比，可以看到，在增加训练次数的情况下，不同的算法都在召回率和查准率上有所提高，同时本文算法准确率都优于对比的传统算法。

表 2 检索查准率和召回率对比

Tab.2 Comparison of search precision and recall rate

参数相关性	IGA	IGA+DCT	本文算法
$P(30)$	0.578 3	0.627 8	0.679 5
$P(60)$	0.592 1	0.640 2	0.698 1
$P(100)$	0.629 2	0.657 2	0.710 2
$R(30)$	0.121 4	0.189 2	0.193 4
$R(60)$	0.220 3	0.298 3	0.310 2
$R(100)$	0.341 5	0.352 0	0.387 1

4 结 论

提出了一个基于灰度共生矩阵的二维离散 Haar 小波变换算法,改进了基于内容的图像检索,该灰度共生矩阵用于提取图像的纹理特征,并采用 IGA 算法进行自适应。算法充分考虑了颜

色特征,纹理特征和形状特征,并融合了欧式距离、标准欧氏距离以及曼哈顿距离作为相似度量。通过实验可以看出,本文提出的算法能有效搜索到相似图片,同时在召回率和查准率上都优于传统算法,训练迭代次数为 30,60,100 的情况下,本文算法的准确率达到 67% 以上。实验证明本文的算法对于图像检索有较高的参考价值。

参 考 文 献:

- [1] 詹洪陈,王怀登,何菁,等.基于内容的图像检索[J].现代电子技术,2014,37(7):68-70.
ZHAN H C, WANG H D, HE J, *et al.* Content-based image retrieval [J]. *Modern Electronics Technique*, 2014, 37(7): 68-70. (in Chinese)
- [2] 孙世然,艾斯卡尔·艾木都拉,刘文华.基于信息熵和 Gabor 滤波器的图像检索[J].激光杂志,2011,32(2):24-26.
SUN S R, ASKAR H, LIU W H. Image retrieval based on the entropy value and the Gabor filters [J]. *Laser Journal*, 2011, 32(2): 24-26. (in Chinese)
- [3] 许喆,陈福才,李邵梅,等.基于多探寻局部敏感哈希和单词映射链投票的图像检索方法[J].计算机科学,2014,41(5):82-85,106.
XUZ, CHEN F C, LI S M, *et al.* Image retrieval based on multi-probe locality sensitive hashing and word map chain voting [J]. *Computer Science*, 2014, 41(5): 82-85, 106. (in Chinese)
- [4] 王立,陈军峰.Hadoop 分布式的海量图像检索[J].现代电子技术,2018,41(9):62-67.
WANGL, CHEN J F. Massive image retrieval based on Hadoop distribution [J]. *Modern Electronics Technique*, 2018, 41(9): 62-67. (in Chinese)
- [5] 李莉,冯林,吴俊,等.全局和局部特征的图像检索[J].中南大学学报,2018,25(2):259-276.(in English)
LI L, FENG L, WU J, *et al.* Exploiting global and local features for image retrieval [J]. *Journal of Central South University*, 2018, 25(2): 259-276.
- [6] 陈璐宇,周春艳.基于分块颜色直方图和 GWLBP 的图像检索算法[J].液晶与显示,2017,32(9):755-763.
CHEN L Y, ZHOU C Y. Image retrieval algorithm based on block color histogram and GWLBP [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(9): 755-763. (in Chinese)
- [7] GADELMAWLA E S. A vision system for surface roughness characterization using the gray level co-occurrence matrix [J]. *NDT & E International*, 2004, 37(7): 577-588.
- [8] 袁玉宝.基于相关反馈的图像检索技术研究[实现][D].长沙:国防科学技术大学,2002.
YUAN Y B. Research and implementation of image retrieval technology based on relevant feedback [D]. Changsha: National Defense University of Science and Technology of China, 2002. (in Chinese)
- [9] 范赐恩,冉杰文,颜佳,等.颜色空间统计联合纹理特征的无参考图像质量评价[J].光学精密工程,2018,26(4):916-926.
FAN C E, RAN J W, YAN J, *et al.* No-reference image quality assessment using joint color space statistical and texture feature [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, 26(4): 916-926. (in Chinese)
- [10] 郭璐,宋京,杜晶晶,等.基于聚类 and 用户兴趣模型的个性化图像搜索[J].光学精密工程,2017,25(10s):199-204.
GUO L, SONG J, DU J J, *et al.* Personalized image searching based on clustering analysis and user interest model [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(10s): 199-204. (in Chinese)
- [11] 陈燕芹,段锦,祝勇,等.基于纹理特征的图像复杂度研究[J].中国光学,2015,8(3):407-414.
CHEN Y Q, DUAN J, ZHU Y, *et al.* Research on the image complexity based on texture features [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(3): 407-414. (in Chinese)
- [12] 王丽.融合底层和中层字典特征的行人重识别[J].中国光学,2016,9(5):540-546.

- WANG L. Pedestrian re-identification based on fusing low-level and mid-level features [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(5): 540-546. (in Chinese)
- [13] 巩敦卫 郝国生,周勇,等.交互式遗传算法原理及其应用[M].北京:国防工业出版社,2007.
- GONG D W, HAO G S, ZHOU Y, *et al.* *Theory and Applications of Interactive Genetic Algorithms* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [14] 王春静,许圣梅.基于内容的图像检索的相似度测量方法[J].数据采集与处理,2017,32(1):104-110.
- WANG C J, XU S M. Effective similarity measure method for content-based image retrieval [J]. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 2017, 32(1): 104-110. (in Chinese)
- [15] RECHT B, ROELOFS R, SCHMIDT L, *et al.* Do CIFAR-10 classifiers generalize to CIFAR-10? [J]. *arXiv*, 2018,1806.00451.

作者简介:



秦智康(1996—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,2017 年于空军工程大学获得学士学位,主要从事变换域通信系统方面的研究。E-mail:Qinzhik0911@163.com