

文章编号: 2095-2163(2022)04-0110-05

中图分类号: TP181; G305

文献标志码: A

# 一种面向图像相似度计算的改进哈希算法

夏雨轩, 曲海成, 关茜文

(辽宁工程技术大学 软件学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

**摘要:** 图像相似度计算是图像匹配中的一个关键性问题,在网络搜索引擎和计算机视觉等领域有着广泛的应用。传统的哈希算法包括感知哈希、均值哈希、差异值哈希,采用离散余弦变换、主成分分析等方法处理图像,存在着方块效应等问题,为了解决传统算法的不足,本文提出一种基于 Gabor 小波图像轮廓提取和特征提取相结合的图像相似度计算方法。首先对待检测图像进行 Gabor 小波处理,提取出图像轮廓;然后使用固定阈值二值化增强图像轮廓;接着提出了一种幸存点提取的方法对图像再处理,得到图像的指纹;最后,提出一种比较所述指纹的方法,对 2 张图像的指纹全相联映射作商,若商值与 1 的距离小于设定阈值则记作 0,反之记作 1,得到一串由 0、1 组成的数,判断汉明距离,若小于自适应阈值,则认为 2 张图像相似。实验结果表明,本文提出 sHash 方法在图像发生视觉变换、光照变换、旋转变换下均能保持良好的相似度计算准确率,在主观视觉和客观指标上,均取得了较好的结果。

**关键词:** 图像匹配; 计算机视觉; 机器学习; 哈希方法; 抗几何攻击; 相似度计算; 轮廓提取; 汉明距离

## An improved hash algorithm for image similarity calculation

XIA Yuxuan, QU Haicheng, GUAN Qianwen

(School of Software, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125105, China)

**【Abstract】** Image similarity calculation is a key problem in image matching, which is widely used in network search engines and computer vision. Traditional hashing algorithms include perceptual hashing, mean hashing, and difference hashing. Using discrete cosine transform, principal component analysis and other methods to process images, there are problems such as block effect. In order to solve the shortcomings of traditional algorithms, this paper proposes an image similarity calculation method based on Gabor wavelet image contour extraction and feature extraction. Firstly, the image to be detected is processed by Gabor wavelet to extract the contour of the image, and the image contour is enhanced by binary image contour using the fixed threshold. Then, a method of surviving point extraction is proposed to reprocess the image to obtain the fingerprint of the image. Finally, a method of comparing the fingerprints is proposed. In the process of fully associative mapping quotient for fingerprints of two images, if the distance between the quotient and 1 is less than the set threshold, it is recorded as 0, otherwise it is recorded as 1, and a string of 0 and 1 is obtained. The number is used to judge the Hamming distance. If it is less than the adaptive threshold, the two images are considered to be similar. The experimental results show that the sHash method proposed in this paper can maintain a good accuracy similarity calculation under visual transformation, illumination transformation and rotation transformation. By referring to subjective vision and objective indicators, good results have been achieved.

**【Key words】** image matching; computer vision; machine learning; hash method; anti-geometric attack; similarity calculation; contour extraction; Hamming distance

## 0 引言

随着互联网的飞速发展,多媒体技术的广泛应用,互联网中的图像呈爆炸式增长,数量达到上千亿级。针对在海量数据库中寻找相似图像这一问题场景,常见的做法是先进行特征提取或者指纹生成,再计算图像的相似度。现有技术中有基于指纹生成的感知哈希(aHash)、均值哈希(pHash)、差异值哈希(dHash)算法,有基于特征提取的基于局部不变性

的 SIFT 算法,基于深度学习的神经网络模型。这些技术均能满足一定程度的需要,对于所述算法和模型,吴迎<sup>[1]</sup>采用基于 SIFT 和最临近匹配算法对图像相似度进行计算,精度略优于 3 种 Hash 算法。徐梦莹等人<sup>[2]</sup>采用 KAZE 与 aHash 结合的方法对相似图像进行匹配,正确率较高。胡新荣等人<sup>[3]</sup>采用改进 Hash 算法对图像相似度进行计算,鲁棒性较强。赵学敏等人<sup>[4]</sup>采用基于深度学习的以图搜图技术,提供了神经网络模型提取图片特征信息并用于照片档

**作者简介:** 夏雨轩(2001-),男,本科生,主要研究方向:机器学习、目标检测与模式识别、自然语言处理;曲海成(1981-),男,博士,副教授,主要研究方向:遥感影像高性能计算、计算机视觉信息处理;关茜文(2001-),女,本科生,主要研究方向:自然语言处理、机器学习、图像处理。

**通讯作者:** 曲海成 Email:quhaicheng@lntu.edu.cn

收稿日期: 2021-11-30

案管理的思路。陈世荣等人<sup>[5]</sup>采用改进的 aHash 对遥感图像格网进行相似度计算,提高了检测图像变化的精度。

Hash 算法对图像的缩放、光照等变换的适应性较差。SIFT 算法在求主方向阶段太过依赖图像局部像素的梯度方向,有可能使找到的主方向不准确,而后面的特征向量以及匹配严重依赖主方向,一旦有偏差效果会显著下降,且利用高斯滤波构建线性尺度空间来提取图片特征信息时容易造成图像边界清晰度下降和原始图像的细节丢失等问题,同时,图像金字塔的层数难于设定:如果层数少,会在匹配时出现误差;如果层数过多,则会造成 keypointer 数量过大,带来庞大的计算负担。而对于深度学习图像的方法,需要大量数据集去训练模型,且检索速度慢、适用场景固定。

在日常应用中,同一个物体会会有多种不同角度、不同亮度等的图像表达,这些不同会改变图像的具体表示数据,但并不改变图像的视觉本质内容,对于这类图像,通过传统算法处理得到的指纹应基本相同。

由上述论文的理论研究与支撑,针对图像匹配中相似度计算出现的问题,本文提出一种新的图像相似度计算方法,具有准确率高、无需训练、可移植性强等优点,在主观视觉评价和客观指标上均取得了较好的结果。

### 1 幸存哈希算法

本文提出的幸存哈希算法是一种基于无监督学习的哈希方法,无需大量带标签的数据集,无需考虑图像尺寸大小不同而造成的影响,通过将每 2 个幸存点间距离汇总进一个数组,全相联映射计算 2 个数组间所有距离的比值,并设定阈值遍历取满足条件的值的个数,通过公式计算图像相似度,达到匹配的最终目的。图 1 为幸存哈希算法的基本结构。

#### 1.1 Gabor 小波滤波器

在图像处理中,Gabor 函数是一个用于边缘提取的线性滤波器。Gabor 滤波器的频率和方向表达同人类视觉系统类似,与人类的视觉细胞对外界的刺激做出应激反应十分相似。在空间域中,一个二维 Gabor 滤波器是一个由正弦平面波调制的高斯核函数,可以增强边缘以及峰、谷、脊轮廓等底层图像特征,所以可以用来增强图片关键部位的局部特征,提高图片边缘轮廓的清晰度。

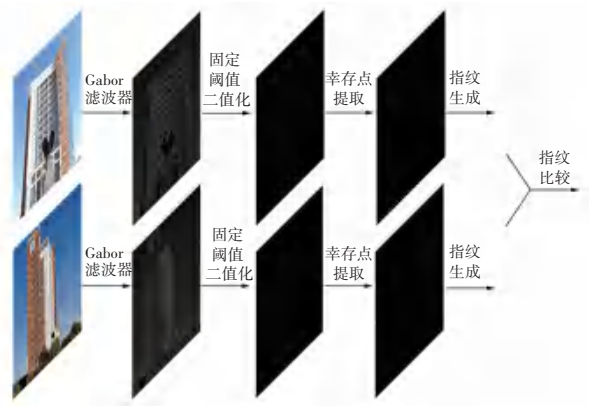


图 1 幸存哈希算法架构

Fig. 1 Survival hashing algorithm architecture diagram

二维 Gabor 小波的函数表达式为:

$$\Psi_{v,\mu}(Z) = \|k_{v,\mu}\|^2 e^{-(\|k_{v,\mu}\|^2 \|z\|^2)/2\sigma^2} (e^{ik_{v,\mu}z} \cdot e^{-\sigma^2/2}) / \sigma^2 \quad (1)$$

其中,  $k_{v,\mu}$  可由如下方式计算得到:

$$k_{v,\mu} = (k_v \cos \varphi_\mu, k_v \sin \varphi_\mu) \quad (2)$$

Gabor 小波滤波器和脊椎动物视觉皮层感受野响应的比较见图 2。图 2 中,第一行代表脊椎动物的视觉皮层感受野,第二行是 Gabor 小波滤波器,第三行是两者的残差。可见两者相差极小。Gabor 小波滤波器的这一性质,使其在视觉领域中经常被用在图像的预处理中。



图 2 Gabor 小波滤波器和脊椎动物视觉皮层感受野响应的比较  
Fig. 2 Comparison between Gabor wavelet filter and vertebrate visual cortex receptive field response

研究发现,Gabor 小波对于光照的敏感度较低,对光照有很好的适应性,同时可以容忍图片一定程度上由于旋转和变形而造成的误差,因此 Gabor 小波滤波器十分适合纹理表达、分离<sup>[6]</sup>与轮廓提取。N-Gabor 轮廓图如图 3 所示。

#### 1.2 固定阈值二值化

图像经过 Gabor 小波滤波器后可以被清晰地看见轮廓,但轮廓图有 256 个灰度等级,不方便进一步操作,故需对轮廓图进行二值化处理。图 4 为 N-Gabor 图像的灰度直方图。

二值化的算法分为固定阈值和自适应阈值,由 N-Gabor 图像的灰度直方图可知,若使用自适应二值化算法,可能导致 2 张形状完全不同、颜色近似的

图像在下面的步骤中被提取出位置基本一致的幸存点,因此使用固定阈值二值化算法,以127为固定阈值,选定像素灰度值小于127则定义为0,反之则定义为1。图5为N-Gabor图像经过固定阈值二值化处理后得到的N-G-binary图像。

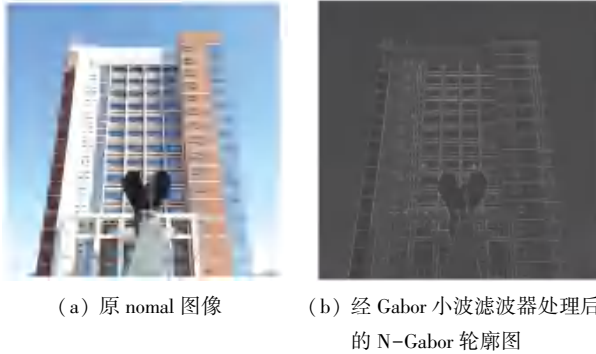


图3 N-Gabor 轮廓图

Fig. 3 N-Gabor skeleton map

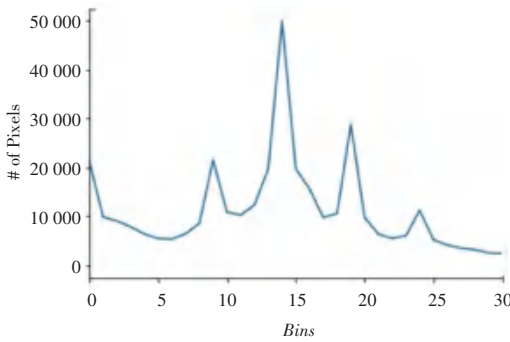


图4 N-Gabor 图像的灰度直方图

Fig. 4 N-Gabor gray scale histogram of images



图5 N-G-binary 图像

Fig. 5 N-G-binary image

1.3 幸存点定位

上述步骤得到的图的大小取决于原图分辨率,若图片过大,会影响计算效率,且图中灰度值为0的点存在十分密集的情况,故进行降采样与类似池化的操作。

将图片进行高斯模糊后删除偶数行与列,进行

上述操作若干次,直至图像大小变更为32×32;从左上角第一个像素开始,向右下角逐行进行遍历,每出现一个灰度值为0的点,建立一个以该点为左上角的矩阵,矩阵长为w/8,宽为h/8,其中w为N-G-binary图像宽度,h为N-G-binary图像高度。得到上述矩阵后,将除左上角像素外其余所有像素灰度值设置为1,即将N-G-binary图像中灰度值为0的点数量限制在64个以内,最终得到的灰度值为0的点如同幸存下来的点,故取名为幸存点。

1.4 幸存点测距与指纹生成

经上述步骤对图像进行处理后,从左上角第一个像素开始,向右下角逐行进行遍历,对得到的图像中所有灰度值为0的点间进行全相联映射做比,得到的最多63个距离即为该图片的指纹。

1.5 指纹比较

通过上述步骤得到待匹配图像的指纹后与数据库中预先采集完成的指纹进行全相联映射做比,得到最多63×63=3969个指纹比值,遍历所有指纹比值,对每一个比值,分别与其后面所有比值进行作商,最多产生7874496个商,若商的绝对值在

$$\left( \frac{\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}} - \frac{3\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{4\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}}, \frac{\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}} + \frac{3\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{4\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}} \right) \text{ 范围内, 即 [ 商的绝对值 ] } \in$$

$$\left[ \frac{\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{4\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}}, \frac{7\sqrt{h_{待}^2 + w_{待}^2}}{4\sqrt{h_{库}^2 + w_{库}^2}} \right], \text{ 则认为满足一次条件, } N_{满足} + 1, \text{ 其中 } h_{待} \text{ 为待检测图像的高, } w_{待} \text{ 为待检测图像的宽, } h_{库} \text{ 为数据库中预先得到的某图片的高, } w_{库} \text{ 为其宽, } N_{满足} \text{ 为满足条件的商的个数。最终使用数学公式进行相似度计算。相应计算公式可写为:}$$

件,  $N_{满足} + 1$ , 其中  $h_{待}$  为待检测图像的高,  $w_{待}$  为待检测图像的宽,  $h_{库}$  为数据库中预先得到的某图片的高,  $w_{库}$  为其宽,  $N_{满足}$  为满足条件的商的个数。最终使用数学公式进行相似度计算。相应计算公式可写为:

$$\text{相似度} = \frac{N_{满足}}{N_{比值}} \tag{3}$$

其中,  $N_{比值}$  为前文所述比值的个数。

2 实验结果与分析

为了验证本文算法的可靠性和实用性,本文选用了三维建筑物正面图像、侧面图像及其经Retinex增强图像、经典Mikolajczyk标准图像集中旋转变换(boat)组,共5张图像,做3组实验,分别对5组图像使用感知哈希算法、均值哈希算法、差异值哈希算法、幸存哈希算法计算其相似度。样本图像如图6所示。



(a) 建筑物正面图像

(b) 建筑物侧面图像

(c) 建筑物侧面图像 Retinex 增强



(d) 第一幅 boat

(e) 第五幅 boat

图 6 实验中所用的样本图像

Fig. 6 Sample images used in the experiment

本文选用的实验平台是 Windows10 操作系统家庭中文版, 配置为 Intel (R) Core (TM) i5 - 10300H CPU, 16 GB 内存, 编程环境为 Anaconda Spyder, 基于 OpenCV 进行实验, 选择算法准确率和算法的运行时间作为评价指标, 来对本文算法进行分析评估, 实验结果见表 1、表 2。

表 1 各算法在每组图片上计算的结果

Tab. 1 Results calculated by each algorithm on each set of images

图片组	感知哈希	均值哈希	差异值哈希	本文算法
(a)(b) 视觉变换	72.5	78.1	51.6	76.6
(b)(c) 光照变换	62.5	79.7	89.1	100
Boat 旋转变换	50.0	68.2	42.2	57.8

表 2 各算法在每组图片上计算的时间

Tab. 2 Time calculated by each algorithm on each set of pictures

图片组	感知哈希	均值哈希	差异值哈希	本文算法
(a)(b) 视觉变换	0.04	0.06	0.06	0.04
(b)(c) 光照变换	0.06	0.08	0.07	0.07
Boat 旋转变换	0.01	0.02	0.01	0.03

由表 1 可知, 对于视觉变换的图像, 本文算法计算得出的相似度仅次于均值哈希算法, 与其差距甚微; 对于光照变换的图像, 本文算法计算得出的相似度高达 100%; 对于旋转变换的图像, 本文算法略逊

色于均值哈希算法。可以推出本文算法对图像的具体表示数据有较准确的判断力, 对视觉本质内容识别表现良好。

由表 2 可知, 对于视觉变换和光照变换的图像, 本文算法运行效率高于其它 3 种算法; 对于旋转变换的图像, 本文算法表现稍差。

### 3 结束语

本文算法对于计算光照变换的图像相似度, 表现优异, 但对于旋转变换中视角变化大的图像, 效果欠佳, 而且在比较光照变换的图像过程中运行时间较长, 这将是后续研究的重点。

本文从网上采集多组数据, 同时也使用多种不同算法对图片进行相似度计算, 结果验证本文算法具有和人类视觉神经高度相似的特性, 对图像多种几何变换的适应性较强, 确实提高了图片相似度计算的准确率。

### 参考文献

[1] 吴迎. 基于 SIFT 和最邻近匹配的商品图像相似度算法[J]. 计算机与现代化, 2020 (10): 69-75.  
 [2] 徐梦莹, 刘文波, 蔡超, 等. KAZE 结合感知哈希的图像匹配算法[J]. 半导体光电, 2021, 42(01): 87-92.  
 [3] 胡新荣, 欧阳祥, 刘军平. 基于改进哈希算法的图像相似度计算[J]. 武汉纺织大学学报, 2020, 33(02): 74-80.