

SIFT 特征降维方法及其在图像检索中的应用

侯一民 隋文秀 孙晓雪

东北电力大学自动化工程学院, 吉林 吉林 132012

摘要 目前的图像检索技术主要利用图像的颜色、纹理、形状等特征来进行,其检索速度和精确度还不能满足用户需求。采用基于尺度不变特征变换(SIFT)的图像检索,但由于特征点数及维数太大,给检索的实时性造成了影响。对 SIFT 算法利用局部保持投影(LPP)的方法进行降维,以减少特征点的个数,并利用增强型近似最近邻方法,在匹配时加入了二次判定机制,对可能匹配的点对进行握手确认,从而可以提高匹配的精确度。通过图像库中 20 幅图像的实验验证,证明了改进的 SIFT 算法在图像检索中的实时性及匹配率的提高,可以很好地应用在图像检索中。

关键词 图像处理;图像检索; SIFT; 降维; 匹配

中图分类号 TN957.52 文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201542.s108002

SIFT Feature Dimension Reduction Method and its Application in Image Retrieval

Hou Yimin Sui Wenxiu Sun Xiaoxue

College of Automation Engineering, Northeast Dianli University, Jilin, Jilin 132012, China

Abstract Currently, image retrieval is based on images color, texture, shape and other characteristics to match. The speed and accuracy of retrieval can not meet the needs of users. Image retrieval based on scale invariant feature transform (SIFT) is carried on. But there are too many feature points and dimensions, which has an impact on real-time retrieve. Locality preserving projections (LPP) in SIFT is used to reduce dimension in order to reduce number of feature points. The enhanced approximate nearest neighbor method is used to improve the accuracy of the match. A secondary judgment mechanism is added, when it is matching. If they are possible match points, handshake confirmation is executed. Experimental results show that based on the experimental verification of 20 images in image library, the improved SIFT algorithm improves the timeliness and matching rate of image retrieval. So that, it can be well applied in image retrieval.

Key words image processing; image retrieval; scale invariant feature transform; dimension reduction; feature matching

OCIS codes 100.2960; 100.3005; 100.3008

1 引 言

随着计算机技术、多媒体技术及网络的迅速发展,图像多媒体信息来源不断扩大。图像作为一种内容丰富,表现直观的多媒体信息,长久以来一直受到人们的青睐。因此,图像信息的管理和检索变得越来越重要^[1]。基于内容的图像检索技术正是在这种环境下,成为近几年的研究热点之一。

当今流行的一些图像检索系统多利用图像的底层特征,如颜色、纹理、形状以及空间关系等。孙君顶^[2]提出了一种基于颜色及其空间分布特征的彩色图像检索算法,采用颜色空间分布熵来描述图像颜色的空间分布特征。狄波^[3]采用了一种基于状态转移矩阵的空间关系特征提取方法,并结合相关反馈查询方法对图像库中的图像进行检索。在利用纹理检索方面,蔡蕾^[4]提出了基于复数小波域广义高斯分布模型的纹理图像检索算法,并且采用 Kullback Leibler 距离测度来检索图像。安志勇等^[5]提出基于纹理图像检索算法,采

收稿日期: 2015-01-25; 收到修改稿日期: 2015-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(60662003)、吉林省科技发展计划项目(20150414051GH)、吉林市科技计划项目(201362507)

作者简介: 侯一民(1978-),男,博士,副教授,主要从事模式识别与智能系统、检测技术与自动化装置等方面的研究。

E-mail: ymh7821@163.com

用各尺度的小波能量值刻画图像的纹理性,并根据欧氏距离计算不同图像间的纹理相似度。而在利用形状及空间关系进行检索中,董卫军等^[6]通过对图像进行小波变换,获得形状和空间关系的综合特征,并将其作为图像相似性的衡量依据。李剑^[7]提出了一个基于多维隐马尔科夫模型的图像分类算法,利用改进的边界跟踪法进行形状特征提取。

这些特征对于图像检索有着不同的作用,但是同时也存在着缺陷。颜色特征对图像的方向、大小等变化不敏感,不能很好地捕捉到图像中感兴趣部分的局部特征;纹理特征只是物体表面的一种特性,当物体受到光照、反射等影响时,会产生虚假的纹理,对检索结果产生误导;空间关系特征对图像或者目标的旋转、平移、缩放变换等比较敏感,并且不能准确地表达图像的信息。图像检索领域亟需一种能够对目标进行检索,并且对图像在旋转、平移、缩放乃至仿射不变的检索算法。

本文提出了一种基于尺度不变特征转换(SIFT)提取的图像检索算法,并利用局部保持投影(LPP)进行降维,从而降低算法运算时间,提高计算机处理的实时性。在特征匹配时,应用增强型近似最近邻匹配方法。该方法在匹配时加入了二次判定机制,对可能匹配的点对进行握手确认,因此确保了匹配的正确率。

2 SIFT 算法原理

SIFT 算法是由加拿大 Lowe 于 1999 年提出的一种基于图像局部特征的描述子并于 2004 年做了完善^[8]。SIFT 特征点对于图像的尺度和旋转有很好的不变性,对于光照和三维(3D)视角也能保持一定的稳定性,所以被国际公认为是效果良好的特征点匹配方法。SIFT 图像特征的主要计算步骤如下:

1) 构建尺度空间:利用高斯核函数对原始图像进行尺度变换,检测稳定关键点的位置,利用高斯差分函数计算不变倍增因子 k 的两个相邻尺度图像差。

2) 关键点的精确定位:通过一种三维二次函数的拟合,精确确定关键点的位置和尺度,同时剔除对比度低的候选关键点。此外 DoG 算子会产生较强的边缘响应,故需要去除不稳定的边缘响应点。

3) 确定特征点的主方向:计算以极值点为中心的局域图像梯度的幅角和幅值。利用直方图统计邻域像素的梯度方向,直方图的峰值所对应就是特征点的主方向。如果存在相当于最高峰值 80% 的峰值,则将其作为特征点的辅方向。

4) 生成特征向量描述子:图 1 为 SIFT 描述子的形成事例。一个特征点共有 128 个数据,也就是 128 维特征向量。

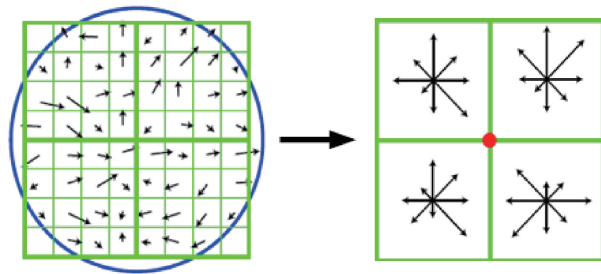


图 1 SIFT 描述子的形成事例。(a)关键点周围区域图像梯度;(b)关键点描述子

Fig. 1 Forming case of SIFT descriptors. (a) Image gradient around key points; (b) key descriptors

3 SIFT 降维方法

128 维的特征向量可以较为全面地描述图像的局部特征,并且拥有很强的局部特征匹配能力。但一幅图片可能存在成百上千个特征点,一个特征点又有 128 维的特征向量,对于一幅图像来说,要用这些特征向量在图像库中寻找与之距离最近的向量,可想而知其工作量的巨大,这就会导致匹配的时间增长,降低了匹配的实时高效性。为了解决这一问题,对 LPP 进行降维,该算法通过最小化局部离散度提取投影方向,有效地保持了数据之间的局部内在结构信息^[9]。LPP 可以提取最具有判别性的特征来进行降维,因而很好地保留数据的局部信息。

LPP 算法是非线性拉普拉斯特征映射(LE)的线性近似。计算广义特征问题的特征向量和特征值问题:

$$XLX^T\alpha = \lambda XDX^T\alpha, \tag{1}$$

式中 D 是一个对角矩阵,其输入为 W 的每一列(或行,因为 W 是对称的)之和, $D_{ii} = \sum_j W_{ji}$, $L = D - W$ 是拉普拉斯矩阵。假设 α 是一个转换向量,那么, $y^T = \alpha^T X$ 。通过简单的代数公式,目标函数可以简化为

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \sum_{ij} (y_i - y_j)^2 W_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{ij} (\alpha^T x_i - \alpha^T x_j)^2 W_{ij} \\ &= \sum_i \alpha^T x_i D_{ii} x_i^T \alpha - \sum_{ij} \alpha^T x_i W_{ij} x_j^T \alpha \\ &= \alpha^T X(D - W)X^T \alpha \\ &= \alpha^T XLX^T \alpha, \end{aligned} \tag{2}$$

式中 $X = [x_1, x_2, \dots, x_m]$, 矩阵 D 提供了一个数据点的自然衡量方法。 D_{ii} 的值越大(对应于 y_i), y_i 就越重要。因此,施加约束条件为

$$y^T D y = 1 \Rightarrow \alpha^T X D X^T \alpha = 1, \tag{3}$$

最后,最小化问题简化为寻找 $\arg \min_{\alpha^T X D X^T \alpha = 1} \alpha^T XLX^T \alpha$ 。

通过上述 LPP 算法对 SIFT 进行降维后,可以将待检索的图片的特征点数进行减少(图 2),从而使得检索计算的复杂程度有所降低。



图 2 经过 LPP 降维后的图像特征点数目变化

Fig. 2 Number change of image feature points after dimension reduction by LPP

从图 2 中可以发现,经过降维后的图像在特征点个数方面有了明显的减少,去除了一些明显不是特征的点和一些边缘噪声干扰点。这就对后续的特征匹配阶段减轻了计算量,从而提高了检索算法的实时高效性。

4 匹配方法及检索流程

4.1 增强型近似最近邻匹配方法

对于图像匹配来说,提取特征点匹配的正确率尤为重要。目前最主要运用的方法是近似最近邻匹配方法,但该方法的缺点是:即使满足了阈值条件,也无法完全断定这是一对正确的匹配点。因此采用了一种增强型的近似最近邻匹配方法^[10],匹配时加入了二次判定机制,对可能匹配的点对,进行握手确认。

假设 M 和 N 是两个特征点集, T_1 和 T_2 是判定最近邻和次最近邻点对的阈值,如果 $N_i, N_j \in N$ 分别是距离 $M_i \in M$ 最近邻和次最近邻的特征点,如果满足阈值条件,那么 N_i 就是 M_i 的一个可能匹配点。然后对 N_i 的匹配点进行反向验证。上述匹配过程如图 3 所示。

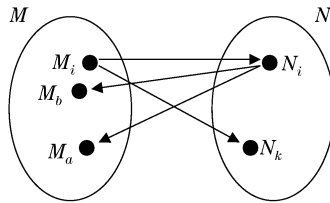


图 3 增强型近似最近邻匹配

Fig. 3 Enhanced approximate nearest neighbor match

通过上述方法可以实现待检索图像与图像库中图像的特征匹配,同时也达到了正确率高的效果。匹配的结果如图 4 所示,从图 4 可以看出,虽然有极个别的特征点匹配的不准确,但总体来说,图片在不同角度拍摄的情况下,匹配算法也能较为准确地进行特征点的匹配。

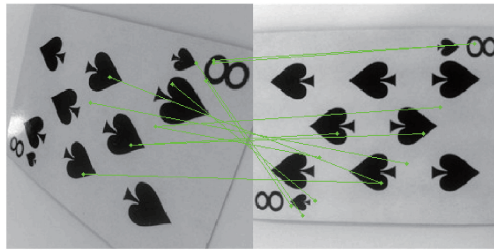


图 4 一幅旋转图像的匹配结果

Fig. 4 Matching results after rotating an image

4.2 检索流程

检索流程如图 5 所示。首先将待检索图像与数据库中的目标图像分别进行尺度空间的构建、局部极值点检测、关键点的定位以及生成特征向量描述子,这样就完成了基本的 SIFT 算法。随后,对原始 SIFT 算法进行 LPP 降维。最后,利用增强型近似最近邻方法进行特征点的匹配,从而完成图像的检索。为了验证改进后的算法相较原算法的优越性,对改进后的 SIFT 算法与原算法进行实验对比分析,得出改进后的算法在匹配速率及准确性方面的提高。

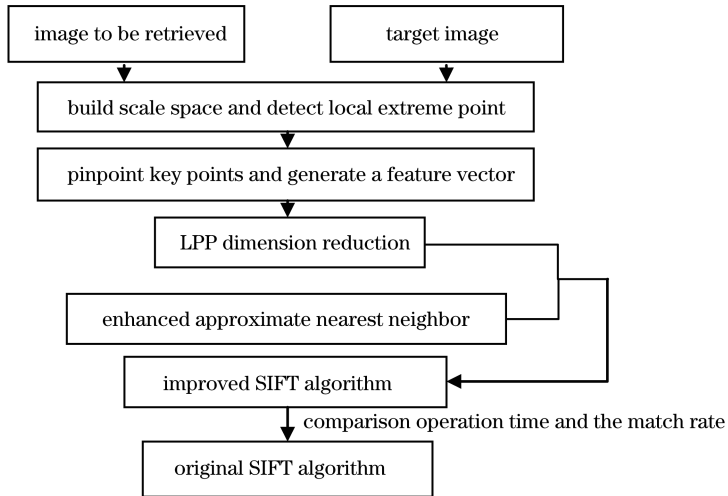


图 5 改进 SIFT 算法的图像检索流程

Fig. 5 Process of improved SIFT algorithm for image retrieval

5 实验分析

选取了包含建筑、动物、花类、运动、汽车五大类的 300 幅图片作为实验数据库。为了验证改进算法在匹配滤波方面的效果,选取图像库中的图像,并分别在添加椒盐噪声和不同角度拍摄的情况下进行匹配,得到的结果如图 6 和图 7 所示。

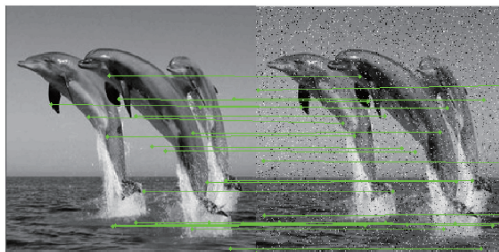


图 6 添加椒盐噪声时的匹配结果

Fig. 6 Matching results adding salt and pepper noise



图 7 不同角度情况下的图像匹配结果

Fig. 7 Image matching results from different angles

从图中可以看出,改进的 SIFT 算法在旋转和有噪声情况下都能达到较为不错的匹配效果,证明了改进的 SIFT 算法的稳定性。为了验证该算法在不同图像中的匹配准确率,从每类中各选取 4 幅图片作为代表,使用改进后的 SIFT 算法对这 20 幅图像进行特征匹配,得到的结果如表 1 所示,表中的黑色代表匹配率为 0;灰色代表匹配率为 0.01~0.049;蓝色代表匹配率为 0.05~0.099;绿色代表匹配率为 0.1~0.19;黄色代表匹配率为 0.2~0.5;红色代表匹配率为 1。其中,匹配率的计算为匹配的特征点数除以待检索图像的特征点总数。

表 1 改进的 SIFT 图像匹配结果

Table 1 Image matching results by improved SIFT

	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue
	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Red

由表 1 可以看出,在这 20 幅图像当中,只有本身的图片匹配率为 1,其他相似的图片的准确率接近 0.5,如第 14 和第 16 幅图片可以看出,本身相似的两幅图片,其匹配度达到 0.462 和 0.395;第 17 和第 20 幅图片,其匹配率也达到了 0.394 和 0.353,均高出其他图片的匹配率很多。而有些不相关的图像匹配率甚至为 0,这就说明改进的 SIFT 在匹配率方面能达到较为不错的效果。将图像在平移、旋转、缩放的情况下的匹配结果进行总结概括,以表 1 中第一行的第 16 幅图为例,可以得到表 2 的结果,其中,图像库中的图像为 I_1 ,待匹配的图像为 I_2 。另外,在匹配速率方面,改进的算法也较原始算法有了一定地提高,实验结果采用 1 幅图像和包含其在内的 300 幅图像的一轮匹配时间作为统计依据,得到的匹配时间再平均分配给每一幅图像,得到的结果如表 2 所示。从结果可以看出,改进后的 SIFT 算法在图像匹配速率方面有了较大地提高,这就使得匹配的等待时间大大地缩短,提高了检索的实时性。

表 2 改进的 SIFT 算法与原 SIFT 算法在不同情况下的实验对比

Table 2 Experimental comparison of improved SIFT algorithm and the original SIFT algorithm in different situations

Algorithm	Matching time	Translation			Matching rate	Rotation			Matching rate
		The number of feature points of I_1	The number of feature points of I_2	The number of matching points		The number of feature points of I_1	The number of feature points of I_2	The number of matching points	
Original SIFT algorithm	2.8 s	116	88	35	30.2%	116	113	42	36.2%
Improved SIFT algorithm	0.5 s	39	30	21	53.8%	39	29	22	56.4%

Algorithm	Matching time	Zoom			Matching rate
		The number of feature points of I_1	The number of feature points of I_2	The number of matching points	
Original SIFT algorithm	2.8 s	116	113	38	32.8%
Improved SIFT algorithm	0.5 s	39	43	18	46.2%

6 结 论

针对图像检索在图像目标在旋转、平移、缩放等情况下不能很好实现检索的问题,提出一种基于改进的 SIFT 特征提取的图像检索算法。该算法将原本利用图像内容进行检索的方法转换成利用图像特征点的 128 维特征向量来进行检索,通过 LPP 方法进行降维并计算向量之间的增强型近似最近邻方法实现匹配。实验结果表明该算法能较好地表达图像的内部特征,具有较好的匹配率以及实时性。事实上,SIFT 的局部特性对于被截取的部分图像也有很好的检索效果。如果能够将该图像特征与图像的全局特征如颜色、纹理、空间关系等相结合,将能得到更好的检索效果。

参 考 文 献

- 1 Fu Shaohong, Lei Juxia. Internet Information Resources Retrieval and Utilization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 符绍宏,雷菊霞.因特网信息资源检索与利用[M].北京:清华大学出版社,2005.
- 2 Sun Junding. Research of Content-Based Image Retrieval Technology[D]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University, 2005. 孙君顶.基于内容的图像检索技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2005.
- 3 Di Bo. Research of Content-Based Visual Information Retrieval Technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology,2007. 狄 波.基于内容的视觉信息检索技术研究[D].成都:电子科技大学,2007.
- 4 Cai Lei. Research of Texture-Based Image Retrieval Method[D]. Changchun: Jilin University,2007. 蔡 蕾.基于纹理的图像检索方法研究[D].长春:吉林大学,2007.
- 5 An Zhiyong, Zeng Zhiyong, Zhao Shan, et al.. Texture-based image retrieval[J]. Optoelectronics • Laser,2008, 19(2):230-231. 安志勇,曾智勇,赵 珊,等.基于纹理特征的图像检索[J].光电子•激光,2008, 19(2):230-231.
- 6 Dong Weijun, Zhou Mingqun, Geng Guohua. Image retrieval technology based on shape-spatial relationship[J]. Computer Engineering, 2005, 31(20):170-171. 董卫军,周明全,耿国华.基于形状-空间关系的图像检索技术[J].计算机工程,2005, 31(20):170-171.
- 7 Li Jian. Image Retrieval Technology Based on Shape[D]. Suzhou: Soochow University,2009. 李 剑.基于形状的图像检索技术研究[D].苏州:苏州大学,2009.
- 8 Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. Computer Vision, 1999. The proceedings of the seventh IEEE international conference on. IEEE, 1999,2: 1150-1157.
- 9 He Xiaofei, Partha Niyogi. Locality Preserving Projections [D]. Chicago: The University of Chicago,2003.
- 10 Liu Yan. Image feature description of color and scale invariant[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2012, 33(10):2300-2301. 刘 岩.尺度与颜色不变性图像特征描述[J].小型微型计算机系统,2012,33(10):2300-2301.

栏目编辑: 苏 岑