一种基于图像特征点提取及匹配的方法

张少辉 沈晓蓉 范耀祖

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院，北京 100083)

摘 要：针对图像特征提取与匹配的适应性和准确性的问题，将尺度不变特征变换(SIFT，Scale Invariant Feature Transform)算法应用到图像匹配领域. 首先从原理上对 SIFT 算法的特性进行了分析，并以 visual studio 2005 为开发平台对 SIFT 算法分步骤进行了实现；最后以基于欧氏距离的最近邻准则作为特征的相似度量将 SIFT 算法提取的特征应用于图像特征匹配，并对不同的近邻比进行比较，给出了建议值. 通过 3 组实验图像的匹配结果表明，SIFT 算法提取的特征对图像缩放、旋转、亮度变化的匹配正确率都等于或接近 100%，证明了 SIFT 算法提取的特征点有很好的适应性和准确性，可以进一步应用到图像识别以及图像重建等领域.

关 键 词：特征提取；特征匹配；尺度不变特征变换；尺度空间

中图分类号：TP 391

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)05-0516-04

Method in image's feature extraction and matching

Zhang Shaohui Shen Xiaorong Fan Yaozu

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To solve the problem of adaptability and accuracy in the field of image feature extraction and feature matching, the method of scale invariant feature transform (SIFT) was introduced. Firstly the characteristics of the SIFT method were analyzed by theory, and the SIFT method was implemented step by step on the visual studio 2005 platform; Then the features extracted by SIFT method were applied to match images on the criterion of nearest neighbor based on Euclidean distance. A suggestion value bound was given by comparing the matching result of different nearest ratio. At last the effect of the SIFT method was validated by the matching result of three different groups of images. The matching result shows that the features extracted by SIFT method are invariant to image scale, rotation and illumination change, and the matching accuracies are all equal or close to 100%. These results prove that the features extracted by SIFT method have excellent adaptive and accurate characteristics, which are useful for the fields of image recognition, image reconstruction, etc.

Key words: feature extraction; feature matching; scale invariant feature transform; scale space

在图像特征提取与匹配领域中，如何提取稳定的特征，提高匹配的准确度是一个关键的问题. 尺度不变特征变换(SIFT，Scale Invariant Feature Transform)方法[1]，主要思想是利用多尺度变换在尺度空间中寻找极值点，提取特征点位置和方向，使其对图像缩放、旋转、光线变化甚至仿射变换保持不变. 本文将 SIFT 算法提取的特征用于图像匹配，并对匹配结果进行了实验验证.

1 SIFT 算法

1.1 SIFT 算法分析

1) 多尺度空间和降采样方法

收稿日期：2007-05-08

基金项目：北京市教育委员会共建项目(BHBJZD-1-5)

作者简介：张少辉(1982—)，男，山东青岛人，硕士生，zhanahohui-3@163.com.

为了模拟人类在不同距离观察事物的过程,形成了多尺度空间方法[2-3].经研究发现高斯函数是唯一的尺度空间内核函数[4-6].SIFT 算法定义图像尺度空间函数为 $\boldsymbol{L}(x,y,\sigma)$,输入图像用 $\boldsymbol{I}(x,y)$表示,利用高斯内核函数对输入图像进行卷积操作,则有

$$\boldsymbol{L}(x,y,\sigma)=\boldsymbol{G}(x,y,\sigma)\otimes\boldsymbol{I}(x,y) \tag{1}$$

其中,$\boldsymbol{G}(x,y,\sigma)$为尺度可变高斯函数,其元素的计算公式如下:

$$g(x,y,\sigma)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\mathrm{e}^{-(x^2+y^2)}/2\sigma^2 \tag{2}$$

其中,(x,y)为空间坐标;σ 为尺度坐标.采用不同的 σ 对图像进行高斯卷积,得到高斯图像金字塔,从而增强 SIFT 算法对于图形缩放的适应能力.

2) 求高斯差分空间极值

高斯差分(DOG,Difference of Gaussian)函数为

$$\boldsymbol{D}(x,y,\sigma)=(\boldsymbol{G}(x,y,k\sigma)-\boldsymbol{G}(x,y,\sigma))\otimes\boldsymbol{I}(x,y)=\boldsymbol{L}(x,y,k\sigma)-\boldsymbol{L}(x,y,\sigma) \tag{3}$$

其中 k 为常数.Mikolajczyk 通过实验发现相对于其他的特征提取函数,通过求高斯拉普拉斯函数 $\sigma^2\nabla^2 G$ 的最大和最小值能得到最稳定的图像特征点[7],并且由于

$$\boldsymbol{G}(x,y,k\sigma)-\boldsymbol{G}(x,y,\sigma)\approx(k-1)\sigma^2\nabla^2\boldsymbol{G} \tag{4}$$

所以用 DOG 函数也可以得到最稳定的图像特征点.每一个采样点要和它所有的相邻像素点进行比较,看是否为其所在图像域和尺度域的检测邻域中的极值点.从而 SIFT 算法能够获取稳定的图像特征点.

3) 去除低对比度点和边缘响应点

DOG 空间极值有对噪声敏感的低对比度点和对边缘响应敏感的边缘响应点.

低对比度点去除:将尺度空间函数 $\boldsymbol{D}(x,y,\sigma)$ 泰勒展开,求其导数并将其值设为 0,可以得到极值处的 $\hat{\boldsymbol{X}}$.

$$\hat{\boldsymbol{X}}=-\frac{\partial^2\boldsymbol{D}^{-1}}{\partial\boldsymbol{X}^2}\frac{\partial\boldsymbol{D}}{\partial\boldsymbol{X}} \tag{5}$$

$\hat{\boldsymbol{X}}$ 加到其样本点上从而得到在极值位置处的插值估计值

$$\boldsymbol{D}(\hat{\boldsymbol{X}})=\boldsymbol{D}+\frac{1}{2}\frac{\partial\boldsymbol{D}^{\mathrm{T}}}{\partial\boldsymbol{X}}\hat{\boldsymbol{X}} \tag{6}$$

将 $\boldsymbol{D}(\hat{\boldsymbol{X}})$ 小于某一阈值的点视为低对比度点去除.

边缘响应点去除:一个定义不好的高斯差分算子的极值在横跨边缘的地方有较大的主曲率,而在垂直边缘的方向有较小的主曲率.由于 $\boldsymbol{D}$ 的主曲率和 Hessian 矩阵 $\boldsymbol{H}$ 的特征值成正比,为了检测主曲率是否在某域值 γ(γ 为 $\boldsymbol{H}$ 阵最大特征值与最小特征值的比值)下,只需检测

$$\frac{(\mathrm{tr}\,\boldsymbol{H})^2}{\det\boldsymbol{H}}<\frac{(\gamma+1)^2}{\gamma} \tag{7}$$

去除了低对比度点和边缘响应点,提高了 SIFT 算子的抗噪声能力.

4) 赋予特征点方向信息

计算特征点(x,y)处梯度的模值和方向.在以特征点为中心的邻域窗口内采样,并用直方图统计邻域像素的梯度方向.直方图的峰值代表了该特征点处邻域梯度的主方向,即作为该特征点的方向.保证了 SIFT 算法特征点提取具有旋转不变性,同时以子区域的统计特性代替单个像素作为研究对象,提高了对图像局部变形的适应能力.

5) 赋予特征点算子描述符向量

在特征点描述符生成过程中,在处理梯度幅度时进行了类似于高斯函数的加权处理,强化了中心区域,淡化了边缘区域的影响,提高了 SIFT 算子对几何变形的适应性;最后将描述符向量长度归一化,也减小 SIFT 算子对光照变化的影响.

1.2　SIFT 算法实现

SIFT 算法的实现包括 4 个步骤:

1) 检测尺度空间极值点.首先创建 DOG 金字塔多尺度空间.在 DOG 空间中,中间的检测点和它同尺度的 8 个相邻点和上下相邻尺度对应的 9×2个点共 26 个点比较,以确保在尺度空间和二维图像空间都检测到极值点.通过以上方法获取的特征点称为候选特征点.

2) 精确确定极值点位置.将式(6)计算出所有 $\boldsymbol{D}(\hat{\boldsymbol{X}})$中小于 0.008 的候选特征点视为低对比度候选极值点过滤掉.取 $\gamma=10$,如果主曲率间的比值大于 10,则认为该点是位于边缘而被过滤掉,余下的则为 SIFT 特征点.

3) 为每个特征点指定方向参数.梯度直方图的范围是 0～360°,取每 10°一个柱,总共分 36 个柱进行方向直方图的统计计算,为特征点赋予方向参数.

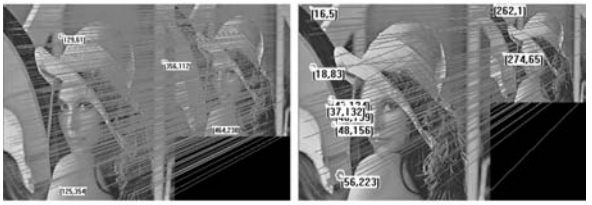
4) 特征点描述子的生成.首先将坐标轴旋转为特征点的方向,对任意一个特征点,在其所在的尺度空间取以特征点为中心的 16×16 大小的邻域,再将此邻域均匀地分为 4×4 个子区域,对每个子区域计算梯度方向直方图(8 个方向);然后,对 4×4 个子区域的 8 方向梯度直方图根据位置依次排序,这样就构成了一个 4×4×8 = 128 维

的向量,然后将特征向量长度归一化,该向量就是SIFT特征点描述子.

2 实验结果及分析

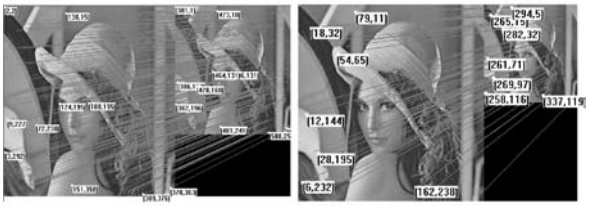
以visual studio2005为开发平台对SIFT算法进行了实现,通过两幅图像之间的匹配结果对SIFT算法进行检验,使用基于欧几里德距离的最近邻法作为衡量图像相似性的原则进行图像匹配,并对不同的近邻比 τ(0.6,0.2)进行了对比,匹配结果图中以连线表示匹配成功,误匹配点以椭圆标志.

第1组图像用来检验算法对于缩放的适应能力.分别将图像放大了1.5倍和缩小为原图的1/2,匹配图如图1、图2,匹配结果见表1.



a 放大图与原图匹配结果 b 原图与缩小图匹配结果

图1 τ=0.6缩放匹配结果



a 放大图与原图匹配结果 b 原图与缩小图匹配结果

图2 τ=0.2缩放匹配结果

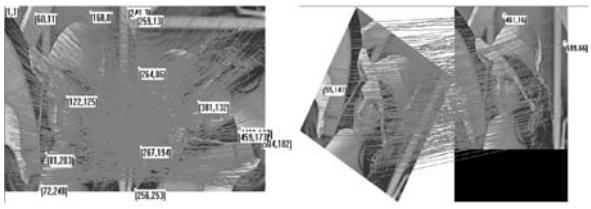
表1 第1组图像的匹配结果

图 像	提取点数	匹配点数	匹配率/%	误匹配	正确率/%
放大图(τ=0.6)	2841	583	77.3	2	99.4
缩小图(τ=0.6)	151	124	82.1	5	96.0
放大图(τ=0.2)	2841	316	41.9	0	100
缩小图(τ=0.2)	151	65	43.0	0	100

第2组图像用来检验算法对于旋转变化的适应能力.分别将图像逆时针旋转了90°,顺时针旋转了30°,匹配图如图3、图4,匹配结果见表2.

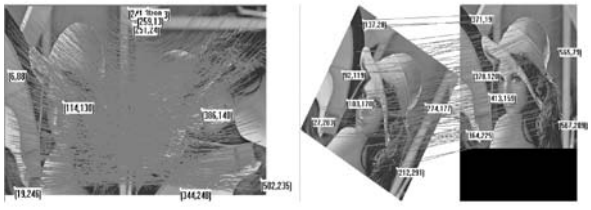
第3组图像用来检验算法对于光照变化的适应能力.分别将图像增加亮度40和减少亮度30,匹配图如图5,匹配结果见表3.

表2 第2组图像的匹配结果



a 逆时针与原图匹配结果 b 顺时针与原图匹配结果

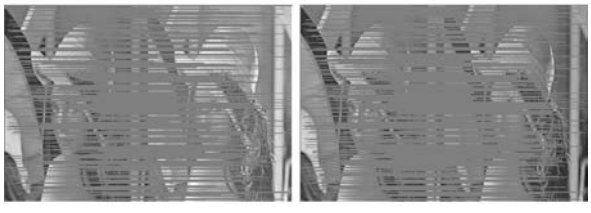
图3 τ=0.6旋转图匹配结果



a 逆时针与原图匹配结果 b 顺时针与原图匹配结果

图4 τ=0.2旋转图匹配结果

图 像	提取点数	匹配点数	匹配率/%	误匹配	正确率/%
逆时针(τ=0.6)	760	746	98.9	0	100
顺时针(τ=0.6)	745	308	41.3	2	99.4
逆时针(τ=0.2)	760	734	97.3	0	100
顺时针(τ=0.2)	745	104	13.9	0	100



a 加亮图与原图匹配结果 b 减亮图与原图匹配结果

图5 τ=0.2亮度变化匹配结果

表3 第3组图像的匹配结果

图 像	提取点数	匹配点数	匹配率/%	误匹配	正确率/%
逆时针(τ=0.6)	751	699	93.1	0	100
亮度减(τ=0.6)	754	754	100	0	100
亮度加(τ=0.2)	751	662	88.1	0	100
亮度减(τ=0.2)	754	754	100	0	100

通过以上的图像匹配结果可以看出,在 τ 较小的时候,匹配成功点数与匹配率较小,但是保证了匹配的正确率;在 τ 较大的时候,匹配成功点数与匹配率较大,但是同时存在着误匹配;这些误匹配都是发生在一个特征点对应多个描述符的情况,并且对应该特征点的正确匹配也存在于匹配

结果中,这一点更说明了 SIFT 算法的稳定性. 为了兼顾匹配率与匹配正确率,建议采用 $0.3 \leqslant \tau \leqslant 0.4$.

3　结 束 语

本文对基于图像特征点提取的 SIFT 算法进行了研究,针对图像缩放、图像旋转、图像亮度变化设计了实验并进行了匹配,从实验结果可以看出,SIFT 算法能够提取数量相对较多的特征点,提取的特征点对图像的缩放、旋转以及亮度变化保持了很好的鲁棒性,将其应用于图像匹配,保持了很高的匹配正确率. 但是 SIFT 算法的速度比较慢,下一步将针对算法的实时性进行改进.

参考文献 (References)

[1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60 (2) : 91－110

[2] Witkin A P, Babaud J, Baudin M. Uniqueness of the Gaussian kernel for scale-space filtering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(1): 26－33

[3] Witkin A P. Scale space filtering[C]//Proceedings International Joint Conference Artificial Intelligence. Karlsruhe, Germany: CA, 1983: 1019－1022

[4] Koenderink J J. The structure of images[J]. Biological Cybernetics, 1984, 50: 363－396

[5] Lindeberg T. Detecting salient blob-like image structures and their scales with a scale-space primal sketch: a method for focus-of-attention[J]. International Journal of Computer Vision, 1993, 11(3): 283－318

[6] Lindeberg T. Scale-space theory: a basic tool for analysing structures at different scales[J]. Journal of Applied Statistics, 1994, 21(2): 224－270

[7] Mikolajczyk K. Detection of local features invariant to affine transformations [D]. France: Institute National Polytechnique de Grenoble, 2002

(责任编辑:娄　嘉)

(上接第 515 页)

参考文献 (References)

[1] Giarratano J, Rilay G. Expert systems principles and programming[M]. 3rd Edition. Boston: PWS Publishing Company, 1998

[2] 窦永金. 智能驾驶员辅助系统研究[D]. 北京:北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 2004
Dou Yongjing. Research on intelligent pilot's associate[D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2004(in Chinese)

[3] 夏洁. 战术飞行管理系统关键技术研究[D]. 北京:北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 2003
Xia Jie. Research on core technology for tactical flight management system[D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2003(in Chinese)

[4] 廖沫,陈宗基. 基于满意决策的多机协同目标分配算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(1): 81－85
Liao Mo, Chen Zongji. Coordinated target assignment in multi-UAV based on satisficing decision theory[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(1): 81－85(in Chinese)

[5] Song Han, Zhou Rui. Study on pilot's assistant system based on expert system for BVRAC[C]//Chen Zongji. System Simulation and Scientific Computing. Beijing: International Academic Publishers/Beijing World Publishing Corporation, 2005: 1185－1189

(责任编辑:刘登敏)