

一种稳健的角点匹配方法

杨成胡¹ 赵鸿燕¹ 吴立刚²

摘要

在不同的图像之间寻找若干稳健的匹配点是许多计算机视觉算法有效应用的关键。SIFT (Scale Invariant Feature Transforms) 算法已经证明了能够实现稳健匹配点提取的任务,然而 SIFT 算法提取的匹配点往往处于目标内部的某些均匀的区域,并不包括目标的边角点。考虑到角点往往包含了目标关键的结构信息,因此利用 SIFT 匹配点的稳健性结合角点检测,既能够提高角点匹配的稳健性又能够减小角点匹配搜索范围。匹配实验证明了该方法能够有效抵御噪声的干扰以及尺度和视角变化的影响,具备良好的匹配稳健性。

关键词

特征匹配;尺度不变特征变换(SIFT);角点

中图分类号 TN911.73

文献标志码 A

0 引言

图像或目标的特征匹配是计算机视觉研究中的重点问题^[1],有效的匹配对于定位、立体视觉等的实际应用起着决定性作用^[2]。图像的特征点必须具备独特性才能使匹配得以顺利实现,因此具备独特性的位置点即为图像或目标的特征点。特征主要包括图像中物体的边角、灰度信息、统计特征等。为实现准确的匹配,特征应该具有旋转、平移或仿射不变等性质,并且对光照、视角的变化不敏感。

特征点是图像本质内容的抽象,对理解和分析图像起着重要作用。人类对目标识别的过程,就是确定目标与先验知识相对应的过程。目标千差万别,人的大脑可以通过处理获得各种对象的特性,进而实现目标的归属判别,因此计算机视觉是人类生理视觉的模拟。匹配实现的是不同图像或视角之间的对应关系,是进一步实现智能识别的前提。采用一定的匹配算法在两幅或多幅图像之间寻找同一点或同一区域,本质是在相似的前提下,搜寻最优匹配的问题^[3]。实际应用场合复杂多变,因此稳健性对于匹配算法尤其重要,往往决定了整个视觉系统的适用性和稳定性。

角点被认为是某尺度下图像中所有方向梯度都比较大的位置。Harris 等^[4]利用局部特征实现了稳健的角点检测,Schmid 等^[5]采用具有旋转不变性的区域描述符表征检测出的 Harris 角点,实现了角点匹配的旋转不变性。然而,Harris 角点匹配存在对图像尺度敏感的缺陷,当图像大小不一致时,Harris 角点并不能实现理想的匹配。于是,Lowe^[6]提出具有尺度不变性的局部特征来描述图像的特征,也即 SIFT(Scale Invariant Feature Transforms)特征匹配。SIFT 算法检测到的特征点对位置、尺度、旋转具有不变性,同时对仿射变换和亮度的变化也有一定的稳健性。但是 SIFT 特征点为了保证稳健性,去除了目标的边缘和角点,而目标的边缘和角点反映的又是目标的结构特征。在视觉定位、立体重构等应用中,必须建立边角点之间的稳健匹配方法,以确保结构信息之间的准确对应^[7]。本文针对角点稳健匹配问题,首先采用 SIFT 算法分别计算两幅图像的 SIFT 特征点,在 SIFT 稳健匹配的基础上,通过邻域搜索将检测出的角点划分为以各个 SIFT 特征点为中心的多个子集。利用 SIFT 的稳健匹配特性,在 SIFT 匹配点周围的邻域将子集中的角点作局部区域的直方图匹配,获取匹配的角点对。由于搜索匹配的范围是 SIFT 匹配点对附近的局部空间,既

收稿日期 2012-05-23

资助项目 广东省科技计划资助项目(2010-B010700025)

作者简介

杨成胡,男,高级工程师,研究方向为图像处理、数字信号处理。geri_ych@foxmail.com

赵鸿燕(通信作者),男,工程师,研究方向为图像处理、电路与系统。

zzhaohongyan@163.com

¹ 广东省电子技术研究所,广州,510630

² 哈尔滨工业大学 航天学院,哈尔滨,150001

保证了匹配的稳健性,又保证了准确性,同时局部搜索使得算法具有较高的匹配效率。

1 SIFT 匹配原理

图像匹配的实质是两幅图像元素在空间上的一个位置映射,若 $T(x,y)$ 为参考图像, $I(x,y)$ 为待匹配图像,则两幅图像之间的映射为

$$T(x,y) = I(x',y') = I[f(x,y)], \quad (1)$$

其中 f 为一个二维空域坐标的几何变换,将空域坐标 (x,y) 映射为 (x',y') 也即

$$(x',y') = f(x,y). \quad (2)$$

匹配过程就是要找到一个最优的空域变换 f ,使得式(2)成立.因此图像匹配的过程也可以视为一个寻找最优变换参数的过程.一般而言,图像匹配的基本问题^[8]主要包括4个方面.1)特征空间.选择合适的特征空间,能有效减小计算复杂度,降低噪声,提高匹配精度.2)相似性度量.是指用什么准则来衡量待匹配特征之间的相似程度.3)搜索空间.图像匹配本质上是一个寻找最优的过程,待估计的参数构成搜索空间.4)搜索策略.是指采用什么搜索方式在搜索空间寻找最相似的匹配,合适的搜索策略能有效地降低计算量,提高计算效率.因此可以从计算效率、匹配精度、稳健性或适应性等方面来具体考察一个匹配方法.SIFT算法是一种局部特征提取算法,提取的SIFT特征点具有高度的唯一性,对位置、尺度、旋转具有不变性,对光照的变化,噪声具有一定的适应性.

SIFT算法基本思想是首先利用尺度 k 的高斯核函数 $G(x,y,k\sigma)$ 与图像 $I(x,y)$ 进行卷积生成图像金字塔,所获得的尺度空间为

$$L(x,y,k\sigma) = G(x,y,k\sigma) * I(x,y), \quad (3)$$

并按照不同尺度,组成完整尺度空间的高斯金字塔.然后将高斯金字塔每组中相邻作差分,得到差分金字塔,得到高斯差分空间:

$$D(x,y,k\sigma) = [G(x,y,k\sigma) - G(x,y,\sigma)] * I(x,y), \quad (4)$$

$$D(x,y,\sigma) = L(x,y,k\sigma) - L(x,y,\sigma).$$

在差分金字塔中,提取极大值或极小值的对应的特征点列为候选关键点.由于边缘和低对比度的点对噪声十分敏感,为增强关键点的稳健性,低对比度的点通过设置最低阈值排除,边缘点通过计算主曲率的方式排除,然后通过插值精确计算关键点的位置和尺度信息.对候选点的筛选虽然去除了不稳定的关键点,但同时也损失了图像中部分边缘和角点信息.

为了获得特征点的旋转不变性,首先确定关键点的主方向,统计尺度差分空间中的各个像素点的幅值和方向,获得特征点邻域的梯度幅值直方图,该直方图的峰值则代表该特征点邻域的梯度主方向.若存在另一个相当于主峰值80%的峰值时,则将这个方向看作是特征点的辅方向,以进一步增强匹配的鲁棒性.所有的方向相对于主方向的角度都是不变的,因此无论图像如何旋转,只要确定了主方向,其他方向信息也随之确定.因此需要在特征点周围对幅值和方向进行重新采样,得到的梯度方向相对于主方向进行旋转,以实现旋转不变性.最后将特征向量进行归一化以削弱光照变化带来的影响.

2 基于 SIFT 的稳健角点匹配

SIFT算法基于尺度空间,在差分空间寻找局部极值点,作为候选关键点,并对候选关键进行筛选,保留下来的关键点则具有很强的区别性和很高的稳定性.这样,不仅获得了尺度不变特性,还确定了关键点的精确位置和尺度信息,所生成关键点的高维特征向量保证了关键点描述的唯一性.一个魔方的SIFT特征点匹配的实例如图1所示,上下2幅图的视角存在一定的差异,由图1可见SIFT匹配实现了高精度的匹配.

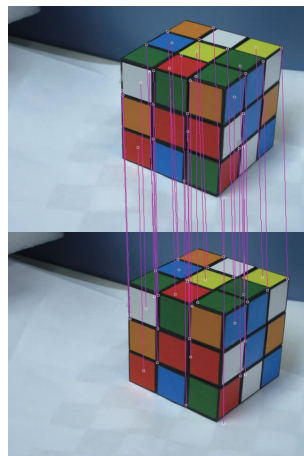


图1 魔方 SIFT 特征点的匹配结果

Fig. 1 Matching result of SIFT features for a Rubik's cube

因此以SIFT匹配点提供的稳健匹配特性为基础,能够建立一种稳健的角点匹配算法.首先利用SIFT算法实现过程中生成的高斯尺度金字塔,将大曲率点选出,获得待匹配的角点集: $\Phi_L = \{(x_i, y_i) \mid i = 1, 2, \dots, N\}$ 为图1的角点集合, $\Phi_R = \{(x'_j, y'_j) \mid j = 1, 2, \dots, N'\}$ 为图2的角点集合.根据已建立的

SIFT 匹配关系 $S(\Theta_L, \Theta_R)$, $\Theta_L = \{(p_t, q_t) \mid t = 1, 2, \dots, M\}$ 和 $\Theta_R = \{(p'_t, q'_t) \mid t = 1, 2, \dots, M\}$ 分别代表两幅图的 SIFT 匹配特征点集,若邻域半径为 r ,依据下面的邻域准则:

$$\|(x_i, y_i) - (p_t, q_t)\| < r, \quad (5a)$$

$$\|(x'_i, y'_i) - (p'_t, q'_t)\| < r, \quad (5b)$$

在角点集合 Φ_L 和 Φ_R 中筛选出对应于 SIFT 特征点对 (p_t, q_t) 和 (p'_t, q'_t) 的匹配角点子集 $\{\Phi_L \mid t = 1, 2, \dots, M\}$ 和 $\{\Phi_R \mid t = 1, 2, \dots, M\}$, Φ_L 和 Φ_R 具有同 SIFT 特征点对相同的匹配对应关系 $S(\Phi_L, \Phi_R)$. 进一步采用角点描述向量,在匹配子集中建立坐标元素的对应关系

$$C(\Phi_L, \Phi_R) = \{C((x_{nt}, y_{nt}), (x'_{nt}, y'_{nt})) \mid \forall (x_{nt}, y_{nt}) \in \Phi_L, \forall (x'_{nt}, y'_{nt}) \in \Phi_R\}, \quad (6)$$

最终实现角点的匹配.由于增加 SIFT 特征点对候选角点的距离约束限制,匹配过程中采用简单的角点描述特征向量,如直方图等,就可以实现准确的匹配.这样,既降低了算法的复杂度,同时匹配精度下降不明显.如图 2 所示,匹配的最大误差应小于领域的直径 $2r$.

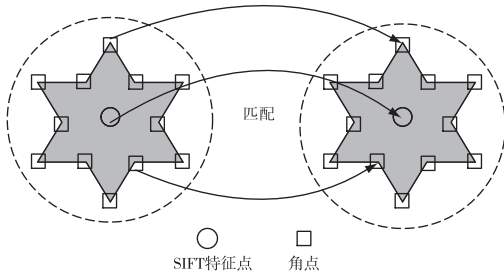


图 2 基于 SIFT 特征点的角点搜索示意

Fig. 2 Sketch map for corner searching based on SIFT feature

算法的整体流程如图 3 所示.对于待匹配的两幅图像,首先进行尺度空间的极值检测,然后分为边角点和 SIFT 特征两类候选集.对于 SIFT 特征候选集按照精确定位、主方向分配、生成描述符和 SIFT 特征匹配获得稳健的 SIFT 匹配特征点对;对于边角点候选集,采用高斯空间的曲率检测获得待匹配的角点集合;然后建立相应的角点特征向量;再依据 SIFT 匹配特征点对,将待匹配的角点集合划分为若干个匹配子集合,在匹配子集合内最终实现集合内角点的匹配.

3 实验结果及讨论

考虑到视觉系统应用的实际,匹配算法通常受到视角变化,噪声以及尺度变化 3 种情况的影响.为

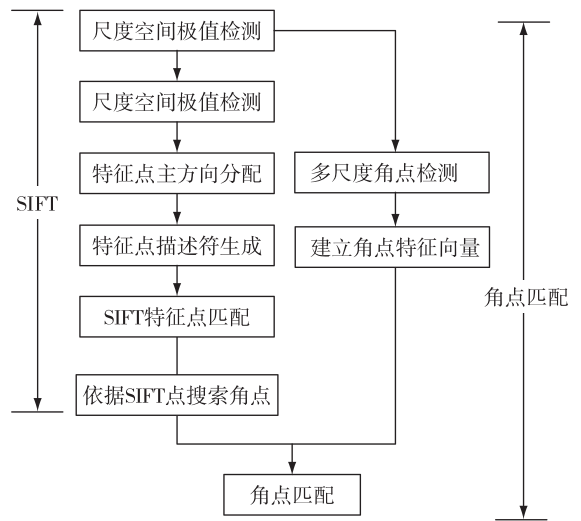
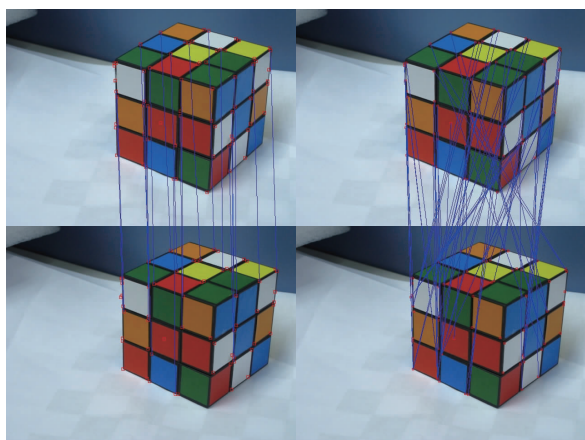


图 3 角点匹配的算法流程

Fig. 3 Flow diagram for corner matching algorithm

验证所提出的稳健角点匹配的性能,本文选择了魔方图像.由于魔方各个面都有 9 个小正方形,上下左右相似性高,因此特别适合考察匹配算法对于各个方向性的匹配能力.对于采集的魔方图像,考虑视角变化、尺度变化和高斯噪声污染 3 种情况,分别进行角点的匹配实验.实验分别采用 SIFT 特征的局部角点匹配和不采用 SIFT 特征的全局匹配 2 种方法比较.为了比较的一致性,角点特征向量均采用简单的领域直方图描述,2 种方法处理的待匹配角点集合完全相同,匹配结果如图 4—6 所示.

由实验结果可以看出,本文提出的基于 SIFT 的角点匹配算法在 3 种匹配条件下,均取得了很高的匹配正确率,即使发生错误匹配,最大误差也不超过 10 个像素.采用全局搜索的直方图匹配虽然匹配的对较多,但同时出现了大量的误配,并且误配的误差大,出现了把右部的点配到了左部,上部的点配到了下部的情形.因此,对于魔方这类各方向相似度高的对象,直方图全局匹配并不能够提供可信的匹配.而本文提出的方法同样采用直方图特征,但由于利用了 SIFT 匹配点提供的匹配信息,在 SIFT 匹配点的邻域作局部的匹配搜索,因此基本消除了较大误差的误匹配.对匹配算法而言,首要的是匹配的正确性,在高斯噪声条件下,由于匹配的 SIFT 点较少,导致所提出方法的角点匹配点也较少,但匹配正确性得到了保证.本文提出的算法遵循优先保证匹配的正确性的原则,舍弃了不确定的匹配点.算法利用了 SIFT 特征点提供的匹配信息,因此在匹配性能上接近并略低于 SIFT 匹配,提供了可靠的匹配信息.

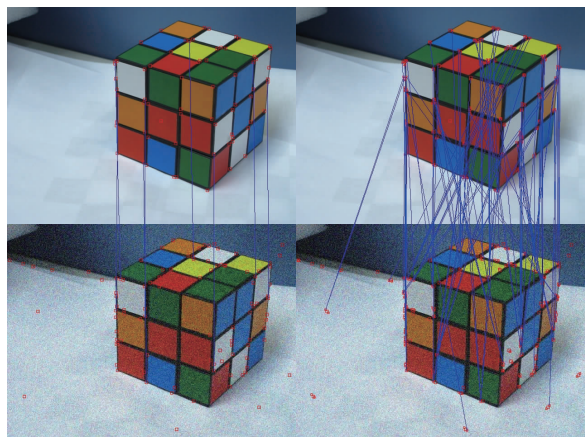


a.本文角点匹配方法

b.直方图角点匹配

图4 视角变化

Fig. 4 Matching results for varying perspectives, by the proposed approach and by Histogram matching

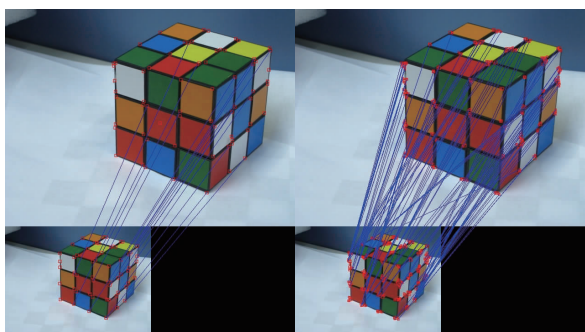


a.本文角点匹配方法

b.直方图角点匹配

图5 高斯噪声

Fig. 5 Matching results under Gaussian noise, by the proposed approach and by Histogram matching



a.本文角点匹配方法

b.直方图角点匹配

图6 尺度变化

Fig. 6 Matching results for varying scales, by the proposed approach and by Histogram matching

由于本文算法匹配的搜索范围是相应 SIFT 特征点的邻域,搜索的范围相比全局搜索大大减小,因此具有较高的匹配效率.从匹配效率、匹配精度和稳健性等方面综合考虑,本文算法能够满足实际视觉系统对于角点匹配的要求,因而提供了一种实用、稳健的角点匹配方法.

4 结束语

基于 SIFT 特征点匹配,提出了一种实用的角点匹配技术.利用 SIFT 特征点提供的稳健的匹配信息,在 SIFT 点的邻域搜索待匹配的角点集合,采用简单的直方图描述角点特征并实现角点的匹配.提出的方法能很好地适应各种条件,具有良好的稳健性,提供了可靠的匹配信息.另外,由于该算法属于局部范围内匹配搜索,因此具备较高的匹配效率.由于直方图属于各向同性的特征向量,进一步的改进将考虑采用各向异性的角点特征向量,在可靠性的基础上进一步提高匹配的精度.

参考文献

References

- [1] David Marr. 视觉计算理论[M]. 姚国正,刘磊,汪云九,译.北京:科学出版社,1988
David Marr. Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information[M]. New York: Freeman, 1982
- [2] 赵钦君,赵东标,韦虎. Harris-SIFT 算法及其在双目立体视觉中的应用[J]. 电子科技大学学报, 2010, 39(4): 546-550
ZHAO Qinjun, ZHAO Dongbiao, WEI Hu. Harris-SIFT algorithm and its application in binocular stereo vision [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2010, 39(4): 546-550
- [3] Sivic J, Zisserman A. Video google: A text retrieval approach to object matching in videos[C]//Proceedings of the 9th International Conference on Computer Vision, 2003: 1470-1478
- [4] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proceedings of Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988: 147-151
- [5] Schmid C, Mohr R. Local grayvalue invariants for image retrieval[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(5): 530-534
- [6] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [7] Krystian Mikolajczyk, Cordelia Schmid. A performance evaluation of local descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630
- [8] Todorovic S, Ahuja N. Region-based hierarchica image

A robust approach on corner points matching

YANG Chenghu¹ ZHAO Hongyan¹ WU Ligang²

1 Guangdong Electronic Technology Research Institute, Guangzhou 510630

2 School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

Abstract To find the robust matching points between different views on the same object is the key step in a computer vision system in practice. The popular SIFT (Scale Invariant Feature Transforms) has showed its power for robust feature points matching. However, the edge and corner points are not included in the SIFT matching points. Considering the fact that the corner points represent the structure information of an object, we hence propose a robust approach for corner matching via SIFT. This new approach improves the robustness while decreases the computing burden in matching. A series of experiments on corner points matching illustrate that the proposed approach is not sensitive to changes in view, rotation or scale, and robust to noise interference.

Key words feature matching; SIFT; corner points