

基于改进 ORB 算法的特征点匹配

胡志锋, 许 钢, 陈 玲, 伏娜娜

(安徽工程大学检测技术与节能装置安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘 要:针对传统 ORB 算法不具有尺度不变性的问题及匹配速率的问题, 提出改进 ORB 算法的特征点匹配. 将 SURF 算法与传统 ORB 算法结合, 先利用 SURF 算法的尺度金字塔得到具有尺度不变性的特征点, 解决特征点匹配的尺度性问题, 再对用 ORB 算法生成的高维描述符进行降维处理, 提高算法的匹配速率, 最后用暴力匹配方式完成图像匹配. 实验结果解决了传统 ORB 算法在特征匹配时的尺度不变性问题, 同时降维处理提高了算法匹配速率.

关 键 词:ORB 算法; 尺度不变性; 降维处理

中图分类号: TP181

文献标识码: A

文章编号: 1673-1670(2022)02-0055-06

0 引言

随着社会的发展进步, 在人类的生活生产中, 移动式机器人的身影逐渐增多. 移动式机器人能够帮助人类完成一些生产装配、服务、递送、运输等任务^[1]. 为了提高人们对于机器人操控的便捷性、机器人完成任务时的准确性, 保障机器人可靠安全地服务人类, 移动机器人需要具备对于环境的感知力^[2], 还需要得知自身在环境中的位置, 实时获取自身的状态和位置. 目前视觉 SLAM 的研究成果主要运用在机器人、三维重建、增强现实及自动驾驶等高精度设备^[3]中, 提高视觉 SLAM 的图像匹配精度和缩短匹配时间, 能够更好地扩大其在现实中的运用范围和运用效果.

针对图像特征匹配算法精度和速度的发展, 现阶段已经具有非常大的提升^[4]. SIFT (Scale-invariant feature-transform)^[5]、SURF (Speeded-up Robust Feature)^[6] 和 ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)^[7] 等是目前运用在图像匹配中的主流算法. 2011 年, Rublee 等提出了著名的 ORB 算法^[8], 特征匹配在匹配速度上相较于另外两种算法得到巨大的提升. 但 ORB 算法也存在问题, 在传感器提

取图像信息的距离发生改变时, 或者在运动过程中发生抖动导致图像尺度变化时, 传统的 ORB 算法在匹配效率和准确度上都会有所降低. 2017 年 Lin 等提出 FPN^[9], 利用多尺度融合思想进行特征融合, 将底层的特征一步一步融合到高层, 从而解决特征点的尺度不变性问题, 但此方法因为需要将底层的特征逐步与高层特征融合, 过程较为复杂, 比较耗时, 会增加匹配的时间.

为了解决 ORB 算法的尺度不变性问题和匹配速度问题, 笔者利用 SURF 算法的尺度金字塔^[10] 来检测和提取特征点^[11], 同时利用 ORB 算法建立特征描述符, 依据相关性大小降维, 剔除相关性弱的描述符向量, 缩短算法匹配的时间.

1 改进 ORB 算法

SURF 算法构建的尺度空间能够提取带有尺度的特征点, ORB 算法的描述符便于匹配, 所以结合 SURF 算法和 ORB 算法对图像进行特征匹配. 首先采用 SURF 算法构建尺度金字塔、特征点定位和方向分配, 再采用 ORB 算法 BRIEF 特征描述并做降维处理, 最后采用汉明距离特征匹配得到结果. 流程图如图 1 所示.

收稿日期: 2021-09-06

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目 (KJ2018A0111); 安徽省重点实验室开放项目 (2017070503B026-A01)

作者简介: 胡志锋 (1995—), 男, 安徽省舒城县人, 安徽工程大学检测技术与节能装置安徽省重点实验室硕士研究生, 主要从事智能信息处理及其应用研究.

通信作者: 许 钢 (1972—), 男, 安徽省芜湖市人, 工学博士, 安徽工程大学检测技术与节能装置安徽省重点实验室教授, 硕士生导师, 主要从事检测技术与自动化装置、语音与图像信号处理、机器视觉等研究.



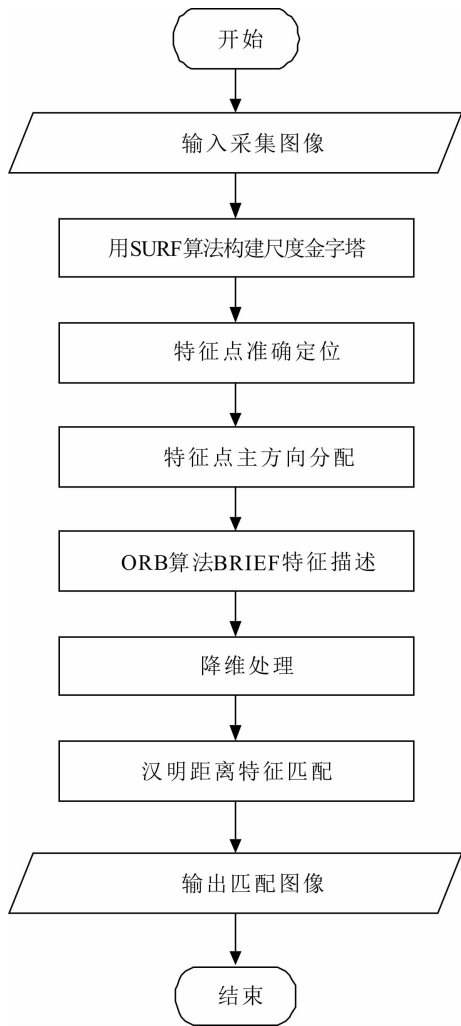


图1 改进 ORB 算法流程

1.1 SURF 算法构建尺度空间

1.1.1 构造 Hessian 矩阵

SURF 算法通过构建 Hessian 矩阵^[12]检测特征点. 现假设一个像素点 $f(x, y)$ 是一个实值二元函数, (x, y) 表示该像素点在二维坐标系中的坐标, 可以找出其对应的一个 Hessian 矩阵.

$$H(f(x, y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

可以根据 Hessian 矩阵的行列式的值来判断点 (x, y) 是不是极值点:

$$\det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2. \quad (2)$$

在 Hessian 矩阵的判别式 $\det(H)$ 得到了一个局部极大值时, 比较当前点与其周围邻域内的点的明暗程度. 如果比其邻域内的点更亮或者更暗, 则说明该点与其邻域内点差异性比较大, 可判定为关键

点, 以此确定关键点的位置.

1.1.2 构建尺度空间

SURF 算法构建尺度金字塔^[13]的原理是原图像不改变大小, 将模板的大小进行改变, 即用模板盒子尺寸的变化来对原图像进行滤波, 构造出尺度空间. 同时, SURF 还可以处理金字塔中每层的图像. 盒子尺寸滤波模板在不断地增大, 与积分图像卷积后生成 Hessian 矩阵行列式的响应函数, 构造出金字塔.

如图 2 所示, 右边为 SURF 构建的方法, 左边为高斯金字塔的构建方法.

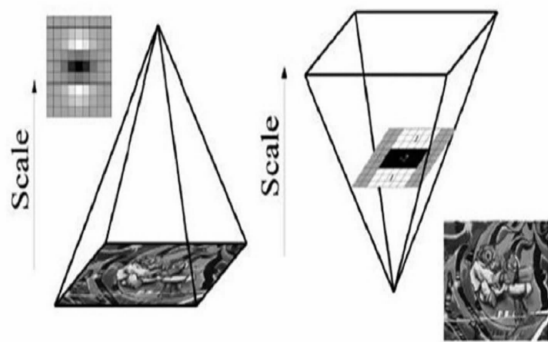


图2 两种金字塔

1.2 特征点定位

在 Hessian 矩阵之后进行特征点的定位^[14], 将经过 Hessian 矩阵处理的每个像素点与其同层的邻域内 8 个像素点及与该层相邻的上下两层邻域 18 个像素点进行比较, 初步确定关键点, 再将一些错误点和不稳定的关键点排除, 留下稳定的特征点, 实现特征点的定位, 如图 3 所示.

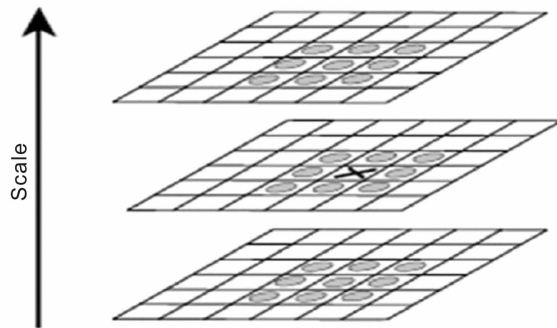


图3 特征点定位

1.3 特征点主方向分配

在以样本特征点为圆心的圆域内, 用 60° 的扇形扫描旋转, 计算所有特征点的水平和垂直方向 Haar 小波响应总和, 重复上述过程, 找寻出最大扇形的方向作为特征点的主方向^[15].

1.4 ORB 算法 BRIEF 特征描述

在进行特征描述时, 使用 ORB 算法的 BRIEF 算法^[16]来计算特征点的特征描述, 优势是速度快. BRIEF 描述子是一种二进制串描述, 其核心思想是在特征点 p 的附近无规律地选择 N 对点对, 将这 N 对点对进行比较, 并将比较结果组合起来作为描述子. 假设 τ 表示二值测试函数, 原理如下.

1) 以特征点 p 为圆心, 以一定的半径作圆.

2) 在这个圆内随机选取 N 对点. 定义 τ 对比, 取值 0 或 1, 式 (3) 为比较 N 对像素点的灰度值大小的公式.

$$\tau(p; m, n) : = \begin{cases} 1 & \text{if } p(m) < p(n) , \\ 0 & \text{otherwise} . \end{cases} \quad (3)$$

式中, $p(m)$ 表示 m 点的像素值数值, $p(n)$ 表示 n 点的像素值数值. 比较 m, n 点的像素值大小, n 点像素值大则为 1, 否则为 0.

3) 分别对已选择的点对进行 τ 对比, 将测试结果进行组合.

4) 将 n_d 个结果从最低位到最高位依次组成字符串 $f_{n_d}[p]$, i 表示常量 1 到 256, n_d 表示描述符向量个数, 在此处为 256.

$$f_{n_d}(p) : = \sum_{1 \leq i \leq n_d} 2^{i-1} \tau(p; n_i, m_i) . \quad (4)$$

2 降维处理

ORB 算法生成 64 维描述符向量, 高维度的描述符会增加匹配的时间, 并且其中还存在一些无用的特征点, 在后续特征匹配中会增加匹配时间及增大产生误匹配的概率. 为了解决本文算法无用的特征点和高维度描述符影响图像匹配效率的问题, 对描述符降维处理^[17], 提升图像匹配的速度. 利用样本点的相关系数, 剔除每一维中的相关性最弱的样本点, 最后重新整合数据样本, 达到降维效果, 具体流程如下.

1) ORB 算法生成 64 维描述符, 每维描述符样本有 4 个样本数据, 构建坐标系, 给每个样本数据标号为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 、 (x_4, y_4) .

2) 计算样本协方差:

$$S_{xy} = \frac{\sum_{c=1}^n (x_c - \bar{x})(y_c - \bar{y})}{n - 1} . \quad (5)$$

式中, $n = 4$, \bar{x}, \bar{y} 均为对应的平均数.

3) 样本标准差:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_c - \bar{x})^2}{n - 1}} , \quad (6)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_c - \bar{y})^2}{n - 1}} . \quad (7)$$

4) 相关系数表达式:

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} . \quad (8)$$

5) 计算得到 $r_{11}, r_{22}, r_{33}, r_{44}$. 其中相关系数的取值在 -1 到 1 之间, -1 表示两样本数据负相关, 1 表示两样本数据正相关, 0 表示两样本数据无相关性, 数据离 0 越近说明相关性越差.

6) 比较 $r_{11}, r_{22}, r_{33}, r_{44}$ 相关性, 相关性最弱的一个数据样本被剔除.

7) 对 64 维描述符重复上述步骤, 删除 64 个数据样本, 剩余的数据重新整合, 得到 48 维描述符, 达到降维效果.

3 特征匹配

首先利用二进制值计算得到描述子之间的汉明距离, 然后根据汉明距离对待匹配的两特征点进行比较, 得出相似程度. 其相似度的大小区间为 $1\% \sim 100\%$, 匹配完成后需要尽可能保留具备反映图像信息的匹配对, 同时保留相似程度较大的匹配对, 相似度低意味着是错误的匹配结果, 所以结合文献^[18]设置相似度阈值为 80% , 即待匹配的两特征点, 其相似程度不小于阈值 80% , 则认定匹配成功.

4 实验结果与分析

实验均在 $i5 - 3320M$ CPU、 $8GB$ 内存计算机, Ubuntu 16.04 + OpenCV 3.4.9 环境中运行实现, 传感器使用 Kinect V2.

图 4 和图 5 是验证算法得到的特征点尺度不变性的实验结果, 实验图片来自实际相机不同视角拍摄. 图 6 和图 7 及表 1 是改进 ORB 算法结合了相关性降维处理的算法与传统 ORB 算法的对比 (实验 1), 图片信息来自 NYU v2 数据集图像.

图 4、图 5 是针对 ORB 算法得到的特征点不具备尺度不变性的实验结果. 在同一目标物体尺度变化后, 传统 ORB 算法的匹配结果存在大量的误差, 这样可能会影响其对于自身位置的判断, 而改进 ORB 算法利用 SURF 构建尺度金字塔和提取特征点, 再结合 ORB 形成特征描述符后完成匹配, 得到很好的匹配结果, 验证了此方法得到的特征点具备

尺度不变性.



图 4 传统 ORB 尺度实验



图 5 改进 ORB 尺度实验

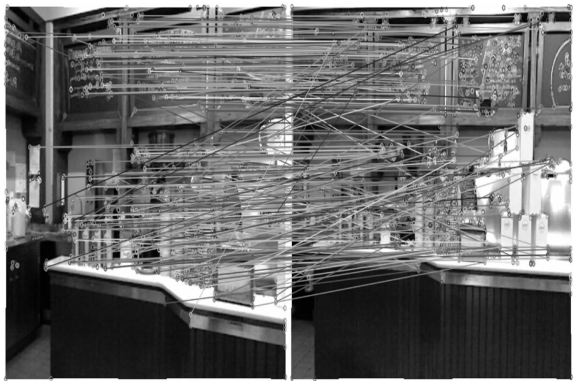


图 6 传统 ORB 匹配结果



图 7 改进 ORB 匹配结果

结合实验 1 和表 1,对 NYU v2 数据集提供的图像进行实验,匹配总对数上传统 ORB 算法比改进 ORB 算法多,但同时传统 ORB 算法特征匹配的错误匹配对也比改进 ORB 算法多.依据最终的正确匹配对,改进的 ORB 算法的正确匹配率达到 90.5%,而传统 ORB 算法的正确匹配率达到 91%.此外,改进 ORB 算法在降维处理后的待匹配对数下降了,进而在匹配时间消耗上较传统 ORB 算法有所减少.改进 ORB 算法在匹配正确率上与传统 ORB 算法接近,在保证较高的匹配正确率的前提下,改进 ORB 算法在匹配时间消耗上比传统 ORB 算法减少了 55%.

表 1 NYU v2 数据集改进前后 ORB 算法匹配数量对比

算法	匹配 点数	总匹配 对数	正确匹配 对数	正确匹 配率/%	匹配时 间/s
传统 ORB 算法	1 200	570	518	91.0	2.88
改进 ORB 算法	1 200	390	353	90.5	1.29

上述实验的图像数据来自在网络上公开的 NYU v2 数据集,基于此进一步对改进 ORB 算法做验证实验.图 8、图 9 来自数据集中的电脑桌图片,图 10、图 11 来自实验室工作台电脑的环境图片,运用此算法做实验 2 对比.

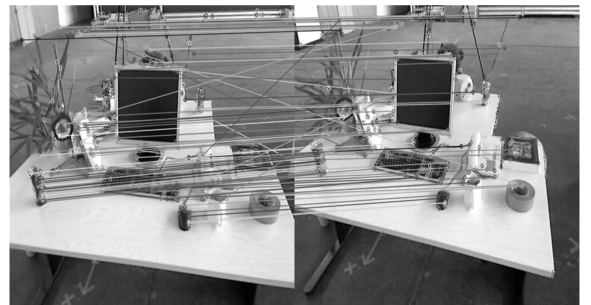


图 8 传统 ORB 匹配算法



图 9 改进 ORB 匹配结果

结合实验 1 和实验 2,以及表 2、表 3,笔者提出改进的 ORB 算法:首先利用 SURF 的尺度金字塔提取特征点,以保证提取的特征点具备尺度不变

性,并很好地完成了尺度变化的实验匹配;再对具备尺度不变性的特征点形成的描述符做降维处理,目的是提高匹配速度. 最终的实验表明,改进的 ORB 算法做了降维处理后,在正确匹配率上接近传统 ORB 算法,并且在匹配速度上较传统 ORB 算法大幅提高.



图 10 传统 ORB 匹配算法

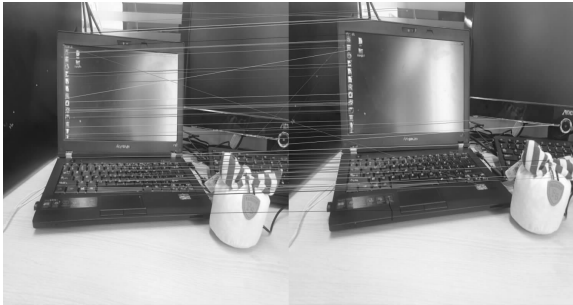


图 11 改进 ORB 匹配结果

表 2 数据集电脑桌面改进前后 ORB 算法匹配数量对比

算法	匹配点数	总匹配对数	正确匹配对数	正确匹配率/%	匹配时间/s
传统 ORB 算法	400	200	178	89	1.85
改进 ORB 算法	400	200	170	85	0.80

表 3 实验室电脑桌面改进前后 ORB 算法匹配数量对比

算法	匹配点数	总匹配对数	正确匹配对数	正确匹配率/%	匹配时间/s
传统 ORB 算法	610	302	277	91.7	2.72
改进 ORB 算法	610	270	243	90.0	1.22

5 结论

针对 ORB 算法提取的特征点没有尺度不变性的缺点,结合 SURF 算法对 ORB 算法进行改进. 实验结果表明:改进的算法解决了 ORB 算法尺度不变性的缺点,并且在保证正确匹配率接近的前提下,利用相关性降维处理缩短了匹配的时间,提高

了匹配的速度. 但是,最后还存在少许的误匹配结果. 后续的工作是提高匹配精度,解决结果中的错误匹配部分.

参考文献:

- [1] 张盟,王志亮,刘汉忠. 基于 ORB 特征的图像误匹配剔除算法研究[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2021(1):24-28.
- [2] 王飞,高小伟,高宁,等. 面向海洋应用的无人机遥感图像配准研究[J]. 测绘通报,2017(11):123-127.
- [3] 林志诚,郑松. 移动机器人视觉 SLAM 过程中图像匹配及相机位姿求解的研究[J]. 机械设计与制造工程, 2017(11):13-18.
- [4] 贾迪,朱宁丹,杨宁华,等. 图像匹配方法研究综述[J]. 中国图象图形学报,2019(5):677-699.
- [5] 于春水,汤璐,汪锦航. SIFT 图像配准算法获取全聚焦图像[J]. 电子制作,2021(5):55-56,95.
- [6] 黄云彬,焦良葆,曹雪虹. 基于改进 SURF 的快速图像匹配算法[J]. 软件导刊,2020(9):220-223.
- [7] 许宏科,秦严严,陈会茹. 基于改进 ORB 的图像特征点匹配[J]. 科学技术与工程,2014(18):105-109,128.
- [8] RUBLEE E, RABAUD V, KONOLIGE K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [C]. Barcelona: the IEEE International Conference on Computer Vision, 2011: 2564-2571.
- [9] LIN T Y, DOLLÁR P, GIRSHICK R, et al. Feature pyramid networks for object detection [C]. Honolulu: the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017.
- [10] 谢红梅,刘强,夏磊,等. 基于 SURF 和双向自适应阈值配准的红外图像拼接[J]. 航空兵器,2018(6):84-89.
- [11] 刘国忠,胡钊政. 基于 SURF 和 ORB 全局特征的快速闭环检测[J]. 机器人,2017(1):36-45.
- [12] WANG X Y, DING S F, JIA W K. Active constraint spectral clustering based on Hessian matrix [J]. Soft Computing, 2020, 24(3):2381-2390.
- [13] LUO M Q, WANG T, ZHOU B. Adaptive scale compressive tracking with feature integration [J]. MATEC Web of Conferences, 2017, 128:01009.
- [14] 李山坤,陈立伟,李爽. 基于实例分割的双目特征点匹配目标识别和定位研究[J]. 无线电工程, 2020(2):

90 - 96.

- [15] 肖明, 鲍永亮, 颜仲新. 基于点特征的图像配准方法综述[J]. 兵工学报, 2015(S2): 326 - 340.
- [16] 成怡, 朱伟康, 徐国伟. 基于余弦相似度的改进 ORB 匹配算法[J]. 天津工业大学学报, 2021(1): 60 - 66.
- [17] 李乔亮, 汪国有, 刘建国, 等. 基于局部特征聚类匹配的多谱图像配准方法[J]. 计算机工程, 2009(15): 4 - 6.
- [18] 杨弘凡, 李航, 陈凯阳, 等. 基于改进 ORB 算法的图像特征点提取与匹配方法[J]. 图学学报, 2020(4): 548 - 555.

(责任编辑:王彦江)

Feature Point Matching Based on Improved ORB Algorithm

HU Zhifeng, XU Gang, CHEN Ling, FU Na'na

(Anhui Key Laboratory of Testing Technology and Energy Saving Equipment, Anhui University of Engineering, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional ORB algorithm in visual odometer does not have scale invariance and the speed of matching, the improved feature matching of ORB algorithm is proposed. Combining SURF algorithm with traditional ORB algorithm, the feature points with scale invariance are obtained by using the scale pyramid of SURF algorithm to solve the scale problem of feature point matching. Then, the dimension reduction processing is carried out for the high-dimensional descriptor generated by ORB algorithm to improve the matching rate of the algorithm. Finally, the image matching is completed by violent matching. The experimental results demonstrate that the proposed method could solve the problem of scale invariance of traditional ORB algorithm in feature matching. At the same time, the dimension reduction processing improves the matching rate of the algorithm.

Key words: the ORB algorithm; scale invariance; dimensionality reduction processing

