

文章编号: 1673-5196(2018)03-0083-05

基于改进的 FAST 和 FREAK 的图像匹配算法

赵小强^{1,2,3}, 徐铸业¹

(1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学 甘肃省工业过程先进控制重点实验室, 甘肃 兰州 730050; 3. 兰州理工大学 国家级电气与控制工程实验教学中心, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对传统图像匹配算法匹配时间较长、误匹配率较高的问题, 提出一种改进的 FAST 和 FREAK 的图像匹配算法。该算法首先在圆形邻域上不断改变像素点个数, 并与其他 FAST 像素模板进行对比, 从而建立 FAST-9 特征点提取方法; 然后计算其 FREAK 局部不变特征描述符, 生成特征向量; 最后通过 RANSAC 一致性筛选剔除误匹配点。实验结果表明, 本文算法与 SIFT、BRIEF 算法比较, 图像匹配时间缩短且图像匹配精度有一定的提高, 并且对图像的旋转差异、尺度差异和光照差异都具有较好的鲁棒性。

关键词: 图像匹配; FAST; FREAK; RANSAC

中图分类号: TP751.1 文献标志码: A

Image matching algorithm based on improved FAST and FREAK

ZHAO Xiao-qiang^{1,2,3}, XU Zhu-ye¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. Key Laboratory of Gansu Advanced Control for Industrial Processes, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 3. National Experimental Teaching Center of Electrical and Control Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Aimed at the problems in traditional image matching algorithms having long image matching time and high mismatching rate, an image matching algorithm of improved FAST (features by accelerated segment test) and FREAK (fast retina keypoint) is proposed. Firstly, in this algorithm, the quantity of the pixel points within a circular neighborhood is continuously altered and compared with other FAST pixel templates, so that a method for extracting the FAST-9 feature points is established. Then its FREAK local invariant feature descriptor is calculated to generate feature vectors. Finally, RANSAC consensus sieving is performed to eliminate mismatching points. The experimental result shows that compared to SIFT and BRIEF algorithms, the proposed algorithm will be able to reduce image matching time and improve image matching accuracy to a certain extent and will have a better robustness of rotation deviation, scale deviation and lightening deviation.

Key words: image matching; FAST; FREAK; RANSAC

图像匹配是图像处理与机器视觉等领域的主要研究问题^[1], 是目标识别技术^[2]的重要研究内容, 广泛应用于遥感影像处理^[3]、超分辨率^[4]、目标识别与跟踪^[5]、医学图像处理和图像制导等领域。

图像匹配通常分为三个步骤: 首先从图像中提取特征点; 然后对提取的特征点进行描述; 最后对参考图像和实际图像进行匹配。目前基于图像匹配算

法的研究比较多, 如尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)算法^[6], 该算法的优点为对图像尺度不同、亮度不同和旋转不同的图像拼接效果好^[7]并且具有较强的抗噪声能力, 成为了广泛应用的算法; SURF 算法^[8]具有平移、缩放、旋转的不变性特征, 并且对光照、仿射及投影差异也具有较好的鲁棒性^[9], 但 SURF 算法计算量较大、特征向量维数过高, 会导致匹配时间较长, 同时会生成过多的误匹配点。随着对特征点匹配速度的要求提高, Freeman 和 Adelson 提出了可控滤波器方法, 采用像素导数的线性组合, 合成任意相的滤波器来实

收稿日期: 2017-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(61370037), 甘肃省基础研究创新群体基金(1506RJIA031)

作者简介: 赵小强(1969-), 男, 陕西岐山人, 博士, 教授, 博导。

现特征点的描述^[10].Ojala 等提出 LBP 算法,对灰度图像某一像素点与其周围像素点的关系进行二进制描述,对光照有较好的鲁棒性,但其对旋转和尺度比较敏感.Calander^[11]提出的 BRIEF 算法和 Stefan^[12]提出的 BRISK 算法均生成二进制链码描述符,虽然加速了特征向量匹配过程,但是 BRIEF 描述符对于旋转非常敏感,使其具有一定的局限性;BRISK 算法将点对分成近距对和远距对,点对信息具有冗余性,并且描述向量的长度过大,这些缺点都限制了以上算法在图像匹配中的使用.

针对上述算法在图像匹配中匹配时间长、误匹配率高的问题,本文提出一种基于改进的 FAST 特征点检测算法和 FREAK 局部不变特征的特征点描述算法,该算法在匹配精度和速度上都有一定的提高,并且具有较好的鲁棒性.

1 FAST 算法

FAST(features from accelerated segment test)算法^[13]起源于 SUSAN 算法,最初是由 Edward Rosten 和 Tom Drummond 提出,利用若某像素点与其周围邻域内足够多的像素点相差较大,则该像素点可能是特征点的原理提取特征点,选取圆形邻域作为模板,采用 Bresenham 画圆法检测以 P 为中心的像素点, $r=3$ 为半径的圆周上的 16 个像素点的强度值.本文称 16 个像素点的模板为 FAST-16,在这 16 个像素点中,设 P 处的强度值为 I_p ,阈值为 t , N 个连续点的强度值为 $P_i, i=1,2,\dots,16$.如果有

$$P_i > I_p + t \quad \text{或} \quad P_i < I_p - t \quad (1)$$

则认为 P 是一个特征点.

为了提高特征点检测速度,定义 12 个像素点模板为 FAST-12,这样只需检测圆周上的 12 个点即可检测出特征点 P ,这种方法计算量减少,提高了特征点提取的速度,同时检测精度也有一定的提升.

2 FREAK 特征描述

FREAK(fast retina key point)描述符的采样点均匀分布在以特征点为圆心的同心圆上^[14],假设特征点的尺度为 σ ,则同心圆的半径为 $M_1\sigma, M_2\sigma, \dots, M_k\sigma$.对每个采样点进行高斯平滑,高斯核的大小与当前采样点的同心圆半径成正比,并且离中心特征点越近采样点越密集,离中心特征点越远采样点越稀疏.假设 F 为任意特征点的 FREAK 描述符,则:

$$F = \sum_{0 \leq a \leq N} 2^a T(P_a) \quad (2)$$

$$T(P_a) = \begin{cases} 1, & I(P_a^{r_1}) - I(P_a^{r_2}) > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中: P_a 为当前采样点的位置; N 是特征向量的维数; $I(P_a^{r_i})$ 是采样点经过高斯平滑后的强度值.假设采样点数为 M ,则最终可以生成的特征向量一共有 C_M^2 维.通过以下步骤从图像数据中筛选出高信息量的维度:

- 1) 建立矩阵 A , A 的每行为一个 FREAK 描述符,即每一行包含 C_M^2 个元素;
- 2) 对于 A 的每一列计算方差,方差越大表示该列携带的信息越多.首先保留方差最大的那一列,接着计算其他列与它的协方差,并选择协方差最小的那一列加入到新组成的描述向量中;
- 3) 设置一个维数上限 N_{max} ,当新组成的描述向量个数达到这个上限时停止,否则返回步骤 2).

经过上述排序和筛选后,FREAK 描述符的周边采样区域生成了低维度的描述向量,FREAK 描述符的中心采样区域生成了高维度的描述向量.由此可以得出:目标的基本信息能被 FREAK 描述符周边的采样区域描述,而细节信息则可被 FREAK 描述符中心的采样区域描述.

3 FF(FAST-9-FREAK) 算法

3.1 改进的 FAST 算法

FAST-12 与 FAST-16 相比虽然在检测精度和检测速度上有一定的提升,但同时也具有一定的局限性.因此,本文对不同像素点下的 FAST 模板进行实验对比,得到了一种在检测精度和检测时间上都优于其他像素点模板的 FAST-9 算法.以下是本文所提出的 FAST-9 算法的具体步骤.

首先选择图像上任一点 P 建立 9 像素模板,对于每个 $x \in \{1,2,\dots,9\}$,将其与 p 的相对位置记为 $p \rightarrow x$,并按下式计算:

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & I_{p \rightarrow x} \leq I_p - t \\ s, & I_p - t \leq I_{p \rightarrow x} \leq I_p + t \\ b, & I_p + t \leq I_{p \rightarrow x} \end{cases} \quad (4)$$

其中:阈值 t 视具体情况而定,也可根据检测图像进行自适应设置; d 表示当前点比中心点暗; s 表示当前点与中心点具有相似灰度; b 表示当前点比中心点亮.然后将图像中的每一个像素点都按照式(4)进行计算,便可把整幅图像的像素集合 p 分为三个子集,其中将所有比中心点暗的像素集合定义为

$$P_d = \{p \in P; S_{p \rightarrow x} = d\} \quad (5)$$

将所有与中心点具有相似灰度的像素集合定义为

$$P_s = \{p \in P; S_{p \rightarrow x} = s\} \quad (6)$$

同时将所有比中心点亮的像素集合定义为

$$P_b = \{p \in P; S_{p \rightarrow x} = b\} \quad (7)$$

然后根据信息增益最大原则使用 ID3 算法判断选定像素点的熵值 K_i 是正是负, 设像素集合的熵值为 $H(Q)$, 则

$$H(Q) = (c + \bar{c}) \log_2 (c + \bar{c}) - c \log_2 c - \bar{c} \log_2 \bar{c} \quad (8)$$

其中: $c = |i \in Q; K_i \text{ 为正}|$ (特征点数), $\bar{c} = |i \in Q; K_i \text{ 为负}|$ (非特征点数), 然后根据下式可计算出信息增益 H_g 的最大分类属性 x , 即

$$H_g = H(P) - H(P_d) - H(P_s) - H(P_b) \quad (9)$$

将式(5~7)进行迭代, 直到 P_d, P_s, P_b 有一个的熵值为 0 时停止, 即这个子集的 K_p 值都相同, 这样集合中的像素就会被分类为都为特征点或都为非特征点。

最后对检测出的特征点进行非最大值抑制, 从重复特征点中选择所期望的最佳特征点, 得到最终特征点集。因为特征点与周围邻域像素点的灰度差之和最大, 所以应先建立评估函数 E :

$$E = \sum_{x \in J} |I(x) - I(p)| \quad (10)$$

其中: J 为中心点 P 周围 8 个像素点的集合, 对邻域内所有特征点按式(10)进行计算, 然后保留最大的 E 作为特征点, 将邻域内其他特征点删除。

表 1 是 FAST-9 算法与其他几种模板的 FAST 特征点检测方法性能的对比结果。

表 1 FAST- n 算法检测特征点性能比较

Tab.1 Comparison of performance of feature point detected with FAST- n algorithm

特征点提取方法	匹配点对数	正确匹配点对数	匹配正确率/%	匹配时间/s
FAST-7	3 000	2 749	91.63	4.52
FAST-8	3 000	2 823	94.10	4.69
FAST-9	3 000	2 932	97.73	4.75
FAST-12	3 000	2 869	95.63	7.62
FAST-16	3 000	2 783	92.77	7.86

由表 1 可以看出本文所提出的 FAST-9 算法与 FAST-16、FAST-12 及其他几种 FAST 算法进行比较时, 在匹配正确率上要高于其他 FAST 算法, 同时匹配时间上也快于 FAST-16 和 FAST-12 算法。虽然 FAST-9 算法在匹配时间上略慢于 FAST-7 和 FAST-8, 但其在匹配精度上明显高于它们。所以总体来说, 本文所提出的 FAST-9 算法在匹配精度和匹配时间上都优于其他 FAST 算法。

3.2 RANSAC 去除误匹配点

FAST-9 算法提取出特征点后, 再利用 FREAK

描述符的采样点离中心特征点越近采样点越密集的特点, 将匹配图像的细节信息用 FREAK 描述符中心的采样区域进行描述。

经过 FREAK 描述符生成特征向量后会不可避免地出现误匹配点, 本文采用 RANSAC 一致性检验进行筛选。RANSAC 检验原理是: 持续地从备选集合中随机抽取匹配点对, 利用抽取的匹配点对建立图像间的仿射关系, 然后通过空间关系的一致性度量验证该仿射关系的正确性, 多次抽取和计算后, 获得的一致性最强的变换参数集即为正确的匹配点集。通过 RANSAC 方法筛选后, 不满足空间一致性关系的匹配点对将被成功删除, 从而完成两幅图像间的匹配。

3.3 FF 算法步骤

Step1: 在原图像上建立像素点个数为 9 的 FAST 模板, 并根据像素点与中心点的灰度关系定义出式(5~7);

Step2: 用 ID3 算法判断选定像素点的熵值 K_i 的正负, 并计算出像素集合的熵值 $H(Q)$;

Step3: 通过非最大值抑制原则筛选出特征点集;

Step4: 采用 FREAK 描述符对图像中心采样区域进行描述, 生成特征向量;

Step5: RANSAC 剔除误匹配点;

Step6: 将剔除误匹配点后的图像与原图像进行匹配, 从而完成两幅图像间的匹配。

3.4 FF 算法对尺度、旋转及光照差异的影响

本文所提出的 FF 算法与 SIFT、BRIEF 算法相比有更好的尺度稳定性, 这是由于 FAST-9 检测子的优良特性, 其引入了 ID3 算法后, 不仅速度更快, 而且可重复率要高于 SIFT 等经典算法, 从而保证了较好的尺度不变性; 在发生旋转变换时, 由于 FF 算法中的 FREAK 描述符的同心圆采样结构具有很好的稳定性, 在外界发生旋转扰动时不易发生旋转, 因而使得其自身具有旋转稳定性; FF 算法对光照也有很好的稳定性, 这是因为 FF 算法中的 FREAK 描述符对每个采样点都采用高斯核进行卷积然后再生成强度值, 受光照的影响较小, 从而使其具有光照稳定性。

4 实验及结果分析

为了检验本文所提算法在旋转变换、尺度变换及光照变换下的鲁棒性, 本文采用 Huqinruil 数据库, 将 SIFT、BRIEF 和本文算法进行对比, 并在不同条件下用查错率-查全率曲线将 3 种算法的实验

结果对比来验证本文所提出算法的有效性. 仿真硬件环境为: CPU Intel(R) Core(TM) i5-2430M 2.40 GHz、RAM 8GB、MATLAB R2014a 和 64 位 Windows10 SP1.

4.1 图像匹配实验

图 1 给出了图像在发生旋转变换、尺度变换以及光照变换时参考图像与待匹配图像的匹配实例. 仿真实验结果表明, 本文算法剔除了较多的误匹配点, 正确匹配率较高, 且匹配点个数也较多.

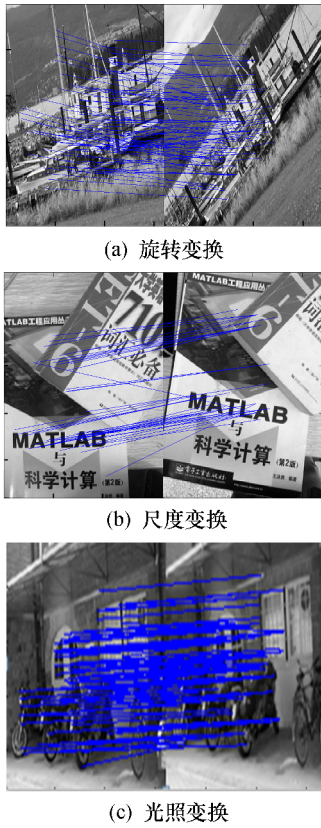


图 1 旋转、尺度及光照变换

Fig.1 Transformation of rotation, scale, and lightening

表 2 给出了 SIFT、BRIEF 和本文算法在实际图像上的匹配时间和匹配率. 可以看出本文算法在表 2 三种算法在真实图像上的匹配率及时间

Tab.2 Matching rate and time of real image with three algorithms

变换方式	匹配方法	特征点总数	正确匹配点数	正确匹配率/%	匹配时间/s
尺度变换	本文算法	537	529	98.51	3.54
	BRIEF	603	582	96.52	5.49
旋转变换	本文算法	547	540	98.72	4.25
	BRIEF	673	612	90.94	7.96
光照变换	本文算法	542	536	98.89	5.27
	BRIEF	600	572	95.33	6.31
	SIFT	673	648	96.29	6.97

旋转、尺度以及光照发生变换时有较高的匹配率和较快的匹配时间, 且具有很好的鲁棒性. 同时可以看出 BRIEF 算法在发生旋转时会出现较大的波动, 这是因为 BRIEF 算法对旋转很敏感, 通常在改进的 BRIEF 算法中会用增加强度质心的方法来使其具有旋转稳定性. SIFT 算法对于尺度变换和旋转变换都有很好的鲁棒性, 但其正确匹配率不高, 并且匹配时间过长. 由此可以看出, 本文所提算法在匹配精度和匹配时间上都有一定的提高, 并且对旋转变换、尺度变换以及光照变换都有很好的鲁棒性.

4.2 查错率-查全率实验

查错率-查全率被用来评价特征描述符的性能, 而不受特征点检测算子的影响. 设查错率为描述本文算法匹配率的横坐标, 查全率为纵坐标.

由图 2 可以看出, 相对于尺度变换, 本文所提出的算法鲁棒性最强, BRIEF 鲁棒性最差. 由图 3 可以看出, 当给图像加上不同强度的光源后, 本文所提出算法的性能优于 SIFT 和 BRIEF, 这是因为本文算法中的 FREAK 描述符对每个采样点都采用高斯核进行卷积然后再生成强度值, 受光照的影响较小.

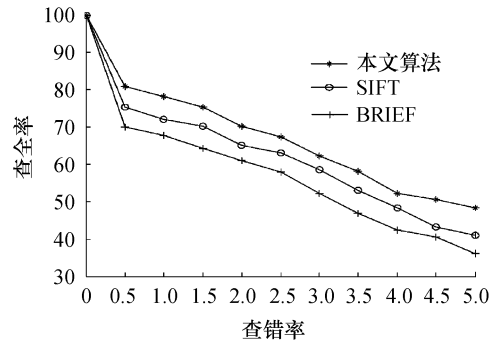


图 2 尺度变换下的查错-查全率

Fig.2 Error detection recall under scale transformation

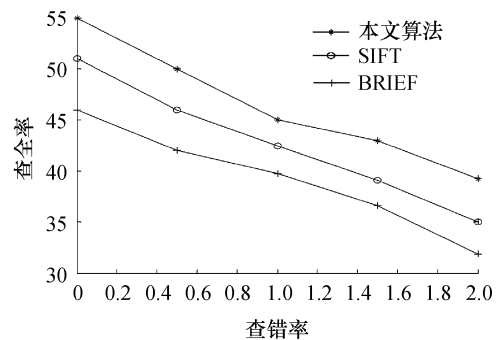


图 3 光照变换下的查错-查全率

Fig.3 Error detection and recall under light transformation

由图 4 可以看出, 本文算法对于旋转的鲁棒性最强, SIFT 和 BRIEF 算法较差. 这是因为 SIFT 使

用矩形邻域的梯度计算特征向量,BRIEF 由于要计算强度质心,所以其对旋转很灵敏,FREAK 描述符的同心圆采样结构使得其自身具有旋转不变性。

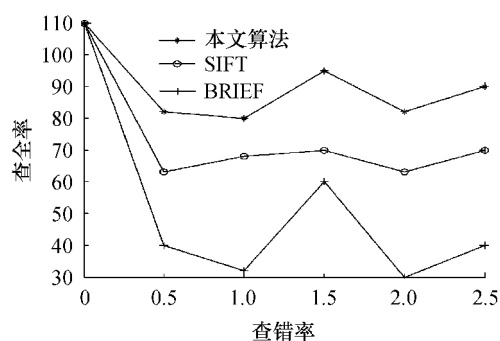


图4 旋转变换下的查错-查全率

Fig.4 Error detection recall under rotation transformation

5 结论

为了解决传统图像匹配中匹配率不高、匹配时间长的问题,本文提出了一种改进的 FAST 算法和 FREAK 局部描述符算法,在 FAST 算法基础上通过不断改变像素点个数得到最佳的 FAST-9 算法,在匹配率和匹配时间上相对于其他 FAST 算法和 SIFT 算法都有一定的提高;同时利用 FREAK 描述符对特征向量进行描述,同心圆的采样结构使其在旋转变换、尺度变换及光照变换下都具有很好的鲁棒性,在匹配时间得到加快的同时也保证了匹配精度。

参考文献:

[1] 陈东生,王怀野.一种图像局部特征快速匹配算法[J].计算机技术与应用,2015,41(11):124-127.

[2] 耿杰,范剑超,初佳兰,等.基于深度协同稀疏编码网络的海洋浮筏 SAR 图像目标识别[J].自动化学报,2016,42(4):593-604.

[3] 余先川,吕中华,胡丹.遥感图像配准技术综述[J].光学精密工程,2013(11):2960-2972.

[4] 赵小强,贾云霞.基于稀疏表示的正则化超分辨率重建算法[J].兰州理工大学学报,2015,41(2):103-106.

[5] 吕娜,冯祖仁.图像匹配与跟踪研究[J].西安交通大学学报,2010,44(10):23.

[6] 白廷柱,侯喜报.基于 SIFT 算子的图像匹配算法研究[J].北京理工大学学报,2013,33(6):622-627.

[7] 魏利胜,周圣文.新型优化 SIFT 的图像快速配准方法研究[J].计算机工程应用,2015(5):167-171.

[8] BAY H, ESSA. Speeded-up robust feature (SURF) [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.

[9] 尧思远,王晓明,左帅.基于 SURF 的特征点快速匹配算法[J].激光与红外,2014(3):347-350.

[10] DUO Jingyun, CHEN Pengfeng, ZHAO Long. LCO: A robust and efficient local descriptor for image matching [J]. International Journal of Electronics and Communications, 2017(72): 234-242.

[11] CALONDER M, LEPETIT V, STRECHA C, et al. BRIEF: binary robust independent elementary feature [C]//Proceedings of the 11th European Conference on Computer Vision. Crete, Greece: [s.n.], 2010: 778-792.

[12] LEUTENEGGER S, CHLI M, SIEGWART R Y. BRISK: binary robust invariant scalable keypoints [C]//Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Vision. [S.l.]: IEEE, 2011: 2548-2555.

[13] 周莉莉,姜枫.基于 FAST 和 BRIEF 的图像匹配算法[J].计算机工程与设计,2015(5):1269-1273.

[14] 王灿进,孙涛,陈娟.基于 FREAK 特征的快速景象匹配[J].电子测量与仪器学报,2015(2):204-212.