

SIFT 与 Harris 提取图像特征点的分析研究

赵 悟¹ 段永璇¹ 段会川² 肖宪翠² 张 睿¹ 岳 媛¹ 孙小飞¹ 范 军¹

(1. 山东省医药卫生科技信息研究所, 山东 济南 250062;

2. 山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014)

摘 要: SIFT(尺度不变特征变换)算法与 Harris 角点检测算法作为两种经典的图像特征点提取算法,在不同的图像处理中,两者体现出的图像特征点提取性能也不同。因此,如何选取合适的评价指标使两种算法在不同类型图像下提取特征点更高效,将对后续的研究与图像分析工作有重要意义。文中利用常用的折线特征主导的图像与光滑曲线特征主导的图像进行实验,并提出了一种指标评价法,即从特征点有效性、计算时效性、特征点相似不变性三方面,分别对 SIFT 和 Harris 算法在提取特征点上的有效性进行定量分析。实验结果表明,在保证特征点有效性、计算时效性以及特征点相似不变性一致的情况下,在折线特征主导的图像处理中,Harris 角点检测算法与 SIFT 算法相比,图像特征点的提取更高效;而在光滑曲线特征主导的图像处理中,由于无法检测到足够数量的特征点,Harris 角点检测算法与 SIFT 算法相比,图像特征点的提取性能相对较低。

关键词: SIFT 算法; Harris 角点检测算法; 特征点有效性; 计算时效性; 特征点相似不变性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)12-0062-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.12.013

Analysis and Research on Image Feature Points Extraction by SIFT and Harris

ZHAO Wu¹, DUAN Yong-xuan¹, DUAN Hui-chuan², XIAO Xian-cui², ZHANG Rui¹,

YUE Yuan¹, SUN Xiao-fei¹, FAN Jun¹

(1. Shandong Institute of Medicine and Health Information, Jinan 250062, China;

2. School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Scale invariant feature transform (SIFT) and Harris corner detection algorithm are two classic image feature point extraction algorithms. In different image processing, they have their own traits in image feature point extraction. Therefore, how to select appropriate evaluation indexes to make the two algorithms more efficient in extracting feature points under different types of images, will be of great significance to the subsequent research and image analysis. In this paper, we take the commonly used polyline features dominant image and smooth curve features dominant image for experiment, and put forward a kind of index evaluation method. From the feature points availability, computational efficiency and feature points invariance, the effectiveness of SIFT and Harris algorithms in extracting feature points is analyzed quantitatively. The experiment shows that in the same way as the above three significant aspects, for polyline feature dominant images, Harris corner detection algorithm performs better than SIFT. But for smooth curved line feature dominant images, Harris corner detection algorithm is drastically degraded since too few feature points are detected.

Key words: SIFT algorithm; Harris corner detection algorithm; feature points availability; computational efficiency; feature point invariance

0 引言

图像匹配技术^[1]主要应用于数字图像处理领域,

随着研究的不断深入,该技术逐渐被应用于其他热门

领域。图像匹配算法^[2]一般分为基于图像灰度匹配算

收稿日期: 2018-01-12

修回日期: 2018-05-23

网络出版时间: 2018-07-04

基金项目: 国家自然科学基金(61373149); 山东省医学科学院面上项目(2016-01); 山东省卫计委面上项目(2015WS0175); 山东省医学科学院创新工程

作者简介: 赵 悟(1989-),男,硕士,研究实习员,研究方向为数字图像处理、智能算法; 段永璇,硕士,副研究员,通讯作者,研究方向为软件工程、医学信息及数据挖掘。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180703.1511.036.html>

法和基于图像特征匹配算法。而后者又分为点特征、线特征以及面特征的匹配算法。其中点特征的提取算法主要分为两大类: 基于图像边缘和基于图像灰度的算法。基于图像边缘的算法在实际中应用广泛并取得了比较好的效果。

基于图像边缘的算法比较典型的有 SIFT 算法与 Harris 角点检测算法^[3]。SIFT 算法对尺度缩放、旋转、光照亮度等变换均具有一定的不变性, 但该算法运算过程繁琐且计算量较大。而 Harris 角点检测算法计算过程较简单, 且对通常的图像变换不敏感。考虑到两种算法都适用于特征点提取, 因此对两者的适用性进行合理的指标分析, 从而选择一种合适的图像处理方法。因此, 文中提出一种指标评价法, 从特征点有效性、计算时效性、特征点相似不变性三方面, 并采用折线特征主导的图像与光滑曲线特征主导的图像进行实验, 对两种算法在提取特征点上的适用性进行定量分析研究。

1 SIFT 算法概述

SIFT (scale invariant feature transform) 算法^[4-9]即尺度不变特征变换算法, 该算法是在 1999 年由 David G. Lowe 提出, 并于 2004 年对算法进行了完善。鉴于该算法检测出的特征点对于图像的尺度缩放、旋转等变换具备一定的健壮性, 因而在图像特征提取方面应用广泛。

利用 SIFT 算法提取图像特征点的基本思路如下所述:

(1) 构建高斯尺度空间。利用原始图像 $I(x, y)$ 与高斯核函数 $G(x, y, \sigma)$ 卷积得到高斯尺度空间图像 $L(x, y, \sigma)$ 。

(2) 寻找极值点。首先需要构造高斯差分尺度空间, 在这里需要用到高斯差分函数 $\text{Dog}(x, y, \sigma)$, $\text{Dog}(x, y, \sigma) = (G(x, y, \sigma) - G(x, y, k\sigma)) * I(x, y)$, 其中 σ 为尺度因子, k 为常数。极值点的检测只需使某一像素点的值与其同层 8 邻域和上下两层 9 邻域共 26 个点的值进行比较。若此点的值均大于这 26 个点的值, 该点就被认定为特征点。

(3) 剔除不稳定特征点。对上一步检测出的特征点需要过滤掉低对比度和边缘不稳定的特征点, 以便提高后续图像匹配的稳定性 and 抗噪能力。

(4) 确定关键点方向。由局部图像梯度模值和方向进行着手, 赋予每个特征点一或多个方向。

(5) 生成特征点描述子。基于每个特征点的邻域对图像局部的梯度值进行计算, 以便产生特征点的描述子。

2 Harris 角点检测算法概述

Harris 角点检测算法^[10-15]是由 C. Harris 和 M. Stephens 在 H. Moravec 工作的启发下于 1988 年提出的, 是对 Moravec 算法的扩充和完善。Harris 算法提取图像特征点的过程大致可分为以下几个步骤:

(1) 分别计算像素点在 x 和 y 方向上的梯度 I_x 和 I_y , 再计算每个像素点对应的梯度乘积即 $I_x^2, I_y^2, I_x I_y$, 其中 $I_x^2 = I_x * I_x, I_y^2 = I_y * I_y$ 。以便得到自相关矩阵 M_1 。

$$M_1 = \begin{pmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(2) 利用高斯核函数 $G(x, y, \sigma)$ 对图像进行高斯滤波, 得到新的自相关矩阵 M_2 。

(3) 利用角点响应函数 R 计算原图像上对应的每个像素点的响应值, 即 R 值。其中角点响应函数 $R = \text{Det}(M_2) - k * \text{Tr}^2(M_2)$, $\text{Det}(M_2) = \lambda_1 \lambda_2$, $\text{Tr}(M_2) = \lambda_1 + \lambda_2$, 其中 λ_1, λ_2 为自相关矩阵 M_2 的特征值, k 为经验值。如果某点的角点响应值 R 大于设定的阈值, 则该点就被选定为特征点。

(4) 选取局部极值点。根据给定的阈值, 采用非极大值抑制的方法对不符合条件的极值进行置零处理, 以确定最终的特征点。

3 实验方法、结果及结论

3.1 实验方法

图像特征配准技术的关键就是要寻找到用于图像配准的特征点。文中主要是对 Harris 角点检测算法与 SIFT 算法提取特征点的过程进行研究分析。针对两类图像: 折线特征主导的图像与光滑曲线特征主导的图像, 为探究两种算法提取特征点的性能高低, 在对以往点特征提取算法评价分析的基础上, 提出了三种新的评价指标, 即特征点有效性、计算时效性、特征点相似不变性。通过三种指标对两种算法的性能进行了研究分析, 具体内容如下:

(1) 特征点有效性。

特征点有效性是由特征点的匹配对数与两幅待匹配图像中提取的特征点总和的比率来表示的, 具体如式 2 所示。在相同实验对象的条件下: 该比值越大, 说明某一算法检测到的特征点相对越有效; 反之其检测到的特征点低效。同时这一判据对于后续的图像匹配也是十分重要的。

$$\alpha = \frac{F_p}{F_1 + F_2} \quad (2)$$

其中, F_p 表示两幅待匹配图像的特征点匹配对数; F_1 与 F_2 分别表示从两幅待匹配图像中提取的特

征点数目; α 表示比率值。

(2) 计算时效性。

计算时效性是指采用特征点检测的花费时间来评价算法的计算速度。理论上讲,计算时效性是对计算复杂性分析的特征。

文中利用计算时效性对 Harris 角点检测算法和 SIFT 算法进行比较,同时为了使比较结果更有说服力,又对图像做了旋转和缩放变换处理。更进一步在同一实验对象和相同的限制条件下:若某一算法的运行时间较长,则说明其检测特征点的速度比较慢;反之则说明该算法可以较快地进行特征点检测。

(3) 特征点相似不变性。

特征点相似不变性无疑是特征提取算法最为显著的特性,因为它决定了一种特征提取算法是否可以在目标图像作未知变换(比如基本的旋转和缩放,以及非线性变换剪切和扭转)的情况下依然可以提取到稳定的特征。

由于 Harris 角点检测算法与 SIFT 算法都具备各自的不变性,为了检查它们的适用性,文中选择了典型的实验图像,并对它们作了旋转和缩放变换,然后根据已获得特征点数的标准偏差判断两种算法的检测能力,这同时也是对计算时效性的进一步说明。

3.2 实验结果

依据上节叙述的方法,在 Windows 7 系统下以 Matlab 2016A 作为开发环境,并基于昵图网提供的图片库进行了 50 组实验。实验图片规格:尺寸为 512×512 ;位深度为 8 位;格式为 png;色彩模式为灰度;图片背景颜色均为统一色调。

(1) 特征点有效性。

首先将 Harris 角点检测算法与 SIFT 算法分别对折线特征主导的图像提取特征点,将原始图像(也即未作旋转和尺度缩放的图像)当作参照图像,而将对原始图像作了一系列旋转和尺度变换后得到的图像作为待配准图像。实验结果是从多组结果中选取的部分运行结果。由于篇幅原因这里只选取旋转变换的结果进行说明。

表 1 和表 2 分别显示了 SIFT 算法和 Harris 角点检测算法在图像旋转变换后得到的结果。

表 1 SIFT 算法的旋转有效性

指标	10°	30°	50°	70°	90°
F_1	225	225	225	225	225
F_2	267	204	199	185	171
$F_1 + F_2$	492	429	424	410	396
F_p	168	159	156	148	123
$\alpha / \%$	34.1	37.1	36.8	36.1	31.1

表 2 Harris 算法的旋转有效性

指标	10°	30°	50°	70°	90°
F_1	195	195	195	195	195
F_2	171	181	160	219	175
$F_1 + F_2$	366	376	355	414	370
F_p	150	165	152	171	158
$\alpha / \%$	40.9	43.9	42.8	41.3	42.7

其中 $F_1 + F_2$ 表示两幅待匹配图像的特征点总数。综合分析了旋转与尺度缩放变换下的结果。针对折线特征主导的图像,Harris 角点检测算法提取到了使图像旋转和尺度变换较准确特征点,并根据特征点有效性比率值 α 可得:在图像旋转角度和缩放倍数相同的条件下,Harris 角点检测算法的比率值均比 SIFT 算法高,其平均大约高 6% 左右。因此,Harris 角点检测算法提取到的特征点比 SIFT 算法更有效,更利于图像的精确匹配。

作为一种角点检测算法,为检测 Harris 算法是否对其他类型的图像同样能够提取到准确的特征点,本节选取了多组光滑曲线特征主导的图像,分别采用这两种算法进行实验。实验结果显示,在以这种“极端”的图像为实验对象时,Harris 角点检测算法几乎检测不到有用的特征点,而 SIFT 算法较好地检测到了图像的若干特征点。因此,上述实验表明,在处理光滑曲线特征主导的图像时,SIFT 算法与 Harris 角点检测算法相比,在特征点有效性上体现出了优势。

(2) 计算时效性。

时效性是指利用 Harris 角点检测算法和 SIFT 算法提取特征点时所耗费的时间。通过计算时效性的高低来评判哪种算法的运算效率较高。在实验中,针对图像的旋转和尺度缩放变换,对应于每一个旋转角度和尺度缩放倍数分别统计了 Harris 角点检测算法和 SIFT 算法的耗费时间值。图像的旋转角度是从 0° 到 90° ,每次变换的角度间隔为 10° ,图像的缩放倍数是从 $0.6 \sim 1.5$,倍数间隔设置为 0.1 。时间值是在相应的角度和缩放倍数下,计算出的五组时间值的平均值。为了使数据更具说服力,计算了相应角度和倍数下算法花费时间的标准差以及均值,并以这两种指标去评判两种算法的运算效率。

图像的旋转角度与花费时间的关系如图 1 所示,图像的缩放倍数与花费时间的关系如图 2 所示,表 3 的数据是由图 1、图 2 中的相关数据计算得出的,其中 \bar{t} 表示花费时间的均值, σ 表示花费时间的标准差。

从图 1 和图 2 可以得到,当图像旋转角度从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 以及缩放倍数从 $0.6 \sim 1.5$ 变化时,对应于每个角

度值和缩放倍数 SIFT 算法的花费时间均比 Harris 角点检测算法的高。同时,以上数据表明,Harris 角点检测算法的时间值稳定在 1.6~1.8 之间,而 SIFT 算法的时间值则波动较大。

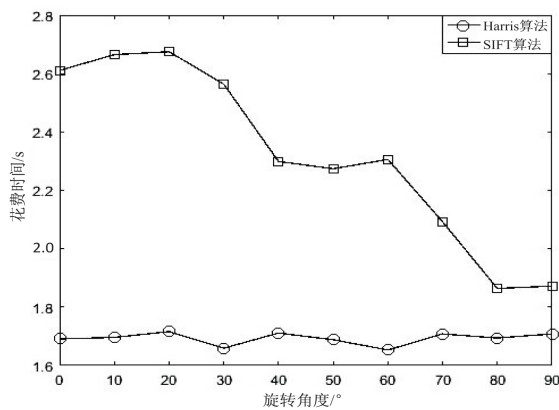


图 1 旋转角度与花费时间的关系

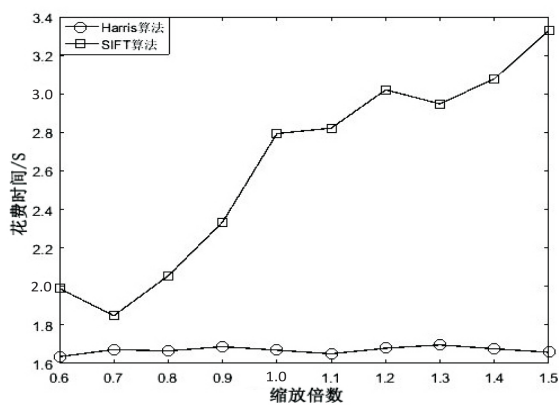


图 2 缩放倍数与花费时间的关系

表 3 Harris 算法和 SIFT 算法的时间比较

算法	旋 转		尺度缩放	
	\bar{t}	σ	\bar{t}	σ
SIFT	2.108	0.287 2	2.475	0.468 3
Harris	1.689	0.019 2	1.658	0.016 8
SIFT/Harris	1.25	14.96	1.49	27.88

如表 3 所示,Harris 角点检测算法时间值的标准差 σ 均比 SIFT 算法低,说明 Harris 角点检测算法的时间值与 SIFT 算法相比更趋于稳定。另外,根据均值 \bar{t} 可以发现 Harris 角点检测算法的运算速度要比 SIFT 算法高 30% 左右。这也进一步印证了 Harris 角点检测算法的计算时效性比 SIFT 算法高。

(3) 特征点相似不变性。

关于特征点相似不变性主要是指在图像旋转和缩放变换的条件下,Harris 角点检测算法和 SIFT 算法是否依然可以检测出稳定的特征点。在表 4 中, F_2 表示从旋转或缩放的图像中检测到的特征点数目(源自表

1 至 2), t 指花费时间。在表 5 中, \bar{F}_2 是指特征点数目 F_2 的均值,而 δ_{F_2} 是指特征点数目 F_2 的标准差。具体实验数据如表 4 和 5 所示。

表 4 Harris 算法和 SIFT 算法的不变性比较

图像变换	Harris 算法		SIFT 算法	
	F_2	t/s	F_2	t/s
旋转角度 10°	171	1.696	267	3.228
旋转角度 30°	181	1.696	204	2.831
旋转角度 50°	160	1.659	199	2.774
旋转角度 70°	219	1.708	185	2.446
旋转角度 90°	175	1.688	171	1.998
缩放尺度 0.5	125	1.611	113	1.705
缩放尺度 0.7	154	1.626	165	1.895
缩放尺度 0.9	169	1.687	183	2.334
缩放尺度 1.1	174	1.699	191	2.745
缩放尺度 1.3	170	1.696	203	2.822

表 5 Harris 与 SIFT 算法特征点相似不变性比较

算法	旋 转		尺度缩放	
	\bar{F}_2	δ_{F_2}	\bar{F}_2	δ_{F_2}
SIFT	205	36.87	171	35.24
Harris	181	22.48	158	20.16
SIFT/Harris	-	1.64	-	1.75

如表 4 所示,在图像旋转和缩放变换中,在相同的旋转角度和缩放尺度下,Harris 角点检测算法在提取特征点时均比 SIFT 算法更高效。结合表 5 可得:Harris 角点检测算法的 δ_{F_2} 比 SIFT 算法小,因而 Harris 角点检测算法提取出的特征点与 SIFT 算法相比更趋于稳定,相关数据表明 Harris 角点检测算法的特征点相似不变性比 SIFT 算法要高出 40% 左右。

3.3 实验结论

实验结果表明,对于折线特征主导的图像,在特征点有效性上 Harris 角点检测算法比 SIFT 算法高约 6%,在计算时效性上 Harris 角点检测算法比 SIFT 算法高约 30%,特征点相似不变性上 SIFT 算法比 Harris 角点检测算法低约 40%。

通过折线特征主导的图像上的特征点展示,Harris 算法与 SIFT 算法相比具有更高的性能。因此,对于折线特征主导的图像特征点的提取,Harris 算法与 SIFT 算法相比具有更高的性能。

另一方面,对于光滑曲线特征主导的图像,实验数据显示,由于 Harris 角点检测算法无法检测到足够多的特征点,因此与 SIFT 算法相比,Harris 算法对应的

三种指标均较低,而实验图像展示也说明了这一点。因此,对于光滑曲线特征主导的图像特征点的提取,SIFT 算法比 Harris 算法具有更高的性能。

4 结束语

针对图像特征点的提取,提出了一种指标评价法,采用特征点有效性、计算时效性、特征点相似不变性,并利用折线特征主导的图像和光滑曲线特征主导的图像进行实验,对 Harris 和 SIFT 算法提取特征点的情况进行了定量分析研究。结果表明,对于折线特征主导的图像,Harris 算法在提取特征点方面展示出了较好的适应性;而对于光滑曲线特征主导的图像,与 Harris 算法相比,SIFT 更好地提取到了足够数量的有效特征点。由于在研究过程中使用了常规单一性质图像及其图像变换,对于较复杂的不常见图像并未涉及,因此下一步工作将在更多复杂图像上研究该算法的适应性特点。

参考文献:

- [1] 戴涛,朱长仁,胡树平.图像匹配技术综述[J].数字技术与应用,2012(3):174-175.
- [2] 胡页初,杨世明.图像匹配算法研究[J].仪器仪表用户,2009,16(2):16-17.
- [3] 邱建国,张建国,李凯.基于 Harris 与 SIFT 算法的图像匹配方法[J].测试技术学报,2009,23(3):271-274.
- [4] 王民,刘伟光.基于改进 SIFT 特征的双目图像匹配算法[J].计算机工程与应用,2013,49(2):203-206.
- [5] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [6] ZHANG Yu, ZHU Dan, WANG Yuliang. Improved fast feature matching method of SIFT[J]. Control and Automation Publication Group, 2008, 24(11):220-222.
- [7] 陈晓燕.基于 SIFT 算法在图像配准上的应用研究和实现[J].电子技术与软件工程,2016(5):102-103.
- [8] 唐雪娇.基于改进 SIFT 算法在图像匹配中的研究[D].大连:辽宁师范大学,2016.
- [9] HU Tao, ZHAO Yong. An novel location technology based on SIFT features matching[J]. International Journal for Light & Electron Optics, 2014, 125(14):3385-3388.
- [10] 吴鹏,徐洪玲,李雯霖等.基于区域检测的多尺度 Harris 角点检测算法[J].哈尔滨工程大学学报,2016,37(7):969-973.
- [11] 郭晨曦.基于 Harris 角点检测算法的图像拼接技术的研究与应用[D].西安:西安科技大学,2016.
- [12] ZHANG Qi, RUI Ting, FANG Husheng, et al. Particle filter object tracking based on Harris-SIFT feature matching[J]. Procedia Engineering, 2012, 29:924-929.
- [13] 张海燕,李元媛,储晨昀.基于图像分块的多尺度 Harris 角点检测方法[J].计算机应用,2011,31(2):356-357.
- [14] 陈白帆,蔡自兴.基于尺度空间理论的 Harris 角点检测[J].中南大学学报:自然科学版,2005,36(5):751-754.
- [15] ZENG Qi, LIU Liu, LI Jianxun. Image registration method based on improved Harris corner detector[J]. Chinese Optics Letters, 2010, 8(6):573-576.
- [16] (上接第 61 页)
- [17] Applications, 2002, 22(2):56-65.
- [18] 万雪芬,杨义,崔剑.图像超分辨率重建处理算法研究[J].激光与红外,2011,41(11):1278-1281.
- [19] 黄秋兰.遥感图像的超分辨率重建技术空域方法研究[D].北京:中国地质大学,2008.
- [20] YU Xiaohua, MORSE B S, SEDERBERG T W. Image reconstruction using data-dependent triangulation[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001, 21(3):62-68.
- [21] 胡迎春,张增芳,邓翔.人脸图像特征点眼睛的定位与提取[J].广西工学院学报,2003,14(1):35-39.
- [22] 肖红,南威治.基于肤色模型与人脸结构特征的人脸检测[J].科学技术与工程,2010,10(21):5179-5183.
- [23] 阮锦新,尹俊勋.基于人脸特征和 AdaBoost 算法的多姿态人脸检测[J].计算机应用,2010,30(4):967-970.
- [24] 沈丁成.基于在线 Boosting 算法的目标跟踪研究[D].天津:天津理工大学,2013.
- [25] GRABNER H, BISCHOF H. On-line boosting and vision[C]//IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. New York, NY, USA: IEEE, 2006: 260-267.
- [26] DAS S K, AKTER L. Analysis of statistical features for face recognition based on holistic approach[C]//International conference on electrical, computer and communication engineering. Cox's Bazar, Bangladesh: IEEE, 2017: 75-78.
- [27] HUANG Yuanyuan, LI Jianping, DUAN Guiduo, et al. Face recognition using illumination invariant features in contourlet domain[C]//2010 international conference on apperceiving computing and intelligence analysis proceeding. Chengdu, China: IEEE, 2010: 294-297.
- [28] 孙鑫,刘兵,刘本永.基于分块 PCA 的人脸识别[J].计算机工程与应用,2005,41(27):80-82.
- [29] 雷静.基于 OpenCV 的人脸跟踪识别系统研究[D].西安:西安电子科技大学,2010.