

一种基于改进 SIFT 算法的图像配准方法

刘 辉^{1,2}, 申海龙¹

(1 重庆邮电大学 通信新技术应用研究所, 重庆 400065; 2 重庆信科设计有限公司, 重庆 400065)

摘 要: 给出一种改进的 SIFT 算法, 并将该算法应用到图像配准中. 首先, 该改进算法结合 Canny 算子, 去除影响匹配的边缘点. 然后采用最近邻与次近邻之比来对 96 维描述子进行匹配. 最后, 采用随机抽样一致性(RANSAC)方法消除误匹配. 实验结果表明, 与原 SIFT 算法相比, 该算法能够有效提高图像配准确度, 并减少了 10% 左右的运算时间.

关键词: 图像配准; SIFT 算法; Canny 算子; RANSAC

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)01-0038-05

Image Match Method Based on Improved SIFT Algorithm

LIU Hui^{1,2}, SHEN Hai-long¹

(1 Institute of the Applications of Advanced Telecommunications Technology,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 40065, China;
2 Chongqing Information Technology Designing Co., Ltd., Chongqing 40065, China)

Abstract: This paper presented a improved SIFT algorithm, and applied this algorithm in image matching. Firstly, integrated the Canny algorithm into the improved algorithm, excluding the edge points. Then, ratio between the first and the second closest distance is used to match the 96-dimensional vectors. Finally, eliminating the inaccurate matching by using RANSAC method. The experimental results show that, compared with the original SIFT algorithm, the modified algorithm can effectively improve the precision of image matching, and the matching time is decreased about 15%.

Key words: image matching; SIFT algorithm; Canny algorithm; RANSAC

1 引言

图像配准是机器视觉和图像处理的重要组成部分, 它被广泛应用于遥感数据分析、计算机视觉、图像处理等领域^[1-3]. 由于受到外界条件的影响, 给图像配准工作造成一定的难度.

SIFT 是文献[4]中提出的一种基于局部特征点的图像配准方法, 该方法在尺度缩放、光照变化、图像旋转和仿射变换等条件下都能获得良好的匹配结果.

SIFT 算法对少量目标也可以快速地产生大量的 SIFT 特征向量, 这些特征向量包含丰富的图像

内容信息, 适合在海量的目标数据库中进行高效的检索^[5]和匹配.

本文给出了一种改进的 SIFT 算法, 改进算法结合了 Canny 算子, 消除影响匹配结果的边缘响应点, 并降低了向量空间维数, 减少了计算量, 同时采用随机抽样一致性算法对匹配结果进行筛选, 消除了错误匹配.

2 SIFT 算法

SIFT 算法包括的步骤如图 1 所示.

2.1 特征点检测

特征点检测的第一步是建立尺度空间. 高斯卷

收稿日期: 2013-02-27; 修回日期: 2013-04-19

基金项目: 科技型中小企业技术创新基(11C26215113601)

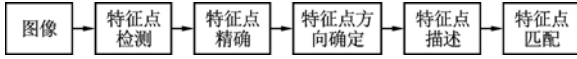


图 1 SIFT 算法主要步骤

积核是实现尺度变换的唯一线性核. 图像的尺度空间 L 定义为原始图像 I 与一个可变尺度的 2 维高斯函数 G 卷积运算.

2.2 特征点精确

在 2.1 节中检测到的极值点中含有部分低对比度和边缘响应点, 这些点的稳定性不高, 而 SIFT 算法的基础是稳定的特征点, 所以需要对检测到的极值点做进一步的精确.

对于消除低对比度点, 需要对尺度空间 DoG 函数进行曲线拟合. 具体步骤参阅文献[4].

2.3 确定主方向

通过尺度不变性求极值点, 可以使其具有缩放不变的性质, 利用特征点邻域像素的梯度方向分布特性, 可以为每个特征点指定方向参数方向, 从而使描述子对图像旋转具有不变性. 通过计算每个特征点的梯度来为极值点赋予方向. 梯度计算式:

$$\text{grad}[I(x, y)] = \left[\frac{\partial I}{\partial x}, \frac{\partial I}{\partial y} \right] \quad (1)$$

梯度幅值和方向的计算公式分别为

$$m(x, y) = [(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\theta(x, y) = \arctan \left[\frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \right] \quad (3)$$

此时, 图像的每个特征点含有 3 个属性: 位置、尺度、方向.

2.4 特征点描述

接下来以特征点为中心, 取 8×8 的窗口, 特征点周围每一个小方格代表特征点邻域所在尺度空间的一个像素, 其中的小箭头代表特征点邻域内像素的梯度方向, 其长度表示梯度模值, 其中的圆圈表示高斯加权的范围. 在 4×4 的邻域内计算 8 个方向的梯度方向直方图, 每个梯度方向的累加值即可形成一个种子点, 一个特征点由 $2 \times 2 = 4$ 个种子点构成. 实际程序中, 使用 4×4 的种子点, 这样, 每个特征点就用 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 维向量来表征. 最后, 对特征向量归一化, 消除光照的影响.

2.5 特征点匹配

计算出两幅图像的特征向量以后, 即对两幅图像进行匹配. 对具有 128 维特征向量的特征点采用欧式距离作为两幅图像的特征点的相似性度量, 当

此距离小于某个阈值时, 就认为这两个点匹配.

3 改进的 SIFT 算法

3.1 Canny 算子

SIFT 算法在获取局部特征点的过程中引入的 DOG 算子, 可以使检测到的极值点对尺度缩放更加稳定, 同时 DOG 算子也不可避免产生了边缘响应点, 边缘响应点对于后期的图像配准过程易造成误匹配, 为提高配准的精度, 需要消除边缘响应点. Lowe 的解决方法是通过主曲率的大小判断来消除边缘响应点, 但是这样只能消除部分的边缘响应点^[5], 因此本文通过 Canny 算子来进一步消除边缘响应点, 精确极值点.

Canny 算子是 John Canny 在 1986 年提出的一种边缘检测算法^[6], Canny 算子检测边缘的实质是求信号函数的极大值问题来判定图像边缘像素点. 坎尼给出了评价边缘检测性能优劣的三个指标: 好的信噪比、好的定位性能以及对单一边缘仅有唯一响应.

好的信噪比, 检测出的边缘信息的漏检率最小, 误检率最小评判参数信噪比 SNR 越大越好.

$$\text{SNR}(f) = \frac{\left| \int_{-w}^w G(-x) f(x) dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x) dx}} \quad (4)$$

式中, $G(-x)$ 表示图像边函数, $f(x)$ 表示滤波器函数, σ 表示噪声的均方差.

好的定位性能: Location 越大越好.

$$\text{Location} = \frac{\left| \int_{-w}^w G'(-x) f'(x) dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x) dx}} \quad (5)$$

要保证只有一个像素响应, 检测算子的脉冲响应导数的零交叉点平均距离 $D(f)$ 满足式(11):

$$D(f') = \pi \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2(x) dx}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$J(f) = \text{SNR}(f) \cdot \text{Location} = \frac{\left| \int_{-w}^w G(-x) f(x) dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-w}^w f^2(x) dx}} \cdot \frac{\left| \int_{-w}^w G'(-x) f'(x) dx \right|}{\sigma \sqrt{\int_{-w}^w f'^2(x) dx}} \quad (7)$$

通过式(12)得出算子的近似实现: 边缘点位于图像被高斯平滑后的梯度值的极大值点.

利用 Canny 算子消除边缘响应点的步骤如下:

将待匹配图像 A_i 通过 Canny 算子进行边缘点检测,检测到的边缘点集合为 E_o . 将待匹配图像 A_i 进行 SIFT 极值点的检测和精确(消除低对比度和部分边缘点),精确之后的极值点的集合为 E_g . 然后将边缘点集合 E_o 与精确之后的极值点 E_g 进行坐标对比. 在点集合 E_g 中,如果有点的坐标与 E_o 中点坐标相同的,视为边缘点,进一步去除,然后将筛选过后的集合 E_p 保存,对其进行特征点的方向确定处理.

$$E_p = E_g - (E_g \cap E_o) \quad (8)$$

3.2 96 维描述子的生成

SIFT 算法生成的 128 维描述子,含有丰富的信息量,对图像旋转、扭曲、光照等具有良好的鲁棒性. 在图像尺寸较小,特征点数目不多的时候,算法实时性较好,随着图像尺寸的增大,检测到的特征点数目庞大,其产生的 128 维描述子在图像配准过程中耗时过大,影响算法的效率.

本文采用的 96 维描述子的生成步骤:

首先,以关键点为中心,计算描述子所需的图像区域半径. 由式(14) 得到

$$\text{radius} = \frac{3\sigma_{\text{octave}} \times \sqrt{2} \times (d+1) + 1}{2} \quad (9)$$

式中, σ_{octave} 是特征点所在组的组内尺度,关键点的邻域划分为 $d \times d$ 个子区域, $d = 4$.

对像素点的横纵坐标都处于 $(-\text{radius}, \text{radius})$ 范围内的点计算它们在旋转关键点的梯度方向后的坐标,以确保旋转不变性,如图 2 所示.

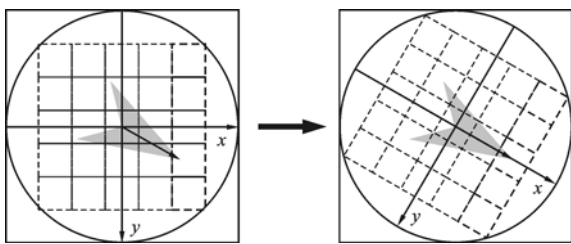


图 2 坐标旋转

旋转以后的新坐标为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$(x, y \in [-\text{radius}, \text{radius}]) \quad (10)$$

在图像区域半径范围内对每个像素点求其梯度幅值和方向,然后对每个梯度幅值乘以高斯权重参数,生成方向直方图. 描述子的生成见图 3.

权值的计算公式为

$$\text{weight} = |\text{grad}(I_o(x, y))| \times$$

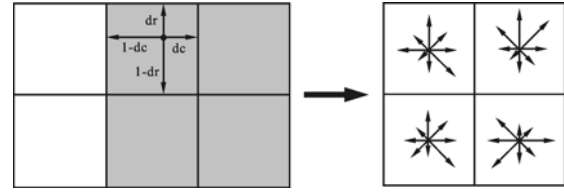


图 3 描述子的生成

$$\exp\left[-\frac{x_k^2 + y_k^2}{2\sigma_w}\right] \times (1 - d_r) \times (1 - d_c) \times (1 - d_o) \quad (11)$$

式中, x_k 为该像素点与关键点的列距离, y_k 该像素点与关键点的行距离, σ_w 等于 $0.5d$.

计算每个子区域的 6 个方向的梯度方向直方图,统计每个梯度方向的累加值,即可形成一个种子点,共 16 个种子点,每个种子点 6 个方向,即可形成 $16 \times 6 = 96$ 维描述子.

接下来对产生的 96 维描述子进行归一化处理,此过程可消除光照对匹配的影响.

$$l_j = w_j / \sqrt{\sum_{i=1}^{96} w_i} \quad j = 1, 2, \dots, 96 \quad (12)$$

在图像采集过程中,非线性光照,相机饱和度变化等问题可能存在,因此而导致的描述子在某些方向梯度值过大,而对梯度的方向影响微弱,造成匹配的误匹配. 所以,需要设置一个门限值,来限制较大的梯度值. 如果经过一次的归一化处理后,还有梯度值大于 0.2 存在,则将该梯度值取 0.2,然后再一次进行归一化处理.

3.3 消除误匹配

在匹配阶段,本文采用穷举法对图像的 96 维描述子进行匹配. 对于两个特征点的集合,求一个特征集中的每个关键点在另一个特征集中的最近邻与次近邻的距离比率 ratio,如果 ratio 小于阈值,则对应的特征点视为正确匹配,否则抛弃. 本文中 ratio 选择为 0.80.

在匹配过程中,由于光照、图像大小、噪声等因素的影响,仍会存在部分的误匹配点,而这些误匹配点需要消除.

从有用的数据中去除无用的数据,比较经典的算法就是最小二乘法和随机抽样一致性算法(RANSAC Random Sample Consensus). 最小二乘法在错误率较少的情况下,有显著的效果,但当错误率超过 50% 以后,最小二乘法就失效了. 为了增强匹配的鲁棒性,本文采用 RANSAC 算法.

RANSAC 算法,由 Fischler 和 Bolles 于 1981 年最先提出^[7],它是通过一组包含异常数据的样本

数据集,计算出数据的数学模型参数,得到有效样本数据的算法。

本文使用 RANSAC 消除误匹配的步骤如下:

(1) 从匹配结果得到的 P 对匹配对随机选取 3 对特征匹配点对,构成 N 的一个子集 S ,由式(13)和式(14)得到相应的变换模型参数矩阵 H 。

$$\begin{bmatrix} x & y & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x & y & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{13} \\ h_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\vec{X} = [\vec{A}^T \vec{A}]^{-1} \vec{A}^T \vec{b} \quad (14)$$

(2) 计算集合 P 中剩余匹配点在变换模型参数矩阵 H 下的投影变换结果,然后计算该结果与其在模型 H 中对应的匹配点的误差,并统计误差值小于阈值 t 的匹配点的数目,这些点为内点,构成的集合 S' 是 S 的一致集。

(3) 如若一致集 S 中匹配点数目大于 3,则用最小二乘法重新计算新的模型 H' ,重新抽取 3 组,重复以上过程。

(4) 在完成一定的抽样次数以后,若未找到一致集,则算法无效;否则选取抽样后得到的最大的一致集来判断内外点,得到最终结果。

4 实验验证及结果分析

为了验证本文改进算法的性能,使用 Pentium CPU2.7 GHz,2 GB 内存,在 Windows XP 下使用 matlab r2009a. 将本文改进的 SIFT 算法应用到国内某品牌日化用品的商标进行配准测试. 其中的测试图像均存在不同程度的缩放、平移、扭转,且均为自然角度拍摄。

参数选取,在高斯金字塔生成阶段 Octave=4,每组层数 $S=5$;在极值点的精确阶段,根据主曲率的大小来去除边缘点, $r=10$;匹配过程中,最近邻与次近邻的比值 $ratio=0.80$,其他参数均与原 SIFT 算法一致。

图像配准的实验结果如图 4 所示。

测试结果说明,在图像有较明显的旋转和仿射变化条件下,改进的算法使用的 96 维描述子仍可以进行正确匹配,通过改进算法,误匹配也得到明显剔除。

实验得到的数据如表 1 所示,其中‘原’表示原

算法的测试结果,‘改进’表示改进算法的测试结果。

表 1 算法的匹配结果

类别 组别	应用算法	总特征点数	总匹配数	错匹配数
实验一	原	498	104	19
	改进	445	71	1
实验二	原	504	121	12
	改进	453	106	0
实验三	原	517	72	16
	改进	472	50	1
实验四	原	1 531	194	18
	改进	1 365	155	2

由表 1 的统计结果可以得到,使用改进后的算法进行配准,匹配的错误率明显降低. 同时,由于 Canny 算子的引入,改进后的 SIFT 算法检测到的特征点数目减少 10% 左右,结合 RANSAC 剔除误匹配以后,配准结果的准确率由 80% 提高到了 95% 以上。

图像配准结果统计曲线分别如图 4 所示,其中图 4(a)表示图像特征点数目与匹配准确率之间的关系,图 4(b)表示图像特征点数目与算法运算时间的关系. 改进后的算法,匹配错误率明显降低,准确

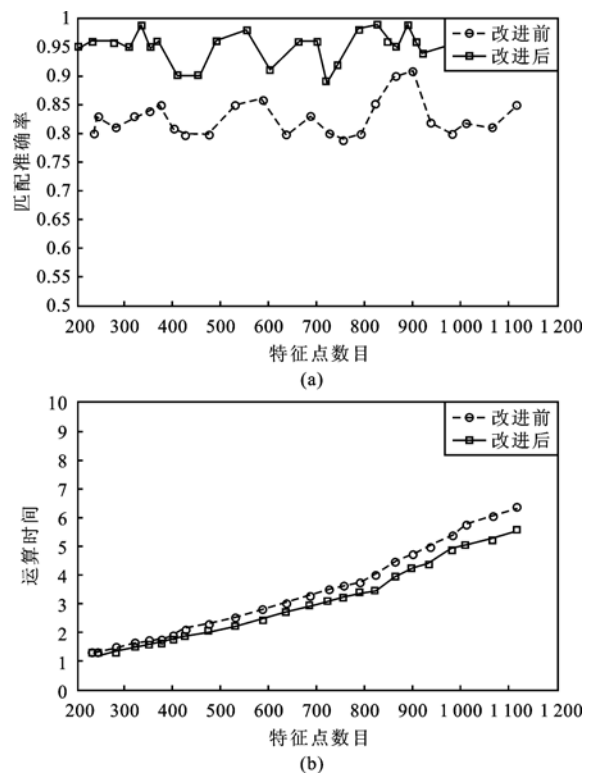


图 4 算法配准结果对比曲线图

率得到大幅提高. 由于 96 维描述子的引入, 以及 Canny 算子消除边缘响应点, 改进后的算法的关键点总数减少, 维数降低, 所以, 理论上算法的运算应减少 25% 左右, 但由于本文的时间包含 Canny 算子以及 RANSAC 算法的运行时间, 因此, 运行时间相对于原算法只减少了 10% 左右. 由测试的结果对比, 可以看出改进算法在结合 Canny 算子, 引入 96 维描述子以后, 利用 RANSAC 算法进行错配点的消除是有效的, 在图像有一定的旋转、缩放和仿射变换下, 均能得到较高的匹配准确率^[8].

5 结束语

本文在 SIFT 算法的基础上, 结合 Canny 算子在极值点提取并精确过程后, 消除边缘响应点, 进一步的精确了极值点; 采用 96 维描述子缩短了算法的运算时间, 对于算法的实时性有一定的提高, 但效果不太明显, 与文献[9]相比, 实时性还有待提高; 在匹配过程中, 采用 RANSAC 算法对匹配结果进行筛选, 消除了误匹配, 提高了配准的准确率, 增强了算法的鲁棒性. 将本文的改进算法应用到某品牌日化用品的商标配准中, 实验证明, 本文的改进算法对于商品标牌能够很好的进行识别和配准, 对于商标的识别和检索工作有一定的辅助作用.

参考文献:

- [1] 宋晓闯. 基于灰度和几何特征的图像匹配算法研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2008.
- [2] Hassan Foroosh, Josiane B Zerubia, Marc Berthod. Extension of phase correlation to sub pixel registration[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(3):188-200.
- [3] 吴锐航, 李绍滋, 邹丰美. 基于 SIFT 特征的图像检索[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(2):478-481.
- [4] David G Lowe. Distinctive image features from scale-invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [5] 张月辉, 吴健, 陆珊珊, 等. 基于词汇树层次语义模型的图像检索算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(11):172-176.
- [6] 杨秋菊, 肖雪梅. 基于改进 Canny 特征点的 SIFT 算法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(7):2428-2432.
- [7] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986 (8):679-714.
- [8] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.
- [9] 王田甲, 刘国荣. SIFT 改进算法在图像配准中的应用[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(5):184-188.

作者简介:

刘 辉 男, (1966—), 教授级高级工程师. 研究方向为通信新技术应用.

申海龙 男, (1986—), 硕士. 研究方向为数字图像处理.

(上接第 37 页)

- [3] IEEE standard for local metropolitan area networks. Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems[S]. Amendment 2, IEEE Standard 802.16, 2006.
- [4] Tam W M, Lau F, Tse C K. A class of QC-LDPC codes with low encoding complexity and good error performance[J]. IEEE Commun. Lett., 2010, 14(2):169-171.
- [5] Brink S T. Design of low-density parity-check codes for modulation and detection[J]. IEEE Transactions on Communications, 2004, 52(4):670-678.
- [6] Liva G, Chiani M. Protograph LDPC codes design based on EXIT analysis[C]// IEEE GLOBECOM 07. Washington DC, 2007:3250-3254.
- [7] Liu X, Wu X, Zhao C. Shortening for irregular QC-LDPC codes[J]. Communications Letters, IEEE, 2009, 13(8):612-614.

作者简介:

徐 华 男, (1975—), 博士, 副教授. 研究方向为信道编码、压缩感知及数字图像处理等.