

基于快速 SIFT 特征提取的模板匹配算法

李忠海¹, 李 申¹, 崔建国¹, 刘罗曼²

(1. 沈阳航空航天大学自动化学院, 沈阳 110136; 2. 沈阳师范大学数学与系统科学学院, 沈阳 110136)

摘要: 针对尺度不变特征变换(SIFT)算法计算量大的问题, 提出一种基于快速 SIFT 特征提取的模板匹配算法。采用递推方法加速计算每个种子向量, 利用向量排序来保持算法对旋转的不变性, 并通过一种适用于该描述符的快速搜索匹配方法, 提高算法的实时性。实验结果表明, 该算法能提高匹配速度, 并且能在旋转、缩放的情况下有效地识别目标。

关键词: 尺度不变特征变换算法; 金字塔描述符; 种子向量; 旋转不变性; 半数搜索法

Template Matching Algorithm Based on Fast SIFT Feature Extraction

LI Zhong-hai¹, LI Shen¹, CUI Jian-guo¹, LIU Luo-man²

(1. School of Automation, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;

2. School of Mathematics and System Science College, Shenyang Normal University, Shenyang 110136, China)

【Abstract】 According to the problem of large amount of Scale Invariant Feature Transform(SIFT) algorithm, this paper constructs pyramid feature descriptor by using concentric squares, calculates every seed vector quickly by using recursion algorithm, and maintains the rotation invariant of algorithm by simply ranking the vector. It puts forward a matching search method which is suitable for the descriptor. Experimental results show that the algorithm can increase the matching speed, and can identify target effectively under rotate and zooming.

【Key words】 Scale Invariant Feature Transform(SIFT) algorithm; pyramid descriptor; seed vector; rotation invariant; half search method

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.24.074

1 概述

模板匹配是图像识别、图像理解及计算机视觉领域的基础技术。模板匹配的方法很多, 有基于方向链码^[1]的匹配方法、基于 SIFT 特征^[2]的方法等。其中, 文献[2]提出的 SIFT 特征匹配方法能够很好地解决模板匹配过程中的旋转和缩放影响, 但在实时性上存在严重不足。

之后产生了很多加速的 SIFT 算法, 这些算法主要从 3 个方面进行改进: (1)改进特征描述符来简化生成的特征向量, 如文献[3]提出的 GLOH 算法是利用同心圆作为特征描述符, 通过主元分析降低特征向量维数来简化计算; 文献[4]提出用圆形窗口作为描述符, 圆内的 12 个方向向量组成特征向量的方法。(2)改进尺度空间的生成方法和特征描述符的表示来简化计算, 如文献[5]利用积分图像生成 DOM 尺度空间, 并利用积分直方图检测和描述特征点的方法。(3)与其他算法相结合来提高识别速度和准确度, 如文献[6]提出的 PCA-SIFT 方法就是利用主元分析把高维的特征向量降低到较小的维数来加速计算的; 文献[7]提出一种改进的基于 SIFT 算子结合 K-means 聚类的模式匹配策。

总之, 很多改进算法主要通过改进特征描述符和降低特征向量维数来提高算法的速度。本文在总结前人对 SIFT 算法改进的基础上, 利用金字塔特征描述符来描述关键点的特征信息, 从而形成 SIFT 特征向量的算法进行模板匹配。

2 算法原理

SIFT 算法主要包含: 建立尺度空间, 寻找候选点; 精确确定关键点, 剔除不稳定点; 确定关键点的主方向; 生成特征描述符向量。实验表明, 生成特征描述符向量在整个算法中占 80% 以上的计算时间, 严重影响算法的实时性。为提高

算法的速度, 本文提出新的特征描述符方法和匹配搜索方法。

2.1 金字塔形特征描述符

本文在已经确定关键点的位置和所在尺度的基础上, 建立以关键点为中心、以 $r_n = 2n(n=1, 2, \dots)$ 个尺度像素为边长的正方形作为特征描述子, 其中, n 为特征描述子的序号。由此可知, 在设定 n 的情况下, 可以得到一组 n 个同心不同大小的正方形, 相邻正方形间的边长相差 2 个尺度像素, 每一个正方形可以形成一个种子点, 这组正方形组成一个金字塔形的特征描述符。如图 1 所示, 黑点表示关键点, 标有相同序号的正方形区域为金字塔形特征描述符的一层, 由此可知, 其每一底层比其顶层多一周的像素。

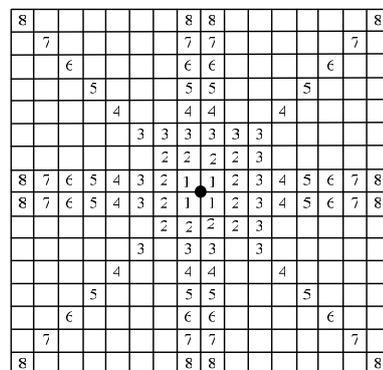


图 1 金字塔特征描述符

基金项目: 航空科学基金资助项目(2008ZD54011)

作者简介: 李忠海(1962—), 男, 教授, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 李 申, 硕士研究生; 崔建国、刘罗曼, 教授

收稿日期: 2011-07-22 **E-mail:** li20020202@yahoo.com.cn

2.2 种子向量

本文通过统计像素的梯度信息来生成种子向量。每个像素梯度的模和方向的计算公式见文献[2]。

将关键点的周围区域分成 m 个方向, 每 $2\pi/m$ 弧度一个方向, 从金字塔的顶部向下统计出每个正方形内 m 个方向的梯度直方图, 形成种子向量:

$$D_n = (d_1, d_2, \dots, d_m)$$

其中, $d_i (i=1, 2, \dots, m)$ 是该正方形区域在方向 $2i\pi/m$ 的梯度模值, $d_i (i=1, 2, \dots, m)$ 是有固定方向的, 以关键点为坐标原点, 以水平坐标轴的方向为零度的方向, 其方向排列顺序参照图 2; n 为正方形在金字塔描述符中的序号。为了使越靠近特征点最近的像素梯度的贡献越大, 采用下面递推公式计算每个种子的向量 D_i 的 m 个梯度方向信息:

$$\begin{aligned} D_1 &= R_1 = (r_1, r_2, \dots, r_m) \\ D_i &= D_{i-1} + 2^{\eta-i} \omega_i \end{aligned} \quad (1)$$

其中, D_i 为第 i 个正方形的种子向量; R_1 是最内部正方形的梯度向量; ω_i 是 D_{i-1} 将其对应正方形外一周像素的梯度信息统计后形成的梯度向量; η 为贡献率因子, 其值为 $n/2$ 取整, 其物理意义是从第 η 个正方形开始弱化边缘像素梯度信息的影响力。图 2 为求 D_4 的过程: 已知 D_3 的 12 个梯度向量, 将外层像素的梯度统计到这 12 个梯度方向下生成向量 ω_4 , 利用式(1)即可求出 D_4 的梯度向量。

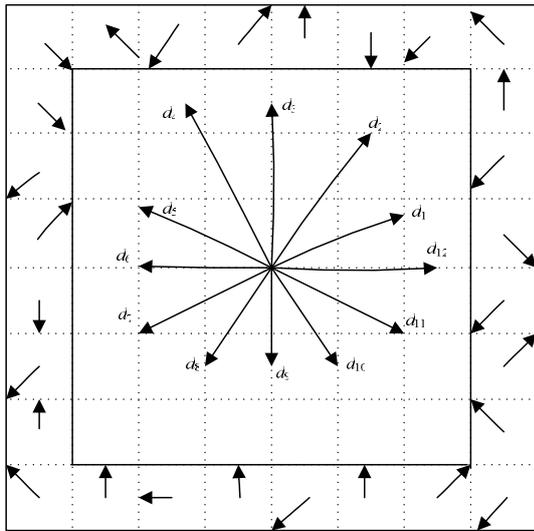


图 2 特征描述符及种子向量

2.3 特征向量

为确保算法的旋转不变性, 求得所有的种子向量后, 首先对尺度最大、即金字塔描述符最底部正方形种子向量的元素进行从大到小排序, 然后将金字塔描述符的其他种子向量元素按这个顺序排列, 最后将排序后的种子向量按照从金字塔描述符底层到顶层的顺序组合为该关键点的特征向量。

假如: 取 $m=8, n=8$ 时, 排序后为:

$$D_8 = (d_1, d_2, d_3, d_8, d_7, d_6, d_5, d_4)$$

将 $D_1 \sim D_7$ 中的元素也按这个顺序排列, 组成的特征向量为:

$$V = (D_8, D_7, D_6, D_5, D_4, D_3, D_2, D_1)$$

最后将 V 进行归一化处理, 从而进一步减少光照变化的影响。

3 模板匹配方法

针对于本文提出的算法, 在模板匹配过程中有 2 个问题需要解决: (1) m 和 n 的取值问题; (2) 特征点匹配过程中的搜索算法问题。

3.1 参数取值

显而易见, m 和 n 的取值影响匹配时间和匹配的准确性。本文定义:

$$\text{匹配率} = \frac{\text{正确匹配点数}}{\text{算法耗时}} \quad (2)$$

即每个正确匹配点消耗的时间, 找出匹配率在不同 $m、n$ 下的最大值有助于寻找最优的 $m、n$ 组合使算法在保证识别率的同时有较快的识别速度。对同一组模板和背景不同参数值下识别结果的统计如图 3 所示。

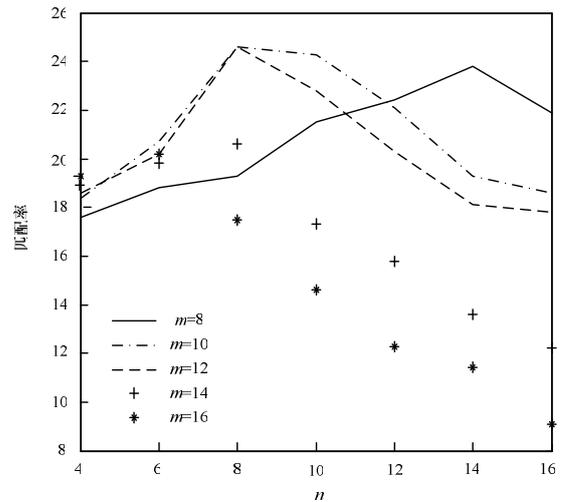


图 3 不同 $m、n$ 值对匹配率的影响

由图 3 可知, 当 $m=8, n=10$ 或 $m=10, n=8$ 时的匹配率最高, 即特征向量在 1×80 维左右时匹配率最高。

3.2 搜索算法

基于特征向量的匹配过程就是寻找 2 幅图像中特征向量最接近的关键点的过程, 即判定 2 个关键点的相似性。2 个向量间的欧氏距离越小, 说明 2 个向量越相似。在求出模板和背景图像中特征点的特征向量后, 为了能够快速准确地找到匹配点, 采用以下基于种子向量的半数筛选法:

(1) V_i 是模板中的某一特征点向量, $V_j (j=1, 2, \dots, p)$ 是背景中检测到的所有特征点向量, 计算 V_i 和 V_j 的最底层种子向量 D_n 间的欧氏距离。

(2) 从 p 个欧氏距离中找出距离最小的 $p/2$ (取整数) 个特征点, 然后计算 V_i 和这 $p/2$ 个特征点 $V_j (j=1, 2, \dots, p/2)$ 间向量 (D_n, D_{n-1}) 的欧氏距离。

(3) 同样以欧氏距离最小找出一半的特征点。并计算它们与 V_i 间向量 (D_n, D_{n-1}, D_{n-2}) 的欧氏距离。

(4) 按照这个方法, 直到最后只剩下一个特征点时, 如果这个特征点向量和模板中的特征向量 V_i 的欧氏距离小于设定的阈值, 就认为该特征点和 V_i 是相匹配的, 否则认为背景中不存在与该点相匹配的点。

4 实验分析

在实验平台为 WindowsXP 操作系统, CPU 2.66 GHz, 512 MB 内存的个人电脑, 编程环境为 Matlab7.1 下, 用本文算法对模板和背景进行了特征点检测和匹配实验, 并且将本

文算法与 Lowe 算法和其他加速算法进行了对比实验。

4.1 模板匹配效果

为了验证本文方法提取的 SIFT 特征在模板匹配中的效果,进行了相应的实验。

(1)对模板及其背景进行特征点提取

取 $m=10$ 、 $n=8$,运用改进后的算法对模板及其背景图像进行特征点定位和提取,提取结果如图 4 所示,结果显示,从模板和背景中分别提取出 52 个和 1 045 个特征点。

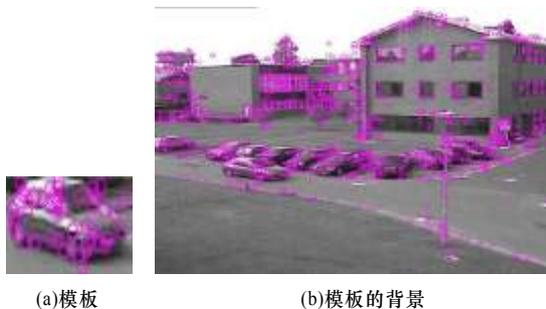


图 4 对模板和背景的特征点检测

(2)特征点的匹配

运用本文设计的搜索算法对模板中每一个特征点寻找其在背景中的匹配点。设定欧式距离的阈值为 15,匹配后从模板中找到 7 个特征点与背景中相应点匹配成功,根据匹配点位置锁定目标在背景中位置,如图 5 所示。然后将背景图像旋转 30° 、缩放 0.5 倍,按照上面的步骤操作后,得到图 6 的结果。由此可知,改进后的算法对旋转和缩放不敏感。

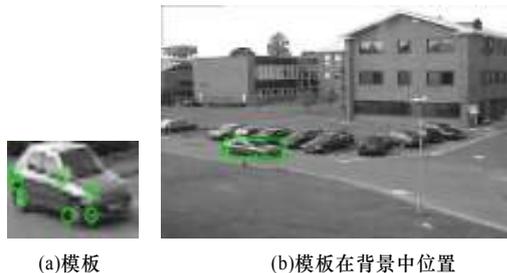


图 5 匹配后的模板与背景

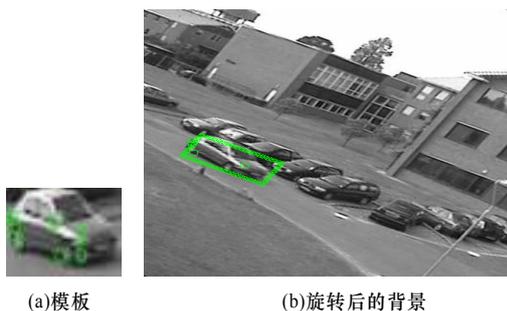


图 6 旋转和缩放背景后的匹配结果

4.2 算法效果对比

为了比较本文算法和 Lowe 算法及其他加速算法的差别,本文统计了 3 种算法对同一模板不同背景的匹配情况。表 1 中“正确”代表模板和背景匹配后得到的对应位置正确的匹配点数;“错误”为模板和背景匹配后对应位置匹配错误的点数;旋转和缩放是对原图像进行相应操作后的匹配结果。“匹配率”与式(2)定义相同。由于篇幅限制,并未列出与所有加速算法的对比结果,表 1 中的“加速算法”采用文献[5]提出的算法。由表 1 可以看出,本文算法与其他 2 种算法相比,不仅匹配速度得到了很大提高,而且正确匹配的点数有所提高,错误的匹配点数有所减少。另外,从旋转和缩放后的匹配效果可以看出,本文算法的抗旋转和缩放能力较强。

表 1 3 种算法的实验结果比较

图像类型	算法种类	正确	错误	时间/s	匹配率
原图像	Lowe 算法	50	3	1.60	31.25
	加速算法	52	2	1.14	45.61
	本文算法	55	0	0.81	67.90
旋转 60°	Lowe 算法	50	4	1.63	30.67
	加速算法	51	2	1.16	43.97
	本文算法	53	1	0.82	64.63
放大 1.2 倍	Lowe 算法	48	3	1.65	29.09
	加速算法	50	2	1.20	41.67
	本文算法	52	1	0.86	60.47

5 结束语

针对 SIFT 算法在模板匹配时速度慢的问题,本文构造金字塔特征描述符,提出一种新的生成种子向量和特征匹配搜索算法来提高识别速度。下一步工作可考虑扩大金字塔层间的像素间隔,采用非线性加权计算种子的梯度向量。

参考文献

- [1] 李忠海,申为峰.基于方向码的旋转变模板快速匹配方法[J].计算机工程,2010,36(16):210-212.
- [2] Lowe D. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. International Journal on Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [3] Mikolajczyk K, Schmid C. A Performance Evaluation of Local Descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [4] 刘立,彭复员,赵坤.采用简化 SIFT 算法实现快速图像匹配[J].红外与激光工程,2008,37(1):181-184.
- [5] 张羽,朱丹,王玉良.一种改进的快速 SIFT 特征匹配算法[J].微计算机信息,2008,24(33):220-222.
- [6] Yan Ke, Sukthankar R. PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Imagedescriptors[C]//Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: [s. n.], 2004.
- [7] 罗佳,石跃祥,段德友.基于 SIFT 特征的人脸识别方法[J].计算机工程,2010,36(13):173-174.

编辑 任吉慧

(上接第 221 页)

参考文献

- [1] 刘朋瑞,郭炜,付宇卓.基于乘法元的查表法实现的色彩空间转换[J].计算机工程,2007,33(16):251-252.
- [2] 赵国英,向世民,李华.高阶矩在颜色传输中的应用[J].计算机辅助设计与图形学报,2004,16(1):62-66.
- [3] 腾秀花,陈昭炯.基于多维特征向量及 ANN 技术的色彩传递算法[J].计算机应用,2006,26(12):66-68.
- [4] 王少荣,李华.一种图像之间的颜色传输方法[J].计算机辅

助设计与图形学报,2006,18(10):1513-1518.

- [5] 林云莉,赵俊红,朱学峰,等.基于图像分解的图像修复技术[J].计算机工程,2010,36(10):187-189.
- [6] Hertzmann A, Jacobs C E, Oliver N, et al. Image Analogies[C]//Proc. of ACM SIGGRAPH'01. New York, USA: [s. n.], 2001.
- [7] Yao Xiang, Zou Bei, Li Hong. Selective Color Transfer with Multi-source Images[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(7): 682-689.

编辑 顾姣健

