

一种凹凸边界上特征点的提取方法

焦玉龙^{1,2} 罗秀娟¹ 马健康¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所,西安 710068)

(2 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要 提出了一种新方法用于提取用于匹配计算的可靠特征点——凹凸(ridges/troughs)边界上的特征点:沿凹凸边界上的高曲率点,凹凸边界线的交叉点以及图像表面上的最小值点. 实验表明,与传统的沿阶跃边界提取特征点的方法相比,该算法提取出的特征点可靠性更高,大大减少了误匹配率. 在凹凸边界点检测阶段,只需要对图像扫描一遍即可,而凹凸边界交叉点和高曲率点的提取要消耗更多的时间. 因此本方法可用于对特征点可靠性要求很高但数量需求不大的情况.

关键词 特征点;图像匹配;凹凸边界

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

0 引言

在过去的 20 年中,一些关于特征点提取方法已有人提出. Harris^[1]提出了一种仅使用一阶方向导数的特征点检测方法,这种方法计算每个像素处的平均梯度平方矩阵,然后通过分析特征值来得到特征点. Kitchen 和 Rosenfeld^[2]提出计算沿边界轮廓每一个像素的梯度方向变化率与局部梯度大小的乘积,认为具有局部最大值的点就是特征点. Yasumoto 和 Medioni^[3]使用平面三次 B 样条来对边界曲线进行建模,取那些具有局部曲率最大值的点就是为特征点. Smith 和 Brady^[4]提出 Susan 检测法,把每个像素与包含它的一块局部区域联系起来,对这块区域极小化,达到极小时该像素位于所要找寻的特征点上. 这些方法大致可以分为两类:第一类是首先提取边界点并将其近似作为曲线,然后寻找曲率最大点,或者用多变形近似拟合边界,进而找出直线交叉点作为特征点. 第二类方法直接作用在灰度图像上,利用灰度变化率来确定特征点.

用上述方法提取的特征点大多其实都是阶跃边界上的角点. 但是在特征点匹配过程中,这些点并不是非常理想的特征点,因为有时第一幅图像中的某特征点与其在第二幅图像中对应的特征点并不是空间场景中的同一点的投影,将这一对对应特征点称为误配点(outlier). Shilat^[5]提出虽然并非所有的阶跃边界上的角点都是误配点,但是当需要数量不多而要求可靠性很高的特征点时,安全起见还是应避免在阶跃边界上寻找特征点,较安全的方法是在凹凸边界上寻找特征点. 这些特征点包括沿凹凸边界上的高曲率点,凹凸边界线的交叉点以及图像表

面上的灰度最小值点. 相比于在阶跃边界上寻找的特征点,凹凸边界上的特征点对于图像匹配来说具有更好的鲁棒性.

1 特征点提取

1.1 凹凸边界的检测

图像表面 $z(x, y)$ 可以表示为方程

$$z(x, y) = xi + yj + I(x, y)k \quad (1)$$

式中 $I(x, y)$ 表示图像在点 (x, y) 的灰度值. 当且仅当有一条曲线通过该像素且曲线在该像素处取得最大值或最小值时该像素被定义为凹凸边界上的点. 而在阶跃边界上的点则没有这样的定义.

通常只考虑在坐标轴方向上的曲线. 在任一坐标轴方向上,寻找某像素附近的一个一维窗口中点的一条具有最小二乘误差的拟合曲线,即最小化

$$\sum_i (P_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2 \quad (2)$$

式中 P_i 代表像素值, a, b, c 为该拟合曲线的系数.

式(1)中二次曲线系数向量 C 的解为

$$C = [A^T \ A]^{-1} A^T P \quad (3)$$

式中 A 为矩阵 $[x_i^2, x_i, 1]$, P 是灰度值 P_i 的向量. 例如取 x_i 为 $[-4, -2, -1, 0, 1, 2, 4]$, 由于系数 c 在后续关于最值以及曲率的计算当中不再涉及,所以只需要求出 a, b 这两个系数. 则由式(2)可得

$$a_i =$$

$$\frac{10P_{i-4} - 2P_{i-2} - 5P_{i-1} - 7P_i - 5P_{i+1} - 2P_{i+2} + 10P_{i+4}}{294}$$

$$b_i = \frac{-4P_{i-4} - 2P_{i-2} - P_{i-1} + P_{i+1} + 2P_{i+2} + 4P_{i+4}}{42}$$

如果分别对应两坐标轴的两条曲线(对应两坐标轴)中的一条在这个像素处满足以下两个条件:

1) 曲线的曲率最值点 $e = -b/2a$ 是在该像素允许范围内(在此设定 0.268);

2) 在该最值点的曲率 $K = \frac{2a}{(1+(2ae+b)^2)^{3/2}}$ 大于预先确定的阈值(在此设定阈值 K 为 264).

则该像素是凹凸边界上的点.

对图 1(a)中的家具进行凹凸边界检测得到图 1(b). 可以看出,在阶跃边界点(床头柜的边缘)并没有出现在凹凸边界图像中,而衣柜门边缘以及书柜隔板由于该处曲线比周围亮(凸),因此保留在了凹凸边界图中.

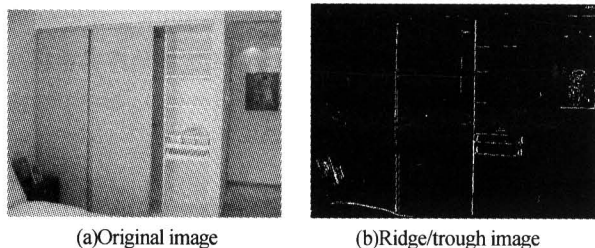


图 1 原图以及凹凸边界图

Fig. 1 Original image and its Ridge/trough image

1.2 图像表面灰度极小值点的提取

对于上节所提取出的凹凸边界上的点来说,如果分别对应两坐标轴两条曲线中的一条在该像素处有曲率最小值,而且该点的灰度值比其八个邻域的点的灰度值都要小,则该像素是所要求的图像表面的最小值点.

1.3 凹凸边界曲线交叉点的提取

定义图像表面 $z(x, y)$ 的二阶方向导数取得最大绝对值的方向为点 (x, y) 的方向 l , 该方向与由将要求出的特征点连成的曲线在 xOy 平面上的投影 s 在点 (x, y) 的切线方向 t 垂直^[6]. 方向 l 可以通过计算 Hessian 矩阵 $H(x, y) = \begin{bmatrix} z_{xx} & z_{xy} \\ z_{xy} & z_{yy} \end{bmatrix}$ 的特征值以及特征向量来求得,与绝对值最大的特征值对应的特征向量就是方向 l , 该特征值就是沿方向 l 的二阶方向导数. 可以利用数值分析中的 Jacobi^[7] 方法来提高计算效率.

现在把特征点连接成线. 首先从二阶方向导数最大的像素开始, 依次将该像素邻域合适的像素连接到当前线上. 由于已经求出了每一个像素的方向 l , 因此每次只需要检测与当前像素的方向相对应方向上的三个邻域像素. 例如, 如果当前像素为 (p_x, p_y) 而且该像素的方向 l 为 37° , 则只需要检测 $(p_x + 1, p_y + 1)$, $(p_x + 1, p_y)$, $(p_x + 1, p_y - 1)$ 三个像素. 关于选取哪一个点作为合适的像素连接到当前线上, 基于以下原则: 令 $p = |p_2 - p_1|$ 为两像素之间的灰度值差, $\beta = |\alpha_2 - \alpha_1|$ 为两像素之间的方向角度差, 则使表达式 $p + c\beta$ 最小的邻域像素为所求的最合适的像素, c 为一常量. 该算法将一直增加线点

直到在当前点邻域像素中没有候选特征点(1.1 节中的凹凸边界上的点), 或者当前点邻域的最合适的像素已经被加到了另外的一条线上. 如果后一种情况发生, 则这个最合适的像素就是两条线的交叉点, 即所要求的第二种特征点. 当一条线不再有新的线点增加的时候, 只要还有二阶方向导数大于某预先确定阈值(此处选取 9.7)的候选特征点, 则就会有新线产生.

关于两点之间的角度差 β , 还有一点需要特别指出, 由于 l 与曲线 s 的切线方向 t 垂直, 而两点之间方向角度差应该是在曲线 s 在两点处的切线方向 t 的角度差, 因此需要确定曲线在每一点处的切线方向 t . 首先定义在每一条线的起始点处, 方向 t 旋转 -90° 就与方向 l 重合, 在接下来的线点处, 方向 t 都有两个相差 180° 的可能方向, 那么规定使当前点与前一点的切线方向 t 的角度差的绝对值最小的方向为当前点的切线方向 t .

1.4 凹凸边界上的高曲率点的提取

忽略图像曲面 $z(x, y)$, 而仅仅考虑 1.3 节的线点 $x-y$ 平面二值图(线点记为 1, 其它点记为 0). 定义一个 $n \times n$ (在应用中, 选择 $n=5$) 的搜索窗口, 该窗口在二值图上滑动, 当搜索窗口中心像素位于“1”点上时, 仍然使用最小二乘法, 用一条三次曲线来拟合窗口中属于一条线的线点, 如果该三次曲线上的曲率最大值大于预先规定的阈值(此处取 2.73), 则搜索窗口中心像素点为所要求的凹凸边界上的高曲率点见图 2.

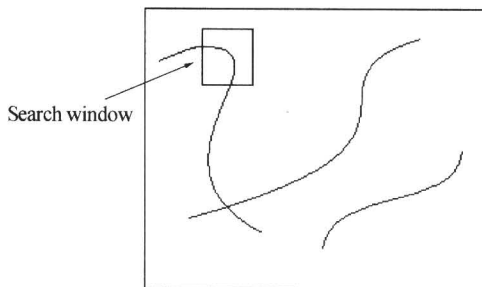


图 2 搜索高曲率点

Fig. 2 Search points of high curvature

2 实验结果

将本文提出的方法应用于由手持数码相机拍摄的图像数据. 如图 3, 只对两幅图像的共同部分进行了计算, 分别提取出了 23 个特征点. 从图中可以看出, 左右两幅图像中所提取出的特征点并不完全一样, 在左图中出现的一些点在右图中并没有出现, 反之亦然, 所以这些点并不影响后续的匹配过程. 只有那些在左右两幅图像中都出现的点才是所要寻找的匹配点对. 而对于在阶跃边界上寻找的出的特征

点,当在一幅图中出现误配点时在另一幅图中经常可以找到其对应点,但是这两点并不是空间同一点在象像平面的投影,是误匹配点. 在 PIII550 的计算机上运行,采用本文的算法,计算机运行时间为 569s.

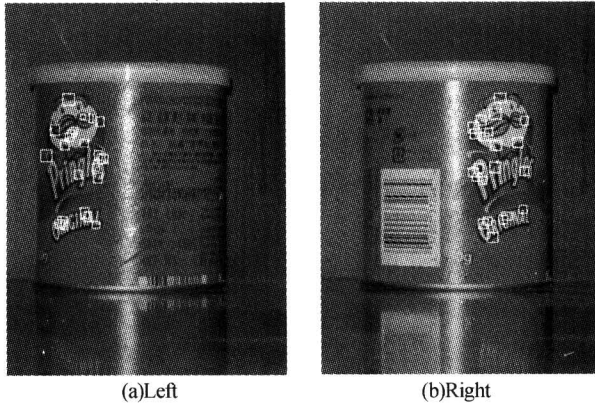


图 3 左右两幅图像上的特征点
Fig. 3 Feature points of two images

3 结论

图像匹配是当前计算机视觉领域里一个热门课题,可靠的特征点又是良好的图像匹配的前提. 本文提出了一种基于在凹凸 (ridges/troughs) 边界上的提取特征点的提取方法,在进行图像匹配时,该方法与传统的在阶跃边界上寻找特征点的方法相比,在用于图像匹配的计算时具有更好的鲁棒性. 证明实验,本文所提出的算法比较适合于需要数量不多但是对可靠性要求很高的特征点情况. 在该算法的基础上仍有很多可以改进的地方,在进行计算时,采用了不同的固定阈值,今后的研究可以考虑采用自适应阈值法,使得检测出的特征点更准确.

参考文献

- Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector. Forth Alvey Vision Cong, Manchester, 1988. 147~151
- Kitchen L, Rosenfeld A. Gray-level corner detection. *Pattern Recognition Letters*, 1982, **1**(2): 95~102
- Medioni G, Yasumoto Y. Corner detection and curve representation using cubic b-splines. *Comp Vision Graphics and Image Processing*, 1987, **39**(3): 267~278
- Smith S M, Brady J M, SUSAN. A new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*, 1997, **23**(1): 45~78
- Shilat E, Werman M, Gdalyahu Y. Ridge's corner detection and correspondence. *Proc of the IEEE Conf, on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1997. 976~982
- Steger. Removing the Bias from Line Detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1997. 116~122
- 封建湖,车刚明,聂玉峰. 数值分析原理. 北京: 科学出版社, 2002. 237~243
Feng J H, Che G M, Nie Y F. Numerical Analysis. Beijing: Science Press, 2002. 237~243
- 章毓晋. 图像工程(下册)—图像理解与计算机视觉. 北京:清华大学出版社, 2000
Zhang Y J. Image Project (Volume Two)—Image Understanding and Computer Vision. Beijing: Tsinghua Press, 2000
- Zhang Zhengyou, Deriche Rachid, Faugeras Olivier, et al. A robust technique for matching two uncalibrated images through the recovery of the unknown epipolar geometry. *Artificial Intelligence Journal*, 1995, **78**(1): 87~119
- Deriche R, Zhang Z Z, Loung Q T, et al. Robust recovery of the epipolar geometry for an uncalibrated stereo rig. *In lecture Notes in Computer Science*, 1994, **800**(94): 567~576
- Deriche R, Giraudon G. A computational approach to corner and vertex detection. *International Journal of Computer Vision*, 1993, **10**(2): 101~124
- Zheng Z, Wang H, Teoh E K. Analysis of gray level corner detection. *Pattern Recognition Letters*, 1999, **20**(2): 149~162
- 叶志强,吴建明. 基于 CT 切片特征匹配的三维体重建. 光子学报, 2003, **32**(1): 22~25
Ye Z Q, Wu J M. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 22~25
- 袁惠晶,王涌天. 一种抗干扰的弱小目标监测方法. 光子学报, 2004, **33**(5): 609~612
Yuan H J, Wang Y T. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(5): 609~612
- 杨静,丘江,王岩飞,等. 基于线性不变矩的特征图像配准算法研究. 光子学报, 2003, **32**(9): 1114~1117
Yang J, Qiu J, Wang Y F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1114~1117

An Approach of Extracting Reliable Feature Points for Image Matching

Jiao Yulong^{1,2}, Luo Xiujuan¹, Ma Jiankang¹

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 70068

² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date: 2004-11-03

Abstract An approach of extracting reliable feature points along ridges/troughs is presented. The feature points including high curvature points along ridge/trough, cross points of ridges/troughs and minimum points in image surface. Experimental result shows that the approach is more robust as compare with the traditional approach of extracting feature points along step edges and reduce the possibility of the appearance of outliers. Scanning the image for just one time will get the points along ridges/troughs, but computing the cross points of ridges/troughs and the high curvature points along ridge/trough will cost more time. So this approach is available for applications that require only a small set of highly reliable feature points.

Keywords Feature point; Image matching; Ridges/troughs edge



Jiao Yulong was born on July 25, 1980, in Shijiazhuang, Hebei province. He received his B. S degree in Hefei University of Technology in 2002. Now, he is studying in XIOPM for M. S degree and his research interests include computer vision and image processing.