

一种快速自适应 RSUSAN 角点检测算法^{*})

杨莉 张弘 李玉山

(西安电子科技大学电路 CAD 研究所376信箱 西安710071)

摘要 根据图像边缘灰度的渐变特性,我们重新定义 SUSAN^[1](Small Univalve Segment Assimilating Nucleus)算法中小核值相似区;并找到一种更为有效和简便的计算小核值相似区面积的方法;在此基础上提出了 RSUSAN (Redefined SUSAN)角点检测算法。与经典的角点检测算法 SUSAN、MIC^[2](Minimum Intensity Change)相比,RSUSAN 具有角点检测准确性高,计算简单,运算速度大为提高等优点。对于模糊、噪声大的图像本文还进一步提出了采用自适应平滑和 RSUSAN 相结合的方法,称为自适应 RSUSAN 算法。实验证明,相比较 SUSAN、MIC 算法而言,自适应 RSUSAN 算法没有显著地增加计算量,而且在对模糊、噪声大的图像进行角点检测时,虚报及漏检概率大大减少,对噪声的鲁棒性好,角点检测位置精确。

关键词 角点检测, SUSAN, MIC, 自适应 RSUSAN

Rapid Adaptive RSUSAN Algorithm of Corner Detection

YANG Li ZHANG Hong LI Yu-Shan

(The Institute of Electronic CAD, Xidian Univ., Xi'an 710071)

Abstract Based on the gradual change of the image edge gray, a new redefinition of the region of the SUSAN (Small Univalve Segment Assimilating Nucleus) and a more efficient and simple method to compute it are suggested. And thus a new corner detection algorithm RSUSAN is proposed. The experiment shows that, compared with SUSAN and MIC, such algorithm is of simpler process, more rapid speed and more high veracity. In addition, in order to deal with the blurred and noisy image, the way of combination of adaptive smoothing and such new algorithm is put forward, and the result of applying this adaptive RSUSAN corner detection algorithm to blurred and noisy image shows that it has similar numeration amount, but has better effect than SUSAN and MIC.

Keywords Corner detection, SUSAN, MIC, Adaptive RSUSAN

1 引言

一般来说,图像边缘曲线上具有曲率极大值的点定义为角点。由于角点的信息含量很高,可以对视觉处理提供足够的约束;角点数相对于图像像素点总数来说十分少,极大地提高了计算速度,使得实时处理成为可能;可以在图像之间进行可靠的匹配等优点,使得角点检测在光流计算、目标跟踪、三维场景重构、运动估计等机器视觉方面起着十分重要的作用。

已提出的关于角点检测的方法很多,最早的途径之一为分割图像,抽取边界形成链码,然后将方向改变迅速的点标志为角点。这种方法过多地依赖于图像分割及边缘检测的效果,而且图像分割复杂,计算量大,不适于实时处理,所以现在大部分的角点检测方法分为两类:1)基于曲率,如文[3~5];2)直接基于图像亮度对比,这一类有 SUSAN (Small Univalve Segment Assimilating Nucleus) 算法和 MIC (Minimum Intensity Change) 算法。

求解曲率需要用到图像灰度梯度和沿梯度方向的变化率,这样检测出的角点对噪声敏感,因此本文重点研究 SUSAN 算法和 MIC 算法,并在研究的基础上提出了一种新的角点检测算法,称之为 RSUSAN (Redefined SUSAN) 算法,实验证明,RSUSAN 算法不仅运算简单,角点检测准确性高,而且运算速度比 SUSAN 和 MIC 要提高许多。

Smith 和 Brady 介绍了用于低层图像处理的 SUSAN 算

法,其基本原理如图1所示。

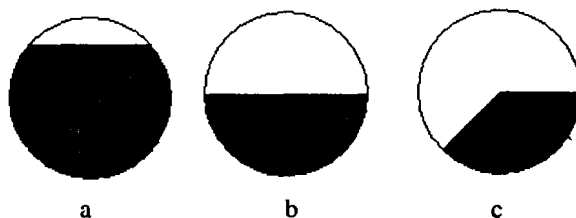


图1 USAN 的三种典型形状:(a)核心在 USAN 区域内 (b)核心为边缘点 (c)核心为角点

被检测的像素点位于圆邻域的中心,称为核心点。假设图像为非纹理,核心点的邻域被划分为两个区域:灰度值等于(相似于)核心点灰度区域,即核值相似区(Univalve Segment Assimilating Nucleus, USAN)和灰度值不相似于核心点灰度区域。考虑上述三种情况,对于核心点在 USAN 区域内,其 USAN 区域最大;核心点位于边缘,其 USAN 区域为整个邻域面积的1/2;而角点附近 USAN 区最小。基于这一原理,为了找到角点,计算 USAN 区域的面积和质心,并在这些参数的基础上发展角点检测算法。

在计算 USAN 区域时,使用相似比较函数:

$$c(\vec{r}, \vec{r}_0) = \exp\left(-\frac{|I(\vec{r}) - I(\vec{r}_0)|}{t}\right) \quad (1)$$

其中, $I(\vec{r}_0)$ 为核心点灰度值, $I(\vec{r})$ 为邻域内非核心点灰度值, t

^{*}) 基金项目:国家自然科学基金(No. 60172004);北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室基金(No. 2001-03);博士点基金项目(20010701003)。

为区分特征目标与背景的阈值。

SUSAN 算法不用对图像求导,抗噪声能力强,可以检测所有类型的角点,精度好。但本文认为 SUSAN 算法仍然存在三个问题:1)相似比较函数计算复杂;2)图像中不同区域处目标与背景的对比程度不一样,取固定阈值 t 不符合实际情况;3)USAN 的三种典型形状为理想情况,即认为与核心点处于同一区域(物体或背景)的像素与核心点具有相似灰度值,而另一区域则与它相差较大。实际中,由于图像边缘灰度的渐变性,与核值相似的像素并不一定与它属于同一物体或背景,而离核心点较远,与它属于同一物体或背景的像素灰度值却可能与核值相差较远。

所以,根据实际情况,重新定义核值相似区,并提出一种更为有效和简便的计算核值相似区面积的方法,不仅克服了上述问题,而且计算简单,角点检测准确性高,运算速度也大为提高。

MIC,即最小亮度变化算法,是 Trajkovic 等人在 CRF (corner response function),即角点响应函数的基础上提出的一种新的角点检测算法,也是利用了 USAN 的三种典型形状,但基本原理不同,MIC 认为角点处任何方向图像亮度变化都很大,因此在核心点邻域内计算其所有可能方向的最小亮度变化,即 CRF 值,具有大于某一阈值且为局部最大 CRF 值的像素点认为是角点。经分析发现,这种算法相比较 SUSAN 算法而言,计算稍有简单,但由于图像的量化结果,插值不能达到很好的效果,致使有些边缘点和角点区分不出来;而且计算 CRF 时只用到了邻域圆周上的点,在使用固定模板时,若使用大模板,会造成角点定位不够准确,而使用小模板,对有些图像边缘模糊的部分,就会遗漏很多角点。

从下文可以看出,RSUSAN 角点检测算法克服了 SUSAN 和 MIC 角点检测算法中存在的一些问题,而且计算简单,角点检测准确性高,运算速度大为提高,为实时应用提供了良好的基础。

2 新的快速角点检测算法 RSUSAN

新的快速角点检测算法 RSUSAN 使用了 USAN 角点检测算法中的 37 圆模板,利用邻域中的所有像素点,不需插值,计算简单,而且并不根据固定阈值来简单地确定邻域中哪个像素点和核心点属于同一区域。

据观察发现,由于图像边缘的渐变性,图像边缘处的点的邻域可以分为三部分:亮度值大于核心亮度的点;亮度值小于核心亮度的点以及亮度值非常接近于核心亮度,认为等于核心亮度的点。求前两部分亮度均值,其更为接近核心亮度的部分和亮度值等于核心亮度的部分被认为与核心点处于同一区域,而另一部分其均值亮度与核心亮度的差值应该大于某一阈值 thres_diff ,这一阈值表明这两部分是可以分开的。为了保证一定的误差范围,设定一个最低阈值 thres_sim ,在这个阈值范围内认为邻域像素点的亮度等于核心像素点的亮度。这个阈值设定最低,因此适用于整个图像范围。对图像像素点邻域这样划分,要比 SUSAN 的划分方法更接近于实际情况。

实际计算中,采用 USAN 的 37 圆邻域,逐个比较邻域点和核心点的灰度值,若灰度差值低于 thres_sim ,认为此邻域点和核心点具有相同的灰度值,否则,若邻域点大于核心点灰度值,则将此邻域点划为亮区域范围,否则划为暗区域范围。然后计算亮区域和暗区域的灰度均值,均值接近核心灰度值

的认为和核心属于同一区域,这样,最终核心点的邻域被划分为两个区域,均值接近核心灰度值部分加上与核心点具有相同灰度值的部分组成区域 1,认为与核心点属于同一区域,而另一部分区域 2,则认为与核心点不属于同一部分。根据 USAN 基本原理,若区域 1 的面积小于整个邻域面积的一半,认为是角点候选点。本文也采用此种说法,若区域 1 的面积小于 18,即 37 圆邻域面积的一半,而且,区域 2 的灰度均值与核心灰度差值大于 thres_diff ,则认为此核心点为角点候选点。最后,采用 7×7 邻域最大值压缩获得最终角点。

将 RSUSAN 算法用测试图像与 SUSAN、MIC 算法进行比较(图 2),得出:

1)RSUSAN 算法不进行插值运算,避免了插值误差,检测效果优于 MIC 算法。

2)由于测试图像边缘清楚,接近理想情况,对测试图像进行角点检测时,RSUSAN 算法与 SUSAN 算法效果一致,但 RSUSAN 算法要比 SUSAN 算法计算简单,运算速度提高。

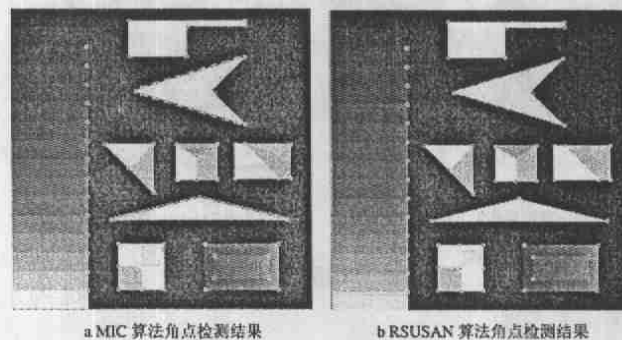


图 2 MIC 与 RSUSAN 角点检测算法检测比较结果

3 自适应平滑 RSUSAN 中的角点检测预处理

对于模糊或者噪声很大的图像,目前的角点检测方法都不能取得良好的效果。所以,本文提出在进行 RSUSAN 角点检测算法之前,采用自适应平滑对图像进行预处理。这种自适应平滑与 RSUSAN 算法相结合的方法,其效果比 SUSAN 和 MIC 算法效果要好,而总的计算量却没有显著增加。自适应平滑方法很多,这里采用 Philippe Saint-Marc 等人^[6]提出的自适应平滑方法。

自适应平滑方法是在平滑滤波算法上进行一定的改进,其目的是使信号的内部区域被平滑,而边缘被锐化,表现在图像上,是使得边缘模糊或噪声大的图像在经过自适应平滑后,具有噪声点的内部区域被平滑而模糊边缘锐化,为后续的工作打下良好基础。

文[6]提出的自适应平滑方法是将原始图像与一个非常小的模板进行迭代卷积,模板每一点的系数反映了这次卷积前图像在这一点上的平滑程度,如果平滑,则相当于将图像在这一点进行均值化,若不平滑,则模板系数为零,平滑不连续附近信号就不考虑不连续的点,这样,属于不同区域的点可以分开,因为使用非常小的模板,属于不连续处的点,连续卷积会迫使它们加入邻近区域,从而强化边缘。这样迭代卷积的结果为一系列灰度常量区,从而形成清晰效果。其具体算法如下:

假设使用 3×3 小模板,设第 k 次在 (x, y) 处被平滑的信号值为 $I^{(k)}(x, y)$,则第 $k+1$ 次在 (x, y) 处被平滑的信号值为:

$$I^{(k+1)}(x, y) = \frac{1}{N^{(k)}} \sum_{i=-1}^{+1} \sum_{j=-1}^{+1} I^{(k)}(x+i, y+j) w^{(k)}(x+i, y+j)$$

j)

其中: $N^{(k)} = \sum_{i=-1}^{+1} \sum_{j=-1}^{+1} w^{(k)}(x+i, y+j)$; $w^{(k)}(x, y) = e^{-\frac{G_x^2 + G_y^2}{\sigma^2}}$, G_x 和 G_y 为 (x, y) 处沿 x 和 y 方向的方向导数, σ 决定平滑过程中边缘锐化的程度。检测结果如图3所示。

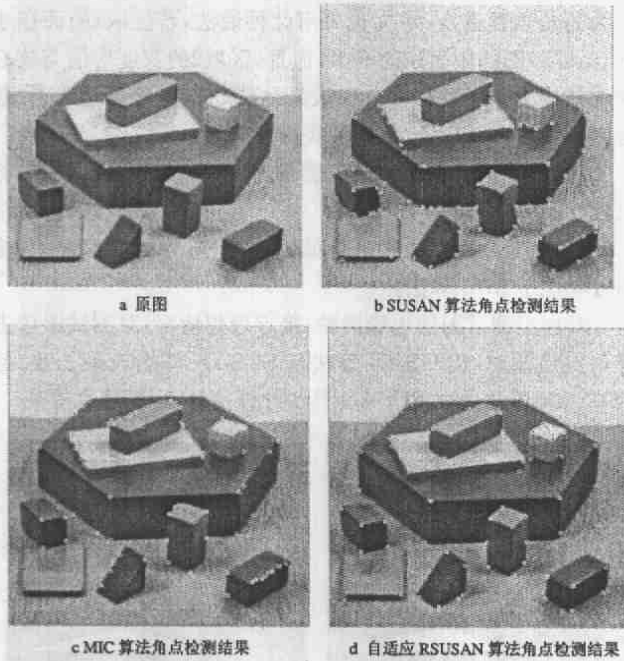


图3 角点检测结果比较图

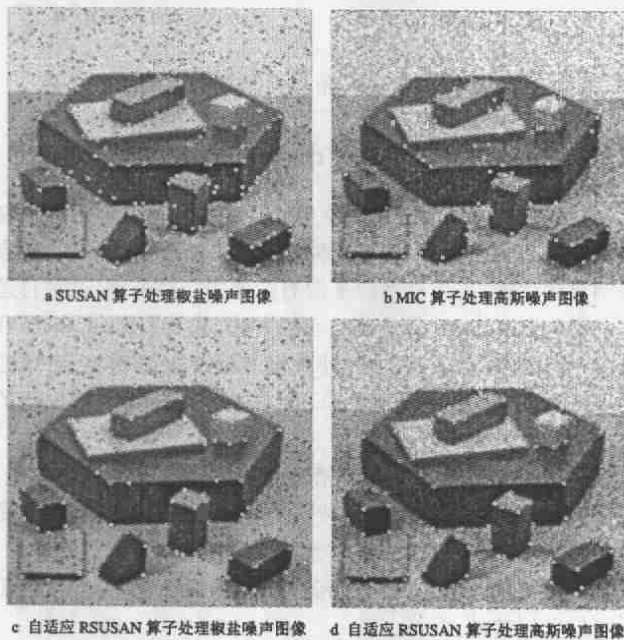


图4 噪声图像角点检测比较结果

为了更好地体现自适应平滑与RSUSAN角点检测算法相结合的优点,本文对所用的图片进行处理,即对原始图像分别加上椒盐噪声和高斯噪声,并进行均值平滑后,作为处理图像,对其分别使用SUSAN, MIC以及自适应RSUSAN角点检测算法进行处理,椒盐噪声的方差为0.02,高斯噪声的方差为0.01。图4所示为新的自适应RSUSAN角点检测算法对这两种噪声图像的处理结果及SUSAN和MIC对这两种噪声图像处理效果较好的结果。

由图4可以看出,用本文所述的自适应RSUSAN算子来处理噪声图像,其角点检测漏检概率小,虚报概率小,角点检测位置精确。

结论 在对实际图像进行研究的基础上,总结了经典角点检测算法SUSAN和MIC所存在的不足,重新定义SUSAN算法中小核值相似区,并使用更为有效和简便的计算小核值相似区面积的方法,在此基础上提出了一种新的角点检测算法RSUSAN,实验证明,RSUSAN角点检测算法检测效果好,计算简单,计算速度大大提高;对于角点检测比较困难的模糊且噪声大的图像,进一步提出采用自适应平滑和RSUSAN角点检测算法相结合的方法,相比较SUSAN, MIC算法而言,计算量没有显著提高,而且虚报及漏检概率大大减少,角点检测位置精确。

参考文献

- 1 Smith S M, Brady J M. SUSAN—A New Approach to Low Level Image Processing [R]. UK: Oxford University, 1995
- 2 Miroslav T, Mark H. Fast corner detection [J]. Image and Vision Computing, 1998, 16(1): 75~87
- 3 Mokhtarian F, Suomela R. Curvature scale space for robust image corner detection [A]. In: Proc. of Fourteenth Intl. Conf. on Pattern Recognition. vol 2, 16-20, 1998. 1819~1821
- 4 Orrite C, Lopez J E, Alcolea A. Curve segmentation by continuous smoothing at multiple scales. In: Proc. of Intl. Conf. on Image Processing. vol 3, 16-19, 1996. 579~582
- 5 Kwanghoon S, Kim J H, Alexander W E. A mean field annealing approach to robust corner detection [J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, Part B. 1998, 28(1): 82~90
- 6 Saint-Marc P, Chen J-S, Medioni G. Adaptive Smoothing: A General Tool for Early Vision [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(6): 514~529