

文章编号: 1003-501X(2009)07-0078-05

基于曲率尺度空间的轮廓角点检测

孙君顶^{1,2}, 郭启强¹, 张兆生¹

(1. 河南理工大学 计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454000;

2. 苏州大学 江苏省计算机信息处理技术重点实验室, 江苏 苏州 215006)

摘要: 在曲率尺度空间和多尺度曲率积的基础上, 提出了一种基于多尺度曲率多项式的角点检测算法。首先基于曲率尺度空间检测不同尺度下的角点, 然后利用多尺度曲率积或曲率和对检测到的角点进行增强处理, 该方法可有效抑制噪声影响, 防止高尺度下对一些角点平滑; 另外, 根据多尺度曲率多项式结果的符号还可有效的判别所检测角点的凹凸性。采用不同的评价准则及实例图像进行测试, 实验结果证明该角点检测器是非常有效的, 优于文中其它两种检测算法。

关键词: 角点检测; 曲率尺度空间; 多尺度曲率多项式; 计算机视觉; 模式识别

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2009.07.015

Contour Corner Detection Based on Curvature Scale Space

SUN Jun-ding^{1,2}, GUO Qi-qiang¹, ZHANG Zhao-sheng¹

(1. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan Province, China;

2. Provincial Key Laboratory of Computer Information Processing Technology,

Suzhou University, Suzhou 215006, Jiangsu Province, China)

Abstract: A novel algorithm for detecting corners is presented based on Curvature Scale Space (CSS) and Multi-scale Curvature Product (MSCP). Firstly, the corners of an image are detected at different curvature scale space. Then, a multi-scale curvature polynomial is defined as the sum or multiplication of the curvature of the contour at each scale. The new method can not only enhance curvature extreme peaks effectively, but also suppress noise and prevent smoothing some corners with augment of the scale. In addition, the concavity and convexity of detected corners can be judged by the result sign of the curvature polynomial. Experiment results show that the new method is more effective in corner detection than the other algorithms mentioned in the paper.

Key words: corner detection; curvature scale space; multi-scale curvature polynomial; computer vision; pattern recognition

0 引言

角点检测是计算机视觉和模式识别研究领域一项重要的研究课题, 准确的角点检测对完成许多计算机视觉任务(如图像匹配、目标识别、相机标定及运动分析等)起着至关重要的作用。

基于Witkin提出的尺度空间的图像分析理论^[1], Mokhtarian及Suomela提出了基于曲率尺度空间(Curvature Scale Space, CSS)的角点检测算法^[2], 并获得了较好的检测效果。但是, CSS算法在检测过程中, 使用较大的尺度容易导致真实角点的遗漏及伪角点的出现; 同时算法中全局阈值的设定对角点的判断影响

收稿日期: 2009-01-07; 收到修改稿日期: 2009-03-22

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金(2007520019, 2008B520012, 2009B520013); 河南省国际合作项目(084300510065); 苏州大学江苏省计算机信息处理技术重点实验室开放基金(KJS0715); 河南理工大学博士基金(B050901), 河南理工大学骨干教师资助基金。

作者简介: 孙君顶(1975-), 男(汉族), 河南邓州人。博士, 副教授, 主要从事多媒体技术、基于内容的图像检索的研究。

E-mail: sunjd@hpu.edu.cn.

很大。鉴于此, Mokhtarian及Mohanna又通过针对长度不同的轮廓选用不同的尺度来减少遗漏角点的情况^[3], He及Yung提出先在低尺度下计算曲率获取初始的候选角点, 然后利用取局部阈值和候选角点的角度移除圆角点和量化噪声及边缘细节产生的伪角点^[4], 但算法中引入了过多的阈值参数, 使得控制的难度和计算的复杂度增大。结合多尺度乘积在边缘检测中可以增强特征信息、抑制噪声影响这一特性^[5], 张小洪等人提出了基于多尺度曲率积的角点检测方法(MSCP)^[6]。虽然通过该方法能够有效增强一些正确的角点, 但却会平滑掉其它一些角点。同时, 在计算机视觉及模式识别领域, 角点的凹凸性也是需要考虑的重要因素, 而上述方法均为考虑到。

基于此, 本文提出了一种基于多尺度曲率多项式的角点检测方法, 此方法在增强角点极大值、抑制噪声和防止在高尺度下对一些角点平滑的同时, 可以鉴别所检测角点的凹凸性。

1 多尺度角点检测

这里首先分析 CSS 算法及 MSCP 算法的基本原理及存在的问题, 然后针对这些问题, 提出一种基于多尺度曲率多项式的角点检测及角点凹凸性判别方法。

设 $g(u, \sigma_j)$ 是高斯函数 $g(u)$ 在不同尺度 σ_j 下的形式:

$$g(u, \sigma_j) = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma_j^2}\right), \quad j=1, 2, \dots \quad (1)$$

Mokhtarian 的 CSS 算法的基本思想是: 1) 找到轮廓上 T 型交叉点, 标记为 T 型角点; 2) 以高斯函数的参数 σ 为尺度因子, 在一个较高的尺度上计算轮廓曲线上任意一点处的曲率

$$k(u, \sigma) = \frac{X_u(u, \sigma)Y_{uu}(u, \sigma) - X_{uu}(u, \sigma)Y_u(u, \sigma)}{(X_u(u, \sigma)^2 + Y_u(u, \sigma)^2)^{3/2}} \quad (2)$$

其中: $X_u = x(u) \otimes g_u(u, \sigma)$, $X_{uu} = x(u) \otimes g_{uu}(u, \sigma)$, $Y_u = y(u) \otimes g_u(u, \sigma)$, $Y_{uu} = y(u) \otimes g_{uu}(u, \sigma)$, \otimes 表示卷积, u 为弧长参数, $g_u(u, \sigma)$ 和 $g_{uu}(u, \sigma)$ 对应 $g(u, \sigma)$ 关于 u 的一阶和二阶导数。3) 把局部曲率最大点作为候选角点, 如果某个候选角点处的曲率值大于所设定阈值, 则把该角点作为正确角点; 4) 在较低的尺度下定位这些角点, 并和 T 型角点进行比较, 剔除相隔较近的两个中的一个角点。

CSS 算法是利用单一尺度来检测候选角点, 然后借助角点在各个尺度下的变换特征来实现定位, 因此在检测过程中会漏检真实的角点以及产生伪角点; 另一个问题就是, 该方法对全局阈值敏感^[6]。基于此, 张小洪等人根据多尺度积的思想, 提出利用多尺度积来增强特征信息、抑制噪声对特征的影响^[6]。其基本思想是: 根据式(2)计算轮廓上任意一点在 j 尺度下的曲率 $k(u, \sigma_j)$, 并计算不同尺度下的曲率积:

$$P_N(u) = \prod_{j=1}^N k(u, \sigma_j) \quad (3)$$

然后, 取曲率积大于某个阈值的局部极大值点作为角点。

多尺度曲率积方法将多个尺度下的特征融合在一起, 随着尺度的增大, 轮廓噪声被逐步减弱, 从而曲率积逐步变小, 曲率极大值对应的点可逐渐锐化, 通过阈值化即可得到角点。但是, 在小尺度下的一些角点, 可能随着尺度的增大, 曲率变的很小, 从而曲率积也很小, 这类角点就可能将被作为假角点滤除。

基于上述问题, 本文提出了一种基于多尺度曲率多项式(Multi-scale Curvature Polynomial, MCP)的角点检测方法。其基本思想也是首先根据式(2)获得不同尺度下轮廓上各点的曲率值, 然后针对不同尺度下局部极大值点, 计算曲率的加权和, 对非极值点计算曲率积, 如下式所示

$$E_N^{(j)}(u) = \begin{cases} E_N^{(j-1)}(u) + k(u, \sigma_j), & j \text{ 尺度下 } u \text{ 处为局部极值} \\ E_N^{(j-1)}(u) * k(u, \sigma_j), & j \text{ 尺度下 } u \text{ 处不是局部极值} \end{cases} \quad (4)$$

其中: $j=2, 3, \dots, N$, $E_N^{(1)}(u) = k(u, \sigma_1)$ 。显然, $E_N(u)$ 值有正负之分的(可参考实验结果中的图 2(b)), 而取值的正负反映了角点的凹凸变化, 从而我们可借助于 $E_N(u)$ 的符号来判断角点的凹凸性。

通过以上分析, 可以得到一个简单、有效的角点检测器, 该角点检测器将 $E_N(u)$ 大于某个阈值的局部极大值点作为凸角点, 而小于某个阈值的局部极小值点作为凹角点。

2 实验结果

为了演示曲率积及本文方法的特性, 我们首先给出了一幅图像, 如图 1 所示。图 2 给出了图 1 采用上述两种方法进行检测的结果, 其中“ ∇ ”表示凹角点, “ \square ”表示凸角点。图 3(a)的几个图分别表示式(3)针对图 1 的曲率尺度积的曲线图, 图 3(b)的几个图分别表示式(4)针对图 1 的曲率多项式结果的曲线图($N=1, 2, \dots, 5$)。从图 3 可以看出, 随着尺度增大, 噪声和角点的曲率都发生了非常明显的分化, 角点的曲率相对得到了增强, 而噪声的曲率却得到抑制。同时还可以看出, 在高尺度下, 图像的一些角点在曲率积的方法中被平滑掉了, 而本文的方法却有效的防止了这一情况。同时, 还可看出, 无论在何尺度下, 多尺度曲率多项式的值存在正负之分, 从而我们可以借助于该符号判断角点的凹凸性, 正值表示凸角点, 负值表示凹角点。



图 1 示例图像

Fig.1 Example image

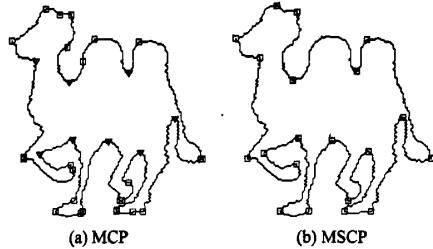


图 2 角点检测结果

Fig.2 Results of corner detection

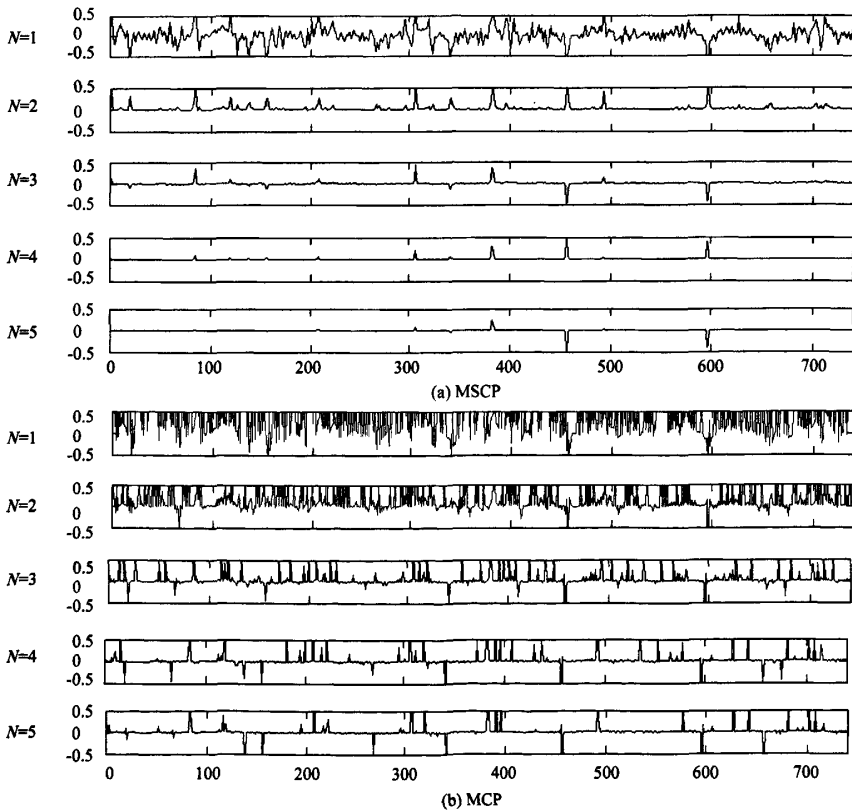


图 3 当 N 分别为 1,2,...,5 时的多项式曲率分布

Fig.3 Curvature results distribution for MSCP and MCP, $N=1, 2, \dots, 5$

针对轮廓上角点，本文所描述的 3 种方法均是将曲率的极大点做为角点，这种共性使得对于评价各种方法的性能更为容易。Farahnaz 及 Mokhtarian 以角点的数量和位置评价角点检测器的稳定性，并提出了相应的角点数一致性(Consistence of Corner Numbers, CCN)概念^[7]，通过旋转、尺度等变换验证检测器的稳定性。设原图像中角点的数目为 N_0 ，变换后检测器检测出的角点数目为 N_d ，则角点数一致性可以表示为

$$CCN=100\% \times 1.1^{-|N_d-N_0|}$$

(5)

可见，当 CCN 的值越大，角点检测器稳定性能越好。

为了从准确性、稳定性和计算代价等各方面评价算法性能，我们随机选择了 10 幅不同语义图像，然后分别对其进行旋转变换和仿射变换，并统计角点数目计算出平均的 CCN 值和角点检测平均计算时间，如表 1 所示。从表中可知，平均 CCN 高于其它检测器而平均检测时间却低一些。图 4 给出了 3 幅示例图像及采用 3 种方法进行角点检测的结果，其中“▽”表示凹角点，“□”表示凸角点。可以看出，本文方法效果最优。图 5 给出了评价角点检测算法常用的两幅图像“house”及“lab”，图 6 给出了采用本文方法 (MCP) 及 MSCP 方法检测结果的对比，可以看出，MCP 取得了更好的检测效果。

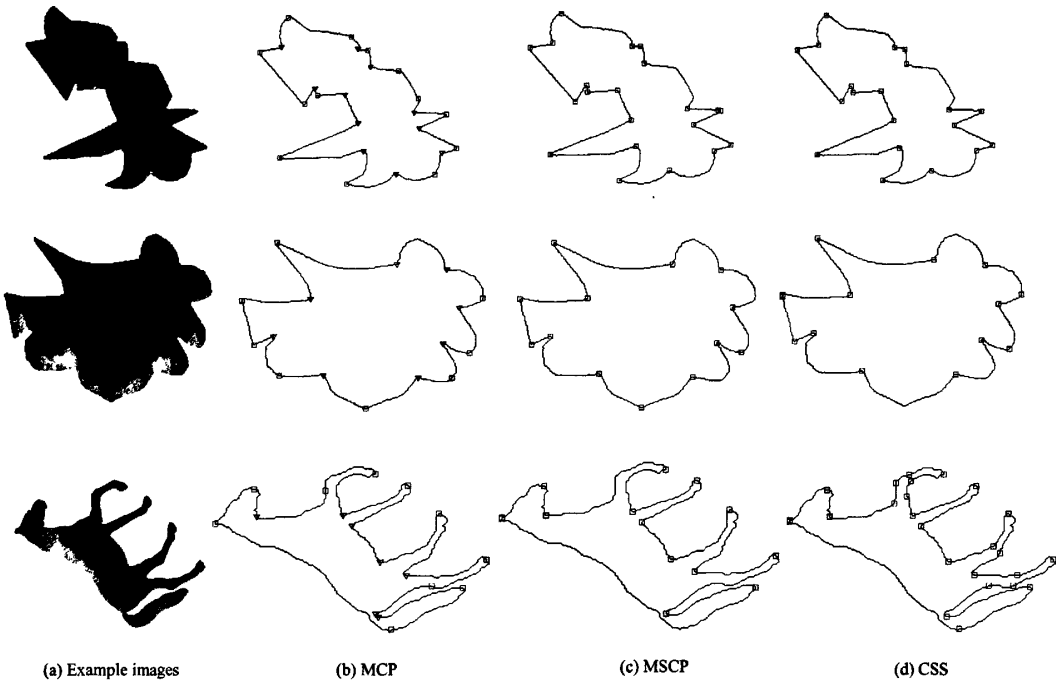


图 4 示例图像及角点检测结果
Fig.4 Examples and detection results

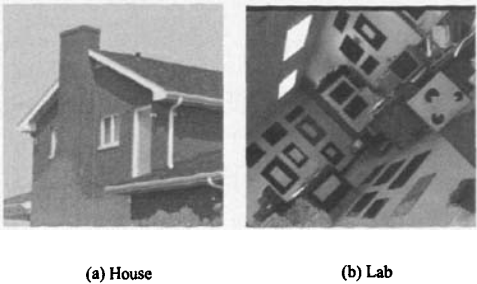


图 5 示例图像
Fig.5 Example images

表1 三种方法性能比较
Table 1 Comparison of the 3 detectors

Methods	CSS	MSCP	MCP
Average CCN	52	68	72
Average time	1.803 9	0.698 8	0.546 1

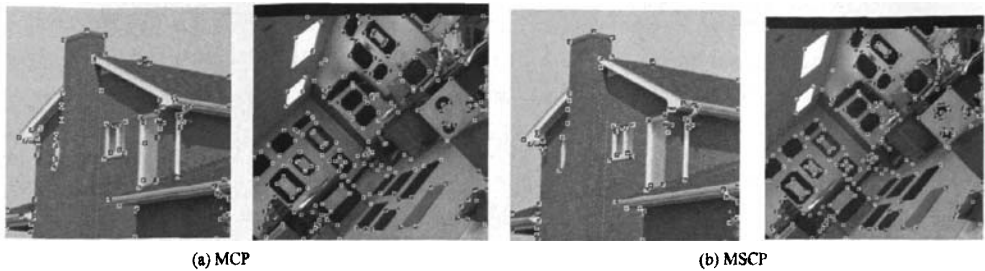


图6 角点检测结果

Fig.6 Corner detection results

结束语

在基于曲率尺度空间及多尺度曲率积进行角点检测的基础上,文中提出了一种基于多尺度曲率多项式的角点检测算法。该方法利用多尺度下曲率的积及曲率之和来增强角点峰值,抑制噪声影响,克服了MSCP检测器出现角点漏检的情况。同时,根据多尺度曲率多项式结果的符号,我们还可有效的区分所检测角点的凹凸性。对比实验说明,多尺度曲率多项式检测器的效果优于文中的其它两种方法。

参考文献:

- [1] Witkin A P. Scale-space filtering [C]// **International Joint Conference on Artificial Intelligence**, Karlsruhe, Germany, August 8-12, 1983, 2: 1019-1022.
- [2] Mokhtarian F, Suomela R. Robust image corner detection through curvature scale space [J]. **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**(S0162-8828), 1998, 20(12): 1376-1378.
- [3] Mokhtarian F, Mohanna F. Enhancing the curvature scale space corner detector [C]// **Proceedings 12th Scandinavian Conference on Image Analysis SCIA 2001**, Bergen, Norway, June 11-14, 2001: 145-152.
- [4] He X C, Yung N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support [C]// **Proceedings of the 17th IEEE International conference on Pattern recognition (ICPR'04)**, Aug 23-26, 2004, 2: 791-794.
- [5] Paul Bao, ZHANG Lei, WU Xiao-lin. Canny edge detection enhancement by scale multiplication [J]. **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**(S0162-8828), 2005, 27: 1485-1490.
- [6] 张小洪, 雷明, 杨丹. 基于多尺度曲率乘积的鲁棒图像角点检测 [J]. **中国图象图形学报**, 2007, 7(12): 1270-1275.
ZHANG Xiao-hong, LEI Ming, YANG Dan. Robust image corner detection based on multi-scale curvature product [J]. **Journal of Image and Graphics**, 2007, 7(12): 1270-1275.
- [7] Farahnaz Mohanna, Farzin Mokhtarian. Performance evaluation of corner detection algorithms under similarity and affine transforms [C]// **Proceedings of the British Machine Vision Conference 2001, BMVC 2001**, Manchester, UK, Sept 10-13, 2001: 353-362.
- [8] Sarkar D. A simple algorithm for detection of significant vertices for polygonal approximation of chain-coded curves [J]. **Pattern Recognition Letters**(S0167-8655), 1993, 14(12): 959-964.