

基于各向异性高斯核的角点检测*

孔祥楠 卫建华 赵强 黄杰

(西安工程大学 电子信息学院 西安 710048)

摘要: 提出一种基于各向异性高斯方向导数滤波器提取图像粗轮廓检测角点的方法。首先利用多方向的各向异性高斯方向导数滤波器提取图像多方向的灰度变化信息,然后利用像素间梯度相关性提取图像粗轮廓。最后在提取的图像粗轮廓的基础上构造自相关矩阵并求解其特征值,利用特征值归一化的乘积做为角点的测度。实验证明本算法具有噪声鲁棒性及角点定位准确性。

关键词: 角点检测;各向异性高斯方向导数滤波器;梯度相关性;粗轮廓;自相关矩阵

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Corner detection use anisotropic Gaussian filter

Kong Xiangnan Wei Jianhua Zhao Qiang Huang Jie

(College of Electronic and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: This paper presents proposes a corner detector method based on anisotropic Gaussian directional derivative filters to extract the crude outline of image. Firstly, multi-direction anisotropic Gaussian directional derivative filters are used to extract the variation of gray change information, and then the crude outline is extracted by using the gradient correlation of pixels. Finally, we construct the auto-correlation matrix on the basis of the extracted crude outline and normalize eigenvalues of the auto-correlation matrix, then the product of normalized eigenvalues is served as the measure of corner extracting. Experiments show that the algorithm is noise-robust and location-accurate.

Keywords: corner detection; anisotropic Gaussian directional derivative filters; gradient correlation; crude outline; auto-correlation matrix

1 引言

特征检测是计算机视觉应用中的重要组成,点特征可以用来寻找在不同图像对应位置的稀疏集合。由此角点做为一种点特征被广泛应用在图像匹配、模式识别及3D视觉重建^[1-2]等领域。

依据角点的检测方法,可以分为3类^[3]:基于灰度强度信息变化,基于边缘轮廓,基于模型。基于灰度信息变化提取角点的算法如Harris检测器^[4],依据图像像素之间灰度变化关系构造自相关矩阵提取角点。现今许多学者是在Harris的基础上进行改进^[5],但这类算法仅能很好的检测到“L”形角点且对噪声敏感。基于边缘轮廓检测方法,主要通过分析边缘的轮廓形状及计算曲率提取角点。如CSS检测算法^[6]通过计算局部曲率最大提取角点但该算法对噪声敏感。针对由曲率计算带来噪声敏感的问题,CPDA^[7]检测算法通过寻找局部点到弦的累加和最大值提取角点的方法,但却面临全局门限选择的问题。文献[8]中指出He

& Yung角点检测器在利用CSS检测算法的原理的基础上,采用局部自适应阈值提取角点,提高了以上两种算法的准确性。基于边缘轮廓的算法,对边缘轮廓的细微变化会很敏感。基于模型的角点检测,如SUSAN检测^[9],通过最小核相似取来检测算法或利用不同类型角点特性构造简单楔形角点模型^[10]及利用各向异性高斯核构造不同的角点参数模型提取角点^[11]。

上述大多算法是基于各向同性高斯滤波器提取图像的灰度变化信息。文献[11]指出,各向同性高斯滤波器提取图像灰度变化信息,不仅会面临尺度选择的难题,同时也证明了各向同性高斯滤波器的幅值响应不能区分不同类型的角点,而各向异性高斯方向导数滤波器却能够很好的区分不同类型的角点,同时可以很好的抑制噪声。

Canny检测器^[12]被广泛的应用在提取角点基于边缘轮廓的角点检测。Canny检测器主要通过利用沿着像素梯度方向对应的梯度最大值的方法提取边缘,文献[10]指出

收稿日期:2015-01

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61401347)

Canny 检测器可以很好的提取阶跃边缘,对交叉边缘的提取会由于高斯平滑及极大值抑制导致移位或断裂。然而交叉边缘常对应如 Y 形, X 形和星形的角点。虽然一些填补边缘间隙的算法^[13]被提出,但是间隔一个像素点进行连接,会存在边缘断裂错误连接的现象。

本文提出的检测方法不同与上述基于边缘的角点检测方法,本方法利用各向异性高斯方向导数滤波器提取图像图像灰度变化信息,利用各像素间的梯度相关性提取图像的粗轮廓。依据粗轮廓上像素点的灰度变化信息构造自相关矩阵,对其特征值归一化后乘积提取角点。

2 各向异性高斯方向导数滤波器及其算法

2.1 各向异性高斯方向导数滤波器

在一维高斯核函数基础上被扩展的二维高斯函数可以表示为:

$$g_{\sigma, \rho, \theta} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^T \begin{bmatrix} \rho^2 & 0 \\ 0 & \rho^{-2} \end{bmatrix} x\right) \quad (1)$$

对扩展的二维高斯核函数通过旋转矩阵 R_θ 在 θ 角方向上旋转得到各向异性高斯核函数:

$$g_{\sigma, \rho, \theta}(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^T R_{-\theta} \begin{bmatrix} \rho^2 & 0 \\ 0 & \rho^{-2} \end{bmatrix} R_\theta x\right) \quad (2)$$

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

其中各向异性因子 $\rho \geq 1$, σ 是尺度因子,利用式(2)得到各向异性高斯方向导数:

$$g_{\sigma, \rho, \theta}'(x) = \frac{\partial g_{\sigma, \rho, \theta}(x)}{\partial \theta} = -\frac{\rho^2 [\cos\theta, \sin\theta] x}{\sigma^2} g_{\sigma, \rho, \theta}(x) \quad (3)$$

在实际处理图像时,需要对各向异性方向导数滤波器进行离散化处理,在二维整数空间上对角度进行 K 个方向上的采样,将离散化各向异性高斯方向导数与输入图像做卷积运算得到各向异性高斯方向导数响应。

$$\nabla\sigma, \rho, \theta_k I(n; k) = \sum_{m \in z \times z} I(n-m) g'_{\sigma, \rho, \theta_k}(m) \quad (4)$$

2.2 利用梯度相关性提取粗轮廓

为了保留图像更多的灰度变化信息,利用像素间的梯度相关性,提取图像的粗轮廓。首先根据离散化的各向异性高斯方向导数响应,求一个像素点 q 的一个领域内的梯度标准化幅值为:

$$\hat{I}_q(n; k) = \frac{|\nabla\sigma, \rho, \theta_k I(n; k)|}{N_q} \quad (5)$$

式中: N_q 表示围绕中心像素点领域的像素点的平均梯度幅值,则单个像素 q 全局标准化梯度幅值为:

$$\nabla G(n, k) = \sqrt{\left(\frac{\hat{I}_q(n, k) - u_1}{\sigma_1}\right)^2} \quad (6)$$

式中: u_1 是梯度均值, σ_1 是梯度标准偏差。

对全局标准化梯度幅值进行双阈值法提取粗轮廓,设

双阈值 T_h, T_l , 将像素点个数沿全局标准化梯度方向幅值累计,累积和为总和和 80% 处的全局标准化梯度幅值设为高阈值 T_h , 高阈值的 30% 为低阈值 T_l 。图 1 是对“屋顶”“树叶”图像轮廓提取的结果图。

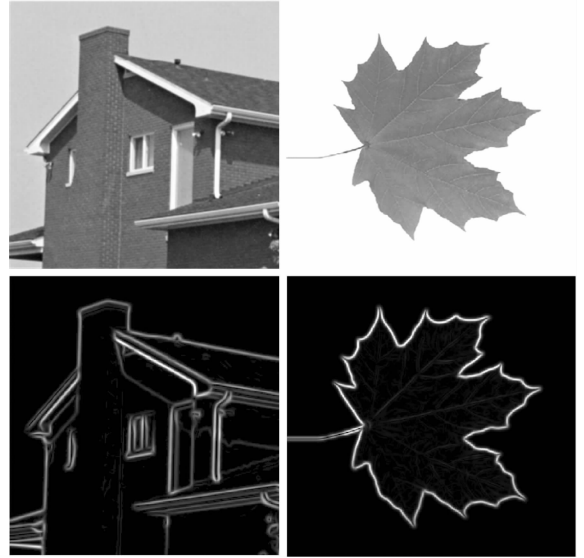


图 1 粗轮廓的提取结果

在粗轮廓的基础上检测角点,可以避免由于细边缘引起的边缘移位及断裂产生错误角点的问题。且利用梯度相关性提取角点,保留了像素更多的灰度变化信息,特别是可以提高交叉型角点的灰度信息保留。图 2 显示了粗轮廓提取结果,比较图(c)和(e)可以看出,粗轮廓断裂和移位优于细边缘,可以更好的保留交叉型角点的灰度变化信息。

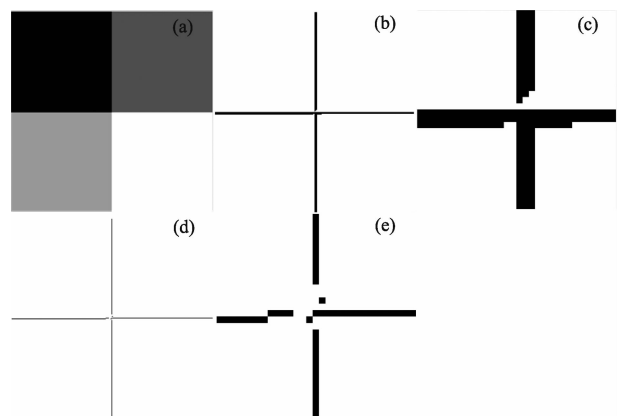


图 2 粗轮廓与 canny 提取结果对比

(a) 测试图, (b) 梯度相关性提取的边缘, (c) 粗轮廓放大中心点放大区, (d) 使用 canny 检测器提取的细边缘, (e) 细边缘中心处放大区

2.3 角点测度

利用粗轮廓上像素的灰度变化信息构造自相关矩阵,

求解其特征值,利用多方向上归一化特征值乘积做为角点测度提取角点。

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \nabla_1 I(m_x - 1, m_y - 1) & \nabla_2 I(m_x - 1, m_y - 1) & \dots & \nabla_k I(m_x - 1, m_y - 1) \\ \nabla_1 I(m_x - 1, m_y) & \nabla_2 I(m_x - 1, m_y) & \dots & \nabla_k I(m_x - 1, m_y) \\ \nabla_1 I(m_x + 1, m_y + 1) & \nabla_2 I(m_x + 1, m_y + 1) & \dots & \nabla_k I(m_x + 1, m_y + 1) \end{bmatrix} \quad (7)$$

由矩阵构造自相关矩阵:

$\sum \mathbf{M}(m) = \mathbf{M}^T(m) \cdot \mathbf{M}(m)$ 自相关矩阵的特征值表征了像素特征的能量信息,可以得到 K 个特征值,对 K 个特征值进行归一化处理。

$$\tilde{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\max(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)} \quad i = 1, \dots, k \quad (8)$$

将 K 个归一化特征值的乘积做为新的角点测度,在角点处的特征值大于边缘处的特征值,利用归一化后特征值乘积可以更好的做为新的角点测度:

$$\eta(m) = \sqrt{\prod_{i=1}^k \tilde{\lambda}_i} \quad (9)$$

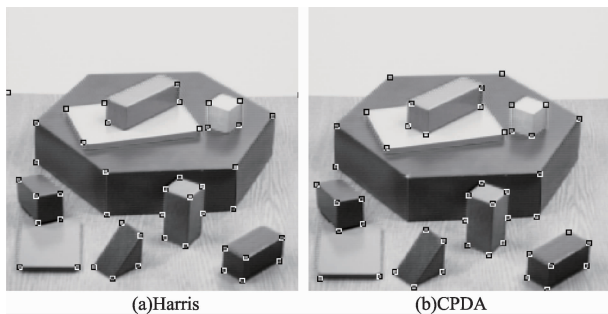
2.4 算法的基本步骤

基于以上的内容,下面给出算法基本步骤:

- 1) 利用多方向各向异性高斯方向导数滤波器卷积运算得到多方向灰度变化信息即梯度信息;
- 2) 利用像素间的梯度相关性,通过式(5)(6)提取图像的粗轮廓;
- 3) 基于粗轮廓上像素灰度变化信息构造自相关矩阵,求解自相关矩阵的特征值,将归一化后特征值乘积做为角点测度,选取合适的阈值提取候选角点;
- 4) 在 5×5 领域内,对候选角点非极大值抑制,提取角点。

3 实验仿真与性能分析

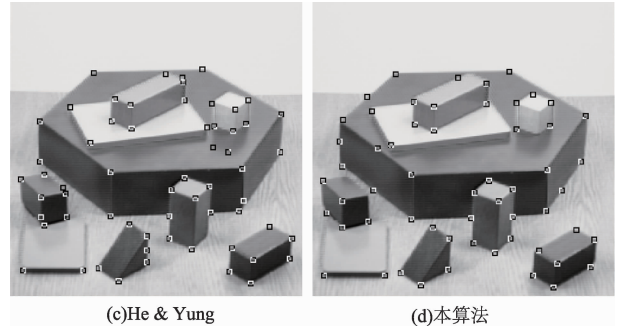
为验证本算法的有效性,将本算法与 Harris 检测器、CPDA 检测器及 He & Yung 检测算法进行实验比较。图 3 为使用 4 种检测器对“积木”图像角点检测的结果。图 4 为使用 4 种检测器对较噪“积木”图像角点检测的结果。



(a)Harris

(b)CPDA

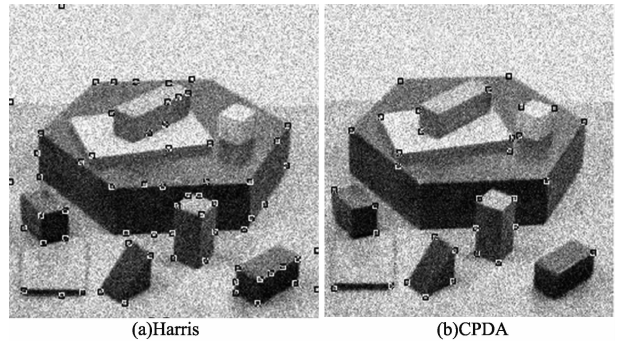
图像粗轮廓上的每个像素点,由 K 个方向灰度变化信息构造矩阵。把邻域取为 3×3 ,则矩阵 \mathbf{M} 为 $9 \times K$ 。



(c)He & Yung

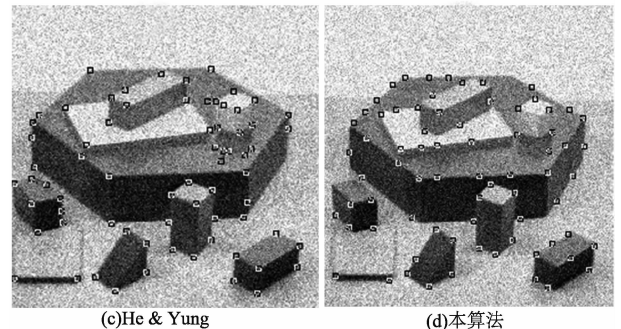
(d)本算法

图 3 “积木”图像检测结果



(a)Harris

(b)CPDA



(c)He & Yung

(d)本算法

图 4 加噪“积木”图像检测结果

若在一幅图像中检测到的特征,在图像变换后(旋转,尺度变化及光照变化等)在对应位置的像素范围内仍旧能被提取到,则此检测器具有特征定位准确性。这里使用一致性及准确性来评价本算法的性能^[10]。一致性只能说明检测出角点的数目,但是不能说明检测出来的角点是否是正确的角点。角点定位是否正确还需要同过角点定位准确性来评价。角点一致性定义为:

$$CCN \triangleq 100 \times 1.1^{-|N_r - N_o|} \quad (10)$$

式中: N_o 是检测器对没有进行放射变换的图像检测的角点数目, N_r 表示检测器对做仿射变换后检测到的角点数。利用角点定位准确性一起对检测器进行评价。由一致性和定位准确性之间相互制约评价检测器的性能, 定位准确性定义为:

$$ACU \triangleq 100\% \times \frac{\frac{N_a}{N_o} + \frac{N_a}{N_g}}{2} \quad (11)$$

式中: N_o 与一致性的一致, N_g 为专家系统标定的图像参考角点数。“积木”图像 N_g 数目为 59。 N_a 为仿射变换后检测器检测到的角点和未作仿射变换时检测到的角点的图像做同样仿射变换后相匹配的匹配角点数目。将“积木”图像旋转 40° 变换, 检测结果如表 1 所示。

表 1 4 种检测结果

	N_o	N_r	N_a	ACU
旋转角度		40°	40°	40°
Harris	47	78	44	0.841
CPDA	32	29	25	0.646
He and Yung	64	52	49	0.798
本文算法	57	53	49	0.845

实验结果显示, 和 Harris 检测器及和基于边缘的后两种检测器相比较, 本算法检测的正确角点数目高于其他 3 种算法。这是由于采用各向异性高斯方向导数滤波器响应可以很好的区分不同类型的角点^[11], 且粗轮廓能够更好的保留交叉型角点的灰度强度变化信息, 能够更好的提取复杂角点。文献[10]指出使用各向异性高斯方向导数滤波器比同性高斯滤波器具有更好的噪声鲁棒性, 且本算法角点测度没有用通过寻找局部曲率极值做为角点测度, 使算法不会对噪声敏感。由对加噪“积木”图的结果图 4 可以得出本算法具有更好的噪声鲁棒性。依据表 1 的结果, 在对检测图做旋转变换后, 本算法的定位准确性优于其他 3 个检测器。

4 结 论

本算法采用各向异性高斯方向导数滤波器提取图像灰度变化信息, 比起各向同性高斯滤波器, 各向异性高斯方向导数滤波器响应可以很好的区分不同类型角点, 且具有更好的噪声鲁棒性。利用像素间梯度相关性提取粗轮廓, 保留了边缘轮廓更多灰度信息, 特别是对“Y”形角点保留了更多的灰度变化信息。通过构造自相关矩阵求解特征值, 利用归一化后的特征值相乘积作为角点测度, 更有效的提取角点。实验对比结果也显示提出的算法检测性能好于其他 3 种检测器。

参考文献

- [1] WU G, XU Y, YANG X, et al. Robust object tracking with bidirectional corner matching and trajectory smoothness algorithm[J]. Multimedia Signal Processing (MMSp), 2012; 294-298.
- [2] 高晶, 吴育峰, 吴昆, 等. 基于角点检测的图像匹配算法[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1717-1725.
- [3] 章为川. 基于各向异性高斯核的图像边缘和角点检测[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [4] 吴学礼, 丁雪, 孟凡华, 等. 双阈值 Harris 角点检测算法[J]. 河北科技大学学报, 2013(8): 330-333.
- [5] 王浩, 周祚峰, 曹剑中, 等. 基于边缘轮廓上多尺度自相关矩阵的角点检测算法[J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36(6): 1220-1224.
- [6] 汪华琴, 谈国新, 钱小红, 等. 一种基于曲率尺度空间的自适应角点检测方法[J]. 计算技术与自动化, 2007, 26(2): 123-127.
- [7] 金亦挺, 王万良, 赵燕伟, 等. 基于点到弦距离累加的快速角点检测[J]. 计算机科学, 2014, 41(4): 306-313.
- [8] ZHANG W CH, WANG F P, ZHU L, et al. Corner detection using Gabor filters [J]. IET Image Processing, 2014, 8(11): 639-646.
- [9] 陈万培, 陈晓龙. 加权 SUSAN 角点检测算法稳定性改进研究[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(2): 53-57.
- [10] 章为川, 孔祥楠. 图像的角点检测研究综述[J]. 电子学报, 2015.
- [11] SHUI P L, ZHANG W CH. Corner detection and classification using anisotropic directional derivative representations [J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2013, 22(8): 3204-3219.
- [12] SHUI P L, ZHANG W CH. Noise-robust edge detector combining isotropic and anisotropic Gaussian kernels [J]. Pattern Recognition, 2012, 45(2): 806-820.
- [13] 章为川, 程冬, 朱磊. 基于各向异性高斯核的多尺度角点检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(1): 37-42.

作者简介

孔祥楠, 1988 年出生, 在读硕士研究生。主要研究方向为图像特征提取。

E-mail: kongeveryday@163.com