

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 7  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年7月 第17卷 第7期(总第195期)

## 目次

### 综述

中国多媒体技术研究: 2011 ..... 史元春, 徐光祐, 高原(741)

### 图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 ..... 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 ..... 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 ..... 蒋平, 张建州(770)

### 图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 ..... 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 ..... 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 ..... 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 ..... 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 ..... 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 ..... 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 ..... 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

### 图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 ..... 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 ..... 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 ..... 路子贇, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 ..... 何海清, 黄声享(853)

**计算机图形学**

应用最小生成树实现点云分割 ..... 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

**医学图像处理**

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 ..... 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 ..... 兰红, 张璐(873)

**遥感图像处理**

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 ..... 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 ..... 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

**中国图象图形学报**

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院

**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences

**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

**Chief editor** LI Xiaowen

**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

( Monthly , Started in 1996 )

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0853-05

论文引用格式: 何海清, 黄声享. 改进的 Harris 亚像素角点快速定位[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 853-857.

## 改进的 Harris 亚像素角点快速定位

何海清, 黄声享

武汉大学测绘学院, 武汉 430079

**摘要:** 针对 Harris 算法检测角点存在偏差、运算慢、像素级精度难于满足实际应用需要等问题, 改进了 Harris 角点检测方法。该方法在 Harris 提取角点过程中, 通过两次角点筛选, 剔除非角点和伪角点, 利用角点响应函数执行非极大值抑制, 以局部角点响应函数最大值的像素点作为初始角点, 并以该初始角点为中心, 以一定半径搜索角点簇, 采用最小二乘法加权角点簇与待求角点的欧几里得距离, 精化初始角点坐标, 从而实现 Harris 亚像素角点准确快速定位。实验结果表明了该方法的有效性和实用性。

**关键词:** Harris 算法; 角点检测; 亚像素角点; 角点响应函数; 欧几里得距离

### Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection

He Haiqing, Huang Shengxiang

School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** An improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corner detection is proposed by considering the limitations of inaccurate localization and the low efficiency of the Harris algorithm. The improved algorithm is used to reject non-corners and false corners by screening the corners two times. After detecting the initial corners with the non-maximum suppression of the corners response function, the initial corners are refined to sub-pixel corners by the Euclidean distance between the corner cluster and an ideal corner using a weighted least squares method. The location of the initial corners are considered as the center of the searching corner cluster, and the value of the corners response function is considered as weight. Our tests show that the improved algorithm is effective and practical.

**Key words:** Harris algorithm; corner detection; sub-pixel corner; corner response function (CRF); Euclidean distance

## 0 引言

图像特征点检测广泛应用于计算机视觉处理领域, 包括目标识别与跟踪、立体成像和图像拼接等<sup>[1]</sup>。在特征点的图像分析中, 特征点提取是非常重要的步骤, 其中, 角点是最常见的一类点特征<sup>[2]</sup>, 它的灰度在邻域变化较大, 局部特征显著, 在作为特征点提取方面优势突出。迄今为止, 研究人员对角点检测算法进

行了大量且深入的研究, 主要有两类: 基于图像边缘和基于图像灰度变化的方法, 前者很大程度上依赖图像边缘提取, 且存在检测过程不稳定、计算难度和计算量大等不足; 后者通过计算像素点的曲率及梯度来检测角点, 最具典型代表的有 Moravec、Harris、SUSAN 等角点检测算法<sup>[3]</sup>, 其中 Harris 算法应用非常广泛, 具有计算简便、角点提取均匀、角点旋转不变性、较高的稳定性和鲁棒性等特点。经 Schmid<sup>[4]</sup>对这几种角点检测算法实验表明 Harris 角点检测具有最为理想

收稿日期: 2011-09-13; 修回日期: 2012-02-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863) 基金项目(2009AA12Z311); 中央高校基本科研业务费专项基金项目; 精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室基金项目(PF2011-11)

第一作者简介: 何海清(1983—), 男, 武汉大学大地测量学与测量工程专业博士研究生, 主要研究方向为无人机低空摄影测量。E-mail: hyhqing@163.com

的结果。然而, Harris 算法检测存在一些弊端: 1) 缺乏尺度不变性; 2) 提取的角点是像素级, 精度不高, 角点位置可能偏移和存在伪角点; 3) 模板卷积运算过多, 致使计算量大, 效率低。为此, 许多学者对 Harris 算法进行了改进, 但大多集中在像素级角点多尺度、避免角点偏差及减少计算量等其中一方面进行改进, 具有代表性的有 Gevrekci 等人<sup>[1]</sup>提出的基于图像对比度拉伸的 Harris 稳健提取角点, Bruce 等人<sup>[5]</sup>提出的基于统计作为选择规则的 Harris 角点提取, 王葳等人<sup>[6]</sup>提出的分析像素点八邻域相似的像素点数目来剔除非角点的 Harris 算法, 张小洪等人<sup>[7]</sup>提出的 Harris 多尺度角点检测, 高健等人<sup>[8]</sup>提出的 Harris 角点和高斯差分的特征点提取算法, 马丽涛等人<sup>[9]</sup>提出的基于条件数的 Harris 角点检测方法, 以及张海燕等人<sup>[10]</sup>提出的利用图像分块与多尺度结合的 Harris 角点检测方法等。

目前, Harris 算法及其改进算法大多不能满足亚像素角点定位且兼顾效率, 使得 Harris 提取角点难于满足图像角点实时检测或大数据量图像角点检测及高精度的摄影测量需要。本文在 Harris 提取角点过程中, 通过两次角点筛选, 剔除非角点和伪角点, 利用角点响应函数执行非极大值抑制, 以局部角点响应函数最大值的像素点作为初始角点坐标, 并以该初始角点为中心, 以一定半径搜索角点簇, 利用最小二乘法加权角点簇与待求角点的欧几里得距离, 以修正初始角点坐标, 从而实现 Harris 亚像素角点准确快速定位。实验结果表明, 该方法提取角点精度高、速度快, 具有较强的实用性。

## 1 Harris 角点检测算法

Harris 角点检测算法是 Harris 和 Stephens 于 1988 年在 Moravec 算法的基础上提出基于信号的点特征提取方法, 该方法计算图像  $X$  方向和  $Y$  方向上的梯度自相关函数相联系的矩阵  $M$  及  $M$  的两个特征值, 而矩阵  $M$  的特征值是自相关函数的一阶曲率, 若两个曲率值都很高, 则认为该点为角点<sup>[11]</sup>。Harris 算法利用微分算子计算像素点在任意方向上的灰度变化, 并计算目标像素点的角点响应函数值 CRF (Corner Response Function), 当 CRF 超过设定的阈值时, 则把该像素点视为角点。Harris 算法中, 假设以目标像素点  $(x, y)$  在  $X$  和  $Y$  方向上移动  $(u, v)$  距离后灰度变化可表示为

$$E_{u,v}(x,y) = \sum G_{u,v} [I(x+u, y+v) - I(x,y)]^2 = \sum G_{u,v} \left( u \frac{\partial I}{\partial x} + v \frac{\partial I}{\partial y} + o(\sqrt{u^2+v^2}) \right)^2 = [u \ v] \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{M} = \sum G_{u,v} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_{xy} \\ I_{xy} & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,  $I(x+u, y+v)$ 、 $I(x, y)$  分别是像素点  $(x+u, y+v)$  和  $(x, y)$  的灰度值,  $G_{u,v} = \exp\left(-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}\right)$  为提高抗噪能力的 Gauss 窗口函数,  $I_x$ 、 $I_y$ 、 $I_{xy}$  分别表示像素点灰度在  $X$  和  $Y$  方向的偏导 (即梯度) 及二阶混合偏导。像素  $(x, y)$  的角点响应函数为

$$R(x,y) = \det(\mathbf{M}) - k \operatorname{tr}^2(\mathbf{M}) \quad (3)$$

$$\det(\mathbf{M}) = \lambda_1 \lambda_2$$

$$\operatorname{tr}(\mathbf{M}) = \lambda_1 + \lambda_2$$

式中,  $k$  为常数项, 其取值范围为  $0.04 \sim 0.06$ ,  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  是矩阵  $\mathbf{M}$  的特征值, 它们与角点判定关系如图 1 所示, 可知角点处特征值  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  都较大,  $i$ 、 $j$  分别为像素位置与 Gauss 模板中心坐标差。若某一像素的  $R$  值大于给定的阈值, 且是局部最大值, 则认为该处为角点。 $R$  值局部 *local* 非极大值抑制, 表达式为

$$[\hat{x}, \hat{y}] = \arg \operatorname{local} \max_{x,y} R_1[x, y] \quad (4)$$

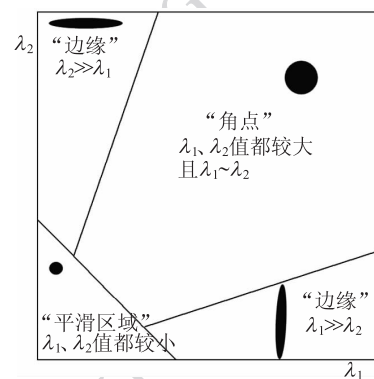


图 1 特征值与角点判定关系

Fig. 1 The decision rule for corners with eigenvalue

## 2 亚像素角点快速定位

针对 Harris 角点定位存在偏差、无法达到亚像素级和运算速度慢等缺陷, 本文在 Harris 角点运算过程中, 通过两次角点筛选, 剔除明显不为角点的像

素,使其不参与运算,减少计算量;以传统 Harris 运算得到的角点作为初始角点,以其为中心做一定半径搜索角点簇,并以各角点响应函数 CRF 作为各自的权,利用最小二乘法加权运算欧几里得距离,修正初始角点坐标,从而得到精确的亚像素角点坐标,改进的 Harris 角点检测流程如图 2 所示。

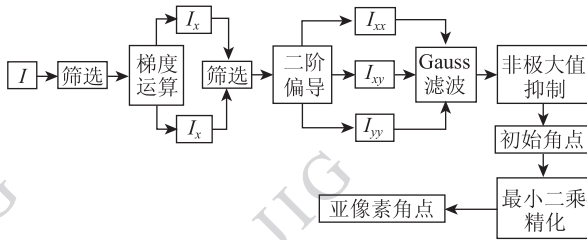


图 2 改进的 Harris 角点检测流程

Fig. 2 The corner detection process with the improved algorithm for Harris

在图像进行梯度运算前,参考王葳等人<sup>[6]</sup>提出的分析像素点 8 邻域相似的像素点数目来剔除非角点的 Harris 算法,如图 3 所示,设定角点灰度阈值  $t$ ,通过计算像素点  $I(i, j)$  与 8 邻域范围内像素点  $I(i + m, j + n)$  梯度小于阈值来表征像素间相似,并记录梯度小于阈值的个数  $NUM(i, j)$ ,当个数  $NUM(i, j)$  在区间  $[2, 6]$  内可能为角点,其他为非角点,从而剔除一些非角点。

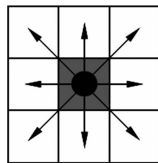


图 3 8 邻域像素相似性运算

Fig. 3 The similarity operation within 8 neighborhood pixels

$$NUM(i, j) = \sum_{(m, n)} K(i + m, j + n) \quad (5)$$

$-1 \leq m \leq 1, -1 \leq n \leq 1, \text{且 } m \neq 0, n \neq 0$

式中,

$$K(i, j) = \begin{cases} 1 & |I(i, j) - I(i + m, j + n)| \leq t \\ 0 & |I(i, j) - I(i + m, j + n)| > t \end{cases} \quad (6)$$

然而,不同图像灰度特征有所差异,因而阈值  $t$  的选取也应不同,其值关系着角点选取的数量及质量,从而影响图像 Harris 角点检测效率和质量。本文研究利用图像的标准差作为 8 邻域相似像素检测阈值  $t$ ,以实现不同图像自适应阈值选取,从而满足角

点筛选和合理计算量需要。该阈值的选取考虑图像整体的适应性,尽可能检测出灰度邻域变化较大的点,但对于灰度差异较大的图像可能造成局部灰度变化较小的少量角点漏检。

角点灰度在邻域变化较大,局部特征显著,梯度值较大,因而可在  $I_x, I_y$  计算后设定阈值剔除梯度较小的像素点,使其不参与 Gauss 滤波、CRF 确定角点的计算,保留梯度相对较大的像素点。本文以  $I_x, I_y$  均值  $X_1, Y_1$  作为阈值,可保留大部分梯度变化较大的像素点,表达式为

$$I_x(x, y) \geq X_1, \quad X_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |I_{x_i}(x, y)| \quad (7)$$

$$I_y(x, y) \geq Y_1, \quad Y_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |I_{y_i}(x, y)| \quad (8)$$

式中,  $N$  为第 1 次角点筛选后保留的角点个数。

在 CRF 局部非极大值抑制得到的角点,忽略了周围可能存在相似角点簇的贡献,使得角点确定易受噪声影响,抗噪能力差,致使角点定位有偏差。本文以具有 CRF 最大值的角点作为初始角点,考虑其一定半径  $r$  内角点簇对角点定位的贡献,并以各角点响应函数 CRF 作为各自的权,采用最小二乘法加权欧几里得距离角点精化初始角点坐标,实现亚像素角点定位,表达式为

$$J = \sum_{j=1}^n p_j s_j \quad (9)$$

式中,  $s_j = \|\hat{x} - x_j\|^2 + \|\hat{y} - y_j\|^2$ 。

式(9)可表达为

$$J = V^T P V \quad (10)$$

$$\text{式中, } V = \begin{bmatrix} \hat{x} - x_1 \\ \hat{y} - y_1 \\ \hat{x} - x_2 \\ \hat{y} - y_2 \\ \vdots \\ \hat{x} - x_n \\ \hat{y} - y_n \end{bmatrix}, \text{权 } p_j = R_j / \sum_{i=1}^n R_i,$$

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & & & & & \\ & p_1 & & & & \\ & & p_2 & & & \\ & & & p_2 & & \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & p_n \\ & & & & & & p_n \end{bmatrix}, \text{利用最小}$$

二乘法求解

$$\begin{cases} \frac{\partial J}{\partial \hat{x}} = 2 \sum_{j=1}^n p_j (\hat{x} - x_j) = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial \hat{y}} = 2 \sum_{j=1}^n p_j (\hat{y} - y_j) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

可求得

$$\begin{cases} \hat{x} = \frac{\sum_{j=1}^r p_j x_j}{\sum_{j=1}^r p_j} \\ \hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^r p_j y_j}{\sum_{j=1}^r p_j} \end{cases} \quad (12)$$

式中,  $n$  为角点簇中像素个数,  $s_i$  是初始角点在半径为  $r$  范围内的角点簇与待求的亚像素角点  $(\hat{x}, \hat{y})$  欧几里得距离的平方,  $p$  为角点簇的权,  $R$  为角点响应函数值 CRF, CRF 值越大其权越大。通过最小二乘法使得  $J$  最小化, 从而求得精确的角点坐标  $(\hat{x}, \hat{y})$ , 搜索单元如图 4 所示。本文用亚像素角点在角点簇

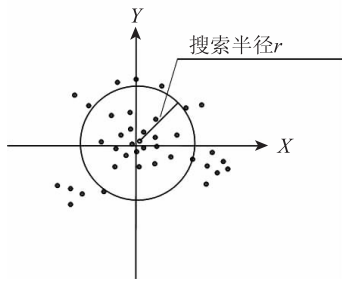


图 4 搜索单元  
Fig. 4 The search unit

中标准差  $\sigma$  来估算亚像素角点的精度, 其表达式为

$$\sigma = \frac{\sqrt{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}}{n} \quad (13)$$

### 3 实验结果及分析

为了验证本文方法在角点定位精度和效率上的改进, 选取特征点明显的两幅灰度图进行角点检测实验。实验采用梯度算子  $[-1, 0, 1; -1, 0, 1; -1, 0, 1]$ 、 $[-1, -1, -1; 0, 0, 0; 1, 1, 1]$  分别进行图像  $X$  方向和  $Y$  方向上的梯度运算, Gauss 滤波和 CRF 局部非极大值抑制采用不同大小的模板会影响检测角点的密度, 若模板过大, 检测到的角点稀疏; 反之, 角点较密, 为使角点密度合理, 实验中采用  $7 \times 7$  模板。同时, 角点搜索范围模板大小也可能影响角点最终确定的亚像素精度, 若模板过大, 远距离的其他角点可能参与角点亚像素定位, 从而使得亚像素角点偏离实际角点位置, 经多次实验发现,  $3 \times 3$  模板难于囊括较多的角点簇,  $7 \times 7$  模板及更大模板可能把相邻角点的部分角点簇包含, 而  $5 \times 5$  模板在图像整体及多幅图像都具有最佳的适应性, 因此, 本文实验以  $5 \times 5$  模板作为角点最佳搜索范围, 可有效避免远离角点范围的角点簇干扰。用 VC++ 编程实现传统 Harris 算法、8 邻域筛选角点改进算法、多尺度算法和本文改进的 Harris 角点检测算法, 实验检测到的两组图像角点如图 5 所示。

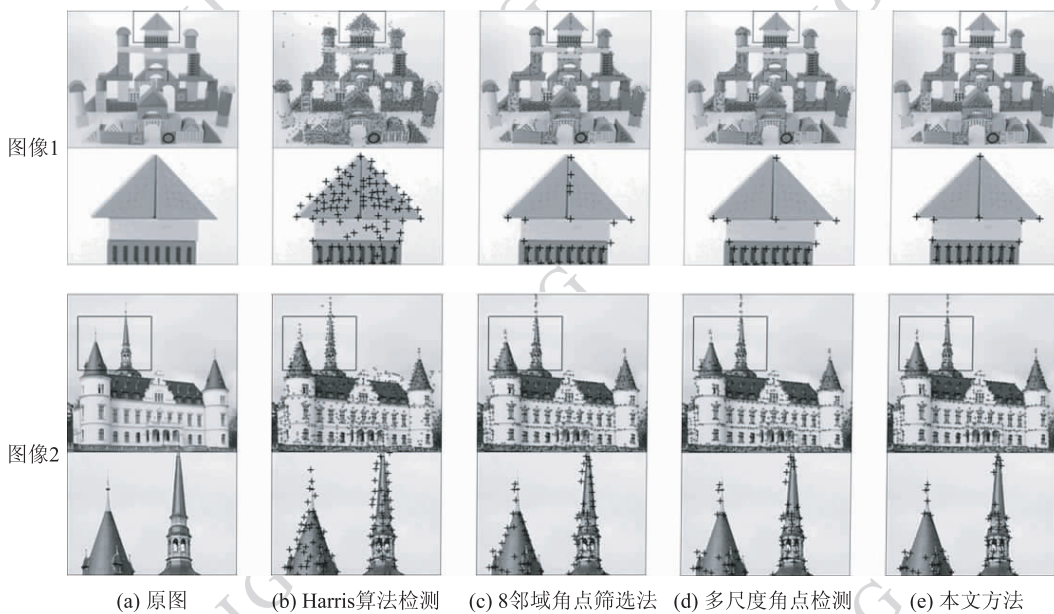


图 5 角点检测改进前与改进后对比图

Fig. 5 The contrast between corners detection before improvement and corners detection after improvement

从图5可知,8邻域角点预先筛选改进的Harris算法、Harris多尺度角点检测算法和经本文改进后的Harris角点检测方法都可去除大量伪角点。通过检验发现,多尺度角点检测和本文方法漏检误检的角点数量相当少,而比较而言,本文方法经过两次过滤检测到的角点分布更为均匀,图像中基本特征得到较好地反映,抗干扰性更强,大大减小数据的冗余度。经过对初始角点精化,图像特征角点位置更为精确,在图5原图像1、2中分别随机抽取20个角点,检验其标准差 $\sigma$ ,可知每一亚像素角点精度都优于0.23个像素,本文方法角点定位的精度得到了相当大的提高,角点检测效果更优。

图5原图像1、2经过第1次筛选像素点分别减少56%和58%;经过第2次筛选像素点分别减少51%和59%。由于一次乘法运算时间要远多于一次加法<sup>[6]</sup>,而两次角点筛选主要是加法运算,剔除了大量的非角点后乘法计算量大为降低。图5反映出本文算法耗时分别仅为未改进的Harris算法的11.8%和11.1%,大大缩短了角点检测时间,可见该方法在实时性要求高或数据量大的角点检测中更具有实用性。

## 4 结 论

本文针对Harris算法及当前许多改进算法难于同时满足像素定位精度高和计算量小的要求,提出了改进的Harris亚像素角点快速定位方法,在Harris算法中两次筛选候选角点,利用最小二乘加权距离法实现角点亚像素定位。实验结果表明,该算法可减小数据冗余度,显著缩减运算时间,大幅提高角点检测效率和精度。且该算法容易编程实现,可满足摄影测量等图像角点快速检测需要,具有较强的实用性。

### 参考文献 (References)

- [1] Gevrekci M, Gunturk B K. Illumination robust interest point detection [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2009, 113(4): 565-571.
- [2] Pikaz A, Dinstein I. Using simple decomposition for smoothing and feature point detection of noisy digital curves [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(8): 808-813.
- [3] Zhang P L, Guan Z Q, Wang X Z. Algorithm for feature point in sequence image extraction and matching [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(4): 329-332. [张鹏林, 关泽群, 王新洲. 时间序列影像特征点提取与匹配算法研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2004, 29(4): 329-332.]
- [4] Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of interesting point detectors [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 37(2): 151-172.
- [5] Bruce N D B, Komprobst P. Harris corners in the realworld: a principled selection criterion for interest points based on ecological statistics [C]// *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Sophia Antipolis, France: INRIA Press, 2009: 2160-2167.
- [6] Wang W, Tang Y P, Ren J L. A improved algorithm for Harris corner detection [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 16(10): 1995-2001. [王威, 唐一平, 任娟莉. 一种改进的Harris角点提取算法[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(10): 1995-2001.]
- [7] Zhang X H, Li B, Yang D. A novel Harris multi-scale corner detection algorithm [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(7): 1735-1738. [张小洪, 李博, 杨丹. 一种新的Harris多尺度角点检测[J]. *电子与信息学报*, 2007, 29(7): 1735-1738.]
- [8] Gao J, Huang X H, Peng G. A feature detection method based on Harris corner and difference of Gaussian [J]. *PR & AI*, 2008, 21(2): 171-176. [高健, 黄心汉, 彭刚. 基于Harris角点和高斯差分的特征点提取算法[J]. *模式识别与人工智能*, 2008, 21(2): 171-176.]
- [9] Ma L T, Yang D, Zhang X H. A new method for image registration based on condition number [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008, 13(2): 277-283. [马丽涛, 杨丹, 张小洪. 一种新的基于条件数的图像配准算法[J]. *中国图象图形学报*, 2008, 13(2): 277-283.]
- [10] Zhang H Y, Li Y Y, Chu C Y. Multi-scale Harris corner detection based on image block [J]. *Journal of Computer Applications*, 2011, 31(2): 356-357. [张海燕, 李元媛, 储晨昀. 基于图像分块的多尺度Harris角点检测方法[J]. *计算机应用*, 2011, 31(2): 356-357.]
- [11] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector [C]// *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*. Manchester, United Kingdom; the University of Sheffield Printing Unit, 1988: 147-151.