

基于 Canny 算子的红外影像边缘检测算法

叶德周, 杨风健, 貌程浩, 刘 军

(杭州电子科技大学电子信息学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:针对传统 Canny 算子在提取红外影像边缘时会出现毛刺、不光滑等现象,提出一种增强边缘细节的红外影像边缘检测方法。在 Canny 算子基础上,用主成分分析得到的主算子代替 Sobel 算子,同时用基于二阶偏导的非极大值抑制方法进行边缘细化,最后由“参考白”方法设置阈值提取最终边缘。经 MATLAB 仿真表明,相比 Canny 算子,所提方法能够提取更加平滑的边缘,尤其对弧形边缘。

关键词:红外影像;边缘检测;Canny 算子;主成分分析;非极大值抑制

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.09.025

Edge detection algorithm of infrared image based on canny operator

YE De-zhou, YANG Feng-jian, MAO Cheng-hao, LIU Jun

(College of Electronic and Information Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: As many cases such as skin needling and rough edge occur in edge extraction of infrared image by using traditional Canny operator, an improved edge detection algorithm is proposed. Firstly, principle operator obtained by PCA replaced Sobel operator, and non-max suppression method based on second derivatives are used to thin the edge. At last “reference white” method is used to extract final edge through setting threshold. Simulation results show that the proposed method can get smoother edge, especially for arch edge, compared with Canny operator.

Key words: infrared image; edge detection; Canny operator; PCA; non-max suppression

1 引 言

红外影像的边缘检测对于进一步影像分析和识别具有重要意义。目前,针对红外影像的边缘检测方法主要集中在基于微分实现的检测算子,如 Sobel 算子、Prewitt 算子、Krisch 算子和 Canny 算子等一阶微分算子以及类似 LoG 算子的二阶微分算子。但是,上述检测算子在对红外影像等特殊图像处理时存在一定局限性。因此,科研工作者们提出了一系列改进方案。其中,袁春兰等人^[1]提出通过叠加经 OTSU 方法处理的二值图像和原始图像的 Sobel 边缘以弥补 Sobel 算子对方向的敏感性。而夏清等人^[2]针对边缘检测中的噪声干扰,提出用形态学方

法代替高斯滤波以解决滤波尺度无法自适应的问题,同时将中值滤波用于 Roberts 算子的预处理,最后融合改进的 LoG 算子和 Roberts 算子检测结果。此外,他们还通过将灰色理论和经形态学滤波的 Laplace 算子相结合用于含噪图像的边缘提取^[3]。

而本文将 Canny 算子^[4]用于红外影像边缘提取时,发现边缘存在不平滑,易出现毛刺等现象。因此,提出一种基于 Canny 算子的红外影像边缘检测方法。该方法首先引入主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)^[5]混合多种一阶微分算子用于梯度估计。同时,提出基于二阶偏导的非极大值抑制过程实现边缘细化。最后由“参考白”方法确定

基金项目:2014 年浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目(No. 2014R407067)资助。

作者简介:叶德周(1990-),男,在读研究生,研究方向为图像处理。

通讯作者:杨风健(1987-),男,在读研究生,研究方向为红外热像探测及图像处理。E-mail: yangfengjian2012@aliyun.com

收稿日期:2014-12-15; **修订日期:**2015-01-10

边缘提取的阈值。实验结果表明,以 Canny 算子为参考基准,所提方法能够在红外影像中提取更加平滑的边缘。

2 本文算法

2.1 基于 Canny 算子实现过程

Canny 算子最早由 John F. Canny 于 1986 提出^[6]。Canny 算子给出了相对最优边缘检测而被广泛关注。对于 Canny 算子,通常采取近似实现,主要过程如下:①降噪,主要采用高斯平滑滤波,也可由其他降噪算法代替^[7-8]。②梯度估计,可采用基于 2×2 邻域的一阶偏导有限差分^[7]或 Sobel 算子^[4]。③非极大值抑制过程,主要用于细化边缘。④滞后阈值,主要用双阈值法进一步剔除非边缘点同时连接间断边缘。现将 Canny 算子作适当改进用于红外影像边缘检测,具体流程如图 1 所示。

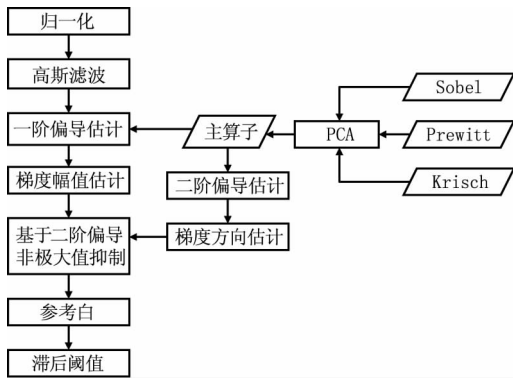


图1 本文算法流程图

2.2 基于 PCA 的主算子提取

Canny 算子在梯度估计部分主要采用一阶微分算子实现。然而,单一微分算子存在一定局限性。因此,本文试图采用 PCA 方法对目前现有一阶微分算子进行融合来提取主算子。PCA 方法能够有效去除数据之间的相关性,提取数据的特征信息。因此,PCA 方法被广泛用于数据降维和特征提取中。PCA 提取主算子过程如下:①选取样本算子,本文采用基于 3×3 卷积核的一阶微分算子,即 Sobel 算子, Prewitt 算子和 Krisch 算子,作为分析样本。统一选取三者的水平方向卷积核作为融合提取对象,而垂直方向卷积核可转置获得。②中间过程矩阵构建,将上述算子统一转成 9 维向量 x_i ,并将所得 N 个向量(由于样本数据过少,本文进行重复添加)合成矩阵形式 X 如式(1)。根据式(2)求得所有向量的均值向量并构建协方差矩阵 S 如式(3)。

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

$$u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2)$$

$$S = \frac{1}{N} (X - \bar{X}) (X - \bar{X})^T \quad (3)$$

其中, $\bar{X}$ 为均值向量 u 构成的均值矩阵。③通过式(4)求解特征值和特征向量获得主分量^[9](即特征向量)。④主算子提取,由式(5)实现投影变换,将所得矩阵第一列转成 3×3 矩阵,即得主算子。

$$Sw_i = \lambda_i w_i \quad (4)$$

$$y = W^T(x - u) \quad (5)$$

2.3 基于二阶偏导的非极大值抑制

非极大值抑制^[4]根据边缘点相对边缘切线两侧像素点应是极大值的特点来抑制非边缘点从而实现边缘细化。其中,两侧像素点主要选择边缘法线上的邻近点。但是,因为图像是由离散像素点构成,所以满足落在法线上的边缘邻近点有可能是亚像素点,即其梯度值无法直接获得,如图 2 所示。在图 2 中,九方格中的黑色圆形代表当前边缘点 $G(x, y)$, 其他 8 个白色圆形代表其八邻域像素点。黑色实线代表当前边缘切线所在位置而垂直于实线的虚线则代表边缘点法线所在位置。由图可知,无邻域像素点落在当前边缘点的法线上。

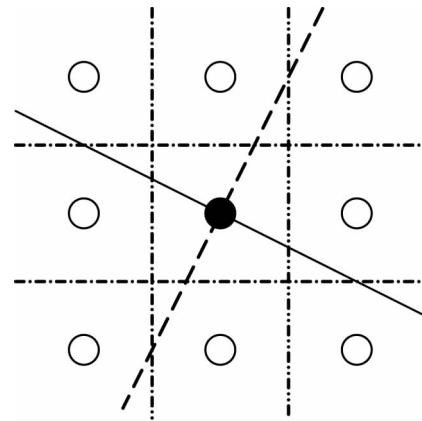


图2 边缘点八邻域插值

对于上述亚像素点的估计,可由插值公式获得。而最简单的方法是八邻域线性插值,具体公式可以参考下面式子,式中 G_x 和 G_y 分别表示水平和垂直方向的一阶偏导估计。

$$G_1 = \beta G(x + \Delta x_1, y + \Delta y_1) + (1 - \beta) G(x + \Delta x_2, y + \Delta y_2) \quad (6)$$

$$G_2 = \beta G(x + \Delta x_3, y + \Delta y_3) + (1 - \beta) G(x + \Delta x_4, y + \Delta y_4) \quad (7)$$

$$\beta = \frac{G_y}{G_x} \quad (8)$$

$$\Delta x_{i=1 to 4}, \Delta y_{i=1 to 4} \in \{-1, 0, 1\} \quad (9)$$

从上述式子可以看出,传统插值算法中对亚像素

梯度值的估计采用一阶偏导。本文则提出基于二阶偏导进行插值估计。即在原有一阶偏导基础上,对水平方向的偏导估计利用水平方向的主算子获得水平方向二阶偏导估计,相应地,对垂直方向的偏导估计利用垂直方向的主算子获得垂直方向的二阶偏导估计,表示如式(10)和式(11)。式中 h_x 和 h_y 分别代表用水平和垂直方向主算子进行梯度估计。

$$G_{xx} = h_x(G_x) \quad (10)$$

$$G_{yy} = h_y(G_y) \quad (11)$$

之后,将水平和垂直方向二阶偏导估计加上以微小量缩小的一阶偏导估计($G_{xx} + \alpha G_x$ 和 $G_{yy} + \alpha G_y$,本文中 α 取 1/10)用于插值计算中 β 求解,如式(12)。

$$\beta = \frac{G_{yy} + \alpha G_y}{G_{xx} + \alpha G_x} \quad (12)$$

对比式(12)和式(8),由于二阶偏导在真实边缘处的估计趋零,因此上述替换不影响对真实边缘处的梯度方向估计,即两式近似相等。对于真实边缘附近的像素则会因为二阶偏导占主要而在方向估计上更趋近二阶偏导的估计结果,而二阶偏导在对边缘邻近点的梯度方向估计上接近真实边缘。解释如下:经一阶偏导估计获得的边缘实际是呈现带状的,上述进行的二阶偏导估计相当于带状边缘图的一阶边缘估计。带状边缘图的边缘应该和真实边缘呈现“平行”关系。因此,可以说明二阶偏导在真实边缘邻近点的梯度方向估计接近真实边缘的梯度估计。

2.4 基于“参考白”的滞后阈值

经上述处理后的边缘主要由高像素点组成。因此,本文提出通过寻找“参考白”^[10]的方法来设置滞后阈值过程中的高低阈值。方法如下:①利用直方图进行灰度统计;②从高灰度级向低灰度级累计灰度,并计算累计灰度数量占比。当其达到预设百分比 P 时,就将累计灰度级的均值作为“参考白”。③将获得“参考白”用于高阈值设置,而低阈值则利用缩放系数 c 对高阈值进行缩小。具体设置在实验部分说明。

3 实验结果与分析

3.1 实验说明

本文采用的红外热像仪为美国 FLIR 型号为 E4+,其具体参数可以参考表 1。测试图像由红外热像仪随机获取,其归一化后图像如图 3 所示。并将相应图像(“手”、“保温杯杯口”、“保温杯”、“日光灯”)分别命名为 A、B、C、D。

表 1 红外热像仪参数

红外图像分辨率	320 × 240
IFOV 空间分辨率/mrad	2.6
视场角/(°)	45 × 34
温度范围/℃	-20 ~ 250
热灵敏度/℃	≤ 0.06
镜头类型	定焦
最小焦距/m	0.5
帧频/Hz	9

以 Canny 算子为基准,说明如下:①滤波部分,Canny 算子和本文算法统一以 3×3 高斯平滑滤波器进行滤波降噪。②梯度估计部分,Canny 算子采用 Sobel 算子。③非极大值抑制部分,Canny 算法采用原有非极大值抑制方法。④最终边缘提取部分,两者统一采用结合“参考白”的滞后阈值。其中,图像 A 和图像 D 采用的“参考白”百分比 P 分别为 5% 和 2%,而图像 B、C 均为 3.5%。图像 A、B、C 和 D 的低阈值缩放系数 c 均为 2/3。两种算法均由 MATLAB 仿真实现。

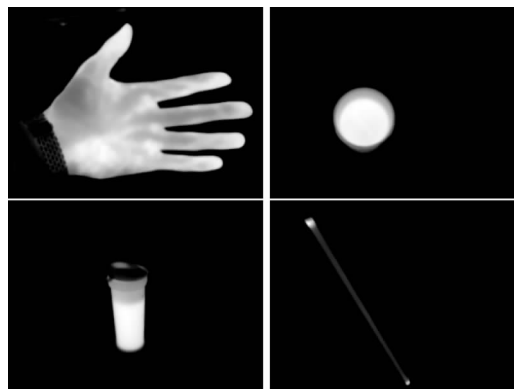


图 3 测试的归一化红外影像

3.2 结果分析

通过图 4(左列为本文算法检测结果,右列为 Canny 算子检测结果),可以得到以下结论:①对弧形边缘响应相对更好,在图像 A 的指尖部分,本文所提算法实现得更自然而传统 Canny 算法则易出现破损。②响应更多边缘信息,图像 B 中 Canny 算子没有检测到的边缘细节在本文算法的检测结果中有所体现,如本文算法的检测结果中可以看到清晰的三条弧形边缘并且总体较为光滑,而在 Canny 检测结果的相对位置则缺少中间的弧形曲线。③毛刺现象少,Canny 算法对“保温杯”的杯底检测时,出现明显的毛刺,而在本文算法的检测结果中则没有,并且在边缘密集处表现相对良好。④连续性相对更好,从图像 D 的检测结果可以看出,本文算法检测出的“日光灯”边缘相对

连续,而 Canny 的检测出的边缘点则相对孤立。⑤运行时间有一定增加,本文所提算法相对 Canny 算法在时间上平均增加 0.055 s,如表 2 所示。

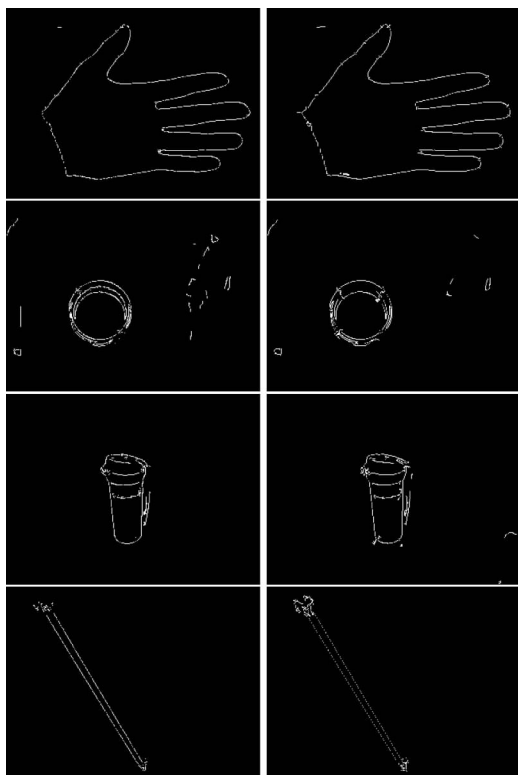


图 4 本文算法和 Canny 算子检测结果对比

表 2 两种算法运行时间对比

图像序列	运行时间/s		增加时长/s
A	2.37	2.30	0.07
B	2.22	2.15	0.06
C	2.13	2.11	0.02
D	1.90	1.83	0.07
平均增加时间/s	0.055		

4 结 论

本文在分析了 Canny 算子的基础上,通过引入 PCA 和二阶偏导分别对 Canny 算子中的梯度估计部分和非极大值抑制过程进行了简单改进。实验结果表明:相比原有 Canny 算子能提取更加有效的边缘。所提方法在一定程度上可供参考,但仍有待进一步的改进和提升。

参考文献:

[1] YUAN Chunlan, XIONG Zonglong, ZHOU Xuehua, et al. Study of infrared image edge detection based on sobel operator[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(01): 85-87. (in Chinese)

袁春兰,熊宗龙,周雪花,等.基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究[J].激光与红外,2009,39(01):85-87

[2] XIA Qing, HU Zhenqi, WEI Beilei, et al. New edge detection method for images of infrared thermal imager[J]. Infrared and Laser Engineering, 2014, (01): 318-322. (in Chinese)

夏清,胡振琪,位蓓蕾,等.一种新的红外热像仪图像边缘检测方法[J].红外与激光工程,2014,(01): 318-322

[3] XIA Qing, CHEN Yakai, ZHANG Zhenxin, et al. Edge extraction algorithm of infrared thermal image based on laplace operator and gray theory[J]. Infrared Technology, 2014, (05): 377-380, 388. (in Chinese)

夏清,陈亚凯,张振鑫,等.基于 Laplace 算子和灰色理论的热红外影像边缘检测[J].红外技术,2014,(05): 377-380, 388.

[4] Mark S N, Alberto S Aguado. Feature extraction and image processing second edition [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010. (in Chinese)

Mark S N, Alberto S Aguado. 特征提取与图像处理 [M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2010.

[5] LU Zhentai, FENG Yanqiu, FENG Qianjin, et al. Medical image registration based on principal phase congruency [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, (10): 1974-1978. (in Chinese)

卢振泰,冯衍秋,冯前进,等.基于主相位一致性的医学图像配准[J].电子学报,2008,(10):1974-1978

[6] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1986, PAMI-8(6): 679-698.

[7] XU Hongke, QIN Yanyan, CHEN Huiru. An improved algorithm for edge detection based on canny [J]. Infrared Technology, 2014, 36(3): 210-214. (in Chinese)

许宏科,秦严严,陈会茹.一种基于改进 Canny 的边缘检测算法[J].红外技术,2014,36(3):210-214.

[8] HUANG Jianling, ZHENG Xuemei. Improved image edge detection algorithm based on Canny operator[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, (25): 170-172. (in Chinese)

黄剑玲,郑雪梅.一种改进的基于 Canny 算子的图像边缘提取算法[J].计算机工程与应用,2008,(25): 170-172.

[9] ZHANG Yujin, CHENG Zhengdong, JIA Huixing, et al. Subspace-based face recognition [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009. (in Chinese)

章毓晋,程正东,贾慧星,等.基于子空间的人脸识别 [M]. 北京:清华大学出版社,2009.

[10] Reinlien H, Abdel-Mottaleb M, Jain AK. Face detection in color images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 696-706.