

文章编号: 1000-5862(2013) 01-0046-05

# 基于线性回归的图像边缘处理算法的研究

王俊杰, 张宇波\*

( 郑州大学电气工程学院 河南 郑州 450001)

**摘要:** 由于参差不齐的线性边缘不便于后续的测量和应用, 针对这一问题, 提出了用线性回归的方法处理边缘, 以期得到接近事实上存在的边缘, 为后续尺寸精密测量打下基础. 仿真结果表明: 该方法消除了毛刺点对线性边缘的不利影响, 对于参差的线性边缘具有较好的处理效果.

**关键词:** 选择式掩模平滑; 大津阈值分割; 边缘检测; 线性回归

**中图分类号:** TP 751.1

**文献标志码:** A

## 0 引言

边缘作为图像中目标的基本特征, 表示了灰度或纹理色彩的突变, 含有丰富的图像信息. 边缘检测的本质就是采用某种算法提取图像中目标与背景之间的交界线<sup>[1-2]</sup>. 经典边缘检测算子(如 Sobel、Laplacian 等) 可以检测得到边缘, 结合智能算法(如模糊算法、遗传算法等) 的检测方法也能够检测得到图像边缘. 实际上, 没有一种通用的方法可以适用于任何情况, 只能针对具体情形, 找到便捷合适的检测方法. 对于四边形工件的尺寸测量, 每条边边缘本身是线性的, 由于光线照射反射和照相机自身噪声等因素的影响, 所得到的图像边缘参差不齐, 此时用 1 阶微分算子 Robert<sup>[3]</sup> 或 2 阶微分算子 Gauss-Laplacian<sup>[4]</sup> 也只能检测到参差边缘. 参差伪边缘对后续尺寸测量精度的提高十分不利.

把选择式掩模平滑<sup>[5-6]</sup> 作为图像的预处理方法, 选择式掩模平滑考虑到图像中目标和背景一般都具有不同的统计特性, 平滑消噪的同时又能保留较好的图像细节. 接着用大津阈值分割<sup>[7-9]</sup> 目标与

背景, 此方法不管图像的灰度直方图有无明显的双峰, 都能得到较好的分割结果. 利用线性回归的方法<sup>[10-15]</sup> 处理分割之后参差的线性边缘, 可以有效消除毛刺点的影响, 得到真实的边缘.

## 1 选择式掩模平滑

选择式掩模平滑法的基础是模板运算, 通常取  $5 \times 5$  的模板窗口. 在窗口内以中心像素( $i_{mid}, j_{mid}$ ) 为基准点, 边界数字“1”的连线形成了 9 种形状的屏蔽窗口: 4 个五边形, 4 个六边形, 1 个边长为 3 的正方形, 分别计算每个窗口内的像素灰度值的平均值及方差. 也就是说, 不同屏蔽窗口对像素的取舍不同. 含有尖锐边沿的区域, 其方差必然较平缓区域大. 因此采用方差最小的屏蔽窗口进行灰度值的平均, 在滤除噪声的同时又不破坏区域边界的细节. 这种采用 9 种形状的屏蔽窗口, 分别计算各窗口内的灰度值方差, 并采用方差最小的屏蔽窗口进行像素灰度值平均的方法, 就是选择式掩模平滑方法. 它的优势是以尽量不模糊边缘轮廓为目的. 9 种屏蔽窗口的模板如图 1 所示.

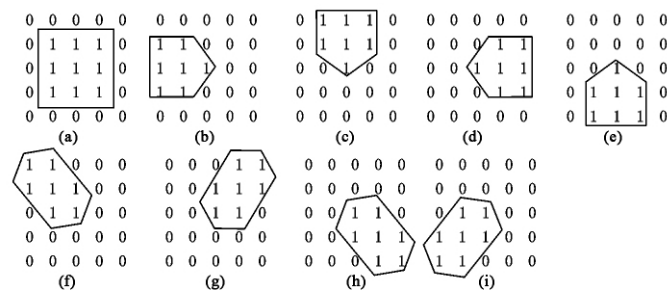


图 1 9 种屏蔽窗口的模板

收稿日期: 2012-09-22

基金项目: 国家自然科学基金(60974005) 资助项目.

作者简介: 张宇波(1965-), 女, 山东昌乐人, 副教授, 博士, 主要从事工业自动化和图像测量等方面的研究.

依据 9 种模板分别计算各个模板作用下灰度值的均值及方差:

$$M_i = \sum_{k=1}^N f(i, j) / N, \quad (1)$$

$$\sigma_i = \sum_{k=1}^N (f^2(i, j) - M_i^2), \quad (2)$$

其中  $M_i$  为灰度值的均值  $\sigma_i$  为灰度值的方差  $k = 1, 2, 3, \dots, N$ ,  $N$  为各掩模对应的像素个数 ( $5 \times 5$  的

窗口  $N = 25$ ),  $f(i, j)$  为图像中  $(i, j)$  点的灰度值.

将计算所得均值  $M_i$  进行大小排序, 最小方差  $\sigma_i$  对应的掩模的灰度均值  $M_i$  作为平滑的结果取代基准点  $(i, j)$  对应的像素点的灰度值. 将  $5 \times 5$  的窗口在整个图像上移动, 就能实现对每个像素的平滑. 原图像如图 2 所示, 经过选择式掩模平滑后的图像如图 3 所示.

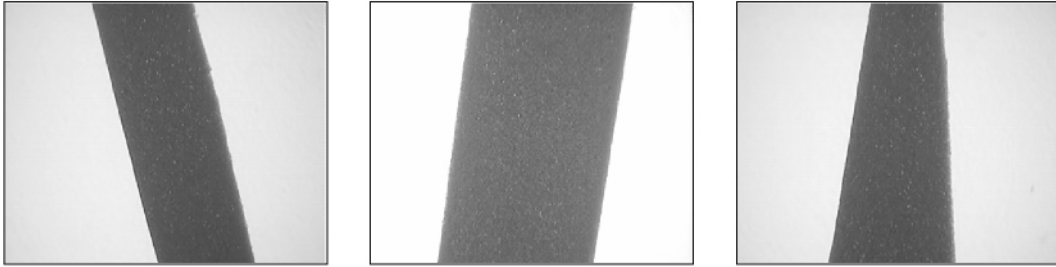


图 2 原图像

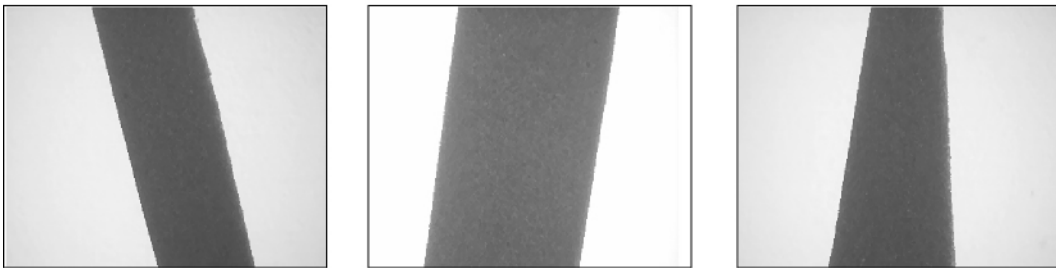


图 3 选择式掩模平滑后图像

邻域平均法和加权平均法也常用来滤波, 但消除噪声的同时, 都存在灰度值平均化带来的缺陷, 使尖锐变化的边缘或线条变得模糊. 选择式掩模平滑

兼顾了消除噪声和保留细节 2 个方面, 平滑的效果明显优于邻域平均法和加权平均法. 邻域平均后图像如图 4 所示.

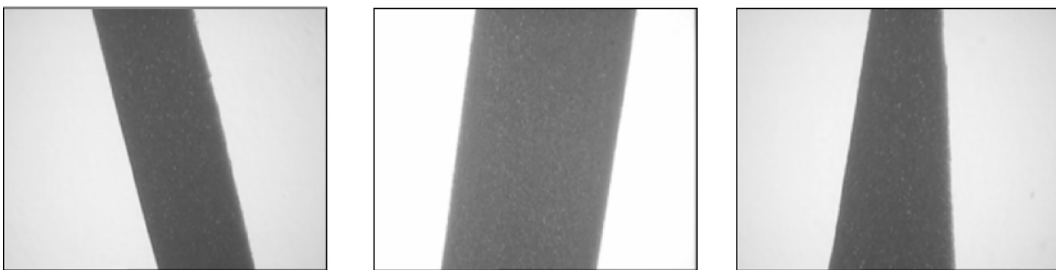


图 4 邻域平均后图像

## 2 大津阈值分割

大津阈值分割是一种自适应的阈值确定方法, 它是按图像的灰度特性, 将图像分成背景和目标 2 个部分. 背景和目标之间的类间方差越大, 说明构成图像

的 2 个部分的差别越大, 当部分目标错分为背景或部分背景错分为目标都会导致两部分差别变小. 因此, 使类间方差最大的分割意味着错分概率最小.

把图像灰度值在某一阈值处分成两组, 当被分成的两组类间方差最大时, 确定阈值. 这是通过一个阈值选择函数  $\delta^2(T)$  来实现的. 从 0 ~ 255 之间改变

灰度  $T$  的值,当阈值选择函数  $\delta^2(T)$  取最大值时,对应的  $T$  便是大津阈值.此方法不管图像的直方图有无明显的双峰,都能得到较好的分割结果.这种方法

是阈值选择的最优方法.大津阈值分割后的图像如图 5 所示.从图 5 看出,图像黑白分明,边界清晰.

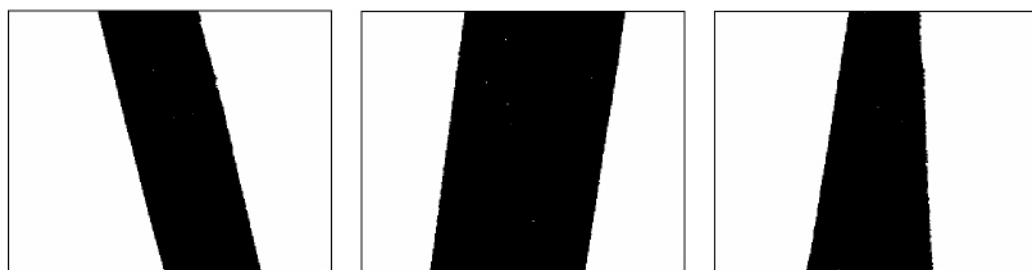


图 5 大津阈值分割后图像

### 3 线性回归

一般来说,线性回归分析都可以通过最小二乘法求出线性回归拟合方程,可以计算出对于  $y = bx + a$  的直线的线性回归系数,其经验拟合方程为

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (3)$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n, \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}, \quad (5)$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}, \quad (6)$$

$$r = \frac{\sigma^2}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) / n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / n}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (7)$$

在(7)式中  $r$  为相关系数,取值范围为  $[-1, 1]$ .

1].  $|r|$  (拟合的好坏) 是衡量变量之间线性相关程

度的指标.  $|r|$  值越大,误差  $Q$  越小,变量之间的线性相关程度越高.  $|r|$  值过小,拟合曲线的应用价值不大.

### 4 实验结果及分析

实验环境:所需图像由 CCD( charge-coupled device 电荷耦合元件)摄像头获得,基于 VC++ 编写程序实现图像处理(滤波、二值化、线性回归等)算法.

具体做法为把经过大津阈值分割后的图像目标最左边缘点的坐标(点所在图像的行与列)存储到 2 维数组  $LeftDot[M][2]$  中,  $LeftDot[M][2]$  是 1 个  $M$  行 2 列的数组,数组每行的第 1 个元素存储点的行坐标,数组每行的第 2 个元素存储点的列坐标.数组行数  $M$  根据图片的大小而定.这样就得到了一系列的散点:  $(LeftDot[i][0], LeftDot[i][1])$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, M-1$ ; 图像目标最右边缘点也作如此处理,得到一系列的散点:  $(RightDot[i][0], RightDot[i][1])$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, M-1$ .

把左边缘散点和右边缘散点分别作为  $(X, Y)$  的 1 个样本带入线性回归公式(3)~(7),计算得到图像目标左右边缘的线性回归方程的系数及相关系数.结果如表 1 所示.

表 1 线性回归系数

|        |     | $b$        | $a$         | $r$       |
|--------|-----|------------|-------------|-----------|
| 图 3(1) | 左边缘 | -0.250 624 | 165.839 213 | 0.995 426 |
|        | 右边缘 | -0.238 987 | 272.175 090 | 0.999 063 |
| 图 3(2) | 左边缘 | 0.131 215  | 72.236 280  | 0.996 650 |
|        | 右边缘 | 0.154 518  | 240.903 983 | 0.999 465 |
| 图 3(3) | 左边缘 | 0.159 712  | 100.161 150 | 0.999 413 |
|        | 右边缘 | -0.046 727 | 234.681 948 | 0.960 488 |

对每一个边缘,其散点拟合之后都得到一条直线:  $y = bx + a$ ,把  $x_i = 1, 2, 3, \dots, M-1$  代入直线方程中,可以得到相应的  $y_i$ ,于是得到了新的边缘散点  $(x_i, y_i)$ 。为了查看拟合的效果,我们把图像中  $(x_i, y_i)$  点处的图像点置成黑色,其余点置成灰色,得到图像如图6所示。

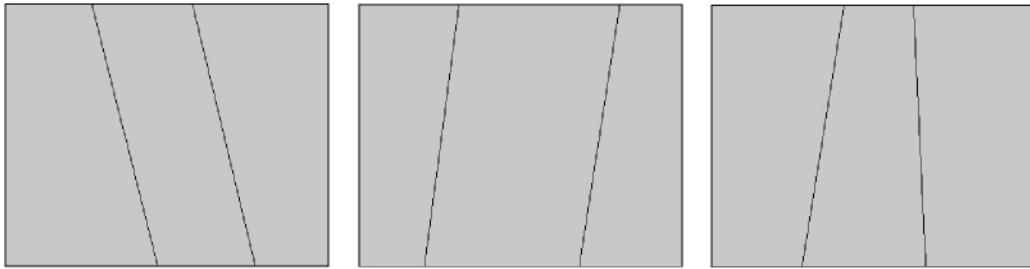


图6 线性回归后图像

经典边缘检测算子也常用来检测图像的边缘,边缘检测后图像如图7所示。2阶微分 Gauss-Laplacian 算子边缘检测后图像如图8所示。

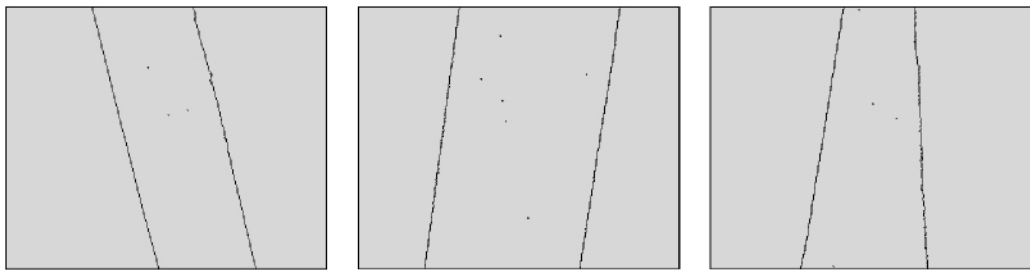


图7 Robert 算子边缘检测后图像



图8 Gauss-Laplacian 边缘检测后图像

将经典边缘算子与线性回归方法处理后的图像效果做以比较,从图中可以看出,Robert 算子检测到的边缘较细腻,Gauss-Laplacian 算子检测到的边缘较粗糙,两者的边缘都存在不同程度的毛刺,在平滑度上,线性回归后图像的边缘有更明显的优点,由于对边缘散点做了线性回归分析,所以得到的边缘更接近真实边缘。

方法的得到的边缘更平滑,更规整,尺寸测量结果更接近真实值。当然最终线性回归的边缘精确程度很大程度上取决于大津阈值分割的好坏。当图像的噪声比较低或光照不均匀时,图像分割效果受到较大影响,所以图像滤波处理显得尤为重要。线性回归方法适用于近似线性边缘的处理,对曲线边缘需要研究其它的处理方法。

## 5 结论

针对参差线性边缘的处理问题,在选择式掩模平滑和大津阈值分割图像之后,利用线性回归的方法去处理边缘散点,得到比较平滑的接近实际上的边缘。从与经典边缘算子检测到的边缘对比来看,本

## 6 参考文献

- [1] 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(1): 85-87.
- [2] 蒋爱花,荆济收. 图像边缘处理技术 [J]. 科学技术与工程, 2005, 5(5): 298-300.

- [3] 康牧, 许庆功, 王宝树. 一种 Roberts 自适应边缘检测方法 [J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(10): 1240-1244.
- [4] 刘祚时, 沈哲. 改进的图像分割方法的应用 [J]. 煤炭技术, 2010, 29(3): 218-220.
- [5] 夏太武. 基于粗糙集的图像平滑研究 [J]. 邵阳学院学报: 自然科学版, 2011, 8(3): 38-41.
- [6] 李金红, 张有会, 滑斌杰, 等. 基于积分图像的快速选择掩模平滑算法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(2): 206-209.
- [7] 高娜, 董爱华. 火灾探测中火焰图像分割方法的研究 [J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2008, 27(1): 17-20.
- [8] 陈科尹, 邹湘军, 陈丽娟. 基于微分进化的最大类间方差图像分割算法及应用 [J]. 装备制造技术, 2012, (2): 47-49.
- [9] 吕行军, 韩宪忠, 王克俭, 等. 基于最大方差阈值法的火车票图像二值化处理 [J]. 计算机软件与应用, 2012, 29(7): 49-52.
- [10] 于小林, 文建国, 郁建林, 等. 基于分段线性回归的水质遥感图像校正算法 [J]. 遥感信息, 2010, 6: 39-43.
- [11] 韦学辉, 李均利, 陈刚. 基于多元线性回归的图像质量评价方法 [J]. 中国图形图像学报, 2008, 11(13): 2123-2129.
- [12] 刘连福. 一元线性回归方程中回归系数的几种确定算法 [J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2008, 4(26): 406-408.
- [13] 王忠武, 赵忠明, 刘顺喜. IKONOS 图像的线性回归波段拟合融合方法 [J]. 遥感学报, 2010, 10: 49-53.
- [14] 孙华. 一元线性回归模型设计及 C++ 实现 [J]. 长沙医学院学报, 2008, 12(25): 46-49.
- [15] 廖春华, 杜建强. 改进的偏最小二乘回归推荐算法 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 36(6): 626-630.

## The Study of Processing Algorithms of Image Edges Based on Linear Regression

WANG Jun-jie ZHANG Yu-bo

(School of Electrical Engineering Zhengzhou University Zhengzhou Henan 450001, China)

**Abstract:** Subsequent measurement and applications is not easy due to the ragged edge, to solve this problem, the way of linear regression has been used to process linear edge to gain the edge existed actually, and which lays the foundation for the subsequent precise size measurement. The simulation results show that eliminating adverse effect of the burrs point on the linear edge, this method has the advantage for processing of ragged linear edge.

**Key words:** selective mask smoothing; Otsu threshold segmentation; edge detection; linear regression

(责任编辑: 冉小晓)