

一种基于梯度的亚像素边缘检测算法

张丰收,王 飞,崔凤奎,刘建亭

(河南科技大学 机电工程学院,河南 洛阳 471003)

摘 要: 采用 Sobel 算子确定图像边缘的大致位置,然后用三次样条插值函数对灰度边缘图进行内插计算,使目标边缘定位达到亚像素级. 再对插值后的图像采用阈值迭代算法得到阈值特征图像. 实验表明,该方法能精确定位目标边缘,达到亚像素精度,优于传统的边缘检测方法.

关键词: 边缘检测;亚像素;三次样条插值

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)03-0108-03

Based on Gradient Subpixel Edge Detecting Algorithm

ZHANG Feng-shou, WANG Fei, CUI Feng-kui, LIU Jian-ting

(College of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: This article uses first by the Sobel operator determination picture edge approximate position, then uses three time transect interpolating function to carry on the interpolation computation to the gradation edge chart, enables the goal edge localization to achieve sub-pixel element level. Uses the threshold value iterative algorithm after the interpolation image to obtain the threshold value characteristic image again. The experiment indicated that this method can accurately locate object's edge, to achieve sub-pixel accuracy, superior to the traditional edge detection methods.

Key words: edge detection; sub-pixel; three-ordersplineinterpolation

1 引言

边缘检测是图像分割的有效方法. 常用的检测算法有 Roberts、Sobel、Prewitt、Kirsch、Gauss-Laplace、Canny 算法. 其中,Roberts、Sobel、Prewitt 是典型的梯度边缘检测算子,它们运算简单,但对噪声敏感,且提取出的边缘较粗;Kirsch 是一种方向算子,处理的时候需要综合各模板的值,处理负荷大;Gauss-Laplace 算子是一种二阶导数算子,无方向性,计算量小,但对噪声特别敏感;Canny 算子把边缘检测问题转换为检测单位函数极大值的问题,能得到单像素边缘图像,其处理效果普遍优于上面几个算子,但由于其算法的复杂性,不适用于对图像处理速度要求较高的场合^[1-2].

针对上述缺陷,文中结合图像预处理技术、图像

分解技术和图像形态学理论,提出了一种图像边缘提取方法. 实验证明,该算法有较好的抗噪性和较精确的边缘定位能力,优于传统的边缘检测方法.

2 图像滤波处理

摄像机拍摄的玻璃夹锡原图像如图 1 所示. 带有噪声干扰. 噪声易恶化图像的质量,给后续的处理带来不必要的麻烦. 文中采用 K 近邻中值滤波,该算法的核心是在一个与待处理像素的范围内,找出其中像素值与之最接近的 K 个邻点,将该 K 个邻点的中值替代原像素. 其算法描述如下^[3]:

(1) 设 $f(x, y)$ 为当前待处理像素,以其为中心,设计一个 5×5 的模板.

(2) 在 5×5 个像素中,选择出 K 个像素值与 $f(x, y)$ 相近的像素(此时 $K = 9$).

(3) 将这 $K = 9$ 个像素的中值替代原来像素 $f(x, y)$.

(4) 将图像中整个像素点进行处理.

经实验表明该方法能有效的消除图像中的噪声. 滤波去噪如图 2 所示.



图 1 玻璃夹锡原图



图 2 中值滤波处理后图像

3 图像灰度化

在机器视觉检测技术的实现过程中,由于检测速度和算法实现难易等方面的要求,往往需要将彩色图像转换成灰度图来处理^[4]. 在常用的灰度化处理的基础上,分析图像特征,研究了一种简单的算法,能够将图像中的物体和背景的灰度级别分开,以便后续处理. 经灰度化处理后的图像如图 3 所示.



图 3 灰度增强图像

4 自适应阈值分割及特征提取

当图像的背影和目标灰度变化比较大时,无法得到一个适应于整幅图像的全局阈值. 而自适应阈值

分割法是针对每一个像素求出一个阈值,对整幅图像求出一个阈值面. 基本思想是将图像分割成一系列子图像,计算出图像每个子图像的阈值,将计算出来的阈值构成一个矩阵,并进行插值,使之成为与原图像像素数目相同的矩阵. 算法流程如图 4 所示.

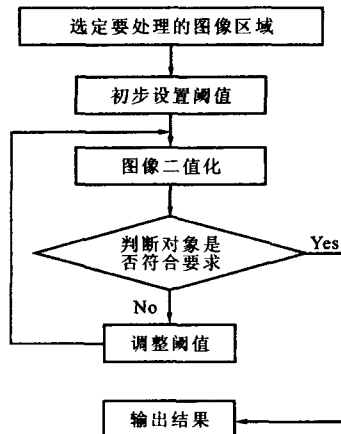


图 4 自适应算法流程图

经阈值分割后的图像见图 5 所示. 所得的阈值图像的边缘轮廓较为清晰,有利于图像的边缘特征的提取.



图 5 阈值分割

5 图像边缘检测及特征提取

传统梯度算法只检测水平和垂直两个方向的 3×3 邻域模板,而且对噪声过于敏感. 文中提出了一种 8 点邻域梯度计算方法. 这种算法不仅可计算 x 和 y 方向的一阶偏导数,而且基于在 Sobel 算子的基础上定义了 8 个方向模板,使模板表示的方向为图像的实际边缘方向^[5],如图 6 所示.

在边缘检测时,将这 8 个模板分别与被检测图像中的 3×3 邻域进行卷积,取模板卷积结果中的最大值一个连续函数 $F(x, y)$ 在位置 (x, y) 处的梯度作为梯度幅度值,得到灰度边缘图,如图 7 所示. 但是这样检测出的边缘仍然较粗,为了能够得到较精确地边缘. 对像素级的图像进行亚像素级定位,得到了不失真的边缘图.

<table><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	-1	-2	-1	0	0	0	1	2	1	<table><tr><td>-2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr></table>	-2	1	0	-1	0	1	0	1	2
-1	-2	-1																	
0	0	0																	
1	2	1																	
-2	1	0																	
-1	0	1																	
0	1	2																	
0° 方向	45° 方向																		
<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	1	0	1	-1	0	2	-1	0	1	<table><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	2	-1	0	1	-2	-1	0
1	0	1																	
-1	0	2																	
-1	0	1																	
0	1	2																	
-1	0	1																	
-2	-1	0																	
90° 方向	135° 方向																		
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>-1</td><td>2</td><td>-1</td></tr></table>	1	2	1	0	0	0	-1	2	-1	<table><tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>-1</td><td>2</td></tr></table>	2	1	0	1	0	-1	0	-1	2
1	2	1																	
0	0	0																	
-1	2	-1																	
2	1	0																	
1	0	-1																	
0	-1	2																	
180° 方向	225° 方向																		
<table><tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>-2</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	1	0	-1	2	0	-2	1	0	1	<table><tr><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	-1	-2	1	0	-1	2	1	0
1	0	-1																	
2	0	-2																	
1	0	1																	
0	-1	-2																	
1	0	-1																	
2	1	0																	
270° 方向	315° 方向																		

图 6 Sobel 算子的 8 个方向模板



图 7 边缘检测

6 三次样条插值

Sobel 算子检测出像素级边缘后,为了得到亚像素级的边缘,要对灰度边缘图进行内插处理.插值算法有很多种,例如最近邻插值、双线性插值、三次样条插值等等.最近邻插值和双线性插值不如三次样条插值精度高.为了得到精度高的亚像素级边缘,采用三次样条插值法对灰度边缘图进行插值处理.三次样条插值函数的定义^[6]:

若函数 $S(x)$ 满足:

$S(x)$ 在每个子区间 $[x_{i-1}, x_i]$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 上是不高于三次的多项式,其中 $(a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b)$.

(1) $S(x), S'(x), S''(x)$ 在 $[a, b]$ 上连续.

(2) 满足插值条件 $S(x_i) = f(x_i)$ ($i = 0, 1, \dots, n$), 则称 $S(x)$ 为函数 $f(x)$ 关于节点 $x_0, x_1, \dots, x_n$ 的三次样条插值函数.

在图像插值处理中,经常使用的三次样条插值函数 $S(\omega)$ 的数学表达式为^[7]

$$S(\omega) =$$

$$\begin{cases} 1 - 2|\omega|^2 + |\omega|^3, & |\omega| < 1 \\ 4 - 8|\omega| + 5|\omega|^2 - |\omega|^3, & 1 \leq |\omega| < 2 \\ 0, & |\omega| \geq 2 \end{cases} \quad (1)$$

这里,三次多项式 $S(\omega)$ 是对理论上的最佳插值函数 $\text{sinc}(\omega)$ 的逼近.具体的做法是考虑一个浮点坐标 $(i + \mu, j + v)$ 周围的 16 个邻点,目的像素的 $f(i + \mu, j + v)$ 可通过如下的插值公式得到:

$$f(i + \mu, j + v) = [A][B][C] \quad (2)$$

其中

$$[A] = (S(1 + \mu) \quad S(\mu)S(1 - \mu) \quad S(2 - \mu))$$

$$[B] =$$

$$\begin{bmatrix} f(i-1, j-1) & f(i-1, j) & f(i-1, j+1) & f(i-1, j+2) \\ f(i, j-1) & f(i, j) & f(i, j+1) & f(i, j+2) \\ f(i+1, j-1) & f(i+1, j) & f(i+1, j+1) & f(i+1, j+2) \\ f(i+2, j-1) & f(i+2, j) & f(i+2, j+1) & f(i+2, j+2) \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} S(1 + v) \\ S(v) \\ S(1 - v) \\ S(2 - v) \end{bmatrix}$$

经上述插值得到特征图像如图 8 所示.



图 8 提取特征

7 结果及分析

系统采用 VC++ 开发了玻璃质量缺陷检测处理软件,对玻璃图像进行一系列的图像处理得到像素级边缘图像和亚像素级定位检测结果.图 2 为中值滤波所得的图像,该方法能有效的消除图像中的噪声,为后续图像处理提供“干净”的图像.采用梯度阈值算法的像素级边缘检测结果,如图 7 所示.可以看出,采用经典 Sobel 算子较难检测出有效的边缘.经三次样条插值后所得的图像,插值后的图像放大.可以看出插值后的图像变得更加平滑,如图 8 所示的亚像素级边缘提取图,可以看出亚像素级边缘更清晰,定位精度更高,优于传统的边缘检测方法.

(下转第 114 页)

$\text{Dorm}(\text{Lihui})\}, \text{BelongUniv}(\text{Lihui})\}, R\rangle$

$\Sigma_{134} = \langle T, A \cup \{\text{Part-Checking}(\text{Lihui}), \text{Apartment}(\text{Lihui})\}, \text{BelongUniv}(\text{Lihui})\}, R\rangle$

在具有最高优先级别的最优扩展中,取两者应用过的缺省规则交集,通过对初始知识库应用交集的这些缺省规则,产生融合后的知识库.可知,其交集为规则 $R1(i)$ 和 $R4(i)$,因此融合后的知识库为:

$\Sigma_{14} = \langle T, A \cup \{\text{Part-Checking}(\text{Lihui}), \text{BelongUniv}(\text{Lihui})\}, R\rangle$

5 结束语

算法的最后一步是在融合后的知识库中执行标准的描述逻辑 Abox 个体推理.如果查询 Lihui 是否属于某大学或者是否减免工作量考核,在融合后的新知识库中,查询扩展的 Abox,可知答案为真与事实吻合,推理实例验证了该推理算法的有效性.

参考文献:

- [1] Horrocks I, P Patel Schneider, Boley H, et al. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML[EB/OL]. [2010-01-21]. <http://www.daml.org/2003/11/swrl/>
- [2] Thomas Eiter, Thomas Lukasiewicz, Roman Schindlauer, et al. Combining answer set programming with description logics for the semantic web[C]// Proceedings

of the Ninth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2004), Vienna, Austria: American Association for Artificial Intelligence, 2004:141-151.

- [3] Grosz B N, Horrocks I, Volz R, et al. Description logic programs: combining logic programs with description logic[C]// Proceeding of the Twelfth International World Wide Web Conference. Fairfax, VA, USA: ACM Press, 2003: 48-57.
- [4] Chitta Baral, Michael Gelfond. Logic programming and knowledge representation[J]. Journal of Logic Programming. 1994, 19(20): 73-148.
- [5] Jonh McCarthy. Programs with common sense[C]// Proceedings of the Symposium of the National Physics Laboratory. London, U K: Mechanisation of Thought Processes, 1958:77-84.
- [6] 朱思峰. 基于语义的领域知识检索系统的设计及实现[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(12): 106-109.

作者简介:

张彪男,(1968-),博士,讲师.研究方向为人工智能、图形图像处理、工业工程.

文坤梅女,(1978-),博士,讲师.研究方向为 Web 信息搜索与挖掘、语义搜索.

许家伟男,(1969-),工程师.研究方向为人工智能、技术创新.

(上接第 110 页)

8 结束语

文中介绍了一种边缘检测算法采用中值滤波预处理,阈值迭代算法得到阈值图像,用经典 Sobel 算子粗定位边缘,再用三次样条插值法对边缘图进行插值处理,获得亚像素级边缘.实验结果表明,该方法能精确定位目标边缘,优于传统的边缘检测方法.

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 窦丽华,毕超. 一种快速的图像边缘精确提取算法[J]. 光学技术,2006,7(4): 496-499.
- [3] 于殿泓. 图像检测与处理技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.
- [4] OstuN. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transon Systems, Manand Cyber-

netics, SMC-9, 1979, 9(1): 62-66.

- [5] 汪传民,叶邦彦等. 基于计算机视觉的轴承外径监测系统的研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(5): 205-207.
- [6] 易大义,沈匀宝,李有法. 计算方法[M]. 杭州:浙江大学出版社,2002.
- [7] 向世明. VisualC++ 数字图像与图形处理[M]. 北京:电子工业出版社,2002.

作者简介:

张丰收男,(1972-),博士.研究方向为先进制造技术、精密检测.

王飞男,(1984-),硕士研究生.研究方向为图像处理.

崔凤奎男,(1957-),博士.研究方向为计算机辅助设计与制造.

刘建亭男,(1958-),副教授.研究方向为先进制造技术.