

文章编号:1001-9081(2006)10-2360-02

## 复杂背景下圆形物体分割算法

成鹏飞<sup>1,2</sup>, 高 阳<sup>1</sup>, 王 仲<sup>3</sup>, 张马林<sup>4</sup>

(1. 中南大学 商学院, 湖南 长沙 410083; 2. 长沙矿山研究院, 湖南 长沙 410012;  
3. 装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 100072; 4. 湘潭钢铁公司, 湖南 湘潭 411101)  
(chengpengfei@tom.com)

**摘 要:**对如何从复杂的工业图像中准确提取圆形目标进行了研究。阐述了传统分割方法应用于复杂图像中提取圆形目标的局限性,提出了基于双阈值结合数学形态学运算的分割算法。首先分别根据两个阈值进行分割得到两幅二值图像,然后根据目标是圆形以及其大致位置等先验知识分别对两幅图进行腐蚀,开启,闭合等数学形态学运算,将高阈值分割得到的图像中的边界信息叠加到低阈值分割得到的图像中,实现对复杂背景图像中圆形物体的准确分割与提取,解决了复杂背景图像中物体识别率低的问题。实验结果表明本方法对复杂背景的图像预处理是有效的。

**关键词:**图像分割; 阈值; 数学形态学

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A

## Circular object segmentation under complicated background

CHENG Peng-fei<sup>1,2</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>, WANG Zhong<sup>3</sup>, ZHANG Ma-lin<sup>4</sup>

(1. School of Business, Central South University, Changsha Hunan 410083, China  
2. Changsha Institute of Mining Research, Changsha Hunan 410012, China;  
3. Department of Information Engineering, Academe of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;  
4. Xiangtan Iron & Steel Group CO., Ltd, Xiangtan Hunan 411101, China)

**Abstract:** How to discern circular object accurately from the complex industrial image was studied in this paper. Having illustrated the limitations of the traditional ways in image segmentation, a new method based on double-threshold segmenting in combination with mathematical morphology was put forward. First, it was to obtain two binary images from segmenting image by two thresholds. Second, erosion, opening and closing were done to the two images according to some knowledge of the shape and location of the objects in the image that we have already known. Last, the edge information from the image segmented by a high threshold was put into the image segmented by a low threshold. It is the way to segment and discern circular objects accurately from the complex image and can greatly improve the accuracy rate of discerning. The new method works well in pre-processing with complex image.

**Key words:** image segmentation; threshold value; mathematical morphology

计算机技术的发展使得计算机视觉技术应用于工业在线检测日益广泛。但工业图像大多背景较为复杂,如何准确提取有用目标一直是一个难点。本文针对轧钢厂棒材计数系统中棒材端面识别提出一种独特的图像分割方法,并应用于实际生产中。

### 1 问题引入

基于视频的目标提取可以分为两种类型,一是目标边缘提取,二是目标区域提取。经典的边缘检测方法是构造对像素灰度级阶跃变化敏感的微分算子,如拉普拉斯算子、roberts 梯度算子、Sobel 梯度算子等。通过构造算子模板进行边缘检测具有计算速度快的优点,但得到检测的图像由于阈值选择问题,目标边缘往往是断续的、不完整的结构信息。且边缘检测方法对噪声比较敏感。边缘特征受噪声影响较大,而区域特征受噪声影响却要小得多。区域分割的原理是根据区域的相似性以及区域间的差异,将一幅图像分割成若干互不交迭

区域。但区域分割中若阈值选择过高,则过多的目标点将误归为背景,反之会出现相反情况。这势必影响分割出来目标的大小和形状,甚至会使目标丢失,因此确定阈值是区域分割的核心。目前区域分割方法中较为经典的自动阈值计算方法主要有双峰法、迭代法、大津法(OTSU 法)<sup>[4]</sup>、灰度拉伸大津法、Kirsh 算子法等几种。

针对目标获取的两种策略,作者分别选取两类方法中的一种算法进行了实验对比。针对区域提取采用的是大津法,其原理是计算一个阈值使图像分为两类并使类间距离(方差)取最大。方法如下:设  $t$  为前景与背景的分割阈值,前景点数占图像比例为  $w_0$ , 平均灰度为  $u_0$ ; 背景点数占图像比例为  $w_1$ , 平均灰度为  $u_1$ 。图像的总平均灰度为:  $u = w_0 * u_0 + w_1 * u_1$ 。从最小灰度值到最大灰度值遍历  $t$ , 当  $t$  使得值  $g = w_0 * (u_0 - u)^2 + w_1 * (u_1 - u)^2$  最大时,  $t$  即为分割的最佳阈值。针对边缘提取采用拉普拉斯边缘算子法。在拉普拉斯方法中,首先利用拉普拉斯算子运算,然后进行细化,最后除去

收稿日期:2006-04-24; 修订日期:2006-06-26

**作者简介:**成鹏飞(1969-),男,湖南湘乡人,高级工程师,博士研究生,主要研究方向:图形图像处理、工业自动化控制、技术创新; 高阳(1943-),男,湖南望城人,教授,博士生导师,主要研究方向:管理信息系统、计算机网络; 王仲(1963-),男,湖北荆州人,教授,博士,主要研究方向:图形图像处理、计算机网络通信; 张马林(1952-),男,湖南永州人,高级工程师,主要研究方向:轧钢工艺。

孤立的长度小于某个阈值的线段之后得到的边缘信息就认为是目标的边界。图 1 是两种典型方法的实验对比结果图。图 1(a) 系统运行过程中一张典型的抓图,我们的目标就是将图中的所有圆柱状棒材自动识别出来。图 1(b) 是利用大津法得到的边界并结合哈夫变换和 K-聚类算法之后得到的圆的定位(图中用一个黑点表示),图 1(c) 是拉普拉斯法得到的边界结合哈夫变换和 K-聚类算法之后得到的圆的定位。从实验结果可以看出这两种方法都不能很好地将全部目标检测出来。

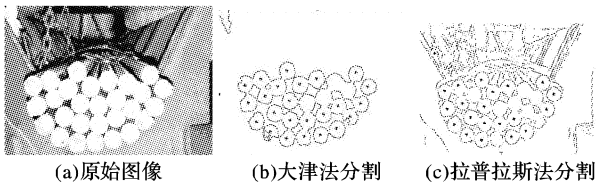


图 1 识别方法对比

## 2 基于双阈值法结合数学形态学算法的分割

从图 1 中看到单一地运用单阈值法或者边缘检测方法都会失去很多边界信息,本文试图利用大小两个阈值,并结合数学形态学算法尽可能多地提取相邻圆之间的边界。

### 2.1 双阈值的选取策略

图 2 为识别图像区域的一个典型直方图。设  $t_1$  和  $t_2$  为需要得到的两个阈值,如图 2 中箭头所示。 $t_1$  值较小,能保证目标中灰度值比较低的部分能够从背景中分割出来。 $t_2$  的选取则能保证由于钢棒之间的空隙区域光线衍射而使该部分背景区域灰度值过高也能正确分割出来,即提高了高灰度值区域目标的检测。

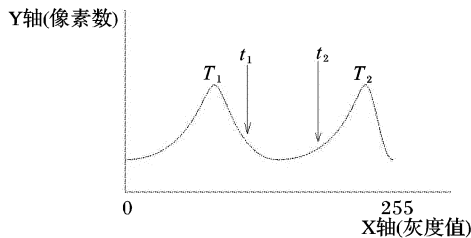


图 2 双阈值选取策略

下面讨论如何获取  $t_1$  和  $t_2$ 。设  $f(t)$  为图像的直方图,  $t$  为灰度值。设  $T_1, T_2$  分别是背景和背景两个峰值对应的灰度值  $T_1 < T_2$ , 根据上述,我们所希望得到的  $t_1$  应该使  $(f(T_1) - f(t_1))$  越大越好,这样不至于将过多的背景区域划分到过渡区域中。同样还要使  $(t_1 - T_1)$  越小越好,即能保证目标与背景交错部分基本都能划分到过渡区域。设参量  $g$ , 使  $g$  与  $(f(T_1) - f(t_1))$  的  $n$  次方成正比,与  $(t_1 - T_1)$  的  $m$  次方成反比。结合本系统中图像直方图的特性,调整  $m$  和  $n$  参数的大小,则当  $g$  取最大时,  $t_1$  即我们所希望得到的值,计算  $t_1$  的表达式:

$$t_1 = t, \text{ 当 } g = \max(g | g = (f(T_1) - f(t))^n / (t - T_1)^m) \text{ 时, } T_1 < t < T_2 \quad (1)$$

同理得到  $t_2$  的表达式:

$$t_2 = t, \text{ 当 } g = \max(g | g = (f(T_2) - f(t))^n / (T_2 - t)^m) \text{ 时, } T_1 < t < T_2 \quad (2)$$

对于  $m$  和  $n$  参数,经过实验得出当  $n = 2, m = 1$  时效果是比较好的。当选取  $n = 2$  即  $(f(T_1) - f(t))$  取平方时,实际上是在过渡区域范围的确定上求得一个平衡点。

### 2.2 腐蚀膨胀及开启操作

二值图像数学形态学的基本运算有:膨胀、腐蚀、开启和闭合。应用它们可以简化图像数据,保持它们基本的形状特

性,并除去不相干结构。在本文中若  $A$  表示原图,  $B$  表示结构元素,则  $A$  用  $B$  来膨胀记作  $A \oplus B$ ,  $A$  用  $B$  来腐蚀记作  $A \ominus B$ ,  $A$  用  $B$  来开启记作  $A \circ B$ ,  $A$  用  $B$  来闭合记作  $A \cdot B$ 。

由于目标都是一些圆,我们进行数学形态学运算时选取的结构元素  $B$  都是一个直径很小的圆。因为选取圆形的结构元素,对图像进行腐蚀然后进行膨胀可以将图像中的各种毛刺去除,而进行开启操作可以将图中的凸角变圆。对于我们实验的图像,还可以使由于阈值选取不准本应该是边界处的联结分开。这样就达到了希望尽可能多地提取目标边界的目的,如图 3 所示。

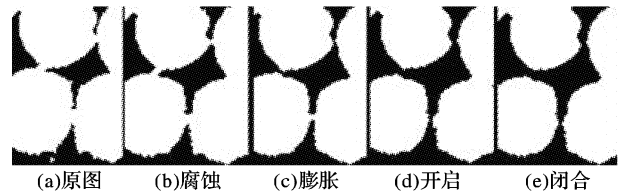


图 3 膨胀腐蚀效果

### 2.3 算法实现

本文算法的具体步骤如下:

- 1) 先求出图像直方图,然后根据上述的方法计算出  $t_1$  和  $t_2$ 。
- 2) 分别根据  $t_1$  和  $t_2$  对输入图像进行区域分割,得到两幅二值图像,并对应记为  $f$  和  $g$ 。

$$f = \begin{cases} 0 & x < t_1 \\ 255 & x > t_1 \end{cases} \quad (3)$$

$$g = \begin{cases} 0 & x < t_2 \\ 255 & x > t_2 \end{cases} \quad (4)$$

- 3) 对图像  $g$  进行如下操作:

$$g_1 = (((g \ominus d) \circ d)^m \oplus d)^n \quad (5)$$

式(5)是先对  $g$  图像进行一次的腐蚀,然后进行一次开启运算,并按此操作进行  $m$  次,再对图像进行  $n$  次膨胀。 $d$  是结构元素,采用的是一个半径是 3 个像素的小圆。经过多次实验,发现当  $n = m - 1$  时效果比较好。

- 4) 求出  $g_1$  的边界得到  $g_2$ ,  $g_2$  中都是一些封闭的曲线,将其中像素小于阈值  $c$  的边界去掉,得到  $g_2'$ 。可以根据一个经验公式计算得到:

$$c = 5 * r \quad (r \text{ 是圆半径}) \quad (6)$$

- 5) 对图像  $f$  进行如下的操作:

$$f_1 = (((f - g_2') \ominus d) \circ d)^m \oplus d)^n \quad (7)$$

式(7)是指将  $f$  减去  $g_2'$  之后进行类似步骤(3)中的腐蚀、开启和膨胀等操作,式中的  $d$  的含义也同步步骤(3)。式中的  $m$  和  $n$  与式(5)中一样分别采用经验值 3 和 2;

- 6) 跟踪得到的  $f_1$  的边界作为哈夫变换的输入。

图 4 是利用本算法的得到的圆的定位图。

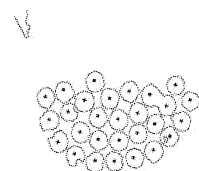


图 4 基于双阈值法结合数学形态学算法的分割方法结果

## 3 实验结果与分析

我们对 400 幅图像分别利用基于拉伸大津法、拉普拉斯边缘算子及本文方法得到的边界进行了对比实验。结果如表 1 所示,其中识别率是指目标是钢棒且能正确识别的比率,错误率是指本来不是钢棒而误识别为钢棒的比率。平均运算时

(下转第 2365 页)

提出的 GMRF 滤波器的滤波能力是最强的。

表 1 不同高斯噪声下五种滤波器对应的 NMSE ( $10^{-2}$ )

图像	高斯 噪声 $\sigma_z^2$	中值 滤波	巴特沃斯 低通滤波	高斯 滤波	维纳 滤波	GMRF 滤波
Lenna.tif	0.01	1.7673	1.7197	2.2006	1.1852	1.7252
	0.02	2.3981	2.2971	4.1401	2.3314	2.2723
	0.03	3.2690	2.6659	5.8831	2.9733	2.6165
	0.04	4.2148	3.2018	7.4982	3.7698	3.1543
	0.05	5.0160	3.6057	9.1960	4.6735	3.5107
	0.06	5.8887	4.0931	10.7181	5.3554	4.0822
Template.tif	0.01	2.2670	2.1708	3.5561	2.1820	2.0849
	0.02	3.5702	3.0382	6.6713	3.2910	2.7412
	0.03	5.0540	3.8958	9.5761	4.7954	3.2630
	0.04	6.3926	4.5887	12.2874	6.0483	4.0407
	0.05	7.7641	5.4783	14.9066	7.4134	5.2958
	0.06	9.1583	6.2717	17.2842	8.6431	7.6442

表 2 不同高斯噪声下五种滤波器对应的 MAE ( $10^{-4}$ )

图像	高斯 噪声 $\sigma_z^2$	中值 滤波	巴特沃斯 低通滤波	高斯 滤波	维纳 滤波	GMRF 滤波
Lenna.tif	0.01	8.3049	8.9634	10.6304	8.2039	8.1329
	0.02	10.8572	10.2901	14.5749	9.9975	9.8447
	0.03	12.7521	11.4712	17.3389	11.8456	11.6608
	0.04	14.5668	12.4879	19.6233	13.4054	13.5725
	0.05	15.8991	13.5202	21.6808	14.9144	16.1685
	0.06	17.2865	14.4514	23.3929	16.0811	19.5822
Template.tif	0.01	13.2701	13.5120	17.7104	12.0440	11.9401
	0.02	17.5486	16.1293	24.2425	16.3289	13.7468
	0.03	20.9036	18.3457	28.9959	19.5418	15.3600
	0.04	23.5938	20.0066	32.7676	21.9487	17.4201
	0.05	26.0840	21.8787	36.0262	24.3977	20.1957
	0.06	28.3357	23.4842	38.7580	26.2545	23.4061

## 5 结语

本文选用 GMRF 来描述图像的局部特性,是基于考虑 GMRF 的优点而选择的。即 GMRF 能很好地融合图像的上下文信息,其能量函数是二次的,且模型有多个参数,可以很好地适应问题的模型,GMRF 还有一个重要的性质就是它可以保证局部后验概率分布函数服从高斯分布。从实验的结果可以看出,用本文所阐述的方法去除高斯噪声的能力高于其他几种方法,而且能有效保持图像原有结构。但此方法的不足

之处在于运行时间较长(主要是因为 EM 算法和共轭梯度算法都是迭代算法),有待于今后进一步改进,这也是我们下一步需要做的。此外分析本文算法的复杂性也是值得研究的问题。

### 参考文献:

- [1] DESCOMBES X, KRUGGEL F, CRAMON VON DY. Spatio-Temporal fMRI analysis Using Markov random fields [J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 1998, 17(6): 1028-1039.
- [2] HELD K, KOPS ER, KRAUSE BJ, *et al.* Markov random field segmentation of brain MR images [J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 1997, 16(6): 878-886.
- [3] GEMAN S, GEMAN D. Stochastic relaxation, gibbs' distributions, and bayesian restoration of images [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6: 721-741.
- [4] BOUMAN C, SAUER K. A generalized gaussian image model for edge-preserving MAP estimation [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1993, 2: 296-310.
- [5] PASCAZIO V, FERRAIUOLO G. Statistical regularization in linearized microwave imaging through MRF-based MAP estimation: hyperparameter estimation and image computation [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2003, 12(5): 572-582.
- [6] DEMPSTER AP, LAIRD NM, RUBIN DB. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm [J]. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 1977, 39(1): 1-38.
- [7] BILMES JA. A gentle tutorial of the EM algorithm and its application to parameter estimation for gaussian mixture and hidden Markov models [R]. Technical Report, ICSI-TR-97-021, University of Berkeley: International Computer Science Institute, 1998.
- [8] SAQUIB SS, BOUMAN CA, SAUER K. ML parameter estimation for Markov random fields with applications to Bayesian tomography [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1998, 7(7): 1029-1044.
- [9] DOUDA RO, HART PE, STORK DG. 模式分类[M]. 李宏东, 姚天翔, 等译. 北京: 机械工业出版社, 中信出版社, 2003.
- [10] 边肇祺, 张学工, 等. 模式识别[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2004.

(上接第 2361 页)

间是指对一幅图像的计算时间(运行环境:赛扬 2G, 256M 内存, 显存 64M, Windows2000)。

表 1 实验结果

方法	识别率 (%)	错误率 (%)	平均运算时间(s)
拉普拉斯法	73.5	4.8	0.73
大津法	81.7	3.0	0.62
本文方法	98.8	0	0.97

从表 1 中可以看出:1)前两种方法都是由于边界不足而导致识别率比较低,当然如果哈夫变换时能降低判别的阈值,识别率就能提高。但是同时错误率也会急剧提高,尤其当棒材规格较小或者排列不整齐时,这样将会提高后续验证算法的复杂度。2)大津法的错误率也比较高,那是由于对于不同背景的图,大津法分割并不能都达到像图 1(b)那样令人满意的效果。大津法的时间很大部分是由计算阈值花销的,而拉普拉斯法是由除噪等操作花销,本文算法时间的花销主要在多次的腐蚀、开启、和闭合上(注:本系统对计数并不要求达到实时)。3)本文的算法与传统的算法比较,检测精度提高显著,可以满足棒材生产线打包计数的要求。采用本算法编写的棒材计数系统识别钢棒快捷、准确,可以替代人工点数,

从而可取消打包计数员这个岗位,重要的是棒材自动计数系统能将信息快速反馈到控制台,保证分钢准确,避免打包时出现混号和混质等事故。

## 4 结语

本文对传统的目标提取方法进行了对比实验,并分析了背景图像复杂时传统算法存在的不足,在此基础上提出了基于双阈值法结合数学形态学算法的分割方法,同时验证了该算法在背景图形复杂环境的有效性。采用该算法编写的自动计数系统已在湘潭钢铁公司二棒材厂使用,效果良好。

### 参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像工程(下)——图像理解与计算机视觉[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [2] 章毓晋. 图像工程(上)——图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [3] 吴冰, 秦志远. 自动确定图像二值化最佳阈值的新方法[J]. 测绘学院学报, 2000.
- [4] 付忠良. 一些新的图像阈值选取方法[J]. 计算机应用, 2000, 20(10): 13-15.
- [5] PARKER JR. ALGORITHMS FOR IMAGE PROCESSING AND COMPUTER VISION[M]. Wiley Computer Publishing 1997.