

## 弹底底火表面缺陷图像分割方法

史进伟\*, 郭朝勇, 刘红宁

(军械工程学院 基础部, 石家庄 050003)

(\*通信作者电子邮箱 Shijinwei0711@163.com)

**摘要:** 枪弹弹底底火检测是枪弹质量控制的核心, 为了有效分割弹底底火表面缺陷图像, 提出一种新的分割方法。该方法针对弹底检测要求及弹底图像基本特征, 首先大致确定待检测的底火部分图像, 对其运用 Log 算子进行边缘检测确定底火圆边缘; 然后分析了 Hough 变换和最小二乘法圆拟合的圆检测算法的各自优缺点, 提出了改进 Hough 变换和最小二乘法圆拟合相结合的圆检测算法, 以获得较精确的底火圆圆心和半径; 最后利用底火圆圆心和半径提取底火圆图像, 利用统计阈值分割底火表面缺陷, 利用数学形态学优化分割结果。通过实验表明, 运用此方法分割弹底底火表面缺陷, 平均误分割率低于 10%, 平均偏差小于 17 个像素, 表现出较好的准确性和鲁棒性。

**关键词:** 弹底底火; 边缘检测; 圆检测; 图像分割; 数学形态学

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

### Image segmentation method for bullet's primer surface defect

SHI Jin-wei\*, GUO Chao-yong, LIU Hong-ning

(Department of Basic Courses, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang Hebei 050003, China)

**Abstract:** The checking of bullet's primer is the most important step in controlling the quality of bullet products. In order to segment the image of bullet's primer surface defect accurately, a new method of image segmentation was proposed. According to the checking requirement and the properties of cartridge's bottom, firstly, the image of bullet's primer was ascertained approximately to be detected, and Log operator was applied to extract the circle edge of primer. After analyzing both advantages and disadvantages of the Hough transform and the least square method, a new algorithm of circle detection combined improved Hough transform and the least square method was proposed, by which the center of circle and radius were acquired accurately. Finally, the image of primer circle was extracted by the parameters of circle, the primer surface defect was segmented by threshold, and the results of segmentation were optimized by mathematical morphology. The experimental results show that the proposed method is of accuracy and robustness in the application of bullet's primer surface defect segmentation. The average wrong segmentation rate is below 10%, and the average deviation is less than 17 pixels.

**Key words:** bullet's primer; edge detection; circle detection; image segmentation; mathematical morphology

## 0 引言

枪弹弹底底火部分是枪弹核心部位之一, 其质量好坏是评价枪弹性能的主要指标。在枪弹生产过程中, 由于冲压设备、加工工艺等因素的影响, 导致弹底底火出现底火铜屑挤出、底火夹灰、底火卡、压痕等缺陷。因此, 弹底底火检测是枪弹质量控制的关键环节。目前, 国内各军工企业在进行弹底底火质量检测时主要采用人工目测、手检的方式<sup>[1]</sup>。这种传统的检测方法自动化程度低, 效率不高, 受人为因素影响较大, 存在一定的误检和漏检率。随着数字图像处理技术和计算机视觉技术的不断成熟和推广应用, 使基于图像分析技术的枪弹弹底质量自动检测成为可能。但由于弹底自身的复杂结构及弹底质量检测的特殊要求(弹底底火以外的圆环区域即弹壳底部表面缺陷是不需要考虑的), 给弹底底火表面缺陷图像分割带来困难。因此, 如何能够准确、有效提取底火表面缺陷是机器视觉检测的关键。

目前, 在表面缺陷图像分割方法中, 刘怀广等<sup>[2]</sup>利用两次一维最大类间方差法(OTSU), 实现了浮法玻璃缺陷的有效分割; 陶青平等<sup>[3]</sup>提出了一种基于 OTSU 的多次阈值分割图像快速检测轴承表面缺陷的方法, 满足了在线检测轴承表面

缺陷的需求; 郭延龙等<sup>[4]</sup>通过运用数学形态学操作、减影技术和迭代阈值分割, 较好地实现了焊缝 X 射线缺陷图像分割; 杨永敏等<sup>[5]</sup>根据超熵可用来测度图像空间结构, 模糊集可以描述图像灰度过渡区的特性, 提出了一种基于超熵和模糊集理论的图像分割算法, 实现了带钢表面缺陷图像有效分割; 李江波等<sup>[6]</sup>利用照度—反射模型实现了脐橙表面缺陷的有效分割; 高炜欣等<sup>[7]</sup>提出了一种提取焊缝图像感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)的方法, 然后辅以 OSTU 法实现了焊缝缺陷图像的有效分割。这些方法都是针对特定应用背景和分割条件提出的, 在对底火表面缺陷图像的分割中, 不能排除弹底部分及底火自身结构对缺陷图像分割的影响, 难以达到有效分割底火表面缺陷的目的。

本文针对枪弹弹底检测要求和弹底图像特点, 提出一种新的弹底底火表面缺陷图像分割方法。该方法首先对选定的底火部分图像进行边缘检测<sup>[8]</sup>, 得出底火圆对应的边缘二值图像。为达到快速、准确获取底火圆圆心和半径的目的, 分析了 Hough 变换<sup>[9]</sup>和最小二乘法圆拟合<sup>[10]</sup>的圆检测算法各自的优缺点, 改进 Hough 变换, 以减少弹底圆检测时间; 采用改进 Hough 变换和最小二乘法相结合的圆检测算法, 以提高弹底圆检测精度。然后利用得到的底火圆圆心和半径为原图像

收稿日期: 2012-01-10; 修回日期: 2012-02-28。

**作者简介:** 史进伟(1987-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要研究方向: 表面缺陷自动检测; 郭朝勇(1963-), 男, 河北邯郸人, 教授, 主要研究方向: 机械 CAD、仿真技术; 刘红宁(1982-), 女, 河北石家庄人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 表面缺陷自动检测。

赋值,提取弹底底火部分图像。最后,利用统计阈值分割<sup>[11]</sup>弹底底火缺陷,利用数学形态学<sup>[12]</sup>优化分割结果。实验表明,该方法能够准确、有效分割弹底底火表面缺陷图像。

## 1 弹底图像特点

图1为GJB5227—2004《枪弹外观缺陷图谱》<sup>[13]</sup>中所列的典型底火缺陷。如图所示:圆环部分为弹壳底部部分,上面刻有枪弹型号,在缺陷检测中,其表面缺陷是不需要考虑的;中心圆即为弹底底火部分,是弹底质量检测的关键。

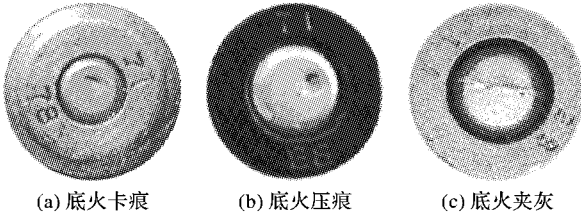


图1 枪弹弹底图像

从图像中可以看出:弹底图像较为复杂,由于受到弹底特殊结构、弹壳底部刻字、纹理等影响,仅利用阈值分割难以达到提取底火表面缺陷的目的。因此,本文提出了一种准确有效的弹底底火表面缺陷图像分割方法。

## 2 本文算法原理

### 2.1 基于 Hough 变换的圆检测算法

Hough 变换建立了一种从图像空间到参量空间的映射关系,将前者中的边缘信息映射为参量,从而将曲线检测转换为参量的聚类检测<sup>[14]</sup>。

假设  $B(x, y) = 1$  表示所有边界点的集合,对每一边界点  $(x_i, y_i), (x_i, y_i) \in \{(x, y) | B(x, y) = 1\}$ , 遍历圆心  $(x_c, y_c)$ , 半径  $r$  的可能取值,代入式(1):

$$g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2 \quad (1)$$

如果  $g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = 0$ , 则对累加器  $C(x_c, y_c, r)$  加1。遍历所有边界点后,累加器计数值最大者对应的参量即为检测圆的参量,计算公式如式(2):

$$\begin{cases} c(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = \begin{cases} 1, & g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) = 0 \\ 0, & g(x_i, y_i, x_c, y_c, r) \neq 0 \end{cases} \\ C(x_c, y_c, r) = \sum_{i=1}^n c(x_i, y_i, x_c, y_c, r) \\ (x, y, r) = (x_c, y_c, r) | \max_{x_c, y_c, r} \left( \bigcup_{x_c, y_c, r} C(x_c, y_c, r) \right) \end{cases} \quad (2)$$

Hough 变换对噪声、部分图形残缺及部分变形不敏感;但 Hough 变换需对参数空间离散化,限制了检测精度。同时,检测需对每一边界点在三维参数空间内投票并进行记录,受边界点个数和图像大小的影响,实时性受到限制。

### 2.2 基于最小二乘法圆拟合的圆检测算法

基于圆拟合的圆检测算法是根据最小均方差准则,使图像中的实际圆与理想圆形成的残差平方和最小,再由极值条件确定出圆的参量<sup>[15]</sup>。

设  $(x_i, y_i)$  是圆周上任一点坐标,拟合圆的圆心为  $(x_c, y_c)$ , 半径为  $r$ , 由理想圆标准方程  $(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 = r^2$  得该点残差为:

$$\varepsilon_i = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2 \quad (3)$$

遍历圆的集合  $E$ , 根据最小二乘原理可得残差平方和函数  $Q$  为:

$$Q = \varepsilon_i^2 = \min \sum_{i \in E} [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - r^2]^2 \quad (4)$$

由极值理论求解可得圆心坐标和半径:

$$\begin{bmatrix} x_c & y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} [(\bar{x}(x^2 + y^2) - \bar{x}^3 - \bar{x}\bar{y}^2)] \\ \frac{1}{2} [(\bar{y}(x^2 + y^2) - \bar{y}^3 - \bar{x}^2\bar{y})] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{x}^2 - \bar{x}^2 & \bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y} \\ \bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y} & \bar{y}^2 - \bar{y}^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (5)$$

$$r = (x_c^2 + y_c^2 + \bar{x}^2 + \bar{y}^2 - 2x_c\bar{x} - 2y_c\bar{y})^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

其中  $x, y$  的各阶矩定义为:

$$\overline{x^m y^n} = \frac{1}{N} \sum_{i \in E} x_i^m y_i^n \quad (7)$$

$N$  为边缘点总数。

圆拟合法的优点是经过多次迭代,拟合圆的精度较高;但缺点也十分明显,即抗干扰性能差,当存在随机噪声时中心运算精度会明显降低,当干扰强度较大时所得圆心甚至可能明显错误。

### 2.3 基于改进 Hough 变换的圆检测算法

由于 Hough 变换圆检测需对边界参数进行投票,如果图像中所有边界点都参与参数投票,而且参数的候选范围较大时,实时性较差。为提高 Hough 变换定位底火圆的速度,从以下两个方面<sup>[16]</sup>进行考虑:1) 减少参与投票的边界点个数;2) 缩小参数的候选范围。本文正是利用先验知识,对仅包含弹底底火部分的图像进行处理,以减少边界点个数;对圆心、半径参数预估计以减少参数的搜索范围,从而提高弹底底火圆定位速度。

#### 2.3.1 底火部分图像比例的确定

图像中底火部分所占比例由下式确定:

$$k = \frac{2r_s}{\min(\text{Height}, \text{Weight})} < 1 \quad (8)$$

其中:  $r_s$  表示弹底底火圆半径在图像中所占像素值,  $\text{Height}$ 、 $\text{Weight}$  分别表示图像的高度和宽度。 $k$  值的确定要满足两个条件:1) 弹底底火部分在图像中的偏移不可避免,在允许的偏移像素范围内,保证图像能够反映底火全部信息;2) 在满足1)的条件下,尽可能去除非底火部分图像。选择合适的  $k$  值可以减少参与投票的边界点个数,从而提高底火圆定位速度。

#### 2.3.2 圆心候选范围的确定

设  $(x_c, y_c)$  表示求取的底火圆心,由  $k$  值满足的两个条件可知下面关系式(9)成立:

$$\begin{cases} \left| x_c - \frac{\text{Weight}}{2} \right| \leq \frac{\text{Weight}}{2}(1 - k) \\ \left| y_c - \frac{\text{Height}}{2} \right| \leq \frac{\text{Height}}{2}(1 - k) \end{cases} \quad (9)$$

因此,大致确定圆心候选范围  $F_c$  为:

$$F_c = \left\{ (x, y) \mid \left| x - \frac{\text{Weight}}{2} \right| \leq \frac{\text{Weight}}{2}(1 - k), \left| y - \frac{\text{Height}}{2} \right| \leq \frac{\text{Height}}{2}(1 - k), (x, y) \in I \right\} \quad (10)$$

其中:  $I$  表示图像,  $(x, y)$  表示圆心可能位置。

#### 2.3.3 半径候选范围的确定

半径候选范围  $F_r$  由式(11)确定:

$$F_r = \{r | r_s - t \leq r \leq r_s + t\} \quad (11)$$

其中  $t$  为像素经验阈值,通过大量实验得其值为3个像素单位。

改进的 Hough 变换从减少参与投票边界点个数和缩小参数候选范围出发,缩短了算法运行时间。但在检测精度上, Hough 变换圆检测没有解决参数空间离散化的本质,与最小二乘法圆拟合还有一定的差距。

### 2.4 本文改进的圆检测算法

考虑到 Hough 变换圆检测对图像噪声、边界残缺的不敏

感性及最小二乘法圆拟合检测圆的高精度性,结合两种算法的优点,从而尽可能真实地检测出弹底底火圆的边缘。

首先利用上文改进的 Hough 变换确定初候选圆大致位置,即确定初候选圆的圆心  $C(x_p, y_p)$  与半径  $r_p$ ,其中  $p$  为初候选圆,  $V_p$  表示候选圆上点的集合。如果图像边缘点  $V_i(x_i, y_i)$ , 满足式(1) 的值为零,即:

$$g(x_i, y_i, x_p, y_p, r_p) = (x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2 - r_p^2 = 0$$
且  $C(x_p, y_p)$  满足式(10),  $r_p$  满足式(11), 则  $V_i \in V_p$ , 否则将之作为干扰点和噪声点加以去除。

采用式(5)、(6),对候选圆点集  $V_p$  利用最小二乘法原理进行拟合,最终得到较精确的圆的三个参量  $(x_c, y_c, r)$ 。

2.5 弹底底火表面缺陷分割方法

由上述方法仅得到了弹底底火圆的圆心和半径,如何准确有效地分割弹底底火表面缺陷才是弹底质量检测的关键。基于此,利用底火圆的圆心和半径,对原图像非底火圆部分赋值为白色,提取底火部分图像。统计其灰度值特点,确定分割阈值,分割缺陷。最后利用形态学后续处理,优化分割结果。

2.5.1 弹底底火部分图像提取

确定底火圆圆心  $(x_c, y_c)$ 、半径  $r$  以后,对原图像按式(12)进行赋值,提取弹底底火部分图像:

$$F(i, j) = \begin{cases} f(i, j), & d \leq r \\ 1, & d > r \end{cases} \quad (12)$$

其中:  $f(i, j)$ ,  $F(i, j)$  分别对应弹底图像赋值前后的灰度值;  $d$  为坐标点到底火圆圆心的距离:  $d = [(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2]^{1/2}$ 。

2.5.2 弹底底火表面缺陷图像分割

为准确确定分割阈值,有效提取弹底底火表面缺陷,本文对大量弹底底火部分图像进行统计发现:同型号弹的弹底底

火材质相同,在光照条件相同的情况下,其灰度值变化范围不大,且明显高于缺陷部分灰度值;由于在弹底质量检测线上,被检测弹底的型号及光照强度是保持不变的,因此选择合适的人工阈值即可实现弹底底火缺陷有效分割。

2.5.3 数学形态学后续处理

为了优化分割结果,采用数学形态学对阈值分割结果进行后续处理。在缺陷图谱中,每类缺陷对应大小标本图片,面积小于小标本的不计为缺陷。因此,本文通过统计同类别缺陷的小标本缺陷面积,得到小面积门限,利用形态学去除小面积<sup>[17]</sup>,既可以去除不计为缺陷的缺陷点,又可去除噪声点;再采用形态学闭运算<sup>[18]</sup>,弥合狭窄的间断,填充小的孔洞,平滑缺陷轮廓。

3 实验结果与分析

3.1 缺陷分割实验

图2~4为运用本文方法分别对图1(a)、(b)、(c)缺陷分割过程示意图,其中图(a)为截取的局部弹底图像,包含有全部底火圆信息,反映了比例系数  $k$  值大小,具体参数如表1;图(b)对应图(a)边缘检测效果图,为了尽可能准确地检测出底火圆,采用定位精度高的高斯-拉普拉斯(Laplacian of Gaussian, Log)算子<sup>[19]</sup>进行边缘检测;运用本文方法对图(b)进行圆检测得图(c)效果,其圆心  $(x_c, y_c)$ , 半径  $r$  如表1所列;图(d)为提取到的底火圆图像,为减少边界信息对后续阈值分割的影响,提取半径  $r_e = r - 1$ ;图(e)为阈值分割结果,其阈值分别为0.51, 0.58, 0.63;对图(e)运用数学形态学处理后得图(f)效果,其中,去除小面积的面积阈值为9,闭运算采用半径为5的圆盘结构元素。在分割过程中,具体参数特征如表1所示。

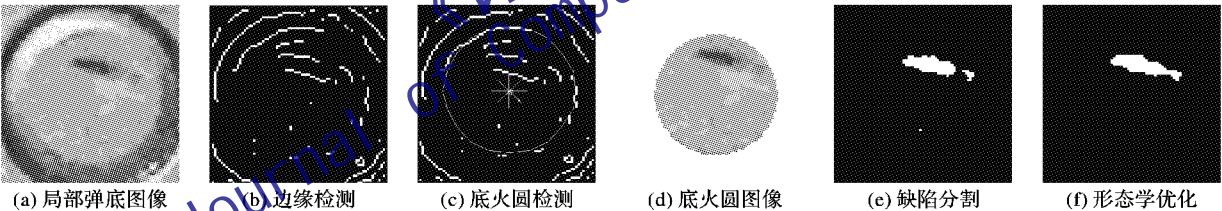


图2 底火卡痕缺陷图像分割过程示意图

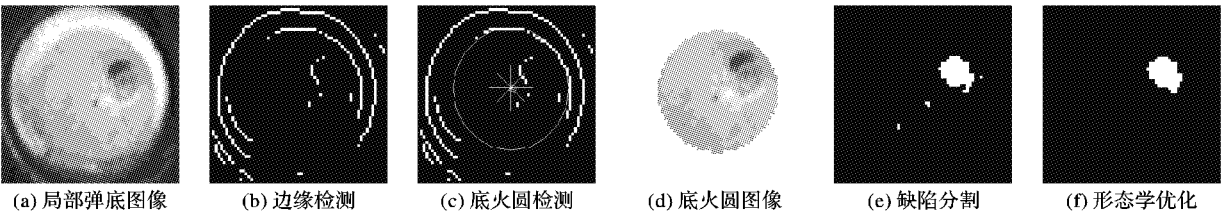


图3 底火压痕缺陷图像分割过程示意图

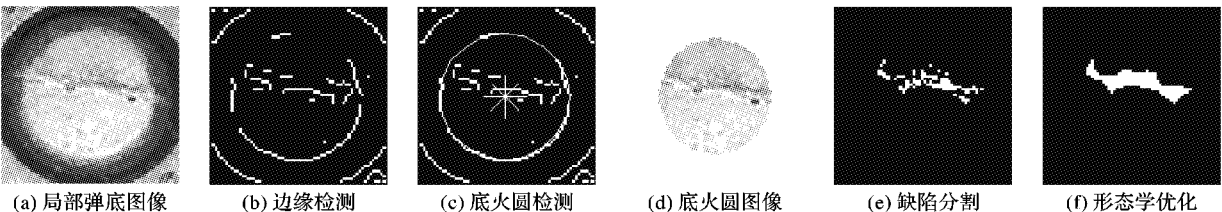


图4 底火夹灰缺陷图像分割过程示意图

表1 运用本文方法分割底火缺陷的参数特征

缺陷名称	$k$	$x_c$	$y_c$	$r$ /像素	$r_e$ /像素	分割阈值	分割面积/像素	手绘面积/像素
底火卡痕	0.75	41.23	40.02	29.12	28.12	0.51	167	183
底火压痕	0.67	34.97	30.47	21.11	20.11	0.58	109	122
底火夹灰	0.73	32.83	35.01	24.03	23.03	0.63	194	178

### 3.2 分割效果对比实验

图5为本文方法与其他方法效果对比图。选取图2(a)作为实验对象,图5(a)、(b)分别为传统 Hough 和改进 Hough 变换圆检测算法检测图2(b)的结果,对比图2(c)效果可以看出,本文基于改进 Hough 变换和最小二乘法相结合的圆检测算法能够相对精确地检测出底火圆边缘,为后续底火表面缺陷分割奠定基础;图5(c)为 OTSU 法分割图2(a)的结果,其在分割出底火表面缺陷的同时,未能去除底火边缘灰度较暗部分的影响,相对本文分割结果(如图2(e)),效果较差。

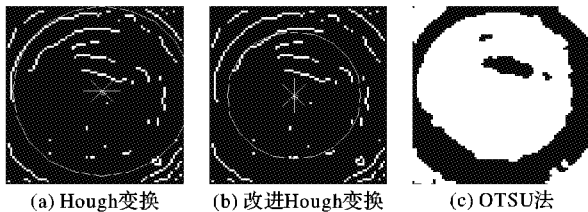


图5 本文方法与其他方法的分割效果对比

### 3.3 分割阈值实验

本文选取相同光照条件下,同型号弹50幅底火缺陷图片进行统计分析。其中,底火卡痕、底火压痕缺陷各20幅,底火夹灰10幅。为选择合适的阈值,在50幅图片底火部分和底火缺陷部分分别随机选取100个像素点,统计其灰度值如图6所示。

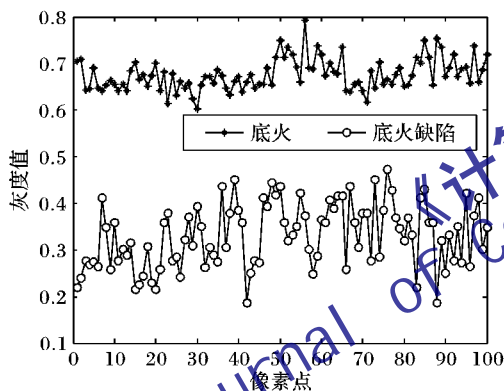


图6 灰度值统计曲线

从图6可以看出,底火与底火缺陷灰度值差别较明显,选择合适阈值即可实现底火缺陷有效分割,本文选择的阈值为0.59。

为进一步量化本文方法分割效果,以平均误分割率和平均偏差作为评价分割效果指标<sup>[20]</sup>,其定义为:

$$E_{AM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A(i)^{DS} \cup A(i)^{DOI}) - (A(i)^{DS} \cap A(i)^{DOI})}{A(i)^{DOI}} \times 100\% \quad (13)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A(i)^{DS} - A(i)^{DOI}| \quad (14)$$

其中:  $E_{AM}$ ,  $\bar{d}$  分别表示应用本文方法分割底火缺陷的平均误分割率和平均偏差;  $A(i)^{DS}$ ,  $A(i)^{DOI}$  分别表示采用本文方法和人工判断法分割第  $i$  幅图像底火缺陷面积。对上述50幅底火缺陷图像求其平均误分割率和平均偏差得结果如表2所示。

平均误分割率和平均偏差越小,说明缺陷图像分割越精确。从表2可以看出,运用本文方法对三类底火缺陷进行分割,平均误分割率在10%以内,平均偏差小于17个像素,表现出了较好的准确性和鲁棒性。

表2 弹底底火缺陷分割结果统计

缺陷名称	平均误分割率/%	平均偏差/像素
底火卡痕	8.63	13.28
底火压痕	9.77	15.09
底火夹灰	8.27	16.15

## 4 结语

本文针对枪弹弹底缺陷检测要求及弹底图像特点,提出了一种有效的枪弹弹底底火表面缺陷图像分割方法。实验结果表明,运用本文方法对相同光照条件下,同型号弹底,三类典型底火缺陷进行分割,平均误分割率在10%以内,平均偏差小于17个像素单位,表现出了较好的准确性和鲁棒性,为后续底火表面缺陷的识别及分类奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 全燕鸣, 陈佳佳, 柯志勇. 成批抛光钢球表面缺陷自动检测的图像预处理方法[J]. 测试技术学报, 2010, 24(6): 518-521.
- [2] 刘怀广, 陈幼平, 谢经明, 等. 浮法玻璃缺陷自动在线识别技术的研究[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(4): 738-742.
- [3] 陶青平, 吴锡生. 快速检测轴承表面缺陷方法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(10): 98-104.
- [4] 郭延龙, 郭慧, 蔡剑, 等. 焊缝X射线图像缺陷检测技术[J]. 东华大学学报, 2011, 37(4): 467-471.
- [5] 杨永敏, 樊继壮, 赵杰. 基于超熵和模糊集理论的带钢表面缺陷分割[J]. 光学精密工程, 2011, 19(7): 1652-1658.
- [6] 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 基于照度-反射模型的脐橙表面缺陷检测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 338-342.
- [7] 高炜欣, 胡玉衡, 穆向阳, 等. 埋弧焊X射线焊缝图像缺陷分割检测技术[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(6): 1215-1224.
- [8] 贾超, 张小敏, 李亚, 等. 构件孔洞缺陷图像的边缘检测[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 265-271.
- [9] 蔡晋辉, 蔡庆, 周泽魁, 等. 圆检测 Hough 变换的改进算法研究[J]. 模式识别与人工智能, 2004, 17(1): 72-76.
- [10] BERMAN M. Large sample bias in least squares estimators of a circular arc center and its radius [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1989, 45(1): 126-128.
- [11] 李江波, 饶秀勤, 应义斌. 水果表面亮度不均校正及单阈值缺陷提取研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 159-162.
- [12] 陆宝春, 李建文, 陈吉朋. 荧光磁粉探伤自动缺陷识别方法研究[J]. 南京理工大学学报: 自然科学版, 2010, 34(6): 803-808.
- [13] 张洪星, 金致洙, 曹志刚, 等. 中华人民共和国国家军用标准 GJB 5227-2004 枪弹外观缺陷图谱[S]. 北京: 国防科技工业委员会, 2004.
- [14] 韩现伟, 付宜利, 李刚. 基于改进 Hough 变换和图搜索的油料目标识别[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(1): 66-72.
- [15] 詹庆明, 周新刚, 肖映辉, 等. 从激光点云中提取古建筑线性和圆形特征的比较[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(6): 674-682.
- [16] 田启川, 潘泉, 梁彦, 等. 瞳孔中心指导的虹膜边界快速定位算法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1777-1780.
- [17] 张铮, 王艳平, 薛桂香. 数字图像处理与机器视觉[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [18] 赵钦君, 赵东标, 陆永华. 一种基于时空信息的多目标检测新算法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4): 877-882.
- [19] 申俊琦, 胡绳苏, 冯胜强, 等. 基于数学形态学的焊缝图像边缘提取[J]. 天津大学学报, 2010, 43(4): 373-377.
- [20] 张志斌, 罗锡文, 臧英, 等. 基于颜色特征的绿色作物图像分割算法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 183-189.