

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.01.023

## 基于图像纹理特征的炮膛疵病检测方法

原瑞宏, 刘军卿, 董自卫, 黄文胜, 祝天宇  
(武汉军械士官学校枪炮系, 武汉 430075)

**摘要:** 为实现炮膛疵病的自动识别, 提出提取炮膛疵病图像的纹理特征的方法。对若干类炮膛疵病特点进行分析, 引用灰度共生三角阵的概念和灰度共生矩阵的熵、能量、对比度、相关度 4 个特征参量, 提取图像的纹理特征。实验结果表明, 该方法是有用的, 能缩短计算时间, 并充分反映图像的灰度空间信息。

**关键词:** 炮膛; 疵病; 灰度共生三角阵; 纹理特征

**中图分类号:** TJ306 **文献标志码:** A

## The Detection of Gun Bore Flaw Based on Textural Features of Image

Yuan Ruihong, Liu Junqing, Dong Ziwei, Huang Wensheng, Zhu Tianyu  
(Dept. of Firearm, Wuhan Ordnance Petty Officer Institute, Wuhan 430075, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of extracting features of flaw images of gun bore, extracting textural features of flaw images is proposed. The characteristics of several kinds of flaws of gun bore are analyzed. The concept of grey level co-occurrence triangular matrix (GLCTM) and four parameters of grey level co-occurrence matrix are applied to extract features of images. The experimental results show that the proposed method can abridge calculation time and reflect grey airspace information of images well, so the proposed method is effective.

**Key words:** gun bore; flaw; GLCTM; textural feature

### 0 引言

作为现代战争中的常规武器, 火炮的作用非常重要。采用先进的技术对炮膛疵病进行有效检测, 对于身管的研究、火炮的验收及火炮技术保障, 都具有重要的意义。但目前对疵病的识别仍要靠人工来完成, 检测时间较长, 检测过程繁琐, 容易因检测人员的主观因素影响检测效率和检测的准确性, 必须实现炮膛疵病的自动识别。由于对炮膛疵病进行自动识别的关键在于提取疵病图像的有效特征, 故笔者根据国军标对疵病的描述, 分析了疵病的特点, 提出并提取疵病图像的纹理特征的方法。

### 1 疵病特点分析

在国军标中, 总共给出了 14 类身管内膛疵病<sup>[1]</sup>。其中, 内膛表面机械损伤、阳线磨损可分为若干种疵病情况, 而小烧蚀、中烧蚀网和大烧蚀网等几类疵病又各分为 3 个损伤等级。在 14 类疵病中, 内膛表面加工疵病等 6 类疵病损伤特征比较明显, 各类疵病的差异较大, 从疵病的位置、几何形状或颜色等特征, 人眼很容易识别和判断; 而小烧蚀等 8 类疵病, 损伤特征有相似之处, 每一类又分为 3 个损伤等级, 而且每个损伤等级之间并没有明显的界限。人的主观性对识别结果影响较大, 容易因不同的判

定者得出不同的结果, 需要从机器视觉的角度给出定量的标准, 实现对疵病类型的准确判断。基于此, 笔者主要针对小烧蚀等 8 类疵病图像进行特征提取。这几类疵病的特点主要包括:

#### 1) 疵病分布的区域性

疵病的分布不是集中于一点或很小的区域, 而是有一定面积的区域, 因此, 国军标中对疵病是基于区域性的描述。例如, 烧蚀网类型的疵病, 裂纹在阳线区域和阴线区域均有分布。对于小烧蚀类型的疵病, 由于损伤程度比较轻, 需要分析一定区域内裂纹的分布情况才能确定。

#### 2) 疵病形状的随机性

疵病有呈现一维线状的烧蚀网, 也有呈现二维面积的冲蚀沟, 而且烧蚀网和冲蚀沟的形状都是随机的, 很难对其几何特征进行定量的描述。例如, 对烧蚀网的描述, 阴阳膛线有裂纹, 然而裂纹有闭合, 也有不闭合, 裂纹的宽度、长度和深度等差别较大, 其几何特征很难测量, 难以给出定量的描述。

#### 3) 区域内疵病分布的不确定性

对于一定区域内的龟裂等疵病, 损伤程度严重, 分布比较集中; 然而对于小烧蚀等疵病, 损伤程度很轻, 区域内裂纹分布较分散。

由此可见, 这些类型的疵病难以用几何参数来

收稿日期: 2011-08-12; 修回日期: 2011-09-06

作者简介: 原瑞宏(1986—), 男, 河南人, 工学硕士, 助教, 从事武器试验、性能检测与故障诊断研究。

描述, 甚至疵病的分割都很困难。即便把目标分割出来, 提取到目标特征, 由于不能判断目标与图像整体特征是否一致, 从而难以对疵病类型做出判定。从国军标中可以看出, 对上述 8 类疵病的分类主要是从描述纹理的角度实现的, 而纹理是由于物体表面的物理属性造成的, 不同的物理表面会产生不同的纹理图像, 而且很容易感知, 可以从纹理上获得丰富的视觉场景信息, 并通过纹理分析方法完成计算机视觉和图像理解领域的一些研究任务。

综合以上分析, 笔者认为提取疵病图像整体的纹理特征是实现疵病识别的有效途径。

## 2 图像纹理特征提取

纹理是图像中一个重要的特性, 是图像分析中一个重要指标。纹理可认为是灰度(颜色)在空间以一定的形式变化而产生的图案(模式), 是由许多相互接近的、互相编织的元素构成; 纹理与尺度紧密相连, 仅在一定尺度上可以观察到; 纹理具有区域性质的特点, 是对局部区域中像素之间关系的一种度量, 对单个像素来说没有意义。纹理分为全局有序纹理、局部有序纹理和无序纹理<sup>[2]</sup>3 类。

### 2.1 纹理分析方法

纹理分析的方法有统计分析法、结构分析法和频谱分析法 3 类。纹理分析方法的选择依赖于纹理的模式或尺度。由以上分析可知, 疵病的纹理属于无序纹理, 应基于不平整度来描述, 因此笔者采用统计分析法。

灰度共生矩阵是最常用也是性能较好的统计分析法。图像的纹理特征提取包括图像纹理的表达和图像纹理的描述。

### 2.2 图像纹理的表达

Haralick 于 1973 年提出灰度共生矩阵法<sup>[3]</sup>。灰度共生矩阵通过对灰度级之间二阶联合条件概率密度  $p(i, j, d, \theta)$  的计算表示纹理。但灰度共生矩阵的计算量较大, 运算时间长。军械工程学院李玉兰博士分析了灰度共生矩阵元素的计算过程, 发现其中存在重复计数现象, 在此基础上提出了灰度共生三角阵(grey level co-occurrence triangular matrix, GLCTM)的概念<sup>[4]</sup>: 设一幅图像中, 在角度  $\theta$  方向上相距  $d$  的位置上, 2 个像素的灰度分别为  $i_0$  和  $j_0$  的概率为  $p(i_0, j_0, d, \theta)$ , 对于固定的角度  $\theta$  和距离  $d$ , 由所有的元素  $p(i, j, d, \theta) (i=1, \dots, L; j=i, \dots, L; L$  为图

像的灰度等级)组成的矩阵  $M_T(i, j, d, \theta)$  称为灰度共生三角阵。

与灰度共生矩阵相比, 灰度共生三角阵中的非零元素减少了, 这样可以减少运算次数, 缩短运算时间, 更适合图像的实时分析<sup>[4]</sup>, 因此, 笔者选用灰度共生三角阵来表达疵病图像的纹理。

### 2.3 图像纹理的描述

对应灰度共生矩阵, 有角二阶矩、对比度和熵等 14 个特征参量来描述图像的纹理特征<sup>[5]</sup>。Baraldia 通过大量的试验认为: 熵、能量(角二阶矩)、对比度以及相关度 4 种统计量效果最好<sup>[6]</sup>。这 4 个特征参量的表达式和含义<sup>[7-8]</sup>如下:

$$1) \text{ 熵值 } W_1 = -\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p(i, j) \log[p(i, j)], \text{ 代表图像}$$

所具有的信息量, 是度量图像内容随机性的特征参数, 表征图像中纹理的复杂程度。图像的纹理越复杂, 熵值则越大, 反之则越小。

$$2) \text{ 能量(角二阶矩) } W_2 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p^2(i, j), \text{ 对应}$$

图像的均匀性或平滑性。当灰度共生矩阵中元素分布较集中于主对角线附近时, 说明图像局部的灰度分布均匀, 即图像局部呈现较细的纹理, 角二阶矩的值较大; 反之, 则较小。

$$3) \text{ 对比度 } W_3 = \sum_{t=0}^{L-1} t^2 [\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p(i, j)], |i-j|=t, \text{ 表征}$$

图像中纹理的清晰度, 对应灰度共生矩阵主对角线附近的惯性矩。值越大, 纹理沟纹越明显, 图像越清晰, 值越小, 纹理沟纹越不明显, 图像越模糊。

$$4) \text{ 相关度 } W_4 = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L ij p(i, j) - \mu_x \mu_y, \text{ 式}$$

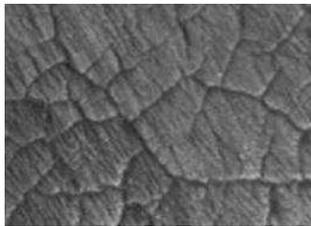
中,  $\mu_x$  和  $\sigma_x$  是  $p_x(i, j)$  的均值和方差;  $\mu_y$  和  $\sigma_y$  分别是  $p_y(i, j)$  的均值和方差。相关度反映了图像局部的灰度相关性, 对应灰度共生矩阵元素在行或列方向上的相似程度。矩阵元素值较均匀时, 相关度的值大; 矩阵元素值相差较大时, 相关度值小。

## 3 疵病图像纹理特征提取

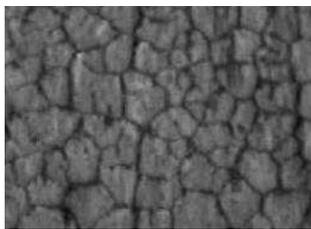
通过上述分析, 笔者确定用灰度共生三角阵来表达疵病图像纹理, 提取熵、角二阶矩、对比度、相关度 4 个特征参量来描述疵病图像纹理。

### 3.1 实验过程及结果

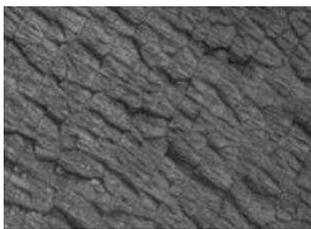
笔者选取二级贝壳状龟裂、三级贝壳状龟裂和二级冲蚀沟三种类型疵病为实验对象，这 3 种类型疵病的特征较为相似，具有很好的代表性。实验图像如图 1 所示，图像均来自国军标。



(a) 二级贝壳状龟裂



(b) 三级贝壳状龟裂



(c) 二级冲蚀沟

图 1 阴线中烧蚀网

计算灰度共生三角阵时，取灰度级为 64，距离  $d$  为 4，角度  $\theta$  为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$ <sup>[4]</sup>，分别求取每个角度下疵病图像的特征参量，然后计算这些特征参量的均值，从而抑制方向分量，使得到的纹理特征与方向无关。实验结果见表 1。

表 1 特征参量的统计结果

图	疵病类型	能量	对比度	相关度	熵
a	二级贝壳状龟裂	0.005 0	17.222 9	0.015 6	5.575 1
b	三级贝壳状龟裂	0.004 4	18.431 0	0.009 9	5.791 1
c	二级冲蚀沟	0.004 3	22.813 4	0.012 9	5.776 7

### 3.2 实验结果分析

1) 三级贝壳状龟裂和二级贝壳状龟裂相比，疵、

病程度加重，对应图像局部灰度越来越不均匀，疵病损伤越来越清晰，图像灰度局部的相关性越来越差，疵病的纹理越来越复杂，而能量(角二阶矩)、对比度、相关度和熵分别反映了图像的灰度均匀性、纹理清晰度、灰度相关性和纹理复杂性。这 2 个实验图像特征参量的统计结果与疵病的描述一致，具体体现在能量(角二阶矩)值逐渐变小，对比度值逐渐变大，相关度值逐渐变小，熵值逐渐变大；

2) 冲蚀沟疵病与贝壳状龟裂疵病相比，损伤主要是向纵深发展，裂纹加深，而表面纹理变化不大，体现在纹理特征参量上应是对比度较大，其它参量变化不明显。统计结果中显示第 3 幅图像的对比度明显较大，其余 3 个参量变化较小，符合上述特点；

3) 贝壳状龟裂疵病之间的特征较为相似，对应特征参量值的变化应较小，而贝壳状龟裂与冲蚀沟疵病之间的特征相差较大，对应特征参量值的变化应较大，统计结果显示特征参量的变化符合这一特点。

## 4 结论

试验结果表明：采用基于图像纹理特征的炮膛疵病检测方法来提取图像的纹理特征是有效的，可以缩短计算时间，并正确反映疵病图像的特点。该方法可为疵病图像的分类提供参考。

### 参考文献：

[1] GJB2977-97. 火炮静态检测方法[S].

[2] 章毓晋. 图像工程[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2007.

[3] Hralick R M, Shanmugan K, Dinstein I. Textural Features for Image Classificatio[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1973, 3(6): 610-621.

[4] 李玉兰. 基于机器视觉的炮膛疵病识别与判定研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009.

[5] Haralick R M. Statistical and Structural Approaches to Texture[J]. Proceedings IEEE, 1979, 67(5): 786-804.

[6] Baraldia, Parmiggian F. An investigation of texture characteristics associated with gray level co-occurrence matrix statistical parameters[J]. IEEE Trans. On Geo-science and Remote sensing, 1995, 33(2): 293-303.

[7] 白雪冰, 王克奇, 王辉. 基于灰度共生矩阵的木材纹理分类方法的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(12): 1665-1669.

[8] 薄华, 马缚龙, 焦李成. 图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析[J]. 电子学报, 2006, 34(1): 156-158.