

### 基于类别方差的CCD缠度非接触测量研究

韩保君<sup>1</sup>, 姜洪朝<sup>1</sup>, 薄华<sup>1</sup>, 黄朗宁<sup>2</sup>

(1. 西安电子科技大学机电工程学院, 陕西西安 710071; 2. 郴州职业技术学院, 湖南郴州 423000)

摘要: 在火炮身管静态参数的检测中, 膛线诸参数的识别和提取是一个重要的部分。文中对非接触缠度测量原理以及测量过程做了较为细致的分析; 在对大量内膛图像分析与统计的基础上, 提出基于类别方差的缠角测量算法。实测验证表明, 该算法满足测量精度指标, 具有通用性。最后, 对系统以及实验结果做了不确定度分析。

关键词: 非接触测量; 缠度; 边缘定位; 不确定度

中图分类号: TP274 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)05-0050-03

火炮身管以及内膛的参数测量的研究一直没有间断过, 然而, 由于测量环境的复杂性、应用空间的局限性、测量系统的通用性以及可靠性等因素的约束与限制, 研究大多为接触式、类非接触式的或是某项指标的测量系统<sup>[1-2]</sup>。有鉴于此, 近年来人们越来越多地将研究的眼光投向测量精度高、高系统稳定性、较大测量动态范围的 CCD 非接触测量领域<sup>[3-5]</sup>。

## 1 缠角的定义

在火炮身管的检测中, 最能表征膛线特征的是膛线的两个边界。膛线在展开图中为具有确定宽度、角度的直线(或曲线)。膛线的缠角即为边界线段与身管轴线的角度, 宽度即为两条边界线的距离, 即阳线。身管膛线分为等齐膛线、渐速膛线和混合膛线 3 种。图 1 所示为渐速膛线、等齐膛线展开图。其中  $R$  为火炮口径、 $L$  为膛线在径向转过的弧长、 $H$  为膛线轴向的位移、 $\alpha$  为缠角。

缠角  $\alpha$  和缠度  $n$  的关系为

$$\alpha = \arctan \frac{\pi}{n} \tag{1}$$

对于等齐膛线其缠角为

$$\alpha = \arctan L/H = \arctan bR/H \frac{\pi}{n} \tag{2}$$

由(2)式可知, 在系统可靠定中、保证侧视反射镜的旋转精度的前提下, 精确测量出膛线沿身管轴向的位移  $H$  和炮膛圆周方向转过的角度  $b$  便可测量出此段膛线的缠角, 对膛线进行连续测量便能绘出整条膛线并检测出实际缠角与公称值的误差; 通过选取合适的步长间隔, 以等间隔  $H$  步进测量出膛线上一系列点处的缠角, 再经曲线拟合便可完整的给出一条膛线曲线。

综上, 根据缠角的定义, 对膛线参数的提取, 就转化为对膛线边界线的角度和步进距离的提取。

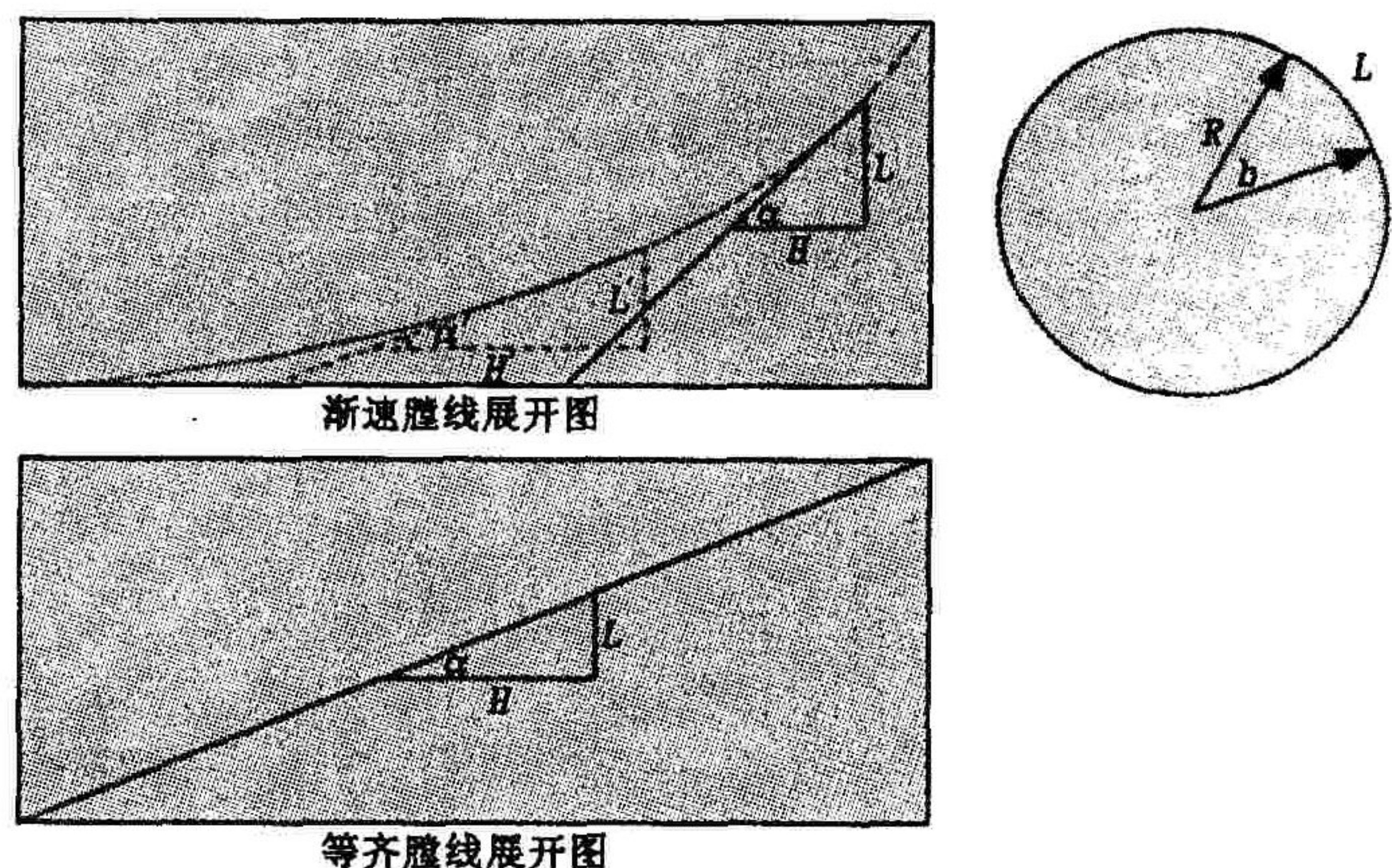


图 1 膛线展开图

收稿日期: 2005-03-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60377034)

作者简介: 韩保君(1964-), 男, 山西太原人, 副教授, 博士生, 主要从事图像测量、应用和红外图像处理研究。



## 2 图像分析

对于一个给定灰度图像  $f(m,n)$ , 其梯度为  $g(m,n)$ , 其中  $m$  和  $n$  为图像行/列数, 根据图像特点, 采取对图像逐行求梯度方式, 则图像梯度函数为

$$g_i = |f_{i+1} - f_i| \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

图2为梯度算子间效果比较。通过大量梯度直方图的比对实验得出: ①绝大多数背景梯度集中在一个低灰度值区域; ②大多数目标的梯度集中在较窄的中低灰度区域; ③Robert算子对图像有增强功能, 表现为目标边缘宽度加大, 引入了部分噪声; ④由于图像照度不均匀, 目标灰度范围存在一定数量的噪声。故此, 根据图像特点, 首先利用图像梯度统计特性, 对其进行分割, 求取准边缘。

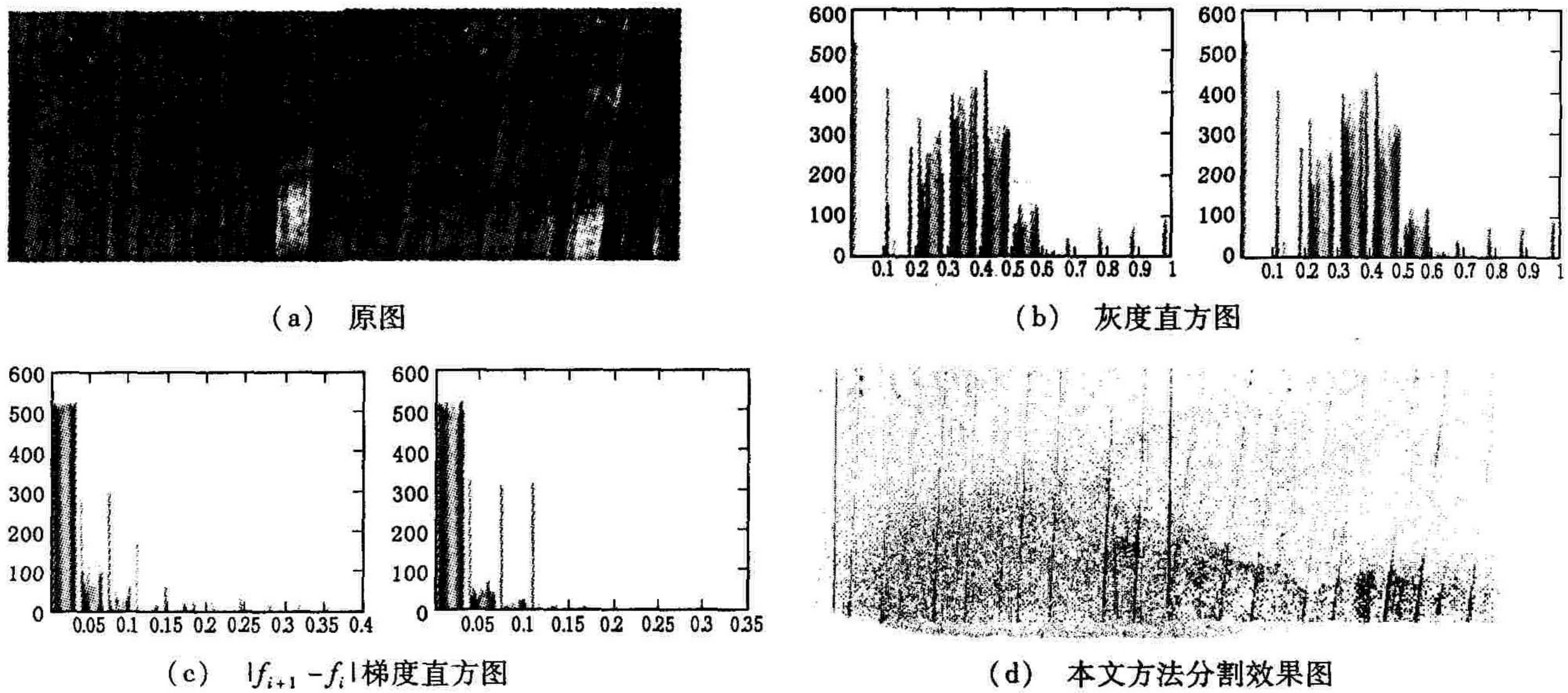


图2 梯度算子比较

## 3 图像分割及拟合

设图像中灰度图像的梯度范围是  $g_i = \{0, 1, \dots, l-1\}$ , 每个梯度出现的概率是

$$P_i = \frac{n_i}{N}, (P_i \geq 0, \sum_{i=0}^{l-1} P_i = 1) \quad (4)$$

其中,  $N$  为总像素数,  $n_i$  为灰度的像素数。

设  $t$  为门限, 定义  $C_0 = \{0, 1, \dots, t\}$  为类别方差,  $C_1 = \{t+1, t+2, \dots, l-1\}$  为类内方差, 通过使类别方差最大并且类内方差最小的门限值作为最佳域值。则  $C_0$  类和  $C_1$  类出现的概率及均值为

$$\omega_0 = P_r(c_0) = \sum_{i=0}^t P_i = \omega(t) \quad (5) ; \quad \omega_1 = P_r(c_1) = \sum_{i=t+1}^{l-1} P_i = 1 - \omega(t) \quad (6)$$

$$\mu_0 = \frac{\sum_{i=0}^t P_i}{\omega_0} \quad (7) ; \quad \mu_1 = \frac{\sum_{i=t+1}^{l-1} P_i}{\omega_1} \quad (8)$$

$C_0$  类和  $C_1$  类的方差为

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^t (i - \mu_0)^2 P_i / \omega_0 \quad (9) ; \quad \sigma_1^2 = \sum_{i=t+1}^{l-1} (i - \mu_1)^2 P_i / \omega_1 \quad (10)$$

根据模式识别理论, 可求出这两类的类内方差  $\sigma_w^2$ 、类间方差  $\sigma_B^2$  和总体方差  $\sigma_T^2$  为

$$\sigma_w^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (11); \quad \sigma_B^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (12); \quad \sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_B^2 \quad (13)$$



当  $F = \sigma_B^2 / \sigma_T^2$  最大时分类的性能最优, 此时的门限值即为最佳门限。

经过上述算法已经求得的准边缘点  $x_0$ , 分别向前向后搜索  $N$  点像素, 而这  $2N + 1$  点灰度值是完全确定的, 采用最小二乘直线拟合, 必将获得实际边缘点。

## 4 求取缠角值

测量过程如下: ① CCD 摄像机畸变校正, 通过摄取精密刻划的透明标准图案, 计算图像各点畸变值, 存储校正数据; ② 图像采集, 将叠加标准图案的准边缘处理图像进行畸变校正处理; ③ 利用式(2)多点测量求均值即为缠角值; ④ 对于渐速膛线, 控制伺服电机步距, 利用式(3)多点测量, 求得各点缠角值。多幅膛线重复性精度  $\sigma$  实测结果如表 1, 一条膛线角度测量不确定度分析如表 2。系统测量不确定度为  $3.38''$ ; 在置信概率为 95% 时, 扩展不确定度为  $8.69''$ 。

表 1 边缘定位比较

细分方法	$\sigma$ /像素
邻域法边缘定位	0.107 345
数学期望法边缘定位	0.105 739
本文方法	0.037 118

表 2 缠角测量结果

次数	缠角值	次数	缠角值
1	$\times^{\circ}58' 42.56''$	4	$\times^{\circ}58' 58.36''$
2	$\times^{\circ}58' 33.00''$	5	$\times^{\circ}58' 42.58''$
3	$\times^{\circ}58' 40.43''$	6	$\times^{\circ}58' 42.33''$

## 5 结论

本文建立了边缘检测的自适应阈值数学模型, 使检测对象的阈值大小随背景强弱的变化而自适应调整, 获得膛线准边缘点, 然后用最小二乘拟合法对准边缘点进行定位, 求得身管膛线边界, 定位精度达到亚像素级。对定位后膛线求缠度, 实测结果表明, 测量精度满足系统设计指标。

### 参考文献:

- [1] 白庆本, 韩兆福. 基于 CCD 成像和计算机图像处理技术的火炮内膛自动检测[J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(2): 124 - 126.
- [2] Guangqiang Huang, Jiangqun Huang. Three Dimensional CCD Photoelectric Measurement System and Its Application[A]. SPIE [C]. 370 - 374.
- [3] 冷何英, 戴俊钊. 高精度图像测量系统中的细分方法[J]. 光电工程, 1999, 26: 111 - 115.
- [4] 李佳列, 丁国清, 颜国正, 等. 采用 CCD 的非接触测量中提高精度的一种方法[J]. 光学. 精密工程, 2002, 10(6): 282 - 286.
- [5] Haralick R M. Digital Step Edges from Zero Crossing of Second Direction Derivatives[J]. IEEE Trans, Pattern Anal, Machine Intell., PAMI - 1984, 6(1): 58 - 68.

(编辑: 田新华)

Study of Non - contact Measurement of the Twist Pitch of Rifling Based on Class Variance

HAN Bao - jun<sup>1</sup>, JIANG Hong - zhao<sup>1</sup>, BO Hua<sup>1</sup>, HUANG Lang - ning<sup>2</sup>

(1. School of Electro-Mechanical Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China; 2. Zhenzhou Vocational Technical College, Hunan 423000, China)

Abstract: In the process of static parameters detection of artillery pipe, it is very important for the parameters of rifling to be recognized and extracted. The paper analyzes in detail the measuring principle, and also introduces the measuring process of the system. An algorithm is also developed based on class variance after a great number of cannon barrel images are analyzed. The verification in actual measurement shows that the algorithm satisfies the measurement precision indices and is in common use. Finally, analysis of the system and experiment result for uncertainty is given.

Key words: non - contact measurement; twist pitch of rifling; edge detection/location; uncertainty