

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.011

## 枪弹头痕迹特征直线提取方法

李马成<sup>1,2</sup>, 龙正平<sup>1</sup>, 刘伯宁<sup>1</sup>, 范锐锐<sup>1</sup>

(1. 第二炮兵工程学院 基础部, 陕西 西安 710025; 2. 中国人民解放军 96215 部队, 广西 柳州 545616)

**摘要:** 为了有效地提取枪弹头痕迹特征, 提出了一种将三维弹痕数据转换成同形 0-1 特征点矩阵的方法。介绍了枪弹头痕迹产生的机理, 分析了高精度数据采集设备获取枪弹头痕迹数据的过程, 基于 Hough 空间变换模型, 建立了从 0-1 特征点矩阵提取弹痕特征直线的模型, 并对 6 支枪发射的 12 发弹的三维弹痕数据进行特征直线提取试验。实验结果证明, 该方法能正确有效地提取弹痕特征直线。

**关键词:** 枪弹头痕迹; 三维弹痕数据; Hough 空间变换

**中图分类号:** TP391.9; TP306 **文献标识码:** A

## Method of Gun Bullet Mark Feature Line Taking

Li Mashu<sup>1,2</sup>, Long Zhengping<sup>1</sup>, Liu Boning<sup>1</sup>, Fan Ruirui<sup>1</sup>

(1. Dept. of Basic Theories, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China;  
2. No. 96215 Unit of PLA, Liuzhou 545616, China)

**Abstract:** In order to taking gun bullet mark feature availably, the way of conversion from 3-D bullet mark data to same form 0-1 feature point matrix is proposed. The mechanism of gun bullet mark is introduced, the process of bullet mark data getting by high-precision data-taking equipment is analyzed, Based of Hough space conversion model, the model of bullet mark feature line taking from same form 0-1 feature point matrix is made. The experiment of gun bullet mark feature line taking from 12 3-D bullet mark data of 6 guns is carried out. The test result shows that the method can effectively extract the feature line in right way.

**Keywords:** bullet mark; 3-D bullet mark data; Hough space conversion

### 0 引言

枪弹头痕迹检测对象是枪弹在枪膛内运动过程中, 因为挤压、剪切、摩擦等作用形成的与弹轴方向有一定夹角的擦划痕迹, 始于弹头的弧线末端并贯穿整个圆柱部<sup>[1]</sup>。由于枪弹头在枪膛内运动受到严格的限制, 形成的痕迹有稳定的规律, 如反映结构特征参数有膛线痕迹的旋转方向、宽带、深度、缠角、数量等; 反映状态特征是指膛线表面与弹头表面相对运动时在弹头表面形成的细微纹线特征, 根据弹头痕迹作出的同一性认定有很高的可靠性。

目前, 国内对枪弹痕迹的检验主要采用通过显微镜肉眼观察的传统方法, 通过人工对比弹头线条型痕迹的粗细分布。对同一支枪发射的 2 个弹头, 4 个主棱中通常有 1~2 个吻合得比较好; 而 4 个次棱中通常可以有 2~3 个吻合比较好。由于缺乏客观的识别准则和评判标准导致工作效率低, 且枪弹头样本不易保存, 容易锈蚀损坏。

枪弹头痕迹自动比对方法是实现枪弹痕迹自动识别系统的重要组成部分。随着三维扫描技术的发展, 弹头三维痕迹数据化使得枪弹头痕迹计算机自动比对成为可能, 故对其进行研究。

### 1 弹痕特征直线模型

#### 1.1 模型基本假设

- 1) 假设枪弹头的物质密度均匀分布;
- 2) 假设弹痕方向与 Y 轴平行;
- 3) 每发弹四条次棱的数据按照一个方向排序。

#### 1.2 弹痕产生机理

从弹头的结构图(图 1)可知, 整个弹头由头部、圆柱部分与尾部三部分组成。其中, 弹头圆柱部分直径最大, 约为枪管直径的 1.03~1.04 倍, 在枪弹发射过程中, 弹头圆柱部分充分受到膛线内膛壁、膛线棱边、棱角以及膛线表面的强烈挤压、摩擦产生塑性变形, 留下的射击痕迹最明显。其它部分的痕迹可以忽略不计。

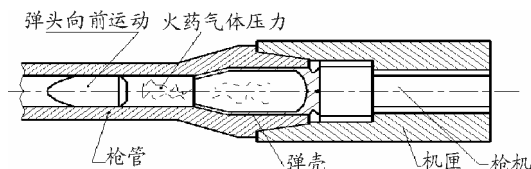


图 1 弹头的结构图

射击弹头上残留的痕迹反映了枪管内表面的宏观特征和微观特征。其宏观特征(种类特征)是枪

收稿日期: 2010-05-07; 修回日期: 2010-07-06

作者简介: 李马成(1983-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 从事军事建模与仿真软件研究。

管内表面结构的表現，痕迹中个别特征则是枪管内表面微观特征的体现。按形成痕迹的时间、顺序和作用部位性质不同，弹头上的痕迹可分为拔弹痕迹、坡膛痕迹（初生痕迹）和线膛痕迹（次生痕迹）。其中，与枪管内表面密切相关的主要是线膛痕迹。

因此，可应用弹痕的图像边缘进行比对；还可以对弹痕形状、如长度、宽度、痕迹走向等特性提取对弹头进行比对。

### 1.3 高精度三维弹痕数据采集过程

高精度三维弹痕数据的采集是进行计算机自动对比基础，其过程为：

通过光学设备采集弹头上 8 片痕迹的 3 维数据，保存为 8 个文件。测量的基准平面取为固定在测量设备上的空间直角坐标系的  $xoy$  平面，沿  $x$  轴和  $y$  轴的测量步长均为  $2.75 \mu\text{m}$ ， $z$  的测量精度为  $1 \mu\text{m}$ 。其顺序统一按照一个方向排序。测量时应调节弹头的姿态使得：1) 弹头圆柱中心线平行于基准平面；2) 擦痕的走向平行于  $y$  轴。三维弹痕数据采集装置示意图如图 2。

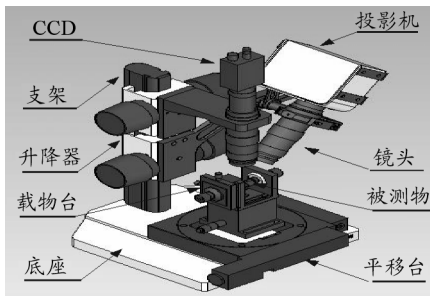


图 2 数据采集的机械与光学装置部分示意图

### 1.4 三维弹痕数据 0-1 矩阵化

由数据的获取过程可知，X 轴与 Y 轴的数据仅表示测量的步长，Z 轴数据表示了弹痕测量点与基准面的相对距离。如图 3，可将 426 384 对数组数据影射到  $564 \times 756$  的矩阵上。

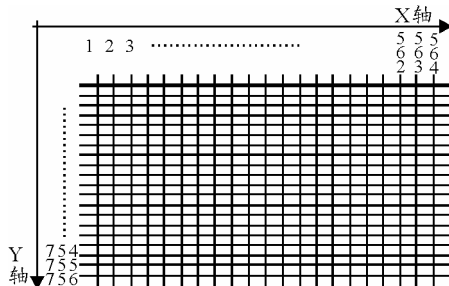


图 3 矩阵投影图

将得到的矩阵数据导入 MATLAB<sup>[2]</sup>，处理生成如图 4 的三维图。

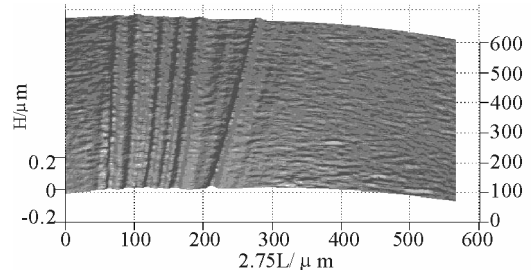


图 4 弹痕三维图

由三维弹痕数据的获取过程和弹痕方向与 Y 轴平行的假设。分别对 756 对数据进行局部极值点搜寻并将极值点（弹痕的波峰或波谷）数据转换为 1，非极值点为 0 后，形成与原矩阵同形的 0-1 极值点矩阵。局部极值点的搜寻模型为在  $o-xz$  平面上， $x$  是按等步长变化的，所以  $o-xz$  平面中的曲线局部极值点  $x$  满足下式（其中式 1 为局部极大值点，其中式 2 为局部极小值点）：

$$\begin{cases} f(x) - f(x - \Delta x) > 0 \\ f(x) - f(x + \Delta x) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} f(x) - f(x - \Delta x) < 0 \\ f(x) - f(x + \Delta x) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

从图 5 中可见，除表示弹痕的局部极值点外，还存在很多毛刺。毛刺点按式 (1)、式 (2) 处理都将取为 1，这将对特征直线的提取带来困难。相比表示弹痕的局部极值点，毛刺点仅是很小区域的局部极值点。故将局部极值点的区域放大，即可将毛刺过滤。则式 (1)、式 (2) 分别改进为式 (3)、式 (4)：

$$\begin{cases} f(x) - f(x - \Delta x) > 0 \dots \text{and} \quad f(x) - f(x - N \cdot \Delta x) > 0 \\ f(x) - f(x + \Delta x) > 0 \dots \text{and} \quad f(x) - f(x + N \cdot \Delta x) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} f(x) - f(x - \Delta x) < 0 \dots \text{and} \quad f(x) - f(x - N \cdot \Delta x) < 0 \\ f(x) - f(x + \Delta x) < 0 \dots \text{and} \quad f(x) - f(x + N \cdot \Delta x) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

针对不同枪支发射的子弹弹痕，式 (3)、式 (4) 中参数  $N$  的选取需通过试验选定。一般选为 5 左右。因为笔者研究的弹痕较宽，选取  $N$  为 7。

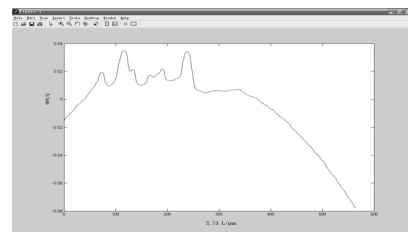


图 5 弹痕 X 方向切痕曲线

### 1.5 弹痕直线提取模型—Hough 空间转换

坐标平面  $o-xy$  中的直线的方程基本形式是：

$$y = ux + v \quad (5)$$

其中， $u$  和  $v$  分别是直线的斜率和截距。对于

一条确定的直线  $y = ux + v$ , 它唯一确定地对应一个数对  $(u, v)$ ; 反之, 对于给定的 2 个参数  $(u, v)$ , 它们唯一地确定一条直线。做一个变换域, 设直角坐标平面  $o-uv$ ,  $o-xy$  中的一条直线  $y = ux + v$  和  $o-uv$  中的一点  $(u, v)$  有一一对应关系, 称为 Hough 空间变换<sup>[3]</sup>。同理, 变换域  $o-uv$  中的直线为:

$$v = -xu + y \quad (6)$$

与  $o-xy$  中的一点  $(x, y)$  也是一一对应的。

对于给定直线  $y = u_0x + v_0$  上的任意 3 个点  $(x_i, y_i), i = 1, 2, 3$ , 其中, 点  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  所对应的  $o-uv$  中的 2 条直线分别为:

$$v = -x_1u + y_1 \quad (7)$$

$$v = -x_2u + y_2 \quad (8)$$

可以算得它们的交点为:

$$u_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = u_0 \quad (9)$$

$$v_1 = \frac{x_1y_2 - x_2y_1}{x_1 - x_2} = v_0 \quad (10)$$

点  $(x_2, y_2)$  和  $(x_3, y_3)$  所对应的 2 条直线分别为:

$$v = -x_2u + y_2 \quad (11)$$

$$v = -x_3u + y_3 \quad (12)$$

类似的, 它们的交点为:

$$u_2 = \frac{y_2 - y_3}{x_2 - x_3} = u_0 \quad (13)$$

$$v_2 = \frac{x_2y_3 - x_3y_2}{x_2 - x_3} = v_0 \quad (14)$$

由此可以推知: 直线  $y = ux + v$  上各点所对应的  $o-uv$  中的各直线交于一点  $(u, v)$ 。利用这个重要性可以检测共线点。

通过 Hough 直线提取算法得到的直线是实际弹痕中的多个小线段, 而膛线不是绝对直线。因此, 还必须对取到的小线段进行直线拟合, 可得到膛线的直线方程:

$$y = a_1x + b_2 \quad (15)$$

而通过对拟合得到的直线, 则可得出各膛线与 x 轴的夹角, 膛线间的角度差和距离。

## 2 模型验证

将原始三维弹痕数据转换为矩阵形式后, 将弹痕进行三维显示, 如图 6。

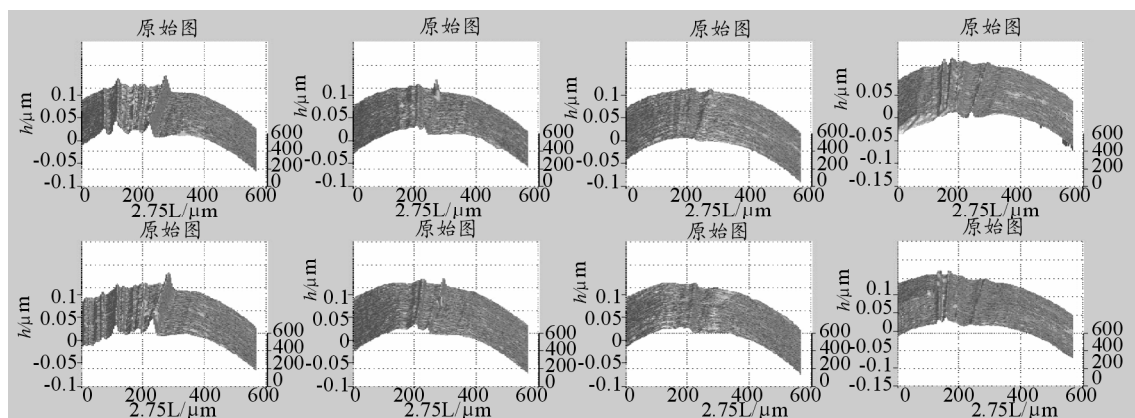


图 6 同枪不同弹的弹痕对比

图 6 中, 第一排为第一颗子弹的 4 条棱的弹痕三维图, 第二排为同一支枪发射的另一颗子弹的 4 条棱的弹痕三维图。从图 6 中可以看出, 同一支枪发射出的两发子弹弹痕有很多共同点, 比如弹痕线条的条数、弹痕间的夹角和距离等。

## 3 结论

通过分析弹痕产生的机理将高精度三维弹痕数据采集的 426384 维数组转换为  $564 \times 756$  的矩阵。基于矩阵数据, 按 X 轴方向提取了局部极值点, 得到了表示弹痕谷峰与谷底的 0-1 同形特征矩阵。最后, 采用 Hough 边缘提取算法从 0-1 同形矩阵中提

取了弹痕直线。通过对弹痕进行特征直线提取进行模型验证, 证明该弹痕特征直线提取方法能较好地提取弹痕的特征直线, 为进一步设计自动弹痕识别系统提供了基础。

## 参考文献:

- [1] 杨少波. 枪弹痕迹采集与比对系统[J]. 安全与环境学报, 2004, 4: 19.
- [2] 孙兆林. Matlab 6.x 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] 霍宏涛. 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.