

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.12.012

弹痕三维数据与图像处理研究

狄芳¹, 顾辉²

(1. 三江学院理学院, 南京 210012; 2. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 针对弹痕数据采集时因人工调节造成的测量误差以及弹头表面损伤等因素造成的随机误差, 对弹痕三维数据与图像处理进行研究。应用坐标变换对测量数据进行预处理, 通过小波变换原理对其随机性误差进行降噪, 得到处理后的数据和图像, 并采用弹痕三维图像数据处理前后的对比。结果表明: 该方法能有效提高对比可靠性, 并且能够同时进行多个弹头对比, 提高工作效率。

关键词: 测量误差; 随机误差; 坐标变换; 小波变换

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

3D Data and Image Processing Research on the Bullet Mark

Di Fang¹, Gu Hui²

(1. College of Science, Sanjiang University, Nanjing 210012, China;

2. College of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: According to the measurement errors caused by manual adjustment and the random error caused by surface damage of bullet, 3D data and image processing on the bullet mark are researched. Coordinate transformation measurement data preprocessing can be used, through the wavelet transform to reduce the random error, the treatment of data and images can be obtained, and the 3D data of the bullet mark before and after processing are contrasted. The results show the contrast reliability can be increased by this method, multiple bullets can be compared simultaneously, and the working efficiency is improved.

Keywords: measurement error; random error; coordinate transformation; wavelet transform

0 引言

在公安刑侦工作中, 警察判断 2 个弹头是否为同一支枪管发射, 传统方法是通过显微镜肉眼观察 2 个弹头的膛线压痕和线条的粗细分布是否吻合, 由于需要对多个弹头进行比对, 导致工作效率低。现代高精度数据采集系统则通过光学设备采集弹头上 8 片痕迹的三维数据, 然后采用数据分析处理的方法, 通过计算机进行比对, 以判别一个弹头与样本弹头的相似程度。但是在数据采集过程中需要进行人工调节, 很难使 2 个弹头在同样位置和同样姿态情况下被测量, 会造成约 0.03 mm 的平移误差和 0.2° 的转动误差。另外, 弹头表面的损伤、锈迹、油斑及杂质物, 也会造成一定数据误差和噪声, 影响了弹头比对结果。因此, 笔者通过坐标系变换来处理由位置和姿态造成的测量误差, 使得 2 个弹头可以在尽量相同位置和相同姿态的情况下进行比对, 然后通过小波变换原理对其随机误差进行降噪处理, 以提高比对可靠性。

1 三维数据坐标变换处理

要完全确定一个工件的位置, 就必须消除该工

件沿 x 、 y 、 z 3 个直角坐标轴方向的移动自由度和绕这 3 个坐标轴的转动自由度, 通常使用 6 个支承点(即定位元件)来限制这 6 个自由度, 其中每一个支承点限制相应的一个自由度。

对于人工调节引起弹头的位姿误差, 可通过比较位姿唯一确定的相似刚体上特殊位置点在不同次测量时的坐标值, 求出相应的坐标变换矩阵。将相似刚体的所有位置坐标进行转换, 使得弹头摆放位置和姿态一致^[1-2]。

齐次坐标变换矩阵 (HTM) 是在机器人运动学中用来描述 2 个刚体的空间位姿关系的 4×4 的矩阵, 它的齐次坐标变换可以写成:

$$A_1 = {}^0T A_0 \quad (1)$$

式中: 0T 为从前次测量坐标系变换到本次测量坐标系的 HTM; A_0 为本次测量弹头坐标系下的齐次坐标矩阵; A_1 为前次测量弹头坐标系下的齐次坐标矩阵。

齐次坐标变换矩阵 0T 综合地表示了沿各坐标轴的平动 (Δx , Δy , Δz) 和绕各坐标轴的旋转 ($\Delta \theta_x$, $\Delta \theta_y$, $\Delta \theta_z$)。故 0T 可分解为对应于各坐标轴的

收稿日期: 2011-08-01; 修回日期: 2011-09-07

作者简介: 狄芳(1979—), 女, 江苏人, 硕士, 讲师, 从事应用数学、偏微分方程研究。

平移变换矩阵 T 和绕各坐标轴的旋转变换矩阵 R_x 、 R_y 、 R_z ：

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\Delta\theta_x) & -\sin(\Delta\theta_x) & 0 \\ 0 & \sin(\Delta\theta_x) & \cos(\Delta\theta_x) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(\Delta\theta_y) & 0 & \sin(\Delta\theta_y) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\Delta\theta_y) & 0 & \cos(\Delta\theta_y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\Delta\theta_z) & -\sin(\Delta\theta_z) & 0 & 0 \\ \sin(\Delta\theta_z) & \cos(\Delta\theta_z) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由于影响系统数据比对的集合变动量，平移误差 0.03 mm 相对于弹头的长度 12 mm、0.2° 的转动误差作用于直径 7.9 mm 的弹头上的误差可当作微小量处理，有 $\sin(\Delta\theta) \approx \Delta\theta$ ， $\cos(\Delta\theta) \approx 1$ ， $\Delta(*) \approx 0$ ，其中， $\Delta\theta$ 代表 $(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z)$ 中任意一个量， $\Delta(*)$ 代表 $\{\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z\}$ 任意一个量，故平移变换矩阵和旋转变换矩阵可简化为

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\Delta\theta_x & 0 \\ 0 & \Delta\theta_x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta\theta_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\Delta\theta_y & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R_z = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\theta_z & 0 & 0 \\ \Delta\theta_z & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

此时矩阵 T 、 R_x 、 R_y 和 R_z 之间的相乘次序不影响相乘结果，故有

$${}^1_0T = T \cdot R_x \cdot R_y \cdot R_z \quad (2)$$

处理时将前次测量时的位姿当作理想位姿处理，而本次测量是在有位置和姿态误差的坐标系下测出的实际位姿。

根据六点定位原理可知，只要确定刚体上至少不同 6 点的位置就限制该刚体的 6 个自由度，该刚

体的位姿唯一确定。所以只需要知道 2 个相似刚体的几个特殊位置点在 2 次测量中的坐标，就可以将 2 个相似刚体的坐标通过坐标变换矩阵转换到相同坐标下。此时，本次测量刚体坐标系 $(x_w - y_w - z_w)$ 与前次测量的刚体坐标系经变换后的坐标系 $(x_{f1} - y_{f1} - z_{f1})$ 重合。假设认为由于人工调节所造成的平移和转动误差 $\Delta y = 0.03 \text{ mm}$ ， $\theta_y = 0.2^\circ$ ，产生在轴线方向和轴线转动方向上，即 y 向上，将数据代入到式 (2) 中得到变换矩阵如下：

$${}^1_0T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.0003 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0.03 \\ 0 & -0.0003 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

变换矩阵近似于单位矩阵，误差很微小，表明了通过坐标变换减少了人工调节引起的测量误差。

2 数据噪声处理

由于弹头表面的损伤、锈迹，油斑、杂质物及痕迹生成的随机性，经过坐标变换预处理的数据仍然会存在一定的误差，应用小波变换原理对其进行了降噪处理^[3-7]。

数学模型：设数据信号 $x(t)$ 被噪声污染后为 $s(t)$ ，其基本噪声模型可以表示为：

$$s(t) = x(t) + \sigma e(t) \quad (3)$$

式中： $e(t)$ 为噪声； σ 为噪声强度。

目前，所使用的阈值包括全局阈值和局部适应阈值，考虑到算法的复杂性和去噪效果，笔者采用了一种简单有效的阈值估计方法，利用 Donobo 和 Johnstone 统一阈值计算出阈值。采用了 MATLAB 的去噪函数 `wdencomp()` 对单步长的截面曲线进行小波降噪处理，部分程序代码如下：

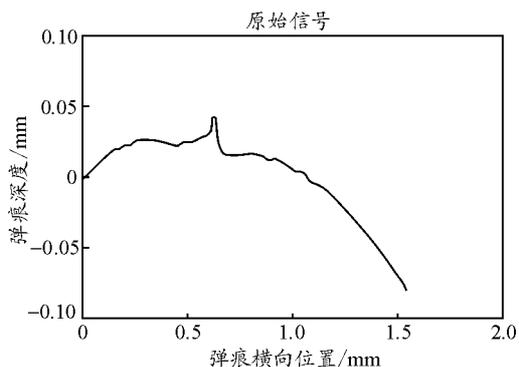
```
lev=5;
[c,l]=wavedec(z,lev,wname); //对数据信号作成数为 5 的多尺度分解
sigma=wnoisest(c,l,1);
alpha=3;
thr1=wbmpen(c,l,sigma,alpha);
[thr2,nkeep]=wdbcmb(c,l,alpha); //得到每个分层阈值
xd1=wdencomp('gbl',c,l,wname,lev,thr1,'s',1);
[xd2,cxd,lxd,perf0,perf12]=wdencomp('lvd',c,l,wname,lev,thr2,'h'); //根据分层阈值使用软阈值方法对信号进行降噪处理
```

```

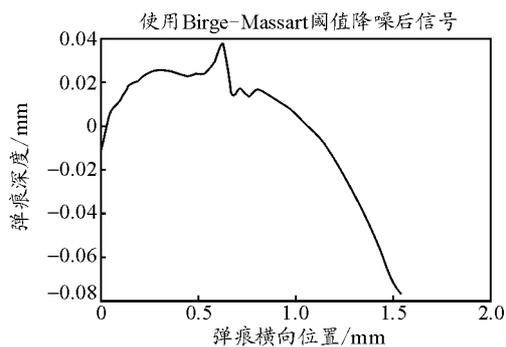
subplot(221);plot(x,z,'b');title('原始信号','fontsize',12); //画出原始波形
subplot(223);plot(x,xd2,'r');title('使用 Birge-Massart 阈值降噪后信号','fontsize',12); //画出使用 Birge-Massart 阈值降噪后波形
per=norm(xd2)/norm(z); //求降噪处理后信号能量成分
per=0.9932
err=norm(xd1-z); //求与原始信号的标准差
err=0.0034

```

降噪前后的分析结果如图 1。从图 1 可以看出, 经小波降噪处理后的信号比处理前的信号更为光滑, 基本上消除了原信号上的噪声, 降噪处理后的信号很好地保留了原始信号的基本特征。实验结果符合信号降噪的光滑性和相似性准则。用小波变换进行信号降噪处理, 既有效地降低了噪声, 同时也提高了信噪比。



(a) 降噪前信号曲线

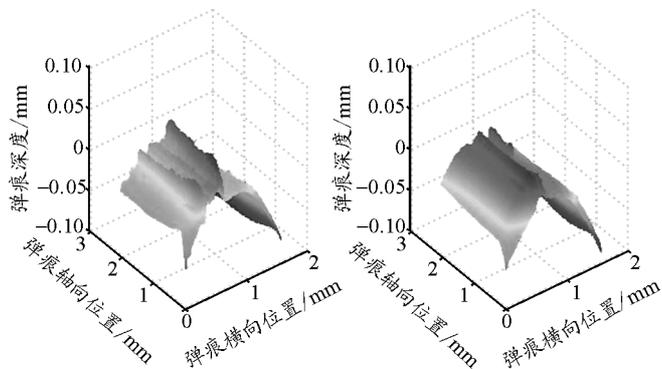


(b) 降噪后信号曲线

图 1 降噪前后的信号对比图

弹痕采集的三维数据处理前后构造出的三维图

像如图 2。根据对比结果, 经过坐标变换和小波原理处理的数据和图像, 能够消除人工调节带来的测量误差, 并且消除了原信号的噪声, 能够应用该方法同时进行多个弹头比对。



(a) 处理前弹痕三维图 (b) 处理后弹痕三维图

图 2 数据处理前后的弹痕三维图

3 结束语

笔者应用坐标变换方法对弹痕测量数据进行了预处理, 减少了数据采集时因人工调节引起的测量误差。然后通过小波变换原理对弹痕损伤等因素引起的随机误差进行降噪处理, 得到了处理后弹痕三维图像, 通过弹痕三维图像数据处理前后的对比, 能够高效、可靠地进行判别。该方法能够对多个弹头进行比对, 提高了工作效率, 降低了工作强度。

参考文献:

- [1] 徐旭松, 杨将新, 曹衍龙, 等. 基于齐次坐标变换的制造误差建模研究[J]. 浙江大学学报, 2008, 42(6): 1024-1026.
- [2] 张志远, 罗国富. 舰船姿态坐标变换及稳定补偿分析[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(4): 38-39.
- [3] 郭威, 丁猛, 杜春勇. 一种三维测量和检验枪弹痕迹的方法[J]. 中国人民公安大学学报, 2009(2): 4-7.
- [4] 张翠芳. 小波降噪及其在 Matlab 中的仿真与比较[J]. 信息技术, 2008(3): 4-5.
- [5] 胡坤, 徐亦凡, 何斌. 改进小波变换方法在鱼雷控制系统中的应用[J]. 四川兵工学报, 2010, 30(2): 32.
- [6] 冯毅, 王香化. 小波变换降噪处理及其 Matlab 实现[J]. 数据采集与处理, 2006, 21: 37-39.
- [7] 刘正君. Matlab 科学计算与可视化仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.