

基于 MATLAB 的空间直线度误差数据处理实现

李 芳, 古浩森, 薛仁骥, 王昱民

大连交通大学 辽宁大连

【摘要】空间直线度是几何误差测量的基础, 如何实现对空间直线度测量数据的快速高精度处理是工程技术人员研究的热点内容。本课题采用了常用的方法来进行分析处理直线度误差的评定, 然后以 MATLAB 软件作为研究的根基, 进而开展了之后的可视化操作, 分别实现了程序算法设计。在对平面直线度误差计算时, 可以更加的快速的得到算法分别对应的直线度误差评估结果。

【关键词】空间直线度; 算法研究; 最小二乘法; 最小包容区域法; MATLAB

【基金项目】大连交通大学大学生创新创业项目 (202110150672)

Implementation of spatial straightness error data processing based on MATLAB

Fang Li, Haosen Gu, Renji Xue, Yumin Wang

Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning

【Abstract】Spatial liness is the basis of geometric error measurement. How to realize the fast and high precision processing of spatial liness measurement data is a hot topic of engineers and technicians. This topic adopts the common method to analyze and handle the straightness error evaluation, and then takes MATLAB software as the foundation of the research, and then carry out the visual operation, respectively realized the program algorithm design. When calculating the plane straightness error, the corresponding straightness error evaluation results can be obtained more quickly.

【Keywords】Spatial straightness; Algorithm studies; Least squares method; Least inclusive region method; MATLAB

引言

提高工件的表面质量是精密/超精密加工技术中的关键环节, 而由于刀具磨损、工件热胀冷缩, 工件受力变形以及材料表面缺陷等多种因素的影响, 产品或零部件都不可避免地存在或大或小的尺寸误差、几何误差 (即形状与位置误差) 及表面粗糙度等, 其中几何误差尤其突出, 所以迫切需要对几何误差的数字化检测与精确评定技术进行研究^[1-3]。

直线度误差作为几何误差的基础, 常被作为平面度、垂直度等其他形位误差的基准要素。直线度误差分为平面直线度和空间直线度两类, 其评定原理类似, 而工程中的直线要素往往属于空间直线, 评定方法更加复杂, 所以研究人员一直在研究与探索空间直线度误差的评定理论与方法。本文中基于误差理论, 研究空间直线度误差的数字化评定理论与算法以提高目前工程中对空间直线度误差的评

定精度。

空间直线度误差, 其定义是在指三维空间中, 被测提取 (直线) 要素相对于其理想 (直线) 要素在任意方向上实际存在的变动量。空间直线度误差值等于一个包容所有测点的假想圆柱面的直径, 满足的条件是此圆柱面具有最小直径。

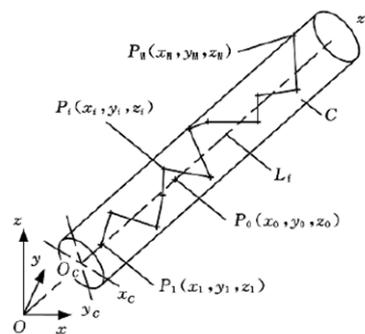


图 1 直线度定义

由于其中涉及了大量的计算过程, 所以本课题中选用 MATLAB 来实现快速准确的测量数据处理。MATLAB 软件是工程种常用的数据计算软件, 功能强大, 也可以实现人机界面的设计, 所以应用非常广泛。

1 界面的设计

利用中 MATLAB 的 GUI 工具箱建立人机交互

```
[Filename, Pathname]=uigetfile('*.txt','Select Input file');
if (Filename==0 & Pathname==0)
    msgbox('尚未选择文件, 请选择文件!', '确认', 'error');
else
    fid = fopen(Filename, 'r');
    if fid==-1
        msgbox('打开文件错误', '确认', 'error');
    else
        xxx = fscanf(fid, '%f'); %
        fclose(fid);
    end
end
```

图 2

2 空间直线度数据处理算法实现:

目前空间直线度误差的评定算法主要分为两类: 一类是近似算法, 包括有端点连线算法和最小二乘算法(LSM)等。另一类是精确的最小包容区域算法, 目前没有统一的算法。由分析可知确定直线度的关键是确定理想包容圆柱的中心轴线和其方向向量。

2.1 端点法

两端点连线算法将空间中实际测量点的首、末两端点作连线, 然后将其作为假想的理想包容圆柱面的中心轴线, 通过软件计算所有测点到轴线的最大距离, 从而得到直线度误差值。端点法中其心点必定通过中心轴线, 所以可以由其求出方向向量。文中设首末两端测量点的坐标分别表示为 (x_s, y_s, z_s) , (x_e, y_e, z_e) , 则其连线的中点坐标为:

$$x_0 = \frac{x_s + x_e}{2}$$

$$y_0 = \frac{y_s + y_e}{2}$$

$$z_0 = \frac{z_s + z_e}{2}$$

计算得到两端点连线的方向向量 (l, m, n) 如下:

界面^[4-5]。分为测量数据输入部分、测量数据结果显示部分及三维图形显示界面三部分。用户可以选择数据输入的方法, 选择直线度的评定方法, 点击控件后就得到误差值, 并可以绘出相应误差评定的三维图形。数据输入包括两种方式, 可以选择采用读取数据文件(.txt 格式)或界面直接输入坐标点的形式, 如图 2。

$$l = (x_e - x_s) / \sqrt{(x_e - x_s)^2 + (y_e - y_s)^2 + (z_e - z_s)^2}$$

$$m = (y_e - y_s) / \sqrt{(x_e - x_s)^2 + (y_e - y_s)^2 + (z_e - z_s)^2}$$

$$n = (z_e - z_s) / \sqrt{(x_e - x_s)^2 + (y_e - y_s)^2 + (z_e - z_s)^2}$$

再计算各个点到中心轴线的距离:

$$r_i = \sqrt{\frac{[m(x_i - x_0) - l(y_i - y_0)]^2 + [n(x_i - x_0) - l(z_i - z_0)]^2 + [n(y_i - y_0) - m(z_i - z_0)]^2}{l^2 + m^2 + n^2}}$$

其中最大值即为所求, 以两端点连线为中心轴线, 以 r_{\max} 为半径的理想包容圆柱面包含了所有的测点, 其直径即为所求的空间直线度误差。从上式能够看出, 端点法的值取决于两端点的选择, 其精度相对较低。

2.2 最小二乘法及其改进

最小二乘法就是按照最小二乘原理, 即各测点到拟合直线的距离平方和为最小的条件求出最小二乘中线, 以此中线为理想圆柱包容面的中心轴线, 得到各测点到理想圆柱的最大距离, 其值为空间直线度误差^[6-8]。其算法和公式如下:

设直线方程为:

$$x = b_1 + k_1 z$$

$$x = b_2 + k_2 z$$

式中, 为最小二乘拟合直线与平面的交点的坐

标值, 为最小二乘拟合直线的方向向量, 则根据各测点到拟合直线的距离的平方和为最小可以求得:

$$b_1 = \frac{\sum (x_i z_i) \sum z_i - \sum z_i^2 \sum x_i}{(\sum z_i)^2 - M \sum z_i^2}$$

$$b_2 = \frac{\sum (y_i z_i) \sum z_i - \sum z_i^2 \sum y_i}{(\sum z_i)^2 - M \sum z_i^2}$$

$$k_1 = \frac{\sum x_i \sum z_i - M \sum x_i z_i}{(\sum z_i)^2 - M \sum z_i^2}$$

$$k_2 = \frac{\sum y_i \sum z_i - M \sum y_i z_i}{(\sum z_i)^2 - M \sum z_i^2}$$

各测点到拟合直线的距离为:

$$r_i = \sqrt{(x_i - b_1 - k_1 z_i)^2 + (x_i - b_2 - k_2 z_i)^2}$$

与端点法类似, 所得的直线度误差是 r_i 最大值的 2 倍。

由上述公式, 可知本方法是将空间实际测量分别点向 xoz 和 yoZ 两个平面内作投影后, 再分别在此两平面内对所得的投影点作二维最小二乘计算, 然后拟合得出的。该 LSM 算法本质上是不精确的三维拟合算法。

根据上述求出的斜率和截距, 求出其中心轴线的方向向量即可求出空间拟合直线, 然后求出各测点到直线的距离, 即可得到直线度的值。处理过程的流程图如下:

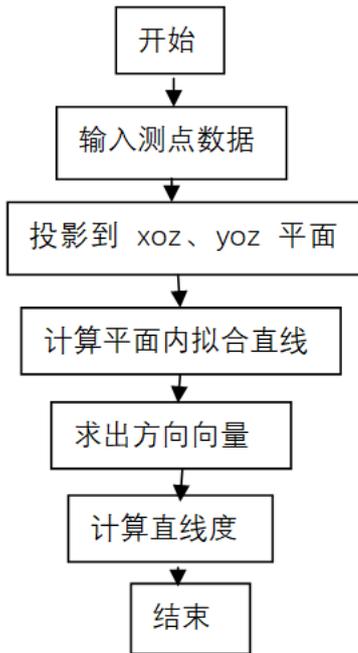


图 3 最小二乘法流程图

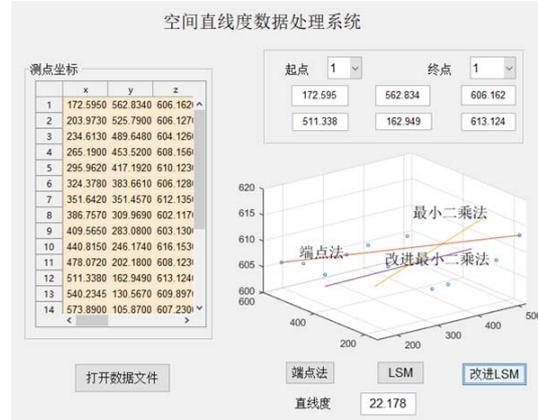


图 4 数据处理界面

数据处理完成后在 MATLAB 中将测量数据及拟合直线用三维图形的方式显示出来, 直观形象, 如上图所示。

3 结论

本课题通过对三种直线度数据处理算法的分析, 采用软件实现了人机界面设计、数据采集、处理的过程, 用三维图像显示了拟合的中心轴线, 完成了直线度数据处理过程, 有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 熊有伦,王瑜辉,杨文玉等.数字制造与数字装备[J].航空制造技术,2008(9):26-31.
- [2] 李圣怡.超精密加工技术与机床的新进展[J].航空精密制造技术,2009,45(2):26-28.
- [3] 李小力.数控机床综合几何误差的建模及补偿研究[华中科技大学博士学位论文[J].湖北武汉:华中科技大学,2006.
- [4] Xiaoqing Tang, Hu Yun. Data model for quality in product lifecycle. Computers in Industry,2008,59(2-3):167-179
- [5] 伍卫平,毋新房.基于 MATLAB 的直线度误差评定及可视化研究[J].华北水利水电学院学报.2011,32(1),107-109.
- [6] 伍卫平,毋新房.基于 MATLAB 的直线度误差评定及可视化研究[J].华北水利水电学院报.2011,32(1),107-109.
- [7] 胡仲勋,杨旭静,王伏林.空间直线度误差评定的 LSABC 算法研究[J].工程设计学报.2008(3):187-190,212.
- [8] 刘卫国,陈昭平,张颖.MATLAB 程序设计与应用[M].北京:高等教育出版社,2006.

收稿日期: 2022 年 8 月 10 日

出刊日期: 2022 年 9 月 25 日

引用本文: 李芳, 古浩森, 薛仁骥, 王昱民, 基于 MATLAB 的空间直线度误差数据处理实现[J]. 工程学研究, 2022, 1(3): 9-12
DOI: 10.12208/j.jer.20220052

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS