
基于最小二乘法的数字化工厂工件数据矫正问题

苑占江 桂改花

广东科学技术职业学院 广东珠海 519090

摘要: 本文针对数据校正问题,综合运用了 Matlab 编程软件求解,基于最小二乘法的曲线拟合函数,对轮廓图进行拟合并对测量数据进行对比计算和校正。运用最小二乘法,对原有的图形进行拟合。采用斜线与水平线的分段拟合得到拐点(两线段交点)坐标,计算出水平线段的长度,槽口宽度和斜线线段的长度。使用圆弧拟合求出圆心之间的距离和圆弧半径。利用顶点坐标计算出人字形线的高度,利用直线斜率计算出斜线与水平线之间的夹角,最后得出工件 1 在水平状态下的测量数据的轮廓线的各项参数值。运用线性拟合和反正切函数计算出轮廓线的倾斜角度,建立笛卡尔坐标系,对倾斜测量数据作旋转变换得到校正后的数据并与问题 1 的参数值计算结果进行差异对比。通过线性拟合和反正切函数计算出 10 次测量时工件 2 的倾斜角度。通过建立笛卡尔坐标系,对倾斜测量数据作旋转变换得到校正后的数据,将校正后的十组数据进行合并;再利用 MATLAB 对数据进行拟合,得出工件 2 的完整轮廓线;基于问题一的求解方法进一步求解出工件 2 的轮廓线的各项参数值。

关键词: 分段拟合;最小二乘法;线性变换;数据校正;笛卡尔坐标系

Correction problem of digital factory workpiece data based on least square method

Zhanjiang Yuan ; Gaihua Gui

Guangdong Vocational College of Science and Technology;Zhuhai, Guangdong;519090

Abstract: In this paper, the data correction problem, comprehensive use of Matlab programming software to solve, curve fitting function based on the least square method, contour map fitting and comparison calculation and correction of measurement data. The least square method is used to fit the original figure. The coordinates of the inflection point (intersection point of two line segments) are obtained by piecewise fitting of the diagonal line and the horizontal line. The length of the horizontal line segment, the width of the notch and the length of the diagonal line segment are calculated. Use the arc fitting to find the distance between the centers and the radius of the circle. The height of the chevron line was calculated by using the vertex coordinates, and the Angle between the oblique line and the horizontal line was calculated by using the slope of the straight line. Finally, the parameters of the contour line of the measured data of workpiece 1 in the horizontal state were obtained. The linear fitting and arctangent function were used to calculate the inclination Angle of contour lines, and the Cartesian coordinate system was established. The corrected data was obtained by rotating transformation of the inclination measurement data, and the difference was compared with the calculation results of the parameter values in problem 1. The tilt Angle of workpiece 2 was calculated by linear fitting and arctangent function during 10 measurements. By establishing Cartesian coordinate system, rotation transformation of tilt measurement data was performed to obtain corrected data, and ten groups of corrected data were merged. Then MATLAB was used to fit the data, and the complete contour of workpiece 2 was obtained. Based on the solution method of problem 1, each parameter value of the contour line of workpiece 2 is further solved.

Keywords: Segmental fitting; Least square method; Linear transformation; Data correction; Cartesian coordinate system

一、背景说明

随着近年来工业物联网的迅速发展，众多传感设备被广泛应用。通过传感设备采集而来的数据信息为数字化工厂进一步的生产管理、资源配置等打下坚实的基础。^[1]而轮廓仪也由传感器等部件组成，在理想状态下，轮廓的曲线是光滑的，但由于扫描时的各种问题会导致轮廓曲线呈现出粗糙不平的情况，这会令数据的准确性产生一定的影响。

二、需要解决的问题

问题 1: 标注出工件 1 在水平状态下的测量数据的轮廓线的各项参数值：槽口宽度、圆弧半径、圆心之间的距离、圆弧的长度、水平线段的长度、斜线线段的长度、斜线与水平线之间的夹角和人字形线的高度。

问题 2: 计算工件 1 测量时的倾斜角度，并作水平校正。在数据校正后，比较两种测量状态下工件 1 各项参数计算值之间的差异。

问题 3: 基于附件 2 提供的工件 2 的 10 次测量数据，完成每次测量时工件 2 的倾斜角度，标注出工件 2 轮廓线的各项参数值并画出工件 2 的完美轮廓线。

问题 4: 利用附件 3 和附件 4 的数据修改问题 3 的结论，并对工件 2 的完整轮廓线进一步修正。

三、问题分析

1.对于问题 1 分析:

本题要求标注出工件 1 在水平状态下的测量数据的轮廓线的各项参数值,这类问题属于数据拟合问题,本题的解题思路,如下图(图 1):

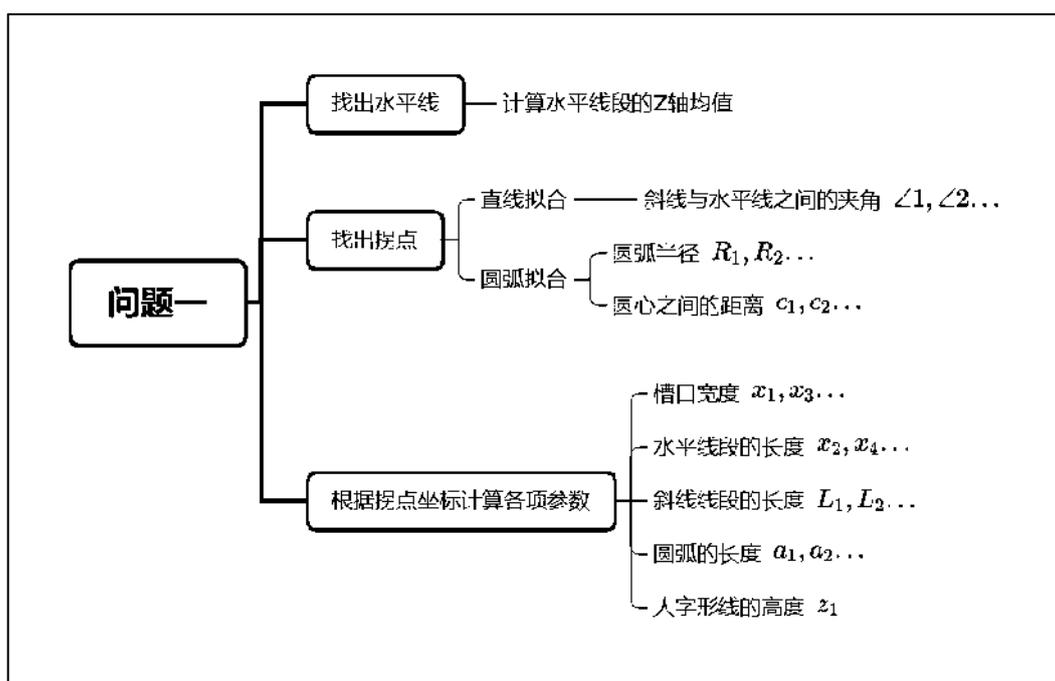


图 1 问题 1 的解题思路

首先，先找出水平线计算出水平线段的 Z 轴均值，对斜线进行拟合，并求出斜线与水平线段之间的夹角，对圆弧进行拟合，并求出圆弧半径与圆心之间的距离。然后计算出各线段的交点即拐点，再用拐点坐标计算出各项参数（槽口宽度，水平线段的长度，斜线线段的长度，圆弧的长度，人字形线的高度）。

2.对于问题 2 分析:

题目要求计算工件 1 测量时的倾斜角度，并作水平校正。在数据校正后，比较两种测量状态下工件 1 各项参数计算值之间的差异。属于数据校正问题，解决此类问题我们主要使用三角函数和线性变换来解决。

首先将附件 1 中 down 表的部分位移线数据进行拟合，得到位移线方程和斜率，使用反三

角函数计算倾斜角度，建立笛卡尔坐标系，通过旋转变换和平移变换校正数据，并绘制校正后的工件 1 的轮廓图。再使用校正后的数据计算各项参数值并与水平状态测量下的参数值作比较。

3.对于问题 3 分析:

题目要求对附件 2 中对工件 2 的 10 次测量数据进行各参数和倾斜角度的计算处理，并画出完整轮廓线。基于问题 1 和问题 2 的求解方法计算出工件 2 每次测量的倾斜角度。用 10 次数据的拟合结果绘制成一个图形后，确定计算线段类型后进行计算并标注。

4.对于问题 4 分析:

题目要求对附件 3,4 所提供的工件 2 圆和角的 9 次局部测量数据进行修正。对附件 3, 4 所

提供的数据进行绘制，通过对绘制后的图像进行旋转或平移的图形进行拟合得到工件 2 的完整轮廓线。

四、模型的建立与求解

1.问题 1 的求解

1.1 数据处理

如图 2 所示，槽口宽度（如 x_1, x_3 等）、圆弧半径（如 R_1, R_2 等）、圆心之间的距离（如 c_1, c_2 等）、圆弧的长度、水平线段的长度（如 x_2, x_4 等）、斜线线段的长度、斜线与水平线之间的夹角（如 $\angle 1, \angle 2$ 等）和人字形线的高度（ z_1 ）。

我们用绿色标记了斜线（如 $L_1, L_2, L_3 \dots$ ），用紫色标记了弧长（如 $a_1, a_2, a_3 \dots$ ），并用红色补充标记了 x_{14} 和 x_{15} 两个槽口宽度。（CAD 标注图见支撑材料）

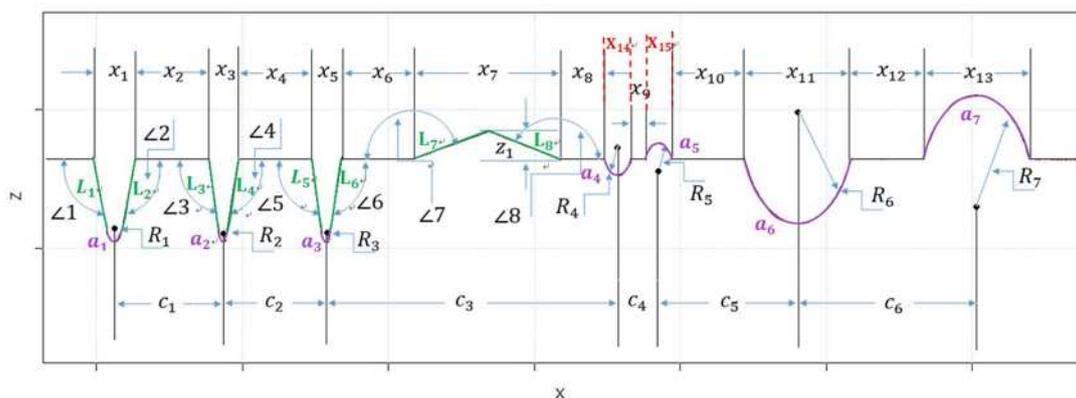


图 2 工件 1 的水平状态下测量的轮廓线

1.2 拟合效果

根据题目给出的附件 1 中的 level 表（工件 1 在水平状态下的测量数据），在 Matlab 中画出工件 1 在水平状态下测量的轮廓线的拟合效果。

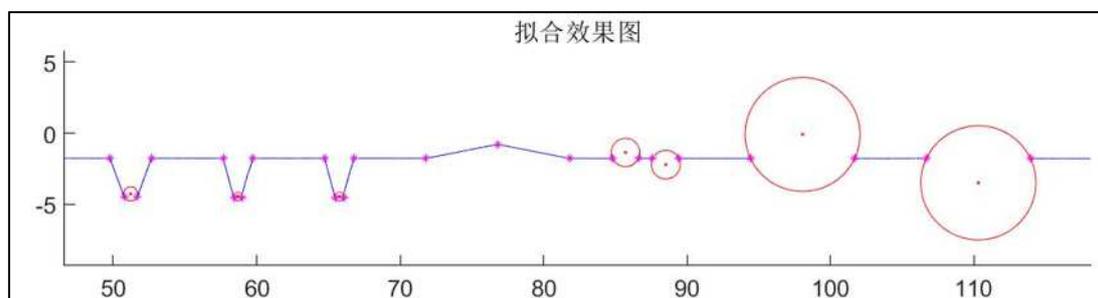


图 3 轮廓线拟合效果图

如图所示，“*”为各线段之间的交点，称为拐点。基于上图（图 3）的拐点对各项参数进行标记

2.问题 2 的求解

2.1 求出倾斜角度数

根据附件 1 的 level 表和 down 表的数据绘制并观察水平测量和倾斜测量的轮廓图，由图可以看出倾斜测量的轮廓线是向顺时针方向倾斜的，找出轮廓线的位移线区间进行线性拟合，拟合效果如

下图:

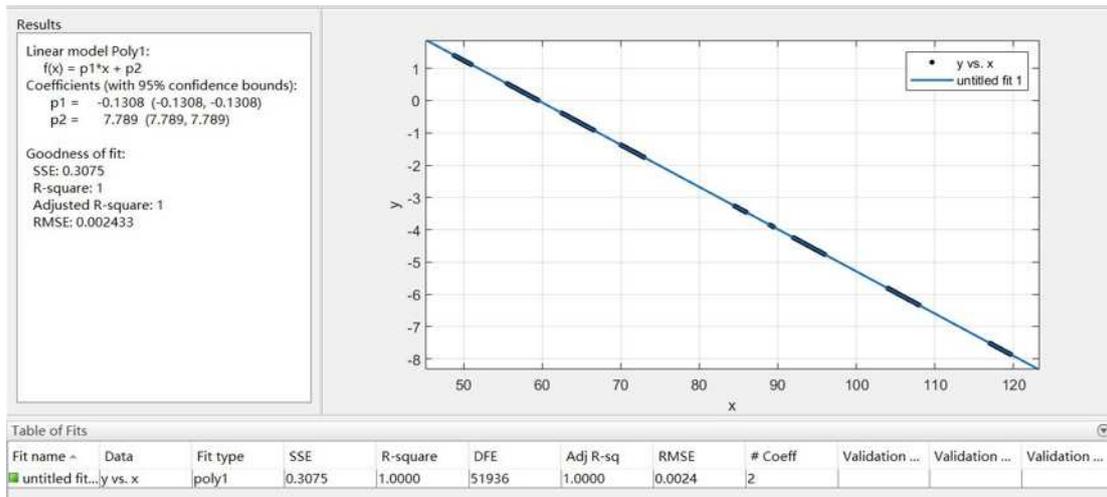


图 4 轮廓线的位移区间拟合结果

从图 4 中可以看出拟合效果很好,除了第 2 个和第 3 个槽口的轮廓线差异较大之外,其他部分都和基本吻合。

2.2 工件 1 在倾斜状态下测量的轮廓线各项参数值

使用校正后的数据,按问题 1 的求解思路,计算出工件 1 在倾斜状态下测量的轮廓线各项参数值。槽口的宽度比较数据中观察得出 x_7 与 x_5 的倾斜状态与水平状态的差异较大,差异值分别为 0.030110308 和 0.029425568。水平线段的长度比较数据中可以看出 x_4 和 x_2 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 0.023927948 和 0.020907005。从圆弧的半径比较数据中可以看出 R_7 和 R_3 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 0.011630694 和 0.010069772。从圆心之间的距离比较数据中可以看出 C_2 和 C_3 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 0.012375835 和 0.008909167。从圆弧的长度比较数据中可以看出 a_3 和 a_1 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 0.028609504 和 0.014865725。从斜线线段的长度比较数据中可以看出 L_7 和 L_6 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 0.037343503 和 0.023565784。从斜线与水平线

之间的夹角度数比较数据中可以看出 $\angle 4$ 和 $\angle 6$ 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异较大。差异值分别为 1.366485753 和 1.098404222。从人字形线的高度的比较数据中可以知道 Z_1 倾斜状态的轮廓线与水平状态下的差异值为 0.000466532。

3.问题 3 的求解

3.1 每次测量时工件 2 的倾斜角度

利用附件 2 数据绘制出工件 2 的 10 次倾斜测量轮廓图,先将附件 2 的 10 组数据通过 matlab 的 plot 函数绘制出工件 2 的轮廓图,从图中可以发现:

- 第 1 次测量,第 2 次测量的数据基本重叠
- 第 3 次测量,第 4 次测量的数据基本重叠
- 第 5 次测量,第 6 次测量的数据基本重叠
- 第 7 次测量,第 8 次测量的数据基本重叠
- 第 9 次测量,第 10 次测量的数据基本重叠

所以图只能看到 5 条线段的显示,其次分别找出各段位移线的区间,再运用 matlab 的 polyfit 函数拟合出每次测量工件 2 的位移线方程式 ($y = kx + b$),最后运用反正切函数求出每次测量工件 2 的倾斜角度。由计算结果可以看出 deg_{10} 的倾斜角度最大, deg_1 的倾斜角度最小。对图中的 10 次倾斜测量轮廓图进行旋转和平移得出的结果,如下图(图 5):

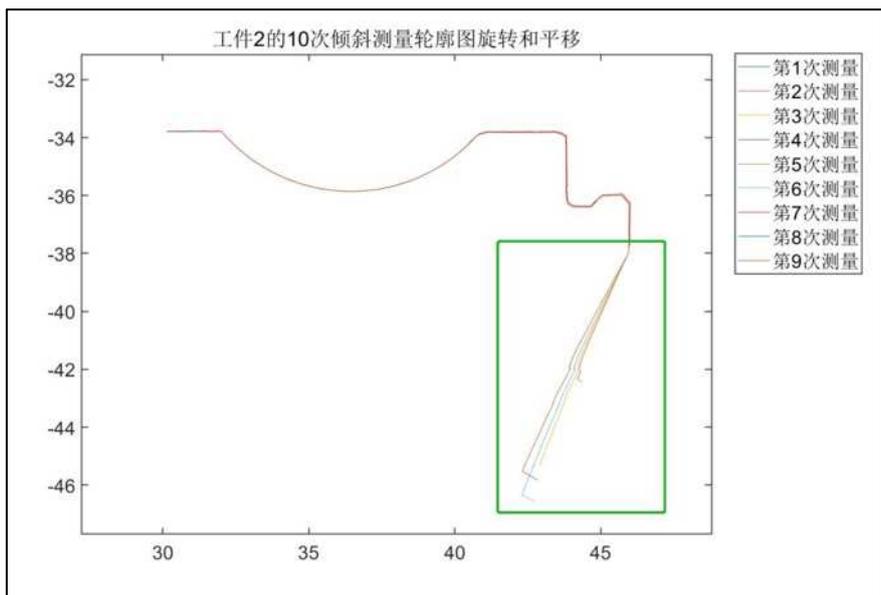


图 5 工件 2 的 10 次倾斜测量轮廓图（旋转和平移）

由于轮廓仪的探针只能沿 X 轴方向移动，上图（图 5）的图像所框选的区域（绿色）X 值呈递减趋势，所以对此区域数据进行剔除处理。

3.2 画出工件 2 的完整轮廓线

通过拟合可以找出轮廓线的拐点，根据拐点坐标计算出问题所求的数据，与题 1 的解题思路一致。基于图的拟合效果图绘制工件 2 的完整轮廓线，标注出工件 2 轮廓线的各项参数值

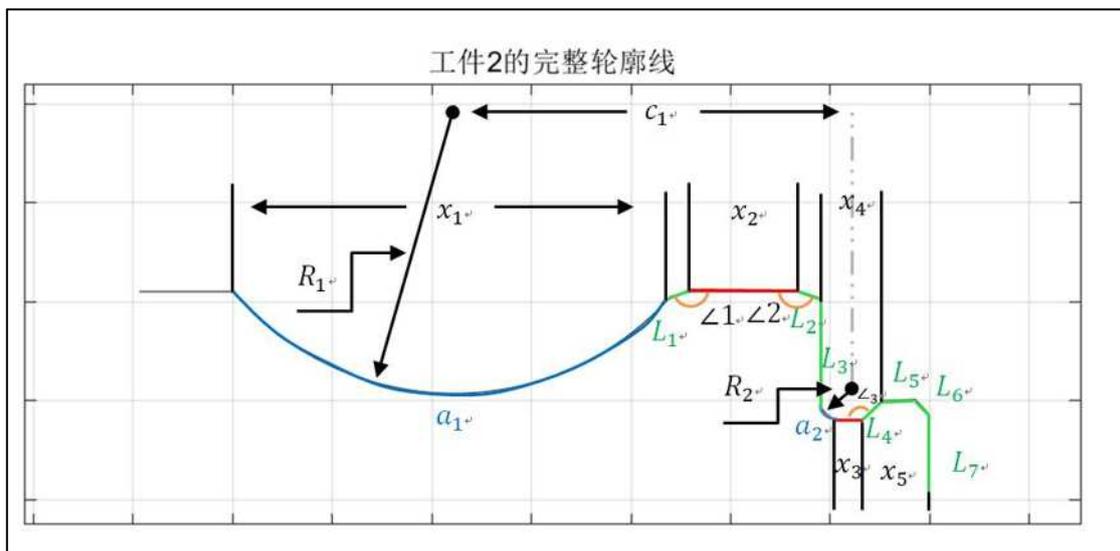


图 6 工件 2 的完整轮廓线（标记后）

表 6 为工件 2 轮廓线的各项参数值，其中 x_1, x_4, x_5 为槽口， x_2, x_3 为水平线段，其余参数名字所代表的意义与题 1 一致

4. 问题 4 的求解

4.1 绘制圆和角的 9 次局部测量数据

根据附件 3.4 的数据，绘制图像，从图中可以发现：

- 第 1 次测量，第 2 次测量，第 3 次测量的数据基本重叠
- 第 4 次测量，第 5 次测量，第 6 次测量的数据基本重叠
- 第 7 次测量，第 8 次测量，第 9 次测量的数据基本重叠

所以图只能看到 3 条线段的显示

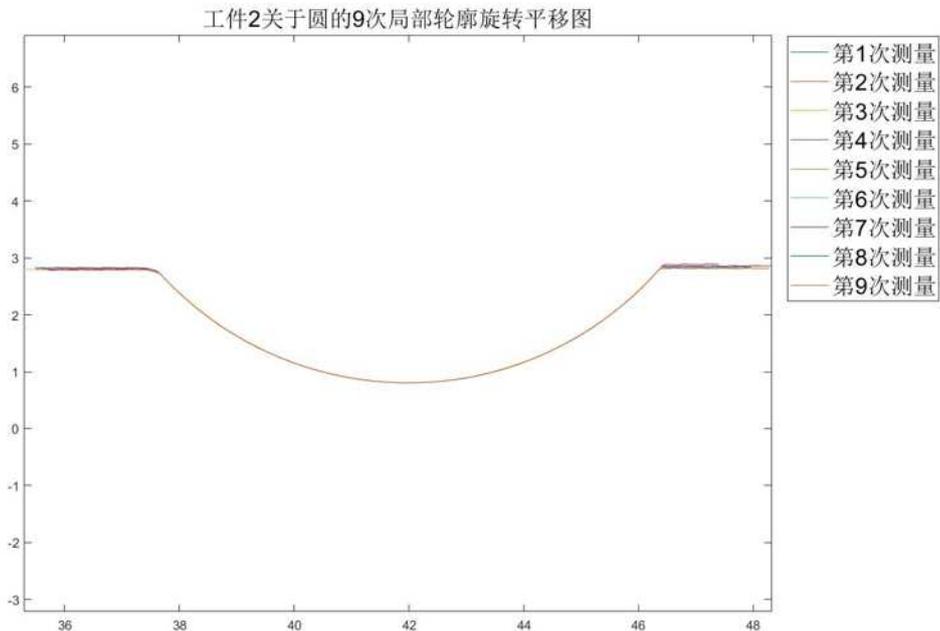


图 7 工件 2 关于圆的 9 次局部轮廓旋转平移

基于附件 3 的数据对圆的 9 次局部轮廓数据进行旋转平移后的效果如图 7，将九次数据的测量进行拟合

数学软件，较好解决了问题，得到了较好的结果。

五、模型的评价

最小二乘法曲线拟合：

优点：通过最小二乘法转换为线性方程组，继而通过矩阵操作求解，求解的过程很方便。利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据，会使得这些求得到优化或相对理想的参数值数据与实际数据之间误差的平方和为最小。

本模型基于附件 1_工件 1 的测量数据、附件 2_工件 2 的整体测量数据、附件 3_工件 2 的局部测量数据（圆）、附件 4_工件 2 的局部测量数据（角）中的所有数据建立的，并且通过不断的分析检验和完善改进使得模型具有较高的准确性，同时也确保了模型结构的严谨性。

数据处理及模型求解时充分运用了 Matlab

参考文献：

[1]李斐君. 面向边缘计算的传感数据异常检测与修正算法[D].华中科技大学,2019.

[2]王绍臣. 基于点云重建技术的工件曲面轮廓度测量方法研究[D].山东大学,2020.

基金项目：广东省教育厅科研项目-非马氏细胞细胞内部随机过程的建模与分析（项目编号：2020KTSCX238）；广东省高等职业教育教学改革研究与实践项目人工智能技术应用专业“产教融合、精准育人”人才培养体系的构建与实践（项目编号：GDJG2021155）；广东省智慧职教工程技术研究中心（项目编号：2021A118）。