

*For citation:* Ren Zhenghui. Design of a machine vision-based measurement system for automotive seat slide rail end face dimensions // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/UTMKQB>

UDK 303.447.352.4

## DESIGN OF A MACHINE VISION-BASED MEASUREMENT SYSTEM FOR AUTOMOTIVE SEAT SLIDE RAIL END FACE DIMENSIONS

Ren Zhenghui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hubei key Laboratory of Digital Textile Equipment, School of Mechanical Engineering and Automation,  
Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China  
E-mail: 19986541758@163.com

**Abstract.** Automotive seat slides are subjected to complex loads in vehicle use, and the dimensions need to be strictly measured at the factory. In this paper, we design a machine vision-based automotive seat rail end surface size inspection system, which can automatically and non-contact measurement of the rail end surface size. The image is collected by building a hardware platform, and after gray scale conversion, filtering, sharpening and emphasize algorithm enhancement, the edge to be measured is extracted by Canny algorithm, and then the arc is obtained by least squares fitting and the radius is measured. Halcon United VS software was used to design the human-computer interaction interface to realize one-button measurement. Experiments show that the running speed of a single picture is stable at 3s, the maximum measurement error is 0.02mm and the minimum is 0.01mm, the maximum repeatability is 0.04mm and the minimum is 0.03mm, which realizes accurate and efficient non-contact measurement, meets the measurement demand, and provides a new dimension detection method for the automobile manufacturing industry.

**Keywords:** Machine vision; Slide end face; Circular dimension measurement; Canny operator; Least squares method

## 基于机器视觉的汽车座椅滑轨端面尺寸测量系统设计

任正辉<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 武汉纺织大学, 机械工程与自动化学院, 武汉, 430073  
E-mail: 19986541758@163.com

**摘要:** 汽车座椅滑轨在车辆使用中承受复杂载荷, 出厂时需严格测量尺寸. 本文设计了基于机器视觉的汽车座椅滑轨端面尺寸检测系统, 可自动, 非接触测量滑轨端面尺寸. 通过搭建硬件平台采集图像, 经灰度转换, 滤波, 锐化及 **emphasize** 算子增强后, 用 **Canny** 算子提取待测边缘, 再以最小二乘法拟合得到圆弧并测半径. 利用 **Halcon** 联合 **VS** 软件设计人机交互界面, 实现一键测量. 实验显示, 单张图片运行速度稳定在 3s, 最大测量误差 0.02mm, 最小 0.01mm, 最大重复检测精度 0.04mm, 最小 0.03mm, 实现了准确, 高效的非接触测量, 满足测量需求, 为汽车制造业提供了新的尺寸检测方法.

**关键词:** 机器视觉; 滑轨端面; 圆弧尺寸测量; **Canny** 算子; 最小二乘法

## 0 引言

在工业生产中, 机器部件尺寸精度至关重要, 传统人工测量受多种因素影响, 精度不稳定, 误差大, 成本高且效率低, 而轮廓仪等测量工具虽精度高, 但操作复杂, 设备成本高且难以在线测量. 近年来, 机器视觉技术因准确, 高效, 非接

触等特性在各领域广泛应用. 鉴于此, 本课题运用机器视觉技术研究汽车座椅滑轨端面尺寸测量, 其目的是确保座椅滑轨关键部分尺寸和形状符合设计标准, 以实现精准质量控制.

## 1 系统总体方案设计及硬件搭建

### 1.1 系统总体方案设计

本设计整合相机光源, 图像采集及处理等环节, 借人机交互界面实现一键测量. 先进行系统初始化, 确保各部件状态正确, 搭建稳定运行环境. 随后, 相机拍照采集目标物体图像, 经图像处理技术预处理, 去除噪声, 提升图像质量. 接着选取兴趣区域, 运用边缘检测算法提取圆弧边缘信息, 为后续计算和拟合做准备. 之后, 采用最小二乘法拟合圆弧并算出尺寸参数. 完成操作后, 显示并验证结果, 对比实际与测量尺寸判断精度是否达标. 同时收集多组实验数据, 用于分析评估, 优化技术路线, 提升系统性能.

滑轨端面检测流程如图1 所示:

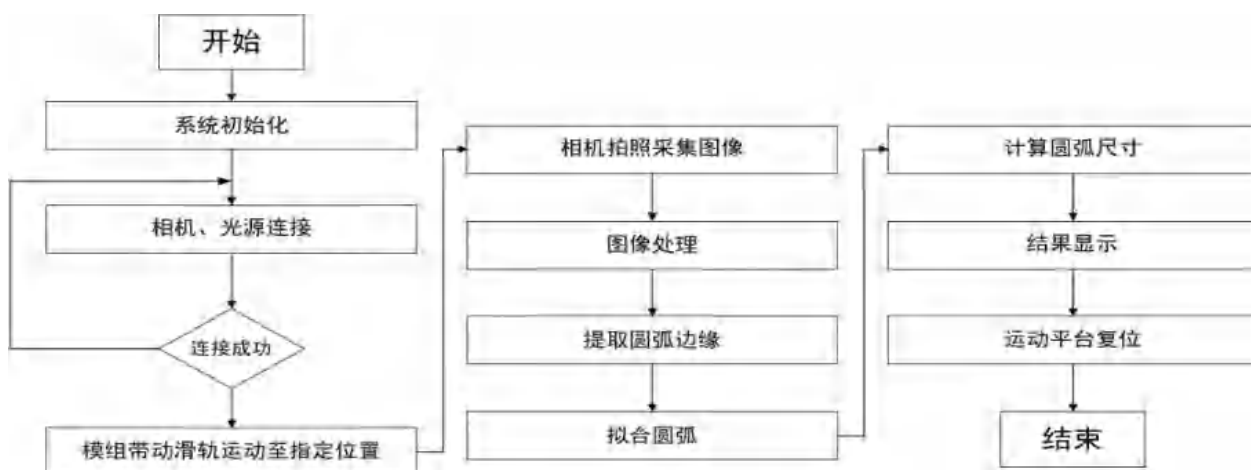


图1 滑轨端面检测流程图

Figure1. Flow chart of slide rail end face inspection

### 1.2 硬件搭建

当按下运动控制器 [1] 上的开始按钮后, 滑轨向左运动. 直线模组运行至光电开关所处位置时, 运动平台随即停止, 与此同时相机开启, 对滑轨端面实施拍摄操作. 实验平台结构详见图2, 通过该测量系统所采集到的滑轨端面原始图像可参考图3.



图2 实验平台  
Figure2. Experimental platform

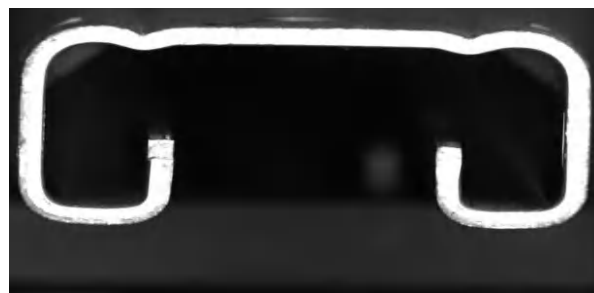


图3 系统采集滑轨端面  
Figure3. System acquisition of slide end face

## 2 图像预处理

本实验所选硬件高分辨率的黑白相机和远心镜头，采集的图片本身为黑白图片，且图片畸变较小，图片灰度信息准确，但由于光源的强度问题，使滑轨端面圆弧处的干扰信息较多。本实验多次运用灰度变换，均值滤波以及图片增强的方法去除圆弧的干扰信息，达到了使圆弧边缘更加清晰的目的。处理流程如图4所示。

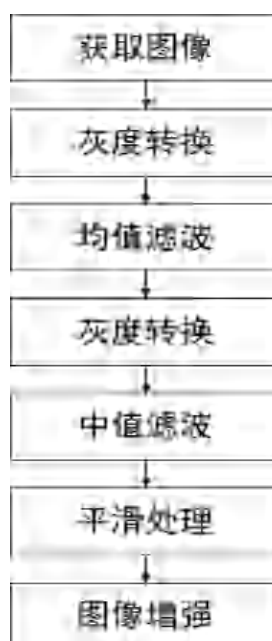


图4 图片预处理流程  
Figure 4. Image preprocessing flow

## 3 圆弧测量方法

### 3.1 兴趣区域的选取

测量时，图片中常存在非待测区域，增加测量工作量，可设兴趣区域 (ROI) 限定图像显示。ROI 有诸多作用：可减少干扰，排除不相关部分，提升算法鲁棒性 [2]；可作为形状模板，用于模板匹配搜索；还能自定义处理区域，形状多样，如矩形，圆形等，可按需灵活设定。在 Halcon 中，ROI 可通过手动选择，图像处理算法自动生成等方式设定，手动选择示例见图5。

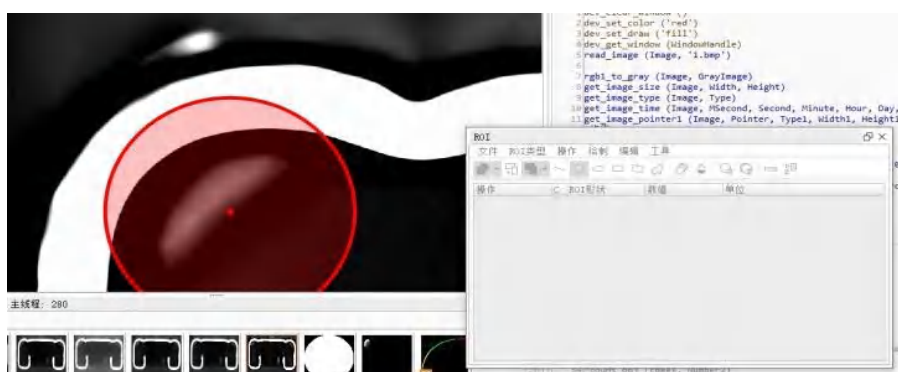


图5 手动选取 ROI  
Figure 5. Manually selecting ROIs

在确定 ROI 区域后可使用 `reduce_domain` 和 `crop_domain` 函数对选定的区域进行缩减和裁剪, 使兴趣区域单独显示, 如图6, 设定好的兴趣区域更方便图像处理.



图6 选定兴趣区域并相减  
Figure 6. Selected regions of interest and subtracted

### 3.2 边缘提取

边缘提取在图像处理领域占据关键地位. 其核心聚焦于图像里灰度产生显著变化之处, 也就是不同灰度区域间的分界线.

Halcon 的边缘提取过程主要包括以下几个步骤:

1. 图像滤波: 对输入图像使用边缘滤波器是采集后的一个关键步骤. Halcon 提供了多种边缘滤波器, 如 Canny, Sobel 等. 这些滤波器能够检测出图像中的边缘信息, 并生成边缘振幅和方向图像.
2. 提取边缘: 在得到边缘振幅 [3] 和方向图像后, 需要从中提取出符合条件的边缘. 通过设定一个阈值来实现, 只有当边缘振幅超过这个阈值时, 才被认为是有效的边缘.
3. 边缘处理: 提取出的边缘可能需要进行一些后处理操作, 如细化, 生成轮廓, 合并非连续的边缘, 分离背景等. 这些操作有助于提高边缘提取的准确性和可靠性.
4. 最后, 将提取出的边缘以图像的形式显示出来, 方便进行查看和分析. 圆弧边缘提取的结果如图7 所示.



图7 边缘提取效果  
Figure7. Edge extraction effect

### 3.3 圆弧的拟合

在分割后的轮廓中, 选择那些最接近原始轮廓的圆弧段. 这些圆弧段的起点和终点应尽可能地靠近原始轮廓, 并通过 `union` 算子将小段的边缘进行连接, 尽可能将边缘的长度拉长, 然后选择合适的一条边进行圆弧拟合, 如图8 所示.

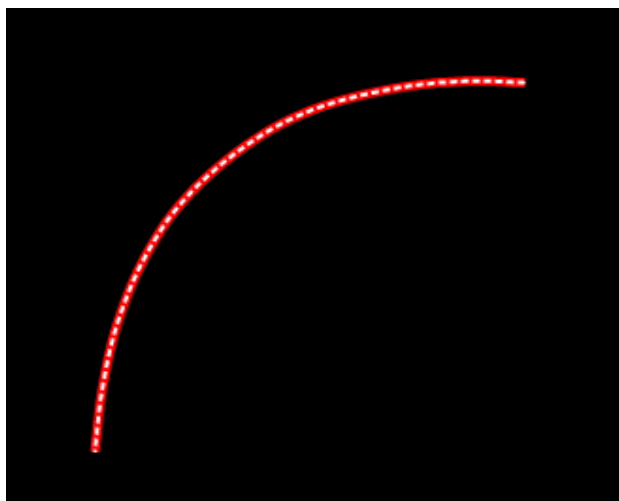


图8 选取出的边缘点  
Figure8. Selected edge points

本课题借助 Halcon 里的最小二乘法算子, 例如 `fit_circle_contour_xld`, 针对选定的圆弧段开展拟合操作. 具体来说, 是引入代数拟合函数 `algebraic` 的最小二乘法, 以此完成点的搜寻与拟合过程. 运用 `algebraic` 算法, 能够算出边缘点的代数距离, 从而排除离群点对测量结果产生的干扰. 之后, 将边缘点位置信息作为圆弧拟合的数据, 采用最小二乘法来拟合圆, 具体过程如图9 所示.

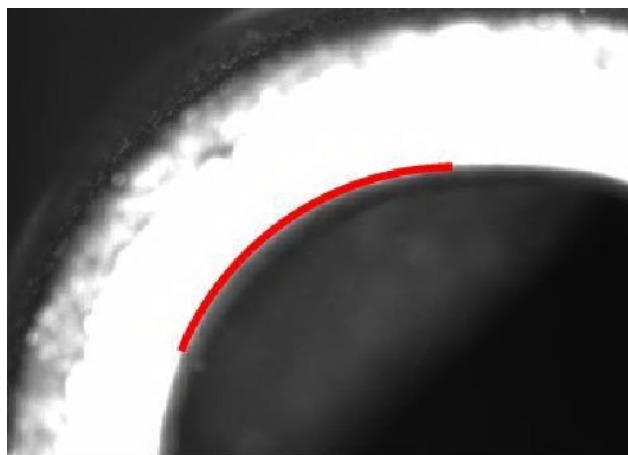


图9 最小二乘法拟合圆弧  
Figure 9. Least squares fitting of circular arcs

#### 4 测量结果分析

在机器视觉与测量技术里, 相机标定是精准测量的前提. 本系统运用像素测量与拟合方法, 要得出拟合圆真实半径, 就得把像素单位换算成毫米单位. 这需通过相机标定, 构建像素与世界坐标的对应关系, 实现精确的距离换算. 经标定计算, 得到  $(a/b)=0.0135\text{mm}$ , 即 1 像素对应的实际距离. 依据像素点数量和物体实际尺寸的线性关系 (实际尺寸 = 像素点个数  $\times (a/b)$ ), 就能确定拟合圆的实际半径, 为技术应用提供有力数据. 从表 1-2 测量数据可知, 同一光照强度下, 系统测量稳定, 最大重复检测精度  $0.04\text{mm}$ , 最小  $0.03\text{mm}$ ; 光源强度变化时, 误差明显增大. 因此, 实际操作要固定适宜光源强度, 减少干扰. 从表3 可见, 测量系统最大误差  $0.02\text{mm}$ , 最小  $0.01\text{mm}$ , 误差均在  $0.1\text{mm}$  内, 可满足工业生产的需求.

表1 同一滑轨相同光照下重复测量结果

Table1 Repeated measurements under the same light in the same slide

| 测量位置 | 第一次测量<br>/mm | 第二次测量<br>/mm | 第三次测量<br>/mm | 第四次测量<br>/mm | 第五次测量<br>/mm | 重复精度<br>/mm |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 半径1  | 3.526        | 3.567        | 3.557        | 3.539        | 3.565        | 0.040       |
| 半径2  | 1.991        | 2.015        | 1.984        | 1.995        | 2.013        | 0.031       |
| 半径3  | 3.506        | 3.516        | 3.503        | 3.482        | 3.518        | 0.036       |
| 半径4  | 1.972        | 1.961        | 1.991        | 1.953        | 1.992        | 0.030       |

表2 同一滑轨不同光照强度下重复测量结果

Table 2 Repeated measurements of the same slide under different light intensities

| 测量位置 | 第一次测量<br>/mm | 第二次测量<br>/mm | 第三次测量<br>/mm | 第四次测量<br>/mm | 第五次测量<br>/mm | 重复精度<br>/mm |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 半径1  | 3.465        | 3.582        | 3.547        | 3.468        | 3.432        | 0.149       |
| 半径2  | 2.013        | 2.045        | 2.002        | 2.007        | 1.998        | 0.047       |
| 半径3  | 3.538        | 3.637        | 3.596        | 3.531        | 3.585        | 0.105       |
| 半径4  | 2.002        | 2.013        | 2.0          | 2.010        | 2.013        | 0.002       |

表3 测量结果与真实值对比

Table 3 Comparison of measurement results with true values

| 待测滑轨   | 半径 1  | 半径 2  | 半径 3  | 半径 4  |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 测量值/mm | 3.526 | 1.991 | 3.506 | 1.972 |
| 标准值/mm | 3.546 | 1.977 | 3.523 | 1.956 |
| 误差值/mm | 0.019 | 0.014 | 0.016 | 0.016 |

经过深入的现场调研,发现厂商在检测单个滑轨截面圆弧尺寸时,采用人工操作检具的方法,每次检测耗时高达 12 秒. 由于这种方法依赖于人员的主观判断,导致了产品尺寸的一致性存在显著差异,且检测精度相对较低. 同时这种操作方式还容易对滑轨表面造成不必要的磕碰损伤. 为了提升检测效率和准确性,引入视觉系统对滑轨截面圆弧尺寸进行检测. 这种方法大大缩短了检测时间,从设备启动到检测完成仅需 3 秒,而且实现了对滑轨截面圆弧 [4] 尺寸的无损测量. 与人工检测相比,视觉系统检测提高了检测精度,并且大幅提升了整体检测效率,为生产流程的优化和产品质量的提升提供了有力支持.

5 结束语

本文设计了一套基于机器视觉的汽车座椅滑轨端面尺寸测量系统,通过搭建光源,相机和镜头的硬件平台,结合灰度变换,均值滤波,中值滤波及图像增强算法,有效抑制工件表面反光干扰;采用 Canny 边缘检测,线段合并和最小二乘法拟合技术,精准测量圆弧尺寸. 实验表明,系统最大重复精度为 0.04mm,测量误差为 0.02mm,单次检测仅需 3 秒 (人工需 12 秒),显著提升效率与精度. 未来可通过 RANSAC 模板匹配,霍夫变换或深度学习进一步优化算法,实现更高效精准的测量.

## 参考文献

- [1] 黄涛. 基于机器视觉的产品检测技术研究 [J]. 信息记录材料, 1009-5624 (2020) 07-0087-02.
- [2] 林辉, 刘栩宇. 基于机器视觉的异形零件尺寸精密测量方法 [J/OL]. 机电工程技术. 轨道交通材料, 2023-12-14.
- [3] Hua S., Li B., Shu L., et al. Defect detection method using laser vision with model based segmentation for laser brazing welds on car body surface [J]. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2021, 178: 109370.
- [4] Li Z., Chen H., Ma X., et al. Triple pseudosiamese network with hybrid attention mechanism for welding defect detection [J]. Materials & Design, 2022, 217: 110645.

## References

- [1] Huang T. Research on product inspection technology based on machine vision [J]. Information Record Material, 1009-5624(2020)07-0087-02.
- [2] Lin Hui, Liu Xiuyu. Precision measurement method for dimensions of shaped parts based on machine vision [J/OL]. Mechatronics Engineering Technology. Railway Transportation Materials, 2023-12-14.
- [3] Hua S., Li B., Shu L., et al. Defect detection method using laser vision with model based segmentation for laser brazing welds on car body surface [J]. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2021, 178: 109370.
- [4] Li Z., Chen H., Ma X., et al. Triple pseudosiamese network with hybrid attention mechanism for welding defect detection [J]. Materials & Design, 2022, 217: 110645.