# 1.⭐误差分析(巧妙思想)-机器人激光检测手眼标定误差分析及优化

#### 收获小结：eye-to-hand（平均精度0.1495）||首先提出手眼标定三大误差来源，针对其中两种主要来源进行分析并优化。

## 1.1 硬件设备信息

|  |
| --- |
| **IRB ABB 6700工业机器人**  机器人重复定位精度为0.05mm，线性度为0.096mm。机器人重复定位精度为0.05mm表示，当机器人在同一位置执行多次任务时，它们所到达的位置的最大偏差不超过0.05mm。线性度为0.096mm表示，机器人在执行线性运动时，它们所到达的目标点与理论目标点之间的最大偏差不超过0.096mm。  **LJ-G5001 激光轮廓扫描仪（官网没有这个型号）**  **两个标准球**分别为半径15mm，圆度0.0015mm和半径19.05mm，圆度0.002mm。 |

## 1.2 误差来源分析

|  |
| --- |
| 论文将手眼标定误差总结为三个方面，第一是设备带来的误差（相机、机械臂、标定物等），这个误差是固定的，不做考虑；第二是在使用标准圆作为标定物时，对于球心拟合的误差；第三是利用手眼关系对式子进行求解时的误差。  **本文在对误差作分析时，使用实现数据并画出图标作为分析依据。** |

## 1.3 手眼关系及误差表达式

|  |
| --- |
| 大部分论文都会把手眼标定关系转换为AX=XB问题，从而去求解手眼矩阵X，但是本文使用的是B CTC OT=B ETE OT，其中B CT表示相机到基底的转换矩阵（即最终的首演矩阵）记为A，C OT表示通过拟合圆进而求出的球心坐标记为b，B ETE OT前者表示法兰盘到基底的坐标变换，后者表示标定物及球心坐标到法兰盘的坐标转换（**文中提到此项可以根据硬件设备信息求得，也就是说对于眼在手外，标定物的坐标可以作为已知条件**），两项乘机记为c，则有Abi=ci，那么误差Δ=Abi-ci。 |

## 1.4 \*球心拟合误差（需要看一下论文3中线激光结构光相机的成像原理）

|  |
| --- |
| 根据线激光结构光原理，其成像误差受到入射角的影响，文中提到拟合圆半径越小，则激光光斑区域高度差越大，误差越大（此处应该也与入射角有部分关系）。同时，拟合圆所用到圆弧部分，两端和中间点的误差也很大（使用下面将要说到的优化算法来减小误差）。  在这一部分，文中的逻辑是：首先使用最小二乘法对球心坐标进行拟合，然后利用Ab-c求出误差，分析出拟合半径越大，误差越小；然后，对拟合曲线上的点到拟合圆心的距离进行误差分析，得出曲线两端和中间段的误差较大，进而使用改进最小二乘法进行切面圆的拟合。**而在实际操作中，选择RANSAC可能效果就和改进的最小二乘法相似。但是这一部分的思想很有意思。** |

## 1.5 \*手眼矩阵计算误差及改进

|  |
| --- |
|  |

## 1.6 其他

|  |
| --- |
| 文中最后还是用不同的标准球进行验证。 |

# 2.⭐0.0815(高精度)-基于标准球的机器人手眼标定方法改进研究

#### 收获小结：终于了解了误差分析来源，验证了论文1中的优化方案，精度提高了一个数量级，最大误差仅为0.0815mm

## 2.1 设备信息

|  |
| --- |
| FANUC 机器人公司的Robot LRMate 200iD 型机器人  基恩士轮廓测量仪LJ-V7060 |

## 2.2 手眼关系及标定流程

|  |
| --- |
| 此论文中将第一次测量计算得到的球心作为标准去计算后续球心与其的误差。    **始终的ni·d表述不太正确，应该是（-a+b）·d，负方向移动a次，正方向移动b次。** |
| 此论文中直接表示对最大半径处进行扫描拟合圆可以更大程度上的减小误差。**初次投射就应该将激光线基本对准最大半径处。** |

## 2.3 其他

|  |
| --- |
| 这篇论文最亮眼的地方是最后的精度，同时基本继承了论文1中提到的误差改进方法。 |

# 3.学位论文-基于3D机器视觉的工业机器人跟踪涂胶系统\_陈琳

#### 收获小结：论文整体架构全面，项目所含技术全面。包含机器人运动学、相机成像原理等

# 4. 线激光器的手眼标定方法

## 4.1 设备信息

|  |
| --- |
| LMI Gocator2340  ABB IRB230 |

## 4.2 其他

|  |
| --- |
| 方法简单，精度还可以，手眼标定入门文章。  介绍了空间顶点和标准圆（球心作为空间定点）的标定方法。 |