**End Of Line2.0测试报告**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **Change** | **Version** | **Date** |
| 闫硕 | 初始版本 | 2.0 | 2017-03-17 |
| 闫硕/王璐遥 | 完成版本 (加入高清测试结果) | 2.0 | 2017-03-31 |

目录

[1. EOL功能定义 4](#_Toc478826266)

[1.1. EOL功能概述 4](#_Toc478826267)

[1.2. EOL检测场景 4](#_Toc478826268)

[2. EOL 测试过程定义 5](#_Toc478826269)

[2.1. 词组定义 5](#_Toc478826270)

[2.2. 模块评价指标 5](#_Toc478826271)

[2.2.1. 角点检测模块评价指标 5](#_Toc478826272)

[2.3. 拼接模块准确度评价指标 6](#_Toc478826273)

[2.4. 评估项目 6](#_Toc478826274)

[2.5. 角点检测模块测试方案 7](#_Toc478826275)

[2.5.1. 角点检测成功率测试方案 7](#_Toc478826276)

[2.5.2. 角点检测成功率的评价方法 7](#_Toc478826277)

[2.6. 优化器精度测试方案 7](#_Toc478826278)

[2.6.1. 优化器精度测试案例构成 7](#_Toc478826279)

[2.6.2. 角点检测准确度的评价方法 7](#_Toc478826280)

[3. EOL测试结果 8](#_Toc478826281)

[3.1. 标清相机测试结果 8](#_Toc478826282)

[3.1.1. 标清相机角点检测结果 8](#_Toc478826283)

[3.1.1.1. 光照变化时角点检测评估结果 8](#_Toc478826284)

[3.1.1.2. 标定板数目变化时角点检测评估结果 9](#_Toc478826285)

[3.1.1.3. 遮挡及干扰时角点检测评估结果 9](#_Toc478826286)

[3.1.1.4. 极限测试中角点检测评估结果 10](#_Toc478826287)

[3.1.2. 标清相机角点检测精度结果 11](#_Toc478826288)

[3.2. 高清相机测试结果 12](#_Toc478826289)

[3.2.1. 高清相机角点检测结果 12](#_Toc478826290)

[3.2.1.1. 光照变化时角点检测评估结果 12](#_Toc478826291)

[3.2.1.2. 标定板数目变化时角点检测评估结果 12](#_Toc478826292)

[3.2.1.3. 棋盘格旋转时角点检测评估结果 13](#_Toc478826293)

[3.2.2. 高清相机角点检测精度结果 14](#_Toc478826294)

[4. 结论 14](#_Toc478826295)

# EOL功能定义

## EOL功能概述

相机线下标定系统应能准确检测一组前、后、左、右4幅图像中标定板的角点，并根据检测结果输出相机外参，实现图像无缝拼接。

## EOL检测场景

标定现场能提供长为8.8m，宽为5.8m的标定场地用于EOL相机标定，场地无杂物且现场灯光均匀明亮。标定工位中标定板应严格按照图1.1进行布置，以确保标定结果的准确性。



图1.1 标定场地布置图

# EOL 测试过程定义

## 词组定义

：图像中检测得到的标定板内角点坐标，单位为像素。

：参考真值 (通过内外参计算后世界坐标系中的点在鱼眼图像中的坐标)。

：参考真值 (通过测量得到的角点在世界坐标系中的坐标)。

：图像中检测得到的角点经内外参计算后在世界坐标系中的坐标，单位为厘米。

: 图像中重投影误差所占权重。

: 世界坐标系中重投影误差所占权重，其中。

*Error\_Distance*: 图像中与世界坐标系中角点重投影误差的加权和，其定义为：

Error Distance Threshold:判断真值点与检测点的误差是否满足条件的阈值。

TPR：正确检测图像组个数除以全部图像组个数（以前后左右4幅图像为一图像组）

FPR：错误检测图像组个数除以全部图像组个数

OPR：遗漏检测图像组个数除以全部图像组个数

## 模块评价指标

### 角点检测模块评价指标

角点检测模块的评价指标定义如表2\_1所示，

表 2\_1 EOL角点检测模块评价指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评估对象 | 基于4幅环视鱼眼图像 |  |
| 正确检测 | 4幅鱼眼图像中，每幅图像均检测到所有棋盘格且全部正确 | *TP* |
| 错误检测 | 4幅鱼眼图像中，至少一个棋盘格检测错误 | *FP* |
| 遗漏检测 | 4幅鱼眼图像中，至少一幅图像未检测到所有棋盘格 | *OP* |
| 标定通过 | 4幅鱼眼图像平均投影误差< 2.2为成功标定 | *TC* |
| 检测正确率 | 正确检测数除以所有样本总和 |  |
| 检测错误率 | 检测错误数除以所有样本总和 |  |
| 检测遗漏率 | 遗漏检测数除以所有样本总和 |  |
| 标定通过率 | 标定成功图像组数除以所有图像组数 (4幅图像为一组) |  |

## 拼接模块准确度评价指标

本模块以上节中检测到的角点及测量得到的对应世界坐标为基准，对拼接模块的准确度进行评价。在对该准确度进行评价时，将图像坐标系中的像素单位与世界坐标系中的厘米单位归一化至相同尺度。具体指标如表2\_2所示，

表 2\_2 拼接模块准确度评价指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 评估对象 | 基于鱼眼相机仿真图像 | 定义 |
| 距离*di* | 第*i*组图像的平均对称重投影距离(前后左右四幅图像为一组，*N*为四幅图像所包含角点数目和) |  |
| 均值*d* | *M*组图像检测角点对称重投影距离均值 |  |
| *daverage* | 所有*C*组图像角点对称重投影距离均值 |  |

**\* *di*为第*i*组图像中误差距离的平均值。*d*为*M*组图像角点误差距离的平均值；*M*为当前测试环境包含标定图像的组数；*C*为所有标定通过样本包含图像的组数。**

## 评估项目

从EOL的Specification及实际应用场景出发，对如下两类项目进行评估，具体评估项目及评估指标如表2\_3所示。

表2\_3 EOL2.0评估项目总结

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **评估项目** | **评估目的** | **KPI** | **KPI指标** |
| 角点检测成功率 | 评估角点检测算法准确度 | TPR | >99% |
| 相机内外参优化精度 | 评估优化算法的准确度 | *d* | <2.2 |

## 角点检测模块测试方案

### 角点检测成功率测试方案

表2\_4 角点检测成功率测试案例构成

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 具体内容 |
| 清晰度 | 高清(1280\*720)/标清(720\*480) |
| 光照 | 正常/暗光/狭缝光/不均匀光照 |
| 左右标定板数目 | 3/4 |
| 遮挡及干扰 | 遮挡/干扰 |
| 极限测试 | 车辆前后移动/后视镜部分闭合/车辆旋转/棋盘格旋转 |

### 角点检测成功率的评价方法

评价角点检测时，对同一角度下不同灯光明亮程度、标定板状态等多种方式获得的多场景图像进行自动角点检测，其中漏检测(四幅图像中任意一幅图像包含的棋盘格未能正确检测)，误检测(四幅图像中任意一幅图像存在错检棋盘格)均视为检测不合格，而只要标定板角点通过人眼观察能正确标识出来均视为正确检测。遮挡、干扰及极限测试主要测试函数能否正确正常退出并返回相应错误码。

## 优化器精度测试方案

### 优化器精度测试案例构成

优化器精度测试方案中选取上述所有测试样本中的角点检测正确的图像组作为测试样本。

### 角点检测准确度的评价方法

使用EOL2.0对仿真图像进行角点检测，获得角点坐标，通过内外参计算后世界坐标系中的该点在鱼眼图像中的坐标；类似的通过测量获得世界坐标系中角点的坐标，通过计算得到图像中检测得到的角点经内外参计算后在世界坐标系中的坐标。 并据表2\_1所示公式计算得到第*i*组图像的平均对称重投影距离*di*及*M*组图像检测角点对称重投影距离均值*d*，并认为当*d* <2.0时检测精度较高，最后给出所有仿真图像的平均误差*daverage*。

# EOL测试结果

本测试对标清相机(分辨率为720\*480)和高清相机(分辨率为1280\*720)分别进行测试，以准确评估EOL2.0在不同清晰度相机中的准确性与鲁棒性。

## 标清相机测试结果

### 标清相机角点检测结果

#### 光照变化时角点检测评估结果

光照测试主要测试算法在不同光照条件下的鲁棒性，从而确定算法的适用范围。本报告针对正常光照、暗光、不均匀光照及狭缝光照5种情况进行测试。我们采用的测试环境为室内封闭环境，且 (1) 测试环境灯光前中后三部分可分别进行开关；(2) 车库卷帘门可自下至上开启。针对此测试环境，设计测试案例如下：

表3\_1 不同光照环境下角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **数据名 (**组名**)** | | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 正常光照 | | 40 | 40 | 0 | 0 | 40 | 100.00% | 0% | 0% | 100% |
| 暗光 | | 26 | 0 | 2 | 26 | 16 | 0% | 7.70% | 100% | 61.53% |
| 不均匀光 | 前 | 43 | 39 | 0 | 4 | 43 | 90.70% | 0% | 9.30% | 100% |
| 中 | 23 | 23 | 0 | 0 | 23 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 后 | 27 | 27 | 0 | 0 | 27 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 前中 | 24 | 24 | 0 | 0 | 24 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 后中 | 25 | 25 | 0 | 0 | 25 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 前后 | 23 | 23 | 0 | 0 | 23 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 狭缝光 | 200 mm | 53 | 0 | 0 | 53 | 53 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 500 mm | 36 | 1 | 0 | 35 | 36 | 2.78% | 0% | 97.22% | 100% |
| 1000 mm | 8 | 2 | 0 | 6 | 8 | 25% | 0% | 75% | 100% |
| 1500 mm | 32 | 22 | 0 | 10 | 32 | 68.75% | 0% | 31.25% | 100% |
| 2200 mm | 19 | 17 | 0 | 2 | 19 | 89.47% | 0% | 10.53% | 100% |

分析上表结果可知在正常光照及不均匀光照情况下，EOL2.0中的角点检测算法正检率约为(40+39+23+27+24+25+23)/( 40+43+23+27+24+25+23) = 203 / 207 ≈ 98.07%。其中存在的4幅漏检均为距后视镜较远的棋盘格漏检引起。经过试验分析，该漏检产生的原因为：当仅开启前侧灯光时，距后视镜较远的棋盘格由于光照不足而产生衍射现象，从而导致在对鱼眼图像进行形态学操作时无法正确分割引起漏检。

此外，对于光照不理想的狭缝光情形，左右距相机较远的棋盘格容易出现漏检，随着光源面积的增大，该漏检现象逐渐减少。当车库门全开时，正检测结果接近100%。

最后，当标定环境内所有灯光关闭时，肉眼亦很难判断出棋盘格在图像中的位置，算法标定通过率仅为69.23%。当每幅图像中正检棋盘格数目4，标定即可通过。

#### 标定板数目变化时角点检测评估结果

该组实验所有样本均在正常光照情况下进行，即室内门窗关闭及所有灯光均打开。该组试验意在测试出不同数目棋盘格情况下摆放位置的极限。该试验分为左右摆放3块及4块棋盘格两组并分别进行。当棋盘格数目为3时，LUC表示左相机中心棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离，LLC无意义；当棋盘格数目为4时，LUC表示左相机中心偏上棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离，LLC表示左相机中心偏下棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离。

表3\_2 不同板间距离情况下角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **左右标定板数目** | **LUC/LLC**  **(mm)** | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 3块 | 2000 | 11 | 11 | 0 | 0 | 11 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2400 | 15 | 15 | 0 | 0 | 15 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2600 | 8 | 8 | 0 | 0 | 8 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2800 | 9 | 9 | 0 | 0 | 9 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 4块 | 1400/3000 | 18 | 18 | 0 | 0 | 18 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1600/3400 | 13 | 13 | 0 | 0 | 13 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1800/3800 | 13 | 8 | 0 | 5 | 13 | 61.54% | 0% | 29.46% | 61.54% |
| 2000/4200 | 7 | 0 | 6 | 7 | 0 | 0% | 85.71% | 100% | 14.29% |
| 2200/4600 | 10 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0% | 100% | 100% | 0% |

分析上表可知，当左右侧相机棋盘格数目为3时，所有角点均正确检测。当左右侧棋盘格数目为4，且LUC1800且LLC 3800时，产生错误的原因有如下几条：

(1) 由于距镜头较远的4\*3棋盘格边界棋盘格太小，导致对其形态学操作后无法被检测为四边形，从而发生漏检，该情况可由更改棋盘格设计解决；

(2) 仅有一个中心棋盘格正确检测，导致4\*3棋盘格中某部分被误检为为2\*2棋盘格。

(3) 两个4\*3棋盘格在图像中同在左侧或右侧，导致当仅有一个4\*3正确检测时，无法判断其为哪一棋盘格，进而发生误检。

#### 遮挡及干扰时角点检测评估结果

该组试验拟对存在遮挡及干扰的情况下棋盘格角点检测的正确性进行分析，进而对标定工位的遮挡情况提出约束条件。具体测试案例如下：

表3\_3 遮挡及干扰条件下角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **数据名 (**组名**)** | | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 遮挡 | 挡中心板 | 53 | 0 | 0 | 53 | 53 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 挡公共板 | 13 | 0 | 0 | 13 | 13 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 挡任一板 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 挡半块板 | 16 | 0 | 0 | 16 | 16 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 挡格子角 | 17 | 0 | 0 | 17 | 17 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 挡所有板 | 15 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 干扰 | 人干扰 | 29 | 19 | 0 | 10 | 29 | 65.52% | 0% | 34.48% | 0% |
| 其他棋盘格干扰 | 59 | 44 | 1 | 14 | 0 | 74.58% | 1.69% | 23.73% | 0% |

由上表及检测结果可知，在不存在任一相机所有棋盘格均被遮挡的情况下，标定通过的概率为(53+13+10+16+17) / (53+13+10+16+17+29+59) = 55.33%，其中检测失败的一幅图像由干扰棋盘格距待检测棋盘格过近导致。当行人对棋盘格进行遮挡时，除行人遮挡的棋盘格外，其他棋盘格均可以正确检测。最后，当人和棋盘格干扰时，虽然除被遮挡棋盘格外均正确检测，但由于重投影时左侧平均误差约为4.5像素，大于阈值2.2像素，故标定未通过。

#### 极限测试中角点检测评估结果

该测试主要用于确定当车辆前后移动及旋转时检测算法的鲁棒性及在异常情况算法能否返回相应错误码。

表3\_4 极限测试中角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **数据名 (**组名**)** | | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 后视镜关闭 | 30度 | 11 | 0 | 0 | 11 | 1 | 0% | 0% | 100% | 9.91% |
| 45度 | 12 | 0 | 0 | 12 | 10 | 0% | 0% | 100% | 83.33% |
| 60度 | 24 | 7 | 0 | 16 | 20 | 29.17% | 0% | 70.83% | 66.67% |
| 车辆移动 | 前移100m | 11 | 2 | 0 | 9 | 6 | 18.18% | 0% | 81.82% | 54.55% |
| 前移200m | 18 | 2 | 0 | 16 | 1 | 11.11% | 0% | 89.89% | 5.56% |
| 前移300m | 8 | 1 | 0 | 7 | 8 | 12.50% | 0% | 87.50% | 100% |
| 前移400m | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 后移100m | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 33.33% | 0% | 66.67% | 0% |
| 后移200m | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 0% | 0% |
| 后移300m | 3 | 2 | 0 | 1 | 3 | 66.67% | 0% | 33.33% | 0% |
| 后移400m | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 车辆旋转 | 10度 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 15度 | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0% | 0% | 100% | 100% |
| 25度 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0% | 100% | 100% | 100% |

分析上表及角点检测结果可知，

(1) 当后视镜关闭时，其漏检主要旋转角度过大导致棋盘格无法正常检测导致。

(2) 当车辆前后移动时，漏检主要由中心棋盘格整行被保险杠遮挡引起。

(3) 车辆旋转时漏检主要由于左右侧距相机较远2\*2棋盘格漏检引起，漏检原因同表3\_1漏检原因相同。

(4) 标定不通过主要由对称重投影误差大于阈值导致。

### 标清相机角点检测精度结果

对于所有不存在误检的样本组，其角点检测的对称重投影误差如表3\_5所示，

表3\_5 角点检测精度结果示意图

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **类别** | | **GT数** | **RMSE** | **d<2.2** | **TPR** | *d*average |
| 正常光照 | | 40 | 1.96 | 40 | 100% | 1.88 pixel |
| 暗光 | | 16 | 1.56 | 16 | 100% |
| 不均匀光照 | 前 | 43 | 1.90 | 43 | 100% |
| 中 | 23 | 1.92 | 23 | 100% |
| 后 | 27 | 1.89 | 27 | 100% |
| 前中 | 24 | 1.90 | 24 | 100% |
| 中后 | 25 | 1.89 | 25 | 100% |
| 前后 | 23 | 1.90 | 23 | 100% |
| 狭缝光 | 200mm | 53 | 1.64 | 53 | 100% |
| 500mm | 36 | 1.72 | 36 | 100% |
| 1000mm | 8 | 1.83 | 8 | 100% |
| 1500mm | 32 | 1.86 | 32 | 100% |
| 2200mm | 19 | 1.94 | 19 | 100% |
| 左右3块板 | 2000mm | 11 | 2.05 | 11 | 100% |
| 2400mm | 15 | 2.09 | 15 | 100% |
| 2600mm | 8 | 2.08 | 8 | 100% |
| 2800mm | 9 | 2.00 | 9 | 100% |
| 左右4块板 | 1400/3000 | 18 | 2.36 | 18 | 100% |

对上表结果进行分析可知，标清相机EOL2.0角点检测平均加权对称重投影误差 (RMSE)为 1.88 pixel，满足KPI指标2.2 pixel。

## 高清相机测试结果

### 高清相机角点检测结果

#### 光照变化时角点检测评估结果

高清相机模式下，亦针对正常光照、暗光、不均匀光照及狭缝光照5种情况进行测试，且采用的测试环境与标清测试环境相同，均为室内封闭环境。测试狭缝光时，室内灯均未打开。针对此测试环境，设计测试案例如下：

表3\_6 不同光照环境下角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **数据名 (**组名**)** | | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 正常光照 | | 196 | 189 | 0 | 7 | 196 | 96.43% | 0% | 3.57% | 100% |
| 暗光 | | 37 | 0 | 0 | 37 | 36 | 0% | 0% | 100% | 97.30% |
| 不均匀光 | 前 | 29 | 29 | 0 | 0 | 29 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 中 | 26 | 26 | 0 | 0 | 26 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 后 | 31 | 31 | 0 | 0 | 31 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 前中 | 35 | 33 | 0 | 2 | 35 | 94.29% | 0% | 5.71% | 100% |
| 后中 | 28 | 28 | 0 | 0 | 28 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 前后 | 39 | 39 | 0 | 0 | 39 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 狭缝光 | 200 mm | 31 | 30 | 0 | 1 | 31 | 96.77% | 0% | 3.23% | 100% |
| 500 mm | 55 | 54 | 0 | 1 | 55 | 98.18% | 0% | 1.82% | 100% |
| 1000 mm | 37 | 37 | 0 | 0 | 37 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1500 mm | 36 | 36 | 0 | 0 | 36 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2200 mm | 53 | 53 | 0 | 0 | 53 | 100% | 0% | 0% | 100% |

分析上表结果可知在正常光照及不均匀光照情况下，EOL2.0中的角点检测算法正检率约为(189+29+26+31+33+28+39+30+54+37+36+53)/(196+29+26+31+35+28+39+31+55+37+36+53) = 585 / 596 ≈ 98.15%。其中存在11幅漏检的情况。经过试验分析，该漏检产生的原因可归为2类原因：

(1) 由于标定测试当天下雨，导致前后相机镜头沾水未擦拭，采集的图像有些模糊。从而导致在对黑色方格做多边形拟合时出现拟合成非四边形的情况引起漏检。

(2) 在狭缝光测试环境下，由于正对车库门的棋盘格收到反光影响，导致二值化图像时，黑色方格内部出现空洞，对鱼眼图像进行形态学操作时无法正确分割引起漏检。

#### 标定板数目变化时角点检测评估结果

该组实验所有样本均在正常光照情况下进行，即室内门窗关闭及所有灯光均打开。该组试验意在测试出不同数目棋盘格情况下摆放位置的极限。该试验分为左右摆放3块及4块棋盘格两组并分别进行。当棋盘格数目为3时，LUC表示左相机中心棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离，LLC无意义；当棋盘格数目为4时，LUC表示左相机中心偏上棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离，LLC表示左相机中心偏下棋盘格距前相机左侧棋盘格的距离.

表3\_7 不同板间距离情况下角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **左右标定板数目** | **LUC/LLC**  **(mm)** | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 3块 | 800 | 20 | 20 | 0 | 0 | 20 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1200 | 28 | 28 | 0 | 0 | 28 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1600 | 25 | 25 | 0 | 0 | 25 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2000 | 25 | 25 | 0 | 0 | 25 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2400 | 31 | 31 | 0 | 0 | 31 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 2800 | 26 | 26 | 0 | 0 | 26 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 3200 | 31 | 31 | 0 | 0 | 31 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 3600 | 38 | 38 | 0 | 0 | 38 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 4块 | 800/3600 | 51 | 51 | 0 | 0 | 51 | 100% | 0% | 0% | 100% |
| 1200/3200 | 25 | 25 | 0 | 0 | 25 | 100% | 0% | 0% | 100% |

分析上表可知，不同板间距离情况下，所有角点均正确检测，正检率100%。

#### 棋盘格旋转时角点检测评估结果

该测试主要用于确定当车辆前后移动及旋转时检测算法的鲁棒性及在异常情况算法能否返回相应错误码。

表3\_8 极限测试中角点检测测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **数据名 (**组名**)** | | **GT数** | **TP** | **FP** | **OP** | **TC** | **TPR** | **FPR** | **OPR** | **TCR** |
| 棋盘格旋转 | 顺时针20° | 48 | 48 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 0% | 0% |
| 顺时针40° | 24 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 顺时针60° | 32 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 逆时针20° | 27 | 0 | 0 | 27 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 逆时针40° | 35 | 0 | 0 | 35 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |
| 逆时针60° | 23 | 0 | 0 | 23 | 0 | 0% | 0% | 100% | 0% |

由上表及角点检测结果可知，由于旋转后角点标号错误导致检测效果不理想，但算法可正常清空内存并返回错误码退出。

### 高清相机角点检测精度结果

由于左右标定板移动时标定板的位置摆放并不够准确，故仅针对光照变化时所有标定通过的样本组进行精度统计，其角点检测的对称重投影误差如表3\_9所示，

表3\_9 角点检测精度结果示意图

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **类别** | | **GT数** | **RMSE** | **d<2** | **TPR** | *d*average |
| 正常光照 | | 199 | 1.18 | 40 | 100% | 1.18 pixel |
| 暗光 | | 37 | 1.19 | 18 | 100% |
| 不均匀光照 | 前 | 29 | 1.21 | 43 | 100% |
| 中 | 26 | 1.18 | 23 | 100% |
| 后 | 31 | 1.17 | 27 | 100% |
| 前中 | 35 | 1.18 | 24 | 100% |
| 中后 | 28 | 1.15 | 25 | 100% |
| 前后 | 29 | 1.12 | 23 | 100% |
| 狭缝光 | 200mm | 31 | 1.18 | 53 | 100% |
| 500mm | 55 | 1.19 | 36 | 100% |
| 1000mm | 37 | 1.17 | 8 | 100% |
| 1500mm | 36 | 1.19 | 32 | 100% |
| 2200mm | 53 | 1.19 | 19 | 100% |

对上表结果进行分析可知EOL2.0角点检测平均加权对称重投影误差 (RMSE)为 1.18 pixel，满足KPI指标2.2 pixel。

# 结论

**1. 光照影响。**正常光照情况下，EOL2.0高清、标清模块通过率均为100%。暗光、不均匀光照及狭缝光情况下左右相机内偶尔某块棋盘格出现漏检，但检测到的其他棋盘格可确保标定正常通过。综上所述EOL2.0模块对光照变化鲁棒。

**2. 标定板数目影响。**左右侧放置三块标定板时，正检率100%，左相机中间板到前相机左侧板距离在[1400, 3000]范围内均可正确检测。左右侧放置四块标定板时，(1) 标清情况下，绝大多数情况出现漏检现象，漏检现象的产生主要由干扰棋盘格滤除阈值设置太紧引起，后续可通过更改阈值提高4块板时通过率；(2) 高清情况下，棋盘格范围在[800, 3600]范围内时均可正确检测。

**3. 遮挡及棋盘格干扰的影响。**当遮挡及人干扰存在时，除被遮挡和干扰的棋盘格无法正常检测外，其他棋盘格均可正常检测。因此，EOL2.0对遮挡及行人干扰鲁棒。当其他棋盘格干扰存在时，若干扰棋盘格据待检测棋盘格较远，则算法可将其正确滤除；若其据待检测棋盘格较近，有时无法正确滤除，故标定时应尽量避免其他棋盘格干扰存在。

**4. 极限情况下的标定算法。**极限情况下，算法均可正常退出并返回相应错误码。

综上所述，目前EOL2.0标定算法在正常光照情况下标定通过率接近100%，标清平均标定误差在1.88像素，高清平均误差在1.18像素。高清平均投影误差反而比标清低的原因主要为高清检测到的角点更为精确及对标清图像进行形态学操作检测角点时使用非对称核导致。

由测试结果可知，基于棋盘格检测的EOL2.0角点检测算法较EOL1.0模块具有更高的稳定性。优化器模块采用对称重投影误差，即在世界坐标系及图像中分别统计投影误差并取其加权和，从而保证了棋盘格漏检发生时，标定模块的稳定性。综上所述，新设计的标定板满足标定需求，更为鲁棒。