



celepixel

DVS 标定和自检套件手册

上海芯仑光电科技有限公司

目录

1. 套件介绍.....	3
1.1. 功能介绍.....	3
1.2. 涉及的设备和工具	3
1.3. 输入参数介绍.....	4
1.4. 输出参数介绍.....	4
2. 在线内参标定工具.....	6
2.1. 标定板准备	6
2.2. 标定步骤.....	6
3. 离线内参标定工具.....	8
3.1. 标定步骤.....	8
4. 在线外参标定工具.....	9
4.1. 标定环境准备.....	9
4.2. 标定步骤.....	10
5. 离线外参标定工具.....	12
5.1. 标定步骤.....	12
6. 相机姿态记录工具.....	12
6.1. 操作步骤.....	12
7. 相机姿态检查工具(IMU).....	13
7.1. 数据准备	13
7.2. 操作步骤.....	13
8. 相机姿态检查工具(鸟瞰图).....	13
8.1. 数据准备	13
8.2. 操作步骤.....	14
附录一：常见问题解决方法	15
附录二：版本说明.....	16

1. 套件介绍

1.1. 功能介绍

本相机标定和自检套件主要包含 7 个功能，打开 calibration_tool.exe 显示功能列表，如下图所示，在输入不同的数字进入不同的工作模式。

```
Version v1.0
*****
Select tool:
1. Calibration tool: online intrinsic parameters.
2. Calibration tool: offline intrinsic parameters.
3. Calibration tool: online extrinsic parameters.
4. Calibration tool: offline extrinsic parameters.
5. Self-checking tool: IMU data recording.
6. Self-checking tool: IMU data verification.
7. Self-checking tool: Bird's eye image online transform.
```

更详细的说明见如下表格：

	类别	工具	功能描述
1	标定工具	在线内参标定工具	在线/离线标定 DVS 的内参，获得焦距、主点坐标和畸变参数。
2		离线内参标定工具	
3		在线外参标定工具	在线/离线标定安装在车辆上的 DVS，获得逆透视变换矩阵。
4		离线外参标定工具	
5	自检工具	相机姿态记录工具	记录外参标定后相机姿态信息
6		相机姿态检验工具(IMU)	检查相机姿态信息，以确定外参标定参数是否正确。
7		相机姿态检验工具(鸟瞰图)	方法 1. 判断 IMU 数据是否一致，适合于快速检查。 方法 2. 利用鸟瞰图检查，结果更直观。 建议两个方法都验证一遍。

1.2. 涉及的设备和工具

序号	工具	涉及的设备和工具
1	在线内参标定工具	棋盘标定板，尺子
2	离线内参标定工具	棋盘标定板的图像若干张（下文有说明），标定板参数已知
3	在线外参标定工具	卷尺或激光测距仪，水平路面(有平行直线)，明显标记物 5 个
4	离线外参标定工具	1 张含 5 个明显标记物的图像，车宽和标记物距离数据已知
5	相机姿态记录工具	(Sensor 固件已经更新才能获取 IMU 数据。默认 Sensor 出厂时已经更新。)
6	相机姿态检验工具(IMU)	
7	相机姿态检验工具(鸟瞰图)	水平路面，而且要有平行直线（或平行标记物）

1.3. 输入参数介绍

标定工具所需要的配置参数可以在“config/camera_calib_config.ini”文件中输入，ini 文件内的具体参数如下。[camera_config]代表相机的分辨率参数。[config_intrinsic_calib] 代表内参标定需要的棋盘格参数和图片数量，详细说明见下表以及图 2-1。[config_extrinsic_calib] 代表外参标定需要的测试环境参数，[Offline_Ext_Calib_Info]表示离线外参标定需要输入的标志物坐标信息。

主要的参数见下表以及图 4-1，未列出的参数不影响标定过程。

序号	类型	参数名	说明
1	[camera_config]	ROWS_CELEX5	相机图像的行像素分辨率
2		COLS_CELEX5	相机图像的列像素分辨率
3	[config_intrinsic_calib]	corner_col	棋盘格行方向角点数量
4		corner_row	棋盘格列方向角点数量
5		board_length	棋盘格的方格边长(mm) ，精确到 0.1mm
6		image_count	内参标定需要的图片数量
7	[config_extrinsic_calib]	posi_num	外参标定需要的测量点数，默认 4
8		width_vehicle	车辆宽度(m)，精确到 0.01m
9		lon_dist_near	近的测量点到前轮轴心的距离(m) ，精确到 0.01m
10		lon_dist_far	远的测量点到前轮轴心的距离(m) ，精确到 0.01m
11	[Offline_Ext_Calib_Info]	img_point_1_x, img_point_1_y	图片上第 1 个标定标志物横/纵坐标
12		img_point_2_x, img_point_2_y	图片上第 2 个标定标志物横/纵坐标
13		img_point_3_x, img_point_3_y	图片上第 3 个标定标志物横/纵坐标
14		img_point_4_x, img_point_4_y	图片上第 4 个标定标志物横/纵坐标
15		test_posi_u, test_posi_v	图片上测试标志物的横/纵坐标

1.4. 输出参数介绍

内参/外参标定工具生成标定文件“config/CameraCalib.ini”，ini 文件内的具体参数如下。
[Intrinsic_Parameters] 代表内参。[Matrix_Image2Vehicle]代表逆透视变换矩阵，即外参。
[IMU_Information]代表外参对应的 IMU 数据。

序号	类型	参数名	说明
----	----	-----	----

1	[Intrinsic_Parameters]	kFocal_length	平均焦距 =(行方向焦距+列方向焦距) / 2
2		kFocal_length_x	行方向焦距
3		kFocal_length_y	列方向焦距
4		kPrincipal_x	主点行方向坐标
5		kPrincipal_y	主点列方向坐标
6		dist_coeff_k1	2 阶径向畸变参数
7		dist_coeff_k2	4 阶径向畸变参数
8		dist_coeff_p1	切向畸变参数 p1
9		dist_coeff_p2	切向畸变参数 p2
10		dist_coeff_k3	6 阶径向畸变参数
11		date	内参标定时的时间，格式为： year-month-day-hour-minute-second
12		sensor_id	标定传感器编号（用户自定义，并手动填入）
13	[Matrix_Image2Vehicle]	proj_mat_00-proj_mat_22	3×3 逆透视变换矩阵的 9 个元素， proj_mat_22 默认=1
14		date	外参标定时的时间，格式同 [Intrinsic_Parameters]中的 date
15	[IMU_Information]	acc_x_mean_raw	IMU 的加速度计 X 轴原始数值 (m/s ²)
16		acc_y_mean_raw	加速度计 Y 轴原始数值(m/s ²)
17		acc_z_mean_raw	加速度计 Z 轴原始数值(m/s ²)
18		date	IMU 标定时的时间， 格式同 [Intrinsic_Parameters] 中的 date

注：每次新生成标定参数会添加到“config/CameraCalib.ini”文件中，不会覆盖原来的数据。因此如果用户需要使用标定参数文件，则每种类型参数只能保留一套，重复的参数需要手动删除。

2. 在线内参标定工具

2.1. 标定板准备

标定板的大小已经根据相机焦距改变。标定前确保焦距已经根据应用需求调节好。标定时，标定板既要保证在整个画面占比达到甚至超过 1/2，棋盘格的角点和边缘轮廓清晰。

作为参考，文档提供棋盘格图像文件（Calibration checkerboard3.pdf）。用户可以把图像打印在硬板（不可形变，如厚玻璃板），打印分辨率 300dpi，即可制作得到标定板。也可打印在纸上，然后把纸粘在墙平面上。

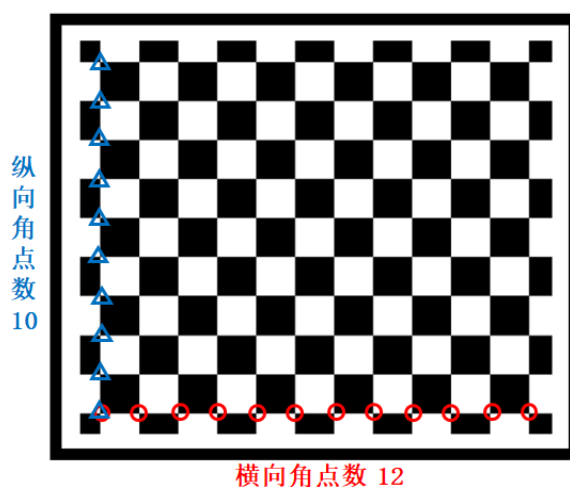


图 2-1 标定棋盘格

棋盘格参数需要预先写入配置文件“config/camera_calib_config.ini”。

如用户需要自定义的标定板，图案样式和图 2-1 的相同（黑白方形格交替。最外面一圈边框有无不影响结果），并修改配置文件中的 corner_col、corner_row 和 board_length 三个参数。

2.2. 标定步骤

- 1) 使用 GUI 生成 FPN，放在 config 文件夹下，命名“FPN.txt”， CeleX5_MP 参考 <https://github.com/CelePixel/CeleX5-MIPI>， CeleX5_Z 参考 <https://github.com/CelePixel/CeleX5-Zynq>。
- 2) （CeleX5_MP 忽略该步骤）对于 CeleX5_Z，需要在 config/zynq_conf.ini 文件中设置 IP 和端口号。其他关于 CeleX5_Z 器件连接和使用的问题，参考 <https://github.com/CelePixel/CeleX5-Zynq>。
- 3) 连接相机，打开 calibration_tool.exe，选择 1 回车，启动在线内参标定程序，稍等片刻，出现图像窗口。若出现黑/灰屏窗口，对于 CeleX5_MP，可以拔掉 USB3.0

线，重复步骤 3)，对于 CeleX5_Z，则需要检查 IP 和 SD 卡是否正确配置好。

- 4) 若 FPN 正确，则按键盘“l”（小写 L）和“d”可以调节亮度，调节到图 2-2-1 所示亮度。按键盘方向键可以翻转图像，左右键可以左右翻转图像，上下键可以上下翻转图像。调节镜头焦距，使得画面最清晰。

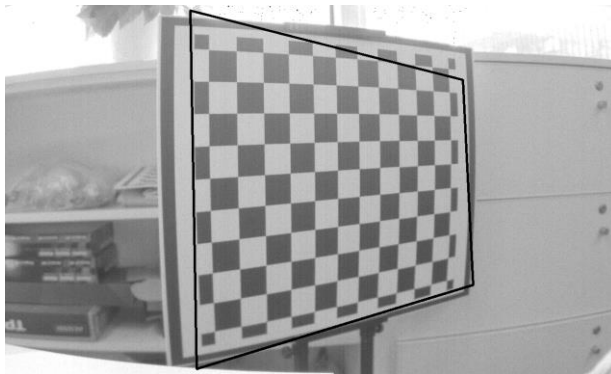


图 2-2-1 合适亮度以及辅助标定框

- 5) 此时图像中显示黑色框，用于辅助相机位置和角度调整，如图 2-2-1 所示。调整相机位置和角度，使得标定板外边框部分基本落在黑框内（允许存在一定偏差，但是方格必须都显示在图像中）。该辅助框和图 2-2-2 所示图片一一对应，每张小图左上角红色数字代表了出现顺序。总共需要保存 20 张图片，包含了相机在标定板的不同相对位置，以及标定板呈现在图像中的不同位置，以提高标定算法的准确性。左视图和右视图摆放位置如图 2-2-3 所示。仰视图和俯视图同理，相机分别在标定板的下面和上面。

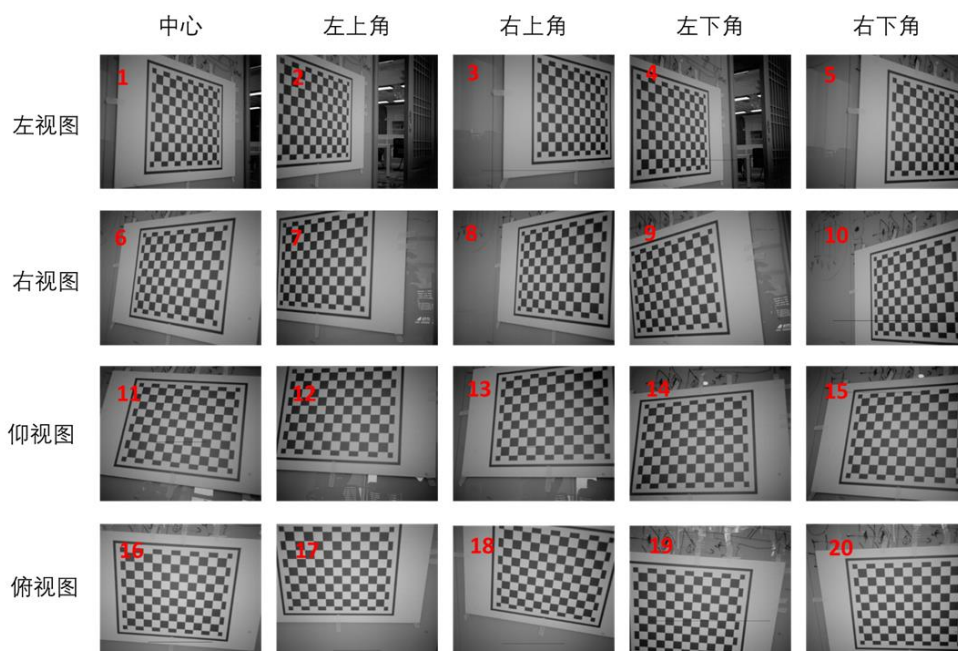


图 2-2-2 内参标定需要的 20 张图片示意图

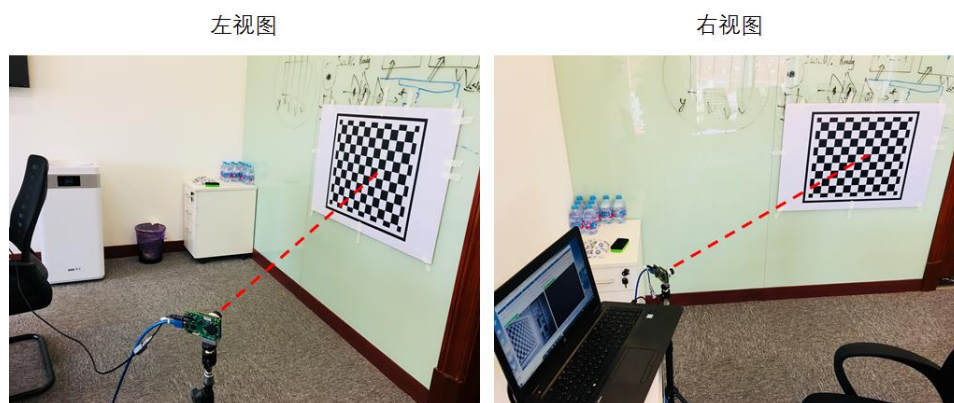


图 2-2-3 左视图和右视图示意图

- 6) 根据黑框调整好角度后，按下“s”。程序自动查找图像中的角点，判断是否能够有效提取角点。
 - 若成功，控制台提示“Find No. ? corner data!”，并保存图片到 `img_online` 文件夹，命名为 `img(?)`。此时黑色辅助标定框改变，回到步骤 5)，开始新的一个位置标定。
 - 若不成功，提示“Can not find corners! Please use another picture or you can tune the FPN, focus or brightness.”。重复步骤 5) 的内容，此时黑色辅助标定框不改变。
 - 第 6、11 和 16 张，视角有比较大的调整，需按照图 2-2-2 要求的移动相机到新的位置。
- 7) 有效检测 20 张图片后，程序自动计算标定参数。标定结果除了在控制台上显示，还自动保存在“`config/CameraCalib.ini`”中的 `[Intrinsic_Parameters]` 数据块中。在“`CameraCalib.ini`”文件中，每次新标定的参数接在旧参数后面保存，可通过 `Date` 信息区分标定参数。20 张图片自动保存在 `img_online` 文件夹中。用户自由填写 `sensor_id`（可选）。标定结束。

3. 离线内参标定工具

3.1. 标定步骤

- 1) 按照 2.1 和 2.2 小节提示的方法拍摄 20 张不同角度清晰的照片，放进 `img_offline`，命名方法为 `Pic (no.)`，如 `Pic (1)`。
- 2) 棋盘格和其他标定信息已经写入 `camera_calib_config.ini`，无需更改。
- 3) 打开 `calibration_tool.exe`，选择 2 回车，自动进行标定程序。
 - ◆ 如果有效找到角点，控制台显示“Find No. corner data!” 标定程序使用全部角点信息计算标定参数。

- ♦ 如果没有找到角点，控制台显示 “Cannot find corners! Please use another picture or you can tune the FPN, focus or brightness.” 没找到角点的可能原因是该图片未包含所有角点、图片质量差（如 FPN 不对，亮度不合适、焦距不对等）。可以用新的照片替换该无效图片，名字保持一致，重复步骤 3)。
 - ♦ 对精度要求不高的场合，10 张以上图片能找到角点，则该标定参数也可使用。
- 4) 标定参数保存在“config/CameraCalib.ini”中的[Intrinsic_Parameters]数据块中。用户自由填写 sensor_id（可选）。标定结束。

4. 在线外参标定工具

4.1. 标定环境准备

- 1) 外参标定如果需要对图片进行去畸变处理，则需完成内参标定（获取内参 config/CameraCalib.ini [Intrinsic_Parameters]），并且 config/camera_calib_config.ini 中 undistort_enable_flag 设为 1。如果没有内参，undistort_enable_flag 需要设为 0，否则程序出错。
- 2) 准备水平空旷场地，地面有平行辅助线。如图 4-1 所示。
- 3) 调整车辆位置，使得车辆朝向和辅助线平行，即车辆两侧到辅助线距离一致。
- 4) 安装相机，尽量使得相机在车体正中心，并且镜头水平向前。
- 5) 坐标系定义如图 4-1 所示，前轮轴中心位置为坐标系原点，正前方为 X 轴正方向，左边为 Y 轴正方向。
- 6) 测量车辆宽度，输入 camera_calib_config.ini 文件的 width_vehicle 中。
- 7) 放置 4 个标定标志物。近处 2 个标定标志物坐标为 $x = lon_dist_near$, $y = \pm width_vehicle / 2$ 。远处 2 个标定标志物坐标为 $x = lon_dist_far$, $y = \pm width_vehicle / 2$ 。因此，4 个标定标志物和车侧面平行。
注：4 个标定标志物都要清晰出现在图片中。建议距离 $lon_dist_near = 8.0\ m$, $lon_dist_far = 30.0\ m$ 。
- 8) 最后再放置一个测试标志物用于验证测试精度，建议位置 $x=40m$, $y=width_vehicle/2$ 。

测试标志物 ○

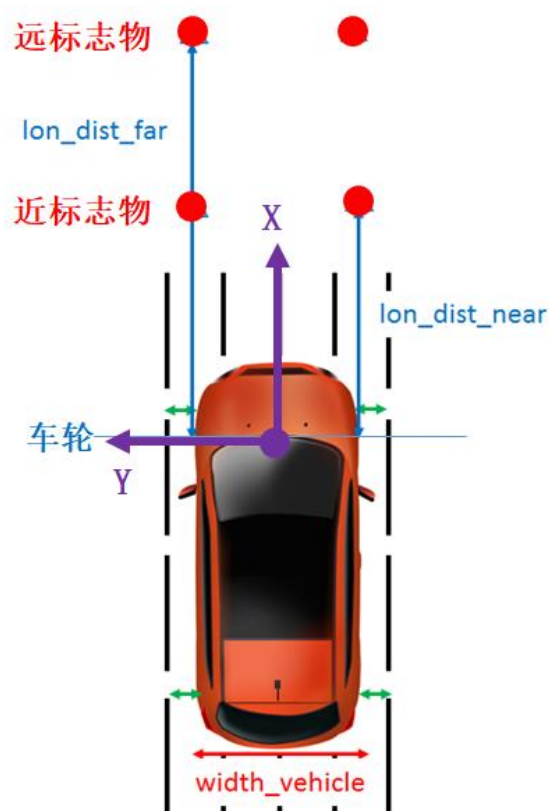


图 4-1 外参标定坐标系和标志物示意图

4.2. 标定步骤

- 1) 根据 2.2 步骤 1) 提示更换 FPN。
- 2) (CeleX5_MP 忽略该步骤) 对于 CeleX5_Z, 还需要在 config/zynq_conf.ini 文件中设置 IP 和端口号。
- 3) 打开 calibration_tool.exe, 选择 3 回车。稍等片刻, 出现图像窗口。若出现黑/灰屏窗口, 对于 CeleX5_MP, 可以拔掉 USB3.0 线, 重复步骤 3), 对于 CeleX5_Z, 则需要检查 IP 和内存卡是否正确配置好。
- 4) 根据 2.2 步骤 4) 提示调节图像和焦距, 并尽可能调节使得镜头水平向前、图像左右对称、远处物体清晰。
- 5) 图像中能清晰看到所有标志物, 则点“s”, 图像将被窃取出来 (此时图像静止), 如图 4-2 所示。



图 4-2 外参标定参考图片

- 6) 鼠标分别点击图像中近处的 4 个标志物的底部，如图 4-2 红色箭头所示，每次点击都会出现红点，表示已经确定标志物的位置。（没有顺序要求。）
- 7) 鼠标最后点击最远处测试标志物的底部，如图 4-2 绿色箭头所示（该位置可以根据需要改变，但坐标需要记录好，用于验证标定精度）。
- 8) 全部点击完成后，控制台出现例如如图 4-3 的提示，获得的标定图片如图 4-4 所示。确保图像中所有标记的点，都在标志物底部，而且控制台上的 4 个点坐标没有重复。

```
No. 0 position, x: 159 y: 687  
No. 1 position, x: 372 y: 447  
No. 2 position, x: 915 y: 417  
No. 3 position, x: 915 y: 436
```

图 4-3 控制台显示情况

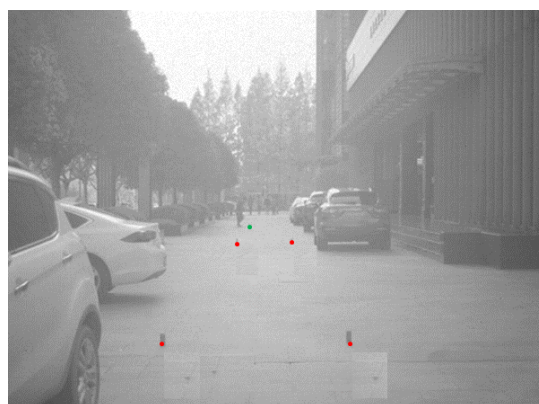


图 4-4 图像中选择标志物后的图片

- 9) 控制台打印标定结果。

```
Success write ProjectionMatrixImage2Vehicle in ini file.  
test position at pixel, u: 503 v: 581  
test position in vehicle coordinate, x = 105.63, y = 1.60406
```

图 4-5

- 10) 同时，测试标志物的测距结果也打印出来，如图 4-5 所示。比较该结果和位置真值，估计误差。
注：50m 内误差不大于 3% 属于正常情况，否则需要从新标定。图 4-5 所示测距结果误差就很大。
- 11) 标定参数以变换矩阵的方式保存在“config/CameraCalib.ini”中。标定结束。（在“CameraCalib.ini”文件中的[Matrix_Image2Vehicle]数据块中，每次新标定的参数接在旧参数后面保存，可通过 Date 信息区分标定参数。）标定的原图(raw_img.jpg)

和图 4-4 所示图片 (marked_img.jpg) 自动保存在 img_online 文件夹中。

5. 离线外参标定工具

5.1. 标定步骤

- 1) 参考 4.1 和 4.2 步骤 1)-4) 的方法, 获得带有 4 个标志物的图片。
- 2) 获得图片上 4 个标志物的点坐标, 按照从左到右的顺序(图 4-2 中数字 1-4 的顺序), 输入 camera_calib_config.ini 中[config_extrinsic_calib]数据块的 img_point_1_x 至 img_point_4_y。再输入测试标志物的坐标, 即 test_posi_u 和 test_posi_v。
- 3) 打开工具, 选择 4 回车。稍等片刻, 标定自动完成。
- 4) 标定参数以逆透视变换矩阵的方式保存在“config/CameraCalib.ini”中。标定结束。

6. 相机姿态记录工具

在外参标定结束后, 建议立刻记录相机姿态。因为再次使用相机时, 需要检查相机外参是否正确。如果此时相机和标定外参时姿态一致, 相机未移动, 则外参正确可用。

注: 此时的使用 IMU 的原始数据, 未经过 IMU 标定参数补偿。

6.1. 操作步骤

- 1) (CeleX5_MP 忽略该步骤) 对于 CeleX5_Z, 还需要在 config/zynq_conf.ini 文件中设置 IP 和端口号。
- 2) 在完成相机安装固定和外参标定后, 运行 calibration_tool.exe, 选择 5 回车, 程序自动获取 IMU 数据。此时会新建显示 event 数据的窗口“EventBinaryPic”。
- 3) 如果窗口“EventBinaryPic”有数据, 且控制台打印[Calibration] IMU information:, 则姿态已经获取。三轴加速度数据自动保存在 config/CameraCalib.ini 中 [IMU_Information]数据块中。
- 4) 如果该窗口全黑屏, 控制台打印 No IMU data, 则没有获得姿态信息。处理方法如下:
 - ◆ 重启相机。
 - ◆ 如果多次尝试以上方法仍未获得信息, 则需要检查传感器的 IMU 固件是否升级。请联系传感器供应商检查固件。

7. 相机姿态检查工具(IMU)

7.1. 数据准备

相机每次使用前,需要对某安装好的相机进行姿态检查,需要已经完成相机姿态记录(参考第 6 节),并且参数已经保存在 config/ CameraCalib.ini 文件中[IMU_Information]数据块。

7.2. 操作步骤

- 1) (CeleX5_MP 忽略该步骤) 对于 CeleX5_Z, 还需要在 config/zynq_conf.ini 文件中设置 IP 和端口号。
- 2) 在完成相机安装固定和外参标定后, 运行 calibration_tool.exe, 选择 6 回车, 程序自动获取 IMU 数据。此时会新建显示 event 数据的窗口“EventBinaryPic”。
- 3) 如果窗口“EventBinaryPic”有数据, 且控制台打印[Calibration] IMU information:。
 - ◆ 控制台同时显示当前时刻获取的 IMU 信息 (三轴 acc_current), 以及外参标定时的 IMU 信息 (三轴 acc_recorded)。
 - ◆ 每个轴的差别都 < 0.05 则可以认为传感器姿态角不变, 即外参正确。控制台显示“The sensor is fixed.”。
 - ◆ 如果有一个轴差别 ≥ 0.05 , 则传感器姿态角改变了, 外参错误, 需要从新标定外参。此时控制台显示“The sensor has been moved. Please calibration again.”。
- 4) 如果该窗口黑屏, 没有 event 数据, 控制台打印 No IMU data, 则没有获得姿态信息。处理方法如下
 - ◆ 重启传感器。
 - ◆ 如果多次尝试以上方法仍未获得信息, 则需要检查传感器的 IMU 固件是否升级。请联系传感器供应商检查固件。

8. 相机姿态检查工具(鸟瞰图)

8.1. 数据准备

除了利用相机姿态检查工具(IMU)外, 相机姿态检查工具(鸟瞰图)是另一直观的检查标定参数准确性的工具。

本工具需要已经完成相机外参标定 (参考第 4 或第 5 节), 并且参数已经保存在 config/ CameraCalib.ini 文件中[Matrix_Image2Vehicle]数据块, FPN 已经存放在 config 目录下。

同时, 鸟瞰图如果需要对图片进行去畸变处理, 则需完成内参标定 (获取内参 config/CameraCalib.ini [Intrinsic_Parameters]), 并且 config/camera_calib_config.ini 中 undistort_enable_flag 设为 1 。如果没有内参, undistort_enable_flag 需要设为 0, 否则程序出错。

8.2. 操作步骤

- 1) （CeleX5_MP 忽略该步骤）对于 CeleX5_Z，还需要在 config/zynq_conf.ini 文件中设置 IP 和端口号。
- 2) 运行 calibration_tool.exe，选择 7 回车，显示原始图片的“Image”窗口和鸟瞰图的“bird_view”窗口被创建。如果出现黑/灰屏，则从新启动传感器。参考 2.2 小节的步骤 4)可以调节亮度和图像镜像。
- 3) 车辆在水平路面上行驶，路面上有直的车道线。
- 4) 观察“bird_view”窗口中的车道线是否平行。
 - ◆ 如果车道线基本竖直且每条线之间平行，则外参正确（车辆行驶振动对鸟瞰图有一定的干扰），如图 8(a)所示。
 - ◆ 如果车道线在图像中明显不竖直，且每条线之间不平行，需要从新标定外参，如图 8(b)所示。

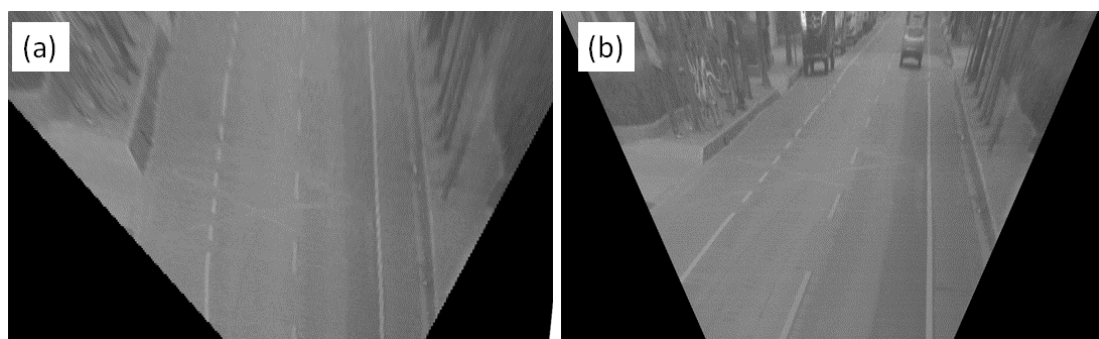


图 8 正确(a)和错误(b)鸟瞰图变换的效果

附录一：常见问题解决方法

1、程序启动后图像窗口全黑，没有数据。

原因：相机未正常启动。

解决：断开电源，后重新接电源，再打开标定程序，重启相机。

附录二：版本说明

tool 版本号	文档修改说明	修 改 章节	时间	作者	校验
v1.1	增加 CeleX5_Z 的相关描述		2019.07.19	何启盛	张玉
	小修改（增加功能模块运行的依赖关系）	4、7、8	2019.07.16	何启盛	
	小修改		2019.06.11	何启盛	张玉
	优化文档描述	4th 章大改	2019.05.28	何启盛	张玉
v1.0	修改鸟瞰图部分内容		2019.03.19	何启盛	张钊钊
v0.2	套件全部说明初步完成	增加 3 至 8 节	2019.03.19	何启盛	张钊钊
v0.1	内参在线标定操作说明。	增加 1 和 2 节	2019.03.12	何启盛	张钊钊