

基于全站仪的大型商用车多路鱼眼相机联合标定方法研究

梁丰收, 朱书斐, 陈启元, 李志刚, 梁昌源

(比亚迪汽车工业有限公司, 广东 深圳 518118)

摘要:针对现有大型商用车多路鱼眼相机联合标定精度不高、适用性差、过程繁琐的问题,本文研究基于高精测绘设备全站仪的多路相机联合标定方法,并在实车数据测试中对标定方法进行改进。该标定方法适用于全景环视、目标测距等多种高级辅助驾驶系统功能。

关键词:多路鱼眼相机; 联合标定; 大型商用车; 全站仪

中图分类号: U471.15

文献标志码: A

文章编号: 1006-3331(2024)06-0001-04

Research of Joint Calibration Method with Multi-channel Fish-eye Cameras

Based on Total Station for Large Commercial Vehicles

LIANG Fengshou, ZHU Shufei, CHEN Qiyuan, LI Zhigang, LIANG Changyuan

(BYD Automotive Industry Co., Ltd., Shenzhen 518118, China)

Abstract: Aiming at the existing problems of low accuracy, poor applicability and cumbersome process of joint calibration with multi-channel fish-eye cameras for large commercial vehicles, this paper studies the joint calibration method with multi-channel camera based on high-precision surveying and mapping equipment total station, and improves the calibration method by real vehicle data testing. This calibration method is applicable for multiple advanced driver-assistance system functions, such as around-view monitor system and target distance measurement.

Key words: multi-channel fish-eye camera; joint calibration; large commercial vehicle; total station

随着商用车智能化的发展,精确地标定相机外参成为车辆智能驾驶视觉感知模块的基础^[1-2]。相较于乘用车,大型商用车的车身尺寸更大、感知范围更大,感知模块包括但不限于全景环视、目标测距等,对相机外参的精度要求更高,且传统的相机标定方法不适用于大型商用车。因此,设计一套精度高、适用性强、流程简单的大型商用车相机外参标定方法尤为重要。本文设计一套基于高精测绘设备全站仪的多相机联合标定方法。该方法具有较高的标定精度,且适用于不同尺寸、不同规格的车辆。

1 相机标定方法简介

相机标定是一种通过拍摄已知几何形状的标定板来计算相机内部参数和外部参数的方法。相机外参标定的重要步骤是构建三维空间和二维相机图像^[3]。相机的内部参数包括焦距、主点坐标、像素尺寸和畸变系数,内部参数描述了相机的成像特性和畸变程度。相机的外部参数包括旋转矩阵和平移向量,外部参数描述了相机在世界坐标系中的位置和姿态。相机标定涉及对相机拍摄的图像进行畸变矫正、透视变换、目标测距等多方面操作。

收稿日期: 2024-03-25。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2501700)。

第一作者: 梁丰收(1986—),男,高级工程师;主要从事新能源商用车智能化网联化数字化等设计研发相关工作。E-mail: liang.fengshou@byd.com。

通信作者: 朱书斐(1999—),男;主要从事新能源商用车智能化设计研发相关工作。E-mail: zhu.shufei@byd.com。

相机内参、外参标定的理论基础是针孔成像,其假设相机是一个无限小的孔,光线通过孔投影到成像平面上。根据几何关系,可以得到如下公式:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} (\mathbf{R} \quad \mathbf{t}) \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: $(u, v)^T$ 是图像坐标系中的像素坐标, $(X_w, Y_w, Z_w)^T$ 是世界坐标系中的空间坐标; f_x, f_y 分别是焦距在水平和垂直方向上的缩放因子, c_x, c_y 分别是主点在图像坐标系中的位置; \mathbf{R} 和 \mathbf{t} 分别是旋转矩阵和平移向量,二者共同构成了相机的外参矩阵 \mathbf{T} 。

为了标定相机内参、外参,需要使用多张在不同角度和位置拍摄的标定板图像。标定板通常是一个黑白棋盘格或者圆点格,其具有已知的尺寸和角点数目。通过检测每张图像中的角点位置,可以得到一组对应于世界坐标系和图像坐标系的点对。然后利用最小二乘法或者最大似然估计法等优化算法,求解出最优的内参矩阵 \mathbf{K} 和外参矩阵 \mathbf{T} ,确保重投影误差最小。重投影误差是指根据求得的参数重新将空间点投影到图像平面上得到的坐标与实际检测到的角点坐标之间的差异^[4-5]。

2 现有相机标定方法存在的问题

现有车载鱼眼相机内外参的标定普遍采用标定布的方法。该方法利用一块或多块带有黑白方格的平面布,将其放置在鱼眼相机的视野范围内,然后拍摄多张不同角度和不同位置的照片,通过计算方格的角点坐标来求解鱼眼相机的内外参数^[6-9]。该方法在标定小型和中型车辆的鱼眼相机时,可以获得较高的精度和稳定性,但在标定大型商用车的车载鱼眼相机时,会出现标定布尺寸过大、标定布平面性不够好、标定布的位置不够灵活和标定布的车辆适用性较差等问题。

首先,由于大型商用车的鱼眼相机安装在较高的位置,且视野范围较广,需要使用很大的标定布才能覆盖足够多的视场角。但制作和携带很大的标定布不仅成本较高,而且不方便。其次,由于标定布需要

被悬挂或固定在不同的位置,很难保证其完全平整,而任何微小的弯曲或折叠都会影响方格的形状和角点的位置,从而降低标定精度。同时,由于大型商用车的鱼眼相机通常安装在车身的四个角落,多相机联合标定要使标定布同时出现在多相机的视野中,需要将其放置在距离车辆较远的地方,这样就会增加拍摄距离和环境干扰,同时也会减少方格的数量,从而降低标定效果。另外,与乘用车不同,不同规格的商用车车身长度跨度较大,难以设计一套能够满足多种规格商用车相机标定需求的标定布,因此标定布在商用车领域的适用性也较差。

3 基于全站仪标定方法的应用

3.1 联合标定方法

由于相机的内参在相机安装在车上之前已通过离线标定获得,与所应用车型无关,因此本文只介绍基于全站仪的相机外参联合标定方法。

全站仪是一种集光、机、电为一体的高技术测量仪器,是集水平角、垂直角、距离、高差测量功能于一体的测绘仪器^[10]。本文提出的联合标定方法使用全站仪测量地面多个特殊标定板的世界坐标,将该坐标转为车身后轴坐标后,再从相机原始图像中采集标定板特征点的像素坐标,最后使用 Perspective-n-points 算法分别计算多个相机外参^[11]。

本文设计的特殊标定板如图 1 所示,其本体采用磨砂 PC 板制作,既能保证标定板的平整度,又能减少反光对标定精度的影响。标定板上印有黑白格图案,可为相机提供准确的特征角点信息和几何信息;标定板中心点处包含一张全站仪专用反射片,该反射片可将测量用的 NTS-352R8 型号全站仪的精度从 $\pm(3 \text{ mm}+2 \times 10^{-6}D)$ 提升至 $\pm(2 \text{ mm}+2 \times 10^{-6}D)$,其中 D 为测量距离^[12]。本文联合标定方法具体可分为以下 7 步。

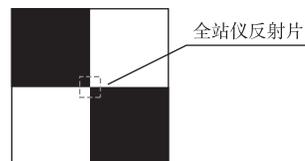


图 1 特殊标定板示意图

1) 设定一个与所标定车辆大小相同的空旷预标定区域, 如图 2(a) 所示, 并保证标定车辆周边 30 m 范围内的地面平坦空旷(全站仪测量标定范围内地面最大高度差小于 0.1 m)。然后在预标定区域的中心处下方安装全站仪主机, 并在预标定区域的中心处上方安装全站仪棱镜。本方法对全站仪安装点和棱镜安装点无精确要求, 只需保证全站仪在车辆开至预标定区域前可同时看到全站仪棱镜、所有地面标识点和预标定区域的车辆前后轴。全站仪需要在该位置完成全站仪建站操作。

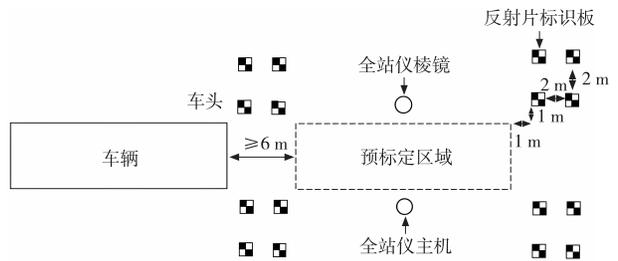
2) 全站仪建站包含仪器调平、定后视角度等步骤, 其目的是确定全站仪的测量坐标系, 确保测量数据的准确性和一致性, 是使用全站仪前的必要操作。操作者首先需要在上述位置点安装全站仪, 并进行对中和水平调整; 然后通过建站程序输入测站点名称和坐标, 再将全站仪照准图 2 所示的棱镜位置, 设定该位置为全站仪后视点即可完成全站仪建站。后视点又称方向点, 全站仪建站程序会根据后视点方向建立测量坐标系。建站所设定的测量坐标系符合左手坐标系原则, 其中坐标系原点为全站仪所处位置的地面投影点, x 轴为全站仪地面投影点指向后视点方向, z 轴为全站仪地面投影点指向全站仪上方, y 轴可根据左手坐标系原则获得。

3) 准备至少 16 张特殊标定板(如图 1 所示), 并参考图 2(a) 位置摆放。本方法对标定板的放置位置也无精确要求, 只需保证每个相机的可视范围内至少包含 4 张位于地面上的标定板, 且每两组相机的共视范围内都至少包含 2 张位于地面上的标定板。

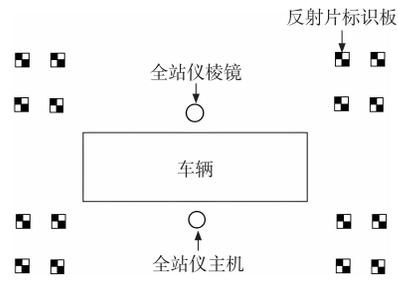
4) 使用全站仪的坐标测量模式测量所有标定板的世界坐标。该世界坐标以全站仪正下方的地面投影点为坐标系原点, 以全站仪到棱镜的直线为 x 轴, 该坐标系符合左手坐标系原则。

5) 在车辆前后轴正上方车身处贴全站仪专用反射片。该步骤可使用激光水平仪, 保证反射片位于车辆正上方。该步骤对反射片的 z 轴高度无要求, 只需保证反射片在车辆前后轴的右侧车身正上方。最后将车辆开至图 2(a) 中设定的预标定区域, 最终效果如图 2(b) 所示。然后再采集所标定相机的原始图

像。该步骤对车辆的具体停放位置和角度无精确要求, 只需保证车辆在预标定区域内。



(a) 预标定区域与坐标测量



(b) 标定数据采集

图 2 联合标定数据采集示意图

6) 使用全站仪的坐标测量模式测量车辆前后轴的世界坐标, 并根据此坐标计算车辆相对于全站仪坐标系的位姿, 再以此相对位姿将所有地面标定点坐标转换到以车身后轴为原点的坐标系下, 得到地面上标定板中心处特征点的车后轴坐标。

7) 从所标定相机的原始图像中提取每个地面标定点的像素坐标, 使用 Perspective- n -points 求解算法并结合标定点像素坐标、标定点车后轴坐标和所标定相机的内参计算所标定相机的外参^[11]。

3.2 测试验证

为验证本文联合标定方法的可行性和精度, 使用 NTS352-R8 全站仪和搭载四路鱼眼相机的 12 m 客车实施上述标定方案并采集标定数据, 并将外参求解算法编写为 C++ 代码, 在 Jetson AGX Orin 平台 Ubuntu 20.04 环境下进行外参求解, 其中求解的前视鱼眼相机相对车辆后轴坐标系的外参矩阵见式(2)。其中, 左上角的 3×3 矩阵为旋转矩阵, 表示相机与车身坐标系的相对旋转关系; 右上角 3×1 矩阵为平移向量, 表示相机与车身坐标系的相对平移关系; 最后一行为齐次坐标, 始终等于 $[0.0, 0.0, 0.0, 1.0]$ 。

$$\begin{bmatrix} 0.015\ 528\ 63 & -0.998\ 926\ 74 & 0.043\ 637\ 39 & -0.290\ 181\ 606\ 5 \\ -0.068\ 613\ 11 & -0.044\ 604\ 36 & -0.996\ 645\ 72 & 3.545\ 231\ 177\ 92 \\ 0.997\ 522\ 48 & 0.012\ 482\ 44 & -0.069\ 232\ 12 & -8.294\ 272\ 742 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

最后重新摆放标定板进行精度验证。使用全站仪测得的标定点在车身后轴坐标系下的坐标真值如图3所示,车身后轴坐标系的坐标原点为车辆后轴中心点, x 轴指向车辆前向, y 轴指向车辆左向, z 轴指向车辆上方。提取对应测试场景下的鱼眼相机原图的对应特征点后,使用上述外参矩阵将特征点像素坐标转为车身坐标,计算所有标定点的均差为0.057 m、方差为0.052 m。

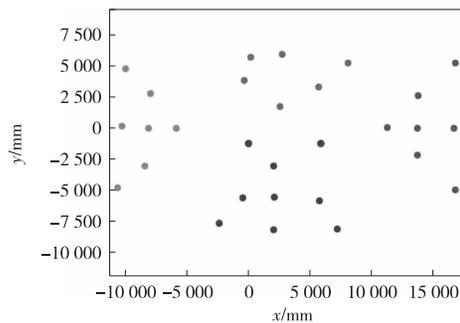


图3 验证标识点坐标真值

测试结果表明,本相机联合标定方法适用于不同尺寸车型的多路鱼眼相机外参标定。经验证,投影精度与真值之间的误差小于3%。证明了本文标定方法的高精度性。

求解得到实车相机外参后,再结合车辆设计尺寸将车辆和鱼眼相机以与实车相同的相对位姿在仿真平台复现。最后将用上述方法标定出的相机外参应用于仿真全景环视拼接中,结果如图4所示。

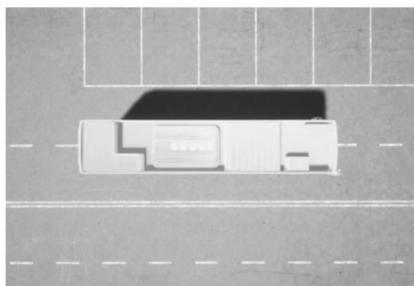


图4 仿真平台全景环视拼接结果

从图中可知,基于该相机联合标定方法在车辆仿

真平台所标定的鱼眼相机外参,可用于生成高投影精度的环视拼接图。图4的中部为车辆本身模型,周围为根据四路仿真相机通过外参投影融合得到的地面画面,图中车道线、车位框等在相机交界区域过渡平滑连续,且无明显畸变与重影。证明采用本文标定方法求出的多路相机外参之间具有较好的协调性。

4 结束语

本文以大型商用车多路相机联合标定为目标,设计了一套基于高精测绘设备全站仪的标定方法。本文方法使用全站仪配合专用标定点,解决了传统标定方案精度较差的问题;同时引入基于车辆前后轴坐标的标识点坐标转换方法,解决了传统标定方法一套标定布只能适用一种车型的缺点。仿真验证结果表明,本文标定方法在未对车型尺寸做特殊设计的前提下,可同时便捷地标定出多路车载相机的外参,且可用于生成高精度且拼接区域连续自然的全景环视图像。证明了本文方法的高精度特性和多组相机外参之间较好的协调性。

参考文献:

- [1] 李韧,陈昕. 智能网联客车技术研究简述[J]. 安徽科技, 2022(8):51-52.
- [2] 刘如筑,林贤捷,林宁. 浅谈汽车高级驾驶辅助系统(ADAS)的原理与应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2017(2):274.
- [3] 林绿开,钮倩倩,李毅. 基于棋盘标定板的优化相机参数标定方法[J]. 计算机技术与发展, 2023, 33(12):101-105.
- [4] ZHANG Zhengyou. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11):1330-1334.
- [5] 刘艳,李腾飞. 对张正友相机标定法的改进研究[J]. 光学技术, 2014, 40(6):565-570.
- [6] 冯聪. 360°车载环视系统图像拼接技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.

(下转第10页)

参考文献:

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车信息安全通用技术要求: GB/T 40861—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 2-3.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车网关信息安全技术要求及试验方法: GB/T 40857—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 6-7.
- [3] 安晖. 加强网络安全保障能力促进智能网联汽车产业健康发展[J]. 智能网联汽车, 2021(5): 20-21.
- [4] 刘国平, 林可春. 智能网联汽车技术与标准发展研究[J]. 内燃机与配件, 2024(9): 132-134.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车整车信息安全技术要求: GB 44495—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024: 4-5.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 汽车软件升级通用技术要求: GB 44496—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024: 3.
- [7] 蔡方博, 李钰莹. 智能网联汽车信息安全风险研究[J]. 智能网联汽车, 2024(2): 72-74.
- [8] 袁豪杰, 唐刚. 智能网联汽车网络架构分析及安全检测[J]. 信息安全与通信保密, 2024(1): 60-69.
- [9] 李楠. 智能汽车网络安全监控技术的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.
- [10] 陈博言, 沈晴霓, 张晓磊, 等. 智能网联汽车的车载网络攻防技术研究进展[J/OL]. 软件学报: 1-30[2024-07-17]. <https://doi.org/10.13328/j.cnki.jos.007196>.
- [11] 唐诗华, 刘冲, 唐旭. 智能网联汽车网络安全与防护方案研究[J]. 汽车测试报告, 2023(23): 85-87.
- [12] 吴尚则. 基于车载 CAN 总线网络的身份认证方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [13] KIM Kyounggon, KIM Jun Seok, JEONG Seonghoon, et al. Cybersecurity for autonomous vehicles: Review of attacks and defense[J]. Computers & Security, 2021(103): 102150.
- [14] ALIWA E, RANA O, PERERA C, et al. Cyberattacks and countermeasures for in-vehicle networks[J]. ACM Computing Surveys, 2020(54): 1-37.

~~~~~  
(上接第4页)

- [7] 张聪. 基于鱼镜头的车载全景环视系统[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [8] 江龙. 360°泊车辅助系统全景成像的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- [9] 许毅立. 基于嵌入式 GPU 全景环视拼接系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [10] 李广云, 范百兴. 精密工程测量技术及其发展[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1742-1751.
- [11] GAO Xiaoshan, HOU Xiaorong, TANG Jianliang, et al. Complete Solution Classification for the Perspective-three-point Problem[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8): 930-943.
- [12] 南方测绘. NTS-352R 技术参数[Z/OL]. [2024-03-25]. <http://www.southsurvey.com/product-2929.html>.