

基于双目鱼眼相机的柱状投影全景行车记录仪

李 剑 曾 丹 张之江 朱沁怡

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

摘要: 针对全景行车记录场景,利用2个相背对放置的鱼眼相机所拍摄的视频拼接得到全景视频。首先基于OcamCalib对鱼眼相机进行标定,通过鱼眼图像的柱面映射,实现畸变校正而得到柱面图像,对两帧柱面图像进行SIFT特征点提取,用RANSAC算法去除误匹配并求解两张图像间的单应性矩阵,最后用线性加权法融合两帧柱面图像,得到全景图。本实验使用柱面投影,符合人眼的视觉特效,并且相对于平面投影,保留了更多的视场信息,能够帮助驾驶员观察到更多的重要信息。

关键词: 鱼眼标定; 鱼眼图像校正; 柱面投影; 全景拼接

中图分类号: TP751; TN05 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5040

Cylindrical projection for panoramic driving recorder based on binocular fish-eye camera

Li Jian Zeng Dan Zhang Zhijiang Zhu Qinyi

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In this paper, for the scene of panoramic driving recorder, we obtain a panoramic video using two video streamings taken by an opposite pair of fixed binocular fish-eye cameras. We calibrate the parameters of fish-eye camera and correct distorted images using a cylindrical mapping model of perspective projection. Then we extract the SIFT features for two frames of corrected image and remove mismatching points as well as figure out a homography matrix using the RANSAC algorithm. Finally, we use the linear weighted fusion method between the two frames of cylindrical image to get a panoramic image. In this experiment, we use cylindrical projection which is consistent with human visual characteristics. And comparing with perspective projection, cylindrical projection reserves more information of view which can help drivers to observe more important information.

Keywords: fish-eye calibration; fish-eye image correction; cylindrical projection; image mosaics

0 引 言

全景图被大范围应用于虚拟现实,增强现实,以及电脑游戏场景背景等^[1-2],由于鱼镜头有着视角广的突出优势,它们可以大大减少鱼眼拼接出一个全景图所需的照片数量。比如,佳能8-15变焦镜头可以获得约180°的视角,两张鱼眼图像就足够拼接出全景图。

正是由于视场广、造价低的优势,鱼镜头有着诸多应用:机器人室内定位、导航、目标跟踪系统^[3],全景泊车系统^[4],自动驾驶辅助系统,太空探索和手机应用等。但是,由于鱼镜头图像存在严重的径向畸变,需要对鱼眼图像的畸变进行一定程度校正。鱼眼图像的校正方法大致分为两种方式:通过与实体摄像机密切相关的优化参数标定方法进行校正以及通过已知的鱼眼映射设计模型进行相关的

校正工作。

在构建全景图的系统设计上,Brown和Lowe^[5]提出了利用透视图来全自动化构建全景图的方法。此方法利用基于局部特征不变性的目标检测技术来选择匹配图像,以及用概率模型来做后期验证。利用透视图来构建一个全景图需要大量图像,并且由于图像匹配速率与图像数量的二次方成正比,所以构建一个完整的全景图是非常耗时的。Uyttendaele等人提出了一个针对现实世界环境的交互式勘测方法。他们在一个七面体上安装6个摄影机,然后将数据采集保存在机顶盒上。这个方法能够让用户有一个沉浸式交互体验。由于此方法处理的是视频而非图像,所以需要一个大容量的移动存储器。杨立等人^[6]为了解决汽车周围360°场景重建问题,将4个鱼眼摄像头安装在汽车车身,并基于此设计了一套适用于车载嵌入式平台的鸟

瞰全景图系统。

针对全景行车记录的特定场景,本文实验只使用 2 个背对放置的鱼眼镜头,如图 1 所示。为了尽可能保留原始信息,本实验采用柱状投影映射。

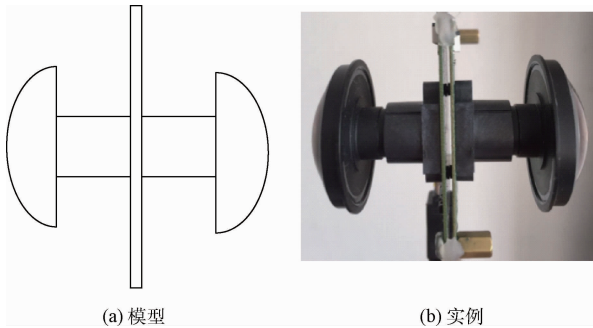


图 1 鱼眼相机安装示意

本文的结构安排如下:第 2 部分基于 OcamCalib 工具箱实现对鱼眼相机的标定,第 3 部分描述如何将鱼眼图像映射为柱面图,第 4 部分描述拼接过程,第 5 部分是实验结果。

1 鱼眼标定

OcamCalib 是一个开源工具箱,它适用于标定包括鱼眼相机在内的任何全向相机,自 Scaramuzza 等人发布 OcamCalib 以来,OcamCalib 就是一套非常有实用价值的标定系统,很多鱼眼镜头的标定^[7-9]都参考此方法。通过使用棋盘格在不同位置和角度拍到的图片,OcamCalib 可以求取相机的内参和外参。如图 2(a)中鱼眼图像的某一点 (u, v) ,可以通过 Scaramuzza 等人提出的方法,在图 2(b)的球面上获得与其唯一对应的三维坐标点 P 。其关系式如下:

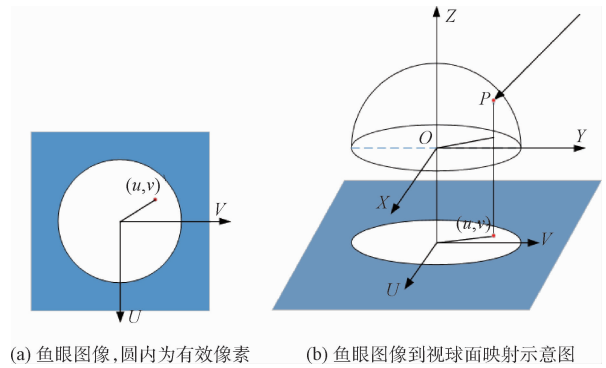
$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:

$$f(\rho) = a_0 + a_1\rho + a_2\rho^2 + \dots + a_N\rho^N \quad (2)$$

$$\rho = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

在式(1)和式(2)中, $f(\rho)$ 与鱼眼图像像素点到图像中心距离 ρ 相关。 $f(\rho)$ 的阶层 N 是由操作者人为设定的,这些系数 $a_i, i = 0, 1, 2, \dots, N$ 即相机内参,可以通过 OcamCalib 工具获得。同样地,外参由此工具计算后,用 1 个 3×3 的矩阵给出,前 2 列分别是对应 x 和 y 坐标的旋转系数,第 3 列表示平移矢量。相机所在参考系可以由外参确定。非线性标定参数由使用最广泛的非线性最小二乘法——列文伯格-马夸尔特法和投影的最小均方误差优化法所得。在本文中,只需要使用将鱼眼图像映射到三维坐标的内参。



(a) 鱼眼图像,圆内为有效像素 (b) 鱼眼图像到视球面映射示意图

图 2 鱼眼图像到三维视球面映射原理

2 柱状投影

为了保留水平方向全部的视场信息,同时又能让校正后的图像更符合人眼视觉特性,本文采用柱状投影^[10-11]来获得校正后图像。柱状投影为用一个与球相同半径的圆柱面将球体包含在内,并将由球心到球面的射线上的点映射到柱面上。如图 3 所示,鱼眼图中心点为 O ,处在 $Z=0$ 平面上。 P 点为第 2 部分求得的球面三维坐标点, P' 为其映射到柱面上的点。显然,它们存在一一映射关系。

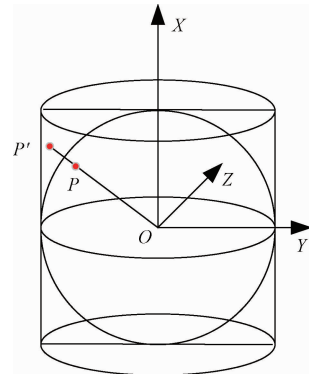


图 3 柱面投影示意图

从图 3 的映射示意图可以看出,无论将双目鱼眼安装在何处,都能获取到其无论远近的全部场景信息。图 4 是柱状投影过程示意图。图 4(a)为目标柱面图像上的点 $T(x_t, y_t)$ 对应图 4(b)柱面上的点 $P'(x_c, y_c, z_c)$;图 4(a)的 $W \times H$ 分别为柱面图像(目标图像)的长宽;图 4(c)的角 α 为 OP' 与 Z 轴夹角的余弦:

$$\alpha = \frac{y_c}{W} \pi \quad (4)$$

在三维球坐标柱面上的点 P' 与二维展开图像上的点 T 对应关系为:

$$\begin{cases} x_c = x_t \\ y_c = r \cos(\alpha) \\ z_c = r \sin(\alpha) \end{cases} \quad (5)$$

其中 r 为球体半径:

$$r = \frac{180W}{\pi A}, \text{其中 } A \text{ 为鱼眼镜头的视角} \quad (6)$$

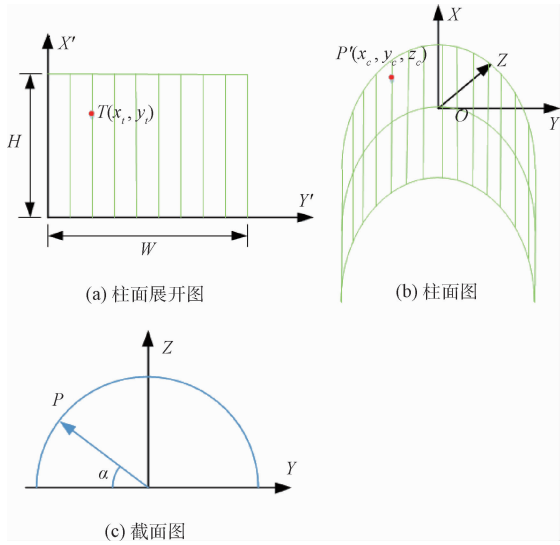


图 4 柱面投影原理

通过柱状投影,可得到鱼眼图像到校正后的目标图像一一映射关系,可按此关系作为检索表,供每帧图像校正时直接调用。

3 全景拼接

本实验使用 OmniVision 公司生产的 ov9750 型号鱼眼镜头,此镜头视角达 200° 。双目镜头被安装在车内后视镜上,其中一个镜头正对前方,记录行车情况,另一个正对车内,记录车内情景。

本实验的整个算法流程如图 5 所示。第一步是使用 OcamCalib 工具标定每个鱼眼相机;第二步是将鱼眼相机采集到的视频流的帧图像映射到目标柱面图像上;接下来用两幅柱面图像进行图像拼接,其关键技术是 SIFT 特征点检测和基于 RANSAC 算法的图像配准及拼接。

SIFT 算子^[12]和 Harris-SIFT 算子^[13]适用于检测一定程度的桶形畸变,但是对于边缘区域有较大畸变的情形,SIFT 会产生许多误匹配,所以本文采用 RANSAC^[14]算法做后期处理以去除误匹配,并求出两幅柱面图像间的单应性矩阵。最后采用线性加权法^[15]来融合图像的重合区域。

4 实验分析

4.1 鱼眼相机标定

在鱼眼镜头标定这部分,使用鱼眼镜头拍摄棋盘格,然后挑选其中 20 张,使棋盘格覆盖鱼眼镜头的各个位置和角度。为了求出镜头的内外参数,需要使用 OcamCalib 工具去自动检测出每张图片包含棋盘格的 $8 \times 6 = 48$ 个网格角点。为了提高准确度,也可以人为点击棋盘格图像片上的角点。1 张鱼眼图片像素为 720×1280 。

由于 OcamCalib 作者之一 Scaramuzza 已经证明了使

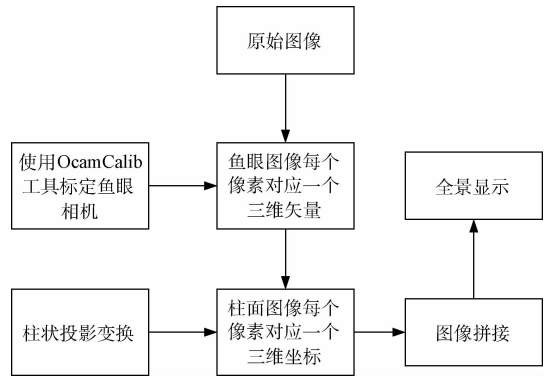


图 5 算法流程

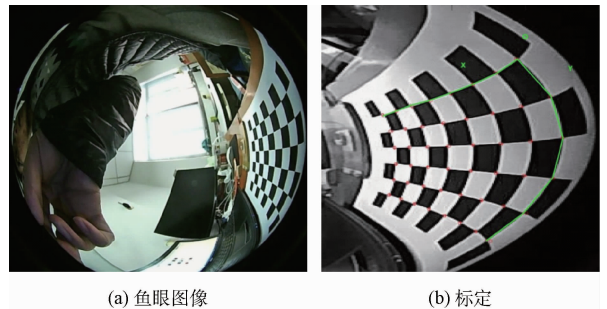


图 6 标定鱼眼相机示意图

用四阶系数能够得到最好的结果,所以对式(1)中 $f(\rho)$ 也采用四阶待定系数加以标定。重投影后的平均误差为 1.203 像素。正如图 2 所示,OcamCalib 工具实现了鱼眼图像从二维坐标到三维视球面的映射。

4.2 柱状投影

通过第 2、第 3 部分的映射关系,找到了柱面图像上每一个像素点到鱼眼图像的对应位置。从图 7 中,可以看到,柱面图像相对于鱼眼图像,在垂直方向,基本实现了校正,同时保留了水平方向 360° 的全场景信息。

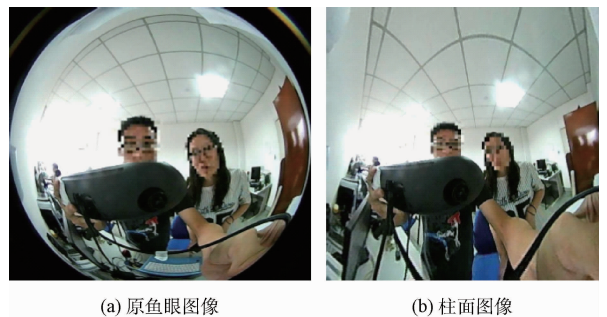


图 7 柱状投射示意图

4.3 全景图显示

从图 8 的示意图可以看到,把其中一张鱼眼校正图(图 8(b))放在全景图的中央,这是为了适应特定场景需要:双目镜头被安装在车内的后视镜上,其中一个镜头正对前方,

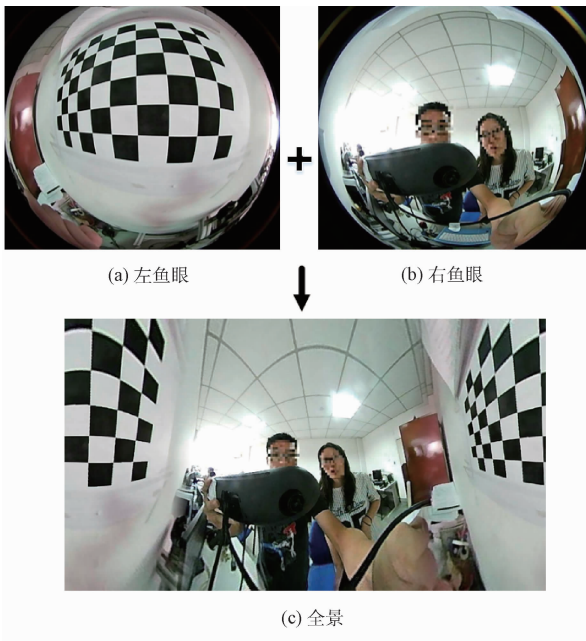


图 8 全景拼接示意图

记录行车情况,另一个正对车内,记录车内情景。这样就需要将记录前方行车情况的相机所摄图像放在更中间的位置。图 9 是市场上最新产品的双经度映射校正法^[12]展开图。可以发现此产品拼接得到的全景图的效果,由于上下信息保留但又无法正常地呈现,导致视觉效果没有本实验的柱面投影好。



图 9 双经度映射校正法展开图

5 结 论

相对以往利用 3 个或以上的鱼眼相机拼接全景图,本文只采用 2 个鱼眼相机拍摄得到图像进行全景图拼接是一大技术难点。本文利用透视投影的柱面映射模型,结合 SIFT 特征检测、RANSAC 算法和线性加权融合技术,获得了最终的全景图。该实验证明,标定误差控制在 1.5 像素以内,并且全景图没有拼接痕迹,符合人眼视觉特性,为后续实时全景视频显示提供重要支持。

参考文献

[1] 杨琳,赵建民,朱信忠,等. 虚拟校园三维全景漫游技

术研究[J]. 计算机工程与科学, 2010, 29(10): 26-28.
 [2] 王宇,王涌天,刘越,等. 基于全景成像的增强现实系统[J]. 计算机工程, 2010, 36(3): 16-18.
 [3] 冯为嘉. 基于鱼镜头的全方位视觉及全景立体球视觉研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
 [4] 周猛,乔瑞萍,王效鹏,等. 基于 DaVinci™ 的 360° 全景泊车影像系统的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2014, 40(10): 20-22.
 [5] BROWN M, LOWE D G. Recognising panoramas[C]. Proceedings of ICCV (2003): 1218-1225.
 [6] 杨力,朱株,刘济林. 一种嵌入式汽车鸟瞰全景图拼接算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2014 (2): 292-296.
 [7] AUYSAKUL J, XU H, ZHAO W. Development of hemi-cylinder plane for panorama view in around view monitor applications [C]. 2016 International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCI), IEEE, 2016: 26-30.
 [8] FUERSATTEL P, DOTENCO S, PLACHT S, et al. OCPAD-Occluded checkerboard pattern detector [C]. 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), IEEE, 2016: 1-9.
 [9] TSENG W C. The design and fabrication of omnidirectional lens based on total internal reflection lens[J]. 2016.
 [10] 朱庆辉,尚媛园,邵珠宏,等. 局部特征及视觉一致性的柱面全景拼接算法[J]. 中国图像图形学报, 2016, 21(4): 1523-1529.
 [11] 王冬,刘凤英,陈天恩,等. 一种相机标定参数的柱面全景影像拼接方法[J]. 测绘科学, 2016, 41(7): 150-154.
 [12] 孙光民,王晨阳. 一种基于改进 SIFT 的图像检索算法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8): 32-37.
 [13] 许佳佳,张叶,张赫. 基于改进 Harris-SIFT 算子的快速图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 48-54.
 [14] 王凌云,尹海波,王琪. SURF 和 RANSAC 在图像拼接中的应用[J]. 电子测量技术, 2016, 39(4): 71-75.
 [15] 魏利胜,周圣文,张平改,等. 基于双经度模型的鱼眼图像畸变矫正方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 377-385.

作者简介

李剑, 1992 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉。

曾丹, 1982 年出生, 副教授, 主要研究方向为计算机视觉、数字全息等。

张之江, 1968 年出生, 教授, 主要研究方向为计算机视觉、数字全息等。