

·信号与信息处理·

基于空间映射图像拼接算法探讨

王恒立, 张 强

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300308)

摘要:针对传统全景拼接算法拼接精度低、拼接图像接缝明显的问题,提出一种基于空间映射图像全景拼接算法。首先,测量每台相机输出图像畸变中心和镜头畸变参数,对图像进行畸变校正处理,获取指定视场大小的无畸变图像;再根据相邻相机重叠视场区域相似性计算得到每台相机的实际安装位置,并对畸变后图像进行亮度一致性处理和边界融合处理,增强拼接图像的整体性和消除拼接接缝;最后,根据相机实际安装位置、图像视场大小和图像分辨率,通过计算图像拼接表获得拼接图像,得到拼接图像。实验结果表明,文中算法拼接精度高且拼接图像无缝平滑。

关键词:全景拼接;畸变校正;亮度一致性处理;边界融合

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-03-0035-04

Discuss of Space-mapping Based Image Stitching Algorithm

WANG Heng-li, ZHANG Qiang

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: Space-mapping based image panorama stitching algorithm is proposed to solve the problems that the results of the traditional image panorama stitching algorithms have low accuracy and obvious seams. At first, the image distortion center and lens distortion parameters from each camera are measured, and the ideal image with specified size of field of view is obtained by image distortion correction processing. And then, the actual installation location of each camera is calculated by using the similarity of overlapping field region of view of the adjacent cameras. The accuracy of image stitching is improved and image stitching seams is removed using brightness uniformity processing and boundary fusion methods. At last, according to actual installation location of each camera, the field of view and image resolution, panorama image is obtained by calculating image stitching table. Experimental results show that the algorithm has high stitching accuracy and the stitching images are seamless and smooth.

Key words: panorama stitching; distortion correction; brightness uniformity processing; boundary fusion

全景拼接技术在机器人、计算机视觉、监控和虚拟现实等领域有着广泛的应用^[1-4],能为观察者提供全局态势感知能力。根据全景图像获取方式的不同,分为单相机扫描和多相机拼接两种方式,单相机扫描方式利用单个相机转动一周获取的图像拼接成一幅全景图像;多相机拼接方式利用安装角度固定、视场重叠的多个相机输出图像拼接成一幅全景图像。单相机扫描方式一般要求相机视场角

较小,并且相邻图像之间有较大的重叠面,将相机绕中心旋转一周获取的图像拼接成一幅水平方向上的全景图像,但无法获得 4π 空间的全景图像,且无法满足实时性要求。

应用最为广泛的全景拼接算法是Szeliski R等人提出的8参数方法^[5],使用非线性最小二乘法来估计两个图像之间的运动参数,根据相邻图像运动参数信息实现全景拼接。随后,ZHONG Min等人提出

收稿日期:2018-03-19

作者简介:王恒立(1976-),男,辽宁人,高级工程师,主要研究方向为光电工程与光电图像处理。

一种基于SIFT特征匹配的全景拼接算法^[6],采用SIFT和RANSAC算法检测重叠图像特征点对,提高了相机运动参数计算精度,但此类算法仍无法满足实时显示全景图像的要求。杜威等人提出一种动态场景的全景拼接算法^[7],通过图像纹理匹配和融合方法,将定点拍摄图像合成一幅全景图像,由于算法要求两幅图像之间具有较大的重叠区域,并且匹配运算量较大,这些都限制了算法的实际应用。封靖波等人提出一种基于相似性曲线的全景自动拼接算法^[8],通过寻找列梯度最大点自动找到两幅图像相似区域,实现自动全景拼接,由于算法将图像梯度作为图像匹配的基础,对于背景简单的图像很难获取准确的图像匹配结果。Kyungyoon C等人实现一种多相机的实时全景视频系统^[9],由于系统没有对各个相机进行灰度一致性处理,造成拼接图像灰度差异明显。

采用多相机拼接获取实时全景图像,需要对各个相机输出图像进行畸变校正处理,消除由于光学镜头设计原因引起的图像几何畸变;再根据各个相机安装位置和视场等参数,将相机成像坐标系下输出图像转换到同一坐标系下,建立各个相机输出图像的空间位置关系;对相邻图像进行亮度一致性处理,消除由于相机视场内环境差异引起的图像亮度差异,并利用视场重叠区域对拼接图像接缝进行过渡处理,消除拼接图像接缝;最后,建立成像面与输出图像的空间映射关系,输出大视场全景拼接图像。

1 基于空间投影图像全景拼接算法

全景拼接技术应用多个分别安装不同朝向相机输出图像,经过畸变校正、亮度一致性处理和边缘处理后,获取任意指定视线角和指定视场的无缝平滑图像。

1.1 畸变校正

受相机镜头设计和实现的影响,相机输出图像存在一定的几何畸变,需要经过畸变校正处理,获得理想小孔成像模型下无畸变图像。

图像畸变校正过程包括图像坐标映射和灰度插值两个步骤。根据测量得到镜头畸变参数和输出图像畸变中心,通过几何变换得到理想图像像点与实际图像点之间的映射关系。然而,通过坐标映射得到的像点不可能总是落在实际图像像点上,需

要对坐标映射得到的像点进行灰度插值处理,根据实际图像上该点附近各像点的灰度值来估计该点的灰度值,从而得到与之对应的理想图像上映射点的灰度值。畸变校正原理图如图1所示。

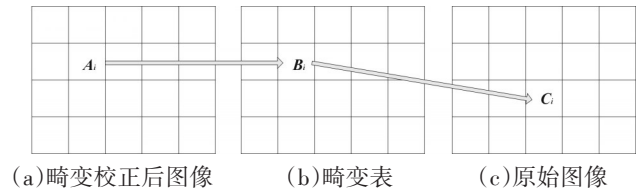
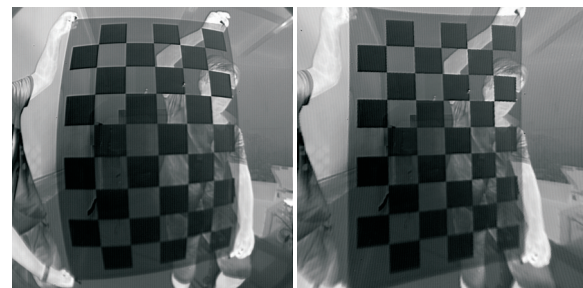


图1 畸变校正原理图

图1中 A_i 为畸变校正后的图像中第 i 个像点的灰度值; B_i 为畸变校正表中第 i 个元素值,存储原始图像地址信息; C_i 为原始图像中地址为 B_i 像点的灰度值,畸变校正映射关系如下式所示

$$A_i = C_i[B_i] \quad (1)$$

对畸变图像进行畸变校正效果图如图2所示。



(a) 网格图像原图 (b) 畸变校正后网格图像

图2 畸变校正效果图

受镜头设计因素的影响,相机输出网格图像存在一定的几何畸变,并且越靠近边缘视场畸变越严重(如图2a所示),通过对图像进行畸变校正处理得到无畸变图像(如图2b所示)。

1.2 图像全景拼接

由于相机理论安装位置与实际安装位置存在一定的偏差,影响图像拼接精度,需要根据相邻相机输出图像视场重叠区域相似性计算相机实际安装位置。并且,由于不同相机存在个体差异,造成不同相机输出图像存在一定的非一致性,通过一致性校准方法减少个体差异造成的非一致性影响。

在拼接图像中,以一幅图像为基准,根据相邻图像视场重叠区域灰度比值来校准相邻图像,其计算公式如下式所示

$$I'_n = k \cdot I_n \quad k = \frac{m_i}{m_j} \quad (2)$$

式中, m_i 和 m_j 分别为基准图像和与其相邻图像视场重叠区域灰度均值; k 为计算得到的相关系数; I_n 和 I'_n 分别为校准前后拼接图像像点灰度值。

相机个体差异同时会造成拼接图像接缝处灰度差异明显, 影响拼接图像视觉效果。通过采用边界融合方法将拼接接缝处灰度差异分散到其邻域像素中来消除拼接接缝, 提高拼接精度, 其计算公式(3)所示

$$I'_m = I_m - w_i \cdot d_m \quad (3)$$

式中, d_m 为拼接图像接缝处灰度差; w_i 为权重系数, 其值大小与校正点和接缝处像点距离成反比; I_m 和 I'_m 分别为校正前后校正点灰度值。

通过对每台相机输出图像进行亮度一致性校正和边界融合处理, 消除输出图像的亮度差异和拼接图像接缝。确定相关坐标系的定义和转换关系, 根据各个相机的安装角度, 建立每台相机输出图像在同一坐标系下的空间位置关系, 文中提出两种全景显示方式: 漫游显示和柱面全景显示。图3为漫游显示和柱面全景显示中成像面与相机输出图像的映射关系图。

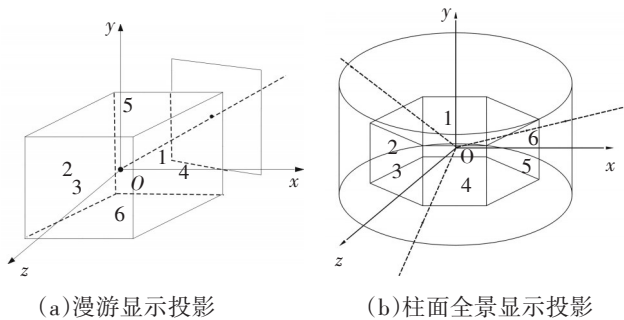


图3 全景拼接映射关系图

$$A = \begin{bmatrix} \cos(y)\cos(p) & -\sin(p)\cos(r) + \sin(y)\cos(p)\sin(r) & \sin(p)\sin(r) + \sin(y)\cos(p)\cos(r) \\ \cos(y)\sin(p) & \cos(p)\cos(r) + \sin(y)\sin(p)\sin(r) & -\cos(p)\sin(r) + \sin(y)\sin(p)\cos(r) \\ -\sin(y) & \cos(y)\sin(r) & \cos(y)\cos(r) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} d \\ n - w/2 \\ w/2 - m \end{bmatrix} \quad \text{则 } [X, Y, Z]^T = A \cdot B \quad (5)$$

式中, A 为漫游相机角 (y, p, r) 对应的转换矩阵; B 为安装角 $(0, 0, 0)$ 时 (m, n) 点在成像面空间坐标系下的空间坐标。

全景拼接算法中包括两个坐标系: 相机坐标系和成像面空间坐标系, 如图4所示。

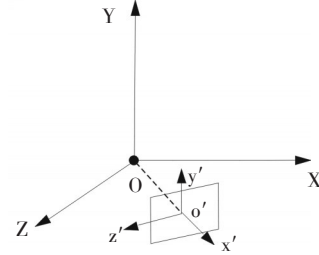


图4 相机坐标系和成像面空间坐标系示意图

相机坐标系 $o-xyz$ 的原点 o 位于相机的投影中心, ox 轴为光轴, 垂直于镜头向外, oy 平行于成像平面, 指向成像平面的下方, oz 平行于成像平面, 指向成像平面的右方。成像面空间坐标系 $O-XYZ$ 的原点 O 位于每台相机投影中心上, OX 轴向右, OY 轴竖直向上, OZ 轴垂直于 OXY 面且满足右手定律。

根据相机输出图像宽度、高度和视场大小, 计算出成像面中心与相机投影中心的距离, 其计算公式如下式所示

$$d = \frac{w}{2 \times \tan(\text{angle})} \quad (4)$$

式中, w 为输出图像宽度; angle 为输出图像半视场大小; d 为相机的放大系数。

漫游显示成像面空间坐标计算, 根据各个相机的安装角和计算得到的成像面与相机投影中心距离, 计算得到各个相机输出图像中像点在成像面空间坐标系下的空间坐标。设图像中任意一点 (m, n) , 可以得到该点在初始位置下 (视线角为 $(0, 0)$) 成像面空间坐标系中的坐标为 $(d, n-w/2, w/2-m)$, 通过坐标转换计算该点在实际视线角下的空间坐标。漫游相机视线角为 (y, p, r) , 则图像中 (m, n) 点在成像面空间坐标系下空间坐标 (X, Y, Z) 计算公式如下式所示

柱面全景显示成像面空间坐标计算, 需要计算柱面投影成像面上各点在成像面空间坐标系下的空间坐标。设柱面投影显示视场大小为 $360^\circ \times 60^\circ$,

图像大小为1 136×362,采用等分视场显示方法进行全景显示,将水平视场等分显示,水平方向每个像素所占视场大小分别为 $360^\circ/2\ 048$ 。设 α 为方位角、 β 为俯仰角、 r 为投影中心到柱面半径,则图像中任意一点可以表示为 (α,β,r) ,其在成像面空间坐标系下的空间坐标 (x,y,z) 计算如下式所示

$$\begin{cases} x=r\times\cos(\alpha) \\ y=r\times\tan(\beta) \\ z=r\times\sin(\alpha) \end{cases} \quad (6)$$

根据成像面上点在成像面空间坐标系下的空间坐标 $p(x,y,z)$ 、相机实际安装角度 (y,p,r) 和相机内部参数,可以反推出点 p 在相机成像面上投影点与投影中心连线所在射线方程,点 p 在下式所描述的射线上

$$(tx,ty,tz)^T \cdot l \quad (l>0) \quad (7)$$

式中,向量 (tx,ty,tz) 表示射线的方向; l 为标量,其值表示 p 点在射线上的位置。

根据式(4)计算得到的射线上一 (tx,ty,tz) 和相机放大系数,计算得到点 p 与投影中心连线所在射线与像面交点对应的相机编号和图像行列坐标,其计算公式如下式所示

$$\begin{cases} k=i & i \in [1, n] \\ \text{row} = ty \times d / tx + \frac{w}{2} & \text{if } tx > 0 \\ \text{col} = tz \times d / tx + \frac{w}{2} \end{cases} \quad (8)$$

式中, w 为相机输出图像半视场所占像素个数; d 为相机的放大系数,其计算公式如式(2)所示; k 为 $tx>0$ 时对应的相机编号,且 $k \in [1, n]$, n 为相机个数; row 为行坐标; col 为列坐标。

通过上述计算过程,得到了漫游显示和柱面显示方法成像面上点与相机输出图像像点的映射关系,根据映射关系,将成像面上像点灰度值赋给显示面上对应的点。

2 实验结果与分析

为验证文中算法的可行性,采用3个视场为 $90^\circ \times 90^\circ$ 相机输出图像进行实验图像采集,经过全景拼接算法处理来获得 $180^\circ \times 60^\circ$ 柱面全景显示图像,三部相机理论安装角分别为 60° 、 0° 和 300° 。由于安装误差的存在,需要根据相机输出图像两两重叠面的相似性计算每台相机的实际安装角度,消除图像拼接误差。

柱面全景显示仿真实验如图5所示。

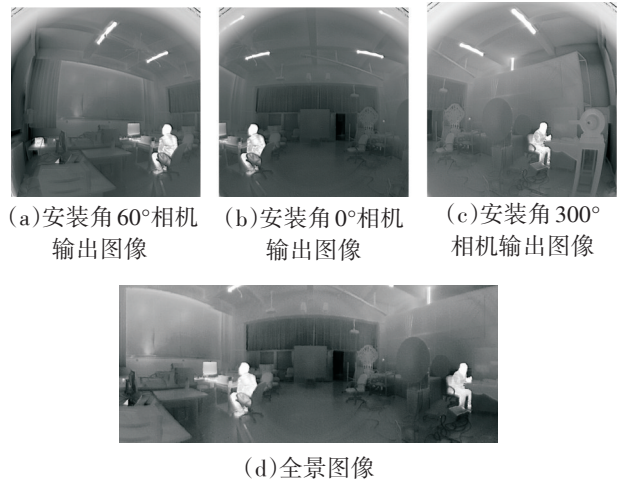


图5 柱面全景图像生成示意图

图5a、图5b和图5c分别为安装角分别为 60° 、 0° 和 300° 时相机的输出图像。由于相机理论安装位置与实际安装位置存在偏差,需要先对相机实际安装位置进行测量校准,通过对三部相机输出图像视场重叠区域进行空间匹配计算,得到三部相机的实际安装角度分别为 $(60.9, 0, 0)$ 、 $(0, 0, 0)$ 和 $(301.7, -0.3, 0)$ 。图5d所示为最终得到的 $180^\circ \times 60^\circ$ 柱面全景显示图像,图像整体感较强,无明显亮度差异和拼接接缝。

3 结论

图像全景拼接在虚拟现实技术中占有重要地位,应用图像全景拼接技术,可以获取任一指定视线角和指定视场的拼接图像,使用户产生身临其境的感受。由于传统的全景拼接算法存在拼接精度低和拼接图像存在色差问题,导致其无法在实践中得到广泛的应用。文中提出一种基于多相机输出图像空间映射的全景拼接算法,由于文中算法对相机实际安装角度计算精度高,并且对相机输出图像进行亮度一致性处理和边界融合处理,使得应用文中算法获得的全景图像无缝平滑。

参考文献

- [1] Grigore C Burdea, Philippe Coiffet. Virtual reality tech- (下转第57页)

4 结 论

研究了1394总线信号质量测试系统的设计与实现,从硬件构架和软件构架等方面进行了分析。通过搭建三种测试模式的测试构型,完成对被测设备的总线信号质量特性测试。

该系统集成度高,通用性强,在总线信号仿真测试应用中有效的协助了开发者对基于1394通讯设备的开发和验证,推动了1394总线通信技术在各个领域的应用,对于进一步研究1394总线有重要意义^[10]。

参考文献

- [1] 辛永利,靳伟平,贾钊,等. 1394总线三节点仿真设备设计与实现[J]. 电子技术应用,2016,42(6):17-20.
- [2] 蔡叶芳,张亚琦,牛少平,等. 飞管1394总线接口模块设计实现[J]. 电子技术应用,2016,42(6):10-12.
- [3] Society of automotive engineers. IEEE 1394b interfacerequirements for military and aerospace vehicle applications[S]. SAE Aerospace Standard 5643, 2004.
- [4] SAI Hao-wei. Analysis of a SAE AS5643 Mil-1394b based-high-speed avionics network architecture for space and-defense applications [C]//Proc of IEEE Aerospace Conference, 2007.
- [5] 张大朴,王晓,张大力,等. IEEE1394协议及接口设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004:16-50.
- [6] Don Andson,姜汉龙. FIREWIRE系统体系(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [7] 李肇庆. IEEE1394接口技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [8] 李世平,戴凡,汪旭东. IEEE1394(FireWire)系统原理与应用技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [9] 1394 Open Host Controller Interface Specification[Z]. 2000, 6.
- [10] 刘宝明,苏培培. 基于CPCI总线的IEEE1394接口模块设计与应用[J]. 计算机测量与控制,2011,19(10):2504-2506.

(上接第38页)

- [1] nology[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 江铁,朱桂斌,孙奥. 全景图像拼接技术研究现状综述[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2012,29(12):60-65.
- [3] Wang X, Tieu K, Grimson W E L. Correspondence-free multicamera activity analysis and scene modeling[C]//Proceedings of IEEE Conference Computer Vision Pattern Recognition (CVPR), 2008: 2963-2970.
- [4] Wang X. Intelligent multi-camera video surveillance: a review[J]. Patt Recog Lett, 2013, 34 (1): 3-19.
- [5] Szeliski R, Shum H. Creating full view panoramic image mosaics and environment maps[C]//Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1997: 251-258.
- [6] ZHONG Min, ZENG Ji-guo, XIE Xu-sheng. Panorama stitching based on SIFT algorithm and Levenberg-Marquardt optimization[J]. Physics Procedia, 2012, 33: 811-818.
- [7] 杜威,李华. 一种用于动态场景的全景表示方法[J]. 计算机学报,2002,25(9):968-975.
- [8] 封靖波,苏志勋,刘秀平. 一种基于相似性曲线的全景自动拼接算法[J]. 计算机学报,2003,26(11):1604-1608.
- [9] Kyungyoon Choi, Kyungkoo Jun. Real-time panorama video system using networked multiple camera[J]. Journal of Systems Architecture, 2015, 17(25): 1-12.
- [10] 朱庆辉,尚媛国,邵珠宏,等. 局部特征及视觉一致性的柱面全景拼接算法[J]. 中国图象图形学报,2016,21(11):1523-1529.