



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111429522 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 19

(21) 申请号 202010165389.0

(22) 申请日 2020.03.11

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111429522 A

(43) 申请公布日 2020.07.17

(73) 专利权人 云南大学
地址 650091 云南省昆明市五华区翠湖北
路2号

(72) 发明人 赵越 梁斯昕

(74) 专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理
有限公司 51214

代理人 阳佑虹

(51) Int. Cl.
G06T 7/80 (2017.01)

(56) 对比文件

CN 109272558 A, 2019.01.25

CN 109559351 A, 2019.04.02

CN 109712195 A, 2019.05.03

CN 101329764 A, 2008.12.24

CN 103106650 A, 2013.05.15

CN 104766306 A, 2015.07.08

WO 2006099172 A1, 2006.09.21

韩晓乐等.由共面圆确定摄像机参数的线性
方法.《计算机工程与应用》.2010,(第01期),

审查员 杨战鹏

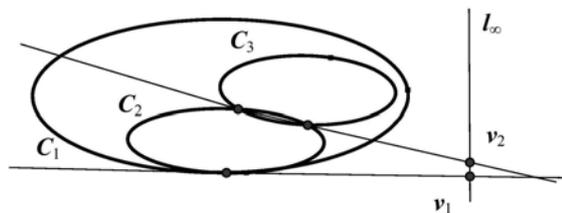
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法和系统

(57) 摘要

本发明公开了一种利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法和系统。分别从3幅图像中提取靶标图像边缘点,使用最小二乘法拟合获得二次曲线的系数矩阵;在此基础上,根据各种位置下两个共面圆的公共极点极线性质,都存在公共极点位于无穷远直线处,并且该极点对应的极线通过两个圆的圆心;当同心时有两个公共极点是无穷远点,当非同心的圆时,其中一个公共极点是无穷远点;因此,利用三个共面圆模板的公共极点极线性质获得消失线,消失线与二次曲线的交点为圆环点的像,三幅图像提供三组圆环点的像;最后,利用圆环点的像对绝对二次曲线像的约束求解摄像机内参数。本发明的试验场景简单,适用性广,计算过程为线性过程,可快速完成标定。



1. 一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于,包括以下步骤:

对于至少3幅不同的靶标图像,分别执行以下步骤A~C,所述靶标图像为采用针孔摄像机对由至少3个共面圆组成的靶标进行图像采集得到的结果;

A. 分别拟合靶标图像中各共面圆在像平面的二次曲线方程;

B. 从各共面圆的二次曲线方程中,任意选取两组二次曲线对,根据所取二次曲线对的公共极点极线关系,计算出在像平面上的消失点,从而得到对应的消失线;

C. 根据消失线计算圆环点的像;

D. 根据至少3幅靶标图像对应的圆环点的像,基于圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,计算出绝对二次曲线的像,再对绝对二次曲线的像进行分解,计算得到摄像机内参数。

2. 如权利要求1所述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于,所述A中,所述拟合靶标图像中各共面圆在像平面的二次曲线方程的方法为:提取靶标图像边缘点的像素坐标,采用最小二乘法拟合出对应的二次曲线方程。

3. 如权利要求1所述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于,所述B中,所述根据所取二次曲线对的公共极点极线关系,计算出在像平面上的消失点的方法为:计算所取二次曲线对的广义特征值,根据所取二次曲线对间的公共自极三角形的数量,从所述广义特征值的特征向量中确定出消失点。

4. 如权利要求3所述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于,所述根据所取二次曲线对间的公共自极三角形的数量,从所述广义特征值的特征向量中确定出消失点的方法包括:

在所取二次曲线对间有唯一的公共自极三角形时,确定广义特征值的特征向量中,不在二次曲线内的特征向量为消失点;

在所取二次曲线对间没有公共自极三角形时,确定广义特征值的特征向量中,与其他特征向量不相等的特征向量为消失点;

在所取二次曲线对间存在无数公共自极三角形时,确定广义特征值的特征向量中,值相等的特征向量为消失点。

5. 如权利要求1所述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于,所述基于圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,计算出绝对二次曲线的像的方法包括:

圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系为:

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(\mathbf{m}_i^T \omega \mathbf{m}_i) = 0 \\ \operatorname{Im}(\mathbf{m}_i^T \omega \mathbf{m}_i) = 0 \end{cases}, (i = 1, 2, \dots, N),$$

其中, N 为靶标图像的数量, \mathbf{m}_{i1} 为圆环点的像, ω 为绝对二次曲线的像;

根据所述圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,求解绝对二次曲线的像;

再对绝对二次曲线的像进行Cholesky分解再求逆,得到内参数矩阵,由此得到摄像机的内参数。

6. 如权利要求5所述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其特征在于

于,所述根据圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,求解绝对二次曲线的像的方法为:采用最小二乘法优化求解圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,得到绝对二次曲线的像。

7.如权利要求1所述的利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法,其特征在于,所述至少3幅不同的靶标图像为:从采集的至少3幅靶标图像中,选取的至少3个不同方位下所采集的靶标图像。

8.一种利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的系统,其特征在于,所述系统运行如权利要求1~7任一所述的利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法。

9.一种利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法,其特征在于,包括以下步骤:

A.利用针孔摄像机对由三个共面圆组成的靶标从至少3个不同方位进行图像采集,得到至少3幅靶标图像;

B.将至少3幅所述靶标图像导入如权利要求8所述的利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的系统,得到摄像机内参数。

利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机视觉领域,尤其是一种利用共面圆的公共极点极线性质标定摄像机的方法和系统。

背景技术

[0002] 计算机视觉的中心任务就是对图像进行理解,而它的最终目标是使计算机具有通过二维图像认知三维环境信息的能力。这种能力将不仅使机器能感知包括形状、姿态、运动等在内的三维环境中物体的几何信息,而且能对它们进行描述、存储、识别与理解。摄像机标定就是确定从三维空间点到它的二维图像点之间的映射关系,它是许多计算机视觉应用必不可少的步骤。为了确定这一映射过程,需要建立摄像机的几何成像模型,几何模型的参数称为摄像机参数,摄像机参数可分为内参数和外参数两类。内参数描述成像系统的成像几何特性,外参数描述成像系统关于世界坐标系的方向和位置。摄像机标定可分为传统标定、自标定和基于几何实体的标定。无论哪种标定方法,都旨在建立二维图像与摄像机内参数之间的约束关系,特别是线性约束关系,这是目前摄像机标定所追求的目标,也是目前计算机视觉领域研究的热点之一。

[0003] 针孔摄像机成像模型简单,制作方便,不需要一些特殊的镜面,是全景视觉领域研究的热点之一。传统的摄像机标定方法虽然可以获得较高的精度,但是标定块制作困难,不便于操作,文献“A Flexible New Technique for Camera Calibration”,(Zhengyou Zhang,IEEE transactions on Pattern and Machine Intelligence,vol.22,no.11,pp.1330-1334,2000.)提出了采用平面网格代替传统标定块的方法,其优势在于方法简单、成本低,标定稳定性和精度相对于自标定高;文献“Anew easy camera calibration technique based on circularpoints”,(X.Meng andZ.Hu,Pattern Recognition,vol.36,no.5,pp.1155-1164,2003.)利用一个圆和若干条过圆心的直线作为标定模板,提出基于圆环点进行摄像机标定,该方法将射影几何中圆环点的性质运用到标定中,于是圆环点成为摄像机标定方法的理论基础。

[0004] 文献“Camera calibration from the quasi-affine invariance of two parallel circles”,(Y.Wu,H.Zhu,Z.Hu,et al,European Conference on Computer Vision,vol.2021,no.1,pp.190-202,2004.)基于两个平行圆之间的拟仿射不变性求解圆环点的像,最少采用两个平行圆,得到所在平面上的圆环点,但该方法需要求解非线性方程组。“Euclidean Structure from $N \geq 2$ Parallel Circles:Theory and Algorithms”,(G.Pierre,S.Peter and,Y.Wu,European conference on Computer Vision,pp.238-252,2006)讨论了以两个平行圆形成二次曲线束,从几个方面概括和扩展了现有工作中两个及两个以上平行圆的性质,在统一的框架内同时处理正交线和圆,从而恢复图像的欧式结构。文献“The common self-polar triangle of separate circles:Properties and applications to camera calibration”,(Haifei Huang,Hui Zhang,Yiu-ming Cheung,International Conference on Image Processing,pp.1170-1174,2016)与“The common

self-polar triangle of concentric circles and its application to camera calibration”, (Haifei Huang, Hui Zhang, Yiu-ming Cheung, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.4065-4072, 2015) 将公共自极三角形这个几何概念运用到摄像机标定中, 利用公共自极坐标三角形的顶点位于无穷远处的直线。因此, 可以在图像中得到圆的支撑平面的消失线。该算法恢复了圆环点的像, 与以往的标定方法相比, 该方法避免了四次方程的求解和数值不稳定的问题, 但两篇文献中也仅只讨论了共面圆模板中分离圆和同心圆。

发明内容

[0005] 本发明的发明目的在于: 针对上述存在的问题, 提供一种适用性广、稳定性好的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法和系统, 以通过简单的场景布置和线性的求解方式, 完成对摄像机的标定。

[0006] 本发明利用各种位置的共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机。首先, 分别从3幅(或以上)图像中提取靶标图像边缘点, 使用最小二乘法拟合获得二次曲线的系数矩阵; 在此基础上, 根据各种位置下两个共面圆的公共极点极线性性质, 都存在公共极点位于无穷远直线处, 并且该极点对应的极线通过两个圆的圆心; 当同心时有两个公共极点是无穷远点, 当非同圆时, 其中一个公共极点是无穷远点; 因此, 利用三个(或以上)共面圆模板的公共极点极线性性质获得消失线, 消失线与二次曲线的交点为圆环点的像, 三幅图像提供三组圆环点的像; 最后, 利用圆环点的像对绝对二次曲线像的约束求解摄像机内参数。

[0007] 本发明采用的技术方案如下:

[0008] 一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法, 其包括以下步骤:

[0009] 对于至少3幅不同的靶标图像, 分别执行以下步骤A~C, 所述靶标图像为采用针孔摄像机对由三个共面圆组成的靶标进行图像采集得到的结果;

[0010] A. 分别拟合靶标图像中各共面圆在像平面的二次曲线方程;

[0011] B. 从各共面圆的二次曲线方程中, 任意选取两组二次曲线对, 根据所取二次曲线对的公共极点极线关系, 计算出在像平面上的消失点, 从而得到对应的消失线;

[0012] C. 根据消失线计算圆环点的像;

[0013] D. 根据至少3幅靶标图像对应的圆环点的像, 基于圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系, 计算出绝对二次曲线的像, 再对绝对二次曲线的像进行分解, 计算得到摄像机内参数。

[0014] 进一步的, 所述A中, 所述拟合靶标图像中各共面圆在像平面的二次曲线方程的方法为: 提取靶标图像边缘点的像素坐标, 采用最小二乘法拟合出对应的二次曲线方程。

[0015] 进一步的, 所述B中, 所述根据所取二次曲线对的公共极点极线关系, 计算出在像平面上的消失点的方法为: 计算所取二次曲线对的广义特征值, 根据所取二次曲线对间的公共自极三角形的数量, 从所述广义特征值的特征向量中确定出消失点。

[0016] 进一步的, 所述根据所取二次曲线对间的公共自极三角形的数量, 从所述广义特征值的特征向量中确定出消失点的方法包括:

[0017] 在所取二次曲线对间有唯一的公共自极三角形时, 确定广义特征值的特征向量中, 不在二次曲线内的特征向量为消失点;

[0018] 在所取二次曲线对间没有公共自极三角形时,确定广义特征值的特征向量中,与其他特征向量不相等的特征向量为消失点;

[0019] 在所取二次曲线对间存在无数公共自极三角形时,确定广义特征值的特征向量中,值相等的特征向量为消失点。

[0020] 进一步的,所述基于圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,计算出绝对二次曲线的像的方法包括:

[0021] 圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系为:

$$[0022] \quad \begin{cases} \operatorname{Re}\left(\mathbf{m}_i^T \omega \mathbf{m}_i\right)=0 \\ \operatorname{Im}\left(\mathbf{m}_i^T \omega \mathbf{m}_i\right)=0 \end{cases}, (i=1,2, \cdots, N),$$

[0023] 其中,N为靶标图像的数量, \mathbf{m}_{i1} 为圆环点的像, ω 为绝对二次曲线的像;

[0024] 根据所述圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,求解绝对二次曲线的像;

[0025] 再对绝对二次曲线的像进行Cholesky分解再求逆,得到内参数矩阵,由此得到摄像机的内参数。

[0026] 进一步的,所述根据圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,求解绝对二次曲线的像的方法为:采用最小二乘法优化求解圆环点的像对绝对二次曲线的像的线性约束关系,得到绝对二次曲线的像。

[0027] 进一步的,所述3幅不同的靶标图像为:从采集的至少3幅靶标图像中,选取的至少3个不同方位下所采集的靶标图像。

[0028] 为解决上述问题,本发明还提供了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统,该系统运行上述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法。

[0029] 为解决上述问题,本发明还提供了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,其包括以下步骤:

[0030] A. 利用针孔摄像机对由三个共面圆组成的靶标从至少3个不同方位进行图像采集,得到至少3幅靶标图像;

[0031] B. 将至少3幅所述靶标图像导入上述的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统,得到摄像机内参数。

[0032] 综上所述,由于采用了上述技术方案,本发明的有益效果是:

[0033] 1、本发明所设计的靶标结构简单,便于制作,仅需要在平面上画出最少三个任意位置的共面圆。

[0034] 2、本发明仅需最少3幅含最少3个共面圆的靶标图像,对于更多的靶标图像和靶标同样适用。

[0035] 3、本发明的求解过程为线性计算过程,计算复杂度和计算难度低,易于实现,能够快速完成摄像机标定。

附图说明

[0036] 本发明将通过例子并参照附图的方式说明,其中:

[0037] 图1是三个共面圆靶标的结构示意图。

[0038] 图2是靶标在像平面上的投影,及其由两组二次曲线恢复消失线。

具体实施方式

[0039] 本说明书中公开的所有特征,或公开的所有方法或过程中的步骤,除了互相排斥的特征和/或步骤以外,均可以以任何方式组合。

[0040] 本说明书(包括任何附加权利要求、摘要)中公开的任一特征,除非特别叙述,均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换。即,除非特别叙述,每个特征只是一系列等效或类似特征中的一个例子而已。

[0041] 实施例一

[0042] 本实施例以选取3幅靶标图像为例,3幅以上靶标图像的计算同理。本实施例公开了一种利用共面圆的公共极点极线性标定摄像机的方法,包括以下步骤:

[0043] 对于采集到的靶标图像中的3幅不同的靶标图像,分别执行以下步骤A~C,所述靶标图像为采用针孔摄像机对由三个共面圆(或三个以上,本文中以3个为例,3个以上数量的共面圆同理)组成的靶标进行图像采集得到的结果。

[0044] A. 分别拟合得到各共面圆对应的二次曲线方程(即靶标投影方程)。

[0045] 三个共面圆对应得到三个二次曲线方程,对应的系数矩阵为 C_i ($i=1,2,3$);在本文中,为了简化表述,用相同字母表示二次曲线和它的系数矩阵。

[0046] B. 从三个二次曲线方程中,任一选取两组二次曲线对。计算三个二次曲线方程中,任意两组二次曲线对 (C_i, C_j) ($i=1,2, j=2,3, i \neq j$)的广义特征值 λ_{ij} ($i, j=1,2,3$),其表示第 i 组二次曲线对的第 j 个特征值,广义特征值对应的特征向量为 m_{ij} ($i, j=1,2,3$)。根据所取二次曲线对的公共极点极线关系,计算出在像平面上的消失点,两组二次曲线对至少能够得到两个消失点 v_1, v_2 ,从而恢复消失线 $l_\infty = v_1 \times v_2$ 。下面对计算过程进行详细介绍。

[0047] 任意一点 x 和二次曲线 C 定义一条直线 $l=Cx$, l 称为点 x 关于 C 的极线,而点 x 称为 l 关于 C 的极点;如果点 y 在极线 $l=Cx$ 上,则 $y^T l = y^T Cx = 0$ 。满足 $y^T Cx = 0$ 的任何两点称为关于二次曲线 C 共轭。自极三角形,亦称自共扼三点形,指任意三个顶点关于给定二次曲线都是对边的极点。若任意三个顶点 m_i ($i=1,2,3$)关于二次曲线 C 互为共轭点,即满足 $m_i C m_j = 0$, ($i \neq j$) ($i, j=1,2,3$),那么三个顶点 m_i ($i=1,2,3$)构成的一个三点形为自极三角形。任意一个二次曲线通常有多个自极三角形;若任意两个二次曲线有两个自极三角形完全相等,那么就把它这个自极三角形 $\Delta m_1 m_2 m_3$ 形称为关于它们的公共自极三角形,即它们之间具有公共的极点极线关系。

[0048] 两共面圆 Q_1 和 Q_2 在像平面上被投影成二次曲线 C_1 和 C_2 , $C_2^{-1}C_1$ 的特征值为 λ_i ($i=1,2,3$)对应的特征向量为 m_i ($i=1,2,3$)。

[0049] 当二次曲线 C_1 和 C_2 为分离、包含(异心)、相交时,那么 $C_2^{-1}C_1$ 的特征值为 $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3$, $\text{rank}(C_1 - \lambda_i C_2) = 2$, ($i=1,2,3$), C_1 和 C_2 之间有唯一的公共自极三角形 $\Delta m_1 m_2 m_3$,一个顶点位于消失线上,即消失点 v ;当 C_1 和 C_2 相切时,那么 $C_2^{-1}C_1$ 的特征值为 $\lambda_1 = \lambda_2$, $\text{rank}(C_1 - \lambda_1 C_2) = 2$, λ_3 对应的特征向量 m_3 为消失点 v ,它们之间没有公共自极三角形;当两个 C_1 和 C_2 为同中心时,那么 $C_2^{-1}C_1$ 的特征值为 $\lambda_1 = \lambda_2$, $\text{rank}(C_1 - \lambda_1 C_2) = 1$, $\lambda_1 = \lambda_2$ 对应的特征向量 m_1, m_2 为消失点 v, v' ,存在无穷多个公共自极三角形。由此可见,选用两组二次曲线对就至少可以得到两个消失点。

[0050] C. 根据消失线 l_∞ 计算圆环点的像 m_i, m_j 。消失线 l_∞ 与任意一个共面圆的像 C_i ($i=1, 2, 3$) 交于圆环点的像 m_i, m_j 。

[0051] D. 根据三幅靶标图像对应的圆环点的像, 基于圆环点的像 m_{iI}, m_{iJ} ($i=1, 2, 3$) 对绝对二次曲线的像 ω 的线性约束计算出 ω , 再对绝对二次曲线的像 ω 进行分解得到摄像机内参数。具体而言, 圆环点的像 m_{iI}, m_{iJ} ($i=1, 2, 3$) 对绝对二次曲线的像 ω 的线性约束即

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(m_{iI}^T \omega m_{iI}) = 0 \\ \operatorname{Im}(m_{iI}^T \omega m_{iI}) = 0 \end{cases}, (i=1, 2, 3), \text{ 其中 } \operatorname{Re}, \operatorname{Im} \text{ 分别表示复数的实部和虚部, 根据该关系即可计}$$

算出绝对二次曲线的像 ω , 再对绝对二次曲线的像 ω 进行Cholesky分解再求逆便得到内参

$$\text{数矩阵 } \mathbf{K} = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 即获得摄像机5个内参数, 其中, } f_u, f_v \text{ 为摄像机在两个坐标轴方向}$$

上的尺度因子, s 称为倾斜因子, $[u_0, v_0]$ 称为主点坐标。

[0052] 在具体实施例过程中, 方法还包括靶标图像采集的过程, 即采集至少3幅靶标图像, 从中得到至少3幅靶标图像进行上述计算。

[0053] 实施例二

[0054] 本实施例公开了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法, 包括以下步骤:

[0055] A. 利用Matlab程序中的Edge函数提取3幅(或更多, 计算方法同理)靶标图像边缘点的像素坐标, 并用最小二乘法拟合获得对应的靶标投影方程, 靶标投影方程为二次曲线方程。靶标图像由针孔摄像机对由三个共面圆(或更多, 计算方法同理)构成的靶标进行图像采集所得。对于每一幅靶标图像而言, 三个共面圆对应得到三个二次曲线方程, 对应的系数矩阵为 C_i ($i=1, 2, 3$)。如图1所示, 靶标平面上有三个共面圆 Q_i ($i=1, 2, 3$), 其在针孔摄像机的投影为三个二次曲线 C_i ($i=1, 2, 3$), 如图2所示, 在本文中, 为了简化表述, 用相同字母表示二次曲线和它的系数矩阵。

[0056] B. 根据二次曲线对的公共极点极线性性质, 由(1)计算两组二次曲线对 (C_i, C_{i+1}) ($i=1, 2$)的特征值 λ_{ij} , ($i=1, 2, j=1, 2, 3$), 它表示第 i 组二次曲线对的第 j 个特征值, 对应的特征向量为 m_{ij} ($i, j=1, 2, 3$)。

$$[0057] (C_{i+1}^{-1} C_i - \lambda_{ij} I) m_{ij} = 0, (i=1, 2, j=1, 2, 3) \quad (1)$$

[0058] 其中 λ_{ij} 为第 i 组二次曲线对的第 j 个特征值, I 为单位矩阵。

[0059] 当 $C_{i+1}^{-1} C_i$ ($i=1, 2$)的特征值为 $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3$, $\operatorname{rank}(C_i - \lambda_j C_{i+1}) = 2$, ($j=1, 2, 3$), C_i 和 C_{i+1} 之间有唯一的公共自极三角形 $\Delta m_1 m_2 m_3$, 一个不在二次曲线内、顶点位于消失线上, 即消失点 v_i ; 当 $\lambda_1 = \lambda_2$, $\operatorname{rank}(C_i - \lambda_1 C_{i+1}) = 2$, 它们之间没有公共自极三角形, λ_3 对应的特征向量 m_3 为消失点 v_i ; 当 $\lambda_1 = \lambda_2$, $\operatorname{rank}(C_i - \lambda_1 C_{i+1}) = 1$, 存在无穷多个公共自极三角形, $\lambda_1 = \lambda_2$ 对应的特征向量 m_1, m_2 为消失点 v_i, v_i' 。

[0060] 如图2所示, 由两组二次曲线对 (C_i, C_{i+1}) ($i=1, 2$)至少得到两个方向消失点 v_1, v_2 , 则消失线 l_∞ 为:

$$[0061] l_\infty = v_1 \times v_2 \quad (2)$$

[0062] C. 根据消失线 l_∞ 计算圆环点的像 m_i, m_j 。

[0063] 消失线 l_∞ 与二次曲线 C_i 都相交于两个圆环点的像 m_{i1}, m_{i2} , 联立消失线 l_∞ 和二次曲线 C_i ($i=1, 2, 3$) 的方程:

$$[0064] \quad \begin{cases} \mathbf{l}_\infty^T [u \ v \ 1]^T = 0 \\ [u \ v \ 1]^T \mathbf{C}_i [u \ v \ 1]^T = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

[0065] 其中 $[u \ v \ 1]^T$ 表示像平面上点的齐次坐标。由于噪声的影响, 因此优选平均该其次方程。

[0066] 三幅图像即可得到三组圆环点的像 $m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22}$ 和 m_{31}, m_{32} 。

[0067] D. 求解针孔摄像机的内参数。

[0068] 根据圆环点的像 m_{i1}, m_{i2} ($i=1, 2, 3$) 对绝对二次曲线的像 ω 的线性约束关系:

$$[0069] \quad \begin{cases} \operatorname{Re}(\mathbf{m}_{i1}^T \omega \mathbf{m}_{i2}) = 0 \\ \operatorname{Im}(\mathbf{m}_{i1}^T \omega \mathbf{m}_{i2}) = 0 \end{cases}, (i=1, 2, 3) \quad (4)$$

[0070] 采用最小二乘法优化求解式(4), 即可得到二次曲线的像 ω 。然后对 $\omega = \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 进

行Cholesky分解得 \mathbf{K}^{-1} 再求逆便得到内参数矩阵 \mathbf{K} , $\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, 从而获得摄像机的5个

内参数, 完成摄像机的标定。

[0071] 实施例三

[0072] 本实例采用具体的案例, 利用实施例二的一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法来完成对针孔摄像机的标定。

[0073] A. 如图1所示, 三个共面圆 Q_1, Q_2 和 Q_3 构成靶标, 用针孔摄像机拍摄靶标在3个不同方位进行拍摄, 得到三幅靶图像。将三幅靶图像读入Matlab, 利用Matlab中的Edge函数提取靶图像边缘点的像素坐标, 并用最小二乘法拟合获得各幅靶图像中各共面圆的二次曲线的方程(靶标投影方程), 结果如下:

[0074] 第一幅图像中三个二次曲线的系数矩阵分别为 C_{1i} ($i=1, 2, 3$), 结果如下:

$$[0075] \quad \mathbf{C}_{11} = \begin{bmatrix} 0.000000113602473 & 0.000000138236537 & -0.000309363570818 \\ 0.000000138236539 & 0.000000292896725 & -0.000516861829197 \\ -0.000309363570818 & -0.000516861829197 & 0.999999999999462 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$[0076] \quad \mathbf{C}_{12} = \begin{bmatrix} 0.000000111068152 & 0.000000136874446 & -0.000307174292348 \\ 0.000000136874446 & 0.000000287402093 & -0.000513155081701 \\ -0.000307174292348 & -0.000513155081701 & 0.999999999999931 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$[0077] \quad \mathbf{C}_{13} = \begin{bmatrix} 0.000000106041125 & 0.000000134392262 & -0.000296042222111 \\ 0.000000134392262 & 0.000000291034879 & -0.000520133026751 \\ -0.000296042222111 & -0.000520133026751 & 0.999999999999157 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

[0078] 第二幅图像中三个二次曲线的系数矩阵分别为 C_{2i} ($i=1, 2, 3$), 结果如下:

$$[0079] \quad C_{21} = \begin{bmatrix} 0.000004038496067 & -0.000003198226750 & -0.001713725208912 \\ -0.000003198226750 & 0.000002749305625 & 0.001112687936874 \\ -0.001713725208912 & 0.001112687936874 & 0.999999999999839 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$[0080] \quad C_{22} = \begin{bmatrix} 0.000004149098976 & -0.000003267835989 & -0.001745435970608 \\ -0.000003267835989 & -0.000002780160634 & 0.001135160667104 \\ -0.001745435970608 & 0.001135160667104 & 0.999999999999585 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$[0081] \quad C_{23} = \begin{bmatrix} 0.000004336988002 & -0.00000346753089 & -0.001747072646827 \\ -0.00000346753089 & 0.000002959801021 & 0.001159758858839 \\ -0.001747072646827 & 0.001159758858839 & 0.999999999999452 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

[0082] 第三幅图像中三个二次曲线的系数矩阵分别为 C_{3i} ($i=1,2,3$), 结果如下:

$$[0083] \quad C_{31} = \begin{bmatrix} 0.000000578409481 & -0.000001164152069 & 0.000614334362327 \\ -0.000001164152069 & 0.000002580893938 & -0.001525531633226 \\ 0.000614334362327 & -0.001525531633226 & 0.999999999999722 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$[0084] \quad C_{32} = \begin{bmatrix} 0.000000576311903 & -0.000001178216454 & 0.000620929356485 \\ -0.000001178216454 & 0.000002630055880 & -0.001545776669022 \\ 0.000620929356485 & -0.001545776669022 & 0.999999999999823 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

$$[0085] \quad C_{33} = \begin{bmatrix} 0.000000624327859 & -0.000001280380189 & 0.000652766200424 \\ -0.000001280380189 & 0.000002807792924 & -0.001580684168548 \\ 0.000652766200424 & -0.001525531633226 & 0.999999999999815 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

[0086] B. 计算各幅靶标图像对应的消失线。

[0087] 选取两组二次曲线对 (C_i, C_{i+1}) ($i=1,2$), 根据二次曲线的公共极点极线性质, 由(1) 计算两组二次曲线对 (C_i, C_{i+1}) ($i=1,2$) 的特征值 λ_{ij} , ($i=1,2, j=1,2,3$), 对应的特征向量为 m_{ij} ($i, j=1,2,3$), 进一步计算出所取二次曲线对的至少两个方向的消失点 v_{i1}, v_{i2} (对应的值即为 m_{i1}, m_{i2} ($i=1,2,3$)). 对应计算结果如下:

[0088] 第一幅图像中两个消失点, 齐次坐标矩阵为:

$$[0089] \quad m_{11} = [0.797097678760242 \quad 0.797097678760242 \quad -0.000056360785882]^T, \quad (14)$$

$$[0090] \quad m_{12} = [-0.794182909366199 \quad -0.607678675531815 \quad -0.000365752016514]^T, \quad (15)$$

[0091] 第二幅图像中两个消失点, 齐次坐标矩阵为:

$$[0092] \quad m_{21} = [0.120143644537769 \quad -0.992753784683627 \quad 0.002329736791298]^T, \quad (16)$$

$$[0093] \quad m_{22} = [-0.602144757156308 \quad -0.798386701894222 \quad -0.000604704587210]^T, \quad (17)$$

[0094] 第三幅图像中两个消失点, 齐次坐标矩阵为:

$$[0095] \quad m_{31} = [0.797097678760242 \quad -0.603850384893595 \quad -0.00005.6360785880]^T, \quad (18)$$

$$[0096] \quad m_{32} = [-0.794182909366337 \quad -0.607678675531636 \quad -0.000365752016514]^T, \quad (19)$$

[0097] 根据(2) 得到各图像中消失线 $l_{i\infty}$ ($i=1,2,3$) 齐次线坐标矩阵:

$$[0098] \quad l_{1\infty} = [0.0001.86610248231 \quad 0.0003.36300856271 \quad -0.963946917196040]^T, \quad (20)$$

$$[0099] \quad l_{1\infty} = [0.002460353640654 \quad -0.001330187381458 \quad -0.693702574710390]^T, \quad (21)$$

$$[0100] \quad l_{3\infty} = [-0.0004.49974937546 \quad 0.001511670854165 \quad -0.670293962842918]^T, \quad (22)$$

[0101] C. 计算圆环点的像。

[0102] 消失线 $l_{i\infty}$ 与二次曲线 C_i 都相交于两个圆环点的像 m_{iI}, m_{iJ} ($i=1, 2, 3$), 根据式(3), 对于三幅图像, 能够得到三组圆环点 $m_{1I}, m_{1J}, m_{2I}, m_{2J}$ 和 m_{3I}, m_{3J} 的齐次坐标矩阵为:

$$[0103] \quad m_{1I} = \begin{bmatrix} 1829.953000932 + 2335.242470904i \\ 1850.899044209 - 1295.804542424i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (23)$$

$$[0104] \quad m_{1J} = \begin{bmatrix} 1829.953000932 + 2335.242470904i \\ 1850.899044209 + 1295.804542424i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (24)$$

$$[0105] \quad m_{2I} = \begin{bmatrix} 396.57256148353 - 454.66886520753i \\ 212.00484582114 - 840.96888408271i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (25)$$

$$[0106] \quad m_{2J} = \begin{bmatrix} 396.57256148353 - 454.66886520753i \\ 212.00484582114 + 840.96888408271i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (26)$$

$$[0107] \quad m_{3I} = \begin{bmatrix} 134.30908822064 - 1156.455603392i \\ 483.39205880285 - 344.23898329329i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

$$[0108] \quad m_{3J} = \begin{bmatrix} 134.30908822064 - 1156.455603392i \\ 483.39205880285 + 344.23898329329i \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (28)$$

[0109] D. 求解针孔摄像机的内参数。

[0110] 将(24)、(26)和(28)代入(4)得到 ω 中元素的线性方程组, 使用SVD分解求解该线性方程组得到 ω 的系数矩阵, 结果如下:

$$[0111] \quad \omega = \begin{bmatrix} 0.000000617089858 & -0.00000000548524 & -0.000157218040288 \\ -0.0000000005.48524 & 0.000001097049125 & -0.000440916906311 \\ -0.000157218040288 & -0.000279607653301 & 0.999999948550230 \end{bmatrix}, \quad (29)$$

[0112] 最后, 对(29)中的 ω 进行Cholesky分解再求逆便可获得 K , 结果如下:

$$[0113] \quad K = \begin{bmatrix} 1200.000000012 & 0.799999995844319 & 254.999999994824 \\ 0 & 900.00000000514 & 255.00000001256 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (30)$$

[0114] 得到的摄像机的五个内参数分别为: $f_u=1200.000000012, f_v=900.00000000514, s=0.799999995844319, u_0=254.999999994824, v_0=255.00000001256$ 。

[0115] 实施例四

[0116] 本实施公开了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统, 该系统运行上述实施例中的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法。

[0117] 实施例五

[0118] 本实施例公开了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,该方法包括以下步骤:

[0119] A. 利用针孔摄像机对由三个共面圆组成的靶标从3个不同方位进行图像采集,得到3幅靶标图像。

[0120] B. 将3幅所述靶标图像导入上述实施例的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统,得到摄像机内参数。

[0121] 实施例六

[0122] 本实施例公开了另一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法,该方法包括以下步骤:

[0123] A. 利用针孔摄像机对由三个共面圆组成的靶标从至少3个不同方位进行图像采集,得到至少若干幅靶标图像。

[0124] B. 从获得的若干靶标图像中选取不同方位下采集的至少3幅靶标图像,导入上述实施例的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统,得到摄像机内参数。

[0125] 实施例七

[0126] 本实施例公开了一种计算机可读存储介质,该介质中存储有计算机程序,运行该程序可执行上述实施例一~三中的利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的方法。

[0127] 实施例八

[0128] 本实施例公开了一种利用共面圆的公共极点极线性性质标定摄像机的系统,该系统包括处理器和实施例七中的计算机可读存储介质,处理器连接计算机可读存储介质,用于运行其存储的计算机程序。

[0129] 本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合,以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。

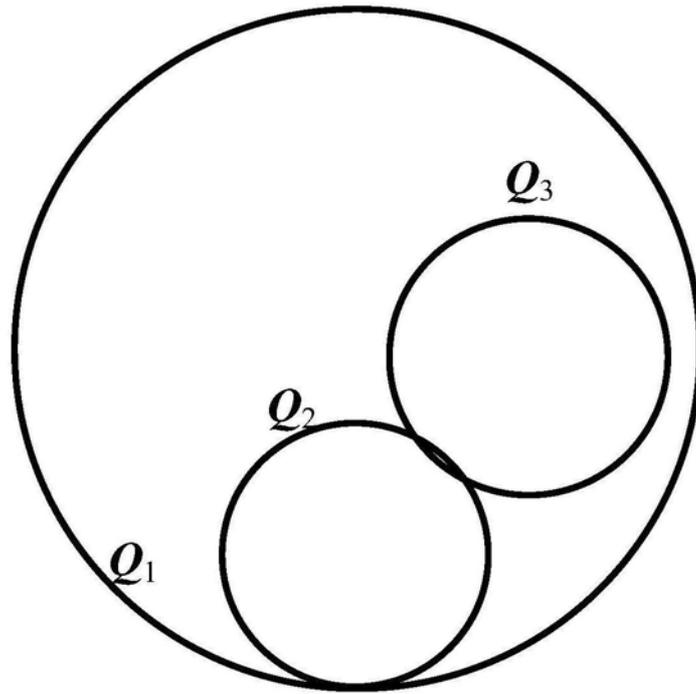


图1

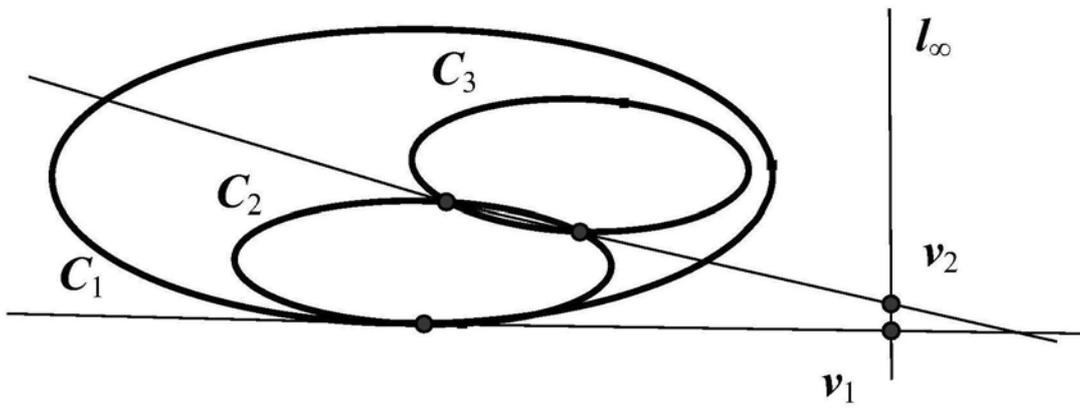


图2