



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103106662 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 15

(21) 申请号 201310044095. 2

(22) 申请日 2013. 02. 01

(71) 申请人 云南大学

地址 650091 云南省昆明市翠湖北路 2 号云南大学

(72) 发明人 赵越 周炳 雷建冲

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2006. 01)

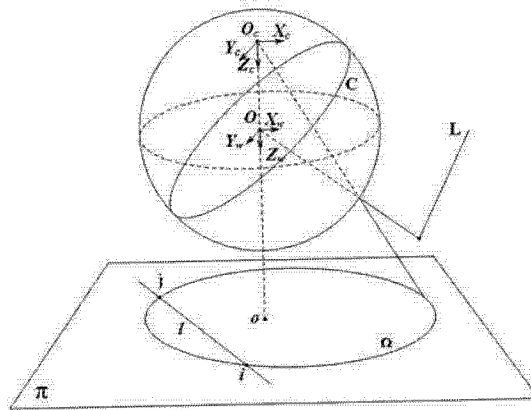
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

## (54) 发明名称

空间一条直线线性求解抛物折反射摄像机内参数

## (57) 摘要

本发明涉及一种利用空间中一条直线线性求解抛物折反射摄像机内参数的方法,该方法利用的是由空间中一条直线构成的用于抛物折反射摄像机自标定的标定物。使用抛物折反射摄像机对标定物从不同的方向拍摄 3 幅图像,直线的抛物折反射图像是二次曲线,从图像上提取边界像素点坐标以及 3 幅标定物图像的像点坐标,分别拟合曲线方程,根据配极原则,得出图像平面上圆环点的像,利用圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束线性求解摄像机内参数。利用本发明中的标定物可以实现全自动标定,减少了标定过程中由测量引起的误差。由于直线是一种更简洁更全局化的基元,在摄像机标定过程中提高了标定精度。



1. 一种利用空间中一条直线线性求解抛物折反射摄像机内参数的方法,其特征  
 在于只利用直线元素,此标定物是由空间中一条直线构成;直线的抛物折反射图像是  
 二次曲线,首先从图像上提取边界像点坐标,拟合边界曲线方程并求出边界曲线的中  
 心,边界曲线的中心即为图像中心的初始值,然后从不同方向上得到空间一条直线  
 的三幅图像,从三幅图像中分别提取直线的像点坐标,利用最小二乘算法分别拟合出图  
 像中的曲线方程,根据配极原则,分别求出图像平面上圆环点的像,利用圆环点的像  
 对绝对二次曲线的像的约束线性求解抛物折反射摄像机内参数;具体步骤包括:拟合  
 图像中的边界曲线方程,求解图像中心的初始值,分别拟合图像中的曲线方程,求解  
 图像中心关于各曲线的极线及圆环点的像,求解抛物折反射摄像机内参数矩阵中的  
 $\alpha, f_c, s, u_0, v_0$  5 个参数;

(1) 计算图像中心的初始值

摄像机的镜面边缘在球模型中对应着一个与虚拟针孔相机光轴垂直的圆,其投影是一个椭圆,椭圆中心即为图像中心;

(2) 得到空间中一条直线不同方向的三幅图像

移动空间一条直线的位置,利用抛物折反射摄像机拍摄三幅图像;

(3) 拟合曲线

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数分别提取出三幅图像中的空间直线像点坐标,并用最  
 小二乘算法拟合出曲线方程;

(4) 分别计算图像中心关于各曲线的极线及圆环点的像

在成像模型中, $O$  是大圆  $C$  的圆心,则  $O$  关于  $C$  的极线分别是大圆所在平面的无穷远  
 直线  $l_\infty$ , 无穷远直线与对应圆的交点为圆环点  $I, J$ ; 在像平面  $\pi$ ,  $O$  关于大圆  $C$  的像  $O'$  的  
 极线为  $l$ , 极线与对应二次曲线的交点为圆环点的像  $i, j$ ;

(5) 求解抛物折反射摄像机内参数

使用抛物折反射摄像机拍摄 3 幅图像,由圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束,线  
 性求解出抛物折反射摄像机的 5 个内参数,即矩阵  $K = \begin{bmatrix} \alpha f_c & s & u_0 \\ 0 & \alpha^{-1} f_c & v_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ , 其中  $s$  为图像的

畸变因子,  $\alpha$  为纵横比,  $f_c$  为焦距,  $(u_0, v_0)$  为主点坐标,它们为抛物折反射摄像机的 5 个内  
 参数。

## 空间一条直线线性求解抛物折反射摄像机内参数

### 技术领域

[0001] 本发明属于计算机研究领域,涉及一种用于求解抛物折反射摄像机内参数的直线标定物。利用空间中一条直线作为标定模板,利用二次曲线的性质得到它的圆环点的像,线性确定抛物折反射摄像机内参数。

### 背景技术

[0002] 计算机视觉的基本任务之一,就是从摄像机获得的二维图像信息出发恢复物体在三维空间中的几何信息,从而识别和重建三维空间中物体的几何形状。在此过程中必须确定空间物体点的三维几何位置与其图像中的对应点之间的相互关系,而这种关系又由摄像机成像的几何模型决定的,这些几何模型的参数就是摄像机参数。在大多数条件下,这些参数都是通过实验得到的,这就是摄像机标定。它一般分为传统标定和自标定两种方法,无论哪种标定方法,标定物体都是采用一些特殊的几何模型,例如:平面正方形、三角形、圆、空间立方体及圆柱等等。如何建立这些几何模型与摄像机参数之间的关系尤其是某种线性的关系,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。抛物折反射摄像机由一个抛物镜面和一个正交摄像机组成,可视范围大且保持单视点约束,是现代视觉领域研究热点。文献“Plane-based calibration of central catadioptric cameras”,(S.Gasparini, P.Sturm, J.P.Barreto, IEEE 12th International Conference on Computer Vision, pp. 1195-1202, 2009.)要用到有控制点的二维模板,这些控制点可以是角点、画上去的点或者任何容易由图像上提取的点,但是这种方法需要用迭代的方法求解内参数和外参数。文献“Calibration of central catadioptric cameras using a DLT-like approach”(L.Puig, Y.Bastanlar, P.Sturm, J.J.Guerrero, J.Barreto, International journal of Computer Vision, vol.93, pp. 101-114, 2011.)提出基于三维点的标定,这种方法需要知道单幅图像上三维点的位置。文献“Generic self-calibration of central cameras”(S.Ramalingam, P.Sturm, S.K.Lodha, Computer Vision and Image Understanding, vol. 114, pp. 210-219, 2010.)提出一种自标定方法,无需知道点的空间位置及摄像机位置,但要利用多幅图像上点的对应关系。

[0003] 直线是场景中最常见的几何元素,且直线的抛物折反射成像一般是二次曲线,二次曲线在摄像机标定过程中有很多良好的性质,因而利用直线对抛物折反射摄像机进行标定是一种简便常用的方法。文献“Geometric properties of central catadioptric line images and there application in calibration”(I.P.Barreto, H.Araujo, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, pp. 1327-1333, 2005.)研究了中心折反射模型下直线图像的几何性质,并提出了适用于任何类型的中心折反射系统的标定方法。文献“Catadioptric camera calibration using geometric invariants”(X.Ying, Z.Hu, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, No. 10, pp. 1260-1271, 2004.)分析了折反射摄像

机内参数与球的成像轮廓之间的关系,他们利用直线和球的投影进行标定,直线提供了三个不变量,球提供了两个不变量。文献“Easy calibration for para-catadioptric-like camera”(Y.wu, Y.Li, A.Hu, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5719-5724, 2006)建立了关于内参数的线性约束,将中心折反射模型转换为针孔模型,无需进行曲线拟合就可以标定类似折反射摄像机。

## 发明内容

[0004] 本发明提供了一种适用广泛,稳定性好的用于求解抛物折反射摄像机内参数的标定物,该标定物由空间中一条直线构成,直线的抛物折反射图像是二次曲线。在求解抛物折反射摄像机内参数的过程中,只需使用抛物折反射摄像机从不同的方向拍摄空间一条直线的3幅图像就可以线性求解出抛物折反射摄像机的5个内参数。

[0005] 本发明采用如下技术方案:

本发明是由空间中一条直线用于抛物折反射摄像机自标定的标定物。具体的步骤包括:从图像上提取图像边界点坐标以及空间直线在不同方向的三幅图像的像点坐标,拟合边界椭圆方程和空间直线在不同方向的三幅图像的像点的所形成的曲线方程,根据配极原则,得出三幅图像平面上圆环点的像,利用圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束线性求解抛物折反射摄像机内参数。

[0006] 1. 拟合图像边界曲线方程

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数提取出图像边界的像素坐标,并用最小二乘算法拟合出图像边界曲线方程。

[0007] 2. 计算图像中心的初始值

摄像机的镜面边缘在球模型中对应着一个与虚拟针孔相机光轴垂直的圆(如图1),其中  $O_c - X_c Y_c Z_c$  为摄像机坐标系,  $O - X_w Y_w Z_w$  为世界坐标系,其中  $O$  为球心,  $O_c$  为抛物折反射摄像机中心,  $Z_c$  和  $Z_w$  方向为  $O_c O$  的方向,  $X_c$  和  $X_w$  平行,  $Y_c$  和  $Y_w$  平行,其投影是一个椭圆(称为边界椭圆),投影平面垂直于  $O_c O$ ,投影椭圆中心  $o$  即为图像中心,其坐标为  $(u_0, v_0)$ 。一般来说,不同于一条空间直线的像,边界椭圆是一条较完整的二次曲线,因而能够较好地拟合出它的代数方程,同时其中心与  $(u_0, v_0)$  重合。假设边界椭圆的二次曲线方程表示为  $ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + f = 0$ , 其中  $a, b, c, d, e, f$  为系数,  $x, y$  为曲线上的坐标,从而得到  $u_0 = \frac{be - cd}{ac - b^2}$ ,  $v_0 = \frac{bd - ae}{ac - b^2}$ 。

[0008] 3. 得到空间中一条直线不同方位的三幅图像

假定抛物折反射摄像机固定不动,通过对空间的一条直线进行旋转和平移得到不同方位上的三幅图像。

[0009] 4. 拟合曲线方程

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数分别提取出三幅图像中的空间直线像点坐标,并用最小二乘算法拟合出曲线方程。

[0010] 5. 计算图像中心关于曲线的极线及圆环点的像

在空间一条直线  $L$  成像模型中(如图 2), 其中  $O_c-X_cY_cZ_c$  为摄像机坐标系,  $O-WX_WY_WZ_W$  为世界坐标系坐标系的设置与图 1 相同, 直线  $L$  在抛物折反射镜面上的像为大圆  $C$ ,  $O$  是大圆  $C$  的圆心, 则  $O$  关于  $C$  的极线分别是大圆所在平面的无穷远直线  $l_\infty$ , 无穷远直线与对应圆的交点为圆环点  $I$ 、 $J$ 。在像平面  $\pi$ , 大圆的像  $C$  为二次曲线  $\Omega$ ,  $o$  关于  $\Omega$  的极线分别为  $l$ , 极线与对应二次曲线的交点为圆环点的像  $i$ 、 $j$  (如图 2)。

#### [0011] 6. 求解抛物折反射摄像机内参数

使用抛物折反射摄像机拍摄 3 幅图像, 由圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束, 线性求解出抛物折反射摄像机的 5 个内参数, 即矩阵  $K = \begin{bmatrix} \alpha f_c & s & u_0 \\ 0 & \alpha^{-1} f_c & v_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ , 其中  $s$  为图像的

畸变因子,  $\alpha$  为纵横比,  $f_c$  为焦距,  $(u_0, v_0)$  为主点坐标, 它们为抛物折反射摄像机的 5 个内参数。

#### [0012] 本发明优点:

1. 本发明主要适用于拍摄场景中含有一条直线标定物, 属于非接触式测量方法, 直接提取图像中相关的信息;
2. 本发明的算法标定出的摄像机内参数矩阵是 5 参数矩阵, 包含了光学成像中的所有参数, 主要有光学成像中心、倾斜因子和有效焦距的标定;
3. 只需用抛物折反射摄像机拍摄 3 幅图像便可求解圆环点图像坐标, 线性求解出抛物折反射摄像机的 5 个内参数。

#### 附图说明

[0013] 图 1 是用于求解抛物折反射摄像机内参数的主点初始值示意图。

[0014] 图 2 是标定物抛物折反射成像模型以及成像平面。

#### 具体实施方式

[0015] 一种用于求解抛物折反射摄像机内参数的标定物, 它是由空间中一条直线构成的。用此新型标定物完成抛物折反射摄像机内参数的求解需要经过以下步骤: 从图像上提取标定物像点坐标和边界像素坐标, 拟合边界椭圆方程和空间直线像点的椭圆方程, 根据配极原则, 得出图像平面上圆环点的像, 利用圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束线性求解抛物折反射摄像机内参数。利用本发明中的方法对用于的抛物折反射摄像机进行标定, 具体步骤如下:

##### 1. 拟合图像边界曲线方程

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数提取出图像边界的坐标, 并用最小二乘算法拟合出图像边界曲线方程。

##### [0016] 2. 计算图像中心的初始值

摄像机的镜面边缘在球模型中对应着一个与虚拟针孔相机光轴垂直的圆(如图 1), 其

中  $O_c - X_c Y_c Z_c$  为摄像机坐标系,  $O - X_w Y_w Z_w$  为世界坐标系, 其中  $O$  为球心,  $O_c$  为抛物折反射摄像机中心,  $Z_c$  和  $Z_w$  方向为  $O_c O$  的方向,  $X_c$  和  $X_w$  平行,  $Y_c$  和  $Y_w$  平行, 其投影是一个椭圆(称为边界椭圆), 投影平面垂直于  $O_c O$ , 投影椭圆中心  $o$  即为图像中心, 其坐标为  $(u_0, v_0)$ 。边界椭圆是一条较完整的二次曲线, 因而能够较好地拟合出它的代数方程。假设边界椭圆表示为  $ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + f = 0$ , 从而得到  $u_0 = \frac{be - cd}{ac - b^2}$ ,  $v_0 = \frac{bd - ae}{ac - b^2}$ 。

### [0017] 3. 得到空间中一条直线不同方向的三幅图像

假定抛物折反射摄像机固定不动, 通过对空间的一条直线进行旋转和平移得到不同方向上的三幅图像。

### [0018] 4. 拟合曲线方程

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数分别提取出三幅图像中的空间直线像点坐标, 并用最小二乘算法拟合出曲线方程。

### [0019] 5. 计算图像中心关于曲线的极线及圆环点的像

在空间一条直线  $L$  成像模型中(如图 2), 其中  $O_c - X_c Y_c Z_c$  为摄像机坐标系,  $O - X_w Y_w Z_w$  为世界坐标系坐标系的设置与图 1 相同, 直线  $L$  在抛物折反射镜面上的像为大圆  $C$ ,  $O$  是大圆  $C$  的圆心, 则  $O$  关于  $C$  的极线分别是大圆所在平面的无穷远直线  $l_\infty$ , 无穷远直线与对应圆的交点为圆环点  $I, J$ 。在像平面  $\pi$ ,  $o$  关于  $C$  的极线分别为  $l$ , 极线与对应二次曲线的交点为圆环点的像  $i, j$  (如图 2)。

### [0020] 6. 求解抛物折反射摄像机内参数

使用抛物折反射摄像机拍摄 3 幅图像, 由圆环点的像对绝对二次曲线的像的约束, 线性求解出抛物折反射摄像机的 5 个内参数, 即矩阵  $K = \begin{bmatrix} \alpha f_c & s & u_0 \\ 0 & \alpha^{-1} f_c & v_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ , 其中  $s$  为图像的

畸变因子,  $\alpha$  为纵横比,  $f_c$  为焦距,  $(u_0, v_0)$  为主点坐标, 它们为抛物折反射摄像机的 5 个内参数。

## 实施例

[0021] 本发明提出了利用空间中一条直线作为标定物线性确定抛物折反射摄像机的内参数, 本发明采用的结构示意图如图 2 所示。下面以一实例对本发明的实施方案做出更为详细的描述。

[0022] 基于空间中一条直线的抛物折反射摄像机标定方法采用的实验模板是空间中一条直线  $L$ , 如图 2 所示。具体步骤如下:

#### 1. 拟合图像边界曲线方程

本发明采用的图像分辨率为  $1024 \times 768$  个像素, 用抛物折反射摄像机从不同方向上拍摄 3 幅实验图片, 读入图像, 利用 Matlab 程序中的 Edge 函数提取出图像特征点的坐标, 并

用最小二乘算法拟合图像中的各条曲线,获取曲线方程。

[0023] 经过以上方法计算图像上的边界曲线系数矩阵为  $H$  :

$$H = \begin{bmatrix} 0.00000309663585 & 0.00000000057823 & -0.00160908961382 \\ 0.00000000057823 & 0.00000308884043 & -0.00121393115576 \\ -0.00160908961382 & -0.00121393115576 & 1.00000000000000 \end{bmatrix} .$$

[0024] 2. 计算图像中心的初始值

摄像机的镜面边缘在球模型中对应着一个与虚拟针孔相机光轴垂直的圆(如图1),其中  $O_c - X_c Y_c Z_c$  为摄像机坐标系,  $O - X_w Y_w Z_w$  为世界坐标系,其中  $O$  为球心,  $O_c$  为抛物折反射摄像机中心,  $Z_c$  和  $Z_w$  方向为  $O_c O$  的方向,  $X_c$  和  $X_w$  平行,  $Y_c$  和  $Y_w$  平行,其投影是一个椭圆(称为边界椭圆),投影平面垂直于  $O_c O$ ,投影椭圆中心  $o$  即为图像中心,其坐标为  $(u_0, v_0)$ 。一般来说,不同于一条空间直线的像,边界椭圆是一条较完整的二次曲线,因而能够较好地拟合出它的代数方程。假设边界椭圆的二次曲线方程表示为:

$$ax^2 + 2bxy + cy^2 + 2dx + 2ey + f = 0 \quad (1)$$

$$\text{从而得到 } u_0 = \frac{be - cd}{ac - b^2}, v_0 = \frac{bd - ae}{ac - b^2} \quad (2)$$

由上一步图像边界曲线方程的系数矩阵,得到方程(1)中的  $a = 0.00000309663585$ ,  $b = 0.00000000057823$ ,  $c = 0.00000308884043$ ,  $d = -0.00160908961382$ ,  $e = -0.00121393115576$ ,  $f = 1.00000000000000$  代入方程(2)得到图像中心的初始值:  $u_0 = 519.5516999999999$ ,  $v_0 = 392.9081999999996$ , 即图像中心齐次坐标  $o = (519.5516999999999 \quad 392.9081999999996 \quad 1)^T$ 。

[0025] 3. 得到空间中一条直线不同方向的三幅图像

假定抛物折反射摄像机固定不动,通过对空间的一条直线进行旋转和平移得到不同方向上的三幅图像,其旋转矩阵  $R_i$  和平移向量  $T_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 分别为

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.11294008081877 & 0.98186386328117 & 0.15227571089053 \\ -0.95585376077623 & 0.14920757262889 & -0.25314163679674 \\ -0.27127131465488 & -0.11696347401116 & 0.95536978159907 \end{bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} -0.99932801090110 & -0.00652814723700 & 0.03606812889650 \\ -0.01153260252196 & -0.87803872285246 & -0.47845062467374 \\ 0.03479260995547 & -0.47854507046387 & 0.87737340387501 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} -0.07339209336632 & 0.50175739099469 & 0.86188927433488 \\ -0.85928520260473 & -0.47046917634293 & 0.20071794811565 \\ 0.50620405096745 & -0.72587758933129 & 0.46568141909543 \end{bmatrix};$$

$$T_1 = [1 \quad 1 \quad -6]^T, T_2 = [7 \quad 7 \quad -42]^T, T_3 = [6 \quad 6 \quad -36]^T.$$

## [0026] 4. 拟合曲线方程

利用 Matlab 程序中的 Edge 函数分别提取出三幅图像中的空间直线像点坐标,并用最小二乘算法拟合出曲线方程。空间直线的在抛物折反射摄像机中的三幅成像的曲线为  $\Omega_1$ 、 $\Omega_2$ 、 $\Omega_3$ , 其对应的系数矩阵为:  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ , 如下:

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0.00000012721067 & -0.00000000001460 & -0.00092135231091 \\ -0.00000000001460 & 0.00000012689079 & -0.00013921528428 \\ -0.00092135231091 & -0.00013921528428 & 0.99999956586440 \end{bmatrix},$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0.00000059150773 & -0.00000000006802 & -0.00030185950989 \\ -0.00000000006802 & 0.00000059001869 & -0.00126854517272 \\ -0.00030185950989 & -0.00126854517272 & 0.99999914983628 \end{bmatrix},$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} 0.00000047222613 & -0.00000000005430 & -0.00104590829245 \\ -0.00000000005430 & 0.00000047103737 & -0.00020498953580 \\ -0.00104590829245 & -0.00020498953580 & 0.99999943202718 \end{bmatrix}.$$

## [0027] 5. 计算图像中心关于曲线的极线及圆环点的像

分别计算图像中心初始值关于三幅像平面  $\pi_i$ ,  $i=1,2,3$  上的曲线  $\Omega_1$ 、 $\Omega_2$ 、 $\Omega_3$  的极线  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ , 设极线的齐次线坐标为  $(l_x, l_y, 1)^T$ ,  $i=1,2,3$ , 则极线方程为(3)

$$\pi_i: (u_0, v_0, 1)H_i \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ 1 \end{pmatrix} = 0, \quad i=1,2,3, \quad (3)$$

图像中心关于二次曲线的极线与对应二次曲线交点即为圆环点的像,圆环点的像坐标是共轭复数,成对出现。点在曲线上表示为方程(4)

$$(u, v, 1)H_i \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = 0, \quad i=1,2,3, \quad (4)$$

点在极线上表示为方程(5)

$$(u, v, 1) \begin{pmatrix} l_x \\ l_y \\ 1 \end{pmatrix} = 0, \quad i=1,2,3. \quad (5)$$

联立方程(4)、(5)解得圆环点的像  $i_1$ 、 $j_1$ 、 $i_2$ 、 $j_2$ 、 $i_3$ 、 $j_3$ , 结果如下:

$$i_1 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 5.04682011506117 + 0.33115929143473i \\ 3.91348862378975 - 3.16930094988453i \end{bmatrix},$$

$$j_1 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 5.04682011506117 - 0.33115929143473i \\ 3.91348862378975 + 3.16930094988453i \end{bmatrix};$$



$$i_2 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 5.19846453256273 + 3.23080936647497i \\ 3.35247064625117 + 0.01692945264258i \end{bmatrix},$$

$$j_2 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 5.19846453256273 - 3.23080936647497i \\ 3.35247064625117 - 0.01692945264258i \end{bmatrix};$$

$$i_3 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 4.59974189551993 + 0.08065037956546i \\ 3.91413459188825 - 3.23754773111945i \end{bmatrix},$$

$$j_3 = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 4.59974189551993 - 0.08065037956546i \\ 3.91413459188825 + 3.23754773111945i \end{bmatrix}.$$

[0028] 6. 求解抛物折反射摄像机内参数

经过以上步骤得到六个圆环点的像坐标,可线性地解出抛物折反射摄像机的内参数矩阵为:

$$K = (1.0e+002) \times \begin{bmatrix} 3.17911174264563 & 0.00035271834808 & 5.19551437993394 \\ 0 & 3.18311714743006 & 3.92908026124418 \\ 0 & 0 & 0.0100000000000000 \end{bmatrix}$$

,其中焦距  $f_c = \sqrt{K(1,1) \times K(2,2)}$ ,纵横比  $\alpha = \sqrt{K(1,1)/K(2,2)}$ ,故抛物折反射摄像机的五个内参数分别为: $s = 0.00035271834808 \times 10^2$ ,  $\alpha = 0.99937063805379$ ,  $f_c = 3.181113814627128 \times 10^2$ ,  $u_0 = 5.19551437993394 \times 10^2$ ,  $v_0 = 3.92908026124418 \times 10^2$ 。

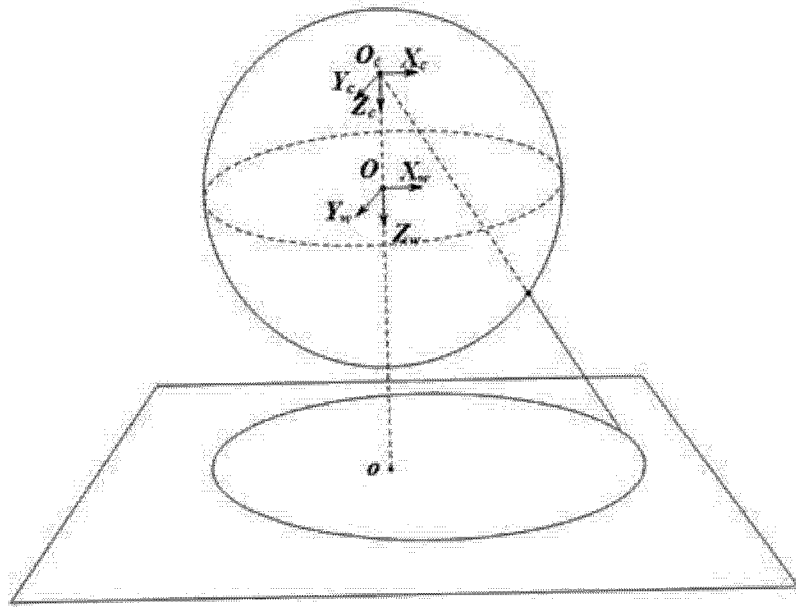


图 1

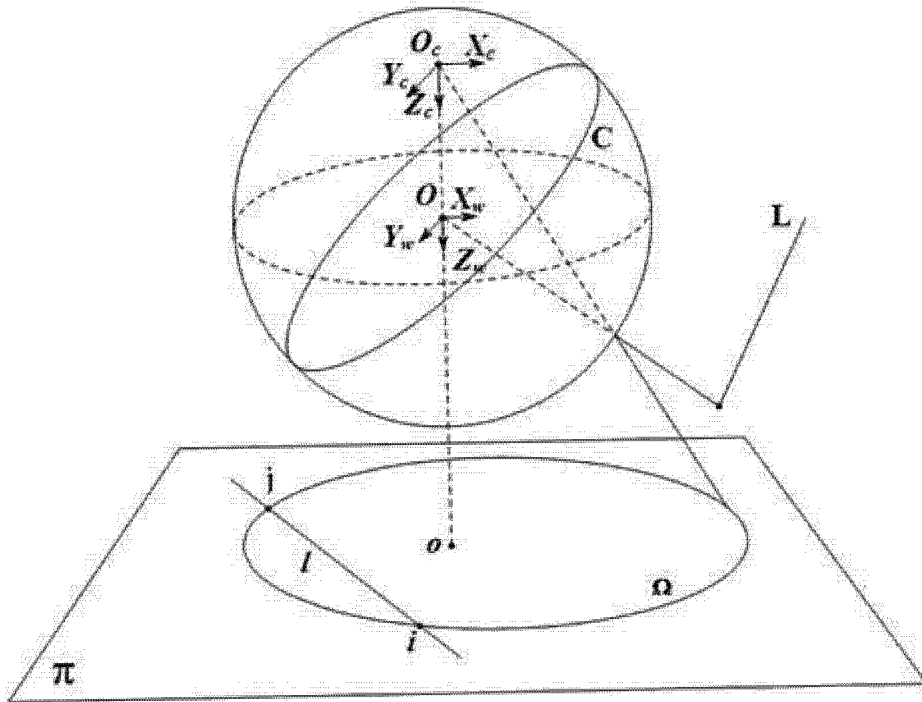


图 2