



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105528770 B

(45)授权公告日 2018.11.06

(21)申请号 201511035111.7

CN 104990517 A,2015.10.21,

(22)申请日 2015.12.31

US 2006/0181687 A1,2006.08.17,

(65)同一申请的已公布的文献号

郑永瑞等.“一种位置可调整的实时图像预畸变方法”.《电光与控制》.2015,第22卷(第8期),论文第76-79页.

申请公布号 CN 105528770 A

(43)申请公布日 2016.04.27

宋玮等.“一种投影仪_摄像机系统的简易高精度标定方法”.《微电子学与计算机》.2015,第32卷(第2期),论文第28-31页.

(73)专利权人 河北工业大学

地址 300132 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

Xie, Lili等.“Projector calibration method based on optical coaxial camera”.《International Conference on Optoelectronic》.2014,论文第1-10页.

(72)发明人 张宗华 王张颖 刘小红 张晓璇 周舵 黄淑君 高楠

(74)专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务所(普通合伙) 12210

代理人 陈松

Shujun Huang等.“Accurate projector calibration method by”.《Applied Optics》.2015,论文第789-794页.

(51)Int.Cl.

G06T 5/00(2006.01)

H04N 5/74(2006.01)

谢佳辰.“大面积漫反射屏的研制及投影网格的几何校正”.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 信息科技辑》.2013,(第6期),论文第2-59页.

(56)对比文件

CN 101572828 A,2009.11.04,

审查员 张艳春

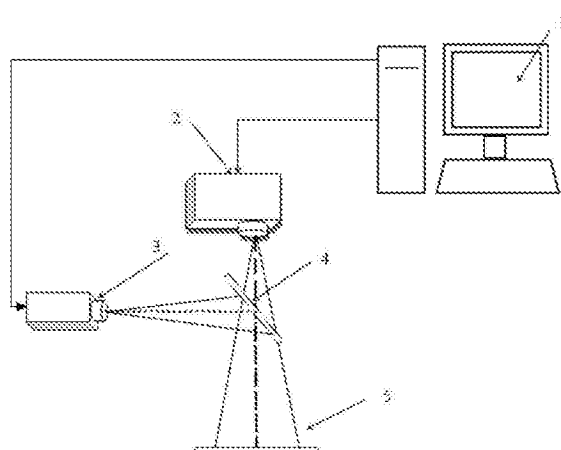
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种投影仪镜头畸变校正方法

(57)摘要

一种投影仪镜头畸变校正方法,所述投影仪预先标定得到投影仪镜头的内部参数A和镜头畸变系数kc,镜头畸变系数kc包括径向畸变系数kc(1),kc(2)和切向畸变系数kc(3),kc(4),内部参数A包括镜头焦距fc和主点cc,所述校正方法为对待投影的理想图像经过畸变预处理后得到预畸变图像,预畸变图像经投影仪投出后变成没有畸变的图像。



1. 一种投影仪镜头畸变校正方法,所述投影仪预先标定得到投影仪镜头的内部参数A和镜头畸变系数kc,镜头畸变系数kc包括径向畸变系数kc(1),kc(2)和切向畸变系数kc(3),kc(4),内部参数A包括镜头焦距fc和主点cc,所述投影仪标定具体包括以下步骤:

1.1) 产生条纹图像

采用计算机生成沿着水平方向和竖直方向各三组具有最佳条纹个数的条纹图像,每组包含四幅彼此间有90度相位移动的条纹图像,所述条纹图像由投影仪经半透半反镜投射到标定板的表面,相机采集水平方向和竖直方向各三组12幅标定板的条纹图像和1幅投影仪白光照射的标定板的纹理图像,所述条纹图像为正弦条纹图像;

1.2) 相位计算

将上述所采集的标定板的条纹图像利用四步相移算法计算折叠相位信息,得到水平方向和竖直方向上的折叠相位图,折叠相位图应用最佳条纹选择方法,得到水平方向和竖直方向上的绝对展开相位图;

1.3) 完成标定

结合1.2)得到的展开相位图,应用相位映射方法从相机采集的标定板上的纹理图像中得到标定点在投影仪中的投影图像坐标,进而通过获取的标定点的世界坐标和投影图像坐标,将投影仪镜头等同于相机镜头,参照相机标定方法得到投影仪的内部参数和镜头畸变系数,所述镜头畸变系数包括径向畸变系数kc(1),kc(2)和切向畸变系数kc(3),kc(4);

其特征是所述校正方法为对待投影的理想图像经过畸变预处理后得到预畸变图像,预畸变图像经投影仪投出后变成没有畸变的图像,包括以下实施步骤:

1) 提取待投影的理想图像中所有像素点的像素坐标 $P_n(u, v)$

2) 应用镜头焦距fc和主点cc,将待投影的理想图像的像素坐标 $P_n(u, v)$ 变换成理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$;

3) 采用作为畸变预处理模型的式(1)、(2),将理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$ 变换得到预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$

$$x_d = (1 + kc(1)r^2 + kc(2)r^4)x_n + 2kc(3)x_n y_n + kc(4)(r^2 + 2x_n^2) \quad (1)$$

$$y_d = (1 + kc(1)r^2 + kc(2)r^4)y_n + kc(3)(r^2 + 2y_n^2) + 2kc(4)x_n y_n \quad (2)$$

其中 (x_n, y_n) 为理想图像点 P_n 的图像坐标, (x_d, y_d) 为预畸变图像点 P_d 的图像坐标,

$r^2 = x_n^2 + y_n^2$,kc(1),kc(2)为径向畸变系数,kc(3),kc(4)为切向畸变系数;

4) 应用镜头焦距fc和主点cc,将预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$ 变换成预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$;

5) 将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$;

6) 对整幅待投影的理想图像按照步骤2)~5)处理获得整幅预畸变图像。

2. 如权利要求1所述的投影仪镜头畸变校正方法,其特征是步骤5)将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 时,通过双线性插值,预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 的灰度值由其周围临近的四个整数像素点的灰度值线性表示。

一种投影仪镜头畸变校正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学镜头畸变校正方法。

背景技术

[0002] 结构光三维测量系统主要由计算机、投影仪和相机构成。由于加工和装配误差的存在,投影仪的光学镜头和理想的小孔成像模型存在差别,使其实际所投影的图像存在着畸变。为了提高三维测量系统的测量精度,必须对投影仪的镜头畸变进行校正。

[0003] 投影仪属于非成像器件,不能像相机一样拍摄图像,标定方法难度高于相机且精度不是很高。目前大多数研究都是关于投影仪镜头参数的标定,如Shujun Huang,Lili Xie,Zhangying Wang,et al在“一种使用共轴系统精确标定投影仪的方法”(An accurate projector calibration method by using an optical coaxial camera,Applied Optics,2015,54(4),789-795)文章中公开了一种采用相机和投影仪的共轴系统,利用相位映射方法精确标定投影仪的方法,而有关投影仪镜头畸变校正方面的研究还较少。现有的投影仪镜头畸变校正技术精度不高、校正结构或校正算法复杂,还没有一种精度高、简单合理的畸变校正方法。因此提供一种精度高、算法和结构简单的投影仪镜头畸变校正方法,成为现有技术中需要解决的问题,对提高三维测量系统的精度有着十分重要的作用。

发明内容

[0004] 针对现有方法和技术的不足,本发明拟解决的问题是提供一种投影仪的镜头畸变校正方法,通过校正可以消除投影仪的镜头畸变,提高三维测量系统的精度。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明根据标定得到的投影仪镜头的内部参数和镜头畸变系数,建立畸变预处理模型,对投影仪要投出的图像进行畸变预处理,使投影仪投出的图像没有畸变。

[0006] 本发明提供的技术方案是提供一种投影仪镜头畸变校正方法,所述投影仪预先标定得到投影仪镜头的内部参数A和镜头畸变系数 k_c ,镜头畸变系数 k_c 包括径向畸变系数 $k_c(1)$, $k_c(2)$ 和切向畸变系数 $k_c(3)$, $k_c(4)$,内部参数A包括镜头焦距 f_c 和主点 c_c ,其特征是所述校正方法为对待投影的理想图像经过畸变预处理后得到预畸变图像,预畸变图像经投影仪投出后变成没有畸变的图像,包括以下实施步骤:

[0007] 1) 提取待投影的理想图像中所有像素点的像素坐标 $P_n(u, v)$;

[0008] 2) 应用镜头焦距 f_c 和主点 c_c ,将待投影的理想图像的像素坐标 $P_n(u, v)$ 变换成理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$;

[0009] 3) 采用畸变预处理模型(式(1)、(2)),将理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$ 变换得到预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$;

$$[0010] \quad x_d = (1 + k_c(1)r^2 + k_c(2)r^4)x_n + 2k_c(3)x_n y_n + k_c(4)(r^2 + 2x_n^2) \quad (1)$$

$$[0011] \quad y_d = (1 + k_c(1)r^2 + k_c(2)r^4)y_n + k_c(3)(r^2 + 2y_n^2) + 2k_c(4)x_n y_n \quad (2)$$

[0012] 其中 (x_n, y_n) 为理想图像点 P_n 的图像坐标, (x_d, y_d) 为预畸变图像点 P_d 的图像坐标,

$r^2 = x_n^2 + y_n^2$, $k_c(1)$, $k_c(2)$ 为径向畸变系数, $k_c(3)$, $k_c(4)$ 为切向畸变系数;

[0013] 4) 应用镜头焦距 f_c 和主点 c_c , 将预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$ 变换成预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$;

[0014] 5) 将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$;

[0015] 6) 对整幅待投影的理想图像按照步骤2)~5) 处理获得整幅预畸变图像。

[0016] 所述的校正方法, 其特征是步骤5) 将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 时, 通过双线性插值, 预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 的灰度值由其周围临近的四个整数像素点的灰度值线性表示。

[0017] 与现有技术相比, 本发明投影仪镜头畸变校正方法的积极效果在于:

[0018] 1、通过预畸变模型对待投影图像进行畸变预处理, 完成投影仪镜头畸变的校正, 很大程度消除了投射到被测物体上的图像因投影仪镜头畸变产生的误差, 能够更有效的提高三维测量系统的精度。

[0019] 2、本发明提供的投影仪镜头畸变校正方法采用的畸变预处理模型, 具有通用性、普遍性、易于推广, 普通的数字投影仪都可以使用本发明的方法进行校正。

[0020] 3、操作和结构装置简单, 任何投影仪只要能够标定得到其内部参数及镜头畸变系数后均可以采用本发明的方法进行校正, 易于实现, 适用于实际应用。

附图说明

[0021] 下面结合实施例及其附图进一步叙述本发明:

[0022] 图1为本发明具体实施方式中对投影仪进行标定时采用的装置的整体结构示意图;

[0023] 图2为本发明提供的投影仪镜头畸变校正方法中投影仪的成像模型原理示意图;

[0024] 图3为本发明投影仪镜头畸变校正方法对待投影图像进行畸变预处理的程序流程图。

具体实施方式

[0025] 下面结合实施例及其附图进一步叙述本发明:

[0026] 一种投影仪镜头畸变校正方法, 对投影仪进行标定时采用的装置包括计算机1及固定在光学平台上的DLP数字投影仪(以下简称投影仪)2, CCD彩色相机(以下简称相机)3, 半透半反镜4, 圆环标定板(以下简称标定板)5;

[0027] 计算机分别与投影仪和相机连接。计算机用来控制投影仪和相机, 并存储、显示和处理所采集的图像; 投影仪用于投射计算机产生的图像, 投影仪投射的图像透过半透半反镜投射到标定板表面, 标定板表面的图像经半透半反镜反射后可以由相机采集, 从而真正达到相机从投影仪的“视角”上采集标定板的图像信息, 所述标定装置的整体结构示意图如图1所示。

[0028] 所述方法包括以下步骤:

[0029] 1)、标定投影仪, 得到投影仪镜头的内部参数 A 和镜头畸变系数 k_c , 具体包括以下步骤:

[0030] 1.1) 产生条纹图像

[0031] 采用计算机生成沿着水平方向和竖直方向各三组具有最佳条纹个数的正弦条纹图像, (每组包含四幅彼此间有90度相位移动的正弦条纹图像, 以下简称条纹图像)。所述条纹图像由投影仪经半透半反镜投射到标定板的表面, 相机采集水平方向和竖直方向各三组12幅标定板的条纹图像和1幅投影仪白光照射的标定板的纹理图像;

[0032] 1.2) 相位计算

[0033] 将上述所采集的标定板的条纹图像利用四步相移算法计算折叠相位信息, 得到水平方向和竖直方向上的折叠相位图, 折叠相位图应用最佳条纹选择方法, 得到水平方向和竖直方向上的绝对展开相位图;

[0034] 1.3) 完成标定

[0035] 结合1.2) 得到的展开相位图, 应用相位映射方法从相机采集的标定板上的纹理图像中得到标定点在投影仪中的投影图像坐标, 进而通过获取的标定点的世界坐标和投影图像坐标, 参照相机标定方法 (将投影仪镜头等同于相机镜头) 得到投影仪的内部参数和镜头畸变系数, 所述镜头畸变系数包括径向畸变系数 $k_c(1)$, $k_c(2)$ 和切向畸变系数 $k_c(3)$, $k_c(4)$ 。

[0036] 2)、建立投影仪空间物点P的理想图像点 $P_n(x_n, y_n)$ 与预畸变图像点 $P_d(x_d, y_d)$ 之间的映射关系 (建立投影图像的畸变预处理模型)

[0037] 2.1) 建立理想的投影仪成像模型 (参见图2), 即建立世界坐标系中的投影仪空间物点P(X_w, Y_w, Z_w) 和投影仪图像点 $P_n(x_n, y_n)$ 之间的透视投影关系如式(3)所示:

$$[0038] \quad s \begin{bmatrix} x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}^T = A \begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w & Y_w & Z_w & 1 \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

[0039] 式(3)中A为投影仪的内部参数, 包括投影仪镜头的焦距 f_c 和主点 c_c ,

[0040] R、T为投影仪的外部参数, R为世界坐标系 (即投影仪空间物点坐标系) 到投影仪坐标系的旋转矩阵, T为世界坐标系到投影仪坐标系的平移向量;

[0041] 2.2) 对实际存在畸变的投影仪镜头, 找到投影仪空间物点P的理想图像点 $P_n(x_n, y_n)$ 与预畸变图像点 $P_d(x_d, y_d)$ 之间的映射关系, 建立投影图像的畸变预处理模型, 如下所示:

$$[0042] \quad x_d = (1 + k_c(1)r^2 + k_c(2)r^4)x_n + 2k_c(3)x_n y_n + k_c(4)(r^2 + 2x_n^2) \quad (1)$$

$$[0043] \quad y_d = (1 + k_c(1)r^2 + k_c(2)r^4)y_n + k_c(3)(r^2 + 2y_n^2) + 2k_c(4)x_n y_n \quad (2)$$

[0044] 其中 (x_n, y_n) 为理想图像点 P_n 的图像坐标, (x_d, y_d) 为预畸变点 P_d 的图像坐标, $r^2 = x_n^2 + y_n^2$, $k_c(1)$, $k_c(2)$ 为径向畸变系数, $k_c(3)$, $k_c(4)$ 为切向畸变系数;

[0045] 所述投影仪的成像模型原理示意图如图2所示。

[0046] 3)、对投影仪整幅待投影图像按照畸变预处理模型进行畸变预处理, 其具体实施步骤为:

[0047] 3.1) 提取待投影的理想图像的所有像素点的像素坐标 $P_n(u, v)$;

[0048] 3.2) 应用镜头焦距 f_c 和主点 c_c , 将待投影的理想图像的像素坐标 $P_n(u, v)$ 变换成理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$;

[0049] 3.3) 将理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$ 采用步骤2)的畸变预处理模型 (式(1)、(2)) 变换到预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$;

[0050] 3.4) 应用镜头焦距 f_c 和主点 c_c , 将预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$ 变换成预畸变

图像的像素坐标 $P_d(u, v)$;

[0051] 3.5) 将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 时,通过双线性插值,预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$ 的灰度值由其周围临近的四个整数像素点的灰度值线性表示,进而获得整幅预畸变图像。

[0052] 本发明提供的投影仪镜头畸变校正方法,可以采用Matlab和Visual C++软件编写程序,图3为采用投影仪镜头畸变校正方法对待投影图像(即理想图像I)进行预处理得到预畸变图像I'的程序流程框图。所述程序流程如下:

[0053] 开始,

[0054] 1) 输入投影仪镜头焦距 f_c 、主点 cc 、镜头畸变系数 k_c 和理想图像I,

[0055] 2) 提取待投影的理想图像I所有像素点的像素坐标 $P_n(u, v)$,

[0056] 3) 应用镜头焦距 f_c 和主点 cc ,将待投影的理想图像的像素坐标 $P_n(u, v)$ 变换成理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$,

[0057] 4) 对理想图像的图像坐标 $P_n(x_n, y_n)$ 应用畸变预处理模型(式(1)、(2))变换到预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$,

[0058] 5) 应用镜头焦距 f_c 和主点 cc ,将预畸变图像的图像坐标 $P_d(x_d, y_d)$ 变换成预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$,

[0059] 6) 将待投影的理想图像的灰度值依据像素索引值赋予预畸变图像的像素坐标 $P_d(u, v)$,通过双线性插值,预畸变图像像素坐标 $P_d(u, v)$ 的灰度值由其周围临近的四个整数像素点的灰度值线性表示,对整幅理想图像按照步骤3)~6)处理得整幅预畸变图像I'。

[0060] 程序结束。

[0061] 实施例

[0062] 投影仪为明基公司生产,型号为CP270的DLP数字投影仪,其分辨率为 1024×768 像素,与计算机通过视频接口相连,投影仪与手动升降台相连,以进行垂直高度的调节;

[0063] 标定采用的相机为日立相机,其型号为HVF22F,分辨率为 1360×1024 像素,与计算机的IEEE1394接口相连,

[0064] 验证采用的相机为SVCam-EC0相机,其型号为EC0655,分辨率为 2448×2050 像素,与计算机通过千兆网接口相连接,

[0065] 相机均通过棒体夹持器与光学平台上的支撑棒相连;

[0066] 标定板为深圳科创时代公司生产的陶瓷平板,其表面带有9行12列的圆环标识,相邻标识在水平和垂直方向上的间距为15mm,其精度为 $1.0\mu\text{m}$;

[0067] 半透半反镜为大恒光电科技有限公司生产,其透射率和反射率均为50%,通过干板夹与旋转杆件、夹持器和光学平台上的二维角度倾斜台相连接;

[0068] 以标定板平面为 xOy 面建立世界坐标系;

[0069] 三组条纹图像的条纹数目分别为56、63和64个,每组四幅条纹图像的条纹相位分别是0、90、180和270度。条纹图像分辨率为 1024×768 像素;

[0070] 实施例中通过标定得到的投影仪内部参数A包括焦距 f_c 和主点 cc ,结果分别为:

[0071] $f_c = (f_x, f_y) = (2046.060976320759400, 2043.136944842009800)$,单位为像素;

[0072] $cc = (u_0, v_0) = (512.113167929056770, 794.846542745895020)$,单位为像素;

[0073] 实施例中投影仪镜头的畸变系数 k_c 为:

[0074] $k_c(1) = -0.077793596724575$; $k_c(2) = 0.040194781074793$; $k_c(3) = -0.005792581427320$;

[0075] $k_c(4) = 0.000166946882468$;

[0076] 验证所述校正方法的可行性:

[0077] 1) 将一幅边缘有一条直线的图像 I_1 (分辨率为 1024×768 像素且第10行像素为一条亮线)经过所述校正方法处理后得到图像 I_2 ;

[0078] 2) 投影仪分别投射图像 I_1 和 I_2 到一垂直投影光轴的平板表面,相机采集平板表面的图像,并使直线通过相机的主点位置以消除相机本身径向畸变的影响,相机采集图像 I_1 和 I_2 投影在平板表面的图像分别记为 I_1' 和 I_2' ;

[0079] 3) 对相机采集的两幅图像 I_1' 和 I_2' 中的直线用重心法提取重心,并进行线性拟合;对线性拟合结果进行分析可以看出,不经过畸变预处理模型的图像 I_1 在垂直方向的误差为 $-4 \sim 2$ 像素,经过畸变预处理模型处理得到的图像 I_2 在垂直方向的误差在 $-0.4 \sim 0.4$ 像素,证明了所述校正方法的有效性。

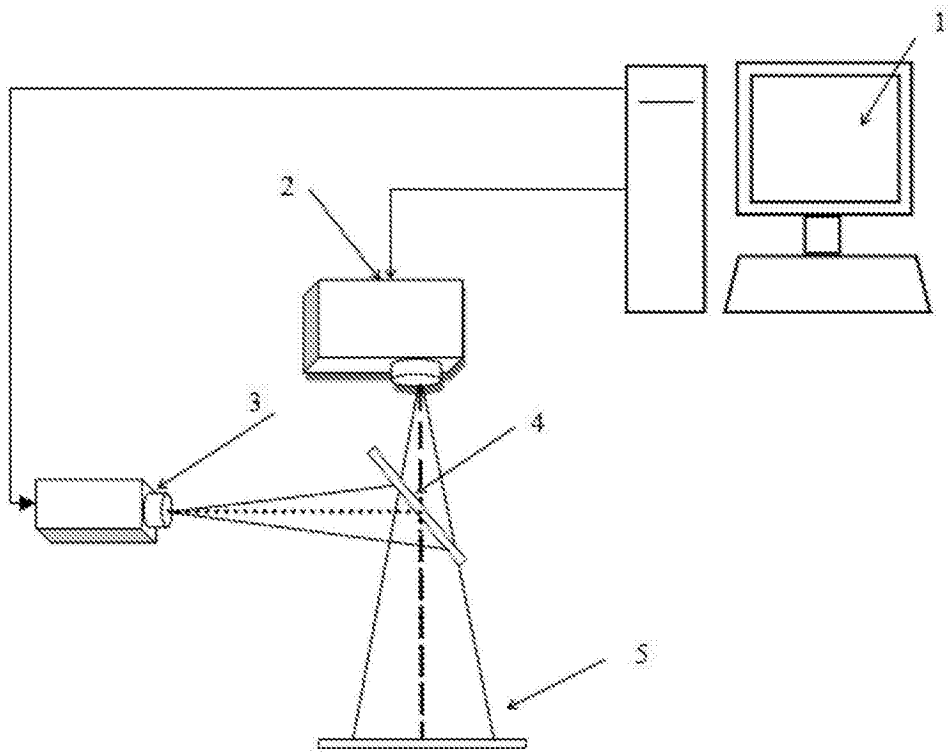


图1

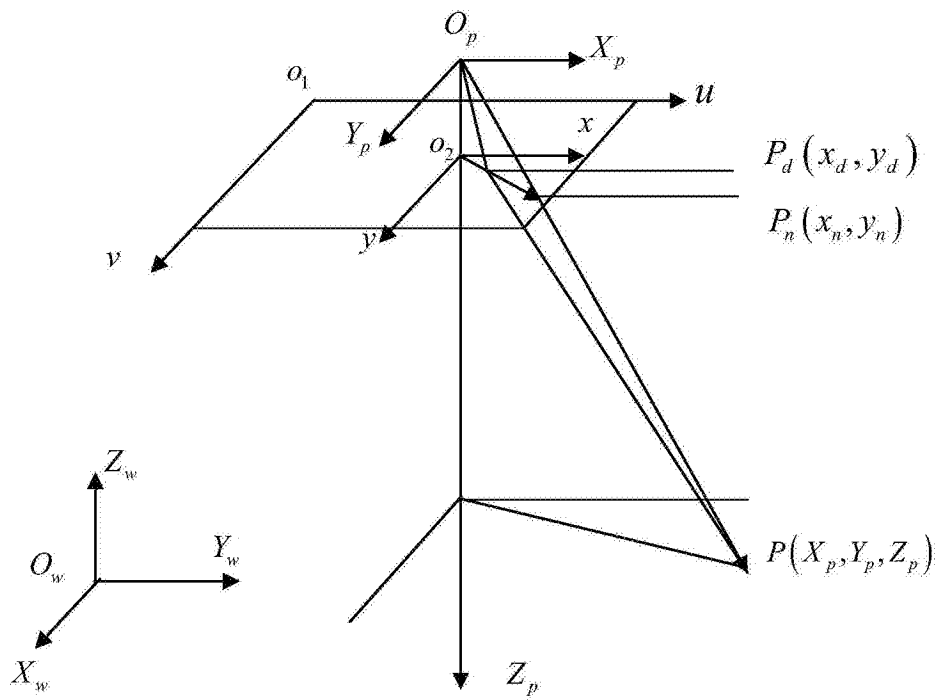


图2

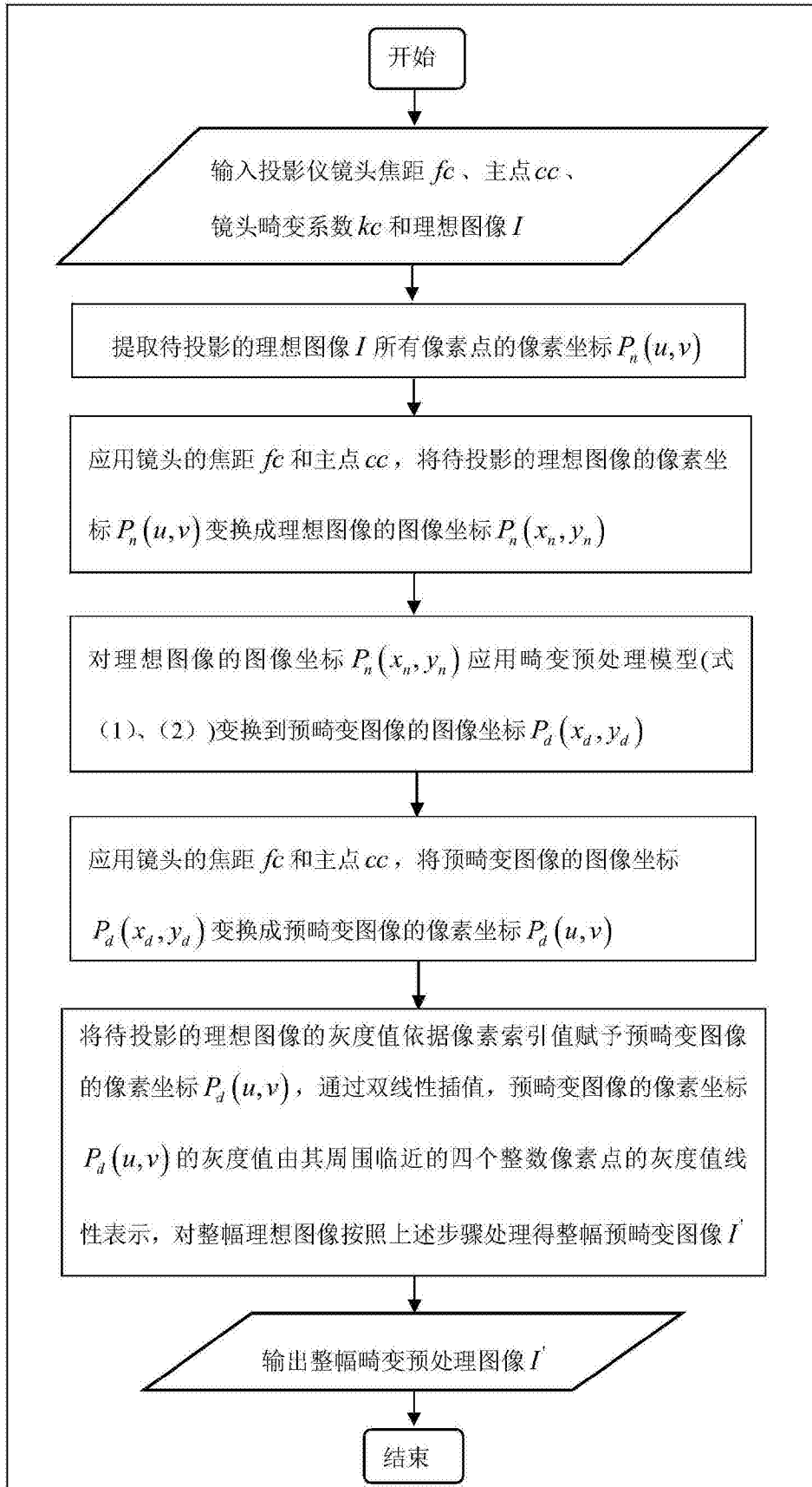


图3