

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580041178. X

[51] Int. Cl.

G06T 7/00 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 11 月 7 日

[11] 公开号 CN 101069212A

[22] 申请日 2005. 11. 28

[21] 申请号 200580041178. X

[30] 优先权

[32] 2004. 11. 30 [33] EP [31] 04106185.4

[86] 国际申请 PCT/EP2005/056267 2005. 11. 28

[87] 国际公布 WO2006/058872 英 2006. 6. 8

[85] 进入国家阶段日期 2007. 5. 30

[71] 申请人 IEE 国际电子工程股份公司

地址 卢森堡埃希特纳赫

[72] 发明人 B·米尔巴赫 M·卡斯蒂略弗朗哥
R·金乌克斯

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 王 英

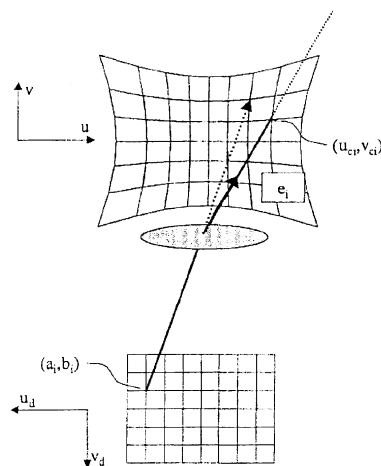
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 2 页

[54] 发明名称

从数字图像确定物体位置的方法

[57] 摘要

公开了从通过光学系统获得的场景的数字图像确定该场景中物体点位置的一种方法。该图像包括与所述物体点相对应的一组图像点，其中所述物体点的位置是利用与所述图像点相联系的预定矢量确定的。该预定矢量代表通过所述光学系统产生这一图像点的光线在所述物体空间中的逆方向，其中包括了该光学系统的所有畸变效应。



1. 从通过光学系统获得的场景的数字图像确定该场景中物体点位置的一种方法，该图像包括与所述物体点相对应的图像点，其中所述物体点的位置是利用与所述图像点相联系的预定矢量确定的，该预定矢量代表通过所述光学系统产生这一图像点的光线在物体空间中的方向。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中的源图像包括与相应物体点对应的多个图像点，其中所述图像点中的每一个与相应的预定矢量相联系。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的方法，其中每个预定矢量都表明通过所述光学系统透镜组光学中心的光线的方向。

4. 如以上权利要求中任意一个所述的方法，其中每个预定矢量都是通过校准来确定的。

5. 如以上权利要求中任意一个所述的方法，其中的距离信息与图像点相联系，对应物体点的位置是基于所述预定矢量以及与所述图像点相联系的距离信息确定出来的。

6. 如权利要求 5 所述的方法，其中被测距离信息与每个图像点相联系，所述距离信息表明所述对应物体点的被测距离。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其中每个预定矢量都是基准坐标系中的单位矢量；与图像点对应的物体点的坐标是通过将被测距离信息乘以与这个图像点相联系的预定矢量确定出来的。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其中所述被测距离信息表明从所

述光学系统的中心到所述对应的物体点的距离。

9. 如以上权利要求中任意一个所述的方法，其中所述数字图像是通过图像传感器阵列获得的。

10. 如以上权利要求中任意一个所述的方法，其中的每个图像点与一个灰度值相联系。

11. 如以上权利要求中任意一个所述的方法，其中在基准坐标系中表示的预定矢量的坐标被变换到另一个坐标系。

12. 将以上权利要求中任意一个所述的方法应用于汽车乘员保护系统用来检测车辆乘员并对车辆乘员进行分类的方法。

从数字图像确定物体位置的方法

技术领域

总的来说，本发明涉及如何利用照相机/摄像机（以下简称照相机）图像来确定物体位置。具体而言，本发明涉及如何从物体的数字图像确定物体在场景中的位置，尤其用于车辆乘员保护系统。

背景技术

包括安全气囊和被动式安全带机构在内的汽车乘员保护系统在本领域里已经是众所周知，用它们配备了现在生产的大多数车辆。这种保护系统的展开或启动通常都是基于加速度传感器，当检测到的加速度超过预定门限的时候，这些加速度传感器会输出触发信号。

尽管已经证明安全气囊的引入成功地降低了事故中伤亡的严重程度，但是在特定的情形下，它们也会给例如个头太小或坐姿不正确的车辆乘员带来严重，有时甚至是致命的伤害。这种情况可能是，例如：将面向后面的婴儿座椅安装在车辆前座；驾驶员太靠近方向盘；乘客太靠近仪表板；或者孩子坐在前面的乘客席。在这些情况下，最好关闭安全气囊，或者让安全气囊的展开条件与乘员情况一致。

因此，人们已经开发了这样的控制系统，这种控制系统将乘客/乘员状况的变化考虑在内，从而根据车辆内乘员的具体类型来展开安全气囊。

人们已经提出了基于视觉的多种控制系统，用于检测车辆乘员的类型和位置。它们通常都包括构成一种光学系统（包括一个或多个镜头）的至少一个照相机，以及用于捕获座位区域图像的图像传感器阵列。车辆内空间的局限性常常要求用广角镜头来监视车辆内的乘员区。在控制系统里处理获得的图像，以检测车辆乘员并对乘员进行分类，然后将这一乘员分类用作安全气囊控制的输入。

基于视觉的控制系统一个固有的技术问题是，通过照相机镜头的光线的光学畸变。例如，所谓的桶型畸变是广角镜头常见的现象。因为这一畸变而导致直线在图像中呈现为弯曲线，这意味着每一个图像点都发生了错位。

因此，常常用图像预处理来去除畸变，乘员位置是从获得后经过校正、去除畸变以后的图像确定出来的。很明显，这样做需要大量的数据处理，很高的计算能力，以及大存储容量。此外，畸变去除处理通常都会在校正后的图像中给物体的位置引入近似，这显然会影响从这样校正过的图像确定的位置。

US 6,005,958 描述了一种方法和系统，用于利用单个照相机单元来检测车辆乘员的类型和位置，通过周期性地将拍摄到的车辆内部图像映射成图像轮廓数据，并且与储存的基准轮廓数据进行图像轮廓匹配，来确定乘员或物体类型，这种方法和系统能够区分物体，面向前或面向后的婴儿座椅，以及成人乘员。还测量瞬时距离，并且跟踪被测距离的变化。然后将所有这些信息用于优化乘员保护系统的展开控制。

WO 02/078346 描述了用于校正图像的一种方法，尤其是用于乘员保护系统，其中利用表格化成像规则（tabular imaging rule）将因为照相机光学系统而畸变的源图像变换成校正后的图像。将目标图像中的零个、一个或几个目标像素分配给源图像的每个源像素。这种变换就发生在从图像传感器读出数据的过程中，也就是是实时的。在这种方法中，将源图像变换成减小了尺寸，没有畸变的目标图像，这样做能够节省存储容量。但是这样的变换规则引入了近似，这种近似导致基于这种校正了畸变以后的图像确定的位置不准确。

发明目的

本发明的目的是提供用于从数字图像确定物体位置的一种改进方法。这一目的是利用权利要求 1 所述的方法来实现的。

发明内容

本发明提出一种方法，用于从通过光学系统获得的场景的数字图像确定这个场景中物体点（这个物体点一般是延伸物体中的一个点）的位置，该图像包括与物体点对应的图像点。根据本发明的一个重要方面，这个物体点的位置是利用与这个图像点相联系的预定矢量来确定的，这个预定矢量代表通过上述光学系统产生这个图像点的光线在物体空间中的方向。换句话说，这样一个预定矢量给出了物体点的方向的指示，从这个物体点发出产生这个图像点的光。

与进行图像变换，以提供校正后无畸变的图像的确定物体位置的已知方法相反，本发明的方法建立在利用表明实际产生这些图像点的光线的方向的矢量，在物体空间中向后映射图像点的基础之上。这些矢量包括通过光学系统的光学畸变，因此能够准确确定物体点在被观察场景中的位置，而不需要对原始图像数据进行任何变换。这种方法的另一个优点是它不需要对图像数据进行任何近似，也不需要额外的计算能力。

然后将利用本发明的方法获得的正确的位置信息用于汽车乘员保护系统（例如安全气囊系统）控制中的乘员分类。

与图像点相联系的预定矢量最好能够表明通过光学系统透镜组光学中心的光线的方向。这一信息唯一地表明发出上述光线，产生该图像点的物体点的方向。

将距离信息与每个图像点相联系，该距离信息表明对应物体点的被测距离。在这种情况下，可以基于所述预定矢量和距离信息来确定物体点的位置。

在一个优选实施例中，光学系统包括透镜组，通过与透镜组光学连接的图像传感器阵列获得通过这个光学系统的被观察场景的图像。获得的图像包括与物体点对应的多个图像点。距离信息最好与每个图像点相联系。一般情况下还可以将灰度值与每个图像点相联系。相应的预定矢量与每个图像点相联系，代表通过了透镜组以后将在传感器阵列上产生这个图像点的光线在物体空间中的方向。这个预定矢量

最好表明通过透镜组光学中心的光线的方向。

因此，这个实施例允许基于预定矢量和距离信息来确定被观察场景（例如车厢）中物体的三维位置。这种方法不需要计算新校正的图像，而是允许从传感器获得的未校正图像直接导出物体的三维位置，从而与现有技术中的技术方案有着本质的区别。

可以通过校准来获得预定矢量。校准包括如下步骤：为图像传感器的给定区域（像素）识别物体空间中通过光学系统后将落到这些区域上去的光线。这种校准程序在本领域中是公知的，不需要在这里详细介绍。在这个识别步骤以后，将这些射线的方向用于计算预定矢量。显然，预定矢量对应于光学系统的给定结构，不需要为每个图像进行系统化的重新计算。因此，可以将预定矢量储存起来。

每个预定矢量最好是基准坐标系中的单位矢量。这样就能够仅仅通过利用与这个图像点相联系的预定矢量乘以被测距离信息，来确定与这个图像点对应的物体点的坐标。这个基准坐标系可以是例如照相机坐标系，也就是原点与光学系统的光学中心重合的三维坐标系。

如果需要，可以通过常规计算将基准坐标系中的这些矢量（分别是单位矢量）变换成用于另一个坐标系。对于车辆中乘员分类应用，优选的坐标系将是车辆坐标系而不是照相机坐标系。

虽然本发明的方法特别适合用于汽车乘员保护系统，但是还可以将它用于需要从数字图像确定物体位置的多种应用。

可以将本发明的方法用于从通过多种光学系统获得的画面提取物体的位置信息。为了确定物体的三维坐标，可以利用照相机来获得每个像素（也就是图像中的每个点）的距离信息。但是，也可以用任何合适的方法（例如体视学）来确定距离信息，然后将它们与对应的图像点联系起来。关于这一点，可以将本发明的方法应用于通过体视学照相机系统的两个照相机之一获得的图像。

附图说明

下面将参考附图，通过实例来描述本发明，在这些附图中：

- 图 1 说明针孔照相机模型的原理；
 图 2 说明桶型畸变现象；
 图 3 说明传统的畸变校正方法；以及
 图 4 说明确定单位矢量的原理。

具体实施方式

下面将详细描述本发明的方法的一个优选实施例。通过与利用照相机成像确定坐标的传统方法进行比较，本发明的方法的特点和优点将会变得非常清楚。

针孔照相机模型

理想照相机（所谓的针孔照相机）对场景进行纯粹的透视投影。可以将这种投影（在这里仅仅用于进行说明）描述为按照以下简单关系从所谓的照相机坐标系 $r = (x, y, z)$ 到图像坐标系 (u, v) 的简单映射：

$$u = x \cdot f / z \text{ 和 } v = y \cdot f / z \quad (1)$$

因此，投影中心是照相机坐标系的原点 $O = (0, 0, 0)$ 。生成的投影平面 P 与 (x, y) 平面平行，并且沿着 z 轴（光轴）从 O 平移一段距离 f （焦距）。

在理想情况下，来自场景的光线以直线方式通过光学中心（图 1）。在这种情况下，在位置 (u, v) 处与投影平面相交的点将被映射到图像中的点：

$$(u_d, v_d) = (u, v) \quad (2)$$

因此，假设象平面 I 位于照相机镜头后面距离光学中心 f 处，其中的轴平行于照相机坐标系，也就是说，象平面就是投影平面的镜像。

人们正在开发三维照相机，这种三维照相机能够获得每个像素的距离值 $d = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 。这个距离与图像上对应像素的位置 (u_d, v_d) 一起通过以下方程给出对应物体点的 (x, y, z) 坐标：

$$\begin{aligned} z &= d \cdot f / \sqrt{f^2 + u_d^2 + v_d^2} \\ x &= u_d \cdot z / f \\ y &= v_d \cdot z / f \end{aligned} \quad (3)$$

它们正好是公式（1）和（2）的逆。

在实践中，照相机镜头系统不会象这样理想、简单地映射（2），而是会给光学路径从而给得到的图像引入一些非线性畸变。图 2 中画出了广角镜头通常出现的所谓的桶型畸变的一个实例。看起来直线是弯曲的，因为相对于对应的投影点 (u, v) ，图像坐标 (u_d, v_d) 发生了错位，公式（2）成为：

$$(u_d, v_d) = F(u, v) \quad (4)$$

除了径向畸变以外，还有其它畸变，例如切向畸变，或者因为图像传感器阵列从正确位置发生了错位而引起的畸变，所有这些畸变都可以用非线性函数 F （公式 4）来表示。对于三维照相机，所有种类的图像畸变都会因为图像坐标 (u_d, v_d) 的错位而产生计算出来的 (x, y, z) 位置偏离真实的位置的错位。

传统畸变矫正

二维照相机记录一个灰度值 g_i 阵列，这个阵列由象平面中特定固定位置 (a_i, b_i) 上的像素构成。三维照相机不仅记录灰度值，还记录每个像素位置的距离。

传统图像矫正的目的是从获自畸变图像的 g_i 值重构理想图像，也就是利用针孔照相机获得的图像。这种图像矫正需要首先校准照相机，并且确定描述错位的函数 F （公式 4）。

这可以通过将特定的基准图案与从各个视点拍摄的图像进行比较来做到。有各种校准方法，它们是基于建立好的照相机模型的（例如，见 Janne Heikkilä 的 Geometric Camera Calibration using Circular Control Points, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 第 20 卷, 第 1066~1074 页, (2000); R. Y. Tsai 的 A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy (3D) Machine Vision Metrology using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses, IEEE J. Robotics Automat., 第 323~344 页, 第 RA-3 卷 (1987)), 不需要在这里详细描述它们。

图 3 说明一旦确定了校准函数，传统情况下如何进行图像矫正。

对于每个像素 i , 按照理想映射将像素位置 (a_i, b_i) 映射回到投影平面 P , 也就是说, 按照照相机就是一个针孔照相机来来回映射。利用畸变函数 (4) 从投影点 $(u_i, v_i) = (a_i, b_i)$ 计算象平面上对应的错位位置 (u_{di}, v_{di}) 。图 3 中的箭头表明像素位置 (a_i, b_i) 和这个像素错位的图像位置之间的错位。为了构建理想图像, 找出畸变位置 (u_{di}, v_{di}) 周围的 4 个像素, 用这四个像素中最接近的像素的灰度值, 或者用这四个像素的灰度值的线性组合代替理想图像中像素 i 的灰度值。为每一个像素执行这一处理, 获取矫正图像。例如, WO 02/078346A1 中描述了在实时系统中进行这一矫正的一种方法。

但是要注意, 由于上面描述的过程, 矫正后的图像总是未畸变图像的一个近似。如果采用最接近的相邻像素进行矫正, 像素错位仅仅被矫正 $1/2$ 像素大小, 或者图像被平滑, 损失了对比度。

如果图像阵列包含距离数据而不是灰度值数据 (或者是除了灰度值数据以外还包含距离数据), 可以采用同样的矫正程序。但是, 利用公式 (3) 从像素位置 (a_i, b_i) 和矫正后的距离数据计算出来的坐标 (x_i, y_i, z_i) 会因为上面描述的近似而不准确。此外, 在矫正过程中, 一些边角像素的信息会因此被丢弃, 从而无法在进一步的图像处理中加以利用。

利用本发明的方法从三维照相机数据确定无畸变坐标

本发明的方法利用与图像点相联系的预定矢量 (每个像素点一个矢量), 从场景的数字图像确定这个场景中物体点的位置, 这些矢量表明被观察场景中产生相应图像点的光线的方向。利用包括照相机光学畸变的这些矢量能够从数字图像准确地确定物体的位置 (或者物体点)。

本发明的方法特别适合于汽车乘员保护系统 (例如安全气囊) 的乘员分类方法, 以便根据乘员类型和位置来确定是否展开安全气囊。

因此, 可以通过在一个位置上安装的照相机系统来获得数字图像, 让视场覆盖驾驶员和/或乘员座位区域。照相机最好是三维照相机, 能够获得每个像素的距离值。这种三维照相机在本领域里是众所

周知的，不需要在这里详细描述。

工作在可见光或者最好是红外范围的照相机基本上包括有一个或多个镜头的光学系统和以光学方式连接到这个光学系统，从而将观察到的场景转换成二维数字图像的图像传感器阵列。这种图像传感器阵列可以是 CCD 或 CMOS 类型的。于是，所获得的数字图像由形成图像点的多个像素组成，这些像素反映了场景通过这个光学系统的图像。所获得的每个像素的距离信息可以例如基于光的飞行时间测量来确定。

在实践中，飞行时间照相机可以用镜头连接到图像传感器阵列和调制光源。这一方法也可以用所谓的立体照相机来实现。这种照相机通常都有两个镜头和两个图像传感器阵列，还可以有其它（非调制）光源。在后一种情形中，可以将这一方法应用于从两个镜头之一获得的图像。

如同从后面的描述能够看到的一样，本发明的方法的这个实施例能够从这种三维照相机获得的数字图像准确地确定物体点的三维坐标，而不需要对图像进行任何变换。这样能够进一步避免在图像中引入近似，并避免对额外计算能力的需要。

要指出，（照相机获得的）数字图像不必进行矫正，因此最好保持不变。取而代之，使用在基准三维坐标系中表示的一组预定矢量。这个基准坐标系最好使用它的中心。最好让这个基准坐标系的中心与照相机透镜组的光学中心重合。此外，预定矢量最好表明通过光学系统中心的光线的方向。

在基准坐标系（图 4）中将这些矢量计算成单位矢量。这样做意味着可以仅仅通过单位矢量乘以被测距离来获得与传感器阵列的给定像素相对应的物体点的坐标。

因此，对于每个像素 i ，有一个确定的单位矢量 e_i ，这个矢量 e_i 表明通过光学系统以后落到像素上的光线在物体空间中的方向。这意味着利用单位矢量 e_i 能够将图 4 所示投影平面中的像素点投影回去，因此在实际上，单位矢量能够表明光线的逆方向（如图 4 所示）。但是，要明白，重要的是这个单位矢量，相应的预定矢量，是光线的指

向矢量（也就是表明光线的全局方向）。

如上所述，虽然可以为图像传感器阵列的每一个像素确定一个矢量，但是在实际上，图像传感器阵列的一些区域可能不会收到相关信息。因此，不必为位于传感器阵列中这些区域的像素计算矢量。

包括光学畸变的单位矢量的确定

确定物体点坐标的先决条件是计算出那组预定矢量。如同已经说明过的一样，这一计算将通过针对给定照相机配置进行校准来完成，这一校准要针对图像传感器的每个像素，识别落入相应像素的光线在物体空间中的方向。

这些方向最好用逆畸变函数 F' 来确定：

$$(u, v) = F'(u_d, v_d) \quad (5)$$

Heikkilä（见前面）讨论了如何在校准过程中获得这个逆畸变函数。

对于每个像素 i ，逆畸变函数将像素位置 (a_i, b_i) 映射回到投影平面 P （见图 4）中的投影点 (u_{ci}, v_{ci}) 。于是，这就是投影平面中要被照相机光学系统影射到像素 i 的那个点。将这个点 $(x_i, y_i, z_i) = (u_{ci}, v_{ci}, f)$ 归一化到单位长度，就会得到从光学中心指向投影点的方向的单位矢量，也就是：

$$e_i = \begin{pmatrix} e_i^x \\ e_i^y \\ e_i^z \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{u_{ci}^2 + v_{ci}^2 + f^2}} \cdot \begin{pmatrix} u_{ci} \\ v_{ci} \\ f \end{pmatrix}, \text{ 对于所有 } i \quad (5)$$

利用单位矢量计算正确的坐标

一计算出单位矢量，就可以将它们储存起来，不必在获取图像的过程中重新计算。然后通过将像素 i 处的被测距离值 d_i 乘以对应的单位矢量 e_i 来获得照相机坐标系中的三维坐标。即：

$$r_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = d_i \cdot e_i = d_i \cdot \begin{pmatrix} e_i^x \\ e_i^y \\ e_i^z \end{pmatrix}, \text{ 对于所有 } i \quad (6)$$

因为将单位矢量储存了下来，因此不必每次应用这一方法的时候

都重新校准，而是可以从存储器中取出这些单位矢量。与为了确定位置而进行图像变换的方法相比，这样做意味着能够缩短计算时间和减少数据处理量。

世界坐标系中坐标的计算

在本发明的方法中，物体点的坐标是在照相机坐标系中确定的。但是，如果要计算另一个坐标系中（所谓的“世界坐标系”）的坐标，可以从照相机单位矢量系统产生世界单位矢量系统。

通常，从一个坐标系到另一个坐标系的变换是通过所谓的齐次变换实现的，它包括一个 3 乘 3 旋转矩阵 R 和一个变换矢量 T 。将旋转矩阵 R 应用于照相机坐标系的每个单位矢量 e_i ，会得到世界坐标系中的单位矢量 e_i^w ，也就是：

$$e_i^w = R \cdot e_i, \text{ 对于所有 } i \quad (7)$$

同样，世界坐标系的这些单位矢量也只需要计算一次，在运行的时候可以保存在存储器里。在运行过程中，坐标计算是按照如下简单公式实现的：

$$r_i^w = \begin{pmatrix} x_i^w \\ y_i^w \\ z_i^w \end{pmatrix} = d_i \cdot e_i^w + T, \text{ 对于所有 } i \quad (8)$$

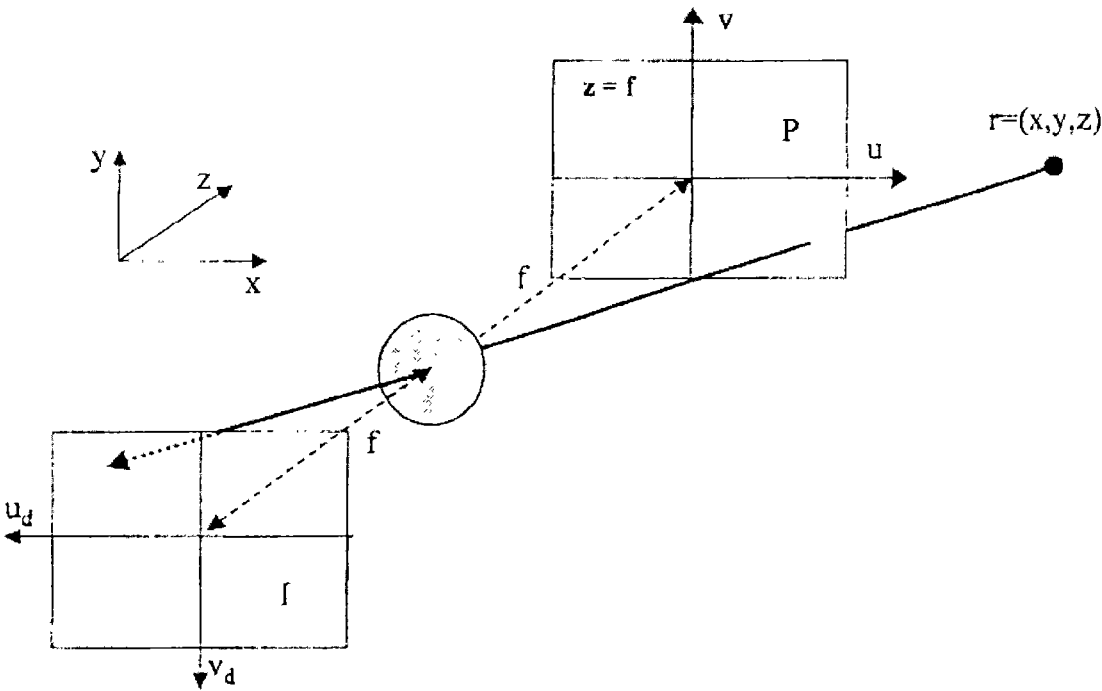


图 1（现有技术）

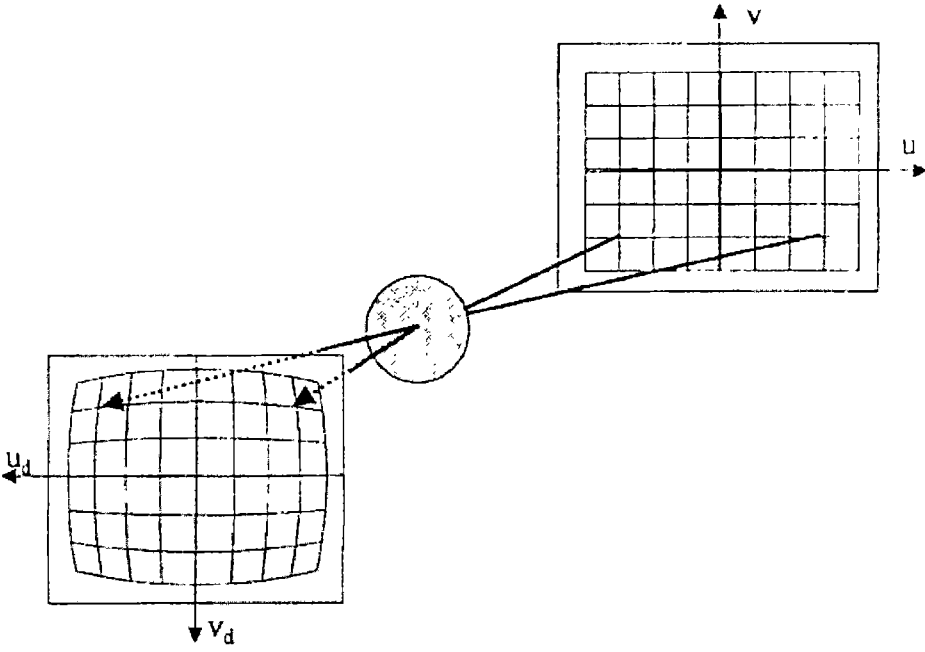


图 2（现有技术）

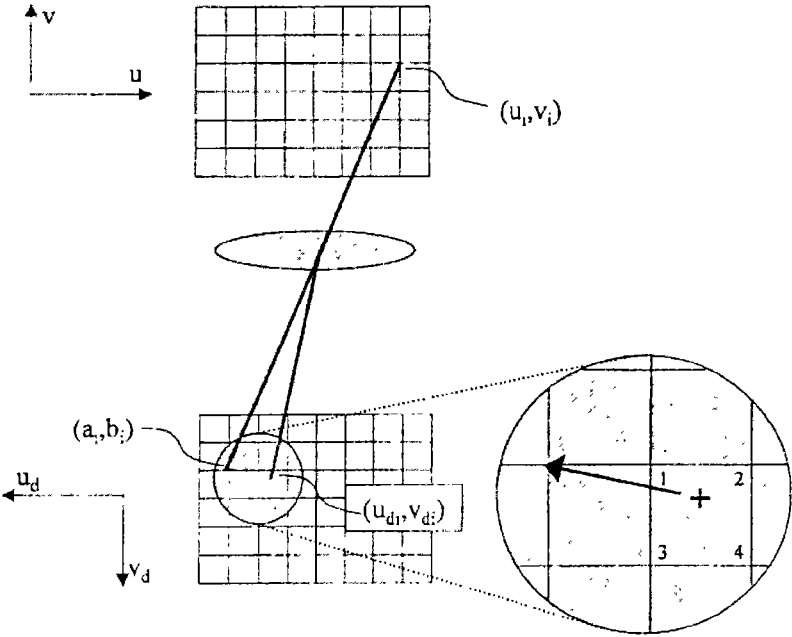


图 3（现有技术）

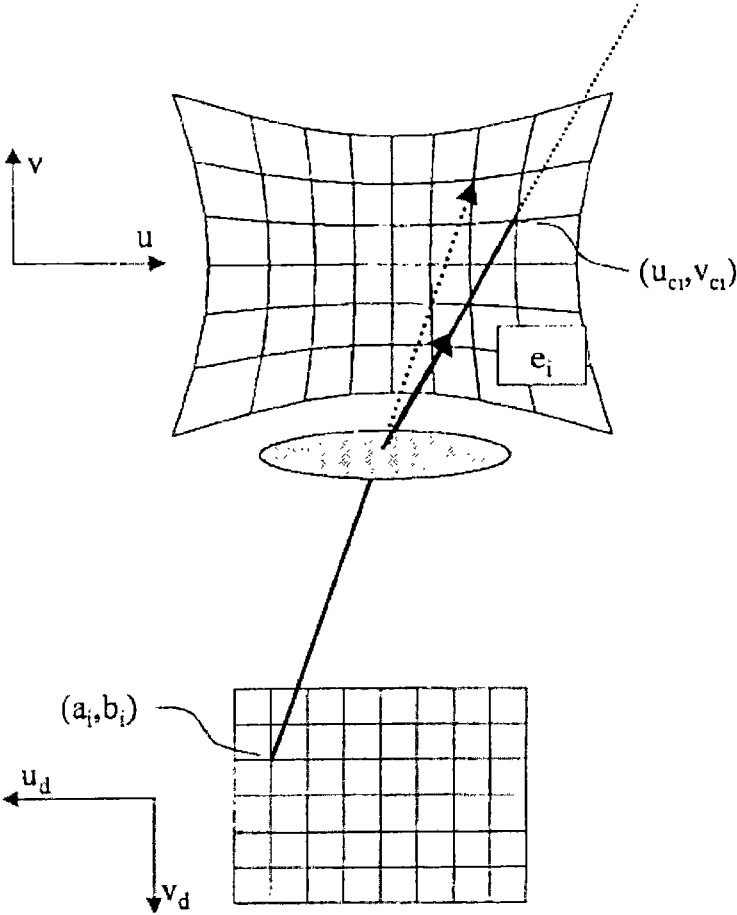


图 4