



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106056620 A

(43)申请公布日 2016. 10. 26

(21)申请号 201610420487.8

(22)申请日 2016.06.13

(71)申请人 西南科技大学

地址 621000 四川省绵阳市涪城区青龙大道中段59号

(72)发明人 刘桂华 张华 游斌相 龙惠民

(74)专利代理机构 成都正华专利代理事务所 (普通合伙) 51229

代理人 李蕊

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2006.01)

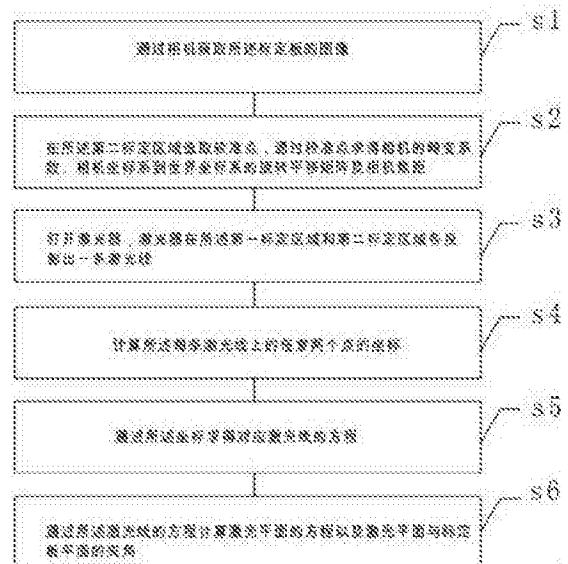
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

用于线激光位置标定的标定板及线激光相机测量系统标定方法

(57)摘要

本发明提供一种用于线激光位置标定的标定板及线激光相机测量系统标定方法,该用于线激光位置标定的标定板包括第一标定区域和第二标定区域,所述第一标定区域的高度大于第二标定区域的高度,该线激光相机测量系统标定方法包括以下步骤:S1、通过相机获取所述标定板的图像,在所述第二标定区域选取较准点,通过校准点求得相机的畸变系数、相机坐标系到世界坐标系的旋转平移矩阵及相机焦距;S2、打开激光器,激光器在所述第一标定区域和第二标定区域各投影出一条激光线,计算每条所述激光线上的任意两个点的坐标,通过所述坐标求得对应激光线的方程;S3、通过所述激光线的方程计算激光平面的方程以及激光平面与标定板平面的夹角。



1. 一种用于线激光位置标定的标定板, 其特征在于, 包括第一标定区域和第二标定区域, 所述第一标定区域的高度大于第二标定区域的高度。

2. 根据权利要求1所述的用于线激光位置标定的标定板, 其特征在于, 所述第一标定区域和第二标定区域上均分布有大小相同的棋盘格。

3. 一种线激光相机测量系统标定方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

S1、通过相机获取所述标定板的图像;

S2、在所述第二标定区域选取较准点, 通过校准点求得相机的畸变系数、相机坐标系到世界坐标系的旋转平移矩阵及相机焦距;

S3、打开激光器, 激光器在所述第一标定区域和第二标定区域各投影出一条激光线;

S4、计算所述每条激光线上的任意两个点的坐标;

S5、通过所述坐标求得对应激光线的方程;

S6、通过所述激光线的方程计算激光平面的方程以及激光平面与标定板平面的夹角。

4. 根据权利要求3所述的线激光相机测量系统标定方法, 其特征在于, 计算所述畸变系数的公式为:

$$\begin{cases} X = X_a(1 + kq^2) \\ Y = Y_a(1 + kq^2) \end{cases}$$

其中, $q^2 = X_a^2 + Y_a^2$, X 、 Y 为不考虑畸变情况下的图像物理坐标, X_a 、 Y_a 为实际获取的图像物理坐标, 即畸变后的坐标, k 为畸变系数。

用于线激光位置标定的标定板及线激光相机测量系统标定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及三维测量技术领域,具体涉及一种用于线激光位置标定的标定板及线激光相机测量系统标定方法。

背景技术

[0002] 三维重建是视觉领域中非常重要的一部分,摄像机加线激光的表面三维重建就是三维重建众多方法中的一种,其结构相对双目重建复杂一点,但是其精度比较高,常用于工业产品中各种缺陷检测或高精度表面重建环境。

[0003] 在使用单目相机加线激光进行三维重建过程中,相机内外参数的标定(畸变系数、焦距、旋转平移矩阵等的求取)和线激光位置(光平面在相机坐标系或世界坐标系中的方程)的标定极其重要,这些参数直接影响到重建出来的效果好与否,精度高与低,线激光位置标定的方法主要分为三维标定和二维标定。在三维靶标标定中,需要制作高精度的三维靶标,立体靶标的大小需要与测量视场基本相当,存在加工难度大、费用高等缺点,未能在生产实际中广泛应用。在二维平面标定中,二维平面标定板的制作虽然简单,但其缺点在于需要两次摆放标定板,两次求取旋转平移矩阵,标定过程过于繁琐,计算量大。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种线激光相机测量系统标定方法,以解决现有夹具功能单一的问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供一种用于线激光位置标定的标定板,包括第一标定区域和第二标定区域,所述第一标定区域的高度大于第二标定区域的高度。

[0006] 提供一种用于线激光位置标定的标定板,包括第一标定区域和第二标定区域,所述第一标定区域的高度大于第二标定区域的高度。

[0007] 提供一种采用上述标定板的线激光相机测量系统标定方法,包括以下步骤:

[0008] S1、通过相机获取所述标定板的图像;

[0009] S2、在所述第二标定区域选取较准点,通过校准点求得相机的畸变系数、相机坐标系到世界坐标系的旋转平移矩阵及相机焦距;

[0010] S3、打开激光器,激光器在所述第一标定区域和第二标定区域各投影出一条激光线;

[0011] S4、计算所述每条激光线上的任意两个点的坐标;

[0012] S5、通过所述坐标求得对应激光线的方程;

[0013] S6、通过所述激光线的方程计算激光平面的方程以及激光平面与标定板平面的夹角。

[0014] 本发明的有益效果为:综合了三维和二维标定的特点,提出了一种基于梯形标定板的标定方法,可用于工业现场标定,降低了标定过程和运算的复杂度,提高了速度、稳定

性及实用性。

附图说明

[0015] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,在这些附图中使用相同的参考标号来表示相同或相似的部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0016] 图1示出了本申请标定板的示意图;

[0017] 图2示出了本申请的流程示意图;

[0018] 图3示出了本申请相机模型的透视投影原理图;

[0019] 图4示出了本申请世界坐标系到相机坐标系的旋转平移示意图;

[0020] 图5示出了本申请提取较准点的示意图;

[0021] 图6示出了本申请线激光标定时的透视原理图。

具体实施方式

[0022] 为了使本发明的设计方法、技巧更加清楚明白,以下将结合附图以及实施例对本发明作详细的介绍。这里所描述的具体是实施方案仅用于解释本发明,并不用于限定本发明。

[0023] 根据本申请的一个实施例,如图1所示,该用于线激光位置标定的标定板包括第一标定区域7和第二标定区域8,所述第一标定区域7的高度大于第二标定区域8的高度,其高度差为 h ;该用于线激光位置标定的第一标定区域7和第二标定区域8上均分布有大小相同的棋盘格,且棋盘格的边长已知。

[0024] 根据本申请的一个实施例,如图2所示,该线激光相机测量系统标定方法,包括以下步骤:

[0025] 第一步,畸变系数 k 的求取:

[0026] 将标定板放置在相机视野中,通过相机获取一张清晰的标定板图像,选取标定板上第二标定区域8内同一直线上的四点作为较准点来标定相机的畸变系数 k ,如图5所示,选取了对角线上的A,B,C,D四点来标定相机的畸变系数 k 。

[0027] 如图3所示的透视投影原理图,其中 $O_w x_w y_w z_w$ 为世界坐标系,也就是现实中的坐标系,在标定过程中,将标定板第二标定区域8的一个顶点作为世界坐标系的原点,如图5所示, x_w 轴和 y_w 轴分别与棋盘格边缘重合, z_w 轴垂直与标定板面。 O_{xyz} 为相机坐标系,其中 Oz 轴为相机光轴。 $O'XY$ 为图像物理坐标系,坐标系建立在CCD图像阵列上,以 mm 为单位,其中 O' 为光轴与图像的交点。 $O''uv$ 为图像像素坐标系,也是建立在CCD图像阵列上的,以像素为单位,其中 O'' 为图像左上角起始点。相机坐标系、图像物理坐标系以及图像像素坐标系的 X 轴和 Y 轴分别平行。 O' 在图像像素坐标系中的坐标为 (u_0, v_0) , $O'O'$ 的长度等于相机的焦距 f 。设一点 P ,其世界坐标系为 $P(x_w, y_w, z_w)$ 相机坐标系为 $P(x, y, z)$, P 点在图像上的理想投影点所对应的物理坐标应为 $P_u(X_u, Y_u)$,但由于镜头存在畸变,所以其实际点坐标应该为畸变后的一点 $P_d(X_d, Y_d)$ 。

[0028] 图像像素坐标系和图像物理坐标系存在如下关系:

$$[0029] \quad \begin{cases} u = D_x X + u_0 \\ v = D_y Y + v_0 \end{cases} \quad (1)$$

[0030] 其中, D_x 和 D_y 分别是图像中每个像素的实际长和宽的尺寸, (u_0, v_0) 为图像中心坐标, 即光轴与图像的交点, 也是图像物理坐标系的坐标原点。

[0031] 由于相机镜头存在一定的畸变, 设畸变系数为 k , 可得到等式:

$$[0032] \quad \begin{cases} X = X_d(1 + kq^2) \\ Y = Y_d(1 + kq^2) \end{cases} \quad (2)$$

[0033] 其中, $q^2 = X_d^2 + Y_d^2$, X, Y 为理想条件下的图像物理坐标, 即不考虑畸变情况下的坐标; X_d, Y_d 为实际获取的图像物理坐标, 即畸变后的坐标。

[0034] 如图5所示, 由于A, B, C, D四点都在标定板上, 且棋盘格大小边长都是已知的, 所以A, B, C, D四点在世界坐标系中的点坐标是已知的, 且其 z_w 坐标都为0。设A, B, C, D在图像中的理想投影点(不考虑畸变)为 A_1, B_1, C_1, D_1 , 根据透视投影原理和交比不变性可得到如下等式:

$$[0035] \quad \frac{AC}{BC} \cdot \frac{AD}{BD} = \frac{A_1 C_1}{B_1 C_1} \cdot \frac{A_1 D_1}{B_1 D_1} \quad (3)$$

[0036] 等式(3)是在理想情况下建立的方程, 而A, B, C, D在图像中的实际投影点并不是 A_1, B_1, C_1, D_1 , 而是其畸变后的点 A_d, B_d, C_d, D_d 。由于A, B, C, D四点的坐标都是已知的, 且从等式(2)可知道 A_1, B_1, C_1, D_1 的图像物理坐标可以用 A_d, B_d, C_d, D_d 的图像物理坐标以及参数 k 的来表示, A_d, B_d, C_d, D_d 的图像物理坐标可从其图像像素坐标变换中求取出来, 而 A_d, B_d, C_d, D_d 图像像素坐标可从图像中获得, 所以可以综合等式(3)、等式(2)以及等式(1)求得畸变系数 k 。

[0037] 第二步, 相机外部参数以及相机焦距 f 的求取:

[0038] 其中相机外部参数是世界坐标系到相机坐标系的旋转矩阵 R 以及平移矩阵 T 。

[0039] 如图3所示, 根据投影变换原理, 可得到如下方程:

$$[0040] \quad \frac{f}{z} = \frac{x}{X} = \frac{y}{Y} \quad (4)$$

[0041] 写成矩阵形式为:

$$[0042] \quad \rho \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0043] 其中 ρ 为一比例因子, f 为相机焦距, X, Y 为图像物理坐标系中点的坐标, x, y, z 为相机坐标系中点的坐标。

[0044] 两个坐标系之间可以通过一个坐标系平移和旋转达到和另一个坐标系相重合。如图4所示, 为世界坐标系到相机坐标系的旋转平移示意图。

$$[0045] \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \quad (6)$$

[0046] 等式(6)中 R 为 3×3 正交单位矩阵, 代表世界坐标系与相机坐标系之间的旋转角度关系, T 为 3×1 的平移向量, 其中

$$[0047] \quad T = (t_x, t_y, t_z)^T \quad (7)$$

[0048]

$$R = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma - \sin\alpha\cos\gamma \\ \cos\beta\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma \\ \sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0049] 在等式(8)中, α 为绕 x_w 轴的旋转角, β 为绕 y_w 轴的旋转角, γ 为绕 z_w 轴的旋转角。各个角度旋转的正方向定义为从坐标系原点沿各坐标轴正方向观察时的逆时针旋转方向。如图4所示,将世界坐标系沿 x_w 轴平移 t_x ,沿 y_w 轴平移 t_y ,沿 z_w 轴平移 t_z ,然后绕 x_w 轴旋转 α ,绕 y_w 轴旋转 β ,绕 z_w 轴旋转 γ ,即可与相机坐标系重合。

[0050] 令

$$R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0052] 将等式(9)和等式(7)代入等式(6)可以得到:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0054] 将等式(10)和(1)代入(5),可以得到:

$$p \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fD_x r_1 + r_7 u_0 & fD_x r_2 + r_8 u_0 & fD_x r_3 + r_9 u_0 & fD_x t_x + t_z u_0 \\ fD_x r_4 + r_7 u_0 & fD_x r_5 + r_8 u_0 & fD_x r_6 + r_9 u_0 & fD_y t_y + t_z v_0 \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0056] 在等式(11)中, $r_1 \sim r_9, t_x, t_y, t_z, f$ 为未知参数,也就是需要标定的部分参数。

[0057] 根据等式(10)和等式(4)可以获得以下等式:

$$\frac{x}{y} = \frac{x}{y} = \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + t_x}{r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + t_y} \quad (12)$$

[0059] 由于世界坐标系是建立在标定板上的,而A,B,C,D四个点都在标定板上,所以其 $z_w = 0$,继而等式(12)可改为:

$$\frac{x}{y} = \frac{x}{y} = \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + t_x}{r_4 x_w + r_5 y_w + t_y} \quad (13)$$

[0061] 任意选取标定板上六个已知较准点代入等式(13)中可以求出 $r_1, r_2, r_4, r_5, t_x, t_y$,由于旋转矩阵为正交单位阵,根据单位正交矩阵的特性,可以通过 r_1, r_2, r_4, r_5 求得 r_3, r_6, r_7, r_8, r_9 。

[0062] 从等式(10)和等式(4)还可以获得以下等式:

$$\frac{y}{f} = \frac{y}{z} = \frac{r_4 x_w + r_5 y_w + t_y}{r_7 x_w + r_8 y_w + t_z} \quad (14)$$

[0064] 结合等式(14)和等式(1), f, t_z 可以很容易的被求解出来。到此,相机的参数标定基本完成。

[0065] 第三步,激光线投影方程的计算:

[0066] 标定板和相机保持刚才的相对位置不动,打开激光器,激光器将在标定板上投影出两条激光线,如图6所示,图中标注1为相机平面,2表示激光平面,3为激光平面与标定板第一标定区域7的交线 L_2 ,4为标定板第一标定区域7,5为激光平面与标定板第二标定区域8的交线 L_1 ,6是标定板的第二标定区域8, h 为第一标定区域7和第二标定区域8已知的高度

差, θ 为激光平面与标定板平面的夹角。激光平面交标定板平面于 L_1, L_2 两条直线, 其中 L_1 位于标定板第二标定区域 8, L_2 位于标定板第一标定区域 7, 同时 L_1, L_2 均位于相机的某一个平面上。

[0067] 设 L_1 上的一点 P_1 , 可知道它在图像像素坐标系中的坐标为 $P_1(u_1, v_1)$, 可以通过等式 (11) 求得其在世界坐标系中的坐标为 $P_1(P_x, P_y, 0)$, 同理, 可求得 L_1 上另一点 Q_1 的世界坐标 $Q_1(Q_x, Q_y, 0)$, 通过 P_1, Q_1 的点坐标, 可求得激光线 L_1 在世界坐标系中的方程。同理, 可以在激光线 L_2 上取不同的两点 P_2, Q_2 , 由于标定板高度差为已知 h , 再结合等式 (11) 可求得 P_2, Q_2 两点在世界坐标系中的坐标 $P_2(P_x, P_y, h)$ 和 $Q_2(Q_x, Q_y, h)$, 继而求得激光线 L_2 在世界坐标系中的方程。

[0068] 第四步, 激光平面方程及其与标定板平面夹角的计算:

[0069] 由于 L_1, L_2 都属于同一个激光平面, 且 L_1, L_2 相互平行, 所以可通过 L_1, L_2 直线的方程, 求得激光平面的方程。由于世界坐标系是建立在标定板上的, 所以标定板平面为 $O_w x_w y_w$ 平面, 标定板平面方程和激光平面方程均已知, 通过数学知识很容易求得两已知平面的夹角 θ , 即激光平面与标定板平面之间的夹角 θ 。

[0070] 结合相机参数 f, k 以及旋转平移矩阵和激光平面的方程, 可求得激光平面上任意一点在世界坐标系中的坐标, 从而可求得激光平面与被测物体表面交线上点的在世界坐标系中的三维坐标, 通过被测物体和激光线结构光的相对运动来扫描物体轮廓, 从而重建出被测物体的三维表面轮廓。

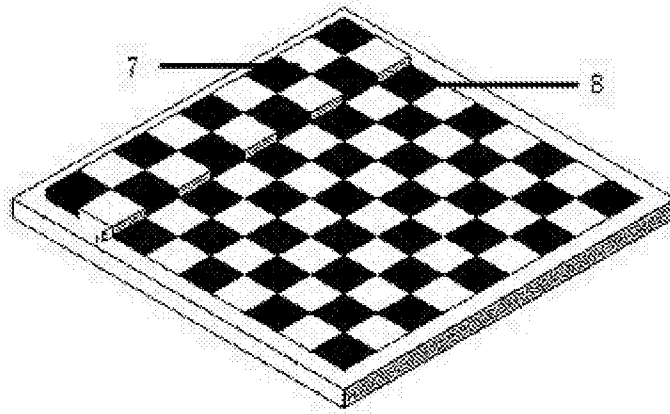


图1



图2

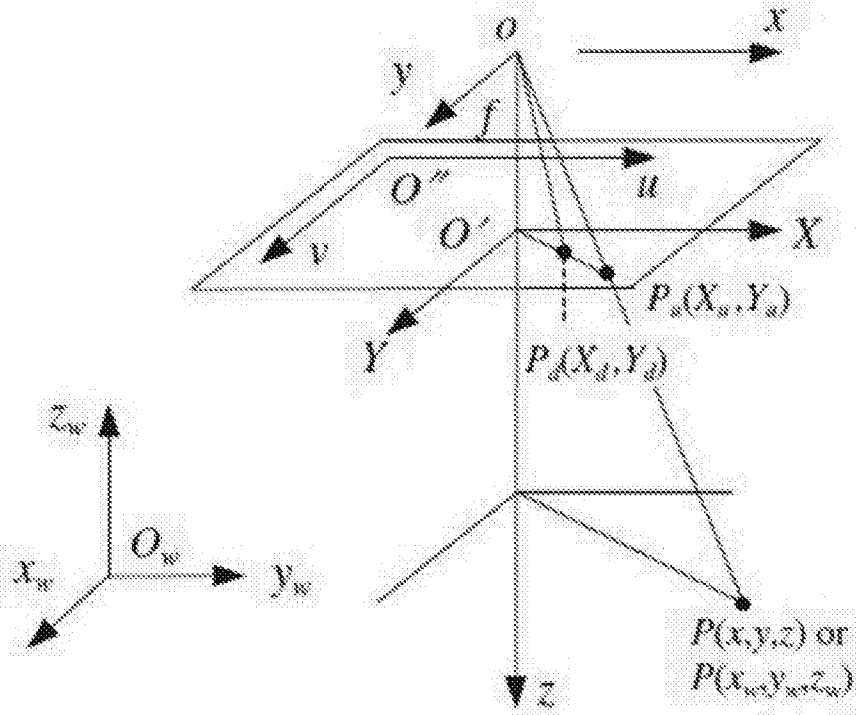


图3

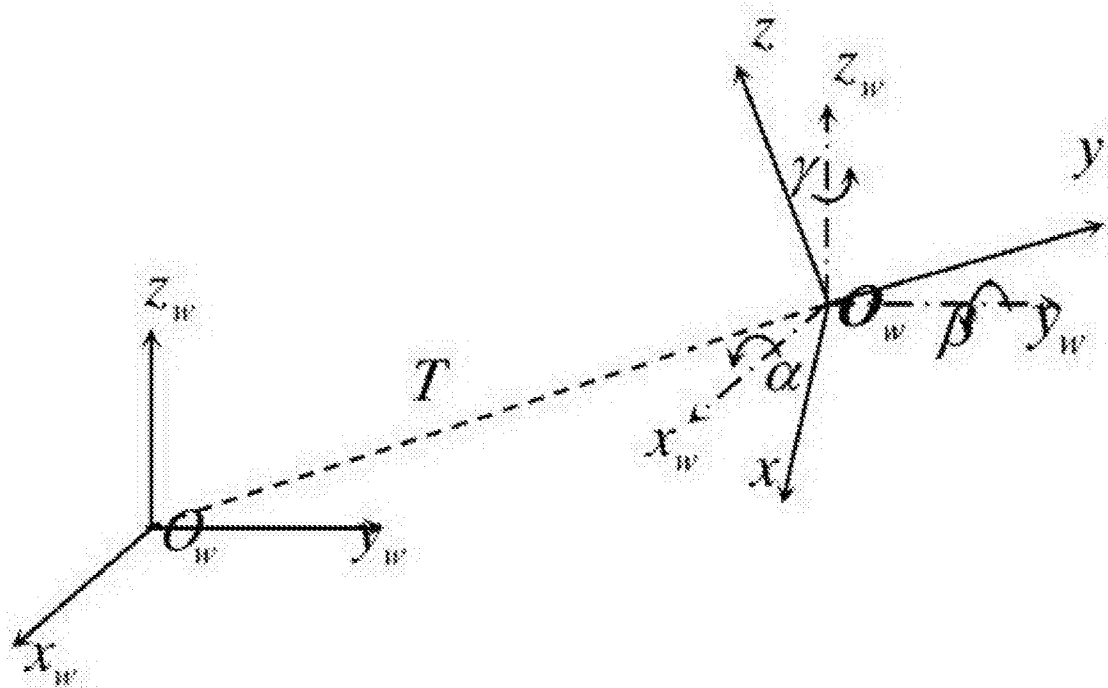


图4

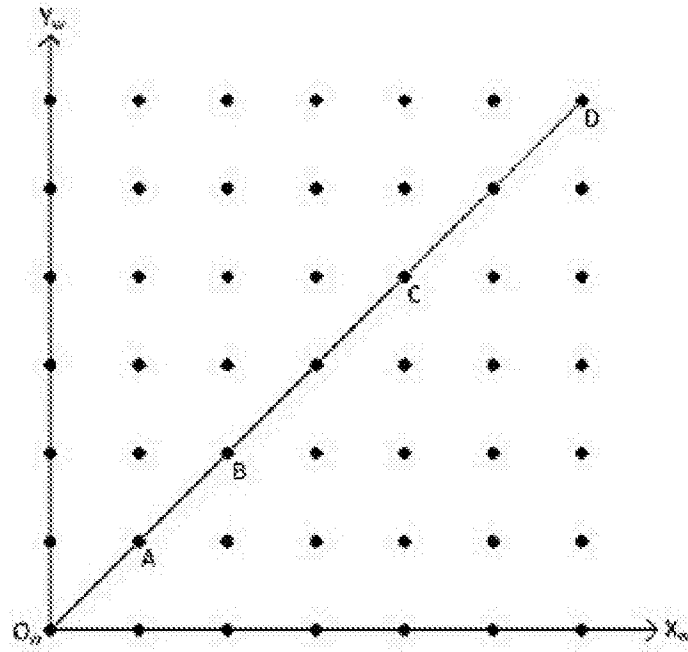


图5

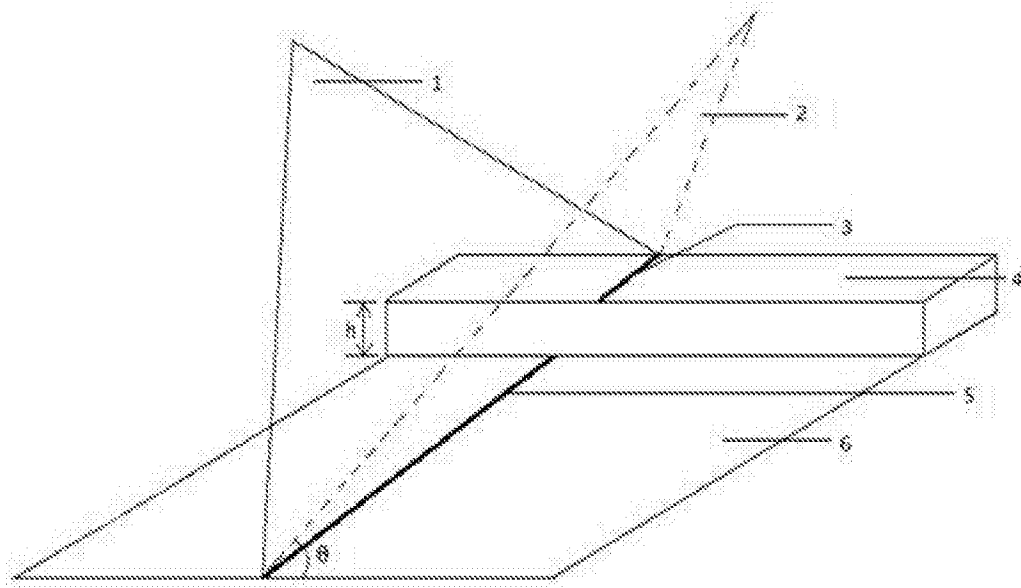


图6