



(21) 申请号 202410832136.2

G01S 15/89 (2006.01)

(22) 申请日 2024.06.26

G01S 7/52 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118397108 A

(56) 对比文件

CN 115830103 A, 2023.03.21

CN 110763152 A, 2020.02.07

(43) 申请公布日 2024.07.26

审查员 张瑜

(73) 专利权人 中国海洋大学

地址 266100 山东省青岛市崂山区松岭路
238号

(72) 发明人 孙梦楠 闫亚波 郑冰

(74) 专利代理机构 深圳鼎丞佰瑞知识产权代理

有限公司 441149

专利代理师 王剑伟

(51) Int. Cl.

G06T 7/80 (2017.01)

G01S 15/86 (2020.01)

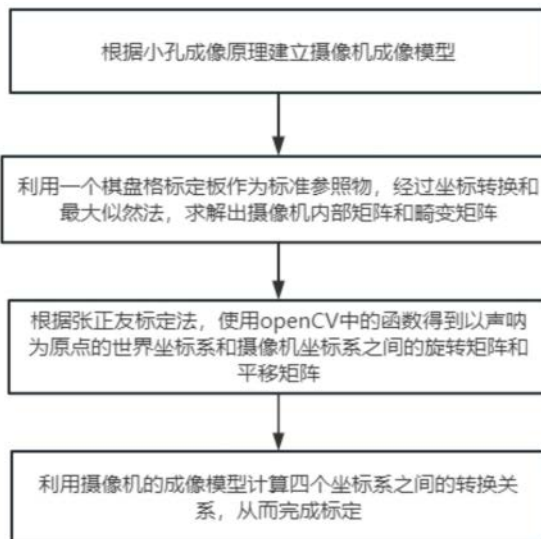
权利要求书4页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

一种用于水下声光信息结合的标定方法

(57) 摘要

本发明提供了一种用于水下声光信息结合的标定方法,属于水下声学及光学成像技术领域。本发明根据小孔成像原理建立摄像机成像模型,利用一个棋盘格标定板作为标准参照物,经过坐标转换和最大似然法,求解出摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵;根据张正友标定法,使用openCV中的函数得到以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵;利用摄像机的成像模型计算四个坐标系之间的转换关系,从而完成标定。该方法所用声呐图像只需要能够得到目标物的位置坐标就可以,降低了声呐图像获取成本,且算法计算复杂度不高。通过该方法的建立,实现声学信息与光学信息结合,达到提高水下成像质量的目的。



1. 一种用于水下声光信息结合的标定方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,根据小孔成像原理建立摄像机成像模型,设定以声呐为原点 O_s 的世界坐标系 $O_sX_sY_sZ_s$,摄像机坐标系 $O_cX_cY_cZ_c$,图像物理坐标系 $O_{xy}xy$,图像像素坐标系 $O_{uv}uv$;

步骤2,利用一个棋盘格标定板作为标准参照物,通过变换它的位置,摄像机采集多幅图像,已知棋盘格的尺寸和每个格子的大小,建立棋盘格上角点的图像物理坐标与对应的图像点在摄像机坐标系下的二维图像坐标之间的关系,经过坐标转换和最大似然法,求解出摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵;

步骤3,根据张正友标定法,利用求解出的摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵以及已知的目标物特征点的世界坐标和目标物特征点在图像中的像素坐标,使用openCV中的函数得到以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵;

步骤4,利用摄像机的成像模型计算四个坐标系之间的转换关系;推导得到世界坐标系中的目标物特征点的坐标与其在摄像机成像平面上的像素坐标之间的数学关系,将内部矩阵 K 、畸变矩阵、旋转矩阵和平移矩阵代入关系式中,得到已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 和目标物的像素坐标 (u, v) 之间的映射关系,从而完成标定;

具体过程为:

S1,将已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 转换为摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) ;

S2,将已知的声呐识别的目标位置在摄像机坐标系中的齐次坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为图像物理坐标系中的齐次坐标 $(m, n, 1)$,通过针孔相机模型有:

$$m = \frac{fx_c}{z_c}$$

$$n = \frac{fy_c}{z_c}$$

其中, f 为摄像机的焦距;

S3,推导摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中的坐标 (u, v) 的关系,并完成坐标转换;包括以下过程:

S31,转换时首先考虑偏移,设摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为 (c_x, c_y) ,

则在图像物理坐标系下的点 $(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c})$ 所成的像在像素坐标系中的坐标为:

$$\left(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c}\right) \rightarrow \left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right)$$

S32,将物理单位和像素单位进行转换:

$$\left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right)$$

其中, k, l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素的个数, 焦距 f 的单位是 m ;

S33, 使用 α, β 表示 fk 和 fl , 可得:

$$\left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

得到摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中坐标的关系:

$$(x_c, y_c, z_c) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

由于摄像机的内参数矩阵为:

$$K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

则有:

$$z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

S34, 将摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为像素坐标系中坐标 (u, v) ; 即将内部矩阵 K 与得到的摄像机坐标 (x_c, y_c, z_c) 相乘, 并对得到的矩阵作归一化, 将其中的每一个元素除以 z_c , 得到矩阵的前两行为求得的像素坐标; 利用 `openCV` 库函数中的 `undistortPoints` 函数将得到的像素坐标进行畸变矫正, 矫正后像素坐标取整得到最终的目标物的像素坐标 (u, v) 。

2. 如权利要求1所述的一种用于水下声光信息结合的标定方法, 其特征在于, 所述步骤1中设定以声呐为原点 O_s 的世界坐标系 $O_s X_s Y_s Z_s$, 摄像机坐标系 $O_c X_c Y_c Z_c$, 图像物理坐标系 $O_{xy} xy$, 图像像素坐标系 $O_{uv} uv$, 具体为:

以声呐为坐标原点 O_s 建立世界坐标系 $O_s X_s Y_s Z_s$; X_s, Y_s 和 Z_s 轴满足右手螺旋定则;

设定摄像机坐标系 $O_c X_c Y_c Z_c$, 以摄像机光心 O_c 作为坐标系的原点, 经过光心垂直于成像平面的直线作 Z_c 轴, X_c 轴和 Y_c 轴所形成的平面与成像平面平行来建立摄像机坐标系;

设定图像物理坐标系 $O_{xy} xy$, 图像物理坐标系建立在摄像机二维成像面上, 原点 O_{xy} 为摄像机光轴与成像面的交点, x 轴 y 轴分别平行于摄像机坐标系的 X_c 轴 Y_c 轴;

设定图像像素坐标系 $O_{uv} uv$; 图像像素坐标系以图像左上角为原点, u 轴 v 轴为坐标轴, 坐标轴的单位为像素 `pixel`, 像素的横坐标 u 与纵坐标 v 分别表示图像数组中所在的行数与列数。

3. 如权利要求1所述的一种用于水下声光信息结合的标定方法,其特征在于,所述步骤2的具体过程为:

利用一个已知尺寸和每个格子大小的棋盘格标定板作为标准参照物,为保证标定的精度,采集N张不同位置不同角度的棋盘格标定板图像;

使用openCV库中内置的calibrateCamera函数进行标定,标定程序读取角点的像素坐标和世界坐标,所述角点的像素坐标是角点在采集的图像中的像素坐标;所述角点的世界坐标是角点在以棋盘格标定板为z平面,以棋盘格左上角点为原点,以棋盘格长、宽分别为x、y轴建立的世界坐标系中的世界坐标;

摄像机标定的原理为:

$$P'_{3 \times 1} = MP_w = K_{3 \times 3} [R_c \quad T_c]_{3 \times 4} P_w_{4 \times 1}$$

$$K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中 α 、 β 分别表示 fk 和 fl , k 、 l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素的个数, f 表示焦距,摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为 (c_x, c_y) ;

标定时将世界坐标系的 XOY 平面定义在标定板平面上, $P_w_{4 \times 1}$ 表示在这种世界坐标系下棋盘格角点的世界坐标, $P'_{3 \times 1}$ 是棋盘格角点的像素坐标; M 为 3×4 的投影矩阵; $[R_c \quad T_c]_{3 \times 4}$ 表示摄像机的外参矩阵; R_c 和 T_c 分别表示标定时定义的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵;根据最大似然法计算照相机的内部矩阵 K 和畸变矩阵。

4. 如权利要求1所述的一种用于水下声光信息结合的标定方法,其特征在于,所述步骤3的具体过程为:

获取以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;获取目标物特征点的像素坐标;

利用求解出的摄像机内部参数 K 和畸变矩阵以及已知的目标物特征点的世界坐标和目标物特征点在图像中的像素坐标,使用openCV中内置的solvePnP函数求出旋转向量和平移矩阵 T_s ,并用Rodrigues函数将旋转向量转换为旋转矩阵 R_s 。

5. 如权利要求4所述的一种用于水下声光信息结合的标定方法,其特征在于,所述获取以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标是使用以下三种方法中的任意一种:

利用卷尺测量 X_s 、 Y_s 和 Z_s 轴上的坐标表示以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;

或用二维声呐获取影像,测量得到极坐标,用卷尺得到 Z_s 轴上的坐标,将二维声呐得到的极坐标转换为测量 X_s 、 Y_s 轴上的世界坐标,结合 Z_s 轴上的世界坐标,得到以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;

或直接用三维声呐测量获得以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标。

6. 如权利要求1所述的一种用于水下声光信息结合的标定方法,其特征在於,所述S1的具体过程为:

将已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标转换为齐次坐标并进行转置并将旋转矩阵 R_s 和 T_s 连接组成新的矩阵 M_1 ,即:

$$M_1 = [R_s \quad T_s]$$

其中, R_s 、 T_s 分别为以声呐为原点的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵, R_s 是 3×3 的正交单位矩阵,有3个独立变量, T_s 为 3×1 的平移矩阵, M_1 是 4×4 的摄像机外部参数矩阵;

根据声呐识别的目标位置的坐标和摄像机坐标系中的坐标之间的关系,将矩阵 M_1 与已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标的齐次坐标相乘得到摄像机坐标系中的齐次坐标 $(x_c, y_c, z_c, 1)$;两者之间的关系为:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [R_s \quad T_s] \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中, $[x_s \quad y_s \quad z_s \quad 1]^T$ 是点P在以声呐为原点的世界坐标系下的齐次坐标, $[x_c \quad y_c \quad z_c \quad 1]^T$ 是点P在摄像机坐标系下的齐次坐标。

一种用于水下声光信息结合的标定方法

技术领域

[0001] 本发明属于水下声学及光学成像技术领域,尤其涉及一种用于水下声光信息结合的标定方法。

背景技术

[0002] 在海洋勘探活动中,自主水下航行器(Autonomous Underwater Vehicles, AUV)和有缆水下机器人(Remote Operated Vehicle, ROV)是主要的探测工具,通常配备声呐和摄像机。声呐不受水体浑浊程度的影响,可以探测到距离相对较远的目标物,摄像机可以直观地得到高分辨率的目标图像,但由于海水中光的散射和介质对其吸收的影响,导致光学图像模糊,颜色失真,成像距离受到严重限制。自主水下航行器(AUV)和有缆水下机器人(ROV)驶近目标物,根据目标位置信息及采集到的图像信息进行灯光亮度调节。这两种成像技术具有互补性。因此,声光融合技术近年来发展迅速,在水下领域得到了广泛的应用,是提高整体成像能力的一种很有潜力的方法。

[0003] 目前水下声光融合主要的研究方向是水下声光图像空间配准算法,主要分为基于区域和基于特征的配准方法。

[0004] 基于区域的水下声光图像配准方法主要利用光声两幅图像的灰度统计信息,通过搜索其最优化全局参数来得到配准测度函数,从而实现两幅图像在空间上的配准。这种遍历式的搜索匹配算法计算量和复杂度较高,而且匹配精度与原数据质量有关,需要图像之间存在较大的重叠区域。

[0005] 基于特征的配准方法以基于特征描述符的配准方法和基于深度学习的配准方法为主。基于特征的配准算法受到水下声光影像显著的结构差异影响,如目标物在声光图像中发生旋转或比例存在差异等都会降低特征描述符的稳健性,影响配准精度。对于基于深度学习的配准方法,需要大量数据集训练泛化能力强的网络。因此,基于特征的配准方法需要统一的水下声光数据集,水下光学场景数据集获取简单,而声呐图像采集实验成本高。

发明内容

[0006] 基于上述亟待解决的问题,本发明提出了一种多物理场标定方法,通过相机标定方法将声呐探测到的目标物的坐标,即以声呐为原点的世界坐标系下的坐标,转换为目标物在光学图像中的像素坐标,从而实现声学信息与光学信息结合,达到提高水下成像质量的目的。

[0007] 本发明提出了一种用于水下声光信息结合的标定方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1,根据小孔成像原理建立摄像机成像模型,设定以声呐为原点 O_s 的世界坐标系 $O_sX_sY_sZ_s$,摄像机坐标系 $O_cX_cY_cZ_c$,图像物理坐标系 $O_{xy}xy$,图像像素坐标系 $O_{uv}uv$;

[0009] 步骤2,利用一个棋盘格标定板作为标准参照物,通过变换它的位置,摄像机采集多幅图像,已知棋盘格的尺寸和每个格子的大小,建立棋盘格上角点的图像物理坐标与对应的图像点在摄像机坐标系下的二维图像坐标之间的关系,经过坐标转换和最大似然法,

求解出摄像机内部矩阵**K**和畸变矩阵;

[0010] 步骤3,根据张正友标定法,利用求解出的摄像机内部矩阵**K**和畸变矩阵以及已知的目标物特征点的世界坐标和目标物特征点在图像中的像素坐标,使用openCV中的函数得到以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵;

[0011] 步骤4,利用摄像机的成像模型计算四个坐标系之间的转换关系;即推导得到世界坐标系中的目标物特征点的坐标与其在摄像机成像平面上的像素坐标之间的数学关系,将内部矩阵**K**、畸变矩阵、旋转矩阵和平移矩阵代入关系式中,得到已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 和目标物的像素坐标 (u, v) 之间的映射关系,从而完成标定。

[0012] 优选的,所述步骤1中设定以声呐为原点 O_s 的世界坐标系 $O_s X_s Y_s Z_s$,摄像机坐标系 $O_c X_c Y_c Z_c$,图像物理坐标系 $O_{xy} xy$,图像像素坐标系 $O_{uv} uv$,具体为:

[0013] 以声呐为坐标原点 O_s 建立世界坐标系 $O_s X_s Y_s Z_s$; X_s 、 Y_s 和 Z_s 轴满足右手螺旋定则;

[0014] 设定摄像机坐标系 $O_c X_c Y_c Z_c$,以摄像机光心 O_c 作为坐标系的原点,经过光心垂直于成像平面的直线作 Z_c 轴, X_c 轴和 Y_c 轴所形成的平面与成像平面平行来建立摄像机坐标系;

[0015] 设定图像物理坐标系 $O_{xy} xy$,图像物理坐标系建立在摄像机二维成像面上,原点 O_{xy} 为摄像机光轴与成像面的交点, x 轴 y 轴分别平行于摄像机坐标系的 X_c 轴 Y_c 轴;

[0016] 设定图像像素坐标系 $O_{uv} uv$;图像像素坐标系以图像左上角为原点, u 轴 v 轴为坐标轴,坐标轴的单位为像素pixel,像素的横坐标 u 与纵坐标 v 分别表示图像数组中所在的行数与列数。

[0017] 优选的,所述步骤2的具体过程为:

[0018] 利用一个已知尺寸和每个格子大小的棋盘格标定板作为标准参照物,为保证标定的精度,采集N张不同位置不同角度的棋盘格标定板图像;

[0019] 使用openCV库中内置的calibrateCamera函数进行标定,标定程序读取角点的像素坐标和世界坐标,所述角点的像素坐标是角点在采集的图像中的像素坐标;所述角点的世界坐标是角点在以棋盘格标定板为z平面,以棋盘格左上角点为原点,以棋盘格长、宽分别为x、y轴建立的世界坐标系中的世界坐标;

[0020] 摄像机标定的原理为:

$$[0021] \quad P_{3 \times 1}' = MP_w = K_{3 \times 3} [R_c \quad T_c]_{3 \times 4} P_w_{4 \times 1}$$

$$[0022] \quad K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0023] 其中 α 、 β 分别表示fk和f1, k 、 l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素的个数, f 表示焦距,摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为 (c_x, c_y) ;

[0024] 标定时将世界坐标系的XOY平面定义在标定板平面上, $P_w 4 \times 1$ 表示在这种世界坐标系下棋盘格角点的世界坐标, $P'_{3 \times 1}$ 是棋盘格角点的像素坐标; M 为 3×4 的投影矩阵; $[R_c \ T_c]_{3 \times 4}$ 表示摄像机的外参矩阵; R_c 和 T_c 分别表示标定时定义的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵;根据最大似然法计算照相机的内部矩阵 K 和畸变矩阵。

[0025] 优选的,所述步骤3的具体过程为:

[0026] 获取以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;获取目标物特征点的像素坐标;

[0027] 用求解出的摄像机内部参数 K 和畸变矩阵以及已知的目标物特征点的世界坐标和目标物特征点在图像中的像素坐标,使用openCV中内置的solvePnP函数求出旋转向量和平移矩阵 T_s ,并用Rodrigues函数将旋转向量转换为旋转矩阵 R_s 。

[0028] 优选的,所述获取以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标是使用以下三种方法中的任意一种:

[0029] 利用卷尺测量 X_s 、 Y_s 和 Z_s 轴上的坐标表示以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;

[0030] 或用二维声呐获取影像,测量得到极坐标,用卷尺得到 Z_s 轴上的坐标,将二维声呐得到的极坐标转换为测量 X_s 、 Y_s 轴上的世界坐标,结合 Z_s 轴上的世界坐标,得到以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标;

[0031] 或直接用三维声呐测量获得以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标。

[0032] 优选的,所述步骤4的具体过程为:

[0033] S1,将已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 转换为摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) ;

[0034] S2,将已知的声呐识别的目标位置在摄像机坐标系中的齐次坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为图像物理坐标系中的齐次坐标 $(m, n, 1)$,通过针孔相机模型有:

$$[0035] \quad m = \frac{fx_c}{z_c}$$

$$[0036] \quad n = \frac{fy_c}{z_c}$$

[0037] 其中, f 为摄像机的焦距;

[0038] S3,推导摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中的坐标 (u, v) 的关系,并完成坐标转换;包括以下过程:

[0039] S31,转换时首先考虑偏移,设摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为

(c_x, c_y) , 则在图像物理坐标系下的点 $(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c})$ 所成的像在像素坐标系中的坐标为:

$$[0040] \quad \left(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c}\right) \rightarrow \left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0041] S32, 将物理单位和像素单位进行转换:

$$[0042] \quad \left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0043] 其中, k, l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素的个数, 焦距 f 的单位是 m ;

[0044] S33, 使用 α, β 表示 fk 和 fl , 可得:

$$[0045] \quad \left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0046] 得到摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中坐标的关系:

$$[0047] \quad (x_c, y_c, z_c) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0048] 由于摄像机的内参数矩阵为:

$$[0049] \quad K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0050] 则有:

$$[0051] \quad z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

[0052] S34, 将摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为像素坐标系中坐标 (u, v) ; 即将内部矩阵 K 与得到的摄像机坐标 (x_c, y_c, z_c) 相乘, 并对得到的矩阵作归一化, 将其中的每一个元素除以 z_c , 得到矩阵的前两行为求得的像素坐标; 利用 openCV 库函数中的 `undistortPoints` 函数将得到的像素坐标进行畸变矫正, 矫正后像素坐标取整得到最终的目标物的像素坐标 (u, v) 。

[0053] 优选的, 所述 S1 的具体过程为:

[0054] 将已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标转换为齐次坐标并进行转置并将旋转矩阵 R_s 和 T_s 连接组成新的矩阵 M_1 , 即:

$$[0055] \quad M_1 = [R_s \quad T_s]$$

[0056] 其中, R_s, T_s 分别为以声呐为原点的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵, R_s 是 3×3 的正交单位矩阵, 有 3 个独立变量, T_s 为 3×1 的平移矩阵, M_1 是 4×4 的摄像机外部参数矩阵;

[0057] 根据声呐识别的目标位置的坐标和摄像机坐标系中的坐标之间的关系,将矩阵 M_1 与已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标的齐次坐标相乘得到摄像机坐标系中的齐次坐标 $(x_c, y_c, z_c, 1)$;两者之间的关系为:

$$[0058] \quad \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [R_s \quad T_s] \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0059] 其中, $[x_s \quad y_s \quad z_s \quad 1]^T$ 是点P在以声呐为原点的世界坐标系下的齐次坐标, $[x_c \quad y_c \quad z_c \quad 1]^T$ 是点P在摄像机坐标系下的齐次坐标。

[0060] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0061] 实验结果显示,将不同的棋盘格角点的世界坐标输入,根据将计算出的像素坐标可视化的图像,可以看出与图像上的目标物特征点基本吻合,准确的声光物理场标定方法可以用于新型光、声联合探测技术,具体可以用于根据目标物在图像中的像素坐标来计算目标物所在区域的曝光度,从而对光源能量投送大小进行调节,提高水下成像质量,为水下机器人在不同水体环境中进行作业系统提供良好的光场环境和视觉效果。

[0062] 本发明所提出的方法充分利用了张正友标定法的优势,避免了标定需要高精度的标定物和操作繁琐等问题,同时达到了比其他标定方法更高的精度,而且还可以避免成本高的问题。该方法制作简单,在标定过程中考虑了镜头畸变,增加了标定的精确性,同时还具有很好的稳定性。

附图说明

[0063] 图1为本发明整体过程流程图示意图。

[0064] 图2为摄像机成像模型示意图。

[0065] 图3为实施例中棋盘格标定板示意图。

[0066] 图4为实施例中声呐获得的影像。

[0067] 图5为实施例中声呐图像对应的光学图像。

[0068] 图6为实施例中读取以声呐为原点的世界坐标系下的世界坐标的声呐图像。

[0069] 图7为实施例中第一个目标物特征点的世界坐标转换为像素坐标的结果图。

[0070] 图8为实施例中第二个目标物特征点的世界坐标转换为像素坐标的结果图。

[0071] 图9为实施例中第三个角点转换为像素坐标的结果图。

具体实施方式

[0072] 本发明提出了一种将声呐探测到的目标物的坐标(即以声呐为原点的世界坐标系下的坐标)转换为目标物在光学图像中的像素坐标的方法。该方法所用声呐图像只需要能够得到目标物的位置坐标就可以,降低了声呐图像获取成本,且算法计算复杂度不高。通过该方法的建立,实现声学信息与光学信息结合,达到提高水下成像质量的目的。整体过程如图1所示:

[0073] 步骤1,根据小孔成像原理建立摄像机成像模型,设定以声呐为原点 O_s 的世界坐标

系 $O_S X_S Y_S Z_S$, 摄像机坐标系 $O_C X_C Y_C Z_C$, 图像物理坐标系 $O_{xy} xy$, 图像像素坐标系 $O_{uv} uv$;

[0074] 步骤2, 利用一个棋盘格标定板作为标准参照物, 通过变换它的位置, 摄像机采集多幅图像, 已知棋盘格的尺寸和每个格子的大小, 建立棋盘格上角点的图像物理坐标与对应的图像点在摄像机坐标系下的二维图像坐标之间的关系, 经过坐标转换和最大似然法, 求解出摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵;

[0075] 步骤3, 根据张正友标定法, 利用求解出的摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵以及已知的目标物特征点的世界坐标和目标物特征点在图像中的像素坐标, 使用openCV中的函数得到以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵;

[0076] 步骤4, 利用摄像机的成像模型计算四个坐标系之间的转换关系; 即推导得到世界坐标系中的目标物特征点的坐标与其在摄像机成像平面上的像素坐标之间的数学关系, 将内部矩阵 K 、畸变矩阵、旋转矩阵和平移矩阵代入关系式中, 得到已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 和目标物的像素坐标 (u, v) 之间的映射关系, 从而完成标定。

[0077] 下面结合具体实施例对发明进行进一步说明。

[0078] 一、摄像机成像模型建立:

[0079] 建立的摄像机成像模型如图2所示。

[0080] 设定世界坐标系 $O_S X_S Y_S Z_S$, 以声呐为坐标原点 O_S 建立世界坐标系, X_S 轴和 Z_S 轴所形成的平面与地面平行, Y_S 轴垂直于 X_S 轴和 Z_S 轴所形成的平面建立世界坐标系。 X_S 、 Y_S 和 Z_S 轴满足右手螺旋定则。

[0081] 设定摄像机坐标系 $O_C X_C Y_C Z_C$, 以摄像机光心 O_C 作为坐标系的原点, 经过光心垂直于成像平面的直线作 Z_C 轴, X_C 轴和 Y_C 轴所形成的平面与成像平面平行来建立摄像机坐标系。

[0082] 设定图像物理坐标系 $O_{xy} xy$, 图像物理坐标系建立在摄像机二维成像面上, 原点 O_{xy} 为摄像机光轴与成像面的交点, x 轴 y 轴分别平行于摄像机坐标系的 X_C 轴 Y_C 轴。

[0083] 设定图像像素坐标系 $O_{uv} uv$ 。图像像素坐标系以图像左上角为原点, u 轴 v 轴为坐标轴, 坐标轴的单位为像素(pixel), 像素的横坐标 u 与纵坐标 v 分别表示图像数组中所在的行数与列数。

[0084] 二、求解出摄像机内部矩阵 K 和畸变矩阵:

[0085] 摄像机标定的一般原理为:

$$[0086] \quad P_{3 \times 1} = MP_w = K_{3 \times 3} [R_c \quad T_c]_{3 \times 4} P_w_{4 \times 1}$$

$$[0087] \quad K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0088] 其中 α 、 β 分别表示 fk 和 fl , k 、 l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素

的个数(pixel/m), f 表示焦距, 摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为 (c_x, c_y) , 为了计算方便, 标定时将世界坐标系的XOY平面定义在标定板平面上, $P_{w4 \times 1}$ 表示在这种世界坐标系下棋盘格角点的世界坐标, $P_{3 \times 1}$ 是棋盘格角点的像素坐标。 M 为 3×4 的投影矩阵。 $[R_c \quad T_c]_{3 \times 4}$ 表示摄像机的外参矩阵。 R_c 和 T_c 分别表示标定时定义的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵。利用标定原理求解摄像机内参矩阵的具体步骤包括:

[0089] 标定板选择材质为氧化铝的棋盘格标定板, 角点数为 11×8 , 每个正方形小格的边长为20mm。使用摄像机型号为Deepsea IPMSC-3105, 摄像机分辨率为1080p。为了保证标定的精度, 采集了14张不同位置不同角度的棋盘格标定板图像。图3为棋盘格标定板示意图。

[0090] 摄像机标定所采用的软件是python, 使用openCV库中内置的calibrateCamera函数进行标定, 标定程序读取角点的像素坐标和世界坐标, 根据最大似然估计计算摄像机的内参和畸变矩阵。

[0091] 运行标定程序获得标定结果, 本实施例中内参矩阵为

$$[0092] \quad K = \begin{bmatrix} 982.43339631 & 0 & 963.50892349 \\ 0 & 982.6845361 & 553.08904842 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0093] 将标定结果保存在文件camera.pkl中。

[0094] 三、求解以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵:

[0095] 根据相机标定原理, 利用标定得到的内参矩阵和畸变矩阵求解以声呐为原点的世界坐标系和摄像机坐标系之间的旋转矩阵 R_s 和平移矩阵 T_s 的具体步骤为:

[0096] S1, 获取以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标。

[0097] 用二维声呐获取影像, 图4是声呐获得的影像。

[0098] 根据ProViewer软件测量得到极坐标, 用卷尺得到 Y_s 轴上的坐标, 将二维声呐得到的极坐标转换为测量 X_s 、 Z_s 轴上的世界坐标, 结合 Y_s 轴上的世界坐标, 得到以声呐为原点的世界坐标系下目标物特征点的世界坐标。目标物特征点的极坐标与世界坐标之间的转换关系为:

$$[0099] \quad \begin{cases} x_s = r \times \sin \theta \\ y_s = r \times \cos \theta \end{cases}$$

[0100] 式中, r 是ProViewer软件测量的目标物特征点距声呐的距离, θ 是目标物特征点偏离声呐中轴的角度。

[0101] S2, 获取目标物特征点的像素坐标。

[0102] 利用摄像机获取声呐影像对应的光学影像。图5是与声呐对应的光学图像。

[0103] 利用python手动选取目标物特征点的像素坐标, 每个特征点的像素坐标读取5次, 取平均值得到最终的像素坐标, 以此减少人工标定的误差。

[0104] S3,使用openCV中内置的solvePnP函数求出旋转向量和平移矩阵 T_s ,并用Rodrigues函数将旋转向量转换为旋转矩阵 R_s 。旋转向量为:

$$[0105] \quad R_p = [2.11658959 \quad 0.18621015 \quad -0.07861229]$$

[0106] 转换为旋转矩阵:

$$[0107] \quad R_s = \begin{bmatrix} 0.98619791 & 0.16456743 & 0.01820023 \\ 0.10173746 & -0.51558787 & -0.85077532 \\ -0.13062609 & 0.84088448 & -0.52521435 \end{bmatrix}$$

[0108] 平移矩阵为:

$$[0109] \quad T_s = \begin{bmatrix} 2.85387383 \\ 1.88400571 \\ -18.30318841 \end{bmatrix}。$$

[0110] 四、利用摄像机的成像模型计算四个坐标系之间的转换关系,完成标定:

[0111] S1,将已知的声呐识别的目标位置的坐标 (x_s, y_s, z_s) 转换为摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) ;

[0112] 将已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标转换为齐次坐标并进行转置并将旋转矩阵 R_s 和 T_s 连接组成新的矩阵 M_1 ,即:

$$[0113] \quad M_1 = [R_s \quad T_s]$$

[0114] 其中, R_s 、 T_s 分别为以声呐为原点的世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵, R_s 是 3×3 的正交单位矩阵,有3个独立变量, T_s 为 3×1 的平移矩阵, M_1 是 4×4 的摄像机外部参数矩阵;

[0115] 根据声呐识别的目标位置的坐标和摄像机坐标系中的坐标之间的关系,将矩阵 M_1 与已知的目标物在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标的齐次坐标相乘得到摄像机坐标系中的齐次坐标 $(x_c, y_c, z_c, 1)$;两者之间的关系为:

$$[0116] \quad \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = [R_s \quad T_s] \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0117] 其中, $[x_s \quad y_s \quad z_s \quad 1]^T$ 是点P在以声呐为原点的世界坐标系下的齐次坐标, $[x_c \quad y_c \quad z_c \quad 1]^T$ 是点P在摄像机坐标系下的齐次坐标。

[0118] S2,将已知的声呐识别的目标位置在摄像机坐标系中的齐次坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为图像物理坐标系中的齐次坐标 $(m, n, 1)$,通过针孔相机模型有:

$$[0119] \quad m = \frac{fx_c}{z_c}$$

$$[0120] \quad n = \frac{fy_c}{z_c}$$

[0121] 其中, f 为摄像机的焦距;

[0122] S3, 推导摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中的坐标 (u, v) 的关系, 并完成坐标转换; 包括以下过程:

[0123] S31, 转换时首先考虑偏移, 设摄像机坐标系的 Z_c 轴与图像交点的像素坐标为 (c_x, c_y) , 则在图像物理坐标系下的点 $(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c})$ 所成的像在像素坐标系中的坐标为:

$$[0124] \quad \left(\frac{fx_c}{z_c}, \frac{fy_c}{z_c}\right) \rightarrow \left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0125] S32, 将物理单位和像素单位进行转换:

$$[0126] \quad \left(\frac{fx_c}{z_c} + c_x, \frac{fy_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0127] 其中, k, l 分别表示水平方向和垂直方向上单位距离内像素的个数 ($pixel/m$), 焦距 f 的单位是 m ;

[0128] S33, 使用 α, β 表示 fk 和 fl , 可得:

$$[0129] \quad \left(\frac{fkx_c}{z_c} + c_x, \frac{fly_c}{z_c} + c_y\right) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0130] 得到摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 同像素坐标系中坐标的关系:

$$[0131] \quad (x_c, y_c, z_c) \rightarrow \left(\alpha \frac{x_c}{z_c} + c_x, \beta \frac{y_c}{z_c} + c_y\right)$$

[0132] 由于摄像机的内参数矩阵为:

$$[0133] \quad K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0134] 则有:

$$[0135] \quad z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$$

[0136] S34, 将摄像机坐标系中的坐标 (x_c, y_c, z_c) 转换为像素坐标系中坐标 (u, v) ; 即将内部矩阵 K 与得到的摄像机坐标 (x_c, y_c, z_c) 相乘, 并对得到的矩阵作归一化, 将其中的每一个元素除以 z_c , 得到矩阵的前两行为求得的像素坐标; 利用 openCV 库函数中的 `undistortPoints` 函数将得到的像素坐标进行畸变矫正, 矫正后像素坐标取整得到最终的目标物的像素坐标 (u, v) 。

[0137] 五、实验结果:

[0138] 本实施例中,读取图6声呐图像中的第一、二、三个特征点在以声呐为原点的世界坐标系下的坐标输入,计算得到的像素坐标表示在图7、图8、图9的光学图像。根据图像将计算出的像素坐标可视化,可以看出与图像上的特征点基本吻合。

[0139] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

[0140] 上述虽然对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

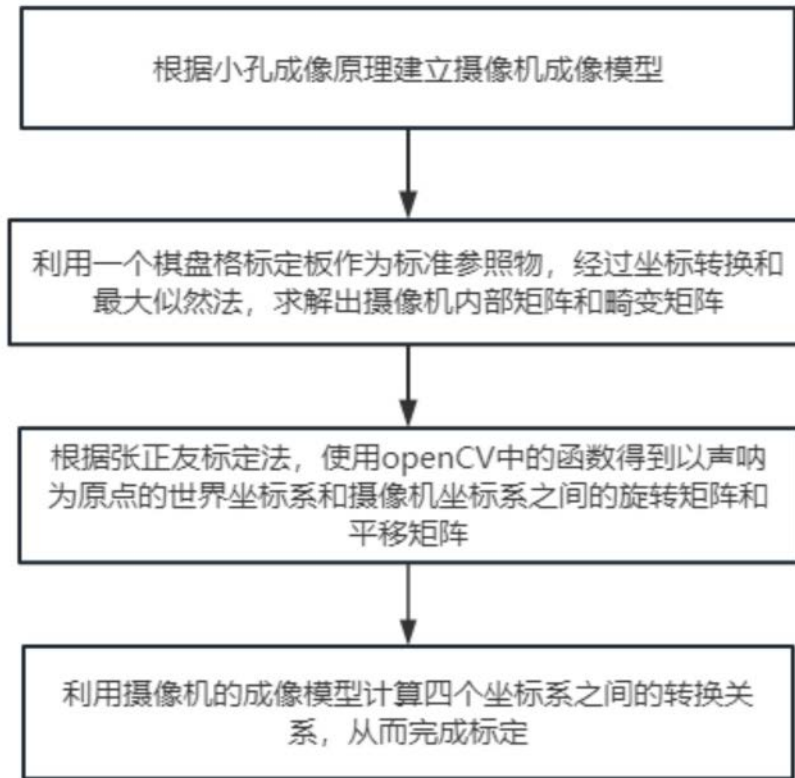


图1

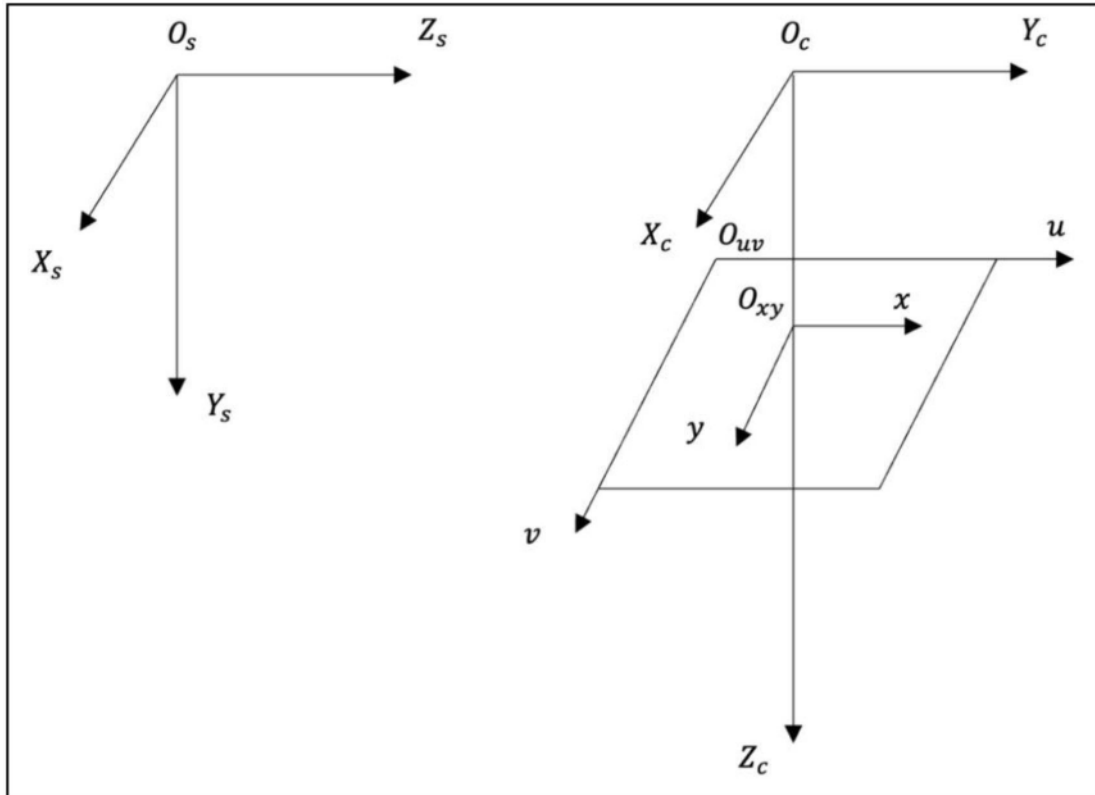


图2

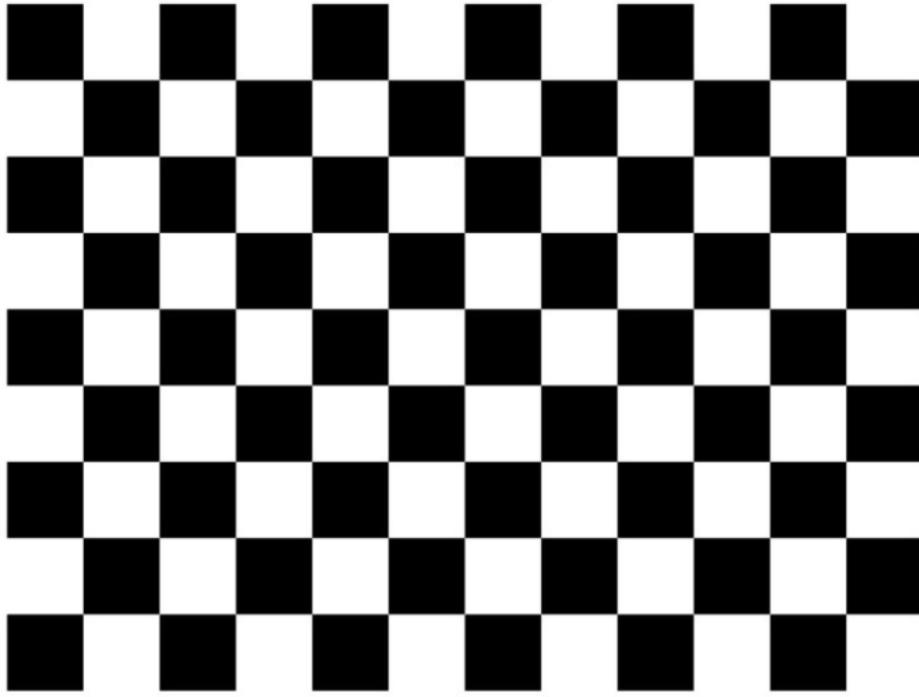


图3

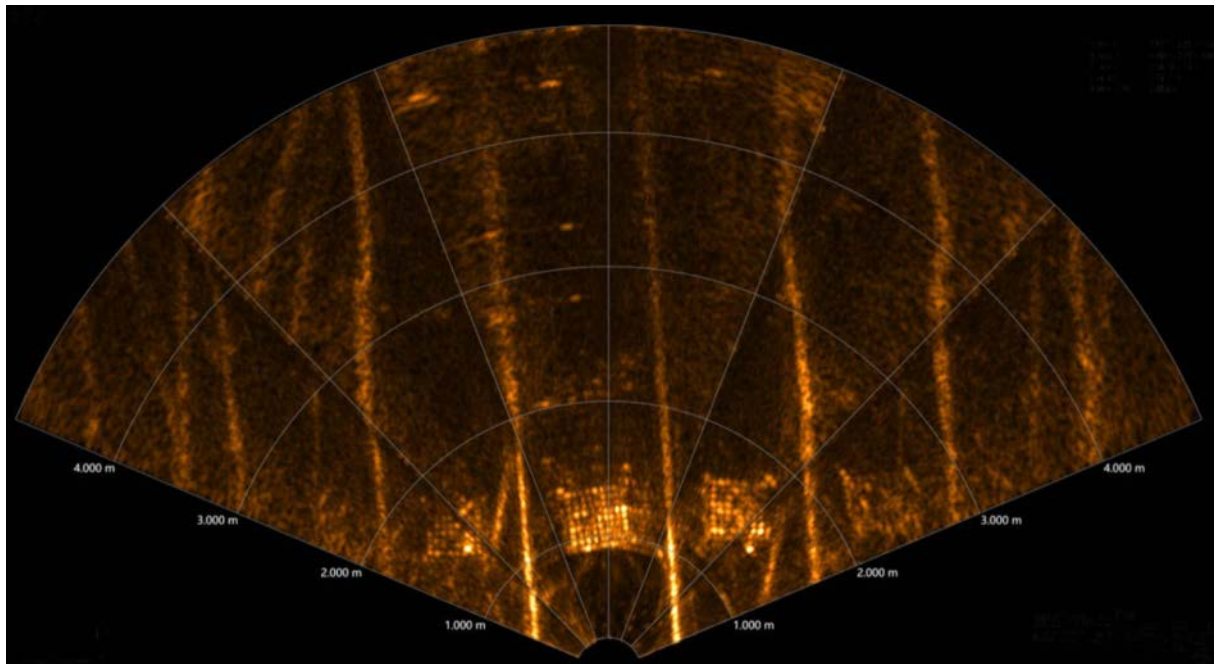


图4

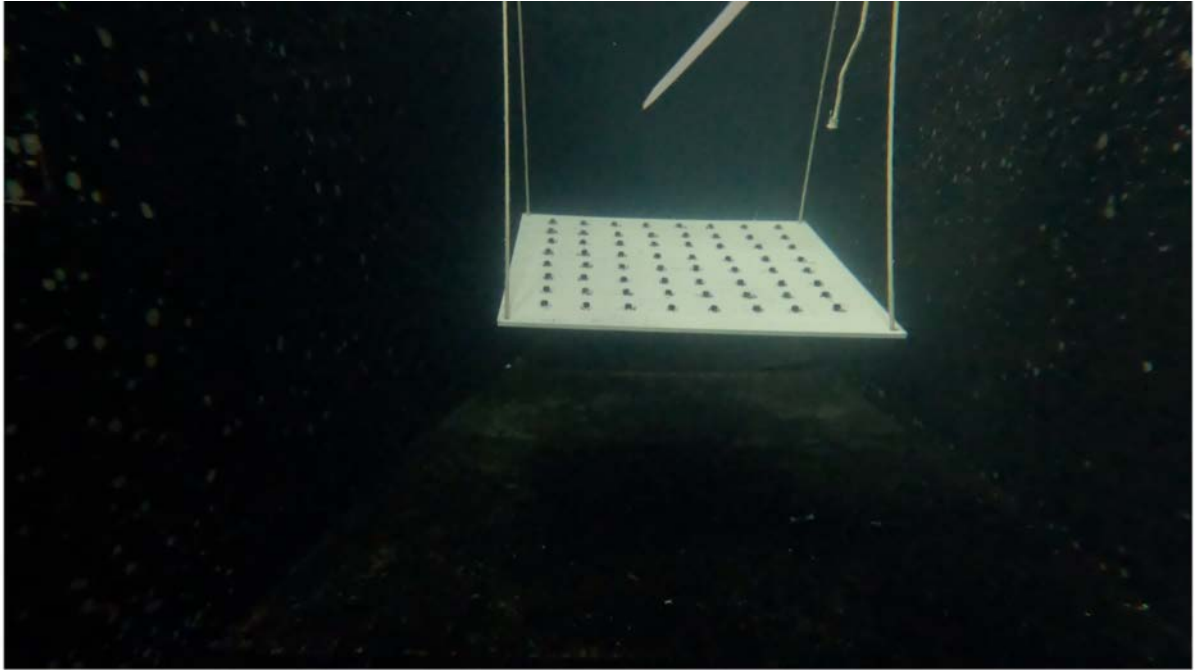


图5

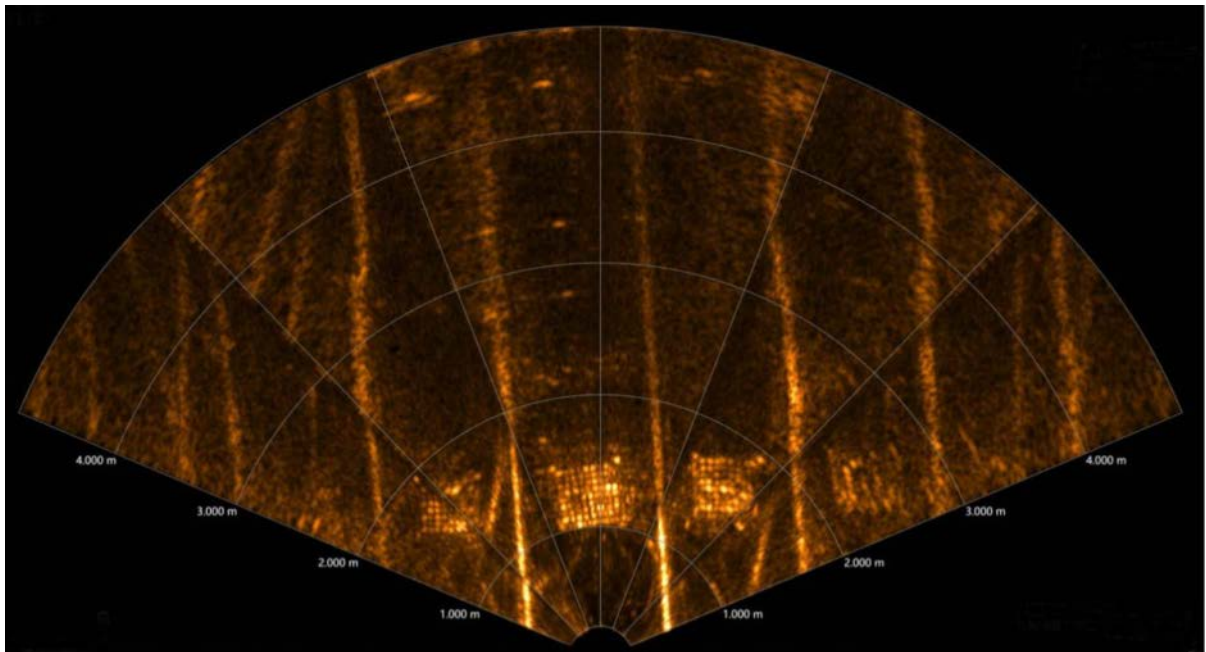


图6

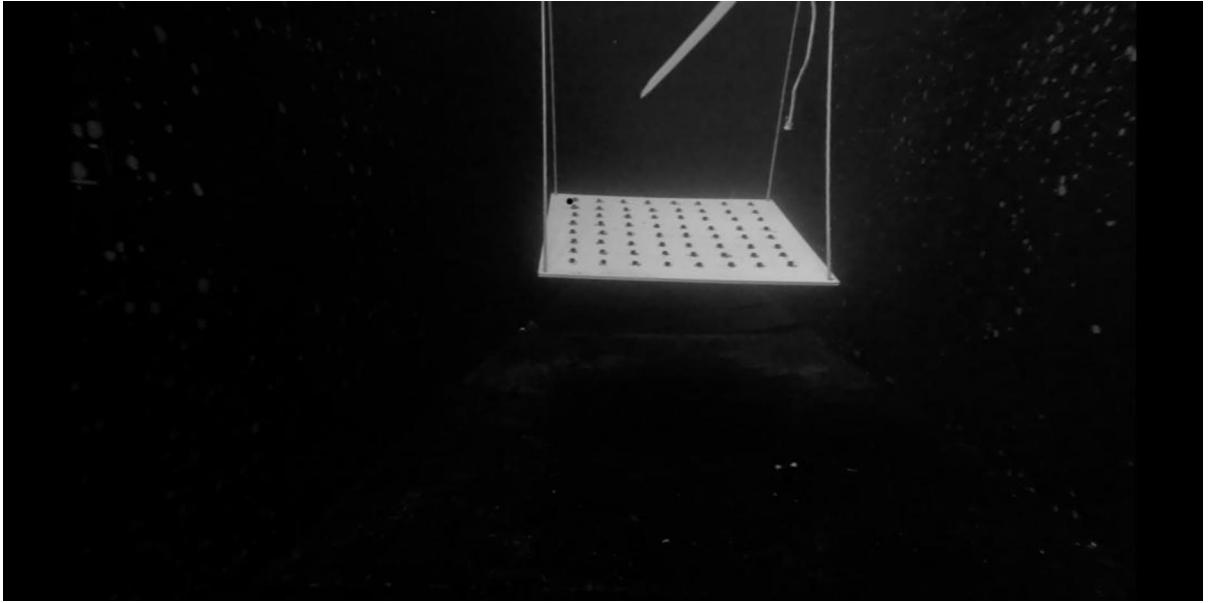


图7

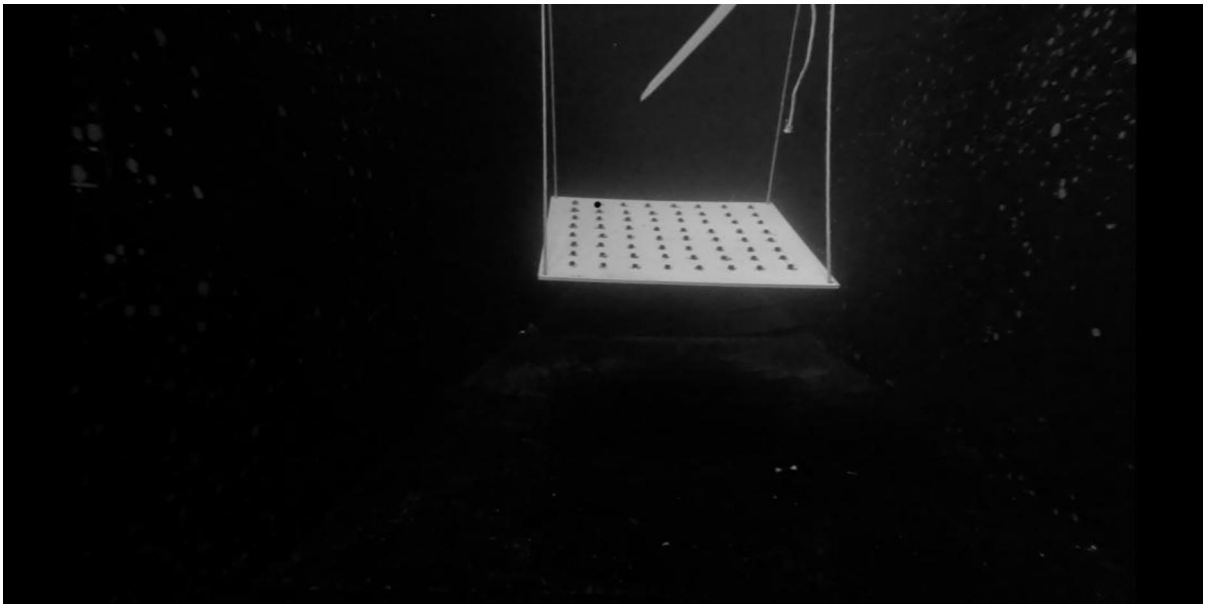


图8

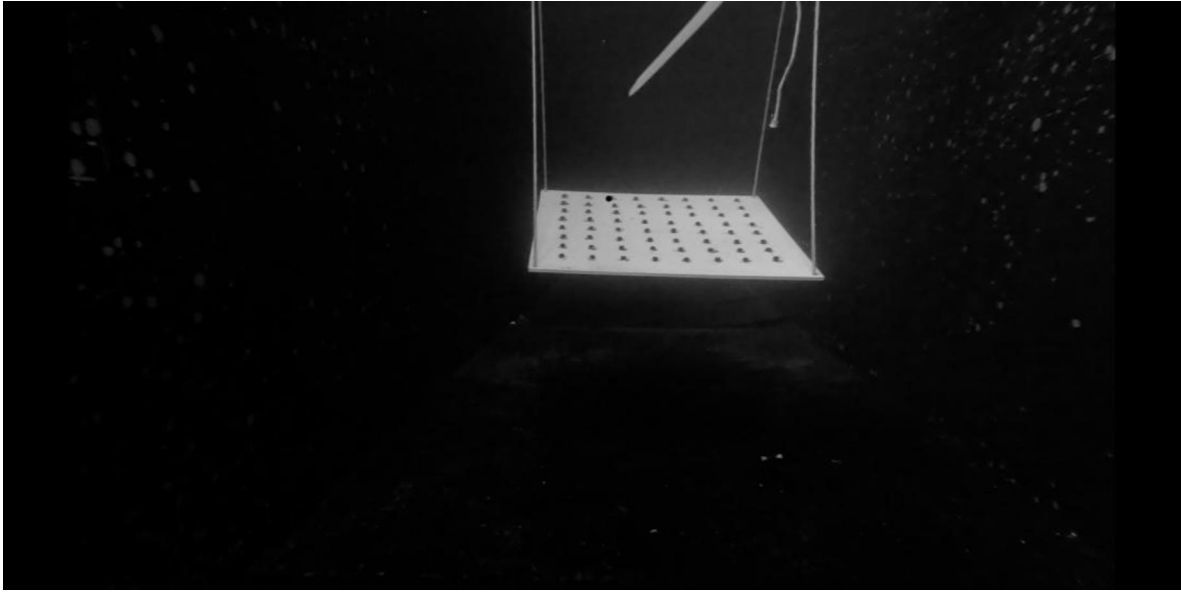


图9