



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105404313 B

(45)授权公告日 2018.03.06

(21)申请号 201510788952.9

审查员 赵珊珊

(22)申请日 2015.11.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105404313 A

(43)申请公布日 2016.03.16

(73)专利权人 青岛秀山移动测量有限公司

地址 266590 山东省青岛市经济技术开发区前湾港路579号山东科技大学科技园综合服务楼506室

(72)发明人 卢秀山 石波 马跃 景冬 刘振

(74)专利代理机构 济南舜源专利事务所有限公  
司 37205

代理人 朱玉建

(51)Int.Cl.

G05D 3/12(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种多波束位置伺服控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种多波束位置伺服控制方法,其控制系统包括控制器、驱动器、电机、内部编码器和外部编码器。本发明包括如下步骤:由外部编码器确定多波束换能器的基准角度,标定并计算其与惯性测量单元的空间关系,确定换能器的基准角度坐标系;在水下作业过程中,控制系统控制多波束系统准确灵活的到达指定位置,由于水的阻力等外部因素的影响,多波束换能器会在指定角度发生微小的角度偏移,控制系统会实时记录偏转角度并记录与GPS时间同步后的时间戳;根据实时记录的偏转角度和时间同步后的时间戳,将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下。本发明在需要不同角度采集水下地形时,将多波束换能器调整到最优角度进行测量。

由外部编码器确定多波束换能器绕其前进方向的旋转角度,定义该旋转角度为基准角度;在基准角度下标定计算多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系,将多波束系统在基准角度下的多波束换能器坐标系定为换能器基准角度坐标系

外部编码器将所述基准角度发送给控制器,由控制器向驱动器发出位置指令,驱动器控制电机转动并带动多波束换能器进行旋转,同时内部编码器和外部编码器不断向驱动器反馈电机及多波束换能器位置信息用于使多波束换能器准确到达指令位置

在多波束换能器到达指定位置后,控制器通过外部编码器实时记录并存储多波束换能器在水下作业过程中产生的偏转角度,获得实时多波束换能器坐标系;同时控制器进行时间同步,获得与GPS时间同步后的时间戳

控制器根据实时记录的偏转角度和与GPS时间同步后的时间戳,将多波束换能器坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下

1. 一种多波束位置伺服控制方法,其控制系统包括控制器、驱动器、电机、内部编码器和外部编码器;内部编码器为电机自带编码器;其特征在于,该方法包括如下步骤:

a、由外部编码器确定多波束换能器以其前进方向为轴的旋转角度,定义该旋转角度为基准角度;在基准角度下标定计算多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系,将多波束系统在基准角度下的多波束换能器坐标系定为换能器基准角度坐标系;

b、外部编码器将所述基准角度发送给控制器,由控制器向驱动器发出位置指令,驱动器控制电机转动并带动多波束换能器旋转由外部编码器确定的旋转角度,同时内部编码器和外部编码器不断向驱动器反馈电机及多波束换能器位置信息用于使多波束换能器准确到达指定位置;

c、在多波束换能器到达指定位置后,控制器通过外部编码器实时记录并存储多波束换能器在水下作业过程中产生的偏转角度,获得实时换能器偏转坐标系;同时控制器进行时间同步,获得与GPS时间同步后的时间戳;

d、控制器根据实时记录的偏转角度和与GPS时间同步后的时间戳,将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下。

2. 根据权利要求1所述的一种多波束位置伺服控制方法,其特征在于,所述控制器为嵌入式计算机、单片机或PLC。

3. 根据权利要求1所述的一种多波束位置伺服控制方法,其特征在于,多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系包括安置角和偏移量参数。

4. 根据权利要求1所述的一种多波束位置伺服控制方法,其特征在于,所述步骤c中,偏转角度的信息读取方法为:

外部编码器采用N位绝对值编码器,且采用SSI通讯协议,数据传输采用同步方式;当空闲阶段不发生数据传输的时候,控制器将外部编码器的时钟信号置高,此时,外部编码器的数据位为高;第一个时钟脉冲信号的下降沿触发外部编码器载入发送数据,然后在每一个时钟信号的上升沿外部编码器送出数据,数据的高位在前,低位在后,当将N位数据传送完毕后,控制器将时钟信号置高,数据位也对应回到高电平,一次位置信息传递完成。

5. 根据权利要求1所述的一种多波束位置伺服控制方法,其特征在于,所述步骤c中,控制器内的时间系统与GPS时间实现同步的方法如下:

c1、控制器与GNSS接收机连接,接收GNSS接收机发送过来的PPS脉冲;

c2、控制器与GNSS接收机进行通信,接收GNSS接收机发送的含有时间信息的报文;

c3、GNSS接收机的PPS脉冲是每秒发出1次,且PPS脉冲先于时间报文到达控制器,同时控制器对接收到的时间报文进行解析,得到其中的GPS时间;

c4、记控制器在首次解析时得到的GPS时间为 $t_1$ ,记 $t_1$ 时间的下一时间为 $t_2$ ,当 $t_2$ 时间的PPS脉冲到达控制器时,利用 $t_1+1s$ 修正控制器内部的时间,实现与GPS时间的同步;

c5、在实时采集多波束换能器偏转角度的同时,记录一次开始采集时的时间 $t_s$ ,记录一次采集结束后的时间 $t_e$ ;将 $t_s$ 和 $t_e$ 的平均值 $t_{avg}$ 作为本次偏转角度采集的时间戳,连同采集的偏转角度一并存储到控制器内部。

6. 根据权利要求1所述的一种多波束位置伺服控制方法,其特征在于,所述步骤d具体包括:

d1、根据实时记录的偏转角度 $\alpha$ 、时间戳和通过几何关系得到多波束换能器中心与多波

束换能器安置杆旋转中心间的距离 $r$ ;

d2、将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下,其转换关系如下:

$$C_B = \begin{bmatrix} \cos(\alpha - \alpha_0) & 0 & \sin(\alpha - \alpha_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha - \alpha_0) & 0 & \cos(\alpha - \alpha_0) \end{bmatrix} \cdot C_r = \begin{bmatrix} \cos \alpha_0 & 0 & -\sin \alpha_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_0 & 0 & \cos \alpha_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \sin \alpha - r \sin \alpha_0 \\ 0 \\ r \cos \alpha_0 - r \cos \alpha \end{bmatrix};$$

其中, $\alpha_0$ 表示基准角度; $\alpha$ 表示偏转角度; $C_B$ 表示换能器基准角度坐标系; $C_r$ 表示换能器偏转坐标系,该坐标系是由 $\alpha$ 确定的多波束换能器坐标系。

## 一种多波束位置伺服控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种多波束位置伺服控制方法。

### 背景技术

[0002] 准确的海岛(礁)和大陆架海底海岸地形是确定我国领海、专属经济区的重要依据,远海岛礁浅水区海底海岸地形及近岸水上地形测量一直是国内外测绘领域的一个难点问题。船载水岸线上下一体化测量系统是一种集成多波束测深仪、激光扫描仪、惯性测量单元、卫星接收机等多传感器的系统,通过多传感器协同采集信息,能够同时获取浅水区海底海边地形及近岸水上地形数据,实现了水上水下一体化数据采集,有效解决了不易到达岛礁地形测量、涉海单位海岸带和滩涂地形的测量问题。其中,在利用船载水岸线上下一体化测量系统进行浅水区海底海岸地形及水上地形测量的作业中,采集的水上水下数据要达到无缝拼接一体化的效果,海岸水下数据的采集是至关重要的。在船载水岸线上下一体化测量系统中多波束测深仪主要是用于水下测量工作,能够有效探测水下地形,得到高精度的三维地形图。

[0003] 目前,常用的多波束换能器的安装方法有三种:第一种方法是将多波束换能器直接安装平行固定与船体,换能器接收面朝下与船底平行;此种方法针对海岸线水上水下一体化测量过程中,平行发射的波束难以采集水下岸边的数据,难以达到数据水上水下一体化的效果;第二种方法是在安装杆上为多波束换能器设置多个安装角度,换能器接受面与船底成固定夹角;此方法可以在一定程度上解决采集海岸水下数据的问题,但是此方法针对海底海岸多样化的地形采集不灵活,多波束换能器一旦开始工作,其换能器声波发射接收面角度便固定,无法对不同的海底海岸地形进行灵活的测量;同时此方法在每次更换安装角度后均要重新标定计算多波束换能器与惯性测量单元的空间关系,不但增加了作业的复杂性,同时由于测量现场环境的限制,标定计算无法实时进行;第三种方法是采用多个不同角度多波束换能器采集的方法;此种方法虽然在一定程度上解决了海底海岸地形多样化以及无法实时标定计算多波束换能器与惯性测量单元的空间关系给数据采集带来的不便,但是采用多个换能器的方法无疑提高了采集的成本,同时采集一些不必要的冗余数据。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提出一种多波束位置伺服控制方法,以解决多波束换能器以固定角度安装时无法获得最理想数据的问题,可以使多波束换能器在水下灵活的旋转,对需要不同角度采集的水下地形调整到最优角度进行测量;同时本发明通过标定基准角度坐标系,实现任意角度换能器的坐标系转换,以克服换能器更换角度后标定任务无法实时完成的弊端。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种多波束位置伺服控制方法,其控制系统包括控制器、驱动器、电机、内部编码器和外部编码器;内部编码器为电机自带编码器;该方法包括如下步骤:

[0007] a、由外部编码器确定多波束换能器以其前进方向为轴的旋转角度,定义该旋转角度为基准角度;在基准角度下标定计算多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系,将多波束系统在基准角度下的多波束换能器坐标系定为换能器基准角度坐标系;

[0008] b、外部编码器将所述基准角度发送给控制器,由控制器向驱动器发出位置指令,驱动器控制电机转动并带动多波束换能器旋转由外部编码器确定的旋转角度,同时内部编码器和外部编码器不断向驱动器反馈电机及多波束换能器位置信息用于使多波束换能器准确到达指定位置;

[0009] c、在多波束换能器到达指定位置后,控制器通过外部编码器实时记录并存储多波束换能器在水下作业过程中产生的偏转角度,获得实时换能器偏转坐标系;同时控制器进行时间同步,获得与GPS时间同步后的时间戳;

[0010] d、控制器根据实时记录的偏转角度和与GPS时间同步后的时间戳,将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下。

[0011] 优选地,所述控制器为嵌入式计算机、单片机或PLC。

[0012] 优选地,多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系包括安置角和偏移量参数。

[0013] 优选地,所述步骤c中,偏转角度的信息读取方法为:

[0014] 外部编码器采用N位绝对值编码器,且采用SSI通讯协议,数据传输采用同步方式;当空闲阶段不发生数据传输的时候,控制器将外部编码器的时钟信号置高,此时,外部编码器的数据位为高;第一个时钟脉冲信号的下降沿触发外部编码器载入发送数据,然后在每一个时钟信号的上升沿外部编码器送出数据,数据的高位在前,低位在后,当将N位数据传输完毕后,控制器将时钟信号置高,数据位也对应回到高电平,一次位置信息传递完成。

[0015] 优选地,所述步骤c中,控制器内的时间系统与GPS时间实现同步的方法如下:

[0016] c1、控制器与GNSS接收机连接,接收GNSS接收机发送过来的PPS脉冲;

[0017] c2、控制器与GNSS接收机进行通信,接收GNSS接收机发送的含有时间信息的报文;

[0018] c3、GNSS接收机的PPS脉冲是每秒发出1次,且PPS脉冲先于时间报文到达控制器,同时控制器对接收到的时间报文进行解析,得到其中的GPS时间;

[0019] c4、记控制器在首次解析时得到的GPS时间为 $t_1$ ,记 $t_1$ 时间的下一时间为 $t_2$ ,当 $t_2$ 时间的PPS脉冲到达控制器时,利用 $t_1+1s$ 修正控制器内部的时间,实现与GPS时间的同步;

[0020] c5、在实时采集多波束换能器偏转角度的同时,记录一次开始采集时的时间 $t_s$ ,记录一次采集结束后的时间 $t_e$ ;将 $t_s$ 和 $t_e$ 的平均值 $t_{avg}$ 作为本次偏转角度采集的时间戳,连同采集的偏转角度一并存储到控制器内部。

[0021] 优选地,所述步骤d具体包括:

[0022] d1、根据实时记录的偏转角度 $\alpha$ 、时间戳和通过几何关系得到多波束换能器中心与多波束换能器安置杆旋转中心间的距离 $r$ ;

[0023] d2、将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下,其转换关系如下:

$$[0024] \quad C_B = \begin{bmatrix} \cos(\alpha - \alpha_0) & 0 & \sin(\alpha - \alpha_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha - \alpha_0) & 0 & \cos(\alpha - \alpha_0) \end{bmatrix} \bullet C_r = \begin{bmatrix} \cos \alpha_0 & 0 & -\sin \alpha_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_0 & 0 & \cos \alpha_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \sin \alpha - r \sin \alpha_0 \\ 0 \\ r \cos \alpha_0 - r \cos \alpha \end{bmatrix};$$

[0025] 其中, $\alpha_0$ 表示基准角度; $\alpha$ 表示偏转角度; $C_B$ 表示换能器基准角度坐标系; $C_r$ 表示换

能器偏转坐标系,该坐标系是由 $\alpha$ 确定的多波束换能器坐标系。

[0026] 本发明具有如下优点:

[0027] 首先,本发明中多波束换能器可以在一定角度范围内在水下灵活的旋转来应对多样的海底海岸地形,达到数据采集效果的最优化,更可以达到船载水岸线上下一体化测量系统中要求的水上水下数据一体化的效果;其次,由本发明多波束位置控制系统提供的基准角度、偏转角度和时间戳减少了标定计算带来的复杂性,给出基准角度进行一次标定计算并确定换能器基准角度坐标系,在更换多波束换能器采集角度后,无需再进行标定计算,只需根据实时偏转角度和与GPS时间同步后的时间戳,将换能器偏转坐标系下波束点坐标转换到换能器基准角度坐标系下即可;最后,本发明方法利用一个多波束换能器在作业过程中进行任意角度的旋转,有效地控制了数据采集的成本。

## 附图说明

[0028] 图1为船载水岸线上下一体化测量系统的示意图;

[0029] 图2为多波束换能器坐标系 $C_M$ 的示意图;

[0030] 图3为载体坐标系 $C_{IMU}$ 的示意图;

[0031] 图4为换能器基准坐标系 $C_B$ 的示意图;

[0032] 图5为换能器偏转坐标系 $C_T$ 的示意图;

[0033] 图6为本发明中多波束位置控制系统的结构框图;

[0034] 图7为本发明中外部编码器的输入输出时序图;

[0035] 图8为本发明中控制器接收PPS脉冲和时间报文的示意图;

[0036] 图9为本发明中控制器内部时间修正示意图;

[0037] 图10为本发明中坐标转换示意图;

[0038] 图11为本发明中一种多波束位置伺服控制方法的流程示意图。

## 具体实施方式

[0039] 下面结合附图以及具体实施方式对本发明作进一步详细说明:

[0040] 一种多波束位置伺服控制方法,其控制系统包括控制器、驱动器、电机、内部编码器和外部编码器;内部编码器为电机自带编码器,如图6所示。本发明多波束位置控制系统能够控制多波束换能器在水下作业的过程中在一定角度范围内任意旋转进行数据采集。

[0041] 如图11所示,本发明方法具体包括以下步骤:

[0042] a、确定多波束换能器基准角度坐标系

[0043] 首先利用已有技术对多波束测深仪、激光扫描仪、惯性测量单元、卫星接收机等多传感器进行一体化固联,形成船载水岸线上下一体化测量系统,如图1所示。

[0044] 在船载水岸线上下一体化测量系统中存在多个坐标系,其中包括多波束换能器坐标系 $C_M$ ,载体坐标系 $C_{IMU}$ ,换能器基准角度坐标系 $C_B$ ,换能器偏转坐标系 $C_T$ 。

[0045] 多波束换能器坐标系 $C_M$ 是以换能器接收端中心为原点 $O_{MB}$ ,以换能器前进方向为 $Y_M$ 轴,沿换能器接收端阵列平面垂直于 $Y_M$ 轴右向为 $X_M$ ,过原点垂直于接收端接受阵列向连接法兰方向为 $Z_M$ , $X_M$ 、 $Y_M$ 与 $Z_M$ 构成右手坐标系,如图2所示。

[0046] 载体坐标系 $C_{IMU}$ 是以惯性测量单元的质心为原点 $O_{IMU}$ ,其 $Y_{IMU}$ 轴指向前进方向, $X_{IMU}$

轴垂直于 $Y_{IMU}$ 轴指向前进方向的右侧, $Z_{IMU}$ 轴垂直于 $X_{IMU}$ , $Y_{IMU}$ 轴向上,构成右手坐标系,如图3所示。

[0047] 换能器基准角度坐标系 $C_B$ 是由外部编码器给出的基准角度 $\alpha_0$ 确定的,其中, $\alpha_0$ 是多波束换能器绕其前进方向即 $Y_{IMU}$ 的偏转角度,在此角度下标定计算多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系,包括安置角和偏移量参数,将多波束系统在基准角度 $\alpha_0$ 下的多波束换能器坐标系定为换能器基准角度坐标系,即为 $C_B$ ,如图4所示。

[0048] b、多波束位置控制系统控制多波束换能器快速准确的到达指定角度进行水下作业,其具体控制过程如下:

[0049] 外部编码器将基准角度 $\alpha_0$ 发送给控制器,由控制器向驱动器发出位置指令 $\epsilon$ ,驱动器控制电机转动并带动多波束换能器旋转由外部编码器确定的旋转角度,同时内部编码器和外部编码器不断向驱动器反馈电机及多波束换能器位置信息用于使多波束换能器准确到达指定位置。

[0050] 其中,本发明中的控制器可以采用嵌入式计算机、单片机或PLC。

[0051] 本发明中的多波束控制系统采用增量式数字PID控制算法。在过程控制中,按偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)进行控制的PID控制器(亦称PID调节器)是应用最为广泛的一种自动控制器。数字PID控制器的差分方程:

$$[0052] \quad u(n) = K_p \left\{ e(n) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} = u_p(n) + u_I(n) + u_D(n);$$

[0053]  $u_p(n) = K_p e(n)$  为比例项,  $u_I(n) = K_p \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^n e(i)$  为积分项,  $u_D(n) = K_p \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)]$  为微分项。

[0054] c、在多波束换能器到达指定位置后,由于受到水的阻力等外部因素影响,其在指定角度上发生微小的角度偏移,为了更准确的记录多波束的位置信息,需要控制器通过外部编码器实时记录多波束换能器的偏转角度 $\alpha$ ,并记录相应的时间戳。换能器偏转坐标系 $C_r$ 便是由 $\alpha$ 确定的多波束换能器坐标系,如图5所示。偏转角度 $\alpha$ 的信息读取方法如下:

[0055] 绝对值编码器的特点是对于每一个位置都有一个固定的n位ASCII码与之对应。不同的绝对值编码器ASCII的位数不同。本发明中外编码器采用N位绝对值编码器,且采用SSI通讯协议,数据传输采用同步方式。当空闲阶段不发生数据传输的时候,控制器将外部编码器的时钟信号置高,此时,外部编码器的数据位为高;第一个时钟脉冲信号的下降沿触发外部编码器载入发送数据,然后在每一个时钟信号的上升沿外部编码器送出数据,数据的高位在前,低位在后,当将N位数据传送完毕后,控制器将时钟信号置高,数据位也对应回到高电平,一次位置信息传递完成,如图7所示,在本发明实施例中,N取18。

[0056] 图中有几个参数定义如下: $T$ 为时钟的脉冲周期; $t_p$ 为数据传输间隔,即上一个位置信息与下一个位置信息之间的时间间隔; $t_m$ 为单稳触发时间,对于编码器而言,无法事先知道控制器发送的时钟脉冲个数,因而无法确定起始位和结束位,解决问题的方法是采用高电位保持一段时间内没有变化,作为结束标志; $t_m$ 单稳时间就是指这个时间。

[0057] 由于控制器的时间是相对时间,是由其系统内维护的时间系统提供的,为了可以将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下,控制器记录的时间戳需要通过卫星接收机(GNSS接收机)的PPS脉冲和相应的时间报文与GPS时间同步。

[0058] 控制器内的时间系统与GPS时间实现同步的方法如下：

[0059] c1、控制器与GNSS接收机连接，接收GNSS接收机发送过来的PPS脉冲；

[0060] c2、控制器与GNSS接收机进行通信（网络、串口通信等），接收GNSS接收机发送的含有时间信息的报文；

[0061] c3、GNSS接收机的PPS脉冲是每秒发出1次，且PPS脉冲先于时间报文到达控制器，如图8所示，同时控制器对接收到的时间报文进行解析，得到其中的GPS时间；

[0062] c4、记控制器在首次解析时得到的GPS时间为 $t_1$ ，记 $t_1$ 时间的下一时间为 $t_2$ ；由于 $t_1$ 时刻的PPS脉冲先于时间报文到达嵌入式计算机，并且时间报文的解析也需要时间，故解析出来的GPS时间 $t_1$ 无法根据该时刻的PPS脉冲修正嵌入式计算机系统的内部时间，但是当下一时刻 $t_2$ 的PPS脉冲到达嵌入式计算机系统时，利用 $t_1+1s$ 修正控制器内部的时间，即可实现控制器内部时间系统与GPS时间的同步，如图9所示；

[0063] c5、根据步骤c4中的修正，控制器内部的时间系统是经过GPS时间同步的。在实时采集多波束换能器偏转角度的同时，记录一次开始采集时的时间 $t_s$ ，记录一次采集结束后的时间 $t_e$ ；将 $t_s$ 和 $t_e$ 的平均值 $t_{avg}$ 作为本次偏转角度采集的时间戳，连同偏转角度存储到控制器内部。

[0064] d、多波束数据处理

[0065] 在上述步骤中，已知多波束换能器的基准角度坐标系为 $C_B = [x_B, y_B, z_B]^T$ 。

[0066] d1、当控制系统控制换能器快速准确的到达指定位置后，开始进行多波束的水下测量，控制器记录并存储多波束换能器的偏转角度 $\alpha$ ，获得实时换能器偏转坐标系 $C_r = [x_r, y_r, z_r]^T$ ，利用同步板进行时间同步，获得与GPS时间同步后的时间戳；根据实时记录的偏转角度 $\alpha$ 、时间戳和通过几何关系得到多波束换能器中心与多波束换能器安置杆旋转中心间的距离 $r$ ，如图10所示；

[0067] d2、将换能器偏转坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下，其转换关系如下：

$$[0068] \quad C_B = \begin{bmatrix} \cos(\alpha - \alpha_0) & 0 & \sin(\alpha - \alpha_0) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\alpha - \alpha_0) & 0 & \cos(\alpha - \alpha_0) \end{bmatrix} \bullet C_r - \begin{bmatrix} \cos \alpha_0 & 0 & -\sin \alpha_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha_0 & 0 & \cos \alpha_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \sin \alpha - r \sin \alpha_0 \\ 0 \\ r \cos \alpha_0 - r \cos \alpha \end{bmatrix};$$

[0069] 其中， $\alpha_0$ 表示基准角度； $\alpha$ 表示偏转角度； $C_B$ 表示换能器基准角度坐标系； $C_r$ 表示换能器偏转坐标系，该坐标系是由 $\alpha$ 确定的多波束换能器坐标系。

[0070] 当然，以上说明仅仅为本发明的较佳实施例，本发明并不限于列举上述实施例，应当说明的是，任何熟悉本领域的技术人员在本说明书的教导下，所做出的所有等同替代、明显变形形式，均落在本说明书的实质范围之内，理应受到本发明的保护。



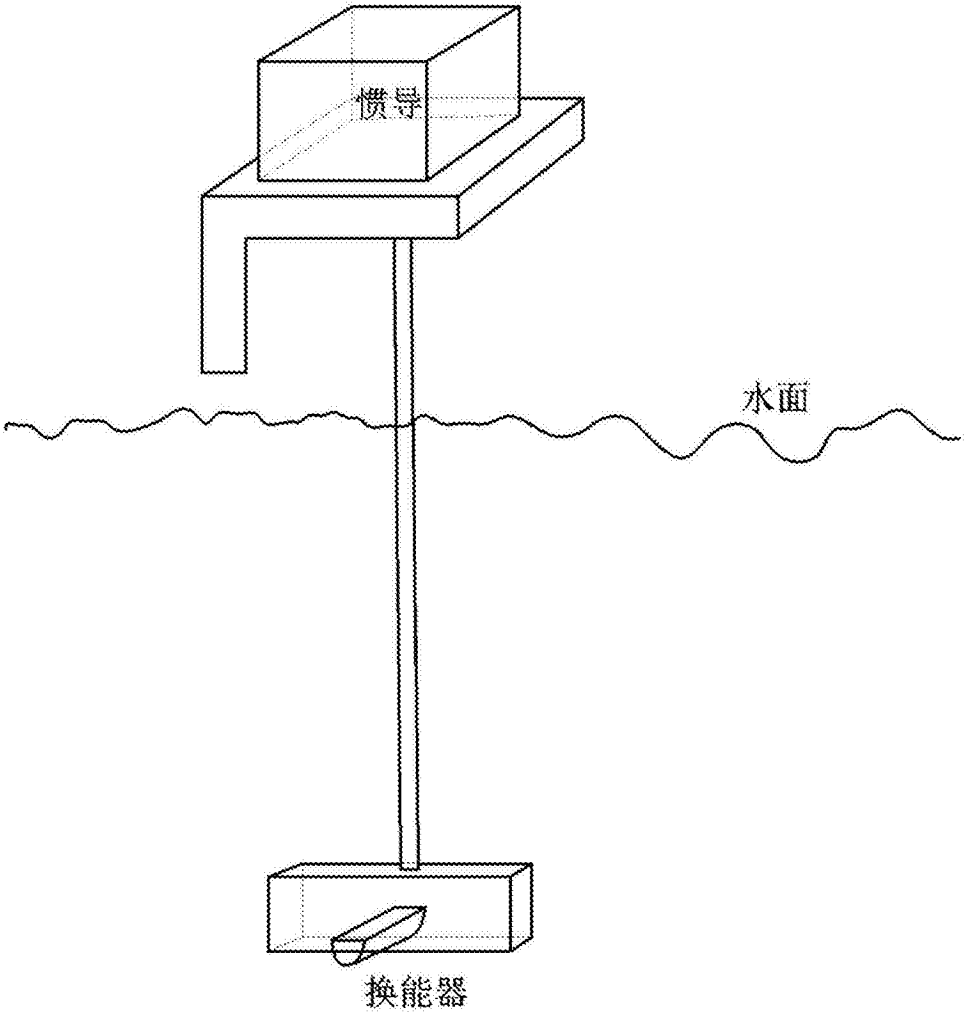


图1

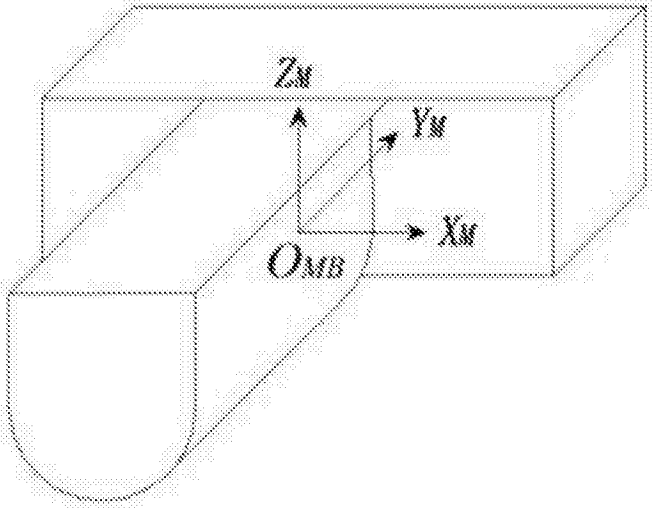


图2

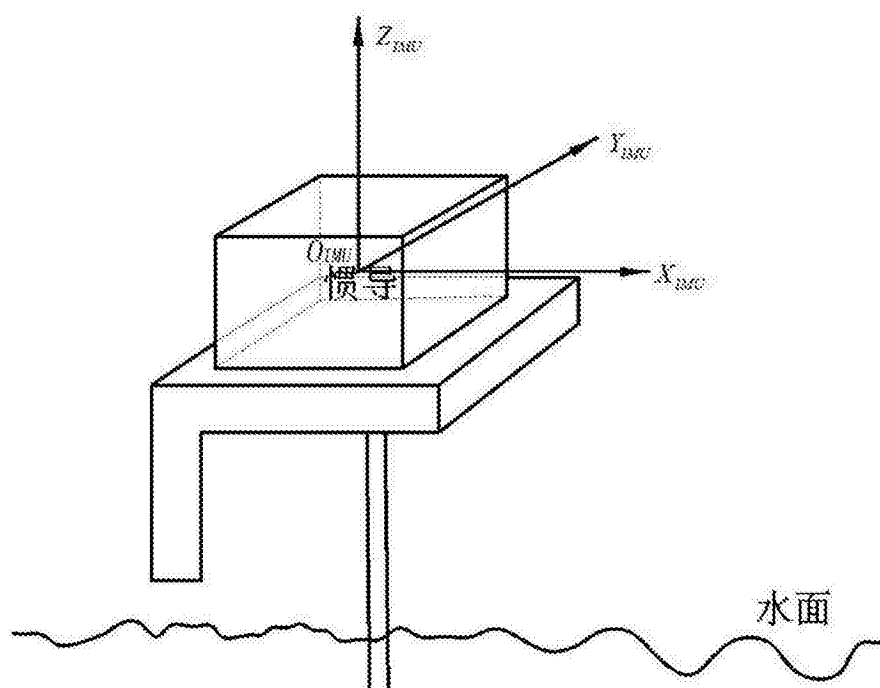


图3

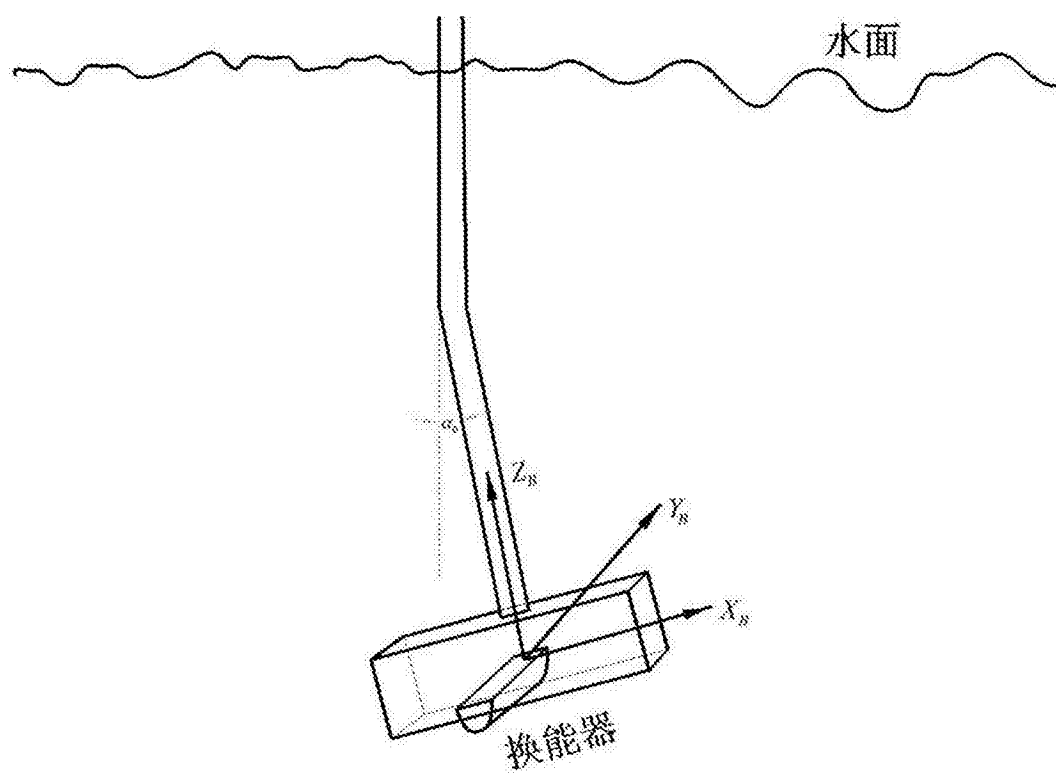


图4

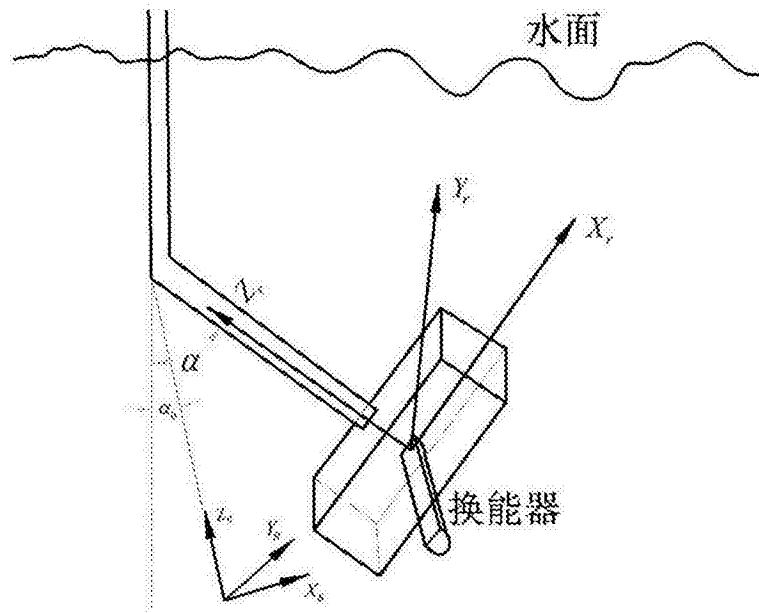


图5

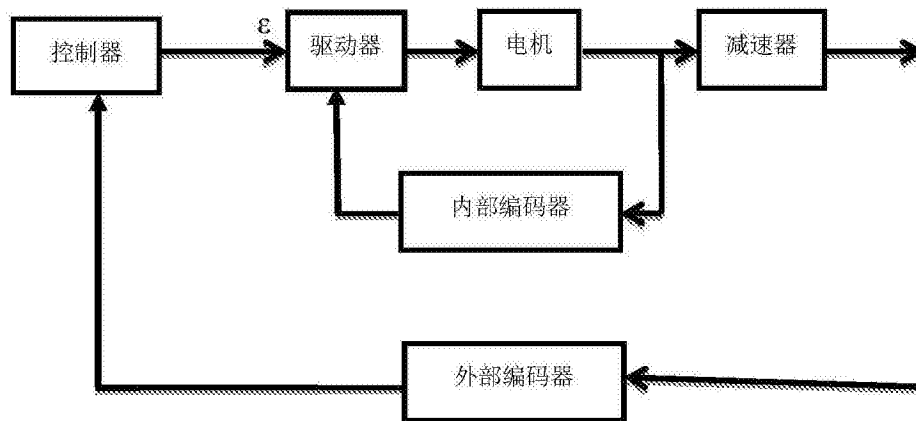


图6

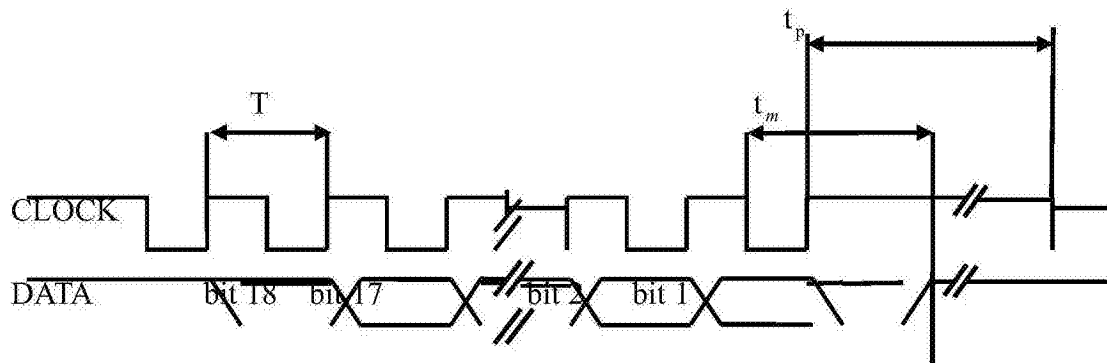


图7

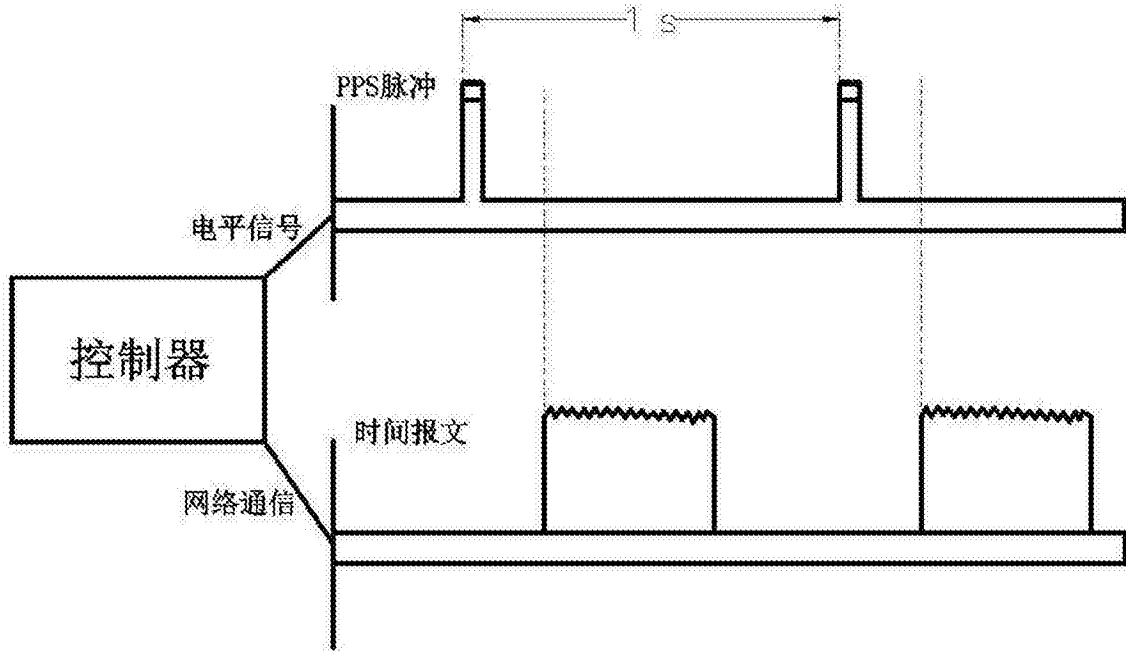


图8

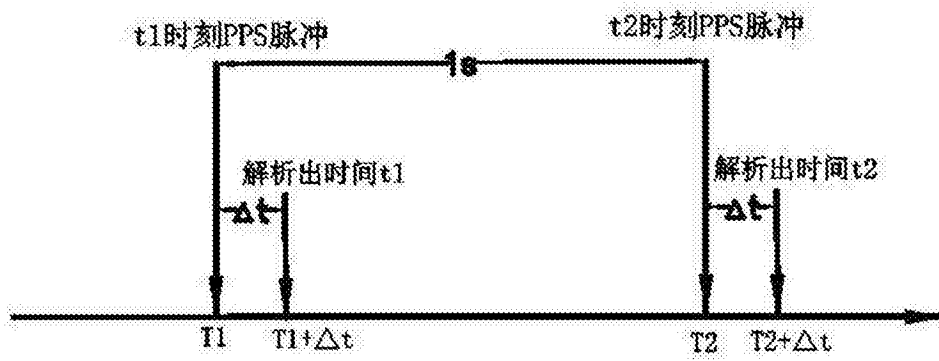


图9

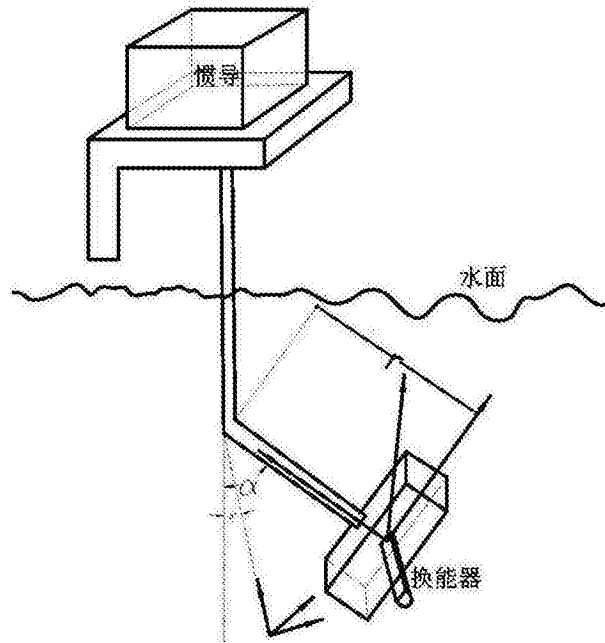


图10

由外部编码器确定多波束换能器绕其前进方向的旋转角度，定义该旋转角度为基准角度；在基准角度下标定计算多波束测深仪与惯性测量单元的空间关系，将多波束系统在基准角度下的多波束换能器坐标系定为换能器基准角度坐标系

外部编码器将所述基准角度发送给控制器，由控制器向驱动器发出位置指令，驱动器控制电机转动并带动多波束换能器进行旋转，同时内部编码器和外部编码器不断向驱动器反馈电机及多波束换能器位置信息用于使多波束换能器准确到达指令位置

在多波束换能器到达指定位置后，控制器通过外部编码器实时记录并存储多波束换能器在水下作业过程中产生的偏转角度，获得实时多波束瞬时换能器坐标系；同时控制器进行时间同步，获得与GPS时间同步后的时间戳

控制器根据实时记录的偏转角度和与GPS时间同步后的时间戳，将多波束瞬时换能器坐标系下波束点坐标转到换能器基准角度坐标系下

图11