



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109001738 A

(43)申请公布日 2018.12.14

(21)申请号 201810596442.5

(22)申请日 2018.06.11

(71)申请人 燕山大学

地址 066004 河北省秦皇岛市海港区河北大街西段438号

(72)发明人 李鑫滨 肖志超 徐加杰 闫晓东 于海峰

(74)专利代理机构 秦皇岛一诚知识产权事务所 (普通合伙) 13116

代理人 李合印

(51)Int.Cl.

G01S 15/08(2006.01)

G01S 7/521(2006.01)

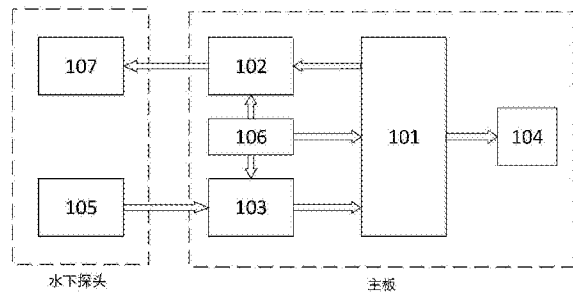
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于收发分离的高精度水下测距设备及测距方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于收发分离的高精度水下测距设备及测距方法,所述测距设备包括主板和水下探头;主板包括主控制器、换能器驱动模块、信号回收模块、电源模块和输出模块;水下探头包括超声波换能器和水听器。所述方法内容包括:由主控制器提供35KHz,占空比为50%的PWM方波,经放大提供给集成于水下探头中的超声波换能器;主控制器在产生PWM方波信号后启动定时器,在水下探头中的水听器接收到被探测物体反射回的声波信号后,经过信号接收电路处理后由主控制器接收,此时,定时器停止计时,计算出声波在水下的传播时间,结合声波在水下的传播速度,计算出探头到被探测物体之间距离。本发明具有低成本,高精度,灵活度高的特点。



1. 一种基于收发分离的高精度水下测距设备,其特征在于:所述主板包括主板和水下探头;所述主板包括主控制器、换能器驱动模块、信号回收模块、电源模块和输出模块;所述水下探头包括超声波换能器和水听器;所述换能器驱动模块、信号回收模块、电源模块和输出模块在主板上分别和主控制器相连接;所述水下探头通过长导线与主板上面的换能器驱动模块和信号回收模块相连接;

所述主控制器是由STM32单片机及其外围电路组成;所述主控制器工作时产生35K的PWM方波信号输出给换能器驱动模块,开启定时器,然后接收所述信号回收模块返回的电信号后停止定时器计时,计算出超声波在水下的传播时间;所述换能器驱动模块是由保护电路和功率放大电路组成;所述换能器驱动模块用于接收所述主控制器产生的PWM方波信号,并对其进行功率放大输出给水下探头中的超声波换能器;所述信号回收模块是由信号滤波电路,信号放大电路和信号比较电路组成;所述信号回收模块用于接收水下探头中水听器产生的信号并进行信号放大、滤波和整形,然后输出给所述主控制器;所述电源模块为所述测距设备提供恒定的DC-24V的供电;所述输出模块是由LCD显示屏组成,由所述主控制器控制用于显示测距信息;

所述水下探头为收发分离式的水下探头,所述超声波换能器和水听器在结构上集成于一个水下探头中,其中所述超声波换能器通过长导线与所述换能器驱动模块相连接;所述超声波换能器用于向被探测区域发射超声波信号;所述水听器通过长导线与所述信号回收模块相连接;所述水听器用于接收反射回的超声波信号,并传输给所述信号回收模块;所述超声波换能器具有一定的发射角能够使所述超声波换能器发射出的超声波的方向与所述水下探头所指方向一致。

2. 根据权利要求1所述的一种基于收发分离的高精度水下测距设备,其特征在于:所述信号滤波电路为35KHz的二阶带通滤波器电路,二阶带通滤波器的传递函数的表达为:

$$G(S) = \frac{\xi\omega_0 S}{S^2 + \xi\omega_0 S + \omega_0^2}$$

频域表达式为:

$$G(\omega) = \frac{\xi\omega\omega_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega)^2 + (\xi\omega\omega_0)^2}}$$

其中, $\xi$ 为二阶滤波器的阻尼系数, $\omega_0$ 为二阶带通滤波器中的中心频率,即本发明所设计的35KHz。

3. 根据权利要求1或2所述的一种基于收发分离的高精度水下测距设备的测距方法,其特征在于:所述测距方法具体内容包括以下步骤:

步骤1:将设备的水下探头部分放置至含有水下目标的水下区域,开启电源,供电模块开始工作,为设备供电;

步骤2:主板上主控制器中的STM32单片机通过编程产生频率35KHz、占空比为50%的PWM方波,并同时开启主控制器的定时器开始计时功能;进一步的,PWM方波信号经过换能器驱动模块进行功率放大,然后传输给水下探头使用;同时换能器驱动模块上的保护电路工作,防止高功率部分损坏主控制器;

步骤3:水下探头中的超声波换能器接收到经功率放大后的PWM方波信号后,在水下产

生35KHz的超声波信号向被探测区域发射出去,水下被探测目标表面接收到该超声波信号后反射超声波信号,反射的超声波信号反射回水下探头;

步骤4:反射回的超声波信号被水下探头中的水听器接收后,进一步的将其转换为电信号,然后,该电信号传输给主板中的信号接收模块中,再经过信号接收模块中的放大电路进行电压放大,然后进入35K二阶带通滤波电路,进一步的对放大后的信号进行滤波处理,处理后的信号送入比较器中进行二值化处理,并转化为只有高低电平的数字信号;

步骤5:当比较器输出高电平时,表示已接收到反射回的超声波;当比较器输出低电平时,表示还没有接收到反射回的超声波;所以当主控制器检测到比较器输出为高电平时,主控制器将暂停定时器计时,开始计算超声波在水下的传播时间,通过结合水下声速进行编程,从而计算出水下探头到被探测目标的距离,并通过输出模块中的LCD显示屏显示。

4.根据权利要求3所述的一种基于收发分离的高精度水下测距设备的测距方法,其特征在于:在步骤5中,所述计算出水下探头到被探测目标的距离,就是在停止计时后,通过计算出超声波在水下的传播时间 $\Delta T$ ,结合声波在水下的传播速度 $C$ ,通过式(1)计算出探头到被探测物体之间距离 $d$ ,具体测距公式为:

$$d=C*\Delta T/2 \quad (1)$$

考虑到水中声速受到水下温度( $^{\circ}\text{C}$ ),水下盐度( $\text{‰}$ ),水下压强的影响( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ),所以在水下探头上搭载了温度,盐度,和压强传感器,在计算声速过程中,会将水下环境中声速的漂移现象进行考虑,通过水下探头上的传感器数据融合进行声速的计算,而并不是固定的声速值,从而大大的提高了测距的精度,具体的声速表达式为:

$$C=1449.14+C_t+C_p+C_s+C_{stp} \quad (2)$$

其中:

$$C_t=4.572t-4.4532*10^{-2}t^2-2.6045*10^{-4}t^3+7.8951*10^{-6}t^2$$

$$C_p=1.60272*10^{-1}p+1.0268*10^{-5}p^2$$

$$+3.5216*10^{-9}p^3-3.3603*10^{-12}p^4$$

$$C_s=1.39799*(s-35)+1.69202*10^{-3}(s-35)^2$$

$$+7.701*10^{-5}p-1.2943*10^{-7}p^2+3.158*10^{-8}pt$$

$$+1.579*10^{-9}pt^2+p(-1.8607*10^{-4}t$$

$$+7.4812*10^{-6}t^2+4.5283*10^{-8}t^3)$$

$$+p^2(-2.5294*10^{-7}t+1.8563*10^{-9}t^2)$$

$$+p^3(-1.9646*10^{-10}t)$$

其中: $C_t$ 为温度修正因子, $C_p$ 为压强修正因子, $C_s$ 为盐度修正因子, $C_{stp}$ 为温度,盐度,压强三种影响因素的综合修正因子。

## 一种基于收发分离的高精度水下测距设备及测距方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉水下测距技术领域,特别涉及一种基于收发分离的高精度水下测距设备及测距方法。

### 背景技术

[0002] 随着国家对海洋资源探测和开发的重视,水下探测技术得到了空前的发展。目前,大多数水下探测都是以测距为基础的,然而,受复杂的水下环境、测量算法和设备成本的限制,如何实现高精度的水下测距一直是研究热点。

[0003] 在现有技术中检索发现,中国专利申请号为201711329367.8,名称为:一种搭载水下超声波测距的水下机器设备。在该发明中提出一种基于收发一体的水下测距方法,在该方法中超声波的发生和超声波的接收使用同一个换能器,但是由于换能器在产生超声波的时候会产生余震,受到余震的影响,在进行水下测距时均存在测距的阈值,阈值的产生是由于收发一体测距方式的水下探头在刚刚完成超声波的产生时候并不能够直接进行超声波接收工作,因为换能器在发生超声波时换能器的外壳会产生余震,如果此时立即进行超声波的接收会受到严重的影响,所以在进行超声波的接收时要等待超声波换能器的余震消失,因此会在发射和接收之间存在一个时间差,由于这个时间差,导致了测距设备测距阈值的产生。另外,在高频水下声波的测距过程中,虽然通过高频水下声波可以降低测距的阈值,但是高频声波测距设备测量量程会受到限制,不能够进行远距离的测量。因而,设计一种能够克服收发一体测距方式的自身缺点,使用低频声波信号能够进行远距离测距的测距方法成为研究热点。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种基于收发分离的高精度水下测距设备及测距方法。本发明在提高水下测距精度的同时,又避免了由于收发一体测距方式所带来的测距误差。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0006] 一种基于收发分离的高精度水下测距设备,包括主板和水下探头;所述主板包括主控制器、换能器驱动模块、信号回收模块、电源模块和输出模块;所述水下探头包括超声波换能器和水听器;所述换能器驱动模块、信号回收模块、电源模块和输出模块在主板上分别和主控制器相连接;所述水下探头通过长导线与主板上面的换能器驱动模块和信号回收模块相连接;

[0007] 所述主控制器是由STM32单片机及其外围电路组成;所述主控制器工作时产生35K的PWM方波信号输出给换能器驱动模块,开启定时器,然后接收所述信号回收模块返回的电信号后停止定时器计时,计算出超声波在水下的传播时间;所述换能器驱动模块是由保护电路和功率放大电路组成;所述换能器驱动模块用于接收所述主控制器产生的PWM方波信号,并对其进行功率放大输出给水下探头中的超声波换能器;所述信号回收模块是由信

号滤波电路,信号放大电路和信号比较电路组成;所述信号回收模块用于接收水下探头中水听器产生的信号并进行信号放大、滤波和整形,然后输出给所述主控制器;所述电源模块为所述测距设备提供恒定的DC-24V的供电;所述输出模块是由LCD显示屏组成,由所述主控制器控制用于显示测距信息;

[0008] 所述水下探头为收发分离式的水下探头,所述超声波换能器和水听器在结构上集成于一个水下探头中,其中所述超声波换能器通过长导线与所述换能器驱动模块相连接;所述超声波换能器用于向被探测区域发射超声波信号;所述水听器通过长导线与所述信号回收模块相连接;所述水听器用于接收反射回的超声波信号,并传输给所述信号回收模块;所述超声波换能器具有一定的发射角能够使所述超声波换能器发射出的超声波的方向与所述水下探头所指方向一致。

[0009] 所述一种基于收发分离的高精度水下测距设备的测距方法,由设备的主控制器提供35KHz,占空比为50%的PWM方波,再通过换能器驱动电路进行功率放大,提供给集成于水下探头中的超声波换能器,所述水下探头中的超声波换能器具有一定的发射角,使换能器发射出的超声波定向的方向与水下探头所指方向一致;主控制器在产生PWM方波信号后启动定时器,在水下探头中的水听器接收到被探测物体反射回的声波信号后,经过信号接收电路处理后由主控制器接收,此时,定时器停止计时,计算出声波在水下的传播时间,结合声波在水下的传播速度,计算出探头到被探测物体之间距离。

[0010] 所述方法具体内容包括以下步骤:

[0011] 步骤1:将设备的水下探头部分放置至含有水下目标的水下区域,开启电源,供电模块开始工作,为设备供电;

[0012] 步骤2:主板上主控制器中的STM32单片机通过编程产生频率35KHz、占空比为50%的PWM方波,并同时开启主控制器的定时器开始计时功能;进一步的,PWM方波信号经过换能器驱动模块进行功率放大,然后传输给水下探头使用;同时换能器驱动模块上的保护电路工作,防止高功率部分损坏主控制器;

[0013] 步骤3:水下探头中的超声波换能器接收到经功率放大后的PWM方波信号后,在水下产生35KHz的超声波信号向被探测区域发射出去,水下被探测目标表面接收到该超声波信号后反射超声波信号,反射的超声波信号反射回水下探头;

[0014] 步骤4:反射回的超声波信号被水下探头中的水听器接收后,进一步的将其转换为电信号,然后,该电信号传输给主板中的信号接收模块中,再经过信号接收模块中的放大电路进行电压放大,然后进入35K二阶带通滤波电路,进一步的对放大后的信号进行滤波处理,处理后的信号送入比较器中进行二值化处理,并转化为只有高低电平的数字信号;

[0015] 步骤5:当比较器输出高电平时,表示已接收到反射回的超声波;当比较器输出低电平时,表示还没有接收到反射回的超声波;所以当主控制器检测到比较器输出为高电平时,主控制器将暂停定时器计时,开始计算超声波在水下的传播时间,通过结合水下声速进行编程,从而计算出水下探头到被探测目标的距离,并通过输出模块中的LCD显示屏显示。

[0016] 在步骤5中,所述计算出水下探头到被探测目标的距离,就是在停止计时后,通过计算出超声波在水下的传播时间 $\Delta T$ ,结合超声波在水下的传播速度 $C$ ,通过式(1)计算出探头到被探测物体之间距离 $d$ ,具体测距公式为:

[0017]  $d=C*\Delta T/2$  (1)

[0018] 另外,考虑到水中声速受到水下温度(°C),水下盐度(‰),水下压强的影响(Kg/cm<sup>2</sup>),所以在水下探头上搭载了温度,盐度,和压强传感器,在计算声速过程中,会将水下环境中声速的漂移现象进行考虑,通过水下探头上的传感器数据融合进行声速的计算,而不是固定的声速值,从而大大的提高了测距的精度,具体的声速表达式为:

[0019]  $C=1449.14+C_t+C_p+C_s+C_{stp}$  (2)

[0020] 其中:

[0021]  $C_t=4.572t-4.4532*10^{-2}t^2-2.6045*10^{-4}t^3+7.8951*10^{-6}t^2$

[0022]  $C_p=1.60272*10^{-1}p+1.0268*10^{-5}p^2$

[0023]  $+3.5216*10^{-9}p^3-3.3603*10^{-12}p^4$

[0024]  $C_s=1.39799*(s-35)+1.69202*10^{-3}(s-35)^2$

[0025]  $+7.701*10^{-5}p-1.2943*10^{-7}p^2+3.158*10^{-8}pt$

[0026]  $+1.579*10^{-9}pt^2+p(-1.8607*10^{-4}t$

[0027]  $+7.4812*10^{-6}t^2+4.5283*10^{-8}t^3)$

[0028]  $+p^2(-2.5294*10^{-7}t+1.8563*10^{-9}t^2)$

[0029]  $+p^3(-1.9646*10^{-10}t)$ 。

[0030] 其中: $C_t$ 为温度修正因子, $C_p$ 为压强修正因子, $C_s$ 为盐度修正因子, $C_{stp}$ 为温度,盐度,压强三种影响因素的综合修正因子。

[0031] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0032] 1、本发明采用超声波测距的方法进行水下测距,是目前最可靠的技术之一,具有成本低,实用性强的特点。超声波的方向性好,穿透能力强,易于获得较集中的声能,能够在密度较大的固体及液体中传播较远的距离,是一种较好的水下测距的方法;

[0033] 2、相比较于收发一体水下探头的水下测距设备,本发明采用收发分离的水下探头,在测距过程中受自身的影响明显降低,测距精度的到明显的提高;

[0034] 3、在信号回收模块中,采用先经过放大电路,然后经过二阶带通滤波器电路,然后输出给信号比较器的方式,相比较于用软件对信号进行处理的方式,具有更加稳定、更快速、更精确的特点。

[0035] 本发明的一种基于收发分离的高精度的水下测距设备,具有低成本、测量高精度以及灵活度高的特点。

## 附图说明

[0036] 图1是本发明的一种基于收发分离的高精度水下测距设备的框架示意图;

[0037] 图2是本发明的一种基于收发分离的高精度水下测距设备的测距方法的工作流程图;

[0038] 图3是本发明的工作示意图。

[0039] 在图1中:101-系统主控制器,102-换能器驱动模块,103-信号回收模块,104-系统的输出模块,105-水下探头中的水听器,106-电源模块,107-水下探头中的超声波换能器;在图3中,301-设备的主板部分,302-水下探头,303-水下被探测目标,304-是水下超声波的传播示意。

### 具体实施方式

[0040] 以下实施例将结合附图对本发明做进一步说明。

[0041] 本发明的一种基于收发分离的高精度水下测距设备,如图1所示,包括主板和水下探头;所述主板包括主控制器101、换能器驱动模块102、信号回收模块103、电源模块106和输出模块104;所述水下探头包括超声波换能器107和水听器105;所述换能器驱动模块102、信号回收模块103、电源模块106和输出模块104在主板上分别和主控制器101相连接;所述水下探头通过长导线与主板上面的换能器驱动模块102和信号回收模块103相连接;

[0042] 所述主控制器101是由STM32单片机及其外围电路组成;所述主控制器101工作时产生 35K的PWM方波信号输出给换能器驱动模块102,开启定时器,然后接收所述信号回收模块103返回的电信号后停止定时器计时,计算出超声波在水下的传播时间;所述换能器驱动模块102是由保护电路和功率放大电路组成;所述换能器驱动模块102用于接收所述主控制器101产生的PWM方波信号,并对其进行功率放大输出给水下探头中的超声波换能器107;所述电源模块106为所述测距设备提供恒定的DC-24V的供电;所述输出模块104是由LCD显示屏组成,由所述主控制器101控制用于显示测距信息;

[0043] 所述水下探头为收发分离式的水下探头,所述超声波换能器107和水听器105在结构上集成于一个水下探头中,其中所述超声波换能器107通过长导线与所述换能器驱动模块102相连接;所述超声波换能器107用于向被探测区域发射超声波信号;所述水听器105通过长导线与所述信号回收模块103相连接;所述水听器105用于接收反射回的超声波信号,并传输给所述信号回收模块103;所述超声波换能器107具有一定的发射角能够使所述超声波换能器107发射出的超声波的方向与所述水下探头所指方向一致;

[0044] 所述水下探头采用收发分离式水下探头,超声波换能器107和水听器105集成在一个探头上,超声波的发生和反射声波的接收分别独立工作,从而避免了由于收发一体测距方式所产生的测距阈值的影响,极大地提高了在水下测距过程中的测距精度。

[0045] 而作为本发明重要的组成部分,所述信号回收模块103是由信号滤波电路,信号放大电路和信号比较电路组成;所述信号回收模块102用于接收水下探头中水听器105接收的反射回的超声波信号,并进行信号放大、滤波和整形,然后输出给所述主控制器101;所述信号回收模块103具体的工作流程如下:

[0046] 水下超声波信号经过被探测物体反射后被水下探头中的水听器接收并将其转换为电信号,电信号先经过信号放大电路适当放大,所设计的信号放大电路放大倍数可调,由一个可调电阻控制,放大倍数范围10-200倍;放大后的信号经过信号滤波电路,所设计的信号滤波电路为35KHz的二阶带通滤波器电路,二阶带通滤波器的传递函数的表达式为:

$$[0047] \quad G(S) = \frac{\xi\omega_0 S}{S^2 + \xi\omega_0 S + \omega_0^2}$$

[0048] 频域表达式为:

$$[0049] \quad G(\omega) = \frac{\xi\omega\omega_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega)^2 + (\xi\omega\omega_0)^2}}$$

[0050] 其中, $\xi$ 为二阶滤波器的阻尼系数, $\omega_0$ 为二阶带通滤波器中的中心频率,即本发明

所设计的35KHz。

[0051] 所述二阶带通滤波器的输出给信号比较电路转换为只含有高低电平的数字信号,所设计的信号比较电路主要由电压比较器组成,比较电压的阈值可调,由一个可调电阻组成,可调范围为0-3.3V,可以根据信号传播的距离确定信号的损耗,进而确定比较电压的阈值,当比较电路的输入电压高于阈值时,比较器输出3.3V的高电平,表示接收到了反射回的超声波信号,即主控制器接收到比较器输出的高电平,停止定时器,得到 $\Delta T$ 。

[0052] 所述一种基于收发分离的高精度水下测距设备的测距方法,如图2-3所示,具体内容包括以下步骤:

[0053] 步骤1:将设备的水下探头部分302放置至含有水下目标303的水下区域,开启系统的电源,106系统供电模块开始工作,为系统供电。

[0054] 步骤2:主板上面的主控制器101中的STM32单片机通过编程产生35KHz的,占空比为50%的PWM方波,并同时开启主控制器的定时器开始计时功能;进一步的,PWM方波信号经过换能器驱动模块102进行功率放大,然后传输给水下探头使用;同时换能器驱动模块上还有保护电路,防止高功率的部分损坏主控制器。

[0055] 步骤3:水下探头中的换能器107接收到功率放大后的PWM信号,在水下产生35KHz的超声波信号向被探测区域发射出去,水下被探测目标303表面接收到超声波信号后反射超声波信号,反射回的超声波信号反射回水下探头,此时水下的超声波信号在水下的传播路径,如图3中的304所示。

[0056] 步骤4:反射回的超声波信号被水下探头中的水听器105接收,进一步的转换为电信号,然后电信号进入主板中的103信号接收电路中,再经过信号接收电路中的放大电路进行电压放大,然后进入35K二阶带通滤波电路,进一步的对放大后的信号进行滤波处理,处理后的信号送入比较器,进行二值化处理,转化为只有高低电平的数字信号。

[0057] 步骤5:当比较器输出高电平时,表示接收到反射回的超声波,当比较器输出低电平时,表示没有接收到反射回的波形;当输出为高电平时,主控制器101将进行暂停定时器的操作,开始计算超声波在水下的传播时间,通过结合水下声速进行编程进一步的计算出水下探头302到被探测目标303的距离,并通过输出模块104中的LCD显示屏显示。



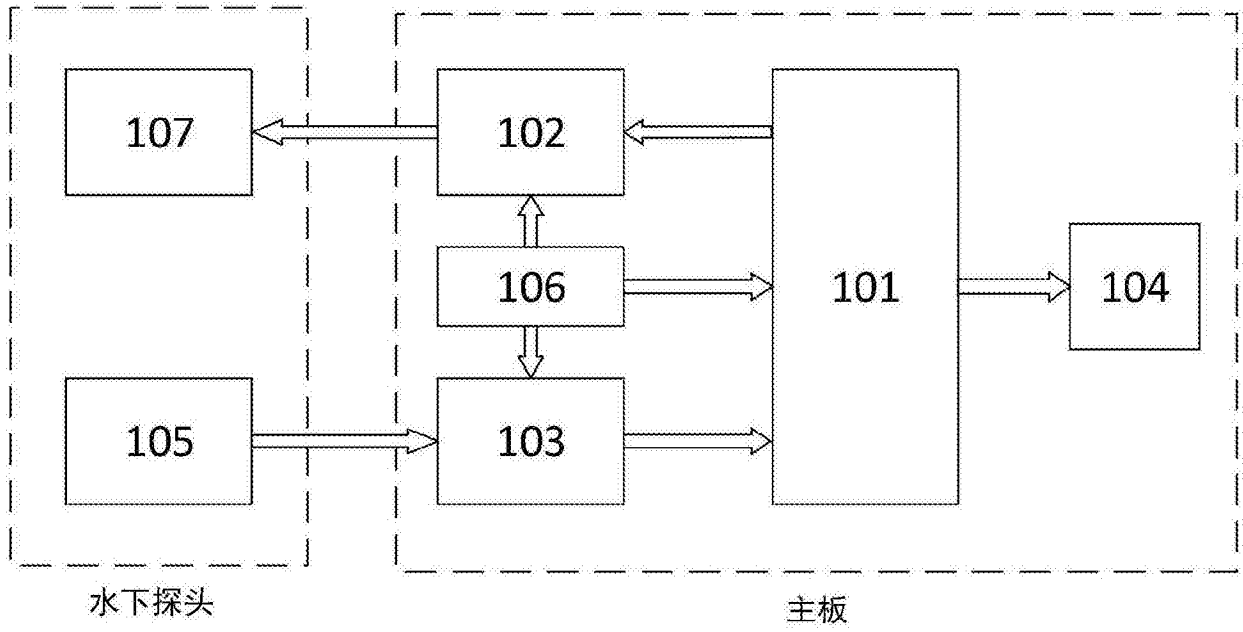


图1

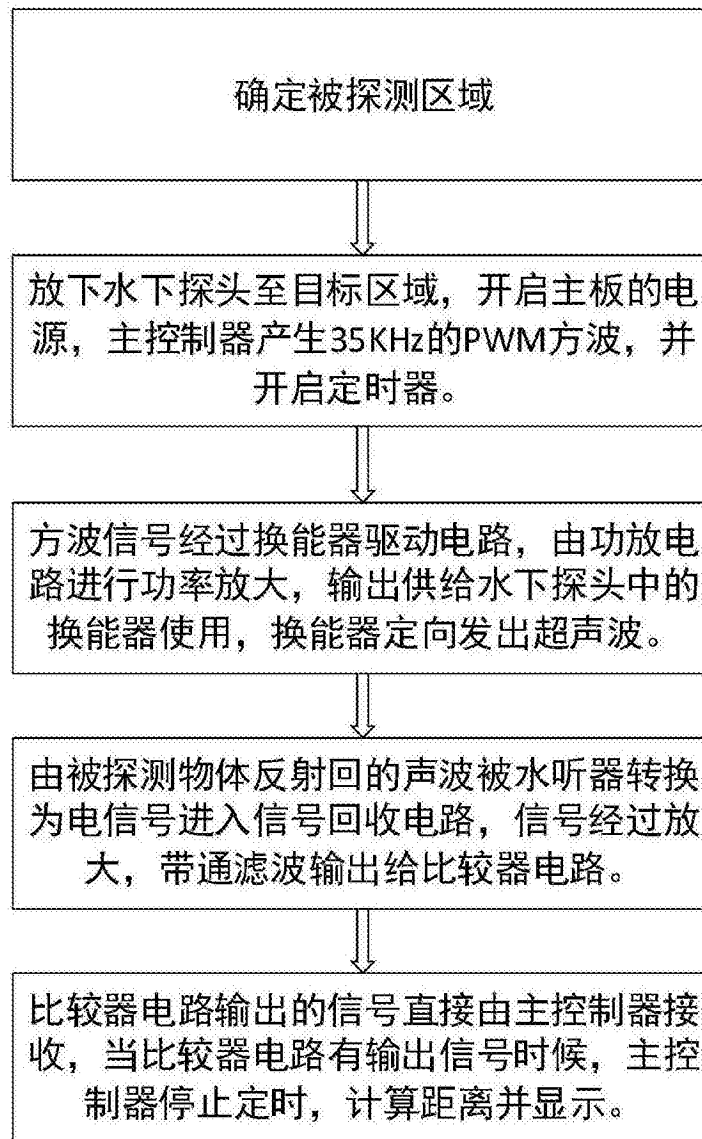


图2

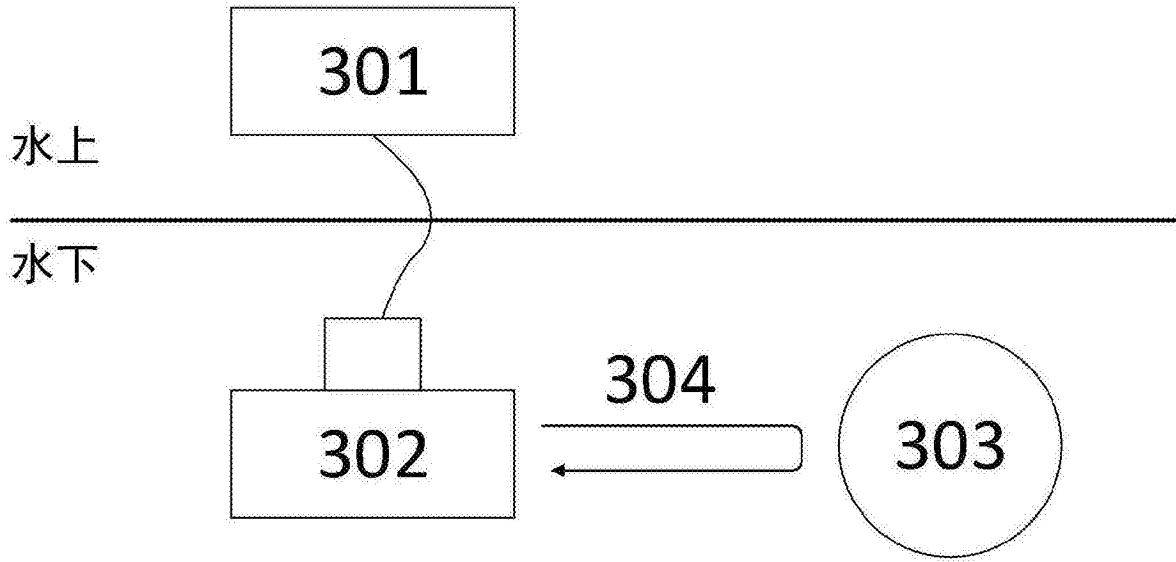


图3