(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116879902 A
(43)申请公布日 2023.10.13

(21)申请号 202310710623.7

(22)申请日 2023.06.15

(71)申请人 国家石油天然气管网集团有限公司
地址 100013 北京市朝阳区东土城路5号A座6层08-10室

(72)发明人 付亚平 鲁俊 苏海波 王多才 李建君 李洪烈 黄发木 张宏 宋超凡 成凡 陈加松 侯磊 井岗

(74)专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司 11212
专利代理师 赖定珍

(51)Int.Cl.
G01S 15/10(2006.01)
G01S 15/88(2006.01)
G01S 7/52(2006.01)
G01S 7/539(2006.01)

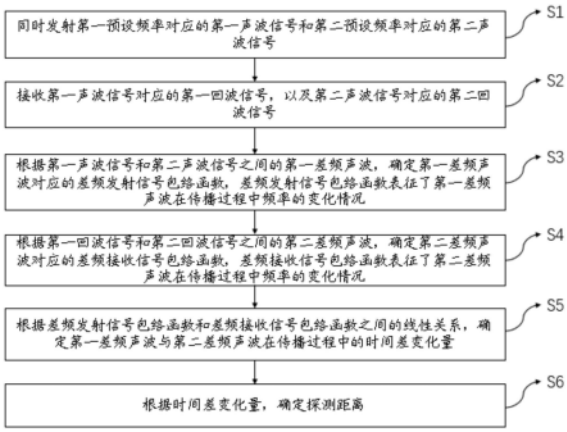
权利要求书3页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质

(57)摘要

本发明涉及一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质，方法包括：同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号；接收第一回波信号和第二回波信号；根据第一声波信号和第二声波信号之间的第一差频声波，确定第一差频声波对应的差频发射信号包络函数；据第一回波信号和第二回波信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数；根据差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定第一差频声波与第二差频声波在传播过程中的时间差变化量；根据时间差变化量，确定探测距离。解决了当盐腔距离声呐较远时，无法获取回波信号，从而无法进行声呐测距的问题。



CN 116879902 A

1.一种基于测距声纳的测距方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号;

S2、接收所述第一声波信号对应的第一回波信号,以及所述第二声波信号对应的第二回波信号;

S3、根据所述第一声波信号和所述第二声波信号之间的第一差频声波,确定所述第一差频声波对应的差频发射信号包络函数,所述差频发射信号包络函数表征了所述第一差频声波在传播过程中频率的变化情况;

S4、根据所述第一回波信号和所述第二回波信号之间的第二差频声波,确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数,所述差频接收信号包络函数表征了所述第二差频声波在传播过程中频率的变化情况;

S5、根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数之间的线性关系,确定所述第一差频声波与所述第二差频声波在传播过程中的时间差变化量;

S6、根据所述时间差变化量,确定探测距离。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号,包括:

通过生成电路生成第一预设频率对应的第一原始信号,以及所述第二预设频率对应的第二原始信号;

根据所述第一原始信号和所述第二原始信号,分别将所述第一原始信号和所述第二原始信号依次输入调幅调制电路和放大电路,生成第一调制信号对应的第一声波信号,以及第二调制信号对应的第二声波信号。

3.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括:

分别将所述第一回波信号和所述第二回波信号依次输入滤波电路、信号放大器和AD转换器,得到所述第一回波信号对应的第一数字信号,以及所述第二回波信号对应的第二数字信号;

所述根据所述第一回波信号和所述第二回波信号之间的第二差频声波,确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数,包括:

根据所述第一数字信号和所述第二数字信号之间的第二差频声波,确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数。

4.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括:

获取所述第一声波信号对应的第一原频波吸收系数和第一声压,所述第二声波信号对应的第二原频波吸收系数和第二声压,第一差频声波对应的角频率、波数和传播时间,以及所述第一声波和所述第二声波之间的声场截面距离;

所述根据所述第一声波信号和所述第二声波信号之间的第一差频声波,确定所述第一差频声波对应的差频发射信号包络函数,包括:

根据所述第一声波信号对应的第一原频波吸收系数和第一声压,所述第二声波信号对应的第二原频波吸收系数和第二声压,第一差频声波对应的角频率、波数和传播时间,以及所述第一声波和所述第二声波之间的声场截面距离,通过第一公式,确定所述第一差频声波对应的差频波声压,其中,所述第一公式为:

$$p_d = [p_{10}p_{20}e^{-(\alpha_1+\alpha_2)x+J(\omega_d t-k_d x)}]^{\frac{1}{2}};$$

其中，p_d表示差频波声压，α_1、α_2、p_{10}、p_{20}分别表示第一原频波吸收系数、第二原频波吸收系数、第一声压和第二声压，ω_d、k_d、t分别表示角频率、波数和传播时间，x表示声场截面距离，J为预设的贝塞尔函数；

根据所述差频波声压和预设的声电转换系数，通过第二公式，确定差频发射信号包络函数，其中，所述第二公式为：

$Y_{d1}=b\times p_d$；

Y_{d1}表示差频发射信号包络函数，b表示声电转换系数。

5.根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定所述第一差频声波与所述第二差频声波在传播过程中的时间差变化量，包括：

根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数，通过第三公式，确定所述时间差变化量，其中，所述第三公式为：

$[T]=corr(Y_{d1},Y_{d2})$；

其中，[T]表示时间差变化量，corr()表示自相关函数，Y_{d1}，Y_{d2}分别表示差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数。

6.根据权利要求1-5任一项所述的方法，其特征在于，所述根据所述时间差变化量，确定探测距离，包括：

根据所述时间差变化量，确定时间差变化量中的目标值；

根据所述时间差变化量中的目标值和声速，通过第四公式，确定探测距离，其中，所述第四公式为：

$r=c\times T_0/2$；

r表示探测距离，c表示声速，T_0表示时间差变化量中的目标值。

7.一种基于测距声纳的测距系统，其特征在于，包括声波收发装置、数传模块和地面控制台，所述地面控制台与所述数传模块连接，所述数传模块与所述声波收发装置连接；

所述数传模块用于根据地面控制台的命令与参数控制声波收发装置发射所述第一声波信号和所述第二声波信号，以及接收所述第一回波信号和所述第二回波信号；

所述声波收发装置用于同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号，以及接收所述第一声波信号对应的第一回波信号，以及所述第二声波信号对应的第二回波信号；

所述地面控制台具体用于：

根据所述第一声波信号和所述第二声波信号之间的第一差频声波，确定所述第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，所述差频发射信号包络函数表征了所述第一差频声波在传播过程中频率的变化情况；

根据所述第一回波信号和所述第二回波信号之间的第二差频声波，确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，所述差频接收信号包络函数表征了所述第二差频声波在传播过程中频率的变化情况；

根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定

所述第一差频声波与所述第二差频声波在传播过程中的时间差变化量；

根据所述时间差变化量，确定探测距离。

8.根据权利要求7所述的系统，其特征在于，所述声波收发装置包括发射机、接收机和发射/接收换能器阵，所述发射/接收换能器阵分别与所述发射机和所述接收机连接；

所述发射机用于向所述发射/接收换能器阵发射所述第一声波信号和所述第二声波信号，并通过所述发射/接收换能器阵将所述第一声波信号和所述第二声波信号发射至探测点；

所述接收机用于接收所述发射/接收换能器阵接收到的所述第一回波信号和所述第二回波信号，并将所述第一回波信号和所述第二回波信号发送至所述数传模块。

9.一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并在所述处理器上运行的程序，其特征在于，所述处理器执行所述程序时实现如权利要求1至6任一项所述的一种基于测距声纳的测距方法的步骤。

10.一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质中存储有指令，当所述指令在终端设备上运行时，使得所述终端设备执行如权利要求1至6任一项所述的一种基于测距声纳的测距方法的步骤。

一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质

技术领域

[0001] 本发明涉及测距声纳技术领域，尤其涉及一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质。

背景技术

[0002] 盐腔通常建造在地下数千米处，主要用于储备天然气、石油等战略资源。在注气、腔体日常维护等过程中，都需要精确获取盐腔的三维形状、体积等信息，及时发现腔体内部的变化，保障储库的安全平稳运行。

[0003] 声纳测量技术是盐穴地下储气库腔体形态测量的唯一有效方法，目前的盐腔测距声纳通常采用高频单波束换能器阵，来达到高分辨率、尺寸小的目的，这样做的好处是，可以清晰地分辨出不同的目标物，并且轻便，容易下放到地下较深处。在其工作时，通过采集腔体不同点到声纳的距离信息，进而获得腔体三维结构信息。

[0004] 但是上述通过高频单波束换能器阵对盐腔进行测距的缺点在于，高频单波束信号频率大，探测距离较近，当盐腔距离声呐较远时，无法获取回波信号。

发明内容

[0005] 为了克服当盐腔距离声呐较远时，无法获取回波信号，从而无法进行声呐测距的问题，本发明提供了一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质。

[0006] 第一方面，为了解决上述技术问题，本发明提供了一种基于测距声纳的测距方法，包括如下步骤：

[0007] S1、同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号；

[0008] S2、接收第一声波信号对应的第一回波信号，以及第二声波信号对应的第二回波信号；

[0009] S3、根据第一声波信号和第二声波信号之间的第一差频声波，确定第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，差频发射信号包络函数表征了第一差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0010] S4、根据第一回波信号和第二回波信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，差频接收信号包络函数表征了第二差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0011] S5、根据差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定第一差频声波与第二差频声波在传播过程中的时间差变化量；

[0012] S6、根据时间差变化量，确定探测距离。

[0013] 本发明提供的一种基于测距声纳的测距方法的有益效果是：通过同时发射不同频率的第一声波信号和第二声波信号，并接收第一回波信号和第二回波信号，从而在盐腔内产生第一差频声波和第二差频声波，差频声波(第一差频声波或第二差频声波)频率较小，

波长较长，延长了声呐的探测距离，最后经过差频接收信号包络函数和差频发射信号包络函数，得到时间差变化量，并通过时间差变化量即可得到探测距离，解决了当盐腔距离声呐较远时，无法获取回波信号，从而无法进行声呐测距的问题。

[0014] 第二方面，本发明提供了一种基于测距声纳的测距系统，包括声波收发装置、数传模块和地面控制台，所述地面控制台与所述数传模块连接，所述数传模块与所述声波收发装置连接；

[0015] 所述数传模块用于根据地面控制台的命令与参数控制声波收发装置发射所述第一声波信号和所述第二声波信号，以及接收所述第一回波信号和所述第二回波信号；

[0016] 所述地面控制台具体用于：

[0017] 根据所述第一声波信号和所述第二声波信号之间的第一差频声波，确定所述第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，所述差频发射信号包络函数表征了所述第一差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0018] 根据所述第一回波信号和所述第二回波信号之间的第二差频声波，确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，所述差频接收信号包络函数表征了所述第二差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0019] 根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定所述第一差频声波与所述第二差频声波在传播过程中的时间差变化量；

[0020] 根据所述时间差变化量，确定探测距离。

[0021] 第三方面，本发明还提供了一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并在处理器上运行的程序，处理器执行程序时实现如上述的一种基于测距声纳的测距方法的步骤。

[0022] 第四方面，本发明还提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有指令，当指令在终端设备上运行时，使得终端设备执行一种基于测距声纳的测距方法的步骤。

附图说明

[0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0024] 图1为本发明实施例的一种基于测距声纳的测距方法的流程示意图；

[0025] 图2为本发明实施例的一种基于测距声纳的测距系统的结构示意图；

[0026] 图3为差频声波在空气中的指向性结果图；

[0027] 图4为差频声波在水中的指向性结果图。

具体实施方式

[0028] 下列实施例是对本发明的进一步解释和补充，对本发明不构成任何限制。

[0029] 以下结合附图描述本发明实施例的一种基于测距声纳的测距方法、系统、电子设备及介质。

[0030] 如图1所示，本发明实施例提供了一种基于测距声纳的测距方法，包括如下步骤：

[0031] S1、同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波

信号。

[0032] 需要说明的是，本发明实施例中第一预设频率和第二预设频率均为高频率，本发明实施例使用高频率信号具有较高的分辨率，能够准确分辨不同目标。

[0033] 本实施例中，同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号，包括：

[0034] 通过生成电路生成第一预设频率对应的第一原始信号，以及第二预设频率对应的第二原始信号；根据第一原始信号和第二原始信号，分别将第一原始信号和第二原始信号依次输入调幅调制电路和放大电路，生成第一调制信号对应的第一声波信号，以及第二调制信号对应的第二声波信号。

[0035] 通过调幅调制电路可以将生成电路生成的原始信号与载波信号相结合，生成调制信号，再通过放大电路将调制信号的功率放大，得到声波信号，使得发射的声波信号的信号强度更强。

[0036] S2、接收第一声波信号对应的第一回波信号，以及第二声波信号对应的第二回波信号。

[0037] 其中，第一回波信号为第一声波信号发送至探测点遇到障碍物时产生的回波信号，第二回波信号为第二声波信号发送至探测点遇到障碍物时产生的回波信号。

[0038] 本实施例中，由于回波信号为模拟信号，数传模块无法直接接收模拟信号，因此，需要通过AD转换器转换为数字信号进行接收，在转换之前，还需要通过滤波电路过滤掉回波信号的杂波，再利用信号放大器对回波信号进行信号优化和功率放大，最后通过AD转换器将信号优化和功率放大的回波信号转换为数字信号。

[0039] 基于上述，该方法还包括：

[0040] 分别将所述第一回波信号和所述第二回波信号依次输入滤波电路、信号放大器和AD转换器，得到所述第一回波信号对应的第一数字信号，以及所述第二回波信号对应的第二数字信号；

[0041] S3、根据第一声波信号和第二声波信号之间的第一差频声波，确定第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，差频发射信号包络函数表征了第一差频声波在传播过程中频率的变化情况。

[0042] 第一差频声波可表示为f_1-f_2，其中，f_1表示第一声波信号，f_2表示第二声波信号，第一差频声波的频率较小，但是波长较长，克服了使用高频单波束信号频率大，但是波长较小，探测距离近的问题，同理，第二差频声波也可表示为f_1-f_2，其中，f_1表示第一回波信号，f_2表示第二回波信号。

[0043] 本实施例中，根据韦斯特维尔特模型，当两个平行于一个平面传播的不同频率的声波信号以各自对应的声压进行传播时，会形成差频波声压，同时两个声波信号相互作用产生的差频声波以线性方式传播，且差频声波与差频声压之间具有映射关系。

[0044] 基于上述原理，获取第一声波信号对应的第一原频波吸收系数和第一声压，第二声波信号对应的第二原频波吸收系数和第二声压，第一差频声波对应的角频率、波数和传播时间，以及第一声波和第二声波之间的声场截面距离；

[0045] 根据第一声波信号对应的第一原频波吸收系数和第一声压，第二声波信号对应的第二原频波吸收系数和第二声压，第一差频声波对应的角频率、波数和传播时间，以及第一

声波和第二声波之间的声场截面距离，通过第一公式，确定第一差频声波对应的差频波声压，其中，第一公式为：

[0046] $$p_d = [p_{10}p_{20}e^{-(\alpha_1+\alpha_2)x+J(\omega_d t-k_d x)}]^{\frac{1}{2}};$$

[0047] 其中，p_d表示差频波声压，α_1、α_2、p_{10}、p_{20}分别表示第一原频波吸收系数、第二原频波吸收系数、第一声压和第二声压，ω_d、k_d、t分别表示角频率、波数和传播时间，x表示声场截面距离，J为预设的贝塞尔函数；

[0048] 根据差频波声压和预设的声电转换系数，通过第二公式，确定差频发射信号包络函数，其中，第二公式为：

[0049] $Y_{d1}=b\times p_d$；

[0050] Y_{d1}表示差频发射信号包络函数，b表示声电转换系数。S4、根据第一回波信号和第二回波信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，差频接收信号包络函数表征了第二差频声波在传播过程中频率的变化情况。

[0051] 本实施例中，由于数传模块无法直接接收回波信号，以及地面控制台无法直接对模拟信号进行数据处理，因此，将回波信号转换为了数字信号，基于上述，根据第一回波信号和第二回波信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，包括：根据第一数字信号和第二数字信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数。

[0052] 另外，差频接收信号包络函数可直接从第一数字信号和第二数字信号中获取。

[0053] S5、根据差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定第一差频声波与第二差频声波在传播过程中的时间差变化量。

[0054] 本实施例中，根据差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数，通过第三公式，确定时间差变化量，其中，第三公式为：

[0055] $[T]=\mathrm{corr}(Y_{d1},Y_{d2})$；

[0056] 其中，[T]表示时间差变化量，corr()表示自相关函数，Y_{d1},Y_{d2}分别表示差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数。

[0057] 另外，$\mathrm{corr}(Y_{d1},Y_{d2})$为$Y_{d1}$与$Y_{d2}$二者之间的直相关函数，[T]为时间差变化量，$\mathrm{corr}(Y_{d1},Y_{d2})$的函数的值越大，代表$Y_{d1}$与$Y_{d2}$之间的相关性越大，当$\mathrm{corr}(Y_{d1},Y_{d2})$最大时，可以得到时间差变化量中最接近第一差频声波与第二差频声波在传播过程中最准确的时间差即目标值，用T_0表示。

[0058] S6、根据时间差变化量，确定探测距离。

[0059] 本实施例中，根据时间差变化量中的目标值和声速，通过第四公式，确定探测距离，其中，第四公式为：

[0060] $r=c\times T_0/2$；

[0061] r表示探测距离，c表示声速，T_0表示时间差变化量中的目标值。

[0062] 本发明上述实施例，通过同时发射不同频率的第一声波信号和第二声波信号，并接收第一回波信号和第二回波信号，从而在盐腔内产生第一差频声波和第二差频声波，差频声波(第一差频声波或第二差频声波)频率较小，波长较长，延长了声呐的探测距离，最后经过差频接收信号包络函数和差频发射信号包络函数，得到时间差变化量，并通过时间差

变化量即可得到探测距离，解决了当盐腔距离声呐较远时，无法获取回波信号，从而无法进行声呐测距的问题。

[0063] 如图2所示，本发明实施例还提供了一种基于测距声纳的测距系统，包括声波收发装置、数传模块和地面控制台，地面控制台与数传模块连接，数传模块与声波收发装置连接，其中，声波收发装置包括发射机、接收机和发射/接收换能器阵。

[0064] 本实施例中，数传模块用于根据地面控制台的命令与参数控制声波收发装置发射所述第一声波信号和所述第二声波信号，以及接收所述第一回波信号和所述第二回波信号。

[0065] 其中，数传模块即作为声波收发装置的中心控制器，也是数据采集器，用于采集各项数据，另外，数传模块用于接收来自地面控制台的命令和参数，其中，命令包括发射声波信号，参数包括发射脉宽、发射声波频率和发射周期等。

[0066] 本实施例中，声波收发装置用于同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号，以及接收所述第一声波信号对应的第一回波信号，以及所述第二声波信号对应的第二回波信号。

[0067] 其中，声波收发装置包括发射机、接收机和发射/接收换能器阵，发射机和接收机分别与发射/接收换能器阵连接，另外，发射机包括生成电路、调幅调制电路和放大电路，生成电路用于生成$y_1(t)=\cos(f_1t)$、$y_2(t)=\cos(f_2t)$的原始信号，其中，$y_1(t)$、$y_2(t)$代表原始信号1和原始信号2，f_1、f_2代表原始信号1和原始信号2的频率，t为时间，调幅调制电路用于将$y_1(t)$、$y_2(t)$转换为$Y_1(t)=y_1(t)\cos(f_0t)$和$Y_2(t)=y_2(t)\cos(f_0t)$的调制信号，其中，$Y_1(t)$和$Y_2(t)$为调制信号1和调制信号2，$\cos(f_0t)$为载波信号，f_0为载波信号的频率，放大电路用于将调制信号进行功率放大，最后发射机将功率放大的调制信号作为激励，发送至发射换能器阵进行信号发射，接收机包括滤波电路、信号放大器和AD转换器，其中，滤波电路用对回波信号进行过滤杂波，信号放大器用于对回波信号进行信号增益、放大，AD转换器用于将回波信号转换为数字信号，接收机将接收并转换的数字信号发送给接收换能器阵，节后换能器阵将数字信号发送给数传模块，数传模块将接收到的数字信号发送给地面控制台。

[0068] 本实施例中，发射转能器阵和接收换能器阵为发射/接收换能器阵的共用器阵，其内部由多个压电陶瓷纵向振子拼接而成，表面使用防爆材料，以适应盐腔高温高压环境，发射/接收换能器阵在空气中的探测距离约为80m，在水中的探测距离约为250m，通过在空气和水中使用发射/接收换能器阵发射5KHz的差频声波进行指向性测试，指向性是指发射/接收换能器阵发射声波到达指定点的准确性，如图3和图4所示，横坐标分别表示表示声波在空气中和在水中到达目的地时相对于指定点的偏移角度，纵坐标分别表示声波在空气中和在水中的偏移角度对应的偏转区间，从图3和图4可以看出，空气指向性约为1.8°@差频5kHz，水中指向性约为2.2°@差频5kHz，由此可知，发射/接收换能器阵在水中和空气介质中均具有良好的指向性。

[0069] 本实施例中，地面控制台具体用于：

[0070] 根据所述第一声波信号和所述第二声波信号之间的第一差频声波，确定所述第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，所述差频发射信号包络函数表征了所述第一差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0071] 根据所述第一回波信号和所述第二回波信号之间的第二差频声波，确定所述第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，所述差频接收信号包络函数表征了所述第二差频声波在传播过程中频率的变化情况；

[0072] 根据所述差频发射信号包络函数和所述差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定所述第一差频声波与所述第二差频声波在传播过程中的时间差变化量；

[0073] 根据所述时间差变化量，确定探测距离。

[0074] 本发明实施例的一种电子设备，包括存储器、处理器及存储在所述存储器上并在所述处理器上运行的程序，所述处理器执行所述程序时实现上述一种基于测距声纳的测距方法的部分或全部步骤。

[0075] 其中，电子设备可以选用电脑，相对应地，其程序为电脑软件，且上述关于本发明的一种电子设备中的各参数和步骤，可参考上文中一种基于测距声纳的测距方法的实施例中的各参数和步骤，在此不做赘述。

[0076] 所属技术领域的技术人员知道，本发明可以实现为系统、方法或计算机程序产品。因此，本公开可以具体实现为以下形式，即：可以是完全的硬件、也可以是完全的软件(包括固件、驻留软件、微代码等)，还可以是硬件和软件结合的形式，本文一般称为“电路”、“模块”或“系统”。此外，在一些实施例中，本发明还可以实现为在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式，该计算机可读介质中包含计算机可读的程序代码。计算机可读存储介质例如可以是但不限于——电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件，或者任意以上的组合。

[0077] 在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，在不相互矛盾的情况下，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0078] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本发明的限制，本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

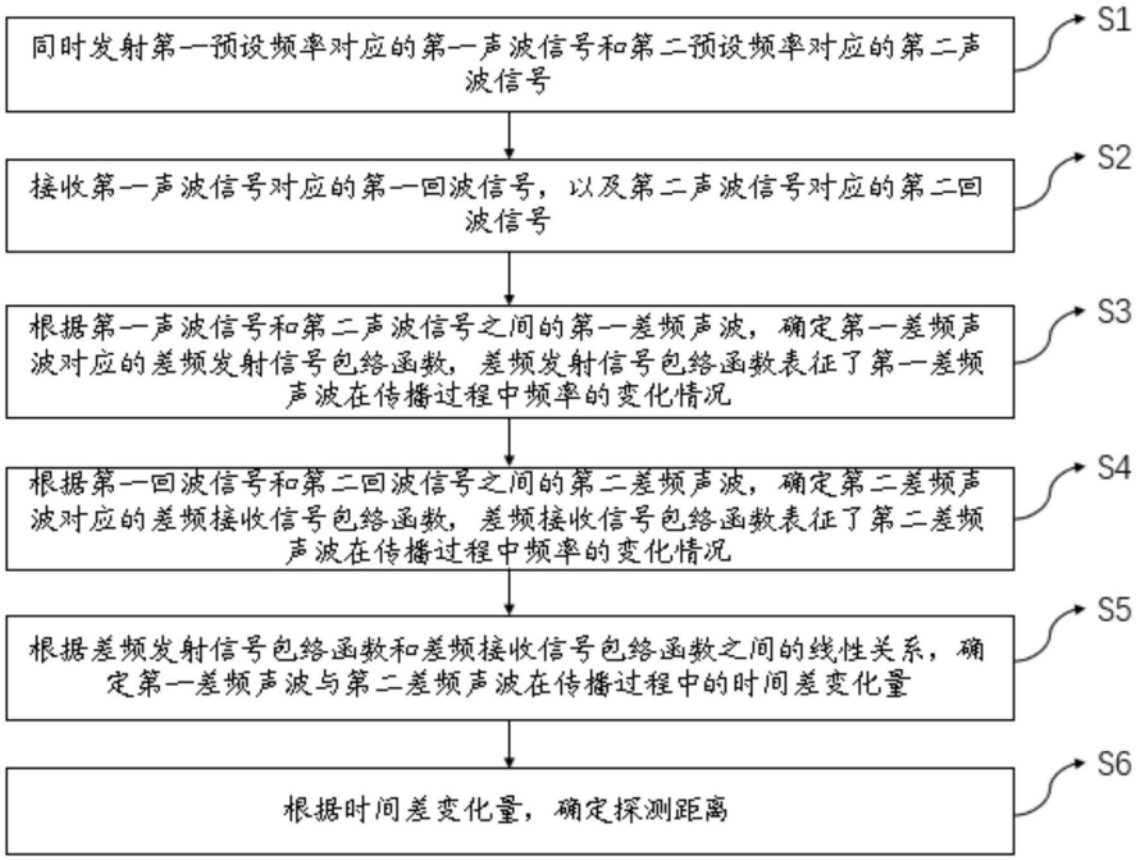

同时发射第一预设频率对应的第一声波信号和第二预设频率对应的第二声波信号
S1
接收第一声波信号对应的第一回波信号，以及第二声波信号对应的第二回波信号
S2
根据第一声波信号和第二声波信号之间的第一差频声波，确定第一差频声波对应的差频发射信号包络函数，差频发射信号包络函数表征了第一差频声波在传播过程中频率的变化情况
S3
根据第一回波信号和第二回波信号之间的第二差频声波，确定第二差频声波对应的差频接收信号包络函数，差频接收信号包络函数表征了第二差频声波在传播过程中频率的变化情况
S4
根据差频发射信号包络函数和差频接收信号包络函数之间的线性关系，确定第一差频声波与第二差频声波在传播过程中的时间差变化量
S5
根据时间差变化量，确定探测距离
S6

图1

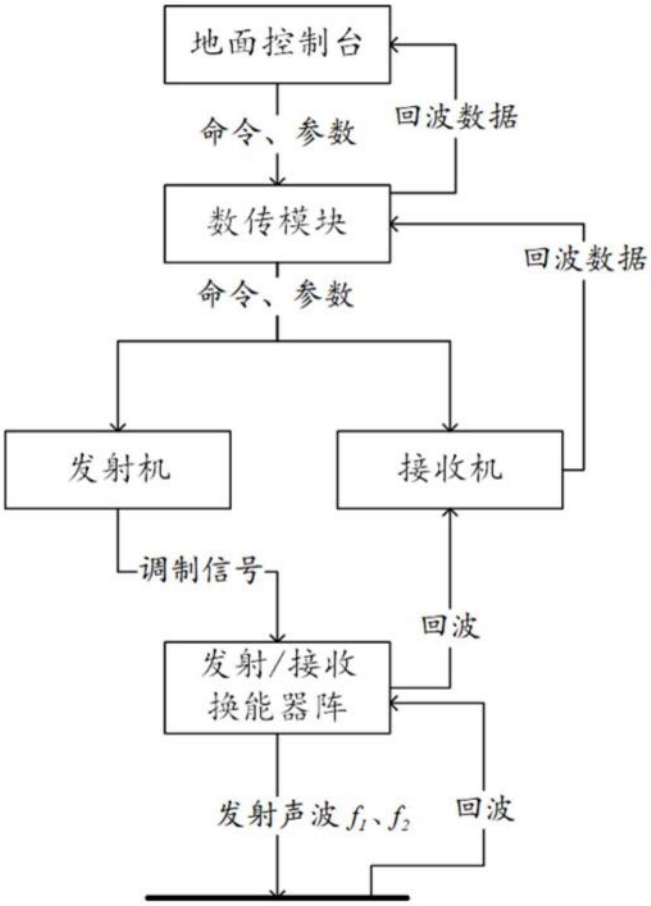

地面控制台
命令、参数
回波数据
数传模块
回波数据
命令、参数
发射机
接收机
调制信号
回波
发射/接收
换能器阵
发射声波 f_1、f_2
回波

图2

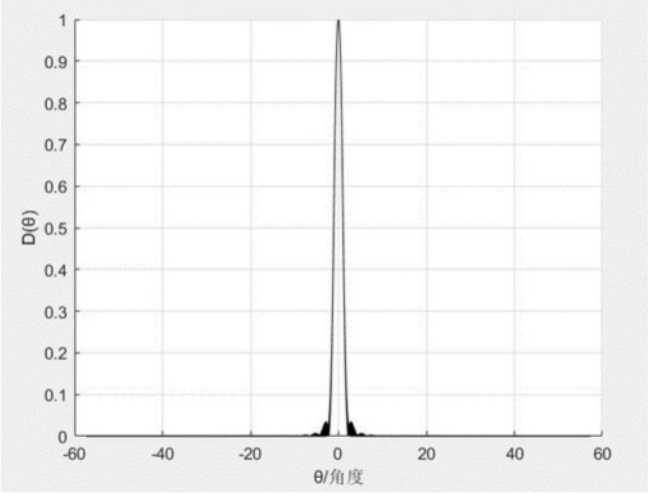

D(θ)
θ/角度
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-60
-40
-20
0
20
40
60

图3

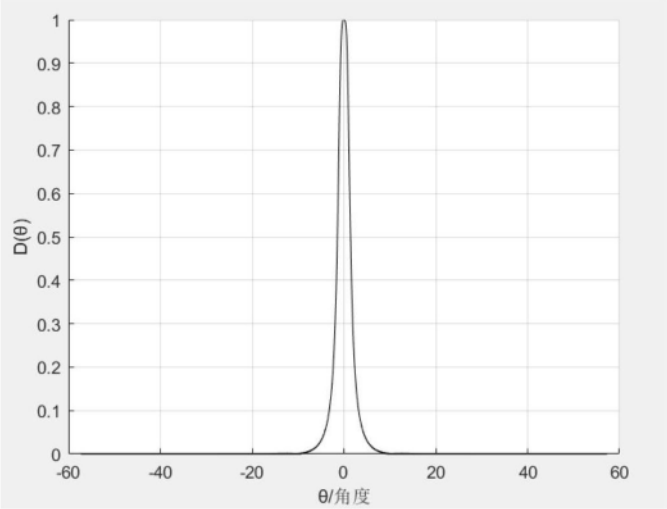


图4