

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(43) 国际公布日
2018 年 12 月 27 日 (27.12.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/233198 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 15/06 (2006.01) **G01N 29/02** (2006.01)
G01N 15/02 (2006.01) **G01P 5/24** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/111892
- (22) 国际申请日: 2017 年 11 月 20 日 (20.11.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710474523.3 2017年6月21日 (21.06.2017) CN
- (71) 申请人: 华南理工大学 (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。
- (72) 发明人: 宁更新(NING, Gengxin); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 宁秋燕(NING, Qiuyan); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 王博文(WANG, Bowen); 中国广东省广

州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 张军(ZHANG, Jun); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 冯义志(FENG, Yizhi); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。 季飞(JI, Fei); 中国广东省广州市南沙区环市大道南路25号华工大广州产研院, Guangdong 511458 (CN)。

(74) 代理人: 广州市华学知识产权代理有限公司 (GUANGZHOU HUAXUE INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省广州市天河区五山路381号物资大楼首层, Guangdong 510640 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DYNAMICALLY MONITORING SUSPENDED MATTER BASED ON ANNULAR INTERLEAVING ARRAY

(54) 发明名称: 一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法与装置

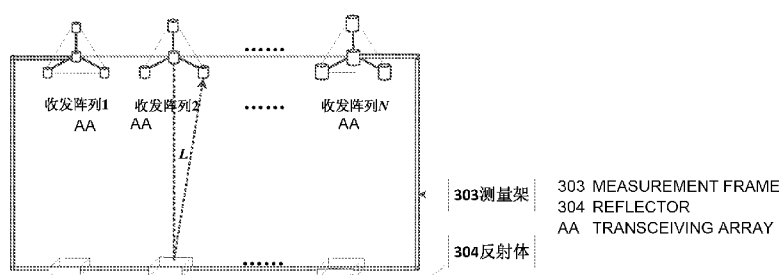


图 5

(57) Abstract: Provided are a method and device for dynamically monitoring suspended matter based on an annular interleaving array. An annular multi-band interleaving array used thereby can be combined with the Doppler effect to on-line measure the concentration and linearity distribution of the suspended matter and a three-dimensional flow velocity of suspended water, thus realizing real-time monitoring of water quality. A frequency range needing to be measured is divided into different frequency bands, and different transceiving transducer arrays are used to transmit and receive measurement signals, so that the concentration and linearity distribution of various suspended matter with an extremely large linearity range can be obtained through one measurement.

(57) 摘要: 一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法与装置, 采用的环状多频段交织阵列可结合多普勒效应在线测量悬浮物的浓度和线度分布、悬浮水体的三维流速, 实现水质的实时监测。通过将所需测量的频率范围分成不同的频段, 利用不同的收发换能器阵列对测量信号进行发送和接收, 能通过一次测量得出线度范围相当大的各种悬浮物的浓度和线度分布。

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区
保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法与装置

技术领域

本发明涉及液体悬浮物动态监测技术领域，特别涉及一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法与装置。

背景技术

悬浮物浓度是水环境质量的重要影响因素之一，也是环境监测的一项重要指标。同时，悬浮物的沉降，也会形成藻类污染事件。水下悬浮物浓度和速度的检测技术，特别是多尺度分辨悬浮物的检测技术，对水污染的防治和海洋经济的发展有重要意义。

对于悬浮物的检测，目前市场已有现成的测试仪器和方法。第一，重量法通过采样、过滤、烘干、称重等过程测量悬浮物浓度，测量准确，操作简单，但是采样条件和测定条件都会对测量结果的准确性产生影响，少量点的数据也难以反映大范围水域水质的变化和分布情况。第二，光学法利用光的衰减和散射来测量悬浮物浓度，但一般使用的光学仪器设备精细，成本高，同时光在水中的光学性质会随着水中悬浮物浓度的变化而变化，因此也限制了光学法的应用。第三，遥感技术通过卫星或航空遥感信息进行大面积范围内水质情况（包括悬浮物含量）的空间分布及动态的定量分析，具有宏观、大面积、周期性动态监测的特点。但是，卫星遥感的数据需要用现场数据进行验证，同时与现场数据建立模型，这仍然对悬浮物浓度和线度测量的实时、方便快捷性以及广泛使用产生了限制。测试仪器如浊度仪，其标准仪器为杰克逊烛光浊度计，该浊度计只能直接用于测定浊度大于 25 度的水样，对低浊水使用很不方便，测得结果往往因人而异。此外，上述方法一般为单独测量悬浮物浓度和线度，且没有考虑悬浮物的运动。

发明内容

本发明的主要目的在于克服现有技术的缺点与不足，提供一种基于环状交织阵列的悬浮

物动态监测方法，利用不同的收发换能器阵列对测量信号进行发送和接收，能通过一次测量得出线度范围相当大的各种悬浮物的浓度和线度分布。

本发明的另一目的在于提供一种基于上述方法的悬浮物动态监测装置。

本发明的目的通过以下的技术方案实现：

一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法，包括以下步骤：

S1、发送测量信号；

测量装置相对于地面处于静止状态，在含有悬浮物的水中竖直向下发送测量信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = A \frac{\sin(Wt)}{\pi t} \cos(2\pi f_0 t)$$

式中， A 是信号的幅度， W 是信号的单边带宽， f_0 是信号的中心频率，其功率谱图在正半轴上为幅度为 $0.5A$ 、带宽为 $2W$ 、中心频率为 f_0 的矩形脉冲：

$$S(f) = \frac{1}{2} A, \quad f_0 - W < f < f_0 + W ;$$

每隔周期 T 发送一次，即发送频率为 $F=1/T$ ，发送时长为 T_0 ， $T_0 < T$ ；

$s(t)$ 频率范围应包含在所用发射换能器和接收换能器的频率范围中，且发射换能器正下方有一个反射体，以保证接收换能器能充分接收到反射信号；

S2、计算信号到达反射体时的频率；

选取地面作为参考系，以超声发射探头 S 的位置为坐标原点，垂直地面向下为 z 方向建立空间直角坐标系，则 S 的坐标为 $(0,0,0)$ ，反射体 G 的坐标为 $(0,0,z)$ ，相应的多个接收换能器均和超声发射探头 S 在同一平面上；

发射换能器 S 向 z 轴正方向，即 $\overrightarrow{SG}$ 方向发射测量信号，发送频率为 F ， z 方向的单位向量可表示为 $\overrightarrow{l_{SG}} = (0,0,1)$ ，设水流速度为 $\overrightarrow{v_w} = (v_{wx}, v_{wy}, v_{wz})$ ，其中 v_{wx} ， v_{wy} ， v_{wz} 分别代表水流速度在坐标轴 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，则水流速度在 $S \rightarrow G$ 方向的速度为：

$$\mathbf{v}_{w\_SG} = \overrightarrow{\mathbf{v}_w} \cdot \overrightarrow{\mathbf{l}_{SG}} = \mathbf{v}_{wz}$$

对于水中的悬浮物，由于悬浮物体积和质量都较小，在水中的流速主要与水流速度有关，因此估计悬浮物的沉降速度或流动速度可转换为计算悬浮水体的流速；假设声波在水下的传播速度为 c ，由于信号发射点 S 静止，根据多普勒效应可得，信号到达反射体时的频率为：

$$f_G = \frac{c + \mathbf{v}_{wz}}{c} F ;$$

S3、计算信号到达接收探头时的频率；

L 表示测量信号从发射换能器 S 出发传至反射体 G 最后传至接收换能器 R_i 的距离， $\overrightarrow{GR_i}$ 为测量信号从反射体 G 传至接收换能器 R_i 的传播方向， α_i 、 β_i 、 γ_i 分别为向量 $\overrightarrow{GR_i}$ 与坐标轴 x 、 y 、 z 的夹角，可得到 $\overrightarrow{GR_i}$ 向量的单位向量为 $\overrightarrow{\mathbf{l}_{GR_i}} = (\cos \alpha_i, \cos \beta_i, \cos \gamma_i)$ ，则水流速度在 $G \rightarrow R_i$ 方向上的速度为：

$$\mathbf{v}_{w\_GR_i} = \overrightarrow{\mathbf{v}_w} \cdot \overrightarrow{\mathbf{l}_{GR_i}} = \mathbf{v}_{wx} \cos \alpha_i + \mathbf{v}_{wy} \cos \beta_i + \mathbf{v}_{wz} \cos \gamma_i ;$$

声波由反射体 G 至接收点 R_i 的过程中，受到水流的作用，因此测量信号会受到多普勒效应；对于测量信号 $s(t)$ ，在发送端每隔周期 T 发送一次，信号在水中传播的过程中由于多普勒效应产生多普勒频移，因此接收端 R_i 最终接收到的反射信号 $r_i(t)$ 的周期为 T_{R_i} ，接收频率 $f_{R_i} = 1/T_{R_i}$ ；由于接收端没有运动，因此信号到达第 i 个接收换能器 R_i 时的频率为：

$$f_{R_i} = \frac{c}{c + \mathbf{v}_{w\_GR_i}} f_G$$

整理，得到测量信号 $s(t)$ 从发送到接收的过程中，接收频率与发送频率之间的关系为：

$$\begin{aligned} f_{R_i} &= \frac{c + \mathbf{v}_{wx}}{c} \frac{c}{c + \mathbf{v}_{w\_GR_i}} F \\ &= \frac{c + \mathbf{v}_{wx}}{c + \mathbf{v}_{wx} \cos \alpha_i + \mathbf{v}_{wy} \cos \beta_i + \mathbf{v}_{wz} \cos \gamma_i} F \\ &= (1 + \Delta_i) F \end{aligned}$$

其中, Δ 为多普勒因子;

S4、需要 M 个的接收换能器列出如上式所示的 M 个的等式, $M \geq 3$, 即可求出上述三个未知数, 由此求得悬浮水体的三维流速, 即为悬浮物的速度;

S5、估计悬浮物的浓度和线度分布;

利用信号功率谱对悬浮物浓度及线度分布做估计过程如下:

S5-1、采样;

由于测量信号 $s(t)$ 在水中受到衰减, 同时受多普勒效应的影响, 因此对第 i 个接收换能器 R_i 接收到的信号 $r_i(t)$, $i=1,2,\dots,M$, 采样后得到的信号为:

$$r_i(n) = B_i \frac{\sin[(1+\Delta_i)WnT_s]}{\pi(1+\Delta_i)nT_s} \cos[2\pi(1+\Delta_i)f_0nT_s] + w_i(n)$$

其中, B_i 、 Δ_i 分别为接收信号的幅度和多普勒因子, $w_i(n)$ 为信号噪声, 采样频率 $f_s = 1/T_s$ ($f_s > 2f(f_0 + W)$), Δ_i 可由步骤 S3 求出;

S5-2、对接收信号 $r_i(n)$ 的自相关函数 $R_i(n)$ 作 $2N$ 点离散傅里叶变换, 得

$$S_{R_i}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} R_i(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, 0 \leq k \leq N-1$$

S5-3、对该收发阵列的信号进行分析, 发射换能器 S 的系统函数为 $H_1(f)$, 接收换能器的系统函数均为 $H_2(f)$, 同一个收发阵列中的接收换能器参数相同, 且系统函数 $H_1(f)$ 和 $H_2(f)$ 可通过查看相应的换能器参数获得;

测量信号 $s(t)$ 发射出去时先经过系统 $H_1(f)$, 同时, 接收到的信号 $r_i(t)$ 也先经过系统 $H_2(f)$, 因此在水中传播前和在水中传播过后的测量信号功率谱分别为 $H_1(f)S(f)$ 和 $S_{R_i}(f)/H_2(f)$;

S5-4、由步骤 S5-3, 测量信号在接收换能器 R_i 相应的 $f_s k/N$ 频点上的离散信号功率谱为

$$\frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_s k/N)}, \text{ 测量信号在发射换能器 } S \text{ 相应的 } f_s k/N \text{ 频点上的离散信号功率谱为 } \frac{A}{2} H_1(f_s k/N),$$

由此得到衰减参数 Q_k :

$$Q_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_s k / N)}}{\frac{A}{2} H_1(f_s k / N)}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

表示测量信号经过水体前后的衰减参数；

S5-5、对于 M 个接收换能器接收的信号，对信号相应区间离散功率谱进行叠加，根据衰减参数 Q_k ($k=0, 1, \dots, N-1$) 和传输距离 L 反演出悬浮物的浓度，而测量信号的每个频点 $f_s k / N$ 则对应了四分之一波长线度的悬浮物的浓度。

优选的，使用多个发射换能器；每个发射换能器发送不同频率范围的测量信号，如需要测量的宽频率范围为 $[f_1, f_m]$ ，则可将该宽频段分为 N 段 $[f_1, f_2]$ 、 $[f_3, f_4]$ 、 $\dots\dots$ 、 $[f_{m-1}, f_m]$ ，使用 N 个发射换能器，第一换能器发送频率范围为 $[f_1, f_2]$ 的测量信号 $s_1(t)$ ，第二换能器发送频率范围为 $[f_3, f_4]$ 的测量信号 $s_2(t)$ ，依此类推；一个发射换能器对应一个收发阵列，对不同收发阵列重复步骤 S1-S5，可估计出水体中悬浮物的浓度、线度分布以及速度。

具体的，不同的频段可连续也可相隔一定的距离，且用于接收该测量信号的换能器也应为相应频段的接收换能器。

一种基于上述方法的悬浮物动态监测装置，包括操作模块、处理模块、收发模块和输出模块和电源，电源为所有模块供电；操作模块与处理模块连接，处理模块分别与收发模块以及输出模块相连；

收发模块包括测量架、 N 个反射体和 N 个收发阵列；测量架用于将反射体以及不同的收发阵列连接固定；收发阵列之间相隔一定的距离；每个收发阵列包括一个发射换能器和 M 个接收换能器， $M \geq 3$ ，所有换能器的信号发射面或接收面均位于同一水平面；每个收发阵列中的接收换能器都和发射换能器相连，同个收发阵列中接收换能器到发射换能器的距离相同，同个收发阵列中的收发换能器频率匹配；反射体位于不同收发阵列正下方，且 N 个反射体的反射面在同一水平面上；

操作者通过操作模块输入对应的参数，处理模块根据参数信息产生各段测量信号，传送给收发模块中相应频段的收发阵列的发射换能器发射并控制发射换能器的发送周期；对于该收发阵列中发射换能器发射的信号，其对应的接收换能器阵列接收反射信号，传送给处理模块；处理模块计算出悬浮物的浓度和线度分布，同时，根据多普勒效应计算悬浮水体的三维

流速；最后将测量出来的悬浮物的浓度和线度分布值、水体流速值传送给输出模块输出显示。

优选的，收发阵列的数目 N 根据应用场景和测量的范围而定。

优选的，固定反射体的测量架横架可上下调节高度。

优选的，处理模块包括数字处理器、数模转换器及模数转换器。

优选的，反射体采用利于信号反射的材料。

优选的，测量架采用耐腐蚀的硬质材料。

优选的，收发阵列之间用金属或塑料材料相连。

本发明与现有技术相比，具有如下优点和有益效果：

1、本发明通过将所需测量的频率范围分成不同的频段，利用不同的收发换能器阵列对测量信号进行发送和接收，能通过一次测量得出线度范围相当大的各种悬浮物的浓度和线度分布。

2、采用的环状多频段交织阵列可结合多普勒效应在线测量悬浮物的浓度和线度分布、悬浮水体的三维流速，实现水质的实时监测。

3、本发明采用的环状多频段交织阵列能实现不同频段信号的相互分离，能有效抑制不同频段的测量信号之间的干扰。

4、本发明的反射体采用利于信号发射的材料，使接收换能器能接收到充分多的反射信号。

5、本发明装置所需的部件都是易于获取的，相对于光学方法采用的光学设备，本装置成本低廉、可行性强。

附图说明

图 1 为分析信号从发射换能器传至水下反射体的过程示意图；

图 2 为分析信号从反射体传至接收换能器阵列的过程示意图；

图 3 为测量信号收发状态示意图；

图 4 为装置模块组成及连接示意图；

图 5 为装置的收发模块具体结构示意图；

图 6 为环状收发阵列结构图；

图 7 为测量装置的具体实施过程流程图。

具体实施方式

下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述，但本发明的实施方式不限于此。

实施例 1

声波是弹性波，在水中具有损耗小、传播距离远的特点，因此本方法利用声波作为测量信号。要测量多种尺度（不同直径大小）的近海及河口的水中悬浮物，其中尺度从分米级（海草、浮游垃圾等）跨度到毫米甚至到微米级（有机和无机碎屑，海藻、细沙等），理论上需要使用波长为 0.25 倍悬浮物尺度的宽频带超声进行探测（探测频率跨度从 10kHz 到 10Mkz 或以上）。现有水声换能器频率范围从数十赫兹到数千赫兹，甚至可以达到几十兆赫兹，但是，单个换能器的频率跨度难以囊括水体悬浮物的尺度范围。因此需要多个不同频率范围的测量信号，每个发射换能器发送某段频率范围的信号，使用多个水声换能器将信号进行发送和接收，在技术上则可通过多频带水声换能器组合实现，即探测系统是一个多发多收阵列结构；此外若要获得悬浮物的三维流速，则需要一发多收阵列结构。

基于上述原理，本实施例提供一种基于环状多频段交织阵列的主动式水声检测模型和利用多普勒效应的悬浮水体三维流速检测方法。

本实施例使用如式（1）所示的测量信号：

$$s(t) = A \frac{\sin(Wt)}{\pi t} \cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

式中， A 是信号的幅度， W 是信号的单边带宽， f_0 是信号的中心频率，其功率谱图在正半轴上为幅度为 $0.5A$ 、带宽为 $2W$ 、中心频率为 f_0 的矩形脉冲。

$$S(f) = \frac{1}{2}A, \quad f_0 - W < f < f_0 + W \quad (2)$$

由于一个发射换能器只能发送一定频率范围的超声信号, 因此需要使用多个发射换能器。每个发射换能器发送不同频率范围的测量信号, 如实验需要测量的宽频率范围为 $[f_1, f_m]$, 则可将该宽频段分为 N 段 $[f_1, f_2]$ 、 $[f_3, f_4]$ 、……、 $[f_{m-1}, f_m]$, 使用 N 个发射换能器, 换能器 1 发送频率范围为 $[f_1, f_2]$ 的测量信号 $s_1(t)$, 换能器 2 发送频率范围为 $[f_3, f_4]$ 的测量信号 $s_2(t)$, 依此类推。且这些不同的频段可连续也可相隔一定的距离, 如以上划分的频率 f_2 和 f_3 之间可相隔一定的距离也可使 $f_2=f_3$, 且用于接收该测量信号的换能器也应为相应频段的接收换能器。

接下来以其中一个发射换能器为例, 分析本实施例的测量方法步骤。

步骤 S1: 发送测量信号

测量装置相对于地面处于静止状态, 在含有悬浮物的水中竖直向下发送测量信号, 即式(1)中的 $s(t)$, 每隔周期 T 发送一次, 即发送频率为 $F=1/T$, 发送时长为 T_0 ($T_0 < T$)。 $s(t)$ 频率范围应包含在所用发射换能器和接收换能器的频率范围中, 且发射换能器正下方有一个反射体, 以保证接收换能器能充分接收到反射信号。

步骤 S2: 分析信号从发射换能器传至反射体的过程

该步骤分析声波从超声发射换能器传至水下反射体的过程, 计算信号到达反射体时的频率。

如图 1 所示, 选取水面作为参考系, 以超声发射探头 S 的位置为坐标原点, 垂直地面向下为 z 方向建立空间直角坐标系, 则 S 的坐标为 $(0,0,0)$, 反射体 G 的坐标为 $(0,0,z)$, 相应的三个接收换能器 R_1 、 R_2 、 R_3 均和超声发射探头 S 在同一平面上。由步骤 S1 可知, 发射换能器 S 向 z 轴正方向发射测量信号, 即图 1 中的 $\overrightarrow{SG}$, 发送频率为 F , z 方向的单位向量可表示为 $\overrightarrow{l_{SG}} = (0,0,1)$ 。

设水流速度为 $\overrightarrow{v_w} = (v_{wx}, v_{wy}, v_{wz})$, 其中 v_{wx} , v_{wy} , v_{wz} 分别代表水流速度在坐标轴 x 、 y 、 z 三个方向上的分量, 则水流速度在 $S \rightarrow G$ 方向的速度为

$$\mathbf{v}_{w\_SG} = \vec{\mathbf{v}}_w \cdot \vec{l}_{SG} = v_{wz} \quad (3)$$

对于水中的悬浮物，由于悬浮物体积和质量都较小，在水中的流速主要与水流速度有关，因此估计悬浮物的沉降速度或流动速度可转换为计算悬浮水体的流速。假设声波在水下的传播速度为 c ，由于信号发射点 S 静止，根据多普勒效应可得，信号到达反射体时的频率为

$$f_G = \frac{c + v_{wz}}{c} F \quad (4)$$

步骤 S3：分析信号从反射体传至接收换能器阵列的过程

此过程分析信号从反射体传至接收换能器阵列的过程，计算信号到达接收探头时的频率。

如图 2 所示为接收过程，三个接收换能器 R_1 、 R_2 、 R_3 与发射换能器 S 等距， L 表示测量信号从发射换能器 S 出发传至反射体 G 最后传至接收换能器 $R_i(i=1,2,3)$ 的距离， $\vec{GR_i}$ 为测量信号从反射体 G 传至接收换能器 R_i 的传播方向， α_i 、 β_i 、 γ_i 分别为向量 $\vec{GR_i}$ 与坐标轴 x 、 y 、 z 的夹角，可得到 $\vec{GR_i}$ 向量的单位向量为 $\vec{l}_{GR_i} = (\cos \alpha_i, \cos \beta_i, \cos \gamma_i)$ ，则水流速度在 $G \rightarrow R_i$ 方向上的速度为

$$\mathbf{v}_{w\_GR_i} = \vec{\mathbf{v}}_w \cdot \vec{l}_{GR_i} = v_{wx} \cos \alpha_i + v_{wy} \cos \beta_i + v_{wz} \cos \gamma_i, i=1,2,3 \quad (5)$$

声波由反射体 G 至接收点 R_i 的过程中，受到水流的作用，因此测量信号会受到多普勒效应。对于测量信号 $s(t)$ ，在发送端每隔周期 T 发送一次，信号在水中传播的过程中由于多普勒效应产生多普勒频移，因此接收端 R_i 最终接收到的反射信号 $r_i(t)$ 的周期为 T_{R_i} ，接收频率 $f_{R_i} = 1/T_{R_i}$ 。由于接收端没有运动，因此信号到达第 i 个接收换能器 R_i 时的频率为

$$f_{R_i} = \frac{c}{c + v_{w\_GR_i}} f_G, \quad i=1,2,3 \quad (6)$$

整理，得到测量信号 $s(t)$ 从发送到接收的过程中，接收频率与发送频率之间的关系为

$$\begin{aligned}
f_{R_i} &= \frac{c + v_{wx}}{c} \frac{c}{c + v_{w\_GR_i}} F \\
&= \frac{c + v_{wx}}{c + v_{wx} \cos \alpha_i + v_{wy} \cos \beta_i + v_{wz} \cos \gamma_i} F, \quad i=1,2,3 \quad (7) \\
&= (1 + \Delta_i) F
\end{aligned}$$

其中, Δ 为多普勒因子。式 (7) 中含有三个未知数 v_{wx} 、 v_{wy} 和 v_{wz} , 因此需要三个或以上的接收换能器列出如上式所示的三个以上的等式, 即可求出上述三个未知数 (若列出的等式在三个以上, 则在等式中选取线性无关的三个等式求解三个未知数), 由此求得悬浮水体的三维流速, 即为悬浮物的速度。本实施例使用三个换能器和一个发射换能器相匹配, 构成一个收发阵列, 如图 1、图 2 中的 (S, R_1, R_2, R_3) 构成了一个收发阵列。

在本实施例中, 同个收发阵列中各个接收换能器与发射换能器等距, 因此在同个收发阵列中, 测量信号从发射换能器 S 出发至反射体 G 最后传至各个接收换能器的距离均为 L 。

步骤 S4: 估计悬浮物的浓度和线度分布

由步骤 S3 可知, 对于同一测量信号, 需要三个或以上的接收换能器进行接收, 本实施例使用三个接收换能器 R_1, R_2, R_3 。由于信号在水中会受到悬浮物及水体的作用以及多普勒效应, 因此接收端接收到的信号频域不等幅, 且对于发射信号 $s(t)$, 在实际应用中受发射换能器或其他器件的影响, 其功率谱图可能也不等幅。因此, 对该收发阵列, 利用信号功率谱对悬浮物浓度及线度分布做估计过程如下:

I. 采样。由于测量信号 $s(t)$ 在水中受到衰减, 同时受多普勒效应的影响, 因此对第 i 个接收换能器 R_i 接收到的信号 $r_i(t)(i=1,2,3)$ 采样后得到的信号为

$$r_i(n) = B_i \frac{\sin[(1 + \Delta_i)WnT_s]}{\pi(1 + \Delta_i)nT_s} \cos[2\pi(1 + \Delta_i)f_0nT_s] + w_i(n), i=1,2,3 \quad (8)$$

其中, B_i 、 Δ_i 分别为接收信号的幅度和多普勒因子 ($i=1,2,3$), $w_i(n)$ 为信号噪声, 采样频率 $f_s = 1/T_s (f_s > 2f(f_0 + W))$, Δ_i 可由公式 (7) 求出。

II. 对接收信号 $r_i(n)$ 的自相关函数 $R_i(n)$ 作 $2N$ 点离散傅里叶变换 (DFT), 得

$$S_{R_i}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} R_i(n) e^{-j \frac{2\pi}{N} nk}, 0 \leq k \leq N-1 \quad (9)$$

III. 对该收发阵列的信号进行分析，如图3中的C点和D_i点（*i*=1,2,3）。发射换能器S的系统函数为 $H_1(f)$ ，三个接收换能器的系统函数均为 $H_2(f)$ （同一个收发阵列中的接收换能器参数相同），且系统函数 $H_1(f)$ 和 $H_2(f)$ 可通过查看相应的换能器参数获得。如图所示，测量信号 $s(t)$ 发射出去时先经过系统 $H_1(f)$ ，同时，接收到的信号 $r_i(t)$ 也先经过系统 $H_2(f)$ ，因此在水中传播前和在水中传播过后的测量信号功率谱分别为 $H_1(f)S(f)$ 和 $S_{R_i}(f)/H_2(f)$ 。

IV. 由 III，测量信号在 D_i 点相应的 $f_s k/N$ 频点上的离散信号功率谱为 $\frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_s k/N)}$ ，测量信号在 C 点相应的 $f_s k/N$ 频点上的离散信号功率谱为 $\frac{A}{2} H_1(f_s k/N)$ ，由此得到衰减参数 Q_k ，

$$Q_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_s k/N)}}{\frac{A}{2} H_1(f_s k/N)}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

表示测量信号经过水体前后（即图 3 中的 C 点和 D_i 点）的衰减参数。

V. 对于三个接收换能器接收的信号，对信号相应区间离散功率谱进行叠加，根据衰减参数 Q_k （ $k=0, 1, \dots, N-1$ ）和传输距离 L ，利用现有的方法或实验公式可以反演出悬浮物的浓度，而测量信号的每个频点 $f_s k/N$ 则对应了四分之一波长线度的悬浮物的浓度。

步骤 S5：对其他收发阵列重复以上步骤，估计悬浮物的浓度和线度

步骤 S4 中关于功率谱的分析均在正半轴，且是对单个收发阵列中的一个发射换能器及相应的三个接收换能器作分析，其他频段的收发阵列分析一致。利用多个收发阵列，构成一个交织阵列，并根据步骤 S1~4，收发多段频段的测量信号，通过分析测量信号经过水体前后的功率谱、多普勒效应等可估计出水体中悬浮物的浓度、线度分布以及速度。

上述方法通过环状多频段交织阵列的主动式声检测模型，将相同频段的一个发射换能器和三个或三个以上的接收换能器组成一个环状收发阵列，收发结合，可抑制不同频段换能器

之间的干扰。利用多个负责不同频段的收发阵列、根据收发信号的功率和中心频率，可实现液体悬浮物的浓度和线度估计。另外，上述方法结合多普勒效应，通过环状多频段交织阵列周期性发送测量信号并分析信号的多普勒频移，可实现悬浮水体的三维流速测量，最终实现液体悬浮物的动态监测。

应用举例：对于范围为(1.5cm,2cm)的悬浮物，由于声音在水中的传播速度 c 约为 1500m/s，因此所需的测量频率范围约为[300KHz, 400KHz]，则负责该范围的单个收发阵列的频率范围必须包含该范围。将接收到的信号进行采样，采样点数为 $N=200$ ，即有 200 个参数 ($Q_0 \sim Q_{199}$)。根据上述方法中的估计方法，利用参数 ($Q_0 \sim Q_{99}$) 和参数 ($Q_{100} \sim Q_{199}$) 可以估计出两种线度的悬浮物浓度。

实施例 2

一种基于实施例 1 中的方法的测量装置，包括操作模块 101、处理模块 102、收发模块 103 和输出模块 104 和电源，如图 4 所示。

操作模块与处理模块连接，主要用于人机交互，根据应用场景选择：发射功率、各个换能器发射和接收所负责的频率范围、以及相应频段测量信号的信号频率、幅度和信号发送周期。

处理模块分别与收发模块以及输出模块相连，它根据操作模块输入的指令进行数据处理，通过收发模块发出以及接收测量信号的波形和数据，对接收信号数据进行分析处理得出悬浮物浓度和线度分布、悬浮水体流速的测量结果，将结果传输给输出模块输出显示。处理模块包括数字处理器 203、数模转换器 201 及模数转换器 202。其中数字处理器 203 可以用 DSP 芯片或者 ARM 等实现，数模转换器 (D/A) 201 和模数转换器 (A/D) 202 也可以用 DSP 芯片实现。数字处理器根据操作模块的指令产生各段的测量信号传送给数模转换器 201；另外，它从模数转换器 202 中获取接收信号的数据进行悬浮物的浓度和线度分布估计线度和流速估计；然后将估计的结果传送给输出模块输出。数模转换器和模数转换器充当数字处理器和收发模块的桥梁，将数字处理器产生的信号数模转换传给交织阵列发送，从收发模块接收信号进行模数转换传给数字处理器处理。

收发模块 103 包括测量架 303、反射体 304 和 N 个环状收发阵列 (交织阵列)。环状收发阵列的数目 N 根据应用场景和测量的范围而定。测量架 303 用于将反射体 304 以及收发模块

103 中不同的收发阵列连接固定。如图 5 所示,收发阵列之间相隔一定的距离 $d_i(i=1,2,\dots,N-1)$, 各段距离 d_i 可不相等,用金属或塑料材料连接固定,用于发送和接收不同频段的测量信号。

每个收发阵列包括一个发射换能器 301 和三个(或三个以上)接收换能器 302,如图 6,每个收发阵列中的接收换能器 302 都和发射换能器 301 相连。所有收发阵列的发射换能器 301 和接收换能器 302 的信号发射面或接收面均在同一水平面上,即,不同收发阵列中所使用的换能器尺寸可能不等,但各个换能器的信号发射面或接收面均位于同一水平面。发射换能器 301 发送不同频率段的测量信号,并且各个频率段之间可以是连续的也可以是相隔一定频率的,接收换能器 302 则接收对应的收发阵列中的发射换能器 301 发送的信号。同个收发阵列中的收发换能器频率匹配,负责从数模转换器获取测量信号发射,以及接收信号传给模数转换器转换。

测量架 303 采用耐腐蚀的金属硬质材料,用于连接 N 个收发阵列和 N 个反射体,且测量架上下之间采用滑动结构,以调节收发阵列和反射体 304 的相对距离;其中反射体 304 为长方体结构,位于不同收发阵列正下方,保证相应的接收换能器能充分接收到反射信号,且所有反射体的上表面(即与相应的收发阵列相对的一面)在同一水平面上,反射体尺寸和相应的发射换能器 301 相当,采用金属等利于信号反射的材料。由于所有收发阵列的换能器的信号发射面或接收面均位于同一水平面,且所有反射体 304 的上表面也位于同一水平面,因此所有收发阵列与相应的位于该收发阵列正下方的反射体 304 之间距离相等。在本实施例中同个收发阵列中的不同接收换能器 302 和发射换能器 301 之间等距,即,同个收发阵列中的不同接收换能器 302 的信号接收面中心点到发射换能器 301 的信号发射面中心点距离相同,因此同个收发阵列中信号所经过的距离 L 相同。

输出模块用于显示处理模块估计分析的结果,或者将检测结果送给下一个处理系统,让该系统根据检测结果做出相应的响应。

本装置的工作步骤如图 7 所示,具体如下:

步骤 1: 根据阵列中每个换能器负责的频率范围,选取相应中心频率的测量信号,并确定其信号幅度,发送周期。输入操作参数,系统检测操作模块是否有操作请求,如果有操作请求则处理模块响应请求保存参数。

步骤 2: 通过操作模块输入一个开始测量的信号。

步骤 3: 处理模块收到开始测量信号则根据输入参数产生各段测量信号。

步骤 4: 将产生的测量信号传送到数模转换器,转换成模拟信号传送给收发模块,收发

模块通过相应频段的环状收发阵列中的发射换能器发送测量信号。

步骤 5: 各个环状收发阵列中的接收换能器分别接收相应频段的反射信号, 并转换成电信号传给模数转换器。

步骤 6: 数字信号处理器首先滤掉各个换能器负责频率范围外的信号, 并将滤波后的信号叠加, 计算接收信号的功率谱幅度、中心频率以及接收的周期或频率, 根据实施例 1 方法中的具体说明, 利用现有的方法或实验公式, 估计悬浮物的浓度、线度以及速度。

步骤 8: 将悬浮物的监测结果(包括线度和对应浓度、悬浮水体的流速)传送给输出模块, 输出模块将结果输出。

上述实施例为本发明较佳的实施方式, 但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制, 其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化, 均应为等效的置换方式, 都包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种基于环状交织阵列的悬浮物动态监测方法，其特征在于，包括以下步骤：

S1、发送测量信号；

测量装置相对于地面处于静止状态，在含有悬浮物的水中竖直向下发送测量信号 $s(t)$ ：

$$s(t) = A \frac{\sin(Wt)}{\pi t} \cos(2\pi f_0 t)$$

式中， A 是信号的幅度， W 是信号的单边带宽， f_0 是信号的中心频率，其功率谱图在正半轴上为幅度为 $0.5A$ 、带宽为 $2W$ 、中心频率为 f_0 的矩形脉冲：

$$S(f) = \frac{1}{2} A, \quad f_0 - W < f < f_0 + W ;$$

每隔周期 T 发送一次，即发送频率为 $F=1/T$ ，发送时长为 T_0 ， $T_0 < T$ ；

$s(t)$ 频率范围应包含在所用发射换能器和接收换能器的频率范围中，且发射换能器正下方有一个反射体，以保证接收换能器能充分接收到反射信号；

S2、计算信号到达反射体时的频率；

选取地面作为参考系，以超声发射探头 S 的位置为坐标原点，垂直地面向下为 z 方向建立空间直角坐标系，则 S 的坐标为 $(0,0,0)$ ，反射体 G 的坐标为 $(0,0,z)$ ，相应的多个接收换能器均和超声发射探头 S 在同一平面上；

发射换能器 S 向 z 轴正方向，即 $\overrightarrow{SG}$ 方向发射测量信号，发送频率为 F ； z 方向的单位向量可表示为 $\overrightarrow{l_{SG}} = (0,0,1)$ ，设水流速度为 $\overrightarrow{v_w} = (v_{wx}, v_{wy}, v_{wz})$ ，其中 v_{wx} ， v_{wy} ， v_{wz} 分别代表水流速度在坐标轴 x 、 y 、 z 三个方向上的分量，则水流速度在 $S \rightarrow G$ 方向的速度为：

$$v_{w\_SG} = \overrightarrow{v_w} \cdot \overrightarrow{l_{SG}} = v_{wz}$$

对于水中的悬浮物，由于悬浮物体积和质量都较小，在水中的流速主要与水流速度有关，因此估计悬浮物的沉降速度或流动速度可转换为计算悬浮水体的流速；假设声波在水下的传播速度为 c ，由于信号发射点 S 静止，根据多普勒效应可得，信号到达反射体时的频率为：

$$f_G = \frac{c + v_{wz}}{c} F ;$$

S3、计算信号到达接收探头时的频率；

L 表示测量信号从发射换能器 S 出发传至反射体 G 最后传至接收换能器 R_i 的距离, $\overrightarrow{GR_i}$ 为测量信号从反射体 G 传至接收换能器 R_i 的传播方向, α_i 、 β_i 、 γ_i 分别为向量 $\overrightarrow{GR_i}$ 与坐标轴 x 、 y 、 z 的夹角, 可得到 $\overrightarrow{GR_i}$ 向量的单位向量为 $\overrightarrow{l_{GR_i}} = (\cos \alpha_i, \cos \beta_i, \cos \gamma_i)$, 则水流速度在 $G \rightarrow R_i$ 方向上的速度为:

$$v_{w\_GR_i} = \overrightarrow{v_w} \cdot \overrightarrow{l_{GR_i}} = v_{wx} \cos \alpha_i + v_{wy} \cos \beta_i + v_{wz} \cos \gamma_i ;$$

声波由反射体 G 至接收点 R_i 的过程中, 受到水流的作用, 因此测量信号会受到多普勒效应; 对于测量信号 $s(t)$, 在发送端每隔周期 T 发送一次, 信号在水中传播的过程中由于多普勒效应产生多普勒频移, 因此接收端 R_i 最终接收到的反射信号 $r_i(t)$ 的周期为 T_{R_i} , 接收频率 $f_{R_i} = 1/T_{R_i}$; 由于接收端没有运动, 因此信号到达第 i 个接收换能器 R_i 时的频率为:

$$f_{R_i} = \frac{c}{c + v_{w\_GR_i}} f_G$$

整理, 得到测量信号 $s(t)$ 从发送到接收的过程中, 接收频率与发送频率之间的关系为:

$$\begin{aligned} f_{R_i} &= \frac{c + v_{wx}}{c} \frac{c}{c + v_{w\_GR_i}} F \\ &= \frac{c + v_{wx}}{c + v_{wx} \cos \alpha_i + v_{wy} \cos \beta_i + v_{wz} \cos \gamma_i} F \\ &= (1 + \Delta_i) F \end{aligned}$$

其中, Δ 为多普勒因子;

S4、需要 M 个接收换能器列出如上式所示的 M 个的等式, $M \geq 3$, 即可求出上述三个未知数, 由此求得悬浮水体的三维流速, 即为悬浮物的速度; 一个发射换能器和 M 个接收换能器组成一个收发阵列;

S5、估计悬浮物的浓度和线度分布；

利用信号功率谱对悬浮物浓度及线度分布做估计过程如下：

S5-1、采样；

由于测量信号 $s(t)$ 在水中受到衰减，同时受多普勒效应的影响，因此对第 i 个接收换能器 R_i 接收到的信号 $r_i(t)$ ， $i=1,2,\dots,M$ ，采样后得到的信号为：

$$r_i(n) = B_i \frac{\sin[(1+\Delta_i)WnT_s]}{\pi(1+\Delta_i)nT_s} \cos[2\pi(1+\Delta_i)f_0nT_s] + w_i(n)$$

其中， B_i 、 Δ_i 分别为接收信号的幅度和多普勒因子， $w_i(n)$ 为信号噪声，采样频率 $f_s = 1/T_s$ ($f_s > 2f(f_0 + W)$)， Δ_i 可由步骤 S3 求出；

S5-2、对接收信号 $r_i(n)$ 的自相关函数 $R_i(n)$ 作 $2N$ 点离散傅里叶变换，得：

$$S_{R_i}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} R_i(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, 0 \leq k \leq N-1$$

S5-3、对该收发阵列的信号进行分析，发射换能器 S 的系统函数为 $H_1(f)$ ，接收换能器的系统函数均为 $H_2(f)$ ，同一个收发阵列中的接收换能器参数相同，且系统函数 $H_1(f)$ 和 $H_2(f)$ 可通过查看相应的换能器参数获得；

测量信号 $s(t)$ 发射出去时先经过系统 $H_1(f)$ ，同时，接收到的信号 $r_i(t)$ 也先经过系统 $H_2(f)$ ，因此在水中传播前和在水中传播过后的测量信号功率谱分别为 $H_1(f)S(f)$ 和 $S_{R_i}(f)/H_2(f)$ ；

S5-4、由步骤 S5-3，测量信号在接收换能器 R_i 相应的 f_k/N 频点上的离散信号功率谱为 $\frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_k/N)}$ ，测量信号在发射换能器 S 相应的 f_k/N 频点上的离散信号功率谱为 $\frac{A}{2}H_1(f_k/N)$ ，由此得到衰减参数 Q_k ：

$$Q_k = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{S_{R_i}(k)}{H_2(f_k/N)}}{\frac{A}{2}H_1(f_k/N)}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

表示测量信号经过水体前后的衰减参数；

S5-5、对于 M 个接收换能器接收的信号，对信号相应区间离散功率谱进行叠加，根据衰减参数 Q_k ($k=0,1, \dots, N-1$) 和传输距离 L 反演出悬浮物的浓度，而测量信号的每个频点 f_k 则对应了四分之一波长线度的悬浮物的浓度。

2、根据权利要求 1 所述的悬浮物动态监测方法，其特征在于，使用多个发射换能器；每个发射换能器发送不同频率范围的测量信号，且用于接收该测量信号的换能器也应为相应频段的接收换能器；如需要测量的宽频率范围为 $[f_1, f_m]$ ，则可将该宽频段分为 N 段 $[f_1, f_2]$ 、 $[f_3, f_4]$ 、 $\dots$ 、 $[f_{m-1}, f_m]$ ，使用 N 个发射换能器，第一换能器发送频率范围为 $[f_1, f_2]$ 的测量信号 $s_1(t)$ ，第二换能器发送频率范围为 $[f_3, f_4]$ 的测量信号 $s_2(t)$ ，依此类推；一个发射换能器对应一个收发阵列，对不同收发阵列重复步骤 S1-S5，可估计出水体中悬浮物的浓度、线度分布以及速度。

3、根据权利要求 2 所述的悬浮物动态监测方法，其特征在于，不同的频段连续或者相隔一定的距离。

4、一种基于权利要求 1 所述的方法的监测装置，其特征在于，包括操作模块、处理模块、收发模块和输出模块和电源，电源为所有模块供电；操作模块与处理模块连接，处理模块分别与收发模块以及输出模块相连；

收发模块包括测量架、 N 个反射体和 N 个收发阵列；测量架用于将反射体以及不同的收发阵列连接固定；收发阵列之间相隔一定的距离；每个收发阵列包括一个发射换能器和 M 个接收换能器， $M \geq 3$ ，所有换能器的信号发射面或接收面均位于同一水平面；每个收发阵列中的接收换能器都和发射换能器相连，同个收发阵列中接收换能器到发射换能器的距离相同，同个收发阵列中的收发换能器频率匹配；反射体位于不同收发阵列正下方，且 N 个反射体的反射面在同一水平面上；

操作者通过操作模块输入对应的参数，处理模块根据参数信息产生各段测量信号，传送给收发模块中相应频段的收发阵列的发射换能器发射并控制发射换能器的发送周期；对于该收发阵列中发射换能器发射的信号，其对应的接收换能器阵列接收反射信号，传送给处理模块；处理模块计算出悬浮物的浓度和线度分布，同时，根据多普勒效应计算悬浮水体的三维流速；最后将测量出来的悬浮物的浓度和线度分布值、水体流速值传送给输出模块输出显示。

5、根据权利要求 4 所述的监测装置，其特征在于，收发阵列的数目 N 根据应用场景和

测量的范围而定。

6、根据权利要求4所述的监测装置，其特征在于，固定反射体的测量架横架可上下调节高度。

7、根据权利要求4所述的监测装置，其特征在于，处理模块包括数字处理器、数模转换器及模数转换器。

8、根据权利要求4所述的监测装置，其特征在于，反射体采用利于信号反射的材料。

9、根据权利要求4所述的监测装置，其特征在于，测量架采用耐腐蚀的硬质材料。

10、根据权利要求4所述的监测装置，其特征在于，收发阵列之间用金属或塑料材料相连。

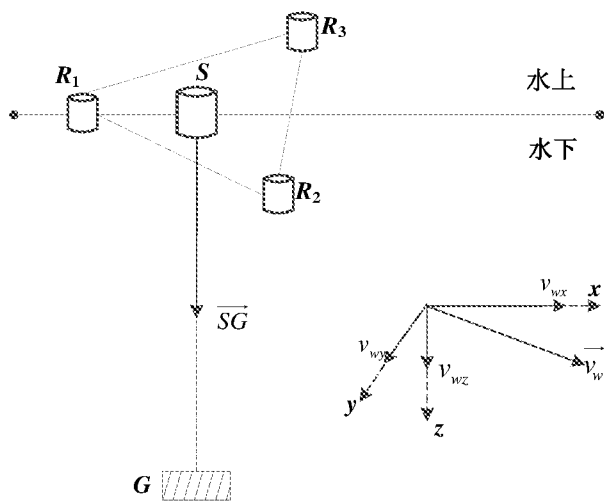


图 1

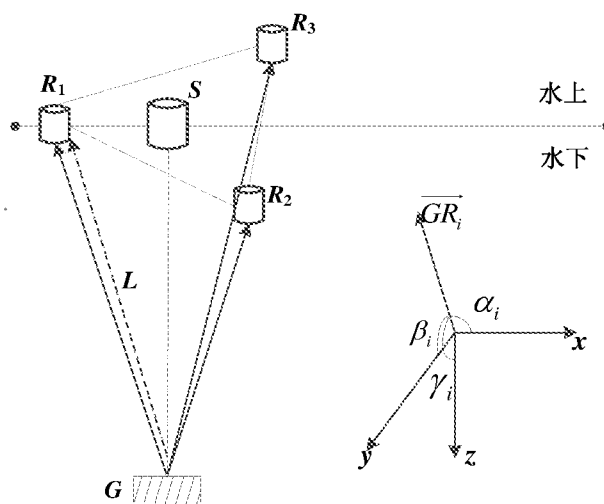


图 2

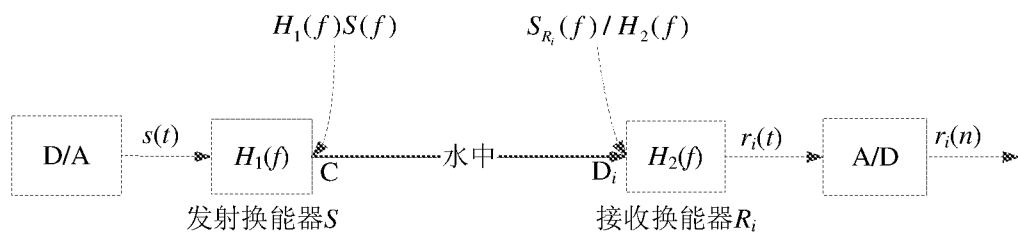


图 3

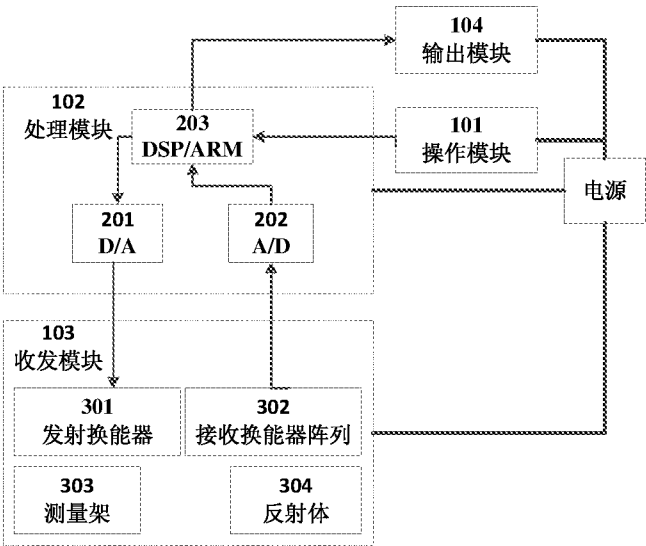


图 4

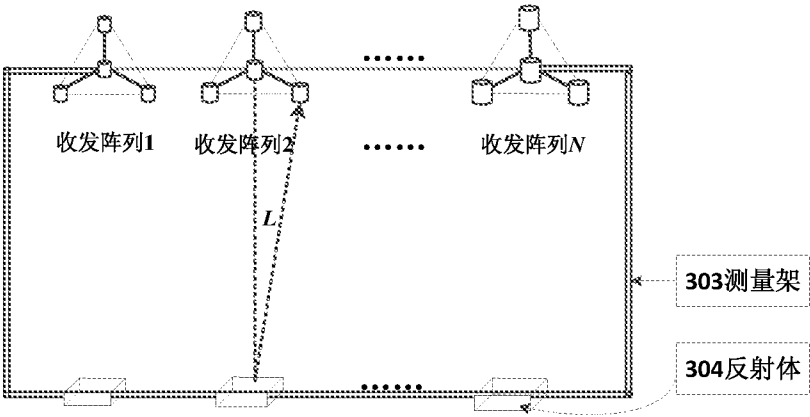


图 5

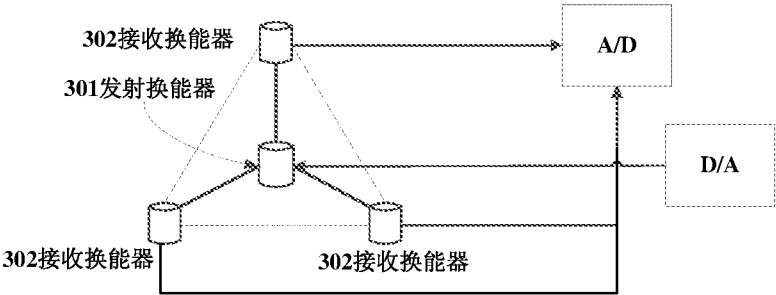


图 6

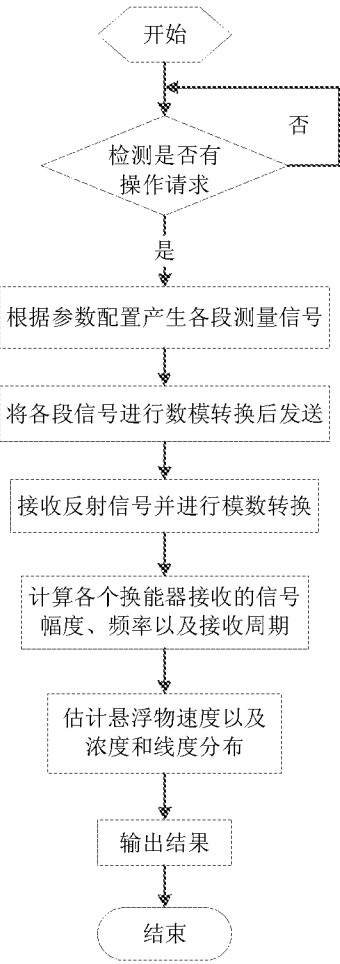


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/111892

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 15/06 (2006.01) i; G01N 15/02 (2006.01) i; G01N 29/02 (2006.01) i; G01P 5/24 (2006.01) i
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N 15, G01N 29

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, VEN, CNKI, WANFANG, GOOGLE, BAIDU, ISI 悬浮物, 超声, 阵列, 频率 suspended sediment, ultrasonic, array, frequency

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 107144506 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 08 September 2017 (08.09.2017), claims 1-10	1-10
A	CN 105738469 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY), 06 July 2016 (06.07.2016), claims 1, 3 and 5	1-10
A	WO 2014002078 A1 (HYDROVISION ASIA PTE LTD.), 03 January 2014 (03.01.2014), entire document	1-10
A	JP 2010261719 A (ELECTRIC POWER DEV CO. et al.), 18 November 2010 (18.11.2010), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 20 March 2018	Date of mailing of the international search report 27 March 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer ZHAO, Xiaoyu Telephone No. (86-10) 62084132

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/111892

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 107144506 A	08 September 2017	None	
CN 105738469 A	06 July 2016	None	
WO 2014002078 A1	03 January 2014	AU 2013282701 B2	27 October 2016
		CA 2877821 C	09 January 2018
		US 9726590 B2	08 August 2017
		AU 2013282701 A1	19 February 2015
		CN 104471370 A	25 March 2015
		CA 2877821 A1	03 January 2014
		EP 2877831 A4	16 March 2016
		SG 11201405000 U A	26 September 2014
		EP 2877831 A1	03 June 2015
		US 2015153262 A1	04 June 2015
JP 2010261719 A	18 November 2010	JP 5458258 B2	02 April 2014

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/111892

A. 主题的分类 G01N 15/06(2006.01)i; G01N 15/02(2006.01)i; G01N 29/02(2006.01)i; G01P 5/24(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G01N 15, G01N 29 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS, VEN, CNKI, 万方, google, 百度, ISI 悬浮物, 超声, 阵列, 频率 suspended sediment, ultrasonic, array, frequency																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 107144506 A (华南理工大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105738469 A (华南理工大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 权利要求1, 3, 5</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2014002078 A1 (HYDROVISION ASIA PTE LTD) 2014年 1月 3日 (2014 - 01 - 03) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2010261719 A (ELECTRIC POWER DEV CO等) 2010年 11月 18日 (2010 - 11 - 18) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 107144506 A (华南理工大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 权利要求1-10	1-10	A	CN 105738469 A (华南理工大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 权利要求1, 3, 5	1-10	A	WO 2014002078 A1 (HYDROVISION ASIA PTE LTD) 2014年 1月 3日 (2014 - 01 - 03) 全文	1-10	A	JP 2010261719 A (ELECTRIC POWER DEV CO等) 2010年 11月 18日 (2010 - 11 - 18) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
PX	CN 107144506 A (华南理工大学) 2017年 9月 8日 (2017 - 09 - 08) 权利要求1-10	1-10															
A	CN 105738469 A (华南理工大学) 2016年 7月 6日 (2016 - 07 - 06) 权利要求1, 3, 5	1-10															
A	WO 2014002078 A1 (HYDROVISION ASIA PTE LTD) 2014年 1月 3日 (2014 - 01 - 03) 全文	1-10															
A	JP 2010261719 A (ELECTRIC POWER DEV CO等) 2010年 11月 18日 (2010 - 11 - 18) 全文	1-10															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2018年 3月 20日		国际检索报告邮寄日期 2018年 3月 27日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 赵晓宇 电话号码 (86-10)62084132															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/111892

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107144506	A	2017年 9月 8日	无			
CN	105738469	A	2016年 7月 6日	无			
WO	2014002078	A1	2014年 1月 3日	AU	2013282701	B2	2016年 10月 27日
				CA	2877821	C	2018年 1月 9日
				US	9726590	B2	2017年 8月 8日
				AU	2013282701	A1	2015年 2月 19日
				CN	104471370	A	2015年 3月 25日
				CA	2877821	A1	2014年 1月 3日
				EP	2877831	A4	2016年 3月 16日
				SG	11201405000U	A	2014年 9月 26日
				EP	2877831	A1	2015年 6月 3日
				US	2015153262	A1	2015年 6月 4日
JP	2010261719	A	2010年 11月 18日	JP	5458258	B2	2014年 4月 2日