



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110244260 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201910521257.4

CN 1967238 A, 2007.05.23

(22) 申请日 2019.06.17

CN 103098132 A, 2013.05.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 104748764 A, 2015.07.01

申请公布号 CN 110244260 A

US 2016018509 A1, 2016.01.21

US 2011050500 A1, 2011.03.03

(43) 申请公布日 2019.09.17

白兴宇. 基于声压振速联合信息处理的声矢量阵相干信号子空间方法.《声学学报》.2006, 第31卷(第5期), 410-417.

(73) 专利权人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区2号大街

李家亮. 各向异性海洋环境噪声声能流.《声学技术》.2013, 第32卷(第5期), 230-232.

(72) 发明人 白兴宇 欧宏飞

孟祥玲. 空气中声源水下声场建模及探测技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技 II 辑》.2018, 51-53.

(74) 专利代理机构 浙江千克知识产权代理有限公司 33246

代理人 周希良

Guanghua Dai. Cross-spectrum detector using a single acoustic vector hydrophone.《IEEE》.2018, 1-5.

(51) Int. Cl.

G01S 3/802 (2006.01)

周彬. 基于对角减载的水声阵列SMI-MVDR空间谱估计技术.《系统工程与电子技术》.2014, 第36卷(第12期), 2381-2384.

(56) 对比文件

CN 107728109 A, 2018.02.23

CN 101997616 A, 2011.03.30

CN 108469599 A, 2018.08.31

CN 103105225 A, 2013.05.15

审查员 杨娜

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

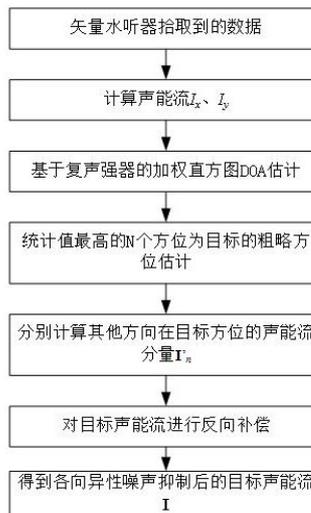
(54) 发明名称

基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法

异性噪声场中对水下目标的高精度DOA估计。

(57) 摘要

本发明公开了基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法。该方法包括以下步骤：首先通过多目标DOA估计，估计出目标的大致方位；然后计算出各向异性噪声在目标方位的声能流分量；最后将目标方向声能流与噪声的声能流分量进行矢量减，从而得到抑制噪声干扰后的目标声能流；最后用抑制噪声后的声能流重新进行多目标DOA估计，从而实现水下目标高精度DOA估计。本发明根据接收声能流为各噪声源声能流矢量和的各向异性噪声场声能流模型，利用声压和质点振速联合信息处理技术，对目标声能流进行反向补偿，并与复声强器多目标DOA估计法相结合，通过抑制各向异性噪声干扰，进而实现各向



CN 110244260 B

1. 基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,其特征在于,包括:

步骤1. 使用单矢量水听器利用声压和质点振速联合信息处理技术进行多目标DOA估计,建立各向异性噪声源分布模型;所述各向异性噪声场声能流模型用下述表达式表述:

$$I_x(f) = I_{sx}(f) + \sum_{k=1}^K I_{nx}^{(k)}(f)$$

$$I_y(f) = I_{sy}(f) + \sum_{k=1}^K I_{ny}^{(k)}(f)$$

I_{sx} 、 I_{sy} 分别为目标实际声能流 I_s 在X与Y方向的分量, I_{nx} 、 I_{ny} 分别为噪声声能流 I_n 在X与Y方向的分量, K为噪声源数量, f为频率;

步骤2. 根据上述分布模型统计幅值,估计出粗略目标辐射噪声源方位;

步骤3. 根据各向异性噪声场声能流模型计算各向异性噪声声能流在目标方位的声能流分量,表达如下:

$$I'_{nx}(\theta) = \sum_{i=1}^K E[I_{nx}^{(i)}(f) \cdot \cos(\theta - \hat{\alpha}_i)]$$

$$I'_{ny}(\theta) = \sum_{i=1}^K E[I_{ny}^{(i)}(f) \cdot \cos(\theta - \hat{\alpha}_i)]$$

$E[\cdot]$ 为求期望, $\hat{\alpha}_i$ 为目标源粗略方位角, θ 为噪声源方位估计角;

步骤4. 将目标方位声能流矢量减各向异性噪声声能流在目标方位的声能流分量,表达如下:

$$I_{sx} = \hat{I}_{sx} - \sum_{i=1}^N I'_{nx}(\theta_i)$$

$$I_{sy} = \hat{I}_{sy} - \sum_{i=1}^N I'_{ny}(\theta_i)$$

\hat{I}_{sx} , \hat{I}_{sy} 分别为目标方位的声能流;

步骤5. 使用复声强器多目标DOA估计重新进行DOA估计。

2. 如权利要求1所述的基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,其特征在于,使用的多目标DOA估计为基于单矢量水听器的复声强器多目标DOA估计。

3. 如权利要求1所述的基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,其特征在于,估计目标辐射噪声源粗略方位是根据目标估计数目N,选取噪声源分布模型中统计值最高的N个方位角为目标方位角。

4. 如权利要求3所述的基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,其特征在于,所述的噪声源分布模型是通过基于复声强器的加权直方图统计法得到的统计模型。

5. 如权利要求1所述的基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,其特征在于,重新利用复声强多目标DOA估计是利用经过噪声抑制后的目标实际声能流 I_{sx} , I_{sy} 进行计算。

基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法

技术领域

[0001] 本发明属于信号处理领域,具体涉及一种使用单矢量水听器基于复声强器的水下多目标DOA估计方法。

背景技术

[0002] 方位估计是水声探测领域的一个传统课题,近年来利用矢量水听器进行探测和方位估计,已经成为了水声领域的一个研究热点。声矢量传感器由传统的无指向性声压传感器和偶极子指向性质点振速传感器构成,它可空间共点同步拾取声场一点处的声压 P 和质点振速 V 的三个正交分量。在远程声场,尺度有限信号源的声压和振速是相干的,而对于各向同性噪声场,声压与振速是不相关的,因此利用声场的声压和质点振速联合信息处理技术具有较强的抗各向同性噪声能力。其中白兴宇与孙贵青在声压振速联合处理上分别提出了声矢量阵相干信号子空间方法和最大似然DOA估计方法,其均充分利用了声矢量传感器中声压与振速的相干性,在各向同性噪声场环境中均取得了较好的效果。但是包括在内,现有的DOA估计方法都没有考虑各向异性噪声场对DOA估计精度的影响。实际上,海洋动力噪声与人类活动等因素产生的噪声源在水平面均为非均匀分布,导致海洋环境噪声场在水平面呈现各向异性,所以噪声场中接收点的平均水平声能流并不为零,这对矢量水听器的定位精度产生了影响。

发明内容

[0003] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种适用于单矢量水听器的基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,以解决现有技术中DOA估计在各向异性噪声场中,由于噪声干扰,水下目标方位估计精度产生误差的问题。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供一种基于声能流矢量补偿的水下目标高精度DOA估计方法,该方法包括以下步骤:

[0005] 步骤1:利用单矢量水听器声压 P 通道、振速 V_x 通道和振速 V_y 通道共点同步拾取的声场信息,计算接收声能流在笛卡尔坐标系 X 、 Y 方向的分量 I_x 、 I_y 。并根据 I_x 、 I_y ,计算得到各频点所对应的方位角。

[0006] 步骤2:通过直方图统计法对各个频点所对应的方位角进行统计。将 $[0^\circ, 360^\circ]$ 划分为若干区间,对每一个角度区间内存在的频点个数进行统计,生成直方图统计图,其中的峰值即为估计的方位值。

[0007] 步骤3:根据目标估计数目 N 选取统计值最大的 N 个峰值所对应的方位值作为目标方位角。

[0008] 步骤4:计算各方向噪声声能流 $I_n(\theta)$ 在目标方向的声能流分量 $I'_n(\theta)$ 。

[0009] 步骤5:将目标方向声能流 \hat{I}_s 与各噪声声能流分量 $I'_n(\theta)$ 的均值做矢量减运算,即可得到对各向异性噪声抑制后的目标声能流矢量 I_s 。实现了对各向异性噪声的抑制。

[0010] 步骤6:根据 I_s ,利用复声强器重新进行多目标DOA估计。

[0011] 本发明的有益效果是：一方面本发明基于单矢量水听器的多目标DOA估计，利用声压和质点振速联合信息处理技术具有较强的抗同性噪声能力，且可以同时估计多个目标方向；另一方面在DOA估计的基础上利用声能流矢量补偿对各向异性噪声进行抑制相较于其他噪声抑制算法具有更小的计算量，且其各向异性噪声抑制效果较好；最后该算法对接收信号的带宽与频率没有要求，具有良好的鲁棒性。

附图说明

- [0012] 图1是基于复声强器的多目标方位估计法原理图。
 [0013] 图2是水下目标DOA估计中各向异性噪声抑制方法流程图。
 [0014] 图3是SNR=0dB时的波束图对比。
 [0015] 图4是多目标时噪声抑制算法性能。

具体实施方式

[0016] 下面将结合附图对本发明作进一步详细说明。

[0017] 本发明基于复声强器多目标波达方向 (Direction of arrival, DOA) 估计法，充分利用了声矢量传感器所拾取的声场矢量信息，利用各向异性噪声能量的方向差异性与拾取声能流矢量为所有噪声源产生的声能流矢量和的原理，计算出目标方向干扰噪声的能量分量，进而对各向异性噪声进行抑制，从而改善各向异性噪声场下对目标的DOA估计精度。

[0018] 本发明具体实施过程如下：

[0019] 一、数据模型

[0020] 二维同振式矢量水听器拾取的信息模型可用下式表示：

$$[0021] \begin{cases} p(r, t) = x(r, t) + n_p(r, t) \\ v_x(r, t) = x(r, t) \cdot \cos(\theta) + n_{vx}(r, t) \\ v_y(r, t) = x(r, t) \cdot \sin(\theta) + n_{vy}(r, t) \end{cases}$$

[0022] 其中 $x(r, t)$ 为目标声压信号， $p(r, t)$ 为矢量水听器接收到的声压信号， $v_x(r, t)$ 为矢量水听器接收到的x轴振速信号， $v_y(r, t)$ 为矢量水听器接收到的y轴振速信号， θ 目标水平方向的方位角， $n_p(r, t)$ 、 $n_{vx}(r, t)$ 、 $n_{vy}(r, t)$ 为干扰噪声的声压与x、y方向的振速。

[0023] 二、初始估计

[0024] 根据矢量水听器拾取的声压信号 $p(r, t)$ ，振速信号 $v_x(r, t)$ 、 $v_y(r, t)$ 计算声压和振速的互谱，并取实部，得到在X、Y方向的水平声能流 $I_x(f)$ 、 $I_y(f)$

$$[0025] \quad I_x(f) = \text{Re}[P(f)V_x^*(f)] = I_{sx}(f) + \sum_{k=1}^K I_{nx}^{(k)}(f)$$

$$[0026] \quad I_y(f) = \text{Re}[P(f)V_y^*(f)] = I_{sy}(f) + \sum_{k=1}^K I_{ny}^{(k)}(f)$$

[0027] 式中 $\text{Re}[\cdot]$ 表示取实部， f 为频率，“*”为共轭， $P(f)$ 、 $V_x(f)$ 、 $V_y(f)$ 别分为 $p(r, t)$ 、 $v_x(r, t)$ 、 $v_y(r, t)$ 的傅里叶变换， I_{sx} 、 I_{sy} 分别为目标实际声能流 I_s 在X与Y方向的分量， I_{nx} 、 I_{ny} 分别为噪声声能流 I_n 在X与Y方向的分量， K 为噪声源数量。

[0028] 根据 I_x 、 I_y ，计算得到各频点所对应的方位角。其表达式如下式：

$$[0029] \quad \theta(f) = \arctan\left(\frac{I_y(f)}{I_x(f)}\right)$$

[0030] 然后进行直方图统计。记方位角统计间隔为 $\Delta\theta$ 度, 则空间角度所允许的间隔总数为

$$[0031] \quad N = \frac{360^\circ}{\Delta\theta}$$

[0032] 由上式可得到空间角度允许间隔分别为: $0 \sim \Delta\theta$, $\Delta\theta \sim 2\Delta\theta$, $2\Delta\theta \sim 3\Delta\theta$, \dots , $(N-1)\Delta\theta \sim N\Delta\theta$, 且假定此时各个频点估计方位落入各个统计角度间隔的数量分别为 m_1 , m_2 , m_3 , \dots , m_N , 则计算如下统计量 $R(\theta)$:

$$[0033] \quad R(0 \sim \Delta\theta) = \sum_1^{m_1} R_r(r)$$

$$[0034] \quad R(\Delta\theta \sim 2\Delta\theta) = \sum_1^{m_2} R_r(r)$$

$$[0035] \quad R(2\Delta\theta \sim 3\Delta\theta) = \sum_1^{m_3} R_r(r)$$

[0036] \vdots

$$[0037] \quad R((N-1)\Delta\theta \sim N\Delta\theta) = \sum_1^{m_N} R_r(r)$$

[0038] 其中, $R_r(f)$ 满足如下关系式:

$$[0039] \quad R_r(f) = \sqrt{I_x^2(f) + I_y^2(f)}$$

[0040] 直方图法的角度统计量 $R(\theta)$ 最大值对应的方位就反映了目标真实方位的估计值。图1为多目标方位估计法原理图。

[0041] 三、噪声抑制方法

[0042] 通过上述多目标DOA估计算法估计出各独立噪声源方位分布。由于一般情况下目标辐射噪声能量大于其他干扰噪声能量, 因此选取统计能量最大的方位角作为目标方位角, 其他方位的信号可以均视为干扰噪声, 并根据合成声能流原理计算出各方位噪声声能流在目标方位的分量, 其表达式如下。

$$[0043] \quad I'_{nx}(\theta) = \sum_{i=1}^K E[I_{nx}^{(i)}(f) \cdot \cos(\theta - \hat{\alpha}_i)]$$

$$[0044] \quad I'_{ny}(\theta) = \sum_{i=1}^K E[I_{ny}^{(i)}(f) \cdot \cos(\theta - \hat{\alpha}_i)]$$

[0045] $E[\cdot]$ 为求期望, $\hat{\alpha}$ 为目标源粗略方位角, θ 为噪声源方位估计角, K 为噪声源数量。将其与目标方向声能流进行矢量减, 即以对于干扰噪声进行抑制, 得到经过噪声抑制后的目标声能流。

$$[0046] \quad I_{sx} = \hat{I}_{sx} - \sum_{i=1}^N I'_{nx}(\theta_i)$$

$$[0047] \quad I_{sy} = \hat{I}_{sy} - \sum_{i=1}^N I'_{ny}(\theta_i)$$

[0048] 该各向异性噪声抑制方法流程图如图2所示。

[0049] 四、使用复声强器多目标DOA估计重新进行DOA估计。

[0050] 五、性能分析

[0051] 在仿真中模拟了三个中心频率分别为55Hz、85Hz、130Hz,带宽均为100Hz的宽带连续谱信号作为目标信号,采样频率为1000Hz,它们的水平方位分布为 40° 、 90° 和 200° ,并且处于由高斯白噪声和不同方向、不同强度的宽带噪声组成的各向同性噪声与各向异性噪声叠加的背景噪声环境中,各向异性噪声源水平方位为 60° 、 140° 、 300° ,各噪声源相互独立。为测试该水下目标DOA估计中各向异性噪声抑制算法的性能,通过对比常规复声强器DOA估计与使用该算法后的DOA估计精度来进行验证。

[0052] 图3为在 $\text{SNR}=0\text{dB}$ 时,常规复声强器DOA估计与基于本文算法的DOA估计波束图对比。如图3所示经过矢量补偿对噪声干扰抑制后,目标方位角均得到了一定的补偿,精度得到了提高,并且在目标方向方位统计峰值有着大幅度增强,顶峰根据尖锐。

[0053] 图4为多目标时噪声抑制算法性能,图中所示可知基于本文各向异性噪声抑制算法的多目标方位估计值的均方根误差在 $\text{SNR}=20\text{dB}$ 以下有着显著的降低;在 $\text{SNR}=0\text{dB}$ 以上方位估计精度均在 1° 以内;在 $\text{SNR}=5\text{dB}$ 时,方位角RMSE相较于常规复声强器方位估计有着大幅降低。

[0054] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的范围应以权利要求的保护范围为准。

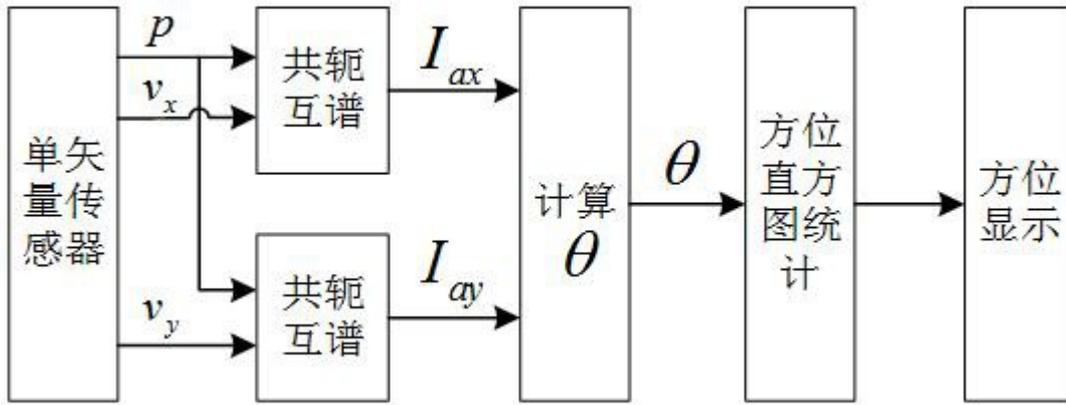


图1

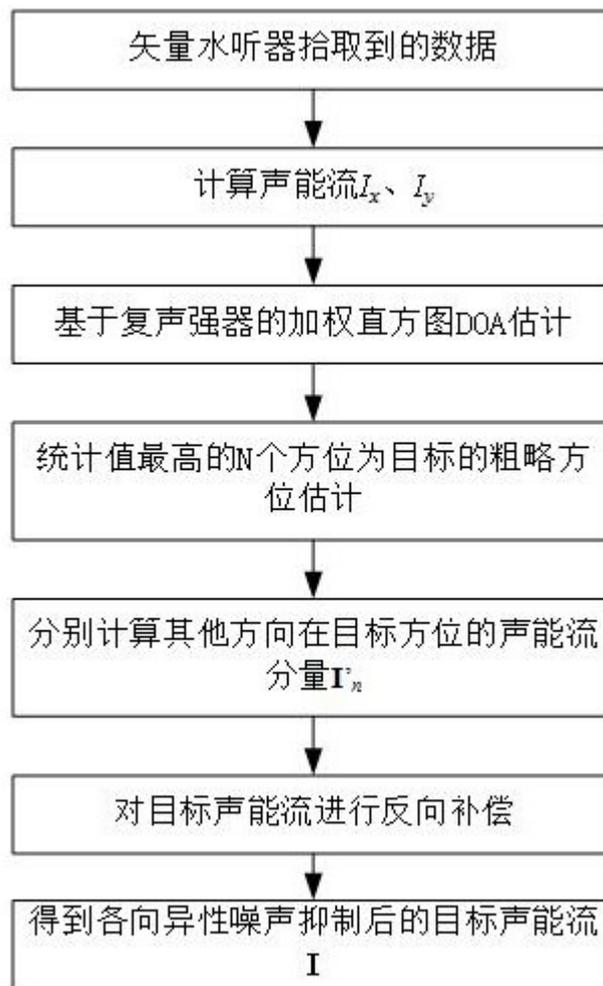


图2

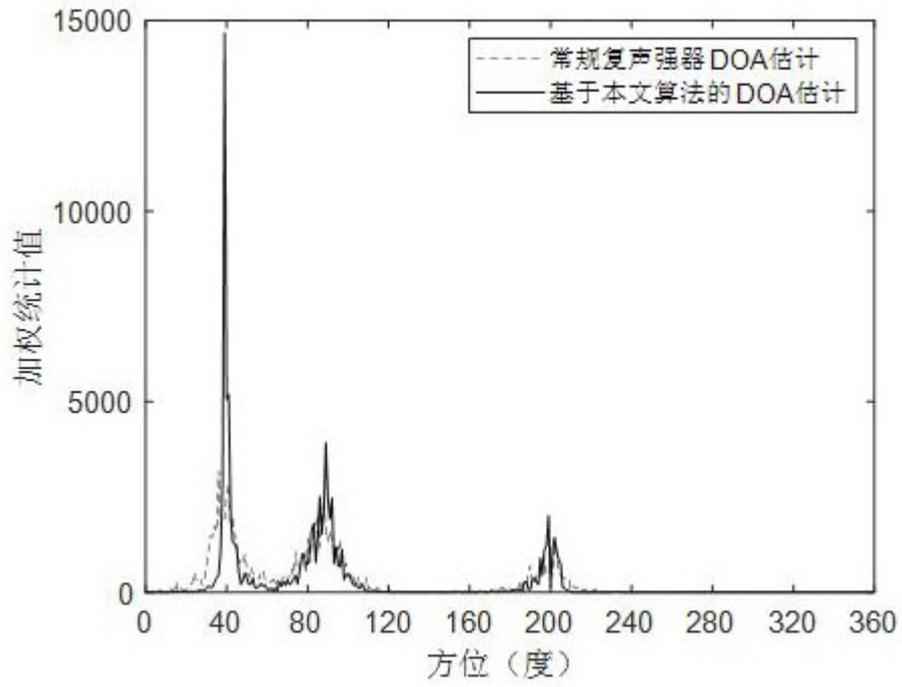


图3

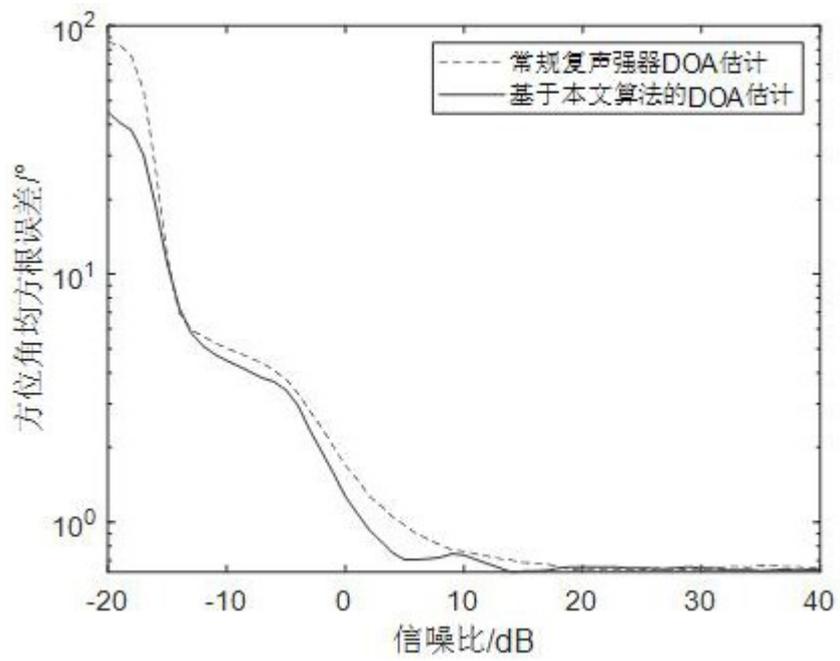


图4