

声矢量传感器线阵波导不变量被动测距研究*

李 建^{1,2,3†} 孙贵青¹ 张春华¹ 韩庆邦²

(1 中国科学院声学研究所 北京 100190)

(2 河海大学计算机与信息工程学院 常州 213022)

(3 中国科学院研究生院 北京 100190)

摘要 介绍一种利用水声信道的统计不变特征(波导不变量)实现被动测距的方法。对接收 LOFAR(Low Frequency Analysis Record)图使用 HOUGH 变换等边缘提取技术提取条纹,得到波导不变量以及抛物线参数的估计值,进而得到目标的 CPA(Closest Point of Approach)点距离。矢量水听器的振速通道数据所得 LOFAR 图信噪比明显高于声压 LOFAR 图,可以提高测距精度。仿真和试验数据结果显示本方法能以较高的精度提取 CPA 点距离。对比波导不变量经验值和在线估计值所得最近点距离结果,发现使用具有一定精度的在线估计波导不变量值可以显著提高测距精度。

关键词 LOFAR 图, 矢量阵, 波导不变量, 最近点距离

中图分类号: TB566

文献标识码: A

文章编号: 1000-310X(2012)04-0249-07

Studies of waveguide invariant passive ranging of acoustics vector sensor line array

LI Jian^{1,2,3} SUN Guiqing¹ ZHANG Chunhua¹ HAN Qingbang²

(1 Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

(2 College of Computer & Information Engineering, Hohai University, Changzhou 213022)

(3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract A passive ranging method is proposed based on waveguide invariant. The receive Low frequency analysis record (LOFAR) spectrum contain parabola striations when the wideband target pass by the Closest Point of Approach (CPA). We can extract the striations Through suitable image processing technique such as HOUGH transform, and then derive the waveguide invariant, finally estimate the range of the target. Vector LOFARgram contain particle velocity information has higher SNR than scalar LOFARgram which can improve the precision of range estimate. The method can estimate the range of the CPA with high precision for both simulation and experimental data. In estimating the CPA range, both the experience value and the measuring value of the waveguide invariant are used, result show that the measuring value is more credible.

Key words Low frequency analysis record, Acoustics vector array, Waveguide invariant, Closest point of approach

2012-02-27 收稿; 2012-05-11 定稿

*国家自然科学基金(10904160)、河海大学中央高校基金(2011B11014)、国家 863 计划(2012AA091004)

作者简介: 李建 (1977-), 男, 山东诸城人, 博士研究生, 研究方向: 水声信号处理。

孙贵青 (1970-), 男, 副研究员, 博士, 硕士生导师。

张春华 (1962-), 男, 研究员, 博士, 博士生导师。

韩庆邦 (1965-), 男, 教授, 博士, 硕士生导师。

†通讯作者: 李建, E-mail: jian263@sina.com

1 概述

水下目标的测距一直是水声领域研究的重点和难点问题之一, 基于隐蔽性考虑, 测距声纳多使用被动方式, 声纳基阵通过对目标辐射噪声进行采集、处理, 估计目标距离信息。

被动测距的主要方法包括: (1)基于球面波或柱面波波前的三点测距法, 其测距精度依赖于时延估计精度, 与目标距离、方位、基阵孔径、基阵安装精度等因素有关^[1-2]; (2)基于目标方位历程的目标运动分析(TMA: Target Motion Analysis)方法, 包括纯方位 TMA、频率-方位 TMA、多途 TMA 等多种方法^[3]; (3)基于三角测量原理的被动多途测距方法^[4], 其测距精度受到多途结构预测的影响; (4)基于球面波假设的聚焦波束形成方式^[5], 是一种近场测距方式; (5)基于声场模型的模基测距方法, 如匹配场(MFP: Matched Field Processing)、匹配模(MMP: Matched-mode Processing)以及被动时间反转(PTRM: Passive Time Reversal Mirror)方法^[3, 6-7], 需要根据实际环境参数建立信道模型来计算拷贝声场。上述各方法的性能对比见表 1。

表 1 被动测距方法性能对比

序号	方法	作用距离	测距精度
1	三点测距	近程	目标距离、方位、基阵孔径、基阵安装精度、时延估计
2	TMA	中远程	与方位、频率等测量值有关
3	被动多途测距	中近程	与多途结构、信号带宽有关
4	聚焦波束形成	近程	与阵元位置、信噪比有关
5	MFP&PTRM	中远程	依赖于环境参数, 对失配敏感

目前被动测距技术的研究主要集中在上述几种方法针对特定应用环境的改进, 但究其基本原理, 上述方法(1)到(4)基于平面波、球面波假设, 没有利用水声信道等环境信息, 方法(5)虽然利用环境信息基于声场建模来实现被动测距, 但现实水声环境信息的难于获取及其不确定性使其在实际使用中受到很大限制。

水声信道的不确定中也蕴含着相对统计不变性, 如果能利用水声信道的这种统计不变特征(如波导不变量)来实现被动测距, 将不受环境不确定因素的影响^[8]。在目标距离随时间变化的情况下, 对接收器接收的目标宽带噪声信号进行 LOFAR

(Low Frequency Analysis Record)分析, 接收到的 LOFAR 图上会出现有规律的条纹, 这是由于构成声场的各个简正波之间的互相干涉随距离变化而导致的, 这种现象称为波导不变性, 用波导不变量来表征, 记为 β 。如果目标距离经历: 远-近-远的过程, 其干涉条纹会呈现抛物线状。本文给出一种利用 HOUGH 变换从接收 LOFAR 图中在线提取波导不变量以及抛物线参数, 进而计算目标最近点距离的方法, 是一种不依赖海洋环境具体模型的目标距离提取方式。

第 2 部分介绍了波导不变量的基本理论, 指出由于其存在, 接收 LOFAR 图上呈现相应干涉条纹; 第 3 部分给出了干涉条纹的提取方法, 进一步指出了计算 CPA (Closest Point of Approach) 点距离的方法; 第 4 部分针对矢量阵数据, 给出了四种波束形成器的 LOFAR 图, 指出包含矢量信息的 LOFAR 图条纹清晰、信噪比高; 第 5 部分分别使用仿真以及试验数据生成的 LOFAR 图作为处理对象, 进行了 CPA 点距离的提取。第 6 部分总结全文, 指出: (1)通过对矢量 LOFAR 图上的斜纹、抛物线进行波导不变量和抛物线参数提取, 可以有效的估计出目标 CPA 点距离; (2)使用提取出的波导不变量进行 CPA 点距离计算, 比使用经验值波导不变量为 1 计算得到的 CPA 点距离精度高。

2 声场的简正波理论

传统声纳信号处理方法基于平面波或球面波假设, 随着对声纳作用距离以及探测精度要求的不断增高, 已经不能满足实际需要。基于水声信道传播模型的声纳信号处理方法渐渐成为研究的热点, 其理论基础是波动方程。波动方程有多种类型的数值解, 一般常用的有以下几种: 射线理论模型、简正波模型、多路径展开模型、快速声场模型和抛物线方程模型等^[9]。每种模型都有其各自的适用条件, 本文讨论低频、浅海问题, 采用简正波模型。

在声场的简正波方式描述中, 海洋波导中点源激发的声场可以表示为若干简正波的模式之和^[10], 简正波号数的多少随海深和工作频率等因素的变化而不同。不同号数简正波之间随着距离的变化存在相长或相消干涉, 因此, 将点源声场的声场强度刻划在以水平距离和声源频率为坐标的二维平面

($r-\omega$ 平面) 上会出现干涉条纹图案。Brekhovskikh 和 Lysanov 定义了一个以频率、距离和干涉条纹的斜率为函数的标量参数, 即波导不变量^[11-12]。定义为:

$$\beta = \frac{r}{\omega} \cdot \frac{d\omega}{dr} \quad (1)$$

波导不变量可以由 $r-\omega$ 平面上的干涉直线条纹提取出来。

在距离无关波导的情况下, 假设目标到接收点的距离经历如图 1 所示的由远及近、再由近及远的过程, 接收阵的声学中心 R 位于坐标原点 O 。目标 S 作匀速直线运动, 其线速度为 v , 辐射宽带连续谱信号, 最近通过距离为 r_0 , 最近通过时刻为 t_0 。

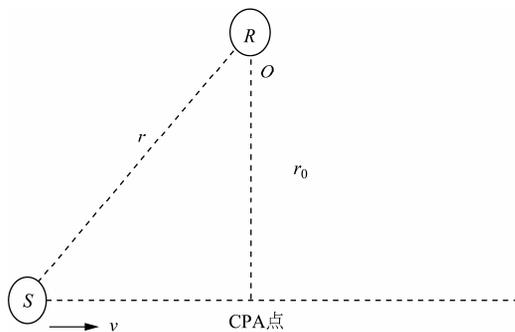


图 1 最近点 (CPA 点) 示意图

这时接收信号 LOFAR 图中的干涉条纹会呈现相应的抛物线状, 如图 2、3 所示。

在图 2、3 中, 声场干涉形成的抛物线状条纹和其横坐标角频率 ω 、总坐标时间 t 之间满足下面关系^[13]:

$$\omega = \omega_0 \left[1 + (V/r_0)^2 (t - t_0)^2 \right]^{\beta/2}, \quad (2)$$

其中 r_0 为最近点距离, t_0 为到达最近点距离的时刻, ω_0 为积分常数。

若方括号内项 $1 + (V/r_0)^2 (t - t_0)^2$ 接近 1 (一般容易满足), 则方程可以依据泰勒级数展开进一步近似为:

$$\omega - \omega_0 = \frac{\omega_0}{2} \beta (V/r_0)^2 (t - t_0)^2, \quad (3)$$

上式又可以写成:

$$(t - t_0)^2 = \frac{2}{f_0 \cdot \beta \cdot (V/r_0)^2} \cdot (f - f_0), \quad (4)$$

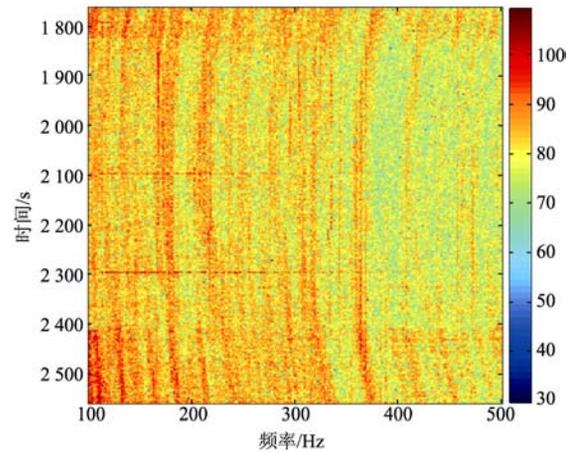


图 2 试验数据 LOFAR 图

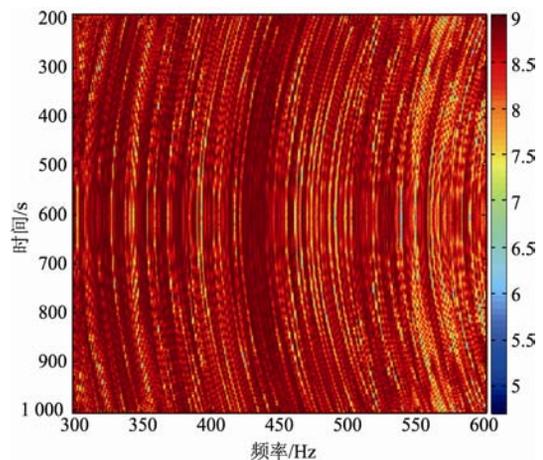


图 3 仿真数据 LOFAR 图

而我们知道, 标准抛物线方程为:

$$(x - x_0)^2 = 2 \cdot p \cdot (y - y_0). \quad (5)$$

对比公式 (4)、公式 (5) 可以看出, 图 2、图 3 中的条纹符合抛物线方程。

3 最近点距离提取方法

HOUGH 变换是图像处理和分析的有效工具, 用来从图像中检测所需曲线。这里使用 HOUGH 变换来分别检测直线和抛物线, 提取波导不变量, 进而估计目标最近点距离。具体方法如下。

波导不变量的提取:

公式(1)可以改写为

$$\beta = \frac{r}{f} \cdot \frac{df}{dr} = \left(\frac{dr}{df} \cdot \frac{f}{r} \right)^{-1} = \left(k \cdot coe \cdot \frac{f}{r} \right)^{-1}, \quad (6)$$

其中

$$k = \tan\left(\frac{\pi}{2} - \theta \cdot \frac{\pi}{180}\right), \quad coe = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \cdot \frac{N}{M}$$

k 为 LOFAR 图中直线斜纹的斜率, coe 为综合考虑 LOFAR 图的频率范围、距离范围、横轴和纵轴的像素数目得到的修正系数。 r_{\max} 、 r_{\min} 、 f_{\max} 、 f_{\min} 分别为 LOFAR 图的距离、频率轴坐标的最大值和最小值; M 和 N 为频率轴和距离轴的象素数。

f 和 r 是在原图中取参考点到直线垂直线的交点的坐标, 具体为:

$$r = r_{\max} - \rho \sin\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \Delta r,$$

$$f = f_{\min} + \rho \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \Delta f. \quad (7)$$

Δf , Δr 分别为图像横轴和纵轴相邻两个象素点对应的频率和距离增量。

θ 和 ρ 为 HOUGH 变换域纵横坐标, 其中: θ 为角度, 取值从-90 到+90, 为以纵轴为参考, 原图直线向左或者向右偏转的角度; ρ 为以图像左上角为参考点, 到所计算直线的距离。如果连线在参考点右侧, ρ 为正, 否则为负。

目标距离的估计:

由公式(4)、(5)可以看出, 对 LOFAR 图上的抛物线条纹进行 HOUGH 变换检测, 提取相应参数 p 和 y_0 , 即可得到 f_0 和 $\frac{2}{f_0 \cdot \beta \cdot (V/r_0)^2}$, 结合波导不变量 β , 可以得到 V/r_0 。在目标的速度 V 已知的情况下, 根据抛物线的参数对应关系, 可以得出最近点距离为:

$$r_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot f_0 \cdot \beta \cdot V^2}{2}}. \quad (8)$$

具体的, 对得到的 LOFAR 图可通过下面四步计算目标最近点距离:

第一步: 图像预处理: 对于待处理的 LOFAR 图, 为了后续参数检测的顺利进行, 首先要进行中值滤波、边缘检测等图像预处理。

第二步: 直线斜纹的提取: 提取正确的斜纹,

估计出波导不变量的取值。

第三步: 抛物线的提取: 通过抛物线的提取, 估计出 f_0 和 $\frac{2}{f_0 \cdot \beta \cdot (V/r_0)^2}$ 。

在公式 (5) 中, 图像域变量有两个: x, y , 变换域变量有三个: (x_0, p, y_0) 。通过适当的选取待处理图像, 使 t_0 时刻处在图像时间轴的中心, 就保证了参数 x_0 在图像 x 轴的中心 (如图 2、3 所示)。对其余两参数: (p, y_0) 的提取可以得出 f_0 和 $\frac{2}{f_0 \cdot \beta \cdot (V/r_0)^2}$ 。

第四步: 使用公式 $r_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot f_0 \cdot \beta \cdot V^2}{2}}$ 计算最近点距离。流程图如图 4 所示:

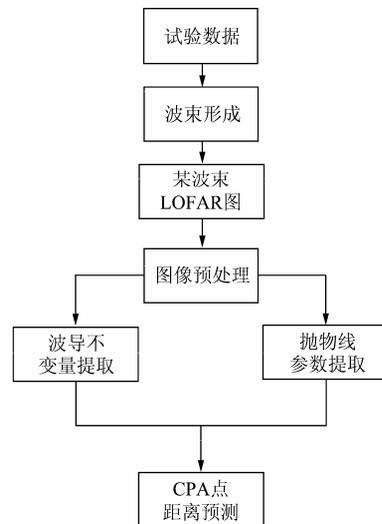


图 4 最近点提取流程图

4 矢量 LOFAR 图

矢量传感器由声压传感器和质点振速传感器复合而成^[14-15], 可以共点同步测量空间一点处的声压和三个质点振速正交分量: P, V_x, V_y, V_z 。对于矢量传感器阵, 振速通道数据在进行常规波束形成 (CBF: Conventional Beam Forming) 时可以与声压通道数据组合形成多种波束形成器, 具体根据矢量传感器内部各传感器所测物理量可将波束形成输出表示为声压、质点振速和声能流 3 种方式^[16]:

声压 CBF, 只使用声压数据:

$$D_p = e^H \cdot R_{pp} \cdot e;$$

振速 CBF, 只使用振速数据:

$$D_v = \mathbf{g}_v^H \cdot \mathbf{R}_{vv} \cdot \mathbf{g}_v;$$

声能流 CBF, 使用声压、振速交叉数据:

$$D_l = \mathbf{e}^H \cdot \text{Re}(\mathbf{R}_{pv}) \cdot \mathbf{g}_v.$$

组合 CBF, 是上面 3 种方式的结合:

$$D = \mathbf{g}^H \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{g} = \frac{1}{4} D_p + \frac{1}{4} D_v + \frac{1}{2} D_l$$

$$= \frac{1}{4} \mathbf{e}^H \cdot \mathbf{R}_{pp} \cdot \mathbf{e} + \frac{1}{4} \mathbf{g}_v^H \cdot \mathbf{R}_{vv} \cdot \mathbf{g}_v + \frac{1}{2} \mathbf{e}^H \cdot \text{Re}(\mathbf{R}_{pv}) \cdot \mathbf{g}_v,$$

其中, \mathbf{R}_{pp} 、 \mathbf{R}_{vv} 、 \mathbf{R}_{pv} 和 \mathbf{R} 分别为声压、振速和声能流以及其组合的协方差矩阵; 方向扫描向量 $\mathbf{g}_v = \mathbf{e} \otimes \mathbf{u}_v$ 、 $\mathbf{g} = \mathbf{e} \otimes \mathbf{u}$, 其中

$$\mathbf{e}^T = [1 \quad e^{-i\omega\tau_0} \quad \dots \quad e^{-i\omega\tau_{M-1}}],$$

$$\mathbf{u}_v^T = [\cos\phi \sin\theta \quad \sin\phi \sin\theta \quad \cos\theta],$$

$$\mathbf{u}^T = [1 \quad \cos\phi \sin\theta \quad \sin\phi \sin\theta \quad \cos\theta],$$

符号 \otimes 表示 Kronecker 积, $\tau = \tau(\phi, \theta)$ 为时延, $\phi \in [0, 2\pi)$ 为与 x 轴的夹角, $\theta \in [0, \pi]$ 为与 z 轴的夹角。

对试验数据使用上面四种方法进行处理, 分别得到 LOFAR 图如图 5 所示。可以看出, 声压法、振速法、组合法、声能流法所得 LOFAR 图的信噪比分别约为: 15 dB、20 dB、20 dB、25 dB。可见使用了振速信息的 LOFAR 图的信噪比明显高于声压 LOFAR 图, 这为后面条纹提取并计算目标距离信息提供了额外的信噪比增益。

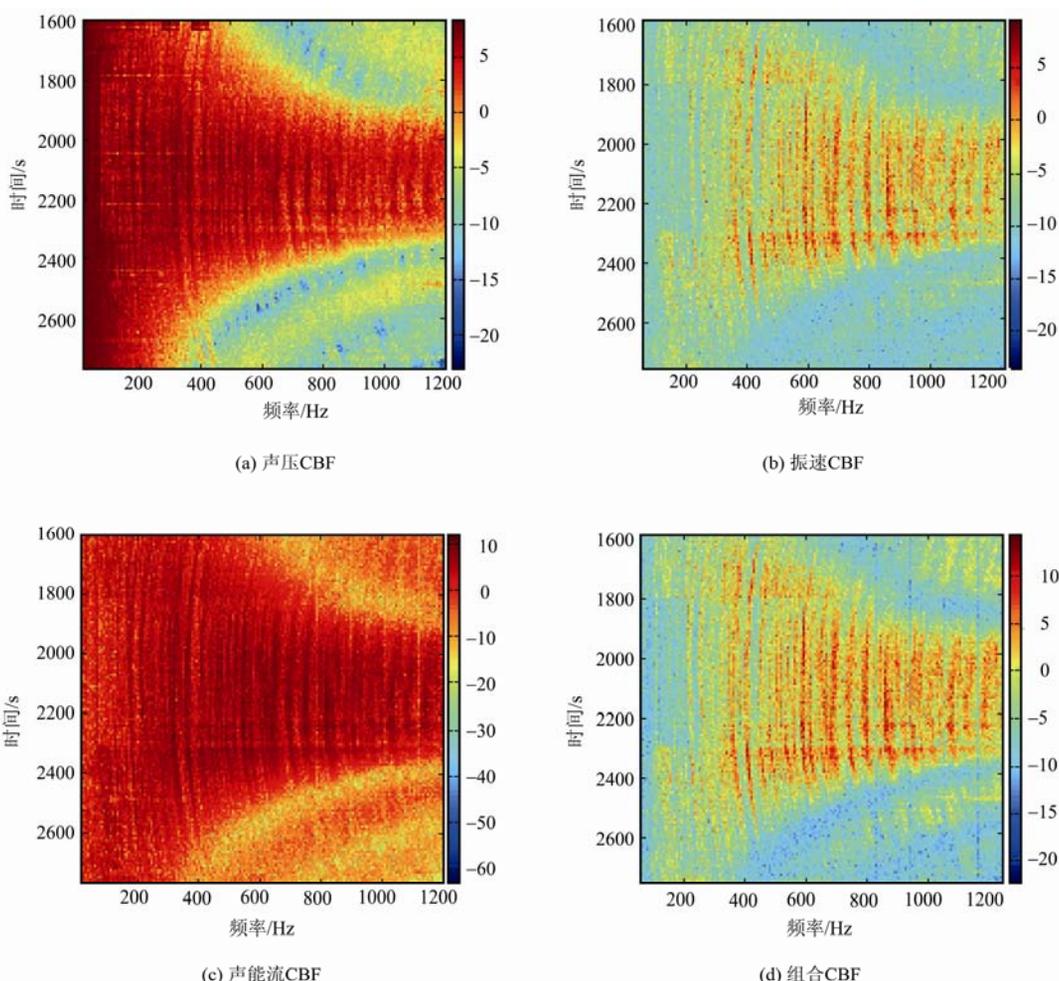


图 5 矢量阵 4 种波束形成器 LOFAR 图比较

5 仿真及试验数据的 CPA 点距离提取

对某次矢量阵海试的试验数据进行处理, 利用矢量 LOFAR 图中的斜纹信息进行目标 CPA 点距离

的提取。试验情况如下: 8 元水平座底矢量阵, 阵元间距 1 m, 两合作目标在附近交叉通过, 航线如图 6 所示, 目标 1 从南向北运动, 速度近似匀速 3.23 m/s, 目标 2 从北向南运动。其中位于坐标原

点的接收阵布阵方向为 38°。可以看出在 270°方位上的距离是目标 CPA 点距离。

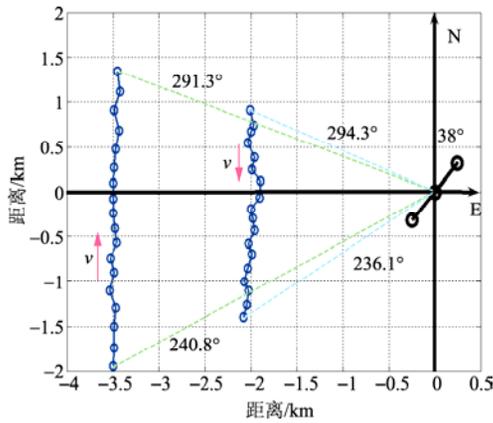


图6 试验布局图

图7是试验期间时间段1600s到2700s之间的方位历程图,轨迹1对应目标1,轨迹2对应目标2。

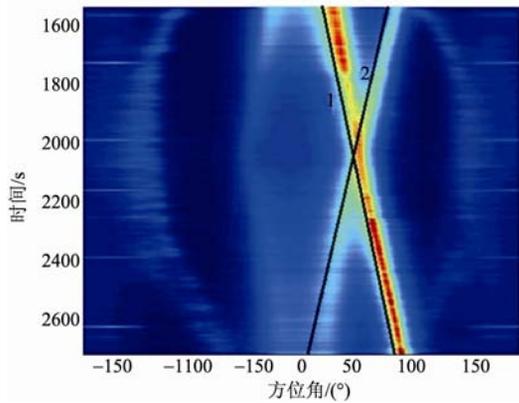


图7 方位历程图

进行时频分析,得到矢量 LOFAR 图如图2所示。

根据上面的试验情况,对此次试验使用声学工具箱^[17]AT (Acoustic Toolbox)进行了建模仿真,环境参数设置为:等声速(1500 m/s)剖面,水深 80m,海水密度为 1g/cm³,接收阵 8 阵元,阵元间距 1m,水平布放在深度 77m 处,点声源位于深度 5m 处,海底声速 2000 m/s,密度 2g/cm³。仿真结果如图3所示,与试验结果基本吻合。

选取包含上述两图在内的总计 7 幅矢量 LOFAR 图进行处理,其中 3 幅是仿真得到的结果(表2中图号1~3,图号1对应图3),4幅是试验数据得到的结果(表2中图号4~7,图号5对应图2)。通过 HOUGH 变换分别提取波导不变量 β 以及

抛物线参数 f_0 和 $\frac{2}{f_0 \cdot \beta \cdot (V/r_0)^2}$, 估计目标的最近

点距离,处理结果如表2所示:

表2 LOFAR 图提取 CPA 点距离信息结果

图号	β (均值)	r_0 (m)	r_0 ($\beta=1$ 时)
1	0.82087	3521	3886
2	0.85169	3650	4279
3	0.88076	3532	3763
4	0.68229	3032	3349
5	0.91223	3445	3607
6	0.70812	3497	3477
7	0.77783	3432	3891

其中,第3列是在实测波导不变量值下计算出的最近点距离,第4列是在波导不变量经验值1下计算出的最近点距离。

根据试验过程中的 GPS 记录,目标最近点距离 r_0 为 3500m。由表2可以看出,对于最近点距离的提取,分别使用实测波导不变量值和经验波导不变量值1来计算,得到的标准差分别为:177 m 和 356m。距离估计误差分别为:2.5%和 10.9%。可见:

- (1) 当目标运动过程中通过最近点时,通过对接收 LOFAR 图上的斜纹、抛物线进行波导不变量和抛物线参数提取,可以有效的估计出目标 CPA 点距离;
- (2) 使用提取出的波导不变量进行 CPA 点距离计算,比使用波导不变量经验值1计算得到的 CPA 点距离精度高,此结果也从侧面说明了波导不变量并非不变的为1。

6 结论

舰船低频宽带辐射噪声的激励声场存在稳定的干涉结构,可以用波导不变量来描述,它反映了不确定海洋环境中的相对统计不变特性。由上述分析及试验数据研究可见,波导不变量可以用于被动测距,且在线提取波导不变量比经验值($\beta=1$)能显著提高测距精度。矢量试验数据分析显示,利用了矢量信息的 LOFAR 图的信噪比明显高于标量声压 LOFAR 图,对于条纹识别、波导不变量提取以及目标最近点距离的估计精度有明显改善。使用本方法,在目标运动过程中没有经过最近点的情况下,只能从干涉斜纹中提取出波导不变量,不能获取距离信息,应对此开展进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 李启虎. 数字式声纳设计原理[M]. 安徽: 安徽教育出版社, 2002: 350-353.
- [2] BRIAN G F. and Kam W L. Passive ranging errors due to multipath distortion of deterministic transient signals with application to the localization of small arms fire[J]. J. Acoust. Soc. Am. 111(1), 2002. Pt. 1: 117-128.
- [3] 毛卫宁. 水下被动定位方法回顾与展望[J]. 东南大学学报, 2001, 31(6): 1-4.
- [4] BURDIC W S. 著. 方良嗣, 阎福旺, 等译. 水声系统分析[M]. 北京: 海洋出版社, 1992: 274-277.
- [5] 薛山花, 叶青华, 黄海宁, 等. 利用近场 MVDR 双聚焦波束成形方法实现被动测距[J]. 应用声学, 2005, 24(3): 177-181.
- [6] SHANG E C. CLAY C S. and WANG Y Y. Passive harmonic source ranging in waveguides by using mode filter[J]. J. Acoust. Soc. Am. 1985, 78(1): 172-175.
- [7] 马敬广. 时间反转镜被动定位技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007: 4-8.
- [8] COCKRELL K L. SCHMIDT H. Robust passive range estimation using the waveguide invariant[J]. J. Acoust. Soc. Am. 2010, 127(5): 2780-2789.
- [9] 蔡志明. 水声建模与仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 115-116.
- [10] JENSEN F B. KUPERMAN W A. PORTER M B. et al. Computational Ocean Acoustics[M]. AIP, Woodbury, NY, 1994: 104-106.
- [11] CHUPROV S D. Interference structure of a sound field in a layered ocean[M]. 1982: 71-91.
- [12] BREKHOVSKIKH L M. LYSANOV Y P. Fundamentals of Ocean Acoustics[M], 3rd ed. New York: Springer-Verlag, 2003: 143-148.
- [13] ALTAN T. MARSHALL O. Broadband source localization using horizontal-beam acoustic intensity striations[J]. J. Acoust. Soc. Am, 2010, 127(1): 73-83.
- [14] SKREBNEV G K. Combined underwater acoustic receiver[M]. St.Petersburg: Elmor, 1997.
- [15] 孙贵青, 李启虎. 声矢量传感器研究进展[J]. 声学学报, 2004, 29(6): 481-490.
- [16] 孙贵青, 李启虎. 声矢量传感器信号处理[J]. 声学学报, 2004, 29(6): 491-498.
- [17] PORTER M B. The KRAKEN normal mode program[CP]. SACLANT undersea research center. 2001: 69-159.

第九届近代声学国际研讨会在南京成功举办

2012年5月20日, 值南京大学110周年校庆之际, 由近代声学教育部重点实验室、南京大学声学研究所、中国声学学会、江苏省声学学会、水声信号处理教育部重点实验室联合举办的第九届近代声学国际研讨会(ISMA9)在南京举行。

海内外两百多位声学研究者齐聚一堂, 共同探讨声学研究的最新进展和近代声学的发展方向。美国声学学会主席 Lawrence A. Crum 教授及其他来自澳大利亚、加拿大、法国、德国、日本、韩国、塞尔维亚、英国、美国等国的声学专家前来参加研讨。中科院院士吴培亨、中科院院士郑有焜、中科院院士邢定钰、中科院院士王广厚、中国声学学会理事长田静教授、南京大学副校长吕建和物理学院院长李建新等出席研讨会开幕式。会议由中科院院士张淑仪主持并简单介绍会议内容及筹备情况, 对给予支持和帮助的领导、专家和合作单位表示感谢。南京大学副校长吕建、中国声学学会理事长田静教授在会上致辞。

这次国际会议得到国家自然科学基金委资助、国家教育委员会和南京大学的大力支持。

会议还邀请了来自美国物理声学国家中心 Charles C.

Church 教授, 美国工业和医学超声中心 Lawrence A. Crum 教授, 美国加州大学张翔教授, 法国维因大学 Vitalyi Gusev 教授, 澳大利亚阿德莱德大学 Colin H. Hansen 教授, 韩国成均馆大学 Suk Wang Yoon 教授, 南京大学刘晓峻教授进行主题报告。大会分为以下7个分会: 物理声学, 光声学, 超声学, 生物医学超声, 音频声学, 水声学, 声信号处理, 涵盖了声学的大部分研究领域。

此次国际研讨会, 与南京大学声学研究所过去在南京举办的声学会议相比, 内容和规模均有很大提高和扩展, 会场气氛热烈, 交流充分, 得到国内外代表高度评价, 与会者对会议的成功举办和南京大学学术水平留下了很好的印象, 特别是有许多青年声学工作者参加会议, 表现出声学研究后继有人。会议进一步加强了南京大学声学所和近代声学教育部重点实验室与国内外的交流, 扩大了南大声学的影响, 同时促进南大声学研究进一步向国际前沿水平发展, 会议取得了圆满的成功!

南京大学声学研究所
(近代声学教育部重点实验室)